

中等型采空区治理技术方案研究*

李佳盛, 颜红迪, 李宇星

(湖南黄金洞矿业有限责任公司, 湖南 岳阳市 414500)

摘要:目前,地下矿山安全生产形势十分严峻,采空区是地下矿山的重要隐蔽致灾因素之一,为有效防范并遏制采空区事故的发生,必须对矿山的采空区情况进行准确、详细的调查和了解,采取有效的治理措施并消除隐患。通过选用三维激光扫描仪进行矿山空区轮廓数据的采集并运用3D Mine、Rhino3D软件联合建立了三维实体模型。利用有限差分计算软件FLAC3D进行模拟计算,根据岩体质量和空区稳定性状况对现存空区进行稳定性分析和分级,根据分级结果制定相适应的空区处理技术方案,最终有效治理了现存的采空区,消除了空区隐患。

关键词:采空区治理;隐蔽致灾;空区扫描;数值模拟;空区分级

0 引言

代县国弘铁矿位于山西省代县东南的新高乡赵家湾西南1.3 km处,行政区划隶属代县新高乡。矿体厚度为6~15 m,平均倾角为70°,连续性较好,区内地层岩性单一,岩体结构以整体块状、层状结构为主。岩石强度较高,矿层和顶底板岩石的稳固性较好,确定本矿区属工程地质条件简单的矿床,矿山设计采用无底柱阶段崩落法开采。该矿山已经形成了2个回采中段,其中1605 m中段已经回采结束,正在回采1580 m中段。目前该矿山地下采空区还剩余有3个未进行治理,分别为1580 m中段1[#]、2[#]、3[#]采空区,3个空区距离地表(山体)只有40~60 m,具体采空区位置如图1所示。

1 采空区周边岩体力学参数及质量评价

为查明空区周边的岩体工程地质条件和围岩稳定性情况,采用SIROVISION设备进行了工程地质调查^[1-3],并进行岩石物理力学性质试验,而后根据

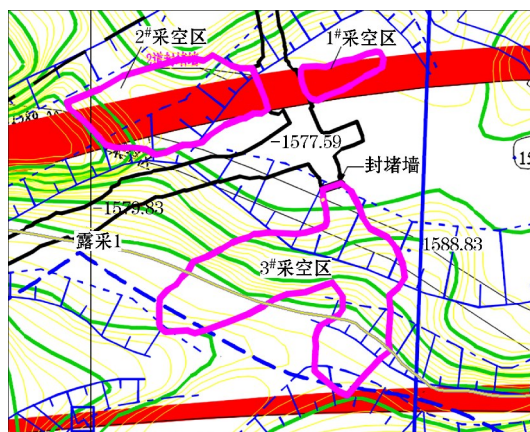


图1 采空区平面分布

Hoek, Carranza-Torres(2002)提出的岩体破坏经验准则^[4],得出岩体的力学参数,结果见表1。

采用单一综合指标RQD和多个指标复合分级方法——Q系统治理评价方法,对矿区范围内出露的斜长角闪岩、石英型磁铁矿、石英岩进行了岩体质量分级,所得结果如下。

(1) 斜长角闪岩:岩体质量为中至较好。

表1 岩体力学参数

岩性	抗压强度 σ_c /MPa	抗拉强度 σ_t /MPa	弹性模量 E /GPa	泊松比 μ	黏聚力 c /MPa	内摩擦角 φ /($^\circ$)
斜长角闪岩	147.22	10.09	6.31	0.20	8.45	32.66
石英型磁铁矿	168.63	22.35	8.91	0.24	7.64	34.48
石英岩	134.55	12.95	7.94	0.30	8.54	35.30

* 收稿日期: 2023-04-19

作者简介: 李佳盛(1986—),男,湖南东安人,工程师,主要从事金属矿山安全开采技术和管理工, E-mail: 562555538@qq.com。

- (2) 石英型磁铁矿:岩体质量为良至好。
- (3) 石英岩:岩体质量为中至较好。

2 采空区现场调查

目前遗留有 3 个采空区未进行有效治理,由于井下空区是在 2020 年开采形成的,内部情况不明,只能采用扫描的方式进行内部调查。采用三维激光扫描仪进行空区数据的采集^[5],该仪器具有测量速度快、数据完整性好、数据拼接方便等优点。选用 3DReshaper 点云处理软件完成数据内业处理工作^[6],并输出相关图件。采用非接触式三维激光扫描仪,可快速、安全、高效、全面地采集空区空间数据,建立空区三维模型,依据现有井巷工程实测数据建立工程模型^[7],综合分析空区情况,为矿山采空区治理、矿山安全管理提供基础数据。现场调查情况如图 2 和图 3 所示。

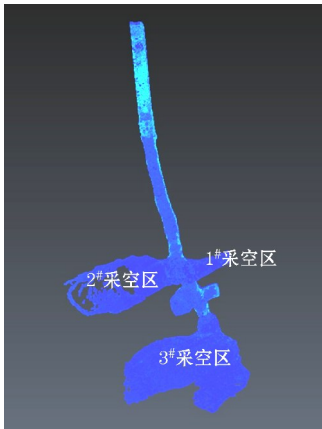


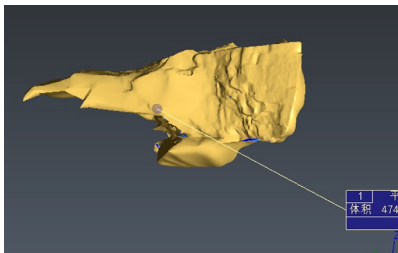
图 2 空区位置

此次三维激光测量充分掌握了已测空区的分布及空间情况,该空区数据可与矿体模型和矿山 CAD 图纸相结合,分析该区域空区基本情况^[8],为下一步空区治理提供依据。目前 3 个采空区的具体情况见表 2。

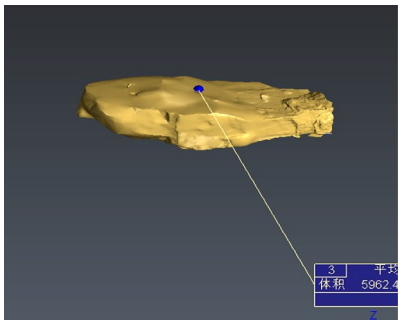
3 空区稳定性分析及分级

在前期岩体质量及稳定性分析、现场三维轮廓调查的基础上,采用 3D Mine、Rhino3D 软件联合建立了国宏矿业矿区及空区三维实体模型^[9]。利用有限差分计算软件 FLAC3D 进行模拟计算^[10],对矿区范围内 1[#]、2[#]、3[#] 采空区周边应力、位移及塑性区分布情况进行求解,对采空区稳定性情况进行进一步分析。本部分研究通过采空区稳定性理论分析方法,对目前矿山存留的 1[#]、2[#] 和 3[#] 采空区的稳

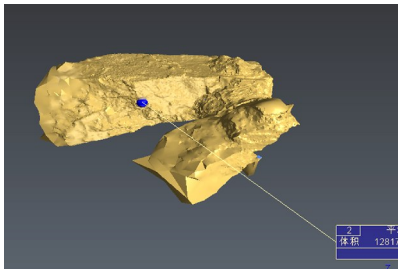
定性进行了分析与分级,并采用三维数值模拟分析对采空区稳定性情况进行了计算,得到结论如下。



(a) 1[#] 采空区



(b) 2[#] 采空区



(c) 3[#] 采空区

图 3 3 个空区具体扫描轮廓

表 2 3 个采空区现状尺寸

采空区	长度/m	宽度/m	高度/m	面积/m ²	体积/m ³
1 [#] 采空区	15.0	5.8	6.4	101.4	474.8
2 [#] 采空区	37.6	19.2	10.0	605.6	5962.5
3 [#] 采空区	51.0	25.3	8.9~22.0	1046.6	12 817.4

(1) 根据目前采空区尺寸及形态,以 MATHEWS 稳定图法划定结果为基础,当以采空区顶板暴露面积作为采空区稳定性分级标准时,1[#]、2[#]、3[#] 采空区的安全级别分别为 I(安全)、II(较安全)、II(较安全)^[11]。

(2) 使用 Q 系统岩体分级结果作为依据,当以采空区最大无支护跨度作为划定采空区稳定性分级标准时,1[#]、2[#]、3[#] 采空区的安全级别分别为 I(安全)、III(较不安全)、III(较不安全)^[12]。

(3) 根据三维数值模拟计算结果,从采空区周

边围岩应力分布状态可以看出,采空区顶、底板通常受拉应力作用,采空区侧帮及各角点受压应力作用显著,从应力大小及分布复杂情况来看,采空区稳定性状态:1[#]采空区优于2[#]采空区,2[#]采空区优于3[#]采空区。从采空区开采完成后采场周边位移情况来看,采空区主要存在顶板下沉和底鼓现象,从采空区周边围岩变形程度来看,1[#]采空区小于2[#]采空区,2[#]采空区小于3[#]采空区。从采空区周边塑性区分布情况变化的角度来看,在采空区周边围岩应力平衡过程中,各采空区周边围岩都曾出现过塑性破坏,在达到应力平衡状态后,采空区周边塑形单元分布1[#]采空区少于2[#]采空区,2[#]采空区少于3[#]采空区。因此,当以数值模拟结果作为判定采空区稳定性依据时,1[#]、2[#]、3[#]采空区的安全级别分别为I(安全)、II(较安全)、III(较不安全)^[13]。

综上所述,可以判定1[#]采空区目前安全等级为I级(安全),2[#]采空区目前安全等级为II级(较安全),3[#]采空区目前安全等级为III级(较不安全),有必要对3[#]采空区进行有针对性的专项治理。

4 采空区治理方案研究

采空区目前治理的方法主要是封堵、充填、崩落和联合处理。根据国弘铁矿的空区现状调查和稳定性分析结果,综合考虑其空区的处理方案为联合处理方案。采用充填法(干式废石或湿式尾砂)和崩落法治理采空区的联合方案^[14]。

(1) 3[#]采空区具体治理方案。对于3[#]采空区,将采用崩落围岩放顶的方式进行治理,前期现场调查的3[#]采空区尺寸为51 m(长)×25.3 m(宽)×(8.9~22.0)m(高),空区面积为1046.6 m²,体积为12 817.4 m³,该处采空区底板标高为1577 m,地表平均标高为1640 m。利用现有采空区为自由面,采用中深孔侧向爆破,使得现有空区达到极限暴露面积后,顶板实现自然崩落,顶板自然崩落后填实3[#]采空区。崩落治理方案如图4所示。崩落范围依据现有3[#]采空区的分布状况,考虑既要确保崩落至顶板跨度的极限位置,又要确保崩落的围岩量可以满足缓冲垫层的安全需要。通过考虑两种因素的要求,计算得出3[#]采空区治理工程需要崩落的范围为699.4 m²,崩落后总空区面积达到1746 m²,崩落围岩量为9058 m³,届时崩落层厚度将达到5.8 m,加上原有残留的废石即可达到6.8 m。崩落辅助工程布置需要增加一个凿岩爆破巷道,利用现有

的设备进行凿岩,设计凿岩巷道围绕在1580 m中段的3[#]采空区周边。在东侧和北侧各布置一条凿岩巷道,巷道规格设计为4 m×4 m,确保能够满足现有设备的凿岩需要,总长度为104 m,总工程量为1664 m³。此次爆破共设计炮孔90个,总施工炮孔长度为1200 m,总装药量为6.7 t,需要电子雷管180发,该工程共计需要38 d。计算的缓冲层厚度为6.36 m,实际崩落后的岩层缓冲层的厚度可达6.8 m,缓冲层厚度能满足安全要求。

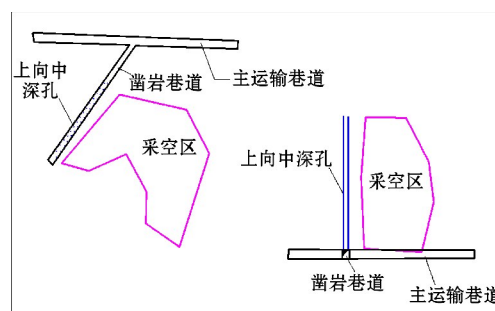


图4 采空区治理方案

(2) 2[#]采空区具体治理方案。2[#]采空区属于此次治理的第二采空区,稳定性状况为较稳定,内有部分积水,积水深度为0.3 m,且已有部分废石填充。经计算,必须要求在采空区底部充填4.6 m厚的废石,即可满足安全要求。废石充填量为2783 m³,废石来源主要是3[#]采空区治理凿岩巷道施工过程中产生的废石^[15]。

(3) 1[#]采空区具体治理方案。1[#]采空区属于此次治理的最小采空区,稳定性状况为稳定,内有少量积水,且有部分废石充填。根据计算公式,计算的缓冲层厚度为3.5 m,依据此计算结果,设计要求在采空区底部充填3.5 m厚的废石,废石充填量为353.5 m³。废石来源主要为3[#]采空区治理凿岩巷道施工过程中产生的废石^[15]。

5 结论

(1) 通过三维激光扫描仪进行空区数据的扫描和采集,得出:1[#]采空区内部有碎石,空区体积为474.8 m³;2[#]采空区体积为5962.4 m³;3[#]采空区体积为12 817.4 m³。

(2) 计算分析得出1[#]采空区目前安全等级为I级(安全),2[#]采空区目前安全等级为II级(较安全),3[#]采空区目前安全等级为III级(较不安全),有必要对3[#]采空区进行针对性的专项治理。

(3) 依据空区的稳定性和分级结果,综合考虑目前空区治理的主要方法,分别对 1[#]、2[#] 采空区采用一定厚度的废石进行充填处理,3[#] 空区采用崩落侧向围岩处理。

(4) 通过对采空区采用充填和崩落的处理方式,较好地诱导崩落 3[#] 采空区至地表,利用 3[#] 采空区治理凿岩巷道废石充填了 1[#]、2[#] 采空区,消除了空区存在带来的安全隐患。

参考文献:

- [1] 《采矿手册》编辑委员会. 采矿手册(第 4 卷)[M]. 北京:冶金工业出版社,1990.
- [2] 任凤玉,周颜军,何荣兴,等. 采空区预留矿柱与充填协同处理技术研究[J]. 矿业研究与开发,2018,38(3):25-30.
- [3] 蔡斌,喻勇,等.《工程岩体分级标准》与 Q 分类法、RMR 分类法的关系及变形参数估算[J]. 岩石力学与工程学报,2011(8):1677-1679.
- [4] 张访问,李伟明. 复杂采空区群稳定性的数值模拟分析及治理措施研究[J]. 矿业研究与开发,2019,39(9):41-45.
- [5] 贺小庆. 矿柱抽采与采空区综合治理技术研究[J]. 矿业研究与开发,2016,36(11):12-17.
- [6] 程力,刘换新,朱明德,等. 金属矿地下采空区问题研究现状与展望[J]. 黄金科学技术,2020,28(1):70-81.
- [7] 黄英华,闻磊,黄敏,等. 金属矿山复杂采空区稳定性模糊评价体系研究[J]. 矿业研究与开发,2019,39(12):63-67.
- [8] 谭文辉,武洋帆,刘景军,等. 深部岩体质量分级 Q 系统的改进[J]. 中国矿业,2020,29(2):161-165.
- [9] 冯福康,郭宏德,王宜勇,等. 大规模采空区治理与关键单体数值模拟研究[J]. 黄金,2016,37(1):30-38.
- [10] 刘文华,翟利军,张海云,等. 宽大拉底区域稳定性分析及风险性评价研究[J]. 矿业研究与开发,2022,42(4):32-37.
- [11] 覃敏,黄英华,刘畅,等. 基于小变形薄板理论的多层重叠采空区稳定性应用研究[J]. 采矿技术,2021,21(3):80-83.
- [12] 覃敏,刘畅,焦文宇. 安石坑矿区水泥用石灰石矿采空区稳定性论证与治理方案研究[R]. 长沙:长沙矿山研究院有限责任公司,2019.
- [13] 周健,史秀志. 基于集对分析同一度的采空区处理方案研究[J]. 金属矿山,2009(6):10-13.
- [13] 杨宁,尹贤刚,钟勇,等. 基于 3DMine-FLAC3D 的复杂采空区稳定性分析[J]. 化工矿物与加工,2019,48(4):22-28.
- [14] 张海波,宋卫东,付建新. 大跨度空区顶板失稳临界参数及稳定性分析[J]. 采矿与安全工程学报,2014,31(1):66-71.
- [15] 王波,蔡乘刚,景佳俊. 石膏矿采空区地面塌陷特征的离散元模拟[J]. 矿业研究与开发,2021,41(7):71-78.