

碱环境下玻璃纤维布加固钢筋混凝土梁的受力性能

杨涛^{1,2,3}, 郝海超^{1,2,3}, 卢维平^{1,2,3}, 郑宏宇^{1,2,3}

(1. 广西大学 土木建筑工程学院, 广西 南宁 530004; 2. 广西大学 广西防灾减灾与工程安全重点实验室, 广西 南宁 530004; 3. 防灾减灾与工程安全教育部重点实验室, 广西 南宁 530004)

摘要:为了研究碱环境对玻璃纤维布加固钢筋混凝土梁受力性能的影响,对经历碱溶液侵蚀作用后的玻璃纤维布和玻璃纤维布加固钢筋混凝土梁试件分别开展单调静力试验。研究表明:碱环境下玻璃纤维布的受力性能退化明显,但浸渍树脂的存在可显著改善其耐久性能;在 pH 值为 12.8 的碱溶液中浸泡 60 d 后,玻璃纤维布加固钢筋混凝土梁的承载能力和变形性能无明显退化;GFRP 加固钢筋混凝土梁的受力性能与玻璃纤维布和混凝土梁界面处的粘结性能密切相关。

关键词:玻璃纤维布;加固;碱环境;耐久性能

中图分类号:TU375.1

文献标识码:A

Mechanical performance of RC beams strengthened with GFRP sheets in alkali environment

YANG Tao^{1,2,3}, HAO Haichao^{1,2,3}, LU Weiping^{1,2,3}, ZHENG Hongyu^{1,2,3}

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Guangxi Nanning, 530004, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Disaster Prevention and Engineering Safety, Guangxi University, Guangxi Nanning, 530004, China; 3. Key Laboratory of Disaster Prevention and Structural Safety of Ministry of Education, Guangxi Nanning, 530004, China)

Abstract: To investigate the influence of alkali environment on the mechanical performance of reinforced concrete (RC) beams strengthened with GFRP sheets, monotonic static tests were conducted on GFRP sheets and RC beams strengthened with GFRP sheets respectively. Which had been subjected to the corrosion of alkali solution. Experimental results show that mechanical performance of GFRP sheets degenerates significantly in alkali environment, while the impregnating resin can obviously improve the durability of GFRP sheets. Degeneration of the bearing capacity and deformation performance of the strengthened beams is not apparent after being soaked in the alkali solution with pH 12.8 for 60 days. Mechanical performance of the strengthened beams is closely related to the interface adhesive property between GFRP sheets and RC beams.

Key words: GFRP sheet; strengthening; alkali environment; durability

GFRP 是一种常用的纤维增强复合材料,经 GFRP 加固修复后结构的受力性能可以得到明显的改善^[1-3]。我国有面积分布广泛的盐碱地,而盐、碱环境会对 GFRP 加固混凝土结构的受力性能产生不利影响^[4-5],如:材料力学性能的降低、GFRP 材料与混凝土破坏特征的改变等。部分学者对 GFRP 材料及 GFRP 加固结构在海洋环境与

冻融循环等环境条件下的耐久性开展了试验研究^[6-9],但对其在碱环境下的耐久性能开展的试验研究相对有限。本文通过试验研究了碱环境对玻璃纤维布加固钢筋混凝土梁受力性能的影响,探讨了在材料老化后其承载能力、破坏形态等受力性能的变化特点。

收稿日期:2016-08-28

基金项目:广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 1598009-1);广西大学科研基金资助项目(XJZ130358)

作者简介:杨涛(1979-),男,河南浙川人,博士,副教授,主要从事混凝土结构和组合结构的研究。

1 玻璃纤维布耐久性试验

采用单向玻璃纤维布作为受损钢筋混凝土梁试件的加固材料,粘贴剂采用浸渍树脂。单向玻璃纤维布的抗拉强度为 1 502 MPa,浸渍树脂的抗拉强度为 43.4 MPa。为了评估玻璃纤维布在碱环境中的耐久性能,设计了两类玻璃纤维布试件:第一类试件宽为 30 mm,宽度范围内共包含 6 束玻璃纤维;第二类试件的规格尺寸与第一类试件完全相同,但在试件表面均匀涂抹了浸渍树脂,以考察浸渍树脂对玻璃纤维布耐久性的影响。按照在 1 L 无离子水中拌制含 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaOH 和 KOH 分别为 11.9、0.9 和 4.2 g 的分析纯的比例制作试验所用的碱溶液,溶液的 pH 值约为 12.8。将上述两类玻璃纤维布试件分别浸泡在碱溶液中 20、40 和 60 d,达到预定时间捞出并干燥后测试其力学性能。为防止试件夹持端在加载过程中因局部受力而提前破坏,在试件的两端设置铝片进行局部加强,试件如图 1 所示。

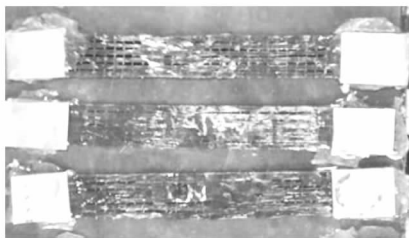


图1 玻璃纤维布试件

Fig.1 Specimens of GFRP sheet

试验结果表明:在碱溶液中浸泡 20 d 后,第一类玻璃纤维布试件的极限抗拉荷载均值由 4.20 kN 降为了 1.15 kN,降幅达到了 72.6%,可见碱溶液环境对玻璃纤维布的受力产生了极为不利的影 响。第二类玻璃纤维布试件的初始极限抗拉荷载均值约 8.15 kN,在碱溶液环境中浸泡 20 d 后的抗拉强度未下降;分别浸泡 40 d 和 60 d 后,试件的极限抗拉荷载均值降为 7.9 kN 和 7.04 kN,降幅分别约 2.5% 和 13.6%。通过两类玻璃纤维布试件试验结果的对比可见,碱环境下浸渍树脂可以有效改善玻璃纤维布的耐久性能。

2 GFRP 加固混凝土梁老化后的静力试验

2.1 试验设计

设计了 4 根钢筋混凝土梁试件,试件设计参数见表 1,试件的尺寸和配筋如图 2 所示。在对钢

筋混凝土梁进行加固前,采用两点对称加载的方式对试件施加大小约为 $0.3P_u$ (9.4 kN) 的初始荷载以在梁上形成初始损伤, P_u 为钢筋混凝土梁试件的计算极限承载力;加载装置如图 3 所示。在初始荷载作用下,试件跨中梁底区域均观测到了裂缝。形成初始损伤后,用单向玻璃纤维布对梁进行加固处理:梁底面全长粘贴玻璃纤维布,同时在梁侧面粘贴 U 形箍,加固后的试件如图 4 所示。梁中纵向受拉钢筋和箍筋分别采用 HRB 400 级和 HPB 300 级钢筋;混凝土轴心抗压强度实测值为 46.2 MPa。

整个试验包括碱溶液中的浸泡老化试验和浸泡后的静力试验。首先,将试件 S1 - S3 在碱溶液中分别浸泡 20、40 和 60 d,而对比试件 S0 放置在自然环境中养护。在浸泡试验结束后,待试件干燥,分别对 4 根梁开展单调静力加载试验,试验加载装置同图 3。加载设备采用液压千斤顶,最大加载能力为 500 kN。在静力加载试验过程中主要测量试件的裂缝分布、承载能力和跨中变形等受力性能。

表 1 试件设计

Tab.1 Design of specimens

试件编号	试验环境	浸泡时间/d
S0	自然环境	—
S1	碱性环境	20
S2		40
S3		60

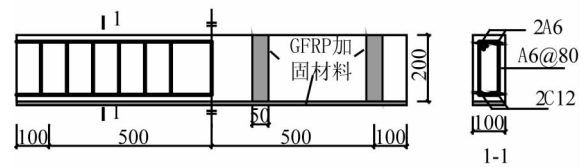


图2 试件配筋和尺寸图(单位: mm)

Fig.2 Reinforcement details and dimensions of the specimens

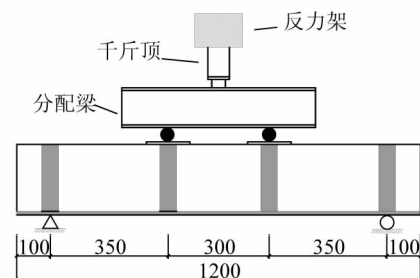


图3 加载装置(单位: mm)

Fig.3 Loading setup



图4 加固后的试件

Fig. 4 Strengthened specimens

2.2 静力试验结果与分析

2.2.1 受力过程

试件 S0: 试验开始后, 加载到 35 kN 时, 跨中靠近加载点梁底位置观测到第一条缝; 随着荷载的继续增加, 梁上裂缝不断增多, 已有裂缝宽度变大; 加载到 95 kN 时, 试件弯剪区内的斜裂缝大多已延伸到梁顶; 加载到 165 kN 时, 跨中梁顶部混凝土受压开裂并最终被压碎, 随后跨中梁底部 GFRP 与混凝土剥离并发生断裂。最终破坏时, 梁的弯曲变形较为明显。

试件 S1: 当加载到 40 kN 时, 跨中观测到第一条裂缝; 加载到 105 kN 时, 试件弯剪区内的斜裂缝延伸到梁顶; 当加载至 168 kN 时, 在梁一侧的弯剪区内形成主斜裂缝, U 形箍与混凝土梁之间有局部剥离现象发生, 试件发生最终破坏。

试件 S2 - S3: 两个试件在荷载作用下的受力过程较为相似。加载至 35 ~ 40 kN 时, 在梁的跨中区域首先观测到裂缝, 随后弯剪段的斜裂缝逐渐增多, 缝宽逐渐增大。在最终受力阶段, 跨中梁顶混凝土被压碎, 而梁底部 GFRP 与混凝土之间发生了不同程度的剥离现象。

2.2.2 破坏形态

各试件的破坏形态如图 5 所示。试件 S1 在受力过程中 U 形箍与混凝土梁局部剥离, 其破坏形态属于剪切破坏; 其他 3 根试件在最后受力阶段梁底 GFRP 布与混凝土梁之间也有脱开、剥离现象的发生, 其破坏形态均属于弯曲破坏。对比可见, 在经历碱溶液的侵蚀作用后, GFRP 布与混凝土梁界面间易发生粘结破坏, 并会对 GFRP 布加固混凝土梁的破坏形态产生直接的影响。

2.2.3 极限承载能力

4 个试件的极限承载力见表 2, 可见在碱性溶液中浸泡 20、40 和 60 d 后, 试件的极限承载力变化不大, 并未呈现下降趋势。这种现象与以下三点有关: 1) 根据对两类玻璃纤维布试件的试验研究结果可知, 在本试验所设定的时间周期内碱溶

液对涂抹浸渍树脂的玻璃纤维布的力学性能影响有限。2) 由试验现象可知, GFRP 布材料本身未能完全发挥作用, 试件的破坏更多源于 GFRP 布和钢筋混凝土梁界面间的粘结破坏, 这也是各试件极限承载力变化不大的原因之一。因此, 在碱环境下浸渍树脂的抗老化性能与 GFRP 布加固混凝土梁的耐久性能关系密切。3) 4 个试件在进行加固处理时浸渍树脂的厚度并不完全相同, 这会导致试件极限承载力有所波动。

表 2 极限承载能力

Tab. 2 Ultimate bearing capacities

试件编号	S0	S1	S2	S3
极限承载力/kN	165	168	172	175



(a) 试件S0



(b) 试件S1



(c) 试件S2



(d) 试件S3

图5 破坏形态

Fig. 5 Failure patterns

2.2.4 荷载-挠度曲线

各试件的荷载-跨中挠度曲线如图6所示。由图6可知:1)试件的变形能力与破坏形态相关,发生剪切破坏的试件S1的变形能力最差。2)对比试件S0、S2和S3可知,碱溶液的侵蚀作用对GFRP加固混凝土梁变形能力的影响并不显著。

2.2.5 GFRP的受力状态

在各试件的跨中梁底GFRP上布置应变测点,得到梁底部GFRP应变随荷载的变化曲线如图7所示。在达到极限荷载前,各个试件的GFRP应变随着荷载的增加而呈线性增长的趋势。在试件达到极限荷载直至最终破坏的过程中,由于浸渍树脂的作用,GFRP呈现出了一定的塑性变形能力。对比可见,经历碱溶液侵蚀作用后,各试件上GFRP的工作性能无明显改变。

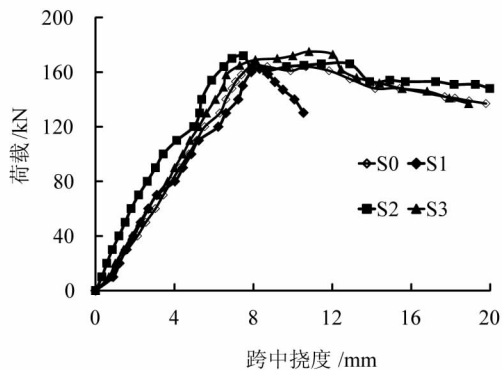


图6 荷载-跨中挠度曲线

Fig. 6 Load vs. mid-span deflection curves

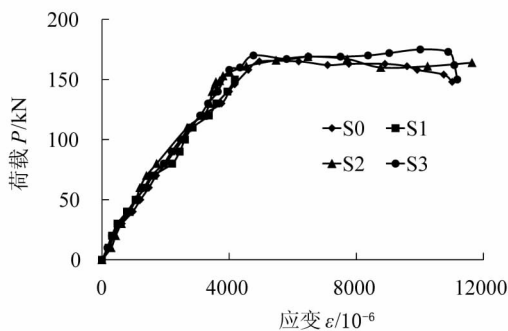


图7 荷载-GFRP应变曲线

Fig. 7 Load vs. strain of GFRP curves

3 结论

1)玻璃纤维布在碱环境下受力性能退化较为明显,但浸渍树脂可以有效改善玻璃纤维布的耐久性能。

2)GFRP布加固钢筋混凝土梁在经历pH值为12.8的碱溶液侵蚀60d后,承载能力、变形能力等受力性能无明显退化。

3)GFRP加固钢筋混凝土梁的受力性能与GFRP布和混凝土梁界面处的粘结性能密切相关,采用抗老化性能好的玻璃纤维布粘贴剂有利于改善加固结构的耐久性能。

参考文献:

- [1]赵菲. 外包GFRP板钢筋混凝土梁的力学性能研究[D]. 杭州:浙江大学,2013.
- [2]黄丽华,李宇婧,张耀焯,等. 不同种类FRP加固混凝土梁加固效果试验研究[J]. 大连理工大学学报, 2013, 53(1): 102-107.
- [3]何小兵,郭晓博,李亚,等. GFRP/CFRP混杂加固混凝土梁阻裂增强机理[J]. 华中科技大学学报, 2014, 42(1): 78-83.
- [4]胡安妮. 荷载和恶劣环境下FRP增强结构耐久性研究[D]. 大连:大连理工大学,2007.
- [5]赵慧敏,王俊,刘伟庆,等. 氯离子与荷载耦合条件下玻璃纤维增强复合材料耐久性试验研究[J]. 工业建筑, 2013, 43(10): 102-105.
- [6]张彦红,杨勇新,姚勇,等. 玻璃纤维增强复合材料在湿热环境下的耐久性试验及性能衰减模型[J]. 工业建筑, 2014, 44(10): 46-50.
- [7]吕珍莹,单鲁阳. 盐溶液干湿循环下GFRP管约束混凝土柱耐久性试验研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2015(6): 93-96.
- [8]高维未. 玻璃纤维布加固混凝土梁耐久性能研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.
- [9]CHU W, WU L, KARBHARI V M. Durability evaluation of moderate temperature cured E-glass/vinylester systems[J]. Composite Structures, 2004(66): 367-376.

(责任编辑 李军)