

露天矿边坡爆破振动监测与评价方法的研究

中南工业大学资源环境
与建筑工程学院

宋光明* 陈寿如
史秀志 周志国

海南铁矿生产技术部 肖清华

摘要:利用速度传感器、爆破振动记录仪和随机信号与振动分析系统软件包对某露天铁矿边坡爆破地震质点振动进行现场监测,探索边坡上爆破地震波的衰减规律。通过对边坡爆破振动数据的计算与分析,采用基于振动强度的质点垂直振速评价方法,得到爆破地震波在边坡中的衰减经验方程,可有效地预测和评价边坡的爆破振动危害。

关键词:爆破振动 边坡 监测 评价

随着露天矿开采深度的增加,边坡受到爆破地震的影响与危害愈烈,这就要求对边坡爆破振动进行连续监测,以便研究爆破地震波在边坡中的传播规律,并且采取合适的评价参量和控制方法,达到对边坡爆破振动危害的有效减缓。本文基于某大型露天铁矿北采场南帮、剖面 and 西帮不稳定岩层地段的边坡质点振动监测,采用了质点垂直振速作为评价爆破振动强度及其危害的参量,利用边坡高差影响的质点振速衰减式,分别得出以上三处边坡中爆破地震波的衰减经验方程。利用这些方程可以有效地预测、评价爆破振动对边坡的危害,以便在爆破设计上采取合适的控制措施,减缓其危害性。

1 边坡地质概况及爆破条件

该矿属大型深凹露天铁矿,由于多年生产开挖,北采场目前已形成高度为 200 多 m 的固定边坡。随着开采深度增加,今后将形成高度达 400 多 m 的最终边坡。因前期开

采少用预裂爆破,多用垂直深孔进行缓冲爆破和使用深孔爆破削坡,致使固定边坡不平整并且受到一定程度的破坏。

1.1 边坡地质概况

北采场固定边坡岩层大致分为坚硬岩和软岩两大类。前者有双透岩、绢云母石英层岩、白云质灰岩、石英岩等,此类岩层完整、坚固,受地质构造影响小;后者有风化双透岩、千枚岩、双透化白云质灰岩、风化千枚岩等,该类岩层受断层节理和风化作用易滑坡。南帮、剖面附近岩层以及西帮部分区段最不稳定,是爆破地震观测的主要范围。

1.2 爆破条件

在临近固定边坡开挖时,采用预裂爆破方法先形成预裂斜孔,主炮深孔震源段微差间隔一般大于 100 ~ 150ms,采用铵油炸药,毫秒微差电雷管或导爆管起爆。

2 爆破振动现场监测

为预测到一定范围的爆破地震质点振

* 宋光明 博士 湖南长沙 410083

速值,在离开爆心位置由近至远均应布设测点,测点一般处于各个不同高度的台阶面上。如果条件允许,尽量将测点布设于爆源与坡面正交的同一剖面上。由于每次爆破爆心均发生变化,故每次使用的远近测点也各不相同,一般先采用各台阶面上尽量接近于爆心的测点。

2.1 监测参量的确定

表征爆破地震质点振动强度的参量有位移、加速度、速度和能量比等,国内比较一致的意见认为边坡等整体性构筑物的破坏与质点振速关系密切,南芬、大冶、水厂等大型铁矿以及三峡水电工程等项目研究中均采用质点振速作为监测与评价参量^[1,2,3]。因爆破引起边坡岩层内或表面的质点振动有垂直、径向与切向三个方向。切向质点振速一般较小,可不测定^[4];但要同时测定质点垂直和径向振速,工作难度、工作量均大,所以应针对具体条件对比垂直与径向振速,采用其中较大者作为评价和监测物理

量^[5]。根据对边坡质点振速的实测对比,发现在3个区段内临近边坡爆破条件下,垂直振速平均为径向振速的2.018倍。故采用质点垂直振速作为监测参量。

2.2 测试仪器与分析工具

根据目前爆破地震测试系统的发展现状和对比,采用YBJ-1型爆破振动自记仪,配用CD-1型和CDJ-1型速度传感器组成测震系统的数据采集部分。数据分析采用随机信号与振动分析系统软件包(CRAS)进行波形显示、振速和频率读取等操作来实现。

2.3 监测数据

在南帮 号剖面的边坡处测震 14 次,取得 34 组实测有效数据;在南帮 号剖面的边坡处测震 19 次,取得 61 组实测有效数据;在西帮不稳地层的边坡处测震 10 次,取得 37 组实测有效数据。在三处软弱地层的边坡振动监测数据由于篇幅所限,不一一列举,其各物理参量范围见表 1。

表 1 边坡监测数据值范围

地点	Q/kg	S/m	R/m	\lg	$/\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	\lg
南 号	160~5590	26.23~311.11	31.15~325.58	0.0282~0.2365	-1.5498~-0.6260	0.095~7.163
南 号	494~5590	45.98~325.00	46.37~330.64	0.233~0.2647	-1.6330~-0.5772	0.134~6.600
西 帮	312~1012	42.42~429.69	51.96~443.05	0.0163~0.1382	-1.7878~-0.8600	0.160~6.754

注: Q —爆破段最大药量, kg; S —测点至爆心水平距, m; R —测点至爆心斜距, m; \lg —比例药量, $=\sqrt[3]{Q}/R$; — 质点垂直振速, cm/s 。

3 爆破振动数据计算与分析

3.1 质点垂直振速评价方法

质点垂直振速评价方法基于爆破振动强度概念,利用峰值质点垂直振速来反映受振测点在应力方面的受迫状态,从而评价爆破振动对边坡的危害程度。质点垂直振速与爆破条件、传播介质特性、测点与爆源关系等因素直接相关,从量纲分析的角度看,质点垂直振速可经验地表达为:

$$= k \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^a \quad (1)$$

式中, k —场地条件系数;

a —爆破地震波衰减指数;

其余符号同表 1。

k 、 a 可通过振动监测数据回归计算求得。通过式(1),在已知爆破炸药量、传播介质特性及衰减系数、测点至爆心距离的条件下可预测、评价边坡上爆破振动峰值质点垂直振速,并以此作为减缓爆破振动对边坡危害的数据基础。

3.2 高差影响的质点振速衰减式

在对边坡的众多爆破地震监测实践证明:当测点位于爆心上方时,高差对测点的振速具有放大作用,且该作用程度和高差成正比。而式(1)并未考虑高差的影响因素,

则将高差影响因素纳入式(1)中得到:

$$= k \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^a \left(\frac{R}{S} \right) \quad (2)$$

式中, α —高差影响指数, 可据监测数据回归求得;

R/S —爆心至测点的斜距 R 与水平距 S 之比, 即高差影响基本系数。

根据现场对边坡振动的监测数据, 利用多元回归分析方法, 求出 k 、 α 、 β 值即可确定边坡上爆破地震波的衰减经验方程。

3.3 多元回归分析

为便于线性回归, 式(2)等号两边各取常用对数得到:

$$\lg V = \lg k + \alpha \lg \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right) + \beta \lg \left(\frac{R}{S} \right) \quad (3)$$

令: $\lg V = y, \lg \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right) = x_1, \lg \left(\frac{R}{S} \right) = x_2$, 则式(3)简化成:

$$y = B \quad (4)$$

式中, $y = (\lg V, \lg x_1, \dots, \lg x_n)^{-1}$,

$B = (\lg k, \alpha, \beta)^{-1}$

$$= \begin{Bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_i & x_{i1} & x_{i2} \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} \end{Bmatrix}$$

对南帮 1、2 号剖面及西帮软弱岩层处边坡而言, 其 n 值分别为: 34, 61, 37。

利用式(4)进行多元线性回归得到以上三处边坡上质点速直振速衰减式分别为:

(1) 南 1 号剖面的边坡上。

$$V = 67.13 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.6775} \left(\frac{R}{S} \right)^{0.4003} \quad (5)$$

(2) 南 2 号剖面的边坡上。由于回归时有出现 β 很小或为负值的情况, 这表明该处附近岩层较不稳定, 可忽略高差对质点垂直振速的影响, 取 $\beta = 0$ 进行回归得到:

$$V = 36.33 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.4660} \quad (6)$$

(3) 西帮的边坡上。

$$V = 39.31 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.2049} \left(\frac{R}{S} \right)^{1.5534} \quad (7)$$

在不考虑高差影响, 即式(3)中 $\beta = 0$ 时, 南 1、2 号剖面及西帮软弱岩层处边坡上质点振速与比例药量的关系如图 1、图 2、图 3 表示。

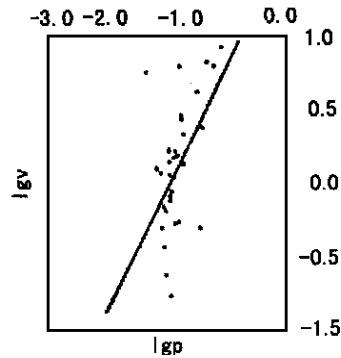


图 1 南 1 号边坡 $\lg V$ 与 $\lg Q$ 的关系

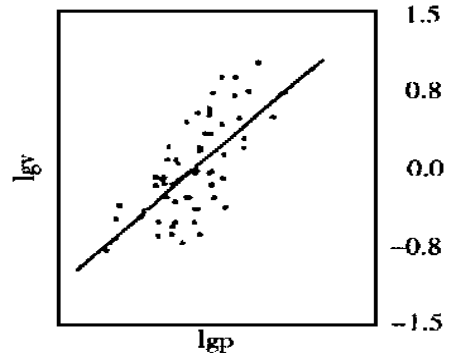


图 2 南 2 号边坡 $\lg V$ 与 $\lg Q$ 的关系

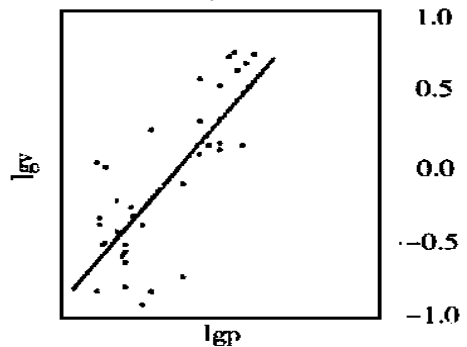


图 3 西帮边坡 $\lg V$ 与 $\lg Q$ 的关系

4 结论

由式(5)、(6)、(7)比较可知:在 $-1.7878 < \lg < -0.5772$ 范围内,即 $0.0163 < < 0.2647$ 时,在爆破地震波传播主要方向上,南帮 号剖面边坡上质点振动衰减速率最快,南帮 号次之,西帮最小;而质点垂直振速受高差影响的程度上刚好相反,西帮受到高差影响程度较大,南帮 号次,南帮 号最小,可忽略不计。这些衰减和影响程度与其岩层地质状况相对应,符合实际情况。故在以上地段实施临近边坡爆破时,应充分注意各地段边坡上质点垂直振速的衰减特征,从而采取合理的爆破设计方

案,最大限度地保护边坡的安全。

参考文献

1. 黄兴礼. 工程爆破地震问题的探讨. 爆破, 1992 (3): 1~6
2. 黄涛. 水电站地下工程的爆破振动. 水电站工程爆破, 武汉: 武汉水利水电大学出版社, 1983: 24~29
3. 高晓初. 我国露天铁矿大区多排微差爆破技术. 爆破, 1995(1): 33~38
4. 龚亚丽. 爆破引起的地面振动及其衰减规律. 爆破量测技术研究, 泰安: 山东矿业学院出版社, 1982: 144
5. 陈寿如等. 无线自记测震系统在露天矿山爆破地震控制中的应用. 爆破器材, 1998(1): 18~20

(上接第 31 页)

小于岩体内摩擦角的滑面滑移的国内外罕见的宏观破坏特征, 研究其破坏机理, 结果表明, 作为滑面的泥化夹层, 其水膜化形成的固液耦合效应, 结合边坡开挖使残余构造应力释放产生了这一罕见的滑坡现象。据此提出治理此类边坡的对策, 认为疏排水是其根本举措。乌拉嘎团结沟金矿采取疏排水方案收效显著。

参考文献

1. 谭罗荣. 葛洲坝泥化夹层的物质组成特性. 岩土力学, 1984, 5(2): 27~34.
2. 曲永新. 岩体工程地质力学问题. 科学出版社,

1980, 9: 215~228.

3. 颜荣贵. 露天煤矿随机裂隙边坡稳定性研究的概率积分法. 煤炭学报, 1983, 5(3): 65~77.
4. Banbis S. C., Lumsden A. C., and Barton N. R. Fundamentals of Rock Joint Deformation. 1983, 20 (6): 249~268.
5. 颜荣贵, 李振宗等. 大新锰矿软岩边坡研究. 中国锰业, 1991, 9(5): 20~24.
6. 董遵德, 袁澄文. 岩体软弱夹层慢剪切试验研究. 岩石力学工程学报, 1994, 13(2): 149~159.
7. 肖树芳. 泥化夹层蠕变全过程的模型及微结构的变化. 岩石力学工程学报, 1987, 6(2): 113~124.
8. [日] 玉田文吾. 第三纪陆湖相地层形成机制. 土和基础, 1973, 21(7): 33~39.