

Research on CFP- I Prestressed Carbon Fiber Plate Reinforcing Hollow Slab Beam Technology

Fengjiu Shen Jimao Wang

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

Abstract

Combined with the engineering overview of the 20m-span hollow slab girder simply supported girder bridge, the appearance and load tests of the bridge were carried out, and a scheme of using CFP-I prestressed carbon fiber plates for its reinforcement and utilization was proposed. The design scheme, construction process and key construction technology of the CFP-I prestressed carbon fiber board reinforced bridge are analyzed, which improves the construction safety, quality and progress of the beam reinforced bridge, and at the same time avoids the waste of materials and saves costs, provide reference for other similar projects.

Keywords

prestressed carbon fiber board; hollow slab beam; reinforcement and utilization; technical research

CFP- I 型预应力碳纤维板加固空心板梁技术研究

沈风久 王继茂

中交路桥建设有限公司, 中国 · 北京 100024

摘 要

结合20m跨径空心板梁简支梁桥的工程概况, 对该桥进行了外观及荷载试验检测, 提出了采用CFP- I 型预应力碳纤维板对其加固利用的方案。对CFP- I 型预应力碳纤维板加固桥梁设计方案、施工工艺和施工关键技术进行剖析, 提高了梁板加固桥梁的施工安全、质量、进度, 同时避免了材料的浪费, 节约了成本, 可以为其他类似工程施工提供借鉴。

关键词

预应力碳纤维板; 空心板梁; 加固利用; 技术研究

1 引言

从中国内地第一条高速公路开工兴建至今, 中国高速公路已突破 14 万 km, 前期兴建的桥梁结构形式大多为简支梁, 其中运营时间较长的桥梁梁板难免出现裂缝、承载能力降低、底部跨中挠度增大等情况, 影响桥梁美观、行车安全。若要推倒重建这些桥梁不仅耗资巨大, 还要封闭交通, 给人们带来不便, 给国家带来严重的经济负担, 因此对桥梁采取措施加固利用非常必要。

在追求简单、有效地加固方法过程中, 发现 CFP- I 型预应力碳纤维板在加固领域有较好的应用和发展, 预应力碳纤维板加固系统是一种应用于桥梁、大跨度等受弯构件的主动加固技术。通过预应力碳纤维板的张拉, 提升构件的承载能力, 同时减少扰度变形, 减少封闭构件裂缝。CFP- I 型预应力碳纤维板具有抗拉强度高、耐腐蚀性强、施工简单等优点, 同时提升了碳纤维抗拉强度利用率, 因此采用

【作者简介】沈风久 (1991-), 男, 中国内蒙古赤峰人, 本科, 工程师, 从事桥梁研究。

CFP- I 型预应力碳纤维板加固 20m 空心板梁。论文以二广高速集宁至阿荣旗联络线项目大板至查白音塔拉段鲍家店大桥为依托, 对其加固施工的关键技术进行研究^[1]。

2 CFP- I 型预应力碳纤维板技术指标

2.1 CFP- I 型预应力碳纤维板材料力学性能表

CFP- I 型预应力碳纤维板材料力学性能见表 1。

表 1 CFP- I 型预应力碳纤维板材料力学性能表

性能项目	材料等级	性能指标	性能项目	材料等级	性能指标
抗拉强度	I 级	$\geq 2400\text{Mpa}$	纤维体积含量	I 级	$\geq 65\%$
受拉弹性模量	I 级	$\geq 160\text{Gpa}$	层间剪切强度	I 级	$\geq 50\text{Mpa}$
伸长率	I 级	$\geq 1.6\%$			
纤维复合材与基材	对混凝土与砌体基材: $\geq 2.5\text{Mpa}$, 且为基材内聚破坏				
正拉粘接强度	对钢基材: $\geq 3.5\text{Mpa}$, 且不得为粘附破坏				
锚具效率系数	$\geq 95\%$				

2.2 CFP- I 型预应力碳纤维板与粘贴多层碳纤维布加固对比

根据受力计算，一层 1.2mm 厚的 CFP- I 型预应力碳纤维板可以相当于等宽度的 5 层以上 I 级 300g 碳纤维布加固效果。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，碳纤维布的截面面积需要进行折减；即采用炭纤维板加固，同等条件下，可以大大减少碳纤维布的粘贴面积，大大提高施工效率。对于结构来说，可以提高结构的开裂荷载、屈服荷载和极限荷载，减小构件变形，有效地抑制裂缝的形成开展，让碳纤维板的被动加固变为主动加固，发挥碳纤维板的高强性能。具体对比数据见表 2。

表 2 CFP- I 型预应力碳纤维板与粘贴多层碳纤维布加固对比表

	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	粘贴完毕后易出现翘边、鼓包等通病，施工质量不易控制
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板相当，造价交底	碳纤维布属于成熟工艺，造价交底
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

2.3 CFP- I 型预应力碳纤维板与粘钢加固对比

碳纤维板加固技术是一种新型式的加固修补的技术方法，主要是利用树脂类粘结材料于混凝土表面和构件受力部位粘贴碳纤维板，达到对建筑结构加固作用。碳纤维板加固具有轻质高强、耐腐蚀、施工快捷、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，所以在行业内应用不如粘钢广泛。

粘钢加固法是在混凝土构件表面用特制的建筑结构胶粘钢板，以提高结构承载力的一种加固方法。这种方法使现有结构系统几乎没有改变，同时合理的设计和规范地实施这一工作将能保证在设计荷载范围内结构的整体联合作用，粘在混凝土梁受拉表面的钢板能提高抗弯能力，同时也能提高抗弯刚度并相应地减少挠度和开裂口。一般粘钢加固要求基体混凝土强度等级不低于 C15，环境温度不超过 60℃，相对湿度不宜大于 70%，后期维护费用较高，不宜用于腐蚀环境中；粘钢加固对加固施工工艺要求较高。根据受力计算，

1.2mm 厚的高强度 I 级碳纤维板可以代替等宽度的 5mm 厚 Q235 钢板。根据受力计算，1.2mm 厚的高强度 I 级碳纤维板可以代替等宽度的 5mm 厚 Q235 钢板。具体对比数据见表 3^[2]。

表 3 CFP- I 型预应力碳纤维板与粘钢加固对比表

	碳纤维板加固	粘钢加固
强度	高，是钢板的 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
施工工期	短	长
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	略增加原结构尺寸，结构厚度增加几厘米
施工便利性	施工便利，仅需人工及手提式等小型机具	不便利，需大型机械辅助施工

3 CFP- I 型预应力碳纤维板加固设计

3.1 依托工程概括

鲍家店大桥为简支梁桥，上部结构形式为 3×20m + 3×20m 空心板梁。通过对鲍家店大桥进行外观检查及荷载试验，鲍家店大桥桥梁总体技术状况评定等级为 3 类；上部主要承重构件检测结果如下。

该桥主梁共计存在 72 条横向裂缝，最宽 0.2mm；横向、竖向、斜向裂缝总长度为 71m，总条数为 72 条。纵向未超限裂缝总长度为 64.1m，共计 44 条；超限裂缝总长度为 2.3m，共计 2 条。实际情况见图 1、图 2。



图 1 梁底纵向裂缝



图 2 梁底横向裂缝

3.2 20m 空心板梁加固方案设计

通过桥梁检测得知,存在梁底受力横向裂缝和纵向裂缝,但裂缝宽度都较小。为提高结构承载能力,减少上部结构裂缝的开展,本次设计对底板粘贴预应力碳纤维板主动加固,预应力产生的反向弯矩,可抵消一部分初始荷载的影响,提高使用阶段的承载力,使空心板梁中原有裂缝宽度减小甚至闭合,并限制新裂缝的出现,从而提高构件的刚度,减小原空心板梁的挠度,改善使用阶段的性能。

预应力碳板张拉锚固单元由固定端锚具、张拉端锚具、固定端支座、张拉端支座、压条、锚栓、配套螺母垫片、张拉工装等组成。其中,张拉工装含张拉杆、张拉端挡板、千斤顶、手油泵,用于配合进行张拉施工。张拉机具布置图见图3。

顺桥向在组合箱梁底板张拉一条单层碳纤维板,碳纤维板厚度为2.0mm,宽度100mm,预应力碳纤维板通过固定端与张拉端的钢构件与组合箱梁底面连接,钢构件采用Q345钢材,钢结构表面采用整体镀锌防腐处理。碳纤维板布置图见图4。

采用预应力碳纤维板加固后,对梁板重新进行应变值检测,应变值得到明显的改善,加固效果良好^[3]。

4 CFP-Ⅰ型预应力碳纤维板加固施工关键技术

预应力碳纤维板加固属于主动加固技术,利用碳纤维板高强、高弹的材料特性,通过对碳纤维板预张拉,产生初始预加力,用来平衡原梁一部分载荷,从而很大程度延缓裂缝的开展和减小裂缝宽度,有效增加结构刚度,减小结构构件的挠度,缓解内部钢筋的应变,提高钢筋的屈服荷载和结构的极限承载能力。

预应力碳纤维板加固施工工艺流程如图5所示。

4.1 混凝土粘贴表面处理

粘贴预应力碳纤维板加固施工中,需打凿掉脆化疏松层,提高粘结力。对混凝土粘贴面的脆化疏松层,应采用硬质金刚石磨轮打磨掉且完全露出新面,并用钢丝刷清除疏松浮层。为了保证碳纤维板与混凝土之间的设计间隙(胶层厚度3~5mm),实现碳纤维板受力张拉时平直均衡无阻碍,对混凝土高凸面应采用金刚石打磨片打磨,对混凝土低凹面应采用环氧修补胶修补。假如粘贴时混凝土湿度较大,对混凝土粘贴面尚需进行人工干燥处理。

4.2 钻植化学螺栓

①施工放线采用钢筋探测仪标定螺栓钻孔位置,假如遇到钢筋需移位,应通知技术人员记录编号,并安排现场修整支座板安装孔。

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

③采用化学胶管或植筋胶植入螺栓时,应保证孔内胶液饱满且螺栓垂直于梁面。

4.3 安装夹具单元和张拉端、固定端滑槽

①夹具单元和滑槽中心线应与碳板中心线平行或重叠,夹具单元中心延长线按碳纤维板全长计算偏差不得超过 $\pm 5\text{mm}$ 。

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。

③两端的安装孔因钻孔偏差修整后与螺栓出现的间隙,安装时应使用环氧修补胶填补,两端支座调平后与混凝土的空隙,也应采用环氧修补胶填补或找平。

④连接张拉端工具拉杆、工具挡板等,并安装标定千斤顶,连接油管、标定油泵和油表。

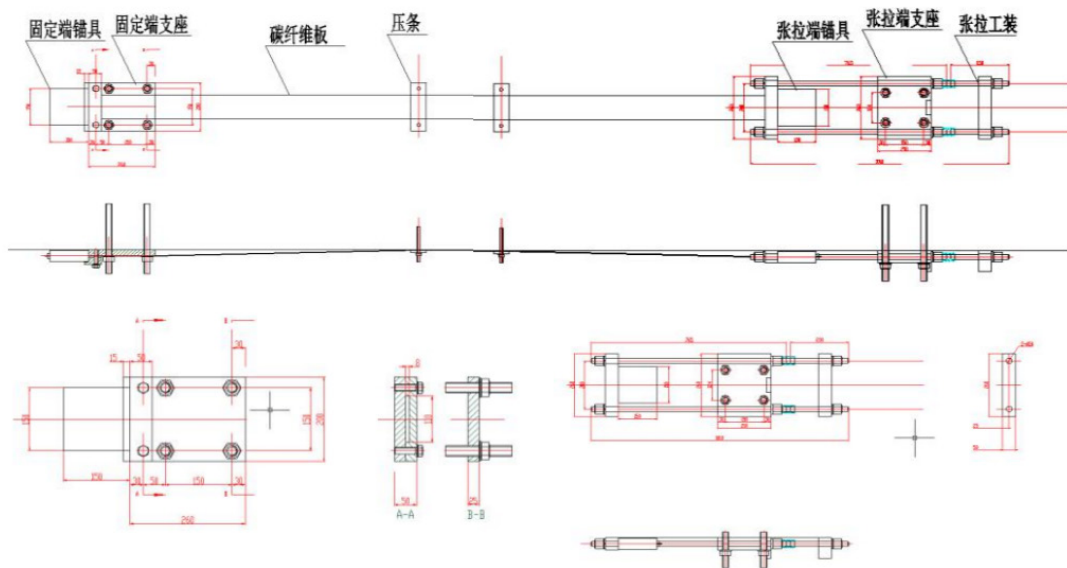


图3 张拉机具布置图

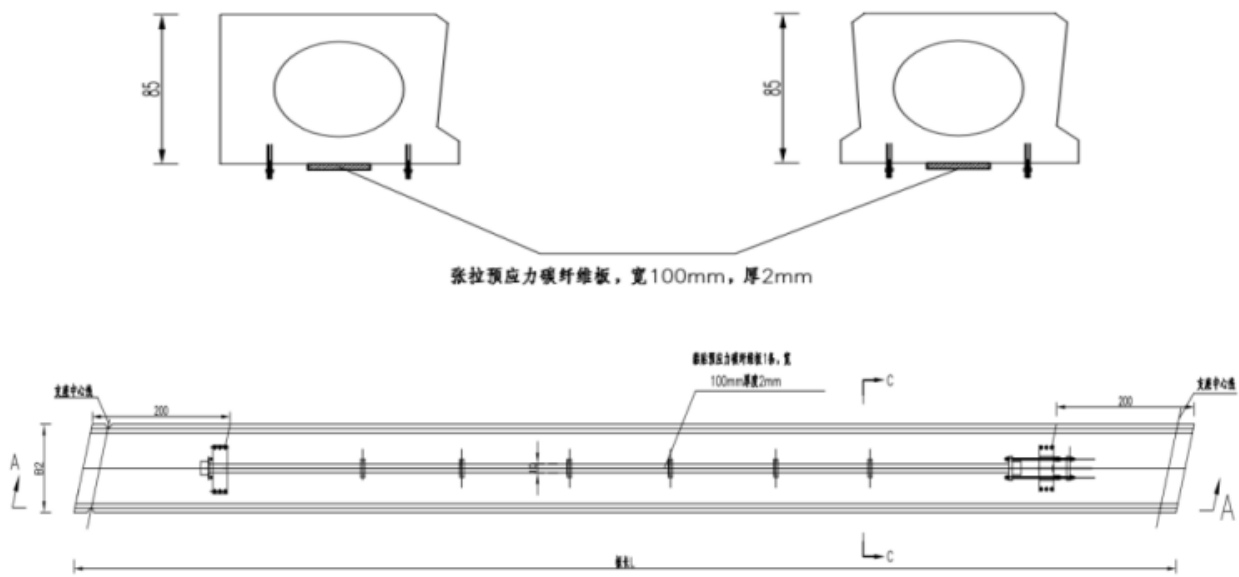


图4 碳纤维板布置图

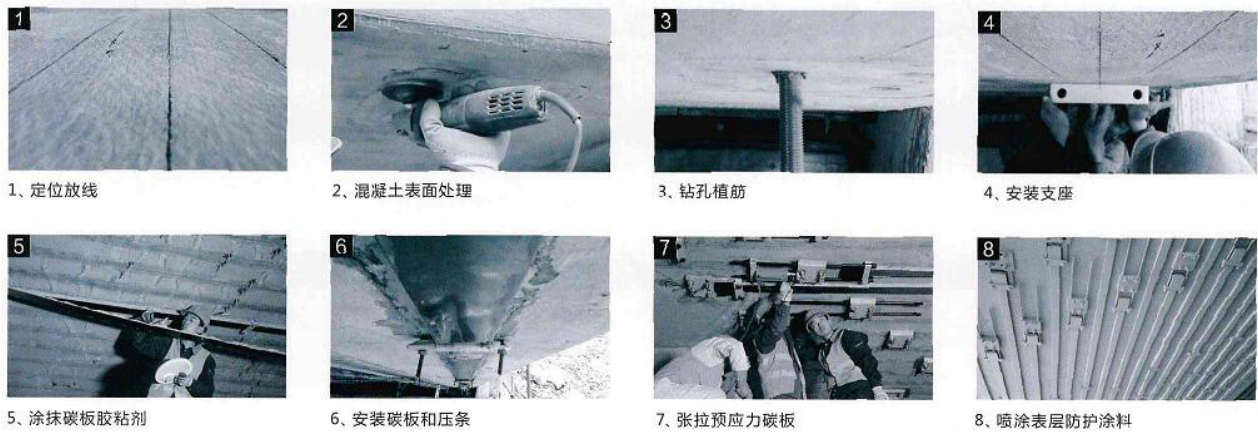


图5 预应力碳纤维板加固施工工艺流程

4.4 碳纤维板检查和准备

预应力碳纤维板采用卡本 CFP-I 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。碳纤维板重点检查碳纤维板直线度, 其全长直线度偏差不得超过 20mm; 对于碳纤维复合板材粘贴表面的处理同样重要, 粘贴表面残留的油污在胶粘剂与碳纤维复合板材之间容易产生一层油脂状薄膜, 导致胶粘剂与碳纤维复合板材之间黏结失效, 要求碳纤维板使用前使用丙酮擦拭干净。

按照设计要求和现场量测的长度, 裁剪碳纤维板, 碳纤维板裁剪完之后, 需提前在两端粘贴楔块。

4.5 碳纤维板施加应力预张拉

安装碳纤维板并旋紧螺杆拉直碳纤维板, 安装张拉支架和千斤顶且处于水平位置, 加压力张拉至设计张拉应力值的 15%, 检查两端锚具之间碳纤维板与梁表面是否有间隙, 如碳纤维板与混凝土有凹凸接触点或面, 应泄压拆卸打磨

后再张拉。

4.6 配胶、涂抹碳板胶

碳板胶需满足 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。

碳板胶配制好后, 为了使胶粘剂能充分浸润、渗透、粘附于碳纤维复合板材粘贴面, 应先使用抹刀在碳纤维复合板材粘贴面刮抹少量胶粘剂, 并且用力刮抹数遍, 然后按照碳纤维复合板材宽度方向中间厚、边缘薄的原则, 再刮抹至所需胶体厚度 3mm (胶体厚度根据原结构粘结面平直度而定)。

4.7 压紧条安装

碳纤维板涂抹胶粘剂并初步固定就位后, 即可安装压紧条, 压紧条安装时需与混凝土面保持 1cm 左右的缝隙, 以便张拉时碳纤维板可以自由滑动。

4.8 碳纤维板张拉

①压紧条安装就位后, 重新安装千斤顶并调整处于

水平位置,加压张拉至设计张拉应力值的15%,刻录锚具张拉移动起始线。

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胶液挤压溢出,如局部未出现胶液挤压溢出现象,应泄压补充胶液后再张拉;检测锚具行程位移是否对应预张拉时的刻录线。

③分段加压张拉至设计张拉应力值的50%、70%、90%、100%,检测张拉端锚具行程位移是否满足理论伸长量的要求,按规范要求张拉端锚具行程位移与理论伸长量误差应不大于 $\pm 6\%$ 。

④当张拉应力值和张拉端锚具行程位移满足要求后,将拉杆上面的锁固螺栓扭紧到位,停顿5分钟没有其他异常情况,拆除千斤顶和锚具张拉支架;同时将压紧条上的螺栓扭紧,保证碳板与压紧条之间无空隙。

⑤加压或减压时,千斤顶行程速度应控制在20mm/min以内,严禁快速冲、放千斤顶行程。

⑥所有张拉都应在碳板胶适用期内(60min)完成。

⑦张拉结束和压紧条安装完毕后,即可开始碳纤维板的补胶工作,要求碳纤维板与混凝土之间的缝隙均填满胶粘剂,且碳纤维板边缘胶粘剂饱满并与混凝土基层呈 45° 斜角。

⑧张拉结束后,拆掉千斤顶、工具挡板等可拆除部件;割掉过长的张拉杆,完成整个张拉过程。

4.9 隐蔽防护及检查验收

碳纤维板预应力张拉体系中,锚具为钢构件,容易发生锈蚀;碳纤维板因材质为树脂复合,应避免阳光紫外线侵蚀,张拉完成检验合格后,应使用具有较好粘结性、防腐性和较好耐久性的环氧树脂砂浆,对锚具、碳纤维板涂抹不少于3mm厚度的环氧树脂砂浆进行隐蔽防护。施工结束后的现场验收以施工时张拉数据与伸长值进行控制,其中伸长量

容许误差为10%。施工结束后以小锤敲击碳纤维板条,每根检查,根据声音判断,不能出现空鼓现象。

4.10 施工中注意事项

①施工前必须对施工机具、临时设备及其他保障措施进行详细检查、核对,在确保万无一失后方可施工。

②碳纤维板应尽量远离电器设备及电源,使用中避免弯折。与碳纤维板配套的树脂原料应密封储存,远离火源,避免阳光直接照射。

③在碳纤维板张拉过程中,要对梁体挠度的变化进行观测,若挠度变化异常,应停止张拉,并查明原因。

5 结语

论文通过对施工过程的严格管控,总结了一套CFP-I型预应力碳纤维板加固桥梁施工时的关键技术。通过对关键技术的管控,空心板梁加固施工安全、质量、进度显著提高,同时避免了因工序、关键技术管控不足造成材料的浪费,节约了成本。依托工程加固施工的成功,证明了施工关键技术桥梁加固施工中的地位,可为后续桥梁加固施工提供了借鉴。尤其针对桥梁经长时间服役,其使用性能及承载能力发生退化,大量旧空心板桥出现铺装开裂、空心板之间铰缝失效严重,出现单板受力导致梁板承载力大幅降低,危及桥梁安全。采用预应力碳纤维板加固技术可快速有效地对受损梁板进行加固修复,提升桥梁承载能力。

参考文献

- [1] 滕建军,张东,范蕾.预应力碳纤维板加固技术研究[J].山东交通科技,2015(3):55-57.
- [2] 麻文进.预应力碳纤维板加固技术在桥梁养护工程中的应用研究[J].交通世界,2022(2):53-54.
- [3] 吴志平,赵海东,张甜甜.预应力碳纤维板加固组合箱梁应用研究[J].施工技术,2013,42(17):68-70+103.