

某矿山地下开采对地表公路的影响分析

王海昶¹, 潘健², 尹裕², 郭振鹏²

(1. 新疆喀拉通克矿业有限责任公司; 2. 中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司)

摘要:某矿山地下开采矿体在地表公路的保安矿柱范围内,为了确保公路的稳定性,采用 Flac^{3D} 软件的数值分析方式进行了开采影响分析,同时论证了采矿爆破振动对公路的影响。结果表明: -300 m 中段矿体开采后,地表公路最大沉降为 1.2 mm,地表 x 向倾斜值最大为 0.185 mm/m, y 向倾斜值最大为 0.13 mm/m;地表 x 向曲率值最大为 $0.011 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$, y 向曲率值最大为 $0.012 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$;地表 x 向水平变形最大值为 0.15 mm/m, y 向水平变形最大值为 0.12 mm/m,均满足相关规范要求。采矿爆破时的地表质点振速小于规范规定的安全允许振速,采场爆破振动对地表影响很小。研究结果对该矿山深部开采提供了技术支撑。

关键词:地下开采;保安矿柱;数值模拟;地表公路;爆破

中图分类号:TD803

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2024)02-0024-05

doi:10.11792/hj20240205

引言

某矿山采用地下开采方式,开拓中段为 -200 m、-250 m、-300 m 3 个中段。矿地表有公路从矿区西南侧通过(见图 1),按照设计规范及相关规定,在矿区范围内按照公路边界从上至下划定中段开采移动界线,岩体上、下盘移动角为 65° ,端部为 70° ,第四系为 45° ,并据此圈定了地表公路保安矿柱范围。在基建过程中发现,该矿山主矿体主要赋存在 -300 m 中段,其余中段资源量很少,无开采价值。但是,探获的矿体均在原设计 -300 m 中段禁采线以内,为安全合理地开发利用矿产资源,亟须开展地下开采对地表公路的影响分析论证,以解放矿山禁采矿量^[1-4]。

1 工程概况

1.1 矿体开采技术条件

矿区位居长江中下游南岸沿江丘陵平原区,区内无大的地表水体及水系,矿床地处分水岭,自然排水条件好。矿体产于闪长岩接触带及其围岩中,赋矿层位主要为三叠系中统南陵湖组和下统塔山组。矿床水文地质类型以岩溶裂隙含水层充水为主,水文地质条件中等类型。地质岩组主要分为第四系松散岩组、强风化软弱岩组和未风化基岩坚硬岩组 3 组,根据现场勘查,矿山矿体岩性为含黄铁矿大理岩和含黄铁矿闪长岩,围岩主要为大理岩及闪长岩。矿体及顶底板岩石较坚硬,岩体较完整,岩石质量较好,但局部地段岩石蚀变强烈,需支护处理,工程地质条件为中等类

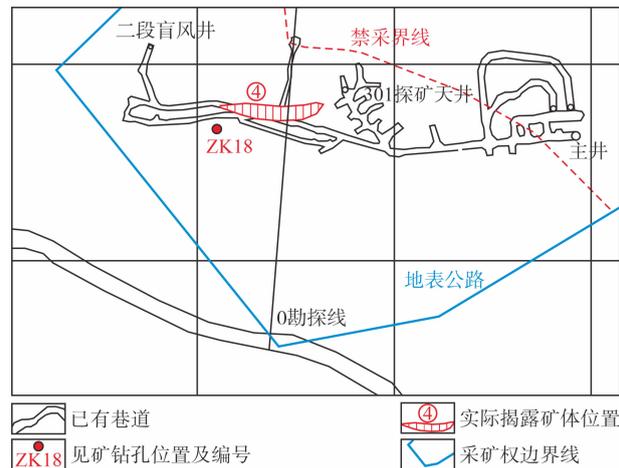


图 1 -300 m 中段和地表公路相对位置关系

Fig. 1 Relative position relationship between the -300 m level and the surface road highway

型。4号矿体平均厚度 14.4 m,矿体总体走向为 $180^\circ \sim 195^\circ$,向西陡倾,倾角 $65^\circ \sim 85^\circ$,赋存标高为 -325 ~ -235 m。

1.2 开采现状

该矿山曾采用无底柱分段崩落采矿法开采 -110 m 标高以上矿体,后矿山利用废石土对上部采空区及产生塌陷的地表塌陷坑(见图 2)进行回填并压实,现处于稳定状态。矿山实际基建过程中,在 -110 ~ -200 m 标高,未发现具有开采价值的主要矿体,仅在 -300 m 中段发现了 4 号矿体。因此,该矿山目前只开采 -300 m 中段。

目前矿山采用竖井开拓,中段高度 50 m, -300 m 中段作为生产中段, -250 m 中段作为回风中段,

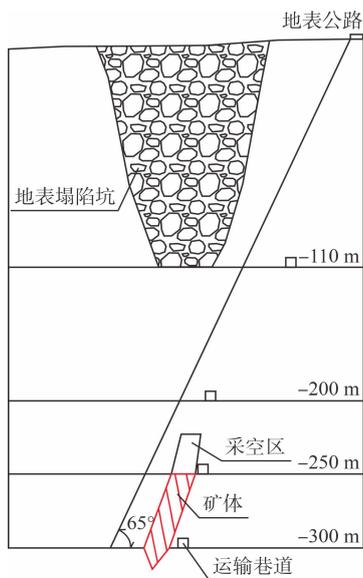


图2 0勘探线剖面图

Fig.2 Profile of Exploration Line 0

-200 m中段作为爆破器材发放站中段。采矿方法为分段凿岩阶段矿房采矿法,矿块沿走向布置,长50 m,宽15 m左右,中段高50 m,底柱高6 m,间柱宽6 m,分段高度5 m,漏斗间距6~7 m。回采结束后采用废石干式充填。

1.3 岩体物理力学参数

采用巴顿岩体质量分类法对该矿山岩体进行分类,围岩为Ⅱ类岩石,矿体为Ⅲ类岩石。通过岩体力学计算公式,依据各工程地质岩组地质强度指标 GSI 值和岩石单轴抗压强度,计算得到各工程岩组的岩体物理力学参数,见表1。

表1 岩体物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of rock mass

类别	密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	抗拉强度/ MPa	体积模量/ GPa	剪切模量/ GPa	抗剪切强度 C/MPa	$\varphi/(^{\circ})$
矿体	4.2	0.2	6.2	4.6	0.8	50
围岩	2.6	0.3	8.2	6.2	1.0	51

2 地下开采对地表公路的影响分析

2.1 数值模拟分析模型

本次主要采用 Flac^{3D} 软件^[5] 进行数值模拟分析,采空区模型为-110 m 标高以上采空区和-250 m 中段采空区。由于矿山采用废石干式充填,以及浅部采空区填充情况不明,在建立采空区数值模型时,留设未充填区域:-250 m 中段采空区顶部留有2 m 高不进行充填;浅部采空区留有10 m 高不进行充填。

根据矿山工程地质条件,三维数值模型划分第四

系松散层、风化带及未风化坚硬岩组(见图3)。第四系以平均厚度15 m 建立模型,风化带厚度为15 m,采空区根据矿山的采空区中段平面图、剖面图、纵投影平面图建立。主要建立浅部-110 m 标高以上历史采空区、-250 m 中段采空区和-300 m 中段采场。最终建立模型南北向(y 向)长730 m,东西向(x 向)长695 m,高390 m,共建立67万个网格,12.2万个节点。

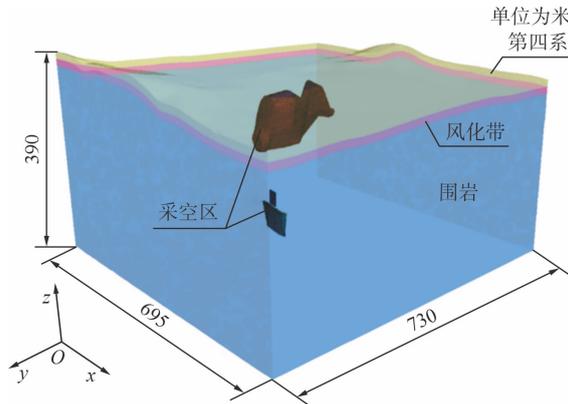


图3 三维分析模型

Fig.3 Three-dimensional analysis model

2.2 地表影响变形值判定依据

该矿山地表存在县道公路及村庄民房等建(构)筑物,为Ⅲ级保护等级。地表建(构)筑物位移与变形允许临界变形值按照最高保护等级选取,允许临界变形值为:地表倾斜3 mm/m,地表曲率 $0.2 \times 10^{-3} m^{-1}$,地表水平变形2 mm/m^[6-7]。根据模拟得到的地表变形数据,通过整理与分析数据,评价该矿山地下开采对地表建(构)筑物的影响程度。

2.3 地表变形特征分析

根据数值模拟计算结果,采用数据分析软件提取模型地表沉降数据,计算矿区地表各变形值,各项指标具体分析如下。

2.3.1 地表下沉特征

矿区地表下沉云图见图4。由图4可知:矿区深部开采造成的地表沉降最大约为4.6 mm,地表沉降主要集中在原浅部-100 m 中段以上矿体开采正上方,深部开采对地表影响较小。地表公路最大沉降为1.2 mm,认为矿区地下开采对地表造成的位移整体较小。

2.3.2 地表倾斜特征

矿区地表变形值计算分为 x 向、 y 向, x 向、 y 向分别为东西向和南北向。地表 x 向、 y 向倾斜云图见图5。由图5可知:矿区地表倾斜值均不大。矿区地表 x 向倾斜值最大为0.185 mm/m, y 向倾斜值最大为0.13 mm/m。地表各建(构)筑物位置的倾斜值

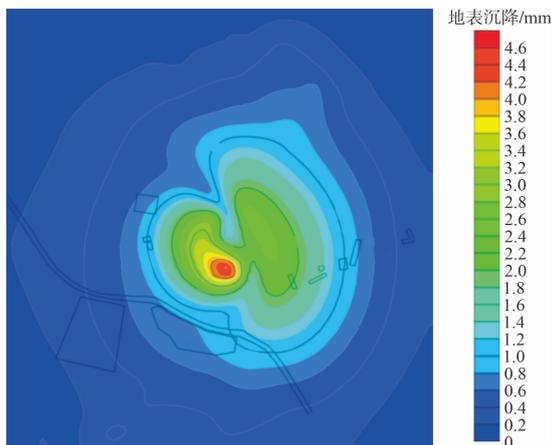


图4 矿区地表下沉云图

Fig. 4 Cloud chart of the mining area surface subsidence

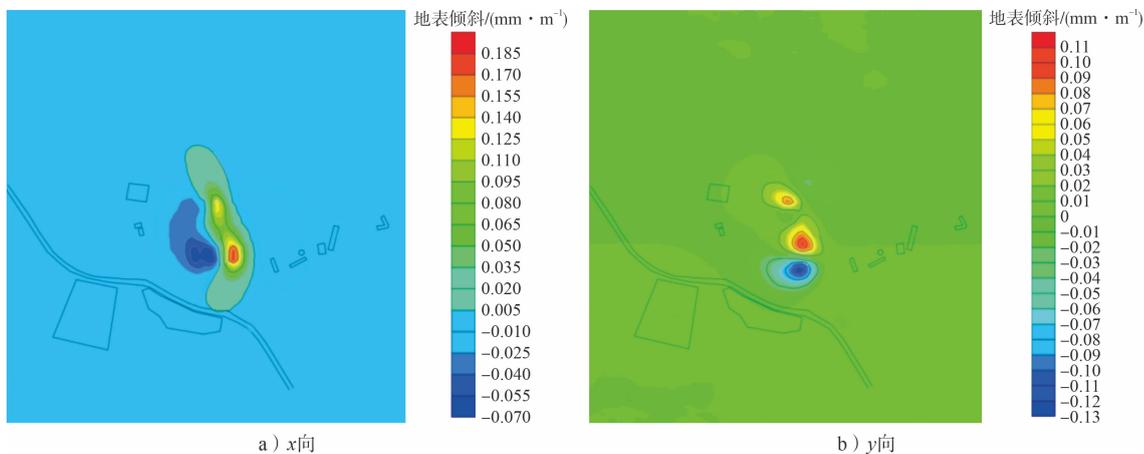


图5 矿区地表倾斜云图

Fig. 5 Cloud chart of surface tilting in the mining area

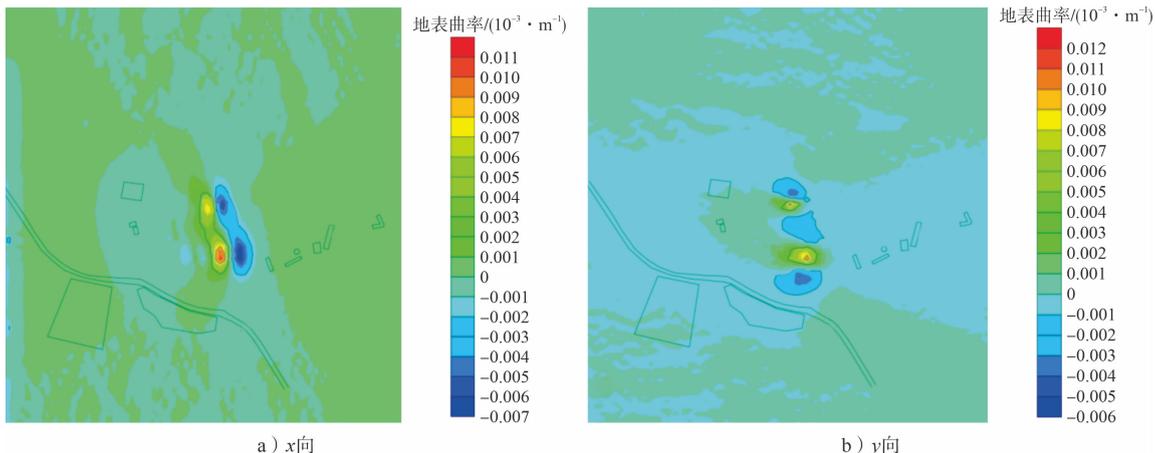


图6 矿区地表曲率云图

Fig. 6 Cloud chart of surface curvature in the mining area

最大值为 0.12 mm/m 。根据 GB 50830—2013《冶金矿山采矿设计规范》，以上地表水平变形值均远小于 I 类保护等级建(构)筑物允许临界变形值 2 mm/m 。

3 采矿爆破振动对地表公路的影响

3.1 爆破回采工艺

该矿山设计采用分段凿岩阶段矿房采矿法,分段

均很小,根据 GB 50830—2013《冶金矿山采矿设计规范》,以上地表倾斜变形值均远小于 I 类保护等级建(构)筑物允许临界变形值 (3 mm/m)。

2.3.3 地表曲率特征

矿区地表曲率云图见图 6。由图 6 可知:矿区地表曲率值非常小,矿区地表 x 向曲率值最大为 $0.011 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$, y 向曲率值最大为 $0.012 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ 。根据 GB 50830—2013《冶金矿山采矿设计规范》,以上地表曲率变形值均远小于 I 类保护等级建(构)筑物允许临界变形值 $0.2 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ 。

2.3.4 地表水平变形特征

矿区地表水平变形云图见图 7。由图 7 可知:地表 x 向水平变形最大值为 0.15 mm/m , y 向水平变形

高度 5 m ,采用浅孔爆破落矿。凿岩采用 YT-27 风动凿岩机,配 FM-140B 气腿,钎头直径 38 mm ,一字形,钎杆为中空圆形钢管,钎杆组为 0.8 m 、 1.5 m 、 2.0 m 3 组。炮孔垂直上向平行布置,炮孔最小抵抗线 $0.6 \sim 0.7 \text{ m}$,孔深 $1.8 \sim 2.0 \text{ m}$,每次爆破 $35 \sim 40$ 个孔,每次崩矿量约 140 t 。爆破采用乳化炸药,微差非电导爆系统,一次起爆,每日爆破一次。

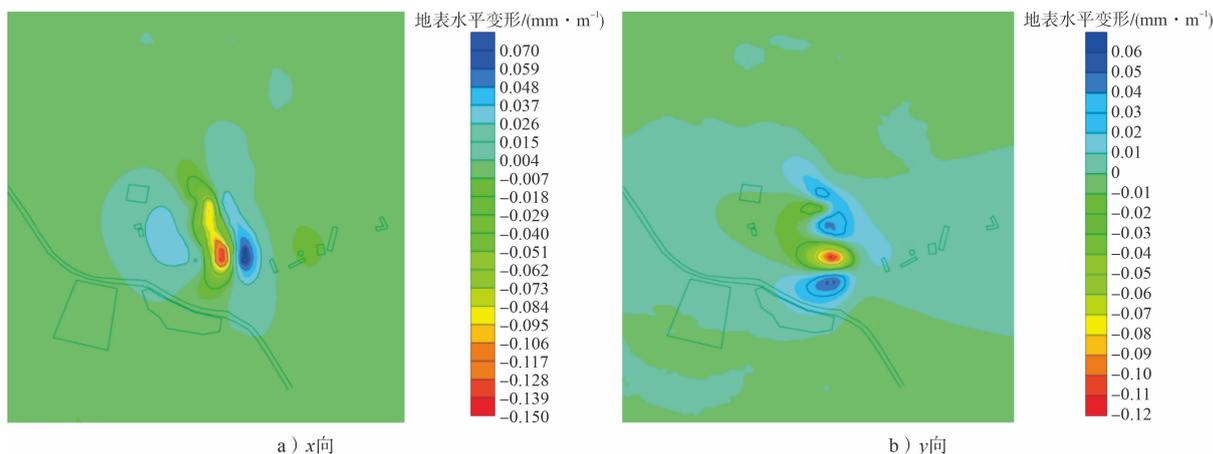


图7 矿区地表水平变形云图

Fig. 7 Cloud chart of horizontal deformation on the surface in the mining area

3.2 爆破安全判据

炸药爆炸能量释放有冲击波和爆炸气体 2 种表现形式。随着传播距离的增大,冲击波衰减为应力波和地震波,而由地震波引起的地面(近地表)振动称为地振动。在分析爆破引起的地振动对地表建(构)

建筑物的影响时,通常以保护对象所在地质点的峰值振动速度和主振频率为判据,GB 6722—2014《爆破安全规程》中对建(构)建筑物在爆破荷载作用下的安全性判据作出了相应规定^[8],见表 2。

矿山地表主要保护对象为村庄民宅与地表公路

表 2 爆破振动安全允许标准

Table 2 Safety allowable standards for blasting vibration

序号	保护对象类别	安全允许振速/(cm·s ⁻¹)			
		f≤10 Hz	10 Hz<f≤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	2.5~3.0
		龄期:3~7 d	3.0~4.0	4.0~5.0	5.0~7.0
		龄期:7~28 d	7.0~8.0	8.0~10.0	10.0~12.0

注:1)表中质点振动速度为3分量中的最大值,振动频率为主振频率;2)振动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=10~60 Hz,露天浅孔爆破f=40~100 Hz,地下深孔爆破f=30~100 Hz,地下浅孔爆破f=60~300 Hz;3)爆破振动监测同时测定质点振动相互垂直的3个分量。

等。矿山开采方法为分段凿岩阶段矿房采矿法,采用浅孔爆破。振动频率范围可按表 2 选取,地下浅孔爆破f=60~300 Hz。

根据表 2,由于地表公路在拟开采范围的岩石移动范围内,保守起见,选择要求较高的一般民用建筑物确定安全允许振速,为 2.5~3.0 cm/s。为确保保护对象安全性,安全允许振速选择保守值为 2.5 cm/s,即井下生产爆破在保护对象位置引起的振动速度超过相应安全允许振速时,可能会对保护对象产生破坏性影响。

3.3 开采爆破振动对地表建(构)建筑物影响

工程爆破中通常采用萨道夫斯基公式进行爆破振动分析,目前 GB 6722—2014《爆破安全规程》中采用的萨道夫斯基公式为:

$$R = (K/V)^{1/\alpha} Q^{1/3} \quad (1)$$

式中:R为测点与爆心之间的直线距离(m);K为与地质、爆破方法等因素有关的系数;V为保护对象所在地安全允许质点振速(cm/s);α为与地质条件、地形有关的地震波衰减系数;Q为炸药量(kg),齐发爆破为总药量,延时爆破为最大段药量。

由式(1)可知,在 K 和 α 已知的条件下,当炸药量与安全允许距离已知时,可由式(1)计算得到最小爆心距离下的地表质点振速,因此公式中 K 和 α 值的确定至关重要。

1) K 和 α 参数选取。该矿山 K 、 α 值可参考 GB 6722—2014《爆破安全规程》内 K 和 α 的推荐值进行选取,见表3。矿山矿体及围岩为中硬—坚硬以上岩石, K 值可选取 250, α 值可选取 1.5。

表3 爆区不同岩性 K 、 α 值

Table 3 Values of K and α for different lithology in the blasting zone

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

2) 地表质点振速计算。通过公式转换,在 K 、 α 及爆破药量已知的条件下,可根据式(2)计算矿山开采爆破时地表质点振速。

$$V = K / (R / Q^{1/3})^\alpha \quad (2)$$

矿山采用分段凿岩阶段矿房采矿法开采,采用浅孔爆破。炮孔垂直上向平行布置,炮孔最小抵抗线 0.6 ~ 0.7 m,孔深 1.8 ~ 2.0 m,每次爆破 35 ~ 40 个孔,每次崩矿量约 140 t。根据矿山实际情况,采场实际爆破总药量不超过 40 kg,一般分为 3 段爆破。

该矿山浅部已经结束生产多年,目前生产中段为 -300 m 中段,地表标高为 51 m,开采深度为 351 m,设爆破距地表最近距离约为 300 m。根据选取的 K 和 α 值,由此计算得到地表质点振速为 0.38 cm/s。该地表质点振速小于规范规定的安全允许振速(2.5 cm/s)。而矿山实际采场爆破时采用 3 段爆破,单段爆破药量更少,因此采场爆破振动对地表影响很小。

Analysis of the impact of underground mining on surface highway of a mine

Wang Haichang¹, Pan Jian², Yin Yu², Guo Zhenpeng²

(1. Xinjiang Karatunk Mining Co., Ltd.;

2. Sinosteel Maanshan Mining Research Institute Co., Ltd.)

Abstract: An underground ore body of a mine is within the security pillar range of a surface highway. In order to ensure the stability of the highway, Flac^{3D} numerical analysis method was used to conduct a mining impact analysis, and the impact of mining blasting on the highway was demonstrated. The results show that the maximum subsidence of surface highway is 1.2 mm, the maximum slope value in the x direction of the surface is 0.185 mm/m, and the maximum slope value in the y direction is 0.13 mm/m after mining the ore body at -300 m level; the maximum curvature value in the x direction of the surface is $0.011 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$, maximum curvature value in y direction is $0.012 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$; the maximum horizontal deformation of the surface in the x direction is 0.15 mm/m, and the maximum horizontal deformation in the y direction is 0.12 mm/m, both of which meet the requirements of relevant specifications. The surface particle vibration velocity during mining blasting is less than the safety allowable vibration velocity specified in the specification, so it is considered that stope blasting has little impact on the surface. The research results provide technical support for the deep mining of the mine.

Keywords: underground mining; security pillar; numerical simulation; surface highway; blasting

4 结论

根据该矿山开采技术条件,采用数值模拟和经验法开展了矿山地下开采及爆破振动对地表公路的影响分析,得到结论如下:

1) 根据数值模拟结果, -300 m 中段矿体开采后,地表公路最大沉降为 1.2 mm,地表 x 向倾斜值最大为 0.185 mm/m, y 向倾斜值最大为 0.13 mm/m;地表 x 向曲率值最大为 $0.011 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$, y 向曲率值最大为 $0.012 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$;地表 x 向水平变形最大值为 0.15 mm/m, y 向水平变形最大值为 0.12 mm/m;均满足相关规范要求,说明地下开采对地表公路影响较小。

2) 结合 GB 6722—2014《爆破安全规程》选取了反映该矿山爆破振动传播规律的 K 和 α 值,并根据矿山采矿方法及地表公路等建(构)筑物选取了安全允许振速为 2.5 cm/s。矿山当前开采深度均大于 300 m,以此计算得到地表质点振速最大为 0.38 cm/s,小于规范规定的安全允许振速 2.5 cm/s,因此矿山开采爆破对地表影响较小。

3) 建议矿山在生产过程中加强地表公路的位移监测。

[参考文献]

- 操帅,杨家冕,郭振鹏. 邹楼铁矿地下开采对地表位移影响分析[J]. 现代矿业,2022,38(11):52-55.
- 马相松. 基于 Falc^{3D} 的某铜矿地下开采对地表稳定性的影响分析[J]. 昆明冶金高等专科学校学报,2022,38(1):15-20.
- 刘明宇,王荣林,刘发平. 某铁矿地下开采对地表设施的稳定性影响分析[J]. 现代矿业,2021,37(7):254-257.
- 李昊,李祥龙,田举博. 丫他金矿地下开采对地表公路的影响分析[J]. 有色金属(矿山部分),2021,73(1):38-41.
- 许宏凯,毕振东,申燕元. 某铜矿压覆区内资源回采调整方案的可行性验证[J]. 黄金,2017,38(3):45-49.
- 张智博,高世坤,吴亚斌. 金属矿地下开采对地表建筑物稳定性影响分析[J]. 中国矿业,2019,28(8):84-90.
- 葛文杰. 矿山地下开采对地表铁路安全影响分析[J]. 现代矿业,2012,27(2):76-77,115.
- 孙智勇. 软硬互层地地区间矿山法施工爆破影响范围研究[J]. 路基工程,2018(3):209-213.