



基于电阻率成像技术的 基坑渗漏探测方法

Foundation Pit Leakage Detection Method Based on
Electrical Resistivity Imaging Technology

汇报人：蔡克俭

天津市勘察设计院集团有限公司
Tianjin survey and Design Institute Group Co., Ltd

2020年10月



目录



基坑安全隐患

Potential Safety Hazard
of Foundation Pit



基坑渗漏探测理论

Theory of Foundation Pit
Leakage Detection



数值模拟与物理试验

Numerical Simulation
and Physical Experiment



工程应用实例分析

Engineering Application
Case Analysis



第一章：基坑安全隐患

Chapter 1: Potential Safety Hazard
of Foundation Pit



基坑安全隐患

Potential Safety Hazard of Foundation Pit



基坑安全隐患之一：止水帷幕功能失效和坑底渗透变形破坏

Safety hazard one: failure of water stop curtain and seepage deformation of pit bottom



基坑安全隐患之二：地铁等市政工程塌陷

Safety hazard two: subway and other municipal engineering collapse



基坑安全隐患

Potential Safety Hazard of Foundation Pit

基坑安全隐患之一：止水帷幕功能失效和坑底渗透变形破坏

Safety hazard one: failure of water stop curtain and seepage deformation of pit bottom



天津某基坑项目

2020年5月26日随着基坑开挖，出现首个帷幕渗漏点，第二天凌晨渗漏开始严重，并伴有大量流沙。





止水帷幕功能失效和坑底渗透变形破坏是指止水帷幕丧失挡水功能，产生渗漏、涌水、流土或流砂。由于水土流失使基坑外地面下沉、塌陷，导致邻近建筑物的开裂和损坏。

引起围护结构止水帷幕功能失效的主要原因是施工因素，其次是设计因素和材料的因素。由于施工质量参差不齐，止水帷幕有空洞或裂缝，成为漏水的通道是最普遍的现象；止水帷幕设计过短，没有全部切断透水层也是漏水的可能原因。由于止水帷幕失效产生过大的水力坡降引起坑底渗透变形破坏。如不及时制止，由渗透变形引起的坑外土体的位移和陷落是严重的。



中心生态城某项目

基坑安全隐患

Potential Safety Hazard of Foundation Pit

事件一：5·27青岛地铁坍塌事故

时间：2019年5月27日17时40分许

地点：青岛地铁4号线沙子口静沙区间



基坑安全隐患之二

Safety hazard two



事故经过：2015年至2019年间，青岛地曾出现三次塌方。

事故后果：5名被困工人全部遇难

基坑安全隐患

Potential Safety Hazard of Foundation Pit

基坑安全隐患之二

Safety hazard two



事件二：杭州地铁5号线建国北路渗漏水事故

时间：2019年8月28日上午11时36分

地点：宝善桥站至建国北路站联络通道

事故经过：施工发生渗漏水，导致发生路面坍塌，伴随有部分燃气泄漏。

处理方式：坍塌路面共注浆约1700立方米，已基本回填完毕，792户居民已全部组织撤离



基坑安全隐患

Potential Safety Hazard of Foundation Pit

基坑安全隐患之二

Safety hazard two



事件二：杭州地铁5号线建国北路渗漏水事故

时间：2019年8月28日上午11时36分

地点：宝善桥站至建国北路站联络通道

事故经过：施工发生渗漏水，导致发生路面坍塌，伴随有部分燃气泄漏。

处理方式：坍塌路面共注浆约1700立方米，已基本回填完毕，792户居民已全部组织撤离

事故后果：事件未造成人员伤亡。31幢有开裂，周边3幢也有影响，共301户、920多个户籍人口撤离，并进行安置。另外，还有第二排的9幢房子，出于安全考虑，也要求撤离



基坑安全隐患

Potential Safety Hazard of Foundation Pit

基坑安全隐患之二

Safety hazard two



事件三：2008年杭州"1115"地铁工地重大塌陷事故

时间：2008年11月15日15时15分左右

地点：杭州地铁湘湖站北2基坑



事故经过：2号基坑发生坍塌

事故原因：施工单位违规施工、冒险作业、基坑严重超挖；支撑体系存在严重缺陷且钢管支撑架设不及时；垫层未及时浇筑。监测单位施工监测失效，没有采取有效补救措施

事故后果：造成了**21人死亡、1人重伤、3人轻伤**，直接经济损失达**4962万余元**

基坑安全隐患

Potential Safety Hazard of Foundation Pit

基坑安全隐患之二

Safety hazard two

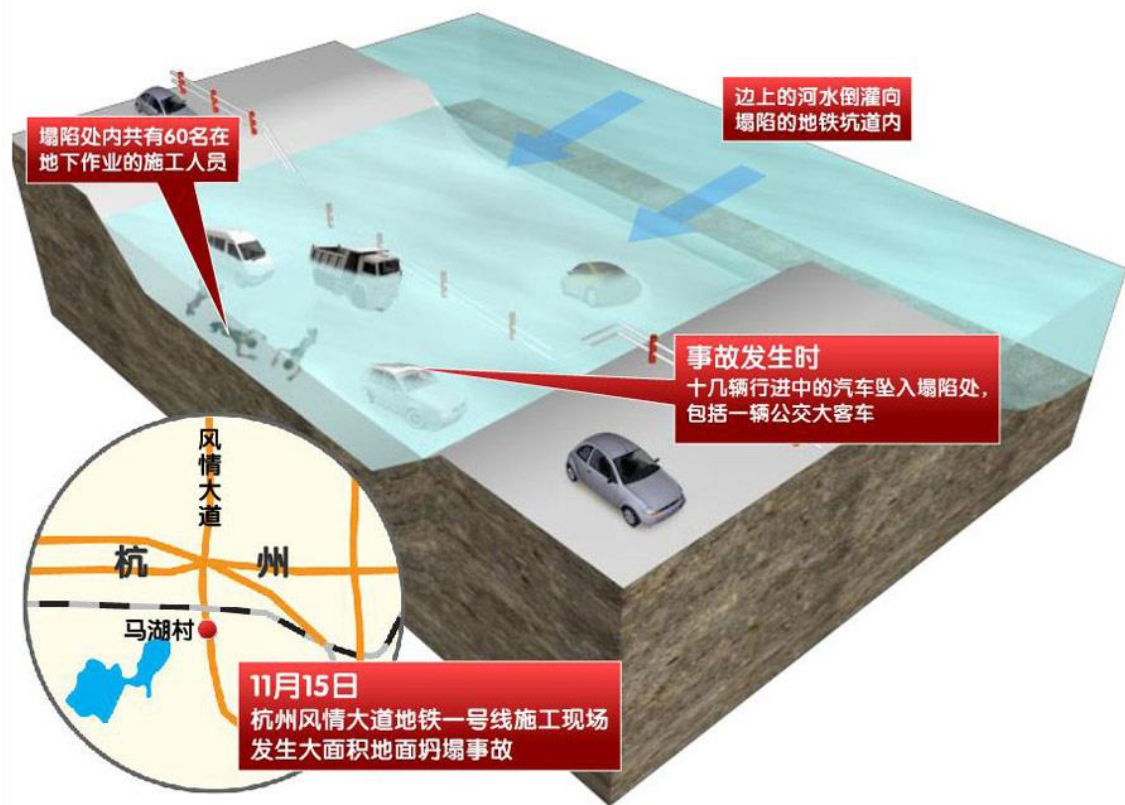


事件三：2008年杭州"1115"地铁工地重大塌陷事故

时间：2008年11月15日15时15分左右

地点：杭州地铁湘湖站北2基坑

坍塌示意图



事故经过：2号基坑发生坍塌

事故原因：施工单位违规施工、冒险作业、基坑严重超挖；支撑体系存在严重缺陷且钢管支撑架设不及时；垫层未及时浇筑。监测单位施工监测失效，没有采取有效补救措施

事故后果：造成了21人死亡、1人重伤、3人轻伤，直接经济损失达4962万余元

基坑安全隐患

Potential Safety Hazard of Foundation Pit

基坑安全隐患之二

Safety hazard two

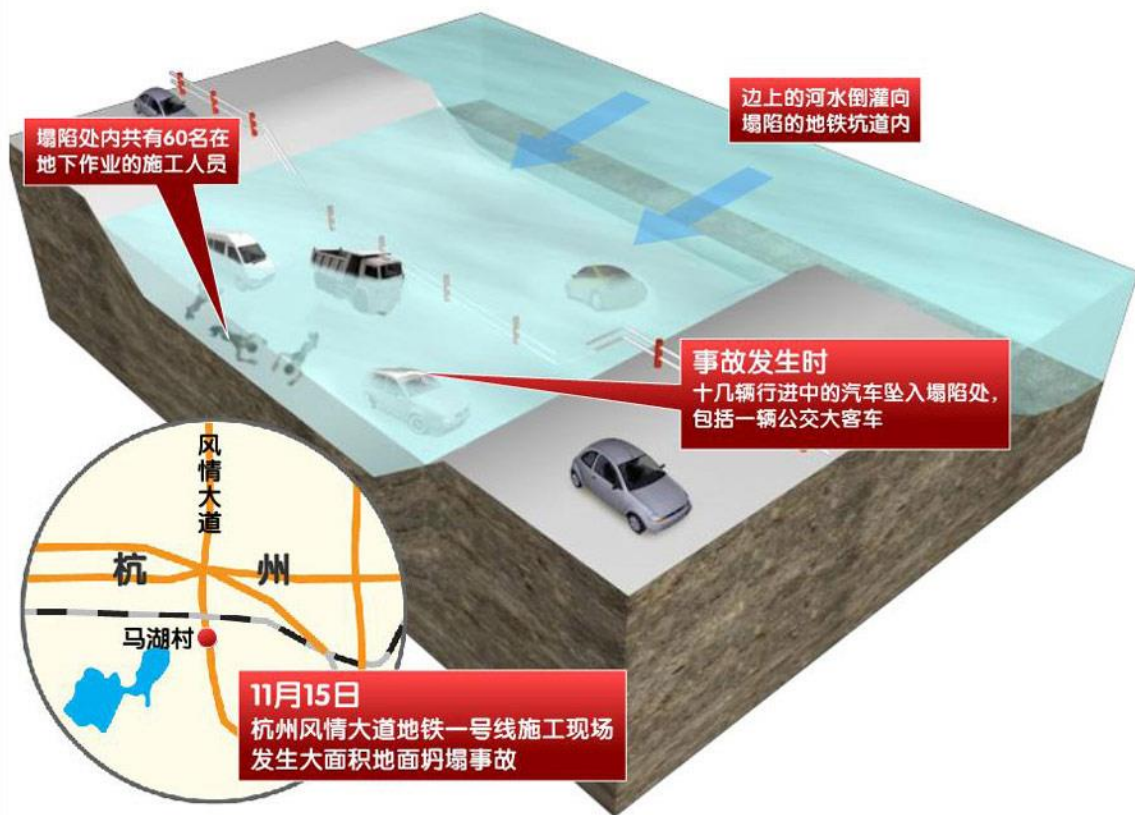


事件三：2008年杭州"1115"地铁工地重大塌陷事故

时间：2008年11月15日15时15分左右

地点：杭州地铁湘湖站北2基坑

坍塌示意图



事故经过：2号基坑发生坍塌

事故原因：施工单位违规施工、冒险作业、基坑严重超挖；支撑体系存在严重缺陷且钢管支撑架设不及时；垫层未及时浇筑。监测单位施工监测失效，没有采取有效补救措施

判决结果：查明8名被告人的相关责任，包括业主、施工、监理、第三方，判处6~3年有期徒刑。



事件四：“2·7”透水坍塌重大事故

时间：2018年2月7日19时左右

地点：广东佛山



佛山市轨道交通2号线是佛山市东西走向的骨干轨道线路，计划分两期建设，其中一期工程规划由佛山南庄出发，跨东平水道、陈村水道，至广州南站。

事故经过：环缝位置出现泥砂流持续剧烈喷射，盾尾方向流出的泥砂流明显加大。因隧道结构破坏，路面断裂成多块，沥青路段大块脱落，现场可见约2个篮球场大小的塌陷，使盾构机台车在泥砂流的裹挟下突然被冲出700余米，并在隧道有限空间内引发了迅猛的冲击气浪。隧道内正在向外逃生的部分人员被撞击、挤压、掩埋，造成重大人员伤亡。



基坑安全隐患

Potential Safety Hazard of Foundation Pit

事件四：“2·7”透水坍塌重大事故

时间：2018年2月7日19时左右

地点：广东佛山



事故主要原因是盾尾密封承压性能下降遭遇特殊地质环境等因素叠加，引发隧道透水坍塌。

事故发生段存在深厚富水粉砂层且临近强透水的中粗砂层，地下水具有承压性，盾构机穿越该地段时发生透水涌砂涌泥坍塌的风险高。

盾尾密封装置在使用过程密封性能下降，盾尾密封被外部水土压力击穿，产生透水涌砂通道。

隧道结构破坏后，大量泥砂迅猛涌入隧道，在狭窄空间范围内形成强烈泥砂流和气浪向洞口方向冲击，导致部分人员逃生失败，造成了人员伤亡的严重后果。



基坑安全隐患

Potential Safety Hazard of Foundation Pit

基坑施工过程中，可能出现基坑围护体系渗漏水的问题。国内外基坑工程事故，多数与基坑围护体系的渗漏水有关，由于基坑渗漏水导致基坑失稳，路面坍塌，导致生命财产的巨大损失。为了防止和预防事故的发生，保证基坑工程的止水效果，对基坑围护体系的渗漏水情况做到预先探测，对渗漏水区域进行开挖前加固和预防，显得非常必要。

In the process of foundation pit construction, the problem of leakage of foundation pit retaining system may occur. Most of the accidents of foundation pit engineering at home and abroad are related to the leakage of foundation pit enclosure system. Because of the leakage of foundation pit, the foundation pit is unstable and the pavement collapses, which leads to the huge loss of life and property.

In order to forestall and prevent the occurrence of accidents and ensure the water stop effect of foundation pit engineering, it is very necessary to detect the leakage of foundation pit retaining system beforehand, and reinforce and prevent the leakage area before excavation.



第二章：基坑渗漏探测理论

Chapter 2: The Theory of Foundation Pit Leakage Detection

- 发明专利
- 水电相似原理
- 电阻率成像法

发明专利证书

Invention Letter of Patent



国家发明专利:

■ 专利名称: 电阻率剖面法在建筑基坑围护结构渗漏水检测中的应用

■ 专利号: ZL 2015 1 0991436.6



第十届中国国际桩与深基础峰会

发明专利证书

Invention Letter of Patent



第十届中国国际桩与深基础峰会

渗漏探测技术基于两个的理论

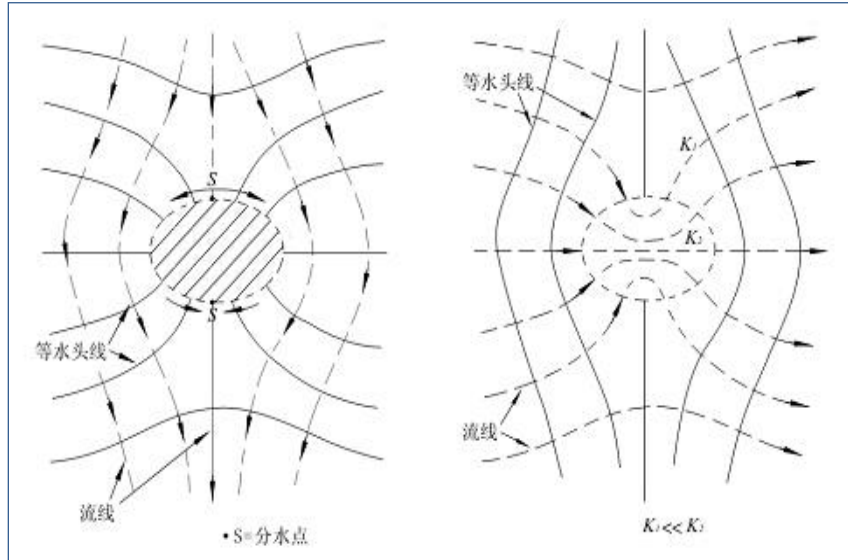
:

- 1、水-电相似原理
 - Similarity principle of electric current field and seepage field
- 2、电阻率成像法



水电相似原理

Similarity principle of electric current field and seepage field

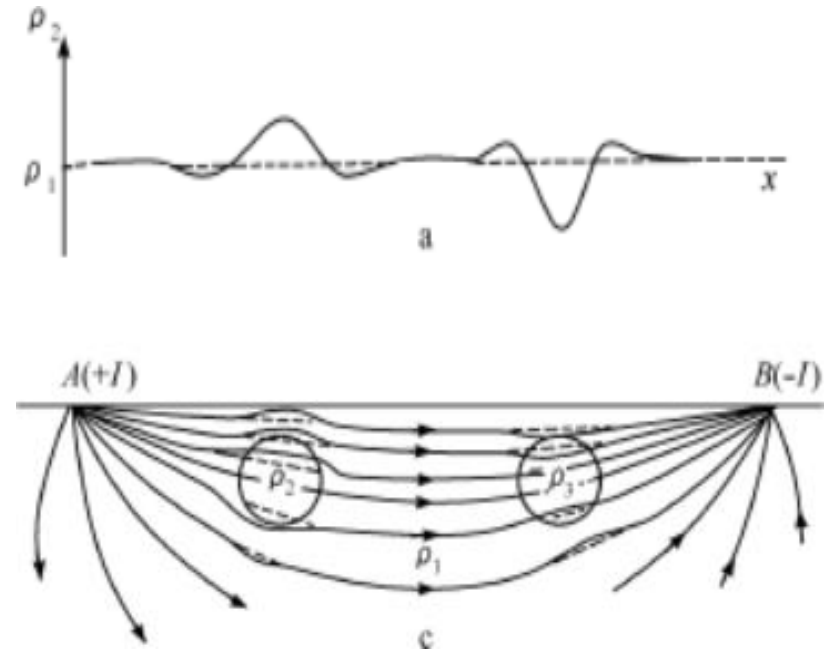


典型流网特征示意图

Characteristic diagram of typical flow

渗透系数不同导致水流线的变化

The change of flow line caused by different permeability coefficient



地下电流特征示意图

Underground current characteristic diagram

电阻率分布不均导致电流线的变化

The uneven distribution of resistivity leads to the change of current line



水电相似原理

Similarity principle of electric current field and seepage field

- 多孔介质中流体的流动遵守达西定律：
$$v = \frac{q}{A} = -\frac{K}{\mu} \text{grad}(p) \quad (1)$$

- 式中， v —流速， m/s ； q —流量， cm^3/s ； A —渗流截面积， cm^2 ； K —渗透率； μ —流体粘度； P —压力， 0.1MPa 。

- 通过导体的电流遵守欧姆定律：
$$\delta = \frac{I}{S} = -\rho \text{grad}(U) \quad (2)$$

- 式中， ρ 为电导率，是电阻率的倒数， S/cm ； U —电压，伏； δ —电流密度，安培/ cm^2 ； I —电流，安培， S —导体截面积， cm^2 。

- 均质地层不可压缩流体通过多孔介质稳定渗流连续性方程：
$$\text{div}\left(\frac{K}{\mu} \text{grad}(P)\right) = 0 \quad (3)$$

- 均匀导体中电压分布方程：
$$\text{div}(\rho \text{grad}(U)) = 0 \quad (4)$$

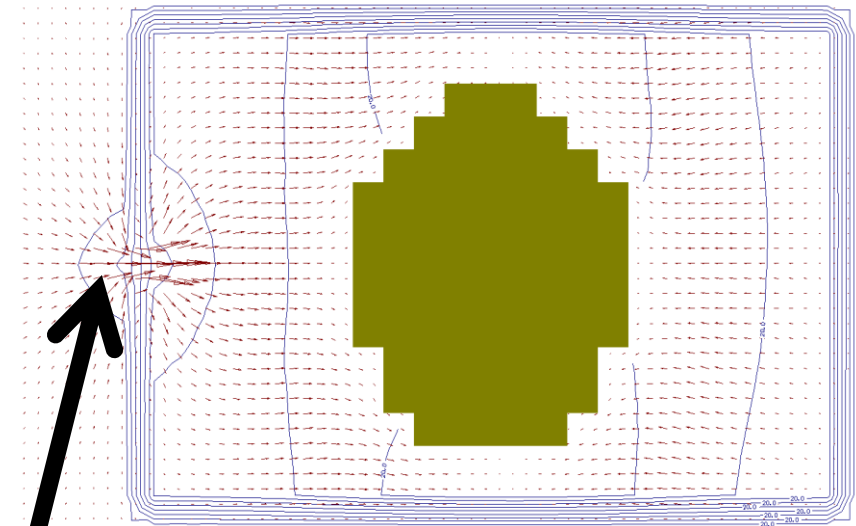
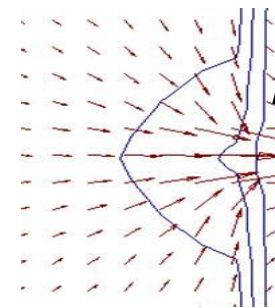
水电相似原理

Similarity principle of electric current field and seepage field

对比方程上述方程可以看出：**电场与渗流场可用相似的微分方程进行描述**，可以用电位分布来描述渗流场的压力分布，用电流来描述流量或流速，电阻描述渗流阻力。**渗流位置的渗流线密集区域渗流阻力小，电阻率低，电位场变化大。**

电场中电位的分布与渗流场中压力的分布相似；**电流线的分布与渗流线的分布相似。**

不可压缩流体的**稳定渗流问题可用稳定电场进行模拟。**



典型流网特征示意图
渗透系数不同导致水流线的变化



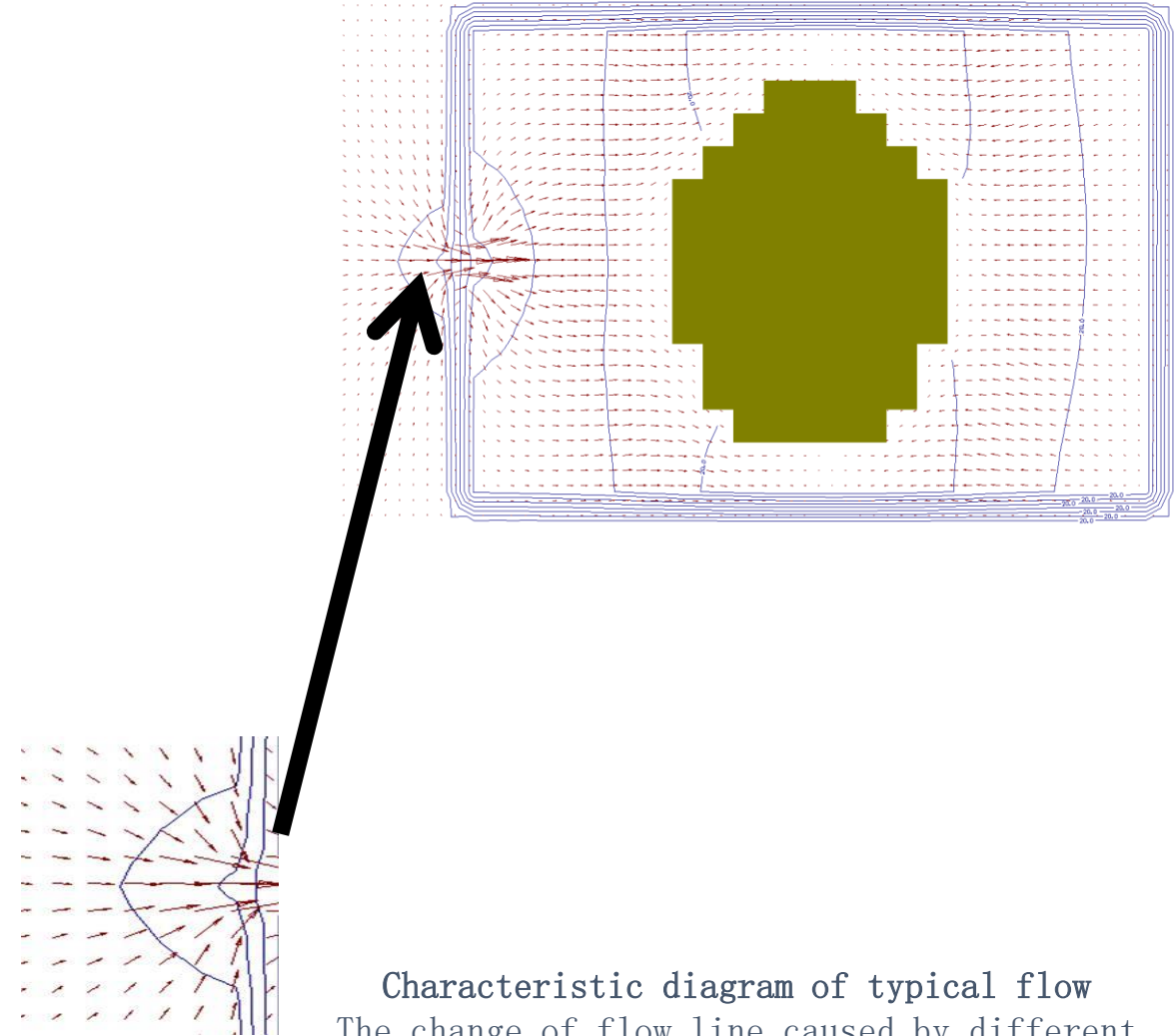
水电相似原理

Similarity principle of electric current field and seepage field

Compared with the above equation, it can be seen that: The electric field and seepage field can be described by similar differential equations, The potential distribution can be used to describe the pressure distribution of seepage field, To describe flow or velocity by electric current, Resistance describes seepage resistance。 In the area with dense seepage lines, the seepage resistance is small, the resistivity is low, and the potential field changes greatly.

The distribution of electric potential in electric field is similar to that of pressure in seepage field; The distribution of current line is similar to that of seepage line.

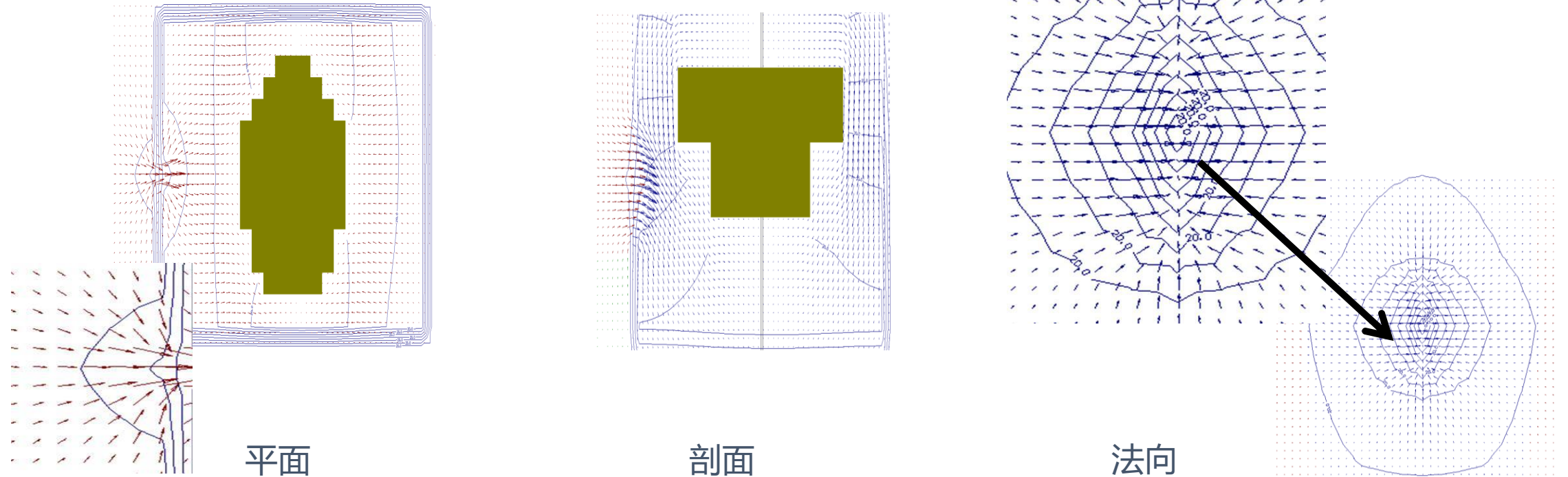
The steady seepage of incompressible fluid can be simulated by steady electric field.



Characteristic diagram of typical flow
The change of flow line caused by different permeability coefficient

水电相似原理

Similarity principle of electric current field and seepage field



**模拟基坑渗漏时的地下水渗漏的流线特征，
渗漏过程中，渗漏点地下水流线较密集，渗漏及影响区域电阻率及电位场均发生了变化。**

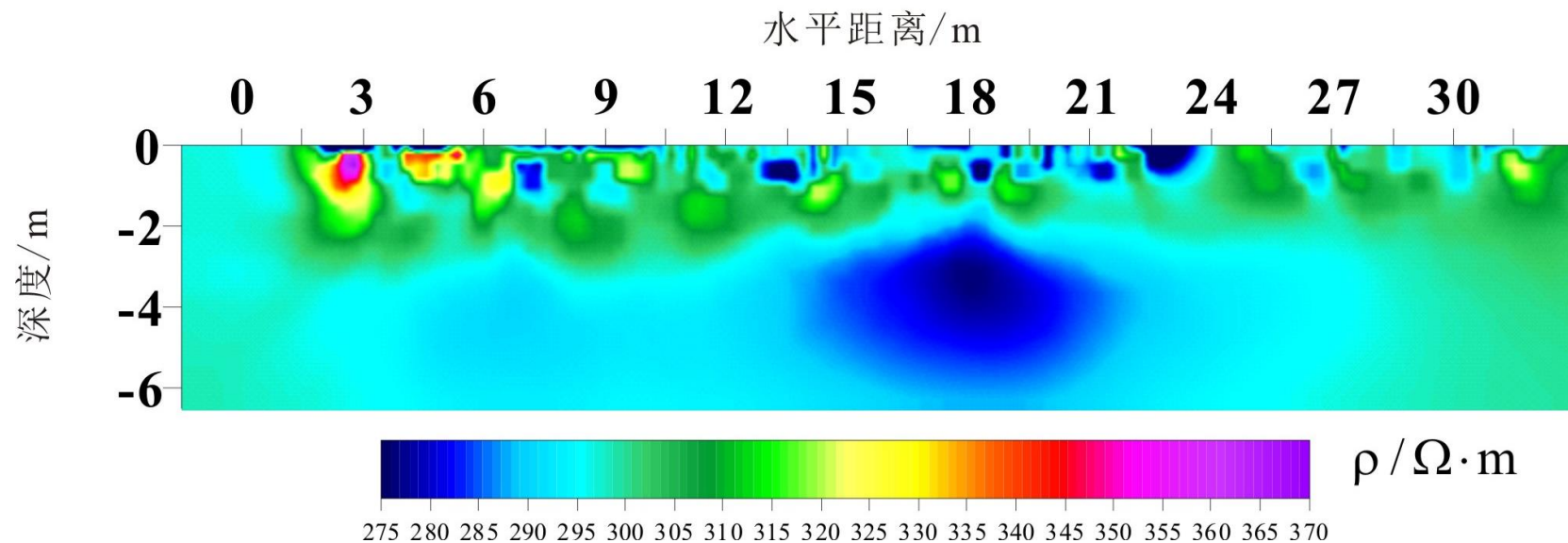
The streamline characteristics of groundwater leakage are simulated, In the process of leakage, the groundwater flow line is dense, and the resistivity and potential field of the leakage and affected area have changed.

电阻率成像法

Electrical Resistivity Tomography

电阻率成像法属于阵列勘探方法，是集电剖面法和电测深法为一体的一种电学层析成像方法。该方法主要以岩土的电导性差异为基础，研究在施加电场的作用下，地下岩土中传导电流的分布规律，推断地下具有不同电阻率的地质体的赋存情况。电阻率成像法与其他电阻率法的区别是大数据采集与反演成像，分辨率高、多解性弱以及全自动、快速采集的特点，为高精度、小目标、高分辨率的浅层探测提供了可靠的保证。

采集的数据量大于反演时地下剖分的单元数，故极大地降低了反演的多解性，反演结果接近客观。



电阻率成像法

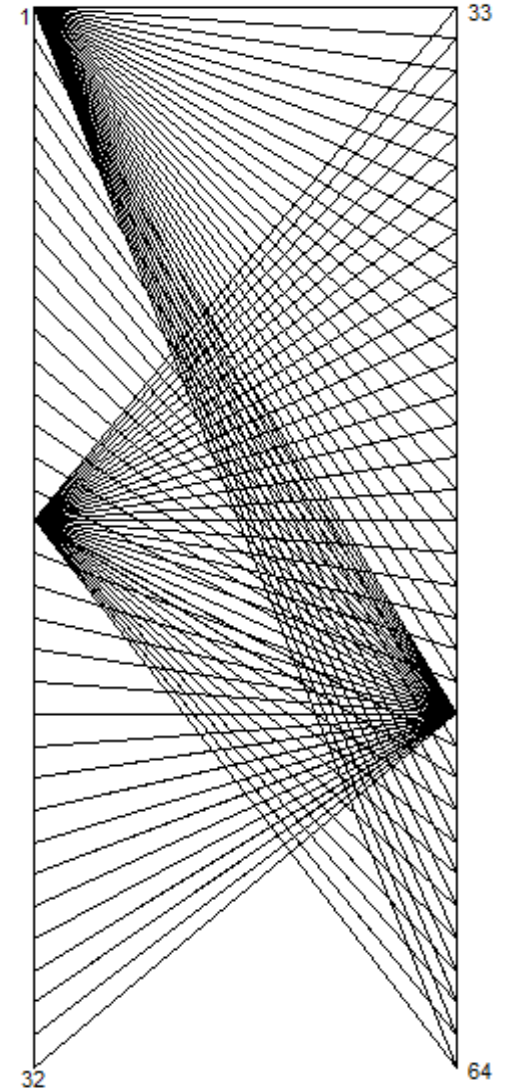
Electrical Resistivity Tomography

电阻率成像法，采集任意装置的视电阻率数据，即所有可能的电流点和电势点的组合，通过反演技术，获得电阻率成像剖面并进行地质解译的一种方法。

当 $m < n$ 时，多解；当 $m > n$ 时，有唯一解

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n = b_1 \implies \begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \cdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n = b_m \end{cases}$$

观测数据的个数 \gg 反演剖分单元的个数，
使反演从欠定问题变为超定问题，极大降低多解性。





第三章：数值模拟与物理试验

Chapter 3: Numerical Simulation and Physical Experiment

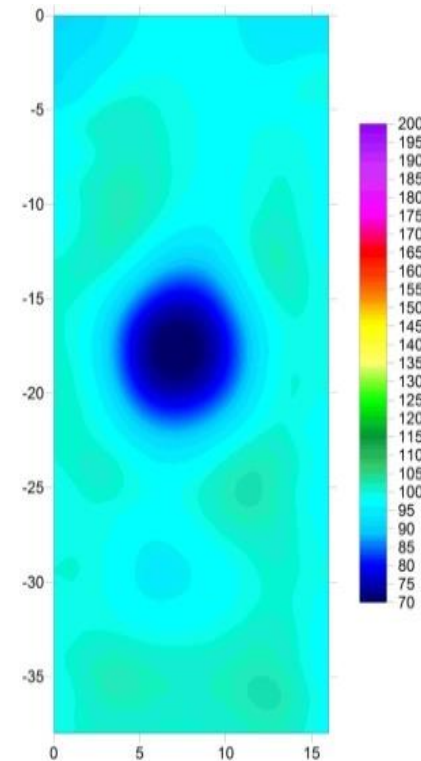
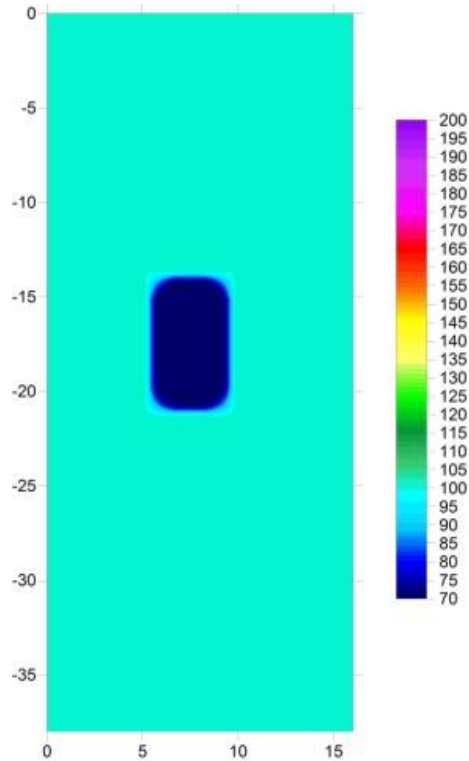
数值模拟

物理试验



数值模拟 Numerical Simulation

理论渗漏电阻率模型 (左)
Theoretical leakage resistivity model



反演结果 (右)
Inversion results

理论模型试验

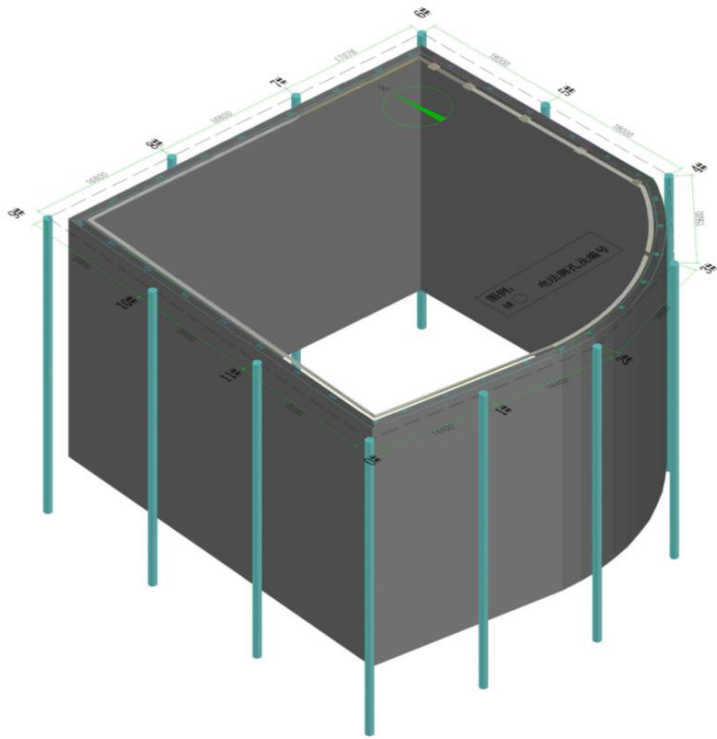
渗漏理论模拟电阻率模型

理论模型分析及反演，异常很清晰。

Resistivity model simulated by leakage theory, Theoretical model analysis and inversion show that the anomalies are very clear.

物理试验

Physical Experiment

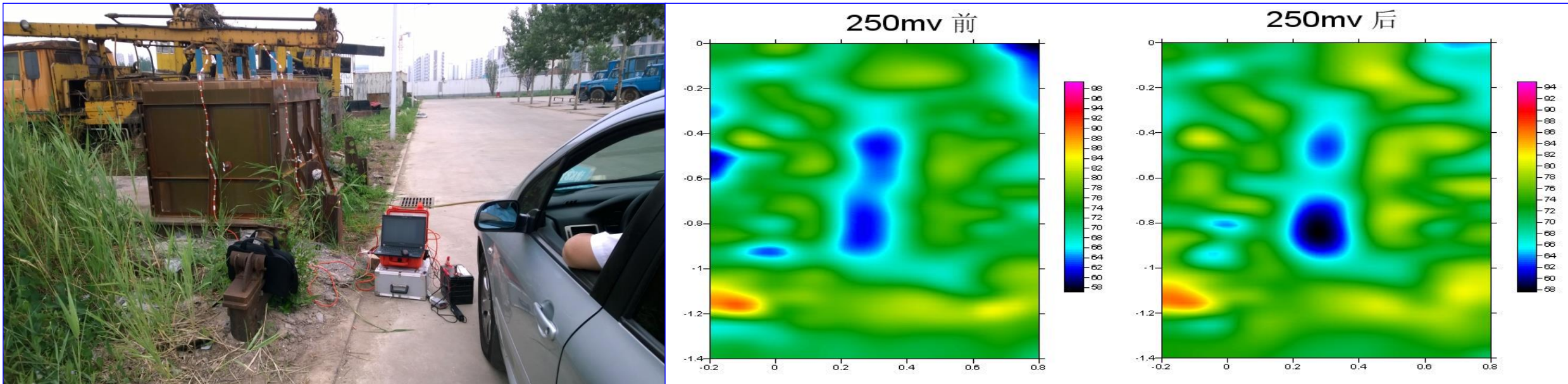


电法测孔的布设



物理模型





电阻率物理模型试验

PVC模型电阻率剖面图 封闭时 (左) 漏水时 (右)

供电电压250V时试验结果：a-a试验剖面对应水龙头出水出有一个明显低阻区域。
实验结果与理论吻合。

Resistivity physical model experiment,
The experimental results are in agreement with the theory.



第四章：工程应用实例分析

Chapter 4: Engineering Application Case Analysis

- 基坑渗漏探测
- 堤坝渗漏探测
- 渗漏液侵蚀范围探测

基坑渗漏

Leakage in Foundation Pit

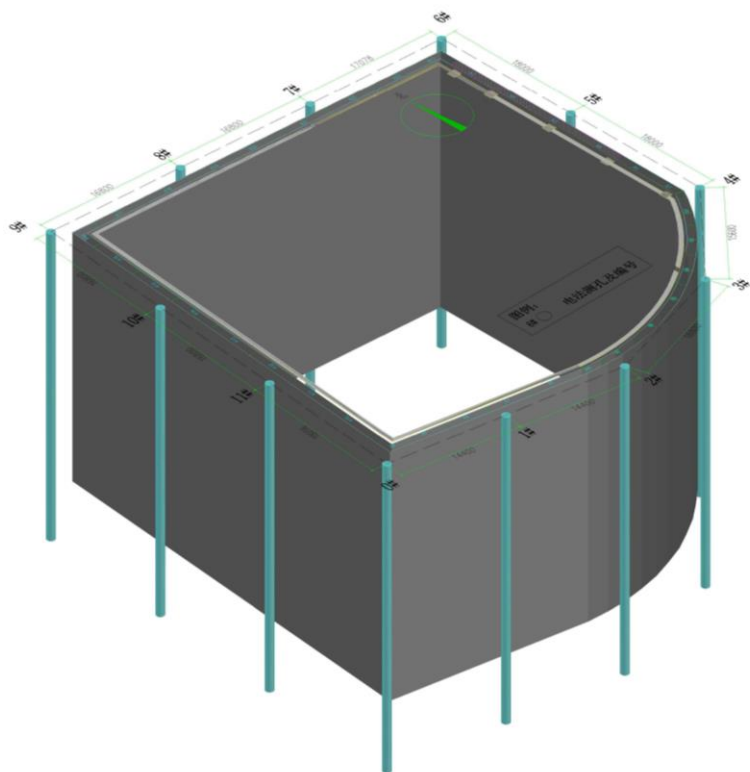


场地一：场地位于天津软土地区，原为废弃厂房，如图3所示，地表为杂填土，以建筑垃圾为主，杂色，呈松散状态；土质不均，夹粘性土团块，含较多砖块、石子、灰渣等建筑垃圾及少量生活垃圾。平均层厚2.80m。故河道沉积、洼淀沉积粘土层工程性质一般，第I海相层埋深11.74m~21.38m粉质粘土与粉土层交替分布，厚度变化较大，为微透水或弱透水，但埋深33.25m~42.46m的粉砂层对工程深基坑的安全有较大影响，承压水头高度约17m左右。

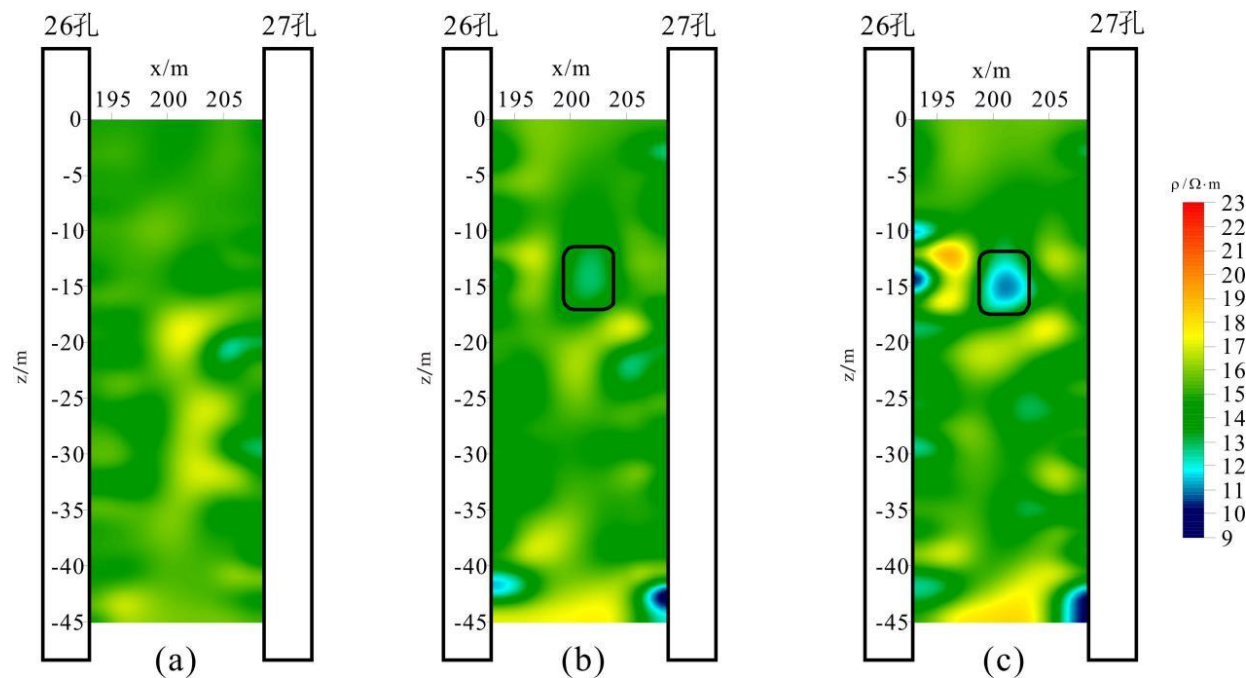
拟建物地上高度198米，分布3层地下室，**基坑深度普遍在18米左右，最深处达22米**，基坑面积5万多平米，工程地质条件复杂，属于超深大基坑项目。

基坑渗漏

Leakage in Foundation Pit



场地一：天津海河某重点工程，地上高度198米，分布3层地下室，**基坑深度18米左右，最深处达22米**，基坑周长一千余米，**基坑面积5万多平米**，工程地质条件复杂，属于超深大基坑项目。不同阶段三次探测结果，随着止水帷幕两侧水的压力不断变大，渗漏异常越来越明显。



基坑渗漏

Leakage in Foundation Pit



场地二：马场道东侧工程，本基坑采用地下连续墙（两墙合一）+钢筋混凝土内支撑支护方式。地下连续墙顶大沽标高为0.700，有效墙长为57.50m，墙底的大沽标高为-56.80m，墙厚1200mm，1000mm，纵向钢筋混凝土保护层厚度为70mm。

普遍开挖深度27m，最大开挖深31m。

第一承压含水层埋深约25.00~31.50m 粉土、粉砂、透水性好，
第二承压含水层埋深约48.50~58.00m 粉土、粉砂透水性好



探测结果所指出的漏点，开挖后全部验证！
The leakage points indicated by the detection results are verified after excavation!



基坑渗漏

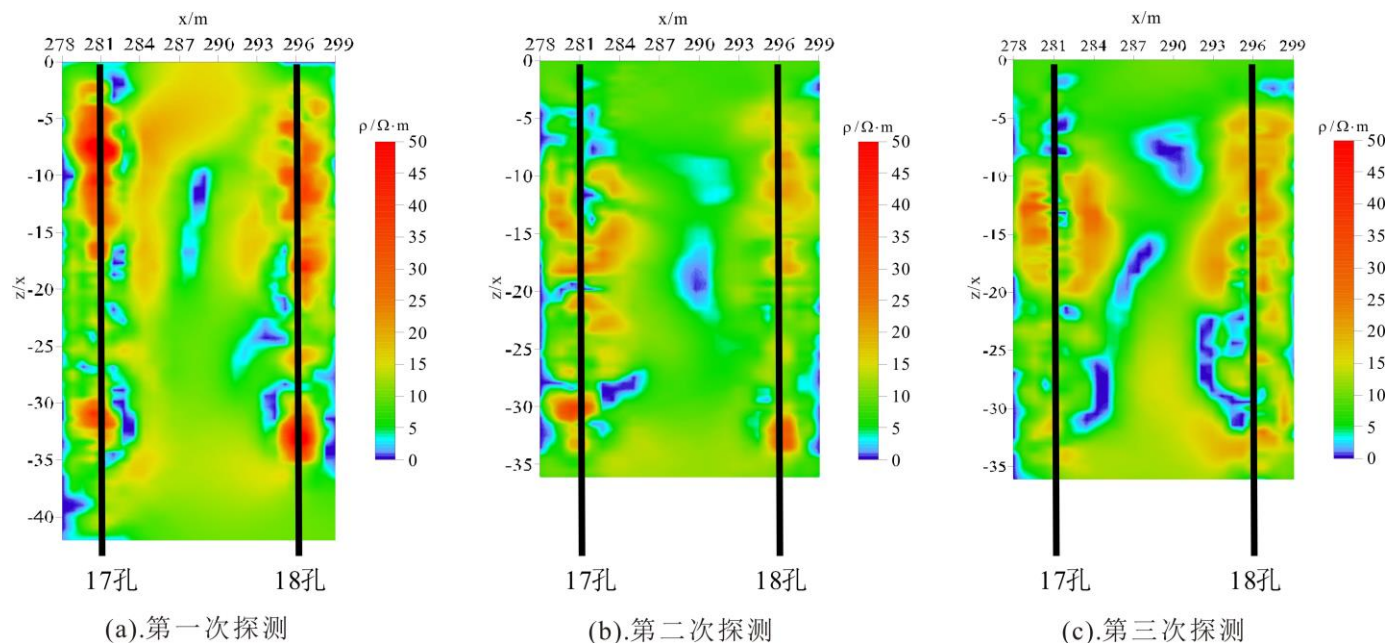
Leakage in Foundation Pit



场地二：马场道东侧工程，本基坑采用地下连续墙（两墙合一）+钢筋混凝土内支撑支护方式。地下连续墙顶大沽标高为0.700，有效墙长为57.50m，墙底的大沽标高为-56.80m，墙厚1200mm，1000mm，纵向钢筋混凝土保护层厚度为70mm。

普遍开挖深度27m，最大开挖深31m。

第一承压含水层埋深约25.00~31.50m) 粉土、粉砂、透水性好，第二承压含水层埋深约48.50~58.00m 粉土、粉砂透水性好。



16-21米地下连续墙存在渗漏缺陷



基坑渗漏

Leakage in Foundation Pit

场地三：某工民建示范工程，基坑位于地铁6号线两侧，与地铁相邻一侧共用连续墙，其余位置采用双轮铣工艺施工，基坑开挖深度17m，属于深大基坑。探测结果显示存在渗漏异常。

数据采集

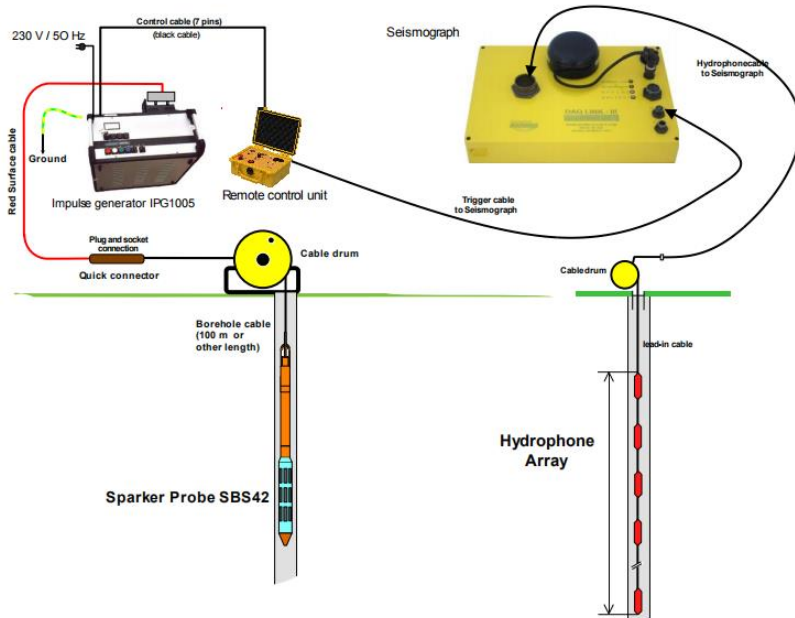


基坑渗漏

Leakage in Foundation Pit



地震CT成像



场地三：某工民建示范工程，基坑位于地铁6号线两侧，与地铁相邻一侧共用连续墙，其余位置采用双轮铣工艺施工，基坑开挖深度17m，属于深大基坑。探测结果显示存在渗漏异常。



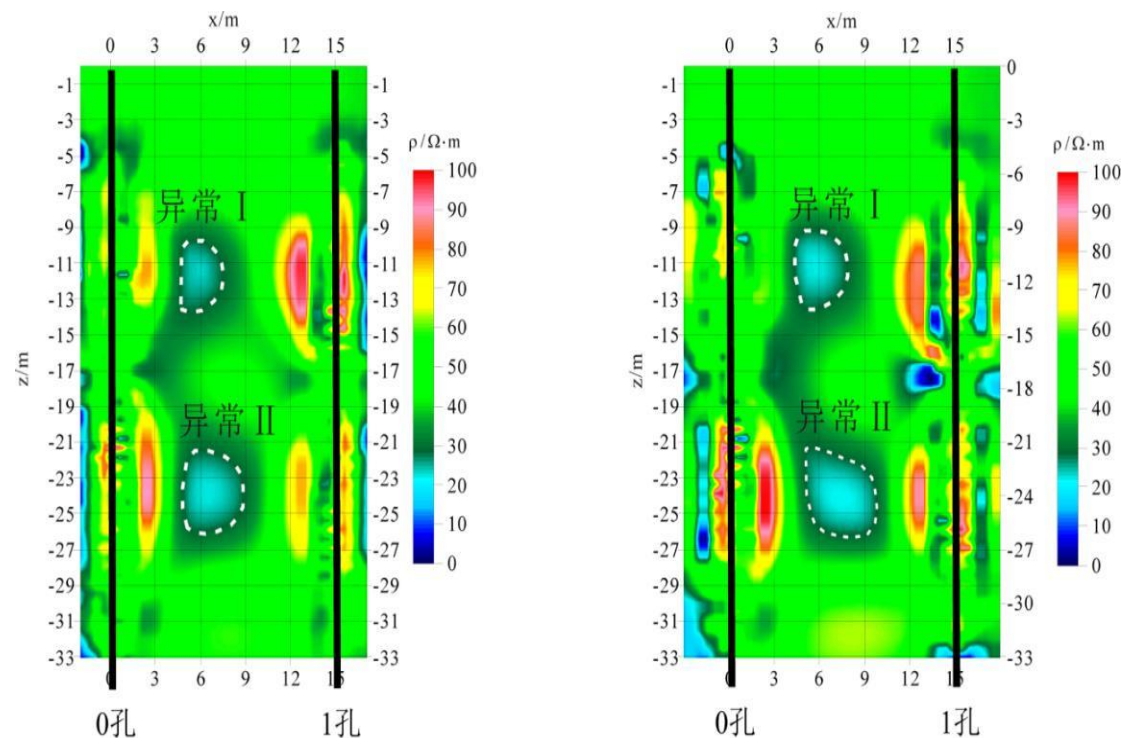


基坑渗漏

Leakage in Foundation Pit

探测结果

电法

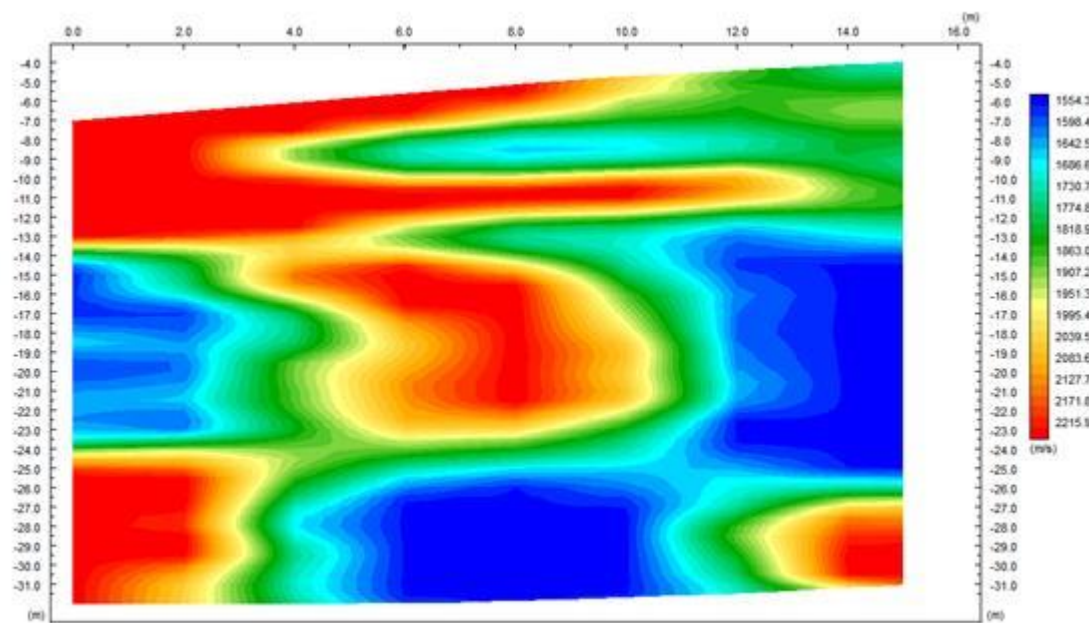


(a).第一次探测

(b).第二次探测

场地三：某工民建示范工程，基坑位于地铁6号线两侧，与地铁相邻一侧共用连续墙，其余位置采用双轮铣工艺施工，基坑开挖深度17m，属于深大基坑。探测结果显示存在渗漏异常。

跨孔CT





基坑渗漏

Leakage in Foundation Pit



场地四：建筑面积15885.27m²，其中地上最大层数9层；最高高度47.1m；地上建筑面积8869.19m²，**地下3层**，建筑面积7016.08m²；最大单跨跨度9m。性质：公建；结构：框架结构；工程桩采用钢筋混凝土钻孔灌注桩，**防渗结构为三轴搅拌桩**。设计标高±0.000相当于大沽高程6.20m，现有地坪约为大沽5.50m，**实际开挖深度14.00m**。基坑周长约207.1m，基坑总面积为2596.3m²。**基坑周边环境复杂及工程风险一级。**

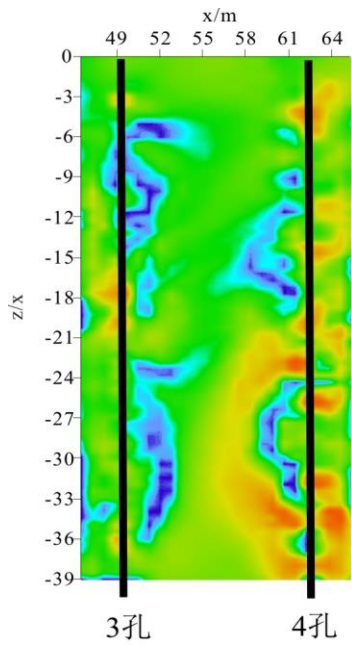
基坑渗漏

Leakage in Foundation Pit

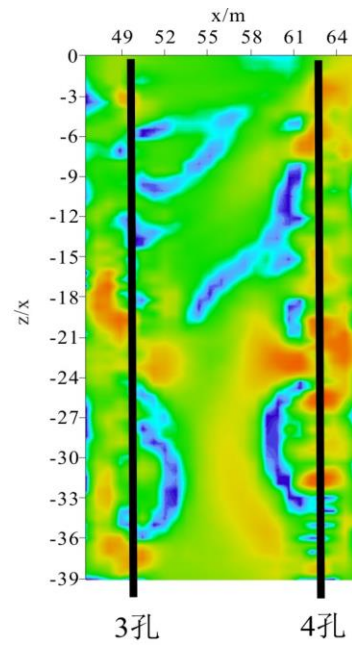
基坑开挖前，探测基坑渗漏位置，加固处理后，对注浆效果进行评价

注浆前 Before grouting

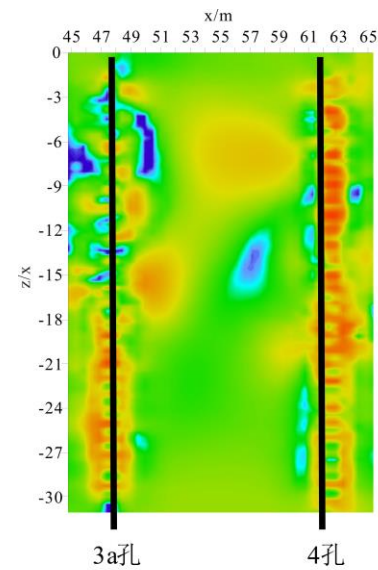
注浆后 After grouting



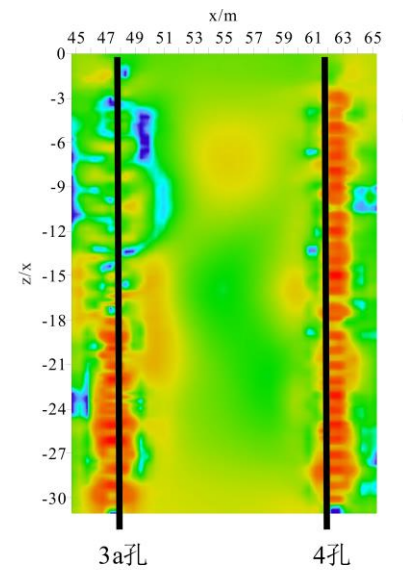
(a).第一次探测



(b).第二次探测



(a).第一次复测



(b).第二次复测



基坑渗漏

Leakage in Foundation Pit



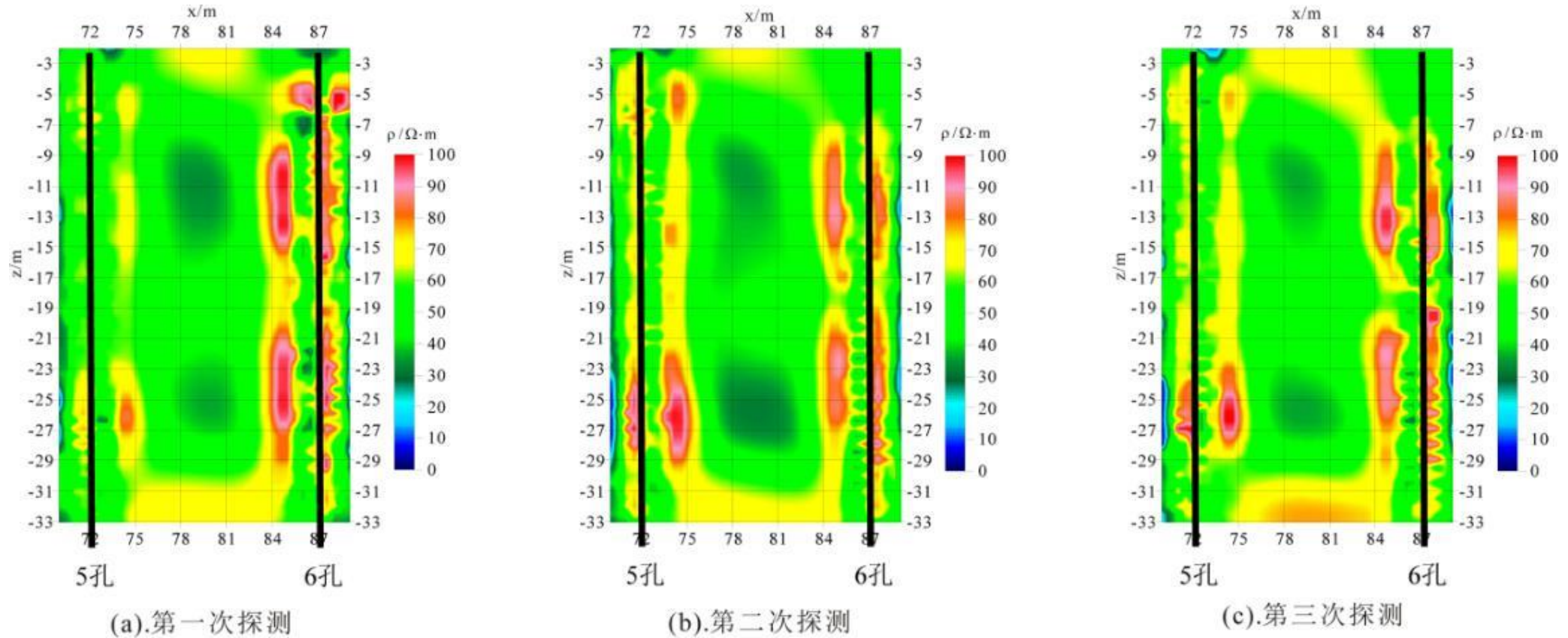
场地五：基坑围护结构采用三轴搅拌桩，桩底标高-32.1m，套接一孔法施工，搅拌桩单桩直径850mm，组间距1200mm，桩间距600mm。局部采用SMW工法桩，套接一孔法施工，搅拌桩直径850mm，组间距600mm。

基坑北东侧靠近地铁1号线工程，距地铁垂直距离约为70m。

基坑渗漏

Leakage in Foundation Pit

探测结果显示该剖面不存在明显渗漏异常:



堤坝渗漏

Leakage in Reservoir Dam



场地一：堤坝由取水东堤、取水西堤、取水南堤和新建围堰组成。取水东堤长909.915m，取水西堤长285m，取水南堤长325m，新建围堰长580m。

取水东堤、取水西堤、取水南堤下方为爆炸挤淤施工，新建围堰下方采用砂桩处理。

堤坝主要防渗结构防渗墙平面总长1351.5m，采用塑性混凝土墙结构，厚度0.8m，深度要求进入不透水层（岩层或2-3黏土层）不少于2.0m。



堤坝渗漏

Leakage in
Reservoir Dam

现场踏勘

场地一：堤坝由取水东堤、取水西堤、取水南堤和新建围堰组成。取水东堤长909.915m，取水西堤长285m，取水南堤长325m，新建围堰长580m。

取水东堤、取水西堤、取水南堤下方为爆炸挤淤施工，新建围堰下方采用砂桩处理。堤坝主要防渗结构防渗墙平面总长1351.5m，采用塑性混凝土墙结构，厚度0.8m，深度要求进入不透水层（岩层或2-3黏土层）不少于2.0m。



堤坝渗漏

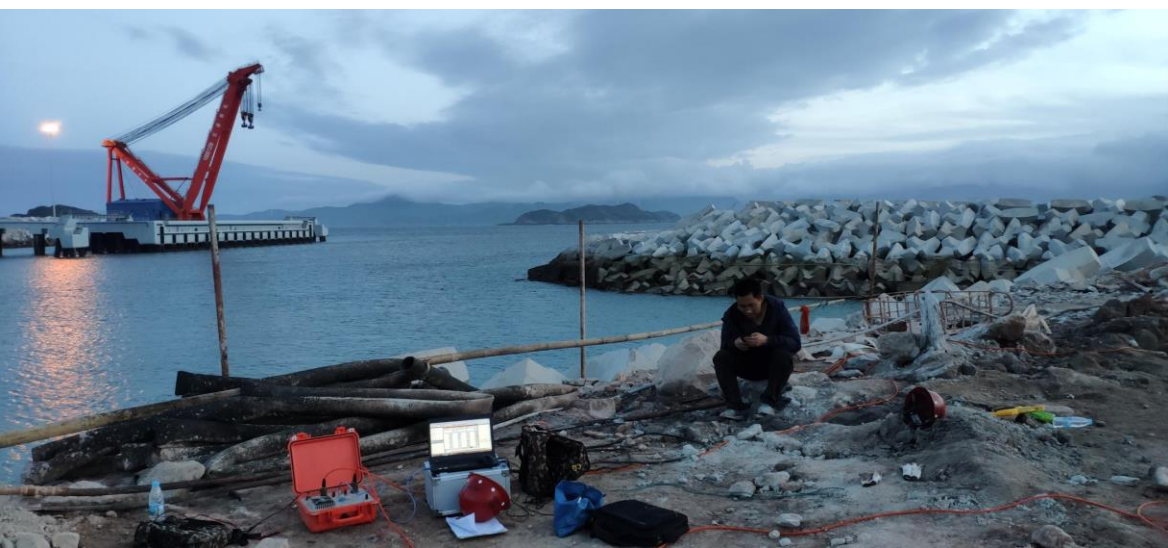
Leakage in Reservoir Dam

数据采集

场地一：堤坝由取水东堤、取水西堤、取水南堤和新建围堰组成。取水东堤长909.915m，取水西堤长285m，取水南堤长325m，新建围堰长580m。取水东堤、取水西堤、取水南堤下方为爆炸挤淤施工，新建围堰下方采用砂桩处理。堤坝主要防渗结构防渗墙平面总长1351.5m，采用塑性混凝土墙结构，厚度0.8m，深度要求进入不透水层（岩层或2-3黏土层）不少于2.0m。



第十届中国国际桩与深基础峰会





堤坝渗漏

Leakage in Reservoir Dam

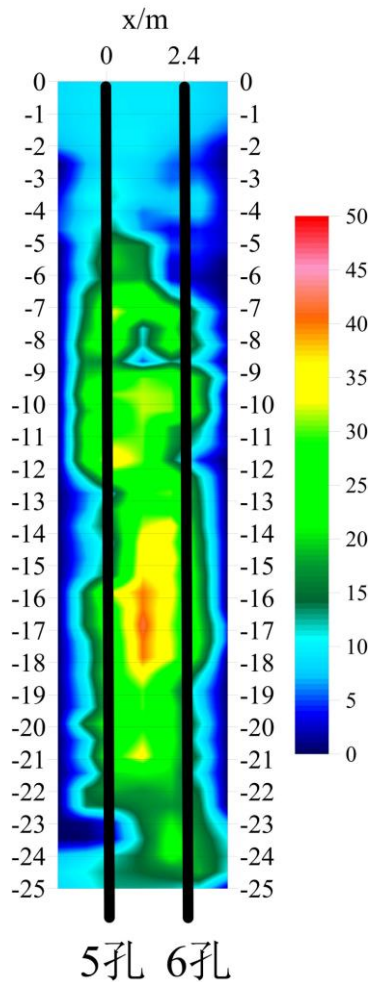
场地一：堤坝由取水东堤、取水西堤、取水南堤和新建围堰组成。取水东堤长909.915m，取水西堤长285m，取水南堤长325m，新建围堰长580m。取水东堤、取水西堤、取水南堤下方为**爆炸挤淤**施工，新建围堰下方采用**砂桩**处理。堤坝主要防渗结构防渗墙平面总长1351.5m，采用**塑性混凝土墙**结构，厚度0.8m，深度要求进入不透水层（岩层或2-3黏土层）不少于2.0m。

探测结果

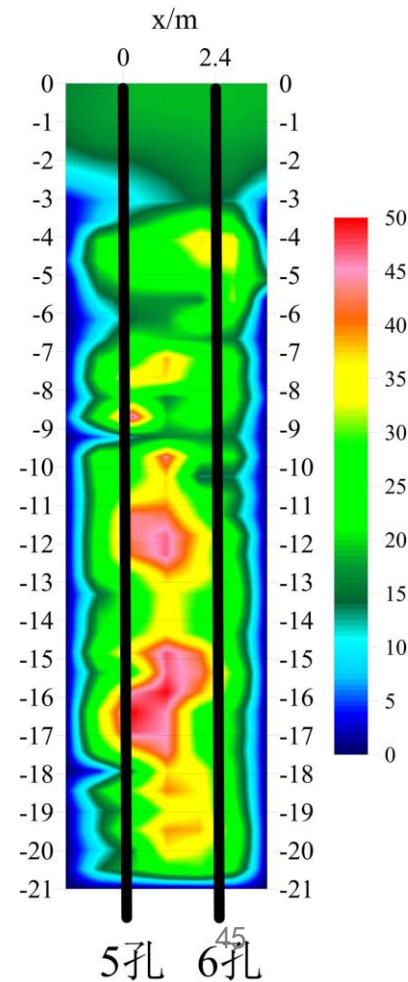
探测厘米级水平裂缝，
注浆后水平裂缝基本闭合

Detect centimeter level horizontal cracks, After grouting, the horizontal cracks are basically closed.

注浆前



注浆后



5孔 6孔

5孔 6孔



堤坝渗漏

Leakage in Reservoir Dam

堤坝卫星影像

场地二：内蒙古某除险加固工程渗漏探测，堤坝背水面常年漏水，坝区断裂较为发育，漏水原因十分复杂。探测找到漏水通道和坝身薄弱区，处理后漏水明显减少。



堤坝渗漏

Leakage in Reservoir Dam

场地二：内蒙古某除险加固工程渗漏探测，堤坝背水面常年漏水，坝区断裂较为发育，漏水原因十分复杂。探测找到漏水通道和坝身薄弱区，处理后漏水明显减少。



堤坝近景



堤坝渗漏

Leakage in Reservoir Dam

场地二：内蒙古某除险加固工程渗漏探测，堤坝背水面常年漏水，坝区断裂较为发育，漏水原因十分复杂。探测找到漏水通道和坝身薄弱区，处理后漏水明显减少。



数据采集



堤坝渗漏

Leakage in Reservoir Dam

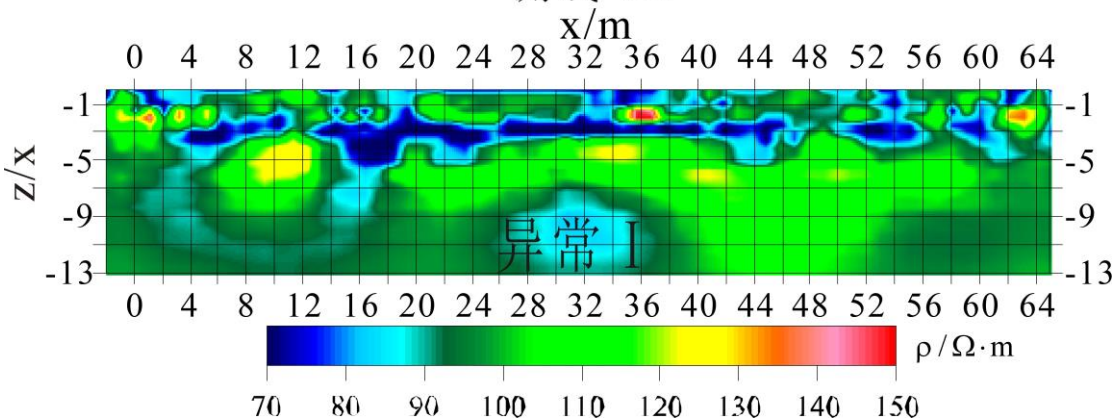


场地二：内蒙古某除险加固工程渗漏探测，堤坝背水面常年漏水，坝区断裂较为发育，漏水原因十分复杂。探测找到漏水通道和坝身薄弱区，处理后漏水明显减少。

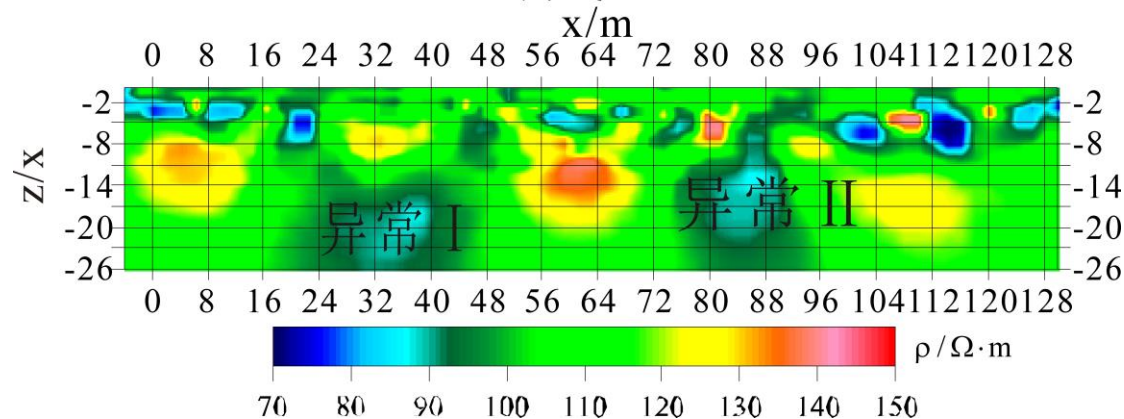
The leakage channel and weak area of the dam body were found by detection, and the leakage was significantly reduced after treatment.

探测结果

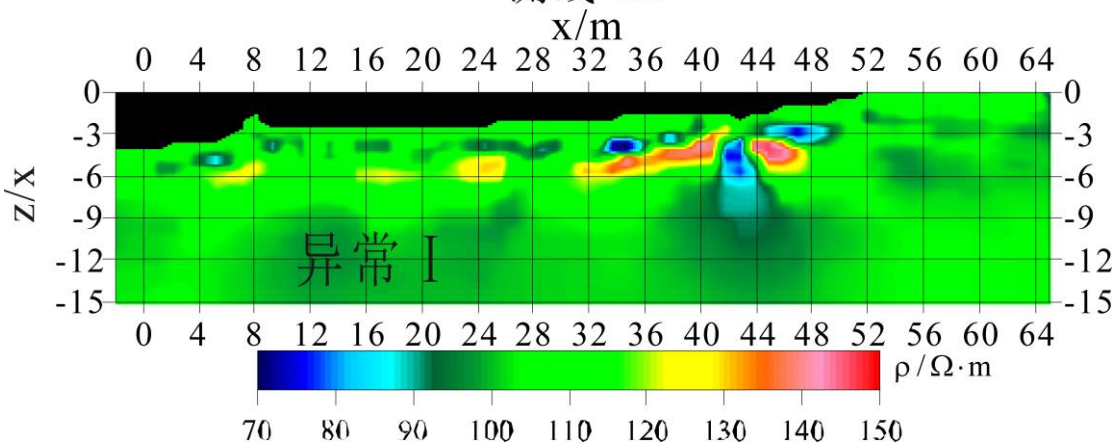
测线 A1



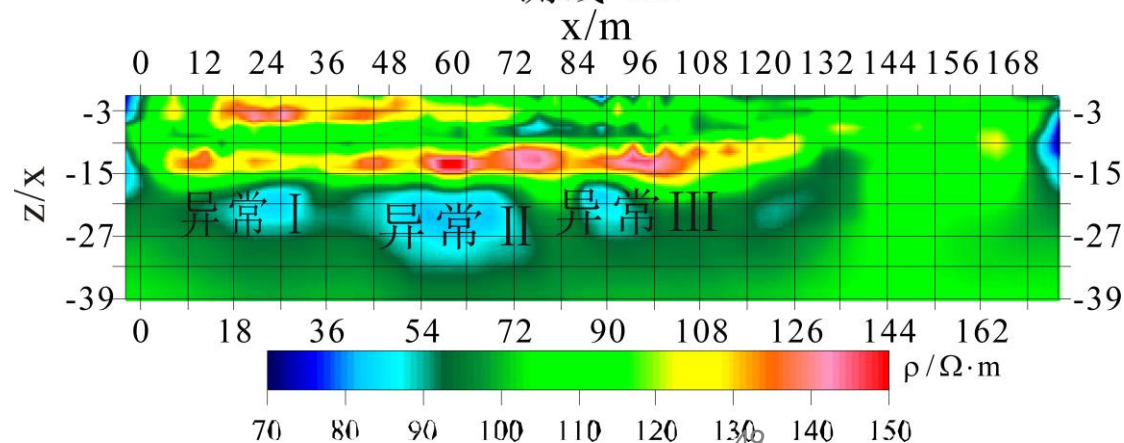
测线 A2



测线 B1



测线 B2



堤坝渗漏

Leakage in Reservoir Dam

探测结果

场地二：内蒙古某除险加固工程渗漏探测，堤坝背水面常年漏水，坝区断裂较为发育，漏水原因十分复杂。探测找到漏水通道和坝身薄弱区，处理后漏水明显减少。
The leakage channel and weak area of the dam body were found by detection, and the leakage was significantly reduced after treatment.



图例：●异常位置 ———— 断裂

堤坝渗漏

Leakage in Reservoir Dam

场地三：海南省某堤坝渗漏探测，坝区背水面存在漏水，且与库区水位相关。探测找到漏水通道。



堤坝近景（迎水面）



堤坝渗漏

Leakage in Reservoir Dam

场地三：海南省某堤坝渗漏探测，坝区背水面存在漏水，且与库区水位相关。探测找到漏水通道。



堤坝近景(背水面)



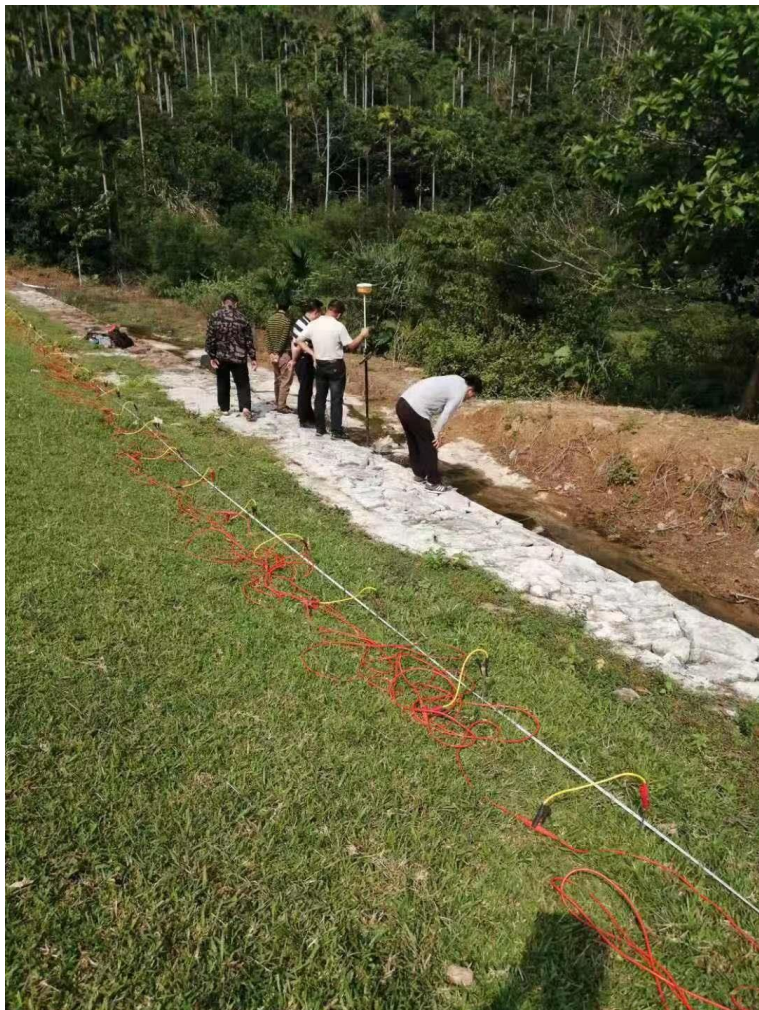
堤坝渗漏

Leakage in Reservoir Dam

场地三：海南省某堤坝渗漏探测，坝区背水面存在漏水，且与库区水位相关。探测找到漏水通道。



数据采集



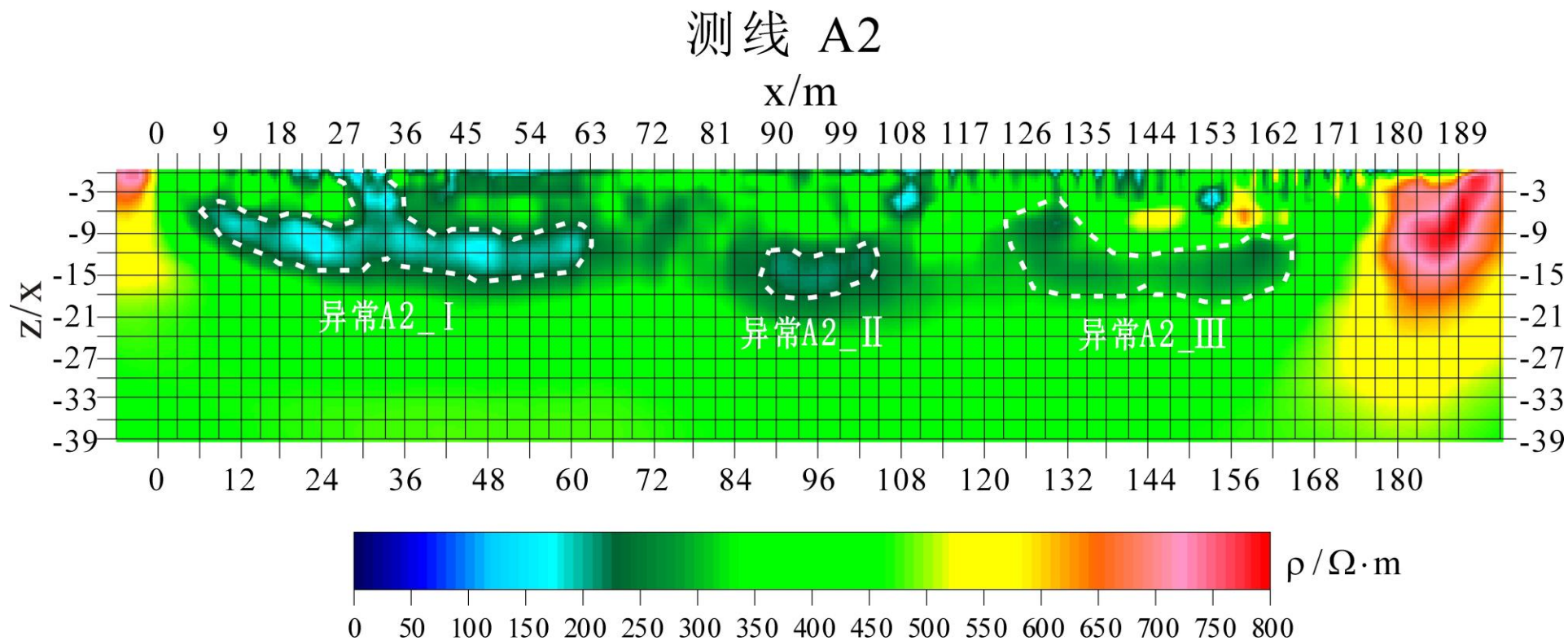
堤坝渗漏

Leakage in Reservoir Dam

场地三：海南省某堤坝渗漏探测，坝区背水面存在漏水，且与库区水位相关。探测找到漏水通道。
The water leak was detected.



探测结果





渗滤液侵蚀范围探测

Detection of Permeabilities of Leachate

挡坝近景

场地一：内蒙古某垃圾场渗滤液探测，探测指出渗滤液侵蚀范围。





渗滤液侵蚀范围探测

Detection of Permeabilities of Leachate

垃圾场近景

场地一：内蒙古某垃圾场渗滤液探测，探测指出渗滤液侵蚀范围。



渗滤液侵蚀范围探测

Detection of Permeabilities of Leachate

在建焚烧厂

场地一：内蒙古某垃圾场渗滤液探测，探测指出渗滤液侵蚀范围。





渗滤液侵蚀范围探测

Detection of Permeabilities of Leachate

场地一：内蒙古某垃圾场渗滤液探测，探测指出渗滤液侵蚀范围。

数据采集



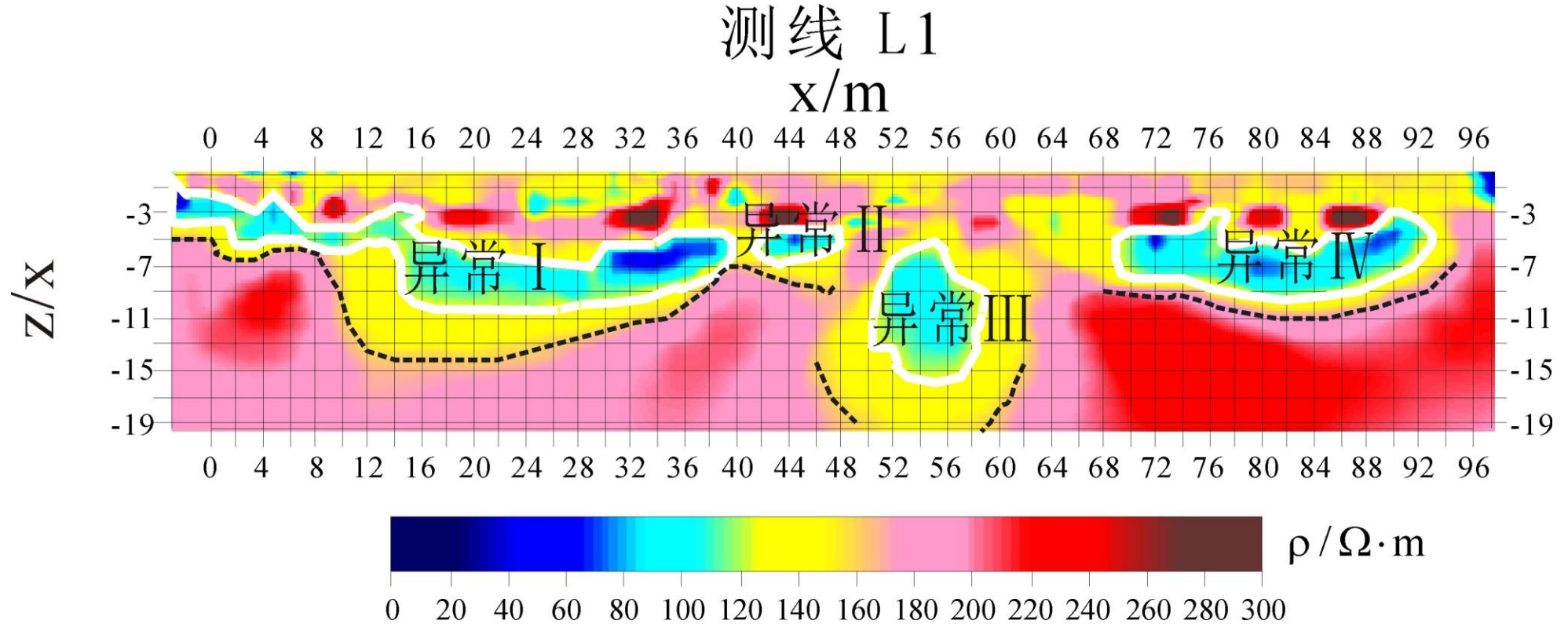
渗滤液侵蚀范围探测

Detection of Permeabilities of Leachate

场地一：内蒙古某垃圾场渗滤液探测，探测指出渗滤液侵蚀范围。

The detection indicates the erosion range of leachate.

探测结果



图例：  渗漏异常  基岩界面



渗滤液侵蚀范围探测

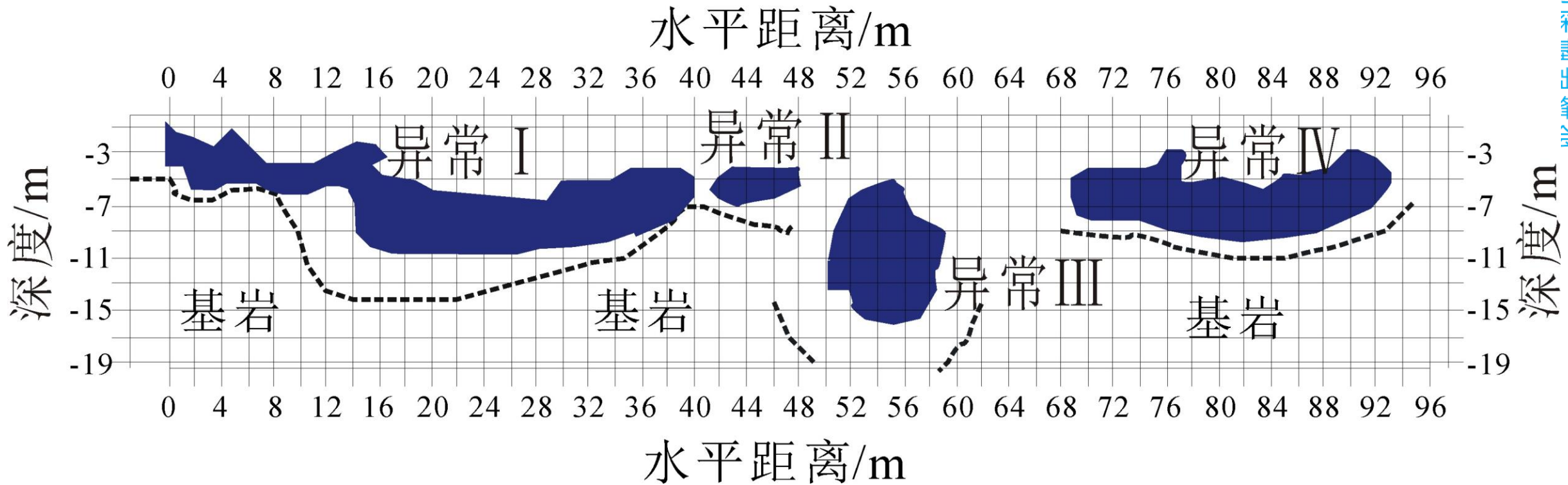
Detection of Permeabilities of Leachate

探测结果

场地一：内蒙古某垃圾场渗滤液探测，探测指出渗滤液侵蚀范围。

The detection indicates the erosion range of leachate

测线L1 渗漏范围解释图



第十届中国国际土石工程学术峰会

渗滤液侵蚀范围探测

Detection of Permeabilities of Leachate

场地二：天津某垃圾场污染物调查项目，垃圾坑深约为3.5m，防渗结构为：碎石+无纺布+防渗膜+无纺布，探测指出渗滤液侵蚀的范围，指导场调钻孔布点。





渗滤液侵蚀范围探测

Detection of Permeabilities of Leachate

场地二：天津某垃圾场污染物调查项目，垃圾坑深约为3.5m，防渗结构为：碎石+无纺布+防渗膜+无纺布，探测指出渗漏液侵蚀的范围，指导场调钻孔布点。

第十届中国国际桩与深基础峰会



渗滤液侵蚀范围探测

Detection of Permeabilities of Leachate



场地二：天津某垃圾场污染物调查项目，垃圾坑深约为3.5m，防渗结构为：碎石+无纺布+防渗膜+无纺布，探测指出渗漏液侵蚀的范围，指导场调钻孔布点。

第十届中国国际桩与深基础峰会



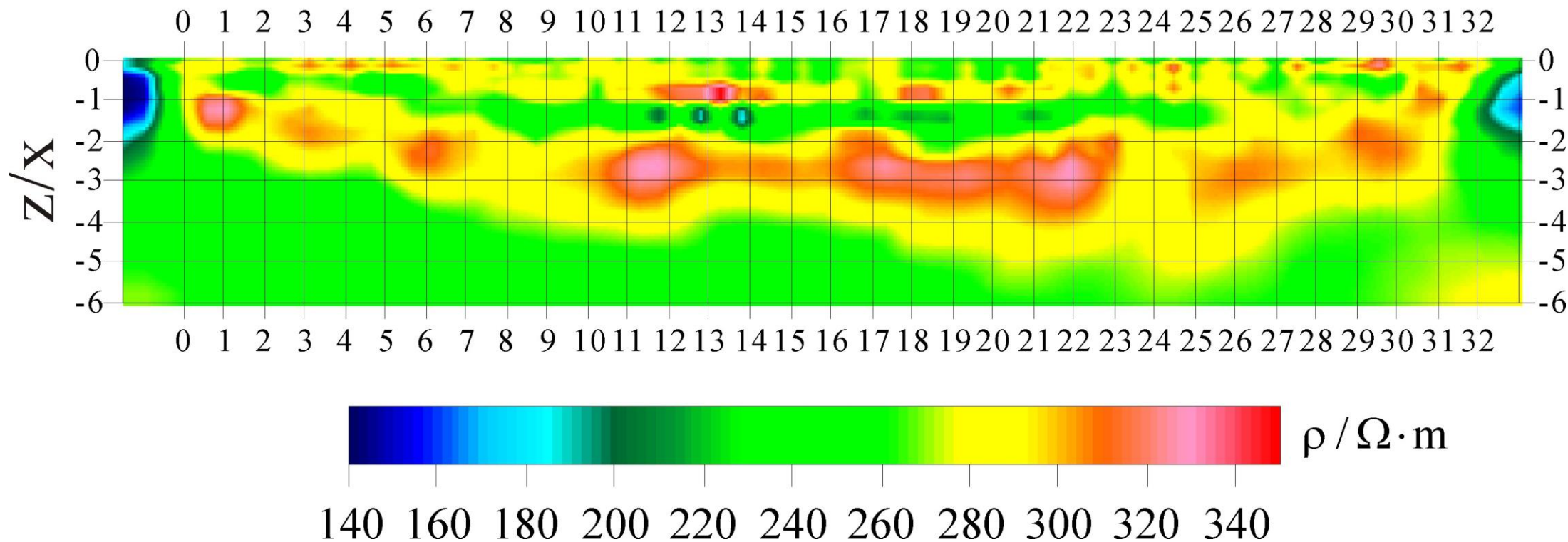
渗滤液侵蚀范围探测

Detection of Permeabilities of Leachate



场地二：天津某垃圾场污染物调查项目，垃圾坑深约为3.5m，
防渗结构为：碎石+无纺布+防渗膜+无纺布，探测指出渗滤液
侵蚀的范围，指导场调钻孔布点。

测线 A1 x/m



渗滤液侵蚀范围探测

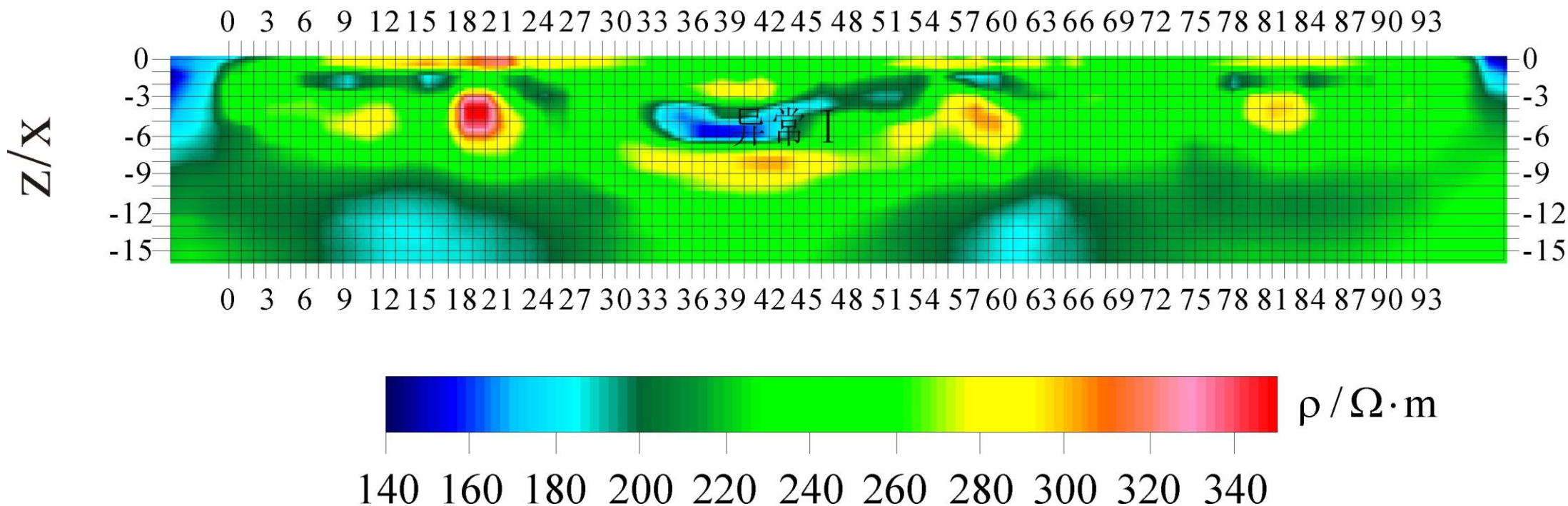
Detection of Permeabilities of Leachate



场地二：天津某垃圾场污染物调查项目，垃圾坑深约为3.5m，防渗结构为：碎石+无纺布+防渗膜+无纺布，探测指出渗滤液侵蚀的范围，指导场调钻孔布点。

The detection points out the scope of the leakage

测线 L15
x/m





天津市勘察设计院集团有限公司
Tianjin survey and Design Institute Group Co., Ltd

汇报完毕，感谢聆听！
谢谢各位专家、各位来宾



第十届中国国际桩与深基础峰会

优质成果带来优质服务，高端技术带来不凡口碑！

High quality results bring high quality service, upscale technology brings extraordinary reputation!

13682010088 蔡 16622361647 吴
20201013