

碳纤维在老旧建构物加固改造项目中的应用

李一秋

中国华西工程设计建设有限公司青岛分公司 山东青岛 266000

摘要: 随着时间的推移,大量的老建筑结构出现了结构性能退化和功能不能满足现代化要求的问题。这不仅关系到建筑物的安全和耐久性,而且关系到社会资源的高效使用。就是在这种情况下,我国的房屋加固改造产业才得以兴起,并得到了快速的发展。政策层面对此给予了高度关注,出台了一系列鼓励老旧建筑更新和旧城更新的政策,有力地推动了这一产业的发展。随着科技的发展,对既有建筑结构进行加固改造,也带来了新的机遇。传统加固方法存在施工繁琐、对原有结构损伤大、施工周期长等缺点,碳纤维加固技术因其独特的优点而逐渐受到关注。碳纤维因其高强、高模量、抗腐蚀性和易施工等特点,可有效解决传统补强方法存在的诸多不足。因此,开展碳纤维加固加固技术的研究具有十分重要的意义,不仅可以提高老建筑结构的安全与使用年限,而且可以对建筑功能进行一定程度的优化升级。

关键词: 碳纤维;老旧建构物;加固改造;项目应用

引言

在建筑业中,对建筑物进行加固改造是一项既复杂又重要的课题。它涉及到建筑结构的力学原理,材料特性,施工技术,以及与现代功能要求的匹配性。碳纤维作为一种新型的增强材料,其应用于建筑领域仍在不断地发展与完善之中。在此基础上,综合应用多学科知识,从理论到实践,不断深入探讨。通过研究,可进一步揭示碳纤维增强混凝土加固机理,为工程应用提供科学依据。同时,对其应用过程中可能出现的问题与挑战进行研究,不断探索解决方法,促进其更广泛的应用。

一、碳纤维材料的核心特性与传统加固工艺对比优势

1. 超高性能力学特性: 强度与刚度的双重突破

碳纤维复合材料在力学性能方面表现出众,其抗拉强度可达普通钢材的4-8倍,而重量仅为钢材的1/4-1/5。这种高强轻质的特性使其在加固应用中具有显著优势,特别是在跨度大、荷载敏感的结构中,能有效提升承载能力而不明显增加结构自重。

碳纤维材料的弹性模量与钢材相近,但其疲劳抵抗能力远超钢材,能够承受反复荷载作用而不易疲劳破坏。此外,碳纤维材料不存在类似钢材的屈服点,在达到极限强度前始终保持弹性状态,这一特性使得加固设计更为简单可靠。与传统的粘钢法相比,碳纤维不会因腐蚀而导致截面减弱,能长期保持初始设计强度。

2. 卓越耐久性与环境适应性: 降低全生命周期成本

碳纤维材料具有卓越的耐腐蚀性,能够抵抗酸、碱、盐等化学物质的侵蚀,这一特性显著优于传统钢材。研究数据表明,在腐蚀性环境中,碳纤维加固结构的使用寿命可比钢板加固延长2-3倍,大幅降低了长期维护成本。

碳纤维材料的温度适应性也极为出色,能在-50℃至150℃的广泛温度范围内保持性能稳定,不会像普通胶粘剂那样在高温下软化失效。近年来,针对特殊环境开发的耐高温碳纤维复合材料已能在125℃高温下正常固化并保持强度,扩大了碳纤维技术在特殊工况下的应用范围。

此外,碳纤维与混凝土、砌体等基底材料具有良好的相容性,在粘接过程中不会出现材料性能差异引起的界面损伤,从而大幅延长加固结构的使用寿命,降低后期维修的频率和投入。

3. 施工便捷性与微创性: 契合存量改造效率需求

碳纤维材料在建造上的便利性和微创性,精准匹配既有建筑结构既有更新改造的效率要求,实现传统加固方式的升级。传统加固方法(如粘贴钢板、补强等)需采用大型施工设备,施工过程繁琐,对原建筑结构有很大干扰,甚至需拆除部分构件,不仅导致施工周期延长,而且会破坏原有建筑的原有风貌和结构肌理。碳纤维材料的特点是轻薄易切割,施工过程中不需要大型的,只需要对其进行裁剪、涂胶、铺贴等简单的工序就可以

完成作业，具有很强的空间适应能力，特别适用于空间狭窄或结构复杂的加固工作。其“微创手术”式的建造理念，可以将建筑本身的原有信息保存到最低，极大地提高了既有建筑的建设效率。

表1 碳纤维加固与传统加固方法施工性能对比

特性	碳纤维加固	粘钢加固	增大截面法
施工周期	短（1-3天）	中等（3-7天）	长（7-14天）
所需设备	简单手工工具	起重、焊接设备	模板、混凝土设备
空间要求	极小，不影响使用	需一定操作空间	显著减少使用空间
湿作业量	极少	中等	大量
环境影响	小	中等	大

二、碳纤维在不同类型老旧建构筑物中的应用技术及场景适配

1. 混凝土结构加固：多元场景主力方案

碳纤维技术在混凝土结构加固中应用最为广泛，主要包括抗弯加固、抗剪加固和抗震加固三大类型。对于混凝土梁板构件的抗弯加固，通常将碳纤维布粘贴于受拉区，使其与混凝土协同受力，替代或补充原有钢筋的功能。2025年最新的技术发展是将预应力碳纤维技术应用于混凝土梁加固，通过预先施加应力，更高效地利用碳纤维的高强特性，减少应力滞后现象。

在抗剪加固方面，碳纤维布以U形或环形包裹方式粘贴于梁柱构件周围，有效约束混凝土变形，提高构件抗剪能力。与传统的粘钢法相比，碳纤维包裹更为紧密，能提供更为均匀的约束应力，显著改善构件的延性和耗能能力，这对于提高建筑物的抗震性能尤为重要。

2. 砌体结构加固：历史建筑与民居优选方案

砌体结构，特别是历史建筑和旧民居，常存在抗拉强度低、整体性差等问题。碳纤维加固技术能够有效提高砌体结构的抗拉强度和整体性，同时最大限度地保持其历史风貌。对于砌体墙体的加固，通常采用双面粘贴碳纤维布的方式形成复合结构，大幅提高墙体的平面外抗弯能力。

在砌体结构的抗震加固中，碳纤维网格加固系统表

现出独特优势。该系统将碳纤维网格置于墙体抹面层内部，既保证了加固效果，又不改变建筑外观，非常适用于历史保护建筑和文化遗址的加固修复。与传统的钢筋混凝土面层加固相比，碳纤维加固不会显著增加墙体重量和基础负荷，保持了原结构的受力特性。

三、碳纤维加固施工关键控制点与质量验收体系

1. 施工全流程关键控制点

施工关键控制点

基层处理是碳纤维加固效果的基础保障。根据GB 50550-2010《建筑结构加固工程施工质量验收规范》要求，被加固构件表面必须进行全方面打磨，去除风化层和污物，露出坚实基层，并保持绝对干燥。对于混凝土构件，裂缝宽度大于0.2mm时需先进行封闭处理；对于钢材表面，需彻底除锈并达到适当的粗糙度。

胶粘剂施工是影响加固质量的关键环节。必须严格按厂家提供的配比和搅拌工艺制备胶粘剂，并在适用期内完成涂刷。2025年新型改性环氧树脂胶粘剂的研发成功，大幅提高了固化速度和粘结强度，其钢对钢拉伸抗剪强度可达21MPa，远超国家标准要求的15MPa。在低温环境下施工，还需采用特种低温固化胶粘剂，确保粘结效果。

碳纤维布粘贴与固化过程需严格控制。粘贴时必须充分滚压，排除气泡，保证胶粘剂均匀饱满。多层粘贴时，应在上一层指干时立即粘贴下一层，避免层间污染。固化期间需避免水分和灰尘污染，并防止局部温度过高导致固化不均。与传统的粘钢法相比，碳纤维加固无需焊接和螺栓连接，避免了局部应力集中问题。

2. 质量验收标准与数字化赋能

质量验收规范和数字赋能是碳纤维加固施工质量控制的关键环节，为工程质量提供全方位的保证。核心验收指标要全面覆盖粘贴质量、铺贴质量和固化后的力学性能，明确要求粘贴表面不能出现空鼓、翘边，碳纤维布不能起皱和破损，同时要保证固化后的力学性能符合设计要求，用明确的指标来判定工程质量是否合格^[9]。检测方法方面，在传统外观检验、锤击法检测粘结质量

表2 碳纤维加固工程质量验收主要指标

检测项目	合格标准	检测方法	频率要求
基层强度	≥ C15	回弹法/钻芯法	每构件不少于3处
粘结空鼓率	单处面积 < 100cm ² ，总面积 < 5%	敲击法	全面检查
碳纤维布厚度	公称厚度 ± 10%	超声波测厚仪	每批次抽查
胶粘剂粘结强度	≥ 2.5MPa，且混凝土内聚破坏	拉伸粘结试验	每500m ² 一组
加固尺寸偏差	宽度 ± 5mm，位置 ± 10mm	钢尺测量	每构件检查

的基础上,主动引入数字化技术,提高粘结质量,借助超声、红外热像等数字化检测手段,实现粘结层内部质量的无损检测,实现隐蔽缺陷的准确识别,并通过数字化平台实时采集、分析和存储验收数据,建立可溯源的质量验收体系,有效提高验收结果的客观性和可靠性,为碳纤维加固工程的质量提供更加全面和准确的保障。

四、碳纤维加固技术应用瓶颈与优化推广路径

1. 现存核心挑战

技术和成本瓶颈、市场和认知障碍是碳纤维加固技术实用化所面临的核心挑战。在技术层面上,已有技术体系难以适应复杂结构加固场景,部分关键工序对作业精度要求非常高,操作偏差可能导致加固效果不稳定,且技术更新迭代速度远不能满足新结构加固要求。在成本上,由于碳纤维原料的生产工艺比较复杂,所以它的价格一直比较高,再加上一些辅助材料如粘合剂的成本也比较高,此外,在施工过程中依赖专业设备和技术人员,使整个工程的成本进一步上升,一些项目迫于成本压力而放弃了这项技术。市场和认知障碍表现在:行业内从业人员对碳纤维加固技术优势认识不足,仍以传统方法为主,市场上缺乏对其性能验证体系的统一认识,导致技术推广过程中存在信任障碍,部分业主对技术效果存在疑虑,持观望态度,制约该技术的推广应用。

2. 技术优化与创新方向

工艺优化与创新是突破CFRP应用瓶颈的关键,需要从工艺、材料和性能三个方面持续努力。在工艺改进方面,应注重简化施工过程和提高自动化程度,减少对人工作业的依赖,开发新的施工装备,实现关键过程的精确控制,提高施工效率,减少操作误差,提高技术应用的稳定性。在材料研发方面,需要重点突破碳纤维原料的制备技术,在保证性能的同时,降低生产成本,同时开发出与之相匹配的高性能胶粘剂,提高其与碳纤维及基材的结合强度,增强其抗老化、耐腐蚀等性能,延长加固结构的使用寿命。以碳纤维增强复合材料为研究对象,以提高其对复杂环境的适应能力为目标,以提高其对复杂环境的适应能力为目标,通过技术创新,实现对加固效果的准确预测,为其应用提供更加科学的理论支持,促进该技术向更高品质、更广的方向发展。

3. 产业化推广与产业链协同

从产业链整合、市场培育和协作机制构建三个层面

来推进碳纤维增强技术的产业化推广和产业链协同,是实现碳纤维增强技术可持续发展的核心途径^[4]。在产业链的整合上,要将碳纤维原料生产、配套材料研发、施工设备制造、工程建设和后维修等各个方面都打通,构建起上下游企业之间的合作产业链体系,在资源共享和技术互补的基础上,将各个环节的成本都降下来,让整个产业链的运作效率得到提升,避免由于各个环节脱节而造成的成本上升和效率损失。在市场培育方面,需要加强行业宣传和技术培训,利用行业展会和技术研讨会等方式,将碳纤维增强技术的优势和应用场景进行推广,提高行业从业人员和业主的认识程度,同时,通过构建技术应用案例库和效果评价平台,提高市场对该技术的信任度,促使更多项目主动采用该技术。在合作机制建设方面,要促进科研院所、大学、企业和政府部门之间的长期合作,形成“产学研用”一体化的合作模式,加快科研成果向实际应用转化的速度,同时加强企业之间的技术交流与合作,解决技术难题,促进产业技术进步和产业化发展。

结束语

综上所述,采用碳纤维加固技术对既有建筑结构进行加固改造,是一种切实可行的方法。它不仅可以有效地提高老建筑的安全与使用功能,而且可以达到资源节约与环境保护的目的。随着技术水平的不断提高和实践经验的不断积累,碳纤维加固技术将会越来越完善,其应用范围也会越来越广。展望未来,碳纤维增强复合材料必将在建筑业中发挥更大的作用,促进城市可持续发展,延长建筑寿命。

参考文献

- [1] 吴雨航. 旧建筑改造中的结构加固技术及其实施效果研究[J]. 鞍山师范学院学报, 2024, 26(06): 24-28+74.
- [2] 杨健. 建筑结构抗震设计及加固改造技术[J]. 建材发展导向, 2024, 22(21): 40-42.
- [3] 李景旺. 钢筋混凝土结构加固设计的方法与实践案例分析[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(10): 9-11.
- [4] 孟琦. 对钢筋混凝土结构加固方法的研究[J]. 建筑, 2024, (09): 126-127.