

第2版

# 1 电线电缆手册

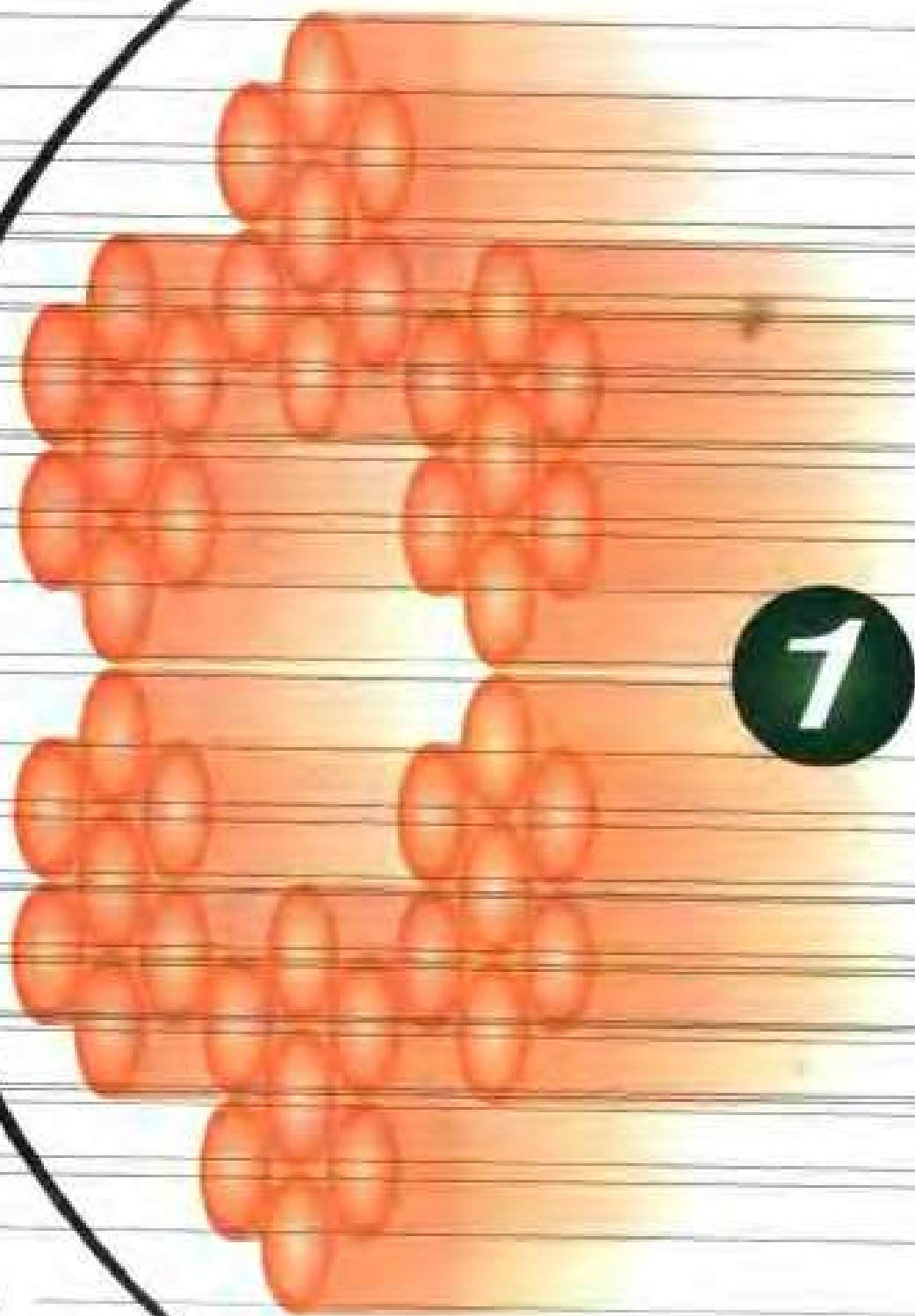
《电线电缆手册》编委会 组编

王春江 主编

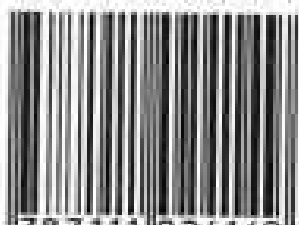
机械工业出版社  
China Machine Press

● ISBN 7-111-02414-1/TM-317

封面设计 / 电脑制作 / 姚毅



ISBN 7-111-02414-1



9 787111 024149 >

定价: 96.00 元

# 电线电缆手册

## 第 1 册

## 第 2 版

《电线电缆手册》编委会 组编  
王春江 主编

机械工业出版社

《电线电缆手册》共分三册,汇集了电线电缆产品设计、生产和使用中所需的有关技术资料。

本书为电线电缆产品部分,内容包括:裸电线与裸导体制品、绕组线(电磁线)、电力电缆、通信电缆和通信光缆、电气装备用电线电缆等五大类产品的品种、规格、用途、技术指标、性能要求和设计计算、试验方法与测试设备等;并对电缆护层的结构、性能、受力计算,以及护层的性能试验也作了详细的介绍。

本书可供电线电缆生产、科研、设计和使用部门的工程技术人员使用,也可供大专院校相关专业的师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电线电缆手册/《电线电缆手册》编委会组编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2001. 7

ISBN 7-111-02414-1

I. 电... II. 电... III. 电线:电缆-技术手册 IV. TM246-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第024510号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:张沪光 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年5月第2版·第2次印刷

1000mm×1400mmB5·37.625印张·3插页·2165千字

55 751—58 250册

定价:96.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

## 《电线电缆手册》编委会

主任委员：高庆国

副主任委员：王家樑

### 第 1 册

主 编：王春江

编写人员：(排名不分先后)

王春江	刘士璋	黄豪士	余为豹	凌春华	桑纪明	楼玉英
孟庆林	王临堂	朱中柱	张轶材	吴曾权	张迪华	陈礼德
刘凤林	刘钧璧	刁湘鹏	顾 瑜	徐应麟	闫永庭	钱汝立

### 第 2 册

主 编：徐应麟

编写人员：(排名不分先后)

徐应麟	沈建华	袁和生	苍庆国	林静文	吴梅生	高祥萍
凌春华	王振国	钱跃新	张尔梅	徐瑞浩	严永昌	张贤灵
陈申福	刘伯洲	曾纪刚				

### 第 3 册

主 编：印永福

编写人员：(排名不分先后)

印永福	李福芝	张永隆	蔡 钧	汪松滋	吴良治	贾明汉
查力仁	葛光明	魏 东	慕成斌	邱国征	粟穗强	刘钧璧
陆德铤	李蕊孙	张承威	王瑞陞	李克昌	于静荣	杨 峻
黄绳甫	黄豪士					

# 前 言

第1版《电线电缆手册》原分3册，第1册、第2册相继于1978年5月和1980年9月问世第3册因故停版。《手册》的出版，正好喜迎“改革开放”新时期的到来。电线电缆行业随着国民经济的迅速发展而飞速壮大，至今已拥有近5000家企业，近40万名职工的庞大的队伍。毋庸讳言，《手册》在培养行业技术人才、促进技术进步、服务经济建设等方面，起到了它应有的重要作用。

随着时间的推移，电线电缆行业新工艺、新材料、新产品、新标准的不断涌现，原手册的内容已不能满足读者的需要，电线电缆产品安装敷设、运行、维护等方面的内容已日益引起重视。为了向广大读者提供一套较完整的、可满足科研、设计、生产及使用需要的综合性读物，受机械工业出版社委托，由上海电缆研究所组织了《手册》第1册、第2册的修订、补充、更新（第2册）以及第3册（第一版）的编写工作。

本手册共分三册出版，具体内容包括：

第1册：电线电缆产品的品种、规格、性能与技术指标、设计计算、性能试验与测试设备、产品的结构与材料计算。

第2册：电线电缆和光缆所用材料的品种、组成、性能、用途、技术要求及有关性能的试验方法。材料包括：金属、纸、纤维、带材、光纤、油料、涂料、塑料、橡胶和橡皮等。

第3册：架空线、电力电缆、通信电缆及光缆、电气装备用电线电缆的附件、安装敷设及运行维护。

第1册、第2册修订本是以原有版本为基础，并尽量做到由原编写人员继续执笔，对于参加第1版编写并作出卓越贡献，当时以“编写组”集体署名，本次又因种种原因没有参与的原编写人员，在这里补叙如下，并向他们致以崇高的敬意和深切的感谢（排名不分先后，除另有说明者，其余均为上海电缆研究所科技人员）：李杜、梅中原（西安交通大学）、戴荣生（上海电缆厂）、区维熙（北京邮电学院）、刘谦、王寿泰（上海交通大学）、汪景璞（哈尔滨理工大学）、周嘉佑、黄崇祺、邓木祥、梁民杰、杨锦球（上海电缆厂）、**许建华**、韦华达、**潘海堂**、许曼立、李养珠、俞成富。

总之，在本《手册》的编写、修订、补充、更新的全过程中，除了编写人员付出艰辛的劳动外，还取得了行业有关单位技术人员的大力支持，特别要指出的是上海电缆研究所的各级领导和科技人员的大力支持。因此可以说，《手册》是行业共同努力的产物，行业的发展将不会忘记众多参与者为《手册》作出的贡献。

今天，《电线电缆手册》将以新的面貌出现在读者的面前，相信新的《手册》定将会在行业新一轮的发展中再次发挥其重要作用。

限于编者的见识和水平，《手册》中难免有不合时宜的内容和谬误之处，诚恳期待读者的批评和指正。

祖国万岁上传

# 目 录

## 前言

总论 .....	1
----------	---

## 第 1 篇 裸电线及裸导体制品

### 第 1 章 裸电线及裸导体制品的分类

#### 和裸绞线的结构计算 .....

1.1 裸电线及裸导体制品的分类 .....	6
1.1.1 裸单线 .....	6
1.1.2 裸绞线 .....	6
1.1.3 型线及型材 .....	6
1.2 裸绞线的结构计算 .....	6
1.2.1 裸绞线的系列截面 .....	6
1.2.2 简单绞线的结构计算 .....	6
1.2.3 组合绞线的结构计算 .....	6

### 第 2 章 裸电线与裸导体制品的品种

#### 规格及主要技术指标 .....

2.1 裸单线 .....	8
2.1.1 圆铜线 .....	8
2.1.2 圆铝线 .....	9
2.1.3 铝合金圆线 .....	10
2.1.4 铝包钢线 .....	10
2.1.5 铜包钢线 .....	11
2.1.6 镀层圆铜线 .....	12
2.1.7 铜、铝扁线 .....	12
2.1.8 圆单线规格重量 .....	17
2.2 架空导线用裸绞线 .....	22
2.2.1 铝绞线 .....	22
2.2.2 铝合金绞线 .....	22
2.2.3 硬铜绞线 .....	24
2.2.4 铝包钢绞线 .....	25
2.2.5 钢芯铝绞线 .....	25
2.2.6 钢芯铝合金绞线 .....	31
2.2.7 钢芯铝包钢绞线 .....	34
2.2.8 圆线同心绞架空导线 .....	34
2.3 特种架空导线 .....	57
2.3.1 扩径钢芯铝绞线 .....	57
2.3.2 扩径空心导线 .....	57

2.3.3 自阻尼导线 .....	59
2.3.4 防冰雪导线 .....	59
2.3.5 钢芯软铝绞线 .....	59
2.3.6 间隙式导线 .....	60
2.3.7 倍容量导线 .....	61
2.3.8 压缩型导线 .....	61
2.3.9 光纤复合架空地线 .....	62
2.4 软接线 .....	64
2.4.1 软铜绞线 .....	64
2.4.2 软铜天线 .....	68
2.4.3 铜电刷线 .....	68
2.4.4 铜编织线 .....	70
2.5 型线 .....	73
2.5.1 圆铜杆 .....	74
2.5.2 圆铝杆 .....	75
2.5.3 铜接触线 .....	76
2.5.4 钢、铝复合接触线 .....	77
2.5.5 钢、铝及铝合金复合接触线 .....	79
2.5.6 铝合金接触线 .....	80
2.5.7 铜母线 .....	80
2.5.8 铝母线 .....	83
2.5.9 梯形铜排及铜合金排 .....	84
2.5.10 七边形铜排 .....	85
2.5.11 凹形排 .....	86
2.5.12 哑铃形铜排 .....	86
2.5.13 空心铜导线 .....	87
2.5.14 铜带 .....	88

### 第 3 章 裸电线的性能试验及有关

#### 计算 .....

3.1 常规试验 .....	90
3.1.1 尺寸测量 .....	90
3.1.2 抗拉强度及伸长率 .....	91
3.1.3 扭转试验 .....	92

祖国万岁上传

3.1.4 弯曲试验 .....	92	3.2.4 线胀系数的测量 .....	102
3.1.5 单向弯曲试验 .....	93	3.2.5 耐振试验 .....	102
3.1.6 卷绕试验 .....	94	3.2.6 蠕变试验 .....	104
3.1.7 伸长1%时的应力试验 .....	94	3.2.7 交流电阻的测量 .....	105
3.1.8 硬度测量 .....	95	3.2.8 载流量试验及计算 .....	105
3.1.9 电阻率测量 .....	96	3.2.9 电晕试验 .....	107
3.1.10 镀层连续性试验 .....	97	3.2.10 疲劳试验 .....	108
3.1.11 镀层附着性试验 .....	98	3.2.11 腐蚀试验 .....	109
3.1.12 绞线重量及直流电阻的计算 .....	98	3.2.12 光纤复合架空地线的型式 试验 .....	110
3.2 型式试验 .....	99	<b>第4章 产品的包装及标志</b> .....	114
3.2.1 拉断力试验 .....	100	4.1 包装 .....	114
3.2.2 应力-应变试验 .....	100	4.2 标志 .....	115
3.2.3 弹性模量测量 .....	101		

## 第2篇 绕组线

### 第1章 漆包线 .....

1.1 漆包线的品种、规格、特点和 用途 .....	118
1.2 各种漆包线及性能 .....	121
1.2.1 130级聚酯漆包圆铜线 .....	121
1.2.2 155级改性聚酯漆包圆铜线 .....	126
1.2.3 热粘合或溶剂粘合聚酯漆 包圆铜线 .....	127
1.2.4 120级缩醛漆包圆铜线 .....	130
1.2.5 130级直焊性聚氨酯漆包 圆铜线 .....	131
1.2.6 热粘合或溶剂粘合直焊性聚 氨酯漆包圆铜线 .....	132
1.2.7 180级聚酯亚胺漆包圆铜线 .....	133
1.2.8 220级聚酰亚胺漆包圆铜线 .....	134
1.2.9 150级聚酯亚胺/聚酰胺复合 漆包圆铜线 .....	135
1.2.10 200级聚酯亚胺/聚酰胺 酰亚胺复合漆包圆铜线 .....	136
1.2.11 油性漆包线 .....	137
1.2.12 无磁性聚氨酯漆包圆铜线 .....	139
1.2.13 130级聚酯漆包扁铜线 .....	140
1.2.14 120级缩醛漆包扁铜线 .....	145
1.2.15 155级改性聚酯漆包扁 铜线 .....	145
1.2.16 180级聚酯亚胺漆包扁 铜线 .....	146
1.2.17 220级聚酰亚胺漆包扁	

### 铜线 .....

1.2.18 200级聚酯亚胺/聚酰胺酰 亚胺复合漆包扁铜线 .....	146
---	-----

### 第2章 绕包线 .....

2.1 绕包线的品种、规格、特点和 用途 .....	147
2.2 各种绕包线及性能 .....	150
2.2.1 纸包圆线 .....	150
2.2.2 纸包扁线 .....	152
2.2.3 芳香聚酰胺纤维纸绕包圆(扁) 铜线 .....	153
2.2.4 双玻璃丝包圆铜线 .....	153
2.2.5 单玻璃丝包漆包圆线 .....	155
2.2.6 双玻璃丝包扁线 .....	155
2.2.7 玻璃丝包漆包扁线 .....	156
2.2.8 玻璃丝包薄膜绕包扁线 .....	157
2.2.9 200级聚酰亚胺-氟46复合 薄膜绕包圆铜线 .....	158
2.2.10 200级聚酰亚胺-氟46复合 薄膜绕包扁铜线 .....	159
2.2.11 丝包漆包圆铜线 .....	160
2.2.12 丝包漆包铜束线 .....	162

### 第3章 特种绕组线 .....

3.1 特种绕组线的品种、规格、特点和 用途 .....	166
3.2 各种特种绕组线及性能 .....	167
3.2.1 纸绝缘漆包换位导线 .....	167
3.2.2 额定电压450/750V及以	



下聚乙烯绝缘尼龙护套耐水绕组线 .....	169	5.4.3 击穿电压试验 .....	192
3.2.3 额定电压 600/1000V 及以下 聚氯乙烯绝缘耐水绕组线 .....	171	5.4.4 绝缘连续性试验 (适用于 漆包圆线) .....	195
3.2.4 额定电压 600/1000V 及以 下交联聚乙烯绝缘尼龙 护套耐水绕组线 .....	174	5.4.5 介质损耗角正切 ( $\tan\delta$ ) 试验 (适用于漆包圆线和束线) ...	197
3.2.5 300MW 发电机组用绝缘空 心扁铜线 .....	176	5.5 热性能试验 .....	198
<b>第 4 章 无机绝缘绕组线</b> .....	177	5.5.1 试验目的 .....	198
4.1 无机绝缘绕组线的品种、规格、 特点和用途 .....	177	5.5.2 热冲击试验 (适用于漆包线、 薄膜绕包线和粘结性线) .....	198
4.2 各种无机绝缘绕组线及性能 .....	178	5.5.3 软化击穿试验 .....	198
4.2.1 氧化膜铝线 (带、箔) .....	178	5.5.4 热失重试验 (适用于漆 包圆线) .....	200
4.2.2 陶瓷绝缘绕组线 .....	180	5.5.5 高温失效试验 .....	200
4.2.3 玻璃膜绝缘微细绕组线 .....	180	5.6 预期寿命评定 .....	201
<b>第 5 章 绕组线性能的测试</b> .....	181	5.6.1 用常规法评定漆包线的温度 指数 .....	201
5.1 尺寸测量 .....	181	5.6.2 热分析 (快速热寿命评定) ...	204
5.1.1 测试目的 .....	181	5.6.3 密封管试验 (相容性试验) ...	205
5.1.2 量具 .....	181	5.6.4 耐水线的常压工频加速寿命 试验 .....	206
5.1.3 外形尺寸测量 .....	181	5.7 玻璃膜绝缘微细线的性能测试 .....	207
5.1.4 导体尺寸测量 .....	181	5.7.1 玻璃膜绝缘微细线线径和 线芯的测量 .....	207
5.1.5 圆线的导体圆度测量 .....	182	5.7.2 玻璃膜绝缘微细线的电性 能测试 .....	208
5.1.6 绝缘厚度测量 .....	182	5.7.3 玻璃膜绝缘微细线的力学 性能测试 .....	209
5.1.7 扁线圆角测量 .....	182	5.7.4 玻璃膜绝缘的针孔试验 (玻璃膜绝缘的连续性) .....	211
5.2 力学性能试验 .....	182	5.8 无磁性漆包线密度磁化率的 测定 .....	211
5.2.1 试验目的 .....	182	5.8.1 试验目的 .....	211
5.2.2 伸长率试验 .....	182	5.8.2 试验方法 .....	211
5.2.3 回弹性试验 .....	182	<b>第 6 章 有关绕组线合理选用的     若干问题</b> .....	213
5.2.4 柔韧性和附着性试验 .....	184	6.1 合理选用绕组线时应注意的几个 问题 .....	213
5.2.5 刮漆试验 .....	187	6.2 常用漆包线主要性能的比较 .....	214
5.2.6 热粘合和溶剂粘合试验 .....	188	6.3 绕包线的一些特性 .....	216
5.3 化学性能试验 .....	189	6.4 高温绕组线导体保护层的一些 特性 .....	217
5.3.1 测试目的 .....	189	6.5 电工产品选用绕组线举例 .....	217
5.3.2 耐溶剂试验 .....	189	6.6 漆包线与浸渍漆的相容性试验 .....	218
5.3.3 耐冷冻剂试验 (适合于 漆包圆线) .....	189		
5.3.4 焊锡试验 (适用于漆包圆 线和束线) .....	191		
5.3.5 耐变压器油试验 .....	191		
5.4 电性能试验 .....	192		
5.4.1 试验目的 .....	192		
5.4.2 直流电阻试验 .....	192		

6.7 使用漆包线时应注意的事项 .....	219	6.8.1 复合涂层漆包线 .....	220
6.7.1 漆膜去除方法 .....	219	6.8.2 密封电机用漆包线的选择 .....	221
6.7.2 加热处理 .....	219	6.8.3 自粘性漆包线的性能及应用 .....	222
6.7.3 浸渍处理 .....	219	6.8.4 C级复合薄膜及单玻璃丝包扁 铜线的生产与应用 .....	224
6.7.4 使用中的注意事项 .....	220	6.8.5 芳香聚酰胺纤维绕组线在H级 干式变压器中的应用 .....	224
6.8 几种主要绕组线性能的研讨 和应用 .....	220		

### 第3篇 电力电缆

#### 第1章 电力电缆品种、结构和

性能 .....

1.1 电力电缆品种 .....	228
1.2 粘性浸渍纸绝缘电缆 .....	228
1.2.1 结构特征 .....	228
1.2.2 品种及规格 .....	229
1.2.3 产品结构 .....	239
1.2.4 技术指标 .....	246
1.3 塑料绝缘电缆 .....	248
1.3.1 聚氯乙烯绝缘电缆 .....	248
1.3.2 交联聚乙烯绝缘电缆 .....	255
1.4 橡皮绝缘电力电缆 .....	265
1.4.1 品种规格 .....	265
1.4.2 产品结构 .....	268
1.4.3 技术指标 .....	269
1.5 自容式充油电缆 .....	271
1.5.1 品种规格 .....	271
1.5.2 产品结构 .....	272
1.5.3 技术指标 .....	278
1.6 钢管充油电缆 .....	281
1.7 直流电缆 .....	281
1.8 压缩气体绝缘电缆 .....	282
1.9 低温电缆 .....	282
1.10 超导电缆 .....	283

#### 第2章 电力电缆电性能参数

及其计算 .....

2.1 设计电压 .....	284
2.2 导体电阻 .....	285
2.2.1 导体直流电阻 .....	285
2.2.2 导体交流电阻 .....	286
2.3 电感及电磁力 .....	288
2.3.1 电缆电感的计算 .....	288
2.3.2 电缆护套的电感 .....	290

2.3.3 电磁力的计算 .....	292
2.3.4 电缆的电抗、阻抗及电压降 .....	292
2.3.5 金属护套的感应电压及电流 .....	292
2.4 绝缘电阻 .....	299
2.4.1 绝缘电阻的计算方法 .....	299
2.4.2 几何因数计算 .....	300
2.5 电缆的电容 .....	301
2.5.1 电容的计算 .....	301
2.5.2 多芯电缆的工作电容 .....	303
2.5.3 电容充电电流的计算 .....	304
2.6 电缆的介质损耗 .....	304
2.6.1 介质损耗的概念 .....	304
2.6.2 介质损耗角正切的计算 .....	305
2.6.3 油浸纸绝缘介质损耗角 正切的特性 .....	306
2.7 电缆绝缘的老化及寿命 .....	309
2.7.1 绝缘的老化及寿命概念 .....	309
2.7.2 交流电压下电缆绝缘的 老化及寿命 .....	309
2.7.3 多次冲击电压作用下油纸绝缘 的老化 .....	311
2.7.4 直流电压下油纸绝缘的 老化及寿命 .....	312
2.8 电缆的电场分布及其计算 .....	312
2.8.1 交流电工作状态的电缆 .....	312
2.8.2 直流电工作状态的电缆 .....	317
2.9 绝缘击穿强度的统计理论 .....	320
2.9.1 绝缘材料的寿命曲线 .....	320
2.9.2 电缆绝缘击穿强度与电缆几何 尺寸的关系 .....	320

#### 第3章 电缆的结构设计 .....

3.1 导体结构设计 .....	322
3.1.1 绞合形式分类 .....	322
3.1.2 绞合角和绞入率 .....	323

3.1.3 最小节距比、层数与单线根数的关系 .....	323	6.2.1 交联聚乙烯电缆的热应力 .....	358
3.1.4 线芯的填充系数 .....	324	6.2.2 改善绝缘热应力 .....	359
3.1.5 导体结构 .....	325	<b>第7章 充油电缆供油系统设计</b> .....	359
3.2 绝缘结构设计 .....	329	7.1 供油箱的工作原理及型式 .....	359
3.2.1 交流系统用的单芯、多芯电缆绝缘层中的电场分布 .....	329	7.1.1 重力供油箱 .....	359
3.2.2 绝缘的电气强度 .....	330	7.1.2 压力供油箱 .....	360
3.2.3 油浸纸绝缘电缆的绝缘设计 .....	330	7.1.3 平衡供油箱(恒压供油箱) .....	362
3.2.4 塑料及橡皮绝缘电缆的绝缘设计 .....	334	7.2 供油箱的布置 .....	363
3.2.5 直流单芯电缆绝缘设计 .....	336	7.2.1 重力供油系统 .....	363
3.3 屏蔽结构设计 .....	336	7.2.2 压力供油系统 .....	364
3.3.1 聚氯乙烯电缆屏蔽结构 .....	337	7.2.3 混合供油系统 .....	364
3.3.2 交联聚乙烯电缆屏蔽结构 .....	337	7.3 电缆系统的需油量 .....	364
3.4 护层结构设计 .....	338	7.4 供油箱数量的确定 .....	365
<b>第4章 电力电缆的载流量</b> .....	339	7.5 暂态油压计算 .....	365
4.1 长期允许载流量 .....	339	7.6 供油长度的确定 .....	366
4.1.1 导线交流电阻计算 .....	340	7.7 供油箱压力整定 .....	366
4.1.2 介质损耗计算 .....	340	<b>第8章 电力电缆的性能测试</b> .....	367
4.1.3 金属护套损耗系数计算 .....	341	8.1 导体直流电阻的测试 .....	368
4.1.4 铠装损耗系数计算 .....	342	8.2 绝缘电阻的测试 .....	370
4.1.5 电缆的热阻计算 .....	342	8.2.1 测试目的 .....	370
4.2 电缆周期负载载流量 .....	344	8.2.2 绝缘电阻与泄漏电流 .....	371
4.3 电缆短时过载载流量 .....	345	8.2.3 测试中电压与时间的选择 .....	371
4.4 电缆的允许短路电流 .....	345	8.2.4 测试方法选择 .....	372
4.5 强迫冷却下的电缆载流量 .....	346	8.2.5 测试绝缘电阻的直流比较法 .....	372
4.5.1 强迫冷却的方式 .....	346	8.2.6 绝缘电阻温度换算系数 .....	373
4.5.2 介质损耗对载流量的影响及提高传输容量的途径 .....	346	8.3 电缆介质损耗角正切值的测试 .....	375
4.5.3 强迫冷却时允许载流量的计算 .....	348	8.3.1 测试介质损耗角正切( $\text{tg}\delta$ )值的意义 .....	375
4.5.4 冷却管道中压力降落的计算 .....	350	8.3.2 测试电压的选择 .....	376
<b>第5章 电缆的热稳定性</b> .....	351	8.3.3 $\text{tg}\delta$ 的测试方法 .....	376
5.1 电缆的热稳定性条件 .....	351	8.3.4 影响测试结果的因素及防护措施 .....	379
5.2 电缆的发热曲线 .....	352	8.3.5 测试实例的质量分析 .....	380
5.3 电缆的散热曲线 .....	353	8.4 工频电压试验 .....	382
<b>第6章 电缆热力学性能设计</b> .....	354	8.4.1 试验类型与目的 .....	382
6.1 油浸纸绝缘电缆 .....	354	8.4.2 交流耐压试验的方法 .....	383
6.1.1 直埋电缆线路 .....	354	8.5 直流耐压与泄漏电流的测试 .....	384
6.1.2 敷设在竖井中的电缆线路 .....	356	8.5.1 测试的目的与要求 .....	384
6.2 挤塑绝缘电缆 .....	358	8.5.2 试验装置 .....	386
		8.5.3 测试中的技术要求及注意事项 .....	386
		8.6 冲击电压试验 .....	387
		8.6.1 试验日的 .....	387

8.6.2 试验装置及冲击电压的测量	387	8.9.3 试验方法	398
8.6.3 试验方法	389	8.9.4 用探针法测量土壤的热阻系数	400
8.7 电缆的老化试验	389	8.10 电缆结构检查与理化试验	400
8.7.1 试验目的	389	8.10.1 结构检查	400
8.7.2 试验线路	390	8.10.2 力学性能试验	401
8.7.3 试验中的电条件	390	8.10.3 理化性能试验	402
8.7.4 试验中的热条件	390	附录 A 1~35kV 纸绝缘电力电缆载流量表	403
8.7.5 老化试验中的测量	390	附录 B 1~35kV 塑料、橡皮绝缘电力电缆载流量表	407
8.8 电缆绝缘局部放电的检测	391	附录 C 橡皮、塑料绝缘电线、软线载流量表	412
8.8.1 测试目的	391	附录 D 橡套电缆、塑料绝缘护套电缆载流量表	414
8.8.2 局部放电测试原理	391	附录 E 自容式充油电缆载流量表	417
8.8.3 测试回路及测量仪器	391	附录 F 不同敷设条件下载流量的校正系数	420
8.8.4 测试中的校正	394		
8.8.5 外部干扰	396		
8.8.6 局部放电测试方法	397		
8.9 载流量试验	397		
8.9.1 试验目的	397		
8.9.2 试验内容	397		

## 第 4 篇 通信电缆和光缆

### 第 1 章 通信电缆的品种规格及

技术指标	423
1.1 市内通信电缆	425
1.1.1 聚烯烃绝缘聚烯烃护套市内通信电缆	426
1.1.2 纸绝缘铅套市内通信电缆	438
1.2 长途通信电缆	439
1.2.1 星绞低频通信电缆	439
1.2.2 低频综合长途通信电缆	440
1.2.3 纸绳纸绝缘高频对称通信电缆	442
1.2.4 铝护套高低频综合通信电缆	442
1.2.5 1.2/4.4mm 同轴综合通信电缆	444
1.2.6 2.6/9.4mm 同轴综合通信电缆	444
1.3 电信设备装置用通信电缆	447
1.3.1 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套程控交换局用电缆	447
1.3.2 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套数字局用对称电缆	448
1.3.3 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套低频通信局用电缆	451

1.3.4 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套低频通信配线电缆	454
1.4 数字通信对称电缆	456
1.4.1 型号、规格	457
1.4.2 结构	458
1.4.3 电性能	459
1.5 射频电缆	460
1.5.1 实心聚乙烯绝缘射频电缆	461
1.5.2 电缆分配系统用同轴电缆	461
1.5.3 漏泄同轴电缆	468
1.6 海底通信电缆	470
1.6.1 浅海海底对称通信电缆	471
1.6.2 浅海海底同轴通信电缆	472
1.6.3 5.7/25、4/15 型浅海干线同轴电缆	472
1.7 通信线	474
1.7.1 电话网用户铜芯室内线	474
1.7.2 聚烯烃绝缘聚氯乙烯护套平行双芯铜包钢电话用户通信线	475
1.7.3 电话软线	475
第 2 章 通信电缆的电性能与设计计算	477
2.1 通信电缆的基本概念	477

2.1.1 电缆通信线路的传输概念 .....	477	3.1.1 国外引进测试系统装置 .....	517
2.1.2 通信电缆的等效电路 .....	477	3.1.2 国产测试系统装置 .....	518
2.1.3 均匀电缆的基本方程式 .....	478	3.2 数字通信用对绞或星绞对称电缆	
2.2 一次传输参数 .....	478	电气参数自动测试装置 .....	518
2.2.1 有效电阻 .....	478	3.2.1 适用范围 .....	518
2.2.2 电感 .....	481	3.2.2 试验设备及测试系统 .....	519
2.2.3 电容 .....	482	3.2.3 试验中技术要求 .....	520
2.2.4 绝缘电导 .....	483	3.3 工作电容试验(电桥法) .....	520
2.3 二次传输参数 .....	483	3.3.1 适用范围 .....	520
2.3.1 衰减常数 .....	483	3.3.2 试验设备 .....	520
2.3.2 相移常数 .....	483	3.3.3 试验中技术要求 .....	520
2.3.3 波阻抗 .....	484	3.3.4 试验结果及计算 .....	521
2.3.4 电磁波波长和传播速度 .....	484	3.4 电容耦合及对地电容不平衡试验 .....	521
2.4 一次干扰参数 .....	485	3.4.1 适用范围 .....	521
2.4.1 对称电缆的电磁耦合 .....	485	3.4.2 符号及其定义 .....	521
2.4.2 同轴对的耦合阻抗 .....	487	3.4.3 试验设备 .....	523
2.5 二次干扰参数 .....	488	3.4.4 试验中技术要求 .....	523
2.5.1 串音的概念 .....	488	3.4.5 试验结果及计算 .....	524
2.5.2 对称电缆回路的串音 .....	489	3.5 串音衰减试验(比较法) .....	524
2.5.3 同轴对间的串音 .....	491	3.5.1 适用范围 .....	524
2.6 波阻抗不均匀性 .....	493	3.5.2 试验设备 .....	524
2.6.1 波阻抗不均匀性的概念 .....	493	3.5.3 试验中技术要求 .....	527
2.6.2 波阻抗不均匀性的种类和		3.5.4 试验结果及计算 .....	527
原因 .....	493	3.6 衰减常数试验(开短路法) .....	528
2.6.3 波阻抗不均匀性的表示方法 .....	493	3.6.1 适用范围 .....	528
2.6.4 反射波对输入阻抗的影响 .....	494	3.6.2 试验设备 .....	528
2.6.5 波阻抗偏差与结构上偏差的		3.6.3 试验中技术要求 .....	528
关系 .....	494	3.6.4 试验结果及计算 .....	529
2.6.6 伴流通量 .....	495	3.7 同轴对端阻抗及内部阻抗不均匀性	
2.7 屏蔽 .....	495	试验(脉冲法) .....	530
2.7.1 屏蔽的一般概念 .....	495	3.7.1 适用范围 .....	530
2.7.2 同轴对的屏蔽 .....	497	3.7.2 符号及其定义 .....	530
2.7.3 对称电缆的屏蔽 .....	498	3.7.3 试验设备 .....	531
2.7.4 电缆金属套的屏蔽作用 .....	499	3.7.4 试验中技术要求 .....	532
2.8 通信电缆的设计计算 .....	499	3.7.5 试验结果及计算 .....	532
2.8.1 对称电缆的设计计算 .....	499	3.8 同轴对特性阻抗实部平均值试验	
2.8.2 同轴电缆的设计计算 .....	504	(谐振法) .....	534
2.8.3 同轴射频电缆的设计计算 .....	505	3.8.1 适用范围 .....	534
2.8.4 对称射频电缆的设计计算 .....	514	3.8.2 试验设备 .....	534
2.8.5 介质损耗角正切和介电常数 .....	515	3.8.3 试验中技术要求 .....	534
<b>第3章 通信电缆电性能的测试 .....</b>	<b>516</b>	3.8.4 试验结果及计算 .....	535
3.1 市内通信电缆传输参数自动		3.9 同轴对衰减常数频率特性试验	
测试装置 .....	517	(比较法) .....	535

3.9.1 适用范围 .....	535	4.6 射频同轴电缆屏蔽效率测量方法 (转移阻抗法) .....	557
3.9.2 试验设备 .....	535	4.6.1 适用范围 .....	557
3.9.3 试验中技术要求 .....	537	4.6.2 测量设备和仪器 .....	557
3.9.4 试验结果及计算 .....	540	4.6.3 系统连接 .....	557
3.10 同轴对展开长度测量(正弦 波法) .....	541	4.6.4 测量步骤和结果计算 .....	558
3.10.1 适用范围 .....	541	4.7 同轴电缆屏蔽衰减测量方法 (吸收钳法) .....	559
3.10.2 试验设备 .....	541	4.7.1 适用范围 .....	559
3.10.3 测试仪应满足的要求 .....	541	4.7.2 技术术语 .....	559
3.10.4 试验中技术要求 .....	542	4.7.3 试验条件和试样制备 .....	559
3.10.5 试验结果及计算 .....	543	4.7.4 测量方法 .....	559
3.11 理想屏蔽系数试验(工频) .....	544	4.7.5 测量装置的校正 .....	561
3.11.1 适用范围 .....	544	4.7.6 测量结果的表达和要求 .....	561
3.11.2 试验设备 .....	544	4.7.7 测量技术要求及注意事项 .....	562
3.11.3 试验中技术要求 .....	545	<b>第5章 通信电缆力学物理性能 测试方法</b> .....	563
3.11.4 试验结果及计算 .....	545	5.1 市内通信电缆力学物理性能试验 .....	563
<b>第4章 射频电缆电气性能测试</b> .....	546	5.1.1 铜导线接头处的抗拉强度 及断裂伸长率试验 .....	564
4.1 射频电缆电晕试验 .....	546	5.1.2 绝缘抗拉强度与断裂 伸长率试验 .....	565
4.1.1 适用范围 .....	546	5.1.3 绝缘低温卷绕试验 .....	566
4.1.2 试验设备和仪表 .....	546	5.1.4 绝缘热收缩试验 .....	566
4.1.3 试验中技术要求 .....	546	5.1.5 绝缘热老化后耐卷绕性能 试验 .....	566
4.2 射频电缆电容和电容不平衡试验 .....	546	5.1.6 绝缘颜色与绝缘颜色迁移 试验 .....	567
4.2.1 适用范围 .....	546	5.1.7 绝缘抗压试验 .....	567
4.2.2 电容测量 .....	547	5.1.8 铝带和铝带接头抗拉强度 试验 .....	568
4.2.3 具有总屏蔽的射频对称电缆 电容不平衡的测量 .....	547	5.1.9 粘结型铝塑综合护套的剥离 强度试验 .....	568
4.3 射频电缆特性阻抗测量方法 .....	548	5.1.10 护套抗拉强度与断裂伸长率 试验 .....	569
4.3.1 适用范围及测量误差和对 测量仪器的要求 .....	548	5.1.11 护套热老化试验 .....	570
4.3.2 射频同轴电缆的测量 .....	548	5.1.12 护套耐环境应力开裂试验 .....	570
4.3.3 射频对称电缆的测量 .....	548	5.1.13 成品电缆低温弯曲试验 .....	572
4.4 射频电缆衰减常数测量方法 .....	549	5.1.14 填充式电缆的滴流试验 .....	572
4.4.1 适用范围 .....	549	5.1.15 填充式电缆的渗水试验 .....	573
4.4.2 带宽法 .....	549	5.1.16 非填充式电缆护套完整性 试验 .....	573
4.4.3 谐振法 .....	550	5.1.17 填充式电缆护套完整性	
4.4.4 电压比法 .....	551		
4.4.5 功率反射法 .....	551		
4.5 射频电缆阻抗均匀性测量方法 .....	554		
4.5.1 适用范围 .....	554		
4.5.2 频域法 .....	554		
4.5.3 时域法 .....	555		
4.5.4 回波损耗、驻波系数和 反射系数换算 .....	556		

试验 .....	574	7.2.2 光纤导波形成的概念 .....	594
5.1.18 白承式电缆吊线扭曲试验与 拉断力试验 .....	574	7.2.3 波动理论分析突变型光纤的 传输模概念 .....	594
5.1.19 非粘结型铝塑综合护套中护 套与铝带间的附着力试验 .....	574	7.3 光纤的特性 .....	597
5.1.20 钢带纵包铠装电缆的 扭转试验 .....	575	7.3.1 光纤的衰减特性 .....	597
5.1.21 护套的碳黑含量试验 .....	575	7.3.2 光纤的色散特性 .....	598
5.2 市内通信电缆结构尺寸 试验方法 .....	576	7.3.3 光纤的传输带宽 .....	601
5.2.1 电缆最大外径、护套厚度、 吊带尺寸测量 .....	576	7.3.4 光纤链路的衰减和带宽 .....	603
5.2.2 线对绞合节距测量 .....	577	7.3.5 光纤的非线性 .....	603
5.2.3 纵包铝(钢)带重叠宽度 测量 .....	577	7.3.6 光纤的力学性能 .....	604
5.2.4 电缆长度标志误差试验 .....	577	7.3.7 光纤的氢损问题 .....	606
5.3 射频电缆气候和机械耐久性 试验 .....	577	7.4 光纤的制造 .....	607
5.3.1 射频电缆电容稳定性试验 .....	577	7.4.1 光纤预制棒的制造 .....	607
5.3.2 射频电缆衰减稳定性试验 .....	578	7.4.2 光纤的拉制 .....	609
5.3.3 射频电缆高温试验 .....	578	<b>第8章 光缆</b> .....	610
5.3.4 射频电缆低温试验 .....	579	8.1 光缆设计的基本原则 .....	610
5.3.5 射频电缆流动性试验 .....	579	8.2 光缆的分类 .....	612
5.3.6 射频电缆尺寸稳定性试验 .....	580	8.3 光缆型号命名方法 .....	615
<b>第6章 光缆通信简述</b> .....	581	8.3.1 型号的组成 .....	615
6.1 光缆通信的光波段 .....	581	8.3.2 型号的组成内容、代号及 意义 .....	616
6.2 光缆通信系统的基本构成 .....	582	8.3.3 实例 .....	617
6.3 数字通信系列 .....	582	8.4 光缆的主要结构型式和适用 范围 .....	617
6.4 波分复用技术 .....	583	8.4.1 通信用室外光缆 .....	617
6.5 光缆通信用图形符号 .....	583	8.4.2 室内光缆 .....	618
6.6 相关的术语 .....	586	8.4.3 其他光缆 .....	621
6.6.1 一般概念 .....	586	8.5 光缆的技术要求 .....	622
6.6.2 光纤结构和光学特性 .....	587	8.5.1 光纤的特性参数 .....	622
6.6.3 传播特性 .....	588	8.5.2 光纤带的技术要求 .....	626
6.6.4 光缆 .....	590	8.5.3 护层性能 .....	627
6.6.5 光器件 .....	590	8.5.4 光缆的力学性能 .....	629
6.6.6 测量技术 .....	590	8.5.5 光缆的环境性能 .....	630
<b>第7章 光纤</b> .....	591	<b>第9章 光纤光缆性能的试验     方法</b> .....	632
7.1 光纤的分类 .....	591	9.1 光纤几何尺寸参数的测量 .....	632
7.1.1 A类——多模光纤 .....	591	9.1.1 折射近场法(A1A) .....	633
7.1.2 B类——单模光纤 .....	592	9.1.2 横向干涉法(A1B) .....	634
7.2 光纤中光波传输原理 .....	593	9.1.3 近场光分布法(A2) .....	636
7.2.1 光学中的反射、折射原理 .....	593	9.1.4 侧视光分布法(A3) .....	638
		9.1.5 直径测量的机械法(A4) .....	640
		9.1.6 传输和/或反射脉冲延迟法 (A6) .....	640

9.1.7 光纤伸长量的测量 (A7) .....	642	9.6 光缆力学性能试验 .....	693
9.2 光纤传输特性和光学特性的测量 .....	643	9.6.1 拉伸 (E1) .....	694
9.2.1 衰减 .....	644	9.6.2 磨损 (E2) .....	695
9.2.2 模式基带响应 .....	651	9.6.3 压扁 (E3) .....	697
9.2.3 微弯敏感性 .....	653	9.6.4 冲击 (E4) .....	697
9.2.4 光学连续性 .....	654	9.6.5 反复弯曲 (E6) .....	698
9.2.5 波长色散 .....	656	9.6.6 扭转 (E7) .....	699
9.2.6 数值孔径 .....	664	9.6.7 曲挠 (E8) .....	699
9.2.7 截止波长 .....	666	9.6.8 钩挂 (E9) .....	700
9.2.8 模场直径 .....	670	9.6.9 弯折 (E10) .....	700
9.2.9 光透射率变化 .....	673	9.6.10 弯曲 (E11) .....	701
9.2.10 宏弯敏感性 .....	675	9.6.11 切入 (E12) .....	701
9.3 光纤力学性能的试验 .....	675	9.6.12 枪击 (E13) .....	702
9.3.1 光纤筛选试验 (B1) .....	676	9.6.13 套管弯折 (E14) .....	702
9.3.2 短长度光纤的抗拉强度 试验 (B2A) .....	677	9.6.14 微风振动试验 .....	702
9.3.3 光纤涂覆层的可剥性试验 (B6) .....	677	9.6.15 舞动试验 .....	703
9.3.4 应力腐蚀敏感性参数的确定 .....	679	9.6.16 过滑轮试验 .....	704
9.4 光纤环境性能的试验 .....	687	9.6.17 蠕变试验 .....	705
9.4.1 温度循环 (D1) .....	687	9.7 光缆环境性能试验 .....	705
9.4.2 核辐照 (D3) .....	688	9.7.1 温度循环 (F1) .....	705
9.5 光纤带相关性能的试验 .....	691	9.7.2 护套完整性 (F3) .....	706
9.5.1 光纤带几何尺寸参数的测量 .....	691	9.7.3 渗水试验 (F5) .....	706
9.5.2 光纤带力学性能试验 .....	692	9.7.4 填充复合物滴流试验 (F8) .....	707
9.5.3 光纤带环境性能试验 .....	693	9.7.5 光缆热老化试验 .....	707
9.5.4 光纤带宏弯衰减试验 .....	693	9.7.6 光缆冰冻试验 .....	708
		9.7.7 耐电痕试验 .....	708

## 第 5 篇 电气装备用电线电缆

### 第 1 章 电气装备用电线电缆导电线芯

#### 结构及绝缘层和护层的设计

#### 原则 .....

1.1 导电线芯结构 .....	709
1.2 绝缘层的设计原则 .....	712
1.2.1 绝缘材料的选择原则 .....	712
1.2.2 绝缘厚度的确定 .....	713
1.3 护层的设计原则 .....	714
1.3.1 护层的结构类型 .....	714
1.3.2 橡皮、塑料护套厚度的 确定 .....	715

### 第 2 章 电气装备用绝缘电线 .....

2.1 通用橡皮、塑料绝缘电线 .....	717
-----------------------	-----

2.1.1 产品品种 .....	717
2.1.2 产品规格与结构尺寸 .....	717
2.1.3 性能指标 .....	725
2.1.4 试验要求和结构特点 .....	732
2.2 通用橡皮、塑料绝缘软线 .....	732
2.2.1 产品品种 .....	732
2.2.2 产品规格与结构尺寸 .....	734
2.2.3 性能指标 .....	741
2.2.4 使用要求与结构特点 .....	743
2.3 屏蔽绝缘电线 .....	743
2.3.1 产品品种 .....	744
2.3.2 产品规格与结构尺寸 .....	744
2.3.3 性能指标 .....	747
2.3.4 使用要求与结构特点 .....	748



2.4 公路车辆用绝缘电线 .....	748	3.2.3 主要性能指标 .....	840
2.4.1 产品品种 .....	748	3.2.4 交货长度 .....	844
2.4.2 产品规格与结构尺寸 .....	748	3.2.5 电缆线路电压降落与 电缆电容参考值 .....	841
2.4.3 公路车辆用电线电缆的性 能测试项目及试验方法 .....	750	3.2.6 矿用电缆特殊试验方法 .....	841
2.5 电机绕组引接软线 .....	752	5.3 船用电缆 .....	846
2.5.1 产品品种和型号 .....	752	3.3.1 产品分类和命名 .....	847
2.5.2 产品规格与结构尺寸 .....	752	3.3.2 产品品种和规格 .....	849
2.5.3 性能指标 .....	756	3.3.3 船用电力电缆 .....	866
2.5.4 关于新、老标准中新、老产品 型号的对照 .....	757	3.3.4 船用控制电缆 .....	900
2.6 航空电线 .....	758	3.3.5 船用通信电缆 .....	907
2.6.1 产品品种 .....	758	3.3.6 船用射频电缆 .....	910
2.6.2 产品规格与结构尺寸 .....	759	3.3.7 船用电缆交货长度 .....	915
2.6.3 性能要求 .....	794	3.3.8 船用电缆特殊试验方法 .....	915
2.6.4 航空电线交货长度 .....	804	3.3.9 船用电缆载流量 .....	916
2.6.5 航空电线载流量和短 路特性 .....	805	3.4 石油及地质勘探用电缆 .....	919
2.6.6 我国航空电线用导电线芯 规格与美国 AWG 线规的 对照 .....	808	3.4.1 产品品种 .....	919
2.7 其他专用绝缘电线 .....	809	3.4.2 产品规格与结构尺寸 .....	922
2.7.1 补偿导线 .....	809	3.4.3 主要性能指标 .....	922
2.7.2 不可重接插头线 .....	811	3.4.4 使用要求和结构特点 .....	922
2.7.3 农用直埋铝芯塑料绝缘塑料 护套电线 .....	811	3.4.5 特殊试验方法 .....	930
2.7.4 控温加热电线 .....	813	3.5 电梯电缆 .....	931
2.8 绝缘电线的载流量 .....	814	3.5.1 橡皮绝缘橡皮护套电梯 电缆 .....	931
2.8.1 空气敷设时的载流量 .....	814	3.5.2 塑料绝缘塑料护套电梯 电缆 .....	934
2.8.2 穿管敷设时的载流量 .....	815	3.6 控制、信号电缆 .....	935
2.8.3 载流量校正系数 .....	817	3.6.1 产品品种 .....	935
<b>第3章 电气装备用电缆 .....</b>	<b>817</b>	3.6.2 产品规格与结构尺寸 .....	935
3.1 橡套软电缆 .....	817	3.6.3 性能指标 .....	940
3.1.1 产品品种 .....	817	3.6.4 使用要求和结构特点 .....	954
3.1.2 通用橡套软电缆 .....	817	3.7 直流高压软电缆 .....	957
3.1.3 电焊机用软电缆 .....	823	3.7.1 产品品种 .....	957
3.1.4 防水橡套电缆 .....	825	3.7.2 规格、结构与性能指标 .....	958
3.1.5 潜水泵用扁电缆 .....	826	3.7.3 使用要求和结构特点 .....	964
3.1.6 无线电装置用电缆 .....	829	3.8 其他电缆 .....	964
3.1.7 摄影光源软电缆 .....	832	3.8.1 千伏级架空绝缘电缆 .....	964
3.2 矿用电缆 .....	833	3.8.2 核电站用电缆 .....	967
3.2.1 产品品种 .....	834	3.8.3 单芯中频同轴电缆 .....	968
3.2.2 产品规格与结构尺寸 .....	835	3.8.4 铝芯除尘器用电缆 .....	969
		3.8.5 机车车辆用电缆 .....	970
		3.8.6 地下铁道用橡套电缆 .....	975
		3.9 热带地区对电线电缆的技术要求 .....	977

3.9.1 热带地区的气候条件 .....	977	4.4.7 抑制点火对无线电干扰性能 试验 .....	1009
3.9.2 产品型号与技术要求 .....	977	4.4.8 耐热、耐水、耐油试验后的 电性能试验 .....	1010
3.9.3 气候对产品性能的要求 .....	977	4.5 力学性能试验 .....	1011
<b>第4章 性能测试</b> .....	978	4.5.1 导电线芯弯曲试验 .....	1011
4.1 性能与测试项目 .....	978	4.5.2 电缆弯曲试验 .....	1012
4.1.1 性能与测试项目的分类 .....	978	4.5.3 电缆扭转试验 .....	1014
4.1.2 工厂检测试验与研究性试验 .....	982	4.5.4 耐磨损试验 .....	1015
4.2 结构尺寸检查 .....	982	4.5.5 静态曲挠试验 .....	1015
4.2.1 外径的测定 .....	982	4.5.6 电缆横向密封性试验 .....	1016
4.2.2 厚度、厚度偏差率及偏心度的 测定 .....	986	4.6 耐热性、耐寒性和耐臭氧试验 .....	1016
4.2.3 节距的测定 .....	986	4.6.1 加速热老化试验 .....	1016
4.2.4 编织覆盖率的检测 .....	987	4.6.2 热寿命评定试验 .....	1020
4.3 基本电性能试验 .....	989	4.6.3 热变形性能试验 .....	1025
4.3.1 导电线芯直流电阻试验 .....	989	4.6.4 耐寒性能试验 .....	1026
4.3.2 浸水电压试验 .....	992	4.6.5 耐臭氧试验 .....	1029
4.3.3 火花耐电压试验 .....	994	4.7 耐油性试验 .....	1031
4.3.4 绝缘电阻测试 .....	998	4.7.1 耐油性能概述 .....	1031
4.4 特殊电性能试验 .....	1002	4.7.2 试验条件与参数 .....	1032
4.4.1 半导体屏蔽材料电阻率的 测定 .....	1002	4.7.3 试验方法 .....	1033
4.4.2 半导电线芯电阻稳定性 试验 .....	1004	4.7.4 试验实例 .....	1033
4.4.3 屏蔽效能试验 .....	1005	4.8 耐气候性能试验 .....	1034
4.4.4 表面放电电压的测定 .....	1006	4.8.1 耐湿热试验 .....	1035
4.4.5 护套电晕开裂性能试验 .....	1007	4.8.2 防霉试验 .....	1037
4.4.6 耐表面电痕试验 .....	1008	4.8.3 光老化试验 .....	1039

## 第6篇 电缆护层

<b>第1章 电缆护层的分类、结构、 型号、特性和用途</b> .....	1041	适用性 .....	1051
1.1 电缆护层的分类、结构和型号 .....	1041	1.3.2 电缆外护层对各种内护套 的适用性 .....	1051
1.1.1 电缆护层的分类 .....	1041	1.3.3 电缆护层的使用范围 .....	1052
1.1.2 电缆护层的结构 .....	1041	<b>第2章 电缆护层的设计与 计算</b> .....	1055
1.1.3 电缆护层的型号 .....	1041	2.1 电缆护层结构尺寸计算 .....	1055
1.2 电缆护层的特性 .....	1043	2.1.1 假定直径的计算 .....	1055
1.2.1 金属护层的特性 .....	1043	2.1.2 护套厚度的设计计算 .....	1057
1.2.2 橡塑护层的特性 .....	1044	2.1.3 复合铝带(或铅带)纵包 重叠宽度的确定 .....	1059
1.2.3 组合护层的特性 .....	1046	2.1.4 皱纹金属套轧纹深度的确定 .....	1059
1.2.4 特种护层的特性 .....	1047	2.1.5 加强层厚度的设计计算 .....	1059
1.2.5 外护层的特性 .....	1047	2.1.6 带型内衬层和纤维外被	
1.3 电缆护层的用途 .....	1051		
1.3.1 电缆护层对各种绝缘的			

层厚度的确定 .....	1059	试验方法 .....	1076
2.1.7 铠装层厚度的确定 .....	1059	3.4.1 耐寒性试验 .....	1076
2.2 电缆护层的机械强度计算及		3.4.2 耐热性试验 .....	1076
校核 .....	1060	3.4.3 耐油性试验 .....	1077
2.2.1 电缆护层的受力计算 .....	1060	3.4.4 光老化试验 .....	1077
2.2.2 电缆护层的应力计算 .....	1060	3.4.5 厌氧性细菌腐蚀试验 .....	1077
2.2.3 电缆护层的强度校核 .....	1066	3.4.6 环烷酸铜含量测定 .....	1078
2.3 电缆护层橡塑材料的透过性 .....	1066	3.4.7 防霉试验 .....	1078
2.3.1 橡塑材料的透过性 .....	1066	3.4.8 盐浴槽试验 .....	1078
2.3.2 影响橡塑材料透过性的		3.4.9 腐蚀扩展试验 .....	1079
因素 .....	1066	3.4.10 透潮性试验 .....	1079
2.3.3 透过量的计算 .....	1067	3.4.11 耐药品性试验 .....	1080
2.3.4 橡塑材料的透过系数 .....	1067	3.4.12 耐环境应力开裂试验 .....	1081
2.4 电缆护层结构的防蚀设计计算 ..	1069	3.5 燃烧试验方法 .....	1081
2.4.1 电缆护层金属材料的腐蚀 ..	1069	3.5.1 氧指数测定方法 .....	1081
2.4.2 电缆护层结构的防蚀设计 ..	1069	3.5.2 温度指数测定方法 .....	1085
2.4.3 防蚀层厚度的确定 .....	1069	3.5.3 比光密度测定方法	
2.4.4 橡塑护套的化学稳定性 .....	1070	(NBS法) .....	1085
2.5 防雷护层的设计与计算 .....	1071	3.5.4 氢卤酸含量测定方法 .....	1088
2.5.1 雷电对电缆的影响 .....	1071	3.5.5 燃烧释出气体的酸度和	
2.5.2 电缆的防雷品质因数 .....	1071	电导率测定方法 .....	1090
2.5.3 电缆护层雷击点感应电压		3.5.6 毒性指数测定方法 .....	1091
计算 .....	1071	3.5.7 单根电线电缆垂直燃烧试验	
2.5.4 防雷护层的结构设计 .....	1071	方法 .....	1091
<b>第3章 电缆护层的试验 .....</b>	<b>1072</b>	3.5.8 单根电线电缆水平燃烧试验	
3.1 电缆护层的试验项目 .....	1072	方法 .....	1096
3.2 电缆护层的一般检查方法 .....	1072	3.5.9 单根电线电缆倾斜燃烧试验	
3.2.1 外观检查 .....	1072	方法 .....	1098
3.2.2 结构检查 .....	1072	3.5.10 成束电线电缆燃烧试验	
3.2.3 尺寸检查 .....	1072	方法 .....	1099
3.3 电缆护层力学性能试验方法 .....	1074	3.5.11 电线电缆燃烧的烟密度试验	
3.3.1 扩张试验 .....	1074	方法 .....	1103
3.3.2 弯曲试验 .....	1074	3.5.12 电线电缆冒烟试验方法 .....	1106
3.3.3 柔软性(挠性)试验 .....	1074	3.5.13 电线电缆耐火试验方法 .....	1107
3.3.4 拉伸试验 .....	1074	3.6 电缆护层电性能试验方法 .....	1108
3.3.5 压缩试验 .....	1074	3.6.1 耐电压试验 .....	1108
3.3.6 内压试验 .....	1075	3.6.2 火花试验 .....	1109
3.3.7 冲击试验 .....	1075	3.6.3 内衬层电阻测试 .....	1109
3.3.8 扭转试验 .....	1075	3.7 电缆护层特种性能试验方法 .....	1110
3.3.9 刮磨试验 .....	1075	3.7.1 防白蚁试验方法 .....	1110
3.3.10 振动试验 .....	1076	3.7.2 防老鼠试验方法 .....	1110
3.3.11 蠕变试验 .....	1076	3.7.3 核电环境试验方法 .....	1110
3.4 电缆护层环境与老化性能			

## 第 7 篇 电线电缆的结构计算

<b>第 1 章 单根导体</b> .....	1115	3.1.3 半圆形与扇形紧压线 芯的绝缘层 .....	1140
1.1 圆单线 .....	1115	3.1.4 多根平行线芯的绝缘层 .....	1141
1.1.1 单一材料圆单线 .....	1115	3.2 绕包绝缘层 .....	1141
1.1.2 双金属线 .....	1115	3.2.1 带状绝缘层 .....	1141
1.1.3 有镀层的圆单线 .....	1116	3.2.2 绳状绝缘层 .....	1142
1.1.4 空心圆单线 .....	1116	3.2.3 线状绝缘层 .....	1142
1.2 扁线、带材及母线 .....	1117	3.2.4 绝缘浸渍材料的重量 .....	1146
1.2.1 矩形型线 .....	1117	3.3 其他形式绝缘层 .....	1146
1.2.2 梯形铜排 .....	1118	<b>第 4 章 电缆芯 (成缆)</b> .....	1147
1.2.3 多边形铜排 .....	1118	4.1 等圆绝缘线芯构成的电缆芯 .....	1147
1.3 实心扇形、弓形及 Z 形线芯 .....	1118	4.1.1 圆形电缆芯 .....	1147
1.3.1 实心扇形线芯 .....	1118	4.1.2 扁平形电缆芯 .....	1149
1.3.2 弓形及 Z 形单线 .....	1119	4.1.3 三角形电缆芯 .....	1149
1.4 双沟形接触线 .....	1119	4.2 不等圆绝缘线芯构成的电缆芯 .....	1149
1.4.1 单一材料双沟形接触线 .....	1119	4.2.1 两大一小的电缆芯 .....	1149
1.4.2 钢铝接触线 .....	1120	4.2.2 三大一小的电缆芯 .....	1150
<b>第 2 章 绞线</b> .....	1122	4.2.3 三大三小的电缆芯 .....	1152
2.1 绞线计算中常用的几个基本参数 .....	1122	4.3 电力电缆和通信电缆的电缆芯 .....	1152
2.1.1 螺旋升角、节距、节圆 直径与节径比 .....	1122	4.3.1 半圆形或扇形绝缘线芯构 成的电力电缆电缆芯 .....	1152
2.1.2 绞入率、绞入系数及平 均绞入系数 .....	1122	4.3.2 通信电缆的电缆芯 .....	1153
2.2 普通绞线及组合绞线 .....	1123	4.4 电缆芯的重量 .....	1156
2.2.1 普通绞线 .....	1123	4.4.1 无填充物的电缆芯重量 .....	1156
2.2.2 组合绞线 .....	1126	4.4.2 有填充物和有垫芯的电 缆芯重量 .....	1156
2.3 束线及复绞线 .....	1127	<b>第 5 章 保护层</b> .....	1157
2.3.1 束线 .....	1127	5.1 实体护层 .....	1157
2.3.2 复绞线 .....	1128	5.1.1 单芯电线电缆的护层 .....	1157
2.4 其他形式的圆形绞线 .....	1129	5.1.2 2 或 3 芯扁平形电线电缆的 护层 .....	1157
2.4.1 扩径绞线及空心线芯 .....	1129	5.1.3 多芯圆形电线电缆的护层 .....	1159
2.4.2 压缩绞线及紧压线芯 .....	1131	5.2 编织护层 .....	1160
2.4.3 电话软线的导电线芯 .....	1132	5.2.1 有涂料的纤维编织护层 .....	1160
2.5 扇形和半圆形紧压线芯 .....	1133	5.2.2 金属丝编织护层 .....	1162
2.5.1 扇形及半圆形紧压线芯的填充 系数 $\eta$ .....	1133	5.3 铠装电缆外护层 .....	1162
2.5.2 扇形及半圆形紧压线芯的结构 尺寸 .....	1133	5.3.1 铅护套电缆外护层结构 形式 .....	1162
<b>第 3 章 绝缘层</b> .....	1136	5.3.2 外护层外径及重量的计算 .....	1163
3.1 实体绝缘层 .....	1136	<b>附录</b> .....	1166
3.1.1 单根线芯的绝缘层 .....	1136	附录 A 常用法定计量单位及其	
3.1.2 圆形绞合线芯的绝缘层 .....	1137		

---

换算 .....	1166	C.3 近似公式的误差 .....	1176
附录 B 英美线规对照表 .....	1171	C.4 复数变换 .....	1176
附录 C 常用数学资料 .....	1172	C.5 常用函数的幂级数展开式 .....	1177
C.1 常用数值表 .....	1172	C.6 双曲线函数公式 .....	1178
C.2 双曲线函数和自然指数 函数表 .....	1173	<b>参考文献</b> .....	1179

# 总 论

**1. 电线电缆的分类** 按 GB/T 2900.10—1984, 电线电缆定义为: 用以传输电(磁)能、信息和实现电磁能转换的线材产品。

广义的电线电缆亦简称为电缆。狭义的电缆是指绝缘电缆。它可定义为: 由下列部分组成的集合体: 一根或多根绝缘线芯, 以及它们各自可能具有的包覆层、总保护层及外护层。电缆亦可有附加的没有绝缘的导体。

为便于选用及提高产品的适用性, 我国的电线电缆产品按其用途分成下列五大类。

1) 裸电线 指仅有导体, 而无绝缘层的产品, 其中包括铜、铝等各种金属和复合金属圆单线、各种结构的架空输电线用的绞线、软接线、型线和型材。

2) 绕组线 以绕组的形式在磁场中切割磁力线感应产生电流, 或通以电流产生磁场所用的电线, 故又称电磁线, 其中包括具有各种特性的漆包线、绕包线、无机绝缘线等。

3) 电力电缆 在电力系统的主干线路中用以传输和分配大功率电能的电缆产品, 其中包括 1~330kV 及以上各种电压等级、各种绝缘的电力电缆。

4) 通信电缆和通信光缆 通信电缆是传输电话、电报、电视、广播、传真、数据和其他电信信息的电缆, 其中包括市内通信电缆、长途对称电缆和同轴(干线)通信电缆, 传输频率为音频~几十兆赫。

通信光缆是以光导纤维(光纤)作为光波传输介质, 进行信息传输, 因此又称为纤维光缆。由于其传输衰减小、频带宽、重量轻、外径小, 又不受电磁场干扰, 因此通信光缆已逐渐替代了通信电缆。按光纤传输模式来分, 有单模和多模两种。按光缆结构来分, 有层绞式、骨架式、中心管式、层绞单位式、骨架单位式等多种形式。按其不同的使用环境, 光缆可分为直埋光缆、管道光缆、架空光缆水下或海底光缆等多种形式。

与通信电缆相比较, 射频电缆是适用于无线电通信、广播和有关电子设备中传输射频(无线

电)信号的电缆, 又称为“无线电电缆”。其使用频率为几兆赫到几十吉赫, 是高频、甚高频(VHF)和超高频(UHF)的无线电频率范围。射频电缆绝大多数采用同轴型结构, 有时也采用对称型和带型结构, 它还包括波导、介质波导及表面波传输线。

5) 电气装备用电线电缆 从电力系统的配电点把电能直接传送到各种用电设备、器具的电源连接线路用电线电缆, 各种工农业装备中的电气安装线和控制信号用的电线电缆均属于这一类产品。这类产品使用面最广, 品种最多, 而且大多要结合所用装备的特性和使用环境条件来确定产品的结构、性能, 因此, 除大量的通用产品外, 还有许多专用和特种产品。电气装备用电线电缆习惯上按产品用途分为八类:

a) 低压配电电线电缆 主要指固定敷设和移动的供电电线电缆。

b) 信号及控制电缆 主要指控制中心与系统间传递信号或控制操作用的电线电缆。

c) 仪器和设备连接线 主要指仪器、设备内部安装线和外部引接线。

d) 交通运输工具电线电缆 主要指汽车、机车、舰船、飞机配套用电线电缆。

e) 地质资源勘探和开采电线电缆 主要指煤、矿石、油田的探测和开采用电线电缆。

f) 直流高压电缆 主要指 X 射线机、静电设备等配套用的电线电缆。

g) 加热电缆 主要指生活取暖、植物栽培、管道保温等用电线电缆。

h) 特种电线电缆 主要指耐高温, 防火、核电站等用的电线电缆。

但为了便于产品设计和制造的工程技术人员检查, 本手册将电气装备用电线电缆简分为两大类: 电气装备用绝缘电线和绝缘电缆, 并按产品类别和名称直接分类, 详见本册第四篇。

本手册将按上述分类法介绍各类电缆产品。在其他场合, 例如专利登记、查阅、图书资料分类等, 也有按电缆的材料、结构特征、耐环境特

性等其他方式分类的。

**2. 电线电缆的基本特性** 电线电缆最基本的性能是有效地传播电磁波(场)。就其本质而言,电线电缆是一种导波传输线,电磁波在电缆中按规定的导向传播,并在沿线缆的传播过程中实现电磁场能量的转换。

通常在绝缘介质中传播的电磁波损耗较小,而在金属中传播的那部分电磁波往往因导体不完善而损耗变成热量。表征电磁波沿电缆回路传输的特性参数称为传输参数,通常用复数形式的传播常数和特性阻抗的两个参数来表示。

电缆的另一个十分关键的基本特性是它对使用环境的适应性。不同的使用环境对电线电缆的耐高温、耐低温、耐电晕、耐辐照、耐气压、耐水压、耐油、耐臭氧、耐大气环境、耐振动、耐溶剂、耐磨、抗弯、抗扭转、抗拉、抗压、阻燃、防火、防雷和防生物侵袭等性能均有相应的要求。在电缆的标准和技术要求中,均应对环境要求提出十分具体的测试或试验方法,以及相应的考核指标和检验办法。对一些特殊使用条件工作的电缆,其适用性还要按增列的使用要求项目考核,以确保电缆工程系统的整体可靠性。

正因为电线电缆产品应用于不同的场合,因此性能要求是多方面的,非常广泛。从整体来看,其主要性能可综合为下列各项:

#### 1) 电性能

**导电性能**——大多数产品要求有良好的导电性能,个别产品要求有一定的电阻范围。

**电绝缘性能**——绝缘电阻、介电常数、介质损耗、耐电压特性等。

**传输特性**——指高频传输特性、抗干扰特性等。

**2) 力学性能** 指抗拉强度、伸长率、弯曲性、弹性、柔软性、耐振动性、耐磨性以及耐冲击性等。

**3) 热性能** 指产品的耐热等级、工作温度、电力电缆的发热和散热特性、载流量、短路和过载能力、合成材料的热变形和耐热冲击能力、材料的热膨胀性及浸渍或涂层材料的滴落性能等。

**4) 耐腐蚀和耐气候性能** 指耐电化腐蚀、耐生物和细菌侵蚀、耐化学药品(油、酸、碱、化学溶剂等)侵蚀、耐盐雾、耐日光、耐寒、防霉以及防潮性能等。

**5) 老化性能** 指在机械(力)应力、电力、热应力以及其他各种外加因素的作用下,或外界气候条件下,产品及其组成材料保持其原有性能的能力。

**6) 其他性能** 包括部分材料的物性(如金属材料的硬度、蠕变,高分子材料的相容性)以及产品的某些特殊使用特性(如阻燃、耐原子辐射、防虫咬、延时传输,以及能量阻尼等)。

产品的性能要求,主要是从各个具体产品的用途、使用条件以及配套装备的配合关系等方面提出的。在一个产品的各项性能要求中,必然有一些主要的、起决定作用的,应该严格要求;而有些则是从属的、一般的。达到这些性能的综合要求与原材料的选用、产品的结构设计和生产过程中的工艺控制均有密切关系,各种因素又是相互制约的,因此必须进行全面的分析和研究。

电线电缆产品的使用面极为广泛,必须深入调查研究使用环境和使用要求,以便正确地进行产品设计和选择工艺条件。同时,必须配置各种试验设备,以考核和验证产品的各项性能。这些试验设备,有的是通用的,如测定电阻率、抗拉强度、伸长率、绝缘电阻和进行耐电压试验等所用的设备、仪表;有的是某些产品专用的,如漆包线刮漆试验机等;有的是按使用环境的要求专门设计的,如矿用电缆耐机械力冲击和弯曲的试验设备等,种类很多,要求各异。因此,在电线电缆产品的设计、研究、生产和性能考核中,对试验项目、方法、设备的研究设计和改进同样是十分重要的。

电线电缆的制造工艺有别于其他结构复杂的电气产品的制造工艺。它不能用车、钻、刨、铣等通用机床加工,甚至连现代化的柔性机械加工中心对它的加工亦无能为力。电线电缆加工方法可简洁地归纳为拉一包一绞三大少物耗、少能耗的专用工艺。

通常用拉制工艺将粗的导体拉成细的;包是绕包、挤包、涂包、编包、纵包等多种工艺的总称,往往用于绝缘的加工和护套的制作;绞是导线扭绞和绝缘线芯绞合成缆,目的是保证足够的柔软性。

实际的电线电缆专用生产设备与流水线分为拉线、绞线、成缆、挤塑、漆包、编织六大类。而这类设备中大量采用通用的辅助部件。它们是

放线、收线、牵引和绕包四大基本辅助部件。在 JB/T 5812~5820 中,对上述设备的形式、尺寸、技术要求及基本参数都作了详细的规定。

电线电缆的盘具是一种最通用的电缆专用设备的部件,也是电线电缆产品不可缺少的包装。在我国已对电线电缆的机用线盘(PN型)和交货盘(PL型)分别制定了 GB 4004 与 GB 4005 标准。在 GB 4006.1~5 1983 中,还对绕组线成品交货盘(PC、PCZ型)作出了具体规定。

实用的现代化电线电缆专用设备是将上述六类设备尽可能合理组合而成的流水线。

在改进产品质量和发展新品种时,必须充分考虑电线电缆产品的生产特点,这些生产特点主要是:

1) 原材料的用量大、种类多、要求高 电线电缆产品性能的提高和新产品的发展,与选择适用的原材料以及原材料的发展、开发和改进有着密切的关系。

2) 工艺范围广,专用设备多 电线电缆产品在生产中要涉及到多种专业的工艺,而生产设备大多是专用的。在各个生产环节中,采用合适的装备和工艺条件,严格进行工艺控制,对产品质量和产量的提高,起着关键的作用。

3) 生产过程连续性强 电线电缆产品的生产过程大多是连续的。因此,设计合理的生产流程和工艺布置,使工序生产计划协调,并在各工序中加强半制品的中间质量控制,这对于确保产品质量、减少浪费、提高生产率等都是十分重要的。

**3. 电线电缆选用及敷设** 由于电线电缆品种规格很多,性能各不相同,因此对广大使用部门来说,在选用电线电缆产品时应该注意以下几个基本要求。

1) 选择产品要合理 在选择产品时应充分了解电线电缆产品的品种规格、结构与性能特点,以保证产品的使用性能和延长使用寿命。例如,选用高温的漆包线,将可提高电机、电器的工作温度,减小结构尺寸;又如绝缘电线中,有耐高温的、有耐寒的、有屏蔽特性的,以及不同柔软度的各种品种,必须根据使用条件合理选择。

2) 线路设计要正确 在电线电缆线路设计

的线路路径选择中,应尽量避免各种外来的破坏与干扰的因素(机械、热、雷、电、各种腐蚀因素)或采用相应的防护措施,对于敷设中的距离、位差、固定的方式和间距,接头附件的结构形式和性能、配置方式,与其他线路设备的配合(如充油电缆的压力供油箱、通信电缆的中继器)等等,都必须进行周密的调查研究,作出正确的设计,以保证电线电缆的可靠使用。

3) 安装敷设要认真 电线电缆本体仅是电磁波传输系统或工程中的一个部件,它必须进行端头处理、中间连接或采取其他措施,才与电缆附件及终端设备组成一个完整的工程系统。整个系统的质量,它的可靠运行不仅取决于电缆本身的产品质量,而且与电缆线路的施工敷设的质量息息相关。在实际电缆线路故障率统计分析中,由于施工、安装、接续等因素所造成的故障率往往要比电缆本身的缺陷所造成的大得多,因此,必须对施工安装工艺严格把关,并在选用电缆时应特别注意电缆与电缆附件的配套。

4) 维护管理要加强 电缆线路往往要长距离穿越不同的环境(田野、河底、隧道、桥梁等),因此容易受到外界因素影响,特别是各种外力或腐蚀因素的破坏。所以,加强电缆线路的维护和管理,经常进行线路巡视和预防测试,采取各种有效的防护措施,建立必要的自动报警系统,以及在万一发生事故的情况下,及时有效地测定故障部位、便于快速检修等等,这些都是保证电缆线路可靠运行的重要条件。

电线电缆制造部门,应在广大使用部门密切配合下,不断改进接头附件的设计。电线电缆的接头附件包括:电线电缆终端或中间连接用各种终端头、连接盒;安装固定用的金具和夹具;以及充油电缆的压力供油箱等。它们是电缆线路中必不可少的组成部分。由于接头附件处于与电缆完全相同的使用条件下,同时接头附件又必须解决既要引出电能,又要对周围环境绝缘、密封等一系列问题,因此,它的性能要求和结构设计往往比电缆产品本身更为复杂;同时,接头附件基本上是在现场装配,安装条件必然相对地较工厂的生产条件差,这给保证电缆接头附件的质量带来了一些不利因素。因此,研究改进接头附件的材料、结构、安装工艺等工作应引起制造和使用部门的极大重视。



## 4 总 论

---

电线电缆手册共分3册,第1册介绍电线电缆产品品种、结构、设计及应用场合等(产品分册);第2册介绍电线电缆所用的各种原材料及

选用、工艺和注意事项(材料分册);第3册介绍电线电缆产品的附件,及其敷设和运行维护(应用分册)。

## 第 1 篇 裸电线与裸导体制品

裸电线与裸导体制品是指没有绝缘、没有护层的导电线材,主要包括裸单线、裸绞线和型线型材三个系列产品,是电线电缆产品中最基本的一大类产品。

裸单线系列产品主要包括铜单线、铝单线、铝合金线、铜包钢线、铝包钢线以及镀锡线等,主要用作各种电线电缆的半成品,少量用于通信线材和电机电器的制造。导体的质量对各种绝缘电线电缆产品的质量起了决定性的作用。20世纪60年代以来,我国在导体生产和科研方面进行了大量的工作。已可用非电工级铝,采用稀土优化综合处理的方法,生产出电工铝导体。铝线电阻率已由 $0.0290\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ,降低到 $0.028264\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 的国际水平。大大减小了输电线路的电能损耗。又研究开发了铝-镁-硅合金线、耐热铝合金线和高强度铝合金线等,填补了国内在这个领域中的空白。耐热铝合金的使用温度可提高到 $150\text{C}$ ,甚至更高,可大大提高线路的载流能力。铜包钢线和铝包钢线的研制,为高频通信和大跨越导线的研究开发,创造了有利条件。

裸绞线系列产品主要包括各种绞线和软接线等,主要产品是架空导线。架空导线系列产品在本大类产品中的产值比达70%以上。我国电力工业的迅速发展,对架空导线的品种和数量提出了更多更高的要求。在大跨越架空导线方面,1973年我国研究开发了南京长江大跨越输电工程用GLGJ-140/420型钢芯铝包钢导线和GLGJ-60/265型地线,比采用C-418型钢导线节约电力损耗3400kW,每年节约电能损耗1567万kW·h,经济效益显著。1984年又研究开发了GLGJ-210/360型高强度钢芯铝包钢导线和GLGJ-80/200型地线,弧垂特性分别提高到17.6和17.4km,具有高强度、大容量、低损耗和白阻尼耐振性良好的特点,达到了国际先进水平。在扩径导线方面,为330kV刘-天-关输变电工程研制了LGJK-300型扩径钢芯铝绞线和LGKK-600型电站用软母线。

为500kV输变电工程研制了LGKK-900型和LGJQT-1400型电站用软母线。1988年又研究开发了LGJK-630、LGJK-800、LGJK-1000和LGJK-1250型500kV电站用新型软母线系列产品,具有低电晕损失和低无线电干扰、高强度、耐腐蚀、使用寿命长、便于质量控制和能保证安全运行的特点,可适应变电站各级回路载流量的需要。在大电流软母线方面,研究开发了LHGJ-1440/120型钢芯耐热铝合金绞线,适合在回路电流4000A以上的变电站中使用,可减少分裂导线的根数,便于设计安装。在耐振导线方面,研究开发了LGJ/ZD-300型自阻尼导线,简化了线路的防振措施,最大使用应力可达拉断力的60%;能降低电力线路的杆塔高度或减少杆塔基数,可节约线路基建投资。另外还研究开发了光纤复合架空地线,增大了电力系统的通信容量,并具有信息传输损耗小和不受电磁干扰的特点。

型线系列产品主要包括铜、铝杆材,铜、铝母线,电车线和异形铜排等,主要用于电机电器产品的制造、电力牵引机车和工矿企业的配电线路等。

在裸电线的性能检测方面,近年来,我国已研究开发了LED-200型200t卧式液电拉力试验机、10t和40t振动试验机、50t蠕变试验机和导线振动能量测试装置等,扩充了测试手段,提高了科研水平。

我国幅员辽阔,能源分布极不均衡。因此,电力传输的发展方向,必然是特高压远距离送电。原苏联已建成了世界上第一条1150kV特高压输电线路,采用8分裂导线,日本也已建成了1000kV、8分裂导线的超高压输电线路。这样,对架空导线必然要提出新的更高的要求。一些新的导线,例如高强度钢芯铝绞线、大容量导线、低损耗导线、低风压导线、防冰雪导线、防舞动导线和光纤复合导线等,还等待我们去研究开发,为祖国的四化建设,作出更大贡献。

祖国万岁上传

# 第1章 裸电线及裸导体制品的分类 和裸绞线的结构计算

## 1.1 裸电线及裸导体制品的分类

裸电线及裸导体制品按其外观形态和结构可分为三个系列产品。

### 1.1.1 裸单线

包括圆铜线、圆铝线、铝合金线、铜包钢线、铝包钢线及镀锡铜线等。按线材的韧炼状态,又分为硬的、半硬的和软的。铝合金线又分为铝-镁-硅合金线、耐热铝合金线及高强度铝合金线等。

### 1.1.2 裸绞线

按其结构形式,可分为五个品种。

1) 简单绞线 由材质相同、线径相等的线材绞制而成,如铝绞线、铝合金绞线、铝包钢绞线等。

2) 组合绞线 由导电线材和增强线材组合绞制而成,如钢芯铝绞线、钢芯铝合金绞线等。

3) 特种绞线 由不同材质不同外形的线材,用特种组合方式绞制而成,如扩径导线、自阻尼导线等。

4) 复绞线 由材质相同的束(绞)股线绞制而成,如软铜绞线、裸铜天线、铜电刷线等。

5) 编织铜带 用编织方式制成的软接铜带,有斜纹编织铜带和直纹编织铜带两种。

### 1.1.3 型线及型材

为特殊外形或大截面的导体线材,有铜母线、铝母线、梯形铜排和电车接触线等。

## 1.2 裸绞线的结构计算

### 1.2.1 裸绞线的系列截面

裸绞线产品的系列截面按优先数系 R5、R10、R20 或 R40 制订;每相邻截面有一公比数。例如我国 GB1179—1983《铝绞线及钢芯铝绞线》的系列截面为:10、16、25、35、50、70、95、120、150、185、210、240、300、400、500、630、800mm<sup>2</sup>。国际电工委员会 IEC1089:1991 规定的架空导线的系列截面为:

10、16、25、40、63、100 符合优先数系 R5,公比数为 1.6

125、160、200、250、315、400 符合优先数系 R10,公比为 1.25

450、500、630、710、800、900

1000、1120、1250、1400、1500、1600

符合优先数系 R20,公比为 1.12

系列截面的改变,牵涉到产品具体结构的变更,又影响到电力金具、线路设计、电气设备等一系列方的调整,影响面很大,但等同采用 IEC1089 所规定的系列截面是必然的趋势。

### 1.2.2 简单绞线的结构计算

按绞线截面的大小,当中心为一根单线时,绞线结构可由 7、19、37、61 或 91 根等径线材构成,由内至外每层递增 6 根单线,相邻层的绞向应相反,最外层为右向。绞线的截面  $F$  (mm<sup>2</sup>) 按式 (1-1-1) 计算。绞线中单线的总根数  $N$  按式 (1-1-2) 计算。外径  $D$  按式 (1-1-3) 计算

$$F = N\pi d^2/4 \quad (1-1-1)$$

$$N = 1 + 3m(m+1) \quad (1-1-2)$$

$$D = (2m+1)d \quad (1-1-3)$$

式中  $D$  外径 (mm);

$d$ ——单线直径 (mm);

$m$ ——单线层数。

若中心线大于 1 根时,单线总根数  $N$  及外径  $D$ ,按表 1-1-1 求得。应尽量避免采用中心根数为 2、4、5 的结构。

表 1-1-1 单线总根数及外径计算表

中心线根数/根	单线总根数 $N$ /根	外径 $D$ /mm
2	$(m+1)(3m+2)$	$(2m+2)d$
3	$(m+1)(3m+3)$	$(2m+2.155)d$
4	$(m+1)(3m+4)$	$(2m+2.414)d$
5	$(m+1)(3m+5)$	$(2m+2.70)d$

### 1.2.3 组合绞线的结构计算

组合绞线由导电线材和增强的线材组合绞制而成。其结构形式如图 1-1-1 所示。钢芯铝绞线为最常见的组合绞线,其结构参数见表 1-1-2。铝单

线的直径可根据总的导线截面和单线根数按式 (1-1-4) 计算。铝线直径与钢线直径比可按式 (1-1-5) 计算。由此可算出钢线直径。导线的外径可按式 (1-1-6) 计算

$$d_1 = \sqrt{\frac{4F}{\pi N}} \quad (1-1-4)$$

$$\frac{d_1}{d_g} = \frac{3 + 6m_g}{n_1 - 3} \quad (1-1-5)$$

$$D = (1 + 2m_g) d_g + 2m_1 d_1 \quad (1-1-6)$$

式中  $d_1$ ——铝单线直径 (mm);

$d_g$ ——钢单线直径 (mm)

$F$ ——铝线总截面 (mm<sup>2</sup>);

$N$ ——铝线总根数;

$m_1$ ——铝线层数;

$m_g$ ——钢线层数;

$n_1$ ——第一层的铝线根数;

$D$ ——导线的外径 (mm)。

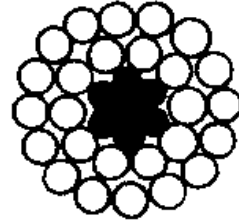


图 1-1-1 组合绞线

按式 (1-1-5) 计算的不同结构钢芯铝绞线的铝、钢单线直径比, 见表 1-1-2。

表 1-1-2 钢芯铝绞线结构参数表

结 构		不同层次的铝线根数				不同层次的钢线根数			铝、钢单线直径比 $d_1/d_g$
铝	钢	第 1 层	第 2 层	第 3 层	第 4 层	中心线	第 1 层	第 2 层	
6	1	6				1			1.000
7	7	7				1	6		2.250
12	7	12				1	6		1.000
18	1	6	12			1			1.000
24	7	9	15			1	6		1.500
26	7	10	16			1	6		1.286
30	7	12	18			1	6		1.000
30	19	12	18			1	6	12	1.666
42	7	8	14	20		1	6		1.800
45	7	9	15	21		1	6		1.500
48	7	10	16	22		1	6		1.286
54	7	12	18	24		1	6		1.000
54	19	12	18	24		1	6	12	1.666
72	7	9	15	21	27	1	6		1.500
72	19	9	15	21	27	1	6	12	2.500
84	7	12	18	24	30	1	6		1.000
84	19	12	18	24	30	1	6	12	1.666

举例: 采用 26 根铝线和 7 根钢线的结构, 求 400mm<sup>2</sup> 钢芯铝绞线的铝、钢单线直径。

解: 按式 (1-1-4) 计算铝单线直径。

$$d_1 = \sqrt{\frac{4F}{\pi N}} = \sqrt{\frac{4 \times 400 \text{mm}^2}{\pi \times 26}} = 4.42 \text{mm}$$

按式 (1-1-5), 钢线直径计算如下:

$$d_g = \frac{d_1 (n_1 - 3)}{3 + 6m_g} = \frac{4.42 (10 - 3)}{3 + 6} \text{mm} = 3.44 \text{mm}$$

按式 (1-1-6) 计算导线外径

$$D = (1 + 2m_g) d_g + 2m_1 d_1 \\ = (1 + 2) \times 3.44 + 2 \times 2 \times 4.42 = 28.0 \text{mm}$$

导线外径、外层单线直径和根数的相互关系如式 (1-1-7) 所示。组合导线中铝线的总根数可

按式 (1-1-8) 计算

$$D = \frac{d_1 (n_w + 3)}{3} \quad (1-1-7)$$

$$N_1 = m_1 [n_1 + 3 (m_1 - 1)] \quad (1-1-8)$$

式中  $n_w$  外层单线根数；

$N_1$ ——组合导线中铝线的总根数；

其他与式 (1-1-6) 相同。

## 第2章 裸电线与裸导体制品的品种规格 及主要技术指标

裸电线与裸导体制品按其结构形式和用途，可分以下 5 个系列。

### 2.1 裸单线

裸单线的品种、型号及规格范围，见表 1-2-1。

#### 2.1.1 圆铜线

圆铜线按其软硬程度分为软圆铜线 (TR)、硬

圆铜线 (TY) 及特硬圆铜线 (TYT) 三种。软圆铜线及硬圆铜线主要供各种绝缘电线电缆和绕组线作导电线芯用。特硬圆铜线主要用作架空通信及特殊情况下的电力架空导线的线材。

圆铜线采用符合 GB3952《电工圆铜杆》规定的圆铜杆制造。制造绕组线用的细铜线和特细铜线，应选用优质铜杆。

表 1-2-1 裸单线的品种、型号及规格范围表

产品名称	产品型号	规格范围/mm	标准号
软圆铜线	TR	0.020~14.00	GB 3953
硬圆铜线	TY	0.020~14.00	GB 3953
特硬圆铜线	TYT	1.50~5.00	GB 3953
软圆铝线	LR	0.30~10.00	GB 3955
硬圆铝线	LY	0.30~10.00	GB 3955
铝-镁-硅合金圆线	LHA1	1.50~4.50	JB/T 8134
铝-镁-硅稀土合金圆线	LHA2	1.50~4.50	JB/T 8134
普通铝包铜线 <sup>①</sup>	GL	2.8~4.4	湘 Q/JB 967
高强度铝包铜线 <sup>①</sup>	GGL	3.8~4.4	湘 Q/JB 967
铜包钢线	GT	1.20~6.00	湘 Q/JB 991
镀锡软圆铜线	TXR	0.05~4.00	GB 4910
镀银软圆铜线	TRY	0.05~2.00	JB 3135
镀锌圆铜线	TRN	0.05~2.00	GB 11019
可焊镀锡软圆铜线	TXRH	0.20~1.20	GB 4910
软铜扁线	TBR	0.8×2.0~7.1×16.0	GB 5584.2
硬铜扁线	TBY	0.8×2.0~7.1×16.0	GB 5584.2
软铝扁线	LBR	0.8×2.0~7.1×16.0	GB 5584.3
硬铝扁线	LBY	0.8×2.0~7.1×16.0	GB 5584.3

① 该产品以前采用企业标准，我国已等同采用 IEC1232《电工用铝包铜线》，制订 GB/T 17937—1999 国家标准，开始执行。

1. 规格及线径偏差(表1-2-2) 圆铜线详细规格见本章2.1.8节中表1-2-36~表1-2-39。

2. 技术指标

1) 抗拉强度 硬圆铜线的抗拉强度可按式(1-2-1)计算,特硬的圆铜线按式(1-2-2)计算,软圆铜线不考核抗拉强度。

表 1-2-2 圆铜线的规格及线径偏差

(单位: mm)

标称线径	允许偏差
0.020~0.025	±0.002
0.026~0.125	±0.003
0.126~0.400	±0.004
0.401~14.00	±1% <i>d</i>

硬圆铜线  $\sigma_b \geq 427.7 - 10.8d$  (1-2-1)

特硬圆铜线  $\sigma_b \geq 461.9 - 10.8d$  (1-2-2)

式中  $\sigma_b$ ——抗拉强度(MPa);

*d*——标称线径(mm)。

2) 伸长率 硬及特硬圆铜线的伸长率,可按式(1-2-3)计算。

$\delta = 0.24(1 + d)$  (1-2-3)

式中  $\delta$ ——伸长率(%);

*d*——标称线径(mm)。

软圆铜线的伸长率应符合表1-2-3的要求。

表 1-2-3 软圆铜线的伸长率

标称线径/mm	伸长率(%)
0.020~0.100	10
0.200~0.300	15
0.380~0.570	20
0.660~3.00	25
3.15~8.00	30
8.50~14.00	35

3) 电阻率及电阻温度系数 圆铜线20℃时的电阻率及电阻温度系数见表1-2-4。

4) 计算用物理参数

密度 8.89g/cm<sup>3</sup>

线胀系数  $17 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

2.1.2 圆铝线

圆铝线按其韧炼程度,分为软圆铝线(LR)和各种硬态的LY4、LY6、LY8及LY9型圆铝线,适用于不同的使用场合。

圆铝线采用符合GB 3954《电工圆铝杆》规定

的圆铝杆制造。

1) 圆铝线的型号、规格范围和主要用途(表1-2-5)

表 1-2-4 圆铜线的电阻率及电阻温度系数

型号	电阻率 $\rho_{20}/\mu\Omega \cdot \text{m} \leq$		电阻温度系数/ $^\circ\text{C}^{-1}$	
	2.00mm以下	2.00mm及以上	2.00mm以下	2.00mm及以上
TR	17.241	17.241	0.00393	0.00393
TY	17.96	17.77	0.00377	0.00381
TYT	17.96	17.77	0.00377	0.00381

表 1-2-5 圆铝线的型号、规格范围和主要用途

产品名称	型号	状态代号 <sup>①</sup>	规格范围/mm	主要用途
软圆铝线	LR	0	0.30~10.00	各种绝缘电线电线的导电线芯 架空导线
H4硬态圆铝线	LY4	H4	0.30~6.00	
H6硬态圆铝线	LY6	H6	0.30~10.00	
H8硬态圆铝线	LY8	H8	0.30~5.00	
H9硬态圆铝线	LY9	H9	1.25~5.00	

① 状态代号是根据国际标准化组织ISO 150/TC79《轻金属及其合金》的规定制定的。

圆铝线的规格见2.1.8节中表1-2-35~表1-2-39,线径偏差见表1-2-6。圆铝线在同一截面上的最大和最小直径之差,应不超过标称线径偏差的绝对值。

表 1-2-6 圆铝线的线径偏差

(单位: mm)

标称线径 <i>d</i>	允许偏差
0.300~0.9000	±0.013
0.910~2.490	±0.025
2.50及以上	±1% <i>d</i>

2) 技术指标

a) 抗拉强度及伸长率见表1-2-7。

b) 韧性 直径6.00mm及以下的LY4、LY6、LY8及LY9型圆铝线,经受卷绕试验后应不裂断,但允许出现轻微的裂纹。卷绕试验方法及要求见第3.1.6节。

c) 电阻率及电阻温度系数见表1-2-8。

d) 计算用物理参数

密度 2.703kg/dm<sup>3</sup>

线胀系数  $23 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$

表 1-2-7 圆铝线的抗拉强度及伸长率

型号	线径 /mm	抗拉强度/MPa		伸长率 (%) $\geq$
		$\geq$	$\leq$	
LR	0.30~1.00	—	98	15
	1.01~10.00	—	98	20
LY4	0.30~6.00	95	125	—
LY6	0.30~6.00	125	165	—
	6.01~10.00	125	165	3
LY8	0.30~5.00	160	205	—
LY9	1.25	200	—	—
	1.26~1.50	193	—	—
	1.51~1.75	188	—	—
	1.76~2.00	184	—	—
	2.01~2.25	180	—	—
	2.26~2.50	176	—	—
	2.51~2.75	173	—	—
	2.76~3.00	169	—	—
	3.01~3.25	166	—	—
	3.26~3.50	164	—	—
	3.51~3.75	162	—	—
	3.76~4.25	160	—	—
4.26~5.00	159	—	—	

表 1-2-8 圆铝线的电阻率及电阻温度系数

型号	电阻率 $\leq \rho_{20}/\text{n}\Omega \cdot \text{m}$	电阻温度系数 / $\text{C}^{-1}$
LR	28.00	0.00407
LY4, LY6, LY8, LY9	28.264	0.00403

2.1.3 铝合金圆线

铝合金圆线主要用于制造架空导线。其化学成分为：铝：98.7%；镁：0.5%；硅：0.5%；其余为杂质。通过淬火和时效处理，可析出强化相  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ，能使合金强度显著提高，约为圆铝线强度的二倍，所以其全称为热处理型铝镁硅合金圆线。在熔铸过程中加入微量稀土，可改善其电性能和加工条件，这种合金称为热处理铝镁硅稀土合金圆线。

为了提高铝线的载流能力，可在铝中添加不大于 0.13% 的锆 (Zr) 和微量稀土，在固溶体中可形成  $\text{Al}_3\text{Zr}$ ，可提高其再结晶温度并能使晶粒

细化，制成耐热铝合金。随着添加微量元素的不同和工艺加工条件的差异，可制成耐热型、高耐热型、超耐热型、特耐热型、高导电耐热型和高强度耐热型等品种。耐热铝合金线的连续使用温度可达 150℃，短时使用温度可达 180℃。特耐热铝合金的连续使用温度可达 230℃，短时使用温度可达 310℃。随着使用温度的提高，载流量能成倍增长，但能耗也相应增大。

1) 型号、规格范围及线径偏差 (表 1-2-9)

表 1-2-9 铝合金圆线的型号、规格及线径偏差

标准号	JB/T 8134	IEC104
型号	LHA1 LHA2	A 型、B 型
规格范围/mm	1.50~4.50	1.50~4.50
线径偏差/mm		
$d \leq 3.00$	$\pm 0.03$	$\pm 0.03$
$d > 3.00$	$\pm 1\%d$	$\pm 1\%d$

2) 技术指标

a) 抗拉强度及伸长率见表 1-2-10。

表 1-2-10 铝合金圆线的抗拉强度及伸长率

标准号	JB/T 8134		IEC104	
	LHA1	LHA2	A 型	B 型
抗拉强度最小值 $\sigma/\text{MPa}$				
直径 $d \leq 3.5\text{mm}$	325	295	325	295
直径 $d > 3.5\text{mm}$	315	295	315	295
伸长率 (%)	3.0	3.5	3.0	3.5

b) 电阻率及电阻温度系数见表 1-2-11。

表 1-2-11 铝合金圆线的电阻率及电阻温度系数

标准号	JB/T 8134		IEC 104	
	LHA1	LHA2	A 型	B 型
电阻率 (20℃) $\rho_{20}/\text{n}\Omega \cdot \text{m}$	32.840	32.530	32.840	32.530
电阻温度系数 (20℃) (%)	0.0036	0.0036	0.0036	0.0036

c) 计算用物理参数

密度  $2.703 \text{ kg}/\text{dm}^3$

线胀系数  $23 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$

2.1.4 铝包钢线

铝包钢线主要用于制造大跨越导线和良导体地线，部分用于制造组合导线用的加强线材。用 Conform 机组连续挤压法生产的铝包钢线，具有

优良的性能。国际电工委员会 (IEC) 制定的铝包钢线标准有 20SA、27SA、30SA 及 40SA 等四个级别, 其相应的电导率分别为 20%、27%、30% 及 40% IACS。我国都能生产。我国等同采用 IEC1232 电工用铝包钢线, 制订成国家标准 GB/T 17937—1999《电工用铝包钢线》。

1. 型号及规格范围 见表 1-2-12。

表 1-2-12 铝包钢线的型号及规格范围

标准号	GB/T 17937—1999			
型号	20 SA	27 SA	30 SA	40 SA
规格范围/mm	1.24~ 5.50	2.50~ 5.00	2.50~ 5.00	2.50~ 5.00

表 1-2-14 铝包钢线的铝层厚度、抗拉强度、伸长 1% 时的应力及伸长率

级别	铝层厚度/mm		抗拉强度 /MPa $\geq$	伸长 1% 时的应力 /MPa $\geq$	伸长率 (试件长 250mm) (%)
	标称	最小			
20 SA $d < 1.80$ $d \geq 1.80$	6.7% $d$	4% $d$	1070~1320	1000~1200	1.0 (断后)
	6.7% $d$	5% $d$	1320	1100	
27 SA	10.25% $d$	7% $d$	1080	800	1.5 (断时)
30 SA	12.25% $d$	7.5% $d$	800	650	
40 SA	19.2% $d$	12.5% $d$	680	500	

注: 铝包钢绞线用的铝包钢线, 不要求进行伸长 1% 时的应力试验。

2) 扭转试验 铝包钢线应能经受不少于 20 次的扭转而不断裂或不出现铝钢分裂现象。试件长度为 100 倍的标称线径。

3) 电阻率及电阻温度系数, 见表 1-2-15。

表 1-2-15 铝包钢线的电阻率及电阻温度系数

级别	电导率/% IACS $\geq$		电阻温度系数 /C <sup>-1</sup>
	包括铝、钢	不包括钢	
20 SA	20.3	15.3	0.0036
27 SA	27	22.5	0.0036
30 SA	30	26.2	0.0038
40 SA	40	37.8	0.0040

4) 计算用物理参数, 见表 1-2-16。

### 2.1.5 铜包钢线

铜包钢线是以钢丝为芯, 外覆铜层的双金属导线, 高频电阻较小, 强度较大, 主要用于架空通信线路, 也可用于大跨越或其他腐蚀严重地区的

表 1-2-13 铝包钢线的线径偏差

(单位: mm)

标称线径 $d$	GB/T 17937-1999
2.67 以下	$\pm 0.04$
2.67~3.20	$\pm 1.5\%d$
3.21~3.80	$\pm 1.5\%d$
3.81~4.20	$\pm 1.5\%d$
4.21~4.40	$\pm 1.5\%d$

2. 线径偏差 见表 1-2-13。

3. 技术指标

1) 铝层厚度、抗拉强度、伸长 1% 时的应力及伸长率见表 1-2-14。

表 1-2-16 铝包钢线的物理参数

级别	密度 /(kg/dm <sup>3</sup> )	线胀系数 /10 <sup>-6</sup> C <sup>-1</sup>	弹性模量 /GPa
20 SA A 型 B 型	6.59	13.0	162
	6.53	12.6	155
27 SA	5.91	13.4	140
30 SA	5.61	13.8	132
40 SA	4.64	15.5	109

电力线路上。

1) 型号、规格及线径偏差 (表 1-2-17)

2) 主要技术指标

a) 铜层厚度、抗拉强度及弯曲次数见表 1-2-18。

b) 扭转试验 铜包钢线经受定向扭转 7 次后, 不得出现折边及夹杂物。试件长度见表 1-2-19 的规定。



表 1-2-17 铜包钢线的型号、规格  
及线径偏差 (单位: mm)

型号	标称线径	线径偏差
GT	1.20	±0.04
	1.60	±0.04
	2.00	±0.04
	2.20	±0.04
	2.50	±0.04
	2.80	±0.04
	3.00	±0.04
	4.00	±0.05
	6.00	±0.05

表 1-2-18 铜包钢线的铜层厚度、  
抗拉强度及弯曲次数

标称线径 /mm	铜层厚度 /mm ≥	抗拉强度 /MPa	弯曲次数 ≥
1.20	0.06	735	15
1.60	0.08	735	12
2.00	0.10	735	10
2.20	0.11	735	9
2.50	0.12	735	8
2.80	0.14	735	8
3.00	0.15	735	8
4.00	0.21	735	8
6.00	0.23	637	6

表 1-2-19 铜包钢线扭转试件的长度  
(单位: mm)

标称线径	试件长度
1.20~4.00	200
5.00~6.00	300

c) 直流电阻 铜包钢线 20℃ 时的直流电阻值见表 1-2-20。20℃ 时的电阻温度系数采用 0.0041/℃。

### 2.1.6 镀层圆铜线

镀层圆铜线包括镀锡铜线、镀银铜线及镀镍铜线，主要用于制造电线电缆及电器制品。

1. 型号及级别 镀锡铜线有 TXR 镀锡软圆铜线和 TXRH 可焊镀锡软圆铜线两种，详见 GB

4910。

镀银铜线 (TRY) 按其含银量的不同，分为 C、D、E、F、G、H、I 七个级别。银层厚度应符合 JB 3135 的规定。

镀镍铜线 (TRN) 按其含镍量的不同，分为 2、4、7、10 及 27 等五个级别。镍层厚度应符合 GB 11019 的规定。

表 1-2-20 铜包钢线的直流电阻

标称线径 /mm	直流电阻 (20℃) / (Ω/km) ≤
1.20	47.30
1.60	26.00
2.00	16.40
2.20	13.50
2.50	10.40
2.80	8.20
3.00	7.10
4.00	4.00
6.00	2.00

2. 线径偏差 (表 1-2-21)

3. 主要技术要求

1) 强度及伸长率见表 1-2-22。

2) 电阻率见表 1-2-23。

3) 表面质量 镀层铜线的表面应光亮、光滑连续，不得有与良好工业产品不相称的缺陷。

TXRH 型镀锡铜线应具有可焊性，焊接时间不大于 2s。

### 2.1.7 铜、铝扁线

铜、铝扁线主要用于制造电机、电器设备绕组，和安装配电设备及其他电工装备作为连接线之用。按加工条件的不同，又分为软的及各种不同硬态的铜、铝扁线。规格大小用标称尺寸  $a \times b$  表示。截面图见图 1-2-1。

1) 型号及规格范围 (表 1-2-24)。

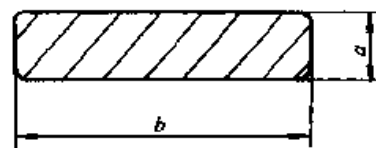


图 1-2-1 铜、铝扁线截面

表 1-2-21 镀层铜线的线径偏差

(单位: mm)

线径范围 <i>d</i>	线 径 偏 差		
	TXR	TRY	TRN
0.050~0.100	+0.006; -0.003	±0.003	+0.008; -0.003
0.101~0.125	+0.006; -0.003	±0.005	+0.008; 0.003
0.126~0.250	+0.010; -0.004	±0.005	+0.008; -0.003
0.251~0.400	+0.010; -0.004	±0.010	+0.03 <i>d</i> ; -0.01 <i>d</i>
0.401~0.700	+0.02 <i>d</i> ; -0.01 <i>d</i>	±0.010	+0.03 <i>d</i> ; -0.01 <i>d</i>
0.701~1.000	+0.02 <i>d</i> ; -0.01 <i>d</i>	±0.015	+0.03 <i>d</i> ; -0.01 <i>d</i>
1.001~1.300	+0.02 <i>d</i> ; -0.01 <i>d</i>	±0.020	+0.03 <i>d</i> ; -0.01 <i>d</i>
1.301~2.000	+0.02 <i>d</i> ; -0.01 <i>d</i>	±0.020	-0.038; -0.013
2.001~4.000	+0.02 <i>d</i> ; -0.01 <i>d</i>	--	--

表 1-2-22 镀层铜线的强度及伸长率

线径范围 <i>d</i> /mm	TRY 抗拉强度 /MPa	伸 长 率 (%)			
		TXR	TRY	TRN	
				2、4、7、10级	27级
0.05~0.090	196	6	5.5	12	6
0.091~0.100	196	12	5.5	12	6
0.101~0.150	196	12	10	12	8
0.151~0.230	196	12	15	12	8
0.231~0.250	196	12	15	16	12
0.251~0.500	196	15	20	16	12
0.501~2.000	196	20	25	20	16
2.001~4.000	196	25	-	-	-

表 1-2-23 镀层铜线的电阻率

线径范围 <i>d</i> /mm	电 阻 率 /nΩ·m							
	TXR	RXRN	TRY	TRN				
				2级	4级	7级	10级	27级
0.050~0.090	18.51		17.241	17.96	18.342	18.947	19.592	24.284
0.091~0.250	18.02	18.31	17.241	17.96	18.342	18.947	19.592	24.284
0.251~0.500	17.70	17.93	17.241	17.96	18.342	18.947	19.592	24.284
0.501~4.000	17.60	17.75	17.241	17.96	18.342	18.947	19.592	24.284

表 1-2-24 扁线的型号及规格范围

线 别	型 号	名 称	规格范围 <i>a</i> /mm× <i>b</i> /mm
铜扁线	TBR	软铜扁线	0.8×2~7.1×16
	TBY1	H1 状态硬铜扁线	0.8×2~7.1×16
	TBY2	H2 状态硬铜扁线	0.8×2~7.1×16
铝扁线	LBR	软铝扁线	0.8×2~7.1×16
	LBY2	H2 状态硬铝扁线	0.8×2~7.1×16
	LBY4	H4 状态硬铝扁线	0.8×2~7.1×16
	LBY8	H8 状态硬铝扁线	0.8×2~7.1×16

2) 规格尺寸及截面计算 标称尺寸 *a* 和 *b* 的系列采用 GB321 中的 R20 和 R40 优先数系。扁线尺寸的宽窄比, 应符合式 (1-2-4) 的规定:

$$1.4 \leq \frac{b}{a} \leq 8 \quad (1-2-4)$$

*a* 与 *b* 两数值均为按 R20 系列所选的规格, 为优先规格。

$a$  与  $b$  两数值中, 一个按 R20 系列, 另一个按 R40 系列所选的规格, 则为中间规格。

$a$  与  $b$  两数值均按 R40 系列所选的规格, 为不推荐规格。应避免采用。

扁线的标称截面  $S$  按式 (1-2-5) 计算

$$S = a \times b - 0.858r^2 \quad (1-2-5)$$

式中  $r$  — 圆角半径, 见表 1-2-28。

铜、铝扁线的规格尺寸见表 1-2-25。

表 1-2-25 铜、铝扁线的规格尺寸及标称截面 (单位:  $\text{mm}^2$ )

b 边 /mm	a 边/mm																			
	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.12	2.24	
	$r = \frac{1}{2}a$				$r = 0.5\text{mm}$						$r = 0.65\text{mm}$									
2.00	1.463		1.626		1.785		2.025		2.285		2.585									
2.12		--		--		--		--		--										
2.24	1.655		1.842		2.025		2.294		2.585		2.921		3.069							
2.36		--		--		--		--		--										
2.50	1.863		2.076		2.285		2.585		2.910		3.285		3.785		4.137					
2.65		--		--		--		--		--										
2.80	2.103		2.346		2.585		2.921		3.285		3.705		4.265		4.677		5.237			
3.00		--		--		--		--		--										
3.15	2.383		2.661		2.935		3.313		3.723		4.195		4.825		5.307		5.937		6.693	
3.35		--		--		--		--		--										
3.55	2.702		3.021		3.335		3.761		4.223		4.755		5.465		6.027		6.737		7.589	
3.75		--		--		--		--		--										
4.00	3.063		3.426		3.785		4.265		4.785		5.385		6.185		6.837		7.637		8.597	
4.25		--		--		--		--		--										
4.50	3.463		3.876		4.285		4.825		5.410		6.085		6.985		7.737		8.637		9.717	
4.75		--		--		--		--		--										
5.00	3.863		4.326		4.785		5.385		6.035		6.785		7.785		8.637		9.637		10.84	
5.30		--		--		--		--		--										
5.60	4.343		4.866		5.385		6.057		6.785		7.625		8.745		9.717		10.84		12.18	
6.00		--		--		--		--		--										
6.30	4.903		5.496		6.085		6.841		7.660		8.605		9.865		10.98		12.24		13.75	
6.70		--		--		--		--		--										
7.10			6.216		6.885		7.737		8.660		9.725		11.15		12.42		13.85		15.54	
7.50																				
8.00					7.785		8.745		9.785		10.99		12.59		14.04		15.64		17.56	
8.50																				
9.00							9.865		11.04		12.39		14.19		15.84		17.64		19.80	
9.50																				
10.00									12.29		13.79		15.79		17.64		19.64		22.04	
10.60																				
11.20									15.47		17.71		19.80		22.04		24.73			
11.80																				
12.50												19.79		22.14		24.64		27.64		
13.20																				
14.00														24.64		27.64		31.00		
15.00																				
16.00																31.64		35.48		

宽窄比  $b/a > 8$  不推荐

(续)

b边/mm	a边/mm																				
	2.36	2.50	2.65	2.80	3.00	3.15	3.35	3.55	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.30	5.60	6.00	6.30	6.70	7.10	
	r=0.8mm									r=1.0mm						r=1.2mm					
2.00																					
2.12																					
2.24																					
2.36																					
2.50																					
2.65																					
2.80																					
3.00																					
3.15																					
3.35																					
3.55		8.326																			
3.75	—																				
4.00		9.451		10.65																	
4.25	—		—																		
4.50		10.70		12.05		13.63															
4.75	—		—		—																
5.00		11.95		13.45		15.20		17.20													
5.30	—		—		—																
5.60		13.45		15.13		17.09		19.33		21.54											
6.00	—		—		—				—												
6.30		15.20		17.09		19.30		21.82		24.34		27.49									
6.70	—		—		—																
7.10		17.20		19.33		21.82		24.66		22.54		31.69		34.64							
7.50	—		—		—				—												
8.00		19.45		21.85		24.65		27.85		31.14		35.14		39.14		43.94					
8.50	—		—		—				—												
9.00		21.95		24.65		27.80		31.40		35.14		39.64		44.14		49.54					
9.50	—		—		—				—												
10.00		24.45		27.45		30.95		34.95		39.14		44.14		49.14		55.14					
10.60	—		—		—				—												
11.20		27.45		30.81		34.73		39.21		43.94		49.54		55.14		61.86					
11.80	—		—		—				—												
12.50		30.70		34.45		38.83		43.83		49.14		55.39		61.64		69.14		77.89		87.89	
13.20	—		—		—				—												
14.00		34.45		38.65		43.55		49.15		55.14		62.14		69.14		77.54		87.34		98.54	
15.00	—		—		—				—												
16.00		39.45		44.25		49.85		56.25		63.14		71.14		79.14		88.74		99.94		112.74	

宽窄比  $b/a < 1.4$  不推荐

0.95 R40系列

1.00 R20系列

1.785  $a \times b$  为 R20×R20 优先规格的  
标称截面

$a \times b$  为 R20×R40 或 R40×  
R20 的中间规格标称截面

$a \times b$  为 R40×R40 的不推荐规格

3) 铜、铝扁线的标称尺寸及偏差

a)  $a$  边尺寸偏差, 见表 1-2-26,  $b$  边尺寸偏差, 见表 1-2-27。

b) 圆角半径及偏差, 见表 1-2-28。

4) 主要技术要求

a) 抗拉强度及伸长率, 见表 1-2-29 及表 1-2-30。

b) 弯曲

**表 1-2-26 a 边尺寸偏差**  
(单位:mm)

标称尺寸 <i>a</i>	偏 差
≤3.15	±0.03
3.35~6.30	±0.05
6.70~7.10	±0.07

**表 1-2-27 b 边尺寸偏差**  
(单位:mm)

标称尺寸 <i>b</i>	偏 差
≤3.15	±0.03
3.35~6.30	±0.05
6.70~12.5	±0.07
13.2~16	±0.09

**表 1-2-28 扁线的圆角半径及偏差**  
(单位:mm)

标称尺寸 <i>a</i>	圆角半径 <i>r</i>	
	标 称	偏 差
≤1.00	<i>a</i> /2	
1.06~1.60	0.5	±25% <i>r</i>
1.70~2.24	0.65	±25% <i>r</i>
2.36~3.55	0.80	±25% <i>r</i>
3.75~5.60	1.00	±25% <i>r</i>
6.00~7.10	1.20	±25% <i>r</i>

**表 1-2-29 铜扁线的抗拉强度及伸长率**

标称尺寸 <i>a</i> /mm	TBR		TBY1		TBY2	
	抗拉强度/MPa ≤	伸长率(%) ≥	抗拉强度/MPa	伸长率(%) ≥	抗拉强度/MPa ≥	伸长率(%) ≥
0.80~2.00	275	30.0	275~373	1.5	373	0.4
2.12~4.00	255	34.0	255~333	2.0	333	0.7
4.25~6.00	245	36.0	245~304	3.0	304	1.7
6.30~7.10	245	36.0	245~275	3.0	275	1.7

**表 1-2-30 铝扁线的抗拉强度及伸长率**

型 号	抗拉强度/MPa		伸长率 (%)
	≥	≤	
LBR	60.0	95.0	20
LBY2	75.0	115	6
LBY4	95.0	140	5
LBY8	130	—	3

① 软铜扁线、软铝扁线的 *a* 边,在根据 *b* 边尺寸并按表 1-2-31 规定弯曲直径的圆柱上弯曲 90°,表面应不出现裂纹。

**表 1-2-31 a 边弯曲的弯曲直径**  
(单位:mm)

标称尺寸 <i>b</i>	弯曲直径	
	TBR	LBR
0.80~4.00	2	4
4.25~8.00	4	6
8.50~16.00	8	8

② 硬态铜扁线的 *b* 边,在根据 *a* 边尺寸并按表 1-2-32 规定弯曲直径的圆柱上弯曲 90°,表面应不出现裂纹。

**表 1-2-32 b 边弯曲的弯曲直径**  
(单位:mm)

标称尺寸 <i>a</i>	弯曲直径 TBY1	TBY2
0.80~4.00	2	
4.25~7.10	4	

c)电阻率及电阻温度系数见表 1-2-33。

d)计算用物理参数,见表 1-2-34

**表 1-2-33 铜、铝扁线的电阻率及电阻温度系数**

型 号	电阻率(20℃) /nΩ·m	电阻温度系数 /C <sup>-1</sup>
TBR	17.241	0.00393
TBY1 TBY2	17.77	0.00381
LBR	28.00	0.00407
LBY2,LBY4,LBY8	28.264	0.00403

**表 1-2-34 铜、铝扁线的物理参数**

型 号	密度(20℃) /(kg/dm <sup>3</sup> )	线胀系数 /10 <sup>-6</sup> C <sup>-1</sup>
TB	8.89	17.0
LB	2.703	23.0

## 2.1.8 圆单线规格重量(表1-2-35~表1-2-39)

表1-2-35 直径0.50~0.99mm的圆单线规格重量

直径 /mm	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	铝线及铝合金 线单位长度重 量/(kg/km)	铜线单位长度 重 量 /(kg/km)	直径 /mm	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	铝线及铝合金 线单位长度重 量/(kg/km)	铜线单位长度 重 量 /(kg/km)
0.50	0.19635	0.53014	1.7456	0.75	0.44179	1.19280	3.9272
0.51	0.20428	0.55156	1.8160	0.76	0.45365	1.22480	4.0329
0.52	0.21237	0.57340	1.8880	0.77	0.46566	1.25730	4.1397
0.53	0.22062	0.59567	1.9613	0.78	0.47784	1.29020	4.2480
0.54	0.22902	0.61836	2.0360	0.79	0.49017	1.32350	4.3576
0.55	0.23758	0.64147	2.1121	0.80	0.50265	1.35720	4.4686
0.56	0.24630	0.66501	2.1896	0.81	0.51536	1.39130	4.5810
0.57	0.25518	0.68897	2.2686	0.82	0.52810	1.42590	4.6948
0.58	0.26421	0.71336	2.3488	0.83	0.54106	1.46090	4.8100
0.59	0.27340	0.73817	2.4305	0.84	0.55418	1.49630	4.9267
0.60	0.28274	0.76341	2.5136	0.85	0.56745	1.53210	5.0446
0.61	0.29225	0.78907	2.5981	0.86	0.58088	1.56840	5.1640
0.62	0.30191	0.81515	2.6840	0.87	0.59447	1.60510	5.2848
0.63	0.31172	0.84166	2.7712	0.88	0.60821	1.64220	5.4070
0.64	0.32170	0.86859	2.8599	0.89	0.62211	1.67970	5.5306
0.65	0.33183	0.89594	2.9500	0.90	0.63617	1.71770	5.6556
0.66	0.34212	0.92372	3.0414	0.91	0.65039	1.75610	5.7820
0.67	0.35257	0.95193	3.1343	0.92	0.66478	1.79490	5.9097
0.68	0.36317	0.98055	3.2286	0.93	0.67929	1.83410	6.0389
0.69	0.37393	1.00960	3.3242	0.94	0.69398	1.87370	6.1695
0.70	0.38485	1.03910	3.4212	0.95	0.70882	1.91380	6.3014
0.71	0.39592	1.06900	3.5197	0.96	0.72382	1.95430	6.4348
0.72	0.40715	1.09930	3.6018	0.97	0.73898	1.99530	6.5695
0.73	0.41854	1.13010	3.7208	0.98	0.75430	2.03660	6.7057
0.74	0.43008	1.16120	3.8234	0.99	0.76977	2.07840	6.8433

表 1-2-36 直径 1.00~1.99mm 的圆单线规格重量

直径 /mm	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	铝线及铝合金 线单位长度重 量/(kg/km)	铜线单位长度 重 量 /(kg/km)	直径 /mm	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	铝线及铝合金 线单位长度重 量/(kg/km)	铜线单位长度 重 量 /(kg/km)
1.00	0.78540	2.1206	6.9322	1.50	1.76715	4.7713	15.7095
1.01	0.80118	2.1632	7.1227	1.51	1.79079	4.8351	15.9202
1.02	0.81713	2.2063	7.2640	1.52	1.81458	4.8991	16.1318
1.03	0.83323	2.2497	7.4071	1.53	1.83854	4.9641	16.3443
1.04	0.84949	2.2936	7.5521	1.54	1.86265	5.0292	16.5585
1.05	0.86590	2.3379	7.6979	1.55	1.88692	5.0947	16.7745
1.06	0.88247	2.3827	7.8454	1.56	1.91135	5.1607	16.9915
1.07	0.89920	2.4279	7.9939	1.57	1.93593	5.2270	17.2102
1.08	0.91609	2.4734	8.1441	1.58	1.96067	5.2938	17.4306
1.09	0.93313	2.5195	8.2953	1.59	1.98557	5.3610	17.6520
1.10	0.95033	2.5659	8.4482	1.60	2.01062	5.4287	17.8742
1.11	0.96769	2.6128	8.6029	1.61	2.03583	5.4967	18.0983
1.12	0.98520	2.6601	8.7584	1.62	2.06120	5.5652	18.3241
1.13	1.00288	2.7078	8.9158	1.63	2.08672	5.6341	18.5508
1.14	1.02070	2.7559	9.0740	1.64	2.11214	5.7035	18.7792
1.15	1.03869	2.8045	9.2340	1.65	2.13825	5.7733	19.0086
1.16	1.05683	2.8535	9.3950	1.66	2.16424	5.8435	19.2397
1.17	1.07513	2.9029	9.5576	1.67	2.19040	5.9141	19.4727
1.18	1.09359	2.9527	9.7221	1.68	2.21671	5.9851	19.7065
1.19	1.11220	3.0030	9.8875	1.69	2.24318	6.0566	19.9420
1.20	1.13097	3.0536	10.0546	1.70	2.26980	6.1285	20.1785
1.21	1.14990	3.1047	10.2220	1.71	2.29658	6.2008	20.4168
1.22	1.16899	3.1563	10.3924	1.72	2.32352	6.2735	20.6559
1.23	1.18823	3.2082	10.5631	1.73	2.35062	6.3467	20.8968
1.24	1.20763	3.2606	10.7356	1.74	2.37787	6.4203	21.1305
1.25	1.22719	3.3134	10.9098	1.75	2.40528	6.4943	21.3631
1.26	1.24690	3.3666	11.0849	1.76	2.43285	6.5687	21.6276
1.27	1.26677	3.4203	11.2619	1.77	2.46057	6.6435	21.8747
1.28	1.28680	3.4744	11.4397	1.78	2.48846	6.7188	22.1227
1.29	1.30698	3.5289	11.6192	1.79	2.51649	6.7945	22.3717
1.30	1.32732	3.5838	11.7997	1.80	2.54469	6.8707	22.6224
1.31	1.34782	3.6391	11.9819	1.81	2.57304	6.9472	22.8740
1.32	1.36848	3.6949	12.1660	1.82	2.60155	7.0242	23.1282
1.33	1.38929	3.7511	12.3509	1.83	2.63022	7.1016	23.3825
1.34	1.41026	3.8077	12.5376	1.84	2.65904	7.1794	23.6385
1.35	1.43139	3.8648	12.7251	1.85	2.68803	7.2577	23.8963
1.36	1.45267	3.9222	12.9145	1.86	2.71716	7.3363	24.1559
1.37	1.47411	3.9801	13.1047	1.87	2.74646	7.4154	24.4164
1.38	1.49571	4.0384	13.2968	1.88	2.77591	7.4950	24.6778
1.39	1.51747	4.0972	13.4906	1.89	2.80552	7.5749	24.9409
1.40	1.53938	4.1563	13.6853	1.90	2.83529	7.6553	25.2058
1.41	1.56145	4.2159	13.8808	1.91	2.86521	7.7361	25.4716
1.42	1.58368	4.2759	14.0791	1.92	2.89529	7.8172	25.7392
1.43	1.60606	4.3364	14.2782	1.93	2.92553	7.8989	26.0077
1.44	1.62860	4.3972	14.4783	1.94	2.95593	7.9810	26.2780
1.45	1.65130	4.4585	14.6801	1.95	2.98648	8.0635	26.5410
1.46	1.67416	4.5202	14.8836	1.96	3.01719	8.1464	26.8229
1.47	1.69717	4.5824	15.0881	1.97	3.04805	8.2297	27.0976
1.48	1.72034	4.6449	15.2935	1.98	3.07908	8.3135	27.3732
1.49	1.74366	4.7079	15.5015	1.99	3.11026	8.3977	27.6497

表 1-2-37 直径 2.00~2.99mm 的圆单线规格重量

直径 /mm	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	铝线及铝合金 线单位长度重 量/(kg/km)	铜线单位长度 重 量 /(kg/km)	直径 /mm	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	铝线及铝合金 线单位长度重 量/(kg/km)	铜线单位长度 重 量 /(kg/km)
2.00	3.14159	8.4823	27.9288	2.50	4.90874	13.2536	43.6383
2.01	3.17309	8.5673	28.2089	2.51	4.94809	13.3598	43.9886
2.02	3.20474	8.6528	28.4898	2.52	4.98759	13.4665	44.3398
2.03	3.23655	8.7387	28.7725	2.53	5.02726	13.5736	44.6927
2.04	3.26851	8.8250	29.0570	2.54	5.06708	13.6811	45.0465
2.05	3.30064	8.9117	29.3423	2.55	5.10705	13.7890	45.4021
2.06	3.33292	8.9989	29.6295	2.56	5.14719	13.8974	45.7586
2.07	3.36535	9.0865	29.9184	2.57	5.18748	14.0062	46.1169
2.08	3.39795	9.1745	30.2073	2.58	5.22792	14.1154	46.4760
2.09	3.43070	9.2629	30.4989	2.59	5.26853	14.2250	46.8370
2.10	3.46361	9.3518	30.7914	2.60	5.30929	14.3351	47.1997
2.11	3.49667	9.4410	31.0857	2.61	5.35021	14.4456	47.6433
2.12	3.52989	9.5307	31.3808	2.62	5.39129	14.5565	47.9287
2.13	3.56327	9.6208	31.6777	2.63	5.43252	14.6678	48.2949
2.14	3.59681	9.7114	31.9756	2.64	5.47391	14.7796	48.6630
2.15	3.63050	9.8024	32.2751	2.65	5.51546	14.8917	49.0328
2.16	3.66435	9.8938	32.5765	2.66	5.55716	15.0043	49.4035
2.17	3.69836	9.9856	32.8788	2.67	5.59903	15.1174	49.7751
2.18	3.73253	10.0778	33.1819	2.68	5.64104	15.2308	50.1494
2.19	3.76685	10.1705	33.4869	2.69	5.68322	15.3447	50.5236
2.20	3.80133	10.2636	33.7936	2.70	5.72555	15.4590	50.9006
2.21	3.83596	10.3571	34.1020	2.71	5.76804	15.5737	51.2784
2.22	3.87076	10.4511	34.4114	2.72	5.81069	15.6889	51.6571
2.23	3.90571	10.5454	34.7217	2.73	5.85349	15.8044	52.0376
2.24	3.94081	10.6402	35.0337	2.74	5.89646	15.9204	52.4199
2.25	3.97608	10.7354	35.3475	2.75	5.93957	16.0368	52.8030
2.26	4.01150	10.8311	35.6622	2.76	5.98285	16.1537	53.1880
2.27	4.04708	10.9271	35.9787	2.77	6.02628	16.2710	53.5738
2.28	4.08281	11.0236	36.2961	2.78	6.06987	16.3887	53.9614
2.29	4.11871	11.1205	36.6152	2.79	6.11362	16.5068	54.3526
2.30	4.15476	11.2179	36.9362	2.80	6.15752	16.6253	54.7402
2.31	4.19096	11.3156	37.2580	2.81	6.20158	16.7443	55.1322
2.32	4.22733	11.4138	37.5807	2.82	6.24580	16.8637	55.5252
2.33	4.26385	11.5124	37.9052	2.83	6.29018	16.9835	55.9199
2.34	4.30053	11.6114	38.2314	2.84	6.33471	17.1037	56.3155
2.35	4.33736	11.7109	38.5595	2.85	6.37940	17.2244	56.7129
2.36	4.37435	11.8108	38.8884	2.86	6.42424	17.3455	57.1120
2.37	4.41150	11.9111	39.2182	2.87	6.46925	17.4670	57.5121
2.38	4.44881	12.0118	39.5498	2.88	6.51441	17.5889	57.9130
2.39	4.48627	12.1129	39.8832	2.89	6.55972	17.7112	58.3157
2.40	4.52389	12.2145	40.2175	2.90	6.60520	17.8340	58.7202
2.41	4.56167	12.3165	40.5535	2.91	6.65083	17.9572	59.1256
2.42	4.59961	12.4190	40.8904	2.92	6.69662	18.0809	59.5328
2.43	4.63770	12.5218	41.2292	2.93	6.74257	18.2049	59.9417
2.44	4.67595	12.6251	41.5688	2.94	6.78867	18.3294	60.3515
2.45	4.71435	12.7288	41.9110	2.95	6.83493	18.4543	60.7623
2.46	4.75292	12.8329	42.2533	2.96	6.88135	18.5797	61.1756
2.47	4.79164	12.9374	42.5973	2.97	6.92792	18.7054	61.5890
2.48	4.83051	13.0424	42.9431	2.98	6.97465	18.8316	62.0051
2.49	4.86955	13.1478	43.2889	2.99	7.02154	18.9582	62.4211



表 1-2-38 直径 3.00~3.99mm 的圆单线规格重量

直径 /mm	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	铝线及铝合金 线单位长度重 量/(kg/km)	铜线单位长度 重 量 /(kg/km)	直径 /mm	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	铝线及铝合金 线单位长度重 量/(kg/km)	铜线单位长度 重 量 /(kg/km)
3.00	7.06858	19.0852	62.8399	3.50	9.62113	25.9771	85.5316
3.01	7.11579	19.2126	63.2595	3.51	9.67618	26.1257	86.0214
3.02	7.16315	19.3405	63.6808	3.52	9.73140	26.2748	86.5121
3.03	7.21066	19.4688	64.1031	3.53	9.78677	26.4243	87.0047
3.04	7.25834	19.5975	64.5263	3.54	9.84230	26.5742	87.4980
3.05	7.30617	19.7267	64.9521	3.55	9.89798	26.7246	87.9932
3.06	7.35415	19.8562	65.3788	3.56	9.95382	26.8753	88.4893
3.07	7.40230	19.9862	65.8064	3.57	10.00982	27.0265	88.9889
3.08	7.45060	20.1166	66.2358	3.58	10.06598	27.1782	89.4867
3.09	7.49906	20.2475	66.6670	3.59	10.12229	27.3302	89.9846
3.10	7.54768	20.3787	67.0991	3.60	10.17876	27.4827	90.4913
3.11	7.59645	20.5104	67.5329	3.61	10.23539	27.6356	90.9892
3.12	7.64538	20.6425	67.9676	3.62	10.29217	27.7889	91.4959
3.13	7.69447	20.7751	68.4041	3.63	10.34911	27.9426	92.0026
3.14	7.74371	20.9080	68.8415	3.64	10.40621	28.0968	92.5093
3.15	7.79311	21.0414	69.2807	3.65	10.46347	28.2514	93.0161
3.16	7.84267	21.1752	69.7216	3.66	10.52088	28.4064	93.5317
3.17	7.89239	21.3095	70.1634	3.67	10.57845	28.5618	94.0384
3.18	7.94226	21.4441	70.6070	3.68	10.63618	28.7177	94.5540
3.19	7.99229	21.5792	71.0515	3.69	10.69406	28.8740	95.0697
3.20	8.04248	21.7147	71.4973	3.70	10.75210	29.0307	95.5853
3.21	8.09282	21.8506	71.9450	3.71	10.81030	29.1878	96.1009
3.22	8.14332	21.9870	72.3939	3.72	10.86865	29.3454	96.6254
3.23	8.19398	22.1238	72.8447	3.73	10.92717	29.5034	97.1410
3.24	8.24480	22.2610	73.2963	3.74	10.98584	29.6618	97.6655
3.25	8.29577	22.3986	73.7497	3.75	11.04466	29.8206	98.1901
3.26	8.34690	22.5366	74.2039	3.76	11.10365	29.9799	98.7146
3.27	8.39818	22.6751	74.6591	3.77	11.16279	30.1395	99.2391
3.28	8.44963	22.8140	75.1169	3.78	11.22208	30.2996	99.7635
3.29	8.50123	22.9533	75.5757	3.79	11.28154	30.4602	100.288
3.30	8.55299	23.0931	76.0362	3.80	11.34115	30.6211	100.821
3.31	8.60490	23.2332	76.4976	3.81	11.40092	30.7825	101.355
3.32	8.65697	23.3738	76.9607	3.82	11.46084	30.9443	101.888
3.33	8.70920	23.5148	77.4248	3.83	11.52093	31.1065	102.422
3.34	8.76159	23.6563	77.8906	3.84	11.58117	31.2692	102.955
3.35	8.81413	23.7982	78.3573	3.85	11.64156	31.4322	103.488
3.36	8.86683	23.9404	78.8259	3.86	11.70212	31.5957	104.031
3.37	8.91969	24.0832	79.2961	3.87	11.76283	31.7596	104.573
3.38	8.97270	24.2263	79.7673	3.88	11.82370	31.9240	105.115
3.39	9.02587	24.3699	80.2403	3.89	11.88472	32.0887	105.658
3.40	9.07920	24.5138	80.7141	3.90	11.94591	32.2540	106.200
3.41	9.13269	24.6583	81.1897	3.91	12.00725	32.4196	106.742
3.42	9.18633	24.8031	81.6662	3.92	12.06874	32.5856	107.293
3.43	9.24013	24.9484	82.1445	3.93	12.13040	32.7521	107.836
3.44	9.29409	25.0940	82.6245	3.94	12.19221	32.9190	108.387
3.45	9.34820	25.2401	83.1055	3.95	12.25417	33.0863	108.938
3.46	9.40247	25.3867	83.5882	3.96	12.31630	33.2540	109.489
3.47	9.45690	25.5336	84.0718	3.97	12.37858	33.4222	110.049
3.48	9.51149	25.6810	84.5572	3.98	12.44102	33.5908	110.600
3.49	9.56623	25.8288	85.0435	3.99	12.50362	33.7598	111.161

表 1-2-39 直径 4.00~5.00mm 的圆单线规格重量

直径 /mm	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	铝线及铝合金 线单位长度重 量/(kg/km)	铜线单位长度 重 量 /(kg/km)	直径 /mm	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	铝线及铝合金 线单位长度重 量/(kg/km)	铜线单位长度 重 量 /(kg/km)
4.00	12.56637	33.9292	111.712	4.51	15.97508	43.1327	142.018
4.01	12.69228	34.0991	112.272	4.52	16.04600	43.3242	142.649
4.02	12.69235	34.2694	112.832	4.53	16.11708	43.5161	143.280
4.03	12.75557	34.4400	113.401	4.54	16.18831	43.7084	143.911
4.04	12.81895	34.6112	113.961	4.55	16.25971	43.9012	144.551
4.05	12.88249	34.7827	114.521	4.56	16.33126	44.0944	145.183
4.06	12.94619	34.9547	115.090	4.57	16.40296	44.2880	145.823
4.07	13.01004	35.1271	115.659	4.58	16.47483	44.4820	146.463
4.08	13.07405	35.2999	116.228	4.59	16.54685	44.6765	147.103
4.09	13.13822	35.4732	116.797	4.60	16.61903	44.8714	147.743
4.10	13.20254	35.6469	117.366	4.61	16.69136	45.0667	148.383
4.11	13.26702	35.8210	117.944	4.62	16.76385	45.2624	149.032
4.12	13.33166	35.9955	118.521	4.63	16.83650	45.4586	149.672
4.13	13.39646	36.1704	119.090	4.64	16.90931	45.6551	150.321
4.14	13.46141	36.3458	119.668	4.65	16.98227	45.8521	150.970
4.15	13.52652	36.5216	120.246	4.66	17.05539	46.0496	151.619
4.16	13.59179	36.6978	120.833	4.67	17.12867	46.2474	152.277
4.17	13.65721	36.8745	121.411	4.68	17.20210	46.4457	152.926
4.18	13.72279	37.0515	121.997	4.69	17.27570	46.6444	153.584
4.19	13.78855	37.2290	122.575	4.70	17.34945	46.8435	154.233
4.20	13.85442	37.4069	123.162	4.71	17.42335	47.0431	154.890
4.21	13.92048	37.5853	123.749	4.72	17.49741	47.2430	155.548
4.22	13.98668	37.7640	124.344	4.73	17.57163	47.4434	156.215
4.23	14.05305	37.9432	124.931	4.74	17.64601	47.6442	156.873
4.24	14.11957	38.1228	125.527	4.75	17.72055	47.8455	157.531
4.25	14.18625	38.3029	126.114	4.76	17.79524	48.0472	158.198
4.26	14.25309	38.4833	126.709	4.77	17.87009	48.2492	158.864
4.27	14.32009	38.6642	127.305	4.78	17.94509	48.4517	159.531
4.28	14.38724	38.8456	127.900	4.79	18.02025	48.6547	160.198
4.29	14.45455	39.0273	128.496	4.80	18.09557	48.8580	160.873
4.30	14.52201	39.2094	129.101	4.81	18.17105	49.0618	161.540
4.31	14.58963	39.3920	129.705	4.82	18.24668	49.2660	162.216
4.32	14.65741	39.5750	130.461	4.83	18.32248	49.4707	162.883
4.33	14.72535	39.7585	130.903	4.84	18.39842	49.6757	163.558
4.34	14.79345	39.9423	131.510	4.85	18.47453	49.8812	164.234
4.35	14.86170	40.1266	132.123	4.86	18.55079	50.0871	164.918
4.36	14.93010	40.3113	132.728	4.87	18.62721	50.2935	165.594
4.37	14.99867	40.4964	133.341	4.88	18.70379	50.5002	166.279
4.38	15.06739	40.6820	133.946	4.89	18.78052	50.7074	166.963
4.39	15.13627	40.8679	134.559	4.90	18.85741	50.9150	167.639
4.40	15.20531	41.0543	135.172	4.91	18.93446	51.1230	168.323
4.41	15.27450	41.2412	135.786	4.92	19.01166	51.3315	169.017
4.42	15.34385	41.4284	136.408	4.93	19.08902	51.5404	169.701
4.43	15.41336	41.6161	137.022	4.94	19.16654	51.7497	170.386
4.44	15.48303	41.8042	137.644	4.95	19.24422	51.9594	171.079
4.45	15.55285	41.9927	138.266	4.96	19.32205	52.1695	171.773
4.46	15.62283	42.1816	138.888	4.97	19.40004	52.3801	172.466
4.47	15.69296	42.3710	139.511	4.98	19.47819	52.5911	173.159
4.48	15.76326	42.5608	140.133	4.99	19.55649	52.8025	173.853
4.49	15.83371	42.7510	140.764	5.00	19.63495	53.0144	174.555
4.50	15.90431	42.9415	141.387				

## 2.2 架空导线用裸绞线

普通裸绞线的品种、型号及规格范围,见表 1-2-40。

目前已采用 IEC 1089 (1991)《圆线同心绞架空导线》标准中内容,编制我国国家标准 GB/T 1179—1999《圆线同心绞架空线》。

### 2.2.1 铝绞线

表 1-2-40 裸绞线的品种、型号及规格范围

产品名称	型号	规格范围/mm <sup>2</sup>	标准号
铝绞线	LJ	16~800	GB/T 1179-1999
热处理铝镁硅合金绞线	LHA1J	10~1000	GB 9329
热处理铝镁硅稀土合金绞线	LHA2J	10~1000	GB 9329
硬铜绞线	TJ	16~400	沪 Q/JB 1281
铝包钢绞线	GLJ	7~167	
钢芯铝绞线	LGJ	10~800	GB/T 1179—1999
防腐钢芯铝绞线	LGJF	10~800	GB/T 1179—1999
钢芯热处理铝镁硅合金绞线	LHA1GJ	10~1000	GB 9329
钢芯热处理铝镁硅稀土合金绞线	LHA2GJ	10~1000	
轻防腐钢芯热处理铝镁硅合金绞线	LHA1GJF1	10~1000	GB 9329
轻防腐钢芯热处理铝镁硅稀土合金绞线	LHA2GJF1	10~1000	GB 9329
中防腐钢芯热处理铝镁硅合金绞线	LHA1GJF2	10~1000	
中防腐钢芯热处理铝镁硅稀土合金绞线	LHA2GJF2	10~1000	
钢芯铝包钢绞线	GLGJ	140~210	

铝绞线由符合 GB 3955《圆铝线》中 LY9 型硬圆铝线绞制而成。其截面如图 1-2-2 所示。

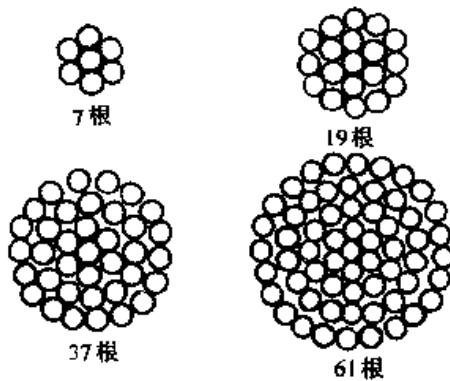


图 1-2-2 铝绞线截面图

铝绞线的强度较小,不能承受较大的外力,主要用于档距不大、受力较小的配电线路。铝绞线的规格范围为 16~800mm<sup>2</sup>。根据特种需要,可制造 1500mm<sup>2</sup> 及以下的铝绞线。

1. 规格尺寸及主要技术参数 铝绞线的规格尺寸、力学和电性能,以及 70~90℃ 的载流量见表 1-2-41。铝绞线的长期使用温度应不超过

80℃。载流量的计算参见本篇 3.2.8 节。

2. 绞合节径比 绞合节径比为绞合节距与绞线外径之比,其值见表 1-2-42。任一绞层的节径比应不大于相邻内层的节径比。相邻层的绞向应相反,最外层为右向。

3. 焊接 7 股铝绞线中的任何一根圆铝线,均不允许焊接,7 股以上铝绞线中的圆铝线允许焊接,但成品绞线上任何两接头间的距离,应不小于 15m。

电阻对焊的接头应退火,退火长度每侧至少为 200mm。接头处应光滑圆整。接头处的抗拉强度应不小于 75MPa。冷焊及冷镦焊接头的抗拉强度应不小于 130MPa。

4. 计算用的物理参数 (表 1-2-43)

### 2.2.2 铝合金绞线

铝合金绞线由符合 JB/T 8134 的铝合金圆线绞制而成。其结构与铝绞线相同,规格范围为 10~1000mm<sup>2</sup>。如有特殊需要,可制造 1250mm<sup>2</sup> 及以下的铝合金绞线,可代替一部分铝绞线或钢芯铝绞线用于架空输电线路路上。相同截面的铝合

表 1-2-41 LJ 型铝绞线的结构尺寸及主要技术参数

标称截面积 /mm <sup>2</sup>	结构与直径 / (根/mm)	外 径 /mm	直流电阻 (20℃) / (Ω/km) ≤	计算拉断力 /kN	单位长度重量 / (kg/km)	计算载流量 <sup>①</sup> /A		
						70℃	80℃	90℃
16	7/1.70	5.10	1.802	2.840	43.5	84	100	112
25	7/2.15	6.45	1.127	4.355	69.6	112	133	151
35	7/2.50	7.50	0.8332	5.760	94.1	135	161	183
50	7/3.00	9.00	0.5786	7.93	135.5	168	202	230
70	7/3.60	10.80	0.4018	10.95	195.1	210	253	289
95	7/4.16	12.48	0.3009	14.15	260.5	250	304	347
120	19/2.85	14.25	0.2373	19.42	333.5	289	353	405
150	19/3.15	15.75	0.1943	23.31	407.4	327	400	460
185	19/3.50	17.50	0.1574	28.44	503.0	371	456	526
210	19/3.75	18.75	0.1371	32.26	577.4	403	497	574
240	19/4.00	20.00	0.1205	36.26	656.9	435	538	622
300	37/3.20	22.40	0.09689	46.85	820.4	496	617	715
400	37/3.70	25.90	0.07247	61.15	1097	588	738	859
500	37/4.16	29.12	0.05733	76.37	1387	674	852	995
630	61/3.63	32.67	0.04577	91.94	1744	768	977	1145
800	61/4.10	35.90	0.03588	115.90	2225	830	1129	1328

① 载流量计算条件为：环境温度 40℃，风速 0.5m/s，日照强度 1000W/m<sup>2</sup>，辐射系数 0.9，吸热系数 0.9。

表 1-2-42 铝绞线的绞合节径比

单线根数	节 径 比							
	6 根层		12 根层		18 根层		24 根层	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
7	10	14	—	—	—	—	—	—
19	10	16	10	14	—	—	—	—
37	10	17	10	16	10	14	—	—
61	10	17	10	16	10	15	10	14

表 1-2-43 铝绞线及铝合金绞线的物理参数

单线根数	弹性模量 /MPa	线胀系数 / (10 <sup>-6</sup> · °C <sup>-1</sup> )	电阻温度系数/°C <sup>-1</sup>	
			LJ	LHJ
7	59000	23.0	0.00403	0.0036
19	56000	23.0	0.00403	0.0036
37	56000	23.0	0.00403	0.0036
61	54000	23.0	0.00403	0.0036

金绞线与单层铝线的钢芯铝绞线相比,其交流电阻较小,故尤其适合于农村电力网上的架空导线。铝合金绞线有两种:一种为 LHA1J 型热处理铝镁

硅合金绞线;另一种为 LHA2J 型热处理铝镁硅稀土合金绞线。

1. 规格尺寸及主要技术参数 (表 1-2-44)

表 1-2-44 LHA1J、LHA2J 型铝合金绞线的结构尺寸及主要技术参数

标称截面积 /mm <sup>2</sup>	结构与直径 / (根/mm)	外 径 /mm	直流电阻 (20℃) / (Ω/km) ≤	计算拉断力 /kN	单位长度重量 / (kg/km)	计算载流量 <sup>①</sup> /A		
						70℃	80℃	90℃
10	7/1.35	4.05	3.31596	2.80	27.4	59	70	79
16	7/1.71	5.13	2.06673	4.49	44.0	79	94	106
25	7/2.13	6.39	1.33204	6.97	68.2	104	124	140
35	7/2.52	7.56	0.95165	9.75	95.5	127	152	173
50	7/3.02	9.06	0.66262	14.00	137.1	159	191	218
70	7/3.57	10.71	0.47418	19.57	191.6	195	235	269
95	7/4.16	12.48	0.34921	26.57	260.2	234	285	326
120	19/2.84	14.20	0.27745	33.62	330.9	270	330	379
150	19/3.17	15.85	0.22269	41.88	412.2	308	378	436
185	19/3.52	17.60	0.18061	51.64	508.3	350	431	497
210	19/3.75	18.75	0.15913	58.61	576.8	377	466	539
240	19/4.01	20.05	0.13917	67.02	659.6	409	507	587
300	37/3.21	22.47	0.11181	83.63	825.2	466	581	675
400	37/3.71	25.97	0.08370	111.71	1102.3	553	695	810
500	37/4.15	29.05	0.06689	139.78	1379.2	631	798	933
630	61/3.63	32.67	0.05310	176.32	1742.2	721	919	1078
800	61/4.09	36.81	0.04183	223.84	2211.7	826	1061	1249
1000	61/4.59	41.13	0.03351	279.46	2761.3	933	1209	1429

① 载流量计算条件: 环境温度为 40℃, 风速为 0.5m/s, 日照强度为 1000W/m<sup>2</sup>, 辐射系数为 0.9, 吸热系数为 0.9。

2. 绞合节径比

- 内层 10~16 倍;
- 邻外层 10~15 倍;
- 最外层 10~14 倍。

任何一层的节径比应不大于相邻内层的节径比。相邻层的绞向应相反, 最外层为右向。

3. 焊接 7 股铝合金绞线中的任何一根铝合金圆线均不允许焊接。7 股以上的铝合金绞线, 其外层圆单线不允许焊接。内层的圆单线允许焊接。但任何两个接头的距离应不小于 15m。

7 股以上的铝合金绞线, 在绞制过程中如因意外原因(非短线或明显的质量问题)导致外层股线断线时, 允许焊接, 但外层单线的接头总数不得

超过 2 个。接头的抗拉强度应不小于 130MPa。

4. 计算用的物理参数 (表 1-2-43)。

2.2.3 硬铜绞线

硬铜绞线由符合 GB3953 的硬圆铜线绞制而成, 主要用作架空导线。其载流能力及机械强度均较好。但目前大部分已由铝绞线及钢芯铝绞线代用。硬铜绞线的规格范围为 16~400mm<sup>2</sup>。

1. 规格尺寸及主要技术参数表 1-2-45。

2. 绞制节径比 相邻层的绞向应相反, 最外层为右向, 相邻层的外层节径比应小于内层的。节径比规定如下:

- 内层 11~17 倍
- 最外层 10~13 倍

表 1-2-45 TJ 型硬铜绞线的规格尺寸及主要技术参数

标称截面 /mm <sup>2</sup>	结构与直径 /(根/mm)	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	外径 /mm	直流电阻 (20℃) ( $\Omega$ /km) $\leq$	计算拉断力 /kN	单位长度 重量 /(kg/km)	制造长度 /m
16	7/1.70	15.89	5.10	1.146	5.76	143.3	4000
25	7/2.12	24.71	6.36	0.7293	8.87	222.8	3000
35	7/2.50	34.36	7.50	0.5245	12.22	309.8	2500
50	7/3.00	49.48	9.00	0.3642	17.32	446.1	2000
70	19/2.12	67.07	10.60	0.2706	24.08	604.7	1500
95	19/2.50	93.27	12.50	0.1943	33.16	840.9	1200
120	19/2.80	116.99	14.00	0.1549	41.17	1055	1000
150	19/3.15	148.07	15.75	0.1224	51.71	1335	800
185	37/2.50	181.62	17.50	0.1000	64.57	1651	800
240	37/2.85	236.04	19.95	0.0770	83.06	2145	800
300	37/3.15	288.35	22.05	0.0630	100.7	2621	600
400	61/2.85	389.14	25.65	0.0467	136.9	3541	600

3. 焊接 绞线中的圆铜单线允许焊接,焊接处应圆整。焊接区的抗拉强度应不小于196MPa;任何两个接头间的距离,外层不小于15m,内层不小于5m。同一根上两个接头的距离应不小于15m。

#### 2.2.4 铝包钢绞线

铝包钢绞线的强度较高,耐腐蚀性能较好,可用作一般的大跨越导线,良导体的通信、避雷线,电气化铁路用线。因其具有损耗小、频率特性均匀、杂音电平较低、能合理选择增音区长度和通信费用较小等优点,所以常用作通信、避雷线。

1. 规格尺寸及主要技术参数(表1-2-46)

2. 绞制节径比(表1-2-47)

3. 绞线强度 由3根单线构成的铝包钢绞线,其计算拉断力等于全部铝包钢单线拉断力总和的95%。由7、19及37根单线构成的铝包钢绞线,其计算拉断力等于全部单线拉断力总和的90%。在适当的拉力试验机上的试验结果,应不小于计算拉断力的90%(产品标准中没有规定总拉断力试验)。

#### 2.2.5 钢芯铝绞线

钢芯铝绞线由硬圆铝线及镀锌钢线(或镀铝锌钢线)组合绞制而成。规格尺寸用标称的铝截面/标称的钢截面表示。它是输配电线路上最常用的

一种导线。钢芯铝绞线的用量正随着电力事业的发展而逐年增加。我国每年的用量约25万t。除普通的钢芯铝绞线外,还有防腐钢芯铝绞线。仅在钢芯上涂防腐涂料的,称为轻防腐钢芯铝绞线。在钢芯及内部各层铝线上涂防腐涂料的,称为中防腐钢芯铝绞线。在外层铝线上也涂上防腐涂料的称为重防腐钢芯铝绞线,如图1-2-3所示。防腐钢芯铝绞线主要用在沿海及化工等对导线有严重腐蚀性气氛的地区。可提高导线的使用寿命。

钢芯铝绞线中钢截面与铝截面之比的百分数,称为钢比(steel ratio)。钢比愈大,导线的强度愈高。它可用在线路的大档距上或用作线路的架空地线。在近代电网中,超高压线路均采用分裂导线,使导线在线路建设投资中的比例大增。因此选用合理的导线结构(例如钢比为7的导线),能有效地节约线路投资,是降低线路造价的有效措施。

另外,钢芯铝绞线的结构还对导线的电性能产生影响。单层铝线的交流电阻最大,3层铝线的次之。偶数层铝线的交流电阻最小。所以钢芯铝绞线的设计,要全面地综合考虑。我国已能生产1400mm<sup>2</sup>的钢芯铝绞线,主要用作500kV变电所的软母线,外径为51mm。

1. 规格尺寸及主要技术参数(表1-2-48)

表 1-2-46 铝包钢绞线的规格尺寸及主要技术参数

结构与直径 (根/mm)	计算截面积/mm <sup>2</sup>		外径 /mm	计算 拉断力 /kN	直流电阻 (20℃) /(Ω/km)	单位长度 重量 (kg/km)	表盘标准		
	GLJ	铝					长度 /m	重量 /kg	线盘尺寸 /cm
3/2.75	17.82	6.93	5.92	13.7	3.43	104	5000	520	100
3/3.00	21.21	7.64	6.46	17.1	3.04	127	4000	520	100
3/3.25	24.89	8.34	7.00	20.6	2.72	153	3400	520	100
3/3.50	28.63	9.05	7.54	24.5	2.45	180	2800	520	100
3/3.75	33.13	9.76	8.08	28.8	2.22	210	2500	520	100
7/2.75	41.58	16.16	8.25	30.4	1.48	245	2100	520	100
7/3.00	49.48	17.82	9.00	37.7	1.31	298	4000	1200	120
7/3.25	58.07	19.74	9.75	45.6	1.17	358	3300	1200	120
7/3.50	67.35	21.11	10.50	54.3	1.05	422	2800	1200	120
7/3.75	77.31	22.76	11.25	63.8	0.950	492	2400	1200	120
7/4.00	87.96	24.41	12.00	74.1	0.872	568	2100	1200	120
7/4.25	99.30	26.06	12.75	85.2	0.799	649	1850	1200	120
19/2.75	112.86	43.87	13.75	83.7	0.547	667	1800	1200	120
19/3.00	134.31	48.36	15.00	102.1	0.484	814	2060	1680	140
19/3.25	157.62	52.84	16.25	123.8	0.433	975	1720	1680	140
19/3.50	182.80	57.30	17.50	147.4	0.390	1151	1450	1680	140
19/3.75	209.85	61.79	18.75	173.2	0.354	1343	1250	1680	140
19/4.00	238.76	66.25	20.00	201.2	0.323	1548	1650	2550	160
19/4.25	269.54	70.74	21.25	231.2	0.296	1769	1440	2550	160

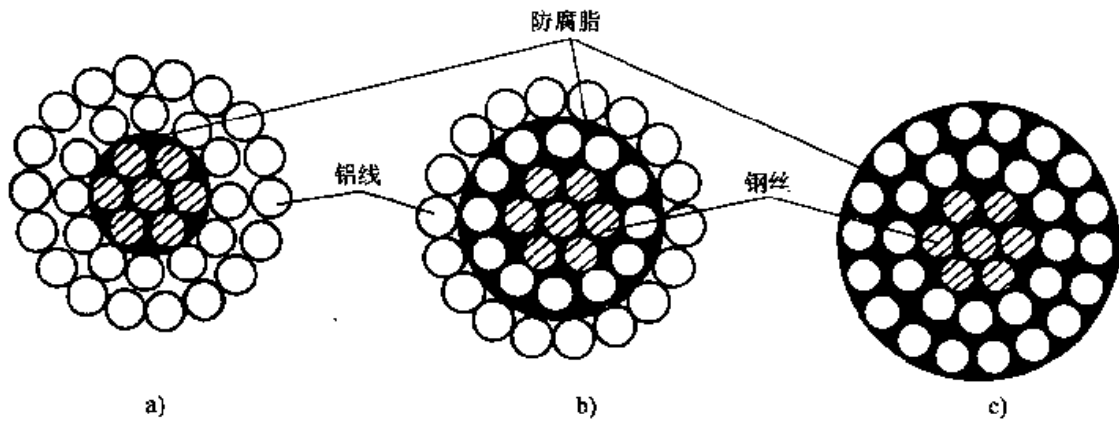


图 1-2-3 防腐钢芯铝绞线

a) 轻防腐 b) 中防腐 c) 重防腐

表 1-2-47 铝包钢绞线的绞制节径比

结构 (单线根数)	节 径 比		
	推 荐 值	最 小	最 大
3	16.5	14	20
7、19、37	13.5	10	16

表 1-2-48 LGJ 钢芯铝绞线的规格尺寸及主要技术参数

标称截面 /mm <sup>2</sup> (铝/钢)	结构与直径 /(根/mm)		计算截面 /mm <sup>2</sup>			外径 /mm	直流电阻 /(Ω/km) ≤	计算 拉断力 /kN	单位长度 重量 /(kg/km)	交货长度 /m ≥
	铝	钢	铝	钢	总计					
10/2	6/1.50	1/1.50	10.6	1.77	12.37	4.50	2.706	4.12	42.9	3000
16/3	6/1.85	1/1.85	16.3	2.69	18.82	5.55	1.779	6.13	65.2	3000
25/4	6/2.32	1/2.32	25.36	4.23	29.59	6.96	1.131	9.29	102.6	3000
35/6	6/2.72	1/2.72	34.86	5.81	40.67	8.16	0.8230	12.63	141.0	3000
50/8	6/3.20	1/3.20	48.25	8.04	56.29	9.60	0.5946	16.87	195.1	2000
50/30	12/2.32	7/2.32	50.73	29.59	80.32	11.60	0.5692	42.62	372.0	3000
70/10	6/3.80	1/3.80	68.05	11.34	79.39	11.40	0.4217	23.39	275.2	2000
70/40	12/2.72	7/2.72	69.73	40.67	110.40	13.60	0.4141	58.30	511.3	2000
95/15	26/2.15	7/1.67	94.39	15.33	109.72	13.61	0.3058	35.00	380.8	2000
95/20	7/4.16	7/1.85	95.14	18.82	113.96	13.87	0.3019	37.20	408.9	2000
95/55	12/3.20	7/3.20	96.51	56.30	152.81	16.00	0.2992	78.11	707.7	2000
120/7	18/2.90	1/2.90	118.89	6.61	125.50	14.50	0.2422	27.57	379.3	2000
120/20	26/2.38	7/1.85	115.67	18.82	134.49	15.07	0.2496	41.00	466.8	2000
120/25	7/4.72	7/2.10	122.48	24.25	146.73	15.74	0.2345	47.88	526.6	2000
120/70	12/3.60	7/3.60	122.15	71.25	193.40	18.00	0.2364	98.37	895.6	2000
150/8	18/3.20	1/3.20	144.76	8.04	152.80	16.00	0.1989	32.86	461.4	2000
150/20	24/2.78	7/1.85	145.68	18.82	164.50	16.67	0.1980	46.63	549.4	
150/25	26/2.70	7/2.10	148.86	24.25	173.11	17.10	0.1939	54.11	601.0	2000
150/35	30/2.50	7/2.50	147.26	34.35	181.62	17.50	0.1962	65.02	676.2	2000
185/10	18/3.60	1/3.60	183.22	10.18	193.40	18.00	0.1572	40.88	584.0	2000
185/25	24/3.15	7/2.10	187.04	24.25	211.29	18.90	0.1542	59.42	706.1	2000
185/30	26/2.98	7/2.32	181.34	29.59	210.93	18.88	0.1592	64.32	732.6	2000
185/45	30/2.80	7/2.80	184.73	43.10	227.83	19.60	0.1564	80.19	848.2	2000
210/10	18/3.80	1/3.80	204.14	11.34	215.48	19.00	0.1411	45.14	650.7	2000
210/25	24/3.33	7/2.22	209.02	27.10	236.12	19.98	0.1380	65.99	789.1	2000



(续)

标称截面 /mm <sup>2</sup> (铝/钢)	结构与直径 /(根/mm)		计算截面 /mm <sup>2</sup>			外径 /mm	直流电阻 /(Ω/km) ≤	计算 拉断力 /kN	单位长度 重量 /(kg/km)	交货长度 /m ≥
	铝	钢	铝	钢	总计					
210/35	26/3.22	7/2.50	211.73	34.36	246.09	20.38	0.1363	74.25	853.9	2000
210/50	30/2.98	7/2.98	209.24	48.82	258.06	20.86	0.1381	90.83	960.8	2000
240/30	24/3.60	7/2.40	244.29	31.67	275.96	21.60	0.1181	75.62	922.2	2000
240/40	36/3.42	7/2.66	238.85	38.90	277.75	21.66	0.1209	83.37	964.3	2000
240/55	30/3.20	7/3.20	241.27	56.30	297.57	22.40	0.1198	102.10	1108	2000
300/15	42/3.00	7/1.67	296.88	15.33	312.21	23.01	0.09724	68.06	939.8	2000
300/20	45/2.93	7/1.95	303.42	20.91	324.33	23.43	0.09520	75.68	1002	2000
300/25	48/2.85	7/2.22	306.21	27.10	333.31	23.76	0.09433	83.41	1058	2000
300/40	24/3.99	7/2.66	300.09	38.90	338.99	23.94	0.09614	92.22	1133	2000
300/50	26/3.83	7/2.98	299.54	48.82	348.36	24.26	0.09636	103.40	1201	2000
300/70	30/3.60	7/3.60	305.36	71.25	376.61	25.20	0.09463	128.00	1402	2000
400/20	42/3.51	7/1.95	406.40	20.91	427.31	26.91	0.07104	88.85	1286	1500
400/25	45/3.33	7/2.22	391.91	27.10	419.01	26.64	0.07370	95.94	1295	1500
400/35	48/3.22	7/2.50	390.88	34.36	425.24	26.82	0.07389	103.90	1349	1500
400/50	54/3.07	7/3.07	399.73	51.82	451.55	27.63	0.07232	123.40	1511	1500
400/65	26/4.42	7/3.44	398.94	65.06	464.00	28.00	0.07236	135.20	1611	1500
400/95	30/4.16	19/2.50	407.75	93.27	501.02	29.14	0.07087	171.30	1860	1500
500/35	45/3.75	7/2.50	497.01	34.36	531.37	30.00	0.05812	119.50	1642	1500
500/45	48/3.60	7/2.80	488.58	43.10	531.68	30.00	0.05912	128.10	1688	1500
500/65	54/3.44	7/3.44	501.88	65.06	566.94	30.96	0.05760	154.00	1897	1500
630/45	45/4.20	7/2.80	623.45	43.10	666.55	33.60	0.04633	148.70	2060	1200
630/55	48/4.12	7/3.20	639.92	56.30	696.22	34.32	0.04514	164.40	2209	1200
630/80	54/3.87	19/2.32	635.19	80.32	715.51	34.82	0.04551	192.90	2388	1200
800/55	45/4.80	7/3.20	814.30	56.30	870.60	38.40	0.03547	191.50	2690	1000
800/70	48/4.63	7/3.60	808.15	71.25	879.40	38.58	0.03574	207.00	2791	1000
800/100	54/4.33	19/2.60	795.17	100.88	896.05	38.98	0.03635	241.10	2991	1000

祖国万岁上传

表 1-2-48 中的计算重量是按无涂料计算的。对于轻防腐、中防腐及重防腐钢芯铝绞线的重量，应再加上相应防腐涂料的重量（可根据不同的导线结构，按式（1-2-6）计算）

$$M_g = K_1 d_n^2 \quad (1-2-6)$$

式中  $K_1$ ——涂料重量系数，见表 1-2-49；

$d_n$ ——铝单线直径（mm）；

$M_g$ ——涂料重量（kg/km）。

2. 物理参数及载流量（表 1-2-50）

3. 材料 圆铝线应符合 GB 3955《圆铝线》中 LY9 型硬圆铝线的规定。

镀锌钢丝应符合 GB 3428 的规定。

防腐涂料应呈中性，滴点应不低于 110℃，且具有耐气候性能。

4. 绞合节径比的规定（表 1-2-51）

任何一绞层的节径比，应不大于其相邻内层的节径比。相邻层的绞向应相反。最外层铝线的绞向应为右向。

表 1-2-49 防腐涂料重量系数

结构/根		轻防腐	中防腐	重防腐
铝	钢	$K_1$	$K_2$	$K_3$
6	1	-		0.96
18	1	-	0.96	2.87
22	7	0.3	1.57	3.81
26	7	0.58	2.17	4.72
30	7	0.96	2.87	5.74
45	7	0.43	4.25	7.60
54	7	0.96	5.74	9.57
54	19	1.03	5.82	9.64
72	7	0.43	7.60	11.90
72	19	0.46	7.63	11.94
84	7	0.96	9.57	14.35
84	19	1.03	9.64	14.43

表 1-2-50 钢芯铝绞线的物理参数及载流量

标称截面积/mm <sup>2</sup> (铝/钢)	弹性模量 /GPa	线胀系数 /10 <sup>-6</sup> °C	计算载流量 <sup>①</sup> /A		
			70℃	80℃	90℃
10/2	79.0	19.0	66	78	87
16/3	79.0	19.1	85	100	113
25/4	79.0	19.1	111	131	149
35/6	79.0	19.1	134	158	180
50/8	79.0	19.1	161	191	218
50/30	105.0	15.3	166	195	218
70/10	79.0	19.1	194	232	266
70/40	105.0	15.3	196	230	257
95/15	76.0	18.9	252	306	351
95/20	76.0	18.5	233	277	319
95/55	105.0	15.3	230	270	301
120/7	66.0	21.2	287	350	401
120/20	76.0	18.9	285	348	399
120/25	76.0	18.5	265	315	365
120/70	105.0	15.3	258	301	335
150/8	66.0	21.2	323	395	454
150/20	73.0	19.6	326	400	461
150/25	76.0	18.9	331	407	469

(续)

标称截面积/mm <sup>2</sup> (铝/钢)	弹性模量 /GPa	线胀系数 /10 <sup>-6</sup> ℃ <sup>-1</sup>	计算载流量 <sup>①</sup> /A		
			70℃	80℃	90℃
150/35	80.0	17.8	331	407	469
185/10	66.0	21.2	372	458	528
185/25	73.0	19.6	379	468	540
185/30	76.0	18.9	373	460	531
185/45	80.0	17.8	379	469	541
210/10	66.0	21.2	397	490	565
210/25	73.0	19.6	405	501	579
210/35	76.0	18.9	409	507	586
210/50	80.0	17.8	409	507	586
240/30	73.0	19.6	445	552	639
240/40	76.0	18.9	440	546	633
240/55	80.0	17.8	445	554	641
300/15	61.0	21.4	495	615	711
300/20	63.0	20.9	502	624	722
300/25	65.0	20.5	505	628	726
300/40	73.0	19.6	503	628	728
300/50	76.0	18.9	504	629	730
300/70	80.0	17.8	512	641	745
400/20	61.0	21.4	595	746	864
400/25	63.0	20.9	584	730	845
400/35	65.0	20.5	583	729	844
400/50	69.0	19.3	592	741	857
400/65	76.0	18.9	597	752	876
400/95	80.0	17.8	608	767	895
500/35	63.0	20.9	670	842	977
500/45	65.0	20.5	664	834	967
500/65	69.0	19.3	667	850	983
630/45	63.0	20.9	763	964	1120
630/55	65.0	20.5	775	979	1136
630/80	67.0	19.4	774	977	1131
800/55	63.0	20.9	887	1126	1310
800/70	65.0	20.5	884	1121	1301
800/100	67.0	19.4	878	1113	1288

① 载流量计算条件：环境温度40℃，风速0.5m/s，辐射系数0.9，吸热系数0.9，日照强度1000W/m<sup>2</sup>。

祖国万岁上传

表 1-2-51 钢芯铝绞线绞合节径比

结构元件	绞层	节径比	
		最小	最大
钢芯	6根层	13 (16)	28 (26)
	12根层	12 (14)	24 (22)
铝芯	内层	10	17 (16)
	邻外层	10	16
	外层	10	14

注：表中括号中的数字为 IEC1089 的规定。

5. 焊接 绞线用镀锌钢丝不允许有任何种类的接头。

绞制中的铝线允许有接头。但绞线上任何两接头间的距离应不小于 15m。

按照 IEC 的新规定，在绞制过程中因意外原因（非短线或铝线固有的缺陷）导致铝线断线时，允许焊接。电阻焊接头的两侧各 250mm 应退火，接头区的抗拉强度应不小于 75MPa。对于冷压焊

及电阻冷铆焊接头，其抗拉强度应不小于 130MPa。单层铝线的绞线，总接头数应不超过 2 个。2 层铝线的应不超过 3 个接头。3 层铝线的应不超过 4 个接头。

2.2.6 钢芯铝合金绞线

由铝合金圆线和镀锌钢丝组合绞制而成。由于铝合金线的强度较高，伸长率较大，所以其机械过载能力也较大。它可用作大档距导线、重冰区的导线或架空通信、避雷线。铝合金绞线的规格范围为 10~1000mm<sup>2</sup>，连续使用温度可达 90℃。耐热铝合金绞线的使用温度可达 150℃ 及以上，可提高载流能力。

在沿海地区或有腐蚀性气氛的工业地区，为了提高导线的使用寿命，可采用防腐钢芯铝合金绞线。防腐钢芯铝合金绞线，又有轻防腐、中防腐和重防腐三种。重防腐导线很少使用，铝合金圆线应符合 JB/T 8134 的规定。

1. 规格尺寸及主要技术参数（表 1-2-52）

2. 物理参数及载流量（表 1-2-53）

表 1-2-52 钢芯铝合金绞线的规格尺寸及主要技术参数

标称截面 /mm <sup>2</sup> (铝合金/钢)	结构与直径 (根/mm)		计算截面 /mm <sup>2</sup>		直径 /mm	直流电阻 (20℃) /(Ω/km) ≤	计算 拉断力 /kN	单位长度 质量 /(kg/km)	交货长度 /m ≥
	铝合金	钢	铝合金	钢					
10/2	6/1.50	1/1.50	10.60	1.76	4.50	3.14026	5.18	42.8	3000
16/3	6/1.85	1/1.85	16.12	2.68	5.55	2.06445	7.89	65.1	3000
25/4	6/2.32	1/2.32	25.36	4.22	6.96	1.31272	12.26	102.4	3000
35/6	6/2.72	1/2.72	34.86	5.81	8.16	0.95501	16.86	140.7	3000
50/8	6/3.20	1/3.20	48.25	8.04	9.60	0.68999	23.05	194.8	2000
50/30	12/2.32	7/2.32	50.72	29.59	11.60	0.66059	48.58	371.1	3000
70/10	6/3.80	1/3.80	68.04	11.34	11.40	0.48930	32.51	274.7	2000
70/40	12/2.72	7/2.72	69.72	40.67	13.60	0.48058	66.78	510.1	2000
95/15	26/2.15	7/1.67	94.39	15.33	13.61	0.35508	45.72	38.02	2000
95/55	12/3.20	7/3.20	96.50	56.29	16.00	0.34722	90.46	706.0	2000
120/7	18/2.90	1/2.90	118.89	6.60	14.50	0.28114	42.47	378.5	2000
120/20	26/2.38	7/1.85	115.66	18.81	15.07	0.28977	56.05	466.1	2000
120/70	12/3.60	7/3.60	122.14	71.25	18.00	0.27435	114.50	893.6	2000
150/8	18/3.20	1/3.20	144.76	8.04	16.00	0.23090	51.43	460.9	2000
150/25	26/2.70	7/2.10	148.86	24.24	17.10	0.22515	72.18	600.1	2000

(续)

标称截面 /mm <sup>2</sup> (铝合金/钢)	结构与直径 (根/mm)		计算截面 /mm <sup>2</sup>		直径 /mm	直流电阻 (20℃) /(Ω/km) ≤	计算 拉断力 /kN	单位长度 质量 /(kg/km)	交货长度 /m ≥
	铝合金	钢	铝合金	钢					
185/10	18/3.60	1/3.60	183.21	10.17	18.00	0.18244	65.09	583.3	2000
185/30	26/2.98	7/2.32	181.34	29.59	18.88	0.18483	86.98	731.5	2000
210/10	18/3.80	1/3.80	204.14	11.34	19.00	0.16374	72.52	649.9	2000
210/35	26/3.22	7/2.50	211.72	34.36	20.38	0.15830	101.35	852.5	2000
240/30	24/3.60	7/2.40	244.29	31.66	21.60	0.13712	107.85	921.0	2000
240/40	26/3.42	7/2.66	238.84	38.90	21.66	0.14033	114.48	962.9	2000
300/20	45/2.93	7/1.95	303.41	20.90	23.43	0.11054	113.70	1001.0	2000
300/50	26/3.83	7/2.98	299.54	48.82	24.26	0.11189	143.62	1207.9	2000
300/70	30/3.60	7/3.60	305.36	71.25	25.20	0.10987	168.36	1400.0	2000
400/25	45/3.33	7/2.22	391.91	27.09	26.64	0.08558	146.97	1293.7	1500
400/50	54/3.07	7/3.07	399.72	51.81	27.63	0.08399	174.67	1509.6	1500
400/95	30/4.16	19/2.50	407.75	93.26	29.14	0.08228	226.01	1857.4	1500
500/35	45/3.75	7/2.50	497.00	34.36	30.00	0.06748	185.22	1640.6	1500
500/65	54/3.44	7/3.44	501.88	65.05	30.96	0.06689	219.31	1895.4	1500
630/45	45/4.20	7/2.80	623.44	43.10	33.60	0.05379	232.34	2058.0	1200
630/80	54/3.87	19/2.32	635.19	80.31	34.82	0.05285	278.14	2385.2	1200
800/55	45/4.80	7/3.20	814.30	56.29	38.40	0.04118	301.50	2688.1	1000
800/100	54/4.33	19/2.60	795.16	100.87	38.98	0.04222	348.57	2988.5	1000
1000/45	72/4.21	7/2.80	1002.27	43.10	42.08	0.03348	343.71	3105.9	1000
1000/125	54/4.84	19/2.90	993.51	125.49	43.54	0.03379	434.91	3729.8	1000

注：1. 计算重量不包括防腐涂料。

2. 防腐钢芯铝合金绞线的涂料单位长度重量参见式 (1-2-6)。

表 1-2-53 钢芯铝合金绞线的物理参数及载流量

标称截面/mm <sup>2</sup> (铝合金/钢)	弹性模量 /GPa	线胀系数 10 <sup>-6</sup> ℃ <sup>-1</sup>	计算载流量/A		
			70℃	80℃	90℃
1	2	3	4	5	6
10/2	79.00	19.1	62	73	83
16/3	79.00	19.1	80	95	107
25/4	79.00	19.1	105	124	141
35/6	79.00	19.1	126	150	170
50/8	79.00	19.1	153	182	208
50/30	105.00	15.3	158	187	210
70/10	79.00	19.1	186	222	254
70/40	105.00	15.3	188	221	248
95/15	76.00	18.9	237	289	331

(续)

标称截面/mm <sup>2</sup> (铝合金/钢)	弹性模量 /GPa	线胀系数 /10 <sup>-6</sup> C <sup>-1</sup>	计算载流量/A		
			70 C	80 C	90 C
1	2	3	4	5	6
95/55	105.00	15.3	224	264	296
120/7	66.00	21.2	269	329	379
120/20	76.00	18.9	268	328	377
120/70	105.00	15.3	252	297	332
150/8	66.00	21.2	303	372	429
150/25	76.00	18.9	311	383	442
185/10	66.00	21.2	349	431	498
185/30	76.00	18.9	351	434	501
210/10	66.00	21.2	373	461	533
210/35	76.00	18.9	385	477	553
240/30	73.00	19.6	418	520	603
240/40	76.00	18.9	414	515	597
300/20	62.00	20.9	472	589	683
300/50	76.00	18.9	473	593	689
300/70	80.00	17.8	481	604	703
400/25	62.00	20.9	549	689	800
400/50	69.00	19.3	557	700	813
400/95	80.00	17.8	572	723	845
500/35	62.00	20.9	631	796	927
500/65	69.00	19.3	635	802	934
630/45	62.00	20.9	719	913	1054
680/80	69.00	19.3	730	926	1077
800/55	62.00	20.9	834	1067	1250
800/100	69.00	19.3	829	1058	1230
1000/45	60.00	21.5	964	1255	1481
1000/125	67.00	19.4	936	1200	1399

3. 绞合节径比的规定 (表 1-2-54)

表 1-2-54 钢芯铝合金绞线绞合节径比

结构元件	绞层	节径比	
		最小	最大
镀锌钢丝	6根层	16	26
	12根层	14	22
铝合金圆线	内层	10	16
	邻外层	10	15
	外层	10	14

任何一绞层的节径比应不大于其相邻内层的节径比。相邻层的绞向应相反。最外层为右向。

绞合前要求所有线盘上的铝合金圆线的温度应和镀锌钢丝的温度相一致, 以免绞线产生内应力。

4. 焊接 镀锌钢丝不允许有任何种类的焊接。

内层铝合金圆线允许焊接; 外层铝合金线不

允许焊接。但在绞制过程中由于意外原因导致断线时允许焊接,接头数应不超过2个。任何两个接头间的距离应不小于15m。接头处应光滑圆整,电阻对焊的接头应退火,每侧的退火长度不小于200mm。接头强度应不小于75MPa。冷压焊及电阻冷墩焊的接头强度应不小于130MPa。

### 2.2.7 钢芯铝包钢绞线

钢芯铝包钢绞线由铝包钢线及镀锌钢丝组合绞制而成,具有强度高、弧垂特性和耐腐蚀等优点,主要用作大跨越导线及地线,可降低杆塔高度、节约工程造价。20世纪60年代初,日本的四大于线大跨越导线就采用了铝截面 $170\text{mm}^2$ 的AS-170钢芯铝包钢绞线。我国建成并投运的南京长江大跨越输电线,采用了GLGJ-140/420(原型号GLGJ-38/19)导线和GLGJ-60/265(原型号

GLGJ-16/19)地线。1984年又研究开发了GLGJ-210/360、GLGJ-80/200高强度钢芯铝包钢导线和地线。钢芯铝包钢绞线的截面如图1-2-4所示。

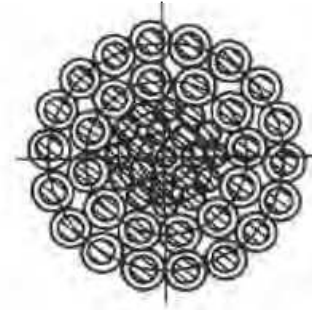


图 1-2-4 钢芯铝包钢  
绞线截面图

钢芯铝包钢绞线的主要技术参数见表 1-2-

55。

表 1-2-55 钢芯铝包钢绞线的主要技术参数

项 目	单 位	GLGJ-60/265	GLGJ-80/200	GLGJ-140/420	GLGJ-210/360	AS-170
结构 铝包钢	mm	16/3.70	14/3.85	38/3.70	36/3.90	54/3.20
钢芯	mm	19/3.20	19/2.80	19/3.20	37/2.20	37/3.20
截面 铝	$\text{mm}^2$	58.9	76.78	140.0	208.4	169.2
钢	$\text{mm}^2$	265.9	203.2	421.4	362.3	562.6
外径	mm	23.4	21.7	30.8	31.0	35.2
拉断力(平均)	kN	388	319	591	613	919
弧垂特性	km	16.6	17.4	15.3	17.64	18.06
弹性模量	GPa	149.4	136.4	136.7	130.9	—
线胀系数	$10^{-6} \text{C}^{-1}$	12.5	12.7	12.7	13.2	—
载流量 <sup>①</sup>	A	—	—	604	660	645

① 载流条件:环境温度 $40\text{C}$ ,温升 $60\text{C}$ ,风速 $0.5\text{m/s}$ ,日照 $1000\text{W/m}^2$ 。

GLGJ-210/360钢芯铝包钢绞线用作大跨越导线的长期使用温度可达 $105\text{C}$ 。不同环境温度和不同风速下的载流量,可参见图1-2-5。

### 2.2.8 圆线同心绞架空导线

国际电工委员会制订了IEC1089(1991)《圆线同心绞架空导线》标准,包括架空导线的多种产品,并从导线的绞合结构表示法中,可以查到各种导线之间的相互关系。我国已等同采用IEC1089(1991)的全部内容,并编制成新的国家标准:GB/T 1179—1999《圆线同心绞架空导线》。

IEC 1089(1991)圆线同心绞架空导线可由下列任意金属单线组成:符合IEC 889的硬铝线,代号为A1,其电阻率为 $28.264 \text{ n}\Omega \cdot \text{m}$

(对应于61% IACS)。符合IEC 104的B型铝合金线,代号为A2,其电阻率为 $32.530 \text{ n}\Omega \cdot \text{m}$ (对应于53% IACS)。符合IEC 104的A型铝合金线,代号为A3,其电阻率为 $32.840 \text{ n}\Omega \cdot \text{m}$ (对应于52.5% IACS)。符合IEC 888镀锌钢线:普通钢,代号为S1A或S1B,其中A和B为锌层的等级,分别对应于1级和2级;高强度钢,代号为S2A,或S2B;特高强度钢,代号为S3A。符合IEC 1232的铝包钢线;20SA级别,有A型和B型两种,代号分别为SA1A和SA1B;27SA级别,代号为SA2。

圆线同心绞架空导线的代号:

A1, A2, A3

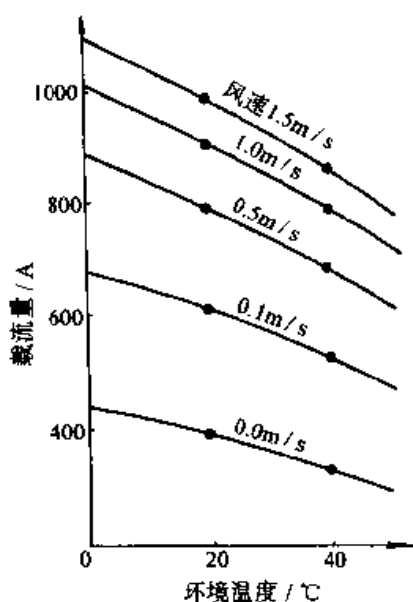


图 1-2-5 GLGJ-210/360 导线温度为 105℃ 时的载流量

A1/S1A, A1/S1B, A1/S2A, A1/S2B, A1/S3A  
 A2/S1A, A2/S1B, A2/S3A  
 A3/S1A, A3/S1B, A3/S3A  
 A1/A2, A1/A3  
 A1/SA1A, A2/SA1A, A3/SA1A  
 S1A, S1B, S2A, S3A  
 SA1A, SA1B, SA2

由同一代号单线制作的绞线称为简单绞线(如: A1、A2、S1A、SA2 等), 而且, 任何时候所提及的钢线或钢绞线, 可以是铝包钢线, 也可以是镀锌钢线(S×或SA×)。

在新的国家标准中, 圆线同心绞架空导线的代号将按我国新型号编写, 其具体代号见表 1-2-56。

圆线同心绞架空导线各种形式的具体性能, 见表 1-2-57~表 1-2-82。

表 1-2-56 圆线同心绞架空导线的代号与名称

代 号	名 称
JL	铝绞线
JLHA2, JLHA1	铝合金绞线
JL/G1A, JL/G1B, JL/G2A, JL/G2B, JL/G3	钢芯铝绞线
JFL/G1A, JFL/G2A, JFL/G3	防腐型钢芯铝绞线
JLHA2/G1A, JLHA2/G1B, JLHA2/G3	钢芯铝合金绞线
JLHA1/G1A, JLHA1/G1B, JLHA1/G3	钢芯铝合金绞线
JL/LHA2, JL/LHA1	铝合金芯铝绞线 <sup>①</sup>
JL/LB1A	铝包钢芯铝绞线
JLHA2/LB1A, JLHA1/LB1A	铝包钢芯铝合金绞线
JG1A, JG1B, JG2A, JG3	钢绞线
JLB1A, JLB1B, JLB2	铝包钢绞线

注: 表中代号在新的国家标准实施时采用。

① 个别小规格实为混绞线。

表 1-2-57 A1 导线的性能

规格号	面积 /mm <sup>2</sup>	单 线 根 数	直 径 /mm		线性重量 / (kg/km)	额定强度 /kN	直流电阻 / (Ω/km)
			单 线	绞 线			
10	10	7	1.35	4.05	27.4	1.95	2.8633
16	16	7	1.71	5.12	43.8	3.04	1.7896
25	25	7	2.13	6.40	68.4	4.50	1.1453
40	40	7	2.70	8.09	109.4	6.80	0.7158
63	63	7	3.39	10.2	172.3	10.39	0.4545
100	100	19	2.59	12.9	274.8	17.00	0.2877
125	125	19	2.89	14.5	343.6	21.25	0.2302



(续)

规格号	面积 /mm <sup>2</sup>	单线 根数	直径/mm		线性重量 /(kg/km)	额定强度 /kN	直流电阻 /(Ω/km)
			单线	绞线			
160	160	19	3.27	16.4	439.8	26.40	0.1798
200	200	19	3.66	18.3	549.7	32.00	0.1439
250	250	19	4.09	20.5	687.1	40.00	0.1151
315	315	37	3.29	23.0	867.9	51.97	0.0916
400	400	37	3.71	26.0	1102.0	64.00	0.0721
450	450	37	3.94	27.5	1239.8	72.00	0.0641
500	500	37	4.15	29.0	1377.6	80.00	0.0577
560	560	37	4.39	30.7	1542.9	89.60	0.0515
630	630	61	3.63	32.6	1738.3	100.80	0.0458
710	710	61	3.85	34.6	1959.1	113.60	0.0407
800	800	61	4.09	36.8	2207.4	123.00	0.0361
900	900	61	4.33	39.0	2483.3	144.00	0.0321
1000	1000	61	4.57	41.1	2759.2	160.00	0.0289
1120	1120	91	3.96	43.5	3093.5	179.20	0.0258
1250	1250	91	4.18	46.0	3452.6	200.00	0.0231
1400	1400	91	4.43	48.7	3866.9	224.00	0.0207
1500	1500	91	4.58	50.4	4143.1	240.00	0.0193

表 1-2-58 A2 导线的性能

规格号	面积 /mm <sup>2</sup>	单线 根数	直径/mm		线性重量 /(kg/km)	额定强度 /kN	直流电阻 /(Ω/km)
			单线	绞线			
16	18.4	7	1.83	5.49	50.4	5.43	1.7896
25	28.8	7	2.29	6.86	78.7	8.49	1.1453
40	45.0	7	2.89	8.68	125.9	13.58	0.7158
63	72.5	7	3.63	10.9	198.3	21.39	0.4545
100	115	19	2.78	13.9	316.3	33.95	0.2877
125	144	19	3.10	15.5	395.4	42.44	0.2302
160	184	19	3.51	17.6	506.1	54.32	0.1798
200	230	19	3.93	19.6	632.7	67.91	0.1439
250	288	19	4.93	22.0	790.8	84.88	0.1151
315	363	37	3.53	24.7	998.9	106.95	0.0916
400	460	37	3.98	27.9	1268.4	135.81	0.0721
450	518	37	4.22	29.6	1426.9	152.79	0.0641
500	575	37	4.45	31.2	1585.5	169.76	0.0577
560	645	61	3.67	33.0	1778.4	190.14	0.0516
630	725	61	3.89	35.0	2000.7	213.90	0.0458
710	817	61	4.13	37.2	2254.8	241.07	0.0407
800	921	61	4.38	39.5	2540.6	271.62	0.0361
900	1036	91	3.81	41.8	2861.1	305.58	0.0321
1000	1151	91	4.01	44.1	3179.0	339.53	0.0289
1120	1289	91	4.25	46.7	3560.5	380.27	0.0258
1250	1439	91	4.49	49.4	3973.7	424.41	0.0231

祖国万岁上传

表 1-2-59 A3 导线的性能

规格号	面积 /mm <sup>2</sup>	单 线 根 数	直 径 /mm		线性重量 /(kg/km)	额定强度 /kN	直流电阻 /(Ω/km)
			单 线	绞 线			
16	18.6	7	1.84	5.52	50.8	6.04	1.7896
25	29.0	7	2.30	6.90	79.5	9.44	1.1453
40	46.8	7	2.91	8.72	127.1	15.10	0.7158
63	73.2	7	3.65	10.9	200.2	23.06	0.4545
100	116	19	2.79	14.0	319.3	37.76	0.2877
125	145	19	2.12	15.6	399.2	47.20	0.2302
160	186	19	3.53	17.6	511.0	58.56	0.1798
200	232	19	3.95	19.7	638.7	73.20	0.1439
250	390	19	4.41	23.1	798.4	91.50	0.1151
315	366	37	3.55	24.8	1068.4	115.29	0.0916
400	465	37	4.00	28.0	1280.5	146.40	0.0721
450	523	37	4.24	29.7	1440.5	164.70	0.0641
500	581	37	4.47	31.3	1600.6	183.00	0.0577
560	651	61	3.69	33.2	1795.3	204.96	0.0516
630	732	51	3.91	35.2	2019.8	230.58	0.0458
710	825	61	4.15	37.3	2276.2	259.86	0.0407
800	930	61	4.40	39.6	2564.8	292.80	0.0361
900	1046	91	3.83	42.1	2888.3	320.40	0.0321
1000	1162	91	4.03	44.4	3209.3	366.00	0.0289
1120	1381	91	4.27	46.9	3594.4	409.92	0.0258

表 1-2-60 A1/S1A 导线的性能

规格号	钢 比 (%)	面积/mm <sup>2</sup>			单线根数		单线直径/mm		直径/mm		线 性 重 量 /(kg/km)	额 定 强 度 /kN	直 流 电 阻 /(Ω/km)
		铝	钢	总	铝	钢	铝	钢	线 芯	绞 线			
16	17	16	2.67	18.7	6	1	1.84	1.84	1.84	5.53	64.6	6.08	1.7934
25	17	25	4.17	29.2	6	1	2.30	2.30	2.30	6.91	100.9	9.13	1.1474
40	17	40	6.67	46.7	6	1	2.91	2.91	2.91	8.74	161.5	14.40	0.7174
63	17	63	10.5	73.5	6	1	3.66	3.66	3.66	11.0	254.4	21.63	0.4555
100	17	100	16.7	117	6	1	4.61	4.61	4.61	13.8	403.8	34.33	0.2869
125	6	125	6.94	132	18	1	2.97	2.97	2.97	14.9	397.9	29.17	0.2364
125	16	125	20.4	145	26	7	2.47	1.92	5.77	15.7	503.9	45.69	0.2320

(续)

规格号	钢比 (%)	面积/mm <sup>2</sup>			单线根数		单线直径/mm		直径/mm		线 性 重 量 /(kg/km)	额 定 强 度 /kN	直 流 电 阻 /( $\Omega$ /km)
		铝	钢	总	铝	钢	铝	钢	线 芯	绞 线			
160	6	160	8.89	169	18	1	3.36	3.36	3.36	16.8	509.3	36.18	0.1800
160	15	160	26.1	186	26	1	2.80	2.18	6.53	17.7	694.9	57.69	0.1865
200	6	200	11.1	211	18	1	3.76	3.76	3.76	18.8	646.7	44.22	0.1440
200	16	200	32.6	233	26	7	3.13	2.43	7.30	19.8	806.2	70.13	0.1444
250	10	250	24.6	275	22	7	3.80	2.11	6.34	21.6	880.6	68.72	0.1154
250	16	250	40.7	291	26	7	3.50	2.72	8.16	22.2	1007.7	87.67	0.1155
315	7	315	21.8	337	45	7	2.99	1.99	5.97	23.9	1039.6	79.03	0.0917
315	16	315	51.3	366	26	7	3.93	3.05	9.16	24.9	1269.7	106.83	0.0917
400	7	400	27.7	423	45	7	3.36	2.24	6.73	26.9	1320.1	93.36	0.0722
400	13	400	51.9	452	54	7	3.07	3.07	9.21	27.6	1510.3	123.04	0.0723
450	7	450	31.1	481	45	7	3.57	2.38	7.14	28.5	1485.2	107.47	0.0642
450	13	450	58.3	508	54	7	3.26	3.26	9.77	29.3	1699.1	138.42	0.0643
500	7	500	34.6	535	45	7	3.76	2.51	7.52	30.1	1650.2	119.41	0.0578
500	13	500	64.8	555	54	7	3.43	3.43	10.3	30.9	1887.9	153.80	0.0578
560	7	560	38.7	599	45	7	3.98	2.65	7.96	31.8	1848.2	133.74	0.0516
560	13	560	70.9	631	54	19	3.63	2.18	10.9	32.7	2103.4	172.59	0.0516
630	7	630	43.6	674	45	7	4.22	2.81	8.44	33.8	2079.2	150.45	0.0459
630	13	630	79.8	710	54	19	3.85	2.31	11.6	34.7	2366.3	191.77	0.0459
710	7	710	49.1	759	45	7	4.48	2.99	8.96	35.9	2343.2	169.56	0.0407
710	13	710	89.8	800	54	19	4.09	2.45	12.3	36.8	2666.8	216.12	0.0407
800	4	800	34.6	835	72	7	3.76	2.51	7.52	37.6	2480.2	167.41	0.0361
800	8	800	66.7	867	84	7	3.48	3.48	10.4	38.3	2732.7	205.33	0.0362
800	13	800	101	901	54	19	4.34	2.61	13.0	39.1	3004.9	243.52	0.0362
900	4	900	38.9	939	72	7	3.99	2.66	7.98	39.9	2790.2	188.33	0.0321
900	8	900	75.0	975	84	7	3.69	3.69	11.1	40.6	3074.2	226.50	0.0322
1000	4	1000	43.2	1043	72	7	4.21	2.80	8.41	42.1	3100.3	209.26	0.0289
1120	4	1120	47.3	1167	72	19	4.45	1.78	8.90	44.5	3464.9	234.53	0.0258
1120	8	1120	91.2	1211	84	19	4.12	2.47	12.4	45.3	3811.5	283.17	0.0258
1250	8	1250	102	1352	84	19	4.35	2.61	13.1	47.9	4253.9	316.04	0.0232
1250	4	1250	52.8	1303	72	19	4.70	1.88	9.40	47.0	3867.1	261.75	0.0231

祖国万岁上传

表 1-2-61 A1/S1B 导线的性能

规格号	钢比 (%)	面积/mm <sup>2</sup>			单线根数		单线直径/mm		直径/mm		线性重量 / (kg/km)	额定强度 / kN	直流电阻 / (Ω/km)
		铝	钢	总	铝	钢	铝	钢	线芯	绞线			
16	17	16	2.67	18.7	6	1	1.84	1.84	1.84	5.53	64.6	5.89	1.7934
25	17	25	4.17	29.2	6	1	2.30	2.30	2.30	6.91	100.9	8.83	1.1478
40	17	40	6.67	46.7	6	1	2.91	2.91	2.91	8.74	161.5	13.93	0.7174
63	17	65	10.5	73.5	6	1	3.66	3.66	3.66	11.0	254.4	20.58	0.4555
100	17	100	16.7	117	6	1	4.61	4.61	4.61	13.8	403.8	32.67	0.2869
125	6	125	5.94	132	18	1	2.97	2.97	2.97	14.5	397.9	28.68	0.2304
125	16	125	20.4	145	26	7	2.47	1.92	5.77	15.7	503.9	44.27	0.2310
160	6	160	8.89	169	18	1	3.36	3.36	3.36	16.8	509.3	35.29	0.1800
160	16	160	26.1	186	26	7	2.80	2.18	6.53	17.7	644.9	55.86	0.1805
200	6	200	11.1	211	18	1	3.76	3.76	3.76	18.8	636.7	43.11	0.1440
200	16	200	32.6	233	26	7	3.13	2.43	7.30	19.8	806.2	67.85	0.1444
250	10	250	24.6	275	22	7	3.80	2.11	6.34	21.6	880.6	67.01	0.1154
250	16	250	40.7	291	26	7	3.50	2.72	8.16	22.2	1007.7	84.82	0.1155
315	7	315	21.8	337	45	7	2.99	1.99	5.97	23.9	1039.6	77.51	0.0917
315	16	315	51.3	366	26	7	3.93	3.05	9.16	24.9	1269.7	101.70	0.0917
400	7	400	27.7	428	45	7	3.36	2.24	6.73	26.9	1320.1	96.42	0.0722
400	13	400	51.9	452	54	7	3.07	3.07	9.21	27.6	1510.3	117.85	0.0723
450	7	450	31.1	481	45	7	3.57	2.38	7.14	28.5	1485.2	105.29	0.0642
450	13	450	58.3	508	54	7	3.26	3.26	9.77	29.3	1699.1	132.58	0.0643
500	7	500	34.6	535	45	7	3.76	2.51	7.52	30.1	1650.2	116.99	0.0578
500	13	500	64.8	565	54	7	3.43	3.43	10.3	30.9	1887.9	147.31	0.0578
560	7	560	38.7	599	45	7	3.98	2.65	7.96	31.8	1848.2	131.03	0.0516
560	13	560	70.9	631	54	19	3.63	2.18	10.9	32.7	2103.4	167.63	0.0516
630	7	630	43.6	670	45	7	4.22	2.81	8.44	33.8	2079.2	147.40	0.0459
630	13	630	79.8	710	54	19	3.85	2.31	11.6	34.7	2366.3	186.19	0.0459
710	7	710	49.1	759	45	7	4.48	2.99	8.96	35.9	2343.2	166.12	0.0407
710	13	710	89.9	800	54	19	4.09	2.45	12.3	36.8	2666.8	209.83	0.0407
800	4	800	34.6	835	72	7	3.76	2.51	7.52	37.6	2480.2	164.99	0.0361
800	8	800	66.7	867	84	7	3.48	3.48	10.4	38.3	2732.7	198.67	0.0362
800	13	800	101	901	54	19	4.34	2.61	13.0	39.1	3004.9	236.43	0.0362
900	4	900	38.9	939	72	7	3.99	2.66	7.98	39.9	2790.2	185.61	0.0321
900	8	900	75.0	975	84	7	3.69	3.69	11.1	40.6	3074.2	219.00	0.0322
1000	4	1000	43.2	1043	72	7	4.21	2.80	8.41	42.1	3100.3	206.23	0.0289
1120	4	1120	47.3	1167	72	19	4.45	1.78	8.90	44.5	3464.9	231.22	0.0258
1120	8	1120	91.2	1211	84	19	4.12	2.47	12.4	45.3	3811.5	276.78	0.0258
1250	4	1250	52.8	1303	72	19	4.70	1.88	9.40	47.0	3867.1	258.06	0.0231
1250	8	1250	102	1352	84	19	4.35	2.61	13.1	47.9	4253.9	308.91	0.0232

表 1-2-62 A1/S2A 导线的性能

规格号	钢比 (%)	面积/mm <sup>2</sup>			单线根数		单线直径/mm		直径/mm		线性 重量 /(kg/km)	额定 强度 /kN	直流 电阻 /(Ω/km)
		铝	钢	总	铝	钢	铝	钢	线芯	绞线			
16	17	16	2.67	18.7	6	1	1.84	1.84	1.84	5.53	64.6	6.45	1.7934
25	17	25	4.17	29.2	6	1	2.30	2.30	2.30	6.91	100.9	9.71	1.1478
40	17	40	6.67	46.7	6	1	2.91	2.91	2.91	8.74	161.5	15.33	0.7174
63	17	63	10.5	73.5	6	1	3.66	3.66	3.66	11.0	254.4	22.37	0.4555
100	17	100	16.7	117	6	1	4.61	4.61	4.61	13.8	403.8	35.50	0.2869
125	6	125	6.94	132	18	1	2.97	2.97	2.97	14.9	397.9	30.14	0.2304
125	16	125	20.4	145	26	7	2.47	1.92	5.77	15.7	503.9	48.54	0.2310
160	6	160	8.89	169	18	1	3.36	3.36	3.36	16.8	509.3	37.42	0.1800
160	16	160	26.1	186	26	7	2.80	2.18	6.53	17.7	644.9	61.34	0.1805
200	6	200	11.1	211	18	1	3.76	3.76	3.76	18.8	636.7	45.00	0.1440
200	16	200	32.6	233	26	7	3.13	2.43	7.30	19.8	806.2	74.69	0.1444
255	10	250	24.6	275	22	7	3.80	2.11	6.34	21.6	880.6	72.16	0.1154
250	16	250	40.7	291	26	7	3.50	2.72	8.16	22.2	1007.7	93.37	0.1155
315	7	315	21.8	337	45	7	2.99	1.99	5.97	23.9	1039.6	82.08	0.0917
315	16	315	51.3	366	26	7	2.93	3.05	9.16	24.9	1269.7	114.02	0.0917
400	7	400	27.7	428	45	7	3.36	2.24	6.73	26.9	1320.1	102.23	0.0722
400	13	400	51.9	452	54	7	3.07	3.07	9.21	27.6	1510.3	130.30	0.0723
450	7	450	31.1	481	45	7	3.57	2.38	7.14	28.5	1485.2	111.82	0.0642
450	13	450	58.3	508	54	7	3.26	3.26	9.77	29.3	1699.1	146.58	0.0643
500	7	500	34.6	535	45	7	3.76	2.51	7.52	30.1	1650.2	124.25	0.0578
500	13	500	64.8	565	54	7	3.43	3.43	10.3	30.9	1887.9	162.87	0.0578
560	7	560	38.7	599	45	7	3.98	2.65	7.96	31.8	1848.2	139.16	0.0516
560	13	560	70.9	631	54	19	3.63	2.18	10.9	32.7	2103.4	182.52	0.0516
630	7	630	43.6	674	45	7	4.22	2.81	8.44	33.8	2079.2	156.55	0.0459
630	13	630	79.8	710	54	19	3.85	2.31	11.6	34.7	2366.3	202.94	0.0459
710	7	710	49.1	759	45	7	4.48	2.99	8.96	35.9	2343.2	176.43	0.0407
710	13	710	89.9	800	54	19	4.09	2.45	12.3	36.8	2666.8	228.71	0.0407
800	4	800	34.6	835	72	7	3.76	2.51	7.52	37.6	2480.2	172.25	0.0361
800	8	800	66.7	867	84	7	3.48	3.48	10.4	38.3	2732.7	214.67	0.0362
800	13	800	101	901	54	19	4.34	2.61	13.0	39.1	3004.9	257.71	0.0362
900	4	900	38.9	939	72	7	3.99	2.66	7.98	39.9	2790.2	193.78	0.0321
900	8	900	75.0	975	84	7	3.69	3.69	11.1	40.6	3074.2	231.75	0.0322
1000	4	1000	43.2	1043	72	7	4.21	2.80	8.41	42.1	3100.3	215.31	0.0289
1120	4	1120	47.3	1167	72	19	4.45	1.78	8.90	44.5	3464.9	241.15	0.0258
1120	8	1120	91.2	1211	84	19	4.12	2.47	12.4	45.3	3811.5	295.94	0.0258
1250	4	1250	52.8	1303	72	19	4.70	1.88	9.40	47.0	3867.1	269.14	0.0231
1250	8	1250	102	1352	84	19	4.35	2.61	13.1	47.9	4253.9	330.29	0.0232

表 1-2-63 A1/S2B 导线的性能

规格号	钢比 (%)	面积/mm <sup>2</sup>			单线根数		单线直径/mm		直径/mm		线性重量 / (kg/km)	额定强度 / kN	直流电阻 / (Ω/km)
		铝	钢	总	铝	钢	铝	钢	线芯	绞线			
16	17	16	2.67	18.7	6	1	1.84	1.84	1.84	5.53	64.6	6.27	1.7934
25	17	25	4.17	29.2	6	1	2.30	2.30	2.30	6.91	100.9	9.42	1.1478
40	17	40	6.67	46.7	6	1	2.91	2.91	2.91	8.74	161.5	14.87	0.7174
63	17	63	10.5	73.5	6	1	3.65	3.66	3.65	11.0	254.4	21.63	0.4555
100	17	100	16.7	117	6	1	4.61	4.61	4.61	13.8	403.8	34.33	0.2869
125	6	125	6.94	132	18	1	2.97	2.97	2.97	14.9	397.9	29.65	0.2304
125	16	125	20.4	145	26	7	2.47	1.92	5.77	15.7	503.9	47.12	0.2310
160	6	160	8.89	169	18	1	3.36	3.36	3.36	16.8	509.3	36.80	0.1800
160	16	160	26.1	186	26	7	2.80	2.18	6.53	17.7	644.9	59.51	0.1805
200	6	200	11.1	211	18	1	3.76	3.75	3.76	18.8	636.7	44.22	0.1440
200	16	200	32.6	233	26	7	3.13	2.43	7.30	19.8	806.2	72.41	0.1444
255	10	250	24.6	275	22	7	3.80	2.11	6.34	21.6	880.6	70.44	0.1154
250	16	250	40.7	291	26	7	3.50	2.72	8.16	22.2	1007.7	90.52	0.1155
315	7	315	21.8	337	45	7	2.99	1.99	5.97	23.9	1039.6	80.55	0.0917
315	13	315	51.3	366	26	7	3.93	3.05	9.16	24.9	1269.7	110.43	0.0917
400	7	400	27.7	428	45	7	3.36	2.24	6.73	26.9	1320.1	100.29	0.0722
400	13	400	51.9	452	54	7	3.07	3.07	9.21	27.6	1510.3	126.67	0.0723
450	7	450	31.1	481	45	7	3.57	2.38	7.14	28.5	1485.2	109.64	0.0642
450	13	450	58.3	508	54	7	3.26	3.26	9.77	29.3	1699.1	142.50	0.0643
500	7	500	34.6	535	45	7	3.76	2.51	7.52	30.1	1650.2	121.83	0.0578
500	13	500	64.8	565	54	7	3.43	3.43	10.3	30.9	1887.9	158.33	0.0578
560	7	560	38.7	599	45	7	3.98	2.65	7.96	31.8	1848.2	136.45	0.0516
560	13	560	70.9	631	54	19	3.63	2.18	10.9	32.7	2103.4	177.56	0.0516
630	7	630	43.6	674	45	7	4.22	2.81	8.44	33.8	2079.2	153.50	0.0459
630	13	630	79.8	710	54	19	3.85	2.31	11.6	34.7	2366.3	197.36	0.0459
710	7	710	49.1	759	45	7	4.48	2.99	8.96	35.9	2343.2	172.99	0.0407
710	13	710	89.9	800	54	19	4.09	2.45	12.3	36.8	2666.8	222.42	0.0407
800	4	800	34.6	835	72	7	3.76	2.51	7.52	37.6	2480.2	169.83	0.0361
800	8	800	66.7	867	84	7	3.48	3.48	10.4	38.3	2732.7	210.00	0.0362
800	13	800	101	901	54	19	4.34	2.61	13.0	39.1	3004.9	250.61	0.0362
900	4	900	38.9	939	72	7	3.99	2.66	7.98	39.9	2790.2	191.06	0.0221
900	8	900	75.0	975	84	7	3.69	3.69	11.1	40.6	3074.2	225.50	0.0322
1000	4	1000	43.2	1043	72	7	4.21	2.80	8.41	42.1	3100.3	212.28	0.0289
1120	4	1120	47.3	1167	72	19	4.45	1.78	8.90	44.5	3464.9	237.84	0.0258
1120	8	1120	91.2	1211	84	19	4.12	2.47	12.4	45.3	3811.5	289.55	0.0258
1250	4	1250	52.8	1303	72	19	4.70	1.88	9.40	47.0	3867.1	265.44	0.0231
1250	8	1250	102	1352	84	19	4.35	2.61	13.1	47.9	4253.9	323.16	0.0232

表 1-2-64 A1/S3A 导线的性能

规格号	钢比 (%)	面积/mm <sup>2</sup>			单线根数		单线直径/mm		直径/mm		线 性 重 量 /(kg/km)	额 定 强 度 /kN	直 流 电 阻 /(Ω/km)
		铝	钢	总	铝	钢	铝	钢	线 芯	绞 线			
16	17	16	2.67	18.7	6	1	1.84	1.84	1.84	5.53	64.6	6.83	1.7934
25	17	25	4.17	29.2	6	1	2.30	2.30	2.30	6.91	100.9	10.25	1.1478
40	17	40	6.67	46.7	6	1	2.91	2.91	2.91	8.74	161.5	16.20	0.7174
63	17	63	10.5	73.5	6	1	3.66	3.66	3.66	11.0	254.4	24.15	0.4555
100	17	100	16.7	117	6	1	4.61	4.61	4.61	13.8	403.8	38.33	0.2869
125	6	125	6.94	132	18	1	2.97	2.97	2.97	14.9	397.9	31.04	0.2304
125	16	125	20.4	145	26	7	2.47	1.92	5.77	15.7	503.9	51.39	0.2310
160	6	160	8.89	169	18	1	3.36	3.36	3.36	16.8	509.3	38.67	0.1800
160	16	160	26.1	186	26	7	2.80	2.18	6.53	17.7	644.9	64.99	0.1805
200	6	200	11.1	211	18	1	3.76	3.76	3.76	18.8	636.7	46.89	0.1440
200	16	200	32.6	233	26	7	3.13	2.43	7.30	19.8	806.2	78.93	0.1444
250	10	250	24.6	275	22	7	3.80	2.11	6.34	21.6	880.6	75.60	0.1154
250	16	250	40.7	291	26	7	3.50	2.72	8.16	22.2	1007.7	98.66	0.1155
315	7	315	21.8	337	45	7	2.99	1.99	5.97	23.9	1039.6	85.13	0.0917
315	16	315	51.3	366	26	7	3.93	3.05	6.16	24.9	1269.7	121.20	0.0917
400	7	400	27.7	428	45	7	3.36	2.24	6.73	26.9	1320.1	106.10	0.0722
400	13	400	51.9	452	54	7	3.07	3.07	9.21	27.6	1510.3	137.56	0.0723
450	7	450	31.1	481	45	7	3.57	2.38	7.14	28.5	1485.2	115.87	0.0642
450	13	450	58.3	508	54	7	3.26	3.26	9.77	29.3	1699.1	154.75	0.0643
500	7	500	34.6	535	45	7	3.76	2.51	7.52	30.1	1650.2	128.74	0.0578
500	13	500	64.8	565	54	7	3.43	3.43	10.3	30.9	1887.9	171.94	0.0578
560	7	560	38.7	599	45	7	3.98	2.65	7.96	31.8	1848.2	144.19	0.0516
560	13	560	70.9	631	54	19	3.63	2.18	10.9	32.7	2103.4	192.45	0.0516
630	7	630	43.6	674	45	7	4.22	2.81	8.44	33.8	2079.2	162.21	0.0459
630	13	630	79.8	710	54	19	3.85	2.31	11.6	34.7	2366.3	213.32	0.0459
710	7	710	49.1	759	45	7	4.48	2.99	8.96	35.9	2343.2	182.81	0.0407
710	13	710	89.9	800	54	19	4.09	2.45	12.3	36.8	2666.8	240.41	0.0407
800	4	800	34.6	835	72	7	3.76	2.51	7.52	37.6	2480.2	176.74	0.0361
800	8	800	66.7	867	84	7	3.48	3.48	10.4	38.3	2732.7	224.00	0.0362
800	13	800	101	901	54	19	4.34	2.61	13.0	39.1	3004.9	270.88	0.0362
900	4	900	38.9	939	72	7	3.99	2.66	7.98	39.9	2790.2	198.83	0.0321
900	8	900	75.0	975	84	7	3.69	3.69	11.1	40.6	3074.2	244.50	0.0322
1000	4	1000	43.2	1043	72	7	4.21	2.80	8.41	42.1	3100.3	220.93	0.0289
1120	4	1120	47.3	1167	72	19	4.45	1.78	8.90	44.5	3464.9	247.77	0.0258
1120	8	1120	91.2	1211	84	19	4.12	2.47	12.4	45.3	3811.5	307.79	0.0258
1250	4	1250	52.8	1303	72	19	4.70	1.88	9.40	47.0	3867.1	276.53	0.0231
1250	8	1250	102	1352	84	19	4.35	2.61	13.1	47.9	4253.9	343.52	0.0232

表 1-2-65 A2/S1A 导线的性能

规格号	铜比 (%)	面积/mm <sup>2</sup>			单线根数		单线直径/mm		直径/mm		线性重量 / (kg/km)	额定强度 / kN	直流电阻 / (Ω/km)
		铝	钢	总	铝	钢	铝	钢	线芯	绞线			
16	17	18.4	3.07	21.5	6	1	1.98	1.98	1.98	5.93	74.4	9.02	1.7934
25	17	28.8	4.80	33.6	6	1	2.47	2.47	2.47	7.41	116.2	13.96	1.1478
40	17	46.0	7.67	53.7	6	1	3.13	3.13	3.13	9.38	185.9	22.02	0.7174
63	17	72.5	12.1	84.6	6	1	3.92	3.92	3.92	11.8	292.8	34.68	0.4555
100	6	115	6.39	121	18	1	2.85	2.85	2.85	14.3	366.4	41.24	0.2880
125	6	144	7.99	152	18	1	3.19	3.19	3.19	16.0	458.0	51.23	0.2304
125	16	144	23.4	167	26	7	2.65	2.06	6.19	16.8	579.9	69.86	0.2310
160	6	184	10.2	194	18	1	3.61	3.61	3.61	18.0	586.2	65.58	0.1800
160	16	184	30.0	214	26	7	3.00	2.34	7.01	18.0	742.3	88.52	0.1805
200	6	230	12.8	243	18	1	4.04	4.04	4.04	20.2	732.8	81.97	0.1440
200	16	230	37.5	268	26	7	3.36	2.61	7.83	21.3	927.9	110.64	0.1444
250	10	288	38.3	316	22	7	4.08	2.27	6.30	23.1	1013.5	117.09	0.1154
250	16	288	46.9	335	26	7	3.75	2.92	8.76	23.8	1159.8	138.31	0.1155
315	7	363	25.1	388	45	7	3.20	2.14	6.41	25.6	1196.5	136.28	0.0917
315	16	363	59.0	422	26	7	4.21	3.28	9.83	26.7	1461.4	171.90	0.0917
400	7	460	31.8	492	45	7	3.61	2.41	7.22	28.9	1519.4	172.10	0.0722
400	13	460	59.7	520	54	7	3.29	3.29	9.88	29.7	1738.3	201.46	0.0723
450	7	518	35.8	554	45	7	3.83	2.55	7.66	30.6	1709.3	193.61	0.0642
450	13	518	67.1	585	54	7	3.49	3.49	10.5	31.5	1955.6	226.64	0.0643
500	7	575	39.8	615	45	7	4.04	2.69	8.07	32.3	1899.3	215.12	0.0578
500	13	575	74.6	650	54	7	3.68	3.68	11.1	33.2	2172.9	251.82	0.0578
560	7	645	44.6	689	45	7	4.27	2.85	8.54	34.2	2127.2	240.93	0.0516
560	13	645	81.6	726	54	19	3.90	2.34	11.7	35.1	2420.9	283.21	0.0516
630	4	725	31.3	756	72	7	3.58	2.39	7.16	35.8	2248.0	249.62	0.0459
630	13	725	91.8	817	54	19	4.13	2.48	12.4	37.2	2723.5	318.61	0.0459
710	4	817	35.3	852	72	7	3.80	2.53	7.60	38.0	2533.4	281.32	0.0407
710	13	817	104	921	54	19	4.39	2.63	13.2	39.5	3069.4	359.06	0.0407
800	4	921	39.6	961	72	7	4.04	2.69	8.07	40.4	2854.6	316.98	0.0361
800	8	921	76.7	997	84	7	3.74	3.74	11.2	41.1	3145.1	356.03	0.0362
900	4	1036	44.8	1081	72	7	4.28	2.85	8.56	42.8	3211.4	356.60	0.0321
900	8	1036	86.3	1122	84	7	3.96	3.96	11.9	43.6	3538.3	400.53	0.0322
1000	8	1151	93.7	1245	84	19	4.13	2.51	12.5	45.9	3916.8	446.37	0.0289
1120	8	1289	105	1394	84	19	4.42	2.65	13.3	48.6	4386.8	499.93	0.0258



表 1-2-66 A2/S1B 导线的性能

规格号	钢比 (%)	面积/ $\text{mm}^2$			单线根数		单线直径/ $\text{mm}$		直径/ $\text{mm}$		线性重量 / $(\text{kg}/\text{km})$	额定强度 / $\text{kN}$	直流电阻 / $(\Omega/\text{km})$
		铝	钢	总	铝	钢	铝	钢	线芯	绞线			
16	17	18.4	3.07	21.5	6	1	1.98	1.98	1.98	5.93	74.4	8.81	1.7934
25	17	28.8	4.80	33.6	6	1	2.47	2.47	2.47	7.41	116.2	13.62	1.1478
40	17	46.0	7.67	53.7	6	1	3.13	3.13	3.13	9.38	185.9	21.25	0.7174
63	17	72.5	12.1	84.6	6	1	3.92	3.92	3.92	11.8	292.8	33.48	0.4555
100	6	115	6.39	121	18	1	2.85	2.85	2.85	14.3	366.4	40.79	0.2880
125	6	144	7.99	152	18	1	3.19	3.19	3.19	16.0	458.0	50.43	0.2304
125	16	144	23.4	167	26	7	2.65	2.06	6.19	16.8	579.9	68.22	0.2310
160	6	184	10.2	194	18	1	3.61	3.61	3.61	18.0	586.2	64.56	0.1800
160	16	184	30.0	214	26	7	3.00	2.34	7.01	19.0	742.3	86.42	0.1805
200	6	230	12.8	243	18	1	4.04	4.04	4.04	20.2	732.8	80.69	0.1440
200	16	230	37.5	268	26	7	3.36	2.61	7.83	21.3	927.9	108.02	0.1444
250	10	288	28.3	316	22	7	4.08	2.27	6.80	23.1	1013.5	115.12	0.1154
250	16	288	46.9	335	26	7	3.75	2.92	8.76	23.8	1159.8	135.03	0.1155
315	7	363	25.1	388	45	7	3.20	2.14	6.41	25.6	1196.5	134.52	0.0917
315	16	363	59.0	422	26	7	4.21	3.28	9.83	26.7	1461.4	166.00	0.0917
400	7	460	31.8	492	45	7	3.61	2.41	7.22	28.9	1519.4	169.87	0.0722
400	13	460	59.7	520	54	7	3.29	3.29	9.88	29.7	1738.3	195.49	0.0723
450	7	518	35.8	554	45	7	3.83	2.55	7.66	30.6	1709.3	191.10	0.0642
450	13	518	67.1	585	54	7	3.49	3.49	10.5	31.5	1955.6	219.93	0.0643
500	7	575	39.8	615	45	7	4.04	2.69	8.07	32.3	1899.3	212.33	0.0578
500	13	575	74.6	650	54	7	3.68	3.68	11.1	33.2	2172.9	244.36	0.0578
560	7	645	44.6	689	45	7	4.27	2.85	85.4	34.2	2127.2	237.82	0.0516
560	13	645	81.6	726	54	19	3.90	2.34	11.7	35.1	2420.9	277.49	0.0516
630	4	725	31.3	756	72	7	3.58	2.39	7.16	35.8	2248.0	247.43	0.0459
630	13	725	91.8	817	54	19	4.13	2.48	12.4	37.2	2723.5	312.18	0.0459
710	4	817	35.3	852	72	7	3.80	2.53	7.60	38.0	2533.4	278.85	0.0407
710	13	817	104	921	54	19	4.39	2.63	13.2	39.5	3069.4	351.82	0.0407
800	4	921	39.8	961	72	7	4.04	2.69	8.07	40.4	2854.6	314.19	0.0361
800	8	921	76.7	997	84	7	3.74	3.74	11.2	41.1	3145.1	348.35	0.0362
900	4	1036	44.8	1081	72	7	4.28	2.85	8.56	42.8	3211.4	353.47	0.0321
900	8	1036	86.3	1122	84	7	3.96	3.96	11.9	43.6	3538.3	391.90	0.0322
1000	8	1151	93.7	1245	84	19	4.18	2.51	12.5	45.9	3916.8	439.81	0.0289
1120	8	1289	150	1394	84	19	4.42	2.65	13.3	48.6	4386.8	492.59	0.0258

表 1 2-67 A2/S3A 导线的性能

规格号	钢比 (%)	面积/mm <sup>2</sup>			单线根数		单线直径/mm		直径/mm		线性 重量 /(kg/km)	额定 强度 /kN	直流 电阻 /(Ω/km)
		铝	钢	总	铝	钢	铝	钢	线芯	绞线			
16	17	18.4	3.07	21.5	6	1	1.98	1.98	1.98	5.93	74.4	9.88	1.7934
25	17	28.8	4.80	33.6	6	1	2.47	2.47	2.47	7.41	116.2	15.25	1.1478
40	17	46.0	7.67	53.7	6	1	3.13	3.13	3.13	9.38	185.9	24.17	0.7174
63	17	72.5	12.7	84.6	6	1	3.92	3.92	3.92	11.8	292.8	37.58	0.4555
100	6	115	6.39	121	18	1	2.85	2.85	2.85	14.3	366.4	42.97	0.2880
125	6	144	7.99	152	18	1	3.19	3.19	3.19	16.0	458.0	53.47	0.2304
125	16	144	23.4	167	26	7	2.65	2.06	6.19	16.8	579.9	76.42	0.2310
160	6	184	10.2	194	18	1	3.61	3.61	3.61	18.0	586.2	68.03	0.1800
160	16	184	30.0	214	26	7	3.00	2.34	7.01	19.0	742.3	96.61	0.1805
200	6	230	12.8	243	18	1	4.04	4.04	4.04	20.2	732.8	85.04	0.1440
200	16	230	37.5	268	26	7	3.36	2.61	7.83	21.3	927.9	120.77	0.1444
250	10	288	28.3	316	22	7	4.08	2.27	6.80	23.1	1013.5	124.72	0.1154
250	16	288	46.9	335	26	7	3.75	2.92	8.76	23.8	1159.8	150.96	0.1155
315	7	363	25.1	388	45	7	3.20	2.14	6.41	25.6	1196.5	143.30	0.0917
315	16	363	59.0	422	26	7	4.21	3.28	9.83	26.7	1461.4	188.44	0.0917
400	7	460	31.8	492	45	7	3.61	2.41	7.22	28.9	1519.4	180.69	0.0722
400	13	460	59.7	520	54	7	3.29	3.29	9.88	29.7	1748.3	218.17	0.0723
450	7	518	35.8	555	45	7	3.83	2.55	7.66	30.6	1709.3	203.28	0.0642
450	13	518	67.1	585	54	7	3.49	3.49	10.5	31.5	1955.6	245.44	0.0643
500	7	575	39.8	615	45	7	4.04	2.69	8.07	32.3	1899.3	225.86	0.0578
500	13	575	74.6	650	54	7	3.68	3.68	11.1	33.2	2172.9	269.73	0.0578
560	7	645	44.6	689	45	7	4.27	2.85	8.54	34.2	2127.2	252.97	0.0516
560	13	645	81.6	726	54	19	3.90	2.34	11.7	35.1	2420.9	305.25	0.0516
630	4	725	31.3	756	72	7	3.58	2.59	7.16	35.8	2248.0	258.08	0.0459
630	13	725	91.8	817	54	19	4.13	2.48	12.4	37.2	2723.5	343.40	0.0459
710	4	817	35.3	852	72	7	3.80	2.53	7.60	38.0	2533.4	290.85	0.0407
710	13	817	104	921	54	19	4.39	2.63	13.2	39.5	3069.4	387.01	0.0407
800	4	921	39.8	961	72	7	4.04	2.69	8.07	40.4	2854.6	327.72	0.0361
800	8	921	76.7	997	84	7	3.74	3.74	11.2	41.1	3145.1	374.44	0.0362
900	4	1036	44.8	1081	72	7	4.28	2.85	8.56	42.8	3211.4	368.69	0.0321
900	8	1036	86.3	1122	84	7	3.96	3.96	11.9	43.6	3538.3	421.25	0.0322
1000	8	1151	93.7	1245	84	19	4.18	2.51	12.5	45.9	3916.8	471.67	0.0289
1120	8	1289	105	1394	84	19	4.42	2.65	13.3	48.6	4386.8	523.27	0.0258

表 1-2-68 A3/S1A 导线的性能

规格号	钢比 (%)	面积/mm <sup>2</sup>			单线根数		单线直径/mm		直径/mm		线性重量 / (kg/km)	额定强度 / kN	直流电阻 / (Ω/km)
		铝	钢	总	铝	钢	铝	钢	线芯	绞线			
16	17	18.6	3.10	21.7	6	1	1.99	1.99	1.99	5.96	75.1	9.67	1.7934
25	17	29.0	4.84	33.9	6	1	2.48	2.48	2.48	7.45	117.3	14.96	1.1473
40	17	46.5	7.75	54.2	6	1	3.14	3.14	3.14	9.42	187.7	23.63	0.7174
63	17	73.2	12.2	85.4	6	1	3.94	3.94	3.94	11.8	295.6	36.48	0.4555
100	6	116	6.46	123	18	1	2.87	2.87	2.87	14.3	369.9	45.12	0.2880
125	6	145	8.07	153	18	1	3.21	3.21	3.21	16.0	462.3	56.08	0.2304
125	16	145	23.7	169	26	7	2.67	2.07	6.22	15.9	585.4	74.88	0.2310
160	6	186	10.3	196	18	1	3.63	3.63	3.63	18.1	591.8	69.92	0.1800
160	16	186	30.3	216	26	7	3.02	2.35	7.04	19.1	749.4	94.94	0.1805
200	6	232	12.9	245	18	1	4.05	4.05	4.05	20.3	739.8	87.40	0.1440
200	16	232	37.8	270	26	7	3.37	2.62	7.87	21.4	936.7	118.67	0.1444
250	10	290	28.5	319	22	7	4.10	2.28	6.83	23.2	1023.2	124.02	0.1154
250	16	290	47.3	338	26	7	3.77	2.93	8.80	23.9	1170.9	145.43	0.1155
315	7	366	25.3	391	45	7	3.22	2.15	6.44	25.7	1207.9	148.56	0.0917
315	16	366	59.6	426	26	7	4.23	3.29	9.88	26.8	1475.3	180.86	0.0917
400	7	465	32.1	497	45	7	3.63	2.42	7.25	29.0	1533.9	183.03	0.0722
400	13	465	69.2	525	54	7	3.31	3.31	9.93	29.8	1754.9	217.32	0.0723
450	7	523	36.1	559	45	7	3.85	2.56	7.69	30.8	1725.6	205.91	0.0642
450	13	523	67.8	591	54	7	3.51	3.51	10.5	31.6	1974.2	239.26	0.0643
500	7	581	40.2	621	45	7	4.05	2.70	8.11	32.4	1917.3	228.79	0.0578
500	13	581	75.3	656	54	7	3.70	3.70	11.1	33.3	2193.6	265.84	0.0578
560	7	651	45.0	696	45	7	4.39	2.86	8.58	34.3	2147.4	256.24	0.0516
560	13	651	82.4	733	54	19	3.92	2.35	11.8	35.3	2444.0	298.92	0.0516
630	4	732	31.6	764	72	7	3.60	2.40	7.20	36.0	2269.4	266.64	0.0459
630	13	732	92.7	825	54	19	4.15	2.49	12.5	37.4	2749.5	336.28	0.0459
710	4	825	35.6	861	72	7	3.82	2.55	7.64	38.2	2557.6	300.50	0.0407
710	13	825	104	929	54	19	4.41	2.65	13.2	39.7	3098.6	378.98	0.0407
800	4	930	40.2	970	72	7	4.05	2.70	8.11	40.5	2881.8	338.59	0.0361
800	8	930	77.5	1007	84	7	3.75	3.75	11.3	41.3	3175.1	378.01	0.0362
900	4	1046	45.2	1091	72	7	4.30	2.87	8.60	43.0	3242.0	380.91	0.0321
900	8	1046	87.1	1133	84	7	3.98	3.98	11.9	43.8	3572.0	425.26	0.0322
1000	8	1162	94.6	1257	84	19	4.20	25.2	12.6	46.2	3954.1	473.85	0.0289
1120	3	1301	106	1407	84	19	4.44	2.66	13.3	48.9	4428.6	530.72	0.0258

表 1-2-69 A3/S1B 导线的性能

规格号	钢比 (%)	面积/mm <sup>2</sup>			单线根数		单线直径/mm		直径/mm		线性重量/(kg/km)	额定强度/kN	直流电阻/(Ω/km)
		铝	钢	总	铝	钢	铝	钢	线芯	绞线			
16	17	18.6	3.10	21.7	6	1	1.99	1.99	1.99	5.96	75.1	9.45	1.7934
25	17	29.0	4.84	33.9	6	1	2.48	2.48	2.48	7.45	117.3	14.62	1.1478
40	17	46.5	7.75	54.2	6	1	3.14	3.14	3.14	9.42	187.7	22.85	0.7174
63	17	73.2	12.2	85.4	6	1	3.94	3.94	3.94	11.8	295.6	35.26	0.4555
100	6	116	6.46	123	18	1	2.87	2.87	2.87	14.3	369.9	44.67	0.2880
125	6	145	8.07	153	18	1	3.21	3.21	3.21	16.0	462.3	55.27	0.2304
125	16	145	23.7	169	26	7	2.67	2.07	6.22	16.9	585.4	73.22	0.2310
160	6	186	10.3	196	18	1	3.63	3.63	3.63	18.1	591.8	68.89	0.1800
160	16	186	30.3	216	26	7	3.02	2.35	7.04	19.1	749.4	92.82	0.1805
200	6	232	12.9	245	18	1	4.05	4.05	4.05	20.3	739.8	86.11	0.1440
200	16	232	37.8	270	26	7	3.37	2.62	7.87	21.4	936.7	116.02	0.1444
250	10	290	28.5	319	22	7	4.10	2.28	6.83	23.2	1023.2	122.02	0.1154
250	16	290	47.3	338	26	7	3.77	2.93	8.80	23.9	1170.9	142.12	0.1155
315	7	366	25.3	391	45	7	3.22	2.15	6.44	25.7	1207.9	146.78	0.0917
315	16	366	59.6	426	26	7	4.23	3.29	9.88	26.8	1475.3	174.90	0.0917
400	7	465	32.1	497	45	7	3.63	2.42	7.25	29.0	1533.9	180.78	0.0722
400	13	465	60.2	525	54	7	3.31	33.1	9.98	29.8	1754.9	211.29	0.0723
450	7	523	36.1	559	45	7	3.85	2.56	7.69	30.8	1725.6	203.38	0.0642
450	13	523	67.8	591	54	7	3.51	3.51	10.5	31.6	1974.2	232.48	0.0643
500	7	581	40.2	621	45	7	4.05	2.70	8.11	32.4	1917.3	225.98	0.0578
500	13	581	75.3	656	54	7	3.70	3.70	11.1	33.3	2193.6	258.31	0.0578
560	7	651	45.0	696	45	7	4.39	2.86	8.58	34.3	2147.4	253.09	0.0516
560	13	651	82.4	733	54	19	3.92	2.35	11.8	35.3	2444.0	293.15	0.0516
630	4	732	31.6	764	72	7	3.60	2.40	7.20	36.0	2269.4	264.42	0.0459
630	13	732	92.7	825	54	19	4.15	2.49	12.5	37.4	2749.5	329.79	0.0459
710	4	825	35.6	861	72	7	3.82	2.55	7.64	38.2	2557.6	298.00	0.0407
710	13	825	104	929	54	19	4.41	2.65	13.2	39.7	3098.6	371.67	0.0407
800	4	930	40.2	970	72	7	4.05	2.70	8.11	40.5	2881.8	335.78	0.0361
800	8	930	77.5	1007	84	7	3.75	3.75	11.3	41.3	3175.1	370.26	0.0362
900	4	1046	45.2	1091	72	7	4.30	2.87	8.60	43.0	3242.0	377.75	0.0321
900	8	1046	87.1	1133	84	7	3.98	3.98	11.9	43.8	3572.0	416.54	0.0322
1000	8	1162	94.6	1257	84	19	4.20	2.52	12.6	46.2	3954.1	467.24	0.0289
1120	8	1301	106	1407	84	19	4.44	2.66	13.3	48.9	4428.6	523.30	0.0258

表 1-2-70 A3/S3A 导线的性能

规格号	钢比 (%)	面积/mm <sup>2</sup>			单线根数 ; 单线直径/mm				直径/mm		线 性 重 量 /(kg/km)	额 定 强 度 /kN	直 流 电 阻 /(Ω/km)
		铝	钢	总	铝	钢	铝	钢	线 芯	绞 线			
16	17	18.6	3.10	21.7	6	1	1.99	1.99	1.99	5.96	75.1	10.53	1.7934
25	17	29.0	4.84	33.9	6	1	2.48	2.48	2.48	7.45	117.3	16.27	1.1478
40	17	46.5	7.75	54.2	6	1	3.14	3.14	3.14	9.42	187.7	25.79	0.7174
63	17	73.2	12.2	85.4	6	1	3.94	3.94	3.94	11.8	295.6	39.41	0.4555
100	6	116	6.46	123	18	1	2.87	2.87	2.87	14.3	369.9	46.86	0.2880
125	6	145	8.07	153	18	1	3.21	3.21	3.21	16.0	462.3	58.34	0.2304
125	16	145	23.7	169	26	7	2.67	2.07	6.22	16.9	585.4	81.50	0.2310
160	6	186	10.3	169	18	1	3.63	3.63	3.63	18.1	591.8	72.40	0.1800
160	16	186	30.3	216	26	7	3.02	2.35	7.04	19.1	749.4	103.11	0.1805
200	6	232	12.9	245	18	1	4.05	4.05	4.05	20.3	739.8	90.50	0.1440
200	16	232	37.8	270	26	7	3.37	2.62	7.87	21.4	936.7	128.89	0.1444
250	10	290	28.5	319	22	7	4.10	2.28	6.83	23.2	1023.2	131.72	0.1154
250	16	290	47.3	338	26	7	3.77	2.93	8.80	23.9	1170.9	158.21	0.1155
315	7	366	25.3	391	45	7	3.22	2.15	6.44	25.7	1207.9	155.64	0.0917
315	16	366	59.6	426	26	7	4.23	3.29	9.88	26.8	1475.3	197.55	0.0917
400	7	465	32.1	497	45	7	3.63	2.42	7.25	29.0	1533.9	191.71	0.0722
400	13	465	60.2	525	54	7	3.31	3.31	9.93	29.8	1754.9	234.19	0.0723
450	7	523	36.1	559	45	7	3.85	2.56	7.69	30.8	1725.6	215.67	0.0642
450	13	523	67.8	591	54	7	3.51	3.51	10.5	31.6	1974.2	255.52	0.0643
500	7	581	40.2	621	45	7	4.05	2.70	8.11	32.4	1917.3	239.63	0.0578
500	13	581	75.3	656	54	7	3.70	3.70	11.1	33.3	2193.6	283.91	0.0578
560	7	651	45.0	696	45	7	4.29	2.80	8.58	34.3	2147.4	268.39	0.0516
560	13	651	82.4	733	54	19	3.92	2.35	11.8	35.3	2444.0	321.17	0.0516
630	4	732	31.6	764	72	7	3.60	2.40	7.20	36.0	2269.4	275.18	0.0459
630	13	732	92.7	825	54	19	4.15	2.49	12.5	37.4	2749.5	361.32	0.0459
710	4	825	35.6	861	72	7	3.82	2.55	7.64	38.2	2557.6	310.12	0.0407
710	13	825	104	929	54	19	4.41	2.65	13.2	39.7	3098.6	407.20	0.0407
800	4	930	41.2	970	72	7	4.05	2.70	8.11	40.5	2881.8	349.43	0.0361
800	8	930	77.5	1007	84	7	3.75	3.75	11.3	41.3	3175.1	396.60	0.0362
900	4	1046	45.2	1091	72	7	4.30	2.87	8.60	43.0	3242.0	393.11	0.0321
900	8	1046	87.1	1133	84	7	3.98	3.98	11.9	43.8	3572.0	446.17	0.0322
1000	8	1162	94.6	1257	84	19	4.20	2.52	12.6	46.2	3954.1	499.40	0.0289
1120	8	1301	106	1470	84	19	4.44	2.66	13.3	48.9	4428.6	559.33	0.0258

表 1-2-71 A1/A2 导线的性能

规格号	直径/mm		单线根数		面积/mm <sup>2</sup>			线性重量 /(kg/km)	额定强度 /kN	直流电阻 /(Ω/km)
	单线	绞线	A1	A2	A1	A2	总			
16	1.76	5.28	4	3	9.73	7.30	17.0	46.6	3.85	1.7896
25	2.20	6.60	4	3	15.2	11.4	26.6	72.8	5.93	1.1453
40	2.78	8.35	4	3	24.3	18.3	42.6	116.5	9.25	0.7158
63	3.49	10.5	4	3	38.3	28.7	67.1	183.5	14.38	0.4545
100	4.40	13.2	4	3	60.8	45.6	106	291.2	22.52	0.2863
125	2.97	14.9	12	7	83.3	48.6	132	362.7	27.79	0.2302
160	3.36	16.8	12	7	107	62.2	169	464.2	35.04	0.1798
200	3.76	18.8	12	7	133	77.8	211	580.3	43.13	0.1439
250	4.21	21.0	12	7	167	97.2	264	725.3	53.92	0.1151
250	3.04	21.3	18	19	131	138	269	742.2	60.39	0.1154
315	3.34	23.4	30	7	263	61.3	324	892.6	60.52	0.0916
315	3.42	23.9	18	19	165	174	339	935.1	76.09	0.0916
400	3.76	26.3	30	7	334	77.8	411	1133.5	75.19	0.0721
400	3.85	27.0	18	19	210	221	431	1187.5	95.58	0.0721
450	3.99	27.9	30	7	375	87.6	463	1275.2	84.59	0.0641
450	4.08	28.6	18	19	236	249	485	1335.9	107.52	0.0641
500	4.21	29.4	30	7	417	97.3	514	1416.9	93.98	0.0577
500	4.31	30.1	18	19	262	277	539	1484.3	119.47	0.0577
560	4.45	31.2	30	7	467	109	576	1586.9	105.26	0.0516
560	3.45	31.0	54	7	504	65.4	570	1571.9	101.54	0.0516
630	3.71	33.4	42	19	454	205	660	1820.0	130.25	0.0458
630	3.79	34.1	24	37	271	417	688	1897.5	160.19	0.0458
710	3.94	35.5	42	19	512	232	743	2051.2	146.78	0.0407
710	4.02	36.2	24	37	305	470	775	2138.4	180.53	0.0407
800	4.18	37.6	42	19	577	261	838	2311.2	165.39	0.0361
800	4.27	38.4	24	37	344	530	873	2409.5	203.41	0.0361
900	4.43	39.9	42	19	649	294	942	2600.1	185.66	0.0321
900	3.66	40.2	24	37	567	388	955	2638.4	199.54	0.0321
1000	3.80	41.8	72	19	816	215	1032	2849.1	190.94	0.0289
1000	3.85	42.4	54	37	630	432	1061	2931.6	221.71	0.0289
1120	4.02	44.2	72	19	914	241	1155	3191.0	213.85	0.0258
1120	4.08	44.9	54	37	705	483	1189	3283.4	248.32	0.0258
1250	4.25	46.7	72	19	1020	269	1289	3561.4	238.68	0.0231
1250	4.31	47.4	54	37	787	539	1327	3664.5	277.14	0.0231
1400	4.50	49.4	72	19	1143	302	1444	3988.8	267.32	0.0207

表 1-2-72 A1/A3 导线的性能

规格号	直径/mm		单线根数		面积/mm <sup>2</sup>			线性重量/(kg/km)	额定强度/kN	直流电阻/( $\Omega$ /km)
	单线	绞线	A1	A2	A1	A2	总			
16	1.76	5.29	4	3	9.78	7.33	17.1	46.8	4.07	1.7896
26	2.21	6.62	4	3	15.3	11.5	26.7	73.1	6.29	1.1453
40	2.79	8.37	4	3	24.4	18.3	42.8	117.0	9.82	0.7158
63	3.50	10.5	4	3	38.5	28.9	67.4	184.3	14.80	0.4545
100	4.41	13.2	4	3	61.1	45.8	107	292.5	23.49	0.2863
125	2.98	14.9	12	7	85.7	48.8	132	364.1	29.29	0.2302
160	3.37	16.9	12	7	107	62.5	170	466.0	36.95	0.1798
200	3.77	18.8	12	7	134	78.1	212	582.5	44.78	0.1439
250	4.21	21.0	12	7	167	97.6	265	728.1	55.98	0.1151
250	3.05	21.4	18	19	132	139	271	746.0	64.67	0.1154
315	3.34	23.4	30	7	263	61.4	325	894.4	62.40	0.0916
315	3.43	24.0	18	19	166	175	341	940.0	81.48	0.0916
400	3.77	26.4	30	7	334	78.0	412	1135.8	76.82	0.0721
400	3.86	27.0	18	19	211	222	433	1193.7	100.30	0.0721
450	3.99	28.0	30	7	376	87.7	464	1277.8	86.42	0.0641
450	4.10	28.7	18	19	237	250	487	1342.9	112.84	0.0641
500	4.21	29.5	30	7	418	97.5	515	1419.8	96.03	0.0577
500	4.32	30.2	18	19	263	278	542	1492.1	125.38	0.0577
560	4.46	31.2	30	7	468	109	577	1590.1	107.55	0.0515
560	3.45	31.1	54	7	505	65.5	570	1573.9	103.53	0.0516
630	3.72	33.4	42	19	456	206	662	1826.0	134.59	0.0458
630	3.80	34.2	24	37	272	420	692	1909.0	169.14	0.0458
710	3.95	35.5	42	19	514	232	746	2057.8	151.68	0.0407
710	4.03	36.3	24	37	307	473	780	2151.4	190.61	0.0407
800	4.15	37.7	42	19	579	262	840	2318.7	170.90	0.0361
800	4.28	38.5	24	37	346	533	879	2424.2	214.78	0.0361
900	4.44	40.0	42	19	651	294	945	2608.5	192.27	0.0321
900	3.66	40.3	24	37	569	390	959	2649.5	207.79	0.0321
1000	3.80	41.8	72	19	818	216	1034	2855.4	195.47	0.0289
1000	3.86	42.5	54	37	632	433	1066	2943.9	230.88	0.0289
1120	4.02	44.3	72	19	916	242	1158	3198.1	218.92	0.0258
1120	4.09	45.0	54	37	708	485	1194	3297.2	258.58	0.0258
1250	4.25	46.8	72	19	1022	270	1292	3569.3	244.33	0.0231
1250	4.32	47.5	54	37	791	542	1332	3679.9	288.60	0.0231
1400	4.50	49.5	72	19	1145	302	1447	3997.6	273.65	0.0207

表 1-2-73 S1A 导线的性能

规格号	面积 /mm <sup>2</sup>	单 线 根 数	直径/mm		线性重量 /(kg/km)	额定强度 /kN	直流电阻 /(Ω/km)
			单 线	导 线			
4	27.1	7	2.22	6.66	213.3	36.3	7.1445
6.3	42.7	7	2.79	8.36	335.9	55.9	4.5362
10	67.8	7	3.51	10.53	533.2	87.4	2.8578
12.5	84.7	7	3.93	11.78	666.5	109.3	2.2862
16	108.4	7	4.44	13.32	853.1	139.9	1.7861
16	108.4	19	2.70	13.48	857.0	142.1	1.7944
25	169.4	19	3.37	16.85	1339.1	218.6	1.1484
40	271.1	19	4.26	21.31	2142.6	349.7	0.7177
40	271.1	37	3.05	21.38	2148.1	349.7	0.7196
63	427.0	37	3.83	26.83	3383.2	550.8	0.4569

注：导线电阻是根据 9%IACS 的导电率确定的。

表 1-2-74 S1B 导线的性能

规格号	面积 /mm <sup>2</sup>	单 线 根 数	直径/mm		线性重量 /(kg/km)	额定强度 /kN	直流电阻 /(Ω/km)
			单 线	导 线			
4	27.1	7	2.22	6.66	213.3	33.6	7.1445
6.3	42.7	7	2.79	8.36	335.9	51.7	4.5362
10	67.8	7	3.51	10.53	533.2	80.7	2.8578
12.5	84.7	7	3.93	11.78	666.5	100.8	2.2862
16	108.4	7	4.44	13.32	853.1	129.0	1.7861
16	108.4	19	2.70	13.48	857.0	131.2	1.7944
25	169.4	19	3.37	16.85	1339.1	201.6	1.1484
40	271.1	19	4.26	21.31	2142.6	322.6	0.7177
40	271.1	37	3.05	21.38	2148.1	322.6	0.7196
63	427.0	37	3.83	26.83	3383.2	508.1	0.4569

注：导线电阻是根据 9%IACS 的导电率确定的。

表 1-2-75 S2A 导线的性能

规格号	面积 /mm <sup>2</sup>	单 线 根 数	直径/mm		线性重量 /(kg/km)	额定强度 /kN	直流电阻 /(Ω/km)
			单 线	导 线			
4	27.1	7	2.22	6.66	213.3	39.3	7.1445
6.3	42.7	7	2.79	8.36	335.9	60.2	4.5362
10	67.8	7	3.51	10.53	533.2	93.5	2.8578
12.5	84.7	7	3.93	11.78	666.5	116.9	2.2862
16	108.4	7	4.44	13.32	853.1	199.7	1.7861
16	108.4	19	2.70	13.48	857.0	152.9	1.7944
25	169.4	19	3.37	16.85	1339.1	238.9	1.1484
40	271.1	19	4.26	21.31	2142.6	374.1	0.7177
40	271.1	37	3.05	21.38	2148.1	382.3	0.7196
63	427.0	37	3.83	26.83	3383.2	589.3	0.4569

注：导线电阻是根据 9%IACS 的电阻率确定的。



表 1-2-76 S3A 导线的性能

规格号	面积 /mm <sup>2</sup>	单 线 根 数	直径/mm		线性重量 /(kg/km)	额定强度 /kN	直流电阻 /(Ω/km)
			单 线	导 线			
4	27.1	7	2.22	6.66	213.3	43.9	7.1445
6.3	42.7	7	2.79	8.36	335.9	67.9	4.5362
10	67.8	7	3.51	10.53	533.2	103.0	2.8578
12.5	84.7	7	3.93	11.78	566.5	128.8	2.2862
16	108.4	7	4.44	13.32	853.1	164.8	1.7861
16	108.4	19	2.70	13.48	857.0	172.4	1.7944
25	169.4	19	3.37	15.85	1339.1	262.6	1.1484
40	271.1	19	4.26	21.31	2142.6	412.1	0.7177
40	271.1	37	3.05	21.38	2148.1	420.2	0.7196
63	427.0	37	3.83	26.83	3383.2	649.0	0.4569

注：导线电阻是根据 9%IACS 的导电率确定的。

表 1-2-77 SA1A 导线的性能

规格号	面积 /mm <sup>2</sup>	单 线 根 数	直径/mm		线性重量 /(kg/km)	额定强度 /kN	直流电阻 /(Ω/km)
			单 线	导 线			
4	12	7	1.48	4.43	80.1	16.08	7.1592
6.3	18.9	7	1.85	5.56	126.2	25.33	4.5455
10	30	7	2.34	7.01	200.3	40.20	2.8637
12.5	37.5	7	2.61	7.84	250.4	50.25	2.2910
16	48	7	2.95	8.86	320.5	64.32	1.7898
25	75	7	3.69	11.08	500.7	93.75	1.1455
40	120	7	4.67	14.02	801.2	132.00	0.7159
40	120	19	2.84	14.18	805.0	160.80	0.7194
63	189	19	3.56	17.79	1267.9	240.03	0.4568
100	300	37	3.21	22.49	2017.3	402.00	0.2884
125	375	37	3.59	25.15	2521.7	476.25	0.2307
160	480	37	4.06	28.45	3227.7	580.80	0.1803
200	600	37	4.54	31.81	4034.7	684.00	0.1442
200	600	61	3.54	31.85	4040.6	762.00	0.1444

表 1-2-78 SA1B 导线的性能

规格号	面积 /mm <sup>2</sup>	单 线 根 数	直径/mm		线性重量 /(kg/km)	额定强度 /kN	直流电阻 /(Ω/km)
			单 线	导 线			
4	12	7	1.48	4.43	79.4	15.84	7.1592
6.3	18.9	7	1.85	5.56	125.0	24.95	4.5455
10	30	7	2.34	7.01	198.5	39.60	2.8637
12.5	37.5	7	2.61	7.84	248.1	49.50	2.2910
16	48	7	2.95	8.86	317.5	63.36	1.7898
25	75	7	3.69	11.08	496.2	99.00	1.1455
40	120	7	4.67	14.02	793.9	158.40	0.7159
40	120	19	2.84	14.18	797.7	158.40	0.7194
63	189	19	3.56	17.79	1256.4	249.48	0.4568
100	300	37	3.21	22.49	1999.0	396.00	0.2884
125	375	37	3.59	25.15	2498.7	495.00	0.2307
160	480	37	4.06	28.45	3198.3	633.60	0.1803
200	600	37	4.54	31.81	3997.9	792.00	0.1442
200	600	61	3.54	31.85	4003.8	792.00	0.1444

表 1-2-79 SA2 导线的性能

规格号	面积 /mm <sup>2</sup>	单 线 根 数	直径/mm		线性重量 /(kg/km)	额定强度 /kN	直流电阻 /(Ω/km)
			单 线	导 线			
16	36.2	7	2.56	7.59	216.4	39.04	1.7896
25	56.5	7	3.21	9.52	338.2	61.00	1.1454
40	90.4	7	4.05	12.2	541.1	97.61	0.7159
40	90.4	19	2.46	12.3	543.7	97.61	0.7193
63	142	19	3.09	15.4	856.4	153.73	0.4567
100	226	37	2.79	19.5	1362.6	244.02	0.2884
125	282	37	3.12	21.8	1703.2	305.02	0.2307
160	362	37	3.53	24.7	2180.1	390.43	0.1803
200	456	37	3.94	27.6	2725.1	488.03	0.1442
200	452	61	3.07	27.6	2729.1	488.03	0.1444

表 1-2-80 A1/SA1A 导线的性能

规格号	钢比 (%)	面积/mm <sup>2</sup>			单线根数		单线直径/mm		直径/mm		线性重量/(kg/km)	额定强度 /kN	直流电阻/(Ω/km)
		A1	SA1A	总	A1	SA1A	A1	SA1A	芯	导线			
16	16.7	15	2.56	17.9	6	1	1.81	1.81	1.81	5.43	59.0	5.91	1.7923
25	16.7	24	4.00	28.0	6	1	2.26	2.26	2.26	6.78	92.1	9.00	1.1471
40	16.7	38	6.40	44.8	6	1	2.85	2.85	2.85	8.55	147.4	14.21	0.7169
63	16.7	60	10.08	70.6	6	1	3.58	3.58	3.58	10.7	232.2	21.17	0.4552
100	16.7	96	16.00	112.0	6	1	4.51	4.51	4.51	13.5	368.6	31.84	0.2868
125	5.6	123	6.85	130	18	1	2.95	2.95	2.95	14.8	384.3	29.18	0.2304
125	16.3	120	19.6	140	26	7	2.43	1.89	5.66	15.4	460.8	44.49	0.2308
160	5.6	158	8.77	167	18	1	3.34	3.34	3.34	16.7	491.9	36.38	0.1800
160	16.3	154	25.00	179	26	7	2.74	2.13	6.40	17.4	589.8	56.18	0.1803
200	5.6	197	10.96	208	18	1	3.74	3.74	3.74	18.7	614.9	43.62	0.1440
200	16.3	192	31.3	223	26	7	3.07	2.39	7.16	19.4	737.2	69.27	0.1443
250	9.8	244	24.0	268	22	7	3.76	2.09	6.26	21.3	830.9	67.80	0.1153
250	16.3	240	39.1	279	26	7	3.43	2.67	8.00	21.7	921.5	86.58	0.1154
315	6.9	310	21.4	331	45	7	2.96	1.97	5.92	23.7	996.4	78.33	0.0917
315	16.3	303	49.3	352	26	7	3.85	2.99	8.98	24.4	1161.1	107.58	0.0916
400	6.9	393	27.2	420	45	7	3.34	2.22	6.67	26.7	1265.3	97.50	0.0722
400	13.0	387	50.2	438	54	7	3.02	3.02	9.07	27.2	1402.9	124.20	0.0723
450	6.9	442	30.6	473	45	7	3.54	2.36	7.08	28.3	1423.4	107.48	0.0642
450	13.0	436	56.5	492	54	7	3.21	3.21	9.62	28.9	1578.2	139.72	0.0642
500	6.9	492	34.0	525	45	7	3.73	2.49	7.46	29.8	1581.6	119.42	0.0578
500	13.0	484	62.8	547	54	7	3.38	3.38	10.14	30.4	1753.6	153.99	0.0578
560	6.9	550	38.1	589	45	7	3.95	2.63	7.89	31.6	1771.4	133.75	0.0516
560	12.7	543	68.8	612	54	19	3.58	2.15	10.73	32.2	1956.3	169.36	0.0516
630	6.9	619	42.8	662	45	7	4.19	2.79	8.37	33.5	1992.8	150.47	0.0458
630	12.7	611	77.3	688	54	19	3.79	2.28	11.38	34.2	2200.9	190.52	0.0459
710	6.9	698	48.3	746	45	7	4.44	2.96	8.89	35.6	2245.8	169.57	0.0407
710	12.7	688	87.2	775	54	19	4.03	2.42	12.08	36.3	2480.3	214.72	0.0407
800	4.3	791	34.2	826	72	7	3.74	2.49	7.48	37.4	2412.8	167.67	0.0361
800	8.3	784	65.3	849	84	7	3.45	3.45	10.34	37.9	2598.9	206.37	0.0362
800	12.7	775	98.2	874	54	19	4.28	2.57	12.83	38.5	2794.7	241.94	0.0361
900	4.3	890	38.5	929	72	7	3.97	2.65	7.94	39.7	2714.4	188.63	0.0321
900	8.3	882	73.5	955	84	7	3.66	3.66	10.97	40.2	2923.8	224.82	0.0321
1000	4.3	989	42.7	1032	72	7	4.18	2.79	8.37	41.8	3016.0	209.59	0.0289
1120	4.2	1108	46.8	1155	72	19	4.43	1.77	8.85	44.3	3372.6	233.48	0.0258
1120	8.1	1098	89.4	1187	84	19	4.08	2.45	12.24	44.9	3628.4	282.88	0.0258
1250	4.2	1237	52.2	1289	72	19	4.68	1.87	9.35	46.8	3764.1	260.58	0.0231
1250	8.1	1225	99.8	1325	84	19	4.31	2.59	12.93	47.4	4049.5	315.72	0.0231

表 1-2-81 A2/SA1A 导线的性能

规格号	钢比 (%)	面积/mm <sup>2</sup>			单线根数		单线直径/mm		直径/mm		线性重量/(kg/km)	额定强度 /kN	直流电阻/(Ω/km)
		A2	SA1A	总	A2	SA1A	A2	SA1A	芯	导线			
16	16.7	17.6	2.93	20.5	6	1	1.93	1.93	1.93	3.79	67.5	8.70	1.7694
25	16.7	27.5	4.58	32.0	6	1	2.41	2.41	2.41	7.23	105.4	13.59	1.1324
40	16.7	43.9	7.32	51.2	6	1	3.05	3.05	3.05	9.15	168.7	21.74	0.7077
63	16.7	69.2	11.5	80.7	6	1	3.83	3.83	3.83	11.5	265.6	33.09	0.4494
100	16.7	110	18.3	128	6	1	4.83	4.83	4.83	14.5	421.6	50.70	0.2831
125	5.6	142	7.87	149	18	1	3.16	3.16	3.16	15.8	441.4	51.21	0.2293
125	16.3	137	22.4	160	26	7	2.59	2.02	6.05	16.4	527.2	67.40	0.2279
160	5.6	181	10.1	191	18	1	3.58	3.58	3.58	17.9	565.0	64.94	0.1792
160	16.3	176	28.6	205	26	7	2.93	2.28	6.85	18.6	674.8	86.27	0.1781
200	5.6	227	12.6	239	18	1	4.00	4.00	4.00	20.0	706.2	80.67	0.1433
200	16.3	220	35.8	256	26	7	3.28	2.55	7.66	20.8	843.5	107.84	0.1425
250	9.8	280	27.5	307	22	7	4.02	2.24	6.71	22.8	952.9	115.53	0.1144
250	16.3	275	44.8	320	26	7	3.67	2.85	8.56	23.2	1054.4	134.79	0.1140
315	6.9	355	24.6	380	45	7	3.17	2.11	6.34	25.4	1143.9	134.36	0.0912
315	16.3	346	56.4	403	26	7	4.12	3.20	9.61	26.1	1328.5	169.84	0.0904
400	6.9	451	31.2	483	45	7	3.57	2.38	7.15	28.6	1452.5	170.62	0.0718
400	13.0	444	57.5	501	54	7	3.23	3.23	9.70	29.1	1606.8	199.94	0.0715
450	6.9	508	35.1	543	45	7	3.79	2.53	7.58	30.3	1634.1	191.94	0.0638
450	13.0	499	64.7	564	54	7	3.43	3.43	10.3	30.9	1807.7	223.64	0.0636
500	6.9	564	39.0	603	45	7	4.00	2.66	7.99	32.0	1815.7	213.27	0.0574
500	13.0	555	71.9	627	54	7	3.62	3.62	10.8	32.6	2008.5	245.62	0.0572
560	6.9	632	43.7	676	45	7	4.23	2.82	8.46	33.8	2033.6	238.86	0.0513
560	12.7	622	78.8	701	54	19	3.83	2.30	11.5	34.5	2241.0	277.95	0.0511
630	6.9	711	49.2	760	45	7	4.49	2.99	8.97	35.9	2287.8	268.72	0.0456
630	12.7	700	88.6	788	54	19	4.06	2.44	12.2	36.5	2521.1	312.69	0.0454
710	6.9	801	55.4	857	45	7	4.76	3.17	9.52	38.1	2578.3	302.84	0.0405
710	12.7	788	99.9	888	54	19	4.31	2.59	12.9	38.8	2841.3	352.39	0.0403
800	4.3	909	39.3	949	72	7	4.01	2.67	8.02	40.1	2772.7	315.46	0.0360
800	8.3	899	74.9	974	84	7	3.69	3.69	11.1	40.6	2982.3	347.72	0.0359
800	12.7	888	113	1001	54	19	4.58	2.75	13.7	41.2	3201.5	397.06	0.0358
900	4.3	1023	44.2	1067	72	7	4.25	2.84	8.51	42.5	3119.3	354.89	0.0320
900	8.3	1012	84.3	1096	84	7	3.92	3.92	11.7	43.1	3355.1	391.18	0.0319
1000	4.3	1137	49.1	1186	72	7	4.48	2.99	8.97	44.8	3465.9	394.32	0.0288
1120	4.2	1274	53.8	1327	72	19	4.75	1.90	9.49	47.5	3875.8	440.26	0.0257
1120	8.1	1260	103	1362	84	19	4.37	2.62	13.1	48.1	4164.0	494.70	0.0257
1250	4.2	1421	60.0	1482	72	19	5.01	2.01	10.0	50.1	4325.6	491.36	0.0231
1250	8.1	1406	114	1520	84	19	4.62	2.77	13.8	50.8	4647.3	552.12	0.0230

表 1-2-82 A3/SA1A 导线的性能

规格号	钢比 (%)	面积/mm <sup>2</sup>			单线根数		单线直径/mm		直径/mm		线性 重量/ (kg/km)	额定 强度 /kN	直流 电阻/ (Ω/km)
		A3	SA1A	总	A3	SA1A	A3	SA1A	芯	导线			
16	16.7	17.7	2.96	20.7	6	1	1.94	1.94	1.94	5.82	68.1	9.31	1.7691
25	16.7	27.7	4.62	32.3	6	1	2.42	2.42	2.42	7.26	106.4	14.54	1.1323
40	16.7	44.3	7.39	51.7	6	1	3.07	3.07	3.07	9.21	170.2	23.27	0.7077
63	16.7	69.8	11.6	81.4	6	1	3.85	3.85	3.85	11.6	268.0	34.79	0.4493
100	16.7	11	18.5	129	6	1	4.85	4.85	4.85	14.6	425.5	53.38	0.2831
125	5.6	143	7.94	151	18	1	3.18	3.18	3.18	15.9	445.5	55.97	0.2293
125	16.3	139	22.6	161	26	7	2.61	2.03	6.08	16.5	532.0	72.17	0.2279
160	5.6	183	10.2	193	18	1	3.60	3.60	3.60	18.0	570.3	69.21	0.1792
160	16.3	178	28.9	206	26	7	2.95	2.29	6.88	18.7	680.9	92.38	0.1781
200	5.6	229	12.7	241	18	1	4.02	4.02	4.02	20.1	712.8	86.00	0.1433
200	16.3	222	36.1	258	26	7	3.30	2.56	7.69	20.9	851.2	115.47	0.1424
250	9.8	282	27.7	310	22	7	4.04	2.25	6.74	22.9	961.7	122.25	0.1144
250	16.3	277	45.2	323	26	7	3.69	2.87	8.60	23.4	1064.0	141.57	0.1140
315	6.9	359	24.8	384	45	7	3.19	2.12	6.37	25.5	1154.6	146.38	0.0912
315	16.3	349	56.9	406	26	7	4.14	3.22	9.65	26.2	1340.6	178.38	0.0904
400	6.9	456	31.5	487	45	7	3.59	2.39	7.18	28.7	1466.1	181.32	0.0718
400	13.0	448	58.1	506	54	7	3.25	3.25	9.75	29.3	1621.6	215.22	0.0715
450	6.9	513	35.4	548	45	7	3.81	2.54	7.62	30.5	1649.4	203.99	0.0638
450	13.0	504	65.3	569	54	7	3.45	3.45	10.3	31.0	1824.3	240.81	0.0636
500	6.9	570	39.4	609	45	7	4.01	2.68	8.03	32.1	1832.6	226.65	0.0574
500	13.0	560	72.6	632	54	7	3.63	3.63	10.9	32.7	2027.0	259.07	0.0572
560	6.9	638	44.1	682	45	7	4.25	2.83	8.50	34.0	2052.6	253.85	0.0513
560	12.7	628	79.5	707	54	19	3.85	2.31	11.5	34.6	2261.6	293.05	0.0511
630	6.9	718	49.6	767	45	7	4.51	3.00	9.01	36.1	2309.1	285.58	0.0456
630	12.7	706	89.4	795	54	19	4.08	2.45	12.2	36.7	2544.3	329.68	0.0454
710	6.9	809	55.9	865	45	7	4.78	3.19	9.57	38.3	2602.3	321.85	0.0405
710	12.7	796	101	896	54	19	4.33	2.60	13.0	39.0	2867.4	371.55	0.0403
800	4.3	918	39.7	958	72	7	4.03	2.69	8.06	40.3	2798.8	336.79	0.0360
800	8.3	908	75.6	983	84	7	3.71	3.71	11.1	40.8	3010.0	369.11	0.0359
800	12.7	896	114	1010	54	19	4.60	2.76	13.8	41.4	3230.9	418.64	0.0358
900	4.3	1033	44.6	1077	72	7	4.27	2.85	8.55	42.7	3148.6	378.89	0.0320
900	8.3	1021	85.1	1106	84	7	3.93	3.93	11.8	43.2	3386.3	415.24	0.0319
1000	4.3	1148	49.6	1197	72	7	4.50	3.00	9.01	45.0	3498.5	420.99	0.0288
1120	4.2	1286	54.3	1340	72	19	4.77	1.91	9.54	47.7	3912.3	470.12	0.0257
1120	8.1	1271	104	1375	84	19	4.39	2.63	13.2	48.3	4202.7	524.73	0.0257
1250	4.2	1435	60.6	1495	72	19	5.04	2.01	10.1	50.4	4366.4	524.68	0.0231
1250	8.1	1419	116	1535	84	19	4.64	2.78	13.9	51.0	4690.5	585.64	0.0230

### 2.3 特种架空导线

为了适应不同的使用条件（如高电压、高海拔、防振、防冰）、大容量和兼作通信等情况输电的需要，国内外研究开发了许多特种架空导线，如扩径钢芯铝绞线（LGJK）、扩径空心导线（LGKK）、自阻尼导线（LGJZ）、钢芯软铝绞线、防冰雪导线、倍容量导线、压缩型导线和光纤复合架空地线（OPGW）等。

#### 2.3.1 扩径钢芯铝绞线

它主要用作 500kV 变电所的软母线，规格范围为 630~1250mm<sup>2</sup>，允许使用温度为 80℃。其结构特点是用支撑铝线，将外径扩大，可减小导线表面的电场强度，从而可避免电晕放电，减小对无线电的干扰。直径 48mm 的可用于海拔 2000m 及以下的 500kV 变电所；大直径的可用于更高的海拔，并具有高强度、耐腐蚀、使用寿命长、能改善“T”形接头的连接质量。其截面如图 1-2-6 所示。

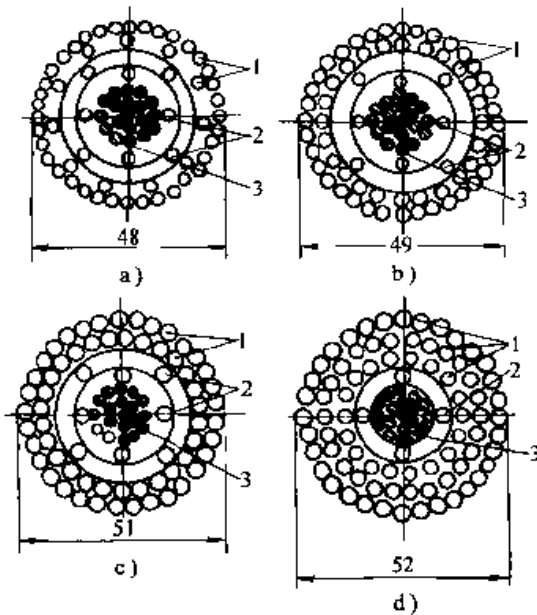


图 1-2-6 扩径钢芯铝绞线截面图

a) LGJK-630 型 b) LGJK-800 型

c) LGJK-1000 型 d) LGJK-1250 型

1—铝线，图 a~d 分别对应为  $\phi 3.7$ 、 $\phi 3.8$ 、 $\phi 4.3$ 、 $\phi 4.47$ mm  
2—填充铝线，图 a~d 分别对应为等效  $\phi 4.55$ 、 $\phi 4.6$ 、 $\phi 4.55$ 、 $\phi 4.6$ mm  
3—镀锌钢丝， $\phi 3.2$ mm

1. 导线结构及主要技术参数（表 1-2-83）

2. 载流量 当环境温度为 40℃、风速为

0.5m/s、日照强度为 1000W/m<sup>2</sup>、辐射系数和吸热系数均为 0.5 或均为 0.9 时，导线温度与载流量的关系曲线如图 1-2-7 所示。当导线温度为 78.2℃ 时，辐射系数  $\epsilon$  及吸热系数  $\alpha_s$  均为 0.5 与均为 0.9 时，它们的载流量相同。

3. 导线选择 根据不同的载流回路，可选择导线型号和所需导线根据，见表 1-2-84。

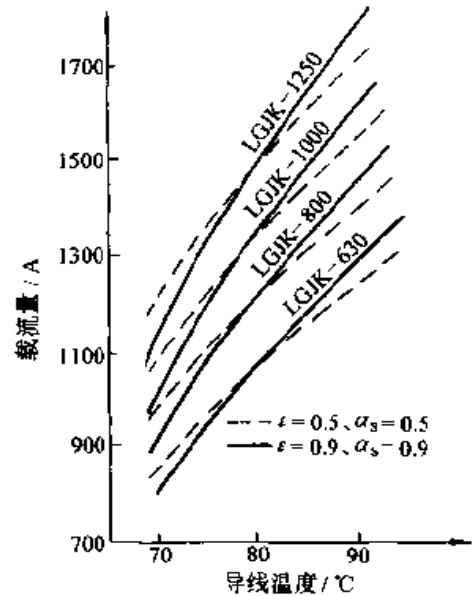


图 1-2-7 载流量与导线温度的关系曲线

#### 2.3.2 扩径空心导线

它主要用作 330kV 及以上变电所中的软母线。用金属软管支撑将导线外径扩大，目的是不产生可见电晕和减小对无线电的干扰，主要有标称截面 600、900 及 1400mm<sup>2</sup> 的三种规格。扩径空心导线的优点是，扩大直径的效果较好；但支撑的金属软管不耐腐蚀，T 形接头的连接质量较差。LGKK-1400 扩径空心导线的截面如图 1-2-8 所示。

导线结构及主要技术参数，见表 1-2-85。

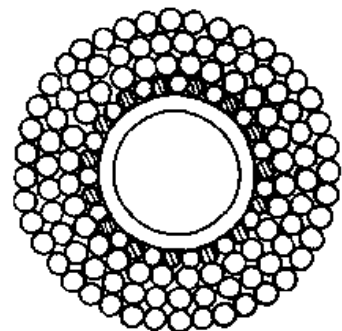


图 1-2-8 LGKK-1400 型扩径空心导线

表 1-2-83 扩径钢芯铝绞线的结构及主要技术参数

项 目	单 位	LGJK-630	LGJK-800	LGJK-1000	LGJK-1250
结构 铝线	mm	47/3.70	60/3.80	69/4.30	76/4.47
支撑铝线	mm	等效 8/4.55	等效 8/4.60	等效 8/4.55	等效 4/4.60
钢芯	mm	19/3.20	19/3.20	19/3.20	19/3.20
截面 铝	mm <sup>2</sup>	635.4	813.4	1001.4	1259.1
钢	mm <sup>2</sup>	152.81	152.81	152.81	152.81
外径	mm	48.0	49.0	51.0	52.0
拉断力 $\geq$	kN	205	226	245	275
弹性模量	GPa	67.8	64.2	61.5	59.0
线胀系数	$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	15.5	16.2	17.7	21.5
单位重量	kg/km	2994	3491	4013	4713
直流电阻 (20 $^{\circ}\text{C}$ )	$\Omega/\text{km}$	0.04643	0.03618	0.02931	0.02316
载流量 <sup>①</sup> (80 $^{\circ}\text{C}$ )	A	1065	1215	1345	1490

① 计算载流条件：环境温度 40 $^{\circ}\text{C}$ ，风速 0.5m/s，日照强度 1000W/m<sup>2</sup>，辐射及吸热系数均为 0.5。

表 1-2-84 根据不同载流回路所需导线根数

型 号	单根导线的载流量 /A (80 $^{\circ}\text{C}$ )		不同载流回路所需导线根数					
	$\epsilon=0.5$ $\alpha_a=0.5$	$\epsilon=0.9$ $\alpha_a=0.9$	1600A	2000A	2500A	3000A	4000A	4500~ 6000A
LGJK-630	1068	1076	2	2				
LGJK-800	1217	1227		2				
LGJK-1000	1346	1357			2		3	
LGJK-1250	1492	1505				2		3~4

注：表中  $\epsilon$  为辐射系数， $\alpha_a$  为吸热系数。

表 1-2-85 扩径空心导线的结构及主要技术参数

项 目	单 位	LGKK-600	LGKK-900	LGKK-1400
结构 铝线	mm	83/3.00	18/3.00+62/4.00	15/3.00+102/4.00
钢线	mm	7/3.00	12/3.00	15/3.00
金属软管	mm	$\phi$ 39.0	$\phi$ 27.0	$\phi$ 27.0
截面 铝线	mm <sup>2</sup>	587.0	906.4	1387.8
钢芯	mm <sup>2</sup>	49.5	84.83	106.0
外径	mm	51.0	49.0	57.0
拉断力	kN	149.0	205.0	289.0
弹性模量	GPa	71.6	58.7	58.1
线胀系数	$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	19.9	20.4	20.8
直流电阻 (20 $^{\circ}\text{C}$ )	$\Omega/\text{km}$	0.0506	0.03317	0.02163
载流量 <sup>①</sup> (80 $^{\circ}\text{C}$ )	A	1025	1270	1620
单位重量	kg/km	2690	3620	5129

① 计算载流条件：环境温度为 40 $^{\circ}\text{C}$ ，风速为 0.5m/s，日照强度为 1000W/m<sup>2</sup>，辐射系数为 0.5，吸热系数为 0.5。

### 2.3.3 自阻尼导线

自阻尼导线的结构特点是在铝线和钢芯的层与层间,均留有一定的间隙,使导线在受力状态下风激振动时,由于各层铝线和钢芯的固有振动频率各不相同而相互干扰,能自动消耗风激振动的能量,达到减振的效果。为了使层与层间形成间隙,一般将铝线制成拱形,如图1-2-9所示。自阻尼导线的优点:可减少导线的疲劳断股,最高使用应力可达破坏强度的60%,因此可加大线路档距,减少杆塔基数或降低杆塔高度,节约线路投资。根据不同的使用场合,可选用不同强度的导线

结构,300mm<sup>2</sup>系列自阻尼导线技术参数见表1-2-86。

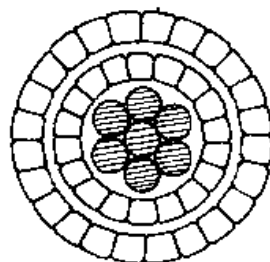


图1-2-9 自阻尼导线

表1-2-86 300mm<sup>2</sup>系列自阻尼导线技术参数

项 目	单 位	LGJZ 300/15	LGJZ-300/21	LGJZ-300/39	LGJZ-300/48
截面: 铝	mm <sup>2</sup>	302.43	301.92	300.06	310.05
钢	mm <sup>2</sup>	14.97	21.99	38.61	49.48
钢铝截面比	%	4.95	7.28	12.87	15.96
外径	mm	22.6	23.0	23.8	24.6
拉断力	kN	53.4	61.0	79.3	92.7
弹性模量	GPa	64.7	67.2	72.6	75.5
线胀系数	×10 <sup>-6</sup> /C	21.5	20.5	19.8	19.2
直流电阻(20℃)	Ω/km	0.0955	0.0956	0.0962	0.0913
单位长度质量	kg/km	952	1006	1131	1244

### 2.3.4 防冰雪导线

在重冰区使用的输电线路,往往由于导线上覆冰过重或集雪过多,而发生断线倒杆的停电事故,造成巨大的经济损失,也容易引起导线舞动,损坏线路,所以研究开发了防冰雪导线。防冰导线有防雪环式的、带翼状的或嵌绞居里合金式的堆积雪导线等多种形式。

防雪环由聚碳酸酯塑料制成,状如指环,在架设后夹装在导线上,间距约为股线节距的两倍。它可使积雪在沿导线滑动时受阻而脱落。带翼状股线的堆积雪导线,其截面如图1-2-10所示。也可

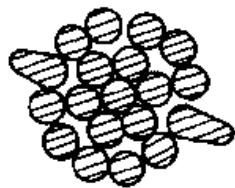


图1-2-10 带翼状股线的堆积雪导线

使积雪在导线上滑动时受阻而脱落。低居里点合金是一种镍-铬-硅-铁四元合金,缠绕在导线上,

在低温时能产生磁性,导致涡流发热而融冰。防雪化学憎冰性涂料能减小冰对导线的附着力,使易于脱冰。

### 2.3.5 钢芯软铝绞线

20世纪70年代初,美国开发了一种钢芯软铝绞线(SSAC),其结构与一般的钢芯铝绞线完全相同,但采用全软化的铝线与钢芯组合绞制而成。其特点是软铝线的电导率可高达63%IACS,在运行中全部机械负荷基本上全由钢芯承担。正常运行温度可提高到160℃,因此载流量可提高近一倍。又由于钢芯的弹性模量较大,线胀系数较小,与一般的钢芯铝绞线相比,在档距相同的情况下,钢芯软铝绞线的弧垂较小。铝线呈松弛状态,能吸收较多的激振能量,所以钢芯软铝绞线具有良好的自阻尼减振性能。实践证明,一般电力线路上用的金具、附件及紧线装置等,对钢芯软铝绞线也是适用的。架线滑轮的槽底直径应不小于导线外径的16倍。同时应加强预防铝线表面擦伤的措施。几种典型的钢芯软铝绞线的结构和计算强度见表1-2-87。



表 1-2-87 钢芯软铝绞线的结构及计算强度

铝截面 /mm <sup>2</sup>	结构/根 (铝/钢)	截面百分比 (%)		计算拉断力		
		铝	钢	一般的钢芯铝绞线 /kN	钢芯软铝绞线 /kN	为一般钢芯铝绞线的 百分数 (%)
242	30/7	81	19	105.9	93.5	88
403	26/7	86	14	140.2	114.7	82
322	24/7	89	11	101.0	77.5	77
483	54/7	89	11	150.0	115.7	77
403	45/7	94	6	98.1	62.8	64

## 2.3.6 间隙式导线

日本为了解决高度集中的工厂用电迅速增长的需要,在自阻尼导线结构的基础上,又发展了一种大容量间隙式导线。其结构截面如图 1-2-11 所示,导电部分采用电导率为 60% 的耐热铝合金,钢芯采用高强度镀锌钢丝。在钢芯与导体间的间隙中,采用能在高温中长期使用而不致丧失防腐和润滑性能,且在高温中不易挥发的硅润滑脂。它能防止因振动引起的冲击磨损,对钢芯的镀锌层有保护作用。导线的长期连续使用温度可达 150℃,估计硅润滑

脂在 30 年内,能充分保持防腐和润滑性能。

间隙式钢芯耐热铝合金绞线在架设及运行过程中,全部机械负荷由钢芯承担。导体铝合金线基本上不受力。其弧垂大小是由钢芯的弹性模量和线胀系数所决定的。钢的线胀系数很小,所以间隙式导线在高温下的弧垂,比普通钢芯铝绞线要小得多。在 150℃ 运行温度情况下,载流量可提高到 1.6 倍。间隙式导线对振动能量的吸收也较大,有较好的自阻尼特性。截面 170~640mm<sup>2</sup> 间隙式导线的结构和性能见表 1-2-88。

表 1-2-88 间隙式钢芯耐热铝合金绞线的结构和性能

项 目	单 位	标 称 截 面 /mm <sup>2</sup>					
		170	200	260	350	410	640
结构 圆铝合金线	根/mm	—	18/2.90	19/3.15	16/4.10	18/4.0	38/4.10
拱形铝合金根数		12	12	12	10	10	10
特强钢线	根/mm	7/2.60	7/2.90	7/3.20	7/3.10	7/3.50	7/3.10
间隙	mm	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
外径 铝合金	mm	18.2	20.3	23.1	26.0	28.0	34.2
钢芯	mm	7.8	8.7	9.6	9.3	10.5	9.8
计算截面 铝合金	mm <sup>2</sup>	171.0	195.6	261.3	352.4	409.1	642.7
钢芯	mm <sup>2</sup>	37.16	46.24	56.3	52.8	67.35	52.8
单位重量	kg/km	789	930	1198	1418	1695	2226
拉断力 绞线	kN	86.2	102.4	127.4	134.3	165.9	176.4
钢芯	kN	59.0	73.6	89.6	84.0	106.9	84.0
最大电阻	Ω/km	0.172	0.150	0.113	0.0837	0.0721	0.0454
弹性模量	GPa	205.9	205.9	205.9	205.9	205.9	205.9
线胀系数	×10 <sup>-6</sup> /℃	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
载流量 (150℃)	A	735	880	980	1190	1330	1755

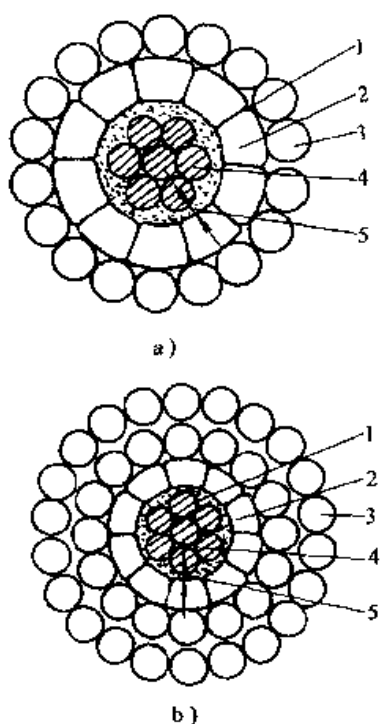


图 1-2-11 间隙式钢芯耐热铝合金绞线

1-特殊耐热硅润滑脂 2 耐热铝合金拱形线 3-耐热铝合金圆线 4-特强钢线 5-间隙

### 2.3.7 倍容量导线

20世纪80年代初,日本研究开发了倍容量导线。它是由特耐热铝合金(XTAL)拱形线与铝包高强度殷瓦钢(Invar)线组合绞制而成。其长期连续使用温度可达230℃,短时最高温度可高达290℃。与普通钢芯铝绞线在外径、重量及档距弧垂大致相同的情况下,其载流量约为普通钢芯铝绞线的两倍。特别适合于在旧的线路上需要增大负荷时使用。所用特耐热铝合金的抗拉强度为159MPa,电导率为58.0%IACS。铝包高强度殷瓦钢线的抗拉强度在直径为3.2mm及以下时,不小于1177MPa;直径为4.2mm时不小于1079MPa,230℃以下的线胀系数为 $3.3 \times 10^{-6}/\text{C}$ ,比普通镀锌钢线的线胀系数小得多,以保证倍容量导线在高温下的弧垂可以大大减小。倍容量导线的结构和性能见表1-2-89。

倍容量导线载流以后,当导线升温到某一温度时,由于耐热铝合金线的热胀而松弛。这时导线的全部张力转移到钢芯上来。此温度称为转移温度。在转移温度以上,导线的弧垂增长甚小。

### 2.3.8 压缩型导线

压缩型导线,通常指压缩型钢芯铝绞线而言,

表 1-2-89 倍容量导线的结构和特性

项 目	单 位	标 称 截 面 /mm <sup>2</sup>				
		160	240	320	400	500
结构 拱形特耐热铝合金	根数/mm	24/等效	24/等效	24/等效	24/等效	28/等效
		φ2.85	φ3.45	φ4.05	φ4.50	φ5.10
铝包高强度殷钢	根数/mm	7/3.0	7/3.8	7/3.8	7/4.3	7/5.0
外径	mm	17.3	21.2	23.8	26.9	32.2
截面 铝合金(XTAL)	mm <sup>2</sup>	153.1	224.4	309.1	381.6	572.0
铝包钢	mm <sup>2</sup>	49.48	79.38	79.38	101.6	137.5
最小拉断力	kN	68.7	102.5	114.1	139.9	197.3
单位长度重量	kg/km	774.6	1184	1418	1776	2556
直流电阻(20℃)	Ω/km	0.184	0.124	0.0924	0.0747	0.0503
弹性模量(230℃以下)	GPa	152	152	152	152	152
线胀系数(230℃以下)	$\times 10^{-6}/\text{C}$	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
载流量(连续长期) 倍容量导线(230℃)	A	931	1223	1479	1724	2250
钢芯铝绞线(90℃)	A	454	593	713	829	1041
增加率	倍	2.05	2.06	2.07	2.08	2.16

用拱形铝线与镀锌钢线组合绞制而成，其截面如图 1-2-12 所示。与普通的钢芯铝绞线相比，在外径相等的情况下，压缩型导线能增大铝截面约 20%。直流电阻降低 17%，交流电阻也较小，运行温度可提高到 95℃，载流量可大为提高，而对导线的强度无明显影响。另一方面，在压缩型导线与普通钢芯铝绞线相等截面情况下，压缩型导线的外径可减小 10%，且表面光滑，运行中风压负荷较小，表面不易结冰，能减小舞动发生几率。又由于压缩型导线的股线与股线是面接触，在风激振动时能消耗较多的振动能量，即自阻尼性能也较好。

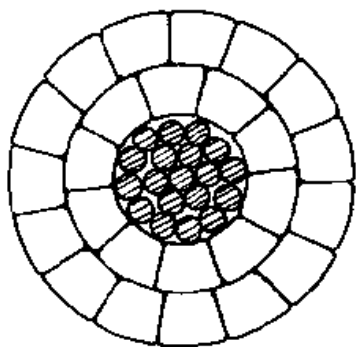


图 1-2-12 压缩型导线

### 2.3.9 光纤复合架空地线

光纤通信具有传输容量大，损耗小，抗电磁干扰、重量轻等优点。铝包钢线具有高的机械强度、

高的导电性和良好的抗腐蚀能力。因此将光纤和铝包钢线的优异特性结合起来，形成了高性能的既可作为通信，又可作为地线的、新颖的光纤复合架空地线。

利用光纤复合架空地线形成的光纤通信线路，除了能满足电力生产调度、电力系统自动化对通道的需求外，还可面向社会，为有线电视、公安系统、银行系统、甚至为邮电系统提供通信服务，光纤复合架空地线与输电线架设在同一的铁塔上，节省了一般光缆的敷设费用，而且性能可靠、稳定。

OPGW 结构主要由两部分组成，即光纤单元和地线。光纤单元，包括光纤、二次被覆层、隔热层和保护管。保护管一般为无缝或有缝的铝（或铝合金）管，少数厂家采用钢管。地线则绞于铝管外，起着加强、导电、载流等作用，一般采用铝包钢线、铝合金线、铝线，也有采用镀锌钢丝。

典型的光纤（OP）单元有层绞式、余量绞型（余长型）、滑动型、中心管式、骨架式、钢管式等，如图 1-2-13 所示。光纤有单模和多模光纤，单模光纤的传输损耗小，频带宽，不存在模式色散，因此可作为长距离传输。采用单模光纤传输，中继距离可长达 70km，综合多种因素的改善，传输距离甚至可以达到 150~170km。

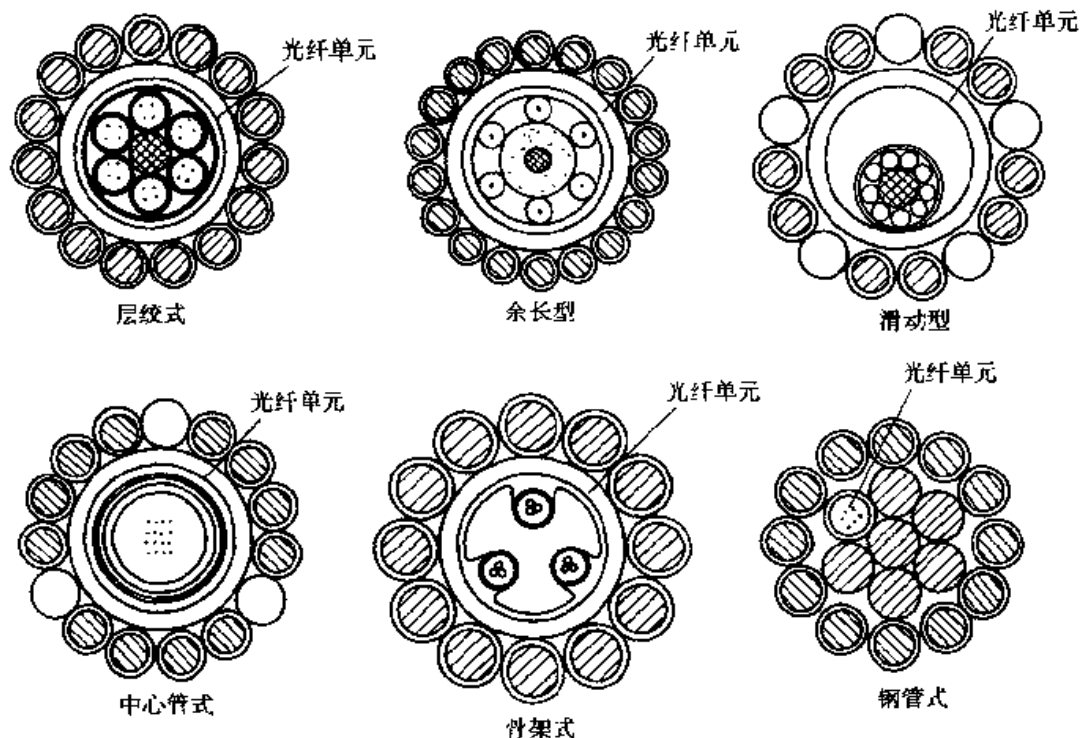


图 1-2-13 典型的 OPGW 及其光纤单元结构图

OPGW 的地线部分, 主要由铝包钢线、铝合金线或铝线所组成, 以圆线应用最为普遍, 也可制成扇形截面的铝包钢线等。按照线路的电压等级及传输容量的不同, 对 OPGW 而言, 应在强度、短路电流容量上满足要求, 因此绞于铝管外的铝包钢线等金属部分应满足其要求, 可以绞一层或两层等。

我国在 20 世纪 80 年代中期, 由葛洲坝电站从英国 BICC 公司引进 OPGW 以来, 已逐步被用户所接受, 用量日增。同期开始上海电缆研究所研制了 OPGW, 在从国外引进制造设备的基础上, 已制造了层绞式、余量绞距型、滑动型和中心管式的结构, 并在工程上实际应用。表 1 2-90~表 1-2 91 列出中心管式的 OPGW 主要技术参数。

在电力线路中, OPGW 因需要经受各种气象条件的考验, 1997 年 IEC TC7 WG8 在 IEC 会议上提出的 IEC 1396 标准, 包括电气、力学、物理和光学性能的试验方法。

OPGW 的特性应包括: 光纤形式与数量、OPGW 的外径、截面积、单位重量、总拉断力、弹性模量、线胀系数、直流电阻、最大允许温度范围、短路电流容量、最大允许拉力、OPGW 与附件间的机械配合等。

为了正确评价某种 OPGW 的性能, 应进行型

表 1 2-90 中心管式 OPGW 的光纤部分  
主要技术参数

项 目	参 数
光纤种类	多模、单模
工作波长/ $\mu\text{m}$	0.85、1.3、1.55
光纤芯数	4~48
传输损耗 (dB/km)	<0.4 (单模) <1.0 (多模)
光纤其他特性	符合 ITU-T G. 651 G. 652 建议要求

表 1 2-91 中心管式 OPGW 的架空地线部分  
主要技术参数

项 目		单 位	OPGW-65	OPGW-75	OPGW-85	OPGW-100	OPGW-100A
结构	铝包钢线	根/mm	14/2.05	12/2.50	12/2.60	12/2.90	12/2.90
	无缝铝管 <sup>①</sup>	mm	7.4/5.8	7.5/5.8	7.8/5.8	8.7/6.8	8.7/6.8
外 径		mm	11.50	12.50	13.00	14.50	14.50
截面积	铝包钢线	mm <sup>2</sup>	46.21	58.90	63.71	79.26	79.26
	无缝铝管		16.59	17.76	21.36	23.13	23.13
	总面积		62.80	76.66	85.07	102.39	102.39
单位重量		kg/km	381	470	512	625	568
弹性模量		GPa	120	122	122	125	110
线胀系数		$10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	14.1	14.0	14.0	13.9	14.8
总拉断力		kN	57.0	72.5	78.5	97.5	78.8
直流电阻 (20°C)		$\Omega/\text{km}$	0.882	0.754	0.663	0.571	0.486
最高使用温度	长期	°C	80	80	80	80	80
	短期	°C	250	250	250	250	250
铝包钢线电导率		% IACS	20.3	20.3	20.3	20.3	27
最大光纤数		芯	8	8	8	16	16

① 表中数值为单根无缝铝管外径/内径的结构尺寸。

式试验。试验的具体方法见本篇 3.2.12 节。

## 2.4 软接线

软接线主要包括软铜绞线、软铜天线、铜电刷线和铜编织线四类产品。其品种型号和规格范围见表 1-2-92。

### 2.4.1 软铜绞线

软铜绞线主要用于电气装备及电子电器或元件的连接用。按绞线的柔软程度，分为 TJR1、

TJR2、TJR3 三个品种。镀锡软铜绞线分为 TJRX1、TJRX2 和 TJRX3 三个品种。

#### 1. 规格、结构及技术参数

1) TJR1、TJRX1 型软铜绞线的结构及技术参数 (表 1-2-93)

2) TJR2、TJRX2 型软铜绞线的结构及技术参数 (表 1-2-94)

3) TJR3、TJRX3 型软铜绞线的结构及技术参数 (表 1-2-95)

表 1-2-92 软接线的品种、型号及规格范围

类别	产品名称	型号	规格范围/mm <sup>2</sup>	标准号
软铜绞线	1 型软铜绞线	TJR1	0.10~1000	GB12970.2
	2 型软铜绞线	TJR2	2.50~63	GB12970.2
	3 型软铜绞线	TJR3	0.025~500	GB12970.2
	1 型镀锡软铜绞线	TJRX1	0.10~2.50	GB12970.2
	2 型镀锡软铜绞线	TJRX2	2.50~63	GB12970.2
	3 型镀锡软铜绞线	TJRX3	0.025~500	GB12970.2
软铜天线	软铜天线	TTR	1.0~25	GB12970.3
铜电刷线	铜电刷线	TS	0.25~16	GB12970.4
	镀锡铜电刷线	TSX	0.25~16	GB12970.4
	软铜电刷线	TSR	0.063~6.3	GB12970.4
铜编织线	斜纹铜编织线	TZ-20	16~800	JB/T 6313.2
	斜纹铜编织线	TZ-15	4~120	JB/T 6313.2
	斜纹铜编织线	TZ-10	4~35	JB/T 6313.2
	扬声器用铜编织线	TZQ	0.03~0.3	JB/T 6313.2
	斜纹镀锡铜编织线	TZX-15	4~120	JB/T 6313.2
	斜纹镀锡铜编织线	TZX-10	4~35	JB/T 6313.2
	扬声器用镀锡铜编织线	TZXQ	0.03~0.3	JB/T 6313.2
	镀锡铜编织套	TZXP	φ1.0~60mm	JB/T 6313.2
	15 型直纹铜编织线	TZZ-15	6~50	JB/T 6313.3
	10 型直纹铜编织线	TZZ-10	4~35	JB/T 6313.3
07 型直纹铜编织线	TZZ-07	4~16	JB/T 6313.3	

表 1-2-93 TJR1、TJRX1 型软铜绞线的结构及技术参数

标称截面 /mm <sup>2</sup>	计算截面 /mm <sup>2</sup>	结构		计算外径 /mm	20℃ 直流电阻 /(Ω/km) ≤		单位长度重量 /(kg/km)
		单线总数 /根	股数×根数/单线 直径/mm		TJR1	TJRX1	
1	2	3	4	5	6	7	8
0.10	0.102	9	9/0.12	0.44	176	179	0.94
(0.12)	0.124	7	7/0.15	0.45	145	147	1.15
0.16	0.159	9	9/0.15	0.56	113	115	1.47

(续)

标称截面 /mm <sup>2</sup>	计算截面 /mm <sup>2</sup>	结 构		计算外径 /mm	20℃直流电阻 /(Ω/km)≤		单位长度重量 /(kg/km)
		单线总数 /根	股数×根数/单线 直径/mm		TJRJ	TJRXL	
(0.20)	0.194	11	11/0.15	0.60	92.9	94.4	1.80
0.25	0.247	14	14/0.15	0.68	72.9	74.1	2.29
(0.30)	0.300	17	17/0.15	0.74	60.3	61.3	2.80
0.40	0.408	13	13/0.20	0.86	44.2	44.9	3.79
(0.50)	0.503	16	16/0.20	0.96	36.0	36.6	4.70
0.63	0.628	20	20/0.20	1.05	28.8	29.5	5.86
(0.75)	0.754	24	24/0.20	1.14	2.40	24.4	7.04
1.00	1.01	32	32/0.20	1.30	17.9	18.2	9.43
1.60	1.57	32	32/0.25	1.63	11.5	11.7	14.7
(2.00)	1.96	40	40/0.25	1.82	9.24	9.39	18.3
2.5	2.41	49	7×7/0.25	2.25	7.58	7.92	22.7
4.0	3.94	49	7×7/0.32	2.88	4.64		37.1
6.3	6.16	49	7×7/0.40	3.50	2.97	—	58.0
10	10.01	49	7×7/0.51	4.59	1.83	—	94.3
16	15.84	84	7×12/0.49	6.17	1.16	—	150
25	25.08	137	19×7/0.49	7.35	0.736		239
(35)	35.14	133	19×7/0.58	8.70	0.525		334
40	40.15	133	19×7/0.62	9.30	0.459		382
(50)	48.30	133	19×7/0.68	10.20	0.382		459
63	62.72	189	27×7/0.65	12.00	0.294		597
(70)	68.64	189	27×7/0.68	12.53	0.269		653
80	78.20	259	37×7/0.62	13.02	0.236		744
(95)	94.06	259	37×7/0.68	14.28	0.196		895
100	99.68	259	37×7/0.70	14.70	0.185		948
(120)	117.67	324	27×12/0.68	17.39	0.157		1119
125	124.69	324	27×12/0.70	17.90	0.148		1186
160	162.86	324	27×12/0.80	20.20	0.113		1549
(185)	183.85	324	27×12/0.85	21.74	0.100		1749
200	196.15	444	37×12/0.75	21.80	0.0940		1866
250	251.95	444	37×12/0.85	24.72	0.0732		2397
315	310.58	703	37×19/0.75	26.25	0.0594		2954
400	398.92	703	37×19/0.85	29.75	0.0462		3795
500	498.30	703	37×19/0.95	33.25	0.0370		4740
630	627.1	1159	61×19/0.83	37.35	0.0284		5965
800	804.3	1159	61×19/0.94	42.30	0.0229		7651
1000	1003.6	1159	61×19/1.05	47.25	0.0184		9547

注：表中有括号的规格，不推荐采用。

表 1-2-94 TJR2、TJR2 型软铜绞线的结构及技术参数

标称截面积/mm <sup>2</sup>	计算截面积/mm <sup>2</sup>	结 构		计算外径/mm	20℃直流电阻/(Ω/km)≤		单位长度重量/(kg/km)
		单线总数/根	股数×根数/单线直径/mm		TJR2	TJR2	
					TJR2	TJR2	
2.5	2.47	140	7×20/0.15	2.36	7.40	7.73	23.3
4.0	3.96	126	7×18/0.20	3.00	4.62	4.82	37.3
6.3	6.16	196	7×28/0.20	3.72	2.97	3.10	58.0
10	9.90	315	7×45/0.20	4.62	1.85	1.93	93.3
16	15.83	504	12×42/0.20	6.18	1.16	1.23	150
25	25.07	798	19×42/0.20	7.45	0.736	0.781	238
(35)	35.41	1127	7×7×23/0.20	10.57	0.521	0.545	337
40	40.02	1274	7×7×26/0.20	10.62	0.461	0.482	381
(50)	49.26	1568	7×7×32/0.20	11.70	0.375	0.392	469
63	63.11	2009	7×7×41/0.20	13.32	0.292	0.305	600

注:表中有括号的规格不推荐采用。

表 1-2-95 TJR3、TJR3 型软铜绞线的结构及技术参数

标称截面积/mm <sup>2</sup>	计算截面积/mm <sup>2</sup>	结 构		计算外径/mm	20℃直流电阻/(Ω/km)≤		单位长度重量/(kg/km)
		单线总数/根	股数×根数/单线直径/mm		TJR3	TJR3	
					TJR3	TJR3	
1	2	3	4	5	6	7	8
0.025	0.0255	13	13/0.05	0.22	707	759	0.24
0.04	0.0385	10	10/0.07	0.27	466	500	0.36
0.063	0.0616	16	16/0.07	0.34	294	316	0.58
0.10	0.100	26	26/0.07	0.42	181	194	0.93
0.16	0.158	41	41/0.07	0.52	115	123	1.47
0.25	0.250	65	65/0.07	0.62	72.4	77.7	2.33
(0.30)	0.296	77	7×11/0.07	0.84	61.7	64.5	2.79
0.40	0.404	105	7×15/0.07	0.97	45.2	48.5	3.81
(0.50)	0.512	133	7×19/0.07	1.05	35.7	38.3	4.82

(续)

标称截面 积/mm <sup>2</sup>	计算截面 积/mm <sup>2</sup>	结 构		计算外径 /mm	20℃直流电阻 /(Ω/km) ≤		单位长度 重量 /(kg/km)
		单线总数 /根	股数×根数/单线 直径/mm		TJR3	TJRX3	
1	2	3	4	5	6	7	8
0.63	0.620	161	7×23/0.07	1.18	29.5	31.7	5.84
(0.75)	0.754	196	7×28/0.07	1.28	24.2	26.0	7.11
1.0	0.997	259	7×37/0.07	1.47	18.3	19.6	9.40
1.6	1.57	408	12×34/0.07	1.97	11.70	12.6	14.8
2.5	2.49	646	19×34/0.07	2.35	7.41	7.96	23.7
4	4.03	513	19×27/0.10	3.08	4.58	4.79	38.3
6.3	6.27	798	19×42/0.10	3.73	2.94	3.07	59.6
10	10.00	1273	19×67/0.10	4.73	1.85	1.93	95.1
16	15.83	2016	12×7×24/0.10	7.18	1.16	1.21	150
25	25.07	3192	19×7×24/0.10	8.55	0.736	0.769	238
(35)	34.47	4389	19×7×33/0.10	9.90	0.535	0.559	328
40	39.96	2261	19×7×17/0.15	11.03	0.462	0.483	380
(50)	49.36	2793	19×7×21/0.15	12.15	0.374	0.391	470
63	63.46	3591	19×7×27/0.15	13.50	0.291	0.304	604
(70)	70.51	3990	19×7×30/0.15	14.18	0.262	0.274	671
80	79.91	4522	19×7×34/0.15	15.08	0.231	0.241	760
(95)	94.01	5320	19×7×40/0.15	16.43	0.196	0.205	894
100	100.73	5700	19×12×25/0.15	18.27	0.183	0.191	958
(120)	120.87	6840	19×12×30/0.15	20.21	0.153	0.160	1150
125	127.59	7220	19×19×20/0.15	20.29	0.145	0.152	1214
160	159.49	9025	19×19×25/0.15	21.75	0.116	0.121	1517
(185)	185.00	10469	19×19×29/0.15	23.25	0.0997	0.104	1760
200	196.15	11100	37×12×25/0.15	25.58	0.0940	0.0982	1866
250	251.08	14208	37×12×32/0.15	28.67	0.0735	0.0768	2388
315	310.58	17575	37×19×25/0.15	30.45	0.0594	0.0621	2954
400	397.54	22496	37×19×32/0.15	34.13	0.0464	0.0485	3782
500	496.92	28120	37×19×40/0.15	38.06	0.0371	0.0388	4727

注:表中有括号的规格,不推荐采用。

祖国万岁上传



2. 绞合

1) 软铜绞线外层的绞向为右向。相邻层的绞向应相反。绞合应紧密整齐,不得有断股和缺股。任何一绞层的节径比,应不大于相邻内层的节径比。

2) 股线可采用正规绞合或束制。绞合及束制方向由制造厂自定。

3) 绞合及束制节径比(表 1-2-96)

3. 接头

1) 绞线或束线中的单线允许焊接。但直径在 0.20mm 及以下者,允许扭结。任何两接头间的距离应不小于 300mm。

2) 复绞线中的股线可整股钎焊或熔焊。但任何两个接头间的距离,应不小于 1m。且应不影响

绞线的外径和柔软性。

表 1-2-96 软铜绞线的绞、束节径比

线 别		节径比 $\leq$
股线		30
成品绞线	一次绞合、束制	14
	内 层	20
	外 层	15

2.4.2 软铜天线

软铜天线(TTR)主要用作通信用的架空天线。

1. 规格、结构及技术参数(表 1-2-97)

表 1-2-97 软铜天线的规格、结构及技术参数

标称截面积 /mm <sup>2</sup>	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	结构 股数×根数/单线直径 /mm	计算外径 /mm	单位长 度重量 /(kg/km)	拉断力	20℃直流电阻
					/kN ≥	/(Ω/km) ≤
1.0	0.958	7×7/0.16	1.44	9.0	0.16	18.0
1.6	1.54	7×7/0.20	1.80	14.1	0.26	11.5
2.5	2.41	7×7/0.25	2.25	22.1	0.40	7.37
4.0	3.94	7×7/0.32	2.88	36.1	0.66	4.51
6.3	6.16	7×7/0.40	3.60	56.4	1.03	2.88
10	10.01	7×7/0.51	4.59	91.7	1.67	1.77
16	16.26	7×7/0.65	5.85	149	2.71	1.09
25	24.63	7×7/0.80	7.20	226	4.11	0.72

2. 绞合

1) 成品软铜天线的绞向为右向。股线的绞向为左向。绞合应紧密整齐,不得有缺线或跳线。

2) 股线的节径比不得大于 20 倍。成品软铜天线的节径比为 8~12 倍。

3. 接头

1) 单线允许焊接。但直径在 0.20mm 及以下者,允许扭结。任何两个接头间的距离应不小于 300mm。

2) 股线不允许整股焊接。

2.4.3 铜电刷线

铜电刷线主要用作电机电刷上的连接线。也可用作其他电器或仪表线路上的连接线。计有 TS 型铜电刷线、TSR 型软铜电刷线和 TSX 镀锡铜电刷线三个品种。要求铜电刷线的结构稳定,应具

有良好的柔软性和耐弯曲性。

1. 规格、结构及技术参数

1) TS、TSX 型铜电刷线(表 1-2-98)

2) TSR 型软铜电刷线(表 1-2-99)

2. 绞合

1) 电刷线最外层的绞向为右向。相邻层的绞向应相反。股线的绞向由制造厂自定。

2) 股线的节径比应不大于 25 倍。内层节径比不大于 12 倍。外层节径比为 8~10 倍。

3. 其他技术要求

1) 电刷线不应有缺股、断股或股线损伤现象。股线不允许整股焊接。个别股中的缺线应不超过股线中单线总数的 3%。

2) 电刷线表面应光洁,不得有毛疵。因软化处理引起的金黄色或淡红色的表面氧化变色,仍可作为合格品。

表 1-2-98 TS、TSX 型铜电刷线的规格、结构及技术参数

标称截面积 /mm <sup>2</sup>	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	结 构		外径/mm ≤	20℃直流电阻 /(Ω/km) ≤		单位长度 重 量 /(kg/km)
		单线总数 /根	股数×根数/单线标称直径 /mm		TS	TSX	
0.25	0.242	63	7×9/0.07	1.0	75.5	81.1	2.28
0.315	0.323	84	7×12/0.07	1.1	56.6	60.7	3.04
0.40	0.404	105	7×15/0.07	1.2	45.2	48.6	3.81
0.50	0.512	133	7×19/0.07	1.3	35.7	38.3	4.82
0.63	0.620	161	7×23/0.07	1.5	29.5	31.6	5.84
0.80	0.808	210	7×30/0.07	1.6	22.6	24.3	7.61
1.00	0.990	126	7×18/0.10	1.8	18.5	19.3	9.33
1.25	1.264	161	7×23/0.10	2.0	14.5	15.1	11.9
1.6	1.594	203	7×29/0.10	2.2	11.5	12.0	15.0
2.0	1.979	252	7×36/0.10	2.4	9.23	9.65	18.6
2.5	2.474	315	7×45/0.10	2.7	7.39	7.72	23.3
3.15	3.134	399	7×57/0.10	3.0	5.83	6.09	29.5
4.0	3.958	594	7×72/0.10	3.3	4.62	4.83	37.3
5.0	4.948	630	7×90/0.10	3.8	3.69	3.86	46.6
6.3	6.243	552	12×46/0.12	4.3	2.94	3.07	59.1
8	7.872	696	12×58/0.12	4.8	2.33	2.44	74.5
10	10.04	888	12×74/0.12	5.3	1.83	1.91	95.1
12.5	12.46	1102	19×58/0.12	5.9	1.48	1.55	118.5
16	15.90	1406	19×72/0.12	6.7	1.16	1.21	151.2

表 1-2-99 TSR 型软铜电刷线的规格、结构及技术参数

标称截面积 /mm <sup>2</sup>	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	结 构		外径/mm ≤	20℃直流电阻 /(Ω/km) ≤	单位长度 重 量 /(g/m)
		单线总数 /根	单线×根数/单线直径 /mm			
0.063	0.0628	32	32/0.05	0.5	288	0.586
0.08	0.0785	40	40/0.05	0.55	231	0.733
0.10	0.0982	50	50/0.05	0.60	184	0.917
0.125	0.124	63	63/0.05	0.65	146	1.16
0.16	0.165	84	7×12/0.05	0.7	111	1.55
0.20	0.206	105	7×15/0.05	0.8	88.7	1.92
0.25	0.247	126	7×18/0.05	1.0	74.0	2.33
0.315	0.316	160	7×23/0.05	1.1	57.8	2.95
0.40	0.399	203	7×29/0.05	1.2	45.8	3.76
0.50	0.495	252	12×21/0.05	1.3	37.0	4.69
0.63	0.636	324	12×27/0.05	1.5	28.9	6.02
0.80	0.801	408	12×34/0.05	1.6	22.9	7.58
1.00	0.990	504	12×42/0.05	1.8	18.6	9.37
1.25	1.268	646	19×34/0.05	2.0	14.5	12.1
1.6	1.567	798	19×42/0.05	2.2	11.8	14.9
2.0	2.015	1026	19×54/0.05	2.4	9.16	19.2
2.5	2.500	1273	19×67/0.05	2.7	7.38	23.8
3.15	3.144	817	19×43/0.07	3.0	5.87	29.9
4.0	4.022	1045	19×55/0.07	3.3	4.59	38.6
5.0	4.972	1292	19×68/0.07	3.8	3.71	47.3
6.3	6.288	1634	19×86/0.07	4.3	2.93	59.8

3) TS 型铜电刷线的伸长率应不小于 18%，TSX 型镀锡铜电刷线的伸长率应不小于 6%。TSR 型软铜电刷线的伸长率应不小于 15%。

4) 将 7 股的电刷线剪成 50mm 的线段，或将 12 股及以上的电刷线剪成 150mm 的线段，从 200mm 的高度水平自由落到平板上应不散开。

4. 铜电刷线的载流量 (表 1-2-100)

表 1-2-100 铜电刷线载流量

标称截面积 /mm <sup>2</sup>	载流量 /A	标称截面积 /mm <sup>2</sup>	载流量 /A
0.063	2.0	1.00	15
0.08	2.5	1.25	17.5
0.10	3.0	1.6	21
0.125	3.5	2.0	24.5
0.16	4.2	2.5	28
0.20	4.9	3.15	33
0.25	5.6	4.0	39
0.315	6.7	5.0	45
0.40	7.9	6.3	52
0.50	9.3	8	62
0.63	10.8	10	72
0.80	12.7	12.5	85
		16	100

注：载流量的允许偏差为  $\begin{matrix} +15\% \\ -10\% \end{matrix}$ 。

2.4.4 铜编织线

铜编织线主要用作可动电气设备耐弯曲的连接线。主要有斜纹铜编织线和直纹铜编织线两个系列。直纹铜编织线因为其纬线是平直的，在受到外力作用时，其宽度尺寸变化不大，更适合于小型精密的电器设备。

1. 型号及规格范围 根据铜编织线的结构、表面状态和使用特征，分为两个系列 12 个型号，如表 1-2-101 所示。

铜编织线的标记示例：

标称截面为 25mm<sup>2</sup>，36 锭 15 型斜纹铜编织线，表示为：

TZ-15 (36) 25 JB/T 6313.2—1992

标称截面为 35mm<sup>2</sup>，10 型直纹铜编织线，表示为：

TZZ-10 35 JB/T 6313.3—1993

标称截面为 0.2mm<sup>2</sup> 的扬声器音圈用铜编织线，表示为：

TZQ-0.2 JB/T 6313.2—1992

套径范围为 16~24mm 的屏蔽保护用镀锡铜编织套，表示为：

TZXP-16~24 JB/T 6313.2—1992

2. 规格结构及技术参数

1) TZ-20 型、TZX-20 型斜纹铜编线的结构及技术参数 (表 1-2-102)。

表 1-2-101 铜编织线的型号及规格范围

品种	型 号	名 称	规格范围	
			标称截面积 /mm <sup>2</sup>	套 径 /mm
斜纹	TZ-20 TZX-20	20 型斜纹铜编织线 20 型斜纹镀锡铜编织线	16~800	—
	TZ-15 TZX-15	15 型斜纹铜编织线 15 型斜纹镀锡铜编织线	4~120	—
	TZ-10 TZX-10	10 型斜纹铜编织线 10 型斜纹镀锡铜编织线	4~35	—
	TZQ TZXQ	扬声器音圈用斜纹铜编织线 扬声器音圈用镀锡斜纹铜编织线	0.03~0.3	—
	TZXP	屏蔽保护用镀锡斜纹铜编织套	—	1~60
直纹	TZZ-15	15 型直纹铜编织线	6~50	—
	TZZ-10	10 型直纹铜编织线	4~35	—
	TZZ-07	07 型直纹铜编织线	4~16	—

表 1-2-102 TZ-20 型、TZX-20 型的结构及技术参数

截面积 /mm <sup>2</sup>		结 构 股数×根数×套数 /单线直径/mm	外形尺寸 /mm		直流电阻 20℃时/(Ω/km) ≤		单位长度 重 量 /(kg/km)
标称	计算		宽度 ≤	厚度 参考值	TZ-20	TZX-20	
16	16.59	24×22/0.20	16	3.0	1.30	1.36	166
25	24.88	24×33/0.20	18	3.5	0.87	0.91	249
35	33.18	24×44×1/0.20	20	4.0	0.65	0.68	331
50	49.77	24×33×2/0.20	22	5.0	0.43	0.45	498
70	66.36	24×44×2/0.20	24	6.5	0.32	0.33	664
95	90.49	24×40×3/0.20	20	—	0.24	0.25	905
120	120.65	24×40×4/0.20	22	—	0.18	0.19	1207
150	150.82	24×40×5/0.20	24	—	0.14	0.15	1508
185	180.98	24×40×6/0.20	26	—	0.12	0.13	1810
240	241.31	24×40×8/0.20	30	—	0.089	0.093	2413
300	301.63	24×40×10/0.20	35	—	0.071	0.075	3016
400	401.17	24×40×10/0.20	40	—	0.054	0.056	4004
500	500.65	24×40×10/0.20 +36×44×2/0.20	45	—	0.043	0.045	5007
630	633.43	24×40×10/0.20 +48×44×3/0.20	50	—	0.034	0.036	6334
800	766.15	24×40×10/0.20 +48×44×7/0.20	55	—	0.028	0.029	7661

2) TZ-15 型、TZX-15 型斜纹铜编织线的结 构及技术参数(表 1-2-103)。

表 1-2-103 TZ-15 型、TZX-15 型的结构及技术参数

截面积 /mm <sup>2</sup>		结 构 股数×根数×套数 /单线直径/mm	外形尺寸 /mm		直流电阻 20℃时/(Ω/km) ≤		单位长度 重 量 /(kg/km)
标称	计算		宽度 ≤	厚度 参考值	TZ 15	TZX-15	
4	3.39	48×4×1/0.15	9	1.0	6.36	6.65	34
4	3.82	36×5×1/0.15	9	1.5	5.64	5.89	38
6	5.09	48×6×1/0.15	12	1.2	4.23	4.42	51
10	10.18	48×12×1/0.15	20	1.4	2.12	2.22	102
10	10.18	36×16×1/0.15	16	2.0	2.12	2.22	102
16	16.96	48×20×1/0.15	22	2.0	1.27	1.33	170
16	16.54	36×26×1/0.15	20	2.5	1.30	1.35	166
20	20.36	36×32×1/0.15	22	3.0	1.06	1.10	204
25	25.44	48×30×1/0.15	22	3.0	0.85	0.89	254
25	25.44	36×40×1/0.15	26	3.0	0.85	0.89	254
35	33.93	48×20×2/0.15	26	3.2	0.64	0.67	340
35	35.62	36×56×1/0.15	32	3.0	0.61	0.64	357
50	50.89	48×20×3/0.15	28	4.8	0.42	0.44	510
50	50.89	36×40×2/0.15	28	5.0	0.42	0.44	510
70	71.25	48×28×3/0.15	36	5.0	0.30	0.31	714
70	71.25	36×56×2/0.15	35	6.0	0.30	0.31	714
75	76.33	36×40×3/0.15	30	7.0	0.28	0.29	765
95	95.00	48×28×4/0.15	40	6.0	0.23	0.24	950
120	118.74	48×28×5/0.15	42	7.0	0.18	0.19	1187

3) TZ-10 型、TZX-10 型斜纹铜编织线的结构及技术参数(表 1-2-104)。

织线的结构及技术参数(表 1-2-105)。

4) TZQ 型及 TZXQ 型扬声器音圈用斜纹编

5) TZXP 型屏蔽保护用斜纹镀锡铜编织套的结构及计算重量(表 1-2-106)。

表 1-2-104 TZ-10、TZX-10 型斜纹铜编织线

截面积 /mm <sup>2</sup>		结 构 股数×根数×套数 /单线直径/mm	外形尺寸 /mm		直流电阻 20℃时/(Ω/km) ≤		单位长度 重 量 /(kg/km)
标称	计算		宽度 ≤	厚度 参考值	TZ-10	TZX-10	
4	3.96	36×14×1/0.10	8	1.0	5.44	5.69	40
6	5.93	36×21×1/0.10	10	1.2	3.63	3.79	59
10	10.17	36×36×1/0.10	14	2.0	2.12	2.22	102
16	15.83	36×56×1/0.10	16	2.5	1.36	1.42	158
25	23.74	36×42×2/0.10	18	3.5	0.91	0.95	237
35	35.61	36×42×3/0.10	20	4.5	0.60	0.63	356

表 1-2 105 TZQ 型、TZXQ 型编织线的结构及技术参数

截面积 /mm <sup>2</sup>		结 构 股数×根数×套数 /单线直径/mm	计算外径 /mm ≤	直流电阻 20℃时/(Ω/km) ≤		单位长度 重 量 /(kg/km)
标称	计算			TZQ	TZXQ	
0.03	0.047	8×3/0.05	0.50	458.5	492.2	0.47
0.05	0.063	8×4/0.05	0.55	342.1	367.2	0.63
0.12	0.092	8×3/0.07	0.65	234.3	251.5	0.92
0.2	0.185	16×3/0.07	0.95	116.5	125.0	1.85
0.3	0.308	16×5/0.07	1.30	70.0	75.1	3.08

表 1-2-106 TZXP 型屏蔽保护用铜编织套的结构及计算重量

套径范围 /mm	结 构 股数×根数×单线直径/mm	单位长度重量 /(kg/km)
1~2	16×3/0.10	3.77
2~4	16×5/0.10	6.28
3~6	24×4/0.15	16.96
6~10	24×8/0.15	33.93
10~16	24×8/0.20	60.32
16~24	24×8/0.30	135.7
24~30	36×6/0.30	152.7
30~40	36×8/0.30	204.3
40~55	48×8/0.30	271.4
55~60	48×10/0.30	339.3

6) 直纹铜编织线的结构及技术参数(表 1-2-107)。

列要求:

3. 其他技术要求

套径 4mm 及以下者,不小于 70%;

套径 4mm 以上者,不小于 80%。

1) 对铜编织线有厚度要求者,均应轧成扁带。

4) 各编织层不得有缺股、跳股或漏编。股线的接头应平整。产品表面应平整无油污,不应有与良好工业产品不相称的各种缺陷。

2) TZQ 型及 TZXQ 型扬声器音圈用斜纹编织线的中心应加放一整根丝线。

4. 铜编织套密度的计算方法 编织套的密度是指编织线中单线的覆盖面积与编织套总面积

3) TZXP 型铜编织套,其编织密度应符合下

表 1 2-107 直纹铜编织线的结构及技术参数

型号	截面积 /mm <sup>2</sup>		结构(经线+纬线) 股数×根数/单线直径/mm +根数/单线直径/mm	外形尺寸 /mm		直流电阻 20℃时/(Ω/km) ≤	单位长度 重量 /(kg/km)
	标称	计算		宽度 ≤	厚度 参考值		
TZZ-15	6	5.94	21×16/0.15+18/0.10	13	3.5	3.20	60
	10	9.90	35×16/0.15+18/0.10	23	3.5	1.92	99
	16	15.83	32×28/0.15+18/0.10	23	4.5	1.20	156
	25	24.74	50×28/0.15+18/0.10	24	4.5	0.75	240
	35	34.88	47×42/0.15+18/0.10	26	5.0	0.55	336
	50	50.89	60×48/0.15+18/0.10	28	5.0	0.38	466
TZZ-10	4	3.96	28×18/0.10+30/0.07	11	3.2	4.94	40
	6	5.94	42×18/0.10+30/0.07	13	3.2	3.30	59
	10	9.90	35×36/0.10+30/0.07	16	3.5	1.98	97
	16	16.11	57×36/0.10+30/0.07	18	3.5	1.21	156
	25	24.88	44×72/0.10+30/0.07	22	4.5	0.79	240
	35	35.16	62×72/0.10+30/0.07	22	4.5	0.56	336
TZZ-07	4	4.04	35×30/0.07+30/0.07	10	2.5	4.84	40
	6	6.00	26×60/0.07+30/0.07	13	3.0	3.26	59
	10	9.93	43×60/0.07+30/0.07	17	3.0	1.97	97
	16	15.93	69×60/0.07+30/0.07	18	3.0	1.23	155

之比。编织密度可按式(1-2-7)计算

$$P = (2P_0 - P_0^2) \times 100\% \quad (1-2-7)$$

式中  $P$ ——编织密度(%)；

$P_0$ ——单向排列密度系数,  $P_0 = \frac{and}{h \cos \alpha}$ ；

$a$ ——编织层股数(锭数)的一半；

$n$ ——每股中单线的根数；

$d$ ——单线直径(mm)；

$\alpha$ ——编织角,  $\cos \alpha = \frac{\pi(D-2d)}{\sqrt{h^2 + \pi^2(D+2d)^2}}$ ；

$h$ ——编织节距(mm)；

$D$ ——检查用的芯棒直径(mm)。

## 2.5 型线

型线(包括型材)主要有铜杆、铝杆、铜接触线、钢铝复合接触线、铜铝母线、铜带、空心铜导线、异形铜排等品种。其型号和规格范围见表 1-2-108。

表 1-2-108 型线的品种、型号及规格范围

产品名称	型号	规格范围		标准号
		/mm	/mm <sup>2</sup>	
电工圆铜杆	T	φ0.35~22.0		GB/T3952—1989
电工圆铝杆	τ	φ9.0~20.0		GB 3955—1983
圆形铜接触线	CTY		50~110	GB12971.2—1991
双沟形铜接触线	CT		65~150	GB12971.2—1991
内包梯形钢、钢、铝复合接触线	CGLN		195, 250	GB12971.3—1991
外露异形钢、钢、铝复合接触线	CGLW		173, 215	GB12971.3—1991

(续)

产品名称	型号	规格范围		标准号
		/mm	/mm <sup>2</sup>	
内包钢单线,钢、铝及铝合金复合接触线	CGLHD		195,260	GB12971.4—1991
内包钢绞线,钢、铝及铝合金复合接触线	CGLHJ		260	GB12971.4—1991
铝合金接触线	CLHA		130~200	GB12971.5—1991
软铜母线	TMR	厚度 2.24~31.5		GB/T5585.2—1985
硬铜母线	TMY	宽度 16~125		GB/T5585.2—1985
软铝母线	LMR	厚度 2.24~31.5		GB5585.3—1985
硬铝母线	LMY	宽度 16~125		GB5585.3—1985
梯形铜排	TPT	大边 24 及以下		ZBK13003.2
一级梯形银铜合金排	TH <sub>1</sub> PT	高度 10~150		ZBK13003.2
二级梯形银铜合金排	TH <sub>2</sub> PT			
七边形铜排	TPQ	厚度 6~16,总宽 47~84		ZBK13003.3
凹形铜排	TPA	厚度 8~9.6,宽度 28~30.5		ZBK13003.4
凹形银铜合金排	TH <sub>2</sub> PA			
哑铃形铜排	TPY	厚度 6,总宽 18~36		ZBK13003.5
空心铜导线	TBRK	厚度 4~18,宽度 6~35		沪 Q/YB830
空心铝导线	LBK	厚度 6.5~14,宽度 8.5~22.5		(企业标准)
软铜带	TDR	厚度 0.8~3.55		GB5584.4—1985
H1 硬铜带	TDY1	宽度 9~100		
H2 硬铜带	TDY2			

### 2.5.1 圆铜杆

电工圆铜杆主要用作控制电线电缆用的圆铜线或型线。采用符合 GB468《电工用铜线锭》或符合 GB467《电解铜》制造。主要有三个品种,无氧圆铜杆用上引法或浸涂法生产,光亮圆铜杆用连铸连轧法生产,黑圆铜杆用回线式轧机生产。后者生产方式已落后。

1. 型号及规格范围 根据圆铜杆的外观、性状特征和含氧量的不同,分为 3 个品种 9 个型号。规格用圆铜杆的直径表示,见表 1-2-109。

2. 规格及尺寸偏差 圆铜杆的规格、尺寸偏差和在同一截面上测得的最大与最小直径之差( $f$ 值)的规定见表 1-2-110。

表 1-2-109 圆铜杆的型号和规格范围

品种	型号	名称	规格范围 /mm
无氧圆铜杆	TW-1	1 级无氧圆铜杆	6.7~19.0
	TW-2	2 级无氧圆铜杆	
	TWY-1	1 级硬态无氧圆铜杆	
	TWY-2	2 级硬态无氧圆铜杆	
光亮圆铜杆	TG-1	1 级光亮圆铜杆	6.35~22.0
	TG-2	2 级光亮圆铜杆	
黑圆铜杆	T	黑圆铜杆	7.2~19.0

表 1-2-110 圆铜杆的规格及尺寸偏差  
(单位: mm)

标称直径	偏差	f 值 ≤
6.35	+0.5 -0.25	0.75
6.7	±0.4	0.8
7.2	±0.4	0.8
8.0	±0.4	0.8
9.0	±0.5	1.0
10.0	±0.5	1.0
11.0	±0.5	1.0
13.0	±0.6	1.2
15.0	±0.7	1.4
17.0	±0.8	1.6
19.0	±0.9	1.8
22.0	±0.9	1.8

3. 机电性能 圆铜杆的力学性能和电阻率的规定见表 1-2-111。

4. 含氧量 圆铜杆的含氧量应符合表 1-2-112 的规定。

光亮圆铜杆的含氧量为 0.0451%~0.0600% 时,应在包装标签上特别标明。黑圆铜杆的含氧量不作考核。

5. 其他技术要求

- 1) 圆铜杆外观应圆整,尺寸均匀。
- 2) 圆铜杆表面不应有摺边、裂纹、夹杂物及其他对使用有害的缺陷。
- 3) 标称直径小于 11.0mm 的黑圆铜杆和光亮圆铜杆,经扭转试验后不应出现摺边及夹杂缺陷。
- 4) 无氧圆铜杆及光亮圆铜杆表面不应有明显的氧化变色。允许由于贮存产生的轻微氧化变色。

表 1-2-111 圆铜杆的力学性能及电阻率

标称直径 /mm	抗拉强度/MPa	伸长率(%)					电阻率(20℃)/nΩ·m				
	≥	TWY-1		TW-1	TW-2	T	TWY-2		TW-2	T	
		TWY-1	TWY-2	TG-1	TG-2		TWY-1	TWY-2	TG-1	TG-2	
6.35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.7	350	1.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.2	345	2.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8.0	335	2.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9.0	325	2.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10.0	315	2.6	—	40	35	30	17.50	17.77	17.07	17.241	17.241
11.0	305	2.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13.0	280	3.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15.0	260	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17.0	240	4.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19.0	220	4.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 1-2-112 圆铜杆的含氧量

型 号	含氧量(%) ≤
TW-1、TWY-1	0.0010
TW-2、TWY-2	0.0020
TG-1、TG-2	0.0600

5) 圆铜杆应成圈交货,每圈圆铜杆应为一整根。每圈黑铜杆的重量应≥60kg。每圈无氧铜杆或光亮铜杆的重量应≥600kg。但根据双方协议,允许以任何的成圈重量交货。

2.5.2 圆铝杆

电工圆铝杆主要用作拉制电线电缆用的圆铝线或型线及其他电工用铝导体。采用符合《电工用铝锭》标准的线锭用热轧法或连铸连轧法制造。

1. 型号 按不同的制造工艺条件,可制成不同硬态的圆铝杆。其型号及产品名称见表 1-2-113。

2. 规格及尺寸偏差 圆铝杆的规格用标称直径表示。允许的直径偏差及同一截面上最大与最小的直径之差(f 值)的规定见表 1-2-114。



表 1-2-113 圆铝杆的型号和产品名称

型 号	产品名称
L	电工软圆铝杆
L2	H2 状态电工硬圆铝杆
L4	H4 状态电工硬圆铝杆
L6	H6 状态电工硬圆铝杆

注：L4 型铝杆较常用。

表 1-2-114 圆铝杆的规格及尺寸偏差

(单位：mm)

标称直径	直径偏差	f 值 ≤
9.0, 9.5, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5, 12.0	±0.5	1.0
12.5, 14.0, 15.0, 16.0	±0.6	1.2
17.0, 20.0	±0.7	1.4

3. 机电性能 圆铝杆的机械性能及电阻率的规定见表 1-2-115。

表 1-2-115 圆铝杆的机电性能

型号	抗拉强度 /MPa	伸长率(%) ≥	电阻率(20℃)/nΩ·m ≥
L	60~80	25	27.55
L2	80~110	14	27.85
L4	95~130	12	28.01
L6	115~147	8	28.01

4. 其他技术要求

- 1) 圆铝杆应圆整，尺寸均匀，硬软状态要一致。
- 2) 圆铝杆表面应清洁，不应有摺边、错圆、裂纹、夹杂物、扭结及其他有害的缺陷。
- 3) 标称直径小于 11.0mm 的圆铝杆，经扭转

试验后，不应出现摺边及夹杂物，也不得裂开。

4) 圆铝杆成圈交货，每圈应为一整根。其交货重量应符合表 1-2-116 的规定。

表 1-2-116 圆铝杆的交货重量

(单位：kg)

圈型	每圈重量	最小重量
小圈	约 40	20
大圈	最大 200C	500

2.5.3 铜接触线

铜接触线主要用于铁路、工矿、城市交通等电气运输及起重设备。铜接触线主要有圆形铜接触线 (CTY) 和双沟形铜接触线 (CT) 两种。采用符合 GB3952 规定的电工圆铜杆制造。对于高速电气化铁道，则应研究开发铜合金接触线。

1. 规格及尺寸偏差

1) 圆形铜接触线的规格及尺寸偏差 (表 1-2-117)。

表 1-2-117 圆形铜接触线的规格及尺寸偏差

标称截面积 /mm <sup>2</sup>	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	标称直径 /mm	允许偏差 /mm	标称重量 /(kg/km)
50	50.2	8.00	±0.06	447.0
65	63.6	9.00	±0.06	565.5
85	86.6	10.50	±0.06	770.0
100	100.3	11.30	±0.06	891.7
110	113.1	12.00	±0.06	1005.5

2) 双沟形铜接触线的规格及尺寸偏差，见表 1-2-118，其截面如图 1-2-14 所示。

表 1-2-118 双沟形铜接触线的规格及尺寸偏差

标称截面积 /mm <sup>2</sup>	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	尺寸及允许偏差/mm									标称重量 /(kg/km)	截面图
		A (±1%)	B (±2%)	C (±2%)	D (+4%, -2%)	E	F	r	G (±2°)	H (±2°)		
65	65.2	9.30	10.19	8.05	5.70	5.32	2.50	0.60	35°	50°	580.0	图 1-2-14a
85	85.4	10.80	11.76	8.05	5.70	5.32	2.50	0.60	35°	50°	760.0	图 1-2-14a
85(T)	86.8	11.00	11.00	8.50	6.12	5.70	1.50	0.38	27°	51°	771.5	图 1-2-14b
100	100.1	11.80	12.81	8.05	5.70	5.32	2.50	0.60	35°	50°	890.0	图 1-2-14a
110	109.6	12.34	12.34	8.50	6.12	5.70	2.50	0.38	27°	51°	974.5	图 1-2-14b
150	150.7	14.40	14.40	9.75	7.27	6.85	3.20	0.38	27°	51°	1339.5	图 1-2-14b

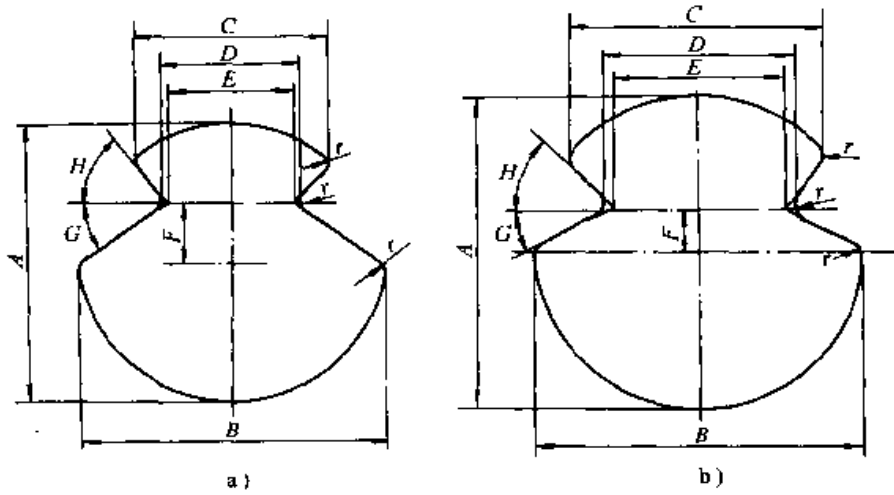


图 1-2-14 双沟形铜接触线

2. 技术要求

2) 双沟形铜接触线的机械性能 (表 1-2-

1) 圆形铜接触线的机械性能 (表 1-2 119)。 120)。

表 1-2-119 圆形铜接触线的机械性能及制造长度

标称截面积 /mm <sup>2</sup>	拉断力 <sup>①</sup> /kN ≥	伸长率 <sup>②</sup> (%) ≥	扭转/次 ≥	反复弯曲		制造长度/m ≥
				弯曲半径/mm	次数 ≥	
50	18.38	2.2	9	20	8	1800
65	23.21	2.4	9	20	8	1800
85	30.48	2.6	9	20	8	1800
100	34.50	3.0	9	25	8	1800
110	37.60	3.3	9	25	8	1800

① 标距长度 250mm。

表 1-2-120 双沟形铜接触线的机械性能及制造长度

标称截面积 /mm <sup>2</sup>	拉断力 <sup>①</sup> /kN ≥	伸长率 <sup>②</sup> (%) ≥	扭转/次 ≥	反复弯曲		制造长度/m ≥
				弯曲半径/mm	次数 ≥	
65	24.20	2.5	3	20	8	1800
85	29.75	2.7	3	25	8	1800
85(T)	30.20	2.7	3	25	8	1800
100	34.61	2.9	3	25	8	1800
110	37.74	3.0	3	25	8	1800
150	51.39	3.3	3	30	8	1000

① 标距长度 250mm。

3) 电阻率。铜接触线 20°时的电阻率应不小于 17.68nΩ·m。

4) 制造长度。电气化铁道用的铜接触线,其制造长度见表 1-2-119 及表 1-2-120,制造长度内不允许有接头。

非电气化铁道用的铜接触线,在制造长度内允许有接头。接头应在成品拉制模前进行,接头数

不得超过 5 个。两接头间接触线的重量应不小于 100kg,接头处的强度应不小于规定值的 95%。

2.5.4 钢、铝复合接触线

钢、铝复合接触线可代替铜接触线,用于铁路、工矿、城市交通等电气运输及起重系统。由钢型材和铝型材复合加工制造而成。主要有内包梯形钢、钢铝复合接触线 (CGLN) 和外露异形钢、

钢铝复合接触线 (CGLW) 两种。其截面见图 1-2-15 及图 1-2-16。

CGLN 型接触线不作扭转试验。

1. 尺寸及允许偏差 (表 1-2-121)
2. 材料

1) 钢型材的抗拉强度应不小于 540MPa。伸长率应不小于 5%。并具有高耐大气腐蚀的性能。在规定的制造长度内不准有接头。

2) 铝型材应用符合 GB1196 中的“特一级铝”制造。铝型材的抗拉强度应不小于 103MPa。伸长率不小于 6%。20℃时的电阻率不大于  $28.264\text{n}\Omega \cdot \text{m}$ 。铝型材焊接处的抗拉强度应不小于 93MPa。

3. 技术要求 钢、铝复合接触线的机电性能见表 1-2-122, 综合拉断力及扭转试样的标距长度为 250mm。结合力试样的有效长度为 100mm。

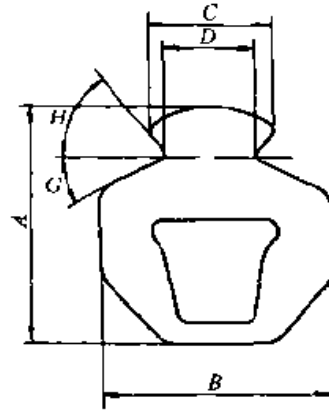


图 1-2-15 CGLN 型内包钢、铝复合接触线

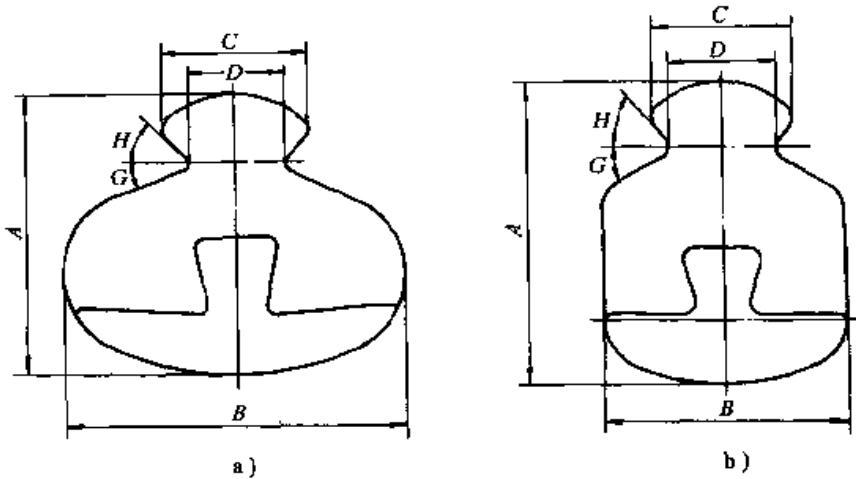


图 1-2-16 CGLW 型外露钢、铝复合接触线

表 1-2-121 钢、铝复合接触线的尺寸及允许偏差

型号	标称截面积 /mm <sup>2</sup>			等效铜截面积 /mm <sup>2</sup>	尺寸及偏差/mm						标称重量 / (kg/km)	截面图形
	钢	铝	总		A	B	C	D	G	H		
CGLN	62	188	250	120	18.5 <sup>+0.65</sup> <sub>-0.30</sub>	18.00 <sup>+0.80</sup> <sub>-0.40</sub>	9.55 <sup>+0.40</sup> <sub>-0.20</sub>	7.30 <sup>+0.40</sup> <sub>-0.20</sub>	27°	51°	994	图 1-2-15
	55	140	195	85	16.20 <sup>+0.65</sup> <sub>-0.30</sub>	16.0 <sup>+0.55</sup> <sub>-0.30</sub>	9.55 <sup>+0.40</sup> <sub>-0.20</sub>	7.30 <sup>+0.40</sup> <sub>-0.20</sub>	27°	51°	807	
CGLW	67	148	215	100	16.50 <sup>+0.66</sup> <sub>-0.0</sub>	19.60 <sup>+0.78</sup> <sub>-0</sub>	8.40 <sup>+0.40</sup> <sub>-0.20</sub>	5.80 <sup>+0.40</sup> <sub>-0.20</sub>	27°	51°	965	图 1-2-16a
	54	119	173	80	16.70 <sup>+0.66</sup> <sub>-0.0</sub>	13.20 <sup>+0.52</sup> <sub>-0</sub>	8.05 <sup>+0.2</sup> <sub>-0.4</sub>	5.70±0.40	35°	50°	785	图 1-2-16b

表 1-2-122 钢、铝复合接触线的机电性能

型号规格	综合拉断力/kN ≥	结合力/kN ≥	180°反复扭转 (正反各一次)	20℃直流电阻/(Ω/km) ≤
CGLN250	54.00	4.90	—	0.149
CGLN195	39.22	3.90	—	0.198
CGLW215	49.03	2.45	不开裂	0.184
CGLW173	34.32	1.96	不开裂	0.230

4. 制造长度及接头

1) CGLN 型接触线的制造长度为 1800~3850m。在制造长度内，铝材及钢材均不允许有接头。

2) CGLW 型接触线的制造长度应不小于 1000m。制造长度内的铝材及钢材允许有接头，接头处的性能指标应不低于表 1-2-122 的要求。

2.5.5 钢、铝及铝合金复合接触线

钢、铝及铝合金接触线可代替铜接触线用于铁路、工矿、城市交通等电气运输及起重系统。由钢线与铝及铝合金型材复合加工制造而成。主要有 CGLHD 型内包钢单线、铝及铝合金复合接触线和 CGLHJ 型内包钢绞线、铝及铝合金复合接触线两种。其截面见图 1-2-17 和图 1-2-18。铝合

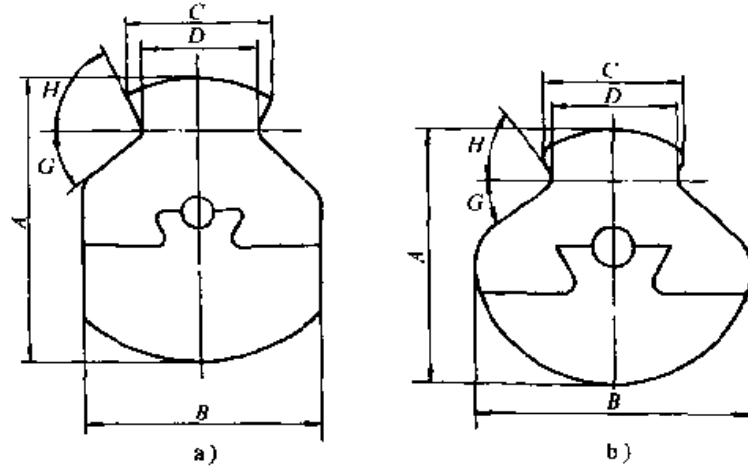


图 1-2-17 内包钢单线、铝及铝合金复合接触线

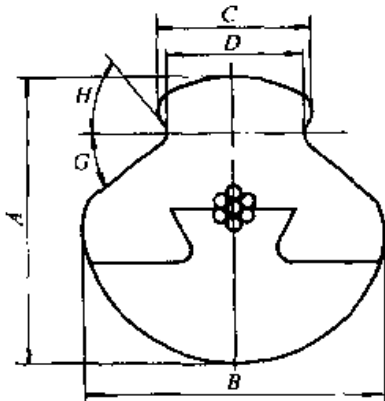


图 1-2-18 内包钢绞线、铝及铝合金复合接触线

金位于接触线的下面。

1. 尺寸及允许偏差 (表 1-2-123)

2. 材料

1) 铝型材

冷加工铝型材：抗拉强度不小于 127MPa

伸长率不小于 6%

热加工铝型材：抗拉强度不小于 78MPa

伸长率不小于 27%

2) 铝合金型材

冷加工：抗拉强度不小于 147MPa

伸长率不小于 4%

热加工：抗拉强度不小于 127MPa

伸长率不小于 21%

表 1-2-123 钢、铝及铝合金接触线的尺寸及允许偏差

型号	标称 总截面 /mm <sup>2</sup>	原件截面 /mm <sup>2</sup>			等效 铜截面 /mm <sup>2</sup>	尺寸及允许偏差/mm					标称 重量 /(kg /km)	截面图号
		钢	铝	铝合 金		A	B	C	D	G/H ±2°		
CGLHD	195	4.9	87.8	101.7	85	18.0±0.2	13.5 <sup>+0.35</sup> <sub>-0.2</sub>	8.0±0.2	6.1±0.2	35°/50°	538	图 1-2-18a
	260	10.0	134.0	116.0	150	18.6±0.2	18.4±0.2	9.1±0.2	7.3±0.2	27°/51°	753	图 1-2-18b
CGLHJ	260	9.3	134.0	116.0	150	18.6±0.2	18.4±0.2	9.1±0.2	7.3±0.2	27°/51°	749	图 1-2-19

3) 钢单线应符合 GB3083《重要用途低碳钢丝》的规定。

4) 钢绞线应符合 GB1102《圆股钢丝绳》的规定。

3. 技术要求 钢、铝及铝合金复合接触线的机电性能见表 1-2-124。拉断力试样的标距长度为 250mm。结合力试样的有效长度为 100mm。

表 1-2-124 钢、铝及铝合金复合接触线的机电性能

型号规格	综合拉断力 /kN ≥	结合力/kN ≥	20℃直流电阻/(Ω/km) ≤
CGLND195	29.40	1.96	0.20
CGLND260	39.20	2.96	0.12
CGLNJ260	49.00	4.90	0.12

4. 制造长度及接头

1) 钢、铝及铝合金复合接触线的制造长度应不小于 1800m。

2) 在制造长度内，钢芯（单线或绞线）和铝合金型材均不允许有接头。铝型材允许有接头，接

表 1-2-125 铝合金接触线的规格尺寸及允许偏差

标称截面积 /mm <sup>2</sup>	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	等效铜截面 /mm <sup>2</sup>	尺寸及允许偏差/mm										标称重量 / (kg/km)
			A ±2%	B ±1%	C ±2%	D +4%,-2%	E ±2%	F	r	G ±2°	H ±2°		
130	130.1	70	13.48	13.48	9.55	7.27	6.78	2.67	0.38	27°	51°	350	
170	171.1	90	15.40	15.40	9.55	7.27	5.78	3.97	0.38	27°	51°	460	
200	200.5	110	16.64	16.64	9.55	7.27	5.78	4.93	0.38	27°	51°	540	

2. 材料

1) 铝应符合 GB1196《重熔用铝锭技术条件》的规定。

2) 镁应符合 YB86 中 Mg-2 的规定。

3) 结晶硅应符合 YB94 中 Si-2 的规定。

4) 稀土应符合 GB4153《混合稀土金属》中

头间的距离应不小于 5m。接头处的机械性能，应符合表 1-2-124 的要求。

2.5.6 铝合金接触线

铝合金接触线可代替一部分铜接触线，用于铁路、工矿、城市交通等电气运输及起重系统，采用稀土铝合金制造，其型号为 CLHA。全称为“热处理铝镁硅稀土合金接触线”，其截面如图 1-2-19 所示。

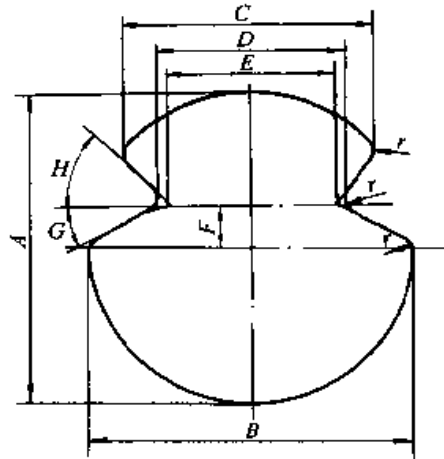


图 1-2-19 CLHA 型铝合金接触线

1. 规格尺寸及允许偏差 (表 1-2-125)

REce-45 的规定。

3. 技术要求

1) 铝合金接触线的机电性能 (表 1-2-126)。

2) 制造长度。铝合金接触线的制造长度应不小于 1800m。在制造长度内不允许有接头。根据双方协议允许以任何长度的线段交货。

表 1-2-126 铝合金接触线的机电性能

标称截面 /mm <sup>2</sup>	拉断力 <sup>①</sup> /kN ≥	伸长率 <sup>①</sup> (%)	180°反复扭转, (各一次)	20℃时电阻率/nΩ·m ≤
130	33.13	4	无折断和开裂	32.80
170	43.31	4	无折断和开裂	32.80
200	50.96	4	无折断和开裂	32.80

① 试验时标距长度为 250mm。

2.5.7 铜母线

铜母线主要用作工业配电线路和电器设备的

绕组导线，或用作其他大电流工业装备的连接导线之用。规格尺寸用厚度和宽度的标称尺寸 a×b

表示,铜母线采用符合 GB468《电工用铜线锭》制造。

1. 型号及规格

1) 铜母线的型号 (表 1-2-127)。

2) 铜母线的规格 (表 1-2-128)。

3) 标称尺寸  $a$  与  $b$  均为 R 20 系列的规格为优选规格。 $a$  与  $b$  中有一个为 R 20 系列,另一个为 R 40 系列的为中间规格,应避免采用。

$a$  与  $b$  均为 R 40 系列的为不推荐规格。

4) 有圆角的铜母线,用于绕组线。其截面按式 (1-2-5) 计算。

表 1-2-127 铜母线型号

型号	状态	名称
TMR	O	软铜母线
TMY	H	硬铜母线

表 1-2-128 铜、铝母线的规格及截面

(单位: mm<sup>2</sup>)

b 边 /mm	a 边/mm																											
	2.24	2.35	2.50	2.65	2.80	3.00	3.15	3.35	3.55	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.30	5.60	6.00										
16.00																												
17.00	38.1	—	42.5	—	47.6	—	53.6	—	60.4	—	68.0	—	76.5	—	85.0	—	95.2	—	—									
18.00	40.3	42.5	45.0	47.7	50.4	54.0	56.7	60.3	63.9	67.5	72.0	76.5	81.0	85.5	90.0	95.4	100.8	108.0	—									
19.00			47.5	—	53.2	—	59.9	—	67.5	—	76.0	—	85.5	—	95.0	—	106.4	—	—									
20.00			50.0	53.0	56.0	60.0	63.0	67.0	71.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0	106.0	112.0	120.0	—									
21.20			53.0	—	59.4	—	66.8	—	75.3	—	84.8	—	95.4	—	106.0	—	118.7	—	—									
22.40			56.0	59.4	62.7	67.2	70.6	75.0	79.5	84.0	89.6	95.2	100.8	106.4	112.0	118.7	125.4	134.4	—									
23.60					66.1	—	74.3	—	83.8	—	94.4	—	106.2	—	118.0	—	132.2	—	—									
25.00					70.0	75.0	78.8	83.8	88.8	93.8	100.0	106.3	112.5	118.8	125.0	132.5	140.0	150.0	—									
26.50							83.5	—	94.1	—	106.0	—	119.3	—	132.5	—	148.4	—	—									
28.00									93.8	99.4	105.0	112.0	119.0	126.0	133.0	140.0	148.4	156.8	168.0									
30.00										106.5	—	120.0	—	135.0	—	150.0	—	168.0	—									
31.50											118.1	126.0	133.9	141.8	149.6	157.5	167.0	176.4	189.0									
33.50												134.0	—	150.8	—	167.5	—	187.6	—									
35.50													133.1	142.0	150.9	159.8	168.6	177.5	188.2	213.0								
40.00														160.0	—	180.0	—	200.0	—	224.0								
45.00															180.0	—	202.5	—	225.0	—	252.0							
50.00																200.0	—	225.0	—	250.0	—	280.0						
56.00																	224.0	—	252.0	—	280.0	—	313.6					
63.00																		252.0	—	283.5	—	315.0	—	352.8				
71.00																			284.0	—	319.5	—	355.0	—	397.6			
80.00																				320.0	—	360.0	—	400.0	—	448.0		
90.00																					360.0	—	405.0	—	450.0	—	504.0	
100.00																						400.0	—	450.0	—	500.0	—	560.0
112.00																												
125.00																												

23.6 R 40 系列规格  
 2.24 R 20 系列规格  
 40.3  $a \times b$  为 R 20  $\times$  R 20 优先规格的标称截面 mm<sup>2</sup>  
 42.5  $a \times b$  为 R 20  $\times$  R 40 或 R 20  $\times$  R 40 的中间规格标称截面 mm<sup>2</sup>  
 —  $a \times b$  为 R 40  $\times$  R 40 的不推荐规格

(续)

b边 /mm	a边/mm															
	6.30	6.70	7.10	8.00	9.00	10.00	11.20	12.50	14.00	16.00	18.00	20.00	22.40	25.00	28.00	31.50
16.00				128.0	144.0	160.0	179.2	200.0	224.0	256.0						
17.00	107.1	—	120.7	—	—	—	—									
18.00	113.4	120.5	127.8	144.0	162.0	180.0	201.6	225.0	252.0	288.0						
19.00	119.8	—	134.9	—	—	—	—	—	—	—						
20.00	126.0	134.0	142.0	160.0	180.0	200.0	224.0	250.0	280.0	320.0	360.0	400.0				
21.20	133.6	—	150.5	—	—	—	—	—	—	—						
22.40	141.1	150.1	159.0			224.0	250.9	280.0	313.6	358.4	403.2	448.0				
23.60	148.7	—	167.6	—	—	—	—	—	—	—						
25.00	157.5	167.5	175.5	200.0	225.0	250.0	280.0	315.5	350.0	400.0	450.0	500.0	560.0	625.0		
26.50	167.0	—	188.2	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—		
28.00	176.4	187.6	198.8	224.0	252.0	280.0	313.6	350.0	392.0	448.0	504.0	560.0	627.2	700.0		
30.00	189.0	—	213.0	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—		
31.50	198.5	211.0	223.7	252.0	283.5	315.0	352.8	393.8	441.0	504.0	567.0	630.0	705.6	707.5	882.0	992.3
33.50	211.0	—	237.8	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35.50	223.7		252.1	284.0	319.5	355.0	397.6	443.8	497.0	568.0	639.0	710.0	792.3	787.5	994.0	1118.3
40.00	252.0		284.0	320.0	360.0	400.0	448.0	500.0	560.0	640.0	720.0	800.0	896.0	1000.0	1120.0	1260.0
45.00	283.5		319.5	360.0	405.0	450.0	504.0	562.5	630.0	720.0	810.0	900.0				
50.00	315.0		355.0	400.0	450.0	500.0	560.0	625.0	700.0	800.0	900.0	1000.0				
56.00	352.8		397.6	448.0	504.0	560.0	627.2	700.0	784.0	896.0	1008.0	1120.0				
63.00	396.9		447.3	504.0	567.0	630.0	705.6	787.5	882.0	1008.0	1134.0	1259.0				
71.00	447.3		504.1	568.0	639.0	710.0	795.2	887.5	994.0	1136.0						
80.00	504.0		568.0	640.0	720.0	800.0	896.0	1000.0	1120.0	1280.0						
90.00	567.0		639.0	720.0	810.0	900.0	1008.0	1125.0	1260.0	1440.0						
100.00	630.0		710.0	800.0	900.0	1000.0	1120.0	1250.0	1400.0	1600.0						
112.00	705.6		795.2	896.0	1008.0	1120.0	1254.4	1400.0								
125.00	787.5		887.5	1000.0	1125.0	1250.0	1400.0	1562.5								

## 2. 标称尺寸的允许偏差

1) 铜母线的尺寸偏差,见表1-2-129。铜母线的宽度已发展到125mm以上。但尚无通用标准。

2) 圆角半径的允许偏差。对于一般用途的铜母线:

$a \leq 6.30\text{mm}$ 者,可以有半径不大于1.5mm的圆角。

$a \geq 6.70\text{mm}$ 者,可以有半径不大于12.0mm

的圆角。

用作绕组线的铜母线,圆角半径的规定见表1-2-130。绝缘母线槽用的铜母线,其圆角半径为 $a/2$ 。

## 3. 技术要求

1) 铜母线的机电性能(表1-2-131)。

2) 铜母线的 $b$ 边弯曲 $90^\circ$ ,表面应不出现裂纹。弯曲圆柱的直径按 $a$ 边尺寸选定(表1-2-132)。

祖国万岁上传

表 1-2-129 铜母线的尺寸偏差

(单位: mm)

标称尺寸	允许偏差		b 边
	a 边		
	$16.00 \leq b \leq 35.50$	$40.00 \leq b \leq 125.0$	
2.24~2.80	0.03	—	—
3.00~4.75	0.05	0.08	—
5.00~12.50	0.07	0.09	—
14.00~25.00	0.10	0.11	0.13
26.50~35.50	0.15	0.15	0.15
40.00~100.00	—	—	0.30
112.00~125.0	—	—	0.3%b

表 1-2-130 铜母线的圆角半径及偏差

(单位: mm)

标称尺寸 a	圆角半径	半径偏差
2.24~3.15	0.5a	$\pm 0.125a$
3.35~4.75	0.8	$\pm 0.2$
5.00~12.50	1.2	$\pm 0.3$
14.00~25.00	1.6	$\pm 0.4$
28.00~31.5	3.2	$\pm 0.8$

表 1-2-131 铜母线的机电性能

型号	抗拉强度 /MPa $\geq$	伸长率 (%) $\geq$	布氏硬度 HBS $\geq$	20℃ 的电阻率 / $\mu\Omega \cdot m$ $\leq$
TMR	206	35	—	17.241
TMY	—	—	65	17.77

表 1-2-132 铜母线 b 边弯曲的圆柱直径

(单位: mm)

标称尺寸 a	圆柱直径	标称尺寸 a	圆柱直径
2.24~2.50	5	9.00~16.00	32
2.65~4.00	8	17.00~31.00	63
4.25~8.00	16		

3) 硬铜母线在 1m 长度内的直度 (即 1m 长度内的弧形高度) 应不超过 4mm。

4) 铜母线的表面应光洁、平整、不应有与良好工业产品不相称的任何缺陷。

4. 物理参数 (表 1-2-133)

表 1-2-133 铜母线的物理参数

型号	密度(20℃) / (kg/dm <sup>3</sup> )	线胀系数 / $10^{-6} C^{-1}$	电阻温度系数 / $C^{-1}$
TMR	8.89	17.0	0.00393
TMY	8.89	17.0	0.00381

### 2.5.8 铝母线

铝母线可代替部分铜母线用作工业配电线路和电器设备的绕组导线。或用作其他电工装备的连接导线。规格尺寸用厚度和宽度的标称尺寸  $a \times b$  表示。铝母线采用符合电工用铝锭标准的块锭或线锭制造。

1. 型号及规格

1) 铝母线的型号 (表 1-2-134)。

表 1-2-134 铝母线的型号

型号	状态	名称
LMR	O	软铝母线
LMY	H	硬铝母线

2) 铝母线的规格 (表 1-2-125)。

3) 优先规格、中间规格和不推荐规格的规定。与铜母线的规定相同。

4) 用于绕组线有圆角的铝母线, 其截面按式 (1-2-5) 计算。

2. 标称尺寸的允许偏差

1) 铝母线的尺寸偏差, 见表 1-2-135。绝缘母线槽用的铝母线, 其宽度已超过 125mm, 但尚无通用标准。

表 1-2-135 铝母线的尺寸偏差

(单位: mm)

标称尺寸	允许偏差	
	a 边	b 边
2.24~6.30	$\pm 0.14$	—
7.10~12.50	$\pm 0.20$	—
14.00~35.00	$\pm 0.30$	$\pm 0.40$
40.00~100.00	—	$\pm 0.80$
112.00~125.00	—	$\pm 1.20$

2) 圆角半径的允许偏差。对于一般用途的铝母线, 参见铜母线的规定。

用作绕组线的铝母线, 圆角半径的规定见表 1-2-136。绝缘母线槽用的铝母线, 其圆角半径为  $a/2$ 。



表 1-2-136 铝母线的圆角半径及偏差  
(单位: mm)

标称尺寸 $a$	圆角半径	半径偏差
2.24~5.00	1.0	$\pm 0.5$
5.30~31.50	2.0	$\pm 0.5$

3. 技术要求

1) 铝母线的机电性能。见表 1-2-137。

表 1-2-137 铝母线的机电性能

型号	抗拉强度 /MPa $\geq$	伸长率 (%) $\geq$	20℃电阻率 / $n\Omega \cdot m$ $\leq$
LMR	68.6	20	28.264
LMY	118	3	29.00

2) 铝母线的  $b$  边弯曲  $90^\circ$ ，表面应不出现裂纹。弯曲圆柱的直径按  $a$  边尺寸选定，见表 1-2-138。

表 1-2-138 铝母线  $b$  边弯曲的圆柱直径  
(单位: mm)

标称尺寸 $a$	圆柱直径	标称尺寸 $a$	圆柱直径
2.24~2.50	10	9.00~16.00	64
2.65~4.00	16	17.00~31.50	126
4.25~8.00	32		

3) 硬铝母线在 1m 长度内的直度 (即弧形高度) 应不超过 2mm。

4) 铝母线的表面应光洁、平整，不应有与良好工业产品不相称的任何缺陷。

4. 物理参数 (表 1-2-139)

表 1-2-139 铝母线的物理参数

型号	密度 (20℃) / (kg/dm <sup>3</sup> )	线胀系数 / $10^{-6} \text{C}^{-1}$	电阻温度系数 / $\text{C}^{-1}$
LMR	2.703	23.0	0.00407
LMY	2.703	23.0	0.00403

2.5.9 梯形铜排及铜合金排

梯形排主要用于制造直流电机的换向器片。用冷轧和冷拉法制造，一般为梯形铜排。梯形银铜合金排可提高电机的使用寿命。梯形排的截面如图 1-2-20 所示。

1. 型号 梯形排的型号有三种，见表 1-2-140。

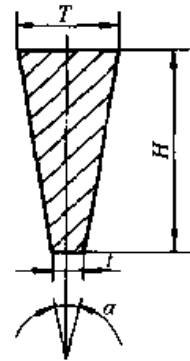


图 1-2-20 梯形排

表 1-2-140 梯形排型号

型号	名称	材料化学成分 (%)	
		铜+银 $\geq$	其中银
TPT	梯形铜排	99.90	—
TH <sub>1</sub> PT	一级梯形银铜合金排	99.90	0.08~0.15
TH <sub>2</sub> PT	二级梯形银铜合金排	99.90	0.16~0.25

2. 规格

1) 梯形排用大底边宽度  $T$ 、高度  $H$  和夹角  $\alpha$  表示，即：

$$T/H/\alpha$$

2) 梯形排的高度  $H$  (mm) 标称值推荐如下：  
10, 11.2, 12.5, 14, 16, 18, 20, 22.4, 25, 28, 31.5, 35.5, 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 125, 132, 140, 150。

3) 尺寸范围：

$$T \leq 24, H \leq 150, H/t \leq 50$$

3. 尺寸偏差

1) 高度  $H$  的允许偏差见表 1-2-141。

2) 大底边  $T$  的允许偏差见表 1-2-142。

表 1-2-141 梯形排高度偏差

(单位: mm)

标称尺寸 $H$	偏差
10 及以下	-0.10
11.2~18.0	-0.20
20~28	-0.30
31.5~50	-0.60
56~80	-0.80
90~150	-1.00

3) 梯形排两侧面之间的夹角  $\alpha$ ，用样板测量。近小底边的两侧面应紧密地贴在样板两边。其余部分和样板之间允许有间隙。但不能插入表 1-2-

143 所示的塞尺。

表 1-2-142 梯形排 T 边偏差

(单位: mm)

标称尺寸 T	偏差
3 及以下	-0.04
3.00 < T ≤ 6.00	-0.05
6.00 < T ≤ 10.00	-0.06
10.00 < T ≤ 18.00	-0.07
18.00 < T ≤ 24.00	-0.08

表 1-2-143 梯形排夹角的允许塞尺

H 标称值/mm	塞尺/mm
30.0 及以下	0.03×3
30.0 < H ≤ 80	0.05×7
80 < H ≤ 100	0.08×10
100 < H ≤ 150	0.10×10

4. 技术要求

1) 梯形排在 500mm 长度内的侧面扭度应不超过 2.5mm。

2) 梯形排两底边在 1m 长度内的直度(弧形高度)规定如下:

$\alpha > 2^\circ$ ,  $H < 50\text{mm}$  者, 应不超过 2mm

$\alpha \leq 2^\circ$ ,  $H \geq 50\text{mm}$  者, 应不超过 3mm

3) 硬度

梯形铜排的表面硬度应为 80~105HBS;

梯形银铜合金排的表面硬度应为 85~105HBS。

4) 梯形排的表面不应有与良好工业产品不相称的任何缺陷。

5. 材料

1) 梯形铜排应采用符合 GB/T468—1997《电工用铜线锭》要求的铜线锭制造。

2) 梯形银铜合金排应采用银铜合金锭制造。其杂质含量应符合 GB/T467—1997《阴极铜》中标准铜的规定。

2.5.10 七边形铜排

七边形铜排用于制造大型水轮发电机磁极线圈的绕组, 其型号为 TPQ。截面如图 1-2-21 所示。

1. 规格尺寸

1) 七边形铜排的规格用下列尺寸表示:

$$H_1(H_2)/L(a+b+c)$$

2) 规格尺寸, 见表 1-2-144, 图 1-2-21 中的 R 为 1.5mm。

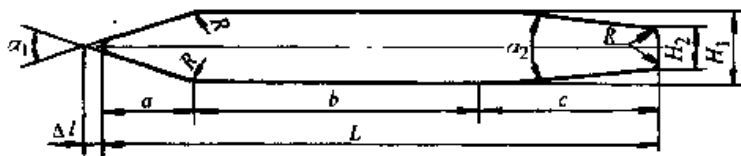


图 1 2 21 七边形铜排

表 1-2-144 七边形铜排的规格尺寸

规格/mm $H_1(H_2)/L(a+b+c)$	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	计算重量 /(kg/m)	参 考 数 据		
			$\Delta l$ /mm	$\alpha_1$	$\alpha_2$
5(5)/58(8+26+24)	320	2.84	5.33	25°22'	2°23'13"
3(6)/50(8+22+20)	355	3.16	2.83	40°32'34"	5°43'20"
6.7(5.4)/60(8+28+24)	367	3.26	4.14	30°51'8"	3°6'10"
8(6.7)/55(8+25+22)	401	3.56	2.83	40°32'34"	3°23'4"
8(7.1)/58(8+27+23)	429	3.81	2.83	40°32'34"	2°14'30"
8(7.2)/58(8+27+23)	430	3.82	2.83	40°32'34"	1°59'34"
8(6.7)/60(8+28+24)	439	3.90	2.83	40°32'34"	3°6'10"
6.5(5.5)/75(8+37+30)	454	4.04	4.45	29°18'16"	1°54'35"
11(10)/47(8+20+19)	469	4.17	1.49	60°11'22"	3°6'49"
8(6.7)/64(8+31+25)	471	4.19	2.83	40°32'34"	2°58'44"
8.7(7.0)/60(8+28+24)	474	4.21	2.38	45°31'19"	2°0'59"
10(9)/55(8+25+22)	505	4.49	1.80	54°3'42"	2°35'14"

(续)

规格/mm $H_1(H_2)/L(a+b+c)$	计算截面积 /mm <sup>2</sup>	计算重量 /(kg/m)	参 考 数 据		
			$\Delta l$ /mm	$\alpha_1$	$\alpha_2$
10(8.5)/60(8+27+25)	548	4.87	1.80	54°3'40"	3°26'12"
8(6.5)/76(8+38+30)	561	4.99	2.83	40°32'34"	2°51'52"
12.5(11.3)/52(8+24+20)	593	5.27	1.16	68°36'45"	3°26'12"
12.5(10.8)/56(8+25.6+22.4)	636	5.65	1.16	68°36'45"	4°32'54"
13.5(11.9)/52(8+24+20)	637	5.66	1.00	73°44'23"	4°52'2"
9.4(8.0)/74(8+36+30)	643	5.72	2.04	50°10'10"	2°40'24"
12.5(10.8)/60(8+27+25)	684	6.08	1.23	68°12'25"	3°53'41"
10.0(8.2)/76(8+35+33)	696	6.19	1.80	54°3'42"	2°56'45"
10.0(8.2)/76(8+38+30)	699	6.21	1.80	54°3'40"	3°26'12"
10.0(8.5)/76(8+38+30)	704	6.26	1.80	54°3'40"	2°51'51"
9.5(8.0)/80(8+40+32)	704	6.26	1.99	50°51'36"	2°41'6"
10.0(8.5)/84(8+42+34)	781	6.94	1.80	54°3'42"	2°3'42"
16.0(13.9)/60(8+28+24)	875	7.78	0.72	85°4'10"	5°0'36"

2. 尺寸偏差 (表 1-2-145)

表 1-2-145 七边形铜排的尺寸偏差<sup>①</sup>

尺寸代号	$H_1$	$L$		$a$	$b$
		$\leq 60$	$> 60$		
偏差/mm	$\pm 0.1$	$\pm 0.3$	$\pm 0.4$	$\pm 0.5$	$\pm 0.2$

① 检查样板由用户提供。

3. 技术要求

- 1) 抗拉强度应不小于 206MPa。
- 2) 伸长率应不小于 35%。

3) 电阻率。20℃时的电阻率应不大于 17.24nΩ·m。

4) 弯曲试验。窄边  $H_2$  沿直径等于 2 倍  $L$  尺寸的光滑圆柱弯曲 90°，表面应不出现裂纹。

2.5.11 凹形排

适用于制造气内冷发电机转子的绕组线圈。有凹形铜排(TPA)和凹形银铜合金排(TH<sub>12</sub>PA)两种。银铜合金的银含量为 0.16%~0.25%，其截面见图 1-2-22。规格用  $A \times B/a \times b$  表示。

1. 规格尺寸及允许偏差(表 1-2-146)

表 1-2-146 凹形排的规格尺寸

标称截面积 /mm <sup>2</sup>	规格尺寸/mm							允许偏差/mm					参考重量 /(kg/m)
	$A$	$B$	$a$	$b$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$A$	$B$	$a$	$b$	$R$	
150	8	28	5	16	1	3	5	$\pm 0.07$	-0.20	$\pm 0.10$	+0.2	$\pm 25\%$	1.334
200	9.6	30.5	6	16.5	1	4	5	$\pm 0.07$	$\pm 0.10$	$\pm 0.07$	$\pm 0.10$	$\pm 25\%$	1.823

2. 技术要求

- 1) 抗拉强度应不小于 250MPa。
- 2) 电阻率 20℃时的电阻率应不大于 17.77nΩ·m。
- 3) 两窄边在 1m 长度内的直度应不超过 3mm。
- 4) 单根长度应不小于 8m。

2.5.12 哑铃形铜排

适用于制造熔断器的触头。其型号为 TPFY。

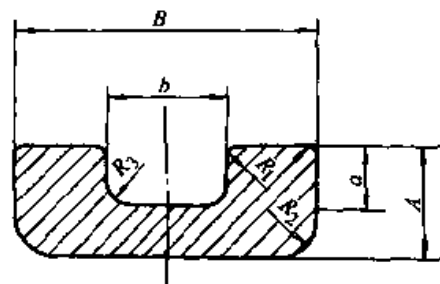


图 1-2-22 凹形排

其截面形状有如图 1-2-23 所示的 a、b 两种。规格用 A/B 表示。

1. 规格尺寸及允许偏差 (表 1-2-147)

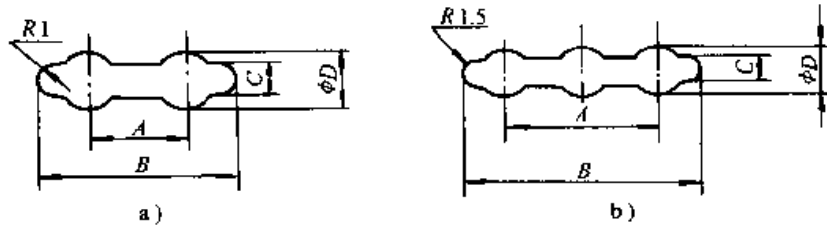


图 1-2-23 哑铃形铜排

表 1-2-147 哑铃形铜排的规格尺寸

规格	尺寸及偏差/mm								熔断电流 /A	参考重量 / (kg/m)	形 状
	A	偏差	B	偏差	C	偏差	D	偏差			
9/18	9	±0.1	18	±0.2	2	±0.2	6	+0.1 -0.16	100	0.60	图 1-2-23a
12/23	12	±0.1	23	±0.2	2	±0.2	6	+0.1 -0.16	200	0.69	
16/30	16	±0.1	30	±0.2	2	±0.2	6	+0.1 -0.16	400	0.83	
24/36	24	±0.1	36	±0.2	3	±0.2	6	+0.1 -0.16	600	1.22	图 1-2-23b

2. 技术要求

- 1) 电阻率 20℃时的电阻率应不大于 17.77nΩ·m。
- 2) 硬度 应不小于 65HB。
- 3) 直度 窄边在 1m 长度内的直度应不超过 1mm。
- 4) 熔断电流 见表 1-2-147。

2.5.13 空心铜导线

适用于制造水内冷电机、变压器及感应电炉的绕组线圈。有 TKY 硬态的和 TKR 软态的两种型号。其截面见图 1-2-24。规格用 A×B×s 表示。供货形式有直条和盘条两种。

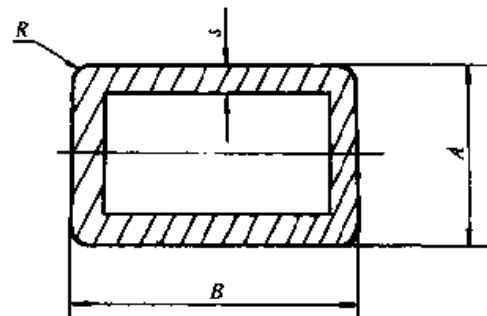


图 1-2-24 空心导线截面

- 1) 规格尺寸及允许偏差, 见表 1-2-148。壁厚 s 的偏差见表 1-2-149。

表 1-2-148 空心铜导线的规格尺寸及偏差 (单位: mm)

规格尺寸 A×B×s	宽厚比 B/A	A 及 B 的允许偏差		外圆角 R	
		直条	盘条	s=1~3.5	s=3.6~6
(4~7)×(6~13)×(1~2)	≤1.5	+0.05 -0.10	+0.05 -0.13	0.5~1.5	
	≤2.0	+0.05 -0.12	+0.05 -0.14	0.5~1.5	
	≤2.5	+0.05 -0.14	+0.05 -0.16	0.5~1.5	
(8~18)×(8~35)×(2.5~6)	≤1.5	+0.05 -0.12	+0.05 -0.15	~2	1.5~2.5
	≤2.0	+0.05 -0.14	+0.05 -0.17	~2	1.5~3
	≤2.5	+0.05 -0.16	+0.05 -0.20	1~3	1.5~3.5

表 1-2-149 壁厚  $s$  的允许偏差

(单位: mm)

	不同壁厚 $s$ 的允许偏差				
	1~1.5	2~2.5	3~3.5	4~4.5	5~6
直条	±0.04	±0.06	±0.08	±0.10	±0.12
盘条	±0.05	±0.07	±0.09	±0.12	±0.14

2) 技术要求

a) 内外表面应光洁。外表面粗糙度  $R_a$  不大于  $1.6\mu\text{m}$ 。内表面粗糙度  $R_a$  不大于  $6.3\mu\text{m}$ 。

b) 机电性能。应符合表 1-2-150 的规定。

表 1-2-150 空心铜导线的机电性能

	抗拉强度 /MPa	伸长率 (%)	电阻率 / $n\Omega \cdot \text{m}$
	≥	≥	≤
硬态的 (TKY)	294	—	17.77
软态的 (TKR)	206	35	17.37

c) 软铜空心导线 (TKR) 弯曲  $90^\circ$  时, 表面应不裂开。

d) 壁厚小于 2mm 的空心导线应逐根进行探伤检查。

e) 空心铜导线应进行水压试验。在供需双方

协商确定的水压下保持 15min, 应不出现渗漏或产生局部的塑性变形。

2.5.14 铜带

适用于电工产品的制造或作为电器设备的连接导体。有 TDR 软铜带, TDY 硬铜带及 TDY<sub>2</sub> 硬铜带三个型号。规格大小用厚度 ( $a$ ) × 宽度 ( $b$ ) 表示。

1. 规格尺寸

1) 铜带的规格尺寸, 见表 1-2-151。宽度  $b$  与厚度  $a$  之比一般为  $9 < \frac{b}{a} \leq 100$ 。圆角半径之规定见表 1-2-151。

2) 铜带  $a$  边及  $b$  边的尺寸偏差。见表 1-2-152。

3) 圆角半径的偏差为表 1-2-151 规定值的 ±25%。

表 1-2-151 铜带的规格尺寸及截面

(单位:  $\text{mm}^2$ )

$b$ 边 /mm	$a$ 边/mm							
	0.80	1.00	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40
	$r=0.50\text{mm}$							
9.00	6.984	8.726	9.326					
10.00		8.786		10.986	11.586			
11.20	8.744	10.986	11.658	12.330		13.786		
12.50		12.286		13.786	14.536	15.411	16.286	17.286
14.00	10.984	13.786	14.626	15.466		17.286		19.386
16.00		15.786		17.706	18.666	19.786	20.906	22.186
18.00	14.184	17.786	18.866	19.946		22.286		24.986
20.00		19.786		22.186	23.386	24.786	26.186	27.786
22.40	17.704	22.186	23.530	24.874		27.786		31.146
25.00		24.786		27.786	29.286	31.036	32.786	34.786
28.00	22.184	27.786	29.466	31.146		34.786		38.986
31.50		31.286		35.066	36.956	39.161	41.366	43.886
35.50	28.184	35.286	37.416	39.546		44.161		49.486
40.00		39.786		44.586	46.986	49.786	52.586	55.786
45.00	35.784	44.786	47.486	50.186		56.036		67.786
50.00		49.786		55.786	58.786	62.286	65.786	69.786
56.00	44.584	55.786	59.146	62.506		69.786		78.186
63.00		62.786		70.346	74.126	78.536	82.946	87.986
71.00		70.786						
80.00		79.786						
90.00		89.786						
100.00		99.786						

(续)

b 边 /mm	a 边/mm							
	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.12	2.24
	r=0.50mm		r=0.65mm					
9.00								
10.00								
11.20								
12.50	18.536							
14.00		22.186						
16.00	23.786	25.386	26.837	28.437	30.037			
18.00		28.586		32.037		35.637		39.957
20.00	29.786	31.786	33.637	35.637	37.637	39.637	42.037	44.437
22.40		35.626		39.937		44.437		49.813
25.00	37.286	39.786	42.137	44.637	47.137	49.637	52.637	55.637
28.00		44.586		50.037		55.637		62.357
31.50	47.036	50.186	53.187	56.337	59.487	63.637	66.417	70.197
35.50		56.586		63.537		70.637		79.157
40.00	59.786	63.786	67.637	71.637	75.637	79.637	84.437	89.237
45.00		71.786		80.637		89.637		100.437
50.00	74.786	79.786	84.637	89.637	94.637	99.637	105.637	111.637
56.00		88.386		100.437		111.637		
63.00	94.286	100.586	106.737	113.037	119.337	125.637	133.197	
71.00		113.386				141.637		
80.00		127.786				159.637		
90.00		143.786				179.637		
100.00		158.786				199.637		

b 边 /mm	a 边/mm							
	2.36	2.50	2.65	2.80	3.00	3.15	3.35	3.55
	r=0.80mm							
9.00								
10.00								
11.20								
12.50								
14.00								
16.00								
18.00								
20.00	46.651							
22.40								
25.00	58.451	61.951	65.701	69.451				
28.00		69.451		77.851				
31.50	73.791	78.201	82.926	87.651	93.951	98.676	104.976	111.276
35.50		88.201		98.851		111.276		125.476
40.00	93.851	99.451	105.451	111.451	119.451	125.451	133.451	141.451
45.00		111.951		125.451		141.201		159.201
50.00	117.451	124.451	131.951	139.451	149.451	156.951	166.951	176.951
56.00		139.451		156.251		175.831		198.251
63.00	148.131	156.951	166.401	175.851	188.451	197.901	201.501	223.101
71.00		178.951						
80.00		199.451						
90.00		224.451						
100.00		249.451						

表 1-2-152 铜带 *a* 边及 *b* 边的尺寸偏差  
(单位: mm)

标称尺寸 <i>a</i>	<i>a</i> 边允许偏差	标称尺寸 <i>b</i>	<i>b</i> 边允许偏差
$0.8 \leq a \leq 1.25$	$\pm 0.03$	$b \leq 25.00$	$\pm 0.10$
$1.25 < a \leq 1.80$	$\pm 0.04$	$25.00 < b \leq 50.00$	$\pm 0.12$
$1.80 < a \leq 3.55$	$\pm 0.05$	$50.00 < b \leq 100.00$	$\pm 0.25$

2. 技术要求

1) 铜带的抗拉强度及伸长率, 应符合表 1-2-153 的规定。

表 1-2-153 铜带的抗拉强度及伸长率

标称尺寸 <i>a</i> /mm	抗拉强度/MPa		伸长率 (%)	
	$\geq$ TDY <sub>1</sub>	$\geq$ TDY <sub>2</sub>	$\geq$ TDR	$\geq$ TDY <sub>1</sub>
0.30~1.32	250	309	35	10
1.40~3.55	250	289	35	15

2) 弯曲。*b* 边为 30.00mm 及以下的铜带应进行 *a* 边的弯曲试验。弯曲圆柱的直径应符合表 1-2-154 的规定。试验后表面应不出现裂纹。

表 1-2-154 弯曲直径  
(单位: mm)

标称尺寸 <i>b</i>	弯曲直径
9~16	16
18~30	32

3) 电阻率。铜带的电阻率应符合表 1-2-155 的规定。

表 1-2-155 铜带的电阻率

型号	电阻率(20℃)/nΩ·m $\leq$	电阻温度系数 /℃ <sup>-1</sup>
TDR	17.37	0.00393
TDY <sub>1</sub> , TDY <sub>2</sub>	17.77	0.00381

## 第 3 章 裸电线的性能试验及有关计算

### 3.1 常规试验

常规试验的项目包括尺寸测量、拉力试验、扭转试验、弯曲试验、硬度测量、电阻测量及镀层连续性试验等。

#### 3.1.1 尺寸测量

各种裸电线及圆形、矩形和异形导体的外形尺寸、圆角半径、节径比和截面等, 均需进行尺寸测量。

1. 测量工具 测量所用的千分尺应符合 GB1216《千分尺》的规定。杠杆千分尺应符合 JB1087《杠杆千分尺》的规定。游标卡尺应符合 GB1214《游标卡尺》的规定。投影仪或放大镜的放大倍数为 10~20 倍。必要时还应采用特制样板及塞尺。称量范围为 0~200g 的天平感量为 0.1mg。称量范围为 1kg 的天平, 感量为 1mg。

2. 试样制备 实心圆导体及非圆导体的试样长度一般不小于 1m。绞线的试样长度约 3~5m。取样时应将切割处的两侧扎紧, 以免松散。在成圈或成盘上直接测量时, 应离开端头至少 1m。在成捆试样上测量时, 应离开端部至少 200mm。

每个试样测量三处, 各测点间的间隔距离应不少于 200mm。

#### 3. 测量方法

1) 量具。测量各种尺寸所用的量具应符合表 1-3-1 的规定。

表 1-3-1 量具要求  
(单位: mm)

标称尺寸	量具名称	示值误差
0.020~0.100	杠杆千分尺	$\pm 0.002$
0.101~0.250	外径千分尺	$\pm 0.002$
0.25 及以上	外径千分尺	$\pm 0.004$
10.00 及以上	游标卡尺	$\pm 0.005$

2) 直径。在垂直于试样轴线的同一截面上, 在相互垂直的方向上测量。至少在试样的两端和中部各测量一次。

3) 矩形尺寸。

宽度(*b*边)在平直试样的两端和中部各测量一次。

厚度(*a*边)宽度在 4.00mm 及以下者, 在平直试样的两端和中部各测量一次。宽度在

4. 00mm 以上者。适当增加测点。取数学平均值为测量结果。

4) 直度(侧面弯曲或镰刀弯)。取平直试样 1~3m, 在测试平台上将 1m 长的钢尺紧靠在试样  $a$  边向内弯曲的一侧, 然后测量  $a$  边与直尺间的最大距离。

5) 圆角半径及夹角。用特制样板测量。或切取与试样轴线垂直的断面, 抛光后用 20 倍的放大镜或投影仪与特制样板比较测量。

6) 截面积。简单截面的试样, 可在计量长度上大约相等的间距点至少测量三次。按算术平均值计算出截面。平均值的标准偏差与平均值自身的比值, 应不超过  $\pm 0.5\%$ 。

复杂截面的试样, 或实测截面平均值的标准偏差与计算出的平均值自身的比值超过  $0.5\%$  时, 应采用称量法测量。称量法按 GB3084.2—1983《电线电缆金属导体材料电阻率试验方法》第 5 条的规定进行。

7) 绞合节距。一般采用纸带法测量。即将试样拉直平放, 用宽度约与试样直径相等的纸带, 沿纸带中心划一中线。使纸带中线与试样轴线平行紧贴在试样表面。用平放的铅笔在中线上划出绞合股线的印痕。用钢皮尺在中线上测量  $n$  (表层单线根数) 个印痕间距之和, 即为节距长度。

#### 4. 测量结果及计算

1) 平均值  $\bar{X}$  的计算。测量结果按式 (1-3-1) 计算

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1-3-1)$$

式中  $X_i$  --- 第  $i$  次的测量数值 (mm);

$n$  --- 测量次数。

计算时尺寸为 0.020~1.000mm 者, 修正到 3 位小数。大于 1.000mm 者, 修正到两位小数。修正方法参见 GB1.1—1981《标准化工作导则编写标准的一般规定》附录 C。

2) 复杂截面  $S$  (mm<sup>2</sup>) 的测量结果按式 (1-3-2) 计算

$$S = \frac{m}{L \bar{d}_n} \times 10^3 \quad (1-3-2)$$

式中  $m$  --- 称量测量试样的视在质量 (g), 精确到  $\pm 0.10\%$ ;

$L$  --- 试样长度 (mm), 精确到  $\pm 0.20\%$ ;

$\bar{d}_n$  --- 试样密度 (g/cm<sup>3</sup>), 精确到  $\pm 0.45\%$ 。

#### 3.1.2 抗拉强度及伸长率

抗拉强度及伸长率是裸电线和裸导体制品的重要机械性能指标, 是关系产品优劣和能承受外力大小的重要标志。抗拉强度及伸长率的大小与材料性质、加工方法和热处理条件有关。

##### 1. 试样制备

1) 试件数量一般不少于 3 根。试件长度为标距长度加两端钳口夹持长度之和。

2) 用手工和木制工具将试件矫直。尽量避免使试件受到拉伸、扭曲等机械损伤。

3) 兼作伸长率试验的试件, 应在试件中央标出标距长度 (如 200mm)。标距线应细而清晰。标距长度的误差: 硬线为  $\pm 0.20$ mm; 软线为  $\pm 0.50$ mm。

1) 宽度较大的非圆截面试件, 也可加工宽度较小的试件。试件的尺寸参见 GB228《金属拉力试验方法》的规定。

##### 2. 试验方法

1) 拉力试验机的示值误差应不大于  $\pm 1\%$ 。

2) 将试件垂直夹持在试验机的钳口中。标距线应露出钳口。且试件的轴线应与钳口的中心重合。

3) 拉伸速度: 软态试件不大于 300mm/min; 硬态试件不大于 100mm/min。

4) 加载速度必须均匀平稳无冲击。

5) 试件拉断后, 记录最大负荷, 取三位有效数。

6) 将试件的断口对齐挤紧, 测量并记录拉伸后的标距长度。若断口离标志线小于 20mm, 或发生在标距长度以外且伸长率未达到要求时, 应另取试件重新试验。

##### 3. 试验结果及计算

1) 抗拉强度。按式 (1-3-3) 计算, 精确到 1MPa

$$\sigma_b = \frac{F_m}{S} \quad (1-3-3)$$

式中  $F_m$  --- 拉断时的负荷 (N);

$S$  --- 实测试件截面 (mm<sup>2</sup>)。

2) 伸长率。按式 (1-3-4) 计算

$$\delta = \frac{L_m - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-3-4)$$

式中  $L_m$  --- 拉断后的标距长度 (mm);



$L_0$ ——拉伸前的标距长度 (mm)。

计算时,伸长率小于 5%者,精确到 0.1%;大于和等于 5%者,精确到 1%。

3) 取不少于 3 个试件计算数据的算术平均值,作为试验结果。

### 3.1.3 扭转试验

扭转试验主要检验金属线材的韧性。韧性愈好,能承受的扭转次数愈多。同时还可根据扭断后的断口和表面裂纹,检查铜、铝杆材的内在质量和轧制工艺条件的优劣。韧性较好的材料,断口齐平。韧性较差的材料,断口不平整。

#### 1. 试样制备

1) 试件的标距长度为  $100d$  (直径)。最大不超过 500mm。试件长度为标距长度加两端钳口的夹持长度。

2) 试件数量,每批不少于 5 根。

3) 用手工和木制工具在木垫上将试件矫直。

#### 2. 试验方法

1) 扭转试验机的原理,见图 1-3-1。定位夹头和旋转夹头的轴线与试件的扭转轴线应重合。夹具的硬度应不小于 HRC61。

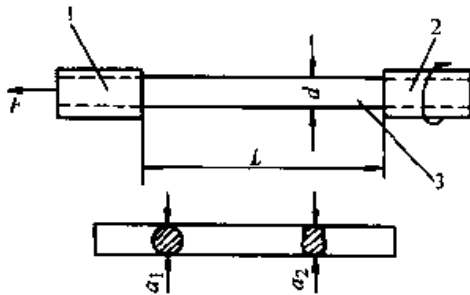


图 1-3-1 扭转试验机原理图

1—定位夹头 2—旋转夹头 3—试件  
 $d$ —试样标称直径  $a$ —试样窄边标称尺寸  $L$ —标距长度  $F$ —负荷

2) 将试件放入两夹头内。调整定位夹头的位置,使两夹头间的距离等于标距长度。

3) 在定位夹头上悬挂不大于试件拉断力 2% 的砝码,将试件拉直。

4) 确信试件的轴线与夹具的轴线重合后,夹紧夹具。

5) 选定扭转速度:

试件尺寸  $< 3\text{mm}$  时, 转速  $\leq 60\text{r}/\text{min}$ ;

试件尺寸  $\geq 3\text{mm}$  时, 转速  $\leq 30\text{r}/\text{min}$ 。

6) 试件每旋转  $360^\circ$  为扭转一次。试验进行到

试件扭断或达到规定的扭转次数时为止。

7) 扭转方式。可以为单向或正反两个方向。按产品标准的规定进行。

#### 3. 试验结果

1) 试验记录中应注明:试件尺寸、标距长度、施加的负荷、扭转速度、达到的扭转数等。

2) 记录外观检查:断口形状及表面裂纹的描述。

3) 当扭转次数达到规定值时,即认为试验有效。但若扭转断口在钳口内或距钳口的距离小于  $2d$ ,且扭转次数未达到规定值时,应另取试样重新试验。

### 3.1.4 弯曲试验

弯曲试验主要检验金属线材的抗弯曲性能。材质不均或性脆的材料,抗弯曲性能较差。下述弯曲试验适用于标称尺寸 20mm 以下的圆截面及非圆截面的线材。

#### 1. 试样制备

1) 取样。从外观合格的试样上截取长约 300mm 的试件 5 根。取样时应避免试件受到拉伸、扭曲或其他机械损伤。

2) 矫直。用手工和木制工具将试件矫直。

#### 2. 试验方法

1) 弯曲试验机的结构,见图 1-3-2 及图 1-3-3。

2) 根据试件的标称尺寸,按表 1-3-2 的规定选用弯曲圆柱 1 并调节拨杆距离  $h$ 。

表 1 3 2 弯曲试验参数

(单位: mm)

试件标称尺寸 $d$ (a)	弯曲半径 $r$	拨杆距离 $h$
0.8~1.00	$2.5 \pm 0.1$	15
1.01~1.50	$3.75 \pm 0.1$	20
1.51~2.00	$5.0 \pm 0.1$	20
2.01~3.00	$7.5 \pm 0.1$	25
3.01~4.00	$10.0 \pm 0.1$	25
4.01~6.00	$15.0 \pm 0.1$	35
6.01~8.00	$20.0 \pm 0.1$	40
8.00 以上	$2.5d \pm 0.2$	50

3) 将试件穿过拨杆孔,使试件垂直并夹紧。拨杆孔大于试件尺寸约 0.5~1.0mm。

4) 在拨杆孔外试件上端的轴线方向,施加一不超过试件拉断力 2% 的张力拉紧试件。以免在

试件弯曲时发生拱曲。

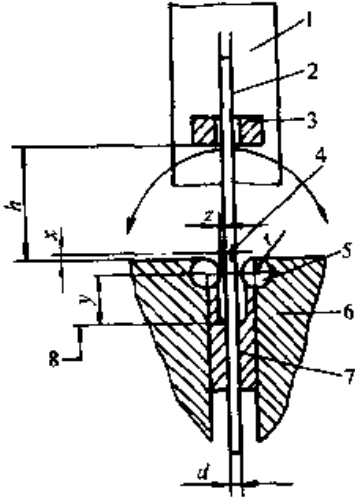


图 1-3-2 圆截面线材反复弯曲试验机

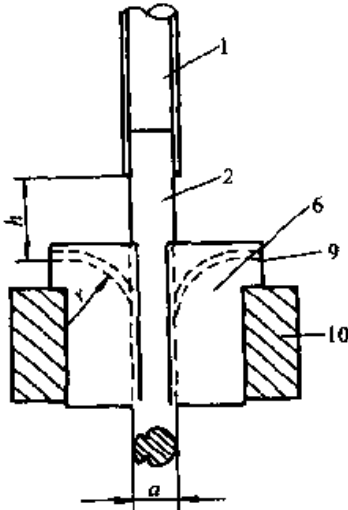


图 1-3-3 异形截面线材反复弯曲试验机

图 1-3-2 和图 1-3-3 的图例

符号	名称	符号	名称
1	拨杆	$d$	试件直径
2	试件	$a$	异形截面线材厚度
3	拨杆孔	$r$	弯曲半径
4	拨杆转动轴线	$h$	拨杆距离
5	弯曲圆柱	$y$	弯曲圆柱轴线的平面试件接触点的距离
6	支座	$x$	拨杆转动轴线到弯曲圆柱顶部平面的距离
7	支座夹持面	$z$	试件与弯曲圆柱间的间隙
8	试件接触点		
9	导向槽		
10	台钳		

5) 试件从起始的垂直位置,沿圆柱向右弯曲 $90^\circ$ ,再返回到原来的位置,作为第1次弯曲。再以相反的方向,沿另一个弯曲圆柱向左弯曲 $90^\circ$ ,再回到原来的位置,作为第2次弯曲。依次重复进行,直到试件折断时为止。试件折断时的最后一次弯曲,不应计入弯曲次数内。

6) 弯曲试验的速度,一般为每秒弯曲一次。试验过程应连续,不要间断。

3. 试验结果 以5根试件弯曲次数的平均值,作为试验结果。

### 3.1.5 单向弯曲试验

钢、铝及其合金的矩形截面线材须进行单向弯曲试验,以检验其抗弯性能。下述单向弯曲试验适用于标称尺寸 $0.8\text{mm}$ 及以上的矩形截面线材。有两种设备型式,一种为窄边( $a$ )单向弯曲试验机,如图1-3-4所示,另一种为宽边( $b$ )单向弯曲试验装置,如图1-3-5所示。

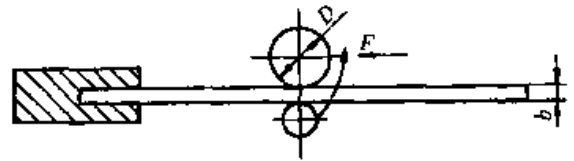


图 1-3-4 a 边单向弯曲试验机  
 $D$ —弯曲圆柱直径  $F$ —作用力

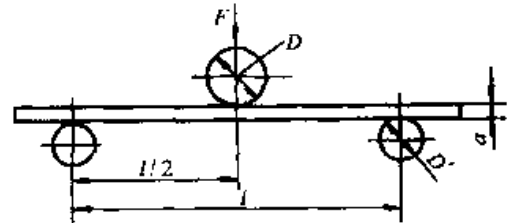


图 1-3-5 b 边单向弯曲试验装置  
 $D$ —弯曲圆柱直径  $D'$ —支辊或压辊直径  $F$ —作用力

1. 试样制备 从外观检查合格的试样上,截取适当长度的试件2根。用手工小心矫直。

#### 2. 试验方法

##### 1) 窄边( $a$ )单向弯曲试验

a) 将试件装到试验机上,试件的一端固定。  
b) 根据产品标准规定的弯曲半径,选定弯曲圆柱。调整压辊的位置,使试件弯曲时与弯曲圆柱面保持良好的接触和不产生拱曲。

c) 起动试验机后,使试件平稳而缓慢地弯曲直至要求的角度。

2) 宽边 (b) 单向弯曲试验

a) 按图 1-3-5, 将试件放在两个水平的支辊上。支辊间的距离按式 (1-3-5) 计算

$$l = D + D' + 2.1a \quad (1-3-5)$$

式中  $D$ —弯曲圆柱直径 (mm);

$a$ —试件  $a$  边的标称尺寸 (mm);

$D'$ —支辊直径 (mm)。

b) 根据产品标准弯曲半径的规定, 选定弯曲圆柱的直径。调整弯曲圆柱或两个支辊的相对位置, 使作用力  $F$  垂直于两个支辊中心的连线, 并位于中点。

c) 起动试验机后, 使作用力平稳而缓慢地弯曲试件直至要求的角度。

3) 用正常视力检查并记录弯曲后试件表面的状况。

3. 试验结果 按产品标准的规定, 判定试验结果是否合格。

3.1.6 卷绕试验

标称直径 0.8~20.0mm 的铜、铝及其合金圆线和标称尺寸不大于 20mm 的非圆形线材, 须进行卷绕试验, 以检验其抗弯性能。卷绕试验有重复卷绕和一次卷绕两种方式。卷绕试验装置原理见图 1-3-6。

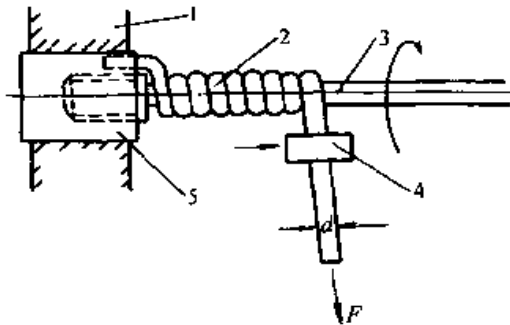


图 1-3-6 卷绕试验装置原理图

1—夹具 2—试件 3—试棒 4—导块  
5—试棒座  $d$ —试件直径

1. 试样制备 从外观检查后合格的试样上, 截取能满足卷绕圈数和操作要求的试件 2 根。

2. 试验方法

1) 根据产品标准规定的卷绕直径选定试棒, 试棒的轴线应与夹具中心重合, 并在座上旋紧。

2) 装上试件, 并在自由端施加一不超过其拉断力 5% 的负荷。以避免试件在卷绕时发生拱曲。

3) 根据产品标准的规定, 选择卷绕方式:

a) 一次卷绕。将试件在规定直径的试棒上, 紧密卷绕 8 圈。

b) 重复卷绕。将试件在规定直径的试棒上, 紧密卷绕 8 圈。然后退绕 6 圈。退绕下来的部分应理直, 然后再重新紧密地卷绕在试棒上。

4) 卷绕速度应均匀, 并且不超过 10r/min。

5) 卷绕线匝应紧密并紧箍在试棒上, 不得重叠。

6) 用正常视力检查卷绕部分的表面, 并记录。

7) 当试棒直径等于试件的标称直径时, 允许用手工卷绕。先将试件弯成 U 形, 并夹紧成“r”扣, 然后用手工将试件的一端, 紧密地绕在另一端上, 如图 1-3-7 所示。



图 1-3-7 自身卷绕

3. 试验结果 按产品标准的规定, 判定试验结果是否合格。

3.1.7 伸长 1% 时的应力试验

组合绞线中镀锌钢线的伸长 1% 时的应力, 是计算组合绞线拉断力的一个重要参数。伸长 1% 时的应力愈大, 组合绞线的强度愈高。

1. 试样制备

1) 从外观检查合格的样品上, 截取不少于 3 根的试件。最好由未受扭曲的芯线上取样。

2) 试件长度为标距长度加两端钳口的夹持长度, 并必须留有安装操作延伸仪的必要长度。

3) 用手工及木制工具小心矫直。

2. 试验方法

1) 在试件的中段, 标出标距长度 250mm。允许采用其他的标距长度, 但须加以调整。

2) 将试件垂直夹持在拉力试验机的钳口内。试件的轴线应与钳口的中心线重合。

3) 按表 1-3-3 的规定, 对不同直径的试件施加相应的起始拉应力。

4) 在试件的 250mm 标距线上, 小心地安装延伸仪。并按表 1-3-3 的规定, 按不同的线径调整延伸仪到相应的起始伸长读数。

如果采用  $L$  (100mm 或 200mm) 的标距长度,

则起始伸长读数应乘以系数  $L/250$ 。

**表 1-3-3 测伸长 1% 应力的起始应力和起始伸长读数**

实测线径 /mm	起始应力 /MPa	起始伸长读数 /mm (标距长度 250mm) <sup>①</sup>
1.24~2.25	100	0.125
2.26~3.00	200	0.250
3.01~4.75	300	0.375
4.76~5.50	400	0.500

① 对于其他标距长度  $L$ ，应乘以系数  $L/250$ 。

**表 1-3-4 架空线用镀锌钢丝的抗拉强度和伸长 1% 时的应力**

镀锌级别	标称线径 /mm	抗拉强度 /MPa ≥				伸长 1% 时的应力 /MPa ≥			
		GB3428	IEC888-1987			GB3428	IEC888-1987		
			普通钢	高强度	特强钢		普通钢	高强度	特强钢
1 级	1.24~2.25	1310	1340	1450	1620	1172	1170	1310	1450
	2.26~2.75	1310	1310	1410	1590	1138	1140	1280	1410
	2.76~3.00	1310	1310	1410	1590	1138	1140	1280	1410
	3.01~3.50	1310	1290	1410	1550	1103	1100	1240	1380
	3.51~4.75	1310	1290	1380	1520	1103	1100	1170	1340
	4.76~5.50	1310	1290	1380	1500	—	1100	1170	1270
2 级	1.24~2.25	—	1240	1380	—	—	1100	1240	—
	2.26~2.75	—	1210	1340	—	—	1070	1210	—
	2.76~3.00	—	1210	1340	—	—	1070	1210	—
	3.01~3.50	—	1190	1340	—	—	1000	1170	—
	3.51~5.50	—	1190	1230	—	—	1000	1100	—

**3.1.8 硬度测量**

铜、铝及其合金的硬度，采用布氏硬度进行测试。即用一钢球在负荷作用下，压入试件表面。持续 30s 后，测量压痕直径  $d$ ，然后按公式 (1-3-6) 求出布氏硬度。压痕情况见图 1-3-8。

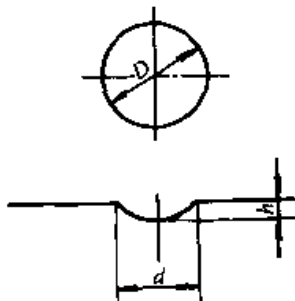


图 1-3-8 硬度试验

**1. 试样制备**

1) 从试样上截取长度约 100mm 的试件 1 个。

5) 均匀并连续地施加负荷，直至延伸仪达到原标距长度的 1% 时为止。记录此时的拉力  $P_1$ 。

6) 小心地卸下延伸仪和试件。

**3. 试验结果和计算**

1) 伸长 1% 时的应力，由拉力  $P_1$  除以试件的实测截面求得。

2) 以不少于 3 个试件计算数据的算术平均值，作为试验结果。

3) 试验结果以不小于表 1-3-4 的规定值为合格。

2) 试件的表面应平整光洁。必要时应用金相砂纸抛光。

**2. 试验方法**

1) 将试件放在载样平台上。试件的表面应与负荷作用力相垂直。偏斜度应不超过 0.2/100。

2) 根据表 1-3-5 的规定，选定钢球直径  $D$  和试验负荷  $F$ 。钢球的硬度应不低于 850HV。钢球的允许偏差见表 1-3-5。

3) 将选定钢球放在离试件边缘不小于 2.5 倍  $d$  的合适位置。且两相邻压痕的中心距应不小于  $4d$ 。

4) 每个试件应在中部和两侧三处各测量一次。

5) 启动试验机，按表 1-3-5 规定的施加负荷时间，平稳地施加负荷。应避免冲击和振动。

6) 达到规定试验负荷后，开始记时。到 30s 时，立即卸除负荷。

表 1-3-5 布氏硬度试验参数

试件厚度 $a$ /mm	$F/D^2$ 值	钢 球 直 径		试验负荷/kgf <sup>①</sup>	施加负荷时间 /s	负荷持续时间 /s
		$D$ /mm	允许偏差/mm			
$a \leq 3$	10	2.5	$\pm 0.0035$	62.5	1~2	30
$3 < a \leq 6$	10	5	$\pm 0.0040$	250	2~4	30
$6 < a$	10	10	$\pm 0.0045$	1000	5~7	30

① 因布氏硬度定义负荷应用 kgf, 1kgf=9.8N, 下同。

7) 从相互垂直的两个方向测量压痕直径。取两个测量值的算术平均值, 作为测量的压痕直径。每次测量压痕直径的精度为试验用钢球直径的  $\pm 0.25\%$ 。

### 3. 试验结果及计算

1) 取三个试验点的硬度算术平均值, 作为试验结果。试验点的硬度按式 (1-3-6) 计算

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-3-6)$$

式中 HB——布氏硬度 (kgf/mm<sup>2</sup>);

$F$ ——试验负荷 (kgf);

$D$ ——钢球直径 (mm);

$d$ ——实测平均压痕直径 (mm)。

计算的结果在 100 及以上时取整数。小于 100 时, 修正到一位小数。

2) 试验结果的表示方法示例。如钢球直径为 5mm, 负荷为 250kgf, 负荷持续时间为 30s, 测得平均压痕直径, 代入式 (1-3-6) 后, 计算结果为 100 (kgf/mm<sup>2</sup>)。则试验结果表示为

$$HB5/250/30 = 100$$

### 4. 注意事项

1) 当钢球使用后产生残余变形超过了允许偏差或破损后, 应立即更换。每次换钢球后的第一次试验结果, 不能采用。

2) 铜及铜合金的布氏硬度试验值, 随钢球的直径和试验负荷的大小不同略有变化。

3) 各种硬度试验值之间没有准确的换算关系, 不宜采用换算值作为试验结果。

4) 试件厚度  $a$  不应小于压痕深度的 10 倍, 压痕深度  $h$ , 可按式 (1-3-7) 计算

$$h = \frac{F}{\pi D \cdot HB} \quad (\text{mm}) \quad (1-3-7)$$

### 3.1.9 电阻率测量

电阻率有体积电阻率和质量电阻率两种形式。体积电阻率为单位长度和单位截面的导体电阻。在标准温度 20℃ 时, 其值由式 (1-3-8) 表示。

质量电阻率为单位长度和单位质量的导体电阻, 其值由式 (1-3-9) 表达。

体积电阻率

$$\rho_{20} = \frac{A_{20}}{l_{20}} \cdot R_{20} \quad (1-3-8)$$

质量电阻率

$$\delta_{20} = \frac{m}{L_{20}} \cdot \frac{R_{20}}{l_{20}} \quad (1-3-9)$$

式中  $A_{20}$ ——标准温度 20℃ 时的试件截面;

$l_{20}$ ——温度 20℃ 的试件标距长度;

$R_{20}$ ——温度 20℃ 时的试件电阻;

$m$ ——试件的质量;

$L_{20}$ ——温度 20℃ 的试件总长。

电导率与电阻率成反比, 用百分数表示。以国际退火铜的体积电阻率  $17.241 \text{ n}\Omega \cdot \text{m}$ , 作为电导率 100% IACS<sup>①</sup>。其他导体的电导率 ( $\eta$ ) 可按式 (1-3-10) 计算

$$\eta = \frac{17.241}{\rho_{20}} \times 100\% \quad (1-3-10)$$

式中  $\rho_{20}$ ——20℃ 时的体积电阻率。

#### 1. 试件制备

1) 试件的表面应光洁, 截面要求均匀一致, 没有接头。

2) 沿试件的标距长度约等分 5 处, 测量其横断面, 取算术平均值, 作为计算的依据。测量值的标准偏差应不超过  $\pm 0.5\%$ 。例行试验允许不超过  $\pm 2\%$ 。

3) 标距长度应不小于 0.3m。允许误差应不大于  $\pm 0.1\%$ 。

#### 2. 试验方法

1) 采用双臂电桥测量电阻。试件电阻在  $10\Omega$  及以下者应采用四点法。电阻大于  $10\Omega$  者可采用两点法。

① IACS 为 International Annealed Copper Standards 的缩写。

2) 标准电阻及试件电阻均应处于 15~25℃ 的条件下进行试验。由温度引起的总误差应不大于 ±0.25%。

3) 电位接点之间标距长度上的电阻应不小于 0.00001Ω。

4) 尽量选择最小的测试电流, 以免引起温升而增大误差。

5) 标准电阻与试件之间的跨线电阻应明显地小于标准电阻及试件电阻。

6) 电位接触点应采用刀刃状夹具, 相互平行, 并垂直于试件轴线。

7) 每组电位接点与相应的电位接点之间的距离, 应不小于试件断面周长的 1.5 倍。

8) 可采用电流换向法。取正向与反向读数的算术平均值。以消除接触电势和热电势引起的误差。

3. 试验结果及计算 将实测电阻按式 (1-3-11), 换算到标准温度 20℃ 时的电阻。体积电阻率按式 (1-3-8) 计算。质量电阻率按式 (1-3-9) 计算。电导率按式 (1-3-10) 计算

直流电阻

$$R_{20} = \frac{R_t}{1 - \alpha_{20}(t - 20)} \quad (1-3-11)$$

式中  $R_{20}$  —— 温度 20℃ 时的试件电阻 (Ω);

$R_t$  —— 温度  $t$  时的电阻 (Ω);

$\alpha_{20}$  —— 温度 20℃ 时的电阻温度系数 (°C<sup>-1</sup>);

$t$  —— 测试温度 (°C)。

### 3.1.10 镀层连续性试验

金属的镀锡、镀银、镀镍层等的连续性试验。可采用多硫化钠法试验。若采用过硫酸铵法进行试验, 同样有效。

#### 1. 试样制备

1) 由每批产品中, 抽取 8 根试件。试件长度约 150mm。

2) 将试件浸入苯、乙醚或三氯乙烯等的适当的有机溶剂中清洗至少 3min。取出后用清洁的软布揩干。

3) 将预处理后的试件放在清洁的盛器中待用。注意不要用手触摸浸过溶液的部分。

#### 2. 试验方法

1) 用蒸馏水稀释化学纯 (C.P.) 的盐酸。配制成在 16℃ 时密度为 1.088 的盐酸溶液。

2) 用于试验镀锡铜线的盐酸溶液 (180mL), 经过表 1-3-6 规定数量的试件浸渍 2 个周期后, 即作失效处理。

表 1-3-6 浸渍镀锡铜线试件的极限根数

试件标称直径 $d$ /mm	极限根数	试件标称直径 $d$ /mm	极限根数
0.07~0.74	14	1.25~2.11	6
0.75~0.99	12	2.12~3.54	4
1.00~1.24	10	3.55~10.00	2

3) 用于镀银铜线试验的盐酸溶液 (180mL), 若在 15s 内不能使浸过多硫化钠的银层退色, 应作失效处理。

4) 将化学纯 (C.P.) 的硫化钠晶体溶解在蒸馏水中, 使在 20℃ 时达到饱和。再加入足量的硫磺 (250g/L 以上), 加热搅拌使之完全饱和。静置 24h 后过滤。制成多硫化钠的浓溶液。

5) 用蒸馏水稀释多硫化钠浓溶液, 使在 16℃ 时的密度为 1.142 待用。使用中的多硫化钠溶液, 应能使裸铜线在 5s 内完全变黑, 否则作失效处理。

6) 在 250mL 的量筒内装入 180mL 的试验溶液。试验时的溶液温度应为 16~21℃。浸入溶液的试样长度应不小于 120mm。

7) 试验程序 A (适用于镀锡铜线)

a) 将试件浸入盐酸试验溶液中 1min 后取出。用清水冲洗, 并用清洁软布揩干。

b) 立即将试件浸入多硫化钠试验溶液中 30s 后取出。并用清洁软布揩干。

c) 完成上述两条规定程序后为一个浸渍周期。完成产品标准中规定的浸渍周期后, 用目力检查每个试件浸渍部分镀层表面的变化情况。

8) 试验程序 B (适用于镀银铜线)

a) 将试件浸入多硫化钠试验溶液中 30s 后取出。用清水冲洗并揩干。

b) 立即将试件浸入盐酸试验溶液中 15s 后取出。用清水冲洗并揩干。

c) 完成上述两条规定程序后为一个浸渍周期。完成产品标准中规定的浸渍周期后, 用目力检查每个试件浸渍部分镀层表面的变化情况。

9) 试验程序 C (适用于镀镍铜线)

a) 将试样浸入多硫化钠试验溶液中 30s 后取出。用清水冲洗并揩干。

b) 完成上条规定程序后为一个浸渍周期。完成产品标准中规定的浸渍周期后,用目力检查每个试件浸渍部分镀层表面的变化情况。

### 3. 试验结果及计算

1) 试件浸渍部分的镀层表面应不变黑。但在试件切割端12mm内的变黑,不作考核。

2) 8个试件全部合格,则该批产品的镀层连续性判为合格。如有2个以上的试件不合格时,则该批产品镀层连续性判为不合格。如果有2个及以下的试件不合格时,应从该批的其余包装件中再随机抽取8个试件重新试验,第二次试验的全部试件均应符合要求。

#### 3.1.11 镀层附着性试验

本试验方法适用于检查电线电缆导体的金属镀层的附着性。

##### 1. 试样制备

1) 由每批产品中抽取8根试件,试件长度约为300mm。

2) 将试件浸入苯、乙醚或三氯乙烯等的适当有机溶剂中清洗至少3min。取出后用清洁软布揩干。

3) 将预处理后的试件放在清洁的盛器中待用。注意不要手触摸浸过溶液的部分。

##### 2. 试验方法

1) 多硫化钠溶液的制备与上节镀层连续性试验所用多硫化钠溶液的制备完全相同。

2) 在250mL的量筒内装入180mL的试验溶液。试验时的溶液温度应为16~21℃。

3) 按试件直径根据产品标准的规定选取卷绕用的试棒。

4) 按表1-3-7的规定,用于缓慢而均匀地将试件螺旋形地卷绕在试棒上。相邻匝间的距离约等于试件的直径。卷绕时应注意不得拉伸试件。

表 1-3-7 标称直径和卷绕匝数

标称直径 $d/\text{mm}$	卷绕匝数
0.50 及以下	6
0.50 以上	3

5) 将从试棒上取下的试件,把卷绕部分完全浸入多硫化钠溶液中,历时30s。

6) 将试件从多硫化钠溶液中取出,立即用清水冲洗。然后甩掉表面的水滴。

7) 按表1-3-8的规定,检查试件螺旋卷绕部

分的外周表面。

表 1-3-8 检查方法

镀层类别	标称直径 $d/\text{mm}$	检查方法
镀锡层	0.50 及以下	用不超过3倍的放大镜
	0.50 以上	目力
镀锌层	所有规格	用不超过7倍的放大镜

### 3. 试验结果及计算

1) 试件螺旋卷绕部分的外周表面应不变黑,镀层应无裂纹。

2) 若8个试件全部合格,则该批产品的镀层附着性判为合格。如有3个及以上的试件不合格,则该批产品应逐件检查。如果有2个及以下试件不合格时,应从该批试件中再随机抽取8个试件重新试验。若第二次试验仍有不合格试件时,则应逐件检查。

#### 3.1.12 绞线重量及直流电阻的计算

绞线重量和直流电阻的计算,与绞线的绞入系数有关。所以必须首先计算绞线的绞入系数。

1. 绞入系数 绞线中每层的任何一根单线,都是按一定的绞制角度环绕一中心线作螺旋状绞捻的。在绞线轴线方向的一个完整的螺旋线间距 $h$ ,叫做“节距长度”,如图1-3-9所示。节距长度 $h$ 与绞线外径 $D$ 之比,称为“节径比”。节径比的大小,关系到绞线的紧密程度、绞线重量和绞线电阻的大小。在导线的产品标准中,对节径比均有所规定。在一个节距中,展开的单线长度 $l$ 与节距长度 $h$ 之比,称为绞入系数,见式(1-3-12)。

$$\lambda = \frac{l}{h} \quad (1-3-12)$$

式中  $l$ ——一个节距中单线的展开长度;

$h$ ——节距长度。

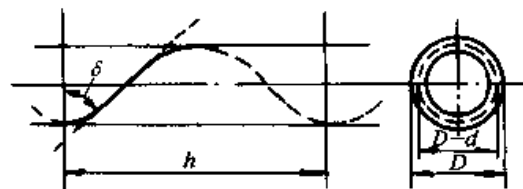


图 1-3-9 绞线节距

绞入系数与绞层的单线根数和节径比的大小有关。第 $i$ 层的绞入系数 $\lambda_i$ 可按式(1-3-13)计算

$$\lambda_i = \sqrt{1 + \left( \frac{\pi n_i}{P_i(n_i + 3)} \right)^2} \quad (1-3-13)$$

式中  $n_i$ ——第  $i$  层的单线根数；

$P_i$ ——第  $i$  层的节径比。

对于多层的绞线，应将每层的绞入系数分别求出，并按式 (1-3-14) 求出绞线的综合平均绞入系数。若为简单绞线，其中心线的绞入系数按式进行计算

$$\lambda_m = \frac{n_1\lambda_1 + n_2\lambda_2 + \dots + n_i\lambda_i}{n_1 + n_2 + \dots + n_i} \quad (1-3-14)$$

式中  $\lambda_m$ ——综合平均绞入系数；

$n_1, n_2, \dots, n_i$ ——分别为第 1 层、第 2 层、…、第  $i$  层的单线根数；

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i$ ——分别为第 1 层、第 2 层、…、第  $i$  层的绞入系数。

2. 绞线重量 绞线重量一般按每公里的重量来计算，称为单位重量 ( $W$ )。单位重量是电线生产和电力线路设计所需的重要参数。可按式 (1-3-15) 计算

$$W = \frac{\pi d^2}{4} \cdot N \cdot \lambda_m \delta \quad (1-3-15)$$

式中  $W$ ——单位重量 (kg/km)；

$d$ ——单线直径 (mm)；

$N$ ——单线根数；

$\lambda_m$ ——平均绞入系数；

$\delta$ ——密度 (铝为  $2.703\text{kg}/\text{dm}^3$ ，钢为  $7.80\text{kg}/\text{dm}^3$ ，铜为  $8.89\text{kg}/\text{dm}^3$ )。

设  $N \cdot \lambda_m = g$  (重量系数)；

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot \delta = w \text{ (1 根单线 1km 的重量)}。$$

则式 (1-3-15) 可简化为

$$W = g \cdot w \quad (1-3-16)$$

即每公里绞线的重量  $W$  等于相应的重量系数  $g$  乘以 1 根单线 1km 的重量  $w$ 。

组合绞线的单位重量，可分别将导电线材部分的单位重量和加强线材部分的单位重量求出，然后将两者加在一起即可，见式 (1-3-17)。铝绞线及钢芯铝绞线的重量系数见表 1-3-9。

$$W = g_a \cdot w_a + g_s \cdot w_s \quad (1-3-17)$$

式中  $g_a, g_s$ ——分别为铝、钢线的重量系数；

$w_a, w_s$ ——分别为 1 根铝、钢线 1km 的重量。

3. 直流电阻 导线的直流电阻一般按每公里长度的电阻来计算。是计算输电线路载流量的一个重要参数。可按式 (1-3-18) 或式 (1-3-19) 计

算。

$$R_{20} = \frac{\rho_{20} \cdot \lambda_m}{N \cdot \frac{\pi d^2}{4}} \quad (1-3-18)$$

式中  $\rho_{20}$ ——导电线材的电阻率 ( $\text{n}\Omega \cdot \text{m}$ )；

$\lambda_m$ ——平均绞入系数；

$N$ ——单线的总根数；

$d$ ——单线直径 (mm)。

$$\text{设 } \frac{\rho_{20}}{\frac{\pi d^2}{4}} = r$$

$$\frac{\lambda_m}{N} = C_r$$

将以上 2 式代入式 (1-3-18)，得

$$R_{20} = r \cdot C_r \quad (1-3-19)$$

式中  $r$ ——每公里长度的单线直流电阻 ( $\Omega/\text{km}$ )；

$C_r$ ——导线的电阻系数，见表 1-3-9。

即导线的直流电阻  $R_{20}$  等于每千米单线的直流电阻  $r$  与导线的电阻系数  $C_r$  之乘积。

表 1-3-9 铝绞线及钢芯铝绞线的计算参数

结构		综合平均重量系数		电阻系数 $C_r$
铝线根数	钢线根数	铝 $g_a$	钢 $g_s$	
6	1	6.091	1.000	0.1692
7	0	7.091	—	0.1447
7	7	7.117	7.032	0.1452
12	7	12.26	7.032	0.08514
18	1	18.34	1.000	0.05660
19	0	19.34	—	0.05357
24	7	24.50	7.032	0.04253
26	7	26.56	7.032	0.03928
30	7	30.67	7.032	0.03408
30	19	30.67	19.15	0.03408
37	0	37.74	—	0.02757
42	7	42.90	7.032	0.02432
45	7	45.98	7.032	0.02271
48	7	49.06	7.032	0.02129
54	7	55.23	7.032	0.01894
54	19	55.23	19.15	0.01894
61	0	62.35	—	0.01676

### 3.2 型式试验

裸电线的新产品和导线所用的材料、结构、主



要工艺有所改变，或产品标准中增加新的技术要求时，必须进行有关的型式试验。型式试验包括拉断力试验、应力-应变试验、弹性模量、线胀系数、耐振试验、蠕变试验、疲劳试验、交流电阻、载流量、电晕试验及腐蚀试验等项目。

3.2.1 拉断力试验

下述试验方法适用于测定架空导线的抗拉性能。

1. 试样制备

1) 从外观检查合格的试样上截去至少 1m 的长度。然后按所需长度截取不少于 3 根的试件。

2) 有效长度。

标称截面为 50mm<sup>2</sup> 及以下者，不小于 0.5m；  
标称截面为 50mm<sup>2</sup> 以上者，不小于 5m；

试件的总长等于有效长度加必要的夹持长度。

3) 试件的两端应在有效长度标志线以外扎牢，防止试件松散。然后将端部线股折散，并将每股单线弯折。清洗后用低熔点合金或树脂浇铸成锥体夹头。也可用压接法制作夹头。应避免夹头偏心。

2. 试验方法

1) 将试件的夹头夹持在试验机的钳口内。试件的轴线应与钳口的中心线重合。

2) 试验时钳口的移动速度应不大于 100mm/min。加载应平稳无冲击。

3) 连续均匀加载到 30% 的标称拉断力的时间约 1~2min，然后按此速率直至拉断。记录最大负荷，取 3 位有效数。也可利用应力-应变试验后的试件，继续加载直至拉断，同样有效。

4) 拉断后断口应发生在钳口之外。若断口发生在钳口之内，且最大负荷小于 90% 的标称值时，应另取试件重新进行试验。

3. 试验结果及计算

1) 取不少于 3 个试件拉断力的算术平均值，作为试验结果。

2) 导线的拉断力也可根据单线的强度进行计算，见式 (1-3-20)。

$$P_B = a n_a \sigma_a f_a + b n_b f_b \cdot \sigma_{1\%} \quad (1-3-20)$$

式中 a、b——强度损失系数，见表 1-3-10；

n<sub>a</sub>、n<sub>b</sub>——铝、钢单线根数；

f<sub>a</sub>、f<sub>b</sub>——铝、钢单线截面 (mm<sup>2</sup>)；

σ<sub>a</sub>——铝或铝合金线抗拉强度 (MPa)；  
σ<sub>1%</sub>——镀锌钢线伸长 1% 时的抗拉强度 (MPa)。

表 1-3-10 强度损失系数

裸电线类别	a	b
LJ 37 股及以下	0.95	—
37 股以上	0.90	—
LHJ	0.95	—
LGJ 及 LHGJ	1.0	1.0
GLGJ	0.93	0.98

3.2.2 应力-应变试验

应力-应变试验主要用于测定电力架空线在受力条件下的伸长变形情况。

1. 试样制备

1) 试件的长度应不小于 400 倍的导线直径。但最小为 10m。

2) 取样前应在离端部 5m ± 1m 处安装一螺栓轧头，应施加足够的压力以防线股相对移动。

3) 将试样从线盘上小心地退绕出来，从第 1 个轧头起量取需要的长度，然后安装另一个螺栓轧头。留出足够的制备夹头的长度，然后切断。

4) 在移动和制备夹头的过程中应防止损伤试件。试件的弯曲直径应不小于试件直径的 50 倍。

5) 试件的终端夹头可采用压接式的、环氧树脂夹头或低熔点合金浇铸夹头。制作夹头前，单线应去油和清洗。并应保证在试件的有效长度内不松股和受损。

2. 试验方法

1) 将试件安装在试验机的一特制槽内。将槽的高度调整到试件在张力作用下，试件离槽底的距离不超过 10mm。

2) 试验时应记录环境温度，其波动应不超过 ±2℃。

3) 将试件施加 2% 的拉断力作为初负荷，把试件拉直。

4) 在两轧头间确定一标距长度。在标距长度的两端安装附有测量伸长的夹具。此装置应与导线垂直，并调整到零点。

5) 连续均匀加载，每升降约 2.5% 的标称拉断力 (修约成 kN 整数)，记录一次相应拉力下的

伸长读数。

6) 用1~2min的时间,将试件加载到30%的拉断力,保持0.5h。并在5、10、15及30min时,各记录伸长读数一次。然后卸载到初负荷,并记录相应负荷点下的伸长读数。

7) 再加载到50%的标称拉断力,保持1h。并在5、10、15、30、45及60min时,各记录伸长读数一次,然后卸载到初负荷。并记录相应负荷点下的伸长读数。

8) 再加载到70%的标称拉断力,保持1h。并在5、10、15、30、45及60min时,各记录伸长读数一次,然后卸载到初负荷。并记录相应负荷点下的伸长读数。

9) 再加载到85%的标称拉断力,保持1h。并在5、10、15、30、45及60min时,各记录伸长读数一次,然后卸载到初负荷。并记录相应负荷点下的伸长读数。

10) 再均匀加载并记录相应的伸长读数到90%拉断力。然后保持同样的拉伸速率直至导线发生断股时为止。并记录此时的最大负荷和伸长读数。

11) 对于铝及铝合金绞线只试验到70%拉断力的伸长。

12) 对于组合绞线钢芯的应力-应变试验,与导线试验的程序相同。但是每个负荷循环,只加载到导线刚达到30%、50%、70%及85%拉断力时约相应的伸长为止。

### 3. 试验结果及计算

1) 将30%、50%、70%及85%拉断力的负荷循环的各负荷点的拉力计算成相应的应力(即拉力 $P_t$ /总截面 $A$ ),作为纵坐标。

2) 将各负荷点相应的伸长读数计算成应变值(即伸长 $\Delta L$ /标距长度 $L_0$ ),和保持0.5及1h的应变值作为横坐标。

3) 将各应力值和应变值,通过坐标位移的换算使曲线通过零点。即可得到试验的应力-应变曲线。

#### 3.2.3 弹性模量测量

金属材料在弹性极限内,应力与应变的大小成正比。其比例常数即为弹性模量( $\sigma/\epsilon$ )。为架空输电线路计算导、地线受力状态的一个重要参数。

##### 1. 试样制备

1) 单线试件。试件总长约300mm。用手工小

心矫直。试件数应不少于3根。

2) 绞线试件。试件的有效长度不小于5m。试件数量不少于3根。试件的终端夹心可采用低熔点合金浇铸、环氧树脂浇铸或压接式的夹头。制作夹头前,单线应去油和清洗。并应保证在试件的有效长度内不松股和受损。

##### 2. 试验方法

###### 1) 标距长度。

单线 不小于100mm

绞线 不小于2000mm

###### 2) 负荷范围。

初负荷: 标称拉断力的10%

循环负荷: 标称拉断力的15%~45%

3) 将试件加载到10%的初负荷时,在标距长度的两端安装测量伸长的装置,精度不低于0.01mm。并调整到零位。

4) 将试件连续均匀地加载到45%标称拉断力。然后卸载到15%标称拉断力。每升高或降低约2.5%的拉断力时,记录一次相应负荷点下的伸长读数。

5) 如上条所述,连续作5个负荷循环,参见图1-3-10。

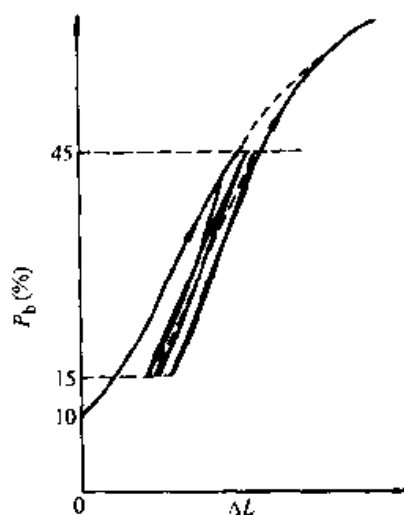


图 1-3-10 绞线拉伸曲线图

$P_t$ —拉断力  $\Delta L$ —伸长

6) 最后卸载到初负荷并卸下测量伸长的装置。可用此试件继续进行拉断力试验。

##### 3. 试验结果及计算

1) 用第1个负荷循环或30%额定拉断力(RTS)应力-应变的加载曲线的直线部分,计算试件的起始弹性模量。

2) 用第3、4及5个负荷循环或70%RTS应力-应变卸载曲线的直线部分,计算试件的最终弹性模量。并取其算术平均值作为试验结果。

3) 按式(1-3-21)计算弹性模量

$$E = \frac{L}{A} \cdot \frac{n \sum \Delta L_i P_i - \sum \Delta L_i \sum P_i}{m \sum \Delta L_i^2 - (\sum \Delta L_i)^2} \quad (1-3-21)$$

式中  $L$ ——标距长度 (mm);

$A$ ——试件总截面 (mm<sup>2</sup>);

$n$ ——采值次数;

$P_i$ ——测试拉力 (kN);

$\Delta L_i$ ——在  $P_i$  下相应的伸长 (mm)。

4) 组合绞线的弹性模量也可按式(1-3-22)近似计算:

$$E = \frac{E_s + 0.85KE_s}{1 + K} \quad (1-3-22)$$

式中  $E_s$ ——钢线的弹性模量 (MPa);

$E_a$ ——铝线的弹性模量 (MPa);

$K$ ——铝、钢截面比。

### 3.2.4 线胀系数的测量

单位长度的金属导体每升高1℃时的长度变化值,称为该导体的线胀系数。为架空输电线路设计中,计算导线伸长和受力状态的一个重要参数。导线受热后的长度增量,可按式(1-3-23)计算。

$$\Delta L = \alpha(\Delta t) \cdot L \quad (1-3-23)$$

式中  $\alpha$ ——线胀系数 (1/℃);

$\Delta t$ ——温升 (℃);

$L$ ——导线长度 (m)。

#### 1. 试样制备

1) 试件的有效长度应不小于5m。标距长度应不小于1m。试件数量不少于3根。

2) 试件的终端夹头,可采用低熔点合金浇铸、环氧树脂浇铸或压接式的夹头。制作夹头前,单线应去油和清洗,并应保证在标距长度内不松股和受损。

#### 2. 试验方法

1) 将试件预先在拉力试验机上,在负荷为拉断力15%~40%的范围内进行加载及卸载三个负荷循环。以消除导线初伸长的影响,可提高线胀系数的测试精度。

2) 将试件夹持在有保温装置的专用试验机中。试件的中心线应与设备施加张力的夹具中心线相重合。然后施加拉断力2%的负荷,将试件拉

直。

3) 在标距长度的两端安装精度不低于0.01mm的测量伸长的装置。并在标距长度内至少安装三个测量导线温度的热电偶。

4) 将试件通电加热,每升高10℃,保温时间不少于15min。待热伸长稳定不变后,记录试件温度下的热伸长。直至将试验温度加热到导线的最高允许使用温度时为止。

#### 3. 试验结果及计算

1) 用测试的数据作出温度-伸长曲线。曲线的直线部分的斜率,即为所求线胀系数。可按式(1-3-24)计算。

$$\alpha = \left\{ \frac{\Delta L}{L \cdot \Delta t} \times 10^6 + C \right\} \times 10^{-6} \quad (1-3-24)$$

式中  $L$ ——标距长度 (mm);

$\Delta t$ ——温度增长 (℃);

$\Delta L$ ——温度增长  $\Delta t$  时的热伸长 (mm);

$C$ ——设备校正系数。

2) 为精确起见,也可用试验数据按线性回归系数方程计算热胀系数,见式(1-3-25)

$$\alpha = \frac{1}{L} \cdot \frac{n \sum t_i l_i - \sum t_i \cdot \sum l_i}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2} + C \quad (1-3-25)$$

式中  $L$ ——标距长度 (mm);

$t_i$ ——试件温度 (℃);

$l_i$ —— $t_i$  温度下相应的伸长 (mm);

$n$ ——采值次数;

$C$ ——设备校正系数。

(3) 以3根试件线胀系数计算值的算术平均值作为线胀系数的测试结果。

(4) 组合绞线的线胀系数,也可按式(1-3-26)进行近似计算。

$$\alpha = \frac{\alpha_s E_s + K \alpha_a E_a}{E_s + K E_a} \quad (1-3-26)$$

式中  $\alpha_s$ 、 $\alpha_a$ ——钢、铝单线的线胀系数 (1/℃);

$E_s$ 、 $E_a$ ——钢、铝单线的弹性模量 (MPa);

$K$ ——铝、钢截面比。

### 3.2.5 耐振试验

架空导线在稳流风的吹动下,将会引起振动。导线的振动与风向、风速、导线外径、档距大小、离地高低和地形条件等因素有关。一般在平坦地区、风速在0.5~8.0m/s、迎风角大于45°的稳流风,特别容易引起导线振动。当导线承受的动、静

应力超过其疲劳极限,经过一定的时期后将发生断股。造成送电事故。所以架空导线的耐振试验是非常重要的。

架空导线受外界条件引起的振动频率与风速和导线外径等因素有关。可按经验公式(1-3-27)计算

$$f = S \frac{V}{D} \quad (\text{Hz}) \quad (1-3-27)$$

式中  $V$ ——风速 (m/s);

$D$ ——导线外径 (mm);

$S$ ——系数,一般采用 185~210,与雷诺数  $R=VD/E$  有关,  $E$  为空气粘滞系数。

导线的固有振动频率  $f_0$  与其自重、承受的张力和档距大小有关。可按公式(1-3-28)计算。当由外界条件引起的振动频率  $f$  与导线的固有振动频率  $f_0$  相吻合时,才能形成稳定的振动。

$$f_0 = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{Fg}{W}} \quad (1-3-28)$$

式中  $L$ ——档距长度 (m);

$n$ ——档距内的半波个数;

$F$ ——导线承受的张力 (N);

$g$ ——重力加速度 (m/s<sup>2</sup>);

$W$ ——导线单位长度的重量 (kg/m)。

导线的振动疲劳断股主要发生在线路上悬垂线夹的出口处。振动角愈大,线股所受的动弯曲应变量也愈大。愈容易引起疲劳断股。导线的危险振动角一般不大于 20'。为严格起见,我国按振动角为 30' 进行耐振试验。

导线的振动角、振幅和波长的关系见图 1-3-11。振动角可按式(1-3-29)计算。为便于测量起见,用双振幅  $A_0=2A$  来观察和计算振动角,见式(1-3-30)。

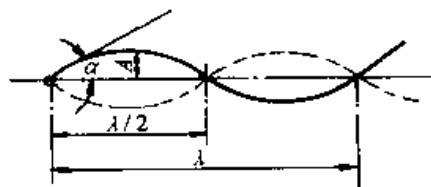


图 1-3-11 振动角、振幅和波长示意图

$$\alpha = \frac{2\pi A}{\lambda} \quad (1-3-29)$$

式中  $\alpha$ ——振动角 (rad);

$A$ ——最大振幅 (m);

$\lambda$ ——波长 (m)。

$$\alpha = 10.8 \frac{A_0}{\lambda} \quad (1-3-30)$$

式中  $\alpha$ ——振动角 (');

$A_0$ ——最大双振幅 (mm);

$\lambda$ ——波长 (m)。

### 1. 试样制备

1) 试件的有效长度应不小于 50m, 试件数量应不少于 3 根。

2) 试件的两端可采用低熔点合金浇铸、环氧树脂浇铸或压接式的夹头。在制作夹头、搬运和安装试件过程中,应保证试件不受损伤。

### 2. 试验方法

#### 1) 试验条件

试验档距 不小于 50m;

试验张力 额定拉断力的 25%;

振动角 30';

振动次数  $3 \times 10^7$  不断股

2) 将试件用悬垂线夹悬挂在专用的试验机支架上。档距不小于 50m。

3) 施加试验张力,其偏差应不大于试验张力的 ±2%。

4) 起动电磁激振器,调整振动频率,使其达到最佳谐振状态。

5) 按最佳谐振状态下的频率、波长和要求的振动角,根据式(1-3-30)求出双振幅  $A_0$ 。

6) 停机。将可以观测振幅的振幅板安装在线夹外第一个波峰上。

7) 再起动激振器,调节输出功率。使双振幅达到按振动角要求的数值。

8) 按振动频率估算振动  $3 \times 10^7$  次所需的时间。

9) 在试验过程中,如遇振动频率突变时应检查试件有无断股。

### 3. 试验结果

1) 未振满  $3 \times 10^7$  次而发现断股者。应判为不合格

2) 振满  $3 \times 10^7$  次后未发现断股者,应判为振动试验合格。

3) 如 3 根试件中有 1 根不合格者,应另取 2 根试件进行试验,如补做的两根均合格,则认为该批振动试验合格。若仍有一根不合格时,则认为该批产品的振动试验不合格。

### 3.2.6 蠕变试验

金属在温度、外力和自重的作用下,随着时间的推移,将缓慢地产生不能复原的永久变形,这种现象称为蠕变。蠕变伸长与金属的材质、加工方式、所受应力和温度等因素有关。架空导线在风压、冰载、气温变化和张力及自重等情况下长期使用,也必将产生蠕变伸长,使弧垂增大。有可能导致对地距离不足,造成送电事故。因此研究、试验架空导线的蠕变特性,以便合理地设计电力线路的杆塔高度和档距,避免各种送电事故是非常重要的。

架空导线的蠕变伸长与导线的材质、结构、架线方式、初期的预应力大小、架线后的应力、负荷情况和线路的气象条件等因素有关。试验室的蠕变试验条件,应尽量满足工程使用要求。蠕变试验的结果应有一定的重复性和可比性。

架空导线的蠕变过程,大致分三个阶段。第一阶段蠕变伸长极快,大约只有几个小时。第二阶段蠕变速率渐趋稳定,并达到一个稳定值。第三阶段蠕变伸长又迅速增大直至断裂。

#### 1. 试样制备

1) 采用正常工艺生产的无缺陷样品。

2) 试样的标距长度,最小1.5m,最大15m。标距两侧离固定夹具的长度,应不小于2m。

3) 试件的终端可采用环氧树脂或低熔点合金浇铸。也可采用其他机械连接的紧固金具。但均应具有90%以上拉断力的握力。

4) 在制作终端或移动试件时,应扎紧端头,防止松动或层间滑动。

#### 2. 试验方法

1) 蠕变试验机可以是立式的或卧式的。卧式的试验机应具有支撑试件保持水平的设施。

2) 在试件标距长度的内侧外层股线间,嵌入细的热电偶,均匀分布至少3只。对于长标距的试件,至少每隔3m嵌入一只。

3) 试验张力一般为额定拉断力的25%~40%,视试验要求而定。加载方式有两种:1) 在30s内加完满载。2) 在5min±10s内恒速加完满载。

4) 试验周期可定为1000h或2000h。

5) 试件温度和环境温度视试验要求而定。温度偏差均应控制在±2.5℃以内。

6) 蠕变伸长的测量装置,应能测出2mm/km

的应变。引伸计应包含一个基准杆,以补偿试件扭曲或热膨胀的影响。

7) 在作高温蠕变试验时,用交流低压大电流加热试件,可附加热保护罩。但不能阻塞试件轴向的空气自由流动,以保持试件中热的径向梯度。

8) 在加载到75%载荷时,可调整引伸计的零位。当加载到100%载荷时,开始测长记录。

9) 测长记录的时间顺序为:1、2、3、4、5、10、15、30min。然后为:1、2、3、4、5、6、7、24、40、80、150、300、600、1000、1500、2000h。可根据需要在上述时间中适当增加记录次数。

10) 温度记录与测长记录同时进行。

#### 3. 试验结果

1) 读取蠕变伸长时的温度与规定温度有偏差时,应将伸长读数用热胀系数加以校正。

2) 在直角坐标纸上绘出最初10min的应变-时间曲线、确定前6min的应变值。然后从所有的应变值中减去前6min的应变值,以便使快速加载和慢速加载得到的试验结果相一致。

3) 将修正后的数据在双对数坐标纸上绘出最佳应变-时间图形,见图1-3-12。确定出从试验开始到建立直线定律为止的时间 $t_s$ 。对超过直线值2%或大于20mm/km的应变点应在分析中剔除。

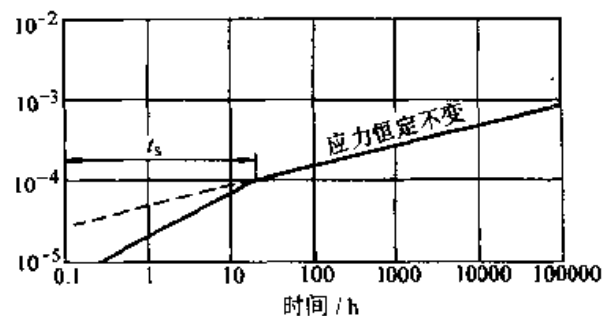


图1-3-12 双对数坐标上的应变-时间曲线

4) 剔除上述试验疑点后,对超过 $t_s$ 的试验值用回归方程进行处理。

5) 试验温度按记录温度的算术平均值计算。

6) 蠕变伸长是关系到材质、温度、应力和时间的函数。按试验的应变-时间曲线,用数学方程表达,如式(1-3-31)所示。

$$\epsilon_t = a \cdot t^m \quad (1-3-31)$$

式中  $\epsilon_t$ —— $t$ 小时的蠕变伸长(mm/km);

$t$ ——蠕变时间(h);

$\alpha$ ——随材质、温度、应力而定的系数；  
 $\mu$ ——由试验确定的系数。

### 3.2.7 交流电阻的测量

导线的交流电阻是计算载流量的一个必要参数。交流电阻是在电流方向交变的情况下，由于磁场效应、集肤效应和邻近效应的影响，使电阻增大而产生的。导线的铝股线表面具有绝缘性的氧化铝膜，所以导线中的电流是沿着铝线股作螺旋方向流动的，从而在导线轴线方向形成磁场。虽然导线中相邻层的铝线绞制方向相反，可抵消部分磁化力，但剩余的交变磁场强度，仍可使钢芯产生磁滞和涡流，导致功率损耗。又因集肤效应和邻近效应能使导线中的电流分布发生变化，使导线电阻增大。本试验的目的，在于求得导线单位长度的交流电阻。

#### 1. 试样制备

1) 采用无缺陷、不松股的试件。标距长度可采用8~10m。

2) 试件的两端应用线夹轧牢，以便通电引流。

#### 2. 试验方法

1) 试验可在大型恒温箱中进行。箱内温度可以调节。控制温度偏差在 $\pm 2\text{C}$ 以内。

2) 两根试件水平平行放置在绝缘支架上。试件的水平中心距及离箱壁的距离不小于0.6m。

3) 在试件的外层股线间，嵌入热电偶，用以测量试件的温度。嵌入位置，应在均匀分布不少于三处的上下表面各放一只。

4) 交流电阻测试的线路图，如图1-3-13所示。图中AB及A'B'为两根串联在一起的试件。端部与大电流变压器的二次级相连供电。

5) 复查全部接线无误后，将恒温箱密封。

6) 启动恒温箱的保温系统，使其达到要求的环境温度。

7) 试验电流由小变大。在每一固定电流情况下，待试件升温至温度稳定0.5h后，调节交流电位差计的量程旋钮，由电子平衡器指示平衡后。相继测出A-A'和B-B'端的交流电阻 $R_A$ 和 $R_B$ 。同时记录电流值、试件温度和环境温度。按测点的平均温度计算。

8) 然后加大电流，循序进行另一测量点的试验。

9) 如果导线在应用时表面有防腐涂料的话，

应在试件上涂上涂料后再进行试验。

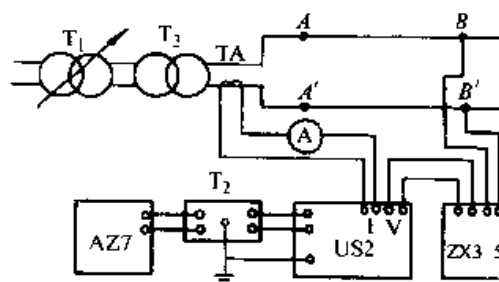


图 1-3-13 交流电阻测试线路图

$T_1$ —感应调压器  $T_2$ —输入变压器  $T_3$ —大电流变压器  
 $TA$ —电流互感器  $A$ —交流电流表  
 $US2$ —交流电位差计  $AZ7$ —电子平衡指示器  
 $ZX3-5$ —高周波电阻箱

3. 试验结果 单位长度试件的交流电阻，按式(1-3-32)计算

$$R_{ac} = \frac{R_A - R_B}{2L} \quad (1-3-32)$$

式中  $R_A$ ——A-A'端的测试交流电阻( $\Omega$ )；

$R_B$ ——B-B'端的测试交流电阻( $\Omega$ )；

$L$ ——AB及A'B'的标距长度(m)。

必要时，可根据测试结果，绘出交流电阻与试件温度的关系曲线；和交直流电阻比与电流的关系曲线，以便于计算不同情况下的载流量。

### 3.2.8 载流量试验及计算

架空导线的载流量是电力线路计算传输容量的重要参数。导线载流量取值太高，则导线发热严重，导致导线的强度损失较大，降低了导线的使用寿命。若载流量取值太小，则不能充分发挥线路的经济效益。故应综合考虑，采用合理的载流量数值。导线载流量的大小，主要与导线本身的电阻、外径、允许使用温度、环境温度、风速、日照强度等因素以及导线的结构、表面状态情况有关。例如相等截面的钢芯铝绞线，双层铝线的结构就比单层铝线的载流量大些，因为双层铝线结构的交流电阻较小。

导线的载流情况有三种。一是无风无日照的载流；二是无风有日照的载流；三是有风有日照的载流。将上一节交流电阻测试中，在密封的恒温箱中测得的电流和温升数值，绘成电流-温升曲线，就可获得无风无日照的载流量试验结果。本节不再重复。有日照和风速的载流试验条件目前尚难实现，故只能在专门的实验基础上，采用计算的办法来实现。这些计算都是根据交流电阻测试的结

果进行的。在没有交流电阻测试手段的情况下，可参照本节提供的交流电阻的计算进行。

1. 载流量的计算

无风无日照的载流量，按式 (1-3-33) 计算

$$I = \sqrt{\frac{W_R + W_N}{R_{ac(t)}}} \quad (1-3-33)$$

无风有日照的载流量，按式 (1-3-34) 计算

$$I = \sqrt{\frac{W_R + W_N - W_S}{R_{ac(t)}}} \quad (1-3-34)$$

有风有日照的载流量，按式 (1-3-35) 计算

$$I = \sqrt{\frac{W_R + W_F - W_S}{R_{ac(t)}}} \quad (1-3-35)$$

式中  $W_N$ ——导线单位长度的自然对流散热功率 (W/m)，见式 (1-3-36) 及式 (1-3-37)；

$W_R$ ——导线单位长度的辐射散热功率 (W/m)，见式 (1-3-38)；

$W_F$ ——导线单位长度的有风对流散热功率 (W/m)，见式 (1-3-39)；

$W_S$ ——导线单位长度的日照吸热功率 (W/m)，见式 (1-3-40)；

$R_{ac(t)}$ ——导线  $t$  C 时的交流电阻 ( $\Omega/m$ )，见式 (1-3-41)。

导线自然对流散热功率  $W_N$  的计算

当  $10^{-4} \leq D^3\theta \leq 10^{-2}$  时，按式 (1-3-36) 计算

$$W_N = 4.585\theta(D^3\theta)^{0.27} \quad (1-3-36)$$

当  $10^{-6} \leq D^3\theta < 10^{-4}$  时，按式 (1-3-37) 计算

$$W_N = 3.165\theta(D^3\theta)^{0.23} \quad (1-3-37)$$

式中  $D$ ——导线外径 (m)；

$\theta$ ——导线表面的平均温升 (°C)。

导线辐射散热功率  $W_R$  按式 (1-3-38) 计算

$$W_R = \pi \epsilon S D [(\theta + t_a + 273)^4 - (t_a + 273)^4] \quad (1-3-38)$$

式中  $\epsilon$ ——导线表面的辐射系数 (光亮新线为 0.23~0.43，涂黑或旧线为 0.90~0.95)；

$S$ ——斯蒂芬-包尔茨曼常数为  $5.67 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>；

$t_a$ ——环境温度 (°C)；

$D$ 、 $\theta$ ——见式 (1-3-37)。

导线有风时的对流散热功率  $W_F$ ，按式 (1-3-39) 计算

$$W_F = 9.92\theta(VD)^{0.435} \quad (1-3-39)$$

式中  $V$ ——垂直导线的风速 (m/s)；

$D$ ——导线外径 (m)。

导线的日照吸热功率  $W_S$  按式 (1-3-40) 计算：

$$W_S = \alpha_s \cdot I_s \cdot D \quad (1-3-40)$$

式中  $\alpha_s$ ——导线表面的吸热系数 (光亮新线为 0.23~0.46，涂黑或旧线为 0.90~0.95)；

$I_s$ ——日照强度为 850~1050 W/m<sup>2</sup>。

2. 交流电阻的计算 交流电阻可由式 (1-3-41) 表达

$$R_{ac(t)} = R_{dc(t)} + \Delta R_1 + \Delta R_2 \quad (1-3-41)$$

式中  $R_{dc(t)}$ —— $t$  C 时的直流电阻 ( $\Omega/m$ )；

$\Delta R_1$ ——由磁滞和涡流引起的电阻增量 ( $\Omega/m$ )，见式 (1-3-42)；

$\Delta R_2$ ——由集肤效应和邻近效应引起的电阻增量 ( $\Omega/m$ )，见式 (1-3-45)。

1) 由磁滞和涡流引起的电阻增量  $\Delta R_1$ ，是按电流全部经由导线中铝股线的螺旋形方向流动产生的交变磁场强度，并由此而引起的电阻增量  $\Delta R_1$  ( $\Omega/m$ ) 可按式 (1-3-42) 计算

$$\Delta R_1 = 8\pi^2 f A_g [\Sigma_1^m (-1)^{m-1} \cdot N_m]^2 \times \mu \text{tg} \delta \times 10^{-7} / N^2 \quad (1-3-42)$$

式中  $f$ ——频率 (Hz)；

$A_g$ ——钢芯总截面 (cm<sup>2</sup>)；

$m$ ——铝线的层次；

$\mu$ ——钢芯的综合磁导率；

$\text{tg} \delta$ ——磁损耗角正切；

$N$ ——导线中铝线的总根数；

$N_m$ ——第  $m$  层铝线的总匝数 (1/cm)，按式 (1-3-43) 计算

$$N_m = \frac{n_m}{l_m} \quad (1-3-43)$$

式中  $n_m$ ——第  $m$  层的铝线根数；

$l_m$ ——第  $m$  层铝线的节距长度 (cm)。

式 (1-3-42) 中  $(-1)^{m-1}$  项为考虑到导线中相邻层铝线的绞向相反，而形成不同方向的磁通。 $\mu$  及  $\text{tg} \delta$  两项是由相应的磁场强度  $H$  决定的。磁场强度  $H$  (Oe<sup>⊙</sup>) 可按式 (1-3-44) 计算

$$H = \frac{4\pi I \Sigma_1^m (-1)^{m-1} \cdot N_m}{10N} \quad (1-3-44)$$

⊙ 非法定计量单位，1Oe=79.5775A/m。

式中  $I$ ——载流量 (A); 其他的见式 (1-3-42)。

计算时先设定一近似的载流值  $I'$ , 计算出磁场强度  $H$ , 然后从钢丝的  $\mu$ 、 $\text{tg}\delta$  与磁场强度  $H$  的关系曲线中查出相应的  $\mu$  和  $\text{tg}\delta$  值; 或由表 1-3-

11 中根据不同钢丝直径  $d$ , 查出相应的  $\mu \cdot \text{tg}\delta$  之积, 中间值用二次曲线插值法求得, 然后计算出  $\Delta R_1$ 。

2) 由集肤效应和邻近效应引起的电阻增量。

表 1-3-11  $\mu \cdot \text{tg}\delta$  值

钢丝直径 $d_s/\text{mm}$	不同磁场强度(Oe)下的 $\mu \cdot \text{tg}$ 值						
	0	5	10	15	20	25	30
1.50~2.89	1.00	7.13	35.84	183.6	345.6	325.8	267.2
2.90~3.09	1.15	10.8	46.20	173.3	326.7	306.7	247.2
3.10~3.80	1.30	14.4	56.55	162.9	307.8	287.5	227.2

若钢芯的导电性忽略不计, 则所有铝股线可看作一导电的管体。其集肤效应和邻近效应引起的相对电阻增量可按式 (1-3-45) 计算

$$\Delta R_2/R_{dc} = Y(1 - \phi)^{1/2} - 1 \quad (1-3-45)$$

$$Y = 1 + a(z) \left[ 1 - \frac{\beta}{2} - \beta^2 b(z) \right] \quad (1-3-46)$$

$$\phi = \lambda \left( \frac{D}{S} \right)^2 \left[ \frac{z^2(2 - \beta)^2}{z^2(2 - \beta)^2 + 16\beta^2} \right] \quad (1-3-47)$$

$$\lambda = 1 - \beta \left( 1 + \frac{z^2}{4} \right)^{-1/4} + \frac{10\beta^2}{20 + z^2} \quad (1-3-48)$$

$$a(z) = 7z^2/(315 + 3z^2) \quad (1-3-49)$$

$$b(z) = 56/(211 + z^2) \quad (1-3-50)$$

$$z = 8\pi^2 [(D - D_s)/2]^2 f \cdot r \quad (1-3-51)$$

当  $0 < z \leq 5$  时:

$$\beta = D - D_s/D_s r = 1/(AR_{dc(t)} \times 10^4);$$

$$A = \pi(D^2 - D_s^2)/4$$

式中  $Y$ ——由集肤效应引起的电阻增量, 按式 (1-3-46) 计算;

$\phi$ ——由邻近效应引起的电阻增量, 按式 (1-3-47) 计算;

$D$ ——导线外径 (cm);

$D_s$ ——钢芯外径 (cm);

$S$ ——导线间距离 (cm);

$R_{dc(t)}$ —— $t^\circ\text{C}$  时直流电阻 ( $\Omega/\text{km}$ )。

当导线间距  $S$  大于 5 倍导线外径时, 邻近效应的影响甚小, 可略而不计。

### 3.2.9 电晕试验

高压电力线路上的导线, 当其表面的电场强度大于某一数值时, 可使大气中的气体分子发生

电离, 形成自激导电产生的可见光晕, 这种现象称为电晕。开始出现全面电晕放电时的场强, 称为全面电晕场强。电晕场强的大小主要与线路的工作电压、分裂导线的根数、直径和气象条件等因素有关。电晕放电的同时, 还将伴生高频噪声、无线电干扰, 甚至发生导线舞动, 并导致电能损耗。因此导线表面的电场强度必须加以限制。一般应使导线表面的最大工作场强, 不超过全面电晕场强的 90%, 以避免产生可见电晕。导线的全面电晕场强  $E_0$  (kV/cm) 可按式 (1-3-52) 计算

$$E_0 = 30.3m\delta \left( 1 + \frac{0.3}{\sqrt{\delta r}} \right) \quad (1-3-52)$$

式中  $m$ ——导线表面系数, 对多股导线  $m = 0.82 \sim 0.9$ ;

$\delta$ ——相对空气密度,  $\delta = 2.90P / (273 + t)$  ( $P = 101\text{kPa}$ , 当  $t = 20^\circ\text{C}$  时,  $\delta = 1$ );

$P$ ——大气压 (kPa);

$t$ ——气温 ( $^\circ\text{C}$ );

$r$ ——导线半径 (cm)。

式 (1-3-52) 的最大缺点是没有考虑到湿度对电晕放电的影响, 所以必须进行包括湿度条件在内的电晕试验。在一般情况下阴雨天气容易引起电晕放电, 但在某种情况下也有逆变现象。

#### 1. 试样制备

1) 采用合格的试件, 表面股线应紧密、平整和清洁。

2) 有效长度为 4m, 两端应扎牢, 不得松散。

3) 试件表面应进行去尘和去油处理。

#### 2. 试验方法

1) 电晕试验在人工气候筒内进行。筒内的空气密度、湿度和温度可任意调节;



- 2) 试件水平放置,对地高度不小于 5m,最大弧垂不超过 5cm;
- 3) 将工频试验变压器的输出端接到试件两端;
- 4) 根据试验要求可进行相对空气密度为 1.0~0.69 (相当于海拔 0~3500m);  
相对湿度为 30%~80%等各种条件下的全

面电晕试验。试验电压由小变大,逐步升高,直至试件表面开始全面出现电晕放电时为止。

- 5) 对于分裂导线,可将试件按规定的排列方式和线间距离,平行放置于筒内进行试验。

### 3. 试验结果

- 1) 将试验用的相对空气密度值,按图 1-3-14 的曲线,查出相应的海拔。

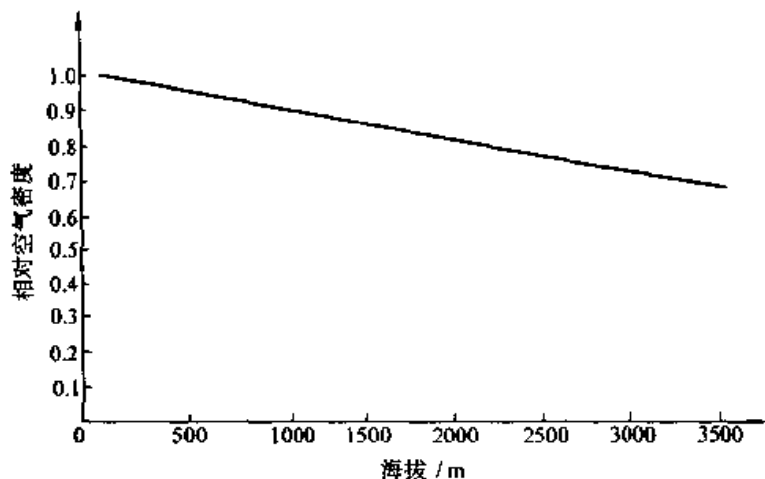


图 1-3-14 相对空气密度与海拔的关系曲线

2) 根据试验要求和试验的数据,计算分析试件表面的全面电晕场强与海拔、湿度和试件直径的关系曲线。

3) 评估试件最大工作电压时的表面场强是否小于或等于试验的全面电晕场强的 90%。

### 3.2.10 疲劳试验

当金属线材所受的应力超过某一极限值时,在长期的交变应力作用下,将发生疲劳断股。这一应力值被称为该线材的疲劳极限。架空导线在发生振动或舞动时,即处在交变应力作用之下。故架空导线采用新的线材或工艺条件有所改变时,应进行疲劳试验。

疲劳试验可在旋转反复弯曲试验机上进行。试验机的工作原理见图 1-3-15。试件的 A 端夹持在电机 M 的夹头 C 中。B 端夹持在尾座球头线夹中。当尾座向左移动时,在试件的两端就产生了两个大小相等方向相反的作用力 F,使试件在水平面内弯曲,产生一最大挠度 Y 和一偏转角  $\theta$ 。在试件中心轴线的内侧,试件表面受拉应力,在试件轴线的内侧,试件表面受压应力。在电机的带动下,使试件按其弯曲轴线高速旋转,在反复弯曲应力的作用下,直至疲劳折断。试件所受的弯曲应力,

与偏转角的大小和试件的弹性模量有关,可按式 (1-3-53) 计算

$$\sigma_B = \frac{d\theta E}{357.7L} \text{ (MPa)} \quad (1-3-53)$$

- 式中  $d$ ——试件直径 (mm);  
 $\theta$ ——偏转角 ( $^\circ$ );  
 $E$ ——弹性模量 (MPa);  
 $L$ ——试件长度 (mm)。

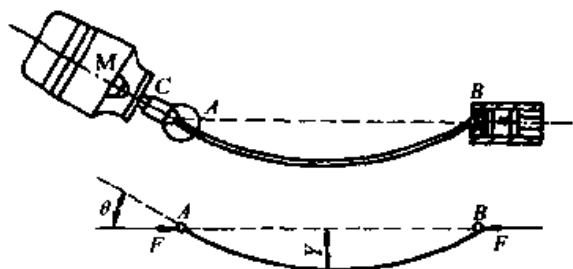


图 1-3-15 线材疲劳试验机原理图

一般钢线材反复弯曲疲劳极限相应的应力交变次数应不少于 1000 万次。有色金属线材应力交变次数应不少于 3000~5000 万次。直径 3.38mm 的硬铝线与铝镁合金 (5005) 线的疲劳极限对比试验的结果见表 1-3-12,其应力交变次数为 5000 万次。

表 1-3-12 疲劳极限

试验系列	疲劳极限/MPa		疲劳极限/抗拉强度(%)	
	硬铝线	铝镁合金(5005)	硬铝线	铝镁合金(5005)
A	62.1	96.6	32.0	37.4
B	72.4	96.6	37.3	37.4
C	46.9	75.8	24.2	29.4
平均	60.4	89.6	31.2	34.7

## 1. 试样制备

1) 试件的表面应光洁无缺陷, 尽量排除一切可变的因素, 以减少试验的分散性。

2) 试件的有效长度为本身直径的 150 倍。对于直径较大或材质较软的线材, 有效长度可适当小一些。有效长度系指图 1-3-15 中 A、B 两点之间的试件长度。

3) 试件应用手工小心校直, 避免受伤。并在一端装上球头线夹备用。线夹的轴线应与试件轴线重合。

## 2. 试验方法

1) 线材反复弯曲试验机, 应能适应直径 1.20~5.50mm 的线材疲劳试验。

2) 将试件不装球头线夹的一端夹入电机的钳口内。电机可在以钳口端面中心点 A 为中心的水平面内转动。调整试件的轴线应与电机的轴线相重合, 测量 A、B 两点之间的有效长度应符合要求, 然后旋紧 A 端的钳口。

3) 将试件 B 端的球头线夹插入尾座的滚珠式止推轴承内。推动尾座使试件弯曲, 使其产生一个与计算的弯曲应力相应的偏转角  $\theta$ 。设备的量角指示, 应精确到 0.1 ( $^{\circ}$ )。

4) 转动调速器, 使电机缓缓起, 带动试件旋转。使其产生交变弯曲应力。到试件稳定运行时为止。电机有附加的计数器, 可累计转动的次数。

5) 当试件疲劳折断或发生意外故障时, 设备应有自动停车装置。

## 3. 试验结果

1) 将不同的反复弯曲应力与相应的应力交变次数绘成曲线。对于有色金属试件至少 3000 万次后不出现折断, 这一反复弯曲应力称该试件在

此条件下的“疲劳极限”, 其值应为不少于 5 个试件的平均值。

2) 求出疲劳极限与抗拉强度之比的百分数。

## 3.2.11 腐蚀试验

金属表面如有能与其发生化学反应的媒介, 或与不同的其他金属或盐类接触, 同时又存在水份或其他电解质时, 就将发生金属腐蚀, 甚至使金属构件破坏, 造成严重的经济损失。如电力线路在工业地区或沿海架设的架空导线, 腐蚀现象就很严重, 多者十几年, 少则 2~3 年就得换线。除换线的直接经济损失外, 因停电造成工业减产的间接经济损失更是十分惊人的。腐蚀试验的目的主要是作为一种手段, 为研究消除产生腐蚀的各种因素或尽量减缓腐蚀过程创造条件。

金属腐蚀主要有化学腐蚀和电化学腐蚀两种。在多数情况下, 这两种腐蚀情况往往又是同时存在的。

化学腐蚀——指金属在大气中与氧、氯、二氧化硫、硫化氢等气体作用下发生的腐蚀。金属表面与氧发生作用后, 生成不同的金属氧化物。铝的氧化物能构成致密的有一定硬度的表面保护膜。铁的氧化物结构疏松, 易于脱落, 并继续不断地向金属内部渗入、扩散, 使材料破坏。铜的氧化物俗称铜绿, 介于以上两者之间, 是一种有毒物质。大气中的其他有害气体或离子如氯离子、碳酸根离子、游离碱或硫酸等, 容易与金属或其氧化物引起化学反应, 使金属加速腐蚀。

电化学腐蚀——指由金属和介质组成原电池后, 形成了金属的腐蚀过程。当两种不同电极电位的金属相接触, 其间又有水或其他电解质时, 两种金属之间就会产生电流, 形成一个原电池, 其中一种金属处于正电位, 另一种处于负电位。处于负电位的金属就不断地以离子状态经电解液向处于正电位的金属聚积。使处于负电位的金属逐渐损失破坏, 形成电化学腐蚀。两种金属的电极电位之差愈大, 电化学腐蚀就愈强烈。温度愈高, 湿度愈大, 金属的腐蚀在一般情况下也愈严重。不同的金属有不同的电极电位。常用的几种金属的电极电位次序见表 1-3-13。

表 1-3-13 常用金属的电极电位

金属	Ag(银)	Cu(铜)	Pb(铅)	Sn(锡)	Fe(铁)	Zn(锌)	Al(铝)	Mg(镁)	Na(钠)
电位	+0.80	+0.334	-0.122	-0.16	-0.44	-0.76	-1.33	-1.55	-2.76

电极电位负值越大的金属,转入电解质中成为离子的趋势越强,即越易受到腐蚀。铝的电极电位的负值虽较大,但由于其表面经常有一层氧化膜保护层,能改善其耐腐蚀性能。

架空电力线路上的各种导线,特别是架设在沿海和工业地区的导线,长期经受大气、风雨和盐雾的侵蚀,很容易受到腐蚀。这是由于大气中的氯离子半径很小,能自由地穿透金属表面的水膜和钝化膜(金属化合物,结构紧密,覆盖在金属表面),排挤氧离子并取而代之,成为可溶性氯化物,使金属加速腐蚀。大气中的 $\text{SO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NH}_3$ 和 $\text{NO}_2$ 以及其他悬浮粒子和灰尘也都能促进金属的腐蚀。腐蚀后使金属表面产生缺陷,导致应力集中。应力又会促进腐蚀,腐蚀又加速了表面缺陷的扩展,使抗疲劳能力下降,从而大大降低了导线的使用寿命。

为了防止导线的腐蚀,目前采取的主要方法是在钢芯的钢线上镀锌或镀铝。或在导线绞制过程中,在股线上涂以防腐涂料,制成防腐钢芯铝绞线,有轻防腐、中防腐和重防腐三种,可分别用于不同的腐蚀性区域,以提高其使用寿命。防腐涂料应具有良好的化学稳定性及粘附性,滴点应不小于 $110\text{C}$ 。另外提高铝导线的化学品位和导线的表面质量也是提高导线耐腐蚀性能的有效途径。

#### 1. 试样制备

1) 根据试验设备条件和试验要求,选取试件的长度和根数。

2) 试件表面应进行去油处理。

2. 试验方法 有盐雾腐蚀试验和人工大气腐蚀试验两种。

#### 1) 盐雾腐蚀试验

a) 试验设备。盐雾腐蚀试验箱。

b) 试验条件:

- ① 喷雾溶液: 3%氯化钠( $\text{NaCl}$ )溶液;
- ② 试验温度:  $35\text{C}$ 以下;
- ③ 相对湿度: 90%以上;
- ④ 喷雾时间: 喷雾30min; 并加热30min; 或其他按规定的间隔时间, 根据试验要求而定;
- ⑤ 样品放置: 水平或呈一定角度 $15^\circ\sim 30^\circ$ ;
- ⑥ 试验周期: 一般试验持续时间为500~1000h; 也可根据试验的目的和要求而定。

2) 人工大气腐蚀试验。可在人工大气腐蚀试验箱内,模拟一定的工业性气体,在一定的温度湿

度条件下,进行金属材料的大气腐蚀试验。常用的工业性气体有二氧化硫、一氧化氮及氟等,也可充以一种混合气体进行试验。二氧化硫是污染空气中腐蚀性最强的具有代表性的有害气体。

a) 试验设备。人工大气腐蚀试验箱

b) 试验条件:

- ① 二氧化硫浓度: 1%体积比(范围为 $0.5\%\sim 2.0\%$ );
- ② 试验温度:  $25\text{C}\pm 2\text{C}$ ;
- ③ 相对湿度: 95%以上;
- ④ 试验时间: 24h。

#### 3. 试验结果

1) 进行外观检查。记录腐蚀产物的颜色、状态、结合程度、腐蚀类型及腐蚀物分布特征等。

2) 重量测定。测定试件腐蚀后的失重或增重,并加以分析和说明。

3) 腐蚀后机械性能及电阻的测定。对比腐蚀前后机电性能的影响。

#### 3.2.12 光纤复合架空地线的型式试验

光纤复合架空地线的型式试验包括电学、机械物理性能和光学性能。IEC1396及我国行业标准JB/T8999-1999有详细规定。主要有应力-应变试验、拉力特性试验、滑轮试验、微风振动试验、舞动试验、蠕变试验、温度循环试验、水渗透试验、短路试验、雷击试验。

##### 1. 应力-应变试验

1) 应力-应变试验是决定光纤复合架空地线在负载情况下的机械行为。

2) 试样长度不小于10m。试验前样品两端用预绞丝、压接管、环氧树脂、低熔点合金等任一种方式处理,使端部予以固定,光纤尾端不能相对移动。

3) 拉断强度试验。光纤复合架空地线应能承受不小于95%RTS的强度,而此时应没有任何一根单线断裂,终端夹具也没有任何位移。

##### 2. 拉力特性试验

1) 拉力特性试验是决定光单元在拉力负荷下的行为,即决定下列性能:光纤的衰减变化、光纤应变和应变余量。(注:光纤应变和应变余量测量只对于松套管结构。)

2) 试样长度应大于10m,光纤试样长度至少100m。夹头的处理与应力-应变试验相同,试验过

程中光纤复合架空地线的绞线应无明显损伤。在进行加载的同时进行如下测量：在适当间隔时间加载，测量缆伸长或缆应变，同时测量光纤长度和光衰减变化。光纤长度测量用 OTDR，光纤衰减则用光功率计。

当光纤开始与缆同步伸长时，缆的应变称为应变余量，在光纤产生应变之前光单元相对于地线单元不会发生相对移动。

3) 试验结果分析：有下列二种情况之一者，则认为不合格。当光纤复合架空地线的光衰减值增加至大于最大允许负载下光纤的衰减值时，或

应变余量小于相对应的最大允许负载的规定值。

3. 滑轮试验 滑轮试验是为了证实光纤复合架空地线在安装架设时不会损害或降低它的性能。试验装置、试验条件及试验程序共二种，试验时可任意选择其中的一种。

1) 滑轮试验方法之一。

a) 试验装置。滑轮试验装置如图 1-3-16。试样两端用预绞丝线夹或其它合适的终端夹具处理，光纤试验长度不小于 100m，在光纤的任一端连接光功率计或光时域反射计 (OTDR)，测量光

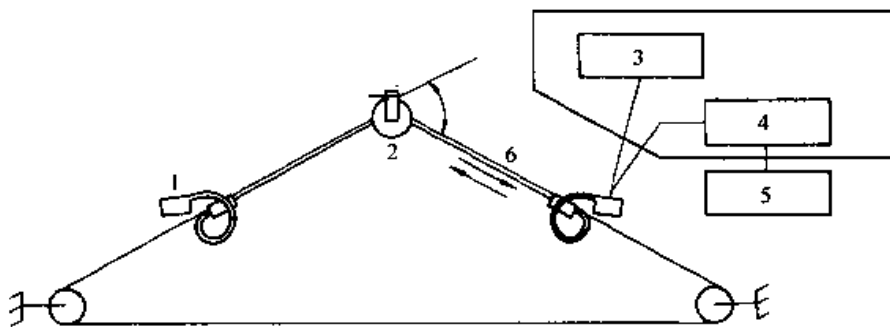


图 1-3-16 滑轮试验装置

1—光纤环接 2 滑轮座 3 光源 4—功率计  
5 记录仪 6 光纤复合架空地线 (OPGW)

纤衰减，用 OTDR 测量光纤最小长度。

b) 试验条件。拉力角、拉伸负荷、滑轮直径、试验完毕后缆的最大允许椭圆度等，按实际情况由供需双方商定。

循环次数：向前向后各拉动 10 次 (即 10 个循环)。

c) 试验程序。取 5m 以上试样作滑轮试验，开始前，试样起端、中点和末端作标记，试验后，剥

除试验部分绞线层，测缆和标记部分的椭圆度是否超过允许值。试验中测试光衰减。

2) 滑轮试验方法之二。

a) 试验装置。滑轮试验装置如图 1-3-17。试样两端用预绞丝线夹或其他合适的终端夹具处理，光纤试验长度不小于 100m，在光纤的任一端连接光功率计或 OTDR，测量光纤衰减，用 OTDR 测量光纤最小长度。

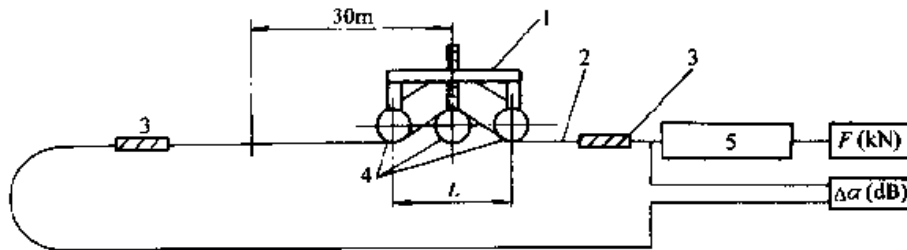


图 1-3-17 滑轮试验装置

1—滑轮机构 2—OPGW 3—终端线夹 4—滑轮 5—拉力设备

b) 试验条件。

中间滑轮的拉力角： $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$

拉伸负荷：15%RTS

循环次数：向前向后各拉动 3 次 (即 3 个循

环)。

滑轮机构速度：60m/min

滑轮直径、距离“L”，以及缆最大允许椭圆度，由供需双方协商决定。

c) 试验程序。用不小于 50m 的试样在 15% RTS 的拉力下进行试验, 通过滑轮的试样超过 30m。第一循环后, 在试样的起端、中点和末端作标记。试验完毕后, 剥除试验部分的绞线层, 测试缆和其组成部分每个标记点的椭圆度, 并作比较。整个试验中用光功率计测量光衰减。

4. 微风振动试验 微风振动试验是为了评价缆的疲劳性能和光纤在微风振动下的光学特

性。其试验装置如图 1-3-18 所示。

试验完毕, 若光纤衰减增大超过规定值, 光单元的最大允许椭圆度超过规定值, 或绞线断股损伤、形成灯笼状时, 均认为样品不合格。

5. 舞动试验 舞动试验是为了评价缆抗舞动的疲劳性能和光纤在典型舞动下的光学特性。其试验装置如图 1-3-19 所示。本试验用户要求时才进行。

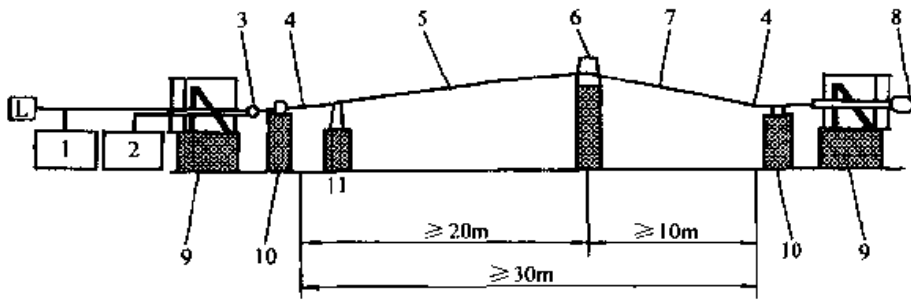


图 1-3-18 微风振动试验装置

- 1—仪表入端 2—仪表出端 3—测力计或传感器 4—耐张线夹  
5—活动档距 6—悬垂线夹 7—后档距 8—光纤接头  
9—终端支座 10—中间支座 11—合适的激振器

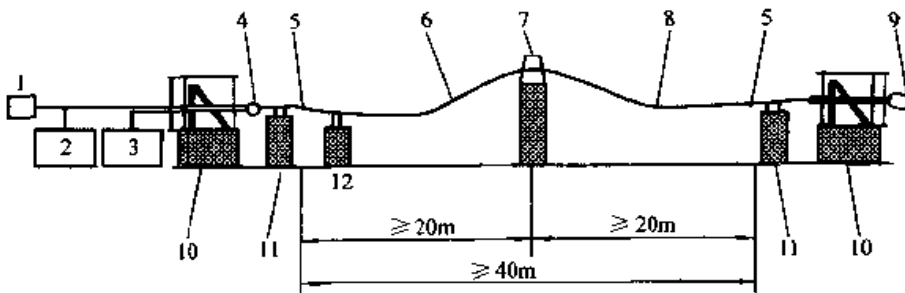


图 1-3-19 舞动试验装置

- 1—激光 2—仪表入端 3—仪表出端 4—测力计或传感器 5—耐张线夹  
6—活动档距 7—悬垂线夹 8—后档距 9—光纤接头 10—终端支座  
11—中间支座 12—合适的激振器

试验完毕, 若光纤衰减增大超过规定值, 光单元的最大允许椭圆度超过规定值, 或绞线断股损伤, 形成灯笼状时, 均认为样品不合格。

6. 蠕变试验 (当有要求时) 试样长约 10m 或以上, 缆每端用适当夹具夹住, 施加至少 25% RTS 的负荷, 试验时间 1000h。

试验程序可参照 IEC1395 或本篇 3.2.6 节蠕变试验的有关要求。

7. 温度循环试验 (当有要求时) 温度循环试验是为了考察缆在工作环境的温度范围下的光学特性。

光纤芯数、温度循环的温度范围和变化过程、保温时间, 由用户按工程情况提出, 保温时间不超过 24h。试验时光纤长度最少为 500m, 循环次数 2~10 次。

试验完毕, 光衰减增大不应超过规定值。

8. 水渗透试验 (当有要求时) 水渗透试验只对含有合适阻水化合物的光单元进行, 长度为 1m 的样品开口端应无水渗漏进入。如果第一只试样试验失败, 应从与第一只试样紧邻部分重取 1m 长试样进行试验, 合格才能通过。

9. 短路试验 短路试验是检测光纤复合架

空地线的性能和光纤在典型短路条件下的光学特性。

1) 试验装置。本试验可使用两个或一个试样的方式来试验。

a) 两个试样：试样采用适宜的夹具进行端部处理，比较线长约5m以上的光缆应露在电缆及测试

设备承受短路电流区域的部分之外。对于试验A，一个或多个热电偶插进通到光单元的孔中，控制光单元温度；对于试样B，一个或多个热电偶应接触到缆的绞线部分，以控制光纤复合架空地线的温度。用连接在试验光纤任一端的光功率计来测量光衰减。试验的典型装置如图1-3-20所示。

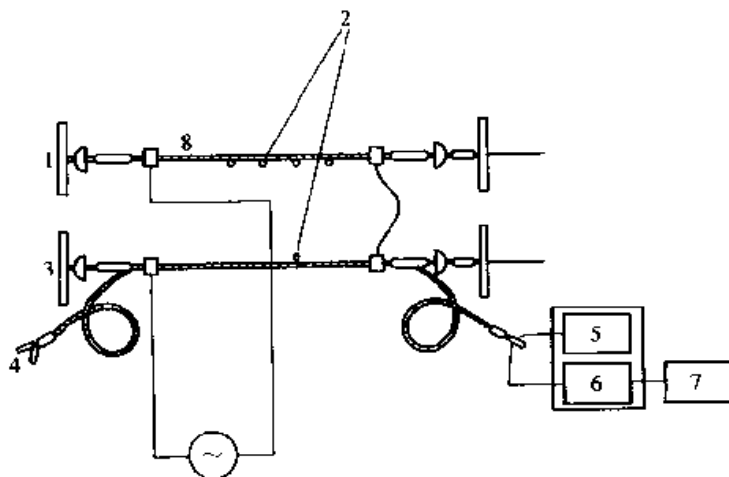


图 1-3-20 短路试验装置

1—样品 A 2—热电偶多线记录仪 3—样品 B 4—光纤  
环接 5—光源 6—光功率计 7—记录仪 8—OPGW

b) 一个试样：试样两端用适宜的夹具进行处理，比较线长约5m以上的光缆应露在电缆及测试设备承受短路电流区域的部分之外。一个或多个热电偶插进绞线通到光单元的表面，控制光单元温度。一个或多个热电偶应接触到绞线，控制光纤复合架空地线温度，用连接在试验光纤任一端的光功率来测量光衰减。

2) 测试条件。

拉伸负荷：10%~20%RTS

试样有效长度：不小于2m。

试验光纤长度：不小于100m

脉冲次数：不少于2次

波形：第3次循环以后对称

试样的起始温度和电流容量  $I^2t$  由供需双方协商决定。

3) 测试程序。每次电流脉冲之前，连续测量光纤衰减，不小于2min，脉冲之后，测量5min，并测量缆和光单元的温度。两次脉冲之间，应让缆的温度冷却到初始温度的 $\pm 5^\circ\text{C}$ 之内，才能施加第二次脉冲电流。

4) 试验结果分析。试验完毕后，实测结果，光纤的光衰减的增大值，光纤复合架空地线的任何

组成部分的温升（即达到的最高温度值）都应该在允许的范围内。试验后，把缆剖开，缆的任何部分都应无损伤。试验后的试样，其抗拉强度应不小于95%RTS。

10. 雷击试验（本试验仍在考虑中）雷击试验可分两种。

1) 给定条件下的验证试验。

a) 试验装置。本试验在不小于30m长的试样中点上进行，光纤的最小长度为100m，连接于光纤任一端的光功率计测量光纤的衰减值。

b) 试验条件。试样应承受四部分组成的模拟雷击：起始冲击、中间电流、连续电流、再冲击。

c) 试验程序。冲击前温度  $40^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ，两次脉冲间又必须回到起始的温度。

雷击模拟试验共5次，施加在同一样品上，但不必总在同一处。

2) 确定光纤复合架空地线抗雷击的承受性能的试验

a) 试验装置。用于雷击的试验装置如图1-3-21所示。

铁棒用作电极，置于试样的正上方，电极和缆用保险丝连起来，试样上施加2%RTS或2kN（张

力的较小者)。

合架空地线发生断股为止。

b) 试验程序。放电能量逐步增加直至光纤复

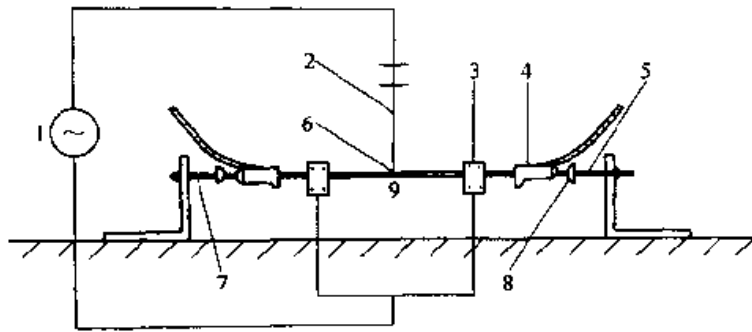


图 1-3-21 雷击试验装置

1—电源 2—电极 3—电极(板) 4—耐张线夹 5—紧线螺栓 6—软管 7—张力计 8—绝缘子 9—OPGW

## 第 4 章 产品的包装及标志

为了使架空导线在装运过程中免遭损伤和运输方便起见,应对产品加以适当包装和标志。

### 4.1 包装

根据导线直径和制造长度,按 GB4005.1《电线电缆交货盘》选用 PL 型线盘。线盘的筒径  $D_2$  应至少 30 倍于导线直径。对于单层铝线的导线,此倍数应适当大些。线盘的容量  $V$  可按式 (1-4-1) 计算。并参见图 1-4-1。

$$V = (D_1^2 - D_2^2)\pi B/4(m^3) \quad (1-4-1)$$

式中  $D_1$ ——线盘外径;

$D_2$ ——筒径;

$B$ ——线盘宽度。

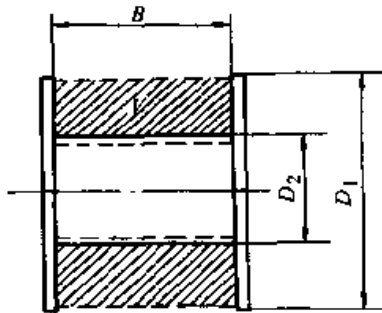


图 1-4-1 线盘示意图

线盘的收线长度与导线在线盘上充满度有关。最小的充满度如图 1-4-2a 所示,充满系数为

0.785;最大的充满度如图 1-4-2b 所示,充满系数为 0.907。通常可按充满系数 0.87 计算。另外为了避免线盘上最外层导线遭受损伤,最外层导线的表面离线盘侧板边沿的间距应不小于 2 倍导线的直径。建议不同外径的线盘按表 1-4-1 的数值留出间距。按此间距,由式 (1-4-1) 计算的线盘容量约缩小到 80%,即容量系数为 0.8。

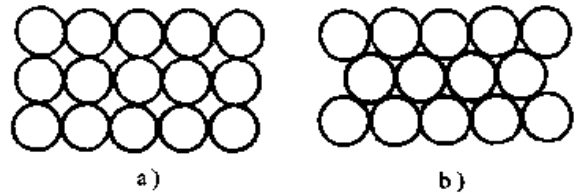


图 1-4-2 装盘充满图

表 1-4-1 导线表面离侧板边沿的间距

线盘外径 $D_1$ /m	间 距 /cm	线盘外径 $D_1$ /m	间 距 /cm
1.20	5	2.00	8
1.40	5	2.20	10
1.60	7	2.50	10
1.80	8		

线盘上允许的导线长度可按式 (1-4-2) 计算

因为 
$$VK_s K_p = L \frac{\pi d^2}{4}$$

所以  $L = 0.890V/d^2$  (1-4-2)

式中  $V$  — 线盘容量, 见式 (1-4-1) ( $\text{m}^3$ );

$K_s$  — 容量系数, 取 0.8;

$K_F$  — 充满系数, 取 0.87;

$d$  — 导线直径 ( $\text{m}$ )。

同一线盘上只允许卷取同一型号规格的导线。连在一起的两根导线, 其连接处应至少剪断一半铝线, 将连接处的两端扎牢, 并加明显标志。导线的末端应加以固定。线盘周围应妥善包装。

短段导线允许成卷交货。每圈应至少捆扎三处, 并妥善包装。

## 4.2 标志

应将每个包装件的毛重、净重、皮重、产品的型号规格、由外至内每根导线的长度、制造日期、制造厂名和标准号、产品的流水号、合同号以及必要的运输标志标明在每个包装件的内侧或外侧。



祖国万岁上传

## 第2篇 绕组线

绕组线是一种具有绝缘层的导电金属电线，用以绕制电工产品的线圈或绕组。其作用是通过电流产生磁场，或切割磁力线产生感应电流，实现电能和磁能的相互转换，故又称为电磁线。

绕组线的导电线芯有圆线、扁线、带、箔等，目前多数采用铜线，也有部分采用铝线，为提高铝绕组线的抗拉强度，可采用高导电、高强度铝合金；220℃以上高温绕组线的导电线芯须采用抗氧化的复合金属，如镍包铜线等。

绕组线的绝缘层目前除部分采用天然材料（如绝缘纸、植物油、天然丝等）外，主要采用有机合成高分子化合物（如聚酯、缩醛、聚氨酯、聚酯亚胺、聚酰亚胺、聚酰胺酰亚胺树脂等）和无机材料（如玻璃丝、氧化铝膜等）。由于用单一材料

构成的绝缘层在性能上有一定的局限性，因此，有的绕组线采用复合绝缘或组合绝缘。复合绝缘用两种或两种以上材料组合在一起，取长补短，以提高绝缘层的综合性能。如在聚酯亚胺、聚氨酯等漆包线表面再用尼龙或聚酰胺酰亚胺作为外涂层，可显著提高其耐刮性和耐化学性能。组合绝缘，如玻璃丝包线由玻璃丝和胶粘绝缘漆组成绝缘层，又如纸包线一般浸在绝缘油中使用，实际上是油纸组合绝缘。

绕组线按照绝缘层的特点和用途，可分为漆包线、绕包线、特种绕组线、无机绝缘绕组线四大类。本文按上述分类方式进行论述。绕组线型号编制方法见下表。

**绕组线型号编制方法**

绕 组 线							
漆 包 线		绕包绝缘线		特种绝缘绕组线		无机绝缘绕组线	
Q	油性漆包线	S	单丝包线	H	换位导线	YM	氧化膜
QA	聚氨酯漆包线	SE	双丝包线	S	潜水电机绕组线	C	涂层
QQ	缩醛漆包线	D	涤纶丝包线	Y	聚乙烯绝缘耐水线	BM	玻璃膜
QZ	聚酯漆包线	Z	纸包绕组线	V	聚氯乙烯绝缘耐水线		
QZ(G)	改性聚酯漆包线	SB	玻璃丝包线	YJ	交联聚乙烯绝缘耐水线		
QZY	聚酯亚胺漆包线	SBE	双玻璃丝包线	N	尼龙护套		
QY	聚酰亚胺漆包线	SBQ	玻璃丝包漆包线				
QX	聚酰胺漆包线	M	薄膜绕包线				
QXY	聚酰胺酰亚胺漆包线	YF	聚酰亚胺-氟46复合薄膜绕包线				
N	热粘合或溶剂粘合漆包线						

导 体		其 他					
导体材料		导体特征		温度指数		漆膜厚度	
T	铜(省略)	B	扁线	×××-1/120	温度指数 120	漆包线 1级 薄漆膜 2级 厚漆膜 3级 特厚漆膜 自粘层漆包线 1B 薄漆膜 2B 厚漆膜	
L	铝	D	带(箔)	×××-1/130	温度指数 130		
TWC	无磁性铜	J	绞制	×××-2/155	温度指数 155		
A	合金导体	R	柔软	×××-2/180	温度指数 180		
M	锰铜	BK	空心扁线	×××-3/200	温度指数 200		
NG	镍铬			×××-3/220	温度指数 220		

举例说明：QZN-1B 0.16 GB/T6109—1989 表示：热粘合或溶剂粘合聚酯漆包圆铜绕组线 薄漆膜 标称直径 0.16mm。  
 Q(ZY/XY)-2/200 0.25 GB/T6109—1990 表示：聚酯亚胺、聚酰胺酰亚胺复合漆包圆铜绕组线 厚漆膜 温度指数 200 标称直径 0.25mm。  
 SBQ-25/130 4.0 GB7672.3—1987 表示：温度指数 130 单玻璃丝包漆包圆铜线 绝缘厚度 0.25mm 标称直径 4.0mm。  
 SBEQB-40/180 2.00×5.00 GB7672.5—1987 表示：温度指数 180 双玻璃丝包漆包扁铜线 绝缘厚度 0.40mm 标称尺寸 a 边 2.00mm b 边 5.00mm。  
 SBEQLB-40/130 2.00×5.00 GB7672.5—1987 表示：温度指数 130 双玻璃丝包漆包扁铝线 绝缘厚度 0.40mm 标称尺寸 a 边 2.00mm b 边 5.00mm。

## 第1章 漆包线

漆包线的绝缘层是漆膜，在导电线芯上涂覆绝缘漆后烘干而成。其特点是：漆膜均匀、光滑、有利于线圈的自动绕制；漆膜也较薄，有利于提高空间因数<sup>⊙</sup>，广泛应用于中小型或微型电工产品中。

### 1.1 漆包线的品种、规格、特点和用途

漆包线的品种、规格、特点和主要用途见表

2-1-1。

表 2-1-1 漆包线的品种、规格、特点和主要用途

类别	产品名称	型号	规格 <sup>D</sup> /mm	特 点			主要用途	标准号
				温度指数	优 点	局限性		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
聚 酯 漆 包 线	130级薄漆膜聚酯漆包圆铜线	QZ-1/130	0.018~ 3.150	130	1. 在干燥和潮湿条件下,耐电压击穿性能优 2. 软化击穿性能优 3. QZN型漆包线能自行粘合成型	1. 耐水解性差(用于密闭的电机、电器时须注意) 2. 热冲击性尚可 3. 与聚氯乙烯、氯丁橡胶等含氯高分子化合物不相容	通用中小电机的绕组,干式变压器和电器的仪表的线圈	GB6109.7
	130级厚漆膜聚酯漆包圆铜线	QZ-2/130	0.018~ 5.000					
	155级薄漆膜改性聚酯漆包圆铜线	QZ(G)1/155	0.020~ 3.150	155			GB6109.2	
	155级厚漆膜改性聚酯漆包圆铜线	QZ(G)2/155	0.020~ 5.000					
	热粘合或溶剂粘合薄漆膜聚酯漆包圆铜线	QZN-1B	0.020~ 1.000	—				GB6109.8
	热粘合或溶剂粘合厚漆膜聚酯漆包圆铜线	QZN-2B						
130级薄漆膜聚酯漆包扁铜线	QZB-1/130	a边为 0.80~ 5.60 b边为 2.00~ 16.00	130	GB/T7095.7				
130级厚漆膜聚酯漆包扁铜线	QZB-2/130							
155级薄漆膜改性聚酯漆包扁铜线	QZ(G)B-1/155	155	155	GB/T7095.3				
155级厚漆膜改性聚酯漆包扁铜线	QZ(G)B-2/155							

⊙ 线圈中导体总截面与该线圈的横截面之比称为空间因数。在电工产品中电机线槽中导体总截面与线槽截面之比,以槽满率表示。

(续)

类别	产品名称	型号	规格 <sup>1)</sup> /mm	特 点			主要用途	标准号
				温度指数	优 点	局限性		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
缩醛漆包线	120级薄漆膜缩醛漆包圆铜线	QQ-1/120	0.018~ 2.500	120	1. 热冲击性优 2. 耐刮性优 3. 耐水解性能良	漆膜经受卷绕应力,易产生裂纹(浸渍前须在120℃左右加热1h以上,以消除应力)	通用中小电机、微电机绕组和油浸变压器的线圈,电器仪表用线圈	GB6109.3
	120级厚漆膜缩醛漆包圆铜线	QQ-2/120						
	120级特厚漆膜缩醛漆包圆铜线	QQ-3/120						
	120级薄漆膜缩醛漆包扁铜线	QQB-1/120	a边0.80~ 5.60					—
120级厚漆膜缩醛漆包扁铜线	QQB-2/120	b边2.00~ 16.00						
聚氨酯漆包线	130级薄漆膜聚氨酯漆包圆铜线	QA-1/130	0.018~ 2.000	130	1. 在高频条件下,介质损耗角正切小 2. 可以直接焊接,不需刮去漆膜 3. 着色性好,可制成不同颜色的漆包线,在接头时便于识别	1. 过负载性能差 2. 热冲击及耐刮性能尚可	要求Q值稳定的高频线圈、电视线圈和仪表用的微细线圈	GB6109.4
	130级厚漆膜聚氨酯漆包圆铜线	QA-2/130	0.020~ 2.000					
	热粘合或溶剂粘合薄漆膜聚氨酯漆包圆铜线	QAN-1B	0.020~ 1.000	—				1. 在干燥和潮湿条件下,耐电压击穿性能优 2. 热冲击性能良 3. 软化击穿性能良
热粘合或溶剂粘合厚漆膜聚氨酯漆包圆铜线	QAN-2B							
聚酯亚胺漆包线	180级薄漆膜聚酯亚胺漆包圆铜线	QZY-1/180	0.018~ 2.500	180	1. 在干燥和潮湿条件下,耐电压击穿性能优 2. 热冲击性能良 3. 软化击穿性能良	1. 在含水密封系统中易水解(用于密封电机、电器时须注意) 2. 与聚氯乙烯橡胶等含氟高分子化合物不相容	高温电机和制冷装置中电机的绕组,干式变压器和电器的线圈	GB6109.5
	180级厚漆膜聚酯亚胺漆包圆铜线	QZY-2/180						
	180级薄漆膜聚酯亚胺漆包扁铜线	QZYB-1/180	a边0.80~ 5.60					—
180级厚漆膜聚酯亚胺漆包扁铜线	QZYB-2/180	b边2.00~ 16.00						

(续)

类别	产品名称	型号	规格 <sup>d</sup> /mm	特 点			主要用途	标准号
				温度指数	优 点	局 限 性		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
聚酰亚胺漆包线	220 级薄漆膜聚酰亚胺漆包圆铜线	QY-1/220	0.018~	220	1. 漆膜的耐热性优 2. 软化击穿及热冲性优 3. 耐低温性优 4. 耐辐射性优 5. 耐溶剂及化学药品腐蚀性优	1. 耐刮性尚可 2. 耐碱性差 3. 在含水密封系统中易水解 4. 漆膜经受卷绕应力容易产生裂纹(浸渍前, 须在 150℃ 左右加热 1h 以上, 以消除应力)	耐高温电机绕组, 干式变压器, 密封式继电器及电子元件	GB6109.6
	220 级厚漆膜聚酰亚胺漆包圆铜线	QY 2/220	2.500					
聚酰亚胺漆包线	220 级薄漆膜聚酰亚胺漆包扁铜线	QYB-1/220	a 边 0.80~ 5.60	220	1. 漆膜的耐热性优 2. 软化击穿及热冲性优 3. 耐低温性优 4. 耐辐射性优 5. 耐溶剂及化学药品腐蚀性优	1. 耐刮性尚可 2. 耐碱性差 3. 在含水密封系统中易水解 4. 漆膜经受卷绕应力容易产生裂纹(浸渍前, 须在 150℃ 左右加热 1h 以上, 以消除应力)	耐高温电机绕组, 干式变压器, 密封式继电器及电子元件	GB7095.5
	220 级厚漆膜聚酰亚胺漆包扁铜线	QYB-2/220	b 边 2.00~ 16.00					
复 合 涂 层 漆 包 线	180 级薄漆膜聚酯亚胺/聚酰胺复合漆包圆铜线	Q(ZY/X) -1/180	0.050~ 3.150	180	1. 在干燥和潮湿条件下, 耐电压击穿性能优 2. 热冲击性能优 3. 软化击穿性能优 4. 耐冷冻剂, 化学药品腐蚀性优	1. 在含水密封系统中易水解(用于密封电机、电器时须注意) 2. 与聚氯乙烯、橡胶等含氯高分子化合物不相容	用于致冷装置的电机和高温电机的绕组, 下式变压器和仪表线圈	GB6109.10
	180 级厚漆膜聚酯亚胺/聚酰胺复合漆包圆铜线	Q(ZY/X) -2/180	0.050~ 5.000					
	180 级特厚漆膜聚酯亚胺/聚酰胺复合漆包圆铜线	Q(ZY/X) -3/180	0.250~ 1.600					
	200 级薄漆膜聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包圆铜线	Q(ZY/XY) -1/200	0.050~ 2.000	200	1. 在干燥和潮湿条件下, 耐电压击穿性能优 2. 热冲击性能优 3. 软化击穿性能优 4. 耐冷冻剂, 化学药品腐蚀性优	1. 在含水密封系统中易水解(用于密封电机、电器时须注意) 2. 与聚氯乙烯、橡胶等含氯高分子化合物不相容	用于致冷装置的电机和高温电机的绕组, 下式变压器和仪表线圈	GB6109.11
200 级厚漆膜聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包圆铜线	Q(ZY/XY) -2/200	0.050~ 5.000						
复 合 涂 层 漆 包 线	200 级薄漆膜聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包扁铜线	Q(ZY/XY)B -1/200	a 边 0.80~ 5.60	200	1. 在干燥和潮湿条件下, 耐电压击穿性能优 2. 热冲击性能优 3. 软化击穿性能优 4. 耐冷冻剂, 化学药品腐蚀性优	1. 在含水密封系统中易水解(用于密封电机、电器时须注意) 2. 与聚氯乙烯、橡胶等含氯高分子化合物不相容	用于致冷装置的电机和高温电机的绕组, 下式变压器和仪表线圈	GB/T7095.6
	200 级厚漆膜聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包扁铜线	Q(ZY/XY)B -2/200	b 边 2.00~ 16.00					

(续)

类别	产品名称	型号	规格 <sup>①</sup> /mm	特 点			主要用途	标准号
				温度指数	优 点	局限性		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
其他漆包线	油性漆包线	Q	0.02~2.50	105	1. 漆膜均匀 2. 介质损耗角正切小	1. 耐刮性差 2. 耐溶剂性差(对使用的浸渍漆应注意)	中、高频线圈及仪表、电器的线圈	JB658
	无磁性聚氨酯漆包圆铜线	TWCQA	0.02~0.20	130	1. 漆包线中的含铁量极低,在感应磁场中所起的干扰作用极微 2. 在高频条件下,介质损耗角正切小 3. 不需剥去漆膜即可直接焊接	不推荐在过负载条件下使用	精密仪表和电器的线圈,如直流镜流计、磁通表、测震仪的线圈	企标

① 圆线规格以线芯直径表示,扁线以线芯窄边(a)及宽边(b)长度表示。

## 1.2 各种漆包线及性能

### 1.2.1 130级聚酯漆包圆铜线

该产品是以130级聚酯树脂为基的单一涂层漆包圆铜线。温度指数为130。

1. 品种、型号、规格 (表 2-1-2)
2. 性能要求
  - 1) 表面质量 漆包线表面应光洁、色泽均匀、不应有影响漆包线性能的缺陷。
  - 2) 漆膜厚度 应符合表 2-1-3 的规定。
  - 3) 漆包线的最大外径 应符合表 2-1-4 的规定。
  - 4) 直流电阻 应符合表 2-1-5 的规定。

- 5) 断裂伸长率 应符合表 2-1-6 的规定。
- 6) 回弹性 (表 2-1-7)
- 7) 耐溶剂 漆包线在 60℃±3℃ 的标准溶剂 (200 号溶剂油 60%, 二甲苯 30% 及丁醇 10% 混合) 中浸 30min 后, 漆膜表面硬度 (铅笔法) 应不小于“1H”。
- 8) 室温击穿电压 不同规格的漆包线, 室温击穿电压见表 2-1-8~表 2-1-10。
- 9) 高温击穿电压 漆包线在 130℃ 温度下, 击穿电压值见表 2-1-11。
- 10) 漆膜连续性 标称直径 1.600mm 及以下的漆包圆线, 每 30m 长度内的缺陷数不超过表 2-1-12 的规定。

表 2-1-2 聚酯漆包圆铜线的型号、名称、规格 (单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标 准
QZ-1/130	130 级薄漆膜聚酯漆包圆铜线	0.018~3.150	GB6109.7
QZ-2/130	130 级厚漆膜聚酯漆包圆铜线	0.018~5.000	IEC317-34

表 2-1-3 聚酯漆包圆铜线的漆膜厚度

(单位: mm)

导体标 称直径	最小漆膜厚度			导体标 称直径	最小漆膜厚度			导体标 称直径	最小漆膜厚度		
	1 级	2 级	3 级		1 级	2 级	3 级		1 级	2 级	3 级
0.071	0.007	0.012	0.018	0.315	0.019	0.035	0.053	1.400	0.036	0.069	0.103
0.080	0.007	0.014	0.020	0.355	0.020	0.038	0.057	1.600	0.038	0.071	0.107
0.090	0.008	0.015	0.022	0.400	0.021	0.040	0.060	1.800	0.039	0.073	0.110
0.100	0.008	0.016	0.023	0.450	0.022	0.042	0.064	2.000	0.040	0.075	0.113
0.112	0.009	0.017	0.026	0.500	0.024	0.045	0.067	2.240	0.041	0.077	0.116
0.125	0.010	0.019	0.028	0.560	0.025	0.047	0.071	2.500	0.042	0.079	0.119
0.140	0.011	0.021	0.030	0.630	0.027	0.050	0.075	2.800	0.043	0.081	0.123
0.160	0.012	0.023	0.033	0.710	0.028	0.053	0.080	3.150	0.045	0.084	0.127
0.180	0.013	0.025	0.036	0.800	0.030	0.056	0.085	3.550	—	0.086	0.130
0.200	0.014	0.027	0.039	0.900	0.032	0.060	0.090	4.000	—	0.089	0.134
0.224	0.015	0.029	0.043	1.000	0.034	0.063	0.095	4.450	—	0.092	0.138
0.250	0.017	0.032	0.048	1.120	0.034	0.065	0.098	5.000	—	0.095	0.142
0.280	0.018	0.033	0.050	1.250	0.035	0.067	0.100				

注: 介于相邻标称直径间的中间规格, 取较大标称直径相应的最小绝缘厚度值。

表 2-1-4 聚酯漆包圆铜线的最大外径

(单位: mm)

导体标 称直径	最大外径			导体标 称直径	最大外径			导体标 称直径	最大外径		
	1 级	2 级	3 级		1 级	2 级	3 级		1 级	2 级	3 级
0.018	0.022	0.024	—	0.125	0.144	0.154	0.163	0.900	0.959	0.989	1.018
0.020	0.024	0.027	—	0.140	0.160	0.171	0.181	1.000	1.062	1.094	1.124
0.022	0.027	0.030	—	0.160	0.182	0.194	0.205	1.120	1.184	1.217	1.248
0.025	0.031	0.034	—	0.180	0.204	0.217	0.229	1.250	1.316	1.349	1.381
0.028	0.034	0.038	—	0.200	0.226	0.239	0.252	1.400	1.468	1.502	1.535
0.032	0.039	0.043	—	0.224	0.252	0.266	0.280	1.600	1.670	1.706	1.740
0.036	0.044	0.049	—	0.250	0.281	0.297	0.312	1.800	1.872	1.909	1.944
0.040	0.049	0.054	—	0.280	0.312	0.329	0.345	2.000	2.074	2.112	2.148
0.045	0.055	0.061	—	0.315	0.349	0.367	0.384	2.240	2.316	2.355	2.392
0.050	0.066	0.066	—	0.355	0.392	0.411	0.428	2.500	2.578	2.618	2.656
0.056	0.067	0.074	—	0.400	0.439	0.459	0.478	2.800	2.880	2.922	2.961
0.063	0.076	0.083	—	0.450	0.491	0.513	0.533	3.150	3.233	3.276	3.316
0.071	0.084	0.091	0.097	0.500	0.544	0.566	0.587	3.550	3.635	3.679	3.721
0.080	0.094	0.101	0.108	0.560	0.606	0.630	0.653	4.000	4.088	4.133	4.176
0.090	0.105	0.113	0.120	0.630	0.679	0.704	0.728	4.500	4.591	4.637	4.681
0.100	0.117	0.125	0.132	0.710	0.762	0.789	0.814	5.000	5.093	5.141	5.186
0.112	0.130	0.139	0.147	0.800	0.855	0.884	0.911				

表 2-1-5 漆包线圆铜导体的直流电阻

导体标称直径 /mm	电阻/(Ω/m)			导体标称直径 /mm	电阻/(Ω/m)		
	最小	标称	最大		最小	标称	最大
0.018	60.46	67.18	73.89	0.315	0.2121	0.2193	0.2270
0.020	48.97	54.41	59.85	0.355	0.1674	0.1727	0.1782
0.022	40.17	44.97	49.47	0.400	0.1316	0.1360	0.1407
0.025	31.34	34.82	38.31	0.450	0.1042	0.1075	0.1109
0.028	24.99	27.76	30.54	0.500	0.08462	0.08705	0.08959
0.032	19.13	21.25	23.38	0.560	0.06736	0.06940	0.07153
0.036	15.16	16.79	18.42	0.630	0.05335	0.05484	0.05638
0.040	12.28	13.60	14.92	0.710	0.04198	0.04313	0.04442
0.045	9.705	10.75	11.79	0.800	0.03305	0.03401	0.03500
0.050	7.922	8.706	9.489	0.900	0.02612	0.02687	0.02765
0.056	6.316	6.940	7.565	1.000	0.02116	0.02176	0.02240
0.063	5.045	5.484	5.922	1.120	—	0.01735	—
0.071	3.941	4.318	4.717	1.250	—	0.01393	—
0.080	3.133	3.401	3.703	1.400	—	0.01110	—
0.090	2.495	2.687	2.900	1.600	—	0.008502	—
0.100	2.034	2.175	2.333	1.800	—	0.006718	—
0.112	1.632	1.735	1.848	2.000	—	0.005411	—
0.125	1.317	1.393	1.475	2.240	—	0.004338	—
0.140	1.055	1.110	1.170	2.500	—	0.003482	—
0.160	0.8122	0.8502	0.8906	2.800	—	0.002776	—
0.180	0.6444	0.6718	0.7007	3.150	—	0.002193	—
0.200	0.5237	0.5441	0.5657	3.550	—	0.001727	—
0.224	0.4188	0.4338	0.4495	4.000	—	0.001350	—
0.250	0.3345	0.3482	0.3628	4.500	—	0.001075	—
0.280	0.2676	0.2776	0.2882	5.000	—	0.0008706	—

表 2-1-6 聚酯漆包圆铜线导体断裂伸长率

导体标称直径 /mm	最小伸长率 (%)	导体标称直径 /mm	最小伸长率 (%)	导体标称直径 /mm	最小伸长率 (%)
0.018	—	0.125	17	0.900	29
0.020	6	0.140	18	1.000	30
0.022	6	0.160	19	1.120	30
0.025	7	0.180	20	1.250	31
0.028	7	0.200	21	1.400	32
0.032	8	0.224	21	1.600	32
0.036	8	0.250	22	1.800	32
0.040	9	0.280	22	2.000	33
0.045	9	0.315	23	2.240	33
0.050	10	0.355	23	2.500	33
0.056	10	0.400	24	2.800	34
0.063	12	0.450	25	3.150	34
0.071	13	0.500	25	3.550	35
0.080	14	0.560	26	4.000	35
0.090	15	0.630	27	4.500	36
0.100	16	0.710	28	5.000	36
0.112	17	0.800	28		

注：介于相邻标称直径间的中间规格，取较大标称直径相应的伸长率值。



表 2-1-7 聚酯漆包圆铜线回弹性

导体标称直径 /mm	圆棒直径 /mm	负荷 /N	最大回弹角/(°) <sup>①</sup>			导体标称直径 /mm	圆棒直径 /mm	负荷 /N	最大回弹角/(°) <sup>①</sup>		
			1 级	2 级	3 级				1 级	2 级	3 级
0.080	5	0.25	70	80	100	0.400	19	4.0	45	50	55
0.090			67	77	94	0.450	25	3.0	44	48	53
0.100			64	73	90	0.500			43	47	51
0.112	7	0.50	64	73	88	0.560	37.5	12.0	41	44	48
0.125			62	70	84	0.630			46	50	53
0.140			59	67	79	0.710			44	47	50
0.160	10	1.0	59	67	78	0.800	50	15.0	41	43	46
0.180			57	65	75	0.900			45	48	51
0.200			54	62	72	1.000			42	45	47
0.224	12.5	2.0	51	59	68	1.120	50	15.0	39	41	43
0.250			49	56	65	1.250			35	37	39
0.280			47	53	61	1.400			32	34	36
0.315	19	4.0	50	55	62	1.600	50	15.0	28	30	32
0.355			48	53	59						

注：介于相邻标称直径间的中间规格，取较大标称直径相应的回弹角值。

① 系指回弹试验仪刻度盘上标度计量数。

表 2-1-8 线径 ≤ 1.00mm 室温击穿电压值(圆棒法)

导体 标称直径 /mm	最小击穿电压 (有效值)/V			导体 标称直径 /mm	最小击穿电压 (有效值)/V			导体 标称直径 /mm	最小击穿电压 (有效值)/V		
	1 级	2 级	3 级		1 级	2 级	3 级		1 级	2 级	3 级
0.018	110	—	—	0.032	190	375	—	0.056	325	650	—
0.020	120	250	—	0.036	225	425	—	0.063	375	700	—
0.022	130	275	—	0.040	250	475	—	0.071	425	700	—
0.025	150	300	—	0.045	275	550	—	0.080	425	850	1200
0.028	170	325	—	0.050	300	600	—	0.090	500	900	1300
								0.100	500	950	1400

注：介于相邻标称直径间的中间规格，取较大标称直径相应的击穿电压值。

表 2-1-9 线径 1.00~2.50mm 室温击穿电压值(扭绞法)

导体 标称直径 /mm	最小击穿电压 (有效值)/V			导体 标称直径 /mm	最小击穿电压 (有效值)/V			导体 标称直径 /mm	最小击穿电压 (有效值)/V		
	1 级	2 级	3 级		1 级	2 级	3 级		1 级	2 级	3 级
0.112	1300	2700	3900	0.250	2100	3900	5500	0.560	2500	4600	7100
0.125	1500	2800	4100	0.280	2200	4000	5800	0.630	2600	4800	7100
0.140	1600	3000	4200	0.315	2200	4100	6100	0.710	2600	4800	7200
0.160	1700	3200	4400	0.355	2300	4300	6400	0.800	2600	4900	7400
0.180	1700	3300	4700	0.400	2300	4400	6600	0.900	2700	5000	7600
0.200	1800	3500	5100	0.450	2300	4400	6800	1.000~2.500	2700	5000	7600
0.224	1900	3700	5200	0.500	2400	4600	7000				

注：介于相邻标称直径间的中间规格，取较大标称直径相应的击穿电压值。

表 2-1-10 线径 > 2.50mm 室温击穿电压值 (铝箔法)

导体标称直径 $d$ /mm	最小击穿电压 (有效值) /V		
	1 级	2 级	3 级
> 2.500	1300	2500	3800

表 2-1-11 聚酯漆包圆铜线的高温击穿电压

标称直径 $d$ /mm	最小击穿电压 (有效值) /V		标称直径 $d$ /mm	最小击穿电压 (有效值) /V		标称直径 $d$ /mm	最小击穿电压 (有效值) /V	
	1 级	2 级		1 级	2 级		1 级	2 级
> 0.100 ~ 0.112	1000	2000	> 0.224 ~ 0.250	1600	2900	> 0.500 ~ 0.560	1900	3500
> 0.112 ~ 0.125	1100	2100	> 0.250 ~ 0.280	1700	3000	> 0.560 ~ 0.630	2000	3600
> 0.125 ~ 0.140	1200	2300	> 0.280 ~ 0.315	1700	3100	> 0.630 ~ 0.710	2000	3600
> 0.140 ~ 0.160	1300	2400	> 0.315 ~ 0.355	1700	3200	> 0.710 ~ 0.800	2000	3700
> 0.160 ~ 0.180	1300	2500	> 0.355 ~ 0.400	1700	3300	> 0.800 ~ 0.900	2000	3800
> 0.180 ~ 0.200	1400	2600	> 0.400 ~ 0.450	1700	3300	> 0.900 ~ 2.500	2000	3800
> 0.200 ~ 0.224	1400	2800	> 0.450 ~ 0.500	1800	3500	> 2.500 ~ 5.000	1000	1900

表 2-1-12 聚酯漆包圆铜线的漆膜连续性缺陷数

导体标称直径 $d$ /mm	每 30m 内的缺陷数			导体标称直径 $d$ /mm	每 30m 内的缺陷数		
	1 级	2 级	3 级		1 级	2 级	3 级
~ 0.050	60	24	-	> 0.125 ~ 0.250	25	5	3
> 0.050 ~ 0.080	60	24	3	> 0.250 ~ 0.500	25	5	3
> 0.080 ~ 0.125	40	15	3	> 0.500 ~ 1.600	25	5	3

11) 柔软性和附着性

a) 圆棒卷绕 线径 1.600mm 以下者, 按表 2-1-13 规定伸长, 并在规定试棒上卷绕后漆膜应不开裂。

b) 拉伸 标称直径 1.600mm 以上者, 伸长 32% 后, 漆膜应不开裂。

c) 急拉断 标称直径 1.000mm 及以下者, 急拉断后漆膜应不开裂或不失去附着性。

e) 剥离扭绞 标称直径 1.000mm 以上者, 经受规定转数  $R$  后, 漆膜应不失去附着性。计算转数  $R$  时的  $K$  值取 150。不同线径的转数  $R$  的计算如下

$$R(\text{转数}) = \frac{150(K \text{ 值})}{d(\text{试样直径 mm})}$$

12) 热冲击 按表 2-1-14 规定卷绕或伸长的试样在规定温度下处理 30min 后, 漆膜应不开裂。

13) 软化击穿 在 240℃ 温度下 2min 内应不击穿。

14) 刮漆 线径 0.250 ~ 2.500mm 漆膜的耐刮性能应符合表 2-1-15 的规定。

15) 温度指数 线样在 20000h 外推寿命的相应温度指数应不低于 130。

表 2-1-13 聚酯漆包圆铜线的卷绕性能

标称直径 $d$ /mm	卷绕前伸长 (%)	试棒直径 /mm
~ 0.050	20 <sup>①</sup>	0.150
> 0.050 ~ 1.600	—	$D^{\text{②}}$

① 或拉伸至铜的断裂点, 取较小值。

②  $D$  为漆包圆线外径。

表 2-1-14 聚酯漆包圆铜线的热冲击性能

标称直径 $d$ /mm	卷绕试棒直径 /mm	伸长 (%)	最低试验温度 /℃
~ 0.050	0.150	—	155
> 0.050 ~ 0.160	3 $D^{\text{①}}$	—	
> 0.160 ~ 0.250	4 $D$	—	
> 0.250 ~ 1.000	6 $D$	—	
> 1.000 ~ 1.600	7 $D$	—	
> 1.600	—	10	

①  $D$  为漆包圆铜线外径。

表 2-1-15 聚酯漆包圆铜线的刮漆性能

标称直径 /mm	1 级		2 级	
	最小的平均 刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N	最小的平均 刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N
0.250	2.70	2.30	4.50	3.80
0.280	2.90	2.45	4.80	4.10
0.315	3.15	2.65	5.20	4.40
0.355	3.40	2.85	5.60	4.75
0.400	3.65	3.05	6.00	5.10
0.450	3.90	3.30	6.45	5.45
0.500	4.20	3.55	6.90	5.85
0.560	4.50	3.80	7.40	6.25
0.630	4.85	4.10	7.90	6.70
0.710	5.20	4.40	8.50	7.20
0.800	5.60	4.70	9.10	7.70
0.900	6.05	5.10	9.70	8.20
1.000	6.55	5.50	10.4	8.80
1.120	7.05	5.95	11.1	9.40
1.250	7.60	6.45	11.9	10.0
1.400	8.20	6.95	12.7	10.8
1.600	8.90	7.55	13.7	11.6
1.800	9.60	8.15	14.7	12.4
2.000	10.3	8.75	15.7	13.3
2.240	11.1	9.40	16.7	14.2
2.500	11.9	10.1	17.8	15.1

注：介于相邻标称直径间的中间规格，取较大标称直径的相应数值。

### 1.2.2 155 级改性聚酯漆包圆铜线

该产品是以 155 级改性聚酯树脂为基的单一涂层漆包圆铜线。温度指数为 155。

1. 品种、型号、规格（表 2-1-16）

2. 性能要求

1) 表面质量、漆膜厚度、最大外径、直流电阻、断裂伸长率、回弹性、耐溶剂、室温击穿电压、155℃ 高温击穿电压、漆膜连续性、圆棒卷绕、拉伸、急拉断、刮漆性能同“130 级聚酯漆包圆铜线”，见本章 1.2.1 节。

2) 剥离扭绞 线径 1.000mm 以上者，经受规定转数  $R$  后，漆膜应不失去附着性。计算转数  $R$  时的  $K$  值取 130。

3) 热冲击 按表 2-1-17 规定卷绕或伸长的试样，在规定温度下处理 30min 后，漆膜应不开裂。

4) 软化击穿 在 240℃ 温度下 2min 内应不击穿。

5) 温度指数 线样在 20000h 外推寿命的相应温度指数应不低于 155。

表 2-1-16 改性聚酯漆包圆铜线的型号、名称、规格（单位：mm）

型 号	名 称	规格范围	标 准
QZ (G) -1/155	155 级薄漆膜改性聚酯漆包圆铜线	0.020~3.150	GB6109-2
QZ (G) -2/155	155 级厚漆膜改性聚酯漆包圆铜线	0.020~5.000	IEC317-3

表 2-1-17

标称直径 $d$ /mm	卷绕试棒直径 /mm	伸长 (%)	最低试验温度 /C	标称直径 $d$ /mm	卷绕试棒直径 /mm	伸长 (%)	最低试验温度 /C
~0.040	0.150 <sup>①</sup>	—	175	>0.250~1.000	2D	—	175
>0.040~0.160	3D <sup>②</sup>	—		>1.000~1.600	3D	—	
>0.160~0.250	4D	—		>1.600~5.000	—	25	

① 试样在卷绕前应伸长20%，或拉伸至铜的断裂点，取较小值。

②  $D$ 为漆包圆铜线外径。

### 1.2.3 热粘合或溶剂粘合聚酯漆包圆铜线

该产品是以聚酯漆包圆铜线为基础，外涂以粘合层的复合涂层漆包圆铜线，简称可粘合聚酯漆包圆铜线。

1. 型号、规格（表 2-1-18）

2. 性能要求

1) 直流电阻、断裂伸长率应符合表 2-1-5、表 2-1-6 的规定。

2) 绝缘厚度应符合表 2-1-19 的规定。

3) 最大外径应符合表 2-1-20 的规定。

4) 回弹性应符合表 2-1-21 的规定。

5) 柔软性和附着性

a) 圆棒卷绕 按表 2-1-22 规定伸长或在规定的试棒卷绕后，漆膜应不开裂。

b) 急拉断 急拉断后漆膜应不开裂或不失去附着性。

6) 热冲击 按表 2-1-23 规定卷绕的试样，在规定温度下处理 30min 后漆膜应不开裂。

7) 软化击穿 在 240℃ 温度下 2min 内应不击穿。

8) 击穿电压 线径 0.100mm 及以下漆包线，用圆棒法试验，其击穿电压应符合表 2-1-24 的规定。

标称直径 0.112~1.000mm 的漆包线，用扭绞法试验，其击穿电压应符合表 2-1-25 规定。

9) 热粘合 在热粘试验装置上制成的试样，放置在 170℃±2℃ 的烘箱温度下处理后，施以表 2-1-26 规定的负荷，除第一圈和最外一圈外，其他各圈均不得拉开。

表 2-1-18 可粘合聚酯漆包圆铜线型号、名称、规格 (单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标 准
QZN-1B	热粘合或溶剂粘合薄漆膜聚酯漆包圆铜线	0.020~1.000	GB6109.8
QZN-2B	热粘合或溶剂粘合厚漆膜聚酯漆包圆铜线		

注: B 表示粘结层, 1B 为薄漆膜; 2B 为厚漆膜。

表 2-1-19 可粘合聚酯漆包圆铜线绝缘厚度 (单位: mm)

标称直径 $d$	最小绝缘厚度		标称直径 $d$	最小绝缘厚度		标称直径 $d$	最小绝缘厚度	
	1B	2B		1B	2B		1B	2B
0.071	0.013	0.018	0.240	0.026	0.040	0.630	0.041	0.064
0.080	0.014	0.021	0.250	0.028	0.043	0.630	0.042	0.065
0.090	0.015	0.022	0.280	0.030	0.045	0.670	0.043	0.067
0.100	0.016	0.024	0.315	0.031	0.047	0.710	0.044	0.069
0.112	0.017	0.025	0.355	0.033	0.051	0.750	0.045	0.070
0.125	0.018	0.027	0.400	0.034	0.053	0.800	0.046	0.072
0.140	0.020	0.030	0.450	0.036	0.056	0.850	0.048	0.075
0.160	0.021	0.032	0.500	0.038	0.059	0.900	0.049	0.077
0.180	0.023	0.035	0.530	0.039	0.060	0.950	0.050	0.078
0.200	0.024	0.037	0.560	0.039	0.061	1.000	0.051	0.080

注: 1. 最小绝缘厚度为基线最小绝缘厚度与最小粘结层厚度之和。

2. 对于中间规格, 最小绝缘厚度取最接近较大一档规格的数值。

表 2-1-20 可粘合聚酯漆包圆铜线最大外径

(单位:mm)

标称直径 $d$	最大外径		标称直径 $d$	最大外径		标称直径 $d$	最大外径	
	1B	2B		1B	2B		1B	2B
0.020	0.026	0.029	0.100	0.129	0.137	0.500	0.568	0.590
0.022	0.030	0.033	0.112	0.143	0.152	0.530	0.600	0.624
0.025	0.034	0.037	0.125	0.158	0.168	0.560	0.630	0.654
0.028	0.038	0.042	0.140	0.175	0.186	0.600	0.674	0.699
0.032	0.044	0.048	0.160	0.197	0.209	0.630	0.704	0.729
0.036	0.050	0.055	0.180	0.220	0.233	0.670	0.748	0.775
0.040	0.055	0.060	0.200	0.243	0.256	0.710	0.788	0.815
0.045	0.062	0.068	0.224	0.270	0.284	0.750	0.832	0.861
0.050	0.068	0.074	0.250	0.300	0.316	0.800	0.882	0.911
0.056	0.075	0.081	0.280	0.331	0.348	0.850	0.937	0.967
0.063	0.085	0.092	0.315	0.369	0.387	0.900	0.987	1.017
0.071	0.094	0.101	0.355	0.413	0.433	0.950	1.041	1.073
0.080	0.105	0.112	0.400	0.461	0.481	1.000	1.091	1.123
0.090	0.117	0.125	0.450	0.514	0.536			

注:对于中间规格,最大外径取最接近较大一档规格的数值。

表 2-1-21 可粘合聚酯漆包圆铜线回弹性

标称直径 $d$ /mm	圆棒直径 /mm	负荷 /N	最大回弹角/(°) <sup>①</sup>		标称直径 $d$ /mm	圆棒直径 /mm	负荷 /N	最大回弹角/(°) <sup>①</sup>	
			1B	2B				1B	2B
0.050	3	0.10	87	110	0.355	19	4.0	63	59
0.063			82	102	0.400			50	55
0.071			77	95	0.450			48	53
0.080	5	0.25	80	100	0.500	25	8.0	47	51
0.090			77	94	0.530			46	50
0.100			73	90	0.560			44	48
0.112			73	88	0.600			43	46
0.125	7	0.50	70	84	0.630	37.5	12.0	50	53
0.140			67	79	0.670			48	51
0.160			67	78	0.710			47	50
0.180	10	1.0	65	75	0.750	50	15.0	45	48
0.200			62	72	0.800			43	46
0.224	12.5	2.0	59	68	0.850	50	15.0	49	52
0.250			56	65	0.900			48	51
0.280			53	61	0.950			46	49
0.315			55	62	1.000			45	47

注:对于中间规格,回弹角取最接近较大一档规格的数值。

① 系指回弹性试验仪的刻度盘上标度计量数。

表 2-1-22 可粘合聚酯漆包圆铜线卷绕性能

标称直径 $d$ /mm	卷绕前伸长(%)	试样直径/mm
$d \leq 0.050$	20 <sup>①</sup>	0.150
$0.050 < d \leq 1.000$	—	$d$

① 或拉伸至铜的断裂点,取较小值。

表 2-1-23 可粘合聚酯漆包圆铜线热冲击性能

标称直径 $d$ /mm	卷绕试棒直径 /mm	试验温度 /C	标称直径 $d$ /mm	卷绕试棒直径 /mm	试验温度 /C
$d \leq 0.040$ $0.040 < d \leq 0.160$	$0.150^C$ $3d^D$	最低 155	$0.160 < d \leq 0.250$ $0.250 < d \leq 1.000$	$4d^D$ $2d$	最低 155

① 试样在卷绕前应伸长 20%，或拉伸至柄的断裂点，取较小值。

表 2-1-24 可粘合聚酯漆包圆铜线线径  $\leq 0.100\text{mm}$  的击穿电压值

标称直径 $d$ /mm	最小击穿电压 (有效值)/V		标称直径 $d$ /mm	最小击穿电压 (有效值)/V		标称直径 $d$ /mm	最小击穿电压 (有效值)/V	
	1B	2B		1B	2B		1B	2B
0.020	120	250	0.035	225	425	0.063	375	700
0.022	130	275	0.040	350	475	0.071	425	700
0.025	150	300	0.045	275	550	0.080	425	850
0.028	170	325	0.050	300	600	0.090	500	900
0.032	190	375	0.056	325	650	0.100	500	950

表 2-1-25 可粘合聚酯漆包圆铜线线径  $> 0.100\text{mm}$  的击穿电压值

标称直径 $d$ /mm	最小击穿电压 (有效值)/V		标称直径 $d$ /mm	最小击穿电压 (有效值)/V		标称直径 $d$ /mm	最小击穿电压 (有效值)/V	
	1B	2B		1B	2B		1B	2B
0.112	1300	2700	0.315	2200	4100	0.670	2600	4800
0.125	1500	2800	0.355	2300	4300	0.710	2600	4800
0.140	1600	3000	0.400	2300	4400	0.750	2600	4900
0.160	1700	3200	0.450	2300	4400	0.800	2600	4900
0.180	1700	3300	0.500	2400	4600	0.850	2700	5000
0.200	1800	3500	0.530	2500	4600	0.900	2700	5000
0.224	1900	3700	0.560	2500	4600	0.950	2700	5000
0.250	2100	3900	0.600	2600	4800	1.000	2700	5000
0.280	2200	4000	0.630	2600	4800			

注：对于中间规格，击穿电压值取最接近较大一档规格的数值。

表 2-1-26 可粘合聚酯漆包圆铜线的热粘合分离负荷

标称直径 $d/\text{mm}$		负 荷 /N	标称直径 $d/\text{mm}$		负 荷 /N	标称直径 $d/\text{mm}$		负 荷 /N
$>$	$\leq$		$>$	$\leq$		$>$	$\leq$	
—	0.050	在考虑中	0.200	0.315	0.35	0.710	0.800	2.80
0.050	0.071	0.05	0.315	0.400	0.70	0.800	0.900	3.40
0.071	0.100	0.08	0.400	0.500	1.10	0.900	1.000	4.20
0.100	0.160	0.12	0.500	0.630	1.60			
0.160	0.200	0.25	0.630	0.710	2.20			

1.2.4 120 级缩醛漆包圆铜线

该产品是以 120 级聚乙烯醇缩醛树脂为基的单一涂层漆包圆铜线。温度指数为 120。

1. 品种、型号、规格 (表 2-1-27)

2. 性能要求

1) 表面质量、漆膜厚度、最大外径、直流电阻、断裂伸长率、回弹性、耐溶剂、室温击穿电压、120℃ 高温击穿电压、漆膜连续性、圆棒缠绕、拉伸、急拉断性能同“130 级聚酯漆包圆铜线”，见本章 1.2.1 节。

2) 剥离扭绞 线径 1.000mm 以上者，经受

规定转数  $R$  后，漆膜应不失去附着性，计算转数  $R$  时  $K$  值取 175。

3) 热冲击 按表 2-1-28 卷绕或伸长的试样，在规定温度下处理 30min 后，漆膜应不开裂。

4) 软化击穿 在 170℃ 温度下 2min 内不应击穿。

5) 耐刮 标称直径 0.250~2.500mm 漆包线漆膜的耐刮性能应不小于表 2-1-29 的规定。

6) 温度指数 线样在 20000h 外推寿命的相应温度指数应不低于 120。

表 2-1-27 缩醛漆包圆铜线型号、名称 规格

(单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标 准
QQ-1	120 级薄漆膜缩醛漆包圆铜线	0.018~2.500	GB6109.3 IEC317-12
QQ-2	120 级厚漆膜缩醛漆包圆铜线		
QQ-3	120 级特厚漆膜缩醛漆包圆铜线		

表 2-1-28

标称直径 $d$ /mm	卷 绕		伸长 (%)	试验温度 /℃
	伸 长	试棒直径/mm		
$d \leq 0.050$	卷绕前伸长 20%，或拉伸至断裂点，取较小值	0.150	—	155~160
$0.050 < d \leq 1.600$		$d$	—	
$1.600 < d \leq 2.500$		—	32	

表 2-1-29

标称直径 /mm	1 级		2 级		3 级	
	平均刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N	平均刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N	平均刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N
0.250	3.00	2.55	4.90	4.15	5.80	4.90
0.280	3.25	2.75	5.25	4.45	6.25	5.30
0.315	3.50	2.95	5.65	4.80	6.70	5.10
0.355	3.75	3.20	6.05	5.15	7.20	6.10
0.400	4.05	3.45	6.50	5.50	7.70	6.50
0.450	4.35	3.70	7.00	5.90	8.25	7.00
0.500	4.65	3.95	7.50	6.35	8.85	7.50
0.530	4.85	4.10	7.75	6.60	9.20	7.80
0.560	5.00	4.25	8.00	6.80	9.50	8.05
0.600	5.20	4.40	8.30	7.15	9.85	8.35
0.630	5.35	4.55	8.60	7.30	10.2	8.65
0.670	5.55	4.70	8.90	7.55	10.6	8.95
0.710	5.70	4.85	9.20	7.80	10.9	9.25
0.750	5.90	5.00	9.55	8.10	11.3	9.55
0.800	6.10	5.15	9.90	8.40	11.7	9.90

(续)

标称直径 /mm	1 级		2 级		3 级	
	平均刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N	平均刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N	平均刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N
0.850	6.30	5.35	10.2	8.70	12.1	10.2
0.900	6.55	5.55	10.6	9.00	12.5	10.6
0.950	6.80	5.75	10.9	9.30	12.9	10.9
1.000	7.05	5.95	11.3	9.60	13.3	11.3
1.060	7.30	6.20	11.7	9.90	13.7	11.6
1.120	7.60	6.45	12.1	10.2	14.2	12.0
1.180	7.90	6.70	12.5	10.6	14.7	12.5
1.250	8.20	6.95	12.9	11.0	15.2	12.9
1.320	8.50	7.20	13.4	11.4	15.8	13.4
1.400	8.80	7.45	13.9	11.8	16.4	13.9
1.500	9.10	7.70	14.4	12.2	17.0	14.4
1.600	9.45	8.00	14.9	12.6	17.6	14.9
1.700	9.80	8.30	15.4	13.1	18.2	15.4
1.800	10.1	8.60	16.0	13.5	18.8	16.0
1.900	10.5	8.90	16.5	14.0	19.5	16.5
2.000	10.9	9.20	17.1	14.4	20.2	17.1
2.120	11.3	9.55	17.6	14.9	20.9	17.7
2.240	11.7	9.90	18.2	15.4	21.6	18.3
2.360	12.1	10.2	18.8	15.9	22.3	19.9
2.500	12.5	10.6	19.4	16.4	23.0	19.5

1.2.5 130级直焊性聚氨酯漆包圆铜线

该产品是以130级聚氨酯树脂为基的单一涂层漆包圆铜线。温度指数为130。

1. 品种、型号、规格(表2-1-30)
2. 性能要求

1) 表面质量、漆膜厚度、最大外径、直流电阻、断裂伸长率、回弹性、耐溶剂、室温击穿电压、130℃下高温击穿电压,漆膜连续性、圆棒卷绕、拉伸、急拉断、剥离扭绞性能同“130级聚酯漆包圆铜线”,见本章1.2.1节。

表 2-1-30 聚氨酯漆包圆铜线型号、名称、规格 (单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标 准
QA-1/130	130级薄漆膜聚氨酯漆包圆铜线	0.018~2.000	GB6109-4
QA-2/130	130级厚漆膜聚氨酯漆包圆铜线	0.020~2.000	IEC317-4

2) 热冲击 按表2-1-31规定卷绕或伸长的试样,在规定温度下处理30min后,漆膜应不开裂。

3) 软化击穿 在170℃温度下2min内应不击穿。

4) 耐刮 线径0.250~2.000mm漆包线漆膜的耐刮性能见表2-1-32。

5) 焊锡试验

a) 线径为0.100mm及以下的漆包线试样,浸入温度为375℃±5℃的焊锡槽中2s后,镀锡

表 2-1-31

标称直径 $d$ /mm	卷绕试棒直径 /mm	伸长 (%)	试验温度 /℃
$d \leq 0.040$	0.150 <sup>①</sup>	—	最低 155
$0.040 < d \leq 0.160$	$3d^{①}$	—	
$0.160 < d \leq 0.250$	$4d^{①}$	—	
$0.250 < d \leq 1.000$	$2d$	—	
$1.000 < d \leq 1.600$	$3d$	—	
$1.600 < d \leq 2.000$		25	

① 试样在卷绕前应伸长20%,或拉伸至铜的断裂点,取较小值。



表面应平滑、无针孔及漆膜残渣。

b) 线径 0.100mm 以上的漆包线试样, 浸入温度为  $375\text{C} \pm 5\text{C}$  的焊锡槽中规定时间  $t$  后, 镀锡表面应平滑、无针孔及漆膜残渣。

时间  $t$  按下式计算, 最少为 3s。

$$t = K \cdot d$$

式中  $d$ ——试样标称直径 (mm);

$K$  常数, 1 级取 10, 2 级取 15。

6) 介质损耗角正切 ( $\text{tg}\delta$ ) 在约 1MHz 下  $\text{tg}\delta$  应不大于  $300 \times 10^{-4}$ 。

7) 温度指数 线样在 20000h 外推寿命的相应温度指数不低于 130。

表 2-1-32

标称直径 /mm	1 级		2 级		标称直径 /mm	1 级		2 级	
	平均 刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N	平均 刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N		平均 刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N	平均 刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N
0.250	2.30	1.95	4.10	3.50	0.900	5.20	4.40	8.70	7.40
0.280	2.50	2.10	4.40	3.70	0.950	5.40	4.55	9.00	7.65
0.315	2.70	2.30	4.75	4.00	1.000	5.60	4.75	9.30	7.90
0.355	2.90	2.50	5.10	4.30	1.060	5.80	4.95	9.65	8.20
0.400	3.15	2.70	5.45	4.60	1.120	6.00	5.15	10.00	8.50
0.450	3.40	2.90	5.80	4.90	1.180	6.25	5.35	10.30	8.80
0.500	3.65	3.10	6.20	5.25	1.250	6.50	5.55	10.70	9.10
0.530	3.80	3.20	6.45	5.45	1.320	6.75	5.75	11.00	9.40
0.560	3.90	3.30	6.65	5.60	1.400	7.00	5.95	11.40	9.70
0.600	4.05	3.45	6.90	5.80	1.500	7.25	6.15	11.80	10.0
0.630	4.20	3.55	7.10	6.00	1.600	7.50	6.35	12.20	10.4
0.670	4.35	3.70	7.35	6.25	1.700	7.75	6.55	12.70	10.7
0.710	4.50	3.80	7.60	6.45	1.800	8.00	6.80	13.10	11.1
0.750	4.65	3.95	7.85	6.65	1.900	8.30	7.05	13.60	11.5
0.800	4.80	4.10	8.10	6.90	2.000	8.60	7.30	14.00	11.9
0.850	5.00	4.25	8.40	7.15					

1.2.6 热粘合或溶剂粘合直焊性聚氨酯漆包圆铜线

该产品是以内层为 130 级聚氨酯树脂为基的及

外层以缩醛树脂为粘合层的复合层漆包圆铜线, 简称自粘直焊聚氨酯漆包圆铜线。温度指数为 130。

1. 品种、型号、规格 (表 2-1-33)

表 2-1-33 自粘直焊聚氨酯漆包圆铜线型号、名称 规格 (单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标 准
QAN-1B	热粘合或溶剂粘合薄漆膜直焊性聚氨酯漆包圆铜线	0.020~1.000	GB6109.9
QAN-2B	热粘合或溶剂粘合厚漆膜直焊性聚氨酯漆包圆铜线		IEC317-2

注: B 表示粘结层, 1B 为薄漆膜, 2B 为厚漆膜。

2. 性能要求

1) 表面质量、直流电阻、断裂伸长率、圆棒卷绕、急拉断, 同“130 级聚酯漆包圆铜线”, 见本章 1.2.1 节。

2) 绝缘厚度见表 2-1-19。

3) 最大外径见表 2-1-20。

4) 回弹性见表 2-1-21。

5) 热冲击, 按表 2-1-23 规定卷绕的试样, 在规定温度处理 30min 后, 漆膜应不开裂。

6) 软化击穿, 在 170℃ 温度下 2min 内应不击穿。

7) 击穿电压见表 2-1-24 和表 2-1-25。

8) 焊锡试验

a) 线径为 0.100mm 及以下的漆包线试样,

浸入温度为  $375\text{C} \pm 5\text{C}$  的焊锡槽中 2s 后, 镀锡表面应平滑, 无针孔及漆膜残渣。

b) 线径 0.100mm 以上的漆包线, 浸入温度为  $375\text{C} \pm 5\text{C}$  的焊锡槽中规定时间  $t$  后, 镀锡表面应平滑, 无针孔及漆膜残渣。

时间  $t$  按下式计算, 最少为 3s。

$$t = K \cdot d$$

式中  $d$  — 试样标称直径 (mm);

$K$  — 常数, 1 级取 10, 2 级取 15。

9) 热粘合 在热粘合试验装置上制成的试

样, 放置在  $170\text{C} \pm 2\text{C}$  的烘箱温度下处理后, 施以表 2-1-26 规定的负荷, 除第一圈和最外一圈外, 均不得拉开。

10) 温度指数 线样在 20000h 外推寿命的相应温度指数不低于 130。

### 1-2-7 180 级聚酯亚胺漆包圆铜线

该产品是以 180 级聚酯亚胺树脂为基的单一涂层漆包圆铜线。温度指数为 130。

1. 品种、型号、规格 (表 2-1-34)

2. 性能要求

表 2-1-34 聚酯亚胺漆包圆铜线的型号、名称、规格 (单位: mm)

型号	名称	规格范围	标准
QZY-1/180	温度指数 180 的薄漆膜聚酯亚胺漆包圆铜线	0.018~2.500	GB6109.5
QZY-2/180	温度指数 180 的厚漆膜聚酯亚胺漆包圆铜线		IEC317.8

1) 表面质量、漆膜厚度、最大外径、直流电阻、断裂伸长率、回弹性、耐溶剂、室温击穿电压、180C 高温击穿电压、漆膜连续性、圆棒卷绕、拉伸、急拉断性能同“130 级聚酯漆包圆铜线”, 见本章 1.2.1 节。

2) 剥离扭绞 线径 1.000mm 以上者, 经受规定转数  $R$  后, 漆膜应不失去附着性, 计算转数  $R$  时的  $K$  值取 110。

3) 热冲击 按表 2-1-35 规定卷绕或伸长的试样, 在规定温度下处理 30min 后, 漆膜应不开裂。

4) 软化击穿 在 300C 温度下 2min 内不应击穿。

5) 耐刮 线径 0.250~2.500mm 漆包线漆膜的耐刮性能应符合表 2-1-36 的规定。

6) 耐冷冻剂 本标准仅适应于用于制冷系统的漆包线。见表 2-1-37。

7) 温度指数 线样在 20000h 外推寿命的相应温度指数不低于 180。

表 2-1-35

标称直径 $d$ /mm	卷绕试样直径 /mm	伸长 (%)	试验温度 /C
$d \leq 0.040$	0.15C <sup>①</sup>	—	≥200
$0.040 < d \leq 0.160$	3d <sup>①</sup>	—	
$0.160 < d \leq 0.250$	4d <sup>①</sup>	—	
$0.250 < d \leq 1.000$	2d	—	
$1.000 < d \leq 1.600$	3d	—	
$1.600 < d \leq 2.000$	—	25	

① 试样在卷绕前应伸长 20%, 或拉伸至铜的断裂点, 取较小值。

表 2-1-36

标称直径 /mm	1 级		2 级		标称直径 /mm	1 级		2 级	
	平均刮破力 /N	二次试验中最小刮破力 /N	平均刮破力 /N	二次试验中最小刮破力 /N		平均刮破力 /N	三次试验中最小刮破力 /N	平均刮破力 /N	三次试验中最小刮破力 /N
0.250	2.85	2.45	4.70	4.00	0.530	4.60	3.90	7.45	6.30
0.280	3.10	2.60	5.05	4.30	0.560	4.75	4.05	7.70	6.50
0.315	3.35	2.80	5.45	4.60	0.600	4.93	4.20	7.98	6.75
0.355	3.60	3.05	5.85	4.95	0.630	5.10	4.35	8.25	7.00
0.400	3.85	3.25	6.25	5.30	0.670	5.28	4.50	8.55	7.25
0.450	4.15	3.50	6.75	5.70	0.710	5.45	4.65	8.85	7.50
0.500	4.45	3.75	7.20	6.10	0.750	5.65	4.80	9.18	7.78

(续)

标称直径 /mm	1 级		2 级		标称直径 /mm	1 级		2 级	
	平均刮破力 /N	三次试验中最小刮破力 /N	平均刮破力 /N	三次试验中最小刮破力 /N		平均刮破力 /N	三次试验中最小刮破力 /N	平均刮破力 /N	三次试验中最小刮破力 /N
0.800	5.85	4.95	9.50	8.05	1.500	8.85	7.50	13.8	11.7
0.850	6.08	5.15	9.85	8.33	1.600	9.20	7.80	14.3	12.1
0.900	6.30	5.35	10.2	8.60	1.700	9.58	8.10	14.9	12.6
0.950	6.53	5.55	10.6	8.90	1.800	9.95	8.40	15.4	13.0
1.000	6.75	5.75	10.9	9.20	1.900	10.3	8.70	15.9	13.5
1.060	7.05	5.98	11.3	9.50	2.000	10.6	9.00	16.4	13.9
1.120	7.35	6.20	11.6	9.80	2.120	11.2	9.45	17.0	14.4
1.180	7.63	6.45	12.1	10.2	2.240	11.7	9.90	17.5	14.8
1.250	7.90	6.70	12.5	10.5	2.360	12.3	10.4	18.1	15.3
1.320	8.20	6.95	12.9	10.9	2.500	12.8	10.8	18.6	15.8
1.400	8.50	7.20	13.3	11.3					

表 2-1-37 聚酯亚胺漆包圆铜线耐冷冻剂性能

标称直径 <i>d</i> /mm	用三氯乙烯或甲醇萃取 萃取物百分数(%) ≤	用一氟二氟甲烷(R <sub>22</sub> )萃取 萃取物百分数(%) ≤	一氟二氟甲烷(R <sub>22</sub> ) 发泡试验
<i>d</i> ≤ 0.500	1.5	1.0	气泡应不超过 4 个,并经 4 <i>d</i> 卷绕不开裂
0.500 < <i>d</i> ≤ 1.000	1.0	0.8	
1.000 < <i>d</i> ≤ 2.500	0.8	0.6	

1.2.8 220 级聚酯亚胺漆包圆铜线

涂层漆包圆铜线。温度指数为 220。

该产品是以 220 级聚酯亚胺树脂为基的单一

1. 品种、型号、规格 (表 2-1-38)

表 2-1-38 聚酯亚胺漆包圆铜线型号、名称、规格 (单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标 准
QY-1/220	温度指数 220 的薄漆膜聚酯亚胺漆包圆铜线	0.018~2.500	GB6109-6
QY-2/220	温度指数 220 的厚漆膜聚酯亚胺漆包圆铜线		IEC317-7

2. 性能要求

1) 表面质量、漆膜厚度、最大外径、直流电阻、断裂伸长率、回弹性、耐溶剂、室温击穿电压、220℃ 高温击穿电压、漆膜连续性、圆棒卷绕、拉伸、急拉断性能同“130 级聚酯漆包圆铜线”，见本章 1.2.1 节。

2) 剥离扭绞 线径 1.000mm 以上者，经受规定转数 *R* 后，漆膜应不失去附着性，计算转数 *R* 时的 *K* 值取 90。

3) 热冲击 按表 2-1-39 规定卷绕或伸长的试样，在规定温度下处理 30min 后，漆膜应不开裂。

4) 软化击穿 在 400℃ 温度下 2min 内应不击穿。

5) 耐刮 线径 0.250~2.500mm 漆包线漆膜的耐刮性能应符合表 2-1-40 的规定。

6) 失重 在 200℃ 温度下烘焙 2h，失重不大于漆膜总量的 3%。

7) 温度指数 试样在 20000h 外推寿命的相应温度指数不低于 220。

表 2-1-39

标称直径 <i>d</i> /mm	卷绕试样直径 /mm	伸长 (%)	试验温度 /℃
<i>d</i> ≤ 0.040	0.150 <sup>①</sup>	—	最低 240
0.040 < <i>d</i> ≤ 0.160	3 <i>d</i> <sup>②</sup>	—	
0.160 < <i>d</i> ≤ 0.250	4 <i>d</i> <sup>③</sup>	—	
0.250 < <i>d</i> ≤ 1.000	2 <i>d</i>	—	
1.000 < <i>d</i> ≤ 1.600	3 <i>d</i>	—	
1.600 < <i>d</i> ≤ 2.500	—	25	

① 试样在卷绕前应伸长 20%，或拉伸至铜的断裂点，取较小值。

表 2-1-40

标称直径 /mm	1 级		2 级		标称直径 /mm	1 级		2 级	
	平均 刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N	平均 刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N		平均 刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N	平均 刮破力 /N	三次试验中 最小刮破力 /N
0.250	2.00	1.70	3.35	2.85	1.000	4.90	4.20	7.80	6.60
0.280	2.15	1.85	3.60	3.05	1.060	5.10	4.35	8.05	6.85
0.315	2.30	2.00	3.90	3.30	1.120	5.30	4.50	8.35	7.10
0.355	2.50	2.15	4.20	3.55	1.180	5.50	4.65	8.65	7.35
0.400	2.70	2.30	4.50	3.80	1.250	5.70	4.80	8.95	7.60
0.450	2.90	2.45	4.80	4.05	1.320	5.90	5.00	9.20	7.85
0.500	3.10	2.65	5.15	4.35	1.400	6.15	5.20	9.60	8.15
0.530	3.20	2.75	5.30	4.50	1.500	6.40	5.40	9.95	8.45
0.560	3.35	2.85	5.50	4.65	1.600	6.65	5.60	10.30	8.75
0.600	3.50	2.95	5.70	4.80	1.700	6.90	5.80	10.65	9.05
0.630	3.60	3.05	5.90	5.00	1.800	7.15	6.05	11.0	9.35
0.670	3.75	3.15	6.10	5.20	1.900	7.40	6.30	11.4	9.65
0.710	3.90	3.30	6.35	5.40	2.000	7.70	6.55	11.8	10.0
0.750	4.05	3.45	6.55	5.60	2.120	—	—	12.2	10.35
0.800	4.20	3.60	6.80	5.80	2.240	—	—	12.6	10.7
0.850	4.35	3.75	7.05	6.00	2.360	—	—	13.0	11.05
0.900	4.50	3.90	7.30	6.20	2.500	—	—	13.4	11.4
0.950	4.70	4.05	7.55	6.40					

1.2.9 180级聚酯亚胺/聚酰胺复合漆包圆铜线

的及外层聚酰胺树脂为基的复合涂层漆包圆铜线。温度指数为180。

该产品是以内层为180级聚酯亚胺树脂为基

1. 品种、型号、规格 (表 2-1-41)

表 2-1-41 聚酯亚胺/聚酰胺复合漆包圆铜线型号、名称、规格 (单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标 准
Q(ZY/X)-1/180	180级薄漆膜聚酯亚胺/聚酰胺复合漆包圆铜线	0.050~3.150	GB6109.10
Q(ZY/X)-2/180	180级厚漆膜聚酯亚胺/聚酰胺复合漆包圆铜线	0.050~5.000	IEC317-22
Q(ZY/X)-3/180	180级特厚漆膜聚酯亚胺/聚酰胺复合漆包圆铜线	0.250~1.600	

2. 性能要求

表 2-1-42

1) 表面质量、漆膜厚度、最大外径、直流电阻、断裂伸长率、回弹性、耐溶剂、室温击穿电压、180℃高温击穿电压、漆膜连续性、圆棒卷绕、拉伸、急拉断性能同“130级聚酯漆包圆铜线”，见本章1.2.1节。

标称直径 $d$ /mm	卷绕试棒直径 /mm	伸长 (%)	最低试验温度 /℃
~0.160	3D <sup>①</sup>	—	200
>0.160~0.250	4D <sup>①</sup>	—	
>0.250~1.000	2D	—	
>1.000~1.600	3D	—	
>1.600~5.000	—	25	

2) 剥离扭转 线径1.000mm以上者，经受规定转数R后，漆膜应不失去附着性，计算转数R时的K值取110。

3) 热冲击 按表2-1-42规定卷绕或伸长的试样，在规定温度下处理30min后，漆膜应不开裂。

注：D为漆包圆铜线外径。

① 试样在卷绕前应伸长20%，或拉伸至铜的断裂

点，取较小值。**祖国万岁上传**

- 4) 软化击穿 在 265℃ 温度下 2min 内应不 膜的耐刮性能应不低于表 2-1-43 的规定。  
 击穿。  
 5) 耐刮 线径 0.250~2.500mm 漆包线漆 应温度指数不低于 180。  
 6) 温度指数 试样在 20000h 外推寿命的相

表 2-1-43

标称直径 /mm	1 级		2 级		3 级	
	最小的平均刮破力 /N	三次试验中最小刮破力 /N	最小的平均刮破力 /N	三次试验中最小刮破力 /N	最小的平均刮破力 /N	三次试验中最小刮破力 /N
0.250	2.85	2.45	4.70	4.00	5.80	4.90
0.280	3.10	2.69	5.07	4.30	6.25	5.30
0.315	3.35	2.80	5.45	4.60	6.70	5.70
0.355	3.60	3.05	5.85	4.95	7.20	6.10
0.400	3.85	3.25	6.25	5.30	7.70	6.50
0.450	4.15	3.50	6.75	5.70	8.25	7.00
0.500	4.45	3.75	7.20	6.10	8.85	7.50
0.560	4.75	4.05	7.70	6.50	9.50	8.05
0.630	5.10	4.35	8.25	7.00	10.2	8.65
0.710	5.45	4.65	8.85	7.50	10.9	9.25
0.800	5.85	4.95	9.50	8.05	11.7	9.90
0.900	6.30	5.35	10.2	8.60	12.5	10.5
1.000	6.75	5.75	10.9	9.20	13.3	11.3
1.120	7.35	6.20	11.6	9.80	14.2	12.0
1.250	7.90	6.70	12.5	10.5	15.2	12.9
1.400	8.50	7.20	13.3	11.3	16.4	13.9
1.600	9.20	7.80	14.3	12.1	17.6	14.9
1.800	9.95	8.40	15.4	13.0	--	--
2.000	10.6	9.00	16.4	13.9	--	--
2.240	11.7	9.90	17.5	14.8	--	--
2.500	12.8	10.8	18.6	15.8	--	--

注：介于相邻标称直径间的中间规格，取较大标称直径的相应数值。

1.2.10 200 级聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包圆铜线 为基的及外层聚酰胺酰亚胺树脂为基的复合涂层漆包圆铜线。温度指数为 200。

该产品是以内层为聚酯亚胺或改性聚酯树脂 1. 品种、型号、规格（表 2-1-44）

表 2-1-44 聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包圆铜线型号、名称、规格

（单位：mm）

型 号	名 称	规格范围	标 准
Q(ZY/XY)-1/200	200 级薄漆膜聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包圆铜线	0.050~2.000	GB6109.11
Q(ZY/XY)-2/200	200 级厚漆膜聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包圆铜线	0.050~5.000	IEC317-13

2. 性能要求

1) 表面质量、漆膜厚度、最大外径、直流电阻、断裂伸长率、回弹性、耐溶剂、室温击穿电压、200℃ 高温击穿电压、漆膜连续性、圆棒卷绕、拉

伸、急拉断性能同“130 级聚酯漆包圆铜线”，见本章 1.2.1 节。

2) 剥离扭绞 线径 1.000mm 以上者，在经受规定转数 R 后，漆膜应不

数  $R$  时的  $K$  值取 110。

3) 热冲击 按表 2-1-45 规定卷绕或伸长的试样在规定温度下处理 30min 后,漆膜不开裂。

4) 软化击穿 在 320℃ 温度下 2min 内不应击穿。

5) 耐刮 线径 0.250~2.500mm 漆包线漆膜的耐刮性能应不低于表 2-1-46 的规定。

6) 耐冷冻剂 本试验仅适用于制冷系统用的漆包线,并符合表 2-1-47 的要求。

7) 温度指数 试样在 20000h 外推寿命的相应温度指数不低于 200。

表 2-1-45

标称直径 $d$ /mm	卷绕试棒直径 /mm	伸长 (%)	最低试验温度 /℃
~0.160	3D <sup>1)</sup>	—	220
>0.160~0.250	1D <sup>1)</sup>	—	
>0.250~1.000	2D	—	
>0.000~1.600	3D	—	
>1.600~5.000	—	25	

注:  $D$  为漆包圆铜线外径。

① 试样在卷绕前应伸长 20%,或拉伸至铜的断裂点,取较小值。

表 2-1-46

标称直径 /mm	1 级		2 级		标称直径 /mm	1 级		2 级	
	最小的平均刮破力 /N	三次试验中最小刮破力 /N	最小的平均刮破力 /N	三次试验中最小刮破力 /N		最小的平均刮破力 /N	三次试验中最小刮破力 /N	最小的平均刮破力 /N	三次试验中最小刮破力 /N
0.250	3.00	2.55	4.90	4.15	0.900	6.55	5.55	10.6	9.00
0.280	3.25	2.75	5.25	4.45	1.000	7.05	5.95	11.3	9.60
0.315	3.50	2.95	5.65	4.80	1.120	7.60	6.45	12.1	10.2
0.355	3.75	3.20	6.05	5.15	1.250	8.20	6.95	12.9	11.0
0.400	4.05	3.45	6.50	5.50	1.400	8.80	7.45	13.9	11.8
0.450	4.35	3.70	7.00	5.90	1.600	9.45	8.00	14.9	12.6
0.500	4.65	3.95	7.50	6.35	1.800	10.1	8.60	16.0	13.5
0.560	5.00	4.25	8.00	6.80	2.000	10.9	9.20	17.1	14.4
0.630	5.35	4.55	8.60	7.30	2.240	—	—	18.2	15.4
0.710	5.70	4.85	9.20	7.80	2.500	—	—	19.4	16.4
0.800	6.10	5.15	9.90	8.40					

注: 介于相邻标称直径间的中间规格,取较大标称直径的相应数值。

表 2-1-47

用三氟乙烯或甲醇萃取 萃取物百分数 (%)	用一氟二氟甲烷 (R <sub>22</sub> ) 萃取 萃取物百分数 (%)	用一氟二氟甲烷发泡试验
≤0.6	≤0.25	气泡应不超过 4 个,并经 4d 卷绕不开裂

1.2.11 油性漆包线

该产品是以植物油为基的单一涂层漆包圆铜线。温度指数为 105。

1. 品种、型号、规格 (表 2-1-48)

2. 性能要求

1) 表面质量、直流电阻、断裂伸长率、回弹性同“130 级聚酯漆包圆铜线”。见本章 1.2.1 节。

2) 漆膜厚度,最大外径 (表 2-1-49)

3) 弹性、热冲、热老化 (表 2-1-50)

4) 室温击穿电压 (表 2-1-51)

5) 耐刮 (表 2-1-52)

表 2-1-48 油性漆包线型号、名称、规格

(单位: mm)

型号	名称	规格范围	标准
Q	油性漆包线	0.020~2.500	JB558

6) 软化击穿 在 140℃ 温度下 2min 内不应击穿。

7) 耐溶剂 线径 0.250mm 及以上漆包线在 60℃±2℃ 的 200 号溶剂油中放置 30min 后,漆膜表面硬度 (用铅笔法) 应不小于“1H”。

8) 漆膜的连续性 (表 2-1-53)

9) 附着力 (表 2-1-54)

10) 温度指数 试样在 20000h 外推寿命的 相应温度指数不低于 105。

表 2-1-49 油性漆包线圆铜线的规格尺寸 (单位: mm)

导线直径			漆层最小厚度 (D-d)	漆包线最大外径 D	导线直径			漆层最小厚度 (D-d)	漆包线最大外径 D
最小	标称	最大			最小	标称	最大		
0.018	0.020	0.022	0.003	0.035	0.520	0.530	0.540	0.025	0.58
0.023	0.025	0.027	0.003	0.040	0.550	0.560	0.570	0.025	0.61
0.027	0.030	0.033	0.004	0.045	0.590	0.600	0.610	0.025	0.65
0.037	0.040	0.043	0.004	0.055	0.620	0.630	0.640	0.025	0.68
0.047	0.050	0.053	0.005	0.065	0.660	0.670	0.680	0.025	0.72
0.057	0.060	0.063	0.005	0.075	0.680	(0.690)	0.700	0.025	0.74
0.067	0.070	0.073	0.005	0.085	0.695	0.710	0.725	0.03	0.76
0.077	0.080	0.083	0.007	0.095	0.735	0.750	0.765	0.03	0.81
0.087	0.090	0.093	0.007	0.105	0.755	(0.770)	0.785	0.03	0.83
0.097	0.100	0.103	0.008	0.120	0.785	0.800	0.815	0.03	0.86
0.105	0.110	0.115	0.008	0.130	0.815	(0.830)	0.845	0.03	0.89
0.115	0.120	0.125	0.010	0.140	0.835	0.850	0.865	0.03	0.91
0.125	0.130	0.135	0.010	0.150	0.885	0.900	0.915	0.03	0.96
0.135	0.140	0.145	0.010	0.160	0.915	(0.930)	0.945	0.03	0.99
0.145	0.150	0.155	0.012	0.170	0.935	0.950	0.965	0.03	1.01
0.155	0.160	0.165	0.012	0.180	0.985	1.000	1.015	0.04	1.07
0.165	0.170	0.175	0.012	0.190	1.04	1.06	1.08	0.04	1.14
0.175	0.180	0.185	0.012	0.200	1.10	1.12	1.14	0.04	1.20
0.185	0.190	0.195	0.012	0.210	1.16	1.18	1.20	0.04	1.26
0.195	0.200	0.205	0.015	0.225	1.23	1.25	1.27	0.04	1.33
0.205	0.210	0.215	0.015	0.240	1.28	1.30	1.32	0.04	1.38
0.225	0.230	0.235	0.020	0.265	1.33	(1.35)	1.37	0.04	1.43
0.245	0.250	0.255	0.020	0.290	1.38	1.40	1.42	0.04	1.48
0.260	(0.270)	0.280	0.020	0.310	1.43	(1.45)	1.47	0.04	1.53
0.270	0.280	0.290	0.020	0.320	1.48	1.50	1.52	0.04	1.58
0.280	(0.290)	0.300	0.020	0.330	1.54	(1.56)	1.58	0.04	1.64
0.300	0.310	0.320	0.020	0.35	1.58	1.60	1.62	0.05	1.69
0.320	0.330	0.340	0.020	0.37	1.68	1.70	1.72	0.05	1.79
0.340	0.350	0.360	0.020	0.39	1.78	1.80	1.82	0.05	1.89
0.370	0.380	0.390	0.020	0.42	1.88	1.90	1.92	0.05	1.99
0.390	0.400	0.410	0.020	0.44	1.98	2.00	2.02	0.05	2.09
0.410	0.420	0.430	0.020	0.46	2.10	2.12	2.14	0.05	2.21
0.440	0.450	0.460	0.020	0.49	2.22	2.24	2.26	0.05	2.33
0.460	0.470	0.480	0.020	0.51	2.34	2.36	2.38	0.05	2.45
0.490	0.500	0.510	0.025	0.54	2.47	2.50	2.53	0.05	2.59

注: 括号内规格为不推荐的保留规格。

表 2-1-50 油性漆包圆铜线的弹性、热老化、热冲性能

导线直径 /mm	弹性 (室温)	热冲 120℃±3℃ 1h	热老化 120℃±3℃ 6h	要 求
0.020~0.050	拉断		拉断	1) 0.020~0.050mm 的漆包线在拉断后,任一端漆膜不应有裂纹 2) 在表中规定直径的圆棒上卷绕 10 圈后,漆膜不应破裂
0.060~0.230	拉断	—	伸长 10%	
0.250~0.350	拉断	—	伸长 10%	
0.380~0.500	3d	5d	3d	
0.530~0.710	3d	5d	4d	
0.750~0.950	3d	6d	5d	
1.000~1.50 <sup>①</sup>	4d	7d	6d	
1.60~2.50	4d	8d	8d	

① 包括 1.56mm。

表 2-1-51 油性漆包圆铜线的击穿电压

导线直径/mm	击穿电压/V ≥	要 求
0.020~0.025	200	在均匀绞合状态下,试样的击穿电压不低于表中的规定
0.030~0.040	300	
0.050	400	
0.060~0.090	500	
0.100~0.140	600	
0.150~0.230	900	
0.250~0.310	1200	
0.330~0.500	1200	
0.530~0.710	1500	
0.750~0.950	1800	
1.000~1.50 <sup>①</sup>	2400	
1.60~2.50	3000	

① 包括 1.56mm。

表 2-1-52 油性漆包圆铜线的耐刮性能

导线直径/mm	负重/g	要 求
0.025~0.310	100	0.25mm 及以上的漆包线,漆膜上的四点耐刮最低次数不少于 5 次
0.330~0.500	130	
0.530~0.710	190	
0.750~0.950	250	
1.00~1.50 <sup>①</sup>	290	
1.60~2.50	370	

① 包括 1.56mm。

表 2-1-53 油性漆包线漆膜连续性的缺陷数

导线直径/mm	15m 长度允许的缺陷数
0.020~0.140	15
0.150~0.350	10

表 2-1-54 油性漆包圆铜线的附着力

拉 断 法			扭 绞 法			
方法	导线直径 /mm	要 求	方 法	导线直径 /mm	扭绞数	要 求
用手急速拉断	≤0.38	拉断试样任一端露铜长度不大于 1mm	以导线截面为每平方毫米 1kg 的拉力,沿自身中心线进行扭绞	0.40~0.60	10	经扭绞后,漆膜不应破裂
				0.63~0.80	8	
				0.85~1.00	6	
				1.06~2.50	4	

1.2.12 无磁性聚氨酯漆包圆铜线

该产品是以经特殊处理的无磁性聚氨酯树脂为基的单一涂层漆包圆铜线。温度指数为 130。

1. 品种、型号、规格。见表 2-1-55

2. 性能要求

1) 表面质量、直流电阻、断裂伸长率、回弹

性同“130 级聚酯漆包圆铜线”,见本章 1.2.1 节。

2) 漆膜厚度,最大外径(表 2-1-56)

3) 弹性、热老化 在室温下,以及在 150℃±5℃下放置 24h 后,冷却至室温,进行拉断试验,漆膜不破裂。



4) 焊锡试验 线径为 0.100mm 及以下的漆包线试样, 浸入温度为  $375^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  的焊锡槽中 2s; 线径 0.100mm 以上至 0.200mm 为 3s 后, 镀锡表面应平滑, 无针孔及漆膜残渣。

5) 磁性 用比重磁化率计算, 应在 0~

$(-0.12) \times 10^{-6}$  绝对电磁单位的范围内。

6) 室温击穿电压 (表 2-1-57)

7) 漆膜连续性 (表 2-1-58)

8) 温度指数 试样在 20000h 外推寿命的相应温度指数不低于 130。

表 2-1-55 无磁性聚氨酯漆包圆铜线型号、名称、规格 (单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标 准
TWCQA	无磁性聚氨酯漆包圆铜线	0.020~0.200	企标

表 2-1-56 无磁性聚氨酯漆包圆铜线规格尺寸 (单位: mm)

导线直径	漆膜最小厚度 $D-d$	漆包线最大 外 径	导线直径	漆膜最小厚度 $D-d$	漆包线最大 外 径
0.02	0.002	0.029	0.11	0.010	0.131
0.025	0.002	0.034	0.12	0.010	0.141
0.03	0.002	0.039	0.13	0.012	0.152
0.04	0.003	0.053	0.14	0.012	0.162
0.05	0.003	0.063	0.15	0.012	0.172
0.06	0.005	0.076	0.16	0.012	0.183
0.07	0.005	0.086	0.17	0.012	0.192
0.08	0.008	0.096	0.18	0.012	0.205
0.09	0.008	0.107	0.19	0.012	0.215
0.10	0.010	0.117	0.20	0.012	0.225

表 2-1-57 无磁性聚氨酯漆包圆铜线击穿电压值

导线直径 /mm	200mm 长度中的 扭 绞 数	击穿电压/V $\geq$	要 求
0.02~0.025	60	200	在均匀绞合状态下, 试样 击穿电压值, 不低于表中的 规定
0.03~0.05	60	300	
0.06~0.10	60	400	
0.11~0.20	33	500	

表 2-1-58 无磁性聚氨酯漆包圆铜线的允许缺陷数

导线直径/mm	在 15m 长度上允许的缺陷数
0.02~0.10	15
0.11~0.20	10

1.2.13 130 级聚酯漆包扁铜线

该产品是以 130 级聚酯树脂为基的单一涂层漆包扁铜线。温度指数为 130。

1. 品种、型号、规格 (表 2-1-59)

扁线标称尺寸及标称截面积, 导体尺寸偏差范围, 圆角半径及偏差范围, 分别见表 2-1-60~表 2-1-62。

表 2-1-59 聚酯漆包扁铜线型号、名称、规格 (单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标 准
QZB-1/130	130 级薄漆膜聚酯漆包扁铜线	a 边 0.80~5.60	GB/T7095.7
QZB-2/130	130 级厚漆膜聚酯漆包扁铜线	b 边 2.00~16.00	

表 2-1-60 导体标称尺寸及标称截面积

(单位: mm<sup>2</sup>)

		窄 边 尺 寸 a/mm											
		0.80*	0.85	0.90*	0.95	1.00*	1.05	1.12*	1.18	1.25*	1.32	1.40*	1.50
		$r = \frac{1}{2}a$					$r = 0.5\text{mm}$						
宽 边 尺 寸  b/mm	2.00*	1.463		1.626		1.785		2.025		2.285		2.585	
	2.12		—		—		—		—		—		—
	2.24*	1.655		1.842		2.025		2.294		2.585		2.921	
	2.36		—		—		—		—		—		—
	2.50*	1.863		2.076		2.285		2.585		2.910		3.285	
	2.65		—		—		—		—		—		—
	2.80*	2.103		2.346		2.585		2.921		3.285		3.705	
	3.00		—		—		—		—		—		—
	3.15*	2.383		2.661		2.935		3.313		3.723		4.195	
	3.35		—		—		—		—		—		—
	3.55*	2.703		3.021		3.335		3.761		4.223		4.755	
	3.75		—		—		—		—		—		—
	4.00*	3.063		3.426		3.785		4.265		4.785		5.385	
	4.25		—		—		—		—		—		—
	4.50*	3.463		3.876		4.285		4.825		5.410		6.085	
	4.75		—		—		—		—		—		—
	5.00*	3.863		4.326		4.785		5.385		6.035		6.785	
	5.30		—		—		—		—		—		—
	5.60*	4.343		4.866		5.385		6.057		6.785		7.625	
	6.00		—		—		—		—		—		—
	6.30*	4.903		5.496		6.085		6.841		7.660		8.605	
	6.70		—		—		—		—		—		—
	7.10*			6.216		6.885		7.737		8.660		9.725	
	7.50				—		—		—		—		—
	8.00*					7.785		8.745		9.785		10.99	
	8.50						—		—		—		—
	9.00*							9.865		11.04		12.39	
	9.50								—		—		—
10.0*									12.29		13.79		
10.6										—		—	
11.2*											15.47		
11.8												—	
12.5*													
13.2													
14.0*													
15.0													
16.0*													

宽窄比  $b/a > 8$  不推荐

(续)

		窄 边 尺 寸 a/mm											
		1.60*	1.70	1.80*	1.90	2.00*	2.12	2.24*	2.36	2.50*	2.65	2.80*	3.00
		r=0.65mm						r=0.8mm					
宽 边 尺 寸 b/mm	2.00*												
	2.12												
	2.24*	3.369											
	2.36		—										
	2.50*	3.785		4.137	宽窄比 $b/a < 1.4$ 不推荐								
	2.65		—		—								
	2.80*	4.265		4.677		5.237							
	3.00		—		—		—						
	3.15*	4.825		5.307		5.937		6.693					
	3.35		—		—		—		—				
	3.55*	5.465		6.027		6.737		7.589		8.326			
	3.75		—			—		—		—			
	4.00*	6.185		6.837		7.637		8.597		9.451		10.65	
	4.25		—		—		—		—		—		—
	4.50*	6.985		7.737		8.637		9.717		10.70		12.05	
	4.75				—		—		—		—		—
	5.00*	7.785		8.637		9.637		10.84		11.95		13.45	
	5.30		—		—		—		—		—		—
	5.60*	8.745		9.717		10.84		12.18		13.45		15.13	
	6.00		—		—		—		—		—		—
	6.30*	9.865		10.98		12.24		13.75		15.20		17.09	
	6.70		—		—		—		—		—		—
	7.10*	11.15		12.42		13.84		15.54		17.20		19.33	
	7.50		—		—		—		—		—		—
	8.00*	12.59		14.04		15.64		17.56		19.45		21.85	
	8.50		—		—		—		—		—		—
	9.00*	14.19		15.84		17.64		19.80		21.95		24.65	
	9.50		—		—		—		—		—		—
10.0*	15.79		17.64		19.64		22.04		24.45		27.45		
10.6		—		—		—		—		—		—	
11.2*	17.71		19.80		22.04		24.73		27.45		30.81		
11.8		—		—		—		—		—		—	
12.5*	19.79		22.14		24.64		27.64		30.70		34.45		
13.2		—		—		—		—		—		—	
14.0*			24.84		27.64		31.00		34.45		38.65		
15.0				—		—		—		—		—	
16.0*					31.64		35.48		39.45		44.25		

(续)

		窄 边 尺 寸 $a/\text{mm}$										
		3.15*	3.35	3.55*	3.75	4.00*	4.25	4.50*	4.75	5.00*	5.30	5.60*
		$r=1.0\text{mm}$										
宽 边 尺 寸  b/mm	2.00*	说明: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0.95</span> R 40系列  <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1.00</span> R 20系列  <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1.785</span> $a \times b$ 为 R 20 $\times$ R 20 优先规格的标称截面积 $\text{mm}^2$  <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> $a \times b$ 为 R 20 $\times$ R 40 或 R 40 $\times$ R 20 的中间规格标称截面积 $\text{mm}^2$  <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> $a \times b$ 为 R 40 $\times$ R 40 的不推荐规格										
	2.12											
	2.24*											
	2.36											
	2.50*											
	2.65											
	2.80*											
	3.00											
	3.15*											
	3.35											
	3.55*											
	3.75											
	4.00*											
	4.25											
	4.50*											
	4.75											
	5.00*											
	5.30											
	5.60*											
		6.00										
	6.30*	13.63										
	6.70											
	7.10*	15.20		17.20								
	7.50											
	8.00*	17.09		19.33		21.54						
	8.50											
	9.00*	19.30		21.82		24.34		27.49				
	9.50											
	10.0*	21.82		24.66		27.54		31.09		34.64		
	10.6											
	11.2*	24.65		27.85		31.14		35.14		39.14		43.94
	11.8											
	12.5*	27.80		31.40		35.14		39.64		44.14		49.54
	13.2											
	14.0*	30.95		34.96		39.14		44.14		49.14		55.44
	15.0											
	16.0*	34.73		39.21		43.94		49.54		55.14		61.86
	17.0											
	18.0*	38.83		43.83		49.14		55.39		61.64		69.14
	19.0											
	20.0*	43.55		49.15		55.14		62.14		69.14		77.54
	21.0											
	22.0*	49.85		56.25		63.14		71.14		79.14		88.74

注:带\*号的为优先数 R 20系列。

**表 2-1-61 导体尺寸偏差  $\sigma$  范围**  
(单位: mm)

标称尺寸 $a$ 或 $b$	偏差 $\sigma$
$a(b) \leq 3.15$	$\pm 0.030$
$3.15 < a(b) \leq 6.30$	$\pm 0.050$
$6.30 < b \leq 12.50$	$\pm 0.070$
$12.50 < b \leq 16.00$	$\pm 0.100$

**表 2-1-62 导体圆角半径  $r$  及偏范围**

标称尺寸 $a$ /mm	圆角半径 $r$	
	标称值/mm	偏差(%)
$a \leq 1.00$	$a/2$	—
$1.00 < a \leq 1.60$	0.50 <sup>①</sup>	$\pm 25$
$1.60 < a \leq 2.24$	0.65 <sup>②</sup>	$\pm 25$
$2.24 < a \leq 3.55$	0.80	$\pm 25$
$3.55 < a$	1.00	$\pm 25$

注: 当  $b \geq 4.75\text{mm}$  时, 经双方协商同意:

- ① 圆角半径可为  $a/2\text{mm}$ ;
- ② 圆角半径可为  $0.80\text{mm}$ 。

2. 性能要求

1) 表面质量 漆包扁线表面应光滑均匀, 不应有影响性能的缺陷。

2) 漆膜厚度 漆膜厚度  $\delta$  应符合表 2-1-63 的规定。

**表 2-1-63 聚酯漆包扁铜线漆膜厚度**

漆膜	漆膜厚度 $\delta/\text{mm}$
1 级	$0.06 \leq \delta \leq 0.11$
2 级	$0.11 < \delta \leq 0.16$

3) 外形尺寸 漆包扁线的外形尺寸  $A$  或  $B$ , 不得超过按式 (2-1-1)、式 (2-1-2) 计算的最大值  $A_{\text{max}}$  或  $B_{\text{max}}$ 。

$$A_{\text{max}} = a_{\text{nom}} + \sigma_{\text{max}} + \delta_{\text{max}} \quad (2-1-1)$$

$$B_{\text{max}} = b_{\text{nom}} + \sigma_{\text{max}} + \delta_{\text{max}} \quad (2-1-2)$$

当漆包扁线最大外形尺寸不超过  $A_{\text{max}}$  或  $B_{\text{max}}$  时, 其漆膜厚度允许超过表 2-1-63 的规定值。

4) 直流电阻 导体在  $20^\circ\text{C}$  时的单位长度直流电阻值  $R_{20}$  应不大于按式 (2-1-3) 计算的值。

$$R_{20} = \rho_{20} / S_{\text{min}} \quad (2-1-3)$$

$$S_{\text{min}} = a_{\text{min}} \times b_{\text{min}} - 0.8584r_{\text{max}}^2$$

式中  $S_{\text{min}}$ ——导体最小截面积 ( $\text{mm}^2$ );  
 $\rho_{20}$ —— $20^\circ\text{C}$  时导体的电阻率 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )。

对铜导体:  $\rho_{20} = 1/58 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ;

对铝导体:  $\rho_{20} = 1/35.7 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

5) 断裂伸长率 漆包扁线的断裂伸长率应不小于表 2-1-64 的规定。

**表 2-1-64 聚酯漆包扁铜线断裂伸长率**

$a$ 边标称尺寸 /mm	断裂伸长率(%)	
	铜导体	铝导体
$\leq 2.5$	30	17
$> 2.5$	32	

6) 回弹性 漆包扁铜线的回弹角应不大于  $5^\circ$ 。

7) 耐溶剂 漆包扁线在标准溶剂 (200 号溶剂油 60%, 二甲苯 30% 及丁醇 10% 混合) 中浸泡 30min 后, 漆膜表面硬度 (铅笔法) 应不小于 “1H”。

8) 耐刮 漆包扁线按往复刮漆试验后, 平均刮漆次数应不低于 40 次, 任一圆角上的刮漆次数应不低于 30 次。漆包扁铜线的刮漆试验负荷见表 2-1-65

**表 2-1-65 聚酯漆包扁铜线的刮漆负荷**

导体窄边尺寸 /mm	负 荷/N	
	1 级	2 级
0.80~2.36	7	9
2.50~5.60	8	10

9) 室温击穿电压。漆包扁线在室温下进行击穿电压试验, 5 个试样中至少应有 4 个试样的击穿电压值符合表 2-1-66 规定, 允许有一个试样的击穿电压值不小于表 2-1-66 规定值的 50%。

**表 2-1-66 聚酯漆包扁铜线室温击穿电压值**

漆膜	最小击穿电压值 (有效值) N	
	室温下	高温下
1 级	1000	750
2 级	2000	1500

10) 高温击穿电压 漆包扁线在  $130 \sim 135^\circ\text{C}$  下的击穿电压值, 5 个试样至少应有 4 个试样的

击穿电压值符合表 2-1-66 的规定,允许有一个试样的击穿电压值不小于表 2-1-66 规定值的 50%。

11) 柔韧性和附着性

a) 弯曲 聚酯漆包扁线按表 2-1-67 规定的试棒进行宽边和窄边弯曲试验后,漆膜应不开裂。

表 2-1-67 聚酯漆包扁铜线的弯曲试验 (单位:mm)

弯曲方式	a, b 标称尺寸	试棒直径
宽边弯曲	a 所有尺寸	4×a
窄边弯曲	b ≤ 10	4×b
	b > 10	5×b

表 2-1-68 缩醛漆包扁铜线型号、名称、规格 (单位:mm)

型号	名称	规格范围	标准
QQB-1/120	120 级薄漆膜缩醛漆包扁铜线	a 边 0.80~5.60	GB/T 7095.2
QQB-2/120	120 级厚漆膜缩醛漆包扁铜线	b 边 2.00~16.00	IEC 317-18

2. 性能要求

1) 表面质量、漆膜厚度、外形尺寸、直流电阻、断裂伸长率、回弹性、耐溶剂性、刮漆、室温击穿电压、120~125℃ 高温击穿电压性能同“130 级聚酯漆包扁铜线”。见本章 2.1.13。

2) 柔韧性和附着性

a) 弯曲 缩醛漆包扁铜线按表 2-1-69 规定

表 2-1-69 (单位:mm)

弯曲方式	a, b 标称尺寸	试棒直径
宽边弯曲	a 所有尺寸	2×a
窄边弯曲	b ≤ 10	2×b
	b > 10	3×b

表 2-1-70 改性聚酯漆包扁铜线型号、名称、规格 (单位:mm)

型号	名称	规格范围	标准
QZ(G)B-1/155	155 级薄漆膜改性聚酯漆包扁铜线	a 边 0.80~5.60	GB/T 7095.3
QZ(G)B-2/155	155 级厚漆膜改性聚酯漆包扁铜线	b 边 2.00~16.00	IEC 317-16

2. 性能要求

1) 表面质量、漆膜厚度、外形尺寸、直流电阻、断裂伸长率、回弹性、耐溶剂性、耐刮、室温击穿电压、155~160℃ 高温击穿电压、试棒弯曲性能同“130 级聚酯漆包扁铜线”，见本章 1.2.13

b) 漆膜附着性(切割) 试样拉伸 20% 后,漆膜失去附着力的距离应不大于 1b。

12) 热冲击 在直径为 6a 试棒上进行宽边弯曲的试样,置于 155~160℃ 下进行热冲击试验 30min 后,漆膜应不开裂。

13) 温度指数 漆包扁线的温度指数是用涂制扁线绝缘漆涂制 1.000mm 规格的圆线试样,在 20000h 外推寿命的相应温度指数不低于 130。

1.2.14 120 级缩醛漆包扁铜线

该产品是以 120 级聚乙烯醇缩醛树脂为基的单一涂层漆包扁铜线。温度指数为 120。

1. 品种、型号、规格(表 2-1-68)。

的试棒进行宽边和窄边的试验后,漆膜应不开裂。

b) 漆膜附着性(切割) 试样拉伸 20% 后,漆膜失去附着力的距离应不大于 1b。

3) 热冲击 在直径为 6a 试棒上进行宽边弯曲的试样,置于 155~160℃ 下进行热冲击 30min 后,漆膜应不开裂。

4) 温度指数 漆包扁线的温度指数是用涂制漆包扁线的绝缘漆涂制 1.000mm 圆线规格的试样,在 20000h 外推寿命的相应温度指数不低于 120。

1.2.15 155 级改性聚酯漆包扁铜线

该产品是以 155 级改性聚酯树脂为基的单一涂层漆包扁铜线。温度指数为 155。

1. 品种、型号、规格(表 2-1-70)

节。

2) 漆膜附着性(切割) 试样拉伸 15% 后,漆膜失去附着力的距离应不大于 1b。

3) 热冲击 在直径为 6a 试棒上进行宽边弯曲的试验,置于 175~180℃ 下进行热冲击试验

30min后,漆膜应不开裂。

4) 温度指数 漆包扁线的温度指数是用涂制扁线的绝缘漆涂制1.000mm圆线规格的试样,在20000h外推寿命的相应温度指数不低于155。

表 2-1-71 聚酯亚胺漆包扁铜线型号、名称、规格 (单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标准
QZYB-1/180	180级薄漆膜聚酯亚胺漆包扁铜线	a边 0.80~5.60	GB/T 7095.4
QZYB-2/180	180级厚漆膜聚酯亚胺漆包扁铜线	b边 2.00~16.00	IEC 317-28

## 2. 性能要求

1) 表面质量、漆膜厚度、外形尺寸、直流电阻、断裂伸长率、耐溶剂性、耐刮、室温击穿电压、180~185℃高温击穿电压、试棒弯曲性能同“130级聚酯漆包扁铜线”,见本章1.2.13节。

2) 漆膜附着性(切割) 试样拉伸15%后,漆膜失去附着力的距离应不大于1b。

3) 热冲击 在直径为6b试棒上进行宽边弯曲的试验,置于200~205℃下进行热冲击试验

## 1.2.16 180级聚酯亚胺漆包扁铜线

该产品是以180级聚酯亚胺树脂为基的单一涂层漆包扁铜线。温度指数为180。

1. 品种、型号、规格(表2-1-71)

30min后,漆膜应不开裂。

4) 温度指数 漆包扁线的温度指数是用涂制扁线的绝缘漆涂制1.000mm圆线规格的试样,在20000h外推寿命的相应温度指数不低于180。

## 1.2.17 220级聚酰亚胺漆包扁铜线

该产品是以220级聚酰亚胺树脂为基的单一涂层漆包扁铜线。温度指数为220。

1. 品种、型号、规格(表2-1-72)

表 2-1-72 聚酰亚胺漆包扁铜线型号、名称、规格 (单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标准
QYB-1/220	220级薄漆膜聚酰亚胺漆包扁铜线	a边 0.80~5.60	GB/T 7095.5
QYB-2/220	220级厚漆膜聚酰亚胺漆包扁铜线	b边 2.00~16.00	IEC 317-30

## 2. 性能要求

1) 表面质量、漆膜厚度、外形尺寸、直流电阻、断裂伸长率、回弹性、耐溶剂性、刮漆、室温击穿电压、220~225℃高温击穿电压、试棒弯曲性能同“130级聚酯漆包扁铜线”,见本章1.2.13节。

2) 漆膜附着性(切割) 聚酰亚胺漆包扁线拉伸10%后,漆膜失去附着力的距离应不大于1b。

3) 热冲击 在直径为6b试棒上进行宽边弯曲的试样,置于240~245℃下进行热冲击试验

30min后,漆膜应不开裂。

4) 温度指数 漆包扁线的温度指数是用涂制扁线的绝缘漆涂制1.000mm圆线规格的试样,在20000h外推寿命的相应温度指数不低于220。

## 1.2.18 200级聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包扁铜线

该产品是以内层为180级聚酯亚胺树脂为基的及外层为聚酰胺酰亚胺为基的复合涂层漆包扁铜线。温度指数为200。

1. 品种、型号、规格(表2-1-73)

表 2-1-73 聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包扁铜线  
型号、名称、规格

(单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标准
Q(ZY/XY)B-1/200	200级薄漆膜聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包扁铜线	a边 0.80~5.60	GB/T 7095.6
Q(ZY/XY)B-2/200	200级厚漆膜聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包扁铜线	b边 2.00~16.00	IEC 317-29

## 2. 性能要求

1) 表面质量、漆膜厚度、外形尺寸、直流电阻、断裂伸长率、回弹性、耐溶剂性、刮漆、室温击穿电压、200~205℃高温击穿电压、试棒弯曲性能,同“130级聚酯漆包扁铜线”,见本章1.2.13节。

2) 漆膜附着性(切割) 漆包扁铜线拉伸

15%后,漆膜失去附着力的距离应不大于1b。

3) 热冲击 在直径为6a试棒上进行宽边弯曲的试样,置于220~225℃下进行热冲击30min后,漆膜应不开裂。

4) 温度指数 漆包扁线的温度指数是用涂制扁线的绝缘漆涂制1.000mm圆线规格试样,在20000h外推寿命的相应温度指数不低于200。

## 第2章 绕包线

绕包线是用天然丝、涤纶丝、玻璃丝、绝缘纸或合成树脂薄膜等紧密绕包在导电线芯上,形成绝缘层。也有在漆包线上再绕包绝缘层的。除薄膜绝缘层外,其他如玻璃丝等须经胶粘绝缘漆的浸渍处理,以提高其电性能,机械性能和防潮性能,实际上是组合绝缘。除少数天然丝绕包线外,一般绕包线的特点是:绝缘层较漆包线厚,是组合绝缘,电性能较高,能较好地承受过电压及过载负

荷,一般应用于大中型电工产品中。薄膜绕包线具有更高的机械性能和电性能,用于大、中型电机,效果良好。

### 2.1 绕包线的品种、规格、特点和用途

绕包线的品种、规格、特点和主要用途见表2-2-1。

表 2-2-1 绕包线的品种、规格、特点和主要用途

类别	产 品 名 称	型号	规格 /mm	特 点			主要用途	标准号
				温度 指数	优点	局限性		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
纸 包 线	纸包圆铜线	Z	1.000~ 5.000	105 <sup>0</sup>	在油浸变压器 中作线圈耐电压 击穿性优	绝 缘 纸 容 易 破 裂	用于油浸 变压器及其 他类似电器 设备	GB/T 7673.2
	纸包圆铝线	ZL						
	500kV 变压器匝间绝缘纸 包圆铜线	ZA						
	500kV 变压器匝间绝缘纸 包圆铝线	ZAL						
	纸包扁铜线	ZB	a 边 0.80 ~5.60 b 边 2.00 ~16.00		GB/T 7673.3			
	纸包扁铝线	ZLB						
	500kV 变压器匝间绝缘纸 包圆铜线	ZAB						
	500kV 变压器匝间绝缘纸 包圆铝线	ZALB						



(续)

类别	产品名称	型号	规格 /mm	特点			主要用途	标准号					
				温度 指数	优点	局限性							
纸包线	芳香聚酰胺纤维纸 (Nomex)纸包圆铜线	—	1.000~ 5.000	200~ 220	1. 能经受严格的加工工艺 2. 与干式湿式变压器通常使用的原材料能相容 3. 无工艺污染		用于高温干式变压器的线圈 中型高温电机的绕组	企标					
	芳香聚酰胺纤维纸 (Nomex)纸包扁铜线		a边 0.80 ~5.60 b边 2.00 ~16.00										
玻璃丝包线	温度指数为130的双玻璃 丝包圆铜线	SBE/130	0.30~ 5.00	130	1. 过负载性优 2. 耐电晕性优	1. 弯曲性较差 2. 耐潮性较差	中型大型电机的绕组	GB/T 7672.2					
	温度指数为130的双玻璃 丝包圆铝线	SBEL/130		130									
	温度指数为155的双玻璃 丝包圆铜线	SBE/155		155									
	温度指数为155的双玻璃 丝包圆铝线	SBEL/155		155									
	温度指数为180的双玻璃 丝包圆铜线	SBE/180		180									
	温度指数为180的双玻璃 丝包圆铝线	SBEL/180		180									
	温度指数为130的单玻璃 丝包漆包圆铜线	SBQ/130		0.30~ 2.50					130	1. 过负载性优 2. 耐电压耐电晕性优 3. 绝缘层较薄		中型电机的绕组	GB/T 7672.3
	温度指数为155的单玻璃 丝包漆包圆铜线	SBQ/155							155				
	温度指数为180的单玻璃 丝包漆包圆铜线	SBQ/180							180				
	温度指数为130的双玻璃 丝包扁铜线	SBEB/130		a边 0.80 ~5.60 b边 2.00 ~16.00					130	1. 过负载性优 2. 耐电晕性优	1. 弯曲性较差 2. 耐潮性较差	中型、大型电机的绕组	GB/T 7672.4
	温度指数为130的双玻璃 丝包扁铝线	SBELB/130							130				
	温度指数为155的双玻璃 丝包扁铜线	SBEB/155							155				
温度指数为180的双玻璃 丝包扁铜线	SBEB/180	180											
温度指数为130的单玻璃 丝包漆包扁铜线	SBQB/130	a边 0.80 ~5.60 b边 2.00 ~16.00	130	1. 过负载性优 2. 耐电压性优 3. 耐电晕性优	弯曲性较差	中型大型电机的绕组	GB/T 7672.5						
温度指数为130的双玻璃 丝包漆包扁铜线	SBEQB/130		130										
温度指数为130的单玻璃 丝包漆包扁铝线	SBQLB/ 130		130										
温度指数为130的双玻璃 丝包漆包扁铝线	SBEQLB/ 130		130										

(续)

类别	产品名称	型号	规格 /mm	特点			主要用途	标准号
				温度 指数	优点	局限性		
玻璃 丝包线	温度指数为155的单玻璃 丝包漆包扁铜线	SBQB/155	a边0.80 ~5.60 b边2.00 ~16.00	155	1. 过负载性优 2. 耐电压性优 3. 耐电晕性优	弯曲 性较差	中型大型 电机的绕组	GB/T 7672.5
	温度指数为155的双玻璃 丝包漆包扁铜线	SBEQB/ 155		155				
	温度指数为180的单玻璃 丝包漆包扁铜线	SBQB/180		180				
	温度指数为180的双玻璃 丝包漆包扁铜线	SBEQB/ 180		180				
	温度指数为130的单玻璃 丝包薄膜绕包扁铜线	SBMB/130	a边0.80 ~5.60 b边2.00 ~16.00	130	1. 过负载性优 2. 耐电压性优	绝缘 层较厚	可用于较 严酷工艺条 件下,中型、 大型电机的 绕组	GB 7673.6
	温度指数为130的双玻璃 丝包薄膜绕包扁铜线	SBEMB/ 130		130				
	温度指数为155的单玻璃 丝包薄膜绕包扁铜线	SBMB/155		155				
	温度指数为155的双玻璃 丝包薄膜绕包扁铜线	SBEMB/ 155		155				
温度指数为180的单玻璃 丝包薄膜绕包扁铜线	SBMB/180	180						
温度指数为180的双玻璃 丝包薄膜绕包扁铜线	SBEMB/ 180	180						
薄膜 绕包线	耐电压4kV双层聚酰亚胺- 氟46复合薄膜绕包圆铜 线	MYFE-4	1.50~ 5.00	200	1. 耐电压性优 2. 耐油性优 3. 耐高、低温 性优 4. 耐辐射性优 5. 在密封条件 下耐油水性优 6. 耐拖磨性优	耐碱 性差	1. 用于潜 油电机及油 型电机特殊 绕组线,其圆 线也适合用 于潜油泵电 缆绝缘线芯 2. 用于高 温轧钢机,牵 引电机 3. 耐辐射 特种电机 4. 干式变 压器	JB5331
	耐电压7.25kV三层聚酰 亚胺-氟46复合薄膜绕包圆 铜线	MYFS- 7.25						
	耐电压8.7kV三层聚酰亚 胺-氟46复合薄膜绕包圆铜 线	MYFS- 8.7						
	耐电压10kV三层聚酰亚 胺-氟46复合薄膜绕包圆铜 线	MYFS-10						
	200级单聚酰亚胺-氟46 复合薄膜绕包扁铜线	MYFB	200	200				JB6757
	200级双聚酰亚胺-氟45 复合薄膜绕包扁铜线	MYFEB						

(续)

类别	产 品 名 称	型号	规格 /mm	特 点		主要用途	标准号
				温度 指数	优 点 局 限 性		
丝包线	单天然丝包聚酯漆包圆铜单线	SQZ	0.05~ 2.50	—	品质因素 Q 值 大	耐潮 性较差	用于各种 频率下的电 子仪表及电 器设备的线 圈
	单涤纶丝包聚酯漆包圆铜单线	SDQZ					
	双天然丝包聚酯漆包圆铜单线	SEQZ					
	双涤纶丝包聚酯漆包圆铜单线	SEDQZ					
	单天然丝包缩醛漆包圆铜单线	SQQ					
	双天然丝包缩醛漆包圆铜单线	SEQQ					
	单天然丝包聚氨酯漆包圆铜单线	SQA					
	单涤纶丝包聚氨酯漆包圆铜单线	SDQA					
	双天然丝包聚氨酯漆包圆铜单线	SEQA					
	双涤纶丝包聚氨酯漆包圆铜单线	SEDQA					
	GB/T 11018.1						
	单天然丝包漆包铜束线 双天然丝包漆包铜束线 单涤纶丝包漆包铜束线 双涤纶丝包漆包铜束线	SJ SEJ SDJ SEDJ	0.00150 ~ 1.0100mm <sup>2</sup>	—	1. 品质因素 Q 值大 2. 因由多根漆包线束绞而成,柔软性较好,且能降低集肤效用 3. 因由聚氨酯漆包线组成,介质损耗角小,且有直焊性	可用于中 频、变频电机 的绕组线	GB/T 11018.2

注:圆线规格以线芯直径表示,扁线以线芯窄边(a)及宽边(b)长度表示。

① 系指在油中或用浸渍漆处理后的温度指数。

表 2-2-2 纸包圆线型号、  
名称、规格 (单位:mm)

## 2.2 各种绕包线及性能

### 2.2.1 纸包圆线

该产品是以圆铜导线或圆铝导线用电缆纸或电话纸或 500kV 变压器匝间绝缘纸多层绕包而成。在变压器油浸渍条件下,其温度指数为 105。

1. 品种、型号、规格(表 2-2-2)

型号	名 称	规格 范围	标准
Z	电缆纸或电话纸包圆铜线	1.00~ 5.00	GB/T 7673.2
ZL	电缆纸或电话纸包圆铝线		
ZA	500kV 变压器匝间绝缘纸包 圆铜线		
ZAL	500kV 变压器匝间绝缘纸包 圆铝线		

2. 性能要求

1) 导体尺寸和直流电阻 (表 2-2-3)

2) 导体表面 圆铜、铝导体表面应光滑、清

洁、不应有擦伤、毛刺、油污、金属末等缺陷, 铜导体表面不应有氧化层。

3) 绝缘厚度 (表 2-2-4)

表 2-2-3 纸包圆线导体尺寸和直流电阻

导体直径/mm			f 值	铜导体电阻/(Ω/m)		导体直径/mm			f 值	铜导体电阻/(Ω/m)	
标称	最小	最大		最小值	最大值	标称	最小	最大		最小值	最大值
1.000	0.990	1.010	0.010	0.02116	0.02240	2.360	2.336	2.384	0.024	0.003797	0.004023
1.060	1.049	1.071	0.011	0.01881	0.01995	2.500	2.475	2.525	0.025	0.003385	0.003584
1.120	1.109	1.131	0.011	0.01687	0.01785	2.650	2.623	2.677	0.027	0.003014	0.003190
1.180	1.168	1.192	0.012	0.01515	0.01609	2.800	2.772	2.828	0.028	0.002698	0.002857
1.250	1.237	1.263	0.013	0.01355	0.01435	3.000	2.970	3.030	0.030	0.002351	0.002488
1.320	1.307	1.333	0.013	0.01214	0.01285	3.150	3.118	3.182	0.032	0.002131	0.002258
1.400	1.386	1.414	0.014	0.01079	0.01143	3.350	3.316	3.384	0.034	0.001885	0.001996
1.500	1.485	1.515	0.015	0.009402	0.009955	3.550	3.514	3.586	0.036	0.001678	0.001778
1.600	1.584	1.616	0.016	0.008237	0.008749	3.750	3.712	3.788	0.038	0.001504	0.001593
1.700	1.683	1.717	0.017	0.007320	0.007750	4.000	3.960	4.040	0.040	0.001322	0.001400
1.800	1.782	1.818	0.018	0.006529	0.006913	4.250	4.207	4.293	0.043	0.001171	0.001240
1.900	1.881	1.919	0.019	0.005860	0.006204	4.500	4.455	4.545	0.045	0.001045	0.001106
2.000	1.980	2.020	0.020	0.005289	0.005600	4.750	4.702	4.798	0.048	0.0009375	0.0009928
2.120	2.099	2.141	0.021	0.004708	0.004983	5.000	4.950	5.050	0.050	0.0008452	0.0008958
2.240	2.218	2.262	0.022	0.004218	0.004462						

表 2-2-4 纸包圆线绝缘厚度 (单位: mm)

导体标称直径	绝 缘 厚 度											
	标称	偏差	标称	偏差	标称	偏差	标称	偏差	标称	偏差	标称	偏差
1.000 < d ≤ 5.000	0.30	±0.05	0.45	±0.05	0.80	±0.10	1.20	±0.12	1.80	±0.15	4.25	±0.30

4) 直流电阻 (表 2-2-3)

5) 断裂伸长率 (表 2-2-5)

6) 卷绕 按表 2-2-6 规定卷绕, 绕包层不应开裂露缝, 并无明显翘边。

表 2-2-5 纸包圆线断裂伸长率

产品品种	导体材料	导体标称尺寸 /mm	伸长率(%)
纸包圆线	铜	1.000 < d ≤ 3.000	25
		3.150 < d ≤ 5.000	30
	铝	d = 1.900	15
		d > 1.000	20

注: 采用其他型号的铜、铝线时, 其伸长率应符合相应标准的规定。

表 2-2-6 纸包圆线卷绕性能

(单位: mm)		
绝缘标称厚度 δ	试验方式	试棒直径
0.30 ≤ δ ≤ 0.80	卷绕	100
1.20 ≤ δ ≤ 4.25		150

7) 绕包要求

a) 纸带应紧密, 均匀、平整地绕包在导体上、

纸带不应缺层,不应有起皱及开裂等缺陷,纸带重叠处不得露缝。

b) 绝缘层仅有三层纸带时,必须全部重叠绕包,绝缘纸带超过三层时,最内和最外层纸带应重叠绕包,其他层纸带一般采用间隙绕包。

c) 同方向间隙绕包的连续纸层数应不超过 8 层,超过 8 层时应改变绕包方向。

8) 绕包节距(表 2-2-7)

### 2.2.2 纸包扁线

该产品是以扁铜导线或扁铝导线为线芯,用电缆纸或电话纸或 500kV 变压器匝间绝缘纸多

层绕包而成。在变压器油浸渍条件下,其温度指数为 105。

1. 品种、型号、规格(表 2-2-8)

表 2-2-7 纸包圆线绕包节距

(单位: mm)

产品品种	导体标称直径	绕包节距 ≤
纸包圆线	$d \leq 3.50$	20
	$d > 3.50$	30

表 2-2-8 纸包扁线型号、名称、规格

(单位: mm)

型号	名 称	规格范围	标准
ZB	电缆纸或电话纸包扁铜线	a 边 0.80~5.60 b 边 2.00~16.00	GB/T 7673.3 IEC 317.27
ZLB	电缆纸或电话纸包扁铝线		
ZAB	500kV 变压器匝间绝缘纸包扁铜线		
ZALB	500kV 变压器匝间绝缘纸包扁铝线		

### 2. 性能要求

1) 导体尺寸 扁线标称尺寸、标称截面积、导体尺寸及偏差范围,圆角半径及偏差范围,分别见表 2-1-60~表 2-1-62。

2) 导体表面 铜、铝扁线表面应光滑、清洁,不应有擦伤、毛刺、油污、金属末等缺陷、铜导体

表面不应有氧化层。扁导线圆弧与平面的连接处应光滑,不允许有突起和尖角。

3) 绝缘厚度(表 2-2-9)

4) 直流电阻见本章 1.2.13 节中式(2-1-3)直流电阻计算法。

5) 断裂伸长率(表 2-2-10)

表 2-2-9 纸包扁线绝缘厚度

(单位: mm)

绝缘标称厚度 $\delta$	0.45	0.60	0.95	1.35	1.60	1.95	2.45	2.95
最大绝缘厚度 $A-a$	0.57	0.74	1.14	1.56	1.84	2.23	2.77	3.32
最小绝缘厚度 $B-b$	0.40	0.53	0.85	1.20	1.45	1.80	2.30	2.75

表 2-2-10 纸包扁线断裂伸长率

产品名称	导体材料	导体标称尺寸 /mm	伸长率(%) ≥
纸包扁线	铜	$0.80 \leq a \leq 2.50$	30
		$2.65 \leq a \leq 5.60$	32
	铝	$0.80 \leq a \leq 5.60$	17

注:采用其它型号的铜、铝线时,其伸长率应符合相应导体标准的规定。

6) 弯曲 按表 2-2-11 弯曲,绕包层不应开裂、露缝、并无明显翘边。

表 2-2-11 纸包扁线弯曲性能

(单位: mm)

绝缘标称厚度 $\delta$	试验方式	试棒直径
$0.45 \leq \delta \leq 1.35$	宽边弯曲	150
		200
$1.35 \leq \delta \leq 2.95$		

7) 绕包要求 与本章 2.2.1 节中“绕包要求”相同。

## 8) 绕包节距(表 2-2-12)

表 2-2-12 纸包扁线绕包节距

产品品种	导体标称截面 /mm <sup>2</sup>	绕包节距 /mm
纸包扁线	$s \leq 50$	30
	$s > 50$	35

## 2.2.3 芳香聚酰胺纤维纸绕包圆(扁)铜线

该产品是在圆(扁)铜导体上绕以多层芳香聚酰胺纤维纸而成。温度指数为 200~220。产品标准为企业标准。由于产品尚未定型,所以产品规格及型号等略,以下各点作简单介绍。

## 1. 绕包要求

1) 绝缘纸带应连续、紧密、均匀、平坦地绕包在导线上,不应有皱纹、开裂等缺陷;

2) 绕包纸层不得少于两层,绕包层中间不得缺少纸层;

3) 绕包方式上,在只有两层或三层时,必须全部搭盖绕包,搭盖宽度应不小于 3mm,其余层数的纸带采用间隙绕包,间隙宽度应不大于 2mm。

## 2. 技术要求

1) 弯曲特性 按表 2-2-13 规定的光滑圆棒上卷绕或弯曲时,绝缘层应不开裂,且外层纸带搭盖处应不露缝(圆线为卷绕,扁线为弯曲)。

2) 热老化特性 按表 2-2-13 规定的圆棒卷

表 2-2-13 (单位:mm)

型式	绝缘标称厚度	圆棒直径
圆线	0.20~0.50	100
扁线	0.20~0.50	150

绕或弯曲后,经 250℃,8h 老化后,绝缘层不松散,不开裂。

3) 击穿电压特性(钢珠法) 按表 2-2-13 规定卷绕或弯曲后,室温击穿电压不低于 12000V/mm 乘以单边绝缘层最小厚度;250℃下击穿电压不低于 11000V/mm 乘以单边绝缘层最小厚度(mm)。

## 2.2.4 双玻璃丝包圆铜线

该产品是以不同温度指数的绝缘漆粘着双玻璃丝包圆铜(铝)导线而成。温度指数分别有 130, 155, 180。

## 1. 品种、型号、规格(表 2-2-14)

## 2. 性能要求

1) 表面 浸渍漆涂层应均匀、色泽基本一致,表面不应有影响性能的缺陷。

2) 导体尺寸 圆铜导线应符合表 2-2-15 的规定。

## 3) 绝缘厚度(表 2-2-16)

4) 最大尺寸 应不超过导体的最大尺寸(标称尺寸或标称直径加工偏差)与规定的最大绝缘厚度之和。若外形尺寸不超过本规定,则允许绝缘厚度超过相应的规定值。

5) 直流电阻 圆铜线的直流电阻见表 2-2-15。圆铝线则暂不规定。

6) 伸长率 圆铜线见表 2-2-17,圆铝线见表 2-2-18。

7) 卷绕 按表 2-2-19 规定的圆棒上卷绕后,绝缘层应不开裂至露导体。

8) 附着性 试样按表 2-2-20 拉伸后,绝缘层应不失去附着性。

9) 击穿电压 试样按表 2-2-19 规定的圆棒上卷绕后,用钢珠法进行交流电压试验,5 个试样的击穿电压值应不低于表 2-2-21 的规定。

表 2-2-14 双玻璃丝包圆铜线型号、名称、规格

(单位:mm)

型号	名称	规格范围	标准
SBE/130	温度指数为 130 的双玻璃丝包圆铜线	0.30~5.00	GB/T 7672.2
SBEL/130	温度指数为 130 的双玻璃丝包圆铝线		
SBE/155	温度指数为 155 的双玻璃丝包圆铜线		
SBEL/155	温度指数为 155 的双玻璃丝包圆铝线		
SBE/180	温度指数为 180 的双玻璃丝包圆铜线		
SBEL/180	温度指数为 180 的双玻璃丝包圆铝线		

表 2-2-15 铜导体标称直径、偏差与直流电阻

导体直径/mm			铜导体电阻 /(Ω/m)		导体直径/mm			铜导体电阻 /(Ω/m)	
标称	最小	最大	最小值	最大值	标称	最小	最大	最小值	最大值
0.300	0.296	0.304	0.2336	0.2506	1.250	1.237	1.263	0.01353	0.01435
0.315	0.311	0.319	0.2121	0.2270	1.320	1.307	1.333	0.01214	0.01285
0.335	0.331	0.339	0.1878	0.2004	1.400	1.386	1.414	0.01079	0.01143
0.355	0.351	0.359	0.1674	0.1782	1.500	1.485	1.515	0.009402	0.009955
0.375	0.371	0.379	0.1503	0.1595	1.600	1.584	1.616	0.008237	0.008749
0.400	0.395	0.405	0.1316	0.1407	1.700	1.683	1.717	0.007320	0.007750
0.425	0.420	0.430	0.1167	0.1245	1.800	1.782	1.818	0.006529	0.006913
0.450	0.445	0.455	0.1042	0.1109	1.900	1.881	1.919	0.005860	0.006204
0.475	0.470	0.480	0.09371	0.09942	2.000	1.980	2.020	0.005289	0.005600
0.500	0.495	0.505	0.08462	0.08959	2.120	2.099	2.141	0.004708	0.004983
0.530	0.525	0.535	0.07539	0.07965	2.240	2.218	2.262	0.004218	0.004462
0.560	0.554	0.566	0.06736	0.07153	2.360	2.336	2.384	0.003797	0.004028
0.600	0.594	0.606	0.05876	0.06222	2.500	2.475	2.525	0.003385	0.003584
0.630	0.624	0.636	0.05335	0.05638	2.650	2.623	2.577	0.003014	0.003190
0.670	0.663	0.677	0.04708	0.04994	2.800	2.772	2.828	0.002698	0.002857
0.710	0.703	0.717	0.04198	0.04442	3.000	2.970	3.030	0.002351	0.002488
0.750	0.742	0.758	0.03756	0.03987	3.150	3.118	3.182	0.002131	0.002258
0.800	0.792	0.808	0.03305	0.03500	3.350	3.316	3.384	0.001885	0.001996
0.850	0.841	0.859	0.02925	0.03104	3.550	3.514	3.586	0.001678	0.001778
0.900	0.891	0.909	0.02612	0.02765	3.750	3.712	3.788	0.001504	0.001593
0.950	0.940	0.960	0.02342	0.02484	4.000	3.960	4.040	0.001322	0.001400
1.000	0.990	1.010	0.02116	0.02240	4.250	4.207	4.293	0.001171	0.001240
1.060	1.049	1.071	0.01881	0.01995	4.500	4.455	4.545	0.001045	0.001106
1.120	1.109	1.131	0.01687	0.01785	4.750	4.702	4.798	0.0009375	0.0009928
1.180	1.168	1.192	0.01519	0.01609	5.000	4.950	5.050	0.0008462	0.0008958

表 2-2-16 双玻璃丝包圆铜线

绝缘厚度 (单位: mm)

型号	标称直径	绝缘厚度		偏差 (%)
		薄型	厚型	
SBE	$0.30 \leq d \leq 3.00$	0.12	0.25	-20
	$3.00 < d \leq 4.00$	0.20	0.30	
	$4.00 < d \leq 5.00$	0.25	0.35	

表 2-2-17 圆铜线伸长率

标称直径/mm	伸长率(%)
$0.30 \leq d \leq 0.40$	20
$0.40 < d \leq 1.50$	25
$1.50 < d \leq 5.00$	30

表 2-2-18 圆铝线伸长率

标称直径/mm	伸长率(%)
$0.30 \leq d \leq 1.00$	15
$1.00 < d \leq 5.00$	20

表 2-2-19 双玻璃丝包圆铜线卷绕性能  
(单位: mm)

标称直径	圆棒直径	标称直径	圆棒直径
$d \leq 0.4$	2	$1.50 < d \leq 2.00$	10
$0.40 < d \leq 0.60$	3	$2.00 < d \leq 3.00$	15
$0.60 < d \leq 0.80$	4	$3.00 < d \leq 4.00$	20
$0.80 < d \leq 1.00$	5	$4.00 < d \leq 5.00$	25
$1.00 < d \leq 1.50$	8		

表 2-2-20 双玻璃丝包圆铜线附着性能

标称直径/mm	拉 伸 (%)	
	铜	铝
$d < 2.50$	15	10
$d \geq 2.50$	10	

表 2-2-22 单玻璃丝包漆包圆铜线型号、名称、规格 (单位: mm)

型号	名 称	规格范围	标准
SBQ/130	温度指数为 130 的单玻璃丝包漆包圆铜线	0.30~2.50	GB/T 7672.3
SBQ/155	温度指数为 155 的单玻璃丝包漆包圆铜线		
SBQ/180	温度指数为 180 的单玻璃丝包漆包圆铜线		

3) 击穿电压 试样按表 2-2-23 规定的圆棒卷绕后, 用钢珠法进行击穿电压试验, 5 个试样的击穿电压值应不低于表 2-2-24 的规定。

表 2-2-23 (单位: mm)

标称直径	圆棒直径	标称直径	圆棒直径
$0.53 \leq d \leq 0.60$	3	$1.00 < d \leq 1.50$	8
$0.60 < d \leq 0.80$	4	$1.50 < d \leq 2.00$	10
$0.80 < d \leq 1.00$	5	$2.00 < d \leq 2.50$	15

表 2-2-24

绝 缘 厚 度	击穿电压/V
薄 型	800
厚 型	1000

表 2-2-21 双玻璃丝包圆铜线击穿电压值

标称直径/mm	绝缘厚度/mm	击穿电压/V
$0.30 \leq d \leq 3.00$	0.12	250
	0.25	150
$3.00 \leq d \leq 4.00$	0.20	350
	0.30	500
$4.00 \leq d \leq 5.00$	0.25	450
	0.35	550

### 2.2.5 单玻璃丝包漆包圆线

该产品是以不同温度指数绝缘漆粘着不同温度指数的漆包圆铜线而成。温度指数分别有 130、155、180。

1. 品种、型号、规格 (表 2-2-22)

2. 性能要求

1) 表面、导体尺寸、绝缘厚度、最大外径、直流电阻、伸长率性能。同“双玻璃丝包圆线”见 2.2.4 节。

2) 附着性 试样拉伸 15% 后, 绝缘层应不失去附着性。

### 2.2.6 双玻璃丝包扁线

该产品是以不同温度指数的绝缘漆粘着双玻璃丝包扁铜(铝)导线而成。温度指数分别有 130、155、180。

1. 品种、型号、规格 (表 2-2-25)

2. 性能要求

1) 表面、最大外形尺寸同“双玻璃丝包圆线”, 见 2.2.4 节。

2) 导体尺寸, 偏差和圆角半径见表 2-1-60~表 2-1-62。

3) 绝缘厚度 (A—a) 见表 2-2-26。(B—b) 绝缘厚度不作考核。

4) 直流电阻同 130 级聚酯漆包扁铜线, 按 1.2.13 节中公式 (2-1-3) 计算。

5) 伸长率 (表 2-2-27)。



表 2-2-25 双玻璃丝包扁线型号、名称、规格

(单位: mm)

型号	名 称	规格范围	标准
SBEB/130	温度指数为 130 的双玻璃丝包扁铜线	a 边 0.80~5.60 b 边 2.00~16.00	GB/T 7672.4
SBELB/130	温度指数为 130 的双玻璃丝包扁铝线		IEC 317-31
SBEB/155	温度指数为 155 的双玻璃丝包扁铜线		IEC 317-32
SBEB/180	温度指数为 180 的双玻璃丝包扁铜线		IEC 317-33

注: IEC317-31~33 中只有铜扁线, 其温度指数分别为 155, 180, 200。

表 2-2-26 玻璃丝包扁线绝缘厚度

(单位: mm)

品 种	绝缘厚度	偏差(%)
双玻璃丝包扁线	0.2	-20
	0.3	
	0.4	
	0.5	
玻璃丝包漆包扁线	0.3	-20
	0.4	
	0.5	
玻璃丝包薄膜绕包扁线	0.4	-15
	0.5	
	0.6	

表 2-2-27

标称尺寸 a/mm	伸长率(%)	
	铜	铝
$a \leq 2.50$	30	17
$2.50 < a$	32	17

6) 弯曲试样按表 2-2-28 规定的圆棒上进行宽边和窄边弯曲后, 绝缘层应不开裂至露导体。

表 2-2-28 (单位: mm)

标称尺寸	圆棒直径
$2.00 \leq b \leq 8.00$	10b
$8.00 < b \leq 16.00$	15b
$0.80 \leq a \leq 5.60$	10a

7) 附着性试样按表 2-2-29 规定拉伸后, 绝缘层应不失去附着力。

表 2-2-29

导体	标称尺寸/mm	拉伸(%)
铜	$a < 2.5$	15
	$a \geq 2.5$	10
铝	全部尺寸	10

8) 击穿电压试样按表 2-2-28 规定圆棒弯曲后, 用钢珠法进行击穿电压试验, 4 个试样的击穿电压值应不低于表 2-2-30 的规定。

表 2-2-30

标称绝缘 厚度/mm	击穿电压 /V	标称绝缘 厚度/mm	击穿电压 /V
0.2	300	0.4	500
0.3	400	0.5	550

### 2.2.7 玻璃丝包漆包扁线

该产品是以不同温度指数的绝缘漆粘着玻璃丝包不同温度指数的漆包扁线而成的。温度指数分别有 130、155、180。

1. 品种、型号、规格 (表 2-2-31)

2. 性能要求

1) 表面、导体尺寸、绝缘厚度、最大外形尺寸、直流电阻、伸长率、弯曲性能。同“双玻璃丝包扁线”, 见本章 2.2.6 节。

2) 附着性试样按表 2-2-32 规定拉伸后, 绝缘层应不失去附着性。

3) 击穿电压试样按表 2-2-28 规定的圆棒弯曲后, 用钢珠法进行击穿电压试验。4 个试样的击穿电压值应不低于表 2-2-33 的规定。

表 2-2-31 玻璃丝包漆包扁线型号、名称、规格

(单位:mm)

型号	名称	规格范围	标准
SBQB/130	温度指数为 130 的单玻璃丝包漆包扁铜线	a 边 0.80~5.60 b 边 2.00~16.00	GB/T 7672.5 IEC 317-31 IEC 317-32 IEC 317-33
SBEQB/130	温度指数为 130 的双玻璃丝包漆包扁铜线		
SBQLB/130	温度指数为 130 的单玻璃丝包漆包扁铝线		
SBEQLB/130	温度指数为 130 的双玻璃丝包漆包扁铝线		
SBQB/155	温度指数为 155 的单玻璃丝包漆包扁铜线		
SBEQB/155	温度指数为 155 的双玻璃丝包漆包扁铜线		
SBQB/180	温度指数为 180 的单玻璃丝包漆包扁铜线		
SBEQB/180	温度指数为 180 的双玻璃丝包漆包扁铜线		

注: IEC317-31~33 中只有铜扁线, 其温度指数分别为 155、180、200。

表 2-2-32

导体	拉伸(%)
铜	15
铝	10

表 2-2-33

标称绝缘厚度 /mm	击穿电压/V	
	SBQB	SBEQB
0.3	1200	1600
0.4	1400	1800
0.5		2000

## 2.2.8 玻璃丝包薄膜绕包扁线

该产品是以不同温度指数的绝缘漆粘着玻璃丝包扁铜线, 并绕包绝缘薄膜而成。温度指数分别有 130、155、180。

1. 品种、型号、规格 (表 2-2-34)

2. 性能要求

1) 表面、导体尺寸、绝缘厚度、最大外形尺寸、直流电阻、伸长率、弯曲性能同“双玻璃丝包扁线”, 见本章 2.2.6 节。

2) 击穿电压试样按表 2-2-35 规定的圆棒弯曲后, 用钢珠法进行击穿电压试验, 4 个试样的击穿电压值, 应不低于表 2-2-36 的规定。

表 2-2-34 玻璃丝包薄膜绕包扁线型号、名称、规格

(单位:mm)

型号	名称	规格范围	标准
SBMB/130	温度指数为 130 的单玻璃丝包薄膜绕包扁铜线	a 边 0.80~5.60 b 边 2.00~16.00	GB/T 7672.6
SBEMB/130	温度指数为 130 的双玻璃丝包薄膜绕包扁铜线		
SBMB/155	温度指数为 155 的单玻璃丝包薄膜绕包扁铜线		
SBEMB/155	温度指数为 155 的双玻璃丝包薄膜绕包扁铜线		
SBMB/180	温度指数为 180 的单玻璃丝包薄膜绕包扁铜线		
SBEMB/180	温度指数为 180 的双玻璃丝包薄膜绕包扁铜线		

表 2-2-35 (单位:mm)

标称尺寸	圆棒直径
$2.00 \leq b \leq 8.00$	10b
$8.00 < b \leq 16.00$	15b
$0.80 \leq a \leq 5.5$	10a

表 2-2-36

标称绝缘厚度/mm	击穿电压/V
0.4	2500
0.5	4500
0.6	5500

2.2.9 200 级聚酰亚胺-氟 46 复合薄膜绕包圆铜线

绕包在圆铜线上经烘焙而成。温度指数为 200。

该产品是以 200 级聚酰亚胺-氟 46 复合薄膜

1. 品种、型号、规格 (表 2-2-57)

表 2-2-37 聚酰亚胺-氟 46 复合薄膜绕包圆铜线型号、名称、规格 (单位: mm)

型号	名 称	规格范围	标准
MYFE-4	耐电压 4kV 双层聚酰亚胺-氟 46 复合薄膜绕包圆铜线	1.50~3.00	JB 5331
MYFS-7.25	耐电压 7.25kV 三层聚酰亚胺-氟 46 复合薄膜绕包圆铜线		
MYFS-8.7	耐电压 8.7kV 三层聚酰亚胺-氟 46 复合薄膜绕包圆铜线		
MYFS-10	耐电压 10kV 三层聚酰亚胺-氟 46 复合薄膜绕包圆铜线		

2. 性能要求

表 2-2-38

1) 导体尺寸 (表 2-2-3)

2) 导体表面 铜线表面应清洁、光滑、不应

有毛刺擦伤、氧化层和油污。

3) 直流电阻 (表 2-2-3)

4) 断裂伸长率 (表 2-2-38)

5) 绝缘厚度 (表 2-2-39)

导体标称直径 $d$ /mm	伸长率 (%)
$d \leq 3.000$	25
$3.000 < d \leq 5.000$	30

表 2-2-39

(单位: mm)

型 号	绝缘标称厚度	偏 差	型 号	绝缘标称厚度	偏 差
MYFE-4	0.36	$\pm 0.06$	MYFS-8.3	0.63	$\pm 0.09$
MYFS-7.25	0.54	$\pm 0.08$	MYFS-1.0	0.72	$\pm 0.11$

6) 最大外径 绕包线的最大外径应不超过导体最大外径和最大绝缘厚度之和, 当最大外径符合要求时, 允许绝缘厚度超过表 2-2-39 规定值。

表 2-2-40 (单位: mm)

7) 卷绕 按表 2-2-40 规定的圆棒上卷绕后, 绝缘层应无开裂与分层。

8) 附着性 (切割) 试样拉伸 10% 后, 绝缘层切割处露铜距离应不大于表 2-2-41 的规定。

导体标称直径 $d$	圆棒直径
$d \leq 3.000$	$4d$
$3.000 < d \leq 5.000$	$5d$

表 2-2-41

导体标称直径 $d$ /mm	露铜距 离 $\leq$	扭转次数	导体标称直径 $d$ /mm	露铜距 离 $\leq$	扭转次数
$d \leq 2.500$	$4d$	直到绕包螺旋线展开成直线 20	$3.000 < d \leq 4.000$	$3d$	15
$2.500 < d \leq 3.000$	$4d$		$4.000 < d \leq 5.000$	$3d$	10

9) 扭转 试样按表 2-2-41 规定扭转次数扭转后, 绝缘层薄膜间分离部分的最大深度应不超过绕包线圆周长的二分之一。

11) 击穿电压 应不低于表 2-2-42 的规定。

表 2-2-42

10) 热冲击 试样按表 2-2-40 卷绕后, 在最低温度为 200℃ 条件下, 30min 后, 绝缘层应无开裂与分层。

型 号	击穿电压/V	型 号	击穿电压/V
MYFE-4	10000	MYFS-8.7	18000
MYFS-7.25	15000	MYFS-10	21000

12) 耐油水 试样经油水试验后, 绝缘层表面不应开裂起层, 击穿电压应不低于表 2-2-42 规定值的 80%。

13) 温度指数 规格为 1.00mm 的试样, 在 20 000h 外推寿命的相应温度指数不低于 200。

2.2.10 200 级聚酰亚胺-氟 46 复合薄膜绕包扁铜线

该产品是以 200 级聚酰亚胺-氟 46 复合薄膜绕包在扁铜线上经烘焙而成。温度指数为 200。

1. 品种、型号、规格 (表 2-2-43)

表 2-2-43 复合薄膜绕包扁铜线型号、名称、规格 (单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标准
MYFB	200 级单聚酰亚胺-氟 46 复合薄膜绕包扁铜线	$a$ 边 0.80~5.60	JB 6757
MYFEB	200 级双聚酰亚胺-氟 46 复合薄膜绕包扁铜线	$b$ 边 2.00~16.00	

2. 性能要求

1) 导体尺寸 见表 2-1-60~表 2-1-62。

2) 导体表面 扁铜线表面应清洁、光滑、不应有毛刺、擦伤、铜粉、氧化层和油污。

3) 直流电阻 见本篇 1.2.13 节, 由公式 (2-1-3) 计算。

4) 断裂伸长率 (表 2-2-44)。

表 2-2-44

窄边 $a$ 标称尺寸/mm	伸长率 (%)
$a \leq 2.50$	30
$2.50 < a \leq 5.60$	33

5) 最小绝缘厚度 (表 2-2-45)。

表 2-2-45

序号	最小绝缘厚度/mm ( $A-a$ )	
	单层绕包	双层绕包
1	0.100	0.200
2	0.130	0.260
3	0.170	0.340
4	0.210	0.430
5	0.260	0.510

6) 最大外形尺寸 复合薄膜绕包扁线的最大外形尺寸应不大于导体最大尺寸与最大绝缘厚度之和, 最大绝缘厚度如表 2-2-46 规定, 当复合薄膜绕包扁线最大外形尺寸符合要求时, 最大绝

表 2-2-46

序号	最大绝缘厚度/mm			
	单层绕包		双层绕包	
	( $A-a$ )	( $B-b$ ) <sup>①</sup>	( $A-a$ )	( $B-b$ ) <sup>①</sup>
1	0.140	0.130	0.280	0.250
2	0.180	0.170	0.350	0.330
3	0.230	0.220	0.460	0.440
4	0.290	0.280	0.570	0.550
5	0.340	0.330	0.680	0.660

① ( $B-b$ ) 不考核。

缘厚度允许超过表 2-2-46 规定值。

7) 表面质量 薄膜应紧密、平整地绕包在导体上, 复合薄膜绕包扁铜线表面应光滑、没有起皱、翘起等缺陷。

8) 回弹性 最大回弹角应不大于 5°。

9) 弯曲 试样分别在 4 倍宽边和 4 倍窄边尺寸的试棒进行窄边和宽边弯曲后, 绝缘层不开裂和分层。

10) 附着性 (切割) 单层薄膜绕包线拉伸 15%、双层薄膜拉伸 10% 后, 绝缘层失去附着性的长度应不大于 1b。

11) 击穿电压 在 4 倍窄边尺寸的试棒上进行弯曲, 2 个 S 形试样的 4 个击穿电压值应不小于表 2-2-47 规定值。

表 2-2-47

序号	窄边 $a$ 标称尺寸 /mm	击穿电压(有效值)/V		序号	窄边 $a$ 标称尺寸 /mm	击穿电压(有效值)/V	
		单层绕包	双层绕包			单层绕包	双层绕包
1	$a \leq 3.00$	2000	3000	1	$3.00 < a \leq 5.60$	1500	2500
2		2500	4000	2		2000	3000
3		3000	5000	3		2300	3500
4		3500	6000	4		2600	4200
5		4000	7000	5		3000	5000

12) 温度指数 1.00mm 的试样, 在 20 000h 线上而成。简称丝包单线。  
外推寿命的相应温度指数不低于 200。

1. 品种、型号、规格 (表 2-2-48)

2-2-11 丝包漆包圆铜线

2. 性能要求

该产品是以天然丝或人造丝绕包在漆包圆铜

1) 结构尺寸 (表 2-2-49)

表 2-2-48 丝包漆包圆铜线型号、名称、规格 (单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标准
SQZ	单天然丝包聚酯漆包圆铜单线	0.05~2.50	GB/T11018
SDQZ	单涤纶丝包聚酯漆包圆铜单线		
SEQZ	双天然丝包聚酯漆包圆铜单线		
SEDQZ	双涤纶丝包聚酯漆包圆铜单线		
SQQ	单天然丝包缩醛漆包圆铜单线		
SEQQ	双天然丝包缩醛漆包圆铜单线		
SQA	单天然丝包聚氨酯漆包圆铜单线		
SDQA	单涤纶丝包聚氨酯漆包圆铜单线		
SEQA	双天然丝包聚氨酯漆包圆铜单线		
SEDQA	双涤纶丝包聚氨酯漆包圆铜单线		

表 2-2-49 丝包漆包圆铜线的结构尺寸最大外径和直流电阻

漆包线导体 标称直径 $d/mm$	丝包线最大外径 $D/mm$		20°C 时单位长度直流电阻值 /( $\Omega/m$ )	
	单丝包	双丝包	最 小	最 大
1	2	3	4	5
0.050	0.14	0.18	7.922	9.489
0.063	0.15	0.19	5.045	5.922
0.071	0.16	0.20	3.994	4.641
0.080	0.17	0.21	3.166	3.635
0.090	0.18	0.22	2.515	2.859
0.100	0.19	0.23	2.046	2.307
0.112	0.20	0.24	1.632	1.848
0.125	0.21	0.25	1.317	1.475
0.140	0.23	0.27	1.055	1.170
0.160	0.26	0.30	0.8122	0.8906
0.180	0.28	0.32	0.6444	0.7007
0.200	0.30	0.35	0.5237	0.5657
0.224	0.33	0.37	0.4188	0.4495
0.250	0.37	0.42	0.3345	0.3628
0.280	0.40	0.45	0.2676	0.2882
0.315	0.43	0.48	0.2121	0.2270

(续)

漆包线导体 标称直径 $d/mm$	丝包线最大外径 $D/mm$		20℃时单位长度直流电阻值 /( $\Omega/m$ )	
	单丝包	双丝包	最 小	最 大
1	2	3	4	5
0.355	0.48	0.53	0.1674	0.1782
0.400	0.53	0.58	0.1316	0.1407
0.450	0.58	0.63	0.1042	0.1109
0.500	0.63	0.68	0.08462	0.08959
0.530	0.67	0.72	0.07539	0.07965
0.560	0.70	0.75	0.06736	0.07153
0.600	0.74	0.79	0.05876	0.06222
0.630	0.77	0.83	0.05335	0.05638
0.670	0.82	0.87	0.04722	0.04979
0.710	0.86	0.91	0.04198	0.04442
0.750	0.91	0.97	0.03756	0.03987
0.800	0.96	1.02	0.03305	0.03500
0.850	1.01	1.07	0.02925	0.03104
0.900	1.06	1.12	0.02612	0.02765
0.950	1.11	1.17	0.02342	0.02484
1.000	1.18	1.24	0.02116	0.02240
1.060	1.25	1.31	0.01881	0.01995
1.120	1.31	1.37	0.01687	0.01785
1.180	1.37	1.43	0.01519	0.01609
1.250	1.44	1.50	0.01353	0.01435
1.320	1.49	1.55	0.01214	0.01285
1.400	1.59	1.65	0.01079	0.01143
1.500	1.69	1.75	0.009402	0.009955
1.600	1.80	1.87	0.008237	0.008749
1.700	1.90	1.97	0.007320	0.007750
1.800	2.00	2.07	0.006529	0.006913
1.900	2.10	2.17	0.005860	0.006204
2.000	2.20	2.27	0.005289	0.005600
2.120	2.32	2.39	0.004708	0.004983
2.240	2.44	2.51	0.004218	0.004462
2.360	2.56	2.63	0.003797	0.004023
2.500	2.70	2.77	0.003385	0.003584

2) 漆包线 所用漆包线型号为 QA-1、QZ(G)-1/155 和 QQ-2。

3) 绕包 绝缘丝应紧密、均匀、平整地绕包在漆包线上,双丝包线两层绕包方向应相反。

4) 最大外径(表 2-2-49)

5) 直流电阻(表 2-2-49)

6) 卷绕 按表 2-2-50 规定卷绕后,丝包层不开裂至露漆膜。

表 2-2-50 丝包漆包圆铜线的卷绕性能

型 号	试样直径	卷绕圈数
SQZ、SQQ、SQA、SDQZ、SDQA	10d, 最小 4mm	10
SEQZ、SEQQ、SEQA、SEDQZ、SEDQA	5d, 最小 3mm	

7) 直焊性 SQA、SDQA、SEQA、SEDQA 丝包单线,应具有直焊性。试样先除去丝包层,然后浸入温度为  $375\text{C} \pm 5\text{C}$  的焊锡槽中,经表 2-2-51 规定的时间  $t$  后,镀锡线表面应光滑,无针孔及漆膜残渍。

表 2-2-51 丝包漆包圆铜线焊锡性能

漆包线导体标称直径 $d/\text{mm}$	浸入时间 $t/\text{s}$
$d \leq 0.100$	2
$0.100 < d \leq 0.300$	3
$d > 0.300$	10d

2.2.12 丝包漆包铜束线

该产品是以天然丝或人造丝绕包在多根聚氨酯漆包圆铜线的束绞线上而成,简称丝包束线。

1. 品种、型号、规格(表 2-2-52)

表 2-2-52 丝包束线型号、名称、规格<sup>①</sup>

(单位:  $\text{mm}^2$ )

型 号	名 称	规格范围	标准
SJ	单天然丝包漆包铜束线	0.00150~1.070	GB/T 11018.2 IEC 317-11
SEJ	双天然丝包漆包铜束线		
SDJ	单涤纶丝包漆包铜束线		
SEDJ	双涤纶丝包漆包铜束线		

① 束线规格以线芯截面 ( $\text{mm}^2$ ) 来表示。

2. 性能要求

1) 结构尺寸 丝包束线用漆包线最大外径及根数应符合表 2-2-53 的规定。丝包束线最大外

径应符合表 2-2-53 的规定。

2) 直流电阻(表 2-2-53)

3) 束绞线芯节距 绞合节距应不大于

表 2-2-53 丝包束线结构尺寸、最大外径、直流电阻

标称截面 $S$ $/\text{mm}^2$	束 线 结 构			束线最大外径 $D$		20 C 时单位长度直流电阻值	
	漆包圆铜线/ $\text{mm}$			$/\text{mm}$		$/(\Omega/\text{m})$	
	根 数	标称导体直径 $d$	最大外径	单丝包	双丝包	最小值	最大值
1	2	3	4	5	6	7	8
0.00150	3	0.025	0.031	0.105		10.45	13.03
0.00200	4			0.115		7.835	9.769
0.00250	5			0.127		6.268	7.815
0.00300	6			0.132		5.223	6.513
0.00401	8			0.149		3.918	4.885
0.00501	10			0.160		3.134	3.908
0.00601	12			0.176		2.612	3.256
0.00801	16			0.198		1.959	2.442

(续)

标称截面 $S$ /mm <sup>2</sup>	束线结构			束线最大外径 $D$ /mm		20℃时单位长度直流电阻值 /(Ω/m)	
	漆包圆铜线/mm			单丝包	双丝包	最小值	最大值
	根数	标称导体直径 $d$	最大外径				
1	2	3	4	5	6	7	8
0.0100	20	0.025	0.031	0.215		1.567	1.954
0.0125	25			0.242		1.254	1.563
0.0160	32			0.264		0.979	1.258
0.0200	40			0.292		0.784	1.006
0.0300	60			0.352		0.522	0.684
0.0501	100			0.446		0.313	0.410
0.0801	160			0.556		0.196	0.261
0.125	250			0.688		0.125	0.167
0.00246	3	0.032	0.039	0.127		6.377	7.949
0.00328	4			0.138		4.783	5.962
0.00410	5			0.149		3.826	4.770
0.00492	6			0.165		3.188	3.975
0.00656	8			0.182		2.391	2.981
0.00820	10			0.198		1.913	2.385
0.00984	12			0.215		1.594	1.987
0.0131	16			0.242		1.196	1.490
0.0164	20			0.270		0.957	1.192
0.0205	25			0.297		0.765	0.954
0.0263	32			0.336		0.598	0.768
0.0328	40			0.366		0.478	0.614
0.0492	60			0.440		0.313	0.417
0.0820	100			0.561		0.191	0.250
0.131	160			0.561		0.120	0.160
0.205	250			0.699	0.897	0.0765	0.102
0.00385	3	0.040	0.049	0.143		4.093	5.073
0.00513	4			0.165		3.070	3.805
0.00641	5			0.176		2.456	3.044
0.00769	6			0.193		2.047	2.536
0.0103	8			0.215		1.535	1.902
0.0128	10			0.237		1.228	1.522
0.0154	12			0.253		1.023	1.268
0.0205	16			0.292		0.768	0.951

祖国万岁上传



(续)

标称截面 $S$ /mm <sup>2</sup>	束 线 结 构			束线最大外径 $D$ /mm		20℃时单位长度直流电阻值 /(Ω/m)	
	漆包圆铜线/mm			单丝包	双丝包	最小值	最大值
	根 数	标称导体直径 $d$	最大外径				
1	2	3	4	5	6	7	8
0.0256	20	0.040	0.049	0.325		0.614	0.761
0.0320	25			0.358		0.491	0.609
0.0410	32			0.402		0.384	0.490
0.0513	40			0.446		0.307	0.392
0.0769	60			0.545		0.205	0.266
0.128	100			0.688		0.123	0.160
0.205	160				0.891	0.0768	0.102
0.320	250				1.095	0.0491	0.0652
0.00601	3	0.050	0.060	0.171		2.641	3.226
0.00801	4			0.193		1.981	2.420
0.0100	5			0.209		1.584	1.936
0.0120	6			0.226		1.320	1.613
0.0160	8			0.259		0.990	1.210
0.0200	10			0.286		0.792	0.968
0.0240	12			0.308		0.660	0.807
0.0320	16			0.352		0.495	0.605
0.0401	20			0.391		0.396	0.484
0.0501	25			0.435		0.317	0.387
0.0641	32			0.490		0.248	0.312
0.0801	40			0.550		0.198	0.249
0.120	60			0.666		0.132	0.169
0.200	100				0.875	0.0792	0.102
0.320	160				1.089	0.0495	0.0648
0.501	250				1.353	0.0317	0.0414
0.00954	3	0.063	0.076	0.209		1.682	2.013
0.0127	4			0.237		1.261	1.510
0.0159	5			0.259		1.009	1.208
0.0191	6			0.281		0.841	1.007
0.0254	8			0.314		0.631	0.755
0.0318	10			0.347		0.506	0.604
0.0382	12			0.380		0.420	0.503
0.0509	16			0.435		0.315	0.378
0.0636	20			0.484		0.252	0.302
0.0795	25			0.550		0.202	0.242

祖国万岁上传

(续)

标称截面 $S$ /mm <sup>2</sup>	束 线 结 构			束线最大外径 $D$ /mm		20℃时单位长度直流电阻值 /(Ω/m)	
	漆包圆铜线/mm			单丝包	双丝包	最小值	最大值
	根 数	标称导体直径 $d$	最大外径				
1	2	3	4	5	6	7	8
0.102	32	0.063	0.076	0.616	0.858	0.158	0.194
0.127	40			0.682		0.126	0.156
0.191	60			1.034		0.0841	0.106
0.318	100			1.364		0.0605	0.0634
0.508	160			1.683		0.0315	0.0404
0.795	250					0.0202	0.0259
0.0121	3			0.071		0.084	0.226
0.0162	4			0.259		0.985	1.210
0.0202	5			0.281		0.788	0.968
0.0242	6			0.303		0.657	0.807
0.0323	8			0.347		0.493	0.605
0.0404	10			0.385		0.394	0.484
0.0485	12			0.418		0.328	0.403
0.0646	16			0.479		0.246	0.303
0.0808	20			0.539		0.197	0.242
0.101	25			0.605		0.158	0.194
0.129	32			0.677		0.123	0.156
0.162	40				0.787	0.0985	0.125
0.242	60				0.946	0.0657	0.0847
0.404	100				1.210	0.0394	0.0508
0.646	160				1.507	0.0246	0.0324
1.010	250				1.865	0.0158	0.0207

注：“-----”线以上的值为单股束线最大电阻。  
 “-----”与“——”中间的值为2股复绞束线最大电阻。  
 “——”以下的值为3股复绞束线最大电阻。

60mm。

4) 绕包 绝缘丝应紧密、均匀、平整地绕包在束线芯上,双丝包线两层丝的绕包方向应相反。束线第一层丝的绕包方向应与束线2芯绞合方向相反。

5) 卷绕 丝包束线在最大外径10倍的试棒上卷绕10圈后,丝包层应不开裂至露漆膜。试棒直径不得小于3mm。

6) 直焊性 丝包束线试样剥去丝包层后,浸入温度为375℃±5℃的焊锡槽中,经表2-2-54规定时间 $t$ 后,镀锡束线外层表面应光滑,无针孔及

漆膜残渣。

表 2-2-54 丝包束线的直焊性能

丝包束线标称截面 $S$ /mm <sup>2</sup>	浸入时间 $t$ /s
$<S \leq 0.080$	3
$0.080 < S \leq 0.125$	4
$0.125 < S \leq 0.200$	5
$0.200 < S \leq 0.300$	6
$0.300 < S \leq 0.500$	8
$0.500 < S \leq 0.800$	10
$0.800 < S$	供需双方协商决定

### 第3章 特种绕组线

特种绕组线是指适用于特殊场合或具有特殊性能要求的绕组线。例如：纸绝缘漆包换位导线、耐水绕组线、300MW 发电机组用绝缘空心扁铜线。

换位导线是以并列的多根漆包扁线不断改变其所在位置的一种导体组合，外面用绝缘纸总包而成。换位导线用于绕制大容量变压器的线圈，其主要特性为：

换位导线中每根漆包扁线长度相同（其磁链也相同），因而消除了循环电流所产生的损耗；

换位导线单根尺寸小，可降低涡流损耗，提高电流密度，增加容量；

换位导线用绝缘纸总包，与多根纸包线相比，可提高空间因素，减小变压器体积；

线圈的机械强度高，如用铝合金线，可进一步提高。

充水式电机所用的耐水绕组线要求其防水性能好，在长期浸水加压条件下，绝缘电阻稳定，耐电压性能，耐化学腐蚀性能，以及机械性能好。

耐水绕组线根据不同耐电压级，在漆包线或铜绞线外，挤包各种不同的绝缘：聚乙烯，改性聚氯乙烯、交联聚乙烯等。然后，再挤包尼龙护套。

低密度聚乙烯的防水性能是较好的，但由于在高温挤塑过程中，导体的铜离子会扩散到聚乙烯绝缘中，且聚乙烯绝缘层中也可能有水分、气泡或其他杂质，因此在水中使用时，因水和电压的作用，会引起局部电场集中，形成“水树枝”现象，以致使整个绝缘损坏击穿。故在铜导体外涂覆封闭层，即采用漆包线，可有效地降低铜离子对绝缘层的扩散。

绝缘层外加尼龙保护层，对绝缘层起机械保护和增强作用。

300MW 发电机组用绝缘空心扁铜线是用于发电机组定子的绕组，空心扁线是作为高压下氢冷却用的导线。故对空心扁铜线质量要求高，除铜的成分应不少于 99.92%，电导率为 100% IACS 外，在制造工艺方面有严格要求，使空心扁铜线内表面光滑、平整；同时进行严格的水压试验，探伤试验，便于发现内部质量的缺陷。在绝缘层和空心扁铜线粘合强度方面，也采用了一些措施，如在玻璃丝中掺合一定数量的涤纶丝，经热熔后形成了紧密的绝缘层。

#### 3.1 特种绕组线的品种、规格、特点和用途

特种绕组线的品种、规格、特点和用途见表 2-3-1

表 2-3-1 特种绕组线的品种、规格、特点和主要用途

类别	产品名称	型号	规格 /mm	特 点			主要用途	标准号
				耐热性/C	优 点	局限性		
	纸绝缘漆包换位导线	HZQQ	换位线芯高度 <sup>①</sup> $H_1 \leq 65$ 换位线芯宽度 <sup>①</sup> $W_1 \leq 28$	105 <sup>②</sup>	1. 无循环电流，线圈内涡流损耗小，可提高电流密度 2. 简化绕制线圈工艺 3. 比纸包线槽满率高	弯曲性能差，其线盘盘芯直径和使用时的弯曲直径不宜小于 $6nH_2^{\text{③}}$	大型变压器的线圈	JB6758

(续)

类别	产品名称	型号	规格 /mm	特 点			主要用途	标准号
				耐热性/°C	优 点	局限性		
聚乙烯绝缘尼龙护套耐水绕组线	聚乙烯绝缘尼龙护套耐水绕组线	SQYN	1/0.60~1/2.50	70	1. 有良好的耐水性能,在水中长期工作,具有稳定的绝缘电阻 2. 尼龙护套可加强机械保护性能 3. 交联聚乙烯有优异的耐水性能	槽满率很低	用于各种形式的充水式电机的绕组	JB/T 4014.2
		SJYN	7/0.80~19/1.40					
		SV	1/0.60~1/4.00					
		SJV	7/0.80~19/1.25	70				
		SYJN	1/0.80~1/4.00					
		SJYJN	7/0.80~19/1.40					
300MW 发电机组用绝缘空心扁铜线	—	4.7×10×1.35 (壁厚)	155	1. 空心扁铜线作为氢冷用,故对材质要求高 2. 绝缘机械强度和粘合性能高	绝缘线硬度大,施工较困难	专用于 300MW 发电机组定子中的绕组	技术条件	

- ① 宽度和高度系指多根漆包线绞合、压缩成形后的尺寸。
- ② 系指在油中或浸渍漆处理后的耐热性。
- ③  $n$  为换位漆包扁线根数,  $H_2$  为换位导线高度 (mm) (见图 2-3-2)。

### 3.2 各种特种绕组线及性能

#### 3.2.1 纸绝缘漆包换位导线

该产品是以缩醛漆包扁铜线经换位后外层绕包绝缘纸而成的纸绝缘漆包换位导线,简称换位导线,见图 2-3-1。

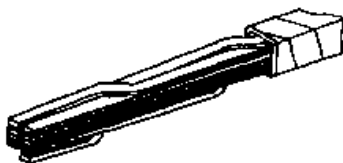


图 2-3-1 换位导线外形图

1. 品种、型号、规格 (表 2-3-2)

表 2-3-2 换位导线型号、名称、规格 (单位:mm)

型号	名 称	规格范围	标准
HZQQ	纸绝缘漆包换位导线	换位线芯高度 $H_1 \leq 65$ 换位线芯宽度 $W_1 \leq 28$	JB6758

2. 性能要求

1) 规格和结构

a) 换位导线中漆包扁线的根数为 5~41 根奇数列。

b) 换位线芯外形尺寸范围为:

$$W_1 \leq 28\text{mm}$$

$$H_1 \leq 65\text{mm}$$

c) 换位线芯高度尺寸  $H_1$  为 10mm 及以上时,应在两列漆包扁线中间加一层标称厚度为 0.13mm 的电缆纸。

d) 换位节距应不超过  $6\pi b$ 。

e) 换位后的漆包扁线不应有影响性能的任何缺陷。

2) 绝缘厚度 绝缘标称厚度及允许偏差见表 2-3-3。

3) 换位导线的外形尺寸 (见图 2-3-2)。

换位导线最大外形尺寸  $H_{2\text{max}}$ 、 $W_{2\text{max}}$  应不大于按下式的计算值 (mm)

表 2-3-3 换位导线的绝缘厚度和允许偏差  
(单位: mm)

绝缘标称厚度 $\Delta$	允许偏差
0.45, 0.60	$\pm 0.06$
0.75, 0.95	$\pm 0.08$
1.20, 1.35, 1.60, 1.95	$\pm 0.10$
2.45, 2.95	$\pm 0.12$
3.15, 3.55, 4.00	$\pm 0.15$

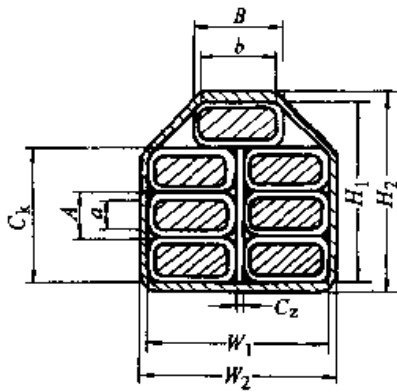


图 2-3-2 换位导线的尺寸符号图

$$H_{2max} = \frac{n+1}{2}(a + \sigma + \delta_{max}) + \Delta_{max} + K$$

$$= \frac{n+1}{2}(A_{max}) + \Delta_{max} + K$$

$$W_{2max} = 2(b + \sigma + \delta_{max}) + \Delta_{max} + C_2$$

$$= 2B_{max} + \Delta_{max} + C_2$$

当  $H_1 < 10\text{mm}$  时  $C_2 = 0$

$H_1 \geq 10\text{mm}$  时  $C_2 = 0.13$

$\Delta_{max}$  为纸绝缘层厚度的最大值。

当换位导线最大外形尺寸不超过  $H_{2max}$  和  $W_{2max}$  时, 其绝缘厚度正偏差允许超过表 2-3-3 规定。

K 值计算:

a)  $K_0$  值

$a \leq 2.00\text{mm}$  时,  $K_0 = 0.5\text{mm}$

$a > 2.00\text{mm}$  时,  $K_0 = 0.8\text{mm}$

b) 当  $\frac{S}{b} < 8$

$a \leq 2.00\text{mm}$  时  $K = K_0 + \frac{n+1}{2} \times 0.04 =$

$0.52 + 0.02n$

$a > 2.00\text{mm}$  时  $K = 1.5K_0 + \frac{n+1}{2} \times 0.04 =$   
 $1.22 + 0.02n$

c) 当  $8 \leq \frac{S}{b} < 12$

$a \leq 2.00\text{mm}$  时  $K = 0.5K_0 + \frac{n+1}{2} \times 0.04 =$   
 $0.27 + 0.02n$

$a > 2.00\text{mm}$  时  $K = K_0 + \frac{n+1}{2} \times 0.04 =$   
 $0.82 + 0.02n$

d)  $\frac{S}{b} > 12$   $K = 0$

式中  $H_2$  —— 换位导线高度 (mm);

$W_2$  —— 换位导线宽度 (mm);

$H_1$  —— 换位线芯高度 (mm);

$W_1$  —— 换位线芯宽度 (mm);

$A_{max}$  —— 漆包扁线窄边最大外形尺寸 (mm);

$B_{max}$  —— 漆包扁线宽边最大外形尺寸 (mm);

$a$  —— 漆包扁线导体窄边标称尺寸 (mm);

$b$  —— 漆包扁线导体宽边标称尺寸 (mm);

$\sigma$  —— 漆包扁线导体允许偏差 (mm);

$\delta$  —— 漆包扁线漆膜厚度 (mm);

$\Delta_{max}$  —— 线芯两边纸绝缘层厚度之和的最大值 (mm);

$C_2$  —— 中间衬纸厚度 (mm);

$C_k$  —— 中间衬纸宽度 (mm);

$K$  —— 换位导线高度修正值 (mm);

$K_0$  —— 换位导线高度计算参数 (mm);

$n$  —— 换位漆包扁线根数;

$S$  —— 换位节距。

4) 绕包的质量和方式 纸带应紧密、均匀、平整地绕包在换位线芯上, 纸带不应缺层, 不应有起皱及开裂等缺陷, 重叠绕包的纸带不得露缝。

各层纸缘纸一般采用重叠绕包, 纸带重叠宽度应不小于 2mm, 相邻两层纸的绕包重叠处应均匀错开, 纸带宽度不得超过换位线芯  $H_1$  和  $W_1$  之和的 1.5 倍, 其最大宽度为 35mm。

5) 焊接 换位导线中的漆包扁线允许焊接, 焊接点应牢固可靠。两根相邻漆包扁线的焊接点

距离应不少于 500mm。焊接点应经修理，修理后的尺寸不得小于导体标称尺寸，正偏差不得大于规定偏差的 2 倍。焊接点和无漆膜导体处要用耐热电工乳白胶涂覆。并用厚度不小于 0.075mm 的绝缘纸绕包一层。

6) 耐电压试验 换位导线中相邻漆包扁线之间应经受直流 500V 电压试验，试验时应不发生击穿。

7) 导线通路试验 用万用表测量换位导线中的单根漆包扁线，应无断路现象。

### 3.2.2 额定电压 450/750V 及以下聚乙烯绝缘

#### 尼龙护套耐水绕组线

该产品是以低密度聚乙烯为绝缘，尼龙为护套，挤压在漆包圆铜单线（或圆铜绞线）上而成。适用于交流额定电压  $U_0/U$  为 450/750V 充水式潜水电机的耐水绕组线。简称为 PE 耐水线。

PE 耐水线适应于在水中长期工作，水的 pH 值为 6.5~8.5，水压一般不超过 1MPa。

PE 耐水线的长期工作温度应不超过 70℃。

1. 型号、规格 (表 2-3-4)

2. 性能要求

1) 结构和尺寸见表 2-3-5，表 2-3-6。

表 2-3-4 PE 耐水线型号、名称、规格

(单位: mm)

型 号	名 称	规格范围	标准
SQYN SJYN	漆包铜导体聚乙烯绝缘尼龙护套耐水绕组线 绞合铜导体聚乙烯绝缘尼龙护套耐水绕组线	1/0.60~1/2.50 7/0.80~19/1.40	JB/T 4014.2

表 2-3-5 SQYN 型耐水线结构与参数

结构与标称直径 (根/mm)	导体直径偏差 /±mm	漆包线最大外径 /mm	导体标称截面 /mm <sup>2</sup>	聚乙烯绝缘标称厚度 /mm	尼龙护套标称厚度 /mm	绕组线平均外径上限 /mm	导体直流电阻/(Ω/m)	
							最小值	最大值
1/0.60	0.006	0.674	0.28	0.30	0.10	1.60	0.05876	0.06222
1/0.63	0.006	0.704	0.31	0.30	0.10	1.65	0.05335	0.05638
1/0.67	0.007	0.749	0.35	0.30	0.10	1.70	0.04722	0.04979
1/0.71	0.007	0.789	0.40	0.30	0.10	1.75	0.04198	0.04442
1/0.75	0.008	0.834	0.45	0.30	0.10	1.80	0.03756	0.03987
1/0.80	0.008	0.884	0.50	0.30	0.10	1.85	0.03305	0.03500
1/0.85	0.009	0.939	0.56	0.30	0.10	1.90	0.02925	0.03104
1/0.90	0.009	0.989	0.63	0.30	0.10	1.95	0.02612	0.02765
1/0.95	0.010	1.044	0.71	0.30	0.10	2.00	0.02342	0.02484
1/1.00	0.010	1.094	0.80	0.30	0.10	2.05	0.02116	0.02240
1/1.06	0.011	1.157	0.90	0.30	0.10	2.10	0.01881	0.01995
1/1.12	0.011	1.217	1.00	0.30	0.12	2.20	0.01687	0.01785
1/1.18	0.012	1.279	1.12	0.30	0.12	2.25	0.01519	0.01609
1/1.25	0.013	1.349	1.25	0.30	0.12	2.30	0.01353	0.01435
1/1.30	0.013	1.402	1.32	0.30	0.12	2.40	0.01252	0.01325
1/1.32	0.013	1.422	1.40	0.30	0.12	2.40	0.01214	0.01285

(续)

结构与标称直径 (根/mm)	导体直径偏差 /±mm	漆包线最大外径 /mm	导体标称截面 /mm <sup>2</sup>	聚乙烯绝缘标称厚度 /mm	尼龙护套标称厚度 /mm	绕组线平均外径上限 /mm	导体直流电阻/(Ω/m)	
							最小值	最大值
1/1.40	0.014	1.502	1.60	0.30	0.12	2.45	0.01079	0.01143
1/1.50	0.015	1.606	1.80	0.35	0.12	2.65	0.009402	0.009955
1/1.60	0.016	1.706	2.00	0.35	0.12	2.75	0.008237	0.008749
1/1.70	0.017	1.809	2.24	0.40	0.15	3.00	0.007320	0.007750
1/1.80	0.018	1.909	2.50	0.45	0.15	3.20	0.006529	0.006913
1/1.90	0.019	2.012	2.80	0.45	0.15	3.30	0.005860	0.006204
1/2.00	0.020	2.112	3.15	0.45	0.15	3.40	0.005269	0.005600
1/2.12	0.021	2.235	3.55	0.50	0.15	3.65	0.004708	0.004983
1/2.24	0.022	2.355	4.00	0.50	0.15	3.75	0.004218	0.004462
1/2.36	0.024	2.478	4.50	0.55	0.15	4.00	0.003797	0.004023
1/2.50	0.025	2.618	5.00	0.55	0.15	4.10	0.003385	0.003584

表 2-3-6 SJYN 型耐水线结构和尺寸

结构与标称直径 (根/mm)	绞合导体标称直径 /mm	标称截面 /mm <sup>2</sup>	聚乙烯绝缘标称厚度 /mm	尼龙护套标称厚度 /mm	绕组线平均外径上限 /mm	导体直流电阻 /(Ω/m)≤
7/0.80	2.40	3.55	0.55	0.15	3.90	0.005098
7/0.90	2.70	4.5	0.55	0.15	4.20	0.004028
7/1.00	3.00	5.6	0.60	0.15	4.60	0.003263
7/1.12	3.36	7.1	0.60	0.15	4.95	0.002601
19/0.63	3.15	6	0.65	0.15	4.85	0.003028
19/0.71	3.55	7.5	0.65	0.15	5.25	0.002384
19/0.75	3.75	8.5	0.65	0.15	5.45	0.002137
19/0.80	4.00	9.5	0.65	0.15	5.70	0.001878
19/0.85	4.25	10.6	0.65	0.15	5.95	0.001664
19/0.90	4.50	11.8	0.65	0.15	6.20	0.001484
19/0.95	4.75	13.2	0.65	0.15	6.45	0.001332
19/1.00	5.00	15	0.70	0.15	6.85	0.001202
19/1.06	5.30	17	0.70	0.15	7.15	0.001070
19/1.12	5.60	19	0.75	0.15	7.50	0.0009582
19/1.18	5.90	21.2	0.75	0.15	7.80	0.0008633
19/1.25	6.25	23.6	0.75	0.15	8.20	0.0007693
19/1.32	6.60	26.5	0.80	0.15	8.70	0.0006899
19/1.40	7.00	30	0.80	0.15	9.10	0.0006133

祖国万岁上传

2) 聚乙烯绝缘厚度 应符合表 2-3-5、表 2-3-6 的规定, 绝缘厚度平均值应不小于标称值的 90%。同一截面绝缘层的偏心度  $E$  按下式计算, 其值应不大于 15%。

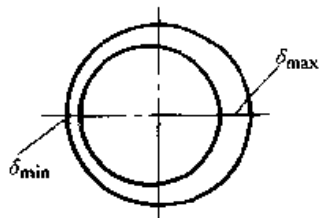


图 2-3-3 耐水线绝缘偏心度

$$E = \frac{\delta_{\max} - \delta_{\min}}{\delta_{\max} + \delta_{\min}}$$

3) 尼龙护套厚度见表 2-3-5、表 2-3-6。其最薄处的厚度应不小于标称值减去 0.05mm。

护套表面应光滑、平整、无气泡、杂质和机械损伤。

4) 外径应符合表 2-3-5、表 2-3-6 的规定。

5) 直流电阻应符合表 2-3-5、表 2-3-6 的规定。

6) 聚乙烯绝缘层(包括尼龙护套)的机械物理性能:

20℃ 断裂伸长率  $\geq 150\%$ ;

20℃ 抗张强度  $\geq 10\text{MPa}$

7) 各种试验方法 耐电压试验, 整圈或整盘耐水线, 浸在室温水至少 24h 后, 应经受下述公式规定交流试验电压  $U_T$ , 历时 1min 的试验。

$$U_T = 2U_0 + 1000\text{V} \quad \text{但最低不得小于 } 3000\text{V}。$$

其他试验方法, 见表 2-3-7~表 2-3-9。

表 2-3-7 耐水线的绝缘电阻

型号	绝缘电阻(20℃) /(MΩ·km) ≥
SQYN SJYN	1000
SV SJV	500
SYJN SJYJN	1000

表 2-3-8 耐水线水压试验

型号	试验压力 /MPa ≥
SQYN SJYN SV SJV	1
SYJN SJYJN	1.5

注: 保持时间应不少于 24h, 取出进行上述耐电压试验, 不击穿。

表 2-3-9 耐水线中值寿命值

型号	试验温度 /℃	绝缘标称厚度 /mm	中值寿命 /h ≥
SQYN SJYN	60±2	$\delta \leq 0.35$ $0.35 < \delta \leq 0.45$ $0.45 < \delta$	700 900 1000
SV SJV	60±2	$\delta \leq 0.35$ $0.35 < \delta$	800 1000
SYJN SJYJN	90±2	$0.35 \leq \delta$	1000

### 3.2.3 额定电压 600/1000V 及以下聚氯乙烯绝缘耐水绕组线

该产品是以改性聚氯乙烯为绝缘挤压在实心铜导体(或绞合铜导体)上而成。适用于交流额定电压  $U_0/U$  为 600/1000V 充水式电机的耐水绕组线。简称 PVC 耐水线。

PVC 耐水线适用水中长期工作, 水的 pH 值应为 6.5~8.5, 水压一般不超过 1MPa。

1. 型号、规格(表 2-3-10)

2. 性能要求

1) 结构和尺寸见表 2-3-11、表 2-3-12。

2) 聚氯乙烯绝缘厚度应符合表 2-3-11、表 2-3-12 的规定。绝缘厚度平均值应不小于标称值的 90%; 同一截面绝缘的偏心度  $E$  按下式计算, 其值应不大于 15%。

$$E = \frac{\delta_{\max} - \delta_{\min}}{\delta_{\max} + \delta_{\min}}$$

3) 外径见表 2-3-11、表 2-3-12

4) 直流电阻见表 2-3-11、表 2-3-12



表 2-3-10 PVC 耐水线型号、名称、规格 (单位: mm)

型 号	名 称	规格范围 /mm	长期工作温度 /C ≤	标准
SV	实心铜导体聚氯乙烯绝缘耐水绕组线	1/0.60~1/4.00	70	JB/T 4013.3
SJV	绞合铜导体聚氯乙烯绝缘耐水绕组线	7/0.80~19/1.25		

表 2-3-11 SV 型耐水线结构和尺寸

实心铜导体结构			聚氯乙烯 绝 缘 标称厚度 /mm	绕 组 线 平均外径 上 限 /mm	导体直流电阻/(Ω/m)	
结构与导体 标称直径 /(根/mm)	导体直径偏差 /±mm	标称截面 /mm <sup>2</sup>			最小值	最大值
1/0.60	0.006	0.28	0.35	1.40	0.05876	0.06222
1/0.63	0.006	0.31	0.35	1.45	0.05335	0.05638
1/0.67	0.007	0.35	0.35	1.50	0.04722	0.04979
1/0.71	0.007	0.40	0.35	1.55	0.04198	0.04442
1/0.75	0.008	0.45	0.35	1.60	0.03756	0.03987
1/0.80	0.008	0.50	0.35	1.65	0.03305	0.03500
1/0.85	0.009	0.56	0.35	1.70	0.02925	0.03104
1/0.90	0.009	0.63	0.35	1.75	0.02612	0.02765
1/0.95	0.010	0.71	0.35	1.80	0.02342	0.02484
1/1.00	0.010	0.80	0.35	1.85	0.02116	0.02240
1/1.06	0.011	0.90	0.35	1.90	0.01881	0.01995
1/1.12	0.011	1.00	0.35	1.95	0.01687	0.01785
1/1.18	0.012	1.12	0.35	2.05	0.01519	0.01609
1/1.25	0.013	1.25	0.40	2.20	0.01353	0.01435
1/1.30	0.013	1.32	0.40	2.25	0.01252	0.01325
1/1.32	0.013	1.40	0.40	2.25	0.01214	0.01285
1/1.40	0.014	1.60	0.40	2.35	0.01079	0.01143
1/1.50	0.015	1.80	0.40	2.45	0.009402	0.009955
1/1.60	0.016	2.00	0.40	2.55	0.008237	0.008749
1/1.70	0.017	2.24	0.40	2.65	0.007320	0.007750
1/1.80	0.018	2.50	0.45	2.85	0.006529	0.006913
1/1.90	0.019	2.80	0.45	2.95	0.005860	0.006204
1/2.00	0.020	3.15	0.45	3.10	0.005289	0.005600
1/2.12	0.021	3.55	0.45	3.21	0.004708	0.004983
1/2.24	0.022	4.00	0.50	3.45	0.004218	0.004462
1/2.36	0.024	4.50	0.50	3.55	0.003797	0.004023
1/2.50	0.025	5.00	0.50	3.70	0.003385	0.003584
1/2.65	0.027	5.50	0.60	4.05	0.003014	0.003190
1/2.80	0.028	6.18	0.60	4.20	0.002698	0.002857

(续)

实心铜导体结构			聚氯乙烯 绝 缘 标称厚度 /mm	绕组线 平均外径 上 限 /mm	导体直流电阻/( $\Omega$ /m)	
结构与导体 标称直径 /(根/mm)	导体直径偏差 / $\pm$ mm	标称截面 /mm <sup>2</sup>			最小值	最大值
1/3.00	0.030	7.10	0.60	4.40	0.002351	0.002488
1/3.15	0.032	7.80	0.80	5.00	0.002131	0.002258
1/3.35	0.034	9.00	0.80	5.20	0.001885	0.001996
1/3.55	0.036	10.00	0.80	5.45	0.001678	0.001778
1/3.75	0.038	11.20	0.80	5.60	0.001504	0.001593
1/4.00	0.040	12.50	0.80	5.85	0.001322	0.001400

表 2-3-12 SJV 型耐水线结构和尺寸

绞合铜导体结构尺寸			聚氯乙烯 绝 缘 标称厚度 /mm	绕组线 平均外径 上 限 /mm	导体直流电阻/( $\Omega$ /m) $\leq$
结构与单线标称直径 /(根/mm)	绞合导体 标称直径 /mm	标称截面 /mm <sup>2</sup>			
7/0.80	2.40	3.55	0.60	3.70	0.005098
7/0.85	2.55	4.00	0.60	3.85	0.004427
7/0.90	2.70	4.50	0.60	4.00	0.004028
7/0.95	2.85	5.00	0.60	4.15	0.003544
7/1.00	3.00	5.60	0.65	4.45	0.003263
7/1.12	3.36	7.10	0.65	4.80	0.002601
19/0.63	3.15	6.00	0.65	4.60	0.003028
19/0.71	3.55	7.50	0.65	5.00	0.002384
19/0.75	3.75	8.50	0.70	5.30	0.002137
19/0.80	4.00	9.50	0.70	5.55	0.001878
19/0.85	4.25	10.60	0.75	5.90	0.001664
19/0.90	4.50	11.80	0.75	6.15	0.001484
19/0.95	4.75	13.20	0.75	6.40	0.001332
19/1.00	5.00	15.00	0.75	6.65	0.001202
19/1.05	5.30	17.00	0.80	7.05	0.001070
19/1.12	5.60	19.00	0.80	7.35	0.0009582
19/1.18	5.90	21.20	0.80	7.65	0.0008633
19/1.25	6.25	23.60	0.80	8.00	0.0007693

5) 聚氯乙烯绝缘的机械物理性能:  
20℃断裂伸长率 $\geq 150\%$

20℃抗张强度 $\geq 15\text{MPa}$

6) 耐电压试验 整圈或整盘耐水线,浸在室

祖国万岁上传

温水中至少 24h 后,应经受下述公式规定交流试验电压  $U_1$  (V),历时 1min 的试验。

$$U_T = 2U_0 + 1000 \quad \text{但最低不得少于 } 3000V。$$

7) 绝缘电阻试验(表 2-3-7)

8) 水压试验 耐水线置于密封容器内,调节水压至表 2-3-8 规定的工作水压后,保持时间应不小于 24h,取出进行上述耐电压试验,不击穿。

9) 加速寿命试验 在常压工频加速试验后,试验温度和中值寿命应符合表 2-3-9 的规定。

### 3.2.4 额定电压 600/1000V 及以下交联聚乙烯绝缘尼龙护套耐水绕组线

该产品是以交联聚乙烯为绝缘,尼龙为护套挤压在实心铜导体(或绞合铜导体)上而成。适用于交流额定电压  $U_0/U$  为 600/1000V 充水式电机的耐水绕组线。简称为 XLPE 耐水线。

XLPE 耐水线适应于工作温度为 90℃ 水中长期工作。水的 pH 值应为 6.5~8.5,水压一般不超过 1.5MPa。

1. 型号、规格(表 2-3-13)

2. 性能要求

1) 结构和尺寸见表 2-3-14、表 2-3-15。

2) 交联聚乙烯绝缘厚度应符合表 2-3-14、表 2-3-15 的规定。绝缘厚度平均值应不小于标称值的 90%;同一截面绝缘层的偏心度  $E$  按下式计算,其值应不大于 15%。

$$E = \frac{\delta_{\max} - \delta_{\min}}{\delta_{\max} + \delta_{\min}}$$

3) 尼龙护套厚度见表 2-3-14、表 2-3-15。其最薄处的厚度应不小于标称值减去 0.05mm。

护套表面应光滑,平整,无气泡、杂质和机械损伤。

4) 外径应符合表 2-3-14、表 2-3-15 的规定。

5) 直流电阻应符合表 2-3-14、表 2-3-15 的规定。

6) 交联聚乙烯绝缘层的机械物理性能应符合表 2-3-16 的规定。

表 2-3-13 XLPE 耐水线型号、名称、规格

(单位:mm)

型 号	名 称	规格范围	标准
SY JN	实心铜导体交联聚乙烯绝缘尼龙护套耐水绕组线	1/0.80~1/4.00	JB/T 4014
SJY JN	绞合铜导体交联聚乙烯绝缘尼龙护套耐水绕组线	7/0.80~19/1.40	

表 2-3-14 SY JN 型耐水线结构和尺寸

实心铜导体结构			交联聚乙烯绝缘 标称厚度 /mm	尼龙护套 标称厚度 /mm	绕组线 平均外径 上 限 /mm	导体直流电阻/(Ω/m)	
结构与导体 标称直径 /(根/mm)	导体直径 偏 差 /±mm	标称截面 /mm <sup>2</sup>				最小值	最大值
1/0.80	0.008	0.50	0.35	0.10	1.80	0.03305	0.03500
1/0.85	0.009	0.56	0.35	0.10	1.85	0.02925	0.03104
1/0.90	0.009	0.63	0.35	0.10	1.90	0.02612	0.02765
1/0.95	0.010	0.71	0.35	0.10	1.95	0.02342	0.02484
1/1.00	0.010	0.80	0.35	0.10	2.00	0.02116	0.02240
1/1.06	0.011	0.90	0.35	0.10	2.10	0.01881	0.01995
1/1.12	0.011	1.00	0.35	0.10	2.15	0.01687	0.01785
1/1.18	0.012	1.12	0.35	0.10	2.30	0.01519	0.01609
1/1.25	0.013	1.25	0.40	0.10	2.40	0.01353	0.01435
1/1.30	0.013	1.32	0.40	0.10	2.45	0.01252	0.01325

(续)

实心铜导体结构			交联聚乙烯绝缘 标称厚度 /mm	尼龙护套 标称厚度 /mm	绕组线 平均外径 上 限 /mm	导体直流电阻/( $\Omega$ /m)	
结构与导体 标称直径 /(根/mm)	导体直径 偏 差 /±mm	标称截面 /mm <sup>2</sup>				最小值	最大值
1/1.32	0.013	1.40	0.40	0.10	2.45	0.01214	0.01285
1/1.40	0.014	1.60	0.40	0.10	2.55	0.01079	0.01143
1/1.50	0.015	1.80	0.40	0.10	2.65	0.009402	0.009955
1/1.60	0.016	2.00	0.40	0.10	2.75	0.008237	0.008749
1/1.70	0.017	2.24	0.40	0.10	2.85	0.007320	0.007750
1/1.80	0.018	2.50	0.45	0.10	3.05	0.006529	0.006913
1/1.90	0.019	2.80	0.45	0.10	3.15	0.005860	0.006204
1/2.00	0.020	3.15	0.45	0.15	3.35	0.005289	0.005600
1/2.12	0.021	3.55	0.45	0.15	3.45	0.004708	0.004983
1/2.24	0.022	4.00	0.50	0.15	3.70	0.004218	0.004462
1/2.36	0.024	4.50	0.50	0.15	3.80	0.003797	0.004023
1/2.50	0.025	5.00	0.50	0.15	3.95	0.003385	0.003584
1/2.65	0.027	5.50	0.60	0.15	4.30	0.003014	0.003190
1/2.80	0.028	6.30	0.60	0.15	4.45	0.002698	0.002857
1/3.00	0.030	7.10	0.60	0.15	4.85	0.002351	0.002488
1/3.15	0.032	7.80	0.80	0.15	5.00	0.002131	0.002258
1/3.35	0.034	9.00	0.80	0.15	5.40	0.001885	0.001996
1/3.55	0.036	10.00	0.80	0.15	5.60	0.001678	0.001778
1/3.75	0.038	11.20	0.80	0.15	5.80	0.001504	0.001593
1/4.00	0.040	12.50	0.80	0.15	6.05	0.001322	0.001400

表 2-3-15 SJY JN 型耐水线结构和尺寸

绞合铜导体结构尺寸			交联聚乙烯绝缘 标称厚度 /mm	尼龙护套 标称厚度 /mm	绕组线 平均外径 上 限 /mm	导体直流电阻 /( $\Omega$ /m) ≤
结构与单线 标称直径 /(根/mm)	绞合导体 标称直径 /mm	标称截面 /mm <sup>2</sup>				
7/0.80	2.40	3.55	0.55	0.15	3.90	0.005098
7/0.90	2.70	4.5	0.55	0.15	4.20	0.004028
7/1.00	3.00	5.6	0.60	0.15	4.60	0.003263
7/1.12	3.36	7.1	0.60	0.15	4.95	0.002601
19/0.63	3.15	6	0.65	0.15	4.85	0.003028
19/0.71	3.55	7.5	0.65	0.15	5.25	0.002384
19/0.75	3.75	8.5	0.65	0.15	5.45	0.002137
19/0.80	4.00	9.5	0.65	0.15	5.70	0.001878

祖国万岁上传

(续)

绞合铜导体结构尺寸			交联聚乙烯绝缘 标称厚度 /mm	尼龙护套 标称厚度 /mm	绕组线 平均外径 上 限 /mm	导体直流电阻 /(Ω/m) ≤
结构与单线 标称直径 /(根/mm)	绞合导体 标称直径 /mm	标称截面 /mm <sup>2</sup>				
19/0.85	4.25	10.6	0.65	0.15	5.95	0.001664
19/0.90	4.50	11.8	0.65	0.15	6.20	0.001484
19/0.95	4.75	13.2	0.65	0.15	6.45	0.001332
19/1.00	5.00	15	0.70	0.15	6.85	0.001202
19/1.06	5.30	17	0.70	0.15	7.15	0.001070
19/1.12	5.60	19	0.75	0.15	7.50	0.0009582
19/1.18	5.90	21.2	0.75	0.15	7.80	0.0008633
19/1.25	6.25	23.6	0.75	0.15	8.20	0.0007693
19/1.32	6.60	26.5	0.80	0.15	8.70	0.0006899
19/1.40	7.00	30	0.80	0.15	9.10	0.0006133

表 2-3-16 交联聚乙烯绝缘层的机械物理性能

试 验 项 目	单 位	性 能 要 求
抗张强度		
老化前 ≥	MPa	15.0
90℃28天老化后变化率 ≤	%	±25
断裂伸长率		
老化前 ≥	%	200
90℃28天老化后变化率 ≤	%	±25

7) 交联度 用萃取法测得的交联聚乙烯绝缘的交联度应不小于 70%。

8) 耐电压试验 整圈或整盘耐水线, 浸在室温水里至少 24h 后, 应经受下述公式规定交流试验电压  $U_T$ , 历时 1min 的试验。

$$U_T = 2U_0 + 1000V \text{ 但最低不得小于 } 3000V。$$

9) 绝缘电阻试验见表 2-3-7。

10) 水压试验 耐水线置于密封容器内, 调节水压至表 2-3-8 规定的工作水压后, 保持时间应不小于 24h, 取出进行上述耐电压试验, 不击穿。

11) 加速寿命试验 在常压工频加速试验后, 试验温度和中值寿命应符合表 2-3-9 的规定。

### 3.2.5 300MW 发电机组用绝缘空心扁铜线

该产品是以玻璃丝、涤纶丝混合绕包在空心矩形高导电导线上, 再经 F 级环氧型漆粘结经热熔处理形成紧密绝缘层而成, 用于 300MW 发电

机组定了的绕组线。

温度指数为 155。

1. 型号、规格 (表 2-3-17)。

表 2-3-17 300MW 发电机组用绝缘空心扁铜线型号、名称、规格

(单位: mm)

名 称	规格范围 <sup>①</sup> $a \times b \times c$	标准
300MW 发电机组用绝缘空心扁铜线	$4.7 \times 10.0 \times 1.35$	企标

① a 为偏导体“侧面”; b 为“平面”; c 为壁厚。

2. 性能要求

1) 空心扁铜线

a) 化学成分 含铜 (包括银) 不少于 99.92%, 氧含量不大于  $30 \times 10^{-4}\%$ 。

b) 直流电阻 20℃ 时直流电阻, 最大为 0.15328Ω/m

c) 力学性能 抗拉强度不小于 220MPa; 伸长率不小于 30%;

洛氏 15T 表面硬度最大为 75。

d) 侧面弯曲试验 将导线侧面在芯棒上弯曲 90°。芯棒直径等于导线的宽度, 但不能小于 6.4mm。导线不产生目力可见的裂纹或缺陷。

e) 平面弯曲试验 将导线平面在芯棒上弯

曲 $90^\circ$ 。芯棒直径等于导线的厚度。在导线弯曲部分外侧不产生目力可见的裂纹或缺陷。

f) 脆性 将试样放在有一个大气压的氢气炉中加热至 $800\sim 875^\circ\text{C}$ ，经20min后，试样不得有气泡或粗大晶粒组织。

g) 涡流试验 允许伤痕深度不大于壁厚的15%。

h) 水压试验 能经受水压 $3.0\text{MPa}$  20min的试验。

i) 标称尺寸及偏差  $4.7\times 10\times 1.35$ (壁厚)，外形尺寸允许公差 $+0.08\text{mm}$ ， $-0.03\text{mm}$ ，单面壁厚偏差 $\leq$ 壁厚的10%，相对两面的平均壁厚偏差 $\leq 0.04\text{mm}$ 。

j) 导线表面 导线表面的凹陷 $\leq 0.08\text{mm}$ 。表面应清洁、光滑，没有氧化皮裂纹、分层和其他损伤。

k) 长度 定长为 $9.5\text{m}$ 。

#### 2) 绝缘空心扁铜线

a) 表面质量 玻璃丝涤纶丝应紧密、牢固地绕包在导体上，成品线表面光滑、均匀、两层反向绕包。

b) 漏缝 包装盘上任何部位每 $800\text{mm}$ 成品线上最多允许有一个漏缝组，其长度 $\leq 38\text{mm}$ 。

c) 接头 绕包绝缘时可以接头。接头处用接

近空心导线内孔截面的导线封焊堵塞80%以上，但接头处应光滑，并作出明显标志。

d) 击穿电压 用铝箔法 $\geq 400\text{V}$ 。

e) 固化试验 线样浸于室温工业丙酮中 $1\text{min}$ ，取出后绝缘层不应发粘。

f) 色泽 整盘线表面色泽应均匀，不应有明显的深浅变化。

g) 耐刮 刮针直径为 $0.78\sim 0.80\text{mm}$ ，每毫米导线厚度加 $200\text{g}$ 负荷，其耐刮次数平均 $\geq 50$ 次。最少 $\geq 30$ 次。

h) 绝缘粘着性 将线剪断后，绝缘层不应散开或与导体分离，用手指挑剔断端时，绝缘层不应被拆开。

i) 拉伸试验 线样经拉伸20%（不切割）以后，绝缘层不应散开或擦断。

j) 弯曲试验 用宽边在15倍窄边尺寸的圆棒上弯曲 $90^\circ$ ；用窄边在15倍宽边尺寸的圆棒上弯曲 $90^\circ$ ，绝缘层不应开裂。

k) 耐热试验 线样在 $150^\circ\text{C}$ 加热24h后冷却至室温，应满足击穿电压和弯曲试验的要求。

l) 涡流探伤试验 每根线均要进行探伤试验。

m) 温度指数 $\geq 155$ 。

n) 最大外形尺寸 $\leq 5.20\text{mm}\times 10.40\text{mm}$ 。

## 第4章 无机绝缘绕组线

无机绝缘绕组线的绝缘层是用无机材料如氧化铝膜、陶瓷、玻璃膜等组成。单一的无机绝缘层常有微孔存在，一般需用有机绝缘漆浸渍后烘干填充。无机绝缘绕组线的特点是耐高温、耐辐射，主要用于高温、辐射的场合。

氧化膜铝带(箔)是用阳极氧化法在铝带(箔)表面生成一层致密的三氧化二铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )膜而成。用氧化膜铝带(箔)绕制线圈可提高空间因素和线圈的热传导性能。由于铝箔线圈层间电压梯度小，可简化绝缘结构，并可简化绕制工艺，有利于自动绕制，又可省去线圈骨架或支撑物。

陶瓷绝缘线系在导线上浸涂玻璃瓷浆后经烘炉烧结而成。长期使用温度可达 $500^\circ\text{C}$ 左右，如采用铜线为导体，在此温度下，铜线将氧化，故一般

采用镀镍铜线、镍包铜线或不锈钢包铜线为导体。镀包层较薄的镍包铜线(10%Ni)可在 $400^\circ\text{C}$ 以下使用；较厚的(20%Ni)可在 $500^\circ\text{C}$ 以下使用，但在 $400^\circ\text{C}$ 以上使用时，铜镍原子在铜、镍界面上互相扩散。如在铜的表面上镀铁，则可加以防止。

玻璃膜绝缘微细线是在锰铜或镍铬导电线芯上浸涂玻璃瓷浆经烘炉烧结而成。采用锰铜、镍铬线芯目的在于求得电阻性能的稳定。

### 4.1 无机绝缘绕组线的品种、规格、特点和用途

无机绝缘绕组线的品种、规格、特点和主要用途见表2-4-1。

表 2-4-1 无机绝缘绕组线的品种、规格、特点和主要用途

类别	产品名称	型号	规格 <sup>①</sup> /mm	特 点			主要用途	标准号
				温度指数	优 点	局 限 性		
氧化膜线	氧化膜圆铝线	YML <sup>②</sup>	0.05~5.00	—	1. 不用绝缘漆封闭的氧化膜,耐温可达 250℃。用绝缘漆封闭的氧化膜其耐热性取决于绝缘漆的温度指数 2. 槽满率高 3. 重量轻 4. 耐辐射性好	1. 弯曲性能差 2. 击穿电压低 3. 氧化膜刮漆性差 4. 耐酸、碱性能差 5. 不用绝缘漆封闭的氧化膜耐潮性差	起重电磁铁、高温制动器、干式变压器线圈、并用于耐辐射场合	企标
	氧化膜扁铝线	YMLC	a 边 1.00~4.00					
	氧化膜扁铝线	YMLB	b 边 2.50~6.30					
	氧化膜铝带(箔)	YMLD	厚 0.08~1.00 宽 20~900					
陶瓷绝缘线	陶瓷绝缘线	TC	0.06~0.50	—	1. 耐高温性能优,长期工作温度可达 500℃ 2. 耐化学腐蚀性优 3. 耐辐射性优	1. 弯曲性能差 2. 耐电压性能差 3. 耐潮性能差。如果没有封闭层,不推荐在高湿度环境中使用	用于高温及有辐射的场合	企标
玻璃绝缘微细线	玻璃膜绝缘微细锰铜线	BMTM-1	6~8μm	-40~+100℃	1. 导体电阻的热稳定性好 2. 玻璃膜绝缘能适应高低温的变化	弯曲性能差	用于高灵敏度、高稳定性和小型的电工仪器仪表中	企标
		BMTM-2	2~5μm	-40~+100℃				
		BMTM-3						
	玻璃膜绝缘微细镍铬线	BMNG						

① 圆线规格以线芯直径表示、扁线以线芯窄边 (a)、宽边 (b) 长度表示,带(箔)以导体厚、宽表示。  
② 在氧化膜层,再涂以绝缘漆,使其密封。

## 4.2 各种无机绝缘绕组线及性能

### 4.2.1 氧化膜铝线(带、箔)

该产品是用阳极氧化法在铝线(带、箔)表面上生成一层致密的三氧化二铝 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 膜而成。

- 品种、型号、规格(表 2-4-2)
- 性能要求

1) 规格尺寸 氧化膜圆铝线规格尺寸可参照表 2-2-15,扁线可根据表 2-1-60 有关范围生产。铝带(箔)在表 2-4-2 规定范围内,由供需双方协商确定。

2) 氧化膜圆(扁)线弹性见表 2-4-3、表 2-4-4。

表 2-4-2 氧化膜铝线(带、箔)的型号、名称、规格(单位:mm)

型 号	名 称	规格范围	标准
YML	氧化膜圆铝线	0.05~5.00	企标
YMLC	用绝缘漆封闭的氧化膜圆铝线	0.05~5.00	
YMLB	氧化膜扁铝线	a 边 1.00~4.00	
YMLBC	用绝缘漆封闭的氧化膜扁铝线	b 边 2.50~6.30	
YMLD	氧化膜铝带(箔)	厚 0.08~1.00 宽 20~900	

表 2-4-3 氧化膜圆铝线的弹性

铝线直径 /mm	圆棒直径为铝线 直径(d)的倍数		要 求
	YML	YMLC	
0.53~0.67	12d	16d	在表列条件的光滑 圆棒上卷绕,氧化膜不 发皱或破裂
0.71~0.95	14d	18d	
1.00~1.25	16d	20d	
1.30~1.50	18d	22d	
≥1.60	20d	24d	

表 2-4-4 氧化膜扁铝线的弹性

铝扁线截面 /mm <sup>2</sup>	圆棒直径/mm		要 求
	YMLB	YMLBC	
≤10	100	150	在表列条件的光滑 圆棒上弯曲 180°,氧化 膜不发皱或破裂
10.01~20	180	250	
20.01~30	250	300	
30.01~40	300	350	
40.01~50	350	400	

3) 耐刮性见表 2-4-5。

表 2-4-5 氧化膜圆铝线、扁铝线的耐刮性能

圆 线				扁 线					要 求	
导线直径 /mm	负荷 /g	耐刮 次数	钢针直径 /mm	扁导线截面 /mm <sup>2</sup>	负荷 /g	耐刮次数		钢针直径 /mm		部 位
						YMLB	YMLBC			
0.53~0.67	250	10	1.2	5 及以下	250	8	10	1.5	按规定试验后, 氧化膜不刮穿,不 露铝	
0.71~0.95	280			5.01~10	280					
1.00~1.25	350			10.01~20	350					
1.30~1.50	450			20.01~30	400					
≥1.60	500	1.5	40.01~50	30.01~40	500	刮窄边				
				40.01~50	700					

4) 室温击穿电压见表 2-4-6。

7) 氧化膜铝带(箔)的技术性能见表 2-4-8。

表 2-4-6 氧化膜圆铝线、扁铝线击穿电压值

类别	铝线直径 /mm	在 200mm 长度的 扭绞数	击穿电压 /V		要 求
			YML	YMLC	
氧化膜 圆线	0.53~0.67	10	250	400	试样均 匀扭绞进 行耐电压 试验,击穿 电压应不 低于表中 规定值
	0.71~0.95	8			
	1.00~1.25	7			
	1.30~1.50	6			
	≥1.60	6	250	1000	
氧化膜 扁线	YMBL	击穿电压: >250V			
	YMBLC	击穿电压: >500V			

表 2-4-7 氧化膜圆铝线的耐折断次数

铝 线 直 径 /mm	夹具半径 /mm	折断次数
0.53~0.67	5	10
0.71~0.95		12
≥1.00		14

表 2-4-8 氧化膜铝带(箔)的技术性能

试验项目	性 能 要 求
弹性	在直径 90mm 的圆棒上弯曲,膜层 不发皱或脱落
耐电压性能	每 0.01mm 的膜厚,耐电压击穿值 为 250V 以上
耐溶剂性能	在 20C±2C 的工业汽油、苯、变压 器油、松节油、酒精、乙醚中,经 6h,其 耐电压性能不低于原有规定的 90%。 氧化膜不能耐酸,碱
多孔吸附性 能	对绕组线所用的各种绝缘漆,有良 好的吸附能力

5) 氧化膜圆铝线耐折断性能见表 2-4-7。

6) 耐溶剂性能 在 20C±2C 的工业汽油、  
苯、变压器油、松节油、酒精、乙醚等溶剂中,经  
4h,其击穿电压性能不能低于原有规定的 90%。  
氧化膜不能耐酸,碱。



4.2.2 陶瓷绝缘绕组线

该产品是在铜导线(或镀镍铜线,或镍包铜线,不锈钢包铜线)上浸涂玻璃瓷浆后经烘炉烧结而成。长期使用温度可达 500℃左右。

1. 品种、型号、规格(表 2-4-9)

表 2-4-9 陶瓷绝缘绕组线

型号、名称、规格(单位:mm)

型号	名 称	规格范围	标准
TC	陶瓷绝缘绕组线	0.06~0.50	企标

2. 性能要求

1) 规格尺寸可参照表 2-2-15 相关规格范围制造。

2) 线芯电导率根据镍层所占导体截面积百分比不同、加热到 500℃后线芯电导率随时间的变化如图 2-4-1 所示。

3) 弯曲性能 陶瓷绝缘层的卷绕不裂倍径为 30d。

4) 耐电压击穿性能 在直径 4mm 的圆棒上卷绕 3 圈、以陶瓷绝缘线为一极,圆棒为另一极、击穿电压为 220V。

5) 耐潮湿性能 在 75%湿度条件下的击穿电压为 170~190V;在 100%湿度条件下的击穿电压为 90~100V。由于单一陶瓷绝缘绕组线在高湿度条件下击穿电压下降较大,因此不推荐在高湿条件下使用。

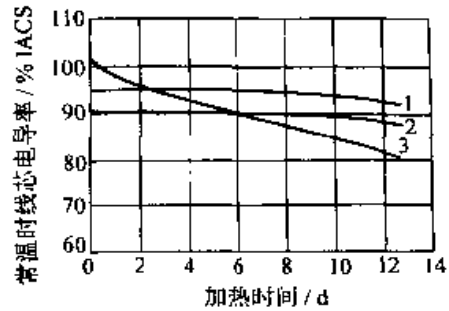


图 2-4-1 不同镍层的铜线加热到 500℃后,线芯电导率的变化

1—5%镍层铜线 2—10%镍层铜线 3—铜线

4.2.3 玻璃膜绝缘微细绕组线

该产品是在锰铜导线上或镍铬导线上浸涂玻璃瓷浆后经烘炉烧结而成。

1. 品种、型号、规格(表 2-4-10)

2. 性能要求

1) 规格尺寸(表 2-4-11)

2) 技术性能(表 2-4-12)

表 2-4-10 玻璃膜绝缘微细绕组线型号、名称、规格(单位:μm)

型 号	名 称	规格范围	标准
BMTM-1	玻璃膜绝缘微细锰铜线	6~8	企标
BMTM-2	玻璃膜绝缘微细锰铜线	6~8	
BMTM-3	玻璃膜绝缘微细锰铜线	6~8	
BMNG	玻璃膜绝缘微细镍铬线	2~5	

表 2-4-11 玻璃膜绝缘微细线规格尺寸

型 号	导线平均直径 /μm	允许公差 (%)	绝缘线平均外径 /μm	型 号	导线平均直径 /μm	允许公差 (%)	绝缘线平均外径 /μm
BMTM-1	6	±20	16~20	BMTM-3	不规定	不规定	不规定
BMTM-2	7~8	±20	16~20	BMNG	2~5	—	12~16

表 2-4-12 玻璃膜绝缘微细线技术性能

试验项目	电 性 能				膜的弹性	线的拉断力 /N	针孔试验
	BMTM-1	BMTM-2	BMTM-3	BMNG			
电阻温度系数					在承受 0.05N 拉力下,缠绕于半径 1.0mm 的轴上,玻璃膜不应破裂	0.12	无针孔
$ \alpha  \cdot 10^{-5}$	2	3	5	<2.5			
$ \beta  \cdot 10^{-6}$	<1	<1	<1	≤0.6			
每轴微细线的电阻值/MΩ	>2	>2	>10	>50			
耐电压/V 交流 50Hz	>1000	>1000	>1000	>1000			

## 第5章 绕组线性能的测试

绕组线性能的测试,可分以下几个方面:

- 1) 尺寸测量 包括:圆线、扁线和束线。
- 2) 机械性能 包括:伸长率、回弹性、柔韧性和附着性、耐刮、热粘合和溶剂粘合。
- 3) 化学性能 包括:耐溶剂试验、耐冷冻剂、焊锡试验、耐变压器油。
- 4) 电性能 包括:电阻、击穿电压、绝缘连续性、介质损耗角正切 ( $\text{tg}\delta$ )。
- 5) 热性能 包括:热冲击、软化击穿、失重、高温失效。
- 6) 预期寿命评定 包括:常规法评定漆包线的温度指数、热分析(快速热寿命评定)、密封管试验(相容性试验)、耐水线的常压工频加速寿命试验。
- 7) 玻璃膜微细线性能试验。
- 8) 无磁性漆包线的比重磁化率。

上述性能中尺寸测量是基本的,为保证产品结构和空间因素所必需,其他性能基本均由各种使用条件所决定,例如机械性能、电性能、热性能等是产品的主要性能,而有些性能如比重磁化率,自粘直焊则是特殊性能。正是因某些产品具有的特殊性能,而适用于某些特殊场合使用。对一种产品而言,多种性能要求是一个综合体,受到各种因素,包括材料,工艺,环境等的影响,各种性能之间也互相影响与制约,因此应仔细进行性能分析,以达到对绕组线有较全面的认识。

### 5.1 尺寸测量

#### 5.1.1 测试目的

旨在使绕组线尺寸的测量标准化,以利于电机电器的设计。

#### 5.1.2 量具

1. 圆线和扁线 测量精确度应大于  $2\mu\text{m}$ 。如果用千分尺,其测力应保持在  $0.75\text{N}$  到  $1.25\text{N}$  之间。千分尺测杆和测座的直径为  $5\text{mm}$  到  $8\text{mm}$ 。

此外,对于导体标称直径为  $0.5\text{mm}$  以上的圆线,测力可为  $1\text{N}$  到  $3\text{N}$ 。

2. 束线 外径用抛光锥轴测量、锥轴尺寸如

图 2-5-1 所示。

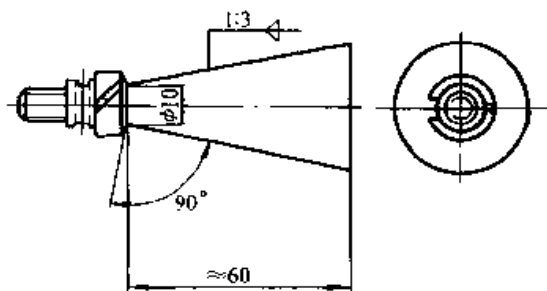


图 2-5-1 锥轴

#### 5.1.3 外形尺寸测量

1. 圆线 在相距  $1\text{m}$  的两个位置上,每个位置沿试样圆周均匀分布测量 3 次。

6 个测量数据的平均值即为“外径”。

2. 扁线 绝缘扁线 2 个尺寸的测量应在相距至少  $100\text{mm}$  的三个位置上,并在试样完全平直的部位上进行。

试样尺寸大于千分尺测杆直径时,则在该边中间部位和端边测量二次。如果测量值不相同,则仅记下最大值。

每边测量结果的平均值即为绝缘扁线的“宽度”和“厚度”。

3. 束线 将在拉力作用下的束线紧密卷绕于锥轴上,测量其外径。施加的拉力按下式计算:拉力 (N) = 65 倍各导体标称截面之和 ( $\text{mm}^2$ )

标称外径  $0.5\text{mm}$  及以下的束线,卷绕一层的宽度应不小于  $10\text{mm}$ ,较大直径的束线卷绕宽度应不小于  $20\text{mm}$ 。

宽度测量精度为  $0.5\text{mm}$ 。

卷绕一层的宽度除以圈数即得束线外径,圆整到  $0.01\text{mm}$ 。

测量 1 次。

#### 5.1.4 导体尺寸测量

1. 圆线 在相距  $1\text{m}$  的两个位置上,用任何不损伤导体的方法去掉绝缘。

在这两个位置上,沿导体圆周均匀分布各测量 3 次。

6 个裸线直径的测量数据的平均值即为“导

体直径”。当导体直径  $d < 0.071\text{mm}$  时,也可用电阻测量法来计测导体的尺寸,具体规定见下表:

标称直径/mm	测 量
$d < 0.071$	电阻
$d \geq 0.071$	尺寸

注:如供需双方同意,标称直径在  $0.071\text{mm}$  和  $1\text{mm}$  之间的绕组线可用测量电阻的方法。

2. 扁线 在 5.1.3 节第 2 条中进行测量的三个位置上,用任何不损坏导体的方法去掉绝缘,并在这些位置上测量导体尺寸。

每边测量结果的平均值即为“导体宽度”和“导体厚度”。

#### 5.1.5 圆线的导体圆度测量

圆度定义为每个截面上按第 5.1.4 节第 1 条测量的最大读数与最小读数之间的最大差值。

#### 5.1.6 绝缘厚度测量

1. 圆线 按第 5.1.3 节第 1 条测定的绝缘线外径与按第 5.1.4 节第 1 条测定的导体直径之差即为“绝缘厚度”。

2. 扁线 绝缘扁线宽度与导体宽度之差即为“宽边绝缘厚度”。

#### 5.1.7 扁线圆角测量

本试验是通过制备绝缘线截面,然后在适当放大倍数下进行检查完成的。例如,可用下列方法进行测量:

在相距至少  $200\text{mm}$  处选取的 3 根仔细校直的试样(可用拉伸来校直,但试样伸长最大不超过 1%)浇上不影响绝缘的适当树脂。树脂颜色应与绝缘的不同。

固化后,与试样轴线成直角将带有树脂的试样切断,截面仔细抛光后在适当放大倍数下进行检查。

## 5.2 力学性能试验

### 5.2.1 试验目的

绕组线在绕制线圈过程中,漆膜和夹具相互摩擦,嵌线过程中,漆膜受到锤击、拉伸等作用导致漆膜的损伤以至破坏;且由于电机电器制造线圈采用了高速和自动化的绕线方法对漆膜的机械强度要求更高,因此漆膜具有良好的机械强度是

非常重要的。

### 5.2.2 伸长率试验

漆包线的伸长率是表示导体和漆膜塑性变形的一个指标,当延伸超过弹性极限时,漆包线即发生断裂,简称伸长率。

伸长率用伸长测试仪或拉力试验机测量。自由测量长度应在  $200\text{mm}$  和  $250\text{mm}$  之间。

绕组线的拉伸速度应为  $5\text{mm/s} \pm 1\text{mm/s}$ 。伸长率以自由测量长度伸长的百分数表示。

测量 3 次,取其平均值作为“伸长率”。

### 5.2.3 回弹性试验

绕组线的回弹性是表示绕组线用导体的柔软性能。用漆包圆线在卷绕状态下回弹角的大小来表示。回弹角大柔软性差,回弹角小,柔软性好。按导体规格及形状,采用以下几种试验方法。

1. 导体标称直径  $1.6\text{mm}$  及以下的圆线

1) 试验方法 试样在圆棒上卷绕 5 圈。圆棒直径和负荷在有关产品标准中规定。测量退绕 5 圈后末端的回弹量。

2) 试验设备 试验设备的结构如图 2-5-2 所示。圆棒的结构和尺寸参见表 2-5-1 和图 2-5-3 (为便于卷绕,可以采用图 2-5-3 所示的螺旋槽,但不硬性规定)。

刻度盘上标有 72 等分刻度,可以直接读出回弹角。读数相当于每圈回弹的度数。

3) 试验步骤 试验设备上装着有关产品标准规定的圆棒,并锁紧在其轴线呈水平的位置上,而且试样的固定槽/或孔,(如果是用螺旋槽始端)应对准刻度盘的零位。

圆棒上应抹滑石粉(法国白堊),以免漆包线粘上。

$1\text{m}$  长试样的一端挂上规定的负荷。松开手柄,使圆棒可以自由转动。试样的另一端插入固定槽或固定孔中,有足够长的线伸向圆棒另一侧。伸出的一端弄弯曲,使线牢固地固定在圆棒上。负荷应小心放下,使线受到一个张力。然后漆包线垂直挂在圆棒下面。刻度盘零位以及固定槽或固定孔也垂直朝下。

撤去漆包线自由端,然后用手柄逆时针方向转动圆棒(同时注意看刻度盘),直到试样在圆棒上绕了 5 整圈(如果用螺旋槽,则绕在螺旋槽内)。

表 2-5-1

(单位: mm)

圆棒直径 (如用螺旋槽,则为槽底直径)	尺寸 <sup>(1)</sup>				槽深 <sup>(1)</sup>	槽宽 <sup>(1)</sup>
	a	b	c	d	e	f
3.0	6.0	6.0	30	0.25	0.04	0.15
5.0	6.0	7.5	32	0.25	0.08	0.30
7.0	6.0	9.0	34	0.40	0.12	0.50
10.0	6.0	9.0	34	0.60	0.16	0.70
12.5	6.0	9.0	40	0.80	0.20	0.80
19.0	10.0	11.0	45	1.20	0.30	1.20
25.0	12.5	12.5	45	2.00	0.15	0.75
37.5	12.5	14.5	47	2.40	0.25	1.25
50	12.5	17.5	50	2.80	0.49	2.00

(1) 参见图 2-5-3。

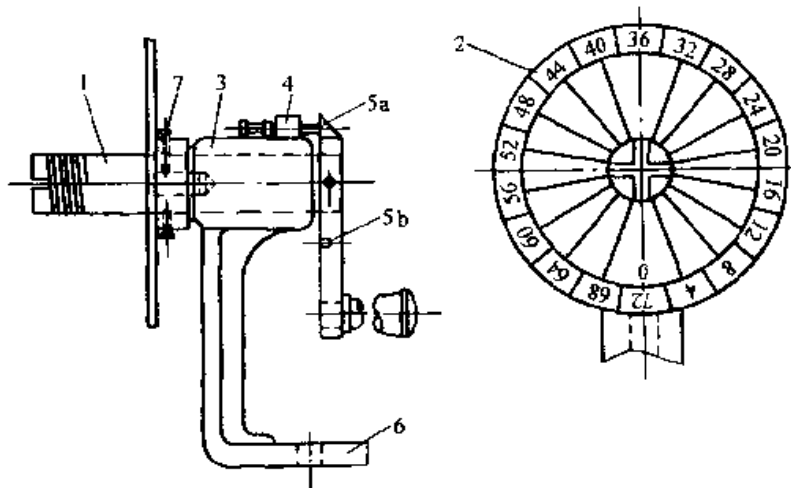


图 2-5-2 回弹试验仪

1—圆棒 2—刻度盘 3—轴 4—锁紧装置 5—锁紧装置 6—底座 7—圆棒固定螺钉

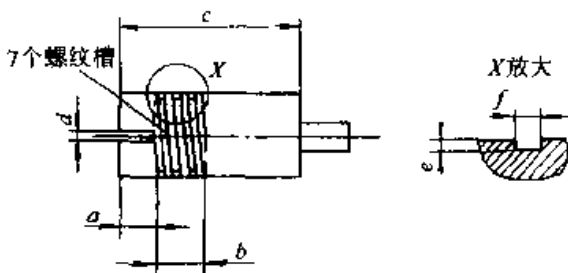


图 2-5-3 圆棒结构和尺寸

圆棒应继续旋转,一直转到刻度盘零位垂直向上,接着将它锁住在此位置上。试样在圆棒上应保持不动,然后卸去负荷,并且在第5圈端头以外大约25mm处剪断。第5圈端头处的短段线应弯成垂直位置,与刻度盘零位重合,作为指针。

垂直线段左面放一枝铅笔,以防试样突然回弹。然后让线圈无跳动地缓慢松开。如果试样突然回弹,就会得到错误的结果。

然后松开圆棒和刻度盘的锁紧装置,并旋转之,使指针再次垂直向上。线圈尾部可用手轻轻地拨动1次或2次,以确保回弹完全。

刻度盘上与指针重合的读数,即为漆包线的回弹角。

如果是弹性很大的漆包线,指针可能回弹1整圈以上。此时,每回弹1整圈,刻度盘上读数就应加上72。

2. 导体标称直径1.6mm以上的圆线和扁线

1) 试验原理 把试样弯曲30°以上,然后移

开负荷并测量回弹角。

2) 试样 样品长度应为 1200mm, 从线盘上取下时应尽可能减少弯曲。小心地用手校直并切成 400mm 长试样, 要尽可能避免因操作不当而引起的试样变硬, 不能用机械伸长来校直。

3) 试验装置 回弹性用如图 2-5-4 的装置测定。该装置主要由两个光滑的夹钳组成。一个固定 2, 另一个活动 1。还有一个扇形刻度盘 (以度为单位), 范围  $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。刻度增量为  $0.5^{\circ}$ 。

试验装置应水平放置在试验台上。扇形刻度盘是弧形的, 它安装在与夹钳表面成  $90^{\circ}$  的平面上, 其中心 3 处于固定夹钳的外侧。操作杆可以在扇形刻度盘的水平面上移动, 其支点置于刻度盘弧形的中心。操作杆应带有明显的指针或标记, 以

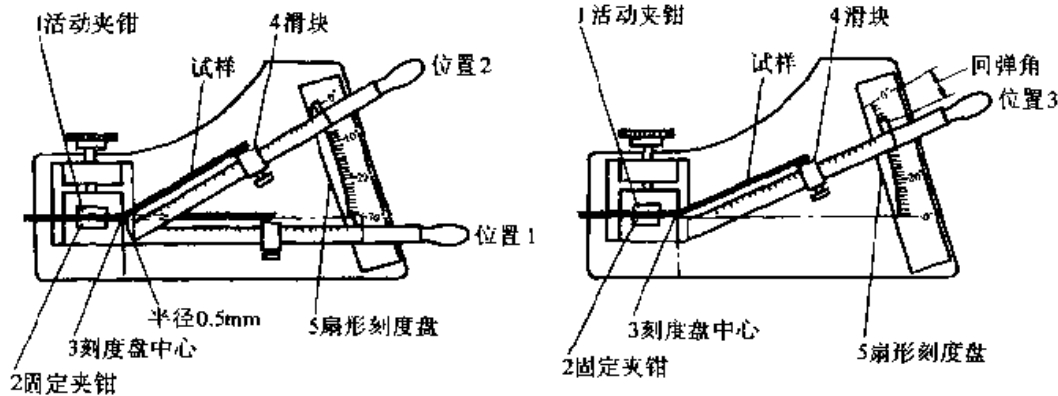


图 2-5-4 回弹试验仪

操作杆以原先的速度慢慢地朝相反方向退回, 直到滑块刀口脱离试样, 然后再移动操作杆直到滑块刀口再一次刚刚碰到试样, 而不移动试样。此时, 操作杆指示回弹角的度数。

5) 回弹角 回弹角 ( $\alpha$ ) 即为操作杆在位置 3 时刻度盘上的读数。

做 3 次试验。从同一样品上连续选取 3 个试样的测试结果之差不应大于  $1^{\circ}$ , 试验结果取 3 次测量值的平均值。

#### 5.2.4 柔韧性和附着性试验

漆膜的附着性系漆膜经受伸长机械应力而不发生可见开裂或与导体分离的综合性能。漆膜的附着性与漆膜固有的柔软性是相互联系的两性能。

绕组线在卷绕和成形过程中, 多次受到弯曲和伸长作用, 如果漆膜和金属附着性不好, 就容易引起漆膜的破裂以至脱落; 同时因漆膜和金属的塑性变形相差很大, 当金属拉伸超过漆膜的弹性

能清晰地测量回弹角。操作杆长度约 305mm, 刻出毫米刻度。刻度起点在支点上, 并有一个可移动的带刀口的滑块 4。

4) 试验步骤 试验时弯曲试样的方向应与线盘上的绕线方向相同。测量裸线厚度 (或圆线直径) 以确定滑块的实际位置。厚度 (或直径) 乘以  $40^{\circ}$  即为滑块在操作杆上的具体位置。

将试样适当地紧固在夹头间, 要足以防止它沿原来的弯曲方向向上滑动, 或者在操作时跳出。试样超出滑块刀口的自由长度为 12mm。

使用操作杆, 由起始位置 ( $30^{\circ}$  刻度, 位置 1) 使试样慢慢地弯曲  $30^{\circ}$  ( $0^{\circ}$  刻度, 位置 2)。这样弯曲的时间应不小于 2s, 不大于 5s。

试样固定在  $0^{\circ}$  点 ( $30^{\circ}$  弯曲) 最多 2s。

极限时, 漆膜就要出现破裂或形成空心漆管。所以漆膜的附着性大, 漆包线的质量好。

#### 1. 圆棒卷绕试验

1) 漆包圆线 试样在有关产品标准中规定直径的抛光圆棒上紧挨着卷绕 10 圈。

圆棒旋转速度应在  $1\sim 3r/s$  之间。卷绕时线所承受的张力恰好使线与圆棒紧密接触, 避免线被拉伸或扭绞。

如果有关产品标准要求 (在试样绕到圆棒上以前) 预先拉伸, 则夹头之间长度为 200mm 到 250mm 的试样, 以  $5mm/s\pm 1mm/s$  的速度拉伸到规定的百分数。

卷绕后, 按下列规定的放大倍数检查漆膜有否开裂:

- ⊖ 厚度 (或直径) 大于 7mm 时, 厚度 (或直径) 乘以 20 即为滑块在操作杆上的具体位置。

标称直径  $\leq 0.04\text{mm}$  10~15 倍;  
 标称直径  $> 0.04\text{mm} \sim \leq 0.5\text{mm}$  6~10 倍;  
 标称直径  $> 0.5\text{mm}$  正常视力或 6 倍以下。

试验 3 次。

2) 纤维绝缘圆线 试样在有关产品标准中规定直径的抛光圆棒上紧挨着卷绕 10 圈。

圆棒旋转速度应在  $1 \sim 3\text{r/s}$  之间。卷绕时绝缘线所承受的张力恰好使线与圆棒紧密接触, 避免绝缘线被拉伸或扭绞。

试样按第 5.4.3 节第 6 条第 1 款 a) 规定, 进行弯曲后电气强度保留值试验。

试验 5 次。

3) 纤维绕包漆包圆线 试验需要, 但尚未考虑。

4) 薄膜绕包和粘结性圆线 试样在有关产品标准中规定直径的抛光圆棒上紧挨着卷绕 10 圈。两端部留有足够的长度, 以满足第 5.4.3 节第 6 条第 1 款 b) 规定的电气强度的要求。

圆棒旋转速度应在  $1 \sim 3\text{r/s}$  之间。卷绕时绝缘线所承受的张力恰好使线与圆棒紧密接触, 避免绝缘线被拉伸或扭绞。

用正常视力或 6 倍以下放大倍数检查试样是否开裂或分层。

如果未见“开裂”或分层, 试样按第 5.4.3 节第 6 条第 1 款 b) 规定, 进行击穿电压试验。

注: “开裂”是绝缘的一种裂口, 在规定放大倍数下观察可看到裸导体。

5) 扁线 试样在有关产品标准中规定直径的圆棒上, 正反两个方向弯曲  $180^\circ$ , 形成一个经伸长的 S 形。U 形弯头之间的直线部分应至少为  $150\text{mm}$ 。

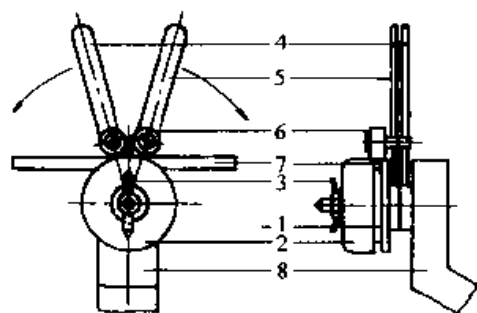


图 2-5-5 圆棒卷绕试验装置

1—圆棒 2—圆棒夹板 3—夹紧螺母 4—手柄  
 5—手柄 6—滚珠轴承 7—试样 8—支架

应注意, 必须保证试样不翘曲, 弯头平整。合适的弯曲试验装置如图 2-5-5 所示。

如果是漆包线, 应检查绝缘是否开裂。如果是纤维绝缘线, 应检查纤维绝缘是否有裂口。用 6 倍到 10 倍放大镜检查。

对纤维绝缘线, 如经检查未发现裂口, 其试样还须经受第 5.4.3 节第 6 条第 1 款 a) 规定的击穿电压试验。

2 个试样做此试验, 1 个做窄边弯曲试验, 1 个做宽边弯曲试验。

6) 束线(包覆层) 束线应在有关产品标准中规定直径的圆棒上, 按第 5.1.3 节第 3 条规定的张力下进行卷绕。

束线在圆棒上卷绕时, 应注意, 不要每绕一圈束线转扭一次。

然后在漫射光线下用目力检查包覆层的紧密度。

试验 1 次。

2. 拉伸试验(适用于漆包圆线) 夹头间长度为  $200\text{mm}$  到  $250\text{mm}$  的试样, 以  $5\text{mm/s}$  至  $1\text{mm/s}$  的速度拉伸到规定的百分数。

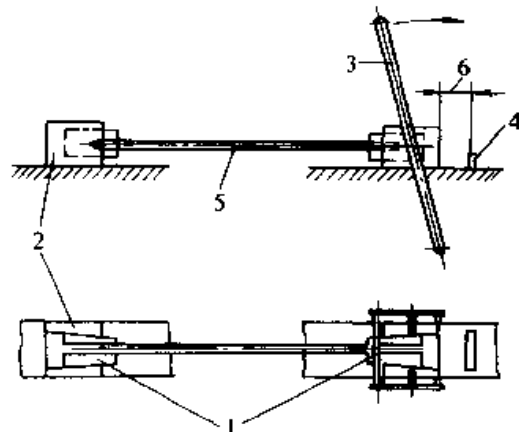


图 2-5-6 急拉断试验仪

1—楔形线夹 2—固定夹具 3—杠杆臂  
 4—可调档块 5—试样 6—规定伸长

拉伸后, 按下列规定的放大倍数检查试样绝缘有否开裂或失去附着性:

标称直径  $\leq 0.04\text{mm}$  10~15 倍;  
 标称直径  $> 0.04\text{mm} \sim \leq 0.5\text{mm}$

或 6~10 倍;

标称直径  $< 0.5\text{mm}$  正常视力或 6 倍以下。  
 试验 3 次。

3. 急拉断试验 (适用于漆包圆线) 在试验仪夹头间长度为 250mm 的试样急速拉断或者拉伸到有关产品标准规定的伸长率。试验仪如图 2-5-6 所示。

试样应按下列规定的放大倍数检查试样有否开裂或失去附着性:

- 标称直径  $\leq 0.04\text{mm}$  10~15 倍;
- 标称直径  $> 0.04\text{mm} \sim \leq 0.5\text{mm}$  6~10 倍;

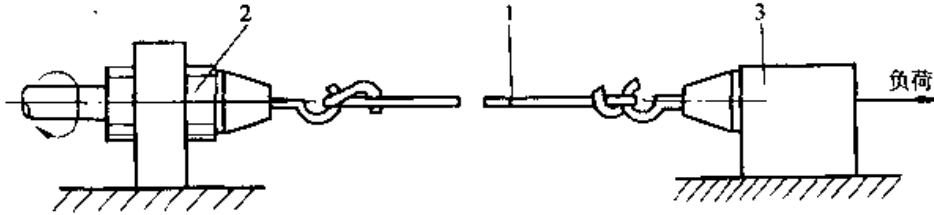


图 2-5-7 剥离试验仪  
1—试样 2—旋转夹具 3—固定夹具

表 2-5-2

标称直径/mm	负荷/N
$1.00 < d \leq 1.40$	25
$1.40 < d \leq 1.80$	40
$1.80 < d \leq 2.24$	60
$2.24 < d \leq 2.80$	100
$2.80 < d \leq 3.35$	160
$3.35 < d \leq 4.50$	250
$d > 4.50$	400

标称直径  $\geq 0.5\text{mm}$  正常视力或 6 倍以下。从断头开始 2mm 内不作考核。

试验 3 次。

4. 剥离试验 (适用于漆包圆线) 长约 600mm 试样, 置于图 2-5-7 所示的试验仪上。该试验仪有二个固定装置, 相距 500mm, 并位于同一轴线上。其中一个可以转动; 另一个不能转动, 但可以轴向移动。后者按照表 2-5-2 规定加挂负荷, 使旋转的试样受到一个张力。

到固定装置处, 而应留有 10mm 距离。

可转动固定装置以 60~100r/min 的速度旋转, 直到达到规定的转数。

此转数由有关产品标准规定的“K”除以标称直径  $d_{\text{标称}}$  (mm) 计算而得, 并删去任何算得的小数部分:

$$R = \frac{K}{d_{\text{标称}}} \quad (\text{取整数})$$

然后检查试样: 漆膜的柔韧性 (自生开裂) 和漆膜的附着性。

漆膜能毫无困难地从漆包线上剥去 (例如用指甲), 即使不完全分离, 也应认为漆膜失去附着性。

试验 1 次。

### 5. 附着性试验

1) 漆包扁线 拉伸前, 应围绕试样四周将漆膜切割一圈, 一直切到导体。切割点约在测量长度的二分之一处。

试样在伸长试验仪或拉力试验仪上进行拉伸。自由测量长度应在 200mm 和 250mm 之间。试样以  $5\text{mm/s} \pm 0.5\text{mm/s}$  速度拉伸, 直到其伸长率达到有关产品标准规定的百分数。

拉伸后检查绝缘是否失去附着性。漆膜失去附着性的最大距离自切割点起沿纵向测量, 并记下此值。此距离自切割点起向一个方向进行测量, 并且记录的值是检查试样两侧后观察到的最大

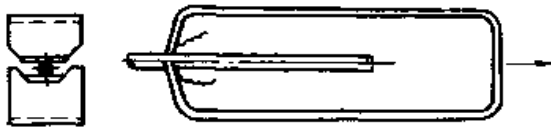


图 2-5-8 刮刀

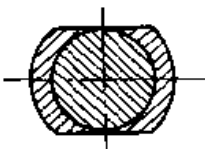


图 2-5-9 剥去漆膜后漆包线断面

用图 2-5-8 所示的刮刀, 将试样相对两侧的漆膜剥去, 露出导体 (见图 2-5-9)。所用压力应促使漆膜剥掉而得到一个清洁光滑的表面 (特别在漆/铜交接面), 面不要剥去太多的铜, 漆膜不要剥

值。

试验1次。

2) 纤维绝缘圆线和扁线 (仅适用于浸渍线)

长约300mm的试样应校直, 允许轻微的拉伸(最大为1%)。

试样上的绝缘除中间留存100mm外, 其余全部除去。

试样在伸长测试仪或拉力试验机上进行伸长。自由测量长度应在200mm至250mm之间。试样以 $5\text{mm/s} \pm 1\text{mm/s}$ 速度拉伸直至达到有关产品标准规定的百分数。

然后检查绝缘, 对圆线如绝缘能在导体上滑动, 对于扁线如绝缘在一边或两边分离, 则说明它和导体失去了附着性。

圆线试验1次; 扁线试验3次。

3) 纤维绕包漆包圆线和扁线 长约300mm的试样应校直, 如伸长1%。

在试样的中间相隔100mm处, 将绝缘切割两处, 一直切穿玻璃纤维和漆直到导体。

试样在伸长测试仪或拉力试验机上进行拉伸。自由测量长度应在200mm至250mm之间。试样以 $5\text{mm/s} \pm 1\text{mm/s}$ 速度拉伸直至达到有关产品标准规定的百分数。

然后检查玻璃纤维和漆是否失去附着性。

4) 薄膜绕包和粘结性圆线及扁线 试样应

选取其自由测量长度在200mm至250mm之间。在测量长度的中心点附近, 围绕试样四周切割绝缘层一圈。

试样以 $5\text{mm/s} \pm 1\text{mm/s}$ 速度拉伸直至达到有关产品标准规定的百分数。

绝缘切割边收缩或切口的任一边从导体翘起的最大距离, 记为“失去附着性的距离”。

### 5.2.5 刮漆试验

漆膜的刮漆性用漆膜一次性刮漆法表示, 即用漆膜破坏时的负荷来表示, 这是漆膜机械性能的主要标志。

绕制线圈时, 漆膜因受张力而伸长和摩擦; 嵌线时, 漆膜又受弯曲, 拉伸, 压力与之作用, 故漆膜必须有良好的耐刮性, 以满足电机、电器制造工艺的要求。

1. 漆包圆线 耐刮性能用单向刮漆试验仪测定, 设备如图2-5-10所示。

1) 试验方法 试样用干净的布擦净后置于试验仪中, 并稍许伸长(最大1%)进行校直。然后试样用夹头固定, 并将支承台调节到与试样接触。

加于刮漆装置上的力应不大于有关产品标准规定的最小刮破力的90%。记下这个起始负荷。荷重的刮漆装置应缓慢地降放在漆膜表面, 然后开始刮漆。

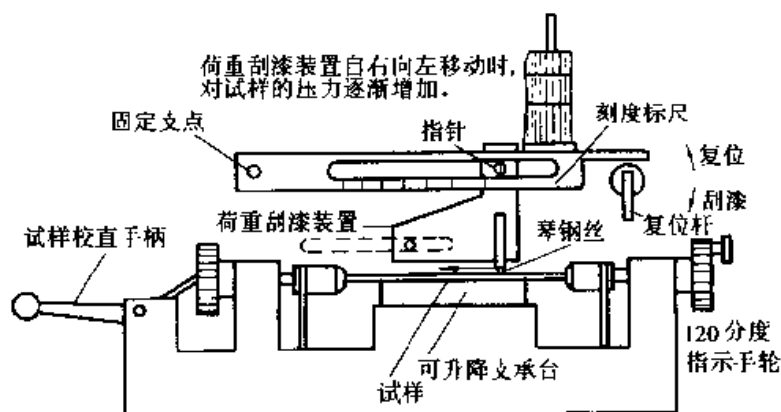


图 2-5-10 单向刮漆试验仪

负荷增加, 直至导体裸露和刮漆装置停止为止。试验停止时的数值在杠杆下部边缘的刻度标尺上指示出来。此数值与起始负荷的乘积即为刮破力。

试验过程应围绕试样圆周重复进行3次, 一次离原位置 $120^\circ$ , 一次离原位置 $240^\circ$ , 并同时记录下数值, 然后将3个刮破力数值取平均值。

2) 试验设备 试验仪上的刮漆运动只能是单向的, 其移动速度为 $400\text{mm}/\text{min} \pm 40\text{mm}/\text{min}$ , 杠杆长度约为250mm。

荷重的刮漆装置上有一根直径为 $0.23\text{mm} \pm 0.01\text{mm}$ 的抛光琴钢丝或缝纫针, 夹于两夹头间。此两夹头将琴钢丝或缝纫针夹紧, 不致下垂或弯曲, 并与刮漆方向成直角。刮漆动作沿着试样的轴



线单向进行。

负荷的大小应使导体裸露点产生在离固定支点 150mm 至 200mm 之间。

试样应固定在支承台上方的两夹头间。试样插入二个夹头内并校直时,支承台应降下。然后支承台上升到与试样接触,并将它支承住。

试样导体与琴钢丝或缝纫针刮漆装置之间接上  $6.5V \pm 0.5V$  的电压,并且短路电流应限制在 20mA,例如用串联电阻器或继电器等。

电路的设计,应能检测出漆膜刮破,并在漆膜被刮掉,裸导体露出约 3mm 时,使试验仪立即停止。

试验仪杠杆下部边缘设有一个刻度标尺,用来指示某个系数,此系数乘以起始负荷即为“刮破力”。

### 5.2.6 热粘合和溶剂粘合试验

漆膜的自粘性是某种漆包线在一定温度、时间条件下,能自行粘合在一起的能力。检测其最小粘合强度方法(线圈法)如下。

导体标称直径 0.05mm 以上的漆包线 漆包线在表 2-5-3 规定的圆棒<sup>①</sup>上紧挨着卷绕至少 50 圈。线圈最小长度应为 20mm。

圆棒转速应为  $1 \sim 3r/s$ 。卷绕时张力应不大于表 2-5-3 规定的相应值。

为使线圈能自由地松开,线的末端不必固定。

绕在圆棒上的线圈,应垂直地放置在一个合适的装置上,如图 2-5-11a 所示,并加上如表 2-5-

3 规定的负荷。负荷不应紧配在圆棒上,即使在高温下负荷与圆棒间也应有间隙。检查线圈是否排列整齐,然后将装置(与绕在圆棒上的线圈一起)放入强迫通风的电热烘箱内,其温度按有关产品标准规定。除非制造厂和用户另有协议,放置时间应为

标称直径 0.71mm 以下的漆包线; 0.5h

标称直径 0.71mm 及以上的漆包线。 1h

冷却到室温后,线圈自装置上取出,并从圆棒上取下。线圈一端挂起来,按有关产品标准规定加上负荷(见图 2-5-11b),加负荷时应避免任何额外的冲击。线圈最小粘合强度应满足表 2-5-3 的规定。

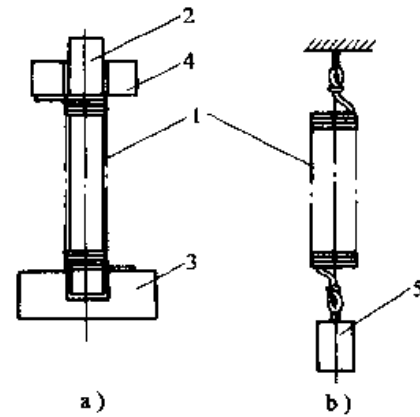


图 2-5-11 热粘合试验装置

1—线圈 2—圆棒 3—圆棒底座

4—压紧负荷 5—分离负荷

试 5 个试样。

表 2-5-3

标称直径/mm		圆棒直径/mm	卷绕时最大张力/N	粘合时线圈上加的负荷/g	标称直径/mm		圆棒直径/mm	卷绕时最大张力/N	粘合时线圈上加的负荷/g
>	≤				>	≤			
0.05	0.071	1	0.05	5	0.71	0.80	7	5.00	200
0.071	0.10	1	0.05	5	0.80	0.90	8	5.00	250
0.10	0.16	1	0.12	15	0.90	1.00	9	5.00	325
0.16	0.20	1	0.30	25	1.00	1.12	10	12.00	400
0.20	0.315	2	0.80	35	1.12	1.25	11	12.00	450
0.315	0.40	3	0.80	50	1.25	1.40	12	12.00	550
0.40	0.50	4	2.00	75	1.40	1.60	14	12.00	650
0.50	0.63	5	2.00	125	1.60	1.80	16	30.00	800
0.63	0.71	6	5.00	175	1.80		18	30.00	1000

① 对于较大直径的漆包线,用钢棒是合适的;对于较小直径的漆包线用铜棒,有助于线圈从铜棒上取下,因为铜棒可以拉伸小直径。

## 5.3 化学性能试验

### 5.3.1 测试目的

漆包线在制成绕组后进行干燥浸渍过程中,受到浸渍漆和漆中所含溶剂的影响;在使用过程中又可能接触各种化学药品如酸、碱等;又如用于变压器的漆包线则将长期和油类接触;用于冷冻机的绕组又要接触致冷剂;这些材料皆具有一定的溶胀性或腐蚀性,因而可导致漆膜损坏而失去工作能力,因此对绕组线的耐化学性能是应注意的。

### 5.3.2 耐溶剂试验

漆膜的耐溶剂性是在溶剂的作用下,漆膜抵抗溶剂软化的能力。

绕组在干燥浸渍过程中,受溶剂的作用,使用中也可能接触溶剂,因此绕组线必须有耐溶剂性能,才不致在溶剂作用下,漆膜因溶胀软化而造成电机电器的短路,或降低其性能。

#### 1. 漆包线

1) 溶剂 试验应采用下列规定的标准溶剂;或制造厂与用户协商确定的溶剂。

标准溶剂(体积比)应为:

a) 60%石油溶剂,其芳香组份最大含量为18%; b) 30%二甲苯; c) 10%丁醇。

2) 试验方法 长150mm的直线段试样在130℃下加热10min。

用玻璃管盛取适当量溶剂,使大部分试样能浸入溶剂内。溶剂温度为 $60\text{C}\pm 3\text{C}$ 。试样应在溶剂内浸30min。在试验期间溶剂温度应保持在

6B	5B	4B	3B	2B	B	HB	H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

试验3次,其中任意一次都不得将漆膜从导体上刮掉。

### 5.3.3 耐冷冻剂试验(适用于漆包圆线)

漆膜的耐冷冻剂性是漆膜抵抗致冷剂腐蚀破坏的能力。

耐冷冻剂试验方法有:

#### 1. 萃取试验

1) 试样准备 含有不少于2g漆膜的漆包线试样,松弛地绕成直径约25mm的线圈。然后放入n-正庚烷中摇晃清洗1min。线圈在 $150\text{C}\pm 3\text{C}$ 干燥15min后,立即转入干燥器中,至少放置

规定范围内。

处理后,试样从溶剂中取出,测定绝缘硬度,用铅笔硬度表示。从溶剂中取出到试验不得超过30s,否则会得到错误的结果。

每次试验前,铅笔尖应用细锉磨削成以铅笔芯轴线对称的 $60^\circ$ 角(见图2-5-12)。

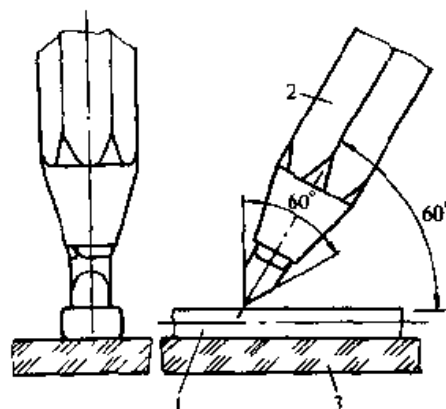


图2-5-12 耐溶剂试验用铅笔和试样

1—试样 2—铅笔 3—玻璃板

试样固定在玻璃板上(见图2-5-12)——对于扁线,装置使试验能在扁线的宽边上进行。

按有关产品标准规定硬度的铅笔以 $60^\circ$ 放在漆包线表面上——对于扁线,放在宽边上。铅笔尖刃边以大约5N的压力沿着线的表面——对于扁线,沿着试样宽边,缓慢推移。这方法也适用于耐其他液体(如耐油)的试验。测绝缘硬度时,以正好能从导体表面将漆膜刮掉的铅笔硬度作为绝缘的硬度指数。铅笔硬度序列与绝缘硬度指数对应关系如下:

30min后称重( $M_1$ ),精确到0.1mg。

2) 三氯乙烯甲醇萃取(使用时应小心,因三氯乙烯对人体有害) 线圈应置于洁净的溶剂萃取器内,其顶部应在虹吸水平下至少10mm。

线圈在新馏出的固体残留物不超过0.001%的化学纯三氯乙烯中萃取4h,每个萃取周期为10~15min。萃取器内的温度应不低于 $73\text{C}$ 。

三氯乙烯溶液和冲洗萃取瓶的两次10mL三氯乙烯液,直接倒入预先烘干和称重的烧杯内(萃取过的材料也可以在萃取烧瓶内称重)。将三氯乙烯和洗液蒸发到10至15mL,然后在 $150\text{C}\pm 3\text{C}$

的强迫通风烘箱内干燥 1~2h, 直到恒重 ( $M_r$ )。

三氯乙烯萃取后, 可采用不损坏导体的任何方法, 将试样上残剩的漆膜剥掉。

裸导体应用蒸馏水小心地冲洗, 并在  $105\text{C} \pm 3\text{C}$  的烘箱内干燥  $20\text{min} \pm 1\text{min}$ , 然后称重 ( $M_c$ ), 精确到 0.1mg。

萃取物按 5.3.3 节第 1 条第 5 款方法来计算。

试验 1 次。

3) 甲醇萃取 用 400mL 烧瓶, 注入 360mL  $\pm 5\text{mL}$  的甲醇, 煮沸。试样用钢钩子在沸腾的甲醇内吊挂  $120\text{min} \pm 3\text{min}$ 。

烧瓶要配置一个适当的冷凝器。试样应在甲醇沸腾后放入, 并且试样应不接触烧瓶的边缘或底部。

在沸腾液中萃取 120min 后, 试样从甲醇内取出。

甲醇溶液和冲洗萃取烧瓶的两次 10mL 洗液, 直接倒入预先经烘箱干燥并称重的烧杯内, 甲醇溶液和冲洗液应蒸发到 10 至 15mL, 然后在  $150\text{C} \pm 3\text{C}$  温度的强迫通风烘箱中干燥 1~1.5h, 直到恒重 ( $M_r$ )。

甲醇萃取后, 可采用不损坏导体的任何方法, 将试样上残剩的漆膜剥掉。

裸导体应用蒸馏水小心地冲洗, 并在  $105\text{C} \pm 3\text{C}$  的烘箱内干燥  $20\text{min} \pm 1\text{min}$ , 然后称重 ( $M_c$ ), 精确到 0.1mg。

萃取物按 5.3.3 节第 1 条第 5 款方法来计算。

试验 1 次。

4) 一氟二氟甲烷 (冷冻剂 R22) 萃取 (仅适用于 R22 冷冻剂中使用的漆包线)。所用试验装置如图 2-5-13 所示。

萃取试验用装置的清洗先用热水, 再用蒸馏水, 最后用 n-正庚烷。试样线圈置于线圈盛器 3 中。盛器放入下部容器 1 中, 搁置于其颈部。然后加入约 200mL 新蒸馏的 R22 冷冻剂, 将线圈浸没, 冷指型冷凝器 2 置于橡皮垫圈 6 上面, 但须注意冷指与下部容器应连接良好。

冷指中充满固体  $\text{CO}_2$  和甲醇。在萃取周期内需要时可随时加入固体  $\text{CO}_2$ 。

萃取烧瓶的加温, 例如可用液浴, 以保证每小时萃取约 4 次, 连续萃取 6h, 萃取结束时试验装

置上会结霜, 先用刷子刷去后取下冷脂。

线圈从试验装置中取出, 而且采用不损伤导体的任何方法将试样上残剩的漆膜剥掉。

裸导体应用蒸馏水仔细清洗, 并在  $105\text{C} \pm 3\text{C}$  的烘箱内干燥  $20\text{min} \pm 1\text{min}$ , 然后称重 ( $M_c$ ), 精确到 0.1mg。

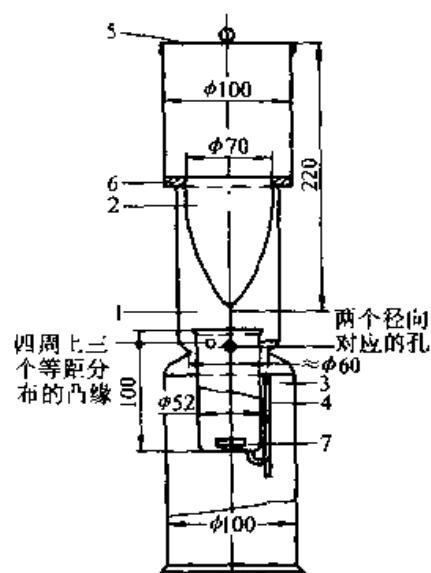


图 2-5-13 萃取试验装置

- 1—下玻璃容器 2—带冷指型冷凝器的上玻璃容器 3—线圈盛皿 4—虹吸管 5—盖子  
6—橡皮接头 7—线圈试样

取出试样盛器, 将其里面的东西倒入非常轻的铝坩埚内。此坩埚须经下述程序处理:

a) 清洗先用热水, 再用蒸馏水, 最后用 n-正庚烷;

b) 在  $110\text{C}$  至  $120\text{C}$  温度下干燥 10min;

c) 在干燥器中放置 30min;

d) 称重, 然后放回干燥器中待用。

将下部容器 1 浸入热水中, 让容器内留着的 R22 冷冻剂蒸发, 直到留下约 30mL。

将此冷冻剂倒入铝坩埚中。

下部容器 1 用 n-正庚烷冲洗 2 次, 并将冲洗液也倒入铝坩埚内。此萃取物在室温下蒸发干, 然后将铝坩埚和其内容物置于  $150\text{C} \pm 3\text{C}$  烘箱中加热 1h。

最后取出坩埚, 让其在干燥器中至少冷却 30min, 然后称重 ( $M_r$ ), 精确到 0.1mg。

试验 1 次。

5) 计算方法 坩埚内残留物质量 ( $M_r$ ) 与原

始的试验漆包线质量 ( $M_1$ ) 减去干净的裸导体质量 ( $M_c$ ) (即为漆的质量) 之比为萃取物的百分数

$$E = \frac{M_r}{M_1 - M_c} \times 100\%$$

2. 一氯二氟甲烷 (冷冻剂 R22) 中的溶剂试验 (仅适用于 R22 冷冻剂使用的漆包线) 长约 15cm 校直的漆包线试样, 在  $150\text{C} \pm 3\text{C}$  下加热 1h。

然后将试样放入钢瓶中。钢瓶内充有四分之三容积的一氯二氟甲烷 (冷冻剂 R22)。钢瓶密封后, 让其立着, 在室温下放置 16h。

接着密封钢瓶在  $-50\text{C} \pm 3\text{C}$  温度下放置 1h, 然后打开瓶盖。

试样从冷冻剂中取出, 在 30s 内进行铅笔硬度试验。试验方法按 5.3.2 节第 1 条第 2 款有关规定。

试验 3 次。

3. 一氯二氟甲烷 (冷冻剂 R22) 发泡试验 (仅适用于 R22 冷冻剂中使用的漆包线) 按第 5.3.3 节第 2 条准备和处理的试样, 自 R22 冷冻剂液中取出, 并在取出后 25~30s 内置于  $125\text{C} \pm 3\text{C}$  的强迫通风烘箱中 10min。

试验 2 次。

#### 5.3.4 焊锡试验 (适用于漆包圆线和束线)

本试验仅适用于直焊漆包线。

漆膜的直焊性, 是漆包线在一定温度的搪锡熔液内, 经一定时间, 因漆膜能自行挥发而直接搪锡焊接的能力。聚氨酯漆包线的漆膜具有直焊性能。

直焊性漆包线使用时, 无需预先去除漆膜, 当浸入一定温度的搪锡熔液内, 即能直接搪锡焊接, 因此微型电机、电器、电工仪表、电信器材等使用这种漆包线, 可以简化工艺提高质量, 提高劳动生产率。

##### 1. 试验样品

1) 标称直径  $\leq 0.05\text{mm}$  8 根线在无过分的张力作用下, 扭绞在一起, 以使它绕在夹持体上。

用一个合适夹持体, 夹持体的任何形状都应保证夹持体固定点之间的自由长度为 20mm。并能使漆包线以其轴线垂直浸入焊锡中。夹持体的材料应不致使焊锡缸中的焊锡受到任何污染, 并且夹持体的尺寸应保证浸入期间不使焊锡缸温度

有明显的改变。

考核仅限于固定点之间的自由长度。

2) 标称直径 0.05~0.1mm。仅需 1 根线。

用一个合适夹持体, 夹持体的形状应保证夹持体固定点之间的自由长度为 20mm, 并能使漆包线以其轴线垂直浸入焊锡中。夹持体的材料应不致使焊锡缸中的焊锡受到任何污染, 并且夹持体的尺寸应保证浸入期间不使焊锡缸温度有明显的改变。

考核仅限于固定点之间的自由长度。

3) 标称直径  $> 0.1\text{mm}$  需要 1 根长 200mm 的试样。

4) 外径  $\leq 0.25\text{mm}$  的束线 被试束线试样在长 200mm、直径 0.8mm 的镀锡铜线的一端卷绕 15~20mm 的长度。卷绕最少为 5 圈, 最多为 10 圈, 圈间稍有间隙。

5) 外径  $> 0.25\text{mm}$  的束线 束线长度约 200mm。

2. 试验步骤 试验所用 65/40 锡-铅焊锡缸要有足够大的体积, 以保证在试样浸入期内焊锡温度均匀。应采取措施, 使焊锡温度保持在有关产品标准规定的温度。

试样应垂直位于焊锡缸中间。下部端头应位于液面以下 20mm。试样浸入位置距测温点应约为 10mm。

试样按有关产品标准规定时间浸试后, 应倾斜着自焊锡缸中取出。

镀锡线表面用 6 到 10 倍放大镜进行检查。

试验 3 次。

#### 5.3.5 耐变压器油试验

漆膜的耐油性是指漆膜因油类作用所产生的溶胀和溶解的抵抗能力。本试验的目的在于反映不同漆包线抗水解性能, 提供绕组在油浸密封有压力的容器中应用情况, 对油浸变压器选用漆包线有现实意义。

为了便于处理试样和进行试验, 通常采用导体标称直径 0.80~1.50mm 的漆包线。

1. 漆包圆线试验样品 试验样品

10 根试样按 5.4.3 节第 3 条规定准备。

3 根试样按 5.2.4 第 1 条 1 款规定准备。

2. 试验设备 设计一个合适的压力管, 其承受压力为  $6 \times 10^6\text{Pa}$  以下; 压力管采用适当方法加热。变压器油和纸应符合有关标准的规定。

3. 试验步骤 除非供需双方另有协议, 压力管应装入按表 2-5-4 规定的组分。

表 2-5-4

组 分	占压力管体积(%)
变压器油	50
纸	6
漆 膜	0.2
蒸馏水	0.1

装入 13 根试样的压力管, 附加漆包线和纸应在压力低于 20Pa 与 90℃ 温度下干燥 16h, 或在 105℃ 下干燥 4h。准备漆膜量所需附加漆包线的总量  $G$  (g) 大体按下式计算

$$G = \frac{Y \cdot V}{800 \times \delta \cdot d}$$

式中  $V$ ——压力管体积 (mL);  
 $Y$ ——1m 线的重量 (g);  
 $\delta$ ——漆膜厚度 (mm);  
 $d$ ——线的直径 (mm)。

按 5.3.5 节第 1 条准备的试样重量 ( $G_1$ ) 和附加线重量 ( $\Delta G$ ) 相加得总重量 ( $G$ )

$$G = G_1 + \Delta G$$

预处理后, 压力管内装入按表 2-5-4 规定的去气干燥油和蒸馏水。

封闭加力管在 150℃ ± 2℃ 下保持 168h, 然后冷却到室温。

在打开压力管后, 按 5.4.3 节第 3 条第 1 款准备的试样 (扭绞线) 在油中在 105℃ 下按 5.4.3 节第 3 条第 2 款进行击穿电压试验。

按 5.2.4 节第 1 条第 1 款规定的放大倍数检查试样附着力的损失。

## 5.4 电性能试验

### 5.4.1 试验目的

绕组线的电性能, 主要是指导线的直流电阻, 绕组线绝缘的耐电压能力, 漆膜绝缘的连续性, 介质损耗角正切等。

绕组线绝缘层的机械性能、热性能、耐溶剂性能等的好坏, 均直接影响绝缘的耐电压性能。

随着高频电器、仪表的不断发展, 对漆膜的介质损耗角正切也引起注意。

### 5.4.2 直流电阻试验

电阻受导体直径、温度、电阻率的影响, 以校

正到 20℃ 时单位长度的欧姆数表示。

导线电阻值应在标准规定范围内, 这样既保证导体材料的质量, 从而控制电机电器的升温。此外, 导线电阻值变化过大, 对于微型电机电器的相间平衡影响也大。

导线电阻用 20℃ 时直流电阻表示。所用测量方法的精度应为 0.5%。

束线试样应在 10m 以下, 并在测量前将两端头焊锡。

用测量电阻来检查断股时, 应采用 10m 长的束线。

如果电阻 ( $R_t$ ) 是在温度  $t$ , 而不是在 20℃ 时测量, 则 20℃ 时电阻  $R_{20}$  按下式计算

$$R_{20} = \frac{R_t}{1 + \alpha (t - 20)}$$

式中  $t$ ——测量时实际温度 (℃);  
 $\alpha$ ——温度系数;

铜:  $\alpha = 3.96 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ ;

铝:  $\alpha = 4.07 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ ;

温度范围 15~25℃;

测量 1 次。

### 5.4.3 击穿电压试验

绕组线在电压作用下的耐电压击穿能力。以起始击穿时的电压作为指标。

绕组线作为电机电器等电工设备的绕组, 必然长期受到电压的作用。一般而言, 绕组线的耐电压能力远远高于电机电器设计所需的匝间电压, 但在制造和安装过程中, 绝缘层受弯曲、拉伸、摩擦等机械外力的作用, 受到热冲、溶剂的影响, 在运行过程中, 电工设备温升造成的热老化、环境温度、湿度均会对耐电压能力产生影响, 因此保持绕组线耐电压击穿能力是十分重要的。

1. 试验电压 试验电压应为标称频率 50Hz 或 60Hz 近似正弦波形交流电压, 峰值系数在  $\sqrt{2} \pm 5\%$  (1.34~1.48) 范围内。试验变压器额定容量至少为 500VA, 并在试验条件下输出波形基本不畸变的电流。

为检测击穿, 当有 5mA 或更大电流通过高压回路时, 过电流装置应动作。试验电源应能供给 5mA 的电流, 其最大压降为 2%。

电压以其峰值除以  $\sqrt{2}$  表示。电压从零开始, 以约 100V/s 的速度上升, 直到击穿。如击穿在 5s 内发生, 则升压速度应减小。当击穿电压等

于或大于 2500V 时, 升压速度大约为 500V/s。

2. 导体标称直径 0.1mm 及以下的漆包圆线

室温试验 一根直径约 25mm 的抛光金属圆柱体, 以其轴线呈水平安装, 并与电压试验仪的一个接线柱相连。另一个接线柱垂直安装在金属圆柱体的上方 (见图 2-5-14)。

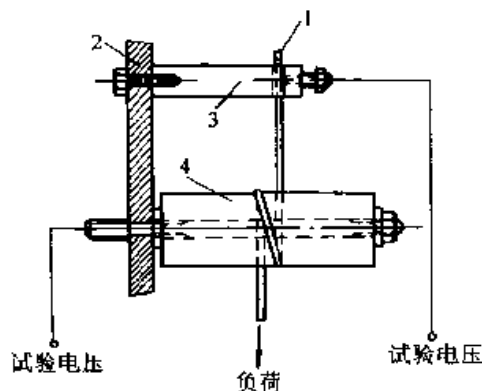


图 2-5-14 击穿电压试验用圆棒和试样的安装

1—试样 2—绝缘板 3—接线柱 4—圆棒

漆包线试样的一端刮去漆膜接到上部的接线柱。试样在金属圆柱体上绕 1 圈。试样下端按表 2-5-5 规定施加一个力 (负荷), 使试样与金属圆柱体紧密接触。

试验电压按第 5.4.3 节第 1 条规定施加于导体与金属圆柱体之间。

试验 5 根试样。

3. 导体标称直径 0.1mm 到及包括 2.5mm 的漆包圆线

1) 室温试验 长约 400mm 线段对折后, 在图 2-5-15 所示的设备上扭绞成 125mm 长的试样。扭绞时施加在线对上的力 (负荷) 及扭绞数规定如表 2-5-6

扭绞部分端环应在两个地方 (不是一个地方) 剪断, 使剪断处端头间距最大。在剪断端或另一未扭绞端处把漆包线分开, 以保证端头间有适当的间隙, 但应避免过分弯曲或损坏绝缘。

表 2-5-5

导体标称直径 /mm	漆包线上施加的力 /N	导体标称直径 /mm	漆包线上施加的力 /N	导体标称直径 /mm	漆包线上施加的力 /N	导体标称直径 /mm	漆包线上施加的力 /N
0.018	0.013	0.028	0.030	0.045	0.080	0.071	0.200
0.020	0.015	0.032	0.040	0.050	0.100	0.080	0.250
0.022	0.020	0.036	0.050	0.056	0.120	0.090	0.300
0.025	0.025	0.040	0.060	0.063	0.150	0.100	0.400

表 2-5-6

标称直径/mm		施加于线对上的力/N	125mm 中的扭绞数	标称直径/mm		施加于线对上的力/N	125mm 中的扭绞数
>	≤			>	≤		
0.10	0.25	0.85	33	0.75	1.05	13.50	8
0.25	0.35	1.70	23	1.05	1.50	27.00	6
0.35	0.50	3.40	16	1.50	2.15	54.00	4
0.50	0.75	7.00	12	2.15	2.50	108.00	3

试验电压按第 5.4.3 节第 1 条规定施加于 2 根导体之间。

试验 5 根试样。

2) 高温试验 长约 400mm 线段对折后, 在图 2-5-15 所示的设备上扭绞成 125mm 长的试样。扭绞时施加在线对上的力 (负荷) 和扭绞数规定如表 2-5-6。

扭绞部分端环应在两个地方 (不是一个地方) 剪断, 使剪断处端头间距最大。在剪断端或另一未扭绞端处把漆包线分开, 以保证端头间有适当的距离, 但应避免过分弯曲或损坏绝缘。

按前述准备的试样放入预热到规定温度的强迫通风的烘箱中。试样未达到此规定温度, 试验不得进行。

试验电压按第 5.4.3 节第 1 条规定施加于 2 根导体之间。

在任何情况下,试样应置于烘箱中至少 15min 后才能施加电压。

试验应在 30min 内完成。

试 5 个试样。

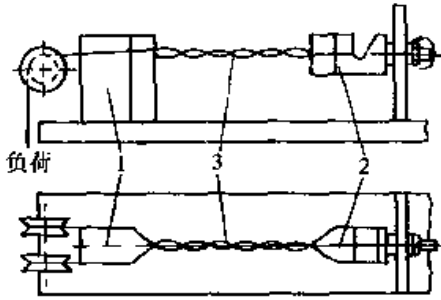


图 2-5-15 击穿电压试验用试样扭绞装置

1—固定夹具 2—旋转夹具 3—试样

#### 4. 导体标称直径 2.5mm 以上的漆包圆线

1) 室温试验 将宽 6mm 的薄金属箔带贴在宽 12mm 的压敏带中心制成 5 个电极。将此粘合的带-箔电极剪成 75mm 长。压敏带两端不能超出金属箔带的端头。

试样长度要能够保证放满 5 个电极,相邻电极间隔为 50mm。电极贴到试样上应使带与线成直角,金属箔与线接触。电极应平整和紧密地绕到试样上。

试验电压按第 5.4.3 节第 1 条规定施加于导体与金属箔电极之间。

1 根试样应试验 5 次。

2) 高温试验 试样准备同室温试验,试样置丁加热到规定温度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的适当烘箱中。试样应在达到此温度后,在烘箱中施加电压。

试验应在试样达到规定温度后 15min 内进行。试样在烘箱中的总时间应不超过 30min。

试验 5 个试样。

#### 5. 漆包扁线

1) 室温试验 350mm 长试样一端将绝缘去掉,在圆棒上宽边弯曲,如图 2-5-16 所示。

圆棒直径应为:

标称厚度 $\geq 2.5\text{mm}$ 为 25mm;

标称厚度 $> 2.5\text{mm}$ 为 50mm。

试样放入一容器内,使其至少被约 5mm 厚的

金属珠所包围。试样两端头须伸出相当长度,以避免发生闪络。

金属珠应慢慢地倒入容器内,直到试样周围至少被 5mm 厚的金属珠所湮埋。金属珠直径应不大于 2mm;不锈钢珠、镍珠或镀镍铁珠均可适用。金属珠应定期用适当的溶剂(例如三氯乙烯)清洗。

试验电压施加于金属珠和导体之间。

如用户与制造厂协商同意,试验可以在油中进行。此时,油的品种、粘度以及击穿电压应由制造厂和用户协商确定。

试验 5 根试样。

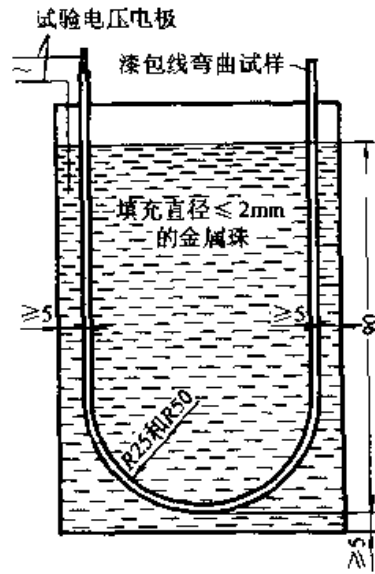


图 2-5-16 击穿电压试验用试样  
(试样置于盛有金属珠的槽内)

2) 高温试验(适用于漆包线) 按 5.4.3 节第 5 条第 1 款所述准备的试样和此试验所用的容器以及金属珠,在同一烘箱中预热到有关产品标准规定的温度,然后将金属珠倒入容器内。

试验在试样达到规定温度 15min 内进行。试样处于烘箱内的全部时间应不超过 30min。

试验 5 次。

#### 6. 弯曲后的电气强度保留值

##### 1) 圆线

a) 纤维绝缘线 试样制备同圆棒卷绕试验。

试样从圆棒上取下,并置于一容器内,使其至少被 5mm 厚的金属珠所包围。试样两端头须伸出相当长度,以避免发生闪络。

金属珠应慢慢地倒入容器内,直到试样周围至少被 5mm 厚的金属珠所埋埋。

金属珠直径应不大于 2mm; 不锈钢珠、镍珠或镀镍铁珠均可适用。金属珠应定期用适当的溶剂(例如三氯乙烯)清洗。

试验电压施加于金属珠和导体之间。

试验 5 个试样。

b) 薄膜绕包和粘结线 试样制备同圆棒卷绕试验。试样从圆棒上取下,置入一容器内,使其被至少 5mm 厚的金属珠所包围。试样两端头须伸出足够的长度,以避免发生闪络。

金属珠应慢慢地倒入容器内,直到试样周围至少被 5mm 厚的金属珠所埋埋。

金属珠直径应不大于 2mm, 不锈钢珠、镍珠或镀镍铁珠均可适用。金属珠应定期用适当的溶剂(例如三氯乙烯)清洗。

试验电压施加于金属珠和导体之间。

试验 5 个试样。

2) 扁线 试样制备同圆棒卷绕试验。

试样一端的 U 形弯头,如 5.4.3 节第 5 条所述,浸入一容器内,并在其中进行试验。然后用试样另一个 U 形弯头重复此试验。

试验 5 次。

#### 5.4.4 绝缘连续性试验(适用于漆包圆线)

漆膜的连续性,即漆膜无针孔。用一定长度内的针孔数表示漆膜的缺陷数。

漆包线在涂制过程中,由于某些原因,如导体表面有毛刺、导轮的擦伤,所以虽涂了几次漆,但漆膜个别地方仍可能有缺陷产生,即所谓针孔,在电压作用下,漆膜容易被击穿,对小型电机、电器、仪表的使用有影响。

1. 低压连续性(导体标称直径 0.05mm 及以下)

1) 试验设备 本试验由线样通过两毡垫来进行(参见图 2-5-17),该毡垫浸入硫酸钠在水中(30g/l)的电解溶液内。

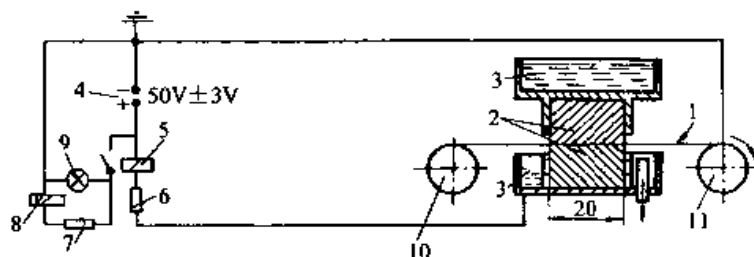


图 2-5-17 低压绝缘连续性试验装置

1—漆包线 2—四层麂皮 3—电解液槽(30g NaSO<sub>3</sub>、1L 水) 4—直流电源 5—继电器 6—电阻(50kΩ)  
7—电阻(50kΩ) 8—计数器 9—指示灯 10—绕组线交货线盘 11—收线盘

2) 试验方法 30m 长的漆包线样应承受下述试验。漆包线通过毡垫间的速度为 25cm/s,施加于线的张力不超过 0.03N。

应采用合适的带计数器的继电器,其灵敏度是当线的绝缘电阻在 0.04s 内小于 10kΩ 时,计数器即能动作。

当电阻等于 15kΩ 或更大时计数器应不动作。它应不指示大于每秒 10 个的缺陷。

连续缺陷由指示灯指示。

试验 1 次。

2. 高压连续性(导体标称直径 0.05 ~ 1.600mm) 本试验系利用直流电压连同 一个指示缺陷数的检测线路来确定漆包线绝缘的完整性。

试验适用于导体标称直径 0.05 ~ 1.60mm 的漆包线。

1) 试验设备 有一个调节的高压电源供给电极以平滑的滤波直流电压。此电压无瞬时峰值。开路试验电压可调范围从 350V ± 17.5V 到 3000V ± 150V,相对于接地的线样导体,电极为正极。

在任何试验电压下,稳态短路电流应为 (25 ± 5) μA,任何电压下 50MΩ 缺陷电阻引起的接触轮上的电压降不超过 75%。

缺陷检测电路的灵敏度应达到表 2-5-7 规定的起始缺陷电流值,其误差为 ± 10%。缺陷检测电路的响应速度为 5ms ± 1ms。

当裸线与电极接触时,缺陷计数电路的重复





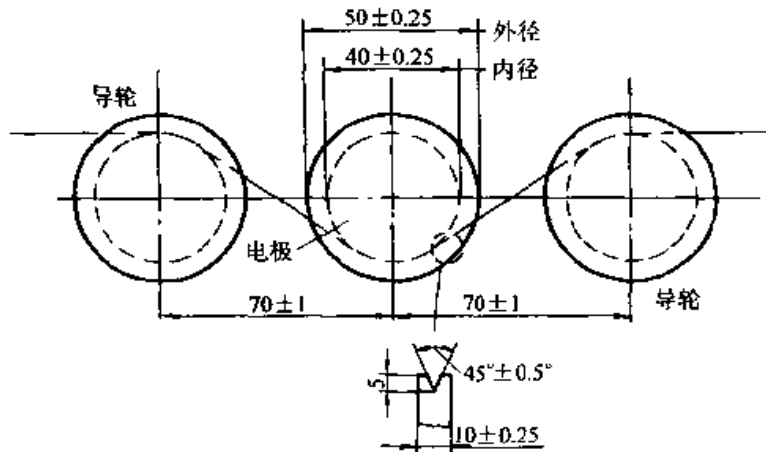


图 2-5-19 适于线径为 0.25mm 到及包括 1.60mm 的漆包线用导轮的尺寸和安装

表 2-5-8

导体类型	导体标称直径/mm		直流电压/V ± 5%		
	>	≤	1 级	2 级	3 级
铜	0.050	0.125	350	500	750
	0.125	0.250	500	750	1000
	0.250	0.500	750	1000	1500
	0.500	1.000	1000	1500	2000
铝	0.400	1.600	500	1500	—

5.4.5 介质损耗角正切 ( $\text{tg}\delta$ ) 试验 (适用于漆包圆线和束线)

在电压作用下, 漆膜材料中会消耗一部份电能而使介质发热称为介质损耗。在工频、低电压下, 这部份损失极为微小, 可以忽略不计。但绕组在高频、高压条件下工作所产生的介质损耗就不能忽视, 是引起漆膜发热而加速破坏的因素。

1. 原理 测量方法是將一辅助电容接入一谐振回路中, 例如可用 Q 表进行测量。其极板由漆包线导体和—适用的电极组成。电极结构见图 2-5-20。

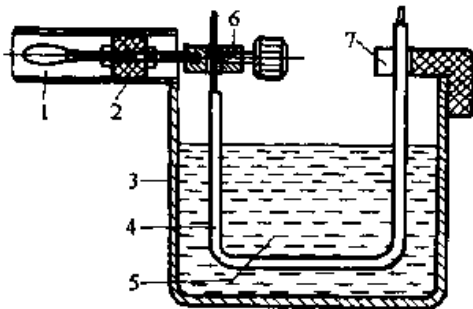


图 2-5-20

1—插头 2—绝缘 3—金属槽 4—试样  
5—水银 6—接线柱 7—绝缘夹头

介质损耗角正切  $\text{tg}\delta$  试用电极有两种: 合金槽和导电悬浮液。

1) 合金槽 被试线样弯曲 (扁线弯宽边) 成 U 形 (见图 2-5-21), 放入适用的合金槽内 (液体金属)。浸入长度应保证导体与合金间的电容在 50~100pF 之间。

2) 导电悬浮液 用适当的方法 (例如涂刷) 将导电悬浮液涂在线样上, 其长度应保证导体与导电悬浮液间的电容在 50~100pF 之间。

试样应干燥, 例如在 150°C 温度下干燥 50min。

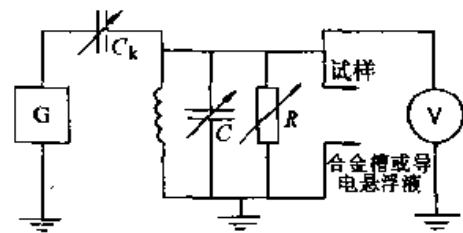


图 2-5-21 介质损耗角正切 ( $\text{tg}\delta$ ) 试验线路

G—高频发生器  $C_k$ —耦合电容  
C—电容 R—电阻 V—电压表

2. 测量 试验频率 1MHz, 所用试验装置的损耗测量精确度为 $\pm 10\%$ 。适合的线路图如图 2-5-21 所示, 将试样接上, 阻尼电阻  $R$  调到无穷大; 然后用电容  $C$  把电路中电压表  $V$  的读数调到最大。

然后用耦合电容器  $C_1$  把电压表  $V$  的读数调整到预定值, 记下电容器  $C$  的  $C_1$  值。

断开试样, 电路重新用电容器  $C$  调整, 记下  $C_2$  值。

试样电容是

$$C_x = C_2 - C_1$$

电压表读数用电阻  $R$  复调到先前的值, 记下电阻器  $R$  的  $R$  值。

介质损耗系数按下式计算

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega R C_x}$$

式中  $\omega = 2\pi f$ 。

## 5.5 热性能试验

### 5.5.1 试验目的

绕组线的热性能, 对电工设备绕组的正常工作, 使用寿命, 以及提高电工设备使用温度、缩小设备尺寸都很重要。绕组的热性能好, 即表示绝缘层有较好的耐热能力, 在短期的过热条件下(热冲击)和长期的工作温度下不改变其机电、理化特性, 且能安全可靠运行。随着电机电器向小型、高速、提高温升的方向发展, 绕组线的热性能显得更为重要。

### 5.5.2 热冲击试验(适用于漆包线、薄膜绕包线和粘结性线)

绕组线绝缘层热冲击性是指其在机械应力条件下, 温度急剧变化时所能承受热应力变化, 而不破坏的能力。

绕组线在绕制和成形过程中, 都有应力的作用, 在过负载情况下、浸渍过程中, 都有温度急剧变化情况发生; 且由于导体和漆膜的线膨胀系数不同, 如铜的线膨胀系数为  $17 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ , 油性漆漆膜的线膨胀系数为  $70 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ , 这样在温度骤然变化情况下, 就容易使漆膜破裂, 可能导致短路事故。按其产品种类不同, 其热冲击试验方法也略有不同, 以下分别叙述。

1. 圆线 试样按下列规定进行准备:

导体标称直径 1.6mm 及以下按 5.2.4 节第

1 条第 1 款;

导体标称直径 1.6mm 以上按 5.2.4 节第 2 条;

导体标称直径 1.6mm 及以下的薄膜绕包线和粘结性线按 5.2.4 节第 1 条第 4 款;

导体标称直径 1.6mm 以上的薄膜绕包线和粘结性线按 5.2.4 节第 5 条第 4 款。

或按有关产品标准规定准备。

试样放入已加热的强迫通风电热烘箱中, 在有关产品标准规定的温度下放置 30min。

试样从烘箱中取出后, 冷却到室温, 然后按下规定的放大倍数检查漆膜有否开裂:

导体标称直径  $\leq 0.04\text{mm}$  10~15 倍;

导体标称直径  $> 0.04\text{mm} \sim \leq 0.5\text{mm}$

6~10 倍;

导体标称直径  $> 0.5\text{mm}$

正常视力或 6 倍以下。

试验 3 次。

注: “开裂”是绝缘的一种裂口, 在规定放大倍数下观察可看到裸导体。

2. 扁线 试样在有关产品标准规定直径的圆棒上, 正反两个方向弯曲宽边(在窄边上)  $180^\circ$ , 形成一个经伸长的 S 形, U 形弯头之间的直线部分应至少为 150mm。

试样放入已加热的强迫通风的电热烘箱中, 在有关产品标准规定的温度下放置 30min。试样自烘箱中取出后冷却到室温, 然后在 6 倍到 10 倍放大镜下检查漆膜有否开裂。

试验 2 个试样, 应宽边弯曲(在窄边上)。

### 5.5.3 软化击穿试验

软化击穿是反映漆膜在一定压力条件下, 由于温度上升, 漆膜软化变形而引起电击穿的一种试验方法。因软化而发生电压击穿时的温度高, 说明漆膜的热塑性小; 反之漆膜的热塑性大。

绕组在嵌线时, 漆膜经受一定的机械应力, 绕组在浸渍时, 又受到温度的作用, 电机在运行过程中, 由于离心力所产生的压力和震动, 以及温度等因素对漆膜的影响; 在过负载情况下, 由于温度的急剧上升, 特别是电动工具, 譬如电钻由于其转速很高, 在操作过程中, 一遇掣动, 电钻常产生过载, 温度在很短时间内, 急剧上升, 这时漆膜常出现塑性变形, 造成短路事故。就一般情况而言, 漆膜软化击穿温度过高, 即表示漆膜组分中热固性树脂

太多,这将影响漆膜的弹性和热冲性能;故应保持漆膜适当的软化温度,使其有利于各项性能的综合平衡。

1. 漆包圆线

1) 试验方法 两个试样互相垂直交叉置于预热到规定温度的试验仪预热板上。

试验达到仪器温度所需的时间取决于线径的大小,在试样达到仪器温度后,加负荷于试样的交叉点上。

交流电压加在试样之间,以指示出导体是否接触。

在加负荷的整个时间内,漆膜在此温度下不得发生因热塑性造成的击穿损坏。

2) 试验步骤 二根试样稍加伸长(最大1%)校直后,插入预热到有关产品标准规定温度的受压试验装置内,如图 2-5-22 所示。两个试样在仪

器内成直角交叉放置,交叉点应位于压杆的中心位置。

标称直径小于 0.20mm 的漆包线,应取两根试样并排放置,第 3 根试样放在前 2 根试样上面,成直角放置。两个交点应与压杆轴线对称。

试样在试验仪中放置表 2-5-9 规定的时间后,借助压杆按表 2-5-10 规定的负荷轻轻地加在上面的试样上,为便于指示应采用 100V±10V 交流电压。在施加负荷后须立即将此电压加于上下试样之间。下面用 2 个试样时,则应连接在一起。

电气回路的设计,应使试样间通过大约 5mA 电流时,仪器即发出信号。回路中可以用限流电阻,以避免电流过大(例如大于 50mA)。

试验设备中,温度测量要尺量接近试样交叉点,指示温度与规定温度公差应不大于 2℃。

施加负荷和电压的时间为 120s。

表 2-5-9

导体标称直径/mm		从插入试样到加负荷的时间间隔/min	导体标称直径/mm		从插入试样到加负荷的时间间隔/min
>	≤		>	≤	
—	1	1	2	3	3
1	2	2	3	—	5

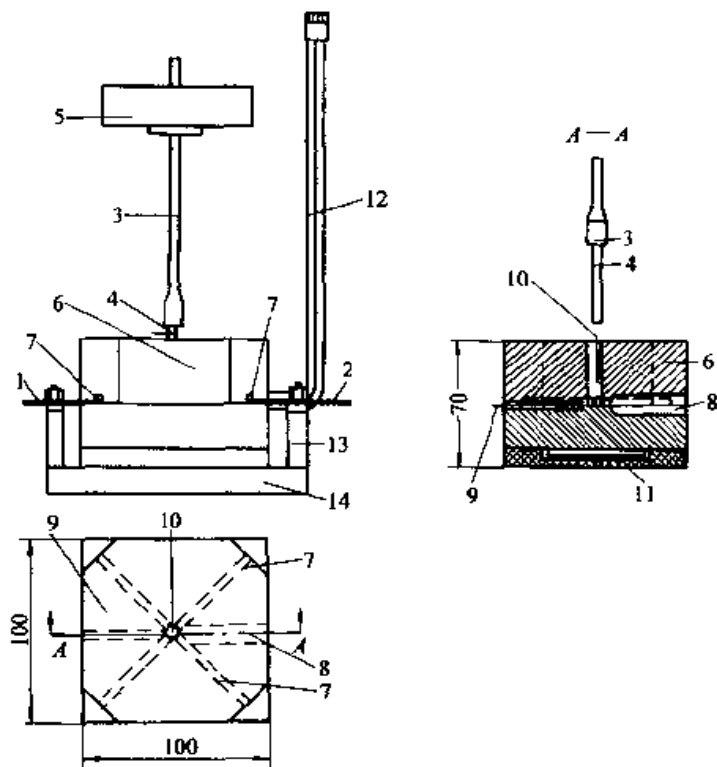


图 2-5-22 软化击穿试验仪

- 1—试样 2—试样 3—压杆 4—陶瓷压杆 5—负荷 6—金属块(铜或黄铜)  
 7—试样插入孔 8—水银温度调节器插孔 9—扭电偶插孔 10—压杆插孔 11—电热元件  
 12—水银温度调节器 13—试样接线柱 14—绝缘底座

表 2-5-10

导体标称直径/mm		负荷 /N	导体标称直径/mm		负荷 /N	导体标称直径/mm		负荷 /N
>	≤		>	≤		>	≤	
0.020	0.032	0.25	0.125	0.200	2.20	0.800	1.250	10.00
0.032	0.050	0.40	0.200	0.315	2.20	1.250	2.000	36.00
0.050	0.080	0.70	0.315	0.500	4.50	2.000		70.00
0.080	0.125	1.25	0.500	0.800	9.00			

#### 5.5.4 热失重试验 (适用于漆包圆线)

在热作用条件下,用来测定漆膜热失重的程度。试验证明,温度指数不同的漆包线,由于树脂分子结构不同,其热失重的程度是有差别的。故用本方法,可以初步判别漆包线的耐热性能。

1. 试样准备 试样为漆膜不少于0.5g的一段漆包线,用不影响漆膜的溶剂将油污去除干净。

去除油污后,对试样加工时应使用经化学洗净的镊子。

2. 试样处理 试样在 $130\text{C}\pm 3\text{C}$ 下加热1h,自烘箱中取出后立即放入干燥器内,在室温下至少放置30min方能称重( $M_1$ ),精确到0.1mg。

3. 试验步骤 将经处理的试样置于按有关产品标准要求的温度下预热2h的坩埚内,然后称重,精确到0.1mg。将坩埚和试样置于已加热到有关产品标准规定温度的烘箱中2h。

测量试样温度时热电偶尽可能靠近试样,一旦热电偶达到规定的温度,便开始计时。2h后坩埚和试样自烘箱中取出,在称重前立即放入室温的干燥器中。然后称重( $M_2$ ),精确到0.1mg。

将漆包线试样浸入沸腾的10%氢氧化钾水溶液中,从导体上除去漆层,直到用软布擦拭,漆膜能完全去除为止。裸导体用蒸馏水仔细清洗,在 $105\text{C}\pm 3\text{C}$ 烘箱内干燥 $20\text{min}\pm 1\text{min}$ ,然后立即放入干燥器中,称重前在室温下至少放置30min,而后称重( $M_c$ ),精确到0.1mg。

4. 计算方法 失重( $\Delta M$ )以经处理的原漆膜质量的百分比表示,由经处理试样的质量( $M_1$ ),此试样经热处理后的质量( $M_2$ )以及裸导线质量( $M_c$ )按下式计算

$$\Delta M = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_c} \times 100\%$$

试验2次,2次试验结果之差应在 $\pm 0.1\%$ 范围内。2次试验结果的平均值即为失重。

#### 5.5.5 高温失效试验

试验目的在于确定不同类型漆膜,在短期高温负荷和电压作用条件下,漆膜承载的能力。与过负荷燃烧试验,短期高温电压试验基本相同。

电机电器在运行过程中,由于短路和掣动情况,使线圈在短期内发生高热,影响运行,以至烧毁,因此了解漆包线高温失效特性是有意义的,试验证明,聚酰亚胺和缩醛漆膜承受高温失效能力高,而聚氨酯漆膜则相当低。

本试验旨在考核漆包线漆膜在 $450\text{C}$ 温度以下在电压应力下的过负荷性能。本试验不能用于几秒钟或几分钟即失效的场合,因为开头3min起始加热升温是不稳定的,本试验要求最小失效时间为15min。如需要上述短时失效性能考核,则需要采用其他的试验方法。

1. 试样 试样按第5.4.3节第3条进行制备。

经验表明,直径1mm左右2级绝缘厚度漆包线最便于加工。

2. 试验设备 烘箱最高工作温度应为 $450\text{C}$ ,应保证试样在3min内达到规定温度 $\pm 1\%$ 。烘箱应配置相应的接线柱,按表2-5-11规定施加试验电压。试验变压器容量应不小于100VA。为了防止产生过电压,在变压器次级接线柱上应并联一只 $1\mu\text{F}$ 到 $2\mu\text{F}$ 低电感电容器。应采用一过电流装置来指示 $10\text{mA}\pm 5\text{mA}$ 电流下的失效,并相应断开计时器。

3. 试验步骤 烘箱调整到规定温度 $\pm 1\%$ 。烘箱内温度稳定后,将试样置于烘箱中,并接到接线柱上。接着加上电压,开始计时。失效时,计时器应自动断开。记下失效时间。如果失效时间少于

15min, 则是试验温度过高的缘故, 应认为无效。

试验 5 个试样。

表 2-5-11

绝缘厚度/mm		试验电压	绝缘厚度/mm		试验电压
>	≤	/V	>	≤	/V
0.024	0.035	65	0.070	0.090	165
0.035	0.050	85	0.090	0.130	200
0.050	0.070	115			

注: 试验电压为频率 50Hz 或 60Hz 的均方根值。

## 5.6 预期寿命评定

这里介绍的有常规法单一材料热寿命评定, 事实上绕组线在应用时单一材料应用是不存在的, 譬如说漆包线制成绕组后, 必须浸渍以及与许多槽绝缘, 浸渍漆等材料组合在一起应用, 实际上是许多材料组合在一起而存在“相容性”问题。

在应用新绝缘材料时, 经常采用与已经有试用经验材料进行比较, 即将要评定的绝缘结构和一个已知在运行条件下相似的电工设备中, 经过实际运行考验证明功能良好的绝缘结构——参照结构, 放置在同一模拟试验条件下进行比较试验, 因而试验结果提供的不是绝对数值, 而是相对数据。

又如常规法的寿命评定试验很费时间, 一般须 2~3 年, 而且经常还未能获得圆满的结论; 因此又发展了用热差分析 (DTA) 和热重分析 (TGA) 来探索热寿命快速评定方法。下面将分别简要予以介绍。

### 5.6.1 用常规法评定漆包线的温度指数

漆包线热寿命的评定, 目前是以绝缘劣化的化学反应机理为基础, 采用耐热性试验方法来评定的。由于科学技术的发展, 出现了以各种组合和各种方法来使用绝缘材料, 其结果, 使绝缘材料的耐热性能也不尽相同, 故国际绝缘材料会议曾建议: 一种绝缘材料可以因使用要求的不同和环境条件的不同, 而有二种以上的温度指数 (temperature index); 并认为应以试验和经验二者为依据, 来确定绝缘材料的温度指数。温度指数和这样的温度有关, 即在这温度下, 材料将具有按试验确定的或由使用经验估计的一定寿命。由于应用场合的不同, 致同一绝缘材料由于因子作

用的不同, 而可获得不同的温度指数, 即单一绝缘材料因使用要求不同, 试验参数不同而可有不同的温度指数。

常规评定耐热性方法是通过扭绞试样间电气强度下降测定漆包圆线在常压空气中的热寿命和温度指数, 以耐电电压作失效判据, 试验结果可作为评定绝缘结构的依据和设计电气设备时选择漆包线的参考。同时也适用于:

测定漆包线和浸渍漆组合绝缘的热寿命和温度指数, 研究浸渍漆和漆包线的相容性。

测定除空气以外其它气体或液体环境中漆包线的热寿命和温度指数。

测定不同金属导体及导体表面经不同处理的漆包线热寿命和温度指数。

#### 1. 试验设备

1) 老化试验箱 最高工作温度 320℃ 以上, 放样处时间和空间的温度误差应小于 ±2℃。能强迫连续补充新鲜空气。

#### 2) 电压试验台

试验电源 电压频率: 50Hz 或 60Hz

电压波形: 近似正弦波形

峰值系数:  $\sqrt{2} \pm 5\%$  (1.34~1.48)

从 0~1500V, 电压应能连续可调。施压 1s 应能自动切断电源。

试验变压器 额定容量: ≥500VA

输出波形: 近似正弦波

输出电流: ≥5mA

最大电压降: 不超过 2%

试验台的灵敏度 当有 5mA 或更大电流通过高压回路时, 输出电压不能小于开路时端电压的 90%, 并应立即切断高压和发出击穿信号。

3) 试样架至少能放置 11 个成型试样, 并保证试样的下端露在架外和保护试样免受机械损伤。

#### 2. 试样制备

1) 取样 从其他各项性能均符合产品标准规定要求的漆包线中, 选取导体标称直径 0.75~1.50mm 厚漆层漆包线样, 最少 11 个, 一般以 20 个为好。取样长约 400mm。

2) 将取样对折后按表 2-5-12 规定扭绞。扭绞时应缓慢匀速, 以便得到节距均匀的扭绞线对。

表 2-5-12

导体标称直径 $d/mm$	线对径向张力 /N	125mm 长度内 的扭绞数
$d > 0.75 \sim 1.05$	13.5	8
$d > 1.05 \sim 1.50$	27.0	6

3) 扭绞试样在图 2-5-23 所示的成型架内成型。将试样置于架中,沿互相平行的端线将隔片推向架端,使其固定。

隔片用热稳定性好的绝缘材料制备,如图 2-5-24 所示。

成型架的工程图,如图 2-5-25 所示。

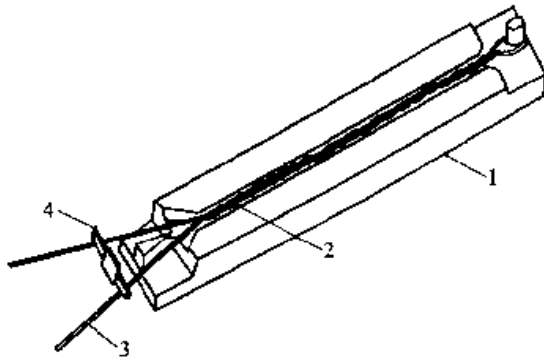


图 2-5-23 装在成型架中的试样  
1—成型架 2—扭绞成型的漆包线  
试样 3—试样端部平行弯曲套上  
隔片 4—隔片推到成型架端

4) 在有最大间距的两处剪断端环如图 2-5-26 所示。为使端头间距大些而必须弯动漆包线时,应避免损伤漆包线扭绞部分。

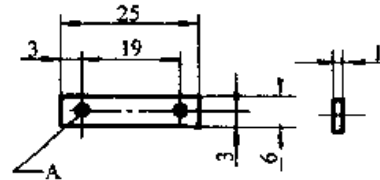


图 2-5-24 隔片

材料—耐高温绝缘材料 A—两个与线径相配的孔

5) 按表 2-5-13 规定对制备好的试样进行电压试验,以保证老化前试样性能均匀。

表 2-5-13

漆膜厚度/mm	试验电压/V	电压持续时间/s
$> 0.035 \sim 0.050$	1500	1
$> 0.050 \sim 0.070$	2100	1
$> 0.070 \sim 0.090$	3000	1
$> 0.090 \sim 0.130$	3600	1

6) 用于测定漆包线与浸渍漆组合绝缘相容性的试样,还应进行浸渍处理。先用适当的溶剂将浸渍漆稀释到适当粘度,以便得到需要的浸漆厚度。试样浸入漆中,直到隔片被浸没,浸渍时间不少于 30s。以大约 100mm/min 的速度均匀缓慢地从浸渍漆中取出试样,按浸渍漆制造厂或用户推

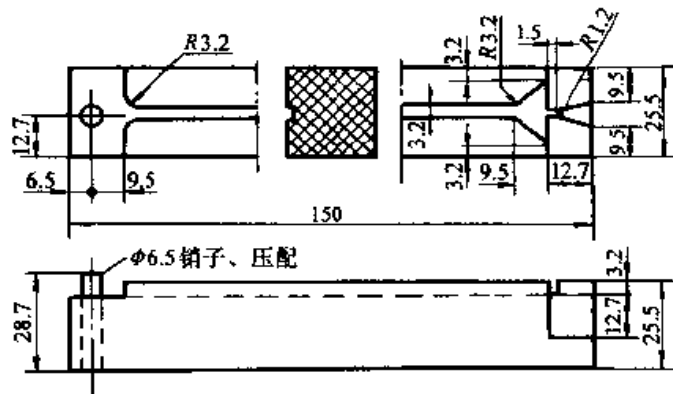


图 2-5-25 扭绞线对成型架  
材料—铝



图 2-5-26 端环剪断后形成的试样

荐的温度和时间烘干。一般浸漆一次,当研究浸漆厚度的影响时,可浸数次,每浸一次都要改变试样的浸渍方向。

### 3. 试验步骤

1) 温度暴露 按照表 2-5-14 选择老化温度

表 2-5-14 建议的周期时间

(单位: d/周期)

老化温度 / °C	预 估 温 度 指 数						
	105~109	120~130	150~159	180~189	200~209	220~229	240~249
320							1
310							2
300						1	4
290						2	7
280					1	4	14
270					2	7	28
260				1	4	14	49
250				2	7	28	
240				4	14	49	
230			1	7	28		
220			2	14	49		
210			4	28			
200		1	7	49			
190		2	14				
180	1	4	28				
170	2	7	49				
160	4	14					
150	7	28					
140	14	49					
130	28						
120	49						

和周期时间。

选择的老化温度应使试样达到寿命终点时能经受 10 个周期左右的老化。若试样达到寿命终点的平均老化周期数少于 8 个或多于 20 个, 可以调整表 3 中暴露温度或周期时间, 也可在试样老化若干周期后, 改变周期时间, 以调节和控制试样的失效周期数在 8~20 范围内。

2) 预热老化箱达到选定的老化温度, 其放样区的温差应保持不超过 ±2°C。将制备好的试样(或连同试样架)放入老化箱的放样区。

试样应暴露在至少三个, 最好四个老化温度。温度间隔不应大于 20°C, 最低的老化温度不应比预估的温度指数高 25°C。试样在最低老化温度的失效时间应大于 5000h。小于 100h 便失效的试样, 不应用来计算平均寿命。

3) 电压试验 每一周期老化后, 从老化箱中

取出试样, 冷却到室温。按表 2-5-15 规定经受电压试验。

未失效的试样, 投入老化箱, 进行下一周期老化。

表 2-5-15

漆膜厚度/mm	试验电压/V	电压持续时间/s
>0.035~0.050	500	1
>0.050~0.070	700	1
>0.070~0.090	1000	1
>0.090~0.130	1200	1

4) 一个老化周期包括高温暴露和室温(20~30°C)电压试验。试样直接放入已加热到选定温度的老化箱内或从箱中取出, 不必控制加热或冷却的速度。



4. 确定寿命—温度关系的回归线 用  $y=a$   
 $+bx$  表示

5. 几种漆包线的热寿命——温度曲线 (见图  
 2-5-27)

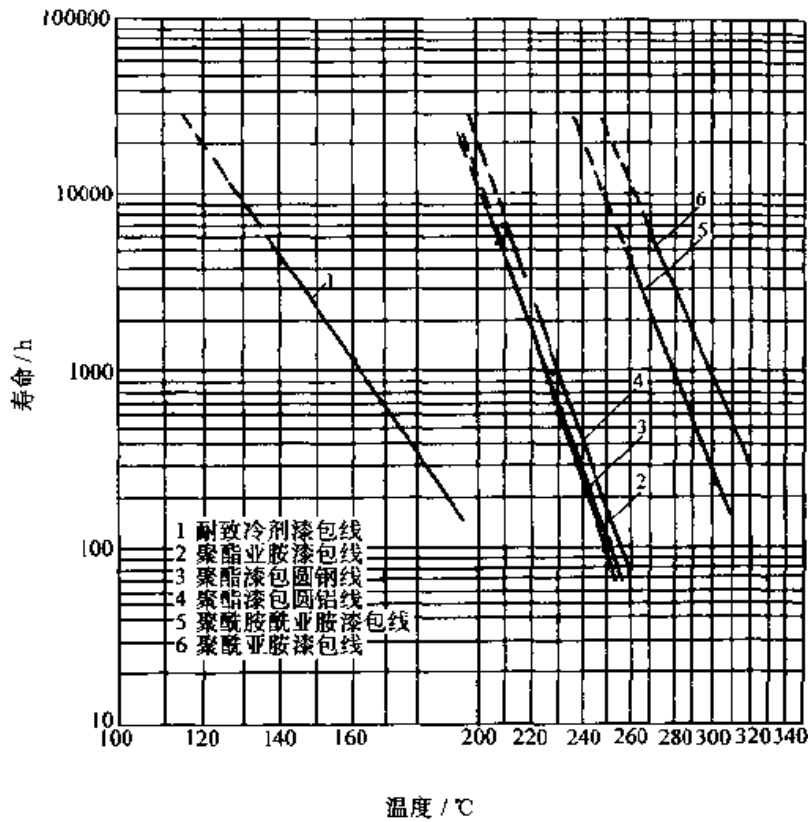


图 2-5-27 常用漆包线热寿命-温度曲线

5.6.2 热分析 (快速热寿命评定)

物质受到热处理时,原则上都会伴随发生某些物理、化学和机械性能方面的变化,热分析即是对这一变化进行分析的一类技术。定义是:在温度程序控制下,测量物量的物理性质随温度(或时间)变化的一类技术。

材料的老化,其基本的原因是材料结构化学变化的结果,化学变化严重,则老化快。热稳定性良好的物质,化学变化亦必然稳定。

化学变化时,随之而来的有热焓的改变(放热或吸热),在很大程度上,热焓的改变是化学反应过程的直接量度,而差热分析(DTA)就是记录和分析物质化学反应过程热焓改变的一种方法,通常以热差分析曲线表示之,如图 2-5-28 所示。

化学变化,又会引起重量的改变(增重或失重),在很大程度上,重量的改变是化学反应程度的客观表现;热重分析(TGA)就是记录和分析材料重量随温度和时间改变的一种方法,通常以

热重曲线表示之,如图 2-5-29 所示。

由于这个缘故,就有可能把热分析技术作为研究物质老化过程及其热稳定性的一种手段。用这种方法在较短时间内便可获得材料的热寿命值。

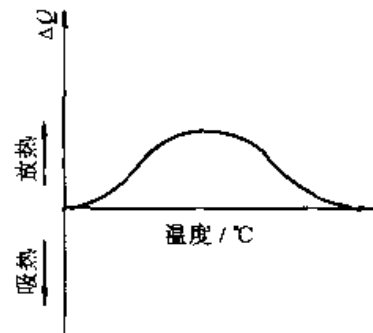


图 2-5-28 热差分析曲线

目前这一方法,有关方面正在进行探索性的研究中。这里介绍的是采用热重分析方法来确定漆包线的寿命-温度值的一种方法,其基本的内容是:

1) 在不同的升温速度下, 获得漆膜重量损失比, 从热重曲线上求取活化能  $E$ 。

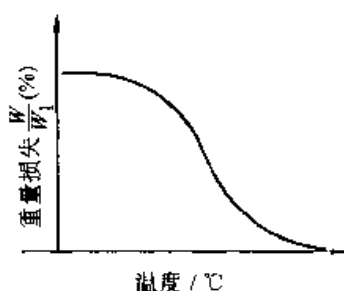


图 2-5-29 热重分析曲线

2) 用漆包线扭绞对在高温下进行常规试验, 求取其平均寿命值。

3) 根据寿命-温度方程式  $\lg L = a + \frac{b}{T}$  进行计算。

### 5.6.3 密封管试验 (相容性试验)

密封管试验主要为组合绝缘材料结构进行相容性试验, 同时对前已评定的绝缘结构进行少数绝缘组份替代的研究。

相容性是指物质相互共存的能力。绝缘材料之间的相容性是指二种及其以上的材料组合使用时, 由于物理、化学作用对性能产生的影响。材料组合后的性能与组合前的单一材料进行比较, 处于同一水平或有所提高, 表示组合材料之间的相容性是好的, 反之就意味着存在相容性问题。

根据 UL-1446《绝缘材料的结构 总则》中密封管试验方法叙述如下:

1. 试验设备 试验设备组成如下:

1) 能保持  $260\text{C} \pm 3\text{C}$  ( $500\text{F} \pm 5\text{F}$ ) 及以下温度的烘箱。

2) T 型玻璃管 (acrosol) 内径为 15/16in (23.8mm) 或更大; 长为 12in (305mm); 将大约 16in 长的开口玻璃管端部进行熔融密封; 或采用带有螺纹端盖的 No303 不锈钢管; 管子内径不大于 2in (50.8mm)。

3) 玻璃管和不锈钢管的密封衬垫材料: 六氟丙烯-偏二氟乙烯。对于  $155\text{C}$  ( $311\text{F}$ ) 或更高的绝缘结构则用四氟乙烯 (TFE)、氟橡胶 (FEF)、硅橡胶或铅。

4) 力矩扳手最大容量为  $100\text{lb} \cdot \text{in}$  ( $11.3\text{N} \cdot \text{m}$ )

2. 试样制备

1) 每根管子内的试样包括:

绕组线试样:

a) 绞线对通常用两根  $\phi 1.00\text{mm}$  厚层漆包线均匀扭绞 8 次而成。扭绞部分为 4.75in (121mm) 长, 扭绞时应力为 3lbf (13.3N)。绞线对两端各留出 2in (50.8mm) 不扭绞部分。

此外: 用纤维材料包绕的绕组线以直线试样试验。

b) 每个基准试样与替代样品组均用 5 个试样作评定。

诸如绝缘漆或粘合漆, 引接线、槽绝缘、层间绝缘或对地绝缘绑扎绳, 带或管等组份的尺寸及数量要近似于绝缘结构中所用各组份的比例。如果绝缘漆或粘合漆用于结构, 则绕组线试样应根据制造工艺进行固化。

c) 管子包括如下内容:

基准管 为安放评定过的绝缘结构中所使用的材料。如果原来的材料不再适用, 则只要其他材料有与原来材料等效的功能, 就可以此材料替代。

替代组份管 每个替代组份管用来安放新材料或附加的替代材料。并包括所有能与它们在绝缘结构中共同使用的材料和替代材料。通常不应该也不能把几种替代材料放在一个管子内。例如几种替代漆中每一个都必须按上述要求制备试样后在分开的管子中做试验。评定新的或替代组份的管子组表示了绝缘结构中各种材料组合的所有可能性。

2) 制备组装管子的建议如下:

a) 管子要求, 充以有效溶剂浸 24h 或更长时间; 用试管刷和清洁剂刷管壁; 彻底清洗用自来水冲二次, 再用蒸馏水清洗; 用干净的纱布擦干。

b) 管子、密封衬垫、旋塞、螺母及螺栓在  $105\text{C}$  ( $221\text{F}$ ) 烘箱内烘 1h, 然后取出冷却。

c) 绞线对插入管子在老化试验中不发生粘连, 其他组份材料定位在管内, 尽可能避免和绕组线接触, 开口玻璃管在装料前一端先封口。

d) 管子装料后, 管子、密封衬垫、旋塞、螺母及螺栓应在  $105\text{C}$  ( $221\text{F}$ ) 烘箱内干燥 1h。如用开口玻璃管, 则烘箱温度应达  $135\text{C}$  ( $275\text{F}$ )。由于在  $105\text{C}$  ( $221\text{F}$ ) 下材料不会充分干燥。故在放入管子前在调节到结构温度的烘箱中干燥 1h。

c) 螺栓和顶盖的下侧在放入烘箱前要薄薄

涂上一层硅脂。且这些零件应与衬垫材料和管子分开。

f) 从烘箱里一拿出来,就把衬垫材料和接线夹装入有防护套的管子。管子的端部即被密封,如果采用开口玻璃管则把开口熔封。

g) 用扳手以顺时针方向以  $5\text{ lbf} \cdot \text{in}$  ( $0.56\text{ N} \cdot \text{m}$ ) 到  $30\text{ lbf} \cdot \text{in}$  ( $3.4\text{ N} \cdot \text{m}$ ) 力矩旋紧。

h) 除了用开口玻璃管外,装配好的样品要立即放在热水中以减少冲击和破损的可能性。组合件放在水中至少  $5\text{ min}$ ,在冷却过程中管内形成真空。如果漏气,管子里就会吸进水,如果用开口玻璃管,则把管子再放回烘箱,然后可冷却到室温。

i) 取出管子,冷却到室温并检查内壁的冷凝水以证明可能的泄漏。

j) 在管子放进烘箱前,烘箱冷却到室温。管子放进烘箱后,烘箱升温。以后就不得打开,以免打开热烘箱时由热冲击造成管子的损伤。

k) 试样在绝缘结构等级温度再加  $25\text{ C}$  的温度下经受  $336\text{ h}$ ;例如,  $130\text{ C}$  级为  $155\text{ C}$  ( $311\text{ F}$ );即  $130\text{ C}$  ( $336\text{ F}$ ) 加  $25\text{ C}$  ( $\text{F}$ )。

### 3. 启封步骤

1) 按 5.6.4 节第 2 条第 11 款所述加热后,冷却烘箱到室温,然后取出管子。如果试样不能马上作评定则管子要保持密封。但试样保留不得超过三天。试样按下列步骤取出。

2) 直接在评定前把试样从管子中取出。

3) 小心分离试样作目测检查,尽量减少机械损伤。

### 4. 试样评定

1) 漆包线按下列评定:

a) 绞线对要作击穿试验。以每秒  $500\text{ V}$  的升压速度升压,直到击穿。比较替代试样与基准试样的试验结果。

b) 纤维绕包线试验电压加在导体与绕包于直线部分中间的金属箔之间。

c) 比较替代试样与基准试样的柔软性,并作记录。

d) 观察比较替代试样与基准试样的色泽及全貌,并作记录。

2) 组份材料按下列评定:

a) 测量介电强度、柔软性及各主要性能。

b) 管和绝缘导线作介电击穿试验。

c) 观察比较替代试样及基准试样的色泽和

全貌,并作记录。

### 5.6.4 耐水线的常压工频加速寿命试验

本试验方法适用于耐水线的加速寿命试验。

#### 1. 试验设备

1) 光电检流计(灵敏度为  $10^{-10}\text{ A/格}$ )高阻计。

2) 试验电压 试验电压应为标称频率  $50\text{ Hz}$  近似正弦波形的交流电压。试验电压为  $1000\text{ V}$ ,峰值系数在  $\sqrt{2} \pm 5\%$  范围内。当高压回路通过  $20\text{ mA}$  或更大的电流时,过电流装置应动作,并指示击穿。

2. 水溶液 试验用水溶液按下列组成配置(重量比):

自来水	100
洗衣粉	0.75
碳酸钠	0.50
碳酸氢钠(实验用)	0.50

#### 3. 试样制备

1) 标称截面  $3\text{ mm}^2$  及以下耐水线的试样长度不得小于  $250\text{ m}$ ;标称截面  $3\text{ mm}^2$  以上耐水线的试样长度不得小于  $150\text{ m}$ 。

2) 线圈的绕制 标称截面  $3\text{ mm}^2$  及以下耐水线的试样,按图 2-5-30 所示的线圈芯子尺寸绕制。有效长度为  $20\text{ m}$ 。

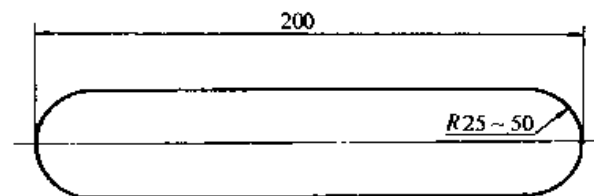


图 2-5-30 耐水线试验线圈

标称截面  $3\text{ mm}^2$  以上耐水线的试样,按直径为  $\phi 220\text{ mm}$  的线圈芯子尺寸绕制。有效长度为  $10\text{ m}$ 。

#### 4. 试验步骤

1) 每次试验用 10 只线圈同时进行试验。

2) 将试验用水溶液倒入容器中,容器中水溶液的高度应超过线圈。升温至规定试验温度后加入适量石蜡,线圈两端的引线必须伸出容器之外。液面以上的引线长度应不小于  $500\text{ mm}$ 。

3) 在 10 只线圈离端部约  $50\text{ mm}$  处的绝缘层表面上分别用细铜丝结扎并接地。

4) 在线圈上施加试验电压进行浸水通电试

验。每天用光电检流计或高阻计测定绝缘电阻  $R$ ，测定电压为直流 1000V。测得的电阻换算为  $M\Omega \cdot km$ 。

整个试验过程中水溶液温度应不超过试样的允许温度。

5) 当试样的泄漏电流达到或大于 20mA 时，施加试验电压的时间 (h) 为该试样的寿命值。

5. 试验结果与计算 寿命以 h 为单位。中值寿命——将获得 10 个线圈的寿命值以递增或递减次序排列，中间两个寿命值(即第 5、6 两个)的算术平均值 (h)。

### 5.7 玻璃膜绝缘微细线的性能测试

玻璃膜绝缘微细线(包括锰铜和镍铬合金微细线)，主要用于高灵敏度、高稳定性和小型的电工仪器仪表中，因此对其电阻性能和电阻稳定性的测定非常重要。现将微细线线径测量，电气性能，机械性能等方面的试验方法分述如下。

#### 5.7.1 玻璃膜绝缘微细线线径和线芯的测量

微细线线径和线芯用平均线径和平均线芯表示之，因为微细线线芯一般皆在  $10\mu m$  以下，且由于制造工艺的原因，其公差范围较大的缘故，仪表的绕组一般皆控制其电阻值，故测定微细线的平均线径和平均线芯很有必要。

玻璃膜绝缘微细线线径的测量方法有三种：

##### 1. 用杠打千分尺测量外径法

1) 测试工具 用精密杠杆式千分尺，其分度值为  $1\mu m$ 。

2) 试样准备 从线轴上取下试样。

3) 测量步骤 用杠杆千分尺在试样同一截面二个相互垂直的方向进行，每个试样测量三次，而取其算术平均值。

4) 注意事项 从线轴取下试样要轻而慢；测量应在空气不太流通的地方进行。

##### 2. 电阻法测量线芯

$$\text{计算公式 } R = \rho \frac{L}{S}$$

式中  $R$ ——导线电阻 ( $\Omega$ )；

$L$ ——导线长度 (m)；

$S$ ——导线截面积 ( $mm^2$ )；

$\rho$ ——材料电阻系数；

锰铜线的  $\rho$  为  $0.266 \sim 0.276$  ( $\Omega \cdot mm^2/m$ )；

镍铬线的  $\rho$  为  $0.965 \sim 1.115$  ( $\Omega \cdot mm^2/m$ )。

当  $L$  为 1m 长度时，上式可化为

$$d = 1.125 \sqrt{\frac{\rho}{R}}$$

式中  $d$ ——线芯直径；

$R$ ——1m 的电阻。

在知道材料的电阻系数和 1m 长度的电阻后，即可求得线芯的直径。

玻璃膜绝缘微细锰铜线每米的电阻值见表 2-5-16。

表 2-5-16 玻璃膜绝缘微细锰铜线每米电阻值  
(锰铜线成分: Mn9.03%, Ni2.94%, Cu 余量)

线芯直径 / $\mu m$	$\rho$ 为 0.266 $\Omega \cdot mm^2/m$ 时每米电阻下限 / $\Omega$	$\rho$ 为 0.276 $\Omega \cdot mm^2/m$ 时每米电阻上限 / $\Omega$	每米电阻平均值 / $\Omega$
3.0	37631.2	39045.9	38338.6
3.1	35260.7	36586.3	35923.5
3.2	33091.2	34335.2	33713.2
3.3	31115.8	32285.6	31700.7
3.4	29312.6	30414.6	29863.6
3.5	27661.4	28701.3	28181.4
3.6	26145.1	27127.9	26636.5
3.7	24751.1	25681.6	25216.4
3.8	23467.1	24349.4	23908.3
3.9	22279.9	23117.5	22698.7
4.0	21168.2	21964.0	21566.1
4.1	20157.6	20915.4	20536.5
4.2	19209.9	19932.1	19571.0
4.3	18325.8	19014.8	18670.3
4.4	17502.9	18160.3	17831.3
4.5	16733.8	17362.9	17048.4
4.6	16013.5	16615.5	16314.5
4.7	15340.3	15916.9	15628.6
4.8	14707.5	15260.4	14983.9
4.9	14112.9	14643.5	14378.2
5.0	13547.2	14056.5	13801.9
5.1	13027.7	13517.5	13272.6
5.2	12531.8	13002.9	12767.4
5.3	12062.6	12516.4	12289.7
5.4	11620.8	12057.7	11839.3
5.5	11201.9	11623.0	11412.5
5.6	10805.1	11211.3	11068.2

(续)

线芯直径 / $\mu\text{m}$	$\rho$ 为 0.266	$\rho$ 为 0.276	每米电阻平均值 / $\Omega$
	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 时每米电阻下限 / $\Omega$	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 时每米电阻上限 / $\Omega$	
5.7	10397.5	10788.4	10592.9
5.8	10075.0	10451.8	10262.4
5.9	9734.3	10100.3	9917.3
6.0	9407.9	9761.6	9584.8
6.1	9106.8	9449.1	9277.9
6.2	8815.2	9146.6	8980.9
6.3	8537.4	8858.4	8697.9
6.4	8272.7	8583.7	8428.2
6.5	8020.3	8321.8	8171.1
6.6	7778.9	8071.4	7925.2
6.7	7548.5	7832.2	7690.4
6.8	7328.2	7603.7	7465.9
6.9	7117.2	7384.8	7251.0
7.0	6911.8	7171.6	7041.7

3. 显微镜法测量线芯和线径

1) 测量仪器 光学生物显微镜, 放大倍数为  $10 \times 100$  或  $15 \times 100$ 。

2) 测量步骤 将试样放在生物显微镜下观察线芯和线径。

3) 注意事项 因放大倍数较大, 又因微细线包裹透明的玻璃膜, 因此观察时可能出现干涉条纹, 影响测量读数, 故可将微细线浸入 (或滴上) 与玻璃具有折光指数相近的香柏油来消除干涉条纹的影响。

5.7.2 玻璃膜绝缘微细线的电性能测试

微细线的电气性能包括: 米电阻、电阻温度系数、玻璃膜的耐电压等, 其中电阻温度系数对于保证仪表、仪器的质量, 性能的稳定有直接的影响。

1. 米电阻的测量

1) 测量装置 用“定长线段焊接法”较为简便, 所用装置及测量线路如图 2-5-31 所示。

2) 测量步骤 将微细线二端放在涂满锡的焊片上, 微细线经拉直后, 用烙铁熔化焊锡, 使微细线全部浸没在焊片的焊锡中。冷却后, 微细线连同玻璃膜都粘在焊片上, 将焊片外的二线头沿焊片边缘拉断, 此时微细线长为  $200\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 。

微细线拉断时已露出线芯, 故不必进行剥头, 在微细线二端头滴上少许松香酒精溶液焊剂, 进行线芯和线路的焊接, 焊通后用电桥测出  $0.2\text{m}$  线段的电阻值。

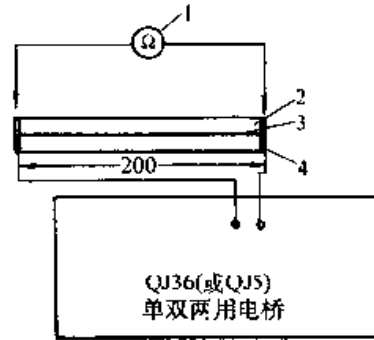


图 2-5-31 定长米电阻的测量

1 欧姆表 2 绝缘板 3 被测微细线 4—焊锡和铜片

2. 电阻温度系数  $\alpha$ 、 $\beta$  的测量方法 由于微细线是用于高精度、高灵敏度、高稳定性的仪器仪表元件中, 因此在一定的温度范围内, 温度系数必须极小, 应不随时间而改变其数值; 并且在与铜接触对产生的电动势很小。温度范围要求为  $10 \sim 40^\circ\text{C}$ 。

1) 测试设备

a) 三个超级恒温油槽 (油槽应保证试样和温度计之间的温度差均匀达到  $0.1^\circ\text{C}$  以下, 油槽温度的自动控制幅度应小于  $\pm 0.05^\circ\text{C}$ ), 分别把试样保持在  $10^\circ\text{C}$ ,  $25^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$ 。

把标准电阻 (比较法用) 保持在  $25^\circ\text{C}$  (亦可用两个恒温槽, 一个保持试样的温度, 并把它依次调整至  $10^\circ\text{C}$ ,  $25^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$ ; 另一个保持标准电阻的温度)。

b) 测量油槽温度的温度计 (必须能指示  $0.1^\circ\text{C}$  以下温度变化)。

c) 电桥和检流计, 可用五位或六位电桥和检流计配合。

2) 试样准备 将测量样品绕于高频瓷骨架上, 每个样品的电阻值, 约为  $1 \times 10^5 \Omega$  左右, 将绕好的试样——电阻线圈焊入金属保护外壳的绝缘板二接线柱上。为了消除绕制时的应力和焊接产生的影响, 必须将样品进行热处理。其方法是将试样放在  $130^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  温度下处理  $48\text{h}$ , 处理共分四个周期, 每次保温  $12\text{h}$ , 然后冷却到室温。

3) 测量步骤

a) 将热处理过的线圈放在恒温油槽内, 分别在 10℃, 25℃, 及 40℃ 三个温度下, 用电桥或电位差计测定其相应的电阻值  $R_{10}$ ,  $R_{25}$ ,  $R_{40}$ 。

b) 恒温槽的自动温度控制幅度为  $\pm 0.05^\circ\text{C}$ , 测定程序应先从 40℃ 开始, 温度逐点下降, 测完 10℃ 这一点以后, 再把温度逐点上升, 重复测定 25℃ 及 40℃ 两点; 倘升温降温两次测得的  $\Delta R_{25}$  及  $\Delta R_{40}$  值相差不超过  $1 \times 10^{-3}$ , 则可认为测定精度可达要求, 允许把两次的值加以平均, 作为试验结果。

c) 用下列公式计算出  $\alpha_{20}$  和  $\beta_{20}$  值。

$$\Delta R_2 = \frac{R_{25} - R_{10}}{R_{10}}$$

$$\Delta R_3 = \frac{R_{40} - R_{10}}{R_{10}}$$

$$\alpha_{20} = \frac{4\Delta R_2 + \Delta R_3}{50}$$

$$\beta_{20} = -\frac{2\Delta R_2 - \Delta R_3}{150}$$

3. 耐电压性能 玻璃膜绝缘微细线的耐电压性能是在施加电压时, 玻璃膜耐电压击穿的能力。微细线在制成元件或绕组后, 玻璃膜绝缘仍应具有可靠的电性能。其试验方法为:

1) 试验设备 用 0~6000V 的交流耐压试验装置, 其原理电路如图 2-5-32 所示。它用自耦变压器来调整电压, 因此电压变化可看成是连续升高的。

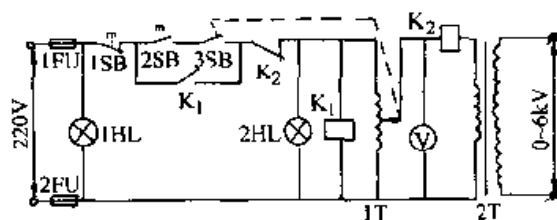


图 2-5-32 交流击穿电压试验装置原理电路图

2) 试样准备 每轴微细线取首末各一段 (约 5m 长), 每段测量不少于 2 次, 每次试验长度约 1m。

3) 试验步骤

a) 微细线的一端用凡士林粘在金属棒上的一端 (金属棒直径约为 10~20mm, 长 100mm 微细线的另一端, 用松香焊在一焊片上, 焊片上挂

5g 的砝码 W, 使微细线在承受 5g 的拉力下均匀地绕于金属棒上。共绕 15 圈左右, 如图 2-5-33 所示。卷绕完后把粘在棒上的一端解下 5 圈左右, 接于耐压试验装置的一电极上 (可用焊接法或在线头端部滴上一些导电液), 在金属棒上留下 10 圈微细线 (解头时必须注意不要使这 10 圈微细线松开)。

b) 在线芯和金属棒间加上 50Hz 的交流电压, 电压平稳地自零上升至击穿, 电压升高速度不超过每秒 100V。

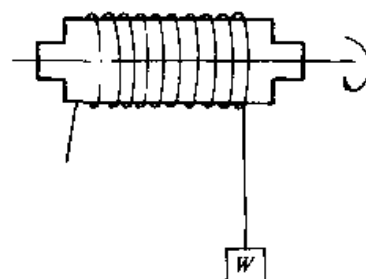


图 2-5-33 玻璃膜绝缘微细线耐电压试验的样品示意图

c) 用 4 次击穿电压的算术平均值作为该轴微细线的击穿电压。

### 5.7.3 玻璃膜绝缘微细线的力学性能测试

由于微细线线径非常微小, 因此微细线必须具有一定的拉力强度, 才不致在制造和加工过程中, 因轻微拉力而断裂; 同时微细线在制成绕组过程中, 玻璃膜受到弯曲和卷绕, 因而要求玻璃膜须有一定的弹性, 不因卷绕而使玻璃膜开裂, 损坏绝缘性能。

1. 微细线的拉力 微细线的拉力, 是微细线在经受一定的张力作用, 而不断裂的能力。微细线拉力测定方法有三种:

1) 直接测定法 在微细线下端直接挂一砝码, 然后缓慢提起微细线所能提起的砝码, 即表示微细线已承受了砝码重量的拉力。所提起的最大重量即表示微细线的抗断能力。

另一测定方法是先把微细线焊在拉力纸片上, 纸片的上孔穿入支架的挂钩上, 下孔挂上一砝码盘, 如图 2-5-34 所示。然后剪去图中剖面线部分, 并在砝码盘中逐一加入小砝码 (可用小铁珠等物代用)。直到微细线拉断为止。砝码盘与砝码的总重量即表示微细线的拉断力。

2) 浮力拉力法 利用物体在水中的浮力与

重力的差来代替砝码，以达到连续加力的目的。

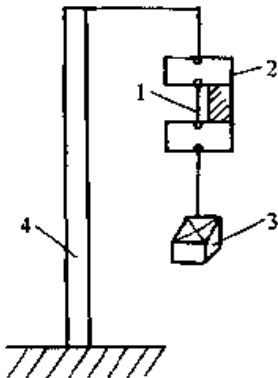


图 2-5-34 玻璃膜绝缘微细线  
拉力试验示意图  
1—样品 2—拉力纸片  
3—砝码盘 4—支架

图 2-5-35 所示浮力筒为 100g，筒高为 100mm，总体积为 100mm<sup>3</sup>，采用铝质空心圆柱体，因此筒上每一刻度即代表 0.01N 拉力，这样使浮筒高度数和它的重量数相等，因此当浮筒全部浸没在水中时，浮筒的合力为零，即微细线不受力；而当浮筒逐渐露出水面时，浮力不断减少，使微细线的拉力不断增加，力的大小等于浮筒重量减去浮筒的浮力。此力直接可由浮筒上的刻度读出。增加拉力的速度可用控制放水的快慢来调整。

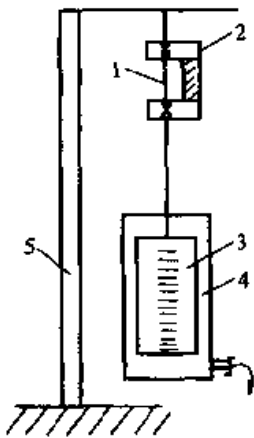


图 2-5-35 用浮力法测定  
拉力示意图  
1—样品 2—拉力纸片 3—浮力筒  
4—盛水容器 5—支架

3) 单纤维强力机测定法 由于 Y161 型纤维拉力机，只能测量棉毛一类的纤维拉力，对于硬而脆的玻璃膜绝缘微细线不能夹入拉力机的拉力夹头中，因而无法直接使用，故采用拉力纸片方法。

拉力纸片用牛皮纸或电缆纸均可。将纸剪成槽形，中间为 10mm（作为拉力标距）。然后将微细线用松香焊于（烙铁不宜过热）纸片的中心线，见图 2-5-36 这样便成了拉力试样。

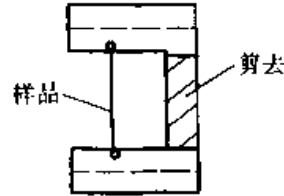


图 2-5-36 纤维拉力机夹头示意图

将纸片上端夹入拉力机的上夹头之中，纸片下端夹上一纤维夹子（1g），然后剪去纸片中间的带剖面线部分，此时微细线受 0.01N 的力将线拉直，再将下端纸片夹牢在下夹持器上。而后即按拉力机操作规程进行拉力测定。

加力速度一般以断裂所需时间在 2s 为标准。

每盘线需测量五次（拉断在纸片边缘者不计算），五次结果的算术平均值即为微细线的拉力。

2. 玻璃膜绝缘的弹性 玻璃膜的弹性，是指玻璃膜所能承受最小弯曲半径而不破损的能力。

玻璃膜微细线在制成绕组或元件时，玻璃膜都要经受弯曲作用，如果因弯曲而开裂，将无法使用，因此玻璃膜须有一定的弹性，保证工艺上的需要，其试验方法为：

1) 试验工具 卷绕锥形棒，见图 2-5-37。

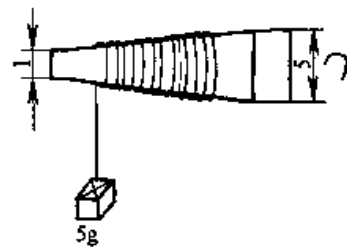


图 2-5-37 玻璃膜绝缘微细线弹性  
试验装置示意图  
(尺寸单位：mm)

2) 试验步骤 将 5g 砝码挂于焊上焊片的微细线端头，微细线的另一端头用凡士林粘于锥形金属棒的粗端。

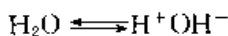
金属锥形棒用电机（或手摇）带动时，微细线就以恒定的 5g 拉力绕于棒上。因金属棒有锥度，

故微细线从粗的一端逐步卷绕到细的一端，当用目力观察到玻璃膜发生开裂处的部位，即为玻璃膜开裂的最小弯曲半径。

5.7.4 玻璃膜绝缘的针孔试验(玻璃膜绝缘的连续性)

由于微细线工艺上的原因，玻璃膜绝缘个别地方可能有微小缺陷发生，在电压作用下，这些地方会出现破坏点，对仪表、仪器的绕组或元件质量，将发生影响。

微细线利用水离解方法进行针孔检查，如图 2-5-38 所示。因为水是一极弱的电介质，可以离解，生成 H<sup>+</sup> 与 OH<sup>-</sup> 离子，即



由于 H<sup>+</sup> 呈酸性，OH<sup>-</sup> 呈碱性。

对于纯水来说，H<sup>+</sup> 离子浓度等于 OH<sup>-</sup> 浓度，故呈中性。

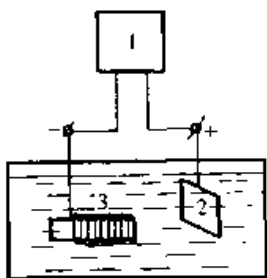
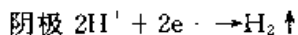


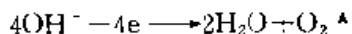
图 2-5-38 玻璃膜绝缘微细线针孔测试装置图

- 1 整流器 (60V 直流) 2 阳极铜板 3—微细线试样

当电极间施加一直流电压后，便使 H<sup>+</sup> OH<sup>-</sup> 定向运动，H<sup>+</sup> 移向阴极，OH<sup>-</sup> 移向阳极，二极产生如下反应：



阳极



在阴极板上 H<sup>+</sup> 得到电子，放出 H<sub>2</sub> 气，而使阴极周围 OH<sup>-</sup> 离子浓度增加而呈碱性；在阳极 OH<sup>-</sup> 失去电子，生成水并放出氧气，而使阳极周围 H<sup>+</sup> 离子浓度增加而呈酸性。

因此，在水中加入数滴酒精酚酞溶液之后，由于阴极周围呈碱性，故在其周围出现紫红色。

1. 试样准备 用 5g 拉力将微细线绕于直径为 10mm 的玻璃棒上。

2. 试验步骤 将绕于玻璃棒上的微细线浸没在盛有清水的玻璃缸内，把二端头接到电源的

阴极，此时微细线线芯即成为电介槽的阴极。用一铜板浸于缸的底部作为阳极。然后在二电极间施加 60V 直流电压。

在通电后 3~5min 若有变化现象，即在变化处存在针孔或裂缝。

5.8 无磁性漆包线密度磁化率的测定

5.8.1 试验目的

漆包线的磁性用密度磁化率来表示。密度磁化率即体积磁化率除以物体的密度。

漆包线磁性的测定是包括导体和绝缘漆中弱磁物质的总和。

由于磁电式仪表中的可动部分，不能含有铁磁性物质，故对处于磁场中的动圈，其无磁性的要求更高；由于动圈中铁磁杂质会使动圈受到磁力的作用，又因铁磁杂质分布不均匀和仪表气隙磁场的均匀，动圈在偏转的各个位置上所受的磁力是不相等的，故在高灵敏度、高精度仪表的动圈中，如有微量的铁磁物质，就会引起仪表灵敏度的变化，阻尼状态的不一致，以及刻度特性变劣等。所以目前高灵敏度、高精度磁电式仪表的动圈，多采用无磁性漆包铜线，以提高产品质量。

5.8.2 试验方法

1. 试验设备 WCFZ-65 型多用磁性分析仪，仪器的主要装置有二部分，即特殊形状的磁极(等磁力磁极)和扭力天平，其示意图分别见图 2-5-39 和图 2-5-40。

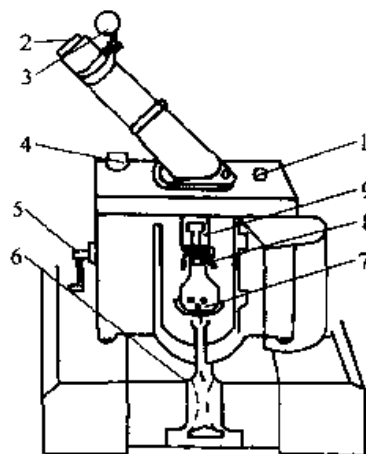


图 2-5-39 扭力天平示意图

- 1—水平指示器 2—观测目镜 3—反光镜  
4—扭转轮调节旋钮 5—开关 6—样品盒  
7—砝码盘 8—天平盘顶柱 9—天平臂



2. 测量原理 密度磁化率是用以测量弱磁性物质在磁场中所受的力来进行测量。在有外来磁场作用时,材料两端显示出符号相反的磁荷。若试样处于均匀磁场中,它的两端受到大小相等而方向相反的力,因而不可能发生移动;若试样处于不均匀磁场中,试样受到磁力  $F$ 。对于铁磁性和顺磁性的物质来说,磁力  $F$  指向磁场强度增加的方向;这力将使样品沿着磁场增加方向移动;对抗磁性物质,则力使样品沿着磁场减少方向移动。

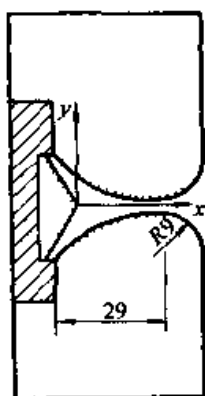


图 2-5-40 等磁力磁极

磁力  $F$  (dyn) 的大小, 由下式决定:

$$F = K \cdot m \cdot H \cdot \text{grad}H$$

- 式中  $K$ ——比重磁化率 ( $\text{cm}^3/\text{g}$ );  
 $m$ ——样品质量 (g);  
 $H$ ——试样所在处的磁场强度 (Oe);  
 $\text{grad}H$ ——磁场强度的梯度;  
 $H \cdot \text{grad}H$ ——比磁力 ( $\text{Oe}^2/\text{cm}^3$ ).

在等磁力的磁极中, 磁极空气间隙中一定区域内比磁力不随位置变化, 即  $H \cdot \text{grad}H = \text{常数}$ 。当试样的质量  $m$  和所受磁力已知时, 即可求出比重磁化率  $K$

$$K = \frac{F}{m \cdot H \cdot \text{grad}H}$$

样品的质量和所受磁力用扭力天平测定。

比磁力  $H \cdot \text{grad}H$  可根据励磁电流强度值, 从磁场检定结果查出。如图 2-5-41 所示。

磁场强度和电流的关系, 则如图 2-5-42 所示。

3. 样品准备 把无磁性漆包线卷绕成圈, 取下扎成棒状, 装在样品盒内, 棒状的直径不能太粗, 以直径 3~4mm, 长 15~25mm 为宜; 样品重量以 0.5g 左右为宜。

4. 测量步骤 将装有试样的样品盒, 固定在扭力天平秤盘下, 置于磁极中间, 离三角体磁极 4

~6mm, 平衡样品重量, 记下砝码数和中间刻线所指读数。通电励磁, 在不同电流强度下 (即在不同磁场强度下), 调整平衡点, 记录下样品所受磁力。测量前还须对空样品盒进行测定, 包括空盒的重量, 及不同励磁电流强度下测定空样品盒所受的磁力。

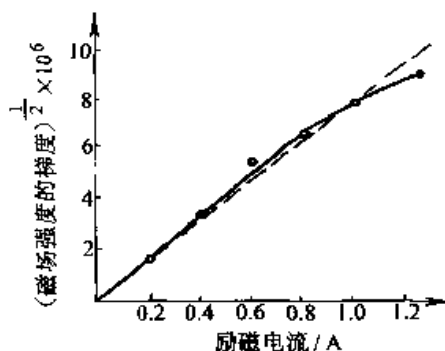


图 2-5-41 比磁力和励磁电流的关系

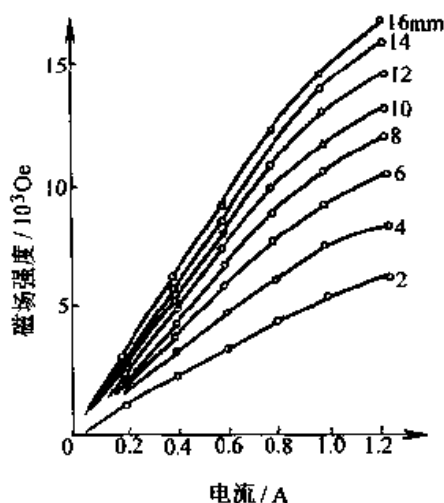


图 2-5-42 磁场强度和电流的关系

① 非法定计量单位,  $10\text{Oe} = 79.5775\text{A/m}$

在未加磁场时, 先在天平盘上, 加砝码以平衡样品重量, 加上磁场作用后, 由于力的作用, 平衡破坏, 须增加或减少砝码, 以达到新的平衡。

### 5. 影响比重磁化率的因素

1) 无磁性漆在制备时, 必须控制其含铁量不超过  $1 \times 10^{-4}\%$ 。因此, 所用的原材料必须再精提纯, 不能暴露在空气中, 漆的制备须在玻璃器皿中进行, 不能接触铁的器皿等。

2) 无磁性铜线必须采用特殊工艺制造, 其含铁量不应超过  $2 \times 10^{-4}\%$ 。

3) 涂漆工艺亦不能接触铁磁物质。

## 第6章 有关绕组线合理选用的若干问题

设计电工产品时,须根据电工产品的使用条件和制造工艺,有主次地分析其对绕组线的有关性能要求,并对可供选择的各种绕组线的优缺点进行比较,而后加以选用,以便既能保证产品质量,满足使用要求,又能降低成本。

### 6.1 合理选用绕组线时应注意的几个问题

1. 温度指数与热性能 设计电工产品时,一般根据产品的允许温升,或其线圈,绕组中可能出现的最高热点温度,选用相应温度指数的绕组线,并考虑适当的裕度。对要求使用寿命长,运行可靠性高,以及使用条件严格(如经常过负荷,频繁启动等)的电工设备,裕度应大些。

根据温度指数选择绕组线时,须结合有关组合绝缘材料的性能来考虑。例如线圈、绕组的绝缘浸渍漆或封装胶的温度指数,一般应与所选用的绕组线相近,并考虑绝缘浸渍漆中某些溶剂或稀释剂及封装胶中某些硬化剂可能降低绕组线的温度指数。

有时为了利用绕组线的某一特殊性能,也采用具备温度指数较高的绕组线。例如牵引电机、轧钢电机可靠性要求高,采用综合性能良好的聚酰亚胺薄膜绕包线。

振动较大,启动频繁的电机,其绕组匝间的压力较大,须考虑选用软化击穿温度较高的漆包线。

经常过载的中小型电工产品,宜选用热冲击及软化温度较高的漆包线。

2. 空间因素 为了缩小电工产品体积,提高绕组的空间因素,是选用绕组线必须考虑的问题。

空间因素与导体的形状(如圆线、扁线和带、箔等)有关,导体截面相同的绕组线以带箔的空间因素最高,扁线次之、圆线最小。

空间因素还与绕组线的绝缘层厚度以及线圈绕制的排列方式有关。绝缘层愈薄,空间因素愈高。漆包线及氧化膜铝线的空间因素最高,合成树脂薄膜次之,玻璃丝和绝缘纸最低。

高温条件下使用的电工设备,要求有较高的

空间因素,以抵消因高温降低导电率的影响。微型电机及电动工具电机等体积小的电工产品,要求有较高的槽满率。

为提高空间因素,要求绕组线线芯和绝缘层的公差控制在较小范围内,空间因素要求愈高,对公差的要求也愈高。

3. 机械性能 设计线圈绕组时,须根据其形状和内径,选用有适当柔软性的绕组线。绕组线太硬时,卷绕不易紧密;太软时,容易拉伸过度,以致线径变细,电阻增大。

绕组线在卷绕、嵌线、整形时,绝缘层要承受磨刮、扭绞、弯曲以及拉伸压缩,为避免损伤绝缘层,须根据卷绕速度、弯曲半径、以及嵌线松紧等不同情况,选用具备有适当耐磨性、耐刮性、耐弯曲性的绕组线。在设计重大电工设备及采用高速自动绕线工艺时,尤应优先考虑。必要时可选用具有高耐磨性优良的薄膜绕包线,或有高耐刮性好的复合层绝缘的漆包线。

经常过载、启动频繁、转速较高以及振动较大的电工设备,线圈绕组承受的应力较大,以采用复合层绝缘漆包线为宜。

4. 电性能 绕组线用的线芯应具有合格的电导率,其绝缘层应有足够的、稳定的耐电压能力(击穿电压)和绝缘电阻。

承受较大过电压的电机电器,应选用耐电压能力高的绕组线,如薄膜绕包线,玻璃丝包漆包线等。

在中、高频条件下使用的电信仪表,须选用介质损耗角正切小, Q 值大的绕组线,如高频绕组线、聚氨酯、油性漆包线等。

精密仪表要求选用线芯电阻和漆膜绝缘电阻长期稳定的漆包线。为降低对磁场的干扰作用,可选用含铁量极微的无磁性漆包线。

在高电压、高真空、高海拔条件下使用的电工设备,应考虑绕组线的抗电晕性能,并采取适当保护措施。

5. 相容性 选用绕组线时,须考虑它与有关组合绝缘材料的相容性。组合绝缘材料的化学组

成及温度指数与所用绕组线相同时,其相容性一般较好。但影响相容性的因素很复杂,必要时宜针对相容性要求,将有关组合绝缘材料与采用的绕组线一起,进行密封管功能性试验。

绝缘浸渍漆及封装胶对绕组线的相容性影响最大,除可能降低温度指数外,还可能由于溶胀作用影响机械性能和电性能。例如亚胺浸渍漆因含有溶剂二甲基乙酰胺,对聚酰亚胺漆包线起溶胀作用;319, EIU 浸渍漆因含有苯乙烯对聚酯漆包线起溶胀作用等。

所有组合绝缘材料如槽绝缘、层压板、绝缘油、绑扎带、套管、胶粘剂以及制造过程中使用的剩余焊剂、润滑油蜡等,都对绕组线有相容性作用,选用时,须加以考虑。例如聚氯乙烯或氯丁橡胶套管在高温处理或长期老化时会产生氯化氢,会损伤聚酯、聚酯亚胺、聚酰胺酰亚胺漆膜;又如绑扎带、绝缘纸、层压板、绝缘油在长期使用中能产生水分,在一定温度的密封系统中,会使聚酯、聚酯亚胺、聚酰亚胺绝缘层水解,使用时须注意。

6. 环境条件及其他因素 选用绕组线时,还须考虑电工产品在制造过程中的特殊性能要求和使用的特殊环境条件。例如用于高能物理、原子能工业及宇宙空间的绕组线须考虑其耐辐照性,可选用无机绝缘类绕组线。用于海洋、地质、油井勘探设备的绕组线须考虑其耐深水压力、耐盐卤及耐油等性能。

农用潜水电机用的绕组线须考虑其耐水性,可选用聚乙烯或聚氯乙烯绝缘耐水绕组线,高温给水用潜水泵电机绕组线,可考虑耐温性能较好

的交联聚乙烯绝缘绕组线。

用于化学工业的各种电工产品,须针对可能接触到的不同化学药物,考虑绕组线的耐化学腐蚀性能,例如耐酸、耐碱等。须注意某种绕组线对某些化学药品的耐腐蚀性能差,例如聚酰亚胺不耐碱。

为简化和改进制造工艺,可使用便于加工的绕组线,如自粘、直焊漆包线,以及自粘直焊漆包线。采用自粘漆包线可不用线圈骨架、有利于改进产品结构、降低成本。

7. 绕组线的加工性 加工性包括绕制性(Windability)、成型性(Formability),嵌入性(Insertability)。绕制性即指在绕制线圈过程中,绕组线抗拒机械损坏和电气损坏的能力。绕制性好的绕包线制成的线圈最紧密、最服贴。成型性即指能经受弯曲和保持线圈形状的能力,成型性好的绕组线、绕成的线圈能保持线圈的形状不变,从绕线机上取下后,线圈能保持各种角度,长方形的线圈不会鼓成桶形,单根线不会跳出。嵌入性即指绕制成的线圈嵌入线槽的能力。因此,具有良好加工性的绕组线必须是柔韧的,表面是光滑的。

8. 价格问题 这是设计人员和客户所关心的问题,根据不同绕组线和不同品种的电机,绕组线的成本约占整个电机成本总成本的1/10~1/7。这一概算仅能作为参考。

## 6.2 常用漆包线主要性能的比较

常用漆包线主要性能比较见表2-6-1和图2-6-1。

表 2-6-1 常用漆包线主要性能比较表

漆包线种类	温度指数	机械性能			电性能			热性能			耐有机溶剂性能				耐化学药品性能		耐致冷剂(氟里昂-22)性能
		耐刮性	弹性	击穿电压	介质损耗角正切	软化击穿温度	热老化	热冲击	溶剂油、二甲苯、正丁醇混合溶剂 <sup>①</sup>	二甲苯、正丁醇混合溶剂 <sup>②</sup>	二甲苯	苯乙烯	5%硫酸	5%盐酸	5%氢氧化钠	5%氯化钠	
油性漆包线	105	差	好	良	优	差	良	可	差	差	差	差	良	良	好	良	—
缩醛漆包线	120	优	优	良	好	可	良	优	良	差	良	可	良	差	差	良	差
聚氨酯漆包线	130	可	良	良	优	良	良	可	优	优	优	优	优	优	良	优	—
聚酯漆包线	130	良	良	优	好	优	优	可	良	好	良	差	良	良	差	良	差
聚酰亚胺漆包线	180	良	优	优	—	良	优	良	优	优	优	优	良	良	差	良	优

(续)

漆包线种类	机械性能			电性能			热性能			耐有机溶剂性能				耐化学药品性能		耐致冷剂(氟里昂-22)性能	
	温度指数	耐刮性	弹性	击穿电压	介质损耗角正切	软化击穿温度	热老化	热冲击	溶剂油、二甲苯、正丁醇混合溶剂 <sup>①</sup>	二甲苯、正丁醇混合溶剂 <sup>②</sup>	二甲苯	苯乙烯	5%硫酸	5%盐酸	5%氢氧化钠		5%氯化钠
聚酯亚胺-聚酰胺复合层漆包线	180	优	优	优	—	优	优	优	优	优	优	优	优	优	优	优	优
聚酰胺漆包线	220	可	优	优	良	优	优	优	优	优	优	优	优	差	优	优	可
聚酯亚胺-聚酰胺酰亚胺复合层漆包线	200	优	优	优	—	优	优	优	优	优	优	优	优	优	优	优	优

① 溶剂油：二甲苯：正丁醇=6：3：1。

② 二甲苯：正丁醇=1：1。

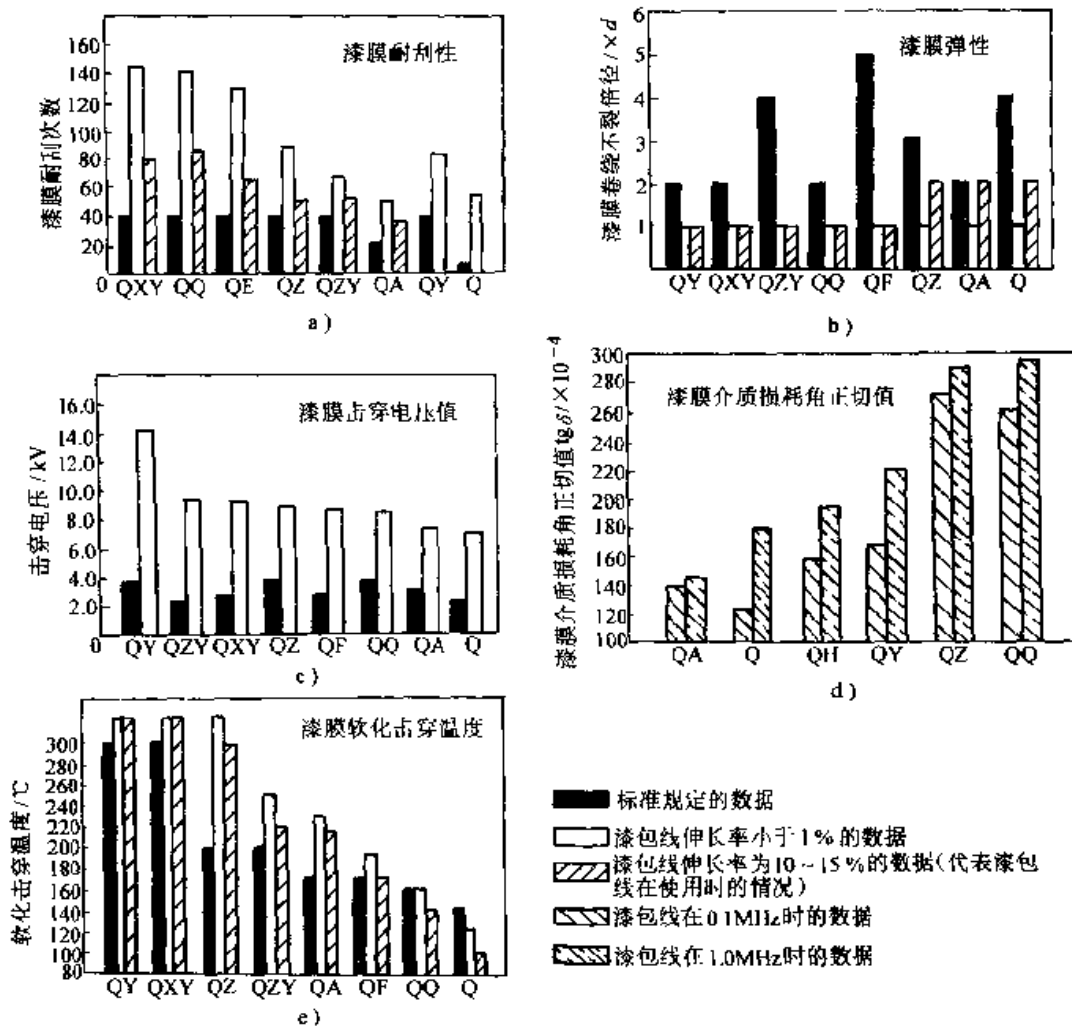


图 2-6-1 常用漆包线性能比较

(试样直径 1.00mm, 漆膜耐刮性试验采用多次刮漆试验方法其他条件按标准的规定)

Q—油性漆包线 QH—环氧漆包线 QA—聚氨酯漆包线 QZY—聚酯亚胺漆包线 QZ—聚酯漆包线  
 QY—聚酰胺漆包线 QXY—聚酰胺酰亚胺漆包线 QF—耐致冷剂漆包线 QQ—缩醛漆包线

### 6.3 绕包线的一些特性

1. 玻璃丝包线的一些特性 分别见图 2-6-2 ~图 2-6-6。

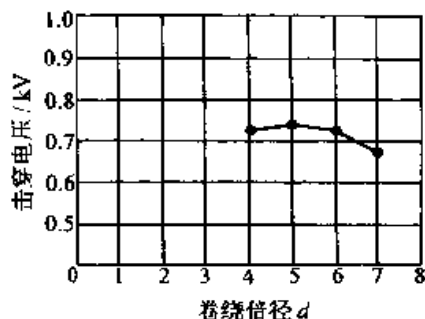


图 2-6-2 直径 3.53mm 双玻璃丝包线卷绕倍径与击穿电压的关系

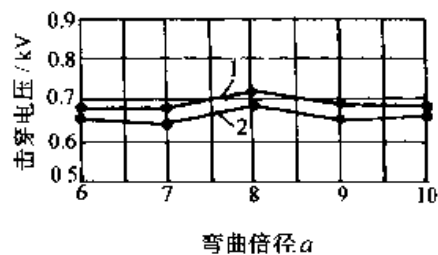


图 2-6-3 1.25x5.9mm 双玻璃丝包扁线，弯曲倍径与击穿电压的关系  
1-老化前 2-在 160°C ± 3°C，老化 24h 后

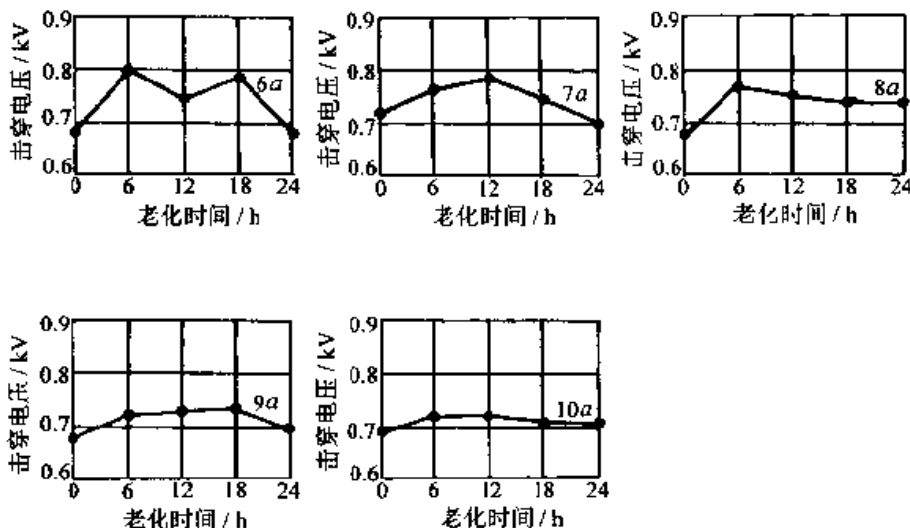


图 2-6-4 1.0x5.1mm 双玻璃丝包线，当弯曲倍径  $a$  不同时，老化时间与击穿电压的关系

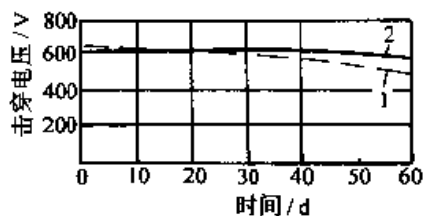


图 2-6-5 玻璃丝包线击穿电压和热老化时间的关系  
(热老化温度 200°C ± 5°C)  
1-醇酸漆玻璃丝包线 2-硅有机漆玻璃丝包线

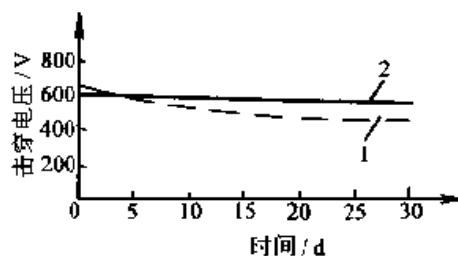


图 2-6-6 玻璃丝包线击穿电压与受潮时间的关系  
(相对湿度 100%)  
1-醇酸漆玻璃丝包线 2-硅有机漆玻璃丝包线

2. 纸包线绝缘厚度特性 纸绝缘厚度和击穿电压关系见图 2-6-7。

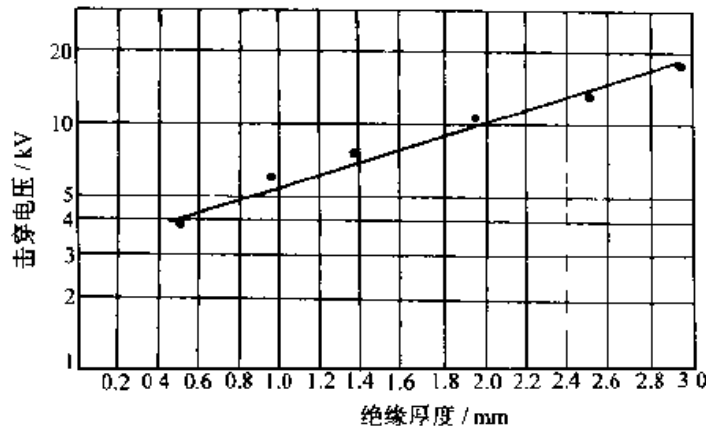


图 2-6-7 纸包线击穿电压与绝缘厚度的关系

### 6.4 高温绕组线导体保护层的一些特性

高温导线用导体保护层的一些特性见图 2-4

1、图 2-6-8 和图 2-6-9。

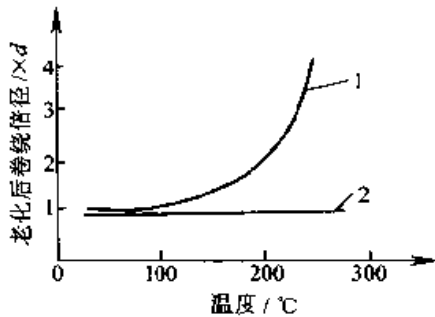


图 2-6-8 铜线表面保护层对漆膜弹性的影响

1—聚酰亚胺漆包圆铜线  
2—聚酰亚胺漆包镀银圆铜线

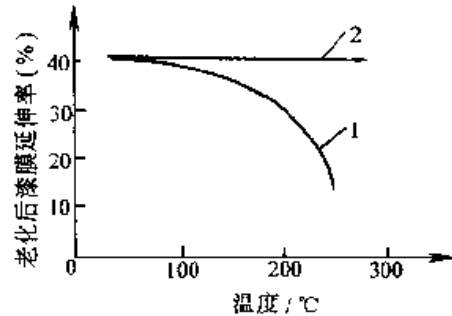


图 2-6-9 铜线表面保护层对漆膜伸长率的影响

1—聚酰亚胺漆包圆铜线  
2—聚酰亚胺漆包镀银圆铜线

### 6.5 电工产品选用绕组线举例

电工产品选用绕组线举例见表 2-6-2。

表 2-6-2 电工产品选用绕组线举例

种类	电磁线名称	温度指数	交流发电机		交流电动机					直流电动机	变压器 <sup>①</sup>				仪表电信设备用线圈	电力系统用线圈		
			大型	中小型	通用大型	通用中小型	通用微型	起重、辘道型	防爆型	耐致冷剂型	电动工具	轧钢、牵引型	高温干式	一般干式			油浸大型	油浸中小型
漆包线	油性漆包线	105														●	●	
	缩醛漆包线	120		● <sup>②</sup>		●	●			●			●		●	●	●	●
	聚氨酯漆包线	130					●									●	●	
	环氧漆包线	120				●			●			●	●		●	●		●
	聚酯漆包线	130		●		●	●			●	●	●	●			●	●	●
	聚酯亚胺漆包线	180		●		●	●	●	●	●	●	●	●					●
	聚酯亚胺-聚酰胺复合层漆包线	180		●		●	●	●		●	●	●	●					
	聚酰亚胺漆包线	220								●		●						

(续)

种类	电磁线名称	温度指数	交流发 电机			交流电动机						直流电 动机	变压器 <sup>①</sup>				仪表 电信 设备 用线 圈	电力 系统 用线 圈	
			大 型	中 小 型	一 般 用 途	通 用 大 型	通 用 中 小 型	通 用 微 型	起 重 、 辘 道 型	防 爆 型	耐 致 冷 剂 型	电 动 工 具	轧 钢 、 牵 引 型	高 温 干 式	一 般 干 式	油 浸 大 型			油 浸 中 小 型
漆 包 线	自粘直焊漆包线	—						●										●	
	自粘性漆包线	—						●										●	
	耐致冷剂漆包线	105								●							●		●
	聚酯亚胺 聚酰胺酰亚 胺复合层漆包线	200		●			●	●	●	●	●	●	●						
绕 包 线	纸包线	105													●	●			
	玻璃丝包线	130,155,180		●	●	●	●		●	●		●	●	●					●
	玻璃丝包漆包线	130,155,180	●	●		●			●	●		●	●	●					●
	丝包线	—																●	
	丝包漆包线	—																●	
	聚酯亚胺-氟 46 复合 薄膜绕包线	200		●			●					●	●						
	玻璃丝包薄膜绕包线	130,155,180	●	●		●	●		●	●									
其 他 绕 组 线	氧化膜铝带(箔)	—											●	●					
	丝漆包铜束线	—																●	
	换位导线	105													●				

- ① 包括互感器、调压器、电抗器等。
- ② 表中注有“●”者，表示可供选用的绕组线。

### 6.6 漆包线与浸渍漆的相容性试验

则》用密封试管方法进行相容性试验，F级绝缘结构相容性试验结果，见表 2-6-3。

1. 例一：根据 UL-1446《绝缘材料标准总

2. 例二：用改性聚酯漆包线与 6895F 级环氧

表 2-6-3 漆包线与 F 级浸渍漆的相容性试验

槽绝缘	漆包线	浸 渍 漆							
		319-2	E1U	112	155-1	9101-1	F130	D021	1142
SMS NMN NMN-D	QZ(G)-2/155	良 良 可	良 优 良	良 优 优	良 良 可	差 差 差	良 良 可	良 良 差	良 良 良
SMS NMN NMN-D	QZY-2/180	优 优 优	优 优 优	优 优 优	良 优 优	优 优 优	优 优 优	优 优 可	良 优 优

(续)

槽绝缘	漆包线	浸 渍 漆							
		319-2	EIU	112	155-1	9101-1	F130	D021	1:42
SMS	Q(ZY/X)-2/180	良	良	优	差	良	优	良	差
NMN		差	良	优	差	良	良	差	良
NMN-D		差	差	优	差	可	差	差	差

注：表中槽绝缘 SMS 为聚砜纤维纸聚酯薄膜；NMN 为聚芳纤维纸聚酯薄膜；NMN-D 聚芳聚酯纤维混抄纸聚酯薄膜。

无溶剂浸渍漆和 SD1148 环氧聚酯无溶剂浸渍漆分别进行相容性试验。即用  $\phi 1.00\text{mm}$  改性聚酯漆包圆铜线按规定制成扭绞对，分别浸渍两种 F 级浸渍漆，经烘焙固化后放入不锈钢的密封试管内；然后将密封管置于比该漆包线耐热等级温度高

25℃（即 180℃）的烘箱内热老化 336h（14d），待冷却至室温后，对漆包线扭绞对作击穿试验。按标准规定若被试漆包线的击穿电压大于基准试样击穿电压的 50%，则评定该漆包线对浸渍漆相容性合格。见表 2-6-4。

表 2-6-4 155 级改性聚酯漆包线与两种 F 级浸渍漆相容性试验

F 级 浸渍漆	改性聚酯漆包线				
	外 观		击穿电压/kV		
	试验前	试验后	试验前	试验后	保持率
6895	棕黑	黑色光亮	12.2	9.0	73%
SD1148	棕黑	黑色光亮	14.4	10.7	74%
结论	相容		相容		

## 6.7 使用漆包线时应注意的事项

### 6.7.1 漆膜去除方法

漆包线的漆膜非常坚韧地附着于导体上，使用时可根据漆包线的品种及操作条件，从下列方法中选择最合适的漆膜去除方法：

1) 使用刀具的刃部刮去漆膜，或用砂纸打去漆膜；

2) 使用机械刮漆装置去除漆膜；

3) 浸入去漆剂去除漆膜；

4) 使用酒精灯或煤气喷灯烧去漆膜。为防止被烧部份以外处的过热及导体表面的氧化，应将燃烧部份浸入浓度约 50% 的乙醇中，使之急速冷却；

5) 浸入苛性钠或苛性钾的醇溶液中，取出后将漆膜擦去。碱溶液的浓度及温度越高，去除漆膜的时间越短。

### 6.7.2 加热处理

一般来说，漆包线受弯曲或伸长后，漆膜会产生应力。在此状态下，当漆包线与潮气、水、溶剂、化学药品等接触后，漆膜上会出现微细的裂纹，从而产生针孔及漆膜的脱落。这种现象称为湿裂 (wet crack)，而且大多数合成树脂漆包线都存在这种现象。但是，通过加热处理可以消除漆膜产生的应力、防止龟裂，这称之为热处理效应或熟成效应，其加热温度与时间是成比例的。

为了更好地提高漆包线的稳定性，充分发挥其特性，在线圈成型后及浸渍处理前，推荐采用加热处理法。加热处理的条件随线圈的大小及形状而不同，一般为 100~120℃、10~30min，仪器及器械为 100~120℃、1~2h，但耐高温漆包线（如聚酰亚胺）则为 150℃。

### 6.7.3 浸渍处理

电机电器中以缩醛为基的漆包线绕组，在加热处理后推荐进行浸渍处理。浸渍处理有以下重要作用：

祖国万岁上传



- 1) 使绕组固定于机器的本体,能耐振动与冲击;
- 2) 使绕组完全封闭,能防止大气中水分、尘埃、气体及其他有害物质的侵入;
- 3) 浸渍以共用的纤维质材料,其有耐水性能;
- 4) 提高线圈的耐热性及寿命;
- 5) 能防止金属的腐蚀。

浸渍漆一般使用油性醇酸漆、苯酚体系、环氧体系及其他合成树脂漆,应尽量避免使用含有醇、酮作为溶剂的浸渍漆。

#### 6.7.4 使用中的注意事项

1. 保管方面的注意事项 要包装完好,不应放在高湿度的库房内,不应受阳光直射,也不应置于酸、碱及有机溶剂附近。

2. 一般注意事项 工作场所应无尘、干燥,室温为 $5\sim 30\text{C}$ ;操作者的服装应清洁,手上不应沾有油污及灰尘;操作前应检查所使用机械的各部位,如不正常则应修理,核对所使用漆包线的名称、种类及规格。

3. 线圈卷绕时的注意事项 检查所用金属或木模的尺寸、形状、不得有尖角及凸起部分;漆包线自线轴放出时,应防止由于乱线、扭结而损伤漆包线;在有张力放线情况下,应调节好张力,避免漆包线过分伸长,类似金属等硬物不应接触漆包线表面;用自动绕线机高速绕制线圈时,由于张力大,与金属面接触机会较多,故需特别注意;当需要敲打线圈时,禁止使用铁锤,以使用木制、塑料制的锤子为好。

4. 成型时的注意事项 线圈成型时,由于漆包线受到弯曲、扭转、张力、冲击等机械应力,所以有必要在成型后进行加热处理。但是聚酯漆包线的加热温度如果达到 $150\text{C}$ 以上,它就会受到热冲击的影响,因此必须注意。

5. 成型后的注意事项 成型后的线圈在搬运或作其他处理时,应注意不使线圈产生变形或损伤漆膜。因此应考虑线圈的排列及放置方法问题。此外,在保管时应避免尘埃,特别是金属粉及潮气。

6. 线圈装配时的注意事项 用小竹片擦、用木锤敲打或弯曲时,应特别留心铁心上是否有尖角或凸出部分,并在槽口出口处应防止因摩擦而损伤漆膜。缩醛、耐热性漆包线的耐磨性好,而聚

酯为缩醛的60%,聚氨酯、油性漆包线较差,考虑到这些因素,故铁心不应有尖角或突起部分,槽的出口处,不应使漆包线产生过分的摩擦。

7. 浸渍处理的注意事项 为提高成形后线圈的机械、电气性能,抑制在高温高湿条件下漆膜的老化,采用浸渍处理有较好的效果。浸渍漆的选择应考虑到被浸渍的漆包线不为其所侵蚀,浸渍处理的条件应与漆包线的特性相一致,甚至有必要慎重考虑所谓相容性问题。

## 6.8 几种主要绕组线性能的研讨和应用

### 6.8.1 复合涂层漆包线

1. 复合涂层漆包线是发展的方向 复合涂层漆包线是绕组线重要产品之一,是当前发展的方向。复合层漆包线从其绝缘结构来说,是由二种或二种以上漆膜组成的漆包线。与单一涂层漆包线相比有如下优点:

1) 能满足特殊使用要求,例如自粘性漆包线、自粘直焊漆包线及耐冷冻剂漆包线等均可通过复合涂层结构来满足;

2) 利用二种及以上绝缘漆层各自不同的特性,从中可以取长补短,以改善和提高漆包线的使用性能。如聚酯/尼龙的结合,可使漆包线漆膜具有良好的耐热冲击性能和优良的卷绕性能,用这种复合漆包线制作的线圈可采用热浸渍工艺,并可应用于存在有瞬间过热的电机绕组;

3) 可以降低某些漆包线的生产成本,例如H级以上的漆包线,若采用聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合层漆包线替代单一涂层的聚酰胺酰亚胺漆包线,就能较大幅度降低成本;

4) 节约能源,如自粘性复合层漆包线在电机线圈中的使用,其直接通电热粘合的能耗,只有浸渍工艺的1/10。

近年来随着电机、电器产品迅猛发展和对漆包线质量要求的日益提高,复合涂层漆包线已广泛应用于密封电机、冰箱压缩机、电视机、继电器、变压器、步进电机等产品的绕组中。

聚酰胺酰亚胺和聚酰胺(尼龙)这两种材料,在发展复合涂层漆包线中,占有特殊的地位和有其重要的作用,是当今国外绝缘漆行业和漆包线行业研究和发展的主流。三涂层漆包线也在迅速发展中的应用中。

2. 复合涂层漆包线的一些特性 复合层漆包线的底漆和面漆怎样搭配, 以及两个漆层的厚度比例对产品性能影响的研究, 国内外都做了一定的试验研究工作。表 2-6-5 列出了不同品种面漆和底漆搭配对提高漆包线产品同一项性能的影响比较。图 2-6-11, 图 2-6-12, 图 2-6-13 分别表示面漆层和底漆漆层厚度比例对圆棒卷绕、热冲击和软化击穿性能的影响。图中试验用复合漆包线的线径为 0.71mm, 漆层总厚度为 0.071mm, 每种涂线试验工艺条件各保持相同。从这些曲线可以看出, 漆层厚度的比例对漆包线性能有明显的影响。因此, 在复合漆包线制造时, 应从性能要求和经济性方面综合决定其结构。

表 2-6-5 面漆和底漆层的搭配对性能的影响

项 目	对提高同项性能的相对比较			
	聚酯亚胺/ 聚酰胺 酰亚胺	改性聚酯/ 聚酰胺 酰亚胺	聚酯亚 胺/聚 酰胺	改性聚 酯/聚 酰胺
1. 圆棒卷绕	可	良	优	优
2. 铅笔硬度	优	优	良	良
3. 耐刮削性	差	良	可	优
4. 摩擦系数	可	可	良	优
5. 热冲击	优	优	良	良
6. 软化击穿	良	优	良	优

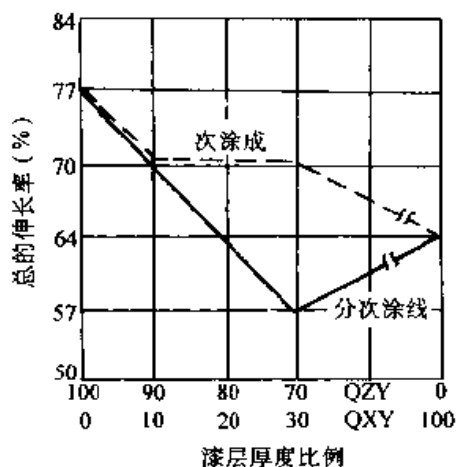


图 2-6-10 聚酯亚胺 (QZY) / 聚酰胺酰亚胺 (QXY) 复合漆包线预拉伸后的圆棒卷绕试验

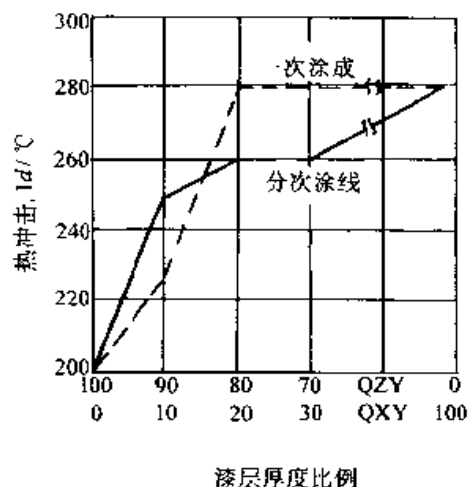


图 2-6-11 QZY/QXY 复合漆包线的热冲击试验

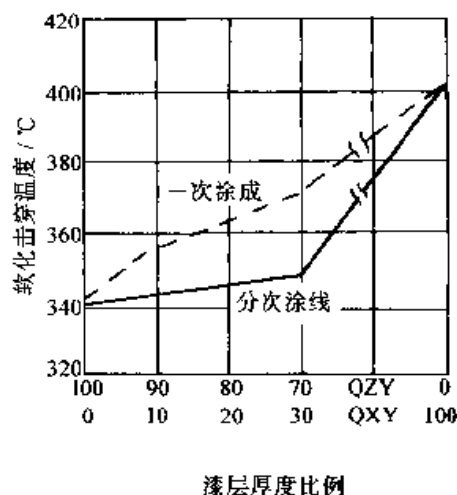


图 2-6-12 QZY/QXY 复合漆包线的软化击穿试验

从图 2-6-10~图 2-6-12 可以看出, 采用一次涂成的方法和分次涂线的方法生产的复合漆包线, 两者的性能是有显著差别。

### 6.8.2 密封电机用漆包线的选择

密封电机(包括全封闭制冷压缩机)用漆包线是目前漆包线中性能要求最严格的漆包线之一, 尤其是随着绕线机速度的提高对漆包线加工性能要求更高, 这方面有关部门曾进行过对某些漆包线的比较研究, 并获得一定的结果: 即密封电机中使用的漆包线, 仅仅考察它在冷冻剂中的发泡性

能是不够的, 单单在冷冻剂表现良好性能的漆包线未必是最好的选择。见表 2-6-6、表 2-6-7。

表 2-6-6 漆包线在 R22 中  
浸泡 28d 后的起泡情况

漆包线品种	发 泡 温 度		
	150 C	180 C	210 C
改性聚酯亚胺漆包线	不起泡	不起泡	不起泡
改性缩醛漆包线	不起泡	不起泡	不起泡
聚酯亚胺漆包线	严重起泡	严重起泡	严重起泡
聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺漆包线	严重起泡	严重起泡	严重起泡

表 2-6-7 漆包线在 R22 中浸泡后的耐刮次数

漆包线品种	未浸泡	浸泡 14d	浸泡 28d
改性聚酯亚胺漆包线	87	47	54
改性缩醛漆包线	55	7	6
聚酯亚胺漆包线	50	20	11
聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺漆包线	130	40	29

在表 2-6-6 和表 2-6-7 中, 以缩醛漆包线为例, 说明在 R22 中, 不起泡, 但其机械性能, 电气性能则发生了最急剧的变化, 其刮漆性能急剧下降。因此目前密封电机已不再推荐采用改性缩醛漆包线这个品种, 而改性聚酯亚胺漆包线和聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合层漆包线尽管发泡试验不理想, 但在耐冷冻剂环境中的性能保持良好, 是目前密封电机选用的主要品种。

### 6.8.3 自粘性漆包线的性能及应用

自粘性漆包线用于电工产品的制造, 可以简化绕组的制造工艺、节约能源, 消除污染、降低劳动强度。

用自粘性漆包线绕制的线圈, 可以通过烘焙或线圈直接通电或借助适当的溶剂使自粘涂层相互融流粘结, 进行物理化学作用, 冷却后自行固定成形。

自粘性漆包线可用于特殊形状或无骨架线圈, 如电视机偏转线圈, 线绕盘式微特电机的电枢等。

1. 自粘性漆包线的品种和技术参数 自粘性漆包线的品种有 A、E 级、B 级、F 级型, 其性能特点分别见表 2-6-8, 表 2-6-9。

表 2-6-8 自粘性漆的主要参数及漆包线特性

项 目		A、E 级	B 级	F 级
线 漆	漆基类型	缩丁醛树脂	高分子量环氧 或酚氧树脂	聚酰胺树脂
	固体含量	(11±2)%	(14±3)%	(10±1)%
	粘度	50~120s	15~25s	1000~2000CP
漆 包 线	特性	直焊型	耐热型	耐热型
	使用方法	溶剂活化, 加热	加热, 通电	加热, 通电
	线圈应用例	音响, 仪表, 偏转线圈	微电机, 电视偏转线圈	电机, 电器

表 2-6-9 自粘性漆包线主要技术参数

项 目	A、E 级	B 级	F 级	项 目	A、E 级	B 级	F 级
产品标准	GB/T 6109.9	GB/T 6109.8	IEC 258	0.5h	2d	1d	2d
				击穿电压/kV	>1.5	>2.2	>4.1
型号	QAN	QZN	QZYN	粘合温度/C	170	170	200
圆棒卷绕 d	1	1	1	热粘合力/N	>0.35	>0.35	0.7
热冲击试验	125~	155~	175 C,	直焊温度/C	275±5	-	-
	130 C,	160 C,					

注: 各型漆包线的技术参数均为 φ0.31mm 规格的数值。

F级 QZYN 自粘性漆包线已应用于 YZR112 型冶金及起重电机的绕组，其绝缘规范见表 2-6-10。

表 2-6-10 YZR112 型电机的绝缘规范

项 目	名 称
槽 绝 缘	自粘性 NMN, 0.25mm
	自粘性聚酯亚胺薄膜, 0.05mm
柜 绝 缘	自粘性 NMN, 0.25mm
漆 包 线	QZYN 0.85
	QZYN-0.90
槽 楔	自粘性 3240 层压板
	自粘性硅橡胶套管
套 管	自粘性硅橡胶套管
扎 带	自粘性无纺布扎带
引出线	乙丙橡胶电缆

YZR 112 型电机由于采用了自粘性箔片软绝缘结构，解决了绕组与槽绝缘及铁心间的粘结问题，使自粘性绕组的优点充分发挥。原来定子和转子需经白坏干燥-浸渍-干燥，现在只需一次性干燥固化，把原干燥浸渍固化所花的时间缩短了 13h。这种新工艺具有工艺简单、节能、无污染、劳动强度低等优点，这对外观要求较高的电机尤其方便。

且从上表得知，目前自粘性槽绝缘，自粘性绑扎带、自粘性槽楔绝缘等已经生产配套，为自粘性漆包线扩大生产应用创造了良好条件。

2. 自粘性漆包线应用性能的研讨

1) 再软化温度 再软化温度是指在一定烘焙条件下，对处理过的具有一定粘结力的线圈，失去粘结力时的温度。它对于考核自粘性漆包线的粘结层耐热性能，是有实际意义的。参照 DIN46453，对三种不同耐热级别的自粘性漆包线的再软化温度测定，其结果见表 2-6-11。由表可以看出，再软化温度均高于相应的耐热级别温度。

表 2-6-11 三种自粘性漆包线的再软化温度

项 目	QAN	QZN	QZYN
测定规格/mm	0.31	0.31	0.31
再软化温度/℃	125~130	135~140	178~188

2) 高温区域的粘结力 系研究自粘性线圈粘结力随环境温度的变化而变化的规律。由图 2-6-13 可以看出，三种耐热级别的自粘性线的粘结力，均随温度升高而呈下降趋势。但在耐热级别的温度下，粘结力均超过标准规定的数值。 $\phi 0.31\text{mm}$

自粘性漆包线的粘结力标准值为 0.35N，而在热级温度下这三种的粘结力分别达到 0.8N、0.75N 和 1.3N。

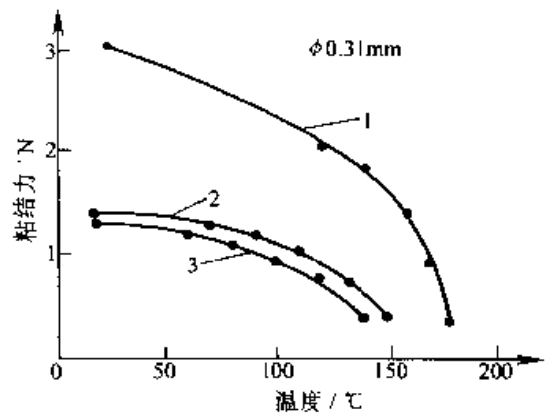


图 2-6-13 自粘性漆包线高温区域的粘结力

1—F 级 QZYN 自粘线 2—B 级 QZN

自粘线 3—自粘直焊漆包线

3. 自粘直焊漆包线的直焊性能 自粘直焊漆包线的有关性能分别见图 2-6-14 和图 2-6-15。

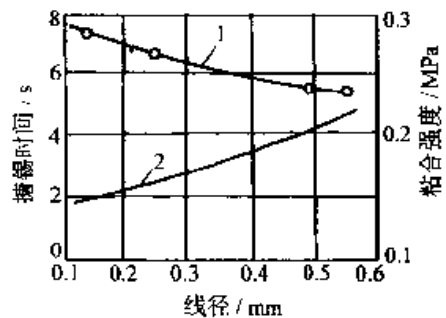


图 2-6-14 线径与自粘直焊性能的关系

(粘合条件：175℃，烘于 1h；

搪锡条件：375℃)

1—粘合强度曲线 2—搪锡时间曲线

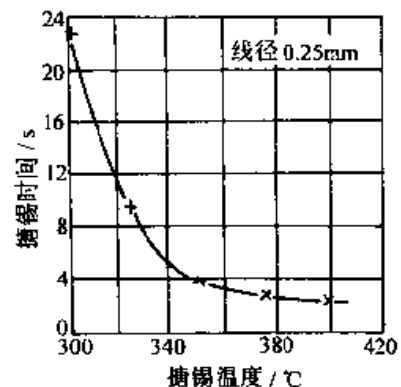


图 2-6-15 搪锡时间与搪锡温度的关系

6.8.4 C 级复合薄膜及单玻璃丝包扁铜线的生产与应用

C 级聚酰亚胺-F46 复合薄膜绕包单玻璃丝包扁铜线是在扁铜导体上先搭盖绕包聚酰亚胺-F46 复合薄膜,再绕包单层高支数无碱玻璃丝,然后浸渍 H 级“1152 有机硅漆”并绕结而成。它

具有耐热、耐油、耐辐射、耐磨诸特点而应用于海洋石油开采的驱动直流电机和干式变压器中,有良好的、广阔的应用前景。

1. 绕组线的性能、特点与应用

- 1) 性能见表 2-6-12。
- 2) 特点

表 2-6-12 C 级复合薄膜绕包线的性能

绕组线规格 /mm	击穿电压 /kV		伸长率(%)		20℃电阻率 / $\times 10^{-8}\Omega \cdot m$		浸水 24h 绝缘 电阻/M $\Omega$	
	标准	实 测	标准	实 测	标准	实 测	标准	实 测
2.65×11.80	4.5	最大 8.0,最小 7.4	32	37.5	1.7241	1.69	500	远大于 标准值
2.12×9.00	4.5	最大 8.1,最小 7.1	30	38	1.7241	1.71	500	
2.50×7.10	2.50	最大 5.8,最小 4.0	30	36	1.7241	1.69	500	
4.20×4.20	0.80	最大 1.5,最小 1.3	32	36	1.7241	1.724	500	
5.30×7.50	2.50	最大 6.2,最小 6.0	32	38	1.7241	1.7024	500	

a) 有优良的耐热性。根据寿命试验,外推长期工作温度 230~250℃。外推短期工作温度达 400℃;

b) 可减薄绕组绝缘结构。电机电器采用这种绕组后,整个绕组的绝缘结构可减薄 20%~50%;

c) 制造工艺方便。由于耐刮性好,表面光滑,绕组制作时嵌槽方便;

d) 耐油、耐化学稳定性好。用这种绕组线制成的钻井电机,可在 150℃,外压力为 13.7MPa 的 4500m 以上的井下使用。

3) 应用 用于海洋石油开采驱动直流电机、有载调压干式变压器的绕组, H 级直流电机、牵引电机、高压交流电机、核电站配套电机等。

2. 聚酰亚胺-F46 薄膜的耐水、耐油性能 从图 2-6-16、图 2-6-17 中表明的聚酰亚胺-F46 薄膜在经过高温油和水介质老化后延伸率的变化,可以看出:薄膜具有高的耐油性,用作充油式潜水电机绕组线,其绝缘效果很好;但在水中老化会导致薄膜的主要性能指标迅速下降。考虑到后一种因素,应采用防止水对绝缘层作用的一些办法来保证绕包线在潜水电机中能长期工作的措施,如采用了液体介质及其他作防水隔离层等办法,以保证绕组密封区工作的可靠性。

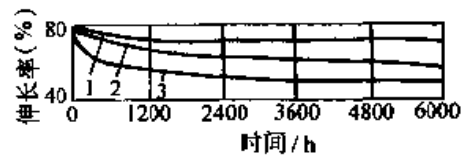


图 2-6-16 厚 40 $\mu m$  聚酰亚胺薄膜在变压器油中老化时伸长率的降低  
1—油温 120℃ 2—油温 150℃  
3—油温 180℃

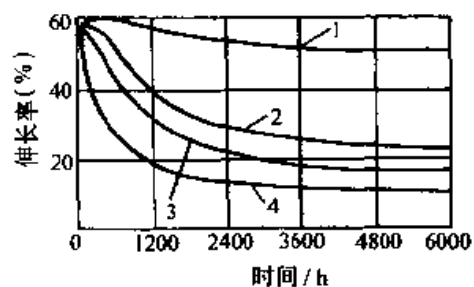


图 2-6-17 厚 30 $\mu m$  聚酰亚胺薄膜在水中老化时伸长率的降低  
1—水温 20℃ 2—水温 50℃  
3—水温 70℃ 4—水温 90℃

6.8.5 芳香聚酰胺纤维绕组线在 H 级干式变压器中的应用

芳香聚酰胺纤维纸的英文商名叫 Nomex<sup>®</sup>, 这种纤维纸是一种耐高温的高分子聚合物,由碳、氢、氧、氮四种元素化合而成。温度指数为 200~

220。

1. 干式变压器的特征及运行条件 干式变压器是一种以空气为绝缘和冷却介质的电器，其铁芯和绕组都不浸在任何绝缘液中，因此它对绝缘材料要求较高。

1) 耐潮性能好。要求绝缘材料在高温下吸湿后介电性能下降很少，能在相对湿度  $95\% \pm 3\%$  ( $+25\text{C}$ 时) 条件下长期工作；

2) 耐高温性能好。要求绝缘材料在高温 (B级  $130\text{C}$ ，F级  $155\text{C}$ ，H级  $180\text{C}$ ) 条件下不老化，且保持良好的绝缘性能；

3) 难燃性好。当发生故障时，变压器因强大的短路电流而导致火灾，这时变压器的绝缘材料不应燃烧；

4) 对火焰的自熄性好。当火灾发生后，绝缘材料应能很快自行熄灭；

5) 机械强度高。它应能承受一定外物损伤和绕组电动力的损伤；

6) 工艺性能好。在绝缘加工和线圈绕制过程中应能承受碰撞，适应冲剪、弯边、曲折的考验。

## 2. 芳香聚酰胺纤维纸的特性

1) 在一般大气中不熔融，不挥发，不能蒸馏，不助燃，对火焰有较强的自熄性；

2) 耐高温性能好，温度指数一般在 220 左右。在高温条件下能长期保持良好的机械性能和电气特性；

3) 由于分子链的柔顺性，弹性模量 (抗变形能力) 高，具有良好的机械强度；

4) 不溶于一般溶剂，抗化学及抗辐射能力强，能与工业油和漆相容。

3. 芳香聚酰胺纤维纸绕组线在 H 级干式变压器的应用 用 Nomex 纸制成的绕组线进行工频耐压、感应耐压、雷电冲击试验、温升试验、交变湿热试验等各项技术指标，均达到或超过规定的技术指标。用这种干式变压器，运行情况良好；如安装在坑道中，虽然上有淋水、下有积水、相对湿度 90% 左右、坑道中空气流通不好，散热条件差，使用环境十分恶劣，但干式变压器仍长期在额定负荷条件下运行；又如在移动变电站的干式变压器，在一次意外事故中，造成在变压器二次出口端短路，短路电流达数千安，而变压器却安然无恙。