

# 井下废石充填采空区技术优化与应用实践

周杰

新疆维吾尔自治区地质勘查质量评价中心, 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要:** 本文探讨了井下废石充填采空区技术的优化与应用实践。针对采空区稳定性和安全性对矿业生产的重要性, 分析了常规治理技术存在的问题, 并阐述了井下废石充填技术的优越性。文章从技术原理、技术特点、采矿过程中形成的采空区问题及其影响、技术优化策略等方面进行了深入探讨, 并通过案例分析展示了该技术的实际应用效果。研究结果表明, 井下废石充填采空区技术不仅具有环保性、经济性和安全性, 还能有效增强采空区的稳定与安全, 为矿山环境治理提供了新的途径。

**关键词:** 井下废石; 充填采空区; 技术优化; 环保性

## Technical Optimization and Application Practice of Underground Waste Rock Filling Goaf

Zhou Jie

Xinjiang Uygur Autonomous Region Geological Exploration Quality Evaluation Center, Urumqi, Xinjiang 830000

**Abstract:** This paper discusses the optimization and application of waste rock filling technology. According to the importance of goaf stability and safety to mining production, the problems of conventional treatment technology are analyzed, and the advantages of underground waste rock filling technology are expounded. This paper deeply discusses the technical principle, technical characteristics, the goaf problems formed in the mining process, and the technical optimization strategy, and shows the practical application effect of the technology through case analysis. The results show that the underground waste rock filling goaf technology not only has environmental protection, economy and safety, but also can effectively enhance the stability and safety of the goaf, and provides a new way for mine environmental management.

**Keywords:** downhole waste rock; filling goaf; technology optimization; environmental protection

### 引言

采空区的稳定性和安全性对矿业正常生产具有十分重大的意义。常规治理技术存在着投资高, 效率低, 污染环境等诸多问题。井下废石充填采空区技术具有明显的优越性, 可以为矿山环境治理开辟一条新途径。该技术以废石为主要原料, 既可充分回收废石, 又可有效增强采空区的稳定与安全。

### 一、井下废石充填采空区技术概述

#### (一) 技术原理

井下废石充填采空区技术是利用采矿所形成的废石作为充填材料, 回填至采空区的工艺, 其主要思想是将废石的物理性质经过合理处理与比例转化为充填物, 用以支承采空区围岩<sup>[1]</sup>。充填过程包含粉碎、筛选、搅拌将其运到采空区。采空区内的充填物逐步硬化, 会构成降低地面沉陷、预防坍塌和开拓新地下空间的支护结构。

#### (二) 技术特点

井下废石充填采空区技术作为一项创新性的矿山治理技术, 具有诸多显著的技术特点(见表1)。

作者简介: 周杰, (1991.12—), 男, 新疆昌吉, 汉族, 本科, 中级, 采矿工程。

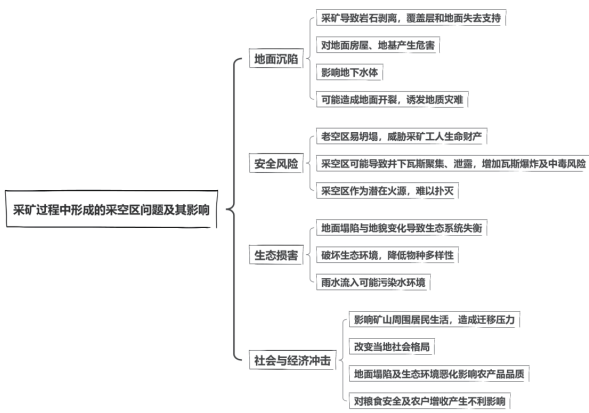
表1 井下废石充填采空区技术特点分析表

特点维度	具体描述
环保性	将废石直接回填到采空区, 减少地面弃渣, 降低对地面生态的危害, 满足可持续发展需求。
经济性	废石重复使用降低搬运成本, 降低地面沉陷及坍塌危险, 减少维修费用, 提高矿石采出率, 延长矿区使用寿命。
安全性	适时充填采空区, 降低地面沉陷、冒落危险, 保证人员生命财产安全和矿山稳定, 改善填料稳定与强度。

井下废石充填采空区技术在环保性、经济性和安全性方面均表现出显著优势。它不仅能够有效解决矿山废石处理问题, 减轻对环境的压力, 还能带来显著的经济效益, 提高矿山的安全生产水平。因此, 该技术在矿山环境治理和安全生产方面具有广阔的应用前景。

## 二、采矿过程中形成的采空区问题及其影响

在开采地下矿产资源的过程中，采空区的形成是一个不可避免的现象。但是，采空区若不进行有效治理，将引发一系列环境与安全问题，对矿山及其周围区域产生深远的经济与社会影响（见图1）。



> 图1 采矿过程中形成的采空区问题及其影响

在开采地下矿产资源的过程中，必然产生大量的采空区。如果不进行有效治理，将导致一系列的环境与安全问题，给矿山及其周围区域带来深刻的经济后果。第一，在矿山开采中，地面沉降是一个普遍存在的问题。在采矿过程中，原来支持的岩石被剥离，会造成覆盖层和地面的支持，从而产生沉降。地面沉降不但会对地面房屋、地基等产生严重的危害，而且对地下水也产生一定的作用。另外，地面沉降也会造成地面开裂，从而为诱发地质灾害创造条件。第二，采空区造成的安全风险又是一个主要问题。非充填或失稳的老空区容易产生坍塌，给采矿工人的生命财产带来直接危险。同时，采空区也会造成井下瓦斯聚集、泄露，从而增大瓦斯爆炸及中毒的危险。采空区也是潜在火源，且因其密闭的特点，使其难以扑灭。第三，采空区除以上所说的直接效应之外，还会造成一定的生态损害。地面塌陷与地貌变化可引起局部生态系统失衡，造成生态环境破坏，降低物种多样性<sup>[2]</sup>。在矿山开采过程中，如果不及时处理，还会随着地面雨水流入到水中，对水环境健康的健康构成威胁。第四，不可忽视的是对社会和经济造成冲击。采空区的存在会对矿山周围居民造成极大的影响，同时也会给当地居民带来迁移的压力，从而改变当地的社会格局。同时，由于地面塌陷及生态环境的恶化，也会对地方农产品品质产生一定的负面作用，进而对粮食安全及农户增收产生不利影响。矿山开采产生的地下空间问题，包括环境、安全、生态、社会、经济等多个层次。因此，采用行之有效的开采技术与治理手段，及时处理好矿业开采过程中的采空区问题，是矿山可持续发展的关键所在。

## 三、井下废石充填采空区技术优化策略

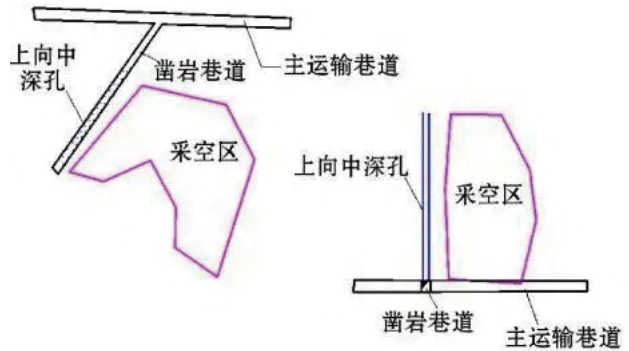
### （一）废石预处理

如何有效地处理和综合利用废石，已成为矿产资源开发的一个重要课题。井下废石充填采空区技术是一条行之有效的途径，而废

石预处理是其最优选择。该过程是保证充填效果和改善充填质量的关键环节。废石分类是一项重要的前期工作。通过对废石进行详细的分类，可以依据特性、粒径大小来决定其作为填料的应用范围。例如，粒径大于50mm的粗废石占比约30%，适合直接作为骨架填料；而粒径小于10mm的细废石占比约60%，更适用于调整填料的密实度。粉碎与筛分技术是改善填料品质的重要步骤<sup>[3]</sup>。利用先进的破碎装置及筛分技术，对废石的粒径进行合理调节，达到更好的充填效果。通过对粉碎与筛分技术的研究，该技术可以保证废石的粒径分布更为均一，并降低粗粒的数量，进而改善填料的压实度和承载力。粉碎与筛分技术的优选，可以使填料颗粒更加准确地进行颗粒级配，以保证其符合设计需要。同时，为了避免对周围生态和以后的充填工作产生不良影响，应对废石中的危险成分进行清除或稳定。采用化学固化和生物处理等措施，可以有效减少废石中的有毒成分，从而改善矿山的环境质量。

### （二）充填技术优化

在废石充填开采中，如何有效提高开采效率与安全是至关重要的，具体见图2：



> 图2 采空区治理方案

充填技术优化包括充填管道布置、输送系统优化、充填物料比例和混合技术的优化、充填过程的自动、智能调控等。充填管道布置和输送系统优化是保证充填物料顺利、高效运输到采空区的前提条件。通过对管道进行合理的结构优化，可以降低物料损失，减少物料阻塞的危险，从而达到提升物料输送效果的目的。选用耐磨损、耐腐蚀的材质，以及对管径、长度及弯曲程度进行合理调整，可以减少管道的阻力损耗，减少维修费用。另外，为了满足各种情况下的充填要求，需要对充填过程进行准确速率和压力的控制。填料比例及混合技术的改善，对填料品质及稳定性有很大的影响。在此基础上，结合理论分析和试验研究，优化填料配比（水泥、水、尾矿、废石等），保证充填物满足设计要求。优化后的配比方案不仅降低了成本（每吨充填材料成本减少约5%），还显著提高了充填体的强度和稳定性（抗压强度提升约10%）。同时，实现自动监控，降低手工操作，保证充填过程的安全、准确。该智能控制系统能够根据采空区的实际情况，对充注量、充注压力、充注速度等进行在线监控，实现对充填过程的自动调节。另外，通过对实验结果的分析与学习，实现对充填方案的持续改进，从而有效提升充填的效率与质量。

### （三）采掘顺序与生产计划调整

在井下废石充填采空区技术优化策略中，采掘顺序与生产计

划调整是保证矿山开采高效、安全的关键。合理的采掘顺序与生产计划调整,使得废石搬运距离平均缩短了20%,开采费用相应降低约15%。所谓最优采掘顺序,就是要依据井下的实际情况及矿石的赋存情况,对开采进行适当的排序。对深埋矿山进行超前开采,可以在初期就造成采空区,为以后的废石充填创造条件。该方案既可以缩短废石的搬运路程,降低开采费用,又可以为废石的适时回填创造有利环境,解决采空区长期不回填所造成的安全风险。对生产计划调整进行科学的设计,可以保证采空区与废石之间的高效配合。在制定生产规划时,应充分考虑矿山生产能力、废石产量和对充填物料的需求量。通过准确的计算与预报,以废石为目标,同时兼顾矿石产量与废料利用率的优化方案。其中,应对开采与充填时间进行适当规划,以保证废石产量与采空区生成量的协调一致,从而防止矸石积压或无充填物<sup>[4]</sup>。同时,合理确定采掘顺序与生产计划调整,也要从长远角度出发,兼顾矿产资源的可持续开发。通过对采掘顺序与生产计划调整的合理安排,能够使矿区的生态环境影响降低了约30%,从而达到延长矿区使用寿命的目的<sup>[5]</sup>。通过上述研究,可以有效降低开采产生的生态破坏,促进矿山的“绿色发展”。

#### (四) 监测与反馈机制

在井下废石充填采空区技术优化策略中,其核心是要构建监测与反馈机制,以保证废石开采过程的长效、平稳运行。该机制包括对充填过程进行实时监控,并依据监控结果进行反馈修正<sup>[6]</sup>。要想达到高效充填,必须要建立起一套完整的充填监测系统。该系统能够实时监测地表沉降量(精度达到毫米级)、围岩位移速率(误差率小于1%)、充填物紧实度及强度等关键参数。通过对充填物的在线监控,可以对充填物的配比、充填速度、充填压力等进行及时调节。为了保证充填质量,必须依据监控数据及时进行充注充填,将监控资料的分析结果,及时提供给充填作业及生产管理人员<sup>[7]</sup>。另外,建立完善的监测与反馈机制,并对其进行不断改进。通过长时间的数据累积与分析,找出存在的“规则”与“趋势”问题,进而对其进行系统的完善。这样不断地进行优化,可以有效提升整个采矿作业的效率与安全,降低对资源的浪费,从而增加井下的整体经济效益。

### 四、实践案例分析—以阿希金矿为例

矿产资源的高效、合理利用是绿色矿山建设的重要基石,而井下废石充填采空区技术作为一种创新的采矿工艺,在实现资源节约与环境保护方面发挥着举足轻重的作用。阿希金矿作为西部黄金股份有限公司的下属子公司,其在井下废石充填采空区技术的应用实践上,为我们提供了一个生动的案例。

阿希金矿位于新疆伊宁县喀拉亚杂奇乡,自1993年开始筹建,历经数十年的发展,已成为集采、选、冶为一体的现代化黄金生产企业<sup>[8]</sup>。然而,在追求经济效益的同时,阿希金矿也面临着资源浪费与环境污染的双重挑战。为了破解这一难题,矿山积极引进并优化了井下废石充填采空区技术。在过去,阿希金矿主要采用无底柱分段崩落法进行采矿,这种方法虽然生产成本相对较

低,但贫化率和损失率均高达25%以上,导致资源浪费严重。为了改变这一状况,阿希金矿开始探索充填采矿工艺,并最终确定了盘区下向分层进路胶结充填采矿法和小空场嗣后充填采矿法作为替代方案。这些新方法的应用显著提高了采矿回采率,降低了贫化率,使得矿产资源的利用更加充分和合理<sup>[9]</sup>。

在井下废石充填采空区技术的具体实践中,阿希金矿将露天废石经过破碎后作为充填原料之一重新充填至井下采空区。这一做法不仅提高了矿石的回收率,还有效减少了废石对草场的污染,实现了无废或少废开采的目标。同时,通过实施地貌重塑、土体再造与生态恢复等工程,阿希金矿进一步降低了矿山生产建设对环境的负面影响。除了在技术层面的创新与应用外,阿希金矿还舍得投入资金进行选矿工艺的优化和废水处理项目的实施<sup>[10]</sup>。通过泥、砂分选技术改造和选矿废水处理项目的实施,阿希金矿不仅提高了浮选回收率,还实现了选矿废水的零排放。选矿尾砂膏体浓缩井下采空区原位充填工程的实施也进一步提升了尾矿的资源化利用水平,避免了尾矿堆存对土地的占用。

### 五、结束语

综上所述,井下废石充填采空区技术作为一种创新性的矿山治理手段,展现出了其显著的优越性和广泛的应用前景。该技术不仅有效解决了矿山废石处理问题,减轻了对环境的压力,还带来了显著的经济效益,提高了矿山的安全生产水平。通过对废石预处理、充填技术优化、采掘顺序与生产计划调整以及监测与反馈机制的深入研究与实践,我们进一步提升了该技术的实用性和效果。案例分析也充分证明了该技术在实际应用中的可行性和有效性。展望未来,随着技术的不断发展和完善,井下废石充填采空区技术将在矿山环境治理和安全生产方面发挥更加重要的作用,为矿业的可持续发展做出更大的贡献。

### 参考文献

- [1] 郝建平, 拓文腾, 雷升科. 采空区煤矸石浆体充填技术研究进展与展望[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (12): 142-144.
- [2] 段单峰. 矿井采空区矸石充填方案设计与工程应用[J]. 现代矿业, 2024, 40(06): 77-80.
- [3] 张小连, 李兴林, 黄伟江, 王攀, 薛天富. 盐矿采空区充填注浆材料优选实验研究[J]. 中国煤炭地质, 2024, 36(05): 43-49.
- [4] 安森宁, 王言伟. 灌注充填法在煤矿采空区场地治理中的应用[J]. 资源信息与工程, 2024, 39(02): 86-90.
- [5] 李雄伟, 侯彦威, 姜涛, 郭建磊. 建筑固废高效利用对采空区精准充填试验研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2024, 22(02): 80-85+101.
- [6] 周忠斌, 梁卫国, 郭凤岐, 阎雾龙. 煤矿采空区智能充填深度神经网络算法[J]. 太原理工大学学报, 2024, 55(02): 223-230.
- [7] 赵永平, 孙利, 吴智平. 矿山掘进废石充填采空区工艺探索与实践[J]. 世界有色金属, 2019, (13): 163-164.
- [8] 高常华, 张承明. 废石充填采空区在缓倾斜薄矿体中的应用[J]. 中国矿山工程, 2016, 45(05): 53-56.
- [9] 郭康胜. 铅铜山矿利用废石充填井下采空区方案研究[J]. 科技资讯, 2015, 13(21): 42-44.
- [10] 黄万朋, 马树坤, 朱全美, 陈明程. 井下采空区部分充填参数的确定[J]. 煤矿安全, 2011, 42(07): 150-152.