

BAO PO ZUO YE REN YUAN JIAN MING DU BEN

爆破作业人员 简明读本



蔡 伟 编著
王明林 主审

 辽宁科学技术出版社

爆破作业人员简明读本

蔡 伟 编著 王明林 主审

辽宁科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

爆破作业人员简明读本 / 蔡伟编著. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2014. 6

ISBN 978-7-5381-8668-0

I. ①爆… II. ①蔡… III. ①爆破—基本知识 IV.
①TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 115898 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路29号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳百江印刷有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 145mm × 210mm

印 张: 5.5

字 数: 180千字

出版时间: 2014年6月第1版

印刷时间: 2014年6月第1次印刷

责任编辑: 郭 健

封面设计: 颖 溢

责任校对: 张跃兴

书 号: ISBN 978-7-5381-8668-0

定 价: 50.00元

联系编辑: 024-23284536, 13898842023

邮购热线: 024-23284740

E-mail: 1013614022@qq.com

<http://www.lnkj.com.cn>

前 言

“复杂问题简单化”，这是我国爆破界泰斗冯叔瑜院士多年的经验总结。我谨记先生教导并依此完成每一项爆破工程。

露天爆破、地下爆破以及拆除爆破是工程建设中最常用的爆破技术，也是各级爆破作业人员培训考核的主要内容。如何更简单地理解和更灵活地掌握这些技术，关键在于我们能否在爆破实践中将“复杂问题简单化”，能否在爆破实践中科学总结和应用。

本书在露天小直径浅孔爆破实践中，总结出“在平坦地形条件下，炮孔深度的平方就是装药药卷的个数（150克/个）”，这就使露天小直径浅孔爆破装药非常便捷；本书在露天大直径浅孔爆破实践中，根据计算药量，让爆破员把几个小直径药卷绑在一起当作“手雷”再去装药，既方便计量又方便操作；本书在露天爆破的设计论述中，阐明了“调整炸药单耗应调整孔网参数而不应单纯调整填塞长度的观点”；本书对“隧道爆破”各种技术的控制作了更系统更详尽的叙述，并明确要求“隧道爆破炮孔必须填塞”以减小冲击波和噪声危害造成的“扰民”和“民扰”给企业带来的影响和损失；本书在建筑物拆除爆破实践中，采用的“对角延时起爆技术”就是利用了物理学“合力和分力的原理”，当先响的柱子向下坐塌时，产生的合力向与之相连的两根梁分解出垂直的两个分力，用斜线间产生的时间差来确保向对角线方向的定向倒塌；本书还对爆破质量与安全管理进行了比较细致的阐述。

爆破是一门实践性很强的技术。同一个项目，不同的设计人会做出不同的设计，在安全的前提下，敢于实践才能获取“真经”，只有在实践中不断总结，才能快速进步。将复杂的理论定性地分析，使其简单化，问题就会迎刃而解，对爆破的“悟性”才会大大提高。

本书共分九章：第一章是岩石爆破理论；第二章是爆破工程地质；第三章是爆破施工机械；第四章是常用爆破器材及起爆方法；第五章是

2 爆破作业人员简明读本

露天爆破；第六章是地下爆破；第七章是拆除爆破；第八章是爆破安全控制技术；第九章是爆破质量与安全管理。

本书可供爆破作业人员、爆破管理人员在设计、施工及管理中参考应用。

本书由东北大学教授王明林主审。

本书在编著过程中得到了中铁九局有关领导和同志们的大力支持和帮助，特此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，有哪些观点不对或者值得研究和探讨的，欢迎来函来电共同探讨。

编 者

2014年5月于沈阳

目 录

第一章 岩石爆破理论	1
第一节 爆破破碎机理	1
第二节 单个药包在岩体中的爆破作用	1
第三节 多个药包在岩体中的爆破作用	3
第四节 装药量计算公式	4
第五节 影响爆破作用的因素	6
第二章 爆破工程地质	11
第一节 岩石性质及其分级	11
第二节 地质构造	14
第三节 岩体结构	17
第四节 地形地质条件对爆破的影响	20
第五节 爆破对工程地质条件的改变	24
第三章 爆破施工机械	26
第一节 钻孔机械	26
第二节 装药机械	28
第三节 炮泥机	29
第四节 爆破施工设备的选型及配套	29
第四章 常用爆破器材及起爆方法	31
第一节 常用工业炸药	31
第二节 炸药基本知识	31
第三节 常用起爆器材	32
第四节 起爆方法与起爆网路	35

第五节 新型起爆器材·····	39
第五章 露天爆破·····	41
第一节 露天浅孔爆破·····	41
第二节 露天深孔爆破·····	44
第三节 露天爆破设计·····	51
第四节 露天深孔台阶爆破施工工艺·····	52
第五节 边坡控制爆破·····	57
第六节 大直径浅孔爆破实践·····	63
第七节 小直径浅孔爆破实践·····	64
第八节 预裂爆破实践·····	70
第九节 深孔爆破实践·····	75
第六章 地下爆破·····	79
第一节 隧道爆破·····	79
第二节 竖井爆破·····	100
第三节 隧道爆破实践·····	102
第四节 竖井爆破实践·····	110
第七章 拆除爆破·····	117
第一节 概述·····	117
第二节 桥梁拆除爆破·····	118
第三节 建筑物拆除爆破·····	119
第四节 拆除爆破设计·····	121
第五节 桥梁拆除爆破实践·····	122
第六节 建筑物拆除爆破实践·····	126
第八章 爆破安全控制技术·····	131
第一节 爆破振动·····	131
第二节 爆破飞石·····	138

第三节	爆破空气冲击波·····	141
第四节	爆破噪声·····	143
第九章	爆破质量与安全管理·····	144
第一节	爆破质量与安全控制·····	144
第二节	爆破方案评估·····	149
第三节	爆破施工监理·····	149
第四节	爆破器材的安全管理·····	149
第五节	爆破事故及其预防·····	157
参考文献 ·····		165

第一章 岩石爆破理论

第一节 爆破破碎机理

药包在岩体中爆炸，炸药在极短的时间内，通过急剧化学变化转化为气体状态的爆炸产物，压力高达 $(10\sim 40) \times 10^4 \text{MPa}$ ，其体积增加数百至数千倍，温度高达 3000°C 以上，同时，速度高达每秒数千米的冲击波以动压力的形式作用于药包周围。冲击波进入岩体内转变为应力波。岩体中强烈的应力波和大量高温高压气体所产生的压力在岩体中向外扩展、传播，使药包周围的岩石压缩、粉碎，产生径向压缩变形和位移。由于岩石的抗拉强度很低，因此，当切向拉应力值大于岩石的抗拉强度时，岩石即被拉断，产生径向裂隙和环状裂隙。当应力波到达临空面（被爆岩石与空气的交界面，也可称自由面）时，会发生反射，产生对岩体的拉伸作用，继续加大对岩体的破坏。在应力波作用的全过程中，爆生气体不断楔入到裂隙中对岩体的破坏也起到了推波助澜的作用。

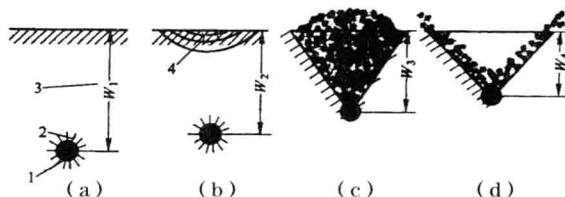
第二节 单个药包在岩体中的爆破作用

单个药包埋置在岩体中会因为埋置深度的不同，对岩体产生不同的作用。

当药包埋置很深，药包爆炸后，地面没有显现出爆破作用，这时药包的破坏作用只局限在地面以下，称为爆破的内部作用。这种情况下，岩体同样受到了破坏，根据破坏作用的范围可划分为压缩圈、破裂圈和振动圈。压缩圈的半径一般不超过药包半径的 $2\sim 3$ 倍；破裂圈的半径是药包半径的 15 倍左右；震动圈的范围很大，直到爆破作用力完全被岩体吸收为止。

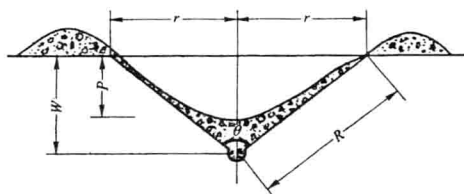
当药包埋置的深度不断变浅，即逐步减小其最小抵抗线（药包中心到最近自由面的最小距离） W 时，就会出现如图1-1所示的情况。

图1-2为爆破漏斗，它是一个埋置在水平临空面下合适深度的球形



(a) 内部作用药包；(b) 地表产生“片落”剥离现象；(c) 岩体形成“鼓包”；(d) 形成爆破漏斗1-压缩圈；2-破裂圈；3-振动圈；4-“片落”区

图1-1 岩体中的药包随最小抵抗线变化产生的爆破作用



r -爆破漏斗半径； W -最小抵抗线； R -漏斗破裂半径

P -漏斗可见深度； θ -漏斗张开角

图1-2 爆破漏斗及其构成要素

药包爆炸后产生的倒圆锥体的爆破坑，是由下列一些要素构成的：

①爆破漏斗半径 r ，即爆破漏斗底圆半径，表示在临空面上爆破破坏范围的大小。

②最小抵抗线 W ，在临空面为水平的情况下，它就是药包的埋置深度。

③漏斗破裂半径 R ，爆破漏斗的侧边线长，表示爆破作用在岩体中的破坏范围。

④漏斗可见深度 P ，药包爆破后，一部分岩块被抛掷到漏斗以外，一部分又回落到漏斗内，形成一个可见漏斗。从临空面到漏斗内岩块堆积表面的最大深度，叫作漏斗可见深度。

⑤漏斗张开角 θ ，即爆破漏斗的锥角，它表示漏斗的张开程度。

在岩石性质和爆破条件一定，当装药量不变而改变药包的埋置深度，或药包埋置深度不变而改变装药量时，都可发现爆破漏斗的尺寸和爆破作用性质发生变化。这种变化可用 r 与 W 的比值来表征，此比值称为爆破作用指数，用 n 表示，即 $n=r/W$ 。爆破作用指数 n 表征爆破作用的性质，当 n 发生变化时，爆破漏斗大小，岩块抛掷量和抛掷距离都将发生

变化。根据 n 的不同，可将爆破漏斗划分为标准抛掷爆破漏斗（ $n=1$ ）；加强抛掷爆破漏斗（ $1<n<3$ ）；加强松动爆破漏斗（ $0.75<n<1$ ）；松动爆破漏斗（ $0.4<n<0.75$ ）。

工程实际中，可通过控制爆破作用的性质，达到预期的爆破目的。

第三节 多个药包在岩体中的爆破作用

在实际爆破工程中，很少采用单个药包爆破，常常要多个药包爆破才能实现预期的工程目的。当两个或两个以上的药包同时爆破时，爆炸应力波以球状（指集中装药）或倒圆锥体状（指条形装药）向外传播，经过一定时间后，相邻两药包爆破产生的应力波相遇、叠加。其结果在波阵面的切线方向上的拉伸应力增大，则形成应力增高现象，从而使沿炮孔连心线上的岩石首先产生径向裂隙。

(1) 当炮孔直径、炮孔间距、炮孔深度、炮孔装药量、装药结构及起爆顺序等选择适当，爆破后就能沿炮孔中线连线方向形成一定宽度的裂缝，而不致破坏岩壁，这就是预裂和光面爆破。

(2) 以爆破作用指数 $n=1$ 为例，当两个炮孔间距小于2倍最小抵抗线时，两个炮孔爆破在炮孔连心线方向产生的爆破漏斗就会叠加，叠加后会留下一个三角形岩柱（也叫岩坎，如图1-3中的阴影部分）；当两个炮孔间距大于2倍最小抵抗线时，两个炮孔爆破形成各自独立的爆破漏斗。

利用群药包的爆破作用，结合不同的工程需要，可以实施预裂和光面爆破、松动爆破、宽孔距小抵抗线爆破等。

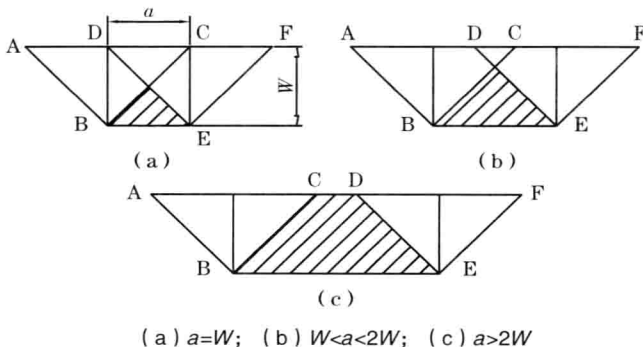


图1-3 群药包爆破作用情况

第四节 装药量计算公式

工程中常用的爆破装药量计算公式有体积公式和兰格弗尔斯台阶爆破装药量计算公式。

(一) 体积公式

基于爆破漏斗原理，炸药爆炸能量主要用于克服岩石对爆破作用的抵抗力。一般装药量的大小与被爆破岩石体积成正比。体积公式为

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

式中， Q ——炮孔装药量，kg；

q ——单位体积炸药消耗量，kg/m³；

V ——被爆岩石体积，m³。

(二) 兰格弗尔斯台阶爆破装药量计算公式

兰格弗尔斯台阶爆破装药量计算的基本公式可以表示为

$$Q = k_2W^2 + k_3W^3 + k_4W^4 \quad (1-2)$$

式中， k_2W^2 的物理意义表示岩石内层面产生流变和剪切或塑性变形所需要的能量； k_3W^3 的物理意义表示破碎岩石所需要的能量； k_4W^4 则表示使已被破碎的岩石充分地膨胀和抛举起来所需要的能量。

兰格弗尔斯通过试验得出一般炮眼台阶爆破装药量计算公式为

$$Q = 70W^2 + 350W^3 + 4W^4 \quad (1-3)$$

式中， Q ——炮孔装药量，g；

W ——最小抵抗线，m。

每立方米体积的耗药量叫作单位体积炸药消耗量，用 q 表示，单位g/m³。

$$q = Q/W^3 = 70/W + 350 + 4W \quad (1-4)$$

从表1-1中可以看出，当 $W = 1.4 \sim 15\text{m}$ 时， q 值接近于400g/m³。在这种情况下，装药量 Q 与 W^3 成正比，或者说，装药量与爆破体被破坏的体积成正比。即，

$$Q = k_3W^3 \text{ 或 } Q = qV \quad (1-5)$$

当 $W > 15\text{m}$ 时， q 值随 W 值的增大而增大， k_2W^2 可忽略， k_4W^4 却是重要的。

表1-1 最小抵抗线 W 与单位炸药消耗量 q 的关系

W (m)	$q = 70/W + 350 + 4W$
0.2	$q = 350 + 350 + 0.8 = 700.8$
0.3	$q = 233.3 + 350 + 1.2 = 584.5$
0.4	$q = 175 + 350 + 1.6 = 526.6$
0.5	$q = 140 + 350 + 2 = 492$
0.6	$q = 166.7 + 350 + 2.4 = 469.1$
1.0	$q = 70 + 350 + 4 = 424$
1.4	$q = 50 + 350 + 5.6 = 405.6$
5	$q = 14 + 350 + 20 = 384$
10	$q = 7 + 350 + 40 = 397$
15	$q = 4.7 + 350 + 60 = 414.7$
20	$q = 3.5 + 350 + 80 = 433.5$
25	$q = 2.8 + 350 + 100 = 452.8$

$$Q = k_3 W^3 + k_4 W^4 \quad (1-6)$$

当 $W < 1.4\text{m}$ 时, q 值随 W 值的减小而增大, $k_4 W^4$ 可忽略, $k_2 W^2$ 却是重要的。即,

$$Q = k_2 W^2 + k_3 W^3 \quad (1-7)$$

因此, 在石方浅孔爆破和拆除爆破中, 装药量计算要考虑克服爆破体内层面产生流变和剪切或塑性变形所需要的能量, 这样的计算才更准确, 更可靠。

式(1-7)可演变成下面公式:

$$Q = (q_1 A + q_2 V) f \quad (1-8)$$

式中, Q ——每个炮孔的装药量, g ;

A ——爆破体被爆裂的剪切面积, m^2 ;

V ——爆破体破碎体积, m^3 ;

q_1 ——单位剪切面积用药量, 简称面积系数, g/m^2 , 见表1-2;

q_2 ——单位破碎体积用药量, 简称体积系数, g/m^3 , 见表1-2;

f ——表征炮孔所在位置临空面情况的系数, 简称临空面系数, 见表1-3。

表1-2 面积系数 q_1 和体积系数 q_2 值

材料类别	面积系数 q_1	体积系数 q_2	适用范围
混凝土	(20~25) /W	150	混凝土破碎, 个别小碎块散落在10m范围内
布筋粗密钢筋混凝土	(35~45) /W	150	混凝土破碎, 脱离钢筋, 个别小碎块散落在15m范围内
浆砌砖体	(35~45) /W	100	砌体破裂塌散, 少量碎块抛落在15m范围内
浆砌片石或料石	(35~45) /W	200	砌体破裂, 浆缝炸松, 少量碎块抛落在15m范围内
天然岩石	(40~70) /W	150~250	岩石破裂松动, 少量碎块散落在20m范围内

表1-3 临空面系数/值

炮眼所在位置	f
一个临空面	1.15
两个临空面	1
三个临空面	0.85
四个临空面	0.75

式1-1和式1-8是工程爆破中最常用的两个爆破装药量计算公式, 在以后的章节中会有些具体的应用。

第五节 影响爆破作用的因素

影响爆破作用的因素很多, 主要有以下几个方面:

(一) 地质情况

岩石的物理、力学性质、地形地质条件及岩体结构面情况等对爆破作用影响很大, 具体在“第二章 爆破工程地质”中再详细论述。

(二) 临空面

临空面的存在是工程爆破破岩所必须具备的条件, 没有临空面就谈不上破碎岩石的效果。临空面的作用主要有以下三点:

(1) 反射爆破应力波, 当爆破应力波遇到临空面时发生反射, 压缩应力波变为拉伸波, 引起岩石的片落和径向裂隙的延伸。

(2) 临空面是形成爆破鼓包的必要条件, 临空面一般是最小抵抗线方向, 应力波抵达临空面后, 在临空面附近的爆破体运动因阻力减小而加速, 随后而到的爆炸气体进一步向临空面方向运动, 形成鼓包, 最后破碎、抛掷。

(3) 改变岩石的应力状态及强度极限, 在岩体深处, 岩石处于三向应力状态, 而临空面附近的岩石则处于单向或双向应力状态, 故临空面附近的岩石承受爆破作用时的强度比岩体深处岩石相应减少几倍甚至十几倍。

临空面越多, 面积越大, 岩石爆破夹制作用越小, 有利于岩石的破碎。拉槽爆破、掏槽爆破、延时爆破都是使先爆药包为后续药包爆破创造临空面条件, 从而改善爆破效果, 减小炸药消耗。

炸药单耗随自由面数目变化的近似比例关系如表1-4。

表1-4 炸药单耗随自由面数目变化的近似比例关系

自由面个数	1	2	3	4	5	6
炸药单耗 (kg/m^3)	1	0.7~0.8	0.5~0.6	0.4~0.5	0.3~0.4	0.2~0.3
注: 假定1个自由面时炸药单耗 $1\text{kg}/\text{m}^3$						

炮孔中的装药在临空面上的投影面积越大, 越有利于爆破应力波的反射, 对岩石破坏越有利。在只有一个临空面条件下, 与临空面斜交的炮孔比与临空面垂直的炮孔爆破破碎范围要大。

(三) 炸药性能

炸药性能包括物理性能、热化学参数和爆炸性能, 其中直接影响爆破作用及其效果的是炸药的密度、爆热和爆速, 是它们进而又影响了爆轰压力、爆炸压力、爆破作用时间以及炸药爆炸能量利用率。增加炸药的爆热和密度, 可以提高单位体积炸药的密度; 反之, 必然导致炸药能量密度的降低, 增加钻孔的工作量和成本。提高炸药热化学参数, 增大密度, 采用高威力炸药是提高爆破作用的有效途径。爆速也是炸药性能的主要参数之一, 不同爆速的炸药, 在岩石中爆炸可激起不同的应力波参数, 从而对岩石的爆破作用及效果有着明显的影响。

炸药爆炸会产生爆轰波, 当爆轰波传到炮孔孔壁时, 在孔壁的岩石

中会激发成强烈的冲击波和应力波。一般来说，爆轰压力越高，在岩石中激发的冲击波初始峰值压力和引起的应力以及应变也越大，越有利于岩石的破裂，尤其是对于爆破坚硬致密的岩石来说更是如此。爆轰压力与炸药密度的一次方和爆速平方的乘积成正比，所以在爆破坚硬致密的岩石时，以选用密度大和爆速较高的炸药为宜。工程爆破中常采取散装药、炮棍捣实、机械装药等方法来提高装药密度。

爆炸压力又称炮孔压力，它是爆轰气体产物膨胀作用在孔壁上的压力。在爆破破碎过程中爆炸压力对岩石起胀裂、推移和抛掷作用，一般来说，爆炸压力越高，说明爆轰产物中含有能量越大，对岩石的胀裂、推移和抛掷的作用越强烈。爆炸压力的大小取决于炸药爆热、爆温和爆轰气体的体积；而爆炸压力作用的时间除与炸药本身的性能有关以外，还与爆破时炮泥的填塞质量有关。因此在工程爆破中除了针对岩石性能和爆破目的，选用性能相适应的炸药品种外，还应注意填塞质量。

炸药爆炸时的能量分配包括：①克服岩体中的凝聚力使岩体粉碎和破裂；②克服岩体中的凝聚力和摩擦力使爆破范围内的岩石从母岩体中分离出来；③将破碎后岩块推移和抛掷；④形成爆破地震波、空气冲击波、噪声和爆破飞石。在工程爆破中，造成岩石的过度粉碎，产生强烈的抛掷，形成爆破地震波、空气冲击波、噪声和爆破飞石均属无益消耗的爆炸功。因此，必须根据爆破工程的要求，采取有效措施来提高炸药爆炸能量的利用率。例如，根据岩石性质来合理选择炸药的品种，合理确定爆破参数，选择合理的装药结构和药包的起爆顺序，以及保证填塞质量等，都可以提高炸药在岩体中爆炸时的能量利用率。

通常认为炸药的波阻抗与岩石的波阻抗相匹配时，炸药传递给岩石的能量最多，在岩石中引起的应变值就大，可获得较好的爆破效果。提高装药密度有利于提高炸药的波阻抗。

（四）装药结构

装药结构是调节炸药能量分布和控制爆破效果的一个重要因素。采取径向或轴向间隔装药结构、混合装药等措施，可有效调控岩体中爆炸应力波参数，提高炸药能量的有效利用率，改善爆破效果。

在径向间隔装药结构中，常用不耦合系数来表征炸药的爆破作用特征，炮孔直径与装药直径的比值叫作不耦合系数。不耦合装药爆破时，

爆炸产生的作用首先通过炮孔和药包之间的空气间隙缓冲后再作用于孔壁上,降低了炸药爆炸瞬间所产生的强大冲击波对孔壁的初始压力,故能减少对孔壁的破坏作用,同时延长了应力波和爆生气体的准静态作用时间,提高了炸药能量的利用率。

轴向间隔装药结构主要是调整炸药能量分布,改善爆破效果。

采用混合装药形式,即在孔底装高威力炸药(或直径稍大些装药)、上部装普通炸药,可使炸药能量的分布与炮孔深度方向承受的岩石抗力相适应,有利于控制爆破块度、减少超钻深度。

(五) 起爆药包位置

采用柱状装药时,根据起爆药包在炮孔中安置的位置不同,有3种不同的起爆方式:①起爆药包装于孔底,雷管的聚能穴朝向孔口,叫作反向起爆;②起爆药包装于靠近孔口的附近,雷管的聚能穴朝向孔底,称为正向起爆;③多点起爆,即在长药包中于孔口附近和孔底分别放置起爆药包。

反向起爆时,爆炸应力波在传播过程中将叠加成一个高压应力波朝向临空面,在临空面附近形成强烈的拉伸应力波,从而提高了临空面附近岩石的破碎;反向起爆增长了应力波的动压和爆生气体的静压作用时间,使岩石可以产生更多裂隙并使裂隙得到进一步扩大和延伸;反向起爆时,爆生气体在岩石破裂之前,一直被密封在炮孔内,所以作用在岩石上的压力较高,作用时间也较长,因此有利于岩石的破碎。

雷管正向引爆导爆管时,雷管底部高速飞片容易切断导爆管,造成不能传爆。

目前,在深孔台阶爆破中,多采用多点爆破,即分别在距孔口和孔底的1/3处反向放置起爆药包,可以充分发挥爆炸能量。

(六) 填塞的影响

填塞的影响是指填塞材料、填塞长度和填塞质量的影响,填塞物作用在于:一是阻止爆轰气体的过早逸散,使炮孔在相对较长的时间内保持高压状态,能有效地提高爆破作用;二是良好的填塞加强了它对炮孔中的炸药爆轰时的约束作用,降低了爆炸气体逸出自由面的压力和温度,提高了炸药的热效率,使更多的热能转变为机械功。

炮孔中有没有良好的填塞,对炸药的冲击初始压力影响不大,但填