

云南省第四届爆破学术交流会

论

文

集

云南省爆破工程学会

一九九五年六月

热烈庆祝

云南省爆破工程学会成立十周年

1985.6——1995.6



致 谢

在云南省爆破工程学会成立十年来，曾先后得到以下单位、个人的支持和资助，在此表示感谢！

昆明理工大学（原昆明工学院）资源开发工程系

云南省公路科学技术研究所

昆明钢铁公司矿山处

云南省国防科工办

成都军区工程科研设计院

昆钢特种爆破公司

昆明特种爆破工程处

云南省爆破技术开发公司

云南省特种爆破服务中心

昆明白水泥厂

昆明地质学校

湖南国营湘西矿山电子仪器厂

云南省爆破技术开发公司工程部 管伯伦、冯昆先生

昆明有色冶金设计研究院华昆公司 徐邦先生

云南城镇拆除特种爆破工程部 宦建坤先生

云南省第四届爆破学术交流会

论文集

主 编	黄明权
副主编	廖增亮
	庙延钢
	杨国岐

云南省爆破工程学会

一九九五年六月

云南省第四届爆破学术交流会论文集

1995年6月

目 录

切割爆破中低爆速炸药和不耦合装药的理论依据	黄明权 (1)
控制爆破的药量计算和飞石	廖增亮 (5)
用算法 (查表法) 代替作图法求得倾斜中深孔的最小抵抗线 W 技术	张荣金 (9)
具有孔底间隙的装药爆破对孔底作用力的探讨	杨国民 (19)
新型工业电磁雷管及其起爆系统	黎剑华 (23)
我国矿用火箭弹发展应用述评	庙延钢 赵恩清 穆大耀 谢瑞靖 (30)
乳化炸药生产予乳工艺的安全性	王成禹 (36)
微机核子计量技术在硝铵炸药生产中的应用	杨 涛 (39)
煤矿乳化炸药主要爆轰参数“沼气安全阈值”的估算和例证	张春元 (44)
深谷江河爆破筑高坝的成功实例	孔令忠 (49)
水库加高扩建新途径	孔令忠 (52)
工程爆破要合理选择爆破方案	那朝龙 (54)
台阶深孔爆破合理超深的确定	张伟康 (57)
隧道开挖中秒差起爆技术的应用	徐兴华 (60)
松散土隧道施工及格棚管棚的应用	杨正明 黄志强 (63)
大孔径予裂爆破技术在攀钢石灰石矿的应用	沈玉明 (68)
孔间微差爆破是降低“四率”的有效途径	闵其桓 (73)
浅眼与洞室混合爆破新方案	马再臣 (81)
漫湾水电站导流洞进出口围堰拆除爆破	蒋 健 (85)
钢筋混凝土框架结构厂房控爆拆除技术	杜云鹤 高 旻 (89)
爆炸与冲击高压法合成超硬材料	董庆东 (94)
钢筋混凝土基础爆破拆除	刘 疆 杨忻宇 (104)
水封爆破技术的实践	张广华 (106)
爆破地震效应的试验与研究	耿 明 付正聪 张 彤 (108)
对昆钢“大块铁”爆破的浅析	耿 明 (116)
机头罩蒙皮的爆炸成型工艺研究	王忠孝 (118)
金属爆炸加工高新技术在压力加工中的应用	王忠孝 (121)
MDY—1 型炸药猛度测试仪的研制	穆大耀 (128)
露天矿爆破专家系统	张金涛 王新民 高 宏 (136)
企、事业单位简介目录	(143)

责任编辑 庙延钢

切割爆破中用低爆速炸药和不耦合装药的理论依据

黄明权

昆明理工大学爆破新技术应用研究所

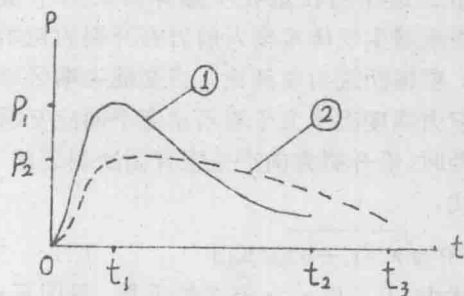
在控制爆破中，往往要求使用控制精度高、震动量低的切割爆破技术，使分离体和保留体都不受到损伤，在名贵石材开采中就是一例。要满足这一特殊要求，常常采用低爆速炸药和不耦合装药的技术措施来达到目的。

低爆速炸药和不耦合装药之所以能用于切割爆破，是有理论依据的。

1 关于炸药能量的合理分配

炸药爆炸破坏岩石的过程，是由化学能转化为机械能的瞬时做功过程，能量释放速度的大小，决定着做功的性质。高爆速炸药爆炸时能量释放速度快，具有动态做功特点；低爆速炸药爆炸时能量释放速度慢，具有准静态做功特征。

根据爆轰波参数计算公式知 $P \propto D^2$ ，即爆轰压力与爆速平方成正比。高爆速的炸药爆炸时产生的爆轰压力往往比岩石动态抗压强度大许多倍，如不加以缓冲控制，必将对岩石造成严重伤害。图一表示两种不同爆速炸药能量释放过程的压力——时间变化曲线。比较两条曲线后可以看出，低爆速炸药峰值压力低，作用时间长，与高爆速炸药相比，其能量分配更趋合理，是爆破切割技术中比较理想的炸药。



图一

- ①——一般工业炸药
- ②——低爆速炸药
- P——爆轰波峰值压力
- t——爆轰时间

2 岩石成缝过程

在切割爆破中，切割面的形成过程历经了三个阶段：开裂—扩展—止裂。

开裂：

切割爆破的目的，是要控制裂缝发生在炮孔连心线上的同时，抑制其它方向产生剪切破坏。因此应满足以下条件：

$$\sigma_h \geq \sigma_c \quad (1)$$

$$\tau_s < \sigma_s \quad (2)$$

(1) 式说明环向拉应力 σ_h 应等于或大于岩石的动抗拉强度，以保证产生径向裂缝；

(2) 式说明剪切应力 τ_s 应小于岩石的动抗剪强度，保证不产生剪切破坏。

环向拉应力与径向应力有如下关系:

$$\sigma_r = \sigma_b (1 - \mu) / \mu \quad (3)$$

理论计算和试验表明,在切割爆破中,炮孔间距 a 和炮孔直径 d_c 之比 $a/d_c = 8 \sim 12$ 时,环向拉应力集中,出现最大值 $\sigma_{b_{\max}} = 1.5\sigma_b$ 。将此值代入 (3) 式后,根据 (1) (2) (3) 式,及岩石受力平衡条件,得岩石开裂条件表达式:

$$\frac{1-\mu}{1.5\mu} \sigma_r \leq \sigma_r \leq \frac{2C \cos \varphi}{1 - \sin \varphi + \frac{1.5\mu}{1-\mu} (1 + \sin \varphi)} \quad (4)$$

上述各式中:

σ_b ——环向拉应力, P_s ;

σ_c ——岩石动态单轴抗拉强度, P_s ;

τ_s ——剪切面上的剪应力, P_s ;

σ_s ——岩石动态抗剪强度, P_s ;

σ_n ——剪坏面上的正应力, P_s ;

φ ——岩石动态内摩擦角, ($^\circ$);

C ——岩石动态内聚力, P_s ;

μ ——岩石动态泊桑比。

扩展:

图二是炸药在炮孔中爆炸时的力学模型,表示爆生气体未楔入前岩石开裂的初始状态。根据断裂力学理论,当裂缝尖端区域内的应力强度因子大于岩石动态平面应变断裂韧性时,沿开裂方向产生张开型断裂破坏,如下式:

$$FP \sqrt{\pi (r_c + b)} \geq K_{I_d} \quad (5)$$

式中: F ——与 r_c 、 a 有关的系数,见图三;

P ——爆生气体作用于孔壁上的压力, P_s ;

r_c ——炮孔半径, m ;

b ——初始裂纹长度, m ;

K_{I_d} ——岩石动态平面应变断裂韧性, $N/m^{3/2}$ 。一旦受力状态满足 (5) 式,裂缝开始扩展。可见, (5) 式即为裂缝扩展的判定式。

止裂:

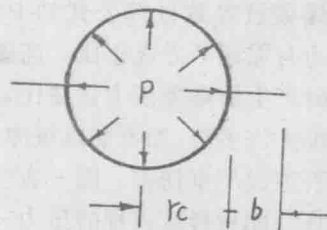
随着裂缝扩展,爆生气体楔入,岩石受力状态如图四。当裂缝尖端区域内的应力强度因子小于岩石动态平面应变断裂韧性时,裂缝不再扩展——止裂。

考虑到裂缝扩展过程有气体泄漏造成能量损失,孔壁压力相应地由 P 降至 P_1 :

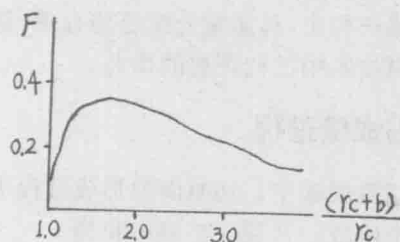
$$P_1 = P(r_c / r_c + L)^{1.5} \quad (6)$$

这时,止裂条件表达式为:

$$F_1 P(r_c / r_c + L)^{1.5} \sqrt{\pi(r_c + L)} < K_{I_d} \quad (7)$$



图二



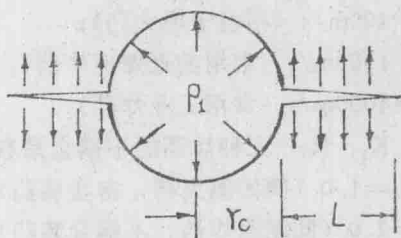
图三

式中： F_1 —与 r_c 、 L 和气体楔入裂缝长度有关，一般 $F_1=0.2\sim 1.0$ ，当气体楔入整个裂缝和 $L\geq 3r_c$ 时， $F_1=1.0$ 。

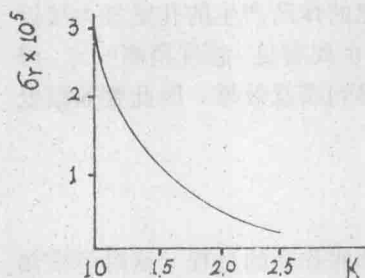
3 不耦合装药原理

在定向断裂控制爆破中均采用不耦合装药，因为爆炸产生的高速冲击作用，首先通过压缩炮孔和药卷间的空气间隙后，再作用于孔壁上，致使峰值压力变小，减少了孔壁的破碎作用。同时，这个压缩—膨胀过程，延长了爆生气体的作用时间，为裂缝不断扩展直至贯通，创造了有利条件。

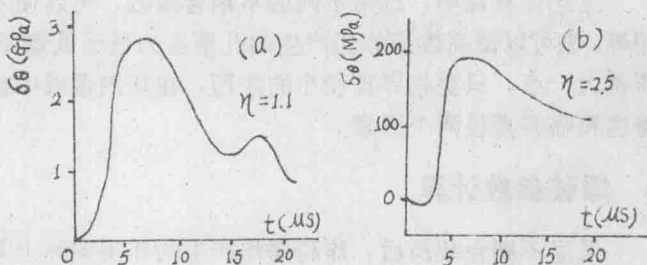
图五是不耦合系数与孔壁径向应力的关系，说明随着不耦合系数的增大，孔壁径向应力呈指数衰减。图六是不耦合系数和孔壁环向应力的关系。



图四



图五



图六

对图六 (a) 和 (b) 两条曲线进行对比，可以看出：不耦合系数 $K=1.1$ 时有波峰压力出现， $K=2.5$ 时这种波峰消失了，曲线变成削平了台阶状，两者的压力值相差十多倍。说明不耦合系数大到一定程度后，炸药爆轰的冲击波动压作用通过缓冲后，变成了爆生气体的准静压作用。

对不耦合装药孔内动压进行研究后，Rustan 提出下面的压力计算公式：

$$P=0.125\times 10^{-6}\rho_0 D^2(d_c/d_e)^n \quad (8)$$

式中： P —孔壁压力， MPa ；

ρ_0 —炸药（装药）密度， kg/m^3 ；

d_e —炸药（装药）直径， m ；

D —炸药爆速， m/s ；

d_c —炮孔直径， m ；

n —指数，一般 $n=4\sim 6$ 。

从 (8) 式可以看出，孔壁压力与爆速平方成正比，与不耦合系数倒数的 4~6 次方成正比（即与不耦合系数的 4~6 次方成反比）。可见，不耦合装药对降低孔内压力的作用，超过了炸药爆速的作用。这正是工程实践中采用普通工业炸药和不耦合装药也会在切割爆破中获得成功的原因。为了更具体地说明问题，不妨对三种炸药作如下对比计算：

设： C —比例系数；

D_1 、 D_2 、 D_3 —三种炸药的爆速，其中：

$D_1=400\text{m/s}$ （相当于黑火药）；

$D_2=1900\text{m/s}$ （常用的低爆速炸药）；

$D_3=4000\text{m/s}$ （常用工业炸药）。

K_1 、 K_2 、 K_3 —三种炸药的不耦合系数，

其中： $K_1=1.0$ （例如黑火药，密实装药）；

$K_2=2.0$ （低爆速炸药，不耦合装药）；

$K_3=2.7$ （普通工业炸药，不耦合装药）。

P_1 、 P_2 、 P_3 —三种炸药相应的孔壁压力。

将上述数据代入简化后的（8）式，取 $n=5$ ，得：

$$P_1=CD_1^2/K_1^5=400^2/1^5=16\times 10^4\text{C}$$

$$P_2=CD_2^2/K_2^5=1900^2/2^5=11.3\times 10^4\text{C}$$

$$P_3=CD_3^2/h_3^5=4000^2/2.7^5=11.2\times 10^4\text{C}$$

上述计算说明，选用不同的不耦合系数，可以使不同爆速的炸药产生的孔壁压力接近相等，也可以使高爆速炸药产生的孔壁压力低于低爆速炸药。由此可见，感度稍高一点，爆速稍大一点，只要临界直径小的炸药，在切割爆破中也可以得到满意效果。因此要兼顾低爆速和临界直径两个因素。

4 爆破参数计算

采用不耦合装药后，炸药爆炸产生的作用实际上是气体膨胀做功的过程。这时可按热力学定律计算炮孔压力：

$$P=K_p D^{-n} \rho_L^n \quad P_s \quad (9)$$

上式中：

$$K_p=P_w \left\{ \frac{n-1}{K-n} \left[\frac{(K-1)Q\rho_w}{P_w} \right] - 1 \right\}^{\frac{K-n}{K-1}} \left(\frac{1}{0.25\pi\rho_w} \right)^n \quad (10)$$

P_w —爆生气体初始压力（爆轰压力）， $P_w=\rho_w D^2/2(K+1)$ ， P_s ；

n —理想气体绝热膨胀指数，一般采用 $n=1.4$ ；

K —炸药等熵指数；

Q —炸药爆热， J/kg ；

D —炸药爆速， m/s ；

ρ_L —线装药密度， kg/m 。

由（6）式和（9）式可求出岩石开裂的临界装药密度 ρ_L 和孔壁不产生多余放射状裂缝的极限装药密度；当裂缝刚好贯通（ $L=a/2-d_c/2$ ），由（7）式和（9）式得：

$$F_1 P(D/a)^{1.5} \sqrt{\pi a/2} \geq K_1 d \quad (11)$$

由于孔间裂缝贯通前，爆生气体楔入速度滞后于裂缝的扩展，气体不可能完全进入缝内，故 $F_1=0.6$ ；同时，岩石动、静态平面应变断裂韧性的关系式为 $K_{1d}=1.6K_{1c}$ ，将它们连同（9）式一起代入（11）式，即可求出相邻炮孔形成贯通裂缝的线装药密度：

$$\rho_L=1.71(aK_{1c}/K_p)^{0.71} \cdot D^{0.93} \quad (12)$$

应当指出，上述基础理论及计算式，是在 $W/d_c \geq 20$ ， $W \gg a$ 和将岩石视为弹性体的前提下提出的，具有一定近似性，但其精度基本上能满足工程需要，比一般经验方法提高了一步，这已为某石灰质大理石矿的开采实践所证实。

控制爆破的药量计算和飞石

廖增亮

云南省公路科研所

控制爆破技术和许多应用科学技术一样,是在大规模的建设和实践中产生和发展起来的.在我国从50年代起就提出了需要进行控爆的问题,到70年代中、后期有了较大的发展.控爆对减轻劳动强度,加快施工速度,保证安全等方面有着特殊的作用.到目前为止,这项技术已逐步深入到国民经济的各个领域,在我国的四化建设中发挥着重要的作用.控爆技术也已成为工程爆破的一个重要分支.

在控爆中,一方面要求有较好的爆破效果(全部破碎,块度较小,混凝土碎块与钢筋脱离等等),为达到这个目的,一般要求药量较大,另一方面,控爆又要严格控制各种爆破危害(震动、空气冲击波、飞石等),为满足这个要求,一般要求药量要小,这就是控爆的主要矛盾,也是控爆技术的难点和关键.

在控爆的设计中,对爆震波和冲击波的控制,相对来说比较容易解决.在设计中,往往经过一次测试和计算就可以比较有把握地加以控制(对高大建筑物的控爆,还有倒塌方向等问题,这里不讨论),在实际施工中,可以使用测试仪器加以观测、监视.但是对飞石的控制却比较困难,在这方面,除了采取被动措施——加强复盖以外,主要还是依靠用药量进行控制,以下重点讨论药量计算与飞石的关系.

1 控制爆破药量计算的理论依据和设计原理

爆破技术和许多工程技术一样,理论研究工作落后于实践.对于土岩爆破的理论研究,虽然已经经过几百年的长期努力,但仍然远远落后于工程实践.对于控制爆破来说,更是如此.目前,控爆的技术参数和计算公式主要还是依靠经验公式,靠设计者的实践经验,因此,实际上是处于百花齐放的局面.因为控爆的对象和爆破环境比较复杂,所以,这种局面在相当的时间内是不会改变的.

作为控爆药量计算的理论依据,仍然是建立在常规工程爆破的理论基础上,只不过因为控爆比起常规工程爆破要求更严格,施工更困难,它只能根据自身的特点和要求,选取常规工程爆破理论的某一部分罢了.

从固体介质的爆破作用原理看,控爆就是在药包爆炸激起的应力波作用和爆炸气体的静压力作用下,使固体介质在准静态作用下,使之破碎.

用装药的内部作用理论来说,控爆药包应使裂隙圈半径近似地等于(或稍大于)药包的最小抵抗线;用装药的外部作用理论来说,控爆药包应使形成的爆破漏斗是减弱的松动爆破漏斗.

控爆的药量计算设计原理,就是介于最大内部作用药包和减弱松动爆破药包的作用之间.在这样的理论指导下设计,只能使药包和临空面之间一定区域内的介质被破碎为碎块,而没有多余的炸药能量使爆下的碎块产生抛掷.

可见,控制爆破的理论依据、药量计算的出发点(或者说核心)主要还是基于对飞石的控

制。当然，它同时也要满足对爆震波、冲击波的控制。

2 目前常用的控爆药量计算方法及在实际应用中还需要解决的问题

2.1 常用的控爆药量计算方法：

(1) 著名的鲍利斯科夫公式：

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

式中：Q——药包重量，公斤

K——单位用药量系数，公斤/米³

W——最小抵抗线，米

n——爆破作用指数

这一公式的物理意义可以解释为：药包重量包含两部分：前者 $0.4KW^3$ 是岩石破碎、松动所消耗的炸药能量，后者 $0.6KW^3n^3$ 是将破碎后的碎块抛出一定数量和距离所消耗的炸药能量。有的设计者沿用上述计算式的前半部分，即认为控爆的炸药量主要是用于破碎介质，这无疑是有道理的。但是在应用中，会产生数学计算的矛盾，这是因为在一般控制工程中，最小抵抗线 $W < 1$ 米，而小于 1 与大于 1 的数值的立方有相反的结果，这使 Q 值得出极微小的药包数值。例如：当 $W = 0.1$ 米时， $W^3 = 0.1^3 = 0.001$ ，显然，1 克或 1 克稍多的炸药量是炸不出最小抵抗线为 0.1 米这样的爆破漏斗的。以 $W = 0.3 \sim 0.5$ 米（控爆常用值），计算出的 Q 值也偏小。但是鲍氏公式的主要意义： $Q \propto W^3$ ，即药量与体积成正比，在理论上给爆破确定了一个定性的原则。

(2) 体积法药量计算公式：

根据药包药量与爆破体体积成正比这一理论依据，目前常用体积法药量计算公式：

$$Q = q_v \cdot V \quad \text{或} \quad Q = q_v \cdot W^3 \quad (2)$$

式中：V——爆破体体积，米³

q_v ——单位体积耗药量，公斤/米³，它是由大量的控爆实践经验决定的，是一个在一定范围内变化的经验值。

上式中，若 V 为一个炮孔控制的体积，则 Q 值即为单孔装药量。使用这个公式有一个先决条件：药量 Q 必须较均匀地分布在整个爆破体内，才能获得较好的爆破效果。才能保证安全，不产生飞石。因此，实际上公式②只是在“宏观”上控制了装药量。

(3) 面积法药量计算公式：

$$Q = q_s \cdot S = q_s \cdot W \cdot L \quad (3)$$

式中：S——炮孔深度和最小抵抗线构成的面积（可叫做最小作用面积）米²

L——炮孔深度，米

q_s ——面装药系数（又叫面装药密度）公斤/米²，它也是在一定范围内变化的经验数据。

q ——单孔装药量

2.2 常用药量计算公式的不足：

以上常用的几种控爆药量计算公式，从爆破体体积或最小作用面面积控制了装药量，从“宏观”上看已经达到了“控制”的目的，但是：

(1) 当炮孔深度超过 0.5 米以后，为了达到“均匀布药”的目的，往往要采用“分层

装药”的方法（一个炮孔内布置几个药包）。虽然用②式或③式可以算出单孔装药量，但孔内的各药包量又如何确定呢？实践证明平均分布是不妥当的，用一个简单的百分比来分配，往往也难以满足各种条件下控制飞石的要求。

(2) 在控制工程施工中，虽然事先已有炮孔设计，但实际完成的炮孔常常和设计不完全一致，特别是在钢筋混凝土中打眼，免不了会碰到钢筋而被迫改变孔位。这样，炮孔参数（主要是最小抵抗线）变了，当然，若炮孔参数变化过大，已不可满足控爆的要求，一般需要补打炮孔。但有时，为了不再增加打眼工程量，也常常要求用调整设计药量的方法，利用变位后炮孔进行爆破，这时，用体积法或面积法就较难满足现场指导的需要（或者说比较繁琐）。因此，在现场指导装药时，很需要一个即简便，又可靠的单个药包药量计算公式。

(3) 在②式、③式中，因为没有对单个药包加以计算，因此，有时虽然用体积法或面积法已控制了总药量，而某一单个药包药量过大，往往就可能产生飞石，造成事故，反之，又可能爆破效果不好。这方面的经验教训是很多的。

可见，在药量计算中，只算部分体积的总药量或单孔装药量，仍然不能满足要求，必须有一个单个药包的计算公式，才能确保控爆的安全，才能有效的控制飞石，确保安全。

3 单药包药量 $q=q_w \cdot W$ 公式的引出和应用

从理论上讲，药量 Q 都是最小抵抗线 W 的函数，在体积法中， Q 是 W 的三次方函数，在面积法中，单孔装药量 q 是 W 的二次方函数，那么对单个药包来说，是否可以把 q 看作是 W 的一次函数呢？如前所述，由于现在的药量计算公式，基本上都是在爆破理论的定性指导下的经验公式，公式 $Q=q_v \cdot W^3$ 中的 q_v ，公式 $q=q_s \cdot W \cdot L$ 中的 q_s ，都是来自于实践的经验数据，都是由爆破条件决定的一在一定范围内波动的经验值。那么对于单个药包药量 q 来说，首先它必须是最低抵抗线 W 的函数，另外， q 和 W 之间的关系系数也必然是一个在一定范围内变化，由爆破条件决定的经验数据，为了简化计算，我们引出： $q=q_w \cdot W$ ，只要 q_w 来自于实践，满足控爆的单药包的条件，上式就可成立了。这样处理的结果是：单个药包药量 q 是 W 的一次函数， q_w 的意义是：每厘米最小抵抗线的药包克数、单位为：克/厘米（ W 用厘米做单位， q 用克做单位）。 q_w 的确定要充分考虑到爆破体的强度、自由面数、钢筋布筋情况、爆破工点的环境、所要求的爆破效果等条件，它和 q_v 、 q_s 一样，必须建立在大量的爆破实践的基础上。从理论上讲， q_w 要满足最大内部作用药包和减弱的松动药包作用原理。

从实用价值和可靠性看公式 $q=q_w \cdot W$

第一：它把单药包量 q 和最低抵抗线 W 用最简单的数学关系联系起来了，从定性上讲，它也符合控爆的理论依据。

第二：由于它计算出来的是每个单药包的药量，这就弥补了②式和③式的不足，作为控爆的药量计算，只有到这时，才从体（爆破体体积）、面（最小作用面）、线（最低抵抗线）全面控制了装药量，因此比较可靠，圆满了。

第三：它比②式、③式更能满足现场指导装药和调整药量的要求，更简便、更适用。

第四：在实际施工时，往往是先按设计在小范围内试爆，根据试爆结果，调整药量（实际上是调整系数 q_w ），然后再全面施爆。这就为 $q=q_w \cdot W$ 的推广使用提供了第一手资

料, 种用实践——理论——实践的方法解决控爆的药量计算问题符合实践论的基本原理, 也是我们认识问题, 解决问题的一种基本方法。

第五: 从使用上讲, 在设计中可以用 $Q = q_v \cdot W^3$ 或者 $q = q_w \cdot W$ 计算, 然后用其它两个公式进行校验, 若超出了控制范围, 必须进行适当调整。

这里提供几种情况下的 q_w 值, 可供参考:

爆 破 体 材 质	W (cm)	q_w (g/cm)			注
		最小	一 般	最大	
素混凝土强度较底	20~60	0.3	0.7~1.1	1.5	可用于浆砌片石或料石
素混凝土强度较高	20~60	0.4	0.8~1.4	2.0	可用于 $f=6\sim8$ 的岩石
钢筋混凝土强度较底	20~60	0.6	0.9~1.5	2.5	取最大值时要注意复盖 并且只能用于底药包
钢筋混凝土强度较高	20~60	0.8	1~2.2	3.8	
混凝土路面或底板工程	20~50		0.9~1.2		注意用 $q = q_w \cdot V$ 校验

附注: 1、上表是对 2[#] 岩石硝铵炸药而言, 若使用其它炸药, 应用换算系数 e 校正。

2、上表是在一定复盖条件下使用, 若无复盖, 应相应减少药量 15~20%, 若两排炮孔同时起爆, 后排应增加 10~15%。

3、在同一炮孔内, 即使 W 不变, 也要按“上小下大”的原则选取 q_w 值, 当底部药包已低于地平线平面以下 0.3 米时 (或炮孔侧面有一定破碎块堆积时), 对素混凝土 q_w 可取 2~2.5, 对钢筋混凝土可取 3~3.5。

4 使用 $q = q_w \cdot W$ 式的几个问题

1、为了进一步深化这方面的研究, 今后应进一步控制 q_v 、 q_s 和 q_w 的取值范围, 当环境、条件已定时, 它们的取值范围越小, 就越精确, 也越有价值, 越可靠。

2、表中所列的 q_w 值, 是建立在常规的控爆炮孔参数基础上 ($W=0.2\sim0.6$), 若炮孔参数超出此范围, 应作相应的调整, 控爆的炮孔参数, 不仅影响爆破效果和安全, 而且决定了工程量的大小, 今后, 应在保证安全和效果的前提下, 研究最佳炮孔参数, 这在经济上是很有价值的。

3、对于飞石的控制, 还与爆破器材, 主要是炸药类型有关, 今后还应加强这方面的研究。

4、为了降低成本, 加快施工速度, 在条件允许时 (各爆破工点四周比较开阔, 或某一方向允许有一定的飞石距离) 也可以减少炮孔数, 增大装药量, 并非一定要呆板地控制在“减弱的松动爆破”的范围内, 灵活地应用控爆理论和公式, 也是十分必要的。

用算法（查表法）代替作图法 求得倾斜中深孔的最小抵抗线 W 技术

张荣金

攀钢集团矿业公司石灰石矿

摘要 介绍了露天矿台阶爆破设计中求得 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 的常规而复杂的方法, 分析并推导了 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 的计算公式, 制定了当 $d=75^\circ$ 、 H 、 F 、 e 一定时简明易快、高精度查出 W 的函数表。

关键词 底盘抵抗线, 最小抵抗线, 爆破, 查表

1 前言

在露天矿中深孔爆破工程中, 影响爆破质量因素很多, 其中受爆破参数的影响很大, 在诸多的爆破参数中, 底盘抵抗线 ($W_{\text{底}}$) 或最小抵抗线 ($W_{\text{小}}$) 是影响露天矿中深孔爆破效果的重要参数, $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 在现场采场看不见, 摸不着, 也很难直接测量; 目前一般地说求得 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 有两种方法, 一种是根据经验公式, 这种方法简单易行, 但不准确, 易发生爆破质量事故, 本矿一般没有采用。另一种方法, 通过测量孔网参数的相对位置, 绘出平面图, 再用平面图作出剖面图, 从剖面图上量得 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$, 这样就可以利用其他参数计算出各孔的装药量, 这样作出来的 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 比经验要准确, 但精度还是不够, 很麻烦, 工作量大, 费时多, 也容易出错。本矿以前就是用这种方法进行了中孔爆破装药计算的, 由于爆破量大, 工程技术人员少, 在爆破工程进行中搞得精疲力尽, 还不断的发生爆破质量事故。本文作者认为, 如果用作图法求得孔网参数中 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 用算法 (查表法) 代替作图法最好, 又快又准确。论文的主要任务就是推导 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 的计算公式, 并制成表, 并验证其正确性。

2 关于 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 的过去

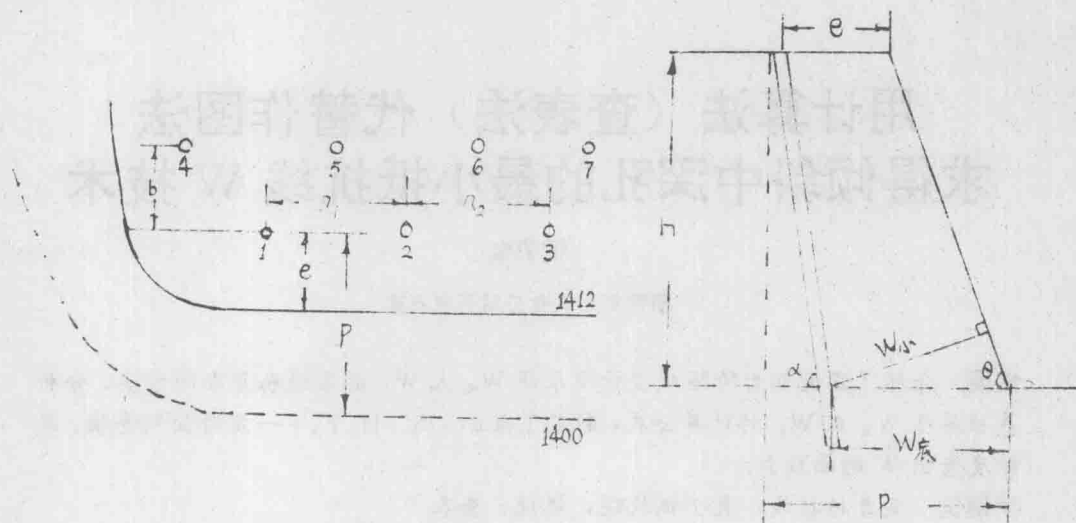
露天矿山中深孔爆破中, 必须要进行爆破设计、爆破设计中炸药量的计算非常重要。我矿常采用的是体积公式法即爆破量 (M^3 或 T) 乘以炸药单耗 (g/M^3 或 g/T) 等于炸药量 (Kg 或 t)。这就要我们通过各种手段求出其真实数据。例:

(1) 地测科在放炮的前三天要提供 1:500 的现场中深孔平面图, 如图一。标孔号, 各孔高程 (台阶水平), 孔的相对位置, 坡顶线 (实线) 坡脚线 (虚线) 等。

(2) 爆破工程技术人员进行爆破设计计算。

①在 1:500 的平面图上, 工程技术人员量测出各孔的孔距 (a_1, a_2)、排距 (b_1, b_2), 前排孔至坡顶线的距离 (e)。

②计算出各孔高程的相对高度, 如 2 号孔的距离 (e), 孔口上高程正好是 1412 米, 设计下一个水平台阶为 1400 米, 那么, 高度为 $H=1412-1400=12$ (米)。



图一

(3) 作剖面图求得 $W_{\text{小}}$ 。

①根据 1:500 的平面图，已知： e 是孔中中心至台阶的外沿线的距离，为保证穿孔作业的安全一般要求是 2~3 米，计算时要用测得真实数据。 $a_1, a_2, \dots$ 孔间距； $b_1, b_2, b_3, \dots$ 排间距要测得真实数据。

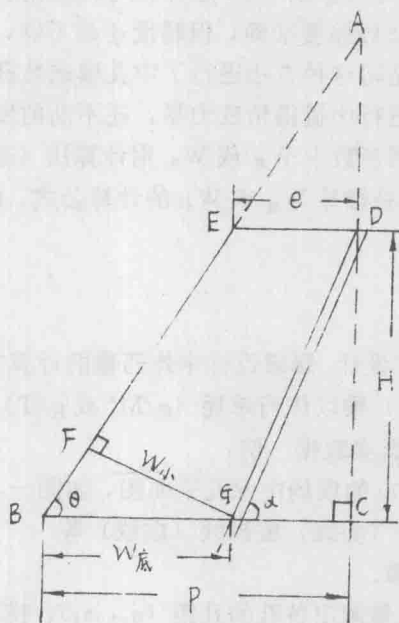
②孔的倾角 75° 是钻孔的技术要求，一般地讲，平整度越高，职工的责任心越强， 75° 越能保证。

③ P 是孔口在下个水平的投影至根底线的距离，可以直接在 1:500 平面图量出来。

④利用 $H, e, 75^\circ, P$ 作出上面的剖面图。

⑤根据剖面图，就作出 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 线，并量测出 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 的数值。

有了 $H, a_1, a_2, \dots, W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}, b_1, b_2, \dots$ 就可以求出各孔的爆破量，各孔的爆破量乘以炸药单耗就是各孔的装药量。再根据实际和超深等技术要求，作出增减装药量的调整数，下一步转入现场进行，但必须指出的是，当



图二

台阶坡面角小于 55° 时，应当使用 $W_{\text{小}}$ 最小抵抗线，当台阶坡面角大于 55° 时，也可以使用

$W_{\text{底}}$ 抵盘抗抵线, 至于使用 $W_{\text{底}}$ 还是 $W_{\text{小}}$ 为好, 也有实践经验的问题。

3 关于 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 推导过程

3.1 倾斜孔清渣爆破中的 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 的推导过程三种:

从图二得知:

$$W_{\text{小}} = f(e, h, P)$$

EDBC 是一个炮孔的剖面图, e, P, h 都是已知, 我们在剖面图上作一些辅助线。

如: 过 D 点作 BG 延长线的垂线, 相交于 C, 延长 BECD 相交于 A, 过 C 作 BE 的垂线 GF', GF = $W_{\text{小}}$ 是最小抵抗线。

在 $\triangle ABC$ 与 $\triangle BGF$ 中

$$\because \angle B = \angle B \quad (\text{公共角})$$

$$\therefore \text{直角} \triangle ABC \approx \text{直角} \triangle BGF$$

$$\therefore \frac{FG}{BG} = \frac{AC}{AB}$$

①

$$\therefore FG = W_{\text{小}}$$

②

$$GC = DC \cdot \text{ctg} \alpha = h \cdot \text{ctg} \alpha$$

$$BG = BC - GC = P - h \cdot \text{ctg} \alpha$$

③

又在直角 $\triangle AED$ 和直角 $\triangle ABC$ 中

$$\because \angle A = \angle A$$

$$\therefore \text{直角} \triangle ABC \approx \text{直角} \triangle AED$$

$$\therefore \frac{AD}{ED} = \frac{AC}{BC} \quad \text{即} \quad AD = \frac{AC \cdot ED}{BC} = \frac{(AD + DC) \cdot ED}{BC}$$

$$\text{又} \because DC = h \quad DE = e \quad BC = P$$

$$\therefore AD = \frac{(AD + h) \cdot e}{P} \quad P \cdot AD = AD \cdot e + h \cdot e$$

$$AD = \frac{h \cdot e}{P - e}$$

$$\therefore AD = \frac{h \cdot e}{P - e}$$

$$\text{又} \because AC = AD + DC = \frac{h \cdot e}{P - e} + h$$

④

$$\text{又} \because AB^2 = AC^2 + BC^2$$

$$\therefore AB = \sqrt{\left(\frac{h \cdot e}{P - e} + h\right)^2 + P^2}$$

⑤

将②③④⑤代入①式得

$$\frac{W_{\text{小}}}{P - h \cdot \text{ctg} \alpha} = \frac{\frac{h \cdot e}{P - e} + h}{\sqrt{\left(\frac{h \cdot e}{P - e} + h\right)^2 + P^2}}$$

$$\therefore W_{\text{小}} = \frac{\left(\frac{h \cdot e}{P - e} + h\right) \cdot (P - h \cdot \text{ctg} \alpha)}{\sqrt{\left(\frac{h \cdot e}{P - e} + h\right)^2 + P^2}}$$

当今计算机普及的时代，再也不可能用手工演算这样烦杂的数学式，只要把各个已知数据输进计算机，你所需的 $W_{\text{小}}$ 值很快就得出来了。

第二种，根据剖面图和已知的技术条件：

$$W_{\text{底}} = P - h \cdot \text{ctg} 75^\circ$$

$$W_{\text{小}} = (P - H \cdot \text{ctg} 75^\circ) \cdot \text{Sin} \alpha$$

$$\therefore \text{ctg} \theta = \frac{H}{P - e}$$

$$\theta = \arctg \frac{H}{P - e}$$

$$\therefore W_{\text{小}} = (P - H \cdot \text{ctg} 75^\circ) \cdot \text{Sin} \arctg \frac{H}{P - e}$$

第三种 从图三可以推出：

$$W_{\text{底}} = e + H (\text{ctg} \theta - \text{ctg} 75^\circ)$$

$$W_{\text{小}} = [e + H (\text{ctg} \theta - \text{ctg} 75^\circ)] \text{Sin} \theta$$

$$\therefore \theta = \arctg \frac{H}{P - e}$$

$$\therefore W_{\text{小}} = [e + H \cdot (\text{ctg} \arctg \frac{H}{P - e} - \text{ctg} 75^\circ)] \cdot$$

$$\text{Sin} \arctg \frac{H}{P - e}$$

上述三种结果都是一样，但第二种第三种比较简单，应用计算器就可以比较轻松地求出 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 的值，且准确。

3.2 倾斜孔未清碴(或压碴)爆破中的 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 的推导过程.

未清碴(压碴)爆破中，关键的问题是根底线看不见，测不到平面图上，怎么办呢？要把上一次爆破的最后一排孔下个水平的位置放在本次爆破中的 1:500 的平面图上视作为本次爆破的根底线，这样就转化成清碴爆破中求 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 的方法，结果不会有大的误差。

4 关于 $W_{\text{底}}$ 或 $W_{\text{小}}$ 的正确性、准确性

$$\therefore W_{\text{小}} = W_{\text{底}} \text{Sin} \theta$$

$\therefore$ 只研究 $W_{\text{小}}$ 正确性、准确性，我们依某次中深孔爆破 38 个孔为例进行研究：

(1) 本次通过推导有三个公式如下：

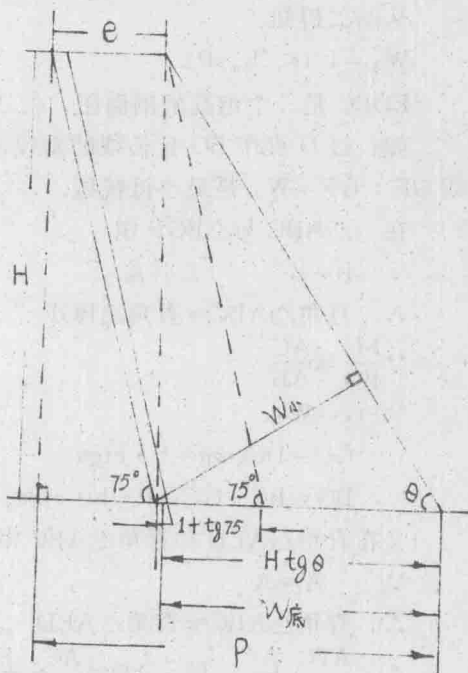
$$W_1 = \frac{(\frac{H \times E}{P - E} + H) (P - H \times \text{ctg} 75^\circ)}{\sqrt{(\frac{H \times E}{P - E} + H)^2 + P^2}}$$

$$W_2 = (P - H \times \text{ctg} 75^\circ) \times \sin (\arctg \frac{H}{P - E})$$

$$W_3 = \{E + H \cdot [\text{ctg} (\arctg \frac{H}{P - E}) - \text{ctg} 75^\circ]\} \cdot \sin (\arctg \frac{H}{P - E})$$

(2) 中孔爆破 38 孔，已知：E、P、H、 $\alpha = 75^\circ$ ，用作图法求 W_0 。

(3) W_1 、 W_2 、 W_3 分别为公式计算结果。



图三