



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

输配电 线路施工

戴仁发 主 编
周向利 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



中国电机工程学会
CHINA SOCIETY OF ELECTRICAL ENGINEERS

输配电 线路施工

主编 王 强
副主编 王 强

中国电力出版社
CHINA ELECTRICITY PRESS





教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

输配电线路施工

主 编 戴仁发
副主编 周向利
编 写 鲁剑锋
主 审 吴海燕 李恒锦



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

本书共分为十章，主要内容包括输电线路的分类组成、输电线路测量及检查、杆塔基础施工、杆塔组立、导线和避雷线的展放、接地装置施工、500kV 线路施工、施工质量的检查和验收、架空和电缆配线路施工、配电变压器台和开关台的施工等方面的内容。

本书主要作为职业技术学校电力类专业教材，也可作为电力行业的培训教材，还可供从事输配电工程设计、运行、管理等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

输配电线路施工/戴仁发主编. —北京: 中国电力出版社, 2006. 8

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7 - 5083 - 4564 - 9

I. 输... II. 戴... III. 输配电线路—工程施工—施工技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 080369 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 9 月第一版 2006 年 9 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 23 印张 521 千字
印数 0001—3000 册 定价 29.80 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成的，并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审，又列为全国电力职业教育规划教材，作为职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求；具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性；符合职业教育的特点和规律，具有明显的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

为了更好地适应职业技术学校的教学需求，编写了《输电线路施工》一书。本书系统地介绍了输电线路的组成，线路施工测量，杆塔基础施工，杆塔组立，导线、避雷线架设，接地装置施工，500kV线路施工，架空配电线路、电力电缆线路施工及施工质量的检查和验收。技术规范符合国家的现行标准，具有可读性和实用性。

在本书的编写过程中，吸收和借鉴了各地职业技术学校教学改革的成功经验，采用了理论知识与技能训练一体化的模式，使教学内容更加符合学生的认知规律，保证了理论与实践相结合。

本书坚持以能力为本，重视实践能力的培养，突出职业技术教育的特点。根据输电专业毕业生所从事职业的实际需要，确定学生应具备的能力结构与知识结构。对教材的深度、难度，与同类教材相比作了较大程度的调整，较多地采用定性分析，弱化了定量分析计算。在保证学生具有必备的专业基础知识的同时，加强了实践性教学内容。

根据科学技术发展对劳动者素质提出的新要求，在教材中充实了新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容，使教材具有一定的先进性。

贯彻国家关于职业资格证书与学历证书并重，职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策精神，教材内容涵盖了输电专业中线路架设、送电线路、配电线路、电力电缆等工种对知识和技能的要求，确保毕业生达到相关等级技能人才的培养目标。

本书在编写过程中，参阅了许多资料，也曾获得现场生产人员的大力支持与帮助，在此一并谨致谢意。

由于编者水平和接触面有限，经验不足，书中的缺点和错误在所难免。欢迎读者批评指正。

编者

2006年元月

目 录

前言

第一篇 输电线路施工

第一章 输电线路概论	1
第一节 输电线路的分类、组成	1
第二节 架空输电线路施工的工艺流程	20
思考题与练习题	22
第二章 输电线路测量及检查	23
第一节 测量仪器及工具.....	23
第二节 基本测量方法	32
第三节 施工测量	41
第四节 拉线坑位的测量及拉线长度的计算	49
第五节 杆塔基础的操平找正	53
第六节 杆塔检查	57
第七节 基础检查	60
思考题与练习题	62
第三章 杆塔基础施工	64
第一节 基坑开挖	64
第二节 混凝土及其配制.....	67
第三节 现浇混凝土施工.....	77
第四节 装配式基础施工.....	85
第五节 桩式基础施工	89
第六节 岩石基础施工	93
第七节 石坑开挖和爆破的一般知识	96
第八节 基础操平找正	102
思考题与练习题.....	109
第四章 杆塔组立	110
第一节 常用起重工器具及选择	110
第二节 钢筋混凝土电杆起立前各项工作	131
第三节 铁塔的结构、识图、对料及地面组装	143
第四节 输电线路杆塔整体起立	154
第五节 整体起立各部受力计算和分析	167

第六节 杆塔分解组立	181
思考题与练习题	196
第五章 导线、避雷线架设	198
第一节 导线和避雷线的展放	198
第二节 紧线施工	205
第三节 附件安装	212
第四节 导线和避雷线的接续方法	216
第五节 弧垂观测	231
思考题与练习题	241
第六章 接地装置施工	242
第一节 线路防雷与接地电阻	242
第二节 接地装置及施工	244
第三节 接地电阻测量	248
思考题与练习题	250
第七章 500kV 线路施工	251
第一节 500kV 线路的杆塔施工	251
第二节 张力放线	259
第三节 紧线、平衡挂线和附件安装	271
第四节 大跨越施工	281
思考题与练习题	291
第八章 施工质量检查和验收	292
第一节 工程管理制度	292
第二节 施工验收	295
思考题与练习题	301

第二篇 配电线路施工

第九章 架空、电缆配电线路施工	302
第一节 架空配电线路的组成和要求	302
第二节 架空配电线路施工的特点	312
第三节 电缆配电线路施工的特点	320
思考题与练习题	324
第十章 配电变压器台、开关台的施工	325
第一节 配电变压器台的组成和要求	325
第二节 配电变压器台的安装	328
第三节 开关台的组成、要求和安装	330
思考题与练习题	332
参考文献	333

第一篇 输电线路施工

第一章 输电线路概论

第一节 输电线路的分类、组成

一、输配电线路的分类

输电线路按输电电压高低,可分为低压配电线路、高压配电线路、高压输电线路、超高压输电线路和特高压输电线路。

低压配电线路是指线对地电压在 1kV 以下的电力线路,1~10kV 输电线路称高压配电线路;35kV 线路以前归属高压输电线路,但随着我国电力工业的发展,35kV 线路一般都是城市与农村,或城市内的联络线路,已不再是电网之间的联络线路,在很多城市中已经成为城市配电网的一部分;110kV (包括 66kV) 到 220kV 线路称为高压输电线路;330kV 和 500kV 线路称为超高压输电线路;750kV 以上线路称为特高压输电线路。

输电线路的输电电压决定于输电容量和输电距离。电压越高,在一定输送容量下,输送距离可越远;在一定的输送距离下,可输送的容量就越大。但输电电压越高,线路及两端电气设备绝缘强度要求较高,从而使线路和设备的投资增大。因此应通过技术经济比较,确定输电电压与输电容量、距离的合理关系。各级输电电压的合理输电容量和距离如表 1-1 所列。

表 1-1

各级输电电压的合理输电容量和距离

输电电压 (kV)	输电容量 (万 kW)	输电距离 (km)	输电电压 (kV)	输电容量 (万 kW)	输电距离 (km)
10	0.02~0.2	20~6	220	12~25	300~200
35	0.2~1	50~20	330	30~60	500~250
110	3~7	150~100	500	80~120	1000~600

按线路架设方法可分为架空输电线路和电缆输电线路。

架空输电线路是将输电导线用绝缘子和金具架设在杆塔上,使导线对地面和建筑物保持一定距离。架空输电具有投资少、维护检修方便等特点,因而得到广泛应用。其缺点是易遭受风雪、雷击等自然灾害影响,因而发生事故的机会多。

电缆输电线路是利用埋在地下或敷设在电缆沟中的电力电缆来输送电力。电缆是包有绝缘层和内外护层的导线。这种输电线路优点是占地少,不受外界干扰,因而比较安全可靠,不影响地面绿化和整洁;缺点是工程造价高,而且事故检查和处理比较困难。电缆线路主要用于一些城市配电线路,以及跨江过海的输电线路。

按输电电流的种类分,可分为交流输电和直流输电两种。

发电厂发出的交流电电压不可能很高,一般都是升压后再输送,而用户用电设备一般都是低压的,所以输送的功率必须经过数次降压才能使用。因此,目前国内外广泛采用交流输电。直流输电是将交流电变为直流电,输送到受电地区后再将直流电逆变为交流电的一种输电方式。直流输电只需要两根导线,且其中一根可利用大地,所以金属和绝缘材料消耗、功率损失均相应减少。它具有线路造价低、运行费用少、以及运行稳定性好等优点;但是直流

输电线路两端的换流设备比较复杂、造价高，同时目前尚无适用的直流高压断路器，在直流线路上无法引出分支线，因此使用范围受到限制。目前直流输电主要运用于远距离、大功率的输电，海底电缆输电，以及不同频率的电力系统之间的联络。

二、架空输配电线路的组成

架空输配电线路主要由基础、杆塔、导线、避雷线、绝缘子、金具及接地装置等部件组成，如图 1-1 所示。

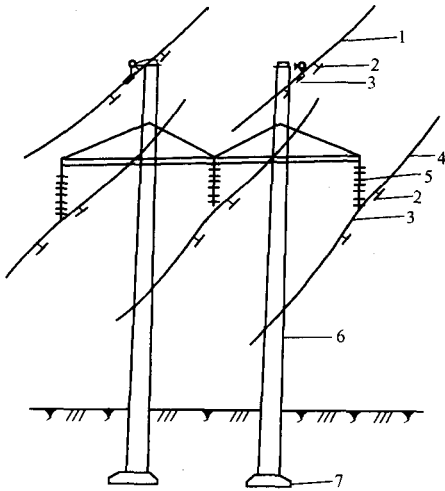


图 1-1 输配电线路的主要部件示意图
1—避雷线；2—防振锤；3—线夹；4—导线；
5—绝缘子；6—杆塔；7—基础

导线的作用是传递电能。为保持导线对地面或其他建筑物的安全距离，必须将导线架设在杆塔上。杆塔和导线之间用绝缘子串连接，使导线与杆塔绝缘。杆塔要稳定耸立于地面之上，必须借助基础。为了避免直接雷击导线，在杆塔顶部设有避雷线以作保护。在杆塔处之地下设有接地装置，用接地引下线或杆塔本身可将雷电流导入大地。

本章仅介绍架空输电线路主要部件，架空线路结构特点将在以后各章中介绍。

1. 杆塔

杆塔是钢筋混凝土电杆与铁塔的总称。

(1) 杆塔的分类。杆塔按其作用及受力分为承力杆塔和直线杆塔两种。

承力杆又可分为耐张杆塔、转角杆塔、终端杆塔、分支杆塔及耐张换位杆塔 5 种。它们在正常情况下均承受具有各自特点的力的作用，在断线时都能承受断线拉力。

直线杆塔也有普通直线杆塔、换位直线杆塔和跨越直线杆塔等，它们都用于线路直线段上，支持导线垂直和水平荷载，有的直线杆塔也能兼小转角。

杆塔又可分为有拉线与无拉线两种类型。拉线可以承受大风载荷及断线荷载，这样可以减轻杆塔的结构，节省原材料。

(2) 钢筋混凝土电杆。钢筋混凝土电杆是 220kV 以下输配电线路最广泛使用的杆塔材料。它坚实耐久，维护工作量少，结构简单，可分段组装满足各种跨越高度要求。其缺点是易产生裂纹、笨重，给运输、施工带来不便。防止裂缝的最好办法，就是在电杆浇注时将钢筋预拉，使混凝土在承载前就受到一个预压应力。当电杆承载时，受拉区混凝土所受拉应力与预压应力部分抵消而不致产生裂纹，这种电杆叫预应力钢筋混凝土电杆。使用预应力钢筋混凝土电杆，可以节省大量钢材，壁厚也相应减少，故杆重减轻、价格下降，是今后的发展方向。

单柱钢筋混凝土电杆广泛使用在 110kV 以下的电力线路上，可分为拔梢杆、等径杆两类。拔梢杆一般不带拉线，其主杆梢径为 $\phi 190 \sim 270\text{mm}$ ，圆锥度为 1/75。等径带拉线的单杆可用于 220kV 电压等级以下线路。拉线一般为对称布置，为了减少断导线时杆柱所受的扭矩，一般采用转动横担或压屈横担，其杆形如图 1-2 和图 1-3 所示。

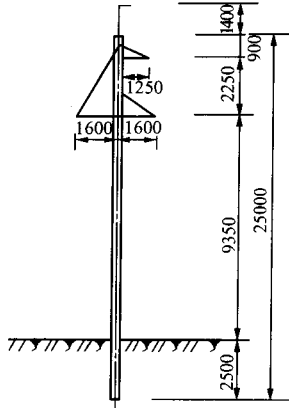


图 1-2 35kV ϕ 190mm 拔梢单杆

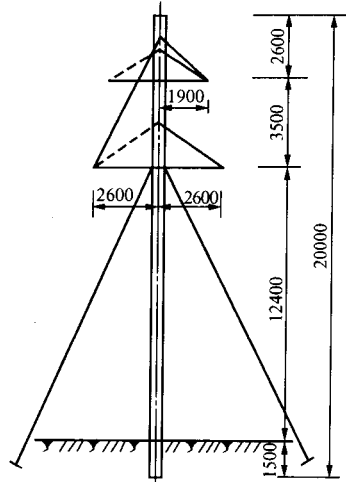
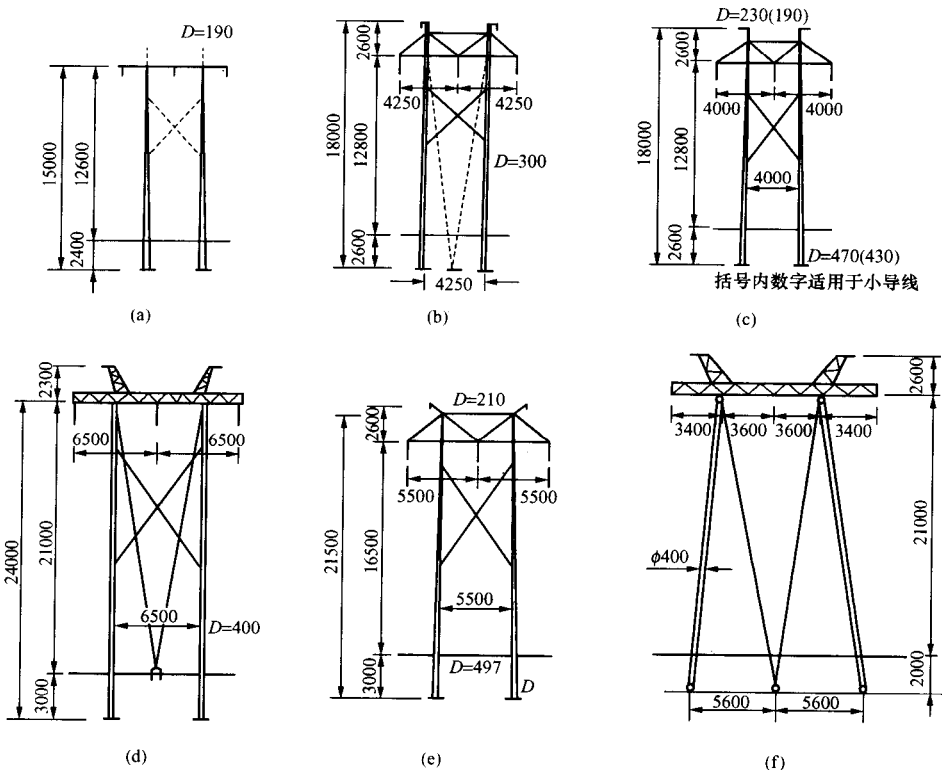


图 1-3 110kV ϕ 300mm 等径拉线单杆

门型钢筋混凝土电杆不但是 330kV 以下线路直线杆的主要杆形，也是 35~220kV 线路耐张、转角杆的主要杆形，后者拉线类型和数量比前者复杂，其直线杆形如图 1-4 所示。

(3) 铁塔。铁塔是用角钢焊接或螺栓连接的钢架。它坚固、可靠，使用年限长，但钢材消耗大、造价高、施工工艺复杂、维护工作量大。220kV 以下线路中，铁塔多用于交通不便和地形复杂的山区，或一般地区的大荷载的终端、耐张、大转角、大跨越等处。拉线铁塔可节省大量钢材，较多用于直线塔。常用铁塔塔形图如图 1-5 所示。



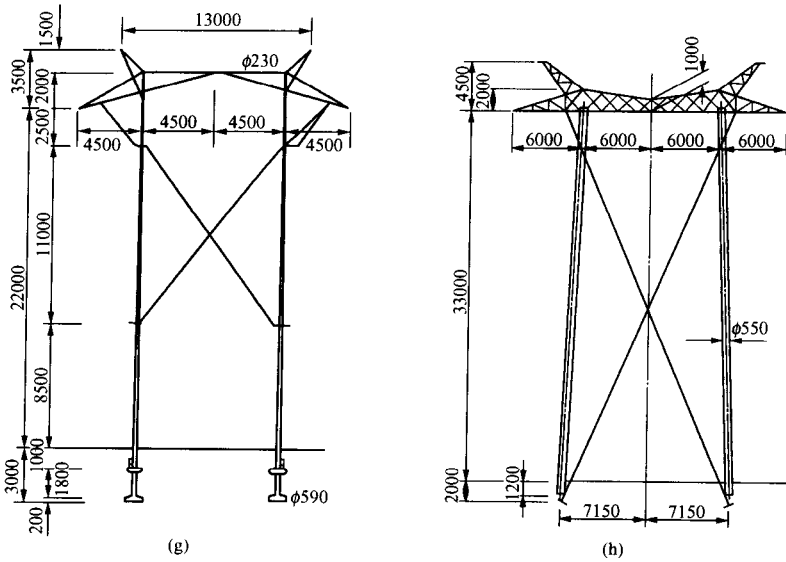


图 1-4 门形直线杆常用杆形

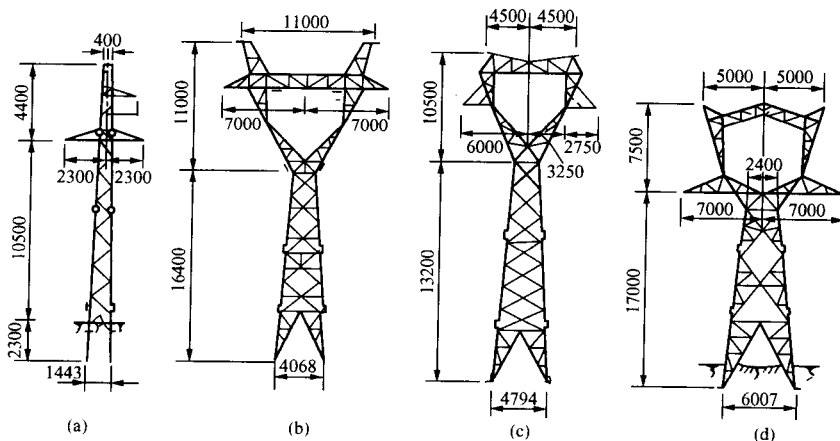
- (a) 35kV 直线杆形 (拔梢杆柱, 有的带叉梁、避雷线); (b) 110kV 直线型杆形之一 (等径杆柱, 带叉梁, 有的兼带 V 形拉线); (c) 110kV 直线杆形之一 (拔梢杆柱, 带叉梁); (d) 220kV 直线杆形之一 (等径杆柱, 带叉梁和 V 形拉线, 立体桁架方横担); (e) 220kV 直线杆形之一 (拔梢杆柱, 带叉梁, 平面桁架式横担); (f) 220kV 撇腿门型直线杆 (带 V 形拉线和立体桁架式横担); (g) 330kV 直线杆 (拔梢杆柱, 带叉梁); (h) 500kV 直线杆形 (等径杆柱, 有撇腿带 X 形拉线)

2. 基础

杆塔的地下部分的总体统称为基础。它是输电线路重要组成部分, 一般基础投资占本体投资的 15%~30%, 工期占施工总工期的 30%~50%。

钢筋混凝土杆基础通常由地下部分电杆和三盘 (底盘、卡盘和拉线盘) 组成。三盘一般由钢筋混凝土预制而成, 也有用天然石材做成, 外形如图 1-6 所示。

铁塔基础根据铁塔类型、地形地质及施工条件的不同, 采用不同类型。图 1-7 所示是常用的铁塔基础类型图。



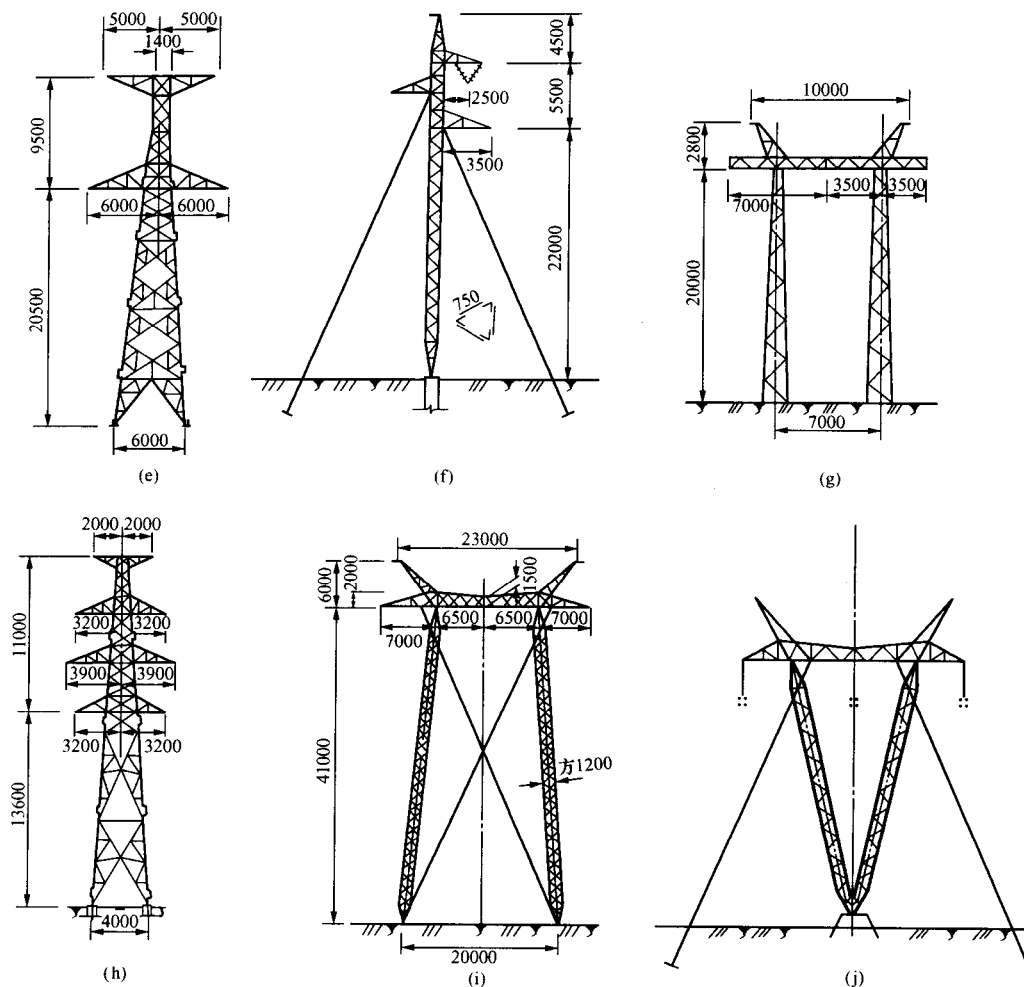


图 1-5 常用铁塔塔形图

(a) 上字形塔; (b) 酒杯形塔; (c) 中国猫头形塔; (d) 桥形耐张塔; (e) 干字形耐张塔; (f) 拉线三角形排列跨越塔; (g) 门形塔; (h) 六角形双回路塔; (i) 500kV 交叉拉线门形塔; (j) 500kV 拉线 V 形塔

3. 导线

导线是架空送电线路主要组成部分，其作用是传导电能。导线的种类、性能和截面的大小，不仅对杆塔、避雷线、绝缘子、金具有影响，而且直接关系到线路的输送能力、运行的可靠性和建设费用的大小。

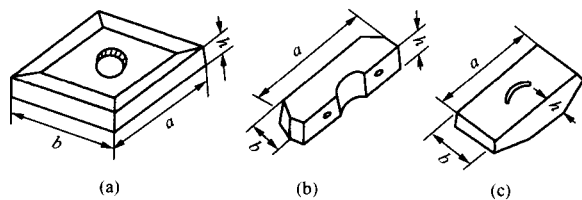


图 1-6 常用三盘外形图

(a) 底盘; (b) 卡盘; (c) 拉线盘

导线必须具有良好的导电性能。此外，由于架空线路导线架设在空中，要承受自重、风压、冰雪荷载等机械力的作用和空气中有害气体的侵蚀，故要求导线有较高的力学强度和较好的抗腐蚀性能。

导线由铝、钢、铜等材料制成，在特殊情况下也可使用铝合金。铜是理想的导线材料，

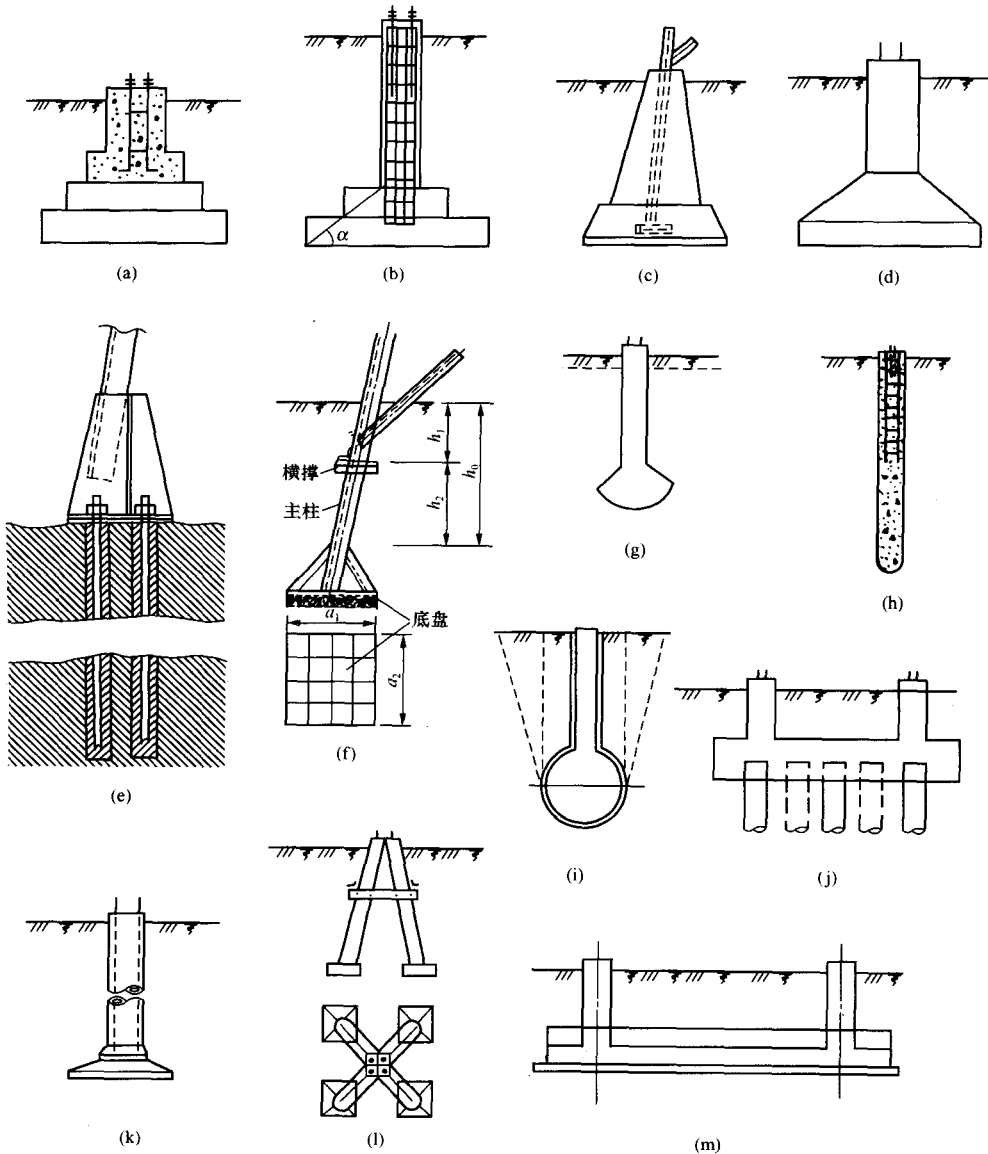


图 1-7 常用铁塔基础图

- (a) 大块混凝土基础；(b) 钢筋混凝土基础；(c) 主角钢插入式基础；(d) 掏挖式基础；(e) 岩石基础；(f) 金属基础；(g) 机扩基础；(h) 灌注桩基础；(i) 爆扩柱；(j) 联合桩基础；
(k) 圆柱固结式基础；(l) 人字型基础；(m) 联合基础

但由于铜资源少、价格高，使用不多。为了提高导线力学强度，架空线路导线采用绞合的多股导线，常用的有铝绞线、钢芯铝绞线，少数情况下也采用铝合金线、铝包钢绞线及硬铜线。钢芯铝绞线中铝线部分和钢线部分截面积的比值不同，力学强度也不同，可分为普通钢芯铝绞线（铝钢截面积之比值为 5.2~6.1）、加强型钢芯铝绞线（比值为 4~4.5）和轻型钢芯铝绞线（比值为 7.6~8.3）。各种导线结构及用途可参见表 1-2。

表 1-2 各种导线的结构及用途

导线种类	品种	型号	导线结构概况	用途及选用原则
硬铝线	铝绞线	LJ	用圆铝线多股绞制的绞线	对 35kV 架空线路, 铝绞线截面一般大于 35mm ² ; 35kV 以下线路不小于 25mm ²
钢芯铝绞线	钢芯铝绞线 轻型钢芯铝绞线 加强型钢芯线	LGJ LGJQ LGJJ	内层(或芯线)为单股或多股镀锌钢绞线, 主要承担张力; 外层为单层或多层硬铝绞线, 为导线部分	LGJ、LGJQ 型钢芯铝绞线用于一般地区, LGJJ 型钢芯铝绞线用于重冰区或大跨越地段
防腐型钢芯铝绞线	轻防腐 中防腐 重防腐	LGJF	结构型式及力学、电气性能与普通钢芯铝绞线相同, 轻防腐类仅在钢芯上涂防腐剂; 中防腐类仅在钢芯及内层铝线上涂防腐剂; 重防腐类在钢芯和内外层铝线均涂防腐剂	用于沿海及有腐蚀性气体的地区
铝合金线	铝合金单线 铝合金绞线 钢芯铝合金绞线	LH LHJ LHGJ	以铝、镁、硅合金控制的圆单线或用多股作成的绞线, 抗拉强度接近铜线, 电导率及质量接近铝线	抗拉强度高, 可减少弧垂, 降低线路造价, 单股线在线路上不允许使用
铝包钢绞线	铝包钢绞线	GLJ	以单股钢线为芯, 外面包以铝层, 作成单股及多股绞线	线路的大跨越及避雷线、通信使用
硬铜线	硬圆铜单线 硬铜绞线	TY TJ	用硬铜拉制成的单股线或用多股制成的绞线	一般不使用。必须使用时, 导线最小截面规定如下: 35kV 以下线路不允许使用单股线, 多股绞线导线截面不得小于 25mm ² ; 10kV 及以下线路单股线不得小于 16mm ² , 绞线不得小于 16mm ²

在高压输电线路中还经常采用分裂导线。一般线路每相采用一根导线。所谓分裂导线系指每相采用相同截面、相同型号的两根或两根以上的导线。相分裂导线多用于电压为 220kV 以上的线路。采用分裂导线可提高线路送电容量、减少电晕损耗和对无线电等的干扰。

架空线路导线、避雷线断面图如图 1-8 所示。

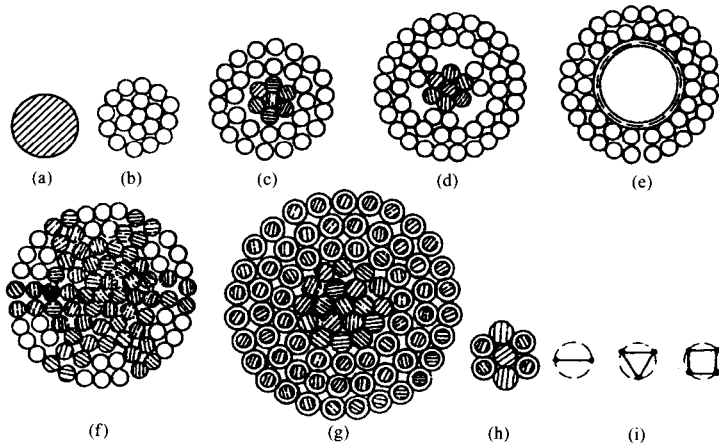


图 1-8 架空线路各种导线避雷线断面图

- (a) 单股导线; (b) 单金属多股绞线; (c) 钢芯铝绞线; (d) 扩径钢芯铝绞线;
- (e) 空心导线(腔中为蛇形管); (f) 钢铝混绞线; (g) 钢芯铝绞线;
- (h) 铝包钢绞线避雷线; (i) 分裂导线

导线型号由导线的材料、结构和截面积两部分组成。前一部分：T表示铜；L表示铝；J表示多股绞线或加强型；Q表示轻型；H表示合金；G表示钢；F表示防腐。第二部分数字表示载流部分的标称截面积（ mm^2 ）。常用的铝绞线和钢芯铝绞线的规格参见表1-3和表1-4。

表 1-3 铝 绞 线 规 格

标称截面 (mm^2)	股数/直径 (股/mm)	计算截面 (mm^2)	外径 (mm)	计算质量 (kg/km)	交货长度不小于 (m)
16	7/1.70	15.89	5.01	43.5	4000
25	7/2.15	25.41	6.45	69.6	3000
35	7/2.50	34.36	7.50	94.1	2000
50	7/3.00	49.48	9.00	135.5	1500
70	7/3.60	71.25	10.80	195.1	1250
95	7/4.16	95.14	12.48	260.5	1000
120	19/2.85	121.21	14.25	333.5	1500
150	19/3.15	148.07	15.75	407.4	1250
185	19/3.50	182.80	17.50	503.0	1000
210	19/3.75	209.85	18.75	557.4	1000
240	19/4.00	238.76	20.00	656.9	1000
300	37/3.20	297.57	22.40	820.4	1000
400	37/3.70	397.83	25.90	1097	1000
500	37/4.16	502.90	29.12	1387	1000
630	61/3.63	631.30	32.67	1744	800
800	61/4.10	805.36	36.90	2225	800

表 1-4 钢 芯 铝 绞 线 规 格

标称截面 (mm^2)		股数/直径 (股/mm)		计算截面 (mm^2)			外径 (mm)	计算质量 (kg/km)	交货长度不 小于 (m)
铝	钢	铝	钢	铝	钢	总计			
10	2	6/1.50	1/1.50	10.60	1.77	12.37	4.5	42.9	3000
16	3	6/1.85	1/1.85	16.13	2.69	18.82	5.55	65.2	3000
25	4	6/2.32	1/2.32	25.36	4.23	29.59	6.96	102.6	3000
35	6	6/2.72	1/2.72	34.86	5.81	40.67	8.16	141.0	3000
50	8	6/3.20	1/3.20	48.86	8.04	56.29	9.6	195.1	2000
50	30	12/2.32	7/2.32	50.73	29.59	80.32	11.60	372.0	3000
70	10	6/3.80	1/3.80	68.05	11.34	79.39	11.40	275.2	2000
70	40	12/2.72	7/2.72	69.73	40.67	110.40	13.60	511.3	2000
95	15	26/2.15	7/1.67	94.39	15.33	109.72	13.61	380.8	2000
95	20	7/4.16	7/1.85	95.14	18.82	113.96	13.87	408.9	2000
95	55	12/3.20	7/3.20	96.51	56.30	152.81	16.00	707.7	2000
120	7	18/2.90	1/2.90	118.89	6.61	125.50	14.50	379.0	2000
120	20	26/2.385	7/1.85	115.67	18.82	134.49	15.07	466.8	2000
120	25	7/4.72	7/2.10	122.48	24.25	146.73	15.71	526.6	2000
120	70	12/3.60	7/3.60	122.15	71.25	193.40	18.00	895.6	2000
150	8	18/3.20	1/3.20	144.76	8.04	152.80	16.00	461.4	2000
150	20	24/2.78	7/1.85	145.68	18.82	164.50	16.67	549.4	2000
150	25	26/2.70	7/2.10	148.86	24.25	173.11	17.10	601.0	2000
150	35	30/2.50	7/2.50	147.26	34.36	181.62	17.50	676.2	2000

续表

标称截面 (mm ²)		股数/直径 (股/mm)		计算截面 (mm ²)			外径 (mm)	计算质量 (kg/km)	交货长度不 小于 (m)
铝	钢	铝	钢	铝	钢	总计			
185	10	18/3.60	1/3.60	183.22	10.18	193.40	18.00	584.0	2000
185	25	24/3.15	7/2.10	187.04	24.25	211.29	18.90	706.1	2000
185	30	26/2.98	7/2.32	181.84	29.59	210.93	18.88	732.6	2000
185	45	30/2.80	7/2.80	184.73	43.10	227.83	19.60	848.2	2000
240	30	24/3.60	7/2.40	244.29	31.67	275.96	21.60	922.2	2000
240	40	26/3.42	7/2.66	238.85	38.90	277.75	26.66	964.3	2000
240	55	30/3.20	7/3.20	241.27	56.30	297.57	22.40	1108	2000
300	15	42/3.00	7/1.67	296.88	15.33	312.21	23.01	939.8	2000
300	20	45/2.93	7/1.95	303.42	20.91	324.33	23.43	1002	2000
300	25	48/2.85	7/2.22	306.21	27.10	388.81	23.76	1058	2000
300	40	24/3.99	7/2.66	300.09	38.90	338.99	23.94	1133	2000
300	50	26/3.83	7/2.98	299.54	48.82	348.36	24.26	1210	2000
300	70	30/3.60	7/3.60	205.36	71.25	376.61	25.20	1402	2000
400	20	42/3.51	7/1.95	406.40	20.91	427.31	26.91	1286	1500
400	25	45/3.33	7/2.22	391.91	27.10	419.01	26.64	1295	1500
400	35	48/3.22	7/2.50	390.88	34.36	425.24	26.82	1349	1500
400	50	54/3.07	7/3.07	399.73	51.82	451.55	27.63	1511	1500
400	65	26/4.42	7/3.44	398.94	65.06	464.00	28.00	1611	1500
400	95	30/4.16	19/4.50	407.75	93.27	501.02	29.14	1860	1500

4. 避雷线和拉线

避雷线架设在杆塔顶部，其作用是保护线路导线、减少雷击机会、提高线路耐雷水平、降低线路雷击跳闸次数，从而提高线路运行的安全可靠性和连续性，保证连续供电。

根据线路重要性及线路通过地区雷电活动情况，每条线路按规程要求可在杆塔上架设一条或两条避雷线。

根据运行经验，避雷线的型号可按线路的导线型号选择，避雷线与导线的配合参考表 1-5。

为满足开设避雷线载波、减少对通信设施的干扰、降低能耗等要求，在 220kV 及以上线路中，也有采用良导体作避雷线的。

表 1-5 避雷线与导线配合表

导线型号	LGJ - 35 LGJ - 50 LGJ - 70	LGJ - 95	LGJ - 240	LGJ - 400 LGJQ - 500 及以上
		LGJ - 120	LGJ - 300	
		LGJ - 150		
		LGJ - 185	LGJQ - 240	
		LGJQ - 150	LGJQ - 300	
避雷线型号	GJ - 25	GJ - 35	GJ - 50	GJ - 70

杆塔拉线用来抵消杆塔上不平衡荷载，以减少杆塔材料消耗量，降低造价。拉线由上部、下部和拉线盘三部分组成。

拉线上部和避雷线通常都采用镀锌钢绞线，其规格如表 1-6 所示。

表 1-6

镀锌钢绞线规格

标称截面 (mm ²)	计算截面 (mm ²)	计算直径 (mm)	股数/每股直径 (股/mm)	单位质量 (kg/km)
25	26.6	6.0	7/2.2	227.7
25	25.21	6.5	19/1.3	214.7
35	37.15	7.8	7/2.6	318.2
50	49.46	9.0	7/3.0	423.7
50	48.32	9.0	19/1.8	411.1
70	72.19	11.0	19/2.2	615
100	100.83	13.0	19/2.6	859.4
120	116.93	14.0	19/2.8	995.0
120	116.18	14.0	37/2.0	981.0

5. 绝缘子

绝缘子是输电线路绝缘的主体，其作用是悬挂导线并使导线与杆塔、大地保持绝缘，它具有力学强度高，绝缘性能良好，不受温度急剧变化的影响，耐自然侵蚀及抗老化等特点。绝缘子一般都采用瓷和钢化玻璃，也有用合成材料的。

架空送电线路常用的绝缘子有针式绝缘子、悬式绝缘子、蝶式绝缘子、瓷横担绝缘子等（见图 1-9）。用硅橡胶做裙边的合成绝缘子已被广泛使用。

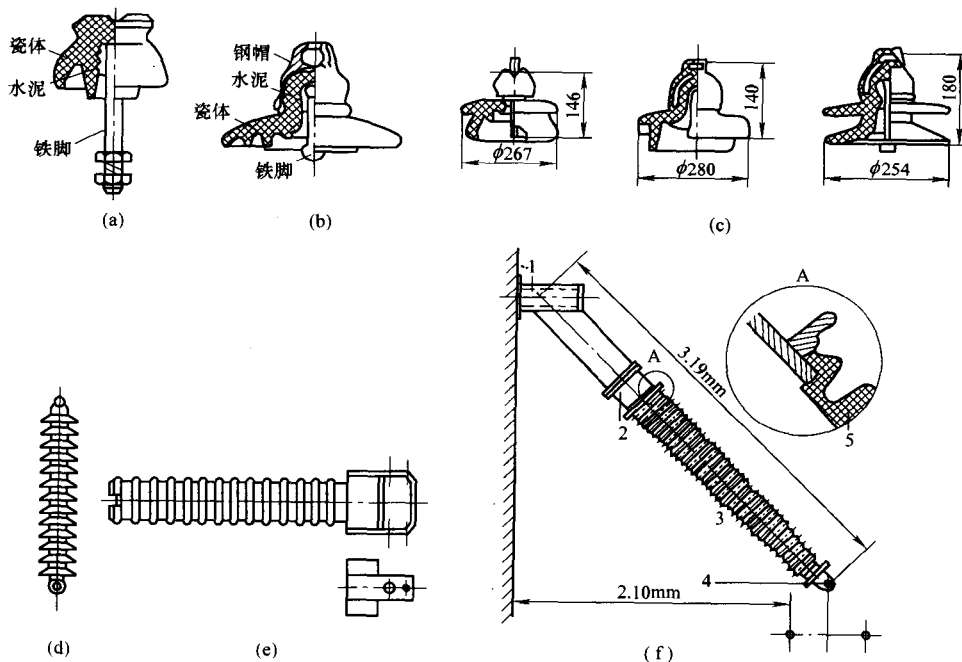


图 1-9 绝缘子

(a) 针式绝缘子；(b) 悬式绝缘子；(c) 防污型悬式绝缘子；(d) 瓷质棒式绝缘子；

(e) 瓷横担；(f) 玻璃钢摆动式绝缘横担

1—轴；2—金属套节；3—环氧树脂玻璃钢绝缘子；4—金属帽；5—外壁

针式绝缘子用于电压不超过 35kV 路线上，根据绝缘子爬距（绝缘子的导体沿绝缘子表