



农业爆破技术

冯叔瑜 马乃耀 龚亚丽

研究所

目 录

第一章 爆破作用原理及计算方法.....	(1)
第一节 爆破作用.....	(1)
第二节 药包形状.....	(3)
第三节 爆破漏斗.....	(4)
第四节 装药量的计算方法.....	(6)
第五节 影响爆破作用的主要因素.....	(8)
第六节 爆破参数.....	(11)
第二章 炸药及爆破材料.....	(21)
第一节 炸药的分类.....	(21)
第二节 炸药的一般性质及常用的 几种工业炸药.....	(25)
第三节 起爆材料.....	(32)
第四节 爆破材料的检验及销毁.....	(39)
第三章 清理地面.....	(48)
第一节 伐树.....	(48)
第二节 炸树根.....	(50)
第三节 炸孤石.....	(57)
第四章 开挖沟渠.....	(62)
第一节 平地开渠.....	(64)
第二节 斜坡开渠.....	(77)
第三节 定向爆破开渠.....	(82)

第五章 爆破造田	(86)
第一节 深耕松土	(86)
第二节 平整土地	(89)
第三节 植树造林爆破方法	(99)
第六章 水利爆破	(103)
第一节 定向爆破筑坝	(103)
第二节 输水隧洞爆破	(112)
第三节 水塞爆破	(121)
第四节 开水池和打井	(123)
第七章 起爆方法	(128)
第一节 火花起爆	(128)
第二节 导爆索起爆	(133)
第三节 电力起爆	(136)
第四节 顺序起爆	(146)
第八章 施工方法	(149)
第一节 浅孔爆破	(149)
第二节 深孔爆破	(154)
第三节 药壶法爆破	(160)
第四节 药室法爆破	(162)
第九章 安全常识和安全规定	(170)
第一节 一般注意事项	(170)
第二节 爆破材料的运输和保存	(174)
第三节 电爆作业中集散电流的危害	(177)
第四节 安全距离	(180)
编 后	(186)

第一章 爆破作用原理及计算方法

炸药是一种固体、塑性软体或液体状态的化合或混合物质，在受到外界热力、冲击力或摩擦等作用时，就能起迅速的化学变化，生成大量气体，同时产生极高的温度、压力和很高速度的冲击波，释放出很多能量，对周围环境起一定的破坏作用。这种现象发生在空气或水中，通常叫做爆炸。而发生在土壤、岩石或其他介质中，就叫做爆破。

第一节 爆 破 作 用

当一个装满炸药的球形药包在没有边界的无限介质爆炸时，直接接触药包表面的介质首先受到最强大的爆炸压力，这种压力随着介质和药包中心距离的增加，迅速降低以至消失为止。如果我们想象通过药包中心，把介质切开来看，便可以从图 1—1 看到下述几个称为“圈”的范围。

（一）压缩圈。这是最接近药包表面的一层介质。由于它承受了爆炸时最大压力，当介质是塑性的粘土或其他可以压缩的物质时，这一部分就被压缩成一个球形的空腔；而当介质为岩石或其他不易压缩的脆性物质时，这一部分就被压得粉碎，所以又叫做粉碎圈。

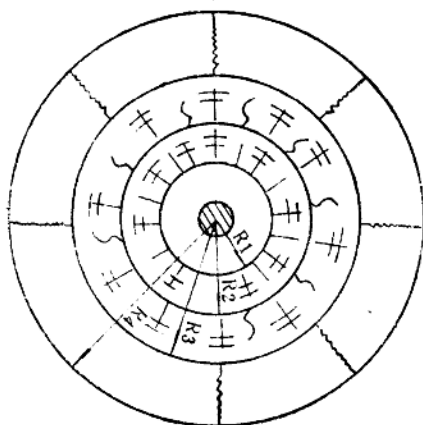
（二）抛掷圈。紧接着压缩圈的外面一层，由于受到的爆破压力较小，但这个压力仍然足够强大，因此除了把介质

压碎外，在没有其他阻力时，还可以把它用一定的速度抛掷出去，就是抛掷圈。

(三) 破坏圈。在抛掷圈外层。介质所受的压力更小，却也能使介质的原来结构产生裂缝、裂纹或分成许多小块，但爆

破的压力却不能推动被破坏的介质块体向前移动，这个范围也称松动圈。

(四) 振动圈。受到药包爆炸压力最小的外层介质。介质原结构不受破坏，但还要引起弹性振动，而在振动厉害时，如果这部分介质作为地基基础，它上面的建筑物还可能受到破坏，产生裂缝或者



R1——压缩圈半径 R2——抛掷圈半径
R3——破坏圈半径 R4——振动圈半径

图1—1 爆破作用圈

裂纹，甚至倒塌，所以叫做振动圈。

我们知道了在无限介质内的药包爆炸时，介质会产生上述几种“圈”，人们就可以利用形成这些圈的特点，设计不同的爆破，达到不同的工程目的。例如：在进行爆破扩桩或扩大药壶时，利用药包的压缩作用；在进行定向爆破或抛掷爆破时，便利用药包的抛掷作用；在松动爆破时则利用松动圈；而在进行地震探矿或勘探地质情况时，就利用药包爆破时的振动圈。

第二节 药包形状

上节谈到的球形药包，那是在试验室作试验或理想的条件下，方能把炸药包形状做成球形状。但是，在工程施工中，很难、也没有必要把药包作成球形，而通常开挖成正方形，长方体或其他几何形状，或者用凿岩机钻成圆柱形孔眼，在这种情况下，药包就按形状分为集中和延长两类。

对于集中药包和延长药包的判别标准，在理论上通常用集中系数值来表示。如图 1—2 所示，R 是自实际装药的几何中心到药包表面最远一点的距离，用这个距离 R 和药包为球形的理论半径相比较，就可以定出集中系数 φ 的数值，即：

$$\varphi = \frac{0.62 \sqrt[3]{V_0}}{R} \dots\dots\dots (\text{式 1-1})$$

式中：V₀——药包的体积（米³）

R——由药包几何中心至表面最远一点距离（米）

按照通常的规定，集中系数 $\varphi \geq 0.41$ 为集中药包， $\varphi < 0.41$ 就是延长药包。

在一般情况下，也可以简单地用药包的长度不超过最短一边的四倍，作为集中药包的规定。如图 1—2 所示， $L > 4a$ 。

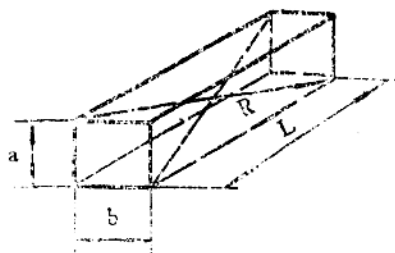


图1—2 集中系数示意图

集中系数 φ 的计算，在一般小规模药包的爆破或钻孔爆破中，没有多大的

实际意义。但是，装药量较多的大量爆破时，有的药包装药量多达几十吨、几百吨，甚至上千吨的炸药装在一个药室里，这时需要考虑集中系数的作用，而把药室开挖成“十”、“T”或其他形状，以保证药包的抛掷效果。

第三节 爆 破 漏 斗

在讨论计算介质内爆破时，装药的药包定量问题，还要谈到第一节中的爆破作用圈。我们可以设想，这些作用圈是在没有边际的“无限介质”条件下产生的，但是，在实际工程中，大多数是在土、石或其他固体介质中进行爆破，也就是说，这些物质是有限度的，至少有一个或多个边界，我们把这些叫做“临空面”或“自由面”。因此，爆破作用在这样的物体中发生时，情况和无限介质中的爆破作用不同，这时就会出现一个倒立的圆锥形状的“漏斗”，通常叫做“爆破漏斗”，如图1—3所示。图中O为药包中心，ML为介质的临空面，AOB是通过药包中心的剖面而呈现的三角形，ON为从药包中心至临空面的垂直距离，因为ON是药包

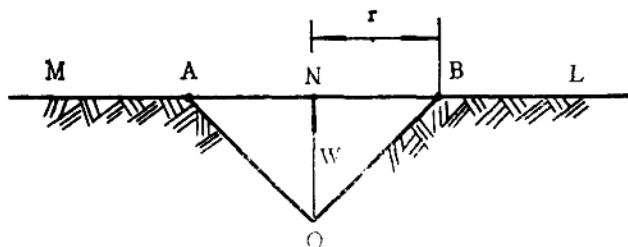


图1—3 爆破漏斗

中心到临空面最短的直线，它对于爆破作用力抵抗能力最小，也叫最小抵抗线，用 W 来表示， NB 是爆破漏斗的底半径，用 r 来表示，称为爆破漏斗半径。

随着药包大小的不同，即装入的炸药重量不同，爆破后出现的漏斗也不相同。为了表明爆破漏斗的种类和装药性质，这里引入一个爆破作用指数“ n ”的概念，即：

$$\frac{NB}{ON} = \frac{r}{W} = n$$

所谓爆破作用指数，就是爆破漏斗半径和最小抵抗线的比值，即图 1—3 中的爆破作用指数 n 的数值大小，直接表明爆破漏斗的大小，也表明了装药量的大小。如图 1—4 所示，当装药量极小，介质虽然有临空面，但它的破坏圈却不能达到临空面（图 1—4 a），这时就不能形成一个爆破漏斗，这样的药包叫做内部作用药包。在理想条件下，爆破作用的破坏圈半径刚好达到临空面，就是最大内部作用药包。爆破作用的破坏圈超过了临空面，就会出现一个碎块隆起的药包，看不出一个明显的漏斗，如果把碎块移去，就能看见爆破漏斗，这种漏斗叫做松动爆破漏斗（图 1—4 b）。当爆破作用抛掷圈超过了临空面时，就会出现一个可以看得见的爆破漏斗，叫做抛掷爆破漏斗（图 1—4 c）。



a) 内部作用药包 b) 松动爆破漏斗 c) 抛掷爆破漏斗

图 1—4 内部、松动和抛掷爆破示意图

对于爆破作用指数 n ，不同的数值也有不同的名称，习

惯上把 $n = 1.0$ 尺寸的爆破漏斗叫做标准抛掷爆破漏斗；
 $0.75 \leq n < 1.0$ 尺寸，是减弱抛掷爆破漏斗； $1.0 < n < 3.0$
 尺寸，叫做加强抛掷爆破漏斗。

第四节 装药量的计算方法

影响爆破作用的因素很多，但是，都从爆破漏斗体积和
 药包重量的比例关系而来，就是：

$$Q = KW \dots\dots\dots (\text{式 } 1-2)$$

以上说到， V 为爆破漏斗的体积， π 为圆周率，从几何
 关系可知：

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 W \dots\dots\dots (\text{式 } 1-3)$$

引入 $\frac{r}{W} = n$ ，或 $r = n W$ 的关系，并以之代入 1—3
 式，得：

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{3} \pi (nW)^2 W \\ &= \frac{1}{3} \pi n^2 W^3 \dots\dots\dots (\text{式 } 1-4) \end{aligned}$$

在标准抛掷爆破中，由于爆破作用指数 $n = 1.0$ ，是正
 圆锥体，还可以近似地简化为：

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{3} \pi r^2 W \\ &= \frac{1}{3} \pi W^3 \\ &\approx W^3 \dots\dots\dots (\text{式 } 1-5) \end{aligned}$$

因此，从公式 1—2 中可得标准抛掷药包的重要计算公

式为：

$$Q = KW^3 \dots\dots\dots (式 1-6)$$

式中：Q——药包重量（公斤）

W——最小抵抗线（米）

K——标准抛掷爆破漏斗的单位用药量
（公斤/米³）

必须说明，公式 1—6 只适用于计算标准抛掷爆破漏斗的药包重量，在求算不是标准抛掷的爆破漏斗时，公式 1—6 还要加入爆破作用指数 n 的因素，通常用爆破作用指数函数 $f(n)$ 来表示。即：

$$Q = KW^3 f(n) \dots\dots\dots (式 1-7)$$

公式 1—7 中的 $f(n)$ 是一个以 n 为函数的代数方程式，这个函数有许多不同的方程形式，从实践中，我们认为 $f(n) = 0.4 + 0.6n^3$ 是比较接近爆破的实数效果的，因此，这里只介绍公式 1—8，作为计算药包重量的通用公式。

$$Q = KW^3 (0.4 + 0.6n^3) \dots\dots\dots (式 1-8)$$

从公式 1—8 中可以看出：

（一）当 $n < 1.0$ 时， $f(n)$ 的数值也小于 1.0，通常把由 $0.75 < n < 1.0$ 的数值代入 $f(n)$ ，算出的药包叫做减弱抛掷药包。

（二）当 $n = 1.0$ 时， $f(n) = 1.0$ ，为标准抛掷药包。

（三） $n > 1.0$ 时， $f(n) > 1.0$ ，为加强抛掷药包。

（四）当 $n = 0$ 时， $f(n) = 0.4$ ，这时药包重量计算公式 1—8 便可以写成：

$$Q = 0.4KW^3 \dots\dots\dots (式 1-9)$$

前面已经说过， $n = 0$ 就是在临空面上不出现可以看得见的爆破漏斗，这样的药包就是松动药包。从实际效果看，公式

1—9 计算出来的药包重量，爆破时岩石破碎比较多，药量稍为大了一些，因此，又根据实际经验，作了修改如下：

$$Q = 0.33KW^3 \dots\dots\dots (\text{式 } 1-10)$$

我们知道，在工程实践中，松动爆破漏斗的变化范围还是很大的。理论上 $n = 0$ 爆破漏斗，在实践中是不存在的， $n = 0$ 就是我们所谓的最大内部作用药包。爆破时要么地面隆起一个鼓包，要么就出现一个可以看得见爆破漏斗；这样一个爆破漏斗的 n 值，一般都在 0.75 左右。因此，在工程实践中，松动爆破的函义，可以理解成 $0 < n < 0.75$ 这一范围内计算出的药包都是松动爆破。在应用公式 1—8 计算松动爆破的药包重量时，可以根据松动爆破的工程目的，决定所用的炸药数量，而一般则采用公式 1—10 计算药量，这意思就是松动爆破的单位用药量为标准抛掷爆破的三分之一。即：

$$K' = \frac{1}{3}K = 0.33K \dots\dots\dots (\text{式 } 1-11)$$

式中： K' ——松动爆破单位用药量（公斤/米³）

K ——标准抛掷爆破单位用药量（公斤/米³）

第五节 影响爆破作用的主要因素

关于影响爆破作用的因素问题，爆破工作者作过专门的分析研究，指出这些因素达六十多个，说明爆破是一个极其复杂的问题，无论在理论或实践中，把所有这些因素都考虑进去，那是不可能的。因此，只能考虑直接影响爆破效果的几个主要因素。

在爆破施工的工程实践中，一般考虑的影响因素，有以下三个方面：

(一)地质条件。工程爆破的主要对象，凡岩石的物理学性质，如抗压、抗拉、抗剪及抗弯强度等力学强度；岩石的产状、结构，如层理、节理、裂隙和断层等产状要素；以及地形、地貌和水文地质条件，无一不直接影响工程的爆破效果。但是，全面考虑这些因素对爆破效果，特别是对药包重量计算影响，是很困难的。所以，在工程中一般只把它们综合归纳成为一个与岩石工程分类有关的系数，反应在药包重量计算公式1—8中，以单位用药量K的形式出现（K的详细意义见下节），而其他的地质条件，则应在选定药包位置时，仔细地对岩石层理、裂隙和断层等加以考虑。

(二)炸药性能。包括各种炸药的爆力、猛度、爆速和它所蕴藏的爆炸能等特性，都对爆破效果有主要影响。例如：硝化甘油、梯恩梯这一类的烈性炸药，猛度大、速度高，是高威力炸药，用来爆破坚硬岩石，效果要好一些；而硝酸铵炸药、铵油炸药这一类中间性炸药，炸力、猛度、炸速都要低一些，在松软岩石和土壤能得到比较良好的爆破效果。

在工程实践中，把炸药性能的影响因素，归纳为 e 这样一个威力换算系数，反应在药包重量计算公式1—8中，它的形式可改写成为：

$$Q = eKw^3 (0.4 + 0.6n^3) \dots\dots\dots (\text{式 } 1-12)$$

关于系数 e 的数值，一般是以常用的工业炸药为标准，我国的爆破工作者，习惯上以国产二号岩石炸药为 $e=1.0$ ，威力比它大的炸药，如梯恩梯 $e=0.86$ ；威力比它小的，如硝酸铵炸药 $e=1.35$ 。按照书本上的试验办法， e 值是由铅铸试验结果，把炸药的爆力和猛度相应地和二号岩石硝酸铵炸药相比较，取其平均值。但是，这种办法，在现场应用很不方便，一种代替的方法是，在粘土或湿沙中作爆破漏斗试验，比较两种炸

药的爆破漏斗或爆破作用指数 n 值来决定，这是一种简易办法，但还未得到爆破工作者的公认，这里只作简单介绍。

（三）施工条件是影响爆破作用的第三个因素。施工时开挖或钻凿的药室与炮孔形状，装药密度，起爆体和雷管在药包中的位置，都有重要的影响；装药后的堵塞和回填的质量，以及起爆的方法和起爆能量的大小等，都能影响一次爆破的效果。

例如：我们在爆破时会发现，一个集中药包的抛掷效果比延长药包好。但是，延长药包对岩石的破碎、块度的均匀会比集中药包好；装药密度大的药包，抛掷效果比装药密度小的药包好，而装药密度小的破碎效果却要好些；堵塞质量好，药包在爆破从导洞或炮孔中逸散的能量少，反之，爆炸能量从炮孔中冲出来，不但要影响爆破效果，还会增加个别飞石距离，扩大爆破的危险范围；还有，起爆能量不够，炸药的爆轰作用中途停止，炸药不能完全爆炸；起爆雷管的位置不同，可使炮孔的传爆方向不同，产生不同的爆破效果。

上述第一、第二两种因素，是客观条件，不容易为人们掌握和控制，如果地质条件这样一类复杂的因素，有时我们通过试验或科学仪器测量也不能完全弄明白；而炸药的质量如何，同样是比较难掌握的客观条件，这就需要根据当时的具体情况，适当地修改药包重量计算公式中的参数。

但是，施工条件对爆破效果的影响，是人们通过主观活动可以控制的，我们能够根据工程目的和要求，利用这些规律，为一个具体的工程服务。因此，一般不考虑施工条件这一影响因素，或者只考虑堵塞质量，用一个系数加入在药包重量计算公式 1—8 中，而这个系数多用 1 来表示，即堵塞的导洞或炮孔，其密实度可以和爆破介质有同等程度或相近

似的抵抗力，如果堵塞质量不好，就要适当增加炸药量，以补偿从导洞或炮孔中逸散的部分能量。

第六节 爆 破 参 数

为了说明公式1—8中的参数和在爆破工程设计中其他一些常用主要参数的意义和选择原则，本节分别作如下的介绍。

一、单位用药量K。

前面已经谈到单位用药量K的意义，初接触爆破工作的人，往往对它的准确意思弄不明白，以致怀疑它的数值的准确性，这是因为许多书本上，把K叫做单位耗药量，以致跟工程实际上爆破每一立方米岩石所消耗的炸药量混为一谈。我们知道，K的定义是从公式1—6推导出来的，意思是爆破一个标准抛掷爆破漏斗（ $n=1.0$ ）时，每立方米岩石或土壤所消耗的炸药数量。而实际上，更准确地说，K值是药包重量和最小抵抗线立方根的比例系数。即：

$$K = \frac{Q}{W^{\frac{1}{3}}} \text{ (公斤/米}^3\text{) } \dots\dots\dots \text{(式 1—13)}$$

因此，我们把K叫做单位用药量，以便于和实际的单位耗药量相区别。必须说明，K的数值只能在标准抛掷爆破漏斗条件下才是准确的。但是，在实验中，刚好爆破出一个标准抛掷爆破漏斗，是难于实现的。因此，用试验方法求算K值时，应用公式1—8去计算，即：

$$\begin{aligned} K &= \frac{Q}{W^{\frac{1}{3}} f(n)} \\ &= \frac{Q}{W^{\frac{1}{3}} (0.4 + 0.6n^3)} \dots\dots\dots \text{(式 1—14)} \end{aligned}$$

一般说来，用试验方法求出的K值，还是不够准确的，

因为试验的数据是少量的，而且还应用标准抛掷爆破漏斗的可见深度加以修正。即：

$$K = K' \frac{W^3}{3r^3p} \dots\dots\dots (式1-15)$$

式中：K' —— 由公式(1-13)求算的数值(公斤/米³)

r —— 爆破漏斗半径(米)

p —— 爆破漏斗的可见深度(米)

这是一个繁复的方法，既费功夫又费时间，所得的数值还往往不能满足需要，所以，在一般中小工程中，可以根据岩石或土壤的物理力学性质，或者简单地按照岩石或土壤的名称用查表的办法求得。

表1-1是常用的单位药量K值系数表(国产2号岩石硝铵炸药)。在计算药包重量时，可以作为根据，或者用它和试验方法求得的K值相比较，互相参证K值的正确性。

二、斜坡地面上的爆破漏斗。

当药包布置在斜坡地面进行爆破时，出现的爆破漏斗，其形状与水平地面有所不同，如图1-5所示。在水平地面爆破后形成的爆破漏斗，应是AOB，而在斜坡地面则实际形成AOC三角形，其面积要比AOB大BOC这样一个数量，形成这样情况的原因，是由于爆破一瞬间AOB虽然被抛掷出去，而BOC一部分是处于破坏圈内已被爆破作用破坏了的岩石，在爆破后的极短时间内，随着重力作用塌崩下来，形成比水平地面更大的爆破漏斗。

从几何关系，由图1-5可知爆破漏斗的侧面半径R为

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{r^2 + W^2} \\ &= \sqrt{(nW)^2 + W^2} \\ &= W\sqrt{n^2 + 1} \dots\dots\dots (式1-16) \end{aligned}$$

单位用药量K值系数表

表 1—1

岩石名称	岩石等级	K值(公斤/米 ³)	
		松动药包	抛掷药包
砂	I		1.8~2.0
密实的或潮湿的砂			1.4~1.5
重砂粘土	III	0.4~0.45	1.2~1.35
坚实粘土	IV	0.4~0.5	1.2~1.5
黄土	IV—V	0.35~0.45	1.1~1.5
白垩土	V	0.3~0.35	0.9~1.1
石膏、泥灰岩、蛋白石	V—VI	0.4~0.5	1.2~1.5
裂纹的喷出岩、重质岩石	VI	0.5~0.6	1.5~1.8
贝壳石灰岩	VI—VII	0.6~0.7	1.8~2.1
砾石和钙质砾石	VI—VII	0.45~0.55	1.35~1.65
砂质砂岩、层状砂岩、泥灰岩	VII—VIII	0.45~0.55	1.35~1.65
钙质砂岩、白云岩、镁质岩	VIII—X	0.5~0.65	1.5~1.95
石灰岩、砂岩	VIII—XII	0.5~0.8	1.5~2.4
花岗岩	IX—XV	0.6~0.85	1.8~2.55
玄武岩、安山岩	XII—XIV	0.7~0.9	2.1~2.7
石英岩	XIV	0.6~0.7	1.8~2.1
斑岩	XIV—XV	0.8~0.85	2.4~2.55

