

用波的绕射和反射确定孔距与抵抗线间关系

中国科学院力学研究所 丁晓良

摘要:在光面爆破中,孔距 S 与抵抗线 B 之间的关系是由经验确定的,关于 S/B 的适当取值范围目前仍有不同看法。在分析柱状装药近自由面爆破破碎过程的试验结果后,本文提出了判断抵抗线妥当与否的破碎判据,由波在自由面的反射与波在空孔周围所引起的动应力集中而定出了 S/B 的取值范围,与经验数据基本符合。

引言

在光面爆破中,孔距 S 与抵抗线 B 之间的关系对光爆效果有着极为重要的影响, S 过大会造成最终轮廓不平整,而 B 过大又使得不能沿周边炮孔线完全剥落岩石,造成欠挖。兰格福斯1963年根据模拟爆破和实际爆破的经验确定光面爆破中采用 $S/B \leq 0.8$ ^[1]国内施工单位的经验数据也大致如此^[2],但他们都没给出理论上的解释,Rustan1979与1983年相继在〔3〕〔4〕中提出应取 $S/B > 1$ 而不是 $S/B < 1$,这个问题目前尚无定论。本文将在分析柱状装药近自由面爆破破碎过程的基础上提出判断抵抗线妥当与否的破碎判据,与〔8〕结合定出 S/B 的适当取值范围,结果与兰格福斯和国内施工单位所采取经验数据相符。

破碎过程与破碎判据

要对柱状装药近自由面爆炸所引起的岩石破碎全过程给出一个严格的数学模型当然是很困难的。哈努卡耶夫在〔5〕中曾介绍过对剥落漏斗区应力状态的近似计算结果。

他没有考虑裂纹传播过程,得到了反射纵波与反射横波波阵面上的主应力大小和方向,只能定性说明绝大部分岩石断裂是由于反射纵波作用,反射横波只对一小部分岩石有破坏作用。Dally等人1973年用动光弹和全息摄影方法系统地研究了在模型材料和花岗岩中的这一岩石破碎过程^[6]。由其试验结果,可将这一过程分为如下10个阶段:(1)在压缩纵波(P波)作用下裂纹在孔壁不同地点产生并在很短时间内结合成为几个较大的径向裂纹继续扩展,此种裂纹的产生破坏了轴对称性,由裂端发出波幅较低的横波(S波)。(2)当S波经过裂端之后,径向裂

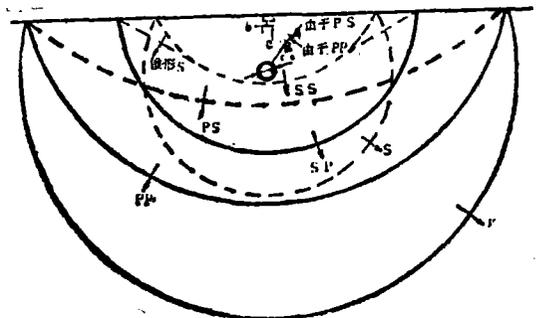


图1 柱状装药近自由面爆破破坏过程。

纹组a(如图1中a点)止裂。(3)P波

由自由面反射产生PP波与PS波。(4)若抵抗线过大,则PP波幅值较弱,不足以在自由面附近引起层裂,且径向裂纹组a不扩展或扩展很短一段距离便重新止裂,不能造成破碎,若抵抗线适当减小,PP波可以引起单层或多层层裂,如b。(5)层裂组裂纹b多扩展不长,这便是在爆破时不总是一定有片落现象的原因,但不能由此而认为层裂不重要,事实上反射拉伸裂纹组C(如图中C)总是由层裂两端分叉产生。(6)PP波引起径向裂纹组a重新扩展。(7)PS波作用使a组裂纹继续扩展并发生了偏转。(8)S波在自由面反射产生SP波与SS波。(9)SP波与SS波同入射P波的拉伸

波尾相叠加产生极为复杂的应力干涉条纹。这一动应力状态在相当长的一段时间内维持裂纹组a、c继续扩展。(10)当径向裂纹组a与反射拉伸裂纹组c相互贯通时,岩石崩落。一般而言,只要PP波足以使得自由面附近产生层裂,由其所发展的C组裂纹总是可以和a组裂纹相互贯通的。

由以上分析可提出如下破碎判据:能保证破碎的抵抗线应由P波在自由面反射可导致层裂来决定。

孔距与抵抗线间关系

S与B取值的可能性及爆破效果如表1。由表1可见第三种取法的光爆与经济效

S、B的可能取值与爆破效果

表1

	B ↓	B ↑	S ↓	S ↑	备注
S	↑	↓	—	—	S由[9]确定,上限值
B	—	—	↓	↑	由破碎判据定B
爆破效果	增强破碎,但单位体积炮孔长度增加。	外部岩石不能破碎,相当于预裂。	可破碎光面层,当S取值小于、等于上限时,可确保光面效果。	若S取值超过上限,则光面效果不好。	

注:箭头↑、↓分别表示绝对值的增大与减小

果最好。但S/B取值在什么范围内合适仍不清楚,下面将分二个步骤来求出此范围。

1、由柱面波引起的层裂。当自由面与爆源很接近时,入射P波的曲率对于层裂有着显著的影响,层裂的形式如图2。在Dally所作的模型试验中^[6], B/r_0 在3~6间变化, r_0 为炮孔直径,层裂如图1中所示大致与自由面平行,这说明在上述 B/r_0 范围内柱面压缩的曲率对层裂并无显著影响。

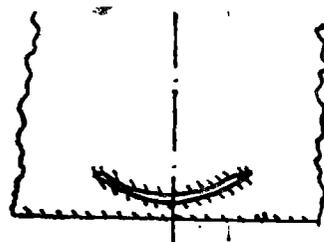


图2 弯曲层裂

对工程中的光面爆破问题, B/r 远大于〔6〕中模型的相应值, 故可忽略柱面波曲率的影响而将层裂看作由平面波引起。据〔5〕与〔7〕, 在讨论层裂时可以略去横波的作用, 问题最终简化为讨论平面压缩纵波在自由面引起层裂的条件。

2、由〔8〕中(1)式及破碎判据而得:

$$B/r_0 \leq [P/1.4T_0]^{1/1.07} \quad (1)$$

其中 P 为孔壁爆轰气体压力, T_0 为静态单轴抗拉强度。

由〔8〕中(2)式:

$$S/r_0 \leq [0.8P/1.4T_0]^{1/1.07} \quad (2)$$

据表1, 将(1)式去掉不等号再与(2)式相除得:

$$S/B \leq 0.8118 \quad (3)$$

此比值与工程中使用经验数据相符, 且与 P 的计算和 T_0 取值无关。本文推理可作为 S/B 经验数值的理论解释。

参 考 文 献

1. Langefors, U. and Kihlstrom, B.: The Modern Technique of Rock Blasting, P. 302, Stockholm, 1963.
2. 交通部科学院西南研究所, 光面爆破和预裂爆破的实践与理论, 专题情报资料, 隧74—02号, 总29号, 1974, 11.
3. Rustan, A. et al., Cautious Blasting in Hard Jointed Rock—Model Studies, Blasting Committee—Discussing Meeting in Stockholm, Feb, 8, 1979, 113—150.
4. Rustan, A., Linear Shaped Charges for Contour Blasting or Stone Cutting, Research Report, Lulea, 1983, 12.
5. 哈努卡耶夫, A. H., 矿岩爆破物理过程, 118, 冶金工业出版社, 1980.
6. Dally, J. W., et al., A Dynamic Photoelastic Investigation of Explosive Induced Fracture, AD 770545, 1973.
7. Rinehart, J. S., Stress Transients in Solids, 203—220, U.S.A. 1975.
8. 丁晓良, 控制断裂和后爆孔的空孔作用——一种新工艺, 《爆破》1985年第一期。

新 书 简 介

由朱忠节、何广沂合著的《岩石爆破新技术》一书, 重点阐述了梯段爆破的新理论、设计与计算方法, 并通过工程爆破实例予以说明。该书在隧洞爆破、光面预裂爆破、聚能爆破和微差爆破等方面, 总结出对实际爆破很有用的经验。

该书预计1985年年底前由中国铁道出版社出版, 欲购者请与该出版社联系。

· 简 讯 ·

日本爆破专家来华讲学

8月27日至9月3日日本关西大学谷口敬一郎教授应邀在东北工学院讲学。本次讲学主要内容是海底爆破设计原理; 电磁感应起爆技术; 水下爆破地震波与冲击波的测试; 遥控起爆以及现代日本工业炸药与起爆器材等。

(本刊通讯员)