

# 上海市勘察设计行业协会团体标准

X/XX—2022

## 基坑围护结构渗漏检测技术标准

Technical standard for leakage detection of foundation

pit retaining structure

(征求意见稿)

2022年XX月XX日发布

2022年XX月XX日实施

上海市勘察设计行业协会 发布

上海市勘察设计行业协会团体标准

## 基坑围护结构渗漏检测技术标准

Technical standard for leakage detection of foundation  
pit retaining structure

X/XX-2022

主编单位：上海勘察设计研究院（集团）有限公司

批准部门：上海市勘察设计行业协会

2022 上海

## 自我声明公开承诺书

本协会所提交的以下社会团体标准：《基坑围护结构渗漏检测技术标准》  
X/XX-2022

现已组织审定通过，并于 2022 年 X 月 XX 日由我协会批准发布，本标准从 2022 年 X 月 XX 日起正式执行。

本协会所提交的标准内容及其材料真实有效。该标准内容符合国家相应法律法规要求和相关产业政策规定，并达到国家、行业和地方等有关强制性标准要求以及自我声明公开承诺的明示要求。

本标准已有成员企业自我声明公开承诺执行。

上海市勘察设计行业协会  
(盖章)

年 月 日

## 前言

本标准根据“上海市勘察设计行业协会团体标准管理办法（试行）”和“上海市勘察设计行业协会团体标准编制工作细则”的要求，由上海勘察设计研究院（集团）有限公司会同有关单位，在全面分析总结基坑围护结构渗漏检测技术的研究成果和实践经验的基础上，制定了本标准。

本标准共分 6 章：1 总则；2 术语、符号；3 基本规定；4 阵列式电流场法；5 电阻率层析成像法；6 成果报告。

上海勘察设计研究院（集团）有限公司承诺对《基坑围护结构渗漏检测技术标准》中的内容、数据的真实性和有效性负责，并承诺所提供的材料真实。

本标准涉及到相关的专利使用，本标准的发布机构对专利的真实性、有效性和范围无任何立场。该专利持有人已向本标准的发布机构保证，愿意同任何申请人在合理无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：上海勘察设计研究院（集团）有限公司

地址：上海市杨浦区水丰路 38 号

邮箱：sgidi@sgidi.com

本标准由上海市勘察设计行业协会负责管理，由上海勘察设计研究院（集团）有限公司负责具体内容解释，各有关单位在执行过程中若有修改意见或建议，请反馈至上海勘察设计研究院（集团）有限公司。

地址：上海市水丰路 38 号 邮政编码：200093

电话：021-65059968 邮箱：sgidi@sgidi.com

主编单位：上海勘察设计研究院（集团）有限公司

（排名不分先后）

参编单位：略

主要起草人：略

主要审查人：略

# 目 次

<b>1 总则</b> .....	<b>1</b>
<b>2 术语、符号</b> .....	<b>2</b>
2.1 术语 .....	2
2.2 符号 .....	3
<b>3 基本规定</b> .....	<b>3</b>
<b>4 阵列式电流场法</b> .....	<b>6</b>
4.1 一般规定 .....	6
4.2 仪器设备要求 .....	7
4.3 方法技术 .....	8
4.4 资料处理与解释 .....	12
<b>5 电阻率层析成像法</b> .....	<b>14</b>
5.1 一般规定 .....	14
5.2 仪器设备要求 .....	15
5.3 方法技术 .....	16
5.4 资料处理与解释 .....	18
<b>6 成果报告</b> .....	<b>19</b>
6.1 一般规定 .....	19
6.2 报告书的编制 .....	19
6.3 成果验收与提交 .....	20
<b>附录 A 基坑围护结构阵列式电流场法渗漏检测记录表</b> .....	<b>21</b>
<b>附录 B 基坑围护结构渗漏检测成果图</b> .....	<b>22</b>
<b>附录 C 基坑围护结构电阻率层析成像法渗漏检测记录表</b> .....	<b>23</b>
<b>本标准用词用语说明</b> .....	<b>24</b>
<b>引用标准名录</b> .....	<b>25</b>

# 1 总则

1.0.1 为规范和统一上海市基坑围护结构渗漏检测的技术要求，保证检测成果质量，发挥渗漏检测技术在基坑工程施工安全保障中的作用，制定本标准。

**【条文说明】**1.0.1 本条阐明了制定本标准的目的。随着上海市地下空间建设快速向纵深发展，对地下工程围护体设计、施工技术带来了极大的挑战，重大基坑事故屡见不鲜，其中因基坑围护结构渗漏引发的事故为最主要原因，造成巨大的经济损失和不良的社会影响。因此如何在基坑开挖前查明基坑围护结构是否存在渗漏隐患，并在开挖前采取必要、有效的提前加固措施，避免开挖时因围护结构渗漏产生的各类风险，已成为行业内一个急需解决的难题。随着基坑围护结构渗漏检测技术解决工程问题的能力不断提高，其在城市基坑工程建设与管理中发挥着越来越重要的作用，应用范围不断拓展，并取得了明显的效果。目前基坑围护结构渗漏检测技术在上海轨道交通、市政工程、大型商业综合体、变电站、住宅、精密科学工程、管道工程、医疗卫生、环保工程等工程建设领域已发挥了重要作用，而上海目前尚未有一套系统、全面的基坑围护结构渗漏检测技术标准对相关工作加以指导。因此，为了规范、统一现有基坑围护结构渗漏检测技术要求，推进基坑围护结构渗漏检测技术的合理使用，保证检测质量，提高经济效益，保证生产和人身财产安全，特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于上海地区基坑围护结构渗漏检测工作。渗漏检测应根据检测目的、现场条件，采用适用的检测方法与技术，并结合地质、施工等相关资料进行综合分析。

**【条文说明】**1.0.2 本条规定了本标准的适用范围。全国其它地区的基坑围护结构渗漏检测工作可参照本标准。

1.0.3 基坑围护结构渗漏检测工作除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的要求。

**【条文说明】**1.0.3 本标准是本市基坑围护结构渗漏检测的地方专业技术标准，与岩土工程设计、勘察、水文地质、质量检测、工程测量等工作密切相关，因此在实际工作中会涉及到相关的国家、行业及本市的其它专业技术标准等。所以，本条明确规定本市基坑围护结构渗漏隐患检测工作除应符合本标准外，尚应符合国家、行业及本市现行有关强制性标准。

## 2 术语、符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 基坑围护结构 Foundation pit retaining structure

基坑围护结构主要承受基坑开挖卸荷所产生的水压力和土压力,并将此压力传递到支撑,是稳定基坑的一种施工挡墙结构。

【条文说明】2.1.1 本条对基坑围护结构进行了定义,本标准所适用的基坑围护结构形式包含地下连续墙、灌注桩、工法桩、止水帷幕、沉井等。

#### 2.1.2 渗漏检测 Leakage detection

利用工程物探方法来检测与评定围护结构渗漏隐患位置及严重程度的工作。

#### 2.1.3 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。

#### 2.1.4 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。

#### 2.1.5 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。

#### 2.1.6 渗点 Seepage

坑外地下水进入基坑内部在隐患部位的表现特征之一,程度较轻,一般表现为潮湿、湿渍、缓渗等。

#### 2.1.7 漏点 Leakage

坑外地下水进入基坑内部在隐患部位的表现特征之一,程度较重,表现为线流、涌水、涌沙、突涌等。

#### 2.1.8 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。

#### 2.1.9 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,其中输入电流的一极叫阳极或正极,导出电流的一极叫阴极或负极。

## 2.2 符号

2.2.1 阵列式电流场法使用的符号应符合下列规定：

$\Delta V$  ——观测电位差；

$I$  ——供电电流强度；

$H$  ——探测对象的埋深；

$\rho_s$  ——视电阻率；

$\delta$  ——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。

2.2.2 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；

$\rho_s$  ——视电阻率；

$n$  ——观测点数。

【条文说明】本标准以章节为单元独立定义了不同物探方法中的常用符号，同一符号在不同章节中可能代表不同含义。

## 3 基本规定

3.0.1 基坑围护结构渗漏检测技术可用于地下连续墙、灌注桩、工法桩、止水帷幕、沉井等各类围护结构的渗漏隐患检测与评估。

3.0.2 应根据基坑渗漏检测评定等级开展渗漏检测。评定等级为特级和一级的基坑应开展围护结构渗漏检测工作，评定等级为二级和三级宜开展围护结构渗漏检测工作。

表 3.0.2 基坑渗漏检测等级评定

基坑工程安全等级	周边环境等级	地基复杂程度	渗漏检测评定等级	检测必要性
一级	特级	复杂~中等	特级	应
一级~二级	特级~一般	复杂~中等	一级	应



二级~三级	一级~二级	中等~简单	二级	宜
三级	三级	简单	三级	宜

**【条文说明】** 3.0.2 基坑安全等级、周边环境等级以及地基复杂程度参考上海市标准《基坑工程施工监测标准》（DG/TJ08-2001-2016）表 3.2.2、表 3.2.3 和表 3.2.4。综合前述三项等级指标，对具体基坑工程渗漏检测必要性可按表 3.0.2 分为四级，并开展必要的检测工作。

3.0.3 开展基坑渗漏检测工作，应满足下列前提条件：

- 1 基坑围护结构已施工完毕；
- 2 基坑尺寸应具有一定规模，且具备检测工作开展需要的场地空间；
- 3 基坑内侧应不存在明显高电阻屏蔽层，且检测面相对平整。

**【条文说明】** 3.0.3 本条明确了基坑渗漏检测应用的 3 个基本条件，其中第 1 条是基坑渗漏检测的前提条件，当基坑围护结构施工完毕后，通过围护结构将基坑内外隔离为相对独立的物理空间，为电流场建立创造边界条件，从而通过边界条件突变点获取渗漏异常信息；第 2 条说明了被检测的目标基坑应具有一定规模，以满足正常检测电流场建立的需要；同时由于每种检测方法均需要在现场布置测线或测孔开展检测工作，因此检测工作现场应具备必要的作业空间和条件，能够满足检测工作的需要；第 3 条也是基坑渗漏检测的前提条件之一，由于基坑渗漏检测采集传感器需布置于导电良好的土层中接收电信号，因此基坑渗漏检测工作开始前应对基坑内侧存在的明显高电阻屏蔽层（混凝土路面、大块杂填物等）进行清理，而检测面相对平整是为了便于传感器布置，同时保证采集数据的一致性。

3.0.4 开展基坑渗漏检测前，宜搜集下列工程相关资料：

- 1 基坑周边地下管线、地下障碍物资料；
- 2 基坑工程勘察、设计、施工、降水等资料；
- 3 基坑工程现有控制测量资料和地形图。

**【条文说明】** 3.0.4 本条规定基坑渗漏检测前资料调绘的内容。包括搜集基坑周边已有地下管线、地下障碍物资料，基坑工程勘察、设计、施工、降水等资料，以及现有的控制测量资料和地形图，并进行分类、整理，同时应对搜集资料的适用性和完整性进行分析。

3.0.5 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，方案宜包含但不限于下列内容：

- 1 检测目的、要求、范围等；
- 2 测区概况、地质与地球物理特征；
- 3 检测依据；
- 4 检测方法原理、现场工作布置、工作量估算等；
- 5 仪器、设备与人员安排；
- 6 工作进度计划；
- 7 项目实施的安全、质量与环境保证措施；
- 8 需要沟通与配合事项；
- 9 拟提交的成果资料。

**【条文说明】**3.0.5 本条规定了基坑渗漏检测工作开展前应编制工作方案及其内容。工作方案宜包括概述、收集资料情况、引用的文件、拟提交成果的技术指标，所实施项目的技术要求，施工组织与进度安排等。对于小型检测项目，工作方案可适当简化。

3.0.6 检测工作正式开展前宜在现场开展方法试验。

**【条文说明】**3.0.6 本条规定了基坑渗漏检测工作前开展方法试验的要求。在不同环境、地质及物性条件下，各种渗漏检测方法的技术参数均具有一定范围，选择正确技术参数是渗漏检测成功的前提，因此工作前宜到现场进行方法试验，确定合适的技术参数。条件具备时，方法试验宜选在有资料且有代表性的地段开展，有助于验证所选择渗漏检测方法技术参数的合理性。

3.0.7 渗漏检测质量检查工作应符合下列规定：

- 1 质量检查可选择重复观测、系统检查等方法；
- 2 质量检查不符合要求的数据应重新采集。

**【条文说明】**3.0.7 渗漏检测的质量检查主要是对检测数据的审查，确定其与设定限差的符合性，质量检查不符合要求的数据应重新采集。

3.0.8 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。

3.0.9 检测工作完成后，宜根据渗漏隐患处理的结果，持续跟进基坑开挖进程，必要时再次进行检测；同时，应做好检测结果与开挖实证的对比资料收集工作。

【条文说明】3.0.9 渗漏隐患与基坑开挖深度密切相关，开挖越深，围护结构会发生变形，坑内外水头差越大，原来是小的隐患会发展变大。因此，基坑渗漏隐患需进行动态检测。如基坑开挖较深（25米以上）或程度较为严重的渗漏隐患区经加固以后，宜再次开展相应的渗漏检测工作，以评价加固处理效果。同时，宜积极跟进基坑开挖过程，收集开挖暴露后基坑渗漏检测结果的实证数据，对比分析进一步提升优化检测方法。

## 4 阵列式电流场法

### 4.1 一般规定

4.1.1 开展阵列式电流场法检测时，基坑规模应满足以下条件：

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

【条文说明】4.1.1 由于阵列式电流场法在基坑内外建立的电流场需要满足一定边界条件，同时需要布置传感器阵列对电流场的平面特征进行完整的采集记录，为了保证检测结果的可靠性，在尺寸过小的基坑中不推荐采用该方法。

4.1.2 当基坑开挖深度大于 30m 时，宜分层进行检测，每次检测后的开挖深度间隔不宜大于 15m。

【条文说明】4.1.2 由于基坑开挖过程中，随着开挖的推进，围护结构应力随时发生着变化，围护结构本身会出现变形，伴随降水引起的基坑内外水头差增大，围护结构可能会出现新的渗漏隐患点或原有渗漏隐患点程度加重。因此，当基坑开挖深度大于 30m 时，为了发现新增的渗漏隐患点和原有渗漏隐患点的变化情况，防止开挖造成的渗漏风险，宜采用分层检测的方式，且相邻两次检测的开挖深度不宜大于 15m。

4.1.3 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。

【条文说明】4.1.3 由于该方法是对检测面以下的基坑围护结构渗漏隐患进行检测，因此可在想了解开挖面以下围护结构是否存在隐患的任何一个阶段实施，同时为了防止渗漏带来的开挖风险，建议在首层土开挖前进行第一次检测，后续开挖过程中可根据需要再次开展检测或复测。

## 4.2 仪器设备要求

4.2.1 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。

**【条文说明】**4.2.1 为了在基坑内外的地层中建立稳定电流场，并对电流场进行观测与接收，形成后续的系统分析数据，设备应包括能建立地下稳定电流场的供电系统，能对电流场信号进行接收的传感器以及能对供电和传感器接收进行系统控制的接收系统。

4.2.2 供电系统主要技术指标应符合以下规定：

1 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。

2 供电电极宜采用导电性好、坚固耐用的铜电极。

**【条文说明】**4.2.2 为了建立持续稳定的电流场，获取稳定可靠的电流场信号，供电系统输出的功率不宜小于 400W，同时电流不宜小于 2A、电压不宜小于 80V 时，利于压制环境内杂散电流场而取得稳定可靠的有效信号；为减小供电损失，保证建立稳定的地下电场，与地层直接连通建立电场的供电电极宜采用铜棒等导电性好的材料。

4.2.3 接收系统主要技术指标应符合以下规定：

1 接收通道数不应少于 60 道，且具有多通道同步采集功能；

2 电位测量允许误差不应大于 1%，分辨率应优于 0.1mV；

3 电流测量允许误差不应大于 1%，分辨率应优于 0.1mA；

4 极化补偿范围应满足  $\pm 500\text{mV}$ ；

5 对 50Hz 工频干扰压制不应小于 60dB。

**【条文说明】**4.2.3 阵列式电流场法检测渗漏隐患时，为了确保获取不同深度隐患引起的异常场，需要在检测面上按一定间距布置阵列式排布的传感器，用于接收电流场，根据理论研究成果及工程实践经验，为了一次检测时能取得完整的电流场信息，提高不同位置传感器的采集信号的一致性，缩短现场采集时间，用于接收电流场信号的接收系统通道数应不少于 60 道，同时应该具有多通道同步采集功能，以保证数据覆盖、一致性及采集效率。

4.2.4 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。

**【条文说明】**4.2.4 通常情况下，基坑围护结构两侧建立的电流场比较微弱，而

围护结构渗漏隐患引起的电流场异常信号也非常微弱,为了采集到可靠稳定的电场信号,应避免由于接收信号的传感器存在极化电位差而使有效信号被淹没。因此宜采用固体不极化电极对电流场信号进行采集,且传感器的电化应稳定,以保证不同时段,不同位置采集的数据的一致性,同时为了接收到可靠的微弱渗漏异常信号,各传感器间的极差应小于 1mV。

### 4.3 方法技术

#### 4.3.1 检测供电孔布置应符合以下规定:

- 1 供电孔宜布置于基坑围护结构一侧,并应避免围护结构两侧的加固体,其距围护结构边界距离宜为 0.5~5m;
- 2 供电孔宜采用钻机成孔布置,孔深不宜大于地墙深度;
- 3 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它绝缘材料,套管壁应均匀布设导电孔,孔距宜为 2~5cm;
- 4 检测时供电孔内应充满水。

【条文说明】4.3.1 1 由于很多围护结构两侧都进行了加固,加固施工对土层产生了扰动,同时加固体通常也具有一定的高阻屏蔽作用,因此,为了保证电场沿着相对低阻的原状土层传播并更大范围的覆盖各围护结构,供电孔位置应避免开加固体。

3 为了防止供电孔塌孔,应采用绝缘套管对钻孔进行护壁,同时为了保证电流正常传播,需在套管的管壁上布置导流孔;

#### 4.3.2 供电电极的点位布置应符合以下规定:

- 1 供电正极可在供电孔内上下移动,供电电极间隔宜为 2~5m;
- 2 供电正极深度不宜小于目标检测深度 5m;
- 3 供电正极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;
- 4 供电负极相对于供电孔,应布置于围护结构另一侧,且与采集传感器的最近距离不宜小于 20m。

【条文说明】4.3.2 1 为了获取渗漏隐患的深度分布情况,宜采取等间距方式在深度方向进行多深度供电,综合考虑渗漏隐患检测的竖向分辨率及检测效率,深度间隔宜选取 2~5m。

2 如某地墙的目标检测深度为 15m，那么供电正极深度不宜小于 20m，以保证获取目标深度附近足够的电流场信息。

3 当供电位置距离采集电极过大时，电流场会变弱，根据理论计算和工程实践经验，供电正极在地面的投影点距采集传感器的最远距离不宜大于 50m，否则难以保证采集到信号的有效性。

4 为了减小供电负极对观测电场的影响，供电负极应远离观测测线，一般与采集传感器的最近距离不宜小于 20m。

#### 4.3.3 采集传感器布置应符合以下规定：

1 采集传感器相对于供电孔，应布置于围护结构另一侧；

2 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；

3 传感器宜按阵列排布于基坑一侧，相邻传感器间距宜为 0.5~2m；

4 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；

5 每个传感器应固定编号，其位置宜进行精确测量定位。

**【条文说明】**4.3.3 2 为了一次检测时能取得完整的电流场信息，提高不同位置传感器的采集信号的一致性，缩短现场采集时间，电场采集时，阵列式传感器的数量不宜少于 60 个。同时传感器布置时，要尽量保证所有传感器处于同一个接地状态，应避免传感器入土不实、与土壤接触不紧密等接地不良导致测量误差。

3 为了较完整反映不同深度、不同尺度的渗漏隐患引起的异常场形态，根据实际检测经验，并综合考虑检测效率和数据质量，规定了传感器间距。

4 当待测围护结构较长，需要分段连续检测时，为保证检测数据的连续性，同时便于各段数据的相互校核，应保证相邻测线之间有不少于 3 个传感器的重合段，并通过重合段的数据初步评价整体数据的一致性和可靠性。

5 由于采用的传感器数量多，为了便于检测前的传感器接地情况检查以及现场记录，宜对使用的传感器进行编号，并按编号布置使用。同时，准确的传感器位置有助于电流场信号的平面分布的准确刻画，因此有条件的情况下应尽量对传感器的位置进行精确测量。

#### 4.3.4 现场检测时应符合以下规定：

1 供电电压宜为 80~300 伏，供电周期宜为 10~60 秒，宜根据现场方法试验

确定最佳供电电压和供电周期。

2 检测前应对使用的传感器进行极差测量，并记录保存，供后续极差校正使用。

3 传感器布置完毕后，应通过在坑内检测面供电的方式检查传感器的接地情况，对接地不良的传感器进行调整。

4 应随时关注基坑内部对检测工作可能产生干扰的施工活动，并做好现场记录。

**【条文说明】4.3.4 1** 合适的供电电压和供电周期使电流场稳定性更高，且能对离散电场干扰起到一定的压制作用。各不同场地的导电性和离散电流等干扰情况往往不尽相同，因此应根据检测场地的方式试验来确定最佳的供电电压和供电周期，且相应取值应满足条款给定的范围。

2 由于基坑围护结构渗漏引起的电场异常值可能比较微弱，为了防止传感器本身存在的极差干扰渗漏异常判断，检测开始前，应对投入检测的传感器之间本身存在的极差进行测量记录，以便后续数据处理时校正检测系统本身存在的误差，取得真实反映地墙渗漏引起的异常。

3 采用不极化电极传感器进行数据采集时，由于通常不能直接通过通电的方式进行接地电阻检查，为了确保传感器接地良好及一致性，应采用坑内检测面供电，同时记录供电点周围的电场值，并通过分析变化趋势与值的范围对接地情况进行判断，对于接地不好的传感器进行重新布置，改善接地条件。

4 检测时，电焊施工、电器设备的接地等均有可能产生杂散电流等干扰电场，为了后续处理分析时有针对性的压制干扰，提高解释结果的可靠性。

**4.3.5** 检测过程中应做好现场记录，记录内容宜符合下列要求，并应填写附录 A 《基坑围护结构阵列式电流场法渗漏检测记录表》：

1 工程名称、地点、坑内外降水井水位深度（如有）等信息；

2 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；

3 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；

4 记录测线附近可能产生杂散电流的电器设备工作情况。

**【条文说明】4.3.5** 基坑渗漏检测过程应对观测系统、工作环境、干扰因素、基坑施工工况、参数选择等进行记录，为检测数据后期处理分析提供依据与参考。

1 由于降水会显著影响土层中的含水量,显著改变基坑内部地层的电阻率等物性参数,从而影响电场观测。因此,如检测时基坑已实施抽降水工作,应通过观测坑内外的降水井内的水位深度来了解抽降水情况,为最终的成果综合分析提供基础资料。

2 传感器阵列排布应记录排列覆盖的长度和宽度,当进行多个深度进行检测时,应记录好每个检测深度与对应的检测数据名称。

3 测线如经过拐角,还应标明拐角处传感器编号;如因障碍物绕行,应标明受影响的传感器编号。

4 如有电焊作业、高压交流电缆等干扰情况,也应做好记录,为后续干扰排查提供基础资料。

#### 4.3.6 质量检查和评价应符合以下规定:

1 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;

2 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%;

3 复测检查精度应满足公式(4.3.6-1)的要求;按公式(4.3.6-2)计算的均方相对误差  $M_T$  不得大于 5.0%。

$$2 \left[ \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \right] \times 100\% \leq \sqrt{2n} \times 5\% \quad (4.3.6-1)$$

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)。

$$M_T = \sqrt{\frac{1}{2n_i} \sum_{i=1}^n U_i^2} \quad (4.3.6-2)$$

$$U_i = \frac{\frac{\Delta V}{I_i} - \frac{\Delta V'}{I_i'}}{\frac{1}{2} \left( \frac{\Delta V}{I_i} + \frac{\Delta V'}{I_i'} \right)} \quad (4.3.6-3)$$

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。

**【条文说明】**4.3.6 为了保证检测数据的可靠性,应对测量电场值进行 5%比例的复测,通过复测值与原始测量值计算均方相对误差,从而评价检测精度,同时为了保证复测的严密性,防止由于传感器的二次布设引起的接地条件变化而造成的误差,复测与原检测工作应保持相同观测方式,并在传感器位置不移动的情况下实施复测。



## 4.4 资料处理与解释

### 4.4.1 数据处理应符合以下规定：

- 1 数据处理前，应对测量传感器极差进行校正；
- 2 应根据现场记录对测量数据的奇点进行剔除；
- 3 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；
- 4 电场平面分布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它干扰物位置等。

【条文说明】4.4.1 本条规定了阵列式电流场法的数据处理要求。

1 如果采用不极化电极采集数据，应在采集前对电极的极差进行测量记录，并在数据处理时首先根据这个测量记录对电极本身存在的电极差进行校正，以消除极差带来的干扰。

2 在实际检测中，由于城市中工业离散电流弥漫，现场工况复杂，各种施工器械产生的各类电磁干扰，均会导致检测数据中出现各类异常点，统称为“奇点”，经总结，可分为两大类，其特点如下：

(1) 坏点或飞点：由传感器或者采集电缆接头异常导致，其幅值极大，一般为 500~2000mV，往往以单个数据点零星出现为主，不随供电深度变化；

(2) 干扰点：由邻近区域的带电作业或地表局部金属物体等导致，其特征是幅值较大，一般为 10~500mV，有时产生负场值情况，往往以 3~5 个干扰点小规模出现，不随供电深度变化。

奇点可按以下方式进行处理：首先采用统计算法进行坏点的粗步滤除，其次对未去除的异常点采用人工交互法进行精细去除，从而在尽量保证原始检测数据特征的同时，最大程度改善数据质量。对于第一步的统计滤波法，首先通过将测区不同测线的数据按照不同的数量级进行分类统计，据此确定出背景数据（一般而言，测线内 50% 以上的数据均为背景数据）的大小区间及区间平均值。

4 由于电流场值的大小及形态与围护结构的形式、降水井、设备接地等干扰物分布等存在密切联系，为了提高后续数据解释的可靠性，电场平面分布成果图宜包括上述因素，作为分析解释的参考依据。

### 4.4.2 渗漏异常解释应结合水文地质资料、基坑围护结构的设计、施工资料进行

综合判断，渗漏异常判断应符合以下规定：

1 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，如不符合则可能是虚假异常；

2 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，否则应考虑是否为干扰异常；

3 应具有相关性，渗漏异常与地层情况紧密相关，一般常在砂性或粉砂地层中出现，如在淤泥质土层中出现则可能是虚假异常。

**【条文说明】4.4.2** 阵列式电流场法属于间接检测方法，其检测结果存在一定的多解性。因此对于检测发现的异常，应综合测区水文地质资料以及基坑围护结构设计、施工、降水等多源数据进行全面分析解释，才能进一步减少多解性，提高解释的精准度。对于异常的平面及深度位置的判断，基本原则是根据异常值的大小及形态进行综合确定，基于数值模拟分析及大量工程实践结果，渗漏异常一般具有以下特征：

1 扩散性，即渗漏异常对应的电场平面形态一般从基坑围护壁向远处扩散，由靠近围护结构的少数传感器扩散至远离围护结构的多数传感器，渗漏异常幅值相应的由大变小，如不符合则可能是虚假异常；

2 跟随性，渗漏异常的形态及幅值一般会随供电深度的变化而变化；如无变化，则应考虑是否为干扰异常；

3 相关性，渗漏异常与地层情况紧密相关，一般常在砂性或粉砂地层中出现，如在淤泥质土中出现则可能是虚假异常。

**4.4.3** 渗漏隐患的严重程度可根据异常电场值的相对大小，按以下标准分为渗点和漏点二个级别：

1 当渗漏异常位置处的电场值大于测区平均值的 10 倍及以上时，可判定该渗漏异常为漏点；

2 当渗漏异常位置处的电场值介于同测区测量平均值的 3 倍至 10 倍时，相应的异常可判定为渗点。

**【条文说明】4.4.3** 本条规定了阵列式电流场法检测的渗漏隐患严重程度分级标准。由于渗漏的严重程度与检测异常值大小存在正相关，为了检测结果能更好的指导后续修复加固等措施的实施，应根据异常值的大小将渗漏隐患分为渗点和漏

点两级。

1 根据大量的工程实践可知，将异常区域内的最大值与测区平均值相除，得到的值大于 10 时，判定异常位置对应的隐患为漏点，表明基坑内外已经出现了明显的水力联系，围护结构在开挖后一般会出现如明显渗漏水流、涌水等情况，一般建议在实施针对性加固处理后再继续开挖。

2 得到的值大于 3 小于等于 10 时，判定异常位置对应的隐患为渗点。表明基坑内外出现了轻微的水力联系，围护结构在开挖后一般会出现如渗水、小规模渗流等情况。

## 5 电阻率层析成像法

### 5.1 一般规定

5.1.1 当检测现场不具备阵列式电流场法实施条件时，可采用电阻率层析成像法。

**【条文说明】**5.1.1 当基坑工程的施工现场因各类器械占据基坑两侧检测面、基坑尺寸较小等不具备阵列式电流场法实施条件时，可采用电阻率层析成像法实施渗漏检测。

5.1.2 检测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进一步增强渗漏特征，检测可在基坑围护结构内外实施。

**【条文说明】**5.1.2 在现场检测时，基坑需提前降水配合，以形成基坑内外的水头差，有利于观测渗漏隐患引起的电阻率异常。同时，为进一步突出渗漏隐患异常，可在基坑的外侧布设低阻离子溶液注入孔，并使离子溶液的注入过程伴随基坑的降水过程，用以增强渗漏产生的异常特征。由于渗漏隐患连通了围护结构的内外两侧土体，因此检测可在围护结构的内侧或者外侧开展。

5.1.3 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。

**【条文说明】**5.1.3 电阻率层析成像法是通过在围护结构单侧或两侧布设若干个观测孔，并基于电流场在同侧相邻两孔之间的地下介质中的传播，对两孔之间的电阻率进行基于层析分析原理的地球物理反演，来获取孔间电阻率的分布规律，进而判断围护结构的渗漏隐患。由于该方法是对开挖面以下的围护结构渗漏隐患进行探测，因此可在基坑开挖前或开挖过程中任一阶段实施。

## 5.2 仪器设备要求

5.2.1 仪器设备应包括供电系统、接收系统和采集电缆。

【条文说明】5.2.1 仪器设备应包括供电系统、接收系统和采集电缆组成，供电系统提供孔间的发射电源，接收系统采集带有地下电阻率信息的电流场信号，采集电缆通过检测钻孔深入地下，主要发射电流以建立孔间的对穿电流场，同时接收携带地层电阻率信息的电流场信号。

5.2.2 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。

【条文说明】5.2.2 为了建立足够的电流场强度，获取稳定可靠的电流场信号，供电系统输出的功率不宜小于 600W，同时当电流小于 2A 或者电压小于 300V 时，电流场信号整体比较微弱，不利于孔间电流对地下介质的穿透以及取得稳定可靠的有效信号。

5.2.3 接收系统主要技术指标应符合以下规定要求：

- 1 接收通道数不应少于 60 道，且具有多通道同步采集功能；
- 2 供电端、测量端插头和外壳之间的绝缘电阻应大于 100MΩ/500V；
- 3 极化补偿范围不应大于±500mV；
- 4 输入阻抗应大于 40MΩ；
- 5 对 50Hz 工频干扰压制不应小于 60dB。

【条文说明】5.2.3 为了确保获取地下不同深度围护结构渗漏隐患引起的异常场，需要在两孔内布设传感器用于接收电流场，根据理论研究及工程实践可知，用于接收电流场信号的接收系统应不少于 60 道，同时应该具有多通道同步采集功能，以保证数据覆盖和采集效率。

5.2.4 采集电缆应符合下列规定：

- 1 需采用具备较强防水性能的专用采集电缆，并具备良好抗拉性；
- 2 电缆上的电极应等间距分布，间距以 0.5~2m 为宜；
- 3 电极应具备良好的导电性和防腐蚀功能。

【条文说明】5.2.4 为了确保获取携带地下不同深度渗漏信息的电流场，采集电缆及其上附的若干电极应位于测孔内的水面以下，因此采集电缆应具备较强防水性能和良好的抗拉性，电极应具备良好的导电性和防腐蚀功能，以保证良好的电

流传导效果。

### 5.3 方法技术

#### 5.3.1 现场检测孔布设应符合以下规定：

- 1 测孔应平行布设于基坑内侧或外侧，其地面投影点距围护结构边界应在 0.5~3m。
- 2 测孔不应布置于围护结构两侧的加固体范围内。
- 3 测孔之间的平面间距不宜小于 5m，也不宜超过 15m，宜根据现场方法试验确定最优的测孔布设间距。
- 4 孔深应大于最大检测深度一倍孔距以上。
- 5 测孔内宜放置塑料管或其他绝缘套管，管径不应小于 50mm。套管壁应均匀布设孔距 5~10cm 的导电孔，套管长度应与孔深一致。
- 6 当基坑开挖较浅时，孔深应大于测孔间距的 2 倍。
- 7 在孔间和两孔连线外侧的地表应同时布设地表测量电极。
- 8 孔内不应有金属套管及其他金属介质，且应有井液。
- 9 钻孔垂直度应不大于 2%。

**【条文说明】**5.3.1 采用电阻率层析成像法对围护结构进行检测时，为了更好地反映围护结构附近的土层电阻率变化情况，供电位置应尽量靠近围护结构。但在工程中，往往围护结构两侧土体已完成了加固，由于加固体通常具有高阻屏蔽作用，为了保证电场具有良好的穿透效果，供电孔位应布置在加固体范围外。

同时，当测孔之间的平面间距过大时，电流场因传播路径过长衰减得过于微弱，不利于获得有效的采集信号；间距过小，则会降低检测效率。根据工程实践，测孔之间的平面间距宜不小于 5m，也宜不超过 15m，并宜根据现场方法试验确定最优的测孔布设间距，以保证采集信号有效性的同时兼顾检测效率。

测孔深度应大于最大检测深度一倍孔距以上，以确保覆盖待测目标体。在进行测孔成孔时，应采用绝缘塑料套管对钻孔进行护壁，管径应大于电极的直径。同时为了保证供电场良好的导入地层内，应在套管的管壁上布置电流可以通过的小孔，孔距应在 5~10cm 之间；同时，测孔内水位不应小于最浅检测深度，以保证检测的有效性。

根据检测方法原理和工程实践经验，当基坑开挖较浅时，孔深应大于测孔间

距的 2 倍，以保证检测的有效性。同时，测孔的孔身垂直度应不大于 2%，以确保剖面中渗漏隐患位置的准确性。

### 5.3.2 现场检测时应符合以下规定：

1 检测开始前，应首先开展仪器参数试验，供电电压宜选择 60~400 伏，采集周期宜选择 1~5 秒；

2 宜检查各个电极的接地情况；

3 现场观测时，应精确测量测孔位置；

4 应在基坑降水前、后分别开展电阻率层析成像法检测，并进行检测成果对比。

**【条文说明】**5.3.2 检测开始前，应首先开展仪器参数试验，不同的测区宜采用适合的供电电压和供电周期等检测参数，并检查各个电极的接地情况，必要时予以调整。

### 5.3.3 检测过程中应做好现场记录，记录内容宜符合下列要求，并应填写附录 C 《基坑围护结构电阻率层析成像法检测记录表》：

1 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；

2 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；

3 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。

**【条文说明】**5.3.3 检测过程应对观测系统、工作环境、干扰因素、基坑施工工况、仪器工作情况等进行记录，为检测数据后期处理分析提供依据与参考。

### 5.3.4 质量检查和评价应符合以下规定：

1 根据检测工区情况，选择 5%且不少于一个剖面进行重复观测。

2 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，应进行重新检测；

3 当确认测区周边存在较明显干扰源时，适当降低数据的阈值。但总体坏点个数应控制在 20%以下。

**【条文说明】**5.3.4 为了保证检测数据的可靠性，应对测量剖面总数进行 5%且不少于一个的复测。同时，单个剖面的不合格数据不应超过总检测数据的 5%，若

测区周边存在明显干扰源，则总体坏点个数不应大于测区内经质量检查的测点总数的 20%。

## 5.4 资料处理与解释

### 5.4.1 数据处理和反演应符合以下规定：

- 1 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；
- 2 反演过程中初始电阻率值的设定应在地下土体电性参数合理范围内；
- 3 应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；
- 4 反演最大迭代次数宜设置为 10 次~30 次；
- 5 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；
- 6 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在同一张图件。

**【条文说明】**5.4.1 由于基坑周边环境比较复杂，在进行数据处理前应首先对照现场观测记录，对测量数据进行坏点剔除及滤波处理，以排除环境因素导致的干扰。

在反演开始前，应首先进行初始电阻率值计算，并将初始值与测区实际电性参数值进行对比，如二者存在较大偏差，应检查反演参数设置，直至与测区实际电性参数接近。测区如有钻孔资料或勘察报告等物性资料，宜对物性参数上下限进行约束后开展反演计算，以使反演结果中电阻率更接近实际地下物性值。反演迭代次数宜设置为 10 次~30 次，以免因反演次数过少而拟合不够，或产生过拟合现象。

同时，为了提高后续数据解释的可靠性，成果图宜包括地下及地表的电极分布位置、降水前后的井间电阻率剖面图和井间探测目标体空间分布图，以作为后续分析解释的参考依据。

### 5.4.2 数据分析及异常判断应符合下列规定：

- 1 应对比降水前、后同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出现渗漏；
- 2 基于上述初步异常，综合各类已知信息，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；

3 在定性解释的基础上，按照如下标准进行渗漏程度分级：对比两次检测的成果剖面图，若同一位置的电阻率大于降水前电阻率的 70%，则判断为无明显异常；若同一位置的电阻率为降水前电阻率的 40%-70%，且异常呈现连续分布，则判断为渗点；若同一位置的电阻率小于降水前电阻率的 40%，且异常连续分布，则可判断为漏点。

【条文说明】5.4.2 对于异常的平面及深度位置的判断，基本原则是根据降水前、后同位置的两次成果剖面图进行综合判定，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隐患。

同时由于渗漏的严重程度与电阻率值大小存在相关性，为了检测结果能更好的指导后续修复加固等措施的实施，应对比两次检测的成果剖面图将渗漏隐患分为渗点和漏点两级。同时根据大量的工程实践可知，若同一位置的电阻率小于降水前电阻率的 40%，且异常呈现连续分布时，判定异常位置对应的隐患为漏点；若为降水前电阻率的 40%-70%，且异常呈现连续分布时，判定异常位置对应的隐患为渗点；若大于降水前电阻率的 70%，则判定为无异常区域。

## 6 成果报告

### 6.1 一般规定

6.1.1 成果报告应内容完整，重点突出，数据真实，结论明确，并提出相应的建议，附图附表等资料齐全。

6.1.2 完成工程的阶段性检测工作后，可根据需要编写中间成果或阶段性成果报告。

### 6.2 报告书的编制

6.2.1 检测成果报告应包括文字、图表和必要的附件。成果文件的文字、术语、符号、计量单位，均应符合国家相关标准的规定。

6.2.2 文字报告应根据检测任务、工程特点、工程地质与水文地质特征、工作方法和技術，经综合分析后加以编制。

6.2.3 检测成果报告应包括下列内容：

1 工程概况，包括项目概况、目的与任务、工作依据、工作范围、工作时间及完成工作量等；



2 地质与地球物理特征,可包括与检测工作有关的水文地质或工程地质条件、地球物理特征;

3 工作方法、原理、技术及质量评价,包括各种方法技术、测量等的工作布置,方法原理简述、现场工作实施、仪器性能及仪器参数选择、数据处理方法与质量检查评价;

4 资料处理与解释分析,包括围护结构渗漏隐患的异常特性分析、定量(性)解释及依据;

5 结论与建议,包括所取得的渗漏隐患检测结论,并根据检测成果提出对基坑后续开挖施工的建议。

6.2.4 成果文件图表宜包括下列图件、图表:

- 1 测线测点分布图;
- 2 不同深度典型电场分布平面等值线图;
- 3 判定的渗漏平面分布图及深度分布图。

**【条文说明】**6.2.4 检测成果应明确围护结构渗漏隐患的平面、深度分布范围,并对渗漏隐患危害程度进行分级。

### 6.3 成果验收与提交

6.3.1 检测成果报告应经校核和审查批准后才能向用户提交,并按照有关规定进行归档。

6.3.2 检测中间成果或阶段性成果报告,经校核后可在现场交付使用,但应说明其使用条件。

**【条文说明】**6.3.2 检测中间成果经校核并经审核人同意后可在现场交付使用。但应注明报告为非最终成果,仅供参考等注意事项。

6.3.3 检测成果报告交付用户后,应配合用户需求实施成果交底工作。

## 附录 A 基坑围护结构阵列式电流场法渗漏检测记录表

工程名称：

测区/基坑位置：

测线编号	检测深度(m)	电极距 (m)	测线长度 (m)	异常情况备注
现场 测线 布置 示意图				
说明				

检测单位：

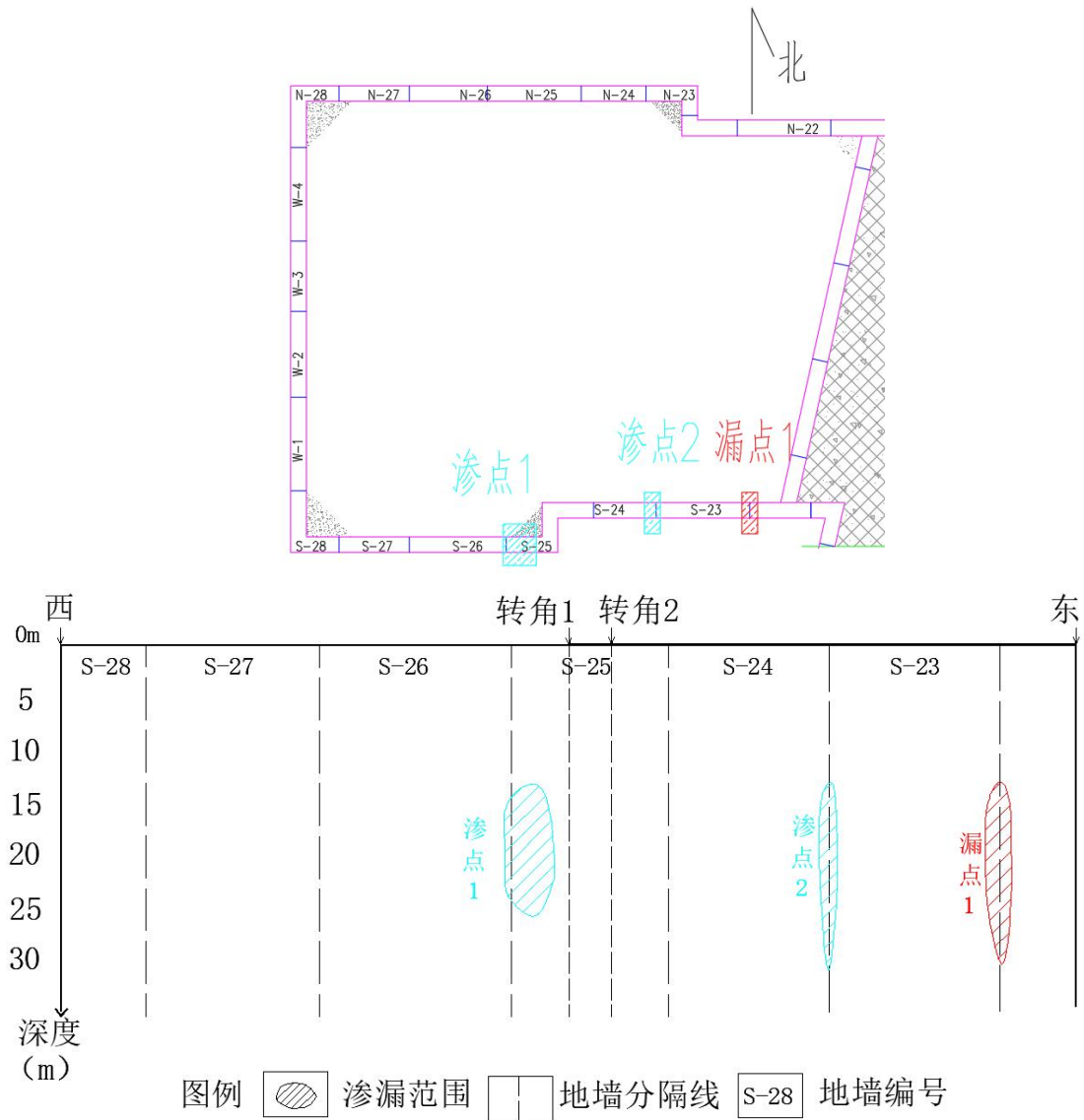
检测人：

记录人：

日期：

第      页 共      页

## 附录 B 基坑围护结构渗漏检测成果图



基坑围护结构渗漏检测成果示意图

(上图为渗漏的平面分布图，下图为渗漏的剖面分布图)

## 附录 C 基坑围护结构电阻率层析成像法检测记录表

工程名称:

测区/基坑位置:

测孔编号		仪器型号	
电 压		周 期	
文件名		电极间距	
使用电极 起止序号		排列序号	
测 线 布 置 平 面 图	记录现场布置方式，标明剖面内的地墙编号与接缝、测孔编号、剖面编号、长度和宽度、供电深度等信息，并记录现场电焊作业、高压交流电缆等各类干扰因素等情况		
测 线 布 置 剖 面 图			

检测单位:

检测人:

记录人:

日 期:

第      页 共      页

## 本标准用词用语说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对于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”或“不得”。

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 条文中指定必须按其他有关标准、规范执行时的写法为“应符合……的规定（或要求）”或“按……执行”。

## 引用标准名录

国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB5007-2011）

国家行业标准《城市工程地球物理探测标准》（CJJ/T7-2017）

上海市标准《工程物探技术标准》（DG/TJ08-2271-2018）

上海市标准《基坑工程施工监测标准》（DG/TJ08-2001-2016）

上海市标准《基坑工程技术标准》（DG/TG08-61-2018）