

露天煤矿开采工艺优化与生产效率提升策略探讨

蒲恒强

宏大爆破工程集团有限责任公司 广东 广州 510623

【摘要】：露天煤矿开采具有作业场地宽广、开采强度大、机械化程度高三大特点，是目前我国煤炭资源开采的主要方式之一。目前我国大部分露天煤矿仍然沿用传统的开采工艺体系，存在着穿爆作业参数匹配度不高、采运排工序衔接不顺畅、设备协同效率低、生产组织模式落后等状况，从而影响到矿山生产效率和经济效益的提高。本文根据露天煤矿开采全流程作业的特点，对传统开采工艺存在的主要问题进行分析，在穿孔爆破、采装作业、运输排土、工艺配套改造等方面提出工艺改进方案，并从智能化改造、生产管理升级、设备运维改善等角度提出全方位的生产效率提升策略。依靠国内大型露天矿生产实践案例来检验优化的效果，结果显示优化后的工艺体系可以有效地减少生产损耗、缩短作业周期、提高设备利用率，给露天煤矿的安全高效、绿色低碳规模化生产提供技术上的参考和实践上的借鉴。

【关键词】：露天煤矿；开采工艺；工艺优化；生产效率；精益生产

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.046

引言

在我国煤炭工业高质量发展的大背景之下，露天煤矿由于资源回收率高、开采成本低、安全生产条件好等特点，是煤炭稳产保供的重要支撑。目前智能化、精细化、连续化是露天煤矿开采技术发展的主流。对传统开采全流程工艺实施全面改进，冲破各个作业环节之间的衔接障碍，搭建起科学的生产管理体系，这是提高露天煤矿生产效率、削减生产成本、达成提质增效的关键途径。本文根据露天煤矿单斗卡车间断工艺、半连续工艺的现状，对开采工艺存在的不足进行梳理，针对开采工艺的不足提出相应的工艺改进技术方案和生产效率提高措施，并通过现场应用数据检验优化效果，为同类型露天矿山工艺改造和高效生产提供借鉴。

1 露天煤矿主流开采工艺及现存问题

1.1 主流开采工艺应用现状

国内露天煤矿开采工艺大致分为间断式、半连续式和连续式三种，单斗卡车间断工艺应用最广，适合大多数中小型和大型露天矿的复杂地质条件，具有灵活、适用性强、设备维护方便等特点。半连续工艺是以破碎站加胶带运输为主，主要适用于大型露天矿的剥离和采煤作业，可以实现大宗物料连续输送，能耗优势明显。连续工艺主要是依靠轮斗挖掘机和胶带系统作业，适合于煤层赋存稳定、岩性均匀的矿区。完整的露天开采工艺流程包括穿孔爆破、采装挖掘、物料运输、排土卸堆四个主要部分，各个环节互相联系，任何一个环节的工艺缺陷都会影响到整个生产效率。从长期的生产实践来看，在传统的工艺模式下各个作业环节是相互独立的，工艺参数固定不变，设备匹配度不高，生产调度粗放，不能适应不断变化的开采工况。

1.2 传统开采工艺核心问题

穿孔爆破工艺的精细化程度不高。大多数矿山使用统一的

爆破孔网参数和装药方式，没有根据不同作业区岩石硬度、岩层结构、煤层厚度进行参数的差异化调整。坚硬岩层爆破不充分造成大块矸石比例过高，松软岩层容易产生超挖、边坡扰动现象，不但会加大二次破碎的工作量，还会降低采装设备的作业效率，并且还会引起边坡的安全隐患。

传统的生产模式下，挖掘机、自卸卡车的设备配比是依靠人工的经验来决定的，并没有根据采剥强度、运距的变化而进行动态的调整。经常会出现采装设备等待运输车辆、卡车空载往返、装载量不达标等现象，设备有效作业率低，无效作业时间高。穿孔、爆破、采装、运输、排土各个工序的作业计划不协调，作业时序上存在冲突，场地上存在交叉干扰的情况。爆破作业延迟会造成采装设备停机、运输调度滞后造成采装工作面积压物料，从而导致整个生产流水线的连续性被打断。

2 露天煤矿开采全流程工艺优化方案

2.1 穿孔爆破工艺精细化优化

穿孔爆破是露天开采的第一道核心工序，爆破质量好坏直接影响后面采装、运输作业的效率。对于传统爆破参数固定、不适应的问题，采取分区差异化爆破工艺，根据矿区地质勘察数据，把作业区域分成岩石硬度、岩层完整性、煤层赋存状态不同的区块，分别对应最合适的孔网参数、钻孔深度、装药结构和起爆方式。

对于坚硬岩层区，孔网间距适当减小，装药集中度增大，用逐孔起爆法提高爆破破碎的均匀性，减少大块矸石的产生。对松软风化岩层增大孔网参数、减小装药量、分层装药，防止过度爆破导致边坡坍塌、围岩扰动，保证作业面平整。另外对于钻孔的作业过程加以改善，统一钻孔的倾角、钻孔的深度等，减小钻孔的误差，进而提高爆破作业的稳定程度。

优化后可以减少二次破碎作业量，改善工作面作业条件，为采装设备高效作业创造条件。经过国内大型露天矿使用优化

方案之后,爆破大块率大幅降低,作业面平整度得到明显改善。

2.2 采装作业工艺优化

采装作业的主要改善途径就是提高设备的有效作业率,削减无效动作和等待时长。首先对工作面的作业布置进行优化,确定合理的作业平台宽度和作业台阶高度,使挖掘机的作业回转半径处在最佳范围内,减少回转、抬升等无效动作,提高单斗装载效率。根据设备性能参数来确定标准化装载流程,规范操作人员操作动作,禁止超载、欠载、重复装载等不规范作业行为。

另外改变设备的配比方式,根据每天采剥任务量、作业面数、运输距离等的变化,自动调节挖掘机和自卸卡车的数量,取消原来的固定配比。根据重点作业面配备主力采装设备,辅助作业面配小型设备协同作业,达到设备资源精准匹配的目的。划定专门的作业区域,防止多台设备交叉作业造成干扰,消除作业拥堵、避让无效耗时的现象。

2.3 运输与排土工艺优化

运输环节是露天开采能耗最高、效率损耗最大的环节,运距过长、路线不合理、空驶率高是主要问题。运输工艺优化主要是降低有效运距、改善运输路线、减少空驶损耗。根据矿山开采的速度来动态规划运输路网,及时调整主干道和辅助道路的位置,清理道路障碍物,平整运输路面,减少车辆颠簸、减速、拥堵等低效工况。

实行就近排土、分区排土作业模式,改善内排土场利用方案,采用搭桥运输方式缩减内排运输距离,削减外排运输比例,明显削减平均运输里程。同时建立运输路线动态调度机制,根据各个作业面的物料产出量、排土场的空余容量来及时安排运输任务,防止车辆大量集中,空车往返,提高运输的满载率和周转率。

排土作业上,优化排土台阶参数,规范排土卸载流程,分层有序排弃物料,提高排土场空间利用率,减少排土设备重复作业,保证排土作业高效有序推进。

2.4 工艺体系融合优化

针对各个工序衔接不畅的情况,创建起采运排一体化连续作业体系,冲破工序独立作业的壁垒。制定出标准化作业时序计划,确定穿孔、爆破、采装、运输、排土各个工序的作业周期、衔接节点和作业标准,使前道工序结束与后道工序开始无缝对接。对设备检修、场地清理、物料清运等辅助作业实行合理错峰,防止辅助作业影响到主要生产流水线的进行。

对具备条件的大型露天矿,推进间断工艺和半连续工艺的融合改造,在剥离量大、运距固定的作业区域配套固定破碎站和胶带运输系统,取代传统的卡车运输方式,实现物料连续输送。在复杂的地形、零散的作业区里保留单斗卡车工艺,创建

起灵活应对、高低效互补的复合开采工艺体系,既保证了作业的灵活性又提高了生产效率。

3 生产效率综合提升配套策略

3.1 智能化调度体系建设

利用矿山物联网、大数据、定位监测技术,创建起全流程智能调度管理系统,对开采作业实施动态监控,对设备展开智能调度,并且可以对数据进行实时统计。系统可以实时采集挖掘机、运输卡车、钻孔设备的作业数据,根据工作面工况、物料储量、道路状况来生成最优的作业方案和运输路线,代替人工经验调度,解决调度滞后、配比失衡、路线不合理的问题。

同时创建生产数据动态分析机制,对设备作业率、物料运输效率、工序衔接耗时等主要指标展开实时统计,准确找到生产低效之处,给工艺参数的动态调整和生产计划的改善赋予数据支撑,达成生产过程的精细化管控。

3.2 设备精细化运维管理

矿山开采设备稳定运行是保证生产效率的前提,创建全生命周期设备运维体系,实行预防性保养制度。根据设备的运行时间、作业负荷、工况条件来制定不同的保养计划,定期对挖掘机、卡车、钻孔设备、胶带输送设备进行检修保养,提前发现设备故障隐患,杜绝设备带病作业、突发停机问题,降低设备故障停机率。

建立设备运行台账,记载设备作业时长、故障种类、保养记录、能耗数据,经由数据分析改善设备的使用和保养方案,提高设备的使用寿命和有效作业率。加强对操作人员、运维人员的技能培训,规范设备的操作及检修程序,减少人为操作失误所造成的工作损失以及效率损失。

3.3 精益化生产管理升级

推行精益生产管理模式,从生产全流程的无效作业、资源浪费、流程冗余问题入手,对生产全流程进行全方位的梳理与改善。细化各个岗位的作业标准和考核指标,把生产效率、作业质量、能耗损耗、设备完好率等指标纳入到绩效考核中,调动工作人员提高效率的积极性。

创建动态生产计划调整机制,按照月度、周度的开采任务和每天的地质状况、天气情况、设备运转状况,及时对作业计划及工艺参数加以修正,防止因为固定计划而致使现场工况发生偏离造成生产滞后的情况出现。同时对现场作业进行组织,调配好人力、设备、场地等各方面的资源,消除生产上的瓶颈现象,保证开采作业连续不断。

3.4 绿色低碳工艺协同优化

高效生产同绿色开采共同推进,在工艺改良时包含节能降耗,环保控制的内容。优化爆破工艺减少粉尘、废气排放,改善作业环境的同时又不会造成环保问题制约生产。推广使用新

能源运输设备、节能型开采设备，降低生产能耗。合理安排剥采进度，改善剥采比参数，削减无效剥离工作量，缩减资源损耗和生产成本，达成高效生产与绿色开采双促进效果。

4 工程应用案例与效果分析

4.1 矿区工程概况

本次工艺优化和效率提高策略应用试点选择新疆圣雄黑山露天煤矿，该矿区为中型现代化露天煤炭生产基地，主要煤层赋存条件稳定，开采规模大，作业区域分散，整体采用传统的单斗卡车间断开采工艺进行剥离和采煤作业。矿山设计年产原煤规模大、采剥作业强度高，多年来一直采用固定工艺参数和人工调度的方式进行生产组织。

由于传统的开采体系的限制，在矿区生产过程中一直存在着爆破破碎质量不均、采运设备配置不合理、物料运输空驶率高、各个生产工序衔接滞后等状况，从而造成设备的有效作业率低、采剥产能提高困难、单位开采能耗居高不下。为解决生产瓶颈问题，提高生产效率，矿区根据自身的地质条件 and 生产情况，全部落实本文提出的全流程工艺优化方案以及相关的生产管理改进措施，进行为期一年的现场工程实践。

4.2 现场优化实施内容

4.2.1 穿爆工艺精细化改造

抛弃传统的统一化爆破作业模式，根据矿区作业面的不同区域，结合各个区域的岩体硬度、岩层结构、覆盖层厚度等地质参数来制定不同的孔网参数、钻孔深度和装药结构。坚硬岩层用小间距孔网和逐孔起爆技术提高破碎均匀度，松软风化岩层改进装药方式，控制爆破扰动，规整作业工作面，从源头上减少大块矸石产出量和二次破碎作业量。

4.2.2 采运排工序协同优化

重新设计采装设备和运输车辆的配比体系，按照每天的采剥任务和作业面工况的变化来调节设备组合，代替原来的固定配比方式。动态优化矿区运输路网，改变主干道和辅助道路的布局方式，采用内排就近排土的方式，搭桥运输来缩短平均运输距离。制定工序衔接标准化制度，错峰安排设备检修、场地清理等辅助作业，保证穿孔、爆破、采装、运输、排土核心工序连续进行。

4.2.3 智能调度与设备运维升级

创建矿区智能调度管理系统平台，对设备运行数据、工作面物料储量、道路通行状况等信息进行实时收集和处理，在此基础上，按照一定的逻辑规则自动产生最合理的运输路线和作业计划，代替了传统的人工调度方式。同步推行设备全生命周期预防性维护制度，创建设备运行台账，明确分级保养标准，加强操作人员和运维人员的技能培训，明显削减设备故障停机几率。

4.2.4 精益化生产管控落地

完善岗位作业标准和绩效考核体系，把设备作业率、生产能耗、作业质量等主要指标纳入考核。创建日度工况动态调整机制，根据天气状况、设备运转情况、地质变动及时对生产计划及工艺参数加以调节，去除生产瓶颈，达成生产全过程精益管控。

4.3 优化前后核心指标对比

经过一年的现场落地和持续改进，矿区各项生产主要指标改善效果明显，工艺优化、管理升级的实践价值得到充分证明，具体指标对比数据见表1。

表1 具体指标对比数据

核心生产指标	优化前	优化后
爆破大块率	5.12%	2.48%
设备综合作业率	72.35%	85.62%
平均运输运距	7.3km	6.8km
卡车空驶率	18.64%	9.35%
月均采剥总量	390 万 m ³	450 万 m ³
单位开采能耗	1.26kW·h/m ³	1.03kW·h/m ³

4.4 应用成效综合分析

4.4.1 生产效率显著提升

采用精细化穿爆工艺改造后，矿区爆破破碎均匀度得到明显提高，大块矸石比例大幅度降低，从根本上解决了由于爆破质量不均造成的采装卡顿、二次作业量大的问题，给采装作业创造了良好的工作面。智能调度、动态设备配置等方式能够很好地克服由于设备等候时间长、车辆空载往返奔波、作业相互影响等造成的弊端，从而提高了设备的整体利用率。运输路网优化和就近排土工艺的落地，使运输里程大大缩短，车辆空驶损耗减少，物料运输周转效率得到提高，最终使矿区月均采剥总量大幅度增加，产能释放效果明显。

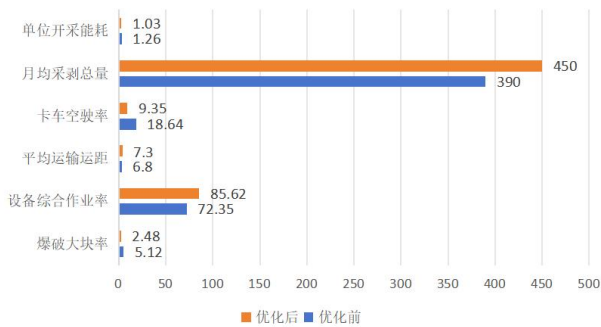


图1 核心生产指标对比

4.4.2 生产成本有效管控

运输环节是露天开采的主要能耗环节，在优化之后平均运距大幅度减少，车辆无效行驶能耗明显下降，叠加设备运维体系的更新，设备故障损耗、燃油电力消耗不断减少，单位开采能耗降幅较大。二次破碎作业量减少、设备有效作业时间增加，大大降低人工、设备维护、燃油消耗等综合生产成本，矿山整体经济效益得到提高。

4.4.3 安全生产条件持续改善

差异化爆破工艺很好地避免了由于过度爆破、爆破不足造

成的边坡扰动、围岩坍塌隐患，作业面规整度和边坡稳定性明显提高。标准化工序衔接和规范化设备作业模式，减少现场交叉作业、设备无序调度造成的安全风险，设备故障停机、突发作业事故的发生率大大降低，从根本上解决了传统粗放生产模式下安全隐患多、生产容易中断的问题，实现了安全生产和高效生产的统一。

5 结论

露天煤矿生产效率提高的关键是开采工艺系统化改进和生产管理精细化提高。传统的露天开采工艺存在着参数固定、工序脱节、设备不匹配、生产粗放等众多的弊端，严重影响了矿山的提质增效。本文从穿孔爆破、采装作业、运输排土、工序衔接全流程入手进行工艺优化，采用智能化调度、精细化运维、精益化管理、绿色协同生产的方式建立全方位效率提升方案，形成一套适合大中型露天煤矿的高效开采技术体系。工程实践表明，该优化方案可以有效地降低爆破大块率、提高设备的作业率、缩短运输运距、减少无效能耗，从而大大提高矿山的采剥产能和经济效益，改善作业的安全条件，具有较好的工程实用性以及推广价值。

参考文献：

- [1] 李勇.中小型露天煤矿开采工艺与系统优化[J].资源信息与工程,2026,41(3):57-60.
- [2] 蔚大城.露天煤矿抛掷爆破及拉铲倒堆开采工艺优化研究[J].自动化应用,2025,66(15):84-86+89.
- [3] 刘晓光.露天煤矿薄煤层安全开采工艺优化[J].山西化工,2024,44(12):160-161+182.
- [4] 翟魁龙.大南湖二号露天矿开采工艺方案优化研究[D].辽宁工程技术大学,2024.
- [5] 郭伟强.露天煤矿开采时序规划方法研究与应用[D].辽宁工程技术大学,2023.