

浦上大桥桩基水下玻纤套筒施工技术应用

林 鸿

(福州市市政 Engineering 中心, 福建 福州 350004)

摘 要: 水流冲刷导致桥梁桩基不可避免地出现各类混凝土病害,使得桩基承载力降低。水下玻纤套筒加固技术是在桩基上固定玻纤套筒,而后灌注高强水下环氧灌浆料的一种施工工艺。结合福州浦上大桥桩基病害处治工程,通过采用玻纤套筒修复工艺对浦上大桥破损桩基进行修复加固,提高了原桩基混凝土的强度及耐久性。分析浦上大桥桥梁桩基混凝土病害,分析桩基加固方案,探讨了水下玻纤套筒施工过程中的技术要点和适用性,以为同类梁桥的桩基处治提供借鉴作用。

关键词: 桩基病害;玻纤套筒;施工工艺;技术要点

中图分类号: U445.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)05-0225-05

Application of Underwater Glass Fiber Sleeve Construction Technology in Pile Foundation of Pushang Bridge

LIN Hong

(Fuzhou Municipal Engineering Center, Fuzhou 350004, China)

Abstract: All kinds of concrete diseases of bridge pile foundation are inevitable due to water erosion, which reduces the bearing capacity of pile foundation. The technology of underwater glass fiber sleeve reinforcement is to fix the glass fiber sleeve on pile foundation, and it is a construction process of injecting the high strength underwater epoxy grouting material. Combined with the pile foundation treatment project of Pushang Bridge in Fuzhou, the damaged pile foundation of Pushang Bridge is repaired and reinforced by the glass fiber sleeve repair process, which improves the strength and durability of the original pile foundation concrete. The pile foundation concrete disease of Pushang Bridge is analyzed, and the pile foundation reinforcement scheme is analyzed. The technical essentials and applicability in the construction process of underwater glass fiber sleeve are discussed in order to provide the reference for the treatment of pile foundation of similar beam bridges.

Keywords: pile foundation disease; glass fiber sleeve; construction technology; technical essentials

0 引 言

由于桥梁桩基长期处于水中,受水流冲刷、磨损、腐蚀等影响,不可避免地会发生各类混凝土病害^[1]。相比于上部结构,这些病害更难被察觉发现,隐蔽性更高,对桥梁安全的威胁更加致命。近三十年来,由于水口电站建设、河沙开采等原因,导致闽江河床不断下切,使得海水入侵,加剧了氯离子对混凝土侵蚀。福州市部分桥梁基础出现了混凝土剥落、露筋、桩基截面削弱等病害,影响桥梁运营安全^[2]。因此,对损伤桥梁桩基进行维修加固对保障桥梁安全运行至关重要。

目前,桥梁水下混凝土病害处治常见的措施有围堰套箍法、普通钢套筒法和水下玻纤套筒法等。其中,水下玻纤套筒加固从2012年引进至国内以来,在国内多个桥梁、码头等加固项目上使用^[3-6]。该技术是在桩基上固定玻纤套筒,而后灌注高强水下环氧灌浆料的一种施工工艺,具有施工工期短、施工工艺简单、耐腐蚀等特点。结合福州浦上大桥,探讨水下玻纤套筒在水下混凝土桩基病害修复中的应用,为同类梁桥的桩基处治工程提供借鉴。

1 桥桩病害分析

1.1 桥梁概况

浦上大桥位于福州市三环路—浦上大道路段,横跨乌龙江桥,为城市主干路桥,2007年建成通车。桥梁总长1 464 m,由东非通航孔主桥、通航孔主桥、

收稿日期: 2024-09-09

基金项目: 福建省科技计划项目(2024Y0044)

作者简介: 林鸿(1981—),男,本科,工程师,从事市政桥梁管养工作。

西非通航孔主桥三部分组成。上部结构为双幅预应力混凝土箱梁,下部结构为桩柱式桥墩。东、西非通航孔桥墩承台尺寸为8.3 m×6.7 m,配2×2根直径1.5 m桩基;通航孔桥墩承台尺寸为15.3 m×9.2 m,配3×2根直径2 m桩基。桩基为混凝土灌注桩,混凝土强度为C30。桥位所在水域平均高潮水位为+4.42 m,平均低潮水位为+1.44 m,通航孔最高水位为+10.109 m,该桥最大水深(平均高潮位时承台底至河床底垂直距离)为11.1 m,多处墩身处河床均位于水面以上。

1.2 桥桩病害情况及原因分析

近年来,经过水下摸探发现浦上大桥桩基混凝土普遍出现麻面、剥落、坑洞、露筋、钢筋锈蚀等病害,这些病害主要出现在水位变动区、浪溅区和潮差区等干湿交替位置,部分桩基冲蚀明显。2014—2019年间5次水下摸探,表面破损的桩基从4根发展到15根,露筋锈蚀的桩基从6根发展到24根。桩基典型病害见图1,2014—2019年水下摸探桩基病害情况对比见表1。



图1 浦上大桥水下病害
表1 浦上大桥桩基病害情况

病害类型	2014年	2016年	2017年	2018年	2019年	本次处治
桩基露筋 锈蚀/根	6	7	11	12	24	27
桩基表面 破损/根	4	4	2	6	15	18

桥桩在干湿交替、水流冲刷的环境下,由于混凝土保护层不足、施工质量等原因,发生桥墩露筋、混凝土剥落等病害。此外,水口水库拦沙使得上游来沙量减少,加之下游人为采砂,导致闽江下游河床下切、水位下降,潮区界、潮流界向上游上延,河槽槽蓄库容增大,纳潮量增多,咸潮影响的空间、时间范围不断增大,氯离子浓度的增大和水流携沙冲蚀磨损加剧了桥墩病害。

为保证浦上大桥安全运营,满足桥桩混凝土强度和耐久性要求,需对目前存在的混凝土破损、露筋、钢筋锈蚀等病害进行修复加固处理。

2 玻纤套筒比较优势与材料构成

2.1 玻纤套筒比较优势

玻纤套筒加固是在受损结构处外包玻纤套筒,而后灌入环氧灌浆料进行修复的一种施工工艺。玻纤套筒加固可直接水下施工,无需围堰,无需排水、无需大型机械参与,不影响通航即可施工,施工作业几乎不占据通航水域空间,免长期维护,耐腐蚀、耐老化、耐冻融循环、耐干湿交替等,对水源无污染,玻纤套筒、水下环氧灌浆料对水环境友好,综合成本低,与增大截面法相比,优势见表2。

表2 水下玻纤套筒加固与增大截面法比较		
水下玻纤套筒加固		增大截面法
加固效果	玻纤套筒与水下环氧灌浆料搭配使用,能够实现长效防腐	加固材料与桩基原材料相同,腐蚀反复出现
施工工艺	水下施工,无需围堰,无需大型机械,施工简便	需做围堰,需动用大型机械,施工复杂

2.2 材料构成

2.2.1 玻纤套筒

玻纤套筒是以玻璃纤维为增强相,以合成树脂为基体的一种复合材料。具有轻质高强、耐腐蚀、可设计性好等优势。通过引入紫外线吸收剂、光稳定剂、纳米材料等措施,显著提升玻璃纤维复合材料的耐候性和耐磨性。玻纤套筒具有以下特点。

(1)耐化学腐蚀。对大气、水、酸、碱、盐以及绝大多数有机溶剂都有较好的抵抗能力。

(2)耐老化,耐冲刷。通过在玻璃纤维复合材料里引入紫外线吸收剂、光稳定剂、纳米材料等,显著提升材料的耐老化和耐水冲刷能力。

(3)耐冻融循环和干湿交替。热导率低,绝热性能优异,可以抵抗瞬时高低温变化;吸水率低,抗冻融循环、干湿交替性能优异。

(4)可设计性强。尺寸、形状、厚度、颜色等可定制,型式契合被加固结构,本次工程采用的玻纤套筒性能参数见表3。

表3 玻纤套筒性能参数	
项目名称	参数要求
薄厚	3 ~ 13 mm,根据结构尺寸定
拉伸强度/MPa	≥200
弯曲强度/MPa	≥200
弯曲弹性模量/GPa	≥18

2.2.2 水下氢脂聚合物灌浆料

水下氢脂聚合物灌浆料是一种可直接用于水下的灌浆材料,水下不分散,不析析,自流平,强度高,耐腐蚀,对水源无污染,可采用人工或机械灌注,配合玻纤套筒形成统一整体修复受损结构或预养护构件,施工简单,高效。水下氢脂聚合物灌浆料具有以下特点。

(1)水下强度高。通过化学和物理改性增强疏水性能。疏水性、力学性优异的填料以及科学的级配保障材料水下强度。本次工程采用的水下氢脂聚合物灌浆料性能参数见表 4。

表 4 多用途氢脂聚合物灌浆料性能参数

项目名称	参数要求
拉伸强度/MPa	≥10
抗弯强度/MPa	≥35
抗压强度/MPa	≥60
静力受压弹性模量/GPa	≥7
与混凝土基材正拉粘结强度/MPa	≥2.5

(2)水下自流平,无漂油、无离析。5 mm 的缝隙也可实现自流平。

(3)耐冻融循环和干湿交替。能够有效挤出结构表面水膜,对基材黏结效果好。

(4)材料生物毒性低。改性固化体系,对水生物友好。水下不分散、不溶解,对水源无污染。

3 加固方案

本次加固方案在桩基与承台连接处破损采用玻纤套筒加固,即在桩基外包强耐腐蚀性的玻纤套筒,通过玻纤套筒内壁的凸起限位器保障玻纤套筒与桩基之间有均匀的间隙,见图 2、图 3。在间隙中灌注高强度水下灌浆料,灌浆料凝结后玻纤套筒和桩基形成一个整体,有效阻止桩基发生破坏。

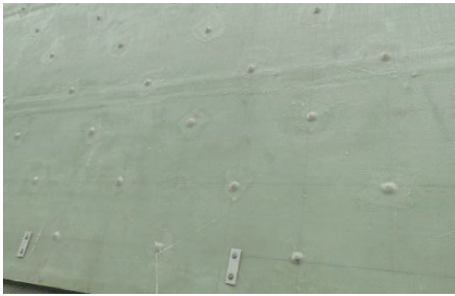


图 2 玻纤套筒内壁限位器

本次共在 3#墩右幅、4#墩右幅、E6#左右幅等 38 根桩基破损、露筋处采用玻纤套筒修复。各桩基截面损失率在 25% 以内,玻纤套筒和桩基结构面之间的间隙取 1.5 cm。玻纤套筒修复工程量见表 5。

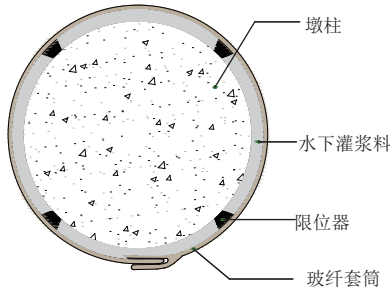


图 3 玻纤套筒加固系统剖面图

表 5 玻纤套筒修复工程量表

处治项目	数量
玻纤套筒/ m ²	1 175
氢脂聚合物灌浆料/ m ²	31
封缝胶/mL	351 900
封口胶/mL	18 677
紧固带/根	134

按照《混凝土结构加固设计规范》计算桩基加固效果,桩基正截面承载力按照下列公示计算:

$$N = 0.9 \left[(f_{c0} + 4\sigma_l) A_{cor} + f'_{s0} A'_{s0} \right] \tag{1}$$

$$\sigma_l = 0.5\beta_c k_c \rho_f E_f \varepsilon_{fe} \tag{2}$$

式中: N 为加固后轴向压力设计值; f_{c0} 为原构件混凝土轴心抗压强度设计值; σ_l 为有效约束应力; A_{cor} 为环向围束混凝土面积; D 为圆形截面柱的直径; β_c 为混凝土强度影响系数; k_c 为环向围束的有效约束系数; ρ_f 为环向围束体积比; E_f 为纤维复合材的弹性模量; ε_{fe} 为纤维复合材的有效拉应变设计值。

经计算,加固后桩基承载力可提升 5% 左右。

4 施工方案

4.1 结构表面处理

利用气动工具对结构表面进行清理,提高结构表面与水下灌浆料的粘结力。如果钢筋出现锈蚀情况,需进行除锈处理。并复核桩径、桩长等以便确定玻纤套筒下料尺寸。若需加固的桩基在水面以下,则水面以下的桩基清理由潜水员完成。在结构表面处理过程中,应观测墩柱表面的浮灰、油污等是否清理干净,特别是水上与水下交接的位置,观察是否进行有效的除锈和阻锈处理。

4.2 玻纤套筒安装

厂家根据现场确定的尺寸预制生产玻纤套筒,现场施工前由施工人员核对尺寸是否合格,确定尺寸合格后方可安装。现场安装时先裁剪玻纤套筒并涂抹水下聚合物封口胶,然后由水上人员和水下人员共同配合操作,让玻纤套筒包裹桩基(见图 4)。玻纤套筒定位准确后先采用紧固带进行临时固定,再

在套筒连接处用自攻螺钉每隔 15 mm 进行锚固, 见图 5。



图4 玻纤套筒初步固定



图5 自攻螺钉锚固

玻纤套筒自下而上分段安装。中间部分及上半部分安装时应将上半部分的上下连接锁扣槽内、横向连接锁扣槽内注入水下聚合物封口胶, 然后将锁扣插入下半部分套筒的顶部 15 cm, 确保上半部分的套筒插入到下半部分套筒的内侧部位。承台底部桩基范围需打磨平整, 到最后一节玻纤套筒顶面与承台底面密贴。

在套筒安装过程中, 应观测玻纤套筒是否按照设计图纸要求的尺寸进行定制化生产, 并正确安装在墩柱上。检查限位器、底部密封条与墩柱外表面是否紧密贴合, 确保摩擦力足以承受玻纤套筒的自重。

4.3 灌浆料灌注

灌注灌浆料采用高位漏斗重力灌浆法, 在约承台高度设置梯形漏斗(见图 6), 利用重力作用使灌浆料快速流动, 均匀灌注至玻纤套筒内(见图 7)。开始灌浆前应由水下潜水员在套筒底部安装密封条, 密封条应有 10 cm 以上搭接长度, 全部压进套筒下缘, 不得露出套筒。在密封条安装过程中, 应观测密封条是否按照设计要求安装在玻纤套筒的底部, 并确保其遇水微膨胀, 形成有效的密封。检查密封条的长度和对接处是否准确, 防止灌浆时出现漏浆现象。



图6 高位漏斗重力灌浆法



图7 玻纤套筒注浆

灌浆时先将灌浆料注入底部 9~12 cm 高度后停止灌注。待底部灌浆料固化(约 8 h), 检查灌浆料无泄露情况后, 继续灌注剩余的水下聚合物灌浆料, 直至灌满且筒内水全部排出。最后在玻纤套筒顶部用水下聚合物胶黏剂(封口胶)涂抹一个 45° 斜角, 进行密封。

在灌浆过程中, 应记录灌浆料的拌制比例和灌注高度, 确保灌注量符合设计要求。观测灌浆料的流动性, 确保其在水下能够自流平并形成封闭的环路。对于分段浇注的墩柱, 记录每段的灌注时间和高度, 确保灌注过程符合工艺要求。

5 要点探讨

5.1 适用性分析

玻纤套筒修复技术因其便捷高效, 广泛应用于桩基表面破损修复。尤其在干湿交替区域及点多面广、分布广泛的桩基耐久性病害处理中, 该技术展现出独特优势。然而, 玻纤套筒的加固厚度并非随意设定, 而由其与桥梁桩基结构面的间隙控制, 确保修复精确性和稳定性, 但这也意味着其对桩基截面增大效果有限。因此, 面对桩基破损露筋面积大、深度深、截面削弱明显的情况, 需谨慎考虑是否适用玻纤套筒。强行使用可能因加固厚度不足无法有效恢复桩基承载能力, 带来安全风险。所以, 在实际工程中, 需根据桩基具体破损情况, 合理选择修复方法,

确保修复质量和效果。玻纤套筒修复技术虽好,但应科学选用,以确保桥梁安全运行。

5.2 感潮河段的施工时段

玻纤套筒施工过程需精心规划,特别要考虑自然因素。选择适宜施工时间至关重要,应避免汛期,利用枯水期进行,以确保安全与效率。沿海地区施工时,还需考虑潮汐影响。低平潮时期是最佳窗口期,水位低,作业空间大,利于玻纤套筒安装和胶粘剂涂抹。为避免胶粘剂被潮水冲刷影响固化,施工人员需根据干燥时间,尽量在涨潮前完成胶膜干燥。精心规划施工时间,考虑自然因素,是确保玻纤套筒施工安全、高效的关键。

以福州闽江为例,该区域一日之内会发生两次高潮和两次低潮,而施工工期内,大约在上午11:00左右会迎来一次低平潮期,此时水位最低,水下环境最为稳定,是玻纤套筒施工的最佳窗口期。因此,施工团队应提前规划,合理安排施工进度,确保在低平潮期能够顺利完成施工任务。

5.3 智能施工装备开发

玻纤套筒安装作业在水下进行,面临海洋或河流自然环境因素的巨大挑战。涨落潮时,水流速度增大,如福州闽江地区流速可达2 m/s,增加施工难度并威胁潜水人员安全。高潮时水位上升,对施工平台稳定性和作业空间提出更高要求,汛期高潮水位可达7 m以上,导致施工复杂度增加,窗口期短暂。枯水期高潮水位也有4~5 m,施工仍困难。此外,水库放水等人为因素也干扰施工,使环境更加不可预测。玻纤套筒质地软,水下操作难以把握形态和固定,易受水流冲击位移,影响施工质量和潜水人员安全。因此,建议开发水下自动固定、自动锚固等智能施工设备,通过预设程序和传感器精准定位和固定玻纤套筒,提高施工效率和质量,降低安全风险。

这是未来水下施工的重要发展方向。

6 结 论

玻纤套筒作为一种创新性的加固手段,展现出了诸多优势。其耐久性卓越,能够有效延长结构的使用寿命;施工工艺相对简单,降低了施工难度和成本;同时,施工工期短,有助于快速恢复结构的正常使用;加固后结构外观整洁美观。目前,玻纤套筒的技术体系已经相对成熟,在桥梁、码头等水下结构物的加固修复中,展现出了广阔的应用前景。

结合浦上大桥玻纤套筒施工实践发现,玻纤套筒修复技术特别适用于桩基表面局部破损以及点多面广的桩基耐久性病害处理。为了确保施工质量和安全,施工工作最好选择在枯水期进行,以降低水流对施工的影响。对于水流湍急的江河等复杂环境,应积极探索和开发智能施工装备,以提高施工效率和质量,确保玻纤套筒加固技术的有效实施。未来,随着技术的不断进步和应用的深入,玻纤套筒加固技术有望在更多领域发挥重要作用。

参考文献:

- [1] 魏洋,吴刚,吴智深,等.水下桥墩加固新技术[J].建筑结构,2010(增刊2):683-686.
- [2] 杨为太.福州城区跨江大桥桥墩冲刷调查及对策[J].福建建筑,2023(8):127-130.
- [3] 魏明晖,严锋.玻纤套筒加固技术在高桩码头维修工程中的应用[J].水运工程,2017(9):202-205.
- [4] 崔鹏飞.宝水溪1号大桥5号桥墩修复工程概述[J].人民长江,2017,48(增刊2):196-199.
- [5] 陈雪峰,刘华,岳青,等.“夹克法”桩基础修复加固施工工艺[J].北方交通,2021(12):32-34.
- [6] 杨云.玻纤套筒技术在灌注桩缺陷修复中的应用[J].福建交通科技,2022(11):110-112;127.
- [7] 周家强.桥梁墩柱维修加固中“夹克法”的应用[J].交通世界,2021(增刊1):203-204.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadbridgeflood@163.com

