浙江大学王激扬副教授团队——基于纤维混杂的粗骨料UHPC强韧化：微观机理与人工神经网络预测

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/40307.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！

浙江大学王激扬副教授团队——基于纤维混杂的粗骨料UHPC强韧化：微观机理与人工神经网络预测。论文标题：Strength and Ductility Enhancement in Coarse-Aggregate UHPC via Fiber Hybridization: Micro-Mechanistic Insights and Artificial Neural Network Prediction

论文链接：http://www.mdpi.com/1996-1944/19/1/157

期刊名：Materials

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

作者介绍

第一作者：



第一作者简介：王激扬，浙江大学高性能结构研究所副教授，副所长。研究领域涉及面向韧性城市的工程结构抗震、减隔震及加固、高性能建筑材料（TRC、FRC、UHPC.....）等。近年来主持承担了多项国家自然科学基金面上项目、国家科技部重点研发计划子课题、浙江省自然科学基金重点项目、浙江省重点研发计划子课题等研究工作。围绕高性能材料在韧性城市建设、结构抗震、减隔震、性能评估、智慧材料等方面的热点问题展开研究，取得了多项关键技术的创新，发表SCI等学术论文70余篇，授权国家发明专利15项，出版教材《工程结构抗震设计》一本。

文章导读

超高性能混凝土（UHPC）作为一种先进的工程材料，在抗震、抗爆及抗冲击结构中具有不可替代的优势。然而，高昂的材料成本限制了其在工程中的广泛应用。虽然掺入粗骨料形成的UHPC

-CA可显著降低成本，但其对材料强度及韧性的影响机制复杂，传统方法难以对其性能进行可靠预测。浙江大学王激扬副教授团队在期刊 Materials 上发表题为 Strength and Ductility Enhancement in Coarse-Aggregate UHPC via Fiber Hybridization: Micro-Mechanistic Insights and Artificial Neural Network Prediction 的研究论文。该研究致力于构建UHPC-CA的综合实验表征与力学性能预测框架，不仅系统探究了粗骨料与混杂纤维对材料流变性与力学性能的影响，更通过微观层面的界面过渡区（ITZ）与裂缝扩展分析，阐明了强韧化的内在机理。在此基础上，研究引入人工神经网络（ANN）技术，建立了能够精准捕捉多参数非线性耦合效应的预测模型。该成果不仅深化了对UHPC-CA微观机制的理解，更为其低成本配合比的优化设计提供了高效的数据驱动工具。

研究过程与结果

1. 试验设计与性能突破

为系统解构多因素对粗骨料UHPC（UHPC-CA）力学性能的影响，本研究采用双L9 (33)正交试验法进行设计（详见表1和表2）和研究。结果表明，钢-复合纤维混杂体系展现出显著优于钢-聚丙烯组合的力学性能：其抗压强度提升12.4%，抗折强度提升14%。这一突破证实，利用复合纤维部分替代钢纤维是平衡材料成本与韧性的有效策略，但需注意最佳替代率对纤维总体积具有高度敏感性。此外，研究发现粉煤灰的作用远超传统惰性填料范畴。在最佳掺量（21~33%）下，粉煤灰能显著致密化基体并细化纤维-基体界面（ITZ）。这揭示了矿物掺合料与纤维体系在强度演化中存在的非线性耦合效应，强调了在配合比设计中必须从独立参数选择转向整体协同优化，以最大化材料的堆积密度与界面粘结效率。

表1 第一阶段试验的参数和测试结果

组别 粗骨料(%) 钢纤维(%) 聚丙烯纤维(%) 抗压强度(MPa) 抗折强度(MPa) A-1 10 0 0 60.1 6.9 A-2 10 1 0.1 69.0 9.1 A-3 10 2 0.2 88.5 11.7 A-4 15 0 0.1 58.0 10.0 A-5 15 1 0.2 90.8 11.2 A-6 15 2 0 102.8 14.8 A-7 20 0 0.2 62.3 10.8 A-8 20 1 0 78.7 10.6 A-9 20 2 0.1 101.7 14.4

表2 第二阶段试验的参数和测试结果

组别 粉煤灰(%) 钢纤维(%) 复合纤维(%) 抗压强度(MPa) 抗折强度(MPa) B-1 21 1 0.3 82.5 20.8 B-2 21 1.25 0.4 90.0 24.8 B-3 21 1.5 0.5 90.3 27.2 B-4 33 1 0.4 82.5 20.7 B-5 33 1.25 0.5 90.5 23.5 B-6 33 1.5 0.3 84.3 22.6 B-7 42 1 0.5 74.4 20.0 B-8 42 1.25 0.3 60.3 18.6 B-9 42 1.5 0.4 79.7 21.6

2. 微观结构表征与失效机理揭示

本研究采用扫描电子显微镜（SEM）与X射线计算机断层扫描（X-CT）技术，对UHPC-CA进行了多尺度的微观结构表征。界面微观形貌的SEM图像（图1）清晰呈现了粗骨料、钢纤维、聚丙烯纤维及复合纤维与基体间的界面过渡区（ITZ）特征，深入解析了纤维-基体的脱粘与拔出行为，证实了不同纤维与基体的粘结差异。X-CT三维空间分布（图2）获取了钢纤维空间分布与取向，直观揭示了失效过程中的内部损伤演化。由此可知，材料韧性的显著提升归因于致密的ITZ结构与多尺度裂缝桥接网络的协同作用，混杂纤维体系成功将材料的失效模式从单一的脆性断裂转变为受控的韧性断。

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