

团 体 标 准

T/CI XX—2024

隧道与地下空间支护结构渗漏智能检测技术规程

Technical specification for intelligent leakage detection of tunnel and
underground space support structure

（征求意见稿）

2024 – XX – XX 发布

2024 – XX – XX 实施

中国国际科技促进会 发布

目 次

目 次.....	1
前 言.....	3
引 言.....	4
隧道与地下空间支护结构渗漏智能检测技术规程.....	5
1 范围	5
2 规范性引用文件.....	5
3 术语和定义.....	5
3.1 术语.....	5
3.2 工程测量符号定义.....	6
4 基本规定.....	7
4.1 渗漏检测.....	7
4.2 安全等级.....	7
4.3 衬砌支护构件.....	7
4.4 支护系统.....	8
4.5 检测条件.....	8
4.6 资料分析.....	8
4.7 检测方案.....	8
4.8 检测试验.....	8
4.9 检查规定.....	8
4.10 检测要求.....	9
4.11 检测完成要求.....	9
5 智能预警与实施管理.....	9
5.1 预警标准.....	9
5.2 预警分级.....	9
5.3 预警处置.....	9
5.4 图像采集.....	9
5.5 智能监控系统.....	10
5.6 实施与管理.....	10
6 阵列式电流场法.....	11
6.1 一般规定.....	11
6.2 仪器设备要求.....	11
6.3 方法技术.....	11
6.4 资料处理与解释.....	13
7 电阻率层析成像法.....	14
7.1 一般规定.....	14
7.2 仪器设备要求.....	14
7.3 方法技术.....	14
7.4 资料处理与解释.....	15

8 成果报告.....	16
8.1 一般规定.....	16
8.2 报告书的编制.....	16
8.3 成果验收与提交.....	16
附录 A 隧道与地下空间支护结构阵列式电流场法渗漏检测记录表	17
附录 B 隧道与地下空间支护结构电阻率层析成像法检测记录表	18
附录 C 隧道与地下空间支护结构渗漏检测成果图.....	19

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国市政工程西北设计研究院有限公司提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：中国市政工程西北设计研究院有限公司

本文件主要起草人：

引 言

隧道与地下空间的开挖，一般采用明挖法施工，明挖法施工最关键的是要在隧道与地下空间周边形成一道衬砌和支护结构，然后才能顺利施工，衬砌与支护结构如果出现渗漏，则会严重影响内部结构的施工。针对衬砌支护结构渗漏风险巨大，但无可靠、有效的超前智能检测手段的现状，为了破解这一行业难题，中国市政工程西北设计研究院有限公司经过系统研发与实践，形成隧道与地下空间基于阵列式电流场的基坑渗漏隐患无损智能检测成套创新技术与装备，实现衬砌支护结构渗漏隐患的快速、精准检测及超前预报。

本文件从范围、规范性引用文件、术语和符号、基本规定、一般规定、阵列式电流场法、电阻率层析成像法、成果报告制定本规程；并给出附录A-C规范隧道与地下空间衬砌支护结构渗漏检测现场记录与成果形式，做到安全可靠、技术先进、环境友好、经济合理。

隧道与地下空间支护结构渗漏智能检测技术规程

1 范围

本文件规定了隧道与地下空间支护结构渗漏检测的技术要求。

本文件适用于隧道与地下空间支护结构渗漏检测工作。渗漏检测应根据检测目的、基坑围护结构特点和现场条件，采用适用的检测方法与技术，并结合地质条件、施工环境等相关资料进行综合分析。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 5007 建筑地基基础设计规范

CJJ/T 7 城市工程地球物理探测标准

DG/TJ 08-2271 工程物探技术标准

DG/TJ 08-2001 基坑工程施工监测规程

DG/TJ 08-61 基坑工程技术标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 术语

3.1.1

隧道与地下空间 tunnels and underground Spaces

山岭、公路或城市地面以下土层或岩体中修建各种类型的地下建筑物或结构物的工程，涵盖公路隧道、地下铁道、地下深隧、地下停车场、过街和穿越障碍的各种地下通道等交通设施，各类地下制作车间、电站、储存库房、商场、人防与市政地下工程等工业与民用工程，以及文化、体育、娱乐与生活方面的地下联合建筑体工程等。

3.1.2

衬砌支护 lining support

衬砌支护指的是为防止围岩或基坑变形或坍塌，沿隧道洞身或基坑周边用预制构件或钢筋混凝土等材料修建的永久性支护结构。

3.1.3

渗漏检测 leakage detection

利用地球物理方法来检测围护结构渗漏隐患位置及评定渗漏严重程度的工作。

3.1.4

阵列式电流场法 array electro-osmosis method

在基坑内外供电建立特定电流场,通过布设阵列式传感器获取基坑内外全空间电场分布特征和规律,确定基坑围护结构渗漏隐患的一种渗漏检测方法。

3.1.5

电阻率层析成像法 resistivity computerized tomography

通过在基坑围护结构单侧或两侧布设成对观测孔,对两孔之间的地层电阻率进行地球物理层析分析,确定基坑围护结构渗漏隐患的一种渗漏检测方法。

3.1.6

渗漏严重程度 level of leakage

根据渗漏特征及水量大小划分基坑渗漏隐患严重程度的分级标准,可分为渗点和漏点两类。

3.1.7

渗点 seepage

坑外地下水通过隐患部位进入基坑内的表现特征之一,程度较轻,一般表现为潮湿、湿渍、缓渗等

3.1.8

漏点 leakage

坑外地下水通过隐患部位进入基坑内的的表现特征之一,程度较重,通常表现为线流、涌水、涌沙、管涌等。

3.1.9

电位 electric potential

处于电场中某个位置的单位电荷所具有的电势能与它所带的电荷量之比。

3.1.10

电极 electrode

渗漏检测设备中的一种部件,用于与地层导电介质相接触的输入或导出电流的两个端,其中输入电流的一端叫阳极或正极,导出电流的一端叫阴极或负极。

3.2 工程测量符号定义

3.2.1 阵列式电流场法使用的符号应符合下列规定:

- ΔV ——观测电位差;
- I ——供电电流强度;
- H ——探测对象的埋深;
- ρ_s ——视电阻率;

δ ——绝对误差；
 A ——观测值；
 n ——检测点数；
 U ——测量传感器观测电位值；
 M ——测点（站）数据均方相对误差；
 m ——数据相对误差。

3.2.2 电阻率层析成像法使用的符号应符合下列规定：

I ——供电电流强度；
 ρ_s ——视电阻率；
 n ——观测点数。

4 基本规定

4.1 渗漏检测

隧道与地下空间支护结构渗漏检测技术可用于地下连续墙、钻孔灌注桩、工法桩、沉井等各类围护结构的渗漏隐患检测与评估。

4.2 安全等级

隧道与地下空间支护结构渗漏检测应根据基坑工程安全等级、周边环境及地质条件进行渗漏检测等级评定。评定等级为一级的基坑应进行围护结构渗漏检测工作，评定等级为二级的基坑宜进行检测工作。

表 4.2 隧道与地下空间支护结构渗漏检测评定等级

周边环境等级 评定等级 工程安全等级	一级	二级	三级
	一级	二级	三级
一级	一级	一级	一级
二级	一级	二级	二级
三级	一级	二级	三级

4.3 衬砌支护构件

一种特殊创新“蜂巢”状结构自防水衬砌支护预制构件

- a) 弧形拱状支护板，左右两侧设有连接拱肋。
- b) 弧形拱状支护板和连接拱肋包括钢筋骨架，钢筋骨架外围设置轻质泡沫砼。
- c) 弧形拱状支护板的上、下端设有凸凹板，拱肋凹槽与拱肋凸块的形状适配，按照图 1 配置。

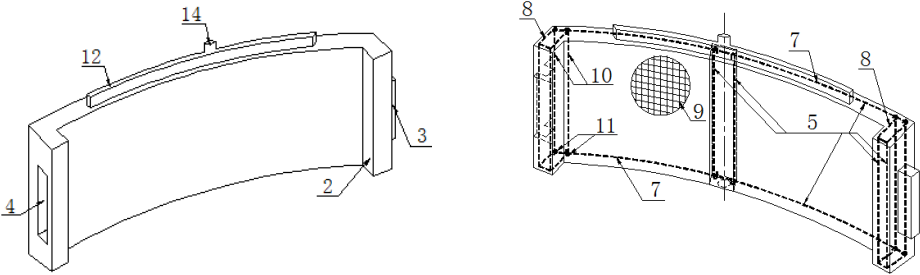


图 1 “蜂巢”状结构自防水衬砌支护预制构件图

4.4 支护系统

地下空间“蜂巢”状基坑支护系统型式如下：

- a) 深基坑内四周内壁连续设有多个支护单元，相邻的两个支护单元之间设有工字型钢板桩。
- b) 支护单元包括上下左右相互对接拼装的预制支护构件。
- c) 左、右两端的预制支护构件通过螺栓固定连接于工字型钢板桩；
- d) 在深基坑四周内壁形成整体支护墙，如下图 2 配置。

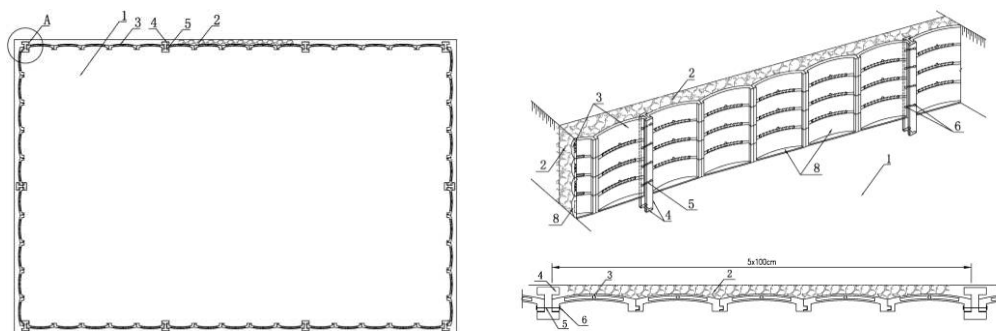


图 2 地下空间“蜂巢”状基坑支护系统图

4.5 检测条件

开展基坑渗漏检测工作，应满足下列前提条件：

- a) 基坑围护结构已施工完毕。
- b) 基坑尺寸应具有一定规模，且具备开展检测工作需要的场地空间。
- c) 基坑内侧不存在明显高电阻屏蔽层，周边无强电干扰，且检测面相对平整。

4.6 资料分析

开展基坑渗漏检测前，宜搜集下列工程相关资料，并对搜集资料的适用性和完整性进行分析：

- a) 基坑周边地下管线、地下障碍以及其他与基坑环境有关资料。
- b) 基坑工程勘察、设计、施工、降水等资料。
- c) 基坑工程现有控制测量资料和地形图。
- d) 基坑围护结构施工异常情况。

4.7 检测方案

基坑围护结构渗漏检测应在现场踏勘的基础上，编制检测方案，方案宜包含下列内容：

- a) 检测目的、要求、范围等。
- b) 测区概况、地质与地球物理特征。
- c) 检测依据、标准及相关规定。
- d) 检测方法原理、现场工作布置、工作量估算等。
- e) 仪器、设备与人员安排。
- f) 工作进度计划。
- g) 项目实施的安全、质量与环境保证措施。
- h) 需要沟通与配合事项。
- i) 拟提交的成果资料。

4.8 检测试验

检测工作正式开展前宜在现场开展方法试验。

4.9 检查规定

渗漏检测质量检查工作应符合下列规定：

- a) 质量检查可选择重复观测、系统检查等方法。

b) 质量检查不符合要求的数据应重新采集。

4.10 检测要求

检测过程中应遵守基坑作业安全规定及建设、施工等单位的安全要求。

4.11 检测完成要求

检测工作完成后,应及时与委托方进行检测结果的技术交底,并持续跟进基坑开挖进程,收集检测结果实证对比资料。必要时可根据渗漏隐患处理结果,再次进行检测。

5 智能预警与实施管理

5.1 预警标准

5.1.1 预警标准制定前应进行渗漏源的辨识与分类,对渗漏源进行分级。

5.1.2 渗漏预警标准应以现行相关标准和施工经验为基础,根据施工环境需要,考虑检测内容参数预警阈值及相互力学影响。

5.1.3 渗漏预警阈值应根据工程所在区域的水文地质条件、周边环境及设计要求制定。

5.1.4 预警标准的制定宜包括以下监测内容:

- a) 支护结构水平位移和土体深度关系;
- b) 支护结构水平位移和地表隆沉关系;
- c) 支护结构水平位移和支撑变形关系;
- d) 支护结构水平位移和垫层关系;
- e) 垫层和地表隆沉关系;
- f) 地下水水位和地表隆沉关系。

5.2 预警分级

5.2.1 预警等级宜根据基坑工程特点、周边环境,水文地质及相关管理要求,分为“一级、二级、三级”三级,可用“红、橙、黄”三种颜色表示,且设定相应的分级预警阈值。

5.2.2 预警分级宜通过计算机程序对其标准进行自动运算及判别。预警标准及其阈值作为计算机程序设置到平台中,将施工过程中的监测数据和工况数据输入到基坑预警数字化平台后,计算机自动运算产生预警结果,并按照阈值将结果分级预警。

5.2.3 分级预警阈值宜根据多项目数据综合分析后的结果进行调整和优化。基坑渗漏预警数字化平台可设置大数据库,将多项目历史预警结果按照水文地质,基坑深度、围护形式等多维度进行数据模型分析,对渗漏预警标准和阈值进行调整和优化,取得更合理的预警效果。

5.3 预警处置

5.3.1 基坑渗漏预警数字化平台预警处置流程应具有“分析—展示—处置”流程。

5.3.2 基坑渗漏预警数字化平台用户应根据不同的预警分级结果进行分级管理。

5.3.3 对风险等级较高的预警结果,业主单位应组织相关方对风险情况进行评估和整改。

5.3.4 基坑渗漏预警数字化平台应根据相关管理要求,结合用户要求,制定分级预警处置机制和应对突发事件的应急响应机制。

5.4 图像采集

5.4.1 图像采集和存储模块

图像采集和存储模块包括如下功能：

- a) 采用工控机作为控制中心, 首先由光电测速传感器定位系统提供移动平台在隧道与地下空间的位置信息, 当满足触发条件时由工控机触发 CCD 相机, 在照明设备等辅助下对隧道与地下空间的衬砌支护表面进行高清成像;
- b) 图像数据经过采集卡传送到工控机并写入大容量磁盘, 将高清图像文件保存到指定路径, 作为下一步图像处理的原始图像数据。

5.4.2 图像处理和解析模块

图像处理和解析模块包括如下功能：

- a) 基于 CCD 相机的图像采集系统将隧道与地下空间的图像采集并存储, 首先对采集到的图像做预处理, 滤去干扰、噪声, 做几何校正、色彩校正, 以便于计算机进行进一步的分析计算;
- b) 图像预处理包括图像增强, 图像二值化, 边缘检测和图形学处理等, 对系统获取的原图像基本特征信息进行相应的、有针对性的处理。

5.5 智能监控系统

隧道与地下空间支护结构渗漏智能监控系统基本参数满足以下要求：

- a) 利用移动网络将现场检测数据与平台实时互通;
- b) 自动判别检测数据、生成报告;
- c) 以 3D 模型还原现场展示;
- d) 指定各段落、隧道与地下空间、分部、标段进行数据比对(也可自定其他指标, 其他的比对方案);
- e) 系统与手机相关联, 数据同步。

5.6 实施与管理

5.6.1 隧道与地下空间渗漏预警系统运行前进行初始化设置, 并符合以下要求：

- a) 初始化包括项目信息、监测信息及管理信息等;
- b) 项目相关角色及用户信息, 并配置相应使用权限;
- c) 隧道与地下空间渗漏预警系统应具备对设置的初始化数据进行规范化自检的功能。

5.6.2 隧道与地下空间渗漏预警系统运行前应检查系统运行状况, 信号传输连接应正常。

5.6.3 监测数据和工况数据采集频率应符合以下要求：

- a) 根据实际项目工况和监测方案进行相关采集频率的配置;
- d) 进行自动化监测数据采集时, 应编制相应自动化监测专项实施方案, 采集频率应不低于人工监测采集频率。

5.6.4 深基坑风险预警数字化平台数据存储应满足数据存储空间 and 安全性要求, 应定期备份。

5.6.5 隧道与地下空间渗漏预警系统应制定管理人员组织架构和运营管理标准。

5.6.6 采用隧道与地下空间渗漏预警系统进行项目实施时, 符合以下规定。

- a) 应定期进行现场巡视检查, 核实相关数据准确性。

- b) 应每日整理、生成和分级推送报表和报告。渗漏预警报表格式可参考附录表 F-G。
- c) 应根据项目需求, 定期对监测数据和预警结果进行分析, 并根据报警与销警处理流程, 对项目渗漏病害进行处置。
- d) 应在系统运行期间进行监管和维护, 并留下监管记录。

5.6.7 遇突发事件, 应及时向系统用户管理人员反映, 启动应急响应程序应对突发事件。

6 阵列式电流场法

6.1 一般规定

6.1.1 开展阵列式电流场法检测时, 基坑规模应满足下列条件:

- a) 对于规则多边形基坑, 其长边不宜小于 30m。
- a) 对于圆形基坑, 其内直径不宜小于 30m。
- b) 对于异型基坑, 其最大跨度不宜小于 30m。

6.1.2 当基坑开挖深度大于 20m 时, 宜分层进行多次检测:

6.1.3 宜在首层土开挖前进行第一次检测, 并根据需要开展后续检测。

6.2 仪器设备要求

6.2.1 阵列式电流场法检测设备应包括供电系统、接收系统和传感器阵列三部分。

6.2.2 供电系统主要技术指标应符合下列规定:

- a) 供电系统的输出功率不宜小于 400W, 且输出电流不宜小于 2A, 输出电压不宜小于 80V。
- b) 供电电极宜采用导电性好、坚固耐用的铜电极。

6.2.3 接收系统主要技术指标应符合以下规定:

- a) 接收通道数不应少于 60 道, 且具有多通道同步采集功能。
- b) 电位测量允许误差不应大于 1%, 分辨率应优于 0.1mV。
- c) 电流测量允许误差不应大于 1%, 分辨率应优于 0.1mA。
- d) 极化补偿范围应满足 $\pm 500\text{mV}$ 。
- e) 对 50Hz 工频干扰压制不应小于 60dB。
- f) 输入阻抗应大于 $20\text{M}\Omega$, 绝缘电阻应大于 $100\text{M}\Omega$ 。

6.2.4 传感器宜采用固体不极化电极, 内阻不应大于 $1\text{k}\Omega$, 且电化学稳定, 极差小于 1mV。

6.3 方法技术

6.3.1 检测供电孔布设应符合下列规定:

- a) 供电孔宜布设于基坑围护结构一侧, 并应避开围护结构两侧的加固体, 其距围护结构边界距离宜为 0.5m~5m。
- b) 供电孔宜采用钻机成孔布设, 孔深不宜大于围护结构深度。
- c) 成孔后宜下放电极保护套管, 管径不宜小于 70mm, 套管长度应与孔深一致, 套管材料宜为塑料或其他绝缘材料; 套管壁应均匀布设导电细孔, 孔距宜为 2 cm~5cm。
- d) 检测时供电孔内应充满水。

6.3.2 供电孔内的供电电极布设应符合下列规定:

- a) 供电正极可在孔内上下自由移动，每次供电间隔宜为 2m~5m；当在某个深度进行数据采集时供电正极应固定不动。
- b) 供电正极深度不宜小于目标检测深度 5m，其在地面的投影点与最远采集传感器的平面距离不宜大于 50m。
- c) 供电负极应布设于围护结构相对于供电正极的另一侧土层中，且远离供电孔。同时远离采集传感器，最近距离不宜小于 20m。。

6.3.3 采集传感器布置应符合下列规定：

- a) 采集传感器宜按阵列布设于供电负极的同一侧。
- b) 组成阵列的传感器数量不宜少于 60 个，每个传感器应保证接地条件良好。
- c) 阵列宜平行于基坑边线，相邻传感器间距宜为 0.5m~2m。
- d) 分段连续检测时，相邻测线之间重叠部分不宜小于 3m，且不少于 3 个传感器。
- e) 每个传感器应固定编号，其位置宜精确测量定位。
- f) 常规基坑的传感器布设可按图 3 布设。

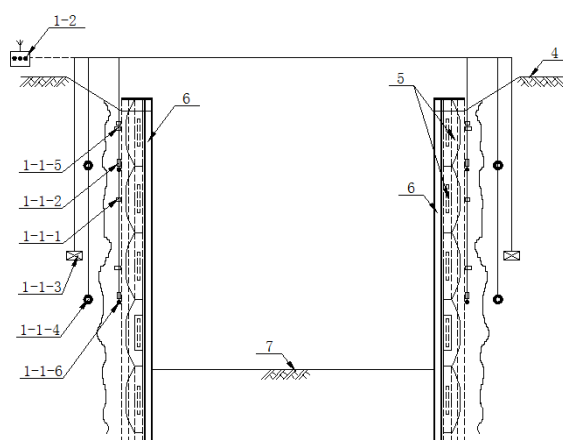


图 3 常规基坑阵列式电流场法渗漏检测传感器布设示意图

- g) 基坑进行检测，如矩形基坑的传感器布设方式可按图 4 布设。

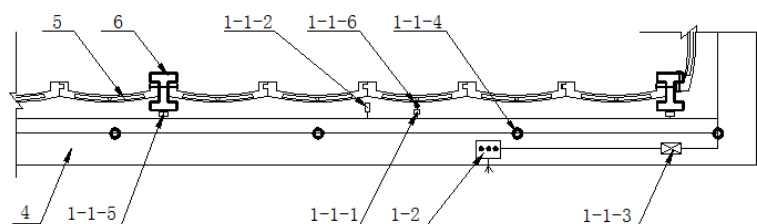


图 4 矩形基坑阵列式电流场法渗漏检测传感器布设示意图

6.3.4 现场检测时应符合下列规定：

- a) 供电电压宜为 80V~300V，供电周期宜为 10s~60s，宜根据现场方法试验确定最佳供电电压和供电周期。
- b) 检测前应对传感器进行极差测量，并记录保存，供后续极差校正使用。
- c) 传感器布置完毕后，应通过坑内直接供电方式检查传感器的接地情况。如发现接地不良传感器应及时进行调整。
- d) 检测时应随时记录基坑内部的施工活动，如发现干扰过大应停止采集，避开干扰期后再行采集数据。

6.3.5 检测过程中应做好现场记录，记录内容宜符合下列要求，并应填写本标准附录 A《隧道与地下空间支护结构阵列式电流场法渗漏检测记录表》：

- a) 工程名称、地点、坑内外降水井水位深度（如有）等信息。

- b) 测线编号、传感器阵列排布、供电深度及其对应的数据文件编号、供电电压等信息。
- c) 绘制测线布置示意图，并标明方位、地墙编号和接缝位置、供电孔位置及编号、测线的起始点等信息。
- a) 记录测线附近可能产生杂散电流的电器设备工作情况。。

6.3.6 质量检查和评价应符合下列规定：

- a) 检查应采用重复观测的方式进行，复测工作应与原检测工作保持相同的观测方式，且传感器位置不应挪动。
- b) 检查点应随机抽取，分布均匀，复测工作量不小于总工作量的 5%。
- c) 复测检查精度应满足公式（6.3.6-1）的要求；按公式（6.3.6-2）计算的均方相对误差 M 不得大于 5.0%。

$$2 \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \times 100\% \leq \sqrt{2n} \times 5\% \quad (6.3.6-1)$$

式中： U ——测量传感器观测电位值；

n ——重复观测次数（不包括剔除的超差数据的次数）。

$$M = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n U_i^2} \quad (6.3.6-2)$$

$$U_i = \frac{\frac{\Delta V}{I_i} - \frac{\Delta V'}{I_i'}}{\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta V}{I_i} + \frac{\Delta V'}{I_i'} \right)} \quad (6.3.6-3)$$

式中： n ——参加统计的检查点数；

$\Delta V/I$ ——观测电位差（mV）与供电电流（mA）之比。

6.4 资料处理与解释

6.4.1 数据处理应符合下列规定：

- a) 数据处理前，应对测量传感器的极差进行校正。
- b) 应根据现场记录对测量数据的奇点进行剔除。
- c) 根据测量传感器的坐标，对测量值进行插值，插值网格间距不宜大于最小传感器间距，根据插值结果生成电场平面分布等值线图。
- d) 电场平面成果图上宜同步标注传感器点位、围护结构位置、坑内降水井位置以及其他干扰物位置等。

6.4.2 渗漏异常解释应结合水文地质资料、基坑围护结构设计、施工资料进行综合判断，渗漏异常判断应考虑下列因素：

- a) 应具有扩散性，渗漏异常具有从围护结构壁向远处扩散的特征。
- b) 应具有跟随性，渗漏异常的形态及幅值会随供电深度的变化而变化。
- c) 应具有相关性，渗漏异常与地层情况紧密相关。

6.4.3 渗漏隐患的严重程度可根据异常电场值的相对大小，按下列标准判定：

- a) 当渗漏异常位置处的电场峰值大于同测区测量平均值的 10 倍及以上时，可判定该渗漏异常为漏点。
- b) 当渗漏异常位置处的电场峰值介于同测区测量平均值的 3 倍~10 倍时，可判定该渗漏异常为渗点。

7 电阻率层析成像法

7.1 一般规定

7.1.1 当基坑工程的待测现场因被施工机械占据、基坑规模较小等不具备阵列式电流场法实施条件时，宜采用电阻率层析成像法实施渗漏检测。

7.1.2 当采用电阻率层析成像法时，基坑内外应有一定水头差，并宜在基坑外侧布设低阻离子溶液注入孔，检测可在基坑围护结构内外两侧实施。

7.1.3 电阻率层析成像法可在基坑开挖前或开挖过程中任一阶段实施。

7.2 仪器设备要求

7.2.1 仪器设备应包括供电系统、接收系统和采集电缆。

7.2.2 供电系统输出功率不宜小于 600W，且输出电流不宜小于 2A，输出电压不宜小于 300V。

7.2.3 接收系统主要技术指标应符合下列规定要求：

- a) 接收通道数不应少于 60 道，且具有多通道同步采集功能。
- b) 供电端、测量端插头和外壳之间的绝缘电阻应大于 $100\text{M}\Omega/500\text{V}$ 。
- c) 极化补偿范围不应大于 $\pm 500\text{mV}$ 。
- d) 输入阻抗应大于 $40\text{M}\Omega$ 。
- e) 对 50Hz 工频干扰压制不应小于 60dB。

7.2.4 采集电缆应符合下列规定：

- a) 需采用具备较强防水性能与抗拉性能的专用采集电缆。
- b) 电缆上的信号发射与接收电极应等间距分布，间距以 $0.5\text{m}\sim 2\text{m}$ 为宜。
- c) 信号发射与接收电极应具备良好的导电性和防腐蚀功能。

7.3 方法技术

7.3.1 现场检测孔布设应符合下列规定：

- a) 检测孔应平行于基坑内侧或外侧布设，相邻孔连线距围护结构边界宜为 $0.5\text{m}\sim 3\text{m}$ 。
- b) 检测孔应避开围护结构两侧的加固体布置。
- c) 检测孔之间的平面间距宜为 $5\text{m}\sim 15\text{m}$ ，宜根据现场方法试验确定最优的检测孔布设间距。
- d) 孔深应大于最大检测深度 1 倍以上，且不小于检测孔间距的 2 倍。
- e) 检测孔内宜放置塑料管或其他绝缘套管，管径不宜小于 50mm。套管壁应均匀布设孔距 $5\text{cm}\sim 10\text{cm}$ 的导电孔，套管长度应与孔深一致。
- f) 在检测孔连线的外侧地表应同时布设一个电位参考电极。
- g) 检测孔垂直度应不大于 2%。
- h) 检测孔布设形式宜按照图 5、图 6 所示。

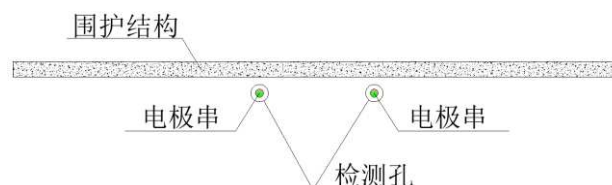


图 5 电阻率层析成像法渗漏检测孔布设平面示意图

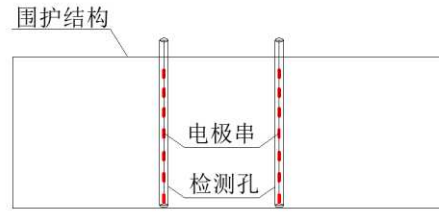


图6 电阻率层析成像法渗漏检测孔布设剖面示意图

7.3.2 现场检测时应符合下列规定：

- 检测开始前，应首先开展仪器参数试验，供电电压宜选择 60V~400V，采集周期宜选择 1s~5s。
- 应检查各个电极的接地电阻。
- 现场观测时，应精确测量测孔位置。
- 应在基坑降水前、后分别开展电阻率层析成像法检测，并进行检测结果对比。

7.3.3 检测过程中应做好现场记录，记录内容宜符合下列要求，并应填写本标准附录 B《隧道与地下空间支护结构电阻率层析成像法检测记录表》：

- 记录剖面编号、深度和宽度、供电深度及其对应的数据文件编号、供电电压、供电周期等信息。
- 记录现场测孔布设方式，并标明剖面内的地墙编号和接缝位置。
- 记录现场检测中可能产生杂散电流的电器设备工作情况，如电焊作业、高压交流电缆等各类干扰因素等情况。
- 内容完整，数据正确，字迹清晰，不应涂改、转抄。

7.3.4 质量检查和评价应符合下列规定：

- 根据检测工区情况，选择测量剖面总数的 5%且不少于 1 个剖面进行重复观测，且电位的重复观测相对误差不应大于 3.5%。
- 采集过程中，应随时监视分析电位数值，如单个剖面的不合格数据超过总检测数据的 5%时，应重新检测。
- 当确认测区周边存在较明显干扰源时，应适当降低数据的阈值，但总体坏点个数应不大于 20%

7.4 资料处理与解释

7.4.1 数据处理和反演应符合下列规定：

- 数据处理前，应对照现场观测记录，对测量数据进行坏点剔除及滤波处理。
- 反演过程中初始电阻率值设定应在地下土体电性参数合理范围内。
- 宜采用测区钻孔资料或勘察报告等物性资料进行物性约束反演计算。
- 反演最大迭代次数宜设置为 10 次~30 次。
- 成像的影像宜采用伪彩色色块、等值线方式。同一工区应采用相同的色谱、色标。
- 成果图应包括地下及地表的电极分布位置情况、井间电阻率剖面图、井间探测目标体空间分布图，且降水前、后的同一剖面应绘制于同一张图件

7.4.2 数据分析及异常判断应符合下列规定：

- 应对比降水前、后同一位置的两次成果剖面图，若同一位置在降水后出现低阻异常，则表明该位置所对应的围护结构可能存在渗漏异常。
- 根据初步判断的渗漏异常位置，综合分析施工记录与工程地质、水文地质情况，并排除各种干扰因素引起的异常，最终定性判断渗漏点的位置和范围

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/756230202201010201>