

职工大学教材

高压输电线路设计基础

西北电业职工大学 李瑞祥 编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书扼要地阐明了导线和避雷线机械物理特性,详细地讲解了导线和避雷线的荷载、弧垂、应力、不平衡张力、振动和防振计算,杆塔荷载计算及型式的选择,输电线路档距计算、线路路径选择、杆塔定位和施工图设计等内容,并列举了算例。

本书为职工大学输电工程、输变电安装专业教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

职工大学教材

高压输电线路设计基础

西北电业职工大学 李瑞祥 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

北京市地质矿产局印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 32.5印张 741千字

1994年6月第一版 1994年6月北京第一次印刷

印数 0001—2280册

ISBN 7-120-01876-0/TM·491

定价 22.40元

前 言

本书根据原水利电力部属职工大学输电工程专业的高压输电线路设计基础课程教学大纲编写。

为适应我国电力工业发展的需要，对超高压500、750kV，直流500kV等线路也作了简要的介绍。为了便于读者掌握所学内容，编写了大量例题和习题、小结和复习思考题。

本书由西北电业职工大学李瑞祥副教授编写，西北电力建设总公司高级工程师(教授)程连飞主审，西北电力设计院高级工程师朱继贤审阅。

本书编写过程中，得到了各方面的大力支持。中国电机工程学会输变电专业委员会线路施工分会及其张盛钺高级工程师(教授)、吴九令高级工程师、西北电力建设总公司副总工程师吴敬珊，陕西省电力设计院总工程师王克震，成都电力职工大学尹天禄老师等给予了帮助；西北电业职工大学输电教研室杨乘风、邓润叶同志协助了本书的编写工作，在此，谨向上述单位和有关人员表示感谢。

由于作者水平所限，对书中错误或不妥之处，敬希广大读者批评指正。

编 者

1990年1月

目 录

前言	
绪论	1
第一节 高压输电线路的作用和特点	1
第二节 电力网和电力系统	1
第三节 输电线路的主要组成部分	3
复习思考题	23
第一章 气象条件	24
第一节 气象资料	24
第二节 气象资料搜集内容	24
第三节 计算气象条件	26
第四节 最大风速的取值	30
小结	37
复习思考题	38
习题	38
第二章 导线和避雷线的机械物理特性和荷载	39
第一节 导线和避雷线的机械物理特性	39
第二节 导线和避雷线的安全系数	43
第三节 风荷载计算中的几个系数	44
第四节 导线和避雷线的比载	50
小结	56
复习思考题	57
习题	57
第三章 导线和避雷线的弧垂和应力	59
第一节 导线和避雷线的弧垂概述	59
第二节 导线和避雷线的悬链线方程式	59
第三节 导线和避雷线的长度	62
第四节 导线和避雷线各点的应力	64
第五节 导线任意点的弧垂计算	65
第六节 导线和避雷线的弧垂、长度和应力简化计算	67
小结	69
复习思考题	69
习题	70
第四章 气象条件变化时导线和避雷线的弧垂和应力	71
第一节 导线和避雷线状态方程式	71
第二节 导线最大弧垂的判定	78
第三节 临界档距	81

第四节	临界档距的判定	85
第五节	代表档距	97
第六节	避雷线最大使用应力	106
第七节	导线和避雷线应力弧垂曲线	116
第八节	导线和避雷线初伸长及其处理	140
第九节	导线悬挂点等高时连续档导线力学的基本关系	145
小结	.....	149
复习思考题	.....	151
习题	.....	151
第五章	悬挂点不等高时导线和避雷线的计算	153
第一节	等效档距	153
第二节	导线悬挂点不等高时弧垂和高差关系	157
第三节	导线和避雷线悬挂点不等高时的应力和弧垂——斜抛物线法	159
第四节	导线和避雷线悬挂点不等高时的状态方程式	163
第五节	导线和避雷线悬挂点不等高时的临界档距	165
第六节	导线和避雷线悬挂点不等高时导线应力、弧垂计算方法的选择	165
第七节	导线和避雷线悬挂点不等高时连续档状态方程式和代表档距	171
第八节	导线和避雷线悬挂点不等高时连续档临界档距	173
第九节	导线和避雷线悬挂点不等高时悬链线方程式	174
小结	.....	176
习题	.....	178
第六章	输电线路档距、线间距离	180
第一节	水平档距	180
第二节	垂直档距	181
第三节	极限档距及其高差	190
第四节	线间距离及最大允许档距	194
第五节	计算档距	199
小结	.....	201
复习思考题	.....	202
习题	.....	203
第七章	特殊情况下导线的计算	204
第一节	概述	204
第二节	档距中有一个集中荷载时导线弧垂和应力	205
第三节	孤立档弧垂计算	211
第四节	孤立档导线状态方程式	225
第五节	孤立档临界档距	230
第六节	导线紧线时的过牵引	251
第七节	过牵引计算	253
小结	.....	259
复习思考题	.....	262
习题	.....	263
第八章	导线和避雷线的不平衡张力	264

第一节	概述	264
第二节	固定横担邻档断线时导线的断线张力	269
第三节	邻档断线余一档导线断线张力计算	276
第四节	断线张力衰减系数法	281
第五节	转动横担、固定线夹导线的断线张力计算	287
第六节	导线覆冰、脱冰不等时不平衡张力计算	291
第七节	避雷线对杆塔的支持力	304
	小结	323
	复习思考题	325
	习题	325
第九章	导线和避雷线的振动和防振	327
第一节	导线和避雷线振动的类型和特点	327
第二节	导线和避雷线振动的基本理论	329
第三节	导线和避雷线的振动方程式	332
第四节	导线和避雷线振动的疲劳特性	336
第五节	导线和避雷线振动的主要参数	340
第六节	导线和避雷线的防振措施	343
第七节	防振锤的安装设计	347
第八节	阻尼线的安装设计	351
第九节	防振锤和阻尼线的联合防振	354
第十节	分裂导线的防振	354
	小结	357
	复习思考题	359
	习题	360
第十章	杆塔型式的选择	361
第一节	杆塔型式的分类	361
第二节	常用杆塔型式的优缺点	363
第三节	选用杆塔型式的注意事项	365
第四节	杆塔头部尺寸设计	366
	小结	390
	复习思考题	392
	习题	392
第十一章	杆塔荷载计算	394
第一节	杆塔荷载	394
第二节	杆塔的荷载计算条件	395
第三节	荷载计算用档距的确定	397
第四节	直线杆塔的荷载计算和荷载图	401
第五节	转角、耐张、终端杆塔荷载计算和荷载图	409
第六节	杆塔荷载计算的注意事项和定型塔的选用	427
	小结	429
	复习思考题	432
	习题	432

第十二章	线路路径选择和初步设计	434
第一节	路径选择原则	434
第二节	路径方案的选定	434
第三节	搜资、协议	437
第四节	输电线路的踏勘及线路路径方案的比较	439
第五节	初步设计和野外选线	441
复习思考题	.....	444
第十三章	杆塔定位和施工图设计	445
第一节	定位前的准备工作	445
第二节	杆塔定位原则	446
第三节	定位用弧垂模板的制作及选择	447
第四节	杆塔荷载的验算	449
第五节	直线杆塔风偏角曲线	451
第六节	上拔校验和临界曲线	466
第七节	导线悬挂点应力校验曲线	471
第八节	耐张绝缘子串倒挂临界曲线	475
第九节	悬垂绝缘子串的机械强度校验	478
第十节	悬垂角校验曲线	482
第十一节	最大允许档距的校验	483
第十二节	交叉跨越间隙的验算	488
第十三节	导线风偏校验	490
第十四节	高基础、长短腿使用及其施工基面	494
第十五节	直线杆塔带小转角验算	496
第十六节	施工图设计	501
小结	.....	503
复习思考题	.....	504
习题	.....	505
附录	.....	507
附录 1	应力弧垂曲线及定位计算机程序	507
附录 2	弱电线路等级	507
附录 3	公路等级	507
附录 4	基本符号	509
参考文献	.....	512

绪 论

第一节 高压输电线路的作用和特点

高压输电线路的作用是联络发电厂、变电站，输送电能。因此，高压输电线路是电力系统的重要组成部分之一，是电力工业的大动脉。高压输电线路设计正确与否，将对电力系统运行的可靠性、经济性，以及线路本身建设的经济技术指标是否合理起着决定性作用。

高压输电线路可分为架空输电线路和电缆线路。目前我国电力系统广泛采用的是架空输电线路，其优点是投资少，加工制造简单，容易发现运行线路中的故障，并易于修复。本书讨论的主要内容是高压架空输电线路的设计，及其施工、运行等有关的问题，着重阐述35~330kV线路，简要介绍500kV线路。

高压输电线路工程设计主要特点是：综合协作性强，业务牵涉面广，签订协议对象多，技术专业面广。例如要使输电线路的路径选择和杆塔布置合理、适当、达到安全经济的要求，往往需要勘测方面的测量、地质、水文、气象、物探等专业人员与设计方面的电气、结构、通信、施工组织等专业人员，会同施工、运行单位有关人员共同参加确定方案，完成初、终勘测及内、外业的有关工作。特别是路径方案的确定，要由多方面人员共同配合进行。

输电线路的江河大跨越设计不但技术复杂、投资大、施工困难，而且也是运行维护工作中的重点。因此，为了确定一个好的跨越方案，一般需要水文、地质、气象、结构、电气等人员从各自专业特点要求提出意见，并经全面的技术经济比较，才能最后确定。

输电线路架空导线，能对邻近电信线路等产生电磁干扰，这就需要与受线路影响的军事、交通、航运、邮电、农林、水利、工矿企业、城市规划等部门取得协议。因此，输电线路设计人员不仅要精通本专业，而且还要了解其它各专业的知识、各部门特殊要求以及有关的国家方针政策。

第二节 电力网和电力系统

一、电力网、电力系统定义

电力网包括输电线路、升压和降压变电站，以及配电设备。

电厂、电力网以及用电设备三者连接在一起组成的统一整体称为电力系统。

二、电力网的电压

电力网额定电压的确定，除了考虑电力网本身的经济性外，还应考虑整个电力系统中电压等级不宜过多的原则，否则设备和接线方式就会太复杂。

我国目前交流输电线路的电压等级有35、(60)、110、(154)、220、330、500kV。在这些电压等级中，60、154kV虽然也被列为额定电压，但在新建线路中已不采用。

直流输电电压的等级有500kV。

电压等级又可按下述方法划分：

低压 (LV)，1kV以下；

高压 (HV)，1kV及以上；

超高压 (EHV)，330kV及以上；

特高压 (UHV)，750 (765)kV以上。

目前各国选用电压等级级差一般为2~3倍。除欧洲外大多数国家目前和本世纪内将采用两种电压系列：115/230/500kV和110/330/735kV，如美国、苏联、加拿大三国电压等级都各自有两个系列：

美国，69/230/500kV和138/345/765kV；

苏联，35/110/330/750kV和35/110/220/500kV；

加拿大，110/345/735kV和220/500kV。

目前正在建设的电压等级为1000~1500kV。

1962年国际大电网会议上超高压标准化国际工作小组建议：原来采用220kV或230kV的国家，最好采用230/500kV电压系列；原来采用330kV或345kV国家，最好选用110/330/750kV电压系列。还建议在一个国家内，最好选用一种电压系列，避免不同电压电网互联时需安装互联变压器，但这样做的时候，并不排除个别线路采用特殊交流电压或直流电压输电。

三、绝缘水平

电气绝缘是输电线路的一个重要方面，应能保证在外过电压、内过电压和工频电压下的安全运行，因而绝缘水平也是影响输电线路造价的一项重要因素。因此，输电线路设计必须合理地确定绝缘水平。

1. 外过电压

雷电通过三种不同的途径（直接击导线、直接击避雷线或杆塔、在线路附近落雷）在输电线路产生过电压且随线路工作电压升高而变得严重，但在超高压线路中由于导线对地空气间隙大，因此，其间隙绝缘强度基本上不随间隙大小而改变。在外过电压超高压线路中，导线对地空气间隙已不再是确定绝缘水平的一个重要因素。

2. 内过电压

由于电力系统各部分都有电感和电容，因此，在运行中切除或投入某一部分都会引起振荡，产生暂态过电压（内过电压），且其幅值是随着线路电压升高而成比例地增大。因此，国内外近几十年来在超高压线路，主要是研究限制内过电压的措施，以降低绝缘水平、减少线路投资。

50年代，采用气吹和有低值并联电阻的断路器，防止断路器触头间电弧重燃，把内过电压限制到运行电压的2.8~3倍，为降低330kV超高压线路的绝缘水平创造了条件。

60年代初期，苏联采用磁吹避雷器等措施，把内过电压限制到2.1倍以下，美国采用有低值并联电阻的开关进而将内过电压限制到2倍以下。这些措施有力地促进了500~765kV超高压输电线路的发展。

3. 工频电压

在雾、露等潮湿气候下绝缘子易发生工频闪络。工频闪络总是沿着绝缘子表面逐步发展的，为了防止这些闪络，一些国家根据运行经验规定了绝缘子泄漏距离（爬距）的最低要求。我国和瑞典规定为 1.6cm/kV ，西德为 $1.7\sim 2.0\text{cm/kV}$ 。按照爬距要求线路所需的绝缘子数将随电压的增高成正比例的增加。因此，在超高压线路上内过电压被限制后，工频闪络成为选择绝缘子的决定因素。50年代以来超高压线路的建设，采用的爬距有降低的趋势，多数超高压线路爬距达到 $1.5\sim 1.6\text{cm/kV}$ 。美国的O V E C 330kV线路爬距为 1.36cm/kV ，A E P 345kV线路爬距为 1.25cm/kV ，765kV线路的V形串爬距低到 1.2cm/kV ；苏联330kV线路爬距为 1.3cm/kV ；加拿大安大略系统500kV爬距为 1.38cm/kV 。

各国高压和超高压线路的运行实践表明，污秽物质对内、外过电压下绝缘降低影响较小，大多数污秽绝缘闪络发生在工频电压下。随着工业的发展，污秽区的扩大，污秽闪络已引起各国的注意。通过试验研究表明：V形绝缘子串优于垂直绝缘子串。目前预防闪络的办法仍为憎水性涂料和带电水冲洗。对污秽绝缘子的闪络，污秽等级的判定以及污秽绝缘子的选择，各国采用了不同方式，但对这一问题的完善解决，尚在继续研究之中。

四、直流输电

目前国内外都在逐步发展直流输电，一般认为直流与交流输电相比的优点是：架空线路或电缆线路的建设费用较低，没有稳定性问题，对长距离输电有利，可将非同期或异周波的电网联系起来，不增大电力系统的短路容量。

1882年法国建设了一条长为40 km、电压为2 kV、输送容量为15 kW的直流线路。以后由于直流输电在经济上、技术上都不能与交流输电竞争，所以在世界上一直发展缓慢，直至本世纪60年代后期，出现了大功率可控硅元件，高压直流输电方得以很快发展。80年代已建成21项直流输电工程，输送容量为 $1278 \times 10^4\text{kW}$ ，在建的有16项工程，输送容量为 $2576 \times 10^4\text{kW}$ ，还有很多项目在进行可行性研究。

直流输电的经济长度与两端换流设备的造价有关。苏联1965年分析输送距离的结果为：输电距离超过1000~1200 km时，采用直流比交流经济。而当时美国在设计太平洋联络输电线路时，比较结果为：输电距离在700 km以上、输送容量为 $200 \times 10^4\sim 300 \times 10^4\text{kW}$ 时，采用直流输电比交流经济。随着可控硅换流技术的发展，使直流终端设备与线路造价之比不断降低。美国西屋公司最近声称，直流输电的经济距离是500~600 km以上。

我国水利资源在西部，煤炭资源也集中在山西、内蒙、西北，利于建设坑口电站和水电站。但用电负荷较多的东南沿海地区输电距离都在1000 km以上，特别是三峡的开发建设，远距离高压直流输电更有明显的优越性。我国目前建设的第一条葛洲坝~上海超高压直流输电线路情况是：电压为500 kV，导线为 $4 \times \text{LGJQ-300}$ 型，输送容量为 $120 \times 10^4\text{kW}$ ，线路长度为1080 km。

第三节 输电线路的主要组成部分

高压输电线路的主要组成部分见图0-1所示。现分别叙述如下。

一、导线

导线是固定在杆塔上输送电流用的金属线，由于导线常年在大气中运行，经常承受拉力，并受风、冰、雨、雪和温度变化的影响，以及空气中所含化学杂质的侵蚀。因此，导线的材料除了应有良好的导电率外，还须具有足够的机械强度和防腐性能。目前在输电线路设计中，一般采用钢芯铝绞线（见图0-2），局部地区采用铝合金线（见图0-3）。

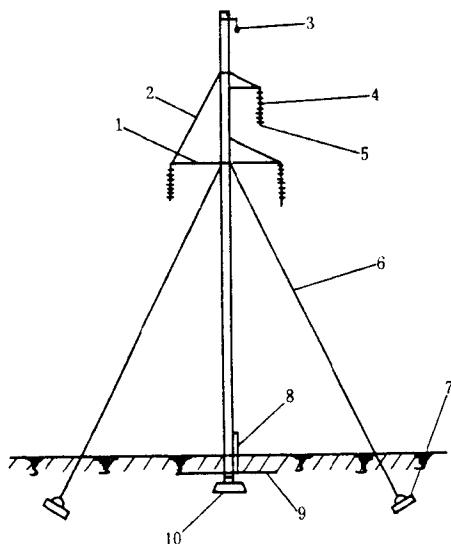


图 0-1 高压线路的主要组成部分

- 1—横担；2—吊杆；3—避雷线；4—绝缘子；
5—导线；6—拉线；7—拉线盘；8—引下线；
9—接地装置；10—底盘

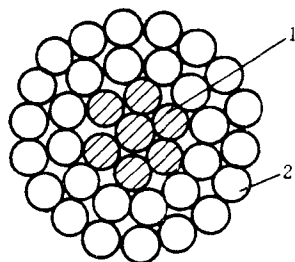


图 0-2 钢芯铝绞线

- 1—钢芯；2—铝线

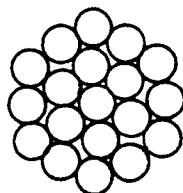


图 0-3 铝合金线

钢芯铝绞线由于其抗拉强度大、弧垂小，所以可使档距放大，见图0-4。

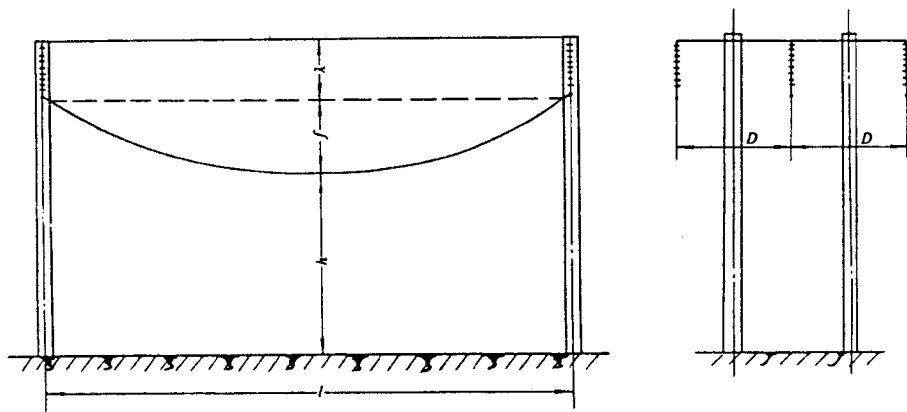


图 0-4 架空线路的档距与弧垂

- D —相间距离； λ —绝缘子串长度； f —弧垂； h —导线对地距离； l —档距

钢芯铝绞线按其铝、钢截面比的不同而分为正常型、加强型、轻型三种。在高压输电线路中，采用正常型较多。在超高压线路中采用轻型的较多。在机械强度高的地区，如大跨越、重冰区等，采用加强型的较多。至于应采用哪种类型导线，应通过技术经济论证后确定。国标中的钢芯铝绞线的标号是由汉语拼音字母和阿拉伯数字组成。例如：LGJ型，表示正常型钢芯铝绞线；LGJJ型，表示加强型钢芯铝绞线；LGJQ型，表示轻型钢芯铝绞线。

欧美国家是用ACSR表示钢芯铝绞线。

铝合金线比纯铝线有更高的机械强度，大致与钢芯铝绞线强度相当，但重量比钢芯铝绞线轻，因而弧垂减小，档距可放大，可使杆塔基数减少或降低高度，但导电性能比铝线稍差。因此，铝合金线有一定的优越性，但目前在生产上尚有一定困难，故我国只在个别线路上使用。

国外生产的铝合金线，机电性能良好。如日本生产的1号铝合金线抗拉强度为308.7 MPa；美国生产的6201铝合金线抗拉强度为313.6~333.2 MPa，均大于我国钢芯铝绞线的抗拉强度。

此外还有以下几种特种用途的导线。

1. 大档距导线

国外大跨越中，要求导线具有特高抗拉强度，采用过硅钢线，镀锌钢线、铝包钢线等。

2. 防腐蚀导线

线路经过海边及污秽地区，为提高导线的抗腐蚀能力，延长使用寿命，制造了各种防腐蚀导线，例如镀铝钢线、铝包钢线、钢芯涂防腐油等。北欧一些国家生产钢芯铝线时钢芯就涂以凡士林进行防腐蚀保护。意大利跨越麦西拿海峡的导线涂有防腐剂。美国用镀铝钢线作钢芯。

3. 自阻尼导线

自阻尼导线又称防振导线，如图0-5所示，加拿大、挪威等国已使用，认为使用它可以提高运行应力而不必加防振措施，已引起各国的重视。

4. 光滑导线

光滑导线由于外径较普通导线略小，可减少导线承受的风和冰荷载，由于表面光滑可减少导线舞动现象。在欧洲、美国、日本都已得到应用。

5. 分裂导线

分裂导线的排列如图0-6所示。一般，每相2根为水平排列，3根为两上一下倒三角形排列，4根为正方形排列。

分裂导线在超高压线路得到广泛使用。它除具有表面电位梯度小，临界电晕电压高的特性外，还有以下优点。

- (1) 单位电抗小，其电气效果与缩短线路长度相同；
- (2) 单位导纳大，等于增加了无功补偿；

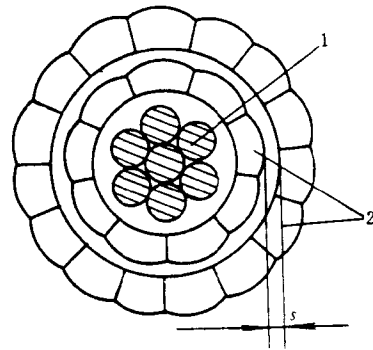


图 0-5 自阻尼导线

1—内芯线；2—外层线；s—空气间隙

(3) 用普通标号导线组成，制造较方便；

(4) 分裂导线装间隔棒可减少导线振动，实测表明双分裂导线比单根导线减小振幅50%，减少振动次数20%，四分裂减少更大。

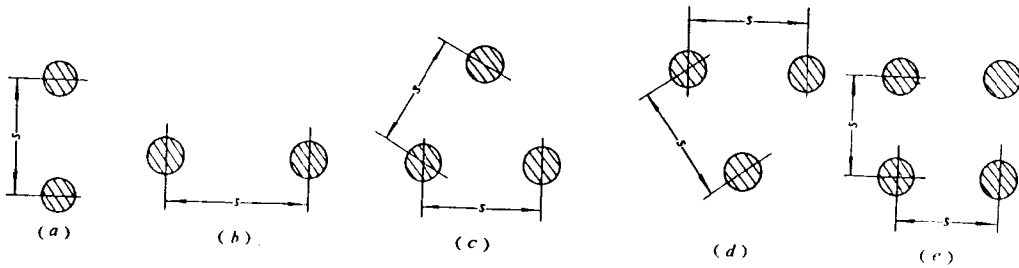


图 0-6 分裂导线示意图

(a) 双分裂垂直排列；(b) 双分裂水平排列；(c) 三分裂正三角形排列；(d) 三分裂倒三角形排列；
(e) 四分裂正方形排列

目前各国超高压线路一般均采用分裂导线，380kV及以下线路的分裂导线，一般每相由两根导线组成，但德国、西班牙则采用了4根，英国400kV也用4根；500kV线路一般采用2~4根，美国多采用两根截面较大的导线，日本、加拿大则较多采用4根截面较小的导线；750kV线路均采用4根；1000kV线路采用4~6根。我国330kV线路每相采用2根，500kV线路每相采用4根，500kV直流输电线路每极也采用4根。

每相分裂导线间距离 s 一般为300~455mm，瑞典、美国、加拿大等国大多为455mm，我国330kV线路为400mm，500kV和 ± 500 kV交直流线路为450mm。

6. 扩径导线

为了减少电晕损失，可增大导线直径，图0-7示出扩径导线。我国330kV线路曾采用过K-272 2型钢芯铝绞线扩径导线，铝截面为 300.8mm^2 ，作用相当于LGJ-300型导线，但直径扩大了2.2mm。

二、避雷线

避雷线作用是防止雷电直接击于导线上，并把雷电流引入大地。35kV线路一般只在进、出发电厂或变电站两端架设避雷线，110kV及以上线路一般沿全线架设避雷线。避雷线常用镀锌钢绞线，并在每基杆塔上直接用引下线与接地装置相连接，将雷电流引入大地。

避雷线除了采用镀锌钢绞线外，为了减少对通信线路的危险影响，还采用了铝包钢绞线。如美国的镀铝钢线AM型导线，其抗拉强度可高达1764MPa。在技术经济上合理时，可采用钢芯铝绞线（良导体屏蔽线）作避雷线。目前又有在避雷线中加有光纤通信线。

目前国内外采用了绝缘避雷线，其优点是：能降低线路的附加电能损失；能作载波通信线路；便于测量塔脚接地电阻；能在避雷线上抽取电能等。

三、绝缘子

输电线路用的绝缘子主要有针式绝缘子、悬式绝缘子、瓷横担等。国外还采用棒式绝缘子、绝缘横担等。绝缘子由绝缘部件与金属部件胶装在一起而构成。绝缘部件的材料有电瓷、钢化玻璃、塑料、环氧树脂等。目前多使用瓷绝缘子，它的作用是支吊、固定带电

部分，使带电部分之间及其对地之间相互绝缘。绝缘子不仅承受机械力和电压作用，而且还要承受大气中有害气体的侵蚀及温度变化的影响。因而它除了满足一定的机、电强度之外，还应具有热稳定性和耐腐蚀性能。

1. 针式绝缘子

针式绝缘子（见图0-8），主要用于10~35kV线路上，但目前，35kV线路已很少采

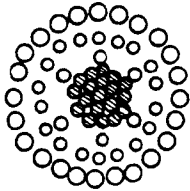


图 0-7 扩径导线

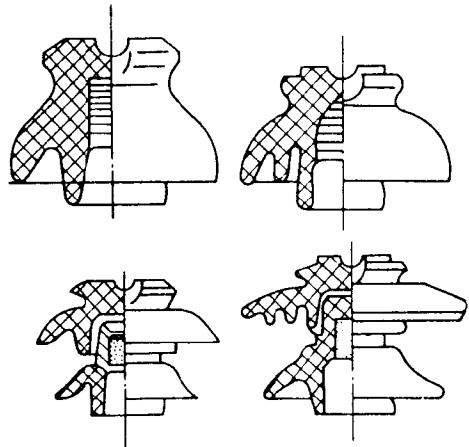


图 0-8 针式绝缘子

用针式绝缘子，而多采用悬式绝缘子和瓷横担。针式绝缘子的优点是：制造简单，价格便宜；缺点是耐雷水平低，遭雷击时易闪络。

2. 悬式绝缘子

(1) 一般悬式绝缘子（见图0-9）。其型号通常要标出1h机电负荷或机电破坏负荷。例如：X-4.5型表示瓷绝缘悬式绝缘子，1h机电负荷为45kN；XP-7型表示机电破坏负荷

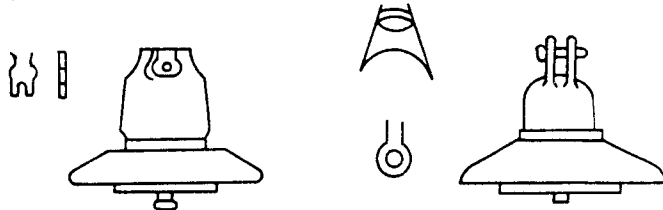


图 0-9 悬式绝缘子

为70kN（P表明按机电破坏负荷值表示型号）。此外，在型号前面冠以字母L则表示钢化玻璃绝缘子。我国500kV超高压线路已使用到LXP-21型悬式绝缘子。其最大优点是：将拉力转变为对绝缘部分的压力。因此，可承受很大的拉力。

(2) 防污悬式绝缘子（见图0-10）。这种绝缘子的爬距大，主要用于污秽严重地区。绝缘子技术参数，见《高压电瓷产品目录》。

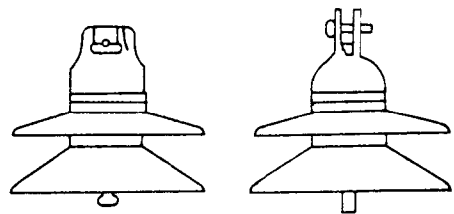


图 0-10 防污悬式绝缘子

(3) 直流悬式绝缘子（见图0-11）。国外经验表明，直流线路比同样情况下的交流线路的污秽水平低，主要原因是由于设备在直流电场下更易吸附周围的灰粒等污秽物质。我国葛洲坝~上海±500kV直流线路引进日本碍子公司直流绝缘子，型号是CA-735EZ型和CA-745EZ型，其技术参数见表0-1。

直流绝缘子片数受污秽情况下的正常电压控制，据此选定片数，再估算操作过电压和

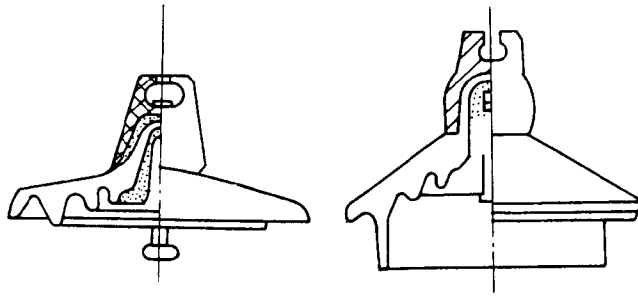


图 0-11 直流悬式绝缘子

雷电冲击电压的性能。所以直流绝缘子选用的爬距比交流大得多。我国目前直流绝缘子选用的爬距为 2.8 (cm/kV)。现介绍法国玻璃绝缘子在几个国家交直流线路的爬距 (泄漏比距) 值, 见表 0-2 所列数值:

表 0-1 直流绝缘子技术参数

绝缘子型号		CA-735EZ	CA-745EZ
高度 (mm)		170	170
直径 (mm)		320	320
爬距 (mm)		545	545
直流平均闪络电压	干闪 (kV)	170	170
	湿闪 (kV)	70	70
1min 直流湿耐受电压 (kV)		55	55
冲击闪络电压	正极 (kV)	150	150
	负极 (kV)	160	160
机械破坏荷重 (kN)		160	210
工频击穿电压 (kV)		130	130
对地有效值 (kV)		10	10
10 ⁶ Hz 的最大无线电干扰电压 (μV)		50	50
机械打击强度 (mm·kN)		10	10

表 0-2

国名	线路名称	爬距 (cm/kV)	
		交流	直流
巴西	伊大甫直流 500kV 线路		2.65
	交流 500kV 线路	1.61	
加拿大	纳尔逊直流 500kV 线路		2.38
	温哥华直流 260kV 线路		2.75
	交流 500kV 线路	1.56	
美国	太平洋联络线直流 400kV		2.55
	CU 工程直流 400kV		2.55
	交流 500kV 线路	1.48	
瑞典	康梯斯勒工程直流 250kV		2.65
	交流 400kV 线路	1.57~1.76	
丹麦	康梯斯勒工程直流 250kV		3.26
	斯卡盖拉克工程直流 250kV		4.13
	交流 400kV 线路	2.51~2.97	
意大利	科西加~撒厂工程直流 500kV		3.26~3.67
	交流 400kV 线路	1.57~2.32	
中国	葛洲坝~上海直流 500kV		2.8
	交流 500kV	1.65	

3. 瓷横担

瓷横担（见图0-12）是同时起到横担和绝缘子作用的一种绝缘结构，绝缘水平较高没有风偏问题，所以能有效地降低杆塔的高度，大量节约钢材、节约线路投资。但它最大的缺点是抗弯和抗拉强度低，只能用在导线型号较小、档距较小、档距长度近似相等的线路中。因此，多用在10~35kV线路上。

4. 棒式绝缘子

棒式绝缘子（见图0-13），自20年代由德国首先使用以来，现在仍以德国使用较多，德国认为棒式绝缘子使用方便，并且不必检验绝缘劣化，运行情况良好，破损仅30万分之一；日本、美国和其他国家也有使用，日本已生产出300kN的高强度棒式绝缘子。

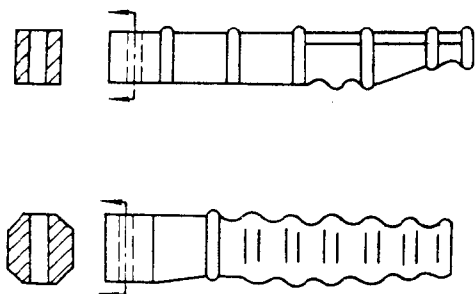


图 0-12 瓷横担

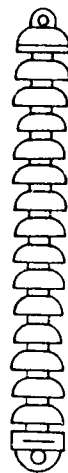


图 0-13 棒式绝缘子

5. 绝缘横担

国外目前使用绝缘横担较广、型式较多，发展的原因有：可减小间隙，减小杆塔尺寸，减小线路走廊，便于雨水自然冲洗，与我国瓷横担优点相同。但国外采用的材料是玻璃纤维和树脂制成的高强度玻璃钢绝缘横担，目前价格昂贵，尚有待于进一步解决。

6. 合成绝缘子

合成绝缘子是采用高分子聚合物材料和玻璃纤维棒组合制成的棒形悬式绝缘子。

目前，美国、加拿大、意大利等国不同程度地对合成绝缘子进行了研究和应用，应用数量已达数千万支，最长运行近20年。我国由武汉水电学院等单位研制，湖北襄樊电力设备厂生产了棒形悬式合成绝缘子，其优点如下。

（1）由硅橡胶为基体的高分子聚合物制成的伞盘具有良好的憎水性，可大大提高闪电压，为输电线路的安全运行、减轻清扫量、防止污闪事故提供了保证。

（2）棒芯采用环氧玻璃纤维挤拉棒制成，具有很高的抗张强度（80~100kN/cm²），为普通钢的2倍，比高强度瓷大3~4倍。

（3）体积小、重量轻（仅为瓷绝缘子的1/7）、不易破损的特点，给运输、安装、维护带来很大方便，并为紧凑型线路和事故检修提供了良好条件。

缺点是：尺寸小，施工安装时需采用专用小爬梯下到导线上，且目前价格较昂贵。

四、金具

通常把输电线路使用的金属部件总称为金具，它的类型繁多。以下简要介绍几种金具，详情可查部颁《电力金具产品样本》等有关技术资料。

1. 连接金具

连接金具是用来连接悬式绝缘子，以构成绝缘子串，如球头挂板（见图0-14），碗头挂板（见图0-15）。

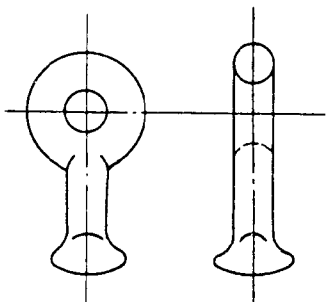


图 0-14 球头挂板

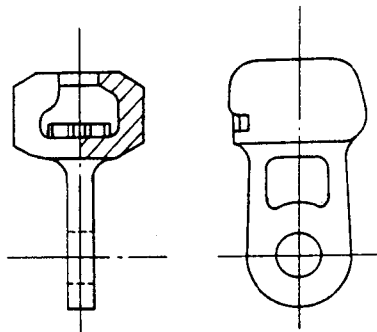


图 0-15 碗头挂板

2. 连续金具

连续金具是用来连接导线或避雷线的，如压接管等。导线压接管如图0-16所示，避雷线压接管如图0-17所示。

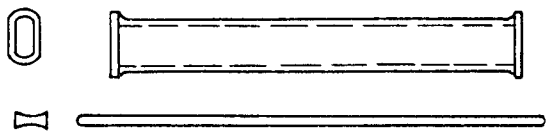


图 0-16 导线压接管

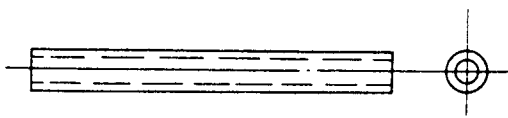


图 0-17 避雷线压接管

3. 固定金具

固定金具是用来将导线固定在绝缘子串上，或将避雷线固定在金具串上，如悬垂线夹（见图0-18），耐张线夹（见图0-19）。此外，在超高压线路上为了防止和减少电晕的影响，还采用了XGF型防晕悬垂线夹（见图0-20），其上杠线夹可代替均压屏蔽环。

4. 防振锤

防振锤（见图0-21），目前仍采用1925年美国Stokprideg发明的防振锤，效果良好。

5. 间隔棒

间隔棒使用在分裂导线上，作用是：防止子导线之间的鞭击，抑止微风振动，抑止次档距振荡。间隔棒分阻尼和非阻尼式两种。非阻尼式间隔棒为刚性的，阻尼式间隔棒是在活动关节中嵌进胶垫，利用胶垫阻尼起到消振作用。常用的刚性间隔棒有单铰式和双铰式。