

露天金属矿山绿色开采技术与实践

吴济隆

云南华联锌铜股份有限公司 云南 文山 663701

【摘要】：露天金属矿山开采过程中资源消耗与生态扰动问题日益显现，绿色开采技术成为优化发展路径的重要方向。针对采剥、运输及排土等关键环节，构建以资源高效利用、污染控制与生态修复为核心的技术体系。结合工程实践，对边坡稳定控制、废石资源化利用及矿区植被重建等措施进行系统分析，揭示了绿色开采在降低环境负荷与提升生产效率方面的实际成效。结果表明，技术集成与过程优化能够实现开采活动与生态环境的协调发展。

【关键词】：露天金属矿山；绿色开采；资源利用；生态修复；环境控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.10.099

引言

矿产资源开发为工业发展提供重要支撑，露天开采因效率高、规模大而被广泛采用，但由此引发的地表破坏与生态退化问题逐渐显现。传统开采模式侧重产量提升，对环境约束关注不足，导致土地占用扩大、水土流失加剧及废弃物堆存压力增加。绿色发展理念的提出，使矿山开采方式面临转型要求。如何在保障资源供给的同时降低环境扰动，成为行业亟须解决的关键问题。基于技术进步与管理优化，探索绿色开采路径已成为露天金属矿山发展的重要方向。

1 露天金属矿山开采中的生态扰动与资源利用问题

露天金属矿山开采活动在空间尺度和作业强度上具有显著扩展特征，大规模剥离与采装作业对地表形态产生直接改变，原有地貌结构被重塑，导致土壤层连续性破坏与地表稳定性降低。开采过程中高台阶推进及边坡暴露，使岩体应力重新分布，局部区域易出现滑移与崩塌风险，进一步加剧地质环境的不稳定状态。采场内部运输道路与排土场占地不断扩大，使土地资源利用呈现粗放化趋势，生态空间被持续压缩。

资源利用环节同样存在结构性问题，剥离废石与低品位矿石未能实现有效分级与综合利用，造成资源浪费与堆存压力叠加。排土场堆置方式不合理易引发占地扩张与二次扰动，同时增加渗滤液对周边土壤与地下水系统的影响。开采与运输过程中粉尘颗粒物排放强度较高，叠加机械设备燃料消耗产生的废气排放，使矿区空气质量承受较大负荷^[1]。降水条件下裸露地表抗侵蚀能力降低，径流冲刷作用明显增强，水土流失问题在排土场及边坡区域尤为突出。

露天采场排水系统若设计不完善，易导致地表径流无序汇集，形成局部积水或冲沟侵蚀，对采场稳定性与作业安全产生不利影响。矿区生态系统结构在持续扰动下逐步退化，植被覆盖度下降，生物栖息环境受到压缩，生态恢复难度显著提升。

资源开发强度与环境承载能力之间的不协调，使露天金属矿山在生产过程中面临资源利用效率与生态保护双重约束，迫切需要通过技术与管理手段进行系统性调整。

2 绿色开采关键技术体系与工程实践路径

露天金属矿山绿色开采技术体系的构建需以全过程控制为核心，将采前规划、采中控制与采后修复有机衔接。在开采设计阶段，通过三维地质建模与数字矿山技术，对矿体赋存条件、岩性分布及边坡结构进行精细化分析，优化台阶高度、坡角参数及采剥顺序，实现开采布局与地形条件的协调匹配。采剥一体化设计强调剥离物分类管理，将表土层单独剥离并集中堆存，为后续生态恢复提供基质保障，同时对低品位矿石实施分级堆放，提升资源回收利用率。

采装与运输环节侧重节能降耗与过程控制，推广电动化或混合动力设备以降低燃料消耗强度，并结合智能调度系统优化运输路径与作业节奏，减少无效运距与设备空转时间。采场内部采用洒水抑尘与雾化喷淋技术，对破碎、装载及运输过程中的颗粒物扩散进行有效抑制，同时在主要运输道路铺设稳定层结构，降低扬尘产生源强。边坡工程通过锚固支护与分级削坡技术相结合，控制岩体变形与位移发展，保障开采安全的同时减少大规模塌落对环境的扰动。

排土场建设强调稳定性与生态兼容性，采用分区堆置与分层压实工艺，控制堆体内部结构与坡面形态，降低滑移风险。堆体表面设置截排水系统，通过导流沟与沉淀设施对地表径流进行分级处理，减少泥沙外排对周边水体的影响。废石综合利用技术逐步应用于矿区道路建设与工程回填，通过破碎筛分实现粒径分级，提高固体废弃物资源化利用水平^[2]。水资源管理方面，构建矿区循环用水系统，将采场排水与生产用水进行回收再利用，降低新水取用量并减少外排水量。

生态修复技术贯穿开采全过程，边开采边治理成为重要实

施路径。在阶段性结束的台阶与排土平台上开展植被重建,通过客土覆盖与基质改良提升土壤理化性质,并选用适应性较强的乡土植物进行配置,逐步恢复植被群落结构。坡面防护结合生态袋、植生毯等工程措施,提高坡面抗侵蚀能力,促进植被快速成活。信息化监测手段在绿色开采体系中发挥支撑作用,通过遥感监测与在线传感设备,对边坡稳定、粉尘浓度及水质指标进行动态跟踪,实现环境与生产状态的协同管控。工程实践中,绿色开采技术并非单一措施的叠加,而是多环节协同优化的结果。通过技术集成与过程控制,逐步形成资源高效开发、环境扰动可控及生态修复同步推进的运行模式,使露天金属矿山在生产过程中实现开发强度与环境承载能力的动态平衡。

3 绿色开采实施成效与综合优化分析

绿色开采技术在露天金属矿山中的系统应用,使生产过程中的资源配置方式与环境响应特征发生明显变化。采剥结构经优化后,矿岩界限控制更加精细,贫富矿分采与分级利用水平提升,矿石损失率与贫化率得到有效控制。剥离物分类堆存与再利用路径逐步明确,排土场占地强度得到压缩,固体废弃物资源化利用比例显著提高。生产组织在数字化调度支持下实现动态调整,设备运行效率与能耗水平之间的匹配关系更加合理,单位矿石开采能耗呈下降趋势。

环境控制效果在多维度上得到体现,粉尘扩散范围通过源头抑制与过程控制明显收敛,采场及运输通道空气颗粒物浓度降低。边坡稳定性在工程措施与监测预警体系支撑下保持在可控范围内,滑移与局部失稳现象得到有效遏制。排水系统经优化后形成分级导排与沉降处理结构,径流冲刷强度减弱,泥沙

外排量明显下降,矿区水环境压力得到缓解^[1]。生态修复措施的持续实施使植被覆盖逐步恢复,土壤结构在改良过程中趋于稳定,生物群落开始向多样化方向演替。

绿色开采实施过程中仍需对技术体系进行综合优化,以适应不同矿体条件与开采阶段的变化需求。采场空间结构在推进过程中持续调整,对边坡参数与作业平台布置提出更高精度要求,需依托实时监测数据对设计参数进行动态修正。废石利用与回填工艺在实际运行中需兼顾运输距离与粒级匹配,通过优化物流组织降低再利用过程中的附加能耗。水资源循环系统在高强度开采条件下承载能力存在波动,对水量平衡与处理能力的协同调控提出更高要求。

信息化手段在优化过程中发挥关键作用,通过多源数据融合实现对生产、环境与安全状态的统一分析,提升决策响应速度与准确性。设备运行状态监测与能耗分析为节能调控提供数据支撑,环境指标的实时采集与反馈使污染控制措施具备针对性。绿色开采技术体系在持续运行中逐步形成标准化与模块化特征,不同技术单元之间的协同关系不断强化,使露天金属矿山在资源开发与环境约束之间维持稳定运行状态。

4 结语

露天金属矿山绿色开采在技术集成与工程实践中展现出良好的协同效应,资源利用效率与环境控制水平同步提升。开采过程与生态修复逐步实现协调推进,生产方式向精细化与低扰动方向转变。技术体系的持续优化有助于增强矿区运行稳定性与环境承载匹配程度。

参考文献:

- [1] 李永永.金属矿山露天采矿边坡控制爆破技术[J].世界有色金属,2026,(02):120-122.
- [2] 李永华,陈旭艳,丁科,等.露天金属矿山化学检验分析工作质量管控实践[J].现代矿业,2026,42(01):120-124+129.
- [3] 李岗伟,杨佳.数智技术赋能露天金属非金属矿山绿色开采的实践与创新[C]//广西网络安全和信息化联合会.第七届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集.洛阳栾川钼业集团股份有限公司,2025:354-355.