

SONGDIAN XIANLU
SHIGONG

送电线路 施工

江苏省电力公司 单中圻 王清葵



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

A decorative pattern of black diamonds arranged in a circular shape around the central text.

送电线路 施工

江苏省电力公司 单中圻 王清葵



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



内 容 提 要

本书是根据原电力工业部、劳动部 1995 年颁发的《电力工人技术等级标准》和有关送电线路的岗位规范要求,结合架空送电线路施工的实际情况,以及 2001 年电力行业职业技能鉴定指导中心编制的《职业技能鉴定指导书》(职业标准、题库)的有关内容而编写的。主要内容有:复测分坑、基础施工、杆塔组立、架线施工、接地工程和施工质量管理等。

本书可作为从事架空送电线路施工、运行和检修的工人学习和使用,也可作为电力管理人员和有关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

送电线路施工/单中圻,王清葵编. -北京:中国电力出版社, 2003

ISBN 7-5083-1374-7

I. 送... II. ①单... ②王... III. 输电线路-技术培训-教材 IV. TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 053778 号

中国电力出版社出版、发行

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

利森达印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 10 月第一版 2003 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.5 印张 397 千字

印数 0001—3000 册 定价 28.00 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)



目前电力工业发展迅猛，电力体制改革不断深化，电力企业发生了深刻的变化，各地电力企业均在积极争创世界一流企业。作为世界一流企业，除了要有一流的管理人员、一流的专业技术人员外，还需要一大批一流的技术工人，所以培训技术工人，提高他们的技能，对企业是非常重要的。

本书是根据原电力工业部、劳动部 1995 年联合颁发的《电力工人技术等级标准》和有关送电线路岗位规范的要求，并结合电力生产的实际而编写的。书中采用了企业的一些内部资料、施工技术措施，同时充分考虑了 2001 年电力行业职业技能鉴定指导中心编制的《职业技能鉴定指导书》（职业标准、试题库）11-046、11-047 中的有关内容，突出了电力行业岗位培训特点。本书力图做到针对性强、适用性强、可操作性强，并在每章后面编写了练习题，以尽量适合送电线路施工、运行、检修工人学习和使用。

本书第一、六、八、九、十章由王清葵同志编写，其余由单中圻同志编写并负责全书的统稿工作。

本书编写中得到华东送变电公司原总工蒋培元同志大力支持，并审阅全书。

由于本书编写时间仓促，写作水平有限，难免有不当之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2003.8

前言



第一章 绪论 1

第一节 电力建设发展概述 1

第二节 输电线路分类与组成 2

第三节 架空输电线路施工的工艺流程 20

练习题 22



第二章 复测分坑 23

第一节 线路复测要求与方法 23

第二节 分坑放样 27

练习题 33



第三章 杆塔基础施工 34

第一节 基坑开挖 34

第二节 混凝土及其配制 38

第三节 现浇混凝土基础施工 51

第四节 装配式基础施工 62

第五节 桩式基础施工 66

第六节 岩石基础施工 72

第七节 石坑开挖和爆破的一般知识 75

第八节 基础操平找正 81

练习题 88



第四章 杆塔组立 90

第一节 常用工器具及选择 90

第二节 倒落式人字抱杆整立混凝土杆 107

第三节 铁塔地面组装 128

第四节 外拉线抱杆分解组塔 136

第五节 内拉线抱杆分解组塔 144

第六节 摇臂抱杆组塔	154
第七节 倒装组塔	159
练习题	163
 第五章 架线施工	165
第一节 导线和避雷线的展放	165
第二节 紧线施工	172
第三节 弧垂计算与观测	176
第四节 附件安装	182
第五节 导线和避雷线的连接	188
练习题	196
 第六章 接地装置施工	198
第一节 线路防雷与接地电阻	198
第二节 接地装置施工	200
第三节 接地电阻测量	201
练习题	204
 第七章 张力架线	205
第一节 概述	205
第二节 张力放线主要设备	205
第三节 张力架线施工	210
练习题	220
 第八章 施工质量检查和验收	221
第一节 工程管理制度	221
第二节 施工验收	224
练习题	230
 第九章 架空配电线路施工	231
第一节 配电线路的组成和要求	231
第二节 架空配电线路施工的特点	246
练习题	262
 第十章 配电变压器台、开关台的施工	263
第一节 配电变压器台的组成和要求	263

第二节 配电变压器台的安装	268
第三节 开关台的组成、要求和安装	270
练习题	273
参考文献	274



第一章

(送电线路施工)

绪论



第一节 电力建设发展概述

一、输电线路在电力系统中的地位和作用

电力系统包括发电厂、电力网和用电设备。电力网包括变电所和各种不同电压等级的输电线路。

水力发电厂和抽水蓄能电站都建在沿江河的高山峡谷地带；火力发电厂则尽量建在产煤区，以就地消化劣质煤，也可建在沿江、沿海的港湾等煤炭运输方便的地方；而核电站不能建在人口稠密地区。现代化大型电厂距负荷中心很远，这就需要高压、超高压输电线路把电厂和负荷中心连接起来。

随着工业的发展，国民经济实力增强，大容量机组大量投产，西南、西北、中南地区水电资源大量开发，输电线路越来越长，输送容量越来越大，所以输电电压也越来越高。目前我国各大电网一般采用 330kV 或 500kV 超高压输电线路为主干线路电压等级，甚至还选用没有电抗、电容，只有电阻的直流输电方式，葛洲坝到上海的 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电线路已实现了华中电网和华东电网的非周期并列运行。

工业的发展、开发区的建设，高压线引入城市中心给环保带来影响等，都提出了城市电力网中较多采用电缆线路的要求，现在已开始采用以 110kV 电缆线路直接进入城区无人值班变电所或地下变电所，将 110kV 直接降压为 10kV（也有采用 20kV 等级的），配电线路用 10kV 电缆环网供电到各配电变压器，各配电变压器出线用低压电缆送到各负荷中心。

总之，超高压交、直流输电线路，高压输电线路，低压输电线路和各电压等级的电缆线路，就像人体中血管输送血液一样，将电能输送到用户。

二、腾飞的中国电力建设

1949 年以前近 70 年中电力发展极其缓慢，我国自己不能制造发电设备，只能依靠进口，加上连年战乱，民不聊生，电力建设可谓历尽沧桑，几度消亡，到 1949 年全国解放时，我国发电设备装机总容量只有 185 万 kW，不及现在一个电厂的容量，当年发电量仅有 43 亿 kWh。装机容量和发电量分别列世界第 21 位和 25 位。

1949 年新中国成立后，大力发展电力工业，特别是改革开放以来，电力建设迅猛发展，取得了举世瞩目的巨大成就。1987 年末，全国发电装机容量突破 1 亿 kW，1995 年末全国装机总容量达到 2.1 亿 kW，到 2002 年我国发电装机总容量已达到 353GW，发电量



1.640PWh, 均居世界第二。我国指定了“西电东送, 南北互供, 全国联网”的方针, 电网建设进入了黄金时期, 我国的输电线路建设也将进入黄金时期。

三、我国输电线路施工技术发展概况

1949 年以来我国输电线路施工技术方面, 在完成生产建设任务的同时, 创造和积累了一套适合我国国情的施工工艺, 培养造就了一支具有专业施工能力的技术队伍。

1. 基础施工

长期以来我国输电线路铁塔都采用大开挖、回填土的大块混凝土基础, 混凝土杆都用预制的底盘、卡盘基础。这需要挖填大量土方, 耗费很多劳力, 而且破坏了原状土强度。随着线路施工技术的发展, 输电线路杆塔基础出现了一些新型的基础形式, 如掏挖式基础、薄壳基础、灌注桩基础、螺旋桩基础等以满足不同的需要。

2. 杆塔施工

1949 年以来杆塔吊装工艺不断革新, 20 世纪 50 年代创始了倒落式抱杆整体组立电杆和外拉线抱杆分解组立铁塔, 60 年代推广了悬浮抱杆(内拉线抱杆)分解组塔法, 70 年代又创造了倒装组塔法, 80 年代发明了内摇臂抱杆组塔法。在特高、特重塔的施工中, 一些单位采用无落地拉线旋转式悬臂抱杆吊装, 取得较好的效果。

20 世纪 80 年代诞生了液压提升装置, 使杆塔吊装工艺推进到一个新水平。液压提升装置代替了由大量钢丝绳和滑轮组成的提升系统、平衡系统和牵引系统, 使杆塔吊装上升到一个新水平。

3. 架线施工

张力架线施工技术已接近国外水平, 并已形成一套具有我国特点的张力架线工艺。在 220kV 线路上也开始使用张力架线技术, 相应建立了完整工艺和与之相适应的轻型牵张设备。

在不停电、不停航架线方面也取得了很大进展。电力建设研究所研制的带电跨越架, 可在不停电条件下搭设并实行张力放线, 有巨大的经济效益和社会效益。另外, 氢气球放线、热气飞艇放线、直升飞机吊塔和放线均得到顺利应用。

总之, 随着我国电力事业的发展, 我国的输电线路施工技术也得到了很大发展。



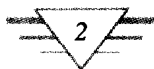
第二节 输电线路分类与组成

一、输电线路的分类

(一) 按线路电压分类

输电线路按电压可分为输电线路和配电线路。电压等级 110kV 及以下称为配电线路, 其中 35kV、110kV 称为高压配电线路, 10kV 称为中压配电线路, 380/220V 称为低压配电线路。220kV 及以上称为输电线路。其中 220kV 称为高压输电线路, 330kV、500kV、750kV 称为超高压输电线路, 1000kV 及以上称为特高压输电线路。

(二) 按杆塔上的回路数目分类



1. 单回路线路杆塔

杆塔上只有三相导线及架空地线的送电线路，称为单回路线路。

2. 双回路线路

杆塔上有两回三相导线及架空地线的送电线路，称为双回路线路。另外，亦有双回路分杆（塔）并行的送电线路。

3. 多回路线路

杆塔上有三回及以上的三相导线和架空地线的送电线路，称为多回路线路。

（三）按杆塔材料分类

1. 铁塔线路

整条送电线路以角钢或钢管组合的铁塔作支持物。这类线路耗用的钢材比较多，使用土地面积少，整齐美观，使用年限较长。

2. 混凝土杆线路

整条送电线路以钢筋混凝土电杆作支持物，一般有分段焊接式和分段焊接与整根拔梢式的钢筋混凝土电杆两种。混凝土电杆可以节约大量钢材，但拉线杆占地多，且施工运输不便。

3. 轻型钢杆送电线路

轻型钢杆指采用较小的型钢分段组合成的带拉线的轻型钢结构架作支持物。由于其质量较混凝土杆小，便于运输，故多用于高山大岭和运输困难的地方，但随着电力线路输送容量大、导线截面大或采用分裂导线等，轻型钢杆已很少使用。

4. 锥形钢管单杆送电线路

锥形钢管单杆指送电线路以分段连接的锥形钢管单杆作支持物。它占地少，美观，便于在市区内架设。

5. 混合式杆塔送电线路

混合式杆塔送电线路是指电力线路的支持物包括有铁塔、混凝土杆或轻型钢结构杆等组成的线路。

另外，按输送电流的种类，可分为交流输电线路和直流输电线路，按线路架设材料不同可分为架空输电线路和电缆输电线路等。

二、架空输电线路的组成

架空输电线路主要有基础、杆塔、导线、避雷线、绝缘子、金具及接地装置等部件组成。

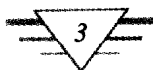
（一）基础

杆塔的地下部分，用于稳定杆塔的装置叫基础。基础的作用是将杆塔、导地线荷载传到土壤，并承受导地线、断线张力等所产生的上拔、下压或倾覆力。

杆塔基础分为电杆基础和铁塔基础两大类。

1. 电杆基础

电杆基础分为承受电杆本体下压的基础（底盘）和起着稳定电杆作用的拉线基础（拉盘或重力式拉线基础）及卡盘等。



(1) 电杆本体基础。底盘如图 1-1 所示，一般 110 ~ 220kV 线路的底盘规格分为 $0.8\text{m} \times 0.8\text{m} \sim 2.2\text{m} \times 2.2\text{m}$ （每 0.2m 为一级）8 个规格，可以根据上部承载荷重和土质的地耐力选用。底盘一般是钢筋混凝土预制构件，特别大的底盘则在杆位现场浇筑。

(2) 拉线基础。拉线基础起着稳定电杆和平衡导线张力的作用。它分为拉盘基础、重力式拉线基础和锚杆（岩石）拉线基础三种。

1) 拉盘（如图 1-2 所示）。一般 110 ~ 220kV 线路的拉盘规格分为 $1.0\text{m} \times 0.5\text{m} \sim 2.2\text{m} \times 1.2\text{m}$ （每 0.2m 为一级）7 个规格。拉盘一般是钢筋混凝土预制构件。

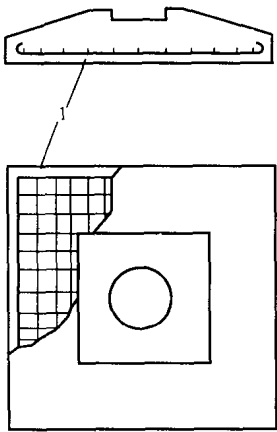


图 1-1 底盘示意图
1—钢筋网

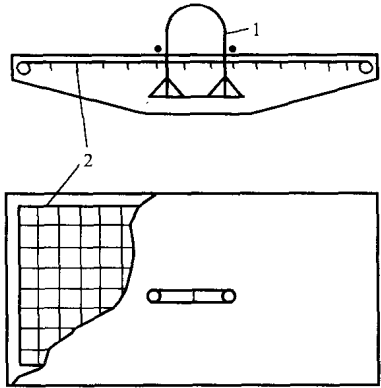


图 1-2 拉盘示意图
1—拉环；2—钢筋网

2) 重力式拉线基础。当遇较差的土质，而且最大一级的拉盘也满足不了所要求的上拔力时，就必须选用重力式拉线基础，如图 1-3 所示，它主要是一条 $\phi 30\text{mm}$ 拉环用 C15 级混凝土浇注而成的无筋基础。

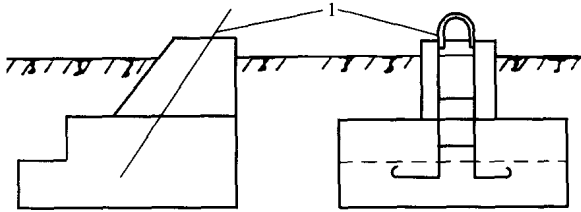


图 1-3 重力式拉线基础
1—拉环

3) 锚杆（岩石）拉线基础。一般用于微分化或中风化的岩石处，如图 1-4 所示，它是由拉线棒用水泥砂浆或细石混凝土直接锚在拉线棒岩孔内而成的。

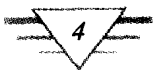
(3) 卡盘。卡盘起着稳定电杆的作用，一般用于 35 ~ 110kV 不带拉线的混

凝土电杆基础上，如图 1-5 所示。

2. 铁塔基础

铁塔基础类型较多，根据铁塔类型、地形地质、承受的外负荷及施工条件的不同，一般采用下列几种类型。

(1) 现浇混凝土铁塔基础。现浇混凝土基础可分为钢筋混凝土基础和无筋混凝土基础两种，这两种基础中又可分为插入式基础和地脚螺栓基础，如图 1-6 所示。插入式基础特点是铁塔主材直接斜插入基础，与混凝土浇成一体，可省去地脚螺栓、塔脚等，节约钢



材，受力合理。地脚螺栓基础是在现浇混凝土基础时，埋设地脚螺栓，通过地脚螺栓与塔腿相连，塔腿与基础是分开的。

(2) 预制钢筋混凝土基础和板条基础。预制钢筋混凝土基础是先将混凝土底板和立柱在工厂预先制作好，然而运至现场安装在基坑中的一种基础。预制基础单件重量不宜过大，否则人力运输比较困难。预制基础适合缺少砂石、水或冬季不宜现场浇制混凝土时使用。

板条基础的底板一般有若干条状混凝土组合而成，立柱由角钢组成。板条式基础、预制混凝土基础见图 1-7。

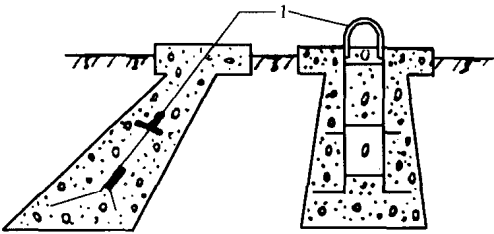


图 1-4 岩石拉线基础
1—拉环

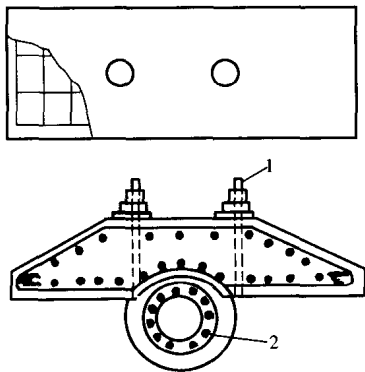


图 1-5 卡盘示意图
1—卡盘螺栓；2—混凝土电杆根部

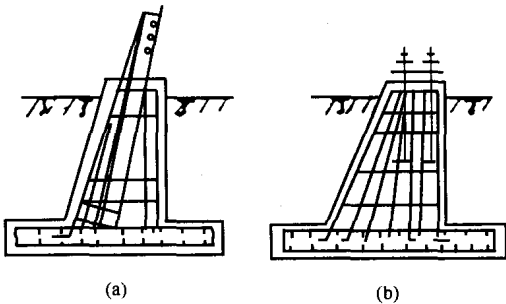


图 1-6 现浇混凝土基础
(a) 插入式基础；(b) 地脚螺栓基础

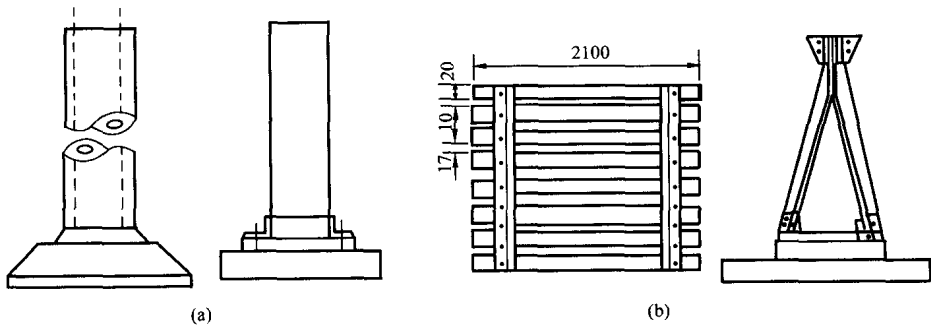


图 1-7 预制钢筋混凝土基础和板条基础
(a) 预制混凝土基础；(b) 板条基础

(3) 金属基础。金属基础是用钢材组合成的一种基础，适合高山地区交通运输条件极为困难的塔位。金属基础一般由角钢设计成格构式的基础，铁塔主材的下段也是基础的一部分。基础型式见图 1-8。

(4) 岩石基础。在山区岩石地带，利用岩石的整体性和坚固性代替混凝土基础。一般有直锚式、承台式、嵌固式等，见图 1-9。

(5) 灌注桩基础。灌注桩基础分等径灌注桩和扩底短桩两种。等径灌注桩基础是采用专门的钻孔工具钻孔，成孔后插入预制的钢筋骨架，随后就地灌注混凝土而成的一种基础。这种基础适用于地下水位较高，基坑开挖过程中易产生流砂现象的塔基处。基础形式见图 1-10。

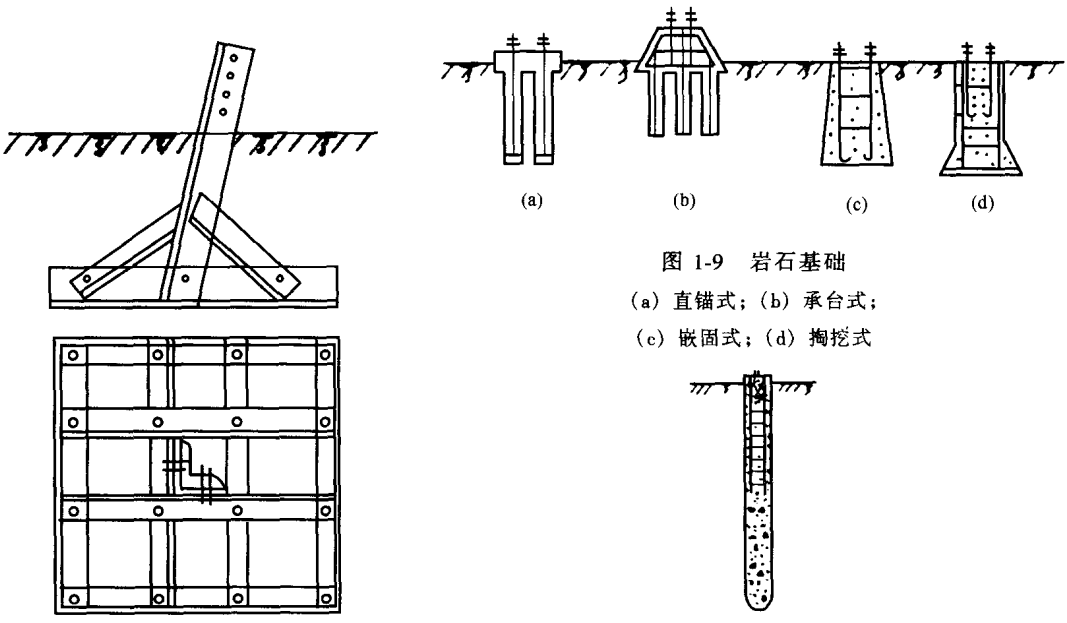


图 1-8 金属基础

图 1-10 灌注桩基础

扩底短桩基础指可采用钻孔工具钻孔，采用爆炸扩孔成型，然后插入骨架，灌注混凝土而成的基础。这种基础适用于黏性土壤，不但能节约土方和劳动力，改善施工作业条件，而且能减少土壤的压缩变形和增加抗拔能力。

(6) 桩台式基础。桩台式基础应用于地耐力很差的淤泥土质塔基处。先打入适当数量的混凝土桩，而后在桩顶部浇灌混凝土承台，见图 1-11。

(二) 杆塔

杆塔是用来支持导线和避雷线及其附件的支持物，以保证导线与导线、导线与地线、导线与地面或交叉跨越物等有足够的安全距离。

1. 杆塔的分类

按材料分，杆塔可分为钢筋混凝土杆和铁塔两大类。按作用受力分，杆塔可分为直线杆塔、承力杆塔和悬垂转角杆塔。

(1) 直线杆塔。以悬挂的方式支持导地线，支承导地线的重力及作用于它们上面的风力，但不承受导地线张力的杆塔，且布置在线路直线上。直线杆塔又称中间杆塔，可分为普通直线杆塔、换位直线杆塔和跨越直线杆塔。

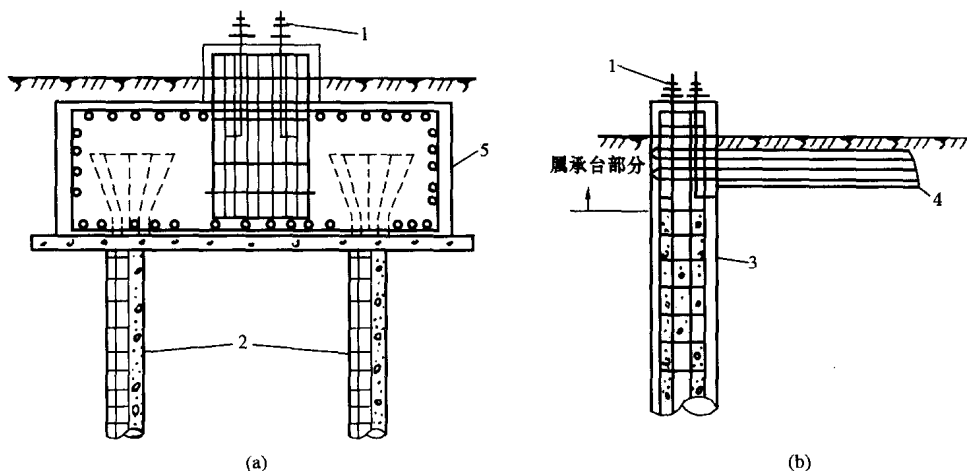


图 1-11 桩台式基础

(a) 双桩以上承台式；(b) 单桩带横梁式

1—地脚螺栓；2—桩体；3—单桩体；4—横梁；5—承台

(2) 承力杆塔。以锚固的方式支持导地线，除支承导地线的重力和风力外，还承受导地线张力的杆塔。承力杆塔可分为以下几种：

1) 耐张杆塔：作用是线路分段，承受断线张力，控制事故范围，同时便于施工与检修。

2) 转角杆塔：用于线路转角处，在正常情况下承受导地线转角合力，事故断线情况下承受断线张力。

3) 终端杆塔：用于线路起止两端，允许带有转角和符合耐张杆塔受力条件，且经常承受导地线一侧张力。

4) 分歧杆塔：用于线路中间需要分歧的地方。

5) 耐张换位杆塔：用于线路换位处。

6) 耐张跨越杆塔：用于线路有河流、特大山谷、特高交叉物等地方。

(3) 悬垂转角杆塔。以悬挂方式支持导地线，杆塔布置在线路的转角处。

2. 新型杆塔

(1) 高强度环形部分预应力混凝土电杆。高强度部分预应力混凝土电杆是国外发展起来的一项新技术，近几年在国内有所发展与应用。它的原理是采用高强度混凝土，合理地配用预应力与非预应力钢筋，使三者有机地结合起来，从而大大提高混凝土电杆的强度。

我国一些生产厂家生产的高强度部分预应力混凝土电杆，梢径 270mm（俗称大拔梢杆），长 21m、24m、27m，在线路工程中可顶替铁塔使用，降低工程造价。组成双杆可代替拉线门型杆，在城网改造中，可代替钢管塔，经济性能优越，防腐性能也优于钢管塔，且电杆强度高，抗裂性能好，可单点起吊，并适应各种施工方法。

(2) 拔梢多边形（含圆型）钢管杆。钢管杆由钢板冷压成型，每段长 2~12m，钢板厚 4~40mm，钢板材质为 Q235 钢、16Mn 或 16Mn 桥钢，由压力机冷压成型。

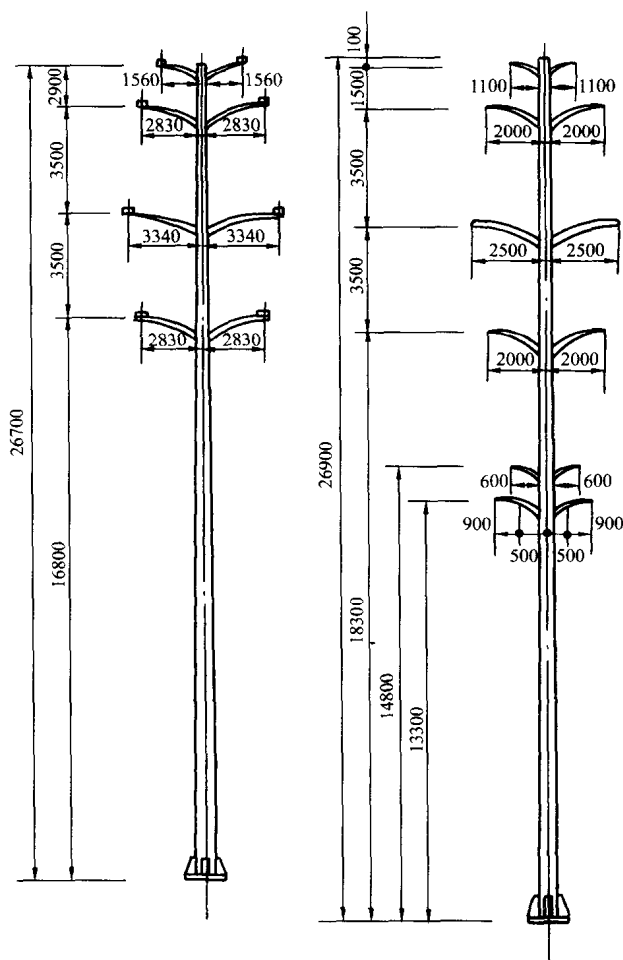


图 1-12 钢管单杆

钢管杆边形数和锥度可根据设计需要确定，先将钢板压成 2 个半环，然后由 2 条纵向焊缝焊成。多边型钢管杆多采用套接式接头，即钢管上段套接在钢管下段上，套接长度应不小于套接断面直径的 1.5 倍，套接处的间隙为 1 ~ 2mm，此种接头要求有较高的加工精度。圆型钢管杆接头，多采用法兰盘连接。钢管杆一般通过法兰盘、地脚螺栓与基础连接。

钢管杆外形美观（见图 1-12），施工安装简便，施工进度快。国外已将钢管杆用于 10 ~ 500kV 线路，我国在 10 ~ 220kV 线路中，特别是在城区线路中推广使用。

(3) 薄壁离心钢管混凝土电杆。薄壁离心钢管混凝土电杆的结构是由薄壁钢管（壁厚 3 ~ 6mm），内灌入混凝土，经离心成型的空心钢管混凝土结构。混凝土管壁厚 20 ~ 35mm，是一种新型的钢—混凝土复合结构，它既可以充分发挥钢和混凝土两种材料的优点，又可克服其在各自单独使用时的弱点。

与钢筋混凝土电杆相比，它具有下列优点：

1) 在相同承载条件下，可节省钢材 10% ~ 20%，混凝土 40% ~ 50%，减轻自重 40% ~ 50%，运输施工和安装方便，并可以从根本上解决目前钢筋混凝土电杆普遍存在的纵向裂纹问题。基本上无破损率，大大提高结构的抗冲击和抗腐蚀能力，提高了结构的使用寿命和可靠性。

2) 简化了生产工艺，可用钢管本身作为钢模，取消了钢筋绑扎和养护工艺，节约生产费用。

3) 杆段生产不受钢模限制，可以根据需要生产任意长度和规格的杆段，所有附件均可焊在钢管上，取消了抱箍等附件。

与钢结构相比具有下列优点：

1) 可节约钢材 35% 以上，降低工程造价 30% 以上。

2) 可提高结构的局部稳定性和刚度。

该结构适用 35 ~ 500kV 输电线路及变电所配电装置构架、设备支架，特别是高压线进

城工程和城内供电工程。

常用杆型见图 1-13 和图 1-14，常用铁塔见图 1-15。

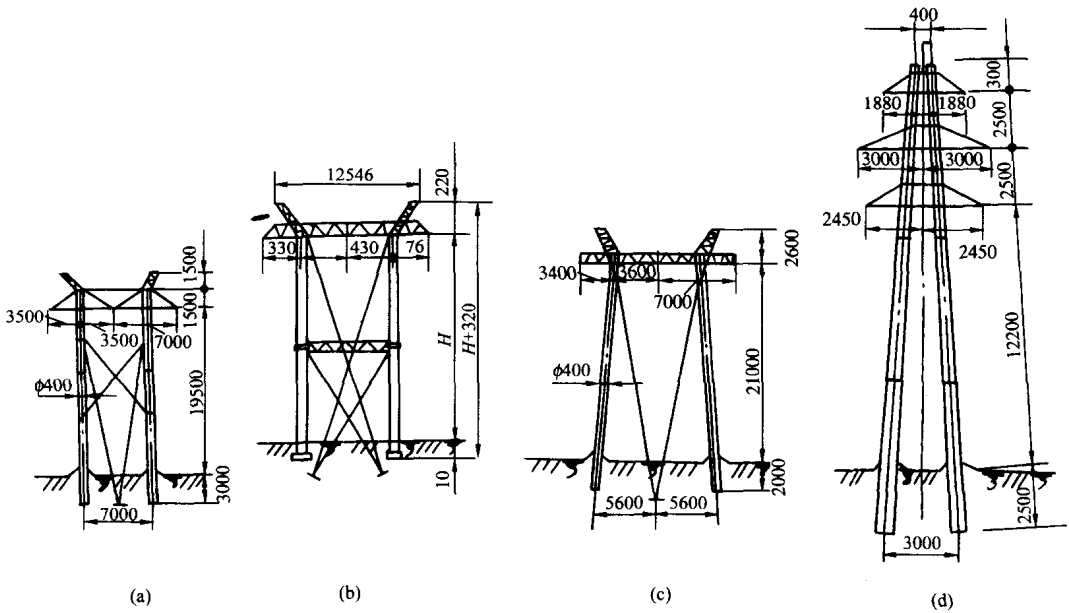


图 1-13 常用直线杆型

(a) 带叉梁带拉线直线杆；(b) 带横梁带拉线直线杆；
(c) 带 V 型拉线直线杆；(d) 不带拉线的 A 字型双杆

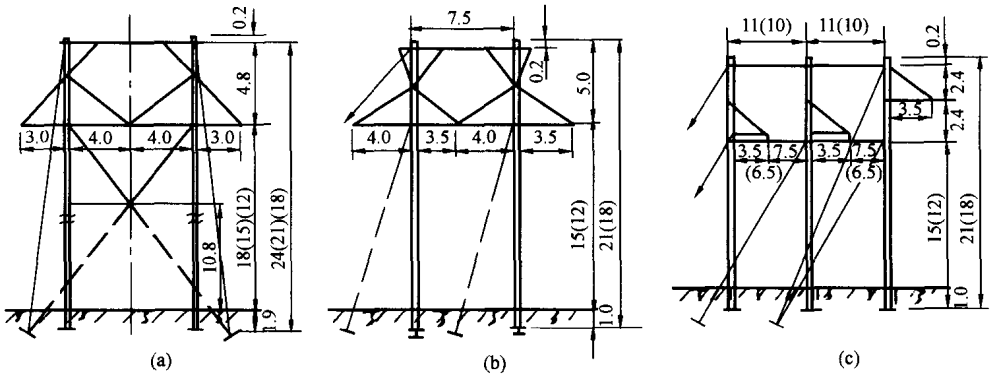


图 1-14 220kV 单回路承力杆

(a) NL0° ~ 5°, 5° 以内直线耐张杆；(b) JL5° ~ 25°, 25° 以内转角耐张杆；
(c) JL60° ~ 90° (25° ~ 60°)，转角耐张杆，横向中的括号内数字为 25° ~ 60° 用

图中长度单位为 m

(三) 导线

架空输电线路靠导线输送电能，要求导线有良好的导电性能。导线是架设在杆塔上，长期处于野外，承受各种气象条件和各种荷载，因此对导线除要求导电性能好外，还要求具有较高的机械强度、耐震性能，一定的耐化学腐蚀能力，且价格经济合理。

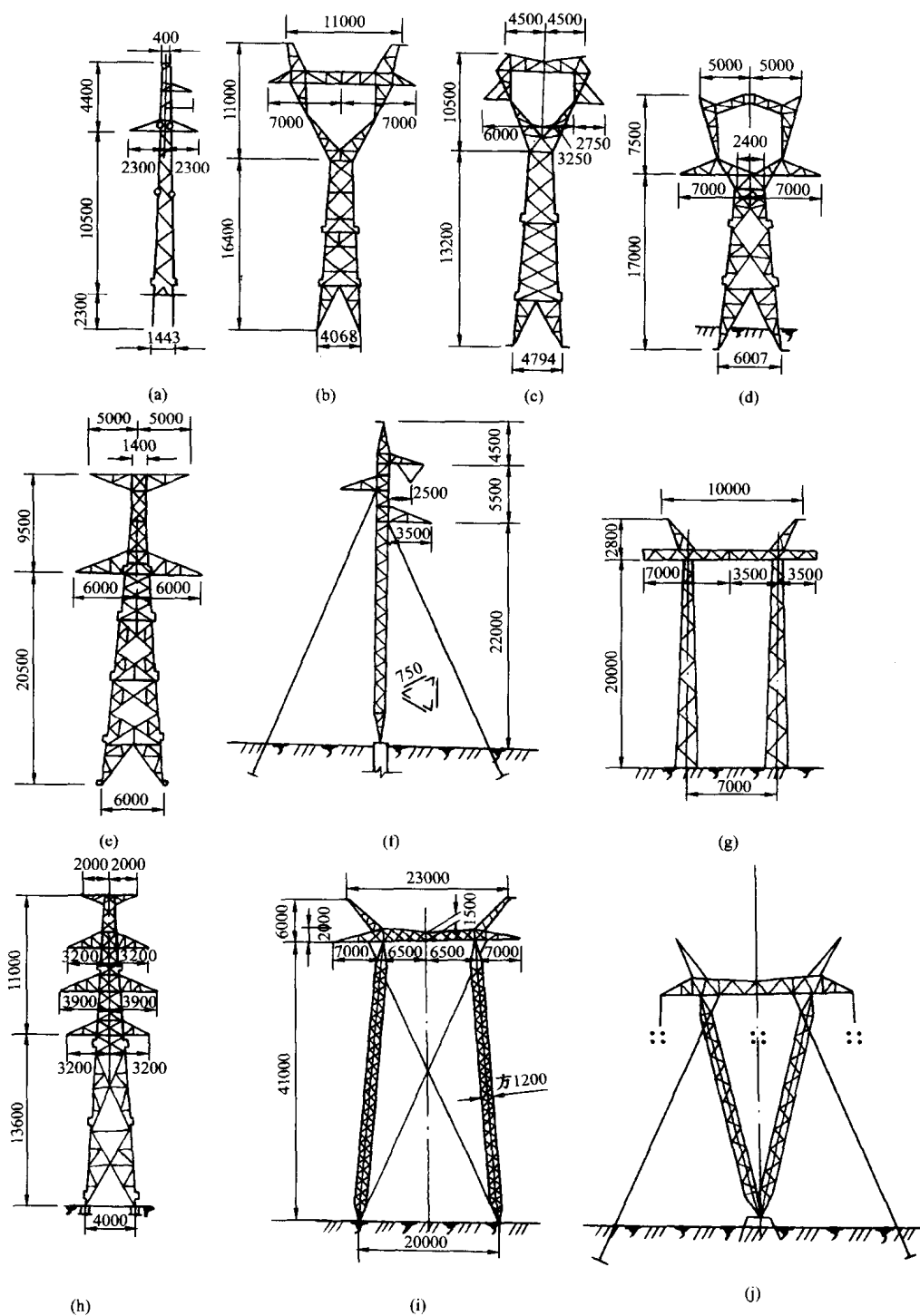


图 1-15 常用铁塔塔型图

(a) 上字型塔; (b) 酒杯型塔; (c) 中国猫头型塔; (d) 桥型耐张型塔; (e) 干字型耐张塔; (f) 拉线三角形排列跨越塔; (g) 门型塔; (h) 六角型双回路塔; (i) 500kV 交叉拉线门型塔; (j) 500kV 拉线 V 型塔