

团 体 标 准

T/SDHTS XXXX—XXXX

玻纤套筒水下桥梁桩基加固技术规程

Application code of practice for glassfiber sleeve reinforcement
technology for bridge pile foundation underwater

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

山东公路学会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 基本规定 3

5 专项检测 3

6 材料 4

7 设计 8

8 施工及质量检测 9

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东高速交通建设集团有限公司提出。

本文件由山东公路学会归口。

本文件起草单位：山东高速交通建设集团有限公司、滨州市公路勘察设计院有限公司、山东大学、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、滨州市公路事业发展中心、卡本科技集团股份有限公司、山东瑞泰建设有限公司。

本文件主要起草人：张峰……

玻纤套筒水下桥梁桩基加固技术规程

1 范围

本文件提出了玻纤套筒水下加固桥梁桩柱的基本规定、专项检测、材料、设计、施工和质量检验要求。

本文件适用于桥梁混凝土桩基、墩柱的修复加固和预防养护，码头、水闸等水工建筑可参考执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件,其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1034 塑料吸水性的测定

GB/T 1447 纤维增强塑料拉伸性能试验方法

GB/T 1449 纤维增强塑料弯曲性能试验方法 GB/T 2567

GB/T 2567 树脂浇筑体性能试验方法

GB/T 2573 玻璃纤维增强塑料老化性能试验方法

GB/T 2794 胶黏剂黏度测定

GB/T 3854 纤维增强塑料巴氏（巴柯尔）硬度试验方法

GB/T 7124 胶粘剂拉伸剪切强度的测定

GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)

GB/T 22040 公路沿线设施塑料制品耐候性要求及测试方法

GB/T 23654-2009 硫化橡胶和热塑性橡胶建筑用预成型密封条的分类、要求和试验方法

GB/T 24721.1 公路用玻璃纤维增强塑料产品

GB 50367 混凝土结构加固设计规范

GB/T 50448 水泥基灌浆材料应用技术规范

GB 50728 工程结构加固材料安全性鉴定技术规范

JC/T 986 水泥基灌浆材料

JC/T 2379 地基与基础处理用环氧树脂灌浆材料
JT/T 215 水下胶粘剂技术要求和试验方法
JTG/T 2231-01 公路桥梁抗震设计规范
JTG/T 3360-02 公路桥梁抗撞设计规范
JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
JTG/T 5214 在用公路桥梁现场检测技术规程
JTG/T H21 公路桥梁技术状况评定标准
JTG/T J22 公路桥梁加固设计规范
JTG/T J23 公路桥梁加固施工技术规范
T/CECS G: J56-2019 公路桥梁水下构件检测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

玻纤套筒加固技术 glassfiber sleeve reinforcement technology

由玻纤套筒对既有桥梁构件进行封闭维护，在套筒与桥梁构件之间灌注加固材料进行修复性加固或预防养护的加固维修技术。

3.2

玻纤套筒 glassfiber sleeve

由玻璃纤维增强复合板材制成的筒状结构。

3.3

灌注材料 grouting material

灌注于玻纤套筒与被加固桥梁下部构件之间，固化后能与玻纤套筒共同提高构件刚度和耐久性的浆体材料。

3.4

环氧封顶胶 epoxy sealants underwater

由改性环氧树脂、固化剂等组成，用于密封玻纤套筒顶部的胶粘剂。

3.5

限位器 inhibiting device

设置于玻纤套筒内表面的，用于控制灌注材料厚度的构件。

3.6

锁扣 latch slot

位于玻纤套筒板材立面边部，用于玻纤套筒安装时的搭接闭环构件。

4 基本规定

4.1 玻纤套筒加固技术适用于桥梁混凝土桩基、墩柱的耐久性、功能性修复加固和预防性养护。

4.2 玻纤套筒加固应在桥梁技术状况评定和专项检测基础上进行，并坚持动态设计原则。

4.3 玻纤套筒加固根据施工条件不同可分为无水施工和水下施工，水下施工时宜选择在枯水期水位较低时施工。

4.4 所采用的加固材料有毒害物质含量以及挥发性有机化合物(VOC)的含量须符合国家相关标准规定，不得对环境造成污染和人体造成伤害。

4.5 水下作业人员应熟练掌握作业任务、潜水环境、工作场所、水深、流速、流向，所采用的设备、工具和操作方法应严格按照国家有关水下特种作业安全规定进行。

4.6 玻纤套筒加固专项检测、材料、设计、施工及质量检验除符合本规程外，尚应符合国家、地方现行有关标准和山东公路学会有关标准的规定。

5 专项检测

5.1 一般规定

5.1.1 玻纤套筒加固前应对拟加固的桥梁桩基、墩柱等下部构件进行专项检测，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。

5.1.2 专项检测应在桥梁技术状况定期检查的基础上进行，包括表观缺陷检测和桩基冲刷检测，必要时可增加材质强度检测、钢筋保护层厚度检测、钢筋锈蚀电位检测等数据的专项检测。

5.1.3 水下检测应在专业检测人员的指挥监督下，采用潜水、水下机器人、水下检测船或其他专用平台抵近水下构件进行检测。

5.2 混凝土表观缺陷检测

5.2.1 表观缺陷检测应采用人工或智能化设备检测构件的剥落、露筋、钢筋锈蚀、空洞、孔洞、冲蚀、腐蚀、裂缝等病害范围和程度。

5.2.2 表观缺陷可采用下列方式检测:

- a) 从构件底部开始, 按指定增量向上移动, 水平圆形或半圆形扫视水下构件。
- b) 从构件的一侧往下扫视, 另一侧往上扫视。
- c) 从下往上螺旋式扫视水下构件。

5.2.3 应对各表观缺陷类型进行摄影记录,照片宜显示出缺陷所处位置及局部特征,根据水质条件选用清水箱、水下照明、成像声呐等设备获取清晰影像。

5.2.4 应现场记录桥梁水下构件表观缺陷,表观病害的现场记录参数和记录精度应符合 JTG/T 5214 的规定。

5.2.5 按JTG/T H21的规定对表观缺陷病害给出评定标度,并对外观缺陷应按缺陷类别进行分类汇总,汇总结果可用图表方式表述,用于反映外观缺陷的分布特征。

5.3 桩基冲刷检测

5.3.1 桩基础冲刷检测应探明河床状态（软底、硬底），并排除软底对测量结果的影响。

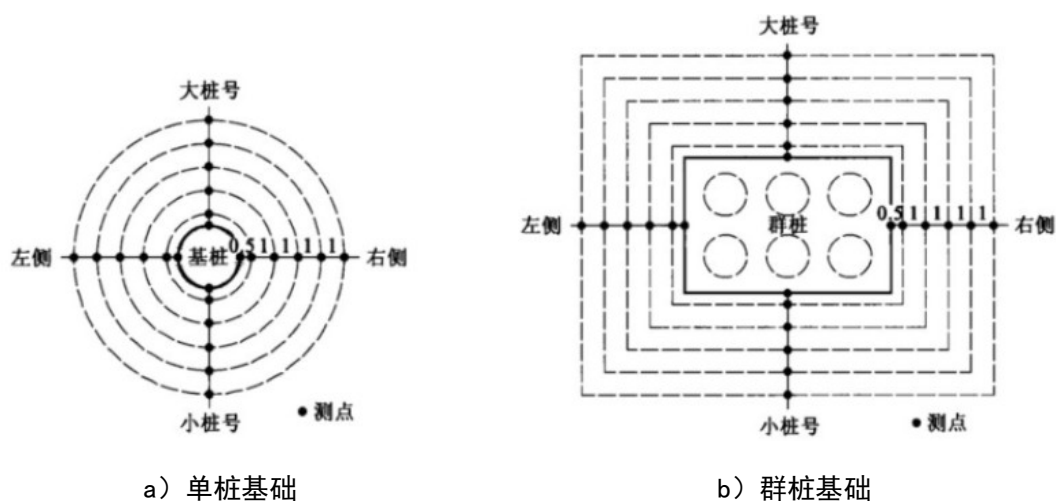


图 1 桩基础冲刷测点布置图

5.3.2 基础冲刷检测可采用回声测深仪、测深锤或测深杆等测深工具对基础周边水深进行测量，水深测量仪器适用条件及精度要求应符 T/CECS G: J56-2019 的规定。

5.3.3 桩基础冲刷测探点的布置宜采用固定的径向网格模式,测深点间距不大于 1 m,若存在冲坑现象,应径向增加测点。冲刷测探点布置如图 1 所示。

5.3.4 应现场填写桥梁水下构件基础淘空检测记录表，记录表应满足 T/CECS G：J56-2019 附录 E 的要求。

6 材料

6.1 玻纤套筒板材

6.1.1 一般要求

6.1.1.1 玻纤套筒应选用玻璃纤维增强复合材料制作。

6.1.1.2 制作玻纤套筒所用板材应板边齐直、表面平整、色泽均匀，无明显皱纹、气泡、雾状区、穿孔、划痕、露丝、裂缝、分层等缺陷，并且具有良好的物理力学性能、耐水性能、耐化学性能和耐老化性能。

6.1.2 物理力学性能

制作玻纤套筒所用板材物理力学性能应符合表 1 的规定。

表 1 玻纤套筒板材基本物理力学性能指标

序号	项目	技术指标	检测方法
1	拉伸强度（纵向、横向）/MPa	≥170	按 GB/T 1447 的规定执行
2	弯曲强度（纵向、横向）/MPa	≥200	按 GB/T 1449 的规定执行
3	弯曲弹性模量（纵向、横向）/MPa	≥10000	
4	巴氏硬度/MPa	≥35	按 GB/T 3854 的规定执行
5	吸水率/%	≤1	按 GB/T 1034 的规定执行

6.1.3 耐水性能

经 720 h 耐水性能试验后，材料表面无软化、褶皱、发泡、开裂、被溶解等现象，弯曲强度性能保留率不小于试验前的 85%。耐水试验按 GB/T 2573 规定执行，试验用水应为蒸馏水或去离子水，水温 23℃±2℃。

6.1.4 耐化学介质性能

制作玻纤套筒所用板材的耐汽油性能、耐酸性能和耐碱性能应符合 GB/T 24721.1 的规定，进行耐汽油性能试验后材料的弯曲强度保有率不小于 90%，进行耐酸性能试验后材料的弯曲强度保有率不小于 80%。

6.1.5 耐侯性能和耐老化性能

制作玻纤套筒所用板材的耐温度交变性能、耐高温湿热性能、耐热氧化性能、耐循环盐雾腐蚀性能(严酷等级 B)、耐风沙吹蚀性能、耐二氧化硫腐蚀性能、耐紫外光曝晒性能性能应符合 GB/T 22040 的规定。

6.2 灌注材料

6.2.1 玻纤套筒加固灌注材料一般采用环氧树脂类 and 水泥基类两种。当采用其他化学类灌注材料或复合灌注材料时，其性能指标应满足本规程关于环氧类灌注材料的规定，并且材料的生产与应用不应对人体、生物与环境造成有害影响。

6.2.2 灌注材料应具有良好的流动性、触变性、抗水分散性和泌水性，且易于人工灌注和压浆泵送；固化后应具有良好的物理力学强度指标。

6.2.3 环氧树脂类灌注材料由环氧树脂或改性环氧树脂、固化剂、填料、骨料等组分按规定的比例混合而成，各组分混合搅拌后应形成稠度均匀、无结块、结皮、凝胶、沉淀的流态浆体，并且颜色均匀，无分层现象。环氧类灌注料各项性能指标应符合表 2 的规定。

表 2 环氧类灌注料性能指标

序号	项目	技术指标	检测方法
1	密度/ (g/cm ³)	>1.0	按 JC/T 2379 的规定执行
2	可操作时间/min	≥120	按 GB/T 2794 的规定执行
3	截锥流动度/mm	初始 ≥300	按 GB/T 50448 的规定执行
4	抗压强度/MPa	≥80	按 GB/T 2567 的规定执行
2	抗拉强度/MPa	≥14	按 GB/T 2567 的规定执行
3	抗折强度/MPa	≥20	按 GB/T 17671 的规定执行
4	与干态混凝土 ^a 正拉粘结强度 /MPa	≥3.0，且为混凝土内聚破坏	按 GB/T 50728 的规定执行
5	与湿态混凝土 ^b 正拉粘结强度 /MPa	≥2.5，且为混凝土内聚破坏	
6	与玻纤套筒板材正拉粘结强度 /MPa	≥2.5，且为混凝土内聚破坏	
7	90d 湿热老化强度降低率/%	与室温下短期实验结果相比，其钢对钢拉伸抗剪强度降低率≤12%	

^a干态混凝土指含水率不大于 6 %的硬化混凝土；

^b湿态混凝土指饱和含水率状态下的硬化混凝土。

6.2.4 水泥基灌注材料由水泥、骨料、外加剂和填料等在专业厂家按规定的比例混合而成，使用时按
要求比例加水或配套组分拌合，拌合后应无离析、沉淀现象。水泥基灌注材料的主要性能指标应符合
GB/T 50448 中规定的Ⅱ类材料的要求，其他性能指标尚应符合表 4 的规定。

表 4 水泥基类灌注料其他性能指标

序号	项目		技术指标	检测方法
1	水下抗分散性	水泥流失量/%	<1.5	按 JTG 3420 的规定执行
		悬浊物含量/mg/L	<150	
		pH 值	<12	
2	对钢筋锈蚀作用		无腐蚀	按 JC/T 986 的规定执行

6.3 水下粘合剂

水下粘合剂的胶接性能技术指标应符合 JT/T 215 的规定。

6.4 环氧封顶胶

水下环氧封顶胶各组分混合搅拌后应颜色均匀、无分层、无发泡、无变质和变色，性能指标除满
足 JTT 215 的规定外，尚应符合表 5 的规定。

表 5 环氧封顶胶的技术要求

序号	项目	技术指标	检测方法
1	抗拉强度/MPa	≥30 MPa	按 GB/T 2567 的规定执行
2	抗压强度/MPa	≥70 MPa	按 GB/T 2567 的规定执行
3	钢对钢拉伸抗剪强度标准值/MPa	≥10 MPa	按 GB/T 7124 的规定执行
4	钢对 C45 混凝土正拉粘结强度/MPa	≥2.5，且为混凝土内聚破坏	按 GB 50728 的规定执行

6.5 弹性密封条

6.5.1 弹性密封条表面应光滑、平整,无明显的划痕、裂纹、气泡等缺陷。

6.5.2 弹性密封条应能承受施工时接缝处位移，压缩永久变形小，满足气密、水密的要求，性能指标应符合 GB/T 23654-2009 中 Y431331 类密封条的要求。

7 设计

7.1 一般规定

7.1.1 玻纤套筒加固设计方案应结合桥梁竣工图纸、河道水文条件、通航条件，在桥梁技术状况、承载能力检测评定、专项数据检测的基础上综合确定。

7.1.2 应综合桩基、墩柱的结构尺寸、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。

7.1.3 坚持动态设计，施工过程中配合施工方面进行病害检测并分析病害类型、程度和成因，密切关注水下桥梁部件病害发展，及时调整套筒尺寸、灌注材料类型和灌注厚度，确保加固工作的经济、安全。

7.2 设计原则

7.2.1 玻纤套筒加固技术适用于桥梁桩基、墩台柱等混凝土构件表面蜂窝、麻面、空洞、孔洞、磨损等病害的维修处置，以及构件存在冲刷缩颈、剥落露筋、混凝土碳化、裂缝、腐蚀或钢筋锈蚀等病害且根据 JTG/T H21 技术状况评定标度为 3 类及以上时的耐久性和功能性修复加固。

7.2.2 对于因外力作用或高温、冻融、干湿交替、腐蚀等恶劣环境造成的主筋大量严重锈蚀锈断、大面积混凝土胀裂、混凝土大部分碳化且碳化深度大于保护层厚度、存在宽度超限的结构性裂缝且存在变形失稳现象等结构性病害，采用玻纤套筒加固技术时，应预先采取针对性的结构加固处治措施，加固计算应符合 GB 50367 和 JTG/T J22 的规定。

7.2.3 处于腐蚀性离子的河流、空气中长期 pH 值较低、干湿循环、反复冻融区域等恶劣环境的桩基、墩台柱，可采用玻纤套筒加固技术进行预防养护。

7.2.3 当玻纤套筒加固作为桥梁抗震补救措施时应符合 JTG/T 2231-01 的规定，当有通航要求时应符合 JTG/T 3360-02 的规定。

7.2.4 在无水条件下，应采用钢筋混凝土套箍、钢套管内灌注混凝土等加固技术进行经济、技术比较后择优选择加固方案。

7.3 设计要求

7.3.1 套筒高度设置应在桩基、墩柱病害区域向上和向下延申不小于 30 cm 范围；套筒顶底部与其他构件之间宜预留 3 cm~5 cm 间隙。

7.3.2 对于存在冲刷或因河道清淤外露的桩基，加固套筒宜设置在河床地面线下不少于 50 cm，加固完成后回填密实并采用土工织物或石笼进行抗冲刷防护。

7.3.3 套筒内表面应粗糙，便于与加固灌注料结合紧密；套筒外表面宜采用水泥灰色，且同一座桥梁颜色应一致。

7.3.4 套筒底部设置弹性密封条，并采用环氧类灌注材料封底，封底高度不宜小于 15 cm；顶部采用环氧封口胶密封。

7.3.5 对于表面无明显病害的构件进行预防养护时，套筒厚度不宜小于 3 mm，灌注材料厚度宜采用 2 cm，并采用环氧类灌注材料。

7.3.6 对于存在蜂窝、麻面、空洞、孔洞、表层腐蚀等病害的构件进行修复加固时，套筒厚度宜采用 3 mm~5 mm，灌注材料厚度宜为 30 mm~50 mm，并采用环氧类灌注材料。

7.3.7 对于存在混凝土碳化、腐蚀，明显缩颈、冲蚀等病害的构件进行加固维修时，套筒厚度不宜小于 5 mm，灌注材料厚度根据病害情况确定；对于局部灌注厚度大于 7 cm 位置，宜设置防裂钢筋网；灌注材料宜采用环氧类，当采用水泥基类灌注材料时，顶部、底部、每间隔 150 cm~200 cm 位置采用环氧类灌注材料，每段环氧类灌注材料高度不宜小于 15 cm。

7.3.8 当灌注高度大于 200 cm 时，套筒厚度及灌浆厚度应适当加厚。

7.3.9 套筒立面边缘锁扣设计应便于粘合和紧固施工，有效搭接长度不应小于 5 cm。

8 施工及质量检验

8.1 一般规定

8.1.1 玻纤套筒桩基加固施工流程应按照图 2 所示的流程进行。

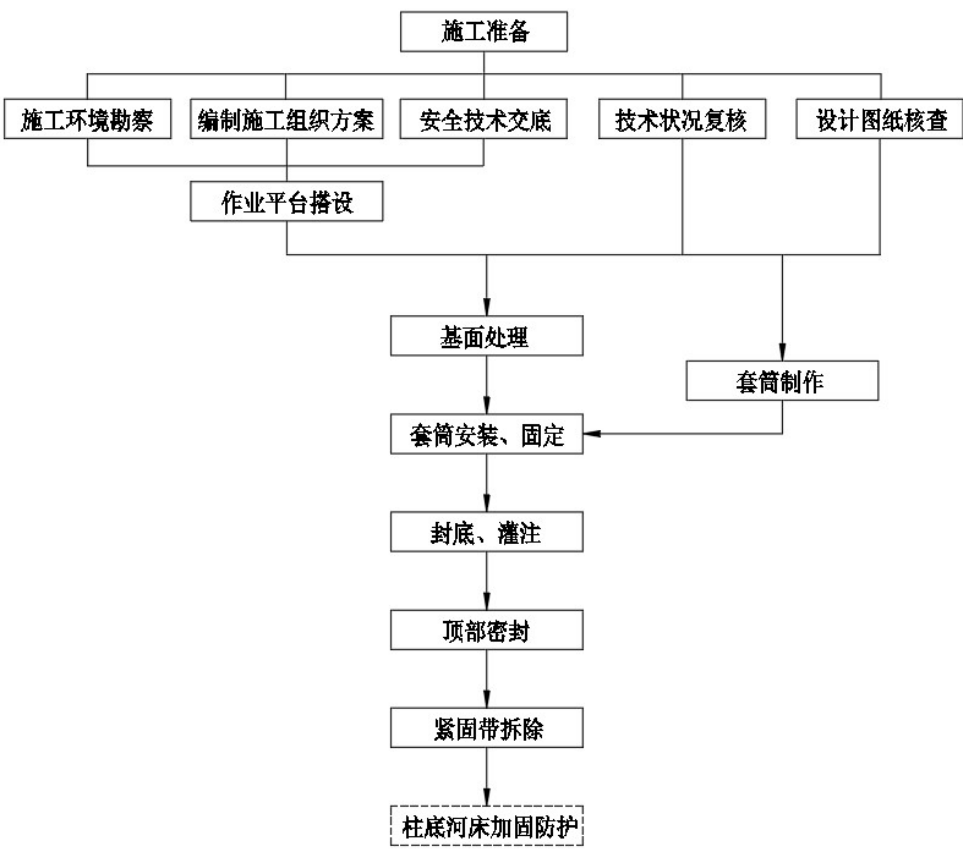


图 2 加固施工工艺流程图

- 8.1.2 加固施工的主要材料，应具有相关资质检测单位提供的产品性能检测报告和产品合格证，并对同一批次的材料进行抽样检验，其性能指标应满足本规程 6.2 的要求。
- 8.1.3 施工作业不应在恶劣天气下进行，潜水作业宜在天气晴朗的白天及水流平稳的条件下进行；特种作业人员应持证上岗，水下潜水作业应严格遵守安全操作规程。
- 8.1.4 在通航水域施工作业时，应按照相关规定批准后，在有效护航的安全条件下才能进行施工作业。
- 8.1.5 加固材料应采用环保无毒类产品，并符合国家环境保护要求；水下灌浆料灌注时，应注意水资源保护；灌注料及密封胶的配置及使用，场地应通风良好，操作人员须采用相应的防护措施，且应符合有关劳动保护规定。
- 8.1.6 玻纤套筒加固施工过程中应加强监测与检查，监测及检查信息应及时反馈。施工结束后，现场及结构物内不得遗留任何杂物。

8.2 施工准备

- 8.2.1 施工准备阶段应对玻纤套筒加固施工的桥梁周边环境勘查，勘查内容应包括现场施工环境、河

流通航情况、桥梁水位变化情况、上下游结构物情况等内容。

8.2.2 根据施工环境编制施工组织方案，包括工程概况、施工安排、施工进度计划、施工准备与资源配置计划、施工方法及工艺要求、质量及安全保证措施、安全应急预案等内容。

8.2.3 施工前应对拟加固的桩基技术状况复核，包括桩基的基本尺寸、病害、缺陷的位置及范围、是否漏筋、锈蚀及混凝土剥落等内容。

8.2.4 施工前应结合复核情况、设计图纸核对纤维增强复合材料套筒的长度、高度及灌浆料的用量，如病害或缺陷位置和范围与设计图纸不符，应及时上报建设单位和监理单位。

8.2.5 施工前应组织施工安全技术交底，施工前应对作业设备进行全面检查，核实设备全部处于正常状态后方可组织施工。

8.2.6 施工前应结合桥梁施工环境，搭设作业平台，作业平台应顺河流方向搭设；针对通航河流，宜布置在航道或通航孔外侧，禁止侵占航道区域。

8.3 基面处理

8.3.1 基面处理前，应按照本规程第5章要求全面检查桩基破损情况。

8.3.2 应清除桩基加固范围内原结构表面青苔、水下生物、浮浆、污垢、油渍、涂装等附着物。

8.3.3 将原混凝土结构的松散、剥落、蜂窝、麻面、腐蚀等缺陷及其他接触面应凿除至骨料新面，确保灌浆料与混凝土结构结合密实、牢固。

8.3.4 加固范围内的钢构件和钢筋应除锈、脱脂、打磨至表面露出金属光泽，对套筒上下边缘与混凝土交界处，应重点凿除、清理，不得遗漏。

8.3.5 基面处理完成，应静置一个小时，水下部分由专业潜水员采用水下摄像机对处理效果进行摄像拍照，检查处理效果并进行质量检验。

8.3.6 基面处理检验项目及应符合表6的规定。

表 6 基面处理检验项目及符合表 6 的规定。

序号	检验项目	要求	方法和频率
1	混凝土剔除表面	新鲜骨料面	目测或采用水下摄像头；100%
2	混凝土表面无缺陷处	新鲜骨料面	目测或采用水下摄像头；100%
3	钢构件表面	金属光泽	目测或采用水下摄像头；100%

8.4 套筒制作、安装及固定

8.4.1 套筒应根据被加固桩基或墩柱的实际尺寸、形状及设计要求定制加工，周长宜较设计值或实际桩基周长适当加长。

8.4.2 套筒在安装前，应清理表面污渍、灰尘等杂质。

8.4.3 套筒内表面应根据设计间隙设置限位器。

8.4.4 套筒安装完成应成闭环状态，叠加长度不宜小于 5 cm，闭环前应先在套筒的锁扣槽内均匀涂抹水下粘合剂。

8.4.5 套筒安装完成后采用紧固带临时固定，套筒不得出现滑移、变形、错位、脱落等现象。紧固带应依据加固范围高度确定，每 100 cm~200 cm 布置一道。

8.4.6 紧固带固定施工完成，采用紧固件紧固套筒锁扣处，固定位置间隔不宜大于 15 cm，并应对水下套筒的加固范围、安装情况、锁扣紧固情况检查并验收。

8.4.7 套筒工程检验项目及应符合表 7 的规定。

表 7 套筒工程检验项目及应符合

序号	检验项目	要求	方法和频率
1	表面外观	无划痕、无异物夹杂、无裂缝、无气泡	目测；100%
2	套筒尺寸误差	不小于设计尺寸	尺量；全部
3	套筒厚度误差	不小于设计厚度，并不大于设计厚度 1 mm	尺量；每 m ² 5 个点，小于 1 m ² 按 1 m ² 计
4	套筒安装完叠加长度	≥5 cm	尺量；全部
5	套筒锁扣安装	牢固，无松动	小锤敲击法；全部

8.5 封底、灌注

8.5.1 灌注材料拌合应严格执行试验配比，并在专业人士指导下进行。

8.5.2 采用高位漏斗重力灌浆法进行灌注，灌注口的布置应根据桥墩桩基直径进行环向、均匀、对称布置，宜设置 2~4 个灌注口。

8.5.3 灌注施工前应采用弹性密封条进行底部密封，密封条厚度宜大于设计间隙 1.5~2 倍，宽度宜为 2.5 cm，结构物与套筒底部之间不得有空隙，不得漏浆。

8.5.4 底部密封后进行封底灌注；待封底灌注固化，对底部密封情况进行检查后方可进行下一步的

灌注施工。

8.5.5 灌注施工应依据加固范围分一次或多次灌注施工，加固范围高度 ≤ 200 cm 时宜一次性灌注至顶部；加固范围高度 > 200 cm 时，应分多次灌注施工，每次灌注高度宜控制在 150 cm $\sim$ 200 cm，每次灌注待下层灌浆料固化后再进行下一次灌注，每次灌注时间间隔不宜小于 8 h。

8.5.6 最后一次灌注应灌注至距套筒口 5 cm 位置，停止灌注。

8.5.7 灌注施工检验项目及应符合表 8 的规定。

表 8 灌注施工检验项目及应符合

序号	检验项目		规定值或允许偏差	方法和频率
1	表面外观	环氧灌浆料	无结皮、凝胶、沉淀、结块、分层	目测；100%
		水泥基灌浆料	不离析、不沉淀	目测；100%
2	灌浆料厚度误差		满足设计要求	尺量；每构件 3 处
3	空鼓面积		$\leq 5\%$	小锤敲击法；全部或抽样
4	强度	环氧灌注料抗压强度	符合 6.2.3 表 2 的规定	灌注施工时同步现场制作试件，环氧灌注料按照 GB/T 50728 的规定进行试验，水泥基灌注料按照 GB/T 50448 的规定进行试验；每构件 3 个
		环氧灌注料与混凝土正拉粘结强度		
		环氧灌注料与套筒板材正拉粘结强度		
		水泥基灌注料抗压强度	符合 GB/T 50448 中规定的 II 类材料的要求	

8.6 顶部密封

8.6.1 灌浆料灌注施工完成，顶部 5 cm 位置采用水下环氧胶密封封顶，密封胶应与加固的结构物连接面形成 45° 的斜截面。

8.6.2 顶部密封表面外观应饱满，并无结皮、凝胶、沉淀、结块等现象。

8.7 紧固带拆除

在全部施工完成，且灌注料固化 24 h 后，方可进行紧固带的拆除。

《玻纤套筒水下桥梁桩基加固技术应用规程》 编制说明

一、工作简况

（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），《玻纤套筒水下桥梁桩基加固技术应用规程》为团体标准制定项目，立项编号：2024-09。

（二）任务分工

本标准由山东公路学会归口，山东高速交通建设集团为主编单位，参编单位有滨州市公路勘察设计院有限公司、山东大学、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、滨州市公路事业发展中心、卡本科技集团股份有限公司、山东瑞泰建设有限公司。

主编单位山东高速交通建设集团负责组织制定标准编制工作方案和进度计划，标准框架、大纲的建立和主要技术指标的提出，以及标准统稿、审查意见落实修改等工作。

参编单位滨州市公路勘察设计院有限公司、山东大学负责确定专项检测和设计阶段的技术指标和技术要求的确定，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。

参编单位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。

参编单位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

桥梁桩基础是桥梁结构的重要构件，桥梁桩基的质量及技术状况直接影响着桥梁的结构安全。然而桥梁基础由于施工缺陷以及使用过程中长期经受气候、冲蚀、侵蚀、生物腐蚀、重载车辆等因素的影响，造成桥梁桩基础易出现破损、露筋锈蚀缩颈等病害，导致耐久性下降，基础承载能力和抗震能力不足，严重时影响桥梁的正常使用和结构安全。

目前常见的桥梁水下桩基、桥墩加固方式基本上都需要采用围堰、基础防渗和基坑排水处理，应用较多的是围堰排水后对桩基出现的病害进行扩大截断套箍处理。传统的围堰排水后加固方法工期长、施

工难度大，费用高，且施工过程中挤压河道空间，对河道行洪和通航安全产生较大影响，社会影响大，尤其对大型河道，加固过程中的间接影响更是不可估量。

玻纤套筒桥梁桩柱加固技术又称“夹克法”加固技术，是由纤维增强复合材料套筒、灌浆料、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桩基加固技术。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，修复灌浆料可在水下完成自流平使加固修复系统与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。纤维套筒加固技术在国内外已有多年的应用和实践证明，省内也开展了一些相应的技术研究和应用，近年来省内不少公路桥梁加固项目亦采用了纤维套筒加固施工工艺(如 G1511 日兰高速临沂段桥梁维修加固工程、滨州市 S236 辛滨线徒骇河大桥维修加固工程等项目)，并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，纤维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，但目前相关设计施工方面的技术规范在国家、交通运输行业仍属空白。为规范统一水下玻纤套筒加固设计、施工的技术要求及标准，山东高速交通建设集团在总结国内外相关研究基础上，基于大量的创新研究和工程实践应用，总结玻纤套筒加固技术在经济、环保、耐久性能等方面的设计与施工成套技术，向学会提出申请并开展标准制定工作。

(四) 起草过程

1. 立项阶段

2023 年 12 月至 2024 年 1 月，对玻纤套筒加固设计施工的相关技术进行调研，搜集国内外相关设计施工案例，以编制水下玻纤套筒桩基加固技术应用规程为目标，草拟了相关的标准文本，向山东公路学会提出标准制定申请，并于 2024 年 3 月正式立项。

2. 初审稿编制

2024 年 4 月，山东高速交通建设集团组织各参编单位成立标准编制工作组，标准主编山东大学张峰教授任组长，标准制定工作正式启动。项目启动后，在确定好标准编制大纲和内容框架的基础上，着手搜集相关的文献资料、技术规范，对相关设计、施工、建设、检测单位行调研，各参编单位根据工作分工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，于 2024 年 12 月形成《玻纤套筒水下桥梁桩基加固技术应用规程》（初审稿）。

2025 年 3 月 14 日，山东公路学会组织专家对规程进行了初审。初审会议结束后，编制组召开会议对专家意见进行系统梳理和分类，编写人员依据专家意见，在查阅大量文献资料，对材料主要性能指标补充验证试验的基础上，对规程进行逐字逐句的修改。主要修改情况如下：

(1) 根据专家意见将标准名称修改为《玻纤套筒水下桥梁桩基加固技术规程》。

(2) 将“材料”在原“设计”章节独立出来，增加“材料”章节；并将原基本规定中的玻纤套筒加固技术适用范围纳入“设计”章节。

(3) 在第八章“施工及质量检验”中补充完善现场灌浆料强度、板材试验指标及相关内容，调整了套筒厚度偏差值等相关内容；

(4) 增加了玻纤套筒加固施工工艺流程图；

(5) 《编制说明中》补充完善了玻纤套筒弯曲强度、拉伸强度、巴氏硬度、吸水率指标、厚度及厚度偏差确定依据，以及灌注材料强度的确定依据。

(6) 对标准全部内容进行了校对，对全文格式进行了统一。

3. 征求意见

4. 送审稿审查

5. 报批、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

本标准按照 GB/T 1.1《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》、GB/T 20000《标准化工作指南》、GB/T 20001《标准编写规则》等要求进行编写。标准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

本标准规定了玻纤套筒水下加固桥梁桩基的基本规定、专项检测、材料要求、设计、施工和质量检验，适用于桥梁混凝土桩基、墩柱的修复加固和预防养护，码头、水闸等水工建筑可参考执行。标准主要内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、基本规定、专项检测、设计、施工及质量检测等八个部分。

第四部分“基本规定”规定了玻纤套筒加固技术的适应条件、施工原则、环保要求、水下施工作业安全要求等。《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG H21-2011）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。施工原则、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。

第五部分“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。目前，国内针对公路桥梁水下构件的专项检测缺少规范作为参考和依据，本标准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，吸收团体标准 T/CECS G: J56-2019，在交通运输部行业标准《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水下混凝土表面缺陷检测和桩基冲刷检测各项技术要求。

第六部分“材料要求”规定了玻纤套筒板材、灌注料等主要加固材料的物理力学性能要求，确定依据见本说明第三部分。

第七部分“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的应用范围，并对构造设计提出了具体要求。

第八部分“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，本标准主编单位和各参编单位进行了大量的玻纤套筒加固成功实践和试验研究，主要材料物理力学性能指标、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、专门的试验研究和工程验证。

三、主要技术内容

（一）试验验证的分析

1. 水下玻纤套筒结构、材料设计与开发

玻纤套筒由定制化高强度玻纤板在施工现场进行折弯或拼装形成。为了实现玻纤套筒的围箍或拼装缝处不漏浆，在玻纤板边缘处设置可卡合的锁扣结构（见图 1）。同时为精确控制套筒主体与桩基之间环氧灌浆料的厚度均匀性，本项目在套筒主体的内壁均匀布局设置若干个限位器，限位器在套筒主体的内壁上呈菱形分布设置，在紧固带对其进行绑扎时，限位器的支撑效果更好，确保套筒主体不变形。

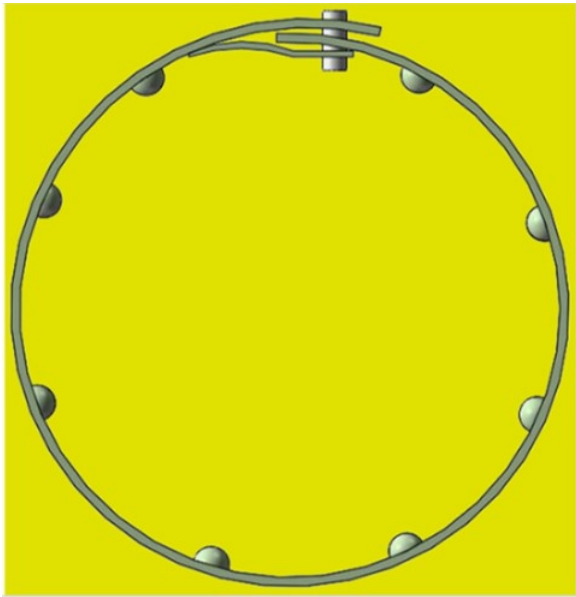


图 1 圆形结构玻纤套筒的锁扣示意图

研究开发的高强玻纤板由玻璃纤维布增强体与树脂基体通过复合成型工艺制成，并研究了玻璃纤维布的厚度、玻璃纤维布的铺层数量及铺层顺序等工艺参数对玻纤板的力学性能的影响，结合大量工程施工案例确定了套筒玻纤板材的力学性能指标。为了实现多种应用场景桩基的加固，本项目设计开发了普通圆形结构、变径圆形结构、双半圆矩形结构、矩形结构、变径矩形结构、六边形结构、工形结构，以及带加固系梁结构的玻纤套筒。

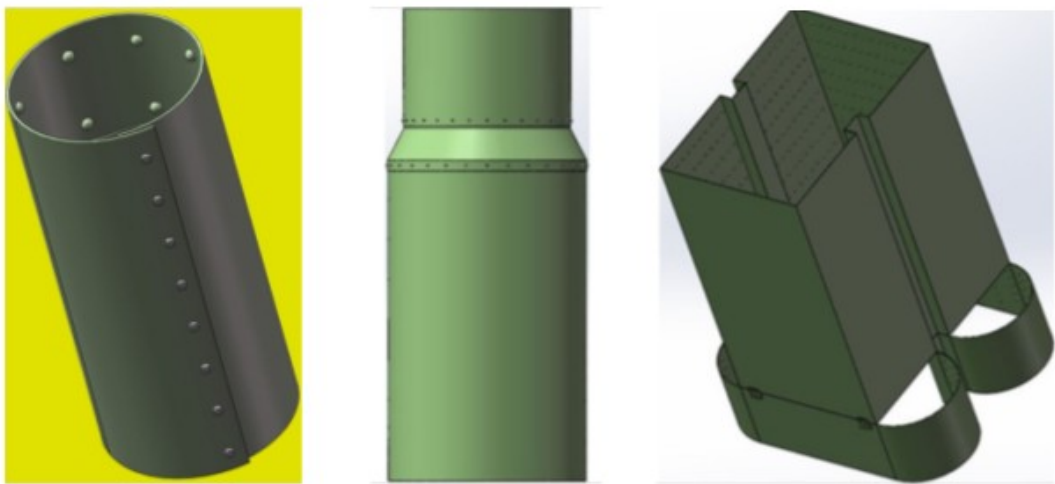


图 2 不同形状结构玻纤套筒示意图

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。拉伸强度指标设定为 170 MPa，主要依据玻纤增强复合材料的性能特性及工程安全需求。玻璃纤维的固有拉伸强度（通常为 1500–3000

MPa)与树脂基体的协同作用,结合层压工艺定向分布纤维,可使复合材料拉伸强度达到170 MPa以上。另外结合其在工程应用中的实际需求及安全性考量。玻纤套筒常作为结构增强或防护材料使用,需承受动态载荷或长期静载作用,较高的拉伸强度可有效避免因应力集中导致的材料失效。参照GB/T 1447《纤维增强塑料拉伸性能试验方法》,通过标准化的试样制备与测试流程,确保数据的可靠性与可比性。此指标结合了行业通用标准及材料特性,既满足多数工况下的力学性能要求,又为产品设计提供了合理的安全裕度。

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。此指标值可确保其在作为支撑或承载部件时能有效抵抗弯矩作用,避免因局部应力过大引发结构损伤。检测依据GB/T 1449《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》,通过三点弯曲试验模拟实际受力状态,验证材料的均质性与工艺稳定性。该指标参考了同类复合材料的性能水平,并结合工程实践经验,确保产品在恶劣工况下仍能保持高可靠性。

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,本标准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。

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。本标准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苛要求。

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,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和厚度偏差要求。

2. 水下环氧灌注料研发及技术指标确定

环氧灌浆料是一种可代替水泥灌浆料的新型灌浆材料，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，可化解长期振动载荷；（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）能够在极小的间隙实现内灌浆操作；（6）灌浆料适用期长，适用性强，对木，混凝土，钢墩柱等结构都有效。为解决环氧灌注料水下固化困难、与原结构面粘结不牢、流动性差等特点，开展了各项技术研究，并确定灌注料关键技术指标。

（1）解决灌浆料在完全水环境下使用，无法正常固化或固化后强度较低的技术问题

基于酚醛胺类固化剂已有的较好的耐水性，思考如何提高酚醛胺固化剂的憎水性。酚醛胺固化剂通常采用酚、醛及多元胺等通过曼尼希缩合反应而成。曼尼希反应，也称“Mannich 反应”或胺甲基化反应，指含有活泼氢的化合物与甲醛和二元胺缩合，生成化合物的有机化学反应，通过曼尼希反应得到的酚醛胺固化剂，在分子结构中含有酚羟基，氨基（—NH₂）及仲氨基（—NH—），使固化剂反应速度得以改善，并可以满足低温，潮湿环境固化的需要。固化剂改性中，共聚改性是常用的改性方法，在曼尼希反应合成中，醛及多元胺通常无法为酚醛胺固化剂提供较好的憎水性，为此，思考从酚类方面入手，通过引入长链脂肪族酚类以提高酚醛胺的憎水性。

腰果酚是从腰果的蜂窝状物中提取的一种生物可再生的非食物链酚醛树脂，是一种多元化的分子，其在长链脂肪链的酚羟基、芳香环和双键上具有多种不同的方式官能化，其结构特点见下图 4。相比于常见的壬基酚及石油基苯酚，具有长脂肪族侧链的腰果酚具有更加优异的耐水性和憎水性。

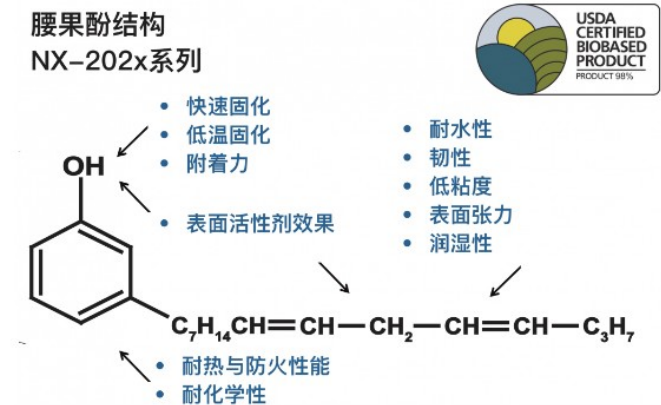


图 3 腰果酚结构示意图

在曼尼希反应中采用，酚类采用腰果酚，共聚改性得到腰果酚改性酚醛胺固化剂，得到的腰果酚改

性酚醛胺固化剂具有优异的耐水性以及憎水性，使得整个灌浆料体系在水下可正常固化，不出现白化现象，彻底解决常规灌浆料在完全水环境下使用时，灌浆料无法固化或由于胺白现象导致强度偏低的技术问题。

（2）解决灌浆料在水下不能很好浸润结构层，或与结构层粘结不牢固，不密实的技术问题

采用疏水排斥技术去除水膜：灌浆料材料采用具有超强耐水性以及超强憎水性的腰果酚改性酚醛胺环氧固化体系，灌浆料材料具有的疏水长链段具有良好的超强憎水性，能够通过疏水排斥作用有效去除界面水膜。

采用降低表面张力技术去除水膜。通过界面助剂，诸如消泡剂、流平剂等功能助剂有效降低灌浆料自身的表面张力，提高其对结构基材的润湿效果，进而达到去除水膜，实现其对结构基材有效粘结的目的，而且界面功能助剂的引入，能够进一步提高材料的施工性，例如灌浆料材料的流动性、流平性以及自密实性。

采用无机材料吸水特性去除水膜。通过对灌浆料的共混改性，采用添加具有极强吸水性的无机填料例如粉煤灰，通过粉煤灰的吸水效果，达到有效去除界面水化膜的效果，吸收水膜的粉煤灰，自身依然可以作为填料使用，不会影响灌浆料的强度发展。

（3）解决灌浆料在水下流动性差，灌浆操作困难的技术问题

常规的灌浆料，树脂固化体系粘度设计较大，再加上在配方设计上往往加入大比例的填料，导致灌浆料在水下流动性差，灌浆困难；为此通过调节灌浆料树脂固化体系的粘度范围，优化各组分的比例，借助功能助剂的界面处理效果，解决灌浆料水下流动性差，灌浆操作困难的技术问题。

（4）解决灌浆料在水下自流平差，不能在间隙中做到浆料液面流平

常规的灌浆料，由于配方设计上的体系粘度问题以及材料界面问题，导致灌浆料在水下灌浆使用时自流平差，不能在间隙中做到浆料液面流平。为此通过调节灌浆料树脂固化体系的粘度范围，优化各组分的比例，借助功能助剂的界面处理效果，灌浆料可以在小间隙正常灌浆，在灌浆浆面自流平，彻底解决灌浆料在水下自流平差，不能在间隙中做到浆料液面流平的技术问题。

基于以上问题解决方案，最终确定水下环氧灌浆料配方设计由 A、B、C 三组分构成，对各组分的原材料进行筛选以及配比设计，并对制备得到的水下环氧灌浆料进行流动度、抗压强度、抗折强度、压缩弹性模量、正拉粘结强度、线性收缩率、有效承载面积等性能测试，从而确定灌注料关键技术指标。

表 1 三种环氧灌浆料性能测试结果

序号	测试项目		配方 1	配方 2	配方 3
1	流动度 (mm)	初始	298	322	301
2	抗压强度 (MPa)	1d	51	61	64
		3d	75	80	80
		7d	101	102	101
		28d	124	123	127
3	抗折强度 (MPa)	1d	25	23	22
		3d	47	45	44
		7d	56	52	50
		28d	64	61	60
4	压缩弹性模量 (MPa)	7d	10800	11600	12300
5	正拉粘结强度 (MPa)	7d	4.1; 混凝土内聚破坏	4.0; 混凝土内聚破坏	4.1; 混凝土内聚破坏
		28d	5.2; 混凝土内聚破坏	4.6; 混凝土内聚破坏	4.5; 混凝土内聚破坏
6	线性收缩率 (%)	48h	0.03	0.02	0.02
7	有效承载面积 (%)		98.5	98.4	98.4

3. 整体力学性能指标测试

在提升结构件的承载能力时，玻璃纤维套筒加固系统必须确保加固整体性，这意味着 GFRP 套筒与灌浆料之间需要具备优异的粘结性能。鉴于玻璃纤维套筒加固系统被应用于两种不同的环境——水上（干燥环境）和水下（涉水环境），本研究对 GFRP 套筒与多种灌浆料在不同环境下的正拉粘结强度进行了测试。测试结果详见图 4-1。

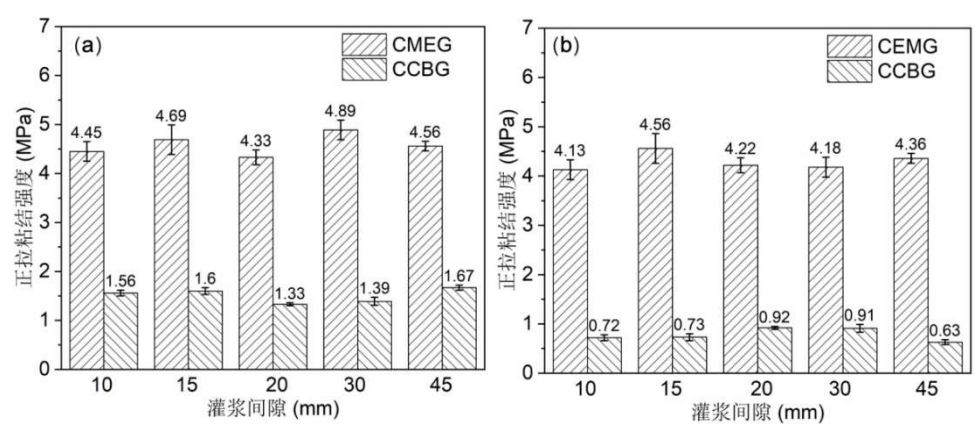


图 4-1 干燥环境 (a) 与涉水环境 (b) 下 GFRP 套筒与灌浆料的正拉粘结强度

图 4-1 (a) 呈现了在干燥条件下，GFRP 套筒与两种不同灌浆料的正拉粘结强度对比。从图中可以观察到，无论灌浆间隙如何变化，CEMG 与套筒之间的正拉粘结强度始终高于 CCBG 实验组，这一差异的原因在于 CEMG 属于环氧体系，相较于 CCBG 的水泥基体系，能够提供更优越的粘结性能。在不同的灌浆间隙条件下，CEMG 实验组和 CCBG 实验组均表现出相对稳定的正拉粘结强度，这表明，尽管两种灌浆料的结构体系不同，它们都能对玻璃纤维加固系统的整体性能提升产生稳定且积极的效果。

从图 4-1 (b) 中可以观察到，在涉水环境下，CEMG 与套筒之间的正拉粘结强度与干燥环境相比，并未显示出显著差异。涉水环境下的正拉粘结强度最大值为 4.56 MPa，与干燥环境下 4.89 MPa 的最大值相比，差异为 6.7%。然而，CCBG 实验组在涉水环境下的正拉粘结强度最大值为 0.92 MPa，相较于干燥环境下的 1.67 MPa，下降了 44.9%。这一现象的原因在于 CCBG 灌浆料被注入充满水的间隙时，会发生一定程度的离析，这降低了其与套筒之间的正拉粘结强度。以 15 mm 的灌浆间隙为例，在涉水环境下，CEMG 与套筒的正拉粘结强度是 CCBG 实验组的 5.25 倍，这表明在两种不同的应用环境下，CEMG 的粘接效果均优于 CCBG。

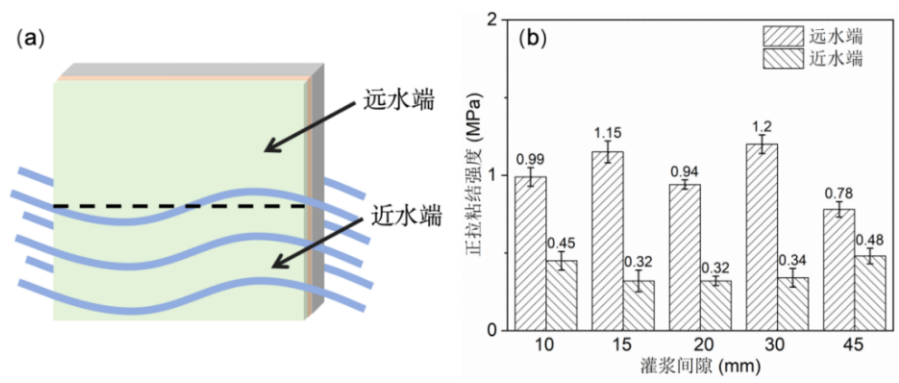


图 4-2 涉水环境下 CCBG 在近水端和远水端与玻璃纤维套筒的正拉粘结强度

在涉水环境的应用中，玻璃纤维套筒加固系统并非完全浸没于水中，而是如图 4-2 (a) 所示，其中一部分位于水面以上，称为远水端，另一部分位于水面以下，称为近水端。本研究测试了 CCBG 灌浆

料在近水端和远水端与套筒的正拉粘结强度，结果如图 4-2（b）所示。观察图示数据可知，在不同的灌浆间隙条件下，近水端套筒与 CCBG 的正拉粘结强度普遍低于远水端。以灌浆间隙为 15 mm 为例，远水端 CCBG 与套筒的正拉粘结强度（1.15 MPa）比近水端（0.32 MPa）高出 259.4%。这一现象的原因在于，当灌浆间隙中存有水分时，CCBG 水泥基灌浆料在灌注过程中会发生部分离析，无法维持稳定的正拉粘结强度。相比之下，远水端的 CCBG 水泥基灌浆料，会优于近水端，此加固部位虽然被水分润湿，但是相比于近水端，离析发生情况有所好转，正拉粘接性能有所提升。

因此，在玻纤套筒配套环氧灌浆料加固时，无论在水上还是水下部位，水下环氧灌浆料与原混凝土基材的粘结能力显著优于水泥基灌浆料。综上，建议在实际项目中，更推荐玻纤套筒配套环氧灌浆料使用，以保障加固后结构服役期间的稳定可靠性。

（二）关键技术条文说明

1. 标准 4.1 条文说明

本条规定了本规程的适用原则，主要适用于桥梁钢筋混凝土桩基、墩台的耐久性、功能性修复加固和预防养护。

2. 标准 4.2 条文说明

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。因此要求除施工前进行必要的专项数据检测外，施工过程中应进行反复的检查，对设计方案进行反复调整，动态设计、动态施工是非常必要的。

3. 标准 5.1.3 条文说明

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。

4. 标准 5.2.1 条文说明

本条明确了表观缺陷检测的手段和主要检测内容。表观缺陷检测宜采用钢直尺、钢卷尺、塞尺等测量设备，鼓励采用先进智能化设备，但需与传统成熟手段进行可靠对比。

潜水员潜水作业时,通常携带小块磁铁、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。

5. 标准 5.2.3 条文说明

水下摄影设备用于记录水下检查的情况,保留水下检查的可视化资料,用于后期数据分析。为了如实反映水下构件表观缺陷的尺寸,照片和录像需包括反映缺陷尺寸的参照物,如钢直尺、钢卷尺等。

6. 标准 5.2.4~5.2.5 条文说明

现场记录桥梁水下构件表观缺陷是及时、准确收集信息的重要保证。记录员记录潜水员报告的情况,需详细标示病害位置、测量病害尺寸,记录要求准确无误防止漏填,潜水员出水后需同记录员核对记录。

专项检测的目的之一是判断受损构件采用玻纤套筒的可行性,本标准将构件的评定分级作为选用玻纤套筒加固方案适应性的依据,此需按照《公路桥梁技术状况评定标准》对构件表观缺陷病害进行标度评定。

7. 标准 6.1 条文说明

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,玻纤套筒的所用纤维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双向拉伸强度应 $>170\text{MPa}$,双向弯曲强度应 $>200\text{MPa}$,以保证其在应用过程中的加固效果。

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、耐候性能和老化性能提出了要求。检测指标和试验方法主要依据现行标准《公路用玻璃纤维增强塑料产品》(GB/T 24721.1)和《公路沿线设施塑料制品耐候性要求及测试方法》(GB/T 22040)。

8. 标准 6.2 条文说明

实践和研究表面,与传统的水泥基类材料相比,环氧树脂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。但考虑工程造价和不同应用场景,将水泥基类灌注材料纳入本标准。

环氧灌注料的主要作业是传递受损核心和玻纤套筒之间的应力,在修复系统内发挥加固系统作用的关键因素,灌浆料是否有效使用取决与其抗压强度、与混凝土基材的正拉粘结强度和与玻纤套筒的粘结强度。本节规定了灌注料的技术指标和检测方法,明确了环氧灌浆料的关键项目指标。

为保证灌注料的水下流动性，防止灌浆料在水下自流平差，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和可操作时间指标。现行标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》（GB/T 50448）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类灌浆料技术要求，主要性能指标见表2。

另外，水下施工与干处浇筑的不同，由于在水中灌注，要求不经振捣而自流平，并且在水中水泥不流失，集料不离析，主要采用外加剂增加灌注材料的黏聚力。因此参照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTG 3420）并经试验验证，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，认为水泥流失量小于 1.5%，悬浊物含量小于 150mg/L，pH 值小于 12 情况下，测定的水泥基灌注料为水下不分散。

表 2 水泥基灌浆材料主要性能指标（GB/T 50448）

类别		I 类	II 类	III 类	IV 类
最大骨料粒径 mm		≤4.75			>4.75 且 ≤25
截锥流动度 (mm)	初始值	—	≥340	≥290	≥650 *
	30min	—	≥310	≥260	≥550 *
流锥流动度 (s)	初始值	≤35	—	—	—
	30min	≤50	—	—	—
竖向膨胀率 (%)	3h	0.1~3.5			
	24h 与 3h 的膨 胀值之差	0.02~0.50			
抗压强度 (MPa)	1d	≥15	≥20		
	3d	≥30	≥40		
	28d	≥50	≥60		
氯离子含量 (%)		<0.1			
泌水率 (%)		0			

注：* 表示坍落扩展度数值。

9. 标准 7.1 条文说明

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。

10. 标准 7.2.1 条文说明

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，因此本标准将构件的评定分级作为选用玻纤套筒加固方案的依据。

11. 标准 7.2.2 条文说明

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。

12. 标准 7.2.3 条文说明

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，对处于本条所列的各类恶劣环境下的桥梁采用套筒加固进行预防性养护可有效提高桥梁的抗腐蚀耐久性。

13. 标准 7.2.4 条文说明

根据施工条件不同，桥梁基础和墩柱加固分为排水施工和不排水施工，本标准重点规定在役桥梁不排水条件下基础缺陷修复和预防性养护。对于干处桩基或具备围堰排水条件施工的情况下，在加固效果、施工便利性、经济效益等方面综合考虑，玻纤套筒加固未必是最优方案，因此规定采用多种方案进行比选论证。

14. 标准 7.3.1～7.3.3 条文说明

规定了玻纤套筒加固设计时套筒的设置范围、存在冲刷或河道清淤外露桩基的处置原则，以及套筒内表面和外观要求。要求套筒内表面粗糙，目的是加强套筒与加固灌注料之间的粘结强度。

15. 标准 7.3.4～7.3.9 条文说明

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料材料选择和厚度进行了规定。对于表面无明显病害的构件进行预防养护时，可采用厚度较小的套筒，灌注材料厚度宜采用为 10 mm～20 mm，并且应采用环氧类灌注材料；对于存在表层病害的构件进行修复性加固时，套筒厚度宜采用 3 mm～5 mm，灌注材料厚度宜采用为 30 mm～50 mm，并且应

采用环氧类灌注材料；对于存在混凝土碳化、腐蚀，明显缩颈、冲蚀等病害的构件进行加固维修时，套筒厚度不宜小于 5 mm；对于局部灌注厚度大于 70 mm 位置，宜设置防裂钢筋网。

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、并且间隔一定高度采用环氧类材料灌注，防止套筒与加固材料剥离。

16. 标准 8.1.2 条文说明

玻纤套筒加固用灌注材料是加固质量的关键，灌注料一般购买在专业厂家购买，本条要求施工单位对原材料进行检查，保证其物理力学性能指标满足本规程设计要求。

14. 标准 8.2.1～8.2.6 条文说明

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。

15. 标准 8.3.2～8.3.4 条文说明

应保证加固混凝土表面应确保无附着物、浮沉、疏松物及油污，施工前应清除不利与灌注料结合的因素；桩基加固范围内的钢构件和钢筋应打磨至表面漏出金属光泽，套筒上下缘与混凝土交界处位置为防护薄弱环节，应重点清理。

16. 标准 8.4.1 条文说明

要求套筒定制加工时周长较实际桩基周长长 10 cm～20 cm，目的是便于现场安装时根据实际情况进行裁剪。

17. 标准 8.4.3 条文说明

套筒内表面限位器是保证灌注料厚度的重要装置，限位器可采用多种的形式，不同形式的限位器数量要求也不一致，标准不做具体规定，但要求严格按照设计灌注料厚度安装限位装置，同时要保证限位器牢固无松动并且安装后顶紧混凝土。

18. 标准 8.5.2 条文说明

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

19. 标准 8.5.3～8.5.4 条文说明

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，然后灌注封底环氧灌注料，待环氧灌注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。

20. 标准 8.5.5 条文说明

本条规定了灌注料的灌注次数，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

料固化过程中的涨模现象。

（三）工程应用和验证测试

纤维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项目有河北的滦河铁路桥加固工程、天津的海防路独流减河桥桩基加固工程、引滦明渠生产桥隐患治理工程、安阳桥支架加固工程、克黄线九王庄桥修复养护工程，河南的焦作焦温高速沁河特大桥加固工程，甘肃的黑河二号桥维修加固工程、肃北大桥维修加固工程，福建的厦门大桥改造加固项目、G104 线宁德七都大桥维修加固工程、福州浦上大桥水下病害处治工程，湖南的益阳泥湾港码头加固码头靠岸桩基加固工程、益阳白沙大桥加固工程、株洲天元大桥加固工程，湖北的武汉白沙洲大桥加固项目、武汉机场二高速闸道桥梁墩柱修复项目、麻安高速大随段府河大桥桩基冲刷加固，上海的宝山区国权北路西沙河桥加固项目，浙江的姚江大桥桩基维修加固工程、甌溪大桥维修加固工程、绍兴杭甬高速曹娥江特大桥桩基加固工程、台金高速括苍坑大桥与叶家岙大桥桩基加固项目、上陡门浦桥桩基防护项目、G15 临海青岭至温岭大溪路段桥梁加固工程，辽宁的营口市北海二号桥维修加固工程、苏赵线荒山子跨线桥加固项目等省外百余个桥梁桩基加固工程。

近年在山东高速集团在桥梁修复性加固和预防性养护中也进行了大量应用，如青兰高速公路双埠至河套段改扩建及连接线工程中的女姑口特大桥维修加固和肖家口大桥维修加固、2023 年高速公路专项养护工程中的临沂马站河大桥桩基维修加固和蒙河大桥桩基维修加固、G15 沈海高速疏港路跨河桥维修加固等工程，2024 年高速公路专项养护工程中的 G18 荣乌高速 K549+419 徒骇河大桥、S1 济聊高速德州段涉水桥梁预防性养护工程、G1511 日兰高速临沂段涉水桥梁预防性养护工程、G1511 日兰高速日照段涉水桥梁预防性养护工程。经应用实践和跟踪验证，纤维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。

（四）需求分析

在桥梁全寿命周期中，建设期仅占 5%-10%，运营期占 90%以上，其质量直接关系到桥梁的安全运营，关系到广大人民群众切身利益和生命安全。梁基础是桥梁下部结构的重要组成部分，其与地基相连，将桥梁上部的恒载及活载直接传递到地基，一旦基础发生病害，将直接影响桥梁安全。及时了解桥基础工作状态，探明桥梁基础病害类型、位置及损伤程度，并进行维修加固，保障桥梁工程安全运营，具有重要意义。

公路桥梁下部结构主要病害为混凝土碳化腐蚀、裂缝、混凝土破损、锈胀露筋等。据统计，其中混凝土碳化腐蚀占比 19%、裂缝占比 18%、混凝土破损占比 14%、锈胀露筋占比 10%，可见墩柱钢筋锈蚀、混凝土裂缝和混凝土腐蚀成为管养桥梁突出的耐久性问题，形成可复制、推广的既有公路混凝土桥梁延寿新技术，可为桥梁的管理、养护及维修、加固，提供技术支撑与决策依据。

四、与过国家标准、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，但在国家标准、行业标准及山东省地方标准中仍属空白，仅个别省市发布了该技术应用的地方标准，如河南省地方标准《夹克法桩基加固设计施工技术规范》（DB41/T 2244-2022）。

国家标准《混凝土结构加固技术规范》（GB 50367）、交通运输行业规范《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23）和《公路桥梁加固设计技术规范》（JTG/T J22）对玻纤套筒桩基加固技术没有做出规定，与本规程无交叉。本规程编制时参考和借鉴部分国内外研究人员以及各参编单位的技术研究应用成果，结合以及省内高速公路、普通国省道采用该技术进行桩基加固的工程实践应用，开展专项创新研究，总结玻纤套筒加固技术在经济、环保、耐久性能等方面的设计与施工成套技术，系统规范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，形成可复制推广的在役公路混凝土桥梁延寿新技术，为桥梁的管理、养护及维修、加固提供技术支撑与决策依据，可作为上位规范以及其他桥梁加固类技术规范的有效补充。

五、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本标准根据《中华人民共和国标准化法》、《中华人民共和国标准化法实施细则》等有关法律、法规的规定进行编制，与国家、交通运输行业现有的其他标准 协调配套，没有冲突。

GB/T 1034 等 20 余项文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

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

无

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

标准立项时，项目名称为《玻纤套筒水下桥梁桩基加固应用技术规程》，本标准规范玻纤套筒加固技术的设计、施工应用，根据初审会议专家意见，将标准名称调整为《玻纤套筒水下桥梁桩基加固技术规程》。