

碳纤维布加固钢筋混凝土梁板施工技术应用

严小伟

武汉地震工程研究院有限公司 湖北 武汉 430061

【摘要】：钢筋混凝土梁板在长期荷载、环境侵蚀、功能变更及施工缺陷影响下，易出现裂缝扩展、刚度下降和承载力不足等问题。碳纤维布凭借高强轻质、耐腐蚀、施工便捷等特点，成为梁板加固中的重要材料。以碳纤维布加固钢筋混凝土梁板施工技术应用为核心，重点分析基层处理、胶黏剂配制、纤维布粘贴、固化养护及质量检验等关键环节，突出界面粘结质量对加固效果的决定性影响。通过规范施工流程与细部控制，可改善梁板受力状态，提高抗弯、抗剪及抗裂能力，为既有建筑结构安全加固提供技术参考。

【关键词】：碳纤维布；钢筋混凝土梁板；结构加固；粘贴施工；质量控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.030

引言

城市建筑存量不断增加，大量钢筋混凝土梁板在长期使用中承受荷载变化、温湿度循环、材料老化和外部损伤等多重影响，结构性能逐渐下降。传统加固方式常伴随构件截面增大、湿作业量高、施工周期长等问题，难以满足既有建筑快速修缮和空间利用需求。碳纤维布因强度高、厚度小、适应性强，在梁板加固工程中受到关注。纤维布与混凝土表面的粘结状态、胶层厚度、铺贴方向和固化条件，直接关系到加固后构件的受力协同。围绕施工现场常见裂缝、空鼓、脱粘和端部剥离等问题展开分析，有助于把握碳纤维布加固钢筋混凝土梁板的技术要点，并为正文中施工流程与质量控制内容奠定基础。

1 梁板结构受力与损伤分析

1.1 长期荷载下的裂缝发展

钢筋混凝土梁板在长期使用过程中，持续承受自重、楼面荷载、设备振动及人员活动等多种外力影响，受拉区混凝土容易因应力集中而产生细微裂缝。随着荷载反复作用，原有裂缝会沿梁底、板跨中或支座附近逐渐延伸，裂缝宽度和深度也会不断增加^[1]。当裂缝发展超过正常使用限值时，梁板刚度下降，挠度增大，钢筋与混凝土之间的协同受力能力受到削弱。部分裂缝还可能成为水分、氯离子和二氧化碳进入结构内部的通道，加速钢筋锈蚀，使受力性能进一步降低。碳纤维布加固施工需要准确判断裂缝位置、形态和发展程度，只有掌握裂缝产生的受力原因，才能为后续表面处理、纤维布铺贴方向和加固范围确定提供依据。

1.2 混凝土材料性能衰退特征

混凝土梁板在服役阶段会受到温度变化、湿度循环、碳化侵蚀、冻融影响及化学介质侵入等因素干扰，材料内部孔隙结构逐渐变化，密实性和抗渗能力随之下降。表层混凝土可能出现起砂、剥落、空鼓和局部酥松等现象，导致构件截面有效受力面积减少。钢筋保护层一旦开裂或脱落，外界介质更容易接触钢筋表面，引发锈蚀膨胀，进一步扩大混凝土裂缝。材料性

能衰退不仅影响梁板自身承载能力，也会降低碳纤维布与混凝土基层之间的粘结质量。加固施工前需要对混凝土强度、表面完整性、裂缝状态和含水情况进行检查，针对松散层、污染物和缺陷区域进行处理，使加固材料能够与原结构形成可靠连接。

1.3 结构弱点及易损部位识别

钢筋混凝土梁板的损伤并非均匀分布，跨中受拉区、梁端支座区、板角部位、洞口周边以及荷载集中区域往往更容易形成结构弱点。跨中区域通常承受较大弯矩，梁底和板底裂缝较为常见；支座附近受剪力和负弯矩影响，容易出现斜裂缝或端部破坏迹象；预留洞口、管线穿越位置会改变原有受力路径，使局部应力集中更加明显。若构件曾经历改造、超载使用或施工质量偏差，弱点部位的损伤程度可能进一步加重。碳纤维布加固前需要结合现场检测结果、构件受力特点和裂缝分布情况，明确重点加固区域。只有识别梁板易损位置，才能避免盲目铺贴，提高碳纤维布对抗弯、抗剪和裂缝控制的针对性。

2 碳纤维布加固材料特性

2.1 力学性能与轻质优势

碳纤维布呈现出极高的拉伸强度和模量，使其在加固梁板时能够显著提升构件的承载能力而无需增加截面尺寸。材料自重极轻，对原有结构的荷载增加几乎可以忽略，避免了对基础和支撑系统的额外压力。纤维布与混凝土形成良好的协同受力体系后，能够有效延缓裂缝扩展，提高受拉区强度和梁板刚度^[2]。轻质特性还使施工便捷，能够在有限空间和既有建筑环境中灵活铺贴，减少人工和机械操作难度，同时对施工人员安全影响较小，为梁板加固提供了高效可靠的技术手段。

2.2 耐久性与环境适应性

碳纤维布具有极强的耐腐蚀性和抗化学侵蚀能力，即使在高温、高湿或碱性环境中也能保持力学性能稳定。其耐疲劳性能优异，在长期循环荷载作用下不易出现断裂或性能退化，能够应对桥梁、厂房等构件频繁受力的情况。材料与常用胶黏剂

形成紧密粘结界面后,能够防止水分、盐分及二氧化碳侵入混凝土内部,从而延缓钢筋锈蚀和裂缝扩展。环境适应性强使碳纤维布适合用于室内外多种复杂施工条件,为梁板长期加固提供可靠支撑。

2.3 施工适应性及可操作性

碳纤维布具有柔韧性高、可裁剪性强的特点,可以根据梁板几何形状和裂缝分布灵活布置。施工时可将材料裁成所需尺寸,铺贴在复杂构件表面而不影响原结构功能。胶黏剂与纤维布结合后,能够快速固化并形成均匀粘结层,适应工期紧张或空间受限的施工环境。操作过程中无需大型机械设备,仅依靠手工或简单辅助工具即可完成,降低施工成本与风险。整体施工适应性强,使碳纤维布加固技术在不同类型梁板加固项目中均能高效实施,保证施工质量与加固效果。

3 表面处理与界面粘结控制

3.1 基层表面缺陷识别

碳纤维布加固钢筋混凝土梁板时,基层表面状态直接影响纤维布与原结构之间的粘结质量。施工前需要对梁底、板底、支座附近及裂缝集中区域进行细致检查,重点识别起砂、空鼓、剥落、蜂窝、麻面、油污、浮浆和潮湿等缺陷。表面若存在松散层,胶黏剂难以渗入坚实混凝土内部,粘结界面容易形成薄弱层;裂缝周边若未清理干净,纤维布铺贴后受力传递会受到阻碍;局部空鼓或剥落区域若被直接覆盖,后期可能出现脱粘、鼓包甚至加固层失效^[3]。缺陷识别不仅依靠目测,还可结合敲击检查、裂缝宽度测量、含水率判断和强度检测等方式,明确基层是否具备加固条件。只有准确把握基层缺陷类型、范围和程度,才能为后续修补、打磨、清洁和粘结处理提供依据,使碳纤维布能够与混凝土表面形成稳定可靠的受力连接。

3.2 表面预处理方法选择

梁板基层预处理应根据混凝土表面缺陷类型和加固部位受力要求合理选择。对于浮浆、起砂和表层松散区域,可采用打磨、凿毛或机械清理方式去除不牢固部分,使坚实混凝土暴露出来;对于蜂窝、麻面、缺角和剥落位置,应先进行修补找平,避免纤维布铺贴后出现局部悬空;对于油污、粉尘和杂质,应通过清扫、吹净或专用清洁方式处理,防止污染物影响胶黏剂浸润。裂缝部位需要根据宽度和发展情况采取封闭、灌缝或补强处理,使裂缝不再成为粘结界面的薄弱点。阴阳角和转折部位应打磨成圆弧过渡,减少纤维布铺贴时产生折皱和应力集中。预处理质量关系到胶黏剂渗透深度、粘结面积和受力连续性,处理后的基层应保持平整、干燥、洁净和牢固,为碳纤维布加固层发挥强度提供稳定基础。

3.3 粘结层厚度与施工规范

碳纤维布加固效果并非单纯取决于材料强度,胶黏剂形成的粘结层同样关系到荷载传递与整体受力。粘结层过薄时,胶

液难以充分浸润纤维束和混凝土微孔,界面之间容易出现局部空隙;粘结层过厚时,胶体收缩和受力变形会增大,纤维布与基层之间的协同效果受到削弱。施工中应根据材料说明、基层平整度和设计要求控制涂胶量,使胶层均匀连续,并保证纤维布完全浸润。铺贴过程中需沿纤维方向反复刮压,排出气泡,使胶黏剂充分渗透到纤维布内部。搭接长度、铺贴方向、端部锚固和层间处理均应符合加固要求,避免出现翘边、皱折、空鼓和脱粘现象。施工环境温度、湿度以及固化时间也需要严格控制,未经充分固化不得承受外部扰动。

4 纤维布施工工艺关键环节

4.1 铺贴顺序与方向控制

碳纤维布铺贴顺序应结合梁板受力特点、裂缝分布和加固设计要求进行安排。梁板受弯区域通常以受拉面为主要加固位置,纤维方向应尽量与主拉应力方向一致,使材料强度能够充分参与受力。梁底加固时,宜沿梁跨方向连续铺贴,板底加固时可根据板跨方向和裂缝走向确定纤维布布置方式。若存在多层铺贴要求,应在前一层胶黏剂保持适宜状态时进行下一层施工,保证层间结合紧密。铺贴过程中需要控制纤维布平直度,避免出现偏斜、皱折和局部重叠不均^[4]。搭接部位应满足长度要求,并避开受力最不利区域。合理的铺贴顺序和方向控制,能够使碳纤维布与梁板形成连续受力路径,减少局部应力集中,提高抗弯、抗剪及裂缝约束效果。

4.2 胶黏剂配制与施加技巧

胶黏剂性能直接影响碳纤维布与混凝土基层之间的粘结效果。配制时应按照产品规定比例称量主剂与固化剂,搅拌过程保持均匀,避免因配比偏差或混合不充分导致固化不良。调配后的胶液应在可操作时间内使用,超过适用期限后黏度增大,浸润性能下降,不宜继续施工。施胶时应根据基层平整度和纤维布厚度控制用量,使胶层连续、饱满且无明显堆积。底胶可增强混凝土表面渗透和封闭效果,找平胶可修补细小凹陷,浸渍胶则用于纤维布粘贴和浸润。刮涂过程中需沿同一方向均匀施压,使胶液充分进入纤维束间隙,并排除气泡。胶黏剂施加质量稳定,才能保证界面粘结强度和加固层整体受力能力。

4.3 固化养护与质量检验

碳纤维布铺贴完成后,固化养护阶段对加固层成型质量具有重要影响。施工区域应避免受到振动、撞击、雨水、粉尘和温湿度剧烈变化干扰,使胶黏剂在稳定环境中完成固化。固化期间不得随意触碰或加载,防止纤维布移位、翘边或粘结层破坏。环境温度偏低时,固化速度会减慢,应适当延长养护时间;湿度过高或基层含水率偏大时,界面粘结质量可能下降,需要采取控制措施。质量检验可从外观、空鼓、粘贴平整度、搭接长度和边缘密实情况等方面进行。发现气泡、皱折、脱粘或局

部缺胶时,应及时切开、补胶或重新粘贴。严格的养护和检验能够保证碳纤维布加固层形成稳定整体,使梁板加固效果达到预期要求。

5 加固效果评估与优化策略

5.1 梁板承载性能检测

加固完成后的梁板承载性能可通过静载、动态或非破坏性检测手段进行评估。梁板在静载作用下的挠度、裂缝宽度及钢筋应变分布能够反映结构整体承载能力的改善程度。非破坏性检测方法,如超声波、回弹仪或红外热成像,可快速判断碳纤维布与混凝土界面结合状态、空鼓或局部脱粘现象^[5]。通过对比加固前后的受力曲线和裂缝扩展情况,可以量化加固效果并指导施工质量验收。检测结果能够提供后续维护参考,为使用期间结构安全提供可靠依据,并为同类工程的加固设计提供经验支持。

5.2 裂缝控制与受力改善

碳纤维布加固对裂缝发展具有抑制作用,有效提高梁板抗弯和抗剪能力。加固层的连续性和界面粘结状态直接影响裂缝闭合和宽度控制,铺贴方向与梁板受力方向的一致性可使纤维布充分承担拉应力,减缓裂缝扩展速度。梁板受力模式改善后,跨中挠度减小,支座区剪切应力得到有效分散,整体刚度增加。裂缝控制不仅依赖材料性能,也与施工精度密切相关,铺贴不

平整或胶层不均匀会导致局部裂缝集中。通过合理布置纤维布和严格施工管理,可实现受力改善与裂缝控制的协同效果。

5.3 施工细节对加固效果的影响

施工环节的精细化管理对加固成果起决定作用。基层处理不彻底会导致界面薄弱,使纤维布在受力时局部脱粘或鼓包;胶黏剂配比或施加不均会降低界面粘结强度,使梁板承载能力难以达到设计要求;纤维布搭接长度不足或端部处理不当,也会形成受力薄弱环,影响整体加固效果。固化养护不规范可能导致纤维布移位或胶层收缩开裂,进一步削弱受力性能。对施工细节的严格把控不仅提升了碳纤维布加固的可靠性,也保证了梁板承载性能、裂缝控制和结构稳定性达到预期水平,为类似结构加固提供可借鉴的操作经验。

6 结语

碳纤维布加固钢筋混凝土梁板的施工质量,取决于结构损伤判断、材料性能利用、基层处理、界面粘结和工艺控制等环节的协调配合。针对梁板裂缝扩展、承载力不足和材料性能衰退等问题,合理确定加固部位与铺贴方向,严格控制胶黏剂配制、粘结层厚度、固化养护及质量检验,可有效提升结构承载能力、抗裂性能和耐久水平。实际施工中应重视细部处理,避免空鼓、脱粘和端部剥离,使碳纤维布加固技术更好地服务于既有建筑结构安全修缮。

参考文献:

- [1] 范梦文.预应力碳纤维板在钢筋混凝土梁加固中的应用[J].交通世界,2025,(35):139-141.
- [2] 向富荣.碳纤维布在桥梁维修加固中的应用研究[J].现代工程科技,2025,4(23):141-144.
- [3] 刘瑞.不同因素对钢筋混凝土梁承载力质量控制的研究[J].机械工程与自动化,2025,54(S1):27-30.
- [4] 冯越.碳纤维布加固钢筋混凝土梁的界面剥离机理及优化设计研究[J].江西建材,2025,(10):307-309.
- [5] 李庆文,聂帆帆,郑志明,等.碳纤维布约束下煤样力学性能与能量损伤本构关系[J].采矿与岩层控制工程学报,2025,7(4):157-173.