3D打印水泥基材料第一放热峰扩展数值模型

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41292.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！

3D打印水泥基材料第一放热峰扩展数值模型。 摘要

水泥基材料的第一放热峰通常出现在拌合后数分钟内，而3D打印混凝土的凝结时间等性能对该放热峰极为敏感。为此，本研究基于经典的Park水泥水化放热模型，提出并构建了第一放热峰的数值模型，重点考虑了C3S、C3A和生石灰的掺量比例。模型计算参数通过已公开发表的放热试验数据进行标定。结果表明，该改进模型能够较好地模拟水泥熟料中C3S和C3A比例在0~100%范围内的水化第一放热峰，并能反映生石灰掺量为8%~10%时的影响效应。本研究的独特价值在于，为水化第一放热峰敏感的工程应用场景（如3D打印）提供了重要的计算工具。

关键词

3D打印水泥基材料，水泥水化，水化第一放热峰，液态，数值模型

研究背景

水泥水化第一放热峰（拌合后数分钟内）虽总放热量低，却显著影响初终凝、收缩及触变性。传统模型多忽略该峰，侧重后期强度。3D打印混凝土要求极早龄期可泵送、挤出及快速建造，速凝剂使用普遍，亟需建立涵盖第一放热峰、兼顾矿物组成与速凝剂影响的水化放热模型。

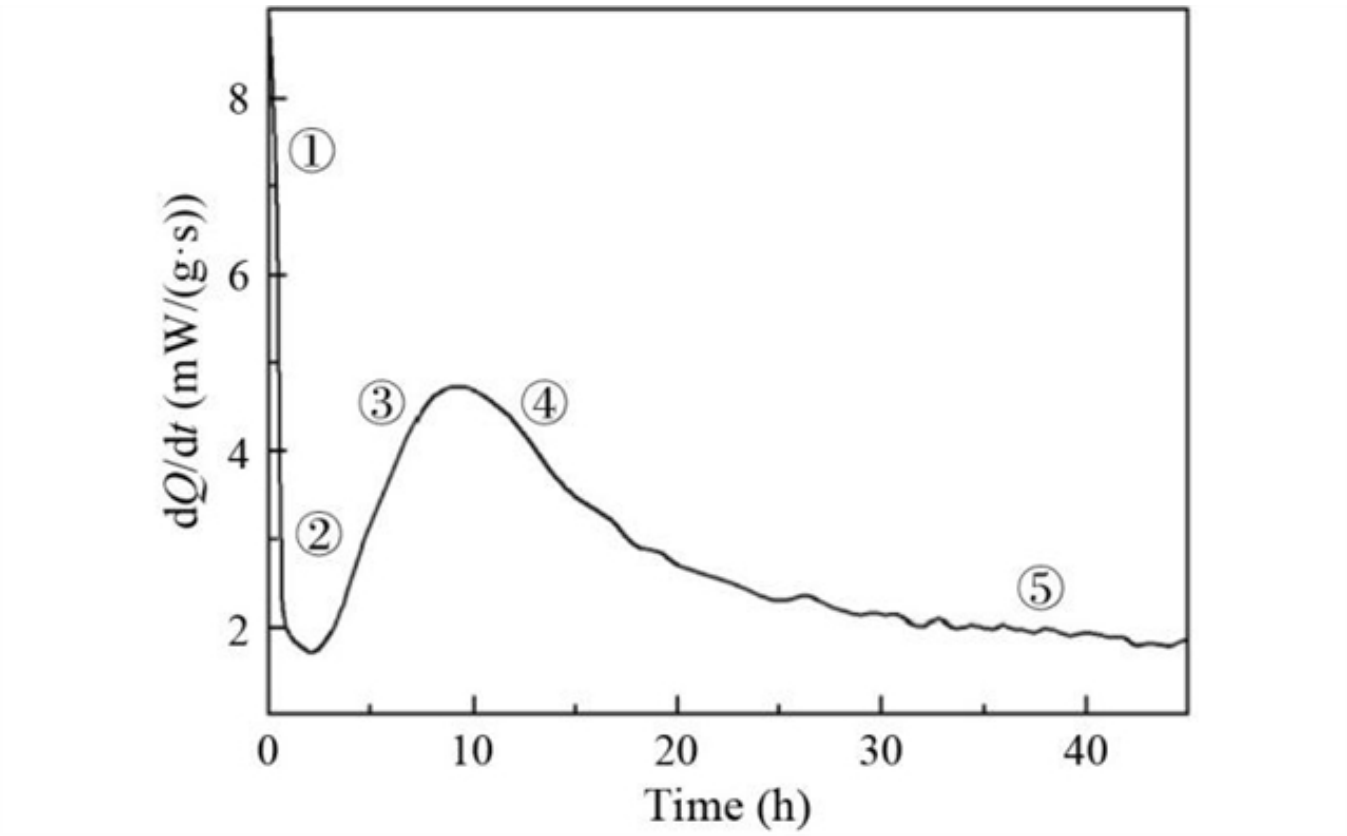


图1. 25 ° C下水泥水化的典型放热曲线。

核心观点

论文围绕3D打印水泥基材料超早期水化行为，提出扩展的第一水化放热峰数值模型。该模型基于Park水化动力学模型，将总水化度分解为常规过程与第一放热峰贡献，并视后者为独立早期反应进行建模。

在理论构建上，论文以Avrami及 Cahn核生长模型为基础，建立第一放热峰阶段水化度变化率函数，经一阶近似得含待定参数表达式。利用纯C3S、纯C3A及普通硅酸盐水泥、矿渣体系等公开等温量热数据标定参数，使模型覆盖C3S和C3A含量0% – 100%范围。针对3D打印混凝土中铝硫酸盐基无碱速凝剂，引入浓度相关参数，经最小二乘回归确定影响项，实现含速凝剂体系的第一放热峰模拟。

论文核心扩展公式（公示如下）以C3S、C3A含量为主要变量，并引入无碱速凝剂浓度n及修正参数λ1-λ4，通过t-1项表征瞬时溶解放热、t0.5与指数项描述晶核生成及放热峰演化、速凝剂相关项刻画其对早期水化的促进作用，从而揭示矿物组成—速凝剂掺量—早期放热速率的定量关系；其物理意义在于首个放热峰主要源于快速溶解C3S与C3A剧烈反应，速凝剂加速两者水化以促进水化产物网络形成，而工程价值则体现在可预测不同配比和掺量下的首个放热峰变化，进而辅助3D打印混凝土配方优化，平衡可打印时间窗口与快速结构建立能力，为极早龄期性能调控提供计算工具。

$$\frac{d\alpha_d}{dt} = \frac{\left(l_{C_3S}a_1(C_3S\%)^{d_1} + l_{C_3A}a_2C_3A\% + \lambda_1 n\right)t^{-1} + \left(m_{C_3S}b_1(C_3S\%)^{d_2} + m_{C_3A}b_2(C_3A\%)^{d_4}\right)t^{0.5}}{\exp\left(\left(n_{C_3S}c_1(C_3S\%)^{d_3} + n_{C_3A}c_2C_3A\% + \lambda_2 n\right)t\right) + \lambda_3(C_3S\%)^{\lambda_4}nt}$$

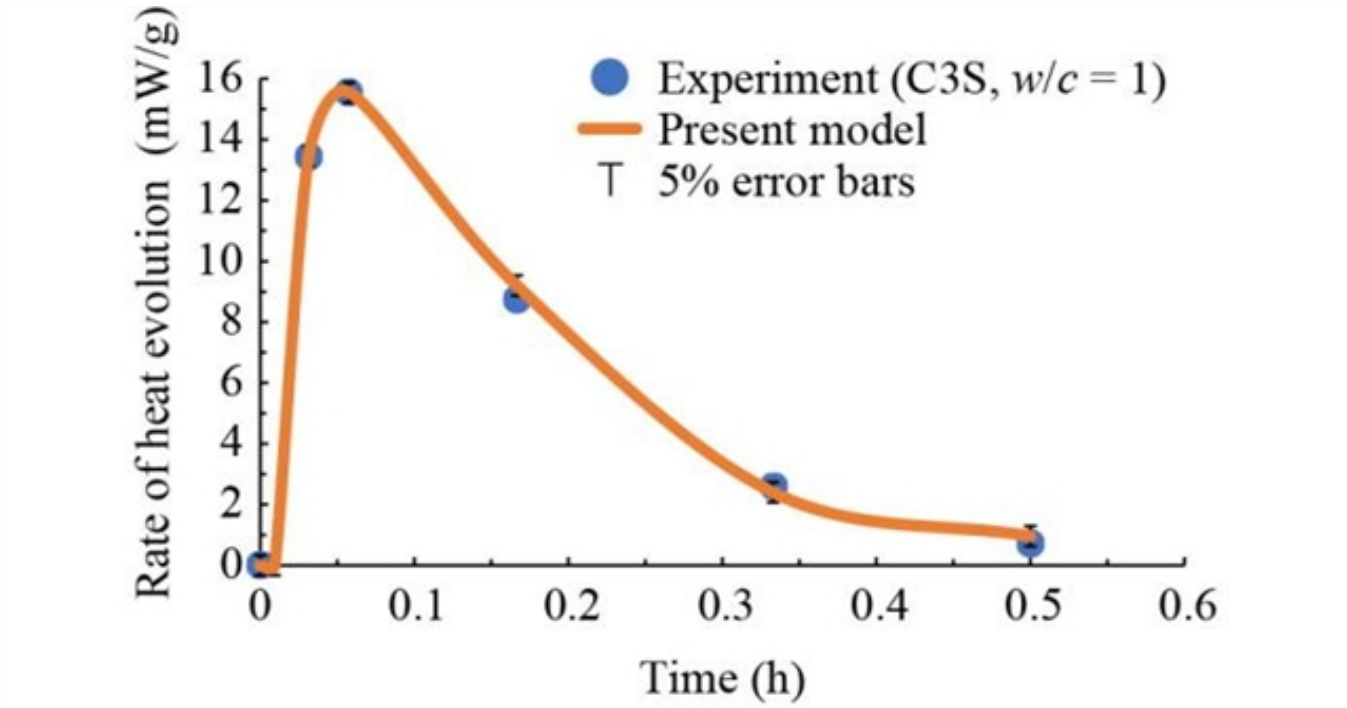


图2. 100%C3S下实验数据与模型的比较图。

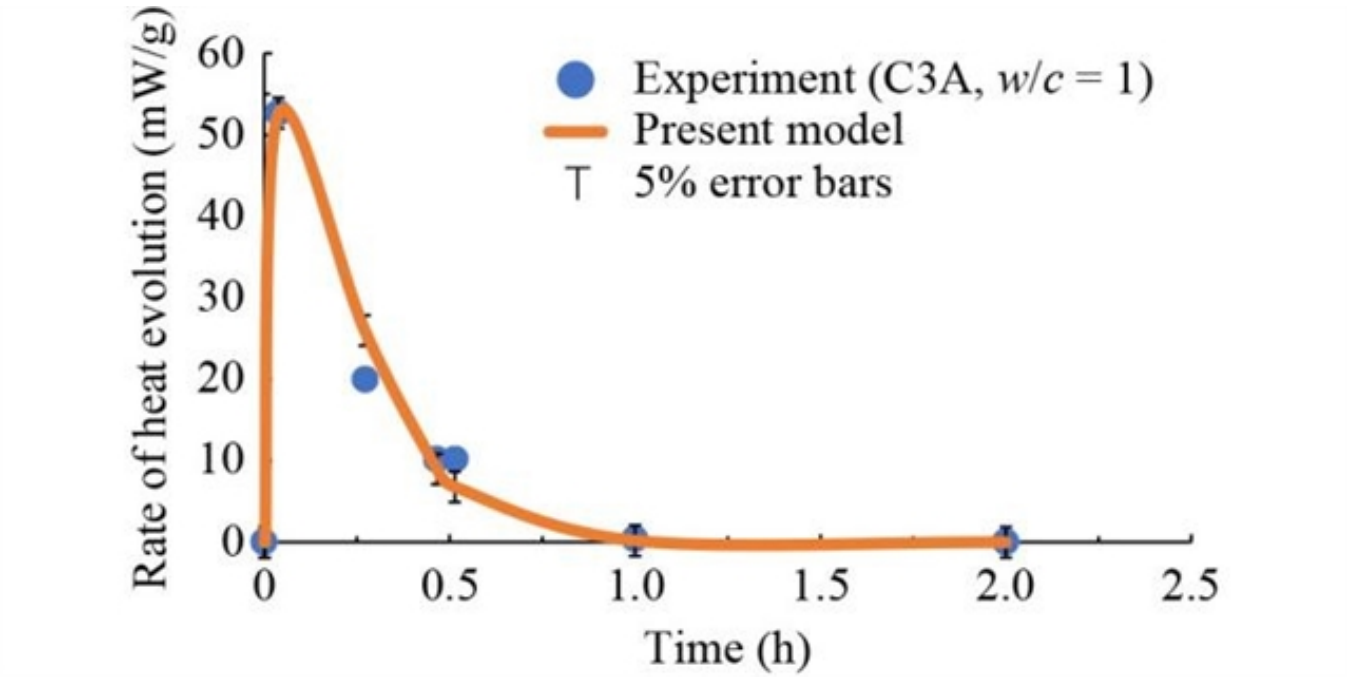


图3. 100%C3A下实验数据和模型的比较图。

结论与展望

研究表明，基于Park模型并耦合晶核生长理论建立的扩展模型，能够较准确模拟水泥水化第一放热峰；模型适用于C3S、C3A含量0%－100%的体系，并可描述铝硫酸盐基无碱速凝剂在约7%－9%掺量范围内的影响。该成果为3D打印混凝土超早期性能预测提供了重要理论支撑，有助于实现材料凝结硬化、触变恢复和建造窗口的定量调控。但本文提出的模型参数的物理意义仍不够清晰，且缺少同类模型对比验证。未来研究可进一步结合微观水化产物演化、离子溶解动力学和更多工程实测数据，提升参数可解释性、适用范围和工程预测能力。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：https://journal.hep.com.cn/fsce/EN/10.1007/s11709-024-1036-8

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费等事宜，请与我们接洽。
作者：姜伟等 来源：《工程·结构与土木工程》

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