

露天边帮下紧邻尾矿库采空区地表充填治理方法

任思潼¹, 顾晓薇¹, 付煜¹, 李传迎²
(1. 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁沈阳 110819; 2. 辽宁排山楼黄金矿业有限责任公司, 辽宁阜新 123000)

摘 要: 针对采空区废石充填常规处理方法难度大、费用高、安全性差等问题,结合排山楼金矿条件,研究了控制诱导冒落协同地表充填塌陷坑的采空区充填治理方法,包括采用RG井下电视监测评估空区冒落进程,从地表钻井充填保护露天坑尾矿库,崩落矿柱诱导空区冒透地表,地表充填塌陷坑恢复地貌,客土造田与恢复地表使用功能等方法.该方法用于排山楼金矿,使大型活动空区得到安全高效充填治理,取得了良好的技术经济效果.理论分析与实践表明,露天边帮下紧邻尾矿库的倾斜矿体采空区控制诱导冒落协同地表充填的治理方法,可减小采空区废石充填治理的难度,实现大型采空区安全高效治理.

关 键 词: 采空区治理;RG监测;冒落边界控制;诱导冒落;地表充填

中图分类号: TD 853.391+2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2018)05-0722-04

Mined-Out Area Treatment Method by Surface Filling Under Open-Pit Slope Adjacent to Tailings Reservoir

REN Si-tong¹, GU Xiao-wei¹, FU Yu¹, LI Chuan-ying²
(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Liaoning Paishanlou Gold Mining Limited Liability Company, Fuxin 123000, China. Corresponding author: FU Yu, E-mail: yizhiyan1987@163.com)

Abstract: Aimed at solving high cost, poor safety and extreme difficulty caused by conventional mined-out area treatment by waste rock filling, innovative mined-out area treatment method was studied by inducing and controlling caving as well as surface collapse pit filling, used in Paishanlou gold mine. The innovative methods including using of RG underground television monitoring and evaluation on mined-out area caving process, drilling from the surface protecting the open pit tailings reservoir, blasting ore pillar and inducing the emit through earth's surface, recovering landform by filling collapse pit from the surface and land forming by alien earth and recovery surface function. The application of this innovative method in Paishanlou gold mine enables safe and efficient filling treatment of large-scale active mined-out area, and achieve good economical and technical results. Both theoretical analysis and practice shows that, for open-pit slope adjacent to the tailings reservoir of inclined ore body mined-out area, using controlled induced caving and surface filling method will reduce the difficulty of mined-out area waste rock filling treatment, and ensured safe and efficient treatment of large-scale mined-out area.

Key words: mined-out area treatment; RG monitoring; caving boundary control; induce caving; filling from surface

在金属矿床露天转地下开采中,倾斜矿体的露天坑,通常用作地下开采的尾矿库,廉价矿石的地下采矿方法首选空场法.此时采空区的高度与水平投影面积均随采深的增大而快速增大,对矿山生产的安全构成重大威胁,为此,需要及时治理采空区^[1-3].为保护地表,通常采用向采空区充填

废石的方法进行治理. 传统的充填方法是:在井下形成通达采空区顶板的充填系统,将井下掘进碴石或地表废石运输到采空区的顶部或旁侧,倒入采空区进行充填. 这种充填方法不仅效率低、成本高、安全生产条件差,而且常常因占用矿石运输系统影响矿山生产的正常进行. 由于充填治理的难度大,许多采空区得不到及时治理,成为矿山的重大安全隐患.

近年来,东北大学采矿方法研究组结合排山楼金矿的空区条件,将井壁电视监测技术与岩体冒落规律的研究成果有机结合,研发出大型采空区控制冒落协同地表充填的高效治理方法,大幅度提高了充填效率,改善了施工安全条件,降低了充填成本,为采空区安全高效充填治理提供了一种新方法.

1 空区冒落进程评估

排山楼金矿露天转地下应用分段空场法开采,在露天边帮下形成 11 250 m² 大型采空区,空区顶板已部分冒落,处于活动状态. 紧邻空区上部的露天坑用作尾矿库,需要保护,下部的 40 万 t 低品位矿石需要低贫化开采. 对于处于活动状态的大型采空区,传统的井下充填存在 5 大难题:一是空区围岩随时可能塌落,近空区施工安全无保障;二是充填费用过高,矿山难以承受;三是充填井下掘进的碎块废石将加大矿石贫化率,使下部低品位矿石资源难以利用;四是提运地表废石占用已经紧张的提升系统,严重影响矿石生产;五是空区形态复杂且不时冒落,无法完全充填,难以保护露天坑尾矿库的可靠性^[4-6]. 为此,需要研究新型充填方法. 由于空区体积大,需要充填的散体量大,为提高充填效率与降低成本,适宜从地表直接充填. 然而地表充填能否顺利实施,取决于空区陷落危害的可能性,需要对空区冒落进程进行评估.

在预计空区最先冒透地表的部位(+ 407 m 台阶上)钻 2 个相距 20 m 直径为 120 mm 的监测孔(图 1),利用英国 Robertson Geologging Limited (RG)公司生产的 RG 井下电视系统,对钻孔壁面全方位 360°高精度成像,探明从上往下距地表 19 ~ 25.9 m, 39.8 ~ 46.4 m, 46.6 ~ 51.5 m 和 53.5 ~ 62.8 m 4 个区段内岩体的完整性与稳定性良好,能够作为冒落控制岩层. 根据监测分析结果,结合空区冒落跨度计算,提出图 1 所示采空区从地表监测充填的治理方法.

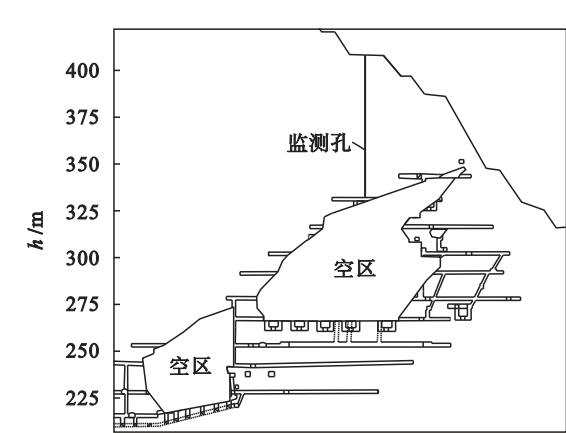


图 1 空区断面形状与监测孔位置
Fig. 1 Mined-out areas and monitoring hole

2 地表监测充填方法

由于尾矿库的库面高度紧邻上位空区顶部, + 407 m 台阶以下的露天边帮不允许塌落,为此提出两步充填方案,首先,在露天台阶上适宜的位置钻凿多条充填井,向空区充填大块废石,护住紧邻尾矿库的空区边壁,同时用充填井排面控制空区冒落的界线;随后,崩落空区中矿柱,使空区宽度超过持续冒落跨度,诱导空区冒透地表形成塌陷坑,再用废石充填地表塌陷坑^[7-8].

充填井位置的选择,不仅需要考虑到充填散体尽可能多地挤住紧邻尾矿库的采空区边壁,而且需要考虑被充填散体挤压的边壁不会失去散体的支撑,即在后续崩落矿柱时,一旦引起矿柱上位充填散体涌入下位空区,需保障散体发生移动的范围不超过充填井的轴线位置,确保充填散体对空区壁面的有效支撑. 根据随机介质放矿理论,散体重力流的移动范围 R 可按式(1)计算:

$$R = 3 \sqrt{\frac{1}{2} \beta h^\alpha} \quad (1)$$

式中: α, β 为充填散体的流动参数; h 为采空区高度, m.

排山楼金矿 $\alpha = 1.564\ 2, \beta = 0.236\ 6, h = 67\ \text{m}$, 代入式(1)计算得 $R = 27.66\ \text{m}$. 也就是说,充填井的轴线距待崩落矿柱的距离不应小于 27.66 m. 此外,充填井的位置还应考虑施工方便条件,充填井的间距应考虑切断冒落线向尾矿库一侧延展的需要. 综合考虑这些因素,排山楼金矿选择在 + 420 m 台阶与 + 407 m 台阶开掘了 3 条直径为 5 m 的充填井,充填井间距分别为 25 m 与 20 m,其轴心与待崩落矿柱的水平距离为 44.80 ~ 49.68 m,远大于计算得出的散体重力流的移动范围 27.66 m. 用 VCR 爆破成井,即从地表打垂直

深孔,直通空区,从下向上分段爆破形成充填井.由于空区已处于活动状态,采用从空区投影线的边缘向内部逐个施工充填井,成井后立即充填,填满后再施工下一充填井的技术方案,以确保施工人员不受空区陷落危害.采用载重 40t 德龙 F3000 型越野卡车 4 台运输废石充填,每日一班,每台装载 20 m³ 废石,充填速度 2 000 m³/d. 充填井深 50 ~ 70 m,每一井都充填到废石填满井口为止,此后井内废石一旦出现下移随时补填,始终保持废石与井口平齐.三条井分别充进废石 13.7,15.2 和 8.3 万 m³,共充填废石 37.2 万 m³.在钻井与充填过程中,利用 RG 井下电视系统,每月 2 次对监测孔壁的裂隙变化和空区顶板位置进行观测,以此监测空区活动状态,指导安全施工.

3 空区诱导冒落与地表复垦造田

为估算岩体持续冒落跨度,需要建立力学模型.在图 1 状态下,简化为平面问题,空区顶板岩体的受力关系如图 2 所示,可得

$$T = \frac{\gamma l^2}{h} \left(\frac{H}{2} + \frac{l}{3} \tan \theta \right).$$

(2)

式中: T 为顶板岩体单位面积上承受的质量, t ; γ 为上覆岩层容重, t/m^2 (平面问题); l 为空区半跨度, m ; H 为空区顶板最小埋深, m ; θ 为露天边坡角, $(^\circ)$.

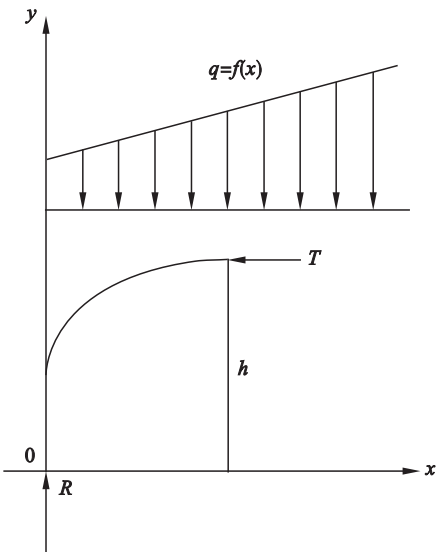


图 2 平衡拱受力分析图
Fig. 2 Diagram of equilibrium arch mechanical analysis

由式(2)可知,随着采空区半跨度 l 值的增大,顶板岩体单位面积上承受的压力 T 急剧增大,当 T 增大到极限压力时,顶板围岩破坏,引起冒落发生,此时对应的采空区跨度称为临界冒落

跨度.排山楼金矿 $H = 72\text{ m}$, $h = 67\text{ m}$, $\gamma = 2.75\text{ t/m}^3$ (平面问题), $\theta = 46^\circ$, 岩体抗压强度为 75.68 MPa, 即 $T = 7\,719.36\text{ t}$, 代入式(2)计算得: $l = 57.95\text{ m}$, 即临界冒落跨度为 $2l = 2 \times 57.95 = 115.9\text{ m}$. 统计分析得出,在图 1 所示的空区埋深条件下,持续冒落跨度为临界冒落跨度的 1.25 ~ 1.60 倍,取较大值,可得持续冒落跨度值的估算值: $1.60 \times 115.9 = 185.44\text{ m}$.

按 186 m 估算持续冒落跨度,井下只需崩落上、下空区之间的走向矿柱,此时形成的采空区沿矿体走向宽度 189.7 m,沿矿体延深方向宽度 276.2 m,两个方向均大于持续冒落跨度值.为此,在 +250 m 水平采用中深孔一次性崩落走向矿柱的技术措施(图 3),使上、下位采空区完整连通.排山楼金矿于 2012 年 4 月 17 日崩落走向矿柱,当天 15 时 15 分采空区便冒透地表,在 410 m 台阶以上形成一深 10 ~ 43 m、总面积 10 451 m² 的塌陷坑(图 4).

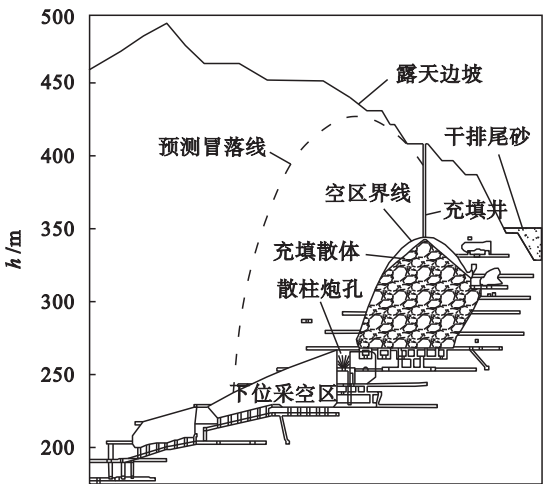


图 3 空区诱导冒落方法
Fig. 3 Induced caving method of mined-out area



图 4 地表塌陷坑近照
Fig. 4 Recent photo on surface subsidence

在空区冒透地表的第3d,塌陷坑边壁侧向塌落稳定后,利用露天排岩场内的废石,从地表充填塌陷坑(图5a),共充填废石量 $333\,566\text{ m}^3$.在完成废石充填与表面整形后,进行客土覆盖,客土两层,每层厚0.5 m,两层之间铺设防水土工布,由此造田近 $13\,334\text{ m}^2$ (图5b)^[9-11].至今已经历4年多的时间,所造田地种植玉米、大豆、苜蓿草等作物,只在矿体延深方向靠近塌陷区边壁的覆土出现沉陷凹坑,需要动态填补;其余部位的整个覆土层,未出现明显开裂,表明其下散体的沉实运动未破坏覆土层的整体性.

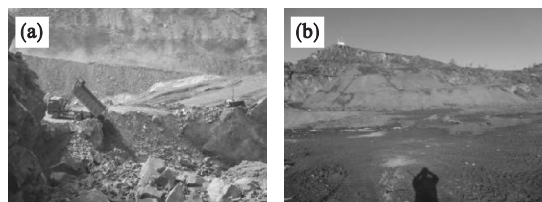


图5 地表塌陷区充填与客土造田

Fig. 5 Surface subsidence pit filled with new soil for farmland

(a)—充填塌陷坑;(b)—覆土后边坡状况.

理论分析与排山楼金矿的生产实践表明,本文提出的控制冒落边界的诱导冒透地表协同充填塌陷坑的采空区地表充填方法,不仅效率高、成本低、安全可靠,而且不影响矿石生产的正常进行,是一种大型活动采空区的安全高效治理方法.

4 结 论

1) 在倾斜矿体露天转地下开采中,露天坑作尾矿库时,露天边帮下的采空区可从地表高效充填治理.

2) RG监测下从空区边缘向内部VCR法钻井与卡车运送废石逐井充填方法,可有效控制冒落界线与保障尾矿库不塌陷,并可使活动空区得到安全充填治理.

3) 在地表不允许塌落部位得到保护后,诱导冒落采空区,同时地表废石充填塌陷坑,之后地貌整形与客土覆盖造田的采空区治理方法,具有安全、高效、节能、环保等突出优点,可将倾斜矿体露

天转地下开采的大型采空区充填治理化难为易,将空区灾害区变为经济利用区.

参考文献:

- [1] Luo Z Q, Xie C Y, Zhou J M, et al. Numerical analysis of stability for mined-out area in multi-field coupling [J]. *Central South University*, 2015(22): 669–675.
- [2] 周宗红, 任凤玉, 袁国强. 桃冲铁矿采空区处理方法研究[J]. *中国矿业*, 2005(2): 17–18.
(Zhou Zong-hong, Ren Feng-yu, Yuan Guo-qiang. Study on treatment method of the mined area in Taochong iron mine [J]. *China Mining Magazine*, 2005(2): 17–18.)
- [3] 李俊平, 肖旭峰, 冯长根. 采空区处理方法研究进展[J]. *中国安全科学学报*, 2012, 22(3): 48–54.
(Li Jun-ping, Xiao Xu-feng, Feng Chang-gen. Progress in developing methods for dealing with forsaken stope [J]. *China Safety Science Journal*, 2012, 22(3): 48–54.)
- [4] Lai X P, Xie M W, Ren F H, et al. Quantitative analysis of biotechnical reinforcement for a steep slope consisting of composite coal-gangue-soil medium adjacent to a mined-out area [J]. *Journal of University of Science and Technology Beijing*, 2005, 12(6): 489–494.
- [5] Lai X P, Wang L H, Cai M F. Couple analyzing the acoustic emission characters from hard composite rock fracture [J]. *Journal of University of Science and Technology Beijing*, 2004, 11(2): 97–100.
- [6] Cai M F, Hao S H, Ji H G. Regularity and prediction of ground pressure in Haigou gold mine [J]. *Journal of University of Science and Technology Beijing*, 2008, 15(5): 521–527.
- [7] Zhang B Y, Bai H B, Zhang K. Seepage characteristics of collapse column fillings [J]. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2016, 26(2): 333–338.
- [8] Robin O, Craig D, Rusty M. Void fill techniques for stabilizing roof conditions during longwall recovery [J]. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2016, 26(1): 119–122.
- [9] Narrei S, Osanloo M. Optimum cut-off grade's calculation in open pit mines with regard to reducing the undesirable environmental impacts [J]. *International Journal of Mining*, 2015, 29(3): 226–242.
- [10] Huertas J I, Huertas M E, Cervantes G, et al. Assessment of the natural sources of particulate matter on the opencast mines air quality [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 493(3): 1047–1055.
- [11] Yavuz M, Altay B L. Reclamation project selection using fuzzy decision-making methods [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 73(10): 6167–6179.