

现代煤矿采矿理念与充填采矿技术探究

郝军 赵鹏

山西襄矿晋平煤业有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i11.8550

[摘要] 全球能源转型与生态文明建设双重驱动下，传统煤炭开采引发的地表塌陷、生态破坏及资源损耗问题亟待解决。充填采矿技术通过采空区实时回填实现岩层控制与固废消纳，成为破解矿山环境治理难题的核心手段。矿山开采领域应推广充填采矿技术，增加新能源和清洁能源投资，逐渐降低煤炭依赖程度。基于此，本文主要就现代煤矿采矿理念与充填采矿技术进行，以供参考。

[关键词] 煤矿采矿理念；充填；采矿

Exploration of Modern Coal Mining Concept and Backfilling Mining Technology

Hao Jun Zhao Peng

Shanxi Xiangkuang Jinping Coal Industry Co., Ltd.

[Abstract] Under the dual drive of global energy transformation and ecological civilization construction, the problems of surface subsidence, ecological damage, and resource depletion caused by traditional coal mining urgently need to be solved. The backfill mining technology achieves rock control and solid waste disposal through real-time backfilling of goaf, becoming the core means to solve the problem of mine environmental governance. The mining industry should promote backfill mining technology, increase investment in new and clean energy, and gradually reduce coal dependence. Based on this, this article mainly discusses modern coal mining concepts and backfill mining technology for reference.

[Key words] coal mining concept; Filling; mining

引言

矿产资源的大规模开采和利用催生了诸多问题。例如，传统采矿模式回收过程中会留下大量矿柱，回收率较低；采矿活动对矿山区域环境产生了极大影响，地表塌陷、山体滑坡、水土流失等地质灾害时有发生；废石、尾矿随意堆放，矿山区域面临着污染风险。充填采矿技术应运而生，为解决矿产资源开采与环境保护之间的矛盾提供了新思路，将充填料填充到采空区对于控制地压、提高矿石回收率具有积极的现实意义。

1 现代煤矿采矿理念概述

传统煤矿开采中采用的技术相对落后，采矿方法不合理，引发了资源浪费、地表塌陷等问题，严重影响了煤矿开采的效率和效果，无法很好地适应可持续发展的要求。现代煤矿采矿理念的基本原则是绿色、可持续，强调构建可持续化的开采模式，指向的是资源综合利用率的提高和废弃物排放量的降低。

现代煤矿采矿理念包含了多方面的内容。1) 高效采矿。现代煤矿采矿理念强调采矿效率的提高，主张借助新技术、新

设备的引进及采矿流程的优化，提高采矿效率，降低采矿成本。2) 安全采矿。矿产开采过程中，会遇到各种各样的危险因素，如地质灾害、有毒气体、粉尘爆炸等，这些危险因素会严重影响采矿工作的顺利推进。现代煤矿采矿理念强调安全和健康，能够通过先进采矿设备的使用、人员安全培训及安全管理等方式，保障采矿作业的安全性。3) 环保采矿。传统采矿理念和采矿工艺会引发严重的环境污染，现代煤矿采矿理念在迎合绿色发展要求的基础上，融入了环保性，借助绿色采矿技术的有效应用，可以减少采矿活动对大气、土壤和地下水的污染，具备良好的环境效益。4) 自动化采矿。智能协同是现代煤矿采矿理念的技术核心，通过融合物联网、大数据、人工智能、5G等新一代信息技术，构建智能采矿体系，实现采矿全流程的智能化与协同化。在智能感知层面，通过在井下布置传感器网络，实时采集采煤、掘进、运输、通风、排水等环节的关键数据，实现井下工况全面感知；利用无人机、智能巡检机器人等设备，完成井下巷道、采空区的自动巡检，弥补人工巡检盲区。在数

据分析与决策控制层面，建立煤矿大数据平台，对采集的多维度数据进行清洗、融合与分析，通过人工智能算法优化开采参数，实现开采方案智能决策；利用远程控制系统对井下设备进行精准操控，如实现无人工作面的远程采煤、充填系统的自动控制，减少人工干预。在协同管理层面，实现地面调度中心、井下作业面、设备运维团队的实时数据共享与协同作业；推动煤矿与上下游企业的信息协同，优化煤炭生产、运输、销售全链条管理，提升产业整体效率。

2 矿山采矿工程中充填采矿技术类型

2.1 干式充填法

干式充填法属于一种较为传统的充填采矿技术，其核心在于借助矿车、风力或其他机械装置，将废石、砂石等充填料运输至采空区，通过合理堆放使其均匀分布在采空区，达到支撑的目的。该充填法成本较低且充填材料来源相对广泛，如矿山开采过程中产生的废石、废料等均可直接作为充填料，一定程度上降低了采购和运输成本，同时对矿体形态的适应性较强，形状不规则及复杂矿体均可采用该充填方案。需要注意，充填过程中会产生大量粉尘，应加强通风，将粉尘质量浓度控制在 $<2\text{mg}/\text{m}^3$ 的范围内，保证充填环境。

2.2 水砂充填法

水砂充填法适用于地形复杂或充填距离较远的采空区，主要将尾砂、河砂、炉渣等充填骨料按照一定比例与水混合制成质量浓度较低的砂浆后，利用砂浆泵或自流的方式，将其输送至指定的井下充填点。当砂浆被送至采空区后，充填料在重力作用下自然下沉，清水和细砂会通过过滤设施排出，充填效果更佳。该充填法可有效减缓地表下沉的速度，保护地表设施和生态平衡。

2.3 胶结充填法

胶结充填法工艺简单、施工效率高且充填材料强度高，将其应用到矿山采矿工程中，能更好地提高矿区安全性。通过在充填材料中添加胶结剂，将河砂、尾砂等骨料与胶结剂按照一定比例进行充分搅拌，制备成质量浓度较低的浆体或膏体，再通过管道自流或专业的泵送设备，将其输送至井下待填区，能有效提高充填体的强度。养护是该技术实施的重要环节，适宜的养护温度为 $15\sim 25^\circ\text{C}$ ，适宜的相对湿度 $\geq 90\%$ ，有助于提高充填区域的强度，使其形成较高强度的固化体。

2.4 膏体充填法

膏体充填法主要将一种或多种材料按照一定比例与水混合，采用特殊的制备工艺制成无需脱水且无临界流速的牙膏状浆体，使用专用的大型工业泵输送至采空区的充填采矿方式，常用材料有尾砂、河砂、粉煤灰、胶结料等。该充填方式环保

性较强且充填效率较高，充填方案实施过程中，将大量的废弃物转化为充填材料，且不会产生有毒有害物质污染土壤、水体和空气。此外，膏体充填料浆具有较好流动性和稳定性，在管道输送过程中出现沉淀、离析、堵管等问题的概率较小，能实现长距离、大高差高效输送，提高采矿安全性和效率。

3 现代煤矿充填采矿技术优化应用策略

3.1 加强现场勘察，细化技术方案

勘察是矿山采矿工程中充填采矿技术实践的前提条件。当前，常用的勘察方法有地质测绘、地震勘探、钻探等，其具有不同的适用性，相互补充能帮助相关人员更加科学地选用充填采矿技术。其中，地质测绘主要依托专业的测量仪器测量矿山走向、山谷深度、坡度变化、地质构造等信息；地震勘探主要是向地下发射地震波后，根据反射波、折射波返回地面的时间和波形分析矿区域内地层结构与矿体情况，相关人员可绘制出地质结构剖面图，推断矿体的大致位置和范围。钻探利用专业的钻探设备，从地面向地下钻进直接获取岩心样本，并在实验室测量其岩石硬度、抗压强度、孔隙度等，构建地下矿体和地层的三维结构模型，有助于进一步提高充填采矿技术方案的合理性。例如，一采矿企业采用地质测绘+钻探明确了矿山的基本情况，整体来看，采矿区域岩石层强度较大但并非特别坚硬，采用胶结充填采矿技术能有效保障采矿安全性，确保高品位矿石最大程度被开采利用。

3.2 完善管理制度

煤矿开采中，应丰富充填采矿技术的内容，围绕煤矿所处区域的地质条件、地形及人员能力等，做好全面的分析调研工作，制定科学的采矿方案，选择好充填采矿技术的形式，确保采矿作业的顺利推进。同时，应该制定完善的管理制度体系，安排专业技术人员做好充填操作的全程跟踪管理，确认操作流程是否规范，及时解决其中存在的问题，消除安全隐患，并对整个充填过程进行记录。在充填采矿技术应用中，不同材料对应的技术参数各不相同，需要工作人员做好材料的选择与检测工作，可以搭配专门的阀门、流量计等，确保充填材料的合理使用。

3.3 构建全过程质量监控体系

充填采矿技术质量控制是保障工程安全与效益核心环节，需建立全流程监控体系。在材料制备阶段，应设立标准化检测模块，对骨料粒径、胶凝材料活性及浆体流动性实施动态监测，通过自动化采样设备与在线分析仪器联动，实时反馈配比偏差并自动校准。输送施工环节需部署压力传感器与流量计网络，精准捕捉管道堵塞、浆体离析等异常工况，结合智能算法预测充填接顶率，及时调整泵送参数避免空顶。充填体维护阶段，

引入分布式光纤传感技术,持续监测充填体内部应力应变演化,通过温度、湿度补偿模型评估长期稳定性。同时,建立跨部门协同管理平台,整合地质、采矿、机电等多源数据,形成从设计参数到现场执行的闭环反馈机制。人员技能升级同样关键,需定期开展设备维护培训、技术员数据分析能力提升课程,确保监控体系高效运转。只有将技术监控与管理优化深度融合,才能实现充填质量从经验判断向科学决策的跨越式提升。

3.4 研发地质适应性改良工艺

地质条件复杂要求充填技术必须具备动态适应能力,需从材料革新与工艺创新双向突破。针对断层破碎带充填难题,开发高触变型充填材料,通过添加纳米黏土等改性剂增强浆体自愈合特性,使其在裂隙发育区仍能保持均匀扩散与有效胶结。对于高含水层环境,研制抗水冲刷复合胶凝体系,利用硫铝酸盐水泥与有机硅憎水剂协同效应,阻断地下水对充填体溶蚀作用。在急倾斜煤层场景中,创新分段梯度充填工艺,通过调节不同区段浆体流变参数,克服重力导致的充填体分布不均。深部高地应力区需发展柔性-刚性耦合充填技术,采用弹性骨料与刚性胶凝材料复合结构,使充填体既能吸收岩体变形能量又可维持承载强度。工艺优化需配套智能调控装备和软件,如自适应配比搅拌站、三维充填模拟软件,实现地质参数与工艺参数智能匹配。通过构建“地质诊断-材料定制-工艺适配”技术链,显著增强充填技术地质普适性,推动在多样化开采场景中的规模化应用。

3.5 提升自动化充填装备水平

充填采矿技术效能提升亟需自动化装备体系支撑,针对传统充填作业中人工干预频繁、参数调节滞后等问题,开发集成式智能充填装备成为突破口。需升级骨料预处理单元,采用智能破碎筛分设备,通过视觉识别与粒径分析算法实现骨料级配的在线优化,确保物料均匀与稳定。研发自适应泵送控制系统,依托压力传感器与流量计实时监测管道状态,结合机器学习算法预测堵管风险并自主调节输送压力,同步优化浆体流速与充填接顶效果。在充填体养护阶段,部署分布式光纤监测网络与温湿度反馈装置,动态捕捉充填体内部应力变化趋势,通过物联网平台实现远程运维与异常预警。此外,引入无人化充填机器人可显著提升高危区域作业安全性,搭载的机械臂与三维扫描模块能精准识别采空区轮廓并完成复杂空间充填。未来需进一步融合数字孪生技术,构建虚拟与现实交互的充填模拟系统,通过实时数据映射优化工艺参数,推动充填装备向智能化、无人化方向迭代升级,全面释放技术潜力。

3.6 完善环保与经济性评估机制

在环保维度,应系统量化充填技术对地表生态修复、固废

减排及碳汇增能贡献值,构建涵盖水土保持指数、生物多样性恢复度、碳排放当量等指标的多维评价模型。经济性评估需引入全生命周期成本分析法,综合测算材料制备、设备运维、生态补偿等显性与隐性成本,同时量化资源回收价值与灾害风险降低带来的长期收益。针对矿区差异化条件,开发动态评估工具包,通过情景模拟对比不同充填方案综合效益,例如在高生态敏感区侧重环境权重系数,而在资源枯竭型矿区强化经济可行性阈值。政策层面需推动绿色金融工具创新,将充填技术减排量纳入碳交易市场,激励企业主动采用绿色充填工艺。此外,建立行业级充填技术数据库,积累不同地质条件与工程规模下的效能数据,为评估模型提供基准参照。通过构建科学化、动态化评估框架,实现技术优化路径精准导航,促进充填采矿从“被动治理”向“主动增值”战略转型。

结束语

在可持续发展理念不断深化的背景下,煤矿开采已不再一味追求短期经济利益和成本缩减,而是愈发注重资源的高效利用和矿区生态环境的保护,使得传统以牺牲环境和安全为代价的采矿理念逐渐被摒弃,现代煤矿采矿理念应运而生。充填采矿技术是现代煤矿采矿理念的典型代表,其能够提高采矿效率和质量,也有着较高的安全系数。在实际应用中,技术人员应围绕煤矿开采的现实需求,研究充填采矿技术的应用模式和运用方法,充分发挥技术优势,在提升采矿质量和安全水平的同时,降低对自然环境的影响和破坏,切实提高采矿的经济效益、社会效益和生态效益。

参考文献

- [1]罗领.矿山采矿工程中充填采矿技术的实践[J].世界有色金属,2024,(19):208-210.
- [2]刘廷成.浅谈现代煤矿采矿理念与充填采矿[J].科技与创新,2015,(05):93-94.
- [3]荆晓东,桑来发,杨纪光,等.充填采矿技术应用管理问题探究[J].中国金属通报,2024,(08):41-43.
- [4]张浩.充填采矿技术在煤炭开采中的应用实践[J].内蒙古石油化工,2022,48(08):82-85.
- [5]焦富国.现代采矿理念与充填采矿技术研究[J].能源与节能,2022,(03):124-125+134.
- [6]宋宇晨.煤矿采矿技术应用现状与改进路径探究[J].内蒙古煤炭经济,2022,(03):22-24.
- [7]尚建卫,李连祥.探究现代煤矿采矿理念及充填采矿分析[J].内蒙古煤炭经济,2021,(05):71-72.
- [8]裴志茂.探究现代煤矿采矿理念及充填采矿[J].技术与市场,2017,24(07):447.