

会宝岭铁矿爆破振动危害控制研究

王正英¹, 翟利军¹, 石绍飞¹, 史秀志², 邱贤阳², 苟永刚³

(1. 临沂会宝岭铁矿有限公司; 2. 中南大学资源与安全工程学院; 3. 河海大学海洋与近海工程研究院)

摘要:随着国民对美好生活的向往, 矿山需要更加重视爆破振动给人和建(构)筑物造成的不良影响。基于会宝岭铁矿爆破振动实测数据, 利用萨道夫斯基经验公式研究矿山爆破振动衰减规律, 分析爆破振动安全距离, 确定不同中段开采的允许最大段药量, 为矿山的安全开采提供理论依据和指导意见。结果表明: 距离工作面 1 197.21 m 之外的房屋建筑不存在爆破振动安全问题, 而矿区内保护对象一般离爆源 400 ~ 500 m, 若要达到 0.2 cm/s 的爆破振动速度, 允许最大段药量需控制在 200 kg 左右。

关键词:爆破振动; 衰减规律; 安全判据; 萨道夫斯基经验公式; 最大段药量

中图分类号: TD235

文章编号: 1001-1277(2024)03-0005-04

文献标志码: A

doi: 10.11792/hj20240302

引言

工程爆破的发展与经济建设水平具有密切联系。改革开放后, 中国经济开始腾飞, 极大地带动了工程爆破事业的发展。近三十年来, 中国每年爆破产值达 1 500 亿元, 每年炸药用量超过 300 万 t。爆破事业的快速发展在给人们带来便利的同时也伴随着更多的风险。爆破时, 炸药的能量必然会有一部分转化为地震波, 经介质传播达到地表, 引起地表振动^[1-2]。当地表振动达到一定强度时, 不仅会引起建(构)筑物和设备设施的损坏, 还可能造成人员伤亡。因此, 研究爆破振动控制技术以减小爆破振动效应带来的负面影响一直是爆破安全技术领域的重要研究内容^[3-6]。

学者们针对爆破振动传播规律、危害机理和理论模型开展了大量研究, 并从控制爆破能量源和控制爆破能量传递 2 个方面提出了诸多降低爆破振动的技术方法^[7], 如控制最大段药量^[8]、优化装药结构^[9]、延时爆破^[10]和预裂爆破技术^[11]等。这些技术在各大矿山得到了广泛应用, 也取得了良好效果。但随着国民对美好生活的向往, 爆破振动常常引发周边居民的烦扰情绪, 导致投诉、纠纷事件逐渐增多, “爆破扰民”问题极易变成“民扰爆破”问题。为满足人民群众的切实需求, 地方政府在 GB 6722—2014《爆破安全规程》的基础上对爆破振动提出更严格的要求。因此, 仍然需要加强对爆破振动的监测以便及时采取相应的技术手段进行控制。

本文基于临沂会宝岭铁矿有限公司(下称“会宝

岭铁矿”)爆破振动实测数据, 研究该矿山爆破振动衰减规律, 分析爆破振动安全距离, 确定不同中段开采的允许最大段药量, 为矿山的安全开采提供理论依据和指导意见。

1 爆破振动安全距离估算

1.1 爆破振动指标安全判别标准

中国现行 GB 6722—2014《爆破安全规程》中的“爆破振动安全允许距离”标准^[12], 主要用以评估爆破振动对不同类型建筑物、构筑物和设备设施的影响。爆破振动判据包括保护对象所在地峰值振动速度和主振频率 2 个因素, 其具体判断标准如表 1 所示。

1.2 爆破振动速度估算

计算爆破振动速度衰减规律的经验公式众多, 目前萨道夫斯基经验公式应用最为广泛。研究爆破振动的传播规律实质上就是对经验公式进行拟合, 对相关的经验参数进行回归分析。本文采用萨道夫斯基经验公式分析会宝岭铁矿爆破振动传播规律, 公式如下:

$$V = K \left[\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right]^\alpha \quad (1)$$

式中: V 为质点振动速度 (cm/s); Q 为最大段药量 (kg); R 为爆源至测振点的距离 (m); K 、 α 分别为与爆源和测振点之间地形、地质条件相关的系数和衰减指数。

1.3 爆破振动安全距离估算

为避免爆破振动对周围建筑物造成影响, 需要计

表 1 爆破振动安全允许标准^[12]

Table 1 Allowable safety distance for blasting vibration

序号	保护对象类型	安全允许质点振动速度/(cm·s ⁻¹)		
		$f \leq 10$ Hz	10 Hz < $f \leq 50$ Hz	$f > 50$ Hz
1	土窑洞、土坯房、毛石房屋	0.15 ~ 0.45	0.45 ~ 0.9	0.9 ~ 1.5
2	一般民用建筑物	1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 2.5	2.5 ~ 3.0
3	工业和商业建筑物	2.5 ~ 3.5	3.5 ~ 4.5	4.5 ~ 5.0
4	一般古建筑与古迹	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.3	0.3 ~ 0.5
5	运行中的水电站及发电厂中心控制室设备	0.5 ~ 0.6	0.6 ~ 0.7	0.7 ~ 0.9
6	水工隧道	7 ~ 8	8 ~ 10	10 ~ 15
7	交通隧道	10 ~ 12	12 ~ 15	15 ~ 20
8	矿山巷道	15 ~ 18	18 ~ 25	20 ~ 30
9	永久性岩土高边坡	5 ~ 9	8 ~ 12	10 ~ 15
10	新浇大体积混凝土(C20)	龄期:初凝~3 d	1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 2.5
		龄期:3~7 d	2.0 ~ 2.5	2.5 ~ 3.0
		龄期:7~28 d	3.0 ~ 4.0	4.0 ~ 5.0
			7.0 ~ 8.0	8.0 ~ 10.0
				10.0 ~ 12.0

注:质点振动速度为3个分量中的最大值,振动频率为主振频率。频率范围根据现场实测波形确定或按如下数据选取:硐室爆破 $f < 20$ Hz,露天深孔爆破 f 为10~60 Hz,露天浅孔爆破 f 为40~100 Hz;地下深孔爆破 f 为30~100 Hz,地下浅孔爆破 f 为60~300 Hz。

算爆破振动安全允许距离,安全允许距离计算公式为:

$$R_c = \left[\frac{K}{V} \right]^{1/\alpha} \sqrt[3]{Q} \tag{2}$$

式中: R_c 为爆破振动安全允许距离(m)。

针对会宝岭铁矿井下采场回采参数:采用微差爆破的爆破方式,采场大直径深孔约为40 m,最大段药量为400 kg左右。结合矿山岩性与土窑洞、土坯房、毛石房屋得到最大值。经计算: $R_c = 1\,197.21$ m。

综上所述,离工作面1 197.21 m之外的房屋建筑不存在爆破振动安全问题,但在会宝岭铁矿区地表1 197.21 m以内有较多民房,故现有最大段药量难以实现地表关键位置振动小于0.2 cm/s的目标,需对最大段药量进行优化,且需在地表民房布置监测点对爆破振动进行现场监测。根据监测结果及波形分析结果,为井下规模爆破选取合理的爆破参数提供科学依据。

2 爆破振动监测方案设计

本次试验共布置5台NUBOX-8016智能爆破测振仪(固定测点)和3台UM型爆破测振仪(机动测点),以监测矿区地表的多个建(构)筑物的爆破振动情况。爆破振动监测点(测振点)分布如图1所示,1[#]~5[#]测振点监测整个矿区常规爆破振动情况,6[#]~8[#]及4[#]测振点用以监测34315N2试验采场的爆破振动情况。

通过对多台爆破测振仪监测的大量数据汇总分析确定:①对地表附近建(构)筑物影响;②确定合理的最大段药量与延期时间;③当34315N2试验采场

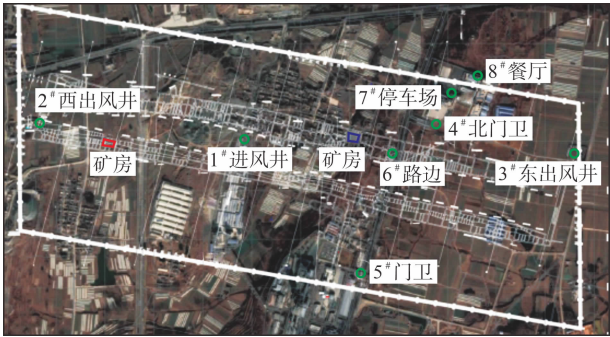


图 1 爆破振动监测点分布示意图

Fig. 1 Distribution map of blasting vibration monitoring points

爆破施工时,确定相应的最大段药量合理值,避免诱发地表强振动危害现象。

3 爆破振动监测结果及分析

依据GB 6722—2014《爆破安全规程》“爆破振动安全允许距离”标准,本次试验所记录的128条爆破振动数据中,仅有4.7%的爆破振动超出第一类保护对象(土窑洞、土坯房、毛石房屋)标准值,所有测振点测得的数据均符合第二类保护对象(一般民用建筑物)标准值。这表明,会宝岭铁矿采用了合理的爆破方法和爆破参数。典型的爆破振动速度波形如图2所示。

3.1 爆破振动速度回归分析

为进一步确定合理最大段药量,根据式(1),采用最小二乘法进行回归分析,以确定 K 和 α 值,拟合曲线如图3所示。

经过拟合可得:

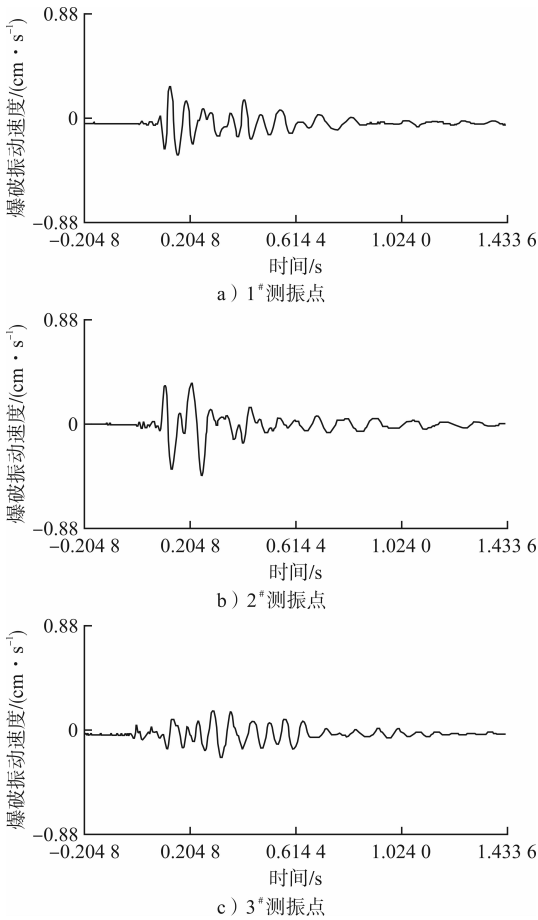


图2 典型的爆破振动速度波形

Fig.2 Typical blasting vibration velocity waveform

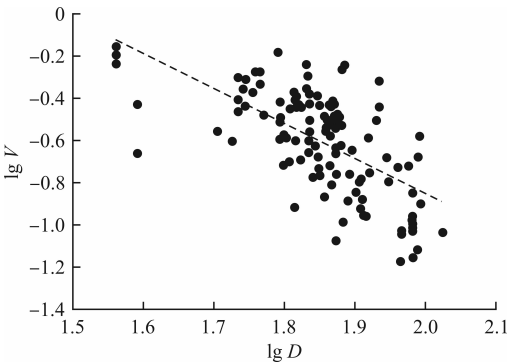


图3 爆破振动速度-比例距离曲线拟合图

Fig.3 Fit curve of blasting vibration velocity-proportion distance

$$\lg V = -1.6578 \lg D + 2.4647 \tag{3}$$

其中, D 为比例距离, 则可得:

$$V = 291.5 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.6578} \tag{4}$$

其中, K 为 291.5, α 为 1.6578。

进一步, 可得到最大段药量的计算公式如下:

$$Q = \left(\frac{V}{291.5} \right)^{1.81} R^3 \tag{5}$$

3.2 最大段药量估算

为保证地表民房的安全, 根据上述公式及安全标准可以得到会宝岭铁矿不同爆心距处的允许最大段

药量, 如表 2 所示。

表 2 不同爆心距处的允许最大段药量

Table 2 Allowable maximum charge weight at different distances from blast center

爆源距主副井 水平距离/m	目标爆破振动速度/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	允许最大段 药量/kg
300		50.7
400		120.2
500		234.8
600	0.20	405.8
700	(依据爆破规程中 0.15 ~ 0.45 确定合理值)	644.4
800		961.9
900		1 369.6
1 000		1 878.7

爆心距 300 m 处一般是爆源正上方, 若要保证 0.2 cm/s 的爆破振动速度, 允许最大段药量仅为 50.7 kg; 保护对象所在地一般离爆源 400 ~ 500 m, 允许最大段药量控制在 200 kg 左右即可; 而对于爆心距超过 600 m 处, 最大段药量无需特别优化。

4 结 论

1) 通过安全允许距离计算公式, 结合会宝岭铁矿岩性、国家爆破振动指标安全判别标准及现场爆破参数, 计算得出离工作面 1 197.21 m 以内的民房爆破振动速度均有可能超标, 故需在地表民房布置测振点对爆破振动进行现场监测、分析, 为指导井下规模爆破参数的选取提供理论依据。

2) 采用 NUBOX - 8016 智能爆破测振仪在地表多个民房进行了爆破振动监测, 监测结果表明在少量爆破情况下, 矿区附近民房爆破振动速度超过安全标准规程要求。

3) 通过整理所测爆破振动数据, 采用最小二乘法回归计算求出萨道夫斯基经验公式衰减指数 K 为 291.5, α 为 1.6578。矿区内保护对象一般离爆心距 400 ~ 500 m, 若要达到 0.2 cm/s 的爆破振动速度, 允许最大段药量需控制在 200 kg 左右。

[参考文献]

[1] 张雪亮, 黄树棠. 爆破地震效应[M]. 北京: 地震出版社, 1981.
[2] 李夕兵, 凌同华, 张义平. 爆破震动信号分析理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
[3] 何梦, 陈金, 张家兆, 等. 岩石场地爆破振动衰减模型及减隔振效应研究[J]. 矿冶工程, 2021, 41(6): 120 - 125, 133.
[4] 厉建华, 叶元寿, 郑冰. 某地下矿山爆破振动对地表房屋安全影响的分析[J]. 采矿技术, 2021, 21(1): 80 - 83.
[5] 雷兴海, 吴桂义, 雷振, 等. 露天控制爆破振动对邻近建筑物影响的分析[J]. 采矿技术, 2021, 21(2): 124 - 128.

[6] 张云鹏,杨曦,朱晓玺. 爆破振动影响下露天边坡临界振速及安全距离计算[J]. 化工矿物与加工,2018,47(8):28-30.

[7] 冀新宇,王海亮,高尚,等. 隧道爆破自由面数量对地表振动影响研究[J]. 国防交通工程与技术,2021,19(6):18-22,35.

[8] 龚敏,秦天,吴昊骏,等. 基于多建构筑物不同振速控制的坐标点阵化隧道安全单段药量计算方法[J]. 振动与冲击,2020,39(20):134-141.

[9] 苟倩倩,赵明生,张光雄,等. 装药结构对爆破振动能量传递的影响研究[J]. 爆破,2020,37(1):61-67.

[10] 满石贤. 临近古建筑的盾构隧道基岩爆破减振技术研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2021.

[11] 丁安松,唐海,易帅,等. 预裂爆破的减振试验研究[J]. 采矿技术,2018,18(5):160-163.

[12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 爆破安全规程:GB 6722—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2014.

Research on control of blasting vibration hazards in Huibaoling Iron Mine

Wang Zhengying¹, Zhai Lijun¹, Shi Shaofei¹, Shi Xiuzhi², Qiu Xianyang², Gou Yonggang³

(1. Linyi Huibaoling Iron Mine Co., Ltd.;
2. School of Resources and Safety Engineering, Central South University;
3. College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University)

Abstract: With the increasing pursuit of a better life by the public, mining operations need to pay more attention to the adverse effects of blasting vibrations on people and buildings (structures) . Based on the measured blasting vibration data in Huibaoling Iron Mine, the attenuation law of blasting vibrations in mines was studied using the Sadaovsk empirical formula. The analysis focused on determining the safe distance for blasting vibrations and identifying the reasonable maximum segment explosive quantity for different mid-section mining operations. This study provides theoretical basis and guidance for the safe mining operations in the mine. The results indicate that there are no safety issues with blasting vibrations for buildings located beyond 1 197.21 m from the working face, while protective objects within the mining area should be positioned approximately 400 – 500 m away from the blast source. To achieve the peak velocity target of 0.2 cm/s for blasting vibrations, the allowable maximum segment explosive quantity should be controlled at around 200 kg.

Keywords: blasting vibration; attenuation law; safety criteria; Sadaovsk empirical formula; maximum segment explosive quantity