

柿树底金矿高阶大跨度老旧隐蔽采空区 安全治理实践

王洪涛¹, 李永旺¹, 张毅恒¹, 马能飞¹, 高峰辉¹, 冯东洲¹, 李 帅^{2*}, 胡博怡²

(1. 河南中矿能源有限公司, 河南 洛阳 471000;

2. 中南大学 资源与安全工程学院, 长沙 410083)

摘 要:目的:复杂老旧隐蔽采空区的治理一直是空场法开采矿山面临的重大难题。柿树底金矿为了解决大面积、多中段、已塌陷老旧隐蔽采空区的安全治理问题。方法:通过采空区禀赋特征调查,开展了高阶大跨度塌陷采空区似膏体非胶结充填治理技术与工程应用实践。结果:采用非胶结全尾砂充填治理采空区,消除了老旧隐蔽采空区的安全隐患、防止了地表的继续沉降和塌陷、避免了大规模地压灾害事故。结论:非胶结全尾砂充填治理采空区研究对于减少矿山运营成本、实现矿山固废零排放具有巨大的经济与社会效益,为国内广大空场法开采矿山的采空区治理提供了借鉴。

关键词:空场法;老旧隐蔽采空区;充填治理;非胶结充填;采空区治理

中图分类号:TD724

文献标志码:A

文章编号:1671-4172(2024)04-0054-05

Safety management of high stage and long span old hidden goaf in Shishudi gold mine

WANG Hongtao¹, LI Yongwang¹, ZHANG Yiheng¹, MA Nengfei¹, GAO Fenghui¹, FENG Dongzhou¹,
LI Shuai^{2*}, HU Boyi²

(1. Henan Zhongkuang Energy Co., Ltd., Luoyang Henan 471000, China;

2. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Purpose: The treatment of complex old concealed goaf has always been a major problem in open-stope mining. To solve the safety management problem of large area, multi-middle section, and collapsed old hidden goaf in Shishudi gold mine. Method: Through the investigation of the characteristics of goaf, the research and engineering application practice of paste-like non-cemented filling treatment technology for the high stage large-span subsidence goaf was carried out. Result: The non-cemented full tailings filling was used to control the goaf, which eliminated the hidden safety hazards of the old hidden goaf, prevented the continuous settlement and collapse of the surface, and avoided large-scale ground pressure disasters. Conclusion: The research on the treatment of goaf by non-cemented full tailings filling has great economic and social benefits for reducing the operation cost of the mine and realizing the zero discharge of solid waste in the mine, which provides a reference for the treatment of goaf in the majority of domestic open stope mining mines.

Key words: open stope mining; old hidden goaf; filling treatment; non-cemented filling; goaf management

收稿日期:2023-10-22

基金项目:湖南省科技创新计划项目资助(2023RC3035);湖南省自然科学基金项目资助(2021JJ40745)

作者简介:王洪涛(1972—),男,高级工程师,地质专业,研究方向为矿山地质及采矿工程技术。

通信作者:李 帅(1989—),男,博士,副教授,研究方向为充填采矿工艺技术。E-mail:15200826420@163.com。

由于柿树底金矿多年来一直采用房柱法进行开采,形成了数以百计的采空区并遗留了大量点柱和间柱,如此大规模的采空区群,极易发生冒顶、坍塌等灾害,引起地表错动。因此,应尽快对采空区的轮廓、采高、通路等现状进行系统地调查分析,查明采空区、点柱及间柱的分布特征,进而为采空区全尾砂

充填治理提供重要依据^[1]。

1 高阶段大跨度老旧隐蔽采空区简介

1.1 矿山概况

河南省第一地质矿产调查院有限公司嵩县柿树底金矿矿体赋存于含金构造蚀变带中,水文地质条件简单,顶底板围岩稳固性较好,但局部地段矿岩破碎、稳固性较差。主矿体呈似层状、板状,走向长400 m、倾向延伸300~400 m、平均倾角30°、平均厚度3.39 m、平均品位1.5 g/t。矿区目前采用平硐—盲竖井联合开拓,实际使用的采矿方法为房柱法,产生了突出的技术、经济、环保和安全难题,严重影响矿山的经济效益、服务年限和可持续发展。尤其是,经过多年的空场法开采,已采出矿石量已超过250万t,采空区体积已达到80~90万m³。如此大规模的采空区群,极易发生冒顶、坍塌等灾害(如+835 m以上的老采空区部分已坍塌),引起地表错动^[2]。

1.2 高阶段大跨度老旧隐蔽采空区现状

根据调查结果,可将采空区按照空区分布位置及其特征分为四大类^[3-4]:

1) 近地表采空区

该部分采空区位于柿树底金矿矿区最上部中段,部分空区与地表相通,故将此部分采空区划为近地表采空区,空区体积约2万m³,占空区总体积的1.72%。

2) 浅部特大型空区

浅部特大型空区主要由开采KK2、KK4、KK6与KK8号矿体形成,空区普遍由976 m中段贯通至835 m中段,相比其他空区,该部分空区规模非常大,总体积约24.1万m³,占空区总体积的20.69%。

3) 深部正采中段空区

深部正采中段空区主要由835~506 m正生产中段在开采过程中形成的空区组成,该部分空区规模较小,数量较多,分布区域范围广,总体积约27.24万m³,占空区总体积的23.38%。

4) 塌陷采空区

柿树底金矿目前860 m以上中段西部空区基本坍塌,人员无法进入,且890、918、976 m等中段部分主巷道坍塌,人员无法通过,估算该塌陷采空区体积约63.16万m³,占空区总体积的54.21%。

1.3 首充关键层区域选择

由于柿树底金矿上部存在未塌陷采空区总体

积超过30万m³,对深部开采作业的安全性影响尤为突出,而且上述采空区大多是由两层矿体开采产生的,采空区上下贯通、左右连通情况较为普遍,安全隐患更加突出,亟需充填处置,形成隔离层。因此,选择浅部特大型空区(835~890 m中段)作为首充区域,率先充填形成总高度达55 m的隔离层,对控制上部塌陷区向下蔓延,保障深部回采作业安全,降低充填系统的初期投资和运营成本均是有利的。

如图1所示,浅部特大型空区主要是由开采KK2、KK4、KK6与KK8号矿体形成的上下中段贯通的特大型采空区群。空区普遍由+976 m中段贯通至+835 m中段,相比其他空区,该部分空区规模大,总体积达24.1万m³,占空区总体积的20.69%。其中,+890~+976 m中段的采空区由于充填倍线较大,大部分不能实现自流输送,因此将其划分为低压泵送区,其总体积约为16.5万m³。2021年6月开始,柿树底金矿开始+835~+890 m中段的KK2、KK4、KK6特大遗留采空区群的充填治理工作(充填总体积6万m³),并逐渐向其他老旧采空区推进^[4]。

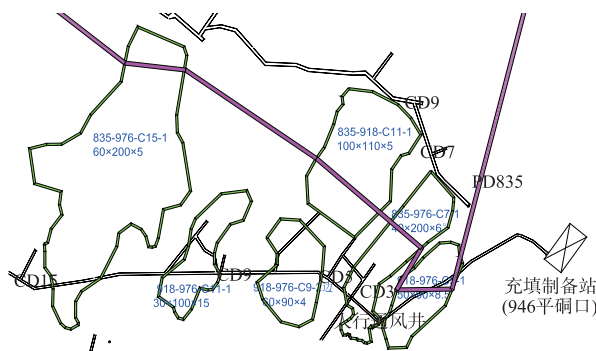


图1 浅部特大型空区(890~976 m段)分布示意图

Fig. 1 A sketch map of the distribution of the superlarge shallow empty area (sections 890—976 m)

由于上述采空区普遍从+976 m中段贯通至+835 m中段,形成了上下中段贯通的特大型采空区群,因此在进行采空区充填处置方案研究时,应将其统筹为一个整体进行综合考虑。由图2可知,地表充填制备站位于+960 m水平,+946~+976 m中段采空区充填需要向上泵送16 m,充填管路可采用在地面铺设,自976平硐口进入充填采空区;+946 m以下中段的采空区充填,可通过充填钻孔进入待充填中段的上一中段,然后铺设充填管道,通过充填天井进入下部中段,充填采空区。

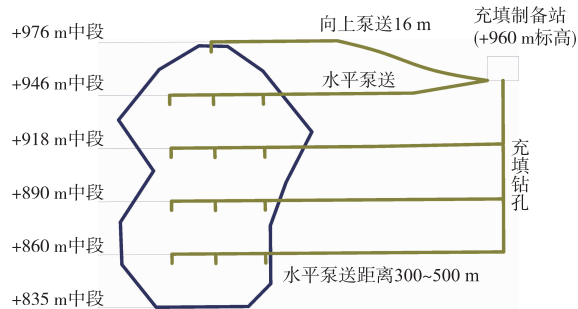


图2 柿树底金矿浅部特大型空区低压泵送充填管路布设示意图

Fig. 2 Schematic diagram of low pressure pumping filling pipeline layout in super large shallow goaf of Shishudi gold mine

2 高阶段大跨度老旧隐蔽采空区充填方案

2.1 充填料浆配比及强度指标

由于柿树底金矿剩余矿量基本为残留矿柱矿量,无法回收,故该部分矿量不纳入可采矿量范畴。同时,由于采空区塌陷严重,剩余残柱回收困难且经济效益较差,在与矿方协商一致的前提下,为进一步降低成本,在本次采空区充填治理方案研究过程中,选择全尾砂非胶结充填工艺进行采空区充填治理。柿树底金矿全尾砂脱水及配比试验结果表明:尾矿粒径相对较粗,是适宜的充填骨料;采空区充填料浆治理浓度推荐 65%~75%,可根据不同采空区类型灵活调整^[5]。

2.2 采空区充满率估算

一般来说,采空区充满率越高,采场的稳定性越好、采空区安全隐患越小,对减少地表塌陷和沉降、延长尾矿库的服务年限越有利。但是,采空区充满率越高对充填技术的要求越高,而且充填能耗和充填治理成本也会大大增加^[6]。

1) 高压泵送区充满率估算

高压泵送区为+1 080~+1 113 m 中段近地表采空区(体积 2.0 万 m^3)和+997~+1 053 m 中段塌陷采空区(体积 40.7 万 m^3),占空区总体积的 36.62%。由于高压泵送区规模大、数量多,充填管道沿路铺设的距离长、向上输送高程大、部分地区需二级接力泵送,而且+997 m 以上中段采空区及硐口坍塌严重、人员设备无法进入,因此,此部分采空区充填治理难度大、周期长、成本高。因此,此部分

采空区治理的充满率达到 50% 即可,以降低充填成本、节约设备能耗。

2) 低压泵送区充满率估算

根据充填动力方式的不同,+976~+808 m 中段采空区属低压泵送区,总体积约 43.4 万 m^3 ,占空区总体积的 37.31%。其中:+860~+976 m 中段塌陷采空区 22.5 万 m^3 ,浅部特大型空区(890—976 段)16.5 万 m^3 和+808 m、+835 m 中段远距离采空区 4.4 万 m^3 。由于低压泵送区规模较大,尤其是在 KK2、KK4、KK6 与 KK8 号矿体形成的由+976 m 中段贯通至+835 m 中段的浅部特大型空区,距离充填站距离仅 300~500 m,充填管道布设的距离短、成本低,充填料浆泵送压力小、能耗低,采空区充满率达到 80% 以上,以保障采场安全性、消除采空区安全隐患。

3) 自流输送区充满率估算

自流输送区是指+808 m 中段以下,充填倍线在 6 以下的区域,此部分采空区的总体积约 30.4 万 m^3 ,占采空区总体积的 26.08%。首先,自流输送区的关键层首充区域对控制上部塌陷区向下蔓延,保障深部回采作业安全意义重大;其次,自流输送区充填治理不需要提供额外动力,设备运行能耗极低。因此,建议此部分采空区治理的充满率应达到 90% 以上,在最大程度地保障采场安全性、消除采空区安全隐患的同时,实现尾矿的无害化处置,延长尾矿库的服务年限。

4) 采空区充填效果评价

柿树底金矿各类采空区充满率估算汇总见表 1 所示。由表 1 可知,按照上述采空区充满率估算率,柿树底金矿共计 116.5 万 m^3 采空区,计划充填治理 83.4 万 m^3 采空区,采空区充填治理率达到 72%。根据国内外中大型矿山采空区治理经验,采空区的充填率达到 60%~80% 即可有效控制地压灾害、保护地表环境。

柿树底金矿各类采空区充填治理所需时间汇总见表 2 所示。按照上述采空区充满率估算,柿树底金矿计划充填治理 834 407 m^3 采空区,采空区充填治理总周期可达到 10.8 a。再加上由空场法改为充填法后,原有还剩 2 a 的尾矿库服务年限可以延长至 4 a(充填法尾矿利用率 50.4%)。因此,柿树底金矿通过新建充填系统,10~11 a 之内尾矿可实现零外排,14~15 a 之内不需新建尾矿库。

表1 柿树底金矿各类采空区充满率估算表

Table 1 Estimation table of filling rate of various goaf in Shishudi gold mine

采空区分类	采空区位置	采空区体积/m ³	充满率/%	充填体积/m ³	小计/m ³
高压泵送区	1 113 m 中段采空区	11 000	50	5 500	213 306
	1 083 m 中段采空区	9 000	50	4 500	
	997 以上塌陷区	406 611	50	203 306	
低压泵送区	860-918 塌陷区	90 000	80	72 000	347 684
	918-976 塌陷区	135 000	80	108 000	
	特大空区(890-976 段)	165 425	80	132 340	
	835 m 中段采空区	11 130	80	8 904	
	808 m 中段采空区	33 050	80	26 440	
	特大空区(835-890 段)	75 225	90	67 703	
自流输送区 (首充区域)	773 m 中段采空区	40 950	90	36 855	159 728
	738 m 中段采空区	36 550	90	32 895	
	703 m 中段采空区	24 750	90	22 275	
自流输送 (嗣后充填区)	668 m 中段采空区	37 800	90	34 020	113 690
	633 m 中段采空区	55 880	90	50 292	
	598 m 中段采空区	11 718	90	10 546	
	563 m 中段采空区	13 730	90	12 357	
	528 m 中段采空区	7 194	90	6 475	
合计		1 165 000	72	834 407	834 407

表2 柿树底金矿各类采空区充填治理所需时间计算表

Table 2 Table for calculating time needed for filling treatment of various goaf in Shishudi gold mine

采空区分类	采空区位置	充满率/%	充填治理总体积/m ³	可充填时间/a	建议充填顺序
高压泵送区	+997 m 中段以上	50	213 306	2.8	4
低压泵送区	+808~+976 m 中段	80	347 684	4.5	3
自流输送区	关键层首充区域	90	159 728	2.1	1
	嗣后充填区	90	113 690	1.5	2
合计			834 407	10.8	

3 采空区处理效益分析

3.1 采空区充填成本

充填系统工作制度为:年运行 300 d,每天连续充填 12 h。为实现尾矿零外排,柿树底金矿充填系统既要考虑充填采矿的需求,又要兼顾采空区充填治理的要求。充填采矿年需尾砂充填体积 9.52 万 m³,采空区充填治理需尾砂充填体积 8.40 万 m³,共计 17.92 万 m³/a 的充填量。充填系统项目运营成本主要包括充填材料、动力(电费)、人工、设备折旧成本。根据国内类似条件矿山经验,柿树底金矿充填采矿及采空区充填采用非胶结充填的综合成本为 4.51 元/m³,合吨矿成本 1.67 元/t(矿石体重 2.7 t/m³)^[7]。

3.2 采空区处理经济效益分析

柿树底金矿采空区充填治理全部采用全尾砂非胶结充填,非胶结充填的成本为 4.51 元/m³(合吨矿成本 1.67 元/t),按照全年 8.4 万 m³的采空区治

理充填总量进行计算,柿树底金矿充填治理采空区的总费用为:8.4 万×4.51=37.9 万元/a。

如不进行充填治理采空区,除了充填采矿消耗约一半尾矿外,柿树底金矿每年仍有近 10.3 万 t 尾矿需要排往尾矿库,仅考虑 15 元/t 的环保税(折算为原矿成本),仅排尾征税就高达 154.5 万元/a。同时,由于柿树底金矿尾矿库库容将罄,亟需新建尾矿库进行尾矿排放,而新建尾矿库不仅审批难度大、周期长,而且各项费用更是居高不下。按照国内同类矿山情况估算,尾矿库征地费用按 5 元/t 计,尾矿管道输送费用按 1 元/t 计、尾矿库的管理、运营及维护成本按 3 元/t 计,柿树底金矿的排尾成本合计达 92.7 万元/a。因此,柿树底金矿采用全尾砂非胶结充填进行采空区充填治理,可以实现尾矿的零外排,节约尾矿环排放保证征税、尾矿库建设及运营等成本共计 247.2 万元/a,经济效益显著^[8]。

3.3 采空区处理综合效益分析

柿树底金矿由空场法转为充填法,同时采用全

尾砂非胶结充填进行采空区充填治理,不仅具有明显的经济效益,而且还有显著的环境效益和社会效益^[9-10]。

1)可以及时充填采空区、有效控制地压活动、保障回采作业安全,避免由于地压灾害造成的人员伤亡事故;

2)可以最大限度地回收地下矿产资源。充填法由于采用人工矿柱,实现两步骤安全回采,不留矿柱或使矿柱量大大减少,与空场法相比,其矿石回收率一般要提高10%;

3)柿树底金矿通过新建充填系统,在综合考虑充填采矿和充填治理采空区的情况下,10~11 a之内尾矿可实现零外排,14~15 a之内不需新建尾矿库;在考虑到开发了废石与尾矿改性作建筑材料、铺路、制砖等综合利用途径,实现了矿山固废100%综合利用,彻底消除了尾矿库;

4)根据最新的《中华人民共和国环境保护税法》,柿树底金矿采用充填采矿和充填治理采空区,实现尾矿零外排,可节约尾矿排放税收356万元/a;

5)可以大大减轻尾矿排放对地表环境造成的危害,改善当地生态环境,有助于柿树底金矿建成技术先进、资源高效利用的绿色示范矿山,促进黄金矿山整体开采技术水平的进步。

4 结论

经过数十年的空场法开采,柿树底金矿产生了近110万m³庞大采空区群,且超过50%出现了大面积、多中段塌陷与贯通,严重威胁深部回采作业安全。基于详实的采空区禀赋特征调查和稳定性计算分析,开展了高阶大跨度塌陷采空区似膏体非胶结充填治理技术研究,解决了大面积、多中段、已塌陷老旧隐蔽采空区的安全治理难题,彻底消除了老旧隐蔽采空区的安全隐患、防止了地表的继续沉降和塌陷、避免了大规模地压灾害事故。

参 考 文 献

- [1] 李振龙,李帅,王新民,等. 柿树底金矿空场法转充填法及绿色矿山建设实践[J]. 世界有色金属,2020(9):200-201.
LI Zhenlong, LI Shuai, WANG Xinmin, et al. Practice of open-stope method to backfill method and green mine construction in Shishudi gold mine[J]. World Nonferrous Metal, 2020(9):200-201.
- [2] 杨建国,陈俊宇,周兴晖,等. 高阶大跨度柱状采空区群低成本充填治理方案研究[J]. 金属矿山,2023,52(6):45-50.
- [3] YANG Jianguo, CHEN Junyu, ZHOU Xinghui, et al. Low cost backfilling treatment of high stage and long span columnar goaf[J]. Metal Mine, 2023, 52(6):45-50.
- [3] 李帅,邹培源,余灏轩,等. 充填采矿法在中小型矿山转型中的应用:安全高效环保的开采技术[J]. 应用科学,2023,12(13):1-3.
- LI Shuai, ZOU Peiyuan, YU Haoxuan, et al. Advantages of backfill mining method for small and medium-sized mines in China: safe, eco-friendly, and efficient mining [J]. Applied Sciences-Basel, 2023, 12(13):1-3.
- [4] 周英烈. 混合尾砂膏体充填料浆搅拌特性工业试验[J]. 有色金属(矿山部分),2024,76(1):68-76.
- ZHOU Yinglie. Industrial experimental on the mixing characteristics of mixed tailings paste filling slurry [J]. Nonferrous Metals(Mining Section), 2024, 76(1):68-76.
- [5] 余灏轩,李帅,王新民. 中国充填采矿法进展Ⅲ:实用采空区充填技术[J]. 矿物工程,2022,12(1):88.
- YU Haoxuan, LI Shuai, WANG Xinmin. The recent progress china has made in the backfill mining method, part Ⅲ: practical engineering problems in stope and goaf backfill [J]. Minerals Engineering, 2022, 12(1):88.
- [6] 李帅,于正,余灏轩. 中国高浓度充填技术进展[J]. 可持续发展,2022,14(5):2758.
- LI Shuai, YU Zheng, YU Haoxuan. The recent progress china has made in high-concentration backfill [J]. Sustainability, 2022, 14(5):2758.
- [7] 李帅,赵泽铭,余灏轩,等. 中国充填采矿法进展Ⅲ:充填系统组成与典型实例[J]. 矿物工程,2021,11(12):1362.
- LI Shuai, ZHAO Zeming, YU Haoxuan, et al. The recent progress china has made in the backfill mining method, part Ⅲ: the composition and typical examples of backfill systems [J]. Minerals Engineering, 2021, 11(12):1362.
- [8] 王登华,彭府华,张智博,等. 基于微震监测多方法的采空区群稳定性分析[J]. 有色金属(矿山部分),2023,75(6):37-45.
- WANG Denghua, PENG Fuhua, ZHANG Zhibo, et al. Multi-method stability analysis on large-area goaf group based on micro-seismic monitoring [J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2023, 75(6):37-45.
- [9] 王新民,张国庆,李帅,等. 高阶大跨度充填体稳定性评估[J]. 中国安全科学学报,2015(6):91-97.
- WANG Xinmin, ZHANG Guoqing, LI Shuai, et al. Stability evaluation of high stage and large span backfill [J]. China Safety Science Journal, 2015(6):91-97.
- [10] 王振闽,李振龙,李帅,等. 机械化上向水平分层充填法在低品位缓倾斜多层金矿脉开采中的应用[J]. 中国矿业,2021,30(11):87-93.
- WANG Zhenmin, LI Zhenlong, LI Shuai, et al. Application of mechanized upward slicing and filling method in mining low grade, gently inclined and multilayer parallel gold veins [J]. China Mining Magazine, 2021, 30(11):87-93.