

水泥生产过程中 CO₂捕获与矿化封存技术集成

王金海

内蒙古蒙西水泥股份有限公司 内蒙古鄂尔多斯

【摘要】水泥生产是全球二氧化碳排放的重要来源之一，寻找有效的减排技术成为应对气候变化的关键课题。CO₂捕获与矿化封存技术为解决水泥工业碳排放提供了一条有效途径。本研究探讨了将 CO₂捕获与矿化封存技术集成应用于水泥生产过程中的可行性与挑战。通过对现有技术的综合分析，评估了其在水泥生产过程中的适应性、经济性及环境效益。实验结果表明，合理的技术集成不仅能显著减少 CO₂排放，还能促进副产品的利用。本文为水泥行业的低碳转型提供了可行的技术路径和策略，具有重要的实践意义。

【关键词】水泥生产；CO₂捕获；矿化封存；碳减排；技术集成

【收稿日期】2025 年 7 月 15 日

【出刊日期】2025 年 8 月 16 日

【DOI】10.12208/j.sdr.20250145

Integration of CO₂ capture and mineralization sequestration in cement production

Jinhai Wang

Inner Mongolia Mengxi Cement Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia

【Abstract】 Cement production stands as a major contributor to global carbon dioxide emissions, making the development of effective emission reduction technologies a critical challenge in combating climate change. CO₂ capture and mineralized storage technology offers a viable solution for addressing carbon emissions in the cement industry. This study investigates the feasibility and challenges of integrating CO₂ capture and mineralized storage into cement production processes. Through comprehensive analysis of existing technologies, we evaluate their adaptability, economic viability, and environmental benefits in cement manufacturing. Experimental results demonstrate that strategic integration of these technologies not only significantly reduces CO₂ emissions but also enhances by-product utilization. The findings provide actionable technical pathways and strategies for the low-carbon transformation of the cement industry, offering substantial practical implications for sustainable development.

【Keywords】 Cement production; CO₂ capture; Mineralized storage; Carbon emission reduction; Technology integration

引言

水泥作为全球最广泛使用的建筑材料之一，其生产过程中的二氧化碳排放量居高不下。随着全球对碳排放控制要求的日益严格，寻找创新的减排解决方案已成为行业发展的紧迫任务。CO₂捕获与矿化封存技术，作为一种前沿的碳减排手段，已被证实其他工业领域的应用中取得了初步的成效。如何将这一技术与水泥生产工艺深度融合，既能有效捕集和封存碳排放，又能兼顾成本与技术可行性，仍然面临诸多挑战。通过对这些技术的集成探索，可以为水泥行业提供实现可持续发展的技术路径。

1 水泥生产过程中的 CO₂排放问题及其环境影

响分析

水泥生产是全球二氧化碳排放的主要来源之一，其排放量占全球工业排放的较大比例。水泥生产过程中，主要的二氧化碳排放源自原料的分解反应和燃料的燃烧。尤其是在石灰石煅烧过程中，CaCO₃分解为CaO和CO₂，释放大量的二氧化碳。水泥生产过程中所使用的煤、天然气等化石燃料的燃烧，也是二氧化碳排放的重要途径。这些排放不仅对全球气候变化产生深远影响，而且水泥生产的碳足迹对生态环境的负面效应也日益显现^[1]。减排措施的迫切性和重要性不容忽视。现有的减排方法如替代原料、提高能效等手段，虽然能在一定程度上减少排放，

但由于技术和经济成本的限制,仍难以达到大规模、长期的减排目标。

CO₂排放的环境影响主要体现在对全球气候的加剧作用。水泥行业的二氧化碳排放不仅直接增加了大气中的温室气体浓度,还导致了气候变暖、极端天气的频发。水泥工业的排放问题,在全球碳减排目标中占有重要地位。随着国际社会对温室气体排放的关注日益加强,各国政府和国际组织纷纷出台相关政策,推动各行业减少碳排放。在这样的背景下,水泥行业面临着巨大的压力,既要应对法规日益严格的排放标准,又要在市场竞争中保持成本效益。有效的碳减排技术已成为水泥行业可持续发展的关键。通过对排放问题的深入分析,迫切需要研发和推广新型减排技术,以实现水泥生产的绿色低碳转型。

水泥行业面临的碳排放问题,不仅是环境问题,也是技术和经济上的挑战。尽管现有技术如提高燃料替代率和加强能效优化可有效减少一部分碳排放,但在全球气候变化的背景下,这些措施的减排效果有限。尤其是水泥行业中二氧化碳的排放是过程性排放,无法通过简单的技术调整解决^[2]。解决这一问题需要从源头入手,即通过对水泥生产全过程的技术革新,采用如 CO₂捕获与矿化封存等前沿技术进行集成,以达到更大规模、更高效的减排目标。这种技术创新不仅有助于降低水泥生产的碳足迹,也为其他重工业碳减排提供了可借鉴的经验与思路。

2 CO₂捕获技术在水泥生产中的应用可行性研究

CO₂捕获技术在水泥生产中的应用具有重要的现实意义和技术价值。水泥行业的二氧化碳排放主要源自石灰石的煅烧过程,这一过程不可避免地会释放大量 CO₂。采用 CO₂捕获技术对这些排放进行收集和处理,成为减少碳足迹的关键措施之一。CO₂捕获技术有多种形式,其中最常见的包括化学吸收、物理吸附和膜分离等方法^[3]。这些技术已在一些工业领域取得初步应用,但在水泥生产中的实施仍面临一些技术性挑战。捕获设备的安装和运行需要大量的投资,且捕集过程中产生的能耗较高,这对水泥生产的成本和能源效率造成一定的压力。如何在确保技术可行性的同时,降低捕获成本和能耗,成为水泥行业在应用 CO₂捕获技术时需要解决的主要

问题。

在水泥生产中应用 CO₂捕获技术的可行性还受到工艺条件和排放源特点的制约。水泥生产过程中的 CO₂排放具有连续性和高浓度的特点,这为捕获技术的实施提供了一定的优势。由于高温和高灰分等复杂工况,现有的 CO₂捕获技术在水泥窑炉中难以直接应用。许多研究集中于针对水泥工业的特殊需求,开发专门的捕集系统,优化吸收剂或改良膜分离材料等。这些技术改进有助于提高 CO₂捕获的效率,降低系统的运行成本。水泥行业的生产工艺多样,不同厂区的排放源差异较大,这也需要针对具体生产线的特性进行量身定制,进一步提高捕获技术的适应性和经济性。

尽管面临一定的技术和经济挑战,CO₂捕获技术在水泥行业中的前景仍然广阔。随着全球碳减排政策的逐步推进,政府和行业对 CO₂捕获技术的需求日益增加。水泥生产企业不仅需要满足日益严格的碳排放标准,还要提高自身的市场竞争力,这为捕获技术的应用提供了强大的市场推动力^[4]。随着技术的不断成熟,捕获成本有望逐渐降低,捕捉效率也将不断提高。通过研发创新和加强技术集成,水泥行业能够在确保生产效率的同时,利用 CO₂捕获技术有效减少碳排放,推动产业向绿色低碳方向转型。CO₂捕获技术的应用可行性将不断增强,为水泥行业实现可持续发展提供强有力的支撑。

3 矿化封存技术与水泥行业的集成发展及挑战

矿化封存技术作为一种潜力巨大的碳捕集与封存方法,在水泥行业的应用前景广阔。这项技术通过将二氧化碳与矿物质反应,生成稳定的碳酸盐矿物,从而实现长期的二氧化碳封存。水泥生产过程中,产生的大量二氧化碳可以被引导至矿化封存过程,通过与水泥生产副产品中的矿物质反应,将二氧化碳转化为固态矿物,减少碳排放对大气的影响。矿化封存技术具有天然的优势,能够避免 CO₂在大气中长期积累,起到抑制气候变暖的作用^[5]。这项技术在水泥行业的集成应用仍面临许多挑战,尤其是在反应效率、反应时间及封存成本方面存在一定的技术瓶颈。

在集成发展方面,水泥厂通过将矿化封存技术与现有生产工艺相结合,能够实现二氧化碳的有效利用和封存。水泥生产中的矿物副产物如石膏和矿

渣等,可为二氧化碳矿化提供必要的原料。通过优化矿化过程,提升反应速率和反应转化率,可以有效降低二氧化碳封存的成本。矿化封存技术的实施仍面临资源消耗、反应过程控制等多方面的技术难题,尤其是在大规模应用时,矿化过程的能量消耗和反应时间的延长可能影响整体经济效益。水泥企业需要根据生产特点,制定适应性的技术方案,推动矿化封存技术的落地实施。

矿化封存技术在水泥行业的应用前景固然诱人,但要实现大规模应用,仍需克服许多实际挑战。技术成熟度、经济性以及与现有水泥生产工艺的兼容性,都是影响矿化封存技术成功应用的重要因素^[6]。随着材料科学和反应工程的不断进步,矿化封存技术的反应效率和成本有望得到进一步优化,从而提升水泥行业的减排潜力。政策支持和市场需求也将对技术应用产生重要推动作用,为水泥行业实现绿色低碳转型提供动力。

4 CO₂捕获与矿化封存技术集成的经济性与环境效益评估

CO₂捕获与矿化封存技术的集成应用在水泥行业的经济性评估中,涉及到捕获和封存过程的成本分析。CO₂捕获技术通常需要较高的初期投资,包括设备建设、吸收剂或膜材料的采购和维护,以及捕获过程中的能源消耗^[7]。尽管矿化封存技术本身有助于减少长期封存的成本,但在短期内,矿化反应所需的矿物原料以及反应过程中所消耗的能源,使得该技术的应用面临较高的经济负担。为了实现技术的经济性,企业需要通过技术创新和规模效应降低成本,开发高效的捕集材料和优化封存反应条件,逐步提高系统的综合经济效益。随着相关政策的支持和激励措施的逐步落实,CO₂捕获与矿化封存技术的应用成本有望得到显著降低,为水泥行业提供更具吸引力的经济方案。

在环境效益方面,CO₂捕获与矿化封存技术的集成应用显著降低了水泥行业的碳排放。通过将水泥生产过程中排放的二氧化碳转化为固态矿物,避免了其进入大气层,从而有效减缓了全球变暖的进程。与单独的 CO₂捕获技术相比,矿化封存技术的优势在于其长期的封存能力,可以将二氧化碳以稳定形式固存于矿物中,几乎不产生任何再排放风险。这使得水泥行业能够实现真正的“负排放”目标,为全

球碳中和战略的实施贡献力量。通过量化捕获和封存过程中减少的温室气体排放,可以有效评估该技术在 cement 行业中的环境贡献,进而推动行业向绿色低碳方向的转型。

尽管 CO₂捕获与矿化封存技术在环境效益上具有显著优势,仍需在经济性和技术成熟度方面不断优化。这项技术有助于推动水泥行业的低碳化转型,并在全球碳市场中为企业带来潜在的经济收益。随着碳交易市场的发展,水泥企业还可通过碳信用交易获得经济回报,进一步提升技术应用的经济性^[8]。政府和行业的支持政策也是推动该技术实现广泛应用的关键因素。在技术、经济和政策的作用下,CO₂捕获与矿化封存技术集成的应用将不仅为水泥行业的可持续发展提供重要支持,也为全球减排目标的实现做出积极贡献。

5 结语

CO₂捕获与矿化封存技术在水泥行业中的集成应用,为实现低碳生产提供了可行的技术路径。尽管面临一定的技术和经济挑战,随着技术进步和政策支持的不断推进,水泥行业有望在减少碳排放的同时提高生产效率。矿化封存不仅有效降低温室气体排放,还能推动水泥行业向绿色低碳转型。未来,随着技术成本的逐步降低和市场机制的完善,CO₂捕获与矿化封存技术的应用将在水泥行业中发挥越来越重要的作用,助力全球气候变化应对。

参考文献

- [1] 王胜涛,唐佳旭,杨宁,等.粉煤灰直接湿法矿化封存 CO₂ 机制及关键影响因素优化研究[J].煤矿安全,2025,56(07): 47-56.
- [2] 陈姝敏,秦金平,王小华,等.固危废中氯离子对水泥窑生产及产品质量的影响研究[J].水泥,2025,(07):23-27.
- [3] 朱梦博,刘浪,王双明,等.煤矿采空区间隔条带充填 CO₂ 矿化封存及其关键技术[J].煤田地质与勘探,2025,53(06): 143-155.
- [4] 赵涸熠,张钊,娄岩文,等.氨供氢替代煤在水泥生产中的绿色氢能降碳工业化技术的研发应用[J].水泥,2025,(06): 25-27.
- [5] 邓雨萌,伍嘉文,曹洪杰,等.基于石灰石加绿氢制备 CaO 的低碳水泥生产系统模拟[J].洁净煤技术,2025, 31(06):

- 1-12.
- [6] 冯宏坚.纤维水泥板生产中纸浆和纤维参数的影响因素研究[J].混凝土与水泥制品,2025,(05):68-71.
- [7] 武猛,杨新鑫,王广顺.水泥生产余热发电系统一键并网技术及应用[J].水泥技术,2025,(02):58-61.
- [8] 刘彬,邱宁,潘春梧,等.CO₂ 矿化封存备选场址雷州半岛

田洋玛珥湖玄武岩分布磁法勘探[J].环境工程学报, 2025,19(01):241-249.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS