

文章编号: 1000 5013(2010)05-0557-05

不同地区自然环境下 CFRP 复合材料的自然老化性能试验

危成英, 王全凤, 杨勇新, 罗漪

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 对同一批次试件在西北地区(新疆)、华北地区(北京)和东南地区(泉州)的不同环境条件下, 比较分析 CFRP 复合材料的自然老化性能的耐久性. 结果表明, 东南、华北与西北地区的自然环境因素对碳纤维复合材料(CFRP)性能的影响不大, 但是对两种树脂的影响较大. 其中, 西北地区的环境对复合材料的影响小于华北地区的环境对复合材料的影响, 华北地区的环境对复合材料的影响小于东南地区的环境对复合材料的影响. 从温度方面来看, 东南地区的温度最高, 环境对复合材料产生的影响也最大.

关键词: 碳纤维复合材料; 老化; 耐久性; 自然环境; 温度

中图分类号: TU 528.582.02

文献标识码: A

近年来, 人们对建筑物的安全性、适用性和耐久性的要求不断提高, 使得结构的维护和补强加固得到广泛的重视. 然而, 有很多因素会缩短现有建筑结构的使用寿命, 主要包括物理老化、化学腐蚀等. 出现问题的结构有的并不允许将其推倒重建, 而只能采取适当的技术措施, 对其进行补强加固^[1]. 纤维增强复合材料(FRP)因其轻质、高强、耐腐蚀、施工方便快捷、修复加固效果好等优异性能, 成为人们优选的新型建筑材料^[2-4]. 随着国内结构加固修复行业不断走向成熟, 有关 FRP 加固的研究也在不断完善^[5-10]. 本文通过对同一批次试件在 3 个不同地区的自然老化性能的试验结果进行对比, 得出各个材料在不同地区的力学性能曲线的变化趋势.

1 试验部分

1.1 环境条件

选择的试验地区为西北地区(新疆)、华北地区(北京)和东南地区(泉州). 将试件置于自然环境条件下的楼顶, 完全暴露方式, 试样表面没有任何防护措施, 水平曝置. 为了更好地统计和管理试件, 把试件每隔 5 个排列整齐, 并用玻璃条夹住两端, 悬空架高, 边缘用砖块固定住. 试验中, 由于片材是水平放置, 为使试件两面的老化环境大体相同, 试验中每隔一个月将试件翻转一次. 按照计划, 每隔一定时间分别取一组试件进行拉伸性能试验.

1.2 试样制作工艺与取样

由于纤维材料试样脆性比较强, 耐压性能差, 纤维增强复合材料的制作按照 CECS 146: 2003《碳纤维片材加固修复混凝土结构技术规程》中的规定^[11], 将纤维布用树脂浸渍, 制成纤维复合片材. 树脂的制作按照 GB 50367-2006《混凝土结构加固设计规范》中的规定^[12], 将浸渍树脂用模具制样, 养护规定龄期后进行试验.

1.3 试验方法

采用 WDW-D100E II 型微机控制电子式万能试验机进行拉伸试验, 加载速率为 $2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. 采

收稿日期: 2009 11 09

通信作者: 王全凤(1945-), 男, 教授, 主要从事工程结构力学的研究. E-mail: qfwang@hqu.edu.cn.

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2004A A 336010); 国家科技攻关(国际合作)项目(2005DFBA 0002)

用连续加载的方法测定抗拉强度、弹性模量、伸长率、应力-应变曲线、最大破坏荷载,并记录破坏形式.纤维增强复合材料抗拉强度的测定,参考的相关规范有我国的国家标准 GB/T 3354- 1999《定向纤维增强塑料拉伸性能试验方法》^[13], GB/T 1447- 1983《玻璃纤维增强塑料拉伸性能试验方法》^[14],以及日本的相关试验方法^[1].

2 试验结果

2.1 试验环境温度

西北地区(新疆)^[15]、华北地区(北京)^[16]和东南地区(泉州) 的自然老化试验周期内,其平均温度的曲线如图 1 所示.由图 1 可见,试验周期内,东南地区、西北地区和华北地区的平均气温分别为 20, 10, 15 ℃,而温差范围分别为 7~ 33, - 23~ 32, - 8~ 32 ℃.由此可见,东南地区的平均气温最高,温差最小,华北地区次之,西北地区的平均气温最低,温差最大.

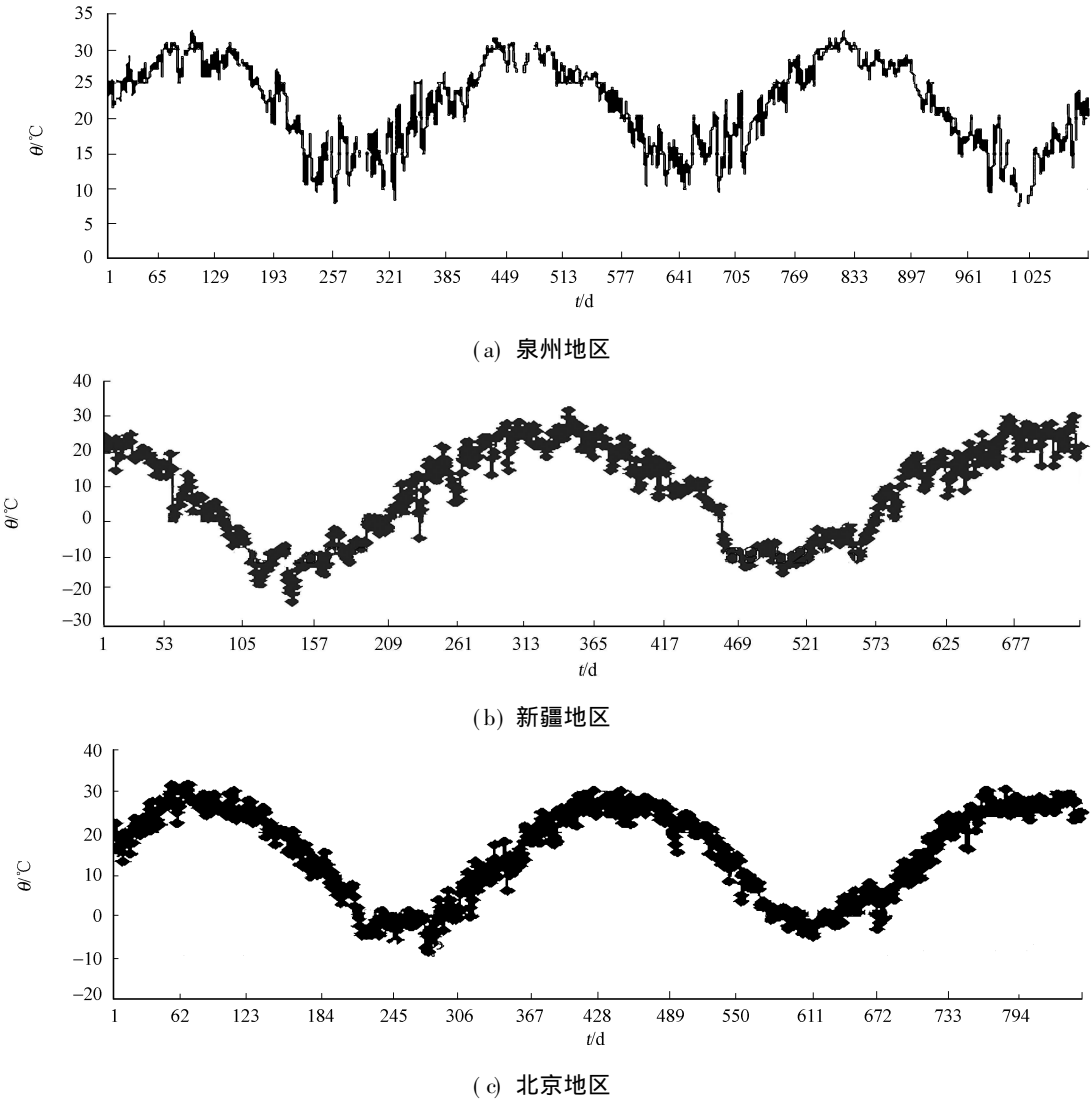


图 1 不同地区自然老化试验的平均温度曲线

Fig. 1 Average temperature curve of different regions in natural aging test

2.2 材料的力学性能

由于各种材料的力学性能绝对数值差距很大,为了使各种材料的老化性能具有可比性,采用无量纲处理方法^[17].在 3 个地区自然老化试验后,考察 CFRP 复合材料及其对应的树脂(CS-1+ RE-1, CS-2+ RE-2, RE-1 和 RE-2) 的力学性能变化,分别如图 2, 3, 4, 5 所示.图中: γ_f , γ_E , γ_ϵ 分别表示相对抗拉强度、相对弹性模量和相对伸长率.

2.2.1 CS-1+ RE-1 由图 2 可以看出, 材料的抗拉强度随时间的变化呈现出先增加后降低的趋势. 自然老化 2 a 后, 西北地区和东南地区的环境影响没有导致材料抗拉强度的降低, 而华北地区的环境影响使得材料的抗拉强度有较小幅度的下降. 材料的弹性模量和伸长率没有受到环境的影响, 变化不大, 弹性模量甚至有所提高, 伸长率有所下降.

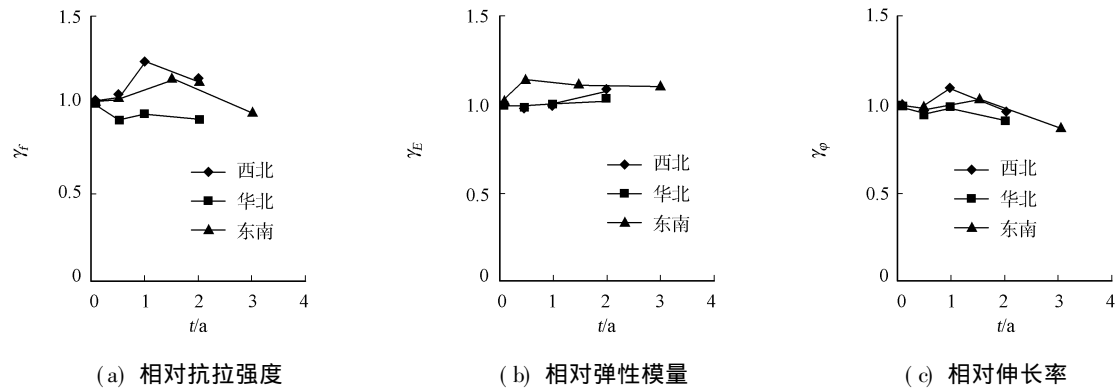


图 2 CS-1+ RE-1 力学性能随时间的变化

Fig.2 Curve of CS-1+ RE-1 mechanical performances to time

2.2.2 CS-2+ RE-2 由图 3 可以看出, 经过 2 a 的自然老化后, 在 3 个地区的环境影响下, 材料的抗拉强度都有较小幅度的下降, 其中东南地区较其他两地的下降幅度较大. 材料的弹性模量和伸长率受环境影响较小, 弹性模量甚至有所提高, 伸长率有所下降.

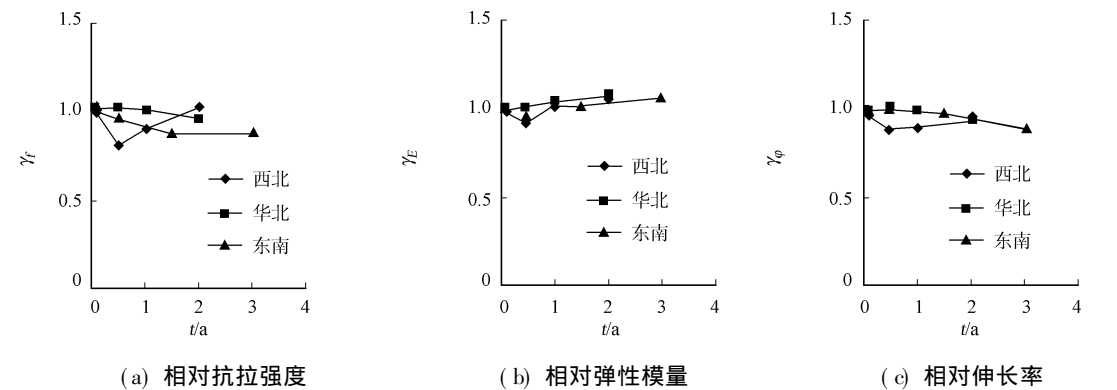


图 3 CS-2+ RE-2 力学性能随时间的变化

Fig.3 Curve of CS-2+ RE-2 mechanical performances to time

2.2.3 RE-1 由图 4 可以看出, 在 0.5 a 时, 华北和东南地区的材料抗拉强度下降幅度很大, 西北地区则没有变化; 之后, 西北地区和东南地区继续下降, 而华北地区则趋于平缓. 弹性模量方面, 西北地区变化不大, 华北地区 1 a 内无变化, 之后有明显的下降趋势; 而东南地区在前 1.5 a 下降, 之后回升. 伸长率方面, 经过 2 a 的自然老化后, 伸长率都有很大幅度的下降, 变化趋势相似.

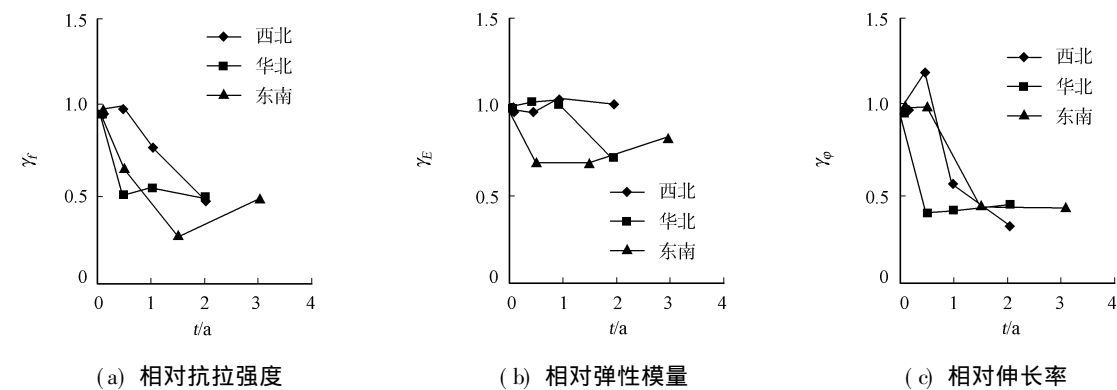


图 4 RE-1 力学性能随时间的变化

Fig.4 Curve of RE-1 mechanical performances to time

2.2.4 RE-2 由图 5 可知,3 个地区的材料抗拉强度变化曲线基本相似,先下降,后趋于平稳.抗拉强度经 2 a 的老化试验后下降幅度都较大,其中东南地区的下降最大.弹性模量方面,西北地区环境对其影响不大,甚至有增大的趋势,华北地区老化 1 a 内无影响,而 1 a 后下降趋势明显;东南地区则一直无明显变化.伸长率方面,西北和东南地区变化趋势相似,先急剧下降后趋于平稳;而华北地区是先急剧下降,然后有较大幅度的上升,2 a 后竟然超过初值.

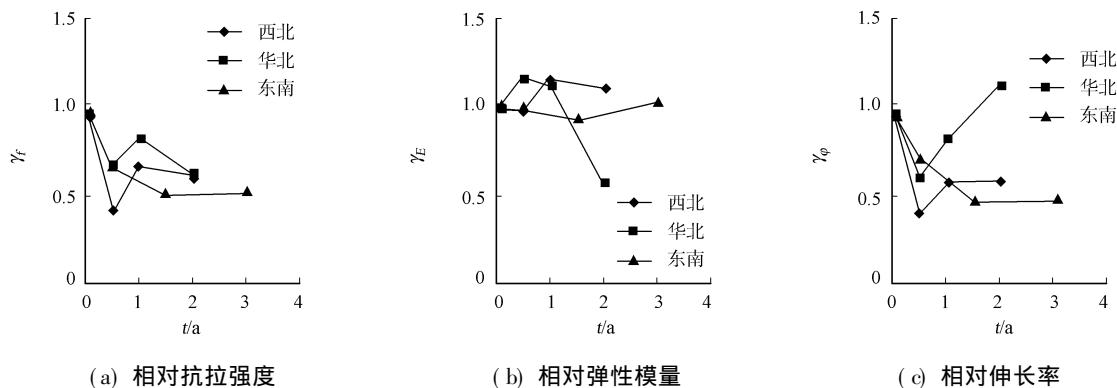


图 5 RE-2 力学性能随时间的变化

Fig. 5 Curve of RE-1 mechanical performances to time

3 结论

通过对同一批次的 CFRP 复合材料在 3 个不同地区的自然老化试验结果的力学性能分析,可以得出以下 3 点结论.

(1) 西北地区自然暴露环境条件下,不同的 CFRP 材料 and 对应树脂的抗拉强度伸长率变化规律有不同的相关性;而树脂的弹性模量变化对 CFRP 材料弹性模量的影响不明显.

(2) 华北地区自然暴露环境条件下,随着老化时间的延长,碳纤维片材抗拉强度的变化规律与浸润树脂抗拉强度耐久性有一定关系,且均略有下降;碳纤维片材伸长率和弹性模量的变化受树脂耐久性能的影响不明显.其中,碳纤维片材的弹性模量随着自然老化时间的延长,基本没有变化.

(3) 东南地区自然环境对 CFRP 两种碳纤维影响不大,对树脂的力学性能影响较大,树脂有明显变脆的趋势,其力学性能随老化时间的衰减多数具有一致的规律性.即在老化开始一段时间内,力学性能衰减较快;其后,衰减缓慢或不再衰减.

整体看来,3 个不同地区的自然老化试验对 CFRP 复合材料的力学性能影响变化不大,3 个地区的力学性能变化显示出相似的变化趋势,自然老化试验后的各种力学性能下降率相似.但是,两种树脂的各种性能则表现出较大差别.

在不同的自然老化环境中,初始一段时间内 CFRP 复合材料抗拉强度、弹性模量和伸长率具有不同的变化,可能提高,也可能降低,但以后渐渐趋于平稳,这与树脂本身的固化快慢有关^[18-19].

从环境条件的因素方面看,总体来说,西北地区的环境对材料的影响小于华北地区的环境对材料的影响,华北地区的环境对材料的影响小于东南地区的环境对材料的影响.

从温度方面分析来看,主要是因为东南地区的温度最高,温度的高低对材料的各种性能将产生不同的影响.通常情况下,温度具有加速老化的作用,老化温度越高,复合材料力学性能的下降速度越快、幅度越大.这是由于温度越高,水蒸气气压越大,水蒸气向内部的扩散能力也加大,同时高温下高分子链的热运动加剧,分子间的作用力减弱,自由体积增大,有利于水分的进入.复合材料在水气作用下,基体发生溶胀塑化且水气扩散至基体与纤维的界面,造成基体强度下降,界面脱粘.

其他因素的作用效果由于暂时没有更多的数据可以证明,将在以后更进一步的研究中探讨.

参考文献:

- [1] 赵彤,谢剑.碳纤维布补强加固混凝土结构新技术[M].天津:天津大学出版社,2001:1-18.

- [2] 陈小兵, 颜子涵, 岳清瑞, 等. 碳纤维材料加固钢筋混凝土梁的试验研究[J]. 工业建筑, 1998, 28(11): 6-10.
- [3] 吴刚, 安琳, 吕志涛. 碳纤维布用于钢筋混凝土梁抗弯加固的试验研究[J]. 建筑结构, 2000, 30(7): 3-6.
- [4] 杨勇新, 岳清瑞. 碳纤维布加固混凝土梁截面刚度计算[J]. 工业建筑, 2001, 31(9): 1-4.
- [5] 杨勇新. 碳纤维布与混凝土的粘结性能及其加固混凝土受弯构件的破坏机理研究[D]. 天津: 天津大学, 2001: 9-118.
- [6] 郭春红, 岳清瑞, 杨勇新, 等. 碳纤维布增强复合材料力学性能评价[J]. 工业建筑, 2006, 36(2): 95-98.
- [7] 杨勇新, 岳清瑞, 郭春红, 等. FRP 耐久性评价方法[J]. 工业建筑, 2006, 36(8): 6-9.
- [8] 任慧韬, 姚谦峰, 胡安妮. 纤维增强复合材料的耐久性能试验研究[J]. 建筑材料学报, 2005, 8(5): 520-526.
- [9] 杨亚文. 碳纤维环氧树脂复合材料的吸湿行为[J]. 机械制造, 2005, 43(486): 71-72.
- [10] 杨勇新, 庄荣忠. FRP 与木材的界面粘结性能研究现状[J]. 玻璃钢/ 复合材料, 2008(6): 53-56.
- [11] 中国建筑标准化协会. CECS 146: 2003 碳纤维片材加固修复混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国计划出版社, 2007.
- [12] 中华人民共和国建设部. GB 50367- 2006 混凝土结构加固设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [13] 国家质量技术监督局. GB/T 3354- 1999 定向纤维增强塑料拉伸性能试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [14] 国家建筑材料工业局. GB/T 1447- 1983 玻璃纤维增强塑料拉伸性能试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1984.
- [15] 杨勇新, 杨萌, 赵颜, 等. 西北自然环境条件下浸渍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.
- [16] 杨萌, 杨勇新, 廉杰, 等. 华北自然环境条件下浸渍树脂耐久性对碳纤维片材耐久性能影响的试验[J]. 工业建筑, 2008, 38(2), 18-20.
- [17] 岳清瑞, 杨勇新, 郭春红, 等. 浸渍树脂快速老化与自然老化试验对应关系[J]. 工业建筑, 2006, 36(8): 1-5.
- [18] 杨勇新, 郭春红, 才鹏, 等. 紫外线对 CFRP 与混凝土粘结性能的影响[J]. 工业建筑, 2006, 36(8): 18-20.
- [19] 肇研, 梁朝虎. 聚合物基复合材料自然老化寿命预估方法[J]. 航空材料学报, 2001, 21(2): 55-58.

Experimental Investigation on Environmental Aging Durability of CFRP in Different Regions

WEI Cheng-ying, WANG Quan-feng,
YANG Yong-xin, LUO Yi

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: The experiment of natural aging durability of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) from the same batch of specimens in the Northwest region (Xinjiang), North China (Beijing) and the Southeast region (Quanzhou) under different environmental conditions is carried out. The result shows that the effect of environment in the three regions on the CFRP is little, but the effect on two resins is obvious. The rank of environmental effect from large to small is: southeast, north, northwest China. The temperature in southeast China is the highest, then its effect on the CFRP is the greatest.

Keywords: carbon-fibre reinforced plastic; natural aging; durability; environment; temperature

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 方德平)