

# 碳纤维加固法在工程中的应用

牛振海

中煤第三建设（集团）有限责任公司

**摘要：**碳纤维加固法作为重要的结构加固技术，对于各类建筑和基础设施具有重要意义。碳纤维复合材料加固原理在于通过在结构表面粘贴碳纤维布，并使用环氧树脂胶进行固化，从而增强结构的强度、抗剪性能和耐久性。本文针对碳纤维加固法在工程中的实际应用进行了深入研究，以期在工程实践中更好地应用碳纤维加固技术，进一步提高结构的安全性和可持续性。

**关键词：**碳纤维加固法；工程项目；实践应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.19.029

引言：随着城市化进程的加速和建筑物年限的增长，许多老旧建筑和结构开始暴露出腐蚀、老化和力学性能下降等问题，严重影响了建筑物的安全性和使用寿命。碳纤维加固法作为先进的结构加固技术，近年来备受瞩目并被广泛应用于工程领域。本文旨在深入研究碳纤维加固法在工程中的应用，并探讨其对不同类型结构的适用范围和实际效果，旨在论证其在工程实践中的可行性和有效性。

## 一、碳纤维复合材料加固原理及特性

### （一）碳纤维复合材料加固原理

碳纤维复合材料加固原理基于碳纤维复合材料的独特特性，主要包括轴向强度和纵向刚度增强原理、抗剪性能提升原理以及防止裂缝扩展原理。首先，轴向强度和纵向刚度增强原理是指在结构表面粘贴碳纤维带或板材后，由于碳纤维复合材料具有高强度和高模量特性，使得结构的轴向强度和纵向刚度显著增加，从而提高结构的整体强度和稳定性。其次，抗剪性能提升原理是指通过碳纤维复合材料的加固，结构的抗剪性能得到显著提升<sup>[1]</sup>。在结构受到剪切荷载时，碳纤维复合材料能够有效地分担剪力，从而增加结构的抗剪承载力，提高结构的抗震性能。防止裂缝扩展原理是指碳纤维复合材料具有良好的延性和韧性特性，能够有效地防止结构裂缝的扩展和传播。通过在裂缝处进行碳纤维加固，可以提高结构的抗裂性能，延长结构的使用寿命。

### （二）碳纤维复合材料加固特性

碳纤维复合材料加固具有多项独特特性，对于其结构加固和性能提升起着关键作用。其一，碳纤维复合材料加固具有高强度和高模量特性。由于碳纤维复合材料的优异机械性能，加固后的结构能够承受更大的荷载，从而显著提高结构的整体强度和稳定性。其二，碳纤维复合材料是一种轻质材料。相较于传统的结构加固材料，碳纤维复合材料的密度较低，因此其使用不会显著增加结构的自重负荷，有助于优化结构设计，提高结构

的抗震性能，并减轻对基础的要求。其三，碳纤维复合材料加固具有无腐蚀性和耐久性。碳纤维本身不会受到腐蚀和氧化的影响，在恶劣的环境条件下依然能够保持其性能稳定，使得加固后的结构能够长期保持良好的性能，延长结构的使用寿命。此外，碳纤维复合材料还具有良好的延性和韧性特性，这一特性使其能够有效地防止结构裂缝的扩展和传播。通过在裂缝处进行碳纤维加固，结构的抗裂性能得到显著提高，从而增加结构耐久性和可靠性。

## 二、碳纤维加固法在工程中的适用范围

### （一）碳纤维加固法在混凝土结构中的适用范围

由于碳纤维复合材料具有高强度、高模量、轻质和耐久性等优异特性，使其成为加固混凝土结构的理想选择。碳纤维加固法在混凝土结构中的适用范围涵盖多种结构类型，主要包括梁的加固、柱的加固以及梁柱节点的加固等。其一，在梁的加固方面，碳纤维复合材料的高强度和高模量特性使其能够有效增强梁的受力性能。通过在梁的底部或侧面黏贴碳纤维带或板材，可以有效提高梁的抗弯和抗剪能力，增加梁的承载能力和刚度。其二，在柱的加固方面，碳纤维复合材料加固可以显著提升柱的抗压和抗剪性能。通过在柱的四周包裹碳纤维布或板材，可以有效增加柱的抗压承载能力，从而提高柱的整体稳定性和抗震性能。碳纤维加固还可以解决柱的开裂和弯曲等问题，延长柱的使用寿命<sup>[2]</sup>。其三，在梁柱节点的加固方面，碳纤维加固能够有效增强节点的刚度和抗震性能。梁柱节点是混凝土结构中的关键部位，往往容易发生破坏和裂缝。通过在节点周围施加碳纤维加固，可以有效提高节点的承载能力和抗震性能，保证结构在地震等外部荷载下的安全性。

### （二）碳纤维加固法在钢结构中的适用范围

钢结构由于其高强度和较轻质量而在建筑和桥梁等工程中得到广泛应用，然而，随着时间的推移和外部荷载的作用，钢结构可能会出现疲劳、腐蚀和变形等问题。在钢结构中，碳纤维加固法可用于不同类型的构件，如梁、柱、桁架等。通过增加钢结构表面的碳纤维层，可以显著提高结构的抗弯刚度和抗剪强度。同时，碳纤维的高强度和轻质特性使得加固后的钢结构在重量方面有所减轻，从而降低结构自重，同时提高结构整体稳定性和耐久性。此外，碳纤维加固法还可以在钢结构的修复和加固工程中实现无损加固，无须拆除原有结构，从而节省重建成本和时间，为结构维护和修复工作提供更加便捷和经济的选项。

## 三、碳纤维加固法在工程中的实际应用

## （一）工程概况

本工程位于淮北市烈山区烈山镇沱河路，为淮北职业技术学院新校区内的医护实训中心（含校医院）。总建筑面积达18575.82m<sup>2</sup>，总造价为4390.2万。工程采用框架结构，作为实验训练楼，共分为5层，结构高度达20.4m，安全等级划定为二级，抗震设防烈度为6度。主要结构改造内容包括基础承台加固、梁加固、柱加固以及楼板加固。

## （二）总体处理方案

### 1. 加固目标和要求

碳纤维加固在本工程中的应用旨在提高结构的承载能力和抗震性能，同时延长结构的使用寿命，以满足现代化教学设施的安全性和稳定性要求。在加固方案设计中，首要目标是确保工程结构安全，避免任何加固措施引起的损害或不适当的改造。为此，在工程处理过程中，必须遵循国家和行业规范，合理选用材料和工艺，以确保加固后的结构性能符合规定的技术指标。具体的加固要求包括但不限于：（1）增加结构的承载能力，确保结构在额定荷载下的安全工作状态。（2）提高结构的抗震性能，确保在设定地震烈度下，结构能够稳定且不发生破坏。（3）确保加固后的结构与原有结构相协调，尽量保持原有建筑外观和空间使用。（4）保证加固工程的施工质量和工期进度，以确保加固效果的稳定性和可持续性。

### 2. 碳纤维加固法选择原因

在本工程的总体处理方案中，选择碳纤维加固法作为主要技术手段的原因如下：（1）碳纤维具有卓越的力学性能。碳纤维具有高强度、高模量和优异的抗拉、抗弯和抗剪性能，远优于传统的钢筋加固材料。由于其重量轻，使用碳纤维加固不会对原有结构增加明显自重荷载，有助于减轻结构荷载承载，进而提高结构整体的承载能力。（2）碳纤维加固具有施工方便、对原有结构影响小的优势。与传统的钢筋加固相比，碳纤维加固不需要对原有构件进行拆除，仅需在结构表面粘贴碳纤维布，并进行适当的涂覆胶浆处理即可完成加固过程，不仅操作简便，还能够减少施工期间的干扰和影响，有利于提高工程施工效率和加固效果。（3）碳纤维加固对结构的耐久性和耐腐蚀性能有所提升。碳纤维具有优异的抗腐蚀性能，可以有效防止加固材料和原有结构受到外界环境和化学物质的侵蚀，从而增加结构使用寿命<sup>[3]</sup>。（4）碳纤维加固技术经过长期实践和不断改进，其于工程应用中已取得了可靠的实际效果。在类似的结构加固工程中，碳纤维加固技术已被广泛应用并得到认可，其加固效果和经济效益得到了充分验证。

## （三）碳纤维加固法应用流程

### 1. 表面处理

碳纤维加固法的应用流程首先涉及表面处理阶段，该阶段旨在确保混凝土结构表面的清洁、光滑和与碳纤

维材料良好的黏结性。在表面处理之前，必须对结构表面进行彻底的检查和评估，识别并记录可能存在的裂缝、空鼓、起砂和油污等表面缺陷。表面处理的步骤主要包括以下几个方面：（1）混凝土表面清洁。采用高压水枪、喷砂或刷洗等方法清除混凝土表面的灰尘、泥土和松散物质。确保结构表面干净无尘，为后续粘贴作业做好准备。（2）表面修复。针对混凝土表面可能存在的裂缝、孔洞和凹凸不平等缺陷进行修复。采用适当的混凝土修补材料填补裂缝和孔洞，并进行抹平处理，使结构表面平整。（3）表面开裂处理。对于混凝土表面可能出现的开裂情况，进行切割开裂缝等必要预处理，以利于后续碳纤维加固材料的渗透和粘贴。（4）混凝土表面打磨。采用角磨机等工具对混凝土表面进行打磨处理，使表面粗糙度适宜，提高碳纤维材料与结构表面的黏结性。（5）表面清洁和干燥。在表面处理完毕后，对结构表面进行再次清洁，去除可能残留的杂物和灰尘，并确保表面充分干燥，为下一步的碳纤维材料粘贴做好准备。

### 2. 底胶配置和涂抹

在碳纤维加固法的应用流程中，底胶的配置和涂抹直接影响碳纤维材料与混凝土结构之间的黏结效果和加固层的稳固性。底胶作为粘接介质，能够将碳纤维材料与结构表面紧密黏合，形成坚固的加固层。在底胶配置和涂抹过程中，首先，施工人员需进行底胶的配置。底胶通常由A、B两组份组成，配置底胶时，需严格按照设计要求和规范中规定的配比进行混合，以确保A、B两组份的混合比例准确。底胶配置通常采用机械搅拌的方法进行混合，保证底胶混合均匀，以防止出现固化不完全或黏结效果不理想的情况。底胶配置完成后，需施工人员将混合好的底胶均匀涂抹于经过表面处理的混凝土结构表面。涂抹时应使用刷子、滚筒或刮板等工具，将底胶均匀涂抹于结构表面，并确保涂层的厚度均匀一致。为提高涂层的黏结强度和与碳纤维材料的黏合性，可采用胶钉法在涂层上铺设胶钉，增加底胶与碳纤维材料之间的黏结面积。底胶的配置和涂抹过程需要注意以下方面：（1）涂抹速度。由于底胶的固化时间有限，涂抹过程要迅速进行，尽量避免底胶在涂抹过程中出现过早固化或干燥的情况。（2）涂层厚度。底胶涂层的厚度应符合设计要求，通常要求在0.5mm至1mm左右，以确保加固层与结构表面充分黏合<sup>[4]</sup>。（3）均匀性。涂抹过程中要确保底胶均匀涂抹于结构表面，避免出现涂层厚薄不均的情况。（4）环境条件。涂抹底胶的环境温度和湿度应符合底胶的固化要求，以确保底胶能够在适宜的条件下固化。

### 3. 碳纤维布的裁剪和粘贴

碳纤维布的裁剪和粘贴是碳纤维加固法中的关键步骤，直接影响加固层的质量和效果。在碳纤维加固工程中，施工人员需选择合适的碳纤维布规格和进行准确的

裁剪, 确保其与结构表面的完美贴合, 是确保加固效果的重要保障。在进行碳纤维布的裁剪前, 应根据设计要求和实际加固区域的尺寸进行合理规划。根据结构的加固需求, 确定碳纤维布的长度、宽度和形状。通常情况下, 碳纤维布的宽度应略大于结构加固区域的宽度, 以确保覆盖范围充分, 并预留搭接部分, 提高加固层的连续性和整体性。其次, 施工人员应采用锋利的剪刀或工具, 将碳纤维布按照预定尺寸进行裁剪。裁剪时应保持切口整齐, 避免出现毛边和不规则形状, 以确保碳纤维布的粘贴质量和美观效果。接下来, 进行碳纤维布的粘贴。在底胶涂抹固化后, 将裁剪好的碳纤维布逐块粘贴在结构表面, 确保其与底胶充分接触。在粘贴过程中, 可以采用滚筒或刮板等工具, 帮助碳纤维布与结构表面紧密贴合, 并排除空气和气泡, 提高粘贴效果。碳纤维布的粘贴应根据结构的形状和复杂程度, 采用合适的顺序和方法进行, 对于直线形状的结构, 可从一端开始逐段粘贴, 对于曲线或复杂形状的结构, 可先将碳纤维布拆分成小块, 再逐个粘贴, 以确保粘贴的连续性和完整性。粘贴完成后, 需要进行碳纤维布的固化。施工人员需根据环境温度和湿度, 合理安排固化时间, 以确保碳纤维布与底胶充分反应固化, 形成坚固的加固层。

#### 4. 碳纤维布的搭接和重叠

在碳纤维加固法的应用流程中, 碳纤维布的搭接和重叠是确保加固层连续性和加固效果的重要措施。通过合理的搭接和重叠方式, 能够增加加固层的厚度和强度, 并提高碳纤维材料的整体性能, 进一步加强混凝土结构的承载力和耐久性<sup>[5]</sup>。在碳纤维布的搭接和重叠流程中, 首先, 进行碳纤维布的搭接。搭接是指将两块碳纤维布的边缘部分重叠在一起, 以增加加固层的厚度和坚固性。在搭接时, 应根据设计要求和加固区域的实际情况, 合理选择搭接长度和方式。一般情况下, 搭接长度不宜小于20mm, 并应与结构的受力方向保持一致, 以确保加固层的力学性能。其次, 进行碳纤维布的重叠。重叠是指在不同层次的碳纤维布之间进行重叠, 以增加加固层的厚度和强度。在进行碳纤维布的重叠时, 同样需要根据设计要求和结构的实际情况, 选择合适的重叠长度和位置。通常情况下, 重叠长度应大于200mm, 并应在不同层次之间错开排列, 避免形成集中厚度, 保证加固层的均匀性和一致性。搭接和重叠的操作应注意以下方面: (1) 粘贴质量。在进行碳纤维布的搭接和重叠时, 要确保搭接部分和重叠部分与结构表面充分黏合, 避免出现空鼓、气泡或不牢固的情况。(2) 碳纤维布的排列。在粘贴过程中, 应按照预定的排列顺序和方向进行搭接和重叠, 保持加固层的整体性和一致性。(3) 固化时间。在进行碳纤维布的搭接和重叠后, 应根据底胶的固化时间和硬化程度, 合理安排固化时间, 以确保碳纤维加固层的稳固性和牢固性。

#### 5. 碳纤维布的固化

碳纤维布的固化是碳纤维加固法中最后一个关键步骤, 也是确保加固层稳固性和耐久性的重要环节。在碳纤维加固工程中, 碳纤维布需要经过一定时间的固化反应, 使其与底胶充分结合, 形成坚固的加固层, 以提升混凝土结构的承载能力和抗震性能。在进行碳纤维布固化前, 施工人员应根据环境温度和湿度等条件, 合理安排固化时间。通常情况下, 固化时间可根据底胶的特性和厂家提供的固化曲线来确定, 一般环境温度为25℃左右, 固化时间约为3天即可负载使用。若环境温度较低, 固化时间可能需要延长, 而在较高的环境温度下, 固化时间则可能缩短<sup>[6]</sup>。因此, 施工人员需在施工前对环境条件进行充分了解, 以便进行合理的施工安排。在固化过程中, 应注意以下方面: (1) 控制环境条件。为确保固化过程的正常进行, 施工现场应保持相对稳定的温度和湿度, 避免极端气候条件对固化过程产生不良影响。(2) 管理固化时间。在固化过程中, 施工人员要严格按照固化时间进行管理, 避免过早或过晚进行碳纤维加固层的负荷使用。(3) 定期检验。在固化过程中, 施工人员应定期对加固层进行检验和监测, 以评估固化效果和质量, 并确保加固层达到设计要求和施工规范。(4) 后续处理。在碳纤维布固化完成后, 施工人员应及时对施工现场进行清理和整理, 确保加固层表面整洁平整, 并防止杂物或其他因素对加固效果造成影响。

结束语: 综上所述, 碳纤维加固法通过其独特的原理和特性, 已经在各类建筑和基础设施中展现出巨大的应用潜力。本文通过实际工程案例, 验证了碳纤维加固法的实际应用效果, 证明了其在结构加固中的重要作用。通过本文探讨分析可知, 碳纤维加固法不仅能够避免大范围的拆除和重建, 还能在较短的时间内实现结构的强化, 降低工程成本和施工周期, 对于提升现有建筑的功能性具有积极意义。

#### 参考文献

- [1] 马峰. 碳纤维加固技术在建筑加固工程中的运用[J]. 门窗, 2022(013): 000.
- [2] 马林. 我国公路桥梁加固中碳纤维粘贴施工技术探析[J]. 黑龙江科技信息, 2022(22).
- [3] 崔巍. 粘贴碳纤维布加固技术在既有建筑工程中的应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(6): 4.
- [4] 金春福. 碳纤维网格加固中小跨径桥梁受力性能分析及试验[J]. 辽宁省交通高等专科学校学报, 2022(002): 024.
- [5] 秦小平. 预应力碳纤维板及粘贴钢板组合加固法[J]. 交通世界, 2021(23): 2.
- [6] 王子强. 空心板梁桥张拉预应力碳纤维板加固设计及效果分析[J]. 北方交通, 2023(3): 5-8.