

CFRP材料对钢管混凝土桩基的 锈蚀劣化影响研究

毛玉芳¹, 徐 彬², 刘天夫³, 施建业⁴

(1. 宜兴市新庄街道水利站, 江苏 宜兴 214299; 2. 宜兴市水利局, 江苏 宜兴 214207;
3. 宜兴市周铁镇水利站, 江苏 宜兴 214261; 4. 扬州市勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225100)

摘要:通过对CFRP钢管混凝土桩基试件进行锈蚀试验和轴向受压承载试验,系统分析CFRP钢管混凝土桩基在腐蚀前后荷载-位移曲线、极限承载力的变化规律,重点研究材料的基本性质和劣化程度对极限承载力的影响。试验结果表明,CFRP材料能够显著改善普通钢管混凝土桩基的受力特性,进而有效提高桩基的极限承载力。

关键词:CFRP; 钢管混凝土; 锈蚀裂化

中图分类号:TV42

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2025)04-0069-0004

Research on the influence of CFRP materials on the corrosion deterioration of steel tube concrete pile foundations

MAO Yufang¹, XU Bin², LIU Tianfu³, SHI Jianye⁴

(1. Yixing City Xinzhuang Subdistrict Water Resources Station, Yixing 214299, China;
2. Yixing City Water Resources Bureau, Yixing 214207, China;
3. Yixing Zhoutie Town Water Conservancy Station, Yixing 214261, China;
4. Yangzhou Survey Design Research Institute Co., Ltd., Yangzhou 225100, China)

Abstract: By conducting corrosion tests and axial compression bearing tests on CFRP steel tube concrete pile foundation specimens, the changes in load displacement curves and ultimate bearing capacity of CFRP steel tube concrete pile foundation before and after corrosion were systematically analyzed, with a focus on studying the influence of material properties and deterioration degree on ultimate bearing capacity. The experimental results show that CFRP material can significantly improve the stress characteristics of ordinary steel concrete pile foundations, thereby effectively increasing the ultimate bearing capacity of pile foundations.

Key words: CFRP; steel tube concrete; corrosion cracking

钢管混凝土桩基作为现代建筑与基础设施工程中重要的基础形式之一,在承载力与耐久性方面具有显著的优势,广泛应用于高层建筑、大型桥梁以及其他重要工程中^[1]。然而,随着使用年限的增长,桩基材料受到外部环境的腐蚀,尤其是钢管部分的锈蚀劣化,逐渐影响了桩基的承载能力和使用

寿命^[2]。腐蚀不仅导致钢材的机械性能下降,还可能引发混凝土裂纹,进一步影响钢管混凝土桩的整体性能。

目前,针对钢管混凝土桩的腐蚀问题,工程界已采取多种技术进行改进和加固。其中,碳纤维增强复合材料(carbon fiber-reinforced polymer,简称

收稿日期:2024-01-22

作者简介:毛玉芳(1973—),女,工程师,研究方向为水利工程。E-mail:3685396362@qq.com

CFRP)由于其优异的力学性能、耐腐蚀性能和较轻的质量,近年来在建筑结构加固中得到了广泛应用^[3]。CFRP材料具有较高的抗拉强度、耐环境腐蚀性能和较好的适应性,这使得其在钢管混凝土桩基的腐蚀加固中展现出巨大的潜力^[4]。通过将CFRP材料与钢管混凝土桩基结合使用,可以有效提高桩基的耐腐蚀性,延长桩基使用寿命,并改善桩基在腐蚀环境中的力学性能。

然而,尽管CFRP加固技术在工程中取得了一定应用成果,但关于材料对钢管混凝土桩基在不同腐蚀程度下的影响,尤其是在腐蚀后对桩基承载力和力学性能的改善作用的研究尚显不足。多数研究集中在CFRP加固后的桩基性能评估,但对CFRP材料在不同腐蚀条件下的效果仍然缺乏系统的实验分析^[5-7]。因此,开展CFRP钢管混凝土桩基在锈蚀作用下的力学性能研究,不仅能够为桩基加固技术的优化提供理论支持,而且对提高桩基的长期耐久性和安全性具有重要意义。

本文通过对CFRP钢管混凝土桩基试件进行锈蚀试验和轴向受压承载试验,分析CFRP钢管混凝土桩基在腐蚀前后荷载-位移曲线、极限承载力变化规律,揭示CFRP材料对钢管混凝土桩基在锈蚀环境中的加固效果,研究成果可为实际工程提供参考。

1 试验材料和方法

1.1 试件制备

在研究中,设计并制备了6根长1 200 mm、内径109.6 mm的钢管混凝土模型桩,按锈蚀程度和CFRP粘贴层数划分为3组进行对照试验。试件模型如图1所示,分组情况见表1。未使用CFRP加固的桩为对照组,加固桩基的CFRP粘贴层数为1层,理论锈蚀度则分别为0%、5%、10%。

1.2 材料特性

本研究中,混凝土试件的设计强度等级为C30。28 d的立方体抗压强度为36.6 MPa。混凝土的配合比为0.35:1:1.35:2.2(水:水泥:砂:碎石),其中试验水泥为普通425硅酸盐水泥,细、粗骨料分别选用中粗砂和粒径为5~15 mm的碎石,采用自来水进行混凝土搅拌。试验钢管采用Q235无缝钢管,长度为1 200 mm,钢管内径为108.6 mm,平均厚度为2.7 mm。

本研究所使用的碳纤维布尺寸为100 mm×10 000 mm,厚度为0.11 mm,抗拉强度为3 450 MPa,

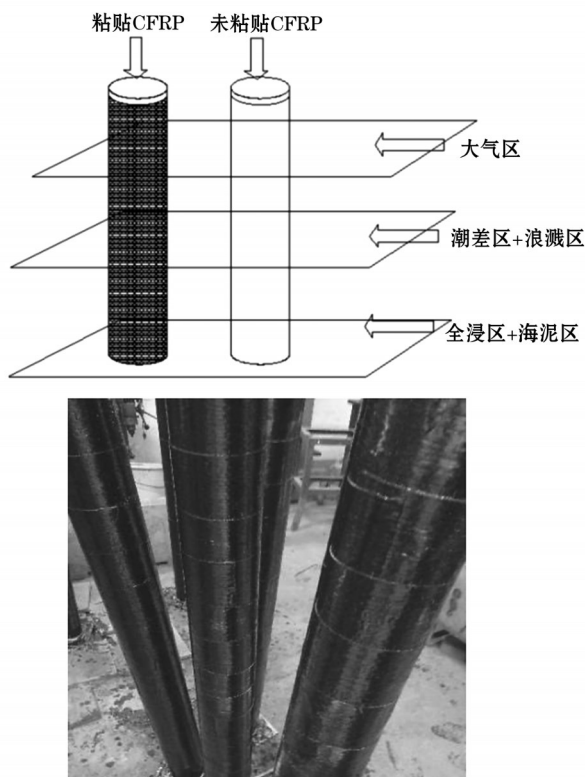


图1 试件模型

表1 CFRP钢管混凝土桩基试件分组

分组	理论锈蚀程度/%		
	0	5	10
对照组	C0-0	C0-5	C0-10
试验组	C1-0	C1-5	C1-10

弹性模量为 2.3×10^6 MPa,密度为 1.8 g/cm^3 。环氧树脂作为碳纤维布和混凝土基体之间的黏结剂,主要包含A胶和B胶的标准碳纤维浸渍胶,其抗压强度、抗拉强度、剪切强度分别为64.6 MPa、25.9 MPa、20.8 MPa。

1.3 试验方案

通过采用轴向施加荷载的方法进行极限承载力试验,电化学试验通过外加电流来加速对桩基的腐蚀。试验中设置外加直流电源的电流大小为166.9 mA,记录实测数据并对不同理论腐蚀量、CFRP的粘贴与否对CFRP钢管混凝土桩基性能影响进行分析研究。

2 试验结果与分析

2.1 典型荷载-位移曲线

通过试验得到各试件的荷载-位移数据结果,

在其中选出C0-5、C1-10作为典型试件进行分析,其荷载位移曲线结果如图2所示。

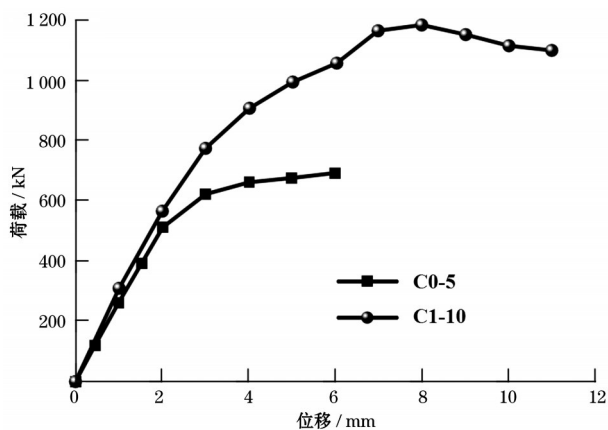


图2 典型试件荷载位移曲线

以C0-5为例进行分析,在加载初期,试件未表现出明显的变形反应,表明此时试件处于弹性阶段,荷载-位移曲线几乎呈线性关系。随着荷载的逐渐增大,试件表现出明显的非线性特征,试件表面出现局部凸起,表明试件已处于弹塑性阶段。随着荷载的增大,试件出现鼓包现象,表明试件处于不稳定状态。当荷载-位移曲线趋于平稳时,试件达到破坏极限。

以试件C1-10为例对CFRP钢管混凝土试件结果进行分析,从图2可以看出,C1-10与C0-5试件呈现出相似变化趋势,但随着荷载的增加,C1-10试件的中部出现向外鼓包的现象。随着荷载的持续增大,试件的位移增长速度却逐渐变缓。这是因为钢管已接近屈服状态,但此时荷载几乎由CFRP单独承载,因此导致C1-10的曲线降低。随着荷载继续增大,试件接近破坏极限,CFRP材料中部出现断裂,试件的荷载-位移曲线呈现突降现象。然而,试件的荷载并未出现与C0-5试件类似的现象,原因在于CFRP材料中段虽然发生断裂,但其他部位的CFRP材料仍能有效提供约束力,维持试件的承载力。这表明CFRP在钢管混凝土试件中的约束作用在提高承载力方面具有重要作用,尤其在试件部分破坏时,CFRP能够提升整体试件的耐久性与安全性。

2.2 极限承载力结果分析

由图3分析可知,在CFRP层数相同的情况下,理论锈蚀度的增加,试件的承载力呈现下降趋势;在相同的理论锈蚀度下,随着CFRP层数的增加,试件的承载力逐渐增大。在相同锈蚀度的情况下,

CFRP的粘贴层数会对试件极限承载力产生不同的影响,以锈蚀度为5%的试件为例,C1-5试件的极限承载力较相较于C0-5试件数据结果,C1-5试件的极限承载力提高了70%,这一结果表明,粘贴CFRP材料能够显著提升试件的极限承载力。

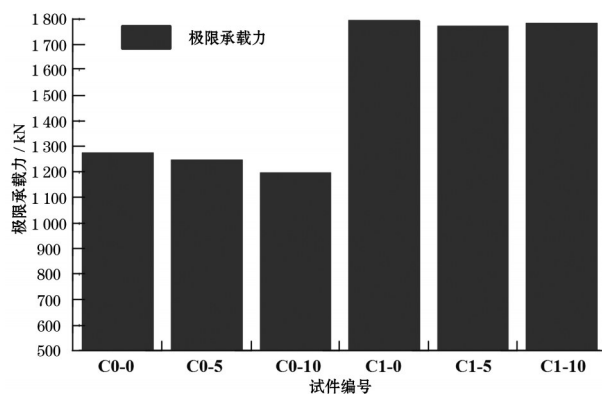


图3 试件的极限承载力结果

结合以上分析,可以得出CFRP粘贴层数对钢管混凝土试件的极限承载力具有明显的增强作用,尤其是在锈蚀效应的作用下,CFRP作为约束材料能够有效提升构件的耐久性和承载能力。随着CFRP层数的增加,承载力的提升效果逐渐趋缓,但其对提高试件抗锈蚀性能、延缓破坏的作用依然显著。

3 结 论

本研究通过对CFRP钢管混凝土桩基试件进行锈蚀试验和轴向受压承载试验,主要结论如下:

(1)在轴向受压作用下,普通钢管混凝土与CFRP钢管混凝土的表现存在显著差异。

(2)CFRP钢管混凝土在钢管屈服后,依然能够继续承受应力,并有效限制混凝土的横向变形,显著提高了构件的承载能力和延长其服役寿命。

(3)相同尺寸下,CFRP钢管混凝土的极限承载力明显高于普通钢管混凝土,且随着CFRP层数的增加,承载力逐步提升。

(4)在相同钢管理论锈蚀度条件下,CFRP钢管混凝土试件表现出远优于普通钢管混凝土试件的力学性能,充分验证了CFRP材料在提高钢管混凝土构件耐久性与承载力方面的显著效果。

参考文献:

- [1] 许强,廖志浩,盛于洲,等. 矩形钢管混凝土构件受弯和压弯承载力统一公式[J]. 建筑结构,2024,54(23):70-78.
- [2] 张帅,高剑平,应宗豪,等. 双相不锈钢套管加固锈蚀

- RC短柱轴压力学性能试验研究[J]. 建筑钢结构进展, 2024, 26(12): 24-34.
- [3] 娄逸群, 彭晖, 兰川云, 等. 端部嵌贴CFRP板加固钢筋混凝土结构的斜嵌段粘结性能试验[J]. 复合材料学报, 2024, 41(2): 871-883.
- [4] 何理, 邹春龙, 文周, 等. 碳纤维含量对碳纤维增强聚醚醚酮复合材料弯曲性能和失效行为的影响[J]. 塑料工业, 2024, 52(2): 120-127.
- [5] 肖冲, 吕辉, 罗靓. 柱端带肋方钢管混凝土柱抗震耗能分析[J]. 工程抗震与加固改造, 2024, 46(2): 121-129.
- [6] 强旭红, 陈岩松, 姜旭, 等. CFRP板纵向加固RC柱在水平低周循环荷载下的力学性能研究与应用[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2024, 51(7): 148-163.
- [7] 郭兴宴, 刘文杰, 张建成, 等. CFRP布粘贴角度对含裂隙无腹筋梁抗剪加固效果研究[J]. 山东建筑大学学报, 2024, 39(6): 47-54.

(上接第68页)

著减少了混凝土的氧气渗透性,进一步增强其对外界侵蚀物质的屏障作用。研究还发现,硅烷的渗透深度与水胶比之间存在密切关系,水胶比较高的混凝土表现出更深的硅烷渗透深度,从而提高了整体的防水性能。综上所述,硅烷疏水处理作为一种低成本、高效的表面处理方法,显著提高了水工混凝土的耐久性,特别适用于江苏淮安及类似环境下的水利设施。该方法不仅有效延长了水闸的使用寿命,还为其他水工建筑物保护提供了重要的技术参考。未来的研究应进一步探索不同类型疏水剂的效果及其在不同环境条件下的长期耐久性表现,以推动该技术在水利工程中的广泛应用。

参考文献:

- [1] 甘文忠, 张曾, 王永峰. 长河坝水电站泄洪洞高标号抗冲磨硅粉混凝土温控施工技术[J]. 水力发电, 2016, 510(10): 83-86.
- [2] 李光伟, 马巧玲. 纤维对水工高性能混凝土抗冲耐磨特性的影响[J]. 水电站设计, 2013, 109(2): 87-91.
- [3] 凌春海. 高性能抗冲耐磨混凝土在南沙水电站的应用[J]. 人民珠江, 2014, 202(2): 54-56.
- [4] 郭维维. 玄武岩纤维对水工混凝土抗冲蚀性能影响研究[J]. 水利建设与管理, 2019, 309(4): 28-31.
- [5] 李光伟. 纤维素纤维在水工抗冲磨高性能混凝土中的应用[J]. 水利水电技术, 2011, 456(10): 124-127.