

矿井设计施工及 标准规范实用手册



当代中国音像出版社
电子出版数据中心

矿井设计施工及标准规范 实 用 手 册

万寿良 主编

(下)

当代中国音像出版社
电子出版物数据中心

第四节 爆破方法与技术

爆破方法根据炸药在岩石中埋置方式、药室形状和大小等不同,可分为裸露爆破法、药壶爆破法、炮眼爆破法、深孔爆破法、峒室爆破法等。近代,工程爆破领域又出现了许多爆破新技术,例如微差爆破、挤压爆破、光面爆破及预裂爆破等,这些新技术的应用,能够做到比较准确地控制岩石的爆破破碎过程,提高炸药的能量利用率,以及改善爆破效果的目的。

一、峒室爆破法

(一) 概述

峒室爆破法是以专用的峒室或井巷作为装药空间的一种爆破方法,或称药室爆破法。由于一次爆破的装药量和爆落的土石方量大,故又称为“大爆破”。

1. 峒室爆破的特点及应用范围

(1) 峒室爆破的特点

主要优点是:可以在短期内完成大量土石方的挖、运工程,加快工程施工速度;所需的机具简单、轻便,在缺乏大型土石方机械设备、电力供应不足及交通不便的山区,此法可以节省大量劳动力、工效高;与其它爆破法相比,其凿岩工程量少,相应的设备、工具及材料和动力消耗少,因此,生产成本也较低。它的缺点是:爆破后的岩块不均匀,大块率较高,二次爆破量大;一次爆破药量大,爆破对周围岩体造成较大的震动与破坏,安全问题比较复杂,尤其在工业区、居民区、重要设施及文物古迹附近爆破时;爆破施工组织工作比较复杂,需要有熟练的、经验丰富的技术力量才能在保证安全的前提下顺利完成这项任务。

(2) 峒室爆破的应用范围

在山区,因山势较陡,土石方工程量较大,机械设备上山有困难时适宜采用峒室爆破;在峡谷、河床两侧有较陡山地可取得大量土石方量时,可以采用峒室爆破修筑堤坝;在工程建设初期,如果地形有利而又有足够的土石方量时,适宜采用峒室爆破剥离土岩和平整场地,以缩短建设工期;在山区修筑铁道和公路时,宜用峒室爆破修筑路堑和平整场地。

2. 峒室爆破的分类

(1) 峒室爆破按爆破目的分类

① 松动爆破

将原状的土岩经峒室爆破获得松动和破碎，而不要求岩块的抛掷和扬弃。主要用于：采石场或矿山露天开采矿石，以及由于各种原因不能将土石抛掷过远的爆破工程。松动爆破消耗的炸药量比较少，一般为 $0.3 \sim 0.5 \text{kg/m}^3$ 。该爆破法造成的空气冲击波和飞石的影响范围小，但震动影响范围较大。

②崩塌爆破

利用爆破作用将岩石松动，然后使破碎的岩石在重力作用下塌落的一种方法。对于 70° 以上的陡坡及多临空面的地形条件，采用崩塌爆破是最节省炸药的爆破方法。

③抛掷爆破

利用爆破作用不仅将岩体爆松与破碎，而且将部分岩块抛掷出爆破漏斗范围以外。一般情况下，抛掷爆破是根据地形条件和爆破技术的要求来决定，在多面临空及陡坡地形的抛掷效果最好，可达 $70\% \sim 80\%$ ；斜坡地形的抛掷百分率为 $50\% \sim 70\%$ ；缓坡地形与水平地面的抛掷率为 $30\% \sim 50\%$ ；而洼地、沟谷的抛掷百分率一般达不到 30% 。最常用的抛掷爆破地形坡度为 $30^\circ \sim 70^\circ$ 。

④扬弃爆破

在地面平坦或坡度小于 30° 的地形条件下，将开挖的沟渠、路堑、河道等各种沟槽及基坑内的挖方部分或大部分扬弃到设计开挖范围以外，使被开挖的工程通过爆破基本形成，称为扬弃爆破。

扬弃爆破与抛掷爆破的不同之处，在于它利用炸药能量将岩石向上抬起并扬弃出去，故其单位炸药消耗量要高，爆破作用指数 n 值较大。

⑤定向爆破

属于抛掷爆破的一种，不仅要使岩块利用爆炸能量抛出去，而且要利用爆破设计技术，控制抛出爆堆的方向、距离和形状。

(2) 峒室爆破按药室形状分

集中药室和条形药室。两者可根据下面公式计算集中系数 ϕ 值来确定。

$$\phi = \frac{0.62 \sqrt[3]{V_0}}{R} \quad (4-26)$$

式中： V_0 ——药包体积， m^3 ；

$$V_0 = \frac{Q}{\Delta}$$

Q ——药包重量， t ；

Δ ——装药密度， t/m^3 ；

R ——药室中心至最远点的距离， m 。

当 $\psi \geq 0.41$ 时, 该药包称为集中药包;

$\psi < 0.41$ 时, 该药包称为条形药包。

采用集中药包进行大爆破, 由于药量集中, 一般说爆破土石方量大、抛掷远等优点, 适用于抛掷爆破及定向爆破。但是, 集中药室开挖工作量比条形药室大, 药室的开挖比较困难, 对周围环境的影响也比较大, 爆后块度分布不均匀等缺点。然而集中药包爆破的工程实践比较丰富, 计算理论研究也较深入, 是比较广泛应用的爆破技术。

条形药包进行爆破时, 炸药是呈条形状分散装药, 爆破时炸药能量在岩体中的分布比较均匀, 则岩石破碎效果优于集中药包; 条形药室的开挖高度与垮度比同体积的集中药室小, 故施工较容易。但由于药包分散、抛距近, 定向爆破中使用少, 主要用于松动爆破。

(二) 峒室爆破抛掷作用的控制原理

1. 抛掷方向的控制原理

爆破时抛掷方向同药包位置、地形地质条件、起爆顺序及爆破参数等因素有关, 其基本原理有:

(1) 最小抵抗线原理

爆破产生的爆轰波和爆轰气体在岩体中引起的应力波, 在最小抵抗线方向最先传播到自由面并产生破碎效应, 使岩石表面在最小抵抗线方向上向外隆起, 形成以最小抵抗线为对称轴的钟形鼓包, 然后向外抛散。此处岩土体抵抗力最弱, 岩土介质运动的初速度最大, 抛掷也最远。最小抵抗线方向是岩土破碎、抛掷和堆积的主导方向, 称为最小抵抗线原理。

基于这种原理, 要求多个药包爆落的岩土体向某处集中抛掷堆积时, 则应尽可能选择和利用凹形地形, 合理布置药包, 如图 3-4-32 所示。如果地形条件不利, 可用辅助药包及采用不同的起爆顺序, 以控制抛掷方向, 如图 3-4-32 所示。

在图 3-4-34 中, 仅改变药包 O_1 和 O_2 的位置 (即起爆顺序), 就可使图 (a) 中的抛掷距离大于图 (b)。

(2) 多向爆破作用控制原理

在多自由面山头爆破时, 可以调整最小抵抗线的大小和方向来控制爆破的抛掷作用, 如图 7-8 所示。

图 3-4-35 (a) 中, $W_A = W_B$, 可达到 A、B 两侧等量等距的抛掷。

图 3-4-35 (b) 中, 欲控制岩土在爆破时向 A 方向抛掷, 而 B 方向上产生加强松动, 应使

$$W_A = \sqrt[3]{\frac{f(n_B)}{f(n_A)}} W_B \quad (4-27)$$

式中： W_A ——A 方向的最小抵抗线；
 W_B ——B 方向的最小抵抗线；
 n_A ——加强抛掷爆破作用指数；
 n_B ——加强松动爆破作用指数。

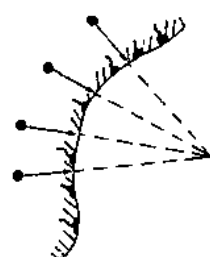


图 3-4-32 适于集中抛掷堆积的凹形地形

图 3-4-35 (c) 中，表示 A 侧加强抛掷，B 侧为松动爆破，此时，根据松动爆破药量相当于标准抛掷爆破药量的 1/3 原理，应使



图 3-4-33 控制抛掷方向的辅助药包

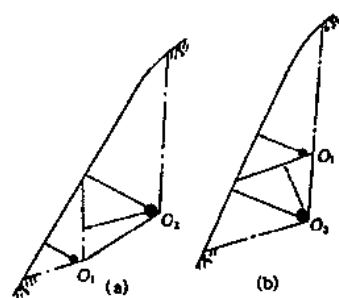


图 3-4-34 药包位置
与起爆顺序对
抛掷的影响

$$W_A = \sqrt[3]{\frac{1}{3f(n_A)}} \cdot W_B \quad (4-28)$$

图 3-4-35 (d) 中，表示 A 侧加强抛掷，B 侧岩石不破碎，此时，应使

$$W_B \geq 1.3 W_A \sqrt{1 + n_A^2} \quad (4-29)$$

(3) 群药包共同作用原理

两个并列的等量对称药包爆破时，其中间的土岩一般不发生侧向抛散，只能沿着两药包抵抗线的方向抛出，堆成条带状。非等量对称的群药包之间的土岩会发生一定的侧

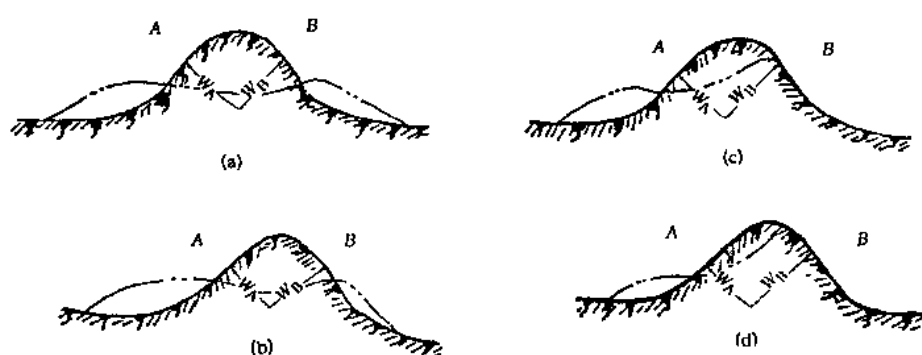


图 3-4-35 多向爆破作用的控制

向抛散，但其大部分或绝大部分的运动情况是沿着几个药包联合作用所决定的方向抛出。根据这种现象，可以按照“定向中心”的原理布置等量对称药包或其它群药包，将大部分土岩抛到一定方向和预定地点。这种布置定向爆破药包的设计方法，称为群药包作用原理。

(4) 重力作用

如能巧妙地利用当地有利地形，例如陡峭而狭窄的山谷，则搞定向爆破可以不用抛掷，而是布置松动药包将山谷上部岩石炸开，靠重力作用使爆松后的土岩滚落到沟底，形成堆石体。工程实践表明，用这种方式筑成的坝体不产生抛散，经济效益显著。这种设计方法称为崩塌爆破。

2. 抛体堆积的基本原理

抛体堆积可按照抛体质心基本上沿弹道轨道的原理、单个抛体堆积呈三角形分布及堆积体同抛体的体积相平衡的原则进行计算。斜坡地形单层单排抛掷药包的抛体堆积分布如图 3-4-36 所示，多层多排药包的抛体堆积由多个抛体堆积三角形的叠加合成（图 3-4-36）。按上述原理可以计算出堆积体的体积、堆高和抛掷率。

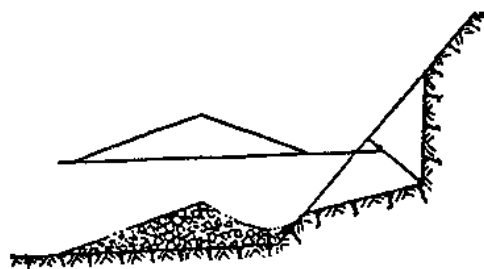


图 3-4-36 斜坡地形单层单排
药包的抛掷堆积体

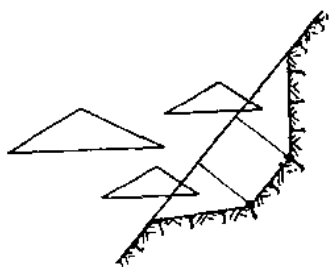


图 3-4-37 多层排药包
或其它群药包的
抛堆积三角形

(三) 峒室爆破的设计

峒室爆破的技术设计内容包括以下几方面内容：药包布置及爆破参数的计算；起爆网路的设计与计算，施工设计；安全距离及安全措施。

1. 药包布置设计

药包布置设计就是根据爆区的具体条件，为达到预期的爆破效果而进行的药包布置和参数选取等，它是峒室爆破设计之关键。

(1) 设计所需要的基础资料

主要包括以下内容：

①工程任务资料

包括工程目的、任务、技术要求、有关工程设计的合同、文件及领导部门的批复和决定。

②地形地质资料

包括：1:500 的爆区地形图；1:500 或 1:1000 的爆区地质地形平面图及主要地质剖面图；1:1000 ~ 1:5000 的大区域地形图，其范围包括爆破影响区内的所有可能引起破坏的建筑物、高压线、铁路、公路及航路；基建剥离境界图和最终境界图；工程地质勘测报告书及有关钻探、槽探的详细资料、岩石力学试验资料、水文基本情况及区域节理裂隙分布图。

③周围环境调查资料

包括爆破影响范围内建筑物、工业设施的完好程度、重要程度；爆区附近隐蔽工程（包括地下峒室、巷道、地下工事、军事设施、电缆、管线等）的分布情况；影响爆破作业安全的高压线、电台、电视塔的位置及功率；近期的天气条件。

④试验和检测资料

包括爆炸器材说明书、合格证及检测结果；爆破漏斗试验报告；爆破网路试验资料；杂散电流监测报告等。

(2) 药包布置原则

峒室爆破为了充分利用炸药能量，要根据地形条件和工程要求，正确选择药包布置方式。药包布置要保证底板平整，爆后不留岩坎；当遇到明显的软硬岩层时，药包应布置在坚硬岩层中；药包应避免断层、破碎带和软弱夹层带；单层药包的量小，抵抗线 W 与埋深 H （药包中心至地表的垂直距离）的比值以 $0.6 \sim 0.8$ 较合适，可取得较好的破碎和抛掷效果，否则应考虑布置二层以上的药包或多排药包。

2. 爆破参数的确定

主要指最小抵抗线、爆破作用指数、药包间距及装药量等。

(1) 最小抵抗线的确定

确定药包的最小抵抗线，实质上是确定药包的高程及平面位置。确定时应考虑：

①主导破碎方向或抛掷方向的要求。药包在不同方向抵抗线的大小，直接影响其爆破作用、破碎效果及抛掷方向。因而，首先要考虑最小抵抗线的方向，使其满足爆破的要求。

②对爆落土石方量、抛掷方量及堆积状况的要求。

(2) 爆破作用指数的确定

①加强松动爆破，要求大块率在 10% 以内且爆堆高不大于 15 米时，可参照表 3-4-15 选取 n 值。

②平地抛掷爆破，按要求的抛掷百分率 E 选 n 值，计算式为

$$n = \frac{E}{55} + 0.5 \quad (4-30)$$

表 3-4-15 加强松动爆破的 n 值

最小抵抗线/m	n 值	最小抵抗线/m	n 值
20 ~ 22.5	0.70	30.0 ~ 32.5	0.90
22.5 ~ 25.0	0.75	32.5 ~ 35.0	0.95
25.0 ~ 27.5	0.80	35.0 ~ 37.5	1.00
27.5 ~ 30.0	0.85		

③斜坡地形单侧抛掷爆破，抛掷率为 60% 时，可按地形的自然坡面角 θ 参考表 3-

4-16 选取 n 值。多面临空地地形抛掷爆破时, $n = 1 \sim 1.25$ 。陡壁地形抛掷爆破时, $n = 0.8 \sim 1$ 。

表 3-4-16

依坡面角定 n 值

值坡面角 $\theta/ (^{\circ})$	15 ~ 30	30 ~ 45	45 ~ 60	60 ~ 70
n 值	2 ~ 1.75	1.75 ~ 1.5	1.5 ~ 1.25	1.25 ~ 1.0

④多层多排药包 n 值的确定, 主药包的 n 值一般应比辅助药包的 n 值大 0.25 左右; 后排药包的 n 值应比前排药包大 0.25 左右; 上、下层同时起爆的药包, 上层药包的 n 值可增大 0.1 左右。

(3) 压碎(缩)圈及预留保护层范围

①压碎圈半径

$$R_1 = 0.62 \sqrt[3]{\frac{Q\mu}{\Delta}} \quad (4-31)$$

对于集中药包

$$R_1 = 0.56 \sqrt[3]{\frac{q\mu}{\Delta}} \quad (4-32)$$

对于条形药包

式中: R_1 ——压碎圈半径, m;

Q ——集中药包装药量, t;

q ——条形药包每米装药量, t/m;

Δ ——装药密度, t/m³,

μ ——由岩石性质决定的压缩系数,

②预留保护层厚度

在露天矿进行峒室大爆破时, 为保证边坡的稳定, 必须留有足够的边坡保护层, 如图 3-4-38 所示。

在一般情况下(边坡不高, 无不利地质构造, 岩体比较稳固, 药包量不太大), 预留保护层厚度(装药中心到边坡的距离) $\rho = AW$, A 值按表 3-4-17 选取。

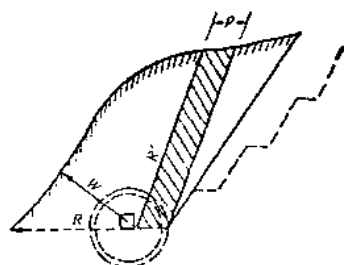


图 3-4-38 预留边坡保护层

表 3-4-17

预留边坡保护层常数 A 值

土岩类别	单位炸药消耗 最 K 值 kg/m ³	压缩系数 μ	各种 n 值下的 A 值					
			0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
粘土	1.1 ~ 1.35	250	0.415	0.474	0.550	0.635	0.725	0.820
坚硬土	1.1 ~ 1.4	150	0.362	0.413	0.479	0.549	0.632	0.715
松软岩石	1.25 ~ 1.4	50	0.283	0.323	0.375	0.433	0.494	0.558
中等坚硬岩石	1.4 ~ 1.6	20	0.235	0.268	0.311	0.360	0.411	0.464
坚 硬 岩 石	1.5	10	0.21	0.24	0.279	0.322	0.368	0.416
	1.6	10	0.215	0.246	0.284	0.328	0.375	0.424
	1.7	10	0.219	0.250	0.290	0.335	0.383	0.433
	1.8	10	0.224	0.265	0.296	0.342	0.390	0.441
	1.9	10	0.227	0.260	0.302	0.348	0.398	0.450
	2.0	10	0.231	0.264	0.306	0.354	0.404	0.457
	2.1	10	0.236	0.269	0.312	0.361	0.412	0.466
	2.2 以上	10	0.239	0.273	0.332	0.385	0.448	0.472

当边坡药包量较大, 岩体稳固条件又不够好时, 预留保护层厚度 $\rho = BR_y$, 式中 R_y

为压碎圈半径, B 值取 3~5。

(4) 爆破漏斗破裂半径

在平坦地面上, 爆破漏斗破裂半径 R 由下式计算:

$$R = W \sqrt{1 + n^2} \quad (4-33)$$

在斜坡地形条件下, 爆破漏斗的破裂半径在斜坡上方与下方是不同的, 爆破漏斗下破裂半径 R 仍采用 (4-33) 式计算, 但上破裂半径 R' , 因药包的向下作用深度及漏斗边坡的崩塌作用以及斜坡倾角的影响将大于 R , 如图 3-4-39 所示。 R' 可按下式计算

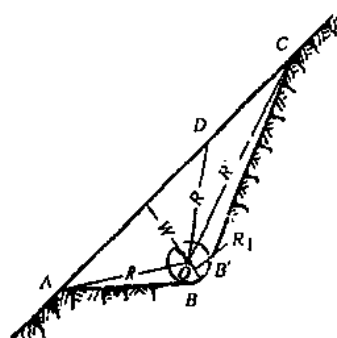


图 3-4-39 斜坡地面爆破

漏斗参数图

$$R' = W \sqrt{1 + \beta n^2} \quad (4-34)$$

式中 β 值可按表 3-4-18 选取。

表 3-4-18

β 值

地面坡度角	β 值	
	中硬以下岩石	坚硬岩石
20° ~ 30°	2.0 ~ 3.0	1.5 ~ 2.0
30° ~ 50°	4.0 ~ 6.0	2.0 ~ 3.0
50° ~ 65°	6.0 ~ 7.0	3.0 ~ 4.0

(5) 药包间距的确定

药包间距 a 可根据不同爆破类型、地形条件及岩石性质等参考表 3-4-19 的计算式确定。表内各式中最小抵抗线 W 和爆破作用指数 n 应取相邻药包的平均值。

表 3-4-19

药包间距计算式

爆破类型	地 形	岩 石	药包间距计算式
松 动 爆 破	平坦地形	土壤、岩石	$a = (0.8 \sim 1.0) W$
	斜坡、台阶地形		$a = (1.0 \sim 1.2) W$
加强松动、抛掷 爆破	平坦地形	岩石	$a = 0.5 W (1 + n)$
		土壤、软岩	$a = W \sqrt[3]{f(n)}$
	斜坡地形	坚硬岩石	$a = W \sqrt[3]{f(n)}$
		软岩、土壤	$a = nW$
	多面临空	土壤、岩石	$a = (0.8 \sim 0.9) W \sqrt{1 + n^2}$

(6) 装药量计算

集中药包量可按下面公式进行计算。

松动爆破:
$$Q = eq_{\text{松}} W^3 \quad (4-35)$$

抛掷爆破或加强松动爆破:

$$Q = qe W^3 (0.4 + 0.6n^3) \quad (4-36)$$

式中: Q ——药包量, kg;

q ——标准抛掷单位炸药消耗量, kg/m^3 ;

$q_{\text{松}}$ ——松动爆破单位炸药消耗量, kg/m^3 ;

e ——炸药威力换算系数, 对 2# 岩石铵梯炸药 $e = 1.0$, 铵油炸药 $e = 1.0 \sim 1.15$ 。

式中其它符号意义同前。

q 与 $q_{\text{松}}$ 值。

(三) 药室设计

1. 集中药包的药室

(1) 药室容积

可按下式计算:

$$V_Q = K_v \cdot \frac{Q}{\rho} \quad (4-37)$$

式中: V_Q ——药室的开挖体积, m^3 ;

Q ——装药量, t;

ρ ——装药密度, t/m^3 ;

K_v ——药室扩大系数。

3②药室形状

常用药室有以下几种形状：

方形药室：高 2~4m、长宽相等，尺寸按装药量要求设计，适装药量小于 50t 的药室。

长方形药室：高 2~4m，跨度 2~4m，长度按装药量要求设计。

“十”字形药室：多用于大型药室，将方形变成“十”字形可减小跨度改善药室稳定条件。

其它形状药室，如 Γ、T、回、日字形等药室，在工程中也有使用。

(2) 条形药包的药室

条形药包多采用不耦合装药，不耦合比是指药室断面与药包断面的面积之比。根据地形条件，条形药包设计成直线形和折线形，设计断面与施工导洞断面或横巷断面相同，以方便施工为原则，不宜过小，不耦合比在 2~10 之间。

二、光面爆破

(一) 光面爆破的特点

光面爆破法与普通爆破法相比，具有下列明显的优越性：

(1) 爆破后巷道断面形状和大小能很好地符合设计要求，并且周壁整齐，从而减少了超挖、欠挖以及因此带来的许多麻烦，节省了增挖、回填、支护的工程量和费用。

(2) 围岩不受破坏或破坏十分轻微，保持了围岩的整体性、稳定性与承载能力，为维护巷道创造了有利条件。对于松软、破碎和稳定性差的岩层，光面爆破的优点更加突出，它与喷锚支护相结合应用，组成了一套工效高、质量好和成本低的掘进施工新方法。

(3) 开挖的岩壁上几乎不出现危悬石，减少了掉块、滑坡及冒顶等的可能性，提高了施工的安全性。

(4) 减少岩壁上的应力集中现象，这对地下深部井巷防止岩爆危害起重要作用。能明显降低和限制地震效应以及飞石、空气冲击波的危害作用。

评定光面爆破优劣的主要指标是：开挖轮廓成形规则，岩面平整；岩面上留下的半眼痕率达到预定要求；爆破后围岩无松动、无危石及肉眼观察不到明显的爆破裂隙。

目前，在我国许多矿山部门掘进井下主要巷道、硐室及露天矿的边坡，铁路隧道工程及水利工程等部门都已逐渐推广采用这一新技术。

(二) 光面爆破原理

光面爆破的基本出发点是控制爆破的破坏作用，使爆破的破坏作用集中于需要崩落的一侧岩石上，尽量减轻对于不需要崩落的那侧岩体的破坏作用。其方法是沿巷道的顶板和侧帮或其他工程的最终开挖面布置加密炮眼（即光面眼），并装直径比眼径小得多的药包，或部分不装药，以及同时起爆等措施，使得爆破时沿着光面眼的连接线破裂成规整的平面（俗称光面）。

因此，光面爆破的关键就在于控制爆破产生的裂隙大小及其发展。

1. 光面裂隙的形成机理

光面爆破的基本条件是在光面眼内进行减弱爆破，也就是减少装药爆炸产生的能量及传给岩石的能量。光面眼装药爆炸后，眼壁岩石中产生的径向压应力与切向拉应力，应分别小于岩石的极限抗压强度与抗拉强度，这样可以保证眼壁岩石中不产生压碎和放射状裂隙。在需爆落的一侧岩石由于自由面的影响，岩石中的应力状态和强度都有可能改变，可能产生破坏。光面眼的连心线上由于空孔的影响和光面眼的同时起爆，使得连心线上这部分岩石的应力状态和强度改变，可以在爆炸应力波和爆炸气体压力作用下产生断裂。关于断裂面的具体形成机理，目前有如下几种解释：

(1) 应力波叠加效应

当光面眼的爆破参数选取合理的条件下，单个炮眼装药爆炸虽不足以使岩石产生裂隙，但两个相邻的炮眼同时起爆后，分别来自两个炮眼的压缩应力波在炮眼连心线中间相遇时，则产生波的叠加而增强。其结果在垂直于连心线上的拉应力也增大，当此合成拉应力超过岩石的极限抗拉强度时，在两个炮眼中间首先产生裂隙，然后沿连心线向两个炮眼方向发展，最终形成断裂面。

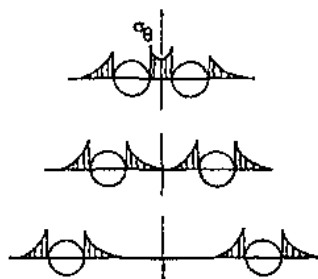


图 3-4-40 不同眼距时连心线上产生的切向拉伸应力分布

(2) 准静压力作用论

该理论认为光面眼装药是在增大不耦合系数的条件下爆炸，由于空气间隙的缓冲作

用, 作用于眼壁上的冲击波波峰压力消失, 波形呈平台状, 在颇长的时间内, 眼壁处于一定的准静压力作用下。当相邻的两个炮眼装药起爆后, 在准静压力作用下, 于炮眼连心线上各点产生非常大的切向拉伸应力, 而在连心线与眼壁相交处产生最大的应力集中。切向拉伸应力分布及集中情况随相邻炮眼间距而变化 (图 3-4-40)。两个炮眼愈接近, 应力集中愈显著。因此, 在眼壁上应力集中处将首先出现拉伸裂隙, 然后这些裂隙沿连心线延伸。若眼距选取合适时, 相向延伸的裂隙将贯通形成岩石的断裂面。

(3) 应力波和气体压力相互作用论

该理论认为光面眼装药爆炸后, 产生的应力波主要作用是在炮眼周围造成一个稠密的径向微裂隙。其后是爆炸气体压力作用于已生微裂隙的眼壁上, 形成一个准静应力场, 而使径向裂隙进一步发展而贯通。

应力波和爆生气体压力相互作用理论, 比较全面地分析了裂隙从眼壁产生并沿连心线扩展的过程, 与实际爆破和模拟实验中观察到的现象相同, 所以较为符合实际情况。

2. 影响光面裂隙形成的因素

主要影响因素有:

- (1) 装药量
- (2) 装药结构
- (3) 导向空眼
- (4) 最小抵抗线与眼距的关系
- (5) 起爆方法

(三) 光面爆破的施工方法及工艺

光面爆破是一个总称, 通常包括密集空眼爆破、缓冲爆破、预裂爆破和光面爆破 (或周边爆破) 等四种方法。

1. 密集空眼爆破

这是采用最早的一种光面爆破技术。如图 3-4-41 所示, 在巷道顶板和两帮轮廓线上布置一圈密集空眼, 眼距为眼径的 2~4 倍。靠近密集空眼布置一圈加密炮眼, 眼距和装药量一般为普通炮眼法的一半左右。加密炮眼同时起爆后, 在密集空眼周围造成应力集中, 并沿密集空眼的连心线上爆裂形成光面, 轮廓整齐, 围岩不受破坏。但这种方法所需眼数太多, 钻眼工作量大, 费用高, 现在很少采用。

2. 缓冲爆破

缓冲爆破是沿设计的开挖轮廓面上打一排加密的炮孔 (或缓冲爆破孔), 采用减弱装药结构, 药包紧贴朝向自由面一侧的孔壁上, 并用细砂之类的充填物充填孔内空隙, 孔口部分要堵塞良好。其装药结构如图 3-4-41 所示。缓冲爆破孔同时起爆后, 沿缓

冲孔连接线破裂成平整的光面。缓冲爆破可以采用较大的孔径，孔内堵塞物和空隙有利于吸收多余的爆炸能量，具有缓冲作用，可以阻止和减弱爆炸作用对开挖轮廓面的以外的岩石的破坏。

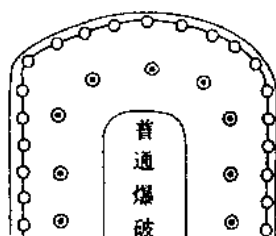


图 3-4-41 密集空

眼爆破法

○ - 密集空眼；

⊙ - 减弱爆破眼

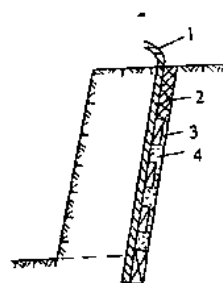


图 3-4-42 缓冲爆破

装药结构

1 - 导爆索；2 - 炮泥；

3 - 药包；4 - 缓冲充填物

缓冲爆破多用于露天深孔爆破中。

3. 预裂爆破

预裂爆破的目的是沿设计线形成整齐的轮廓面，被保留岩体的壁面应不遭受破坏。为此，必须符合以下质量标准：

①预裂缝必须贯通。一般地下硐室开挖预裂爆破，采用炮眼直径为 38 ~ 45mm，预裂缝宽度为 5 ~ 10mm；露天预裂爆破采用炮孔直径一般大于 60mm，预裂缝应大于 5 ~ 10mm。愈坚硬的岩石，裂缝愈小，反之则裂缝宜大。

②预裂面应保持平整。明挖中钻孔偏差小于 1°。在露天工程中，爆破预裂面与施工精度有关。获得壁面平整的重要条件，是提高钻眼精度。例如，深度为 10 ~ 15m 的炮孔，孔口偏差 1°，孔底的偏差可达到 17 ~ 26cm。相邻预裂孔间壁面的不平整度小于 ± 15 ~ 20cm。水工建筑的精度要求小于 15cm。

③预裂面上残留的眼痕率是：

坚硬岩石：> 85%；

中硬岩石：> 70%；

软岩和破碎岩石：> 50%。

洞挖中相邻预裂孔间壁面不平整度小于 15cm。

④预裂面岩石和保留岩体不产生严重爆破裂缝。