

ICS 编号

CCS 编号

# 团 体 标 准

T/CHES XXX—20XX

## 水利水电工程渗漏物探检测技术规程

Code for geophysical detection of leakage of

Water resources and hydropower projects

(送审稿)

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

中国水利学会 发 布

中国水利学会标准发布公告

关于批准发布《水利水电工程渗漏物探检测技术规程》标准的公告

202X 年第 X 号

中国水利学会批准《水利水电工程渗漏物探检测技术规程》（T/CHES XXXX-202X）为团体标准，现予以公布。

| 序号 | 标准名称             | 标准编号 | 代替标准编号 | 发布日期 | 实施日期 |
|----|------------------|------|--------|------|------|
| 1  | 水利水电工程渗漏物探检测技术规程 |      |        |      |      |

中国水利学会

202X 年 X 月 X 日

# 前 言

本标准按照 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。

本标准共分为8章和3个附录，主要技术内容包括总则、术语、基本规定、检测方法、库坝渗漏检测、堤防渗漏检测、引调水线路建筑物渗漏检测、其他渗漏检测等。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国水利学会（地址：北京市西城区白广路二条16号，邮编100053），以便今后修订时参考。

本标准主编单位：中水北方勘测设计研究有限责任公司

本标准参编单位：黄河勘测规划设计研究院有限公司

长江地球物理检测（武汉）有限公司

中水东北勘测设计研究有限责任公司

中国电建中南勘测设计研究院有限公司

中国电建西北勘测设计研究院有限公司

山东电力工程咨询院有限公司

中国电建昆明勘测设计研究院有限公司

中南大学

东华理工大学

本标准主要起草人：王志豪 刘康和 刘栋臣 杨嘉明

李国瑞 汤克轩 陈宗刚 肖长安

李广超 陈江平 陈 程 孙 旭

高 诚 刘 浩 汤井田 李 栋

李建超 刘占兴 陈 辉 孙治新

郭士明 秦玉龙 王长伟 刘 凯

赵洪鹏 魏继祖 胡晓磊

本标准主要审查人：XXX、XXX、XXX。

# 目 次

|                 |    |
|-----------------|----|
| 1 总则            | 1  |
| 2 术语            | 2  |
| 3 基本规定          | 1  |
| 3.1 检测内容、方法及要求  | 1  |
| 3.2 外业工作        | 1  |
| 3.3 资料解释与验证     | 2  |
| 3.4 成果报告        | 2  |
| 4 检测方法          | 3  |
| 4.1 自然电场法       | 3  |
| 4.2 充电法         | 3  |
| 4.3 高密度电法       | 4  |
| 4.4 伪随机流场法      | 5  |
| 4.5 探地雷达法       | 6  |
| 4.6 瞬变电磁法       | 7  |
| 4.7 示踪法         | 8  |
| 4.8 音频大地电磁测深法   | 8  |
| 4.9 面波法         | 9  |
| 4.10 层析成像法      | 9  |
| 4.11 水下检测法      | 10 |
| 4.12 钻孔测试       | 12 |
| 5 库坝渗漏检测        | 14 |
| 5.1 库盆防渗体渗漏检测   | 14 |
| 5.2 库岸渗漏检测      | 14 |
| 5.3 围堤渗漏检测      | 15 |
| 5.4 土石坝渗漏检测     | 15 |
| 5.5 混凝土坝渗漏检测    | 16 |
| 5.6 库坝防渗体渗漏检测   | 16 |
| 6 堤防渗漏检测        | 18 |
| 7 引调水线路建筑物渗漏检测  | 19 |
| 7.1 明渠渗漏检测      | 19 |
| 7.2 输水管涵渗漏检测    | 19 |
| 7.3 输水隧洞渗漏检测    | 20 |
| 7.4 交叉建筑物渗漏检测   | 21 |
| 8 其他渗漏检测        | 22 |
| 8.1 临建水工建筑物渗漏检测 | 22 |

8.2 基坑渗漏检测 ..... 22

8.3 闸基渗漏检测 ..... 22

附录 A 水利水电工程渗漏物探检测方法应用一览表 ..... 23

附录 B 常用公式 ..... 25

    B.1 自然电场法计算公式 ..... 25

    B.2 充电法计算公式 ..... 25

    B.3 探地雷达法计算公式 ..... 25

    B.4 瞬变电磁法计算公式 ..... 26

    B.5 示踪法计算公式 ..... 26

标准用词说明 ..... 28

条文说明 ..... 29

## 1 总则

1.0.1 为规范水利水电工程渗漏检测内容、技术要求，保障渗漏检测成果质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于在建和运行中的水利水电工程渗漏检测工作。

1.0.3 本标准主要引用下列标准：

GB50487 水利水电工程地质勘察规范

GB/T 50585 岩土工程勘察安全标准

GB/T 50123 土工试验方法标准

SL 55 中小型水利水电工程地质勘察规范

SL 188 堤防工程地质勘察规范

SL/T 291.1 水利水电工程勘探规程 第1部分：物探

SL/T 436 堤防隐患检测规程

SL 197 水利水电工程测量规范

SL 73.3 水利水电工程制图标准 勘测图

1.0.4 水利水电工程渗漏检测工作除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语

### 2.0.1 渗漏 leakage

由于水利水电工程挡水、防渗体缺陷或损坏失效而导致的由高处向低处漏失水量的现象。

### 2.0.2 渗漏隐患 Leakage hazards

影响或潜在影响挡水、防渗体挡水、防渗效果的质量缺陷、薄弱部位及其他不利因素。

### 2.0.3 渗漏入水口 leakage inlet

水利水电工程挡水、防渗体迎水侧渗漏水体流入的点或区域。

### 2.0.4 渗漏通道 Leakage passage

渗漏水体自渗漏入水口流至出水点所经过的区域。

### 2.0.5 坝体渗漏 leakage through dam

渗漏通道位于坝体内部的渗漏现象。

### 2.0.6 坝基渗漏 leakage through dam foundation

渗漏通道位于坝体基础的渗漏现象。

### 2.0.7 绕坝渗漏 leakage by-pass dam abutment

库水绕过大坝左右坝肩防渗体系经两岸岩土体向下游渗漏的现象。

### 2.0.8 堤身渗漏 embankment leakage

渗漏通道位于堤身内部的渗漏现象。

### 2.0.9 堤基渗漏 leakage of embankment foundation

渗漏通道位于堤身基础的渗漏现象。

### 2.0.10 闸基渗漏 leakage of gate foundation

渗漏通道位于闸室基础的渗漏现象。

### 2.0.11 示踪法 tracer method

通过在渗漏上游部位投入食盐、色素等示踪剂，在下游追踪示踪剂到达的位置和时间，从而获得渗漏速率参数、验证渗漏路径的测试方法。

### 2.0.12 伪随机流场法 pseudo-random flow field fitting method

利用电流场模拟渗流场，采用编码技术激发和接收，用于查明管涌等渗漏入水口位置的一种检测方法。

### 2.0.13 时移物探 geophysical exploration over time

采用地球物理检测方法对同一部位开展多期、连续性检测。

### 2.0.14 水下检测法 underwater detection method

基于光学、声学原理，利用相关设备在水下检测库坝、堤防及其他水工建筑物表观缺陷或渗漏的方法。

### 3 基本规定

#### 3.1 检测内容、方法及要求

- 3.1.1 水利水电工程渗漏检测的对象包括已形成渗漏或存在渗漏隐患的各类库坝、堤防，引调水建筑物、施工期临建水工建筑物、基坑以及其他水工建筑物基础等，以查明挡水建筑物背水侧渗漏出水口与迎水侧水体连通情况，渗漏通道，渗漏入水口位置和规模，洞穴、裂缝、松软层、砂层、溶蚀破碎带等渗漏隐患。
- 3.1.2 水利水电工程渗漏检测常用方法包括自然电场法、充电法、高密度电法、伪随机流场法等，各种检测方法的技术要求和仪器设备指标及设备管理应符合 SL/T 291.1、SL/T 436 的规定。
- 3.1.3 渗漏检测方法的选用应根据渗漏场景、渗漏类型、地质条件、物性特征、外部环境等因素综合确定。单一方法无法完成检测目的时，应采用具有互补效果的检测方法开展综合检测。受水位影响，单次检测无法覆盖检测范围时，应根据水位变化，进行时移物探检测。
- 3.1.4 检测工作宜分为普查和详查。普查宜采用快速、高效的检测方法，初步确定渗漏重点部位。详查宜在普查的基础上，通过增加测线、测点密度，或进行多方法综合检测以进一步提高重点部位检测精度。
- 3.1.5 检测圈定的异常（疑似渗漏、隐患等）部位应进行必要的验证，验证手段可选择连通试验、钻探、坑探、触探、锥探等方法。相关验证工作应执行 GB 50487、SL 55、SL 188 的有关规定。
- 3.1.6 渗漏检测工作应包括现场踏勘、工程资料收集、工作技术大纲或方案编制、现场检测、资料检查与评价、数据处理与资料解释、成果报告编写等。
- 3.1.7 渗漏检测工作技术大纲或方案应在外业工作实施之前编制，其主要内容宜按 SL/T 291.1 的有关规定执行。

#### 3.2 外业工作

- 3.2.1 应调查收集被检测水利水电工程的地质勘察、设计、施工、运行、处理加固资料，以及历次渗漏出险情况等。
- 3.2.2 应根据工程和检测区域规模确定测区、测线、测点分布。测线布置应根据工程规模进行规划。检测时宜布置多条平行测线，且测线方向宜沿工程轴线、防渗体走向及垂直潜在的渗漏通道方向，测区范围应大于预估渗漏区域，检测深度应大于预估渗漏深度。可根据追踪渗漏的需要，延伸或加密布置测线、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。布置测区、测线、测点时，应确认其与水利水电工程管理桩号的对应关系。测量定位精度应符合 SL 197 的规定。
- 3.2.4 检测时应填写检测班报，班报中应记录渗漏出水口分布、特征，挡水建筑物外观及其迎水侧水位，检测环境、天气、人员、仪器等情况。
- 3.2.5 检测过程中，发现异常点后应及时分析原因，必要时进行重复观测，并在班报中记录。分班、分区段检测时，不同班次、区段次应保证一定的重复检测范围。检测过程中应进行检查观测，检查点宜均匀分布在全测区。重复观测和检查观测应符合 SL/T 291、SL/T 436 的规定。
- 3.2.6 检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，将测点号转换为工程桩号，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查看或重测。
- 3.2.7 每班在检测前应检查仪器，并作相应记录。工作中应注意人身和仪器设备安全，安全作业与管理应符合 GB/T 50585 的规定。

### 3.3 资料解释与验证

#### 3.3.1 资料解释、验证与出具检测成果宜按下列步骤进行：

- 1 整理资料。
- 2 绘制图件。
- 3 分析检测资料，确定解释原则。
- 4 确定渗漏或隐患的性质、位置及埋深。
- 5 提出验证意见，组织验证。
- 6 根据验证结果评价、修正解释成果。
- 7 编写成果报告、绘制成果图件。
- 8 出版、装订成果报告、成果图件。

3.3.2 分析检测资料、确定解释原则应结合水利水电工程的历史沿革、加固情况、汛期险情、防汛水位和检测班报等资料进行。资料解释和验证工作要结合水利水电工程结构设计资料和有关地质勘察资料进行。

3.3.3 需要对检测数据进行反演处理的方法，应选择适宜的模型开展数值模拟或物理模拟以验证反演效果。

3.3.4 应统计分析已知渗漏区的物性特征，指导检测剖面内渗漏或隐患异常的识别。

3.3.5 宜采用连通试验、钻探、坑探、触探、锥探等方法对异常进行验证。验证点宜取样做室内试验。

3.3.6 应利用地面物探成果、钻孔测试成果、验证资料及其他已知资料进行综合分析解释，解释成果应能互相印证。

3.3.7 应对比分析多条平行测线剖面上异常区域的平面和高程位置，对渗漏隐患的空间分布和渗漏通道的关联情况进行判断。

3.3.8 可根据渗漏及隐患的分布情况、背景值、图像特征等，进行渗漏或隐患分区。宜划分为严重渗漏区、一般渗漏区、散浸区和隐患区。

3.3.9 宜利用空间坐标关系绘制检测成果的二维曲线分布图和三维切片图。

### 3.4 成果报告

3.4.1 渗漏检测成果报告宜包括概况、方法技术、现场检测、资料分析与解释验证、结论与建议、有关图表等内容。

3.4.2 概况宜包括工程概况、渗漏简况、任务来源、检测内容、现场检测工作情况、工作量完成况等。

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

3.4.4 现场检测宜包括现场工作实施情况、质量控制目标、质量控制措施等。

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、渗漏位置及范围推断解释、验证情况等。

3.4.6 结论与建议宜包括渗漏检测成果结论、任务解决程度、成果验证对比情况、渗漏情况评价及防渗加固处理建议等内容。

3.4.7 检测成果报告应有图和表。成果图应符合 SL 73.3 的规定，可包括测线布置图、检测成果图及成果解释图等。表宜包括工作量统计表、物性参数表、仪器参数表、成果统计表等。

## 4 检测方法

### 4.1 自然电场法

4.1.1 自然电场法可用于检测水利水电工程集中渗流、渗漏通道、渗漏入口及渗漏流向等。

4.1.2 自然电场法观测方式包括电位法和梯度法。

4.1.3 采用自然电场法检测渗漏应满足下列条件：

- 1 渗漏区内的渗流场宜有较大的压力差，在渗透过滤、扩散吸附等作用下形成较强的自然电场。
- 2 测区内应无较强的工业游散电流、大地电流或其它电磁干扰。
- 3 应能从干扰背景中分辨出有效信号。

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 检测渗漏入口位置时，宜距岸边 0.5m 左右在水面布设 1 条测线；有条件追踪渗漏管涌入口位置时，宜增设数条平行于堤岸的水面测线；检测渗漏、管涌通道时，除设前述水面测线外，宜在挡水建筑物迎水侧和背水侧等处增设平行于挡水建筑物的多条测线。

2 宜先选用较大点距（宜为 2m~5m）检测，发现异常后，再用较小点距（不宜小于 1m）加密检测。

3 各测区在观测前和观测后应观测所用不极化电极的极差；极差绝对值在工作开始时应小于 2mV，收工时应小于 3mV。

4 电位法观测时，总基点应选择在测区自然电场平稳地段，且接地良好，同时兼顾联测作业的方便。分基点应选在自然电场稳定、交通方便，并且可用最少导线完成控制区域的地点。

5 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。

6 测量时应关闭仪器的自电补偿功能。

7 不极化电极应挖坑埋放，清除坑内碎石、杂草，保证电极与坑内土壤接地良好。

8 进行梯度测量时，应交替跑极，以减少电极极差累计造成的误差。

4.1.5 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 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。

2 应根据工程、环境条件分段确定背景值，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 倍时，可确定为有效异常。

4 应根据剖面曲线图或平面等值线图确定异常体范围，可根据异常分布、幅值等特点估算渗漏异常体规模、埋深。

5 成果图表应包括自然电位曲线图、自然电位平面等值线图、渗漏及隐患分布图。

### 4.2 充电法

4.2.1 充电法可用于检测渗流、渗漏通道，渗漏入口位置及流向等。

4.2.2 充电法观测方式包括电位法、梯度法和追索等电位法。

4.2.3 采用充电法检测渗漏应满足下列条件：

- 1 渗漏区与其周边介质之间应有明显电性差异。
- 2 渗漏区相对其埋深和测试装置长度应有一定的规模。
- 3 渗漏区上方应无极高电阻屏蔽层。

- 4 测试渗漏入口位置时,挡水建筑物背水侧渗漏出水口应与迎水侧水体相连通。
  - 6 测试渗漏水的流速、流向时,充电点应布置在与挡水建筑物背水侧有水流联系的井、孔中。
  - 7 测区内应无较强的工业游散电流或其它电磁干扰。
- 4.2.4 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 测线布置宜符合本规程 4.1.4 节第 1 款的相关规定。
  - 2 供电电极宜选用铜电极,测量电极宜选用不极化电极。
  - 3 测线间距宜为 5m~10m,测点间距宜为 1m~5m。
  - 4 充电点应置于渗漏出水口处,有多处渗漏时,可布置多个充电点,相邻充电点宜相距一定距离;“无穷远”极到测区中心的距离应不小于测区对角线长度的 2 倍,且不小于 500m。
  - 5 进行电位测量时应固定 N 极,N 极到测区中心的距离应不小于测区对角线长度的 2 倍,且不小于 500m。N 极应布置在“无穷远”极的反方向上。
  - 6 测量时应保证持续稳定供电,供电电流应不小于 0.5A。
  - 7 进行梯度测量时,测量电极前后顺序和极距应保持不变。
- 4.2.5 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 电位观测应计算每个测点的归一化电位值,梯度观测应计算每个测点的归一化电位梯度值。
  - 2 背景值和异常的确定标准应符合本规程 4.1.5 节第 2~3 款的相关规定。
  - 3 应使用电位剖面曲线的极大值或梯度剖面曲线的“0”值确定异常的平面点位。
  - 4 应根据电位或梯度曲线的异常幅值、范围、形态等估算渗漏异常体规模、埋深。
  - 5 成果图表应包括电位或梯度剖面曲线图或平面等值线图、渗漏及隐患分布图。

#### 4.3 高密度电法

- 4.3.1 高密度电法可用于检测水利水电工程渗漏通道和渗漏隐患
- 4.3.2 高密度电法装置类型宜采用对称四极装置。
- 4.3.3 采用高密度电法检测渗漏通道或渗漏隐患时应满足下列条件:
- 1 被检测目标体与周边介质之间应有明显电性差异。
  - 2 被检测的目标体相对于埋深和装置长度应有一定的规模。
  - 3 测区内应无较强的工业游散电流。
- 4.3.4 高密度电法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 测线宜与渗漏通道或渗漏隐患走向垂直,且使布极方向的地形起伏对测试数据影响最小。
  - 2 相邻排列的电极重复数量应能保证最大目标检测深度的测点数据连续。
  - 3 观测前应检查排列中全部电极的接地条件并确保电极的连接顺序正确。
  - 4 个别电极遇到硬化场地或接地条件不良时,应堆土或挖坑填土,土的厚度应不小于电极长度。
- 4.3.5 数据处理和资料解释除符合本规程 3.3 节的规定外,还应满足下列要求:
- 1 数据处理应采用经评定合格的处理软件。同一工区应采用统一的反演参数。
  - 2 解释时应分析综合资料,充分考虑地质情况或相关的工程技术资料与检测结果的内在联系,以及可能存在的干扰因素。
  - 3 应进行数据格式整理、坏值剔除、地形校正及格式转换、拼接等预处理。
  - 4 应绘制整条测线的高密度电法视电阻率断面图。

5 宜选择带地形的反演算法进行电阻率图像处理。

6 应根据视电阻率断面图和反演电阻率断面图综合确定渗漏通道或渗漏隐患的范围，并估算渗漏异常体规模和埋深。

7 成果图表应包括视电阻率断面图、反演电阻率断面图，渗漏及隐患分布图等。

#### 4.4 伪随机流场法

4.4.1 伪随机流场法可用于检测水利水电工程集中渗漏及管涌通道入渗口的位置和范围。

4.4.2 伪随机流场法应在水体中进行观测，包括连续扫描观测方式和点测方式。

4.4.3 伪随机流场法检测渗漏入水口的适用条件应符合下列规定：

1 渗漏出水口与渗漏入水口应有水流联系，并有一定的渗漏量和流速。

2 水深应大于 0.6m，且不宜超过 50m。

4.4.4 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 测线宜网格状布置，并避开金属物。

2 检测时宜连续扫描，分为普查和详查定位 2 个工作阶段。普查测线间距宜按 3m~5m 扫描；详查定位测线间距宜按 1m 左右扫描。发现异常时宜采用点测方式，测点间距宜为 0.5m~1m。

3 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，距离宜为测区边长的 2 倍~5 倍。

4 出水点电极宜采用电极板，电极板入水面积宜为电极板面积的 1/3~2/3，若出水点不具备放置电极板条件时，宜采用铅棒电极。

5 供电导线宜使用 1.5mm<sup>2</sup>~2.5mm<sup>2</sup> 的多芯铜线。

6 检测前应测量感应探头 2 极电阻，电阻应大于 100kΩ。

7 船只宜采用非金属的橡皮艇、木板船，且能容纳 3 人~5 人。在流动水体中检测时，测量船只宜顺流观测。

8 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。

9 工作中，供电电流宜控制在 400mA~500mA。

10 测试时探头宜先放置至水底后再垂直向上提升 10cm，记录数时宜保持接收探头垂直。

11 发送机供电电流强度应保持稳定，电流强度变化应不超过 2%。

12 应记录信号放大倍数、探头入水深度、水位高程和发送电流值等信息。

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

1 应根据发送电流值、信号放大倍数对观测电位梯度值进行归一化处理。

2 应以已知未发生渗漏的区段测得的水位梯度值作为测区背景值，可根据地质、环境条件确定测区背景值，剔除干扰异常。相对异常大于或等于 2 倍背景值时可作为有效异常。

3 应根据有效异常值、异常范围、测试曲线的形态，确定渗漏入水口的范围和特征。

4 应结合已有地质资料、水位监测资料和工程设计资料，分析电位梯度异常的幅值、范围和形态等曲线特征与已知渗漏方式的关系，对未知地段的渗漏情况、规模、渗漏方式等进行推断解释。

5 伪随机流场法成果应圈定渗漏入口的位置、范围，推断渗漏区的渗漏方式等。

6 伪随机流场法图件宜包括电位梯度曲线图、电位梯度等值线图和水深等值线图，渗漏位置分布平面图等解释成果图。

## 4.5 探地雷达法

4.5.1 探地雷达法可用于检测水利水电工程渗漏通道和渗漏隐患。

4.5.2 探地雷达法宜根据渗漏或隐患的性状和环境条件选用剖面法、透射法、宽角法、共中心点法、和三维雷达检测方式。

4.5.3 采用探地雷达法检测渗漏通道或隐患应满足下列条件：

1 渗漏通道或隐患与周边介质之间应具有明显的介电常数差异。

2 相对于天线尺寸，检测表面宜平整。

3 不宜检测高电导率屏蔽层下的渗漏通道或隐患。

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 渗漏通道或隐患应具有有一定规模，埋藏深度不宜过大。渗漏通道或隐患垂向厚度应大于检测时所用电磁波在周边介质中有效波长的  $1/4$ ；水平宽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渗漏隐患时，其检测渗漏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用于测试介质的电磁波速时，在测线范围内，目的层底界面应与测试表面平行，测试的介质应均匀。

4.5.4 外业工作除应符合 3.2 节规定外，还应符合下列规定：

1 应根据渗漏通道或隐患平面范围和埋深确定测网、测线布置，保证同一方向有 3 条测线经过目标体。

2 普查检测时，点测模式下测点间距应为  $0.2\text{m}\sim 1\text{m}$ ，连测模式下天线移动速率宜用较大值；

3 详查检测时，点测模式下测点间距应为  $0.1\text{m}\sim 0.5\text{m}$ ，连测模式下天线移动速率宜用较小值。

4 应根据检测深度和分辨率合理选择天线中心频率。

5 记录时窗宜按最大检测深度与上覆介质平均电磁波速度之比的 2.5 倍 $\sim$ 3 倍数值选取。采样率宜为天线频率的 15 倍 $\sim$ 20 倍。发射与接收天线间距宜小于最大检测目标埋深的 20%。同一测区现场检测检测参数应保持一致。

6 采用宽角法与共中心点法测试介质的电磁波速时，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 剖面法检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应不大于天线宽度的  $1/3$ 。

8 检测过程中，天线宜紧贴检测面，保持耦合良好。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。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  $6\text{m}/\text{min}\sim 20\text{m}/\text{min}$ ，每 10m 应至少校对一次测量桩号，允许误差为  $\pm 1\%$ 。点测采样时应保证天线静止。

9 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。

4.5.5 数据处理和资料解释除符合本规程 3.3 节的规定外，还应满足下列要求：

1 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。

2 宽角法和共中心点法反射波初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.3 的规定。

3 检测数据预处理宜包括数字滤波、反褶积、偏移绕射、图像增强、地形校正等。

4 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。

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

6 宜通过已知信息与雷达图像进行对比，建立测区检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。

7 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。

8 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渗漏通道或隐患的空间形态分析、三维建模。

9 应依据上覆介质的电磁波速度参数进行时深转换，确定渗漏通道或隐患埋深，渗漏性状或隐患性质宜结合地质资料确定。

10 成果图件应包括工作布置图、雷达解释剖面图、检测成果表、综合成果图等。雷达解释剖面图上应标明所检测水工建筑物高度，勘探点的位置以及渗漏性状及隐患性质、位置和埋深。

#### 4.6 瞬变电磁法

4.6.1 瞬变电磁法可用于检测水利水电工程渗漏通道，松散体、富水体、砂层等渗漏隐患。

4.6.2 瞬变电磁法宜选择重叠回线、中心回线装置。

4.6.3 采用瞬变电磁法检测渗漏和渗漏隐患应符合下列规定：

1 目标体与周边介质之间存在可被观测到的电性差异，并在所用装置的检测深度范围内，且位于检测盲区以下。

2 目标体相对于埋藏深度具有一定规模。

3 测区内地形起伏相对平缓。

4 测区内不应有电网、电磁波发射站、变电站、发电站等强电磁干扰源；也应不有大型金属导体或金属构筑物等强导体。

4.6.4 瞬变电磁法外业工作除应符合 3.2 节规定外，还应符合下列规定：

1 在库坝渗漏通道检测中，瞬变电磁法宜在库坝迎水面、背水面、渗漏管涌进出口布置测线网。测线宜按直线布置，当受场地条件限制时，可布置成折线，测点间距宜为 1m~2m。

2 应根据附录 B.4 公式估算最大检测深度和采样时间。

3 接收线圈应避开铁路、金属管线、输变电线等金属物体，必要时允许弃点。

4 不得在雷雨天气进行野外作业，突遇雷电时应迅速关机，断开仪器所有连接线。

5 敷设线框时，应将剩余导线呈“S”形铺于地面，应不将其留在绕线架上。

6 现场观测时，应记录干扰源、地表变形等异常现象。

7 对瞬间干扰应暂停观测，排除干扰后再进行检测，必要时可移动点位避开干扰源重测并记录。每个测点观测完毕后，应检查数据和衰减曲线，合格后方可进行下一点观测。

8 叠加次数应依据数据的信噪比进行选择。

9 野外观测值只允许最后的 3 道~5 道的观测值在噪声电平以下，否则应查明原因并采用增加叠加次数等方法重复观测。

4.6.5 瞬变电磁法数据处理和资料解释除应符合本规程 3.3 节的规定外，还应满足下列规定：

- 1 应按附录 B.4 相关公式计算曲线相应时刻的视电阻率  $\rho_s$  和视时间常数  $\tau_s$ 。
- 2 定性解释应通过视电阻率  $\rho_s$  曲线的形态特征确定地电类型。
- 3 应计算出每条测线的视电阻率  $\rho_s$ 、视时间常数  $\tau_s$  的二维断面，并将其转换成深度剖面图。
- 4 应通过典型剖面曲线分析、时间常数计算、反演处理等方法得出异常体特性和空间分布情况。
- 5 条件允许时，宜进行三维建模分析异常体特性和空间分布情况，三维建模宜包括三维图、切片图、等值面图等。

6 瞬变电磁法成果图件宜包括各测线的感应电压  $V_s$  多测道图，视时间常数  $\tau_s$  等值线平面图，反演视电阻率  $\rho_s$  拟断面图，解译渗漏或渗漏隐患的平面图、剖面图。

#### 4.7 示踪法

4.7.1 示踪法可用于检测渗漏水流向、流速，分析判断渗漏水来源。

4.7.2 示踪剂宜选用颜色示踪剂、离子示踪剂。

4.7.3 示踪法检测渗漏应满足下列条件：

- 1 渗漏通道的长度宜小于 1000m。
- 2 渗漏水宜有一定的流速。

4.7.4 外业工作除应符合 3.2 节规定和 SL/T 436 的规定外，还应符合下列规定：

- 1 示踪剂投放前应先测量投放点及渗漏水点水体的本底值。
- 2 示踪剂应投放在潜在的渗漏入口附近或钻孔可能的渗漏部位。
- 3 应记录投放时间、投放量等信息。
- 4 示踪剂投放后，应根据潜在的渗漏通道长度，在出水点多次测量。
- 5 检测到示踪剂后的测量间隔可逐渐加长。
- 6 钻孔测量时，测定间距不宜大于 1m，异常点应进行多次重复测量。

4.7.5 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 钻孔中或孔间进行示踪测量时，应按附录 B.5 的相关公式计算渗漏区渗透系数、渗透流速等参数。
- 2 成果图表宜包括测区的流速矢量平面分布图；渗漏通道的剖面分布图；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等。

#### 4.8 音频大地电磁测深法

4.8.1 音频大地电磁测深法可用于检测埋深较大的岩溶通道、构造破碎带等形式的渗漏通道。

4.8.2 音频大地电磁测深法渗漏通道应满足下列条件：

- 1 渗漏通道相对于围岩具有明显的电性差异。
- 2 渗漏通道应位于检测盲区以下，且相对于埋深应具有一定的规模。
- 3 测区内应没有较强的工业游散电流、大地电流或电磁干扰。

4.8.3 外业工作除应符合 3.2 节规定外，还应符合下列规定：

- 1 检测渗漏通道时，宜沿库岸或垂直于预估渗漏通道的方向布置测线。
- 2 现场条件适合时应布置多条平行测线，测点距宜为 5m~20m，测线距宜为 10m~50m，发现渗漏异常区域宜加密测点。
- 3 现场条件适合时应采用电磁场张量测量方式。

4 当受地形条件限制，测点无法布设时，宜沿垂直测线方向移动测点。

4.8.4 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 数据处理宜包括数据检查、主轴判别、坏点删除、数据编辑、曲线平滑、添加地形及反演计算。

2 应对全测区视电阻率、相位曲线进行对比、分类，根据曲线类型分析地电结构特征。

3 应结合钻孔和其他已知资料对反演电阻率断面进行解译，必要时可再次分析原始数据，调整反演参数，重新反演，直至验证可靠、解释合理为止。

4 成果图件宜包括：测线布置图、视电阻率反演成果及成果解释图、推测的渗漏通道平面和剖面分布图等。

#### 4.9 面波法

4.9.1 面波法可用于检测渗漏通道以及洞穴、松软层、砂层、溶蚀破碎带等渗漏隐患。

4.9.2 采用面波法检测渗漏或隐患可选用瞬态面波法和被动源面波法。

4.9.3 采用面波法检测渗漏或隐患应满足下列条件：

1 渗漏区与其周边地层应存在大于 20%的面波波速差异。

2 渗漏通道或渗漏隐患相对于排列长度和埋深应具有一定规模。

3 地面应相对平坦或坡面为单斜且起伏不大，应避免沟、坎等复杂地形和障碍物的影响。

4.9.4 外业工作除应符合 3.2 节规定外，还应符合下列规定：

1 一个工区开展工作前和结束工作后应对地震仪和检波器进行一致性检查，检查工作应符合 SL/T 291 的规定。

2 应在工区正式检测前进行试验工作，试验要求应符合 SL/T 291 的规定。

3 观测系统选择应符合 SL/T 291 的规定。

4 瞬态面波法宜选用固有频率为 1~5Hz 垂直或三分量检波器，被动源面波法宜选用固有频率不大于 2Hz 的垂直或三分量检波器。

5 检波点距应小于最小检测地层厚度所需波长的 1/2，排列长度应满足检测深度要求。

6 瞬态面波法记录长度应满足最大源检距基阶面波的采集需要。被动源面波法单点采集时长不应少于 20min。

7 检测时仪器应设置为全通无滤波状态，仪器各道增益应一致。

8 宜在渗漏隐患位置、渗漏通道上方布设多条平行测线，测点间距宜为 5~20m，测线间距宜为 10~50m。

9 现场检测应避开干扰源，如无法避开，则应做好观测记录。

4.9.5 数据处理与资料解释除应符合本规程 3.3 节的规定和 SL/T 291 的规定外，还应符合下列规定：

1 地震面波法资料解释宜结合频散曲线特征和横波速度剖面成果及已知资料综合分析。

2 成果图包括测线（点）平面布置图、频散曲线图、速度—深度剖面图、物探解释图、渗漏位置分布平面图及剖面图等。

#### 4.10 层析成像法

4.10.1 层析成像法可用于详查检测渗漏通道和渗漏隐患。

4.10.2 层析成像法宜选用声波 CT、地震波 CT、电磁波 CT 方法。

4.10.3 采用层析成像法检测渗漏通道或隐患应满足下列条件：

1 渗漏或隐患区和周边介质应具有相应的弹性、电性差异。

- 2 检测区域周边至少两侧应具备钻孔或临空面等检测条件,待测渗漏区域宜相对位于扫描断面的中部。
- 3 声波 CT 和地震波 CT 孔内应有井液耦合,且测试时周边环境不宜存在较大的振动干扰。
- 4 电磁波 CT 测试钻孔内不应有金属套管或其他金属介质,且测试时周边环境不应有较强的电磁干扰。
- 5 孔间距不应大于激发能量所能穿透的最大距离,且宜小于钻孔深度的 2/3。

4.10.4 层析成像法外业工作除应符合 3.2 节规定外,还应符合下列规定:

- 1 层析成像法剖面宜垂直于渗漏通道或渗漏隐患的走向。
- 2 发射和接收点距应根据预估渗漏区的规模确定,应保证渗漏区域内至少有 3 条射线经过。
- 3 在同一剖面上进行多组孔间观测时,观测系统宜保持一致。
- 4 应测量钻孔的方位和倾角。建立成像区域相对坐标系,确定激发点和接收点的坐标。
- 5 宜采用定点扇形扫描方式。射线宜分布均匀,交叉最大角度宜大于 45°。

6 声波 CT 和地震波 CT,宜选择孔壁相对完整的孔作为接收孔,当孔壁条件较差时,应采用塑料或金属套管进行保护,采用多道接收方式观测时,同一激发点的相邻接收排列重复应不少于一道。。

4.10.5 数据处理与资料解释应符合本规程 3.3 的规定和 SL/T 291.1 的规定。

4.10.6 层析成像法检测成果应提供工作布置图、CT 成果图、渗漏异常平面图及剖面图。

#### 4.11 水下检测法

4.11.1 水下检测法可用于渗漏入口及表观渗漏隐患的普查、详查和验证。

4.11.2 水下检测法宜选用水下摄像法和水下声呐法,水下声呐法包括二维图像声呐法、三维成像声呐法、多波束声呐法、侧扫声呐法。

4.11.3 水下检测法检测渗漏通道或隐患应满足下列条件:

- 1 水下摄像宜搭载在水下机器人上或潜水员手持使用,水下环境能见度宜大于 0.5m。
- 2 图像声呐法宜搭载在水下机器人或支架上使用,水下环境宜相对开阔。
- 3 多波束声呐、侧扫声呐宜搭载在测量船上使用,水域宜相对开阔。
- 4 水流速度不宜超过 1.5m/s。

4.11.4 外业工作除应符合 3.2 节规定外,还应满足下列技术要求:

1 水下摄像法应满足下列规定:

- 1) 作业前准备和检查应包括:宜选择合适位置安置地面作业平台,应根据工作需要和现场实际情况选择合适的下水位置并搭建下水辅助设施,设备下水前应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。
- 2) 建筑物表面存在淤积、附着物等影响摄像检查效果时应进行清理。
- 3) 水下定位可采用惯性导航定位系统、水声定位系统,可根据检查区域的特征点,利用深度传感器、图像声呐等进行定位。
- 4) 应根据建筑物结构特点合理安排检查路线。
- 5) 发现表面缺陷时应暂停工作,及时记录、定位和重点观察;发现渗漏时宜结合水下喷墨,观察颜料吸入情况。
- 6) 判断缺陷尺寸宜采用激光标尺或带有刻度的参照物。
- 7) 当天收工后应对检查视频进行回放,发现遗漏或可疑处应进行重新观测。

2 二维图像声呐法应满足下列规定:

- 1) 开展工作前应根据现场环境和检测目的规划合理的固定点位置或水下机器人行进路线。
  - 2) 检测距离小于 10m 时宜选择 2000kHz 以上频率探头, 检测距离 10m~50m 时宜选择 900kHz~2000kHz 频率探头。
  - 3) 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。
- 再) 扫描过程中应进行实时监测, 根据目标体图像情况合理设置增益, 发现异常部位应进行重复扫描。
- 5) 需进行多次检测图像拼接时应使重复检测区域大于图像面积的 1/3。

**3 三维成像声呐法应满足下列规定:**

- 1) 采用坐点扫描时宜根据待检区域合理设置坐点位置, 需多次检测开展数据拼接时应保证重复区域大于 20%, 采用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。采集前应进行工作水域声速测定。
- 2) 检测距离小于 10m 时宜选择 2000kHz 以上频率探头, 检测 10m~30m 时宜选择 1300kHz~2000kHz 频率探头。

**4 多波束声呐法应满足下列规定:**

- 1) 多波束声呐应以平行于检测区域长轴方向为原则布设测线, 当多条测线形成测网时, 相邻测线数据覆盖率应大于 20%, 应在垂直主测线方向布置联络测线, 联络测线长度应大于主测线长度的 5%。
- 2) 现场工作除应按 JL/T 790 的规定执行外, 水下建筑物缺陷检测精度应符合特等测量等级的要求。
- 3) 多波束声呐测量定位宜采用载波相位差分技术 (RTK) 系统, 检测前后应记录测区水位。
- 4) 应测量并记录仪器设备和定位点之间的距离和高差。
- 5) 正式作业前应进行系统稳定性试验, 水深小于 30m 时重复误差应小于 0.6m, 水深大于 30m 时重复误差应小于水深的 2%。
- 6) 每次测量开始前和结束后均应测定换能器入水深度, 测量误差应小于 5cm。应测量代表性区域声速剖面, 测试误差应小于 1m/s。
- 7) 应根据多波束数据更新率、波束脚印和测区最浅水深确定船只最大航速。测量船应提前上线, 保持匀速直线航线。
- 8) 测量过程中应实时监控数据覆盖情况和质量, 当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, 必要时宜补测或重测。

**5 侧扫声呐应满足下列规定:**

- 1) 侧扫声呐系统安装调试、现场检查应符合《侧扫声呐测量技术要求》JT/T 1362 的相关规定。
- 2) 定位宜采用 RTK 系统。
- 3) 观测前应选择代表性区域进行调试, 选择合适的采集参数, 确保声呐信号清晰。
- 4) 测试过程中, 测量船应保持匀速、直线航行, 船速应低于 3 节。
- 5) 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。

**4.11.5 数据处理和资料解释除符合本规程 3.3 节的规定外, 还应满足下列要求:**

- 1 采用多种方法检测时, 宜在水下建筑物进行三维建模的基础上开展数据对比分析; 渗漏或表面缺陷检测资料分析宜与设计、竣工或历史检测资料进行对比, 分析缺陷或异常部位形态变化, 判断渗漏或缺陷

情况。

2 水下摄像数据应回放分析，截取渗漏或缺陷部位视频；可对成果进行图像增强处理。资料解释应判断渗漏或缺陷位置、规模和性质。

3 二维图像声呐数据处理宜在图像上标识渗漏目标体，分析渗漏规模、位置等信息，同一渗漏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。。

4 三维成像声呐应进行噪声处理、数据拼接和三维数据建模处理，在建模数据上开展建筑物尺寸、位置及渗漏等分析解释。

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；资料解释应根据需要绘制相关图件，在此基础上开展建筑物和地形外形变化和渗漏情况分析。

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，进行图像拼接，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建筑物渗漏情况进行解释。

7 成果宜符合下列规定：

- 1) 水下摄像成果宜包括渗漏或缺陷部位视频及对应的解释图件。
- 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、平面等值线图及渗漏分布图等。
- 4) 多波束声呐成果宜包括水深图、三维数字高程模型图、典型断面图及渗漏分布图等。
- 5) 侧扫声呐成果宜包括侧扫声呐镶嵌图及解释图等。

#### 4.12 钻孔测试

4.12.1 钻孔测试可用于渗漏通道和渗漏隐患的详查和验证。

4.12.2 钻孔测试宜选用钻孔全景数字成像法、超声成像法、单孔声波法、井温测试等方法。

4.12.3 钻孔全景数字成像法可用于观察孔壁渗漏水现象分布和潜在渗漏水区的分布；超声成像法可用于检测孔壁潜在渗漏水区分布和孔壁岩土体超声波反射系数分布；单孔声波法可用于检测孔壁波速分布；井温测井可用于检测井温异常分布。

4.12.4 钻孔测试检测渗漏或隐患应符合下列条件：

1 钻孔全景数字成像法测试钻孔应为无套管的清水孔或干孔、孔壁干净，渗漏或隐患与周围介质存在表观差异。

2 超声成像法测试钻孔中渗漏或隐患与背景介质超声波反射系数应有明显的差异，测试段应有井液，且井液密度应不大于  $1.25\text{g/cm}^3$ 、无套管，孔壁干净。

3 单孔声波法测试钻孔中渗漏或隐患与背景介质波速应存在明显的差异，测试段应有水。

4 井温测试应在无套管的裸孔段或下有花管的孔段进行观测，并应在井液循环基本结束、井壁介质温度稳定后进行测试，测试前 12h 井液应无扰动。

4.12.5 外业工作除应符合本规程 3.2 节的规定和 SL/T 291.1 的规定外，还应符合下列规定：

- 1 测试钻孔应布置在普查确定的渗漏通道或渗漏隐患异常的中心部位，孔深应不小于异常的深度。
- 2 钻孔结束后，应采用 RTK 测量孔口坐标。
- 3 钻孔全景数字成像测试应保存视频资料。
- 4 井温测试前应在空气中校准探头，待探头测试温度与环境温度一致后开始测试；井温测试前后宜对

渗漏来源水体和渗漏出口水体进行温度测试。

5 同一钻孔开展多种钻孔测试方法时，应先测量井温。

4.12.6 数据处理与资料解释除应符合本规程 3.3 节的规定和 SL/T 291.1 的规定外，还应符合下列规定：

1 资料解释应结合钻孔地质编录、压水试验、注水试验、稳定水位、土工试验等成果综合分析。

2 钻孔全景数字成像应根据孔壁展开图，圈定表观渗漏水 and 潜在渗漏水区分布，然后根据视频资料定性分析渗漏水量大小。

3 超声成像法应根据图像亮度大小与声阻抗关系进行岩性判断和异常圈定。

4 井温测试应结合渗漏来源水体和渗漏出口水体温度，根据井温测试结果定性分析渗漏位置。

5 各测试方法检测异常位置应转化成高程或建筑物桩号，进行综合对比分析。

6 检测成果宜包括各测试方法钻孔柱状图或多种测试方法综合测井钻孔柱状图、渗漏异常分布平面图及剖面图、渗漏异常统计表及必要的文字说明。

## 5 库坝渗漏检测

### 5.1 库盆防渗体渗漏检测

5.1.1 库盆防渗体渗漏检测内容宜包含渗漏入水口的位置和规模。

5.1.2 库盆防渗体渗漏检测宜包括放空状态检测和蓄水状态检测。

5.1.3 放空状态库盆防渗体渗漏检测宜采用高密度电法、充电法、探地雷达法和自然电场法等。蓄水状态库盆防渗体渗漏检测宜采用伪随机流场法、水下摄像法、水下声纳法等。

5.1.4 放空状态下库盆防渗体渗漏检测应符合下列规定：

1 渗漏检测前应进行人工调查和地表测绘，圈定防渗结构表面覆盖体凹陷、鼓包、缺失及其他表面异常。

2 检测范围宜包含全库盆防渗区和坝体土工膜防渗区。

3 土工膜防渗体隐蔽渗漏区检测宜选择充电法、自然电场法和探地雷达法；非土工膜防渗体隐蔽渗漏区检测宜选择高密度电法。

4 测线宜呈网状布置，普查阶段测线间距宜为 5m~10m，测点距宜为 2m~5m，详查阶段测线间距宜小于 5m，测点距宜为 1m~2m。

5.1.5 蓄水状态下库盆防渗体渗漏检测应符合下列规定：

1 检测时宜先采用伪随机流场法在库区水域进行普查，对伪随机流场法发现的疑似渗漏区宜采用水下摄像法进行详查和验证。

2 检测时段宜选择在水库高水位运行时段。

3 有条件时，宜采用水下声纳法辅助检测水底冲坑、凹陷等潜在渗漏隐患。

5.1.6 充电法和伪随机流场法平面等值线图上渗漏异常宜为高电位梯度圈闭。

### 5.2 库岸渗漏检测

5.2.1 库岸渗漏检测内容宜包括连通库岸内外的岩溶通道、构造破碎带、裂隙密集带等的位置、形态分布及埋深。

5.2.2 埋深较小的库岸渗漏检测方法宜选用高密度电法、自然电场法、充电法、瞬变电磁法、面波法；埋深较大的库岸渗漏检测方法宜选用音频大地电磁测深法、瞬变电磁法、面波法；库岸渗漏详查和验证方法宜选用钻孔测试、层析成像法和示踪法。

5.2.3 库岸渗漏检测应符合下列规定：

1 检测前应进行现场踏勘，复核渗漏出水口分布、渗漏现状，分析前期设计、施工等已知资料，初步预估重点检测范围，类比渗漏及背景介质物性特征。

2 根据渗漏范围、物性差异和现场检测条件，确定检测方法。

3 物探测线宜沿库岸布设，普查阶段宜布置 1 条测线，详查阶段宜在疑似渗漏异常部位增设多条平行测线，测线间距应根据追踪渗漏通道的原则确定。

4 宜在查明的渗漏异常中心位置布置钻孔，进行钻孔试验检测或在查明的渗漏异常两侧布置钻孔，进行层析成像法检测。

5 必要时宜在库区渗漏入口或测试钻孔中投放示踪剂，进行示踪法检测，验证渗漏联通情况和渗漏通道分布。

5.2.4 高密度电法、瞬变电磁法、音频大地电磁测深法剖面中渗漏异常宜为低电阻率特征；充电法剖面曲线上的渗漏异常宜为电位曲线的极大值或梯度曲线的“0”值；自然电场法剖面曲线上的渗漏异常宜为偏离背景值的极值异常；面波法剖面中渗漏异常宜为低波速特征。

### 5.3 围堤渗漏检测

5.3.1 围堤渗漏检测对象宜为平原水库等封闭蓄水设施的挡水建筑物，检测内容宜包括渗漏入水口、渗漏通道、渗漏隐患的规模、位置和分布范围。

5.3.2 围堤渗漏入水口检测宜选用伪随机流场法、水下检测法；渗漏通道和渗漏隐患检测宜选用高密度电法、充电法、自然电场法、面波法、探地雷达法、瞬变电磁法、钻孔测试、层析成像法和示踪法。

5.3.3 围堤渗漏检测应符合下列规定：

1 宜采用伪随机流场法普查堤体迎水侧渗漏入水口，采用水下摄像法和水下声呐法详查渗漏入水口，宜结合喷墨观察，确认渗漏入水口。

2 渗漏通道和渗漏隐患普查和详查检测方法应以电法为主、面波法为辅，检测深度应不小于堤身高度，且应深入疑似渗漏异常区底界以下 5m~10m。

2 应根据渗漏出口位置、施工搭接段部位、原始地形低洼部位分布确定重点检测范围。

3 渗漏通道普查检测宜在迎水侧堤身、堤顶、背水侧堤身、堤脚布设平行测线，详查检测宜在堤身背水侧沿初步查明的渗漏通道轴线布设测线，详查和验证时宜在查明的渗漏异常中心位置布置钻孔，进行钻孔试验检测或在查明的渗漏异常两侧布置钻孔，进行层析成像法检测。

4 示踪法检测应符合 5.2.3 条 5 款的规定。

5.3.4 渗漏异常特征应符合 5.1.6 和 5.2.4 条规定。

5.3.5 宜结合蓄水區水位变化与出水点水量大小的关系或示踪法检测结果分析判断渗漏出水点与库水的连通情况。

### 5.4 土石坝渗漏检测

5.4.1 土石坝渗漏检测对象宜包括面板堆石坝、心墙堆石坝和均质土坝，检测内容宜包括渗漏入水口、渗漏通道、坝体异常富水区、松散区、坝基松软层、砂层、溶蚀破碎带、构造破碎带等渗漏隐患的位置和规模。

5.4.2 土石坝渗漏类型宜包括坝体渗漏、坝基渗漏、绕坝渗漏。绕坝渗漏检测应符合 5.2 节规定。

5.4.3 土石坝坝体渗漏、坝基渗漏普查和详查方法宜选用高密度电法、瞬变电磁法、伪随机流场法、水下检测法、探地雷达法、充电法、自然电场法、面波法；详查和验证方法宜选用钻孔测试、层析成像法和示踪法。

5.4.4 坝体渗漏、坝基渗漏检测应符合下列规定：

1 宜采用伪随机流场法普查坝体迎水侧渗漏入水口，采用水下摄像法和水下声呐法详查渗漏入水口，宜结合喷墨观察，确认渗漏入水口。

2 宜采用高密度电法、探地雷达法检测坝体迎水侧水上部分富水异常区、松散体等渗漏隐患。

3 宜采用高密度电法、瞬变电磁法、充电法、自然电场法、面波法检测坝体和坝基渗漏通道或渗漏隐患的位置、规模和埋深。

4 宜沿坝体轴线方向在坝体迎水测、坝顶、背水侧布置多条平行测线，测线间距宜为 10m~20m，测点间距或电极距宜为 1m~5m。

5 检测深度不应低于渗漏出口高程，且宜大于预估渗漏通道或渗漏隐患埋深 5m~10m。

6 宜在渗漏通道或渗漏隐患异常中心部位布置钻孔进行钻孔测试，钻孔深度宜大于预估渗漏通道或渗漏隐患埋深 5m~10m。

7 宜利用测试钻孔开展示踪法检测，验证渗漏异常的连通性，分析渗漏通道分布，计算渗漏速率。

8 宜在高水位时开展渗漏检测。

5.4.5 坝体渗漏、坝基渗漏检测异常应符合 5.1.6 条和 5.2.4 条的规定。

### 5.5 混凝土坝渗漏检测

5.5.1 混凝土坝渗漏检测对象宜包括用混凝土浇筑（或碾压）而成的坝，检测内容宜包括渗漏入水口、渗漏通道的位置和规模。

5.5.2 混凝土坝渗漏类型宜包括坝体渗漏、坝基渗漏、绕坝渗漏。绕坝渗漏检测应符合 5.2 节规定。

5.5.3 混凝土坝坝体渗漏和坝基渗漏的渗漏入水口检测宜选用伪随机流场法、水下检测法、充电法，渗漏通道检测宜以钻孔测试类方法为主，验证渗漏连通性宜采用示踪法。

5.5.4 混凝土坝坝体渗漏、坝基渗漏检测应符合下列规定：

1 检测前宜在坝体背水侧调查漏水点分布，确定重点检测范围。

2 宜在坝体迎水侧表面和近坝水面布置伪随机流场法、充电法测线，测线间距应符合 4.5.4 条 2 款和 4.2.4 条 3 款的规定。

3 宜采用水下摄像法、水下声呐法详查、验证渗漏入水口，水下摄像法宜结合喷墨观察，确认渗漏情况。

4 渗漏通道检测宜采用井温测试、钻孔全景数字成像、声波测井等钻孔测试方法，测试钻孔应利用坝体原有排水孔、灌浆孔或在坝顶造孔，孔底高程不宜低于渗漏出口高程。

5 应结合坝体结构和渗漏入口、出口位置，避开廊道、预埋管线、传感器等部位，在预估的渗漏通道上钻孔，钻孔位置宜靠近施工横缝。

6 宜采用离子示踪剂或同位素示踪剂验证渗漏联通性。

5.5.5 坝体渗漏通道检测资料分析宜结合渗漏入水口位置，重点关注水平缝和横缝部位施工缺陷以及止水材料的破损、老化现象。渗漏入水口、渗漏通道和渗漏出水口高程宜具有相关性。坝基渗漏通道检测资料分析宜结合前期勘察、设计、施工资料综合分析。

5.5.6 坝体渗漏、坝基渗漏检测异常特征除应符合 5.1.6 条和 5.2.4 条的规定外，还应符合下列规定：

1 钻孔全景数字成像法检测渗漏异常主要表现为混凝土裂缝、蜂窝。

2 井温测试检测渗漏异常主要表现为井温梯度异常。

3 声波测井检测渗漏异常主要表现为低波速特征。

### 5.6 库坝防渗体渗漏检测

5.6.1 库坝防渗体渗漏检测对象宜包括防渗帷幕、防渗墙、土石坝心墙、防渗面板等，检测内容宜包括防渗体渗漏位置、规模和埋深。

5.6.2 防渗帷幕、防渗墙、土石坝心墙渗漏检测宜选用自然电场法、充电法、层析成像法、钻孔测试、示踪法。防渗面板渗漏检测宜选用伪随机流场法、水下摄像法。

5.6.3 防渗帷幕、防渗墙、土石坝心墙、防渗面板渗漏检测应符合下列规定：

1 检测前应根据查明的渗漏入口和渗漏出口确定重点检测范围。

2 宜先采用自然电场法、充电法等地面检测方法初步查明防渗帷幕、防渗墙、土石坝心墙渗漏水平位置，再采用层析成像法、钻孔测试详查渗漏位置、规模和埋深，测试钻孔布设宜符合 5.3.3 条 4 款的规定。

3 宜先采用伪随机流场法初步查明防渗面板水下部分渗漏水平位置，再采用水下摄像法详查渗漏范围、形态，必要时可结合水下喷墨，查明渗漏详情。

4 宜在高水位时检测防渗面板渗漏。

5 采用示踪法验证防渗帷幕、防渗墙、土石坝心墙渗漏宜在钻孔测试孔内投放示踪剂。

5.6.4 防渗帷幕、防渗墙、土石坝心墙、防渗面板渗漏检测成果分析宜结合渗漏入口、渗漏通道检测结果综合分析；宜根据示踪法成果对渗漏速率进行计算分析。

5.6.5 声波 CT、地震波 CT 检测渗漏异常宜为低波速特征；电磁波 CT 检测渗漏异常宜为高吸收系数特征；自然电场法、充电法、伪随机流场法检测渗漏异常应符合 5.1.6 条和 5.2.4 条规定。

## 6 堤防渗漏检测

6.0.1 堤防渗漏检测对象主要包括江、河、湖、海等水体堤防，检测内容宜包括渗漏入水口、渗漏通道和渗漏隐患。

6.0.2 堤防渗漏检测方法宜采用自然电场法、探地雷达法、伪随机流场法、高密度电法、面波法、瞬变电法、示踪法等。

6.0.3 堤防渗漏检测应符合下列规定：

1 堤防渗漏检测宜在人工调查的基础上开展，调查过程中应详细记录堤防外观情况。

2 普查应能检测出堤防渗漏的分布情况，详查应能查明各类渗漏缺陷及隐患的性质、位置、埋深和范围。

3 一般在堤顶沿堤身轴线布置测线，根据追踪渗漏异常分布的需要，可在堤身其他部位适当补充不同方位测线。

4 测点桩号应与堤防桩号一致。

5 应详细记录影响检测结果的现场因素。

6 检测过程中，发现异常点应进行重复观测；应在全测区均匀开展检查观测。

6.0.4 资料解释与验证除满足 3.3 节相关条款要求外，还宜符合下列要求：

1 应结合搜集资料、现场调查情况、汛期险情、防汛水位等进行综合分析、解释。

2 在综合分析检测资料的基础上，宜选择性开展钻探、锥探、岩土试验、孔内电视、示踪法等工作进行成果验证。

3 宜根据渗漏缺陷及隐患的分布情况、物性参数背景值与异常值大小关系、曲线或剖面图像特征，对堤防渗漏缺陷及隐患的发育程度进行初步分类。

## 7 引调水线路建筑物渗漏检测

### 7.1 明渠渗漏检测

7.1.1 明渠渗漏检测对象包括人工开挖或在天然河沟基础上改造的用于引调水的地面渠道，主要检测内容包括渗漏入水口、渗漏通道和渗漏隐患。

7.1.2 明渠渗漏检测宜采用人工调查和物探检测相结合的方式。物探检测可采用高密度电法、充电法、伪随机流场法、自然电场法、探地雷达法、面波法、水下检测法等。

7.1.3 明渠渗漏检测应符合下列规定：

1 外业工作开展前应充分搜集渠道勘测、设计、施工、运营资料，了解渠道建筑结构，沿线岩土结构、地下水位及不良地质体（如古河道、软土地基、岩体破碎带等）的分布，穿渠建筑物的位置和类型，渠道水位及淤泥情况等，根据渠道及旁侧土体物性结构，依据现有测试条件，进行方案策划。

2 人工调查应主要关注渠道边坡及底板裂缝、塌陷、起包、脱皮、水面扰动、洞穴、渠后渗积水情况，应特别留意穿渠建筑物接触面、暗管暗涵接口、渠道与管涵洞槽接缝等薄弱的易渗漏水点。

3 对于渠道底板渗漏检测，有水状态，可借助水下摄像和水下声纳装置，检测渠底表观缺陷情况，可在水面开展水上高密度电法测量，以检测底板下方富水层的分布，采用伪随机流场法探测底板入渗口位置；无水有淤泥状态，可在淤泥层上开展高密度电法、瞬变电磁法等测量工作；无水无淤泥状态，可开展探地雷达法、面波法，以检测渠底裂缝、脱空、松散层、含水层等的分布。

4 对于有土工膜防渗的渠道，可采用双电极法（梯度充电法的一种测量形式）检测土工膜的完整性及入渗点的位置。测量方式可参考 4.2、5.1 节的相关条款进行。

5 对于渠道边坡渗漏检测，可采用直流充电法、自然电场法等确定渗漏位置，然后采用高密度电法、瞬变电磁法等检测边坡和旁侧土体富水层的位置、深度和范围，采用面波法、探地雷达法等检测松散体、空洞、含水砂层等的空间分布情况。

6 具有岸堤的明渠，其岸堤的渗漏检测可参考第 6 章堤防渗漏检测的相关条款。

7 测点桩号应与渠道桩号一致，检测过程中，应详细记录影响检测结果的现场因素，发现异常点应进行重复观察，在全测区均匀开展检查观测。

7.1.4 资料解释与验证除满足 3.3 节相关条款要求外，还宜符合下列要求：

1 应结合搜集资料、现场调查情况，依据在水面、边坡、旁侧土体的测量成果等进行综合分析、解释。

2 对不同背景参数及异常区域，宜选择性开展钻探、锥探、岩土试验、孔内电视、示踪法等工作进行成果验证。

3 应明确渗漏缺陷及渗漏隐患的位置、分布、规模及渗漏影响范围。

### 7.2 输水管涵渗漏检测

7.2.1 输水管涵的渗漏检测的对象包括埋置于地下的用于输水的管道和箱涵，主要检测内容包括渗漏出水点及与渗漏相关的结构缺陷。

7.2.2 输水管涵渗漏检测宜采用内窥检测和地面检测相结合的方式。内窥检测可采用水下摄像法和水下声纳法，地面检测可采用高密度电法、瞬变电磁法、自然电场法、探地雷达法等。

7.2.3 输水管涵渗漏检测应符合下列规定：

1 外业工作开展前，应搜集并了解管涵材质、结构、规格、填土成分、土层结构、地下水位、历往渗

漏检测与修复情况等资料信息。

2 检测工作开展前，宜通过通气孔、观察井、检修井等进行水位、水压、流量监测，以初步了解渗漏程度并划定重点渗漏检测段。

3 管涵内部缺陷检测，无水状态，可采用管道电视，有水状态，可开展水下摄像或管道声纳等。

4 地面检测可沿管涵轴线或平行于管涵轴线在管涵两侧布置 3~5 条测线，旁侧测线与管涵边缘的最佳距离为 1m~3m，渗流影响范围较大时旁侧测线的最大偏移距离不宜超过 5m。

5 高密度电法的电极距宜选用 1m~3m，小线圈的中心回线瞬变电磁法点距宜选用 2m~5m。

6 可垂直管涵或在远离管涵的原状土层上因需布置测线，以便了解管涵物性结构及背景场特征。

7 检测过程应重点关注管涵各跨段的衔接处、热伸缩缝的渗漏水情况。

8 测点桩号应与管涵桩号一致，应对各观察井、检查井、通气孔进行编号和位置测量，可按井孔进行分段和测线命名。

7.2.4 资料解释与验证除满足 3.3 节相关条款要求外，还宜符合下列要求：

1 宜结合缺陷的内窥检测和富水层的地面探测成果，综合分析判断渗漏出水点位置、渗漏程度及渗漏影响范围。

2 对不同背景参数及异常区域，宜选择性开展钻探、孔内电视、岩土试验、流量测试等工作进行成果验证。

3 应查明集水区与渗漏出水点、渗漏通道的关系。

4 地面检测资料解译应充分考虑管涵内水体及管涵材料、结构对测量成果的影响。

### 7.3 输水隧洞渗漏检测

7.3.1 输水隧洞的渗漏检测的对象包括在岩石或土层内人工开挖的引调水隧洞，主要检测内容包括引起运营期输水隧洞水体外渗的出水点、与渗漏相关的洞室结构缺陷及可能引起衬砌变形开裂并提供渗流通道的构造破碎带、裂隙密集带、溶蚀破碎带等的规模、位置及埋深。

7.3.2 输水隧洞渗漏检测的方法主要采用水下摄像法、水下声纳法等内窥检测和扫描成像技术，当需要探测易引起隧洞衬砌结构破坏及形成渗流通道的不良地质体的空间展布时，可采用高密度电法、音频大地电磁测深法、瞬变电磁法、面波法等。

7.3.3 输水隧洞渗漏检测应符合下列规定：

1 应搜集隧洞前期勘察、施工地质、衬砌支护等资料，充分了解隧洞岩体结构及衬砌结构的薄弱段。

2 通过观察井、检修井的水位、流量监测，划定重点渗漏检测部位。

3 内窥检测和扫描成像设备，其摄录（或扫描）范围和分辨率应能满足洞径要求，传输电缆长度和强度应能适应检测段隧洞长度。

4 摄像检测，在隧道内壁发现明显易引起渗漏的结构缺陷时，应减缓行进速度或停止行进，仔细拍照查看，了解渗漏水情况。

5 可沿隧洞轴线，根据隧道埋深、不良地质体规模、测试条件等，选择合适方法组合、合理布置地面测线，在地面开展物理探测工作，以便了解不良地质体及富水地层的位置和空间展布。

7.3.4 资料解释与验证除满足 3.3 节相关条款要求外，还宜符合下列要求：

1 应根据摄录影像或扫描图像，对易引起洞壁渗漏结构缺陷进行仔细甄别。

2 可结合前期地质及地面检测资料，确认引起渗漏的缺陷位置及推断成因。

## 7.4 交叉建筑物渗漏检测

7.4.1 交叉建筑物的渗漏检测的对象包括引调水线路与河渠、洼地、溪谷、山梁及道路等相交时所修建的各种平交或立交建筑物，以渡槽、倒虹吸等为典型代表，检测内容主要包括渗漏出水点及与渗漏相关的结构缺陷。

7.4.2 交叉建筑物宜采用人工调查、内窥检测和地面检测相结合的方式。内窥检测可采用水下摄像法和水下声纳法等，地面检测可采用高密度电法、瞬变电磁法、自然电场法、探地雷达法、温度场法等。

7.4.3 交叉建筑物渗漏检测应符合下列规定：

1 外业工作开展前，应搜集并了解交叉建筑物材质、结构、规格、土层成分结构、地下水位、历往渗漏检测与修复情况等资料信息。

2 置于地表或悬空的交叉建筑物，如跨河管道和悬空的渡槽，可在其外侧和下方观察外壁缺陷及渗漏水情况，记录缺陷性质、渗漏水位置及渗流状况。

3 人可安全进入交叉建筑物行走时，需仔细测量、记录渗漏缺陷及渗漏隐患的性质、位置、大小和方位等信息。

4 人无法近距离观测时，无水状态，可采用管道电视，有水状态，可采用水下摄像或管道声纳等方法。

5 地表开敞式的交叉建筑物渗漏检测工作布置和施测，可参考 7.1.3 的相关条款。

6 埋置于地下的交叉建筑物检测宜采用内窥检测和地面检测相结合的方式，相应工作布置和施测可参考 7.2.3 的相关条款。

7 检测过程应重点关注各跨段的衔接处、热伸缩缝、拐角处的渗漏水情况。

7.4.4 资料解释与验证除满足 3.3 节相关条款要求外，还宜符合下列要求：

1 宜结人工调查、内窥检测和地面检测结果，综合分析判断渗漏出水点位置、渗漏程度及渗漏影响范围。

2 地面交叉建筑物的资料解译标准可参考 7.1.4 的相关条款。

3 地下交叉建筑物的资料解译标准可参考 7.2.4 的相关条款。

4 对于地表或地下交叉建筑物，应针对不同背景参数及异常区域，宜选择性开展钻探、孔内电视、岩土试验、流量测试等工作进行成果验证。

## 8 其他渗漏检测

### 8.1 临建水工建筑物渗漏检测

8.1.1 临建水工建筑物渗漏检测对象宜包括临时性围堰、导流隧洞、导流明渠等，检测内容宜包括渗漏口水口和渗漏通道。

8.1.2 临建水工建筑物渗漏检测方法、现场检测、资料解释与验证应符合本规程相应永久水工建筑物的相关规定。

### 8.2 基坑渗漏检测

8.2.1 基坑渗漏检测的内容宜包括渗漏出水点、渗漏通道、渗漏水来源及渗漏隐患。

8.2.2 基坑渗漏检测方法宜选用伪随机流场法、充电法、自然电场法、高密度电法、探地雷达法、瞬变电磁法、示踪法等。

8.2.3 基坑渗漏检测应符合下列规定：

1 检测前应进行人工调查和地表测绘，圈定基坑底部和防渗墙内侧出水点，基坑周围的河、渠、坑、塘等疑似渗水来源以及基坑外侧水位异常的观察井、排水井，并做好记录。

2 检测渗漏水来源宜采用伪随机流场法，检测时应在基坑内出水点和疑似来源水体供电，在疑似来源水体内进行测量。

3 宜结合人工调查和地表测绘结果，采用高密度电法、充电法、自然电场法、瞬变电磁法等检测渗漏通道和基坑外侧富水隐患区的位置、范围和埋深。

4 检测渗漏通道时，应在重点部位布置多条平行测线，测线间距宜为 5m~10m。

5 宜在检测发现的富水区或渗漏通道的异常中心位置布置钻孔，进行孔内水位观测和示踪法检测，验证渗漏联通情况和渗漏通道分布。

8.2.4 基坑渗漏检测资料解释与验证应符合 3.3 节的规定。

### 8.3 闸基渗漏检测

8.3.1 闸基渗漏检测内容宜包括连通闸墩内外的渗漏通道及闸墩内部混凝土缺陷、闸基接触带脱空等渗漏隐患。

8.3.2 闸基渗漏检测方法宜选用探地雷达法、钻孔全景数字成像法、超声成像法、单孔声波法、示踪法。

8.3.3 闸基渗漏检测应符合下列规定：

1 闸基渗漏检测宜在低水位时开展。

2 检测前应根据渗漏出口位置确定重点检测范围。

3 探地雷达法测线宜沿闸室横截面方向在边墙和底板连续布设，测线间距应满足追踪渗漏通道的要求。

4 宜在探地雷达法查明的异常中心部位布置钻孔，进行钻孔测试。

5 宜利用测试钻孔进行示踪法检测，验证渗漏联通情况和渗漏通道分布。

8.3.4 闸基渗漏检测资料解释与验证应符合 3.3 节规定。

附录 A 水利水电工程渗漏物探检测方法应用一览表

表 A 检测方法应用一览表

| 检测项目    | 检测内容  | 检测方法  |     |       |        |       |       |     |           |     |       |       |      |
|---------|-------|-------|-----|-------|--------|-------|-------|-----|-----------|-----|-------|-------|------|
|         |       | 自然电场法 | 充电法 | 高密度电法 | 伪随机流场法 | 探地雷达法 | 瞬变电磁法 | 示踪法 | 音频大地电磁测深法 | 面波法 | 层析成像法 | 水下检测法 | 钻孔测试 |
| 库盆防渗体渗漏 | 渗漏入水口 | △     | ○   | ○     | ○      | △     |       |     |           |     |       | ○     |      |
| 库岸渗漏    | 渗漏通道  | ○     | ○   | ○     |        |       | ○     | ○   | ○         | △   | △     |       | ○    |
| 围堤渗漏    | 渗漏入水口 |       |     |       | ○      |       |       |     |           |     |       | ○     |      |
|         | 渗漏通道  | ○     | ○   | ○     |        | △     | △     | ○   |           | △   | △     |       | ○    |
|         | 渗漏隐患  |       |     | ○     |        | △     | △     |     |           | ○   | △     |       | ○    |
| 土石坝渗漏   | 渗漏入水口 |       |     |       | ○      |       |       |     |           |     |       | ○     |      |
|         | 渗漏通道  | ○     | ○   | ○     |        | △     | ○     | ○   |           | △   | △     |       | ○    |
|         | 渗漏隐患  |       |     | ○     |        | △     | ○     |     |           | ○   | △     |       | ○    |
| 混凝土坝渗漏  | 渗漏入水口 |       | ○   |       | ○      |       |       |     |           |     |       | ○     |      |
|         | 渗漏通道  |       |     |       |        |       |       | ○   |           |     |       |       | ○    |
| 库坝防渗体渗漏 | 渗漏入水口 |       |     |       | ○      |       |       |     |           |     |       | ○     |      |
|         | 渗漏通道  | ○     | ○   |       |        |       |       | ○   |           |     | △     |       | ○    |
| 堤防渗漏    | 渗漏入水口 |       |     |       | ○      |       |       |     |           |     |       | ○     |      |
|         | 渗漏通道  | ○     | ○   | ○     |        | △     | △     | ○   |           | △   | △     |       | ○    |
|         | 渗漏隐患  |       |     | ○     |        | △     | △     |     |           | ○   | △     |       | ○    |

表 A （续）

| 检测项目      | 检测内容  | 检测方法  |     |       |       |       |       |     |           |     |       |       |      |
|-----------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-----------|-----|-------|-------|------|
|           |       | 自然电场法 | 充电法 | 高密度电法 | 伪随机场法 | 探地雷达法 | 瞬变电磁法 | 示踪法 | 音频大地电磁测深法 | 面波法 | 层析成像法 | 水下检测法 | 钻孔测试 |
| 明渠渗漏      | 渗漏入水口 |       | ○   |       | ○     |       |       |     |           |     |       | ○     |      |
|           | 渗漏通道  | ○     | ○   | ○     |       | △     | △     | ○   |           | △   | △     |       | ○    |
|           | 渗漏隐患  |       |     | ○     |       | ○     | ○     |     |           | ○   | △     |       | ○    |
| 输水管涵渗漏    | 渗漏出水点 | ○     |     | ○     |       |       | ○     |     |           |     |       | ○     |      |
|           | 渗漏缺陷  |       |     | ○     |       | ○     | ○     |     |           |     |       | ○     | ○    |
| 输水隧洞渗漏    | 渗漏出水点 | ○     |     | ○     |       |       | ○     |     |           |     |       | ○     |      |
|           | 渗漏缺陷  |       |     | ○     |       | ○     |       |     |           |     |       | ○     | ○    |
|           | 渗漏隐患  |       |     | ○     |       |       | ○     |     | △         | △   |       | ○     | ○    |
| 交叉建筑物渗漏   | 渗漏出水点 | ○     |     | ○     |       |       | ○     |     |           |     |       | ○     |      |
|           | 渗漏缺陷  |       |     |       |       | ○     |       |     |           |     |       | ○     |      |
| 临建水工建筑物渗漏 | 渗漏入水口 |       | ○   |       | ○     |       |       |     |           |     |       | ○     |      |
|           | 渗漏通道  | ○     | ○   | ○     |       | △     | △     | ○   |           | △   | △     |       | ○    |
| 基坑渗漏      | 渗漏通道  | ○     | ○   | ○     |       | △     | △     | ○   |           |     |       |       | ○    |
|           | 渗漏水来源 |       |     |       | ○     |       |       |     |           |     |       |       |      |
|           | 渗漏隐患  |       |     | ○     |       | △     | ○     |     |           |     |       |       | ○    |
| 闸基渗漏      | 渗漏通道  |       |     |       |       | ○     |       | ○   |           |     |       |       | ○    |
|           | 渗漏隐患  |       |     |       |       | ○     |       |     |           |     |       |       | ○    |

注：(1) “○”表示主要方法；“△”表示辅助方法。

(2) 渗漏隐患包括洞穴、裂缝、松软层、砂层、溶蚀破碎带等。

(3) 检测方法选用时需考虑环境条件、水工建筑物类型、填筑材料及其空间尺寸等。

## 附录 B 常用公式

### B.1 自然电场法计算公式

B.1.1 自然电场法异常顶部埋深估算公式：

$$H=(0.4\sim 0.6) q \quad (\text{B.1.1})$$

式中  $H$  — 异常顶部埋深，m。

$q$  — 半幅值宽度，m。

### B.2 充电法计算公式

B.2.1 充电法异常顶部埋深估算公式：

电位法异常顶部埋深估算公式：

$$H=0.3q \quad (\text{B.2.1})$$

梯度法异常顶部埋深估算公式：

$$H=0.7p \quad (\text{B.2.2})$$

式中  $H$  — 异常顶部埋深，m。

$q$  — 电位曲线半幅值宽度，m。

$p$  — 梯度曲线两极值间水平距离，m。

### B.3 探地雷达法计算公式

B.3.1 电磁波第一菲涅尔带宽度  $d_f$  计算公式：

$$d_f = \sqrt{\frac{vh}{2f}} \quad (\text{B.3.1})$$

式中  $v$  — 电磁波平均速度，m/ns。

$h$  — 目标体埋深，m。

$f$  — 电磁波频率，Hz。

B.3.2 雷达记录时窗  $T$  计算公式：

$$T = K \frac{2H}{V} \quad (\text{B.3.2})$$

式中  $K$  — 折算系数度，1.3~1.5。

$H$  — 雷达最大检测深度，m。

$V$  — 上覆地层的电磁波平均速度，m/ns。

B.3.3 电磁波在地层中传播的波长计算公式：

$$\lambda_e = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon}} \quad (\text{B.3.3})$$

式中  $\lambda_0$  — 电磁波在空气中的波长，m。

$\varepsilon$  — 地层的介电常数。

B.3.4 电磁波速度计算公式：

$$V^2 = \frac{x^2}{t^2} + \frac{4D^2}{t^2} \quad (\text{B.3.4})$$

式中  $V$ — 介质电磁波速度, m/ns。

$t$ — 双程旅行时, ns。

$x$ — 收发天线间距, m。

$D$ — 标定体深度或厚度, m。

#### B.4 瞬变电磁法计算公式

B.4.1 瞬变电磁法同点回线装置检测深度极限估算值应按下列公式计算:

$$H = 0.55 \left( \frac{S_R I \rho_1}{\eta} \right)^{1/5} \quad (\text{B.4.1})$$

式中  $H$ —同点回线装置检测深度, m。

$S_R$ —发送线圈面积, m<sup>2</sup>。

$I$ —发送电流, A。

$\rho_1$ —上覆层电阻率,  $\Omega \cdot \text{m}$ 。

$\eta$ —最小可分辨电平 nV/m<sup>2</sup>。

B.4.2 瞬变电磁法同点回线装置视电阻率应按下列公式计算:

$$\rho_{\tau\text{中心}} = 6.32 \times 10^{-3} L^{3/2} \left( \frac{\varepsilon(t)}{I} \right)^{-2/3} t^{-5/2} \quad (\text{B.4.2})$$

式中  $\rho_{\tau\text{中心}}$ — 同点回线装置视电阻率,  $\Omega \cdot \text{m}$ 。

$L$ — 回线边长, m。

$\frac{\varepsilon(t)}{I}$ — 对电流归一化的感应电动势,  $\mu\text{V}/\text{A}$ 。

$t$ — 测道的时间, ms。

B.4.3 瞬变电磁法衰减时间常数应按下列公式计算:

$$\tau = \frac{t_2 - t_1}{\ln [V_g(t_1)/V_g(t_2)]} \quad (\text{B.4.3})$$

式中  $\tau$ — 衰减时间常数,  $\mu\text{s}$ 。

$t_2$ 、 $t_1$ — 电磁场衰减时刻,  $\mu\text{s}$ 。

$V_g(t_1)$ 、 $V_g(t_2)$ — 衰减电磁场 $t_2$ 、 $t_1$ 时刻的强度,  $\mu\text{V}$ 。

B.4.4 瞬变电磁法采样时间估算值应按下列公式计算:

$$t_1 = 0.6 \mu_0 S_{\min} H_{\min} \quad (\text{B.4.4-1})$$

$$t_n = 1.6 \mu_0 S_{\max} H_{\max} \quad (\text{B.4.4-2})$$

式中  $t_1$ — 起始采样时间, s。

$t_n$ — 末测道采样时间, s。

$\mu_0$ — 磁导率, H/m。

$S_{\min}$ — 最小纵向电导,  $\Omega^{-1}$ 。

$S_{\max}$ — 最大纵向电导,  $\Omega^{-1}$ 。

$H_{\min}$ — 要求最小检测深度, m。

$H_{\max}$ — 要求最大检测深度, m。

#### B.5 示踪法计算公式

B.5.1 渗透系数  $K$  计算公式:

$$K = \frac{V_f}{J} \quad (\text{B.5.1})$$

B.5.2 水平流速  $V_f$  (m/d) 计算公式:

$$V_f = \frac{\pi (r^2 - r_0^2)}{2\alpha r t} \ln \frac{N_0 - N_b}{N_t - N_b} \quad (\text{B.5.2})$$

B.5.3 垂向流速  $V_v$  (m/d) 计算公式:

$$V_v = \frac{L}{\Delta T} \quad (\text{B.5.3})$$

式中  $J$ — 测试孔附近的地下水水力坡度。

$r$ — 测试孔滤水管内半径, m。

$r_0$ — 探头半径, m。

$t$ — 示踪剂浓度从  $N_0$  变化到  $N_t$  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。

$\alpha$ — 流场畸变校正系数。

$\Delta T$ — 探头计数率时间曲线峰值间的时间差。

## 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”。反面词采用“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”。

中国水利学会团体标准

水利水电工程渗漏物探检测技术规程

T/CHES XXXX-202X

条文说明

## 1 总则

1.0.2 渗漏检测包括渗漏检测和渗漏隐患检测工作。

1.0.3 主要指涉及安全、环境和职业健康的国家标准，以及本标准引用方法技术要求的相关规程。

### 3 基本规定

#### 3.1 检测内容、方法及要求

3.1.4 普查是在全面搜集工程资料和人工调查的基础上开展的全方位覆盖性的检测工作，主要目的是初步查明可能存在渗漏或渗漏隐患的工程部位；详查应在普查所反映的异常区域开展，也可按照普查工作量的一定比例进行抽样检测，详查工作量不宜少于普查工作量的 20%，详查工作应查明渗漏入水口、渗漏通道、渗漏出水口的位置、规模和连通情况，及渗漏隐患的性质、位置、埋深和范围等。

#### 3.2 外业工作

3.2.2 渗漏入水口多位于挡水建筑物迎水面水下部分或河（库）底部，考虑导致渗漏的合理水力梯度，渗漏通道多与挡水建筑物大角度相交，且偏离渗漏入水口和出水口的距离不会太大，因此，测线方向宜沿工程轴线、防渗体走向及垂直潜在的渗漏通道的方向。为划定异常的详细范围，同时验证异常的真实性，在异常部位需要根据异常规模合理加密测线、测点；当测线端点还处在异常范围时，需延长测线，直至可划定异常的边界为止。

3.2.3 现场检测前，应先检查待检测区域内管理桩号标识。测线、测点的定位应以水利水电工程建筑物实际标注的管理桩号为准。现场检测区域未设置管理桩号的，应以最近的管理桩号或测量基准点为基准，测量、标注实测桩号。管理桩号有误的，应在报告中注明。

#### 3.3 资料解释与验证

3.3.3 应根据水利水电工程建筑物及其基础材质、渗漏影响，设置合适的物性模型参数，通过数值模拟正演分析渗漏异常特征，明确背景物性参数及异常物性参数范围，用于指导渗漏检测数据的处理和解译工作。

3.3.8 渗漏或隐患分区标准因工程而异，一般可定性分为严重渗漏区、一般渗漏区、散浸区或隐患区，主要判别依据包括渗漏及隐患的分布情况、渗漏范围和渗漏量、渗漏检测异常强弱等。严重渗漏区通常为多处渗漏集中分布或出水量大的渗漏区域，常包括较大的管涌、集中渗水通道及混凝土裂缝、施工缝漏水等，此类渗漏异常往往最强；一般渗漏区通常指小范围单点式渗漏，出水量相对较小的区域，常包括小规模管涌、渗水、混凝土裂缝渗水等，此类渗漏异常往往较强；散浸区或隐患区通常指大范围、分散式、小规模渗漏或尚未发生渗漏的隐患区，常包括渗漏通道不明显的分散式渗漏入水口、出水口以及洞穴、裂缝、松软层、砂层等渗漏隐患，此类渗漏异常往往较弱。

#### 3.4 成果报告

3.4.6 渗漏检测成果结论应包括具体的渗漏范围和高程，宜采用坐标形式给出渗漏入水口、渗漏通道的区域边界。

## 4 检测方法

### 4.1 自然电场法

4.1.2 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，得出整条测线的电位曲线，实际应用中一般采用零点法；梯度法是将 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，得出整条测线的电位曲线。

### 4.2 充电法

4.2.2 充电法与自然电场法观测方式相似。

#### 4.2.4

4 充电法供电 A 极的位置可选择在钻孔、观测井及坑道等与渗漏入口有水流联系的部位；“无穷远”极（B 极）应放在垂直渗漏区域走向的方向上。

5 进行电位测量时应固定 N 极，N 极应布设在自然电场相对稳定的地段，又要兼顾生产方便。

4.2.5 数据处理与资料解释时应认识正常场与异常场的特征差异，分析等位线的密度，长短轴之比，以及电位、梯度曲线的形态、斜率、特征点（电位曲线极大值、梯度曲线零点）及分布规律；注意表面不均质层、地形、地表水径流、覆盖层厚薄及屏蔽造成的影响；紧密结合其它物探方法、地质构造或水文地质资料做综合解释推断。

### 4.3 高密度电法

4.3.2 高密度电法有多种排列装置形式，其中主要电极排列方式有温纳排列（Wenner  $\alpha$ 、Wenner  $\beta$ 、Wenner  $\gamma$ ）、温纳-斯伦贝尔排列（Wenner-Schlumberger）、偶极-偶极排列（Dipole-Dipole）、三级排列（Pole-Dipole、Dipole-Pole）等。温纳排列、温纳-斯伦贝尔排列为对称四极装置，适用于检测局部不良地质体。可参考 SL 291.1-2021 有关条款，根据检测目标体特征及装置适用性，选择合适的观测方式。

4.3.5 高密度电法资料解译以定性解译为主，当检测目标体性状简单时，可建立电性参数与隐患特征的分类标准或经验关系式，从而进行半定量或定量解译。

### 4.4 伪随机流场法

#### 4.4.3

1 伪随机流场法现场测试的主要要点是电流场布置应与渗流场相符、发射电流场强度应在接收区产生可被识别的渗漏电流场。现场检测是一个试错过程，通过接收电极在目标区不断移动发现渗漏位置。

2 由于探头长度为 0.6m，所以水深应大于 0.6m。

#### 4.4.4

9 伪随机流场法工作中，供电电流应根据接收信号强度、发送机电源电量综合确定。如果供电电流太大，将会影响发送机工作时间；如果供电电流太小，将会影响检测效果。

10 探头距离渗漏入水口越近，异常响应越强烈。当水底不平或水底有水草、垃圾时，首先要保证探头不触底，其次保证探头尽可能贴近水底。当在开阔水域连续扫描时，宜首先固定探头入水深度，保证扫描区域内探头不触底，进行普查观测，发现异常区域后再根据水深调整探头入水深度，获取明显异常信号。

#### 4.4.5

2 关于背景值，在对某一区域进行检测时，在没有管涌、渗漏的情况下，接收机面板上渗漏指示表中有一定（一般较弱）的数值显示，该数值反映了该区域正常情况下的电流密度分布特征。此时的电流密度场即为本区域的背景场，其观测值称为背景值。

3 如果异常幅值高，范围较小，一般是管涌的特征；异常幅值高，范围大，则是集中渗漏的特征；异常幅值低，一般是散浸的特征，特别大面积幅值介于正常与异常场的区域基本是由于散浸所引起的。

## 4.5 探地雷达法

4.5.2 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。三维雷达天线是采用多组阵列天线同时检测，一次采集一个面域数据的检测方法，目前三维雷达检测主要是高频屏蔽天线，一般阵列天线中心频率 $\geq 200\text{MHz}$ 。

4.5.4 本条规定了探地雷达工作的基本要求。实际检测时，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检测深度的变化情况，保证检测深度能够满足工作要求。

## 4.6 瞬变电磁法

4.6.2 瞬变电磁法常用装置有重叠回线装置、中心回线装置、等值反磁通装置、偶极装置、定源回线装置等。重叠回线、中心回线、等值反磁通装置又称同点装置，即发射线圈和接收线圈中心在同一点。由于渗漏和隐患检测的特殊环境，要求横向分辨率高、异常幅度大、敷设方便、受旁侧影响小，本标准优先推荐重叠回线和、中心回线装置和等值反磁通装置。

## 4.8 音频大地电磁测深法

4.8.1 现场电磁干扰较大时，还可选用可控源音频大地电磁测深法。可控源音频大地电磁测深法基本原理同音频大地电磁测深法一致，区别在于可控源音频大地电磁测深法采用人工源制造平面电磁波，接收机接收信号的信噪比相对较高。可控源音频大地电磁测深法外业工作要求和数据处理与资料解释应按 SL/T 291.1 的规定执行。

## 4.9 面波法

4.9.1 面波法主要通过地震波速度或地震波阻抗差异探测各工程部位的结构或地质异常，进一步分析、判断渗流通道及渗漏隐患部位。

4.9.2 被动源面波法又叫微动探测，是通过接收天然振动信号，来反演地下介质横波速度分布的一种方法。近些年微动探测在工程中广泛应用。

## 5 库坝渗漏检测

### 5.1 库盆防渗体渗漏检测

5.1.3 采用充电法检测土工膜防渗体破损渗漏，是利用土工膜的绝缘性，对土工膜上覆、下伏介质供电，在材料没有破损情况下，不能形成电流回路，在材料破损处（充电点），可以形成电流回路，现场测试时，宜在重点部位或全库盆网格状布置充电点位置，采用梯度测量方式或电位测量方式观测土工膜上覆介质（土或水）充电点附近的电位梯度或电位值，根据观测异常定位破损点位，测量装置示意图见图 5-1 所示。

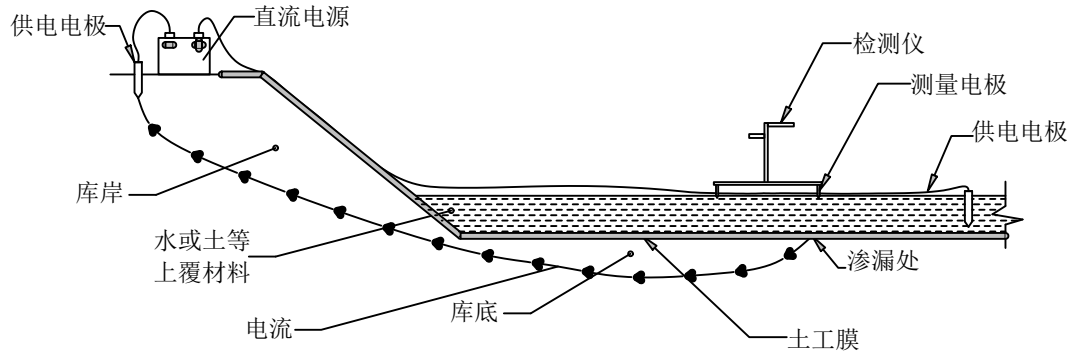


图 5-1 充电法检测土工膜防渗体破损渗漏现场装置示意图

## 6 堤防渗漏检测

6.0.1 堤防的渗漏隐患主要包括洞穴、裂缝、松散体、高含砂层、护坡脱空区、不牢靠基础接触面、破损穿堤建筑物、古河道、砂砾石层等易引起渗漏的病害体，堤身及其基础因结构性缺陷引起的渗漏、管涌、流土、冲刷等造成渗透破坏，从而形成安全隐患。

6.0.2 各种检测方法的选用应根据方法特点、测试条件和探测目标体特征单独或综合使用。一般可采用探地雷达法快速普查浅地表（5m 以内）渗漏隐患类别及分布情况；采用自然电场法和伪随机流场法分别进行堤岸和水域渗漏靶区圈定；采用面波法和高密度电法进行异常复核，并对重点区域进行隐患详查，探测深度一般为 10m~15m。

6.0.3 堤防渗漏检测的外业工作，宜遵循如下原则：

1 人工调查主要关注堤身裂缝、塌陷、水面扰动、堤后渗积水情况、遗留穿堤建筑物等渗漏迹象及防汛关键部位。

2 普查宜选用速度快、效率高的检测方法，一般覆盖式测量；详查应选择满足测试要求、测试精度高的检测方式，详查主要布置在普查异常段、堤防险工段和防汛关键段。

3 堤身测线的布置应考量堤身顶宽及测试条件。当堤顶宽度不大于 4m 时，可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；当汛期水位较高时，应考虑行洪道水体的旁侧影响，不宜将电（磁）类方法测线布置在太靠近水体的背水面。因追踪和验证渗漏异常的需要，在堤顶、堤坡、堤脚处，可布置垂直或斜交堤轴线的补充或验证测线。若堤身存在影响测线布置或测试结果的干扰因素，可根据测试条件，灵活调整测试方案。

4 测量时，宜每 100m 校对一次测点位置，当误差大于 2m 或测点距时，应调整测点点位并做好记录，以保证与堤防桩号一致。

5 影响检测结果的现场因素一般指影响物探测试的电磁干扰、噪声干扰、游散电流、局部不均匀体、测线偏离情况等。

6.0.4 堤防渗漏检测的资料解释与验证，宜遵循如下原则：

1 渗漏类型、渗漏成因及渗漏影响并不是渗漏物探检测的直接内容，却是堤防安全评估、除险加固和汛期防守的重要依据，宜结合堤身设计、历史沿革、地质资料、现场情况，对堤防隐患的类型、成因、影响做初步分析和评估。

3 堤防渗漏缺陷和隐患的发育程度，可初步分为未发现隐患段、隐患相对发育段和隐患发育段，具体分类标准可参考 SL 436 相关条款。

6.0.5 堤防渗漏检测成果报告的编写，宜遵循如下原则：

1 可根据实际需要，绘制堤防隐患热力图（类型、分布及密度），利用三维绘图软件展示渗漏入水口、渗漏通道及集水区的空间路径及影响范围。

2 异常信息表宜包括渗漏异常的位置、埋深、范围、性质等内容。

## 7 引调水建筑物渗漏检测

### 7.1 明渠渗漏检测

7.1.3 渠道渗漏检测的外业工作，应注意如下几点：

2 人工调查应测量并记录渗漏缺陷及隐患位置、大小（长度、宽度、深度）、类型。

3 若出现断流现象，应查看分析断流原因，可在断流前的渠道分段开展流量测试工作，以便确定重点检测段。

4 渠道一般横向规模有限，当采用双电极法检测渠道防渗土工膜的完整性及渗漏点分布时，应适当减小测量电极距和网格间距。

5 相对河流堤防，渠道边坡一般规模较小，可供布置检测测线的位置有限，且相对堤防无背水坡临空面（或高度有限），渗漏水体更多直接渗入旁侧土体内，所以渠道边坡渗漏检测的工作布置，一般需要平行渠道轴线在坡顶和旁侧土体内同时布置物探测线。

7.1.4 渗漏检测的资料解释与验证，还应注意如下几点：

2 渠道边坡及旁侧原状土体，多数非完全均质土体，且地下水位不一，应通过验证手段，参考背景场特征，充分了解异常场和渗漏程度的对应关系。

3 所谓渗漏影响范围，多指集水区的范围及渠道结构和稳定性容易受渗漏破坏的渠段。渗流会带走土体内砂质颗粒，造成渠道底板和旁侧脱空，富水会造成黏性土层软化，不均匀沉降会引起底板和边坡变形和破裂，进而加剧渗漏。可根据渗漏异常分布和数值大小推测渗漏缺陷的位置、集水区的范围和富水程度，进而推测渗漏的严重程度及影响范围，必要时可在渠道内大型渗漏点前后可开展流量监测或附近钻孔开展示踪法测试，以初步确定渗漏流量和流速，为渠道修复和治理提供必要的依据。

7.1.5 渠道渗漏检测成果报告的编写，还宜遵循如下原则：

1 可根据实际需要，参考堤防渗漏隐患的展示方式，进行明渠渗漏缺陷及隐患的二维或三维展示。

2 检测成果表宜包括渗漏异常的位置、埋深、范围、性质及集水区位置、范围和影响程度等内容。

### 7.2 输水管涵渗漏检测

7.2.1 管涵多为分段的整体结构，相对渠道，底板或侧壁的不均匀受力对管涵结构影响较小。所以管涵的渗漏影响更多是关注渗漏对旁侧建筑物基础的影响。

7.2.2 在管涵内部进行内窥检测，可直观地看到易引起渗漏的结构性缺陷，并根据缺陷的性质和表现大小进行分类、分级；但现有的技术条件下，不是所有的管涵均具备内窥检测条件，多是通过地面探测管涵外侧含水层的分布，间接推断渗漏出水点位置及渗漏程度。

7.2.3 输水管涵渗漏检测的外业工作，应注意如下几点：

2 部分管涵已有水位、水压、流量监测系统，可搜集利用。

3 根据管涵口径、检测条件差异，内窥技术采用的仪器设备和技术参数有所不同。

8 以检查井为节点的地下管涵各测段的累计距离，应与地表建筑物桩号相对应，并随时进行修正。

7.2.4 输水管涵渗漏检测的资料解释与验证，宜遵循如下原则：

1 所谓渗漏程度主要指渗漏流量或渗漏状态（如渗水、滴水、流水、涌水等），通过验证资料，一般可以找到物性参数与渗漏程度的相对关系。

2 岩土试验，主要是测量土体含水量。

3 集水区不一定是出水点，集水区的规模不能代表管涵的渗漏缺陷大小。管涵渗漏出来的水体受重力作用沿管涵外壁与土层的缝隙向下运移，被垫层阻隔，容易在垫层上方聚集；若底板渗漏或垫层渗水，垫层下方土层易被浸润。另外，渗漏出的水体容易沿土层孔缝空间向周围扩散，浸润周边土体。可根据多条相邻测线地面测试成果，依据富水区的空间分布特征，结合管涵结构特点，推导渗漏出水点。

7.2.5 输水管涵渗漏检测成果报告的编写，还宜遵循如下原则：

- 1 可根据需要绘制典型渗流路径的断面图、渗漏缺陷的影响范围平面图（富水体分布图），根据渗漏缺陷的性质、大小、影响范围、渗漏程度绘制热力分布图。
- 2 检测成果表宜包括渗漏出水点的在管涵内壁的位置、范围、大小、性质及外侧集水区位置、范围等内容。

### 7.3 输水隧洞渗漏检测

7.3.3 隧洞渗漏检测的外业工作，还应注意如下几点：

- 1 检测工作开展前，应从前期勘察及隧道地质编录资料中获知构造破碎带、裂隙密集带、岩溶等不良地质体的分布及发育情况，了解隧洞沿线岩体完整性、围岩类别、相应的施工工艺及支护措施。
- 5 当所搜集资料不足以划定检测重点、突显渗漏隐患、辅助分析渗漏成因时，可在地面补充勘察，以细化勘察资料。

7.3.5 隧洞渗漏检测成果报告的编写，宜遵循如下原则：

- 1 测试成果图包括各缺陷的摄录图像、扫描剖面、各地面物探方法的成果剖面。
- 2 检测成果表应包含缺陷性质、平面位置、圆周方位、大小、性质等信息，测试条件理想情况下，可结合地面物探资料，间接推测渗漏的影响范围和影响程度。

### 7.4 交叉建筑物渗漏检测

7.4.3 交叉建筑物渗漏检测的外业工作，应注意如下几点：

- 2 渡槽渗漏水情况，可分为渗水、滴水、流水、涌水等，必要时可安装流量计，测量渗流流量。
- 3 渡槽渗漏缺陷指贯穿渡槽槽底或侧壁的裂缝、孔洞、缺口、植物根系等引起水体向外渗流的结构缺陷，渡槽渗漏隐患指后期加剧和扩大后容易引起渗漏但尚未贯穿槽底或侧壁的结构缺陷。对于未贯穿槽身的裂缝可采用表面声波法等测量缝深。

## 8 其他渗漏检测

### 8.2 基坑渗漏检测

8.2.1 基坑渗漏隐患包括容易引起渗漏的工程地质问题及基坑支护和防渗的结构缺陷。

8.2.3 基坑渗漏检测外业工作，还宜遵循如下原则：

- 1 应搜集基坑的工程地质资料，了解基坑支护措施，对工程区域水文地质情况做充分了解。

- 2 采用伪随机流场法、充电法检测渗漏出水点时，两个供电电极，其中一个可放在基坑内的集水区，另一个可放在基坑外侧疑似渗漏水来源的水体内，渗漏水来源包括分布在岩土体孔缝空间的地下水和坑塘河沟的地表水，地下水可钻孔揭露。探测渗漏出水点时，可将多个水源体进行并联，也可选择性拆解连接，以便推断渗漏水来源及其与出水点的关联。