

高延性纤维混凝土力学性能研究综述

胡宗昊¹, 辛明¹, 柳亚男^{2*}, 方东阳¹, 鄂鹏达¹

¹辽宁工业大学土木建筑工程学院, 辽宁 锦州

²辽宁工业大学后勤基建处, 辽宁 锦州

收稿日期: 2026年2月4日; 录用日期: 2026年2月26日; 发布日期: 2026年3月6日

摘要

本文系统综述高延性纤维混凝土(High-Ductility Fiber-Reinforced Concrete, HDC)在力学性能领域的研究进展, 重点从材料组成优化、多场耦合环境响应及结构应用机制三个层面展开。研究表明: 通过调控纤维类型、掺量设计, 可以显著提升材料的抗压、抗折强度与韧性; 在高温、冻融循环和化学侵蚀等复杂环境下, 高延性纤维混凝土展现出优于传统混凝土的耐久性; 在结构工程中, 高延性纤维混凝土通过增强粘结性能、抗剪能力和耗能特性, 有效提升砌体墙、钢筋混凝土梁柱等构件的抗震性能与整体性。

关键词

高延性纤维混凝土, 力学性能, 纤维增强

A Review of the Mechanical Properties of High-Ductility Fiber-Reinforced Concrete

Zonghao Hu¹, Ming Xin¹, Yanan Liu^{2*}, Dongyang Fang¹, Pengda E¹

¹College of Civil and Architectural Engineering, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning

²Department of Logistics and Infrastructure, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning

Received: February 4, 2026; accepted: February 26, 2026; published: March 6, 2026

Abstract

This paper systematically reviews the research progress of high-ductility fiber concrete in the field of mechanical properties, focusing on three aspects: optimization of material composition, response under multi-field coupling environments, and structural application mechanisms. Research shows that by regulating fiber types and designing mixing ratios, the compressive strength, flexural strength, and toughness of materials can be significantly improved. Under complex conditions such

*通讯作者。

文章引用: 胡宗昊, 辛明, 柳亚男, 方东阳, 鄂鹏达. 高延性纤维混凝土力学性能研究综述[J]. 土木工程, 2026, 15(3): 47-53. DOI: 10.12677/hjce.2026.153053

as high temperatures, freeze-thaw cycles, and chemical erosion, high-ductility fiber concrete demonstrates durability superior to that of traditional concrete. In structural engineering, high-ductility fiber concrete effectively improves the seismic performance and integrity of components such as masonry walls and reinforced concrete beams and columns by enhancing bonding performance, shear capacity, and energy dissipation characteristics.

Keywords

High-Ductility Fiber Concrete, Mechanical Properties, Fiber Reinforcement

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

高延性纤维混凝土作为一种具有优异变形能力、裂缝控制性能和耐久性的先进水泥基复合材料，近年来在国内外得到了广泛而深入的研究。研究主要围绕材料组成设计、力学性能调控、环境适应性及结构应用等方面展开。通过优化纤维类型、掺量、长度及界面性能，显著提升了材料的抗压、抗折强度与韧性，同时实现了应变硬化和多缝开裂行为。在复杂服役环境下，该材料表现出良好的抗高温、抗冻融、抗化学侵蚀能力，展现出优于传统混凝土的耐久特性。此外，绿色低碳材料体系如地聚物基高延性混凝土以及再生原料的引入，推动了其向可持续发展方向迈进。3D 打印技术在智能建造领域应用不断拓展且其潜力也得以展现，这体现出材料多功能化与工艺创新相融合的趋势。

在结构工程应用时，高延性纤维混凝土被广泛用于既有结构加固以及新建关键构件，并且在提高砌体墙、钢筋混凝土梁柱等结构抗震性能方面效果特别明显。它有着良好粘结性能、优异抗剪能力与耗能特性的钢筋，能有效改善结构的整体性和延性。研究表明，在偏心受压、反复荷载以及剪切薄弱部位的加固方面，这种材料有着良好适应性和可靠性。同时，通过数值模拟、人工智能等智能分析手段，实现对材料性能的高效预测以及多参数优化设计，从而推动从经验配比迈向机理驱动和智能化设计的转变。总体来讲，高延性纤维混凝土在从材料创新迈向工程实践的系统化发展方面正逐步达成目标且有着广阔的运用前景。

2. 国内研究现状

2.1. 材料组成优化与基本力学性能调控

国内学者在高延性纤维混凝土的材料设计与基础力学行为调控方面进行了系统而深入的探索，研究焦点集中于纤维特性(类型、长度、掺量)及界面强化对关键性能的影响。初始的基础性研究，如王林彬[1]研究玄武岩纤维长度和体积掺量对增强混凝土工作性能及力学性能(抗压、抗折强度)的影响规律，系统分析了玄武岩纤维混凝土的性能表现，并确指出适量纤维能提升韧性，而过量掺入则易导致分散不均从而削弱性能。为了进一步优化纤维-基体界面性能这一核心问题，刘畅[2]研究硝酸处理时间对聚丙烯纤维形貌和结构的影响，并探索硝酸表面改性对聚丙烯纤维混凝土力学性能和抗盐冻性能的影响，证实改性可显著增强界面粘结，进而提高材料的力学性能和抗盐冻耐久性。

材料性能的精确预测与工艺影响也是研究热点。张有为[3]融合数值模拟与 BP 神经网络技术，构玄武岩纤维混凝土多因素协同下的力学性能预测模型，从而系统研究玄武岩纤维混凝土的抗压、劈裂抗拉

和抗折性能，并创新性地探讨纤维长度混合掺入对混凝土的影响。生产工艺参数对于纤维发挥效用至关重要，韦永华[4]研究不同喷射工艺，发现其对纤维分布取向及最终抗弯强度和劈裂抗拉强度影响显著。对于更复杂的复合体系，陈璇[5]则分析层布式钢纤维混凝土中纤维取向和层间界面对力学行为的影响，提出界面设计优化方案。钢纤维的掺入导致试件中产生两种作用机制，分别是局部应力集中和整体应力分散，同时钢纤维抑制混凝土受拉区的变形并提高其抗折能力。于浩[6]研究高延性混凝土立方体的抗压强度、劈裂抗拉强度、极限弯曲强度与弯曲韧性尺寸效应并分析其机理，为工程应用提供理论基础支撑。刘景涛[7]研究补偿收缩 PVA-ECC 的收缩规律、抗折强度、抗压强度、弯曲韧性和弯曲强度。在补偿收缩、防止开裂方面有所改善，对其他性能没有显著的负面影响，为其在实际中的应用提供可能性；并且还指出在铝酸盐水泥、石膏和 PVA 纤维掺量分别为 5%、10%和 2%时，补偿收缩 PVA-ECC 性能最佳。

研究发展的前沿方向之一是追求高性能与可持续性的统一，郑山锁[8]致力于开发绿色高性能纤维混凝土，寻求低碳与高力学性能的协同设计路径。邓友生[9]应用响应面回归模型，为混杂纤维轻骨料高强混凝土的配合比多目标优化提供参考，对纤维混凝土力学性能进行多变量参数量化分析与优化。从微观到宏观的跨尺度机理研究不可或缺，隋昊良[10]深入微观结构，在混凝土中加入玄武岩纤维、玻璃纤维或同时加入上述两种纤维，研究基于其对力学性能的影响，阐明了孔隙结构及界面过渡区对纤维混凝土宏观力学性能的关键影响机制。

2.2. 复杂环境与多因素耦合作用下的性能演化

高延性纤维混凝土在实际服役环境中常面临高温、冻融循环、化学侵蚀等多因素耦合的严峻挑战，其长期性能退化机制及适用性是国内研究的核心关切。分析方法的智能化发展同步推进，韩纪晓[11]利用 BP 神经网络构建力学性能预测模型，为混杂纤维混凝土力学性能的变化规律奠定基础，证明了在复杂性评估中 BP 神经网络的有效性。

在严苛环境长期作用下的结构耐久性行为是持续研究的重点。李趁趁[12]探混杂纤维混凝土经受高温后的力学性能退化规律，发现其仍保有相当的延性及承载力。引入协同效应系数后，对玄武岩纤维与纤维素纤维的正负混杂效应进行分析。然后建立高温后纤维混凝土的抗压强度和劈裂抗拉强度计算模型，对纤维混凝土结构设计及灾后性能评估有帮助。张嘉玮[13]研究环境对高延性纤维混凝土性能的主要影响因素。对高延性纤维混凝土冻融循环后进行立方体抗压试验，长期浸泡作用下进行抗压试验和抗折试验。通过四种不同溶液的卤水长期浸泡试验，其基本力学性能的变化规律受浸泡时间和卤水浓度不同的影响；与此紧密关联，张晶[14]通过试验研究卤水侵蚀下的力学性能，进一步确其在化学腐蚀环境下的耐久潜力。在不同浓度卤水溶液侵蚀下，分析高延性纤维混凝土干湿循环和长期浸泡后的力学性能，这为工程应用提供理论指导与依据。

通过快速冻融方法对高延性纤维混凝土试件和混凝土试件进行冻融循环对比试验，杨步云[15]验证该材料在寒冷地区的良好适用性，具有更高的抗压承载力和延性，内部损伤和劣化程度更低。在长期或反复荷载下的性能衰退机制研究不可或缺，赵坤龙[16]焦于材料的拉压疲劳性能，通过大量试验研究了在常温养护下高延性纤维混凝土材料的基本力学性能和在等幅重复荷载下的疲劳特性，揭示其损伤演化规律；更进一步考虑环境因素叠加，席方勇[17]分析冻融和硫酸盐侵蚀后材料的受压疲劳性能，提出了多因素耦合下的寿命评估方法，相对于普通混凝土和钢纤维混凝土，高延性纤维混凝土拥有更高水平。

2.3. 结构性能响应与智能分析方法集成

随着研究深化，国内对高延性纤维混凝土的关注点已从材料本身扩展至其在结构系统中的响应以及如何结合智能手段提升研究设计与评估效率。

研究深入探索纤维在特定结构构件中的协同增强效应。王晓伟[18]以混掺纤维的组合十字形短柱为对象,研究混掺高延性纤维混凝土对十字形短柱抗震性能的提升作用,揭示纤维协同作用提升构件抗震延性的内在机制。拓展材料功能属性也取得进展,尹俊红[19]发现碳纤维混凝土较普通混凝土兼具优异的抗拉和抗压强度。基础性的材料参数优化持续进行,许欣[20]系统研究不同 PVA 纤维掺量对混凝土力学性能的影响,在 PVA 体积掺量等于 0.10%时,混凝土的抗压强度、抗折强度得到显著改善,同时也保持了混凝土的和易性。

回溯更早的研究积累,张欢欢[21]对高性能纤维混凝土的关键力学指标进行了系统评价,钢纤维的掺加对混凝土性能的提高有显著效果。在结构构件层面提升承载力的研究同样重要。单掺钢纤维和混杂纤维的混凝土梁,对其抗剪性能提升效果良好,朱振玉[22]通过研究新型混杂纤维混凝土对梁构件抗剪性能的影响,证实混杂纤维可显著增强配筋梁的抗剪性能。高延性混凝土在结构抗震中的优势被多项研究所聚焦,郭向阳[23]通过抗震分析验证其在低矮剪力墙中的耗能优势;与之呼应,张薇[24]则详细研究混掺纤维十字形短柱的抗震性能,解析了其破坏模式与滞回特性。

促进研究成果的工程转化是重要方向,杨培娜[25]探讨其在砌体结构加固中的关键技术要点。针对严酷的腐蚀环境,寇佳亮[26]研究在硫酸盐侵蚀下高延性纤维混凝土的力学性能退化规律,发现其抗侵蚀性远超普通混凝土,具有更良好的抗侵蚀性能;此前该团队还研究了其拉压疲劳性能,揭示反复荷载下损伤累积的演化机制。在重复荷载作用下,试验表明,高延性纤维混凝土疲劳破坏符合威布尔双参数分布,并得出了相应的 p-S-N 方程。为混凝土结构抗震设计、路桥的振动影响等分析提供依据[27]。刘浩召[28]过对比试验表明,在抵抗冲击荷载方面,纤维混凝土板提高了混凝土的抗冲击性能,与压型钢板组合板相比,其具有更优的落石冲击能量吸收能力。

上述研究通过“材料-环境-构件”多维度试验,系统阐明高延性纤维混凝土在诸多方面性能的提升,可为后续试验研究与工程应用提供试验依据和理论支撑。

3. 国外研究现状

3.1. 材料组成创新与多性能协同优化

国际学者在高延性纤维混凝土的材料创新领域持续突破,致力于开发新型基体体系、优化纤维类型并探索多功能集成路径。在智能功能化方向,Piao [29]以超高性能纤维增强混凝土为对象,分析碳纤维掺量对其力学与热电性能的协同影响,发现适量碳纤维可同步提升导电性与抗压强度,据此提出具备自感知功能的智能混凝土设计方法,为结构健康监测奠定了新材料基础。与此同时,历史建筑修复领域迎来创新应用,Zhang [30]研究高延性纤维增强混凝土对砌体试件抗剪性能的提升效果,证实其能显著提高砌体整体性和延性,进而提出适用于砌体结构加固的薄层复合技术。

绿色低碳材料体系开发成为近年研究热点,Luo [31]聚焦高延性地聚物混凝土,通过烘箱热养护试验揭示温度和时间对其力学性能与微观结构的影响规律,发现适宜养护条件可显著促进地聚物反应,从而提升材料早期强度与长期稳定性。进一步拓展资源循环利用路径,Wu [32]创新性地以再生混凝土和浆体粉为前驱体,研究绿色高延性地聚物复合材料的微细性能与力学行为,证实再生原料在保持高延性前提下实现可持续目标的有效性。

先进建造技术中的材料适配性研究日益重要,Junhong Yu [33]探究聚乙烯纤维含量对 3D 打印超高延性混凝土工作性及力学各向异性的影响,发现纤维分布方向显著制约打印层间结合强度,据此提出优化打印路径与纤维取向的实践建议。微观结构设计的系统性价值获得进一步验证,Taghia [34]通过试验强调钢纤维掺量与骨料级配混凝土延性行为的协同调控作用,为细观尺度优化提供了理论支撑。

3.2. 结构加固机制与构件行为研究

在结构应用层面, 国外研究深度聚焦高延性纤维混凝土加固技术中的界面行为、受力机制与抗震性能提升。加固体系的核心基础是粘结性能, Wu [35]研究 HDC 和变形钢筋在反复荷载以及后续单调加载时的粘结行为展开研究, 结果发现 HDC 可有效抑制钢筋滑移且保持高粘结强度, 于是他们提出了抗震结构界面设计准则。

砌体结构加固领域取得显著突破, Zhang [36]通过对 HDC 进行加固无筋混凝土砌块墙体抗震性能的研究, 表明加固层会大幅度提高墙体的延性、耗能能力以及抗剪强度, 从而形成了系统的砌体抗震加固技术方案。钢筋混凝土构件加固研究同步深化, Li [37]针对抗剪不足梁体, 证明 HDC 加固层能有效抑制斜裂缝扩展并提高剪切承载力与延性; 该团队进一步将该技术拓展至钢筋混凝土深梁的套筒加固, 验证了复杂应力状态下的有效性[38]。

构件设计理论体系持续完善, Zhang [39]研究配筋 HDC 梁的受弯开裂行为, 提出基于裂缝间距与宽度的计算模型, 为变形控制提供关键设计依据。针对特殊构件的性能提升, Deng [40]证实 HDC 层可有效改善超筋混凝土梁的延性并延缓受压区压溃; 随后通过变形能力分析, 提出考虑 HDC 贡献的挠度计算方法[41]。柱构件研究同样取得进展, Li [42]发现 HDC 柱在偏心荷载下具备优异抗弯承载力和延性, 适用于偏压构件加固与新建。约束体系研究持续深入, Deng M [43]证实 HDC 约束层可显著提高砌体柱的承载力和延性; 同步开展的混凝土空心砌块墙体加固试验, 验证了 HDC 层在面内循环荷载下的卓越耗能能力[44]。

严苛环境下的长期性能研究不可或缺, Kou [45]揭示高延性混凝土在硫酸盐侵蚀下因致密微观结构和纤维桥接效应, 其耐久性与力学性能退化程度显著低于普通混凝土; 进一步深化多因素耦合研究, Kou [46]解析硫酸盐侵蚀与干湿循环协同作用下的损伤累积机制, 完善了环境耐久性评价体系。新型复合增强体系开拓新方向, Zhang [47]通过内置玄武岩织物网格提升 HDC 的单轴受拉性能, 发现织物与纤维的协同作用可显著增强材料应变能力。

4. 研究评述

高延性纤维混凝土(HDC)通过纤维体系与界面优化, 力学性能、复杂环境耐久性能大幅提升, 且适配 3D 打印技术发展需求, 在结构加固中更能显著提升构件整体性与抗震性, 是土木工程领域极具应用潜力的高性能材料。但当前 HDC 工程化应用仍存突出问题: 专用纤维推高材料成本, 高延性特性增加施工和易性控制难度, 且缺乏统一的设计、施工及验收标准, 制约规模化应用。对此, 可研发低成本复合型纤维并优化掺配方案, 开发适配 HDC 的施工工艺与专用设备, 同时联合行业单位制定分级式技术标准并建立工程应用示范, 通过材料、工艺、标准的协同创新推动其工程落地。

基金项目

辽宁工业大学 2024 年大学生创新创业训练项目(X202410154140)。

参考文献

- [1] 王林彬, 杨九林, 毛骥, 等. 纤维长度与纤维掺量对玄武岩纤维混凝土力学性能影响研究[J]. 广州建筑, 2025, 53(7): 74-78.
- [2] 刘畅, 魏玲. 硝酸表面改性对纤维混凝土力学性能及抗盐冻性能的影响[J]. 功能材料, 2025, 56(6): 6128-6135.
- [3] 张有为. 基于数值模拟和 BP 神经网络分析的玄武岩纤维混凝土力学性能研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽建筑大学, 2025.
- [4] 韦永华, 杨林林, 程东波, 等. 喷射纤维混凝土力学性能研究[J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(10): 133-139.

- [5] 陈璇, 冀永安, 欧亚斌, 等. 纤维取向和混凝土层间界面对层布式钢纤维混凝土力学性能的影响研究[J]. 空军工程大学学报, 2024, 25(6): 119-127.
- [6] 于浩. 高延性混凝土基本力学性能与弯曲韧性的尺寸效应研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2018.
- [7] 刘景涛. 补偿收缩高延性纤维混凝土性能研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2017.
- [8] 郑山锁, 胡锦涛, 张欣, 等. 绿色高性能纤维混凝土力学性能试验研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2024, 51(9): 155-164.
- [9] 邓友生, 孟丽青, 郑云方, 等. 基于响应面回归模型的纤维混凝土力学性能分析[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2024, 51(9): 177-187.
- [10] 隋昊良. 纤维混凝土力学性能与微观结构研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2024.
- [11] 韩纪晓, 宁熙雯, 安庆锋, 等. 基于 BP 神经网络的纤维混凝土力学性能研究[J]. 工业建筑, 2023, 53(S2): 669-672.
- [12] 李趁趁, 刘超伟, 魏非凡, 等. 高温后混杂纤维混凝土力学性能[J]. 混凝土, 2024(9): 94-100.
- [13] 张嘉玮. 卤水长期浸泡下高延性纤维混凝土劣化强度规律和冻融损伤层研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2018.
- [14] 张晶. 卤水侵蚀下高延性纤维混凝土力学性能试验研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2018.
- [15] 杨步云, 寇佳亮, 孙静. 高延性纤维混凝土材料冻融循环试验研究[J]. 混凝土, 2017(11): 114-117+121.
- [16] 赵坤龙. 高延性纤维混凝土的拉压疲劳试验研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2017.
- [17] 席方勇. 冻融和硫酸盐侵蚀后高延性纤维混凝土受压疲劳性能试验研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2017.
- [18] 王晓伟, 张薇, 赵恩辉, 等. 混掺高延性纤维混凝土组合十字形短柱抗震性能研究[J]. 重庆大学学报, 2023, 46(6): 40-50.
- [19] 尹俊红, 纪艳春, 赫中营, 等. 碳纤维混凝土力学性能研究[J]. 混凝土, 2023(1): 64-67+72.
- [20] 许欣, 马魁. 基于不同掺量的 PVA 纤维混凝土力学性能研究[J]. 科技与创新, 2023(2): 83-85.
- [21] 张欢欢. 高性能纤维混凝土力学性能试验研究[J]. 成都工业学院学报, 2022, 25(3): 6-10.
- [22] 朱振玉. 混杂纤维混凝土力学性能及其配筋梁抗剪性能研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2022.
- [23] 郭向阳. 高延性纤维混凝土低矮剪力墙的抗震分析[J]. 工程抗震与加固改造, 2020, 42(5): 172.
- [24] 张薇. 高延性混掺纤维混凝土十字形短柱抗震性能试验研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 河北工业大学, 2020.
- [25] 杨培娜, 吴晓东, 马维纬. 高延性纤维混凝土加固砌体施工技术[J]. 中国住宅设施, 2019(1): 122-124.
- [26] 寇佳亮, 林亚党, 席方勇, 等. 硫酸盐侵蚀下高延性纤维混凝土力学性能试验研究[J]. 建筑结构, 2019, 49(3): 80-86.
- [27] 寇佳亮, 赵坤龙, 张浩博. 高延性纤维混凝土拉压疲劳性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2018, 51(9): 17-25.
- [28] 刘浩召. 压型钢板组合板和纤维混凝土板在落石冲击下抗冲击性能试验研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2018.
- [29] Piao, R., Woo, Y.S., Lee, D., *et al.* (2010) Investigating the Effect of Carbon Fiber Dosage on the Mechanical and Thermoelectric Properties of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 14, 1937-1951. <https://doi.org/10.1080/21650373.2025.2511767>
- [30] Zhang, W., Jing, M., Hao, R., *et al.* (2025) Enhancing Shear Performance of Masonry Wallettes with High Ductile Fiber-Reinforced Concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04891. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04891>
- [31] Luo, R., Liu, R., Qin, G., *et al.* (2024) Study on High-Ductility Geopolymer Concrete: The Influence of Oven Heat Curing Conditions on Mechanical Properties and Microstructural Development. *Materials*, 17, Article 4011. <https://doi.org/10.3390/ma17164011>
- [32] Wu, H., Liu, X., Wang, C., *et al.* (2024) Micro-Properties and Mechanical Behavior of High-Ductility Engineered Geopolymer Composites (EGC) with Recycled Concrete and Paste Powder as Green Precursor. *Cement & Concrete Composites*, 152, Article 105672. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2024.105672>
- [33] Ye, J., Cui, C., Yu, J. and Dong, F. (2021) Effect of Polyethylene Fiber Content on Workability and Mechanical-Anisotropic Properties of 3D Printed Ultra-High Ductile Concrete. *Construction and Building Materials*, 281, Article 122586. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122586>

- [34] Taghia, S.A.H.S., Darvishvand, H.R., Ebrahimi, M., *et al.* (2021) The Statistical Approach to Study the Effects of the Size of Coarse Aggregates and Percentage of Steel Fiber on Mechanical Properties and Ductility of Concrete. *Advanced Materials Research*, **1166**, 95-112. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1166.95>
- [35] Wu, Z., Deng, M., Zhang, M., *et al.* (2024) Bond Behavior Between Highly Ductile Fiber-Reinforced Concrete (HDC) and Deformed Rebar Under Repeated and Post-Repeated Monotonic Loading. *Structures*, **67**, Article 106933. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106933>
- [36] Zhang, W., Deng, M., Guo, L., *et al.* (2023) Seismic Strengthening of Unreinforced Concrete Block Masonry Walls with High Ductile Fiber-Reinforced Concrete (HDC). *Journal of Earthquake Engineering*, **27**, 2818-2840. <https://doi.org/10.1080/13632469.2022.2121790>
- [37] Li, R., Deng, M., Chen, H., *et al.* (2022) Shear Strengthening of RC Shear-Deficient Beams with Highly Ductile Fiber-Reinforced Concrete. *Structures*, **44**, 159-170. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.08.013>
- [38] Li, R., Deng, M., Zhang, Y., *et al.* (2022) Shear Strengthening of Reinforced Concrete Deep Beams with Highly Ductile Fiber-Reinforced Concrete Jacket. *Journal of Building Engineering*, **48**, Article 103957. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103957>
- [39] Zhang, M., Deng, M., Wu, Z., *et al.* (2021) Flexural Cracking Behavior and Calculation Approach of Reinforced Highly Ductile Fiber-Reinforced Concrete Beams. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, **21**, Article No. 154. <https://doi.org/10.1007/s43452-021-00309-0>
- [40] Deng, M., Zhang, M., Ma, F., *et al.* (2021) Flexural Strengthening of Over-Reinforced Concrete Beams with Highly Ductile Fiber-Reinforced Concrete Layer. *Engineering Structures*, **231**, Article 111725. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111725>
- [41] Deng, M., Zhang, M., Zhu, Z., *et al.* (2021) Deformation Capacity of Over-Reinforced Concrete Beams Strengthened with Highly Ductile Fiber-Reinforced Concrete. *Structures*, **29**, 1861-1873. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.12.062>
- [42] Li, R., Deng, M. and Zhang, Y. (2021) Behavior of Highly Ductile Fiber-Reinforced Concrete Columns Under Eccentric Loading. *Structures*, **33**, 3357-3370. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.06.024>
- [43] Deng, M., Li, T. and Zhang, Y. (2020) Compressive Performance of Masonry Columns Confined with Highly Ductile Fiber Reinforced Concrete (HDC). *Construction and Building Materials*, **254**, Article 119264. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119264>
- [44] Deng, M., Zhang, W. and Li, N. (2020) In-Plane Cyclic Loading Tests of Concrete Hollow Block Masonry Walls Retrofitted with High Ductile Fiber-Reinforced Concrete. *Construction and Building Materials*, **238**, 117758-117758. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117758>
- [45] Kou, J., Li, L. and Shi, J. (2022) Experimental Study on Durability and Mechanical Properties of High Ductile Concrete Under Long-Term Sulfate Attack. *KSCE Journal of Civil Engineering*, **26**, 1793-1802. <https://doi.org/10.1007/s12205-022-0445-2>
- [46] Kou, J. (2021) Experimental Study on Mechanical Properties of High-Ductility Concrete against Combined Sulfate Attack and Dry-Wet Cycles. *Materials*, **14**, 4035-4035. <https://doi.org/10.3390/ma14144035>
- [47] Zhang, W., Deng, M., Han, Y., *et al.* (2021) Uniaxial Tensile Performance of High Ductile Fiber-Reinforced Concrete with Built-In Basalt Textile Grids. *Construction and Building Materials*, **315**, Article 125716. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125716>