



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

输电线路施工运行 与检修技能实训指导书

费春明 赵志勇 编



中国电力出版社

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

普通高等教育实验实训规划教材



电力技术类

输电线路施工运行 与检修技能实训指导书

费春明 赵志勇 编
李光辉 主审



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育实验实训规划教材（电力技术类）。

本书主要讲述输电线路施工、运行和检修的理论和实训指导。本书共分为五篇，每篇又分为基本知识和技能训练两部分，主要包括基础施工技能训练、杆塔组立技能训练、架线施工技能训练、接地装置施工技术技能训练、架空线路的运行与检修技术技能训练等。每个实训项目后都附有思考题，以培养学员分析问题和实际解决问题的能力。

本书可作为职业技术学院输电线路相关专业的教材，也可作为初、中、高级的电力技工的自学教材。

图书在版编目（CIP）数据

输电线路施工运行与检修技能实训指导书/费春明，赵志勇编. —北京：中国电力出版社，2010.2

普通高等教育实验实训规划教材. 电力技术类

ISBN 978-7-5123-0110-8

I. ①输… II. ①费…②赵… III. ①输电线路—电力系统运行—高等学校—教材②输电线路—检修—高等学校—教材
IV. ①TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 025344 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>）

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 3 月第一版 2010 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.75 印张 330 千字

定价 22.00 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



前言

培养高等职业技术学院输电线路专业学员的技术、理论水平和实际操作能力,是高职教学工作中的重中之重。为了适应电力企业的安全生产、电网的可靠运行,提高检修和运行质量,编者依据高等职业技术学院输电线路实训教学计划、教学大纲,结合电力公司生产实际情况,参照《国家职业技能鉴定指导书》的要求,编写了本书,供高等职业技术学院输电线路专业学生及相关技术人员学习和使用。本书的出版填补了高等职业院校输电线路专业实训教材的空白。

本书从输电线路实训和实际教学中常遇到的问题出发,较全面系统地介绍输电线路施工、运行与检修中常见的作业方法和技术要求,主要内容包括基础施工、杆塔组立、架线施工、接地装置施工、架空线路的运行与检修等五篇,每一篇包括基本知识和技能训练两部分,其中技能训练部分按照生产现场标准作业指导书格式进行编写。

本书力求做到针对性强、适用性强、可操作性强,适合作为高等职业技术学院输电线路专业的学生及初、中、高级电力工人的自学用书,也适合作为高等职业院校输电线路专业实训教师的指导教材。为了便于学习,本书内容叙述力求深入浅出、通俗易懂,结合实际给出部分实训作业实例,每个实例项目后都附有思考题,以培养学员分析问题和实际解决问题的能力。通过本书的学习,能够掌握输电线路施工、检修、运行的基本理论知识和实际操作技能,达到《国家职业技能鉴定》技术等级考核标准。

本书第三、四篇由赵志勇同志编写,其余内容由费春明同志编写并负责全书的统稿工作。

本书编写中得到浙江省电力公司金华送电工区主任江建勤同志的大力支持,李光辉老师主审全书并提出很多宝贵意见,在此一并表示感谢。

由于本书编写时间仓促,作者水平有限,难免有不当之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2010.1

目 录

前言

第一篇 基础施工技能训练

第一部分 基本知识	1
第一节 杆塔基础型式	1
第二节 杆塔基础施工	4
第三节 装配式基础施工	22
第四节 桩式基础施工	26
第五节 岩石基础施工	30
第六节 基础操平找正	32
第二部分 技能训练	40
实训一 底盘安装训练	40
实训二 拉线盘安装训练	44
实训三 坍落度的检查训练	49
实训四 基坑操平的操作训练	52
实训五 铁塔地脚螺栓找正训练	55

第二篇 杆塔组立技能训练

第一部分 基本知识	60
第一节 铁塔地面组装	60
第二节 外拉线抱杆分解组塔	67
第三节 内拉线抱杆分解组塔	75
第二部分 技能训练	83
实训一 分解组塔地面组装技能训练	83
实训二 内、外拉线分解组塔技能训练	87

第三篇 架线施工技能训练

第一部分 基本知识	104
第一节 导线和避雷线的展放	104
第二节 紧线施工	111
第三节 弧垂计算与观测	113

第四节	附件安装	118
第五节	导线和避雷线的连接	123
第二部分	技能训练	131
实训一	35kV 输电线路杆塔上挺装防振锤技能训练	131
实训二	110~220kV 输电线路杆塔上卧装防振锤	135
实训三	更换 35kV 输电线路杆塔悬垂线夹	139
实训四	500kV 输电线路杆塔间隔棒安装	143
实训五	钢芯铝绞线液压直线对接	147

第四篇 接地装置施工技术技能训练

第一部分	基本知识	152
第一节	接地装置施工	152
第二节	接地电阻测量	153
第二部分	技能训练	155
实训一	接地电阻测量	155

第五篇 架空线路的运行与检修技术技能训练

第一部分	基本知识	160
第一节	架空线路的运行	160
第二节	架空线路的检修	165
第二部分	技能训练	180
实训一	杆塔、拉线和基础检查	180
实训二	导线和地线的检查	183
实训三	绝缘子、瓷横担及金具的检查	186
实训四	防雷设施和接地装置的检查	190
实训五	附件及其他设施检查	193
实训六	220kV 输电线路带电修补导线	195
实训七	220kV 输电线路带电更换双联耐张水平绝缘子串	202
参考文献		211

第一篇 基础施工技能训练

第一部分 基本知识

第一节 杆塔基础型式

架空输电线路主要由基础、杆塔、导线、避雷线、绝缘子、金具、接地装置及其他附属设施等部件组成。

那么基础又是由哪几部分组成的，它的作用又是什么呢？

杆塔基础可分为电杆基础和铁塔基础两大类。杆塔的地下部分，用于稳定杆塔。其作用是将杆塔、导线荷载传到土壤，并承受导线、断线张力等所产生的上拔、下压或倾覆力。

一、电杆基础

电杆基础包括承受电杆本体下压的基础（即底盘）及起着稳定电杆作用的拉线基础（拉盘或重力式拉线基础）、卡盘等。

1. 电杆底盘

电杆底盘如图 1-1 所示。一般 110~220kV 线路底盘规格分为 $0.8\text{m} \times 0.8\text{m} \sim 2.2\text{m} \times 2.2\text{m}$ （每 0.2m 为一级）八个规格，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，分为拉线盘基础、重力式拉线基础和锚杆（岩石）拉线基础三种。

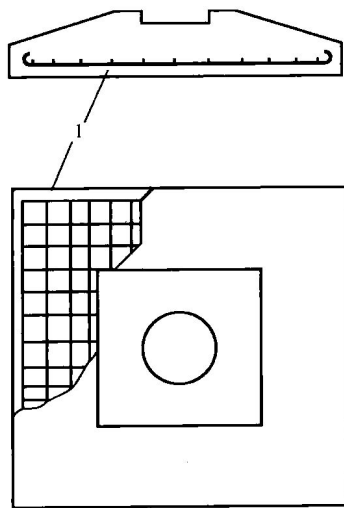


图 1-1 电杆底盘示意图

1—钢筋网

(1) 拉线盘如图 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）七个规格。拉线盘一般是钢筋混凝土预制构件。

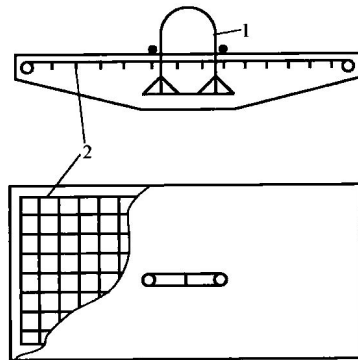


图 1-2 拉线盘示意图

1—拉环；2—钢筋网

(2) 重力式拉线基础如图 1-3 所示。当遇较差的土质，且最大一级的拉线盘也不能满足所要求的上拔力时，就必须选用重力式拉线基础。该基础主要是由一条 $\phi 30$ 拉环用 C15 级混凝土浇注而成的无筋基础。

(3) 岩石（锚杆）拉线基础如图 1-4 所示。它一般用于微风化或中风化的岩石处，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。

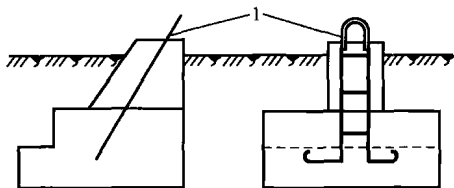


图 1-3 重力式拉线基础
1—拉环

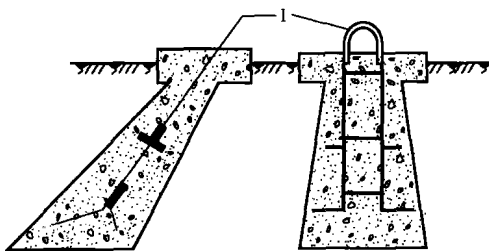


图 1-4 岩石拉线基础
1—拉环

3. 卡盘

卡盘如图 1-5 所示。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

1. 现浇混凝土铁塔基础

根据铁塔承受力的大小和实际具体情况，并按照设计要求，铁塔基础可分为钢筋混凝土基础和无筋混凝土基础两种。这两种基础又可分为：

(1) 插入式基础。铁塔主材直接斜插入基础，与混凝土浇成一体，如图 1-6 (a) 所示，可省去底脚螺栓、塔脚等，节约钢材，受力合理。

(2) 地脚螺栓基础。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，如图 1-6 (b) 所示。

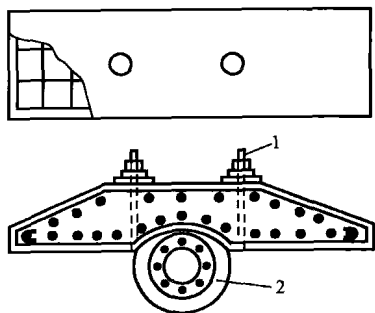


图 1-5 卡盘示意图
1—卡盘螺栓；2—混凝土电杆根部

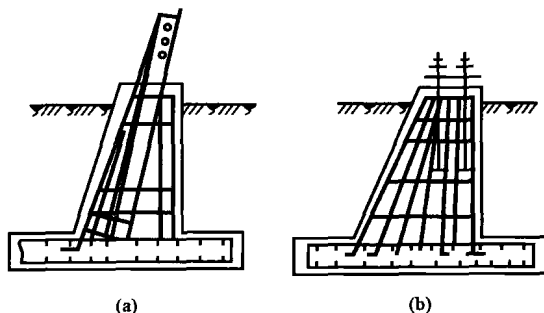


图 1-6 现浇混凝土基础
(a) 插入式基础；(b) 地脚螺栓基础

2. 预制钢筋混凝土基础

预制基础可分为预制钢筋混凝土基础和板条基础，如图 1-7 所示。

(1) 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，然后运至现场安

装在基坑中。其单件质量不宜过大, 适合缺少砂石、水或冬季不宜现场浇制混凝土时使用。

(2) 板条基础的底板一般是由若干条状混凝土组合而成, 立柱由角钢组成。

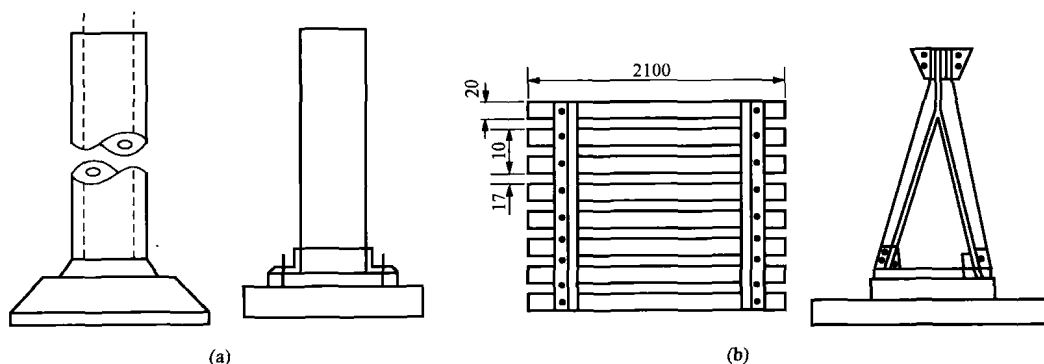


图 1-7 预制钢筋混凝土基础和板条基础

(a) 预制混凝土基础; (b) 板条基础

3. 金属基础

金属基础如图 1-8 所示。金属基础用钢材组合而成, 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结构式的基础, 铁塔主材的下段也是基础的一部分。

4. 岩石基础

岩石基础如图 1-9 所示。在山区岩石地带, 利用岩石的整体性和坚固性, 用岩石基础代替混凝土基础。它的基础形式又可以分为直锚式、承台式、嵌固式和掏挖式四种。

5. 灌注桩基础

灌注桩基础可分为等径灌注桩基础和扩底短桩基础两种。

(1) 等径灌注桩基础如图 1-10 所示。其施工步骤为: 钻孔→插入预制的钢筋骨架→就地灌注混凝土。该基础适于地下水位较高, 基坑开挖中易产生流砂现象的塔基处。

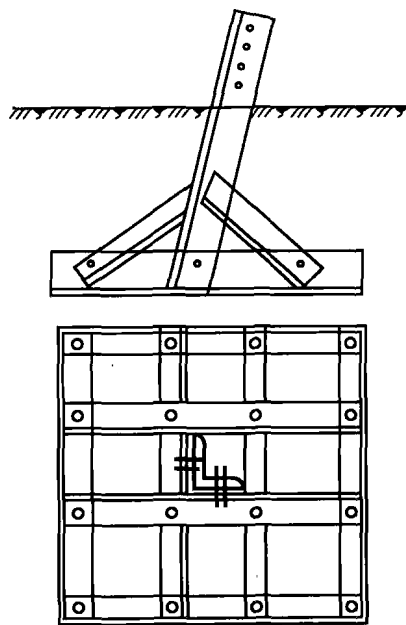


图 1-8 金属基础

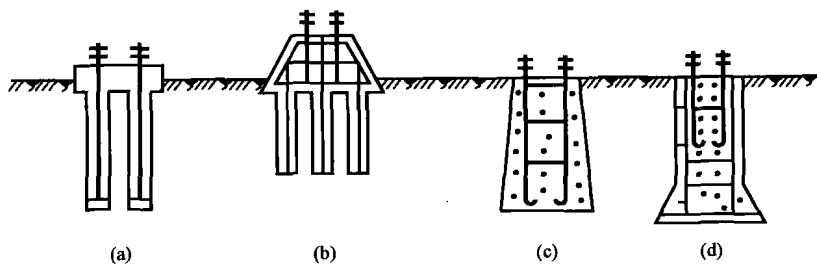


图 1-9 岩石基础

(a) 直锚式; (b) 承台式; (c) 嵌固式; (d) 掏挖式

(2) 扩底短桩基础。其施工步骤为：钻孔→爆炸扩孔成型→插入骨架→灌注混凝土。该基础适用于黏性土壤，节约土方和劳动力，有利于改善施工作业条件，减少土壤压缩变形和增加抗拔能力。

6. 桩台式基础

桩台式基础如图 1-11 所示。该基础一般分为双桩以上承台式和单桩带横梁式两种，适用于地耐力很差的淤泥土质塔基处。施工时，先打入适当数量的混凝土桩，后在桩顶部浇灌混凝土承台。

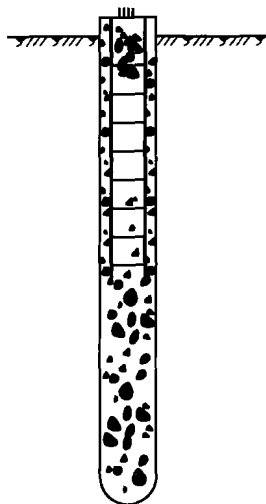


图 1-10 灌注桩基础

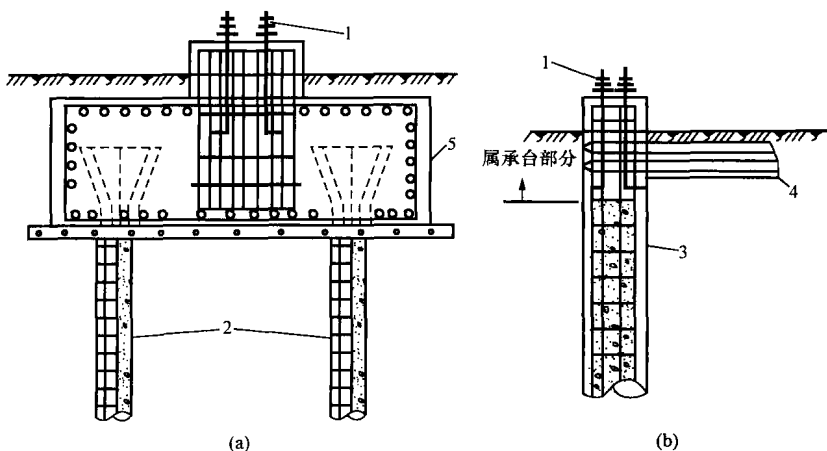


图 1-11 桩台式基础

(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

第二节 杆塔基础施工

杆塔基础施工是在线路复测分坑之后，根据复测分坑人员现场测量所钉的坑位桩放样进行挖掘。挖掘时，根据不同的土质采用不同的施工方法。

一、基坑开挖

(一) 基坑开挖基本要求

(1) 基坑开挖应该按设计施工要求先降低基面后进行基坑开挖，对于降基量较小的，可与基坑开挖同时完成。

(2) 作业人员在开挖前应做好以下工作：

- 1) 熟悉设计图纸，如杆塔明细表、基础配置表、基础施工图等。
- 2) 检查现场分坑成果：①杆位桩、控制桩是否完好；②转角方向、中心桩位移、上拔下压基础布置是否正确；③基坑坑口尺寸及相互几何尺寸；④核对地表土质、水情，判断地下水状态。

(3) 基坑开挖的深度控制要求：

- 1) 杆塔基础坑深应以设计施工基面为基准。拉线基础坑深在设计未提出施工基面时，

应以拉线基础中心地面标高为基准。

2) 杆塔基坑深度允许偏差为 $+100\text{mm}$ ， -50mm ；同一基基坑深度在允许偏差范围内按最深一坑操平。

3) 岩石基坑及拉线坑不允许有负误差。

4) 实际坑深偏差超深 100mm 以上时，按以下方法处理：

a. 铁塔现浇基础坑，其超深部分应采用铺石灌浆处理。

b. 对于混凝土电杆基础、铁塔预制基础、铁塔金属基础等，其坑深与设计坑深偏差值在 $+100\sim+300\text{mm}$ 时，超深部分应采用填土或砂、石夯实处理。当不能以填土或砂、石夯实处理时，超深部分按设计要求处理，设计无具体要求时，按铺石灌浆处理。当坑深超过规定值在 $+300\text{mm}$ 以上时，其超深部分应采用铺石灌浆处理。

c. 拉线基础坑超深，对拉线基础的安装位置与方向有影响时，其超深部分应采用填土夯实处理。

d. 基坑底面应平整。

(4) 作业时应遵守现行国家电网公司颁布的《电力安全工作规程（架空电力线路部分）》中的有关规定。

(二) 土坑开挖

输电线路基坑分散、交通不便时，一般采用人工开挖。挖坑时，作业人员直接用铲分层分段平均往下挖掘。土方量少时，可直接抛掷土块；土方量较大时，则用三角架或置摇臂抱杆吊筐出土。开挖时，根据不同土质适当放边坡（见表1-1所示要求），防止坑壁坍塌。每挖 1m 左右即应检查边坡的斜度，进行修边，随时控制纠正偏差。

表 1-1 基 坑 坑 口 尺 寸 确 定

土壤类别	边坡坡度	操作宽度 (m)	坑底宽度	坑口尺寸	备 注
坚土、次坚土	1 : 0.15	0.1~0.2	基础底层 尺寸每边加2 倍操作宽度	坑底宽度加2倍 坑深与边坡坡度的 乘积	(1) 基坑放样按坑口尺寸 (2) 流砂、重油泥土，采用挡土板或其他特种作业按相应要求
黏土、黄土	1 : 0.3	0.1~0.2			
砂质黏土	1 : 0.5	0.1~0.2			
石坑	1 : 0	0.1~0.2			
淤泥、砂土、砾土	1 : 0.75	0.3			
饱和砂土	1 : 0.75	0.3			
砾石	1 : 0.75	0.3			

开挖时，要做到坑底平整。基坑挖好后，为防止坑底扰动应尽量减少暴露时间，及时进行下道工序的施工。如不能立即进行下道工序，则应预留 $150\sim300\text{mm}$ 土层，在铺石灌浆时或基础施工前开挖。

(三) 流动性淤泥土质开挖

流动性淤泥土质开挖时易坍塌，可参照下列方法选用开挖。

1. 阶梯式边坡

开挖时，把边坡挖成阶梯状，阶梯比例为 $1:1$ ，阶梯高度小于 500mm 。

2. 采用挡土板

按基础底层尺寸每边加 200mm ，做上下两个方木框架，上下框间距 1m 左右，四周外侧

铺木板（下端削尖，以便打入）与两框架用扒钉连成整体，作为框架柱，起挡土作用。挡土板如图 1-12 所示。一边挖土，一边将框架柱打入土中，框架柱入土深度必须大于 300mm。上下框架也可用槽钢替代，木板用钢板替代。基坑断面尺寸较大时，可在框架中间加一根拉线，通过调节装置固定到锚桩上。

3. 锚定式钢板支撑

锚固式钢板支撑如图 1-13 所示。在坑四周每 1m 左右打入角钢桩或钢管桩，在桩与坑壁间插入钢板（或木板钢模板），桩的上端通过拉线、调节装置固定在锚桩上。桩打入坑底 300mm 以上，边挖土边打桩，边将挡土板插入桩与土之间，直至设计深度。

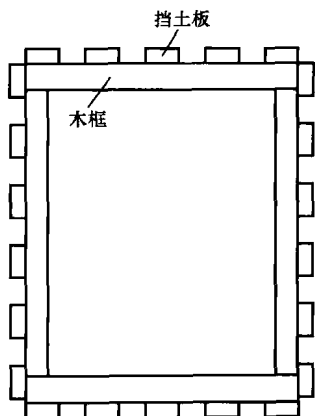


图 1-12 挡土板示意图

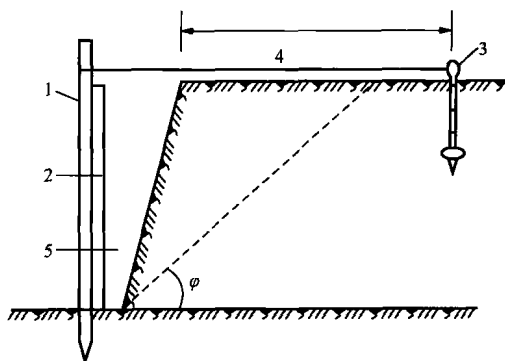


图 1-13 锚固式钢板支撑

1—角钢桩；2—钢模板；3—地锚；4—拉线装置；5—回填土；
 φ —土的内摩擦角

4. 短桩横隔板支撑

一些基坑刚开始挖掘时不易坍塌，往往挖至坑底时才坍塌，所以可在坑底四周每隔 1m 用短桩（角钢或钢管）打入土中 300~400mm，在坑壁与桩间横插入钢模作挡土板，防止坑底坑壁坍塌。短桩横隔板支撑如图 1-14 所示。

5. 袋装土护壁

袋装土护壁用草包或编织袋灌土，在坑底筑成临时挡土墙，以加固坑壁，防止坍塌，如图 1-15 所示。

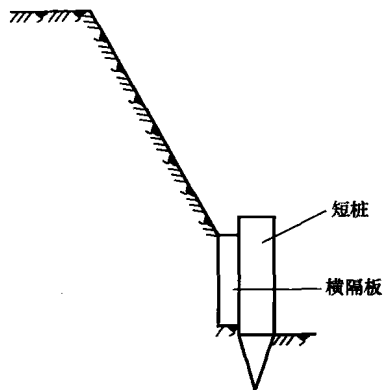


图 1-14 短桩横隔板支撑

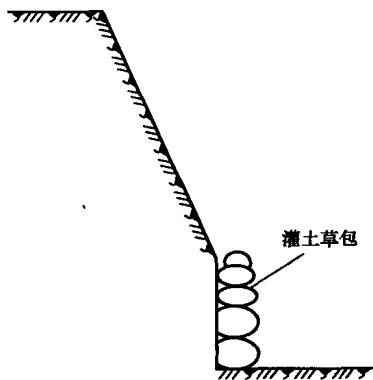


图 1-15 袋装土护壁

流动性淤泥土质开挖时,地下水位一般较高,所以要采取排水措施,并尽可能地避免雨季施工。如果有地面水,就应在来水方向截水,若无法截住地面水,则应在坑口 3m 以外开挖排水沟或尽量利用原有天然沟道排水。坑内水则应用手揪水泵(俗称皮老虎)、机动式电动水泵排水。排水前,应先在坑底内角或对角挖集水坑,集水坑可挖深些,坑壁可用竹片作临时加固,并随基坑挖深而加深,以便于水泵抽水。渗透性强的基坑,出水要引得远些,以防渗回坑内。抽水时要注意不挖动坑壁,抽水设备固立在离开基坑边 2m 以外,如坑较深,该距离还应加大。

开挖时弃土的处理方法如下:

- (1) 在平地,土堆放坑的四周,距坑口 1m 以外;
- (2) 土质较差的,距离应更远些,土的堆高宜小于 2m;
- (3) 在山坡,弃土应堆放在基坑下坡,并设置挡土栅板;
- (4) 流砂土质开挖,可采用前述挡土板方法施工,另可采用下述方法。

1) 井点法。井点法就是沿基坑四周将许多直径较细的井点管沉入地下蓄水层,以总管(集水管)连续抽水,带动井点管不断地抽吸地下水,改变地下水压力的渗透方向,使地下水位沿井点形成稳定的“下降漏斗”,从而使塔基地下水位降低,便于基础施工。轻型井点法降低地下水位原理图如图 1-16 所示。

井点管由直径 38~50mm 钢管做成,长约 2.5m (根据需要而定),下端间隔钻有 10mm 左右的小孔,并用滤网包扎做成滤管,上端通过透明软管与总管连接。

井点的布置一般根据基坑大小、土质和地面水的流向、降低地下水的深度要求而定,通常采用环形布置。沿基坑边每隔 0.8~1.6m 设一个井点,井点距坑边不应小于 0.8m。其入土深度应比基坑底深 0.9~1.2m。

井点管一般用冲水管冲孔后再将井点管沉放。冲孔必须保持垂直,上下均必须有适当孔径,冲孔深度须比井点管深 0.5m 左右。井点管与孔壁之间应及时用粗砂灌实,距地面下 0.5~1m 的深度内,应用黏土填严密,防止漏气。

井点管通过透明塑料管与集水总管连接起来,总管宜选用 100~127mm 的钢管,分节连接,每节长 4m 左右。集水管与抽水设备连接,通过抽水设备把地下水抽出。

管井系统各部件均应安装严密,防止漏气。在人工降低地下水位的过程中,应对整个井点系统加强维护和检查,防止漏气及“死井”,保证不间断地进行抽水。

抽水设备可选用 QJD-60 轻型井点水喷射泵,该泵所需动力 7.5kW,排水量 60m³/h,抽水深度 96m,适用于一般输电线路基础施工。

2) 混凝土护管(也称沉井法)。护管内径 1.8m,高为 0.8m,壁厚为 0.1m,有上下企口的圆形管,沉井底部有 450 刃口,内壁应为麻面(也可根据基础形式不同,设计不同规格的护管)。同时混凝土护管应有足够的强度。

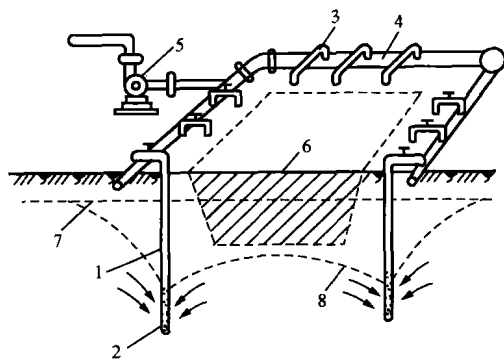


图 1-16 轻型井点法降低地下水位原理图
1—井点管; 2—滤管; 3—弯连接管; 4—集水总管;
5—水泵; 6—基坑; 7—原有地下水位线;
8—降低后地下水位线

将混凝土护管置于坑位上，护管中心与基坑中心重合。在护管内挖土，使护管自然下沉，为避免护管倾斜、偏移，应沿护管内周均匀向下开挖，不能沿护管一侧下挖。使用两节以上护管时，必须等前一护管已下到与地面相平时再按企口对接第二节护管。混凝土护管不作回收，而做为基础的外周。

为防止流砂流入管内，在开挖前先在护管周围堆上一定数量和一定高度的小石子。开挖后，随着护管的下沉，管外一部分砂子进入管内后，石子也跟着下沉，使护管下端外周约 0.5m 厚的范围被石子占据，这样石子可以起到隔砂的作用，砂涌现象大大减少。

（四）垫层处理

当地基强度不足，设计要求作垫层处理时，开挖基坑要考虑垫层深度。垫层一般采用铺石灌浆的方式，厚度为 150mm，宽度按基础外边加 150mm。对土质很差的基础坑，可先抛毛石，然后铺石灌浆。垫层用的碎石级配要良好，碎石最大粒径不宜大于 5cm，含泥量不宜大于 3%，砂浆不宜低于 50 号。

二、混凝土及其配制

（一）混凝土的特性

1. 混凝土的强度等级

混凝土的强度等级是按混凝土立方体抗压强度标准值来划分的。混凝土强度等级采用符号 C 与立方体抗压强度标准值（以 N/mm^2 计）表示。例如混凝土强度等级 C20，就是指混凝土立方体抗压强度标准值为 $20\text{N}/\text{mm}^2$ 的混凝土。

立方体抗压强度标准值是指对按标准方法制作和养护的边长为 150mm 的立方体试件（试块），在 $20\pm 3^\circ\text{C}$ 温度和相对湿度大于 90% 的潮湿空气中养护 28 天，依照标准试验方法测得的抗压强度，即抗压强度值。

普通混凝土的强度等级划分为 12 个等级：C7.5、C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55 和 C60。

2. 混凝土的可塑性

混凝土可以根据设计要求制成各种形状和不同大小的构件或制品，以及各种不同要求的结构或构筑物。混凝土拆模后，一般不需要再进行加工。混凝土这种随意成形的特性使混凝土得到广泛的应用。

3. 混凝土的耐久性

混凝土具有良好的耐磨、抗冻、抗风化、抗化学腐蚀的性能，一般不需要经常维护。

（二）水灰比与坍落度

混凝土中水的质量与水泥质量的比例叫水灰比。水灰比的大小对混凝土强度影响很大，混凝土中水灰比小，则混凝土强度高；水灰比大，则混凝土强度低。这是因为在混凝土中，用来与水泥起化学作用的水，只占用水量的 10%~30%，其余大部分水分在硬化过程中逐渐蒸发掉，并在混凝土中留下气孔，使混凝土强度降低。但是，如果水灰比很小，也就是用水量很少，则拌出的混凝土骨料很干，和易性差，施工很困难，容易使混凝土产生蜂窝、麻面，甚至造成空洞。为使混凝土的水灰比合适，通常用坍落度来测定混凝土拌和的稠度。水灰比的倒数称灰水比。

下面介绍坍落度的测定方法。

用一块白铁皮做成一锥形筒（见图 1-17）。将筒放在铁板上，把拌和好的混凝土分 3 次灌进筒内，每次放入筒高 $1/3$ ，每次放入后都用铁棒（直径 16mm，长 600mm，端部应磨圆）捣固 25 次，最后使混凝土与筒口相平，再把锥形筒轻轻提起拿开，这时混凝土就自然地坍下来，低了一截，量测筒高与坍落后混凝土试件体最高点之间的高度差，即为该混凝土拌合物的坍落度值。

为了使测试的坍落度准确，一般试验进行 3 次取平均值。

（三）混凝土的硬化过程

混凝土硬化过程是水泥和水化合作用的结果，这个过程进行得很缓慢，周围的环境温度对它有一定影响。温度高，硬化较快，温度低硬化就慢，结冰后硬化就停止。混凝土硬化的正常温度为 20°C 。

混凝土硬化过程是在混凝土搅拌后，随时间而自然硬化，可分为三个阶段。

（1）初凝，混凝土开始凝结。混凝土约在加水搅拌后 45min 开始凝结，气温高要早些，气温低要迟些，所以混凝土的浇制工作应在开始初凝前完成。

（2）终凝，即为混凝土凝结成形。终凝约在搅拌后 5~20h 之间完成，但此时混凝土强度很弱，混凝土不应受到外力或其他干扰。

（3）硬化，混凝土强度逐渐提高的过程。混凝土在正常养护条件下，前 7 天强度增长较快，可达到 28 天强度的 60%~65%，7~14 天强度增长稍慢，28 天后增长就更缓慢。因此，一般规定以 28 天的抗压强度等级作为设计和施工检验质量的标准，故 28 天称为混凝土的期龄。

注意事项：混凝土浇注后不能受冻，受冻就停止了强度增长，硬化过程大为变坏。水结成冰使混凝土组织变得疏松，强度大为降低，甚至成为废品。因为混凝土依靠水泥与水化作用而产生强度，当温度低于混凝土冻点时，混凝土中的水分冻结，不仅水泥不能与冰发生化学反应，而且因水结成冰后，产生体积膨胀（约 9%），引起混凝土内部结构的破坏，强度显著降低，只有当混凝土强度增长至混凝土标号的 40% 或达到 4.9MPa 时，才能抵抗水结成冰时体积膨胀造成的破坏。

（四）混凝土原料及其用量

1. 混凝土原料

（1）水泥。水泥是一种无机粉状水硬性胶凝材料，水泥加水搅拌后成塑性浆体，能在空气和水中硬化，并把砂、石等材料牢固地胶结在一起，具有一定的强度。水泥质量是影响混凝土强度的关键因素之一。

1) 水泥的性质。

a. 密度。普通水泥的密度为 $1000\sim 1600\text{kg}/\text{m}^3$ ，通常采用 $1300\text{kg}/\text{m}^3$ 计算。

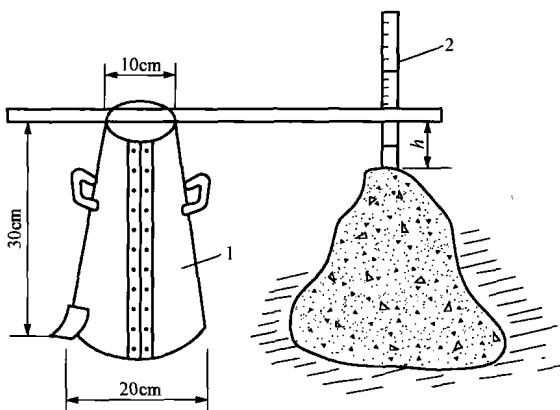


图 1-17 坍落度的测定

1—圆锥筒；2—钢尺

h —坍落度

b. 细度。细度是指水泥颗粒的粗细程度。颗粒越细,水泥表面积越大,水化作用越快,水泥的硬化就越快,早期强度也越高。但在干燥大气中宜硬化,体积会有较大的收缩,且宜吸湿。

c. 凝结时间。水泥从加水搅拌到开始凝结所需的时间称为初凝时间。已经初凝的水泥,其塑性大为降低。水泥从加水搅拌到凝结完成所需的时间称为终凝时间。已经终凝的水泥才初步具有强度。水泥的凝结时间与水泥品种和混合材料的掺量有关,高强快硬水泥的凝结时间就较短,而混合材料掺量大的水泥凝固则较慢。普通水泥的初凝时间不得早于 45min,终凝时间不得迟于 12h。实际上,一般水泥的初凝时间多为 2~3h,终凝时间多为 6~8h,这样的凝结时间对施工操作来说是比较适宜的(施工时,一般希望初凝要慢,终凝要快)。

d. 强度。强度是水泥作为胶结材料的主要性质,是按国家标准强度检验方法,由龄期 28 天的试件测得的每平方厘米所承受的压力值确定。水泥强度用水泥标号来表示,

水泥标号是用“软练法”测定的。我国普通水泥标号有 225、275、325、425、525、625 六个等级。

e. 体积安定性,简称安定性。它是指水泥在硬化过程中体积变化的均匀性能。如果水泥中含有较多的游离石灰、氧化镁或三氧化硫,就会使水泥的结构产生不均匀的变形,甚至破坏。

f. 水化热。水泥与水的作用为放热反应,在水泥硬化过程中,不断放出热量,称为水化热。水化热大部分在水化初期(7 天)放出,以后逐渐减少。

2) 水泥的品种。制造水泥的原料有石灰石、石英砂、黏土和赤铁矿砂等。将这些原料按一定比例混合,经过粉碎、磨细就成生料,将生料投入窑中煅烧就成熟料,储存 1~3 周,加入适量石膏,磨细即成水泥。加入不同的混合料即成不同品种的水泥。

我国常用普通水泥品种如下:

a. 硅酸盐水泥。它是由硅酸盐水泥熟料、0%~5%石灰石或粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料。

b. 普通硅酸盐水泥。它是由硅酸盐水泥熟料、6%~15%混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,简称普通水泥。

c. 矿渣硅酸盐水泥。它是由硅酸盐水泥熟料和粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,简称矿渣水泥。水泥中粒化高炉矿渣掺加量按质量百分比计为 20%~70%。

d. 火山灰质硅酸盐水泥。它是由硅酸盐水泥和火山灰质混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,简称火山灰水泥。水泥中火山灰质混合材料掺加量按质量百分比计为 20%~50%。

e. 粉煤灰硅酸盐水泥。它是由硅酸盐水泥熟料和粉煤灰、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,简称粉煤灰水泥。水泥中粉煤灰掺加量按质量百分比计为 20%~40%。

3) 水泥进场验收及保管:

a. 水泥进场时,必须有出厂合格证或进场试验报告,并应对其品种、标号、包装、出厂日期等检查验收。

b. 入库的水泥应按品种、标号、出厂日期分别堆放,并树立标志,做到先到先用,并防止混掺使用。

c. 为了防止水泥受潮,现场仓库应尽量密闭。包装水泥存放时应垫起,离地约 30cm,

离墙也应在 30cm 以上, 堆放高度一般不要超过 10 包。临时露天暂存水泥也应用防雨篷布盖严, 底板要垫高, 并采取防潮措施, 一般可用油纸、油毡或油布铺垫。

d. 水泥储存时间不宜过长, 以免结块降低强度。常用水泥在正常环境中存放 3 个月, 强度将降低 10%~20%; 存放 6 个月, 强度将降低 15%~30%。为此, 水泥存放时间按出厂日期起算, 超过 3 个月, 应视为过期水泥, 使用时应复查试验, 并按其试验结果使用。

e. 受潮水泥经鉴定后, 在使用前应将结成的硬块筛除。凡受潮和过期的水泥不宜用于强度等级高的混凝土或主要工程结构部位。

(2) 砂。砂是混凝土中细骨料。在自然条件作用下而形成的、粒径在 5mm 以下的岩石颗粒, 称为天然砂。按产源不同, 天然砂可分为河砂、海砂和山砂。河砂长期经受流水冲洗, 颗粒形状较圆, 产地分布段广, 一般工程大量采用。山砂是从山谷或河床中采运而得, 颗粒多带棱角, 表面粗糙, 与水泥胶合力强, 但含泥量和含有机杂质较多, 使用时应加限制。海砂因含有氯盐, 对基础中的钢筋、底腿螺栓有锈蚀作用, 故输电线路工程不宜采用。

砂按细度模数 μ_t 分为: 粗砂, 3.7~3.1; 中砂, 3.0~2.3; 细砂, 2.2~1.6。

用于混凝土中的砂, 必须颗粒坚硬洁净, 含泥量不大于砂质量的 5%, 云母等其他杂质不应超过砂质量的 5%。砂的颗粒级配符合要求, 空隙率不得大于 40%, 越小越好。天然砂的相对密度在 2.5~2.75 之间, 砂的单位体积质量一般为 1400~1500 kg/m³。

在砂子用量相同的情况下, 如果砂子过粗, 砂子表面积总量就小, 所需用胶合表面的水泥用量也少, 但拌出的混凝土拌合物黏聚性较差, 易产生离析泌水现象。如果砂子过细, 砂的总表面积就较大, 拌出的混凝土拌合物黏聚性较好, 不易产生离析泌水现象, 但需要包围在砂子表面的水泥浆增多, 因而多耗费水泥, 一般认为细度模数在 2.6~2.7 时最好。用于混凝土的砂, 平均粒径不可小于 0.25mm; 低于 C10 混凝土可采用细砂, 但平均粒径不得小于 0.20mm。

(3) 石。石是混凝土中粗骨料。普通粗骨料一般分为碎石和卵石两种。由天然岩石或卵石经破碎筛分而得的粒径大于 5mm 的岩石颗粒, 称为碎石; 由自然条件作用而形成的粒径大于 5mm 的颗粒, 称为卵石。由于碎石是轧制而成的, 一般含泥量和杂质较少, 而且颗粒富有棱角, 表面粗糙, 与水泥砂浆黏结力较强, 故一般混凝土工程大量采用。

不论碎石还是卵石, 按粒径可分为: 细石 (平均粒径 5~20mm), 中石 (平均粒径 20~40mm), 粗石 (平均粒径 40~80mm)。

输电线路的钢筋混凝土基础一般采用中石, 无筋混凝土基础可采用粗石。混凝土中, 石子最大粒径不得大于浇灌部分结构断面最小边长的 1/4。在钢筋混凝土中, 石子最大粒径不得大于钢筋间最小净距离。混凝土用的石子以坚硬带棱角、清洁为好, 石子的强度大于混凝土强度。石子中针、片状颗粒含量, 有害物含量及含泥量要小于规定值。石子的颗粒级配符合要求, 空隙率不超过 45%。

粗细骨料约占混凝土原材料 70%, 骨料的质量对混凝土质量的影响很大。配制高质量混凝土必须用高质量、高强度、物理化学性能稳定、不含有机杂质及盐类的粗细骨料。

(4) 水。水是混凝土的主要成分之一, 水质不纯会影响水泥的硬化以及混凝土强度的发展, 并对钢筋产生锈蚀作用。为了保证混凝土的质量, 拌制混凝土宜用饮用水。当无饮用水时, 可采用河水或清洁的池塘水。除设计有特殊要求外, 可只进行外观检查不做化验。水中不得含有油脂, 其上游地亦无有害化合物流入, 有怀疑时应进行化验。另外, 不得使用海水