

有缆水下机器人检测桥梁水下结构技术规程
(征求意见稿)
编制说明

标准起草组

2025年3月

目 录

一、任务来源，起草单位，协作单位，主要起草人	1
二、制定标准的必要性和意义	1
三、主要工作过程	2
（一）主要工作概述	2
（二）主要工作内容	3
（三）标准阶段审查情况	4
四、制定标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系	6
（一）制定标准的原则	6
（二）制定标准的依据	7
（三）与现行法律、法规、标准的关系	7
五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述	7
（一）主要条款说明	7
（二）主要技术指标、参数、实验验证的论述	11
六、重大意见分歧的处理依据和结果	11
七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水 平的对比情况	11
八、贯彻标准的措施建议	11
九、其他应说明的事项	12

一、任务来源，起草单位，协作单位，主要起草人

根据中国交通运输协会发布的“2024年第29次团体标准立项会议的公告”（中交协秘字〔2024〕XX号）要求，广州大学联合广东盛翔交通工程检测有限公司、广东荣骏建设工程检测股份有限公司、广州诚安路桥检测有限公司、广州市道路事务中心等多家单位作为起草单位，负责本标准的编制工作。

主要起草人：刘爱荣、陈炳聪、傅继阳、吴志华、何惟煌、陈康江、程俭廷、刘伟强、刘飞强、安关峰、杨俊超、罗创涟、刘润坤、胡晓勇、王保宪、谢炎龙、陆学村、胡朝辉、王秀伟、郭川睿、胡常福、苏鹏程、黄杰、孙红梅、王身宁、刘超、蓝涛、曾予欣、梁家乔、梁家健、周乐琳、罗瑶炜、王文轩。

二、制定标准的必要性和意义

随着我国交通基础设施建设的快速推进，全国桥梁数量已超过百万座，其中涉水桥梁超过60万座。这些桥梁的水下构件长期处于复杂的自然环境中，受到水流冲刷、泥沙侵蚀、水生生物附着、化学腐蚀等多种因素作用，极易产生基础冲刷、混凝土剥落、钢筋锈蚀、结构变形等病害。若未能及时发现并处理这些问题，将导致桥梁承载能力下降，影响正常运营，甚至引发结构失效，造成交通中断和人员伤亡等严重后果。

传统的桥梁水下检测主要依赖潜水员人工操作，检测效率低、作业强度大，且受水深、流速、能见度等环境因素制约，安全风险较高。此外，人工检测结果往往受检测人员经验、操作方式及工具精度的限制，数据的准确性和一致性较难保证，无法满足现代桥梁管理对检测数据标准化、系统化的要求。

近年来，随着有缆水下机器人（以下简称ROV）技术的快速发展，其在桥梁水下检测领域得到了广泛应用。ROV可搭载高清摄像头、声呐、多波束测深仪、定位系统等先进设备，具备远程操控、智能巡检、精准数据采集能力，可在复杂、高风险的水下环境中长期稳定运行，为桥梁水下构件的检测提供了高效、安全、精准的技术支撑。为确保该技术在桥梁检测中的科学、规范应用，亟需制定一套系统、全面且可操作的技术规程。在此背景下，中国交通运输协会组织开展了本标准的编制工作，由广州大学牵头，联合多家检测单位、研究机构 and 行业专家共同完成。

本标准的制定对提升我国桥梁水下结构检测的效率、安全性和技术水平具有重要意义，具体体现在以下几个方面：

（1）提升检测效率与安全性：传统潜水员检测方式作业周期长、环境制约大，需多次下潜才能获取完整数据，且作业过程风险较高。ROV能够快速完成大范围扫描检测，显著提高检测效率，同时降低作业的安全风险，减少人力成本。本标准通过规范化ROV检测技术的应用，推动检测工作的智能化和自动化发展。

（2）提高数据精准度与可追溯性：ROV配备了声呐、高清摄像头、定位传感器等先进检测模块，可实时采集高精度影像数据，确保检测结果的准确性和一致性，并实现数据的自动存储、分析和比对，为桥梁管理部门提供可靠的决策依据。标准化的检测流程和数据处理方法，也能够保障检测结果的可追溯性，为桥梁结构安全评估提供科学支撑。

（3）推动技术创新和产业升级：本标准的制定和实施，将有效推动ROV技术在桥梁检测领域的规范化应用，加快水下检测装备及相关智能技术的创新发展，提升行业整体技术水平。同时，通过标准的推广应用，可进一步完善相关产业链，包括促进水下检测设备制造、数据分析软件开发等上下游产业发展，助力我国智能检测技术增强国际竞争力。

三、主要工作过程

（一）主要工作概述

根据工作要求，中国交通运输协会于2024年上半年启动了《有缆水下机器人检测桥梁水下结构技术规程》的编制工作。广州大学作为主要起草单位，负责统筹协调，并联合多家桥梁检测、设计及维护相关的科研院所和企业，共同组成标准编制工作组。

在标准编制初期，起草组广泛收集和整理了国内外桥梁水下检测相关的政策文件、行业标准及技术规范，并结合我国桥梁管理现状和水下检测需求，研究分析了现有检测技术及相关设备的应用情况。起草组特别关注ROV技术在桥梁检测中的应用现状，并通过调研国内ROV在不同环境下的应用案例，明确了标准的基本框架和主要技术内容。

2024年5月，中国交通运输协会在北京组织召开了标准立项审查会议。会上，起草组详细汇报了标准的背景、编制目的及技术路线，经过专家组讨论审议，立项申请顺

利通过，标志着标准编制工作正式进入实质性阶段。

立项获批后，起草组按照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》及相关标准编写要求，起草标准编制大纲，并开展标准初稿的编制工作。编制组通过多轮内部讨论及专家审查，进一步优化了标准的结构、术语定义、检测流程及关键技术指标，确保标准内容科学严谨、符合行业实际需求。

（二）主要工作内容

（1）充分参考国内相关标准及技术资料

起草组广泛收集整理了国内桥梁水下检测相关标准、规范及政策文件，重点梳理了现有的国家、行业、地方标准，以及桥梁检测设备技术要求、操作规范等内容。结合ROV技术的发展趋势，起草组分析了各类检测设备的适用性、检测精度及关键参数，并提炼适用于本标准的核心技术要求。同时，参考国际先进标准和技术方法，确保本标准具有一定的前瞻性和国际化水平。

（2）广泛深入开展调研与试验验证

为确保标准的适用性和可操作性，起草组对国内多个桥梁管理单位、检测机构及相关企业进行了深入调研，掌握当前桥梁水下检测的主要手段、应用场景及存在的问题。此外，起草组实地考察了部分ROV检测应用案例，对不同水环境（如浑浊水域、流速较大的河流）下的检测效果进行了测试，并收集了大量现场检测数据，为标准的编制提供了翔实的依据。

（3）明确ROV检测的技术要求

在深入研究桥梁水下检测的技术需求及实际应用案例的基础上，起草组明确了ROV检测技术的基本要求，并根据不同的检测环境和作业需求，提出了设备选型、功能模块配置、检测精度及校准要求等关键技术指标。同时，对水下检测数据的处理方法、评估标准及结果分析流程进行了规范化设计，确保检测数据的可靠性。

（4）细化检测流程，提升标准的可操作性

针对桥梁水下结构的不同检测需求，标准起草组细化了ROV检测的操作流程，包括检测前的准备、设备校准、检测数据采集与存储、数据分析与评估等环节。标准特

别强调检测设备的维护与定期校准要求，以确保长期运行的稳定性和测量精度。此外，针对可能遇到的极端水下环境（如低能见度、高浑浊度），标准提出了相应的补充检测手段及应对措施。

（三）标准阶段审查情况

（1）标准工作大纲审查

2024年9月，中国交通运输协会标准化技术委员会在北京组织召开了《有缆水下机器人检测桥梁水下结构技术规程》的标准工作大纲审查会议。专家组对标准的技术框架、核心技术内容及编制方向进行了详细审议，并提出了一系列优化建议，主要包括：

一是扩展调研范围，增加对不同水域环境（如淡水、海水、湍急河流）的检测案例分析，以增强标准的适用性。

二是增加试验验证，建议对标准中的关键技术指标进行试验验证，确保标准的科学性和可操作性。

三是优化标准结构，进一步调整标准章节内容，使技术要求、检测方法和数据分析更加系统化和逻辑清晰。

根据审查意见，起草组对标准内容进行了补充和优化，最终形成了正式的标准编制工作大纲。

（2）征求意见稿草案审查

2025年2月，中国交通运输协会标准化技术委员会在北京组织召开了《有缆水下机器人检测桥梁水下结构技术规程》的征求意见稿草案审查会议。根据专家组提出相关意见和建议，起草组对标准草案和编制说明进行了相应的补充修改完善，主要包括：

1. 标准名称的调整

标准名称由《机器人检测桥梁水下构件技术规程》改为《有缆水下机器人检测桥梁水下结构技术规程》，以更准确地体现标准适用范围。

2. 章节结构优化

重新调整了标准的章节结构，删除原“8 水下结构技术状况评估”章节，精简相关内容。细化“仪器设备”和“检测方法”部分，明确规定各类检测仪器的基本要求，

包括ROV主机、水下光学摄像设备、声呐设备、水下回弹仪、水下混凝土超声波检测仪以及水下钢筋扫描仪。

3. 技术内容的细化与补充

检测技术细则优化：增加“检测方法”部分的内容，具体规范了ROV搭载光学、声呐、超声波、回弹仪等设备进行水下检测的操作流程和数据采集要求。

检测流程细化：补充检测前准备、设备调试、数据采集、结果分析等步骤的详细规定。

新增测扫规划路径：在标准中增加测扫规划路径的内容，并将其列入附录C，以规范检测路径的规划。

4. 数据分析和结果评估的改进

完善数据处理方法，包括超声波法、回弹法、声呐测深等数据的分析方法，并对缺陷记录方式进行了优化。

5. 附录部分的调整

附录A：将原“桥梁水下构件表观缺陷检查记录表”修改为“桥梁水下结构表观缺陷检查记录推荐用表”，规范缺陷记录格式。

附录B：由“桥梁水下构件冲刷检测记录表”调整为“水下构件自编号推荐方法”。

新增附录C：增加“水下墩桩构件检测推荐路径”，提出针对不同水下结构的检测路径规划建议。

新增附录D：增加了“数据处理”部分，详细规定检测数据的处理方法和计算公式，以支持检测结果的定量分析。

6. 编制说明的完善

补充和完善标准的编制说明，使其更加规范、完整，以符合GB/T 1.1—2020的要求。

7. 规范性引用文件和参考文献的补充

新增GB/T 44253-2024 巡检机器人安全要求、GB/T4208—2017 外壳防护等级（IP代码）、GB/T38244—2019 机器人安全总则等规范性引用文件。新增“参考文献”部

分，涉及水下检测、声呐检测、光学检测、超声波检测等相关的国内标准文献。

（3）征求意见阶段

2025年3月至4月，《征求意见稿》向相关行业专家、桥梁管理单位、检测机构、设备制造商等广泛征求意见。起草组认真整理并分析各方反馈意见，并于2025年4月完成修改，形成《技术审查稿》和《征求意见汇总表》。

（4）送审稿审核阶段

2025年4月，起草组计划进入标准《技术审查稿》的审查阶段，并提交至中国交通运输协会进行专家审查。专家组将对送审稿进行全面技术评审，重点关注检测设备技术要求、检测流程可操作性及数据分析科学性。专家审查意见将用于进一步完善送审稿内容。

（5）报批稿及发布

2025年6月，起草组根据送审稿审查意见进行修改，形成《报批稿》，提交至中国交通运输协会进行审核，并同时将报批稿发送至各参编单位进行最终反馈。最终，计划于2025年7月正式发布实施。

四、制定标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

（一）制定标准的原则

本标准在制定过程中，遵循以下基本原则：

（1）清晰明确

标准内容应具有清晰的逻辑结构，条款表述应精准、易懂，避免模糊或含义不明的术语，使标准使用者能够准确理解并执行标准。

（2）科学合理

标准的技术要求和检测方法基于国内外桥梁水下检测的实践经验，确保标准的科学性和可行性。同时，充分考虑ROV检测技术的发展趋势，保证标准既符合当前行业需求，又具有前瞻性。

（3）统一规范

标准内容符合国家法律、法规及行业相关技术规范，并与现行桥梁检测标准协调

一致，确保技术要求、术语定义及检测流程的规范性和一致性。

（4）实用可行

标准适用于我国桥梁水下检测的实际需求，具有较强的可操作性。标准制定过程中，充分考虑不同水域环境、桥梁类型及检测设备的适用性，以确保标准在实际检测工作中的可落地实施。

（二）制定标准的依据

本标准编制过程中，结合我国桥梁检测行业的技术发展及ROV检测技术的应用实践，广泛参考了相关的法律法规、政策文件、行业技术指南、标准规范及学术研究成果，重点涵盖桥梁结构检测、机器人技术要求、水下无损检测方法等方面的内容。

依据标准引用情况，相关文件分别以规范性引用文件和参考文献的形式列出。

（三）与现行法律、法规、标准的关系

本标准符合现行法律法规和政策文件的相关要求，与现行国家、行业及地方标准相协调，不存在冲突。对于涉及的检测技术、设备要求和检测流程，标准采用全文或部分引用的方式，与现有相关标准形成有效衔接。

目前，尚无与本标准相关联的强制性国家标准。

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

本标准主要包括范围、规范性引用文件、术语和定义、基本规定、仪器设备、检测内容、检测作业、检测报告等。

（一）主要条款说明

1 范围

本章规定了ROV检测桥梁水下结构技术的范围、规范性引用文件、术语和定义、基本规定、仪器设备与技术要求、检测内容和检测方式。

2 规范性引用文件

本章列出了引用的国家标准、行业标准共计13个，凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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。

表1 规范性引用文件清单

章条	规范性引用文件	引用内容
5.2	GB/T 36896.1 轻型有缆遥控水下机器人 第1部分：总则	全部章条内容
5.2	GB/T 44253 巡检机器人安全要求	全部章条内容
5.2	GB/T4208 外壳防护等级（IP代码）	全部章条内容
5.2	GB/T38244 机器人安全总则	全部章条内容
5.3.2	GB/T 36896.4 轻型有缆遥控ROV 第4部分：摄像、照明与云台	全部章条内容
6.1.1	JTG 5120 公路桥涵养护规范	全部章条内容
8.2.1、8.2.4	JTG/T H21 公路桥梁技术状况评定标准	全部章条内容
4.0.1	CJJ 99 城市桥梁养护技术标准	全部章条内容
5.6.2	JG/T5004 混凝土超声波检测仪	全部章条内容
5.5.2、7.3.11	JGJ-T23-2011 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程	第3章，3.1、3.2 第4章，4.2 第5章
5.7.2	JGJ/T 152 -2019 混凝土中钢筋检测技术标准	附录A
7.3.12和附录D.11	CECS21:2000 超声法检测混凝土缺陷技术规程	第3章，3.1、3.2、3.3 第10章，10.2、10.3
5.7.2	DB11/T365-2006 电磁感应法检测钢筋保护层厚度和钢筋直径技术规程	第3章，3.2

3 术语和定义

本章列出了需要定义的术语，包括桥梁水下结构、有缆水下机器人ROV、冲蚀、腐蚀、成像声呐、缺陷共6个。

4 基本规定

本章规定了ROV检测桥梁水下结构的基本要求，包括检测频率、适用范围、检测内容、设备选型、人员资质、数据采集与处理、设备校准及新技术应用等方面。

5 仪器设备

本章规定了桥梁水下结构检测中ROV及其相关仪器设备的技术要求，包括ROV主

机、功能模块、光学摄像设备、声呐设备、无损检测设备、钢筋扫描仪等，并对设备的技术参数、适用环境、数据存储、检定校准及维护要求进行了规范。

5.1 本条规定了桥梁水下结构检测所使用ROV及其功能模块的基本要求，包括主机结构、数据采集系统、传输方式及搭载功能模块的性能要求。

5.2 本条提出了ROV主机的基本技术要求，包括重量、续航能力、适用水域、抗流能力、姿态控制、传输深度及定位精度等，明确了ROV应具备的基本性能指标，并给出了主要参数范围。

5.3 本条规定了水下光学摄像设备的技术要求，包括防水性能、分辨率、照明系统、数据存储能力等，确保在不同能见度条件下能够获取清晰、稳定的检测影像。

5.4 本条提出了水下声呐设备的基本要求，涵盖前视声呐、多波束测深声呐等设备的探测范围、分辨率、数据处理能力及适用环境，确保其能够满足水下结构表观缺陷检测及河床形态测绘的需求。

5.5 本条规定了水下回弹仪的技术要求，明确其抗水性能、测量精度及适用环境，确保其能够在水下环境中稳定运行，并提供准确的混凝土强度评估数据。

5.6 本条规定了水下超声波检测设备的技术要求，包括设备的抗水能力、测量方法及精度要求，并明确其适用于混凝土缺陷探测及内部结构检测。

5.7 本条提出了水下钢筋扫描仪的技术要求，包括测量精度、防水等级、数据处理能力等，并规定了钢筋扫描设备的安装、使用及维护要求。

6 检测内容

本章规定了桥梁水下结构检测的主要内容，包括检测方案的编制、检测方法的选择、主要检测项目的实施及检测数据的处理要求。

6.1 本条规定了桥梁水下结构检测方案的编制要求，明确检测前应收集的桥梁设计、施工、历史检测及水文环境等资料，并结合现场踏勘情况制定具体的检测方案。

6.2 本条提出了桥梁水下结构的主要检测内容，包括表观缺陷检测、基础冲刷检测、河床断面测量等，涵盖水下混凝土构件、钢结构及桥墩基础的健康状态评估。

6.3 本条规定了桥梁水下结构检测的方法，明确采用光学摄像、声呐成像、无损检测等技术手段进行检测，并结合ROV搭载的各类检测设备，确保检测数据的准确性。

7 检测作业

本章规定了桥梁水下结构检测的作业要求，包括作业许可、作业环境、设备使用、安全保障、检测数据记录等方面。

7.1 本条提出检测作业的一般规定，明确检测作业需经相关主管部门批准后方可开展，并规定了恶劣天气条件下禁止作业的要求，以确保作业安全。

7.2 本条规定了检测作业前的准备工作，包括现场踏勘、资料收集、检测顺序安排等，并明确检测方案的制定要求。

7.3 本条规定了检测作业的具体实施要求，涵盖ROV操作、数据采集、检测精度控制等方面，并对光学成像、声呐扫描、超声波检测、回弹法测强、钢筋扫描等不同检测技术的适用条件、操作规范和数据处理方式进行了明确规定。

8 检测报告

本章规定了检测报告的编制要求，包括报告的总体要求、内容及数据分析，以确保检测结果的完整性。

8.1 本条提出了检测报告的总体要求，明确检测报告应提供完整的检测数据，并对发现的缺陷进行准确、规范的描述。

8.2 本条规定了检测报告的内容及具体要求，涵盖桥梁基本信息、检测范围、技术依据、设备配置、检测结果、缺陷分析等内容，并要求对关键数据提供详细记录及曲线分析。

附录 A

提供桥梁水下结构表观缺陷的记录推荐用表，便于在检测过程中对缺陷位置、类型及其具体描述进行详细记录。

附录 B

介绍水下结构的编号推荐方法，提出了左右侧划分法和自编号推荐法，提供相应示意图，确保不同桥梁水下结构的编号方法具有一致性。

附录 C

针对水下墩柱构件的检测推荐轨迹，提出了环绕扫描法和垂直扫描法，并通过示意图说明不同方法的适用场景，确保检测轨迹合理，数据覆盖全面。

附录 D

对检测数据的处理方法进行了详细规定，包括缺陷所在高程的确定方法、圆柱形构件缺陷朝向的判定方法，并给出了相应计算公式。此外，还规定了缺陷尺寸的计算方法、回弹值和超声值的修正方法，并提供了混凝土强度换算公式，以确保检测数据的准确性和科学性。

参考文献

本章列出了参考文献名录。

（二）主要技术指标、参数、实验验证的论述

暂无。

六、重大意见分歧的处理依据和结果

本标准制定过程未发生过重大意见分歧。

七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况

未采用国际标准和国外先进标准。

八、贯彻标准的措施建议

建议本标准在批准发布3个月后实施。

本标准发布后，可向桥梁检测行业及相关单位进行宣传和推广，并向从事桥梁检测、设计、施工、管理及技术咨询的相关单位和人员推荐参照本标准。

（1）在标准归口单位的指导下，积极组织标准宣贯培训班，由标准制定人员进行讲解，设立专门的答疑或咨询部门或网站，为相关企业和检测单位提供技术支持，解决标准应用中的问题。

（2）组织相关人员参加行业协会、学术会议等活动，及时了解国内外桥梁水下检测技术和标准的发展动态，并通过会议、学术报告、宣传册等多种形式宣传本标准，提高行业认知度。

（3）依托交通行业协会的官网、公众号、技术期刊等平台进行广泛宣传，使桥梁

管理单位、检测企业、技术人员和设备制造商充分认识本标准的重要性，促进标准的有效实施。

九、其他应说明的事项

无