

# 岩体可爆性分析及测试

金波,张电吉\*

(武汉工程大学环境与城市建设学院,湖北 武汉 430074)

**摘要:**分析岩体的可爆性可以为爆破提供必要的理论依据.为了简单而准确描述岩体的可爆性,可采用波阻抗和坚固性系数来划分岩体的可爆性.在贵州瓮福磷矿井下中深孔爆破参数优化研究中,利用超声波测试,得到弹性波在岩体传播的纵波速度,计算出岩体的波阻抗,从而分析评价岩体的可爆性.

**关键词:**岩体;可爆性;超声波;波阻抗

**中图分类号:**TU459<sup>1</sup>.3 **文献标识码:**A

## 0 引言

岩体的可爆性是指岩体在炸药爆炸作用下发生破碎的难易程度<sup>[1]</sup>.在爆破工程实践中,对岩体可爆性的准确定量描述是合理选择爆破设计技术参数的重要依据.但由于爆破问题的复杂性,国内外迄今尚未就岩体可爆性评估方法达成共识,计算岩体可爆性的方法各不相同,不同方法采用指标的种类与个数更是差异悬殊<sup>[2]</sup>.

岩石可爆性分级在岩石力学的发展中起着非常重要的作用,如普氏分级、Q指标、RMR等.这是由于岩石种类的多样性及形态的繁杂性所要求的.岩石分级体系采用何种分级形式、其目的和功能是什么、分级的科学依据来自何处,出于考虑的侧重点不同,国际上出现了几十种分级体系,有代表性的达十多种.针对爆破的岩石分级是在岩石分级这个大体系下的二次分级,即可爆性分级,专门为爆破工程服务<sup>[1]</sup>.

在特定的岩石条件下,不同性能的炸药与不同的爆破参数,其爆破作用过程和破碎效果有很大的差异.特别是在较坚硬的岩体条件下进行深孔爆破,首先必须了解、评价岩体的可爆性.这样才能针对此岩体条件,选择与之相匹配的炸药,确定合理的爆破参数;同时正确、合理的评价试验地段的岩体可爆性,可为中深孔爆破的推广应用积累经验、资料.所以,按岩体可爆性分级的方法具体分析研究试验地段的岩体可爆性,并对其作出合理正确的评价,是必要和有益的.

## 1 岩体可爆性的影响因素分析

**a. 岩石的结构(组分)、内聚力和裂隙性.**岩石由固体颗粒组成,其间有空隙,充填有空气、水或其它杂物.当岩石受炸药爆炸冲击载荷作用下,将引起物态变化,从而导致岩石性质的变化.矿物是构成岩石的主要成分,矿物颗粒越细,密度越大,越坚固,则越难于爆破破碎.岩体的裂隙性一方面可能导致爆生气体和压力的泄露,降低爆破能的作用;另一方面,这些裂隙弱面破坏了岩体的完整性,易于从弱面破裂、崩落,而且弱面又增加了爆破应力波的反射作用,有利于岩石的破碎<sup>[2]</sup>.

**b. 岩石容重、孔隙度和动力学性质.**随着孔隙度的增大,冲击波和应力波的传播速度降低.容重大的岩石难以爆破,因为要耗费很大的炸药能量来克服重力,才能把岩石破裂、移动和抛仍.从爆炸应力波破岩理论出发,不少研究者提出以岩石或岩体的声波传播速度或波阻抗(密度与纵波传播速度的乘积)这种动力学性质反映岩石或岩体可爆性的观点,并认为波速和波阻抗值越高,表明岩体的完整性越好,越难爆破<sup>[2-3]</sup>.波阻抗计算公式: $Z=\rho \times c$ ,其中: $\rho$ 为岩体的密度, $c$ 为岩体中的纵波速度.

**c. 岩石弹性、塑性、脆性和岩石强度.**塑性岩石和弹性岩石受外载作用超过其弹性极限后,产生塑性变形,能量消耗大,将难于爆破(如粘土性岩石);而脆性岩石(几乎不产生残余变形)、弹性岩石都易于爆破(如脆性煤炭).岩石强度是表示岩石抵抗压、剪、拉诸应力,从而导致岩石破坏的能

收稿日期:2008-06-25

作者简介:金波(1982-),男,湖北襄樊人,硕士研究生.研究方向:岩土工程.

指导老师:张电吉,男,博士,教授,硕士生导师.研究方向:爆破、采矿. \*通信联系人

力,爆破时岩石受的是瞬时冲击荷载,所以应对岩石强度赋予新的内容,要强调在三轴作用下的动态强度指标.只有如此才能真实反映岩石的爆破性<sup>[2]</sup>.

## 2 可爆性评价指标的选择

岩体可爆性评价指标的选择,必须保证它具有必要的依据,并充分考虑应用的要求,以达到准确、简便、易于度量的目的.

岩体的可爆性与岩石强度特性密切相关,在某种程度上可以用岩石的坚固性系数来表示,岩石的坚固系数是根据岩石的单轴抗压强度确定的,而且岩石的抗压强度和抗拉强度、抗剪强度具有一定的相关性.坚固性系数可作为爆破性评价的分析因素.

弹性波在岩体、岩石中传播时,其参量的变化直接反映了岩体、岩石的物理力学和地质特性.其中纵波速度是目前比较容易在岩体上直接测取的声波参数.无论是经典的理论公式的推导,或是大量的实际检测,均已获得了纵波速度与岩体、岩石物理力学性质、结构特征之间的定量或半定量的关系.据此可以认为,纵波速度在很大程度上成了岩体、岩石物理力学性质、结构特性的一个可以简易测取的间接表征量.但是,岩体弹性波速的测定值受裂隙张开程度及充填物的影响很大,为解决这一问题,采用弹性波速度与岩石密度的乘积即波阻抗来代替单一的声波速度应用于爆破性分级之中.根据爆炸破岩机理,岩体的破裂与岩体内爆炸应力波的传播特性有关.波阻抗是影响应力波参数的主要因素<sup>[4]</sup>.

常用的矿岩可爆性分级判据如表1所示<sup>[5]</sup>.

表1 爆破性分级指标

Table 1 Blow-grade indicators

坚固性系数	波阻抗( $\times 10^6$ ) ( $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{m}/\text{s}$ )	岩体爆破性级别
$\leq 8$	$\leq 6$	易爆
8~12	6~8	中等
12~16	8~12	难爆
16~18	12~15	很难
$\geq 18$	$\geq 15$	极难

## 3 声波测试及结果分析

声波速度是计算波阻抗的主要指标,精确的岩体声波速度是通过现场测试获得的.声波测试技术是近年来发展非常迅速的一项新技术.通过对岩体的声波探测,可了解测试区域岩体的节理裂隙发育状况以及岩体纵波波速等相关参量.为岩体稳定性及可爆性分级提供依据<sup>[6]</sup>.

根据波动理论,在弹性介质内某一点,由于某种原因而引起初始扰动或振动时,这一扰动或振动将以波的形式在弹性介质内传播,形成弹性波.声波是弹性波的一种,若视岩体介质为弹性体,声波在岩体中的传播服从弹性波传播规律.由于弹性介质的性质及种类不同,弹性常数及密度也不同,弹性波在介质中的传播速度也不相同,故当在岩体介质中激发一定频率的弹性波,这种弹性波以各种波形在介质内部传播并发生衰减,由接收仪器接收后,通过分析研究接收和记录下来的波动信号来确定岩体介质的力学特性,了解它们内部缺陷<sup>[7]</sup>.

根据上述原理,在贵州瓮福磷矿厚大矿体井下中深孔爆破参数优化研究项目中,采用RSM-SY5智能型超声波测试仪及RS-ST01C型非金属声波检测仪,分别使用一对30 kIIz平面纵波换能器和20 kHz平面换能器.通过声波仪器发射和接受超声波,得到岩体声波波形和波速.

测点布置在瓮福磷矿的井下及地表,主要为A矿层、B矿层.其中A矿层:薄板状砂泥质磷块岩;B矿层:致密性脆、节理及小滑动不甚发育,稳固性差.矿层属硅质团块白云质磷块岩、条纹状白云质磷块岩、团块状白云质磷块岩<sup>[7]</sup>.A、B矿层岩体的坚固性系数为6~8.不同位置不同岩层纵波速度测试结果见表2,部分测试波形见图1.

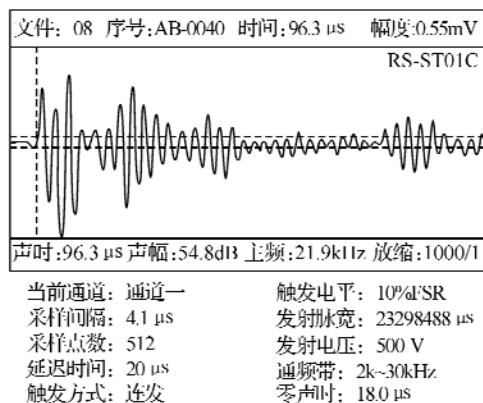


图1 测试波形图

Fig. 1 Wave of testing

由现场测试数据计算可知,A矿层的平均波速为1 545.7 m/s;B矿层的平均波速为1 352 m/s.总的来说波速值较小,说明A、B矿层岩性较差,强度较低,风化程度较大,节理裂隙较发育,较破碎.

A矿层岩体的平均密度为2.9 g/cm<sup>3</sup>,B矿层岩体的平均密度为2.81 g/cm<sup>3</sup><sup>[7]</sup>.根据波阻抗的计算公式: $Z=\rho \times c$ 可计算出A、B矿层岩体的波阻抗值分别为: $4.483 \times 10^6 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{m}/\text{s}$ , $3.799 \times 10^6 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{m}/\text{s}$ .所研究矿区A、B矿层的坚固性

表 2 不同岩层纵波速度测试结果  
Table 2 Different strata P-wave velocity test results

矿层	测点	纵波速度/ (m·s <sup>-1</sup> )	测点	纵波速度/ (m·s <sup>-1</sup> )	纵波速度平均 值/(m·s <sup>-1</sup> )
A 矿层	Λ 矿层底部 1173 分层(井下)	RSM001	1 923	RS01003	1 932
		RSM0011	1 361	RS01004	1 703
		RSM0021	1 484	RS01005	1 340
		RS01002	1 250		
	Λ 矿层顶部 1173 分层(井下)	RSM0031	1 416	RSM0071	1 587
		RSM0051	1 667	RS02001	1 071
		RSM0061	1 613		
	顶部(地表)	RS06001	1 202		
		RS06002	1 990		
B 矿层	B 矿层 1173 分层 (井下)	RSM2001	1 952	RS04002	2 076
		RSM4001	1 524	RS05001	1 030
		RSM4011	962		
	B 矿层顶部 (地表)	RS07001	733	RS08002	1 491
		RS07002	703	RS08003	1 353
		RS08001	1 333	RS08004	1 558

系数为  $6 \sim 8^{[8]}$ , 而波阻抗分别为  $4.483 \times 10^6$  kg/m<sup>3</sup>·m/s,  $3.799 \times 10^6$  kg/m<sup>3</sup>·m/s. 对照表 1 的判据值, 并根据现场的具体情况, 可知 Λ、B 矿层的岩矿体应属易爆范畴<sup>[8]</sup>.

#### 4 结 语

在评价岩体可爆性的时候, 必须保证它具有必要的依据, 并充分考虑实际应用的要求, 准确、简便、易于度量. 利用智能超声波仪现场测试可以方便的测出纵波波速, 方法简单, 数据准确, 从而可以很方便、准确的评价岩体的可爆性, 为爆破优化设计提供基本参数.

#### 参考文献:

- [1] 王玉杰. 爆破工程[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2007:126-128.

- [2] 钮强. 岩石爆破机理[M]. 沈阳: 东北工学院出版社, 1990:1-8.
- [3] 骤世杰, 辛明印, 毛市龙, 等. 岩体可爆性指标的相关性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(3):468-473.
- [4] 武汉工程大学. 瓮安大信北斗山磷矿. 厚大矿体井下中深孔爆破参数优化研究模拟实验阶段报告[R]. 武汉: 武汉工程大学, 2007.
- [5] 刘应发, 周玉华, 张青阳, 等. 北斗山磷矿岩体可爆性分析研究[J]. 矿业快报, 2007, (11):41-42.
- [6] 严体, 乔登攀, 侯克鹏, 等. 岩体可爆性分级模糊识别方法[J]. 云南冶金, 2006, 35(4):3-4.
- [7] 贵州省地质局. 贵州瓮福磷矿白岩矿区详细勘探地质报告[R]. 贵阳: 贵州省地质局, 1983.
- [8] 王祥厚, 李程远. 岩石爆破性分级方法评述[J]. 建井技术, 2001, 22(2):21-25.

## Analysis of the rock blastability and testing

JIN Bo, ZHANG Dian-Ji

(School of Environmental and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Analysis of the rock blastability can provide the necessary theoretical basis for the blasting. Wave impedance and firmness coefficient can be used to describe the rock blastability simply and effectively. The P-wave velocity spreading in the rock mass was tested by using ultrasonic method in Guizhou Wengfu phosphate rock mine, and the impedance of the rock was calculated. The blastability of the rock was analyzed.

**Key words:** rock mass; blastability; ultrasonic; wave impedance

本文编辑: 萧 宁