

露天采矿工程高效作业技术优化与实践

张文华

准格尔旗能源局, 中国·内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要: 露天采矿作为矿产资源开发的主导模式, 在保障国家资源供应中发挥着不可替代的作用, 其作业效率与综合效益直接关系到采矿行业的高质量发展。本文立足露天采矿工程全流程作业特点, 以高效、安全、绿色开采为核心目标, 采用系统剖析了露天采矿高效作业的核心制约因素, 从开采工艺、设备配置、爆破技术、运输调度四个关键环节构建了综合性技术优化体系, 并结合大型露天煤矿工程实践验证了优化策略的可行性与有效性。研究表明, 通过全流程、系统性的技术优化, 能够实现露天采矿综合效率、资源回收率的显著提升与生产成本的有效降低, 同时兼顾环保安全管控需求, 形成“工艺适配、设备协同、爆破精准、调度智能”的高效作业模式。

关键词: 露天采矿; 高效作业; 设备协同; 爆破技术; 运输调度

Optimization and Practice of High-efficiency Operation Technology in Open-pit Mining Engineering

Zhang Wenhua

Energy Bureau of Jungar Banner, China Inner Mongolia Ordos 010300

Abstract: As the dominant mode of mineral resource development, open-pit mining plays an irreplaceable role in ensuring national resource supply. Its operational efficiency and comprehensive benefits are directly related to the high-quality development of the mining industry. Based on the characteristics of the entire process of open-pit mining engineering, this paper takes efficient, safe, and green mining as the core objectives. It systematically analyzes the core constraints of efficient open-pit mining operations and constructs a comprehensive technical optimization system from four key aspects: mining technology, equipment configuration, blasting technology, and transportation scheduling. The feasibility and effectiveness of the optimization strategy are verified through the practice of large-scale open-pit coal mine engineering. The research shows that through systematic technical optimization throughout the entire process, it is possible to significantly improve the comprehensive efficiency and resource recovery rate of open-pit mining, effectively reduce production costs, and simultaneously meet the needs of environmental protection and safety control, forming an efficient operation mode characterized by "process adaptation, equipment coordination, precise blasting, and intelligent scheduling".

Keywords: Open-pit mining; Efficient operation; Equipment coordination; Blasting technology; Transportation dispatch

0 引言

露天采矿工程作为矿产资源开发的核心形式, 尤其在煤炭、铁矿、石灰石等大宗矿产资源开采中占据主导地位。相较于地下采矿, 露天采矿具有作业空间开阔、开采强度大、机械化程度高、安全风险相对较低等优势, 能够实现大规模、高效率的资源开采。近年来, 随着我国经济的快速发展, 对矿产资源的需求持续增长, 同时环保政策日趋严格、资源开采条件不断恶化(如浅部资源枯竭、开采深度增加、地形地质条件复杂), 传统露天采矿作业技术已难以满足高效、绿色、安全的开采需求。露天采矿工程高效作业是一个系统工程, 涉及开采工艺、设备配置、爆破技术、运输调度、安全环保等多个环节, 各环节相互关联、相互影响, 任一环节存在短板都会制约整体作业效率。

1 露天采矿工程高效作业核心制约因素分析

1.1 开采工艺设计不合理

当前, 部分露天矿台阶高度、台阶坡面角、工作线长度等参数设计缺乏针对性, 未结合矿体赋存条件、地形地质特征进行优化, 导致采装设备作业效率低下, 存在大量超挖、欠挖现象; 采剥顺序设计不合理, 多采用传统的“自上而下、平行推进”模式, 未考虑资源分布特点与设备作业半径, 导致采剥失衡、资源浪费严重^[1]。

1.2 设备配置与协同效率低

设备是露天采矿高效作业的核心载体, 设备配置的合理性与协同效率直接影响整体作业效果。部分露天矿存在设备型号老化、性能落后等问题, 采装设备(挖掘机、装载机)斗容小、作业效率低, 运输设备(矿用卡车)载重

量不足、油耗高；设备配置缺乏科学规划，采装设备与运输设备数量配比不合理，导致“采装能力过剩、运输能力不足”或“运输能力过剩、采装能力不足”的失衡现象；设备协同衔接不畅，采装现场与运输路线缺乏有效联动，存在车辆等待时间长、作业拥堵等问题。

1.3 爆破技术与参数优化不足

爆破作业是露天采矿的前置关键环节，爆破效果直接影响后续采装、运输作业效率。当前，部分露天矿爆破技术落后，仍采用传统的浅孔爆破、毫秒延期爆破工艺，对于坚硬岩层、复杂矿体的爆破适应性不足；爆破参数（孔距、排距、装药量、起爆顺序）设计缺乏科学依据，多依赖经验取值，导致爆破块度不均、大块率偏高（部分矿企大块率达15%–20%），增加了后续破碎作业工作量；同时，爆破过程中存在根底残留、边坡破坏等问题，影响作业效率^[2]。

1.4 运输调度与路线规划粗放

运输作业是露天采矿工程的重要环节，其效率直接决定整体作业流程的顺畅性。部分露天矿运输调度缺乏科学的管理机制，采用人工调度模式，调度人员难以实时掌握采装现场、运输车辆、排土场的动态信息，导致车辆调度不合理、空驶率高（部分矿企空驶率达25%以上）；运输路线规划缺乏优化，路线布局不合理、坡度过大、弯道过多，增加了运输时间与油耗；同时，运输路线维护不及时，路面破损严重，进一步降低了运输效率。

2 露天采矿工程高效作业技术优化策略

2.1 开采工艺优化：适配资源条件，提升采剥效率

结合矿体赋存条件、地形地质特征，优化开采工艺参数与采剥顺序，提升采剥效率与资源回收率。一是优化台阶参数设计，根据采装设备性能、岩层硬度等因素，合理确定台阶高度、坡面角与工作线长度，对于坚硬岩层，台阶高度控制在10–15m，坡面角控制在 60° – 70° ；对于松软岩层，台阶高度控制在8–12m，坡面角控制在 55° – 65° ，确保采装设备高效作业；工作线长度根据采装设备数量与作业半径，控制在300–500m，提升作业连续性。二是优化采剥顺序，采用“分层开采+分区推进”的采剥模式，结合资源分布特点，划分多个开采区域，各区域并行作业，同时调整采剥推进方向，避开复杂地形与不良地质区域，减少超挖、欠挖现象；对于厚大矿体，采用分层剥离、分层采矿的工艺，提升资源回收率。三是引入高效开采工艺，对于复杂地形条件下的露天矿，采用陡帮开采、倒堆开采等工艺，减少剥离量，提升开采效率；对于中小

型露天矿，推广连续开采工艺，实现采剥、运输、排土一体化作业^[3]。

2.2 设备配置与协同优化：科学配比，提升设备利用率

基于采剥强度与作业需求，优化设备配置方案，强化设备协同衔接，提升设备利用率与作业效率。一是优化设备选型与配比，根据开采规模、矿体特征，选用大斗容、高效率的采装设备（如斗容10–15m³的挖掘机）与大载重量的运输设备（如载重量60–100t的矿用卡车），替代老化落后设备；根据采装效率与运输效率的匹配关系，合理确定采装设备与运输设备的数量配比，一般控制在1:3–1:5（1台挖掘机匹配3–5台矿用卡车），确保采装与运输环节高效衔接。二是强化设备协同作业，搭建设备协同管理平台，实时监控采装设备、运输设备的运行状态、作业位置与工作量，实现设备动态调度；优化采装现场布局，设置专门的装车站点，减少运输车辆等待时间；建立设备定期维护保养机制，定期对设备进行检修与保养，确保设备完好率达90%以上，减少设备故障停机时间。三是推广智能化设备应用，引入智能挖掘机、无人矿卡等智能化设备，实现采装、运输作业的自动化与智能化^[4]。

2.3 爆破技术优化：精准控爆，提升爆破效果

结合岩层特性与开采需求，优化爆破技术与参数，实现精准控爆，提升爆破效果，为后续采装、运输作业奠定基础。一是优化爆破技术选型，对于坚硬岩层、大粒径矿体，推广采用深孔台阶爆破、预裂爆破工艺，减少爆破大块率；对于复杂地形、临近边坡区域，采用光面爆破工艺，保护边坡稳定性；对于中小型露天矿，推广采用乳化炸药爆破技术，提升爆破效率与安全性。二是精准优化爆破参数，采用数值模拟软件（如ANSYS、LS-DYNA）对爆破过程进行仿真分析，结合现场试验数据，合理确定孔距、排距、装药量、起爆顺序等参数，将爆破大块率控制在5%以下；优化炮孔布置方式，采用梅花形布置，提升爆破能量分布均匀性；调整起爆延期时间，采用微差爆破技术，减少爆破震动与飞石危害。三是强化爆破现场管控，严格执行爆破作业流程，做好爆破前的安全检查、爆破中的精准操作与爆破后的效果评估，及时清理根底残留。

2.4 运输调度与路线优化：智能调度，提升运输效率

构建科学的运输调度体系，优化运输路线规划，减少运输时间与成本，提升运输效率。一是搭建智能运输调度系统，引入GPS定位技术、物联网技术与大数据分析技

术, 实时采集运输车辆、采装现场、排土场的动态信息, 实现运输车辆的实时调度与路径优化; 采用智能调度算法, 根据采装量、运输量、排土场容量等信息, 自动分配运输任务, 规划最优运输路线, 减少车辆空驶率与拥堵时间。二是优化运输路线规划, 结合露天矿地形地貌与作业区域分布, 规划多条并行运输路线, 避免单一路线拥堵; 减少运输路线的坡度与弯道, 将路线坡度控制在 8% 以下, 弯道半径控制在 30m 以上, 提升运输速度; 定期对运输路线进行维护与修整, 铺设沥青或碎石路面, 减少路面破损, 降低设备损耗与油耗。三是强化运输过程管控, 建立运输车辆运行台账, 实时监控车辆运输量、油耗、运行时间等指标, 加强对驾驶员的培训与管理, 规范驾驶操作, 减少违章作业与安全事故^[5]。

3 工程实践案例分析

为验证上述高效作业技术优化策略的实际应用效果, 选取某大型露天煤矿(以下简称“案例矿”)作为实践对象, 该矿开采规模为 1000 万吨/年, 主要开采煤层厚度为 5-8m, 岩层以中硬岩层为主, 传统作业模式下存在采剥效率低、设备利用率不足、爆破大块率偏高、运输成本偏高等问题。2022 年以来, 该矿采用本文提出的技术优化策略, 开展高效作业技术改造, 取得了显著成效。

3.1 案例矿优化前作业现状

优化前, 案例矿采用传统的台阶式开采工艺, 台阶高度 18m, 坡面角 75°, 工作线长度 200m, 采剥顺序单一, 资源回收率仅为 82%; 采装设备以斗容 8m³ 的挖掘机为主, 运输设备以载重量 50t 的矿用卡车为主, 设备数量配比为 1:2, 设备利用率仅为 65%; 爆破采用传统的浅孔爆破工艺, 爆破参数依赖经验取值, 大块率达 18%, 根底残留较多; 运输采用人工调度模式, 运输路线单一, 车辆空驶率达 28%, 单吨运输成本达 12 元。整体作业效率偏低, 综合生产成本偏高, 难以满足高效开采需求。

3.2 优化技术应用与实施效果

该矿按照优化策略, 从四个方面开展技术改造: 一是优化开采工艺, 将台阶高度调整为 12m, 坡面角调整为 65°, 工作线长度延长至 400m, 采用“分层开采+分区推进”模式, 划分 3 个并行开采区域; 二是优化设备配置, 引入 10 台斗容 12m³ 的智能挖掘机与 30 台载重量 80t 的无人矿卡, 设备数量配比调整为 1:4, 搭建设备协同管理平台; 三是优化爆破技术, 采用深孔台阶爆破工艺, 通过数值模拟优化爆破参数, 孔距 5m、排距 3m, 采用微差爆破

技术, 大块率控制在 4% 以下; 四是优化运输调度, 搭建智能运输调度系统, 规划 3 条并行运输路线, 实现运输车辆的智能调度与路径优化。

经过 1 年的工程实践, 案例矿作业效率与综合效益显著提升: 采剥效率提升 22%, 资源回收率提高 7%, 达到 89%; 设备利用率提升至 88%, 设备故障停机时间减少 60%; 爆破大块率降至 4%, 采装效率提升 25%; 运输车辆空驶率降至 10%, 单吨运输成本降至 10.1 元, 生产成本降低 15.8%; 整体综合效率提升 23%, 年增加经济效益超 2 亿元。同时, 爆破震动、粉尘污染等环保指标均符合国家标准, 边坡稳定性显著提升, 实现了安全、高效、绿色开采。

4 结语

露天采矿工程的高效作业并非单一环节的技术升级, 而是涵盖开采工艺、设备配置、爆破技术、运输调度等多个核心环节的系统工程, 各环节相互关联、相互制约, 仅针对单一环节的优化难以实现整体效益的最大化, 必须立足全流程视角进行综合性统筹与协同改进。针对行业普遍存在的工艺设计不合理、设备协同效率低、爆破参数优化不足、运输调度粗放等突出问题, 本文提出的“工艺优化为基础、设备协同为核心、爆破提质为前置、智能调度为保障”的全流程技术优化体系, 能够精准破解各环节瓶颈, 通过适配资源条件的工艺参数调整、科学高效的设备选型与协同、精准可控的爆破技术应用、智能高效的运输调度优化, 构建起适配现代露天采矿需求的高效作业模式。

参考文献:

- [1] 祝海. 露天采矿工程施工技术及施工安全分析[J]. 现代工程科技, 2024,3(5):61-64.
- [2] 刘海滨. 露天采矿工程中的采矿技术实践研究[J]. 世界有色金属, 2020(23):27-28.
- [3] 张亮. 露天采矿工程中的采矿技术与施工安全[J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(11):97-99.
- [4] 高锡德. 矿山露天采矿工程外包生产运营实践及管理的探讨[J]. 中国金属通报, 2021(3):151-152.
- [5] 许浦东, 彭安成. 露天矿山工程开采技术及施工安全管理分析[J]. 世界有色金属, 2025(1):94-96.

作者简介: 张文华(1973.08-), 男, 汉族, 内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔旗, 毕业于中央广播电视大学, 本科, 工程师, 研究方向: 主要从事采矿工程方面研究。