

矿化水处理材料的开发及其在水处理中的应用探究

张瑾

惠州市银嘉环保科技有限公司, 广东 惠州 516000

DOI:10.61369/ME.2025090020

摘 要： 矿化水处理材料的研究涵盖多方面。原材料筛选需分析其理化特性及对矿化性能影响；开发表面功能化工艺并建立控制模型；用多种技术解析结构、观察形貌等；研究吸附 / 降解机理；设计饮用水处理系统并验证稳定性；在不同废水处理中优化参数、提升效率；评估经济性与碳足迹，控制二次污染，分析适配性与政策法规适应性，未来可借助人工智能提升应用水平。

关 键 词： 矿化水处理材料；制备工艺；应用研究

Development of Mineralization Water Treatment Materials and Exploration of Their Applications in Water Treatment

Zhang Jin

Huizhou Yinja Environmental Technology Co., Ltd., Huizhou, Guangdong 516000

Abstract： The research on mineralization water treatment materials covers multiple aspects. The selection of raw materials requires analysis of their physicochemical properties and their impact on mineralization performance; surface functionalization processes are developed and control models are established; various techniques are used to analyze structures and observe morphologies; adsorption/degradation mechanisms are studied; drinking water treatment systems are designed and their stability is verified; parameters are optimized and efficiency is improved in different wastewater treatment processes; economic feasibility and carbon footprint are assessed, secondary pollution is controlled, and compatibility and regulatory adaptability are analyzed. In the future, artificial intelligence can be utilized to enhance the application level.

Keywords： mineralization water treatment materials; preparation processes; application research

引言

随着水资源问题日益严峻，矿化水处理材料的研究与应用愈发关键。2019年颁布的《国家节水行动方案》强调了水资源高效利用与保护的重要性。在此背景下，矿化水处理材料从原材料筛选优化、表面功能化制备工艺，到结构分析、机理研究、系统设计及工程应用等多方面展开深入探索。不仅需遵循国内外饮用水及排放标准的合规性要求，提出法规应对策略，还应通过建立经济性评价模型、优化运行维护费用等提升其经济性与可持续性。这些研究为矿化水处理材料的发展提供有力支撑，以更好满足水资源处理需求。

一、矿化水处理材料的制备方法研究

（一）矿化材料原材料的筛选与优化

在矿化水处理材料的制备中，原材料的筛选与优化至关重要。对硅藻土、沸石等天然矿物材料进行系统分析，深入了解其理化特性是首要任务。硅藻土具有多孔结构，较大的比表面积使其具备一定吸附能力；沸石则有着独特的晶体结构与离子交换性能。同时，需阐明原料粒径与化学组成对矿化性能的影响机制。较小粒径通常能增加材料的比表面积，提升反应活性，但过小可能导致团聚，影响分散性。化学组成方面，不同元素的种类与含量会改变材料的表面电荷、酸碱性等，进而影响对水中污染物的

吸附、离子交换等矿化能力。通过全面研究这些因素，才能实现原材料的科学筛选与优化，为制备高性能矿化水处理材料奠定基础^[1]。

（二）表面功能化制备工艺开发

在矿化水处理材料的表面功能化制备工艺开发中，重点对比化学沉积法与溶胶 - 凝胶法在材料表面羟基修饰方面的工艺参数差异。化学沉积法通过调整溶液浓度、温度及反应时间等参数，实现对表面羟基的修饰，不同浓度的溶液会影响羟基沉积的速率与数量，温度则对反应的活性与产物结构有重要作用^[2]。溶胶 - 凝胶法中，前驱体的选择、溶剂的种类以及催化剂的用量是关键参数，前驱体决定了初始的化学组成，溶剂影响溶胶的稳定性与

凝胶化过程，催化剂可调控反应的速度与路径。基于对这两种方法工艺参数的深入研究，进一步建立孔结构调控与活性位点分布的工艺控制模型，该模型将为优化矿化水处理材料的表面功能，提升其在水处理中的应用性能提供有力的理论支持与实践指导。

二、矿化材料的性能表征与机理分析

（一）材料结构特性表征

通过 XRD 技术解析矿化水处理材料的晶体结构，XRD 图谱能够清晰呈现材料的晶相组成、晶格参数等信息，从而深入了解材料晶体结构特征，明确其晶型是否为目标晶型^[3]。借助 SEM-EDS 技术观察材料表面形貌并分析元素分布，SEM 可直观展现材料表面的微观形态，如是否存在多孔结构、颗粒团聚情况等，EDS 则能确定材料表面各元素的种类与含量，辅助判断材料的化学组成。利用 BET 比表面分析验证孔隙结构的改良效果，该分析可获得材料的比表面积、孔容及孔径分布等数据，判断材料经过处理后，其孔隙结构是否更有利于水处理，例如更大的比表面积和适宜的孔径分布能为吸附等水处理过程提供更多活性位点和通道。

（二）污染物吸附 / 降解机理研究

在矿化材料对污染物吸附 / 降解机理研究方面，借助 Langmuir 等温吸附模型可深入揭示矿化材料对重金属离子的配位络合机制。该模型假设吸附过程发生在均匀的吸附剂表面，且吸附位点具有相同的能量，通过对吸附数据的拟合分析，能清晰了解重金属离子在矿化材料表面的吸附行为及配位络合的具体情况^[4]。同时，利用傅里叶变换红外光谱（FTIR）分析，可证实矿化材料对有机污染物的官能团分解路径。FTIR 能够对分子结构中的化学键振动进行检测，通过对比吸附 / 降解前后有机污染物的 FTIR 谱图，可直观观察到官能团的变化，从而明确有机污染物在矿化材料作用下的分解过程与路径，全面深入理解矿化材料处理污染物的内在机理。

三、矿化材料在水处理中的工程应用

（一）饮用水深度处理系统设计

1. 处理单元集成方案优化

在饮用水深度处理系统设计中，处理单元集成方案优化至关重要。构建矿化材料与超滤膜协同作用的多级处理系统是优化的关键方向。通过这种协同作用，可充分发挥矿化材料对水中杂质的吸附、离子交换等功能，以及超滤膜的精密过滤能力，有效去除饮用水中的微量污染物、细菌病毒等。同时，需研究 pH 值与水力停留时间的协同调控方法^[5]。不同的水质状况对 pH 值有不同要求，合适的 pH 值有助于矿化材料更好地发挥性能。而水力停留时间决定了矿化材料与水的接触时长，影响处理效果。精准调控这两个参数，实现两者协同，能提升处理单元集成方案的整体效能，保障饮用水深度处理的高效与稳定。

2. 长期运行稳定性验证

为验证饮用水深度处理系统中矿化材料长期运行稳定性，开

展 3000 小时连续实验。在实验过程中，对矿化材料的机械强度衰减规律进行密切监测。材料机械强度的变化直接关系到其在实际工程应用中的使用寿命与稳定性，若机械强度衰减过快，可能导致材料破碎、流失，影响处理系统的正常运行^[6]。同时，评估再生次数对污染物去除效率的影响曲线。多次再生是实现材料可持续利用的关键，但再生过程可能影响材料结构与性能，进而影响其对污染物的去除能力。通过该实验可全面了解矿化材料在长期运行过程中的性能变化，为饮用水深度处理系统的稳定运行提供有力支撑。

（二）工业废水处理示范工程

1. 电镀废水重金属处理案例分析

在电镀废水重金属处理案例中，着重研究材料表面电荷分布对六价铬吸附选择性的调控作用，同时建立动态吸附柱的运行参数优化模型。电镀废水中含有大量重金属离子，六价铬毒性强且危害大。矿化材料凭借独特性能，能有效去除其中的六价铬。通过深入探究材料表面电荷分布，可更好地调控其对六价铬的吸附选择性，提升处理效果。而建立动态吸附柱运行参数优化模型，能优化吸附过程，提高吸附效率，确保处理工艺高效稳定运行。例如在某电镀废水处理厂应用相关矿化材料与优化模型后，六价铬去除率显著提升，出水水质达到排放标准^[7]。

2. 制药废水深度处理应用

在制药废水深度处理应用中，臭氧耦合矿化材料催化氧化技术展现出独特优势。制药废水成分复杂，含有大量难降解有机物，传统处理方法难以达标。采用该技术时，臭氧与矿化材料协同作用，能有效提升氧化能力。通过探究发现，二者耦合产生的协同效应可加速中间产物的生成与转化，促使有机物更高效地向无机物转化，提高矿化效率^[8]。例如在某制药废水处理示范工程中，利用该技术处理后，废水中关键污染物的去除率显著提升，出水水质达到排放标准。对中间产物生成路径的分析表明，矿化材料的特性及臭氧投加量等因素会影响反应进程，合理调控这些因素，有助于优化工艺，实现制药废水的深度处理与高效矿化。

四、材料应用的经济性与可持续性评估

（一）全生命周期成本分析

1. 原材料获取与制备成本核算

在矿化水处理材料领域，天然矿物与合成材料的单位处理成本差异显著。天然矿物因自身特性，获取相对便捷，部分开采成本较低，但在选矿、提纯等制备环节可能面临技术挑战与成本提升。合成材料虽可按需设计性能，但原材料获取或许需依赖特定资源，制备过程往往涉及复杂工艺与高额能耗，致使前期投入大。为全面评估其经济性，需建立规模化生产的经济性评价模型。该模型要综合考虑原材料采购价格波动、制备过程中的能源消耗、设备折旧及人力成本等关键因素^[9]。通过此模型对天然矿物与合成材料在不同规模生产下进行评估，能清晰展现两者成本变化趋势，为矿化水处理材料的选择与优化提供有力经济依据，助力行业合理发展。

2. 运行维护费用优化策略

在矿化水处理材料的应用中，运行维护费用的优化至关重要。通过分析化学再生与热再生方式的能耗差异可知，化学再生可能在药剂成本上有一定投入，而热再生则需考量能源消耗成本。基于此，应提出基于使用周期的维护方案优化建议。对于使用周期短、处理量较小的场景，可优先考虑化学再生方式，合理控制药剂用量，优化再生流程，降低成本。对于长期稳定运行且处理量大的情况，可探索热再生的节能技术，如余热回收利用等。通过精准匹配不同场景下的维护方案，有效降低运行维护费用，提高矿化水处理材料应用的经济性与可持续性，实现成本与效益的平衡^[10]。

（二）环境效益综合评价

1. 碳足迹核算与减排分析

在对矿化水处理材料应用进行碳足迹核算与减排分析时，运用生命周期评价法（LCA）是关键。通过该方法，能够细致地比较不同制备工艺的温室气体排放强度。例如，分析各工艺从原材料获取、加工制造到最终废弃处理等全过程的碳排放情况。明确各阶段碳足迹后，可精准量化采用新矿化水处理材料替代传统工艺所带来的环境收益。若新制备工艺在某环节显著降低碳排放，就能具体计算由此减少的温室气体量，进而评估其对减缓气候变化的积极贡献。这种量化分析不仅为材料开发提供环境效益依据，也助力判断其在水处理应用中减排策略的有效性，为推动可持续水处理技术发展提供数据支撑。

2. 二次污染控制策略

在矿化水处理材料应用过程中，二次污染控制策略至关重要。需深入研究材料淋溶释放风险，因其可能导致有害物质进入水体，引发二次污染。通过模拟实际水处理环境，精确测定材料中各类元素的淋溶量，建立淋溶模型，预测长期使用下的淋溶趋势。同时，对于固废资源化处理技术，要确保在将矿化水处理后的固废转化为可用资源时，不会产生新的污染。基于钝化处理的稳定化方案是有效手段，通过在材料表面形成钝化膜，抑制有害物质释放，降低二次污染风险。此外，还需建立完善的监测体系，对处理后水质及周边环境进行实时监测，及时发现并处理潜在二次污染问题，保障矿化水处理材料应用的安全性与可靠性。

（三）技术推广可行性研究

1. 典型应用场景适配性分析

对于矿化水处理材料典型应用场景适配性分析，构建材料性

能参数与不同水质特征的匹配矩阵是关键。通过全面分析材料在不同离子浓度、酸碱度、浊度等水质条件下的处理效果，精确确定材料适用的水质范围。例如，针对高硬度水质，研究材料对钙、镁离子的去除能力；对于酸性水质，考察材料的酸碱中和性能。基于这些分析，制定区域性水处理方案选型指南。充分考虑不同地区的水源特性，如北方地区水质普遍硬度较高，南方部分地区可能存在重金属超标问题，结合材料性能参数，为各区域推荐最适配的矿化水处理材料及处理工艺，以提高处理效率，确保在不同应用场景下材料都能发挥最佳效能。

2. 政策法规适应性研究

在矿化水处理材料应用方面，政策法规适应性研究至关重要。需深入解析国内外饮用水标准与排放标准的合规性要求，明确材料在水质提升过程中各项指标的达标界限。比如，不同国家对饮用水中矿物质含量、有害物质残留等的规定存在差异，这就要求矿化水处理材料的开发必须严格遵循相关标准。通过研究这些法规要求，提出工艺参数调整的法规应对策略。例如，当法规对某类污染物的排放限值降低时，及时调整矿化水处理工艺参数，如反应时间、材料用量等，确保处理后的水质始终符合最新法规要求，为矿化水处理材料在水处理中的顺利应用提供政策法规层面的有力保障。

五、总结

新型矿化水处理材料在制备工艺、污染物去除机理及工程应用方面已取得显著成果。制备工艺的创新提升了材料性能与生产效率，为大规模应用奠定基础。对污染物去除机理的深入探究，有助于精准设计材料以应对不同水质问题。工程应用中，这些材料展现出良好的处理效果，一定程度上改善了水质。未来，应借助人工智能实现材料设计的优化，利用其强大的数据分析与预测能力，精准定制高性能矿化水处理材料。同时，推动区域智慧水处理系统集成，整合各类资源，实现水资源的高效管理与利用。通过这些途径，有望进一步提升矿化水处理材料在水处理领域的应用水平，助力解决日益严峻的水资源问题。

参考文献

- [1] 徐桂林. 超润湿材料的制备及其在水处理领域的应用研究 [D]. 武汉纺织大学, 2023.
- [2] 李正辰. 钙铁水滑石类材料制备及其在含氟废水处理中的应用 [D]. 中国科学院大学, 2022.
- [3] 苏美杰. MOF 材料的改性及其在污水处理中的应用 [D]. 河南理工大学, 2022.
- [4] 马双. V2O5 及其复合材料的设计、制备及在污水处理中的应用 [D]. 长春理工大学, 2023.
- [5] 徐源. 硅藻土基水处理剂开发及其在城镇污水深度处理中的应用研究 [D]. 重庆交通大学, 2021.
- [6] 陈娇, 安燕, 王雪萌, 等. 污泥改性吸附材料制备及其在污水处理中的应用研究 [J]. 应用化工, 2022, 51(3): 858-861.
- [7] 魏新吉. MBBR 工艺在水处理中的应用研究 [J]. 大众标准化, 2021(15): 28-30.
- [8] 丁红军, 冉茂卫, 阎锡坤. 浅谈纳米材料在水处理领域的应用研究进展 [J]. 中国设备工程, 2022(15): 236-237.
- [9] 张媛媛, 付英, 罗述元, 等. 天然混凝剂在水处理中的应用研究 [J]. 工业用水与废水, 2023, 54(2): 5-9.
- [10] 刘硕, 王虹. 碳基膜电极材料制备及其在水处理中的应用 [J]. 山东化工, 2023, 52(20): 178-180.