

塔矿项目采空区的探测及处理措施研究

辜禹峰, 罗海波, 廖文斌

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610036)

摘要:塔吉克斯坦阿尔登-托普坎铅锌矿区经过几十年的开采,在其矿权范围内形成了大小小众多采空区,对安全生产具有极大的威胁。因此,探明采空区的形态及位置、继而选择科学合理的处理措施,对减少安全隐患和预防采空区坍塌十分重要。本文阐述了基于塔吉克斯坦阿尔登-托普坎铅锌矿区地下采空区具有的特点,借用国内地球物理勘探方法对该矿地下空间进行探测的实例,通过分析地质雷达对地下矿山采空区的探测结果,为矿山安全生产、方案的选择提供参考。

关键词:阿尔登-托普坎铅锌矿;地下采空区;地质雷达

中图分类号: TD8; TD7; TD1; TD2

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2023)增 2-0079-04

Study on Detection and Treatment Measures for Goafs in Tajikistan Mining Project

GU Yufeng, LUO Haibo, LIAO Wenbin

(Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610036)

Abstract: After decades of mining in the Alden-Topkan Lead-zinc Mine area in Tajikistan, numerous large and small goafs have been formed within the scope of the mining rights, which has posed a great threat to safe production. Therefore, it is very important to ascertain the shape and location of the goafs and then choose scientific and reasonable treatment measures to reduce safety hazards and prevent goaf collapse. Based on the characteristics of the underground goafs in the Alden-Topkan Lead-zinc Mine area in Tajikistan, this article introduces a example of using the domestic geophysical exploration to detect the underground space, and analyzing geological radar to detect the goafs in the underground mine to provide reference for mine safety production and program selection.

Key words: Alden-Topkan Lead-zinc Mine; Underground goafs; Geological radar

1 概述

塔吉克斯坦塔中矿业井巷工程位于塔吉克斯坦卡拉库姆市阿尔登-托普坎塔中矿业有限公司铅锌矿区,距离塔国首都杜尚别约 400 km,距离塔国第二大城市胡占德(苦盏)约 100 km,为含有铅锌银铜等元素矿石的矿山,其主要矿权为阿尔登-托普坎矿、北阿尔登-托普坎矿。阿尔登-托普坎矿具有的矿权面积为 2.71 km²,北阿尔登-托普坎矿具有的矿权面积为 2.57 km²。阿尔登-托普坎矿与北阿尔登-托普坎矿合计年产约 300 万 t 矿石。目前已开拓 4 中段至 15 中段,共计 12 个中段水平,开采标高为 +1 420 m~+820 m,矿山井下作业人员约 1 500 人。

该矿山目前主要开采阿尔登-托普坎铅锌矿与北阿尔登-托普坎铅锌矿两个矿区。由于该矿山前期由前苏联开采多年且采空区未进行处理,现业主接手后又经过了十多年的开采,井下已形成大量的采空区。阿尔登-托普坎矿区 18~38 号勘探线Ⅷ-1 主矿体采空区纵投影见图 1。

目前,由于该矿山中的大部分矿柱仍未回采,故空区相对稳定。但因作业区内的采空区逐步大面积连片,导致对空区进行处理的任务就显得十分迫切。矿山中的各中段由高到低随着矿山的开采逐渐形成大大小小的空区,最终将形成由独立空区组成的空区群,且其随着开采深度的增加地压越来越大,安全隐患越来越大,严重影响到井下的安全生产。

收稿日期:2023-07-15

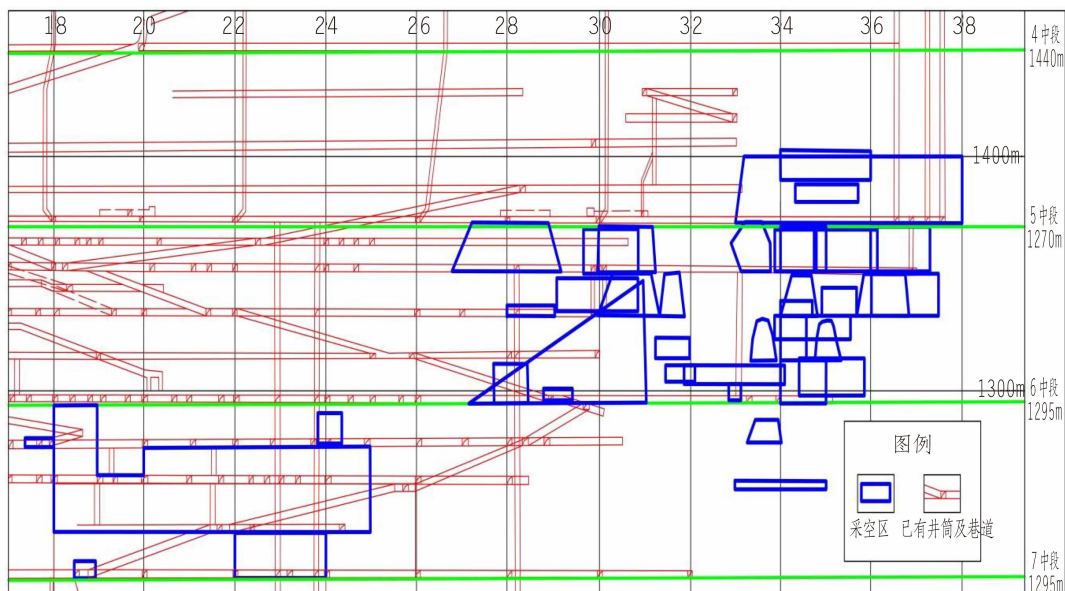


图1 阿尔登-托普坎矿区18~38号勘探线Ⅷ-1主矿体采空区纵投影图

目前井下采空区的总体积约为 $600 \times 10^4 \text{ m}^3$, 在开采过程中采用废石充填的空区体积约为 $90 \times 10^4 \text{ m}^3$, 其剩余的、急需充填的空区体积为 $510 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

2 矿区采空区具有的特征

2.1 矿区采空区具有的地质特征

2.1.1 矿区地层

矿区内古生界地层广泛分布,从老至新依次为:泥盆系下亚组(D_1^1)、泥盆系上亚组(D_1^2)及下石炭统(C_1)。

2.1.2 矿区构造

矿床总体构造表现为由“近接触”与卡斯卡纳断裂连接形成的、带有顶点的大型构造楔。在该楔范围内层状生成物覆盖阿尔登托普坎地堑-向斜构造(矿区总体褶皱构造)南侧翼部分,在构造上由大型断裂破坏形成了楔状构造块段。在该块段内部被有利于交代作用的碳酸盐岩覆盖,其内存在大量不同方向的较小构造,它们中的大多数由不同年龄与不同岩相组分的花岗岩岩脉填充。断裂与岩脉之间相互穿插造成了现存的矿床复杂构架构造,其主要的构造带为普利康塔克断层,位于灰岩与花岗闪长岩的接触带上,断层走向为北东 $50^\circ \sim 60^\circ$, 倾向北西, 倾角为 $75^\circ \sim 80^\circ$ 。主要含矿带由复杂的断裂构造组成,其内的灰岩和砂岩受多期挤压作用形成糜棱岩化及矿化。

2.1.3 采空区的地质与地球物理特征

2.1.3.1 地质特征

根据近年对塔矿形成的空区现状进行调查结果可知:原本地下应力平衡的岩体形成空仓后应力释放,导致原本平衡的地下应力系统失衡,加之岩体受断裂构造多次改造,在局部应力集中释放的条件下形成了新的变形、位移、冒落后达到新的平衡而再次稳定。在达到新的平衡过程中采空区出现了以下特征:

(1)当采空区埋深较浅、出现变形、冒落、塌陷时,其裂隙会传导至地表形成地裂缝等现象。

(2)采空区上覆岩层形成了三带,即:冒落带、裂隙带及弯曲带。

①冒落带。空区上部岩层在自重作用下产生变形断裂、进而垮落,垮落段高被称为冒落带。根据空区所处断裂的位置及岩性特征,空区的冒落高度不尽相同。经对塔矿空区冒落数据进行统计,其冒落高度由1 m至60 m不等,软弱地层内形成的巷道及空区冒落时间极短,如本区处在次生断裂带中的泥灰岩经揭露后极难保持稳定。

②裂隙带。空区冒落带之上的裂隙带均属破坏性影响区,其破坏程度自空区顶向上逐渐减小。根据相关研究结果:裂隙带发育的范围与采空区面积呈正相关关系^[1],与矿体初次开采厚度成正比关系,与累计开采厚度成正相关关系,并与开采后时间的变化亦有关系。由此可见,采空区上覆地层的物性受多种因素的影响变得较为复杂。裂

隙发育高度与影响因素的关系见图 2。

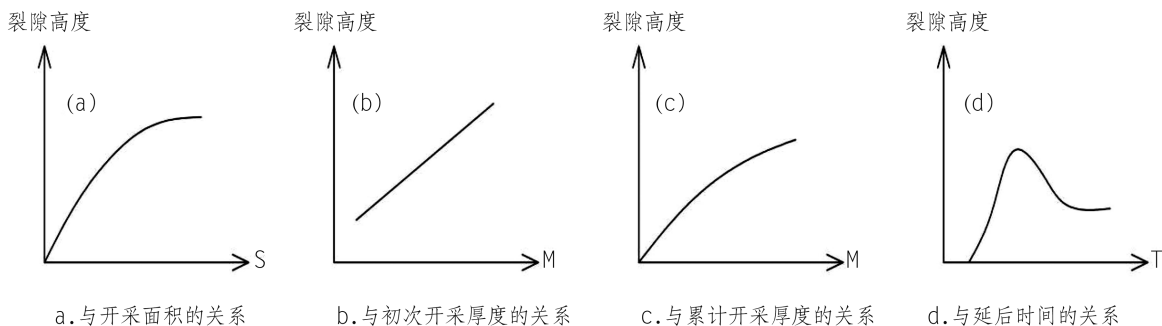


图 2 裂隙发育高度与影响因素的关系图

隙带之上,直至地表产生弯曲的岩层范围。弯曲带呈整体移动,弯曲带上部通常不出现离层,而弯曲带下部则可能出现离层。

采空区若埋藏较深、矿层较薄时,加之上覆岩体比较坚硬,三带可能不甚发育;如果地表荷载加大,则有可能诱发三带的发展。

(3)采空区下覆岩层除具有膨胀特征外,一般受上述影响较小,基本稳定,与原始地层相比无大的变化。

2.1.3.2 采空区的地球物理特征

矿体开采形成采空区后,采空区及其围岩将会表现出明显的物性变化,其地球物理特征发生的主要变化为:

(1)电阻率特征。空区形成后,前期为无充填的充气空间,其电阻率较围岩高。随着时间的推移,上覆岩层塌陷充填,其电阻率较无充填时小。若上覆岩层破碎或形成导水裂缝使导水汇集于空区,则其呈低电阻特征。

(2)电磁波特征。电磁波在地下介电常数和电导率发生变化的位置发生反射,引起二者变化的因素主要是介质电性的不同、相对密度的改变、介质含水量的变化等。空区前期为无充填的充气空间,介电常数较上覆围岩大,电导率极小;上覆岩层塌陷或充填后,其介电常数大于开采前的矿岩,电导率增大;当空区含水量增加,其介电常数减小,电导率增大。

综上所述,采空区呈充气空间且无充填时电阻率高,介电常数较上覆围岩大,电导率极小;采空区塌陷或被充填物含水量增加时,其电阻率低,介电常数减小,电导率增大,进而为地球物理探测提供了有利条件。

3 矿区地下采空区探测的必要性

矿区经过多年的开采积累,井下形成的采空区已紧邻作业区域。由于部分采空区的技术资料及图纸的缺失,导致采空区空间形态不明,空间位置难以确定,采空区随着时间推移其体积及围岩也在不断变化,从而对井下巷道的掘进和矿体开采回收造成极大的安全风险,施工作业若对采空区没有进行定量控制,极易造成安全事故。因此,该矿山采空区的探测及处理是保证安全生产的重要一环。

目前,国内外对采空区探测采用的方法主要有现场调查、物探和钻探等^[2]。由于塔矿采空区技术资料缺失,区域内空区相对关系不甚明了,单纯通过资料的收集以及现场调查不能够获得较为准确的采空区信息。因此,为了能更加精准地探测采空区的现时空间状态信息,需要辅以地球物探方法进行探测后再施以钻探进行验证。

物理勘探方法是将岩、矿石等物质物理方面的特征差别做为物质的基本条件,结合使用物理学的相关原理。整个物探过程需要以观察、预测以及不断研究地球物理场空间上的分布规律完成基本的地质研究、环境工程勘测以及在地层中寻找矿类物质。在物探过程中,需要更加广泛地参考各种岩、矿石的物理性质与其具体的功能参数。地质雷达根据所受到的电磁波影响、利用连续扫描电磁波反射曲线后的叠加,根据电磁波在矿山采空区内岩体中的反射和传播过程,对所收集到的反射回来的信号进行分析得以提前预知所存在的地质问题。

根据目前矿山的实际情况及条件,笔者建议采用物探方法中的地质雷达对采空区进行探测。

3.1 地质雷达的基本原理^[3]

地质雷达基于电磁波在地下物质中的传播特

性进行探测。电磁波在不同介质中的传播速度不同,当电磁波从一个介质进入另一个介质时会发生反射、折射和透射。这些现象使得电磁波在地下物质中的传播路径会发生弯曲和变化,通过测量这些变化可以了解地下物质的构造和性质并由此获得被探测区域介质或空区的埋深与类型。地质雷达的工作原理见图3。

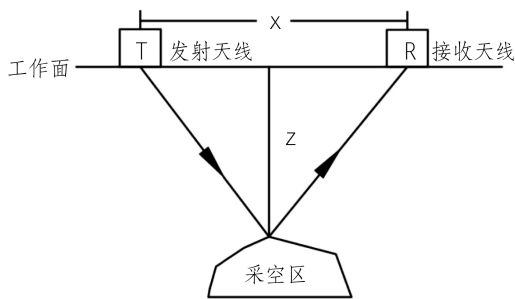


图3 地质雷达工作原理示意图

3.2 地质雷达具有的优点

(1)地质雷达是一种无损探测技术,其探头直接与岩石表面接触,受地形条件影响小,不受机型震动和游散电流场干扰;地质雷达的探测效率高、探测周期短。

(2)相关研究结果表明:采用地质雷达探测采空区的深度可达50 m,分辨率可达数厘米,而且能够在现场直接提供实时剖面记录图,且其图像清晰直观,可以较为准确地探测地下采空区的空间位置,取得了较好的应用效果^[4]。塔矿项目为保证采空区探测的准确度,所使用的仪器为美国地球物理探测公司(GSSI公司)生产的SIR-3000型地质雷达。SIR-3000型地质雷达是世界上目前最先进的地质雷达。

(3)采用地质雷达数据处理软件可以直接阅读地质雷达的探测剖面,根据探测剖面图可以初步判断地质雷达探测区域采空区的分布情况。

4 针对采空区稳定性采用的控制及处理技术

鉴于阿尔登-托普坎铅锌矿与北阿尔登-托普坎铅锌矿前期经前苏联开采多年且未对采空区进行处理,塔中矿业接手后,又经过了十多年的开采井下形成了大量采空区。目前,由于大部分矿柱仍未回采,故空区相对稳定,但作业区与空区逐步大面积连片,导致对空区进行处理的任務十分迫

切。矿山各中段由高到低随着矿山的开采逐渐形成了大大小小的空区,最终形成了由独立空区组成的空区群,且其随着开采深度的增加地压越来越大,安全隐患越来越大,严重影响到井下的安全生产。经过多年研究和实践,目前塔矿项目主要采用充填法和留设永久矿柱的方法治理存在安全隐患的采空区^[5]。

4.1 充填法

目前地下金属矿山采用的充填方法主要包括干式充填和湿式充填两种。塔矿项目选用的是干式充填法,用于治理矿区内的采空区。该方法是将岩渣充填料送入采空区内部将采空区充填密实,进而达到抑制地压活动、减小上覆岩层崩落、地表下沉及减小形成矿震可能性的目的。塔矿项目通过优化采矿方法、对部分存在安全隐患的采空区采用充填法进行治理,取得了较好的效果,在一定程度上保证了采矿的安全生产。

4.2 留设永久矿柱法

留设永久矿柱的方法主要用在岩体较稳固的区域。然而,采空区形成后,受各种因素的影响其所处的环境变得比较复杂,导致采空区的稳定性始终处于动态变化中。因此,在矿柱设计时,必须根据采空区的实际环境进行综合考虑以达到防止或减少灾害发生的目的。塔矿项目严格控制采矿流程,在设计阶段,对暴露面积比较大的浅采采场通过设计留设永久矿柱的方法加强了对采空区顶板的支撑,减少了采空区坍塌的风险。

5 结语

地下矿山采空区的跟踪探测是一个长期动态过程,随着科学技术的发展,地球物理勘探的水平也在不断进步,在对采空区的探测及治理中,必须推广先进技术,选用经济合理、技术可靠的治理手段,总结成熟经验,依靠实测资料与勘测结果优化采空区模型,对采空区进行监测和预警以保证矿山的安全生产。塔矿项目通过采用地质雷达,针对普遍存在的老采空区,为空区探边扫盲及残矿回收提供了一种既经济、又高效的保证手段。

参考文献:

- [1] 鲁辉,薛云峰,胡伟华.采空区的特征与探测技术研究[J].水利规划与设计,2014,27(2):27-33.
- [2] 段蔚平,郭金峰,汪斌.我国金属矿山尾矿堆存技术及发展方向[J].金属矿山,2013,42(12):118-122.

(下转第90页)

及岩体破碎带展布情况,为矿区生产建设提供了完整、直观的模式,具有直观易用的作用。

(1)断裂破碎带(V、IV级岩体)大多数分布于浅部地段,局部分布在矿体位置,其厚度自西向东总体呈逐渐减小、尖灭趋势,矿体周围局部有膨大现象。

(2)原设计方案中的+1 000 m 标高地段矿体赋存的面积较小,岩体破碎带显现面积大,地质条件较差,不适宜做为首采地段。

(3)+950~+900 m 标高位置附近矿体集中赋存,破碎带面积变小,标高范围内的破碎带对矿山井巷施工的影响程度较小,对后期矿体开采的影响程度亦较小,岩体地质条件较好。

(4)为矿山施工及井巷施工提供了一定的参考指导作用。

(5)对于不同的区域,别列瓦尔矿区存在不被查明的断裂、褶皱等地质构造,亦在不同程度上对RQD 地质模型还原度有一定的影响,需要不断收集完善地质资料对模型进行修正。

(6)对于岩体的等级划分,其与岩体的完整性有一定关系,与岩性及岩石的坚硬程度等也息息相关,因此,在实际应用时需要结合矿岩揭露的实际情况进行修正。

(上接第 64 页)

及支护控制要点进行了总结与分析,从施工角度出发对西藏地区高地应力条件下的隧道衬砌管片安装进行了深入研究,所取得的经验可为类似工程借鉴。

参考文献:

[1] 程锦中,刘吉鹏,陈行.基于蠕变模型隧道开挖的数值模拟研究[J].四川水力发电,2020,39(1):66-69.
 [2] 樊高臣,李瑞静.隧道围岩蠕变模型参数计算及变形数值分析[J].科技创新导报,2017,14(9):57-59.
 [3] 陈云飞.不同管片内衬加固方案对盾构管片力学性能影响研究[J].铁道勘察,2022,48(4):116-120.

(上接第 82 页)

[3] 何金武,徐干成,郑建中.地质雷达在地下洞穴探测中的应用[J].地质装备,2001,2(4):16-19.
 [4] 张远博,邓洪亮,高文学,等.地质雷达在采空区探测中的应用研究[J].施工技术,2014,43(17):112-114.
 [5] 褚军凯,霍俊发,张碧踪.符山铁矿尾矿库民采空区治理技术研究[J].金属矿山,2011,40(5):12-17.

参考文献:

[1] 蔡斌,喻勇,吴晓铭.《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,2001,20(增刊1):1679-1681.
 [2] 矿区水文地质工程地质勘查规范,GB12719-2021[S].
 [3] 张新,马婧.岩石质量指标(RQD)在钻孔岩石质量评价中的应用[J].西部探矿工程,2012,24(7):124-125.
 [4] 邱道宏,陈剑平,阙金声,等.基于粗糙集和人工神经网络的洞室岩体质量评价[J].吉林大学学报(地球科学版),2008,38(1):86-91.
 [5] 周念清,杨楠,汤亚琦,等.基于 Hoek-Brown 准则确定核电工程场地岩体力学参数[J].吉林大学学报(地球科学版),2013,43(5):1517-1522.
 [6] 李继明,左三胜.裂隙岩体岩石质量指标(RQD)的空间变化特征[J].吉林大学学报(地球科学版),2014,44(3):946-953.
 [7] 曾新平,吴健生,郑跃鹏,等.用于固体矿产勘探和开发的地质体三维可视化系统设计:基于混合数据模型[J].矿产与地质,2004,18(6):598-603.

作者简介:

罗海波(1985-),男,四川达州人,工程师,从事矿山生产技术与管理工作;
 杨柳斌(1993-),男,江西鹰潭人,项目副总工程师,工程师,学士,从事矿山工程施工技术与管理工作;
 王 乔(1983-),男,重庆市人,项目安全总监,注册安全工程师,助理工程师,从事矿山工程技术与安全管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

[4] 谭斌.利用三维计算机辅助设计软件进行高精度盾构衬砌管片钢模设计[J].科技风,2014,27(16):21-23.
 [5] 张恒.下穿立交桥盾构隧道掘进控制技术[D].四川:西南交通大学,2010.

作者简介:

周菊兰(1971-),女,四川资中人,副高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;
 陈 行(1985-),男,四川成都人,副高级工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作;
 黄 旭(1986-),男,湖北黄冈人,副高级工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

作者简介:

辜禹峰(1980-),男,四川仁寿人,项目经理,工程师,学士,从事矿山工程施工技术与管理工作;
 罗海波(1985-),男,四川达州人,工程师,从事矿山工程施工技术与管理工作;
 廖文斌(1977-),男,四川攀枝花人,工程师,从事矿山工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)