

新型复合材料在建筑结构加固中的创新应用探究

曹巍

秦皇岛金洋建设集团有限公司, 河北 秦皇岛 066000

[摘要]研究目的在于探讨新型复合材料用于建筑结构加固的创新性应用和性能优势。通过详细分析纤维增强复合材料的各种类型、力学属性以及其在不同环境下的适应性,我们进一步探讨了外包裹、粘贴和预应力加固技术在实际工程应用中的方法和效果,并以典型案例为例,从性能、施工效率、经济性等方面进行评价。研究表明:新型复合材料加固可显著增强结构承载力,延长使用寿命,且在施工周期和成本控制等方面均优于传统方法。建立长期性能监测及安全评估体系对确保结构可靠性及加固效果的持续性也起着举足轻重的作用。研究结论表明复合材料加固技术在高性能、可持续以及精细化等方面有一定的潜力,可为提高建筑结构的安全性提供科学依据。

[关键词]新型复合材料;建筑加固;纤维增强;长期性能监测;安全评估

DOI: 10.33142/aem.v8i3.19443

中图分类号: TU746

文献标识码: A

Innovative Application of New Composite Materials in Structural Reinforcement of Buildings

CAO Wei

Qinhuangdao Jinyang Construction Group Co., Ltd., Qinhuangdao, Hebei, 066000, China

Abstract: The study aims to explore the innovative applications and performance advantages of novel composite materials in the reinforcement of building structures. By conducting a detailed analysis of various types of fiber-reinforced composites, their mechanical properties, and adaptability under different environmental conditions, we further examine the methods and effects of external wrapping, bonding, and prestressed reinforcement techniques in practical engineering applications. Using typical case studies as examples, evaluations are conducted from aspects such as performance, construction efficiency, and cost-effectiveness. The research findings indicate that composite material reinforcement can significantly enhance structural load-bearing capacity and extend service life, while outperforming traditional methods in terms of construction cycle and cost control. Establishing long-term performance monitoring and safety assessment systems also plays a pivotal role in ensuring structural reliability and the sustainability of reinforcement effects. The conclusions demonstrate that composite material reinforcement technology holds potential in high performance, sustainability, and precision, providing a scientific basis for improving the safety of building structures.

Keywords: novel composite materials; structural reinforcement; fiber reinforcement; long-term performance monitoring; safety assessment

引言

新型复合材料具有高强度、轻质、耐腐蚀和优良的力学性能等特点,在建筑结构加固领域中逐渐成为一种重要的工艺选择。传统的钢筋混凝土加固方法在城市更新,老旧建筑加固及抗震改造的工程实际中普遍存在着建设周期较长,增重显著问题、耐久性有限等,复合材料加固技术则通过对材料性能和施工方式的优化来达到提高结构承载力和减轻自重的目的。随着材料科学以及施工工艺的不断发展,复合材料应用模式越来越多样,主要有外包裹,粘贴以及预应力加固技术途径,但也对材料的长期性能监

测和安全评估有新的要求。对其加固机理,工程应用效果以及经济性等方面进行系统地研究,不仅有利于促进加固技术的革新与发展,而且还可为建筑结构安全性,耐久性以及可持续性等方面提供科学依据。

1 新型复合材料种类和性能优势

1.1 纤维增强复合材料分类及基本性能

根据增强体的种类,纤维增强复合材料主要有碳纤维复合材料,玻璃纤维复合材料和芳纶纤维复合材料,各种材料的力学性能和工程适用性呈现出明显的区别。碳纤维复合材料因其高强度、高弹性模量和出色的抗疲劳特性,

特别适合于需要高承载能力的建筑加固工作；玻璃纤维复合材料因其低成本和出色的耐腐蚀特性，非常适合大规模的推广和应用；芳纶纤维复合材料在抗冲击性能和韧性方面显示了较好的优越性^[1]。从基本性能上看，这类材料一般都表现出轻质高强，各向异性显著以及可设计性强等特点，可以通过纤维排列方式和基体性能的变化来达到力学行为优化调控以适应复杂结构的增强需要。同时它卓越的耐久性和环境适应能力也使得它能够在复杂的服役条件中依然保持稳定性能。

1.2 力学性能的增强机理和耐久性的体现

这种新型复合材料利用高性能纤维和基体材料之间的协同作用实现了多相界面之间应力的有效转移，使结构承载能力和抗裂性能得到显著增强。纤维高强度和高模量的特点可以有效地抑制裂缝的扩展，同时基体材料为粘结和保护环境提供了稳定性，使得整体受力更均匀。从微观上看，界面过渡区优化强化了能量耗散能力和抗疲劳性能^[2]。耐久性上，该复合材料显示了优良的抗腐蚀，抗渗透和抗环境老化性能，并且在湿热，盐雾和冻融循环的复杂条件下仍然能够保持稳定性能。另外，该材料低自重特性降低了结构的附加应力，对于延长结构服役寿命有积极影响。

1.3 轻质高强特征减轻结构负担效果

新型复合材料由于具有显著轻质高强特性而在建筑结构加固方面表现出了突出减负效应。与传统钢材和混凝土材料相比较，密度显著减小，抗拉强度和比强度显著提高，达到了承载力和刚度均得到有效提高的目的，同时又没有增加原有结构自重^[3]。这一特点可以减小结构附加荷载、减小基础和构件内力重分布的负面影响，进而增强结构的整体受力性能和安全储备。同时轻质材料施工时对原结构干扰小，利于维护既有结构完整性和稳定性。有关工程实践证明，高性能纤维复合材料加固能在达到设计强度的前提下，显著优化结构的质量分布、改善抗震性能和耐久性，体现了较好的工程适应性和推广价值^[4]。

2 建筑结构加固关键技术路径研究

2.1 外包裹加固技术原理及实现

外包裹加固技术是以新型复合材料和原有结构的协同受力机制为基础，将高性能的纤维材料贴附或者缠绕于构件的表面，从而达到应力再分布和承载能力增强的目的。它的核心原理是利用纤维材料的优良抗拉性能对混凝土或者砌体结构产生有效的约束以抑制裂缝扩展，改善延性和抗震性能^[5]。在执行过程中，基底需要打磨，清理及缺陷修补等工序才能确保界面黏结性的稳定性；然后根据设计要求制备树脂并铺纤维布，以保证纤维的取向和主应力

的取向相同；最后经固化处理，构成一个整体受力体系。该项技术施工方便，自重增加少，对原结构干扰小，在既有建筑加固方面显示了较好的工程适用性。

2.2 粘贴加固技术施工过程及重点

粘贴加固技术以界面粘结作为其核心技术，通过纤维增强复合材料与原有结构之间形成可靠的协同受力体系，实现结构承载力与整体刚度的显著提升。施工流程一般包括基面处理、缺陷修补、界面打磨及清洁等关键环节，以保证粘结面的粗糙度、平整度及洁净度满足施工规范要求，为后续粘贴提供良好的界面条件；随后通过底胶涂布与找平处理，有效改善界面的浸润性与附着性能，增强复合材料与基体之间的粘结强度；在此基础上，按照设计受力方向铺设纤维复合材料，并均匀涂布树脂胶黏剂，通过专用滚压工具反复压实以消除气泡和空鼓现象，确保应力传递连续且均匀；最后通过规范的固化养护及表面防护处理，进一步提高加固体系的耐久性与环境适应能力。其关键技术要点在于严格控制施工环境的温湿度条件，精准控制胶黏剂配比，防止界面污染和施工缺陷，同时在保证加固效果稳定性与长期耐久性的前提下，重点控制粘结层厚度及纤维铺设方向的精确性，以全面提升加固质量。

2.3 预应力复合材料增强技术的应用

预应力复合材料加固技术是将初始拉应力作用于结构受力构件的表面以达到主动调节原结构受力状态，使其承载能力和刚度水平得到显著提高。这项技术主要使用碳纤维增强的复合材料，在张拉装置的作用下，形成了一个稳定的预应力系统，有效地延缓了裂缝的扩展并抑制了变形的进一步发展。与传统的被动加固方式相比，预应力复合材料能够充分发挥材料的高强性能、减小应力滞后效应、促进加固效率的提高。将它用于桥梁梁板和混凝土梁柱的施工，结果表明它对于疲劳性能和耐久性的提高有明显的效果。同时施工过程中对于锚固体系和张拉控制的精度要求很高，需要考虑到结构的实际受力特征，精细化设计才能保证加固效果可靠和长期稳定。

3 对工程应用效果和进行经济性进行分析

3.1 对典型工程案例进行应用效果评价

在已有的建筑加固经验中，纤维增强的复合材料在桥梁梁体的裂缝修补和框架柱的承载能力增强等项目中已经得到了实证。经典实例显示，当使用碳纤维布进行外部加固时，构件的最大承载能力可以增加 20%~40%，同时其延展性和抗疲劳性也得到了明显的提升。同时结构的自重提高不大，对原受力体系的作用受到限制。现场测试数据表明：加固后有效地抑制了裂缝的发展，提高了变形的

协调性。沿海高腐蚀环境下,该复合材料展现出了优异的耐久性,明显优于常规钢板加固方式。综合评价结果表明,此类材料对增强结构的安全性和延长使用寿命有较好的应用效果。

3.2 并与传统加固方法进行了性能比较

与钢板加固和混凝土扩大截面的常规方法相比,这种新型复合材料的力学性能和施工适应性显示了明显的优越性。纤维增强的复合材料不仅具有更高的比强度和比刚度,而且在不明显增加结构自重的情况下,也能有效地提高其承载能力。同时其优异的抗腐蚀性能补偿了钢材易锈蚀等缺点,显著改善了结构耐久性。从施工层面上看,复合材料加固过程简单、对原有结构干扰小、适合复杂环境和既有建筑快速维修。相比较而言,传统方法通常具有施工周期长,湿作业多,使用功能受影响大等特点。综合考虑,这种新型复合材料的性能和工程适应性都有明显的优势。

3.3 施工周期及成本控制分析

将新型复合材料用于建筑结构加固,使施工周期和成本结构显著优化。与传统的混凝土加固或钢结构补强技术相比,纤维增强复合材料在施工流程简化、减少现场湿作业和缩短养护时间方面具有明显优势,本实用新型能够有效地缩短工期,减少对既有结构使用功能造成的扰动。从成本控制上看,虽然物料的初始投入比较大,但是轻质高强特点降低了运输和吊装的成本,也减少了对于大型机械设备的依赖性,因此在综合施工成本上体现了竞争优势。另外该复合材料优异的耐久性和抗腐蚀性能显著减少了后期维护频率和维修支出,从而达到了全寿命周期内费用的高效压缩。合理的设计施工方案和优化的材料配置可以进一步提高资源的利用效率,提高项目的经济性和可持续性。

4 发展挑战及今后的应用趋势

4.1 材料标准化和设计规范不完善的情况

新型复合材料用于建筑结构加固,面临着材料标准化和设计规范不完善等问题。尽管目前市场上纤维增强复合材料的种类繁多,但它们在力学特性、耐用性和施工适应性方面存在明显的差异,并且缺少一个统一的分类准则和性能评估体系,造成设计人员对材料的选择和结构的计算具有不确定性。另外,对于复合材料加固设计规范以及施工技术规程还不够健全,特别是承载力计算,粘结性能评价以及长期使用安全性等指标还不够明确。该规范缺口加大了工程风险并影响加固效果可预测可靠性。为此迫切需要建立一套系统的材料标准化体系及设计规范来指导结构加固工程科学选材,精准设计及施工管理等工作,进而促进复合材料加固技术可持续应用于建筑领域。

4.2 对施工质量控制和技术人员的培训要求

施工质量控制对新型复合材料加固工程的施工质量起着决定性的影响。复合材料的机械特性和持久性在很大程度上取决于施工过程中的精细操作,这包括对材料的比例、表面的处理方式、黏合技术以及固化的条件进行严格的管理。任何偏差都会造成界面失效或者强度降低,从而影响可靠的加固效果。与此同时,对高技能施工人员进行专业培训也就成了确保工程质量不可忽视的一个环节,它涉及到对材料特性的了解,施工工艺操作,施工安全规范以及监测技术的运用。经过系统化培训和评估,可以显著减少施工误差并促进加固工程一致性和安全性。另外,在施工过程中还应建立标准化的操作流程与质量监督机制,对施工质量进行全过程管理,从而为复合材料加固技术在工程中的大面积推广应用与长期性能可靠性的提高提供了保证。

4.3 长期性能监测和安全评估体系的建设

建立长期性能监测和安全评估体系是确保复合材料加固结构可靠性的关键。考虑到纤维增强复合材料在长时间荷载、环境侵蚀和温湿度变化下可能出现的性能退化,我们应该建立一个多层次、全过程的监测机制,包括应力应变在线监测,裂缝发展追踪和材料老化指标定期测试等。将传感技术和大数据分析相结合可以实现对结构健康状态进行动态评估并对加固效果进行量化。同时要改进安全评估模型并在风险分析中考虑材料性能退化规律,施工工艺误差和结构荷载历史等因素,以达到科学预警和决策支持的目的。通过系统构建长期监测和安全评估体系,可以有效地延长加固结构的服役寿命,增强公共建筑和关键基础设施运行的安全性和可靠性,为复合材料广泛地应用于建筑加固提供了坚实的支持。

5 结论

新型复合材料用于建筑结构加固表现了明显的力学性能优势及环境适应能力,可有效增强结构承载力,降低自重。采用外包裹、粘贴以及预应力加固等技术可以对不同结构形式以及薄弱部位进行精准加固以达到加固效果最优化。工程实践证明,该方法在耐久性,施工效率和经济性等方面都优于传统的加固方法,可为建筑更新和安全提升提供一条可行路径。但在材料标准化,施工质量控制和长期性能监测体系等方面还有待进一步改进,才能确保结构安全和加固效果持续可靠。今后智能化、多功能复合材料的开发以及科学的安全评估体系将促进复合材料加固技术朝着高性能,可持续以及精细化的方向发展,从而为建筑结构的安全性和耐久性提供稳固的

支持。

[参考文献]

- [1]王俊杰,曲德云,苏涛,等.纤维增强复合材料在建筑结构加固中的应用[J].佛山陶瓷,2026,36(2):152-154.
- [2]杨飞.老旧建筑结构加固技术中碳纤维增强复合材料的应用效能探讨[J].住宅与房地产,2025(29):38-40.
- [3]陈伟.高性能纤维增强复合材料在建筑加固中的应用[J].造纸装备及材料,2025,54(9):58-60.
- [4]路平,薛斐.高性能纤维增强复合材料在建筑结构加固中的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025(27):165-167.
- [5]黄鹏.新型高性能纤维增强复合材料在桥梁加固与新建中的创新应用研究[J].汽车周刊,2025(10):101-103.

作者简介:曹巍(1998.5—),女,毕业院校:张家口职业技术学院,专业:工程造价,目前就职单位:秦皇岛金洋建设集团有限公司,职务:资料员。