

露天矿山作业中的资源利用效率提升路径

胡友龙

云南博泽矿山工程有限公司普洱分公司, 中国·云南 普洱 665000

摘要: 在新时代背景下, 可持续发展与生态文明建设成为国家战略的核心内容, 这对露天矿山作业中的资源利用效率提出了更高要求。露天矿山作为矿产资源开发的主要形式, 其资源利用效率直接关系到国家能源资源安全、环境保护成效以及矿业经济的绿色转型。然而, 当前我国部分露天矿山在开采过程中, 仍面临着资源综合回收率偏低、表土与共伴生资源浪费严重、开采工艺与设备能耗较高等诸多挑战。因此, 深入探究露天矿山作业中的资源利用效率提升路径, 对于推动矿业领域实现碳达峰、碳中和目标, 构建绿色、高效、可持续发展的现代化矿业体系, 具有极为重要的理论意义与现实价值。

关键词: 露天矿山; 资源利用效率; 绿色开采; 可持续发展; 路径优化

Ways to Improve Resource Utilization Efficiency in Open-Pit Mine Operations

Hu Youlong

Pu'er Branch, Yunnan Boze Mining Engineering Co., Ltd., China Yunnan Pu'er 665000

Abstract: Under the background of the new era, sustainable development and ecological civilization construction have become the core of national strategies, which puts forward higher requirements for resource utilization efficiency in open-pit mine operations. As the main form of mineral resource development, the resource utilization efficiency of open-pit mines is directly related to national energy and resource security, environmental protection effects, and the green transformation of the mining economy. However, during the mining process of some open-pit mines in China, there are still many challenges, such as low comprehensive resource recovery rate, serious waste of topsoil and associated resources, and high energy consumption of mining technology and equipment. Therefore, an in-depth study on the ways to improve resource utilization efficiency in open-pit mine operations is of great theoretical significance and practical value to promote the achievement of carbon peaking and carbon neutrality goals in the mining sector and build a green, efficient and sustainable modern mining system.

Keywords: Open-pit mine; Resource utilization efficiency; Green mining; Sustainable development; Path optimization

0 引言

矿产资源是经济社会发展的重要物质基础, 而露天开采因其规模化、集约化的特点, 在全球矿业生产中占据主导地位。然而, 露天矿山作业过程中, 由于开采条件复杂、技术工艺差异以及管理理念的局限, 普遍存在资源浪费现象, 这不仅造成了经济价值的损失, 更对矿区及周边生态环境带来了巨大压力^[1]。随着全球对资源环境问题的日益关注, 以及我国对高质量发展要求的不断提高, 传统的以产量为导向的开采模式已难以为继。如何通过技术创新、管理优化和政策引导, 系统性提升露天矿山在作业全过程中的资源利用效率, 实现由粗放式开发向精细化利用的转变, 已成为矿业领域亟需解决的关键课题。这不仅是企业降本增效、提升竞争力的内在需求, 更是践行绿色发展理念、保障国家资源安全、促进区域经济与生态环境协调发展的必然选择。因此, 系统梳理露天矿山作业中资源利用

效率的影响因素, 并探寻切实可行的提升路径, 具有重要的时代紧迫性和战略意义^[2]。

1 露天矿山作业资源利用现状与核心问题剖析

当前, 我国露天矿山在资源开发利用方面取得了一定进步, 但整体效率与世界先进水平相比仍存在差距, 一系列深层次问题制约着资源效益的充分发挥。首要问题在于资源综合回收率不高, 许多矿山在开采过程中仅专注于主矿种的回收, 对于与主矿种共伴生的有益组分, 如稀有金属、非金属矿物等, 往往因技术或成本原因未能进行有效提取和利用, 造成宝贵资源的浪费^[3]。开采过程中的贫化与损失现象较为普遍, 由于爆破、铲装等环节的控制精度不足, 导致矿石与废石混合, 降低了入选品位, 同时部分矿石未能被有效回收而遗留在采场或排土场中。对于表土、尾矿等二次资源的重视程度严重不足, 露天矿山剥离产生

的大量表土和岩石,以及选矿后排出的尾矿,通常被视为废弃物而简单堆存,不仅占用土地、污染环境,更浪费了其中可能含有的有用组分以及作为工程材料的潜在价值。此外,水资源、土地资源的利用也处于较低水平,矿山排水、生产用水循环利用不高,采掘场、排土场等土地复垦与再利用进度滞后,进一步加剧了资源环境负荷。这些问题的根源在于技术创新动力不足、精细化管理缺失以及循环经济理念未能贯穿生产全过程^[4]。

2 基于技术创新驱动的资源精准回收路径

2.1 深化三维地质建模与资源可视化技术应用

传统的地质勘探数据往往以二维图纸和离散数据形式存在,难以精准指导开采作业,导致开采方案与实际矿体边界存在偏差。通过构建高精度的三维地质模型,可以直观、立体地呈现矿体形态、品位分布、构造特征以及围岩性质^[5]。结合随钻测量、地质雷达等先进探测技术,实现对矿体边界的动态修正与精准圈定。在此基础上,利用可视化技术将地质模型与开采计划相结合,制定出更为科学、合理的采剥方案,能够精确控制开采边界,有效减少矿石的损失与贫化,确保高品位矿石与低品位矿石得到分类、分采,为后续的精细化分选和综合利用奠定坚实基础。

2.2 研发与推广低贫损开采工艺与智能爆破技术

开采工艺的优劣直接决定了资源回收的初始效率。应大力研究和应用适用于不同矿床条件的低贫损开采工艺,如陡帮开采、分期开采等,以减少最终边帮压矿和对矿体的破坏。在爆破环节,引入基于数字孪生的智能爆破技术,通过分析岩体结构、炸药性能等参数,优化爆破孔网参数、装药结构和起爆顺序,实现对爆破块度、爆堆形态的精准控制。良好的爆破效果不仅能提高铲装效率,更重要的是能减少矿石的过度粉碎和与废石的混杂,降低后续选矿难度和成本,从源头上提升资源的有效回收率。

2.3 加强共伴生资源与低品位矿石的综合回收技术攻关

许多露天矿山矿床中蕴含着丰富的共伴生资源,其价值往往不亚于主矿种。必须突破传统单一矿种回收的技术局限,加大对复杂共伴生资源高效分离与提取技术的研发投入。例如,开发新型高效、环境友好的选矿药剂和联合选矿工艺流程,实现对多种有价值组分的梯级回收。同时,对于因品位低而暂时无法经济利用的矿石,不应简单废弃,而应积极探索堆浸、生物冶金等技术的适用性,或建立专门的堆场进行储备,待技术成熟或市场条件好转时再进行回收利用。通过技术进步将“非资源”转化为“资源”,

是大幅提升矿山资源整体利用效率的关键所在。

3 强化全流程精细化管理的资源节约路径

3.1 构建全生命周期的资源动态管理体系

建立覆盖地质勘探、开采设计、生产作业、选矿加工直至闭坑复垦全过程的资源动态管理信息系统。该系统应能实时采集、整合、分析各环节的资源消耗与产出数据,如采出品位、回收率、贫化率、能耗、水耗等关键指标。通过与大数据的结合,实现对资源利用状态的实时监控、异常预警和趋势预测。基于动态数据,可以及时调整生产计划和工艺参数,实现对资源利用的闭环管理和持续优化,确保资源管理决策建立在科学、准确的信息基础之上。

3.2 实施精益化生产作业与成本控制

将精益生产的理念引入矿山作业现场。在采掘环节,通过优化车铲配比、规划运输路线、提高设备完好率和利用率,降低燃油、轮胎等物料消耗。在运输环节,推广使用永磁直驱等节能电机技术,并利用智能调度系统减少车辆空驶和等待时间。在选矿环节,实施磨矿、浮选等工序的自动化控制,确保工艺参数始终处于最优状态,稳定精矿质量,提高金属回收率,同时降低药剂和能源消耗。通过每个作业单元的精化管理,积少成多,实现整体资源利用效率的提升和运营成本的降低。

3.3 建立资源综合利用绩效评估与激励机制

明确的考核与激励是推动精细化管理落地的关键。矿山企业应建立一套科学的资源综合利用绩效评估体系,将采矿回收率、选矿回收率、共伴生资源综合利用率、废水循环利用率、土地复垦率等核心指标纳入各层级、各部门及关键岗位的绩效考核范围。将考核结果与薪酬、晋升等直接挂钩,形成正向激励机制,鼓励员工和技术人员积极投身于资源节约与综合利用的技术革新和管理优化活动中。同时,定期开展资源利用效率对标活动,与国内外先进矿山进行对比分析,查找差距,明确改进方向,持续推动管理水平的提升。

4 构建循环经济导向的协同利用路径

4.1 推动表土与废石的高效利用与生态重构

露天矿山开采过程中剥离产生的大量表土与废石,长期以来被视为固体废弃物而简单堆存,不仅占用宝贵的土地资源,更埋没了其潜在的资源价值与生态功能,因此必须重新审视并将其纳入矿区循环经济体系的核心环节。表土作为富含有机质、微生物群落及本地植物种子库的宝贵资源,是矿区生态系统恢复与重建的基础,应实行严格的单独剥离、分类堆存与科学养护制度,避免与废石混杂而

丧失其生物学活性。在采矿作业推进的同时,应同步制定并实施动态的土地复垦计划,将预先保存的表土优先用于内排土场、采掘终了边坡等区域的土壤重构与植被恢复,实现表土资源在矿区内部的闭合循环。对于废石,则应根据其岩性组成、物理力学性质及化学稳定性进行精细化分类,质地坚硬、性能稳定的废石可经破碎筛分后用作建筑骨料、道路基石或混凝土掺合料,直接服务于周边基础设施建设;具有水硬性或胶凝活性的废石可探索作为生产水泥或新型建材的替代原料;而部分富含钙、镁、硅等元素的废石,经适当改性处理后还可用于酸性土壤改良或废弃地复垦的基质材料。通过将表土与废石从“废物”转变为“资源”,不仅能够显著减少排土场占地和地质灾害风险,更能为矿区生态景观的重塑与生物多样性的恢复提供物质基础,真正实现采矿活动与生态建设的有机融合。

4.2 加强矿井水资源化与循环利用

露天矿山作业过程中伴随采掘活动产生的大量矿井水,若仅作为废水予以外排,不仅会造成宝贵淡水资源的严重浪费,更可能对矿区周边地表水与地下水环境构成潜在威胁,因此必须从根本上转变观念,将矿井水定位为矿区重要的非常规水源加以系统管理和梯级利用。企业应基于水文地质条件与采矿进度,建立完善的矿井水收集系统,实现清污分流,将采掘场涌水、淋溶水与未被污染的地表径流有效分离。在收集基础上,需根据不同水质特征和应用场景,构建分级处理与分质回用体系:水质相对清澈的矿井水经混凝、沉淀、过滤等常规工艺处理后,可直接用于采掘作业中的钻机穿孔、道路降尘及设备冷却;水质较差的矿井水则需通过超滤、反渗透等深度处理技术进行净化,达到工业用水或生活杂用水标准后,回用于选矿工艺、绿化灌溉或矿区清洁;对于处理过程中产生的浓盐水,应探索蒸发结晶或零排放技术,实现盐类资源的回收。

4.3 探索尾矿的资源化利用与无害化处置路径

尾矿是矿山最大的固体废弃物,也是潜在的二次资源。应大力探索尾矿的资源化利用途径。对于含有少量有价值组分的尾矿,可通过再选工艺进行深度回收;对于以硅、铝、钙等成分为主的尾矿,可作为生产建筑材料、陶瓷材料、微晶玻璃等的原料;对于具有特定矿物成分的尾矿,还可用于土壤改良剂、生态修复材料等。当技术经济条件

暂不满足资源化利用时,必须采用安全的尾矿干排、膏体排放等技术进行无害化处置,减少尾矿库的安全风险和占地,并为最终的土地复垦创造条件。通过尾矿的资源化与无害化,实现矿业开发与生态环境的和谐共生。

5 结语

提升露天矿山作业中的资源利用效率,是一项涉及技术、管理、经济、环境等多维度的复杂系统工程。面对日益严峻的资源环境约束和高质量发展要求,必须摒弃传统的粗放式发展模式,坚定不移地走创新驱动、内涵提升的绿色发展道路。通过深化三维地质建模、智能开采等技术创新,实现资源回收的精准化;通过构建全生命周期管理、精益生产等管理体系,实现资源利用过程的节约化;通过构建表土、废水、尾矿等循环利用网络,实现矿区生态经济系统的协同化。这三条路径相互关联、互为支撑,共同构成了提升露天矿山资源利用效率的完整框架。唯有将技术创新作为核心动力,精细化管理作为重要保障,循环经济作为最终指向,才能推动露天矿山真正实现由资源消耗型向资源节约型、环境友好型的深刻转变,为保障国家能源资源安全、建设美丽中国贡献矿业力量。这不仅关乎矿山企业的生存与竞争力,更是实现矿业领域可持续发展的必由之路。

参考文献:

- [1] 刘海龙,黄建锋,牟英新等.考虑柔性资源与灵活检修策略的矿山综合能源运行优化[J/OL].电力系统及其自动化学报,1-12[2026-03-16].
- [2] 王昊明,孙斌.矿山智能化改造对矿产资源循环利用效率提升的影响[J].清洗世界,2026,42(02):195-198.
- [3] 侯正猛,张盛友,陈前均等.“蓝色矿山”全生命周期管理实践综述——以可持续发展和资源高效利用为核心[J/OL].煤田地质与勘探,1-22[2026-03-16].
- [4] 赵博文,闫苏亮.探析绿色开采技术在金属矿山开采中的运用[J].冶金与材料,2026,46(02):136-138.
- [5] 首钢集团有限公司矿业公司.后露天矿山企业全周期资源清洁高效利用可持续发展的创新实践[J].企业改革与管理,2025,(19):55-56.

作者简介:胡友龙(1993.08-),男,彝族,云南砚山人,专科,助理工程师,研究方向:主要从事露天矿山管理及开采工作方面。