

T

ICS 93.080.30

CCS P 66

团体标准

T/CWDPA XXX—2026

公路桥梁水下桩基施工无损检测技术规范

Technical specifications for non-destructive testing of underwater pile
foundations in highway bridges
(征求意见稿)

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国西部开发促进会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体检测要求 2

 4.1 检测单位与人员 2

 4.2 仪器设备 2

 4.3 检测方案编制 2

5 施工预埋配套防护 2

 5.1 一般要求 3

 5.2 声测管选型 3

 5.3 接头防水与防护 3

 5.4 防泥沙堵塞 3

6 水下超声透射检测 3

 6.1 一般要求 3

 6.2 换能器水密等级 3

 6.3 耦合介质 3

 6.4 测点间距 3

 6.5 水流降噪 4

 6.6 超长深水桩检测 4

 6.7 缺陷判别 4

7 水下声呐与 ROV 机器人检测 4

 7.1 一般要求 4

 7.2 水下声呐检测 4

 7.3 ROV 机器人检测 4

 7.4 基底沉渣检测 5

8 水上低应变辅助检测 5

 8.1 一般要求 5

 8.2 作业平台 5

 8.3 水体振动干扰消除 5

 8.4 深部缺陷复核 5

9 多手段联合检测流程 5

 9.1 一般要求 5

 9.2 普查+精准复核组合方案 5

 9.3 缺陷双重验证 5

 9.4 异常桩复测 6

10 水环境数据修正 6

- 10.1 一般要求 6
- 10.2 潮汐水位修正 6
- 10.3 水流速度修正 6
- 10.4 水压对检测信号的影响 6
- 10.5 淤泥覆盖对声呐成像的影响 6
- 11 水下桩基缺陷分级判定 6
 - 11.1 一般要求 6
 - 11.2 缺陷等级划分 6
 - 11.3 各类缺陷的分级判定 7
- 12 检测数据归档与验收报告 7
 - 12.1 一般要求 7
 - 12.2 水下影像与波形数据归档 7
 - 12.3 三维成像存储 7
 - 12.4 验收报告编制 7

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。

本文件由宁波骏辉建设有限公司提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

公路桥梁水下桩基施工无损检测技术规范

1 范围

本文件规定了公路桥梁水下桩基施工无损检测的总体检测要求、施工预埋配套防护、水下超声透射检测、水下声呐与ROV机器人检测、水上低应变辅助检测、多手段联合检测流程、水环境数据修正、水下桩基缺陷分级判定及检测数据归档与验收报告的技术要求。

本文件适用于公路跨江、跨湖、跨海桥梁水下钢筋混凝土灌注桩、钢管复合桩施工阶段桩身完整性、基底沉渣、桩身空洞缺陷的无损检测。

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 12604.1 无损检测 术语 超声检测
JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
JTG/T 3512 公路工程基桩检测技术规程

3 术语和定义

JTG/T 3512、GB/T 12604.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水下桩基 **underwater pile foundation**

位于水面以下、常年或季节性处于水体淹没状态的桥梁桩基础，包括水下钢筋混凝土灌注桩和钢管复合桩。

3.2

水下声波透射法 **underwater sonic transmission method**

在预埋于水下桩基中的声测管内注水耦合，将超声换能器下放至预定深度，通过测量声波在桩身混凝土中的传播参数，检测桩身完整性的无损检测方法。

3.3

水密换能器 **watertight transducer**

能够在水下一定深度环境中保持密封性能、防止水渗入内部并正常工作发射和接收声波信号的超声换能器。

3.4

多波束水下声呐 **multi-beam underwater sonar**

通过发射多波束声波信号并接收回波，对水下桩基外壁及周边环境进行扫描成像，识别桩身外壁冲刷、露筋、空洞、基底沉渣等缺陷的无损检测方法。

3.5

ROV水下机器人 **remotely operated vehicle**

通过缆绳与水面控制平台连接，搭载声呐、摄像头、成像设备等检测载荷，可在水下实施桩基外壁扫测和影像采集的无人遥控潜水器。

3.6

水流噪声修正 **water flow noise correction**

在水流速度大于一定阈值的检测环境中，对检测信号中因水流扰动产生的干扰噪声进行识别和抑制的处理过程。

3.7

基底沉渣 bottom sediment

水下桩基成孔后，孔底残留的碎屑、泥浆沉淀物等非混凝土物质，其厚度是评定桩端承载力的重要指标。

3.8

桩身完整性类别 pile integrity category

根据桩身结构完整性检测结果，将桩基划分为完整桩、基本完整桩、存在明显缺陷桩、存在严重缺陷桩的等级分类。

4 总体检测要求

4.1 检测单位与人员

4.1.1 从事公路桥梁水下桩基施工无损检测的检测机构应具备相应的检测资质，检测能力应覆盖水下桩基检测所申报的参数。

4.1.2 水下无损检测人员应持有相应检测方法、相应级别的资格证书，并在有效期内。从事水下超声透射检测的人员应持有超声检测资格证书。从事水下声呐与 ROV 检测的人员应经过水下检测专项培训并考核合格。

4.1.3 检测报告审核人员应具有中级及以上技术职称，签发人员应具有高级及以上技术职称。从事水下检测的人员应具备相应的潜水作业资质。

4.2 仪器设备

4.2.1 水下检测用仪器设备应经计量检定或校准合格，并在有效期内使用。仪器设备的检定或校准周期应不超过十二个月。

4.2.2 水下超声换能器应进行水压密封性测试和水下声学参数标定。水压密封测试压力应不低于该设备预期工作水深对应压力的 1.2 倍。

4.2.3 声呐设备、ROV 水下机器人在每次检测前应在已知尺寸的标定靶上进行系统校准，校准结果应记录在案。

4.2.4 仪器设备在运输和储存过程中应做好防震、防潮、防盐雾腐蚀措施。发现设备异常时，应立即停止使用并进行检修。

4.3 检测方案编制

4.3.1 检测实施前应编制水下桩基无损检测专项方案，方案内容应包括下列内容：

- a) 工程概况和水文地质条件；
- b) 检测范围和检测项目；
- c) 检测方法选择和测线测点布置；
- d) 仪器设备配置及水密封性能验证记录；
- e) 水下作业条件和安全措施；
- f) 水环境数据修正方法和缺陷判定标准；
- g) 检测进度和人员安排；
- h) 应急预案。

4.3.2 检测方案编制前应收集工程水文资料、桩基设计图纸、地质勘察报告、施工记录和声测管预埋资料，充分了解水域工况条件。

4.3.3 检测方案的选用应根据水深、水流速度、水质透明度、桩基类型、桩径桩长等现场条件综合确定，应优先采用超声透射法进行普查，对水下外壁缺陷辅以声呐或 ROV 检测。

4.3.4 检测方案应经技术负责人审批后实施，方案变更应重新审批。

5 施工预埋配套防护

5.1 一般要求

5.1.1 水下桩基施工阶段应预埋声测管，作为后期超声透射法检测的通道。声测管的预埋应在钢筋笼制作阶段同步安装，并应符合 JTG/T 3650 的相关规定。

5.1.2 声测管的数量和布置应符合下列规定：

- a) 桩径小于或等于 1.5m 的灌注桩，应埋设不少于三根声测管；
- b) 桩径大于 1.5m 的灌注桩，应埋设不少于四根声测管；
- c) 声测管应沿钢筋笼内侧均匀对称布置，管间夹角应均匀。

5.2 声测管选型

5.2.1 声测管宜选用钢管，内径应不小于 50mm，壁厚应不小于 2.5mm。

5.2.2 声测管的接头应采用螺纹连接或套管焊接方式，接头处应保证内壁平滑，不应存在台阶或毛刺。

5.2.3 声测管底部应设置密封端板，顶部应设置可开启式密封盖。

5.3 接头防水与防护

5.3.1 声测管接头连接完成后应进行水密性试验。试验压力应不低于该桩位处最大水压的 1.2 倍，保压时间应不少于五分钟，无渗漏为合格。

5.3.2 声测管在混凝土浇筑前应进行通水试验，确保管内畅通无堵塞。

5.3.3 声测管顶部应高出施工水面不少于 0.5m，并设置防护罩防止异物落入。

5.3.4 水下桩基混凝土浇筑完成后，应在声测管内注满清水，管口用密封盖封堵，防止泥沙侵入。

5.4 防泥沙堵塞

5.4.1 声测管使用前应采用高压水或压缩空气进行清孔疏通。疏通完成后应再次进行通水试验。

5.4.2 长期未进行检测的声测管，在检测前应先进行清孔疏通，确认管内畅通后方可下放检测设备。

6 水下超声透射检测

6.1 一般要求

6.1.1 水下超声透射检测应在混凝土龄期达到十四天以上后进行。检测前应确认声测管内注满清水。

6.1.2 检测应覆盖桩身全截面和全桩长。声测管各剖面均应采集有效声波数据。

6.2 换能器水密等级

6.2.1 水下超声换能器的水密等级应根据检测水深选择。各水深条件下换能器水密等级应符合下列规定：

- a) 水深小于 20m 时，换能器水密等级应不低于 IP68；
- b) 水深 20m 至 50m 时，换能器水密等级应不低于 IP69；
- c) 水深大于 50m 时，换能器应采用深水专用密封结构并经过专项水压试验验证。

6.2.2 换能器使用前应进行水密性检查，确认密封件完好、无渗漏。

6.3 耦合介质

6.3.1 水下超声检测应采用清水作为耦合介质。声测管内应注满清水，水面应高于检测最高测点不少于 0.5m。

6.3.2 水质透明度应满足换能器正常工作的要求。水中悬浮物浓度过高时，应更换清水后再行检测。

6.4 测点间距

6.4.1 水下超声透射检测的测点间距应符合下列规定：

- a) 桩身上部及声测管接头部位，测点间距应不大于 0.2m；
- b) 桩身中部常规检测区域，测点间距宜为 0.2m 至 0.5m；
- c) 桩底以上 2m 范围内，测点间距应不大于 0.2m。

6.4.2 检测发现可疑缺陷区域时，应在该区域加密测点，加密测点间距应不大于 0.1m。

6.5 水流降噪

- 6.5.1 水流速度大于 0.5m/s 时,检测信号应进行水流噪声修正。水流噪声修正方法见本文件第 10 章。
- 6.5.2 水流速度大于 1.5m/s 时,应采取以下一种或多种水流降噪措施:
- a) 在检测区域设置临时导流装置,降低检测点局部水流速度;
 - b) 采用具有水流噪声抑制功能的信号采集设备;
 - c) 选择水流速度较小时段进行检测。
- 6.5.3 水流噪声修正后的检测数据应进行有效性验证。验证方法包括重复测量比对和测线间交叉验证。

6.6 超长深水桩检测

- 6.6.1 超长深水桩(桩长大于 80m)的检测参数应按下列规定执行:
- a) 换能器发射能量应满足深水信号衰减后的信噪比要求;
 - b) 采样频率应不低于 1MHz;
 - c) 系统增益应能补偿深水信号衰减,确保有效信号幅值不小于满量程的 20%。
- 6.6.2 超长深水桩检测宜增加辅助测线,每根桩的检测剖面不应少于六条。

6.7 缺陷判别

- 6.7.1 各测点的声速、波幅、主频、波形等声参量应在检测成果中完整记录。
- 6.7.2 出现下列异常特征之一时,应标记为疑似缺陷区域:
- a) 声速实测值低于设计值下限,且相对偏差超过 5%;
 - b) 波幅实测值相对正常区域衰减超过 6dB;
 - c) 接收信号主频明显下移,频差超过正常值 10%;
 - d) 接收波形出现畸变、分裂或严重衰减。

7 水下声呐与 ROV 机器人检测

7.1 一般要求

- 7.1.1 水下声呐与 ROV 机器人检测适用于对水下桩基外壁冲刷、露筋、空洞、基底沉渣等缺陷的识别与评定。
- 7.1.2 检测应在水质透明度满足声呐和光学设备正常工作要求的条件下进行。透明度不足时,应优先采用声呐成像方式。

7.2 水下声呐检测

- 7.2.1 多波束水下声呐的扫测布设应符合下列规定:
- a) 扫测覆盖范围应覆盖桩基外壁 360° 全周;
 - b) 测线间距应不大于 0.1m,纵向覆盖应从泥面以上 1m 至桩顶以下 0.5m;
 - c) 声呐频率宜选用 300kHz 至 900kHz,根据水深和探测分辨率要求综合确定。
- 7.2.2 声呐图像的解译应按下列规则执行:
- a) 图像中出现明显凹陷、崩塌信号缺失区域时,应标记为冲刷或空洞可疑区域;
 - b) 图像中出现高强度异常反射信号且与周围存在显著梯度差异时,应标记为露筋可疑区域;
 - c) 桩底周围出现连续高反射信号堆积体时,应标记为基底沉渣可疑区域。
- 7.2.3 声呐检测发现的可疑区域应采用 ROV 搭载高清摄像头进行影像复核。

7.3 ROV 机器人检测

- 7.3.1 ROV 水下机器人的搭载设备应至少包括下列一种或多种:
- a) 高清光学摄像头;
 - b) 多波束成像声呐;
 - c) 三维激光扫描仪。
- 7.3.2 ROV 的检测轨迹应覆盖桩基外壁全周。检测过程中应保持与桩基外壁的固定距离,偏差应不超过 0.1m。

7.3.3 ROV 检测的视频和影像资料应完整记录。影像资料应包含检测桩位标识、水深标注和检测时间水印。

7.3.4 桩身外壁缺陷的尺寸量测应基于标定比例尺进行，量测误差应不超过 5%。

7.4 基底沉渣检测

7.4.1 基底沉渣厚度应采用声呐成像或 ROV 搭载测厚仪检测。

7.4.2 基底沉渣厚度测量应符合下列规定：

- a) 每个桩基的沉渣厚度测量点应不少于四个，均匀分布于桩底圆周；
- b) 各测点沉渣厚度取算术平均值作为该桩的沉渣厚度代表值；
- c) 沉渣厚度超过设计值或大于 50mm 时，应判定为不合格。

8 水上低应变辅助检测

8.1 一般要求

8.1.1 水上低应变辅助检测适用于对水下超声透射检测发现的桩身深部缺陷进行复核验证。

8.1.2 水上低应变检测应在水上作业平台上实施。作业平台应稳定可靠，振动频率不应干扰检测信号。

8.2 作业平台

8.2.1 水上低应变检测的作业平台可采用工作船或临时搭设的浮动平台。

8.2.2 作业平台与桩基之间的相对位移应控制在 5mm 以内。水流速度大于 1.0m/s 时，应采用抛锚固定或桩基抱箍固定的方式稳定平台。

8.3 水体振动干扰消除

8.3.1 检测前应关闭平台上所有运行设备，降低机械振动对检测信号的干扰。

8.3.2 传感器与桩顶之间的耦合应可靠，耦合剂应选用水下专用耦合材料。

8.3.3 低应变波形采集时，应至少采集三条有效波形曲线。波形曲线中因水体振动干扰产生的噪声信号应明显小于有效信号，有效信号幅值应不小于噪声信号幅值的三倍。

8.4 深部缺陷复核

8.4.1 低应变检测对超声透射法判定为 III 类或 IV 类的桩基进行复核时，应重点分析桩身下部信号特征，并记录。

8.4.2 低应变波形中出现明显的反射波信号，且该反射波位置与超声透射法判定的缺陷位置一致时，应确认缺陷存在。

8.4.3 低应变检测无法有效获取桩底反射信号时，应采用钻芯法进行最终验证。

9 多手段联合检测流程

9.1 一般要求

9.1.1 水下桩基无损检测应采用先普查后精准复核的联合检测模式，先采用水下超声透射法进行桩身内部缺陷普查，再采用声呐或 ROV 进行水下外壁复核。

9.1.2 多手段联合检测的方案应在检测方案中明确，包括各方法的检测顺序、测线布置和相互验证要求。

9.2 普查+精准复核组合方案

9.2.1 水下超声透射法作为普查手段，应覆盖全部待检桩基。

9.2.2 水下超声透射法判定为 I 类完整桩时，可不进行后续的声呐或 ROV 外壁检测。

9.2.3 水下超声透射法判定为 II 类、III 类或 IV 类桩，以及存在外壁冲刷、露筋等可见风险时，应采用声呐或 ROV 进行精准复核检测。

9.3 缺陷双重验证

- 9.3.1 采用两种及以上检测方法均判定存在缺陷时，应确认缺陷存在，并按最严重判定结果确定缺陷等级。
- 9.3.2 两种检测方法的判定结果不一致时，应以精度更高或更直接的检测方法为准。判定的优先顺序为：钻芯验证法优于超声透射法，超声透射法优于低应变法。

9.4 异常桩复测

- 9.4.1 判定为存在Ⅲ级或Ⅳ级缺陷的桩基，应在七天内进行复测，确认缺陷的存在和范围。
- 9.4.2 复测应采用与首次检测相同的方法，并加密测点进行详细检测。
- 9.4.3 复测结果与首次检测结果一致时，缺陷判定结论应维持不变；复测结果与首次检测结果不一致时，应重新进行综合判定。

10 水环境数据修正

10.1 一般要求

- 10.1.1 水下检测数据应根据水深、水温、水流速度、泥沙含量等水环境参数进行修正。
- 10.1.2 修正计算应采用实测的水环境参数，不得采用估算值。

10.2 潮汐水位修正

- 10.2.1 潮汐区域水下检测应在低潮位或高潮位稳定后进行。
- 10.2.2 检测成果中应标注检测时的水位标高。
- 10.2.3 水位变化超过 0.5m 时，测点深度应根据实际水位进行修正。

10.3 水流速度修正

水流速度大于0.3m/s时，应对水下超声检测的声时测量值进行水流速度修正。

10.4 水压对检测信号的影响

- 10.4.1 水深大于 30m 时，应对水压引起的换能器灵敏度变化进行修正。
- 10.4.2 水压修正系数应通过标定试验确定，标定压力应覆盖检测区域的水压范围。

10.5 淤泥覆盖对声呐成像的影响

- 10.5.1 桩基表面存在淤泥覆盖时，声呐成像信号强度应进行衰减修正。
- 10.5.2 淤泥覆盖厚度大于 0.5m 时，应优先采用 ROV 搭载接触式探头进行检测。

11 水下桩基缺陷分级判定

11.1 一般要求

- 11.1.1 水下桩基缺陷应按其对桩基结构安全的影响程度进行分级判定。
- 11.1.2 缺陷分级应依据检测数据、设计要求和相关标准综合确定。

11.2 缺陷等级划分

- 11.2.1 水下桩基缺陷等级应按表 1 的规定划分。

表 1 水下桩基缺陷等级划分

等级	名称	判定标准	处置建议
I 级	轻微缺陷	缺陷轻微，不影响桩基结构承载力	正常使用，可不予处理
II 级	一般缺陷	存在缺陷但不影响桩基安全性，对耐久性有影响	应加强监测
III 级	严重缺陷	缺陷明显，对桩基承载力有潜在影响	应制定处理方案

等级	名称	判定标准	处置建议
Ⅳ级	危急缺陷	缺陷严重，已影响桩基结构安全	应立即停工，组织专项评估

11.3 各类缺陷的分级判定

11.3.1 水下桩基超声透射法检测缺陷的分级判定应符合表 2 的规定。

表 2 超声透射法缺陷分级判定

缺陷类型	I 级（轻微）	Ⅱ级（一般）	Ⅲ级（严重）	Ⅳ级（危急）
桩身完整性类别	I 类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类
声速相对偏差	≤3%	3%~5%	5%~10%	>10%
波幅衰减	≤3dB	3dB~6dB	6dB~10dB	>10dB

11.3.2 水下桩基声呐与 ROV 检测缺陷的分级判定应符合表 3 的规定。

表 3 声呐与 ROV 检测缺陷分级判定

缺陷类型	I 级（轻微）	Ⅱ级（一般）	Ⅲ级（严重）	Ⅳ级（危急）
冲刷深度	≤0.1m	0.1m~0.3m	0.3m~0.5m	>0.5m
空洞尺寸	无空洞	直径≤0.1m	直径0.1m~0.3m	直径>0.3m
基底沉渣厚度	≤设计值	设计值~50mm	50mm~80mm	>80mm

12 检测数据归档与验收报告

12.1 一般要求

12.1.1 水下桩基检测数据应以数字化形式保存和管理，确保各环节数据的完整性、可追溯性和长期可用性。

12.1.2 检测数据应包括原始数据、处理数据、分析结果和检测报告等全部内容。

12.2 水下影像与波形数据归档

12.2.1 水下超声透射检测的波形数据应完整保存。波形数据应包含测点编号、测点深度、声时、声速、波幅、主频等全部参数。

12.2.2 水下声呐与 ROV 检测的影像资料应保存原始视频文件和解译后的成像文件。影像资料应包含检测日期、桩位编号和水深标注。

12.2.3 影像和波形数据的保存格式应采用通用格式，确保在不同平台上可正常读取。

12.3 三维成像存储

12.3.1 水下桩基外壁声呐检测数据宜生成三维成像模型。三维模型应清晰展示桩基外壁的冲刷、空洞、露筋等缺陷的分布和尺寸。

12.3.2 三维成像数据的存储应采用通用三维数据格式，并附带读取和使用说明。

12.4 验收报告编制

12.4.1 水下桩基检测验收报告应包含下列内容：

- a) 工程概况：工程名称、地点、水文条件、桩基设计参数；
- b) 检测依据：检测方案、相关标准和规范；
- c) 检测项目及方法：各桩基的检测方法、仪器设备及水密封性能验证记录；
- d) 检测结果：各桩基的实测数据、波形图谱、声呐图像和分析结论；
- e) 水环境修正说明：潮汐水位、水流速度、水压、淤泥覆盖等修正参数和计算结果；
- f) 缺陷判定：缺陷类型、等级、位置、尺寸及对桩基安全的影响评价；

- g) 处置建议：针对不同等级缺陷的处置建议；
 - h) 附件：检测方案、原始数据、影像资料、校准证书等。
- 12.4.2 验收报告应由检测单位盖章、技术负责人签字后生效。
-