

水泥基胶凝材料：AI 赋能的低碳化与功能化

缪昌文¹, 郅 晓², 叶家元², 刘清风³

(1. 东南大学, 南京 214135; 2. 中国建筑材料科学研究总院有限公司, 北京 100024;

3. 上海交通大学, 上海 200030)

关键词: 水泥基胶凝材料; 大数据; 人工智能; 低碳化; 高性能化; 功能化

中图分类号: J527.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 0454-5648(2026)10-3315-02

水泥及混凝土等水泥基胶凝材料作为用量最大、应用最广的人造建筑材料, 是支撑基础设施高质量建设的物质基础。然而, 水泥工业是工业领域 CO₂ 排放的主要来源, 因此推动其绿色低碳转型已成为“双碳”战略必然选择。与此同时, 以人工智能、机器学习、高通量实验为代表的新一代研发范式, 正在深刻改变水泥基胶凝材料的设计与开发路径。当前, 人工智能技术的发展为低碳胶凝材料、高性能混凝土及功能水泥基材料的高效研发提供了创新方法支撑, 正在加速推动研发模式从传统经验试错向数据驱动转变。

水泥基胶凝材料研发正在围绕两大主题持续深化: 一是低碳化与功能化, 即聚焦低碳熟料、新型低碳胶凝材料、功能水泥基材料等方向, 进一步降低水泥基材料环境负荷, 并系统拓展其多维功能边界; 二是 AI 赋能, 即综合运用大数据、机器学习、神经网络等前沿方法, 着力突破小样本、多目标、强耦合约束下性能预测与组成设计的技术瓶颈。

编者特邀来自中国建筑材料科学研究总院有限公司、东南大学、上海交通大学、同济大学、北京科技大学、中南大学、北京工业大学、广西大学、济南大学、河南理工大学、伊犁师范大学等高校和科研院所的专家学者, 针对水泥基胶凝材料低碳功能化与数智化研发的最新研究成果进行详细报道, 系统梳理最新理论进展与关键技术突破, 形成了本

专题的主要内容框架。

本专题包括 1 篇综述论文和 15 篇研究论文。在 AI 赋能研发范式方面, 收录了有关高通量实验与机器学习耦合的低碳熟料约束优化筛选、条件生成对抗网络与可解释机器学习驱动的超高性能混凝土性能预测、去噪扩散概率模型的混凝土配合比数据增强、可解释贝叶斯网络的低碳超高性能混凝土智能设计、物理驱动与数据修正协同的复合胶凝材料水化热预测、物理信息神经网络的强电场下混凝土多离子电迁移分析、生成对抗网络与声发射特征的损伤阶段智能识别, 以及背散射电子图像与反卷积密度网络的水泥熟料化学成分概率密度回溯估测等最新进展; 在低碳与功能水泥基胶凝材料方面, 报道了不同晶型碳酸钙对水泥浆体“流变-水化-结构-强度”关系的调控、钡掺杂与硝酸镁协同改善低钙固碳胶凝材料的碳矿化性能、钢渣调控的水泥基结构储能器件、镁质胶凝材料相组成演化的热力学模拟, 以及低钙硅铝酸盐玻璃体溶解机制等方面的研究成果。上述工作既展现了人工智能为水泥基材料研发范式带来的变革, 也体现了低碳与功能水泥基材料在建筑、能源、环境等重点领域的应用潜力。

最后, 由衷感谢为本专题贡献高质量论文的专家学者, 以及参与审稿和编辑工作的各位专家。期待本专题能为中国水泥基胶凝材料基础研究深化、核心技术突破及产业转型升级提供有益参考。

Cement-Based Materials: Low-Carbonization and Functionalization Enabled by AI

MIAO Changwen¹, ZHI Xiao², YE Jiayuan², LIU Qingfeng³

(1. Southeast University, Nanjing 214135; 2. China Building Materials Academy Co.Ltd., Beijing 100024, China;

3. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Keywords: cementitious materials; big-data; artificial intelligence; low-carbon; high-performance; functionalization

※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※



缪昌文，中国工程院院士，东南大学教授、博士生导师，建筑材料专家，先进土木工程材料国际联合实验室主席。长期从事土木工程材料理论与工程技术应用研究，在混凝土抗裂关键技术的研究、重大基础设施工程服役寿命及耐久性能提升技术的研究、多功能土木工程材料的研发等方面取得了多项成果，并成功通过了重大工程项目建设的检验，为中国工程建设事业作出了重大贡献。先后获国家科技进步奖二等奖 3 项、国家发明奖二等奖 1 项、省部级科技进步奖一等奖 6 项，取得国家发明专利 82 项，出版专著 4 部，发表论文 200 余篇，在国际上享有盛誉，被国际材料和结构研究试验联合会授予终身成就奖，经国际小行星命名委员会批准编号为 578168 号小行星以“缪昌文”命名。



郅晓，博士，教授级高级工程师、博导，现任中国建材总院党委书记、董事长，享受国务院政府特殊津贴，是国家新材料产业发展专家咨询委员会委员、资源环境与城镇化领域专家、英国混凝土学会会士。作为“十二五”、“十三五”和“十四五”国家重点研发专项专家组成员，长期从事无机非金属材料智能研发，创建了首个国家绿色建材数据资源节点，构建低碳建材性能正向预测与组成反向设计算法体系，打造了中国首个内嵌高通量装置及智能体的低碳建材 AI+自主实验室。获国家及省部级科技奖 8 项，取得授权发明专利 80 余件，制修订国家与行业标准 10 余部，主编专著 6 部。



叶家元，博士，正高级工程师、博导，现任中国建材总院水泥新材院院长，兼任中国材料研究学会青年工作委员会常务理事兼副主任委员、中国硅酸盐学会理事兼水泥分会副理事长等。主要从事低碳胶凝材料开发与水泥基材料数字化研发，承担“十四五”国家重点研发计划课题等科研项目 14 项，发表 SCI/EI 论文 100 余篇，取得国内外发明专利 50 余件，获得省部级科技奖励 10 余项，荣获中央企业劳动模范、吴中伟青年科技奖、中国硅酸盐学会青年科技奖等荣誉。



刘清风，博士，上海交通大学教授、博导、国家优秀青年科学基金获得者。现任上海市公共建筑和基础设施数字化运维重点实验室副主任，兼任 CCC、MAAS 等 7 家国际 SCI 期刊编委等。主要从事混凝土结构/材料耐久性研究，发表论文 180 余篇，H-index 为 51，入选 Elsevier 中国高被引学者、斯坦福大学全球前 2% 终身影响力科学家。主持国家自然科学基金 5 项、国家重点研发计划项目等省部级以上纵向课题 20 余项，研究成果被纳入 ModelCode 2020 等 6 本中外标准规范，以第一完成人获中国建筑材料科学技术奖、中国硅酸盐学会青年科技奖、上海市自然科学奖、国际结构材料学会古斯塔沃·科洛内蒂奖章等奖项。