

公路桥梁基桩桩底岩溶检测技术规程

2023 - 12 - 04 发布

2024 - 04 - 05 实施

目 次

前言 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

5 声呐法 3

6 地质雷达法 5

7 超高密度电法 6

8 钻探法 7

附录 A（规范性） 岩溶发育程度表..... 9

附录 B（资料性） 常见岩土主要物性参数..... 10

附录 C（资料性） 公路桥梁基桩桩底岩溶声呐法检测现场记录表..... 11

附录 D（资料性） 公路桥梁基桩桩底岩溶地质雷达法检测现场记录表..... 12

附录 E（资料性） 公路桥梁基桩桩底岩溶超高密度电法检测现场记录表..... 13

附录 F（资料性） 公路桥梁基桩桩底岩溶超前钻法检测现场记录表..... 14

附录 G（资料性） 公路桥梁基桩桩底岩溶钻芯法检测现场记录表..... 15

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。

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对标准的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：山西省交通建设工程质量检测中心（有限公司）、山西省交通规划勘察设计院有限公司、中国铁建大桥工程局集团有限公司。

本文件主要起草人：赵文溥、刘新文、韩之江、武军、张东光、崔晋春、张洪斌、薛传顺、杨朝晖、郭华、赵昀昀、彭小庆、傅莉、王望春、张利民、董博、陈栋栋、侯伟、丁宇超。

公路桥梁基桩桩底岩溶检测技术规程

1 范围

本文件规定了公路桥梁基桩桩底岩溶检测的术语和定义、基本规定以及各种检测方法的适用范围、检测仪器与设备、现场检测、检测数据分析与判定等内容。

本文件适用于公路桥梁基桩桩底岩溶检测。

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 50021 岩土工程勘察规范
- JTG C20 公路工程地质勘察规范
- JTG/T 3222 公路工程物探规程
- JTG/T 3512 公路工程基桩检测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

岩溶

岩溶（又称喀斯特）是可溶性岩石在流水的溶蚀作用下，产生的各种地质作用、形态和现象的总称。

3.2

声呐法

在桩底泥浆或水中利用声呐探测设备发射弹性波，遇到基桩底部一定深度范围内的溶洞、溶蚀裂隙等不良地质体时，产生反射回波，根据反射回波特性分析桩底不良地质体的检测方法。

3.3

地质雷达法

根据电磁波在有耗介质中的传播特性，以宽频带短脉冲的形式向介质内发射高频电磁波，部分电磁波遇到不均匀体（界面）时发生反射，通过对反射信号分析处理和图像解译，达到识别不良地质体的检测方法。

3.4

超高密度电法

采用现有高密度电法所有四极组合装置的测量方式，一次性采集数据，利用反演技术形成视电阻率剖面图，用于分析和解释不良地质体的检测方法。

3.5

钻探法

通过钻探取芯,判别岩土性状、岩溶的检测方法,包括超前钻法和钻芯法。超前钻法为桩孔施工前在地表钻芯取样的方法。钻芯法为桩孔施工至设计标高后钻取孔底芯样的方法。

3.6

大直径灌注桩

桩身直径大于等于800mm的灌注桩。

4 基本规定

4.1 检测方法

本文件所涉及的检测方法包括声呐法、地质雷达法、超高密度电法、钻探法。检测方法应根据其适用条件选择。

4.2 检测仪器设备

4.2.1 检测仪器设备的计量器具应定期进行检定或校准。

4.2.2 检测仪器设备在使用前应进行检查、调试,确认状态正常。

4.3 检测情形及时机

4.3.1 按照公路桥梁设计要求进行检测。

4.3.2 当公路桥梁基桩有下列情况之一,宜全部进行检测:

——现存资料显示桥址区或其附近存在影响桥梁安全的岩溶。

——基桩施工过程中发现岩溶。

4.3.3 声呐法、地质雷达法、超高密度电法、钻芯法检测宜在成孔后48小时内进行;超前钻法检测在桩孔施工前进行。

4.4 检测工作程序与要求

4.4.1 收集相关的勘察设计文件及施工记录等资料。

4.4.2 充分了解检测项目现场情况,选择合理的检测方法并编制检测方案。

4.4.3 现场检测工作应依据检测方案进行实施。

4.4.4 对检测数据进行分析 and 结果评判,出具检测报告。

4.4.5 检测工作应按图1的流程进行。

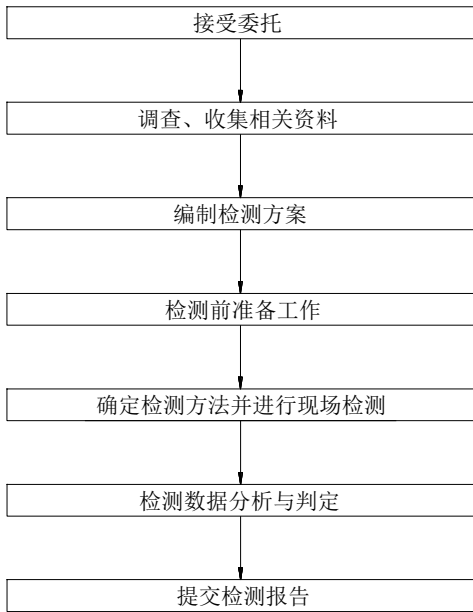


图1 检测工作流程图

4.5 基桩桩底岩溶类别

基桩桩底岩溶类别判定见表2。

表1 基桩桩底岩溶类别

桩底岩溶类别	特征描述
I	基岩完整，无岩溶现象。
II	基岩节理裂隙发育，基本无岩溶现象。
III	基岩节理裂隙非常发育，有明显岩溶溶蚀。
IV	有严重岩溶溶蚀或存在溶洞。

4.6 检测报告内容与要求

4.6.1 检测报告应结论明确，用词规范。

4.6.2 检测报告应包括下列内容：

- 委托方名称，工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理及施工单位，设计相关要求及成孔日期。
- 桥址工程地质概况。
- 被检桩的桩位图、桩号、桩型、截面尺寸、桩长。
- 检测目的、依据、数量、方法、仪器设备、日期、过程描述。
- 被检桩的检测数据，现场检测影像资料，实测与反演的曲线（图件）、表格和汇总结果。
- 检测结论与建议。

5 声呐法

5.1 适用条件

本方法适用于桩孔底部有高度不少于20cm水或泥浆的大直径灌注桩桩底岩溶检测。

5.2 检测仪器与设备

5.2.1 检测仪器设备应包括信号发射采集处理装置、水下超磁同步震源、高频检波器、连接线及专用附件等。

5.2.2 检测仪器应符合下列规定：

- 水下超磁同步震源频率 3kHz-4kHz、瞬时功率 200W-500W。
- 探测深度不小于 10m。
- 数据采集和处理器模/数(A/D)转换器的位数不宜低于 24bit，4 通道或以上同步采集，4 个或以上水声高频检波器。

5.3 现场检测

5.3.1 检测前准备工作应符合下列规定：

- 桩孔孔底的沉渣清理干净，基岩面基本平整。
- 根据现场情况，确认整个检测系统处于正常的工作状态。

5.3.2 检测工作应符合下列规定：

- 当遇到桩底没有泥浆液或水时应灌注不少于 20cm 的水，确保声呐发射器和检波器能与水接触。
- 现场主机通过电缆读取桩底的声呐探测探头的姿态和每一个声呐接收传感器的方位，确保声呐发射器与桩底底面垂直。
- 检测现场记录表宜采用本规程附录 C 格式。

5.4 检测数据分析与判定

5.4.1 将所有探测的声呐接收信号按声呐接收传感器的方位顺序排列生成反射波波列图并进行综合分析，判定桩底下面 10 m 范围内是否存在溶洞。

5.4.2 岩溶类别判定应根据时域或频域曲线的完整性，结合场地的岩土工程特征、成桩工艺、施工记录等，按表 2 综合分析判定。

表2 声呐法检测桩底岩溶类别判定表

桩底岩溶类别	波形特性
I	波形数据频率高，波形规则、衰减正常。
II	部分波形数据频率较高，波形基本规则、衰减较正常，出现较弱的高频反射信号。
III	较多波形数据频率偏低，波形不规则、衰减不正常，出现较强的反射信号。
IV	多数波形畸变，发生强反射波形，或探测波形数据频率较低，波形不规则、衰减不正常，出现较强的低频反射信号，同相轴反射波形错断。

5.4.3 数据分析中出现下列情况时，应结合其他检测方法综合评判：

- 波列信号弱，无法反映基岩特征的。
- 波形畸变严重，无法对孔底基岩情况做出准确判断的。

6 地质雷达法

6.1 适用条件

本方法适用于桩孔深度不宜超过20m的大直径灌注桩，且桩底无积水。

6.2 检测仪器与设备

6.2.1 检测仪器设备应包括主机、电缆和天线等。

6.2.2 检测仪器应符合下列规定：

- 信噪比≥60db，模/数(A/D)转换位数≥16bit，采样间隔≤0.5ns，扫描速率≥128次/s。
- 工作环境温度-10℃至50℃，工作环境相对湿度<90%。
- 天线中心频率选择为100MHz-500MHz。
- 具有信号增益、叠加、实时监测显示及点测和连续测量功能。

6.3 现场检测

6.3.1 正式检测前准备工作：

- 桩底无积水且无金属物。
- 天线与桩底基岩面的耦合良好，地质雷达主机与天线的最小距离应大于5m。
- 通过现场试验确定仪器的主要工作参数，初步确定各电性反射层位与地质层位的对应关系。
- 根据现场试验选择最佳频率的天线，确认整个测试系统工作状态正常。

6.3.2 检测工作应符合下列规定：

- 检测时应确认孔壁稳定、孔内无有害气体，确保人员、设备安全。
- 采用连续采样法进行检测，检测方式为十字交叉法和圆形环绕法。
- 同一桩孔一般至少重复检测3次。
- 对数据资料进行初步分析和解释，及时排除人为、仪器设备和环境造成的各种假异常。
- 对存在异常的桩孔现场进行复测。
- 检测现场记录表宜采用本规程附录D格式。

6.4 检测数据分析与判定

6.4.1 根据探地雷达记录上的地面反射波与反射波的时间差 ΔT ，应按式(1)计算异常埋藏深度 H ：

$$H = V \cdot \Delta T / 2 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- H ——目标层厚度(m)；
- V ——电磁波在地下介质中的传播速度(m/s)，应按式(2)计算。

$$V = C / \sqrt{\epsilon} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- C ——电磁波在大气中的传播速度，宜取值为 3×10^8 m/s；
- ϵ ——相对介电常数。

6.4.2 采用雷达处理分析系统对雷达测试数据进行数据编辑、预处理、标记分割、反演等模块化处理。

6.4.3 岩溶类别判定应根据地质雷达时间剖面波形图像、地质雷达深度剖面波形图像，结合场地的岩土工程特征、成桩工艺、施工记录等，按表3综合分析判定。

表3 地质雷达法检测桩底岩溶类别判定表

桩底岩溶类别	波形特性
I	信号振幅较弱、波形规则、衰减正常，无明显界面反射信号。
II	信号局部振幅增强、部分波形不规则，无明显可追踪同相轴构成的界面反射信号、呈漫反射。大部分信号振幅较弱，波形规则、衰减正常。
III	信号局部振幅增强、波形较杂乱，具有至少一组小规模弧形同相轴构成的界面反射信号。底部反射界面信号基本可见，两组反射界面信号有明显时程差。
IV	信号整体振幅增强、波形整体杂乱局部规则，具有完整可连续追踪的弧形绕射同相轴构成的反射界面信号或横向贯穿整个探测区域的直线型同相轴构成的反射界面信号，界面之下信号衰减快，底部反射界面信号弱或不可见。

6.4.4 数据分析中出现下列情况时，应结合其他检测方法综合评判：

- 因地层渐变或多变，且变化幅度较大的岩层。
- 实测曲线复杂，无规律或呈现低频大振幅衰减振动，无法对其进行准确的分析与评判。

7 超高密度电法

7.1 适用条件

本方法适用于桩孔周边及底部一定范围内的溶洞、溶蚀裂隙、软弱夹层等不良地质体检测，且桩孔内稳定液面深度不小于20m。

7.2 检测仪器与设备

7.2.1 检测仪器设备应包括超高密度电法仪、电极、电极转换器及电缆等。

7.2.2 检测仪器应符合下列规定：

- 输入阻抗应大于 $20\text{M}\Omega$ 。
- 供电端、测量端插头与外档之间的绝缘电阻应大于 $100\text{M}\Omega/500\text{V}$ 。
- 电极宜使用稳定性较好的不锈钢电极或铜电极，电极长度不应小于 30cm、直径不应小于 10mm，电极数量不应少于 28 根。
- 极化补偿范围应小于 500mV。
- 电位差测量最大允许误差不应超过 $\pm 1.0\%$ ，分辨率不应大于 0.01mV。
- 电流测量最大允许误差不应超过 $\pm 1.0\%$ ，分辨率不应大于 0.01mA。
- 对 50Hz 工频干扰抑制不应小于 40dB。

7.3 现场检测

7.3.1 检测前准备工作应符合下列规定：

- 桩孔孔底的沉渣清理干净，基岩面基本平整。
- 电极无杂物附着，应用绝缘胶带包裹电缆和电极连接处。
- 结合测区工程地质资料，检测过程中对数据资料进行初步分析和解释，及时排除人为、仪器设备和环境造成的各种干扰。

7.3.2 检测工作应符合下列规定：

- 同一地电类型的测点应统一进行参数测定。
- 不具备参数测定条件的场地，可根据电测深曲线或电测井资料推求电性参数。
- 当多台仪器在同一场地同时工作时，不同供电单元间的距离不应小于最大供电电极距的 5 倍。
- 电极应与电线连接可靠，安置位置应准确，接地应良好。
- 供电电流应稳定，同一检测条件下两次电流测值的相对误差应小于 1.0%。
- 检测现场记录表宜采用本规程附录 E 格式。
- 按要求做检查观测。

7.3.3 检查观测要求：

- 一个测区或测线的检查观测工作量不应少于该测区或测线总工作量的 5%。
- 检查点宜在全测区范围内均匀分布，异常地段、可疑点、突变点应有检查点。
- 一个测区或测线的检查观测视电阻率均方相对误差大于±5%时，应全部重测。

7.4 检测数据分析与判定

- 7.4.1 对采集得到的数据，通过通讯程序将原始数据传入计算机进行数据转换、深度校正、二维反演等处理后输出二维视电阻率等值线图即完成整个采集与处理全过程。
- 7.4.2 岩溶类别判定应根据等值线图，结合场地的岩土工程特征、成桩工艺、施工记录等，按表 4 综合分析判定。

表4 超高密度电法检测桩底岩溶类别判定表

类别	等值线图特征
I	孔底视电阻率等值线分布均匀，符合完整岩石分布特征。
II	孔底视电阻率等值线分布较均匀，局部出现异常变化。
III	孔底视电阻率等值线分布不均匀，出现明显异常。
IV	孔底视电阻率等值线分布不均匀，出现明显异常且有一定的规模。

- 7.4.3 数据分析中出现下列情况时，应结合其他检测方法综合评判：
- 反演结果视电阻率等值线形态与地质资料所揭示岩性特征不符。
 - 反演结果视电阻率等值线杂乱、无规律，无法对其进行准确的分析与评判。

8 钻探法

8.1 适用条件

- 8.1.1 超前钻法适用于桩孔施工前桩周及桩底岩溶检测。
- 8.1.2 钻芯法适用于桩孔施工完成后桩底岩溶检测。

8.2 检测仪器与设备

- 8.2.1 检测仪器设备应包括钻机、水泵、孔口管、扩孔器、卡簧、扶正稳定器和可捞取松软渣样的钻具等。
- 8.2.2 检测仪器设备应符合下列规定：
- 宜采用液压操纵的钻机，钻取芯样采用单动双管钻具。

——根据地质勘察资料的地层类别选用合适粒度、浓度、胎体硬度的金刚石钻头，且外径不小于100mm。

8.3 现场检测

8.3.1 钻孔位置及深度应符合下列规定：

- 钻孔宜布置在桩孔中心。
- 钻孔深度应比设计桩底标高低 5m-10m。

8.3.2 检测前准备工作应符合下列规定：

- 检测场地平整，孔位上方无高压线、下方无管线。
- 钻机设备安装必须周正、稳固、底座水平。

8.3.3 检测工作应符合下列规定：

- 钻孔时应确保人员、设备安全，钻机操作人员持证上岗。
- 应确保钻机在钻芯过程中不发生倾斜、移位，钻芯孔垂直度偏差 $\leq 0.5\%$ 。
- 按回次顺序记录钻进情况，对芯样进行描述。
- 芯样应装箱保存、拍照。
- 现场工作结束后，应从孔底自下而上用水泥浆回灌封闭。
- 超前钻法检测现场记录表宜采用本规程附录 F 格式，钻芯法检测现场记录表宜采用本规程附录 G 格式。

8.4 检测数据分析与判定

岩溶类别评判应根据实际钻探情况，参考工程地质勘察报告并结合场地的岩土工程特征、成桩工艺、施工记录等，按表5综合分析判定。

表5 岩溶类别判定表

桩底岩溶类别	岩芯特征及钻进异常描述
I	桩底岩芯芯样完整，无溶蚀现象，钻进过程中无漏水现象。
II	桩底岩芯芯样基本完整，钻进过程中存在漏水现象，局部有少量不贯通溶孔。
III	桩底岩芯芯样完整性较差，钻进过程中无掉钻现象且存在严重漏水现象，存在大量溶孔，溶孔有贯通现象，溶孔内存在充填物。
IV	钻进过程中有掉钻、夹泥等现象，存在溶洞。

附 录 A
(规范性)
岩溶发育程度表

等 级	岩溶场地条件
岩溶强发育	地表有较多岩溶塌陷、漏斗、洼地、泉眼 溶沟、溶槽、石芽密布，相邻钻孔间存在临空面且基岩面高差大于5m 地下有暗河、伏流 钻孔见洞隙率大于30%或线岩溶率大于20% 溶槽或串珠状竖向溶洞发育深度达20m以上
岩溶中等发育	介于强发育和微发育之间
岩溶微发育	地表无岩溶塌陷、漏斗 溶沟、溶槽较发育 相邻钻孔间存在临空面且基岩面相对高差小于2m钻孔见洞隙率小于10%或线岩溶率小于5%

附 录 B
(资料性)
常见岩土主要物性参数

名称		密度 ρ (g/cm^3)	电阻率 ($\Omega\cdot\text{m}$)	相对介电常数 ϵ
第四系松散层	黏土	1.75~2.10	$1\times 10^0\sim 2\times 10^2$	8~12
	粉土	1.95~2.10	$1\times 10^0\sim 1\times 10^2$	—
	软土、淤泥	—	$2\times 10^{-1}\sim 1\times 10$	15~50
	湿砂、卵石	1.7~2.5	$1\times 10^2\sim 8\times 10^2$	—
	干砂、卵石	1.7~2.4	$3\times 10^2\sim 6\times 10^3$	2~6
	砾石	—	$10^2\sim 10^3$	—
沉积岩	页岩	1.80~2.70	$6\times 10\sim 1\times 10^3$	7
	砂岩	1.20~2.70	$1\times 10\sim 1\times 10^3$	9~11
	泥岩	1.20~2.40	$1\times 10\sim 1\times 10^2$	15~20
	砾岩	2.20~3.10	$1\times 10\sim 1\times 10^4$	—
	灰岩	2.60~3.10	$6\times 10^2\sim 6\times 10^3$	7~8
	泥灰岩	2.30~2.50	$1\times 10^0\sim 1\times 10^2$	—
	白云岩	2.60~3.10	$5\times 10^1\sim 6\times 10^3$	8
	煤	1.10~1.30	$1\times 10^3\sim 1\times 10^7$	—
	岩盐	—	$1\times 10^4\sim 1\times 10^6$	6
变质岩	片岩	2.68~2.92	$2\times 10^2\sim 5\times 10^4$	—
	片麻岩	2.65~2.79	$6\times 10^2\sim 1\times 10^4$	8.5
	石英岩	2.65~2.75	$2\times 10^2\sim 1\times 10^5$	—
	板岩	2.31~2.75	$1\times 10\sim 1\times 10^2$	—
	大理岩	2.68~2.72	$1\times 10^2\sim 1\times 10^5$	6
岩浆岩	花岗岩	2.63~3.30	$6\times 10^2\sim 1\times 10^5$	5~7
	闪长岩	2.50~3.30	$1\times 10^2\sim 1\times 10^5$	5~7
	玄武岩	2.70~3.30	$5\times 10^1\sim 1\times 10^5$	8
	辉绿岩	2.70~2.90	$1\times 10^2\sim 1\times 10^5$	—
其 他	地下水	1.0	$<10^2$	—
	河水	1.0	$<10^2$	—
	海水	—	$1\times 10^{-1}\sim 1\times 10^1$	81
	冰层	0.8~0.9	$1\times 10^4\sim 1\times 10^8$	6~8
	混凝土	2.40~2.50	—	6~8

附录 C
(资料性)
公路桥梁基桩桩底岩溶声呐法检测现场记录表

检测单位：记录编号：第 页 共 页

工程名称					施工单位		
委托单位					检测日期		
设备名称及编号					检测依据		
基桩编号	成孔日期	桩长(m)	桩径(m)	孔底岩性情况	孔内泥浆情况	文件名	备注
检测方位示意图							
备注							

记录：复核：施工单位：监理单位：

附 录 D
(资料性)
公路桥梁基桩桩底岩溶地质雷达法检测现场记录表

检测单位：记录编号：第 页 共 页

工程名称						施工单位			
委托单位						检测日期			
设备名称及编号						检测依据			
基桩编号	成孔日期	桩长(m)	桩径(m)	孔深(m)	天线频率(MHz)	孔底岩性情况	孔内情况	文件名	备注
检测方位示意图									
备 注									

记录：复核：施工单位：监理单位：

附 录 E
(资料性)
公路桥梁基桩桩底岩溶超高密度电法检测现场记录表

检测单位：记录编号：第 页 共 页

工程名称					施工单位			
委托单位					检测日期			
设备名称 及编号					检测依据			
基桩编号	成孔 日期	桩长 (m)	桩径 (m)	电极数量 (个)	孔底岩性 情况	孔内 情况	文件名	备注
检测方位 示意图								
备 注								

记录：复核：施工单位：监理单位：

附 录 F
(资料性)
公路桥梁基桩桩底岩溶超前钻法检测现场记录表

检测单位：记录编号：第 页 共 页

工程名称		施工单位					
委托单位		检测日期					
桩号		设备名称 及编号					
孔位坐标 (m)		孔口高程 (m)					
桩长 (m)		桩径 (m)					
检测依据							
层次		地 质 描 述		采取样品			
起	止	(名称、颜色、结构、状态、湿度、密度、风化程度、颗粒成分及含量)		编号	野外 定名	样深 (m)	结构
检测方位 示意图							
备 注							

记录：复核：施工单位：监理单位：

附 录 G
(资料性)
公路桥梁基桩桩底岩溶钻芯法检测现场记录表

检测单位：记录编号：第 页 共 页

工程名称			施工单位			
委托单位			成孔日期			
检测依据			检测日期			
桩号			设备名称 及编号			
孔位坐标 (m)			孔口高程 (m)			
桩长 (m)			桩径 (m)			
层次		地 质 描 述 (名称、颜色、结构、状态、湿度、密度、 风化程度、颗粒成分及含量)		采取样品		
起	止			编号	野外 定名	样深 (m)
检测方位 示意图						
备 注						

记录：复核：施工单位：监理单位：