

碳纤维加固桥梁技术研究及应用

李世超¹ 孙建斌² 冉德钦²

1. 青岛土木建工建筑工程检测鉴定有限公司, 青岛;

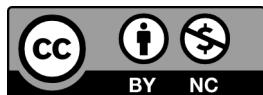
2. 山东省交通学科研究院, 济南

摘要 | 通过分析碳纤维材料的性能, 研究了碳纤维材料加固桥梁的主要特点、机理以及施工工艺, 并根据实体工程, 计算出桥梁经过碳纤维加固后的承载力满足加固要求, 也说明碳纤维在桥梁加固工程中的实用性能。

关键词 | 碳纤维; 加固; 桥梁; 承载力; 碳纤维特点

Copyright © 2021 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 引言

近年来, 我国公路建设事业蓬勃发展, 公路的通行能力和服务水平得到了很大的改善和提高, 但是在现有的公路上存在着数以万计的旧桥, 这些桥梁因设计荷载标准低, 年久失修、失养, 已经不能适应交通量日益增长的需要^[1]。因此, 如何采用最经济、合理的加固方案对现有旧桥进行加固, 以使其满足现行桥梁设计规范要求, 已经成为一个重要的课题。

目前, 混凝土桥梁的加固方法主要有: 桥面补强层加固法、增大截面和配筋加固法、锚喷混凝土加固法、粘贴钢板加固法、改变结构受力体系加固法、

通讯作者: 冉德钦 (1986-), 男, 山东菏泽人, 硕士研究生, 高级工程师。

文章引用: 李世超, 孙建斌, 冉德钦. 碳纤维加固桥梁技术研究及应用 [J]. 现代交通技术前沿, 2021, 3 (4): 43-47.

<https://doi.org/10.35534/amtt.0304006>

体外预应力加固法以及增设纵梁加固法等^[2]。这些方法虽然有效,但均受到一定条件的限制,且施工复杂,工期较长,有的还需定期养护。最近几年,碳纤维加固技术得到了迅速的发展,这种方法不但有效,而且施工简便,具有很大的研究和应用价值,因而得到了工程界的日益重视^[3]。

2 碳纤维材料概述

碳纤维加强塑料是碳纤维材料通过一定的制作工艺与特定的树脂材料复合而制成的^[4],其力学特点是应力应变完全线弹性,不存在屈服点或塑性区。碳纤维材料具有优异的物理力学性能,尤其是高弹性模量型碳纤维,其抗拉强度比钢材大68倍,弹性模量比钢材大1.8~2.6倍。在600℃高温下其性能保持不变,在-180℃低温下仍很柔韧,酸、碱、盐环境下不发生腐蚀。

加固混凝土构件所用的碳纤维布,是由碳纤维长丝经编织而制成的柔软片材。碳纤维布在编织时,将大量的碳纤维长丝沿一个主方向均匀平铺,用极少的非主方向碳纤维丝将主方向碳纤维丝编织连接在一起,形成很薄的以主纤维方向受力的碳纤维布。碳纤维布的抗拉强度一般应达到3550MPa,弹性模量为 2.35×10^5 MPa。根据碳纤维布的品质不同,其厚度、幅宽和卷材长度也有所不同。

3 碳纤维加固的主要特点

作为一种新型高效的加固技术,碳纤维加固技术具有以下特点:

- (1) 与其它加固方法相比,采用碳纤维布加固法不增加恒载和断面尺寸,不影响结构外观,不减小桥下净空。
- (2) 该法施工简便,工期短,无需大型设备,不受空间限制,且因碳纤维布的随型性极强的特点,可以适应不同构件的各种形状,成型方便。
- (3) 加固时碳纤维布通过环氧树脂等粘结材料与原有构件有效粘结,不需设置锚栓及凿开混凝土等,不会损伤原构件。
- (4) 由于碳纤维材料优异的物理力学性能,在对混凝土结构加固补强过程中可充分利用其高强度、高模量的特点来提高构件的承载力,改善其受力性能,达到高效加固的目的。

(5) 碳纤维布粘贴在混凝土表面,能有效封闭混凝土表面的裂缝,并能约束混凝土结构裂缝的生成与扩展。

(6) 碳纤维材料几乎无腐蚀性和磁性,并具有一定的耐热性,且其化学性质稳定,不能与酸、碱、盐等化学物质发生反应,具有良好的耐久性。

(7) 碳纤维布能在一个部位重叠粘贴,充分满足构件的补强要求。

4 碳纤维加固原理

碳纤维加固是采用同一方向排列的碳纤维织物,在常温下用环氧树脂胶黏贴于混凝土表面,利用其紧贴于混凝土结构表面,使二者作为一个整体,共同受力。是一种非常简单且优良的加固补强方法。

采用碳纤维片材对梁、板构件进行受弯加固时进行承载力计算:

当混凝土受压区高度 x 大于 $\xi_{cb}h$, 且小于 $\xi_b h_0$ 时:

$$M \leq f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_y A'_s \left(h_0 - a' \right) + E_{cf} \varepsilon_{cf} A_{cf} (h - h_0) \quad 3-1$$

混凝土受压区高度 x 和受拉面上碳纤维片材的拉应变 ε_{cf} 应按下列公式确定:

$$\begin{aligned} f_c b x &= f_y A_s - f_y A'_s + E_{cf} \varepsilon_{cf} A_{cf} \\ x &= \frac{0.8 \varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{cf} + \varepsilon_i} \end{aligned} \quad 3-2$$

当混凝土受压区高度 x 不大于 $\xi_{cb}h$ 时,有:

$$M \leq f_y A_s (h_0 - 0.5 \xi_{cb} h) + E_{cf} \lfloor \varepsilon_{cf} \rfloor A_{cf} h (1 - 0.5 \xi_{cb}) \quad 3-3$$

当混凝土受压区高度 x 小于 $2a'$ 时,有:

$$M \leq f_y A_s (h_0 - a') + E_{cf} \lfloor \varepsilon_{cf} \rfloor A_{cf} (h - a') \quad 3-4$$

ε_{cu} : 混凝土极限压应变,取 0.0033; x : 等效矩形应力图形的混凝土受压区高度; ε_{cf} : 碳纤维片材的允许拉应变; n_{cf} 为碳纤维片材的层数; b 、 h 为截面宽度、高度; h_0 为截面的有效高度; ξ_{cb} 为碳纤维片材达到其允许拉应变与混凝土压坏同时发生时的界限相对受压区高度。

5 碳纤维工程加固实例

团山河大桥为某高速公路上的一座 8×30 m 预应力混凝土宽幅空心板桥,

该桥由于采用“优化”设计方案,结构尺寸单薄,在施工和通车使用期间,多处产生不同程度的裂缝,荷载试验表明,承载力不足 $1400 \text{ kN} \cdot \text{m}$,大桥已经不能满足正常的通行及使用要求,急需加固,并要求承载力不小于 $1400 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。根据现场实际情况,决定采用碳纤维加固。所有裂缝采用“壁可法”处理,凿除桥面铺装,并在空心板的底板及边板的腹板外侧粘贴碳纤维进行维修加固。

基本参数:空心板截面尺寸为: $b_1=1.59 \text{ m}$, $h=1.4 \text{ m}$, $h_1=0.1 \text{ m}$, $b=0.24 \text{ m}$, $h_0=1.35 \text{ m}$,混凝土强度等级 C40,边跨中设计弯矩 $M_j=4700 \text{ kN} \cdot \text{m}$,粘贴碳纤维布之前初始弯矩 $M_0=1305 \text{ kN} \cdot \text{m}$,碳纤维弹性模量 $E_{cf}=2.35 \times 10^5 \text{ MPa}$ 。

(1) 计算碳纤维的初始应变 $\varepsilon_{cf0}=2057 \mu\varepsilon$ 。

(2) 求受压区高度的上、下限值分别为: $x_1=223.3 \text{ mm}$, $x_u=414.8 \text{ mm}$,碳纤维面积的最小、最大用量分别为 $A_{cf, \min}=113.7 \text{ mm}^2$, $A_{cf, \max}=567.1 \text{ mm}^2$;

(3) 求得混凝土受压区高度 $x=271.0 \text{ mm}$,所需碳纤维面积 $A_{cf}=223.3 \text{ mm}^2$;且满足计算承载力 $1465.51 \text{ MP} > 1400 \text{ MP}$,满足设计要求。

6 结论

碳纤维是一种高科技材料,它最早应用于航空及航天工业,现已逐步在土木工程中推广应用。日本、美国等发达国家于 20 世纪 80 年代开始试验研究碳纤维材料用于混凝土结构补强加固的技术,目前已经大量使用。我国对碳纤维材料的研究虽然起步较晚,但进展很快。由于碳纤维具有良好的力学性能,高强度、材质薄、重量轻、施工简便、耐久耐腐蚀性好等优点,是加固混凝土结构的一种好方法,可以提高加固工程的经济效益和社会效益,值得大力推广,具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 湛润水,胡钊芳,帅长斌.公路旧桥加固技术与实例[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [2] 郝晓燕.浅谈桥梁的加固技术及其应用[J].山西建筑,2002(11).
- [3] 中国工业建筑诊断与改造工程技术研究中心.碳纤维片材加固混凝土结构

技术规程 [M]. 北京: 中国计划出版社, 2003.

[4] 陈晓明, 李慧英. 碳纤维复合材料在桥梁加固工程中的运用 [J]. 南昌水专学报, 2003 (1).

Study and Application of Carbon Fiber Reinforced Bridge Technology

Li Shichao¹ Sun Jianbin² Ran Deqin²

1. Qingdao Civil engineering and Construction Engineering testing appraisalnt

CO.,Ltd, Qingdao;

2. Shandong Transportation Institute, Jinan

Abstract: By analyzing the performance of carbon fiber materials, this paper studies the main characteristics, mechanism and construction technology of strengthening bridges with carbon fiber materials, and calculates that the bearing capacity of bridges strengthened with carbon fiber meets the reinforcement requirements according to the physical engineering, which also shows the practical performance of carbon fiber in bridge reinforcement engineering.

Key words: Carbon fiber; Reinforcement; Bridge; Bearing capacity; Carbon fiber characteristics