

桥梁水下结构声呐法检测技术规程

（征求意见稿）

编制说明

标准起草组

2023 年 8 月 30 日

一、任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人

桥梁结构因水下冲刷导致结构损坏是桥梁垮塌的一个重要因素，因此桥梁结构的水下检测是关系桥梁结构安全运营的重要保障。2021 年颁布实施的《公路桥涵养护技术规范》（JTG 5121-2021），也首次将桥梁水下检测纳入特殊检测的总体要求。但目前我国桥梁水下检测仍处于起步阶段，而声呐是桥梁水下检测的有效技术手段。为推动我国桥梁水下检测技术的发展以及标准化建设，北京路桥瑞通科技发展有限公司牵头在中国交通运输协会申报了本标准的立项。2022 年 4 月 22 日中国交通运输协会组织召开了立项评审会，4 月 25 日中国交通运输协会发布的“中国交通运输协会关于 2022 年度第一批拟立项团体标准项目的公示”，公示本标准通过立项。

标准编制组起草了标准的草案，2022 年 7 月 20 日组织召开了大纲评审会，编制组提交的文件通过了标准的大纲评审。编制组根据大纲评审会专家修改意见对标准进行修改和调整，并吸纳声呐技术在桥梁水下结构、基础冲刷和河床断面检测的应用成果，于 2023 年 7 月编制完成本标准的征求意见稿（草案）。

2023 年 8 月 15 日中国交通运输协会标准化技术委员会在北京组织召开了《桥梁水下结构声呐法检测技术规程》征求意见稿草案审查会议。标准编制组针对专家提出修改意见对草案进行修改，于 2023 年 8 月 30 日完成《桥梁水下结构声呐法检测技术规程》的修改，形成征求意见稿。

本文件起草单位：北京路桥瑞通科技发展有限公司、北京市政路桥管理养护集团有限公司、中交路桥检测养护有限公司、中交路建交通科技有限公司、北京工业大学、北京科技大学、北京中德建基路桥工程技术有限公司、上海市建筑科学研究院有限公司、中诚云检（北京）科技有限公司。

本文件主要起草人：朱尚清、王秋生、张强、郭河、胡建新、杨亮亮、刘越、陈勇、周芝林、白震、孙文丽、王开军、杨亮亮、李金鹿。

二、制订标准的必要性和意义

必要性：

桥梁结构因水下冲刷导致结构损坏是桥梁垮塌的一个重要因素，因此桥梁结构的水下检测是关系桥梁结构安全运营的重要保障。2021 年颁布实施的《公路桥涵养护技术规范》（JTG 5121-2021），也首次将桥梁水下检测纳入特殊检测的总体要求。目前国内水

下检测还处于起步阶段，声呐法检测是桥梁水下检测最有效的方法，对于声呐法检测还没有指导性的规范，需要制定专门的技术规范来。

美国在上个世纪 70 年代已经将水下检测列入规范，同我国 2019 年对水下桥梁结构构件检测的相关规程的颁布早了将近 50 年。在美国的桥梁评估手册中专门规定了水下检测的内容，将水下检测分为两类：日常涉水检测和水下深度检测。

2019 年 8 月 26 日，中国工程建设标准化协会发布了《公路桥梁水下构件检测技术规程》（T/CECSG:J56-2019）（简称《规程》），自 2020 年 1 月 1 日起实施。该《规程》的颁布对于我国公路桥梁构件检测有一定的指导意义，其主要内容包括水下检测基本要求，包括对表观缺陷检测、水下基础冲刷及淘空的总体检测技术的相关规定，检测方法包括潜水员、视频检测、水下钎探等多种方法。总体来说《规程》适用的范围主要是公路桥梁、检测相关规定属于基本和总体的规定与要求，对于具体的检测方法、仪器设备要求规定还不细致。

我国桥梁类型有公路桥、轨道交通桥梁、城市桥梁、铁路桥梁、水利桥梁等多种类型。对于桥梁水下结构检测的方法是一致的，可能在检测病害评定方面有所区别。目前桥梁水下检测常使用主要有潜水员或水下机器人或测量船配合各种检测设备如视频系统、声呐、激光扫描、钎杆等进行检测。随着技术的发展或受水质等的因素的影响，对于水下检测目前最有效的方法是声呐法，能通过二维或三维成像对桥梁水下构件、基础以及河床断面进行可靠的测量。

声呐法是最为有效的桥梁水下检测方法，目前还没有相关的规范进行指导，桥梁水下检测的开展受到一定的限制。

因此有必要制定专门的技术规范，对桥梁水下结构采用声呐法进行明确的规定，有利于声呐法在桥梁水下检测的规范化和标准化，推动我国桥梁水下检测技术的发展。

意义：

目前我国桥梁水下结构的检测仍处于起步阶段，既有桥梁水下墩台、基础的冲刷以及结构的外观缺陷如何进行检测和评估也是桥梁检测的重要内容，随着技术的进步这也是我们桥梁管理、养护应该关注的问题。墩台基础是桥梁的主要部件，承担着桥梁上部结构传递的荷载，其质量直接关系到结构物的耐久性和桥梁的承载能力，对桥梁的安全运营至关重要。为了保证桥梁运营的安全、可靠，必须及时了解桥梁墩台基础的工作状态，探明桥梁墩台基础的病害类型、位置及严重程度。对于跨越江河湖海的大桥或特大

桥，桥梁墩台基础长期处在河道或海水中，其本身受水流冲刷、海水腐蚀或人为活动的作用，经常会出现混凝土的剥落和露筋、河床冲刷等现象，另外由于施工的原因也可能导致基础混凝土存在错位、孔洞、蜂窝、麻面、保护层厚度不够和露筋等现象，从而影响混凝土结构的耐久性。

桥梁水下构件在如桥梁墩台基础在施工时部分属于隐蔽工程，在工程竣工后其质量可能就很难进行有效的检测。桥梁水下部分在运营过程中由于受我国水下检测技术发展的限制也很少能进行有效的检测。我国大部分地区桥梁水下部分的检测一直处于空白，其结构的安全性能难以进行有效的评估。因此水下桥梁构件的安全状况应该引起管理部门的足够重视，才能保证桥梁整体结构的安全运营。

近年来，我国也是自然灾害频发尤其是特大暴雨等突发自然灾害后，暴露出桥梁基础结构的病害应引起足够的重视。桥梁在水灾后暴露出的病害有扩大基础的淘空、桩基础的严重质量问题（如断桩、严重缩颈、桩基与墩柱的错位、钢筋外露锈蚀等）。

随着桥梁使用年限的不断增长，若桥梁水下构件长期得不到有效的检测，其病害的发展情况及发展趋势将得不到有效地了解和掌握，久而久之，势必会成为影响桥梁安全运营的一大隐患，为此有必要制定一套公路桥梁水下构件专项检测规程，对桥梁水下构件进行定期的检测及评定，及时掌握其技术状况，为养护管理措施的制订提供依据。

我国桥梁类型有公路桥、轨道交通桥梁、城市桥梁、铁路桥梁、水利桥梁等多种类型。对于桥梁水下结构检测的方法是一致的，可能在检测病害评定方面有所区别。目前桥梁水下检测常使用主要有潜水员或水下机器人或测量船配合各种检测设备如视频系统、声呐、激光扫描、钎杆等进行检测。随着技术的发展或受水质等的因素的影响，对于水下检测目前最有效的方法是声呐法，能通过二维或三维成像对桥梁水下构件、基础以及河床断面进行可靠的测量。

声呐法最为有效的桥梁水下检测方法，目前还没有相关的规范进行指导，桥梁水下检测的开展受到一定的限制。因此本标准的制定，有利于声呐法在桥梁水下检测的规范化和标准化，推动我国桥梁水下检测技术的发展，具有重要的意义。

三、主要工作过程

主编单位于 2022 年初开始组织相关单位着手成立标准编制工作起草小组，编制立项申报书向中国交通运输协会申请标准的立项。作为主要起草单位，北京路桥瑞通科技发展有限公司 2022 年上半年一直积极收集有关本标准的各类信息，北京市政路桥管理

养护集团有限公司、中交路桥检测养护有限公司、中交路建交通科技有限公司、北京工业大学、北京科技大学、北京中德建基路桥工程技术有限公司、上海市建筑科学研究院有限公司、中诚云检（北京）科技有限公司等单位紧密联系，反复对水下声呐检测技术进行验证和试验。2022 年 3 月底完成了团体标准《毫米波雷达桥梁变形测试技术规程》的立项申请材料的编写，正式提交中国交通运输协会标准委员会。2022 年 4 月 22 日，中国交通运输协会组织行业专家在北京召开立项审查会议，对标准立项报告进行审核，通过了标准项目的编制申请，并提出一些合理化的建议。立项申请获批后，标准编制组加快标准编制工作节奏，明确任务分工及各阶段进度时间节点，着手编制标准工作大纲和相关文件。同时，标准起草工作组成员认真学习了 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》，结合标准制定工作程序的各个环节，进行了探讨和研究。标准编制组于 2022 年 7 月完成了《桥梁水下结构声呐法检测技术规程》大纲评审的标准草案和相关文件。2022 年 7 月 20 日组织召开了大纲评审会，编制组提交的文件通过了标准的大纲评审。大纲评审后，标准起草工作组经过技术调研、咨询，收集、消化有关资料，并结合声呐检测技术、水下检测要求、数据处理与分析以及应用实际经验的总结，于 2023 年 7 月底写完成了团体标准《桥梁水下结构声呐法检测技术规程》的征求意见稿草案和相关文件的编制。

2023 年 8 月 15 日中国交通运输协会标准化技术委员会在北京组织召开了《桥梁水下结构声呐法检测技术规程》征求意见稿草案审查会议。专家提出的审查意见：（1）补充术语和定义，核查规范性引用文件；（2）优化章节结构和标准内容，第 9 章标题修改为检测报告编制；（3）对标准文件进行编辑性修改。

根据专家审查意见，编制组进行了对规范条文进行逐条修改，于 2023 年 8 月 30 日完成《桥梁水下结构声呐法检测技术规程》的修改，形成征求意见稿。

主要修改的内容包括：（1）在术语和定义部分补充了声呐相关的术语，针对引用新文件在进行仔细核对，在规范条文中增加引用内容；（2）对一般规定、仪器设备和声呐检测内容章节内容进行梳理调整，进一步优化了章节结构和标准内容，将第 9 章标题修改为检测报告编制；（3）针对规范条文进行逐条核对，按照专家意见进行仔细推敲和文字、图表等进行了调整和修改。

2023 年 8 月 30 日完成《桥梁水下结构声呐法检测技术规程》的修改，并提交中国交通运输协会，公开征求意见。再根据评审会专家意见进行补充、修改，经中国交通运输协会同意，挂网征求意见。计划 2023 年 9 月底完成征求意见的梳理和标准的修改，

计划于 2023 年 10 月上旬提交协会进行专家评审。根据专家意见对标准进行进一步的修改完善，计划于 2023 年 10 月底完成《桥梁水下结构声呐法检测技术规程》（报批稿），报中国交通运输协会评审。根据评审意见对报批稿进行修改完善，报中国交通运输协会标准委员会批准。

四、制订标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

本文件主要规定的是声呐法检测的技术规程，与国家和行业相关标准是一种衔接关系。本文件仅规定桥梁水下结构、基础及河床断面的检测技术规定，检测结果可以采用国家和行业的相关标准进行评定。

本文件与有关法律法规、国家强制性标准、国家推荐性标准、行业标准、地方标准的关系如下：

- 1、《公路桥涵养护技术规范》（JTG 5121-2021）规定了对公路桥梁水下检测的要求；
- 2、推荐性标准《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H20-2011）中病害评级标准进行评定。桥梁水下结构采用声呐法检测可以参照本规程。
- 3、本文件对于其它行业桥梁标准也是衔接的关系，利用本规程检测方法的检测结果可以用其它行业标准规定进行评定。

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

本文件适用范围公路、市政、轨道交通、铁路、水利等各类桥梁水下结构的检测。

本文件的主要技术内容包括以下几个部分：

- 1、范围 主要规定本规程声呐检测技术要求、适用范围、声呐法检测内容以及检测总体规定等。
- 2、规范性引用文件 规范引用的规范列表。
- 3、术语和定义 主要规定标准中涉及的主要术语和定义。
- 4、仪器设备 主要规定水下检测一般规定、检测工作流程和检测方案。
- 5、技术参数要求 对声呐法检测设备一般规定和各种类型声呐的检测技术参数做出规定。
- 6、桥梁水下构件检测 桥梁水下构件（包括墩台、墩柱等）采用声呐法检测内容包括：一般规定、准备工作、数据采集、数据处理与分析、结果整理等。
- 7、桥梁基础冲刷检测 桥梁基础冲刷主要包括一般规定、准备工作、数据采集、数据处理与分析、基础冲刷结果整理。
- 8、桥梁河床断面检测 河床断面检测主要包括一般规定、准备工作、数据采集、数据处理与分析、基础冲刷结果整理。
- 9、检测成果的整理 主要对桥梁水下检测报告进行规定

附表：主要规定各种结构采用声呐检测各种记录表格、结果整理表格。

文件条文说明：对规程重要条文进行说明。

本文件主要参编单位对于声呐法在桥梁水下检测进行了大量的理论、声呐技术参数以及试验验证等方面的系统研究，主要实验验证成果如下：

（1）桥梁水下检测的方法

桥梁结构水下检测目前常用的方法是主要有潜水员或水下机器人或测量船配合各种检测设备如视频系统、声呐、激光扫描、钎杆等进行检测。采用潜水员进行水下检测时，由于潜水员属于特种工作，其缺乏桥梁专业知识，专业技术人员仅能根据潜水员触摸、视角以及描述来判断水下结构损伤状况。采用潜水员或水下机器人携带视频系统对水下桥梁检测，由于受水质浑浊、结构物表面附着物等因素影响效果不甚理想。水下三维激光扫描技术在桥梁水下结构检测中也有一定的应用，但其受水质等因素影响，该方法的有效检测距离基本在 1~5m 的范围。此外其它桥梁水下检测的方法如钎杆法等受其检测方法适用范围所限，对于流速大、深水流域的桥梁水下结构也难以实施。

声呐是利用声波在水中的传播和反射特性，通过电声转换和信息处理进行导航和测距的技术，也指利用这种技术对水下目标进行探测（存在、位置、性质、运动方向等）和通讯的电子设备。

声呐法是对桥梁水下结构检测及基础冲刷的最有效的方法，声呐法在海洋测绘、石油管道探测以及水利结构水下检测中有广泛的应用。

（2）声呐法在桥梁基础施工中的应用

一些大跨径甚至超大跨径的跨江、跨海以及连岛工程桥梁，其主桥基础经常采用深水基础，基础深度有时超过 100m。深水基础多采用桩基础或深水沉井基础，施工过程中基础施工质量的控制至关重要，如桩基础桩底沉渣厚度、沉井下沉过程中和就位时井内土体和刃脚周围土体状况等。对于桥梁深水基础施工质量控制，采用传统的方法难以进行检测，声呐技术由于其在水下测量的优势是一种有应用前景的测量方法。

沪通长江大桥是新建沪通铁路的控制性工程，该桥主桥的沉井基础采用单波束声呐与测量绳相结合的方法成功对基础沉渣厚度进行了成功的检测。该桥主桥墩沉井基础具有如下特点：基础底面入水深度深达100~110m；沉井基础基地面积大，约为5100m²；沉井内外壁高差大，约为80m；沉井基础分为24个井孔作业空间小。沉井的上述特点使其检测难度大，采用常规方法，如潜水员佩戴设备、大型机械设备以及水上检测的方法都难以实施。

由于沪通长江大桥设计对沉井基底检测提出了更高的要求，传统的基底检测方法仅依靠定性分析检测结果，且隔墙及刃脚处的测量盲区处只能推算，不能检测精度需求，基底地形采用“测绳测量十单波束声呐检测校核”。测量绳的测量方法是测量锤的测绳从水上下放至沉井基础，凭测量人员经验判断测量锤开始进入基底泥土的时刻，测量测绳下放的长度，根据对应高程的关系确定基底泥土或沉渣的厚度。由于该项目基础深度在水下100多米，测绳测量方法误差相对较大，采用测

绳与单波束声呐相结合的方法。

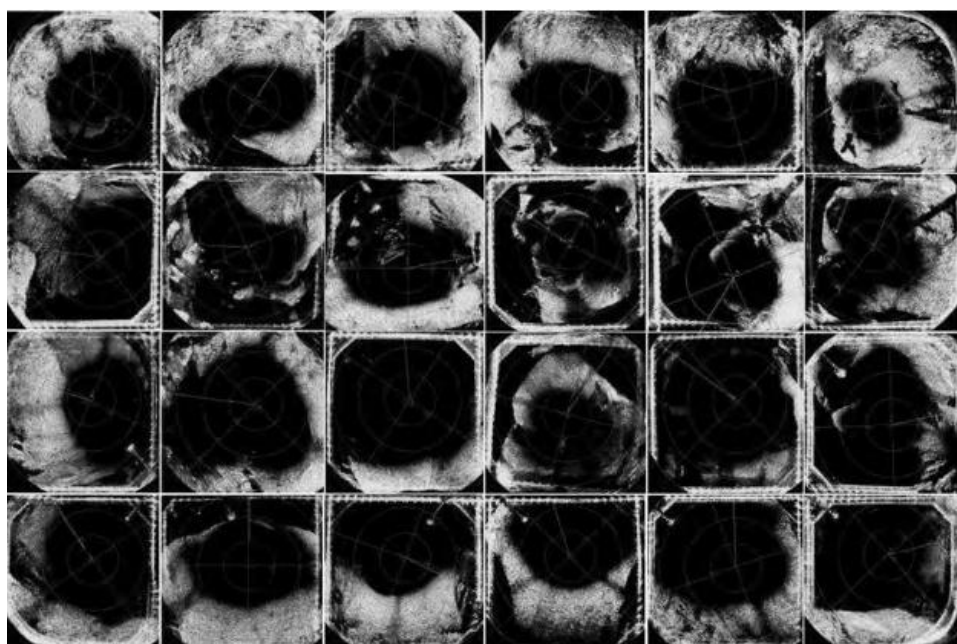


图 1 沉井基础声呐成像图

根据声呐检测结果结合测绳测量结果:28 号沉井基础基底满足设计中关于基底地形“不应有深坑、陡坎,整个基底表面应缓和、平整”的要求。单波束成像图直观反映基底地形,结果也可作为为沉井外井圈刃脚埋深、沉井隔墙底是否脱空提供参考依据。

(3) 既有桥梁检测水下检测

对于既有桥梁结构水下检测,多波束声呐和三维成像声呐技术已经得到了应用。多波束声呐利用多波束形成技术,在一次脉冲发射期间预成多个波束,实现同时对很宽的区域扫描,获得观测区域的二维信息,生成目标二维图像。预成多波束的优点为一次扫描就能覆盖较宽的区域,因为采用数字电子扫描技术,其成像速度快,可以进行大面积区域成像。采用多波束声呐可以实现对桥梁水下结构及河床断面及基础的二维成像,根据成像分析结构对桥梁水下结构缺损情况及基础冲刷进行评定。

1) 桥梁结构基础检测

利用声呐可以对桥梁水下结构的基础进行检测,通过多波束声呐或三维扫描成像声呐可以对基础周围及水下结构部分进行成像,根据成像结构分析桥梁水下基础的破损、剥落、基础裸露等病害。

如某桥采用 3D Echoscope 系统分别对 5#墩、6#墩、7#墩基础及附近河床冲刷情况进行检测,利用专用分析软件进行数据的处理和分析,生成三维点云图像。根据检测 3 个墩台基础三维点云图像,可以对基础的情况进行检测,3 个桥墩基础三维点云图见图 2~图 4。

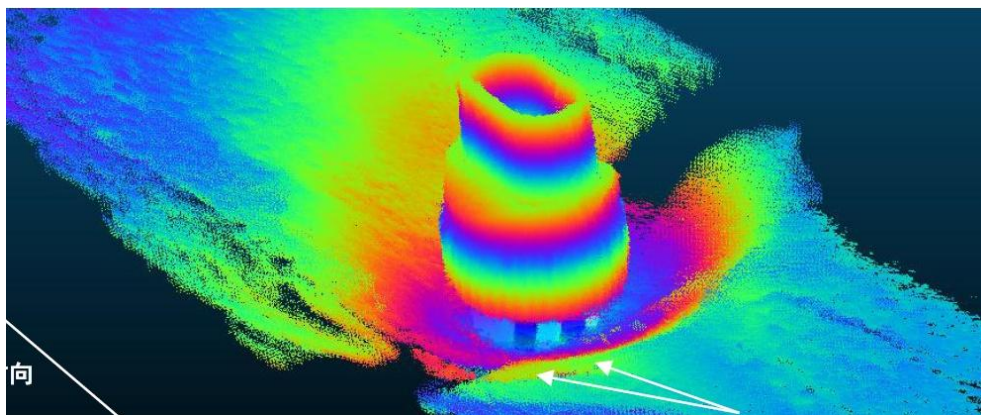


图 2 5#墩基础上游侧三维声呐点云图

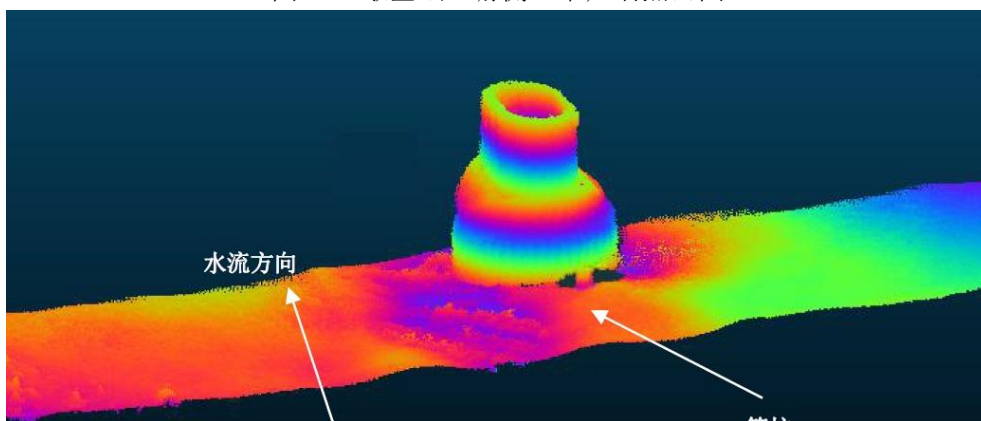


图 3 6#墩基础左侧三维声呐点云图

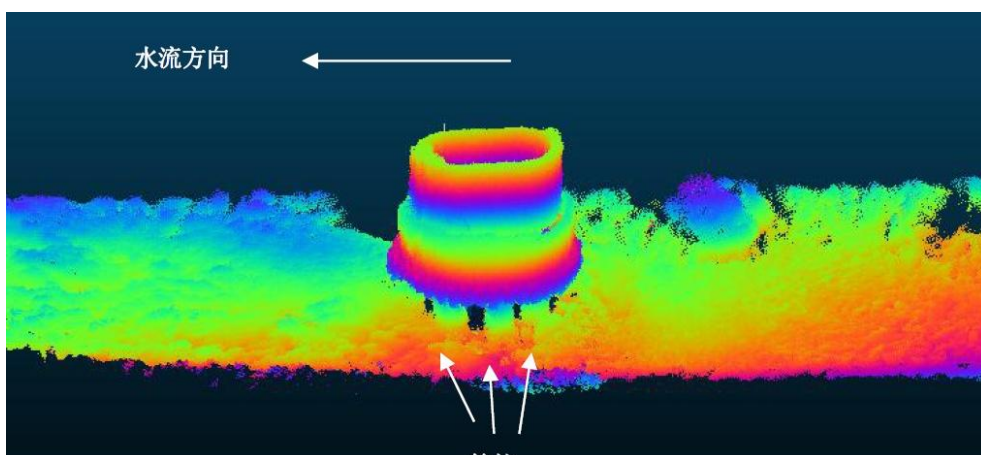


图 4 7#墩基础左侧三维声呐点云图

2) 结构病害检测

根据声呐对桥梁结构水下部分的成像可以分析结构的状况及病害情况。如参编单位曾对杭州市某桥梁采用三维成像声呐对水下桥台基础进行检测。东桥台水下基础为条石扩大基础，可见 5 层条石，底部出露宽度约 9.0m，上部宽度约 7.8m，出露的条石基础基本完整，未见明显缺损；底部未见木桩 出露。上部四层砌体表面平整，砌缝基本整齐、平顺；但最底层砌体表面有凹凸，砌缝不平顺，靠南侧局部缺损，缺损范围约长 3.8m×宽 0.22m，见图 5。

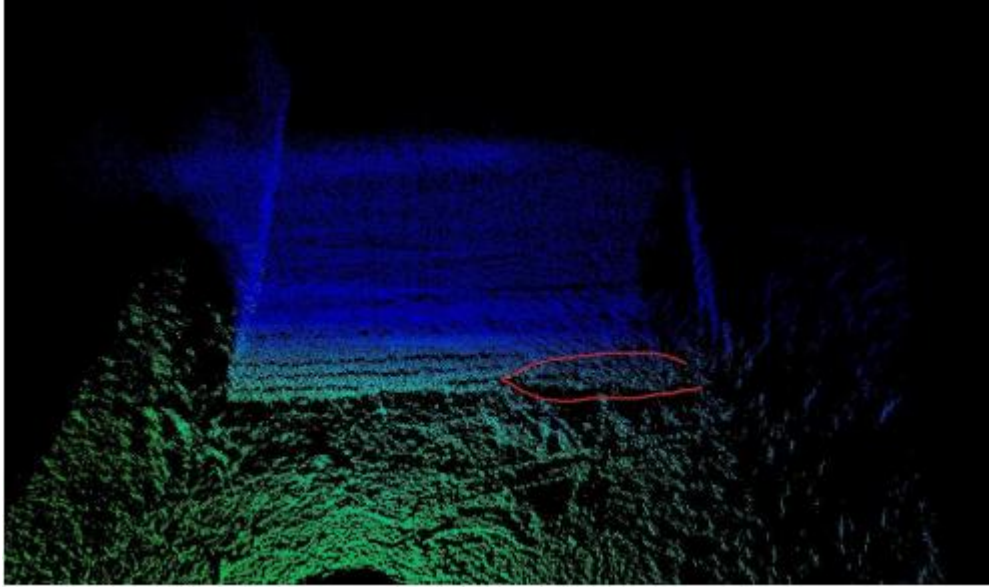


图 5 桥台三维声呐成像图

桥梁水下结构其他构筑物检测，杭州某桥采用三维声呐检测发现桥梁中间孔基础周围有老桥的木桩基础，采用声呐检测技术能进行准确的外观检测及木桩基础的尺寸及状态检测。通过水下三维声呐扫描和水下摄像，在中孔侧可见东、西桥墩条石基础底部有木桩基础，木桩基础两端超出条石基础长约 60cm，宽约 40cm。基础边缘不整齐，靠外侧的部分木桩歪斜，每排可见约 30 根，间距约 30~40cm。木桩出露高度不一，最高约 1.5m。中孔出露木桩见图 6，靠东桥墩侧木桩出露见图 7，靠西桥墩侧木桩出露见图 8。

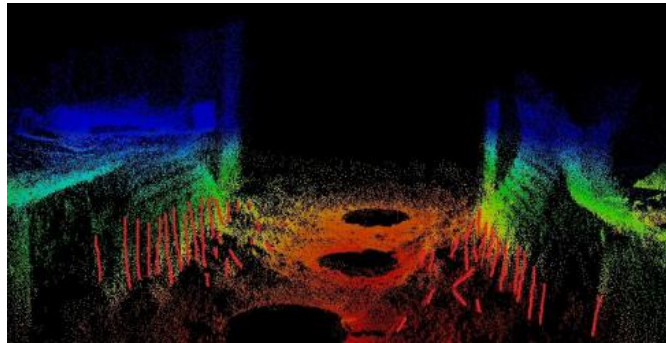


图 6 中孔东、西桥墩木桩基础及河床桩头出露图

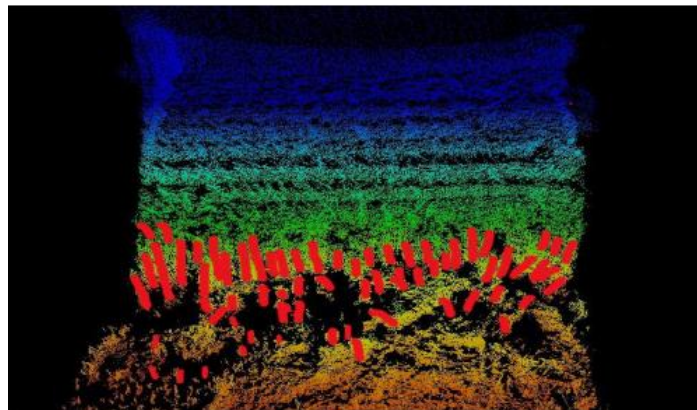


图 7 中孔东桥墩木桩基础及河床桩头出露图

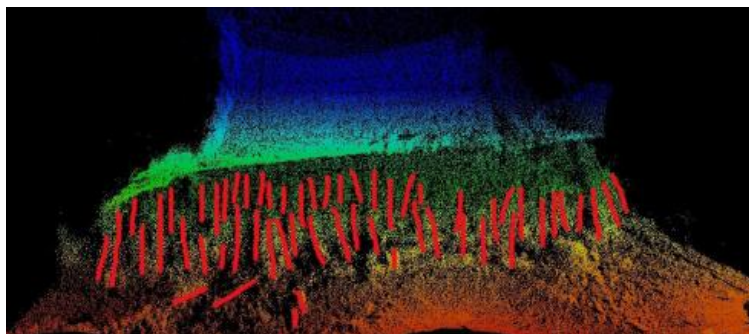


图8 中孔东桥墩木桩基础及河床桩头出露图

3) 河床断面冲刷检测

可以通过三维扫描声呐对桥梁水下河床断面进行三维成像，根据三维声呐成像结果，提取河床断面的高程绘制沿桥梁纵向的河床断面图。如某桥采用三维扫描声呐对桥梁河床断面进行三维成像，河床断面图如图9所示，可以定量对河床断面的冲刷情况进行评定。

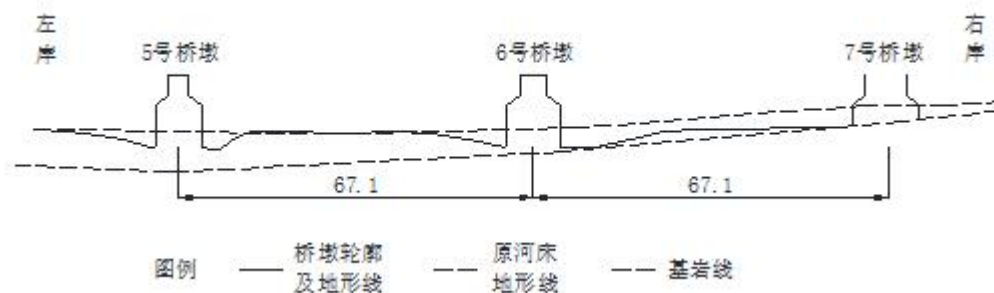


图9 三维声呐检测结果绘制河床断面冲刷断面图

综上所述，声呐法是水下检测最有效的先进检测技术，在大桥施工、既有桥梁检测中有了成功的应用，具有较好的应用前景。通过该技术的应用能有效对桥梁水下结构、基础冲刷、河床断面等进行检测与评估，确保桥梁结构的安全运营，具有重要的社会和经济意义。

(4) 大纲评审后编制试验验证

在标准大纲评审后针对征求意见稿的编制，编制组在北京通州区和浙江诸暨采用多种声呐技术开展桥梁结构水下构件、基础冲刷和河床断面等参数检测试验。通过现场试验对声呐检测方法、检测工作流程等进行总结和梳理，对各种声呐产品的技术参数及适用性进行总结。尤其是对于本规程核心内容桥梁构件水下检测、基础冲刷和河床断面部分，从检测评估需求出发对声呐数据处理以及结果整理进行了系统的研究。桥梁水下结构声呐检测技术试验、验证以及结果分析等成果对本规程的编制提供了有力的支撑。北京通州武窑桥水下检测采用机器人搭载前视声呐对水下桥墩进行检测，检测设备见图10；基础冲刷和河床断面检测采用船只搭载多波束声呐进行检测，系统组成见图11。桥梁水下结构、桥墩周围基础冲刷及典型河床断面检测成果见图12~图14。



图 10 “海狮号”水下机器人测试系统

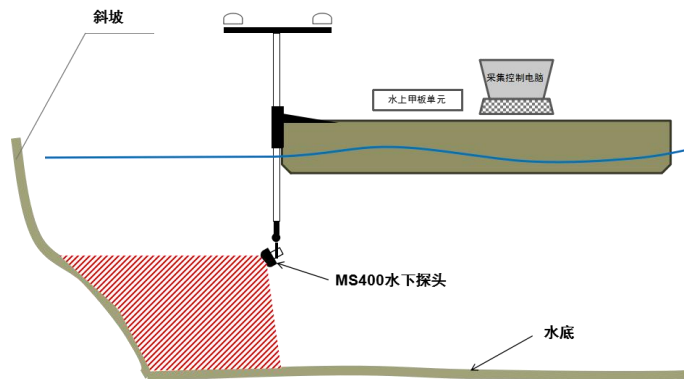


图 11 多波束声呐测深系统工作示意图

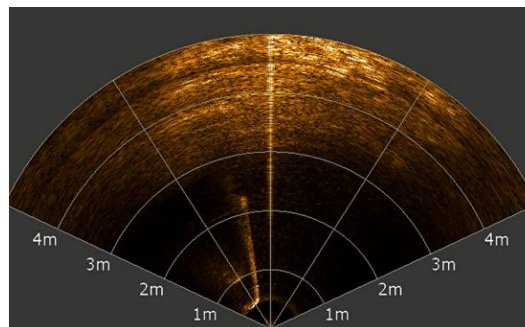


图 12 桥墩表面声呐检测结果

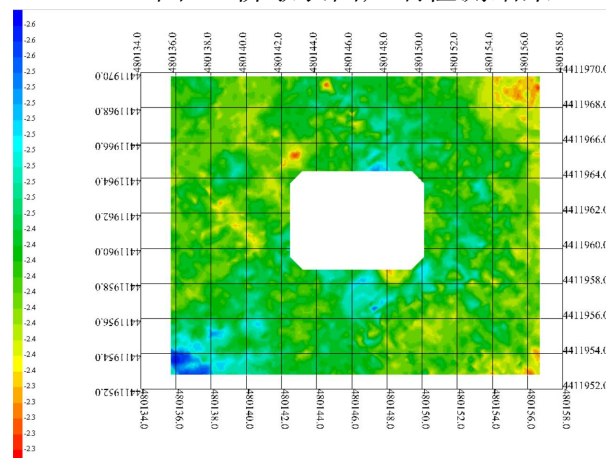


图 13 桥墩基础周围冲刷成果图

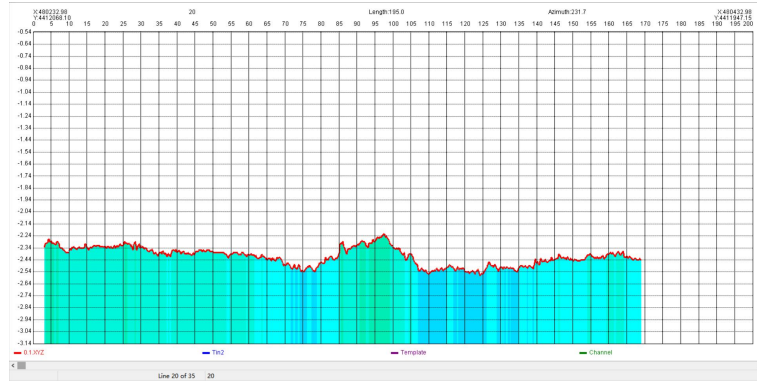


图 14 典型河床断面高程变化图

六、重大意见分歧的处理依据及结果

本标准制订过程中尚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

没有涉及到相关国际标准。

在制定过程中未查到同类国际标准。

在制定标准过程中参考中国工程建设标准化协会发布了《公路桥梁水下构件检测技术规程》(T/CECSG:J56-2019)的相关内容，对于声呐检测进行详细的规定。

本标准总体技术水平术语国内领先水平。

八、作为推荐性标准建议及其理由

建议团体标准《桥梁水下结构声呐法检测技术规程》作为推荐性标准颁布实施。

九、贯彻标准的措施建议

(1) 精心组织安排，开展宣贯培训。建议由行业主管部门统一安排，召开标准宣贯会，对涉及的交通建设、监理、设计、施工等单位开展标准实施培训和宣贯普及。明确桥梁水下结构声呐法检测技术规程中声呐检测的要求、仪器设备的技术参数、检测方法、检测数据的处理等方面的具体要求，指导桥梁水下检测的实施，有效推动贯标工作的开展及落实。

(2) 组织相关人员到检测现场参观学习，直观展示声呐法在水下检测中的工程效

果及具体实施方法；

（3）定期组织科研、生产、应用、检验各环节人员进行技术交流，不断对声呐法检测技术的技术标准进行改进。

十、其他应说明的事项

暂无。