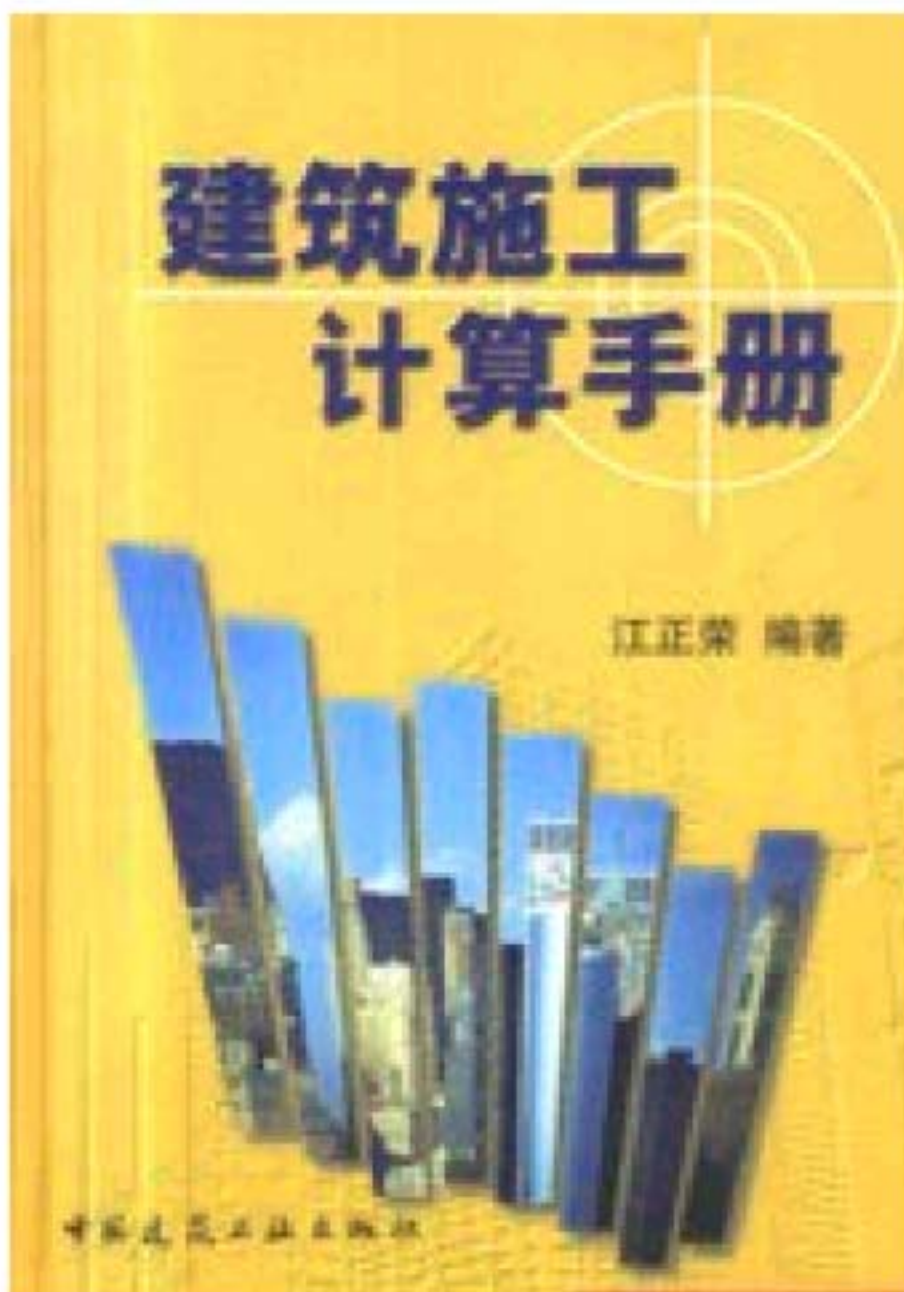


# 建筑施工计算手册

江正荣



中国建筑工业出版社

## 2 爆 破 工 程

### 2.1 爆破基本原理和爆破作用指数计算

药包在具有一个临空面的土石体内爆破，使土石受到各种不同程度的破坏，在其影响范围内形成压缩圈、抛掷圈、松动圈和振动圈，如图 2-1a 所示。

当抛掷半径  $R$  达到或超过临空面时，土石被炸成碎块，并抛散在周围地面上，形成一个倒立圆锥体形状的爆破坑，称为爆破漏斗，如图 2-1b 所示。图中  $O$  为药包中心， $ON$  为最小抵抗线， $r$  为爆破漏斗上口半径， $R$  为抛掷半径， $mol$  包围部分称抛掷漏斗（一般称爆破漏斗）， $mol$  与  $MOL$  所包围部分称破坏漏斗。

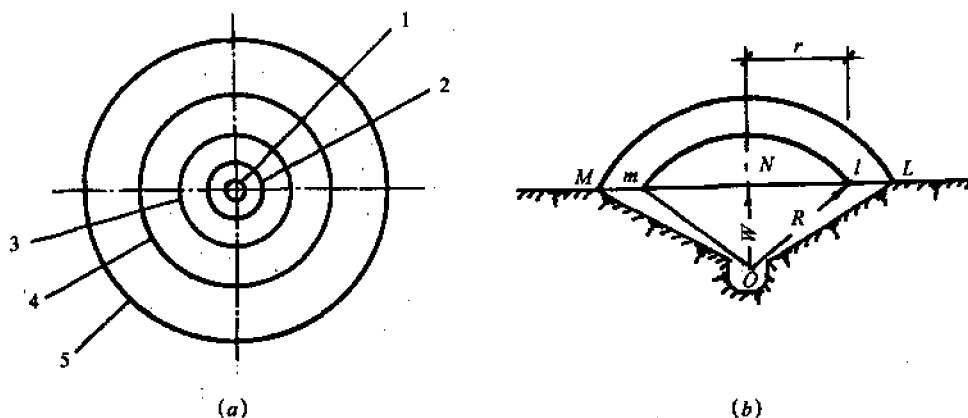


图 2-1 爆破作用圈与爆破漏斗

(a) 爆破作用圈；(b) 爆破漏斗

1—药包；2—压缩圈；3—抛掷圈；4—松动圈；5—振动圈；

$W$ —最小抵抗线； $r$ —爆破漏斗半径； $R$ —爆破作用半径

爆破漏斗的形状随岩土的性质、炸药的品种性能和药包大小及药包埋置深度等不同而变化，其大小和抛掷岩土碎块的多少，以爆破作用指数  $n$  来表示，按下式计算：

$$n = \frac{r}{W} \quad (2-1)$$

式中  $W$ ——最小抵抗线 (m)；

$r$ ——漏斗半径 (m)。

一般用爆破作用指数  $n$  来区分不同爆破漏斗，划分不同爆破类型，当  $n=1$  时（图 2-

2a), 称为标准抛掷爆破漏斗; 当  $0.75 < n < 1$  时 (图 2-2b), 称为减弱抛掷爆破漏斗; 当  $n > 1$  时 (图 2-2c), 称为加强抛掷爆破漏斗; 当  $n \leq 0.75$  时 (图 2-2d), 称为松动爆破漏斗; 当  $n \leq 0.2$  时, 称裸露爆破漏斗。

$n$  是计算药包量、决定漏斗大小和药包距离的重要参数。

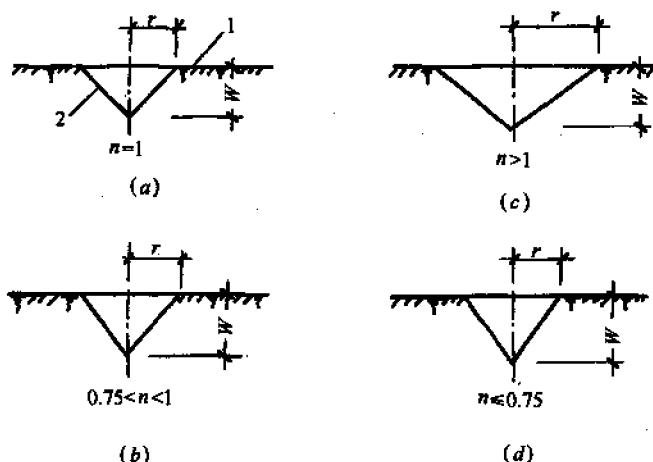


图 2-2 爆破漏斗类型

(a) 标准抛掷爆破漏斗; (b) 减弱抛掷爆破漏斗; (c) 加强抛掷爆破漏斗; (d) 松动爆破漏斗

1—临空面; 2—漏斗

W—最小抵抗线; r—漏斗半径; n—爆破作用指数

## 2.2 药包及药包用量计算

### 一、药包分类

药包系指放置在被爆破体内部或表面, 准备进行爆破的一定数量的炸药。一般药包可按其形状或爆破作用来分类。

按形状分类, 药包分为集中药包和延长药包两种。凡形状为球形, 其高度不超过直径的四倍的圆柱形或最长边不超过短边四倍的直角六面体药包, 均为集中药包; 如药包的形状已超过上述规定限度的药包, 则为延长药包。

按炸药的爆破作用分类, 药包分为内部作用药包、松动药包、抛掷药包、裸露药包四种。

内部作用药包是当药包在被爆破体内部爆破时, 破坏作用仅限于被爆破体内部的压缩, 而不显露到被爆破体表面 (临空面) 上, 如图 2-3a。当破坏范围刚好达到临空面时, 称作最大内部作用药包。

松动药包是破坏作用只从被爆破体内部破坏到临空面, 破碎块体并不产生抛掷运动, 仅在临空面有一定的松动和突起 (图 2-3b) 或较小的移动。当爆破作用使破碎部分成为直角倒立圆锥体时 (即破坏漏斗半径  $r$  等于最小抵抗线  $W$ , 即  $n = 1$ ), 又称标准破碎药包。

抛掷药包的爆破作用与松动药包相同, 但爆破后, 被炸碎的岩土突破临空面部分或全

部抛散在其周围, 地面形成一漏斗形爆破坑 (图 2-3c)。如果最后形成的漏斗是标准抛掷漏斗 (即  $n=1$ ), 称为标准爆破药包。如果为减弱抛掷爆破漏斗 (即  $n<1$ ), 称为减弱抛掷药包。如果为加强抛掷爆破漏斗 (即  $n>1$ ), 称作加强抛掷药包。

裸露药包系指放在被爆体表面或裂隙部位或浅穴内的药包, 其爆破作用仅使岩石表面破碎或飞移。

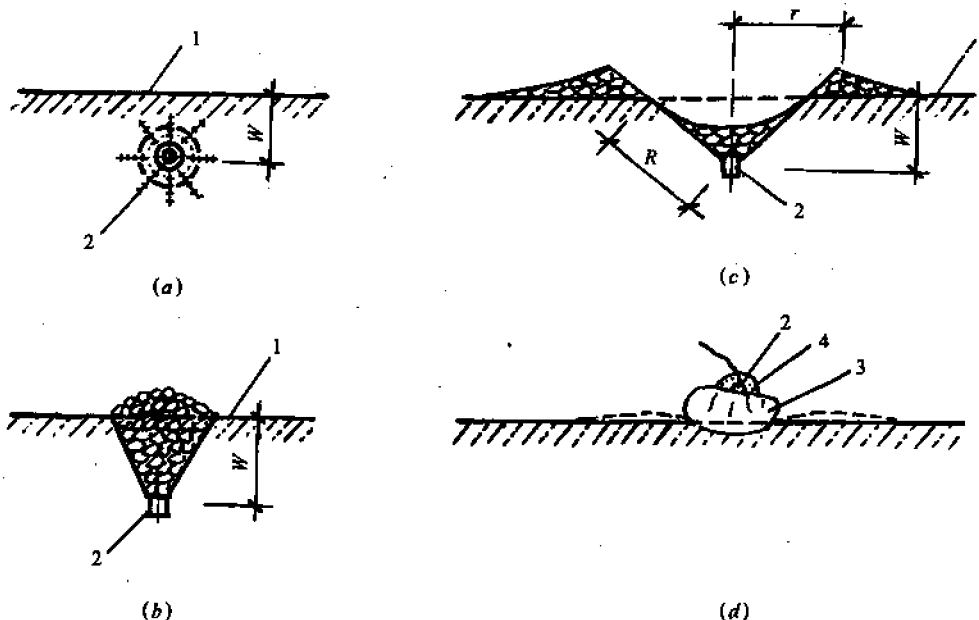


图 2-3 药包作用分类

(a) 内部作用药包; (b) 松动药包; (c) 抛掷药包; (d) 裸露药包  
1—临空面; 2—药包; 3—被爆破的物体; 4—覆盖物 (砂或粘土)

## 二、药包用量计算

在进行爆破时, 用药量通常是根据地形、地质条件 (地面形状、临空面多少、岩石软硬程度、地质构造、节理缝隙状况等)、炸药性能、药包量大小、预计爆破的方数以及现场施工条件和经验等来确定, 一般按下列公式计算。

### 1. 计算公式的基本原理

计算药包量的公式, 是假定需要装药量的多少与被爆破的土石方数成正比, 又与这种土石对爆炸作用力抵抗程度成正比, 则所需药包量可用下式表达:

$$Q = qV \quad (2-2)$$

式中  $Q$ ——所需的药包量 (kg);

$q$ ——爆落  $1\text{m}^3$  某类土石方所消耗的炸药数 (kg);

$V$ ——需爆落的土石方数 ( $\text{m}^3$ )。

### 2. 标准抛掷药包量计算

在标准抛掷爆破的情况下, 要爆碎的土石立方米数, 即为标准抛掷漏斗的体积, 即:

$$V = \frac{1}{3}\pi W^3 = \frac{1}{3} \times 3.14 \times W^3 \approx W^3$$

代入式 (2-2) 得标准抛掷药包量为:

$$Q = qV = qW^3 \quad (2-3)$$

为了实用方便起见, 以在建筑工程爆破中, 使用最广泛的 2 号硝铵炸药作为标准炸药, 根据试验和实践经验统计, 列出炸药单位消耗量系数  $q$  值如表 2-1。如采用其它炸药, 应乘以换算系数  $e$ , 如表 2-2 所列, 则式 (2-3) 变为:

$$Q = qW^3e \quad (2-4)$$

式中  $Q$ ——药包重量 (kg);

$q$ ——爆破岩土单位体积炸药消耗量系数 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ); 与岩石的性质及炸药种类有关, 可按表 2-1 取用;

$e$ ——与炸药性质有关的换算系数, 可按表 2-3 取用;

$W$ ——药包的最小抵抗线 (m)。

建筑工程土的工程分类如表 2-4, 常用硝铵类炸药和铵油炸药的种类及其性能见表 2-5。

炸药单位消耗量  $q$  值

表 2-1

土的类别	一	二	三	四	五	六	七	八
$q$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	0.5~1.0	0.6~1.1	0.9~1.3	1.2~1.5	1.4~1.65	1.6~1.85	1.8~2.6	2.1~3.25

注: 1. 本表以 2 号岩石硝铵炸药为准, 当用其他炸药时, 须乘以换算系数  $e$  值;

2. 表中所列  $q$  值是指一个自由面的情况。如为二个自由面, 应乘以 0.83; 三个自由面乘以 0.67; 四个自由面乘以 0.50; 五个自由面乘以 0.33; 六个自由面乘以 0.17;

3. 表中  $q$  值是在药孔堵塞良好, 即堵塞系数为 1 的情况下定出。如果堵塞不良, 应视具体情况乘以堵塞系数  $d$  见表 2-2;

4. 表中土的工程分类见表 2-4。

堵塞系数  $d$  的数值

表 2-2

实际堵塞长度 $B'$ 与计算堵塞长度 $B$ 的比值 $B'/B$		1.00	0.75	0.50	0.25	0
对土体	烈性炸药	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0
	黑火药	1	2	4	6	12
对岩石和混凝土	烈性炸药	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0
	黑火药	1	2	4	6	—

炸药换算系数  $e$  值表

表 2-3

炸药名称	型 号	换算系数	炸药名称	型 号	换算系数
岩石硝铵	1 号	0.90	35% 胶质炸药	普通	1.06
岩石硝铵	2 号	1.00	混合胶质炸药	普通	1.00
露天硝铵	2 号、3 号	1.14	梯恩梯		1.05~1.14
62% 胶质炸药	普通	0.89	铵油炸药		1.14~1.36
62% 胶质炸药	耐冻	0.89	黑火药		1.14~1.42

土的工程分类 表 2-4

土的分类	土的级别	土 的 名 称	坚实系数 (f)	密度 (kg/m³)	开挖方法及工具
一类土 (松软土)	I	砂土、粉土、冲积砂土层、疏松的种植土、淤泥 (泥炭)	0.5~0.6	600~1500	用锹、锄头挖掘, 少许用脚蹬
二类土 (普通土)	II	粉质粘土、潮湿的黄土、夹有碎石、卵石的砂、粉土混卵 (碎) 石、种植土、填土	0.5~0.8	1100~1600	用锹、锄头挖掘, 少许用镐翻松
三类土 (坚土)	III	软及中等密实粘土、重粉质粘土、砾石土、干黄土、含有碎石卵石的黄土、粉质粘土、压实的填土	0.8~1.0	1750~1900	主要用镐, 少许用锹、锄头挖掘, 部分用撬棍
四类土 (砂砾坚土)	IV	坚硬密实的粘性土或黄土、含碎石、卵石的中等密实的粘性土或黄土、粗卵石、天然级配砂石、软泥灰岩	1.0~1.5	1900	整个先用镐、撬棍, 后用锹挖掘, 部分用楔子及大锤
五类土 (软石)	V~IV	硬质粘土、中密的页岩、泥灰岩、白垩土、胶结不紧的砾岩、软石灰岩及贝壳石灰岩	1.5~4.0	1100~2700	用镐或撬棍、大锤挖掘, 部分使用爆破方法
六类土 (次坚石)	VI~IX	泥岩、砂岩、砾岩、坚实的页岩、泥灰岩、密实的石灰岩、风化花岗岩、片麻岩及正长岩	4.0~10.0	2200~2900	用爆破方法开挖, 部分用风镐
七类土 (坚石)	X~XII	大理岩、辉绿岩、玢岩、粗、中粒花岗岩、坚实的白云岩、砂岩、砾岩、片麻岩、石灰岩、微风化安山岩、玄武岩	10.0~18.0	2500~3100	用爆破方法开挖
八类土 (特坚土)	XIII~XVI	安山岩、玄武岩、花岗片麻岩、坚实的细粒花岗岩、闪长岩、石英岩、辉长岩、辉绿岩、玢岩、角闪岩	18.0~25.0 以上	2700~3300	用爆破方法开挖

注: 1. 本表还可用于选择施工方法、确定工作量、计算劳动力机具及工程费用之用;  
2. 土的级别为相当于一般 16 级土石分类级别;  
3. 坚实系数 f 为相当于普氏岩石强度系数。

硝酸铵类炸药的主要性能及规格 表 2-5

炸药名称		岩石硝酸铵炸药		露天硝酸铵炸药		抗水露天硝酸铵炸药		露天铵油炸药
		1 号	2 号	1 号	2 号	1 号	2 号	
化学组成 (%)	硝酸铵	83	85	82	86	84	86	89.5
	梯恩梯	14	11	10	5	10	5	—
	木粉	4	4	4	9	5	8.2	8.5
其它物质		—	—	—	—	沥青 0.5 石蜡 0.5	沥青 0.4 石蜡 0.4	轻柴油 2
物理指标	密度 (g/cm³)	0.95~1.10	0.95~1.10	0.8~1.0	0.85~1.10	0.8~1.0	0.8~1.0	0.8~1.0
	爆力 (mL)	>350	>320	>280	>250	300	250	240
	猛度 (mm)	>13	>12	>10	>8	11	8	8
	殉爆距离 (mm)	>60	>50	>50	>30	2	2	1
抗水性		差		差		好		差

续表

炸药名称		岩石硝铵炸药		露天硝铵炸药		抗水露天硝铵炸药		露天铵油炸药
		1号	2号	1号	2号	1号	2号	
保证使用期		6个月		4个月		6个月	4个月	1个月
主要性能	优点	(1) 对外界作用的敏感度较安全 (2) 用火焰和火星也易燃烧						
	缺点	(1) 有吸水性, 久存易胶结和结块 (2) 炸药爆炸后能产生大量有毒气体						
适用范围		在露天爆破工程中使用, 不宜在矿井内使用, 因这种炸药爆炸时能产生大量有毒气体						

注: 1. 硝铵炸药又称铵梯炸药;

2. 在露天爆破工程中使用的硝铵类炸药, 其含水量应不大于1.5%, 当含水量超过3%时, 可能发生拒爆;

3. 尺寸: 药卷每节长度200mm, 直径32mm, 重量150g, 每扎20卷, 重3kg, 每箱炸药净重24kg。

### 3. 加强抛掷爆破药包量计算

加强抛掷爆破(加强松动爆破)药包量, 一般按下式计算:

当  $W < 25\text{m}$  时

$$Q = qW^3 (0.4 + 0.6n^3) e \quad (2-5)$$

当  $W > 25\text{m}$  时

$$Q = qW^3 (0.4 + 0.6n^3) e \cdot \sqrt{\frac{W}{25}} \quad (2-6)$$

对斜坡地面

$$Q = qW^3 (0.4 + 0.6n^3) e \cdot \sqrt{\frac{W \cos \theta}{25}} \quad (2-7)$$

当  $W \cos \theta < 25\text{m}$  时,  $Q$  不进行修正。

式中  $n$ ——爆破作用指数, 不应超过1.25~1.5;

$\theta$ ——山坡面与水平面的交角(°);

$\sqrt{\frac{W}{25}}$ ——重力修正系数;

其他符号意义同前。

### 4. 松动爆破药包量计算

松动爆破药包量一般按下式计算:

$$Q = 0.33eqW^3 \quad (2-8)$$

对斜坡地形或阶梯式地形

$$Q = 0.36eqW^3 \quad (2-9)$$

符号意义同前。

### 5. 内部作用爆破药包量计算

内部作用爆破药包量一般按下式计算:

$$Q = 0.2eqW^3 \quad (2-10)$$

符号意义同前。

【例 2-1】 在坚实的泥岩上开一个 1.8m, 直径 35mm 炮孔, 采用 2 号岩石硝铵炸药 (装药密度为  $0.9\text{g}/\text{cm}^3$ ) 进行松动爆破, 要求岩石不抛掷, 求所需炸药重量。

【解】 由表 2-4 岩石分类表中查得坚实的泥岩为六类土, 参考表 2-1 取  $q = 1.75\text{kg}/\text{m}^3$ , 采用 2 号岩石炸药,  $e = 1$ , 炮孔装药长度  $l$  一般为炮孔深度  $L$  的  $1/3 \sim 1/2$ , 现假定药包长度  $l = 2 \cdot L/3 = 2 \times 180/3 = 120\text{cm}$ , 则堵塞物长  $l_1 = 1.8 - 1.2 = 0.6\text{m}$ ,  $W = 1.8 - 0.6 = 1.2\text{m}$ , 由式 (2-8) 得:

$$Q = 0.33eqW^3 = 0.33 \times 1 \times 1.75 \times 1.2^3 = 0.997\text{kg}$$

0.997kg 药包长为 115cm, 与假定不符, 现重新假定药包长度为 118cm, 则  $W = 1.8 - 0.59 = 1.21\text{m}$ , 则  $Q = 0.33eqW^3 = 0.33 \times 1 \times 1.75 \times 1.21^3 = 1.023\text{kg}$

118cm 长药包重为  $\frac{\pi \times 3.5^2}{4} \times 118 \times 0.9 = 1.021\text{kg}$ , 与计算基本相符, 堵塞长度有 62cm, 可以满足要求, 故所需药量定为 1.023kg。

【例 2-2】 在坚实的砾岩台阶下 2.1m 处设置一集中药包, 要求爆破作用指数为 1:1, 有 2 个自由面, 采用 2 号岩石硝铵炸药, 求堵塞  $d = 1.2$  时的药包重量。

【解】 由表 2-4 查得密实的砾岩为七类土, 参考表 2-1 取  $q = 2.2\text{kg}/\text{m}^3$ , 有二个自由面应乘以 0.83 系数, 同时已知  $W = 2.1\text{m}$ ,  $n = 1.1$ ,  $e = 1$ ,  $d = 1.2$  由式 (2-5) 得

$$\begin{aligned} Q &= qW^3(0.4 + 0.6n^3) \times 0.83 \times 1.2 \\ &= 2.2 \times 2.1^3(0.4 + 0.6 \times 1.1^3) \times 0.83 \times 1.2 \\ &= 24.32\text{kg} \end{aligned}$$

故所需药包重量为 24.32kg。

【例 2-3】 在软的石灰岩上打一个 1.6m 深炮孔, 孔径为 35mm, 采用 62% 胶质炸药 (装药密度为 1.01) 进行松动爆破, 求堵塞良好情况下的药包重量。

【解】 由表 2-4 知软石灰岩为五类土, 由表 2-1, 取  $q = 1.53\text{kg}/\text{m}^3$ , 因采用 62% 胶质炸药, 需考虑炸药换算系数, 由表 2-3 取  $e = 0.89$ 。

先设药包长度  $l = 800\text{mm}$ , 则  $W = 1.6 - \frac{0.8}{2} = 1.2\text{m}$ , 由式 (2-8) 得

$$Q = 0.33eqW^3 = 0.33 \times 0.89 \times 1.53 \times 1.2^3 \approx 0.78\text{kg}$$

800mm 长药包重量约为  $\frac{\pi \times 3.5^2}{4} \times 80 \times 1.01 = 777\text{g} \approx 0.78\text{kg}$ , 与假定符合, 堵塞长度有 800mm 已足够, 故所需药量为 0.78kg。

## 2.3 常用爆破方法工艺参数及药量计算

### 2.3.1 炮孔 (浅孔) 爆破法工艺参数及药量计算

炮孔爆破法, 又称浅孔爆破法, 是在岩石上钻直径 25~50mm、深 1~5m 的圆柱形炮孔, 装延长药包进行爆破, 属于小型爆破。本法操作简单, 容易掌握, 耗药量少, 岩石破碎均匀, 飞石距离较近, 易于控制爆破面的形状和尺寸, 可在各种复杂条件下作业, 是建



筑工程应用最广泛的爆破方法之一。缺点是钻孔工作量大，效率较低。适于建(构)筑物基坑及碎石骨料场开挖爆破。

### 1. 炮孔布置及工艺参数

炮孔直径通常用 35、42、45、50mm 几种，为使有较多临空面，常按阶梯形布置(图 2-4)使炮孔方向尽量与临空面平行或成  $30^\circ \sim 45^\circ$  角。炮孔深度  $h$ ，对于坚硬岩石  $h = (1.1 \sim 1.15) H$  ( $H$ —爆破层厚度)；对中硬岩石  $h = H$ ；对松软岩石， $h = (0.85 \sim 0.95) H$ 。若在炮孔底部有一层软岩石夹层时， $h = (0.7 \sim 0.9) H$ 。与此同时炮孔深度还与不同的临空面及炮孔直径有关，可参见表 2-6。最小抵抗线  $W = (0.6 \sim 0.8) H$ ；炮孔间距  $a$ ：用火雷管起爆时， $a = (1.4 \sim 2.0) W$ ；电雷管起爆时， $a = (0.8 \sim 2.0) W$ ；炮孔布置一般成交错梅花形，排距  $b = (0.8 \sim 1.2) W$ 。

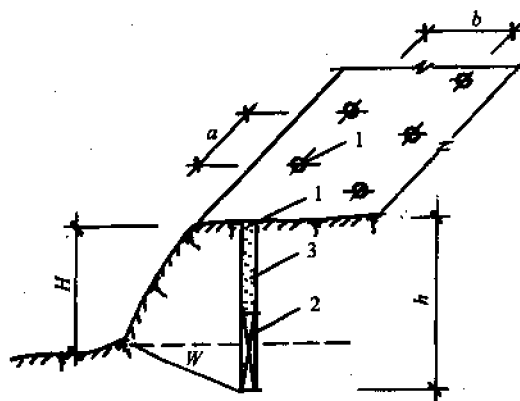


图 2-4 炮孔法布置和计算简图

1—炮孔；2—炸药；3—填塞物

$H$ —台阶高度(爆破层厚度)； $h$ —炮孔深度； $a$ —炮孔间距； $b$ —炮孔排距； $W$ —最小抵抗线长度。

炮孔深度与不同临空面及炮孔直径的关系

表 2-6

炮孔直径 (mm)	最大炮孔深度 (m)	
	两个临空面 (如阶梯形)	一个临空面 (如水平地面)
32~35	2.5	1.5~2.0
35~40	3.5	2.0~2.5
40~45	4.0	2.3~2.6
50	5.0	3.0~3.5

### 2. 药量计算

炮孔法药量计算一般可按松动药包爆破公式(2-8)进行。

多排布置炮孔时，每一炮孔抛掷爆破的药量，可按下式计算：

$$Q = qabhe \quad (2-11)$$

采用松动爆破时，药量用下式计算：

$$Q = 0.33qabhe \quad (2-12)$$

式中  $q$ ——炸药消耗系数，见表 2-1；

$a$ ——炮孔间距；

$b$ ——炮孔排距；

$h$ ——炮孔深度；

$e$ ——与炸药性质有关的换算系数，见表 2-3。

在实际施工中，炮孔往往很多，一般不去一一计算，而是根据经验将装药量大致取等于炮孔深度的  $1/3 \sim 1/2$  左右。表 2-7 中的装药量可供参考。

一般炮孔法爆破用药量  $Q$  (kg) 计算表

表 2-7

地形条件	土的类别	炸药消耗系数 $k$	最小抵抗线 $W$ (m)												
			1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4
多面 临空	五 六 七	0.30	0.3	0.5	0.8	1.2	1.7	2.4	3.2	4.1	5.3	6.6	8.1	9.8	11.8
		0.33	0.3	0.6	0.9	1.4	1.9	2.6	3.5	4.6	5.8	7.2	8.9	10.8	13.0
		0.40	0.4	0.7	1.1	1.6	2.3	3.2	4.3	5.5	7.0	8.9	10.8	13.1	15.7
一般 地形	五 六 七	0.45	0.5	0.8	1.2	1.8	2.6	3.6	4.8	6.2	7.9	9.9	12.2	14.7	17.7
		0.51	0.5	0.9	1.4	2.1	3.0	4.1	5.4	7.1	9.0	11.2	13.8	16.7	20.0
		0.62	0.6	1.1	1.7	2.5	3.6	5.0	6.6	8.6	10.9	13.6	16.7	20.3	21.4

注: 1. 本表用药量系按  $Q = kW^3$  计算, 以 2 号岩石硝铵炸药为准, 使用其它炸药时应进行换算;

2. 表中未列数字可用插入法。

【例 2-4】 台阶高  $H=2.1\text{m}$ , 采用多排炮孔松动爆破, 岩质为五类土, 用 2 号岩石硝铵炸药  $e=1$ , 试求每一炮孔需用药量。

【解】 取  $h=H=2.1\text{m}$ ,  $W=0.7H=0.7\times 2.1=1.47\text{m}$ ,  $a=1.4W=1.4\times 1.47=2.06\text{m}$ ,  $b=W=1.47\text{m}$ , 五类土查表 2-1 得  $q=1.4\text{kg/m}^3$ 。由式 (2-12) 得:

$$Q = 0.33qabhe = 0.33 \times 1.4 \times 2.06 \times 1.47 \times 2.1 \times 1 = 2.9\text{kg}$$

所以每孔需用 2.9kg 炸药。

### 2.3.2 深孔爆破法工艺参数及药量计算

深孔爆破法, 系将药包放在直径 75~270mm、深 5~30m 的圆柱形深孔中爆破, 属于延长药包的中型爆破。本法单位岩石体积钻孔量和耗药量少, 生产效率高, 一次爆落石方量多, 操作机械化, 可减轻劳动强度; 但岩石破碎不够均匀, 费用较高。适用于料场、深基坑的松爆、场地平整以及高阶梯爆破各种岩石。

#### 1. 炮孔布置及工艺参数

宜先将地面爆成倾斜角大于  $55^\circ$  阶梯形 (图 2-5) 钻孔孔径大于 75mm, 一般为 175~225mm; 阶梯的高度  $H$  应在 5~15m。

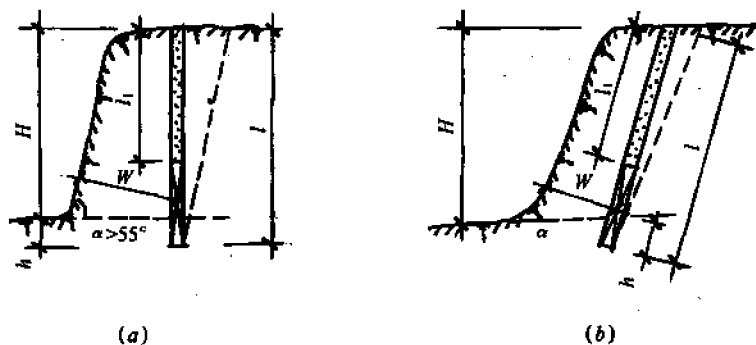


图 2-5 深孔爆破法计算简图

(a) 垂直深孔; (b) 倾斜深孔

$H$ —梯段高度;  $W$ —最小抵抗线;  $l$ —炮孔深度;  $h$ —孔根

炮孔深度  $l$  应等于阶梯高  $H$  加钻根  $h$ , 即  $l = H + h$ ; 通常  $h = (0.1 \sim 0.15) H$  或  $h = (0.1 \sim 0.3) W$ , 岩石较硬时取上限; 当采用多排或等边三角形布置炮孔时, 炮孔间距  $a = (0.8 \sim 1.2) W$ , 炮孔排距  $b = a \sin 60^\circ = 0.87a$  或取  $b = (0.7 \sim 1.0) W$ , 堵塞长度应大于最小抵抗线长度  $W$ 。

最小抵抗线长度  $W$ , 一般可按式估算:

$$W = \sqrt{\frac{0.25\pi D^2 \Delta l \tau}{eqmH}} \quad (2-13)$$

或 
$$W = \sqrt{\frac{gl\tau}{eqmH}} \quad (2-14)$$

式中  $D$ ——炮孔直径 (m);

$\Delta$ ——装药密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), 一般取  $900\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$l$ ——预计炮孔深度 (m),  $l = H + h$ ;

$H$ ——梯阶高度 (m);

$h$ ——钻根长度 (m);

$\tau$ ——装药长度系数, 当  $H < 10\text{m}$  时,  $\tau = 0.6$ ; 当  $H = 10 \sim 15\text{m}$  时,  $\tau = 0.5$ ; 当  $H > 15\text{m}$  时,  $\tau = 0.4$ ;

$e$ ——炸药换算系数, 见表 2-3;

$q$ ——炸药单位消耗量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), 见表 2-1;

$m$ ——炮孔密度系数, 一般为  $0.8 \sim 1.2$ ;

$g$ ——每 1m 长炸药的重量, 根据炮孔直径不同, 可按表 2-8 选用。

不同炮孔直径中每米长硝铵炸药的重量表 (kg)

表 2-8

炮孔直径 (mm)	炸药重量 (kg/m)	炮孔直径 (mm)	炸药重量 (kg/m)	炮孔直径 (mm)	炸药重量 (kg/m)
75	3.96	120	10.10	180	22.8
90	5.66	140	13.80	200	28.2
100	7.05	150	15.80	250	43.2
110	8.60	160	18.10	270	51.2

## 2. 药量计算

深孔爆破每一炮孔的药量按下式计算:

$$Q = eqV = eqaHW \quad (2-15)$$

松动爆破时:

$$Q = 0.33eqaHW \quad (2-16)$$

式中  $V$ ——每一深孔药包所爆破的岩石体积 ( $\text{m}^3$ );

其它符号意义同前。

【例 2-5】 高边坡的场地平整, 采用直径  $D = 160\text{mm}$  垂直深孔松动爆破, 阶高  $H = 10\text{m}$ , 为六类土, 用 2 号岩石硝铵炸药  $q = 1.7\text{kg}/\text{m}^3$ , 试求每孔用药量。

【解】 预计炮孔深度  $l = 10 + 0.5 = 10.5\text{m}$ , 取  $\Delta = 900\text{kg}/\text{m}^3$ ,  $\tau = 0.5$ ,  $m = 1$ ,  $e = 1$

由式 (2-13) 得:

$$W = \sqrt{\frac{0.25\pi D^2 \Delta l \tau}{eqmH}} = \sqrt{\frac{0.25 \times 3.14 \times 0.16^2 \times 900 \times 10.5 \times 0.5}{1 \times 1.7 \times 1 \times 10}} = 2.36\text{m}$$

或查表 (2-8) 得  $g = 18.1\text{kg/m}$ 。

由式 (2-14) 得

$$W = \sqrt{\frac{gl\tau}{eqmH}} = \sqrt{\frac{18.1 \times 10.5 \times 0.5}{1 \times 1.7 \times 1 \times 10}} = 2.36\text{m}$$

钻根长  $h = 0.2W = 0.2 \times 2.36 = 0.472\text{m} \approx 0.5\text{m}$

炮孔深  $l = 10 + 0.5 = 10.5\text{m}$ , 与假定基本相符

炮孔间距  $a = W = 2.36\text{m}$

由式 (2-16) 得:

$$Q = 0.33eqaHW = 0.33 \times 1 \times 1.7 \times 2.36 \times 10 \times 2.36 = 31.2\text{kg}$$

故每孔需用药量为  $31.2\text{kg}$ 。

### 2.3.3 药壶爆破法工艺参数及药量计算

药壶爆破法, 又称葫芦炮、坛子炮爆破法, 系在普通炮孔 (浅孔) 或深孔炮孔底先放入少量的炸药, 经过一次至数次爆破扩大成近似圆球形的药壶, 然后装入一定数量的炸药进行爆破, 属于集中药包的中等爆破。本法可减少钻孔工作量, 可多装药, 将延长药包变为集中药包, 大大提高爆破效果, 炸药消耗量少; 但扩大药壶操作复杂, 破碎块度不够均匀。适用于场地平整露天爆破阶梯高  $3 \sim 8\text{m}$  的硬土、软质岩石和中等坚硬岩石。

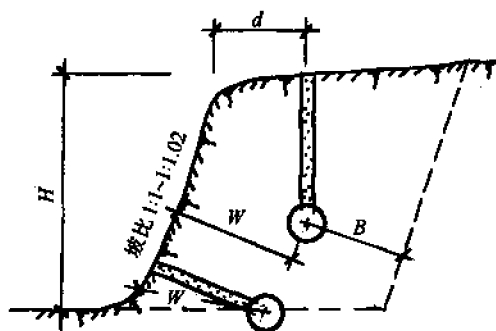


图 2-6 药壶法布置及计算简图

#### 1. 炮孔布置及工艺参数

地形宜先造成较多、较大的临空面, 最好做成台阶形 (图 2-6), 药壶与欲开边坡之间的最小距离  $B$ : 对坚石和次坚石,  $B = (0.15 \sim 0.20) W$ ; 对软石,  $B = (0.20 \sim 0.25) W$ ; 对土质,  $B = (0.30 \sim 0.35) W$ 。

炮孔至台阶边缘的距离  $d$ , 可按式计算:

$$d = \frac{W}{K_b} - (\text{炮孔垂直深度} \times \text{坡比}) \quad (2-17)$$

式中  $K_b$ ——坡比系数可按表 2-9 采用。

坡比系数表

表 2-9

坡 比	系 数	坡 比	系 数	坡 比	系 数
1:1.0	0.71	1:0.7	0.82	1:0.4	0.93
1:0.9	0.75	1:0.6	0.86	1:0.3	0.96
1:0.8	0.78	1:0.5	0.89	1:0.2	0.98

取最小抵抗线长度  $W = (0.5 \sim 0.8) H$ ，一般采用  $0.8H$ ；炮孔间距  $a = (1.2 \sim 1.7) W$ ，一般采用  $1.5W$ ；排距  $b = (0.8 \sim 2.0) W$ ，一般采用  $1.8W$ ；堵塞长度  $l_1 = (0.5 \sim 0.9) l$  ( $l$ —孔深)。

## 2. 炸药壶药量计算

炸药壶是用小药卷炸胀而成，炸药壶用的药包重量，可用下式计算：

$$Q_0 = \frac{Q}{P} \quad (2-18)$$

式中  $Q$ ——每个药壶的装药量，可按式计算：

$$Q = 0.33qW^3e$$

$q$ ——炸药消耗量系数，见表 2-1；

$W$ ——药包的最小抵抗线 (m)；

$e$ ——与炸药性质有关的换算系数，见表 2-3；

$P$ ——炸胀系数，对七~八类岩石为 1~5；六~七类岩石为 10~10；五类岩石为 10~25。

算出的膨胀药量，应按一定比例分次放入药壶中，扩大二次时为 1:2；扩大三次时为 2:3:5；扩大四次时为 1:2:4:7。采用硝酸类炸药和胶质炸药扩大时，炮孔上部可不加堵塞，每次炸胀后，待孔冷后再二次装药。

在各种岩石中扩大药壶的次数及用药量亦可参考表 2-10。

药壶扩大次数及用药量

表 2-10

用药量 (kg) 土的分类	次数	次 数						
		1	2	3	4	5	6	7
1~4		0.1~0.2	0.2					
5		0.2	0.2	0.3				
6		0.1	0.2	0.4	0.6			
6~7		0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0

## 3. 药壶法爆破药量计算

药壶法爆破药量  $Q$  可按式计算：

$$Q = q'W^3e \quad (2-19)$$

式中  $q'$ ——炸药单位消耗量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 比  $q$  值小，可按表 2-11 采用；

其他符号意义同前。

药壶法炸药单位消耗量  $q'$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

表 2-11

土石类别	五	六	七
$q'$	0.262	0.284	0.304~0.350

### 2.3.4 小洞室爆破法工艺参数及药量计算

小洞室法爆破，又称蛇穴法、竖井法爆破，系在被爆破体内部开挖导洞（横洞或竖洞）和药室，然后在药室内放入炸药进行爆破。本法操作简单，爆破效率高，出渣容易

(对横洞而言), 凿孔工作量少, 技术要求不高, 炸药品种不受限制; 但开洞较费工费时, 堵塞较困难。蛇穴适于阶高不超过 6m 的软质岩石或有夹层的岩石松爆; 竖井适于场地平整、基坑开挖六类以上的坚硬岩石松动爆破。

### 1. 洞室布置及工艺参数

导洞截面一般为  $1\text{m} \times 1\text{m}$  或  $1\text{m} \times 1.2\text{m}$ , 设单药室或双药室 (图 2-7)。横洞截面小于  $0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$  时称为蛇穴。药室应选择在最小抵抗线  $W$  比较大的地方, 并离边坡 1.5m 左右。横洞长一般为 5~7m, 其间距为洞深的 1.2~1.5 倍。竖井深度一般为  $(0.9 \sim 1.0)H$  ( $H$ —阶梯高度); 间距  $a$  及排距  $b = (0.6 \sim 0.8)H$ , 药室应在离底 0.3~0.7m 处, 再开挖浅横洞装集中药包。横洞堵塞长度不应小于洞高的 3 倍。

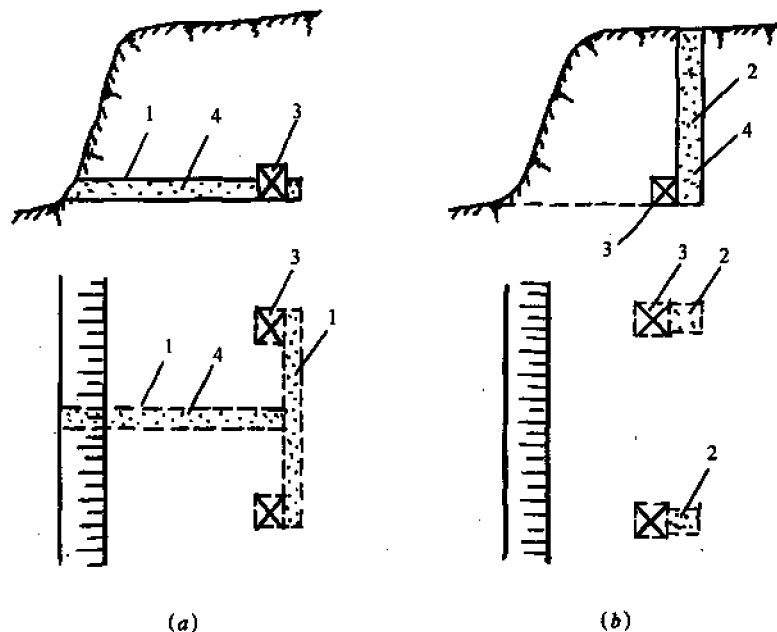


图 2-7 小洞室爆破法双药室布置

(a) 横洞; (b) 竖井

1—横洞; 2—竖井; 3—药室; 4—堵塞物

### 2. 药室容积的计算

小洞室爆破的药室, 一般接近正立方体, 药室容积  $V$  可按下式计算:

$$V = K_v \frac{Q}{\Delta} \quad (2-20)$$

式中  $Q$ ——药包重量 (kg);

$\Delta$ ——炸药密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$K_v$ ——药室装药系数, 一般用 1.1~1.4。

当药室内装不同品种炸药, 且各种炸药的密度相差较大时, 药室容积可按下列下式计算:

$$V = K_v \left( \frac{Q_1}{\Delta_1} + \frac{Q_2}{\Delta_2} + \dots + \frac{Q_n}{\Delta_n} \right) \quad (2-21)$$

式中  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ ——药室中不同品种炸药的重量 (kg);

$\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ ——各种炸药的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

### 2.3.5 裸露爆破法工艺参数及药量计算

裸露爆破法, 又称表面爆破法, 系将药包直接放在被爆破体的表面进行爆破。本法不需钻孔设备, 准备工作少, 操作简单迅速; 但炸药消耗量大, 破碎岩石飞散较远。适于地面上大块石、孤石二次破碎及树根、水下岩石与改建工程的爆破。

#### 1. 药包布置

药包放在块石或孤石的中部凹槽或裂隙部位, 体积大于  $1\text{m}^3$  的块石, 药包可分数处放置, 或在块石上打浅孔或浅穴破碎 (图 2-8)。一般药包的高度不宜大于底面的宽度。为提高爆破效果, 表面药包底部可做成集中爆力穴; 药包上护以草皮或湿泥土砂子, 其厚度应大于药包高度; 或以粉状炸药敷  $30\sim 40\text{cm}$  厚, 以利电雷管或导爆索起爆。

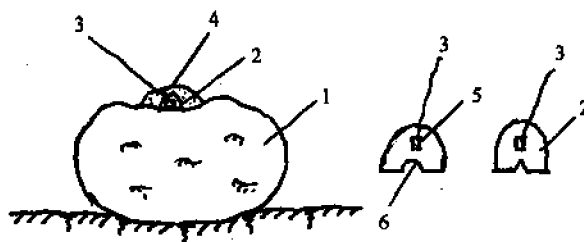


图 2-8 裸露爆破法布置

1—大块石、孤石; 2—药包; 3—导火索; 4—覆盖物; 5—雷管; 6—集中爆力穴

#### 2. 药量计算

药量通常根据经验确定, 不作计算, 其药量消耗约为一般炮孔法的  $3\sim 5$  倍。

## 2.4 特种爆破药量计算

### 2.4.1 冻土爆破药量计算

冻土爆破多用炮孔法, 厚度在  $2\text{m}$  以内可一次爆破, 大于  $2\text{m}$  时应分层爆破。

1. 炮孔布置 炮孔宜交叉呈梅花形布置, 炮孔直径宜在  $30\sim 75\text{mm}$ , 深度为冻土层厚度的  $0.6\sim 0.8$  倍, 冻土厚度  $0.5\sim 2.0\text{m}$  的炮孔深度, 可参考表 2-12 采用。

炮孔深度参考值

表 2-12

冻土厚度 (m)	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
炮孔深度 (m)	0.4	0.45	0.55	0.6	0.6	0.75	0.9	1.1	1.3	1.4	1.6

炮孔间距为  $1.2$  倍最小抵抗线长度, 排与排之间等于  $1.5$  倍最小抵抗线长度, 炮孔与地面垂直或成  $30^\circ$  以上角度。为提高爆破效果, 炮孔不宜穿破冻土层, 保留厚度为冻土层厚度的  $20\%\sim 25\%$ ; 如冻土深度大于  $70\text{cm}$  时, 应把炮孔钻至其表面下  $15\sim 20\text{cm}$ 。

2. 药量计算 冻土爆破用药量可按下式计算:

$$Q = q_1 \cdot W^3 \quad (2-22)$$

式中  $Q$ ——炮孔装药量 (kg);

$q_1$ ——爆破  $1\text{m}^3$  冻土所需硝铵炸药的数量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), 可按表 2-13 取用;

$W$ ——最小抵抗线长度 (m)。

爆破  $1\text{m}^3$  冻土所需硝铵炸药量 (kg)

表 2-13

土的名称	$q_1$	土的名称	$q_1$
粘土	0.55	粗砂	0.35
腐植土	0.31	粉土	0.39

注: 如用黑火药时, 表列数值乘以 1.1, 采用梯恩梯炸药时乘以 0.85。

【例 2-6】 基坑冻土厚为  $1.4\text{m}$ , 土质为粘土, 采用炮孔法爆破, 求每立方米冻土需用硝铵炸药量。

【解】 炮孔深取 0.8 倍冻土层厚, 即  $W = 0.8 \times 1.4 = 1.12\text{m}$ , 由表 2-13 查得,  $q_1 = 0.55\text{kg}/\text{m}^3$ , 由式 (2-22) 得每一炮孔装药量为:

$$Q = q_1 \cdot W^3 = 0.55 \times 1.12^3 = 0.77\text{kg}$$

故每立方米冻土需用炸药  $0.77\text{kg}$ 。

#### 2.4.2 树根爆破药量计算

树根爆破, 当树根的直径在  $50\text{cm}$  以上时, 一般用爆破法除掉。

1. 炮孔药包布置 炮孔的直径一般为  $60 \sim 80\text{mm}$ ; 炮孔深度约等于树根直径的  $1.5 \sim 2.0$  倍, 炮孔通常设在树根露出地面  $10\text{cm}$  处。钻孔一般采用土壤钻孔器, 在树根底下钻一个斜孔, 钻头直径为  $50 \sim 70\text{mm}$ 。

对针叶树的树根, 药包可以布置在树中心或树根的下面, 深度为树根直径的  $1.5 \sim 2.5$  倍。对阔叶树的树根, 如树根直径 ( $d$ ) 小于  $0.7\text{m}$ , 药包可布置在树根中心或树根下边; 如树根直径 ( $d$ ) 大于  $0.7\text{m}$ , 必须用三个药包分别放在大的根叉底下 (图 2-9)。在建筑物旁边进行爆破树根时, 距建筑物不能小于  $25\text{m}$ , 并把药包装在靠建筑物一边, 使炸碎的树根向建筑物相反的方向抛掷。

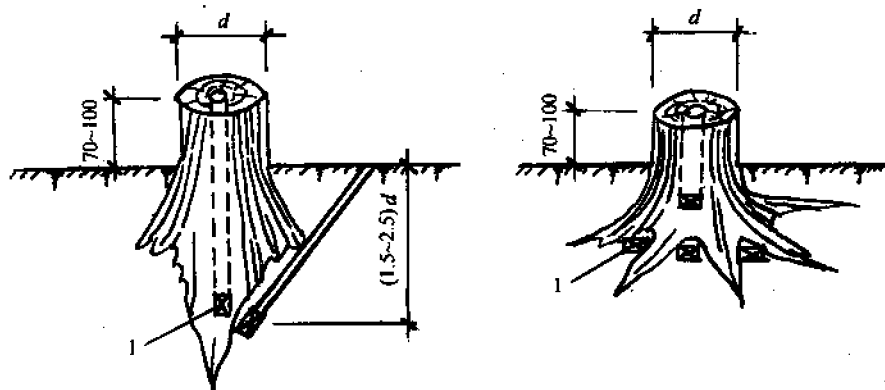


图 2-9 树根爆破药包布置

1—药包



2. 药量计算 根据经验炸 20cm 粗的树根约需 100~300g 的硝铵炸药, 爆破直径为 20~80cm 的树根, 可参考表 2-14 采用。

爆破树根所需的硝铵炸药 (g)

表 2-14

软硬程度	树根直径 (cm)	新砍伐的树根			早砍伐的树根		
		含有卵石 与碎石	疏松粘土	泥炭	含有卵石 与碎石	疏松粘土	泥炭
软	20~25	160	180	100	120	140	80
	30~35	180	200	120	140	160	100
	40~45	200	220	140	160	180	120
	50~55	220	240	160	180	200	140
	60~65	240	260	180	200	220	160
	70~80	260	280	200	220	240	180
硬	20~25	180	220	120	140	160	100
	30~35	200	240	140	160	180	120
	40~45	220	260	160	180	200	140
	50~55	240	280	180	200	220	160
	60~65	260	300	200	220	240	180
	70~80	280	320	220	240	260	200

#### 2.4.3 水下爆破药量计算

水下爆破一般用裸露药包法或炮孔法。当用裸露药包法时, 药包距水面的距离要等于或大于 2 倍最小抵抗线长度, 一般最小抵抗线长度  $W$  应等于所需要炸松的深度  $H$ 。

1. 炮孔的布置 当采用裸露药包法时, 炮孔间距  $a = (3 \sim 3.5) W$ , 排距  $b = (2.1 \sim 3.0) W$ ; 当采用炮孔法时, 炮孔间距  $a = (1 \sim 2) W$ , 排距  $b = (1 \sim 1.75) W$ ; 炮孔深度  $l$  应比最小抵抗线或要松爆深度大 10%~20%。

2. 药量计算 水下爆破药量可按式计算:

$$Q = K_w \cdot W^3 \quad (2-23)$$

式中  $Q$ ——所需的药包重量 (kg);

$K_w$ ——爆破  $1\text{m}^3$  岩土所需要的炸药量, 可参考表 2-15 采用;

$W$ ——最小抵抗线长度 (m)。

水下爆破炸药单位消耗量  $K_w$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

表 2-15

项次	土 石 种 类	裸露药包法	炮孔法
1	疏松的砂子或流砂	2.6	0.4
2	坚硬的、非常密致的砂层	7.0	1.1
3	含砾石的岩石	3.5	0.7
4	含小砾石的密致的粉质粘土	5.5	0.9
5	密致的粉质粘土	8.7	1.35
6	坚硬的青色粘土	9.8	1.4
7	松 石	13.5	1.53
8	石灰岩及其它中等硬度岩石	27.0	1.86
9	花岗岩及其它坚硬岩石	40.0	2.2

【例 2-7】 水下裸露爆破含砾石的岩石，抵抗线长度  $W=1.2\text{m}$ ，求需要药包重量。

【解】 爆破含砾石的岩石由表 2-15 查得  $K_w=3.5\text{kg/m}^3$  由式 (2-23) 得：

$$Q = K_w \cdot W^3 = 3.5 \times 1.2^3 \approx 6.05\text{kg}$$

故需要药包重量为 6.05kg。

#### 2.4.4 金属结构爆破药量计算

金属结构物爆破一般根据结构不同厚度，使用不同药量。

##### 1. 金属物厚度小于 150mm 时的爆破药量计算

一般用裸露药包，如炸角钢、槽钢或钢板，药量  $Q$  (kg) 可按以下公式计算：

$$Q = Ct^2B \quad (2-24)$$

式中  $C$ ——系数，对钢材为 0.0077；对生铁为 0.005；

$t$ ——金属物体厚度 (cm)；

$B$ ——金属物体宽度 (cm)。

在室内爆炸金属物体时，每个药包最大不得超过 2kg，药包应紧贴地捆绑在金属物表面进行爆炸。

##### 2. 金属物厚度大于 150mm 时的爆破药量计算

一般用炮孔法爆炸，炮孔直径为 30~35mm；炮孔深度等于金属物厚度的 1/2~3/4，炮孔间距为孔深的 1.0~1.5 倍，一般采用 30~40cm。装药长度为炮孔深度的 1/2，其余一半用砂子堵塞。

每一个炮孔的药量可按下式计算：

$$Q = 1.5l^3 \text{ (kg)} \quad (2-25)$$

式中  $l$ ——炮孔深度 (m)。

##### 3. 金属容器爆破药量计算

一般用水压爆破法，在容器内装满清水，将防水药包用棍子悬挂在水中心，位于水深的 2/3 处。药包重量可按表 2-16 估算。对长方形箱子解体，可同时用两个药包悬挂在容器各一半面积水中进行爆炸。

金属容器爆炸药需用量

表 2-16

项 次	箱板厚度 (mm)	药包重量 (kg)
1	15	0.7
2	20	0.8
3	25	1.0

##### 4. 铆接结构爆破药量计算

爆破铆接钢结构，一般用较长的条形药包放在铆钉排上爆炸，药量可用下式计算：

$$Q = Ct^2l \text{ (kg)} \quad (2-26)$$

$$Q = ql \text{ (kg)} \quad (2-27)$$

式中  $C$ ——系数，为 0.0077；

$t$ ——钢板厚度 (cm)；

$l$ ——铆钉排长度 (cm)；

$q$ ——铆接钢结构每 1cm 长所需的药量 (kg),  $q = 0.0077t^2$ 。

## 2.5 建筑物拆除控制爆破工艺参数及装药量计算

控制爆破是指通过合理的爆破设计和精心操作, 严格控制爆炸能量和爆破规模 (即一次起爆的最大装药量), 使爆破的声响、飞石、振动、破坏区域以及破碎物的散坍范围和方向, 控制在规定限度内。它的基本点就是选择适当的临空面, 采取较多炮孔, 较少装药, 依次起爆或群炮齐爆, 使爆破体达到“破散不抛”、“就近塌落”、或爆破范围控制在规定限度内, 达到“爆上不坏下, 爆前不损后”, 使爆裂面较规整地出现在预定的设计位置。爆破时的音响 (一般不超过 70~90dB)、飞石、振动 (一般控制  $v \leq 5\text{cm/s}$ )、冲击波、地震波减弱到允许程度; 爆破后的大块率不超过 10%。

本法具有不需要专门设备, 不受环境限制, 能在禁区内爆破, 施工安全、迅速, 节省劳力和费用, 保证邻近建筑设施不受破坏等优点。适于各种建 (构) 筑物的拆除爆破。

### 一、炮孔布置及工艺参数

1. 最小抵抗线 当爆破墙壁或小截面柱、梁时, 最小抵抗线可按式计算:

$$W = \frac{1}{2}B \quad (2-28)$$

式中  $W$ ——最小抵抗线 (m);

$B$ ——墙壁的厚度或柱、梁爆破截面中最小的边长 (m)。

当爆破较大体积圬工结构, 并采用人工清渣时,  $W$  值一般为:

混凝土  $W = 0.40 \sim 0.60\text{m}$

钢筋混凝土  $W = 0.30 \sim 0.50\text{m}$

浆砌块石  $W = 0.50 \sim 0.70\text{m}$

若要求爆渣小, 上述  $W$  取较小值。

2. 炮孔深度 一般不应小于抵抗线长度, 可按下式确定:

$$l = C \cdot H \quad (2-29)$$

式中  $H$ ——设计爆除部分的高度 (或厚度);

$C$ ——边界条件系数, 当爆破体底部有临空面或有明显断裂层, 取 0.5~0.7; 爆裂面位于衔接不够紧密的接触面, 取 0.7~0.8; 爆破面位于变截面上, 取 0.9~1.0; 爆裂面位于强度均匀、等截面的爆破体之间部取 1.0。

要求设计爆裂面以外保留部分不受损伤时, 药孔深度可按下式计算:

$$l = H - (0.2 \sim 0.4) W \quad (2-30)$$

其他符号意义同上。

对于只有一个临空面的墙 (如挡土墙、地下室、外墙等), 其炮孔深度可取墙厚的 3/4。

对于柱、梁及具有二个临空面的墙, 炮孔深度应尽量使装药中心到邻近临空面方向的距离大体相等。

3. 炮孔间距 它关系到破碎块度和爆裂面的平整程度, 并与爆破要求及起爆方法有关。炮孔间距一般按下式计算:

$$a = K_a W \quad (2-31)$$

式中  $a$ ——炮孔间距；

$K_a$ ——间距系数，按表 2-17 选用。

间距系数  $K_a$  值

表 2-17

项 次	爆破要求与材料种类	$K_a$ 值
1	破碎混凝土、浆砌块石	1.0~1.5
2	破碎一般钢筋混凝土	1.3~1.8
3	切割混凝土，要求爆裂面平整	0.5~0.8
4	切割混凝土，不要求爆裂面平整	0.8~1.0
5	切割混凝土薄地坪	2.0~3.5

注：爆破钢筋混凝土时，由于装药爆炸形成的应力波在混凝土与钢筋接触处发生反射后加强，混凝土容易散离钢筋，故  $K_a$  值应取稍大。

预裂爆破时，炮孔间距可按下式计算：

$$a = (8 \sim 12) d \quad (2-32)$$

式中  $d$ ——炮孔直径 (cm)。

4. 炮孔排距 排距一般按下式计算：

$$b = K_b a \quad (2-33)$$

式中  $b$ ——炮孔排距；

$a$ ——炮孔间距；

$K_b$ ——排距系数，当为多排炮孔齐爆时， $K_b$  可取 0.8~1.0；当为多排药孔延期起爆时， $K_b$  可取 1.0~1.2；当材料强度较低时， $K_b$  可取大值，反之取小值。

## 二、装药量计算

控制爆破影响装药量的因素较多，如材质、火工种类、起爆方法、爆破效果要求等，精确计算较为困难。一般采取分两步进行，即第一步依据公式作近似计算，并与爆破各类材质的单位消耗药量经验数值进行对照比较，第二步通过试爆对计算值进行调整。

药量的近似计算一般有以下两种方法：

### 1. 系数法

考虑装药量与炮孔分布、爆破体材质、类型、临空条件以及炮孔的封填状态等因素有关。

控制爆破单个炮孔装药量按下式计算：

$$q = KWH \quad (2-34)$$

式中  $q$ ——单个炮孔的装药量 (kg)，若计算出的  $q < 0.03W$ ，则采用  $q = 0.03W$ ，如系分层装药，则每层药量  $q' \leq 0.03W$ ；

$W$ ——最小抵抗线 (m)；

$H$ ——设计爆除部分的深度或厚度 (m)；

$K$ ——面装药密度 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )，与布孔的密度、爆破体的材质、爆破体类型及要求的爆破效果、爆破体的临空条件、炮孔的封填状态等有关，一般取  $K$  值为五种系数的乘积，即

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \quad (2-35)$$

$K_1$ 、 $K_2 \cdots K_5$  系数值由表 2-18~表 2-22 取用。

炮孔分布系数  $K_1$ 

表 2-18

$W$ (m) $a/W$ (m/m)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1.0~1.2	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13	0.15	0.17	0.18
1.3~1.5	0.11	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15	0.17	0.19	0.22	0.23
1.6~1.8	0.14	0.16	0.16	0.16	0.17	0.19	0.20	0.23	0.26	0.28

- 注: 1. 对薄板式结构, 当  $a < W$  时, 按  $a = W$  查取;  
2. 进行预裂爆破的装药量计算时, 可按  $a/W = 1.0$  查取;  
3. 表内数值可作 10% 左右的增减。

材质系数  $K_2$ 

表 2-19

混 凝 土		钢筋混凝土		块石混凝土	
材质较差 (无空洞)	材质较好	布筋稀	布筋密	有空隙	较密实
0.6~0.8	0.9~1.1	1.4~1.6	1.8~2.0	1.0~1.2	0.6~0.8

特征系数  $K_3$ 

表 2-20

爆体 类型	图 2-10a (I) 类	图 2-10b (II 类)		图 2-10c (III 类)	图 2-10d (IV 类)		图 2-10e (V) 类
		$S/W < 1$	$S/W \geq 1$		$W = 0.1 \sim 0.5$ (m)	$W = 0.6 \sim 1.0$ (m)	
$K_3$	0.7~1.1	0.8~1.0	1.0~1.2	0.7~1.0	0.8~1.3	1.4~1.6	0.9~1.1

注: 对爆破点周围的安全要求较高时, 用表内低值。

临空系数  $K_4$ 

表 2-21

临空面 (个)	1	2	3	4	5	6
爆体类型						
(I)、(II)、(III)	1.10~1.20	1	0.85~0.90	0.70~0.80	—	—
(IV)	—	—	1	0.85~0.90	0.70~0.80	—
(V)	—	1.15~1.20	1.05~1.10	1	0.85~0.90	0.60~0.75

注: (IV) 类型专指平排布孔的情况; 爆体类型见图 2-10。

炮孔封填系数  $K_5$ 

表 2-22

炮孔深度	封 填 情 况	$K_5$
炮孔深度 $l$ 大于最小抵抗线 $W$	封填段全部用符合要求的填料充分填塞	1.0
	封填段部分填塞或虽全部填塞, 但所用填料不合要求	1.0~1.2
	封填段完全未填塞	1.25
炮孔很浅, 填塞段长度远小于最小抵抗线	在炮孔口处加覆盖土	1.3~1.5
	在炮孔口处不加覆盖土	1.7~2.0

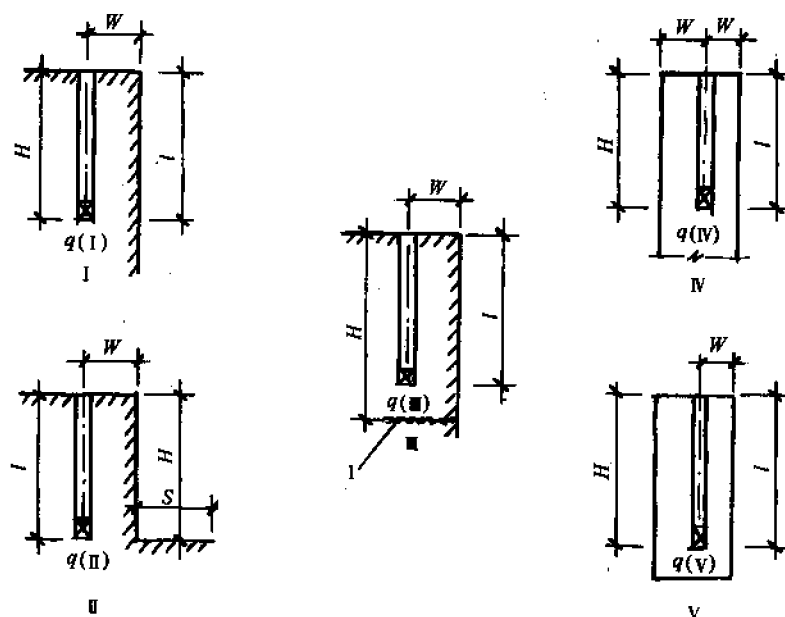


图 2-10 爆体类型及装药量计算简图

1—结合薄弱层

 $H$ —爆除部分的深度 (或厚度);  $l$ —炮孔深度;  $W$ —最小抵抗线;  $S$ —要求爆破效果界限 (距离)

## 2. 换算法

系以混凝土作为基本材质, 先计算混凝土单个炮孔的装药量, 再通过换算求出其它各类材质的相应装药量。

(1) 混凝土结构单个炮孔的装药量  $q$  (g) 可按式计算:

$$q_1 = K \cdot P \cdot l \quad (2-36)$$

式中  $K$ ——临空面系数, 查表 2-23 取用;

$P$ ——爆破系数, 与最小抵抗线及材质有关, 查表 2-24;

$l$ ——炮孔深度。

临空面系数  $K$ 

表 2-23

爆体类型 临空面个数	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)
1	1.10~1.20	1.10~1.20	1.10~1.20	—	—
2	1	1	1	—	1.15~1.20
3	0.85~0.90	0.85~0.90	0.85~0.90	1	1.05~1.10
4	0.70~0.80	0.70~0.80	0.70~0.80	0.85~0.90	1
5	—	—	—	0.70~0.80	0.85~0.90
6	—	—	—	—	0.60~0.75

注: 1. 第IV类型仅用于单排布孔的情况;

2. 爆体类型见图 2-10。

爆破系数 P 值

表 2-24

W (m)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
P	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.9	1.2	1.5	1.8

注：表内 P 值可视材质的好坏增减 10% 左右。

(2) 钢筋混凝土结构单个炮孔的装药量  $q_2$  按下式计算：

$$\text{钢筋粗密时} \quad q_2 = (1.6 \sim 2.0) q_1 \quad (2-37)$$

$$\text{钢筋少时} \quad q_2 = (1.2 \sim 1.5) q_1 \quad (2-38)$$

(3) 毛石混凝土结构单个炮孔的装药量  $q_3$  按下式计算：

$$q_3 = (0.6 \sim 1.0) q_1 \quad (2-39)$$

根据式 (2-34) ~ 式 (2-39) 各式所算得的单个炮孔装药量，即可按炮孔布置图进而推算出每  $1\text{m}^3$  的爆破体所耗用的药量。根据经验每  $1\text{m}^3$  的爆破体所耗用药量如表 2-25 所示，可供比较参考，如相差过大，宜进行复核，检查计算有无差错，但并非必须取得一致。最后再通过小范围试爆对计算值进行检验和调整，即为最后用药量。

每  $1\text{m}^3$  的爆破结构耗药量

表 2-25

项次	结构类别	爆破体情况	耗药量 ( $\text{g}/\text{m}^3$ )
1	爆破混凝土结构	材质较差 (无空洞)	110~150
		材质较好，单排切割式爆破	170~180
		材质较好，非切割式爆破	160~200
2	爆破钢筋混凝土结构	布筋较粗密	350~400
		布筋稀少或梁柱构件	270~340
3	爆破块石混凝土结构	较密实	120~160
		有空隙	170~210

### 三、控制爆破一次起爆允许药量计算

为保护邻近建筑物不受爆破振动的损害，应控制一次起 (齐) 爆最大允许用药量，一般可按以下经验公式计算：

$$Q = R^3 \left( \frac{v}{K_C} \right)^{3/\alpha} \quad (2-40)$$

式中  $Q$ ——一次齐爆的允许总装药量 (kg)；

$R$ ——爆破中心至被保护建筑物间的距离 (m)；

$K_C$ ——与传播爆破地震波的介质等条件有关的系数，当介质为基岩时， $K = 30 \sim 70$ ，平均值  $\bar{K} = 50$ ，岩石强度高者取小值；当介质为土质时， $K = 150 \sim 250$ ，平均值  $\bar{K} = 200$ ；

$v$ ——被保护物所在地面允许质点振动速度 (cm/s)，一般取  $v \leq 5\text{cm/s}$ ；

$\alpha$ ——爆破振动 (地震波) 随距离衰减系数， $\alpha = 1.0 \sim 2.0$ ，近距离取 2，远距离取 1，平均值  $\bar{\alpha} = 1.67$ 。

表 2-26、表 2-27 列出了几个爆破振动速度在不同距离上的对应药量和地震烈度与相应的地面质点震动速度值，供查用。

几个爆破震动速度在不同距离上的对应药量

表 2-26

$$\left( Q = \left( \frac{v}{K_c} \right)^{\frac{3}{a}} \times 10 \times R^3, a=1.5, K_c=200 \right)$$

$\begin{matrix} Q \text{ (g)} \\ v \text{ (cm/s)} \\ R \text{ (m)} \end{matrix}$	3	4	5	6	7
1.0	0.2	0.4	0.6	0.9	1.2
5.0	28.1	50.0	78.1	112.5	153.1
10.0	225.0	400.0	625.0	900.0	1225.0
15.0	759.4	1350.0	2109.4	3037.5	4134.4
20.0	1800.0	3200.0	5000.0	7200.0	9800.0
25.0	3515.6	6250.0	9765.0	14062.5	19140.6
30.0	6075.0	10800.0	16875.0	24300.0	33075.0
35.0	9646.9	17150.0	26796.9	38587.5	52521.9
40.0	14400.0	25600.0	40000.0	57600.0	78400.0
45.0	20503.1	36450.0	56953.1	82012.5	111628.1
50.0	28125.0	50000.0	78125.0	112500.0	153125.0

烈度与速度关系表

表 2-27

烈 度	速度 (cm/s)	主 要 特 征
1	<0.2	仪器能察觉
2	0.2~0.4	静人能感觉
3	0.4~0.8	部分人及知道爆破的人有感觉
4	0.8~1.5	绝大多数人有感觉
5	1.5~3.0	房屋掉抹灰粉, 陈旧房屋受损失
6	3.0~6.0	墙上抹泥出现细裂缝, 已变形房屋受损失
7	6.0~12	房屋损坏掉渣, 砖炉烟囱裂纹
8	12~24	房屋严重损害出现大裂缝, 炉子烟囱倒塌
9	24~48	房屋破坏, 若干建筑物倒塌
10~12	>48	严重破坏, 房屋倒塌

【例 2-8】 厂房改建需爆除一根钢筋混凝土梁, 尺寸见图 2-11, 要求严格控制爆破能量和规模, 采用控制爆破进行破碎, 试计算用药量和进行炮孔布置。

【解】 因钢筋混凝土梁内有弯起钢筋, 影响钻孔工作, 拟采用水平钻孔; 又因梁高仅 50cm, 采取钻一排炮孔, 炮孔布置在偏于梁底主筋部位, 炮孔中心距梁底 23cm, 则:

$$W = \frac{23 + 27}{2} = 25\text{cm}$$

炮孔间距取  $a = 1.25W = 1.25 \times 25 = 31.3\text{cm}$ , 用 31cm。则炮孔深度:

$$\begin{aligned} l &= (0.6 \sim 0.7)H = (0.6 \sim 0.7) \times 65 \\ &= 39.0 \sim 45.5\text{cm} \end{aligned}$$

因要求炮孔底至临空面距离不小于  $W$ , 则允许炮孔深度为  $65 - 24 = 41\text{cm}$ , 在计算的  $l$  值范围以内, 故取  $l = 41\text{cm}$

由式 (2-34) 及表 2-18~表 2-22 每孔装药量为:

$$q = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot W \cdot H$$



$$= 0.11 \times 1.9 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.25 \times 0.65$$

$$= 0.034 \text{ kg} = 34 \text{ g}$$

采用二层装药, 上层为 16g, 下层为 18g, 共布孔 28 个, 全梁总装药量  $Q = 28 \times 34 = 952 \text{ g}$

每  $1 \text{ m}^3$  爆破耗药量为  $\frac{952}{0.50 \times 0.65 \times 9.0} = 325.5 \text{ g}$ , 在表 2-25 中爆破钢筋混凝土梁耗药量  $270 \sim 340 \text{ g/m}^3$  范围内。

梁炮孔布置见图 2-11。

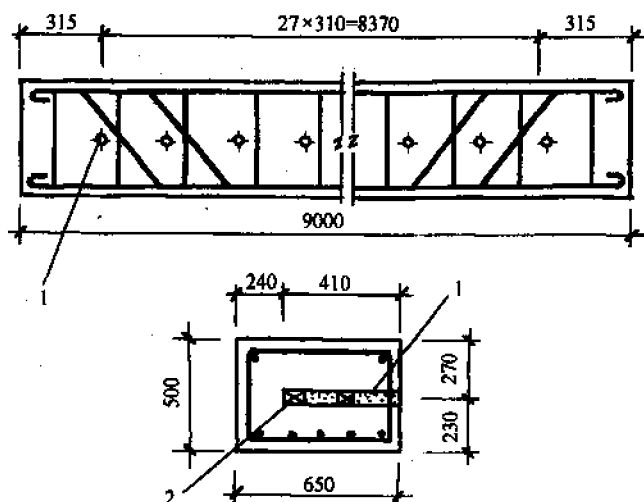


图 2-11 钢筋混凝土梁

1—炮孔; 2—药包

【例 2-9】 扩建工程需爆除一钢筋混凝土墙, 高 1.5m、宽 0.5m, 长 9m (图 2-12), 布筋较粗密, 要求严格控制爆破能量和规模, 采用控制爆破进行破碎, 试进行炮孔布置和计算用药量。

【解】 因墙厚不大于 500mm, 采用单排垂直炮孔劈裂爆破方法, 炮孔布置在中间, 最小抵抗线

$$W = \frac{500}{2} = 250 \text{ mm}$$

炮孔间距  $a = 1.3W = 325 \text{ mm}$ , 取用 300mm

$$\begin{aligned} \text{炮孔深度取 } l &= (0.7 \sim 0.8) H \\ &= (0.7 \sim 0.8) \times 1500 = 1050 \\ &\sim 1200 \text{ mm} \end{aligned}$$

因要求炮孔底到临空面距离不小于  $W$ , 则允许炮孔深度为  $1500 - 300 = 1200 \text{ mm}$ , 在计算的  $l$  值范围内, 故取  $l = 1200 \text{ mm}$ 。墙炮孔布置见图 2-12。

墙为三面临空由表 2-23 取  $K = 1.0$ , 又考虑材质情况由表 4-24 取  $P = 0.40$ , 则由式 (2-37) 每孔装药量为:

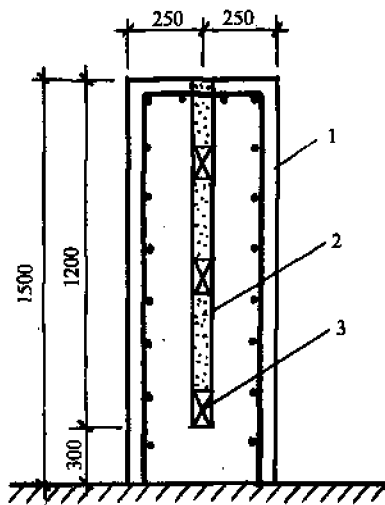


图 2-12 钢筋混凝土墙布孔

1—墙; 2—炮孔; 3—药包

$$q_2 = 1.8q_1 = 1.8KPl = 1.8 \times 1.0 \times 0.4 \times 120 \\ = 86.4\text{g} \quad \text{用 } 87\text{g}$$

采用三层装药, 上层为 27g、中层和下层为 30g, 共布孔 29 个, 全部墙总装药量为:

$$Q = 87 \times 29 = 2523\text{g}$$

每立方米墙体爆破耗药量为:

$$q = \frac{2523}{0.5 \times 1.5 \times 9.0} \approx 374\text{kg/m}^3$$

在表 2-25 中爆破钢筋混凝土墙耗药量 350~400g/m<sup>3</sup> 范围内。

【例 2-10】 某厂房爆破拆除设备基础, 距四层砖混结构宿舍楼最近为 12m, 该宿舍楼设计抗震裂度为 6 度, 基础拆除采用控制爆破, 试计算一次起爆最大用药量。

【解】 根据表 2-27 确定该宿舍楼所在地面质点震动速度不应超过 3cm/s, 取  $\alpha = 1.5$ ,  $K_c = 200$

由公式 (2-40) 得一次起爆的允许装药量为:

$$Q = R^3 \left( \frac{v}{K_c} \right)^{\frac{3}{1.5}} = (12)^3 \left( \frac{3}{200} \right)^{\frac{3}{1.5}} \\ \approx 0.39\text{kg}$$

故一次起爆最大用药量为 0.39kg。

## 2.6 烟囱控制爆破计算

钢筋混凝土烟囱控制爆破是应用炸药的爆破力将烟囱壁倾倒部位的根部破坏, 使其失去支撑自重的能力, 由烟囱自重产生的弯矩, 迫使烟囱整体失去稳定将烟囱未爆区根部的钢筋拉断, 沿预定方向和范围倾倒、破碎。

### 一、爆破支座和切口布置

为控制烟囱倾倒的方向, 在爆破时, 烟囱根部应保留一部分初始支承面积 (图 2-13), 选择好初始倾倒支点 (图 2-13 中  $A_1$  和  $A_2$  点), 亦即切口弧长。烟囱在倾倒过程中的支点起支撑筒体的作用, 根据理论计算和实践, 对于中、低烟囱, 一般使筒体切口部位弧长所对应的圆周角  $\beta = (4/3 \sim 5/4) \pi$ , 即能够满足定向倾倒失稳的要求, 但  $A_1$  和  $A_2$  点连线须垂直于倾倒方向中心线; 对于高、重烟囱, 一般取切口弧长  $\beta = (5/4 \sim 8/7) \pi$ , 亦可满足要求。切口弧长过大 ( $\beta = \frac{4}{3} \pi$ ) 初始支承面积  $\Pi$  将减小, 不足以支承烟囱倾倒时的轴向压力和剪力, 会使初始受压支座筒壁破坏严重, 造成倾倒方向失控; 切口弧长过小 ( $\beta < \pi$ ), 将使烟囱难以倾倒。为使烟囱定向倾覆力矩远大于抗倾覆力矩, 一般宜将支座受拉面的纵向钢筋预先切断。

切口形状多做成近似三角形与梯形组合切口, 其  $\theta$  角应大于倾倒角, 并且不大于  $20^\circ$ , 切口高度  $H = 1.4 \sim 2.0\text{m}$ ,  $H_0 = 0.8 \sim 1.0\text{m}$  为佳, 在筒体切口后面保留部分具有一定的承压面和剪切高度  $H$ , 以承受轴向力  $N_A$  和切向力  $R_A$ 。采用初始切口为三角形的好处在于烟囱在初始倾倒过程中的初始三角形切口将逐渐缓慢地闭合, 从而受压面亦逐渐增大, 相应地保证了压缩破坏过程的对称性, 可有效地控制烟囱倾倒在预定的方向和角度

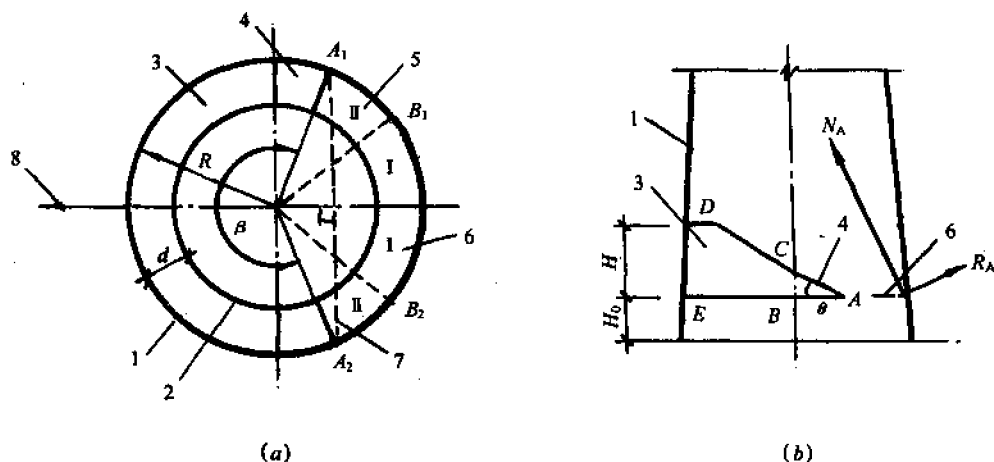


图 2-13 烟囱爆破倾倒支座及切口布置

(a) 切口弧长位置; (b) 支座面及导向孔位置

1—烟囱外壁; 2—烟囱内壁; 3—爆破切口; 4—导向孔; 5—初始支承面 (II 区);  
6—受拉面 (I 区); 切钢筋; 7—倾倒轴; 8—倾倒方向

内。为使爆破所形成的初始三角形切口的边缘平整, 先人工用风镐预先凿出  $BAC$  三角形切口边线, 并将切口边缘处的轴向和环向钢筋全部切断。然后在烟囱倾倒方向根部三角形与梯形组合切口部位打炮孔, 炮孔沿烟囱筒体圆周规定的范围内设置, 呈梯形布置, 高度  $1.7\text{m}$  左右, 使爆破后形成要求的三角形与梯形组合切口。施爆时分两段进行, 首先即发起爆, 形成三角初始切口; 第二段延发起爆形成梯形切口, 一旦爆破形成切口后, 其预留支座段的抗压和抗剪强度低于轴向压力和切向推力, 整个烟囱将下落并定向倾倒。

## 二、支座可靠性核算

对高、重的混凝土烟囱, 当  $\beta = (5/4 \sim 8/7) \pi$  时, 还应以支座安全储备系数  $K$  作为支座可靠性的依据,  $K$  值按下式计算:

$$K = \frac{f_{cc}A_c + f_{sc}A_s}{G} \quad (2-41)$$

式中  $f_{cc}$ ——实测烟囱混凝土强度后查设计规范 (GBJ 10—89) 中抗压强度;

$A_c$ ——支座受压面积, 建议  $A_c = 2dL_c$  取值;

$d$ ——支座筒壁厚度;

$L_c$ ——支座弧长;  $L_c = 4d$ ;

$A_s$ ——支座弧长内纵向钢筋面积;

$f_{sc}$ ——钢筋抗压设计强度;

$G$ ——倾倒段重量。

如  $K \geq 2$ , 可以认为支座可靠;  $K \leq 1$ , 则支座不牢固, 施爆后会因支座失效出现筒体严重降落, 而造成倾倒方向失控, 或出现筒体降落而插于根部, 成为倾而不倒的危险状态。当  $1 < K < 2$ , 支座亦属不牢靠。

## 三、爆破工艺参数

烟囱爆破的平面、立面范围确定后, 可求出切口欲崩掉的体积。根据烟囱的材料、结

构,可按松动爆破确定有关爆破参数。

切口爆破最小抵抗线  $W$ , 一般取  $W = \frac{d}{2}$  (m) ( $d$ —筒壁厚度); 炮孔间距  $a$ ; 混凝土烟囱  $a = (1.3 \sim 1.6) W$ ; 砖烟囱  $a = (1.4 \sim 2.0) W$ ; 炮孔排距  $b$ , 一般取  $b = a$ 。

#### 四、爆破用药量计算

单个炮孔装药量按下式计算:

$$Q = cabd \quad (2-42)$$

式中  $a$ ——炮孔间距 (m);  
 $b$ ——炮孔排距 (m);  
 $d$ ——筒壁厚度 (m);  
 $c$ ——装药系数, 按表 2-28 选用。

装药系数  $C$  值

表 2-28

项 次	烟囱材料	筒壁厚度	$C$ (kg/m <sup>3</sup> )
1	混凝土	350	1.7~1.95
		450	0.85~0.96
2	砖	370	1.8~2.1
		490	1.2~1.35
		620	0.72~0.86
		750	0.54~0.65

## 2.7 定向控制爆破计算

定向控制爆破是在一定的条件下, 使爆裂的岩石朝预定方向集中抛掷、堆积。本法节约炸药, 可定向抛掷, 可堆石筑堤 (坝)、回填, 减少运输; 但操作技术较为复杂。适用于堆石筑堤 (坝) 或对低洼处回填, 或形成一定截面的基坑、地沟、渠道。

定向爆破是应用在药包底部做成集中穴, 起聚能作用的原理, 在爆破部位人为的在最小抵抗线方向用辅助药包开创一个定向坑, 从而使主药包爆破抛掷物向定向坑方向集中, 使爆渣分布对称于最小抵抗线的水平投影, 在最小抵抗线方向抛掷最远 (亦称最小抵抗线原理), 以达到定向抛掷的效果。

在需定向抛掷部位, 设主、辅两个药包, 辅助药包在主药包起爆前 2~3s 先爆, 使之形成一个相当“定向坑”作用的爆破漏斗, 然后紧接着爆破主药包。主药包的最小抵抗线应垂直于凹面, 指向凹面的曲率中心 (又称定向中心)。按此布置药包, 爆落的岩土就会向着定向中心抛掷, 并且堆积体的重心在定向中心附近 (图 2-14)。

定向爆破装药量可以按下式计算:

当  $W < 25\text{m}$  时

$$Q = (0.4 + 0.6n^3) eqW^3 \quad (2-43)$$

当  $W > 25\text{m}$  时, 上式应考虑重力的影响, 乘以重力修正系数  $\sqrt{\frac{W}{25}}$ , 即

$$Q = (0.4 + 0.6n^3) eqW^3 \sqrt{\frac{W}{25}} \quad (2-44)$$

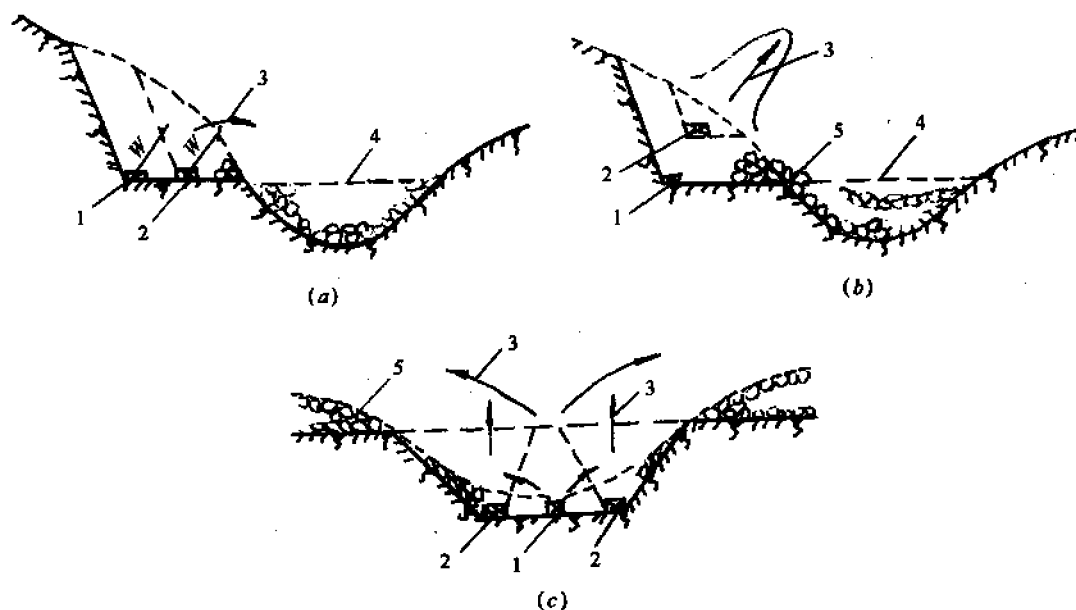


图 2-14 定向控制爆破

(a) 填沟; (b) 筑坝; (c) 开渠道、地沟

1—主药包; 2—辅助药包; 3—抛掷方向; 4—回填或筑坝开沟线; 5—爆渣堆积体

在山坡地段要考虑山坡坡度的影响, 乘以修正系数  $\sqrt{\cos\theta}$ , 即

$$Q = (0.4 + 0.6n^3) eqW^3 \sqrt{\cos\theta} \quad (2-45)$$

$$Q = (0.4 + 0.6n^3) eqW^3 \sqrt{\frac{W \cos\theta}{25}} \quad (2-46)$$

式中  $\theta$ ——山坡与水平的交角, 但不得大于  $90^\circ$ ; $n$ ——爆破作用指数, 当抛掷率为 60% 时, 已知山坡坡度角, 可参考表 2-29 取用;山坡坡度角  $\theta$  与  $n$  值的关系表

表 2-29

$\theta$ 值	$20^\circ \sim 30^\circ$	$30^\circ \sim 45^\circ$	$45^\circ \sim 70^\circ$	$70^\circ$ 以上
$n$ 值	1.5~1.75	1.25~1.50	1.00~1.25	0.75~1.00

其它符号意义同前。

【例 2-11】 山坡采用定向加强抛掷爆破, 山坡坡度  $\theta = 40^\circ$ , 土质为五类土, 最小抵抗线长度  $W = 7.5\text{m}$ , 用 2 号岩石硝铵炸药, 求抛掷率为 60% 时的药包重量。【解】 采用 2 号岩石硝铵炸药  $e = 1$ , 五类土  $q = 1.5\text{kg/m}^3$ , 爆破作用指数  $n$  由表 2-29 查得, 取  $n = 1.4$ 。

由式 (2-45) 得:

$$\begin{aligned}
 Q &= (0.4 + 0.6n^3) eqW^3 \sqrt{\cos\theta} \\
 &= (0.4 + 0.6 \times 1.4^3) \times 1 \times 1.5 \times 7.5^3 \sqrt{\cos 40^\circ} \\
 &= 1133.1\text{kg}
 \end{aligned}$$

抛掷率为 60% 时的药包重量为 1133.1kg。

## 2.8 分集药包量的计算

在定向、水压及拆除控制爆破中分集药包的两个子药包装药量按集中药包的装药量计算,其两个子药包的装药量分配,根据它们的最小抵抗线大小确定。当两个子药包的最小抵抗线相等时,药量按平均分配;若两个子药包的最小抵抗线不相等时,则按以下两式分配药量:

$$Q_1 = \frac{W_1^3}{W_1^3 + W_2^3} Q \quad (2-47)$$

$$Q_2 = \frac{W_2^3}{W_1^3 + W_2^3} Q \quad (2-48)$$

式中  $Q_1$ 、 $Q_2$ ——分别为两个子药包的装药量 (kg);  
 $W_1$ 、 $W_2$ ——分别为两个子药包的最小抵抗线 (m);  
 $Q$ ——集中药包装药量 (kg)。

【例 2-12】 渠道开挖爆破沟槽,需用两个子药包同时爆破,两个子药包的抵抗线长度分别为  $W_1 = 1.20\text{m}$ 、 $W_2 = 1.40\text{m}$ , 计算得总药量为  $3.5\text{kg}$ , 求子药包重量。

【解】 由式 (2-47) 及式 (2-48) 得:

$$Q_1 = \frac{1.20^3}{1.20^3 + 1.40^3} \times 3.5 = 1.35\text{kg}$$

$$Q_2 = \frac{1.40^3}{1.20^3 + 1.40^3} \times 3.5 = 2.15\text{kg}$$

故两个药包的装药量为  $1.35\text{kg}$  和  $2.15\text{kg}$ 。

## 2.9 爆破基底和边坡保护层厚度的计算

基坑和场地整平爆破应注意基底和边坡保护层厚度的控制,使不槽受破坏。

当爆区层高较小,无不利地质构造,岩石比较稳定及药包量较小时,其保护层厚度一般可按式计算:

$$D = R_y + 0.7B \quad (2-49)$$

$$\text{其中} \quad R_y = 0.62 \sqrt[3]{\frac{Q\mu}{\Delta}} \quad (2-50)$$

式中  $D$ ——基底或边坡保护层厚度 (m);

$R_y$ ——药包压碎圈半径 (m);

$Q$ ——药包装药量 (t);

$\Delta$ ——装药密度 ( $\text{t/m}^3$ );

$\mu$ ——压缩系数,见表 2-30;

$B$ ——药包宽度的一半 (m)。

压缩系数  $\mu$  值表

表 2-30

土 岩 性 质	土岩坚固系数 ( $f$ )	$\mu$ 值
粘 土	0.5	250
坚硬土	0.6	150
松散岩石	0.8~2.0	50
软 岩 石	3~5	20
中硬或坚硬岩石	6 以上	10

式 (2-49) 简化后为:

$$D = AW \quad (2-51)$$

式中  $W$ ——最小抵抗线;

$A$ ——预留基底或边坡保护层常数,  $A$  值按表 2-31 取用。

预留边坡保护层常数  $A$ 

表 2-31

土岩类别	单位炸药消耗量 $K$ 值 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$\mu$ 值	各种 $n$ 值下的 $A$ 值					
			0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
粘土	1.1~1.35	250	0.415	0.474	0.550	0.635	0.725	0.820
坚硬土	1.1~1.4	150	0.362	0.413	0.479	0.549	0.632	0.715
松软岩石	1.25~1.4	50	0.283	0.323	0.375	0.433	0.494	0.558
中等坚硬岩石	1.4~1.6	20	0.235	0.268	0.311	0.360	0.411	0.464
坚硬岩石	1.5	10	0.21	0.24	0.279	0.322	0.368	0.416
	1.6	10	0.125	0.246	0.284	0.328	0.375	0.424
	1.7	10	0.219	0.250	0.290	0.335	0.363	0.433
	1.8	10	0.224	0.265	0.296	0.342	0.390	0.411
	1.9	10	0.227	0.260	0.302	0.348	0.398	0.450
	2.0	10	0.231	0.264	0.306	0.354	0.404	0.457
	2.1	10	0.236	0.269	0.312	0.361	0.412	0.466
	2.2 以上	10	0.239	0.273	0.332	0.385	0.418	0.472

当爆区边坡地质构造不利, 岩石不稳定, 药包量较大时, 保护层的厚度应按压碎圈半径的 2~3 倍考虑。

爆破时药包中心离设计基底和边坡边界线的距离 (位置和标高)  $R \geq D$ , 即可保护基底和边坡不遭受破坏。

【例 2-13】 软质基岩采用深孔法爆破, 使用硝铵炸药, 装药量为  $Q = 51.2\text{kg}$ , 孔径为 270mm, 试求地基基坑需预留保护层厚度。

【解】 由表 2-30, 软质岩石  $\mu = 20$ , 取炸药密度  $\Delta = 0.96\text{t}/\text{m}^3$

由式 (2-50) 药包压碎圈半径为:

$$R = 0.62 \sqrt[3]{\mu \frac{Q}{\Delta}} = 0.62 \times \sqrt[3]{20 \times \frac{0.512}{0.9}}$$

$$= 0.62 \times 1.202 \approx 0.745\text{m}$$

由式 (2-49) 基底保护层厚度为:

$$D = R_y + 0.7B = 0.745 + 0.7 \times \frac{0.270}{2}$$

$$= 0.745 + 0.095 = 0.84\text{m}$$

为安全计取保护层厚度为 1.0m。

## 2.10 微差爆破计算

微差爆破,系指相邻炮孔中的炸药,在极短的时间内(以毫秒计),按预先设计好的次序,利用毫秒延期雷管或微差起爆器,以毫秒(ms)级时差顺序起爆各个(组)药包的爆破方法。由于炸药相继爆炸所产生的应力波的叠加及抛石的互相碰撞作用,使爆炸效果大幅提高,虽一次性用药量大,但同时起爆的药量减少,能有效地控制冲击波、震动和噪声在最小限度内。具有操作简单、安全、迅速,显著减少地震效应,增加一次爆破量,降低炸药消耗和超挖量等优点,在深孔爆破中应用较为广泛。

微差爆破计算包括爆破地震效应及强度、微差间隔时间、爆破参数(密集系数、底盘抵抗线、排距)以及最大允许用药量等。

### 一、爆破地震效应及强度计算

爆破地震效应指爆破对建筑物的影响程度,工程上估量爆破地震效应的危害范围,常用建筑物离爆源的安全距离  $R_d$  来进行验算。我国现行爆破安全规程规定对建筑物的  $R_d$  值应不小于下式计算值:

$$R_d = K_d \cdot \alpha \cdot \sqrt[3]{Q} \quad (2-52)$$

在爆破地震时,表示地震强度的主要参数有速度峰值、位移峰值以及频谱和震动持续时间等,它与爆破药量、爆源距离、爆破方式、炸药性能、岩石特性及传播介质、地形条件等因素有关。一般都以振速峰值来衡量爆破地震强度,并作为划分破坏程度的指标,通常以以下公式计算:

$$v = K \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^\alpha \quad (2-53)$$

式(2-52)和式(2-53)符号意义、爆破振速控制限值和允许界限及计算实例分别见本章 2.18.1 和 2.17.1 两节(略)。

### 二、微差间隔时间的计算

微差间隔时间  $t$  (ms) 即两次起爆的时间间隔,是微差爆破成败的最关键性因素,间隔时间过长或过短都将严重影响爆破效果。微差爆破最佳间隔时间,一般可按以下经验公式计算:

$$t = KW \quad (2-54)$$

$$\text{或} \quad t = 3.3K_0W \quad (2-55)$$

式中  $t$ ——最佳微差间隔时间 (ms);

$W$ ——最小抵抗线 (m);

$K$ ——由岩石特性决定的系数(亦即每米抵抗线移动需要的时间 (ms/m));对坚硬岩石: $K=3$ ;对松软岩石: $K=6$ ;

$K_0$ ——考虑各种因素的影响系数,一般可取  $K=1\sim 2$ 。

在实际应用中,当岩层变化比较大时,可用以下公式计算确定最佳微差间隔时间:

$$\Delta t = \frac{10^3}{5.5 + \frac{2.3C_{np}}{10^6}} \quad (2-56)$$



式中  $C_p$ ——岩石纵波速度 (m/s);

$\rho$ ——岩石密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

岩石的纵波速度与密度如表 2-32 所列。

岩石的纵波速度与密度表

表 2-32

岩石名称	纵波速度 (m/s)	密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
石英岩	5300~6050	2850
辉绿岩	4500~6000	2800
大理岩	5800	2750
玄武岩	5610	3000
花岗岩	3970~6100	2670
石灰岩	3050~6100	2650
片麻岩	4730~5580	2650
板岩	3660~4450	2800
砂岩	2440~4270	2450
页岩	1830~3970	2350
粘土	1130~2500	1400
冲积层	504~1960	1540
土壤	153~763	1100~1200

根据地震波干扰降震理论计算表明, 微差爆破降震效果最佳的间隔时间应为岩石 (或土壤) 自振周期  $T$  值的一半, 即  $\Delta t = \frac{1}{2} T$  (当分段数为偶数时); 当分段数  $m$  为奇数时,  $\Delta t = \frac{m}{2m+1} \cdot T$  或  $\frac{m+1}{2m+1} \cdot T$ ; 例如经过实测岩石 (或土壤) 振动周期  $T = 50\text{ms}$ , 对于该种振动周期如采用五段微差 (即  $m = 5$ ), 可获得减震效果的微差间隔时间有:

$$\Delta t_1 = \frac{1}{5} T = 10\text{ms} \quad \Delta t_2 = \frac{2}{5} T = 20\text{ms}$$

$$\Delta t_3 = \frac{3}{5} T = 30\text{ms} \quad \Delta t_4 = \frac{4}{5} T = 40\text{ms}$$

而选用  $\Delta t_2 = 20\text{ms}$  和  $\Delta t_3 = 30\text{ms}$  是比较可靠的。

如采用十段微差起爆, 则

$$\Delta t_1 = \frac{1}{10} T = 5\text{ms}; \quad \Delta t_2 = \frac{2}{10} T = 10\text{ms}$$

$$\Delta t_3 = \frac{3}{10} T = 15\text{ms}; \quad \Delta t_4 = \frac{4}{10} T = 20\text{ms}$$

$$\Delta t_5 = \frac{5}{10} T = 25\text{ms}; \quad \Delta t_6 = \frac{6}{10} T = 30\text{ms}$$

$$\Delta t_7 = \frac{7}{10} T = 35\text{ms}; \quad \Delta t_8 = \frac{8}{10} T = 40\text{ms}$$

$$\Delta t_9 = \frac{9}{10} T = 45\text{ms}$$

而选取  $\Delta t_5 = \frac{1}{2} T = 25\text{ms}$  是合适的。

一般微差间隔时间为 25~75ms。

### 三、微差爆破参数计算

1. 密集系数  $m$  一般应比齐发爆破大。根据经验, 前排孔可取  $m = 0.7 \sim 0.8$ ; 后排

孔可取  $m = 0.85 \sim 1.3$ 。

2. 底盘抵抗线  $W$  一般取  $W = (0.6 \sim 0.9) H$  ( $H$ —为台阶高)。

3. 排距  $b$  一般按下式计算:

$$b = \frac{a}{m_{\text{后}}} \quad (\text{m}) \quad (2-57)$$

式中  $m_{\text{后}}$ ——后排孔的密集系数;

$a$ ——炮孔间距 (m)。

#### 四、微差爆破最大允许用药量计算

微差爆破最大允许药量  $Q_m$  可用下式计算:

$$Q_m = 0.65NQ \quad (2-58)$$

式中  $N$ ——微差爆破的段数;

$Q$ ——允许齐发爆破的最大药量。当已知爆源距  $R_d$  和场地系数  $K_d$  时,  $Q$  可由式 (2-52) 计算。

【例 2-14】 岩坡采用微差爆破, 分 4 段进行, 已知最小抵抗线  $W = 3.8\text{m}$ , 岩石为坚硬有裂隙岩石,  $K = 3$ ;  $K_d = 5$ , 要求离建筑物的安全距离  $R_d = 50\text{m}$ , 试计算确定最佳微差间隔时间和爆破最大允许药量。

【解】 (1) 计算最佳微差间隔时间

已知  $K = 3$ ,  $W = 3.8\text{m}$ , 由式 (2-54) 得:

$$t = KW = 3 \times 3.8 = 11.4\text{ms}$$

取  $K_0 = 1$ , 由式 (2-55) 得:

$$t = 3.3 \times 1 \times 3.8 = 12.5\text{ms}$$

用  $t = 12\text{ms}$

(2) 计算爆破最大允许药量

已知  $K_d = 3$ ,  $R_d = 50$ , 取  $\alpha = 1.2$ , 由式 (2-52) 得:

$$Q = \left( \frac{R_d}{K_d \alpha} \right)^3 = \left( \frac{50}{3 \times 1.2} \right)^3 = 578.7\text{kg}$$

由式 (2-58) 得:

$$Q_m = 0.65NQ = 0.65 \times 4 \times 578.7 \approx 1505\text{kg}$$

## 2.11 水压控制爆破计算

水压控制爆破系在完全封闭或未予封闭的中空结(构)筑物内, 全部或部分灌水, 然后起爆自由悬挂置于水中一定深度处的防水药包, 充分利用水的不可压缩性和传压效果良好的特性, 使构筑物四周壁体均匀破碎。水压控制爆破与爆孔法爆破相比, 具有不用钻孔作业, 装药个数少, 点火线路简单, 炸药能量能有效利用, 空气冲击波、爆破地震波、声响、飞石、粉尘、有害气体等危害作用小, 安全性较好以及结构破碎均匀, 作业快速, 费用较低等优点; 但爆破宜选用威力大、耐水性好的炸药, 并应有排水措施。

### 一、药包布置

对于均匀圆筒形或长方形 (长宽比  $\frac{a}{b} \leq 1.2$ ) 的中空构筑物或罐体, 一般用单个中心

药包, 药包至内壁的距离, 取等于罐体内半径 (图 2-15a), 当罐体高度  $H \geq 3R_w$  时, 则设上下层中心群药包 (图 2-15b)。长方形罐体的长宽比  $\frac{a}{b} > 1.5$  时, 可设计分群药包。药包入水深度  $H_0$  与  $R_w$  之比应为  $\frac{H_0}{R_w} = 0.7 \sim 1.0$  同时  $H_0$  不小于  $\sqrt[3]{Q}$  ( $Q$ —药包总重量), 药包与罐底的距离  $H_1$  与  $R_w$  之比  $\frac{H_1}{R_w} = 0.35 \sim 0.5$ , 水深应充满整个欲爆碎的罐体。采用群药包, 药包群主药包的间距  $a = (1.0 \sim 1.5) R_w$ 。如在罐体壁上有加强柱, 应另在加强柱底部设辅助药包。

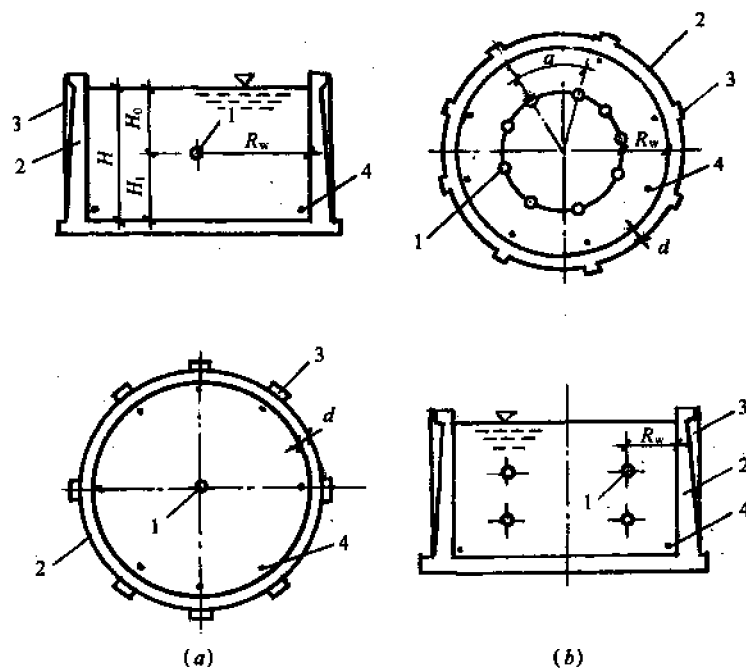


图 2-15 水压控制爆破计算简图  
(a) 中心药包布置方式; (b) 群药包布置方式  
1—药包; 2—罐壁; 3—加强柱; 4—辅助药包

## 二、药包量计算

水压控制爆破的装药量, 可按以下经验公式计算:

$$Q = K_e \cdot d \cdot R_w^2 \quad (2-59)$$

式中  $Q$ ——药包总重量 (kg);

$d$ ——构筑物壁厚 (m);

$R_w$ ——药包中心至圆形罐体内壁或矩形罐体短边内壁的距离 (m);

$K_e$ ——与中空结构特性、爆破方式、配筋情况、材质、环境条件等有关的系数, 一般取  $0.5 \sim 2.5$ ; 直径  $< 10\text{m}$ , 壁厚  $< 0.2\text{m}$ , 常取  $0.5 \sim 1.25$ 。

对于边长不等的矩形薄壁构筑物,  $d$  与  $R$  应采用等效壁厚  $\hat{d}$  与等效半径  $\hat{R}$ , 可按下列式计算:

$$\hat{d} = \sqrt{\frac{4(a+d)(b+d)}{\pi}} - \sqrt{\frac{4ab}{\pi}} \quad (2-60)$$

$$\hat{R} = \frac{4ab}{\pi} \quad (2-61)$$

式中  $a$ 、 $b$ ——分别为矩形构筑物长边的  $1/2$ 。

水压控制爆破简单钢筋混凝土槽形结构, 装药量亦可按以下经验公式计算:

$$Q = KS \quad (2-62)$$

式中  $Q$ ——药包装药数量 (kg);

$K$ ——爆破系数, 混凝土结构为  $0.020 \sim 0.025$ ; 钢筋混凝土结构为  $0.030 \sim 0.033$ ;

$S$ ——通过装药中心水平面的槽壁截面面积 ( $\text{cm}^2$ )

式 (2-62) 系采用梯黑炸药, 采用其他炸药时, 药量适当增加。

【例 2-15】 钢筋混凝土水池尺寸如图 2-16, 采用水压控制爆破进行解体, 取  $K_e = 2.2$ , 试求药包重量并进行药包布置。

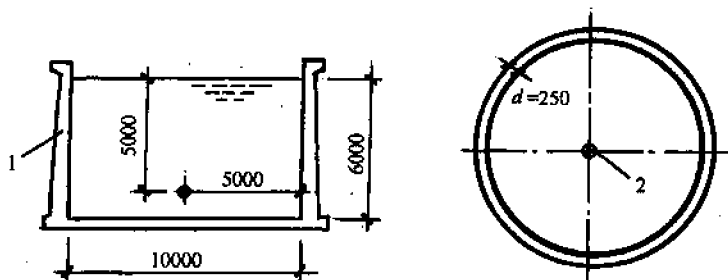


图 2-16 水池尺寸及爆破拆除布药方式

1—池壁; 2—中心药包

【解】 因  $H/R_w = 6/5 = 1.2 < 3$ , 采用一层中心药包布置方式, 由式 (2-59) 得:

药包重量  $Q = K_e d R_w^2 = 2.2 \times 0.25 \times 5^2 = 13.75 \text{kg}$

药包设在池中心, 放入水中深度  $H_0 = R_w = 5.0 \text{m}$ , 药包布置如图 2-16。

【例 2-16】 钢筋混凝土罐体尺寸如图 2-17, 壁部设有 8 根加强柱, 附近有砖结构, 试用分群药包布置方式进行解体, 求各分药包重量。

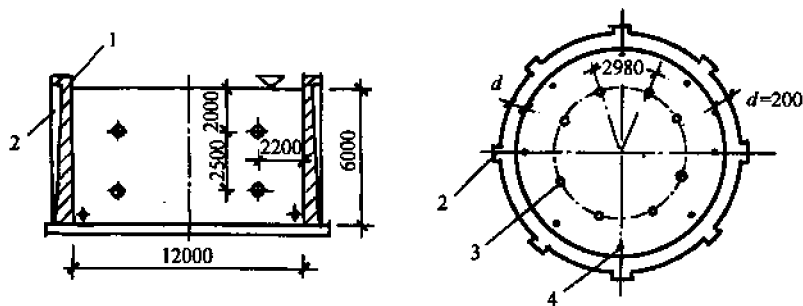


图 2-17 罐体尺寸及爆破拆除群药包布置方式

1—池壁; 2—加强柱; 3—分集药包; 4—辅助药包

【解】 根据罐体尺寸取  $R_w = 2.2 \text{m}$ , 则  $H_0 = R_w = 2.2 \text{m}$ ,  $a = (1.0 \sim 1.5) R_w = (1.0 \sim 1.5) \times 2.2 = 2.2 \sim 3.3 \text{m}$ , 上下层均用 8 个药包, 则  $a = 2.98 \text{m}$ , 上下层药包间距为  $2.5 \text{m}$ 。

为了确保周围砖结构安全,避免罐体加强柱向外倾倒,取  $K_c = 1.14$ ,则每个分群主药包重量为:

$$Q = K_c d R_w^2 = 1.14 \times 0.2 \times 2.2^2 = 1.1 \text{ kg}$$

在加强柱根部放 8 个辅助小药包,主药包承担破坏罐壁主体部分,辅助药包承担爆破罐体四周加强柱的根部,布置如图 2-17。

【例 2-17】人防地下室工程,系钢筋混凝土结构,长 9.0m、宽 4.0m、高 4.0m,墙壁、底板和顶盖厚均为 500mm (图 2-18a)。现拟采用水压控制爆破,采用硝铵炸药,试求药包量并进行药包布置。

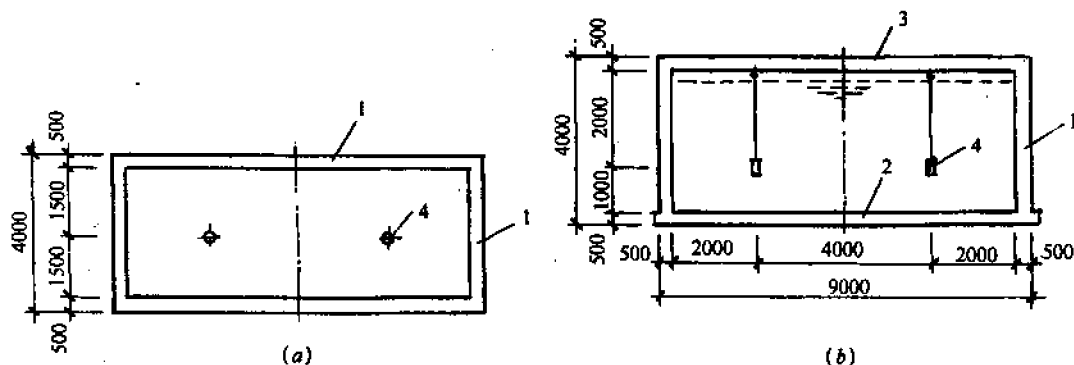


图 2-18 人防地下室结构尺寸及药包布置

(a) 平面图; (b) 剖面及药包布置

1—墙壁; 2—底板; 3—顶板; 4—药包

【解】取爆破系数  $K = 0.033$

通过装药中心水平面的工程截面面积为:

$$S = 9.0 \times 0.5 \times 2 + (4 - 1.0) \times 0.5 \times 2 = 12 \text{ m}^2$$

由式 (2-62) 装药数量为:

$$Q = KS = 0.033 \times 12 \times 10000 / 1000 = 3.96 \approx 4.0 \text{ kg}$$

本工程采用硝铵炸药,故按计算药量增加 15%,总药量为:

$$Q = 4.0 \times 1.15 = 4.6 \text{ kg}$$

由于地下室为长方形,分为两个药包,每个装药 2.3kg,置于水深的 2/3 处,即  $(4 - 2 \times 0.5) \times \frac{2}{3} = 2 \text{ m}$  深处 (图 2-18b)。把装药放入医用盐水瓶内,每瓶装 500g,内放电雷管 2 个,瓶口用橡皮塞塞紧,再用胶布密封,然后用 2 个塑料袋封闭,安上电爆导线,把装药用绳悬吊在地下室设计爆破位置,从小孔内引出导线。水从封闭后的小孔内灌入。为防震在地下室四周挖一条宽 0.4m,深 0.6m (底板厚 0.5m) 的防震沟,并在四周做好防震和排水措施。

## 2.12 爆扩桩用药量计算

爆扩成孔灌注桩,成孔一般先采用手摇麻花钻、钻机或洛阳铲先打 40~70mm 直径导孔,然后在孔中放入不同直径的条形药包,引爆后形成桩孔。为提高承载能力,有的再在

孔底部放扁球形药包，二次在底部爆扩成大头做成扩大头桩。也有的成孔采用锤击、回转钻机或洛阳铲，仅在底部采用爆扩方法做成扩大头桩。

### 一、爆扩桩孔用药量计算

爆扩桩孔用药量一般经试验确定，亦可参考表 2-33 采用。

爆扩成孔法的爆扩参考表

表 2-33

土的类别	土的变形模量 $E$ (MPa)	桩身直径 $d$ (mm)	玻璃管内径 (mm)	用药量 (kg/m)
未压实的人工填土	5	300	20~21	0.25~0.26
软塑可塑粘性土	3~15	300	22	0.28~0.29
硬塑粘性土	20	300	25	0.37~0.38
黄土类土	—	300	20~21	0.28~0.29
湿陷性黄土状粉质粘土	—	250~300	20~21	0.28~0.29
湿陷性黄土状粉质粘土	—	300~390	22~23	0.31~0.32
湿陷性黄土状粉质粘土	—	390~440	25~28	0.35~0.39
湿陷性黄土状粉质粘土	—	440~550	30~33	0.42~0.46

### 二、爆大头的炸药用量估算

爆大头的炸药用量估算，应经过试爆来确定，试爆时可按下式估算：

$$D = K \cdot \sqrt[3]{C} \quad (2-63)$$

式中  $D$ ——爆扩大头直径 (m)；

$C$ ——炸药用量 (kg)；

$K$ ——土质影响系数，根据试验结果，不同土质条件下的土质影响系数列于表 2-34，可供参考。

土质影响系数  $K$  值表

表 2-34

土的类别	变形模量 $E$ (MPa)	天然地基计算强度 $f_k$ (MPa)	土质影响系数 $K = \frac{\text{扩大头直径 (m)}}{\sqrt[3]{\text{用药量 (kg)}}}$
坡积粘土	50	0.40	0.7~0.9
坡积粘土、粉质粘土	14	—	0.8~0.9
粉质粘土	13.4	—	1.0~1.1
冲积粘土	12	0.15	1.25~1.30
残积可塑粉质粘土	18	0.20~0.25	1.15~1.30
残积可塑粉质粘土	24	0.25	1.02
沉积可塑粉质粘土	8	0.20	1.03~1.21
黄土类粉质粘土	—	0.12~0.14	1.19
卵石层	—	0.60	1.07~1.18
松散角砾	—	—	0.94~0.99
稍湿粉质粘土：干密度 > 1.35	—	—	0.8~1.0
干密度 > 1.35	—	—	1.0~1.2

试爆时用药量亦可参照表 2-35 选用，施工时再按试爆资料调整用药量。

爆大头用量参考表

表 2-35

爆大头直径 (m)	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
炸药用量 (kg)	0.30~0.45	0.45~0.60	0.60~0.75	0.75~0.90	0.90~1.10	1.10~1.30	1.30~1.50

- 注: 1. 表内数值适用于地面以下深度 3.5~9.0m 的粘性土, 土质松软时采用小的数值, 坚硬时采用大的数值;  
2. 在地面以下 2.0~3.0m 的土层中爆扩时, 用量应按表值减少 20%~30%;  
3. 在砂类土中爆扩时, 用量应按表值增加 10%。

【例 2-18】 在粉质粘土地基上进行爆扩桩施工, 要求爆大头直径为 1.25m, 试求用药量。

【解】 参考表 2-34 粉质粘土  $K=1.1$ , 代入公式 (2-63) 得:

$$C = \left( \frac{D}{K} \right)^3 = \left( \frac{1.25}{1.1} \right)^3 = 1.47 \text{kg}$$

每个爆大头用药量为 1.47kg。

## 2.13 电爆网络的联结计算

电力起爆是通过电雷管中的电力点火装置, 先使雷管中的起爆药爆炸, 然后使药包爆炸。它是建筑爆破工程最常用的一种手段和方法, 可同时起爆多个药包, 可间隔、延期起爆, 且安全可靠。爆破时所用主要器材设备有: 电雷管、电线、电源及检查仪表。电线是用来联结电雷管、组成电爆网络, 一般常用胶皮绝缘线; 按其在电爆网络中作用的不同, 又分为脚线、端线、联结线和主线等。电雷管引出的导线称为脚线。电源常用放炮器、干电池、蓄电池、照明或动力线路。所需起爆电流, 当用直流电时, 不应小于 2.0A, 如用交流电时, 不应小于 2.5A; 检查仪表有小型欧姆表、仪特表、安培表、万能表和爆破电桥等。

电雷管与电线的联结方式有串联、并联、串并联、并串联四种 (图 2-19), 其需用的起爆电流和电压, 应分别经计算确定。

### 一、串联网路联结计算

串联法系先将相邻的电雷管脚线用支线 (联结线、区域线, 下同) 串联, 最后再将剩下的两根脚线与主线联结 (图 2-19a)。本法起爆线路所需电流最小, 导线消耗亦最小, 作业简单迅速, 易于检查; 缺点是如线路中有一个电雷管发生故障, 会使全部电路中断拒爆。

串联时, 电流连续地通过网络中所有雷管。网络上的总电阻可按式计算:

$$R = R_1 + R_2 + nr + R' \quad (2-64)$$

式中  $R$ ——电爆网络中的总电阻 ( $\Omega$ );

$R_1$ ——主线电阻 ( $\Omega$ );

$R_2$ ——支线 (端线、联结线、区域线) 的电阻 ( $\Omega$ );

$r$ ——每个雷管的电阻 ( $\Omega$ ), 一般用  $r=1.5\Omega$  计算;

$n$ ——线路中电雷管的数目 (个);

$R'$ ——电源的内电阻 ( $\Omega$ ); 当用照明线路或动力线路时, 可忽略不计。

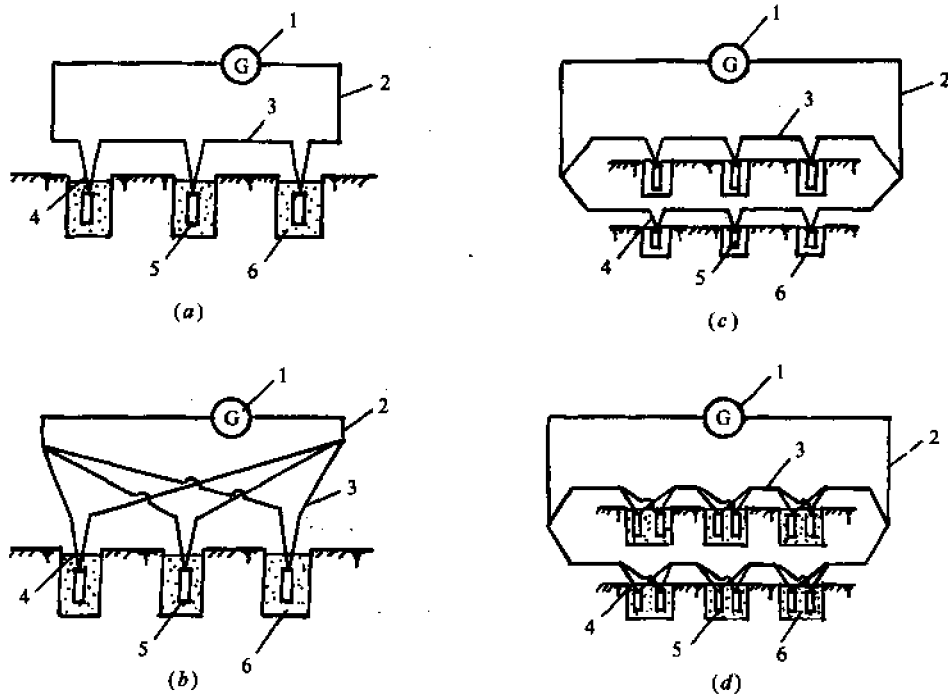


图 2-19 电雷管与电线的联接方式

(a) 串联法; (b) 并联法; (c) 串并联法; (d) 并串联法

1—电源; 2—主线; 3—联结线; 4—脚线; 5—电雷管; 6—药室

通过电爆网路中所需总的准爆电流可按式计算:

$$U = RI = (R_1 + R_2 + nr + R') i \quad (2-65)$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_2 + nr + R'} \geq i \quad (2-66)$$

式中  $I$ ——电爆网路中所需总的准爆电流 (A); $U$ ——电源电压或所需采用的电源电压 (V)。

为了保证网路安全可靠准爆, 必须使通过网路的电流, 亦即通过每个雷管的电流大于电雷管的准爆电流, 即

$$I_i > i \quad (2-67)$$

式中  $I_i$ ——电爆网路分支线路的准爆电流 (A); $i$ ——通过每个电雷管所需的准爆电流 (A), 见表 2-36。

电雷管的准爆电流

表 2-36

类 别	直流电源 (A)	交流电源 (A)
单个雷管	1.38	1.47
成组雷管	2.00	2.50

为了提高准爆的可靠性, 在设计起爆网路时, 准爆电流的有效值应取比表 2-36 中的数值更高一些为佳。



如已知网路的电阻来选择电源或确定电源电压,可按下式计算:

$$U = Ri \quad (2-68)$$

## 二、并联网路联结计算

并联法系将所有雷管两端的脚线或端线分别接在两根主线上(图 2-19b)。本法各雷管的电流互不干扰,不易发生拒爆现象;缺点是导线消耗多,需大截面主线,需起爆电流大。

并联线路时,网路上的总电阻可按下式计算:

$$R = R_1 + \frac{R_2 + r}{m} + R' \quad (2-69)$$

主线上的电流可按下式计算:

$$U = RI = \left( R_1 + \frac{R_2 + r}{m} + R' \right) mi \quad (2-70)$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + \frac{R_2 + r}{m} + R'} \geq mi \quad (2-71)$$

式中  $m$ ——并联分支线路的组数;

其他符号意义同前。

若各分支线路上的电阻均相同时,则各分支电流即流过每个雷管的电流为:

$$I_i = \frac{I}{m} \quad (2-72)$$

为了保证准爆,还必须符合条件:  $I_i > i$ 。 $i$  的数值参见表 2-37。

电雷管的准爆电流

表 2-37

项 次	项 目	直流电源 (A)	交流电源 (A)
1	单个雷管	1.38	1.47
2	成组雷管	2.00	2.50

## 三、串并联网路联结计算

串并联法系将所有电雷管分成几组,同一组的电雷管串联在一起,然后组与组之间再并联在一起(图 2-19c)。本法需要的电容量比并联小,同组中的电流互不干扰;缺点是敷设较复杂些,导线消耗量大。

串并联法网路上的总电阻,可按下式计算:

$$R = R_1 + \frac{1}{m} (R_2 + nr) + R' \quad (2-73)$$

串并联法网路上的总电流,按下式计算:

$$U = RI = \left[ R_1 + \frac{1}{m} (R_2 + nr) + R' \right] mi \quad (2-74)$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + \frac{1}{m} (R_2 + nr) + R'} \geq mi \quad (2-75)$$

符号意义均同前。

若每组线路上的电阻相等, 则通过每组线路上的电流, 亦即通过每一个雷管的电流为:

$$I_i = \frac{I}{m} \quad (2-76)$$

为了保证准爆, 必须符合条件:  $I_i > i$ 。

#### 四、并串联网路连结计算

并串联法系将所有雷管分成几组, 同一组的电雷管并联在一起, 然后组与组之间串联在一起 (图 2-19d)。本法可采用较小的电容量和较低的电压, 可靠性比串联强。缺点是敷设较复杂些; 有一个雷管拒爆时, 仍将切断一个分组的线路。

并串联法网路中的总电阻按下式计算:

先算出每一分支线路的电阻

$$R_i = \frac{nr}{N} + R_{2i} \quad (2-77)$$

然后以其中最大的分支线路电阻  $R_{\max}$  为标准, 则电爆网路的总电阻为:

$$R = R_1 + \frac{1}{N}R_{\max} + R' \quad (2-78)$$

式中  $R_i$ ——第  $i$  分支线路的电阻 ( $\Omega$ );

$N$ ——每药室并联雷管数目 (个);

$R_{2i}$ ——第  $i$  分支线路上端线、联结线、区域线的电阻 ( $\Omega$ );

$R_{\max}$ ——电阻平衡后各分支线路中最大的电阻 ( $\Omega$ );

其他符号意义同前。

并串联法网路上的总电流, 亦即流过每一支线上的电流 按下式计算:

$$U = RI = (R_1 + \frac{1}{N}R_{\max} + R') nNi \quad (2-79)$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + \frac{1}{N}R_{\max} + R'} \geq nNi \quad (2-80)$$

通过每一雷管的电流, 若每一支线路上并联的雷管数目相同, 均等于  $n$ , 则:

$$I_i = \frac{I}{n} \quad (2-81)$$

为了保证准爆,  $I_i$  亦应符合式  $I_i > i$  条件。

#### 五、导线截面选择计算

一般导线电阻值可按下式计算:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (2-82)$$

式中  $S$ ——导线线芯的截面积 ( $\text{mm}^2$ );

$l$ ——导线长度 (m);

$\rho$ ——电阻系数 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ), 一般铜的电阻系数为 0.0175; 铝的电阻系数为 0.028; 铁的电阻系数为 0.1324。

常用国产铜芯、铝芯、聚氯乙烯塑料导线的规格见表 2-38 和表 2-39。

BV (铜芯塑料线) 规格表

表 2-38

序 号	标称截面 (mm <sup>2</sup> )	线芯单线根数 (根)	单线直径 (mm)	绝缘厚度 (mm)	导线电阻 (Ω/km)	参考价格 (元/km)
1	0.8	1	1.0	0.7	21.9	100
2	1.0	1	1.13	0.7	17.5	120
3	1.5	1	1.37	0.7	11.7	155
4	2.5	1	1.76	0.8	7.0	230
5	4.0	1	2.24	0.8	4.4	330
6	6.0	1	2.73	0.9	2.92	475
7	10	7	1.33	1.0	1.75	845
8	16	7	1.70	1.0	1.09	1280
9	25	7	2.12	1.2	0.7	1900
10	35	7	2.50	1.2	0.5	2570
11	50	19	1.83	1.4	0.35	3700
12	70	19	2.14	1.4	0.25	5230
13	95	19	2.50	1.6	0.19	6650

BLV (铝芯塑料线) 规格

表 2-39

序 号	标称截面 (mm <sup>2</sup> )	线芯单线根数 (根)	单线直径 (mm)	绝缘厚度 (mm)	导线电阻 (Ω/km)	参考价格 (元/km)
1	0.8	1	1.0	0.7	35.0	—
2	1.0	1	1.13	0.7	28.0	75
3	1.5	1	1.37	0.7	18.6	83
4	2.5	1	1.76	0.8	11.2	95
5	4.0	1	2.24	0.8	7.0	120
6	6.0	1	2.73	0.9	4.7	165
7	10.0	7	1.33	1.0	2.8	300
8	16.0	7	1.70	1.0	1.75	400
9	25.0	7	2.12	1.2	1.12	570
10	35.0	7	2.50	1.2	0.8	760
11	50.0	19	1.83	1.4	0.56	1000
12	70.0	19	2.14	1.4	0.4	1350
13	95.0	19	2.50	1.6	0.3	1800

导线截面的选择, 一般端线、联结线、区域线的截面可按欧姆定律计算或根据经验选用。在保证准确起爆的条件下, 尽可能选取小的截面。一般选取端线、联接线截面为 1.5mm<sup>2</sup> 及 2.5mm<sup>2</sup>; 区域线截面为 2.5mm<sup>2</sup> 及 4mm<sup>2</sup>。主线截面可按允许电压降及通过的电流两个条件, 按下列公式计算:

$$\Delta U = U_1 - U_2 \quad (2-83)$$

$$R_1 = \frac{\Delta U}{I_1}$$

$$r_1 = \frac{R_1}{L_1}$$

$$S_{\text{选}} = \frac{\rho + 0.08 Q}{r_1} = \frac{17 + 0.08 Q}{r_1} \quad (2-84)$$

$$S_{Al} = \frac{\rho + 0.12Q}{r_1} = \frac{28.6 + 0.12Q}{r_1} \quad (2-85)$$

式中  $\Delta U$ ——允许电压降 (V);

$U_1$ ——电源输出端电压 (V);

$U_2$ ——起爆网路要求的电压 (V);

$R_1$ ——允许主线电阻 ( $\Omega$ );

$I_1$ ——要求主线通过的电流 (A);

$r_1$ ——主线单位长度电阻值 ( $\Omega/\text{km}$ );

$L_1$ ——主线长度 (m);

$\rho$ ——电阻系数 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ );

$Q$ ——导线温度, 一般取  $25^\circ\text{C}$ ;

$S_{\text{cu}}$ 、 $S_{\text{Al}}$ ——分别为铜、铝导线截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

【例 2-19】 某工程采用炮眼爆破法, 共钻眼孔 20 个, 每个炮孔设置一个雷管, 采用串联式电爆网路, 试计算直流电源所需的电源电压。

【解】 每个电雷管的电阻  $1.5\Omega$ , 通过每个电雷管所需的准爆电流  $i$  值 (当使用直流电时为  $2.0\text{A}$ ), 估计电源主线电阻  $R_1 = 4\Omega$ ; 端线, 联结线、区域线的电阻  $R_2 = 2\Omega$ 。

根据串联电爆网路计算公式, 所需电源电压为:

$$E = RI = (R_1 + R_2 + nr)i = (4 + 2 + 20 \times 1.5) \times 2.0 = 72\text{V}$$

【例 2-20】 工程场地平整, 采用炮孔法浅孔爆破, 共钻孔眼 60 个, 若每个药孔内装电雷管 1 发, 共为 6 组分支线路, 采用串并联网路, 电源电压  $220\text{V}$  照明线路, 试计算能否达到电网路的准爆电流。

【解】 电源主线  $R_1$  估计为  $4\Omega$ , 每一组分支线路  $R_2$  为  $2\Omega$ , 代入串并联电源网路计算公式:

$$\begin{aligned} I = \frac{E}{R} &= \frac{E}{R_1 + \frac{1}{m}(R_2 + nr)} = \frac{220}{4 + \frac{1}{6}(2 + 10 \times 1.5)} \\ &= 32.21\text{A} > 15\text{A}(6 \times 2.5) \end{aligned}$$

故电流强度能达到电爆网路的准爆要求。

【例 2-21】 场地平整的高阶采用多段延期深孔爆破, 共 60 个孔, 每孔分段装药包 2 个, 每药包内装电雷管 1 个。炮孔布置和爆破顺序如图 2-20 所示, 试计算用  $380\text{V}$  动力线路为电源, 通过每个雷管的电流强度。

【解】 根据爆破要求采用并串联网路, 共 5 组支线路, 每组支线路药孔 12 个, 每药孔设雷管 2 个。选用即发电雷管的电阻均为  $1.5\Omega$ ; 一段电雷管的电阻为  $1.5\Omega$ ; 二段电雷管的电阻为  $1.6\Omega$ ; 三段电雷管的电阻为  $1.4\Omega$ ; 四段电雷管的电阻为  $1.55\Omega$ 。主线电阻  $R_1$  估计为  $4.5\Omega$ , 每一支线路电阻  $R_2$  为  $1.2\Omega$ , 则各支线的电阻分别为:

$$R_1 = \frac{n_1 r_1}{N} + R_{2,1} = \frac{12 \times 1.5}{2} + 1.2 = 10.2\Omega$$

$$R_2 = \frac{n_2 r_2}{N} + R_{2,2} = \frac{12 \times 1.6}{2} + 1.2 = 10.8\Omega$$

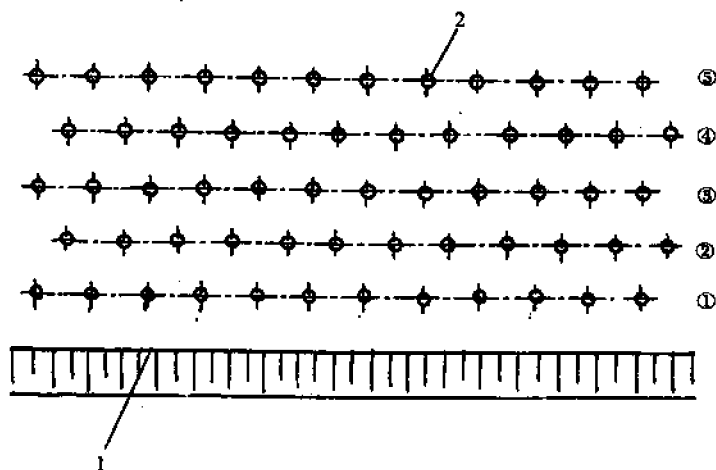


图 2-20 高阶炮孔平面布置

1—临空面；2—炮孔

①②③……爆破顺序

$$R_3 = \frac{n_3 r_3}{N} + R_{2,3} = \frac{12 \times 1.4}{2} + 1.2 = 9.6 \Omega$$

$$R_4 = \frac{n_4 r_4}{N} + R_{2,4} = \frac{12 \times 1.55}{2} + 1.2 = 10.5 \Omega$$

$$R_5 = R_3 = 9.6 \Omega$$

进行电阻平衡，选用每支线路电阻以  $10.8 \Omega$  为准，则第一支线路（即发）应增附加电阻  $0.6 \Omega$ ，第三、第四、第五支线路应分别加入附加电阻为  $1.2 \Omega$ 、 $0.3 \Omega$ 、 $1.2 \Omega$ 。

因此  $R_{\max} = 10.8 \Omega$  由公式 (2-80) 得：

$$\begin{aligned} I &= \frac{E}{Nm \left( R_1 + \frac{1}{N} R_{\max} + R' \right)} \\ &= \frac{380}{2 \times 5 \left( 4.5 + \frac{1}{2} \times 10.8 + 0 \right)} \\ &= 3.84 \text{ A} > 2.5 \text{ A} \end{aligned}$$

故通过每一电雷管电流强度为  $3.84 \text{ A}$ 。

## 2.14 燃烧剂爆破工艺参数及用药量计算

燃烧剂爆破，又称近人爆破，系利用金属氧化剂（氧化铜、二氧化锰）和还原剂（铝粉）通电引燃引起化学反应，产生高温气体急剧膨胀，而使被爆破物破碎、解体。在控制爆破中，使用燃烧剂与炸药相比，具有较易控制碎块飞散，声响低，震动微，安全距离可小至  $0.3 \text{ m}$ ；无有害气体；不需雷管起爆；保管、运输和使用安全；原料易得，加工制作、使用简单等优点。但对堵塞要求较高，价格略贵。适用于混凝土、钢筋混凝土基础、柱、梁、板、砖石圬工、岩石的破碎、拆除或切割。

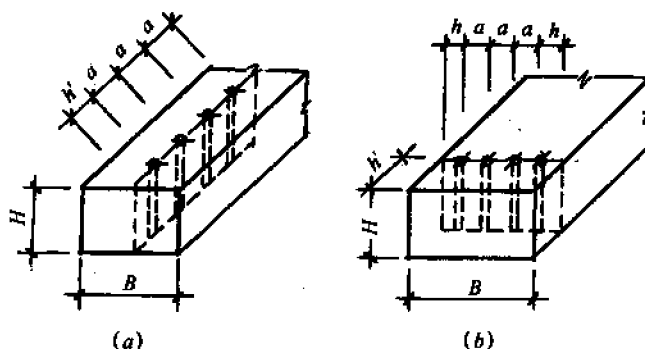


图 2-21 燃烧剂爆破炮孔布置计算简图

(a) 纵向垂直切割; (b) 横向垂直切割

## 一、炮孔布置参数的确定 (图 2-21)

1. 炮孔深度 应使气态生成物不从孔口、孔底过早冲出, 且能顺利切开被爆破体。炮孔深度  $l$  一般可按表 2-40 采用。

炮孔深度  $l$  参考数值

表 2-40

类 型	材 料	混凝土结构	钢筋混凝土结构	条 件
垂直切割		$\left(\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}\right) H$	$\left(\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}\right) H$	未埋入地下
		$\left(\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}\right) H$	$\frac{3}{4} H$	埋入地下
水平切割		$\left(\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}\right) B$	$\left(\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}\right) B$	孔底一侧有临空面
		$\left(\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}\right) B$	$\frac{3}{4} B$	孔底一侧有临空面

注:  $H$  为结构高度;  $B$  为结构厚度。

## 2. 炮孔间距 炮孔间距一般可按式计算:

$$a = 0.8h' \quad (2-86)$$

式中  $a$ ——炮孔间距 (m); $h'$ ——抵抗线长度 (m)。

由图 2-21 知,  $h'$  系炮孔中心连线至临空面间的最短距离, 亦即设计的切割厚度 (水平切割时) 或切割宽度 (垂直切割时), 并非一般所指的最小抵抗线。

为避免冲天炮, 也可按堵塞长度确定炮孔间距, 一般取  $a = \frac{2}{3}l_1$  ( $l_1$ —炮孔堵塞长度); 当条件受限制时, 炮孔间距可等于堵塞长度。

计算求得孔距应取整数, 一般不应超过 60cm, 过大难以保持切割面平整。

炮孔堵塞长度一般取  $(2/3 \sim 1/3)l$ 。

当孔底一侧临空时, 孔底应保持大于  $1.5a$  或  $1.5h'$ ; 当条件受限制时, 最小值可取不小于或等于  $a$  或  $h'$ 。

## 3. 炮孔孔数 根据已知设计切割面的长度或被爆破体平面宽度及炮孔间距, 炮孔的

孔数可按式计算:

$$N = \frac{B}{a} - 1 \quad (2-87)$$

或

$$N = \frac{H}{a} - 1 \quad (2-88)$$

式中  $N$ ——炮孔数 (个);

$B$ ——结构的厚度 (m);

$H$ ——结构的高度 (m);

$a$ ——炮孔间距 (m)。

如计算数值非整数, 可将余量分配给一端或两端边距  $S$ , 边孔药量按  $\frac{S}{a}$  (边距) 的比例适当增减, 以最后确定的  $N$  为整数值。

为防药量过大爆出缺角, 亦可根据具体情况使炮孔与要求切割面间保留 0.2~0.4m 的距离。

## 二、用药量计算

燃烧剂爆破单个炮孔的平均用药量可按式计算:

$$q = \frac{H \cdot B \cdot C}{N} \quad (2-89)$$

式中  $q$ ——单个炮孔的平均用药量 (g);

$H$ ——被爆破体厚度或高度 (m);

$B$ ——被爆体宽度 (m);

$N$ ——炮孔孔数 (个), 按式 (2-87) 或式 (2-88) 计算得出;

$C$ ——单位面积用药量 ( $\text{g}/\text{m}^2$ ), 可参考表 2-41 和表 2-42 取用, 或通过试爆确定。

单位面积用药量  $C$  值

表 2-41

爆破体材料	单位面积用药量 ( $\text{g}/\text{m}^2$ )		条 件
	切 割	破 碎	
混凝土	800~200	120~150	2~3 个临空面
钢筋混凝土	120~1800	210~300	
岩石	—	60~600	孤石至 1 个临空面

各类结构物切割参考药量系数  $C$  值

表 2-42

爆破体类别	切割方式	$C$ ( $\text{g}/\text{m}^2$ )	$a$ (mm)	$W$ (mm)	$l$ (mm)	$l_1$ (mm)
混凝土基础	水平	100	200	450	400	350
混凝土基础	垂直	128~170	200	250~1100	400	350
混凝土板	垂直	67~133	200	250	150	120~140
岩石	垂直	120~206	200~250	150~550	200~600	150~450
岩石	水平	180	300	350	650	450
钢筋混凝土柱	垂直	102~185	200~400	380~900	580~700	250~450
钢筋混凝土柱	水平	140~188	200	1450~2000	540	400~450
钢筋混凝土梁	垂直	1855	120~240	900	630	300
钢筋混凝土基础	垂直	1070~1180	100~150	600~700	700	550~650
钢筋混凝土设备基础	水平	490~795	300~450	850~1000	900~950	350~630
钢筋混凝土设备基础	垂直	807~1345	200	400~500	1000~1100	550~600

注: 燃烧剂用 HB 3070A 型;  $a$ —孔距;  $W$ —抵抗线;  $l$ —孔深;  $l_1$ —炮孔堵塞长度。

计算出单孔用药量后,为防止邻近边缘的炮孔因药量过大,爆后出现飞石和产生缺角,通常将边孔的单孔用药量减半,把剩余药量平均分配到中间各炮孔中。并按此药量计算装药高度,用以校核每孔堵塞长度是否满足不出现冲天炮要求,否则,应通过缩小孔距,增加药孔数量加以解决。

【例 2-22】 垂直切割岩石,已知  $H=1.2\text{m}$ ,  $B=1.4\text{m}$ , 试求单个炮孔用药量。

【解】 参考表 2-42 取  $a=200\text{mm}$ ,  $C=120\text{g/m}^2$

由式 (2-89) 得单孔用药量为:

$$q = \frac{B \cdot H \cdot C}{B/a - 1} = \frac{1.2 \times 1.4 \times 120}{1.4/0.2 - 1} \approx 34\text{g}$$

故每个炮孔需装药 34g。

## 2.15 静态破碎剂爆破工艺参数及用药量计算

静态破碎剂爆破又称静态爆破,系将一种含有铝、镁、钙、铁、氧、硅、磷、钛等元素的无机盐粉末破碎剂,用适量水调成流动状浆体,直接装入炮孔中,经水化后,产生巨大膨胀压力(可达 30~50MPa),将混凝土(抗拉强度为 1.5~3.0MPa)或岩石(抗拉强度为 4~10MPa)胀裂、破碎。其特点是:(1)破碎剂非易燃、易爆危险品,运输、保管、使用安全;(2)爆破无振动、无噪声、无烟尘、毒气、无飞石等公害;(3)操作简便,容易掌握,不需堵炮孔,不用雷管,不需点炮等操作,不需专业工种;(4)可定向破碎或切割。但本法也存在钻孔较多、能量较炸药小,开裂时间不易控制,成本稍高问题。适用于混凝土、钢筋混凝土和砖石结构及各种岩石、大体积脆性材料的破碎和切割或作二次破碎。

### 一、破碎机理

填充在岩石或混凝土结构物炮孔中的破碎剂浆体,随着时间的增长产生的膨胀压力作用在孔壁上,将引起两个方向的力,即径向压应力  $\sigma_r$  和切(环)向拉应力  $\sigma_\theta$ 。

一般被解体的岩石和混凝土均属脆性的破坏形式,脆性材料的抗压强度大,抗拉强度小,抗拉强度分别为 4~10MPa 和 1.5~3.0MPa,约相当于其抗压强度的 1/10~1/20。

当填充在炮孔中的破碎剂膨胀压力在孔壁上引起的拉应力大于岩石或混凝土的抗拉强度时,岩石或混凝土即被破碎解体。

对多数的岩石可视为线弹性体,可用弹性力学理论分析。设厚壁圆筒内径为  $a$ , 外径为  $b$ , 在远离圆心的  $r$  处,取出微小单元  $r d\theta dr$ , 当筒内在压力  $P_a$  的作用下(筒外也受到  $P_b$  的作用),其  $\sigma_r$  与  $\sigma_\theta$  的值为(图 2-22)。

$$\sigma_r = \frac{a^2}{r^2} \frac{(b^2 - r^2)}{(b^2 - a^2)} P_a - \frac{b^2}{r^2} \frac{(a^2 - r^2)}{(b^2 - a^2)} P_b \quad (2-90)$$

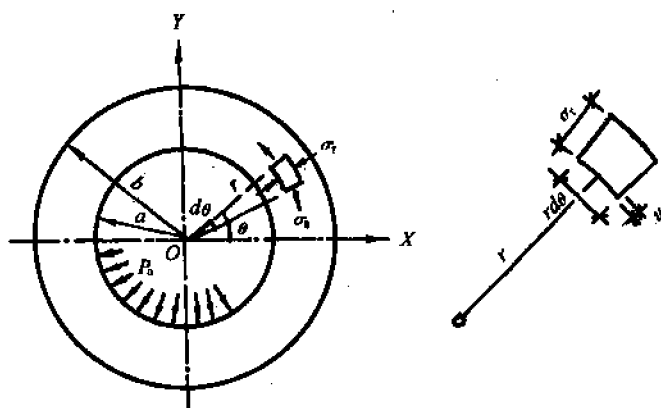
$$\sigma_\theta = -\frac{a^2}{r^2} \frac{(b^2 - r^2)}{(b^2 - a^2)} P_a - \frac{b^2}{r^2} \frac{(a^2 - r^2)}{(b^2 - a^2)} P_b \quad (2-91)$$

化简并令  $r=a$ , 则

$$\sigma_r = \frac{a^2}{r^2} P_a; \quad \sigma_\theta = -\frac{a^2}{r^2} P_a \quad (2-92)$$

式 (2-92) 为炮孔中破碎剂产生的应力,此外,引起岩石或混凝土破碎的应力还有一



图 2-22 在内压  $P_a$  作用下应力分析简图

项  $\mu\sigma_r$  ( $\mu$ —泊松比), 一般岩石的  $\mu=0.33$ ; 混凝土  $\mu=0.30$ , 如  $P_a=30\text{MPa}$ , 则作用在孔壁上的实际拉应力为:

对于岩石  $30 + 0.33 \times 30 = 39.9\text{MPa}$

对于混凝土  $30 + 0.30 \times 30 = 39.0\text{MPa}$

亦即由破碎剂产生的破碎拉应力约为岩石的 4~10 倍; 约为混凝土的 10~25 倍, 故此能较易的将其破碎解体。

## 二、破碎剂型号的选择

国内生产的破碎剂种类很多, 应用最多的为国家建材研究院研制生产的无声破碎剂 (Soundless Creaking Agent, 简称 SCA)。

SCA 的型号一般根据使用时的现场气温按表 2-43 进行选用。

SCA 型号和使用温度范围

表 2-43

项 次	型 号	使用温度范围	使用季节
1	SCA-I	20°~35℃	夏期用
2	SCA-II	10°~25℃	春秋用
3	SCA-III	5°~15℃	冬期用
4	SCA-IV	5°~8℃	寒冬用

注: 一般在 10~24h 产生裂缝。

## 三、工艺参数计算

被破碎的钻孔工艺参数可按下列式计算:

$$L = \frac{A_c f_t \eta}{D (1 + \mu) p} \quad (2-93)$$

$$N = \frac{L}{L_1} \quad (2-94)$$

式中  $L$ ——单位面积钻孔的总长度 (mm);

$N$ ——单位面积上钻孔的孔数 (个);

$A_c$ ——破碎体被破坏的面积 ( $\text{mm}^2$ );

$f_t$ ——被破碎体材料的抗拉强度 (MPa);

$\eta$ ——被破碎体材料开裂的经验系数,可按表 2-44 取用;

各类材料开裂的经验系数

表 2-44

项 次	破碎材料种类	材料开裂的经验系数
1	浆砌砖、块石	0.3~0.6
2	无筋混凝土	0.5~0.7
3	钢筋混凝土	1.5~2.0
4	岩石(单、双面切割)	0.7~0.8
5	岩石(三面切割)	0.8~0.9

$D$ ——钻孔直径(mm);

$\mu$ ——被破碎材料的泊松比,一般混凝土  $\mu=0.30$ ; 岩石  $\mu=0.33$ ;

$p$ ——SCA 产生的膨胀压,与时间、温度、水灰比、孔径有关,对混凝土和岩石的钻孔为 30~50MPa,条件差时为 20MPa;

$L_1$ ——单孔的钻孔深度(mm)。

当单位面积钻孔的长度  $L$  固定时,亦可根据式(2-93)求出需钻孔的直径。

破碎剂钻孔参数可参考表 2-45 采用。

静态破碎剂布孔参考表

表 2-45

被破碎物体	钻 孔 参 数				SCA 使用量 (kg/m <sup>3</sup> )
	孔径 $d$ (mm)	孔距 $a$ (mm)	抵抗线 $W$ (cm)	孔深 $l$ (cm)	
软质岩破碎	40~50	40~60	30~50	$H$	8~10
中、硬质岩破碎	40~65	40~60	30~50	$1.05H$	10~15
软、硬质岩石破碎	35~40	20~40	100~200	$H$	5~15
无筋混凝土	35~50	40~60	30~40	$0.8H$	8~10
钢筋 混凝土	基础、柱	35~50	15~40	$0.9H$	15~25
	梁、墙、板	35~50	10~30	$0.9H$	15~26

注:  $H$  为物体计划破碎高度; 排距  $b=(0.6\sim0.90)a$ ; 多排采用梅花形布置; 孔径一般用 38~44mm; 钢筋混凝土破碎先将箍筋切断。

#### 四、用药量计算

静态破碎剂爆破每孔用药量可按下式计算:

$$Q = \pi R^2 \cdot L \cdot K \quad (2-95)$$

式中  $Q$ ——每孔的破碎剂重量(kg);

$R$ ——钻孔半径(m);

$L$ ——钻孔深度(m);

$K$ ——每立方米 SCA 浆体中 SCA 重量(kg/m<sup>3</sup>),可由表 2-46 取用。

SCA 的比重及每立方米浆体中 SCA 重量  $K$  值

表 2-46

SCA 型号	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	水灰比	$K$ (kg/m <sup>3</sup> )
SCA-I、II	3.19	0.33	1540
SCA-III、IV	3.28	0.33	1650

当钻孔直径不同和使用 SCA 型号不同时,可算出每米钻孔的 SCA 使用量如表 2-47。

每米钻孔的 SCA 用量表

表 2-47

SCA 型号	钻 孔 直 径 (mm)											
	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	SCA 用量 (kg/m)											
SCA-I、II	0.95	1.09	1.24	1.40	1.57	1.75	1.94	2.13	2.34	2.56	2.79	3.00
SCA-III、IV	1.00	1.17	1.33	1.50	1.68	1.87	2.07	2.29	2.51	2.74	3.00	3.24

破碎剂损耗率可按式计算:

$$\text{损耗率} = \frac{\text{实际使用量} - \text{理论使用量}}{\text{理论使用量}} \times 100\% \quad (2-96)$$

损耗率一般为 5%~10%

【例 2-23】 无筋混凝土基础尺寸为 1500mm×1000mm×1000mm (长×宽×高), 混凝土轴心抗拉强度设计值  $f_t = 3\text{MPa}$ , 泊松比  $\mu = 0.3$ , 材料系数  $\eta = 0.5$ , 钻孔直径  $D = 40\text{mm}$ , 钻孔深度  $L_1 = 0.8H$ , 施工温度为 12~15℃, 选用 SCA-III, 24h 膨胀压  $p = 20\text{MPa}$ , 求单面切割破碎的钻孔工艺参数。

【解】 由式 (2-93) 得

$$\begin{aligned} L &= \frac{A_c \cdot f_t \cdot \eta}{D(1 + \mu)p} \\ &= \frac{1500 \times 1000 \times 3 \times 0.5}{40(1 + 0.3) \times 20} = 2163\text{mm} \end{aligned}$$

钻孔深度  $L_1 = 0.8H = 0.8 \times 1000 = 800\text{mm}$

钻孔孔数  $N = \frac{L}{L_1} = \frac{2168}{800} = 2.7$ , 取 3 个

由此得出钻孔参数为: 最小抵抗线  $W = 300\text{mm}$ ; 钻孔直径  $D = 40\text{mm}$ ; 钻孔孔距  $a = 450\text{mm}$ ; 钻孔深度  $L_1 = 800\text{mm}$ ; 钻孔孔数  $N = 3$  个; 钻孔布置如图 2-23。

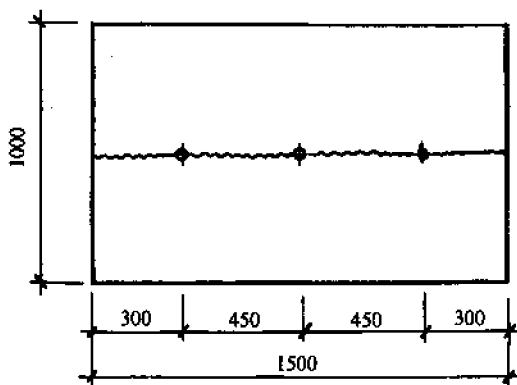


图 2-23 单面切割钻孔布置

【例 2-24】 钢筋混凝土基础尺寸为 1800mm×1000mm×1200mm (长×宽×高), 已知混凝土轴心抗拉强度设计值  $f_t$

$= 3\text{MPa}$ , 泊松比  $\mu = 0.30$ ; 材料系数  $\eta = 1.7$ ; 钻孔孔数为 20 个, 钻孔深度  $L_1 = 0.9H$ , 钻孔总长度  $L = NL_1 = 20 \times 0.9 \times 1200 = 21600\text{mm}$ ; 施工温度为 25~35℃, 选用 SCA-I, 其 24h 膨胀压  $p = 30\text{MPa}$ , 要求破碎成小块, 钻孔排数  $m = 3$ , 求钻孔直径并布置钻孔。

【解】 由式 (2-93) 得:

$$\begin{aligned} D &= \frac{A_c \cdot f_t \cdot \eta \cdot m}{L(1 + \mu)p} = \frac{1800 \times 1200 \times 3 \times 1.7 \times 3}{21600(1 + 0.3) \times 30} \\ &= 39\text{mm}, \text{取 } 40\text{mm} \end{aligned}$$

由此得出如下钻孔参数: 钻孔直径  $D = 40\text{mm}$ ; 最大抵抗线  $W = 200\text{mm}$ ; 钻孔孔距  $a = 225\text{mm}$ ; 钻孔排距  $b = 300\text{mm}$ ; 钻孔深度  $L_1 = 1080\text{mm}$ ; 钻孔孔数  $N = 20$  个; 钻孔布

置如图 2-24。

【例 2-25】 大理石切割, 已知材料抗拉强度  $f_t = 6\text{MPa}$ , 泊松比  $\mu = 0.33$ , 材料系数  $\eta = 0.8$ ; 施工温度为  $10\sim 25^\circ\text{C}$ , 选用 SCA-II, 其 24h 膨胀压  $p = 30\text{MPa}$ ; 钻孔直径  $D = 40\text{mm}$ , 钻孔深度  $L_1 = H$ , 要求切割尺寸为  $1000\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$ , 求 (1) 二面切割; (2) 三面切割该大理石的钻孔参数。

【解】 (1) 二面切割, 由式 (2-93) 得:

$$L = \frac{1000 \times 1000 \times 6 \times 0.8}{40(1 + 0.33) \times 30} = 3008\text{mm}$$

设钻孔深度  $L_1 = H = 1000$

则钻孔孔数  $N = \frac{L}{L_1} = \frac{3008}{1000} = 3.008$  个, 取 3 个

由此得钻孔参数为: 钻孔直径  $D = 40\text{mm}$ ; 钻孔孔距  $a = 300\text{mm}$ ; 抵抗线  $W = 200\text{mm}$ ; 钻孔深度  $L_1 = 1000\text{mm}$ ; 钻孔孔数  $N = 3$  个, 钻孔布置如图 2-25 所示。

(2) 三面切割 计算式与二面切割完全相同, 所得钻孔参数亦与二面切割相同, 但钻孔布置如图 2-26 所示。

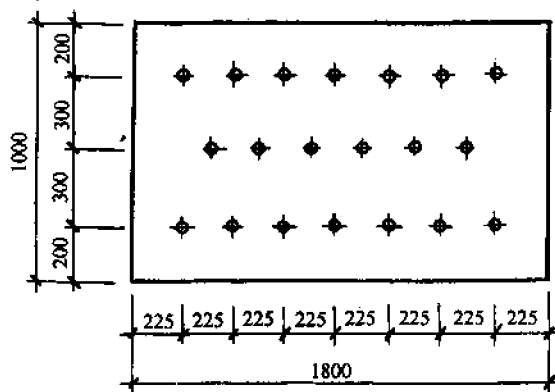


图 2-24 钢筋混凝土基础破碎钻孔布置

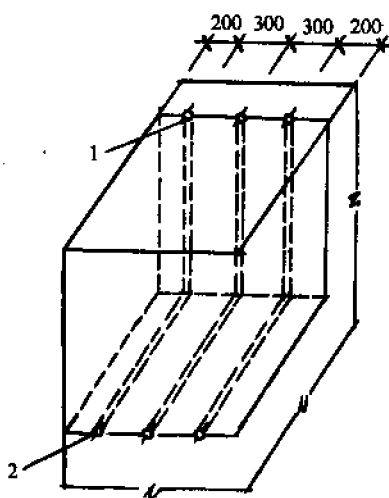


图 2-25 二面切割炮孔布置

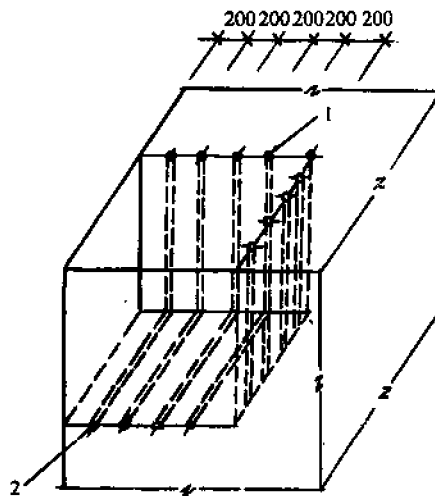


图 2-26 三面切割炮孔布置

【例 2-26】 破碎钢筋混凝土基础, 其体积为  $18\text{m}^3$ , 经破碎设计计算得: 孔径为  $40\text{mm}$ , 总孔长  $L = 130\text{m}$ , 使用 SCA-IV, 求该基础 SCA 用量。

【解】 由表 2-47 查得每米钻孔 SCA 用量为  $2.07\text{kg}$ , 则破碎该基础的用药量为:

$$2.07 \times 130 = 269.1\text{kg}$$

损耗率取 5%，则 SCA 实际使用量为：

$$269.1 \times 1.05 = 282.6 \text{ kg}$$

每立方米 SCA 使用量为  $282.6/18 = 15.7 \text{ kg/m}^3$

## 2.16 静态爆破破碎时间的计算

静态爆破，混凝土、岩石、孔壁在破碎剂膨胀压力作用下，混凝土或岩石壁体内某一点  $r$  的环向应力可根据特里斯卡 (Tresca) 的脆性屈服理论按下式计算：

$$\sigma_{\theta} = y \ln \frac{r}{a} - P + y \quad (2-97)$$

$$c \geq r \geq a \quad (2-98)$$

式中  $\sigma_{\theta}$ ——在孔壁内某一点  $r$  处产生的环向应力，即 SCA 产生的拉应力；

$y$ ——被破碎物体的抗拉强度；

$r$ ——炮孔间距的一半；

$a$ ——炮孔半径；

$P$ ——膨胀压力；

$c$ ——孔中心至塑性边界的距离。

当  $\sigma_{\theta} = y$  时，被破碎物体即可开裂，式 (2-97) 可简化为：

$$P = y \ln \frac{r}{a} \quad (2-99)$$

由式 (2-99) 可概算出混凝土或岩石破碎时，SCA 所应产生的最低的膨胀压力。由此可根据 SCA 的压力—时间曲线 (图 2-27) 即可查出被破碎物体的大致破碎开裂时间。

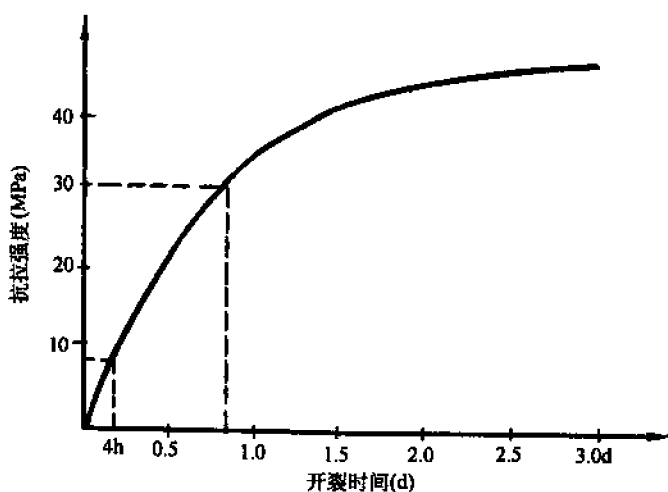


图 2-27 SCA-I 型的压力—时间曲线 (温度 20~35℃)

【例 2-27】 使用 SCA-I 型破碎剂破碎混凝土基础和岩石地基，其抗拉强度分别为 3.0MPa 和 11.0MPa，钻孔直径分别为 3.5cm 和 3.0cm，孔距均为 50cm，试求其破碎开裂时间。

【解】 由式 (2-99) 对混凝土的膨胀压力  $P_1$  为：

$$P_1 = \gamma \ln \frac{r}{a} = 3.0 \ln \frac{2.5}{1.75} = 7.98 \text{ MPa}$$

对岩石的膨胀压力  $P_2$  为:

$$P_2 = 11.0 \ln \frac{2.5}{1.5} = 30.95 \text{ MPa}$$

即混凝土和花岗岩开裂时 SCA 应具有的起码膨胀压力分别为 7.98MPa 和 30.95MPa。

由图 2-27 可查出混凝土基础开裂时间为 4h, 岩石的开裂时间为 21h。

## 2.17 爆破振动影响的计算

### 2.17.1 爆破振速对建筑物安全程度影响的计算

在爆破工程中, 通常多以振速来衡量爆破振动强度并作为划分破坏程度的指标, 而爆破地震强度与炸药用量、爆源距离、地质地形条件等因素有关, 一般爆破振速的通用经验计算公式为:

$$V = K \left[ \frac{Q^m}{R^n} \right]^\alpha \quad (2-100a)$$

式中  $K$ ——与岩土性质有关的系数;

$Q$ ——装药量;

$R$ ——距离;

$m$ 、 $n$ 、 $\alpha$ ——待定指数。

由于爆破近区垂直向振动较为显著, 因此, 我国采用质点垂直振动速度值作为判断、评价爆破点周围建筑物安全程度的标准, 其计算公式如下:

$$v = K \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^\alpha \quad (2-100b)$$

式中  $v$ ——建筑物质点垂直振动速度 (mm/s);

$Q$ ——炸药重量 (kg), 齐发爆破按总装药量计算; 分段爆破按最大一段药量计算;

$R$ ——自爆源到被保护建筑物或构筑物的距离 (m)。爆破中心一般按药量分布几何中心计算, 如果被保护建筑物与各爆源点的距离大于 10% 时, 则  $R$  值按下式计算:

$$R = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + \cdots + r_n}{n}$$

$r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ ... $r_n$ ——被保护建筑物或构筑物的距离;

$n$ ——药包总数;

$K$ ——与岩石性质、地势高低、爆破方法和爆破条件有关的系数, 在岩石中为 300~700; 在土中为 1500~2500;

$\alpha$ ——爆破地震波随距离衰减的系数, 一般为 1.5~2.0, 较远距离取 1.5, 近距离取 2.0, 实际变化在 0.88~2.80 之间。

当已知被保护建筑物、构筑物的允许临界爆破质点振动速度和距离时,亦可以由上式(2-100b)推算一次允许的爆破最大装药量。

对应各种影响程度的爆破振速限值参考资料见表2-48。

各种影响程度的爆破振速限值参考表

表 2-48

级 别	建筑物和岩土破坏状况	振速 (mm/s)
6	建筑物安全	$\leq 50$
7	房屋墙壁抹灰有开裂、掉落	60~120
8	一般房屋受到破坏;斜坡陡岩上的大石滚落,地表面出现细小裂缝	120~200
9	建筑物受到严重破坏;松软的岩石表面出现裂缝,干砌片石移动	200~500
10~12	建筑物全部破坏,岩石崩裂,地形有明显的变化	1500

根据大量实测资料统计,不同建筑物,构筑物地面质点爆破振动速度允许临界值参考资料见表2-49。

建筑物、构筑物爆破振动速度允许界限

表 2-49

项 次	建筑物和构筑物类别	振速临界值 (mm/s)
1	安装有电子仪器设备的建筑物	$\leq 35$
2	质量差的古、旧房屋	50~70
3	质量较好的砖石建筑物	100~120
4	坚固的混凝土建筑物、构筑物	$\leq 200$
5	土质边坡	$\leq 50$

对普通砖式建筑,当振速大于100mm/s,将产生轻微破坏,抹灰脱落,墙上出现裂缝,因此对一般房屋通常按振速不大于100mm/s进行安全校核。对重要工业建筑,如精密仪器车间、水塔、厂区住宅……等应按振速小于或等于50mm/s进行安全校核。当按式(2-100)求得的爆破振动速度大于地面振动速度临界限值时,应控制或减小一次齐爆的最大药量,或采用分段微差控制爆破予以减震。

【例2-28】 基坑土方爆破,离装有电子仪器的建筑物距离为15m,一次爆破药量为8kg,试问爆破振动对其有无影响。

【解】  $K_K$  值取1900,  $\alpha$  取2.0,由式(2-100b)可求得振速为:

$$v = K_K \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^\alpha = 1900 \left( \frac{\sqrt[3]{8}}{15} \right)^2$$

$$= 33.8 \text{ mm/s}$$

由表2-49知,装有电子仪器设备的建筑物的爆破振动速度允许界限值为35mm/s > 33.8mm/s,故安全。

### 2.17.2 建筑物爆破塌落振动影响的计算

在建(构)筑物拆除控制爆破中,建(构)筑物瞬时解体塌落冲击地面,会使周围产生较大的振动影响,造成一定破坏,应适当控制其塌落振动的速度。对于建(构)筑物塌落振动的速度,一般可用下式计算:

$$v_p = K_p \left[ \frac{(M \sqrt{2gh})^{\frac{1}{3}}}{R} \right]^2 \quad (2-101)$$

式中  $v_p$ ——建筑物塌落振动速度 (mm/s);

$M$ ——为冲击地面的解体构件质量,  $M = G/g$  ( $\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}$ );

其中  $G$ ——冲击地面的解体物件的重量 (kg);

$g$ ——重力加速度 ( $\text{m/s}^2$ );

$h$ ——落高 (m);

$R$ ——距下落地点的距离 (m);

$K_p$ ——常数, 一般取 300~400。

塌落振动速度对建筑物的影响与爆破振动速度的影响相同 (见表 2-48)。

【例 2-29】 钢筋混凝土水塔爆破, 混凝土量为  $74\text{m}^3$ , 塌落高度为 30m, 距下落地地点 42m, 试求塌落振动速度。

【解】 取  $K_p = 350$ ,  $g = 9.8\text{m/s}^2$

由式 (2-101) 得:

$$\begin{aligned} v_p &= K_p \left[ \frac{(M \sqrt{2gh})^{\frac{1}{3}}}{R} \right]^2 \\ &= 350 \left[ \frac{\left( \frac{74 \times 2500}{9.8} \sqrt{2 \times 9.8 \times 30} \right)^{\frac{1}{3}}}{42} \right]^2 \\ &= 1178\text{mm/s} \end{aligned}$$

## 2.18 爆破作业安全距离的计算

### 2.18.1 爆破地震波作用安全距离的计算

在地面建筑物或地下建筑物附近进行爆破时, 建筑物防爆破地震波作用的安全距离, 一般可按下式计算:

$$R_C = K_C \cdot \alpha \cdot \sqrt[3]{Q} \quad (2-102)$$

式中  $R_C$ ——爆破作用点至建筑物的安全距离 (m);

$K_C$ ——根据建筑物地基土石性质确定的系数, 见表 2-50;

$\alpha$ ——依爆破作用指数  $n$  确定的系数, 由表 2-51 查得;

$Q$ ——一次起爆的炸药总重量 (kg)。

$K_C$  值

表 2-50

项 次	被保护建筑物地基土	$K_C$ 值
1	坚硬密致的岩石	3.0
2	坚硬有裂隙的岩石	5.0
3	松软岩石	6.0
4	砾石、碎石土	7.0
5	砂土、密实土壤	8.0
6	粘土	9.0
7	回填土	15.0
8	含水土壤、流砂	20.0

注: 药包布置在水中或含水土中时,  $K_C$  值应增加 0.5~1.0 倍。



系数  $\alpha$  的数值

表 2-51

爆破指数 $n$	$\alpha$ 值	爆破指数 $n$	$\alpha$ 值
$\leq 0.5$	1.2	2.0	0.8
1.0	1.0	$\geq 3.0$	0.7

注：在地面上爆破时，地面震动作用可不予考虑。

【例 2-30】 基坑爆破，土质为碎石类土，爆破作用指数  $n = 1$ ，一次起爆药量为 64kg，求地震波影响的安全距离。

【解】 由表 2-50 取  $K_C = 7.0$ ，表 2-51 取  $\alpha = 1.0$ ，由公式 (2-102) 得：

$$R_C = K_C \cdot \alpha \cdot \sqrt[3]{Q} = 7 \times 1 \times \sqrt[3]{64} = 28\text{m}$$

故地震波影响的安全距离为 28m。

### 2.18.2 爆破冲击波作用安全距离的计算

爆破时空气冲击波会对建筑物造成破坏作用，对房屋的冲击波安全距离一般按下式计算：

$$R_B = K_B \sqrt{Q} \quad (2-103)$$

式中  $R_B$ ——冲击波安全距离 (m)，即空气波的危害半径；

$K_B$ ——与装药条件和破坏程度有关的系数，其值可由表 2-52 查得；

$Q$ ——装药量，即药包总重量 (kg)。

系数  $K_B$  的数值

表 2-52

爆破破坏程度	安全级别	$K_B$ 值	
		裸露药包	全埋入药包
安全无损	1	50~150	10~50
偶然破坏玻璃	2	10~50	5~10
玻璃全坏，门窗局部破坏	3	5~10	2~5
隔墙、门窗、板棚破坏	4	2~5	1~2
砖石和木结构破坏	5	1.5~2	0.5~1.0
全部破坏	6	1.5	—

注：1. 防止空气冲击波对人身危害时， $K_B$  值采用 15，一般最少用 5~10；

2. 对露天松动爆破可不考虑空气冲击波的影响，对露天加强松动爆破， $K_B$  值可取 0.5~1.0 进行计算。

炸药爆炸所形成的空气冲击波，其超压  $\Delta P$  随着距离的增加而显著衰减，破坏作用亦随之减弱；在同样的距离，大药量比小药量的衰变减慢，亦即破坏作用随药量的增大而增强。

考虑建筑物允许的冲击波极限超压  $\Delta P_B$  值，计算爆破空气冲击波的安全距离  $R_B$  (m) 可按下式计算：

$$\text{当 } n > 1 \quad R_B = \frac{2(1+n^2)}{\sqrt{\Delta P_B}} \sqrt{Q} \quad (2-104)$$

$$\text{当 } n \leq 1 \quad R_B = \frac{4n^2}{\sqrt{\Delta P_B}} \cdot \sqrt{Q} \quad (2-105)$$

式中  $\Delta P_B$ ——建筑物冲击波允许极限超压值；对建筑物小于 0.002MPa；对人员小于 0.01MPa；

$n$ ——爆破作用指数；

$Q$ ——药包总重量 (kg)。

空气冲击波的危害范围受地形因素的影响，在峡谷地形进行爆破，沿沟的纵深或沟的出口方向应增大 50%~100%；在山坡一侧进行爆破，对山后影响较小，可减少 30%~70%。

在空气冲击波不同超压  $\Delta P_B$  作用下，建筑物的破坏程度和对于暴露人体的伤害程度分别见表 2-53、表 2-54 和表 2-55。

空气冲击波对建筑物的破坏程度

表 2-53

破坏等级	对建筑物破坏情况	冲击波超压 $\Delta P_B$ (MPa)
1	砖木结构完全破坏	>0.20
2	砖墙部分倒塌或开裂，土房倒塌，木结构建筑物破坏	0.10~0.20
3	木结构梁柱倾斜，部分折断，砖木结构屋顶掀掉，墙部分移动或裂缝，土墙裂开或局部倒塌	0.05~0.10
4	木隔板墙破坏，木屋架折断，顶棚部分破坏	0.03~0.05
5	门窗破坏，屋面瓦大部分掀掉，顶棚部分破坏	0.015~0.03
6	门窗部分破坏、玻璃破碎，屋面瓦部分破坏，顶棚抹灰脱落	0.007~0.015
7	玻璃部分破坏，屋面瓦部分翻动，顶棚抹灰部分脱落	0.002~0.007

不同超压对建筑物破坏程度

表 2-54

项次	对建筑物破坏情况	冲击波超压 $\Delta P_B$ (MPa)
1	门窗玻璃破碎	0.005
2	建筑物局部破坏	0.01~0.02
3	建筑物轻度破坏，墙裂缝	0.002~0.003
4	建筑物中度破坏，墙大裂缝	0.004~0.005
5	严重破坏，部分倒塌，钢筋混凝土破坏	0.006~0.007
6	砖墙倒塌	>0.007
7	防震钢筋混凝土建筑破坏	0.01~0.02
8	钢架桥破坏	0.2~0.5

空气冲击波对人体的伤害程度

表 2-55

损伤等级	对人体伤害情况	冲击波超压 $\Delta P_B$ (MPa)
轻微	轻微的挫伤	0.02~0.03
中等	听觉器官损伤，中等挫伤骨折等	0.03~0.05
严重	内脏严重挫伤，可引起死亡	0.05~0.10
极严重	可大部分死亡	>0.10

【例 2-31】 基岩爆破，一次爆破用药量为 20kg，试求防空气冲击波的安全距离。

【解】 由表 2-52 查得  $K_B=30$ ，由式 (2-103) 得：

$$R_B = K_B \sqrt{Q} = 30 \sqrt{20} = 134.2\text{m}$$

故防空气冲击波的安全距离为 134.2m

【例 2-32】 基坑爆破，爆破作用指数  $n=1.1$ ，一次爆破用药量为 25kg，建筑物允

许冲击波极限超压值  $\Delta P_B = 0.002 \text{ MPa}$ , 试求冲击波的安全距离。

【解】  $\because n > 1$ , 由式 (2-104) 得:

$$R_B = \frac{2(1+n^2)}{\sqrt{\Delta P_B}} \sqrt{Q} = \frac{2(1+1.1^2)}{\sqrt{0.002}} \sqrt{25} = 494 \text{ m}$$

故防空气冲击波极限超压的安全距离为 494m。

### 2.18.3 爆破殉爆安全距离的计算

殉爆系指一个药包爆炸时, 可以使位于一定距离处与其无任何联系的另一药包也发生爆炸的现象。起始爆炸的药包称为主动药包, 受它影响而爆炸的药包称为被动药包。前者引爆后者的最大距离称为殉爆距离。炸药的殉爆能力用殉爆距离表示。

在设置炸药库房位置时, 应使某一库房爆炸不得殉爆另一库房, 其殉爆安全距离可按下列下式计算:

$$R_S = K_S \sqrt{Q} \quad (2-106)$$

式中  $R_S$ ——殉爆安全距离 (m);

$K_S$ ——由炸药种类及爆破条件所定的殉爆安全系数, 可由表 2-56 查得;

$Q$ ——炸药重量 (即炸药库存量) (kg)。

如果仓库内贮存有数种不同种类的炸药, 则殉爆安全距离可由下式计算:

$$R_S = \sqrt{Q_1 K_{S1}^2 + Q_2 K_{S2}^2 + \cdots + Q_n K_{Sn}^2} \quad (2-107)$$

式中  $Q_1, Q_2 \cdots Q_n$ ——不同品种炸药的重量 (kg);

$K_{S1}, K_{S2} \cdots K_{Sn}$ ——由炸药种类及爆破条件所决定的系数, 由表 2-56 查得。

系数  $K_S$  的数值

表 2-56

主 动 药 包		被 动 药 包			
		硝铵类炸药		40% 以上胶质炸药	
		裸 露	埋 藏	裸 露	埋 藏
硝铵类炸药	裸 露	0.25	0.15	0.35	0.25
	埋 藏	0.15	0.10	0.25	0.15
40% 以上胶质炸药	裸 露	0.50	0.30	0.70	0.50
	埋 藏	0.30	0.20	0.50	0.30

注: 1. 裸露安置在表面的药包, 适用于贮藏炸药的轻型建筑及裸露堆积于空台的炸药, 即无土堤的炸药库;

2. 埋藏的药包适用于爆炸材料在防护墙内贮存的情况, 即有土堤的炸药库;

3. 当殉爆炸药由不同种类炸药所组成, 则计算安全距离时, 应根据炸药中对殉爆具有最大敏感的炸药来选择  $K_S$  的数值。

在药库中, 雷管与炸药必须分开贮存, 雷管库到雷管库之间或雷管库到炸药库之间的殉爆安全距离可按下列下式计算:

$$R = K \sqrt{N} \quad (2-108)$$

式中  $R$ ——雷管库到雷管库, 或雷管库到炸药库的殉爆安全距离 (m);

$K$ ——殉爆安全系数, 由表 2-57 查得;

$N$ ——雷管库存数量 (个)。

亦可由表 2-58 直接查出不同数目的雷管仓库到炸药仓库的殉爆安全距离。

雷管库之间, 雷管、炸药库之间殉爆安全系数 表 2-57

库房种类	K 值		
	双方无土堤	一方有土堤	双方有土堤
雷管库之间	0.06	0.04	0.03
雷管、炸药库之间	0.10	0.067	0.05

注: 导爆索库安全距离与雷管库计算相同 (每米导爆索按相当于 10 个雷管换算)。

雷管仓库到炸药仓库间的殉爆安全距离 表 2-58

仓库内的雷管数目 (个)	到炸药仓库的安全距离 (m)	仓库内的雷管数目 (个)	到炸药仓库的安全距离 (m)
1000	2.0	75000	16.5
5000	4.5	100000	19.0
10000	6.0	150000	24.0
15000	7.5	200000	27.0
20000	8.5	300000	33.0
30000	10.0	400000	38.0
50000	13.5	500000	43.0

注: 如条件许可时, 一般安全距离不小于 25m。

**【例 2-33】** 在两座相距 30m 无土堤的库房内, 各储存硝铵类炸药 10t, 试计算其殉爆安全距离是否满足要求。

**【解】** 由题意查表 2-56,  $K_S = 0.25$

由式 (2-106) 殉爆安全距离为:

$$R_S = K_S \sqrt{Q} = 0.25 \sqrt{10000} = 25\text{m}$$

因  $R_S < 30\text{m}$ , 故殉爆安全距离满足要求。

**【例 2-34】** 在无土堤的 10t 硝铵类炸药库附近拟建一座无土堤储存 50000 个雷管的雷管库, 试求其殉爆安全距离。

**【解】** 由题意查表 2-57,  $K = 0.10$

由式 (2-108) 雷管、炸药库之间的殉爆安全距离为:

$$\begin{aligned} R &= K \sqrt{N} = 0.10 \sqrt{50000} \\ &= 22.3\text{m} \end{aligned}$$

由上例知储存 10t 炸药库的殉爆安全距离为 25m, 故殉爆安全距离为 25m。

#### 2.18.4 爆破飞石安全距离的计算

爆破时, 个别飞石对人员、机具、建筑物造成极大危害, 是爆破中安全工作应考虑的重要问题。一般抛掷爆破个别飞石飞散的安全距离可按下式计算:

$$R_f = 20K_f n^2 W \quad (2-109)$$

式中  $R_f$ ——个别飞石的安全距离 (m);

$K_f$ ——与地形、地质、气候及药包埋置深度有关的安全系数, 一般取用 1.0~1.5; 定向或抛掷爆破正对最小抵抗线方向时采用 1.5; 风速大且顺风时, 或山

间、垭口地形时,采用1.5~2.0;

$n$ ——最大药包的爆破作用指数;

$W$ ——最大药包的最小抵抗线。

当遇到大风天气、顺风方向的飞散距离还应增大25%~30%。同时参照国家现行爆破安全规程,爆破飞石的最小安全距离不应小于表2-59规定。

爆破飞石的最小安全距离

表 2-59

项次	爆破方法	最小安全距离 (m)	项次	爆破方法	最小安全距离 (m)
1	炮孔爆破、炮孔药壶爆破	200	6	小洞室爆破	400
2	二次爆破、蛇穴爆破	400	7	直井爆破、平洞爆破	300
3	深孔爆破、深孔药壶爆破	300	8	边线控制爆破	200
4	炮孔爆破法扩大药壶	50	9	拆除爆破	100
5	深孔爆破法扩大药壶	100	10	基础龟裂爆破	50

【例 2-35】 边坡采用定向抛掷爆破,爆破作用指数  $n=1.25$ , 最小抵抗线长度  $W=2.8\text{m}$ , 试求个别飞石的安全距离。

【解】 取  $K_f=1.5$ , 由式 (2-109) 得:

$$R_f = 20 \cdot K_f \cdot n^2 \cdot W = 20 \times 1.5 \times 1.25^2 \times 2.8 = 131.3\text{m}$$

故, 个别飞石的安全距离为 131.3m。

### 2.18.5 爆破毒气安全距离的计算

爆破时, 有毒气体的影响范围, 一般按下式计算:

$$R_g = K_g \cdot \sqrt[3]{Q} \quad (2-110)$$

式中  $R_g$ ——爆破毒气的安全距离 (m);

$K_g$ ——系数, 根据有关试验资料统计, 一般取  $K_g$  的平均值为 160; 下风时,  $K_g$  值乘 2;

$Q$ ——爆破总炸药量 (t)。

【例 2-36】 场地平整爆破, 一次爆破总炸药量  $Q=2.0\text{t}$ , 试求防毒气的安全距离。

【解】 取  $K_g=160$ , 由式 (2-110) 得:

$$R_g = K_g \cdot \sqrt[3]{Q} = 160 \sqrt[3]{2} = 201.6\text{m}$$

故, 防毒气的安全距离为 201.6m。