

低成本高效开采工艺在复杂矿体中的应用研究

王家荣

略阳杨家坝矿业有限公司, 中国·陕西 汉中 724307

摘要: 论文针对复杂矿体开发中的技术和经济难题, 探讨了低成本高效开采工艺的核心原理与关键技术, 分析了其在矿体优化开采、资源综合利用和成本控制中的应用前景。同时, 结合环保措施与生态修复实践, 评估了复杂矿体开采的经济性与可持续性价值。研究表明, 低成本高效开采技术能够有效提升资源利用效率, 降低环境影响, 并为区域经济和社会发展注入活力。最后, 文章展望了技术升级方向, 提出未来复杂矿体开发的战略意义。

关键词: 复杂矿体; 低成本高效开采; 资源利用率

Research on the Application of Low Cost and Efficient Mining Technology in Complex Ore Bodies

Jiarong Wang

Lueyang Yangjiaba Mining Co., Ltd., Hanzhong, Shaanxi, 724307, China

Abstract: This paper addresses the technical and economic challenges in the development of complex ore bodies, explores the core principles and key technologies of low-cost and efficient mining processes, and analyzes their application prospects in optimizing ore body mining, comprehensive resource utilization, and cost control. At the same time, the economic and sustainable value of complex ore body mining was evaluated by combining environmental protection measures with ecological restoration practices. Research has shown that low-cost and efficient mining technologies can effectively improve resource utilization efficiency, reduce environmental impact, and inject vitality into regional economic and social development. Finally, the article looks forward to the direction of technological upgrading and proposes the strategic significance of future development of complex ore bodies.

Keywords: complex ore body; low cost and efficient mining; resource utilization rate

0 前言

复杂矿体是全球矿产资源开发中的重要组成部分, 广泛分布于各类地质条件复杂的矿区。这些矿体通常具有成分多样、储量丰富的特点, 但同时也伴随着地质结构复杂、采矿难度大等问题。在矿产资源日益紧张的今天, 复杂矿体的开发利用已成为许多矿区提升资源保障能力的关键。

例如, 西部某些矿区蕴藏着高价值的多金属共生矿, 由于矿体深埋且夹杂非矿物质, 传统的开采方法难以适应, 致使大量资源长期处于“沉睡”状态。另外, 随着开采深度的增加, 设备运行成本和能源消耗显著攀升, 给矿山企业带来沉重的经济压力。因此, 开发适应复杂矿体特点的高效开采技术, 已成为行业亟待解决的技术难题。

1 复杂矿体的特点及开采难点

1.1 复杂矿体的定义与分类

复杂矿体是指具有显著地质特征和成分多样性的矿石资源, 其形成过程中受多种地质作用影响, 呈现出高异质性和不规则性。这类矿体可根据构造特性和成分特点进行分类。

构造复杂性是复杂矿体的主要特征之一。断裂带中的矿体通常被不规则的断层分割, 导致矿体分布零散且走向难以预测。同时, 褶皱结构可能使矿层深浅不一, 增加了勘探和

开采的技术难度。这样的地质构造特性不仅对矿体定位提出了更高要求, 也对设备的适应性和灵活性提出了严峻挑战。

成分复杂性也是复杂矿体的显著特点。许多复杂矿体中常见多金属共生矿, 如铜、铅、锌等多种金属资源的同时存在。这类矿石虽然具有较高的经济价值, 由于矿石间物理、化学性质差异较大, 在选矿和冶炼过程中需要针对性处理^[1]。此外, 复杂矿体中贫矿和富矿共生现象普遍存在, 资源利用效率低下, 增加了选矿的难度和成本。

1.2 开采难点分析

1.2.1 技术难度: 采矿方法与装备适配性不足

传统的采矿方法往往难以满足复杂矿体的开采需求。例如, 在地质构造复杂的区域, 采矿设备需要具备极高的灵活性和精确性。然而, 目前许多矿区的设备尚未达到自动化和智能化水平, 作业中容易出现采矿精度不足、矿体损失率高等问题。此外, 由于矿体深埋且分布不规则, 现有的开采技术在勘探和开采过程中面临着数据采集困难和定位不准的瓶颈。

1.2.2 成本高企: 生产、运输、环保开支较大

复杂矿体的开采成本显著高于普通矿体。在生产环节, 低品位矿石需要大量开采和运输才能获得可用资源, 导致能源消耗大幅增加。运输方面, 矿体分布零散使矿石的集中处理和物流安排更加复杂, 需要投入额外的资源和设备。此外,

选矿过程中需要对多种金属进行分离和提纯, 加大了冶炼环节的技术和经济负担。

1.2.3 环境保护: 地表塌陷及废弃物处理

复杂矿体的开采对生态环境的影响也更加突出。例如, 深埋矿体的大规模开采可能导致地表塌陷, 威胁周边建筑和居民安全。同时, 开采和选矿过程中产生的大量废石和尾矿堆积, 不仅占用土地资源, 还可能引发重金属污染和水土流失问题。尽管已有部分矿区采取环保措施, 但由于废弃物处理技术尚不成熟, 环保开支依然是矿山企业的沉重负担。

面对这些挑战, 复杂矿体的开采需要在技术升级、成本优化和环保改进方面寻求全方位突破, 才能实现资源的可持续开发和利用。

2 低成本高效开采工艺的理论基础

2.1 低成本开采工艺的核心原理

2.1.1 工艺流程简化

传统的开采流程通常涉及多个复杂环节, 如钻探、爆破、装载、运输和选矿。每个环节都需要不同的设备和技术支持, 既增加了操作难度, 也导致了资源的浪费和成本的上升。低成本开采工艺的关键在于对流程的优化和简化。例如, 通过采用直接开采技术或减少中间环节的自动化操作, 可以实现矿石从开采到运输的高效衔接, 降低生产成本。同时, 针对矿体特点量身定制开采方案, 避免多余作业, 不仅能够减少资源损失, 还能缩短工期, 提高整体效益。

2.1.2 资源综合利用

复杂矿体中存在大量伴生矿和低品位矿石, 传统开采工艺常因技术局限而忽视这些资源, 导致大量矿石被弃置。低成本开采工艺强调资源的综合利用, 通过选矿和加工技术的提升, 充分回收伴生矿物和有用成分。例如, 利用浮选工艺分离多金属共生矿, 或采用生物浸出技术提取低品位矿石中的有价值元素。这样的资源利用模式不仅能提高矿体的经济价值, 还能减少废石堆积, 缓解矿区环保压力。

2.2 高效开采的技术创新方向

2.2.1 自动化与智能化开采技术

近年来, 自动化和智能化技术在矿山领域的应用为高效开采带来了显著突破。智能钻采设备能够根据实时数据调整开采参数, 实现精准作业, 减少矿石浪费。同时, 利用无人驾驶矿车和自动化运输系统, 不仅提高了运输效率, 还降低了对人力资源的依赖, 改善了矿区的安全条件^[1]。

2.2.2 新型钻采装备与方法

传统的钻采设备在面对复杂矿体时往往暴露出适应性不足的问题, 如钻孔精度低或采矿损失率高。新型钻采装备的研发为解决这些难题提供了可能。例如, 采用激光钻采技术可以在无需爆破的情况下高效切割矿石, 避免对周边矿体的破坏; 而针对深埋矿体的潜孔钻机和连续采掘设备, 则能在狭窄空间内实现高效作业。此外, 地热辅助开采技术利用地热能软化矿体结构, 从而降低开采难度, 为矿区节能增效

提供了新的解决方案。

低成本高效开采工艺的理论基础以资源最大化利用和作业效率最优化为核心, 结合自动化、智能化和新型装备的支持, 为复杂矿体开发注入了技术新动能。这样的创新方向不仅能够降低矿区生产成本^[1], 还为绿色可持续开发创造了广阔空间。

3 低成本高效开采工艺的关键技术与应用

3.1 采矿方法的优化

3.1.1 非爆破开采技术

传统的爆破开采虽然简单高效, 但容易对矿体和周围地质结构造成破坏, 并且产生大量粉尘和震动。非爆破开采技术则通过液压切割、高压水射流或机械切削等方式, 减少对矿体的扰动。例如, 水射流开采设备能够在无爆炸风险的情况下切割硬质矿石, 适用于地质条件复杂或邻近敏感区域的矿体。非爆破技术的应用不仅提高了开采的安全性, 还有效降低了环境污染。

3.1.2 可调节采矿参数的精准开采

精准开采技术通过实时监测矿体的物理和化学特性, 动态调整开采参数, 实现高精度矿石分离。这种方法在复杂矿体开采中尤为重要。例如在多金属共生矿区, 激光扫描和高分辨率地质建模可以为设备提供精确的矿体轮廓信息, 确保矿石与废石的有效分离。精准开采不仅提高了资源利用率, 还减少了采矿过程中的能源和设备损耗。

3.2 矿体预处理技术

3.2.1 精确勘探与模型构建

复杂矿体的开采离不开全面而精准的前期勘探。通过三维地质建模和高精度测绘技术, 能够详细展示矿体的形态、走向及成分分布。这些数据为制定开采方案提供了科学依据, 避免因地质信息不足导致的资源浪费或施工事故。

3.2.2 地质增强或稳定技术

复杂矿体往往伴随地质条件的脆弱性, 容易发生塌陷或滑坡。为解决这一问题, 矿山开采前通常需要对地质条件进行增强处理。例如, 通过注浆技术填充裂隙, 能够提高岩层的稳定性; 在松散矿体区域, 使用钢筋混凝土加固可以减少开采时的坍塌风险。这些技术的应用不仅保障了开采的安全, 还为后续作业提供了更稳定的环境。

3.3 成本控制技术

3.3.1 能源回收利用

矿山开采过程中的机械设备和运输系统消耗大量能源, 而这些能源中一部分可以通过回收再利用来降低成本。例如, 在深井矿山, 使用废热回收系统可以为矿区供暖或为设备提供动力; 在选矿车间, 优化电机系统的能源利用效率也能减少电力消耗。能源回收技术的应用帮助矿山企业在降低成本的同时实现了绿色生产。

3.3.2 工艺材料循环使用

矿山生产过程中产生的废弃材料, 如尾矿和废石, 在

经过处理后可以作为建筑材料或工业原料再利用。例如,尾矿砂经过筛选可以用于制造混凝土和砖块,而废石则可用作道路路基料。通过材料循环利用,不仅减少了废弃物的处理成本,还创造了额外的经济价值。

3.4 高效运输与排放技术

3.4.1 自主运输系统应用

在运输环节,自主运输系统的引入显著提高了效率。这些系统利用无人驾驶矿车和轨道运输设备,能够在复杂的矿区环境中实现矿石的高效转运。实时导航和调度系统则确保运输过程的安全性和流畅性。同时,自动运输设备减少了对人力的依赖,降低了人工成本。

3.4.2 废料处理一体化工艺

复杂矿体的开采不可避免地产生大量废料,传统的堆放处理方式容易引发环境问题。废料处理一体化工艺通过将开采和选矿过程中的废料集中处理,优化废石分类和资源再利用。

4 复杂矿体开采中的经济性与可持续性评估

4.1 经济性分析

4.1.1 开采成本与收益对比

复杂矿体的开采成本主要体现在技术投入、设备使用、能源消耗和环保支出等方面。相比普通矿体,复杂矿体的勘探和开采环节需要更高的资金投入,尤其是在精准定位矿体和选矿技术优化上。然而,这类矿体通常含有多种高价值金属资源,如果开发得当,可以显著提升资源利用率和产出效益。例如,通过多金属分离技术,从伴生矿物中提取次要金属,能够将原本被忽视的资源转化为额外收入,有效缓解开采成本的压力。

与此同时,开采效率的提升和新技术的引入,也可以显著降低单位矿石的开采成本。自动化运输系统、智能采矿设备等应用,尽管初期投资较高,但长期运行中能够节省大量人力成本和设备维护费用。这种高投入、高产出的模式,使得复杂矿体的开采具备较强的经济吸引力。

4.1.2 投资回报周期分析

投资回报周期是衡量矿山项目经济性的关键指标之一。复杂矿体由于初期投入较大,回报周期通常较长。然而,通过优化工艺流程和提高资源利用率,可以显著缩短投资回收期。例如,一些矿山在实施智能化改造后,生产效率提高了20%~30%,从而将项目的回收周期从十年缩短至七至八年。此外,伴生矿的综合开发和废弃物的再利用,也为矿山带来了持续的经济收益。综合来看,合理规划资金投入和资源分配,是实现复杂矿体高效开发的基础。

4.2 可持续性实践

4.2.1 环保措施与生态修复案例

复杂矿体开采不可避免地会对环境产生一定的影响,特别是在废石堆积、尾矿处理和地表破坏方面。为了降低环境代价,许多矿山企业逐渐引入先进的环保技术。例如,通过建设尾矿库过滤系统,可以显著减少重金属污染,保护周

边土壤和水资源。此外,针对采矿造成的地表破坏,一些矿区采用覆土植被复垦或人工湿地恢复生态环境。这些措施在减少生态破坏的同时,也提升了矿区的可持续开发能力。

具体案例中,某大型铜矿在停产后启动生态修复工程,通过植树造林和土壤改良,将原本荒废的矿区转变为农业用地和生态景区,为周边地区带来了新的经济增长点。这种将环保与经济效益结合的模式,成为矿山开发可持续性的典范。

4.2.2 社区效益与矿区发展

矿区的发展不仅是矿山企业的责任,也关系到周边社区的长远利益。在复杂矿体的开发过程中,通过合理规划,可以为当地居民创造就业机会,带动相关产业链发展。例如,许多矿区建立矿工培训中心,提升当地劳动力技能水平,不仅填补了企业的用工需求,还为社区居民创造了稳定的收入来源。

此外,矿山开发过程中积累的基础设施资源,如道路、电力和水资源供应,也能服务于当地社区的长远发展。例如,在某矿区开发后期,企业将废弃矿区改造成工厂和物流中心,吸引了周边多个行业的投资,形成了新的经济增长点。这种矿区与社区共同发展的模式,不仅增强了矿山企业的社会责任感,也提升了项目的综合价值。

经济性和可持续性是不可分割的两大核心要素。通过平衡经济利益与生态责任,矿山企业可以在实现收益最大化的同时,推动资源的可持续利用,为矿区和社区的发展创造更多可能性。

5 未来展望

低成本高效开采技术的升级将依托新材料和新工艺的持续应用,以及数字化与信息化的深度融合。轻质高强度材料和激光切割、电化学浸出等工艺显著提高设备效率和矿石回收率,推动传统开采模式革新。而基于大数据和人工智能的地质建模、无人驾驶矿车和物联网技术,则为矿山管理提供智能化支持,进一步提升生产效率和安全性。未来,数字孪生技术将实现虚拟与现实矿山的联动,优化资源配置,动态调整生产流程。

复杂矿体的开发不仅推动全球矿产资源利用向深层次迈进,也为区域经济和社会发展注入新的动力。高效技术使难以开采的矿体成为新的经济增长点,提升资源利用率的同时促进矿业技术进步。此外,矿山基础设施的建设和运营为周边地区提供就业机会,带动物流、工程等相关产业发展,同时通过教育和医疗投入改善矿区居民生活质量。复杂矿体的高效开发,将为全球矿业可持续发展和区域经济繁荣奠定坚实基础。

参考文献:

- [1] 张赛,郭伟.某矿山地表工业建筑下矿体开采工艺探讨[J].现代矿业,2024,40(9):69-71+76.
- [2] 姜赫名.优化矿体开采工艺提高边缘矿体回采率[J].矿业工程,2023,21(3):18-22.
- [3] 宋超,马驰,路增祥,等.提高厚大矿体开采效率的采矿工艺优化[J].矿业研究与开发,2022,42(2):1-4.