

# 电机工程手册

## 第26篇 电线电缆

(试用本)

机械工程手册

电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

73.21073  
210  
26:1

# 电机工程手册

## 第26篇 电线电缆

(试 用 本)

机械工程手册  
电机工程手册 编辑委员会



机械工业出版社

本篇综合地介绍了输变电系统中用的架空导线、电力电缆、电气装备用电线电缆和电信系统中用的通信电缆及其接头附件的主要产品品种、结构设计、性能参数等基本技术数据、公式、曲线和图表等。对上述产品的工作原理、关键工艺、试验要求以及产品的合理选用、安装运行的注意事项和维护、产品的发展趋向等,也作了概要的介绍。

## 电机工程手册 第26篇 电线电缆

(试用本)

上海电缆研究所 主编

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

上海商务印刷厂印刷

新华书店上海发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/16·印张 12·字数 338 千字

1979年3月上海第一版·1979年3月上海第一次印刷

印数 00,001—73,000·定价 0.90 元

统一书号: 15033·4516

## 编辑说明

(一)我国自建国以来,机械工业在毛主席的革命路线指引下,贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针,取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验,同时采用国外先进技术,加强机械工业科学技术的基础建设,适应实现“四个现代化”的需要,我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二)这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用,也可供教学及其他有关人员参考。

(三)这两部手册是综合性技术工具书,着重介绍各专业的理论基础,常用计算公式,数据、资料,关键问题以及发展趋向。在编写中,力求做到立足全局,勾划概貌,反映共性,突出重点。在内容和表达方式上,力求做到深入浅出,简明扼要,直观易懂,归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时,《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成,构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分,共七十九篇;《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分,共五十篇。

(四)参加这两部手册编写工作的,有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员,更为广泛。许多地区的科技交流部门,为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、

审查、定稿各个环节中，广泛征求意见，发挥了广大群众的智慧和力量。

(五)为了使手册早日与读者见面，广泛征求意见，先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验，试用本在内容和形式方面，一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证，提出批评和建议，以便今后出版合订本时加以修订。

(六)本篇是《电机工程手册》第26篇，由上海电缆研究所主编，上海电缆厂参加编写。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助，在此一并致谢。

机械工程手册  
电机工程手册  
编辑委员会编辑组

## 常用符号表

$A$ ——导线截面	$Q$ ——单位体积热容量
$A_0$ ——近端串音衰减	$R$ ——导线电阻
$A_1$ ——远端串音衰减	$Re$ ——雷诺数
$A_{12}$ ——远端串音防卫度	$R_{in}$ ——绝缘电阻
$A_s$ ——屏蔽衰减	$R_T$ ——热阻
$A_f$ ——反射衰减	$r_c$ ——导线半径
$a$ ——需油率	$r_i$ ——绝缘半径
$a$ ——强度损失系数	$S$ ——导线中心轴间距离
$b$ ——油流阻力系数	$S$ ——屏蔽系数
$C$ ——电容	$S_f$ ——防护作用系数
$C$ ——单位重量热容量	$T$ ——周期
$d$ ——导线直径	$t$ ——短路时间
$D_i$ ——绝缘外径	$U$ ——工作电压、计算电压
$D_e$ ——电缆外径	$U_e$ ——线电压
$D_s$ ——护套内径	$u_\phi$ ——相电压
$E$ ——电场强度	$U_i$ ——冲击试验电压
$E_{av}$ ——平均工频击穿场强	$V$ ——体积
$E_r$ ——切向电场强度	$W$ ——功率
$E_y$ ——弹性系数	$X$ ——电抗
$e$ ——体膨胀系数	$Y_s$ ——集肤效应系数
$f$ ——频率	$Y_p$ ——邻近效应系数
$G$ ——单位长度重量	$\alpha$ ——电阻温度系数
$G$ ——绝缘电导	$\alpha$ ——线胀系数
$H$ ——磁场强度	$\alpha$ ——衰减常数
$h$ ——表面散热系数	$\beta$ ——相移常数
$h$ ——节距长度	$\gamma$ ——比重
$I$ ——长期允许工作电流(载流量)	$\Delta_i$ ——绝缘厚度
$I_{sc}$ ——短路电流	$\delta$ ——损耗角
$I_{ab}$ —— $a$ 、 $b$ 相间短路电流	$\operatorname{tg} \delta$ ——介质损耗角正切
$J$ ——经济电流密度	$\operatorname{tg} \delta$ ——磁损耗角正切
$J_s$ ——日照强度	$\Delta \operatorname{tg} \delta$ ——损耗角正切的增值
$K$ ——电容耦合	$\sigma_b$ ——抗拉强度
$K$ ——涡流系数	$\sigma_z$ ——波阻抗偏差的均方根值
$K$ ——铝钢截面比	$E$ ——表面辐射散热系数
$K_1$ ——抗拉强度老化系数	$\theta$ ——导线工作温度
$K_2$ ——伸长率老化系数	$\theta_a$ ——环境温度
$L$ ——电感	$\Delta \theta_c$ ——导线温升
$L$ ——距离、长度	$\epsilon$ ——介电常数
$m$ ——导线绞合层数	$\epsilon$ ——蠕变应变
$n$ ——绞合导线根数	$\cos \varphi$ ——功率因素
$n$ ——电线电缆芯数	$\lambda$ ——绞入系数
$n$ ——安全系数	$\lambda$ ——电磁波波长
$P$ ——绝缘电阻的电场系数	$\rho_V$ ——体积电阻系数
$P$ ——压力	$\rho_T$ ——热阻系数
$\Delta P$ ——压力降	$v$ ——传布速度
$P_B$ ——拉断力	$\mu$ ——导磁率
$p$ ——反射系数	$\mu$ ——粘度
$p$ ——绞线节距比	

# 目 录

编辑说明

常用符号表

## 第1章 架空导线

1 裸单线	26-1
1.1 铝包钢线和铜包钢线	26-2
1.2 镀锌低碳钢线	26-2
1.3 硬铜圆单线	26-2
2 普通绞线	26-2
2.1 铝绞线	26-3
2.2 铝合金绞线	26-3
2.3 铝包钢绞线	26-4
2.4 镀锌钢绞线	26-4
2.5 硬铜绞线	26-4
3 组合绞线	26-4
3.1 钢芯铝绞线	26-7
3.2 钢芯铝合金绞线	26-7
3.3 钢芯铝包钢绞线	26-7
3.4 钢-铝包钢混绞线	26-7
3.5 防腐钢芯铝绞线	26-8
3.6 钢芯软铝绞线	26-9
4 特种导线	26-9
4.1 扩径导线	26-9
4.2 高强度重防腐钢芯铝包钢绞线	26-10
4.3 自阻尼导线	26-10
4.4 防冰雪导线	26-11
5 电车线	26-11
5.1 钢铝电车线	26-11
5.2 铝合金电车线	26-12
5.3 铜电车线	26-12
6 架空导线主要技术参数的计算	26-13
6.1 拉断力	26-13
6.2 弹性系数	26-14
6.3 线胀系数	26-15
6.4 单位重量	26-15
6.5 架空导线交直流电阻	26-16
6.6 允许载流量	26-17
6.7 疲劳极限	26-18

6.8 蠕变 26-19

7 架空导线的选用、安装及使用	
注意事项	26-20
7.1 架空导线品种的选用	26-20
7.2 架空导线主要尺寸的确定	26-20
7.3 架空导线的安装及使用注意事项	26-21

## 第2章 电力电缆

1 电力电缆的品种、结构与性能	26-23
1.1 电力电缆的品种	26-23
1.2 粘性浸渍纸绝缘电缆	26-23
1.3 塑料绝缘电缆	26-24
1.4 橡皮绝缘电缆	26-25
1.5 自容式和钢管充油电缆	26-27
1.6 压缩气体绝缘电缆	26-28
1.7 低温电缆	26-30
1.8 超导电缆	26-30
2 电力电缆的结构设计	26-31
2.1 导线结构设计	26-31
2.2 绝缘结构设计	26-32
2.3 屏蔽结构设计	26-36
2.4 护层结构设计	26-37
3 电力电缆的载流量	26-38
3.1 长期允许载流量	26-38
3.2 短时允许负载电流	26-43
3.3 允许短路电流	26-44
4 电力电缆附件的品种、结构与性能	26-44
4.1 终端	26-44
4.2 连接盒	26-50
4.3 压力箱及护层接地保护器等其他 电缆附件	26-54
5 电力电缆附件的结构设计	26-55
5.1 普通连接盒和绝缘连接盒的内绝 缘设计	26-55
5.2 塞止连接盒的内绝缘设计	26-56
5.3 户外式终端的内、外绝缘设计	26-56
5.4 封闭式终端内绝缘设计	26-58

6	电力电缆选用和使用注意事项	26-59	7.3	油田生产用电缆	26-108
6.1	最大允许敷设位差	26-59	7.4	采掘用电线电缆(矿用电缆)	26-108
6.2	导线截面的选择	26-63	8	直流高压软电缆	26-109
6.3	电缆护层的选择	26-63	8.1	X-射线机用电缆	26-109
6.4	电缆的敷设	26-63	8.2	工业设备用直流高压软电缆	26-110
6.5	电缆终端及连接盒的安装	26-65	9	性能试验	26-112
6.6	电缆的维护	26-65	9.1	性能试验项目分类	26-112
6.7	电缆线路的故障及其检测	26-66	9.2	绝缘电阻	26-112
<b>第3章 电气装备用电线电缆</b>			9.3	耐电压性能	26-115
1	基本结构	26-69	9.4	弯曲性能试验	26-116
1.1	导电线芯	26-69	9.5	冲击、挤压和冲割试验	26-119
1.2	绝缘层	26-72	9.6	老化性能试验	26-119
1.3	屏蔽层	26-75	9.7	电线电缆的载流量	26-120
1.4	护层	26-76	<b>第4章 通信电缆</b>		
2	通用绝缘电线、软线和橡套电缆	26-78	1	电缆品种和结构	26-127
2.1	通用绝缘电线和软线	26-78	1.1	电缆品种	26-127
2.2	通用屏蔽绝缘电线	26-83	1.2	对称电缆的元件和缆芯结构	26-127
2.3	通用橡套电缆	26-83	1.3	同轴对和同轴电缆缆芯结构	26-128
2.4	农用电线电缆的选用和使用	26-85	1.4	护层结构	26-132
3	信号、控制电缆	26-86	2	通信电缆的电性能	26-133
3.1	通用信号、控制电缆	26-86	2.1	一、二次传输参数的基本概念	26-134
3.2	野外控制电缆和电梯电缆	26-88	2.2	一次传输参数的计算	26-134
4	电机电器用电线电缆	26-90	2.3	二次传输参数的计算	26-137
4.1	电机电器引接线	26-90	2.4	串音	26-138
4.2	电焊机用电缆	26-91	2.5	屏蔽	26-141
4.3	潜水电机用防水橡套电缆	26-91	2.6	波阻抗不均匀性	26-142
4.4	电光源用电线电缆	26-92	2.7	通信电缆代表产品的电性能	26-143
4.5	无机绝缘高温电缆	26-92	2.8	通信电缆的电性能测试	26-147
5	仪器仪表用电线电缆	26-93	3	通信电缆的设计	26-149
5.1	热工仪表用导线	26-93	3.1	对称元件材料和结构型式的选择	26-149
5.2	电工、电子仪器仪表用电线电缆	26-93	3.2	同轴对材料和结构型式的选择	26-150
5.3	医疗仪器用导线	26-96	3.3	对称元件结构尺寸的确定	26-151
6	交通运输用电线电缆	26-97	3.4	同轴对结构尺寸及其公差的确	26-151
6.1	汽车、拖拉机用导线	26-97	3.5	电缆缆芯结构的安排	26-152
6.2	机车车辆用导线	26-97	3.6	护层结构的选择	26-153
6.3	航空导线	26-99	4	通信电缆关键工艺要点	26-153
6.4	船用导线	26-100	4.1	泡沫聚乙烯挤塑工艺要点	26-153
7	地质勘探和采掘用电线电缆	26-102	4.2	高频对称电缆星绞工艺要点	26-153
7.1	检测电缆	26-102	4.3	聚乙烯鱼泡工艺要点	26-153
7.2	钻探电缆	26-104	4.4	中同轴对工艺要点	26-154



5 通信电缆的选用和使用时注意 事项.....	26-154
5.1 通信电缆的选用.....	26-154
5.2 通信电缆敷设时的注意事项.....	26-155
5.3 通信电缆接续时的注意事项.....	26-155
5.4 通信电缆的气压维护.....	26-155

### 附 录

附录 I 电线电缆型号命名方法 .....	26-155
附录 II 1~35 kV 纸绝缘电力电缆载流 量表.....	26-157
附录 III 1~35 kV 塑料、橡皮绝缘电力 电缆载流量表.....	26-161

附录 IV 橡皮、塑料绝缘电线、软线载流 量表.....	26-168
附录 V 橡套电缆、塑料绝缘护套电缆 载流量表.....	26-171
附录 VI 自容式充油电缆载流量表 .....	26-174
附录 VII 不同敷设条件下载流量的校 正系数.....	26-177
附录 VIII 单芯电缆金属护层感应电压 计算.....	26-178
附录 IX 自容式充油电缆供油系统参 数计算.....	26-180
参考文献.....	26-182

# 第1章 架空导线

输配电或通信线路中架空敷设用的裸导线，称为架空导线。架空导线与电缆相比，具有结构简单、制造方便、造价便宜、施工容易和便于检修等优点；但占用地面和空间较多，对建筑物和树木须有足够的安全间距。

对架空导线的主要性能要求如下：

**a. 电性能** 要求导线的电阻系数小，以减少线路的电压降和电能损耗。当线路电压为 110 kV 及以上时，应考虑电晕损耗和对外界电磁波的干扰。

**b. 机械性能** 导线应有足够的机械强度，以承受线路上导线的自重以及风压、冰雪和风激振动等因素引起的各种动、静负荷。电车线还需具有良好的耐磨性。

**c. 耐腐蚀性能** 导线应具有一定的耐大气腐蚀和电化腐蚀的能力，以适应不同使用环境的需要。

架空导线按其结构可分为裸单线、普通绞线、组

合绞线、特种导线和电车线等五类。常用的品种有铝绞线、钢芯铝绞线、铝合金绞线和钢铝电车线等。还有满足某些特殊要求的品种，如用于大跨越的高强度钢芯铝包钢绞线、可降低导线表面电场强度的扩径导线和减少导线疲劳断股的自阻尼导线等。架空导线的导体一般用铝，仅在特殊场合下允许用铜。

随着电力建设的迅速发展，架空输电线路正向超高压、大容量和远距离方向发展，相应地研制了高强度、高导电、耐热和耐腐蚀的铝合金，以及其他复合导体等新材料和新结构，提高了架空导线的技术性能和使用寿命。

## 1 裸单线

裸单线用于小容量配电线路和通信明线，主要品种有铝包钢线、铜包钢线、镀锌低碳钢线和硬铜圆单线几种，其型号、规格、用途列于表 26-1-1。铝和铝合金单线因强度较低，不允许架空使用。

表 26-1-1 裸单线的品种、规格和用途

品 种	型 号	线径范围 mm	标 准	用 途
铝 包 钢 线	GL GGL	3.7~4.4	企业标准	用于通信明线和小容量配电线路
铜 包 钢 线	GTA	1.2~6.0	企业标准	用于通信明线
镀锌低碳钢线	—	4.0~6.0	GB346-64	用于农用配电线路及通信明线
硬铜圆单线	TY	3.0~6.0	JB647-77	除特殊情况外，不采用

表 26-1-2 铝包钢及铜包钢单线代表规格的主要技术参数

产品及型号	线径 mm	镀锌钢线直径 mm	最小包层厚度 mm	线径偏差 mm	抗拉强度 kgf/mm <sup>2</sup> (不小于)	伸长率% (不小于)	电阻系数① (Ω·mm <sup>2</sup> /m)20°C
GL 型铝包钢线	4.0	2.8	0.30	±0.08	58.8	1.5	0.0501
	4.0	3.0	0.25	±0.08	66.8	1.5	0.0560
	4.0	3.2	0.20	±0.08	76.4	1.5	0.0643
GGL 型高强度铝包钢线	3.7	3.0	0.20	±0.08	88.3		0.0663
	4.0	3.2	0.20	±0.08	99.5		0.0643
	4.4	3.2	0.30	±0.08	82.3		0.0530
GT 型铜包钢线	1.6		0.08	±0.06	75	1.0	0.0522
	2.0		0.10	±0.06	75	1.0	0.0515
	2.5		0.12	±0.06	75	1.0	0.0510
	3.0		0.15	±0.06	75	1.0	0.0502
	4.0		0.20	±0.08	75	1.1	0.0502

① 表中提供的电阻系数均为直流电阻系数，下同。

1.1 铝包钢线和铜包钢线

铝包钢单线强度高、耐腐蚀好、高频电阻小、宜用于架空通信明线及小容量配电线路。根据钢芯强度的不同,分为一般型和高强度型两种,其代表规格的主要技术参数列于表 26.1-2。成品铝包钢线不允许焊接。

铜包钢单线的高频电阻优于铝包钢线而与铜单线相近,适用于高频通信线路,其代表规格的主要技术参数见表 26.1-2。

1.2 镀锌低碳钢线

镀锌低碳钢线仅用于农用配电线路和农用通信

明线,电力线用的钢线直径应不小于 3mm。其主要技术参数见表 26.1-3。

1.3 硬铜圆单线

硬铜圆单线仅在特殊场合作为架空导线用。用于配电线路时,导线截面应不小于 6mm<sup>2</sup>。其主要技术参数见表 26.1-4。

2 普通绞线

普通绞线一般是由直径相同的同一种导电金属单线按一定规则绞制而成,其主要品种、型号、规格和用途列于表 26.1-5。

表 26.1-3 镀锌低碳钢线的主要技术参数

线 径 mm	线 径 偏 差 mm	抗 拉 强 度 kgf/mm <sup>2</sup>	伸 长 率 % (不小于)	电 阻 系 数 Ω·mm <sup>2</sup> /m (20°C)	
				普 通 的	含 铜 的
1.5~2.0	±0.06	37~55		0.132	0.146
2.5~3.0	±0.06	37~50	10	0.132	0.146
4.0~6.0	±0.08	37~50	10	0.132	0.146

表 26.1-4 硬铜圆单线的主要技术参数

线 径 mm	线 径 偏 差 mm	抗 拉 强 度 kgf/mm <sup>2</sup>	伸 长 率 % (不小于)	电 阻 系 数 Ω·mm <sup>2</sup> /m(20°C)
3.01~3.50	±0.03	39	1.2	0.01790
3.51~4.00	±0.04	39	1.2	0.01790
4.01~4.50	±0.04	38	1.5	0.01790
4.51~5.00	±0.05	38	1.5	0.01790
5.01~6.00	±0.05	37	1.5	0.01790

表 26.1-5 普通绞线的品种、规格和用途

品 种	型 号	截 面 范 围 mm <sup>2</sup>	标 准	用 途
铝 绞 线	LJ	10~600	GB1179-74	用于档距较小的一般配电线路
铝合金绞线 热处理型 非热处理型	HLJ	10~600	企业标准	用于一般输配电线路
	HL <sub>2</sub> J			
铝 包 钢 绞 线	GLJ	70~600	企业标准	用于重冰区或大跨越导线、通信避雷线
镀 锌 钢 绞 线	—	2~260	GB1200-75	用于农用架空线或避雷线
硬 铜 绞 线	TJ	10~400	企业标准	除特殊情况外,不采用

普通绞线采用同心式正规绞合结构,每一层的单线根数均有规定(参见第3章1.1)。绞线中各相邻层的绞向应相反,规定最外层为右向绞合。每一层的绞合节距比(即每层绞合节距长度与该层外径之比)规定如表26.1-6,相邻层的外层节距比要小于内层。

表 26.1-6 架空导线绞合节距比

线 材	层 次		绞 合 节 距 比	
			规 定 值	推 荐 值
钢 芯	第 1 层		16~28	24
	第 2 层		14~24	20
导 电 金 属 线	单 层		10~14	12.5
	两 层	第 1 层	11~17	13
		第 2 层	11~17	11
	多 层	第 1 层	11~17	15
		第 2 层	11~17	13
		第 3 层	11~17	12
		外 层	10~13	11

注:表中钢芯仅用于组合绞线,导电金属线的规定适用于普通绞线和组合绞线。

### 2.1 铝绞线

铝绞线的机械强度较小,常用于受力不大、档距较小的一般配电线路。图26.1-1是铝绞线部分规格的截面图。

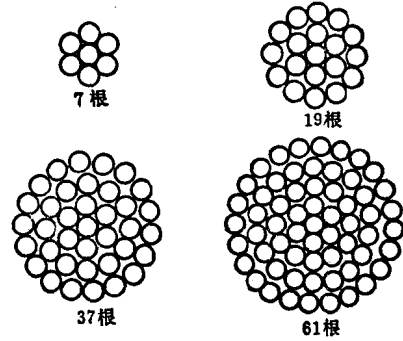


图 26.1-1 铝绞线部分规格截面图

铝绞线的结构和主要技术参数列于表26.1-7。

### 2.2 铝合金绞线

架空导线用铝合金,主要有热处理型和非热处理型两种(参见第9篇导电金属)。两者的电性能相

表 26.1-7 铝绞线结构和主要技术参数

标称截面 mm <sup>2</sup>	导线结构 根数/直径 (mm)	实际 铝截面 mm <sup>2</sup>	导线 直径 mm	直流电阻 Ω/km (20°C)	拉断力 kgf	弹性系数 kgf/mm <sup>2</sup>	线胀系数 1/°C (×10 <sup>-6</sup> )	单位 重量 kg/km	载 流 量① A			制造长度 m (不小于)
									70°C	80°C	90°C	
10	3/2.07	10.1	4.46	2.896	163	6000	23.0	27.6	64	76	86	4500
16	7/1.70	15.9	5.10	1.847	257	6000	23.0	43.5	83	98	111	4500
25	7/2.12	24.7	6.36	1.188	400	6000	23.0	67.6	109	129	147	4000
35	7/2.50	34.4	7.50	0.854	555	6000	23.0	94.0	133	159	180	4000
50	7/3.00	49.5	9.00	0.593	750	6000	23.0	135	166	200	227	3500
70	7/3.55	69.3	10.65	0.424	990	6000	23.0	190	204	246	280	2500
95	19/2.50	93.3	12.50	0.317	1510	5700	23.0	257	244	296	338	2000
95(1)②	7/4.14	94.2	12.42	0.311	1340	6000	23.0	258	246	298	341	2000
120	19/2.80	117.0	14.00	0.253	1780	5700	23.0	323	280	340	390	1500
150	19/3.15	148.1	15.75	0.200	2250	5700	23.0	409	323	395	454	1250
185	19/3.50	182.8	17.50	0.162	2780	5700	23.0	504	366	450	518	1000
240	19/3.98	236.4	19.90	0.125	3370	5700	23.0	652	427	528	610	1000
300	37/3.20	297.6	22.40	0.0996	4520	5700	23.0	822	490	610	707	1000
400	37/3.70	397.8	25.90	0.0745	5670	5700	23.0	1099	583	732	851	800
500	37/4.14	498.1	28.98	0.0595	7100	5700	23.0	1376	667	842	982	600
600	61/3.55	603.8	31.95	0.0491	8150	5500	23.0	1669	747	949	1110	500

① 载流量按本章公式(26.1-18)计算,计算条件为:环境温度40°C,风速0.5m/s,日照强度1000W/m<sup>2</sup>,辐射及吸热系数0.9。以下各表均同。

② 某些规格,一种截面有二种导线绞合结构。以下各表均同。

表 26.1-8 铝合金绞线的技术参数

标称截面 mm <sup>2</sup>	导线结构 根数/直径 (mm)	拉 断 力 kgf		直流电阻 Ω/km (20°C)	载 流 量 A		
		热 处 理 型 HLJ	非热处理型 HL <sub>2</sub> J		70°C	80°C	90°C
10	3/2.07	288	245	3.27	61	72	81
16	7/1.70	453	385	2.09	79	93	106
25	7/2.12	704	598	1.34	103	123	139
35	7/2.50	980	830	0.966	126	151	172
50	7/3.00	1410	1100	0.671	158	190	216
70	7/3.55	1980	1480	0.480	193	234	267
95	19/2.50	2660	2260	0.359	231	281	322
95(1)	7/4.14	2690	2020	0.352	233	283	325
120	19/2.80	3330	2610	0.286	265	324	372
150	19/3.15	4220	3300	0.226	306	375	432
185	19/3.50	5210	4080	0.183	347	428	494
240	19/3.98	6740	5050	0.141	405	502	581
300	37/3.20	8480	6640	0.113	465	580	673
400	37/3.70	11300	8500	0.0843	554	695	809
500	37/4.14	14200	10600	0.0673	633	800	935
600	61/3.55	17300	12900	0.0555	709	902	1060

近, 20°C时的直流电阻系数均不大于0.0328 Ω·mm<sup>2</sup>/m。热处理型的抗拉强度较大(见表26.1-22), 但成本较高。

铝合金绞线的结构、弹性系数和单位重量均与铝绞线相同, 但强度较大, 可用于一般输配电线路。表26.1-8列出了它们的主要技术参数。

### 2.3 铝包钢绞线

铝包钢绞线比截面相当的铝绞线或铝合金绞线的抗拉强度高得多, 适用于大跨越的输配电线路。根据需要使用, 绞线可用7~161根或更多根的铝包钢单线绞制。下面列出一个代表产品的技术参数, 以供参考。

产品型号规格	GCJ-16T/297
结 构	37/4.0(铝包钢单线直径4.0mm, 铝层厚0.4mm)
铝 截 面	167.5 mm <sup>2</sup>
钢 截 面	297.6 mm <sup>2</sup>
拉 断 力	40700 kgf
弹性系数	13900 kgf/mm <sup>2</sup>
线胀系数	1.33×10 <sup>-6</sup> 1/°C
载 流 量	表面无防腐涂料: 615 A

表面有防腐涂料: 675 A

(载流量计算条件同表26.1-7注, 但风速为0.6 m/s)。

### 2.4 镀锌钢绞线

镀锌钢绞线可用作农用架空导线或避雷线, 常用截面范围为25~120 mm<sup>2</sup>, 也采用同心式正规绞合。其主要技术参数见表26.1-9。

### 2.5 硬铜绞线

硬铜绞线的电阻系数比铝或铝合金绞线低, 机械强度也较高, 但导线自重较大。为了节约用铜, 除特殊情况外, 不采用。硬铜绞线的主要技术参数见表26.1-10。

## 3 组合绞线

组合绞线由两种单线, 即导电金属单线和高强度金属单线组合绞制而成, 如钢芯铝绞线、钢芯铝合金绞线、钢芯铝包钢绞线等。由于其机械强度比导电截面相同的普通绞线高, 因此可减小弧垂或增大塔杆间距、降低线路造价, 广泛用于各种输配电线路。表26.1-11列出了组合绞线的品种、规格和用途。

表 26.1-9 镀锌钢绞线的主要技术参数

镀锌钢绞线 规格	结构 根数/直径 (mm)	钢截面 mm <sup>2</sup>	绞线 直径 mm	拉 断 力 kgf					参 考 载流量 A	单位重量 kg/km
				钢 线 抗 拉 强 度 kgf/mm <sup>2</sup>						
				110	125	140	155	170		
GJ-25	7/2.2	26.6	6.6	2630	2990	3350	3710	4070	70	223
GJ-35	7/2.6	37.2	7.8	3680	4180	4680	5180	5680	80	318
GJ-50	7/3.0	49.5	9.0	4900	5560	6230	6900	7570	90	424
GJ-70	19/2.2	72.2	11.0	7150	8120	9100	10000	11000	120	615
GJ-95	19/2.5	93.2	12.5	9230	10500	11700	13000	14200	150	795
GJ-120	19/2.8	116.9	14.0	11600	13100	14700	16300	17900	175	995

表 26.1-10 硬铜绞线的主要技术参数

标称截面 mm <sup>2</sup>	结 构 根数/直径 (mm)	铜 截 面 mm <sup>2</sup>	导线直径 mm	直流电阻 Ω/km (20°C)	拉 断 力 kgf	单位重量 kg/km	制造长度 m
10	7/1.33	9.73	3.99	1.87	358	88	5000
16	7/1.68	15.5	5.04	1.20	570	140	4000
25	7/2.11	24.5	6.33	0.740	882	221	3000
35	7/2.49	34.5	7.47	0.540	1240	311	2500
50	7/2.97	48.5	8.91	0.390	1745	439	2000
70	19/2.14	68.3	10.70	0.280	2450	618	1500
95	19/2.49	92.5	12.45	0.200	3330	837	1200
120	19/2.80	117	14.00	0.158	4210	1058	1000
150	19/3.15	148	15.75	0.123	5180	1338	800
185	37/2.49	180	17.43	0.103	6480	1627	800
240	37/2.84	234	19.88	0.0780	8430	2120	800
300	37/3.15	288	22.05	0.0620	10100	2608	600
400	37/3.66	389	25.62	0.0470	13650	3521	600

表 26.1-11 组合绞线的品种、规格和用途

品 种	型 号	截面范围① mm <sup>2</sup>	标 准	用 途
钢芯铝绞线 普通型 轻型 加强型	LGJ LGJQ LGJJ	10~400 150~700 150~400	GB1179-74	用于输配电线路
钢芯铝合金绞线 热处理型 非热处理型 加强型热处理型 加强型非热处理型	HLGJ HL <sub>2</sub> GJ HLGJJ HL <sub>2</sub> GJJ	100~400 100~400 150~400 150~400	根据技术协议	用于重冰区或大跨越输电线路等
钢芯铝包钢绞线	GLGJ	120~400	企 业 标 准	用于较大的大跨越或重冰区输电线路
钢-铝包钢混绞线	GGLJ	70~120	企 业 标 准	用于大跨越输电线路或通信避雷线
防腐钢芯铝绞线 轻防腐 中防腐 重防腐	LGJF LGJF <sub>2</sub> LGJF <sub>3</sub>	25~400	企 业 标 准	用于周围有腐蚀环境的输配电线路，轻、中、重表示耐腐蚀的能力大小
钢芯软铝绞线	LRGJ	120~700	根据技术协议	可用于传输容量较大的输配电线路

① 组合绞线的截面指导电截面，钢芯不计在内；但铝包钢单线的导电截面包括铝和钢。

表 26.1-12 钢芯铝绞线的结构及主要技术参数

型号 类型	标称 截面 mm <sup>2</sup>	结构尺寸 根数/直径(mm)		截面 mm <sup>2</sup>		铝 钢 截面 比	直径 mm		直 流 阻 Ω/km (20°C)	拉 断 力 kgf	弹 性 系 数 kgf/mm <sup>2</sup>	线 胀 系 数 1/°C (×10 <sup>-6</sup> )	单 位 重 量 kg/km	载 流 量 A			制 造 长 度 m (不小于)
		铝	钢	铝	钢		70°C	80°C						90°C			
LGJ 普通型	10	6/1.50	1/1.5	10.6	1.77	6.0	4.50	1.5	2.774	367	7800	19.1	42.9	65	77	87	1500
	16	6/1.80	1/1.8	15.3	2.54	6.0	5.40	1.8	1.926	530	7800	19.1	61.7	82	97	109	1500
	25	6/2.20	1/2.2	22.8	3.80	6.0	6.60	2.2	1.289	790	7800	19.1	92.2	104	123	139	1500
	35	6/2.80	1/2.8	37.0	6.16	6.0	8.40	2.8	0.796	1190	7800	19.1	149	138	164	183	1000
	50	6/3.20	1/3.2	48.3	8.04	6.0	9.60	3.2	0.609	1550	7800	19.1	195	161	190	212	1000
	70	6/3.80	1/3.8	68.0	11.3	6.0	11.40	3.8	0.432	2130	7800	19.1	275	194	228	255	1000
	95	28/2.07	7/1.8	94.2	17.8	5.3	13.68	5.4	0.315	3490	8000	18.8	401	248	302	345	1500
	95(1)	7/4.14	7/1.8	94.2	17.8	5.3	13.68	5.4	0.312	3310	8000	18.8	398	230	272	304	1500
	120	28/2.30	7/2.0	116.3	22.0	5.3	15.20	6.0	0.255	4310	8000	18.8	495	281	344	394	1500
	120(1)	7/4.60	7/2.0	116.3	22.0	5.3	15.20	6.0	0.253	4090	8000	18.8	492	256	303	340	1500
	150	28/2.53	7/2.2	140.8	26.6	5.3	16.72	6.6	0.211	5080	8000	18.8	598	315	387	444	1500
	185	28/2.88	7/2.5	182.4	34.4	5.3	19.02	7.5	0.163	6570	8000	18.8	774	368	453	522	1500
	240	28/3.22	7/2.8	228.0	43.1	5.3	21.28	8.4	0.130	7860	8000	18.8	969	420	520	600	1000
	300	28/3.80	19/2.0	317.5	59.7	5.3	25.20	10.0	0.0935	11100	8000	18.8	1348	511	638	740	1000
	400	28/4.17	19/2.2	382.4	72.2	5.3	27.68	11.0	0.0778	13400	8000	18.8	1626	570	715	832	1000
	LGJQ 轻型	150	24/2.76	7/1.8	143.6	17.8	8.0	16.44	5.4	0.207	4150	7400	19.8	537	318	389	447
185		24/3.06	7/2.0	176.5	22.0	8.0	18.24	6.0	0.168	5110	7400	19.8	661	359	442	509	1500
240		24/3.67	7/2.4	253.9	31.7	8.0	21.88	7.2	0.117	7120	7400	19.8	951	446	553	638	1500
300		54/2.65	7/2.6	297.8	37.2	8.0	23.70	7.8	0.0997	8630	7400	19.8	1116	485	602	695	1000
300(1)		24/3.98	7/2.6	298.6	37.2	8.0	23.72	7.8	0.0994	8860	7400	19.8	1117	491	610	707	1000
400		54/3.06	7/3.0	397.1	49.5	8.0	27.36	9.0	0.0748	11100	7400	19.8	1487	573	716	829	1000
400(1)		24/4.60	7/3.0	398.9	49.5	8.0	27.40	9.0	0.0744	10700	7400	19.8	1491	582	729	847	1000
500	54/3.36	19/2.0	478.8	59.7	8.0	30.16	10.0	0.0620	13900	7400	19.8	1795	639	802	929	1000	
600	54/3.70	19/2.2	530.6	72.2	8.0	33.20	11.0	0.0511	16200	7400	19.8	2175	714	900	1040	1000	
700	54/4.04	19/2.4	632.2	86.0	8.0	36.24	12.0	0.0429	19400	7400	19.8	2592	790	995	1155	1000	
LGJJ 加强型	150	30/2.50	7/2.5	147.3	34.4	4.3	17.50	7.5	0.202	6170	8370	18.2	677	326	400	460	1500
	185	30/2.80	7/2.8	184.7	43.1	4.3	19.60	8.4	0.161	7200	8370	18.2	850	373	460	530	1500
	240	30/3.20	7/3.20	241.3	56.3	4.3	22.40	9.6	0.123	9410	8370	18.2	1110	437	542	626	1500
	300	30/3.67	19/2.2	317.4	72.2	4.4	25.68	11.0	0.0937	12500	8330	18.3	1446	513	640	743	1000
	400	30/4.17	19/2.5	409.7	93.3	4.4	29.18	12.5	0.0726	16100	8330	18.3	1868	596	750	873	1000

组合绞线的结构,通常是内部为加强钢芯(单根钢单线或多根钢线绞合),外面再绞上一层或数层导电金属单线。导电金属单线直径相同时,仍按正规绞合方式每层递增6根,绞合节距比见表26.1-6。

组合绞线中,导电金属单线和钢单线的直径比,一般按下式计算:

$$\frac{d_a}{d_g} = \frac{3+6m}{n_1-3} \quad (26.1-1)$$

式中  $d_a$ ——导电金属单线直径 mm

$d_g$ ——钢单线直径 mm

$m$ ——钢芯单线的层数

$n_1$ ——第一层导电金属单线的根数

若需进一步提高导线的强度,可制成混绞线,如4根铝线与3根钢线的混绞等。

组合绞线由于两种接触金属的标准电位不同,在大气中易引起腐蚀,为此钢单线均需镀锌或镀铝。此外可在导线表面或分层涂上耐大气和电化腐蚀的防腐剂,用于各种有腐蚀气氛的场合,延长导线的使用寿命。

组合导线结构的标志方法是标出导电金属线和钢线的根数。如由24根铝线和7根钢线构成的钢芯铝绞线,标志为24/7。

### 3.1 钢芯铝绞线

钢芯铝绞线是常用的一种组合绞线,按其强度的大小,分为普通、轻型和加强型三种。图26.1-2是其部分规格的截面图。

三种钢芯铝绞线结构的差别,主要用铝钢截面

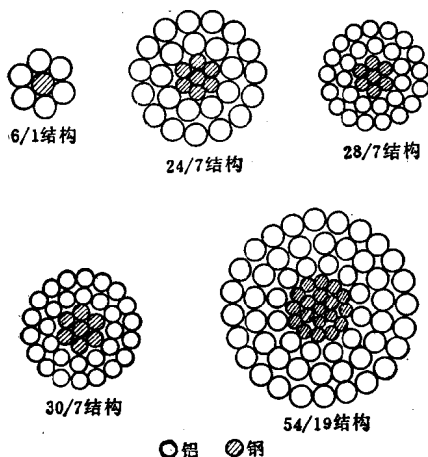


图 26.1-2 钢芯铝绞线截面图

比(即导线中铝截面与钢截面的比值)来表示。铝钢截面比愈小,导线的强度愈大,如轻型结构的铝钢截面比为8.0,普通型为5.3~6.0,加强型为4.3~4.4。按GB1179-74的规定,钢芯铝绞线的截面系列、结构尺寸和主要技术参数列于表26.1-12。

### 3.2 钢芯铝合金绞线

钢芯铝合金绞线的截面系列、结构、弹性系数、线胀系数及单位重量与钢芯铝绞线相同。钢芯铝合金绞线电阻稍大,载流量约小5%,但强度较高,超载能力较大,适合于重冰区或大跨越输电线路等使用。其主要技术参数列于表26.1-13。

### 3.3 钢芯铝包钢绞线

将铝包钢单线作为导电金属线与钢单线组合成钢芯铝包钢绞线,其强度比钢芯铝绞线大,因此可用于跨度很大、输电容量大的线路。其绞合方式与钢芯铝绞线相同,两种单线的直径比也按公式(26.1-1)计算。

为了更进一步提高此种导线的强度,可采用如下方法:

(1) 采用抗拉强度为160~180 kgf/mm<sup>2</sup>的高强度镀锌钢线或镀铝钢线作钢芯;

(2) 采用上述高强度钢线作为铝包钢单线的芯子,使铝包钢单线的强度提高。

钢芯铝包钢绞线一般均涂以防腐剂,延长使用寿命。

### 3.4 钢-铝包钢混绞线

钢-铝包钢混绞线由铝包钢单线及直径相同的镀锌或镀铝钢线混合绞制而成,使加强型钢线的铝钢截面比增加,因此比导线外径相同的铝包钢绞线强度更高,适用于大跨越输电线路和兼作载波通信的避雷线。图26.1-3是一种规格(用4根直径为3.8 mm的铝包钢线和3根直径为3.8 mm的钢线)的截面图。图中所示产品的主要技术参数如下: 铝

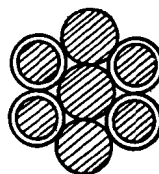


图 26.1-3 钢-铝包钢混绞线(GGLJ型)



表 26.1-13 钢芯铝合金绞线的主要技术参数

型号	标称截面	结构尺寸 根数/直径 (mm)		拉断力 kg f		直流电阻 $\Omega/\text{km}$ (20°C)	载流量 A			
		铝合金	钢	热处理型	非热处理型		70°C	80°C	90°C	
HLGJ 普通型	10	6/1.50	1/1.5	500	480	3.137	62	73	83	
	16	6/1.80	1/1.8	720	650	2.178	78	92	104	
	25	6/2.20	1/2.2	1070	980	1.458	100	117	132	
	35	6/2.80	1/2.8	1680	1450	0.900	131	156	176	
	50	6/3.20	1/3.2	2200	1900	0.689	153	181	203	
	70	6/3.80	1/3.8	3100	2610	0.489	185	218	245	
	95	28/2.07	7/1.8	4650	4250	0.356	235	287	329	
	HL <sub>2</sub> GJ	95(1)	7/4.14	7/1.8	4650	3980	0.353	220	260	292
	120	28/2.30	7/2.0	5740	5240	0.288	267	327	375	
	120(1)	7/4.60	7/2.0	5740	4920	0.286	245	290	326	
	150	28/0.53	7/2.2	6960	6080	0.239	310	368	423	
	185	28/2.88	7/2.5	9000	7860	0.184	350	431	497	
	240	28/3.22	7/2.8	10900	9480	0.147	400	495	572	
	300	28/3.80	19/2.0	15700	13400	0.106	486	607	705	
	400	28/4.17	19/2.2	18800	16200	0.088	542	680	792	
HLGJJ 加强型	150	30/2.50	7/2.5	8000	7350	0.228	309	380	438	
	185	30/2.80	7/2.8	9670	8520	0.182	354	437	505	
	HL <sub>2</sub> GJJ	240	30/3.20	7/3.2	12600	11100	0.139	415	515	596
	300	30/3.67	19/2.2	17000	14800	0.106	487	610	708	
	400	30/4.17	19/2.5	22000	19100	0.082	566	713	831	

截面 17.1 mm<sup>2</sup>; 钢截面 62.3 mm<sup>2</sup>; 拉断力 8760 kg f; 弹性系数 15400 kg f/mm<sup>2</sup>; 线胀系数 13.3 × 10<sup>-6</sup> 1/°C, 直流电阻 1.06 Ω/km。

由于镀锌钢线与铝包钢线的接触面较大, 易引起腐蚀, 因此以采用镀锌钢线混合绞制较好。

### 3.5 防腐钢芯铝绞线

#### 3.5.1 钢芯铝绞线受腐蚀的形式

铝的表面有致密的氧化膜, 在一般环境中有很好的耐蚀性。铝的纯度愈高, 耐蚀性愈好。铝中含有的杂质元素铁和铜, 特别是铜对耐蚀性有显著影响。钢芯铝绞线采用的镀锌钢线, 同样在一般环境中有一定的耐蚀性。

钢芯铝绞线用于沿海地区或有腐蚀气氛的工业区时, 则会产生腐蚀而使寿命降低。其受腐蚀的形式如下。

(1) 在沿海地区, 内层由于铝和镀锌钢线的接

触而产生电化腐蚀, 首先蚀去镀锌层, 同时锌层也会因导线振动引起股线间摩擦而破裂, 使铝与钢直接接触。铝、钢接触后会继续使腐蚀扩展。

导线的外表面和各层单线间, 由于水气中含有的盐分和氧化膜的化学反应, 以及微电池的作用而产生“孔蚀”。

(2) 在工业区, 导线外层铝的表面会附着许多工业污秽(如尘埃、煤粉、金属粉、金属氧化物等), 并吸附水和二氧化硫等, 构成电化腐蚀的电解质, 导致“孔蚀”的产生。因此在工业区, 以外层腐蚀为主, 但内部也会缓慢产生铝、镀锌钢线的接触腐蚀。

(3) 如果是沿海工业区, 上述两种腐蚀形式的产生是迭加的, 因此腐蚀更为严重。

#### 3.5.2 防腐措施

为了提高导线在腐蚀环境中的使用寿命, 必须采取防腐措施, 生产防腐型架空导线。除钢芯铝绞线外, 铝绞线等其他绞线也可制成防腐型。