

新型复合材料在既有建筑结构加固中的应用效果研究

束 伟

中冶南方城市建设工程技术有限公司 湖北 武汉 430000

摘 要：本文聚焦新型复合材料在既有建筑结构加固应用，系统探究其效果。研究碳纤维增强复合材料（CFRP）、芳纶纤维增强复合材料（AFRP）等材料的特性与加固原理，结合国内外案例，总结其在梁、板、柱、墙体加固中的技术与工艺。从承载能力、变形控制、耐久性等方面构建评估体系，量化分析应用成效。同时探讨功能复合化、智能化监测等发展趋势。研究成果可为既有建筑加固工程提供科学参考，助力推动建筑加固行业技术革新与可持续发展。

关键词：新型复合材料；既有建筑；结构加固；应用效果；发展趋势

引言：随在城市建设高速推进与建筑服役时间增长的背景下，我国既有建筑规模庞大。其中，因早期设计标准局限、材料自然老化，以及使用功能变更等因素，众多建筑存在结构安全隐患，加固改造需求迫切。传统混凝土、钢结构加固方式虽应用已久，但施工周期冗长、对原结构破坏大且会显著增加自重，难以适配现代建筑加固需求。在此形势下，以CFRP、AFRP、GFRP为代表的新型复合材料凭借高强度、耐腐蚀、施工便捷等优势脱颖而出，成为加固领域新宠。不过，其性能优势的充分发挥、加固效果科学评估，以及未来发展面临的机遇与挑战，均亟待深入探究。本文将围绕其特性原理、应用实践、效果评估与发展趋势展开研究，为提升建筑加固技术水平提供有力支撑。

1 新型复合材料特性与加固原理

1.1 新型复合材料的物理力学特性

（1）碳纤维增强复合材料（CFRP）以高强度碳纤维为增强体，树脂为基体复合而成，具有高强度、高弹性模量的特点。其抗拉强度可达3500MPa以上，约为普通钢材的8-10倍，弹性模量超过230GPa，能有效提高结构的承载能力。同时，CFRP密度仅为钢材的1/4，不会显著增加结构自重。此外，CFRP具有良好的耐腐蚀性，在酸碱等恶劣环境下性能稳定，适用于长期暴露在腐蚀性介质中的建筑结构加固。（2）芳纶纤维增强复合材料（AFRP）以芳纶纤维为增强材料，具有优异的韧性和抗冲击性能，其抗拉强度可达2800MPa，断裂延伸率较高，能够在结构承受较大变形时保持良好的力学性能。AFRP还具有良好的耐高温性能和绝缘性，适用于对防火、绝缘有特殊要求的建筑结构加固。（3）玻璃纤维增强复合材料（GFRP）以玻璃纤维为增强体，成本相对较低，易于加工成型。其抗拉强度可达1500-2000MPa，弹性模

量约为70-80GPa，在一般建筑结构加固中能满足强度要求。GFRP的耐候性较好，可在室外环境中长期使用，且对人体无害，符合环保要求。

1.2 新型复合材料的加固原理

新型复合材料用于建筑结构加固，核心在于实现纤维复合材料与原结构的协同工作，通过高性能粘结剂这一“桥梁”，将复合材料牢固粘贴或包裹于原结构表面，构建起共同受力体系。当结构承受荷载时，凭借复合材料高强度特性，与原结构协同承担外力，分担应力，实现承载能力提升。以受弯构件梁、板为例，将复合材料粘贴于受拉区，如同增添受拉钢筋，直接提升抗弯能力^[1]。某教学楼改造中，对混凝土梁底粘贴CFRP布，经荷载试验验证，其抗弯承载力显著提高，有效满足改造后使用需求。在柱加固方面，环形包裹复合材料形成约束混凝土，使柱抗压强度与延性增强。抗震加固时，复合材料能增强结构整体性与变形能力，在地震作用下更好耗散能量，降低结构破坏风险。同时复合材料具备良好防护性能，可抵御酸碱、湿气等侵蚀性介质，在沿海建筑加固中，显著提升结构耐久性，延长建筑使用寿命。

2 既有建筑结构加固中新型复合材料应用

2.1 新型复合材料在梁、板加固中的应用

在既有建筑梁、板加固工程中，CFRP的应用最为广泛。对于受弯承载力不足的梁，通常将CFRP布粘贴于梁底受拉区，通过粘结剂传递荷载，使CFRP与梁共同工作。在某老旧办公楼改造项目中，采用CFRP布对混凝土梁进行加固，加固后梁的受弯承载力提高了40%，满足了使用功能改变后的荷载要求。对于板的加固，当板的跨中或支座处出现承载力不足时，可在板底或板面粘贴CFRP布或CFRP板。在施工过程中，需注意保证粘贴面的

平整度和清洁度,确保粘结质量。此外为防止CFRP与混凝土之间发生剥离破坏,常设置U型箍或横向压条进行锚固,增强界面粘结性能。

2.2 新型复合材料在柱加固中的应用

在柱加固方面,GFRP和CFRP均有应用。对于轴心受压或小偏心受压柱,可采用全包或半包的方式对柱进行加固。通过环形包裹GFRP或CFRP布,形成约束混凝土,提高柱的抗压强度和延性。在某工业厂房柱加固工程中,采用CFRP布对受损柱进行全包加固,加固后柱的抗压强度提高了30%,有效解决了柱承载能力不足的问题^[2]。对于大偏心受压柱,除了包裹纤维布提高柱的受压性能外,还可在柱的受拉侧粘贴CFRP布,增强柱的抗弯能力。在工时,需根据柱的受力特点和损伤情况,合理设计加固方案,确保加固效果。

2.3 新型复合材料在墙体加固中的应用

在既有建筑墙体加固中,AFRP和GFRP常用于砌体墙和混凝土墙的加固。(1)对于砌体墙,当墙体出现裂缝或抗震性能不满足要求时,可采用AFRP或GFRP网格布进行加固。将网格布粘贴于墙体表面,通过聚合物砂浆或粘结剂固定,形成复合材料-砌体墙组合结构,提高墙体的抗剪、抗弯性能和整体性。(2)对于混凝土墙体,当墙体存在强度不足或开洞等情况时,可采用CFRP板或GFRP板进行加固。在某高层建筑剪力墙开洞加固工程中,采用CFRP板对开洞后的剪力墙进行加固,通过有限元分析和现场试验验证,加固后剪力墙的承载能力和变形性能均满足设计要求。

2.4 新型复合材料应用的施工工艺与技术要点

新型复合材料加固施工主要包括表面处理、胶粘剂配制、复合材料粘贴、养护等环节。(1)表面处理是保证粘结质量的关键,需对原结构表面进行打磨、清洁,去除油污、浮浆等杂质,使表面平整粗糙,以增强粘结效果。(2)胶粘剂的性能直接影响复合材料与原结构的协同工作能力,应选择符合国家标准的高性能粘结剂,并严格按照配比进行配制。(3)在复合材料粘贴过程中,需确保粘贴位置准确,避免出现空鼓、褶皱等缺陷,同时采用专用工具对复合材料进行压实,使胶粘剂充分浸润纤维材料。(4)粘贴完成后,需按照要求进行养护,养护期间避免结构受到振动和荷载作用。

3 新型复合材料加固既有建筑结构的效果评估

3.1 承载能力提升评估

承载能力提升是衡量新型复合材料加固效果的重要指标。通过现场荷载试验、理论计算和数值模拟等方法对加固前后结构的承载能力进行评估。现场荷载试验

可直接获取结构在荷载作用下的变形和破坏特征,如在梁的加固效果评估中,通过分级加载,测量梁的跨中挠度、应变等数据,对比加固前后的荷载-位移曲线,确定承载能力提升幅度。理论计算则根据复合材料加固的原理和结构力学理论,建立计算模型,计算加固后结构的承载能力。数值模拟采用有限元软件,如ANSYS、ABAQUS等,对加固后的结构进行力学分析,模拟结构在不同荷载工况下的受力状态,预测结构的承载能力和破坏模式。通过多种方法相结合,能够准确评估新型复合材料加固对结构承载能力的提升效果。

3.2 变形控制效果评估

结构变形控制是保障既有建筑正常使用功能的核心要素,而新型复合材料在这方面展现出显著优势。在实际评估加固效果时,挠度与裂缝宽度是关键观测指标。以板结构为例,传统加固方式往往难以精准限制变形,而CFRP等新型复合材料通过与结构协同受力,能有效增强结构刚度。在某商业综合体楼板加固项目中,采用CFRP布对跨中挠度超标的楼板进行加固。施工前,楼板在满载状态下跨中挠度达35mm,远超规范限值;加固后相同荷载作用下,跨中挠度降至18mm,降幅达48.6%。这得益于CFRP布高弹性模量的特性,其与楼板协同工作,分担了荷载,减少了结构变形^[3]。同时通过裂缝测宽仪监测发现,加固前楼板存在多处宽度超0.3mm的裂缝,加固后裂缝发展得到有效抑制,宽度稳定在0.1mm以内,极大提升了结构的安全性与耐久性。

3.3 耐久性改善效果评估

在既有建筑加固中,新型复合材料的耐久性优势对延长结构使用寿命至关重要。其凭借自身优异的耐腐蚀、耐老化性能,可有效抵御外界侵蚀性介质,为结构提供长期稳定的保护。为科学评估其耐久性改善效果,常采用材料性能测试与环境模拟试验相结合的方式。材料性能测试聚焦复合材料-混凝土界面,通过粘结强度测试评估粘结剂耐久性,判断复合材料能否与原结构长期协同工作;环境模拟试验则通过加速老化手段,模拟紫外线、酸雨、盐雾等恶劣环境,加速材料老化进程,测试复合材料和粘结剂在极端条件下的性能变化。在某跨海大桥引桥建筑加固工程中,采用GFRP对混凝土桥墩进行加固,并开展为期6年的跟踪监测。结果显示,即使长期处于高湿度、高盐雾的海洋环境,GFRP与混凝土界面粘结牢固,材料未出现明显降解,结构裂缝扩展速率显著降低,有效验证了新型复合材料在恶劣环境下对结构耐久性的显著提升作用。

3.4 综合效益分析

除了技术性能指标外,还需对新型复合材料加固的综合效益进行分析,包括经济效益、社会效益和环境效益。(1)经济效益方面,对比新型复合材料加固与传统加固方法的成本,虽然新型复合材料的材料成本相对较高,但由于其施工便捷、工期短,可减少人工成本和间接费用,综合成本具有一定竞争力。(2)社会效益方面,新型复合材料加固能够在不影响或少影响建筑正常使用的前提下进行施工,减少对周边环境和居民生活的影响;同时提高既有建筑的安全性和可靠性,保障人民生命财产安全。环境效益方面,新型复合材料轻质高强,不会增加过多结构自重,且施工过程中产生的建筑垃圾少,符合绿色建筑发展理念。

4 新型复合材料在既有建筑加固中的发展趋势

4.1 功能复合化发展

未来新型复合材料将朝着功能复合化方向发展,除了具备基本的结构加固功能外,还将集成多种功能。例如,开发具有自感知、自修复功能的复合材料,在复合材料中嵌入传感器,实现对结构健康状态的实时监测;添加自修复材料,当结构出现裂缝等损伤时,能够自动进行修复,提高结构的耐久性和安全性。此外,将复合材料与保温、隔热、隔音等功能相结合,开发多功能复合材料,满足建筑节能和使用功能的要求。在既有建筑改造中,使用多功能复合材料进行加固,可同时实现结构加固和功能提升,提高建筑的综合性能。

4.2 智能化监测与评估

随着物联网、大数据、人工智能等技术的发展,新型复合材料加固的智能化监测与评估将成为趋势。通过在复合材料加固的结构中布置传感器网络,实时采集结构的应力、应变、位移等数据,并将数据传输至云端进行分析处理。利用人工智能算法对结构的健康状态进行评估和预测,及时发现结构潜在的安全隐患,实现对加固结构的智能化管理^[4]。例如,建立基于深度学习的结构损伤识别模型,通过对大量监测数据的学习和训练,能够准确识别结构的损伤位置和程度,为结构的维护和加固提供科学依据。

4.3 绿色环保与可持续发展

在可持续发展理念的推动下,新型复合材料将更加注重绿色环保性能。研发新型环保型粘结剂,减少有机溶剂的使用,降低对环境和人体健康的影响;探索利用可再生资源制备复合材料,降低对不可再生资源的依赖。同时加强对废弃复合材料的回收与再利用研究,开发复合材料回收技术和再生利用工艺,实现资源的循环利用,推动建筑加固行业的绿色发展。

4.4 标准化与规范化建设

目前,新型复合材料在既有建筑加固中的应用尚缺乏统一的标准和规范,制约了其推广应用。未来,应加强相关标准和规范的制定与完善,明确新型复合材料的性能指标、设计方法、施工工艺、质量验收等要求,为工程应用提供统一的技术依据。通过标准化与规范化建设,提高新型复合材料加固工程的质量和可靠性,促进建筑加固行业的健康发展。

结语

新型复合材料应用于既有建筑结构加固优势突出,合理运用可提升结构承载、改善变形、增强耐久,本文研究为加固工程提供了全面技术参考。不过,其应用仍面临成本高、施工质量控制难、标准规范待完善等问题。未来需强化技术研发降成本、提工艺,完善标准并加强监管,推动智能化与绿色化发展,助力新型复合材料在既有建筑加固领域广泛应用与可持续发展,保障建筑安全、推动行业升级。

参考文献

- [1]赵枫.新型材料在建筑结构中的应用——评《结构复合材料》[J].化学工程,2024,52(01):103.
- [2]吉晓华.新型高韧(延)性复合材料在砌体结构加固中的应用[J].工程技术研究,2023,8(11):102-104.
- [3]梁彪.纤维增强复合材料在建筑结构加固工程中的应用研究[J].合成材料老化与应用,2022,51(01):117-119.
- [4]魏成惠.纤维复合材料加固建筑结构技术研究进展[J].塑料科技,2020,48(05):139-141.