

# 碳纤维加固技术在某码头维修工程中的应用

刘现鹏 张强

**摘要:**介绍了某码头维修工程中加固方法的确定,分析了其加固原理,论述了碳纤维加固技术的设计和施工方法,通过与其他加固方法作对比,表明了该加固技术的应用效果是显著的。

**关键词:**碳纤维材料,加固方法,横梁截面

**中图分类号:** TU746.3

**文献标识码:** A

碳纤维加固混凝土是指在混凝土构件表面粘贴碳纤维材料,利用树脂类材料把碳纤维和待加固构件粘固在一起,形成复合材料 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic),通过其与所加固的构件的协同工作,达到对结构构件补强加固及改善受力性能的目的。该方法具有施工工艺简便,强度高,自重轻,运输方便,便于操作,施工工期短等优点,而且施工不用占用原建筑空间,拥有众多传统加固方法不具有的优点,是一种方兴未艾的加固技术。但在港工上,利用碳纤维加固受损构件应用较少,原因主要是码头构件受到潮水等潮湿环境因素的影响,采用普通方法加固构件后效果不够理想。因此,本次选用碳纤维加固就是在选择适合材料、选择适合的加固施工方法的基础上,对碳纤维加固在港口工程应用上所做的一次有益尝试和试验。

## 1 工程概况及加固方法的确定

本次加固的是某码头的横梁,横梁断面为  $500 \times 600$ ,设计采用 C35F300 混凝土。横梁梁底混凝土局部有裂缝,裂缝宽度不大于  $0.1 \text{ mm}$ ,经过分析确定裂缝是该段码头荷载增加而造成。荷载增加造成了横梁破损外,造成面板破损也很多,但面板破损在该段码头的维修工程中采用更换构件的方法,所更换的面板厚度增加了  $20 \text{ cm}$ ,从而满足了荷载要求,但是面板厚度增加后,为保持码头面的高程相差不是太大,横梁高度不宜再增加,所以更换横梁不合时宜,而且横梁破损较少,所以经反复论证和经济技术

可行性比较,决定采用碳纤维布加固横梁。

## 2 加固的原理

由于碳纤维材料具有优良的力学性能,其抗拉强度一般为钢材的十几倍,但是,碳纤维材料织成碳纤维布后,其中的各碳纤维丝难以完全共同工作,在承受荷载时,一部分应力较大的碳纤维丝首先达到其抗拉强度后破坏,从而退出工作状态,以此类推,其他碳纤维丝也逐渐断裂,直至整体破坏<sup>[2]</sup>。而使用粘结树脂后,各碳纤维丝能很好地共同工作,大大提高碳纤维布的抗拉强度,故碳纤维加固首先必须使碳纤维布中的碳纤维丝能共同工作,因此粘结树脂对碳纤维布的加固起着关键的作用,它既要确保各碳纤维丝共同工作,同时又确保碳纤维和所加固的结构共同工作,从而达到加固目的。

## 3 碳纤维加固设计

横梁截面:  $b \times h = 500 \times 600$ ,  $A_s = 2\,512 \text{ mm}^2$ ,  $A_s' = 1\,256 \text{ mm}^2$ ,混凝土经过回弹法测定强度超过 C40,设计时以 C40 计;钢筋保护层经测定为  $50 \text{ mm}$ 。

加固设计参照《港口工程混凝土结构设计规范》和《碳纤维片材加固混凝土结构技术规程》,采用以概率论为基础的极限状态设计法进行计算,计算要考虑二次受力的影响。

首先,所加固梁正截面受弯承载力按照下列实用公式计算:

3) 竖向管线应在墙底排砖时确定敷设位置,从顶部梁板向下敷设的管线根据出口处标高提前下料(不与接口连接)随墙体砌筑埋设在砌块的孔洞内,砌块从埋设的管线上端穿孔砌筑,当砌至接近梁板底时,再提起管线与上部接口连接。管线出口处应采用 U 型小砌块竖砌(穿管位置处打孔便于预埋管线),内埋开关、插座或接线盒等配件,四周用水泥砂浆填实。

一些工程中提前将管线与上部接口连接,砌筑时将砌块侧面切口,将管线从砌块侧面套入砌块的孔洞中,这种做法虽然从砌体表面看不出缺陷,但砌体质量已受到了影响。也有的工程采用了实心砖砌体的管线敷设方法,墙体砌筑时在管线位置夹砌红

砖,砌完后切槽埋管,造成比较严重的混砌现象,给后期装修留下隐患。

## 4 结语

焦渣空心砌块填充墙砌体有别于普通混凝土空心砌块承重墙砌体,也不同于其他实心砌块砌体,施工中,不但要认真做好墙体排块设计,选好焦渣空心砌块的规格,而且注意各部位的做法,精心组织施工,才能砌出符合要求的墙体。

## 参考文献:

[1] GB 50203-2002, 砌体工程施工质量验收规范[S].

[2] JGJ/T 14-2004, 混凝土小型空心砌块建筑技术规程[S].

## Discussion on construction method of cinder follow block filling wall

MA Jin-tai

**Abstract:** Combined with experiences of construction, it introduces effective measures from wall design and selection of cinder follow block according to existed problems in construction of cinder follow block filling wall, which can suit for requirement of wall.

**Key words:** cinder follow block, filling wall, wall design, binding bar

收稿日期: 2005-10-12

作者简介: 刘现鹏(1977-), 男, 工程师, 交通部天津水运工程科学研究所, 天津 300456

张强(1973-), 男, 高工, 交通部天津水运工程科学研究所, 天津 300456

1) 当混凝土受压高度  $x < 2a'$  时:

$$\begin{cases} f_{cm}bx + f_y'A_s' = f_yA_s + \sigma_{cf}A_{cf} \\ M_u \leq \sigma_{cf}A_{cf}(h - a_s') + f_yA_s(h_0 - a_s') \end{cases} \quad (1)$$

2) 当混凝土受压高度  $x > 2a'$  时:

$$\begin{cases} f_{cm}bx + f_y'A_s' = f_yA_s + \sigma_{cf}A_{cf} \\ M_u \leq \sigma_{cf}A_{cf}(h - x/2) + f_yA_s(h_0 - x/2) - f_y'A_s'(x/2 - a_s') \end{cases} \quad (2)$$

然后, 依照《碳纤维片材加固混凝土结构技术规程》规定, 有下列规程公式:

3) 当受压区混凝土高度  $x \leq 2a'$  时, 弯矩按下式计算:

$$M_u \leq f_yA_s(h_0 - a') + E_{cf}[\epsilon_{cf}] \cdot A_{cf}(h - a') \quad (3)$$

4) 当受压区混凝土高度  $x \leq \xi_{cfb}h$  时, 弯矩按下式计算:

$$M_u \leq f_yA_s(h_0 - 0.5\xi_{cfb}h) + E_{cf}[\epsilon_{cf}] \cdot A_{cf}h(1 - 0.5\xi_{cfb}) \quad (4)$$

其中,  $\xi_{cfb} = 0.8\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} + [\epsilon_{cf}] + \epsilon_i)$ 。

5) 当受压区混凝土高度  $\xi_h h_0 \geq x \geq \xi_{cfb}h$  时, 弯矩按下式计算:

$$M_u \leq f_yA_s(h_0 - x/2) + f_y'A_s'(h_0 - a') + E_{cf}\epsilon_{cf}A_{cf}(h - h_0) \quad (5)$$

式中各符号含义与规程一致。

根据码头荷载计算该梁最大弯矩为 550 kN·m, 混凝土保护层 50 mm, 首先根据受力平衡估算混凝土受压区高度:  $x = 39.9 \text{ mm} < 2a'$ , 故根据实用公式(1)来计算碳纤维的面积,  $A_{cf}$  经解为 65.08 mm<sup>2</sup>;

根据规程公式(3),  $A_{cf}$  经解为 96.2 mm<sup>2</sup>;

根据规程公式(4),  $A_{cf}$  经解为 115.1 mm<sup>2</sup>。

由于单层碳纤维布布设梁底后面积为 83.5 mm<sup>2</sup>, 所以碳纤维加固层数确定为 2 层并配 U 型箍即可满足加固要求。

需要说明的是, 在规程公式(3)计算中,  $[\epsilon_{cf}]$  的取值为  $k_m\epsilon_{cf}$ ,  $k_m$  为碳纤维布厚度折减系数, 按照  $1 - n_{cf}E_{cf}t_{cf}/420\ 000$  计算, 各符号含义与规程中符号一致并符合规程规定; 在规程公式(4)计算中, 考虑二次受力影响, 加固前受拉区边缘混凝土的初始应变由于混凝土有裂缝产生, 故  $\epsilon_i$  取值为 0.003 3。

## 4 碳纤维加固施工

### 4.1 施工准备

首先, 施工考虑是选择合适的时间段。根据潮汐表确定施工在 5 月 24 日到 5 月 26 日内完成施工, 这 3 d 可操作的潮水时间均在 6 h 以上, 由于考虑在碳纤维完成粘贴后保证有 2 h 的硬化时间, 因此, 所有施工都应在 4 h 内完成, 而且需要包括底胶的固化时间(约 1 h), 因此, 必须把握各个环节的施工时间。

由于施工受时间的限制, 施工环节安排必须妥当, 各个施工步骤提前对施工单位人员进行交底, 对各个不同用途的树脂配比、使用方法、注意事项等进行交待, 把所用到的器材、工具、容器等列表准备。要求施工单位提交施工组织设计, 把施工安排计划落实到每个人, 以便施工一开始就紧张有序地进行。

由于梁底有细小裂缝, 因此施工前, 对裂缝进行低压持续注射法进行修补。修补前, 对施工周围的障碍物进行清除。

### 4.2 施工流程

- 1) 取下处理裂缝时所用的针头、皮筋等;
- 2) 用砂轮机将粘贴部位打磨平整, U 型箍转角处打磨成半径不小于 30 mm 的圆弧状, 用吹风机清理浮灰、用喷灯进行加速干燥;
- 3) 涂刷基底树脂, 使其渗透至混凝土内部, 以提高混凝土与碳纤维之间的粘结力, 当指触干燥时, 进入下一步施工;
- 4) 用找平胶进行修补, 填补不平整部位;
- 5) 涂刷浸渍树脂后, 开始粘贴碳纤维布, 用塑料滚轮在贴好的碳纤维布上反复滚压, 使浸渍树脂充分浸透碳纤维布, 并用刮刀沿碳纤维布纤维方向用力刮平以去除气泡;
- 6) 粘贴完最后一层碳纤维布后再涂刷一道粘树脂。

### 4.3 施工要点

- 1) 由于施工需要用到喷灯, 并且所加固构件并无油污等影响, 故不采用丙酮去脂, 以免发生事故; 喷灯在干燥混凝土表面时, 注意不能集中一个地方烘烤, 避免混凝土表面损伤; 喷灯要多次巡回烘干混凝土, 尽量保持混凝土表面干燥。
- 2) 混凝土与碳纤维布之间界面处理好坏是影响加固效果的关键因素, 利用碳纤维加固的构件重新破损原因往往是由于界面处理不好。因此, 本次加固强调梁底混凝土反复打磨平整, 直至露出坚硬、新鲜混凝土, 打磨厚度约 10 mm, 仅仅打磨去除浮灰是不够的。
- 3) 涂抹底层树脂和浸渍树脂时要求厚度均匀, 不能有漏刷, 刷浸渍树脂时要顺纤维方向, 避免流淌、气泡等现象; 碳纤维粘贴后需要用滚子沿同一方向反复滚压, 直至纤维布下的浸渍胶慢慢浸透出来; 本工序必须保证质量, 从碳纤维加固原理中可知本程序是关键程序。
- 4) 用不同容器配置不同的树脂, 不可混淆; 不同的树脂在各自要求时间内用完, 避免时间超过允许使用时间。
- 5) 避免现场剪裁碳纤维布时弄脏纤维布, 需要准备合适尺寸塑料布铺垫; 碳纤维布在粘贴到构件上后方取下外侧保护塑料薄膜; 贴纤维布时需要三个人同时操作, 保证纤维方向顺直不弯曲褶皱; 碳纤维布搭接长度不少于 100 mm。
- 6) 必须保证施工完成后至潮水涨到构件有 2 h 固化时间。
- 7) 施工完成后, 对构件进行硬度检测和空鼓检测, 对施工缺陷及时进行维修。

## 5 结语

目前, 很多港口码头构件在维修加固工程中通常采用更换构件或外包加固构件的方法, 具有一定的局限性, 例如更换构件往往需要拆除较多构件, 费用较大; 外包构件改变构件形状大小, 在特定区域可能影响船舶靠泊等。采用碳纤维加固由于具有自身先天优越性, 研究碳纤维加固技术在港口工程上应用, 并克服其不足之处是具有很大意义的。通过这次利用碳纤维加固港工构件的应用研究, 不仅可以加固补强该横梁具体构件, 还可以达到投石问路的功效。

### 参考文献:

- [1] JTJ 267-98, 港口工程混凝土结构设计规范[S].
- [2] 赵 彤, 谢 剑. 碳纤维补强加固混凝土结构新技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2000, 26-30.

## Application of carbon fiber reinforced technology for maintenance of one dock

LIU Xian-peng ZHANG Qiang

**Abstract:** It introduces determination of reinforced means for maintenance of one dock, its mechanism is analyzed and its design and construction are discussed, it indicates its application effect is good through comparing with other reinforced means.

**Key words:** carbon fiber material, reinforced mean, section of beam