

以数字化技术赋能水泥基材料创新发展

余 睿

(武汉理工大学, 硅酸盐科学与先进建材全国重点实验室, 武汉 430070)

关键词: 数字化分析、AI 驱动、绿色化、高性能化、高端化

中图分类号: TU528

文献标志码: A

文章编号: 0454-5648(2026)05-2577-02

水泥混凝土是公路桥梁、隧道地下工程、高层建筑、海洋工程等重大基础设施不可或缺的核心结构材料, 广泛应用于国民经济建设各领域。但其产业链资源消耗巨大, 碳排放基数高, 在双碳目标下转型升级压力突出。当前, 行业发展面临多重现实约束: 一方面大跨拱桥超长泵送、海洋工程构件、低碳胶凝材料应用等新型工程场景快速拓展, 海洋侵蚀、高原冻融等极端服役环境, 以及长距离输送失稳等复杂施工问题日益凸显, 对混凝土流变性能、力学强度、耐久性等综合性能提出前所未有的严苛要求; 另一方面天然优质砂石、高纯熟料资源持续匮乏, 再生骨料、矿渣、粉煤灰、煤矸石等各类工业固废逐步规模化替代使用, 原材料组分复杂多变, 材料内部多相交互机理难以精准把控。传统依赖大量重复试配和经验判断的研发方法存在试验周期长、人力投入成本高、材料性能不足等短板, 难以适配当前多元化、集成化、智能化的工程研发需求, 行业迫切需要新的技术手段突破现有发展局限。

AI 驱动与机理融合的数字化分析路径, 为破解混凝土行业固有难题提供了全新解决方案。该类方法充分依托工程实测数据与材料基础理论, 通过系统梳理试验信息、扩充有效样本、量化材料多维性能指标等方式, 并结合材料本征理化特性构建分析体系, 能够显著减少大量重复性配比试验, 高效预判混凝土流变特性、力学强度、耐久性等核心指标。面对工程病害、低碳配比试验样本偏少的现实难题,

可通过数据均衡化处理完善样本分布, 结合多维度特征贡献分析厘清性能演变内在机理, 兼顾分析精度与材料物理本质。该数字化分析体系可应用于泵送风险前置研判、低碳固废胶凝体系组成优化设计、3D 打印成型工艺匹配、储能水泥基材料协同设计等各类场景, 贯穿材料研发、预制生产、现场施工等全链条环节, 减少资源消耗、提升工业固废资源化利用率, 全方位助推水泥基材料朝着低碳化、高性能化和功能化方向持续升级。

编者特邀了来自香港理工大学、同济大学、东南大学、哈尔滨工业大学(深圳)、深圳大学、广西大学、济南大学、西安建筑科技大学、中国建筑材料科学研究总院等多所高校及科研院所的专家学者, 围绕水泥基材料数字化研究前沿组织了本期专题, 共计收录 8 篇论文, 包含 1 篇综述论文、7 篇原创研究论文。论文聚焦低碳熟料、硅铝胶凝材料、泵送混凝土、3D 打印混凝土、水泥基超级电容器等材料与 AI 技术的融合研究, 综合采用样本均衡处理、贝叶斯参数寻优、特征贡献解析、物理约束网络、虚拟样本迭代扩充等分析手段, 系统展示水泥基材料智能监测、低碳配方开发、功能复合材料设计、微观形貌表征、组分逆向优化等领域最新成果, 为各类低碳水泥基材料研发与工程现场管控提供较为系统的理论与技术支撑。

最后, 衷心感谢所有论文作者、审稿专家与编辑部工作人员为本专题倾注的大量心血。希望本专

题所收录的系列研究能够为中国水泥基材料的智能化研究提供理论指导和实操参考。受本期专题篇幅与研究范畴所限，未能覆盖 AI 技术与水泥混凝土交叉研究领域的全部细分方向，其中疏漏与不足之处在所难免，恳请广大科研工作者、工程从业者批评指正。

Empowering Cement-Based Materials Innovation Based on Digital Technologies

YU Rui

(Wuhan University of Technology, State Key Laboratory of Silicate Materials for Architectures, Wuhan 430070, China)

Keywords: digital analysis; AI-driven; green development; high-performance; high-end