

供电企业技能岗位培训教材

GONGDIAN QIYE JINENG GANGWEI
PEIXUN JIAOCAI

贵州电网公司 组编

输电线路运行与检修



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

供电企业技能岗位培训教材

COMPANY SKILL TRAINING MATERIALS
ELECTRIC POWER

国家电网公司 编印

输电线路运行与检修



供电企业技能岗位培训教材

GONGDIAN QIYE JINENG GANGWEI PEIXUN JIAOCAI

输电线路运行与检修

贵州电网公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为更好地将员工培训与人才评价相结合,提升供电企业员工岗位胜任能力,贵州电网公司人力资源部特组织有关专业技术、技能人员编写《供电企业技能岗位培训教材》,由若干分册组成。本套教材紧扣生产实际,以中、高级技能人才培养为主,是一线员工的培训、自学用书。

本书是《供电企业技能岗位培训教材 输电线路运行与检修》分册。全书由知识部分、技能部分两部分组成。知识部分分专门知识、相关知识两篇,其中专门知识有输电线路基础、输电线路运行与维修、输电线路防护、输电线路测试四章;相关知识有输电线路带电作业基础理论、电力电缆两章。技能部分分基本技能、专门技能和相关技能三篇,其中基本技能设电力工程识图一章;专门技能有架空输电线路检修概述、架空输电线路检修项目两章;相关技能设常用工器具一章。

本书是输电线路运行与检修人员岗位培训、自学用书,也可作为输电线路运行与检修专业技术人员、技能人员和大专院校相关专业师生的阅读参考书。

图书在版编目(CIP)数据

输电线路运行与检修 / 贵州电网公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2011.10

供电企业技能岗位培训教材

ISBN 978-7-5123-2265-3

I. ①输… II. ①贵… III. ①输电线路—电力系统运行—岗位培训—教材 ②输电线路—检修—岗位培训—教材
IV. ①TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 216083 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16 印张 349 千字

印数 0001—3000 册 定价 48.00 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

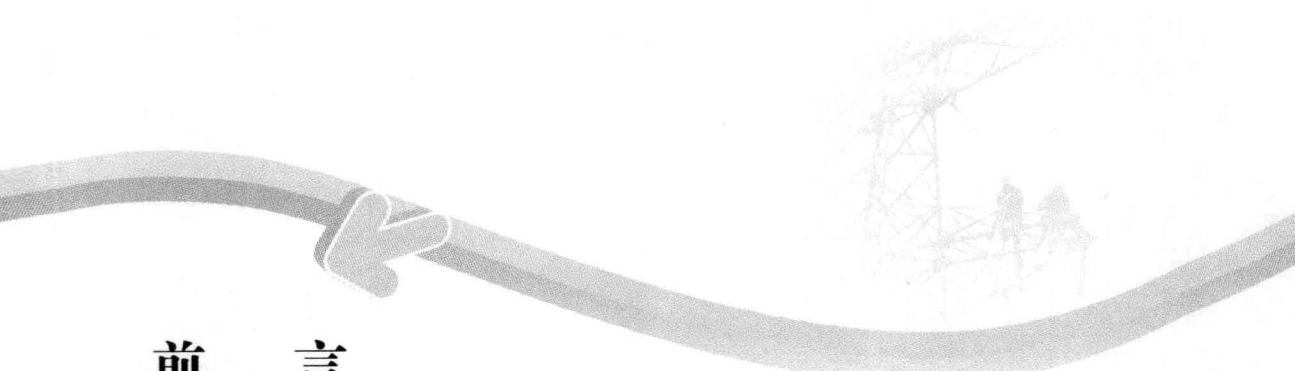
《供电企业技能岗位培训教材 输电线路运行与检修》

主 要 编 审 人 员

(以姓氏笔画为序)

马雨涛 邓连勇 龙福刚 刘 鹏

杨 桃 聂 刚 曾宪武



前 言

为了更好地贯彻中国南方电网有限责任公司的培训、评价、使用和待遇一体化机制，贵州电网公司（简称公司）探索出二元驱动提升员工岗位胜任能力的新途径。一方面是加强员工培训，提高培训的针对性和实效性，以员工岗位培训为核心，明确岗位培训标准，制定培训方案，有针对性地开展一线员工的在岗培训、转岗培训和岗前培训。另一方面是抓好人才评价，以岗位胜任能力要求为着力点，制定岗位评价标准，与培训工作有机结合，实现评价标准与培训标准的同步，把人才评价的结果与薪酬待遇有机衔接起来，建立清晰的人才素养要求与培养路径，充分调动员工学习的主观能动性，激发员工学习的内生动力。为给一线员工提供培训、自学用书，公司人力资源部组织有关专业技术、技能人员编写了有关岗位的胜任力模型、培训与评价标准（简称标准），并以此为依据编写了一套贴近生产实际的《供电企业技能岗位培训教材》。本套教材由变电运行（110、220、500kV）、配电线路运行与检修、变电检修、继电保护等三十余个岗位的培训教材以分册形式构成，内容紧扣岗位胜任力模型和标准的要求，目的在于培养适合国家、企业发展需要的中、高级技能人才。本套培训教材内容深入浅出，联系现场实际；文字通俗易懂，便于阅读自学；在对理论问题的阐述方面，主要从物理意义上进行定性分析，尽量避免繁杂的数学推证。

本书是《供电企业技能岗位培训教材 输电线路运行与检修》分册。全书由知识部分、技能部分两部分组成。知识部分分专门知识、相关知识两篇共六章。技能部分分基本技能、专门技能、相关技能三篇共四章。每章文后配有练习题，供读者检查自身对该章知识和技能的掌握情况。

本分册由贵州电网公司人力资源部组织编写，其中第一章、第五章由贵阳供电局刘鹏编写；第二章由六盘水供电局邓连勇编写；第三章、第四章由兴义供电局龙福刚编写；第七章、第八章、第九章由遵义供电局曾宪武编写；第六章、第十章由毕节供电局聂刚编写。贵州电网公司培训与评价中心马雨涛、杨桃负责该分册总体策划和审稿。该分册编写过程中引用了贵州电网公司曾编写的有关输电线路运行与检修岗位培训教材。该分册编写过程中得到了贵州电网公司所属各供电局的大力支持，贵州电网公司有关内训师、专家对本教材提出了许多宝贵的建议和意见，在此表示衷心的感谢！

尽管各方面对本分册的编写作了相当大的努力，仍难免存在不妥之处，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2011年8月



目 录

前言

第一部分 知识部分

第一篇 专门知识	3
第一章 输电线路基础	3
第一节 输电线路概况	3
第二节 杆塔基础	6
第三节 接地装置	7
第四节 杆塔	10
第五节 杆塔拉线	14
第六节 导线、避雷线、OPGW 光缆	18
第七节 金具	23
第八节 绝缘子	33
第二章 输电线路运行与维修	38
第一节 输电线路运行与维修基本知识	38
第二节 输电线路巡视	45
第三节 输电线路检测	48
第四节 输电线路维修	50
第五节 输电线路技术管理	52
第三章 输电线路防护	59
第一节 防雷	59
第二节 防污	65
第三节 防振	68
第四节 防冰	72
第五节 防洪	79
第六节 季节性防护	80
第七节 防外力	84
第四章 输电线路测试	90
第一节 输电线路测温测距工具介绍	90

第二节	输电线路卫星定位	97
第三节	输电线路绝缘子盐密及灰密测量	98
第四节	接地电阻测量	100
第五节	绝缘电阻测量	102
第六节	零值绝缘子检测	103
第二篇	相关知识	107
第五章	输电线路带电作业基础理论	107
第一节	带电作业简介	107
第二节	开展带电作业的意义	109
第三节	带电作业的原则	110
第四节	带电作业的方式	111
第五节	带电作业的原理	113
第六节	110kV 输电线路带电作业的常规项目	114
第六章	电力电缆	147
第一节	电力电缆概述	147
第二节	电力电缆的分类	147
第三节	电力电缆的结构	151
第四节	电力电缆结构的检查	153
第五节	电力电缆的巡视与检查	154
第六节	电力电缆的故障分析处理	155
第七节	电力电缆的敷设及要求	156
第八节	电力电缆接头的制作	159
第九节	电力电缆试验和验收	168

第二部分 技能部分

第三篇	基本技能	173
第七章	电力工程识图	173
第一节	电气工程图	173
第二节	电气工程图格式	174
第三节	识读电气工程图	178
第四篇	专门技能	188
第八章	架空输电线路检修概述	188
第一节	输电线路检修分类	188
第二节	输电线路检修、技改原则	189
第三节	应急抢修管理	190
第四节	输电线路大修技改施工方案	191

第九章 架空输电线路检修项目 194

第一节 杆塔拉线制作 194

第二节 杆塔拉线更换及调整 195

第三节 停电更换直线整串绝缘子 198

第四节 停电更换耐张整串绝缘子 200

第五节 停电更换导线、避雷线 203

第六节 停电导线（避雷线）上的作业 207

第七节 杆塔接地网检修 210

第五篇 相关技能 215

第十章 常用工器具 215

第一节 长度测量工具 215

第二节 抱杆 215

第三节 绳索 216

第四节 钢丝绳 218

第五节 绝缘绳 221

第六节 机动绞磨 221

第七节 滑轮与滑轮组 223

第八节 导线、避雷线压接机具 225

第九节 导线、避雷线及钢丝绳的夹线工具 226

第十节 双钩紧线器 229

第十一节 葫芦 230

第十二节 伐木锯 232

第十三节 断线钳 233

第十四节 电力生产安全工器具 234

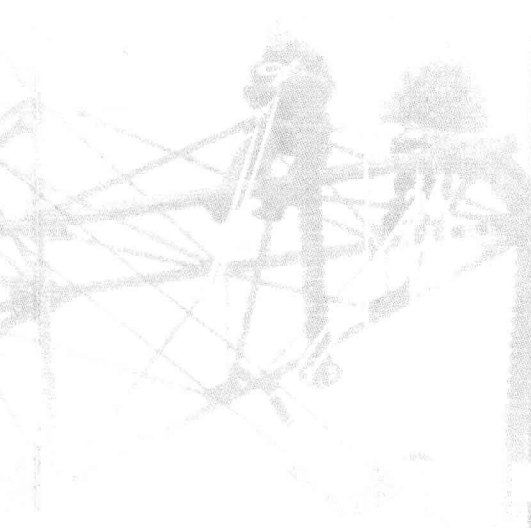
附录 输电线路运行与检修岗位常用法律法规一览 245

参考文献 246



第一部分

知识部分



第一篇

专门知识

第一章 输电线路基础

目的和要求:

通过对输电线路基础知识的培训,让学员了解输电线路的组成,各组成元件的作用和要求,对输电网有一个基本的认识 and 了解。

第一节 输电线路概况

输电线路是电网的主要组成部分,其作用是输送电能。输电线路架设在发电厂升压变电站与地区变电站之间以及地区变电站与地区变电站之间,用于输送电能,其输送容量大、距离远,线路电压等级高,是电力网的骨干网架。

输电线路按架设方式可分为架空输电线路和电力电缆线路两大类。由于架空输电线路结构具有造价低、建设速度快、运行维护方便等显著优点,因此除特殊情况外,输电线路一般均采用架空输电线路。我国的输电线路基本采用架空输电线路,但在城市中心地带、居民密集的地方、高层建筑、工厂厂区内、重要负荷及一些特殊的场所,考虑到安全方面和城市美观的问题,以及受地理位置的限制,大多采用电力电缆线路。

一、架空输电线路的构成及其作用

架空输电线路的结构主要包括杆塔及基础、导线、避雷线、绝缘子、拉线、横担、金具和接地装置等。

架空输电线路是输送电能的主要通道和工具,在运行中要承受自重、风力、温度变化、覆冰、雷雨、污秽等自然条件的影响。架空输电线路利用杆塔的固定和支撑作用把导线布置在离地面一定的高度。直线杆塔对导线进行支撑,导线伸展后把张力传递到耐张杆塔上,杆塔上的反向拉力又对导线所传递的张力进行平衡,这样整条线路就形成一个索状钢结构。导线在杆塔上通过绝缘子与杆塔、横担进行电气隔离,绝缘子通过金具分别和导线、横担相连接并固定在杆塔上。输电线路如图 1-1 所示。

二、输电线路专业术语

(1) 档距。相邻两基杆塔之间的水平直线距离,称为档距,一般用 L 表示。

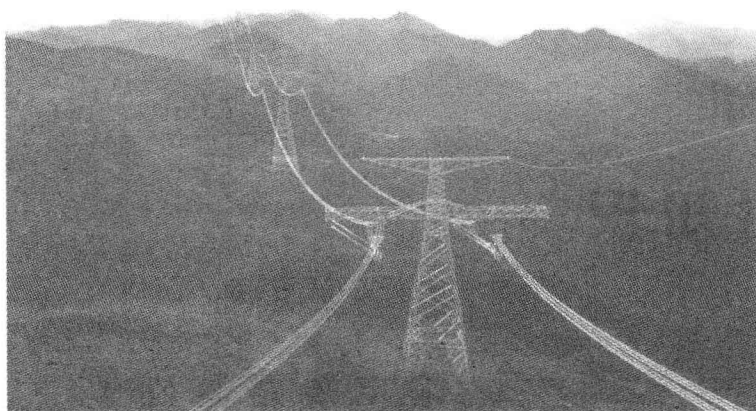


图 1-1 输电线路图

(2) 弧垂。对于水平架设的线路，导线相邻两个悬挂点之间的水平连线与导线最低点的垂直距离，称为弧垂或弛度，用 f 表示。

(3) 限距。导线对地面或对被跨越设施的最小距离。一般指导线最低点到地面的最小允许距离，常用 h 表示。

(4) 水平档距。相邻两档距之和的一半，称为水平档距，常用 L_h 表示，即

$$L_h = (L_1 + L_2)/2 \quad (1-1)$$

(5) 垂直档距。相邻两档距间导线最低点之间的水平距离，称为垂直档距。档距、

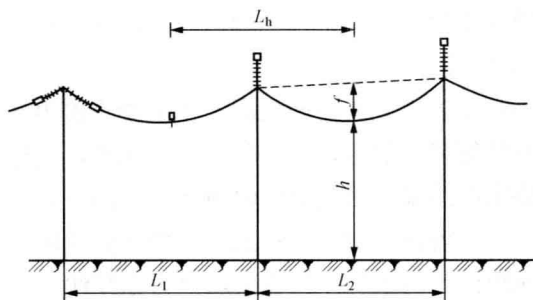


图 1-2 档距、限距、弧垂等示意图

限距、弧垂等示意图如图 1-2 所示。

(6) 代表档距。一个耐张段里，除孤立档外，往往有多个档距。由于导线跨越的地形、地物不同，各档距的大小不相等，导线的悬挂点标高也不一样，各档距的导线受力情况也不同。而导线的应力和弧垂跟档距的关系非常密切，档距变化，导线的应力和弧垂也变化，如果每个档距单独计算，会给导线力学计算带来困难。但一个耐张段里同一相导线，在施工时是一道收紧起来的，因此，导线的水平拉力在整个耐张段里是相等的，即各档距弧垂最低点的导线应力是相等的。因此把大小不等的一个多档距的耐张段，用一个与悬挂点等高的等价档距来代替它，这个能够表达整个耐张力学规律的假想档距，称为代表档距或规律档距，用 L_0 表示。

(7) 杆塔高度。杆塔最高点至杆塔施工基面的垂直距离，称为杆塔高度，用 H_1 表示。

(8) 杆塔呼称高度。杆塔最下层横担至杆塔施工基面的垂直距离称为杆塔呼称高，简称为呼称高，用 H_2 表示。

(9) 悬挂点高度。导线悬挂点至地面的垂直距离，称为导线悬挂点高度，用 H_3

表示。

(10) 线间距离。两相导线之间的水平距离，称为线间距离，用 D 表示。

(11) 根开。两电杆根部或两塔脚之间的水平距离，称为根开，用 A 表示。

(12) 避雷线保护角。架空避雷线和边导线的外侧连线与架空避雷线铅垂线之间的夹角，称为架空避雷线保护角，用 α 表示。

(13) 杆塔埋深。电杆（塔基）埋入土壤中的深度称为杆塔埋深，用 H_0 表示。

杆塔高度、线间距离、根开、避雷线保护角等示意图如图 1-3 所示。

(14) 跳线。连接承力杆塔（耐张、转角和终端杆塔）两侧导线的引线，称为跳线，也称引流线或弓字线。

(15) 导线的初伸长。当导线初次受到外加拉力而引起的永久性变形（延着导线轴线伸长），称为导线初伸长。

(16) 分裂导线。一相导线由多根（有 2~4 根）组成的形式，称为分裂导线。它相当于增大了导线的等效直径，改善了导线附近的电场强度，减少了电晕损失，降低了对无线电的干扰，提高输电线路的输送能力。

(17) 导线换位。输电线路的导线排列方式，除正三角形排列外，三根导线的线间距离是不相等的。而导线的电抗取决于线间距离及导线半径，因此，导线如不进行换位，三相阻抗是不平衡的，线路越长，这种不平衡越严重。因而，会产生不平衡电压和电流，对发电机的运行及无线电通信产生不良的影响。输电线路设计规程规定：在中性点直接接地的电力网中，长度超过 100km 的输电线路均应换位。一般在换位塔进行导线换位。

(18) 导（地）线振动。在线路档距中，当架空线受到垂直于线路方向的风力作用时，就会在其背风面形成按一定频率上下交替的稳定涡流，振动波形如图 1-4 所示。在涡流升力分量的作用下，使架空线在其垂直面内产生周期性振荡，称为架空线振动。

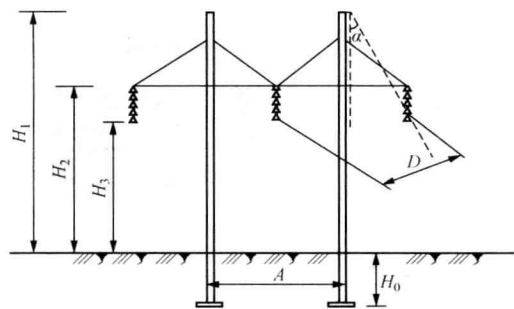


图 1-3 杆塔高度、线间距离、根开、避雷线保护角等示意图

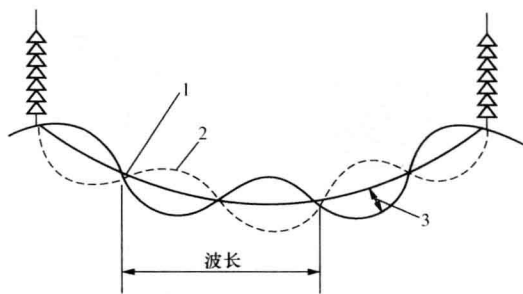


图 1-4 振动波形图
1—波节点；2—波腹；3—波幅

架空线的防振措施，主要是安装防振锤、护线条、阻尼线等，用其来吸收振动能量，以达到减轻架空线振动的效果。

第二节 杆 塔 基 础

杆塔基础是指架空输电线路杆塔地面以下部分的设施，其作用是支持、连接和紧固杆塔，保证杆塔稳定，防止杆塔因承受导线、避雷线、冰、风、断线等不平衡张力或其他外力作用而产生的上拔、下压或倾覆。

一、杆塔基础的种类

(1) 杆塔基础种类分为电杆基础和铁塔基础。

1) 电杆基础可分为：①木电杆基础，由混凝土绑桩、拉线盘组成；②混凝土电杆基础，由底盘、卡盘、拉线盘组成。特殊情况下采用现场浇制钢筋混凝土基础；③钢管杆（塔）基础，通常采用现场浇制混凝土基础。

2) 铁塔基础分为：①预制混凝土装配基础；②金属基础（角钢分离式装配基础）；③现场浇制钢筋混凝土基础；④岩石基础；⑤掏挖式基础；⑥灌注桩基础。

(2) 按杆塔用途可分为：①直线杆塔基础；②耐张杆塔基础；③转角杆塔基础；④终端杆塔基础；⑤特殊杆塔基础。

(3) 按杆塔基础的受力可分为：①下压基础；②上拔基础；③抗倾覆基础。

混凝土电杆基础一般采用底盘、卡盘、拉盘（俗称三盘）基础，通常是事先预制好的钢筋混凝土盘，使用时运到施工现场组装，较为方便。底盘埋（垫）在电杆底部的方（圆）形盘，承受电杆的下压力并将其传递到地基上，防止电杆下沉。卡盘紧贴杆身埋入地面以下的长方形横盘，其中采用圆钢或圆钢与扁钢焊成 U 型抱箍与电杆卡接，以承受电杆的横向力，增加电杆的抗倾覆力，防止电杆倾斜。拉盘埋置于土中的钢筋混凝土长方形盘，在盘的中部设置 U 型吊环和长方形孔，与拉线棒及金具相连接，以承受拉线的上拔力，稳固电杆，是拉线的锚固基础。混凝土电杆基础如图 1-5 所示。

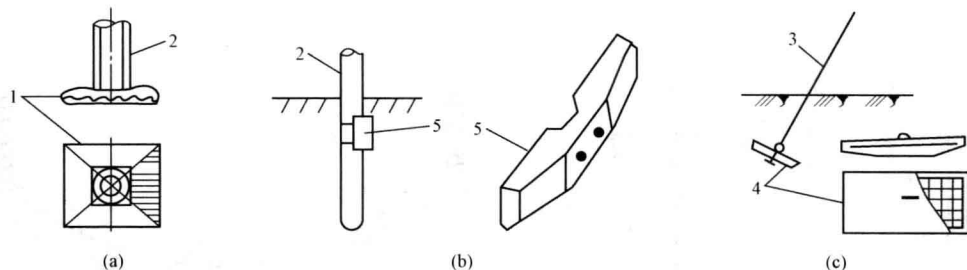


图 1-5 混凝土电杆基础示意图

(a) 底盘基础；(b) 卡盘基础；(c) 拉盘基础

1—底盘；2—电杆；3—拉线；4—拉盘；5—卡盘

二、杆塔基础的选择

在设计线路杆塔基础时，基础的选择应根据杆塔型式结合沿线地质、所受荷载、施工条件、当地土壤特性和运行经验等因素综合考虑，决定是否需用底盘、卡盘、拉盘。

在基础选择的过程中，应注意以下几点：

- (1) 有条件时，应优先采用原状土基础，如掏挖式、半掏挖式、岩石及桩基础。
- (2) 一般情况下铁塔宜采用现浇钢筋混凝土基础。
- (3) 运输或浇铸混凝土有困难的地区，可采用预制装配式基础或金属基础，必要时可采用桩基础。
- (4) 对电杆及拉线宜采用预制装配式基础，即底盘、卡盘、拉线盘，无法避开的特殊区域，应选择联合基础，以增加其稳固性。

第三节 接 地 装 置

一、接地装置的构成与型式

1. 接地装置的构成

接地装置由接地体和接地引下线组成。埋入地中并直接与大地接触的金属导体，称为接地体，接地体分为水平接地体和垂直接地体等。

2. 接地装置的种类

- (1) 自然接地。可以用直接与大地接触的各种金属构件、金属钢管、钢筋混凝土建筑的基础、金属管道和设备等进行接地，称为自然接地。
- (2) 人工接地。人工接地一般用钢材作接地体。在土壤电阻率较高或埋入深度不够的情况下，应采用特殊的接地方式，如接地模块、空腹式接地等。

二、接地装置的型式

按人工接地体的敷设方式不同，可分为水平接地体和垂直接地体两种。水平接地体的圆钢或扁钢水平敷设在地面以下 0.5~0.8m 的接地沟内，其单根长度一般不宜超过 60m；垂直接地体是用钢管、圆钢或角钢垂直打入地下，长度不般不宜超过 3m。

线路杆塔接地装置一般可采用下列形式：

- (1) 在土壤电阻率 $\rho \leq 1000\Omega \cdot m$ 的潮湿地区，可利用铁塔或钢筋混凝土的自然接地。
- (2) 在 $100\Omega \cdot m < \rho \leq 300\Omega \cdot m$ 的地区，一般应采用人工接地体，接地埋深不小于 0.5~0.8m。
- (3) 在 $300\Omega \cdot m < \rho \leq 2000\Omega \cdot m$ 的地区，一般应采用水平接地体。
- (4) 在 $\rho > 2000\Omega \cdot m$ 的地区，可采用 6~8 根总长度不超过 500m 的放射型接地体，连续伸长接地体，放射型接地体可采用长短结合的方式，接地体埋设深度不宜小于 0.3m。
- (5) 居民区和水田中的接地装置，包括临时接地装置，宜围绕杆塔基础敷设封闭全环型。
- (6) 放射型接地体每根的最大允许长度，应根据土壤电阻率确定，放射型接地体每根最大允许长度表见表 1-1。

表 1-1 放射型接地体每根最大允许长度

土壤电阻率 ($\Omega \cdot m$)	≤ 500	≤ 1000	≤ 2000	≤ 5000
最大允许长度 (m)	40	60	80	100

(7) 在高土壤电阻率地区, 当采用放射型接地装置时, 如在杆塔基础附近(在放射型接地体每根最大长度的 1.5 倍范围内)有土壤电阻率较低的地带, 可采用外接或其他措施, 但不宜超过 150m。

三、接地装置的要求

1. 技术要求

(1) 如接地装置由很多水平接地体或垂直接地体组成, 为减少相邻接地体的屏蔽作用, 垂直接地体的间距不应小于其长度的 2 倍, 水平接地体的间距可根据具体情况确定, 但不宜小于 5m。

(2) 接地体的截面积及断面形状对接地电阻值影响不大, 因此接地体材料规格的选择主要考虑腐蚀及机械强度的需要。

(3) 接地装置常用材料。接地体的材料一般采用钢材。垂直埋设的接地体, 一般采用角钢、钢管、圆钢等; 水平埋设的接地体, 一般采用扁钢、圆钢等。人工接地体的尺寸不应小于下列数值: ①圆钢直径为 $\phi 10\text{mm}$; ②扁钢截面为 $4\text{mm} \times 25\text{mm}$; ③角钢尺寸为 $L40 \times 4\text{mm}$; ④钢管壁厚为 3.5mm。

接地装置用钢材, 在腐蚀性较强的场所, 应采用热镀锌的钢接地体或适当加大截面; 接地装置的导体截面应符合热稳定和机械强度的要求。

目前在实际线路工程中, 对非腐蚀性地区, 一般采用 $\phi 10\text{mm}$ 圆钢接地体, 而接地引下线则采用 $\phi 12\text{mm}$ 圆钢。

2. 对接地体的敷设要求

(1) 接地体应按设计规定的形式敷设, 接地体用的材料应满足设计要求。

(2) 按原设计图形敷设接地体时, 应根据实际施工情况在施工记录上绘制接地装置敷设简图, 并应标明其相对位置和尺寸, 原设计图形为环形者仍应呈环形。开槽时应避开道路、电缆、地下管道等, 在山坡上应防止洪水冲刷地槽。

(3) 接地体应平直, 无明显弯曲, 敷设时应紧贴地槽底部。

(4) 遇有斜坡的地形, 接地体应沿等高线敷设, 且两接地体之间的水平距离不得小于 5m。

(5) 接地体的出土部分应经防腐处理, 与杆塔连接应紧密良好, 不得埋入混凝土保护帽中。

四、接地装置安装

接地装置的连接应严密可靠, 除必须断开处以螺栓连接外, 其他的均需焊接或压接。

1. 接地体的埋置

接地体是埋置在地下并与土壤接触的金属体, 在输电线路工程中常用的接地体的埋置型式有垂直型接地体、放射型接地体、环型接地体和环型与放射型组合的接地体, 如图 1-6 所示。

有避雷线的架空输电线路的每基杆塔都应设置接地装置, 其接地体的埋置型式应根据该塔位的土壤电阻率的大小来确定。对于在山地岩石处的塔位土壤电阻率较大, 接地电阻达不到要求, 可以加长接地体来减小接地电阻值。根据实验, 每根接地体的长度超过 60m