

土壤与岩石的爆破

西安陆军学院训练部

一九八七年五月

目 录

一、地下装药的爆炸作用及分类	(1)
(一) 地下装药的爆炸作用	(1)
(二) 地下装药的分类	(3)
(三) 漏斗孔的可见深度	(5)
二、飞散爆破	(6)
(一) 装药量的计算	(6)
(二) 飞散爆破的应用	(9)
三、松散爆破	(16)
(一) 装药量的计算	(16)
(二) 松散爆破的应用	(16)
四、压缩爆破	(22)
(一) 压缩工事的装药设计	(22)
(二) 压缩工事的构筑	(25)
五、药孔、药洞和药壶的开设与装填	(33)
(一) 药孔	(33)
(二) 药洞	(34)
(三) 药壶	(34)
六、安全距离的计算	(36)
(一) 个别上、石的飞散距离	(36)

土壤、岩石爆破通常用内部装药，因将装药设置在地面下，又称地下装药。由装药中心到地表面（临空面）的最短距离，称最小抵抗线（ h ）（图1）。在平坦地形进行爆破，最小抵抗线和装药入土深度一致。最小抵抗线的大小关系着装药量的多少和作业量的大小，最小抵抗线对正的方向就是土壤、岩石的主要飞散方向。

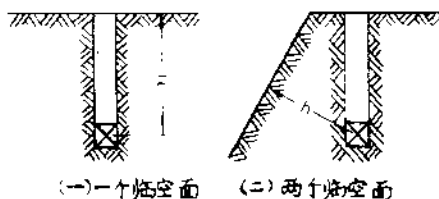


图1 最小抵抗线

一、地下装药的爆炸作用及分类

一）地下装药的爆炸作用

地下装药爆炸后可以看到三种现象：一是土壤、岩石飞散，地面上形成漏斗孔；二是地面上有凸起胀裂现象；三是地面上看不到什么变化。这些现象都是由地下装药爆炸作用形成的。

当地下装药在土壤、岩石中爆炸时，靠近装药的土壤、岩石受到的压力最大，离装药越远，受到的压力越小。由于这种差别，呈现出以下三种不同的爆炸作用范围（图2）。

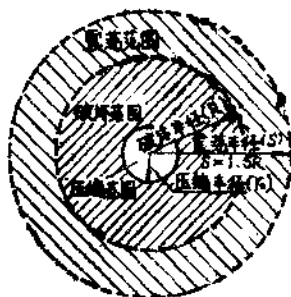


图2 地下装药的爆炸作用范围

1. 压缩范围：这一范围的土壤、岩石紧靠装药，受到装药爆炸的直接作用，原有结构被破坏，向外挤压，形成球形空室。土壤性质不同，空室半径(压缩半径)也不同，可达装药半径的4~14倍。如为岩石，则形成的空室半径较小。

2. 破坏范围：在压缩范围以外的土壤、岩石距离装药稍远，装药爆炸产生的压力迅速下降，土壤、岩石未被压缩。在接近空室的部分，由于土壤、岩石外挤，增大了这部分的密度，好像在空室外面包上了一层硬壳。再向外，土壤、岩石的原有结构遭到破坏，形成了许多环状裂缝与径向裂缝，并且使这一范围内的土壤、岩石获得运动速度。自装药中心至裂缝边缘的距离，叫作破坏半径，用R表示。

3. 震荡范围：在破坏范围以外，装药爆炸的能量已经很弱，只能引起土壤、岩石震动或发生轻微破裂，而且其震荡强度随距离增大而减弱。自装药中心至震荡边缘的距离，叫做震荡半径，用S表示。震荡半径为破坏半径的1.5倍(即 $S=1.5R$)。

地下装药这三种不同的爆炸作用，在工程作业中，得到广泛应用。利用压缩作用，构成空室，称为压缩爆破；利用破坏作用，飞散土壤或岩石称为飞散爆破；利用震荡作用，松散土壤或岩石，称为松散爆破。

(二) 地下装药的分类

1. 松散爆破的装药种类分为微量装药和震荡装药两种(图3)。

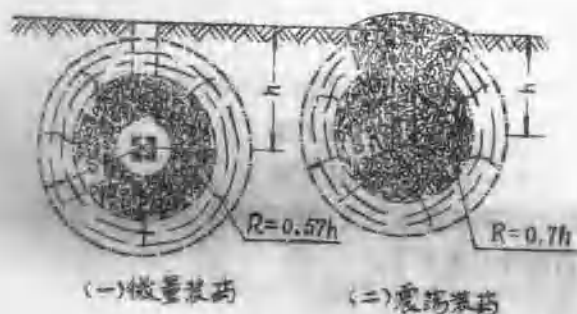


图3 松散爆破的装药种类

(1) 微量装药：其震荡半径小于最小抵抗线，破坏半径(R)是最小抵抗线(h)的0.57倍(即 $R=0.57h$)，装药爆炸后，地面没有多大变化。

(2) 震荡装药：其震荡半径约等于最小抵抗线，破坏半径(R)是最小抵抗线(h)的0.7倍(即 $R=0.7h$)，装药爆炸后，地表面产生凸起胀裂现象。

2. 飞散爆破的装药种类。飞散爆破所炸出的漏斗孔，其半径(r)与最小抵抗线(h)的比值有三种情况：一是漏斗

孔半径小于最小抵抗线，即 $\frac{r}{h} < 1$ ；二是漏斗孔半径等于最小抵抗线，即 $\frac{r}{h} = 1$ ；三是漏斗孔半径大于最小抵抗线，即 $\frac{r}{h} > 1$ 。第一种情况炸出的漏斗孔较小，飞散爆破通常不用。飞散爆破的装药种类是根据后两种情况区分的。

漏斗孔半径(r)与最小抵抗线(h)的比值，称为装药作用指数，用 n 表示，即：

$$n = \frac{r}{h}$$

式内： n ——装药作用指数

h ——最小抵抗线（米）

r ——漏斗孔半径（米）。

根据装药作用指数，飞散爆破的装药种类分寻常装药和过量装药两种（图4）。

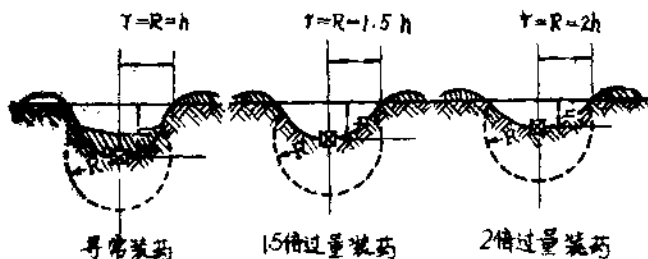


图4 飞散爆破的装药种类

(1) 寻常装药（通常称标准装药）：装药作用指数等

于1 ($n=1$)，即漏斗孔半径等于最小抵抗线 ($r=h$)。

(2) 过量装药：装药作用指数大于1 ($n>1$)，即漏斗半径大于最小抵抗线 ($r>h$)。当装药作用指数 (n) 等于1.5时，叫做1.5倍过量装药；当装药作用指数 (n) 等于2时，叫做2倍过量装药。通常采用1.5倍和2倍过量装药。

(三) 漏斗孔的可见深度

自漏斗孔底部至地表面的垂直距离，叫可见深度 (P) (图5)。根据装药种类和最小抵抗线按下述经验公式计算：

寻常装药漏斗孔的可见深度 $P=0.5h$

1.5倍过量装药漏斗孔的可见深度 $P=h$

2倍过量装药漏斗孔的可见深度 $P=1.4h$

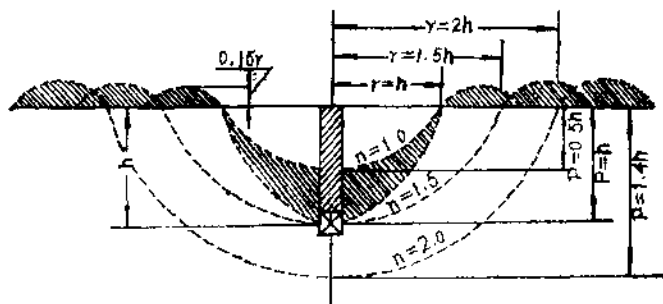


图5 漏斗孔的可见深度 (斜线部分指回落土壤)

在岩石地段实施飞散爆破时，可见深度约减少20%。

二、飞散爆破

飞散爆破主要用于开设单个漏斗孔、构筑防坦克壕、沟

渠、挖土路基、斜坡路以及各种工事的平底坑等。

(一) 装药量的计算

飞散爆破时, 采用寻常装药或过量装药。其装药量按下式计算:

$$C = Abh^3$$

式中, C —— 装药量 (公斤)

A —— 土壤 岩石抗力系数 (表 1)

b —— 装药作用系数 (表 2)

h —— 最小抵抗线 (米)

表 1 土壤、岩石抗力系数 (A) 值

材 料 名 称	A	附 注
新 积 松 土 地	0.26	一、使用低级炸药时, 系数(A)与中级炸药同。爆破坚硬的
带有砂和碎石的土地	0.51	
生长植物的土壤	0.57	岩石如用低级炸药, 应较公式算
湿 砂	0.66	
夹 砂 地	0.66	出的装药量增大0.2~0.5倍。
砂质粘土及坚硬的		
青 粘 土	0.70	二、如系分层土壤, 系数
多 粘 土 壤	0.77	(A)取最坚硬一层的数值。
红 粘 土	0.98	三、坚硬的岩层有缝隙时,
子 灰 岩	1.11	系数(A)应缩小1.2。
在 岗 岩	1.34	四、有条件时, 最好用寻常
		装药试验爆炸校正系数(A)。

表 2

装药作用系数(b)值

地下装药种类	$n = \frac{r}{h}$	b
微量装药		0.55
震荡装药		0.70
正常装药	1.00	1.70
1.5倍过量装药	1.50	5.06
2倍过量装药	2.00	13.2

满足漏斗孔的口宽要求时，根据漏斗孔半径和所采用的装药作用系数，计算最小抵抗线。

$$\text{即: } h = \frac{r}{n}$$

此时，漏斗孔可见深度按经验公式计算。

满足漏斗孔的深度要求时，根据需要的深度和所采用的装药作用系数，计算最小抵抗线。

$$\begin{array}{lll} \text{即: } n=1 & n=1.5 & n=2 \\ p=0.5h & p=h & p=1.4h \\ h = \frac{p}{0.5} & h=p & h = \frac{p}{1.4} \end{array}$$

此时，漏斗孔半径按 $r=nh$ 计算。

例題 1：在砂质粘土地上，开设一个直径 6 米，深 2 米的漏斗孔，试分别计算满足漏斗孔的口宽和深度要求时寻常

装药、1.5倍过量装药和2倍过量装药的装药量。

满足漏斗孔的口宽要求时：

$$r = \frac{\text{口宽}}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ 米}$$

寻常装药：

$$h = \frac{r}{n} = \frac{3}{1} = 3 \text{ 米}$$

$$p = 0.5h = 0.5 \times 3 = 1.5 \text{ 米}$$

$$C = Abh^3 = 0.7 \times 1.7 \times 3^3 \approx 32.1 \text{ 公斤}$$

1.5倍过量装药：

$$h = \frac{r}{n} = \frac{3}{1.5} = 2 \text{ 米}$$

$$p = h = 2 \text{ 米}$$

$$C = Abh^3 = 0.7 \times 5.06 \times 2^3 \approx 28.3 \text{ 公斤}$$

2倍过量装药：

$$h = \frac{r}{n} = \frac{3}{2} = 1.5 \text{ 米}$$

$$p = 1.4h = 1.4 \times 1.5 = 2.1 \text{ 米}$$

$$C = Abh^3 = 0.7 \times 13.2 \times 1.5^3 \approx 31.2 \text{ 公斤}$$

满足漏斗孔的深度要求时：

寻常装药：

$$h = \frac{p}{0.5} = \frac{2}{0.5} = 4 \text{ 米}$$

$$r = nh = 1 \times 4 = 4 \text{ 米}$$

$$\text{口宽} = 2r = 2 \times 4 = 8 \text{ 米}$$

$$C = Abh^3 = 0.7 \times 1.7 \times 4^3 \approx 76.2 \text{ 公斤}$$

1.5倍过量装药:

$$h = p = 2 \text{ 米}$$

$$r = nh = 1.5 \times 2 = 3 \text{ 米}$$

$$\text{口宽} = 2r = 2 \times 3 = 6 \text{ 米}$$

$$C = Abh^3 = 0.7 \times 5.06 \times 2^3 \approx 28.3 \text{ 公斤}$$

2倍过量装药:

$$h = \frac{p}{1.4} = \frac{2}{1.4} \approx 1.4 \text{ 米}$$

$$r = nh = 2 \times 1.4 = 2.8 \text{ 米}$$

$$\text{口宽} = 2r = 2 \times 2.8 = 5.6 \text{ 米}$$

$$C = Abh^3 = 0.7 \times 13.2 \times 1.4^3 \approx 25.4 \text{ 公斤}$$

从上述例题可以看出，在比较平坦的地形上，开设口宽相同的漏斗孔，采用2倍过量装药最节省作业力，采用1.5倍过量装药最节省炸药；开设深度相同的漏斗孔，采用2倍过量装药最节省作业力和炸药，其次是1.5倍过量装药。还可以看出，无论是满足漏斗孔的口宽要求还是深度要求，采用寻常装药所用的炸药和作业力都最多。所以，寻常装药仅在破坏挖土路基、隧道等既要获得较大的破坏范围，又不使土壤、岩石过远飞散时才采用。

(二) 飞散爆破的应用

根据任务和要求可分别采用单个装药、一列装药或二、三列装药爆破法。

1. 单个装药爆破法：单个装药爆破法用于在公路、铁路、机场跑道等地开设漏斗孔，以构成障碍，或开设工事的平底坑等。

单个装药爆炸后，一般不能同时满足所要求的漏斗孔的口宽和深度。因此，在计算装药量时，应根据任务要求，看哪个尺寸重要，如果口宽重要就按口宽要求计算，深度重要就按深度要求计算。

例题2：在砂质粘土的填上路基上，迅速开设一个口宽5米、深2米的漏斗孔，试分别按口宽要求和深度要求计算装药量。

满足口宽要求时：

$$r = \frac{\text{口宽}}{2} = \frac{5}{2} = 2.5 \text{米}$$

$$h = \frac{r}{n} = \frac{2.5}{2} = 1.25 \text{米}$$

$$p = 1.4h = 1.4 \times 1.25 = 1.75 \text{米}$$

$$C = Abh^3 = 0.7 \times 13.2 \times 1.25^3 \approx 18 \text{公斤}$$

满足深度要求时：

$$h = \frac{p}{1.4} = \frac{2}{1.4} \approx 1.4 \text{米}$$

$$r = nh = 2 \times 1.4 = 2.8 \text{米}$$

$$\text{口宽} = 2r = 2 \times 2.8 = 5.6 \text{米}$$

$$C = Abh^3 = 0.7 \times 13.2 \times 1.4^3 \approx 25.4 \text{公斤}$$

2. 一列装药爆破法：一列装药爆破法，用于开设三角形断面的壕沟、防坦克壕和工事的平底坑等。

采用一列装药爆破法时，装药应排成一线，装药的间隔等于漏斗孔半径（图6）。当装药的间隔小于漏斗孔半径时，对加深除土部作用不大；当装药的间隔大于漏斗孔半径时，则除土部的深度减小，并形成横隔。装药应同时起爆。爆炸后，除土部的口宽约等于2个漏斗孔半径。

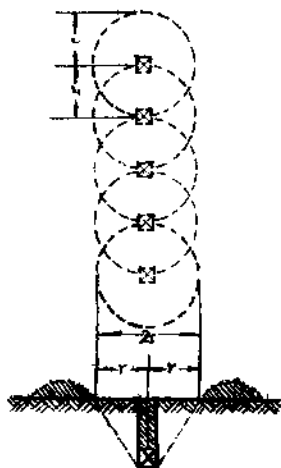


图6 一列装药爆破法的装药配置

采用2倍过量装药。

$$r = \frac{5.5}{2} = 2.75 \text{米}$$

$$h = \frac{r}{n} = \frac{2.75}{2} \approx 1.4 \text{米}$$

$$p = 1.4h = 1.4 \times 1.4 \approx 2 \text{米}$$

装药个数按下式计算：
按壕的口长计算：

$$\text{装药个数} = \frac{\text{口长}}{r} - 1$$

按壕的底长计算：

$$\begin{aligned} & \text{装药个数} \\ &= \frac{\text{底长}}{r} + 1 \end{aligned}$$

例题3：在砂质粘土地上，开设口长100米、口宽5.5米、深2米的防坦克壕一道，试计算装药量。

为了节省作业力，

$$C = Abh^3 = 0.7 \times 13.2 \times 1.4^3 = 25.4 \text{ 公斤}$$

$$\text{装药个数} = \frac{11 \text{ 长}}{r} - 1 = \frac{100}{2.75} - 1 \approx 36 \text{ 个}$$

$$\text{总装药量} = 25.4 \times 36 = 914.4 \text{ 公斤}$$

3. 二、三列装药爆破法：二、三列装药爆破法，用于开设梯形断面的沟渠和工事的平底坑等。当沟渠或工事平底坑的底宽大于深度时，采用这种方法。

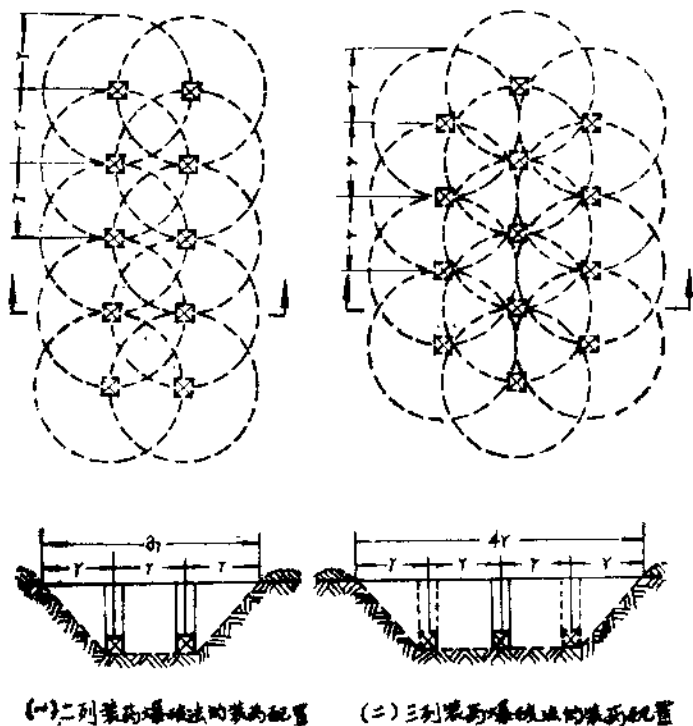


图7 二、三列装药爆破法的装药配置

采用二列装药爆破时，装药排成二列，应相对配置。装药之间的间隔和各列之间的距离，均等于单个装药的漏斗孔半径。装药应同时起爆。爆炸后，除土部的口宽约等于3个漏斗孔半径，底宽约等于1个漏斗孔半径（图7（一））。

采用三列装药爆破时，装药排成三列，应交错配置。装药之间的间隔和各列之间的距离，均等于单个装药的漏斗孔半径。装药应同时起爆。爆炸后，除土部的口宽约等于4个漏斗孔半径，底宽约等于2个漏斗孔半径（图7（二））。

装药列数的确定，可按下述两种方法：

第一种方法：先按口宽要求确定一种列数进行试算，如不能满足设计幅员的要求，再用其它列数试算，直到接近或满足要求的深度为止。这种方法既能满足口宽要求，又照顾深度要求。其计算顺序如下：

（1）计算漏斗孔半径

$$r = \frac{\text{口宽}}{\text{口宽半径数}}$$

（2）计算最小抵抗线

$$h = \frac{r}{n}$$

（3）计算可见深度

$$\text{如 } n=2 \text{ 时 } \quad p=1.4h$$

口宽一定时，列数少炸得深，列数多炸得浅。

例题4：在砂质粘土地上开设一个口长20米、口宽12米、底宽8米、深3米的平底坑，采用2倍过量装药，试确定装药列数。

采用一列装药爆破法时:

$$r = \frac{\text{口宽}}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ 米}$$

$$h = \frac{r}{n} = \frac{6}{2} = 3 \text{ 米}$$

$$p = 1.4h = 1.4 \times 3 = 4.2 \text{ 米}$$

计算说明, 采用一列装药爆破炸的深度过大, 不宜采用。

采用二列装药爆破法时:

$$r = \frac{\text{口宽}}{3} = \frac{12}{3} = 4 \text{ 米}$$

$$h = \frac{r}{n} = \frac{4}{2} = 2 \text{ 米}$$

$$p = 1.4h = 1.4 \times 2 = 2.8 \text{ 米}$$

$$\text{底宽} = r = 4 \text{ 米}$$

计算说明, 采用二列装药爆破, 炸出的口宽和可见深度基本满足要求, 可以采用, 但底宽不够。

第二种方法: 先按要求的深度(可见深度)求出最小抵抗线和漏斗孔半径, 然后以漏斗孔半径去除平底坑的口宽或底宽, 再减1或加1, 即可算出装药的列数。这种方法既能满足深度要求, 又可照顾口宽或底宽要求。其计算顺序如下:

(1) 计算最小抵抗线

$$\text{如 } n=2 \text{ 时 } \quad h = \frac{p}{1.4}$$

(2) 计算漏斗孔半径

$$r = nh$$

(3) 计算列数

$$\text{列数} = \frac{\text{口宽}}{r} - 1 \text{ 或 } \text{列数} = \frac{\text{底宽}}{r} + 1$$

例题 5: 条件与例题 4 相同。试按第二种方法确定装药列数。

$$h = \frac{p}{1.4} = \frac{3}{1.4} \approx 2.1 \text{ 米}$$

$$r = nh = 2 \times 2.1 = 4.2 \text{ 米}$$

按口宽确定:

$$\text{列数} = \frac{\text{口宽}}{r} - 1 = \frac{12}{4.2} - 1 \approx 2 \text{ 列}$$

$$\text{底宽} = r = 4.2 \text{ 米}$$

按底宽确定:

$$\text{列数} = \frac{\text{底宽}}{r} + 1 = \frac{8}{4.2} + 1 \approx 3 \text{ 列}$$

$$\text{口宽} = 4r = 4 \times 4.2 = 16.8 \text{ 米}$$

计算说明, 如不能同时满足口宽和底宽要求时, 装药列数应根据需要(满足口宽或底宽)加以选择。

在实施飞散爆破时, 因装药爆炸对周围土壤有压缩作