

# 煤矸石井下充填工艺改进研究

赵猛猛

中国煤炭加工利用协会，北京市朝阳区，100013；

**摘要：**本文聚焦煤矸石井下充填工艺的升级展开探究。阐述了该工艺在化解矸石排放污染难题、提升资源回收利用率、有效控制地表沉陷等层面的关键价值。针对现有充填工艺存在的作业效率欠佳、充填体质量波动较大等突出问题，从充填材料优选、输送系统改良、工艺参数调适等维度展开深入研究，针对性提出一系列优化举措。实际应用表明，改进后的工艺不仅显著提升了充填作业效率与充填体质量稳定性，还实现了成本的有效降低，为煤矿领域推行绿色开采模式提供了切实可行的技术保障，助力煤炭行业向低碳化、高效化方向转型升级。

**关键词：**煤矸石；井下充填工艺；改进研究；绿色开采；

**DOI：**10.69979/3029-2727.25.07.040

随着煤炭资源大规模开发，煤矸石排放问题愈发凸显。大量矸石堆积不仅侵占土地资源，还会引发土壤、水源等环境污染问题；与此同时，煤矿开采伴生的地表沉陷等隐患，也对矿区生态环境与生产安全构成现实威胁。煤矸石井下充填作为一种综合性解决方案，通过将矸石回填至采空区，既能减少地面堆存带来的环境压力，又可有效控制地表沉降，同步提升资源回收效率。但当前工艺在实际应用中仍存在充填效率不足、材料利用率偏低等短板，亟需从技术层面展开针对性改进研究，通过优化工艺参数、升级装备系统等手段，进一步提升充填作业的综合效能，在实现绿色环保目标的同时，为煤矿企业创造更显著的经济效益与安全效益。

## 1 传统充填工艺的技术瓶颈与挑战

### 1.1 现有充填工艺技术体系解析

当前，煤矸石井下充填工艺主要形成干式、水力与胶结三大技术体系<sup>[1]</sup>。干式充填以机械运输为核心，通过矿车、皮带输送机等设备将矸石直接转运至采空区，依靠重力自然堆积完成填充。这种工艺无需复杂的设备和技术，操作流程简洁，在地质条件简单、对充填精度要求不高的矿区仍有应用。水力充填则利用水泵产生的高压水流，将破碎后的矸石通过管道输送到采空区，该工艺输送距离长、覆盖范围广，特别适用于大规模采空区的快速填充。胶结充填作为精细化工艺代表，在矸石中按比例添加水泥、粉煤灰等胶凝材料，经搅拌形成具有可塑性的膏体，凝固后可形成高强度的人工矿柱，对控制岩层变形、保障地面建筑物安全具有显著优势。三种工艺各有侧重，构成了现阶段煤矸石井下处理的主要技术路径。

### 1.2 传统工艺在效率层面的瓶颈制约

现有充填工艺在效率维度普遍存在发展瓶颈。干式充填受限于运输设备的单次运载量与往返周期，一旦遇到矸石粒径不均、运输巷道狭窄等情况，很容易出现堵塞卡顿，导致整体作业效率大幅下滑。水力充填虽然具备批量输送优势，但对管道耐压性、耐磨性要求极高，实际运行中经常因管道磨损、接头渗漏等故障被迫停机检修，频繁的维护工作极大影响了正常充填作业进度。胶结充填则受制于材料搅拌、凝固时间，为确保膏体的流动性和最终强度，需要严格把控搅拌速度、运输时长与浇筑间隔，繁杂的工序流程使得单日有效充填量难以提升。这些效率短板不仅延缓开采进度，还间接增加了设备折旧、人工管理等隐性成本。

### 1.3 质量与成本的双重现实困境

现有工艺在质量保障与成本控制方面面临严峻挑战。干式充填形成的松散堆积体，孔隙率较大，无法有效支撑上覆岩层，常常导致地表出现不均匀沉降；水力充填因水流携带动能差异，容易使矸石在采空区内产生粒度分选，形成不利于稳定的分层结构，削弱充填体整体稳定性<sup>[2]</sup>；胶结充填若材料配比不当，不仅会造成凝固时间紊乱、强度衰减，还可能引发膏体离析等质量问题。成本层面，干式充填需要投入大量运输设备与人力，长距离转运矸石带来的能耗不容小觑；胶结充填的胶凝材料成本占比较大，成为制约推广的关键因素；水力充填的管道铺设、维护及污水处理系统建设，也给企业带来沉重的经济负担。这些问题相互交织，使得传统工艺在可持续发展道路上困难重重。

## 2 充填工艺改进的关键技术路径

## 2.1 充填材料的优化选择

在煤矸石井下充填工艺改进中,充填材料的优化选择是提升整体效果的关键一环。针对原有工艺中材料质量不稳定、成本较高的问题,优化工作从两个维度展开。一方面,对原始矸石原料进行精细化预处理,通过振动筛分设备对矸石进行分级筛选,利用破碎机将大块矸石破碎至合适粒径,有效去除其中混杂的杂质,显著提升矸石粒度均匀性。这不仅能改善矸石在输送过程中的流动性,还能确保充填时形成更密实的结构。另一方面,积极探索工业废渣作为替代胶结材料的可能性。工业废渣如矿渣微粉、粉煤灰等,自身具备一定的火山灰活性,经过研磨、激发等处理后,可在一定程度上替代水泥等传统胶结材料。以某矿区实践为例,通过开展多组配比试验,将矿渣微粉、粉煤灰与矸石按不同比例混合,测试其凝结时间、抗压强度等性能指标,最终确定既能满足充填体强度要求,又能大幅降低成本的最佳配合比。这种优化不仅减少了对高价胶凝材料的依赖,还实现了工业废弃物的资源化再利用,兼顾了经济效益与环保效益。

## 2.2 输送系统的改进

输送系统作为煤矸石从地面运输至井下采空区的“生命线”,其性能直接影响充填效率与作业稳定性<sup>[3]</sup>。为解决原有输送系统存在的效率低、磨损大等问题,改进方案从设备选型与系统设计两方面入手。在设备选型上,创新性地采用螺旋输送机与皮带输送机协同作业模式。螺旋输送机依靠螺旋叶片的旋转推动物料前进,其封闭式的输送结构有效避免了矸石在运输途中的洒落与扬尘,尤其适用于井下狭窄巷道的短距离输送;皮带输送机则凭借其强大的承载能力和稳定的运行速度,承担起大规模矸石长距离转运的重任,二者相辅相成,构建起高效的立体运输网络。在系统设计层面,对输送管道进行全面优化。选用高硬度合金耐磨材料制作管道,相较于传统钢材,其抗磨损性能显著提升,大幅延长管道使用寿命。同时,通过实地勘测井下巷道布局,科学规划管道走向,尽可能减少不必要的弯头设置,降低物料输送阻力。此外,在管道连接部位采用柔性密封接头,有效减少因震动、摩擦导致的渗漏问题,保障整个输送系统的高效稳定运行,为井下充填作业提供坚实的硬件支撑。

## 2.3 充填工艺参数的调整

合理调整充填工艺参数是保障充填体质量与提升

作业效率的核心要点。在充填速度控制上,需综合考量采空区的空间形态、矸石的物理特性等多重因素。对于面积大、高度高的采空区,若充填速度过快,矸石在重力作用下易形成“锥形堆积”,导致内部出现空洞,影响整体密实度;反之,速度过慢则会延长充填周期,降低开采效率。因此,需通过现场试验,结合数值模拟分析,确定不同工况下的最佳充填速度。例如,针对矩形采空区,采用分层分段、匀速推进的充填方式,既能保证矸石充分压实,又能提高作业效率。在充填压力设定方面,不同的充填材料和方式对应着不同的压力需求。通过搭建模拟试验平台,对胶结充填、水力充填等工艺进行压力测试,记录不同压力下的充填效果,从而确定最佳压力值。对于胶结充填,还需根据矸石的粒度、含水率动态调整胶结材料用量与水灰比。例如,当矸石含水率较高时,适当减少用水量并增加胶凝材料比例,确保膏体具备良好的可塑性与最终强度。通过精细化的参数调控,实现充填过程的精准控制,达到质量与效率的双重提升。

## 3 改进工艺的实践应用

### 3.1 工程背景

#### 3.1.1 案例分析

某煤矿长期高强度开采过程中,煤矸石排放与采空区治理问题日益严峻。该矿年产生煤矸石量庞大,大量矸石堆积成高耸的矸石山,不仅占据周边大量土地资源,每逢雨季还面临山体滑坡、泥石流等地质灾害风险,且矸石中的硫化物氧化释放有害气体,对矿区空气质量造成严重污染。与此同时,由于原有充填工艺难以有效支撑采空区上覆岩层,矿区周边地表陆续出现不同程度的沉降,部分区域沉降裂缝宽度逐渐增大,附近的农田出现灌溉水渠断裂、道路起伏不平的情况,居民房屋也出现墙体开裂现象,给周边生态环境和居民生命财产安全带来巨大威胁。

#### 3.1.2 工程问题

该矿原采用的干式、水力及胶结等传统充填工艺,在实际应用中暴露出诸多弊端。干式充填依靠简单堆积,矸石之间空隙大,无法形成有效支撑结构;水力充填虽然输送效率较高,但管道磨损严重,维修成本居高不下,且存在大量废水排放难题;胶结充填因胶凝材料成本高昂,导致整体作业经济性差。这些问题导致采空区覆岩沉降控制效果远未达到预期,难以满足当前绿色矿山建设与生态环境保护的严格要求,亟需对现有充填工艺进行系统性优化改进。

### 3.2 改进工艺的实施过程

#### 3.2.1 工艺优化

在该煤矿推进煤矸石井下充填工艺改进时，整个实施过程严格遵循科学规划与精准执行原则<sup>[4]</sup>。首先，在充填材料处理环节，引进先进的筛分破碎设备，构建多级处理流程。通过振动筛对煤矸石进行初步筛分，将其中粒径过大的石块、杂物分离，随后利用圆锥破碎机与锤式破碎机进行二次破碎，使矸石粒度均匀控制在合适范围内。同时，积极开展胶结材料替代试验，将矿渣微粉、粉煤灰按不同比例掺入矸石混合物中，经过上百组配比试验，反复测试其凝结时间、抗压强度、抗渗性能等指标，最终确定最优材料组合，在保证充填体强度的同时，显著降低了材料成本。

#### 3.2.2 输送系统改造

输送系统改造方面，充分结合井下巷道复杂地形，重新规划运输线路。安装大倾角螺旋输送机与带式输送机，形成接力式输送网络，螺旋输送机负责巷道狭窄、转弯多的区域，实现物料的密闭输送，有效减少粉尘污染；带式输送机则承担主运输通道的大运量输送任务。同时，对输送管道进行全面升级，采用内衬陶瓷的耐磨管道，配合精心设计的短直线路径，减少物料输送阻力，提升系统整体运行稳定性。在充填作业阶段，引入智能控制系统，实时监测充填速度、压力等关键参数，操作人员根据采空区实际情况动态调整作业参数，确保充填料浆均匀、密实填充至采空区各个角落。

### 3.3 应用效果分析

经过一段时间的实践应用，改进后的煤矸石井下充填工艺在该煤矿取得了全方位的显著成效。在充填效率方面，新的输送系统与作业流程极大提升了作业效率，以往需要数天才能完成的单个采空区充填作业，如今仅需不到一半的时间即可完成，为后续开采工作争取了大量宝贵时间，有效缓解了采掘接续紧张的局面。

#### 3.3.1 质量管控

在质量管控上，得益于优化后的材料配比和精准的工艺参数控制，充填体质量得到质的飞跃<sup>[5]</sup>。现场钻孔取芯检测显示，充填体密实度大幅提升，内部结构均匀，无明显空洞、分层现象。经过专业机构测试，充填体抗压强度完全满足设计要求，对采空区的支撑效果显著增强，矿区地表沉降得到有效遏制，周边生态环境与居民生活安全得到可靠保障。

#### 3.3.2 成本控制

成本控制方面，新工艺带来的经济效益十分可观。工业废渣的大量应用，使胶结材料成本显著降低；高效稳定的输送系统减少了设备维护和能源消耗费用。此外，矸石井下充填减少了地面矸石山的占地与维护成本，以及地表沉降治理费用。多方面成本的降低，不仅提升了煤矿的经济效益，也为企业发展注入强劲动力，真正实现了生态效益与经济效益的双赢目标。

## 4 结论与展望

### 4.1 研究结论

本文通过对煤矸石井下充填工艺的现状分析，提出了一系列改进方案，包括充填材料的优化选择、输送系统的改进和充填工艺参数的调整。经过实践应用验证，改进后的工艺提高了充填效率和充填体质量，降低了成本，为解决煤矸石排放和地表沉陷问题提供了有效途径。

### 4.2 研究展望

尽管本文的研究取得了一定成果，但煤矸石井下充填工艺仍有进一步改进的空间。未来的研究可以从以下几个方面展开：一是继续探索新型充填材料，提高充填体的性能和降低成本；二是研发智能化充填设备和技术，实现充填过程的自动化控制，提高充填效率和精度；三是加强对充填体长期稳定性的研究，确保其在复杂地质条件下能够有效控制地表沉陷。通过不断的研究和创新，推动煤矸石井下充填工艺向更加高效、环保、经济的方向发展。

## 参考文献

- [1] 张伟龙, 刘刚. 煤矸石资源化利用技术研究新进展 [J]. 陕西煤炭, 2022, 41(05): 149-152.
- [2] 马鹏. 海测滩矿井建(构)物下矸石膏体充填关键技术研究 [J]. 价值工程, 2022, 41(36): 80-83.
- [3] 钱旭. 煤矿矸石充填投料输送集控系统设计 [J]. 煤矿安全, 2022, 53(05): 143-149.
- [4] 薛晓燕. 中煤大同塔山煤矿煤矸石从“负能量”到“正能量”的治理实践 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2022, (04): 95-98.
- [5] 范明. 不同类型煤矸石对矿井水中重金属离子吸附特性研究 [D]. 辽宁工程技术大学, 2020.

作者简介: 赵猛, 1992.06出生, 男, 民族: 汉, 籍贯: 安徽濉溪, 学历: 大学本科, 职称: 工程师, 研究方向: 煤炭领域、工程领域。