



技工学校教材

# 输电线路设计基础

浙西电力技工学校 主编

水利电力出版社

## 内 容 提 要

本书为电力技工学校培养输电配专业技术工人的专业教材。全书分三篇，第一篇介绍输电线路基本知识，线路设计气象条件的选择，导线、避雷线在悬挂点等高和不等高时的应力、弧垂计算，导线断线张力和避雷线应力的确定及其支持力计算，导线、避雷线的防振设计。第二篇介绍杆塔荷载计算，常用钢筋混凝土电杆、铁塔的强度及其基础的计算。第三篇介绍线路勘测及杆塔定位方法等。

本书也可供从事线路设计、施工和运行等工作人员学习参考。

技工学校教材  
**输电线路设计基础**  
浙西电力技工学校 主编

\*  
水利电力出版社出版  
(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售  
水利电力印刷厂印刷

\*  
787×1092毫米 16开本 18.75印张 426千字  
1985年4月第一版 1985年4月北京第一次印刷  
印数00001—22220册 定价2.90元  
书号 15143·5657

# 前 言

本书是根据原电力工业部一九八〇年制订的技工学校教材编审出版计划编写的，为技工学校输配电专业的专业教材。

本书主要讲述有关输电线路的设计基础知识及基本计算方法，并力求理论联系实际，还列有计算例题。全书分三篇，共十三章。内容包括输电线路基本知识，线路设计气象条件的选定，导线、避雷线的弧垂、应力计算；杆塔的荷载计算，常用钢筋混凝土电杆、铁塔的强度及其基础的计算；线路勘测及杆塔定位方法等。

通过本教材的学习，可使学生懂得输电线路电气、结构等方面的基础理论；培养学生掌握一些设计计算技能，以便加深学生对基本概念的理解，增强学生分析、处理输电线路技术问题的能力，使学生毕业后能更好地从事输电线路施工、运行与检修工作。

本书由浙西电力技工学校主编，浙西电力技工学校张永昌同志编写；原牡丹江电力技术学校李朝纲同志主审；最后定稿阶段，请华北电力设计院杜玉清同志对全书进行了校改和补充（其中第一、八章，第四章第二节，第九章第三、四、五节，第十一章第一、三、四、五节等由杜玉清同志编写）。北京供电局技工学校、武汉供电技工学校、苏州电力技工学校、北京供电局、武汉供电局、牡丹江电业局的有关同志参加了审稿。本书在编写过程中还得到浙江省电力设计院、上海供电局设计室、上海供电局技工学校和金华电业局的大力支持，在此表示衷心感谢。

限于编者水平，对于书中存在的缺点错误，诚恳地请读者批评指正。

编 者

1984年7月2日

# 目 录

## 前 言

### 第一篇 输电线路机械部分

第一章 输电线路基本知识 .....	1
第一节 架空输电线路的应用 .....	1
第二节 导线避雷线的材料和种类 .....	4
第三节 线路绝缘子 .....	9
第四节 线路金具 .....	15
第五节 导线排列 .....	20
第六节 杆塔和基础 .....	21
第二章 导线的弧垂应力计算 .....	27
第一节 概 述 .....	27
第二节 架空输电线路设计气象条件 .....	27
第三节 导线的机械物理特性及比载 .....	33
第四节 导线悬链线解析方程式 .....	37
第五节 悬点等高弧垂、应力及线长计算 .....	39
第六节 悬点不等高弧垂、应力及线长计算 .....	42
第七节 导线的状态方程式 .....	47
第八节 临界档距的计算 .....	51
第九节 导线机械特性曲线 .....	55
第十节 导线安装曲线 .....	60
第十一节 避雷线最大使用应力的选择 .....	62
第三章 特殊情况导线弧垂应力的计算 .....	69
第一节 兼有集中荷载时导线弧垂应力的计算 .....	69
第二节 孤立档的导线弧垂应力计算 .....	72
第三节 连续倾斜档的计算 .....	74
第四节 断线张力及避雷线支持力的计算 .....	81
第五节 导线的振动和防振 .....	89

### 第二篇 杆塔结构与基础

第四章 杆塔的结构型式及荷载的计算 .....	99
第一节 杆塔型式及外形尺寸的确定 .....	99
第二节 杆塔的荷载计算 .....	108
第五章 环形截面普通钢筋混凝土构件的强度计算 .....	117

第一节	混凝土和钢筋混凝土 .....	117
第二节	环形截面普通钢筋混凝土轴心受压、受拉构件的计算 .....	120
第三节	受弯构件的计算 .....	122
第四节	受扭矩和弯扭共同作用的构件 .....	127
第五节	偏心受压构件的计算 .....	129
第六节	压弯构件的计算 .....	132
第七节	构件的刚度、临界压力及裂缝计算 .....	137
<b>第六章</b>	<b>环形截面普通钢筋混凝土直线杆的计算 .....</b>	<b>142</b>
第一节	不打拉线直线拔梢单杆 .....	142
第二节	拔梢门型直线杆 .....	146
第三节	拉线单杆直线杆 .....	148
第四节	拉线门型直线杆及加高杆 .....	151
第五节	导线横担的计算 .....	152
<b>第七章</b>	<b>环形截面普通钢筋混凝土特种杆的计算 .....</b>	<b>156</b>
第一节	耐张杆的计算 .....	156
第二节	转角杆的计算 .....	158
第三节	避雷线横担的计算 .....	160
<b>第八章</b>	<b>铁塔强度计算 .....</b>	<b>161</b>
第一节	铁塔材料 .....	161
第二节	钢材的机械特性 .....	163
第三节	铁塔型式选择和结构布置 .....	166
第四节	铁塔构件内力的计算 .....	172
第五节	铁塔构件断面的选择 .....	186
第六节	铁塔构件的连接 .....	190
<b>第九章</b>	<b>杆塔的基础 .....</b>	<b>208</b>
第一节	基础安全系数及土的力学特性 .....	208
第二节	电杆基础的倾覆计算 .....	211
第三节	铁塔基础计算 .....	216
第四节	底盘和拉线基础计算 .....	220
第五节	岩石锚桩基础的计算 .....	222
<b>第十章</b>	<b>电杆的计算举例 .....</b>	<b>225</b>
第一节	拔梢单杆计算 .....	225
第二节	拉线直线单杆计算 .....	234
第三节	转角杆计算 .....	240

### 第三篇 输电线路的勘测和定位

<b>第十一章</b>	<b>线路的初勘测量 .....</b>	<b>245</b>
第一节	初勘测量的准备及路径协议 .....	245
第二节	输电线路对电信线路影响的计算 .....	247
第三节	路径选择的技术要求 .....	254

第四节	现场初勘人员组织和主要工作 .....	257
第五节	初勘资料的整理 .....	262
<b>第十二章</b>	<b>输电线路的终勘测量</b> .....	<b>262</b>
第一节	终勘测量人员的组成 .....	263
第二节	选领线测量 .....	263
第三节	定线测量 .....	264
第四节	平断面的测量 .....	268
第五节	地质水文及其它 .....	271
<b>第十三章</b>	<b>输电线路杆塔的定位及定位校验</b> .....	<b>272</b>
第一节	输电线路杆塔的定位 .....	273
第二节	定位校验及校验曲线 .....	276
<b>附 录</b>		
附录I	常用导线的规格及机械物理特性 .....	286
附录II	常用导线的比载 .....	288

# 第一篇 输电线路机械部分

## 第一章 输电线路基本知识

### 第一节 架空输电线路的应用

输电线路分电缆线路和架空线路。我国目前广泛采用架空输（送）电线路，限于篇幅，本书仅介绍架空输电线路。

架空输电线路（又称架空送电线路），是介以绝缘子将导线架设在杆塔上，并与变电站或发电厂互相连接，构成电力网或电力系统，用以输送电能。

#### 一、输电线路的优点

与电力电缆线路相比，采用架空输电线路送电的优点：

（1）架空输电线路结构简单，施工简便，建设速度快，施工周期短，可以早日收到经济效益；

（2）线路所用的材料便于供应，设备器材构造简单、制造方便，工程材料消耗量少，投资便宜；

（3）线路绝大部分设施露置野外，隐蔽工程少，因此便于发现缺陷和事故处理，遇有缺陷和事故能够很快修复，恢复送电；

（4）便于采用带电检修作业，因而减少停电次数，保证连续送电；

（5）架空导线露置空间，易于散热因而输送容量大于电力电缆线路。

由于架空输电线路具有明显的优越性，所以国内外的电力系统和电力网广泛地采用架空输电线路送电，而很少采用电力电缆送电。

但是，由于架空输电线路直接露置在大自然环境中，长期遭受大气恶劣气象的侵袭（如大风、覆冰雪、气温变化、雷击和外力破坏以及化学气体的腐蚀等影响），发生事故的机率较电力电缆线路高，因此线路的设计、施工安装必须符合有关标准的要求，并在运行过程中，加强维护巡视，提高线路的安全可靠程度，保证连续安全供电。

#### 二、输电线路的构成

架空输电线路主要由避雷线、导线、金具（包括线夹等）、绝缘子、杆塔和拉线、基础等元件组成，如图 1-1 所示。这些元件的用途分述如下。

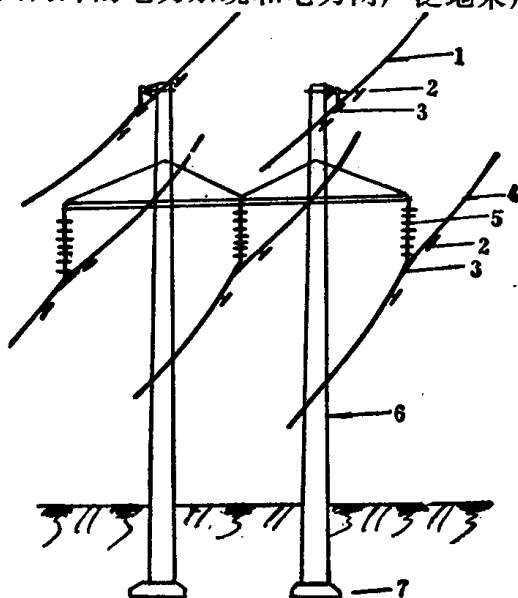


图 1-1 架空输电线路的组成元件  
1—避雷线；2—防振锤；3—线夹；4—导线；5—绝缘子；6—杆塔；7—基础

### (一) 避雷线

输电线路的避雷线大多采用镀锌钢绞线。个别线路或线段由于特殊需要，有时采用铝包钢绞线、钢芯铝绞线或铝镁合金绞线等良导体。但采用良导体做避雷线时，线路投资较高，故一般很少采用。镀锌钢绞线，容易加工，便于供应，价格便宜故得到广泛采用。

避雷线是悬挂于杆塔顶部，做为防雷保护之用，以减少雷击导线的机会，提高线路耐雷水平，降低雷击跳闸率，保证线路安全送电。

根据运行经验，对于110kV的线路，一般沿全线架设避雷线；对于重要的60kV线路，当通过年平均雷电日为30日以上的地区时，宜全线架设避雷线。这是因为运行实践说明，60kV无避雷线的线路，当接地电阻在 $30\Omega$ 左右时，由于雷击，每条线路每年将跳闸两次以上，而事故次数在一次以上，这对重要负荷的地区，不能满足安全供电的要求，所以，求宜全线架设避雷线。35kV的线路一般不沿全线架设避雷线，仅在发电厂和变电站的进出线架设1~2km的避雷线，以防止或减少雷电波侵入发电厂或变电站，造成近区雷击闪络。

杆塔上悬挂避雷线的根数，视雷电活动严重程度和杆塔型式，可采用双避雷线或单避雷线。在雷电活动特别强烈的地区，对110kV线路宜架设双避雷线，以降低雷击跳闸率。

避雷线对边导线的保护角，应尽量合理地减小，以降低绕击跳闸率，根据运行经验，一般采用 $20^\circ\sim 30^\circ$ 。山区线路采用单避雷线时其保护角采用 $25^\circ$ 左右。对于110kV的山区线路，保护角采用 $25^\circ$ 时，其绕击跳闸率为0.4次/100km·40雷日；若采用 $20^\circ$ 时，则避雷线支架显著过高，由于电杆强度的限制不能采用单杆。所以山区的110kV线路，其保护角采用 $25^\circ$ 左右，最大不得超过 $30^\circ$ 。

在发电厂和变电站的进出线段，避雷线对边导线的保护角不宜超过 $20^\circ$ 。

为了防止雷击档距中央避雷线时，导线与避雷线之间发生闪络，根据多年的运行经验确定，在气温 $+15^\circ\text{C}$ 、无风时，档距中央导线与避雷线间的距离应符合下式的要求：

$$S = 0.012l + 1 \quad (1-1)$$

式中  $S$  —— 为 $+15^\circ\text{C}$ 无风时档距中央导线与避雷线间的距离(m)；

$l$  —— 档距(m)。

为提高架空送电线路的耐雷水平，减少跳闸率和停电次数，除了架设避雷线或加强绝缘之外，改善避雷线的接地电阻是一个很重要的因素。35~110kV线路的耐雷水平和跳闸率如表1-1所示。

从表1-1看出，降低接地电阻可以显著地提高线路的耐雷水平和减少雷击跳闸率。因此，在线路的施工、运行过程中对杆塔的接地电阻应给以特别重视，应尽量降低接地电阻。一般在雷季干燥时，每基杆塔的工频接地电阻，不宜大于表1-2所列数值。

### (二) 导线

导线是线路的主要组成部分，用以传输电流。一般线路每相采用单根导线。对于超高压大容量送电线路，由于输送容量大，同时为了减少电晕损失和电晕干扰，多采用相分裂导线，每相采用两根、三根、四根或更多根导线。220kV及以下的线路通常每相采用单根导线。但是，近年来由于系统容量的扩大，要求线路输送的容量越来越大、回路数越来越多，为了减少线路的回路数以解决线路走廊拥挤问题，110~220kV线路，有时采用双回路



表 1-1

35~110 kV线路耐雷水平和雷击跳闸率

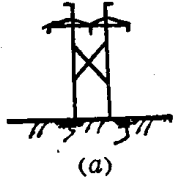
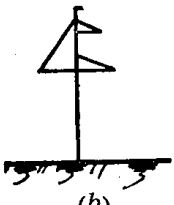
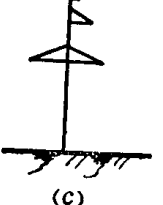
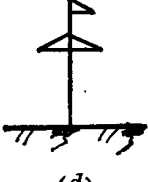
额定电压(kV)		110		60		35			
杆塔型式									
保护角		22°		25°		30°		铁横担无避雷线的钢筋混凝土电杆	
保护方法		双避雷线		单避雷线		单避雷线、中性点经消弧线圈接地		中性点经消弧线圈接地	
杆塔绝缘	绝缘子个数	7片X-4.5		7片X-4.5		5片X-4.5		3片X-4.5	
	50%冲击放电电压正极性(kV)	700		700		500		350	
档距(m)		300		300		250		200	
冲击接地电阻(Ω)		7	15	7	15	7	15	20	10
雷击杆塔时的耐雷水平(kA)		85.5	53.7	53.5	36.3	48.6	32.6	19.1	31.5
跳闸率(次/100km·40雷日)	平原地区	0.19	—	0.74	—	0.53	—	2.33	1.81
	山区	0.3	0.57	0.7	1.1	0.71	1.0	—	—

表 1-2

杆塔的接地电阻

土壤电阻率(Ω·m)	100及以下	100以上至500	500以上至1000	1000以上至2000	2000以上
工频接地电阻(Ω)	10	15	20	25	30 <sup>①</sup>

①如土壤电阻率较高、接地电阻很难达到30Ω时，可采用6~8根总长不超过500m的放射形接地体或连续伸长接地体，其接地电阻不受限制。

并架的双分裂导线，如图1-2所示。此图为220kV双回路并架双分裂导线的直线杆。

导线是有色金属，其投资占线路总投资的35%左右，对工程造价影响极大，所以在设计时首先应根据输送容量的要求，选择经济的导线截面，同时正确地计算导线在各种气象条件下的张力，使导线在运行中有足够的传输电流的电气性能和机械强度，既满足输送容量的要求，又能满足机械强度的要求，以保证线路安全送电。

在施工架线中，要特别注意保护导线不受损伤，因为导线一旦被磨损，表面出现毛刺或棱角，容易引起导线电晕现象。这样，便增大电晕损失，同时降低导线机械强度，对导线的电气性能和机械性能都是不利的。

### (三) 线路金具

金具是用来把导线连接在绝缘子串上，并将绝缘子串固定在杆塔上的金属零件。

在设计线路时，要尽量采用标准金具，并应减少连接金具的数量和品种，以降低投资，减少事故源。因为线路上的每一个连接金具都有可能磨损或折断，造成事故，所以连接金具越少的线路，可靠性越高。金具品种少，可减少运行所需的备品备件，也便于施工安装。

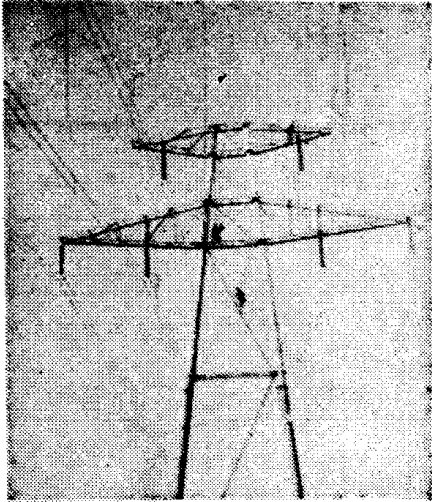


图 1-2 220kV双回路并架的双分裂导线直线杆

所有金具必须具有足够的机械强度，个别连接金具尚应具有良好的电气性能。

金具的连接方式应尽量简单、力求统一标准化、互换性强，而且在线路不同方向的外力作用下，能够使连接的绝缘子串和线夹等自由回转，减少对金具和导线产生附加弯矩。

#### (四) 绝缘子

绝缘子是用来支承或悬吊导线，并使导线与杆塔绝缘，保证线路具有可靠的电气绝缘强度，使导线与杆塔间不发生闪络。

绝缘子是线路绝缘的主要元件，它长期暴露在大自然环境中，经受风雨冰霜及气温突变等恶劣气候的侵袭，有时还受污秽气体的污染。因此，采用的绝缘子必须按规定进行绝缘子的机电性能试验，保证具有足够的电气绝缘强度和机械强度。

#### (五) 杆塔

杆塔的用途是支承导线、避雷线及其附件，并使导线、避雷线、杆塔三者之间保持一定的安全距离。同时根据地形情况每隔一定的距离，设置一基杆塔，使导线对地面和交叉跨越物或其他建筑物等设施保持容许的安全距离。

杆塔是线路的主要设施，线路工程的材料消耗量大部分用于杆塔部分。从投资来看，杆塔投资占线路总投资的40%左右，所以设计杆塔时，要尽量做到结构简单、材料消耗量最少、机械强度高、便于施工安装、降低造价。

#### (六) 拉线和基础

拉线采用镀锌钢绞线，是用来加强杆塔的力度，承担外部荷载的作用力，以减少杆塔的材料消耗量，降低杆塔的造价。

杆塔基础是将杆塔固定在地下，以保证杆塔不发生倾斜或倒塌的设施。

拉线和杆塔的基础工程是线路的隐蔽工程，在运行过程中不可能开挖地基，检查基础情况。因此，在设计与施工时必须严格按照有关规定，设计经济合理的基础型式，保证基础施工质量。

## 第二节 导线避雷线的材料和种类

### 一、导线材料

架空输电线路的导线应具备以下特性：

- (1) 导电率高, 以减少线路的电能损耗和电压降;
- (2) 耐热性能高, 以提高输送容量;
- (3) 机械强度高、弹性系数大、有一定柔软性、容易弯曲, 以便于加工制造;
- (4) 具有良好的耐振性能;
- (5) 耐腐蚀性强, 能够适应自然环境条件和一定的污秽环境, 使用寿命长;
- (6) 重量轻、性能稳定、耐磨、价格低廉。

常用的导线材料有铜、铝、铝镁合金和钢。这些材料的物理特性如表1-3所示。

表 1-3 导线材料的物理性能

材 料	20°C时的电阻率 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	比重 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	抗拉强度 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )
铜	0.0182	8.9	39
铝	0.029	2.7	16
钢	0.103	7.85	120
铝镁合金	0.033	2.7	30

在这些材料中, 铜的导电性能最好, 机械强度高、耐腐蚀性强, 是一种理想的导线材料。但是, 铜的重量大, 价格昂贵。就我国的情况来看, 铜的储量少、产量低, 而且其他工业需要大量铜材, 所以架空送电线路的导线, 除特殊情况之外, 都不采用铜线。

铝的导电率虽然比铜稍低, 导电性能差, 但也是一种导电性能较好的材料。铝的导热性能好、质地柔韧易于加工、无低温脆性、耐腐蚀性较强、重量轻, 而且铝矿资源丰富产量高, 价格低廉。其缺点是抗张强度低。

铝镁合金材料的重量和铝相等, 也是一种很轻的金属材料。其抗张强度很大, 几乎比铝高一倍。铝镁合金的导电率比铝低10%左右, 所以从电气和机械两方面来看, 铝镁合金也是制造导线的较好材料。

铝和铝镁合金材料的导电率虽然比铜低, 但是, 由于它们的重量很轻, 所以在相同的抗张强度和相同的导电性能条件下, 采用铝或铝镁合金导线可以节省大量材料。表1-4为在相同的抗张强度和相同的导电性能条件下, 铜、铝、铝镁合金各量的对比。

表 1-4 铜、铝、铝镁合金的对比

对 比 条 件	铜: 铝: 铝镁合金		
	导线截面	导线直径	导线重量
相 同 的 抗 张 强 度	1:2.5:1.3	1:1.6:1.14	1:0.71:0.4
相 同 的 导 电 性 能	1:1.65:1.8	1:1.29:1.34	1:0.5:0.55

从表1-4看出, 在相同的导电性能和抗张强度下, 用铝制造导线, 材料用量较省, 加之铝的价格便宜故采用铝导线最经济。铝镁合金与铜相比, 铝镁合金材料显著节省, 但铝

镁合金导线的生产成本高、价格昂贵、耐振性能稍差，所以目前尚未得到广泛采用。

鉴于上述情况，目前我国生产的导线材料广泛采用铝。

制造导线的铝锭，其杂质含量直接影响导线的性能。提高铝的纯度可以提高铝线的耐腐蚀性，这是延长导线使用寿命的重要因素。铝中铁的含量过高容易引起腐蚀，含铁量过低则加工性能差，容易引起热轧开裂，造成断股或侵蚀；硅的含量太低则机械强度降低；铜的含量高容易腐蚀，故应尽量减少；钛元素的存在，影响导电率的提高，故应设法清除掉。

制造导线的铝线锭目前采用特二号铝和一号铝。从提高耐腐蚀性来看采用特一号铝更好。铝线锭的化学成份如表1-5所示。

表 1-5 铝线锭的化学成份 (摘自GB1196-75)

铝牌号	代号	化 学 成 份 (%)					
		铝(不小于)	杂 质 (不大于)				
			铁	硅	铁+硅	铜	杂质总和
特一号铝	Al-00	99.7	0.16	0.13	0.26	0.010	0.30
特二号铝	Al-0	99.6	0.25	0.18	0.36	0.010	0.40
一号铝	Al-1	99.5	0.30	0.22	0.45	0.015	0.50

钢的导电性能很差，但机械强度却非常高，主要用它来制造镀锌钢绞线和铝包钢线，做为避雷线使用，也可作为钢芯铝绞线的钢芯。也有个别大跨越用的导线，采用钢绞线或铝包钢绞线，以降低弧垂、减小跨越杆塔的高度，具体设计方案须通过技术经济比较确定。

## 二、导线结构和种类

输电线路的导线结构可分为三种型式。

(1) 单股导线：即一根实心的金属线。一般只有铜线或钢线才用作单股导线。如图1-3(a)所示。

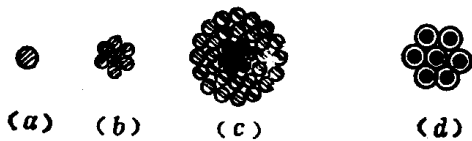


图 1-3 导线结构型式断面图

(2) 同一种金属的多股绞线：用同样金属的单线绞合而成的多股绞线，如图1-3(b)所示。如铝绞线、铜绞线、镀锌钢绞线、铝镁合金绞线等，均属这种结构绞线。这是分别由7、19、37或61股绞制而成的不同截面的导线。导线的总股数可按下式计算：

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

式中  $N$ ——绞线总股数；

$n$ ——绞线股的层数。

(3) 复合金属多股绞线：由两种金属的股线绞制而成的多股绞线。图1-3(c)所示为钢芯铝绞线的断面。图1-3(d)所示为由两种材料复合而成的单股线绞制成的多股绞线。

制做多股绞线时，各股线应紧密整齐地绞合，不得有缺线、断线、跳线和松股现象。多股绞线比单股线具有如下优点：

1) 当导线的表面很大时, 由于制造工艺和外力引起的强度降低, 单股线比多股绞线大得多。

2) 多股导线在同一位置同时出现许多股缺陷的机会很少, 因此在运行过程中, 多股导线比单股导线安全可靠性高得多。

3) 导线截面较大时, 采用多股导线, 其柔性好、容易弯曲、便于施工安装, 也便于加工制造。

4) 多股绞线耐振性能好。由于微风振动, 单股导线容易折断造成事故, 而多股绞线则不容易发生折断, 运行可靠性比单股导线高得多。

由于多股绞线具有很多的优点, 故输电线路的导线均采用多股绞线。

目前列入国家标准的导线有铝绞线、钢芯铝绞线、镀锌钢绞线, 其型号和名称如表 1-6 所示。

表 1-6 导线型号和名称

型 号	名 称
LJ	铝绞线
LGJ	钢芯铝绞线
LGJQ	轻型钢芯铝绞线
LGJJ	加强型钢芯铝绞线
GJ	镀锌钢绞线

铝绞线的机械强度低、允许拉力小, 故导线的弧垂较大, 致使杆塔高度增加, 所以多用于电压低、档距小的配电线路。

钢芯铝绞线的结构型式(包括轻型和加强型), 是在镀锌钢绞线外层再扭绞若干层铝股线。如上所述: 铝的导电性能好, 但机械强度低; 而钢的导电性能差, 但机械强度高。钢芯铝绞线正是利用这两种材料的优点结合而成。这样, 由于交流电的集肤效应, 电流几乎全部沿铝线截面通过, 而钢芯基本不通过电流, 仅承担导线的张力, 所以钢芯铝绞线充分地利用了铝线的良好导电性能和钢的高机械强度性能, 是送电线路广泛使用的导线。

轻型钢芯铝绞线的铝与钢截面之比较大, 故导线重量轻, 多用于 220kV, 且导线截面较大时的线路上。加强型钢芯铝绞线的铝与钢截面之比较小, 故导线较重, 但机械强度高, 多用于个别大跨越、大档距或要求导线具有更高的机械强度时的线路上。110kV 及以下的线路多采用钢芯铝绞线。

除了上述几种导线之外, 尚有以下几种可以生产的导线。但目前尚未列入国家标准。

(1) 铜绞线: 这种导线生产量少, 价格昂贵, 在输电线路很少使用, 只有在腐蚀严重的地区才考虑使用。

(2) 铝镁合金导线: 由铝镁合金单股线绞制而成, 由于其耐振性能稍差、生产成本高、价格昂贵, 故尚未得到广泛采用。

(3) 钢芯铝镁合金导线: 在钢绞线外层再扭绞铝镁合金股线。这种导线的机械强度高, 可用于大跨越的线路上。

(4) 防腐钢芯铝绞线(防腐轻型钢芯铝绞线、防腐加强型钢芯铝绞线): 这种导线具有对盐、碱、酸等气体腐蚀的抵抗力, 用于沿海及有腐蚀的环境中。

(5) 铝包钢绞线和钢芯铝包钢绞线: 由纯铝包覆在钢芯上的复合单股线称为单股铝包钢线; 由数股单股铝包钢线绞制而成的绞线称为铝包钢绞线; 在钢绞线外层扭绞若干单

表 1-7

铝包钢绞线和钢芯铝包钢绞线规格性能表

型号	结 构		截面积(mm <sup>2</sup> )			计算外径 (mm)	总拉断力 (t)	弹性系数 (kg/mm <sup>2</sup> )	温度膨胀系数 $\times 10^{-6}(1/^{\circ}\text{C})$	直流电阻 20 <sup>o</sup> C ( $\Omega/\text{km}$ )	载流量 (A)	单位重量 (kg/km)	制造长度 (m)
	铝包钢线		铝	钢	合计								
	股数/直径(mm)	股数/直径(mm)											
GLJ-75	7/3.8(3.0)	—	29.9	49.5	79.4	11.4	6.61	13793	0.652	—	476	2500	
GLJ-120	19/2.8(2.2)	—	44.8	72.2	117	14.0	8.6	13630	0.533	—	697	2500	
GLJ-120	19/2.8(2.2)	—	44.8	72.2	117	14.2	10.0	12900	—	—	709.5	—	
GLJ-240	19/4.0(3.2)	—	86.07	152.76	238.83	20.0	20.0	13997	0.272	—	1473.5	2200	
GLJ-460	37/4.0(3.2)	—	167.54	297.55	465.09	28.0	40.7	13760	0.1235	676	2827	2800	
GLJ-560	37/4.4(3.2)	—	265	298	563	30.8	44.0	12617	0.0958	800	3091	3600	
GLGJ-80	4/3.8(3.0)	3/3.8	17.08	62.23	79.31	11.4	8.76	15400	0.959	—	541	—	
GLGJ-150	9/4.0(2.8)	7/2.6	57.68	92.58	150.26	15.8	11.5	13680	0.548	—	906	2770	
GLGJ-325	16/3.7(3.0)	19/3.2	58.9	265.9	324.8	23.4	39.6	15230	0.2822	—	2273	3500	
GLGJ-560	38/3.7(3.0)	19/3.2	140	421.4	561.4	30.8	60.3	13940	0.135	585	3740	3500	
GLGJ-580	34/4.1(3.2)	1/3.2+18/3.0	175.42	408.72	584.14	31.6	63.0	14569	0.126	680	3741	2800	

注 1. 型号说明: GLJ—铝包钢绞线; GLGJ—钢芯铝包钢绞线。

2. 括弧内数字为钢芯直径(mm)。

股铝包钢线称为钢芯铝包钢绞线。

铝包钢绞线或钢芯铝包钢绞线多用于档距特大的大跨越线路上，也可做为避雷线兼良导体载波通信之用。

表1-7所列数据为我国已生产使用的铝包钢绞线和钢芯铝包钢绞线的规格和机械性能，可供设计时参考。

### 第三节 线路绝缘子

#### 一、绝缘子的种类

架空输电线路的绝缘子，按其结构的不同分为针式绝缘子、瓷横担绝缘子和圆盘形悬式绝缘子（简称悬式绝缘子）。

35kV 及以上的输电线路采用悬式绝缘子。悬式绝缘子的种类按照制造材料又分为瓷绝缘子和钢化玻璃绝缘子（简称玻璃绝缘子），按照其连接方式又分为球窝型连接和槽型连接绝缘子，图1-4(a)所示为球窝型连接绝缘子，图1-4(b)所示为槽型连接绝缘子。

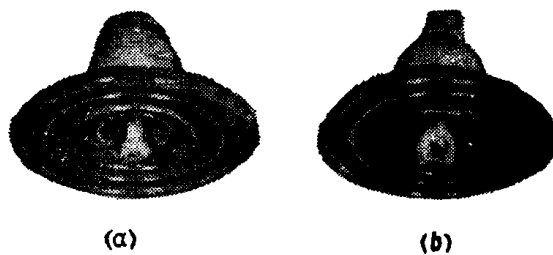


图 1-4 悬式绝缘子

(a)球窝型连接；(b)槽型连接

悬式绝缘子的机电破坏荷重分为 4、6、7、10、16、21及30吨等七级。目前列入国家标准的悬式绝缘子型号和参数如表1-8所示。

表 1-8 悬式绝缘子型号及参数

绝缘子型号	工频电压有效值(kV) 不小于			50%冲击闪络 电压幅值(kV) 不小于	一小时机 电破坏荷重 (kg)	机电破坏荷重 (kg) 不小于	高度 (mm)	盘径 (mm)	泄漏距离 (mm) 不小于
	干闪	湿闪	击穿						
XP-4C	60	30	90	115	3000	4000	140±5	190	200
XP-6 XP-6C	75	45	110	120	4500	6000	146±5	255	280
XP-7 XP-7C	75	45	110	120	5200	7000	146±5	255	280
XP-10	75	45	110	120	7500	10000	146±5	255	280
XP-16	75	45	110	120	12000	16000	155±5	255	290
XP-21	80	50	120	130	16000	21000	170±6	280	320
XP-30	80	50	120	130	22500	30000	195±6	320	350

注 绝缘子型号带有符号C者，系为槽型连接绝缘子。

当线路通过污秽地区（如工业、化工区或接近沿海、盐场、盐碱地区等）时，绝缘子表面容易沉积一层污秽物质，在下雾、毛毛细雨的天气，绝缘子表面沉积的污秽物质受到潮湿，会使绝缘子的耐压值显著降低，因而往往引起闪络，即所谓污闪。为了防止绝缘子的污闪，对一般轻污秽地区可采用表1-8所示的绝缘子，但须增加每串绝缘子个数，以增加绝缘子串的泄漏距离。对严重的污秽地区，如仍采用这一办法，将使绝缘子串过长，从而增大了杆塔尺寸，失去了经济效果。为了解决这个问题我们可以采用特殊造型的防污绝缘子。图1-5所示为线路常用的几种防污绝缘子的外形。这种绝缘子的高度与表1-8所示的绝缘子高度相等，仅泄漏距离较大，因此可以根据污秽的严重程度，将表1-8的普通绝

缘子更换为防污绝缘子。

## 二、悬式绝缘子的结构和材料

悬式绝缘子主要由铁帽、钢脚、瓷件、弹簧销子等组成的，其结构如图1-6所示。

铁帽采用可锻铸铁，钢脚采用碳钢，弹簧销子采用弹簧钢，这些元件都必须热镀锌以防腐蚀。

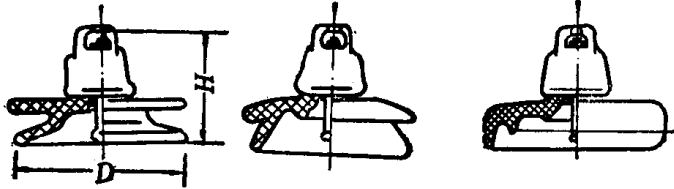


图 1-5 防污绝缘子

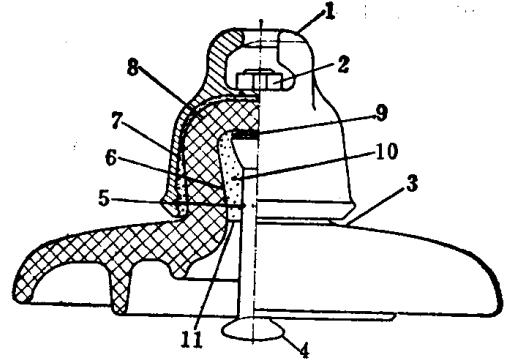


图 1-6 悬式绝缘子结构

图1-6中1为铁帽；2为销子；3是为了调剂不同的膨胀、瓷件与铁帽之间应有的间隙，以防材料膨胀时，瓷件受应力损坏；4为钢脚；5为钢脚与水泥接触表面涂一层很薄的弹性涂料，以缓冲由于材料膨胀应力引起绝缘子的劣化；6为瓷件内腔（全部上釉）；7为铁帽与水泥接触表面涂一层很薄的弹性材料；8表示瓷件顶部不上釉处涂一层弹性涂料，以保证使用中的缓冲作用；9为浸过沥青油漆的弹性垫圈；10为用一定比例的硅石砂混合的水泥，并经蒸气处理以降低水泥的膨胀率；11表示水泥外露表面涂一层防潮剂，以防外界潮气侵入水泥。

悬式绝缘子的绝缘体是瓷件，目前悬式绝缘子的瓷件有电瓷和钢化玻璃两种材料。用电瓷做绝缘体者叫瓷绝缘子，用钢化玻璃做绝缘体者叫钢化玻璃绝缘子（简称玻璃绝缘子）。电瓷是一种无机绝缘材料，具有很高的耐腐蚀性和抗老化性能，并且具有较高的电气绝缘和机械强度。另外，电瓷也是一种脆性材料，因此在运输和安装绝缘子时，应注意不得碰撞振动和挤压。

近年来我国对钢化玻璃绝缘子的生产工艺进行了改进和发展，质量逐步提高，玻璃绝缘子的应用不断扩大，是一种很有发展前途的绝缘子。玻璃绝缘子具有以下特点：

- (1) 机械强度高，比瓷绝缘子的机械强度高1~2倍。
- (2) 性能稳定不易老化，电气性能高于瓷绝缘子。
- (3) 生产工序少，生产周期短，便于机械化自动化生产，生产效率高。
- (4) 由于玻璃绝缘子的透明性，故进行外部检查时，很容易发现细小的裂缝及各种内部缺陷或损伤。

(5) 玻璃绝缘子的玻璃本体如有各种缺陷时，玻璃本体自行破碎，称为“自破”。绝缘子自破后，铁帽残锤仍然保持一定的机械强度悬挂在线路上，线路仍然可以继续运行。当巡线人员巡视线路时，很容易发现自破绝缘子，并及时更换新的玻璃绝缘子。由于玻璃绝缘子具有这种“自破”的特点，所以在线路运行过程中，不必对绝缘子进行预防性测试，从而给运行带来很大方便。



(6) 绝缘子的重量轻。

(7) 由于制造工艺等原因，玻璃绝缘子的“自破”率较高，这是玻璃绝缘子的致命缺点。因而在我国尚未得到普遍应用。

国外的输电线路甚致超高压输电线路，采用玻璃绝缘子较多。今后我们应积极进行试点，一方面取得运行经验，一方面不断改革制造工艺，提高绝缘子质量，减少自破率，逐步推广使用。

悬式绝缘子的造型，对其电气特性有很大的影响。为了增加绝缘子的闪络途径和泄漏距离，防止雨天绝缘子的下表面被溅湿，故在瓷体下面都做成有3~4个瓷棱的形状，另外绝缘子表面应保持光滑并与水平面的倾斜角保持 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ，以便排除雨水。

绝缘子串的湿闪电压有效值 $U_{sh}$ (kV)除以串长 $l$ 称为淋雨闪络电压梯度。通过试验证明：悬式绝缘子的高度 $H$ 与盘径 $D$ 之比( $H/D$ )，在0.5~0.65之间时，淋雨闪络电压梯度较好； $H/D$ 之比越大，淋雨闪络电压梯度越低，

图1-7为悬式绝缘子串雨闪梯度 $U_{sh}/l$ 与 $H/D$ 的关系。此外，当绝缘子的 $H/D$ 之比相等时，铁帽直径越小，绝缘子的淋雨闪络电压梯度越高。绝缘子下面的瓷棱较密较高时，其淋雨闪络电压较大，但瓷棱过密不利于检修清扫棱内的尘埃及污秽物质，因此悬式绝缘子的造型，不但应具有较高的电气性能，同时还应考虑便于清扫。

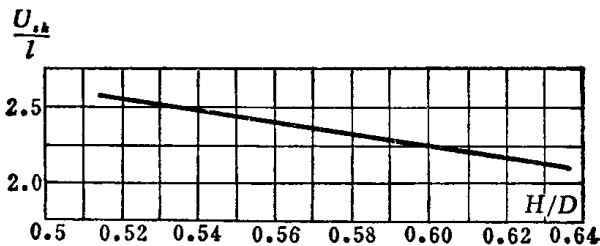


图 1-7 雨闪电压梯度 $U_{sh}/l$ 与 $H/D$ 之比的关系

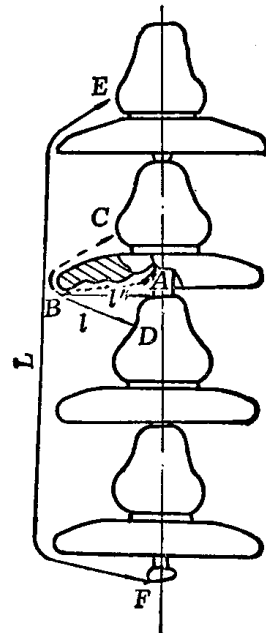


图 1-8 单片绝缘子和绝缘子串的闪络途径

### 三、悬式绝缘子的电气性能

我们在设计、运行维护线路时，不但应掌握每个绝缘子的电气性能，更重要的还必须掌握绝缘子串的电气性能。这是因为单片绝缘子的闪络途径和绝缘子串的闪络途径不同。绝缘子串的闪络途径总长并不等于每片绝缘子的闪络途径长度的总和。图1-8所示为单片绝缘子和绝缘子串的闪络途径。单片绝缘子沿两电极空气间隙的最短距离 $l'$ （即ABC）闪络，而绝缘子串常常是沿着 $l$ （即CBD）或空气间隙 $L$ （即EF）闪络。因此，绝缘子串的闪电压并不等于单片绝缘子的闪络电压之和。

根据绝缘子串在线路上的使用环境条件，我们应当掌握绝缘子串的工频干闪、湿闪电压，工频污秽闪络电压，操作冲击湿闪电压和雷电冲击湿闪电压等电气特性。

图1-9所示为绝缘子串工频闪络电压有效值 $U_g$ (kV)与串长 $l$ (m)的关系。通过试验证明，绝缘子串的干闪电压大于湿闪电压。此外，无论干闪电压或湿闪电压均与串长呈线性