



团 体 标 准

T/SDHTS 00017—2025

桥梁水下桩基玻纤套筒加固技术规程

Technical code of practice for reinforcement of underwater bridge
pile foundations with glass fiber sleeve

(编制说明)

此文本仅供个人学习、研究之用，未经授权，禁止复
制、发行、汇编、翻译或网络传播等，侵权必究

2025-12-18 发布

2026-02-01 实施

山东公路学会 发布

桥梁水下桩基玻纤套筒加固技术规程

编制说明

一、工作概况

（一）任务来源

根据山东公路学会《关于发布第二批（2024年度）山东公路学会标准立项计划的通知》（鲁公学会〔2024〕8号），《桥梁水下桩基玻纤套筒加固技术规程》为团体标准制定项目，立项编号：2024-09。

（二）任务分工

山东高速交通建设集团有限公司负责组织制定编制工作方案和进度计划，搭建标准框架和大纲，提出主要技术指标，并负责统稿及审查意见的落实修改工作。

滨州市公路勘察设计院有限公司、山东金衢设计咨询集团有限公司负责确定专项检测和设计阶段的技术指标和技术要求，负责标准第五部分“专项检测”、第六部分“材料”和第七部分“设计”的编写。

山东大学、卡本科技集团股份有限公司主要负责省内外玻纤套筒加固材料应用情况的调研，加固材料技术指标的选择、材料性能测试和试验方法的确定，负责第六部分“材料”。

滨州市公路事业发展中心、山东省滨州公路工程有限公司、滨州京鲁交通工程有限公司、山东瑞泰建设有限公司主要负责施工技术要求和质量检验标准的确定，第八章“施工及质量检验”的编写。

（三）制定背景

桥梁桩基、墩柱是桥梁结构的重要承重构件，其质量及技术状况直接关系到桥梁的结构安全。然而，受施工缺陷及长期运营过程中气候环境、水流冲蚀、介质侵蚀、生物腐蚀、车辆重载等因素的综合影响，桥梁桩基易出现破损、露筋锈蚀、缩颈等病害。这会导致结构耐久性下降、基础承载能力和抗震能力不足，严重时将危及桥梁的正常使用和结构安全。

目前，常见的水下桥梁桩基及桥墩加固方式通常需采取围堰、基础防渗和基坑排水处理等措施，其中应用较为广泛的是围堰排水后对病害桩基进行扩大截面套箍处理。然而，传统的围堰排水加固法存在工期长、施工难度大、造价高等问题，且施工过程占用河道空间，对河道行洪和通航安全影响较大。尤其是对于大型河道，加固施工产生的间接社会影响难以估量。

玻纤套筒加固技术又称“夹克法”、墩柱技术，是由玻璃纤维增强复合材料套筒、灌注材料、密封胶、弹性密封条、紧固件等组成的加固修复系统与桩基、墩柱粘结成一个整体，用于桩基的修复、加固及预防性养护的一种新型加固技术。套筒加固的基本概念是采用一个高强度永久性的套筒来保护结构，可防冲刷、防腐蚀、耐盐碱、防干湿循环和冻融循环的破坏，灌注材料可在水下自流平，使加固修复系

统与原结构粘结成一个整体。施工时无需进行大规模围堰抽水，设计施工灵活，工期短、造价低。玻纤套筒加固技术在国内外已有多年的应用和实践证明，山东省内也开展了一些相应的技术研究和应用，均取得良好的使用效果。

随着在役桥梁的使用年限不断增长，桩基加固的项目不断增多，玻纤套筒加固技术凭借其优点在桥梁水下桩基、桥墩加固施工领域具有广阔的应用前景，但目前国家、行业相关设计施工方面的技术规范尚不完善，为进一步规范统一水下桥梁桩基玻纤套筒加固设计、施工的技术要求，亟需开展相关标准的制定工作。

(四) 起草过程

1. 立项阶段

2023年12月，由山东高速交通建设集团牵头，向山东公路学会提出《玻纤套筒水下桥梁桩基加固应用技术规程》团体标准立项申请。2024年3月，山东公路学会立项后成立了编制组，邀请行业内优秀企业及相关的建设、施工、检测、监理单位参与，明确编写大纲及成员工作任务，制定了详细的工作计划。

2. 初稿审查

编制组对前期应用的玻纤套筒加固工程设计图纸、施工资料、材料试验数据、交竣工资料进行分析总结，开展相关的专项研究，针对项目应用相关方的问题和建议进行了充分讨论、论证，编制形成初稿。山东公路学会于2025年3月14日组织专家进行了初稿审查，审查委员会提出主要意见如下：

- (1) 将标准名称修改为“玻纤套筒水下桥梁桩基加固技术规程”；
- (2) 增加“材料要求”章节、将4.1、4.2调整至“设计”章节；
- (3) 补充现场灌浆料强度、板材试验指标及相关内容，优化套筒厚度偏差值等相关内容；
- (4) 增加施工工艺流程图；
- (5) 补充完善《编制说明》中灌浆料强度、套筒厚度偏差等依据。

3. 征求意见阶段

编制组根据初稿审查意见修改后形成征求意见稿。2025年5月27日-6月27日，山东公路学会进行了公开征求意见，同时编制组征求了行业内有关单位及专家的意见，共收到17家单位59条意见，修编过程中采纳50条，不采纳9条，不采纳意见主要理由如下：

(1) 中交瑞通路桥养护科技有限公司、济南金诺公路工程监理有限公司等2家单位提出将标准名称修改为《水下桥梁桩柱玻纤套筒加固技术规程》，考虑到“桩柱”一词不是专有词汇，故没有在标准标题中体现，在“范围”一章进行具体明确。

(2) 天津市瀚通路桥工程有限公司提出增加“水下粘合剂”术语，水下粘合剂含义明确，已存在相关定义，故未采纳该条意见。

(3) 中建八局第一建设有限公司提出“桩基冲刷检测宜伴随洪水期同步进行，对不具备同步进行

条件的桩基检测，应根据洪峰期水位、流速、流量等数据计算最大冲刷深度，并在洪峰过后具备检测条件时立即检测”。冲刷深度专项检测的目的—是判定既有桩基因冲刷和外力原因外露情况，二是为设计计算局部冲刷深度提供依据。对于在役桥梁，局部冲刷趋于稳定，为保证检测工作安全和便于检测，宜在枯水期进行，故未采纳该条意见。

(4) 山东交通学院建议将“材料”纳入“设计”章节。在规程初稿阶段，“材料”部分曾归属于“设计”章节，但依据初审专家意见，征求意见稿已将“材料”从原“设计”章节中独立出来，单设“材料”一章，并将原“基本规定”中关于玻纤套筒加固技术适用范围的内容调整至“设计”章节。故本次不再调整。

(5) 山东交通学院建议取消水泥基类加固材料。实践和研究表明，与传统的水泥基类灌注材料相比，环氧类灌注材料具有抗压抗拉强度高、耐久性和抗化学腐蚀性强、低收缩施工方便、与混凝土基材及套筒材料粘结性能强的优点，是套筒加固的首选材料。但考虑到工程造价和不同应用场景的需求，本文件仍将水泥基类灌注材料纳入其中，同时在标准中根据不同的病害类型对灌注材料的选用做出了具体规定。

(6) 中建八局第一建设有限公司建议补充对水泥基类灌注材料微膨胀或补偿收缩的相关要求，标准中已提出水泥基类灌注材料主要性能指标应符合 GB/T 50448 中规定的 II 类材料的要求，满足微膨胀或补偿收缩的相关要求。

(7) 山东东泰设计咨询有限公司建议封底措施应根据是否存在水下施工分类描述。封底措施主要针对有水条件下施工时提出，鉴于无水施工条件下采用弹性密封条和封底环氧类灌注材料操作简单，也是优先考虑采取的措施，故未采纳本条意见。

(8) 中建八局第一建设有限公司提出在 8.5 封底工作中增加“密封条与结构及套筒接触缝隙全部采用密封胶或发泡封闭材料覆盖”。鉴于标准中要求密封条厚度宜为灌注材料厚度的 1.5-2.0 倍，根据现场经验可满足不漏浆要求，故未采纳本条意见。

4. 送审稿审查

编制组根据征求意见采纳情况修改完善标准，形成送审稿。山东公路学会于 2025 年 10 月 24 日开展了送审稿审查工作，审查委员会提出主要意见如下：

- (1) 标准名称修改为《桥梁水下桩基玻纤套筒加固技术规程》；
- (2) 补充桩基基面处理后的几何尺寸要求；
- (3) 补充水下安全作业相关要求；
- (4) 按修改完成后的条文梳理和完善了编制说明。

5. 报批、发布

编制组根据送审稿审查意见，修改完善形成报批稿，提交山东公路学会审核，根据审核意见修改完善后发布。

二、标准编制原则、主要内容及其确定依据

1. 标准的编制原则

本文件的编制重点是规范水下玻纤套筒加固的材料要求、设计施工以及质量检验标准，针对不具备围堰排水条件的高速公路和普通国省道桥梁桩基、墩柱维修加固，以相关科研成果、工程实践验证为依据，积极吸收国内外先进标准与规范，遵循“科学性、实用性、统一性、规范性”的原则，并注重标准的指导性、合理性、可操作性，能广泛应用于水下桥梁桩基的修复性加固和预防养护，有利于促进该项技术进步，规范目前玻纤套筒桩基加固的设计与施工，提高工程质量。

2. 标准的主要内容及其确定依据

本文件确立了桥梁水下桩基、墩柱玻纤套筒加固的设计、施工程序，提出了专项检测、材料、设计、施工和质量检验要求，适用于桥梁水下混凝土桩基、墩柱的修复加固和预防性养护。主要内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、基本规定、专项检测、材料、设计、施工及质量检测八个部分。

第四章“基本规定”规定了玻纤套筒加固技术的决策原则、适应条件、环保要求、水下施工作业安全要求等。JTG H21—2011《公路桥梁技术状况评定标准》采用分层综合评分法和单项指标控制法对全桥技术状况进行评定，对各类结构构件的各项病害检测指标标度划分为5个类别等级。桩基和墩柱是桥梁的重要承重构件，根据玻纤套筒加固技术特点，以桥梁技术状况评定为基础，依据桥梁墩柱、桩基的病害检测指标标度确定适应条件。环保要求和水下作业安全要求的确定依据国家、行业法律法规和技术标准制定。

第五章“专项检测”规定了玻纤套筒加固前需要进行的水下检测内容、检测工具、检测方式和成果记录要求。通过桥梁定期检测或日常检查发现桥梁墩柱、桩基出现影响功能和耐久的病害，初步确定适宜采用玻纤套筒加固后，需进行针对性的专项检测，以判断玻纤套筒加固方案的适应性和可行性，合理确定加固范围、套筒尺寸、灌注材料类型和灌注厚度。本文件编制时根据各参编单位工程实践经验，调研水下检测设施设备应用现状，吸收 T/CECS G: J56—2019，在 JTG H21—2011《公路桥梁现场检测技术规程》的基础上根据加固设计施工需要提出专项检测的主要检测内容，检测方法、检测精度、影像采集、成果记录和统计分析要求。

第六章“材料要求”规定了玻纤套筒板材、灌注材料等主要加固材料的物理力学性能要求；第七章“设计”强调了玻纤套筒加固的设计原则的同时，规定了玻纤套筒加固前的决策方法，并对构造设计提出了具体要求；第八章“施工及质量检验”对材料检测、安全环保、作业平台搭设、基面处理、套筒制作、安装及固定、灌注、封顶、紧固带的拆除做出了具体规定。近年来，标准参编单位进行了大量的玻纤套筒水下加固成功实践和试验研究，主要材料的物理力学性能指标、设计构造规定、施工及质量检验要求主要依据国家、行业相关技术标准以及专门的试验研究和工程验证经验确定。

三、主要技术内容

(一) 试验验证的分析及关键技术条文说明

4.1 玻纤套筒加固技术因为其不排水施工的优越性一般用于在役桥梁不排水条件下基础缺陷修复和预防性养护，而目前水下桩基检测技术尚不成熟，桥梁定期检测数据可靠性难以保证，病害情况可能与实际偏差较大。因此要求施工前进行必要的专项数据检测，并通过专项检测数据判断采用玻纤套筒加固技术的适应性和可行性。

4.2~4.4 玻纤套筒加固技术适用于桥梁混凝土桩基、墩柱存在蜂窝、麻面、空洞、孔洞、磨损等病害，以及冲刷缩颈、剥落露筋、混凝土碳化、裂缝、腐蚀或钢筋锈蚀等病害的功能性修复，可恢复桥梁原设计承载能力。《公路桥梁技术状况评定标准》根据墩柱、桩基等部件各类病害的严重程度，将各项病害检测指标标度划分为5个类别等级（部分病害指标最高标度3类或4类），并对各项指标标度规定了详细的定性描述和定量数据，因此本文件将构件的评定分级作为选用玻纤套筒加固方案的依据。

环境对混凝土结构的腐蚀作用主要体现为钢筋的锈蚀和混凝土的腐蚀或损伤，对材料造成腐蚀或损伤的环境作用主要有反复冻融以及水、土介质中的盐、酸等化学腐蚀，采用玻纤套筒对处于各类恶劣环境下的桥梁进行预防性养护，可有效提高结构的抗腐蚀耐久性。

玻纤套筒加固技术不适用于直接对存在严重影响桥梁承载能力或存在变形失稳现象的结构性病害的维修加固，但对各类结构性病害进行有针对性的加固处治后，设置玻纤套筒可显著提高加固构件的耐久性。

5.1~5.2 专项检测是合理确定加固范围、套筒尺寸、灌注材料类型和灌注厚度的重要基础性工作，要求对拟加固构件按照要求全数进行检测。根据水深采取适当的潜水方式，潜水员携带钢直尺、钢卷尺、塞尺、水下照相/摄像机手持高分辨图像声呐、水下激光扫描仪、水下定位系统、水下通信设备等进行测量和数据记录。水下机器人分为有缆水下机器人(ROV)和无缆水下机器人(AUV)，选配的常用设备包括高分辨图像声呐、水下摄像机、水下定位系统等。专用平台是根据桥梁水下构件实际情况搭建而成，用于检测或长期监测水下构件病害情况的平台。搭载的设备包括测深仪、水下摄像机、高分辨图像声呐等。

5.3~5.4 明确了几何形态检测和表观缺陷检测的手段和主要检测内容。两项检测同步实施，测量设备选用钢直尺、钢卷尺、塞尺等；对于先进智能化设备的应用，建立与传统成熟手段的可靠对比验证机制。

潜水员潜水作业时，通常需要携带小块磁铁、铲刀、引水定位砣绳、摄像头及探照灯等工具。磁铁用来判断桩基是否外包钢模板和混凝土桩身是否有钢筋外露现象；铲刀用来确定桩身钢筋的锈蚀、淘空、裂缝、坑槽程度，以便水下录像能清楚地记录；探照灯用来照亮检测部位，便于发现病害，同时提高录像效果；定位砣绳用来确定病害位置、方向和自由桩长度。

在人工无法实施或存在作业危险的情况下，可使用水下机器人代替人工，或运用红外雷达等智能化设备对水下结构进行检测，尽量提高检测精度。

6.1 本节给出了玻纤套筒的外观要求、物理力学技术指标、检测方法及检测标准，明确了玻纤套筒

的关键项目指标。

经大量实验研究表明,玻纤套筒的所用玻纤材料的刚度对于玻纤套筒提升构件轴向承载能力有较大影响,因此所选用玻纤套筒的强度指标应满足正文要求,以保证其应用过程中的加固效果。

(1) 拉伸强度

拉伸强度是衡量材料在轴向拉力作用下抵抗断裂能力的关键指标,玻璃纤维本身具有较高的固有拉伸强度(通常为 1500 - 3000 MPa),通过与树脂基体的复合以及层压工艺实现玻璃纤维定向分布,可在不同方向上实现差异化的力学性能。轴向强度设定为 130 MPa,主要考虑到实际应用中套筒往往承受环向应力较高而轴向负荷较低的工况;环向设定为 200 MPa,则确保了材料在主要受力方向上具备足够的抗拉承载能力。玻纤套筒通常作为结构增强或防护材料使用,需在动态载荷或长期静载条件下保持可靠性。区分环向与轴向强度指标有助于更精准地对应实际应力状态,避免应力集中导致的失效,同时提高材料使用效率和经济性。该指标参照 GB/T 1447《纤维增强塑料拉伸性能试验方法》,通过标准化试样制备与测试流程,保证数据的可靠性与可比性。当前强度设定既满足了多数工程场景下的力学要求,也为产品设计提供了合理的安全余量。

(2) 弯曲强度

弯曲强度反映材料在弯曲载荷下的抗变形及抗破坏能力,直接影响其在复杂受力环境中的适用性。弯曲弹性模量 ≥ 10000 MPa 的设定,旨在保障材料的高刚度特性。根据混合定律计算,玻纤模量(72 GPa)与树脂模量(3-4 GPa)复合后,理论弹性模量可达 10-15 GPa,实测值下限 10 GPa(即 10000 MPa)可覆盖工艺波动范围。

(3) 巴氏硬度

巴氏硬度用于评价材料表面对压入变形的抵抗能力,间接反映其耐磨性、抗划伤性及整体可变形性。研究表明,当巴氏硬度低于 30 MPa 时,材料在安装过程中易因工具刮擦产生微裂纹,导致界面剥离风险增加。而硬度过高时,材料整体可变形能力不足,影响现场施工难度。因此,本文件规定玻纤套筒板材的巴氏硬度不低于 35 MPa,旨在确保其在正常安装或使用过程中能够抵御机械冲击、摩擦损耗等外部因素影响。检测依据 GB/T 3854《纤维增强塑料巴氏(巴柯尔)硬度试验方法》,通过标准化压头施加瞬时载荷,快速评估材料表面硬度。该指标综合考虑了玻纤增强树脂基体的固化程度及界面结合性能,避免因硬度不足导致材料表面易损伤或使用寿命缩短,适用于对耐久性要求较高的工业环境。

(4) 吸水率

吸水率是衡量材料在潮湿环境中吸湿性能的重要指标,直接影响其尺寸稳定性、电绝缘性及耐腐蚀性。本文件将玻纤套筒板材的吸水率上限设定为 1%,主要针对其可能暴露于高湿度或水接触环境的应用场景。检测依据 GB/T 1034《塑料吸水性的测定》,通过浸水后质量变化率评估材料吸水性。较低的吸水率表明树脂基体对增强玻璃纤维的包覆效果良好,可有效阻隔水分侵入,防止因吸湿膨胀、强度下降或界面剥离引发的性能劣化。该指标既保障了材料的长期稳定性,也契合行业对复合材料耐候性的严格要求。

另外，由于玻纤套筒长期处于浪溅区，在承受浪溅区腐蚀的同时还会受到紫外线腐蚀，为保证套筒材料在各种环境类型下的耐久性，对材料的耐水性能、耐化学介质性能、耐老化性能提出了要求。检测指标和试验方法主要依据 GB/T 24721.1《公路用玻璃纤维增强塑料产品》和 GB/T 22040《公路沿线设施塑料制品耐候性要求及测试方法》。

6.2 环氧类灌注材料是一种可代替水泥基类灌注材料的新型灌注材料，与水泥浆料相比，有以下优点：

- (1) 固化后收缩率极低，与结构粘结密实，牢固；
- (2) 韧性好，可吸收长期振动载荷；
- (3) 耐腐蚀，可承受酸、碱、盐、油脂等化学品长期接触腐蚀；
- (4) 抗蠕变性能优异，可在-40℃至+80℃冻融交替、振动受压的恶劣物理工况下长期使用而无塑性变形；
- (5) 能够在极小的间隙内实现灌注操作；
- (6) 灌注材料适用期长，适用性强，对木、混凝土、钢墩柱等结构都有效。针对环氧类灌注材料水下固化困难、与原结构面粘结不牢、流动性差的难点，编制组开展了专项技术研究，攻克了相关难题并确定了关键技术指标。

实践和研究表明，与传统的水泥基类灌注材料相比，环氧类灌注材料具有抗压抗拉强度高、耐久性和抗化学腐蚀性强、低收缩施工方便、与混凝土基材及套筒材料粘结性能强的优点，是套筒加固的首选材料。但考虑到工程造价和不同应用场景的需求，本文件也将水泥基类灌注材料纳入其中。

环氧类灌注材料的主要作用是传递受损原结构和玻纤套筒之间的应力，是修复体系发挥加固效果的关键因素，灌注材料的有效性取决于其抗压强度、与混凝土基材的正拉粘结强度以及与玻纤套筒的粘结强度。本节规定了灌注材料的技术指标和检测方法，明确了环氧类灌注材料的关键性能指标。

为保证灌注材料的水下流动性，防止灌注材料在水下自流平差，不能在间隙中做到浆料液面流平，对各类灌注材料给出了截锥流动度指标。GB/T 50448《水泥基灌浆材料应用技术规范》根据流动度和强度等主要性能指标不同，将材料分为 I-IV 类，根据玻纤套筒加固技术特点，要求主要性能指标符合该规范中 II 类材料技术要求。

此外，水下施工与干处浇筑不同，水下灌注要求材料在无需振捣的情况下实现自流平，并确保水泥不流失、集料不离析，通常需添加外加剂以增强灌注材料的黏聚力。为此，本文件参照 JTG 3420《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》并结合试验验证，采用水泥流失量、悬浊物含量和 pH 值来评定水下抗分散性能。当水泥流失量小于 1.5%、悬浊物含量小于 150 mg/L 且 pH 值小于 12 时，判定该水泥基类灌注材料具有合格的水下抗分散性能。

7.1.2 桥梁维修加固设计时须根据原桥技术状况、结构尺寸、建设条件、承载力情况，在技术状况评定和专项检测的基础上进行，综合结构破损或耐久性损伤原因、构件环境条件及施工可行性、灌注材料与原结构材料的匹配性和修补加固后的有效性确定材料类型和加固范围，形成合理的玻纤套筒技术方

案。

7.1.3 受水下桩基检测技术局限影响，桥梁定期检测数据可靠性难以保证，病害情况可能与实际偏差较大。因此要求施工单位动态调整设计方案，除施工前进行必要的专项数据检测外，根据需求进行复查，对设计方案进行反复调整，动态施工。

7.2.1 要求顶部与承台、系梁、盖梁等其他构件之间保留空隙一是灌注施工的需要，二是防治加固后的桩基在地震作用下弯曲时因套筒系统的受压而增加截面的应力。

7.2.3~7.2.8 规定了玻纤套筒加固水下桩基的构造设计要求。试验研究和实践经验表明，套筒材料的厚度与其加固效果有着很大影响，随着套筒厚度的增加加固效果逐步提升，但当厚度达到一定阈值时，其受到轴向荷载时的变形行为是向内屈曲变形，此时厚度的额外增加不能提供更好的抗向内屈曲变形的能力。另外，为保证加固效果要求套筒各方向具有一定的抗拉、抗压强度外，对最小弯曲弹性模量也给出了规定，但当套筒厚度较厚时，圆形套筒现场弯曲加工困难。由此综合加固效果、施工操作、经济效益等多个方面给出了对构件进行加固时选用套筒的厚度要求。对不同受损程度和类型构件进行套筒加固时，通过构件轴向承载力测试、粘结强度测试和饱满程度测试对灌注材料的选择和厚度进行了规定。

因水泥基类灌注材料与套筒的粘结能力较弱，要求在顶部、底部采用环氧类灌注材料，防止套筒与加固材料剥离。

8.2 施工单位技术人员要参加相关单位组织的技术交底，熟悉设计图纸，须对现场环境、建设条件充分了解，现场复核被加固构件的实际尺寸、病害情况，并结合施工情况提出建议，针对加固技术和施工条件认真做好专项施工方案的编制，确保施工机具满足要求，同时性能可靠，保障正常施工。

8.3 为保证加固效果，本条提出施工前应清除混凝土表面与灌注材料结合的不利因素，以及加固范围内的钢构件和钢筋的除锈处理要求。对于存在冲刷的桩基，冲刷外露部分上下外形轮廓可能存在不规则现象，因此基面处理时要求处理不规则包块和疏松混凝土，使截面尺寸上下一致。重点清理作为防护薄弱环节的套筒上下缘与混凝土交界处。

8.4.1 桩柱尺寸一般存在一定偏差，玻纤套筒定制加工时一般周长较实际周长适当加长，目的是便于现场安装时根据实际情况进行裁剪。

8.4.3 锁扣是保证套筒安装后牢固闭环的关键构件，玻纤套筒锁扣采用的形式有多种，锁扣采用套筒相同的材料并与套筒一体化成型，能有效保证环向强度。

8.6.2 本条规定了灌注材料的灌注方式和灌注口分布要求，目的在于加速灌注材料的自流平效果。

8.6.3 套筒安装后对底部进行密封，首先采用弹性密封条进行临时密封，然后灌注封底环氧类灌注材料，待环氧类灌注材料完全固化且检查合格后方可进行下一步施工，目的是避免灌注过程中出现漏浆。

8.6.4 本条规定了灌注材料的灌注次数，根据不同的加固高度选择不同的分级灌注次数，能够有效避免灌注材料固化过程中的涨模现象。

(二) 综述报告

玻纤套筒加固技术在国内外已有多年的应用和实践验证,各参编单位参与设计施工的省内外项目超过百个。经应用实践和跟踪验证,玻纤套筒桩基加固技术对于存在冲刷、混凝土脱落、露筋、碳化、腐蚀、缩颈等病害的桥梁混凝土桩基的修复性加固和预防性养护具有良好效果,经济效益和社会效益显著。本文件编制过程中,参考借鉴了部分国内外研究人员及各参编单位的技术研究应用成果,结合高速公路、普通国省道采用该技术进行桩基加固的工程实践应用,系统开展了以下专项研究:

1. 玻纤套筒板材性能研究。 板材由玻璃纤维布增强体与树脂基体复合而成,重点研究了玻纤布厚度、铺层数量及顺序等工艺参数对力学性能的影响,并结合大量工程案例确定了板材的力学性能指标。

2. 套筒结构优化设计。 针对定制化高强度玻纤板在现场折弯或拼装的需求,在边缘设置锁扣结构以防止拼装缝漏浆;同时在内壁呈菱形均匀布置限位器,以精确控制环氧类灌注材料的厚度均匀性,增强紧固带绑扎时的支撑效果,确保套筒不变形。

3. 水下固化技术攻关。 通过共聚改性获得具有优异耐水性及憎水性的环氧类固化剂,使灌注材料体系在水下能正常固化且无白化现象,彻底解决了常规材料在完全水环境下无法固化或因胺白现象导致强度偏低的问题,据此确定了环氧类灌注材料的强度指标。

4. 粘结性能对比测试。 针对干燥(水上)和涉水(水下)两种环境,对比测试了玻纤套筒与多种灌注材料的正拉粘结强度。结果表明,无论在水上还是水下,配套环氧类灌注材料与原混凝土基材的粘结能力均显著优于水泥基类材料。因此,推荐配套使用环氧类灌注材料,以保障加固结构的长期可靠性。

在上述研究基础上,编制组总结了该技术在经济、环保、耐久性等方面的优势及设计施工成套经验,系统规定了玻纤套筒水下桩基加固的材料性能要求、设计规定、施工技术要求和质量检验规则。本文件的制定可为桥梁的管理、养护、维修及加固提供技术支撑与决策依据,并作为其他桥梁加固类技术规范的有效补充。

(三) 技术经济论证

玻纤套筒加固技术通过高强度永久性套筒来保护桥梁水下结构,具有优异的耐冲刷、耐腐蚀及耐盐碱性能,可有效抵御干湿循环和冻融循环造成的破坏。该技术采用的修复灌注材料可在水下自流平,使加固系统与原结构粘结为整体。施工时无需修筑围堰和排水,可在不封闭交通、不影响河道输水及通航的前提下进行水下作业。该工艺具有设计灵活、施工便捷、工期短、综合成本低等优点,是一种高效的桥梁桩基加固技术。

对比传统方法,该技术先进性显著。以 30 根直径为 1 m 的桩基为例,进行不同加固方案成本分析(对比结果见表 1)。结果表明:在加固效果方面,玻纤套筒与水下环氧类灌注材料配套使用,可实现长效防护;在施工工艺方面,该技术可直接水下施工,无需围堰和大型机械,简便可行;在工期方面,施工措施简单,综合工期较钢套筒加固节约 40%,较增大截面法节约 70%;在造价方面,由于省去了围堰等临时措施费用,综合成本较钢套筒加固降低 30%,较增大截面法降低 65%。

表 1 不同加固方案工期、造价对比表

方案	玻纤套筒加固	钢套筒加固	增大截面法加固
工期	1. 玻纤套筒加工和运输时间 10 天左右，此段时间可以进行桩基的基层处理工作； 2. 按照配置 1 个施工班组（含作业船只、潜水员及辅助人员，约 10 人），每天安装 2 根套筒，一共 15 天施工完毕； 3. 总工期 25 天左右（含备货时间）。	1. 钢套筒加工和运输时间 10 天左右，此段时间可以进行桩基的基层处理工作； 2. 按照配置 1 个施工班组（含作业船只、潜水员及辅助人员，约 10 人），钢套筒需分节安装，安装难度更大。每天安装 1 根套筒，一共 30 天施工完毕； 3. 总工期 40 天左右（含备货时间）。	1. 钢围堰加工或安装，30 天左右； 2. 植筋安装钢筋笼，15 天左右； 3. 安装钢模板，浇筑混凝土，10 天左右； 4. 混凝土养护，28 天左右； 5. 拆除模板，钢围堰等，12 天左右； 6. 总工期 95 天左右。
总造价成本分析	1. 总加固面积 282.6 m ² ； 2. 材料费用 1200 元/m ² ； 3. 施工费用 1600 元/m ² ； 4. 总造价 79.2 万元。	1. 总加固面积 282.6 m ² ； 2. 材料费用 1400 元/m ² ； 3. 施工费用 2700 元/m ² ； 4. 总造价 115.8 万元。	1. 施工措施费(30 个围堰)，150 万元； 2. 材料费用 1500 元/m ² ； 3. 施工费用 1500 元/m ² ； 4. 总造价 234.78 万元。

玻纤套筒加固技术可有效治理桥梁水下墩柱及桩基存在的混凝土碳化腐蚀、裂缝、破损、锈胀露筋等典型病害。该套筒材料对大气、水、酸、碱、盐及绝大多数有机溶剂具有优异的耐受性；通过引入紫外线吸收剂、光稳定剂及纳米材料，显著提升了材料的耐紫外线老化及耐水冲刷能力，可提供长久防护并提升结构耐久性。此外，该技术配套使用的环氧类灌注材料、封口胶及封底胶均符合生态环保指标，对环境无污染。综上，该技术在缩短工期、降低成本、优化工艺等方面优势明显，具有显著的社会经济效益。

四、与国家标准、行业标准、地方标准同类标准技术内容的对比情况

玻纤套筒水下桥梁桩基加固技术凭借其优点在桥梁水下桩基、桥墩加固应用领域具有广阔的应用前景，但目前国家、行业相关设计施工方面的技术规范尚不完善。GB 50367《混凝土结构加固技术规范》、JTG/T J23《公路桥梁加固施工技术规范》和 JTG/T J22《公路桥梁加固设计技术规范》对玻纤套筒桩基加固技术没有做出规定，本文件可作为国家标准、行业标准的有效补充。

五、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本文件与国家、行业、地方标准的相关规定无冲突，是对国标、行标的补充细化及提升完善。

六、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况

本文件未采用国际标准和国外标准。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

暂无。

八、涉及专利情况说明

无。

九、其他应当说明的事项

无。

T/SDHTS 00017—2025