

地下金属矿山充填采矿技术的运用

刘洪伟, 刘启玉, 刘江波

中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司, 云南 昆明 650051

摘 要 : 金属矿产资源是我国工业生产的基础, 推动着经济发展和社会的进步。近年来科技的发展使得地下金属矿山开采力度加大, 传统的开采方法在长期实践中逐渐暴露问题, 尤其是矿山安全问题。为了确保地下金属矿山开采安全, 实现矿产资源的可持续开发利用, 加大充填采矿技术的应用。充填采矿技术通过将充填材料输送到采空区, 以此支撑矿山结构, 从而有效控制地压, 减少采空区坍塌的风险, 保障矿山的安全生产。基于此, 本文将阐述充填采矿技术在地下金属矿山开采中的意义, 介绍常见的充填采矿技术, 并提出具体优化建议, 以期为金属矿山的科学管理和可持续发展提供参考。

关 键 词 : 地下金属矿山; 充填采矿技术; 运用

Application of Filling and Mining Technology in Underground Metal Mines

Liu Hongwei, Liu Qiyu, Liu Jiangbo

China Nonferrous Metals Industry Kunming Survey and Design Institute Co., Ltd. Kunming, Yunnan 650051

Abstract : Metal mineral resources are the foundation of China's industrial production and promote economic development and social progress. In recent years, the development of science and technology has increased the intensity of underground metal mining, and the traditional mining methods have gradually exposed the problems in the long-term practice, especially the mine safety problems. In order to ensure the safety of underground metal mining and realize the sustainable development and utilization of mineral resources, the application of filling mining technology should be increased. Filling mining technology supports the mine structure by conveying filling materials to the goaf, so as to effectively control the ground pressure, reduce the risk of goaf collapse, and ensure the safe production of the mine. Based on this, this paper will explain the significance of filling mining technology in underground metal mining, introduce the common filling mining technology, and put forward specific optimization suggestions, in order to provide reference for the scientific management and sustainable development of metal mines.

Keywords : underground metal mining; filling and mining technology; application

随着社会对金属矿产资源需求的增加, 浅部资源、易采资源、高品位资源的逐渐消耗和枯竭, 金属矿山开发工程不断深入, 转入深部低品位以及难采矿体的开采, 采矿条件日益复杂。传统采矿方式存在资源浪费、污染环境等情况, 甚至存在安全隐患, 难以满足社会对绿色开采的需求。充填采矿技术是一种常见的采矿技术, 利用充填材料的支撑作用, 控制采场地压活动, 防止围岩坍塌和地表沉降。在我国应用较早, 随着对环境保护和资源高效利用的重视程度不断提高, 充填采矿技术在我国得到了更广泛的研究和应用^[1]。

一、充填采矿技术在地下金属矿山开采中的意义

(一) 保障采矿作业安全

随着地下金属矿山开采越来越深入, 矿山结构发生改变, 采空区随时可能引发顶板垮落、片帮等安全事故, 严重威胁作业人员的生命安全以及矿山的正常生产秩序。充填采矿技术通过向采空区填充合适的材料, 如尾砂、废石、胶结材料等, 能够及时支撑采场顶板和围岩^[2]。填充体可以分担矿山开采过程中产生的地

应力, 减少顶板和围岩的变形与破坏风险。例如, 在一些深部开采的金属矿山中, 随着开采深度的增加, 地压急剧增大, 传统采矿方法难以应对。而采用充填采矿技术后, 充填体能够有效抵抗上覆岩层的压力, 使采场处于相对稳定的力学状态, 大大降低了顶板垮落事故的发生概率, 为采矿人员创造了更为安全的作业环境。

(二) 提高资源回收利用率

在传统的采矿方法中, 由于受到采场稳定性、矿石损失贫化

等因素的限制，无法充分回采矿体。而充填采矿技术可以适应各种复杂的地质条件，通过合理的采矿工艺设计和充填方式选择，最大限度地减少矿石的损失和贫化。例如，在一些矿体形态复杂、厚度变化较大的矿山，采用分段充填采矿法或分层充填采矿法，能够根据矿体的实际情况，将矿体划分为多个分段或分层进行回采，及时对采空区进行充填。不仅可以有效控制地压，还能提高资源回收率。对于一些低品位矿石或以往被视为难以开采的边角矿体，充填采矿技术也可以通过优化开采工艺，实现经济合理的开采，进一步提高了资源的综合利用效率^[3]。

（三）降低对环境的污染

随着人们环保意识的不断提高，矿山开采对环境的影响日益受到关注。充填采矿技术在可以将开采过程中的废弃物，如尾砂、废石等作为充填材料进行再利用，减少开采过程中的废弃物排放，降低了对土地资源的占用，还避免了废弃物随意堆放对周边环境造成的污染。例如，将尾砂进行脱水、分级处理后，与胶结材料混合制成充填体，填充到采空区中，实现了尾砂的资源化利用，减少了尾矿库的建设和运营成本，降低了尾矿库溃坝等环境风险。

其次，随着开采范围的扩大，地表会逐渐出现下沉、塌陷等现象，破坏地表植被、农田和建筑物，影响生态平衡。对地下金属矿山采用充填采矿技术，通过向采空区填充材料，能够支撑上覆岩层，减小地表沉降变形，保护地表生态环境。

（四）降低开采成本

随着科技的不断创新，采矿方法也不短的优化，充填采矿技术的应用可以减少支护成本，将尾矿直接用于充填采空区，避免了尾矿远距离输送和堆存的费用，降低尾矿处理成本，提高设备利用率，下表为 AMC 国际咨询公司整理的常见充填采矿方法产能、效率与成本对比，详情见表 1^[4]。

表 1 AMC 国际咨询公司整理的常见充填采矿方法产能、效率与成本对比

充填采矿技术	产能比例 (%)	综合成本 (元 / 吨)	工人人均产能 (吨 / 天)
下向分层尾砂充填技术	5	400	19
结合点柱支护控场嗣后充填技术	12	325	15
上向分层尾砂充填技术	8	200	32
阶段控场嗣后充填采矿技术	45	100	63
其他	20	175	38

二、常见的充填采矿技术

（一）下向分层尾砂充填采矿技术

下向分层尾砂充填技术从矿体的上盘向下盘或从矿体的一端向另一端，沿水平分层由上而下逐层进行回采。每采完一个分层，就及时用尾砂进行充填，利用充填体对上覆岩层进行支撑，控制地压活动，为下一分层的回采创造安全条件，如此循环，直至完成整个矿体的开采。适用于开采矿石和围岩均不稳固的高品位矿体，特别是那些对地表保护要求严格，不允许有较大变形和塌陷的矿体。该技术能有效控制地压，保护上下盘围岩和地表，矿石损失和贫化率低，可保证较高的矿石质量；作业安全条件

好，工人在充填体保护下进行回采作业^[5]。

（二）结合点柱支护控场嗣后充填采矿技术

结合点柱支护控场嗣后充填采矿技术在采矿过程中先根据矿体的形状、大小和地质条件等，在采场内合理布置并保留一定数量和形状的点柱。在回采过程中，点柱承担主要的支撑作用，控制采场顶板的变形和垮落。待矿房回采结束后，再对采空区进行尾砂等材料的充填，进一步增强采空区的稳定性，减少地压对周边矿体和围岩的影响。适用于矿体厚度较大、地压较大，且矿石和围岩稳定性相对较差的情况，尤其是在一些大型金属矿山的深部开采中较为常用。该技术综合了点柱支护和充填采矿的优点，能有效控制采场变形和地压活动；提高了采矿的安全性，减少了采场冒顶等事故的发生概率；在一定程度上提高了矿石回收率，减少了因采空区不稳定导致的矿石损失。

（三）上向分层尾砂充填采矿技术

上向分层尾砂充填采矿技术将矿块沿垂直方向划分成若干分层，从最下分层开始，向上逐层进行回采。每采完一个分层，就利用尾砂进行充填，充填体不仅为下一次回采提供工作平台，还能支撑围岩，控制地压。随着分层的不断上采，逐步完成整个矿块的回采和充填工作。适用于开采矿石稳固、围岩不稳固的矿体，在有色金属矿山和贵金属矿山中应用较为广泛，尤其是矿体倾角较缓、厚度较大的情况。该技术充填效率较高，能够连续进行分层充填作业；充填体质量相对较好，能有效控制地压，减少围岩的变形和垮落，回采工艺相对简单，工人操作容易掌握，可以利用尾砂等废料，减少环境污染，降低充填成本^[6]。

（四）阶段控场嗣后充填采矿技术

阶段控场嗣后充填采矿技术按阶段划分矿块，在一个阶段内，采用合适的采矿方法进行回采，形成较大的采空区。在回采过程中，主要依靠阶段内的矿柱、围岩自身的强度以及一些临时支护措施来控制地压。待整个阶段回采结束后，再对阶段采空区进行大规模的充填，利用充填体将采空区填满，以恢复地层压力平衡，减少地压对周边矿体和围岩的影响，防止采空区塌陷。适用于开采规模较大、矿体厚度较大、倾角较陡的矿床，尤其是在一些大型地下金属矿山中，对于那些采用阶段空场法等采矿方法后形成的较大采空区，常采用阶段控场嗣后充填法。该技术采矿效率高，阶段回采可以采用大型机械设备，实现规模化开采，嗣后充填能有效控制大规模采空区的地压活动，减少地表塌陷等地质灾害的发生，有利于集中管理和生产组织，降低采矿成本。

三、地下金属矿山充填采矿技术优化建议

（一）优化充填材料的选择

在地下金属矿山充填采矿中，常见的充填材料有尾矿、废石、膏体、混凝土。选择充填材料时要考虑材料的性能，如材料强度、流动性、固化时间等。①根据采矿工艺和采空区的稳定性要求，合理选择具有合适强度的充填材料。对于采用嗣后充填的矿山，在充填体形成初期，可能不需要过高的强度，但在后期需要能够长期稳定地支撑围岩，此时可选择后期强度增长较好的材

料，如添加了合适外加剂的尾矿胶结充填材料或水泥基膏体材料。②考虑充填材料在管道输送过程中的流动性和可输送性。膏体材料由于其良好的流变性，能够实现长距离、大高差的管道输送，适用于复杂的矿山开采系统。而对于一些距离充填站较近、输送距离短的采场，也可选用流动性稍差但成本更低的废石或分级尾矿等材料，采用机械充填的方式进行充填。③混凝土的固化时间相对较短，早期强度发展快，但收缩性可能较大；而一些新型的高分子胶结充填材料固化时间可根据需要进行调整，且收缩性较小。在选择充填材料时，要根据矿山的生产节奏和采空区的具体情况，选择固化时间合适、收缩性小的材料，以减少充填体与围岩之间的间隙，提高充填效果。

表2 典型充填材料的特点及优化方向

充填材料	优点	缺点	优化方向
尾矿	来源广泛 成本低	强度低 含水率高	高效脱水技术 尾矿再选与综合利用 与其他材料的协同使用
废石	强度较高 就地取材	颗粒不均匀 含泥量高	表面处理 优化废石胶结技术
膏体	高浓度、低泌水 具有良好的流动性	对设备要求高 易堵管	原材料优化 优化浓度与流动性 完善运输方式
混凝土	强度高、耐久好	成本高 容易产生裂痕	优化混凝土配比 探索绿色混凝土技术

（二）完善充填工艺，提高充填效率

为了提高地下金属矿山充填效率，可以引入先进充填设备与

技术，如双轴强制式搅拌机、自动化输送系统，以此提高充填料浆的搅拌均匀度和输送质量。双轴强制式搅拌机较传统的自落式搅拌机，其搅拌叶片的特殊设计能使充填材料与胶结剂充分混合，确保充填料浆的稳定性和强度一致性。均匀的料浆可以提高充填体的整体质量，减少因局部强度不足导致的安全隐患，在一定程度上提高充填效率，因为高质量的充填料浆更利于管道输送和快速成型^[7]。自动化输送系统可以对输送过程精准控制。通过采用先进的流量传感器、压力传感器、自动化控制系统，实时监测和调节料浆的输送流量、压力和浓度^[8]。当监测到输送管道出现堵塞或压力异常时，系统能自动报警并采取相应的处理措施，如自动反冲洗或调整输送参数。自动化输送系统不仅提高了输送的可靠性和稳定性，还减少了人工干预，降低了劳动强度，进而提高了充填效率^[9]。

四、结语

在地下技术矿山中采用充填采矿技术可以提高矿石的回收率，减少资源浪费，进一步提升矿山企业的经济效益和资源利用效率。在当前全球倡导绿色发展和可持续发展的大背景下，充填采矿技术的应用有助于推动地下金属矿山行业的转型升级，实现经济、社会和环境的协调发展具有重要的现实意义^[10]。

参考文献

[1] 蒲世海. 地下金属矿山充填采矿技术安全分析 [J]. 世界有色金属, 2024(6): 85-87.
[2] 张齐盛. 关于地下金属矿山充填采矿技术的研究 [J]. 冶金与材料, 2024, 44(9): 154-156.
[3] 廖鹏. 探究地下金属矿山的充填采矿技术 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2024(10): 0112-0115.
[4] 李绍绍, 王新彦. 地下金属矿山的充填采矿技术分析 [J]. 世界有色金属, 2024(13): 109-111.
[5] 陆刚. 金属矿山采矿工程中充填采矿技术的实践探索 [J]. 世界有色金属, 2024(2): 106-108.
[6] 黎维平. 充填采矿技术在金属矿山采矿工程中的应用研究 [J]. 冶金与材料, 2024, 44(8): 121-123.
[7] 陈培顺, 成印震. 充填采矿技术在金属矿山采矿工艺中的应用 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2024(6): 0125-0128.
[8] 罗明. 地下金属矿山的充填采矿技术研究 [J]. 工程技术研究, 2018, (02): 71-72. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2018.02.030.
[9] 崔忠贵. 地下金属矿山的充填采矿技术研究 [J]. 科学大众 (科学教育), 2019, (03): 201. DOI: 10.16728/j.cnki.kxdz.2019.03.171.
[10] 张佳斯. 地下金属矿山充填采矿技术分析 [J]. 中国金属通报, 2024, (02): 34-36.