

文章编号: 1000-5013(2009)06-0691-03

# 华东自然环境浸润树脂耐久性对 CFRP片材耐久性的影响

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,通过16组80个试件,自然老化3a的耐久性能试验,考察碳纤维增强复合材料(CFRP)片材及树脂的外观、抗拉强度、弹性模量、伸长率等主要物理力学性能指标随老化时间的变化.结果表明,浸渍树脂抗拉强度与碳纤维片材抗拉强度有一定关系,而伸长率和弹性模量的变化受树脂耐久性能的影响不明显.随着老化时间的延长,两种浸润树脂质量损失严重,不同的CFRP片材和对应树脂的力学性能均有下降趋势.浸润树脂的力学性能耐久性会影响CFRP片材的力学性能,但主要由碳纤维材料的性能决定.

**关键词:** 碳纤维增强复合材料;树脂;耐久性;耐老化;力学性能;华东地区

**中图分类号:** TU 599.02+6(25)

**文献标识码:** A

碳纤维增强复合材料(CFRP),具有轻质高强、便于施工、抗腐蚀强、对原结构的影响小等优越性.随着结构加固修复工程的不断扩展,对于用CFRP加固修复的、暴露在室外的或处于恶劣环境的结构(如港口工程、桥梁结构和化工建筑等)的耐久性问题备受关注,而其中材料本身的耐久性能是研究的基础<sup>[1]</sup>.CFRP是在复杂多变且有多种因素共同作用的自然环境中工作,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耦合作用.这些因素的耦合作用加速了CFRP加固结构的劣化过程<sup>[2-4]</sup>,使得采用快速试验的单因素分析所得到的模型难以反映工程的实际<sup>[5]</sup>.CFRP是由碳纤维和浸润树脂组成的复合材料,其耐久性能受到两种材料耐久性的综合影响.本文对土木工程加固常用的两种碳纤维片材及树脂耐久性进行对比性试验.

## 1 试验方案

### 1.1 试件制作

按照标准CECS 146:2003《碳纤维片材加固混凝土结构技术规程》中的规定,将碳纤维布用树脂浸渍,并制成碳纤维复合片材,端头粘贴增强片.碳纤维片材和树脂试件的具体尺寸,如图1所示

### 1.2 力学性能的测试

试件的固定与摆放、试验条件,以及力学性能的测试参见文[6].所有试件的制作与性能检测均在华侨大学土木工程学院力学试验中心完成,各项性能指标的计算均采用CECS 146:2003《碳纤维片材加固混凝土结构

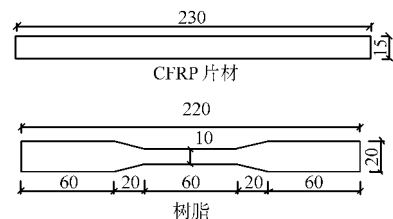


图1 试件的几何尺寸(mm)

Fig. 1 Geometry dimension of sheets (mm)

收稿日期: 2009-04-19

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计划项目(2004AA336010); 国家科技攻关(国际合作)基金资助项目(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(06 HZR04)

技术规程》的计算方法.

2 试验结果及分析

在华东地区自然暴露环境下,碳纤维片材和浸润树脂的自然老化前后外观情况,如图 2 所示. 对比照片可明显看出,树脂 RE-1 和 RE-2 均失去光泽变得黯淡,有平面外翘曲变形现象,表面变得粗糙,布满极细小的蜂窝状孔. 这些毛细孔在对称轴附近密集,应该是雨水及凝结液体流过的痕迹;RE-1 墨绿色完全褪去,变成深黄色,RE-2 原来即浅黄色,故颜色变化不明显.

碳纤维片材 RE-1 + CS-1 和 RE-2 + CS-2 原来光滑平整的表面,均有纤维外露现象,手摸可以感触到碳纤维的质地和纹路. 表明,两种浸润树脂在自然环境中质量损失严重,而所有的碳纤维和浸润树脂均无明显的软化及分层.

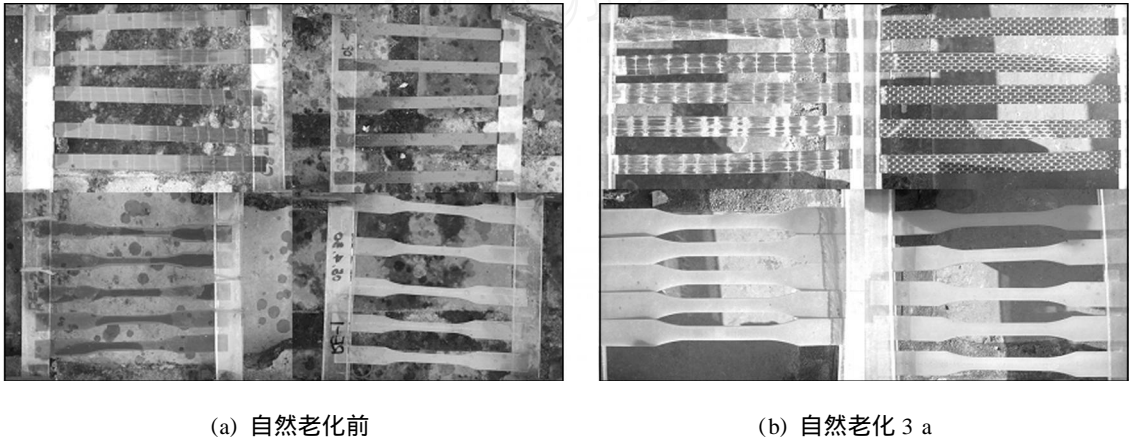


图 2 自然老化前后的试件外观

Fig. 2 Appearance of Sheets before and after 3 years exposure

碳纤维片材和浸润树脂的抗拉强度、伸长率、弹性模量试验结果统计,如表 1 所示. 表 1 中数据为平均值,为抗拉强度,为伸长率, $E$ 为弹性模量, $t$ 为老化时间.

表 1 材料性能检测统计结果

Tab. 1 Statistical results of material properties

试件	/ MPa	/ %	$E$ / GPa	$t$ / a	试件	/ MPa	/ %	$E$ / GPa	$t$ / a
CS-1 + RE-1	2 782.00	1.18	229.98	0	RE-1	53.14	2.234	3.30	0
	2 792.93	1.11	263.85	0.5		34.77	1.485	3.42	0.5
	3 173.51	1.19	253.46	1.5		13.62	1.530	1.40	1.5
	2 627.65	1.02	256.76	3.0		25.69	1.893	1.42	3.0
CS-2 + RE-2	4 208.00	1.8	233.42	0	RE-2	43.89	2.864	1.50	0
	3 921.63	1.77	234.37	0.5		28.31	2.818	1.08	0.5
	3 683.50	1.74	235.75	1.5		22.00	2.660	0.66	1.5
	3 618.75	1.55	245.03	3.0		22.99	2.944	0.73	3.0

由表 1 可以看到,在华东自然暴露环境条件下,截至自然老化 3 a,两种碳纤维片材的抗拉强度均有小幅度下降的趋势. CS-1 + RE-1 与对应的浸润树脂抗拉强度相关性不明显,CS-2 + RE-2 与对应的浸润树脂抗拉强度的变化规律基本一致. 可见,CFRP 片材抗拉强度的耐久性能会受到浸润树脂抗拉强度耐久性的影响,但不是决定性的.

从表 1 可以得出,在华东自然暴露环境条件下,随着老化时间的延长,两种碳纤维片材的伸长率均有下降的趋势;树脂 RE-1 先有较大幅度下降,然后缓慢小幅回升;树脂 RE-2 无明显变化. 不同种类的树脂材料,伸长率耐久性变化规律不同,但对 CFRP 片材伸长率耐久性影响不大.

从表 1 可以得出,在华东自然暴露环境条件下,截至自然老化 3 a,老化时间对碳纤维片材的弹性模量影响不大. 两种树脂的弹性模量有较大幅度下降趋势,1.5 a 后,总体上保持基本稳定. 可以推测,树脂弹性模量的耐久性对 CFRP 片材弹性模量的耐久性影响很小,CFRP 片材弹性模量的耐久性主要由碳

纤维材料的性能决定。

对于 CS-1 + RE-1 碳纤维片材和其对应的 RE-1 树脂而言,抗拉强度、伸长率、弹性模量变化曲线未见明显的相关性。对于 CS-2 + RE-2 碳纤维片材和其对应的 RE-2 树脂而言,抗拉强度和弹性模量两项指标随着老化时间的延长,在 1.5 a 的时间内有大幅下降,过后趋于稳定;伸长率受外界自然环境变化的影响很小,可以忽略不计。

### 3 结束语

在华东地区自然暴露环境条件下,两种碳纤维片材及浸润树脂的耐久性对比试验表明,碳纤维片材抗拉强度与浸渍树脂耐久性有一定关系,而伸长率和弹性模量的变化受浸渍树脂耐久性能的影响不明显。浸润树脂的力学性能耐久性会影响 CFRP 片材的力学性能,但主要由碳纤维材料的性能决定,不同种类的树脂材料,影响的程度不相同。

#### 参考文献:

- [1] 任慧韬. 纤维增强复合材料加固混凝土结构基本力学性能和长期受力性能研究[D]. 大连:大连理工大学,2003.
- [2] SAUD A, AMMAR A, ASHRAF B. Accelerated weathering effects on the mechanical and surface properties of CFRP composites[J]. Materials and Design,2009,30(3):833-837.
- [3] BAUMERT M E, GREEN M F, ERKI M A. A review of low temperature response of reinforced concrete beams strengthened with FRP sheets[J]. EL-BADRY M M. Advanced Composite Materials in Bridges and Structures: 2nd International Conference. Montreal:Canadian Society for Civil Engineering,1996:565-572.
- [4] ARUNASALAM C,STEPHEN G. Investigation of the durability characteristics of fiber reinforced plastic (FRP) materials in concrete environment[J]. Journal of Thermoplastic Composite Materials,1999,12(3):214-226.
- [5] 杨勇新,杨 萌,赵 颜,等. 西北自然环境条件下浸润树脂耐久性对碳纤维片材耐久性能的影响[J]. 工业建筑,2008,38(2):15-17.
- [6] 罗 漪,王全凤,杨勇新,等. 华东自然环境下 CFRP 片材的耐久性能[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2009,30(5):572-574.

## Study on Influence of Infused Resin on Durability of CFRP Sheets under Environment of East China

LUO Yi<sup>1</sup>, WANG Quan-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 investigation of two common kinds of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) sheets and resins under environment of East China is carried out. Sixteen groups of sheets with 80 sheets are tested in recent 3 years. Influence of appearance, strength, extensibility and modulus of CFRP sheets is investigated. Results indicate that the strength of infused resin is related to the strength of CFRP sheets, the influence of aging on Young's modulus and extensibility is slight. Increasing the aging time, mass of two resin loses seriously. Mechanical properties of different CFRP sheet and the corresponding resin degrade. Resin affects the durability of mechanical properties of CFRP, while performance of CFRP is mainly determined by carbon fiber material.

**Keywords:** carbon fiber reinforced plastic; resin; durability; environmental effect; mechanical property; East China

(责任编辑:钱 筠 英文审校:方德平)