

堤防隐患探测规程

Specification of exploration for dike hidden trouble

2008—10—06 发布

2009—01—06 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布水利行业标准的公告

2008 年第 23 号

中华人民共和国水利部批准《堤防隐患探测规程》(SL 436—2008)标准为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	堤防隐患探测 规程	SL 436—2008		2008.10.06	2009.01.06

二〇〇八年十月六日

前 言

根据国家防汛抗旱总指挥部办公室 2001 年 12 月下发的“关于编制《堤防隐患探测技术规程》的请示报告的复函”、2007 年水利部《堤防隐患探测规程》编制计划，以及堤防隐患探测技术近 20 多年的发展现状，按照水利部行业标准《水利技术标准编写规定》(SL 1—2002)，编制本标准。

本标准共 11 章和 3 个附录。主要内容有：总则；术语、符号、代号；基本规定；直流电阻率法；自然电场法；瞬变电磁法；探地雷达法；拟流场法；弹性波法；温度场法；同位素示踪法。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持单位：国家防汛抗旱总指挥部办公室

本标准解释单位：水利部黄河水利委员会黄河水利科学研究院

本标准主编单位：水利部黄河水利委员会黄河水利科学研究院

本标准参编单位：水利部堤防安全与病害防治工程技术研究中心

中国水利水电科学研究院

黄河物探研究院(河南)有限公司

山东黄河河务局

中水北方勘测设计研究有限责任公司

中南大学

水利部长江水利委员会长江勘测规划设计研究院

河海大学

水利部水利水电规划设计总院

水利部大坝安全管理中心

湖南继善高科技有限公司

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：冷元宝 朱文仲 廖义伟 束庆鹏 高 航

张震夏 谢向文 刘建伟 刘康和 朱自强

王 锐 才致轩 汤井田 常晓辉 刘建刚

郭玉松 乔惠忠 周 杨 李长征 张建中

王清玉 蔡加兴 胡伟华 杨正华 姚成林

赵志忠

本标准审查会议技术负责人：李坤刚

本标准体例格式审查人：曹 阳

目 次

1	总 则.....	1
2	术语、符号、代号.....	2
2.1	术 语.....	2
2.2	符号、代号.....	3
3	基本规定.....	5
3.1	探测内容、方法及要求.....	5
3.2	外业工作.....	5
3.3	资料解释与验证.....	6
3.4	成果报告.....	6
3.5	探测机构和探测人员.....	7
4	直流电阻率法.....	8
4.1	电阻率剖面法.....	8
4.2	高密度电阻率法.....	9
5	自然电场法.....	11
6	瞬变电磁法.....	12
7	探地雷达法.....	14
8	拟流场法.....	16
9	弹性波法.....	18
9.1	浅层地震折射波法.....	18
9.2	浅层地震反射波法.....	21
9.3	瑞雷波法.....	23
10	温度场法.....	26
11	同位素示踪法.....	28
附录A	锥探法.....	30
附录B	常用物性参数.....	33
附录C	常用公式.....	36
	标准用词说明.....	39
	条 文 说 明.....	40

1 总 则

1. 0. 1 为规范堤防隐患探测内容、探测方法和技术，保证堤防隐患探测成果质量，为堤防的除险加固和汛期防守提供依据，制定本标准。

1. 0. 2 本标准适用于采用地球物理探测方法对江河湖海等堤防的隐患探测，以及采用锥探法探测根石。锥探法有关内容见附录 A。

1. 0. 3 本标准的引用标准主要有：

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871)

《岩土工程勘察规范》(GB 50021)

《供水水文地质勘察规范》(GB 50027)

《岩土工程基本术语标准》(GB / T 50279)

《堤防工程设计规范》(GB 50286)

《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50287)

《水利水电工程制图标准》(SL 73. 1~6)

《堤防工程地质勘察规范》(SL 188)

《水库大坝安全评价导则》(SL 258)

《水利水电工程物探规程》(SL 326)

1. 0. 4 堤防隐患探测工作除应符合本标准外，还应符合国家现行的有关标准的规定。

2 术语、符号、代号

2.1 术语

2.1.1 电剖面法 electrical profiling

将某一装置型式保持固定，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探测堤防隐患的一种电法勘探方法。

2.1.2 电测深法 electrical sounding

在同一测点上逐次扩大电极距，以观测测点处电阻率沿垂直方向的变化，依据隐患与周边介质的电阻率差异探测堤防隐患的一种电法勘探方法。

2.1.3 高密度电阻率法 resistivity imaging

电剖面法和电测深法的组合，可同时探测电阻率沿水平方向和垂直方向的变化情况，依据隐患与周边介质的电阻率差异探测堤防隐患的一种电法勘探方法。

2.1.4 自然电场法 self—potential method

通过观测地下水与岩土的渗透、过滤作用和溶液中离子的扩散、吸附作用，以及地下介质的电化学反应等因素而产生的自然电场的规律和特点，探测堤防渗漏及管涌通道的一种电法勘探方法。

2.1.5 瞬变电磁法 transient electromagnetic method(TEM)

向地下发送脉冲电磁波，通过测量由该脉冲电磁场感应的地下涡流产生的二次电磁场探测堤防隐患的一种电法勘探方法。

2.1.6 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。

2.1.7 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。

2.1.8 浅层地震折射波法 shallow seismic refraction

利用地震波的折射原理，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。

2.1.9 浅层地震反射波法 shallow seismic reflection

利用地震波的反射原理，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。

2.1.10 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. 11 温度场法 temperature field method

用温度传感器连续探测地下一定深处或钻孔中的垂向温度值，计算分析地下温度场，判断堤防及其基础中集中渗漏、管涌通道的方法。

2. 1. 12 同位素示踪法 isotopes 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. 13 锥探法 method of cone probing

以人工或机械的方式，沿布设断面或测点，通过探杆探测根石深度的方法。

2. 2 符号、代号

2. 2. 1 统计学参数主要包括下列各项：

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

$\overline{\Delta}$ ——平均绝对误差

δ ——相对误差

$\overline{\delta}$ ——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

ϵ_r ——相对介电常数

ρ ——电阻率

σ ——电导率

ρ_s ——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

V_v ——渗流垂向流速

V_f ——渗流水平流速

f ——波的频率

λ ——波长

μ ——泊松比

2. 2. 4 几何学及距离、方位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

S_R ——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

t_{off} ——关断时间

Δt ——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 探测内容、方法及要求

- 3.1.1 可用地球物理方法探测的堤防隐患包括洞穴、裂缝、松散体、高含砂层、护坡脱空区、古河道、砂砾石层和渗漏、管涌等。
- 3.1.2 探测堤防隐患的地球物理方法包括直流电阻率法、自然电场法、瞬变电磁法、探地雷达法、拟流场法、弹性波法、温度场法、同位素示踪法等。各种探测方法应根据方法适用范围、应用条件和探测对象特点单独或综合应用。
- 3.1.3 宜先普查后详查，普查应能探测出堤防的隐患分布情况，详查应能探测堤防各类隐患的性质、位置、埋深和范围；详查宜在普查所反映的隐患分布堤段进行；详查堤段长度不宜少于普查堤段总长的 20%。
- 3.1.4 用于堤防隐患探测的仪器应达到本标准规定的技术指标。

3.2 外业工作

- 3.2.1 应详细调查收集被探测堤段的设计、施工、加固，以及历次洪水期的出险和穿堤建筑物的施工与运行状况等资料，探测时应在班报中记录堤防外观情况。
- 3.2.2 当堤顶宽度不大于 4m 时，宜沿堤顶中线或迎水面堤肩布置一条测线；当堤顶宽度大于 4m 时，宜沿迎水面和背水面堤肩各布置一条测线。可根据追踪隐患分布的需要，在堤顶中线、堤坡、堤脚处，或垂直堤身轴线布置测线。
- 3.2.3 测点桩号应与堤防桩号相对应。
- 3.2.4 测点桩号的递增方向应与堤防桩号的递增方向一致。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记录，以保证与堤防桩号一致。
- 3.2.5 探测时应填写探测班报。
- 3.2.6 探测过程中，发现异常点应进行重复观测。
- 3.2.7 分班探测时，次班应以上班终点标记为准，向前重复一段距离。
- 3.2.8 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，并应按有关公式计算误差。
- 3.2.9 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，可疑资料应在次日到现场查看或重测。
- 3.2.10 每班在探测前应检查仪器，并做相应记录。工作中应保证人身和仪器

设备安全。

3.3 资料解释与验证

3.3.1 资料解释宜按下列步骤进行：

- 整理资料。
- 绘制图件。
- 分析探测资料，确定解释原则。
- 确定隐患的性质、位置及埋深。
- 提出验证意见，组织验证。
- 根据验证结果修正解释。
- 堤身质量分类。
- 成果图绘制与打印。
- 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、加固情况、汛期险情、防汛水位和探测班报等资料进行。资料解释和验证工作应结合该堤段有关地质、锥探、岩土试验和钻探资料进行，可参考附录 B 中的相关物性参数和附录 c 中的相关公式。

3.3.3 宜根据隐患的分布情况、背景值、图像特征等，将所探测堤防进行分类。分为未发现隐患段、隐患相对发育段和隐患发育段。

3.3.4 对有代表性的堤段及隐患，条件允许时，应采用探井、钻孔、锥探等方法验证。验证点宜取样做土工试验。

3.4 成果报告

3.4.1 探测成果报告宜包括概况、探测原理与方法技术、资料分析与解释、验证情况、结论与建议、有关附图附表等内容。

3.4.2 概况宜包括堤防概况、探测任务、目的与要求、工作起止时间、以往工作情况、完成工作量、堤防地质情况和地球物理特征等。

3.4.3 探测原理与方法技术宜包括探测技术原理、测线布置、仪器设备、工作参数及质量控制。

3.4.4 资料分析与解释宜包括原始资料评价、资料处理与解释方法、选用参数、异常的定性和定量分析、隐患推断解释及成果分析。

3.4.5 结论与建议宜包括堤防质量评价、隐患处理建议等内容。

3.4.6 探测成果报告应有图和表。图可包括方法原理图、现场作业图、典型成果图等；表可包括工作量统计表、物性参数表、仪器参数表、解释成果表、系

统检查数据对比表、验证检查结果表等。

3. 4. 7 探测成果报告宜有附图和附表。探测成果附图应标明桩号，重要的水工建筑物和地形地物标志，隐患的性质、平面位置和埋深，以及堤防质量分类结果等。

3. 5 探测机构和探测人员

3. 5. 1 探测机构应获得省级或省级以上计量认证主管部门的实验室资质认定证书，同时还应符合国家有关行业主管部门的要求。

3. 5. 2 探测人员应经过国家有关行政主管部门或主管部门授权单位的培训，并取得上岗证，方可上岗。

4 直流电阻率法

4.1 电阻率剖面法

- 4.1.1 电阻率剖面法宜选用对称四极剖面法或中间梯度法等。
- 4.1.2 电阻率剖面法可用于堤防隐患普查，探测洞穴、裂缝、松散体、砂层以及渗漏区域等隐患。
- 4.1.3 采用电阻率剖面法探测堤防隐患应满足下列条件：
 - 1 接地条件良好。
 - 2 堤防表面平坦，便于布设电极。
 - 3 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。
 - 4 测区内没有较强的工业游散电流、大地电流或电磁干扰。
- 4.1.4 用于堤防隐患探测的仪器，其主要技术指标应符合下列要求：
 - 1 电压测量范围不小于 $\pm 2.5\text{V}$ ，分辨率优于 $10\mu\text{V}$ ，精度优于 $\pm 1\%$ 。
 - 2 最大供电电流不小于 2A ，分辨率优于 0.1mA ，精度优于 $\pm 1\%$ 。
 - 3 自电补偿范围不小于 $\pm 2\text{V}$ 。
 - 4 输入阻抗不小于 $10\text{M}\Omega$ 。
- 4.1.5 外业工作除应符合3.2节的规定外，还应符合下列技术要求：
 - 1 测点距宜为 2m ， $MN/2$ 应等于测点距。
 - 2 采用对称四极剖面法探测时， $AB/2$ 宜取堤身高度的 $0.7\sim 1.4$ 倍；采用中间梯度法探测时， $AB/2$ 宜取堤身高度的 $3\sim 5$ 倍。
 - 3 电极应布置在一条直线上，弯曲堤段应分段探测；遇障碍物时，电极应垂直于测线方向并对准量具刻度挪动，挪动距离不应大于电极距的 5% ；当只能沿测线方向挪动时，挪动距离不应大于电极距的 1% ，否则应分段探测。
 - 4 M 、 N 的接地电阻应小于仪器输入阻抗的 1% 。
 - 5 最高电位差和最大电流强度不宜超过所用仪器的额定值，最小电位差不宜小于 3mV ，最小电流强度不宜小于 3mA 。
 - 6 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 $300\text{M}\Omega$ ，电极连线绝缘电阻应大于 $2\text{M}\Omega/\text{km}$ ，测绳等测量工具不得与电极接触。
 - 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 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。

9 中间梯度法在移动供电电极后，应重复 3 个测点。

10 重复观测的数据应符合下列规定：

- 1)相邻两次观测所用的供电电流强度应改变 30% 以上。
- 2)重复观测应不少于 3 次。重复观测的精度用视电阻率 ρ_s 值的相对误差 δ 衡量， δ 应不大于 3%。

11 系统检查观测除应符合 3. 2. 8 条的规定外，还应符合下列要求：

- 1)每 2km 不应少于一次检查观测。
- 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. 1. 6 数据处理与资料解释应按 3. 3. 1 条规定的步骤进行，并应符合下列要求：

1 应进行资料整理，内容包括将探测班报按测线和堤防桩号顺序装订成册、检查数据的正确性及完整性等。

2 图件绘制：应绘制视电阻率剖面图；图号应根据堤防桩号由小到大编写，图的横坐标应为堤防桩号，纵坐标应为视电阻率，图的比例应根据背景值确定并便于分析，宜取 1: 200, 1: 500, 1: 1000, 并兼顾三个原则：

- 1)曲线应基本居于图幅中间。
- 2)背景值相差不大的堤段宜用相同的范围和比例。
- 3)能充分突出异常。

3 绘制视电阻率剖面图可采用圆滑技术，并在报告中说明。

4 分析探测资料，确定解释原则，包括确定可靠异常、划分土质不良堤段等，应符合下列要求：

- 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，应视为不良土质。
- 5 隐患的性质和位置宜根据曲线形态，结合地质资料确定；隐患顶部的埋深，可用异常半幅值宽度估算。
- 6 成果图表宜包括视电阻率剖面曲线图、隐患分布图、视电阻率背景值图、隐患探测成果表、堤身质量分类表等。

4. 2 高密度电阻率法

4. 2. 1 高密度电阻率法宜选用四极、三极或偶极装置。

4. 2. 2 高密度电阻率法适用于堤防隐患详查，也可用于普查，探测裂缝、洞

穴、松散体、高含砂层以及渗漏区域等隐患。

4. 2. 3 仪器性能除符合 4. 1. 4 条的规定外, 还应符合下列要求:

- 1 电极单元总数不宜少于 30 个。
- 2 应具有电极单元及接地电阻自动检测功能。
- 3 测量过程中能实时显示数据和图形。

4. 2. 4 外业工作除符合 4. 1. 5 条 3~9 款的规定外, 还应符合下列要求:

- 1 电极距应等于测点距, 且不宜大于 2m。
- 2 探测过程中 MN 应保持不变, 且等于 1 个电极距。
- 3 探测深度应保证至少深入堤基 4m。
- 4 重复观测可在每个排列完成后设置 2 层或 2 列进行, 检查观测应符合 3.2.8 条的规定。
- 5 重复观测、检查观测误差符合 4. 1. 5 条 10 款、11 款的规定。

4. 2. 5 数据处理与资料解释除应符合 4. 1. 6 条的规定外, 还应符合下列要求:

- 1 应绘制高密度视电阻率色谱图(灰度图、等值线图), 有条件时, 也可经处理和反演绘制相应剖面的电阻率图像。
- 2 可提取不同极距的视电阻率值, 绘制视电阻率剖面图; 亦可选取几组符合电测深条件的数据进行分层反演和解释。
- 3 可结合普查资料与验证资料确定隐患的性质、位置和埋深。

5 自然电场法

5.0.1 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。

5.0.2 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的自然电场。

2 测区内没有较强的工业游散电流、大地电流或电磁干扰。

5.0.3 仪器应符合下列要求：

1 电压测量范围不小于 $\pm 2.5\text{V}$ ，分辨率优于 $10\mu\text{V}$ ，精度优于 $\pm 1\%$ 。

2 输入阻抗不小于 $10\text{M}\Omega$ 。

3 应使用不极化电极，且极差不大于 2mV 。

5.0.4 外业工作除应符合 3.2 节的规定外，还应符合下列要求：

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；探测渗漏管涌进水通道时，除设前述水面测线外，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 宜选用较大点距($5\sim 10\text{m}$)探测，发现异常再用较小点距(最小 1m)加密探测。

3 一个测区在观测前和观测后应观测电极极差。用于测量和检查的任何一对电极的极差在工作开始时应小于 2mV ，收工时小于 3mV 。电极应接地良好。

4 重复观测和检查观测应符合 4.1.5 条 10 款、11 款的要求。

5.0.5 数据处理与资料解释除应符合 4.1.6 条 1 款、2 款的规定外，还应符合下列要求：

1 背景值宜根据电位曲线平稳程度，采用数理统计方法选取。

2 可靠异常宜根据测区情况确定。

3 可按附录 C 中式(C.0.3)估算异常顶部埋深。

4 成果图表应包括自然电位曲线图、隐患分布图。

6 瞬变电磁法

6.0.1 瞬变电磁法可采用中心回线、重叠回线、偶极线框、大定源回线等装置。

6.0.2 瞬变电磁法适用于堤防隐患普查，探测渗漏通道、松散体、砂层等隐患。

6.0.3 瞬变电磁法探测除应符合 4.1.3 条 2 款、3 款的规定外，测线应避开金属物体、高压电力线等。

6.0.4 仪器应符合下列要求：

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 1~10m 回线框时，发射电流关断时间应小于 $2\mu\text{s}$ 。

4 接收机分辨率优于 $2\mu\text{V}$ 。

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%。

6.0.5 外业工作除应符合 3.2 节的规定外，还应符合下列要求：

1 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装置。

2 测线、测点布置应符合 5.0.4 条 1 款、2 款的规定。

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 1000m 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“烟圈”电流扩散深度的一半估计探测深度，初步确定观测时间的范围，选择发射频率，相关公式见附录 C 中 C.0.4 条。

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 采用大尺寸的回线或多匝回线时，评估发射波形斜波关断时间，宜与接收信号延时采样匹配，经验公式见附录 C 中式(C.0.4—2)。

9 叠加次数应依据数据的信噪比及探测速度加以选择。

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 普查发现的异常地段，应进行详查。当用中心回线时，每次移动的距离可为发射回线边长的 $1/2$ 。

12 重复观测和系统检查观测除应符合 3.2.8 条的规定外，还应符合下列要求：

- 1)野外观测值只允许最后的 3~5 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。
 - 2)一个点出现重复观测误差较大时, 应查明原因, 若有干扰源, 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)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。
 - 5)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%。
 - 6)一条测线或测网检查的总均方相对误差 m 应小于 15%。
6. 0. 6 数据处理及资料解释除应符合 3. 3. 1 条的规定外, 还应符合下列要求:
- 1 堤坡上探测时, 早期的电磁响应特性宜进行地形校正。
 - 2 可对数据进行滤波处理。
 - 3 应通过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 解释工作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 可通过已知资料建立视电阻率剖面中异常性质、深度、范围的对应关系, 据此对该测区其它剖面进行解释。
 - 6 应绘制相应的剖面或平面成果图。

7 探地雷达法

- 7.0.1 探地雷达法可选用剖面法、透射法、宽角法或共中心点法等。
- 7.0.2 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、护坡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。
- 7.0.3 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 表层无低阻屏蔽层。
 - 3 探测区内无大范围的金属体或无线电发射频源等较强的人工电磁波干扰；在泵站及水闸等场所，可使用高频雷达天线进行混凝土层脱空等浅层探测。
- 7.0.4 仪器性能应符合下列要求：
 - 1 仪器增益不宜小于 150dB。
 - 2 数据采集记录位数不应小于 16bit。
 - 3 可控时窗 0~3000ns。
 - 4 系统中心频率 16~1500MHz。
 - 5 脉冲重复频率 3~100kHz。
 - 6 点测时应能多次叠加并不应少于 30 次。
- 7.0.5 外业工作除应符合 3.2 节的规定外，还应符合下列要求：
 - 1 普查时点测间距应为 0.5~1m，连测天线移动速率宜用较大值。
 - 2 详查时点测间距应为 0.1~0.5m，连测天线移动速率宜用较小值。
 - 3 探测堤身隐患时，中心频率的选择，应兼顾探测深度和分辨率两个方面。
 - 4 探测护坡脱空及破坏范围时，宜选用中心频率不小于 250MHz 的天线。
 - 5 记录时窗宜选取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。
 - 6 采样率宜选用天线频率的 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 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、宽角法或共中心点法确定。
 - 9 资料检查和评价应符合下列要求：
 - 1) 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。

2)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%。

7. 0. 6 数据处理与资料解释除应符合 3. 3. 1 条的规定外，还应符合下列要求：

1 数据处理包括压制干扰信号、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 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。

3 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。

4 绘制雷达解释剖面图，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，堤身质量分类结果等。

8 拟流场法

8.0.1 拟流场法可用于堤防渗漏及管涌的进水口部位探测，也可用于追踪存在集中渗漏的均质土坝中的渗漏通道。

8.0.2 采用拟流场法探测时，水深应大于 0.5m。

8.0.3 仪器应符合下列要求：

1 应具有特殊编码波形电流场信号发送机和接收机。

2 发送机最高输出电压幅值应不小于 90V(峰一峰值)，最大输出电流应不小于 500mA(峰一峰值)，输出频率稳定度(7h 内漂移)应优于 7×10^{-4} ，输出电流为 200mA(峰一峰值)时，连续工作时间应大于 10h；输出电流为 300mA(峰一峰值)时，连续工作时间应大于 8h；输出电流为 400mA(峰一峰值)时，连续工作时间应大于 5h；输出电流为 400~500mA(峰一峰值)时，连续工作时间应大于 3h。

3 接收机灵敏度应优于 $1.0 \times 10^{-10} \text{ A/m}^2$ ，输入阻抗应大于 $150 \text{ k}\Omega$ ，工频抗干扰应大于 50dB，连续工作时间应大于 7h。

8.0.4 外业工作应符合下列要求：

1 探测时宜连续扫描，分为普查和详细定位两个工作阶段。普查应按 3~5m 间隔扫描；定位阶段应按 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为 1.5~2.5mm 的多芯铜线。

4 先用万用表测量感应探头两极电阻，若大于 $100 \text{ k}\Omega$ ，则探头工作正常。

5 船只宜采用非金属的橡皮艇、木板船，且能容纳 3~5 人。

6 发现有效异常应设置浮标定位，并重复观测。

7 测线距离宜为 1~5m。

8 工作中，供电电流宜控制在 400~500mA。

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 3.3.1 条的规定外，还应符合下列要求：

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：绘制拟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，并兼顾三个原则：

- 1)曲线应基本居于图幅中间。
- 2)背景值相差不大的堤段应用相同的范围和比例。
- 3)应能充分突出异常。

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 成果报告除应符合 3.4 节的规定外，还应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。

9 弹性波法

9.1 浅层地震折射波法

9.1.1 地震折射波法可选用纵波折射法和横波折射法。

9.1.2 地震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。

9.1.3 采用地震折射波法时，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，被追踪层应具有一定的厚度。
- 2 沿测线被追踪层视倾角与折射波临界角之和应小于 90° 。
- 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。

9.1.4 仪器设备应符合下列要求：

1 地震仪应符合下列要求：

- 1) 应选用 12 道及以上浅层数字地震仪，具有信号增强、延时、内外触发、滤波、数据采集、监视等功能。
- 2) 采样率可选，最小采样率应不大于 0.05ms。
- 3) 记录长度可选，应不小于 1000ms。
- 4) 模数转换精度应不低于 16bit。
- 5) 放大器动态范围应不低于 96dB。
- 6) 放大器频率响应范围应为 2Hz~2kHz。
- 7) 放大器一致性：相位差应不大于 1ms，振幅差应不大于 10%。
- 8) 放大器串音抑制比应大于 80dB。
- 9) 放大器内部噪音应小于 1 μ V。

2 检波器应符合下列要求：

- 1) 各道检波器固有频率差应不大于 10%，灵敏度相差应不大于 10%，相位差应不大于 1ms。
- 2) 绝缘电阻应大于 10M Ω ，且具有良好的防水性能。

3 震源应符合下列要求：

- 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。

9.1.5 外业工作除应符合 3.2 节的相应规定外，还应符合下列要求：

- 1 野外观测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。

2 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。

3 检波距应通过试验确定，宜采用 2~5m；检波距、排列长度在同一测线上应一致。

4 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；纵波折射波法宜选用固有频率为 10~40Hz 的垂直检波器。

5 仪器工作参数在一个测区或测段宜使用同一滤波档，因特殊需要改变滤波档时，应有对比记录；依据探测深度的要求选择记录长度，宜采用高采样率接收，当记录长度与采样率发生矛盾时，可使用延时。

6 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。

7 观测系统应符合下列规定：

- 1)探测时，可采用完整对比或不完整对比的观测系统。
- 2)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。
- 3)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。
- 4)当利用追逐时距曲线来补充完整对比观测系统不可追踪段的折射资料或论证时距曲线所反映的现象时，应保证在 2 支时距曲线上被追踪段至少有 4 个正常检波点重复接收同一界面的折射波。
- 5)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。

8 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。

9 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)互换道或连接道工作不正常，影响有效波的正确对比与连接，又不能从同一激发点的其它记录准确转移的记录。
- 3)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。
- 4)干扰背景强烈，影响有效波识别或准确读取旅行时的折射波记录。
- 5)记录编号或主要内容与班报不符，又无法改正的记录。

9. 1. 6 数据处理与资料解释除应符合 3. 3. 1 条的规定外，还应符合下列要求：

1 有效波的对比分析应符合下列要求：

1)有效波的振幅宜大于干扰波振幅的 2 倍，并应选择靠近有效波的起始相位；波的对比宜采用多相位对比。

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)地震有效波的置换应依据两组波同相轴相交时波形叠加特征、波形或振幅的突变和视周期或视速度的变化确定。

4)相遇时距曲线进行互换道和连接道波的对比时，应根据有效波的旅行时的相等性及其动力学特点的相近性进行分析。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。

5)追逐时距曲线进行折射波对比时，应根据追逐时距曲线的平行性来判别同一层位或不同层位的折射波，经校正拼接后，综合时距曲线互换时差应小于 5ms。

2 旅行时读数应符合下列要求：

1)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，但应进行相位校正。

2)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。

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。

4 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。

5 确定平均速度或有效速度应考虑近表层不均匀性的影响。

6 根据实测的速度值，绘制速度沿测线变化的曲线，按曲线上对应的速度值进行时深转换；同一测线没有充分资料证明有效速度突变时，不应分段采用有效速度进行时深转换，避免引起界面深度的突变。

7 时距曲线绘制后，可根据互换时间的相等性、追逐时距曲线的平行性、震源点两侧截距时间相等性的原则进行检查。出现非正常现象时，应检查地震记录相关道的读数并进行必要的修改。

8 绘制综合时距曲线，应将经过震源深度校正和相位校正的观测时距曲线一并绘出。

9 构制地震折射界面的方法应根据堤防地震地质条件，解释方法的特点和精度要求进行合理选择，单支时距曲线可选用截距时间法和临界距离法、正演拟合计算法；相遇时距曲线可选用 t_0 法、延迟时法、时间场法、共轭点法、正演拟合计算法。方法选择应符合下列要求：

1)应由相遇时距曲线求取界面速度和界面深度，只有在近似水平层状介质、界面起伏较小且速度横向变化较小时，或由于条件困难无法获得

相遇时距曲线时,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)当界面起伏不大、无穿透现象、沿测线界面速度变化较小时,宜采用 t_0 法或延迟时法。

3)当折射界面起伏较大、无穿透现象、界面速度变化较小时,宜采用时间场法或共轭点法。

4)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正演拟合方法综合求解。

10 综合时距曲线图应在图上部绘制观测时距曲线图及完整的解释辅助线图,如 t_0 法的 $t_0(x)$ 和 $\theta(x)$ 线、延迟时法的表层剥去线、时间场法的时间场图、共轭点法的哈莱斯线等,此外,在炮点上方应标注截距时、表层波速和有效速度。应在下部绘制介质界面等,并标注界面速度。

11 经计算或作图求得地震界面和界面速度后,宜在分析测区内有关地质、钻探及其它探测资料的基础上作出解释,并应符合下列要求:

1)确定地震界面与地质界面的对应关系应以钻孑 L 资料或物性资料为依据。

2)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。

3)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。

12 成果图件主要包括地震波速—地质剖面图等,并将测线上的锥探、钻孔或其它验证资料绘制在图上,比例尺应符合探测精度要求。

9.2 浅层地震反射波法

9.2.1 地震反射波法可选择纵波反射法和横波反射法。

9.2.2 地震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。

9.2.3 采用地震反射波法探测堤防结构和隐患,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性质稳定。

2 隐患的埋深及规模应在地震反射波法探测深度范围内,其厚度要大于有效波长的 $1/4$ 。

3 入射波能在隐患界面处产生较规则的反射波,无漫反射现象。

9.2.4 仪器和设备应符合 9.1.4 条的规定。

9.2.5 外业工作除应符合 3.2 节和 9.1.5 条的相关规定外,还应符合下列要求:

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 使用叩板震源时，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。

3 纵波反射法宜选用固有频率不低于 100Hz 的垂直检波器；横波反射法宜选用固有频率为 40~60Hz 的水平检波器。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。

4 观测系统应符合下列要求：

- 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)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单端激发 6 次覆盖观测系统。

9. 2. 6 数据处理与资料解释除应符合 3. 3. 1 条的规定外，还应符合下列要求：

1 有效波的对比除应符合 9. 1. 6 条 1 款 1)~3)项的规定外，还应符合下列要求：

- 1)同一层位或目标体的反射波与其续至相位或多次反射同相轴呈双曲线彼此平行；不同层位的反射波同相轴随源检距增加彼此逐渐靠拢。
- 2)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 利用测区已知地质资料进行正反演相关分析，确认目的层的反射波波组。

3 根据原始地震记录的信噪比和探测任务，拟定处理流程，通过对比确定滤波频率、滤波视速度、叠加速度、平均速度等参数。

4 地震原始记录预处理应将不正常道数据充零，校正反极性道。

5 由于低速带厚度的变化引起有效速度明显变化时，应先进行低速带校正，然后以低速带的下伏地层的有效速度进行时深转换。

6 在同一测线上，没有充分资料证明有效速度突变时，不应分段采用有效速度进行时深转换，以防引起界面深度的突变。

7 进行速度分析，选取叠加速度：

- 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。

8 数字滤波应符合下列要求：

1)在频谱分析的基础上选择滤波频率。

2)调整滤波宽度，合理确定信噪比和分辨率。

3)选用合适的镶边宽度，避免吉布斯现象和减少滤波因子截断误差。

4)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。

9 依据测区地震地质条件和地震记录特点，可选用下列处理方法：

1)有效反射波组之间振幅强弱悬殊的记录，叠前应进行道内动平衡处理。

2)有效反射波组之间相互干扰的记录，宜采用反褶积处理。

3)对垂向速度倒转的测段，宜进行相应的动校正处理。

4)当堤防结构界面倾角较大时，可进行偏移叠加或叠加偏移。

10 在堤防老口门处和堤身裂缝集中带附近不宜进行剖面修饰性处理。

11 原始的等偏移资料作定量解释时，应作动校正处理。

12 反射波资料解释的基础图件应符合下列要求：

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)时间剖面图还应注明叠加次数、处理流程、叠加速度等。

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)时间剖面典型测段应附相应的展开排列记录。

13 依据基础图件，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与反射波组关系，选取与探测目的体对应的波组进行对比、追踪，获得目的反射层(体)变化情况，反射层(体)应标注编号。

14 时间剖面解释应包括主要结构层位和主要隐患类型等不良地质现象与反射波组的关系。

15 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。

16 分析等偏移时间剖面图中波形的振幅、频率、相位、余振、波散等动力学特征与堤防介质横向和纵向变化的关系。

17 构制反射界面可选择交点法、椭圆法、圆法、时间场法等。

18 成果图件应符合 9. 1. 6 条 12 款的相应规定。

9. 3 瑞雷波法

9. 3. 1 瑞雷波法可采用瞬态法和稳态法。

9. 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。

9.3.3 瑞雷波法探测应满足下列条件:

- 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。

9.3.4 仪器设备除应符合 9.1.4 条的相关规定外,还应符合下列要求:

- 1 宜选用不少于 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。

9.3.5 外业工作除应符合 3.2 节的规定外,还应符合下列要求:.

- 1 测点间距宜为 20~100m,重点或异常堤段可适当加密。
- 2 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,确定能接收到各种有效波信息的仪器工作参数及观测系统等。展开排列的长度宜为探测深度的 1~2 倍。
- 3 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。
- 4 检波器固有频率和频宽应与探测深度相符,宜选用固有频率为 1~40Hz 的垂直检波器。

5 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。

6 观测系统应符合下列要求:

- 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。
- 3)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。

7 存在下列缺陷之一者应为不合格记录:

- 1)不能可靠地追踪有效波的记录。
- 2)同一张记录上,使用道数的 1/6 以上工作不正常的记录。
- 3)干扰背景强烈,妨碍有效波识别的记录。
- 4)记录编号或主要内容与班报不符,又无法改正的记录。

9.3.6 数据处理与资料解释除应符合 3.3.1 条的规定外,还应符合下列要求:

- 1 波的对比应符合以下要求:

- 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 稳态瑞雷波速度计算应选择位于震源点同一侧的、相位差在 $\frac{2\pi}{3} \sim 2\pi$ 间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。

3 瞬态瑞雷波数据处理时,应选定频谱分析时窗,进行振幅谱和相位谱分析,将时窗内各地震道不同频率的瑞雷波分离出来,选用合理的处理方法得出瑞雷波的频散曲线。

4 横向均匀介质数据处理宜采用变偏移距叠加方法,高频段叠加近道,低频段叠加远道,偏移距大小可根据浅部或深部探测目标选择。

5 宜选用互相关法,也可选用相位差法、频率波数法和空间自相关法计算瞬态瑞雷波速度,可选用极值法或近似点法求取层速度、一次导数法或拐点法求取层厚度。

6 瑞雷波的深度转换可选用半波长法,按泊松比进行校正,也可参照测区已有资料对比解释。

7 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;稳态法可用短折线绘制,瞬态法应以点状曲线绘制,也可在同一图中同时用短折线绘制。

8 剖面测试时,应将波速—频率或波速—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断面等值图、色谱图、灰度图。

9 瑞雷波速度和横波速度转换可按附录 C 中式(C. 0. 5)计算。

10 成果图件应符合 9. 1. 6 条 12 款的相应要求。

10 温度场法

10.0.1 温度场法的探测深度为1~10m(地表到渗漏通道顶部的距离),适用于探测浸润线以下的渗漏通道。

10.0.2 采用温度场法探测渗漏通道,应满足下列条件:

1 地下1m(可根据实际情况调整,但不超过1.5m)深处温度与渗流水温度之差应大于2.5℃。

2 渗漏通道内渗流速度应不小于 $8 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 。

10.0.3 用于地下温度场探测的温度计应符合下列要求:

1 温度测量范围:0~40℃。

2 测量分辨率优于0.02℃。

3 仪器准确度优于 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ 。

10.0.4 外业工作除符合3.2节的规定外,还应符合下列要求:

1 探测前仪器应进行率定,各测量道之间差异在准确度范围内。

2 钻孔孔径应为2.5cm,孔深应为1m。温度计探头应深入孔底5mm以下,保证传感器与土层紧密接触。

3 当温度计插入钻孔后应将孔口封堵,防止异物落入孔内,温度计插入10min后方可观测。

4 测线应顺堤布设,线距宜为2~5m,点距宜为1~2m。

5 测试钻孔内渗流水的温度作为渗漏通道的水温。

6 当探测工作量大,探测时间超过12h,应选择1~2个有代表性的钻孔测量温度随时间变化值,用于校正1m深处地温随时间变化值。

7 探测点应避免设在地形突变部位,尽量减小日照的影响。

8 重复观测和系统检查观测应符合4.1.5条11款、12款的规定。

10.0.5 数据处理与资料解释除应符合4.1.6条1款、2款的规定外,还应符合下列要求:

1 数据处理前应进行下列校正:

1)温度传感器一致性校正。

2)时间温度变化校正。

3)地质校正(探测地区地质条件、筑堤材料不同,热传导系数不同)。

4)地貌校正(地表为混凝土块、树林、草地、石块等不同地貌,热扩散系数不同)。

5)地形校正。

2 校正后进行反演计算,推断渗漏通道的范围与埋深。

3 条件许可时，宜选择 2~3 个钻孔，进行温度检层探测，校核计算分析的准确性。

4 成果图表包括温度曲线图、等温线图、渗漏通道平面分布图及剖面图。

11 同位素示踪法

11. 0. 1 堤防隐患探测的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; 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。

11. 0. 3 采用同位素示踪法探测渗漏应满足的条件: 渗漏水流速大于 $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$ 。

11. 0. 4 仪器应符合以下要求:

1 当 $V_v > 0.1 \text{m/d}$ 时, 垂向流速测试相对误差应小于 3%;

当 $V_h > 0.01 \text{m/d}$ 时, 水平流速测试相对误差应小于 5%。

2 水平流速测试范围为 $0.05 \sim 100 \text{m/d}$ 。

3 垂向流速测试范围为 $0.1 \sim 100 \text{m/d}$ 。

11. 0. 5 外业工作除应符合 3. 2 节的相应规定外, 还应满足下列要求:

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 ^{131}I , 每次投放量应低于 $1 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

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 多孔示踪法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、空隙度等基本参数。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, 并应一次性投完, 一般选用 ^{131}I , 剂量范围宜为 $(1 \sim 100) \times 10^9 \text{Bq}$ 。

4 同位素示踪法的测线和钻孔布置应符合 GB 50027 的要求。普查时, 可在堤顶布置一条线, 孔距 100m; 详查时, 孔距 50m。可适当增加钻孔, 验证测量结果的准确性。

5 现场测量时, 均应对测量仪器进行本底测量和置零, 以及现场测量方向的校正。

6 垂直测点距离宜为 1m。异常点应进行多次重复测量。

11. 0. 6 数据处理与资料解释应按 3. 3. 1 条要求的步骤进行, 并符合下列规定:

1 钻孔中或井间进行同位素示踪测量时, 应按附录 C 中 C. 0. 6 条各式计算各测点的渗透流速、流向及渗透系数。

2 绘制以下图表:

- 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。

附录A 锥探法

- A. 0. 1 锥探法可分为人工锥探法和机械锥探法。
- A. 0. 2 锥探法可用于根石探测。
- A. 0. 3 锥探工具应符合下列要求：
- 1 人工锥探法一般采用锥杆或导杆探测；机械锥探法采用根石探测机。
 - 2 锥探所使用的钢筋锥(钢管锥)具有一定刚度。
 - 3 探测深度在 10m 以内时，可用钢筋锥；探测深度超过 10m 时，宜采用钢管锥。
- A. 0. 4 采用锥探法时应满足以下条件：
- 1 探测区应无冻土层。
 - 2 水下探测时，应保证探测船等工作平台的稳定，探测区水体流速过大时应停止探测。
- A. 0. 5 外业工作应符合下列要求：
- 1 根石探测应符合下列要求：
 - 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)断面编号自上坝根(迎水面后尾)经坝头至下坝根(背水面后尾)依次排序，表示形式为 YS+xxx、QT+xxx等，“+”前字母表示断面所在部位，“+”后数字表示断面至上坝根的距离。
 - 3)探测断面应与裹护面垂直，并设置固定的石桩或混凝土桩，断面桩不少于 2 根。
 - 4)探测断面以裹护面顶部内侧为探测起点。
 - 5)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。
 - 6)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。
 - 7)测点应在断面上，沿铅垂方向锥探，根石深度精确到 0. 01m。
 - 8)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，除应按上述步骤进行外，还应符合下列操作程序：
 - 1)操作前进行设备检查，包括电气、液压、机械等部分的安装连接，电源电压，油箱油位，各种电气开关等。
 - 2)液压系统试运行。
 - 3)安装上节探杆，根石探测机整机试运行。

- 4)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。
- 5)当探测阻力明显增大时(液压系统压力升高)，起动振动电机。
- 6)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。
- 7)抬起探杆，移动主机至下一个探测点。

3 探测断面应与裹护面垂直，断面编号按图 A. 0. 5 确定。

A. 0. 6 根据根石探测统计表进行数据处理与资料解释应符合下列规定：

1 实测断面的绘制，纵横比例应一致，宜选用 1： 100 或 1： 200，并标明工程编号、探测断面编号、坝顶高程、根石台高程、工程基础底部高程、水位或旱地地面高程。

2 将实测断面和 1： 1、1： 1. 3、1： 1. 5 标准断面进行比较，计算缺石面积和缺石量。

3 缺石量计算方法为缺石平均断面面积乘以两断面间裹护长度。断面面积采用两个相邻实测断面缺石面积的算术平均值；断面之间裹护长度：有根石台的丁坝、护岸等防护工程其直线段采用根石台外沿长度，没有根石台的，采用工程坝顶外缘长度，工程圆弧段长度采用根石台或坝顶外缘长度乘以系数 2 确定。根石探测统计表的形式可参考下列表 A. 0. 6—1 和表 A. 0. 6—2 的示例。

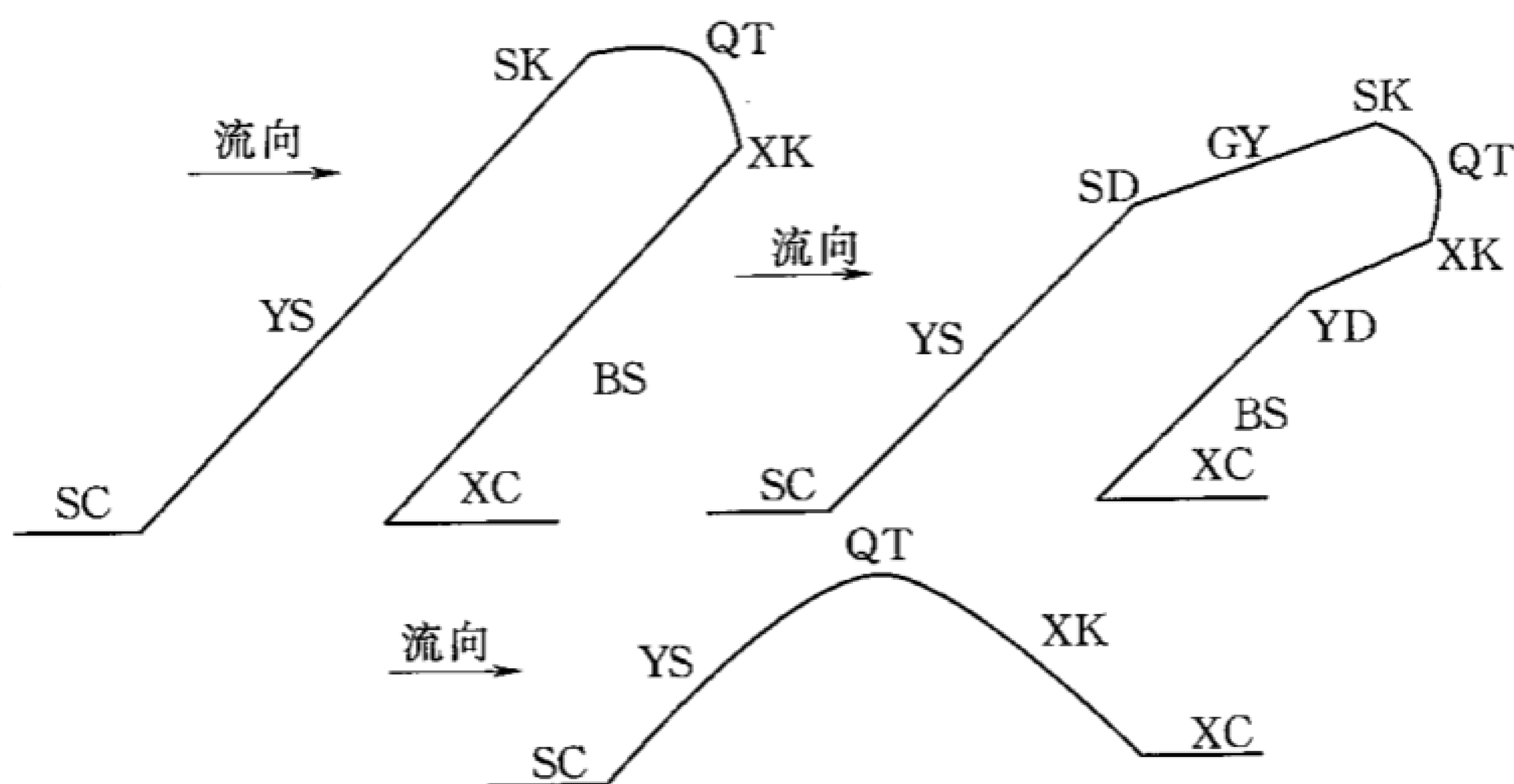


图 A. 0. 5 坝垛部位示意图

SC—上坝（垛）根；YS—迎水面；SD—拐头上跨部位；GY—拐头迎水面；
SK—上跨部位；QT—坝（垛）前头部位；XK—下跨部位；
YD—拐头下跨部位；BS—背水面；XC—下坝（垛）根

表 A.0.6-1 根石探测统计表 (示例一)

单位	工程名称	坝号	根石平均深度 (m)	缺石量 (m³)		
				1 : 1.0 标准断面	1 : 1.3 标准断面	1 : 1.5 标准断面

审定：
 校核：
 填表：
 日期：

表 A.0.6-2 根石探测统计表 (示例二)

单位：
 工程名称：

坝号	探摸 时间 (时:分)	附近水文 站流量 (m³/s)	坝顶 高程 (m)	坝前 高程 (m)	断面 部位	断面根石情况						
						根石 台宽 (m)	根石 台高 (m)	起点距 (m)				
								高差 (m)				

填表日期：
 观测：
 记录：
 校核：
 审定：

注：高差为起点高程减去测点坝面高程。

附录B 常用物性参数

表 B-1 常见岩土介质及水的电阻率

类别	名 称	电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)	名 称	电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)
松散土	黏土	1~200	亚黏土含砾石	80~240
	含水黏土	0.2~10	卵石	300~6000
	亚黏土	10~100	含水卵石	100~800
	砾石加黏土	22~7000		
沉积岩	泥质页岩	60~1000	泥灰岩	1~100
	砂岩	10~1000	白云岩	50~6000
	泥岩	10~100	破碎含水白云岩	170~600
	砾岩	10~10000	硬石膏	10000~1000000
	石灰岩	600~6000	岩盐	10000~1000000
变质岩	片麻岩	600~10000	片岩	200~50000
	大理岩	100~100000	板岩	10~100
	石英岩	200~100000		
岩浆岩	花岗岩	600~100000	辉绿岩	100~100000
	正长岩	100~100000	辉长岩	100~100000
	闪长岩	10000~100000	玄武岩	50~100000
常见水	雨水	>1000	海水	0.1~1
	河水	0.1~100	矿井水	1~10
	地下水	<100	深成盐渍水	0.1~1
	喀斯特水	15~30		

表 B-2 矿化水的电阻率

矿化度 (g/L)	不同电解质水的电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)			
	NaCl	KCl	MgCl ₂	CaCl ₂
纯水	25×10^4	25×10^4	25×10^4	25×10^4
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 B-3 常见岩土介质的密度及波速

类别	名 称	密度 ρ (g/cm ³)	纵波速度 V_p (m/s)	横波速度 V_s (m/s)
松散层	黏土	1.60~2.04	1200~2500	—
	湿砂	1.60~2.04	600~800	
	砂质黏土	1.60~2.04	300~900	
	干砂、砾石	1.60~2.04	200~800	
沉积岩	砾岩	1.90~2.90	1500~4200	900~1500
	泥质灰岩	2.45~2.65	2000~4400	1200~2400
	硅质石灰岩	2.80~2.90	4400~4800	2600~3000
	致密石灰岩	2.60~2.77	2500~6100	1400~3500
	页岩	2.30~2.70	1300~4000	800~2300
	砂岩	2.42~2.77	1500~5500	900~2400
	致密白云岩	2.80~3.00	2500~5000	1500~3000
	石膏	2.41~2.58	2100~4500	1300~2800
变质岩	片麻岩	2.50~3.30	6000~6700	3500~4000
	大理岩	2.68~2.72	5800~7300	3500~4700
	石英岩	2.56~2.90	3000~5600	2800~3200
	片岩	2.68~3.00	5800~6400	3500~3800
	板岩	2.55~2.66	3600~4500	2100~2800
	千枚岩	2.71~2.86	2800~5200	1800~3200
岩浆岩	花岗岩	2.30~2.96	4500~6500	2400~3800
	花岗闪长岩	2.52~2.70	5700~6400	2800~3800
	玄武岩	2.53~3.30	4500~7500	3000~4500
	安山岩	2.30~3.10	4200~5600	2500~3300
	辉长岩	2.55~2.98	5300~6500	3200~4000
	辉绿岩	2.53~2.97	5200~5800	3100~3500
	橄榄岩	2.90~3.40	6500~8000	4000~4800
	凝灰岩	1.60~1.95	2600~4300	1600~2600
其它	水	1.0	1400~1600	1200~2700
	冰	0.80~0.90	3100~3600	
	混凝土	2.40~2.70	2000~4500	

表 B-4 部分岩石的电磁波吸收系数 单位：Np/m

岩性	电磁波频率 f (Hz)				
	1×10^6	3×10^6	8×10^6	10×10^6	37×10^6
片岩	0.01~0.02	0.03~0.04		0.52	
片麻岩				0.45	
大理岩		0.01~0.02	0.04~0.05		
闪长岩	0.033~0.5	0.065~0.075			
石灰岩	0.036		0.055		0.1
破碎、含水性弱的灰岩	0.07				0.36~0.59
火成岩、花岗岩		0.06~0.075			

表 B-5 常见介质的电磁参数

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C 常用公式

C. 0. 1 数据误差计算应按式(C. 0. 1—1)~式(C. 0. 1—7)进行计算。

$$\text{绝对误差} \quad \Delta = |d_{aj} - d'_{aj}| \quad (\text{C. 0. 1 - 1})$$

$$\text{平均绝对误差} \quad \bar{\Delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\Delta| \quad (\text{C. 0. 1 - 2})$$

$$\text{相对误差} \quad \delta = 2 \frac{|d_{aj} - d'_{aj}|}{d_{aj} + d'_{aj}} \times 100\% \quad (\text{C. 0. 1 - 3})$$

$$\text{平均相对误差} \quad \bar{\delta} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \delta_i \right) \times 100\% \quad (\text{C. 0. 1 - 4})$$

$$\text{均方相对误差} \quad m = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i^2} \times 100\% \quad (\text{C. 0. 1 - 5})$$

$$\text{总均方相对误差} \quad M = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i^2} \times 100\% \quad (\text{C. 0. 1 - 6})$$

$$\text{极差系数} \quad K = 2 \frac{d_{aj}^{\max} - d_{aj}^{\min}}{d_{aj}^{\max} + d_{aj}^{\min}} \quad (\text{C. 0. 1 - 7})$$

式中 N——检查点、测深点、测线个数；

d_{aj} ——基本观测值，重复观测时指有效数据的算术平均值；

d'_{aj} ——系统检查观测值，重复观测时是指有效数据的算术平均值；

d_{aj}^{\max} ——参与计算的数据中的最大值；

d_{aj}^{\min} ——参与计算的数据中的最小值。

C. 0. 2 直流电阻率法的常用公式应按式(C. 0. 2—1)和式(C. 0. 2—2)进行计算。

相对异常的计算公式：

$$\text{相对异常} = \frac{|\text{观测值} - \text{背景值}|}{\text{背景值}} \times 100\% \quad (\text{C. 0. 2 - 1})$$

异常顶部埋深估算公式：

$$H = 0.25q \quad (\text{C. 0. 2 - 2})$$

式中 H——异常顶部埋深，m；

q——半幅值宽度，m。

C. 0. 3 自然电场法异常顶部埋深估算应按式(C. 0. 3)进行计算。

$$H = (0.4 \sim 0.6)q \quad (\text{C. 0. 3})$$

式中符号意义同式(C. 0. 2—2)。

C. 0. 4 瞬变电磁法常用公式应按式(C. 0. 4—1)~式(C. 0. 4—3)进行计算。
观测时间确定公式:

$$t_{\min} \leq \frac{(h_{\min})^2}{\rho_{\max} \times 10^{-3}} \quad (\text{C. 0. 4 - 1})$$

$$t_{\max} \geq \frac{(h_{\max})^2}{\rho_{\min} \times 10^{-3}} \quad (\text{C. 0. 4 - 2})$$

式中 t_{\max} , t_{\min} ——最大及最小延时, S;

h_{\max} , h_{\min} ——最大及最小探测深度, m;

ρ_{\max} , ρ_{\min} ——测区介质最高及最低电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$ 。

关断时间评估经验公式:

$$t_{\text{off}} = \frac{2L^{1.25}}{5 + R} \quad (\text{C. 0. 4 - 3})$$

式中 t_{off} ——关断时间, $\mu \text{ s}$;

L ——回线边长, m;

R ——回线电阻, Ω 。

C. 0. 5 瑞雷波速度和横波速度转换应按式(C. 0. 5)进行计算。

$$V_R = \frac{0.87 + 1.12\mu}{1 + \mu} V_s \quad (\text{C. 0. 5})$$

式中 V_R ——瑞雷波速度, m / s;

V_s ——横波速度, m / s;

μ ——泊松比。

C. 0. 6 同位素示踪法渗透系数计算应按式(C. 0. 6—1)~式(c. o. 6—3)进行计算。

$$K = \frac{V_f}{J} \quad (\text{C. 0. 6 - 1})$$

$$V_f = \frac{\pi(r^2 - r_0^2)}{2\alpha r t} \ln \frac{N_0 - N_b}{N_t - N_b} \quad (\text{C. 0. 6 - 2})$$

$$V_v = L/\Delta T \quad (\text{C. 0. 6 - 3})$$

式中 K——渗透系数，m / d；
J——测试孔附近的地下水水力坡降；
 V_f ——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 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 \mathfrak{L} 时刻浓度计数率；
 α ——流场畸变校正系数；
 V_v ——垂向流速，m / d；
 ΔT ——探头计数率时间曲线峰值间的时间。

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国水利行业标准

堤防隐患探测规程

SL 436—2008

条 文 说 明

目 次

1 总 则.....42

3 基本规定.....43

5 自然电场法.....46

6 瞬变电磁法.....47

7 探地雷达法.....48

8 拟流场法.....49

9 弹性波法.....50

11 同位素示踪法.....52

1 总 则

1. 0. 2 土石坝的隐患探测工作可参照本标准执行。

3 基本规定

3.2 外业工作

3.2.3 测点定位应以堤防桩号为准。没有管理桩的堤防，应先埋设管理桩，然后再作隐患探测。已有管理桩的堤防，应先检查其桩号(千米桩、百米桩)的准确性，当名义桩号(管理桩上标注的桩号)与实测桩号之差大于 1m 时，应以实测桩号为准，并在报告中附名义桩号与实测桩号对比表等资料。

3.2.5 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 资料解释与验证

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 1m，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。

3.4 成果报告

3.4.6 成果报告中应根据探测工作采用的方法，附以适当的成果图表。直流电阻率法图表形式可参照下列样例。

示例 1 隐患探测成果表如表 1 所示。

示例 2 堤身质量分类表如表 2 所示。

示例 3 视电阻率剖面图如图 1 所示。

示例 4 视电阻率背景值图如图 2 所示。

示例 5 堤身质量分类图如图 3 所示。

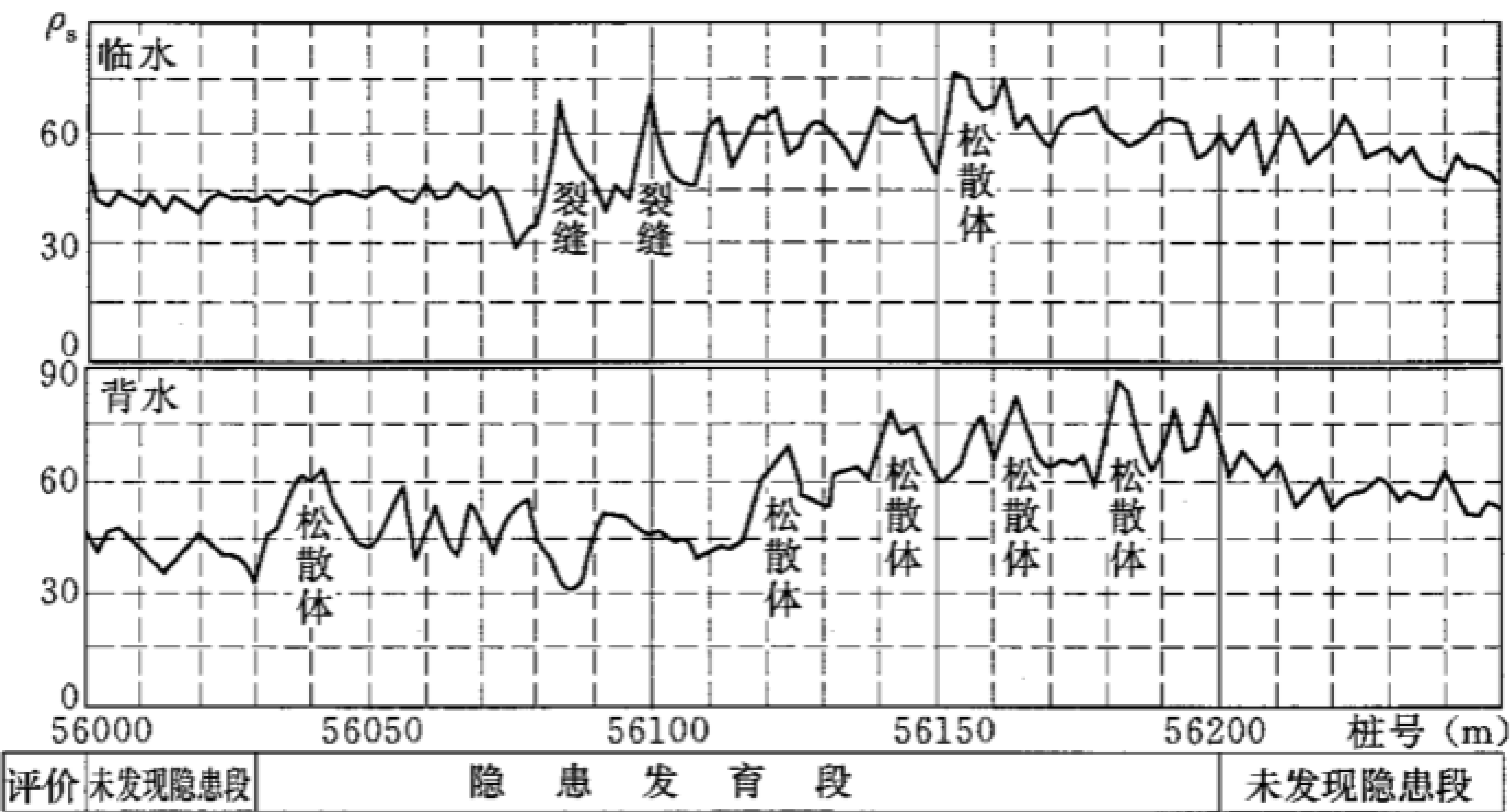
示例 6 隐患分布图如图 4 所示。

表 1 ××堤防××段隐患探测成果表

序 号	隐 患 位 置		隐患性质	顶部埋深 (m)	备 注
	测线	中心桩号			
1	背水	148+023	裂缝	1.5	
2	背水	148+048	松散体	2.2	宽 7m
3	背水	148+220	松散体	3.0	宽 10m
4	背水	148+293	松散体	3.2	宽 11m
5	背水	148+310	松散体	2.7	宽 9m

表 2 ××堤防××段堤身质量分类表

——隐患发育段			——隐患相对发育段		
起始桩号	长度 (m)	备 注	起始桩号	长度 (m)	备 注
170+430~ 170+460	30	一条裂缝	145+500~ 146+000	500	背水侧堤顶下 2~5m 含沙量高
170+790~ 171+000	210	一个松散体 且堤顶 下 2~3.8m 含沙量高	148+060~ 148+200	140	背水侧土质 不均匀
171+000~ 171+250	250	四条裂缝 且堤顶下 2~3.8m 含沙量高	152+110~ 152+250	140	堤顶下 2~6m 含沙量高
171+250~ 171+500	250	堤顶下 2.3~5.6m 含沙量高	152+410~ 152+500	90	土质不均匀
180+000~ 180+050	50	一个松散体	155+310~ 155+380	70	堤顶下 1.5~3.8m 含沙量高



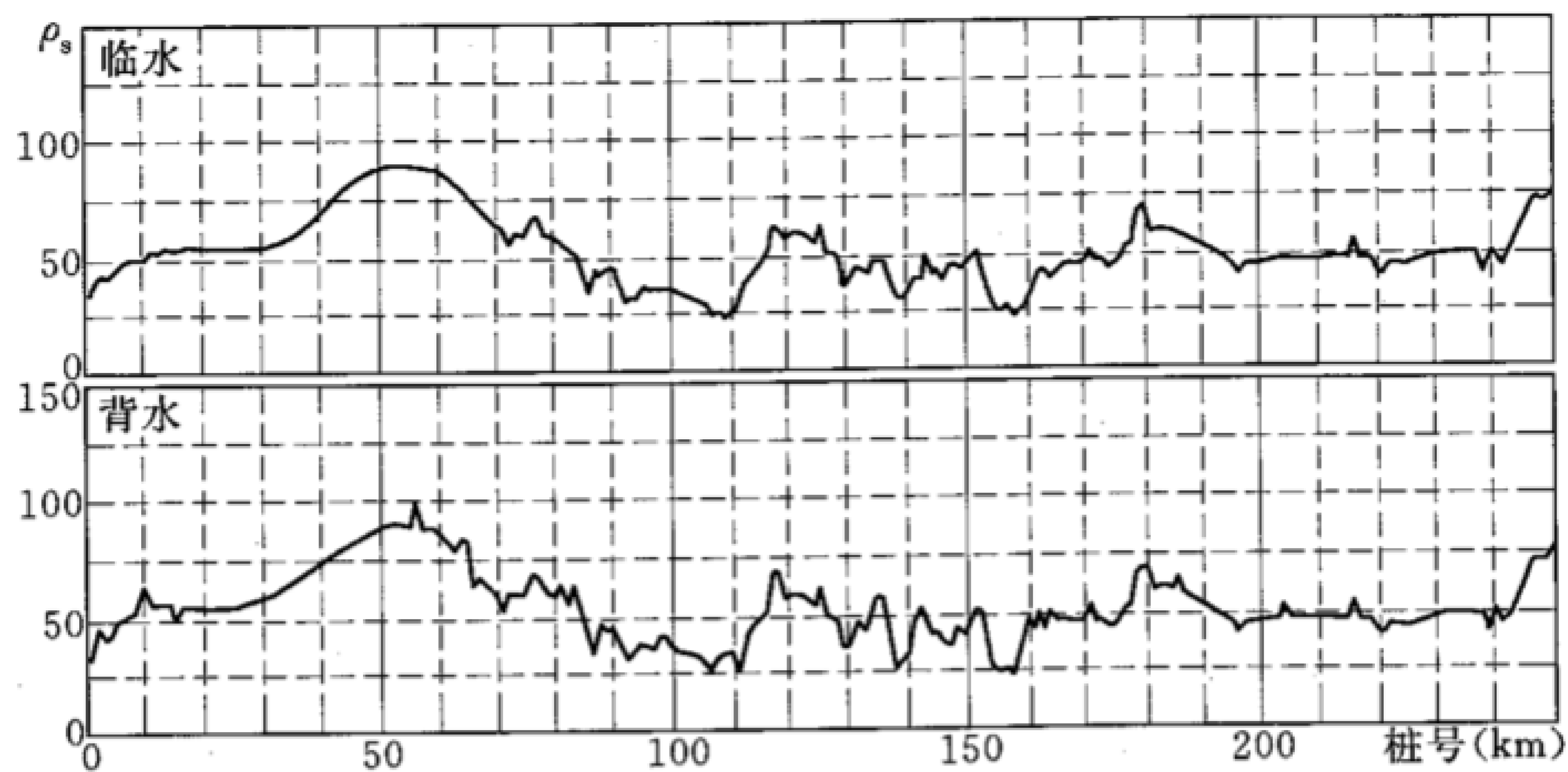


图 2 ××堤防××段视电阻率背景值图

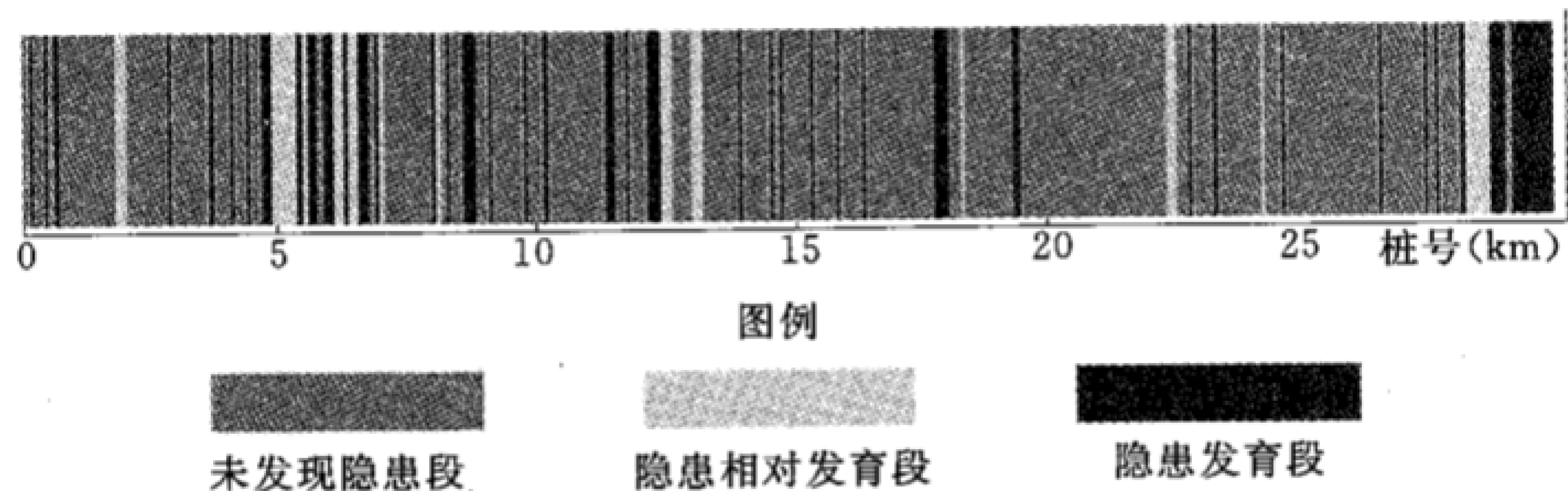


图 3 ××堤防××段堤身质量分类图

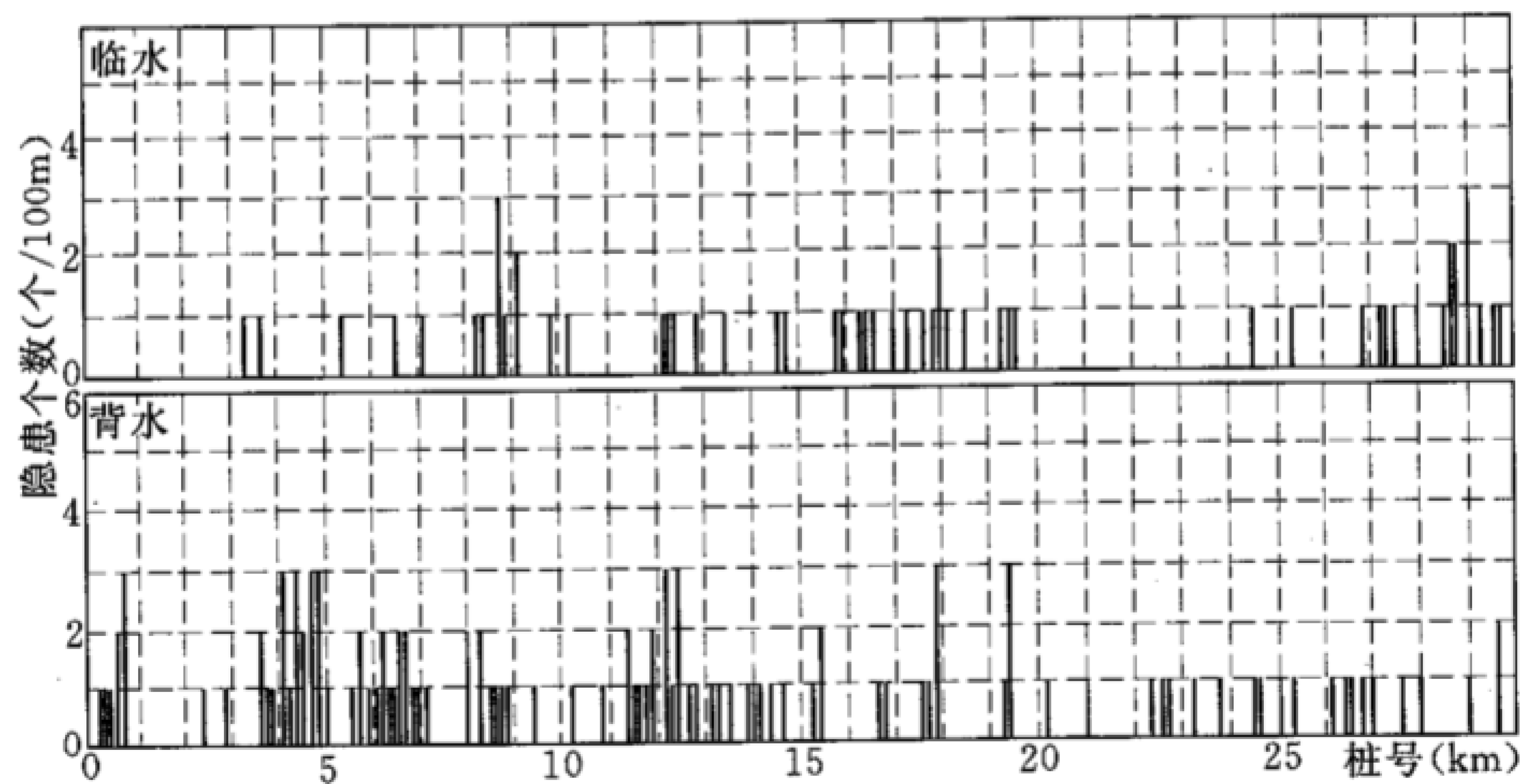


图 4 ××堤防××段隐患分布图

5 自然电场法

5. 0. 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就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。

5. 0. 5 一般情况下，水面测线相对异常，视背景值曲线平坦程度取不小于背景值的 10%~20%为可靠异常；岸上测线，此标准应视背景值曲线平坦程度取 30%~50%。异常顶部埋深估算公式系数应根据测区实际情况选取。

6 瞬变电磁法

6. 0. 5

3 发射回线面积 s_0 、供电电流 J 与扩散深度的关系可由式(1)表示。

$$\delta = 0.55 \frac{IS_R}{\epsilon\sigma} \quad (1)$$

式中 ϵ ——可信任的最低响应, V / m^2 。

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 $1m \times 1m$, $2m \times 2m$, $4m \times 6m$ 。

电压幅值比值 $Q(t_i)$ 是指探测参数相同,在不同的探测时间(t_i),探测区感应电压 $U(t_i)$ 与背景区感应电压 $U_p(t_i)$ 之比按式(2)计算。

$$Q(t_i) = \frac{U(t_i)}{U_p(t_i)} \quad (2)$$

7 探地雷达法

7.0.1 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。

7.0.3 应用探地雷达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。

7.0.4 本条规定了用于堤防隐患探测的探地雷达仪器基本性能指标。目前使用的雷达系统是由不同国家的仪器公司设计生产，但其工作原理和探测效果以及数据处理大同小异。仪器的主要技术指标既有共性，也有各自的特点。

7.0.5 本条规定了探地雷达工作的最基本要求。实际测量时，要兼顾工作效率和分辨率的统一。记录时窗中的 2.5 倍考虑了介质速度与探测深度的变化情况。

8 拟流场法

8.0.1 本标准所定义的拟流场法是通过测定水中人工发送的伪随机电流信号电流场的电流密度模拟异常水流场，以确定堤防渗漏、管涌的进水部位以及渗漏的相对强弱。

8.0.2 由于探头长度为 0.5m，所以水深应大于 0.5m。

8.0.3 信号发送机主要功能是发送一定强度的特殊编码波形电流场信号，去拟合由于渗漏、管涌而造成的异常水流场，供接收机检测。

8.0.4

2 A 极布置：如有多处渗漏，则可在每一渗漏处各布置一电极，然后用导线将它们并联起来。B 极布置：“无穷远”指 B 极到探测区域中心的距离为探测区域长度的 5 倍以上。

7 测线布置应先普查后详查，普查线距宜为 3~5m，详查线距宜为 1~2m。

8.0.5

4 关于背景值，在对某一区域进行探测时，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。

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。

9 弹性波法

9.1 浅层地震折射波法

9.1.3 本条为地震折射波法的应用条件:

1 被追踪介质层应具有一定的厚度和规模,一般要求中间层厚度不小于其上覆层厚度。理论与实践证明:对于三层介质的地层断面,虽然满足 $V_1 < V_2 < V_3$ 的波速条件,但当中间层较薄(如 $h_1 \leq h_2$)时,折射波时距曲线上往往只出现砾层的斜率,而 V_2 层的折射波不能在初至区显示出来,出现所谓中间层“隐蔽”现象。

2 当被追踪层视倾角与临界角之和大于或等于 90° 时,在地面均不能接收到折射波,用折射波法探测高倾角目的层时应合理选择测线方向,使介质层视倾角与临界角之和远小于 90° 。

9.1.5

7

2)采用单支时距曲线观测要求被追踪界面起伏较小,沿测线方向介质层界面的视倾角应小于 15° 的规定,是针对求界面深度的精度而言的。若用于求下伏介质层界面速度,则界面的视倾角应小于 5° 才能保证所求界面速度的精度。

3)采用相遇时距曲线观测系统,应保证追踪界面的相遇时距曲线段至少有 4 个正常检波点的规定,是为了保证观测成果的可靠性和追踪界面的连续性。若检波点过少则可追踪段过短,连续研究界面的程度也差,尤其对界面速度的测定精度影响更大。

4)追逐时距曲线应保证在 2 支时距曲线被追踪段,至少有 4 个检波点重复接收同一界面折射波的规定,是为了确保两支时距曲线平行性辨别的可靠性,当被追踪段的检波点数过少时,将降低识别有效波的可靠性。

9.1.6

1

1)当初至折射波出现在临界区之外,呈直线状,其视速度较直达波大。

2)不同层位的折射波有不同的斜率,通常浅部折射波的斜率较深部的大;折射波振幅随着炮检距增加而衰减,其衰减程度较直达波快。

9.2 浅层地震反射波法

9.2.3

2 被追踪层或隐患应具有一定的厚度和规模,一般要求其厚度大于其有效波长的 $1/4$ 。这是因为被追踪层的厚度或规模较小时,两相邻界面产生的反射波时

差过小会发生严重的干涉现象而难于识别。实践表明，垂直方向上反射波法的分辨率一般仅能达到其有效波长的 $1/4$ ，欲提高反射波法的垂直分辨率，主要的方法是提高震源激发频率。

9. 2. 6

1 当测量中遇到局部地段的记录质量明显变差，根本无法进行有效波的对比时，显然此时改善记录质量是最主要的，滤波档改变的负面影响是次要的，所以规定野外观测遇到局部地段记录质量变差时，应分析原因并通过试验找出解决方法，选定新的仪器工作参数或改变工作方法。改变滤波档时应有对比记录，是为了证实改变滤波档的合理性。

9. 3 瑞雷波法

9. 3. 1 瞬态法是使用瞬时冲击震源进行测试的一种工作方法；稳态法是使用可控(稳态)震源进行测试的一种工作方法。

9. 3. 6

1 展开排列和共炮点地震记录进行瑞雷波对比时：瑞雷面波存在于整个时间域，从激发点开始呈扇形展开，振幅强，振幅衰减慢，频率低，速度小；同一层位的瑞雷面波，随着源检距增加，频率明显降低；不同层位的瑞雷面波，随着源检距增加，同相轴间呈喇叭形张开。

11 同位素示踪法

11.0.1 同位素示踪法是利用放射性同位素作标记物,研究地下水渗流运动规律的方法。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。

(1)单井同位素示踪稀释测井法。自1952年Fox发表他的早期文献“用放射性同位素示踪地下水运动”以后,1957年Moser提出放射性同位素单孔稀释法测定渗透流速,经Drost等(1968)和Klotz等(1971)比较系统的实验工作,将测速法提高到一个新的高度。该方法已经作为一种成熟的技术在世界范围内解决各种水文地质问题,如德国、法国、波兰、匈牙利、日本、加拿大以及西班牙、哥伦比亚、新西兰、津巴布韦等。进入20世纪80年代,我国一些科研单位才从NI#b弓1进这种方法。较早应用这项技术的是南京水利科学研究院,主要用来进行水库渗漏和泥沙运动的观测,曾对病险水库的修复作出了重要的贡献。1988年该方法已纳入了国家标准《供水水文地质勘察规范》(GBJ 27—88),2001年纳入了国家标准《供水水文地质勘察规范》(GB 50027—2001)。

(2)多孔同位素示踪法。在一个主孔里,标记上同位素,在该孔的下方钻上一个或几个孔,然后,在下方的孔中测量被接收到的同位素的时间和距离,就能够计算出该质点在这段距离的运动速度。

11.0.5

1 ^nN 同位素符号: N 表示同位素的元素名称; n 表示同位素的质量数。如 ^{131}I 碘同位素还可以表示为“碘—131”。

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。

(1)地下水渗透流速计算公式。用微量的放射性同位素标记物标记滤水管中的水柱,被标记的地下水浓度被流过滤水管的水稀释,稀释速度与地下水渗透流速符合式(3)。

$$V_f = \frac{\pi(r_1^2 - r_0^2)}{2\alpha r_1 t} \ln \frac{N_0}{N} \quad (3)$$

式中 V_f ——地下水渗透流速;
 r_1 ——滤水管内半径;
 r_0 ——探头半径;
 N_0 ——同位素初始浓度计数率;

N——同位素 t 时刻浓度计数率；

a——校正系数。

钻孔揭露多层含水层后，由于各含水层地下水的补给源不同，各层静水位亦不同，孔中可能有垂向流产生。测量方法为“峰—峰法”测井。将 A、B、C、D 4 支串联探头放置在井中被测井段，把同位素投放在 C、B 两探头的中间处，仪表分别记录各探头在不同时刻的计数率变化。假设垂向流向上，可找出两条曲线峰值所对应的时间差 ΔT ，已知两探头之间的距离为 L，则垂向流速 V，为

$$V_v = \frac{\Delta L}{\Delta T} \quad (4)$$

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 V_h 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(5)。

$$\pm \delta h = \frac{Q}{2\pi r V_f} \quad (5)$$

式中 V_f ——地下水渗透流速。

(2)地下水渗透系数计算公式。

$$K = \frac{V_f}{J} \quad (6)$$

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。

$$T = KM \quad (7)$$

式中 T——导水系数；

M——含水层厚度。

1 主题内容与适用范围

- 1.1 本标准规定了水利系统各单位的级别代码。
1.2 本标准适用于政务信息交换、处理和有关数据库的建设。

2 编 码 方 法

本标准采用顺序码，由二位数字组成。

3 代 码 表

表 3 单位级别代码

代 码	单 位 级 别	代 码	单 位 级 别
03	部、省级	08	副县、副处级
04	副部、副省级	09	科级
05	司、局、地、厅级	10	副科级
06	副司、副局、副地、副厅级	90	其他级（含无级）
07	县、处级	—	—