

绿色开采理念下煤矿充填采矿材料配比优化及应用

钟国兴

中萤发展有限公司 江西赣州 341000

摘要: 在绿色开采理念的大背景下, 煤矿充填采矿作为一种重要的开采方式, 其材料配比的合理性直接影响到开采效率、成本以及对环境的影响。本文旨在探讨绿色开采理念下煤矿充填采矿材料配比的优化方法, 并分析其在实际中的应用效果。通过对相关材料特性的研究, 结合实际开采情况, 采用科学的试验和分析手段, 确定了最佳的材料配比方案。该方案不仅提高了充填体的强度和稳定性, 减少了材料浪费, 还降低了对环境的污染, 为煤矿的绿色可持续开采提供了有力支持。

关键词: 绿色开采理念; 煤矿充填采矿; 材料配比优化

引言

煤炭是我国重要能源资源, 在经济发展中地位关键。但传统煤矿开采有诸多环境问题, 如地表塌陷、水资源破坏、固体废弃物堆积等。为实现煤炭资源可持续开发利用, 绿色开采理念诞生, 强调开采中减少环境破坏、提高资源利用率。煤矿充填采矿是绿色开采重要技术, 通过向采空区填充材料支撑顶板、减少地表下沉, 还能消耗固体废弃物、降低污染。充填材料配比是充填采矿技术核心, 合理配比可提高充填体性能、降低成本、实现绿色开采目标。所以, 研究绿色开采理念下煤矿充填采矿材料配比的优化及应用有重要现实意义。

一、绿色开采理念下充填材料的选择原则与配比优化思路

(一) 绿色开采理念对充填材料的要求

绿色开采理念的核心在于追求资源利用效率的最大化、对生态环境影响的最低化以及矿区生态系统的有效修复。这一理念的实施, 对矿山充填材料的选择提出了全新的、更高的标准。它不仅要求充填材料具备满足工程需求的力学性能, 更强调其环境属性和经济可持续性。具体而言, 鼓励优先选用工业生产过程中的固体废弃物, 如尾矿、粉煤灰、脱硫石膏等, 以此作为充填骨料或胶结组分, 实现资源的循环利用。同时, 要求材料本身及其制备过程能耗低、污染小, 减少对空气、水体和土壤的潜在危害。此外, 充填体在服务期间, 需要能够与巷道或采空区周围的岩体结构协同变形, 避免因刚度不匹配而产生过大的应力集中或破坏, 保障长期稳定性。因此, 材料的选择决策必须是一个综合权衡的过程,

既要评估其力学性能是否满足支撑和填充要求, 也要考量其环境友好程度, 包括生产、运输、使用及废弃全生命周期的环境影响, 同时还要进行经济成本核算, 并确保材料来源的长期稳定和可持续性^[1]。

(二) 充填材料配比优化的重要性

充填材料各组分比例, 即配比方案, 是决定充填体最终性能表现的关键因素。一个合理的配比能够确保充填体达到设计所需的强度等级和稳定性, 同时控制其固化时间以适应采矿作业的节奏。配比方案不仅直接影响充填体的直接成本, 还关系到其长期服役性能。更重要的是, 配比的合理性直接关系到是否能够满足绿色开采的多重目标, 例如, 是否最大限度地利用了工业固废, 是否将能耗和污染控制在可接受范围内。因此, 对充填材料配比进行优化, 并非仅仅是追求某个单一性能的最佳化, 而是要在一个复杂的多目标空间中寻找最优解, 平衡充填体的力学性能、工程适用性、经济成本以及环境影响等多个维度, 这是实现绿色开采理念下充填工程成功的关键所在。

(三) 配比优化的基本思路

充填材料配比优化的基本思路, 应当始终围绕绿色开采的总体目标来展开。一种常见的优化策略是采用多种材料进行物理或化学上的复合。通过将不同性能的材料按一定比例混合, 可以发挥各自的优势, 弥补单一材料的不足, 例如利用廉价工业固废作为骨料降低成本, 同时添加少量高效胶凝材料以保证必要的强度。此外, 考虑到充填体在不同部位可能承受的载荷差异, 或者在不同服务年限内性能要求的变化, 可以实施差异化的配比策略, 对关键部位或长期服务的区域采用性能更优、

更耐久的配比，而对次要部位或短期服务的区域则采用成本更低、性能要求稍低的配比，以实现资源的精准配置。在材料选择上，优先选用本地可获得的材料或大宗工业固废，可以显著减少长距离运输带来的能源消耗和碳排放，降低整体的环境足迹。整个优化过程，还必须紧密结合充填工艺的实际条件，确保所选配比的材料能够被现有的制备、输送和充填设备有效处理和施工，不会因为工艺上的不适应而导致工程失败或效率低下。

二、充填材料配比优化方法与性能评价

(一) 配比优化方法探讨

实现充填材料配比优化的具体途径，通常包含一系列相互衔接的步骤。首先，需要基于对各种候选材料自身物理化学特性的系统性试验，进行初步筛选，排除明显不满足基本要求材料。接着，可以借助行业内的经验公式或是半经验性的计算方法，对筛选后的材料组合进行初步的配比设计，这为后续的精细化调整提供了一个起点。更为关键的是，利用实验室或现场制备的试块进行系统的性能测试，将测试结果反馈到配比设计中，通过反复的迭代调整，逐步逼近理想的配比方案。这一优化过程并非单纯追求某一单项性能的极致，而是一个综合权衡力学性能、材料获取与加工成本、生产过程中的能耗与排放、以及最终充填体对环境可能产生的影响等多重目标的复杂决策过程^[2]。

(二) 充填体性能评价体系

为了科学评价经过优化后的充填体是否真正满足工程需求并符合绿色开采理念，需要建立一套全面的性能评价指标体系。这套体系不仅应包含关键的力学性能指标，例如单轴抗压强度、三轴强度、抗折强度以及变形模量等，用以评估充填体在承受地应力时的稳定性和承载能力；同时，也必须考虑充填体的长期服役性能，如耐久性（抵抗冻融、化学侵蚀的能力）和水稳定性（在潮湿环境下的性能保持能力）等。在绿色开采的特定背景下，评价体系还必须纳入环境相关的指标，例如构成充填体的材料中是否含有超标的有害物质及其潜在的释放风险，充填体固化后其渗透液对周边土壤和地下水环境可能产生的污染影响等，确保充填方案在工程有效的同时，环境友好。

(三) 优化配比与绿色开采目标的关联

经过科学优化确定的材料配比，能够更直接、更有效地服务于绿色开采的总体目标。例如，通过在配比中大量引入工业固废，可以直接减少这些废弃物对环境的压力，实现污染物的资源化利用。同时，一个经过优化

的配比方案，通常会使得最终形成的充填体具有更适宜的力学性能，比如足够的强度和良好的变形协调能力，这有助于更好地支撑上覆岩层，减少因采空区处理不当引发的地表沉陷和开裂，保护地表生态环境和建筑物安全。此外，优化配比往往伴随着材料成本的降低和施工效率的提升，使得矿山充填这项环保措施在经济上更具可行性，从而提高了整个资源开采活动的综合效益和可持续性^[3]。

三、优化配比材料在煤矿充填中的应用价值

(一) 提升充填效果与安全性

采用经过长期科学研究和大量现场试验反复验证的优化材料配比方案进行煤矿充填作业，能够从多个维度显著提升充填体的整体性能。具体而言，这种经过优化的充填材料配比能够使充填体获得更优异的稳定性、更强的承载能力和更持久的可靠性。在实际应用中，这种性能显著提升的充填体展现出更高的抗压强度、更均匀的内部应力分布特性以及更稳定的结构完整性。这些优良特性使得充填体能够提供更持久、更有效的支撑力，更科学合理地承受和传递上覆岩层的压力载荷分布，从而实现对地表移动范围、变形程度和沉降速率的精确控制。从安全生产的角度来看，这种高质量的充填效果对于建立并长期维持井下持续、稳定、安全的作业环境具有决定性作用。同时，它也能最大限度地降低开采活动对矿区及周边环境的影响，有效保护地面建筑物、各类基础设施和生态环境免受损害。从工程实践的角度深入分析，具备优异物理力学性能（包括但不限于抗压强度、变形模量、耐久性、渗透性等关键指标）的充填体，不仅是充填采矿方法能够成功实施并达到预期效果的基础性保障，更是直接关系到整个采矿工程的安全生产水平、长期稳定运行状态和最终经济效益的关键因素。因此，持续优化充填材料配比对于提升煤矿开采的整体技术水平具有重要意义^[4]。

(二) 促进资源综合利用与环境保护

通过系统性地研究和实施优化材料配比策略，特别是当这种策略侧重于大量利用各类工业固废（如粉煤灰、脱硫石膏、尾矿、冶炼渣等）作为主要充填材料时，能够从多个层面推动资源的循环利用和可持续发展进程。这种创新的材料利用方式不仅能大量消纳这些原本需要占用宝贵土地资源进行堆存或需要专门处理的工业废弃物，显著减少它们对土地资源的占用规模以及可能引发的水土污染、扬尘污染等系列环境问题，更能通过科学配比实现对这些废弃资源的高效转化和最大化利用。这种做法完全契合现代绿色开采理念中关于节能减排、减

少环境污染和保护生态环境的核心要求，是实现矿区环境友好型发展的重要实践途径和技术创新。从更广泛的意义来看，这种资源化利用模式不仅解决了煤矿充填材料来源问题，还为其他工业领域的固废处理提供了可借鉴的技术路线和实践经验，具有显著的环境保护示范效应和深远的社会效益。同时，这种循环经济模式还能创造额外的经济价值，降低充填成本，实现经济效益与环境效益的双赢。

（三）经济效益与环境效益的协调统一与协同发展

经过系统研究和科学优化的材料配比方案设计，在严格保证充填体完全满足工程所需各项力学性能指标（如抗压强度、抗拉强度、弹性模量等）和安全生产标准规范的前提下，通常能够通过优先选用成本相对较低的地方性原材料或大宗工业固体废弃物（如粉煤灰、煤矸石、尾矿砂等），来显著降低单位体积充填材料的直接采购成本和原料投入费用。同时，如果重点考虑优先选用矿区周边易获取的本地化材料资源，还能大幅减少长距离运输所产生的物流运输费用和能源资源消耗，有效降低运输过程中的碳排放量和环境负荷。这种在充分满足工程性能要求基础上实现的经济性提升和成本优化，不仅直接提高了矿山企业短期内的运营效益和盈利能力，还能为企业建立持久稳固的长期成本竞争优势和市场竞争力。更为关键的是，这种经济效益的显著提升是与突出的环境效益相辅相成、相互促进的，即通过提高资源循环利用率、减少废弃物排放和降低环境污染等多重途径，实现了生态环境保护与经济效益增长的双重目标。经济效益与环境效益的这种高度协调统一和良性互动，正是绿色开采模式能够获得矿山企业广泛认可采纳并实现可持续发展的内在驱动力、核心竞争优势和行业未来发展方向^[5]。

（四）工程应用中的系统性综合考量与技术转化

然而，将实验室优化研究后的材料配比方案成功转化应用于具体的煤矿充填工程实践过程中，绝非简单地将实验室测试数据直接复制推广到现场那么简单。必须全面系统地考虑到目标矿井特有的地质采矿条件参数，例如围岩的力学特性（包括强度特征、变形特性和破坏模式等）、地质构造发育情况（如断层、褶皱等）、水文地质条件（含水层分布、渗透性等），以及采空区的具体形态特征、几何尺寸参数和空间分布规律等关键因素；需要深入评估现有充填工艺设备的适应性和匹配程度，包括搅拌系统的混合均匀性、泵送设备的工作压力范围、

管道输送的流动性和阻力特性等各个环节是否能有效处理优化后的新型充填材料；同时，施工队伍的专业技术素质、现场管理水平、操作规范程度以及全过程质量管控体系的完善程度也会显著影响最终的充填体质量和工程效果。因此，在正式开展大规模工业化应用之前，必须进行充分的现场小规模工业性试验和工程验证，全面测试和评估优化配比在实际复杂工况条件下的力学性能表现、施工工艺可行性、长期稳定性以及经济环境效益，并根据试验过程中采集的监测数据和分析结果进行必要的材料参数微调和施工工艺改进，这是确保新技术应用成功、充分发挥预期经济环境综合效益的关键技术环节和重要质量保障措施。

结语

绿色开采理念下煤矿充填采矿材料配比优化及应用意义重大。明确充填材料选择原则、探讨配比优化思路、实践优化方法并建立性能评价体系，可确定科学合理的材料配比方案。优化配比的材料在煤矿充填中发挥积极作用，提升充填效果与安全性，促进资源综合利用与环境保护，实现经济效益与环境效益统一，为煤矿可持续发展注入动力。但实际应用中存在挑战，矿井地质条件复杂、充填工艺设备和施工管理水平参差不齐，应用时需充分考虑这些因素并进行现场试验验证。未来，应深入研究相关技术，探索新材料和方法，加强部门和企业间合作交流，推广成功经验，推动煤矿行业绿色、高效、可持续发展。相信各方共同努力下，绿色开采理念将在煤矿充填采矿中更广泛应用，为煤炭资源可持续开发利用做更大贡献。

参考文献

- [1] 刘永飞.现阶段我国煤矿充填开采技术及其发展趋势[J].内蒙古煤炭经济, 2022(2): 127-129.
- [2] 杨博.现代采矿理念与充填采矿[J].写真地理, 2020, 000(019): P.1-1.
- [3] 李晓峰.探究现代煤矿采矿理念及充填采矿研究[J].产业科技创新, 2019(10): 2.DOI: CNKI: SUN: CYJC.0.2019-10-016.
- [4] 赵位位, 刘大虎, 匡磊.山东义能煤矿首采区村庄下协调式充填开采设计研究[J].内蒙古煤炭经济, 2020(4): 2.
- [5] 徐正田.充填采矿技术在煤矿开采中的应用[J].2019.