

# Construction Application and Quality Control of Green Mining Technology in Mining engineering

Jianxiong Liu

Shanxi Xinzhou Shenda Liangjia Moraine Coal Industry Co., Ltd., Xinzhou, Shanxi, 036500, China

## Abstract

Traditional mining methods are often accompanied by problems such as surface subsidence, vegetation destruction, disturbance of groundwater systems, accumulation of solid waste and air pollution. With the global sustainable development strategy and increasingly strict environmental regulations, the mining industry must undergo fundamental reforms. Green mining is a systematic solution that emerged in such a large environment. This is not merely a technological improvement, but rather a conceptual innovation faced throughout the entire process from exploration, planning, construction to production, closure and recycling. By analyzing the core elements of this technical system, exploring its application examples in specific construction scenarios, and conducting systematic research on the corresponding full-process quality control system, theoretical references and practical guidance are provided for the high-quality and sustainable development of China's coal industry.

## Keywords

Mining Engineering Green mining technology Construction application; Quality control

# 采矿工程绿色开采技术的施工应用与质量管控

刘建雄

山西忻州神达梁家碛煤业有限公司, 中国·山西 忻州 036500

## 摘 要

传统的矿山开采方式常伴随着地表沉陷、植被破坏、地下水系统扰动、固体废物堆积和空气污染等问题。随着全球可持续发展战略和越来越严格的环境规制, 矿业必须进行根本的改革。绿色采矿就是在这样的大环境下诞生的一种系统的解决方法。这不只是一项技术上的改进, 更是一种从勘探、规划、建设到生产、关闭到回收利用的整个过程中所面临的一种观念上的革新。通过对该技术体系的核心要素进行分析, 探索其在特定建设情景下的应用实例, 并对与之相适应的全过程质量控制体系进行系统性的研究, 为中国煤炭行业的高质量和可持续发展提供理论借鉴和现实指导。

## 关键词

采矿工程; 绿色开采技术; 施工应用; 质量管控

## 1 引言

矿产资源作为工业发展的核心支撑, 其开采规模伴随经济增长持续扩大, 但传统粗放式采矿模式引发的地表塌陷、含水层破坏、煤矸石堆积等生态环境问题日益凸显。据统计, 中国每开采万吨煤炭造成的塌陷面积平均约 3.6 亩, 每年产生的煤矸石达 6 亿 t 以上, 约占全国大宗固废的 18.3%, 矿区生态修复与环境治理已成为制约矿业可持续发展的关键瓶颈。在此背景下, 绿色开采技术以“减损、增效、环保”为核心目标, 通过采充平衡、覆岩控制、固废资源化等创新路径, 实现采矿活动与生态环境的协调发展, 成为落实国家绿色发展理念、推进绿色矿山建设的核心举措。

【作者简介】刘建雄 (1985–), 男, 中国山西忻州人, 本科, 工程师, 从事采矿工程研究。

## 2 采矿工程绿色开采技术的施工应用

绿色开采是一个多维度的技术集成体系, 其施工应用覆盖了从井下到地面、从资源获取到生态恢复的各个环节。以下几项是当前实践中至关重要且应用广泛的核心技术方向:

### 2.1 采空区高效充填技术

该技术利用适宜的充填材料, 在矿物采出后及时充入采空区, 支撑上覆岩层, 显著减轻甚至避免地表变形。根据材料与工艺不同, 主要分为:

废石 / 尾砂胶结充填: 将分选后的废石或磨细的尾砂与水泥等胶凝材料混合, 形成具有一定强度的充填体。此技术实现了固体废弃物的井下资源化处置, 减少了地面尾矿库的占地与风险。施工中, 需精确控制料浆浓度、配比和输送流速, 确保充填体强度满足设计要求并实现管道安全输送。高水速凝材料充填: 采用高水灰比、速凝特性的特种材料, 能

在短时间内凝固并承载。该工艺适用于需要快速形成承载能力的接顶充填或抢险充填场景。3) 膏体充填：将全尾砂等细颗粒物料制备成不析水、牙膏状的稠密膏体进行泵送。其流动性好、不离析，充填体密实度高，对地下水污染风险低，但对制备与泵送设备要求较高<sup>[1]</sup>。

## 2.2 煤与瓦斯协调开采及瓦斯综合利用技术

在施工层面，这包括规划先行：在采区设计阶段，即统筹规划瓦斯预抽、采动卸压抽采和采空区抽采的时空布局，形成“先抽后采、采抽协同”的工程布置。精细施工：采用定向长钻孔、顶板高位裂隙钻孔、穿层钻孔等先进钻进工艺，精确构建瓦斯抽采网络。高效利用：建设地面瓦斯浓缩、提纯或发电设施，将抽采出的瓦斯转化为电力、化工原料或民用燃料，实现“变害为宝”。例如，山西某高瓦斯矿井通过构建井上下联合抽采系统，年抽采瓦斯量超过数亿立方米，发电装机规模达数十兆瓦，在保障安全的同时创造了显著的经济与环境效益。

## 2.3 保水开采与水资源保护技术

保水开采与水资源保护技术关键技术路径包括：1) 限高开采与条带开采：通过控制开采厚度或保留部分矿体作为支撑煤柱，维系关键隔水层的稳定性，保护上部含水层。2) 充填开采：如前所述，充填体可有效抑制导水裂隙带高度，是保水开采最有效的技术之一。3) 地下水疏排水的净化与复用：建立完善的矿井水收集、处理和回用系统。经过混凝、沉淀、过滤、消毒乃至深度处理（如反渗透）后，矿井水可用于井下防尘、地面灌溉、工业冷却乃至生活杂用，极大减少了新鲜水取用量和废水外排量。内蒙古某大型露天矿通过建设大规模的矿区水循环处理中心，实现了生产用水的闭路循环，年节约新水数百万吨。

## 2.4 露天矿绿色施工与生态即时修复技术

在施工组织中：内排土工艺优化：优先采用内部排土场，缩短运距，减少外排占地，并为后续复垦创造地形条件。排土作业遵循“分层堆放、压实”的原则，确保边坡稳定。表土单独剥离与存放：在剥离初期，将珍贵的表土单独剥离、集中堆放并加以保护，作为后期复垦的优质植生土源。生态即时修复：在达到最终边坡或形成稳定平台的区域，立即进行土壤重构、植被重建。选择适应当地气候、耐贫瘠的先锋植物种，采用客土喷播、生态袋等技术进行快速绿化。智能调度与抑尘：运用智能调度系统优化设备运行，减少空载；同时采取洒水、喷洒抑尘剂、设置防风抑尘网等多重措施，严格控制采、运、排过程中的粉尘污染<sup>[2]</sup>。

## 2.5 智能化与数字化赋能

以物联网、大数据、人工智能、数字孪生等为基础，建立“智慧矿山”的“大脑”。具体表现为精细采矿：通过地质建模和智能感知，引导采矿设备进行矿石-岩石的自动辨识和分选，提升资源回收率、减少贫化程度。智能通风节能：通过对气体浓度、风量、设备布置等的实时监控，对通

风系统进行动态调节，达到在保证安全性的同时，达到“按需送风”的目的，显著减少通风能耗。装备群的智能化调度：针对电铲、卡车、钻机等大型装备的整体优化调度，缩短排队时间，提升产能，减少单位能源消耗和污染物排放量。实时环境监测与预警：在矿区及周边建立一套涵盖大气、水质、噪声、边坡变形等多源在线监测系统，并将相关数据实时上传到监控平台，以达到对环境风险的及早预警和快速反应。

## 3 与绿色开采技术全流程深度融合的质量管控体系

然而，若缺乏严格的质量控制，则会降低其环保效益，甚至带来新的风险。为此，需要建立一套能够与整个生产过程进行深度融合的质量控制系统。这个系统应该按照“计划-执行-检查-处理”的PDCA循环进行：

### 3.1 前端设计阶段的质量策划与标准建立

在项目可行性研究与初步设计中，应把“绿色采矿”指数纳入到工程可研和初步设计中。因此，现阶段的企业质量规划的首要工作就是构建一套科学的、科学的、定量的绿色业绩评价指标体系。这不是一句空话，而是要根据矿山的特殊地质条件、生态环境和社会经济条件，经过严格的论证和仿真计算才能确定。核心指标应该包括以下几个方面：在资源观上，要确定资源回收率的下限，避免浪费；在能量层面上，通过确定每吨矿石总能量消耗等综合能耗指标，驱动节能技术和过程的优选。在环境层面，重点研究水分循环利用（最大程度的闭环循环）、固体废弃物的综合利用率（确定矿井中矸石、尾矿等的比例）、地表沉降控制准则（最大下沉、倾斜变形等）。在生态修复方面，应事先确定退耕还林后的复垦率、植被覆盖率和土壤生产力恢复阶段指标。这三个指标合起来就是一个“设计值”，它可以作为以后各项建设活动的依据。

同时，需编制详细的《绿色开采施工组织设计与专项方案》，对每一项绿色技术的施工工艺、材料规格、设备选型、验收标准做出明确规定，形成质量管控的纲领性文件<sup>[3]</sup>。

### 3.2 施工过程的全方位动态监控

材料与工艺控制：对充填材料的粒径、级配、胶凝材料性能进行入场检验与过程抽查；对钻孔的轨迹、深度、封孔质量进行检测；对复垦用土的理化性质进行化验。关键参数实时监测：利用传感器网络，实时监测充填管路压力与浓度、瓦斯抽采浓度与流量、矿井水处理各环节水质指标、边坡位移与应力等，确保工艺运行在设计参数范围内。隐蔽工程与旁站监理：对钻孔施工、充填接顶、防渗层铺设等关键隐蔽工序，实行严格的旁站监理与影像记录，确保施工质量可追溯。数字化交付与数字孪生：施工过程中产生的各类数据（地质、设计、施工、检测）应同步录入统一的数字孪生平台，形成与物理矿山同步生长、虚实互映的“数字矿山”，为过程质量分析与优化提供支撑。

### 3.3 基于多元数据的综合效果评估与闭环反馈

绿色开采的效果评估不应仅限于工程实体质量，更应扩展到环境、资源与生态维度。需要建立周期性的评估机制，通过实地调查、取样监测、遥感解译等手段，系统评估：岩层移动与地表变形是否在预测范围内？地下水水位与水质变化情况如何？复垦区域的土壤肥力、植被群落演替是否达到预期？资源综合利用指标是否完成？

取得这些评估数据后，核心工作在于将其与项目初期的规划目标、理论模型进行细致的对照分析，从而找出实际效果与预期之间存在差距的具体原因。更重要的是，这一分析结论绝不能仅仅形成一份报告，而必须切实地反馈给一线的生产指挥与工程施工管理部门。这些来自实践的反馈，将成为优化下一阶段开采布局、调整具体工艺参数、或是加强某项管理措施的直接依据。如此一来，整个管理过程便形成了一个从现场监测、到效果评估、再到反馈应用于优化决策的完整循环，使得绿色开采在实践中得以持续改进，不断趋近设定的综合目标<sup>[4]</sup>。

### 3.4 全周期档案管理与后评估制度

从开工至闭坑结束的整个过程中，有关绿色采矿的设计文件、施工记录、监测数据、评价数据、图像数据等，均要进行系统的存档，并形成完善的绿色采矿技术文件。尤其是煤矿关闭后，要设置适当的生态保护期限（一般为5-10年或更久），在此过程中，要对生态环境进行持续的监测和修复，并对其进行定期的后评价，以保证该地区的生态系统处于稳定和可持续的状态。这一要求不仅是对企业所承担的社会责任的见证，更是对该行业的科技发展与经验的总结。

## 4 未来展望

展望未来，煤矿绿色采矿技术的演化，必将是深层次的整合和不断的创新。在具体的技术途径上，将深化“无废开采”的内涵，在今后的发展中，可实现矸石、尾矿等固体废弃物的全成分回收和高值化，真正实现废弃物的资源化。与此同时，“能源协同”的开采方式也会越来越多，如矿井地热资源的有效利用和分布式光伏的建设，为矿区的生产和生活提供洁净的能源，促进矿井向近零碳排放的运行方式转

变。另外，“生态矿场”概念也将由概念转化为现实，通过对矿区关闭后的土地进行生态改造，使其成为市民休闲的生态公园，农业生产的用地，新的能源设施的用地，使土地焕发出新的活力。

在管控层次上，智能技术的深入应用是大势所趋。人工智能算法已不仅仅是一种辅助手段，其已深入到流程优化、安全风险预警和生产决策支持等关键环节。借助区块链独特的不可篡改和可追踪性，可以建立一个完整的绿色开采过程中的数据存证和信用机制，既可以保证环境数据的真实性，又可以让真正的绿色矿产资源在市场上得到应有的评价<sup>[5]</sup>。

## 5 结语

综上所述，绿色开采技术及其质量管控体系的构建与实施，是采矿工业应对环境挑战、实现可持续发展的必由之路。它从被动治理转向主动防控，从单一资源获取转向资源-环境-社会系统协调，代表了矿业工程发展的新范式。其成功应用，不仅依赖于持续的技术创新与成熟的工程实践，更有赖于一套科学、严谨、贯穿全周期的质量管控体系作为保障。唯有将绿色理念内化于每一个设计决策、每一道施工工序、每一次管理行为之中，方能真正推动矿业迈向高效、安全、环保的绿色发展新时代，在获取自然资源的同时，守护好我们赖以生存的生态环境，为后代留下可持续发展的基础。这条转型之路任重道远，但方向已然明确，步伐必须坚定。

## 参考文献

- [1] 王国锋. 绿色开采技术在采矿工程中的应用[J]. 凿岩机械气动工具, 2025, 51(10): 228-230.
- [2] 许广安. 绿色开采技术在采矿工程中的运用研究——以深水潭-红旗沟为例[J]. 世界有色金属, 2025, (16): 118-120.
- [3] 吴光冰, 赵彦鹏, 靳顺奇. 采煤工程的采矿技术与施工安全研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (13): 88-90.
- [4] 闫四化. 新形势下有色金属矿产地质勘查及绿色开采技术创新[J]. 世界有色金属, 2025, (05): 196-198.
- [5] 赵国军. 采矿工程中绿色开采技术的应用研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (03): 144-146.