

# 武汉某回填土堆场高密度电法污染调查研究

徐子东<sup>1</sup>, 师学明<sup>1</sup>, 傅庆凯<sup>1</sup>, 罗泽娇<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学 地球物理与空间信息学院, 湖北 武汉 430074;

2. 中国地质大学 环境学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 采用高密度电法对某回填土堆场局部区域的土壤污染状况进行调查试验研究。野外工作中采用重庆奔腾仪器厂生产的WDJD-3型高密度电法仪, 测量方式为温纳装置, 点距1m, 电极60根, 结果表明: 含硫酸盐、硅酸盐的土壤电阻率在 $4\sim 7\Omega\cdot m$ , 相对非盐化土壤 $15\sim 20\Omega\cdot m$ 的电阻率明显偏低; 含有建筑填碴电阻率在 $25\sim 55\Omega\cdot m$ , 相对土壤电阻率明显偏高。污染土壤区在实测视电阻率等值线断面图和反演结果图中均有明显的低阻特征。利用高密度电法对土壤污染状况进行调查取得了明显的效果。

**关键词:** 高密度电法; 电阻率层析成像; 环境污染; 城市垃圾; 环境调查与监测

中图分类号: P631.3

文献标识码: A

收稿日期: 2011-06-20

## Survey and Research of High Density Electrical Resistivity Tomography in the One Yard of Wuhan

Xu Zidong<sup>1</sup>, Shi Xueming<sup>1</sup>, Fu Qingkai<sup>1</sup>, Luo Zejiao<sup>2</sup>

(1. Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The purpose of this paper is that using high density electrical resistivity survey investigated and researched a site contaminated soil in the part of yard. In the field, we used the WDJD-3 high-density electrical resistivity device with wenner array, pitch 1m, the electrode 60 that produced by Chongqing Pentium Instrument Factory. The result shows that containing sulfate, silicate soil resistivity is in the 4 to 7  $\Omega\cdot m$ , compared with the 15 to 25  $\Omega\cdot m$  non-salinization soil, its resistance is significantly lower; containing architectural waste soil resistivity is in the 25 to 55  $\Omega\cdot m$ , compared with the resistivity of normal soil, its resistivity is significantly higher. Contaminated soil region has been clearly in the measured apparent resistivity contour map and inversion map. Using high-density electrical resistivity survey to investigate contaminated soil has achieved significant results. This approach should be promoted and applied.

**Key words:** high density electrical resistivity survey; electrical resistivity tomography; environmental pollution; city garbage; environment investigation and monitoring

# 1 引言

近 20 多年来我国经济迅速发展,环境污染与控制由传统的地表水、大气、固体废物的污染与控制,转移到土壤与地下水的污染与控制领域,土壤和地下水的污染已影响到城市环境和人类的生存发展<sup>[1,2]</sup>。污染场地土壤与地下水的调查、评价与修复成为环境工程的热点问题<sup>[3,4]</sup>。常规的化学监测技术耗时长、对地表有破坏、成本低、调查精度受污染土异质性的影响,难以精确反映污染土的空间分布特征,迫切需要寻求新的方法以满足场地污染土的全空间野外探查。随着物探技术的发展,加速了其在环境污染监测方面的应用。由于渗透到土壤和地下水的污染物,化学活动性很强,很容易和周围介质发生氧化还原反应、吸附解析反应,使得土壤水或地下水中钠、钙、镁、铁的碳酸盐、硫酸盐、氯化物、硅酸盐等盐类含量升高,导电性增强,这为电阻率法和激发极化法等提供了探测前提<sup>[5~8]</sup>,同时受降雨补给的影响,水位升降、污染土及污染程度的空间异质性,引起污染土体中离子浓度分布的不均匀,又为探地雷达(GPR)和浅层地震提供了探测基础<sup>[9]</sup>。高密度电法(ERT)与地质雷达相比对场地要求宽松,ERT 技术在国内外对污染场地的调查和检测中取得了较好的效果<sup>[10~12]</sup>。

已报道的污染土物探监测主要基于原位、没

有受到扰动情形,对于异位、扰动、回填的污染土的物探监测未见报道,因此,本次研究区域为武汉某回填污染土堆场,在原有空场地上堆放污染土及部分建筑垃圾,污染土与建筑垃圾任意混杂,污染土异质性加强。传统的钻孔取样已无法获得堆体的结构特征,本文主要利用 ERT 技术,对污染场地进行 2D 成像圈定污染区域,探测地下污染物的内部结构和扩散情况,利用直观的图像为治理提供更加直观的信息。

# 2 高密度电法的基本原理

高密度电阻率法的工作原理与常规电阻率法大体相同,它是一种以岩(矿)石的电阻率差异作为物性基础的电探方法。其工作原理和常规电阻率法一样,它通过供电电极 A、B 向地下供电流 I,然后在测量电极 M、N 间测量电位差  $\Delta V$ ,从而可求得该点(MN 中点)的视电阻率值  $\rho_s = K \frac{\Delta V}{I}$ ,同时具有多种电极排列方式<sup>[13]</sup>。根据实测的视电阻率数据,进行分析、反演与可视化,便可获得地下地层中的电阻率分布情况,从而可以用于划分地层,判定地下地质异常等。高密度电法测量的实现一般是通过带有大量电极的计算机控制系统来实现,这些电极以一个固定的间距列在一条直线上(图 1)。

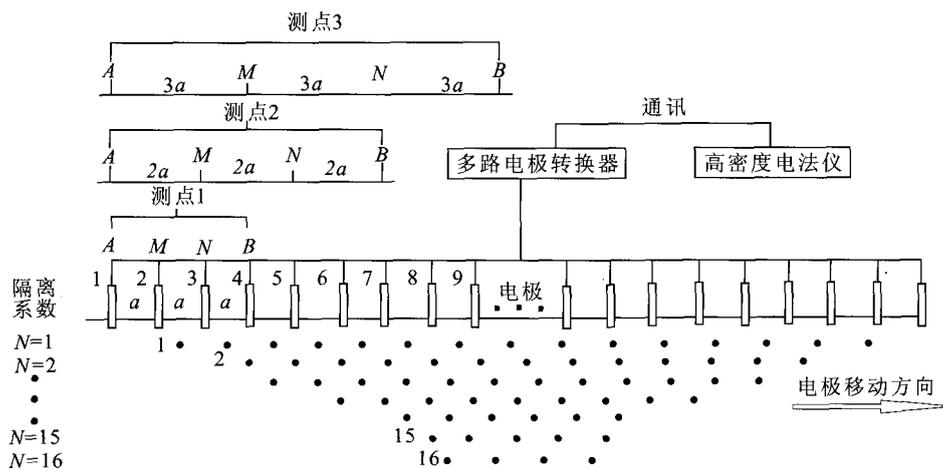


图 1 高密度电法温纳  $\alpha$  装置野外测量系统示意

(A 和 B 为供电电极;M 和 N 为测量电极;采集的视电阻率的值都显示在倒梯形里;在这里 N 表示隔离系数(或采集层数),即单位电极距的倍数;N 值越大,探测深度越深)

Fig. 1 Diagram of Winner  $\alpha$  type of high density electrical tomography in field measurement

(A and B are source electrodes, M and N are received electrodes.

Acquisition of apparent resistivity values are shown in the inverted trapezoid.

Here N is for isolation factor, also called acquisition layer)

高密度电法数据采集系统主要由主机、多路电极转换器、电极系三部分组成。多路电极转换器是通过电缆控制电极系中各电极的供电与测量状态;主机通过通讯电缆、供电电缆向多路电极转换器发出工作指令、向电极供电并接收、存贮测量数据,数据采集结果自动存入主机,主机通过软件把原始数据传输给计算机,计算机将数据转换成其要求的数据格式,经相应处理模块进行畸变点剔除、地形校正等预处理后,绘制视电阻率等值线图<sup>[14]</sup>。在等值线图上根据视电阻率的变化特征结合钻探、地质调查资料作地质解释,并绘制出地质解释断面图。

### 3 应用实例

#### 3.1 工区的地质背景和物性特征

武汉某回填土堆场地位于某堤北侧,表层土壤松散,部分地段土壤被压实,土壤主要由粘土、黄土组成,部分地表土壤因蒸发发生盐析现象而呈白色。地表下土壤结构较复杂,从钻孔与测试资料可知,污染土壤主要为石油类、多环芳烃类、酚类和硫酸盐类污染,部分钻孔夹杂建筑垃圾,如砖、石、混凝土等块料,堆体最深达 8m。

探测区域地质情况整体表现为上部高阻,底部低阻,并且上部高阻分布不均,这些情况主要是因为底部是原池塘底淤泥,上部为垃圾填充物,并且上部垃圾填充种类不一、分布不均所致。其工区的物性特征和地质背景做到了很好吻合,这为下一步的电法勘探的处理与解释提供了很好的指导意义。

#### 3.2 测线布置

本次试验研究主要是在 9 个钻孔所控制区内布置了 3 条测线,如图 2 所示。高密度电法仪器采用重庆奔腾数控技术研究所生产的 WDJD-3 型高密度电法仪器进行采集。供电电压为 50V 直流电。电极极距 1m,高密度电阻率法有很多种装置类型<sup>[15]</sup>,本次采用温纳装置( $\alpha$  装置)施测,电极 60 根。

#### 3.3 数据处理与地质解释

野外布置了 3 条测线, $L_1$ 、 $L_2$  和  $L_3$  测线的高密度电法均取得了良好的地质效果,以  $L_1$  测线为例进行说明。首先,对高密度电法仪器采集到的  $L_1$  测线数据进行 Surfer 成图,记录点深度为  $AB/4$ ,如图 3 所示。然后,将实测数据转换为瑞典 Geotomo 公司的 RES2DINV 软件规范格式,用 RES2DINV 软件进行反演,5 次迭代后,RMS 误差为 1.52%,反演结果如图 4 所示。

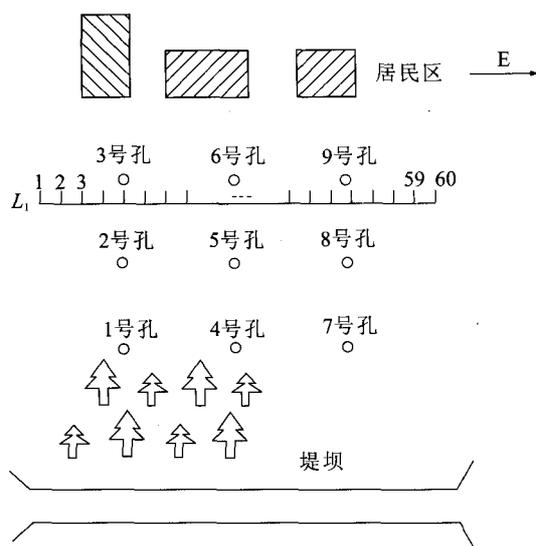


图 2 高密度电法测线布置

Fig. 2 The layout map of high density electrical resistivity tomography

从图 3 中可知在地表 6~17m、深约 0~3m 处的地方有一个明显的低阻区域,视电阻率约在  $4\sim 7\ \Omega\cdot m$ ,根据实地踏勘和钻孔资料,推断为硅酸盐、硫酸盐化污染土壤。董路等人<sup>[16]</sup>在杭州某小区对硫酸盐化污染土壤所测的视电阻率值小于  $6\ \Omega\cdot m$ ,这个结果与笔者的观测结果基本一致。

在剖面 22~30m、深约 1~3m 有 2 个局部高阻异常区,视电阻率约在  $20\sim 25\ \Omega\cdot m$ ,推断为建筑填碴引起;在地表 32~35m 和 38~52m、深度约 0~1.5m 和 1.5~4m 有两个局部高阻异常区,视电阻率约在  $25\sim 55\ \Omega\cdot m$ ,根据实地查看发现此处地表含有大块岩石、瓦砾等碎石,初步推断为碎石所引起。刘兆平等人<sup>[11]</sup>在河北某试验场对建筑填碴所测的视电阻率值大于  $100\ \Omega\cdot m$ 。因此,推断这里的建筑填碴,可能堆积时间较长,局部与填土混合压实。

根据实测视电阻率数据进行反演得到如图 4,对比图 3 和图 4,发现两者的结果基本相同,均反映有 1 个明显的低阻异常区和 4 个明显的高阻异常区,但两幅图也有区别,在图 4 中 40~50m 处,反演后的区域比实测高阻区面积偏小,并且异常分 2 个区域,地表处较小,50m 处深约 2.5m 左右出现一个面积较大的高阻区。综合实测数据与反演结果对比后可知,利用高密度电法对回填土堆场的探测,取得了很好的勘查效果。图 5 是根据实测数据和反演后结果得到的物探推断地质剖面图。

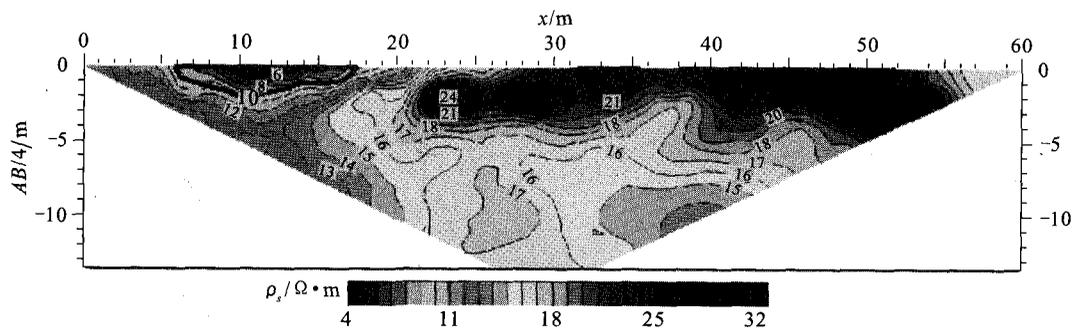


图3  $L_1$  测线视电阻率等值线断面

Fig. 3 Apparent resistivity contour map of  $L_1$  line

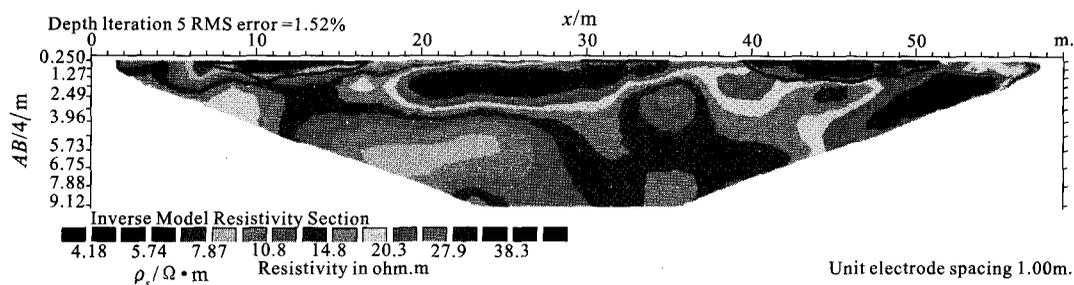


图4  $L_1$  测线反演结果

Fig. 4 Inversion result of  $L_1$  line

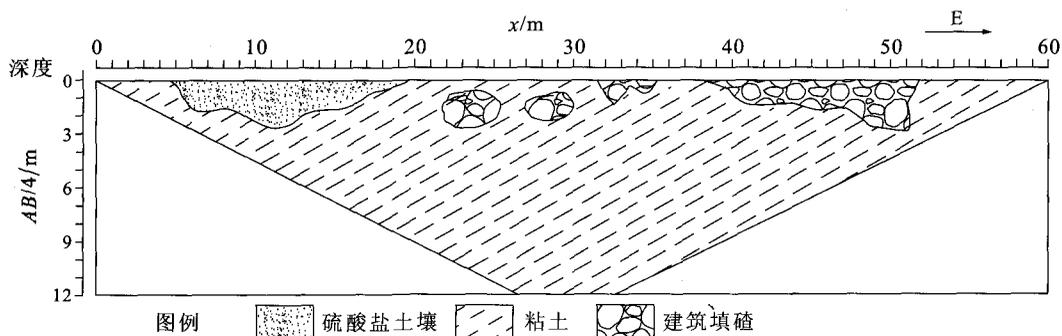


图5  $L_1$  测线物探推断地质剖面

Fig. 5 Geophysical speculated geological section of  $L_1$  line

## 4 结论与建议

本文采用高密度电阻率法对某回填土堆场进行污染调查试验研究,充分发挥高密度电法数据采集快速方便、数据处理和成像准确的优点,取得了较好的地质效果,结论如下:

- 1) 硫酸盐化污染的土壤视电阻率值在  $4 \sim 7 \Omega \cdot m$ ,与常规土壤的视电阻率值相比偏低。
- 2) 建筑填碴的视电阻率值一般大于  $20 \Omega \cdot m$ ,为团块状局部高阻分布特征。
- 3) 高密度电法的视电阻率和反演结果,可以

用来划定土壤污染空间分布范围,为环境污染的整治和修复工作提供了基础数据。

高密度电法对环境监测和城市垃圾调查是一种重要的物探方法,其中有许多问题还值得进一步探讨和研究,如电极布设和接地电阻问题,电极极化引起的极化效应,污染物成分与视电阻率值的对应关系问题等等。进一步研究这些问题,对高密度电法用于环境污染检测和监测,具有十分重要的理论意义与实用价值。

**致谢** 感谢电法野外实测工作过程中提供帮助的王俊超、许浩瀚和雍正同学。

## 参考文献:

- [1] 白兰. 物探方法在污染场地中的应用研究[D]. 兰州:兰州大学,2008.
- [2] 程业勋. 环境地球物理学现状与发展[J]. 地球物理学报, 2007,22(4):1364~1369.
- [3] 张守本. 物探在地下水调查中的应用实例[J]. 世界核地质科学, 2003(3):174~179.
- [4] 朱安平. 朝阳市土壤污染状况调查与研究[J]. 现代农业, 2010(10):81.
- [5] 李金铭, 张春贺, 肖顺. 水污染的导电性和激电性与污染浓度变化关系的几个实验果 [J]. 地球物理学报, 1999, 42(3):428~434.
- [6] 韩学辉, 匡立春, 何亿成, 等. 岩石电学性质实验研究方向展望 [J]. 地球物理学进展, 2005, 20(2):348~356.
- [7] 郭秀军, 武瑞锁, 贾永刚, 等. 不同土壤中含油污水污染区的电性变化研究及污染区探测[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(2):402~406.
- [8] Samouelaian A, Cousin I, Tabbagh A, et al. Electrical resistivity survey in soil science: a review[J]. Soil and Tillage Research, 2005, 83(2):173~193.
- [9] Oliar A L, De L, Fabio F S A. 用探地雷达和谱激发极化法追踪地下污染[J]. 物探化探译丛, 1998, 1(1):40~43.
- [10] 张胜业, 潘玉玲. 应用地球物理原理[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2004.
- [11] 刘兆平, 杨进, 罗水余. 地球物理方法对垃圾填埋场探测的有效性试验研究[J]. 地学前缘, 2010, 17(3):250~258.
- [12] Aristodemou E, Thomas - Betts A. DC resistivity and induced polarisation investigations at a waste disposal site and its environment[J]. Journal of applied Geophysics, 2000, 44(2~3):275~302.
- [13] 程业勋, 刘海生, 赵章元. 城市垃圾污染的地球物理调查[J]. 工程地球物理学报, 2004, 1(1):26~30.
- [14] 李银真. 高密度电阻率法物探技术及其应用研究[D]. 辽宁阜新:辽宁工程技术大学, 2007.
- [15] 马志飞, 刘鸿福. 高密度电法不同装置的勘探效果对比[J]. 物探装备, 2009, 23(1):52~55.
- [16] 董路, 叶腾飞, 能昌信, 等. ERT 技术在无机酸污染场地调查中的应用[J]. 环境科学研究, 2008, 21(6):67~71.

## 欢迎订阅《工程地球物理学报》

《工程地球物理学报》是由中国地质大学(武汉)和长江大学联合主办的面向国内外公开发行的工程、环境地球物理类学术期刊。本刊是工程、环境、资源地球物理勘探理论、方法、技术学术研究成果的重要交流和展示窗口及前沿学术问题的讨论平台。

国际标准刊号:ISSN 1672-7940, 国内统一刊号:CN42-1694/TV。

本刊主要面向国内外地球物理及相关学科的教学、研究和生产人员。刊期为双月刊, 128 页, A4 开本, 每册定价 15.00 元, 全年共 6 期, 全年定价 90.00 元。

欢迎订阅, 邮发代号:38-424。

### 汇款方式:

#### 1. 请从银行汇款:

账户名称:中国地质大学(武汉)

账号:569 057 528 302

开户银行:中国银行武汉市地大支行

行号(市内):846 006

(市外):104 521 003 359

注意:①务必在注释栏写上:付《工程地球物理学报》款;

②将汇款底联扫描后发到编辑部邮箱。

编辑部收到款后将用挂号信寄出正式发票。

#### 2. 如从银行汇款确实不方便, 可来电话协商其他交款方式。

编辑部地址:武汉市洪山区鲁磨路 388 号中国地质大学

传真:027-67883681

电话:027-67883682

E-mail: cjeg@cug.edu.cn

网址: <http://unit.cug.edu.cn/gcdqwl/>