

# 金属矿山充填采矿方法研究

白鹏举

新疆火烧云铅锌矿有限责任公司 新疆 和田 848000

**摘要：**充填采矿方法在金属矿山开采中占据重要地位，有效平衡资源开采与环境保护需求。当前，该方法面临充填材料性能不足、系统可靠性低及成本高等挑战。通过研发新型充填材料、优化充填系统与工艺管理等改进措施，可显著提升充填采矿效率与安全性。研究表明，新型材料增强体力学性能，智能监测技术保障系统稳定运行，精细化管理降低综合成本，为金属矿山绿色高效开采提供技术支持与实践路径。

**关键词：**金属矿山；充填采矿；方法

## 引言

随着金属资源需求攀升与环保要求趋严，充填采矿法成为金属矿山可持续开采的关键技术。该方法通过采空区充填，有效控制地压、减少地表沉降，兼具资源高效回收与生态保护双重优势。然而，现有充填材料性能局限、系统运行不稳定及高昂成本等问题，制约其推广应用。本文聚焦金属矿山充填采矿技术发展，系统分析现存问题，提出针对性改进策略，旨在为推动金属矿山绿色开采技术革新、提升行业整体竞争力提供理论与实践参考。

## 1 金属矿山充填采矿方法概述

### 1.1 充填采矿方法的概念

充填采矿方法是金属矿山开采过程中，在矿房或矿块内进行回采作业时，按照一定顺序将开采空间逐步分割，每采出一部分矿石，随即采用特定的充填料对采空区进行填充的一类采矿工艺。该方法通过构建人工支撑体系，以充填料的自重和力学特性来支撑矿岩，维持采场围岩的稳定性，防止采空区顶板垮落、地表下沉等问题。充填料的选择与制备是充填采矿方法的核心环节，其性能直接影响到充填效果和矿山开采的安全性。根据矿山地质条件、矿石性质及开采要求，充填料可由尾砂、废石、水泥等多种材料按不同配比组成，经合理的输送与填充工艺，在采空区形成稳定的支撑结构，保障后续开采作业的顺利进行。

### 1.2 充填采矿方法的特点

充填采矿方法具有显著的技术优势与局限性。从积极方面看，其能有效控制采场围岩变形与破坏，通过及时填充采空区，减少地压活动，降低矿山开采过程中发生坍塌、冒顶等灾害的风险，尤其适用于开采矿岩稳定性差、地表不允许塌陷的矿体。该方法对复杂矿体的适应性强，可实现对矿脉的高效开采，提高矿石回采率，

减少资源浪费。充填采矿方法也存在一定不足，其工艺复杂，涉及充填料的制备、输送和填充等多个环节，设备投资大，运行成本高；充填作业对施工技术和管理水平要求较高，需要严格把控各工序的质量，以确保充填体的强度和稳定性，否则可能影响采矿效率和矿山安全生产。

### 1.3 充填采矿方法的分类

#### 1.3.1 干式充填采矿法

干式充填采矿法是将废石、碎石等干式充填料，通过矿车、皮带运输机等运输设备，直接运送到采空区进行填充的采矿方法。该方法的充填料一般取自矿山开采过程中产生的废石，经简单破碎处理后即可使用，无需复杂的制备工艺。干式充填作业通常在采场中采用人工或机械方式进行摊铺和压实，以提高充填料的密实度。其工艺流程相对简单，对设备要求不高，初期投资较少。由于干式充填料之间的黏结性差，充填体的强度和稳定性有限，难以有效控制地压，因此该方法主要用于开采矿石价值较低、矿岩稳固性较好的缓倾斜薄矿体。在实际应用中，为增强干式充填体的承载能力，有时会在充填料中添加少量胶结材料或采用分层压实等方式进行优化。

#### 1.3.2 水力充填采矿法

水力充填采矿法是利用水力将充填料通过管道输送至采空区的一种充填工艺。该方法以水作为充填料的输送介质，将尾砂、炉渣等颗粒状充填料与水按一定比例混合制成充填料浆，借助重力或水力输送设备，经管道输送至采场进行填充。充填料浆在采空区沉淀后，多余的水通过排水系统排出。水力充填具有输送距离长、效率高、充填体密实度较好等优点，能够有效控制采空区地压和地表沉降。水力充填对充填系统的密封性和排水设施要求较高，若处理不当，可能引发井下积水、管道

堵塞等问题。充填过程中需要消耗大量的水,且排出的水可能含有有害物质,需要进行净化处理以避免环境污染。该方法常用于开采深部矿体、矿岩稳定性较差或地表不允许塌陷的金属矿山。

### 1.3.3 胶结充填采矿法

胶结充填采矿法是在充填料中加入水泥、石灰等胶凝材料,使充填料与胶凝材料按一定比例混合制成具有一定强度的胶结体,对采空区进行填充的采矿方法。胶结充填体具有较高的强度和稳定性,能够为采场提供可靠的支撑,有效控制地压和地表沉降,适用于开采矿岩不稳固、矿石价值较高的矿体。根据胶凝材料的配比和充填料的性质,胶结充填可分为高水速凝充填、尾砂胶结充填等多种类型。该方法的关键在于充填料配比的优化和胶结工艺的控制,以确保胶结体达到设计强度要求。虽然胶结充填采矿法能够显著提高矿石回采率和采矿安全性,但由于胶凝材料的使用,导致充填成本较高,同时对充填设备和工艺要求也更为严格,需要在技术和经济方面进行综合考量。

## 2 金属矿山充填采矿方法存在的问题

### 2.1 充填材料性能有待提高

金属矿山充填采矿作业中,充填材料的性能直接关系到采矿作业的安全性与稳定性,然而当前所用材料存在诸多亟待解决的问题。从强度特性来看,许多充填材料在早期强度发展缓慢,难以快速形成有效支撑结构。在充填后初期,采空区围岩处于应力重分布阶段,若充填体不能及时提供足够的支撑力,围岩易发生变形、垮塌,不仅影响采矿进度,还可能引发安全事故。部分充填材料后期强度增长不足,无法长期维持对围岩的有效支撑,缩短了矿山服务年限。在耐久性方面,金属矿山井下环境复杂,存在湿度大、腐蚀性介质多等问题,部分充填材料在这样的环境中易发生化学侵蚀、物理风化,导致材料性能下降,充填体结构完整性遭到破坏,失去对采空区的有效支护能力。充填材料的流动性和可泵性也不理想。在长距离、复杂管路输送过程中,材料容易出现离析、堵塞现象,降低了充填效率,增加了施工难度。一些材料在配比不合理时,还会出现泌水、沉降等问题,影响充填体的均匀性和密实度,使得充填效果大打折扣,难以满足金属矿山高效、安全采矿的要求<sup>[1]</sup>。

### 2.2 充填系统的可靠性和效率较低

金属矿山充填系统的可靠性和效率对采矿作业的连续性和经济性起着关键作用,但目前的充填系统存在明显短板。充填系统的设备组成较为复杂,涵盖搅拌设备、输送管路、泵送设备等多个环节,任一设备出现故

障都可能导致整个充填作业中断。在实际生产中,搅拌设备的搅拌不均匀会使充填材料混合不充分,影响充填体质量;输送管路因磨损、堵塞频繁,需要经常停机检修,严重影响充填效率,增加了维护成本。充填系统的自动化程度较低,许多环节依赖人工操作和监控,不仅劳动强度大,还容易出现操作失误。人工调节充填材料配比时,难以精准控制各组分比例,导致充填体性能不稳定。在充填过程中,人工监控无法实时准确获取系统运行参数,难以及时发现潜在问题并进行调整,使得充填作业无法达到最佳状态。充填系统与采矿作业的协同性较差,无法根据采矿进度和采空区情况及时调整充填方案和充填量。当采矿工作面推进速度变化时,充填系统不能快速响应,容易出现充填不及时或过度充填的情况,既影响采矿效率,又造成充填材料的浪费,制约了金属矿山整体生产效益的提升。

### 2.3 充填成本过高

金属矿山充填采矿成本居高不下,严重影响了该采矿方法的广泛应用和经济效益。在材料成本方面,优质的充填材料价格昂贵,为了满足充填体强度、耐久性等性能要求,往往需要添加特殊的胶凝材料、添加剂等,这些材料的采购成本占据了充填成本的较大比例。随着市场价格波动,材料成本的不确定性增加,给矿山成本控制带来困难。在运输成本上,金属矿山通常位于偏远地区,交通不便,充填材料的运输距离长、难度大,运输过程中需要消耗大量的人力、物力和燃油资源,进一步推高了成本。由于充填系统效率低下,材料输送过程中存在损耗大、重复运输等问题,使得运输成本进一步增加。从设备成本和维护费用来看,充填系统设备投资大,包括搅拌、泵送、输送等设备的购置费用高昂。在设备运行过程中,由于井下环境恶劣,设备磨损严重,需要频繁更换零部件,维修保养成本高。充填系统的能耗也较高,搅拌、泵送等设备运行需要消耗大量电能,随着能源价格的上涨,能耗成本也成为充填成本的重要组成部分。这些因素综合作用,导致金属矿山充填采矿成本过高,压缩了矿山企业的利润空间,限制了充填采矿方法在金属矿山的大规模应用和推广<sup>[2]</sup>。

## 3 金属矿山充填采矿方法的改进措施

### 3.1 研发新型充填材料

(1)为提升充填体力学性能,通过复合添加剂调控胶凝材料水化反应,研发高水灰比下仍高强度的胶结材料。引入纳米二氧化硅、偏高岭土等活性掺合料,借火山灰效应改善微观结构,提高早期强度与后期耐久性。用于尾砂胶结充填时,可降水泥用量,使充填体单轴抗

压强度提升超30%，满足支护需求。(2)针对传统充填材料流动性差、输送距离受限的问题，开发具有自流平特性的新型膏体材料。优化骨料级配与添加剂组合，在保持充填料浆不离析、不泌水的前提下，大幅提高其流变性能。采用超细尾砂与胶凝材料混合制备的膏体，通过管道输送时阻力降低40%，可实现千米级长距离高效输送，有效解决深部矿山充填难题。(3)探索工业固废在充填材料中的高附加值应用，将煤矸石、冶炼废渣等废弃物经过磨细、活化处理后，替代部分胶凝材料或骨料。通过研究不同固废成分的适配性，开发出环保型复合充填材料，既减少矿山充填成本，又实现废弃物资源化利用。例如，将钢渣与尾砂按特定比例混合，经激发剂活化后，制备出强度稳定、成本低廉的充填材料，兼具经济效益与环境效益<sup>[3]</sup>。

### 3.2 提高充填系统的可靠性和效率

(1)引入智能化技术构建充填系统全流程动态监控平台。料浆制备环节，安装高精度浓度传感器与流量监测装置，实时采集参数，经PID算法自动调节搅拌速度与物料配比，保障料浆质量。输送时，借助压力传感器和视频监控，对管道异常智能预警，快速定位处置故障，缩短停机时间。(2)对充填设备进行升级改造，采用新型高效搅拌设备与耐磨输送泵。开发双轴强力搅拌机，通过优化桨叶结构与搅拌速度，使充填料浆混合均匀度提升25%，显著改善料浆流动性。选用陶瓷内衬管道与高铬合金耐磨泵，将设备磨损率降低60%，延长使用寿命，同时提高输送效率。配置备用输送线路与应急电源，增强系统抗风险能力，保障充填作业连续稳定运行。(3)优化充填系统布局，根据矿山开采进度与矿体分布，合理规划料浆制备站、输送管道走向。采用模块化设计理念，将制备站划分为原料储存、计量配料、搅拌输送等独立单元，便于设备维护与扩展。通过仿真模拟优化管道布置，减少弯头数量与输送距离，降低输送阻力，提高系统整体运行效率。建立设备定期维护与性能评估机制，确保各组件处于最佳工作状态。

### 3.3 优化充填工艺和管理

(1)基于数值模拟与现场试验，建立充填体与矿体

协同作用力学模型，优化充填顺序与分层高度。针对不同矿岩条件，运用分步、间隔等充填工艺，控制围岩变形，降低地压风险。通过模拟确定合理的充填体强度参数与暴露时间，兼顾安全与采矿效率。如缓倾斜矿体开采时，采用下行分层充填工艺，有效控制顶板下沉，降低支护成本。(2)实施精细化充填作业管理，制定严格的充填质量控制标准。在充填料浆制备、输送、浇筑等环节，建立质量追溯体系，对每批次料浆的配比、浓度、强度等指标进行详细记录与检测。采用三维激光扫描技术，对采空区充填效果进行实时监测，对比设计模型，及时发现并处理充填不密实区域。加强现场操作人员培训，规范作业流程，确保充填工艺严格执行。(3)推进充填工艺与采矿工艺的深度融合，开发一体化开采充填技术。将充填作业与采矿凿岩、爆破、出矿等工序进行统筹规划，优化生产组织流程。采用遥控设备进行充填体表面平整与接顶处理，减少人工干预，提高作业安全性与效率。通过建立充填采矿数字化管理平台，实现生产数据实时共享与分析，为决策提供科学依据，促进充填采矿工艺持续优化升级<sup>[4]</sup>。

### 结语

综上所述，金属矿山充填采矿方法在保障资源开采安全与生态环境保护方面意义重大。针对现存充填材料性能、系统可靠性及成本问题，通过研发新型材料、优化系统配置与管理流程，已取得显著成效。未来，需进一步深化智能化、绿色化技术融合，探索多源固废协同利用的充填模式，推动充填采矿技术向高效、低碳、智能方向发展，为金属矿山行业高质量发展注入新动能。

### 参考文献

- [1]郭利杰,刘光生,马青海,等.金属矿山充填采矿技术应用研究进展[J].煤炭学报,2022,47(12):4182-4200.
- [2]孙可光,陆星,范允鑫,等.浅谈金属矿山充填采矿的五种方法[J].中国金属通报,2020(24):27-28.
- [3]刘玉,温清尧.金属矿山充填采矿技术分析[J].中国金属通报,2024(23):31-33.
- [4]郭玉杰.金属矿山充填采矿技术要点及应用分析[J].世界有色金属,2023(22):78-80.