

文章编号: 1005-0523(2007)05-0057-03

碳纤维布加固原理及应用

李维徽¹, 周立¹, 吴丽珠²

(1. 江西省交通设计院, 江西 南昌 330002; 2. 福建海峡建筑设计规划研究院, 福建 福州 350003)

摘要:介绍了采用碳纤维布对混凝土柱和梁进行加固的原理和计算方法, 并列举了几种采用该加固方法的工程应用实例, 以为其它类似工程提供思路和方法。

关键词:碳纤维, 加固, 计算方法

中图分类号: TU45

文献标识码: A

1 前言

九十年代, 碳纤维布加固技术开始在我国建筑工程和桥梁隧道工程领域中应用。碳纤维布加固技术是采用树脂类高性能粘结剂将碳纤维布粘结在建筑结构构件表面, 使两者共同工作, 以此提高结构构件的承载能力, 达到对建筑物进行加固的目的。与传统的加固补强技术(如加大截面加固法、外包钢加固法、预应力加固法等)相比, 碳纤维布加固技术有如下优点:

1) 抗拉强度高。碳纤维的抗拉强度可高达3600MPa, 远远高于钢材的强度。

2) 耐腐蚀性好、抗疲劳性好及防水性好。碳纤维的耐腐蚀性好, 特别是对于强碱类的腐蚀, 因此在海港码头工程和一些腐蚀性较强的环境中, 可以采用碳纤维布进行加固和防护。

3) 抗冲击性能好、延性好。碳纤维布的弹性模量是 2.3×10^5 MPa, 延伸率为1.6%—2.1%。

4) 自重轻。碳纤维布的重量约为 $200\text{g}/\text{m}^2$, 只有普通钢材的1/4, 用于加固时基本不增加结构自重及截面尺寸。

5) 柔性好、易于裁剪。碳纤维布是柔性材料, 因此可应用于各种结构类型、各种形状以及各种结构部位的加固。

6) 施工简便、施工工期短。碳纤维布加固的施

工过程中不需大型施工机构及周转材料, 没有湿作业, 易于操作。

由于采用碳纤维布加固有众多优点, 因此其近年来的发展十分迅速, 应用领域也越来越广泛。

本文拟介绍碳纤维布加固混凝土柱和混凝土梁的计算方法和其在工程中的应用实例, 以为工程设计人员提供参考。

2 碳纤维布加固混凝土柱

采用碳纤维布对柱进行加固, 其原理是利用了碳纤维布的高抗拉强度和对混凝土的约束作用, 使得混凝土处于三向受压状态, 从而提高了混凝土的极限承载力和压缩变形能力。混凝土约束强度与约束侧压力有关, 碳纤维约束混凝土强度可以采用公式(1)进行计算^[1]。

$$f'_c = f_c + k_1 f_1 \quad (1)$$

式中: f'_c ——约束混凝土轴心抗压强度;

f_c ——素混凝土圆柱体抗压强度;

f_1 ——约束侧压力, $f_1 = \frac{2f_x n t_x}{D}$, 其中 f_x 为碳纤维布的抗拉强度, n 为纤维布的层数, t_x 为单层纤维布的厚度, D 为混凝土圆柱直径;

k_1 ——约束效应系数, 可取 3.5。

收稿日期: 2007-03-03

3 碳纤维布加固混凝土梁

根据试验研究成果,碳纤维加固梁的破坏形式有以下五种:

(1) 界限破坏.当碳纤维和钢筋的配置率适当,在受压混凝土达到极限压应变时,受拉区纤维刚好达到极限强度,此时材料强度充分利用,截面延性也达最大值.

(2) 适筋破坏.受拉钢筋屈服后,受压区混凝土被压坏,碳纤维未达到极限拉应变.

(3) 少筋破坏.受拉钢筋先达到屈服,然后碳纤维片材超过极限拉应变,并达到极限拉应变而拉断,而此时受压区混凝土尚未压坏.

(4) 超筋破坏.加固量过大,受拉钢筋屈服前,受压区混凝土被压坏.

(5) 粘结破坏.在达到正截面极限承载力前,碳纤维片材与混凝土产生剥离破坏.

碳纤维布加固应按前两种破坏形式进行设计,后两种脆性破坏,设计时应注意避免.对于第三种破坏形式,可以通过控制碳纤维布的最小加固量来避免.对于第四种破坏形式,可以通过控制碳纤维布的最大加固量来避免.对于第五种破坏形式,可以通过构造或锚固措施予以保证避免.

可按下列步骤对钢筋混凝土梁进行加固设计^[2]:

1) 判断加固的可行性.用公式(2)计算普通钢筋混凝土梁发生界限破坏时的极限承载力 $M_{u,b}$.式中, ζ_b 为界限破坏时受压区相对高度,按表 1 选用; f_c 为混凝土抗压强度设计值; b 、 h_0 分别为梁截面宽度、有效高度.比较加固后需要达到的设计弯矩 M 与极限承载力 $M_{u,b}$ 的关系,若 $M < M_{u,b}$,可以加固,计算两者差值 $\Delta M = M - M_{u,b}$.

$$M_{u,b} = f_c b h_0^2 \zeta_b (1 - 0.5 \zeta_b) \quad (2)$$

表 1 界限破坏时受压区相对高度 ζ_b

钢筋等级	I 级	II 级	III 级	IV 级
ζ_b	0.614	0.544	0.518	0.455

2) 计算加固所需的等效钢筋用量.由式(3)计算出受压区相对高度,再由式(4)计算出需增加的等效钢筋用量 A_{se} ,式中 f_y 为钢筋的屈服强度.

$$\Delta M = f_c b h_0^2 \zeta (1 - 0.5 \zeta) \quad (3)$$

$$A_{se} = \frac{f_c b h_0 \zeta}{f_y} \quad (4)$$

3) 求加固所需碳纤维布的面积 A_{cf} .式中(4) f_{cf} 为碳纤维布的抗拉强度.

$$A_{cf} = A \frac{f_y}{f_{cf}} \quad (4)$$

4) 计算碳纤维布的最大用量 $A_{cf,max}$.先计算增加等效钢筋的最大用量 $A_{s,max}$,为防止构件发生超筋破坏,需要限制增加等效钢筋的最大用量.式(5)中, A_s 为构件原配受拉钢筋的面积.

$$A_{s,max} = \frac{f_c b h_0 \zeta_b}{f_y} - A_s \quad (5)$$

$$A_{cf,max} = \frac{A_{s,max} f_y}{f_{cf}} - A_s \quad (6)$$

4 工程应用

碳纤维布加固在工程中已经有不少应用,我们曾参与过一大型地下停车场使用碳纤维布加固的施工.该地下停车场由于部分梁板出现裂缝,为了防止裂缝处钢筋与空气接触产生氧化,从而导致锈蚀,应对裂缝进行修补.对比了几种修复加固的方案,最终选择采用碳纤维布加固的方法.

对混凝土裂缝进行修补后,再采用碳纤维进行加固,大致过程如下:

a) 首先,按设计图纸要求放线定位;b) 采用硬毛刷沾丙酮刷除混凝土表面油垢污物,并将转角处打磨成圆弧状;c) 按设计要求剪裁碳纤维布;d) 用配制的粘合剂粘贴碳纤维,对加固处进行养护;e) 待胶固化后,对粘贴碳纤维施工进行验收,验收合格后在碳纤维表面做水泥砂浆保护层抹灰.

通过对加固后的梁板进行原位试验,发现加固后梁的刚度很好,强度比正常梁的强度大近 10% 左右.

碳纤维布加固除了对开裂的梁板进行修复加固外,在如下几类情况中也适宜应用:

1) 在户型改造中的应用.

某住宅小区在开发建设过程中,由于设计考虑不周而使部分户型中,特别是卧室,出现了结构梁,给卧室的使用及观瞻带来不便,引起了客户的投诉,经过方案论证和经济技术可行性比较,决定对横穿卧室的结构梁予以凿除,对相应楼板采用碳纤维复合材料进行加固处理^[3].

2) 房屋加层中的应用.

福州市某住宅楼,该住宅楼为五层现浇钢筋砼框架结构,抗震设防烈度为 7 度,框架抗震等级为三级,基础为高强预应力砼管桩基础,填充墙采用承重空心砖及非承重空心砖.当主体结构施工至五层楼面时,业主要求,要加层为六层^[4].

经过分析对比,采用碳纤维布进行加固可以尽量减轻整个建筑物的自重,与其他加固方案比具有经济效果好、施工方便快捷、建筑效果好的特点.该工程主体结构的加固改造已于2004年完工,加固后的建筑物达到了预期的效果.

3) 地下室改造中的应用.

该项目位于珠海市,原设计是一平战结合的地下室,单层,层高3.7 m,平时用于停车,战时为六级人防地下室,占地面积约1万平方米.顶板面为屋顶花园,因片区配套需要,现预在顶板某一范围内建一所幼儿园,高度为两层,框架结构.在原地下室顶板框架梁上植筋浇注混凝土框架柱,经计算抬柱的框架梁仅出现梁底钢筋配置不足的情况,其他如梁的抗剪、挠度、裂缝、柱轴压比、配筋等都满足承载能力及使用状态的要求,因此,该工程的加固设计最终归结为框架梁的抗弯加固^[5].

加固方案选择时,比较了加大截面法、外部粘钢加固法和碳纤维布加固法,最终选择了不增加层高、施工便捷、抗腐蚀性好的碳纤维布加固法.

4) 古建筑的修复加固.

中国是一个历史悠久的文明古国,有着七千多年的建筑发展史,全国各地至今仍保留着大量的古建筑.然而,大部分古建筑由于内在的薄弱环节和多年的风雨侵蚀,结构安全性能大大降低.随着我国经济实力的不断加强,古建筑的修复加固也进入了高峰期.碳纤维加固方法以其轻质、高强、抗腐蚀、耐疲劳及其温度稳定性成为结构加固修复领域的研究热点.

文献^[6]介绍了采用碳纤维对一古塔进行修复加固的例子,碳纤维加固技术由于避免了其他加固方

法增大结构尺寸、增加自重、施工周期长等缺点,在达到相同加固效果的情况下,它操作方便,工期较短,节约投资,同时还能够最大限度地保证原有古塔的外部建筑风貌特别符合古建筑“修旧如旧”的加固思路,在古建加固领域具有较好的应用前景.

5 小结

与传统的加大截面法、外部粘钢加固法等相比,碳纤维布加固法具有抗拉强度高、耐腐蚀性好、自重轻、施工简便等优点.

本文分别介绍了采用碳纤维布对混凝土柱和混凝土梁进行加固的计算方法,并列举了该加固方法在户型改造、房屋加层、地下室改造以及古建筑的修复加固中的应用实例,以期为其它类似工程提供一个选择的思路.

参考文献:

- [1] 滕智明. 钢筋混凝土基本构件[M]. 北京:清华大学出版社,1987.
- [2] 张彦洪. 碳纤维布加固钢筋混凝土梁的实用设计计算方法[J]. 中国农村水利水电. 2006, (7): 101—102.
- [3] 祝建军,张先明. 碳纤维加固技术在工程改造中的应用[J]. 浙江建筑,2006, 23(11): 23—25.
- [4] 林 剑. 碳纤维复合材料在加层改造中的应用[J]. 福建建筑,2006, 100(4): 36—37.
- [5] 邢 宇. 碳纤维布加固混凝土结构实例分析[J]. 四川建材,2006, (4): 145—146.
- [6] 李 玉,张 浩,王社良,等. 某古塔抗震及碳纤维加固性能分析[J]. 工业建筑,2006, 36(6): 104—105.

Reinforcing Principle and Application of Carbon Fiber Reinforcement

LI Wei-hui¹, ZHOU Li¹, WU Li-zhu²

(1. Jiangxi Communications Design Institute, Nanchang 330002; 2. Fujian Haixia Research Institute of Architectural Design And planning, Fuzhou 350003, China)

Abstract: This paper introduces calculational methods and principle for reinforcing concrete columns and beams respectively by carbon fiber. Finally, several project examples are list, which can provide a solution to the projects which have the similar problems.

Key words: carbon fiber; reinforcement; calculational method