

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2023

桥梁水下结构声呐法检测技术规程

Technical specification for sonar detection of
underwater structures of bridges

（征求意见稿）

2023 年 8 月 30 日

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国交通运输协会 发布

目次

前言 I

引言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 2

 4.1 一般规定 2

 4.2 检测工作流程 2

 4.3 检测方案 2

5 仪器设备 3

 5.1 一般规定 3

 5.2 机械扫描声呐 3

 5.3 前视多波束声呐 4

 5.4 多波束探深声呐 4

6 桥梁水下构件检测 5

 6.1 一般规定 5

 6.2 准备工作 6

 6.3 现场检测 6

 6.4 数据的处理与分析 6

7 桥梁基础冲刷检测 7

 7.1 一般规定 7

 7.2 准备工作 7

 7.3 现场检测 8

 7.4 数据的处理与分析 8

 7.5 结果的整理 8

8 桥梁河床断面检测 8

 8.1 一般规定 8

 8.2 准备工作 9

 8.3 数据的采集 9

 8.4 数据处理与分析 9

 8.5 结果的整理 9

9 检测报告编制 10

附录 A 11

参考文献 13

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。

本文件由中国交通运输协会交通工程设施分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

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、中公智联（北京）科技有限公司、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、山东高速集团有限公司、重庆特盾工程检测技术有限公司。

本文件主要起草人：朱尚清、张强、郭河、胡建新、车功健、刘越、白震、陈勇、刘旒、孙文丽、王开军、张福建、杨亮亮、李金鹿、亓兴军、张文武、余洋。

引 言

桥梁结构是土木工程中重要的基础设施，历来被称为“生命线工程”，其结构的健康及安全运营一直是桥梁管理单位和社会关注的重点。而桥梁结构的变形是反映桥梁结构健康状况的重要参数，毫米波雷达是具有非接触测量、全天候、不受外界环境的影响等优点，能很好地解决桥梁结构变形非接触式检测这一行业难点问题。目前毫米波雷达在桥梁结构中得到了广泛的应用，主要包括索力测试、静载试验、动载试验以及桥梁健康监测等领域。但目前国内还没有相关的标准和规范，使毫米波雷达测试这项新技术的应用受到很大的限制。为规范毫米波雷达在桥梁结构变形检测的操作方法，指导该技术的应用，提高测试的精度，在总结大量现场检测经验的基础上，通过广泛调研、征求意见，并参考国内相关标准，制定本文件。

本规程是土木工程领域首次提出毫米波雷达在桥梁结构变形的应用规程，并规范其应用，推荐给相关单位使用。在使用过程中，若有意见和建议，可递交至牵头编制单位北京路桥瑞通科技发展有限公司(地址：北京市石景山区八大处路10号，邮政编码：100144)提出，以便修订时参考。

桥梁结构变形毫米波雷达测试技术规程

1 范围

本文件规定了桥梁水下结构声呐法检测技术的基本规定、仪器设备，桥梁水下构件检测、基础冲刷检测以及河床断面检测的方法、数据处理，检测报告的编制。

本文件适用于公路、城市桥梁结构的水下结构检测，铁路、水利等其他桥梁可参照使用。

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。

CJJ/T 233 城市桥梁检测与评定技术规程

JTG 5120 公路桥涵养护技术规范

JTG/T H21 公路桥梁技术状况评定标准

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

桥梁水下结构 underwater structure of bridge

桥梁结构位于常水位以下的桥梁构件，如墩台、基础及河床等构造物。

3.2

声呐 sonar (sound navigation and ranging)

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。

3.3

基础冲刷 foundation Scour

因水流作用导致桥梁基础周围的冲蚀、淘空等缺损。

3.4

河床断面 riverbed section

垂直于水流方向的河道断面。

3.5

成像声呐 imaging sonar

在桥梁形变测量中电磁波沿形变方向直接传播到目标点，利用回波信号得到形变信息。

3.6

机械扫描声呐 mechanical scanning sonar

从雷达目标反射回来的信号，或在雷达接收机的阴极射线管屏幕上由这个信号所产生的踪迹。

3.7

多波束声呐 multi-beam sonar

在一定空间范围内同时形成多个波束的声呐，如前视多波束声呐和多波束探深声呐等。

4 基本规定

4.1 一般规定

- 4.1.1 初始检查时，养护检查等级为I、II级的公路或城市桥梁应开展水下结构检测。
- 4.1.2 符合T/CECS G:J56-2019中3.1.1和3.1.2规定的桥梁水下结构应开展检测。
- 4.1.3 实施桥梁水下结构声呐检测的人员应具备相应桥梁检测资格和水下工程检测的能力。
- 4.1.4 检测设备的适用范围、精度以及技术参数应满足检测的要求。
- 4.1.5 桥梁水下结构检测的声呐设备应定期进行检定或校准，检测前应对设备功能进行核查。
- 4.1.6 当采用新的声呐技术、设备和检测方法时，应符合下列规定：
 - a) 仪器设备技术参数应经过科技成果鉴定或经检定/校准；
 - b) 声呐设备应与成熟的方法进行比对试验；
 - c) 仪器设备有相应的检测细则或作业指导书，并提供测试误差或测试结果的离散度。

4.2 检测工作流程

桥梁水下结构采用声呐法进行检测的工作流程应按照图1执行。

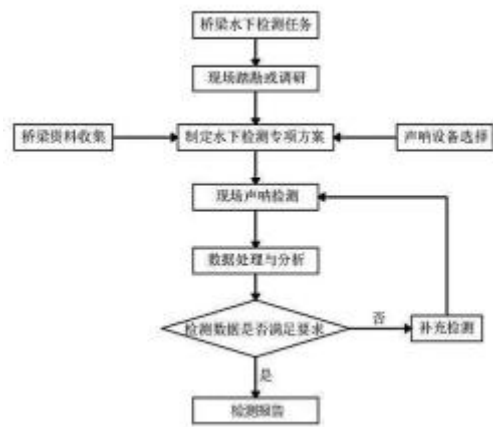


图1 声呐法检测工作流程

4.3 检测方案

4.3.1 制定检测方案前，应收集桥梁基本信息、设计资料、竣工资料，尤其是与水下检测相关的水文资料、历次检测及维修加固资料，必要时进行现场踏勘和调研。

4.3.2 公路桥梁水下结构检测应根据目的、内容以及要求制订声呐法检测方案，应包括但不限于以下内容：

a) 桥梁概况：包括桥梁结构的基本信息、桥梁设计及竣工资料、所在水域的水文资料、与水下结构相关的历次检测及维修加固资料等。

b) 桥梁水下结构检测目的、项目、技术要求和检测依据。

c) 桥梁水下结构检测范围、检测内容及声呐检测的方法。

d) 检测仪器设备及辅助设备。

e) 检测进度计划。

f) 水上检测安全保证措施及通航航道的水上交通组织方案。

g) 质量保障措施。

5 仪器设备

5.1 一般规定

5.1.1 仪器设备应包括声呐设备和辅助设备。声呐检测设备其主要有信号源、发射装置、收发换能器以及数据处理系统组成，见附录A。

5.1.2 检测仪器设备的选择应根据检测内容来确定，水下构件表面缺陷检测一般选择机械扫描声呐、前视声呐进行检测，基础冲刷及河床断面冲刷一般选择多波速声呐进行检测，也可选择三维实时声呐系统检测。

5.1.3 运输过程中应保证仪器设备运行稳定，轻拿轻放；仪器设备应定期进行保养和清洁维护。

5.1.4 声呐检测设备通常搭载载体为水下机器人和测量船，也可以采用无人船搭载声呐的测试系统。

5.2 机械扫描声呐

5.2.1 机械扫描声呐主要有声呐探头、声呐主机、数据采集与处理软件组成，搭载载体通常采用水下机器人（ROV或AUV）。

5.2.2 机械扫描声呐扫描范围的要求应能实现从 0° ~ 360° 范围扫描或连续扫描。

5.2.3 机械扫描声呐的波束宽度指标分为垂直和水平向两个控制指标，垂直波束宽度一般在 15° ~ 35° 范围内，水平波束宽度一般在 0.8° ~ 3° 范围内。不同工作频率的声呐其波束宽度的指标不同，应根据测量精度来选择测量声呐。

5.2.4 机械扫描声呐在测量范围的精度与声波脉冲宽度相关，声呐设备声波脉冲宽度一般在 $5\mu\text{s}$ ~ $1000\mu\text{s}$ 。

5.2.5 机械扫描声呐最大测量范围与声呐工作频率相关，工作频率越低，测量距离越大，测量精度越低，应根据水下检测项目对测量范围、精度要求来选择声呐工作频率。声呐最小测量距离应不小于0.5m，工作频率常用有330kHz、675kHz、1000kHz，工作频率与测量最大距离的关系见表1。

表1 声呐工作频率与测量范围关系表

声呐工作频率 (kHz)	测量最大距离 (m)
330	300

675	100
1000	50

5.3 前视多波束声呐

5.3.1 前视多波束声呐可以通过单频/双频声呐，在一定空间范围内同时形成多个波束，采用多波束成像可同时获取多个波道的信息，一次可探测较大角度范围内的多个目标。前视多波束声呐可对桥梁水下结构物表面成像，结合视频图像对表面病害进行识别。

5.3.2 前视多波束声呐系统由多波束声呐基阵（天线）、声呐主机、数据采集及分析软件、连接线缆等组成。

5.3.3 前视声呐通常搭载在水下机器人（ROV或AUV）上，水下机器人通常配备水下视频、水下定位系统等。在桥梁水下结构检测容易定位的情况，可以采用潜水员或测量船利用前视声呐开展水下检测。

5.3.4 前视声呐分为单频、双频声呐两种，声呐常用工作频率为375kHz、750kHz、1.2MHz和2.1MHz。声呐工作频率与主要技术参数关系见表2。

表 2 前视声呐常用技术参数表

声呐工作频率	375kHz	750kHz/1.2MHz	1.2MHz/2.1MHz
测量范围（大）	200m	100m/40m	30m/10m
测量范围（小）	0.2m	0.1m	0.1m
距离分辨率（mm）	8	4/2.5	2.5/2.5
更新速率（Hz）	40	40	40
水平波束开角（°）	130	130/70	130/60
垂直波束开角（°）	20	20/12	20/12
波束个数	256	512	512
角度分辨率（°）	2	1/0.6	0.6/0.4
波束间隔（°）	0.5	0.25/0.16	0.25/0.16

5.3.5 前视多波束系统声呐由多个波束形成器组成，多个波束形成器形成的波束按顺序排列并充满这个扫描空间，将扫描空间分割为若干块，经处理后形成二维声呐图像。

5.3.6 前视多波束声呐二维成像系统主要由四个部分组成：目标回波信号接收、前置预处理、后置处理及终端显示。

5.3.7 前视多波束声呐实施检测时，应根据项目对距离、精度等技术参数要求选择声呐型号。

5.4 多波束探深声呐

5.4.1 多波束探深声呐主要利用测量船搭载声呐系统（见图2），通过声呐成像技术得到高精度的三维地形图，可对桥梁墩台基础及河床断面的冲刷、淘空等缺陷进行检测。

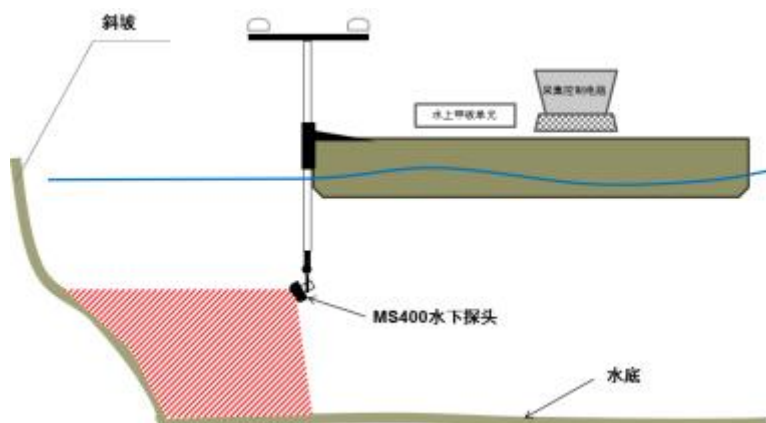


图 2 多波束测深声呐工作示意图

5.4.2 多波束测深声呐系统硬件一般由多波束声学传感器、多波束甲板单元、惯性姿态仪、卫星定位系统、定向罗经、表面声速仪、声速剖面仪等组成。

5.4.3 多波束测深系统的软件包括：多波束设备控制软件、导航采集软件以及数据处理软件。多波束声呐软件主要是控制设备的参数，跟踪查看及水下换能器状态；导航采集软件可对测量过程中进行航线规划、导航和水下三维地形的实时显示；数据处理软件主要是对采集数据进行后处理，以实现桥梁水下病害识别。

5.4.4 多波束测深声呐系统工作频率一般为400kHz，波束个数不小于512，测深分辨率不大于0.75cm。

5.4.5 多波束测深声呐主要技术参数应符合下列规定：

a) 测深声呐的声呐系统波束角规定：平行航迹波束宽度为一般为 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ，垂直航迹波束宽度为 $0.5^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 。

b) 声呐发射器发出的扇形波束，其面应垂直于航迹，一般开角为 $60^{\circ} \sim 150^{\circ}$ ，航迹方向的开角约为 $0.5^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。

c) 声呐系统的波束开角范围不小于 140° 。

d) 最小测深范围不大于0.5m，最大测深范围不小于100m。

e) 声呐系统的最大Ping率不小于10Hz。

6 桥梁水下构件检测

6.1 一般规定

6.1.1 检测范围包括位于常水位以下的桥墩、桥台结构，以及裸露在水中的墩台结构的基础部分。

6.1.2 应根据检测要求范围、内容、精度，选择合适的机械扫描声呐或前视多波束声呐设备。

6.1.3 声呐法主要检测构件的破损、露筋、空洞、孔洞、冲蚀、变形等外观缺陷。

6.1.4 采用机械扫描声呐或前视多波束声呐设备进行构件检测，可以通过二维声呐成像对构件尺寸以及缺损的位置和尺寸进行测量。

6.1.5 对于测量精度要求较高的构件尺寸或病害定位、以及尺寸测量可以采用潜水员配合视频的方式进行测量复核。

6.2 准备工作

6.2.1 实施桥梁结构水下构件声呐检测前应进行现场探勘。

6.2.2 应根据检测项目的内容、要求、精度等选择声呐检测设备，并选配合适的辅助测量设备如水下机器人、测量船、安装甲板单元等。

6.2.3 实施水下构件检测前，应对声呐设备的控制参数进行调试，包括声呐的扫描方式、航迹规划、采样参数等。

6.2.4 检测前应对声呐设备的功能进行核查，将设备连接后经在水中调试工作正常后方可开始检测。

6.3 现场检测

6.3.1 桥梁结构水下构件采用声呐进行检测时，应符合下列规定：

a) 桥梁构件检测时应逐一对构件进行检测。

b) 声呐法检测水下构件，应对测试的水下构件周围进行圆形或半圆形扫测，声呐成像范围应覆盖水下构件部分。

c) 当声呐垂直波束角开角不能覆盖水下构件部分，水下机器人在航线规划时应考虑在水域中不同深度进行测试。

d) 采用机械扫描声呐检测时，通过多个测站对构件进行测试，应保证各测站的扫描扇形范围有一定重叠，且能覆盖水下构件的全部范围。

6.3.2 采用机械扫描声呐对桥梁水下构件进行测试时，数据采集参数符合下列规定：

a) 根据测试精度要求设置合适声波脉冲宽度，或采用声呐设备系统的最优选项。

b) 根据现场测试条件设置扫描声呐扫描的方式或角度范围。

c) 采样点的设置一般为238、476、952或1904，应根据检测精度要求合理设置。

6.3.3 采用前视多波束声呐对水下构件进行检测，水下机器人环绕测试水下构件运动，声呐数据采用连续采集的方式，保证连续采集数据能覆盖水下构件的全部范围。

6.3.4 采用前视多波束声呐对水下构件进行检测，当声呐垂直波束角不能覆盖结构垂直向范围时，应使机器人在不同深度范围采集声呐数据。

6.3.5 桥梁水下构件检测时，应做好记录和数据存储，记录应包括构件编号、采样参数、测站位置、航迹规划、数据存储信息等。

6.4 数据的处理与分析

6.4.1 采集的声呐数据通过处理软件进行后处理，经过波束形成、波束内插、匹配滤波正交解调、低频抽样等形成二维声呐图像。

6.4.2 采用机械扫描声呐采集的数据需要通过多个测站的坐标将二维声呐图像拼接形成构件整体或完整表面的图像。

6.4.3 采用前视多波束声呐采集的数据则根据机器人运动的航迹坐标对构件表面进行二维声呐成像。

6.4.4 声呐图像中结构表现的缺损应在图中进行标识，通过声呐图中结构尺寸定位其在结构上的相对位置。对于线状缺陷应定位其起始点的相对位置，对于不规则面状缺陷则定位其中心位置。

6.4.5 利用声呐图像中的坐标信息对桥梁结构水下构件的尺寸进行复核，必要时可以借助其它检测方法进行验证。

6.4.6 当声呐检测的结果异常时，应采用潜水员携带视频及水下测量方式等方法进行复核。

6.4.7 桥梁结构水下构件声呐法检测的结果整理应按照病害的类型进行分类统计，并整理典型病害的声呐图像或视频照片。

6.4.8 桥梁水下构件表面检测的结果整理应符合下列规定：

a) 桥梁水下构件表面缺损应根据声呐图像进行统计复核。

b) 构件表面缺损应给出其位置、尺寸（长度或面积），并分析病害的成因、发展趋势及对结构的影响。

c) 桥梁有设计资料时，通过声呐检测对结构构件尺寸进行复核；无设计资料和历史检测数据时，测试的结构尺寸可作为桥梁构件基本信息数据存档。

d) 桥梁病害结果宜根据声呐成像结果绘制构件病害分布图。

7 桥梁基础冲刷检测

7.1 一般规定

7.1.1 检测主要包括常水位以下墩台结构或墩台基础周围冲刷、空洞等因水流作用导致的病害。

7.1.2 桥梁基础冲刷宜选择多波束探深声呐进行检测，常采用测量船安装声呐探测系统，也可采用无人船搭载多波束声呐系统进行检测。

7.1.3 采用多波束探深声呐系统对桥梁基础冲刷进行检测时，应对常水位以下基础逐一进行检测。

7.1.4 桥梁基础冲刷检测前，应根据现场踏勘结果对基础冲刷测线进行规划，并编制检测技术方案，通过试验确定声呐采集工作的参数。

7.2 准备工作

7.2.1 实施检测前，应准备多波束探测声呐系统、测量装置、安装甲板单元以及其他辅助测量设备、工具等。

7.2.2 仪器设备进场前应对声呐检测系统进行连接调试，确保系统能正常工作。

7.2.3 基础冲刷检测现场测试测线布设应符合以下规定：

a) 桥梁水下基础检测应逐个基础进行检测，规划每个墩台基础检测的航线。

b) 墩台基础检测的测线（测量船线）应沿墩台基础周边环形布置，测线形状根据基础形状来确定，可采用圆形、椭圆形等。

c) 每个墩台基础测线布设应考虑结合全桥基础检测进行优化。

7.2.4 实施现场检测前，在声呐系统在测量船安装后应进行系统参数设置并进行系统调试，确保系统正常工作才能开始测试。

7.3 现场检测

7.3.1 采用多波束探深声呐对桥梁基础冲刷检测时，数据采集应沿测线进行连续采集。

7.3.2 数据采集应按照规划测线进行，测试时应使用配备的导航系统记录完整的测线轨迹。

7.3.3 现场系统调试功能正常后，根据现场情况调整、设置合理的采集参数，方可进行数据的采集。

7.3.4 桥梁基础冲刷检测时，应做好记录和数据存储，记录应包括墩台基础的编号、采样参数、航迹规划、测线布置图、数据存储信息等。

7.4 数据的处理与分析

7.4.1 多波束探深声呐采集的连续数据，通过后处理软件生成桥梁基础周围地形的三维声呐图像。

7.4.2 多波束探深声呐在数据处理时应应对船只的摇摆姿态进行校准，对航向、姿态、升沉以及位置等进行修正，以提高三维声呐图像精度。

7.4.3 声呐数据处理与分析应符合下列规定：

- a) 用于成果解释的声呐三维成像图应清晰、信噪比高。
- b) 应根据三维成像图的坐标信息，标识和记录桥梁基础冲刷、淘空病害的位置及程度。
- c) 应结合桥梁结构基础的信息，排除识别病害的异常数据。
- d) 声呐图像不清晰或测量尺寸与基础信息不符合时，应采用潜水员携带视频及测量工具进行复核。

7.5 结果的整理

7.5.1 桥梁基础冲刷检测的结果整理时，应对每个基础冲刷情况进行统计，并整理典型病害的声呐图像或视频照片。

7.4.2 桥梁基础冲刷检测的结果整理应符合下列规定：

- a) 桥梁基础冲刷的病害应根据声呐图像进行统计分类。
- b) 桥梁基础冲刷病害的结果统计表应给出其位置、尺寸、体积和评定标度，必要时应绘制基础周围的高程线图。
- c) 应分析桥梁基础冲刷病害的成因、发展趋势及对桥梁结构的影响。
- d) 设计资料齐全时，可根据基础冲刷深度及淘空的检测结果，评定基础埋置深度是否满足设计最小埋置深度的要求。
- e) 基础冲刷病害的按照JTG/T H21中9.3中规定进行评定。

8 桥梁河床断面检测

8.1 一般规定

8.1.1 河床断面主要检测桥下和桥梁上下游100m范围内的河床地形及高程变化情况。

8.1.2 桥梁河床断面宜选择多波束探深声呐进行检测，常采用测量船安装声呐探测系统，也可采用无人船搭载多波束声呐系统进行检测。

8.1.3 桥梁河床断面检测前，应根据现场踏勘结果对河床断面检测的测线进行规划，编制技术方案，通过试验确定声呐采集工作的参数。

8.2 准备工作

8.2.1 根据桥梁断面检测专项技术方案，准备检测工作需要的多波束探测声呐系统、测量装置、安装甲板单元以及其他辅助测量设备、工具。

8.2.2 仪器设备进场前应对声呐检测系统进行连接调试，确保系统能正常工作。

8.2.3 河床断面检测时线布设应符合以下规定：

a) 河床断面检测应覆盖上下游100m范围以及桥下墩台之间桥跨水下河床断面的范围。

b) 上下游河床断面测线一般与桥梁纵向平行布设，测线数量及间距根据声呐测试宽度来确定，保证相邻测线的测试范围有一定的重叠。

c) 桥跨断面地形检测可根据现场条件布设，测线可以与桥梁纵向平行或垂直布设，同样需要保证相邻测线测量范围有一定的重叠。

8.2.4 实施现场检测前，在声呐系统在测量船安装后应进行系统参数设置并进行系统调试，确保系统正常工作才能开始测试。

8.3 数据的采集

8.3.1 采用多波束探深声呐对桥梁基础冲刷检测时，数据采集应沿测线进行连续采集。

8.3.2 数据采集应按照规划航线或测线进行，测试时应使用配备的导航系统记录完整的测线轨迹。

8.3.3 现场系统调试功能正常后，根据现场情况调整、设置合理的采集参数，方可进行数据的采集。

8.3.4 采用声呐对桥梁河床断面进行检测时，应做好记录和数据存储，记录应包括采样参数、航迹规划、测线布置图、数据存储信息等。

8.4 数据处理与分析

8.4.1 根据多波束探深声呐采集的连续数据生成桥梁河床断面的三维声呐图像。

8.4.2 多波束探深声呐在数据处理时应应对船只的摇摆姿态进行校准，对航向、姿态、升沉以及位置等进行修正，以提高三维声呐图像精度。

8.4.3 声呐数据处理与分析应符合下列规定：

a) 用于成果解释的声呐三维成像图应清晰、信噪比高。

b) 根据三维成像图的坐标信息，生成桥梁整个测试范围内三维高程图。

c) 对河床断面变化比较大的断面，提取河床断面高程变化图。

8.5 结果的整理

8.5.1 桥梁河床断面检测的结果整理应对每个基础及桥跨内河床冲刷及空洞等病害进行分类统计，并给出声呐图像检测的成果图或视频系统的病害图。

8.5.2 桥梁河床断面检测的结果整理应符合下列规定：

a) 桥梁河床断面的检测成果应根据声呐图像绘制整个桥梁测试范围内河床整体高程图。

b) 根据桥梁水下河床断面冲刷情况，绘制多个横断面的河床断面图。

9 检测报告编制

9.1 检测报告应结论明确、用词规范、文字简练，对于容易混淆的术语和概念，以文字解释或图例、图像、图表说明。

9.2 声呐法桥梁水下检测报告应包括但不限于以下内容：

a) 项目概况；

b) 桥梁水下结构检测目的、范围、内容、依据和方法；

c) 检测人员；

d) 声呐检测设备及其工作原理；

e) 数据的处理与分析；

f) 检测数据和结果的汇总，包括典型的病害照片、声呐图像、文字说明及分布图，表观缺陷检测结果统计表、基础冲刷和河床断面图等；

g) 对桥梁水下结构的各构件技术状况给出综合评价，并提出有针对性的养护建议。

9.3 检测结果的评定应按照 JTG/T H21、CJJ/T 233 执行。

附录 A

(资料性)

毫米波雷达干涉测量原理

A. 1 声呐技术原理

声呐是利用水中声波对水下目标进行探测、定位和通信的电子设备，是水声学中应用最广泛、最重要的一种装置。声呐是利用声波在水下的传播特性，通过电声转换和信息处理，完成对水下目标或结构物进行探测、定位和通信，通过声呐水下成像技术对水下目标或结构物的位置、形状有无缺陷等进行分析判断，从而实现水下结构物的检测和评定。

声呐系统主要分为被动声呐和主动声呐两类，适用于桥梁结构水下检测的声呐属于主动声呐。主动声呐是指用于探测水下目标，并测定其距离、方位、航速、航向等运动要素的一种设备。它由声呐发射某种探测信号，该信号在水中传播的路径上遇到障碍物或目标反射回来到达发射点被接收，由于目标信息保存在被目标反射回来的回波之中，所以可根据接收到的回波信号来判断目标的参量。主动声呐声波发射、声信号传播及接收处理的流程见图 A. 1

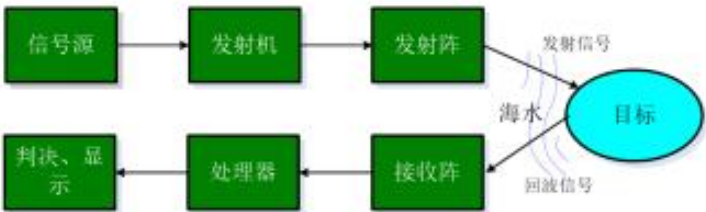


图 A. 1 主动声呐信息流程

A. 2 声呐检测设备

声呐检测设备从类型上属于主动声呐，声呐设备主要组成包括信号源、发射装置、收发换能器以及数据处理系统组成(见图 A. 2), 声呐检测设备由信号源生成脉冲信号，经发射装置发生声波，传播至探测目标被反射，然后再传回接收器，主动声呐的发射器和接收器位置相同，即收发合置主动声呐，其声呐方程表述如下式 (A. 1)。

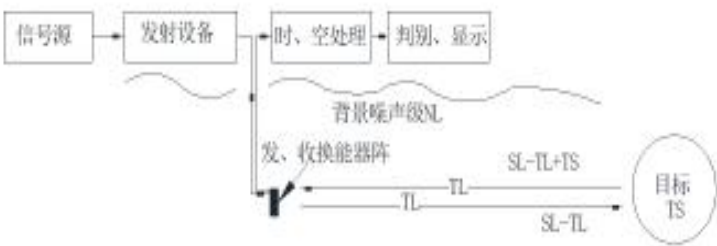


图 A. 2 声呐检测设备组成及信号传播

$$(SL - 2TL + TS) - (NL - DI) = DT \quad (A. 1)$$

上式中：SL—主动声呐声源级，参考声压为 $1\ \mu\text{Pa}$ 时距离声源中心 1m 处的声源级，单位 dB。

TL—传播损失，描述声波传播一定距离后声强度的衰减变化。

—目标强度，指一个目标反射回声的能力。

—环境噪声级，指各种各样的噪声源发出的声波构成的，它是声呐设备的一种背景干扰。

—检测阈，接收带宽内的信号功率与工作带宽内（或 1Hz 带宽内）的噪声功率之比（信噪比）。

—指向性指数，无指向性水听器产生的噪声功率与指向性水听器产生的噪声功率的比值，然后取以 10 为底的对数后的数值，单位为 dB。

参考文献

- [1] 李庆武, 霍冠英, 周妍. 声呐图像处理[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [2] 丁峰, 李响, 向文豪, 王劲涛, 朱尚清. 海洋无人平台技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2023.