

## 定向爆破及其在农田基本建设中的应用(二)

中国科学院北京力学研究所爆破组

### 第五章 定向抛掷爆破的设计原理

定向抛掷爆破的设计原理,主要研究土或岩石在群药包相互作用下的抛掷和堆积规律,也就是研究爆松后的土岩体,由于爆炸气体继续膨胀的压力作用而获得一定初速度后,在重力影响下的运动和堆积分布规律;并确定出抛掷初速度与药量设计参数的定量关系,为定向抛掷爆破设计提供理论依据。

#### § 5-1 抛掷爆破的基本情况

当一个埋设在地表面以下一定深度的药包起爆后,药室的内壁将受到膨胀着的气体所产生的强大压力的作用。这个强大的压力首先传到土岩体最小抵抗线(药包中心到地表临空面的最短距离)附近。因此,最小抵抗线附近的土岩体,将首先受到破坏而隆起,周围的土岩体也依次受到破坏。这样就形成以最小抵抗线为轴心的近似圆锥形的爆松土岩体,称之为爆破漏斗。此时药室空腔内的气体,除了因破坏土岩体而消耗一部分压力能量外,还剩余一定量的气体压力能,继续加速爆破漏斗内爆松的土岩体。当作用在爆松土岩体的气体压力和作用在爆松土岩体上的外界阻力相等时,爆松土岩体的速度不再增加。此时爆松土岩体的速度就是它的初速度。爆松土岩体就以这个初速度运动。由于受到重力的作用,爆松的土岩体作上抛或斜上抛运动而落下,形成一定几何形状的堆积。运动时地表出现清晰的包络面。鼓包隆起的包络面的分布,随着偏离最小抵抗线方向而逐渐降低(如图 5-1)。

大量工程爆破实践证明,由于单药包作用时抛掷体速度分布不均匀,接近最小抵抗线方向的速度很大,其余地方速度较小,所以爆破后土石方主要呈抛散堆积,堆积不集中。在农田基本建设中,常常要求把斜坡地形的或多面临空的土石方

量全部搬到指定的地点,并堆积成一定形状。这时,只靠单药包设计是达不到施工要求的,必须利用若干数量的药包联合作用,控制土岩体的抛掷方向和距离,才能达到预期的目的。

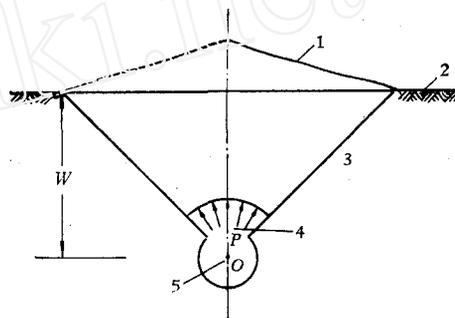


图 5-1 单药包爆破漏斗断面图

1——鼓包隆起包络线 2——地表面 3——爆松土岩体 4——剩余压力 5——药包中心

在大寨大队麻黄沟的分层抛掷爆破搬山填沟造平原的施工中,被爆破的山形属于陡峻的山体,上层为黄土,下层为风化的石灰岩。如果采取单列药包布置,就会使石碴腾空而起,爆后堆积的结果可能把原有土岩层颠倒,或只能抛到一侧,达不到石头垫底,黄土铺面,双侧抛掷的目的。因此,这次爆破施工采用了群药包布药原则。实践证明,这样设计的确获得了定向抛掷爆破的良好效果。

为什么群药包爆破能够达到分层定向抛掷的效果呢?这主要是依靠药包间相互作用的原理,来控制抛掷速度分布,使土岩体向指定的方向和地点抛掷。

下面以四个药包为例来说明群药包的相互作用原理。从图 5-2 中可以看出,抛掷群体  $OO_1O_2O_3$ ,  $ABCD$  是相邻药包联合作用下的抛掷速度分布,它是相对均匀的,因而提高了抛掷堆积的集中度;

同时,在群药包联合作用下,可以减少内阻尼能量的耗损,并且延长药包气室内气体加速作用的时间,从而提高了抛掷体的质心速度,也增加了抛掷体的抛掷中心距离。

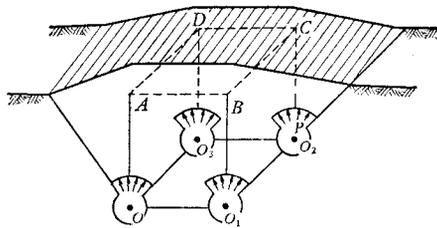


图 5-2 四个药包爆破时的初始加速阶段、气室膨胀和鼓包隆起的示意图

在目前所采用的峒室爆破施工的条件下,适当选取药室的形状、药包埋设的位置、药包装药量以及各个药包延发点火时间等,就可以控制较好的药包气室边界膨胀规律,保证抛掷速度相对均匀性和抛掷方向的准确性,以达到农田基本建设中所采用的定向抛掷爆破施工的要求。

#### § 5-2 有关物理量的计算

为了实现定向爆破的技术目的,要正确地运用群药包相互作用原理,设计药包的相对位置和每个药包的装药量,来控制抛掷速度的大小和方向。因此,本节着重介绍抛掷速度、抛掷方向和抛掷堆积这几个量的计算。

1. 抛掷速度 为便于计算起见,按爆破速度分布规律,通常将抛掷体分为“主抛体”和“副抛体”。相邻的四个药包联合作用的区域称为主抛体,即图 5-2 所示的  $O, O_1, O_2, O_3, A, B, C, D$  八个点围成的体积,它是由每个药包的爆破漏斗锥体的  $1/4$  构成的。上下左右侧面上的角柱抛掷漏斗为副抛体。

对于特定的爆破炸药和介质来说,主抛体质心的抛掷速度  $v_c$ 、抛方用药量(即主抛体单位体积抛方所需药量)  $q$  和均方根间距系数  $m$  之间具有一定的函数关系,即  $v_c = f(q, m)$ 。抛方耗药量为:

$$q = Q/V \quad (\text{公斤/米}^3) \quad (5.1)$$

式中,  $Q$  为群药包对主抛体的药量贡献(公斤);  $V$  为主抛体体积(立方米)。

均方根间距系数  $m$  为

$$m = \sqrt{A/\bar{W}} \quad (5.2)$$

式中,  $A$  为四个药包中心构成的四边形的面积(平方米);  $\bar{W}$  为四个药包最小抵抗线的平均值(米)。

由于每个单药包药量爆炸的气体膨胀压力能

均保持轴对称形式,所以每个药包对主抛体的药量贡献应为(见图 5-3):

$$Q'_i = \frac{\alpha_i}{360^\circ} Q_i \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (5.3)$$

式中,  $Q'_i$  为每个药包对主抛体的药量贡献(公斤);  $\alpha_i$  为四个药包中心构成的四边形的相应夹角(度);  $Q_i$  为每个药包的装药量(公斤)。

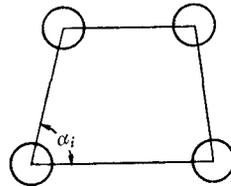


图 5-3 四个药包的平面图

由于群药包总的作用为单药包联合作用的结果,所以四个药包对主抛体的药量贡献应为

$$\begin{aligned} Q &= Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 + Q'_4 \\ &= \frac{\alpha_1}{360^\circ} Q_1 + \frac{\alpha_2}{360^\circ} Q_2 + \frac{\alpha_3}{360^\circ} Q_3 + \frac{\alpha_4}{360^\circ} Q_4 \end{aligned}$$

对于等量对称药包设计来说,即当  $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4$ ,  $\alpha_i = 90^\circ$  时

$$Q = 4Q'_i = 4 \frac{\alpha_i}{360^\circ} \cdot Q_i = 4 \times \frac{1}{4} \cdot Q_i$$

即

$$Q = Q_i$$

由式(5.1)可得

$$q = \frac{Q_i}{V} \quad (5.4)$$

这就是说,四个药包的中心构成的四边形为长方形时,抛方用药量等于每个药包的装药量与主抛体的体积之比。

对于群药包来说,相邻药包之间有两个间距,上下层药包之间的距离称为层间距,用  $a$  表示;相邻两列药包之间的距离称为列间距,用  $b$  表示。

因而  $m_{层} = \frac{a}{\bar{W}}$ ,  $m_{列} = \frac{b}{\bar{W}}$ ,  $A = a \cdot b$ , 所以均方根间距系数也可写为

$$m = \frac{\sqrt{A}}{\bar{W}} = \sqrt{\bar{m}_{层} \cdot \bar{m}_{列}} \quad (5.5)$$

其中,  $\bar{m}_{层}$  为层间距系数平均值;  $\bar{m}_{列}$  为列间距系数平均值。

$m$  的大小是反映群药包联合作用的程度,即主抛体抛掷速度分布均匀性的程度。

主抛体质心的抛掷速度  $v_c$ 、同抛方用药量  $q$  和均方根间距系数  $m$  之间的关系,根据我们在几种介质中的试验结果和实际爆破工程得到的资

料,整理如图 5-4 所示,供设计时参考.

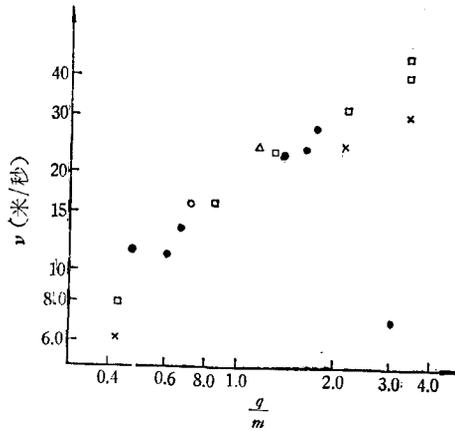


图 5-4  $v_c$  同  $q$  和  $m$  之间的关系

● 风化石灰岩, ○ 坚实粘土, × 粘土, △ 石灰岩, □ 淤泥  
此时,主抛体前沿最大速度应为

$$v_{\text{最大}} = K_{\text{最大}} v_c \quad (5.6)$$

系数  $K_{\text{最大}}$  如图 5-5 所示.

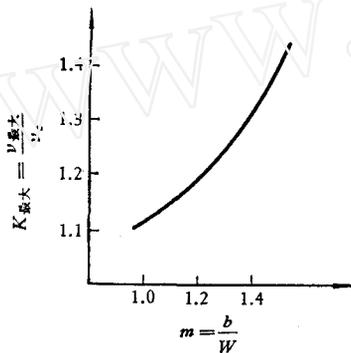


图 5-5 速度系数曲线

副抛体质心的抛掷速度,近似等于主抛体速度的二分之一.

2. 抛掷方向 抛掷方向就是抛掷速度的方向,由抛掷速度在空间的方向角( $\varphi$ )来确定.

主抛体的抛掷方向 当等量对称药包布置时(见图 5-6),如果各药包的最小抵抗线大致相等,则主抛体的抛掷速度  $v_c$  的方向与相邻药包所构成的空间平面近似垂直.  $v_c$  与水平方向的夹角  $\varphi$ ,称为抛掷角.这时,抛掷角  $\varphi$  同主抛体的自然坡度角  $\theta$  互为余角.在不等量药包布置时,抛掷速度  $v_c$  的方向,向药量较小的药包方面偏转;在各药包的最小抵抗线不相等时,抛掷速度  $v_c$  向最小抵抗线小的方面偏转.

副抛体的抛掷方向 在图 5-7 中,  $OAC$  与  $O_1BD$  为副抛体.它的质心抛掷速度  $v_{\text{副}}$  可以分解

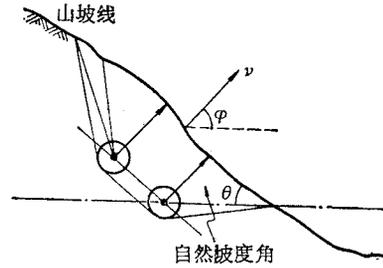


图 5-6 主抛体抛掷速度

为平行山坡的分速度  $v_{\text{平}}$  和垂直于山坡的分速度  $v_{\text{垂}}$ ,即

$$v_{\text{副}} = v_{\text{平}} + v_{\text{垂}} \quad (5.7)$$

当等量对称布药并且各药包的最小抵抗线相等时,根据抛掷速度分布规律,平行分量  $v_{\text{平}}$  大致为垂直分量  $v_{\text{垂}}$  的二分之一,所以

$$\text{tg } \beta = \frac{v_{\text{平}}}{v_{\text{垂}}} = \frac{1}{2} \quad \beta = 26.5^\circ \quad (5.8)$$

$$\angle \varphi_{\text{副上}} = \frac{\pi}{2} - \angle \theta + 26.5^\circ \quad (5.9)$$

$$\angle \varphi_{\text{副下}} = \frac{\pi}{2} - \angle \theta - 26.5^\circ \quad (5.10)$$

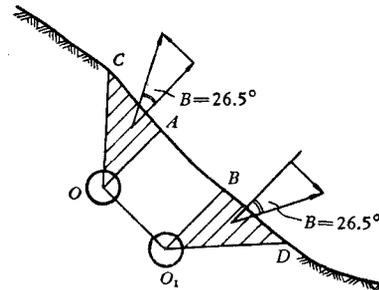


图 5-7 上、下副抛体抛掷速度

3. 抛掷堆积 定向抛掷爆破的主要目的,是把爆松后的土岩体搬运到指定的地点,因而必须研究爆破后土岩体堆积状况,以便进行合理设计.

我们首先需要研究抛掷土岩体的运动规律.定向抛掷爆破的土岩体,自失去炸药气体膨胀压力作用后,就以已获得的初速度在重力作用下运动,因而定向抛掷的主抛体和副抛体以近似于弹道抛物线运动.在搬山填沟造平原的实际应用中,抛掷速度都不很大,所以空气阻力就可忽略不计.如图 5-8 所示,当起落点在同一水平面上时,其抛距  $s'$  为

$$s' = \frac{v_c^2}{g} \sin 2\varphi \quad (5.11)$$

其中,  $v_c$  为主抛体抛掷速度(米/秒);  $g$  为重力加速度(米/秒<sup>2</sup>);  $\varphi$  为主抛体抛掷角.

当  $\varphi = 45^\circ$  时,  $\sin 2\varphi = 1$ , 这时水平抛距最大

$$S_{\text{最大}} = \frac{v^2}{g}$$

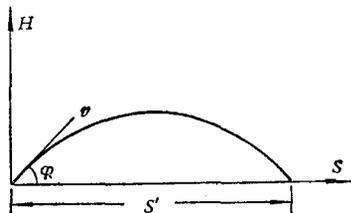


图 5-8 弹道抛物线

但是,定向抛掷爆破用于搬山填沟造平时,抛掷出的土岩体大多不是落到与抛出点同一个水平面上(如图 5-9 所示),这时水平抛距  $s$  可以分段进行计算。主抛体要落到水平面以下的  $D$  点,则  $AC$  段运动为斜上抛物体的运动;  $CD$  段为斜下抛物体的运动。水平抛距  $s$  可按下列公式计算:

$$s = \frac{v^2 \sin 2\varphi}{g} \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{2gH}{v^2 \sin^2 \varphi}} \right] \quad (5.12)$$

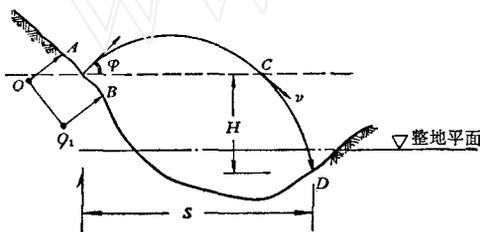


图 5-9 抛体落到抛出点水平面以下

但是,这样计算比较繁琐,一般工程设计通常应用下式:

$$S'_{45^\circ} = \frac{v^2}{g} = K_s \quad (5.13)$$

并按表 5-1 进行修正,就可以大大简化计算手续。

表 5-1 弹道计算表

| $S/K_s$ | $\varphi$ |            |            |            |            |            |            |            |
|---------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|         |           | $80^\circ$ | $70^\circ$ | $60^\circ$ | $45^\circ$ | $30^\circ$ | $20^\circ$ | $10^\circ$ |
| 0       |           | 0.342      | 0.645      | 0.866      | 1.00       | 0.866      | 0.644      | 0.342      |
| 0.5     |           | 0.417      | 0.792      | 1.10       | 1.37       | 1.40       | 1.32       | 1.16       |
| 1.0     |           | 0.470      | 0.905      | 1.27       | 1.62       | 1.73       | 1.69       | 1.57       |
| 1.5     |           | 0.516      | 1.00       | 1.40       | 1.83       | 1.96       | 1.99       | 1.73       |
| 2.0     |           | 0.559      | 1.08       | 1.52       | 2.00       | 2.22       | 2.23       | 2.16       |
| 2.5     |           | 0.596      | 1.18       | 1.63       | 2.16       | 2.42       | 2.46       | 2.38       |
| 3.0     |           | 0.629      | 1.22       | 1.73       | 2.30       | 2.60       | 2.66       | 2.59       |

表中,  $s$  为实际抛距(起落点间水平距离);  $\varphi$  为抛掷角;  $H$  为抛掷体起落点高程差(米);  $K_s$  为  $\varphi = 45^\circ$  时的水平抛距。

举例说明此表用法如下:

已知:  $\varphi = 60^\circ$ ,  $H = 10$  米,  $v = 10$  米/秒

求:  $s$

解:

$$K_s = \frac{v^2}{g} \doteq 10 \text{ 米}$$

$$\frac{H}{K_s} = \frac{10}{10} = 1$$

从表中横向找到  $60^\circ$  一栏,纵向找到  $H/K_s = 1$  栏,查得

$$\frac{s}{K_s} = 1.27$$

所以

$$s = 1.27 \times K_s = 1.27 \times 10 = 12.7 \text{ 米}$$

除了爆破漏斗总体抛掷的运动规律(即质点运动的规律)以外,还应考虑堆积形式。由于目前尚无成熟的计算方法,可以假设堆积密度为线性对称分布。根据堆积方量与爆破漏斗抛掷方量的平衡原理,可求出抛掷堆积高度  $h_s$ 。

例如,在岩石介质中,假设堆积呈三角形分布,如图 5-10 所示。主抛体断面面积为  $A$ ,相距单位长度的两个断面中间的立方体体积也为  $A$ ,根据体积平衡原理,得

$$\eta A = 2 \times \frac{1}{2} (S_{\text{最大}} - s) \cdot h_s \quad (5.14)$$

其中,  $S_{\text{最大}}$  为抛掷最远点的距离(米);  $\eta$  为松散系数;

由式 (5.14) 可得堆积高度

$$h_s = \frac{\eta A}{S_{\text{最大}} - s} \quad (5.15)$$

然后用几何迭加法在设计图纸上作出堆积图。如果不平衡,再修正  $s$  的值,直到满足施工要求时为止。

副抛体堆积的计算步骤,与主抛体相同。

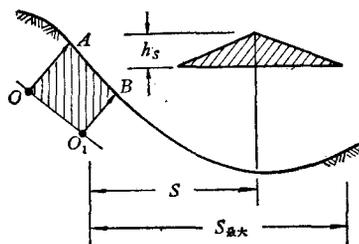


图 5-10 堆积密度线性对称分布

### § 5-3 定向抛掷爆破药包的设计

我们已经讨论过斜坡爆破或多面临空爆破时土岩体抛掷速度与药包设计参数的关系,抛掷土岩体在重力作用下运动的规律和爆破土岩体的堆积形状。

对于给定的地形和具体施工要求来说,除了要得到适当的抛掷速度外,还必须考虑相邻药包的装药量和相邻药包中心的空间位置(即布药线)。前者决定药量参数计算,后者涉及药包相对位置的设计。为此,本节着重讨论定向抛掷爆破药包设计的几个原则。

进行药包设计时,药包的空间相对位置,通常是在通过药包中心平行于抛掷方向的断面图和药包位置的平面图上确定的。在平面图上可以确定药包的平面位置和列间距 $b$ 。在断面图上可以确定上、下层药包的相对位置和最小抵抗线 $W$ 、层间距 $a$ 、抛掷角 $\varphi$ 等定向抛掷爆破的主要设计参数。

#### 1. 最小抵抗线 $W$ 的意义和选择

最小抵抗线 $W$ 是定向爆破设计的基本参数之一。它是根据爆破的设计规模、爆破工点的地形、地质条件,特别是可挖深度等因素决定的。 $W$ 的选择是个很关键的问题,选得合适,才能达到预定的定向抛掷爆破的目的。现就如下两种典型地形讨论 $W$ 的选择,供设计人员参考。

1) 斜坡地形 $W$ 的选择 爆破的山体为厚土岩层,要求一次爆破,以挖方作填方,如图5-11所示。这时,有效挖方的抛掷方量应当与整地平面

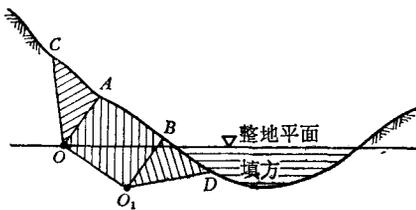


图 5-11 土岩层厚的山体

以下高程的填方方量相平衡。为计算方便,可以假设有效方量为主抛体方量与下坡线的副抛体方量之和。单位厚度的有效抛掷方量 $A_{挖}$ 大致为

$$\begin{aligned} A_{挖} &= (OO_1AB + O_1BD)\eta = \left(W^2 + \frac{1}{2}W^2\right)\eta \\ &= \frac{3}{2}\eta W^2 \end{aligned}$$

其中, $\eta$ 为松散系数( $\eta = 1.3-1.5$ ),那么

$$W = \sqrt{\frac{2}{3\eta} A_{挖}}$$

由于挖方方量 $A_{挖}$ 同填方方量 $A_{填}$ 相等,所以有

$$W = \sqrt{\frac{2}{3\eta} A_{填}} \quad (5.16)$$

这就是说,在这种情况下,最小抵抗线 $W$ 与 $\sqrt{\frac{A_{填}}{\eta}}$ 成正比,也即需要的填方量大时,应当将最小抵抗线选得大一些;而松散系数大时,则应将 $W$ 选得小一些。至于上坡线的副抛体扬弃方量,则充填药包超挖爆破漏斗坑,以保证堆积相对平整,达到整地初步成型。

在可能的情况下,还应计算整地高程以上的挖方量,以作为校核,看一看是否与填方量相平衡,而后确定 $W$ 。

在缓坡地形( $\theta < 30^\circ$ )或可超挖深度受到限制的情况下,可采取分批分期多次爆破的方法。 $W$ 的选择根据具体施工条件,尽可能取得大一些,以减少导洞的施工量。

2) 陡峻山台 $W$ 的选择 陡峻的山台是比较适合定向抛掷爆破施工的。它常常可以采用松动或加强松动药量,达到良好的定向抛掷爆破效果。有时,要求将山体双侧定向抛掷。设计时,可按山台底宽 $L$ 与挖深高度 $H_{台}$ 之比,即 $L/H_{台}$ ,正确地选择 $W$ 的值。现在讨论下面两种典型情况。

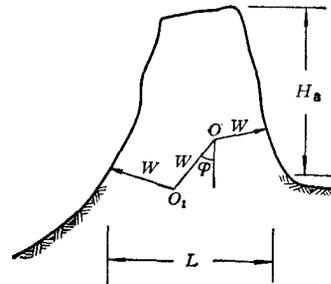


图 5-12  $H_{台} \approx L$  的山台

① 当 $H_{台} \approx L$ 时,如图5-12所示,一般采用上、下层药包布置,最小抵抗线 $W$ 相同,即

$$W = \frac{L}{2 + \sin \varphi} \quad (5.17)$$

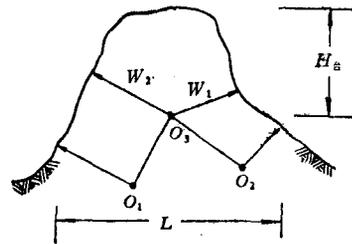


图 5-13  $3H_{台} > L > 2H_{台}$

② 当  $3H_{\text{台}} > L > 2H_{\text{台}}$  时,药包布置如图(5-13)所示。药包两侧的最小抵抗线  $W_1$  和  $W_2$ , 根据两侧抛掷方量来确定。顶角上层药包的最小抵抗线  $W$  与药包中心到顶点的距离  $H_{\text{台}}$  之比取下式较为合适:

$$\frac{W}{H_{\text{台}}} \approx 0.6-0.8 \quad (5.18)$$

当  $L > 3H_{\text{台}}$  时,采取多排药包布置为宜,即接近缓坡地形的爆破。

## 2. 药包的设计

群药包在土岩体中的空间位置,对于形成定向抛掷是一个很重要的因素。一般说来,群药包的位置一旦确定下来,那么抛掷方向也就大致确定了。为了达到预定的定向抛掷,必须根据预定的抛距  $S$ ,正确地选定药包在土岩体中的空间位置。下面分三种情况来讨论。

1) 药包在断面图上的位置设计 设计药包在土岩体中断面上的位置时,需要确定两个设计参数:层间距  $a$  和抛掷角  $\varphi$ 。

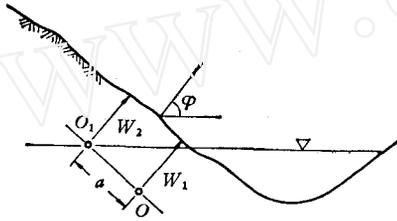


图 5-14

① 层间距  $a$  的选取 在群药包的定向爆破中,药包一般采用上、下分层设置(如图 5-14)。层间距  $a$  与最小抵抗线  $W$  的比,用  $m_{\text{层}}$  来表示,称为层间距系数,即

$$\frac{a}{W} = m_{\text{层}} \quad (5.19)$$

设计时,一般选取  $a = W$ , 即

$$m_{\text{层}} = \frac{a}{W} = 1$$

有时由于地形的关系,相邻断面不规则,也就是两个断面上的层间距  $a$ , 以及各个药包的最小抵抗线  $W$ , 均不相同。此时,各量都应取其平均值,即

$$\bar{a} = \frac{1}{2} (a_1 + a_2)$$

$$\bar{W} = \frac{1}{4} (W_1 + W_2 + W_3 + W_4)$$

$$\bar{m}_{\text{层}} = \frac{\bar{a}}{\bar{W}}$$

其中,  $\bar{a}$  为层间距平均值(米);  $\bar{W}$  为最小抵抗线平均值;  $\bar{m}_{\text{层}}$  为层间距系数平均值。

② 抛掷角  $\varphi$  的选择 选定层间距  $a$  后,可以根据最理想的抛掷角  $\varphi_0$  (抛方用药量最小时的抛掷角)的要求,确定上下层药包在断面上的相对位置。而理想抛掷角  $\varphi_0$  又与给定的抛掷体质心起落点的水平抛距  $S$  和高程差  $H$  有关。根据理想的弹道轨迹,其关系为

$$\varphi_0 = \frac{90^\circ + \text{tg}^{-1} \frac{S}{H}}{2} \quad (5.20)$$

在实际设计时,抛掷角  $\varphi$  的选择,根据具体情况(例如为了撇开偶遇地质断层或为了取方需要),可以偏离抛掷角的理想值。

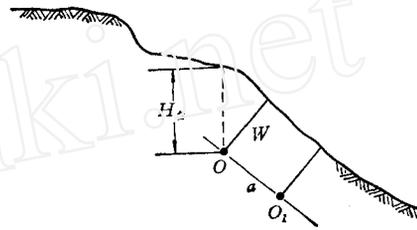


图 5-15

从药包中心到地表的竖直距离,通常称为台阶高度,用  $H_{\text{台}}$  表示,如图 5-15 所示,当

$$\frac{W}{H_{\text{台}}} \approx 1 \quad (5.21)$$

时,主抛体因受水平临空面的影响,而使抛掷速度方向往上翘  $5^\circ$  左右,所以设计时,抛掷角  $\varphi$  应为

$$\varphi = \varphi_0 + 5^\circ \quad (5.22)$$

以便爆破后实际抛掷角接近于  $\varphi_0$ 。

因此,正确的上层药包设计,是要保证抛掷速度的稳定,因而必须尽量减小水平临空面的影响。

在多列药包设计时,两头的药包还受侧面临空面的影响。从药包中心到侧面临空面的距离,称为不逸出半径,用  $R_p$  表示。为了防止侧面土岩体逸出,应取

$$\frac{R_p}{W} \approx (1.0-1.3)\sqrt{1+n^2}$$

如图 5-16 所示。

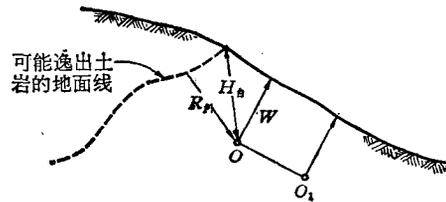


图 5-16

2) 药包在平面图上的位置设计 为了更好地发挥群药包的定向抛掷爆破的作用,还必须考虑群药包在土岩体中的空间平面位置,也就是两个相邻断面上的上下层药包在土岩体中的空间平面位置,即相邻两个断面上药包之间的距离。列间距  $b$  与最小抵抗线  $W$  之比 ( $b/W$ ) 称为列间系数,常用  $m_{列}$  表示

$$m_{列} = \frac{b}{W} \quad (5.23)$$

设计时,一般选择

$$b = (1-1.4)W$$

$$m_{列} = \frac{b}{W} = 1-1.4$$

近距离定向抛掷的堆积,相当于松动或加强松动爆破,要求抛掷土岩体的堆积比较集中,这时列间距应取

$$b = 1.0-1.2W$$

$$m_{列} = \frac{b}{W} = 1-1.2$$

远距离定向抛掷的堆积,要求抛掷土岩体的堆积分散,这时列间距应取

$$b = 1.2-1.4W$$

$$m_{列} = \frac{b}{W} = 1.2-1.4$$

相邻列间断面不规则时,列间距  $b$ 、最小抵抗线  $W$  同样应取平均值,此时列间系数

$$\bar{m}_{列} = \frac{\bar{b}}{\bar{W}}$$

$$\bar{b} = \frac{b_1 + b_2}{2}$$

$$\bar{W} = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}{4}$$

其中,  $\bar{b}$  为两个列间距的平均值;  $\bar{W}$  为四个药包最小抵抗线的平均值;  $\bar{m}_{列}$  为列间系数平均值。

列间药包的中心连线,应大致垂直于预定的空间抛掷方向。因此在设计时,断面上药包的布置,必须兼顾到抛掷方向,加以适当调整。

3) 药包前后排位置的设计 施工范围较大时(有效挖方纵断面的宽度  $L_{纵} \geq 2H_{台}$  时),为了获得理想的抛掷角,一般应分若干个横断面,设置多排药包,进行分期爆破。这就是前后排药包布置。

在斜坡上进行爆破时,有时前排采取大药量的抛掷,后排布置刷坡松动药包,清除爆破后边坡上的松动土岩体,保证边坡稳定。后排药包的最小抵抗线应指向前排药包爆破松动线。

### § 5-4 定向抛掷爆破的药量计算

为了达到定向距抛掷的目的,除了正确设计药包的相对位置外,还必须正确计算群药包中各个药包的装药量。本节主要介绍群药包装药量的计算方法,供设计人员参考。

#### 1. 药量参数的计算

1) 药量参数  $K_{ni}$  的计算 在群药包的爆破中,每个药包的装药量  $Q_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) 与其本身的最小抵抗线  $W_i^3$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) 之比,称为药包的药量参数,常用  $K_{ni}$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) 表示

$$K_{ni} = \frac{Q_i}{W_i^3}$$

$$Q_i = K_{ni} \cdot W_i^3 \quad (5.24)$$

药量参数  $K_{ni}$  是由药包的均方根间距系数  $m$  与抛方用药量  $q$  所决定的。现将其关系推导如下(以四个药包的群药包为计算单元,如图 5-17 所示):

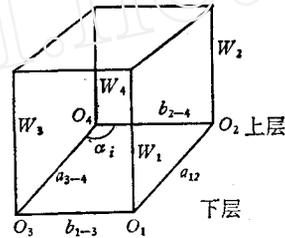


图 5-17

因为,根据主抛体抛方用药量的定义,

$$q = \frac{Q}{V}$$

而

$$Q = \frac{1}{360^\circ} (\alpha_1 Q_1 + \alpha_2 Q_2 + \alpha_3 Q_3 + \alpha_4 Q_4)$$

将式(5.24)代入,得

$$Q = \frac{1}{360^\circ} (\alpha_1 W_1^3 K_{n1} + \alpha_2 W_2^3 K_{n2} + \alpha_3 W_3^3 K_{n3} + \alpha_4 W_4^3 K_{n4})$$

由图 5-17 可知,主抛体的底面积

$$A = \bar{a} \cdot \bar{b} = \bar{m}_{底} \cdot \bar{W} \cdot \bar{m}_{列} \cdot \bar{W} = \bar{m}_{底} \cdot \bar{m}_{列} \cdot \bar{W}^2$$

所以,主抛体体积

$$V = \bar{m}_{底} \cdot \bar{m}_{列} \cdot \bar{W}^2 \cdot \bar{W} = \bar{m}_{底} \cdot \bar{m}_{列} \cdot \bar{W}^3$$

$$= m^2 \bar{W}^3 \quad (5.25)$$

所以

$$q = \left[ \frac{1}{360^\circ} (\alpha_1 W_1^3 K_{n1} + \alpha_2 W_2^3 K_{n2} + \alpha_3 W_3^3 K_{n3} + \alpha_4 W_4^3 K_{n4}) \right] / m^2 \bar{W}^3$$

当采用对称药包设计时,

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 90^\circ,$$

则有

$$q = \frac{\frac{1}{4}(W_1^3 K_{n1} + W_2^3 K_{n2} + W_3^3 K_{n3} + W_4^3 K_{n4})}{m^2 \bar{W}^3} \quad (5.26)$$

当采用等量对称药包设计时,  $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q$ , 如果  $W_1 = W_2 = W_3 = W_4$ , 因而  $K_{n1} = K_{n2} = K_{n3} = K_{n4} = K_n$ , 代入式 (5.26) 得

$$q = \frac{K_n}{m^2}$$

所以

$$K_n = m^2 q \quad (5.27)$$

如果各药包的药量参数  $K_{ni}$  不相等, 可分为下列两种情况来讨论:

① 台阶爆破, 即  $\frac{H_{\Delta}}{W} \approx 1.0$ ,  $\varphi < \varphi_0$  (理想抛掷角) 为了克服上层药包多面临空的影响及下层药包的夹制作用, 设计时采用不相等的药量参数  $K_{ni}$ . 一般取上层药包的药量参数  $K_{n上}$  相同, 下层药包的药量参数  $K_{n下}$  相同, 而  $K_{n上} > K_{n下}$ ; 取上、下层药包最小抵抗线相等, 即  $W_{上} = W_{下} = \bar{W}$ . 此时, 由式 (5.26) 可得

$$\begin{aligned} q &= \frac{\frac{1}{4}(W_1^3 K_{n1} + W_2^3 K_{n2} + W_3^3 K_{n3} + W_4^3 K_{n4})}{m^2 \bar{W}^3} \\ &= \frac{\frac{1}{4}(2K_{n上} + 2K_{n下})}{m^2} = \frac{K_{n上} \left(1 + \frac{K_{n下}}{K_{n上}}\right)}{2m^2} \\ &= \frac{K_{n上}}{2m^2} \left(1 + \frac{K_{n下}}{K_{n上}}\right) \end{aligned} \quad (5.28)$$

所以

$$K_{n上} = \frac{m^2 q}{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{K_{n下}}{K_{n上}}\right)} \quad (5.29)$$

同理

$$K_{n下} = \frac{m^2 q}{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{K_{n上}}{K_{n下}}\right)} \quad (5.30)$$

其中  $\frac{K_{n上}}{K_{n下}}$  为上、下层药包的药量参数之比, 称为布药率。

② 缓坡地形爆破 在缓坡地形的群药包爆破设计中, 当上、下层药包抵抗线不相等, 但相差不大于 20% 时, 式 (5.29), (5.30) 仍可应用。此时, 上、下层药包的药量参数应取

$$K_{n上} > K_{n下}$$

在设计时, 布药率  $\frac{K_{n上}}{K_{n下}}$  可由设计者根据实际情况酌情处理。台阶爆破一般应取  $\frac{K_{n上}}{K_{n下}} = 0.8 \sim$

0.9; 缓坡爆破应取  $\frac{K_{n上}}{K_{n下}} = 1.5 \sim 2.0$ 。

从上面的讨论可知, 药量参数  $K_n$  同均方根间距系数  $m$ 、布药率  $\frac{K_{n上}}{K_{n下}}$  以及抛方用药量  $q$  有关, 并且决定抛掷速度的均匀性和稳定性。但抛掷速度的大小, 主要取决于抛方用药量  $q$ , 即群药包中每个药包装药量的大小取决于抛方用药量  $q$ , 因此下面讨论  $q$  的计算。

2) 主抛方用药量  $q$  的计算 群药包主抛方用药量  $q$ , 是根据预定的抛距  $S$ 、药包的设计抛掷角  $\varphi$  以及主抛体起落点的高程差  $H$  进行计算的 (如图 5-18)。这时, 由弹道抛掷规律可以求出主抛体的质心速度  $v_c$ 。

$$v_c = \sqrt{\frac{gs}{\sin 2\varphi \left(1 + \text{ctg} \varphi \cdot \frac{H}{S}\right)}} \quad (5.31)$$

令

$$c_b = \sin 2\varphi \left(1 + \text{ctg} \varphi \cdot \frac{H}{S}\right)$$

如已知设计弹道参数, 根据抛掷速度  $v_c$  与抛方用药量  $q$  的关系, 由图 (5-4) 可查出抛方用药量  $q$ 。

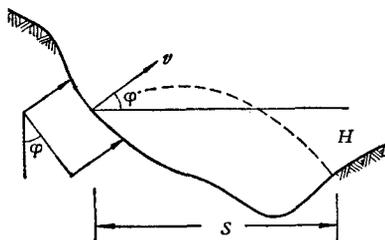


图 5-18

## 2. 每个药包装药量的计算

1) 如果采用等量对称药包设计, 并且当各药包的最小抵抗线相同时, 由式 (5.24)

$$Q_i = K_n W^3 = q m^2 W^3 \quad (5.32)$$

2) 在台阶爆破 ( $\frac{H_{\Delta}}{W} \approx 1.0$ ) 或缓坡地形爆破 ( $W_i$  相差不超过 20%) 时,

$$Q_{上} = K_{n上} W_{上}^3 = \frac{q m^2 W_{上}^3}{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{K_{n下}}{K_{n上}}\right)} \quad (5.33)$$

$$Q_{下} = K_{n下} W_{下}^3 = \frac{q m^2 W_{下}^3}{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{K_{n上}}{K_{n下}}\right)} \quad (5.34)$$

如前所述, 台阶爆破时, 取  $\frac{K_{n上}}{K_{n下}} = 0.8 \sim 0.9$ ; 缓坡地形爆破时, 取  $\frac{K_{n上}}{K_{n下}} = 1.5 \sim 2.0$ 。

## 3. 群药包爆破范围的确定

正如第四章所分析的那样,单药包爆破的药量计算公式为

$$Q = K_n W^3$$

$$K_n = K_0(0.4 + 0.6n^3) \quad (5.35)$$

即

$$\frac{K_n}{K_0} = (0.4 + 0.6n^3) = f(n)$$

其中,  $K_0$  为土岩标准爆破单位用药量,如粘土时,  $K_0 \approx 1.0$  公斤/米<sup>3</sup>。

这里,抛掷作用指数  $n = \frac{R}{W}$ ;  $R$  为爆破漏斗口的半径。它决定单药包爆破的抛掷漏斗范围。

因此,在单药包爆破抛掷作用函数  $f(n)$  中,只与抛掷作用指数  $n$  有关。于是

$$n = \left[ \frac{\frac{Q}{K_0 W^3} - 0.4}{0.6} \right]^{1/3} \quad (5.36)$$

其中,  $Q$  为单个药包的药量。

## 第六章 定向爆破设计程序和几个典型实例

### § 6-1 设计程序

根据第五章所述定向抛掷爆破的基本原理和设计方法,其设计程序大体上可以概括为如下几个步骤。

#### 1. 药包位置设计参数的确定

根据爆破工点的整体施工规划、地形、地质条件、挖填方平衡原则以及其他施工要求,拟定总体爆破设计方案(如采用一次爆破或前、后排分期分批多次爆破),确定药包布置层数、列数。然后,按已确定的爆破方案,设计爆破的最小抵抗线  $W$ ,层、列间距  $a, b$ ,以及抛掷角  $\varphi$ 。计算出层、列间

距系数  $m_{层}, m_{列}$ ,以及均方根间距系数  $m$ 。

#### 2. 主抛体抛方用药量 $q$ 的计算

根据爆破施工要求的水平抛距  $S$ ,抛掷体起、落点高程差  $H$  和已经确定的抛掷角  $\varphi$ ,计算主抛体抛方所需的质心抛掷速度,即

$$v_c = \sqrt{\frac{gS}{\sin 2\varphi \left[ 1 + \operatorname{ctg} \varphi \frac{H}{S} \right]}} \quad (6.1)$$

然后,根据求得的  $v_c$ ,在第五章图(5-4)中查出相应的  $q/m$ ,算出设计抛方用药量  $q$ ,即

$$q = \frac{q}{m} \cdot m \quad (6.2)$$

#### 3. 药包药量参数 $K_{n,i}$ 的计算

按爆破施工的具体情况,确定上、下层药包的布药率  $K_{n,上}/K_{n,下}$ 。通常采用等量对称设计,当抛掷角  $\varphi$  接近  $\varphi_0$ (理想抛掷角)时,取布药率  $K_{n,上}/K_{n,下} = 1$ 。若抛掷角  $\varphi \gg \varphi_0$ ,为了改善抛掷角,可选定布药率  $K_{n,上}/K_{n,下} > 1$ 。

根据式(5.28)(5.29)计算药量参数:

$$K_{n,上} = \frac{m^2 q}{\frac{1}{2} \left( 1 + \frac{K_{n,下}}{K_{n,上}} \right)}; K_{n,下} = \frac{m^2 q}{\frac{1}{2} \left( 1 + \frac{K_{n,上}}{K_{n,下}} \right)}$$

于是,每个药包的装药量  $Q_i \approx K_{n,i} W_i^3$ 。

#### 4. 爆破破坏范围的确定

确定每个药包的药量之后,从式(5.36)计算出  $n$  值,然后从式(4.14),(4.15)确定上、下破裂线的范围。

根据以上的步骤,下面举几个典型实例加以说明。

### § 6-2 多面临空陡峻地形的定向爆破设计

大寨麻黄沟爆破工点属于多面临空的陡峻山体,其地形横向剖面如图(6-1)所示。山体上部

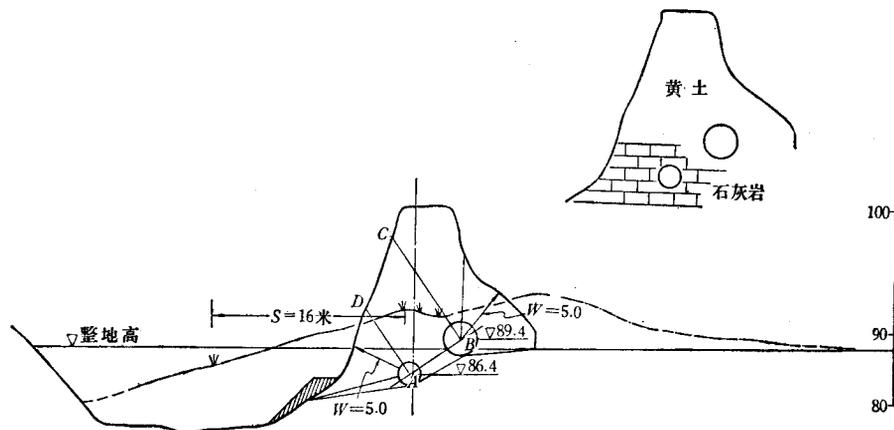


图 6-1 大寨麻黄沟爆破工点 AA' 断面图 (1:600)

是黄土,底部是风化和半风化的石灰岩,要求一次爆破把土岩体抛向两侧。左侧挖梁填沟,石碴垫底、黄土铺面;向右侧抛掷的土方不宜抛散,要保留一部分作最后平整地面用。

### 1. 药包设计参数的选定

为了达到两侧分层抛掷堆积的爆破施工要求,根据大寨的经验,采用群药包爆破设计方案,分上、下两层,布置六个药包。利用爆破最小抵抗线原理和群药包相互作用原理,控制抛掷体的抛掷方向和速度,使之按一定弹道轨迹,先后堆积于预定的位置。为使下层岩石大部分处于下层药包的爆破抛掷漏斗范围内,其抛掷角 $\varphi$ 应小些,同时也使抛掷体作斜下抛运动而最先下落填沟。上层部分为黄土,处于上、下层药包相互作用区内(即主抛体 $ABCD$ )。选取其抛掷角 $\varphi$ 大于 $45^\circ$ ,一方面满足左侧抛掷挖填方大致平衡;另一方面使主抛体作斜上抛运动,保证分层堆积。两侧最小抵抗线应取相等,以便控制主抛体的抛掷速度。上层药包兼顾右侧抛掷土方,作为平整地面时的备用方量。山体顶部塌方量充填爆破漏斗坑,爆破后达到初步平整。

鉴于以上分析,在 $\overline{AA}$ 断面上(底宽 $L \approx 15$ 米)取抛掷角 $\varphi = 55^\circ$ ,按式(5.16)

$$W \approx 15/2 + \sin 55^\circ = 5.3 \text{ 米}$$

然后在 $\overline{AA}$ 断面图上,取 $W_1 = W_2 = 5.0$ 米,层间距 $a = 5.0$ 米。

其余药包设计参数,可按同样方法计算。

平面图布置,主要依据爆破平面范围和施工允许条件,设置列数及列间距。1号药包为加强松动爆破,2号—6号为两侧抛掷爆破。具体参

数选取见表6-1。

表6-1 药包设计参数

| 药包编号 | 药包中心高程(米) | 最小抵抗线 $W$ (米) | 设计抛掷角(度) | 间距           |              |
|------|-----------|---------------|----------|--------------|--------------|
|      |           |               |          | 层间距离 $a$ (米) | 列间距离 $b$ (米) |
| 1    | 86.4      | 6.0           |          | 2            |              |
| 2    | 86.4      | 5.0           | 55       | (2—4)5.2     |              |
| 3    | 87.3      | 5.8           | 64       | (3—5)5.0     | (2—3)8.0     |
| 4    | 89.4      | 5.0           | 55       |              | (4—5)5.0     |
| 5    | 89.4      | 5.0           | 64       |              | (5—6)5.0     |
| 6    | 89.4      | 4.0           |          |              |              |

### 2. 主抛体抛方用药量 $q$ 的计算

主要控制上、下层药包相互作用区(即主抛体)质心抛掷距离,取 $S = 18$ 米; $R = 10$ 米。对于不等量药包设计来说,抛掷角 $\varphi$ 还受到上、下层药包的布药率和抵抗线长短不等这两个因素的影响。但是,在这里两者的作用是互相抵消的,故仍取 $\varphi = 60^\circ$ ,即 $\overline{AA}$ , $\overline{BB}$ 断面药包中心连线分别与垂直线构成的夹角的平均值。由式(6.1)得

$$v_c = \sqrt{\frac{gs}{\sin 2\varphi \left[ 1 + \operatorname{ctg} \varphi \frac{H}{S} \right]}}$$

$$\approx \sqrt{154} = 12.4 \text{ 米/秒}$$

由图(5-4)查出相应的 $q/m$ 为0.6公斤/米<sup>3</sup>,又因为 $m' = \sqrt{A_s/\overline{W}} = 1.10$ (其中面积 $A_s = 32.4$ 米<sup>2</sup>),如图(6-3),故 $q = 0.66$ 公斤/米<sup>3</sup>。

### 3. 药包药量参数 $K_{ni}$ 的确定

根据上、下药包埋设位置的岩性,下层为风化和半风化的石灰岩,上层为黄土。取上下层药包

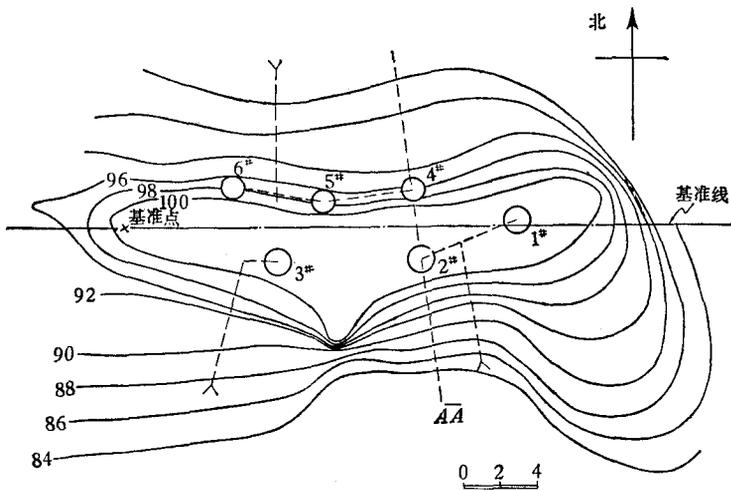


图6-2 大寨麻黄沟爆破地形图及药包布置图(1:400)

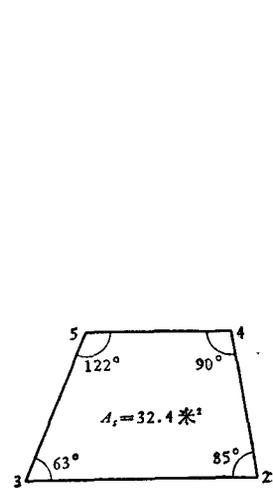


图6-3

的布药率  $K_{n下}/K_{n上} \approx K_{0下}/K_{0上} \approx 1.2$ , 由图(6-3)可知, 此时主抛体体积为:

$$V = A_s \cdot \bar{W} = 32.4 \times 9.5 = 307 \text{ 米}^3$$

这里  $\bar{W}$  为 ABCD 主抛体的平均抵抗线。

$$q = \frac{\frac{\alpha_2}{360^\circ} Q_2 + \frac{\alpha_3}{360^\circ} Q_3 + \frac{\alpha_4}{360^\circ} Q_4 + \frac{\alpha_5}{360^\circ} Q_5}{307}$$

$$= \frac{K_{n上}}{307} \left\{ \left[ \left( \frac{85^\circ}{360^\circ} \cdot 5^3 + \frac{63^\circ}{360^\circ} (5.8)^3 \right) \frac{K_{n下}}{K_{n上}} \right] + \frac{90^\circ}{360^\circ} \cdot 5^3 + \frac{122^\circ}{360^\circ} \cdot 5^3 \right\}$$

$$= \frac{150}{307} K_{n上} = 0.489 K_{n上}$$

所以

$$K_{n上} = 0.66 / 0.489 = 1.35; K_{n下} = 1.62$$

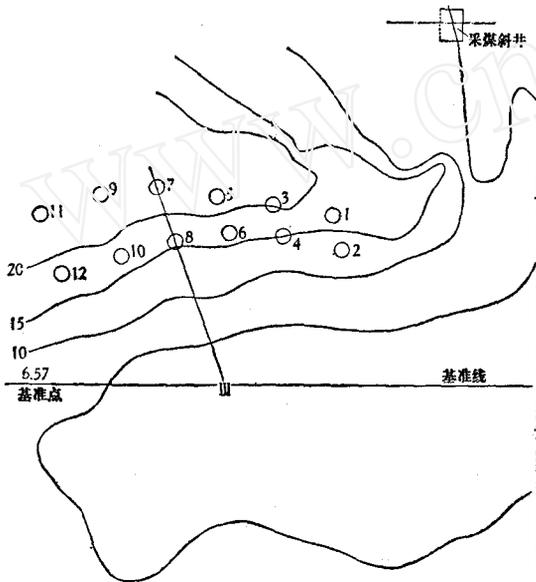


图 6-4 李夫峪大队爆破工点地形图及药包布置平面图 (1:1000)

表 6-2 实际药量计算表

| 药包编号 | W (米) | $K_{ni}$ (公斤/米 <sup>3</sup> ) | Q (公斤) |
|------|-------|-------------------------------|--------|
| 1    | 6.0   | 1.23                          | 265    |
| 2    | 5.0   | 1.60                          | 200    |
| 3    | 5.8   | 1.41                          | 275    |
| 4    | 5.0   | 1.32                          | 165    |
| 5    | 5.0   | 1.32                          | 165    |
| 6    | 4.0   | 1.95                          | 125    |

但实际装药量  $K_{n上} = 1.32, K_{n下} = 1.41 - 1.60$  (见表 6-2)。根据实际装药量反算  $q/m = 0.54$ , 爆后实际堆积线见图(6-1), 主抛体距离  $S = 16$  米, 略小于设计值, 基本上达到预计效果。

爆破堆积体完全由黄土所复盖, 无裸露石碴。爆破漏斗坑由山体顶部方量坍落充填。这次爆破达到了预计的分层抛掷堆积的目的。

#### § 6-2 斜坡地形定向爆破设计

李夫峪大队爆破工点为单面临空斜坡地形, 如图 6-4 所示。黄土覆盖层约为 2—3 米, 黄土下面为风化的石灰岩。节理裂隙极为发育, 但很密实。离爆区 25—30 米处, 已有石砌采煤斜井。

爆破施工要求挖坡填沟。采用上、下层接近等量对称的药包布置。设计计算程序如下。

##### 1. 药包设计参数的选定

要求保证石砌采煤斜井安全, 并尽可能满足挖填方量平衡。斜井最近安全距离  $R_p = 5W$ 。爆破最小抵抗线与间距系数见表 6-3。

##### 2. 主抛体抛方用药量 $q$ 的计算

根据挖填方量平衡原则, 取 9, 10, 11, 12 号药包构成主抛体为例,  $S = 24$  米,  $\varphi = 62^\circ, H \approx 12$  米, 则抛掷速度

表 6-3 药包设计参数表

| 药包编号         | 1    | 2   | 3    | 4    | 5    | 6   | 7    | 8   | 9    | 10    | 11   | 12    |
|--------------|------|-----|------|------|------|-----|------|-----|------|-------|------|-------|
| W (米)        | 5    | 5   | 6.4  | 6    | 7    | 7   | 8    | 8   | 9    | 8     | 9    | 8     |
| 层列药包编号       | 1—2  | 3—4 | 1—3  | 2—4  | 5—6  | 7—8 | 5—7  | 6—8 | 9—10 | 11—12 | 9—11 | 10—12 |
| 层列药包间距(米)    | 5.5  | 6.0 | 8.4  | 8.2  | 7.0  | 7.4 | 7.5  | 7.3 | 9.0  | 9.0   | 8.5  | 8.0   |
| 平均间距(米)      | 5.8  |     | 8.2  |      | 7.5  |     | 7.4  |     | 9.0  |       | 8.2  |       |
| 平均间距系数 $m_i$ | 1.04 |     | 1.46 |      | 1.00 |     | 0.99 |     | 1.06 |       | 0.96 |       |
| 均方根间距系数 $m$  | 1.24 |     |      | 1.00 |      |     | 1.00 |     |      | 1.00  |      |       |

表 6-4 主抛体抛方用药量  $q$  的计算结果表

| 主抛体<br>药包编号              | 弹道计算参数           |            |            |                | $m$  | $q$<br>(公斤/米 <sup>3</sup> ) | $q/m$<br>(公斤/米 <sup>3</sup> ) |
|--------------------------|------------------|------------|------------|----------------|------|-----------------------------|-------------------------------|
|                          | $\varphi$<br>(度) | $S$<br>(米) | $H$<br>(米) | $v_c$<br>(米/秒) |      |                             |                               |
| 1—2 3—4<br>1—3 2—4       | 44               | 22         | 10         | 12.0           | 1.24 | 0.58                        | 0.47                          |
| 5—6 7—8<br>5—7 6—8       | 47               | 22         | 11         | 14.5           | 1.00 | 0.60                        | 0.60                          |
| 9—10 11—12<br>9—11 10—12 | 62               | 24         | 12         | 15.0           | 1.00 | 0.65                        | 0.65                          |

$$v_c = \sqrt{\frac{gs}{\sin 2\varphi \left[ 1 + \operatorname{ctg} \varphi \frac{H}{S} \right]}}$$

$$\approx \sqrt{\frac{9.8 \times 24}{0.83[1 + 0.266]}} = 15 \text{ 米/秒}$$

查图 5-4, 相应的  $q/m = 0.65$ ,  
故  $q = 0.65 \times 1.0 = 0.65$  公斤/米<sup>3</sup>.  
同样可以计算其余各主抛体用药量, 结果见表 6-4.

#### 5. 药包药量的计算

当斜坡爆破, 抛掷角  $\varphi \approx \varphi_0$  时, 上、下层药包参数相等. 按式 (5.26) 得

$$K_n = m^2 q; \quad Q_i = m^2 q W_i^3$$

计算出  $K_n, Q_i$ , 列为表 6-5

按计算值装药, 爆后接近于设计指标, 抛距达 20—22 米. 石砌采煤斜井, 相应于 1—2 药包位置, 发生错动, 错动为 2—3 厘米.

#### § 6-4 缓坡地形爆破设计

缓坡地形与斜坡地形设计相类似. 根据缓坡坡度的大小, 适当地加大上层药包的药量参数, 其上、下药包的布药率为

$$1.3 \leq \frac{K_{n\pm}}{K_{n\mp}} \leq 2.0$$

布药率不宜再大, 以免上、下层药包气室膨胀加速

表 6-5 药包药量计算表

| 药包编号 | $W$<br>(米) | $K_n$<br>(公斤/米 <sup>3</sup> ) | $Q_i$<br>(公斤) |
|------|------------|-------------------------------|---------------|
| 1    | 5.0        | 0.89                          | 111           |
| 2    | 5.0        | 0.89                          | 111           |
| 3    | 6.4        | 0.89                          | 241           |
| 4    | 5.0        | 0.89                          | 192           |
| 5    | 7.0        | 0.60                          | 206           |
| 6    | 7.0        | 0.60                          | 206           |
| 7    | 8.0        | 0.60                          | 306           |
| 8    | 8.0        | 0.60                          | 306           |
| 9    | 9.0        | 0.65                          | 470           |
| 10   | 8.0        | 0.65                          | 332           |
| 11   | 9.0        | 0.65                          | 470           |
| 12   | 8.0        | 0.65                          | 332           |
| 合 计  |            |                               | 3,302         |

时间不均匀, 使上层药包提早漏气而降低主抛体速度值. 例如, 后龙凤埭二炮, 爆破效果良好, 爆破设计参数及药量计算结果如表 6-6 所示.

从表 6-6 看出缓坡远距离抛掷爆破抛方用药量较大,  $q \approx 1.8$  公斤/米<sup>3</sup>, 相当于大工程斜坡爆破时的有效抛掷用药量. 对于农田基本建设搬山造田来说, 应力求最大限度降低用药量. 下面以南埭圆盘埭爆破工程为例, 介绍缓坡地形定向

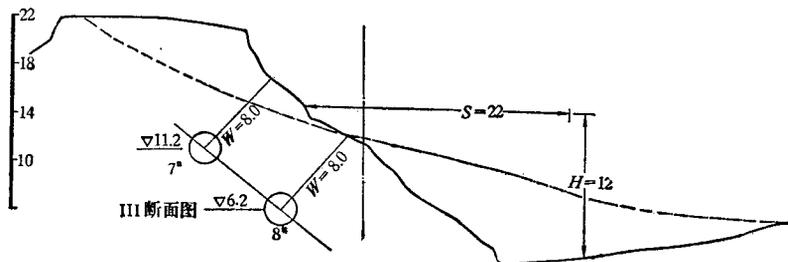


图 6-5 李夫峪爆破工点 III 断面的堆积图 (1:600)

表 6-6 后龙风墙二炮设计参数

(1) 药包间距设计参数

| 层列药包编号 | 层列药包间距 (米) | 平均间距 (米) | 平均间距系数 $m_i$ | 均方根间距系数 $m$ |
|--------|------------|----------|--------------|-------------|
| 1—2    | 8          | 8        | 1            | 1.12        |
| 3—4    | 8          |          |              |             |
| 1—3    | 10         | 10       | 1.25         |             |
| 2—4    | 10         |          |              |             |

(2) 主抛体单位用药量  $q$

| 主抛体     | 弹道计算参数        |         |         |                 | $q/m$ | $q$  | $K_n$ | $m$  | $K_{n2}/K_{n1}$ | 备注                               |
|---------|---------------|---------|---------|-----------------|-------|------|-------|------|-----------------|----------------------------------|
|         | $\varphi$ (度) | $S$ (米) | $H$ (米) | $v_{\xi}$ (米/秒) |       |      |       |      |                 |                                  |
| 1—2 3—4 | 54            | 55      | 25      | 23.7            | 1.61  | 1.80 | 1.95  | 1.12 | 1.3             | $\Delta\varphi = 12^\circ, = 20$ |
| 1—3 2—4 |               |         |         |                 |       |      |       |      |                 |                                  |

(3) 药包药量

| 药包编号 | $W_i$ (米) | $K_{ni}$ 公斤/米 <sup>3</sup> | $\bar{Q}$ (公斤) | 药包编号 | $W$ (米) | $K_{ni}$ 公斤/米 <sup>3</sup> | $\bar{Q}$ (公斤) |
|------|-----------|----------------------------|----------------|------|---------|----------------------------|----------------|
| 1    | 8.0       | 1.95                       | 1000           | 6    | 8.0     | 2.38                       | 1220           |
| 2    | 3.0       | 2.54                       | 1300           | 7    | 8.0     | 1.95                       | 1000           |
| 3    | 8.0       | 1.95                       | 1000           | 8    | 8.0     | 2.30                       | 1180           |
| 4    | 8.0       | 2.54                       | 1300           | 9    | 8.5     | 1.95                       | 1000           |
| 5    | 8.0       | 1.95                       | 1000           | 10   | 8.0     | 2.30                       | 1180           |

爆破的另一种设计方案。

圆盘墙爆破地形的自然坡度  $\alpha \leq 18^\circ$ ，地质

构造较为复杂，含有粘土夹层的较为坚硬的石灰石，抛掷条件较差。

设计时采用一孔三药包布药方案，如图 6-6 所示。爆破最小抵抗线均取为  $W \approx 9.0$  米。取两个典型主抛体为例，如表 6-7 所示。

表 6-7 南墙圆盘墙设计参数

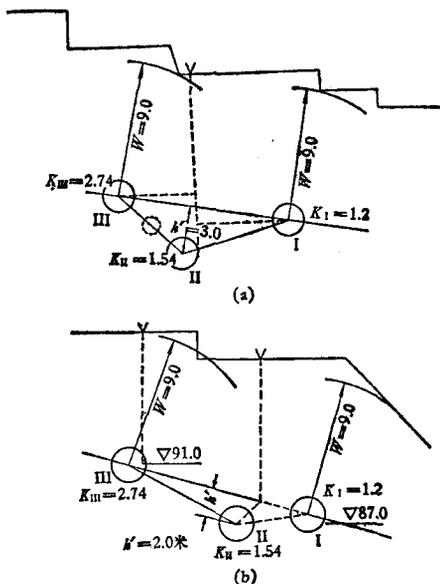
| 药包编号  | 药包间距 (米) | 平均间距 (米) | 平均间距系数 $m_i$ | 均方根间距系数 $m$ |
|-------|----------|----------|--------------|-------------|
| 1—2   | 13.0     | 12.8     | 1.42         | 1.34        |
| 3—4   | 12.6     |          |              |             |
| 1—3   | 11.0     | 11.3     | 1.26         |             |
| 2—4   | 11.6     |          |              |             |
| 11—12 | 11.6     | 11.6     | 1.29         | 1.35        |
| 13—14 | 11.6     |          |              |             |
| 11—13 | 12.8     | 12.8     | 1.42         |             |
| 12—14 | 12.8     |          |              |             |

一孔三药包药量参数比

$$K_{nI}:K_{nII}:K_{nIII} \approx 1.2:1.54:2.74$$

抛方体积

$$V = m^2 \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{h^2}{W} \right) W^3$$



(a) 一孔三药包布药形式 (b) 二孔三药包布药形式

图 6-6

抛方用药量

$$q = \frac{Q}{V} = K_{hI} \left[ \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2.74}{1.2} \right) + \frac{1.54}{1.2} \right] / m^2 \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{h'}{W} \right)$$

所以

$$q_{1,2,3,4} \approx 1.75 \text{ 公斤/米}^3 \quad (h' = 2.0 \text{ 米})$$

$$q_{11,12,13,14} \approx 1.65 \text{ 公斤/米}^3 \quad (h' = 3.0 \text{ 米})$$

均方根间距系数  $m \approx \sqrt{A_i/W}$

其中,  $A_i$  为过上层药包中心(III)与下层二个药包(II, I)的重心, 或过下层药包中心(I)与上层二个药包(II, III)的重心的空间平面的面积。

故

$$m_{1,2,3,4} = \sqrt{11.3 \times 9.6/9.0} \approx 1.16$$

$$m_{11,12,13,14} = \sqrt{12.8 \times 9.0/9.0} \approx 1.19$$

在相同的药量参数比的情况下

$$K_I:K_{II}:K_{III} = 1.2:1.54:2.74$$

$$K_{III}/K_I \approx 2.74/1.2 = 2.28$$

$$\text{抛掷角 } \varphi = (90 - \theta) - \Delta\varphi$$

其中自然坡度角  $\theta = 18^\circ$ ,

若  $\Delta\varphi = 12^\circ$ , 则  $\varphi = 60^\circ$ 。抛距计算结果如表 6-8 所示。

实际堆积的  $S \approx 40$  米。因此不难看出中心加强药包(II)后移, 对改善抛掷角  $\varphi$  更为有利。

表 6-8

| 药包编号                       | 弹道计算参数           |            |            |                | $m$  | $q/m$<br>(公斤/米 <sup>3</sup> ) | $q$<br>(公斤/米 <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|------------------|------------|------------|----------------|------|-------------------------------|-----------------------------|
|                            | $\varphi$<br>(度) | $S$<br>(米) | $H$<br>(米) | $v_c$<br>(米/秒) |      |                               |                             |
| 1—2 2—3<br>3—4 2—4         | 60               | 35.8       | 6          | 2.9            | 1.16 | 1.51                          | 1.75                        |
| 11—12 11—13<br>12—14 13—14 | 60               | 35.5       | 7          | 19             | 1.17 | 1.39                          | 1.65                        |

## 新书推荐

### 《材料力学基础》

《材料力学基础》是一本科普读物, 它用通俗易懂的语言, 由浅入深地介绍了材料力学的基础知识。本书共有八章和一个结束语。第一章概述, 主要从日常生活和生产中遇到的实例解释什么是材料力学; 第二章基本概念, 主要讲外力及其分类, 内力和变形, 弹性、均匀连续性和各向同性, 什么是应力, 五种基本变形; 第三章拉伸与压缩, 主要讲直杆的变形和应力, 虎克定律, 低碳钢的拉伸图, 铸铁的压缩图, 许用应力与安全系数, 怎样进行简单的设计; 第四章剪切, 主要讲剪切破坏, 剪切时的变形和应力, 剪切的计算公式, 怎样进行铆接设计, 焊接的计算; 第五章扭转, 主要讲扭转是怎样产生的, 圆轴的变形和应力, 空心轴有哪些好处, 怎样设计传动轴; 第六章弯曲, 主要讲平面弯曲的概念, 独木桥和跳水板, 剪力和弯矩,

“钢骨”的作用, 怎样进行梁的设计, 怎样的截面最合理, 变形大了有什么坏处, 桁架和拱; 第七章压杆的稳定, 主要讲什么叫“失稳”, 计算临界力公式, 临界力公式的使用范围, 压杆的稳定校核; 第八章补充知识, 主要讲关于动载荷和材料试验机。

书中还叙述了本门学科的发展过程和它的几个发展方向, 如结构力学、板壳力学、弹性力学、塑性力学、各向异性弹性力学、各向异性板壳力学和断裂力学等。本书对于了解这门学科的基本内容和它在实践上的应用有一定参考价值, 可供具有初中程度的工人、知识青年及工农技术干部自学用, 也可供技工学校教学参考。

《材料力学基础》一书由陈森编写, 已于 1974 年由科学出版社出版, 各地新华书店经售。