

岩体中的节理裂隙对爆破影响的试验研究

李建军, 段祝平

(中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室, 北京 100080)

摘要: 利用超声波探测法对节理裂隙岩体进行了声波测试, 对不同的节理裂隙岩体进行了质量评估, 通过对节理裂隙岩体进行爆破漏斗试验, 分析了节理裂隙对岩体中爆炸应力波传播、岩石破碎及爆破漏斗形成的影响。结果表明, 节理裂隙等结构弱面的存在严重阻碍了爆炸能量均匀分布, 因此在爆破设计和施工中, 应尽量使炮孔与结构弱面垂直布置, 如果遇到含有夹层情况宜加大装药量; 炮孔与结构弱面平行时, 应尽量减小炮眼孔距和最小抵抗线, 尽量采用单孔螺旋掏槽。

关键词: 爆炸力学; 节理裂隙岩体; 超声波测试; 爆破漏斗

中图分类号: TD236

文献标识码: A

文章编号: 0253-6099(2005)05-0001-03

Experimental Study on the Effect of Jointed and Fractured Rock Masses on Blasting

LI Jian-jun, DUAN Zhu-ping

(State Key LNM, Institute of Mechanics, CAS, Beijing 100080, China)

Abstract: Ultrasonic detection test was done on the jointed and fractured rock masses by ultrasonic detection method, so as to evaluate rock masses with different kinds of joint and fracture. Then experiments were conducted on explosive funnel in different masses in order to analyze the influence of joints and fractures on the propagation of shock wave in the rock mass, crushing of rock mass and the formation of explosive funnel. Results show that the existence of joint and fracture in the rock mass will severely disturb the uniform distribution of energy during explosion, so the blasthole should be more perpendicular to those weakness plane in structure in the blasting design and operation. The charge quantity should be increased in the case of sandwich structure being existed in the rock mass, and the distance between blast holes should be shortened as much as possible while blast holes are parallel to those weakness planes in structure. It's better to use the single-perforated spiral cut in this case.

Key words: mechanics of explosion; jointed and fractured rock masses; ultrasonic detection; explosive funnel

众所周知,天然岩体并非均质体,而是含有大量的断层、节理、裂隙等缺陷,使得岩体具有显著的各向异性。它们的存在使得爆炸能量分布不平衡,严重阻碍了应力波的传播,造成应力波能量急剧衰减,并使爆生气体过早外逸,影响爆破效果^[1]。因此,研究节理裂隙岩体在爆炸载荷作用下的破碎机理对于采用合理的凿岩爆破参数、提高爆炸能量利用率、改善爆破效果等均具有实际意义及理论指导作用。节理裂隙对应力波传播和爆破效果的影响,一直是国内外岩石力学界众多学者关注的重点课题之一^[2~5],而且在将来一段时期内仍将是一个研究热点。

本文从试验方面对节理裂隙岩体进行了研究,包括节理裂隙岩体声波测试和爆破漏斗试验,最后对含结构弱面岩体的爆破设计提出了一些建议,可为类似

条件下爆破工程提供参考。

1 节理裂隙岩体声波速度测试

为了分析节理裂隙对爆炸应力波传播及爆破破碎的影响,首先需对节理裂隙岩体的物理性质有一个初步质量评价。为此在泰明公路进行了现场声波测试,现场地形属于丘陵地带,岩体为花岗岩,岩体受到一定程度风化,岩石普氏系数 8~10,且岩体节理裂隙比较明显。

1.1 节理裂隙岩体声波速度测试方法及原理

为了测得节理裂隙对声波速度和岩体损伤的影响,根据要求和现有试验条件,决定采用超声波探测法,即用频率大于 20 kHz 的超声波,对小型试件或建筑结构材料的动弹性模量或波速进行检测以探测内部

① 收稿日期: 2005-06-17

作者简介: 李建军(1975-),男,山东菏泽人,博士研究生,主要从事岩石爆破、巷道掘进及材料动态力学性能方面的研究。

缺陷。本文所用的探测方法为表面直透法,测试时将激励器(发射换能器)和拾音器(接收换能器)紧贴岩石试件的两个平整端面,然后将换能器通过电缆分别接入“发射”和“接收”插座。振荡器产生的周期电脉冲经过放大器传给激励器,它将电脉冲转成机械脉冲在杆端产生扰动,经过试件后由拾音器再将机械震动信号转成电信号,放大后进行显示和记录。岩块测试示意图如图1所示。

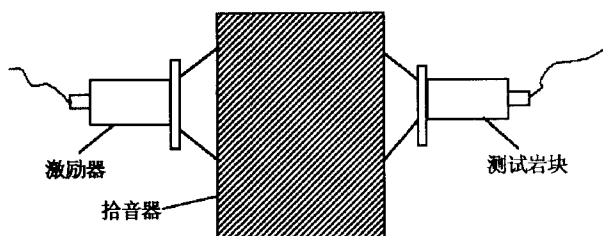


图1 岩块测试示意

1.2 数据采集及结果分析

采用如图1所示方法测量时,先测试出波在岩石试件中传播所用时间 T ,然后量出每个试件的长度 L ,根据公式 $V=L/T$ 即可求出岩石试件波速,利用公式 $D=1-V^2/V_0^2$ 求出岩石初始损伤系数。式中 V_0 为未损伤岩石弹性波波速; V 为损伤岩石弹性波波速。

根据上述测试方法和要求,在现场对6个不同岩石试件进行了声波测试。视试件1为无损试件,以此作为标准,算出试件初始损伤,测试数据见表1。

表1 试验数据

试件编号	测试方向长度/mm	声时/ μs	波速/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	初始损伤系数	试件描述
1	620	93.2	6 652	0	岩石完好,无节理裂隙
2	800	167.3	4 782	0.49	两端分别有5条与测试方向垂直间距3 mm的小裂隙和7条间距2 mm的劈理
3	700	245.6	2 850	0.84	垂直与波传播方向有平均3 mm宽的节理6条,11条劈理
4	670	168.1	3 986	0.64	垂直于波传播方向有1条4 mm厚夹层,7条平均间距7 cm的劈理
5	430	79.3	5 422	0.34	垂直于波传播方向有7条劈理
6	560	93.6	5 983	0.22	垂直于波传播方向有3条小节理,平行波传播方向有2条小节理

1.3 数据分析

1) 从表1可以看出,节理裂隙等软弱结构面对声波传播速度具有较大影响,岩体也呈现不同程度的损伤。例如试件3由于在垂直于声波传播方向有6条3

mm宽节理,11条劈理,岩石初始损伤系数达到0.84,说明内部结构受到很大破坏,使岩块强度大大降低。波速才2 850 m/s,声波传播受到很大阻碍,原因是声波要在节理面发生反射、折射和透射,使传播速度变慢,传播时间变长。

2) 即使在同一方向的平面上,测点不同,测出的波速也有很大差别。这可能是,虽然块体表面特征基本相同,但在岩块内部节理裂隙分布可能有很大变化,使得波速不同。另外从示波器中可以看出,接受波的频率与波速有很大关系,波速快的频率就高,有时甚至很难分辨;波速低的频率就低。说明损伤有减频作用,使声波发生频散。

3) 从当时无损岩块声波衰减波形图和损伤较大岩块声波衰减波形图对比发现,无损岩块波形图开始阶段明显有一首波,既平稳发展阶段,波形类似于正弦曲线;而损伤岩块波形图无首波,声波开始即出现衰减,波形很不规则,说明节理岩体声波衰减较快。

2 爆破漏斗试验及结果分析

为了分析节理裂隙对应力波传播及爆破漏斗形状、破碎效果的影响,在泰明公路和边王公路山体爆破现场进行了单孔爆破漏斗试验。现场属丘陵地带,岩体为花岗岩和弱化花岗岩,岩石普氏系数10~12,且岩体节理裂隙较明显。

2.1 试验

现场试验根据炮孔与结构弱面平行或垂直两种情况,来设较了4组爆破漏斗试验。试验采用炮孔直径为35 mm,炮眼深度100 cm,炸药为2号岩石炸药,装药量为0.53 kg,采用耦合装药,反向起爆,测试数据如表2所示。

表2 爆破漏斗试验数据

序号	漏斗深度/cm	漏斗半径/cm	堆积直径/cm	堆积高度/cm	炮孔布置情况
试验1	70	105	290	35	炮孔与节理面垂直
试验2	55	80	210	25	炮孔与节理面平行
试验3	54	90	260	40	炮孔与夹层平行
试验4	50	80	260	38	炮孔与夹层垂直

2.2 结果分析

漏斗试验1形成的漏斗形状较好,爆破范围较大且爆破岩石块度均匀,说明爆炸能量利用率较高。

漏斗试验2的漏斗形状成长条形,漏斗半径沿节理走向明显比垂直节理方向要长,垂直节理方向有大块岩石未破碎,破碎块度不均。说明沿节理走向爆破效果较好,垂直节理方向爆破效果较差。

漏斗试验3中有-30 cm厚度夹层,夹层岩石强度较低,所形成的爆破漏斗形状成长条形,且在节理走向方向漏斗开口较长,但整体爆破体积较小,且有大块岩石。

漏斗试验4中夹层厚度为44 cm,夹层岩石强度较低,漏斗形状极不规则,呈长条形,爆破漏斗深度较浅且爆破块度较大,周边有大裂缝产生,爆破范围较小。这主要是因为夹层严重阻碍应力波传播,使爆炸能量迅速衰减,爆炸能量利用率较低。

从上述爆破漏斗试验可以看出:①岩体中的节理裂隙以及夹层等结构弱面存在严重阻碍了爆炸能量均匀分布,使爆炸动作用和静作用没有充分发挥所致;②在同等装药量下,炮孔轴向与节理面垂直时漏斗成形较好,体积较大。炮孔轴向与节理面平行时爆破漏斗开口较小,爆破体积也小,爆破漏斗开口方向易趋于节理面走向方向;③夹层对爆炸波的传播阻碍较为严重,所形成的爆破漏斗形状不规则,且爆炸后常有大块岩石产生。

3 含结构弱面岩体爆破设计建议

对如图2(a)所示的含一组结构弱面且炮孔与结构面垂直的情形,此时漏斗形状不像均质岩体中那样光滑,上端开口较大,爆破体积较大,炮眼利用率高,易形成阶梯状的漏斗,因此爆破设计时可适当加大相邻炮眼孔距。

对于如图2(b)所含一组结构弱面且炮眼与结构面平行情形,爆破漏斗开口较小,爆破体积相应减小,而且易留根底和大块,因此设计时应适当减小炮眼孔距和最小抵抗线。

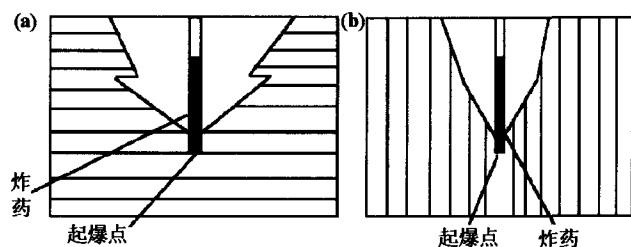


图2 含结构弱面岩体爆破示意

(a) 炮孔与结构面垂直; (b) 炮孔与结构面平行

常见掏槽孔布置一般设在工作面的中心部位且对称布置,根据上述分析,这在节理裂隙岩体中是不太合

理的,原因是空眼自由面和补偿空间小,夹制性大,易造成掏槽失败,因此采用如图3所示的单螺旋掏槽较合适,图中0为空孔,1,2,3为装药炮孔起爆顺序。螺旋掏槽中空孔相当于一与炮孔平行的结构弱面,间隔起爆使得前孔爆破后产生新的自由面,减轻了后爆孔的爆破阻力,能充分利用自由面,扩大掏槽效果,改善炮眼利用率,以达到提高爆破质量的目的。

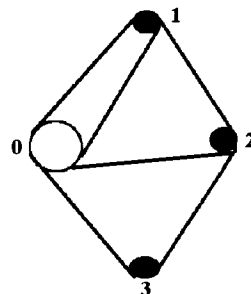


图3 单螺旋掏槽

4 结 语

1) 节理裂隙等结构弱面的存在从宏观上弱化了岩体结构,因此在实际工程中要根据不同的节理裂隙来综合评估岩体质量。

2) 通过节理裂隙岩体爆破漏斗试验,证明节理裂隙等结构弱面的存在严重阻碍了爆炸能量均匀分布,因此在爆破设计和施工中,炮孔布置、炮孔起爆顺序应充分考虑节理裂隙岩体中的结构弱面影响,尽量使炮孔与结构弱面垂直布置,如果遇到含有夹层情况宜加大装药量;炮孔与结构弱面平行时,应当尽量减小炮眼孔距和最小抵抗线,尽量采用单孔螺旋掏槽。

3) 本文的工作尚需进一步完善,并需和现场紧密结合,为爆破工程提供服务。

参考文献:

- [1] Ash, R. L. On Rock Mechanics[M], New York, 1973: 263 - 271.
- [2] Fourney. On Rock Fragility[M]. By Blasting, lulea, Sweden, 1983: 505 - 531.
- [3] 尚嘉兰, 郭汉彦. 岩体裂隙对应力波传播的影响[J]. 爆炸与冲击, 1993, 13(4): 334 - 342.
- [4] 王明洋, 钱七虎. 爆炸应力波通过节理裂隙带的衰减规律[J]. 岩体工程学报, 1995(2), 42 - 46.
- [5] 费鸿禄. 节理岩体爆破的研究现状[J]. 工程爆破, 1996, 2(1): 60 - 67.