

# 体外预应力碳纤维板加固梁桥工程应用

龙钦初, 龙策

(湘潭市公路管理局, 湖南 湘潭 411100)

**摘要:**该文简要介绍了采用专用夹具锚进行体外预应力碳纤维板加固桥梁的特点、原理及施工要点,并结合具体工程实例,探讨了该型夹具锚进行体外预应力碳纤维板加固桥梁工程的应用。

**关键词:**体外预应力碳纤维板;夹具锚;桥梁加固

随着汽车工业的飞速发展,一方面客、货运车辆数量不断增加;另一方面单台车辆的载荷能力不断提高,公路运输客、货物周转量与日俱增。为与之相适应,公路工程技术标准不断修订,桥梁设计荷载等级标准由最初的汽车—10级、拖车—60级,修订到现时的公路—Ⅱ级、公路—Ⅰ级。对于既有桥梁,一是随着运营时间的延续,逐渐趋近于其设计使用年限,二是与桥梁当初设计时的荷载等级标准相比,超负荷运行。故承载潜能相对有限的梁式桥的主要承重构件——梁,出现疲劳损伤的机率越来越大。梁体一旦出现损伤,承载力降低,不能满足运营需要时,拆除重建,固然能一劳

永逸,但资源消耗量大。所以,对既有桥梁进行加固,使其适用现代交通发展需要尤显重要。

## 1 体外预应力碳纤维板加固桥梁的特点

### 1.1 体外预应力碳纤维板加固桥梁的优点

该文所述采用专用夹具锚进行体外预应力碳纤维板加固桥梁技术,其优点主要表现在:① 预应力损失小。其有效预应力的保持,完全依靠夹具锚碳纤维板锚具的夹锚能力,不依赖任何胶黏剂的黏结作用,无须考虑辅材老化,耐久性好;② 具有很好的经济技术性。

施工简单、施工难度小、工期短。其次浇筑混凝土覆盖层锚固技术仅增加了混凝土材料成本,无需增加其他设备,经济效果好。

(2) 浇筑覆盖层混凝土锚固栈桥后,栈桥结构在正常使用状态时结构强度、刚度均满足规范要求。

(3) 被洪水淹没后,栈桥不会发生倾覆滑移,理论计算钢管桩顶最大位移为 19.5 mm,发生 50 年一遇洪水时实际桩顶最大位移为 22.5 mm,考虑到漂流物减小了过水面积等的影响,理论值与实际值基本吻合,洪水期间栈桥可保持稳定。

(4) 钢栈桥施工过程中,每次洪水过后,应及时清理冲挂在栈桥上的各类漂浮物,防止其过水面积减小,流水冲击力增大。施工期间应加强监控量测,发现位移增大区域,及时采取相应的补强加固措施。

## 参考文献:

[1] 潘龙,孙健,周彦,等.青龙湾大桥跨海大型钢栈桥船吊施

工技术[J].施工技术,2016(24).

[2] 胡红波,彭鑫,滕丹.根式基础在密实砂土地区的应用研究[J].中外公路,2018(6).

[3] 伊凯.深水急流裸岩钢栈桥施工技术[J].铁道建筑技术,2016(2).

[4] 王雪岩.桩底锚固技术在钢管桩栈桥施工中的应用[J].北方交通,2013(7).

[5] 李荣.双壁钢围堰支撑体系优化设计研究[J].中外公路,2018(1).

[6] 李二伟,赵少强.浪河特大桥 15 号主墩围堰施工方案研究[J].施工技术,2019(17).

[7] JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范[S].

[8] 肖丹.湘江下游水流运动及物质输送的数值模拟研究[D].长沙理工大学硕士学位论文,2017.

[9] GB 50017—2017 钢结构设计规范[S].

[10] 陈富强,田唯,刘占国,等.匹配浇筑混凝土接触面摩擦系数试验研究[J].中国港湾建设,2014(12).

[11] 尹玉林,余昌平,易佳飞.钢套箱水下封底施工技术探讨[J].公路,2019(5).

不仅加固的初次成本低,而且基本不要进行后期维护,环境适用性强;③ 梁的抗弯拉能力显著增强,桥梁荷载等级可以大幅度提高;④ 维修加固过程中,对桥梁造成的二次伤害小,不中断交通;⑤ 所新增的恒载少,与桥梁原有恒载及承受的活载相比,所增加的恒载几乎可以忽略不计;⑥ 碳纤维板布置简单,施工方便,质量可靠。无需大型设备、人员精干,施工周期短。

## 1.2 体外预应力碳纤维板加固桥梁的不足之处

① 预应力碳纤维板工作的环境温度不应高于其制造时固化形成时的温度,为 90℃ 左右;② 由于碳纤维板抗剪性能差,在锚固碳纤维板的过程中,紧固夹锚螺栓时须严格遵守螺栓的紧固顺序和设计扭力。

## 2 体外预应力碳纤维板加固原理

体外预应力碳纤维板布置于梁体受弯拉(正、负弯矩)部位的外侧,锚栓将锚具底座锚固于钢筋混凝土梁体上,施加了预应力的碳纤维板通过夹具锚,经锚栓与锚具底座将预应力传递到梁体。预应力在梁体上产生的反弯矩部分抵消外荷载产生的弯矩,起到抑制裂缝开展及挠曲变形作用,从而大大提高桥梁承载能力和桥梁结构的刚度。弯拉部位(正、负弯矩区)具有平直基面(如 T 形梁、矩形板梁、箱梁等连续或简支梁式桥)的钢筋混凝土梁式桥,可以采用体外预应力碳纤维板进行加固。体外预应力碳纤维板体系的基本组成主要包括:体外预应力碳纤维板、润滑与黏结剂,体外预应力碳纤维板专用夹锚等。

## 3 体外预应力碳纤维板加固施工工艺流程

体外预应力碳纤维板加固施工工艺流程为:建设施工平台→放样→混凝土表面结构处理→开槽→钻锚具及支架螺栓锚固孔→螺栓植筋→螺栓植筋养生→安装锚具底座→碳纤维板材下料→安装张拉器→敷设碳纤维板→紧固碳纤维板于固定端→固定碳纤维板于张拉机→张拉→锚固碳纤维板于张拉端→紧固支托支回螺栓→油缸卸载→移除张拉机→涂抹锚具与预应力碳纤维板的防护胶砂→拆除施工平台。

## 4 体外预应力碳纤维加固施工要点

(1) 放样定位。根据桥梁加固设计施工图,在梁

体表面标画出碳纤维板、锚具及锚具螺栓孔的位置。

(2) 梁体基面混凝土表面处理。对梁体基面混凝土的表面进行清洗,用砂纸打磨,并清除尖锐凸起物。

(3) 开槽。在梁体上对锚具(张拉器)底座位置进行开槽。开槽应不伤及梁体中钢筋,开槽深度约为梁体钢筋的保护层厚度,深约 3 cm。

(4) 锚具底座螺栓植筋。事先探明梁体原有各种钢筋的位置,法向垂直于梁体基面钻孔,孔深为植埋螺栓长+(3~5) mm,孔径为螺栓直径+(1~2) mm。采用无机结构植筋胶,植入锚具底座的锚固螺栓杆。

(5) 锚具底座安装。待锚固螺栓杆的结构植筋胶强度达到设计要求后,安装锚具底座。

(6) 下料。按设计长度+60 cm 左右的张拉操作长度进行下料。下料采用砂轮切割机裁切碳纤维板。

(7) 安装张拉机及支架螺栓。在工作锚的槽位中安放张拉机。为避免碳纤维板操作时扭曲,按纵向间距 1.0 m 左右设置托举支架。

(8) 敷设碳纤维板。将碳纤维板依次敷设通过固定端锚具、托举支架、张拉端锚具、张拉器工作锚。

(9) 张拉碳纤维板。采用高精度扭矩扳手按设计给定的各锚具螺栓扭矩,依设计给定的紧固顺序进行紧固。采用同步顶升千斤顶对碳纤维板进行张拉。

预应力碳纤维板加固梁桥技术,预应力控制是关键。张拉施加的预应力可通过计算确定,即根据测定的碳纤维板伸长量、净长、弹性模量,依据下式进行计算:

$$\sigma_{\text{con}} = E \times \epsilon_l = E \times \Delta l / l \quad (1)$$

式中: $\sigma_{\text{con}}$  为张拉控制应力; $E$  为碳纤维板弹性模量; $\epsilon_l$  为碳纤维板的应变值; $\Delta l$  为碳纤维板的伸长量; $l$  为碳纤维板的净长度(固定端锚具边至张拉端夹具边缘之间的距离)。

为实现施加预应力的直观性与可操控性,张拉预应力碳纤维板前,应事先建立施加给碳纤维板的预应力与施加预应力设备的油缸(应标定)读数之间的一一对应关系。对碳纤维板施加预应力应以张拉应力控制为主,以伸长量控制为辅,进行双重控制。

张拉时先将试张拉油缸卸载,在待张拉的碳纤维板上布置好应变片后,自油缸压力表读数零开始,按设计 5 cm 宽和 10 cm 宽的碳纤维板以每分钟加载 3~5 MPa 的速度逐级加载,5 MPa 一级,逐级进行张拉,直到符合设计要求值并持荷 5 min。最后按设计扭矩以紧固夹锚具螺栓,使碳纤维板紧固于锚具上。卸载油缸,将张拉端尾部碳纤维板切除,拆除张拉器。

(10) 防护。在预应力碳纤维板表面及锚具外露面积涂抹厚度为3~5 mm的LX-3型高强复合砂浆,防止阳光直接照射碳纤维板,预防锚具生锈。

## 5 工程实例

### 5.1 工程概况

株津渡大桥位于湖南湘乡市以西约8 km跨涟水河的320国道上,1999年竣工通车,为一座预应力混凝土变截面单箱双室连续箱梁桥,总长306.24 m,共9跨(2×30+2×50+4×30+20) m,最大跨度50 m。桥梁设计荷载等级为汽车-20级。2012年,该桥箱梁四分点出现了较多的弯剪裂缝,跨中部位存在较多横向框架受力性能不足的结构裂缝,桥梁挠度变大。经检测,发现该桥抗弯、抗剪强度不足,刚度偏小,鉴定为四类危桥,须及时进行加固改造。

限于篇幅,该文仅介绍采用夹具锚进行体外预应力碳纤维板加固梁体、提高其抗弯能力的应用。

### 5.2 体外预应力碳纤维加固措施

通过采用专用夹具锚进行体外预应力碳纤维板技术加固大桥的钢筋混凝土箱梁,以提高桥梁抗弯承载能力和抗弯刚度。

设计于正弯矩区加固采取在具有平直基面的箱梁底面或箱梁内、外腹板,负弯矩区采取在桥面铺装层下进行体外预应力碳纤维板加固梁体。

#### 5.2.1 跨中正弯矩区

(1) 变截面跨:在跨中箱梁腹板进行体外预应力碳纤维板张拉加固。共布置10 cm宽的预应力碳纤维板28道。

(2) 等截面跨:在箱梁底板底面进行预应力碳纤维板张拉加固。布置5 cm及10 cm宽的预应力碳纤维板各20道。

#### 5.2.2 负弯矩区(支座位置)

采用在箱梁顶板顶面进行预应力碳纤维板加固。共布置10 cm宽的预应力碳纤维板8道。

#### 5.2.3 碳纤维板的控制应力 $\sigma_{con}$ 及应变 $\epsilon_1$

设计采用LXMJ-100、LXMJ-50预应力碳纤维

板锚具和抗拉强度 $>2\ 200$  kPa,弹性模量 $>165$  GPa,截面为100 mm×1.2 mm和50 mm×1.2 mm,耐高温 $<100$  °C的碳纤维板。每道碳纤维板的张拉控制应力 $\sigma_{con}$ 均为1 000 kPa,应变 $\epsilon_1$ 为 $1/165\times 10^{-3}$  m。

## 6 结语

桥梁加固完工和使用1年后,经过两次检测评定,箱梁符合设计预期的加固效果,抗弯、剪拉能力满足现行JTG B01-2014《公路工程技术标准》所要求的公路—I级荷载标准,梁体加固时被注浆封闭的弯剪裂缝、跨中部位横向框架受力性能不足的结构裂缝没有出现异常,也没有出现新的裂缝,梁体挠度趋于正常。经近3年的持续观测(预埋应力片),累计预应力损失为0.34%,小于规范要求值0.4%。经验证明,采用专用夹具锚进行体外预应力碳纤维板技术加固梁桥的实用性、可靠性、耐久性和经济性同其他形式锚固碳纤维板或钢绞线进行体外预应力技术加固桥梁相比较,具有较好的推广价值。

### 参考文献:

- [1] 尚守平. 土木工程结构加固现代实用技术[M]. 北京:中国高等教育出版社,2015.
- [2] 尚守平,彭晖,张毛心,等. 土木建筑工程用的碳纤维板锚具[P]. 专利号:ZL 2006 2 005484.1,2007年8月15日.
- [3] 尚守平,张毛心,彭晖,等. 一种纤维板材预应力张拉装置[P]. 专利号:ZL2005 1 0031702.7,2008年11月26日.
- [4] 尚守平,彭晖,汪明,等. 预应力碳纤维板加固受弯构件的延性控制方法[J]. 建筑结构学报,2009(1).
- [5] 金勇俊,尚守平,彭晖,等. 碳纤维板施加预应力技术在桥梁加固中的应用[J]. 公路与汽运,2007(5).
- [6] 彭晖,尚守平,金勇俊,等. 预应力碳纤维板加固受弯构件的试验研究[J]. 工程力学,2008(5).
- [7] 张海辉. 碳纤维板加固后张预应力板梁受力性能试验研究[J]. 中外公路,2017(2).
- [8] 杨雪峰. 预应力混凝土空心板桥梁加固方法对比分析[J]. 中外公路,2019(3).