

职工大学教材



# 输电线路施工与检修

西北电业职工大学 王文源 编



## 内 容 提 要

本书系统地介绍了35~500kV高压输电线路施工中的常用施工工序及施工技术设计计算方法。全书共分五章,内容包括:基础工程;杆塔组立;架线工程;收尾工程及线路检修。

本书是按能源部电业职工大学输电工程专业的《输电线路施工与检修》课程教学大纲要求而编写,作为职工大学输电工程专业的专业课教材。也可供从事输电工程的有关技术人员参考。

职工大学教材

输电线路施工与检修

西北电业职工大学 王文源 编

\*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 15印张 338千字

1990年10月第一版 1990年10月北京第一次印刷

印数 0001—2090册

ISBN 7-120-01143-X/TM·342

定价7.00元

## 前 言

本书原为西北电业职工大学输电专业的油印教材，此次出版根据五年来的试用情况及技术发展，作了较大的修改，以使内容更精炼、实用，符合教学要求，并与我国目前的施工检修技术水平相适应。

书中内容力求切合实际，所有例题、习题都取材于实践，通过学习，使学员能初步掌握输电线路施工的方法和施工设计计算方面的一些基本知识。因此，本书除适用于输电专业的教学外，还可作为从事输电专业的有关技术人员参考。

本书由西北电业管理局相作民、陕西省送变电公司白志周二位高级工程师主审。在编写过程中得到超高压输变电建设公司吴九龄，湖北电力三处黄建华，北京送变电公司谢景元、张玉华，山西送变电公司王志源，陕西省送变电公司王安民，山东送变电公司郝允昭，湖南长沙电业局柏克寒等工程师及李瑞祥老师的大力协助，他们为本书的编写提供了大量资料。成都职工大学的兼职教师刘其华工程师也为本书的改编提了改进意见，我校电力系还组织几位老师为本书及时绘制了图稿，在此，编者均表示衷心的感谢。书中目录标有\*号的部分为自学内容。

因课时限制，分坑测量内容划入《测量课》；计算机应用列入《算法语言课》；工具选择列入毕业设计；施工组织设计列入《企业管理课》，所以本书未予论述。

由于本人水平有限，书中错误定有不少，殷切希望各校输电专业师生和读者批评指正。

编 者

1989年4月

# 目 录

## 前 言

第一章 基础工程	1
1-1 基础的挖掘	1
1-2 混凝土及其配制	11
*1-3 现浇混凝土基础施工	18
*1-4 装配式基础施工	24
1-5 钻孔灌注桩基础的施工	27
1-6 岩石基础的施工	33
复习思考题	37
习题	38
第二章 杆塔组立	39
2-1 钢筋混凝土杆的整体组立	39
2-2 钢筋混凝土杆的单吊施工	63
2-3 铁塔的整体组立	70
2-4 外拉线抱杆组塔	81
2-5 内拉线抱杆组塔	86
2-6 内摇臂抱杆组塔	97
2-7 倒装组立铁塔	115
复习思考题	128
习题	129
第三章 架线施工	132
3-1 拖地展放导线	132
3-2 跨江河放线	137
3-3 带电跨越放线	140
3-4 张力放线	149
3-5 导、地线的连接	159
3-6 弛度的计算与观测	171
3-7 紧线	179
3-8 附件安装	191
3-9 地面划印架线	201
复习思考题	208
习题	210
第四章 收尾工程	214
复习思考题	215

<b>第五章 线路检修</b> .....	<b>216</b>
5-1 检修安全技术 .....	217
5-2 停电检修 .....	221
5-3 带电检修 .....	227
复习思考题 .....	232
习题 .....	233

# 第一章 基础工程

杆塔埋入地下的部分为基础，基础的作用是保证杆塔在运行中不发生下沉，或在受外力作用时不发生倾倒或变形。目前钢筋混凝土杆基础组成部分已定型为底盘、卡盘、拉盘，个别跨河杆及流砂地带用桩式基础。铁塔基础由于线路所经地区地质情况及塔型种类较为复杂，故种类也较多，一般有：

- (1) 现场浇制混凝土基础及钢筋混凝土基础；
- (2) 装配式基础，分金属构件和混凝土预制构件两种；
- (3) 桩式基础，分深桩基础和浅桩基础。深桩基础用于跨越江河，建立在河滩或河床内；浅桩基础用于地质条件较差的流砂、沼泽、泥水地带，其桩长一般为4~10m；
- (4) 岩石基础，就是把地脚螺丝直接锚固于岩石孔内，凭着岩石本身、岩石与砂浆间和砂浆与地脚螺丝间粘结力，承受上部结构传来的外力，以保持杆塔的稳定。

基础的受力分上拔力、下压力和倾覆力三种。基础施工质量的好坏，对线路的安全运行关系极大。过去由于基础混凝土断裂、地基下沉、滑坡、基础积水、冲刷、底拉卡盘安装不当等，而造成的倒杆塔事故，屡见不鲜。由于基础出问题而引起的事故，一般处理起来耗时较长，难度较大，对国民经济所造成的损失很大。因此，保证基础施工质量，非常重要，万万不可粗心大意。

## 1-1 基础的挖掘

除桩式基础及岩石基础外，钢筋混凝土杆基础、现浇混凝土基础和装配式基础，在安装前都要进行基坑的开挖。

基坑开挖的方法随杆塔所处地区的土壤地质情况而异，我国目前除个别钢筋混凝土杆基坑用机械开挖外，多用人力挖掘。现根据粘土坑、水坑、流砂坑、石坑的土质状况分别加以叙述。

基坑开挖时，要保护好分坑时所钉的辅助桩，特别是中心桩。如在基坑开挖中原钉桩要受到干扰，则应移至不受干扰位置，即增钉辅助桩。

挖坑时如发现地土质与原设计不符，或坑底发现天然孔洞、古墓、管道等，应及时通知设计及有关单位来研究处理。

### 一、土坑的开挖

混凝土杆的坑深应为杆身有效埋深加底盘的厚度，坑底尺寸应为底盘边长加20cm，杆坑还应挖马槽，以利杆的安全起立。

铁塔基础坑深按设计，坑底尺寸应为基础边长加20cm，以利模板的支设。

不用挡土板挖坑时，坑壁应留有适当坡度。坡度大小与土质特性、地下水位、挖掘深

度等因素有关。

为了充分利用原状土，提高基础抗拔能力，在基础地处良好土质的情况下，可以进行人工掏挖成形，成形后将钢筋笼放入，不需要立模板就可浇制混凝土而成基础，它的优点是节约木材，缩短工期，冬季施工也便于养护。

为了保证掏挖时人身的安全和提高掏挖的效率，甘肃送变电公司采用了钻扩机，图1-1-1为该机的示意图。

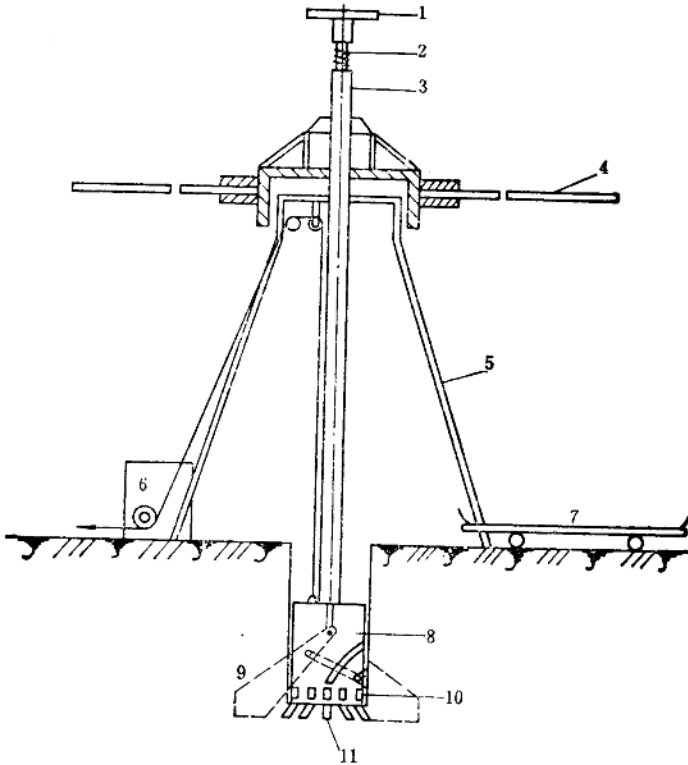


图 1-1-1 钻扩机机构示意

1—手轮；2—内钻杆；3—外钻杆；4—推杠；5—机架；6—机动绞磨；7—出土小车；8—取土筒；  
9—扩孔刀；10—侧切土刀；11—下切土刀

该装置由机架5，内外钻杆2、3，取土筒8、扩孔刀9等部件组成。机架5用于钻杆定位，并通过架顶的滑车提升取土筒8；外钻杆3用于传递扭转力矩，驱动取土筒转动，内钻杆2用于控制扩孔刀9的张合，内钻杆顶端有丝杠与固定于外钻杆的螺母配合，拧丝杠就可使内钻杆上下移动，带动扩孔刀逐步张开。

取土筒8下端有切土刀，可削土并将土铲入桶内。扩孔刀在筒内与内钻杆2相连，反转手轮时丝杠上行，扩孔刀即缩进取土筒内。取土筒上侧有吊环，可与钢丝绳相连，以提升和降落取土筒，取土筒还与外钻杆相连，以在提升和降落时导向，并在削土时传递转矩。取土筒下侧面有活门，以便卸土。扩孔时，取土筒底部应另外加上扩孔支撑板，以停

止向下钻削。

该机具可用于施工深 4 m，钻扩处坑径 ≤ 3 倍坑口直径的钻扩桩基础。

## 二、泥水、流砂坑的开挖

开挖底面低于地下水位的基坑时，地下水会不断渗入坑内，该地下水如不及时排走，不但使基础开挖困难，还可能造成坑壁坍塌，使施工无法进行。

基坑排水的方法，可分为明排水法和暗排水法两类：

### (一) 明排水法

明排水法是在基坑开挖过程中，在坑底设置集水井，由人力，手压水泵或机动水泵将水排至坑外。现将明排水法所用抽水设备及施工方法介绍于下。

#### 1. 抽水设备

要求抽水设备的排水量一般应为基坑涌水量的 1.5 至 2 倍，因此当涌水量小于  $10\text{m}^3/\text{h}$  而大于  $0.5\text{m}^3/\text{h}$  时，用手压水泵；当涌水量大于  $10\text{m}^3/\text{h}$  时，应用机动水泵。

#### 2. 涌水量的计算

涌水量可用式 (1-1-1) 估算：

$$Q = q \cdot F \quad (1-1-1)$$

式中  $q$  —— 基坑单位面积每小时的涌水量， $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ，其值可参考表 1-1-1 的  $q$  值；

$F$  —— 基坑底面积， $\text{m}^2$ 。

### 3. 明排水时基坑的开挖

明排水时基坑的开挖，过去均用挡土板法，现在采用铁沉箱法、混凝土护筒法及混凝土沉井法，现分述于下：

(1) 铁沉箱法 沉箱用 3 ~ 4 mm 厚的钢板焊接而成。沉箱的尺寸应比基础底盘大 100 ~ 400 mm，铁沉箱的安装可利用人字

小抱杆，沉箱进入基坑后，可沿沉箱四周挖掘，一般不需要另外加力，借助沉箱自重就能下沉。

(2) 混凝土护筒法 护筒的大小，主要要求是强度上保证安全，下筒挖掘方便，基础构件能放在护筒内，使用护筒节数依据地质情况及坑深而定。

护筒的安装与使用，与铁沉箱法基本相似。需使用两节以上护筒时，必须等前一节护筒已下到与地相平时，再按企口来对接第二节护筒。在地下水浅、流砂严重地带，为防砂粒被水带入管内，在开挖前，先在护筒周围堆上一定数量的小石子。开挖后，随着护筒的下沉，石子也跟着下沉，使护筒下端外围约 0.5 m 厚的范围被石子占据，这样，石子可起到隔砂作用，使砂涌现象大大减少。

(3) 混凝土沉井法 混凝土沉井的构造，如图 1-1-2 所示，它由井筒 1 和刃脚 2 组成。井筒在施工过程中是挡砂土的围壁，同时也是基础的一部分，因此沉井井筒的尺寸应与基础最下层台阶长宽一致，其高度根据基础深度和地下水水位高度确定，可略低于地下水水位。刃脚在井筒的最下端，形成刀刃，在下沉时起切到土中作用，有利于沉井的下沉，刃

土 壤 性 质	$q(\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2)$
细 砂	0.16
中 砂	0.24
粗 砂	2.00



脚内侧的斜面倾角为 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。

沉井的自重应能克服土壤对井壁的摩擦力，即

$$G \geq (1.15 \sim 1.25) R_f \quad (\text{kN}) \quad (1-1-2)$$

$$R_f = U \cdot H \cdot f \quad (1-1-3)$$

式中  $R_f$ ——总摩擦阻力，kN；

$U$ ——沉井的周长，m；

$H$ ——沉井入土部分高度，m；

$f$ ——土对井壁的单位摩擦力，kN/

$\text{m}^2$ ，按实际资料或参考表1-1-2取用。

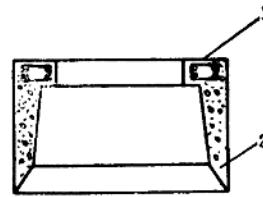
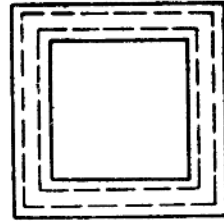


图 1-1-2 混凝土沉井

1—井筒；2—刃脚

表 1-1-2 土对井壁的单位摩擦力

土壤类别		摩擦力 $f$ (kN/m <sup>2</sup> )
砂	土	12~25
软	土	10~12
粘	土	25~50
卵	石	15~30

沉井的制作有地面制作和地下制作两种。当制作好的沉井其混凝土强度达到设计要求的70%时，即可就位下挖，挖土要对称均匀，不得偏挖，使井垂直徐徐下沉，直到基础设计的深度。

开挖中及浇灌混凝土前，如有地下水渗入，应不停地抽水，直至封底结束，将地下水封死为止。然后支模浇灌。

## (二) 暗排水法

暗排水法常用井点排水法，即在基坑的周围埋设深于坑底的井点滤水管或管井，以总管连接抽水，使地下水位降低。

井点排水法又分轻型井点法、管井井点法、电渗井点法等，可根据土层渗透情况，要求降低水位深度及设备条件等条件选用。其中轻型井点应用最广，下面将重点介绍。

轻型井点法就是沿基坑的四周将许多直径较细的井点管沉入地下蓄水层进行抽水，从而使地下水位得到降低，如图1-1-3所示。

井点管1由尖端的滤管2，上部钢管和连接的管箍组成，滤管粗 $38\sim 50\text{mm}$ ，长 $1\sim 1.5\text{m}$ ，上部钢管粗细与滤管同，长度根据需要而定。

井点管通过透明的塑料管，与带阀门的弯接管3连接起来，总管4宜选用直径为 $100\sim 127\text{mm}$ 的钢管，分节连接，每节长 $4\text{m}$ ，每隔 $0.8\sim 1.6\text{m}$ 设一个井点连接管接头。

井点布置：一般根据基坑的大小、土质、地下水的流向和降低地下水的深度要求而定，通常采用环形布置，井点管距基坑边缘不应小于 $0.8\sim 1.5\text{m}$ ，其入土深度应比基坑底深 $0.9\sim 1.2\text{m}$ 。井点法的总涌水量应为各单井涌水量之和，其值应小于水泵的排水量。

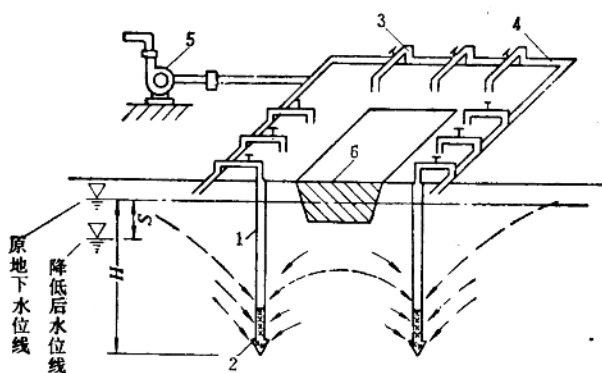


图 1-1-3 轻型井点法

1—井点管；2—滤管；3—弯接管；4—总管；5—水泵；6—基坑

抽水设备根据华东送变电公司的经验，选择QJD-60轻型井点水喷射泵较好。该泵所需动力7.5kW，排水量60m<sup>3</sup>/h，抽吸深度9.6m，很适于一般线路基础施工用。

单井涌水量的计算推荐采用式(1-1-4)。

$$Q = 1.366K \frac{(2H-S)S}{\lg R - \lg x} \quad (\text{m}^3/\text{d}) \quad (1-1-4)$$

式中  $H$ ——潜水面至井管底的距离，m；

$S$ ——水位降低数值，m；

$R$ ——抽水影响半径， $R = 1.95S\sqrt{K \cdot H}$ ，m；

$K$ ——渗透系数，m/d，其值可参见表1-1-3；

$x$ ——井点环形布置的假想半径， $x = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$ ，m；

$F$ ——环形井点包围的面积，m<sup>2</sup>。

表 1-1-3 渗透系数表

土的类别	亚粘土	亚砂土	含土粉砂	细砂	中砂
$K(\text{m/d})$	小于0.1	0.1~0.5	0.5~1	10~15	20~25

### 三、岩石坑的开挖

#### (一) 爆破基本概念

##### 1. 爆破用的器材

(1) 炸药 炸药的特点是化学反应快，在极短时间内能产生大量的热，生成大量的高压气体。例如1kg硝铵炸药，完成反应的时间只有 $3 \times 10^{-5}$ s，它的功率可达到 $22 \times 10^4$ kW，产生的热量达4200kJ，温度可达2000~3000℃，爆炸时能产生0.9m<sup>3</sup>的气体，约 $1 \times 10^4$ MPa的压力。

在线路施工中常用的炸药有：

1) 硝酸铵：为白色砂状结晶粉，对撞击和摩擦敏感性很低，火与火花不能使其燃烧，易溶于水，吸湿性大，具有粘接性和潮解性，湿度超过3%就不能爆炸，需要加工干燥后才能使用，所以在潮湿的地方使用时，需有防潮措施。

2) 国产2号岩石炸药：呈白色或稍带黄色粉状物，它的成分是硝酸铵85%，梯恩梯11%，木粉4%。它对火花不起作用，撞击敏感性很低，因此较偏于安全，易溶于水，潮结性大，吸湿后粉结成块而使炸药威力降低。用前应干燥并重新粉碎。

3) 硝化甘油：胶质状炸药，硝化甘油含量在35%以上，颜色呈半透明淡黄色；对撞击和摩擦敏感度高，将药筒弯曲或轻微挤压即能爆炸；火与火花可以点燃，不溶于水，可在水中爆炸。凝固点在8~10℃，挥发点50℃，无论在冻结、半冻结及熔化状态，敏感度都很高。因此在使用中应特别注意安全。

4) 三硝基甲苯：又名梯恩梯，为淡黄色粉状或黑褐色片状固体，对撞击摩擦敏感性不大，即使子弹穿过炸药也不会爆炸，不溶于水，可在水中爆炸。

5) 黑色火药：呈黑色具有光泽的小颗粒，由硝酸钾、硫磺、木炭等物质组成，对火花、撞击、摩擦敏感度很高，故在运输中要特别小心，吸湿性高，吸湿后威力降低，甚至不起作用。用雷管起爆，也可用导火索直接起爆。

爆破同一基坑，所需炸药量随炸药的种类不同而变，不同炸药量用与2号岩石炸药用量的比值可用换算系数 $e$ 来表示。

表 1-1-4 各种炸药的换算系数表

序号	炸药种类	换算系数 $e$
1	硝酸铵	1.35
2	国产2号岩石炸药	1.00
3	62%硝化甘油	0.75
4	三硝基甲苯	0.86
5	黑色火药	1.70

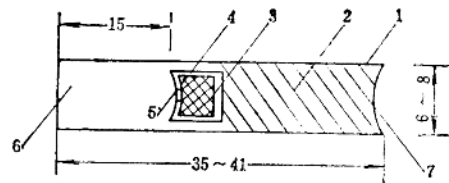


图 1-1-4 火雷管的构造

1—雷管壳；2—副装药；3—正装药；4—加强帽；  
5—帽孔；6—空壳；7—窝槽

(2) 雷管 雷管按起爆方式分火雷管和电雷管；按管壳材料分铜壳、铝壳、纸壳雷管；按起爆炸药量的多少分10种号码，通常使用的是6号或8号纸壳火雷管及电雷管。6号装药量相当于雷汞1g，8号装药量相当于雷汞2g。

1) 火雷管：其构造见图1-1-4。一般雷管中的正起爆药为雷汞或迭氮铅，副起爆药为三硝基苯硝铵。装正装药3的加强帽4，8号火雷管用铜做成，帽孔为2mm，当导火索的药芯火焰从帽孔进入引爆敏感度很高的正装药区，使正装药起爆，正装药3又引爆威力较大的副装药2，继而引起药包爆炸。

2) 电雷管：电雷管的构造是由火雷管和电气引火器组成。电气引火器由绝缘导线、裸导线、桥线（即电热丝）和球形发火剂组成。电雷管分即发电雷管和迟发电雷管，其工作原理如下。当电气引火器2和加强帽5相接触时，只要有340~1000 $\mu$ A的电流通过，就

立即爆炸。图1-1-5 (b) 为迟发电雷管，电气引火器 2 和加强帽 5 间装有缓燃剂，可延缓引爆时间 2 ~ 15ms，这对串联引爆提高了可靠性。

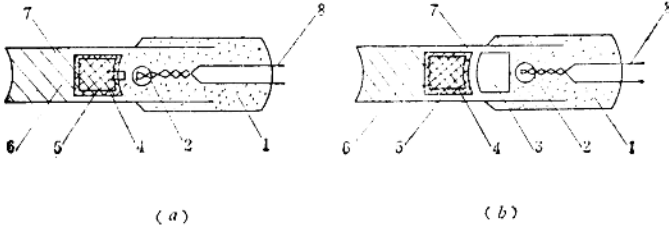


图 1-1-5 电雷管构造

(a) 即发电雷管；(b) 迟发电雷管

1—密封胶和防潮涂料；2—电气引火器；3—缓燃剂；4—正装药；5—加强帽；6—副装药；7—管壳；8—脚线

(3) 导火索 它是用来起爆火雷管和黑火药的起爆材料，它用黑火药做药芯，用麻、纸和线做表皮，并涂有防潮剂，燃点后将火星传到火雷管引爆。正常燃速约为 10mm/s，另有缓燃导火索，燃速为 5mm/s。

(4) 导爆索 它中心是带白色的黑索金的炸药，外包防水外皮，用雷管引爆，传爆极快，沿导爆索全长产生的冲击波向四周介质传播。它受用于爆扩桩基础的第一次扩孔，即用钎子打眼后用导爆索扩孔，在多桩同时起爆时，传爆迅速可靠。

## 2. 爆破漏斗

埋置在地面下的药包爆炸后，使介质形成漏斗形状的爆破坑，虽然坑的形状随岩石土壤性质的不同，炸药品种的不同而有差异，但一般都认为倒立圆锥体形是接近实际情况的。

图1-1-6是理想的爆破坑，称为爆破漏斗。O为炸药中心，ML表示爆破的临空面，ON为从炸药中心到临空面的垂直距离，叫做最小抵抗线，以W表示。r表示倒立圆锥体上周口的半径，也叫漏斗半径。

爆破漏斗的大小，通常以爆破作用指数 n 来表示：

$$n = \frac{r}{W} \quad (1-1-5)$$

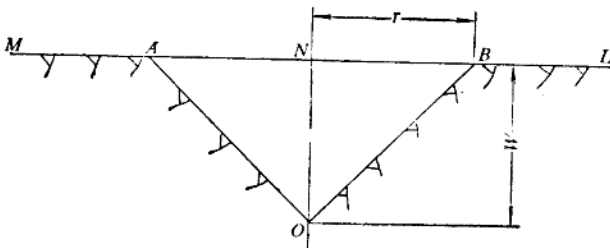


图 1-1-6 爆破漏斗

爆破作用指数  $n$  是个重要参数, 当  $n = 1$  时, 称为标准抛掷爆破, 其爆破漏斗叫标准抛掷漏斗。  $n > 1$  时, 叫加强抛掷爆破, 其漏斗叫加强爆破漏斗。  $n < 1$  时, 叫减弱抛掷漏斗。

实际上  $n$  是用来计算药包量、抛掷百分数、药包间的距离及漏斗的可见深度的。

### 3. 药包药量计算

(1) 药包的分类 按药包形状, 分为集中药包和延长药包。集中药包有球体圆柱体等, 按药包爆破作用分为: 内部作用药包、松动药包、抛掷药包和裸露药包。内部作用药包是在岩石内部爆破, 且其破坏作用仅限于介质内部, 而不显露到表面。松动药包是药包的作用, 只能使介质从内部破坏到临空面, 且破碎的介质块体不产生抛掷运动, 仅在原来的位置附近有一定的隆起。抛掷药包是爆破作用不但从介质内部破坏到临空面, 而且破碎介质块体还产生抛掷运动, 抛掷到一定距离。裸露药包是放置在介质临空面上的药包, 可使岩石破碎或飞移。

在送电线路施工中一般规定: 对基面爆破, 当在荒野及距公路、电力线、通信线和房屋在300m以外时, 方可采用抛掷爆破; 在100m~300m范围只能采用松动爆破; 在100m以内, 除采用松动爆破外, 还应在炮眼上盖以草、木保护, 且每次只准点一个炮眼。但对岩石基础坑只许按松动爆破控制药量。(或按图1-1-10、11设置防震炮眼)。

(2) 药包量计算 计算药包量的通用公式为:

$$Q = q \cdot W^3 (0.4 + 0.6n^3) \cdot e \quad (\text{kg}) \quad (1-1-6)$$

式中  $q$  ——单位岩石炸药消耗量, 其值见表1-1-5,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$W$  ——从药包中心到临空面的距离, 又叫最小抵抗线,  $\text{m}$ ;

$n$  ——爆破作用指数;

$e$  ——炸药换算系数, 其值见表1-1-4。

当标准抛掷爆破时

$$Q = q \cdot W^3 \cdot e \quad (\text{kg}) \quad (1-1-7)$$

当松动爆破时

$$Q' = \frac{1}{3} Q = 0.33q \cdot W^3 \cdot e \quad (\text{kg}) \quad (1-1-8)$$

当采用如图1-1-7之梯段药壶法进行基面的松动爆破时, 则每孔的装药量

$$Q' = 0.33q \cdot a \cdot H \cdot W \quad (\text{kg}) \quad (1-1-9)$$

式中  $a$  ——梯段多孔药壶法爆破时, 孔间距离  $a = 0.67 \sim 0.81 - 1$ ,  $\text{m}$ ;

$H$  ——基面爆破时, 台阶高度,  $\text{m}$ 。

通常取  $W = (0.8 \sim 1) H$ 。

对很坚硬的岩石及裂隙很多的软岩, 因药室不易成形, 不宜采用药壶法爆破, 而宜采用延长药包直孔爆破。如果是开基面, 为了得到较好的爆破效果, 还应采用群药包齐发的拉槽爆破方式, 这时每孔的药包量为:

$$Q = q \cdot W \cdot a \cdot H \quad (\text{kg}) \quad (1-1-10)$$

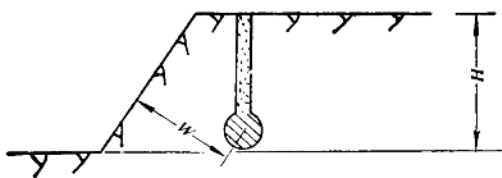


图 1-1-7 梯段药壶法爆破

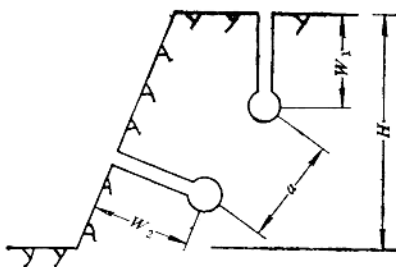


图 1-1-8 双层药壶法爆破

总药包量:

$$Q_{\Sigma} = \Sigma Q$$

对延长药包, 当药包与临空面平行时, 采用松动爆破计算药量, 当药包与临空面垂直时, 采用标准爆破计算药量, 炸药包  $W$  值应从药包的中心点计算起。

当在比较坚硬的岩石上, 采用如图 1-1-8 的双层药壶法爆破时, 则药包的孔间距

$$a = \frac{1}{2}(W_1 + W_2) \quad (1-1-11)$$

式中  $W_1$ 、 $W_2$ ——分别为上下层药室距临空面的距离, m。

【例 1-1-1】如在图 1-1-9 的  $30^\circ$  山坡上爆破一块高 9m、长 15.6m、宽 10m 的铁塔施工基面, 计划采用人工法打眼, 眼深 1.33m, 延长药包装于孔深  $\frac{1}{2}$  处, 岩石为云母石灰岩, 爆破作用指数为 1, 使用 2 号岩石炸药, 求每孔及总共需要炸药量?

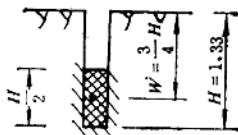
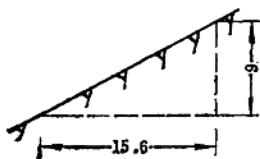


图 1-1-9 山坡处开基面爆破 (尺寸单位: m)

【解】

$$W = \frac{3}{4}H = \frac{3}{4} \times 1.33 = 1\text{m}$$

$$\begin{aligned} \text{根据式 (1-1-6) 每孔炸药量 } Q &= q \cdot W^3 (0.4 + 0.6n^3) \cdot e \\ &= 1.75 \times 1^3 \times (0.4 + 0.6 \times 1.0^3) \times 1 \\ &= 1.75\text{kg} \end{aligned}$$

孔距  $a = 0.75H = 0.75 \times 1.33 \approx 1\text{m}$ , 故需 9 个孔

排距  $b = a = 1\text{m}$ , 故需 14 排

层数  $= 9 \div H = 9 \div 1.33 \approx 7$  层

$$Q_{\Sigma} = \frac{1}{2} \times 9 \times 14 \times 7 \times Q = \frac{1}{2} \times 9 \times 14 \times 7 \times 1.75 = 772\text{kg}$$

## (二) 石坑爆破\*

石坑爆破施工顺序是：炮眼位置的选定、打眼、装药、填炮泥及起爆五个工序。

### 1. 炮眼位置的选定

当被开挖的基坑较小时，用如图1-1-10的梅花式炮眼，主炮眼1位于坑位中间，内填药包，如药多孔小，可在孔眼根部爆扩药室，四角的炮眼为防震炮眼2，此眼孔内不装填炸药，其目的是为了造成一个薄弱面，从而减轻对非开挖部分岩石的破坏，坑四周防震炮眼打得愈多，坑四周的断面愈整齐。

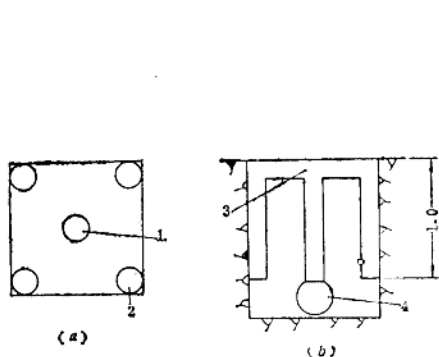


图 1-1-10 梅花式炮眼 (尺寸单位: m)

(a)俯视图; (b)侧视图

1—主炮眼; 2—防震炮眼; 3—导向坑; 4—药室

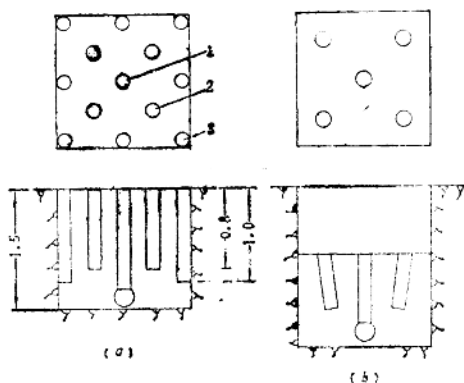


图 1-1-11 星罗式炮眼 (尺寸单位: m)

(a)第一层爆破时; (b)第二层爆破时

1—主炮眼; 2—副炮眼; 3—防震炮眼

当被开挖的基坑较大，且较深时，用图示1-1-11的星罗式炮眼，除中间有主炮眼1外，还有副炮眼2（装药量为主炮眼的40%），四周的防震炮眼3也比梅花式的多，如基坑较深可分多层爆破，如图1-1-11(b)所示。

表 1-1-5 不同岩石的单位岩石炸药消耗量

分 类	岩 石 种 类	q(kg/m <sup>3</sup> )
1	砂石土壤、腐植土、泥炭	0.5~0.9
2	黄土、软的盐土和碱土，15mm以下碎石带草根的密质腐植土，带有卵石，碎石杂物胶结成块的填土，以及工程垃圾混合物之土	0.6~1.1
3	肥熟粘土，其中包括粘土，水渍粘土，重壤土	0.9~1.3
4	重碎粘土，包括工程卵石，碎石，垃圾土	1.2~1.5
5	密质的坚硬黄土、坚硬的黄盐渍土，胶结工程垃圾，胶结力弱的碎石，不坚硬的页岩	1.5~1.65
6	火山灰岩和浮石，软而多孔裂缝的石灰岩及页岩	1.5~1.65
7	由石炭胶结成水质岩的砾岩，裂缝很大的风化页岩粘土	1.6~1.7
8	砂质花岗岩，粘土质砂岩，云母及泥炭质石灰岩	1.65~1.75
9	风化厉害软质花岗岩，片麻岩，正长岩	1.75~1.85
10	白云石、坚实石灰石，大理石，坚硬的砂质页岩	1.8~2.0

## 2. 打眼

打眼方法有人工及机械两种。机械打眼的工具多采用汽油凿岩机，炮孔深度一般为0.5~1.5m。

## 3. 装药

装药时将导火索剪到所需长度，一端插入雷管，并固定插牢，再将一小卷药包拆开一端将雷管插入，露出导火索，用细线将药卷口缠紧，即成一引火药卷。

往炮孔内装药时，应用木炮棍将药卷或散药送入炮孔中，不得使用金属棍。松动爆破时可把药装至孔深的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$ 处，抛掷爆破时，可把药装至孔深的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ 处。

如药量较大，则应先爆扩充药室，扩充药室的装药量为 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}Q$ ，扩充药室一般采用炸胀法，即将炸药装入炮眼底部后，药孔不加堵塞，当炸药起爆后即可形成药室。雷管安装的位置应放在炸药的中部或底部。

## 4. 填塞炮泥

炮眼内炸药装好后，其余空隙部分用炮泥填起来。对炮泥的要求是与炮眼壁摩擦作用大，能结成一个整体，充填时易密实，不漏气。炮泥可用一份粘土，二份粗砂及适量水泥合成，炮泥要分层装入炮眼内，第一层20cm可轻轻压实，以后各层可用木棍捣实，直至填满为止。

在填充炮泥过程中要注意保护导火索不致折断、碰破。如用电起爆时，要保证导线绝缘良好。

## 5. 起爆

起爆方法主要根据雷管种类来决定。当用火雷管时，用火点燃导火索起爆。点燃前先将导火索线头的药心用手捻散后，再点燃起爆，导火索的燃烧长度应保证起爆人员安全离开危险区。当采用电雷管时，应用电池进行起爆。起爆线路的连接，可用串联、并联和混联电路。一般采用串联方法，这种方法敷设简单，检查容易，如遇个别雷管断路，易及时发现，预防瞎炮。

在爆破施工中，为了使起爆人员迅速离开危险区，进入安全区或隐蔽所，起爆都需要有一定时间。安全区大小一般按飞石距离来决定。飞石距离可按式(1-1-12)计算：

$$\rho = 20n^2 \cdot W \quad (\text{m}) \quad (1-1-12)$$

式中  $n$  —— 爆破作用指数；

$W$  —— 最小抵抗线距离，m。

为保证绝对安全，式(1-1-12)计算结果应乘以系数3至4，才是安全区半径。

## 1-2 混凝土及其配制

### 一、混凝土所用材料

#### (一) 水泥

普通水泥是由硅酸盐水泥熟料，加入适量石膏等材料，磨细制成的水硬性胶凝材料。



水泥中加入适量的水调成水泥浆后，经过约45min时间，由于本身物理化学变化，会逐渐变稠，失去塑性，称初凝；又经约12h开始胶结成固体状态，具有一定强度时，称终凝；终凝后强度继续增长，称硬化。

水泥的硬化过程，也就是水泥颗粒与水作用的过程。

水泥的标号说明水泥强度的大小，标号的确定是以1:2.5重量比的标准稠度砂浆及40%~46%的水，制成长×宽×高为4×4×16cm立方体，以标准方式捣固，在温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度不低于90%的条件下养护28d后做抗压试验，所得的最小抗压强度。例如，极限抗压强度为 $31.9\text{MPa}$  ( $325\text{kgf/cm}^2$ )，就定为31.9#，即旧标号325#，杆塔基础用水泥一般约为27#、31.9#、41.7#（即旧标号275#、325#、425#）。硅酸盐水泥比重 $3\sim 3.2\text{t/m}^3$ ，松散时单位容重为 $1.1\sim 1.3\text{t/m}^3$ 。

## (二) 砂

按平均颗粒粗细可分为粗砂（平均粒径不小于 $0.5\text{mm}$ ），中砂（平均粒径不小于 $0.35\text{mm}$ ），细砂（平均粒径不小于 $0.25\text{mm}$ ）三种。

砂粒粗则单位体积砂粒的总表面积较小，因此，需要用来胶合的水泥量亦可较少。混凝土所用的砂，以粗、中砂为佳，不得已时才用细砂。

用于混凝土的砂，必须颗粒坚硬洁净，不洁净的砂要先用清水洗净。若砂中含有杂质（如粘土、泥灰等），会使混凝土强度降低。

同一种类的砂，单位体积的重量，即容重愈大，它的空隙率就愈小。

$$\text{空隙率} = \left( 1 - \frac{\text{容重}}{\text{比重}} \right) \times 100\%$$

砂的实体比重在 $2.5\sim 2.7\text{t/m}^3$ 之间。

天然砂比重不得低于 $1.4\sim 1.55\text{t/m}^3$ ，即空隙率应小于40%。

## (三) 石

石子有碎石和卵石两种，碎石、卵石按粒径又分为粗、中、细三种。

粗卵、碎石 平均粒径为 $40\sim 80\text{mm}$

中卵、碎石 平均粒径为 $20\sim 40\text{mm}$

细卵、碎石 平均粒径为 $5\sim 20\text{mm}$

钢筋混凝土中，一般采用中卵碎石，无筋混凝土中采用粗卵碎石。石子空隙率不得超过45%。

为了便于浇灌，混凝土中的石子最大粒径不得大于浇灌部分断面最小边长的 $\frac{1}{4}$ ；在钢筋混凝土中，石子最大粒径不得大于钢筋间的最小净距离。石子的比重一般在 $2.6\sim 2.8\text{t/m}^3$ ，而石子的容重取决于堆积的紧密程度以及颗粒形状的大小和分布，其值在 $1.45\sim 2.0\text{t/m}^3$ ，分散性很大，一般应根据本地区的情况实测而定。

## (四) 水

拌制用水必须清洁，不得含有泥土、杂草和酸、碱、油、糖等物质，适用于饮用的水均可使用。