 DOI: https://doi.org/10.26789/jzjg.v7i3.1069

Application of Carbon Fiber Board Technology in the Reinforcement of Old Bridges

Haitao Dong　Zhou Zhou

CCCC Road and Bridge Construction Co., Ltd., Beijing, 100024, China

Abstract

The key technology of bridge structure reinforcement is expounded, in which emphasis is placed on the in-depth study of prestressed carbon fiber plate structure reinforcement technology, the construction essentials of this technology are summarized from the construction management experience and the actual construction process, and according to Shengping Bridge, the construction cases of Baojiadian Bridge and East Ulan Hada Fifth Bridge are analyzed, and the practical application of this technology in bridge engineering is analyzed in detail, so as to achieve good engineering construction benefits.

Keywords

carbon fiber board bridge construction; reinforcement; application

碳纤维板技术在旧桥加固中的运用

董海涛　周舟

中交路桥建设有限公司，中国·北京 100024

摘　要

对大桥结构加固的关键技术进行了阐述，其中注重对预应力碳纤维板结构增强技术的深入研究，从施工管理经验和实际施工过程中总结了该技术的施工要领，并根据胜平大桥、鲍家店大桥、东乌兰哈达五桥工程建设案例，具体分析了该技术在桥梁工程中的实践运用，从而达到了良好的工程建设效益。

关键词

碳纤维板桥梁施工；加固；运用

1 中国及其他国家研究现状（引言）

从二十世纪八十年代，日、美等先进国家就已经开始将高活性碳纤维这种建筑材料广泛运用于结构加固，尤其是在日本阪神地震后，使用得越来越普遍。中国对碳纤维加固结构不论在研究层次还是在研究深度上均落后于发达国家。从 1997 年，以东南大学、中国工程建筑诊断与改造重点工程研究中心、清华大学为代表的高校，对碳纤维材料与强化混凝土结合开展了比较系统的研究，并获得了部分研究成果。由于中国交通运输业的飞速发展，既有建筑物中的很大比例结构由于当时设计规范要求较少、承载能力弱，加之超载对车辆的严重破坏，已无法适应目前越来越严峻的交通要求，因此亟待加以修补、加强。而目前最常见的建筑补强方式也有许多，碳纤维加固方式使用得更为普遍 [1]。

2 技术分析

2.1 碳纤维板补强施工技术

与传统的增加混凝土截面和粘结刚性混凝土结构的加固方法相比，碳纤维具有省时、施工方法简单、无现场固定设备、易于提高施工产品质量、基本不增加构件长度和自重等优点，强度高，耐腐蚀性和耐久性好。传统的粘结碳纤维布方式仅具备控制局部裂纹的功效，补强效果并不尽如人意。而碳纤维板和钢绞线比较，优点尤为明显。例如，轻量化高强度并且耐腐蚀还有抗疲劳性强等，可以从根本上对桥梁主体进行强化，避免其断裂。此外，通过使用该工艺，还可以提高建筑的使用寿命，可以提高桥梁承载力，从而减少了加固成本。

2.2 施工控制

预应力碳纤维加固板技术作为一项新兴补强科技，施工内容一般涉及锚固的加工、施加预应力等。由于在施工工程中的施工控制，能够严控桥梁补强效应。施工技术控制指对结构构件的应力强度和稳定性加以监控，确保结构构件受力安全可靠并满足工程设计需要。监管现场施工技能处理了建筑工程质量管理中的主要技术问题，是工程质量确保中的重要部分。施工控制技术是提高桥梁建设工程产品质量的重要技术手段，施工控制一般涉及张拉力监测、梁体应力与绕度检测等保证结构安全重要内容。

【作者简介】董海涛（1993–），男，中国内蒙古赤峰人，从事桥梁研究。

3 施工工艺流程及操作要点

3.1 混凝土粘贴表面处理

在粘结预应力碳纤维板的施工中，需要凿除脆性松散层以提高粘结力。混凝土结合面上的脆性松散层应用硬质金刚石砂轮打磨掉，新表面应完全露出，松散的浮动层应用钢丝刷清除。

为保证碳纤维板与混凝土之间的设计间隙（粘结层厚度为 3~5mm），实现碳纤维板在应力拉伸过程中的平直和平衡，无阻碍，混凝土的高凸面应采用金刚石磨盘打磨，混凝土的下凹面用环氧修补胶修补。如果粘贴时混凝土湿度较高，则必须手动干燥混凝土粘贴表面。

3.2 钻植化学螺栓

①施工放样时，用钢筋检测仪标定螺栓钻孔位置。如果需要更换位置，应通知技术人员记录编号，并安排现场调整安装孔。

②电锤钻孔时，应保证钻孔中心线与混凝土梁表面垂直，钻孔中心位置偏差不超过 3mm。

③用化学胶管或植筋胶植入螺栓时，应保证孔内胶液饱满，螺栓与梁面垂直。

3.3 安装夹具单元和张拉端、固定端滑槽

①夹具单元和滑槽的中心线应与碳板的中心线平行或重叠。根据碳纤维板全长，夹具单元中心延长线的偏差不得超过 ±5mm。

②夹具单元和滑槽安装的梁面，纵横方向水平均应位于水平尺中央，两端锚具底部结合面修磨时可以低于安装梁面 1~2mm。

③安装时，两端安装孔与钻孔偏位修整后的螺栓之间的缝隙，应用环氧修补胶填平；两端支架与找平后的混凝土之间的缝隙，也应用环氧修补胶填平或找平。

3.4 碳纤维板检查和准备

碳纤维板采用卡本 CFP-I-20 型碳纤维板，且需满足 GB50728—2011《工程结构加固材料应用安全性鉴定规范》中的安全性鉴定的要求。

主要检查碳纤维板的直线度，其全长直线度偏差不超过 20mm；碳纤维复合板粘合表面的处理也很重要。粘接表面的残油容易在胶粘剂与碳纤维复合板之间产生一层油脂膜，导致胶粘剂与碳纤维复合板之间的粘接失效。使用前应先用丙酮擦拭碳纤维板。

按设计要求和现场测量长度切割碳纤维板。切割碳纤维板后，应提前在两端粘贴楔子。

3.5 碳纤维板施加应力预张拉

安装碳纤维板，拧紧螺钉使碳纤维板矫直，水平安装张拉支架和千斤顶，加压张拉至设计张拉应力值的 15%，检查碳纤维板与两端锚之间的梁表面是否有间隙。如果碳纤维板与混凝土之间存在高凸出接触点或表面，则应释放压力，并在张拉前进行拆卸和研磨。

3.6 配胶、涂抹碳板胶

碳板胶采用配套的同一品牌卡本 CFPR-A/B 型碳板胶，且需满足 GB50728—2011《工程结构加固材料应用安全性鉴定规范》中 A 级碳纤维胶的要求。

碳板粘合剂为 ab 双组分，混合比为 a ∶ b=2 ∶ 1。称量 ab 双组分并搅拌，直到颜色均匀。

碳纤维板胶粘剂制备完成后，为了使胶粘剂充分渗透、渗透并粘附到碳纤维板的黏结面上，用抹刀在碳纤维板的黏结面上刮取少量胶粘剂并刮几次，然后根据碳纤维板宽度方向中厚边薄的原则，刮至所需胶体厚度 3mm（胶体厚度根据原结构结合面平整度确定）[2]。

3.7 压紧条安装

碳纤维板涂胶并初步固定到位后，即可安装压条。在安装压条的过程中，应与混凝土表面保持约 1cm 的间隙，以便碳纤维板在张拉过程中能够自由滑动。

3.8 碳纤维板张拉

①压条安装就位后，重新安装千斤顶并调整至水平位置，加压张拉至设计张拉应力值的 15%，并记录锚具张拉动作的起始线。

②加压张拉至设计张拉应力值的 30%，检查碳纤维板边缘与梁表面之间是否有挤出胶溢出。如局部无挤胶溢出，张拉前先泄压补胶；检查预张拉期间锚具的行程位移是否与记录线一致。

③分段压力张拉至设计张拉应力值的 50%、70%、90% 和 100%，并检查张拉端锚具的行程位移是否满足理论伸长的要求。根据规范要求，张拉端锚具的行程位移与理论伸长之间的误差不应大于 ±6%。

④当张拉端锚的张拉应力值和行程位移满足要求时，将拉杆上的锁紧螺栓拧紧到位，暂停 5min，待无其他异常后，拆除千斤顶和锚具张拉支架；同时，拧紧压条上的螺栓，确保碳板和压条之间没有间隙。

⑤加压或降压时，千斤顶行程速度应控制在 20mm/min 以内，严禁快速冲和释放千斤顶行程。

⑥所有张拉应在碳板胶施涂期（60min）内完成。

⑦压条张紧安装完成后，碳纤维板即可开始胶修。碳纤维板与混凝土之间的缝隙应用胶粘剂填充，碳纤维板边缘的胶粘剂应饱满，并与混凝土基层成 45° 的斜角。

3.9 固化养护

碳纤维复合板胶粘剂的固化时间应根据施工环境温度和材料特性合理控制；当施工环境温度低于 25℃时，养护时间相对延长。

3.10 检验

按 GB50367—2013《混凝土结构加固设计规范》技术条款要求办理。

3.11 隐蔽防护

在碳纤维板预应力张拉系统中，锚具为钢构件，容易

腐蚀；由于碳纤维板由树脂复合材料制成，应避免阳光和紫外线的腐蚀。张拉完成并检查合格后，应使用附着力好、耐腐蚀、耐久性好的环氧树脂砂浆，在锚具和碳纤维板上涂抹厚度不小于 3mm 的环氧树脂砂浆进行隐蔽防护。

3.12 施工监测

加固工程完成后，将继续进行监测和测试。监测项目主要包括碳纤维表面保护层的颜色、梁的最大挠度等。结果表明，预应力碳纤维加固体系的预应力结构没有明显变化，桥梁的承载力得到了提高，碳纤维板与桥底的连接也很好，这些变化在设计允许的范围内。

4 对比优势

4.1 施工优势

①充分的使用高浓度的碳纤维复合材料，以防止了碳纤维板过早地脱落，并合理地降低了结构裂缝长度和控制裂纹的产生。

②预应力碳纤维板增强技术具备良好的综合优点，价格比高。

③预应力式碳板施工的周期相对比较短，降低了成本，提高工作效率，对城市交通的负面影响较小，环境干扰低。

④维护的周期比较长，直接降低整体的维护费用，最终降低成本。

⑤强化过程中使用了主动加固的预应力碳板，它的张拉锚固体系具备了优异的机械稳定性，使碳纤维材质均衡的受力。

⑥用预应力碳板补强，在桥梁上直接提高结构的抗弯刚度、承受能力，减少了结构变化。

4.2 施工对比

碳纤维板与粘贴多层碳纤维布加固对比（见表 1）。

表 1 碳纤维板与粘贴多层碳纤维布加固对比

	碳纤维板加固	碳纤维布加固
施工质量控制	工厂拉挤工艺加工成型，施工质量易于控制	施工质量不易控制，粘贴完毕后易出现翘边、鼓包等通病
强度	设计强度稍低，单层厚度 1.2~4.0mm，一层 1.2mm 厚碳纤维板至少相当于 5 层碳纤维布的强度，最多可粘贴 2 层，截面积无需折减	设计强度高，单层厚度 0.167mm，最多可粘贴 4 层，粘贴多层时，碳纤维布的截面积需要进行折减
施工工期	粘贴方便，基面无须严格找平处理，一层碳纤维板相当于 5 层碳纤维布的强度，无需多次粘贴，工期更短	施工工期短，只需进行打磨、找平和粘贴，无需打孔或大型机械设备辅助
成本	综合成本和多层碳纤维布相当，造价较低	碳纤维布属于成熟工艺，造价较低
呼吸透气性	同等受力情况下，粘贴面积小，对结构透气性影响小	粘贴面积大，影响透气性，进而影响加固材料耐久性

根据受力计算，一层 1.2mm 厚的高强度Ⅰ级碳板可以相当于等宽度的 5 层以上Ⅰ级 300g 碳纤维布加固的效果。而且，碳板最厚的规格为 4mm 厚，即最多可相当于等宽度 16 层以上的Ⅰ级 300g 碳纤维布加固的效果，而碳纤维布最多可以粘贴 4 层，而且粘贴多层，碳纤维布的截面积需要进行折减；即采用碳纤维板加固，同等条件下，可以大大减少碳纤维的粘贴面积，大大提高施工效率。

碳纤维板与粘钢加固对比（见表 2）。

表 2 碳纤维板与粘钢加固对比

	碳纤维布加固	粘钢加固
强度	高（是钢板 4~6 倍）	低
自重	基本不增加结构自重，碳纤维板重量仅为钢板的 1/15	略增加原结构重量
防腐性能	无需防腐处理	钢材和锚栓可能锈蚀，需要定期防腐处理
施工工期	短	长
对原结构影响	无需钻孔，不会损伤原结构	需要进行锚栓钻孔，可能损伤原结构钢筋，也有可能造成原结构损坏
加固体系厚度	基本不增加结构尺寸，碳纤维板厚度仅需钢板厚度的 1/3，且无需锚栓	略增加原结构尺寸，结构厚度增加几个厘米（含锚栓端部）
施工便利性	施工便利，仅需人工即可作业	不便利，可能需要机械辅助施工

碳纤维板加固具有轻质高强、耐腐蚀、施工便捷、不破坏原结构、加固效果好等优势，并且在结构加固中碳纤维板加固可以代替大部分的粘钢加固，由于碳纤维板应用较晚，所以在行业里应用不如粘钢广泛。根据受力计算，1.2mm 厚的高强度Ⅰ级碳板可以代替等宽度的 5mm 厚 Q235 钢板。

5 结语

综上所述，预应力碳纤维板技术在桥梁结构补强施工中广泛应用，可以有效地增强结构的抵抗变形能力，增加桥面承重的同时，还可以增强结构的总体强度，增加构件的抗弯强度，抑制裂缝的产生，并且可以节省大量的材料和降低成本。同时，经过工程的实施，碳纤维板与水泥的粘接状况良好，可以改变桥梁结构内力布置，增加桥梁整体的强度，同时与混凝土相互配合，增强补强效果和延长桥梁使用寿命，值得广泛地推广和应用 [3]。

参考文献

[1] 郑卫华,邓超.粘贴碳纤维布加固技术在桥梁维修加固中的应用[J].黑龙江交通科技,2013(12):74+77.

[2] 李慧林.碳纤维布加固的设计探讨[J].工程建设与设计,2019(8):9-11.

[3] 刘术新.碳纤维筋加固法在桥梁施工的应用[J].交通世界,2017(25):122-123.