

新型复合材料在建筑工程结构加固中的应用与性能研究

张艳妮

西安城市建设职业学院, 陕西省西安市, 710114;

摘要: 随着既有建筑老化、荷载升级及规范更新, 结构加固需求日益迫切, 传统加固材料存在自重、耐久性等局限。本文聚焦 FRP、ECC、RPC 及新型灌浆材料四类主流新型复合材料, 系统分析其分类特性与制备工艺, 深入探讨其在混凝土结构、钢结构、砌体结构中的具体加固应用形式, 并从力学性能、耐久性、长期稳定性维度开展测试评价。结果表明, 新型复合材料兼具高强度、轻质、耐久、施工便捷等优势, 加固效果显著优于传统材料。研究为新型复合材料在建筑结构加固领域的规范化、规模化应用提供了理论支撑与实践指引。

关键词: 新型复合材料; 建筑结构加固; 工程应用

DOI: 10.69979/3029-2727.26.03.030

引言

材料科学与工程技术迅猛发展, 新型复合材料凭借优越的物理力学性能及工程适用性, 给结构加固带来新途径, 该材料借助物理、化学等手段将多种性质差异的材料组合优化, 从而生成具有新结构与优异性能的材料, 大大加强强度、耐久性 & 施工便捷性, 超越传统材料局限, 近些年来, FRP、ECC、RPC 等新型复合材料在建筑结构加固中的应用慢慢规模化, 相关研究及工程实践持续深入。

1 建筑结构加固用新型复合材料的分类与核心特性

1.1 纤维增强聚合物 (FRP)

纤维增强聚合物 (FRP) 是一种新型材料, 由高强度纤维和聚合物基体复合而成, 按纤维种类可分为 CFRP、GFRP、AFRP 等, 应用于建筑加固, 说明其在现代工程中具有重要性和多样性^[1]。制备工艺包括手糊、缠绕、拉挤成型等, 拉挤成型的 FRP 筋、FRP 板应用较多, FRP 最显著的优势就是强度高、重量轻, 抗拉强度是普通钢材的 3-10 倍, 密度只有钢材的 1/4-1/5, 加固后不会增加结构自重; 耐腐蚀性好, 可抵抗酸碱盐及潮湿侵蚀, 适合恶劣环境; 弹性模量接近混凝土, 适合加固复杂结构。

1.2 工程水泥基复合材料 (ECC)

工程水泥基复合材料 (ECC) 是基于微观力学设计的高性能纤维增强水泥基材料, 又称“可弯曲混凝土”, 通过优化基体与短切纤维界面性能, 实现高韧性、高抗裂性。主要组分包括水泥、石英砂、粉煤灰、硅灰等胶凝材料, 以及体积掺量 2%-3% 的短切聚乙烯或聚丙烯纤

维^[2]。制备工艺与普通混凝土类似, 核心是控制纤维均匀分散。其拉伸应变达 3%-5%, 远超普通混凝土 (0.01%-0.02%), 受拉受弯时呈多条细密裂缝 (宽度 < 50 μm), 抗裂性与耐久性突出; 抗压强度 50-120MPa, 承载能力良好, 适用于结构修补与抗裂加固。

1.3 活性粉末混凝土 (RPC)

活性粉末混凝土 (RPC) 由超细活性粉末、水泥、石英砂、钢纤维组成。由于颗粒级配改善、孔隙率降低, 性能显著提高, 具有超高强度、高耐久性, 是水泥基复合材料较为前沿的研究方向。经机械搅拌、振动成型后, 需蒸汽养护或标准养护激发活性^[3]。RPC 抗压强度 150-800MPa、抗拉强度 10-30MPa, 孔隙率 < 5%, 抗渗透、抗冻融、抗腐蚀性能领先; 弹性模量 30-60GPa, 刚度大、变形小, 与钢筋、FRP 粘结性好, 适用于节点加固、截面增大加固等高强度需求场景。

1.4 新型灌浆材料

新型灌浆材料是传统水泥灌浆料的升级版本, 它以环氧灌浆料, 聚合物水泥灌浆料, 超细水泥灌浆料为主要成分, 优良的性能, 使得新型灌浆材料在工程施工当中占据着重要的位置。聚合物水泥灌浆料以水泥为基材, 掺入丙烯酸酯或丁苯乳液, 兼具强度与柔韧性; 超细水泥灌浆料采用粒径 < 10 μm 的超细水泥, 配合高效分散剂, 可灌注细微裂缝。制备以机械搅拌为主, 按需调整稠度。其核心特性为流动性佳、粘结强度高、固化速度快、耐久性优异, 能有效填充裂缝、补强薄弱部位, 恢复结构整体性与承载能力。

2 新型复合材料在建筑工程结构加固中的应用

2.1 在混凝土结构加固中的应用

2.1.1 FRP 加固技术

FRP 在混凝土结构加固中的应用形式多种多样,包括粘贴 FRP 布/板加固、嵌入式 FRP 筋加固、FRP 套筒加固等,其中粘贴 FRP 布/板加固主要是通过结构胶将 FRP 材料贴附在混凝土构件的受拉区、受压区或者侧面,提高构件的抗弯、抗剪、抗压承载能力。根据相关试验表明,粘贴两层 CFRP 布的混凝土梁,其抗弯承载力可提高 30%-80%,同时对面临剪切破坏风险的混凝土柱,可有效约束混凝土,提高柱的抗剪承载力和延性。因此 FRP 技术的应用在结构加固领域意义重大,可有效提高混凝土构件的安全性和可靠性^[4]。

2.1.2 ECC 加固技术

ECC 在混凝土结构加固中主要用于修补加固和面层加固。对于出现剥落、破损的混凝土构件,可采用 ECC 进行修补,利用其高韧性和良好的粘结性,恢复构件的截面尺寸和承载能力;通过 ECC 的多裂缝开展特性,抑制原结构裂缝的扩展,提升结构的抗裂性和耐久性。此外,ECC 还可用于混凝土结构的抗震加固,在框架节点区域采用 ECC 替换原混凝土,利用其高韧性吸收地震能量,减少节点的破坏。

2.1.3 RPC 加固技术

RPC 在混凝土结构加固中多采用截面增大加固、节点加固等形式。对于承载力严重不足的混凝土柱,可采用 RPC 包裹原柱,增大柱的截面尺寸,利用 RPC 的超高强度提升柱的抗压承载力和刚度;对于框架结构的梁柱节点,由于节点区域受力复杂,易发生剪切破坏,采用 RPC 浇筑节点区域,可显著提高节点的抗剪承载力、刚度和延性,增强结构的整体抗震性能。

2.1.4 新型灌浆材料加固技术

新型灌浆材料主要用于混凝土结构的裂缝修补和基础加固。对于宽度 0.1-5mm 的混凝土裂缝,可采用环氧灌浆料或超细水泥灌浆料进行压力灌浆,浆液渗透至裂缝内部并固化,填充裂缝空隙,恢复结构的整体性和抗渗性;对于地基不均匀沉降导致的结构基础加固,可采用聚合物水泥灌浆料进行高压喷射灌浆,形成加固桩或加固层,提高地基的承载力和稳定性。

2.2 在钢结构加固中的应用

2.2.1 FRP 加固技术

FRP 在钢结构加固中的应用主要包括粘贴 FRP 布/板加固、FRP 包裹加固等。对于受拉不足的钢梁、钢柱,可在构件表面粘贴 FRP 布或 FRP 板,通过 FRP 的高强度分担荷载,提升构件的抗拉、抗压承载力;对于锈蚀严重的钢结构构件,可采用 FRP 布包裹构件,既起到

加固作用,又能隔绝空气和水分,防止构件进一步锈蚀。此外,FRP 还可用于钢结构节点加固,在节点连接处贴 FRP 布,增强节点的抗剪承载力和刚度,改善节点的受力性能。

2.2.2 新型灌浆材料加固技术

新型灌浆材料在钢结构加固中主要用于节点加固和基础锚固。对于螺栓连接松动的钢结构节点,可采用环氧灌浆料注入螺栓孔与螺栓之间的间隙,固化后增强螺栓的锚固力和节点的整体性;对于钢结构柱脚基础,可采用聚合物水泥灌浆料进行二次灌浆,填充柱脚与基础之间的空隙,提高柱脚的锚固性能和稳定性。

2.3 在砌体结构加固中的应用

2.3.1 FRP 加固技术

FRP 在砌体结构加固中的应用形式主要为粘贴 FRP 布加固。在砌体墙表面粘贴 FRP 布,通过 FRP 布的约束作用,增强砌体墙的整体性和抗剪承载力,试验表明,粘贴 CFRP 布的砌体墙,抗剪承载力可提升 50%-150%;对于门窗洞口等薄弱部位,可在洞口周边粘贴 FRP 布进行局部加固,防止洞口角部裂缝扩展。

2.3.2 ECC 加固技术

ECC 在砌体结构加固中可用于墙面面层加固,在砌体墙表面敷设 ECC 面层,利用 ECC 的高韧性和良好的粘结性,提升墙体的抗剪承载力、抗裂性和耐久性,同时增强砌体结构的整体性,适用于抗震设防烈度较高地区的老旧砌体建筑加固。

2.3.3 新型灌浆材料加固技术

对于砌体结构中的裂缝,可采用超细水泥灌浆料或环氧灌浆料进行压力灌浆,填充裂缝,恢复砌体的整体性;对于砌体结构的基础加固,可采用聚合物水泥灌浆料进行灌浆处理,提高基础的承载力,减少不均匀沉降对上部结构的影响。

3 新型复合材料加固的性能测试与评价

3.1 力学性能测试与评价

3.1.1 承载力与刚度测试

通过静力加载试验测试加固构件极限承载力和极限刚度变化,以 FRP 加固混凝土梁为例,采用四点弯曲加载试验,记录梁的荷载-位移曲线,结果表明,加固后梁极限荷载大幅提高,且加固后梁刚度在加载初期变化不大,优于未加固梁;ECC 加固混凝土板抗弯试验表明,ECC 面层能将板极限承载力提高 40%-60%,刚度提高 20%-40%;RPC 加固混凝土柱抗压试验表明,RPC 包裹层能将柱极限抗压承载力提高 50%-120%,且

RPC 加固后梁的破坏形态由脆性破坏转变为延性破坏,提高了结构的安全储备。

3.1.2 延性测试

延性为结构抗震性能的重要指标,延性系数为构件荷载-变形曲线中极限变形与屈服变形的比值。FRP 套筒加固混凝土柱抗震试验表明,加固后的柱延性系数可达到 3-5,远大于未加固柱的延性系数;ECC 加固框架节点低周反复加载试验表明,ECC 节点延性系数较普通混凝土节点提高 60%-100%,耗能能力显著提高。

3.1.3 粘结强度测试

新型复合材料与原结构的粘结性能直接影响加固效果,采用拉伸粘结试验测试复合材料与混凝土、钢材、砌体的粘结强度。FRP 与混凝土的粘结强度测试显示,采用优质结构胶时,粘结强度可达 3-6MPa,满足协同工作要求;ECC 与混凝土的粘结强度可达 2-5MPa,且在长期使用过程中粘结性能稳定;新型灌浆材料与混凝土的粘结强度可达 3-10MPa,能有效传递荷载。

3.2 耐久性测试与评价

3.2.1 抗腐蚀性测试

把加固构件放到模拟腐蚀环境里,定时检测构件力学性能的变化,FRP 加固混凝土构件在 5%NaCl 溶液里浸泡 180 天以后,抗弯承载力下降幅度小于 5%,比钢材加固构件要好得多,ECC 在 pH=1-13 的酸碱环境里浸泡过后,强度损失率小于 10%,抗腐蚀性很强,RPC 在盐雾环境中暴露 2000 小时之后,表面没有明显锈蚀,抗压强度损失率只有 3%-5%。

3.2.2 抗冻融性测试

采用快速冻融试验测试加固构件的抗冻性能。ECC 加固混凝土板经过 200 次冻融循环后,抗弯承载力损失率小于 8%,表面无剥落、裂缝;FRP 加固构件在冻融循环后,粘结强度变化较小,仍能保持良好的协同工作性能;新型灌浆材料冻融循环后的强度损失率小于 10%,满足寒冷地区的加固需求。

3.2.3 抗老化性测试

通过紫外线照射、高温高湿老化等试验模拟长期使用环境,检测复合材料的性能稳定性。CFRP 材料经过 1000 小时紫外线照射后,抗拉强度损失率小于 3%,ECC 在 70℃、95%相对湿度的环境中老化 1 年后,强度和韧性基本无变化;RPC 在高温高湿条件下长期养护后,结构致密性提高,耐久性增强。

3.3 长期性能测试与评价

3.3.1 长期荷载试验

对 FRP 加固混凝土梁施加长期荷载,持续观测 1-3 年,结果表明,梁的挠度增长趋于稳定,无明显 creep 破坏,FRP 与混凝土的粘结性能未出现退化;ECC 加固混凝土板的长期荷载试验显示,板的长期挠度仅为普通混凝土板的 1/3-1/2,长期性能稳定。

3.3.2 徐变试验

测试新型复合材料及其加固构件的徐变特性,RPC 的徐变系数仅为普通混凝土的 1/5-1/3,徐变变形极小;FRP 材料的徐变性能优异,在长期荷载作用下几乎无徐变变形,能有效限制原结构的徐变发展;ECC 的徐变变形也远小于普通混凝土,确保加固结构长期使用过程中的变形控制在允许范围内。

4 结语

新型复合材料能有效打破传统加固材料的诸多瓶颈,由于它们有着较好的物理力学特性以及工程配套特性,在各种建筑结构的加强工作中具有广泛的应用前景。本文经由对其归类特性、应用类型及其成果表现进行较为系统的科研探究,来认可这种材料正在承载能力加强、阻止裂痕加重、保持长久度改善等方面的突出贡献,并认定部分材料仍存留有价钱、防火等改良空挡,可是由于材料技能不断转变,它对于利用空档的比例将在逐渐扩大。将来,新型复合材料在改良使用后会针对已有建筑加强修正、新型建筑保证稳定提供更加有效果的修正方案,有助于修建工程行业朝着提高材料质量、更新材料修建的方面坚定和稳定。

参考文献

- [1]李银稳.新型材料的节能环保建筑工程施工技术研究[J].张江科技评论,2025,(08):161-163.
- [2]马伟波.新型高性能复合材料在建筑工程中的应用及性能分析[J].石材,2025,(02):126-129.
- [3]丁春成.建筑工程用新型改性水泥基复合材料研究[J].合成材料老化与应用,2024,53(06):76-79.
- [4]王奕.新型复合材料模板在建筑工程中的应用分析[J].现代物业(中旬刊),2020,(01):48.

作者简介:张艳妮,1991.27,女,汉族,党员,陕西西安,本科,中级工程师。