ICSXX.XXX SL

P XX

**中华人民共和国水利行业标准**

SL 436-20XX

替代SL 436—2008

**堤防隐患探测规程**

**Specification of exploration for dike hidden trouble**

**(征求意见稿)**

请将你们发现的有关专利的内容

和支持性文件随意见一并返回

**20XX-xx-xx发布 20XX-xx-xx实施**

**xxxxxxxxxx 发布**

前 言

根据水利部水利技术标准制修订计划安排，按照SL1-2014《水利技术标准编写规定》的要求，编制本标准。

本标准共13章和2个附录，主要技术内容包括：总则，术语、符号、代号，基本规定，电法，电磁法，探地雷达法，拟流场法，弹性波法，水下探测方法，温度场法，同位素示踪法，钻孔全景光学成像法，锥探法。

本规范修订的主要技术内容是：

—增加了激发极化法，磁电阻率法

—增加了二维、三维电阻率成像方法；

—增加了探地雷达孔内探测和三维探测方法；

—增加了水下探测方法技术；

—调整了温度场法、同位素示踪法的部分内容；

—增加了钻孔全景光学成像法、锥探法。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部运行管理司

本标准解释单位：水利部运行管理司

本标准主编单位：黄河水利委员会黄河水利科学研究院

本标准参编单位：黄河水利委员会黄河水利科学研究院

中国水利水电科学研究院

郑州大学

中水北方勘测设计研究有限责任公司

水利部运行管理司

河海大学

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

黄河勘测规划设计研究院有限公司

中南大学

上海遨拓深水装备技术开发有限公司

湖南继善高科技有限公司

本标准出版、发行单位：

本标准主要起草人：冷元宝 王 锐 姚成林 王运生 刘康和

曹 伟 陈 红 肖长安 马若龙 李长征

周 杨 张清明 李姝昱 李延卓 杨 磊

李帝铨 沈 勤

本标准技术内容审查人：

本标准体例格式审查人：

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条2号；邮政编码：100053；电话：010-63204533；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

**目 录**

**[1](#_Toc62463246)** [总则 1](#_Toc62463246)

**[2](#_Toc62463247)** [术语、符号、代号 2](#_Toc62463247)

**[2.1](#_Toc62463248)** [术语 2](#_Toc62463248)

**[2.2](#_Toc62463249)** [符号、代号 4](#_Toc62463249)

**[3](#_Toc62463250)** [基本规定 6](#_Toc62463250)

**[3.1](#_Toc62463251)** [探测对象、方法及要求 6](#_Toc62463251)

**[3.2](#_Toc62463252)** [外业工作 6](#_Toc62463252)

**[3.3](#_Toc62463253)** [资料解释与验证 8](#_Toc62463253)

**[3.4](#_Toc62463254)** [成果报告 9](#_Toc62463254)

**[3.5](#_Toc62463255)** [探测单位和探测人员 9](#_Toc62463255)

**[4](#_Toc62463256)** [电法 10](#_Toc62463256)

**[4.1](#_Toc62463257)** [自然电场法 10](#_Toc62463257)

**[4.2](#_Toc62463258)** [直流电阻率法 11](#_Toc62463258)

**[4.3](#_Toc62463259)**  [激发极化法 15](#_Toc62463259)

**[5](#_Toc62463260)** [电磁法 17](#_Toc62463260)

**[5.1](#_Toc62463261)** [瞬变电磁法 17](#_Toc62463261)

**[5.2](#_Toc62463262)** [磁电阻率法 20](#_Toc62463262)

**[6](#_Toc62463263)** [探地雷达法 23](#_Toc62463263)

**[7](#_Toc62463264)** [拟流场法 30](#_Toc62463264)

**[8](#_Toc62463265)** [弹性波法 33](#_Toc62463265)

**[8.1](#_Toc62463266)** [反射波法 33](#_Toc62463266)

**[8.2](#_Toc62463267)** [折射波法 37](#_Toc62463267)

**[8.3](#_Toc62463268)** [瑞雷波法 40](#_Toc62463268)

**[9](#_Toc62463269)** [水下探测方法 44](#_Toc62463269)

**[9.1](#_Toc62463270)** [水下结构探测方法 44](#_Toc62463270)

**[9.2](#_Toc62463271)** [水下浅地层探测方法 49](#_Toc62463271)

**[10](#_Toc62463272)** [温度场法 51](#_Toc62463272)

**[11](#_Toc62463273)** [同位素示踪法 52](#_Toc62463273)

**[12](#_Toc62463274)** [钻孔全景光学成像法 54](#_Toc62463274)

**[13](#_Toc62463275)** [锥探法 56](#_Toc62463275)

[附录A 常用物性参数 58](#_Toc62463276)

[附录B 常用公式 62](#_Toc62463277)

[本标准用词说明 66](#_Toc62463278)

[条文说明 67](#_Toc58401938)

**1** 总则

1.0.1 为规范堤防隐患探测工作的技术要求，保证探测成果质量，为堤防的维修养护、除险加固和汛期防守提供依据，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于江河湖海堤防工程的隐患探测工作，亦适用于土石坝的隐患探测工作。

1.0.3 本规程的主要引用标准有：

《供水水文地质勘察规范》（GB50027）

《水利水电工程物探规程》（SL 326）

《水利工程质量检测技术规程》（SL734）

《多波束测深系统测量技术要求》（JT/T 790）

1.0.4 堤防隐患探测工作除应符合本规程外，还应符合国家现行的有关标准、规程的规定。

**2** 术语、符号、代号

**2.1** 术语

2.1.1 堤防隐患 dike hidden trouble

堤防隐患是指影响或潜在影响堤防工程安全的工程质量缺陷、薄弱部位及其它不利因素。

2.1.2电测深法 electrical sounding

在同一测点上逐次扩大电极距使探测深度逐渐加深，观测测点处在垂直方向由浅到深的电阻率变化，并依据地下介质与周边介质电阻率的差异，探测地下介质垂直分布特征的一种电法勘探方法。

2.1.3 电剖面法 electrical profiling

保持测量装置极距不变，沿测线观测一定深度内电阻率在水平方向的变化，依据隐患与周边介质的电阻率差异判定堤防隐患的一种电勘探方法。

2.1.3 高密度电阻率法 high density resistivity method

利用电极阵列，自动完成多种电极排列测量，通过数据重排、反演等方法，获取堤防内部电阻率断面成像的勘探方法。

2.1.4自然电场法 self-potential method

通过观测地下介质的电化学作用、地下水中微粒子的过滤作用、岩体水中盐的扩散和吸附作用等产生的自然电场规律和特点，了解水文工程地质问题的一种电勘探方法。

2.1.5 激发极化法 induced polarization method

依据目的体与周边介质的激发极化效应差异，探测目的体分布特征的一种电法勘探方法。

2.1.6瞬变电磁法 transient electromagnetic method（TEM）

利用不接地回线或接地电极向地下发送脉冲电磁波，测量由该脉冲电磁场感应的地下涡流而产生的二次电磁场，从而获得不同深度介质电阻率分布信息，并探测地下介质特征的一种电磁勘探方法。

2.1.7磁电阻率法 magnetometric resistivity method (MMR)

在挡水堤防两侧布置供电电极，通过探测工作区域内直流电流产生的磁场，分析地下电流空间分布规律，以此判断堤防集中渗漏通道的方法。

2.1.8探地雷达法 ground penetrating radar(GPR)

利用雷达发射天线向地下发射高频脉冲电磁波，由接收天线接收目的体的反射电磁波，以探测堤防隐患的一种勘探方法。

2.1.9 拟流场法 flow field method

利用电流场模拟渗漏水流场，用于查明堤防渗漏和管涌进水口位置的一种探测方法，也可用于追踪存在集中渗漏的均质土坝中的渗漏通道。

2.1.10 折射波法 refraction method

利用弹性波的折射原理，对具有波速差异的地层或隐患进行探测的一种地震勘探方法。

2.1.11 反射波法 reflection method

利用弹性波的反射原理，对具有波阻抗差异的地层或隐患进行探测的一种地震勘探方法。

2.1.12瑞雷波法 Rayleigh wave method

利用瑞雷波在介质中的频散特性对地层或隐患进行探测的一种地震勘探方法。

2.1.13 水下摄像法 underwater photography

由水下机器人、潜水员或其他搭载平台水下摄像头，潜入水中拍摄并获取影像资料的方法。

2.1.14 水下声呐法 underwater sonar detection

水下声呐法是利用[声波](https://baike.baidu.com/item/%E5%A3%B0%E6%B3%A2/35769" \t "_blank)在水中的传播和反射特性，通过[电声](https://baike.baidu.com/item/%E7%94%B5%E5%A3%B0/10529262" \t "_blank)转换和信息处理进行测距、导航和探测的技术。

2.1.15 温度场法 temperature field method

用温度测量设备探测地表附近温度分布，判断堤防渗漏部位的方法。

2.1.16 同位素示踪法 isotope tracer technique

采用人工放射性同位素标记天然流场或人工流场中的地下水流，用示踪或稀释原理来探测渗漏、管涌的放射性测量方法。

2.1.17 锥探法 cone drilling method

以人工或机械的方式，沿布设断面或测点，通过探杆探测堤身隐患或堤岸防护工程根石分布的方法。

**2.2** 符号、代号

2.2.1统计学参数

*K* —— 极差系数

*M* —— 总均方相对误差

*m* —— 均方相对误差

Δ —— 绝对误差

** —— 平均绝对误差

 —— 相对误差

 —— 平均相对误差

2.2.2电磁学参数主要包括下列各项：

*I* —— 电流强度

*U* —— 电位

*α* ——衰减系数

*β* —— 介质对电磁波能量的吸收系数

*εr* —— 相对介电常数

*ρ* —— 电阻率

*σ* —— 电导率

 —— 视电阻率

2.2.3动力学参数主要包括下列各项：

*V*P  —— 纵波速度

*V*S —— 横波速度

*V*R  —— 瑞雷波速度

*Vv* —— 渗流垂向流速

*Vf* —— 渗流水平流速

*f* —— 波的频率

*λ* —— 波长

*μ* —— 泊松比

2.2.4距离、方位、尺寸参数主要包括下列各项：

*AB* —— 供电电极间距

*H* —— 高程、埋深、孔深

*L* —— 瞬变电磁线框边长

*MN* —— 测量电极间距

*h* —— 厚度

*q* —— 异常半幅值宽度

*SR* —— 瞬变电磁的回线面积

2.2.5时间参数主要包括下列各项：

*T* —— 时间、周期

*toff* —— 关断时间

△*t* —— 时间间隔

2.2.6 其它参数主要包括下列各项：

*T* —— 温度

**3** 基本规定

**3.1** 探测对象、方法及要求

3.1.1 堤防隐患探测的对象包括堤身与堤基的洞穴、裂缝、松散体、高含砂层、护坡脱空区、古河道、砂砾石层、渗漏部位、堤岸防护工程水下结构缺陷等。

3.1.2 堤防隐患探测的主要方法包括电法、电磁法、探地雷达法、拟流场法、弹性波法、水下探测方法、温度场法、同位素示踪法、钻孔全景光学成像法、锥探法等；应根据探测方法的适用范围、应用条件和探测对象选用探测方法，宜选择具有互补效果的探测方法开展综合探测。

3.1.3 探测工作可分为普查和详查；普查宜采用工作效率较高的探测方法开展；详查宜在普查的基础上，增加测线、测点数量进行探测，或开展多方法综合探测；探测工作中，宜选择疑似隐患部位进行验证；验证可选择钻孔、探坑、触探、测井等方法。

3.1.4 用于堤防隐患探测的仪器应达到本规程规定的技术指标。

**3.2** 外业工作

3.2.1 应调查收集被探测堤段的设计、施工、加固资料，以及历次大洪水期间出险和运行状况。

3.2.2 应根据工程和探测区域规模确定测区、测线、测点布设；宜按照SL734的要求划分检测单元；测线布置应根据堤防工程宽度、走向进行规划；当堤顶宽度不大于4m时，宜沿堤顶中线或迎水面堤肩布置1条测线，当堤顶宽度大于4m时，宜沿迎水面和背水面堤肩各布置1条测线；可根据追踪隐患的需要，加密布置测线、测点。

3.2.3 应通过测量或定位设备确定测区、测线、测点位置；应确认定位结果与堤防管理桩号的对应关系。

3.2.4 探测时应填写探测班报，记录堤防外观、探测环境、天气、人员、仪器等情况。

3.2.5 探测过程中，发现异常点后应及时分析原因并进行重复观测，并在班报中记录。

3.2.6 分班、分段探测时，不同班次、段次应保证一定的重复探测范围。

3.2.7 探测过程中应进行检查观测，工作量不应少于总工作量的5%，检查点宜均匀分布在全测区，并按有关公式计算误差。

3.2.8 探测资料应在当日做初步整理，内容宜包括将仪器内的资料备份至其它存储介质，将测点号转换为堤防桩号，检查不同测段之间是否有遗漏段，资料是否齐全等；如有可疑资料应在次日到现场核查或重测。

3.2.9 每班在探测前应检查仪器，并作相应记录；工作中应注意人身和仪器设备安全。

3.2.10 重复观测应符合下列规定：

1 在测线的端点、曲线的突变点和畸变线段、仪器参数或观测条件改变的情况下，应进行重复观测，重复观测的平均相对误差应小于5% 。

2 操作员应现场检查每个记录，若不符合要求，应查明原因并及时重测。

3.2.11 检查观测应符合下列规定：

1 一个测区或测线的检查观测工作量应不少于该测区或测线总工作量的5%。

2 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。

3 一个测区或测线的检查观测误差大于本规程要求时，应全部重测。

**3.3** 资料解释与验证

3.3.1 资料解释、验证与出具探测成果宜按下列步骤进行：

1 整理资料。

2 绘制图件。

3 分析探测资料，确定解释原则。

4 确定隐患的性质、位置及埋深。

5 提出验证意见，组织验证。

6 根据验证结果修正解释。

7 堤身质量分类。

8 成果图绘制与打印。

9 报告编写。

3.3.2 分析探测资料、确定解释原则应结合堤防的历史沿革、除险加固、洪水位、出险情况和探测班报等资料进行；资料解释和验证工作要结合该堤段有关地质勘察资料进行，可参考本规程附录A中的相关物性参数和本规程附录B中的相关公式。

3.3.3 可根据隐患的分布情况、背景值、图像特征等，进行堤防分类；分类可为未发现隐患段、隐患相对发育段和隐患发育段。

3.3.4 宜采用探坑、钻孔、锥探等方法对隐患异常进行验证；验证点宜取样做土工试验。

3.3.5 需要对检测数据进行反演处理的方法，应选择标准模型数据验证反演软件效果。

**3.4** 成果报告

3.4.1 探测成果报告宜包括工作概况、方法技术、现场工作、资料分析与解释验证、结论与建议、附录图表等内容。

3.4.2 工作概况宜包括堤防概况、探测任务、工作组织与实施情况等。

3.4.3 方法技术宜包括方法选择、方法原理、仪器设备、测线（测点）布置等。

3.4.4 现场工作宜包括现场工作安排、实施情况、质量控制等。

3.4.5 资料分析与解释验证宜包括原始资料评价、资料处理与解释方法、异常的定性和定量分析、隐患推断解释、验证情况等。

3.4.6 结论与建议宜包括探测成果分析、堤防质量评价、隐患处理建议等内容。

3.4.7 探测成果报告应有图和表；图可包括测线布置图、探测成果图等；表可包括工作量统计表、物性参数表、仪器参数表、成果统计表等。

**3.5** 探测单位和探测人员

3.5.1 探测单位应获得省级或省级以上主管部门的检验检测机构资质认定证书，同时还应符合行业主管部门的相关要求。

3.5.2 探测人员应经过专业培训，具备开展所用探测方法的技术能力。

**4** 电法

**4.1** 自然电场法

4.1.1 自然电场法包括电位法和梯度法，可用于探测堤防的集中渗流、管涌通道，确定渗漏进口位置及流向等。

4.1.2 采用自然电场法探测堤防隐患应满足下列条件：

1 渗流场有较大的压力差，在渗透过滤、扩散吸附等作用下形成较强自然电场。

2 测区内没有较强的工业游散电流、大地电流或电磁干扰。

4.1.3 仪器与设备性能和指标应符合下列规定：

1 电压测量范围不小于±2.5V，分辨率优于10μV，精度优于±1% 。

2 输入阻抗不小于10MΩ。

3 应配套使用不极化电极，且极差绝对值不大于2mV。

4.1.4 外业工作除应符合本规程3.2节的规定外，还应符合下列规定：

1 测线宜顺堤防桩号布设；探测渗漏管涌进水位置时，宜距岸边0.5m左右在水面设1条测线；有条件追踪渗漏管涌进口位置时，宜增设数条平行于堤岸的水面测线；探测渗漏、管涌通道时，除设前述水面测线外，宜在临背水坡面、堤肩、堤脚、地面等处增设平行于堤防的测线。

2 探测时宜先采用5m～10m的点距进行普查；发现异常后，宜在异常位置附近采用小于1m的点距加密探测。

3 各测区探测工作开始前后应分别测试所用不极化电极的极差；电极的极差绝对值在工作开始时应小于2mV，工作结束时应小于3mV；观测过程中应保证电极接地良好。

4 测线较长或游散电流影响较大时应分段观测，分段观测的测线衔接处应重复3个以上测点。

5每10个测点应进行1次重复观测。

4.1.5 数据处理和资料解释除符合本规程3.3节的规定外，还应符合下列规定：

1 应计算单个测点的绝对误差和各测线/测区的平均绝对误差；单个测点的绝对误差应小于3mV；测线/测区的电位法测值平均绝对误差应小于5mV，梯度法测值平均绝对误差应小于3mV

2 应根据工程、环境条件分段确定背景值，剔除干扰异常。

3 应将各测点的电位换算到相应的分基点和总基点上，计算各测点的数据，编制各测点的绘图数据文件。

4 相邻3个或3个以上测点的数据与背景值之差超过测量平均绝对误差的3倍时，可确定为有效异常。

5 应根据剖面图或平面等值线图确定异常体范围，可根据异常分布、幅值等特点估算异常体规模、埋深。

6 成果图表应包括自然电位曲线图、隐患分布图。

**4.2** 直流电阻率法

4.2.1 直流电阻率法包括剖面法、测深法、高密度电阻率法及跨孔、三维、时移等电阻率成像方法；测试装置包括对称四极、偶极、三极等。

4.2.2 直流电阻率法可用于洞穴、裂缝、松散体、砂层及渗漏区域等隐患的探测；跨孔电阻率成像、三维电阻率成像还可用于土石接合部隐患探测；时移电阻率成像可用于堤防的连续监测。

4.2.3 采用直流电阻率法探测堤防隐患应满足下列应用条件：

1 隐患和周边介质之间应存在明显的电性差异，并在所用装置和设备的探测范围内。

2 采用需要布置固定接地电极的方法时，应保证良好的接地条件。

3 测区内不应存在较强的工业游散电流、大地电流或电磁干扰。

4.2.4 仪器与设备性能和指标应符合下列规定：

1 电压测量范围不小于±2.5V，分辨率优于10μV，精度优于±1%。

2 最大供电电流不小于2A，分辨率优于0.1mA，精度优于±1%。

3 自电补偿范围不小于±2V。

4 输入阻抗不小于10MΩ。

4.2.5 外业工作除应符合本规程3.2节规定外，还应符合下列规定：

1 应根据探测任务要求、探测目标深度合理选择电极距和测点距；采用跨孔、地面-孔间或三维电阻率成像测试时，应根据探测区域合理设计观测系统。

2 高密度电阻率法宜按最大电极距的1/6估计最大探测深度。

3 测深法、剖面法、高密度电法探测时，电极应沿直线布置；在弯曲堤段应分段探测；

4 仪器、供电导线与大地之间应绝缘，仪器外壳与电极间绝缘电阻应大于300MΩ，电极连线绝缘电阻应大于2MΩ/km。

5 M、N的接地电阻应小于仪器输入阻抗的1%；个别电极接地不良时，可通过堆土、挖坑填土的方式改善接地条件；土的厚度不小于电极长度。

6 遇障碍物时，电极应优先垂直于测线方向移动，移动距离不宜大于电极距的5%；当只能沿测线方向挪动时，挪动距离不应大于电极距的2%；无法按要求避开障碍时，应分段探测，此时分段间可不进行重复探测。

7 每班开工和收工时，应进行漏电检查；探测时发现漏电后应停止观测，并查明原因，在消除漏电影响后，对可能受到影响的测点应重新观测。

8 重复观测除应符合本规程3.2.10条的规定外，还应符合下列规定：

1）发现异常，应检查极距、接线和漏电情况，查看堤防环境，排除干扰因素并进行重复观测，有关情况应在班报中记录；

2）中间梯度法在移动供电电极后，应重复3个测点；

3）重复观测时，宜改变供电电压或改善电极接地条件；

4）重复观测应不少于3次。重复观测的精度用视电阻率*ρ*s值或测试电流与电压的比值的相对误差*δ*衡量，*δ*应不大于3％。

9 检查观测除应符合本规程3.2.11条规定外，还应符合下列规定：

1）每2km测线应进行不少于1次检查观测。

2）系统检查观测精度用均方相对误差*m*衡量。*m*不应大于3.5％。

4.2.6 数据处理与资料解释除应符合本规程3.3.1条的规定外，还应符合下列规定：

1 数据处理前应进行资料整理，内容包括整理探测班报、检查数据的正确性及完整性等。

2 应根据台班和仪器记录的信息进行数据格式整理、坏值剔除及格式转换、拼接等预处理；对地形起伏较大区域的探测数据，应利用实测地形数据进行地形校正。

3 应利用专业软件进行数据处理、反演和成果图件绘制；宜采用反演、目标相关算法等方法对剖面成像。

4 成果图件制作应满足以下原则：

1）曲线应基本居于图幅中间；

2）同一测区宜统一图件比例、等值线间隔和色尺设置；

3）图件能充分突出异常。

5 绘制视电阻率剖面图可采用圆滑技术，并在报告中说明。

6 解释原则确定和探测资料分析应符合下列规定：

1）背景值的选取，宜根据视电阻率曲线平稳程度，采用数理统计方法进行。

2）可靠异常幅度，未圆滑的曲线，宜取背景值的30%；圆滑过的曲线，宜取背景值的20%；背景值平稳的堤段，可降低5%～10%。

3）划分土质不良堤段，应以视电阻率背景值为准，参考地质资料进行；若堤身中有范围较大的不均匀体时，应视为土质不良区域。

4）宜结合已知地质剖面、钻孔等资料及其它探测方法成果进行资料对比解释。

7 成果图件可为视电阻率剖面曲线图、测深曲线图，二维电阻率等值线图、电阻率色谱图、相关系数成像图，三维电阻率分布图、切片图等；解释成果包括隐患分布图、隐患探测成果表、堤身质量分类表等。

**4.3**  激发极化法

4.3.1 激发极化法可选择中间梯度、联合剖面、固定点电源、对称四极测深等装置。

4.3.2 激发极化法适用于渗漏区域探测。

4.3.3 仪器与设备性能和指标除应符合本规程4.2.4条的规定外，还应符合下列规定：

1 具有显示视极化率、视激发比、半衰时、衰减度等综合激电参数、电极参数等功能。

2 应具有自然电位、漂移及电极极化补偿功能。

3 供电电极应采用铜电极或不锈钢电极，测量电极应采用不极化电极。

4 不极化电极极差不应大于2mV，且相对稳定。

4.3.4 外业工作除应符合本规程3.2节的规定外，还应符合下列规定：

1 宜选择对称四极装置，进行长剖面探测时，可选用联合剖面或中间梯度装置。

2 对称四极装置的最大供电电极距AB应大于探测深度的3倍。

3 供电导线与测量导线之间的距离应大于1m，且应随导线长度增加而增大。

4 观测供电时间宜大于30s，供电电流随电极距增大而增加。

5  出现二次场电位差ΔU2小于1mV、视激发比值Js大于或接近视极化率值ηs、视衰减值Ds大于或接近100%时应重复观测。

4.3.5 数据处理与资料解释除应符合本规程3.3.1条的规定外，还应符合下列规定：

1 应计算、绘制每个测点的ρs、ηs、Js、Ds、S0.5值和曲线。

2 应根据地质、环境条件分段确定背景值，也可将已知地下水位以上或干孔旁测得的ρs、ηs、Js、Ds、S0.5数据作为背景值，剔除干扰异常。

3相邻3个或3个以上测点的数据与背景值之差超过测量平均绝对误差的3倍，可确定为异常，并应有一定的规律性和分布范围。

4资料解释应结合电阻率和多种激电参数综合分析。

5可结合其它方法的验证资料确定异常极化体的形状，大小、埋深。

**5** 电磁法

**5.1** 瞬变电磁法

5.1.1 瞬变电磁法可采用中心回线、重叠回线、偶极、定源回线等装置。

5.1.2 瞬变电磁法可用于探测渗漏通道、松散体、砂层等隐患；探测大范围松散体、砂层等隐患宜选用重叠回线装置；探测渗漏通道和小范围松散体、砂层等隐患，宜选用中心回线及定源回线装置。

5.1.3 采用瞬变电磁法探测堤防隐患应满足下列条件：

1 堤防表面平坦，便于布设探测线圈。

2 堤防隐患与周边介质有明显的电阻率差异，并在所用装置的探测深度范围内。

3 测线应避开金属物体、高压电力线、路面积水以及其他易引起电磁噪声干扰的物体。

5.1.4 仪器与设备性能和指标应符合下列规定：

1 接收信号频宽大于800kHz。

2 发射电流关断时间应小于接收信号采样延时。

3 当使用单匝1m~10m回线框时，发射电流关断时间应小于2μs。

4 接收机分辨率优于2μV。

5 动态范围应大于120dB。

6 对于多道接收机（3分量接收），每道的幅频特性与相频特性应一致，差别不大于5%。

5.1.5 外业工作除应符合本规程3.2节规定外，还应符合下列规定：

1 测线宜顺堤防桩号在堤顶布设，测点距可根据探测任务需要调整；发现异常时可进行加密探测，中心回线加密探测时，每次移动的距离可为发射回线边长的1/2；探测渗漏通道时，宜在前后坡面、堤肩、堤脚、地面等处增设平行于堤防的测线。

2 测区内如有其他方法的测线、测点或钻孔等验证点时，测线宜与其重合或接近。

3 应根据探测要求选择回线边长、匝数及供电电流，保证有足够的发射磁矩。

4 宜采用电阻小、绝缘性能好的导线，每1km导线电阻应小于6Ω。

5 线框铺设完毕，若线架上还有导线，应将剩余导线按S形铺在地面上。

6 宜按本规程附录B.0.10条中的公式计算扩散深度，初步确定观测时间的范围，选择发射频率。可按扩散深度的半值估计探测深度。

7 应在每个测点或相隔几个测点上测定电磁噪音的电平。

8 采用大尺寸回线或多匝回线时，应评估发射波形斜波关断时间，宜与接收信号延时采样匹配，经验公式见本规程附录B中的式B.0.14。

9 应依据数据的信噪比及探测速度确定叠加次数。

10 应通过现场试验确定时间窗口，并采用多通道观测U/I或B/I。

11 每个测点观测完毕，应对数据和曲线进行检查，合格后方可搬站。

12 重复观测除应符合本规程3.2.10条的规定外，还应符合下列规定：

1）除最后3～5道外，观测值在噪声电平以下时，应查明原因，并采用增加叠加次数等方法重复观测。

2）测点曲线出现畸变时，应查明原因后重复观测；若测点附近存在干扰源，可移动点位避开重测，并做详细记录。

3）在异常附近应加密测点，若曲线衰减变慢时，应扩大时间范围重复观测。

4）单个测点的观测、重复观测和检查观测曲线的形态和幅值应一致，且各观测道的总均方相对误差m应小于10%。

5）一条测线或测网检查的总均方相对误差m应小于15%。

5.1.6 数据处理和资料解释除应符合本规程3.3节的规定外，还应符合下列规定：

1 堤坡的测点，宜对早期电磁响进行地形校正。

2 可对成果数据进行滤波处理。

3 应通过专业处理软件计算和绘制视电阻率-深度、视时间常数-深度、电压幅值比值、视纵向电导-深度断面图。

4 资料解释时，应根据瞬变电磁的响应时间特征和剖面曲线类型划分背景场及异常场，确定地电模型、划分异常。

5 应结合测点临近区域的钻探、物探、地质等有关资料进行综合解释分析，宜通过已知资料建立异常性质、深度、范围的对应关系，并据此对同测区其它视电阻率剖面进行解释。

6 解释应与资料处理工作交互进行，应结合垂直断面剖面与水平切面资料进行解释工作。

7 成果图件应包括视电阻率剖面图、解释成果剖面或平面图

**5.2** 磁电阻率法

5.2.1 磁电阻率法可用于渗漏通道探测。

5.2.2 采用磁电阻率法探测堤防隐患应满足下列条件：

1 渗漏通道与周围介质存在明显的电性差异。

2 测区内无金属物体等易引起干扰的物体。

5.2.3 仪器与设备性能和指标应符合下列规定：

1 发送机输出频率稳定度不应大于8×10-6/7h。

2 发送机输出电压不宜小于300V；发送电流范围不宜小于100mA～3000mA。

3 接收机采用三分量磁通门探测仪。

4 接收机最大量程不宜小于1mT。

5 接收机分辨率不宜小于10pT。

6 接收机带宽不宜窄于3kHz。

5.2.4 外业工作除应符合本规程3.2节规定外，还应符合下列规定：

1 根据工作任务、现场条件等布置测线或测网，测线、测网应覆盖目标探测区域。

2 测线宜平行堤防轴线布置。

3 应根据探测水平定位精度要求确定测线、测点间距，线距宜为5m～20m，点距宜为5m～20m。

4 应根据现场工作条件选择水平布置装置和垂直布置装置，堤防隐患探测宜选用水平布置装置。

5 供电电缆宜远离测区边缘，距离宜大于测区边长。

6 供电电流宜采用直流电或低频交流电，并避免采用电网工频。

7 供电电流不宜小于0.5A。

8 数据采集前，应设置基站并监测磁场变化。

9 雷雨天气不宜进行野外作业，突遇雷电应迅速关机，断开仪器接线。

10 班报应记录测区内金属管道、金属栏杆、电缆等物体的分布情况。

11 重复观测和检查观测应符合下列规定：

1）出现异常、曲线畸变的测点应重复观测。

2）重复观测点均方相对误差m大于10%时，应查明原因，消除误差。必要时，可移动点位重测，并记录。

3）每个测区的检查点不应少于测点总数的5%。

4）检查测点应在测区均匀分布，异常地段、可疑点、突变点应设检查测点。

5）单个测点的观测、重复观测或检查观测曲线形态应一致。

6）测线或测区检查的总均方相对误差m不应大于10%。

5.2.5 数据处理和资料解释除应符合本规程3.3节的规定外，还应符合下列规定：

1 现场工作完成后应及时整理原始资料；测点、重复观测点、检查观测点测试数据应检查合格。

2 应整理测区全部测点或测线的曲线记录。

3 应剔除不符合质量要求的数据；应对数据进行系统分析和评价，确定合理的滤波、圆滑、校正等预处理方法技术。

4 应对比分析处理前后各测点和测线的数据，必要时调整方法和参数重新处理。

5 应结合地质资料、现场记录及已有物探成果进行定性解释。

6 可在定性解释的基础上进行反演与定量解释，定量解释时，应结合已有资料和电性参数，确定背景值和目标体的划分标准，确定隐患的空间分布。

7 数据反演计算过程中应选择不同的反演方法和参数，对比分析不同反演方法的结果，并与已知资料对比，确定合理的反演结果。

8 成果图件应包括电阻率分布图、定性解释成果图；进行反演和定量解释时，还应包括反演成果图，定量解释成果图。

**6** 探地雷达法

6.0.1 探地雷达法可用于堤防隐患普查和详查，探测洞穴、松散体、砂层、裂缝、软夹层、故河道、老口门、渗漏通道、护坡、衬砌或闸室底板脱空以及其它与堤身填筑材料有介电常数差异的异常体等。

6.0.2 探测方式可根据探测隐患性状和环境条件选用剖面法、透射法、宽角法、共中心点法、钻孔探测法（单孔、跨孔）和三维雷达探测。

6.0.3 采用探地雷达法探测堤防隐患应满足下列条件：

1 隐患与周边介质之间有明显的介电常数差异，埋深及规模应在探地雷达法探测深度范围内。

2 相对于天线尺寸，探测表面宜平整。

3 不宜探测高电导率屏蔽层下的隐患。

4 测区内不宜有大范围的金属构件或无线电射频等较强的电磁干扰。

5 隐患应具有一定规模，埋藏深度在雷达设备的有效探测范围内；探测隐患垂直方向上的厚度应大于探测时所用电磁波在周边介质中有效波长的1/4，水平方向上的长度应大于所用电磁波在周边介质中的第一菲涅尔带直径的1/4；区分两个水平相邻的隐患时，其探测隐患间的最小水平距离应大于第一菲涅尔带直径。

6 宽角法与共中心点法测线范围内，目的层底界面应与测试表面平行，测试的介质应均匀。天线移动步长应小于电磁波在测试介质中有效波长的1/4，并按设计测试步长预先标识各测点位置。发射和接收天线最大距离宜大于反射界面埋深的2倍。

7 孔内探测时，钻孔应无金属套管。

8 三维雷达探测的工作面大小应满足探测隐患空间分布范围的要求。

9 介质电磁波速度应按下列方法确定：

1）利用地层参数计算。

2）由钻孔或已知深度的目标体标定。

3）用线状目标体几何扫描法推算。

4）用透射法（两临空面透射法或钻孔透射法）、宽角法或共中心点法确定。

6.0.4 仪器与设备性能和指标应符合下列规定：

1 雷达主机

1）脉冲重复频率不应小于100kHz。

2）仪器增益不宜小于150dB。

3）数据采集记录位数不应小于16bit。

4）可控时窗范围宜大于0～3000ns。

5）最小采样间隔不应大于0.05ns。

6）应具有自动和手动增益调节功能，增益点数不应少于3个。

7）应具有32次以上信号静态叠加功能。

8）应具有滤波功能。

2 雷达天线

1）中心频率应为16 MHz～1500MHz。

2）天线中心频率允许偏差应为±5%。

3）用于孔内探测的天线，水密性应大于1MPa。

4）频带范围的低值不应大于中心频率的1/4，高值不应小于中心频率的2倍。

6.0.5 外业工作除应符合本规程3.2节的规定外，还应符合下列规定：

1 地表二维探测

1）普查时，点测模式下测点间距应为0.5～1.0m，连测模式下天线移动速率宜用较大值。

2）详查时，点测模式下测点间距应为0.1～0.5m，连测模式下天线移动速率宜用较小值。

3）探测堤身内部隐患时，应根据探测深度和分辨率合理选择中心频率。

4）探测护坡脱空及破坏范围时，宜选用中心频率250MHz及以上的天线。

5）记录时窗宜按最大探测深度与上覆介质平均电磁波速度之比的2.5～3倍数值选取。

6）采样率宜为天线频率的15～20倍。

7）发射与接收天线间距宜小于最大探测目标埋深的20%。

8）剖面法探测时天线标示的测量方向应与测线方向一致，天线中心线偏离测线的距离不应大于天线宽度的1/3。

9）探测过程中，天线宜紧贴探测面，保持耦合良好。

10）连续测量时，天线的移动速度应均匀，并与仪器的扫描率相匹配，天线移动速度宜控制在6m/min～20m/min，每10m应至少校对一次测量桩号，允许误差为±1%；点测时，采样时应保证天线静止。

11）测线定位标注应与测线桩号一致，应避免仪器线缆干扰天线工作信号。

12）应记录测线上及邻近处存在的可能对雷达测量造成影响的物体及环境因素。

13）多天线探测时应保证各天线测线重合。

2 钻孔雷达探测

1）应根据探测目的、工程及地球物理条件布置钻孔位置。

2）需对隐患方位进行定位时，应采用2孔或3孔测量方式，采用3孔测量方式时宜在平面上按三角形布置。

3）探测距离小于10m时，宜选择收发一体天线；探测距离大于10m时，宜选择分体式天线。

4）探测孔宜采用地质钻造孔，孔径不应小于56mm，孔深应深入探测下限5m以上。

5）探测前宜进行探孔并测量孔斜。

6）探测时宜保持探测孔段满水或无水状态；孔中有水时，应记录水深位置。

7）电缆应进行深度标记。

8）点测时，测点间距宜为20cm。

9）连续测量时，天线移动应保持匀速，移动速度宜为4m/min～6m/min。

10）探测过程中，每10m应校对一次孔深，允许误差为±1%。

3 三维雷达探测

1）应根据隐患平面范围和埋深确定测网面积并进行标识。

2）网格密度应根据目标体大小确定，测线间距宜相等，且应保证同一方向有3条测线经过目标体。

3）使用三维雷达矩阵天线探测时，相邻测带搭接宽度不宜小于矩阵宽度的1/4。

4）现场探测应按照事先标识的测网有序进行，各探测仪器工作参数应保持一致。

5）单条测线的探测工作应符合本规程6.0.5条第1款的规定。

6.0.6 检查观测应符合下列规定：

1 检查测试的雷达参数设置、测试方式、测线位置、测段桩号等应与原始测试时相一致。

2 提供检查和评价的雷达资料应经过初步编辑，编辑内容含测线号、里程桩号、剖面深度等。

3 检查观测的图像与原始图像的异常形态和位置应基本一致，且两次观测的同一异常水平位置在工作比例尺的平面图上应保持不大于1mm，而深度相对误差不应大于10%。

6.0.7 数据处理和资料解释除符合本规程3.3节的规定外，还应符合下列规定：

1 应对探测数据进行处理，处理目的包括压制干扰信号、突出反射波、地形校正等；处理方法可选用数字滤波技术、偏移绕射处理技术、图像增强技术等。

2 数据道密度（水平比例）不一致、且存在位置标记时，应进行水平比例归一化。

3 频率滤波可选择低通滤波、高通滤波或带通滤波；低频截止频率宜取大于天线中心频率的1/4，高频截止频率宜取小于天线中心频率的2倍。

4 宜采用反褶积处理方法压制多次反射波，提高垂直分辨率；当反射信号弱、数据信噪比低时不宜进行反褶积处理。

5 点平均处理时，参与平均的点数宜为奇数，点数最大值宜小于采样率与低通频率的比值。

6 宽角法和共中心点法反射波波至读取前，应先根据目标反射界面深度和双曲线特征对反射波进行识别，波至读取宜选择波形起跳点、波峰、波谷等特征点位置；电磁波速度计算应符合本规程附录B的规定。

7 三维探测各剖面数据处理完成后应形成三维图像；宜根据隐患的三维尺寸设定层析切片间距，制作切片图、截面图、剖面图，并对目标体范围进行空间位置标记。

8 资料解释包括辨认和追踪有效波的同相轴、反射波的提取、有效异常的确定、隐患分类原则等。

9 宜通过已知信息与雷达图像进行对比，建立测区探测对象的反射波组特征，然后应用于其它剖面的识别解释；宜根据反射波组的波形和能量特征进行同相轴追踪以识别反射波组界面。

10 可根据波形双曲线形态、能量和频率特征进行单个异常体识别。

11 同一测区有多条测线时，应比较相邻测线的雷达剖面图，识别相似图像特征的反射信息，进行比对及综合分析。

12 钻孔雷达探测解释应排除地面及水面造成的形态为45°的强反射同相轴的干扰波，多孔探测时宜根据多个单孔雷达图像上的目标体信号位置综合判断目标体方位。

13 应对三维数据体开展振幅、频率以及相位等属性分析；并利用三维数据体显示功能进行隐患的空间形态分析、三维建模。

14 应依据上覆介质的电磁波速度参数进行时深转换，确定隐患埋深，隐患的性质宜结合地质资料确定。

15 成果图件应包括雷达解释剖面图、隐患探测成果表、堤身质量分类表、综合成果图等；雷达解释剖面图上应标明堤身高度，勘探点的位置以及隐患的性质、位置和埋深。

**7** 拟流场法

7.0.1 拟流场法可用于堤防、土石坝的渗漏、管涌进水口部位探测。

7.0.2 采用拟流场法探测时，水深应大于0.5m；渗漏类型应为具有一定渗漏量和流速的集中渗漏，出口与入口应存在水流联系。

7.0.3 仪器性能应符合下列规定：

1 模拟型仪器

1） 发送机和接收机应具有特殊编码波形电流场信号发射和接收功能。

2） 发送机最高输出电压幅值不小于90V（峰—峰值），最大输出电流不小于500mA（峰—峰值），输出频率稳定度优于7×10-4（7h内漂移）。

3） 仪器连续工作时间应满足现场工作要求。输出电流为200mA（峰—峰值）时，连续工作时间宜大于10h；当输出电流为300mA（峰—峰值）时，连续工作时间宜大于8h；当输出电流为400mA（峰—峰值）时，连续工作时间宜大于5h；当输出电流为400mA～500mA（峰—峰值）时，连续工作时间宜大于3h。

4） 接收机灵敏度应优于1.0×10-4A/m2，输入阻抗应大于150kΩ，工频抗干扰能力应大于50dB。

2 数字型仪器

1）发送机和接收机应具有特殊编码波形电流场信号发射和接收功能。

2）发送机宜具有5档输出电压20V、40V、60V、80V、100V；输出电压误差应不大于5V；

3）最大输出电流不小于500mA（峰—峰值），输出电流误差不大于50mA；

4）接收机连续工作时间应不小于7h。

5）发送机连续工作7h内时，输出频率稳定度应优于10-4；

6）接收机振幅测量范围宜为250µV～60mV，振幅测量误差应不大于2%；

7）接收机输入阻抗应大于150kΩ；

8）接收机50Hz衰减应不小于60dB；

9）接收机输入短路噪声应不大于10µV；

8.0.4 外业工作应符合下列规定：

1 探测时宜连续扫描，分为普查和详细定位2个工作阶段。普查宜按3m～5m间隔扫描；定位阶段宜按1m左右间隔扫描；对水库渗漏探测可采用点测方式工作。

2 供电电极A应置于渗漏出水口；有多处渗漏时，可在每一渗漏处各布置一电极，然后将各电极并联；供电电极B应置于离查漏区域较远水体中。

3 供电导线宜使用直径1.5 mm2～2.5mm2的多芯铜线。

4 探测前应测量感应探头2极电阻，电阻应大于100kΩ。

5 船只宜采用非金属的橡皮艇、木板船，且能容纳3～5人。

6 发现有效异常时，应设置浮标定位或者记录GPS坐标，并重复观测。

7 测线距离宜为1m～5m。

8 工作中，供电电流宜控制在400mA～500mA。

9 发送机供电电流强度应保持稳定，电流强度变化不应超过2%。

8.0.5 数据处理与资料解释除应符合本规程3.3节的规定外，还应符合下列规定：

1 资料整理：根据野外记录表格应将探测结果按测线编号输入计算机；应检查数据是否完整；应计算原始观测与检查观测的相对误差等。

2 图件绘制：绘制流场法观测信号强度平面剖面图或平面等值线图；平面剖面图的横坐标为堤防桩号，比例尺宜取1：1000；纵坐标为渗漏信号强度值，比例尺应据背景值确定，宜满足下列规定：

1）曲线基本居于图幅中间；

2）背景值相差不大的堤段保持相同的范围和比例；

3）充分突出异常。

3 绘制视信号强度剖面图可采用圆滑技术，图上应标明线号、测线离堤防的距离、渗漏位置和性质等。

4 背景值宜根据信号强度曲线平稳程度，采用数理统计方法选取，相对异常大于或等于2倍背景值时为有效异常。

5 成果报告宜说明管涌渗漏发生的时间、流量以及已做的处理工作，并简要介绍管涌发生堤段的基本情况。

**8** 弹性波法

**8.1** 反射波法

8.1.1 反射波法可选择纵波反射法和横波反射法。

8.1.2 反射波法可用于堤防结构和隐患探测，可探测松散体、洞穴、高含砂层、护坡或闸室底板脱空以及堤身或堤基加固效果评价等。

8.1.3 采用反射波法探测堤防隐患应满足下列条件：

1 堤防隐患与其背景介质之间应有明显的波阻抗差异且物性稳定。

2 层状介质其厚度要大于有效波长1/4，异常体尺寸应大于有效波长1/2。

3 隐患的埋深及规模应在地震反射波法探测深度范围内，能产生较规则的反射波及逆散射信号。

8.1.4 用于堤防隐患探测的反射波法仪器包括地震仪或其它专用仪器，仪器主要技术指标应符合下列规定：

1 地震仪主机

1）应选用12道及以上浅层地震信号接收设备，具有触发信号同步、信号放大、噪声监测、频谱分析等功能。

2） 宜选用无线分布式地震仪，仪器宜由3个以上采集器组成，每个采集器宜具有多个独立通道。

3）采样间隔可选，最小采样率应不大于0.05ms。

4）记录长度可选，每道最少样点数应不小于2048点。

5）模数转换精度应不低于24bit。

6）放大器动态范围应不低于96dB。

7）放大器频率响应宜为0.5Hz～20kHz。

8）信号道一致性：相位差应小于0.5ms，振幅差应小于5%。

2 检波器

1）应选用线圈式速度型检测波器，灵敏度应大于30V/m/s。

2）纵波反射法宜选用固有频率不低于100Hz的垂直检波器。

3）横波反射法宜选用固有频率为40Hz～60Hz的水平检波器。

4）各道检波器灵敏度相差应小于5%，固有频率差小于5%，相位差小于0.5ms。

3 震源

1）可用锤击震源、落重震源和可控震源。

2）应能激发所需的主频地震脉冲，满足探测深度的要求。

3）锤击震源和落重震源应操作方便、重复性好。

4）横波探测时可采用扣板震源。

8.1.5 外业工作除应符合本规程3.2节的规定外，还应符合下列规定：

1 信号激发接收

1）探测深度较大时，宜选用纵波反射法；在浅部松散含水地层探测时，宜使用横波反射法。

2）在满足探测深度要求的条件下，宜使用较高频段的震源和固有频率较高的检波器。

3）激发点宜选在较密实的地层上，或预先夯实；锤击板应与地面接触良好，避免反跳造成二次触发。

4）使用横波叩板震源时，木板的长轴应垂直测线，且长轴的中点应在测线或测线延长线上，木板上应压足够的重物并可安装抓钉，保持叩板与地面接触牢固。

5）检波距应通过试验确定，宜采用1～5m；检波距、排列长度在同一测线上应一致。

6）检波器布设应位置准确，安置牢固，埋置条件一致，防止背景干扰；用水平检波器接收横波时，应保证检波器水平安置，灵敏轴应垂直测线方向，且取向一致。

2 观测系统

1） 可采用单边或双边展开排列观测系统，选择反射最佳窗口，确定偏移距和检波点距。

2）工程条件较简单，反射层位较稳定时，宜采用等偏移距观测系统，偏移距宜选在反射波窗口的中部。

3）观测条件比较复杂的测区，宜采用具有一定偏移距离的多次覆盖观测系统，覆盖次数应不小于3次。

3 记录质量控制

1）当信噪比较低时，宜分析干扰来源，采取降低放大倍数、增大激发能量等措施提高信噪比。

2）遇到局部测段记录质量变差时，应分析原因并通过试验找出解决办法，重新选择仪器工作参数或改变工作方法。

8.1.6 数据处理和资料解释除符合本规程3.3节的规定外，还应符合下列规定：

1 有效波的对比分析

1）有效波的振幅宜大于干扰波振幅的2倍，并应选择有效波的起始相位采用相位追踪对比分析。

2）对不同层位地震有效波应根据波形的相似性、视周期的相近性、振动的连续性和同相性以及波的振幅远离震源点衰减的规律性等特征进行对比分析。

3）确定平均速度或有效速度应充分考虑近表层介质不均匀性和低速带与下伏层厚度的相对变化的影响。

2 数字滤波

1）在频谱分析的基础上选择滤波频率。

2）调整滤波频带宽度，有效提高信噪比和分辨率。

3）在隐患多发堤段慎用叠前二维滤波，避免横向混波对地震波动力学特征的影响。

3 速度分析和叠加速度选取

1）可使用速度谱或速度扫描求取叠加速度，当探测条件复杂时，宜用两种方法互为校核。

2）速度扫描时，应选取信噪比高的地震记录，并应采用较小的速度增量。

3）沿测线应有足够的测段进行速度分析，并应绘制速度展开图，结合速度测井资料，掌握速度横向变化规律。

4）对水平叠加效果欠佳的地段，应对该段叠加速度作必要的修改。

4 处理方法选择

1）有效反射波组之间振幅强弱悬殊的记录，应进行信号振幅归一处理。

2）深部反射信号与表层初始信号之间振幅强弱悬殊时，应进行剖面均衡处理。

3）当堤防结构界面倾角较大时，可进行偏移叠加或叠加偏移。

4）当测区地质情况比较复杂时，宜采用地震反射与散射联合成像方法；成像单元边长宜设置为0.2m，叠加半径应不小于检波距，宜设置为2m～10m。

5 反射波资料解释的基础图件应符合下列规定：

1）图上应注明堤防名称、测线编号及桩号、偏移距、检波点距。

2）时间剖面典型测段应附相应的展开排列记录。

3）等偏移距剖面图应注明是否经动校正处理及动校正速度值。

4）联合成像剖面图应说明成像单元边长、叠加半径及深度波速变化。

6 依据剖面成像基础图件，采用地质和其它探测资料进行对比分析，确定堤防结构层位和各种隐患分布位置和性质，对获得目的反射层和异常体应标注编号。

7 分析时间剖面图中波组分叉、合并、中断、尖灭等现象，得出与堤防结构、隐患等不良地质现象的变化关系。

8 成果应包括观测系统布置图、波速扫描分析图、剖面成像波形图和色谱图、地质分析解释成果图表；解释成果图宜包括锥探、钻孔或其它验证资料内容。

**8.2** 折射波法

8.2.1 折射波法可选用纵波折射法和横波折射法。

8.2.2 折射波法可用于测定堤防堤身和堤基介质的纵、横波速度，由纵、横波速度判定堤防填筑介质的密实度。

8.2.3 采用折射波法探测堤防隐患应满足下列条件：

1 被追踪层的波速应大于上覆各层的波速，并具有一定的厚度。

2 沿测线被追踪层视倾角与折射波临界角之和应小于90o。

3 被追踪层界面起伏不大，折射波沿界面滑行时无穿透现象。

8.2.4 用于堤防隐患探测的折射波法仪器，其主要技术指标应满足本规程8.1.4条的规定。

8.2.5 外业工作除应符合本规程3.2节和8.1.5条的第1款的规定外，还应符合下列规定：

1 观测系统应符合下列规定：

1）采用单支时距曲线观测系统时，被追踪层界面的视倾角应小于15°。并应保证被追踪地段内至少有4个检波点能接收折射波。

2）采用单重相遇观测系统应保证被追踪层的相遇时距曲线段至少有4个正常检波点

3）采用多重时距曲线观测系统时，应保证各层折射波的连续对比追踪，并在综合时距曲线上均有能独立解释的相遇段。

4）利用追逐时距曲线来补充折射波资料时，应保证在被追踪段至少有4个检波点重复接收同一界面的折射波。

5）宜在测线每100m测段两端进行有效速度测试，当发现相邻速度差超过20%时，应在该测段内增加速度测试工作。

2 原始记录存在下列缺陷之一者应为不合格记录：

1）不能可靠地追踪初至有效波的记录。

2）同一张记录上，使用道数的1/6以上或两相邻道工作不正常的记录。

3）记录编号或主要内容与班报不符，又无法改正的记录。

8.2.6 数据处理和资料解释除符合本规程3.3节的规定外，还应符合下列规定：

1 旅行时读取应符合下列规定：

1）在波的干扰或置换位置，应分析波的叠加特征后正确读取波的初至时间。

2）直接读取初至时间有困难时，可读取有效波第一个极值时间并进行相位校正。

3）应在典型波形记录的每道初至之前标注走时值，并在初至点打上标记。

2 时距曲线绘制应符合下列规定：

1）互换道或连接道之间同相位的时间差，经震源深度校正后应小于3ms。

2）根据追逐时距曲线经校正拼接后，综合时距曲线互换时差应小于5ms。

3）绘制时距曲线前，应对旅行时读数进行相位校正、震源深度校正、表层低速带校正。

3 依据测区地震地质条件和记录特点，处理方法应符合下列规定：

1）应由相遇时距曲线求取界面速度和界面深度，当条件不满足时，可采用单支时距曲线截距时间法或临界距离法求取界面深度。

2）当地面起伏较大时，宜采用t0法或延迟时法；当折射界面起伏较大时、宜采用时间场法或共轭点法；相关处理方法可参考SL326的相关规定。

3）对于堤防结构复杂或具有较多的隐患类型时，宜采用多种计算解释方法和波路追踪正演拟合方法综合求解。

4）确定平均速度或有效速度应考虑近表层不均匀性的影响，根据速度沿测线变化的曲线进行时深转换。

4 确定波速界面与地质界面的对应关系应以钻孔资料或物性资料为依据。

5 用速度变化推断水平方向介质变化，应有物性和地质资料为依据。

6 确定速度带与堤防填筑土体密实度的对应关系，应分析速度带上有无伴随振幅增减和波形变化等现象。

7 成果图件主要包括地震波速--地质剖面图等，成果图宜包括测线上的锥探、钻孔或其它验证资料成果。

**8.3** 瑞雷波法

8.3.1 瑞雷波法可采用瞬态法和稳态法。

8.3.2 瑞雷波法可用于探测堤防松散体、洞穴、护坡或闸室底板脱空以及堤身或堤基加固效果评价等，也可测定堤防介质的动弹性力学参数并对饱和砂土液化进行判定。

8.3.3 采用瑞雷波法探测堤防隐患应符合下列规定：

1 被探测地层与其相邻层之间、隐患与背景介质之间存在明显的波速差异。

2 被探测地层应为横向相对均匀的层状介质。

8.3.4 用于堤防隐患探测的瑞雷波法仪器，其主要技术指标应符合本规程8.1.4条的规定外，还应符合下列规定：

1 应选用不少于2道的浅层数字地震仪。

2 稳态法所用震源应具有频率可控功能，变频范围满足探测要求。

3 检波器固有频率和频宽应与探测深度相符，速度型检波器固有频率宜为1Hz～10Hz。

4 仪器宜具有连接IEPE型加速度传感器功能，传感器频率响应范围宜为0.5Hz～10kHz。

8.3.5 外业工作除应符合本规程3.2节的规定外，还应符合下列规定：

1 信号激发接收应符合下列规定：

1）测点间距宜为10m～50m，重点或异常堤段可适当加密。为了获得不同深度的面波信号，应使用宽频带震源。

2）探测中遇到局部堤段记录质量变差时，应分析原因并通过试验重新选择仪器工作参数。

3）接收仪器应设置全通，采样间隔应小于面波最高频率的半个周期，时间测程应包括最远道低频面波的最大波长。

4）宜采用展开排列的方式分析有效波和干扰波的分布特征，试验压制干扰波的方法，选择激发与接收方式和仪器工作参数及观测系统等。

2 观测系统应符合下列规定：

1）稳态瑞雷波法应采用变频可控震源单端或两端激发，调整两个检波器间距和偏移距进行接收，取得不同频率的多种组合瑞雷波记录。

2）瞬态瑞雷波法应采用锤击、落重震源，在排列的单端或两端激发，可用12道或24道为一排列进行接收；也可使用2通道或多通道以共中心点方式接收多个信号对组成一个排列。

3）宜采用变偏移距和检波距方式采集信号，小偏移近距离高频信号和大偏移远距离低频信号可分别有效探测浅部和深部目标。

4）应通过试验选择合适的偏移距和检波点距，以符合最佳瑞雷波接收窗口和探测深度的要求，排列长度应大于探测深度，检波点间距应小于异常体规模，检波点间距、排列长度在同一测线上宜保持一致。

3 存在下列缺陷之一者应为不合格记录：

1）近源道波形出现削波、坏道或排列中连续两道为坏道。

2）记录长度不满足采集最大炮检距基阶面波的记录。

3）记录编号或主要内容与班报不符，又无法改正的记录。

8.3.6 数据处理和资料解释除符合本规程3.3节的规定外，还应符合下列规定：

1 波的对比

1）波的对比主要是辨认和追踪瑞雷波同相轴的变化趋势，宜采用多相位对比。

2）对不同频率的瑞雷波应根据波形的相似性、视周期的相近性、振动的连续性和同相性、振幅随远离震源点衰减的规律性等特征进行对比分析。

3）应根据瑞雷波的频散特征，在时间域和频率域综合对比分析。反映层位变化的瑞雷波同相轴随炮检距的增加彼此逐渐散开，同相轴之间时差递增，频率降低。

2 处理方法

1）稳态法波速度计算应选择位于震源点同一侧的两个检波点上的记录，从高频至低频，逐个读取两个记录中瑞雷波的时间差或相位差计算瑞雷波速度，以两个检波点连线的中心为探测点绘制频散曲线。

2）瞬态法宜选用相位差法、频率波数法和频率波速法计算绘制瑞雷波频散曲线，可选用近似或法极值点法求取层速度、一次导数法或拐点法求取层厚度。

3）频率-波速曲线的处理，应以排列共中心点为测点，对变偏移距和检波距信号对进行叠加；宜使用频谱细化技术，提高纵向分辨率。

4）使用共激发点排列接收信号时，数据宜采用变偏移距叠加方法处理，使频散曲线同时包括高频与低频信号，即可同时探测浅部与深部面波波速。

3 资料解释应符合下列规定：

1）瑞雷波的深度转换可选用半波长法，也可参照测区已有资料按泊松比进行校正。

2）频散曲线应以瑞雷波的频率为纵轴、瑞雷波的速度为横轴绘制波速-频率曲线，也可绘制波速-深度曲线。

3）剖面测试时，应将波速-深度曲线按任务要求的比例绘制在同一剖面上，也可根据最后反演计算的层速度和层深度绘制瑞雷波速度剖面等值图、色谱图。

4）瑞雷波速度和横波速度转换可按附录B中式B.0.15计算。

4 成果应包括观测系统布置图、实测波形图、频散曲线图、剖面波速等值线图、地质分析解释成果图表；成果图宜包括测线上的锥探、钻孔或其它验证资料成果。

**9** 水下探测方法

**9.1** 水下结构探测方法

9.1.1 水下结构探测包括岸坡、渠道、闸门及其门槽等水下建筑物表面探测，水下阻塞、堆积、沉积物探测以及水下结构附近水体的流速、流向检测等。

9.1.2 水下结构探测可选用水下摄像法、声呐法、示踪法、ADCP法。

9.1.3 开展水下结构探测宜符合下列规定：

1 开展水下摄像探测时，水下环境能见度宜大于0.5m。

2 声呐、ADCP设备应选择合适载体，水下与水域环境宜相对开阔。

3 示踪法宜采用颜料示踪剂，示踪剂应环保无毒、色泽鲜明、易于辨认。

9.1.4 水下结构探测仪器设备性能和指标应符合下列规定：

1 水下摄像仪器的成像分辨率应大于200万像素，耐压水深应大于300m，应配有照明装置，应具有图像实时传输功能。

2 二维图像声呐的工作频率应大于900kHz，距离分辨率应优于25mm，扫描角度应大于120°，波束宽度应小于1°×30°，最大扫描距离应大于15m，耐压水深应大于300m。

3 三维成像声呐的工作频率应大于1300kHz，距离分辨率应优于15mm，波束宽度应小于1°×1°，扫描距离应大于10m，耐压水深应大于300m。

4 多波束声呐仪器的工作频率应大于400kHz，波束应小于0.5°（量程分辨宽度）×1°，波束条带宽不应大于15°，波束数目应不少于256个，距离分辨率应优于2.5cm，最大量程应不小于500m，耐压水深应大于100m，宜具有横摇/纵摇补偿功能且补偿精度宜高于0.5°。

5 侧扫声呐仪器的工作频率应大于400kHz，水平波束宽度应小于0.3°，换能器安装角应低于15°，量程应大于150m，航迹分辨率应优于0.005h，垂直航迹分辨率应优于1.25cm，耐压水深应大于100m。

6 三维实时声呐仪器的工作频率应大于300kHz，波束数目应不少于16000个，波束角应小于0.39°，最大量程应大于80m，距离分辨率应优于2cm，耐压水深应大于250m，应具备横摇、纵摇补偿功能，宜配置2自由度水下云台。

9.1.5 现场工作布置应符合下列规定：

1 水下摄像宜在水下工程重点区域开展；测线宜在检测区域内呈S型布置，相邻测线重叠覆盖面积应超过20%。

2 二维图像声呐和三维成像声呐可采用固定式支架或以水下机器人作为载体。

3 三维成像声呐探测需进行多次探测数据拼接时，各站数据重叠覆盖面积应不小于20%。

4 多波束声呐和侧扫声呐的主测线宜平行检测区域长轴方向布设；相邻测线数据重叠覆盖面积应不小于20%；应在垂直主测线方向布置联络测线，其长度应大于主测线长度的5%。

5 三维实时声呐测线宜平行于检测目标水平方向布置；相邻测线数据重叠覆盖面积应不小于20%。

6 开展示踪剂法探测时，示踪剂应在源头、上游位置投放，在周边或下游区域开展观测。

9.1.7 现场工作应符合下列规定：

1 水下摄像应符合下列规定：

1）作业前应进行准备和检查工作。

2）检测工作过程中应对设备进行水下定位。

3）测线、测网宜贴近水下建筑物；应根据探测对象特点确定摄像部位。

4）发现缺陷部位应及时记录、定位和重点观察；发现渗漏时，宜结合水下喷墨设备，观察颜料吸入情况。

2 二维图像声呐探测应符合下列规定：

1）应根据现场环境和探测目的选择测量方式、规划测站或测线布置。

2）应根据探测要求选择探头类型、频率和工作方式。

3）探测中发现异常部位时应进行重复扫描。

3 三维成像声呐探测应符合下列规定：

1）应根据探测目的选择合适的探头类型、频率和工作方式，采集前应进行工作水域声速测定。

2）应根据现场环境和检测目的规划测站和测线位置。

3）可通过布置强反射定位标靶提高探测效果。

4 多波束声呐和三维实时声呐探测应符合下列规定：

1）现场工作应按JT/T 790的相关规定执行，水下构筑物缺陷检测精度应达到特等测量等级要求；

2）探测时应记录仪器位置信息；探测前后应记录测区水位。

3）设备应按照厂家的技术要求进行安装和固定，并记录安装位置参数。

4）正式作业前应进行系统稳定性试验，重复误差在水深小于30m时应小于0.6m，水深大于30m时应小于水深的2%。

5）每次探测前后应测量换能器吃水深度，测量误差应小于5cm；应测量代表性区域声速剖面，测量误差应小于1m/s。

7）测船最大航速应根据数据更新率、波束脚印和测区最浅水深确定；测船在探测区域内应保持匀速直线航行。

8）探测过程中应实时记录探测数据、监控数据覆盖情况和质量；信号质量不稳定时，应及时调整多波束发射和接收单元参数；必要时进行补测或重测。

5 侧扫声呐探测应符合下列规定：

1）探头宜采用船侧固定安装方式，记录仪应接地良好；探测前应在代表性区域调试，合理设置采集参数。

2）探测过程中，测量船应保持匀速、直线航行，船速应低于3km/h；探测过程宜记录定位信息。

3）探测过程中应及时检查探测数据质量，数据覆盖不足或漏测、信号质量不满足要求时，应及时进行补测或重测。

6 示踪法检测应符合下列规定：

1）示踪剂释放装置可由水下机器人或其它载体搭载；喷嘴应固定在摄像头前方。

2）应实时记录示踪剂在水中的运动状态；探测裂缝、结构缝或混凝土破损部位时应录像，并对缺陷部位进行示踪检查；岸上检测人员应通过示踪剂的流动状态对判断渗漏情况。

3）普查时，可对渗漏区域进行单次喷墨；确定渗漏部位后，可对渗漏区域进行连续喷墨；可通过示踪剂连续吸入时间和吸入速率判断渗漏程度。

9.1.8 数据处理和资料解释除符合本规程3.3节的规定外，还应符合下列规定：

1 宜进行水下探测数据的对比分析。

2 水下摄像数据应进行回放分析，判断缺陷位置、规模和性质，并截取缺陷部位视频；可对成果进行图像增强处理。

3 二维图像声呐数据应进行回放分析，标识目标体信号，分析目标体规模、位置。

4 三维成像声呐数据应进行噪声处理、数据拼接处理、三维建模处理；应根据建模数据进行构筑物尺寸、位置及缺陷情况的分析解释。

5 多波束声呐数据处理应确认原始数据完整性，剔除不合格数据，进行水深改正；资料解释应根据成果分析水下建筑物和地形变化和异常情况

6 侧扫声呐数据处理应确认数据完整性、进行数据校正；应绘制侧扫声呐条幅平面图，并进行数据拼接，绘制侧扫声呐镶嵌图；资料解释应根据成果分析水底或者建筑物表面特征。

7 三维实时声呐数据处理应确认数据完整性，剔除不合格数据，进行数据校正；资料分析应根据成果分析构筑物和地形外形变化和异常情况。

9.1.9 探测成果应符合下列规定：

1 水下摄像成果宜包括水下摄像编辑资料、缺陷位置分布图等。

2 二维图像声呐成果宜包括二维声呐图像及对应的解释图件。

3 三维成像声呐和三维实时声呐成果宜包括三维数据模型图及局部放大图、典型断面图、平面等值线图及缺陷分布图等。

4 多波束声呐成果宜包括水深图、三维数字高程模型图、典型断面图及缺陷分布图等。

5 侧扫声呐成果宜包括侧扫声呐镶嵌图及解释图。

**9.2** 水下浅地层探测方法

9.2.1 水下浅地层探测宜采用浅地层剖面仪进行走航式探测；可进行堤岸防护工程水下基础探测、渠道工程水下破损探测和水底管线探测等。

9.2.2 开展浅地层剖面仪探测应满足下列条件：

1 水深大于0.5m，且具备剖面仪载体航行条件。

2水中0.5kHz～8kHz频段的干扰噪音强度应小于150dB。

9.2.3浅地层剖面仪的主要技术指标应符合下列规定：

1 工作频率宜介于2.5 kHz～5kHz频段；发射信号功率应不小于160dB。

2 分体式发射和接收换能器间距不宜大于1m；采用2个以上接收换能器时，应在叠加处理时进行校正。

3 接收换能器灵敏度应不小于-160dB。

9.2.4 浅地层剖面仪外业工作除应符合3.2规定外，还应符合下列规定：

1 探测区域水底地层为砂砾石层、砂层等砂质地层时，不宜使用浅地层剖面仪进行地层分层及地层内目标体的探测工作。

2 应保证单位距离内的采样点数达到工程任务要求。

3 开展水下探测工作前，应对水底地层的波速特征进行分析。

4 探测前后应记录水位高程，探测过程中应记录定位信息。

5 应根据工程情况设计测线；测量过程中，探测设备与测线的水平位置偏差宜小于1m。

9.2.5 浅地层剖面仪法数据处理和资料解释除符合本规程3.3的规定外，还应符合下列规定：

1 探测数据处理应包括数据回放、波形分析、界面追踪等。

2 可通过同相轴追踪方法判断地层分界面和异常体位置；可根据反射信号特征判断反射界面性质。

3 成果图件应包括探测轨迹图、地层剖面图、目标体分布图等。

**10** 温度场法

10.0.1 温度场法可采用红外测温仪、热成像仪、激光测温仪等非接触式测温设备。

10.0.2 温度场法主要用于渗漏通道出口、堤后散浸部位的快速定位。

10.0.3 采用温度场法探测堤防隐患应满足下列条件：

1 渗漏水体与环境温度存在温差。

2 渗漏水体未被植被等物体完全遮挡。

10.0.4 用于堤防隐患探测的温度场法仪器，其主要技术指标应符合下列规定：

1 宜具有实时成像功能。

2 应具有现场温度显示、数据记录功能。

3 测温范围宜为0℃～50℃；测温精度不应低于2℃。

10.0.5 外业工作除符合本规程3.2节的规定外，还应符合下列规定：

1 宜对堤防背水面、堤脚和其它可能出渗部位采用巡查式探测。

2 现场检测前应对仪器进行检查或校正。

3 应考虑地貌、植被对温度测量值的影响；发现温度异常部位应及时进行人工检查确认。

4 宜与车辆、无人机等载体及定位设备配合使用。

10.0.6 探测成果应符合下列规定：

1 对发现的温度异常区域位置、分布范围、环境温度、异常温度、人工检查结果分条记录。

2 宜保存温度成像的图像或视频。

**11** 同位素示踪法

11.0.1用于堤防隐患探测的同位素示踪法分为人工同位素示踪法和天然同位素示踪法；人工同位素示踪法分为单孔稀释法、单孔示踪法和多孔示踪法。

11.0.2 单孔稀释法适用于测定水平流速和流向，地层渗透系数在已知水力坡降时，判断多含水层中的涌水含水层和涌水量吸水含水层和吸水量以及各含水层的静水头高度，测定垂向流速和流向等；单孔示踪法适用于测定垂向流速和流向，人工同位素多孔示踪法适用于测定地下水流向、孔间平均流速、平均孔隙度、计算地层弥散系数等；环境同位素示踪法用于识别渗漏水的补给、排泄、径流条件，探索渗漏水的成因，确定渗漏水与地表水、库内深水之间的水力联系，确定水文地质参数等；天然同位素示踪法可用于确定渗漏水体的不同补给源。

11.0.3 采用人工同位素示踪法探测渗漏时，渗漏水流速应大于1×10-6m/s。

11.0.4 用于堤防隐患探测的人工同位素示踪法仪器，其主要技术指标应符合下列规定：

1 当垂向流速大于0.1m/d时，垂向流速测试相对误差应小于3%。当水平流速大于0.01m/d时 水平流速测试相对误差应小于5%。

2 水平流速测试范围宜为0.05 m/d～100m/d。

3 垂向流速测试范围宜为0.1 m/d～100m/d。

11.1.5 外业工作除应符合本规程3.2节规定外，还应符合下列规定：

1 测试水文参数时，应选择合适的放射性同位素。测试地下水流速流向时，宜选用 131I，每次投放量应低于1×108Bq。

2 测试渗透速度和流向应采用单孔稀释法，测试地层平均孔隙度，地层弥散系数等宜采用多孔示踪法。

3 开展多孔示踪法时，应事先估计投放点至检测点之间的距离、渗漏量、饱水层体积、孔隙度等基本参数；需要投放较大量的放射性同位素时，应选用符合相关标准的放射性同位素，可选用131I，剂量范围宜为1×109Bq ～100×109Bq；同位素应一次投放完毕。

4 同位素示踪法的测线和钻孔布置应符合GB50027的要求；可在堤顶布置1条测线，钻孔沿测线布置；普查时，孔距宜为100m；详查时，孔距宜为50m，必要时可增加钻孔数量验证测量结果的准确性；可利用堤防已有的钻孔和观测孔开展测试。

5 现场测量时，测量仪器应进行本底测量、置零及现场测量方向校正。

6 垂直测点距离宜为1m；发现异常点时，应进行多次重复测量。

11.1.6 数据处理和资料解释除符合本规程3.3的规定外，还应符合下列规定：

1 钻孔中或井间人工同位素示踪测量时，应按附录B.0.12计算渗透流速、流向及渗透系数。

2 天然同位素示踪法数据分析应考虑岩体、温度对天然同位素含量造成的漂移。

3 成果图件应包括测区的流速矢量平面分布图；渗漏路径的剖面分布图；渗透流速、渗透系数沿各孔的高程分布图；与图件相对应的渗透流速、渗透系数以及渗流方向统计表；环境同位素数据分布图。

**12** 钻孔全景光学成像法

12.0.1 钻孔全景光学成像适用于钻孔中观测堤坝的地层岩性、结构和地质分层；观测孔壁洞穴、软弱夹层、裂隙发育、破碎等隐患分布；测定裂缝等的倾向、倾角等产状要素及裂缝分布密度、开闭程度等。

12.0.2 钻孔全景光学成像宜在无套管的干孔或清水孔中进行；当孔中、管中水质透明度不足时，应采用清水循环冲洗并加沉淀剂澄清；在冲洗沉淀达不到观测效果时可采用玻璃套管。

12.0.3 用于堤防隐患探测的钻孔全景光学成像仪器设备，其主要技术指标应符合下列规定：

1 摄像头分辨率不应低于200万像素，最低彩色成像照度应不大于0.1Lux。

2 钻孔内摄像角度应为360°。

3 摄像探头应配置三维姿态传感器，方位角精度应达到1°，倾角和滚角精度应达到0.1°。

4 成像仪器深度或距离计数的相对误差不应大于0.5%；探头电缆每隔500mm应设置定位标记。

11.2.4 外业工作应符合下列规定：

1 应现场记录工程名称、测试钻孔编号、工作日期等参数。

2 图像显示的深度相对误差不应大于0.5%，与电缆标记的绝对误差不应大于100mm，每隔500mm应进行一次校正。

3 记录的图像应清晰可辨，且能显示图像的方位角和钻孔的倾角。

4 连续拍摄拼图成像时，探头移动速度不宜大于3m/min。

11.2.5 数据处理和资料解释应符合下列规定：

1 钻孔全景光学成像成果图像宜展开拼接成分段连续的图片；横向从左到右宜按北、东、南、西、北方向展开，并标注方位；垂向应标注深度或高程。

2 钻孔全景光学成像应对钻孔的地质现象进行描述，并计算裂隙、断层、软弱夹层等的倾角、倾向及厚度，在顶角大于5°的斜孔中计算产状时，应该利用孔斜测量资料进行斜度校正。

3 钻孔全景光学成像应对主要地质异常进行追踪观察，图像清晰可辨。

4 钻孔全景光学成像成果资料应提交编辑后的图像和典型地质现场的图片。

**13** 锥探法

13.0.1 锥探法包括人工锥探法和机械锥探法。

13.0.2 锥探法可用于堤身探测和堤岸防护工程水下根石探测。

13.0.3 采用锥探法应满足以下条件：

1 探测区内无冻土层。

2 进行水下探测时，应保证工作平台的稳定；探测区内水体流速过大或环境风力过大时，应停止探测。

13.0.4 锥探法设备应符合下列规定：

1 人工锥探法宜采用锥杆或导杆探测；机械锥探法宜采用根石探测机。

2 锥探所用探锥应具有足够刚度，可采用钢筋锥或钢管锥。

3 探测深度在10m以内时，可采用钢筋锥；探测深度超过10m时，宜采用钢管锥。

13.0.5 外业工作应符合下列规定：

1人工锥探法探测水下根石分布应满足下列规定：

1）坝体上、下跨角各设1个探测断面，圆弧段设1～2个探测断面，迎水面设1～3个探测断面。

2）探测断面应与裹护面垂直，并设置固定的探测断面桩，每个断面不少于2根桩。

3）探测断面以裹护面顶部内侧为探测起点.

4）沿断面水平方向每隔2m设一个探测点，遇根石深度突变时，应增加测点。

5）对水中进占或修建后曾靠河的工程，在滩面或水面以下的探测深度不少于8m，当探测不到根石时，向外2m、向内1m各设置一个测点。；

6） 测点应在断面上，沿铅垂方向锥探，根石深度精确到0.01m。

7）应测出坝顶高程、根石台高程、水面高程等数据，精确到0.01m。

2 使用根石探测机时，除按上述步骤进行外，还应符合下列操作程序：

1）操作前进行设备检查和试运行。

2）设备调试完毕后，开始下降探杆，当探杆上端接近限位装置约0.1m时，停止探杆下降，接上一节探杆继续下降。

3）当探测阻力明显增大时（液压系统压力升高），启动振动电机。

4）探杆头接触根石时，压力继电器动作，切断换向阀电源，液压马达停止工作，按下振动电机停止按钮，记录探测深度，完成一个点次的探测。

5）抬起探杆，移动主机至下一个探测点。

13.0.6 应根据探测结果绘制根石分布断面图，并计算缺石量。

附录A 常用物性参数

A.0.1 常见介质电阻率可参考表A.0.1取值。

A.0.2 不同矿化水的电阻率可参考表A.0.2取值。

A.0.3常见岩土介质的密度及纵横波传播速度可参考表A.0.3

A.0.4部分岩石的电磁波吸收系数可参考表A.0.4

A.0.5常见介质的基本电磁参数可参考表A.0.5

**表A.0.1 常见岩土介质及水的电阻率**

| 类别 | 名 称 | 电阻率*ρ*（Ω·m） | 名 称 | 电阻率*ρ*（Ω·m） |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 松  散  土 | 黏土  含水黏土  亚黏土  砾石加黏土 | 1～2×102  0.2～10  10～102  2.2×102～7×103 | 亚黏土含砾石  卵石  含水卵石 | 80～240  3×102～6×103  102～8×102 |
| 沉  积  岩 | 泥质页岩  砂岩  泥岩  砾岩  石灰岩 | 60～103  10～103  10～102  10～104  6×102～6×103 | 泥灰岩  白云岩  破碎含水白云岩  硬石膏  岩盐 | 1～102  50～6×103  170～600  104～106  104～106 |
| 变  质  岩 | 片麻岩  大理岩  石英岩 | 6×102～104  102～105  2×102～105 | 片岩  板岩 | 2×102～5×104  10～102 |
| 岩  浆  岩 | 花岗岩  正长岩  闪长岩 | 6×102～105  102～105  102～105 | 辉绿岩  辉长岩  玄武岩 | 102～105  102～105  102～105 |
| 常  见  水 | 河 水  地 下 水  喀斯特水 | 10-1～102  <102  15～30 | 海 水  冰 | 10-1～10  1×104～1×108 |

**表A.0.2 不同矿化水的电阻率 单位：Ω·m**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 矿化度（g/L） | 不同电解质水的电阻率 | | | |
| NaCl | KCl | MgCl2 | CaCl2 |
| 纯水 | 25×104 | 25×104 | 25×104 | 25×104 |
| 0.010 | 511 | 578 | 438 | 483 |
| 0.100 | 55.2 | 58.7 | 45.6 | 50.3 |
| 1.000 | 5.83 | 6.14 | 5.06 | 5.56 |
| 10.000 | 0.657 | 0.678 | 0.614 | 0.660 |
| 100.000 | 0.0809 | 0.0776 | 0.0936 | 0.0930 |

**表A.0.3 常见岩土介质的密度及纵横波传播速度**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 名 称 | 密度*ρ*  （g/cm3） | 纵波速度*V*p（km/s） | 横波速度*V*s  （m/s） |
| 松  散  层 | 黏土  湿砂  砂质黏土  干砂、砾石  饱水砂、砾石 | 1.60～2.04  **—**  **—**  **—**  **—** | 1.2～2.5  0.6～0.8  0.3～0.9  0.2～0.8  1.5～2.5 | 0.7～1.4  **—**  0.2～0.5  0.1～0.5  **—** |
| 沉  积  岩 | 砾岩  泥质灰岩  硅质石灰岩  致密石灰岩  页岩  砂岩  致密白云岩  石膏 | 1.90～2.90  2.25～2.65  2.80～2.90  2.60～2.77  2.30～2.70  2.42～2.77  2.80～3.00  2.41～2.58 | 1.5～4.2  2.0～4.0  4.4～4.8  2.5～6.1  1.3～4.0  1.5～5.5  2.5～6.0  2.1～4.5 | 0.9～1.5  1.2～2.3  2.6～3.0  1.4～3.5  0.8～2.3  0.9～3.2  1.5～3.6  1.3～2.8 |
| 变  质  岩 | 片麻岩  大理岩  石英岩  片岩  板岩  千枚岩 | 2.50～3.30  2.68～2.72  2.56～2.90  2.68～3.00  2.55～2.66  2.71～2.86 | 6.0～6.7  5.8～7.3  3.0～5.6  5.8～6.4  3.6～4.5  2.8～5.2 | 3.5～4.0  3.5～4.7  2.8～3.2  3.5～3.8  2.1～2.8  1.8～3.2 |
| 岩  浆  岩 | 花岗岩  闪长岩  玄武岩  安山岩  辉长岩  辉绿岩  橄榄岩  凝灰岩 | 2.30～2.96  2.52～2.70  2.53～3.30  2.30～3.10  2.55～2.98  2.53～2.97  2.90～3.40  1.60～1.95 | 4.5～6.5  5.7～6.4  4.5～7.5  4.2～5.6  5.3～6.5  5.2～5.8  6.5～8.0  2.6～4.3 | 2.3～3.8  2.8～3.8  3.0～4.5  2.5～3.3  3.2～4.0  3.1～3.5  4.0～4.8  1.6～2.6 |
| 其  它 | 水  冰  混凝土 | 1.00  0.80～0.90  2.40～2.70 | 1.4～1.6  3.1～3.6  2.0～4.5 | **—**  **—**  1200～2700 |

**表A.0.4 部分岩石的电磁波衰减系数 单位：dB/m**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 岩性 | *f* （电磁波频率） | | | | |
| 1×106Hz | 3×106Hz | 8×106Hz | 10×106Hz | 37×106Hz |
| 片岩 | 0.087～0.174 | 0.261～0.347 | / | 4.517 | / |
| 片麻岩 | / | / | / | 3.909 | / |
| 大理岩 | / | 0.087～0.174 | 0.347～0.434 | / | / |
| 闪长岩 | 0.287～0.434 | 0.565～0.651 | / | / | / |
| 石灰岩 | 0.313 | / | 0.478 | / | 0.869 |
| 破碎，含水性弱的灰岩 | 0.608 | / | / | / | 3.127～5.125 |
| 火成岩、花岗岩 | / | 0.521～0.651 | / | / | / |

**表A.0.5** **常见介质的基本电磁参数**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **介质** | ***ε*r** | ***σ*（ms/m）** | ***V*（m/ns）** | ***α*（db/m）** |
| 空气 | 1 | 0 | 0.3 | 0 |
| 蒸馏水 | 80 | 0.004 | 0.033 | 0.002 |
| 淡水 | 80 | 0.5 | 0.033 | 0.1 |
| 海水 | 80 | 1000～10000 | 0.01 | 1000 |
| 干砂 | 3～6 | 0.01 | 0.15 | 0.01 |
| 湿砂 | 20～30 | 0.1～1.0 | 0.06 | 0.03～0.3 |
| 石灰岩 | 4～8 | 0.2～2 | 0.11～0.12 | 0.4～1 |
| 泥岩 | 5～15 | 1～100 | 0.09 | 1～100 |
| 页岩 | 5～13 | 10～100 | 0.09 | 1～100 |
| 泥砂 | 5～30 | 1～100 | 0.07 | 1～100 |
| 黏土 | 5～40 | 2～1000 | 0.06 | 1～300 |
| 花岗岩 | 4～6 | 0.01～1 | 0.12～0.13 | 0.01～1 |
| 岩盐 | 5～6 | 0.01～1 | 0.13 | 0.01～1 |
| 冰 | 3～4 | 0.01 | 0.16 | 0.01 |

附录B 常用公式

B.0.1 绝对误差应按下式计算：

（B.0.1）

式中：*Δ*—绝对误差；

—基本观测值，重复观测时为有效数据的算术平均值；

—系统检查观测值，重复观测时为有效数据的算术平均值。

B.0.2 平均绝对误差应按下式计算：

（B.0.2）

式中：—平均绝对误差（%）；

*Δ*—绝对误差；

—检查点、测点、测线个数。

B.0.3 相对误差应按下式计算：

（B.0.3）

式中：—相对误差（%）。

B.0.4 平均相对误差应按下式计算：

（B.0.4）

式中：—平均相对误差（%）。

B.0.5 均方相对误差应按下式计算：

（B.0.5）

式中：—均方相对误差（%）。

B.0.6 总均方相对误差应按下式计算：

（B.0.6）

式中：—总均方相对误差（%）。

B.0.7 极差系数应按下式计算：

（B.0.7）

式中：—极差系数；

—参与计算数据中的最大值；

—参与计算数据中的最小值；

—参与计算数据的个数。

B.0.8 直流电阻率法常用公式见式B.0.8～式B.0.9

相对异常值计算公式：

相对异常值=（∣观测值-背景值∣/背景值）×100%（B.0.8）

异常顶部埋深估算公式：

*H*=0.25*q* （B.0.9）

式中：*H* —异常顶部埋深，m；

*q* —半幅值宽度，m。

B.0.9 自然电场法异常顶部埋深估算公式见式(B.0.10)

*H*＝(0.4～0.6)*q* （B.0.10）

式中：*H —* 异常顶部埋深，m；

*q —* 半幅值宽度，m。

B.0.10 瞬变电磁法常用公式见式B.0.11～式B.0.14

扩散深度δ估算公式：

（B.0.11）

式中：*I —* 发射电流，A；

*ρ —* 上覆层电阻率，Ω·m；

*SR —* 发射线圈面积，m2；

*η* *—* 最小可分辨电平（nV/m2）

观测时间确定公式：

 （B.0.12）

 （B.0.13）

式中： *t*min *—* 最小延时，s；

*t*max *—* 最大延时，s

*h*min *—* 最小探测深度，m；

*h*max *—* 最大探测深度，m；

*ρ*max, *ρ*min *—* 测区介质最高及最低电阻率，Ω•m。

关断时间评估经验公式：

 （B.0.14）

式中：*t0ff* — 关断时间，μs；

*L* — 回线边长，m；

*R* — 回线电阻，Ω。

B.0.11瑞雷波速度和横波速度转换公式见式B.0.15：

 （B.0.15）

式中：*VR* — 瑞雷波速度，m/s；

*Vs* — 横波速度，m/s；

*μ*— 泊松比。

B.0.12 同位素示踪法渗透系数计算公式见式B.0.16～式B.0.18

 （B.0.16）

 （B.0.17）

 （B.0.18）

式中：*K* — 渗透系数，m/d；

*J* — 测试孔附近的地下水水力坡度；

*Vf* — 水平流速，m/d；

*r* — 测试孔滤水管内半径，m；

*r*0 — 探头半径，m；

*t* — 示踪剂浓度从N0变化到Nt所需的时间，d；

*N*0 — 同位素在孔中的初始浓度计数率；

*N*b — 孔中的计数率本底值；

*N*t — 同位素t时刻浓度计数率；

a — 流场畸变校正系数；

*VV* — 垂向流速，m/d；

*ΔT* — 探头计数率时间曲线峰值间的时间。

本标准用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面次采用“不应”。

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 规程中指明应按其他有关标准执行时的写法为：

“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国行业标准

堤防隐患探测规程

**SLXXX-XXXX**

条文说明

目 次

1 总则…………………………………………………………69

3 基本规定……………………………………………………69

4 电法…………………………………………………………69

5 电磁法………………………………………………………70

6 探地雷达法…………………………………………………70

8 弹性波法……………………………………………………71

9 水下探测方法………………………………………………71

11 同位素示踪法………………………………………………78

1 总则

1.0.2 土石坝的隐患探测工作可参照本规程执行。

3 基本规定

3.2.2 现场检测前，应先检查探测段堤防的管理桩埋设情况。测线的定位应以管理桩桩号为准。未埋设管理桩的，可设置工作桩号。管理桩桩号有误的，应在报告中注明。

3.2.4 探测班报应包括日期、探测方法、仪器、人员、探测堤段桩号范围、备注等内容。

3.3.3 未发现隐患段指堤身土质优良、均匀、未发现隐患的堤段；隐患相对发育段指堤身土中含沙量较高但未成层，或者土质整体均匀性稍差的堤段；凡发现洞穴、裂缝、松散体、高含砂层等隐患的堤段，均从隐患边缘向外推10m，定为隐患发育段，当两个隐患发育段之间的距离小于10m时，应予合并，视为一个隐患发育段。

4 电法

4.1.1 电位法是将N电极固定不动，作为相对电位零点，用M电极沿测线逐点观测每一测点与相对电位零点之间的电位差，得出整个测线的电位曲线，实际应用中一般采用零点法；梯度法是使M电极在前、N电极在后，两个电极同步平行移动，沿测线顺序测量相邻两点间的电位差，得出整个测线的电位曲线。

4.2.1剖面法宜选用对称四极剖面法、联合剖面法和中间梯度法等。

5 电磁法

5.1.5 在环境复杂或噪声地区实际的探测深度可能远小于1个扩散深度，在堤防上探测发射框宜用1m×1m，2m×2m，4m×6m。

6 探地雷达法

6.0.1 剖面法是将发射天线和接收天线以固定间距沿测线同步移动的一种测量方式；透射法是将发射天线和接收天线分别置于待测对象的两侧，同步移动两天线进行测量的一种方式；宽角法是固定发射（或接收）天线，使接收（或发射）天线沿测线移动而不断改变两个天线之间的距离(增大或减小)进行测量的一种方式；共中心点法是在保证发射和接收两天线中心点位置不动的情况下，不断改变两个天线之间的距离(增大或减小)进行测量的一种方式。后两种方法主要用于求取地表以下介质的电磁波传播速度。钻孔雷达分单孔探测和跨孔探测，而单孔探测基于孔中收发一体的雷达天线，其接收的雷达数据是钻孔360°方向的雷达数据，单孔的雷达数据无法定位反射体的方位，要克服这一缺点的办法就是采用多孔测量进行综合解释，即利用两孔或三角形异常交汇进行方位确定。三维雷达天线是采用多组阵列天线同时探测，一次采集一个面域数据的探测方法，目前三维雷达探测主要是高频屏蔽天线，一般阵列天线中心频率≥200MHz。

6.0.3 应用探地雷达探测隐患要求被探测的隐患与周围介质之间具有介电常数差异，其差异越大，探测效果越好。

6.0.4 本条规定仅为用于堤防隐患探测的探地雷达仪器应满足基本性能指标。目前不同厂家的探雷雷达系统原理、效果、数据处理方法均很相似，仪器的主要技术指标既有共性，也有各自的特点，可根据实际工作效果合理选用。

6.0.5 本条规定了探地雷达工作的基本要求。实际探测时，要兼顾工作效率和分辨率，合理选择工作模式、天线种类、测线布置。记录时窗长度推荐数值考虑了介质速度与探测深度的变化情况，保证探测深度能够满足工作要求。

8 弹性波法

8.1.4 采用无线分布式地震仪有利于提高外业工作效率，降低劳动强度。

8.3.6 应利用共中心点、不同偏移距和检波距的多道地震记录叠加处理得到频率-波速曲线，有利于利用宽频带面波信号同时提高对浅部和深部隐患的探测能力。

9 水下探测方法

9.1.1 水下结构的具体探测内容宜包括缺陷形态、位置，水下结构的状态。所谓缺陷主要包括岸堤缺陷、裂缝、混凝土损伤、金属结构、渗漏状态等。水下结构探测的主要项目可参考表9.1.1-1进行选择。

**表9.1.1-1 水下结构探测主要项目汇总表**

|  |  |
| --- | --- |
| **类别** | **项目** |
| 岸堤缺陷 | 坍塌、护石缺失、护石破损、水下冲刷等 |
| 裂缝 | 分布、数量、走向、长度、宽度及裂缝变化情况 |
| 混凝土损伤 | 外观缺陷、压碎、冻融、剥蚀、脱落及冲蚀、附着物等 |
| 金属结构缺陷 | 锈蚀、腐蚀、缺损、附着物等 |
| 渗漏状态 | 点、线或面渗漏情况 |
| 水下建筑物形态结构、状态 | 水下构筑物的外观尺寸、表面附着物、淤积物、平整度以及表面磨蚀、空蚀情况，水下冲刷及淤积 |

9.1.2 水下结构探测方法主要按照使用的探测仪器进行分类，声呐法可根据工作任务选择侧扫声呐、多波束声呐、二维图像声呐、三维成像声呐、三维实时声呐等类型的声呐设备。探测方法选择可参考表9.1.2-1的内容。

**表9.1.2-1 水下结构探测项目和方法对照表**

|  |  |
| --- | --- |
| **探测项目** | **探测方法与设备** |
| 小范围的局部建筑物检测 | 水质较清时，宜采用水下摄像法  水质混浊时，宜采用二维或三维成像声呐 |
| 大面积的水下建筑物缺陷检测 | 普查：多波束声呐、侧扫声呐、三维实时声呐  详查：对重点部位或发现异常部位采用水下摄像或二维、三维成像声呐，三维实时声呐详查 |
| 闸门、门槽等水下建筑检测 | 水质较清时，宜采用水下机器人作为载体或由潜水员手持水下高清摄像头进行检查  水质较混时，宜采用水下机器人搭载成像声呐进行检查  场地条件允许时，可采用三维成像声呐进行整体扫描普查，再采用水下机器人搭载水下摄像头或成像声呐进行局部详细检查 |
| 岸坡、渠道等水下构筑物检测 | 宜采用多波束声呐、侧扫声呐、三维实时声呐方法进行面积性扫描普查，再针对重点部位和检测异常部位进行水下摄像或声呐进行详细检测 |
| 水下阻塞、堆积、沉积物检测 | 宜采用多波束声呐、侧扫声呐、三维实时声呐方法 |
| 水下结构渗漏探测和河道及水下结构中水体的流速流向检测 | 示踪法、ADCP法 |

9.1.3 二维、三维成像声呐宜搭载在水下机器人或支架上使用，多波束声呐、侧扫声呐、三维实时声呐、ADCP宜搭载在测量船上使用

9.1.5 水下摄像可搭载在水下机器人上或由潜水员手持使用。适合开展水下摄像的重点区域包括普查发现的异常区域、涉及安全的重点工程结构部位、可能发生破损的怀疑区域等。检测管道类区域宜按环状测线进行覆盖检查。

水下摄像检测测线布置间隔应根据水下摄像仪器开角和水下能见度计算确定。

采用支架开展二维图像声呐检测时，宜根据现场待检区域安排支架位置和探头方向，必要时可配合水下云台使用；采用水下机器人开展检测时，宜根据待检工程结构情况有序进行。

采用坐点扫描方式开展三维成像声呐探测时，宜根据待检区域合理设置坐点位置；采用水下机器人动态连续扫描时，宜根据待检区域合理设置水下机器人行进路线。

9.1.7 水下摄像设备下水前应安置地面作业平台，选择下水位置，搭建辅助设施，并按设备检验规程开展密封性、通电性能、操作功能等检查工作；构筑物表面存在淤积、附着物等影响摄像检查效果时应先对干扰物进行清理；水下定位可采用惯性导航定位系统、水声定位系统，也可根据检查局域的特征点，根据深度传感器、图像声呐数据等进行定位；应根据水下环境情况合理设置照明灯光亮度，能见度不足时应增加辅助灯光，宜合理选择辅助灯光位置，避免发生反向散射现象，干扰摄像效果；检测闸门、护坡等具有结构构造线的水下建筑物时，宜沿构造线、边墙、易受损部位详细观察；观察水平分布的水底、面板时，应布置测网，沿测线观察；检查过程中，发现构筑物缺陷部位时应停止观测设备运动，对缺陷部位进行重点观察并进行定位，应同时人工记录探查时间、空间位置、异常特征等信息。宜利用激光标尺或其它带有刻度的参照物测量缺陷尺寸。每日外业工作结束时，应检查当日成果，发现遗漏或可疑处应安排重新检查。

二维图像声呐探测前，宜根据现场情况和工作要求，合理选择固定工作方式或搭载水下机器人工作方式；开展管道类型的构筑物检测时，宜选择具有360°扫描功能的探头，应根据确定管道形态的需要合理设置扫描间隔。现场检查宜根据探测范围和精度要求选择合适频率的探头，探测距离小于10m时宜选择2000Hz以上频率探头，探测距离10m～50m时宜选择900kHz～2000kHz频率探头，探测距离大于50m时宜选择900kHz以下频率探头；扫描过程中应注意监测仪器工作状态，发现异常部位时应进行重复扫描。为进行检测图像的拼接，重复检测区域应大于图像面积的1/3。

三维成像声呐探测可选择固定工作方式或水下机器人搭载的工作方式；应根据探测范围和精度要求选择合适频率的探头，探测距离小于10m时宜选择2000Hz以上频率探头，探测距离10m～30m时宜选择1300kHz频率探头；宜根据检测要求设定合适的探头扫测速率；普查时，云台旋转速率可为2°/s，详查时云台旋转速度不宜大于1°/s。采用固定工作方式时，应保持支架稳定，防止探头因水流等出现抖动；

多波束声呐和三维实时声呐探测过程宜采用具有载波相位差分功能的全球定位系统进行定位；设备宜采用固定支架安装在船侧或船底，可通过调整探头方向进行侧向建筑物缺陷检测；多波束换能器应安装在噪声低且不宜产生气泡的位置；姿态传感器应安装在能准确反映多波束换能器姿态的位置，其方向应平行于测量船轴线；设备安装完成后应测量各部件位置，各安装组成部分的空间相对关系测量误差应小于2cm；记录的数据宜包括时间、测线号、水深值或距离值、航向、船速、位置坐标等，当数据覆盖不足或水深漏空、信号质量不满足精度要求时，应及时进行补测或重测。

侧扫声呐探测的定位宜采用具有载波相位差分功能的全球定位系统；探测过程中，宜记录的数据包括时间、测线号、定位点号、航向、船速、工作频率等；

示踪法采用水下机器人载体时，应将示踪剂储存装置和喷射装置固定牢固，并在水中进行配平；喷嘴应调整角度保证摄像清晰；

9.1.8 采用多种方法开展检测时，宜在对水下建筑物进行三维建模的基础上开展数据对比分析；水下阻塞、堆积、沉积物检测资料分析宜与原始地形进行对比分析。

水下摄像资料应按照工程部位依时间顺序播放分析，对有杂物或缺陷部位进行视频截取；水下摄像图像的解释应根据影像异常的几何形状、色彩差异、影纹粗细等特征确定缺陷的性质、位置和规模；对水下能见度不足的区域水下摄像图像宜采取图像增强等处理技术，再进行图像解释。

二维图像声呐资料应按照工程部位依时间顺序播放分析，对有杂物或缺陷部位进行声呐图像截取；宜通过调整增益使目标体显示清晰，同一目标体有多幅声呐图像时，宜结合多幅角度图像进行对比分析；宜在声呐图像上标识目标体信号，分析目标体规模、位置等信息。

三维成像声呐数据处理先进行噪声处理，去除水环境噪声的影响；多点位数据应进行数据拼接处理，获取目标构筑物整体信息；数据整体完成后应进行三维数据建模，在建模数据上开展构筑物尺寸、位置及缺陷等分析解释；通过对比设计资料或初次检测资料进行缺陷判断，多次检测时应对比各次成果分析水下构筑物及地形变化情况。

多波束数据整理应先根据航迹图检测原始数据是否丢失，并剔除突变的错误数据和质量较差的边缘数据；数据处理时应对定位数据、罗经数据、姿态数据等进行识别处理，剔除不合格数据；水深数据编辑时，应根据坡度、深度、信噪比等对深度数据进行滤波处理，剔除不合格数据；水深数据应利用换能器吃水深度、声速剖面、水位等进行水深改正；资料解释应根据需要绘制相关图件，在此基础上开展水下建筑物和地形外形变化和异常情况分析。

侧扫声呐数据整理应先进行导航定位数据的编辑、校准和准确度评估，绘制航迹图，然后根据航迹图检测原始数据是否丢失；数据校正应根据船只位置、声呐拖体深度、拖缆入水长度及方位等信息进行声呐拖体位置归算；应对船速变化造成的图像比例失调进行校正；导入导航数据后应通过图像地理编码绘制侧扫声呐条幅平面图；多次覆盖测量时，应根据实测航线进行声呐图像拼接，绘制侧扫声呐镶嵌图；应根据声呐图像的强度、阴影关系对水底或者构筑物表面的软硬、粗细、凸凹情况进行解释。

三维实时声呐数据整理应先根据航迹图检测原始数据完整性，并剔除突变的错误数据和质量较差的边缘数据；检测数据应根据设备安装位置测量误差进行校准；数据处理时应对定位数据、罗经数据、姿态数据等进行识别处理，剔除不合格数据；检测数据编辑时，应根据坡度、深度、信噪比等对检测数据进行滤波处理，剔除不合格数据；检测数据应利用导航定位、声速剖面、水位等进行水深改正；资料解释应根据需要绘制相关图件，在此基础上开展构筑物和地形外形变化和异常情况分析。

9.1.9 采用水下摄像和二维图像声呐检测闸门及其门槽时，应提供缺陷部位的静止图像和缺陷位置图；采用三维成像声呐检测检测闸门及其门槽时，应绘制三维成果图并标注缺陷位置。

岸坡及渠道等水下构筑物检测成果宜包括水下三维地形或地貌图，重点部位静止视频或声呐图像。

水下阻塞、堆积、沉积物检测成果宜提供与原始地形差值等值线图。

9.2.3 分体式探头间距过大时，应通过动校正消除速度误差；采用2个以上接收换能器时，应考虑换能器的间距、排列方向等影响，并在叠加过程中进行校正。

9.2.4 单位距离内的采样点数应根据目标体尺寸确定；开展水下管线探测作业时，采样点间的距离不应大于目标管径的1/2。

水底地层的波速特征分析宜采用跨孔声波测量、多道水上地震测量、与已知深度目标体走时信号对比标定等方式开展；当水底之下探测深度小于10m时，可采用地层平均波速进行校正

探测过程中宜采用全球定位系统进行实时定位，同步记录水平位置及高程信息。

开展根石等水下探测工作时，应根据工程标准断面规划航线和测线，如现场无标准断面设置，可根据工程特征点设置测线。探测范围应覆盖标准断面或工作断面上的特征点位置。开展水下缺陷、管线等测量工作时，测线应垂直于相关异常体、管线或构筑物布置；对于长度小于20m的管线，应保证在不同位置覆盖异常体、管线或构筑物的测线不少于3条；对于更长管线，测线覆盖数量应满足目标体定位要求。

9.2.5 应结合堤防水上结构测量和水下浅地层剖面探测成果，绘制标准断面图；可根据各断面图成果计算根石缺失量。

11 同位素示踪法

11.0.1 人工流场是当被测量的井段里无水或水力梯度较小时，可通过井中注水获得所需要的水文地质参数。天然渗流场测井，是在无干扰的自然流态下，获得地下水渗流场的参数，特别是水库大坝绕坝肩或坝基的渗漏以及江河堤防的管涌渗漏均属于这种天然的集中渗流，其测量的效果显著。

环境同位素示踪法是利用环境同位素分析方法研究大坝渗漏，根据不同水体环境同位素之间存在的差异，并利用大气降水中稀有同位素的高程效应、纬度效应等，通过比较库水、当地降水、地下水与渗漏水之间的同位素特征，可以准确区分出地下水的补给来源，分析绕堤渗漏的水源及路径。

常用的同位素示踪剂包括82Br、131I、198Au等。82Br常用于就地测试，在水中以大于3个数量级的最大允许浓度提供灵敏的探测，可持续数天。采用单孔示踪法测试渗透水流向时可采用131I和198Au，采用单井稀释法测定渗透流速时可采用131I和82Br。198Au一般作为标记颗粒介质的示踪剂选入水文地质研究，在地下水研究中要考虑吸附问题。131I的半衰期适合于2个月的现场研究，为避免受有机物质吸附的影响，使用中要采取减少吸附的措施。

11.0.6 本条规定了同位素示踪法测量的数据处理和资料解释的几种方法和基本原则。实际工作中，应注意开发和研究新的更好的测量方法，注重测量资料与地质实际情况对比，使之更能切合实际反映堤防隐患的真实情况。不断总结经验、使其完善和提高。

利用“能量测量方法”，在天然流场下的单井中测量出水平流速*Vf*沿高程的分布曲线，划分出含水层与隔水层的位置分布，利用峰-峰测量方法，在单井中测量出隔水层顶底板处的垂向流速的大小和方向，根据垂向流速测量结果，计算出含水层的涌水量（+*Q*）或吸水量（-*Q*），再配合含水层水平流速的测量数值，利用“达西定律”和“立方定律”求解出各含水层的静水头高度（涌水为正水头；吸水为负水头），计算公式见式（3）。

 （3）

式中： —地下水渗透流速；

（2）地下水渗透系数计算公式。

 （4）

式中：*K*—渗透系数；

*J*—地下水的水力梯度。

（3）导水系数计算公式。

 （5）

式中：*T*—导水系数；

*M*—含水层厚度。