

露天灰岩矿在岩溶区域边坡爆破的 振动规律研究

Study on vibration law of open-pit limestone mine slope blasting in karst area

黄志坚, 张绍江, 李永利, 杨明东 (南京安吉特矿山工程有限公司, 江苏 南京 211100)

摘要:某露天灰岩矿东北帮出入沟 +130 ~ +145m 位于溶洞和岩溶波及影响区域, 采场进行爆破过程对该段边坡稳定影响极大。在 +145m 上部做爆破测线, 将爆破振动所收集到有用的振动数据绘制波形波速图并利用萨道夫斯基公式拟合回归方程, 根据测线所取的爆破振动传播规律的结果为保证该区域内的边坡不受振动影响, 抗震设防烈度不大于 7 度, 同时现在该区域进行爆破时最大装药量要控制 360kg 以内, 总药量控制在 7 000kg 以内, 指导在今后的控制爆破所需注意的问题及安全措施。

关键词:滑体; 爆破振动; 萨道夫斯基公式

Abstract: An open-pit limestone mine is located in the affected area of karst cave and karst, the blasting process in stope has a great influence on the slope stability of this section. Do blasting line in upper +145m, the blasting vibration to the vibration of the user data collected waveform wave velocity diagram and use Steve sadove formula fitting regression equation, according to the law of blasting vibration propagation in line from the results in the region to ensure the slope is not affected by vibration, seismic fortification intensity is not more than 7°, and now the demolition of the region's largest control to control within 360kg, total quantity control in less than 7 000kg, guidance in controlled blasting problems need attention in the future and the safety measures.

Key words: sliding mass; blasting vibration; Sadov's formula

1 前言

露天矿山在爆破过程中势必会给边坡稳定性造成影响, 特别是边坡处于岩溶发育区时更容易造成边坡失稳^[1]。爆破对边坡稳定性影响主要体现在以下方面^[2-3]: 爆破振动形成的惯性力作用到边坡上会降低边坡稳定性; 反复爆破产生的振动冲击会使得边坡原有的裂隙扩展或者形成新的次生裂隙, 降低边坡岩体强度及稳定性。因此, 根据矿山采场边坡特点, 合理的制定爆破技术方案对确保边坡稳定具有重要意义。文中以某露天灰岩矿山为研究对象, 对爆破振动测试、爆破振动传播规律及爆破对边坡影响等内容进行分析, 以期能在一定程度上提升矿山采场安全生产保障能力。

2 露天灰岩矿采场概况

某露天灰岩矿山为山坡露天矿, 采用自上而下水平分层法开采, 开采标高 +30 ~ +235m, 台段高 15m。矿山地质条件较为复杂, 地层古老, 地质变化较大, 矿区范围内断层较多, 局部岩溶发育, 对矿体连续性破坏严重。

矿区内地层主要由震旦系上统黄墟组上段(Z_2h^2)上中下三层、灯影组下段(Z_3d^1)和第四系全新统(Q^4)组成。矿区内岩溶形态以裂隙、裂隙式溶洞为主, 主要发育的岩溶裂隙面产状为走向 $100^\circ \sim 165^\circ$, 倾角 $53^\circ \sim 87^\circ$;



文章编号:

1672-609X(2021)01-0076-03

中图分类号: TD856+.4

文献标志码: A

作者简介: 黄志坚(1995-), 男, 安徽怀宁人, 助理工程师, 从事采矿与爆破工程方面的施工技术研究。

主要发育节理面产状走向 $90^\circ \sim 115^\circ$, 倾角 $59^\circ \sim 63^\circ$ 和走向 $180^\circ \sim 186^\circ$, 倾角 $74^\circ \sim 85^\circ$; 岩溶裂隙均充填红色黏土, 节理面一般平直光滑, 延伸 $2 \sim 5\text{m}$ 。从矿区内采场边坡调查, 局部可见岩溶裂隙面, 在坡脚临空和后期爆破扰动时, 易产生崩落和滑动等不稳定现象。

3 爆破振动测试

3.1 爆破振动影响分析

为保证在爆破过程中不因采场东帮 $+130 \sim +145\text{m}$ 岩溶裂隙、节理面的影响, 保证爆破过程中边坡的安全与稳定, 将爆堆堆至标高 $+130\text{m}$ 后, 根据持续变形监测的数据分析表明该边坡现处于稳定状态。但是岩溶区域内的边坡体结构较为松散, 竖向沉降变形趋稳的过程中受爆破振动影响较大, 爆破

振动安全允许标准须相应提高。根据《爆破安全规程》和《滑坡防治工程设计与施工技术规范》相关要求, 结合实际现况, 将爆破影响区域的抗震设防烈度设置为不大于 7 度^[4], 设计基本地震加速度值为 0.10g , 永久性岩石高边坡的安全允许质点振动速度为 $5 \sim 9\text{cm/s}$ (频率 $5 \sim 9\text{Hz}$)。

3.2 爆破振动测点布置

爆破区域主要 $+130 \sim +145\text{m}$ 水平台阶, 根据生产扰动对台阶的影响程度, 主要布置 1 条测线, 以台阶一点为参考点。

3.3 测试结果

对特征位置进行了 41 次测试, 具体在两条测线上得到的有效监测数据见表 1。

表 1 爆破振动测试数据统计表

测点号	水平爆心 距/m	垂直速度/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	装药量/ kg	主频/ Hz	径向速度/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	主频/ Hz	切向速度/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	主频/ Hz	合速度/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	合速度/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$
1	25	29.89	380	18.3	5.6859	74	25	16.9	58.4870	65.6822
2	55	7.8197		6.1	2.3529	19.3	9.6064	12	9.8904	12.6082
3	111	2.3204		19.5	0.8234	18.3	3.5749	19.8	3.6685	4.3408
4	180	0.916		9.5	1.1512	9.8	1.0954	7.6	1.5891	1.8342

3.4 爆破振动萨道夫斯基公式 K 、 α 的选取

爆破振动波在传播和衰减过程中, 受到多种复杂因素的影响。《爆破安全规程》(GB 6722—2014) 列出了 K 和 α 的可供选择值, 也可通过类似工程选取或现场试验确定。爆区不同岩性 K 和 α 的选取值见表 2^[5]。

表 2 爆区不同岩性 K 和 α 的选取值

岩性	K	α
坚硬岩石	50 ~ 150	1.3 ~ 1.5
中坚硬岩石	150 ~ 250	1.5 ~ 1.8
软岩	250 ~ 350	1.8 ~ 2.0

3.5 爆破振动典型波形图

爆破振动测试的典型波形如图 1 所示。爆破振动的最大峰值波速为水平径向波速, 速度为 0.241cm/s , 最小峰值波速为垂直波速, 波速为 0.138cm/s , 并且爆破振动波速变化在 1.52s 时速度变化趋于 0。

4 露天灰岩矿采场爆破振动传播规律

4.1 爆破振动影响因素

影响爆破振动主要因素有以下方面^[6]:

(1) 爆源。爆源决定爆破能量的产生, 不同装药量、结构、种类, 爆破振动也不同。

(2) 与爆源的距离。岩石边坡爆破振动强度会随着距离的增加而呈指数衰减。

(3) 地形、地貌条件。边坡的坡度、高度等边坡形状参数会影响爆破振动的传播。

(4) 岩体节理、裂隙发育程度。爆破振动在的岩石中传播其高频成分衰减损失小, 在松散的岩石中高频成分损失较多。

4.2 边坡地形对爆破振动的影响

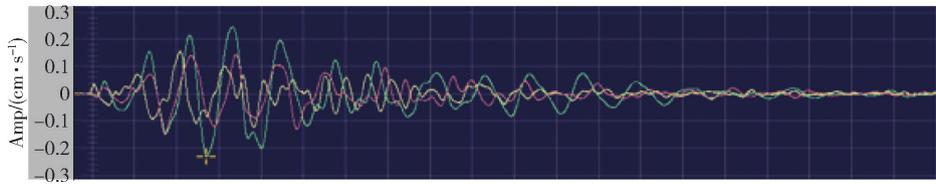
根据现场测试的数据, 采用萨道夫斯基公式回归计算分析, 得出以 $\ln(Q1/3/R)$ 为横坐标, $\ln v$ 为纵坐标的回归直线, 并得出各测线方向爆破振动衰减规律的萨道夫斯基公式^[7]。由于 $+145\text{m}$ 平台位与岩溶波及影响区域, 采用 $+130\text{m}$ 平台的爆破振衰减规律进行分析, 对于边坡稳定性分析更具有说服力。

$+130\text{m}$ 平台测试数据采用萨道夫斯基公式进行回归分析, 回归曲线如图 2 所示 (回归系数 $r^2 = 0.919$), 得到的同一水平方向的爆破振动衰减公式为^[8]

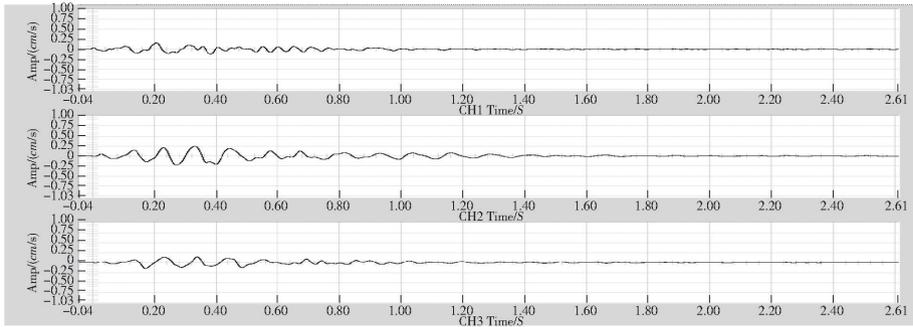
$$v = 236.5 \times \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.531}$$

其中, $K = 236.5$, $\alpha = 1.531$ 。

由图 3 看出, 现场测试的爆破振动合速度与采



(a) 爆破振动复合图



(b) 爆破振动垂直、水平径向、水平切向速度分图

图1 爆破振动波形图

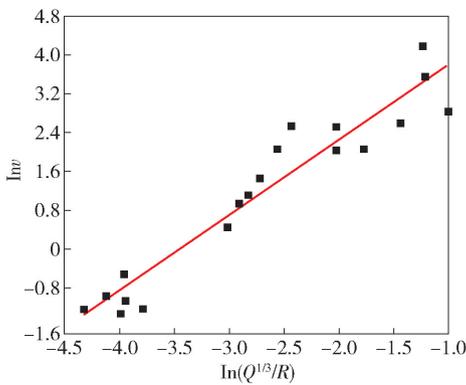


图2 +130m 平台爆破振动衰减回归曲线图

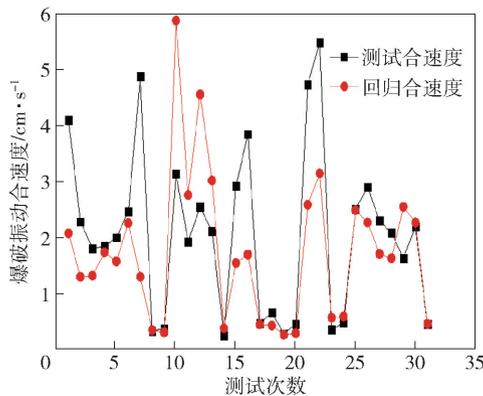


图3 边爆破振动测试数据与回归数据对比图

用 +145m 平台爆破振动衰减公式计算得到的合速度基本一致,整体来看前者稍大于后者,即相同距离、相同药量条件下,考虑高程时测得的爆破振动速度大于未考虑高程下的同水平爆破振动速度,说明随着高程的增加,爆破振动速度呈增大现象,即当前普遍共识的爆破振动高程放大效应。

5 结论

(1)本次爆破需采用的滑坡体下缘范围为压坡前 +130 ~ +145m 边坡坡底线。依据应急处置期间各个方向测振数据获得的爆破振动传播规律,溶洞及岩溶区域按抗震设防烈度不大于 7 度考虑,安全允许的爆破振动速度取 5cm/s。

(2)对溶洞及岩溶所涉及区域爆破过程中适当降低爆破强度。待溶洞及岩溶区域勘察详细后,再根据实际情况选取其安全允许振动速度,并调整爆破方案、参数及爆破作业区范围,并限制该保护目标附近爆破最大一段药量控制在 360kg 以内,总药量控制在 7 000kg 以内。

[参考文献]

[1] 张勤彬. 考虑高程及岩体损伤的爆破振动传播规律及其控制技术研究[D]. 南宁:广西大学,2019.

[2] 农深富. 露天矿深孔爆破振动作用下边坡的稳定性分析[D]. 南宁:广西大学,2016.

[3] 余海兵,胡斌,甘露,等. 峨眉黄山石灰岩矿露天边坡爆破振动测试与分析[J]. 爆破,2015,32(4):55-59.

[4] 赵江倩. 万石山隧道爆破振动特性及施工控制技术研究[D]. 南昌:南昌大学,2007.

[5] 罗聪. 考虑结构面影响的岩石高边坡爆破振动安全控制标准研究[D]. 武汉:长江科学院,2016.

[6] 张世雄,胡建华,阳生权,等. 地下工程爆破振动监测与分析[J]. 爆破,2001,18(2):49-52.

[7] 周国祥,刘开文,徐东明. 爆破振动监测与防震[J]. 爆破,2001,18(4):75-77.

[8] 汪旭光. 爆破设计与施工[M]. 北京:冶金工业出版社,2011.