

供电企业岗位技能培训教材

G O N G D I A N Q I Y E

GANGWEI JINENG
PEIXUNJIAOCAI

线路运行与维护

山西省电力公司 组编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



供电企业岗位技能培训教材

线路运行与维护

山西省电力公司 组编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

《供电企业岗位技能培训教材》由山西省电力公司组织编写,内容涵盖了变电运行、线路运行与维护、变电检修、继电保护、电网调度、电网自动化、电力营销等专业领域。本套教材的编撰贯彻了“以现场需求为导向,以提高技能为核心”的指导思想,力求从实用角度出发,提高职工解决实际问题的能力,更适合一线职工学习和提高技能的需要。

本书为《线路运行与维护》分册,根据输电线路检修、运行和维护工作实际,以及输电线路专业职工和技术人员的日常工作内容所需进行编写。全书共分六章,主要内容包括:输电线路基础知识、线路的检修及维护、带电作业、线路巡视、线路运行、输电线路测量。每章后均附有复习思考题。

本书可作为供电企业输电线路运行、维护、测量及检修技术人员的培训教材,也可供专业管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

线路运行与维护/山西省电力公司组编. —北京:中国电力出版社, 2009
供电企业岗位技能培训教材
ISBN 978-7-5083-8044-5

I. 线… II. 山… III. ①输配电线路—运行—技术培训—教材②输
配电线路—维修—技术培训—教材 IV. TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 162692 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 1 月第一版 2009 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12 印张 283 千字

印数 0001—3000 册 定价 23.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《供电企业岗位技能培训教材》

编 委 会

主 任 王抒祥

副主任 曹福成 胡庆辉 王礼田 (常务)

委 员 张兴国 史更林 康成平 张 强 魏 琦
陈佩琳 左德锦 张薛鸿 霍建业 张雅明
楼鸿平 褚艳芳 王康宁 张文芳 崔作让
卢保喜 燕争上 丁少军 张学荣 韩海安
张占彪 赵文元 史小报 杨宇松 刘随胜
王文贤 王爱寿

主 编 丁少军

副主编 张冠昌 牛泓生 郭林虎

编 委 杨 澜 韩亚娟 齐 玮

《线路运行与维护》编写组

组 长 张 强

副 组 长 穆广祺 武登峰

成 员 周国华 贾雷亮 罗永勤 贾京山 卢 钢

主 编 贾雷亮

参编人员 卢 钢 贾京山 梁前晟 石继勇 刘祖斌

虎卫滨 杨吉梅 庞志宏 薛世平 王勇平

电力工业作为关系国计民生的基础能源产业，电网的稳定运行直接关系到国民经济的发展。2008年初的南方冰雪灾害更让人们深刻体会到电网的安全运行对人民群众日常生活的重要性。当前，电力工业已进入大机组、高参数、高电压、高自动化的发展时期，新技术、新设备、新工艺不断涌现，现代电力企业对职工的专业技能水平提出了更高的要求。要实现国家电网公司“一强三优”的企业目标，广大的电力工作者就必须不断地学习新技术、新知识、新技能，全面提高自己的综合素质。

山西省电力公司一直高度重视职工的教育培训工作，把该项工作重点纳入企业的发展规划当中，不断加大培训的投入力度，努力创建学习型企业。为适应新形势下员工培训的需求，使员工培训做到有章可循、有据可依，山西省电力公司组织编写了《供电企业岗位技能培训教材》，内容涵盖了变电运行、线路运行与维护、变电检修、继电保护、电网调度、电网自动化、电力营销等专业领域。本套教材的编撰贯彻了“以现场需求为导向，以提高技能为核心”的指导思想，力求从实用角度出发，提高职工解决实际问题的能力，更适合一线职工学习和提高技能的需要。同以往的培训教材相比，本套教材具有以下特点：

(1) 在整套教材的编写中突出了对实际操作技能的要求，不再人为地划分初、中、高技术等级，不同技术等级的培训可以根据实际情况，从教材中选取相关内容。在每一章结束时，均附有复习思考题，对本章的重点和难点内容进行温故，便于读者自学参考。

(2) 教材的编写体现了为企业服务的原则，面向生产、面向实际，以提高岗位技能为导向，强调“缺什么补什么、干什么学什么”的原则。

(3) 教材力求更多地反映当前的新技术、新设备、新工艺以及有关生产管理、质量监督和专业技术发展动态的内容。

《供电企业岗位技能培训教材》的编写人员主要由山西省电力公司的技术专家、多年从事教学工作的高级讲师组成，在编写前期经过了充分地论证，编写过程中经过了数次审定、多次修改，历时数月，终于告罄。在此，谨希望本套教材的出版，对广大电力职工技能水平的提高起到一定的指导作用，为建设“一强三优”的现代企业作出更大的贡献！

王抒祥

2008年8月

为提高供电企业输电线路运行与检修人员的技能水平,适应职工岗位培训的需要,山西省电力公司组织编写了《供电企业岗位技能培训教材》,本册为《线路运行与维护》。

本书的编写本着“以现场需求为导向,以提高技能为核心”的指导思想,编写前期做了大量的现场调研工作,在充分了解和掌握了现场需求的基础上,开始教材的编写。在编写过程中,山西省电力公司多次召开研讨会,邀请来自全省各个供电分公司有着扎实理论基础和丰富实践经验的线路专家对教材的内容进行反复的研讨和审定,几易其稿,使本书在内容上更具有针对性、实用性、专业性和可读性。

本书在内容上涵盖了线路专业所需要掌握的全部技能,并适当编写了相关基础知识内容。书中所引用的标准、规程、力求最新,确保教材的实效性。本书以实际操作为主线,通俗易懂,重点解决了线路运行与检修人员关于“怎么干,为什么这样干”的问题,并紧贴该工种技能鉴定的标准、规范和指导书,力求使从事线路运行与维护人员通过学习本书能够切实解决在工作中遇到的实际问题,从而提高技能水平。此外,本书对紫外线成像以及在线监测等新技术应用方面也有适当介绍。

本书由山西省电力公司贾雷亮主编,组织了临汾电力高级技工学校、太原供电分公司等具有丰富的线路实践工作经验及相当理论水平的人员参加编写。其中,第一章由临汾电力高级技工学校贾京山编写,第二章、第三章由忻州供电分公司梁前晟、庞志宏、王勇平、薛世平编写,第四章由临汾供电分公司卢钢、虎卫滨编写,第五章由太原供电分公司石继勇编写,第六章由太原供电分公司刘祖斌、临汾供电分公司杨吉梅编写。

由于编者的知识和业务水平有限,书中谬误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者
2008年8月

序

前言

第一章 输电线路基础知识	1
第一节 概述	1
第二节 杆塔基础	3
第三节 接地装置	5
第四节 杆塔	7
第五节 绝缘子	16
第六节 金具	21
第七节 导地线	27
复习思考题	35
第二章 线路的检修及维护	36
第一节 检修工器具	36
第二节 典型检修作业项目	42
第三节 典型维护项目	49
第四节 状态检修	51
复习思考题	55
第三章 带电作业	56
第一节 带电作业方法	56
第二节 带电作业工器具	59
第三节 带电作业一般规定	68
第四节 带电作业项目	71
第五节 带电作业工器具的使用、保管和试验	80
复习思考题	82
第四章 线路巡视	84
第一节 定期巡视	84
第二节 故障巡视	91
第三节 特殊巡视	97
第四节 直升机巡视	100
复习思考题	102
第五章 线路运行	103
第一节 防污闪	103
第二节 防雷击	111
第三节 防风偏	120
第四节 防覆冰和防冰闪	124

第五节 线路防鸟调查及措施.....	129
第六节 采动塌陷区治理.....	134
第七节 输电线路设计图纸阅读.....	141
复习思考题.....	147
第六章 输电线路测量	148
第一节 杆塔测量.....	148
第二节 导线测量.....	157
第三节 接地和绝缘测量.....	163
第四节 污秽测量.....	168
第五节 在线监测设备.....	176
复习思考题.....	180
参考文献	182



第一章

输电线路基础知识

第一节 概述

一、输电线路分类

输电线路根据输送电流的性质不同分为交流输电线路和直流输电线路。我国交流输电线路的电压等级有 66、110、220、330、500、750、1000kV；直流输电线路的电压等级有 ± 500 、 ± 800 kV。

根据杆塔上的回路数，架空输电线路可分为单回路输电线路、同塔架设双回输电线路和多回输电线路。同塔架设双回或多回路输电线路可以是同一个电压等级，也可以是不同电压等级。一般不同电压等级布置时高压在上、低压在下。

二、输电技术发展及其应用

（一）高压交流输电技术

高压交流输电技术包括三相高压交流输电技术、灵活交流输电技术和多相交流输电技术三个方面。

常规的三相高压交流输电在远距离输电工程中占主导地位，在未来相当长的时间内仍将是输电和联网的主要方式。目前我国 1000kV 特高压交流输电线路正在施工建设中。

交流特高压输电的主要技术和经济优势可归纳为以下六个方面。

（1）输送容量大。输电线路的功率输送能力与电压的平方成正比，与输电线路的阻抗成反比。运行在不同电压等级的输电线路的阻抗随着电压等级的升高有所减少，但变化不大。近似估计 1000kV 交流线路输电能力约为 500kV 线路的 5 倍，接近 5000kW。

（2）送电距离长。电网中两节点之间的电气距离可以用归算到某一电压的等效串联阻抗值来表示，与线路电压平方成反比，与线路长度及单位长度阻抗成正比。电气距离越短，说明电气联系越紧密，稳定水平越高。采用 1000kV 交流特高压输电，其电气距离不到同长度 500kV 输电线路的 $1/4$ ，可提高系统的稳定水平。换句话说，在输送相同功率的情况下，1000kV 线路的最远送电距离可以达到 500kV 线路的 4 倍。

（3）线路损耗低。‘线路电阻损耗是影响电网经济运行的一项重要指标，它与线路电阻及线路电流平方成正比。在输送相同容量时，电压提高，电流就降低，线路电阻损耗成平方降低。在导线总截面、输送容量均相同的情况下，1000kV 交流线路的电阻损耗是 500kV 交流线路的 $1/4$ 。

（4）工程投资省。采用特高压输电技术，可以节省大量导线和铁塔材料，从而降低建设成本。根据有关设计部门的计算，1000kV 交流输电方案的单位输送容量综合造价约为 500kV 输电方案的 73%，节省工程投资的效益显著。

（5）走廊利用率高。对于 1000kV 交流特高压输电，考虑电磁环境影响后，典型的同塔双回和猫头塔单回线路的走廊缓冲区宽度分别为 75m 和 81m，单位走廊输送能力分别为

133MW/m 和 62MW/m, 约为同类型 500kV 线路的 3 倍。特高压输电技术的应用可大大提高输电走廊利用率, 节省土地资源。

(6) 联网能力强。通过交流特高压同步联网, 可大幅度缩短电网间的电气距离, 加强电气联系, 提高稳定水平, 充分发挥大电网互联的水火互济、错峰、跨流域互补、减少系统装机备用容量等各种联网效益。利用特高压联网, 增强网间功率交换能力, 可在更大范围内优化能源资源配置, 有利于改善电网结构, 从根本上解决短路电流超标等问题。

灵活交流输电技术是一种利用电力电子技术与现代控制技术实现对交流电力系统的线路阻抗、电压、相位实施连续调节控制的技术。它可以用来对系统的潮流实施灵活控制, 大幅度提高线路输送能力、阻尼系统振荡, 提高系统稳定水平。

(二) 高压直流输电技术

直流输电具有以下特点:

(1) 不存在系统稳定问题, 可实现电网的非同期互联, 输送容量和距离不受同步运行稳定性的限制, 不因互联而增大短路容量。

(2) 通过实现“潮流翻转”(功率流动方向的改变), 在正常时能保证稳定输出, 在事故情况下, 可实现健全系统对故障系统的紧急支援, 也能实现振荡阻尼和次同步振荡的抑制。

(3) 在交直流线路并列运行时, 如果交流线路发生短路, 可短暂增大直流输送功率以减少发电机转子加速, 提高系统的可靠性。

(4) 由于直流输电只有两相, 没有感抗和容抗产生的无功功率, 能充分利用导线截面积, 电晕损耗和无线电干扰都比交流线路小, 所以也比交流输电经济。

(三) 其他输电技术

(1) 紧凑型输电技术。紧凑型输电技术是采用缩小相间距离、优化导线排列、增加相分裂子导线根数等改变线路几何结构的方法, 从而压缩线路走廊占地并提高其输电能力的新型输电技术。

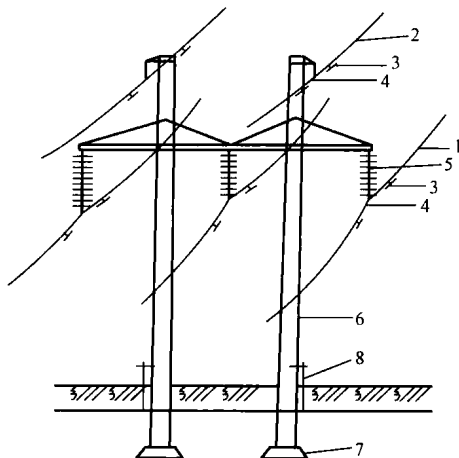


图 1-1 架空输电线路的组成

1—导线; 2—架空地线; 3—防振锤; 4—线夹;
5—绝缘子; 6—杆塔; 7—基础; 8—接地装置

(2) 大截面导线输电技术。大截面导线输电技术是指超过经济电流密度所控制的常规的最小截面导线(例如 220kV, 300mm²; 500kV, 4×300mm²), 而采用较大截面的导线(如 500kV, 4×500mm², 4×630mm², 4×800mm²), 以成倍提高线路输送能力的新型输电技术。

(3) 耐热导线输电技术。耐热导线输电技术是指采用特殊导线, 提高导线允许温度, 增大导线输送电流, 从而提高线路输送容量的新型输电技术。

三、架空输电线路的组成

架空输电线路主要有杆塔基础、杆塔、导线、避雷线、绝缘子、拉线、金具及接地装置等部件组成, 如图 1-1 所示。

第二节 杆塔基础

杆塔基础的作用是稳定杆塔,防止杆塔因承受导线、风、冰、断线张力等垂直荷载、水平荷载和其他外力的作用而产生的上拔、下压或倾覆。

杆塔基础主要有钢筋混凝土电杆基础和铁塔基础。

一、电杆基础

电杆基础分为底盘、拉线盘及卡盘。

(1) 底盘。底盘一般是钢筋混凝土预制构件,110~220kV 线路的地盘规格分为 $0.8\text{m}\times 0.8\text{m}\sim 2.2\text{m}\times 2.2\text{m}$ (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。

(2) 拉线盘。拉线盘起着稳定电杆和平衡导线张力的作用,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) 拉线盘一般是钢筋混凝土预制构件,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。

2) 当遇较差的土质,而且最大一级的拉线盘也满足不了上拔力的要求时,就必须选用重力式拉线基础,如图1-2所示。

3) 锚杆(岩石)拉线基础一般用于微分化或中分化的岩石处,它是将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,如图1-3所示。

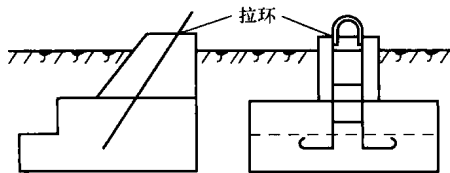


图 1-2 重力式拉线基础

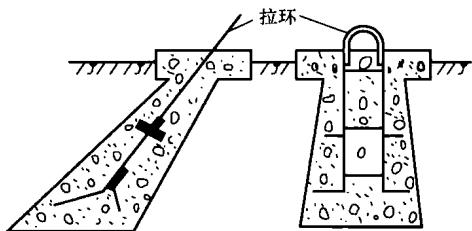


图 1-3 锚杆(岩石)拉线基础

(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。

二、铁塔基础

铁塔基础类型较多,根据铁塔类型、地形地质、承受的外荷载及施工条件的不同,分为不同种类。

(一) 按承载力的特性分

(1) “大开挖”基础类。这类基础是指埋置于预先挖好的基坑内并将回填土夯实的基础,是以扰动的回填土构成抗拔土体保持基础的上拔稳定。由于扰动的黏性回填土,虽经夯实亦难恢复原状土的结构强度,因而就其抗拔性能而言不够理想。这类基础的主要尺寸均由其抗拔稳定性能所决定,为了满足上拔稳定性的要求,必须加大基础尺寸,从而提高了基础造价。但这类基础具有施工简便的特点,是工程中最常用的基础形式,主要有混凝土基础、普通钢筋混凝土基础和装配式基础等。

(2) 掏挖扩底基础类。这类基础是指以混凝土和钢筋骨架灌注在以机械或人工掏挖成的土胎内的基础。它是以原状土构成的抗拔土体保持基础的上拔稳定,适用于在施工中掏挖和浇筑混凝土时无水渗入基坑的黏性土中。它能充分发挥原状土的特性,不仅具有良好的抗拔性能,而且具有较大的横向承载力。这类基础具有节省材料、取消模板及回填土工序、加快工程施工进度、降低工程造价等优点。但存在施工质量难以控制的缺点,浇筑时易出现漏浆现象,在验收时应特别注意这一点。

(3) 爆扩桩基础类。这类基础是指以混凝土和钢筋骨架灌注在以爆扩成型的土胎内的扩大端的短桩基础。它适用于可爆扩成型的硬塑和可塑状态的黏性土中,在中密的、密实的砂土以及碎石土中也可应用。由于其抗拔土体基本接近于未扰动的天然土,因而它也具有较好的抗拔性能,同时扩大端接触的持力层为一空间曲面,其下压承载力也比一般平面底板有所提高。爆扩桩基础也具有掏挖扩底基础的优点,只是施工中成型的工艺和尺寸检查尚有一定困难。

(4) 岩石锚桩基础类。这类基础是指以水泥砂浆或细石混凝土和锚筋灌注在钻凿成型的岩孔内的锚桩或墩基础。它具有较好的抗拔性能,特别是上拔和下压地基的变形比其他类基础都小,适用于山区岩石覆盖层较浅的塔位。这类基础由于充分发挥了岩石的力学性能,从而大量降低了基础材料的耗用量,特别在运输困难的高山地区更具有明显的经济效益。但岩石地基的工程地质鉴定工作比较复杂。

(5) 钻孔灌注桩基础类。这类基础是指用专用的机具钻(冲)成较深的孔,以水头压力或水头压力加泥浆护壁,放入钢筋骨架和水下浇筑混凝土的桩基。它是一种深型的基础形式,适用于地下水位高的黏性土和砂土等地基,特别是跨河塔位。

(6) 倾覆基础类。这类基础是指埋置于经夯实的回填土内的,承受较大倾覆力矩的电杆基础、窄基铁塔的单独基础和宽基铁塔的联合基础。电杆的倾覆基础被广泛采用,而铁塔的联合基础由于施工较复杂且耗用材料又多,故只有在载荷大、地基差的条件下,用其他类型基础在技术上有困难时方可采用。

(7) 预制类装配式基础。这类基础是指先将基础在工厂预先制作好,然后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。预制类装配式基础适合缺少砂石、水或冬季不宜现场浇制混凝土时用。一般有预制混凝土基础、板条基础、金属基础等。

(二) 按基础与铁塔连接方式分

(1) 地脚螺栓类基础。地脚螺栓类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) 插入式基础。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。

(三) 其他

高低腿基础是指铁塔的四个塔腿基础不在同一个平面内,而是根据地形的不同分别设计不同的高度,如图 1-4 所示。这种基础最大优点就是可以减少基础施工的土方开挖量,减小植被的破坏,保护环境。

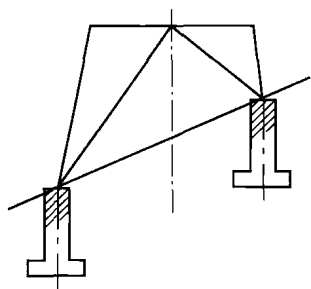


图 1-4 高低腿基础

第三节 接 地 装 置

接地装置为接地线和接地极的总和。埋入地中并直接与大地接触的金属导体，称为接地极。电气装置、设施的接地端子与接地极连接用的金属导电部分，称为接地线。

架空输电线路接地装置的作用是防止因绝缘损坏危及人身和设备的安全；向大地泄放雷电流；向大地泄放各种绝缘闪络引起的工频续流，并保证设备热稳定满足要求；防止感应电引起的杆塔电位升高，牵制杆塔电位为零电位。

接地极根据其布置类型主要有垂直接地极和水平接地极。垂直接地极用于土壤电阻率较高或接地极易打入地下的情况，一般由两根以上的钢管或角钢组成，可排成一字形布置或环形布置。水平接地极适于土壤电阻率较低，不用打入垂直接地极就能满足接地电阻值要求的情况，通常采用放射形布置。

一、输电线路接地装置的类型

(1) 在土壤电阻率 $\rho \leq 100 \Omega \cdot \text{m}$ 的潮湿地区，可利用铁塔和钢筋混凝土杆自然接地。在居民区，当自然接地电阻符合要求时，可不设人工接地装置。

(2) 在土壤电阻率 $100 \Omega \cdot \text{m} < \rho \leq 300 \Omega \cdot \text{m}$ 的地区，除利用铁塔和钢筋混凝土杆的自然接地外，并应增设人工接地装置，接地装置的埋设深度不宜小于 0.8m。

(3) 在土壤电阻率 $300 \Omega \cdot \text{m} < \rho \leq 2000 \Omega \cdot \text{m}$ 的地区，可采用水平敷设的接地装置，接地极埋设深度不宜小于 0.6m。

(4) 在土壤电阻率 $\rho > 2000 \Omega \cdot \text{m}$ 的地区，可采用 6~8 根总长度不超过 500m 的放射形接地极或连续伸长接地极。放射形接地极可采用长短结合的方式。接地极埋设深度不宜小于 0.6m。

(5) 居民区和水田中的接地装置，宜围绕杆塔基础敷设成闭合环形。

(6) 在农业耕作区，接地极的埋设深度应大于耕作深度。

(7) 在沙漠地区，考虑到较深处的沙子比较潮湿，宜适当加大接地极的埋深。

(8) 放射形接地极每根的最大长度应符合表 1-1 的要求。

表 1-1 放射形接地极每根的最大长度

土壤电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)	≤ 500	≤ 1000	≤ 2000	≤ 5000
最大长度 (m)	40	60	80	100

(9) 在高土壤电阻率地区采用放射形接地装置时，当在杆塔基础的放射形接地极每根长度的 1.5 倍范围内有土壤电阻率较低的地带时，可部分采用引外接地或其他措施。

(10) 水平埋设的接地装置适用于居民区和非居民区的铁塔，但在埋设场地受限制的地方，可用垂直埋设。垂直埋设的接地装置还适用于冻土深度大于 0.8m 的地区。

(11) 在山坡等倾斜地形敷设水平接地极时宜沿等高线开挖，接地沟底面应平整，沟深不得有负误差，并应清除影响接地极与土壤接触的杂物，以防止接地极受雨水冲刷外露，腐蚀生锈。水平接地极敷设应平直，以保证同土壤更好接触。

二、对接地装置安装要求

接地装置的安装首先应按确定的布置类型和埋深，开挖接地槽，接地槽的宽度以便于开挖为准。接地槽挖通后，将沟内石块、树根等杂物清理干净，并将沟底填平，然后放入接地极回填好土夯实。

1. 接地极和接地引下线的材料要求

接地极的截面积及断面形状对接地电阻值影响不大，因此，接地极材料规格的选择主要考虑腐蚀和机械强度的需要。接地极的材料一般采用钢材。水平敷设的人工接地极可采用圆钢、扁钢；垂直敷设的人工接地极可采用角钢、钢管、圆钢等。接地装置（包括接地极和接地引下线）的导体截面，应符合热稳定与均压的要求，且不应小于表 1-2 所列规格。敷设在腐蚀性较强场所的接地装置，应根据腐蚀的性质采用热镀锌、热镀锌等防腐措施，或适当加大截面。

表 1-2 钢接地体和接地引下线的最小规格

种 类	规格及单位	地 上	地 下
圆 钢	直径 (mm)	12	12
扁 钢	截面 (mm ²)	50	50
	厚度 (mm)	5	4
角 钢	厚度 (mm)	2.5	4
钢 管	管壁厚度 (mm)	2.5	3.5

注 架空线路杆塔的接地极引出线应热镀锌。

2. 对接地极的敷设要求

接地极不得有明显弯曲、裂纹等缺陷。为了避免接地极受到机械损伤，以及减少气象条件对接地电阻的影响，人工接地极应埋设在冻土层以下。采用打入式垂直接地极应尽量垂直打入并防止晃动，以保证接地极与土壤接触良好。为减少相邻接地极的屏蔽作用，垂直接地极的间距不应小于其长度的两倍，水平接地极的间距可视具体情况确定，但不宜小于 5m。

在接地极敷设完毕回填土时，应每埋厚 200mm 夯实一次，在山区，应清除石块并更换好土回填。回填土应高出地面 200mm，作为防沉层。

3. 接地装置的连接要求

接地装置至少应保证有两处与塔腿可靠连接，与塔腿连接应为双螺栓。接地装置的连接除必须断开处以螺栓连接外，均需焊接。焊接应采用搭接焊，其搭接长度在圆钢之间应大于圆钢直径的 6 倍，圆钢与扁钢连接其长度为圆钢直径的 6 倍。接地装置采用接地模块或接地极（线）为铜与铜或铜与钢的连接工艺应采用热剂焊，连接的导体必须完全包在接头内，并且连接部位的金属完全熔化，连接牢固，表面应平滑无贯穿性的气孔。

接地体引出线的垂直部分和接地装置连接（焊接）部位外侧 100mm 范围内应作防腐处理。在作防腐处理前，表面必须除锈并去掉焊接处残留的焊药。

三、接地电阻

接地电阻是接地极的对地电阻和接地线电阻的总和，数值等于接地装置对地电压与通过接地极流入地中电流的比值。按通过接地极流入地中工频交流电流求得的电阻为工频接地电

阻。按通过接地极流入地中冲击电流或雷电流求得的电阻为冲击接地电阻。由于冲击电流的幅值可能很大,所以强大的冲击电流流入土壤后会形成很强的电场,使土壤发生强烈的局部放电现象,相当于加大了接地体的直径,其结果是冲击接地电阻比工频接地电阻小;但冲击电流的等效频率又比工频高得多,对长度很大的延长接地极来说,由于电感效应,冲击接地电阻也可能大。

冲击接地电阻与工频接地电阻的比值,称为接地装置的冲击系数。通过大量的试验和综合分析得出,冲击系数随冲击电流幅值的增加而减小,随接地极几何尺寸的增加而增加,随土壤电阻率增加而减小。通常所说的接地电阻没有特殊说明均指工频接地电阻。

四、土壤电阻率

接地电阻是直接反映接地情况是否符合规范要求的一个重要指标。对于接地装置而言,要求其接地电阻越小越好,因为接地电阻越小,散流越快,跨步电压、接触电压也越小。而影响接地电阻的主要因素有土壤电阻率,接地体的尺寸、形状及埋入深度,接地线与接地体的连接等。其中土壤电阻率对接地电阻的大小起着决定性作用。

土壤电阻率是土壤的一种基本物理特性,是土壤在单位体积内的正方体相对两面间在一定电场作用下,对电流的导电性能。一般取 1m^3 的正方体土壤电阻值为该土壤电阻率 ρ ,单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ 。

土壤电阻率的影响因素很多,主要有土壤类型、含水量、含盐量、温度、土壤的紧密程度等化学和物理性质,同时土壤电阻率随深度变化比随横向变化要大很多。

第四节 杆 塔

杆塔是用来支持导线、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之间有足够的距离。

一、杆塔的分类

杆塔根据其在线路中的用途不同分以下几种:

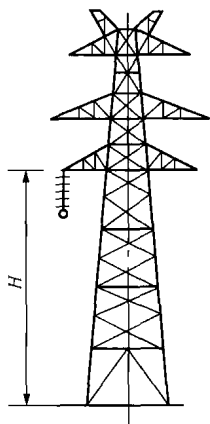
- (1) 直线杆塔。用于线路的直线中间部分,以垂直的方式支持导线,主要承受导线自重或覆冰等垂直荷载和风压及线路方向的不平衡拉力。
- (2) 直线转角杆塔。除起直线杆塔的作用外,还用于线路较小的转角处。
- (3) 耐张杆塔。以锚固的方式支承导线和地线,能将线路分段,限制事故范围,便于施工检修。其机械强度较大,除承受直线杆塔承受的荷载外,还承受导地线的直接拉力,事故情况下承受断线拉力。
- (4) 转角杆塔。用于线路转角处,一般是耐张型的。除承受耐张杆塔承受的荷载外,还承受线路转角造成的合力。
- (5) 终端杆塔。用于整个线路的起止点,是耐张杆塔的一种形式,但受力情况较严重,需承受单侧架线时全部导地线的拉力。
- (6) 分支杆塔。用于线路的分支处。受力类型为直线杆塔、耐张杆塔和终端杆塔的总和。
- (7) 跨越杆塔。用于高度较大或档距较长的跨越河流、峡谷及其他电力线路等。
- (8) 换位杆塔。用于较长线路变换导线相位排列的杆塔。

根据杆塔使用材料分为钢筋混凝土电杆、铁塔、钢电杆、薄壁离心混凝土钢杆、四管塔、钢管塔及抢修塔等。

根据杆塔是否带拉线分为拉线杆塔和自立式杆塔。按杆塔架线的回路数分为单回路杆塔、双回路杆塔和多回路杆塔。

二、杆塔的主要技术参数

杆塔主要技术参数有电压等级、导线型号、架空地线型号、最大使用张力、最大使用应力、设计水平档距、设计垂直档距、代表档距、最大使用档距、呼称高度、气象条件、杆塔总质量等。其中，杆塔的呼称高度是指杆塔从地面到最低层横担绝缘子悬挂点的高度，如图 1-5 所示。



三、钢筋混凝土电杆

钢筋混凝土电杆是应用离心原理制作的环形截面的构件。按钢筋受力情况可分为非预应力电杆和浇制前对钢筋预加一定拉伸张力的预应力电杆。按其造型可分为锥形（拔梢）电杆和等径电杆两种。锥形电杆的梢径一般分为 190mm 和 230mm 两种，其锥度为 1/75。等径电杆的直径一般有 300mm 和 400mm 两种，前者用于导线截面稍小的线路，后者用于导线截面较大的线路。按混凝土电杆杆段长度可分为整根式电杆和分段式电杆，在分段式电

图 1-5 杆塔呼称高度 H 杆中，又分为焊接分段式和法兰分段式两种。

钢筋混凝土有一定的耐腐蚀性，故其寿命较长，维护工作量较小，与铁塔相比，钢材消耗少，可降低线路的总造价。缺点在于质量较大，运输较为困难，容易出现裂纹，高度受限制。

（一）常用的电杆型式

1. 无拉线拔梢直线单杆

如图 1-6 所示，无拉线拔梢直线单杆，一般采用梢径 $\phi 190 \sim \phi 230\text{mm}$ 的拔梢钢筋混凝土电杆，电杆的基础采用深埋式。它具有结构简单、施工方便、运行维护简便、占地面积少、对机耕影响小的特点。主要缺点为抗扭性差，荷载大时杆顶容易倾斜，故一般用于 LGJ-150 型以下的导线及平地或丘陵地带，荷载大的重冰区不宜采用。

2. 带拉线的直线单杆

如图 1-7 所示，带拉线的直线单杆，一般采用 $\phi 300 \sim \phi 400\text{mm}$ 等径钢筋混凝土杆，基础采用浅埋式。它具有经济指标低、材料消耗小、施工方便、基础浅埋可充分利用杆高等优点。主要缺点是拉线不便农田机耕、抗扭性差等。

拉线对地夹角 β 的布置，从理论上讲越小越好，但由于电气间隙和占地面积限制，通常 β 角以不超过 60° 为宜。拉线水平夹角 α ，习惯采用 45° ，但从正常和事故情况下等强度原则上考虑， α 角宜在 35° 左右，故建议采用 40° ，这对于发挥拉线作用和减少正常情况下的挠度都是可取的。

3. 拔梢门型直线杆

如图 1-8 所示，拔梢门型直线杆一般装有叉梁，不打拉线，采用深埋式基础，导线横担采用平面桁架横担。具有占地面积少，有较大的承

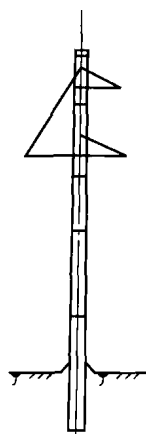


图 1-6 无拉线拔梢直线单杆