

文章编号: 1000-5013(2009)05-0572-03

# 华东自然环境下 CFRP 片材的耐久性能

罗 漪<sup>1</sup>, 王全凤<sup>1</sup>, 杨勇新<sup>1,2</sup>, 危成英<sup>1</sup>, 徐玉野<sup>1</sup>

(1. 华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021;  
2. 中冶集团 建筑研究总院, 北京 100088)

**摘要:** 在华东地区自然暴露环境条件下, 对土木工程加固常用的 2 种碳纤维增强复合材料(CFRP)片材共 40 个试件进行自然老化 3 a 的耐久性能试验. 考察碳纤维片材的抗拉强度、弹性模量、伸长率等主要的力学性能指标随老化时间的变化. 结果表明, 随着老化时间的延长, 两种片材的抗拉强度和伸长率均略有降低, 并且其伸长率的变化趋势与抗拉强度的变化趋势类似; 随着老化时间的延长, 两种片材的弹性模量变化不大.

**关键词:** 碳纤维增强复合材料; 耐久性; 自然环境; 力学性能; 华东地区

**中图分类号:** TU 599.02<sup>+</sup> 6(25)

**文献标识码:** A

使用增强复合材料(FRP)加固混凝土结构, 特别是碳纤维增强复合材料(CFRP)片材已广泛应用于工程结构的加固、补强等方面, 并取得良好的效果<sup>[1-2]</sup>. 加固后的结构在使用过程中, 不仅承受着外部荷载的作用, 还要经受温度、湿度、冻融循环、化学介质、户外气候的劣化或其他恶劣使用环境等的考验, 这些因素都会影响加固效果和耐久性. 因此, 加固材料的耐久性能对于加固的长期效果至关重要<sup>[3]</sup>. 目前, 研究 FRP 材料的耐久性的方法有快速老化试验和自然老化试验等, 且多数采用快速试验的方法<sup>[4]</sup>. FRP 实际使用是在复杂多变且有多种因素共同作用的自然环境中工作的. 尽管已有大量的快速老化试验结果, 但快速试验得出的结果能否代替 FRP 在真实自然环境作用下的老化性能, 还需要进行充分的研究<sup>[5]</sup>. 基于此, 本文对土木工程加固常用的 2 种碳纤维(CFRP)片材的耐老化性进行初步的试验.

## 1 试验方案

### 1.1 试件的固定与摆放

将试件(尺寸为 230 mm×15 mm)两端夹在两块玻璃板之间, 其在玻璃板上的支承长度为 25 mm. 每个试件中间间隔 3~5 mm, 排列整齐, 玻璃板用标准砖垫高, 避免雨水浸泡. 老化试件摆放于自然环境的楼顶, 试样摆设采用完全暴露方式, 其表面没有任何防护措施, 摆设方式如图 1 所示.

### 1.2 力学性能测定

将从试验场地取回的耐久性试件压平, 每个试件拉伸端各用 2 个铝片加强, 铝片和加强片的粘贴面打磨并用丙酮清洗干净后再进行粘贴. 加强片上放置一定质量的物体, 以增加铝片和碳纤维之间的粘结,

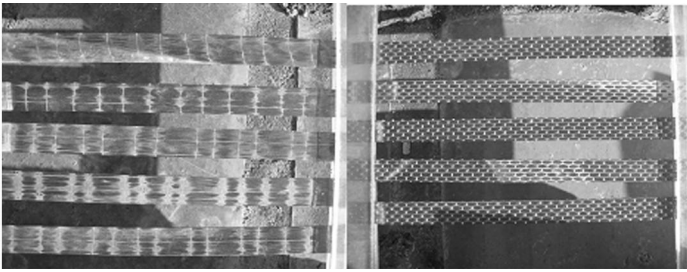


图 1 试件摆放示意图

Fig. 1 Layout of CFRP sheets

收稿日期: 2009-04-16

通信作者: 杨勇新(1963-), 男, 教授级高级工程师, 博士后, 主要从事结构基本理论及高性能复合材料的研究. E-mail: yangyongxin@tsinghua.org.cn

基金项目: 国家高技术研究发展(863)计划项目(2004AA336010); 国家科技攻关(国际合作)项目(2005DFBA-0002); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(200803850001); 华侨大学科研基金资助项目(06HZR04)

如图 2 所示. 在实验室条件下, 依据国家标准 GB/T 3354- 1999《定向纤维增强塑料拉伸性能试验方法》, 对碳纤维片材的力学性能进行测定, 计划试验周期为 10 a 已经完成了 3 a 的试验, 试件共计 40 个.

所有试验数据均由计算机数据采集系统自动采集. 采取连续加载, 测定抗拉强度、弹性模量、伸长率、应力-应变曲线和最大破坏荷载, 并记录破坏形式.

试验设备有 WDW20 型微机控制电子万能试验机, YJR-5A 型静态电阻应变计式引伸计. 测定拉伸强度时, 加载速度为  $1\sim 6\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ , 夹具采用可夹持钢板的夹头来夹持试件端部的加强片. 通过万能实验机和静态应变仪测出 CFRP 的断裂载荷, 以及在每级载荷下的应变, 并分别计算 CFRP 的极限抗拉强度  $\sigma_t$ 、拉伸弹性模量  $E_t$  和拉伸破坏伸长率  $\eta$  有

$$\sigma_t = P_{\max}/b \cdot h,$$

$$E_t = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon,$$

$$\eta = \Delta L_b/L \times 100\%.$$

上式中,  $\sigma_t$  为拉伸强度,  $P_{\max}$  为试样破坏时的最大荷载值,  $b$  为试样宽度,  $h$  为试样厚度;  $\Delta\varepsilon$  为与  $\Delta\sigma$  对应的应变增量,  $\Delta\sigma$  为应力-应变曲线上初始直线段的应力增量,  $\Delta\sigma = \Delta P/b \cdot h$ ,  $\Delta P$  为荷载增量;  $\Delta L_b$  为试件破坏时标距  $L$  的总伸长量.

2 结果及分析

试验周期内试验场(华东地区)气候变化状况, 如图 3 所示. 华东自然暴露环境下, 碳纤维片材的相对抗拉强度、弹性模量、伸长率随时间的变化试验结果, 如图 4 所示. 图 4 中,  $r$  为各参数在各时段与起

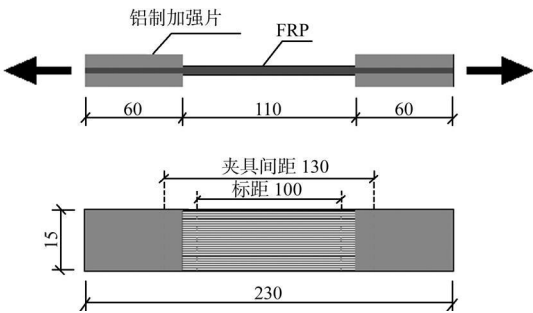


图 2 CFRP 试件的几何尺寸 (mm)  
Fig. 2 Dimension of CFRP sheets (mm)

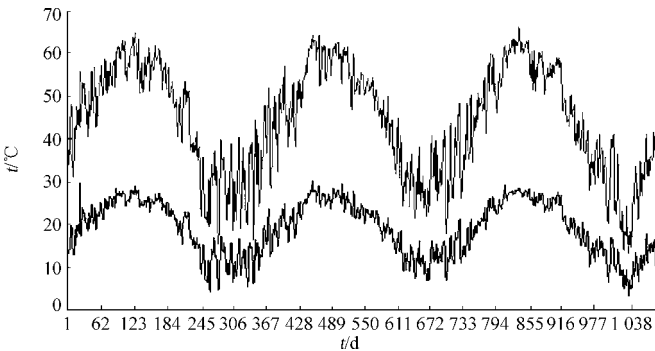
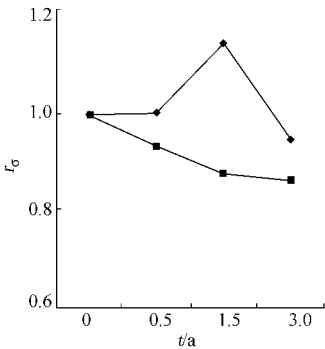
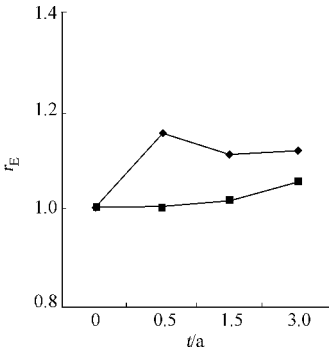


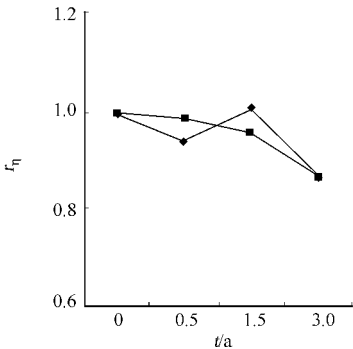
图 3 华东地区气温(干球)变化记录曲线  
Fig. 3 Temperature (dry bulb) curve of East China



(a) 抗拉强度



(b) 弹性模量



(c) 伸长率

图 4 碳纤维片材的老化性能测试

Fig. 4 Results of CFRP sheet aging

始值的比, CS-1, CS-2 为碳纤维布试件, RE-1, RE-2 为树脂试件, 数据是每组试件所测数据的平均值.

由图 4 可知, 在自然环境下 0.5 a 时, 测得 CFRP 片材的弹性模量、拉伸强度和极限应变均没有降低, 反而有相应的增加. 这可能是由环氧树脂的后固化引起的. 对应的抗拉强度和伸长率均有不同程度的降低, 有脆化的趋势, 而弹性模量却提高了.

由图 4(a) 可看到, 在 0~3 a 的自然老化时间内, 碳纤维片材的抗拉强度整体趋势略有下降. 从图 4(b) 可以看到, 自然暴露环境条件对碳纤维片材老化在 0~3 a 内弹性模量的影响不大. 从图 4(c) 可以看出, 在华东的自然暴露环境条件下, 随着老化时间的延长, 碳纤维片材伸长率的变化规律与抗拉强度的变化规律相似, 整体趋势略有下降.

### 3 结束语

在华东地区自然暴露环境条件下, 通过对 2 种碳纤维(CFRP)片材共 40 个试件进行自然老化 3 a 的耐久性能试验, 考察碳纤维片材的抗拉强度、弹性模量、伸长率等主要的力学性能指标随老化时间的变化. 截至自然老化 3 a 时, 碳纤维片材伸长率和抗拉强度略有下降, 弹性模量基本不变.

#### 参考文献:

- [1] 杨勇新, 王 敬, 张小冬. 碳纤维布加固混凝土结构耐久性能初步研究[J]. 港工技术, 2002(2): 25-27.
- [2] STECKEL G L, HAWKINS G F, BAUER J L. Environmental durability of composites for seismic retrofit of bridge columns[C]// TUCSON A Z, et al. NIST Workshop on Standards Development for the Use of Fiber Reinforced Polymers for the Rehabilitation of Concrete and Masonry Structures Tucson: National Institute of Standards and Technology, 1998: 83-96.
- [3] HUTCHINSON A R, HOLLAWAY L C. Environmental durability strengthening concrete structures with bonding fiber reinforced composites[M]. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 1999.
- [4] 李趁趁. FRP 加固混凝土结构耐久性试验研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- [5] 王全凤, 杨勇新, 岳清瑞. FRP 复合材料及其在土木工程中的应用研究[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2005, 26(1): 1-6.

## Research on Durability of CFRP Sheets under Natural Environment in East China

LUO Yi<sup>1</sup>, WANG Quar-feng<sup>1</sup>, YANG Yong-xin<sup>1,2</sup>,  
WEI Chen-ying<sup>1</sup>, XU Yu-ye<sup>1</sup>

(1. College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China;

2. Central Research Institute of Building and Construction, China Metallurgical Group Corporation, Beijing 100088, China)

**Abstract:** The durability of two kinds of common carbon fiber reinforced plastic (CFRP) sheet is investigated under natural environment in East China. Based on the 3a aging experiment of 40 sheets, the variation of the tensile strength, elongation ratio and elastic modulus of CFRP sheets to time is tested. The results indicate that as the increase of time, elongation ratio of CFRP sheets and tensile strength decrease, elastic modulus varies slightly.

**Keywords:** carbon fiber reinforced plastic; durability; natural environment; mechanical property; East China

(责任编辑: 钱 筠 英文审校: 方德平)