

地下矿山回采率影响因素及提高回采率的研究

郝小松

河北中安筑业设计集团有限公司, 河北 石家庄 050091

[摘要]地下矿山的回采率直接关系到矿产资源的有效利用率和经济效益,同时也关系到资源保护和资源节约。在当前全球资源日益紧缺的背景下,对影响回采率的因素进行系统分析,并探讨提升回采率的技术措施,能够为矿山企业提供科学的决策支持,提升其竞争力。文中探讨地下矿山回采率的定义、影响因素,以及相关技术措施的应用,希望可以为矿山企业提供一套切实可行的回采率提升策略。

[关键词]地下矿山;回采率;开采工艺;胶结充填;无间柱采矿法

DOI: 10.33142/ect.v2i12.14811

中图分类号: TD823

文献标识码: A

Research on the Influencing Factors of Underground Mines Recovery Rate and the Improvement of Recovery Rate

QIE Xiaosong

Hebei Zhong'an Construction Industry Design Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050091, China

Abstract: The recovery rate of underground mines is directly related to the effective utilization and economic benefits of mineral resources, as well as resource protection and conservation. In the context of the increasingly scarce global resources, a systematic analysis of the factors affecting the recovery rate and exploration of technical measures to improve the recovery rate can provide scientific decision support for mining enterprises and enhance their competitiveness. The article explores the definition, influencing factors, and application of relevant technical measures for the recovery rate of underground mines, hoping to provide a practical and feasible strategy for mining enterprises to improve the recovery rate.

Keywords: underground mines; recovery rate; mining technology; cemented filling; pillarless mining method

引言

随着全球经济的快速发展,矿产资源的需求量持续增长。然而,矿产资源属于不可再生资源,加上开采过程中的肆意浪费,尤其是在地下矿山中,复杂的地质条件和特殊的采矿工艺,资源回采率低成为急需解决的重要问题。基于此,如何通过先进技术和优化工艺来提高回采率,成为业界共同关注的焦点。

1 地下矿山回采率的概念与影响因素

1.1 回采率的定义与计算方法

回采率是矿山开采过程中评价资源利用效率的重要指标,表示实际采出的矿石量与理论上可采矿石量的比值。回采率的公式如下:

$$R = \frac{M_{\text{actual}}}{M_{\text{theoretical}}} \times 100\%$$

R代表回采率, M_{actual} 表示实际采出的矿石量, $M_{\text{theoretical}}$ 为理论上可采的矿石量。回采率直接反映了矿山资源的有效利用程度,对于矿山经营管理具有重要意义。在实际操作中,回采率的计算可能受到多种因素的影响。例如,矿石品位、采矿方法以及采矿设备的性能等都会对回采率产生直接或间接的影响。为了提高矿山的经济效益,合理提高回采率成为矿山管理中的一项重要任务。

1.2 影响回采率的主要因素

影响地下矿山回采率的因素多种多样,其中地质条件、

开采工艺与方法、矿山设计与规划以及设备与技术水平是四个最为关键的方面。

1.2.1 地质条件

矿体的形态、矿石的赋存状态、围岩的力学性质等地质因素直接影响到采矿过程中的矿石回采率。①矿体形态与规模:矿体形态复杂、不规则,就会导致采矿过程中矿石损失较大,回采率较低。②岩石力学性质:硬度较大的围岩有利于矿柱的稳定,可以减少矿柱的保留,从而提高回采率。反之,较软的围岩容易发生塌陷或变形,需要保留更多矿柱以维持稳定性,从而降低回采率。③地质构造:断层、褶皱等地质构造对矿体的完整性有较大影响。例如,某铜矿矿体由于存在多条断层,使得矿体破碎严重,导致回采率降低了5%以上。

1.2.2 开采工艺与方法

选择合适的开采方法可以最大限度地减少矿石损失,提高资源利用效率。传统的房柱法由于需要保留大量矿柱,回采率较低;而分段崩落法、无间柱采矿法等先进方法则可以提高回采率。例如,在某铅锌矿中,采用分段崩落法后,回采率从原来的65%提高到了85%。现代采矿工艺注重精确定位、精准爆破和高效运输,以减少矿石损失和浪费。通过采用三维激光扫描技术,可以精确确定矿体边界,优化爆破设计,提高矿石回采率。采用先进的爆破技术,如

控制爆破、微差爆破等,可以减少矿石的过度破碎,降低矿石的损失率,从而提高回采率。在某金矿中,通过优化爆破设计,使得矿石损失率降低了10%,回采率提高了约8%。

1.2.3 矿山设计与规划

合理的井巷布置可以减少运输距离,降低矿石的运输损失,从而提高回采率。合理的采场设计可以最大限度地减少矿石残留,避免不必要的矿柱保留。自下而上的开采顺序可以减少矿石的损失,提高资源的利用率。

1.2.4 设备与技术水平

现代化的设备与先进技术的应用能提高矿石的回采率。采用现代化的采矿设备,如智能挖掘机、自动化钻机,可以提高采矿的精度和效率,减少矿石损失。在某大型铁矿的开采中,引入高效采矿设备后,回采率提高了约10%。自动化采矿系统和智能化监测设备的应用,可以实时监控采矿过程,优化采矿操作,提高回采率^[1]。采用高效破碎设备可以将矿石破碎到适合的粒度,减少矿石损失;而高效运输设备则可以降低矿石的运输损耗,从而提高回采率。

2 提高回采率的技术措施

2.1 自下而上的开采顺序

原理与优势,自下而上的开采顺序的基本原理是先从矿体的底部开始开采,然后逐步向上推进,有助于在矿体底部形成稳定的支撑结构,从而减小采空区的地压对上部矿体的影响。采用自下而上的开采顺序能够降低矿柱的保留量,减少矿石的损失,还可以减少采空区的规模,降低顶板坍塌的风险,进而提高回采率。而且还能更好地控制地压,尤其是在深部开采时,通过从底部向上开采,可以在上部矿体受到较小的地压影响时进行开采,减少矿体破碎和矿石损失的可能性。自下而上的开采顺序适用于矿体较厚、矿柱保留量较大的矿山中,在矿体形态复杂、不规则,或者围岩力学性质较差的矿山中表现尤为出色。在某铜矿的应用中,自下而上的开采顺序使矿石回采率上升了12%,减少了矿柱,提升资源的利用率。在选择开采顺序时,要结合矿山的地质条件、矿体形态等因素综合分析。

2.2 废石或尾砂胶结充填技术

废石或尾砂胶结充填技术的基本原理是利用矿山开采过程中产生的废石或尾砂,配合胶结材料(如水泥、石灰等)进行充填,支撑采空区的顶板和周围岩层,防止坍塌和地压集中,从而减少矿柱的保留量,提高矿石回采率。胶结充填技术能够有效解决采空区的稳定性问题,特别是在较软的围岩或地质条件复杂的矿山应用广泛,能够实现废石和尾砂的资源化利用。胶结充填技术还能够有效减少尾矿库的建设需求,降低尾矿库溃坝等风险,实现经济效益与环境效益的双赢。尽管该技术初期需要购置设备和材料,但最终可以增加矿山的总产量,降低单位矿石的开采成本。

2.3 采矿方法不留顶间柱

传统的采矿方法中,需要保留一定数量的矿柱以支撑采

空区的顶板,保证采矿过程的安全。而无间柱采矿法通过采用胶结充填、人工支撑等技术,取消了传统的顶柱间柱,使得原本需要保留的矿柱得以开采,从而提高了回采率。该方法适用于矿体形态复杂、顶板稳定性较差的矿山。在实施过程中,需要先对矿体进行详细的勘探和分析,确定矿体的形态、围岩的力学性质等。在此基础上,制定合理的开采方案,确定采矿顺序、充填材料的选择以及充填工艺的设计。无间柱采矿法充填材料的质量、充填过程以及充填后的固化效果都直接影响到采空区的稳定性,从而影响回采率的高低。采用先进的实时地压监测、采空区形变监测等,及时发现采空区的安全隐患,保证采矿过程的安全和提高回采率。

3 新工艺与新设备的应用

3.1 高效采矿设备的应用

3.1.1 自动化与智能化设备

在地下矿山中,自动化与智能化设备的应用极大地提升了采矿效率,并有效提高了矿山的回采率。自动化设备,如无人驾驶矿车、自动钻机和远程控制挖掘机,能够在复杂的地下环境中执行高精度操作,从而减少了矿石的损失。自动钻机通过智能化控制系统,可根据矿体的形态和围岩条件,实时调整钻孔角度和深度,减少了矿石的损失,提高了矿山的回采率。

3.1.2 高效破碎与运输设备

在鞍钢集团齐大山铁矿引入新型高效破碎设备和优化运输系统后,矿山回采率提高了约6%。新型破碎设备采用了多段破碎技术和高压辊磨技术,与传统设备相比,破碎效率提升了约32%。在齐大山铁矿的实际应用中,新设备将平均破碎时间缩短了约22%,年处理量增加了近20万吨。同时,节能技术的应用使得每吨矿石的破碎能耗降低了15%,显著节省了能源成本。在矿石运输方面,齐大山铁矿通过优化运输路径和改进运输系统,有效减少了矿石在长距离运输过程中的二次破碎和损失。经过一年运行,矿石损失率降低了约9%,运输过程中的能耗减少了10%,显著提升了矿山的经济效益。此外,新型设备的应用还使得温室气体排放量减少了约13%,进一步增强了环保效益。

3.2 新工艺的开发与应用

传统的爆破开采方法虽然能够快速采矿,但会造成大量矿石的破碎和损失。无爆破开采技术利用高压水射流或冷切割技术,能够在不破坏矿石完整性的情况下进行开采,从而减少矿石的损失,提升回采率。智能化地质勘探技术也在不断发展,利用地质雷达、三维地震探测等先进勘探手段,矿山能够更加准确地了解矿体的形态和地质结构,从而制定更加合理的开采方案,避免矿石的无效开采和损失。

在矿山开采过程中,采用太阳能和风能等可再生能源为矿山设备供电,不仅减少了化石能源的使用,还降低了矿山的碳排放,符合国家的环保政策,还为矿山企业带来了可观的经济效益。新型的尾矿干排技术通过将尾矿中的

水分尽可能去除,使尾矿以干燥状态排放,减少了尾矿库溃坝的风险,并降低了对周边环境的污染。

3.3 先进监测与控制技术

先进的监测与控制技术在现代矿山中发挥着越来越重要的作用,通过实时监测和数据分析,矿山企业能够更加准确地掌握矿体的动态变化,从而提高矿山的回采率。实时监测技术包括地压监测、巷道变形监测、采空区稳定性监测等,这些技术能够提供矿山内部的实时数据,帮助矿山管理者及时发现问题并采取应对措施^[2]。通过对实时监测数据的分析,矿山管理者能够预测采矿过程中的潜在风险,并提前制定应对措施,从而减少矿石的损失。先进的安全控制技术与风险管理措施,能够有效降低采矿过程中的安全风险,并提高矿山的回采率。应用智能化的矿山安全监控系统,矿山企业能够实时监测矿区的安全状况,及时发现并处理潜在的安全隐患,从而减少矿石的损失,提高资源利用效率。某铜矿通过引入智能化安全监控系统,实时监测矿区的瓦斯浓度、地压变化等关键参数,并通过智能算法进行风险评估,减少了采矿过程中的事故发生率,提高了矿石的开采精度和回采率。

4 不同类型矿山的回采率提升策略

4.1 有色金属矿山

有色金属矿山在全球矿业中占有重要地位,其回采率的提升不仅关乎资源的充分利用,也直接影响矿山的经济效益和环境保护。对于有色金属矿山,回采率的提升策略主要集中在优化采矿工艺和引入先进设备上。针对有色金属矿山,采用自下而上的开采顺序可以有效减少矿柱的保留量,在铜矿、铅锌矿等矿山中的应用已得到验证,能够大幅度提高矿体的利用率。在采矿设备方面,引入高效的智能化采矿设备也起到了重要作用。智能化设备能够精确控制采矿过程,减少矿石的损失。此外,胶结充填技术在有色金属矿山中的应用也得到广泛认可。

4.2 铁矿

铁矿的开采在全球矿业中占据主导地位,提升其回采率对国家资源战略具有重要意义。铁矿的回采率提升策略通常包括优化采矿工艺、引入先进设备和改进矿山设计等多个方面。通过采用大直径深孔爆破技术,可以最大限度地减少矿柱的保留,提升矿体的回采率。某无人驾驶矿车和智能钻机应用不仅提高了采矿效率,还减少了矿石损失。某大型铁矿通过自动化设备的应用,矿石回采率提升了15个百分点,生产效率也得到了显著提高。通过精确的地质勘探和矿体建模,矿山可以制定更加合理的开采方案,避免矿石的无效损失。例如,某铁矿在采用先进的三维建模技术后,矿体的利用率得到了大幅提升,回采率提高了近10个百分点。

4.3 稀有金属矿山

稀有金属矿山的开采技术与普通金属矿山有所不同,通常需要更加精细的开采方法。例如,在包头白云鄂博稀土矿山,采用了无爆破开采技术,包头白云鄂博稀土矿的

回采率从60%提升至75%,矿石损失率降低了约20%,每年多回收的稀土矿石达到了数万吨,极大提高了资源利用率^[3]。包头白云鄂博稀土矿山还应用了环保型采矿工艺和先进的废弃物处理技术,不仅减少了对环境的破坏,还有效提高了矿石的利用率。矿山废弃物中稀土元素的二次回收率提高了10%,进一步增加了资源回收的效益。包头白云鄂博稀土矿山采用了自下而上的开采顺序,通过减少矿柱保留,最大限度地提高了矿石的回采率。与传统的自上而下开采相比,这种优化的顺序使得矿山整体回采率提高了近10个百分点,确保了矿产资源的充分利用。与传统工艺相比,包头白云鄂博稀土矿山的新技术应用不仅在提升回采率和资源利用效率方面表现突出,还显著减少了环境影响,充分展示了先进技术在稀有金属矿山中的广泛应用前景和显著优势。

4.4 其他类型矿山的通用策略

除了有色金属矿山、铁矿和稀有金属矿山外,还有许多其他类型的矿山,如煤矿、金矿和非金属矿山等。首先,优化采矿工艺是提高各种矿山回采率的基础。无间柱采矿法、深孔爆破技术、胶结充填技术等工艺已经在不同类型的矿山中得到广泛应用,不仅可以提高矿石的回采率,还能够减少矿山对环境的影响。其次,先进设备的引入是提升矿山回采率的重要手段。智能化、自动化设备在各种矿山中的应用,数据分析和实时监测技术的应用也使得矿山管理更加科学,进一步提升了回采率。最后,矿山设计和规划的优化也是提高回采率的关键因素。通过精确的地质勘探、合理的矿体建模以及科学的开采顺序设计,矿山可以在开采过程中最大限度地减少矿石的损失,提升回采率。总之,不同类型矿山在提升回采率的过程中,虽然面临着各自的挑战,但通过优化工艺、引入先进设备和合理设计等通用策略,均能取得显著的效果。

5 结束语

地下矿山回采率的提升不仅关乎矿山企业的经济效益,也直接影响环境保护和资源的可持续利用。未来,随着技术的不断进步,地下矿山回采率的提升将迎来更广阔的前景,矿山企业需持续关注技术创新,优化采矿工艺,合理规划矿山设计,以实现资源利用最大化和环境影响最小化的目标,从而推动矿业的可持续发展。

【参考文献】

- [1]李旭东. 残矿安全高效回采与空区治理协同技术方案研究[D]. 内蒙古:内蒙古科技大学,2023.
 - [2]黄原斌. 煤矿回采工艺数值模拟研究与应用[J]. 山西化工,2023,43(9):152-153.
 - [3]刘旭东. 金属矿山降低矿石损失和贫化提高回采率的探讨[J]. 世界有色金属,2024(10):229-231.
- 作者简介:郝小松(1993.7—),男,河北保定人,汉族,学士学位,中级工程师,就职于河北中安筑业设计集团有限公司,从事采矿工程设计相关工作。