植筋、碳纤维布加固构件施工质量检测技术研究

李铭玉　孟祥瑞

新疆生产建设兵团建设工程质量检测中心有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘　要】：既有混凝土构件采用植筋和碳纤维布加固时，质量缺陷常集中在锚固孔、胶层、界面粘结和复检记录等环节。本文分析植筋锚固缺陷与碳纤维布粘贴偏差对加固效能的影响，梳理锚固埋入长度、拉拔位移、空鼓识别、红外热像和抽样记录等检测控制点，提出以构件部位、受力路径和缺陷处置结果相互印证的检测思路。检测工作应把隐蔽工序、界面状态和承载反应同时纳入判断，避免单一外观检查替代结构安全核验。

【关键词】：植筋；碳纤维布；加固构件；施工质量；检测技术

DOI:10.12417/2811-0536.26.10.036

引言

混凝土结构加固常在既有构件承载不足、使用功能调整或局部损伤修复后展开，植筋承担新旧构件之间的力传递，碳纤维布承担外贴补强和裂缝约束。两类工艺都具有隐蔽性：植筋孔内清理、注胶饱满度和有效埋入长度在封闭后难以直接观察，碳纤维布胶层厚度、空鼓和界面污染也可能被表面平整度掩盖。施工质量检测应把孔位、胶层、拉拔响应、无损识别和缺陷闭合记录串联起来，形成针对加固构件受力路径的现场判定。

1 加固构件施工质量检测的必要性

1.1 植筋锚固缺陷引起现场连接失效

植筋质量的核心风险不在钢筋外露段，而在孔壁粗糙度、孔底残渣、注胶连续性和有效埋入长度共同形成的隐蔽界面。钻孔偏斜会使钢筋实际受拉方向偏离设计受力轴线，孔底粉尘和积水会隔断结构胶与混凝土孔壁的咬合，注胶不足则在钢筋肋间形成局部空腔；这些缺陷在初期外观上并不明显，却会在拉拔或长期重复荷载下表现为滑移、胶体剪切破坏或混凝土锥体开裂[1]。加固梁、板、墙开洞补强或新增构件连接时，后植钢筋通常承担剪力传递、节点约束和构造拉结等任务，锚固质量不足会把局部缺陷放大为节点刚度下降，使加固层与原构件之间出现相对位移。

1.2 碳纤维布粘贴偏差造成承载衰减

碳纤维布加固依靠纤维方向、结构胶层和混凝土基层共同传递拉应力，施工偏差会削弱复合界面的工作能力。基层浮浆、油污、潮湿和松散混凝土未处理干净时，胶层虽然能够覆盖表面，却难以形成稳定粘结；纤维布搭接不顺、浸胶不足或滚压排气不充分时，空鼓区会成为应力中断位置。梁底受拉区、板底裂缝带和墙体洞口边缘对界面连续性更敏感，空鼓和皱褶会使纤维无法沿设计方向承担拉力。表面平整并不代表胶层均匀，局部过厚会降低贴合度，局部过薄会造成浸润不足，敲击声、手压回弹、边缘翘起和热像差异都能反映粘结状态变化。

2 加固构件施工质量检测标准化建设策略

2.1 明确植筋锚固长度现场检测

植筋锚固埋入长度检测应从放线定位、钻孔量测、孔底清理和注胶前复核连续展开[2]。钻孔完成后，测深探针应抵达孔底并沿孔轴测读，孔口破损、孔壁坍落和孔内残渣同步记录；当构件厚度、保护层或既有钢筋位置限制钻孔时，检测人员应核对设计变更和现场避让结果，防止实际锚固段被压缩。图 1 展示了孔内长度和胶层的检测对象。

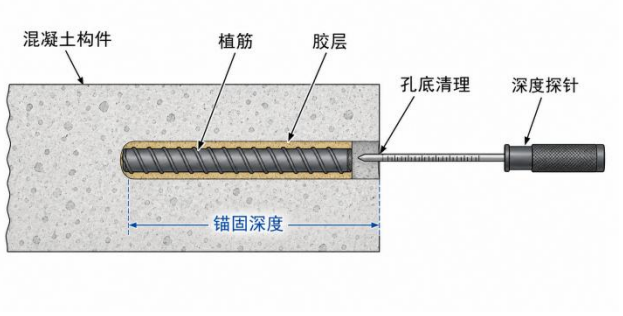


图 1 植筋锚固长度与孔内胶层检查示意

图 1 中，测深探针从孔口伸入孔底，锚固长度箭头覆盖植筋有效埋入段，胶层沿钢筋周边连续包裹；孔底清理位置被单独标出，说明测读必须与孔内洁净度和注胶连续性同步核对。

2.2 建立拉拔承载力与位移判定方法

拉拔检测不宜只读取峰值荷载，还应观察加载过程中的位移增长和破坏形态。合格锚固点在加载过程中位移变化较平稳，卸载后不应出现明显残余滑移；异常锚固点常表现为低荷载阶段位移突增、胶层剪切声响、钢筋拔出或孔口混凝土开裂。归一化拉拔荷载取 0、0.25 倍、0.50 倍、0.75 倍、1 倍，归一化响应中

位移响应对应 0.05 倍、0.16 倍、0.34 倍、0.62 倍、0.90 倍，锚固风险对应 0.03 倍、0.12 倍、0.30 倍、0.66 倍、1 倍，复检优先值对应 0.08 倍、0.20 倍、0.42 倍、0.72 倍、0.96 倍[3]。对同批构件而言，单个锚固点异常不能简单视为偶发读数，应回查孔深、清孔、胶体固化和施工时段，判断是否存在同源施工缺陷。该组归一化值把荷载、滑移、风险和复检动作放在同一响应尺度内，便于施工现场把异常读数转化为复查顺序。图 2 用于比较三类归一化检测响应。

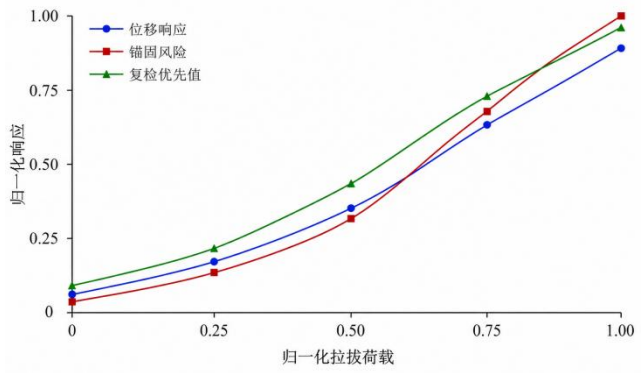


图 2 拉拔荷载与检测响应归一化关系

图 2 中，归一化拉拔荷载由低位升至高位时，位移响应、锚固风险和复检优先值均呈上升趋势；锚固风险在中高荷载段上升更快，复检优先值始终位于较高响应区间，说明拉拔检测不能只看荷载读数，还应同步观察滑移反应并提高异常点复检等级。

2.3 细化碳纤维布空鼓与胶层厚度检查

碳纤维布空鼓检查应沿受力主方向和边缘搭接位置布置，敲击检查用于快速辨认声音发闷、回弹异常和局部脱空区域，胶层厚度检查用于确认浸润和找平是否均衡[4]。梁底和板底加固面应重点查看裂缝跨越处、转角收口处和搭接端部；这些位置既容易积聚施工气泡，也容易在受力后形成剥离起点。图 3 呈现了界面缺陷和检查工具的对应关系。

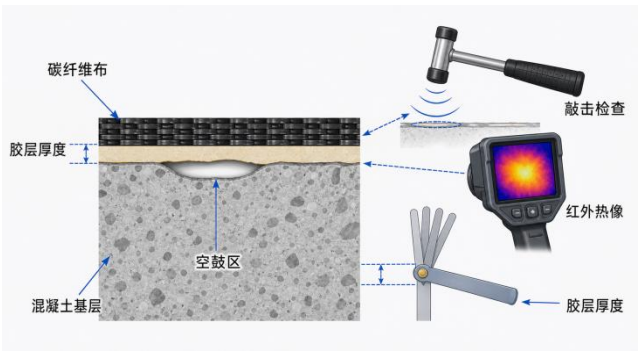


图 3 碳纤维布空鼓与胶层厚度检查示意

图 3 中，空鼓区位于胶层与混凝土基层之间，胶层厚度用侧向标尺表示，敲击检查和红外热像从表面指向同一疑似区域；该构图说明空鼓、胶层不均和基层粘结异常应合并判读，不能只凭表面平整度确认加固质量。

2.4 融合敲击巡查与红外热像检测

敲击巡查适合覆盖大面积加固面，红外热像适合辅助识别肉眼难以辨认的界面异常，两者结合能够减少单一方法的漏判。敲击法依赖声音差异和操作者经验，容易受表面涂层、构件厚度和环境噪声影响；红外热像能够呈现局部热响应差异，但应控制检测时段、表面温差和反射干扰。现场可先用敲击巡查划定疑似区域，再用热像复查界面连续性，对边界不清的区域辅以手压、局部开窗或粘结强度验证。

2.5 规范施工现场检测批次抽样比例

检测批次划分应反映同一施工班组、同一胶粘剂批次、同一构件类型和相近施工时段，而不是机械按楼层或房间划分。植筋数量集中、孔径变化大或构件受力等级较高时，抽样点应覆盖不同边界条件；碳纤维布粘贴面积大、转角多或基层处理差异明显时，巡查路径应覆盖中部、边缘、搭接和端部。抽样比例控制的重点在代表性，检测记录应能说明被抽查点为何能够反映该批施工质量。对同一胶粘剂批次内连续施工的构件，抽样点还要覆盖端部、跨中和搭接边缘，使检查结果能够反映受力敏感区与普通区域的差异。

2.6 检查加固构件界面危险缺陷

加固构件界面危险缺陷通常具有可扩展性，局部孔壁失粘、碳纤维布边缘翘起、空鼓连片和胶层脆裂都可能沿受力方向发展。检测记录应把缺陷位置、范围、处置方式和复检结果对应到具体构件，不能只写“已整改”或“外观合格”。对植筋缺陷，应复核补植、重钻或卸除后的锚固条件；对碳纤维布缺陷，应确认切除边界、补胶浸润和重贴方向，复检结论还要回到原构件受力部位，并与后续使用阶段的巡查周期、荷载变化、裂缝发展记录、现场复测节点和责任闭合清单保持对应。

3 结语

植筋和碳纤维布加固构件的施工质量检测，应围绕锚固段、胶层、界面粘结和缺陷闭合结果展开。植筋检测以孔深、孔底清理、注胶连续性和拉拔位移为主要判断链条，碳纤维布检测以基层处理、胶层厚度、空鼓识别和无损复查为主要控制线索。现场管理中，检测批次和抽样点应覆盖构件类型、施工时段和受力

敏感部位，异常点处置后还应回到承载与界面状态重新确认。只有把隐蔽工序检查、现场加载反应和缺陷复检记录对应到具体构件，加固施工质量才能从外观合格转向结构性能可控。

参考文献：

[1] 苏涛.碳纤维布加固钢筋混凝土构件中界面黏结性能的检测与试验分析[J].工程与建设,2026,40(3):589-591.

[2] 季英杰.碳纤维布加固既有混凝土梁施工研究[J].砖瓦,2026,(5):54-57.

[3] 李波,张成强,刘华平,等.输水隧洞碳纤维布加固技术研究[J].散装水泥,2026,(6):63-65.

[4] 刘益玲.碳纤维布加固钢筋混凝土 T 型深梁开裂荷载及抗剪承载力试验分析[J].江西建材,2026,(5):67-69+72.