

绿色开采理念下废石充填标准体系构建思路

李洪涛 陈 秀 刑树雷

山东一滕建设集团有限公司 山东 泰安 271600

摘要: 在绿色开采理念推动下,本文深入剖析废石充填标准体系构建。阐述绿色开采与废石充填的内在关联,明确标准体系构建基础、核心构成及构建路径。通过层级设计、标准衔接整合与动态完善,构建科学合理的废石充填标准体系,实现资源高效利用、生态环境保护与矿业可持续发展协同共进,为废石充填领域提供全面且具有实践指导意义的理论框架。

关键词: 绿色开采; 废石充填; 标准体系; 构建路径; 可持续发展

引言: 矿业发展面临资源约束与环境保护双重压力,绿色开采成为必然趋势。废石充填作为绿色开采关键技术,能实现固废处置、地质灾害防控与资源循环利用。然而,当前废石充填缺乏系统标准体系,导致技术应用不规范、环境影响难控制等问题。在此背景下,深入探究绿色开采理念下废石充填标准体系构建思路,对规范废石充填作业、推动矿业绿色转型、实现资源与环境协调发展具有重要现实意义。

1 绿色开采与废石充填的内在关联

1.1 绿色开采理念对废石充填的技术导向

绿色开采以资源开发与生态保护协同为核心目标,强调通过技术革新实现采矿活动全生命周期的环境友好性^[1]。这一理念对废石充填提出双重技术要求:一方面需突破传统充填工艺对单一功能的依赖,构建涵盖固废处置、地质灾害防控、资源循环利用的多维技术体系;另一方面要求充填过程实现能量流与物质流的高效闭环,通过优化废石破碎、级配设计、胶结材料配比等环节,最大限度降低充填作业对能源与水资源的消耗。具体而言,绿色开采框架下的废石充填需满足三项技术准则:充填体强度需与矿体赋存条件动态匹配,避免过度充填造成的资源浪费;充填材料选择应遵循“就近取材、循环利用”原则,优先利用选矿尾砂、建筑垃圾等固体废弃物;充填工艺设计需集成智能化监测系统,实时调控充填速度、压力等参数,确保充填体与围岩的力学耦合。

1.2 废石充填在绿色开采中的功能定位

作为绿色开采的关键技术载体,废石充填通过物理支撑与生态修复的双重机制实现采矿工程与地质环境的动态平衡。在资源开发阶段,充填体通过提供侧向约束力,有效控制采空区顶板冒落范围,将地表沉陷系数降低,同时减少围岩应力释放引发的冲击地压风险。在生态保护层面,废石充填通过封闭采空区阻断地下水渗流

通道,配合防渗衬层技术可降低90%以上的酸性矿井水产生量;充填体表面覆土后形成的人工基质层,为植被重建提供物理支撑,配合微生物修复技术可加速土壤功能恢复。从资源循环视角分析,废石充填构建了“采矿-选矿-充填”的物质闭环系统,使原本需外排的废石转化为有价值的工程材料,部分矿山通过优化充填材料配比,实现废石利用率提升,显著降低固废堆存对土地资源的占用。

1.3 废石充填与绿色开采的适配性维度

实现废石充填与绿色开采的深度融合,需从技术、经济、环境三方面构建适配性评价体系。技术适配性要求充填工艺与矿床开采方法形成有机联动,例如针对深部开采的高应力环境,需开发高强度胶结充填材料以抵抗地压;对于缓倾斜薄矿体,则需优化低浓度充填技术以降低管道磨损。经济适配性强调充填成本与矿山效益的平衡,通过建立充填材料本构模型,可精准计算不同配比下的充填体强度与材料消耗,为成本优化提供理论依据。环境适配性聚焦充填过程的环境影响最小化,采用生命周期评估方法可量化充填作业的碳足迹,指导选择低碳胶凝材料与清洁能源驱动的充填设备。三方面适配性要素通过动态反馈机制形成闭环,例如环境监测数据可反向修正技术参数,经济指标变化可触发工艺调整,最终实现充填系统与绿色开采体系的协同进化。

2 废石充填标准体系的构建基础

2.1 废石充填的技术特征与工艺要点

废石充填作为矿业工程领域一项关键技术,具备独特技术特征。从物料特性看,废石来源广泛,成分复杂多样,不同矿区废石在粒度、硬度、化学性质等方面存在显著差异。这些特性直接影响充填效果,如粒度不均可能导致充填体密实度不足,影响稳定性^[2]。在工艺层面,废石充填涵盖多个关键环节。废石破碎是首要步骤,需依据充填要求将废石破碎至合适粒度,破碎设备选型

与参数设置对破碎效果至关重要。输送环节要求高效稳定,常见输送方式有皮带输送、管道输送等,不同方式适用场景不同,需综合考虑矿区地形、输送距离等因素。充填环节是核心,需精确控制充填速度、充填量等参数,确保充填体均匀密实,避免出现空洞或离析现象。此外,为提高充填体性能,常需在废石中添加胶结材料,胶结材料种类与掺量需根据废石性质和充填要求科学确定。

2.2 标准体系构建的基本前提与约束条件

构建废石充填标准体系需明确基本前提。矿业生产实际状况是重要前提,不同矿区地质条件、开采方式、生产规模等存在差异,标准体系需充分考虑这些因素,确保具有针对性和适用性。技术水平也是关键前提,当前废石充填技术在材料研发、工艺优化等方面取得一定进展,但仍有提升空间,标准体系应反映现有技术水平,同时为技术发展预留空间。约束条件方面,资源约束不容忽视。废石作为充填材料,其供应量和质量受矿区开采活动限制,标准体系需考虑资源合理利用,避免过度开采和浪费。环境约束日益严格,废石充填作业可能对周边环境产生影响,如粉尘污染、地下水污染等,标准体系应明确环保要求,确保充填作业符合环境保护标准。

2.3 绿色开采导向下标准体系的构建要求

绿色开采理念为废石充填标准体系构建指明方向。在资源利用方面,要求提高废石利用率,通过优化充填工艺和材料配方,最大限度减少废石排放,实现资源高效循环利用。生态环境保护方面,标准体系应规定严格的环保措施,降低充填作业对生态环境的破坏,如要求采用环保型胶结材料,减少有害物质排放;加强生态恢复治理,确保矿区生态环境逐步改善。在可持续发展层面,标准体系需引导矿业企业采用先进技术和设备,提高废石充填效率和质量,降低生产成本,增强企业竞争力。同时,鼓励企业开展技术创新和研发,推动废石充填技术不断进步,为矿业可持续发展提供技术支撑。

3 废石充填标准体系的核心构成

3.1 废石原料相关标准内容

废石原料是废石充填的基础,其质量与特性直接影响充填效果与后续工程稳定性。在物理性质方面,需对废石的粒度分布制定严格标准。不同充填场景对粒度要求各异,例如,在要求较高密实度的充填区域,应限制较大粒径废石的比例,确保废石颗粒能够紧密堆积,减少孔隙率。同时,对废石的形状也有一定考量,棱角分明与较为圆润的废石在充填过程中的堆积特性不同,标准需明确适宜的形状范围,以保障充填体的均匀性^[3]。化学性质上,要关注废石中有害物质的含量。某些废石可

能含有重金属元素或具有腐蚀性的化学物质,若含量超标,在充填后可能对周边土壤、地下水等环境要素造成污染。因此,需设定严格的有害物质限量标准,从源头上控制环境风险。此外,废石的强度也是重要指标,强度过低的废石在充填后可能无法承受上部压力,导致充填体变形或破坏,影响整个工程的稳定性,所以对废石强度设定合理范围。

3.2 充填工艺与操作相关标准内容

充填工艺与操作标准是确保充填作业顺利进行的关键。在充填工艺流程方面,需明确各环节的先后顺序与衔接要求。从废石的准备、运输到最终的充填,每个步骤都应制定详细规范。例如,废石运输过程中要规定合适的运输设备与运输路线,避免因运输不当造成废石洒落或损坏。对于运输距离在1000m以内的废石运输,优先选择皮带输送机;对于运输距离超过1000m的,可考虑采用管道输送。操作标准涵盖设备操作与人员操作两方面。设备操作方面,不同充填设备有不同的操作参数与要求,如充填泵的转速、压力调节等,需制定精确的操作指南,确保设备正常运行,提高充填效率。人员操作方面,要对操作人员的技能水平、操作流程进行规范。操作人员需经过专业培训,熟悉充填工艺与设备操作,严格按照既定流程进行作业,减少人为失误对充填质量的影响。

3.3 充填质量控制相关标准内容

充填质量控制标准是衡量充填效果的重要依据。在充填体强度方面,要根据不同的工程需求设定明确的强度指标。例如,在矿山回填中,充填体需承受一定的地压与上部荷载,强度不足可能导致地面塌陷等安全事故,因此需通过严格的质量检测确保充填体强度达到要求。密实度也是关键质量指标。密实度不足的充填体内部存在较多孔隙,不仅影响强度,还可能导致渗水等问题。通过制定密实度检测方法 with 标准值,可有效控制充填体质量。此外,充填体的均匀性也不容忽视,不均匀的充填体在不同部位性能差异较大,易引发局部破坏,需采用合适的检测手段确保充填体均匀分布。

3.4 绿色环保相关标准内容

绿色环保标准是废石充填标准体系顺应时代发展的重要体现。在充填作业过程中,要严格控制粉尘排放。粉尘不仅会对作业人员的身体健康造成危害,还会污染周边环境。需规定有效的降尘措施与粉尘排放限量标准,如采用喷雾降尘、封闭作业等方式减少粉尘扩散。对废水排放也有严格要求。充填作业可能产生含有化学物质的废水,若未经处理直接排放,会污染土壤与地下水。应制定废水处理标准与排放要求,确保废水达标排放。同时,

鼓励采用环保型充填材料,减少对环境的负面影响,推动废石充填向绿色、可持续方向发展。

4 废石充填标准体系的构建路径

4.1 标准体系的层级设计与逻辑梳理

废石充填标准体系的层级设计犹如搭建一座稳固的大厦,需从基础到顶层逐步构建^[4]。底层是基础通用标准,这一层级涵盖废石充填领域最基本、最通用的概念、术语和符号等。这些基础内容为整个标准体系提供了统一的语言和规范,确保不同主体在交流和协作过程中对相关概念有清晰、一致的理解,避免因理解差异导致的混乱和错误。中间层是专业通用标准,针对废石充填的不同专业领域,如废石处理、充填工艺、质量控制等,制定具有专业性和通用性的标准。这些标准在基础通用标准的基础上进一步细化,为各专业领域的工作提供具体指导,确保各环节工作在专业规范的框架内进行。顶层是具体产品或服务标准,根据不同的废石充填项目需求和应用场景,制定针对性的标准。这一层级标准直接面向实际应用,将基础通用标准和专业通用标准的要求落实到具体项目中,保障废石充填项目能够达到预期的质量和效果。通过这种层级设计,标准体系形成了从抽象到具体、从通用到专用的逻辑结构,各层级之间相互支撑、层层递进。

4.2 各类标准的衔接与整合方式

各类标准在废石充填标准体系中并非孤立存在,而是相互关联、相互影响。要实现标准之间的有效衔接与整合,需从内容和技术两个层面入手。在内容层面,要确保不同标准之间在概念、指标和要求等方面保持一致。例如,废石处理标准中对废石粒度的要求应与充填工艺标准中对充填材料粒度的要求相匹配,避免出现标准冲突或脱节的情况。在技术层面,要建立标准之间的关联机制。通过制定标准间的引用和参照规则,明确不同标准之间的技术关系和依赖关系。当某一标准进行修订或更新时,能够及时评估对其他相关标准的影响,并进行相应的调整和优化,保证整个标准体系的协调性和一致性。

4.3 标准体系的动态完善路径

废石充填领域处于不断发展变化之中,新技术、新工艺不断涌现,环保要求也日益严格。因此,标准体系不能一成不变,需要建立动态完善路径。一方面,要建立定期评估机制,组织专业人员对现有标准体系进行全面评估,分析标准与实际需求的符合程度,找出存在的问题和不足。另一方面,要关注行业发展动态和前沿技术,及时将新的理念、方法和技术纳入标准体系。通过开展调研、研讨和试验等活动,积累相关数据和经验,为标准的修订和更新提供依据^[5]。同时鼓励企业、科研机构和社会公众参与标准体系的完善工作,广泛收集各方意见和建议,使标准体系更加科学、合理、实用,能够更好地适应废石充填领域的发展需求。

结束语

绿色开采理念下废石充填标准体系构建是一项系统且长期的任务。通过明确构建思路、把握核心构成、规划构建路径,能够逐步建立起科学、完善、动态的标准体系。这不仅有助于提升废石充填技术水平与质量,降低对环境的影响,还能推动矿业行业向绿色、可持续方向稳步迈进。各方应共同努力,积极参与标准体系完善,为矿业绿色发展贡献力量。

参考文献

- [1]刘庆博,万小军,胡世利,等.基于地表沉降控制的废石与尾砂料浆协同嗣后充填研究[J].金属矿山,2026(1):42-50.
- [2]武尚荣,陈帮洪,费志文.某铜矿饱水废石充填后地表及采空区稳定性研究[J].现代矿业,2026,42(2):148-153,159.
- [3]梁栋,陈寅,王思祁,等.基于RSM的废石—全尾砂充填料浆流变特性试验研究[J].黄金科学技术,2025,33(6):1209-1220.
- [4]曩璐鹏,王海舟.浅谈地下矿山废石充填工艺潜在的风险及安全管理对策[J].中国金属通报,2025(2):203-205.
- [5]刘德峰,崔晨冉,郑彦涛,等.废石颗粒级配优化对充填材料性能的影响机制[J].有色金属(矿山部分),2024,76(5):93-102.