固碳时间最优调控！煤矸石－粉煤灰充填材料实现固碳与流变性能协同提升 MDPI C — Journal of Carbon Research

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/39769.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

固碳时间最优调控！煤矸石－粉煤灰充填材料实现固碳与流变性能协同提升 MDPI C — Journal of Carbon Research。论文标题：Effect of Carbon Fixation Time on the Properties of Gangue – Fly Ash Composite Filling Materials: Carbon Fixation Amount and Rheological Properties

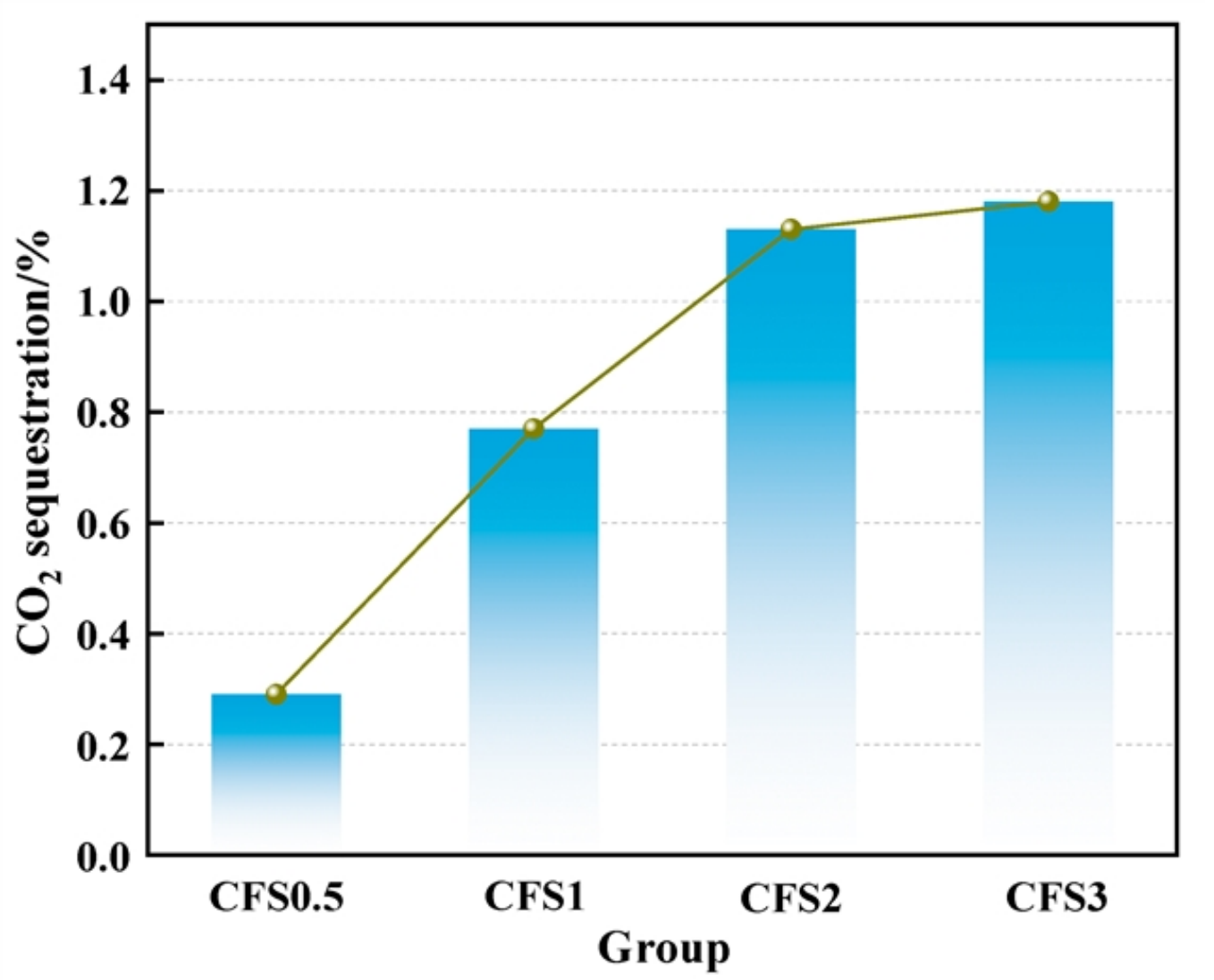
论文链接：https://www.mdpi.com/2311-5629/11/3/71

期刊名：C — Journal of Carbon Research

期刊主页：https://www.mdpi.com/journal/carbon

近年来，煤炭大宗固废资源化利用与矿区低碳减排已成为绿色矿山建设的核心议题。将煤矸石、粉煤灰等工业固废制备成井下充填材料，不仅能够高效消纳固废、控制岩层移动与地表沉降，还可通过矿化作用实现 CO2原位封存，兼具生态效益、安全效益与低碳价值。然而，CO2矿化固碳会显著改变料浆内部结构，导致流变性能劣化、输送阻力增大，如何在高效固碳与良好流动性之间取得平衡，成为制约技术工程化的关键难题。

近日，中国矿业大学团队在碳材料领域期刊 C 上发表最新研究成果，系统探究了固碳时间对煤矸石－粉煤灰复合充填材料（CFS）固碳量、流变特性及微观结构的演变规律，首次提出兼顾固碳效果与流变性能的最优固碳工艺参数，为矿山低碳充填提供了重要理论依据与技术指导。



一、固碳与流变难以兼顾？行业共性瓶颈亟待突破

煤矸石与粉煤灰作为煤炭开采与利用过程中产生的主要大宗固废，年产量巨大、长期堆存易引发环境与安全风险。利用其制备胶结充填材料并同步实现 CO2矿化固碳，是实现以废治废、低碳采矿 的创新路径。但研究表明，CO2与浆体中的碱性离子反应生成碳酸盐产物，会使料浆屈服应力上升、黏度增大、流动性下降，直接影响管道输送与井下充填施工。

当前研究多聚焦于固碳压力、温度、配比等因素，而固碳时间作为调控固碳效率与流变性能的关键工艺参数，其影响机制与最优区间尚未明确。为此，团队开展多组对比试验，揭示固碳时间对材料宏观性能与微观结构的调控规律。

二、2 小时为最优！固碳量与流变性能实现最佳平衡

研究团队设置 0、0.5、1、2、3 小时五组固碳时间，利用流变仪、热重分析（TG）、X 射线衍射（XRD）、红外光谱（FTIR）及扫描电镜（SEM）等手段，系统表征材料性能演化。

结果表明：

• 固碳量随固碳时间延长先快速升高后趋于稳定，在 2 小时达到饱和状态，固碳率达 1.13%；继续延长时间，固碳效果无明显提升。

• 料浆屈服应力与塑性黏度随固碳时间延长逐渐升高，2 小时后增长趋势显著放缓并趋于平稳。

• 综合固碳效益、流动性与工程效率，2 小时为最佳固碳时间。此时，材料固碳充分、流变参数适中，可满足管道输送要求。

在最优条件下，料浆屈服应力为 155.93 Pa，塑性黏度为 0.17 Pa?s，既实现稳定固碳，又保持良好工作性能。

三、微观机理揭示：碳酸钙致密层阻碍反应持续进行

进一步微观分析表明，固碳时间对性能的调控源于内部结构演变：

在固碳初期，浆体中 Ca2+等离子充足，可快速与 CO2反应生成碳酸钙；随着反应持续，碳酸钙颗粒逐渐沉积在煤矸石与粉煤灰颗粒表面，形成一层致密钙化层，阻碍 CO2进一步向内扩散，同时阻止内部活性离子溶出，使固碳反应趋于稳定。

与此同时，碳酸盐产物填充颗粒间隙，使浆体结构更致密，内摩擦增大，最终表现为流动性下降。这一机理清晰解释了宏观性能随固碳时间变化的内在原因。

四、工程意义：为低碳绿色矿山提供 可落地 方案

该研究明确了固碳时间对煤矸石 – 粉煤灰复合充填材料的调控机制，确定了2 小时为最优固碳时长，实现了 高固碳量、低黏度、适宜输送 的协同目标。研究成果不仅完善了矿化固碳充填材料的基础理论，也可为煤矿井下低碳充填、大宗固废规模化利用、CO2井下封存提供可直接应用的工艺参数。

这项成果推动了固废利用与低碳采矿的深度融合，对建设安全、高效、绿色、低碳的现代化矿山具有重要工程价值。

相关论文信息：

Liu, H.; Guo, Q.; Chen, Y.; Zhang, Y.; Huo, B.; Li, M. Effect of Carbon Fixation Time on the Properties of Gangue – Fly Ash Composite Filling Materials: Carbon Fixation Amount and Rheological Properties. C 2025, 11, 71. https://doi.org/10.3390/c11030071

C 期刊介绍

主编：Prof. Dr. Craig E. Banks， Manchester Metropolitan University， UK

期刊全称为 C — Journal of Carbon Research，是聚焦碳材料及碳研究的国际性、开放获取的期刊，研究范围涵盖碳材料与碳同素异形体、碳材料的性质、表征及应用，二氧化碳利用与转化，碳循环、碳捕获与储存，碳骨架等。

目前，期刊已被 Scopus、ESCI、DOAJ、CAS 等重要数据库收录。

2024 Impact Factor：2.9, Q3 in Materials Science, Multidisciplinary

2024 CiteScore：3.4, Q2 in Environmental Science (miscellaneous), and Materials Science (miscellaneous)

来源：C — Journal of Carbon Research

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发