

马乃耀 王中黔 史雅语 阎玉山 编

爆破 施工技术

BAOPO SHIGONG JISHU

中国铁道出版社

马乃耀 王中黔 史雅语 阎玉山 编

内容简介

爆破 施工技术

BAOPO SHIGONG JISHU

中国铁道出版社

第一章 绪论及施工条件

1-29

爆破施工技术

马乃耀 王中黔 编
史雅语 阎玉山

中国铁道出版社出版

责任编辑 王顺庆 封面设计 王毓平

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{2}$ 印张: 9.5 字数: 216千

1985年3月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—10,000册 定价: 1.70元

主编 王 德 副主编 王 德 王 德

内 容 简 介

本书在扼要叙述爆破设计计算原理的基础上，着重地介绍了工程爆破中常用的爆破器材、起爆方法、各种爆破的施工和安全技术。可供从事爆破施工的工程技术人员参考，也可作为爆破训练班的教材。

爆破

技术工程

BAOPO SHIGONG JISHU

中国地质出版社

目 录

第一章 概论	1
第一节 工程爆破的作用	1
第二节 工程爆破适用范围	3
第三节 药包计算原理	5
第二章 爆破器材	16
第一节 工业炸药	16
第二节 炸药爆炸性能的现场测定方法	36
第三节 起爆材料	44
第四节 爆破仪表	61
第三章 起爆方法	79
第一节 火花起爆法	79
第二节 电力起爆法	84
第三节 导爆索起爆法	98
第四节 导爆管起爆法	104
第四章 浅孔爆破	111
第一节 使用范围及施工机具	111
第二节 孔眼布置及药量计算	112
第三节 施工操作	116
第五章 药壶法爆破	120
第一节 设计计算	120
第二节 施工工艺	124
第六章 药室大爆破	128
第一节 分类及其应用条件	129

第二节	设计原则和方法	132
第三节	施工技术	143
第七章	深孔爆破	157
第一节	设计计算	157
第二节	施工技术	167
第三节	微差爆破与挤压爆破	181
第四节	光面爆破和预裂爆破	195
第五节	钻孔机械及其使用	209
第八章	隧道爆破	228
第一节	孔眼布置及药量计算	228
第二节	施工技术	235
第九章	控制爆破	242
第一节	控制爆破的特点及设计	242
第二节	控制爆破的施工及安全措施	250
第三节	不同类型构筑物的控制爆破	257
第十章	爆破安全技术	276
第一节	爆破材料的贮存和保管	278
第二节	爆破施工作业中的安全问题	280
第三节	爆破的破坏效应	286

第一章 概 论

第一节 工程爆破的作用

黑火药是我国古代劳动人民三大发明之一。由于火药能够在瞬时爆发出巨大的能量，所以在军事上、生产上都有重要的使用价值。随着人类文明社会的发展，人们对火药的研究制造和使用一直没有间断过。到13世纪末，黑火药已经流传到欧洲，作为军事上和生产上使用的炸药。后来，随着欧洲资产阶级产业革命的兴起，由于化学工业的发展，十九世纪中叶瑞典人诺贝尔先后发明了硝化甘油炸药，雷管和硝化棉炸药，从而使火工器材的品种、安全性能和经济指标等方面发展到一个广阔的新领域。另一方面，由于资本主义的兴起，促进了生产的发展，人类开始了大规模的改造自然，如铁路的兴建，海运的发展，以及新兴城镇的建设，矿山的开发，公路的兴建等，使土岩工程量激增，因而在机械化程度很低的年代里，爆破施工起了极其重要的作用。例如，在十九世纪末叶的铁路隧道爆破，水下隧洞口的岩塞爆破等技术得到了迅速的发展。二十世纪以来，装药量在几吨至一万多吨的药室爆破，在矿山、铁路、公路建设中得到了广泛的应用。同时，随着大口径钻机和重型运输、装载机械在工程中的使用及深孔爆破施工，对提高石方开挖速度起了极为重要的作用。

解放以来，我国爆破科技工作者在爆破技术上也有很多重要的突破，如秒差爆破、定向爆破、微差爆破、预裂爆破、光面爆破、城市控制爆破、水下爆破，以及挤压爆破处

理软土地基等。在其他领域中有机械加工零件的爆炸成型、爆炸焊接、爆炸复合不同金属、爆炸合成金刚石，和医学上在人体内部爆破结石等新技术。这些都显示了爆破的巨大潜力和广阔的发展前景。

对于我国铁路和其它国民经济建设的部门，爆破一贯是土岩工程的主要实施手段之一。尤其是建国以来，随着铁路事业和国民经济的发展，爆破施工方法更显出了无比的重要。特别是当施工机械化程度还不很高的情况下，在各类土岩开挖工程中，离开爆破施工将是十分困难的。正因为如此，我国广大的铁路科技工作者，对工程爆破的实践和理论作了大量的研究工作并积累了很多宝贵的经验。

在解放后的三十多年中，铁路部门是国内采用药室大爆破最多的部门之一，在工程地质复杂的宝成线、成昆线、湘黔线、襄渝线上的大中规模的药室爆破，进一步充实了药室爆破的计算理论和爆破实践。使该爆破方法进入了更成熟的阶段。

定向爆破在铁路部门也同样得到广泛应用，因为这种爆破方法大大方便了对弃碴部位有一定要求的石方开挖工程。如路堑挖方直接作填方路基，半挖半填工程或是指定弃碴位置的爆破等，都有其特殊的意义。也就是说：通过定向爆破达到工程目的，加快了工程进度，减少了工程投资。

在铁路部门新线建设中，浅孔爆破施工对一般土岩工程发挥了巨大的作用。由于机械化程度的提高，现在多采用了凿岩机钻孔爆破。从而减少了工人的劳动强度，提高了穿爆效率。

目前，铁路部门在大量土岩开挖中已广泛地采用了深孔爆破。在七十年代，深孔爆破每日土岩的开挖量已达3000多立方米。

在深孔爆破技术方面，路堑边坡和隧道断面的爆破，已大量采用预裂爆破和光面爆破技术，随着毫秒电雷管的出现，在深孔爆破中还采用了微差爆破技术。

此外，随着旧铁路的改造和城市建设的发展，控制爆破技术也随之发展起来。如在五十年代中，修建武汉长江大桥桥台基础和桥头引线路堑开挖时，就采用了控制爆破技术。到了八十年代，铁路部门的控制爆破已臻于完善和得到广泛地应用。

在土岩开挖技术上，成昆铁路修建过程中，对桥墩台基坑开挖采用了一次爆破就可以使基坑成形的新技术，从而大大减少了劳动强度，加快了施工进度。在砂井法加固软土地基的施工中，对砂井的开挖采用了爆破扩孔技术，即一次爆破就可以将钻孔爆炸扩展成井型。同时，还采用了爆扩桩头技术，利用爆炸能量改善或扩大混凝土桩头形状，以提高桩基的承载能力。

总之，铁路部门的爆破技术，在各项工程建设中起了很大作用并得到迅猛的发展。

第二节 工程爆破适用范围

在一般土石方工程中使用爆破施工，按其爆破作用的不同形式，可分为松动爆破、抛掷爆破两种。

一、松动爆破

松动爆破，通常只用于将岩石破碎而不大量抛掷岩块。如石场、矿场的开采；或者因地形地质条件或爆破点周围的建筑物和居民点比较集中时，要求限制个别飞石的距离、空气冲击波影响和爆破振动而采用松动爆破。

松动爆破的方式可分为药室法、钻孔法（包括深孔和浅孔爆破）和药壶法三种。根据土岩破坏的程度不同，松动爆

破又可分为减弱松动爆破、正常松动爆破和加强松动爆破。

(一) 减弱松动爆破

通常用于城市旧有建筑物的拆除，如拆除烟囱、水塔、桥梁墩台、厂房及车间内机座圯工等；也可用于多面临空的石方和矿石的开采，如对爆破物采用的崩坍爆破；当需要爆破后开挖面比较平整光滑时，如对隧道开挖断面的轮廓线、路堑、河渠、公路边坡的整修工程所采用的光面爆破或预裂爆破。以上这些都是属于减弱松动爆破的适用范围。

(二) 正常松动爆破

通常应用于建筑群附近或居民点附近的土岩爆破工程，或者为了开采矿石而进行的钻孔爆破，但是要求在任何情况下，爆破岩块应堆积在规定的范围以内。另外，当为了减少爆破的破坏作用时，也可以使用这种方法进行爆破。

(三) 加强松动爆破

一般用于平坦地面或坡度比较平缓的坡地，在矿山中常用于对比较完整矿体的开采，或为了揭除矿体上覆盖层的揭盖工程。在铁路、交通部门多用于在微风化岩层中开挖路堑和沟渠工程。这种爆破方法除了可以抛出一定数量的岩块外，又不致于使爆破点的边坡遭受破坏而失去稳定性。

二、抛 掷 爆 破

在一般情况下，抛掷爆破可分为标准抛掷爆破和加强抛掷爆破（在平坦地面称为扬弃爆破）两种。而定向爆破也是抛掷爆破的一种形式。

(一) 标准抛掷爆破

通常用于药室大爆破，特别是山区斜坡地形开挖的路堑、渠道，或矿山揭盖等工程，其中最有利的地形条件为 $30^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 的斜坡地形。

(二) 加强抛掷爆破

多用于开挖土岩并将大部分碎块抛掷堆积到一定的距离与位置。在平坦地形中开挖基坑、路堑、沟渠等情况下的扬弃爆破，也属于这种形式的爆破。

(三) 定向爆破

定向爆破是抛掷爆破的另一种特殊形式。它是利用爆破能量，将土岩集中抛掷到一个指定的位置的一种施工方法。这在铁路移挖作填的工程，或者直接利用挖方填筑路堤、水坝、矿山尾矿坝等土建工程中是经常被采用的。

以上所述为工程中经常使用的将炸药埋置于土岩中的爆破方法。另外，还有将药包直接放置于被爆破物表面而进行的爆破方法，称为裸露爆破。这种爆破方法在处理小范围的爆破工程时有迅速方便的特点：例如炸树根、破碎孤石和石场二次爆破等。这也是经常被采用的爆破方法之一。

此外，水下工程爆破，越来越被广泛的用于炸除礁石、浚深航道，开挖水工建筑物基坑，开挖运河，水底管道，打通水下隧道进口以及新发展起来的爆破夯实水下抛石基槽和挤压水下软土地基等新技术。这种爆破是区别于在土岩介质中爆破，而在水下岩石或水中进行爆破的一种爆破技术。

第三节 药包计算原理

一、药包爆破作用原理

炸药受到摩擦、冲击、燃烧等外界作用后，在瞬间会产生剧烈的化学物理变化，产生高温高压气体并释放出巨大的能量及产生强大的冲击波。这个能量释放过程称为爆炸。

炸药释放的能量，对固体介质的破坏作用是很复杂的。目前，国内外科技工作者还没有办法将整个爆破过程解释清

楚。但是根据分析研究的结果表明，炸药在固体介质中爆炸后，首先产生强大的压力波，在介质内部传播，当压力波传到介质的自由面时，便产生反射的拉力波，由于岩石的抗拉强度只有抗压强度的 $\frac{1}{10}$ 左右，这个拉力波使土岩结构遭到破坏，而破碎的岩块受到爆炸产生的高温高压气体的膨胀作用，因而使岩块再次受到猛烈的冲击并发生岩块抛掷的物理现象。

为了反映固体介质内爆炸作用，我们设爆炸发生在没有任何临空面的无限的均匀介质中，假定药包对周围介质的破坏是呈球形的。由于介质与药包中心的距离不同，所以介质的破坏程度也不同。其爆破作用圈如图1—1所示。

(一) 压缩圈

即与药包直接接触的一层介质。在药包爆炸时，产生高温与高达几十万个大气压力。这个压力能使可塑性介质被压缩成球形空腔；对于不可塑的岩石，将被此压力所粉碎，故也叫做粉碎圈。

(二) 抛掷圈

紧靠压缩圈的一层，此层的介质除了被破碎外，爆破的剩余能量还能将其抛掷出一定的距离。当然，这种抛掷现象只能发生在有临空面的情况下。

(三) 破坏圈

在抛掷圈外层的介质虽然获得的爆炸能量减少，但此层内介质的结构仍受到破坏，并产生破裂而被分割成若干块体。此圈内的介质的位移是很小的。

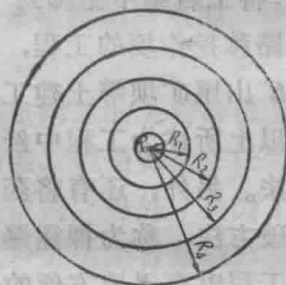


图1—1 爆破作用圈示意图
 R_0 ——药包半径； R_1 ——压缩圈半径； R_2 ——抛掷圈半径； R_3 ——破坏圈半径； R_4 ——振动圈半径。

(四) 振动圈

在破坏圈之外，介质获得的爆炸能量很小，只能产生弹性变形，而应力波消失后，介质就恢复到原来的状态。在这个范围内，由于应力波的传播而使介质质点发生不同程度的振动，俗称地震效应。因此，在这个圈内的建筑物将受到爆破振动的影响。

上述情况，显然是在假设条件下的一项分析研究。然而实践经验表明，工程爆破通常是在有临空面的情况下进行的。这样一来，我们可以从一个临空面的平坦地面爆破时的物理图象来阐明其特点。即强大的压力波作用，主要是破碎岩石并使岩块沿着药包与临空面的最短距离（称最小抵抗线）抛掷出去，在爆破点形成一个漏斗形的倒立圆锥体，如图 1—2 所示。从图中可以看到爆破漏斗各部分的特性与名称：

0 点为药包的中心； r 为漏斗开口处的半径，称为爆破漏斗底部半径； W 为从 0 点到地面的垂线长度，称为最小抵抗线； R 为漏斗斜边长度，称为漏斗作用半径。

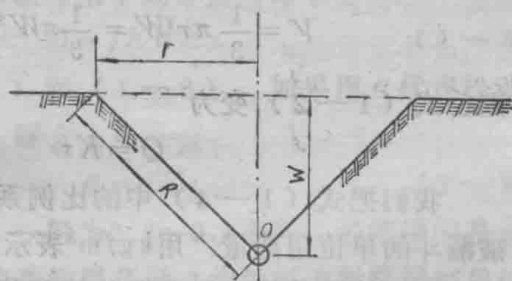


图 1—2 爆破漏斗示意图

O——药包中心； r ——爆破漏斗底部半径；
 W ——最小抵抗线； R ——漏斗作用半径。

另外，根据漏斗底部半径 r 与最小抵抗线

W 的比值，可以确定爆破作用指数 n 值为

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

通过 n 值的大小，在爆破时，可以确定爆破抛掷的类型、爆破漏斗的尺寸和抛掷岩块边界等情况，因此 n 值是爆

破工程中的一个重要参数。

二、装药量的计算方法

迄今为止，各种爆破方法的药包装药量计算公式，都是根据药包重量与爆破体体积成正比这个比例关系而得来的，亦即

$$Q = KV \quad (1-2)$$

式中 Q ——药包装药量；

V ——该药包爆破的体积；

K ——比例系数。

在标准抛掷爆破中，因为 $n=1.0$ ，由式 (1-1)， $r=W$ ，根据图 1-2，把标准抛掷漏斗看作倒立的圆锥体，那么显然

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 W = \frac{1}{3} \pi W^3 \approx W^3 \quad (1-3)$$

则公式 (1-2) 变为

$$Q = KW^3 \quad (1-4)$$

我们把式 (1-4) 中的比例系数 K ，称为标准抛掷爆破漏斗的单位用药量，用 kg/m^3 表示。

当计算不是标准抛掷爆破的药包装药量时，公式 (1-4) 中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

$$Q = KW^3 f(n) \quad (1-5)$$

$f(n)$ 是一个以 n 为自变量的函数，它有许多不同形式，根据我国爆破工作者的实践经验，认为一般爆破中比较符合实际的是 $f(n) = 0.4 + 0.6n^3$ ，所以式 (1-5) 可写成如下形式

$$Q = KW^3 (0.4 + 0.6n^3) \quad (1-6)$$

从式 (1-6) 可看出:

1. 当 $n < 1.0$ 时, $f(n)$ 的数值也小于 1.0, 通常把 $0.75 < n < 1.0$ 的数值代入 $f(n)$, 得出减弱抛掷爆破药包的药量计算公式。 $n < 0.75$ 后, 已看不出明显的爆破漏斗, 这时均按松动爆破处理。

2. 当 $n = 1.0$ 时, $f(n) = 1.0$, 式 (1-6) 变成式 (1-4) 的形式, 为标准抛掷爆破的药量计算公式。

3. 当 $n > 1.0$ 时, 为加强抛掷药包的药量计算公式。

4. 当 $n = 0$ 时, 式 (1-6) 变成

$$Q = 0.4KW^3 \quad (1-7)$$

由式 (1-7) 计算出来的药量, 对不同地质条件和不同要求的松动爆破不一定合适, 有时岩石破碎比较多, 即装药量大了一些, 有时又达不到所要求的松动形式 (如加强松动等), 故一般松动爆破可用下式计算, 即

$$Q = jKW^3 \quad (1-8)$$

比较式 (1-2) 和 (1-8), 如果用 q 代表松动爆破时的单位用药量, 那么

$$q = jK \quad (1-9)$$

式中 j 为比例系数, 一般为 0.2~0.6 之间, 经常用的是 $j = 0.33$, 即松动爆破的单位用药量 q 约为标准抛掷爆破单位用药量的三分之一。松动爆破的药量计算公式可写为

$$Q = qV \quad (1-10)$$

三、爆破参数的意义和选择

(一) 单位用药量 K 值和 q 值

上面引进了两个单位用药量, K 值是指标准抛掷爆破 ($n = 1$) 时爆破每一立方米岩石或土壤所消耗的炸药数量; q 值是指松动爆破时爆破每一立方米岩石或土壤所消耗的

炸药数量。对一般抛掷爆破讲， K 值并不等于工程实际上爆破每一立方米岩石所消耗的炸药量（即俗称单位耗药量），而 q 值在松动爆破中与单位耗药量的数值是相符合的。所以在松动爆破（如深孔爆破，浅孔爆破等）中， q 值也叫单位耗药量，而在抛掷爆破（如药室大爆破）中则要严格区分单位用药量 K 值和单位耗药量。

q 值与 K 值对同类岩石来讲，有式（1—9）的关系。因此，工程实际中常常先选择 K 值再来决定 q 值。

K 值可以用试验方法求得，但在实验中要治好爆破出一个标准抛掷爆破漏斗是难于实现的，因此，在进行漏斗试验时，要用式（1—6）去计算，即

$$K = \frac{Q}{W^3 f(n)} = \frac{Q}{W^3 (0.4 + 0.6n^3)} \quad (1-11)$$

试验时，要选择平坦地形，而且地质条件要与爆区一样，试验炮的最小抵抗线不应小于1m。根据 W 、 Q 以及爆后实测的可见漏斗底部半径 r ，计算 n 值并由式（1—11）计算 K 值。试验要进行多次，并根据各次试验结果尽量选取标准抛掷爆破的药包重量。试验是繁复的，但对一些大的重要的工程都是不可缺少的。

对一般工程爆破，标准抛掷爆破单位用药量 K 和松动爆破单位用药量 q 可由表1—1查出，该表是对2号岩石铵梯炸药而言的，不同炸药要乘上炸药换算系数 e （见表1—2）。

由于各种炸药的生产条件、储存条件不一样，如铵油炸药、浆状炸药有现场加工和工厂生产的区别，有各种配方生产的品种，因此表1—2的数值也只能作参考使用。在工程实践中，可以针对具体岩石，用不同炸药做漏斗对比试验，来求出其炸药换算系数 e 值。

(二) 最小抵抗线 W 值

通常是根据不同的爆破方法确定最小抵抗线的位置, 如图 1—3 所示。对于集中药包爆破的药室法和药壶法, 最小抵抗线 W 值是从药包中心到地表的最小垂直距离; 而延长药包爆破的浅孔法、深孔法和延长药室大爆破等, 最小抵抗线值是从药包长度的中心到最近的临空面的距离。

爆破各种岩石的单位用药量 K 值和 q 值 表 1—1

岩石名称	岩 体 特 征	f 值	K 值	q 值
			kg/m^3	
各种土	松软的	<1.0	1.0~1.1	0.3~0.4
	坚实的	1~2	1.1~1.2	0.4~0.5
土夹石	密实的	1~4	1.2~1.4	0.4~0.6
页 岩	风化破碎	2~4	1.0~1.2	0.4~0.5
千枚岩	完整、风化轻微	4~6	1.2~1.3	0.5~0.6
板 岩	泥质, 薄层, 层面张开, 较破碎	3~5	1.1~1.3	0.4~0.6
泥灰岩	较完整, 层面闭合	5~8	1.2~1.4	0.5~0.7
砂 岩	泥质胶结, 中薄层或风化破碎者	4~6	1.0~1.2	0.4~0.5
	钙质胶结, 中厚层, 中细粒结构, 裂隙不甚发育	7~8	1.3~1.4	0.5~0.6
	硅质胶结, 石英质砂岩, 厚层, 裂隙不发育, 未风化	9~14	1.4~1.7	0.6~0.7
砾 岩	胶结较差, 砾石以砂岩或较不坚硬的岩石为主	5~8	1.2~1.4	0.5~0.6
	胶结好, 以较坚硬的砾石组成, 未风化	9~12	1.4~1.6	0.6~1.7
白云岩	节理发育, 较疏松破碎, 裂隙频率大于4条/米	5~8	1.2~1.4	0.5~0.6
大理岩	完整, 坚实的	9~12	1.5~1.6	0.6~0.7