

ICS 编号

CCS 编号

团体标准

T/CHES XXX—20XX

水利水电工程渗漏检测规程

Code for Leakage Detection of Water Resources and

Hydropower projects

(报批稿)

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《水利水电工程渗漏检测规程》标准的公告

202X 年第 X 号

中国水利学会批准《水利水电工程渗漏检测规程》（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	水利水电工程渗漏检测 规程				

中国水利学会

202X 年 X 月 X 日

前 言

本标准按照《工程建设标准编写规定》（建标〔2008〕182号）的规定起草。

本标准共分为10章和1个附录，主要技术内容包括总则、术语、基本规定、准备工作、检测方法、库坝渗漏检测、堤防渗漏检测、输水建筑物渗漏检测、水闸渗漏检测、资料整理及成果报告等。

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

中国电建昆明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

陈宗刚 李国瑞 汤克轩 肖长安

陈江平 汤井田 陈 程 孙 旭

李广超 高 诚 刘 浩 李 栋

陈 辉 孙治新 李建超 刘占兴

王长伟 刘 凯 郭士明 秦玉龙

赵洪鹏 魏继祖 胡晓磊等

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	3
4	准备工作	4
5	检测方法	5
5.1	自然电场法	5
5.2	充电法	5
5.3	高密度电法	6
5.4	伪随机流场法	6
5.5	探地雷达法	7
5.6	瞬变电磁法	8
5.7	示踪法	9
5.8	音频大地电磁测深法	10
5.9	面波法	10
5.10	层析成像法	11
5.11	声像法	11
5.12	钻孔测试	12
6	库坝渗漏检测	13
6.1	水库渗漏检测	13
6.2	土石坝渗漏检测	13
6.3	混凝土坝渗漏检测	14
7	堤防渗漏检测	15
8	输水建筑物渗漏检测	16
8.1	渠道渗漏检测	16
8.2	隧洞渗漏检测	16
8.3	输水管涵渗漏检测	17
8.4	渡槽渗漏检测	18
8.5	倒虹吸渗漏检测	18
9	水闸渗漏检测	20
10	资料整理及成果报告	21
	附录 A 水利水电工程渗漏物探检测方法应用一览表	23
	本标准用词说明	25
	引用标准名录	26
	条文说明	27

Contents

1 General Provisions	1
2 Terms	2
3 Basic Requirements	3
4 Preparation Work	4
5 Detection Method	5
5.1 Self-potential Method	5
5.2 Mise-a-la-masse Method	5
5.3 High-density Resistivity Method	6
5.4 Pseudo-random Flow Field Method	6
5.5 Ground Penetrating Radar	7
5.6 Transient Electromagnetic Method	8
5.7 Tracer Ttechnique	9
5.8 Audio Magnetotelluric Sounding	10
5.9 Surface Wave Method	10
5.10 Computerized Tomography Method	11
5.11 Acoustic Imaging Method	11
5.12 Borehole Test	12
6 Leakage Detection of Dam	13
6.1 Leakage Detection of Water Reservoir	13
6.2 Leakage Detection of Earth-rock Dam	13
6.3 Leakage Detection of Concrete Dam	13
7 Leakage Detection of Embankment	15
8 Leakage Detection of Water Conveyance Structure	16
8.1 Leakage Detection of Channel	16
8.2 Leakage Detection of Tunnel	16
8.3 Leakage Detection of Water Conveyance Pipe Culvert	16
8.4 Leakage Detection of Aqueduct	16
8.5 Leakage Detection of Inverted Siphon	16
9 Leakage Detection of Sluice	20
10 Data Processing and Results Report	21
Appendix A Methods Application List of Leakage Geophysical Detection of Water Resources and Hydropower Projects	23
Explanation of Wording in This Code	25
Llist of Quoted Standards	26
Explanation of Provisions	27

1 总 则

- 1.0.1 为规范水利水电工程渗漏检测内容、方法、技术要求，制定本标准。
- 1.0.2 本标准适用于水利水电工程渗漏检测工作。
- 1.0.3 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 伪随机流场法 pseudo-random flow field 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。

2.0.2 声像法 acoustic Imaging 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，主要包括水下摄像法和水下声纳法。

2.0.3 时移物探 geophysical exploration over time

固定地球物理检测方法、固定仪器设备和设置参数对岩土体或建筑物同一部位在不同时间开展多次、对比性的检测工作，以分析岩土体或建筑物的物性特征随时间变化的规律。

2.0.4 穿堤建筑物 buildings through levee

以引、排水为目的，从堤身或堤基穿过的管、涵、闸等水利建筑物的总称。

2.0.5 逆止阀 reverse water valve

只允许流体向一个方向流动的阀门，其主要作用是解决渠道衬砌层的抗浮稳定问题和防止水体外渗。

2.0.6 填方渠道 high fill channel

在地面上向上填筑土石方形成的渠道，包括全填方渠道、半挖半填渠道和穿渠（堤）建筑物结合部位回填。

2.0.7 挖方渠道 deep excavation channel

由地面线向下开挖土石方形成的渠道。

3 基本规定

- 3.0.1 水利水电工程渗漏检测对象包括已形成渗漏或存在渗漏隐患的各类库坝、堤防、输水建筑物、水闸等，应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、构造破碎带、溶蚀破碎带等渗漏隐患。
- 3.0.2 水利水电工程渗漏检测常用方法包括伪随机流场法、高密度电法、探地雷达法、瞬变电磁法、声像法、钻孔测试、示踪法等，检测仪器设备指标及管理、资料校审与归档应符合 SL/T 291.1、SL/T 436 的规定。
- 3.0.3 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，检测方法的选用可参考附录 A。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。
- 3.0.4 检测工作宜先采用快速、高效的检测方法，宜在检测发现的异常部位增加测线、加密测点或进行多种方法综合检测。
- 3.0.5 渗漏检测工作宜包括现场踏勘、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。
- 3.0.6 应通过测量或定位设备确定测区、测线、测点及检测确定的渗漏或隐患位置。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。
- 3.0.7 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、仪器设备等情况。
- 3.0.8 检测过程中，发现异常后应及时分析原因，必要时宜进行重复观测，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 291.1、SL/T 436 的规定。
- 3.0.9 检测圈定的疑似渗漏或隐患异常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。验证点宜取样做室内试验。相关验证工作应符合 GB 50487、SL 55、SL 188 的有关规定。
- 3.0.10 用于检测工作的仪器设备应校验合格，并在有效期内。每班在检测前应检查仪器设备，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。

4 准备工作

- 4.0.1 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、维护资料，以及历次渗漏出险、处理加固情况等。
- 4.0.2 应现场踏勘调查渗漏出水口分布、渗漏现状，分析前期地质、设计、施工等已知资料，预估重点检测范围，了解渗漏区与背景介质的物性特征。
- 4.0.3 应调查现场干扰源类型和分布情况。
- 4.0.4 应根据工程和检测区域规模确定测区、测线、测点分布。工作布置应根据工程规模、性质进行规划。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。
- 4.0.5 应根据收集资料和现场踏勘情况编制检测工作技术大纲或方案，其主要内容宜按 SL/T 291.1 的有关规定执行。

5 检测方法

5.1 自然电场法

5.1.1 自然电场法可用于检测渗漏入水口、渗漏通道及渗漏流向等。

5.1.2 自然电场法观测方式主要包括电位法和梯度法，探测渗漏流向时，宜采用环形观测方式。

5.1.3 采用自然电场法检测应满足下列条件：

- 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 渗流层埋深不宜较深。
- 3 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。
- 4 应能从干扰背景中分辨出有效信号。

5.1.4 外业工作除应符合 SL/T 291.1、SL/T 436 的规定外，还应符合下列规定：

- 1 测线间距宜为 5m~10m，测点间距宜为 1m~5m，发现异常应及时加密测线和测点间距。
- 2 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。

- 3 进行梯度测量时，应交替跑极。

5.1.5 数据处理与资料解释应符合下列规定

- 1 自然电场法异常顶部埋深应按下式估算：

$$H=(0.4\sim 0.6)q \quad (5.1.5)$$

式中： H ——异常顶部埋深（m）；

q ——半幅值宽度（m）。

- 2 成果图件宜包括自然电位剖面图、自然电位平面剖面图及平面等值线图。

5.2 充电法

5.2.1 充电法可用于检测渗漏入水口、渗漏通道及渗漏水的流速、流向等。

5.2.2 充电法观测方式包括电位法和梯度法。

5.2.3 采用充电法检测应满足下列条件：

- 1 渗漏区与其周边介质之间应有明显电性差异。
- 2 渗漏区埋深不宜大于 25m 且相对其埋深和测试装置长度应有一定的规模。
- 3 渗漏区应有明确的出水口。
- 4 测试渗漏入水口位置时，挡水建筑物背水侧渗漏出水口应与迎水侧水体相连通。
- 5 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。
- 6 测区内应无较强的工业游散电流或其它电磁干扰。

5.2.4 外业工作除应符合 SL/T 291.1 的规定外，还应符合下列规定：

- 1 测线间距宜为 5m~10m，测点间距宜为 1m~5m。

2 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。

3 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。

- 4 测量时应保证持续稳定供电，供电电流应不小于 0.5A。
- 5 进行梯度测量时，测量电极前后顺序和极距应保持不变。

5.2.5 数据处理与资料解释应符合下列规定：

- 1 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。
- 2 充电法异常顶部埋深应满足下列要求：
 - 1) 电位法异常顶部埋深应按公式（5.2.5-1）估算：

$$H=0.3q \quad (5.2.5-1)$$

- 2) 梯度法异常顶部埋深应按公式（5.2.5-2）估算：

$$H=0.7p \quad (5.2.5-2)$$

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）。

- 3 成果图件宜包括电位剖面图、电位平面剖面图及平面等值线图。

5.3 高密度电法

5.3.1 高密度电法可用于检测渗漏通道和渗漏隐患。

5.3.2 高密度电法装置类型宜采用对称四极装置。

5.3.3 采用高密度电法检测渗漏通道或隐患应满足下列条件：

- 1 被检测的渗漏通道、渗漏隐患与周边介质之间应有明显电性差异。
- 2 被检测的渗漏通道、渗漏隐患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。

5.3.4 外业工作除应符合 SL/T 291.1 的规定外，测线还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。

5.3.5 数据处理与资料解释应符合下列规定：

- 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 解释时应分析综合分析资料，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。

- 4 成果图件宜包括视电阻率断面图、反演电阻率断面图、解译成果剖面或平面图等。

5.4 伪随机流场法

5.4.1 伪随机流场法可用于检测渗漏入水口的位置和范围。

5.4.2 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。

5.4.3 伪随机流场法检测渗漏入水口应满足下列条件：

- 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。

5.4.4 外业工作除应符合 SL/T 291.1、SL/T 436 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，测线间距宜为 3m~5m，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，并将各电极并联；供电电极 B 应置于离查漏区域较远水体中，距离宜为测区对角线长度的 2 倍~5 倍。
 - 4 在流动水体中检测时，测量船宜顺流观测。
 - 5 记录数据时宜保持接收探头垂直。
- 5.4.5 数据处理与资料解释应符合下列规定：
- 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区域测得的水位梯度值作为测区背景值，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 成果图件宜包括电位梯度曲线图、电位梯度等值线图、水深等值线图、解译成果平面图等。

5.5 探地雷达法

- 5.5.1 探地雷达法可用于检测渗漏通道和渗漏隐患。
- 5.5.2 根据渗漏通道或隐患的性状和环境条件，可采用二维雷达的剖面法、透射法、宽角法、共中心点法和三维雷达检测方式。
- 5.5.3 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 渗漏通道或隐患上方不应存在高电导率屏蔽层。
 - 3 渗漏通道或隐患应具有一定规模，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。
- 5.5.4 外业工作除应符合 SL/T 291.1、SL/T 436 的规定外，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，同一方向宜有 3 条测线经过目标体。
 - 2 点测模式下测点间距宜为 0.1m~1m，连测模式下天线移动速率宜适中。
 - 3 发射与接收天线间距宜小于最大检测目标埋深的 20%。同一测区现场检测参数应保持一致。
- 5.5.5 数据处理与资料解释应符合下列规定：
- 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) 用板状目标体几何扫描法推算。
 - 4) 用两临空面透射法、钻孔透射法、宽角法或共中心点法确定。
 - 5) 电磁波速度计算公式如下：

$$V^2 = x^2/t^2 + 4D^2/t^2 \quad (5.5.5)$$

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) 。

- 2 数据处理宜包括数字滤波、反褶积、图像增强、地形校正等。
- 3 资料解释包括辨认和追踪有效波的同相轴、反射波的提取、有效异常的识别、异常深度的确定等。
- 4 针对多条测线，应对比相邻测线的雷达剖面图，识别相似图像特征，综合分析渗漏通道或隐患。
- 5 成果图表宜包括雷达解释剖面图、检测成果表、综合成果图等。

5.6 瞬变电磁法

5.6.1 瞬变电磁法可用于检测渗漏通道及松散体、富水体、砂层等渗漏隐患。

5.6.2 瞬变电磁法宜选择重叠回线和中心回线装置。

5.6.3 采用瞬变电磁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存在可被观测到的电性差异。
- 2 渗漏通道或隐患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以及大型金属导体或金属构筑物等强导体。

5.6.4 外业工作除应符合 SL/T 291.1、SL/T 436 的规定外，还应符合下列规定：

1 瞬变电磁法最大检测深度和采样时间应按下列要求估算：

1) 同点回线装置检测深度极限估算按公式 (5.6.4-1)：

$$H = 0.55(S_R I \rho_1 / \eta)^{1/5} \quad (5.6.4-1)$$

式中： H ——同点回线装置检测深度 (m)；

S_R ——发送线圈面积 (m²)；

I ——发送电流 (A)；

ρ_1 ——上覆层电阻率 ($\Omega \cdot m$)；

η ——最小可分辨电平 (nV/m²)。

2) 采样时间估算按公式 (5.6.4-2) 和 (5.6.4-3)：

$$t_1 = 0.6\mu_0 S_{min} H_{min} \quad (5.6.4-2)$$

$$t_n = 1.6\mu_0 S_{max} H_{max} \quad (5.6.4-3)$$

式中： t_1 ——起始采样时间 (s)；

t_n ——末测道采样时间 (s)；

μ_0 ——磁导率 (H/m)；

S_{min} ——最小纵向电导 (S)；

S_{max} ——最大纵向电导 (S)；

H_{min} ——要求最小检测深度 (m)；

H_{max} ——要求最大检测深度 (m)。

2 现场观测时，应记录干扰源、地表变形等异常现象。

3 现场存在瞬间干扰时应暂停观测，排除干扰后再进行观测，必要时可移动点位避开干扰源观测。

5.6.5 数据处理与资料解释应符合下列规定：

1 按下列要求计算曲线相应时刻的视电阻率 ρ_{τ} 和视时间常数 τ_{τ} 。

1) 同点回线装置视电阻率计算按公式 (5.6.5-1):

$$\rho_{\tau\text{中心}} = 6.32 \times 10^{-3} L^{3/2} (\varepsilon(t)/I)^{-2/3} t^{-5/2} \quad (5.6.5-1)$$

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)。

2) 衰减时间常数计算按公式 (5.6.5-2):

$$\tau = \frac{t_2 - t_1}{\ln [V_g(t_1)/V_g(t_2)]} \quad (5.6.5-2)$$

式中: τ ——衰减时间常数 (μs);

t_2 、 t_1 ——电磁场衰减时刻 (μs);

$V_g(t_1)$ ——衰减电磁场 t_1 时刻的强度 (μV);

$V_g(t_2)$ ——衰减电磁场 t_2 时刻的强度 (μV)。

2 定性解释应通过视电阻率 ρ_{τ} 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 ρ_{τ} 、视时间常数 τ_{τ} 的二维断面, 并将其转换成深度剖面图。

4 成果图件宜包括各测线的感应电压 V_q 多测道图, 视时间常数 τ_{τ} 等值线平面图, 反演视电阻率 ρ_{τ} 拟断面图、解译成果剖面或平面图等。

5.7 示踪法

5.7.1 示踪法可用于检测渗漏水流向、流速, 分析判断渗漏水来源。

5.7.2 示踪剂宜采用颜色示踪剂、离子示踪剂。

5.7.3 示踪法检测渗漏应满足下列条件:

1 渗漏通道长度宜小于 1000m。

2 渗漏水宜有一定的流速。

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

1 离子示踪剂投放前应先测量投放点及渗漏出水点水体的本底值。

2 示踪剂应投放在潜在的渗漏入水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, 应根据预估渗漏通道长度, 在出水口多次测量。

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。

5.7.5 数据处理与资料解释应符合下列规定:

1 钻孔中或孔间进行示踪测量时, 应按下列要求计算渗漏区渗透系数、渗透流速等参数:

1) 渗透系数 K 按公式 (5.7.5-1) 计算:

$$K = \frac{V_f}{J} \quad (5.7.5-1)$$

2) 水平流速 V_f (m/d) 按公式 (5.7.5-2) 计算:

$$V_f = \frac{\pi (r^2 - r_0^2)}{2\pi t} \ln \frac{N_0 - N_b}{N_t - N_b} \quad (5.7.5-2)$$

3) 垂向流速 V_v (m/d) 按公式 (5.7.5-3) 计算:

$$V_v = \frac{L}{\Delta T} \quad (5.7.5-3)$$

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;

A ——流场畸变校正系数;

ΔT ——探头计数率时间曲线峰值间的时间差 (d)。

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、渗透流速和渗透系数沿各孔的高程分布图、与图件相对应的渗透流速和渗透系数以及渗流方向统计表等。

5.8 音频大地电磁测深法

5.8.1 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。

5.8.2 音频大地电磁测深法检测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 测区内应无较强的工业游散电流、大地电流或电磁干扰。

5.8.3 外业工作除应符合 SL/T 291.1 的规定外, 还应符合下列规定:

- 1 宜在测区内布置多条平行测线, 测线距宜为 20m~50m, 测点距宜为 10m~20m, 发现异常区域宜加密测点。
- 2 宜采用电磁场矢量测量方式。

5.8.4 数据处理与资料解释应符合下列规定:

- 1 数据处理宜包括数据检查、坏点删除、数据编辑、曲线平滑、添加地形及反演计算。
- 2 应结合钻孔和其他已知资料对反演视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。
- 3 成果图件宜包括视电阻率和相位曲线图、反演视电阻率断面图、解译成果剖面图等。

5.9 面波法

5.9.1 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。

5.9.2 根据渗漏通道或隐患的性状和环境条件, 可采用瞬态面波法和天然源面波法。

5.9.3 采用面波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埋深应具有一定规模。

5.9.4 外业工作除应符合 SL/T 291.1、SL/T 436 的规定外, 还应符合下列规定:

- 1 宜在渗漏隐患位置、渗漏通道上方布设多条平行测线, 测线间距宜为 5m~20m, 测点间距宜为 5m~10m。
- 2 宜先开展现场试验工作, 并根据试验结果确定观测系统。

5.9.5 数据处理与资料解释应符合下列规定：

- 1 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 成果图件宜包括频散曲线图、速度—深度剖面图、解译成果剖面或平面图等。

5.10 层析成像法

5.10.1 层析成像法可用于检测渗漏通道和渗漏隐患。

5.10.2 层析成像法宜采用声波 CT、地震波 CT、电磁波 CT 方法。

5.10.3 采用层析成像法检测渗漏通道或隐患应满足下列条件：

- 1 渗漏通道或隐患区与周边介质应具有相应的弹性、电性差异。
- 2 检测区域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 孔间距宜小于钻孔深度的 2/3。

5.10.4 外业工作除应符合 SL/T 291.1 的规定外，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 宜采用定点扇形扫描方式。射线宜分布均匀，射线与水平方向夹角不宜大于 45° ，交叉最大角度宜大于 45° 。

5.10.5 数据处理与资料解释应符合下列规定：

- 1 数据处理宜包括数据检查、剔除坏值、建立坐标系、形成数据文件、建立数学模型、反演计算等。
- 2 解释时应根据波速分布规律、吸收系数等值线图确定异常范围、延伸方向。
- 3 检测成果宜包括射线分布图、CT 成果图、解译成果剖面或平面图等。

5.11 声像法

5.11.1 声像法可用于检测渗漏入水口及表观渗漏隐患。

5.11.2 声像法宜采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。

5.11.3 声像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 水流速度不宜超过 1.5m/s。

5.11.4 外业工作应符合下列规定：

- 1 水下摄像法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。
- 2 多波束声呐法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，应测量并记录仪器设备和定位点之间的距离和高差。
- 3 侧扫声呐法定位宜采用载波相位差分技术（RTK）系统，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。

5.11.5 数据处理与资料解释应符合下列规定：

- 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 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。

3 多波束声呐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、地形外形变化和渗漏情况分析。

4 侧扫声呐资料解释应根据声呐图像的强度、阴影关系分析水底或者建筑物渗漏情况。

5 检测成果宜包括渗漏和缺陷部位视频、各方法解释图件等。

5.12 钻孔测试

5.12.1 钻孔测试可用于检测渗漏通道和渗漏隐患。

5.12.2 钻孔测试宜采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。

5.12.3 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介质波速分布；井温测试可用于检测井温异常分布。

5.12.4 钻孔测试检测渗漏通道或隐患应满足下列条件：

1 钻孔全景数字成像法钻孔应为无套管的清水孔或干孔，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 1.25g/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，测试段应有井液。

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。

5.12.5 外业工作除应符合 SL/T 291.1、SL/T 436 的规定外，还应符合下列规定：

1 测试钻孔应布置在渗漏通道或渗漏隐患异常的中心部位，孔深应不小于异常深度。

2 钻孔全景数字成像法应保存视频资料。

3 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水口水体进行温度测试。

4 同一钻孔开展多种钻孔测试方法时，应先测量井温。

5.12.6 数据处理与资料解释应符合下列规定：

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 钻孔全景数字成像法应根据孔壁展开图，圈定表观渗漏水区和潜在渗漏水区分布，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水口水体温度，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 检测成果宜包括图像、视频、钻孔柱状图、渗漏异常统计表及必要的文字说明等。

6 库坝渗漏检测

6.1 水库渗漏检测

6.1.1 水库渗漏检测对象宜包括库盆、库岸，检测内容宜包括渗漏入水口和渗漏通道。

6.1.2 库盆渗漏检测宜采用伪随机流场法、水下声纳法，可采用水下摄像法；埋深不大于 50m 的库岸渗漏通道检测宜采用高密度电法、自然电场法、充电法，可采用瞬变电磁法、瞬态面波法、钻孔测试、层析成像法、示踪法；埋深大于 50m 的库岸渗漏通道检测宜采用音频大地电磁测深法、瞬变电磁法、天然源面波法，可采用钻孔测试、层析成像法和示踪法。

6.1.3 库盆渗漏检测应符合下列规定：

1 采用伪随机流场法检测库盆渗漏入水口范围时，库水深度不宜小于 2m。

2 清水时宜采用水下摄像法结合喷墨观察确定渗漏入水口位置；浑水时宜采用水下声纳法检测水底冲坑、凹陷等表观缺陷，辅助确定渗漏入水口位置。

6.1.4 库岸渗漏通道检测应符合下列规定：

1 库岸渗漏通道包括连通库岸内外的岩溶通道、构造破碎带、裂隙密集带等。

2 宜采用地面方法检测渗漏通道范围，测线数量宜不少于 2 条，测线距宜为 20m~50m。

3 高密度电法基本电极距宜为 5m~10m，瞬变电磁法测点距宜为 5m~10m，音频大地电磁测深法、面波法测点距宜为 10m~20m。

4 宜在地面检测查明的渗漏异常中心位置布置钻孔进行钻孔全景数字成像法和单孔声波法测试，或在渗漏异常两侧布置钻孔进行层析成像法检测。钻孔深度宜大于渗漏异常埋深 5m~10m。

5 钻孔全景数字成像测试宜保存视频文件，电磁波 CT 孔间距宜不大于 20m，地震波 CT 间距宜不大于 30m。

6 测区布置有多个钻孔时，宜在测试钻孔中投放示踪剂，进行示踪法检测。

6.1.5 资料整理分析应符合下列规定：

1 宜以坐标形式提供库盆渗漏入水口边界。

2 应结合地面检测成果、钻孔测试成果综合分析库岸渗漏通道分布。

6.1.6 检测成果宜包括渗漏入水口位置平面图、渗漏通道分布平面图、剖面图等。

6.2 土石坝渗漏检测

6.2.1 土石坝渗漏检测对象宜包括面板堆石坝、心墙堆石坝、均质土坝、平原水库围堤等，检测内容宜包括渗漏入水口、渗漏通道、渗漏隐患。

6.2.2 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 6.1 节库岸渗漏检测相关规定。

6.2.3 渗漏入水口检测宜采用伪随机流场法、水下摄像法、水下声纳法，可采用自然电场法；渗漏通道和渗漏隐患检测宜采用高密度电法、自然电场法、探地雷达法，可采用瞬变电磁法、瞬态面波法、钻孔测试、示踪法。

6.2.4 土石坝渗漏检测应符合下列规定：

1 宜在高水位时采用伪随机流场法圈定坝体迎水侧渗漏入水口范围，采用水下摄像法和水下声纳法确定渗漏入水口位置。

2 宜沿坝轴线方向在坝体迎水侧、坝顶、背水侧布置平行测线检测渗漏通道和隐患，测线数量宜不少于 3 条，测线距宜为 10m~20m。

3 检测渗漏通道和隐患时，高密度电法基本电极距宜为 2m~5m，探地雷达法宜采用连测模式，瞬变电磁法、瞬态面波法测点距宜为 5m~10m。自然电场法无穷远极宜布设在垂直坝轴线方向上。

4 检测深度宜大于预估渗漏通道或渗漏隐患埋深 5m~10m。

5 钻孔布置、钻孔测试及示踪法检测应符合 6.1.4 条 4 款~6 款。

6 渗漏入水口检测宜至少经历一次高水位工况下的检测。

6.2.5 资料整理分析应符合下列规定：

1 渗漏入水口检测资料宜结合库水位变化与出水点水量大小的关系分析判断渗漏出水点与库水的连通性。

2 渗漏入水口及渗漏通道资料宜结合示踪法成果对渗流速率、渗漏量进行计算分析。

6.2.6 检测成果宜包括面板缺陷分布图、渗漏入水口位置平面图、渗漏通道和隐患分布平面图、剖面图等。

6.3 混凝土坝渗漏检测

6.3.1 混凝土坝渗漏检测内容宜包括渗漏入水口和渗漏通道。

6.3.2 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 6.1 节库岸渗漏检测相关规定。

6.3.3 渗漏入水口检测宜采用伪随机流场法、水下摄像法、水下声呐法，可采用充电法；渗漏通道检测宜采用钻孔测试、示踪法。

6.3.4 混凝土坝渗漏检测应符合下列规定：

1 宜采用伪随机流场法或充电法圈定坝体渗漏入水口，采用水下摄像法、水下声呐法确定渗漏入水口位置。

2 渗漏通道检测宜采用井温测试、钻孔全景数字成像法、单孔声波法、示踪法，测试钻孔应利用坝体原有排水孔、灌浆孔或在坝顶造孔，孔底高程不宜高于帷幕灌浆孔底高程。

3 示踪法宜采用离子示踪剂。

4 可结合坝体结构和渗漏入水口、出水口位置，避开廊道、预埋管线、传感器等部位，在预估的渗漏通道布置钻孔。

6.3.5 检测成果宜包括渗漏入水口位置平面图、渗漏通道分布平面图等。

7 堤防渗漏检测

7.0.1 堤防渗漏检测对象宜包括堤身和堤基，检测内容宜包括渗漏入水口、渗漏通道、渗漏隐患。

7.0.2 渗漏入水口检测宜采用伪随机流场法、水下声呐法、水下摄像法，可采用自然电场法；渗漏通道检测宜采用高密度电法、自然电场法、探地雷达法，可采用瞬态面波法、瞬变电磁法、充电法、示踪法。渗漏隐患检测应符合 SL/T 436 的规定。

7.0.3 堤防渗漏检测应符合下列规定：

1 宜收集测区内地形、地层结构、堤防结构、老口门分布等资料。

2 宜调查测区内河水位和背水坡浸润线高程、渗漏出水口位置、渗漏形式、渗漏流量大小、渗漏可能的影响范围、穿堤建筑物和险工段分布、毁堤生物类型等。

3 检测深度宜深入堤基以下 5m。

4 集中渗漏入水口检测宜采用伪随机流场法，散浸范围检测宜采用高密度电法、探地雷达法。

5 高密度电法测线应沿堤顶、堤肩、背水侧堤坡和堤脚布置，基本电极距宜为 1m~2m。

6 探地雷达法测线宜布置在堤顶、背水侧堤坡，宜采用连测模式。

7 瞬态面波法测点距宜为 5m~10m，道间距宜为 1m~2m。

8 防汛抢险时的应急检测应符合 SL/T 436 的规定。

7.0.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 应明确渗漏入水口边界坐标及对应桩号范围。

2 应结合堤防结构、检测结果、验证成果综合分析渗漏通道走向分布和高程变化。

3 防汛抢险时的应急检测应在现场完成资料整理分析，标记或指认渗漏入水口、渗漏出水口和渗漏通道位置。

4 可对渗漏检测结果三维空间建模或切片展示。

7.0.5 成果应符合下列规定：

1 应记录现场调查信息，并在检测工作布置图、检测成果图、渗漏分布平面图、剖面图上标注。

2 伪随机流场法检测成果图宜标注渗漏入水口平面位置，自然电场法检测成果图宜标注渗漏入水口桩号范围和渗漏通道位置、走向。高密度电法、探地雷达法、瞬态面波法、瞬变电磁法检测成果图宜标注渗漏通道位置、范围。充电法检测成果图宜标注渗漏通道位置、走向。

8 输水建筑物渗漏检测

8.1 渠道渗漏检测

8.1.1 渠道渗漏检测对象宜包括渠道底板、面板及其基础，检测内容宜包括渗漏入水口、渗漏通道和渗漏隐患。

8.1.2 渗漏入水口检测宜采用伪随机流场法、充电法、水下摄像法，可采用水下声呐法；渗漏通道和渗漏隐患检测宜采用高密度电法、探地雷达法，可采用瞬变电磁法、自然电场法、充电法、示踪法。

8.1.3 渠道渗漏检测应符合下列规定：

1 应对收集资料进行分析、复核，明确渠道建筑结构，沿线地层结构、地下水位及古河道、软土地基、高含砂层、岩体破碎带等不良地质体的分布。

2 宜调查测区内渠水位高程、流速，渗漏出水口位置、渗漏流量大小，水面以上面板、岸坡、渠顶不均匀沉降及缺陷，穿渠的涵闸、逆止阀、管线分布等。

3 应重点检测高填方渠道不均匀沉降，深挖方渠道地基不良地质体、逆止阀，穿渠建筑物两侧不均匀沉降及接触面冲蚀淘蚀部位。

4 宜采用伪随机流场法、充电法圈定渗漏入水口范围，测线宜网格状布置在渠道水面范围内。

5 宜采用水下摄像法结合喷墨观察确定渗漏入水口位置，宜重点观察渗漏入水口范围内的混凝土结构缝和穿渠涵闸、逆止阀、管线部位。

6 可在渗漏出水口临时搭建量水堰，监测渗漏流量变化，伪随机流场法或充电法供电极板可设置在量水堰内。

7 宜在渠顶或渠肩、背水坡或坡脚平行布置适量的高密度电法测线检测渗漏通道和渗漏隐患，基本电极距宜为 1m~2m，检测深度宜深入渠基不小于 5m。

8 宜在渠顶、渠坡平行布置探地雷达法测线检测渠身不均匀沉降、填土均一性和富水性。

9 宜采用示踪法检测渗漏通道连通性。

8.1.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 应结合渠道结构、现场调查信息、检测资料综合分析渗漏入水口、渗漏通道和渗漏隐患分布。

2 人工渠道应重点分析渠道面板、底板、闸涵、逆止阀等结构体结构缝、裂缝、接触面位置渗漏入水口和渗漏隐患，混凝土构件与填土接触部位的渗漏通道。

3 天然河道段渠道应重点分析岸坡、渠底的透水地层、生物洞穴导致的渗漏及隐患。

8.1.5 渠道渗漏检测成果应符合 7.0.5 条相关规定。

8.2 隧洞渗漏检测

8.2.1 隧洞渗漏检测内容宜包括外渗水体出水点、隧洞内衬砌混凝土缺陷、围岩透水带的规模、位置及埋深。

8.2.2 外渗水体出水点、隧洞内衬砌混凝土缺陷检测宜采用水下摄像法、水下声纳法，可采用探地雷达法；围岩透水带检测宜采用高密度电法、音频大地电磁测深法、面波法，可采用瞬变电磁法、钻孔测试、层析成像法。

8.2.3 隧洞渗漏检测应符合下列规定：

1 应对收集资料进行分析、复核，了解隧洞岩体结构及衬砌结构，初步判定可能造成渗漏的不良地质体分布，确定重点检测区域。

2 放空状态下隧洞内衬砌混凝土检测宜采用人工观察圈定混凝土表面破损、露筋、裂缝、变形等缺陷，采用探地雷达法确定混凝土内部缺陷和脱空位置。探地雷达法宜沿隧洞走向布置不少于 4 条测线。

3 充水状态下宜采用水下摄像法、水下声呐法检测隧洞内衬砌混凝土表面破损、露筋、裂缝、变形等缺陷。

4 水下摄像法检测发现明显结构缺陷和疑似渗漏时，应拍照、喷墨，根据颜料吸入情况确定渗漏出水点。

5 宜选择合适的方法组合，沿隧洞轴线及两侧布置地面测线，综合检测不良地质体的位置和空间展布，检测深度宜深入隧洞底板以下不少于 20m。

6 宜在异常部位或重点区域布置钻孔开展钻孔测试和层析成像法。

8.2.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 应结合人工观察和探地雷达法成果及声像法影像资料综合统计隧洞内衬砌混凝土缺陷的桩号、位置。

2 应结合围岩内不良地质体位置、规模，隧洞内衬砌混凝土缺陷和水下摄像法喷墨观察结果综合分析渗漏出水点位置。

8.2.5 隧洞渗漏检测成果宜包括隧洞内衬砌混凝土缺陷分布图表、渗漏分布平面图及影像资料等。

8.3 输水管涵渗漏检测

8.3.1 输水管涵渗漏检测对象宜包括输水管道和输水箱涵，检测内容宜包括渗漏出水口、渗漏水流向、渗漏影响范围。

8.3.2 渗漏出水口检测宜采用高密度电法、瞬变电磁法，可采用水下摄像法、水下声呐法、探地雷达法；渗漏影响范围检测宜采用高密度电法、瞬变电磁法，可采用探地雷达法；渗漏水流向检测宜采用自然电场法，可采用探地雷达法、高密度电法、瞬变电磁法。

8.3.3 输水管涵渗漏检测应符合下列规定：

1 外业工作开展前，应收集并复核管涵材质、结构、规格、填土成分、土层结构、地下水位等资料。

2 宜调查管涵沿线地面积水、潮湿、沉陷区域，结合管涵内水位、水压、流量等监测数据，初步圈定渗漏检测重点部位，预判渗漏程度。

3 金属管道宜重点调查管段接头部位，混凝土和玻璃钢管道宜重点调查地面沉降部位，具备条件的管涵宜采用人工或机器人进入管涵内部调查管涵内壁裂缝分布情况。

4 渗漏出水口检测宜以地面检测为主，以管内观察、水下摄像法、水下声呐法为辅。地面检测宜沿管涵轴线及两侧平行布置 3 条~5 条测线，旁侧测线与管涵边缘的距离宜为 1m~4m，高密度电法基本电极距宜为 1m~2m，瞬变电磁法宜采用小线圈中心回线装置，测点距宜为 2m~5m。

5 自然电场法检测渗漏水流向应采用梯度法，环形测量，检测电极距宜为渗漏水深度的 2 倍，测点数宜不少于 3 个，沿渗漏水流向布设。

6 检测渗漏影响范围时，宜垂直渗漏水流向布置测线，高密度电法测线距宜为 3m~5m，基本电极距宜为 1m~2m，瞬变电磁法宜采用小线圈中心回线装置，测线距宜为 3m~5m，测点距宜为 2m~5m。

7 宜在测区非渗漏段布置测线，了解管涵物性结构及背景场特征。

8 宜采用钻探和室内试验对检测异常位置进行取样验证，重点观察、测试样品性状和含水率。

9 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。

8.3.4 资料整理分析应符合下列规定：

- 1 应重点分析管涵接头、结构缝、裂缝、不均匀沉降部位的渗漏出水口。
- 2 自然电场法检测结果极形图长轴负电位指向正电位方向为渗漏水流向。
- 3 应对比背景场，圈定异常位置，结合验证成果，综合分析成果资料。

8.3.5 成果应符合下列规定：

- 1 检测成果宜包括管涵沿线地面调查成果、管涵内壁缺陷分布图表、渗漏平面分布图及影像资料等。
- 2 渗漏平面分布图应标注渗漏出水口、渗漏影响范围和渗漏水流向。

8.4 渡槽渗漏检测

8.4.1 渡槽渗漏检测对象宜包括槽身和进出口渐变段，检测内容宜包括渗漏入水口和渗漏通道。

8.4.2 渗漏入水口检测宜采用伪随机流场法、充电法、水下摄像法，可采用示踪法、水下声呐法；渗漏通道检测宜采用探地雷达法、瞬变电磁法。

8.4.3 渡槽渗漏检测应符合下列规定：

- 1 外业工作开展前，应收集并复核渡槽、进出口渐变段结构、地基基础、地下水位等资料。
- 2 应调查渡槽内水位高程、流速，渗漏出水口位置、渗漏流量大小，进出口渐变段水面以上面板、渠顶表面沉降及缺陷等。
- 3 渡槽渗漏检测宜在水流速较小时进行。
- 4 应根据渗漏出水口位置判断渗漏检测区域。
- 5 进出口渐变段渗漏入水口检测应符合 8.1.3 条 4 款~6 款的相关规定。
- 6 伪随机流场法或充电法检测宜从渡槽进水口或出水口向渐变段方向测试，直至背景场区域。
- 7 渗漏通道检测应符合 8.1.3 条 7 款~9 款的相关规定。

8.4.4 资料整理分析应符合下列规定：

- 1 应记录槽身渗漏出水点桩号、位置。
- 2 应结合渡槽及渐变段结构、现场调查信息、检测资料综合分析渗漏现状和成因。
- 3 应重点分析渐变段面板、底板结构缝位置的渗漏入水口。
- 4 应重点分析混凝土构件与填土接触部位的渗漏通道。

8.4.5 渡槽渗漏检测成果除应符合 7.0.5 条的相关规定外，还宜包括槽身出水点分布图、渐变段渗漏入水口、渗漏通道和渗漏出水口分布平面图。

8.5 倒虹吸渗漏检测

8.5.1 倒虹吸渗漏检测对象宜包括倒虹管和进出口渐变段，检测内容宜包括渗漏入水口和渗漏通道。

8.5.2 倒虹管渗漏入水口检测宜采用水下摄像法、水下声呐法，渐变段渗漏入水口检测宜采用伪随机流场法、充电法、水下摄像法，可采用示踪法、水下声呐法；渗漏通道检测宜采用探地雷达法、高密度电法，可采用瞬变电磁法。

8.5.3 倒虹吸渗漏检测应符合下列规定：

- 1 外业工作开展前，应收集并复核倒虹吸、渐变段结构、地基基础、地下水位等资料。
- 2 应调查倒虹管内流速、渐变段内水位高程、流速、渗漏出水口位置、渗漏流量大小、水面以上面板、渠顶表面沉降及缺陷等。
- 3 倒虹吸渗漏检测宜在水流速较小时进行。

4 应根据渗漏出水口位置判断渗漏检测区域。

5 渐变段渗漏入水口检测应符合 8.4.3 条 5 款~6 款规定，渗漏通道检测应符合 8.1.3 条 7 款~9 款规定。

6 水下摄像法检测倒虹管内渗漏入水口宜重点观察混凝土结构缝和管壁裂缝，发现明显结构缺陷和疑似渗漏时，应拍照、喷墨，根据颜料吸入情况确定渗漏出水点。

8.5.4 资料整理分析应符合 8.4.4 条相关规定。

8.5.5 倒虹吸渗漏检测成果除应符合 7.0.5 条的相关规定外，还宜包括倒虹管出水点分布图、缺陷分布图、渐变段渗漏入水口、渗漏通道和渗漏出水口分布平面图。

9 水闸渗漏检测

9.0.1 水闸渗漏检测对象宜包括上游连接段、闸室段、下游连接段，检测内容宜包括渗漏入水口、渗漏通道和渗漏隐患。

9.0.2 渗漏入水口检测宜采用伪随机流场法、水下摄像法，可采用水下声呐法、充电法、示踪法；渗漏通道检测宜采用探地雷达法、钻孔全景数字成像法、示踪法；水下建筑物表观缺陷检测宜采用水下声呐法、水下摄像法。

9.0.3 水闸渗漏检测应符合下列规定：

1 应对收集资料进行分析、复核，了解水闸的工程结构、地质条件、施工验收和运行维护情况。

2 宜通过现场调查，初步圈定渗漏出水口和可能的渗漏入水口、渗漏通道。

3 水闸挡水时，宜在其上游连接段水域网格化布置伪随机流场法或充电法测线检测渗漏入水口范围，宜采用水下声呐法检测上游翼墙、铺盖、护底、护坡和闸室底板、闸墩等构件的表观缺陷，宜结合喷墨观察确定渗漏入水口位置、规模。

4 充电法宜采用电位法观测。

5 水闸未挡水时，应人工调查上游翼墙、铺盖、护底、护坡和闸室底板、闸墩等混凝土表面裂缝、坑洞，观察混凝土构件沉降、结构缝止水表观缺陷等。

6 采用探地雷达法检测渗漏通道时，宜沿闸室横截面方向在底板和闸墩连续布设测线，测线数量宜不少于3条，且应均匀分布在闸室上游、中部和下游。

7 宜在探地雷达法查明的异常中心部位布置钻孔，进行钻孔全景数字成像法检测。

8 宜利用测试钻孔进行示踪法检测。

9.0.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 应结合闸室结构、调查和检测资料，综合分析渗漏入水口、渗漏通道和渗漏隐患。

2 应重点分析水闸各部位不均匀沉降、冲蚀及混凝土分缝止水设施损坏、结构裂缝等原因导致的渗漏入水口和渗漏隐患。

3 闸基渗漏应重点分析闸室底板混凝土内部缺陷、底板基础脱空、地基材料均一性、含水率变化。

4 侧向渗漏应重点分析边墩或岸墙混凝土内部缺陷、混凝土边界脱空、填土材料密实程度、含水率变化等。

9.0.5 水闸渗漏检测成果宜包括渗漏分布平面图、剖面图，渗漏隐患统计表等。

10 资料整理及成果报告

10.0.1 资料整理解释、验证与提交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。
- 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、装订成果报告和图件。

10.0.2 检测资料应及时初步整理，内容宜包括资料备份，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。如有可疑资料应及时到现场查看或重测。

10.0.3 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应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。资料处理与解释应符合 SL/T 291.1、SL/T 436 的规定。

10.0.4 需要对检测数据进行反演处理的物探方法，宜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。

10.0.5 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。渗漏异常物性特征宜为伪随机流场法平面等值线图上高电位梯度圈闭，高密度电法、瞬变电磁法、音频大地电磁测深法剖面中的低电阻率异常，充电法剖面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偏离背景值的极值异常，钻孔全景数字成像法图像上的裂缝、蜂窝，井温测试的井温梯度异常，面波法、单孔声波法、声波 CT、地震波 CT 的低波速异常，电磁波 CT 的高吸收系数异常。

10.0.6 应利用地面检测成果、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。

10.0.7 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。

10.0.8 可根据渗漏及隐患的分布情况、背景值、图像特征等，对渗漏或隐患进行分区分类。

10.0.9 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。

10.0.10 正式成果报告内容应符合下列规定：

- 1 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、工作量完成情况等。
- 2 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 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。
- 4 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。
- 5 结论与建议宜包括渗漏检测成果、任务解决程度、渗漏或隐患分区分类及防渗加固处理建议等内容。
- 6 成果报告应有图和表。成果图绘制应符合 SL 73.3 的规定，可包括工作布置图、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。

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	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	声像法	钻孔测试
水库渗漏	渗漏入水口				○							○	
	渗漏通道	○	○	○			○	△	○	○	△		△
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							○					○
堤防渗漏	渗漏入水口	△			○							○	
	渗漏通道	○	△	○		○	△	△		△			
渠道渗漏	渗漏入水口		○		○							○	
	渗漏通道	△	△	○		○	△	△					
	渗漏隐患	△	△	○		○	△	△					
隧洞渗漏	外渗水体出水点					△						○	
	隧洞内衬砌混凝土缺陷					△						○	
	围岩透水带			○			△		○	○	△		△
输水管涵渗漏	渗漏出水口			○		△	○					△	
	渗漏影响范围			○		△	○						
	渗漏水流向	○		△		△	△						

续表 A

检测项	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	声像法	钻孔测试
输水管涵渗漏	渗漏出水口			○		△	○					△	
	渗漏影响范围			○		△	○						
	渗漏水流向	○		△		△	△						
渡槽渗漏	渗漏入水口		○		○			△				○	
	渗漏通道					○	○						
倒虹吸渗漏	渗漏入水口		○		○			△				○	
	渗漏通道			○		○	△						
水闸渗漏	渗漏入水口		△		○			△				○	
	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 检测方法采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。

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 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《水利水电工程地质勘察规范》GB 50487
《岩土工程勘察安全标准》GB/T 50585
《中小型水利水电工程地质勘察规范》SL 55
《堤防工程地质勘察规范》SL 188
《水利水电工程勘探规程 第1部分：物探》SL/T 291.1
《堤防隐患探测规程》SL/T 436
《水利水电工程测量规范》SL 197
《水利水电工程制图标准 勘测图》SL 73.3

中国水利学会团体标准
水利水电工程渗漏检测规程
T/CHES XXXX-202X

条文说明

制订说明

《水利水电工程渗漏检测规程》T/CHES XXXXX-20XX（以下简称本标准），经中国水利学会 20XX 年 X 月 XX 日发布。

本标准编制过程中，编写组经调查研究、搜集资料，总结近 20 年来我国水利水电工程渗漏检测实践经验，汲取国内有关单位和专家的建议，参考大量国内外相关法律法规、技术标准，并与相关国家、行业标准相衔接，数次易稿编制而成。

为便于广大技术人员和科研人员在使用本标准时能准确理解条文要义，编写组按章、节、条、款、项等顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明，供读者作为理解和把握标准规定的参考。

限于编写时间和水平有限，本标准难免有疏漏之处，希望广大读者批评指正，以便再版 修订时加以改进。

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。

1.0.4 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

3.0.3 各种渗漏检测方法都有一定的使用条件，在相同条件下使用不同的方法，其检测能力和检测效果也会有较大的差别。即使同一种检测方法，也有多种观测装置和工作参数可选。

在地质条件复杂、地层及岩性的物理性质不明、干扰严重的情况下，渗漏检测解释成果具有一定程度的不确定性。由于不同渗漏检测方法采用了不同的物性参数，这些参数都在一定程度上对应了地下介质的某种物理性质，有的参数与地层岩性对应，有的参数可能不完全对应。采用多种渗漏检测方法，通过各方法解释结果相互补充、相互验证和综合分析，提高渗漏检测质量和效果。

3.0.4 接到渗漏检测任务后，一般以保证工作效率为优先目标选择检测方法和测线、测点布置方案，完成面积性或剖面性普查；在普查的基础上，加密测线、测点探测或开展多方法综合探测完成详查。

3.0.6 现场检测前，先检查待检测区域内管理桩号标识。测线、测点的定位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，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。管理桩桩号有误的，在报告中注明。

4 准备工作

4.0.3 现场干扰源主要指可能对采集数据造成影响的设施或信号。音频大地电磁测深法主要干扰源包括变电站、高压线、雷达站、广播发射塔、通信基站、铁路等；探地雷达法主要干扰源包括测线附近金属制品、过往车辆，测线上方桥梁、电线等；瞬变电磁法主要干扰源包括测线附近金属制品、高压线等。

4.0.4 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主轴线大角度相交，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。

5 检测方法

5.1 自然电场法

5.1.2 基本观测方式需要采用电位法，在游散电流影响较大或剖面长、点距大时一般采用梯度法观测。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；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。

5.1.3

3 由于自然电位异常值幅度较小、易受干扰，探测区域内如果存在较强的干扰源，则不能使用该方法。

5.1.4

3 以减少电极极差累计造成的误差。

5.2 充电法

5.2.2 充电法与自然电场法观测方式相似。

5.2.4

2 充电法供电 A 极的位置一般选择在钻孔、观测井及坑道等与渗漏入水口有水流联系的部位；“无穷远”极（B 极）放在垂直渗漏区域走向的方向上。

3 进行电位测量时需要固定 N 极，N 极需要布设在自然电场相对稳定的地段，又要兼顾生产方便。

5.2.5 数据处理与资料解释时需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。

5.3 高密度电法

5.3.2 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 α 、Wenner β 、Wenner γ ）、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。需要参考 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。

5.3.5 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，需要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。

5.4 伪随机流场法

5.4.3

1 伪随机流场法现场测试的主要要点是电流场布置需要与渗流场相符、发射电流场强度需要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，所以水深需要大于 0.6m。

5.4.5

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梯度分布特征。此时的电流梯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。

5.5 探地雷达法

5.5.2 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 $\geq 200\text{MHz}$ 。

5.6 瞬变电磁法

5.6.2 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。

5.9 面波法

5.9.1 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。

5.9.2 天然源面波法又叫被动源面波法或微动探测法，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。近些年该法在工程中已经广泛应用。

5.10 层析成像法

5.10.4

3 交叉最大角度指两条射线水平方向夹角。

6 库坝渗漏检测

6.1 水库渗漏检测

6.1.2 物探检测方法均有随深度增加分辨率下降的特点，一些方法探测深度有限。因此根据以往工程实例、工程经验在此以 50m 为分界线，划分了选择的方法和类型，一般参照此进行选择。

6.2 土石坝渗漏检测

6.2.2 坝体渗漏的范围与特征一般有以下特点：上游坝坡塌陷或伴有坝前漩涡；下游坝坡大面积散浸、松软隆起或塌陷；下游坝坡出现集中渗漏点，水质浑浊或有细颗粒带出，或出逸点高于反滤体顶高程；下游坝脚反滤体失效；相同水库水位条件下，渗流量或坝体渗流压力持续增加；监测资料或计算分析表明，坝体渗透稳定性不满足要求；面板堆石坝渗漏多是由于面板或面板接缝破损、面板错台裂缝、面板塌陷引起。

坝基渗漏的范围与特征一般有以下特点：坝基渗漏是指水库蓄水后由于上、下游水头差，使水库中水沿坝基岩石的孔隙、裂隙、溶洞、断层等处向下游的渗漏；坝基渗漏多发生在未进行防渗处理或防渗措施不当之处；相同水库水位条件下，坝基渗流量持续增加；坝基渗漏水出现浑浊或细颗粒带出；坝后冒水翻砂、塌陷或松软隆起，或伴有坝前漩涡现象；监测资料或计算分析表明，坝基渗透坡降不满足要求或超过预警值。

绕坝渗漏检测与库岸渗漏检测内容一样，故检测规定需要符合 6.1 节规定。

6.2.4

6 渗漏入水口探测一般至少经历一次高水位工况下的检测，迎水坡水上部分检测一般选择在水库低水位运行阶段进行，检测仅为缺表面可见缺陷、混凝土内部缺陷和脱空，并不能判断为渗漏入水口；若在此阶段同时开展了迎水坡水下部分检测，有部分渗漏入水口已探明，由于库水位较低，水头压力差较小，不能反映水库正常运行的真实情况，随着库水位抬升，水头压力差增逐渐大，原探明渗漏入水口范围可能会增大，同时原未发现未渗漏的区域，尤其是部分闭合裂缝和充填裂缝，在高水头的作用下转化为渗漏缺陷，导致渗漏入水口探测不全面，不能真实反映水库正常运行的渗漏情况，因此渗漏入水口探测需要进行至少一次高水位工况下的检测。

6.3 混凝土坝渗漏检测

6.3.2 坝体渗漏的范围与特征一般有以下特点：混凝土坝（包括混凝土重力坝、拱坝及碾压混凝土坝等）坝体渗漏主要表现为集中渗漏、散渗、坝面裂缝/结构缝渗水；集中渗漏一般为有压射流，渗漏水多从坝体的孔穴或贯穿性裂缝内集中流出；散渗一般是混凝土抗渗性能差或网状深层裂缝形成大面积潮湿和微渗水；坝面裂缝/结构缝渗水多由施工、沉降或荷载产生的贯通性裂缝导致。混凝土坝多为高坝，除采用相关探测方法外，还需要结合其他检测方法和监测资料等进行综合分析，必要时需要采用排除法判断渗漏路径。

坝基渗漏主要表现为坝基覆盖层、强风化岩体、基岩裂隙或结构面发生渗漏，岩溶地区还存在岩溶渗漏问题。

绕坝渗漏主要表现为通过坝肩山体未挖除的坡积层、岩石裂缝、溶洞和生物洞穴等从下游岸坡渗漏；坝肩岩体破碎、帷幕灌浆失效造成渗漏；通过坝肩土质岸坡透水层、山体断层裂隙区等薄弱部位逸出形成渗漏。绕坝渗漏检测与库岸渗漏检测内容一样，故检测规定需要符合 6.1 节规定。

7 堤防渗漏检测

7.0.2 堤防高度多介于几米到十几米间，渗漏通道埋深不大，检测方法选择需要首先满足检测深度要求，其次优先选择盲区小、分辨率高的方法。

7.0.3

1 堤防结构包括堤身尺寸、垂向和水平向介质材料分区变化等。

2 堤防渗漏形式主要指管涌、流土、散浸、漏洞、接触渗漏等。穿堤建筑物由于不均匀沉降和水流冲刷、掏蚀，容易在接触面位置形成渗漏通道。汛期水面没过生物洞穴时，水体易沿生物洞穴渗漏，南北方毁堤生物类型不同，南方多以白蚁为主，北方多以地鼠、獾等动物为主。

7.0.4

1 渗漏入水口边界坐标需要采用堤防管理机构使用或认可的大地坐标系。

3 防汛抢险争分夺秒，为了及时消除险情，检测单位需要在最短的时间查出渗漏入水口、出水口和渗漏通道，并告诉抢险指挥部相关人员，做好对接。

7.0.5 现场调查信息标注在检测工作布置图、检测成果图上，有助于检测人员客观、合理的解释渗漏异常，同时便于委托单位了解渗漏现状。

8 输水建筑物渗漏检测

8.1 明渠渗漏检测

8.1.3

3 深挖方渠道为防止渠水外渗，常在迎水侧渠坡设置逆止阀，逆止阀允许地下水向渠道渗流，阻止渠水向外渗漏，逆止阀损坏、失效容易引起渠水外渗。

8.1.4

3 天然河道段渠道指利用古河道等天然河道的渠段，例如南水北调东线渠道南运河段。

8.1.5 渠道渗漏与堤防渗漏具有相似性，因此渠道渗漏检测成果与堤防渗漏检测成果要求类似。

8.2 隧洞渗漏检测

8.2.1 围岩透水带主要指渗透能力强的地层和不良地质体，包括构造破碎带、裂隙密集带、岩溶通道及卸荷带内张开、未充填的结构面等。

8.2.2 围岩透水带检测方法选择除了满足目标体的物性差异、地质条件、现场工作条件外，还需要满足探测深度的要求，隧洞埋深小于 100m，一般选择高密度电法、瞬变电磁方法和面波法等，埋深 100m~300m，一般选择瞬变电磁法、天然源面波法；埋深大于 300m，一般选择音频大地电磁测深法和天然源面波法等。

8.2.3

2 由于隧洞包含底板、左壁、右壁和顶拱部位，每个部位沿隧洞走向至少需布置 1 条以上测线进行控制，故在进行隧洞内衬砌混凝土缺陷和脱空检测时至少需要布置 4 条探地雷达法测线。

4 水下摄像法机器人拍照、喷墨时需要贴近缺陷和疑似渗漏位置静止状态下操作

6 需要在洞内或地面钻孔。

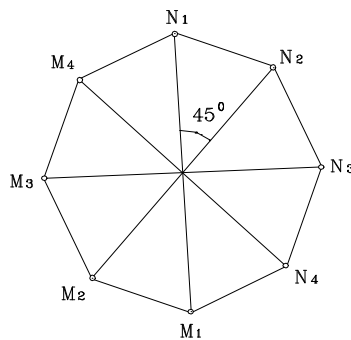
8.3 输水管涵渗漏检测

8.3.1 渗漏量较大，可能对管涵周围建筑物造成影响时，需要进行渗漏水流向检测。

8.3.3

3 人工进入管涵检测时，管涵直径需要不小于 800mm，且处于放空状态下。

5 自然电场法环形观测，以测点为中心，每隔 45° 作一次梯度观测，测量不同方位的过滤电场，环形观测布置图见图（1）。

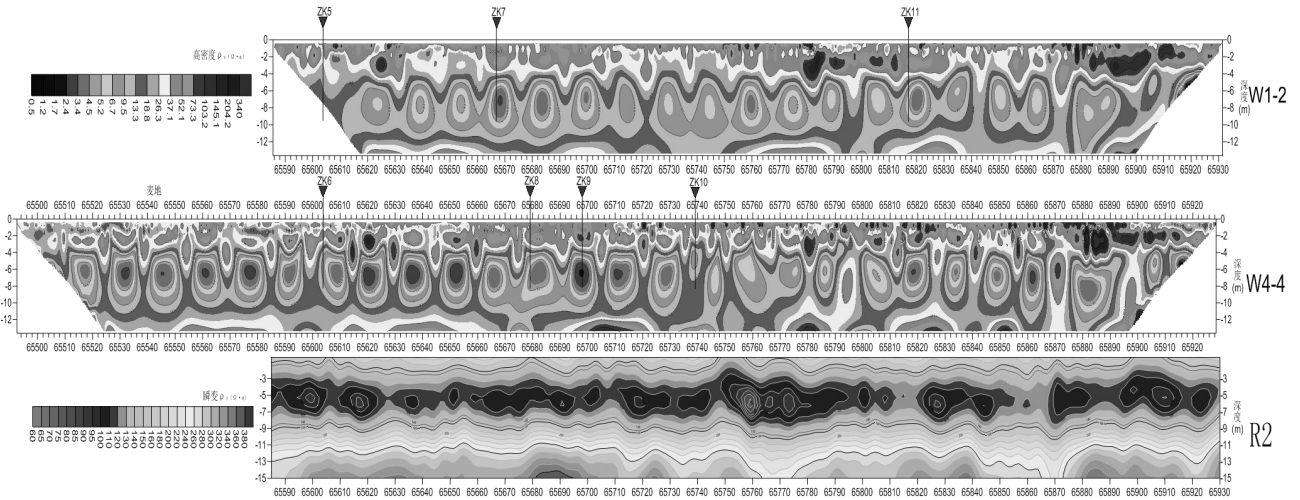


图（1） 自然电场法测点环形观测布置

7 管涵结构接头或结构缝与管涵本身电性参数可能不同，接头或结构缝固定间距布置，导致电法或电磁法类检测成果背景场复杂，需在非渗漏段布置测线，了解与正常管涵结构相对应的电性分布作为检测渗漏的背景场。

南水北调中线天津段箱涵渗漏检测典型成果如图（2）所示，W1-2 为距离箱涵左侧边沿 2.5m 高密度电法测量成果；W4-4 为距离箱涵右侧边沿 2.5m 高密度电法测量成果；R2 为距离箱涵右侧边沿 1.5m 瞬变电磁法测量成果。地层在垂向上呈现三层电性结构（ $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ ），属“高一低一高”型，横向上低阻区域呈团块状近似等间距分布，相邻低阻中心距离约 15m，相邻低阻区域被近似直立的较高阻脉状条带分隔；低

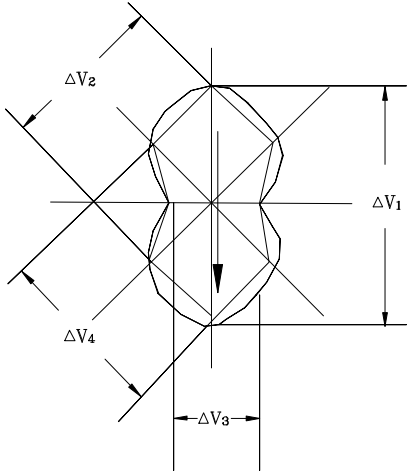
阻区域和高阻条脉分别是满水箱涵管节和结构缝橡胶止水的反映。



图（2） 南水北调中线天津段箱涵渗漏检测典型成果

8.3.4

2 自然电场法典型极性图见图（3），长轴方向电位梯度值最大，为地下水运动方向。



图（3） 环形观测法确定地下水流向

8.4 渡槽物渗漏检测

8.4.3

4 若渗漏出水口在进口段边坡，需要在进口段检测渗漏入水口；若渗漏出水口在出口段边坡，需要在出口段检测渗漏入水口。

8.4.4 南水北调中线刁河渡槽右联第九跨槽身下方附近漏水严重，经集中引流一般看到有明水流出，判断渡槽出口段渗漏。

典型伪随机流场法测线成果见图（4），可见 57.5m~60.5m 和 71m~73m 位置存在明显高电位梯度异常，异常幅值大于背景场 3 倍以上，判断为渗漏入水口的反映。

图（5）为流场法和充电法检测成果，综合分析流场法和充电法探测结果认为：刁河渡槽右联第九跨槽身下方附近渗漏水主要来源于渡槽与明渠之间连接渐变段中的第 5 伸缩缝和第 6 伸缩缝的渗漏带，且主要集中在渗漏带位于第 5 伸缩缝和第 6 伸缩缝左右两侧渠水位边线至河中心约 20m 范围内。最后采用水下摄像法发现第 5 伸缩缝和第 6 伸缩缝及其间顺渠向混凝土结构缝止水材料因不均匀沉降导致破损失效导致渗漏。

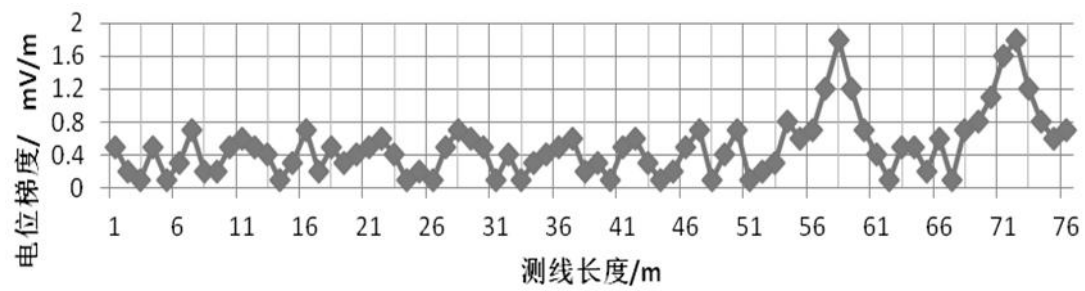


图 (4) 伪随机流场法测线典型高电位梯度异常

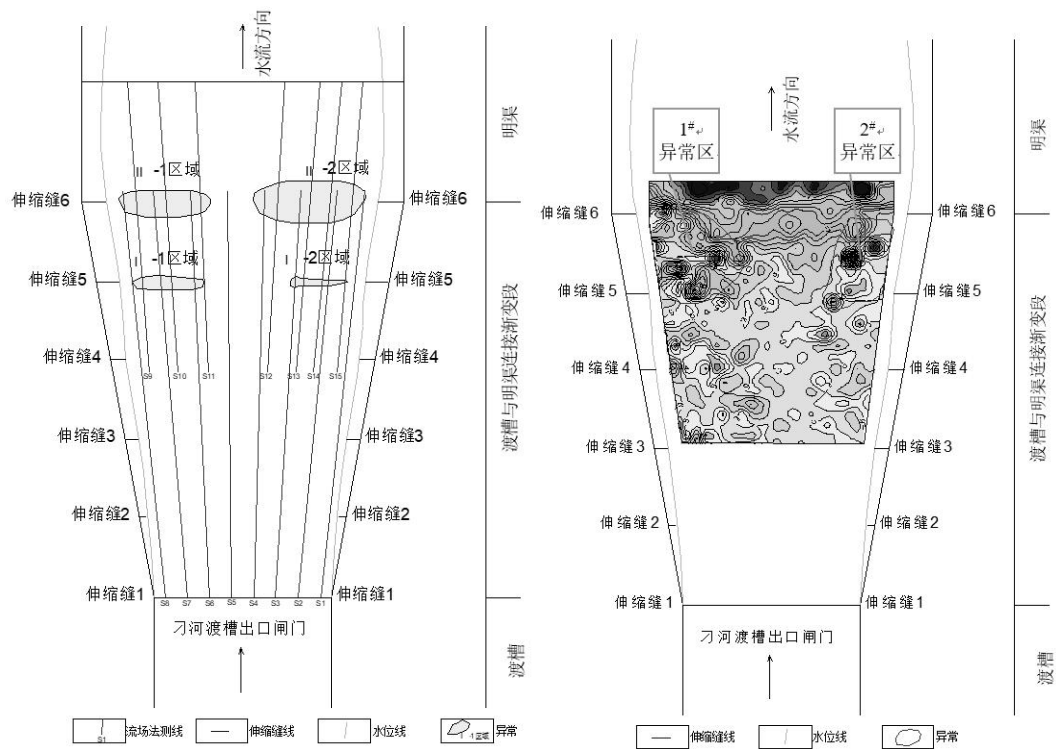


图 (5) 刁河渡槽出口段伪随机流场法和充电法检测成果

9 水闸渗漏检测

9.0.1 水闸渗漏入水口包括上游连接段闸门迎水侧的渗漏入水口和下游连接段闸门背水侧的渗漏入水口。

10 资料整理及成果报告

10.0.4 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。

10.0.8 渗漏或隐患分区标准因工程而异，一般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。

10.0.10

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