

# 高密度电法在武汉市生活垃圾填埋场的环境调查

黄彪<sup>1</sup>,朱源婷<sup>2</sup>

(1. 贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司,贵阳 550081;2. 贵州省地质环境监测院,贵阳 550081)

[摘要] 本文以武汉市二妃山生活垃圾填埋场为研究对象,结合前期物性试验结果及场区已有资料,利用高密度电法和自然电场法对该填埋区受污染情况进行了调查。结果表明,填埋IV区产生的垃圾渗滤液对场区西、南侧均造成了较严重污染。本次调查查明了污染方向并圈定了污染范围,为同类型垃圾填埋场的渗漏调查提供了参考。

[关键词] 垃圾填埋场;渗滤液污染;高密度电法;自然电场法

[中图分类号] P631.3;X705 [文献标识码] A [文章编号] 1000-5943(2019)-03-0261-06

为了缓解武汉市日渐严重的生活垃圾填埋场渗漏污染问题,为其治理提供理论依据及参考,笔者所在课题组开展了一系列相关的调查与研究。2017年1月,笔者主要以武汉市二妃山生活垃圾填埋场为研究对象,选取高密度电法和自然电场法为探测方法,对该填埋场渗滤液渗漏污染情况进行了调查(朱源婷,2017),得到了半定量的成果:查明了渗滤液污染方向及圈定污染范围,并总结了本场区红黏土受渗滤液污染后电性变化特征,为同类型垃圾填埋场的渗漏调查提供了一定的借鉴意义,也验证了高密度电法在生活垃圾填埋场污染调查中的有效性。

## 1 场区概况

二妃山生活垃圾填埋场位于湖北省武汉市江夏区高新二路附近,占地面积为23.41万m<sup>2</sup>,平均可供填埋高度为40m左右,目前已封场停止使用并改造成公园(罗莉等,2015)。场区为低山丘陵地貌,东、西、北三面地势相对来说较高,南侧较低,海拔高度约50m,北侧最高,海拔高度约89m。由于该填埋场位于武汉郊区,人为工程活动带来的影响较小,并有原生区土壤作为背景参考,同时场区内地形较平坦开阔,综合来看比较利于

本次物探工作的开展。

### 1.1 场区地质概况

场区的地质构造为一个倒转向斜,一翼外侧也即场地最北侧为泥盆系石英砂岩,向内依次为石炭系灰岩、二叠系硅质岩、三叠系页岩夹煤层。填埋场区建立在石炭系地层的上方(图1)。由于一系列的地质构造作用,在灰岩与硅质岩接触的地方即场区南侧,灰岩溶蚀严重,岩溶发育,形成了地下水的主要径流通道(郭永龙等,2002);场区北侧石英砂岩和南侧硅质岩裂隙发育,风化作用形成的风化裂隙直接出露地表,渗滤液可能通过裂隙向内部渗透,加上场区南侧地势相对较低,可推测此处最易受渗滤液污染。

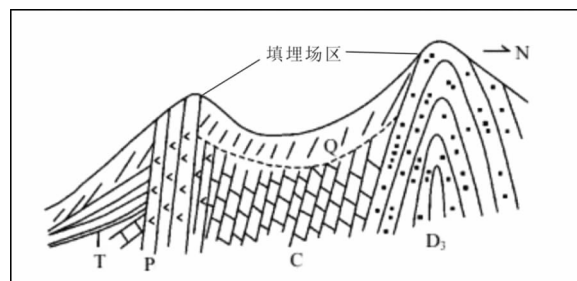


图1 场区南北向地质构造示意图

Fig. 1 Geological structure of south-north longitudinal section of the site

T—三叠系;P—二叠系;C—石炭系;D<sub>3</sub>—泥盆系上统;Q—第四系

[收稿日期]2019-03-15 [修回日期]2019-07-28

[作者简介]黄彪(1994—),男,助理工程师,硕士学位,主要从事地质工程领域的工作。

由已有的勘探资料可知(刘东等,2002),场区岩性分布特征如表1。

表1 场区岩性分布特征表

Table 1 Lithologic distribution characteristics of the site

	层厚	描述
堆积土	0~5.4 m	主要为灰褐-黄褐色黏土,松散
红黏土	5.4~10.84 m	褐红色,最大厚度可达20 m
灰岩	不详	青灰色,厚层状,上部岩溶、风化裂隙发育。

## 1.2 物性基本特征

由于该垃圾填埋场渗滤液中金属离子浓度较高(龚娟等,2010),在室内按土工试验中土样制备的要求,制备含不同浓度金属离子的污染红黏土土样,以改进后的 Miller Soil Box 为土样装置,选取四相电极法对污染土样电阻率进行测量,得到的结果为(朱源婷,2017):武汉红黏土未受污染时电阻率值在  $20 \Omega \cdot \text{m}$  以上,受金属离子污染后其电阻率值会明显降低,红黏土电阻率小于  $5 \Omega \cdot \text{m}$  时可视为受到了较严重的污染。场区灰岩岩溶发育,多被黏土填充或含水,电阻率值在  $100 \sim 500 \Omega \cdot \text{m}$  之间。由此可见,红黏土未受污染和受污染后的电阻率值存在一定差异,且与围岩电性特征差异较大,该场区具备开展高密度电法工作的地球物理前提。

## 2 方法选择

首先利用自然电场法(电位法和“8”字形观测法)确定场区地下水流向,从而得到金属离子等污染阳离子的流动方向,为渗滤液可能污染的区域提供参考。在此基础上,选取高密度电法为主要工作方法,对该填埋场渗滤液渗漏污染情况进行调查——圈定污染范围并判断污染程度。

### 2.1 仪器及参数选择

高密度电法的基本原理与普通电阻率法类似,都是以地下介质的电性差异作为物性前提,通过观测和研究人工建立的电流场在地下介质中的分布规律,解决环境及工程地质问题。主要的不同表现在观测模式上,在开展野外高密度电法工作时,将全部电极一次性布置在一定间隔的测点上,利用电阻率测量仪和多通道电极转换器便可

实现剖面中不同电极距、不同电极排列方式的数据快速自动采集(曹静等,2009)。

高密度电法仪器选用 WDJ-4 多功能数字直流激电仪及 WDZJ-120 多路电极转换器,电极距为 3 m,电极数为 60 根,装置类型为温纳装置(如图2)。自然电场法仪器为 WDJ-4 多功能数字直流激电仪,其中电位法线距为 5 m,点距为 3 m;“8”字形观测法极距为 6 m。

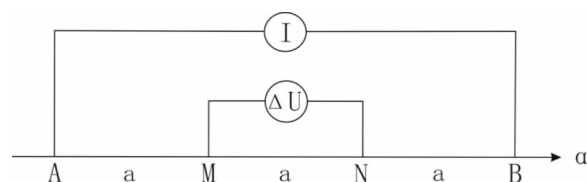


图2 温纳装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of Wenner Array

### 2.2 测线布设

经实际踏勘及查阅相关资料得知,垃圾填埋 I、II、III 区近地表处铺设有一层高密度聚乙烯土工膜,其渗透系数约为  $0.5 \times 10^{-10} \sim 0.5 \times 10^{-13} \text{ cm/s}$ (刘勇等,2005),对探测结果会有一定影响,在 IV 区及周边布设物探测线效果会较好。具体布设如图3。

高密度测线 L1 布设于场区西南侧(离场区 250 m 左右,此处地势较低),测线 L2 布设于填埋 IV 区,测线 L3 布设于 IV 区西侧,与测线 L2 平行,线距约 200 m。在场区西南方离场区约 800 m 处还布设了一条高密度测线以测量背景场,为测线 L1、L2、L3 探测结果的解释分析提供参考。

电位法基点如图3中标注所示(此处不在填埋场区内,且地面平坦无杂物),共布置四条平行于 L2 的测线,每条测线 13 个点,共计 52 个测点。“8”字型观测法共布设了两个测点,如图中“米”字型所示。

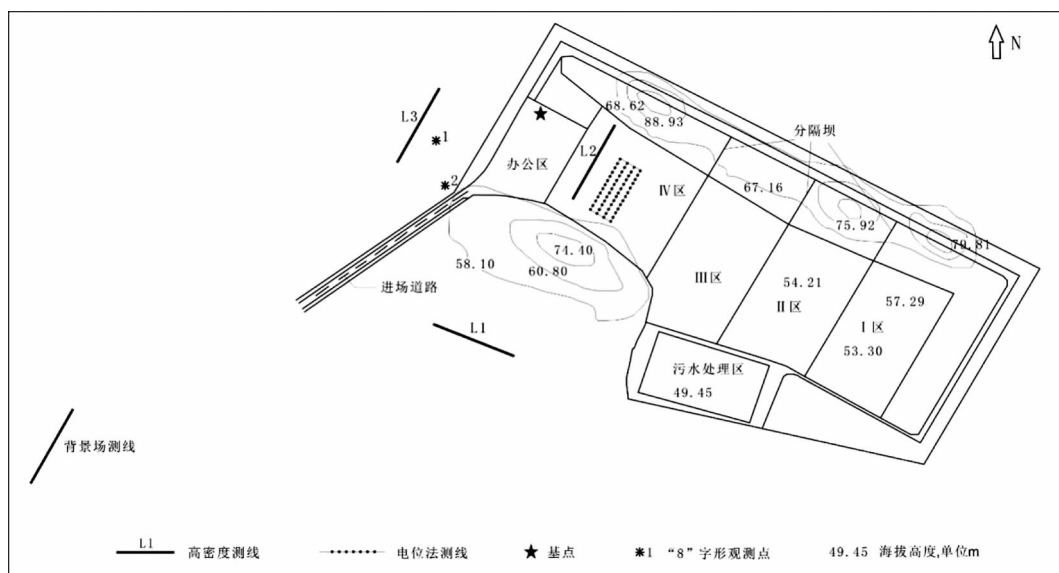


图3 物探测线布设图

Fig. 3 Layout of survey lines

### 3 异常解释及特征分析

#### 3.1 自然电场法—确定地下水流向

在电位法中,N极(基点)固定于自然电场稳定且无地面干扰的地方,可设其电位为0;M极沿测线逐点测量MN之间的电势差值,可看作为该测点的电位值。测量之前,对不极化电极的极差进行了测量,为-0.389 mV,收工极差为-1.727 mV,均在允许的极差范围内(张微等,2012)。得到四条测线上各测点的电位值后,在Surfer中绘制得到等电位线平面图(图4)。理论上由渗透作用引起的过滤电场其方向与地下水流向有关,运动方向由低电位指向高电位(李金铭,2005),而图中高电位异常主要集中在测区西侧,低电位异常基本分布在测区东侧,综上可推断该处地下水总体流向由东向西。

“8”字形观测法测量四个方向:正北、东北、正东、东南,然后调换MN电极位置,再测量这四个方向,并记录好电极位置。将测得的电位差做极差改正后,取平均值得到各个方向的MN自然电位差。将各个方向的自然电位差值以图5的形式绘制出来。理论上在地下水流向上两测点间测得的电位差应为最大,而在垂直于地下水流向的方向上两测点间测得的电位差最小,并且运动方向由负电位指向正电位(王俊业等,2002)。结合

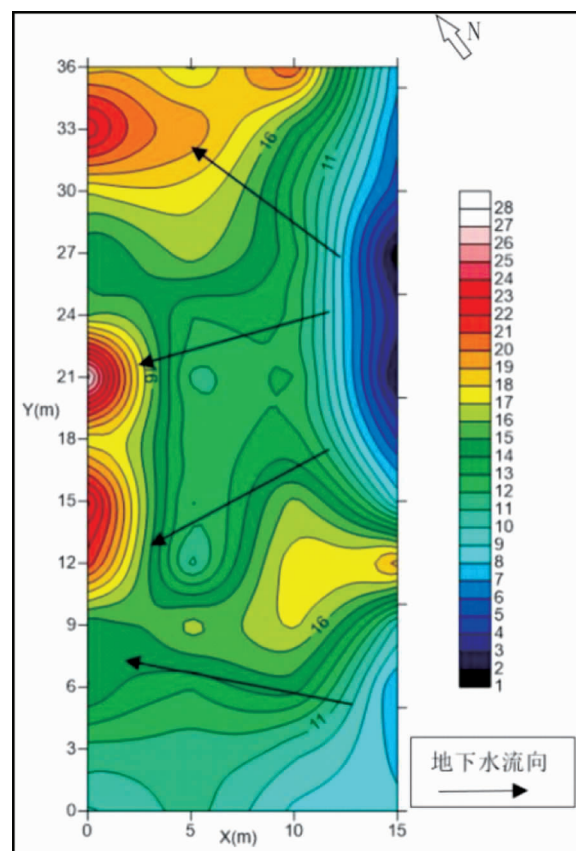


图4 等电位线平面图(单位:mV)

(据朱源婷、黄彪等实测,2017)

Fig. 4 Equipotential plan (unit: mV)

图5分析认为,1、2号观测点所处地下水流向分别为由东向西、由北向南,如图中红色箭头所指方向。

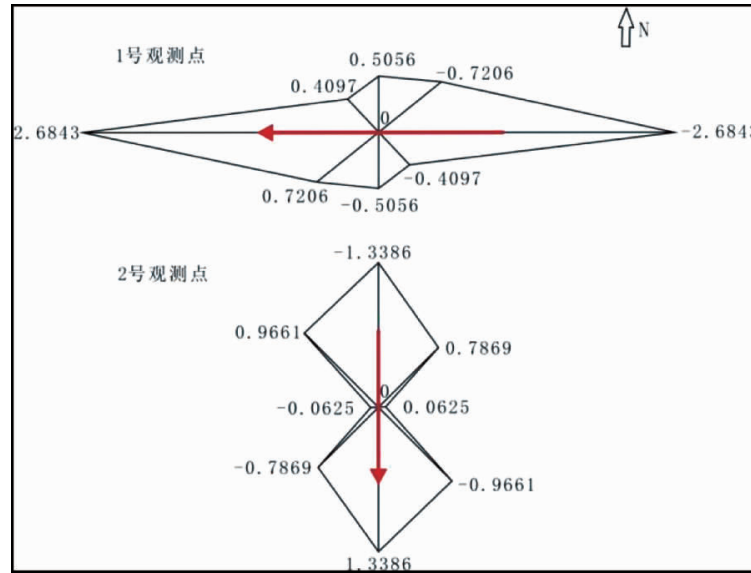


图5 自然电位流向图(单位:mV)

(据朱源婷、黄彪等实测,2017)

Fig. 5 Self-potential flow graph (unit: mV)

由相关资料可知,岩石颗粒对周围溶液中的阴离子具有选择性吸附作用,在上游会积攒多余的阴离子,而在下游会积累多余的阳离子(李金铭,2005),于是可以认为地下水流的方向也即垃圾渗滤液中污染阳离子的移动方向。综合以上分析可推测,填埋Ⅳ区产生的垃圾渗滤液随地下水流向主要向场区西、南侧渗透,对 L1、L2、L3 测线所在区域均可能造成污染。

### 3.2 高密度电法一定位污染区部位

将测得的视电阻率数据经过去飞点等处理后,利用 Res2Dinv 进行最小二乘法反演,并在 Surfer 中成图(见图6),对异常解释分析如下:

(1)从背景场测线反演结果中可以看到,0~10 m 深度段电性层呈现相对低阻异常,电阻率值在  $20 \Omega \cdot m$  左右,这是由于下雨过后表层仍有积水存在,水逐渐下渗导致浅部呈低阻分布。10~20 m 深度段电性层电阻率值在  $28 \sim 58 \Omega \cdot m$  之间,结合实际情况以及前期室内物性试验结果,该电性层推测为未受污染的红黏土层,因为电阻率曲线在这里呈均匀线性变化,属正常的红黏土层物性变化。底部以相对高阻分布为主,电阻率值在  $120 \sim 500 \Omega \cdot m$ ,推测为地下基岩反映。

(2)测线 L1 剖面上,10~25 m 深度段电性层存在大片低阻异常,电阻率值在  $6 \sim 15 \Omega \cdot m$  内,与背景剖面未受污染红黏土层电性特征相比明显降低,推测为渗滤液渗漏污染区(如图中红色虚线

框所示),并可以看到渗漏污染区有向下渗透的趋势。测线 L2 处于填埋Ⅳ区,埋藏有生活垃圾,剖面上 0~7 m 深度段电性层电阻率值在  $40 \Omega \cdot m$  以上,推测为未受污染的红黏土层;7~15 m 深度段电性层存在多处相对低阻异常圈闭,电阻率值约为  $10 \sim 14 \Omega \cdot m$ ,这些相对低阻异常区域可推测为生活垃圾的主要富集区;15~23 m 深度范围内,电阻率等值线呈连续分布,电阻率值在  $28 \sim 84 \Omega \cdot m$  内,推测为未受污染红黏土层;23 m 深度以下区域电阻率值大于  $100 \Omega \cdot m$ ,推测为基岩分布层。测线 L3 位于填埋Ⅳ区西侧,浅层电阻率值在  $30 \sim 60 \Omega \cdot m$  范围内,推测为未受污染红黏土层;10~25 m 深度段电性层以相对低阻分布为主,电阻率值最低在  $5 \Omega \cdot m$  以下,结合物性试验结果及背景剖面地下电性特征,可推测为渗滤液污染区,且污染程度较为严重。

比较测线 L1 与背景场测线的视电阻率剖面图(图7),污染情况更为直观。我们知道,视电阻率并不能代表真实电阻率  $\rho$ ,它仅是地下介质电性特征的一个综合反映(闫天龙,2014),但仍可以通过视电阻率剖面对污染情况进行定性的分析:在背景场测线实测剖面上,视电阻率呈层状均匀分布,无完整的异常圈闭,无明显的异常值极大值和极小值,整个剖面上视电阻率值约在  $28 \sim 58 \Omega \cdot m$  之间。与背景剖面相比,测线 L1 视电阻率剖面上 7~20 m 深度范围内视电阻率值明显降低,污染情况一目了然。

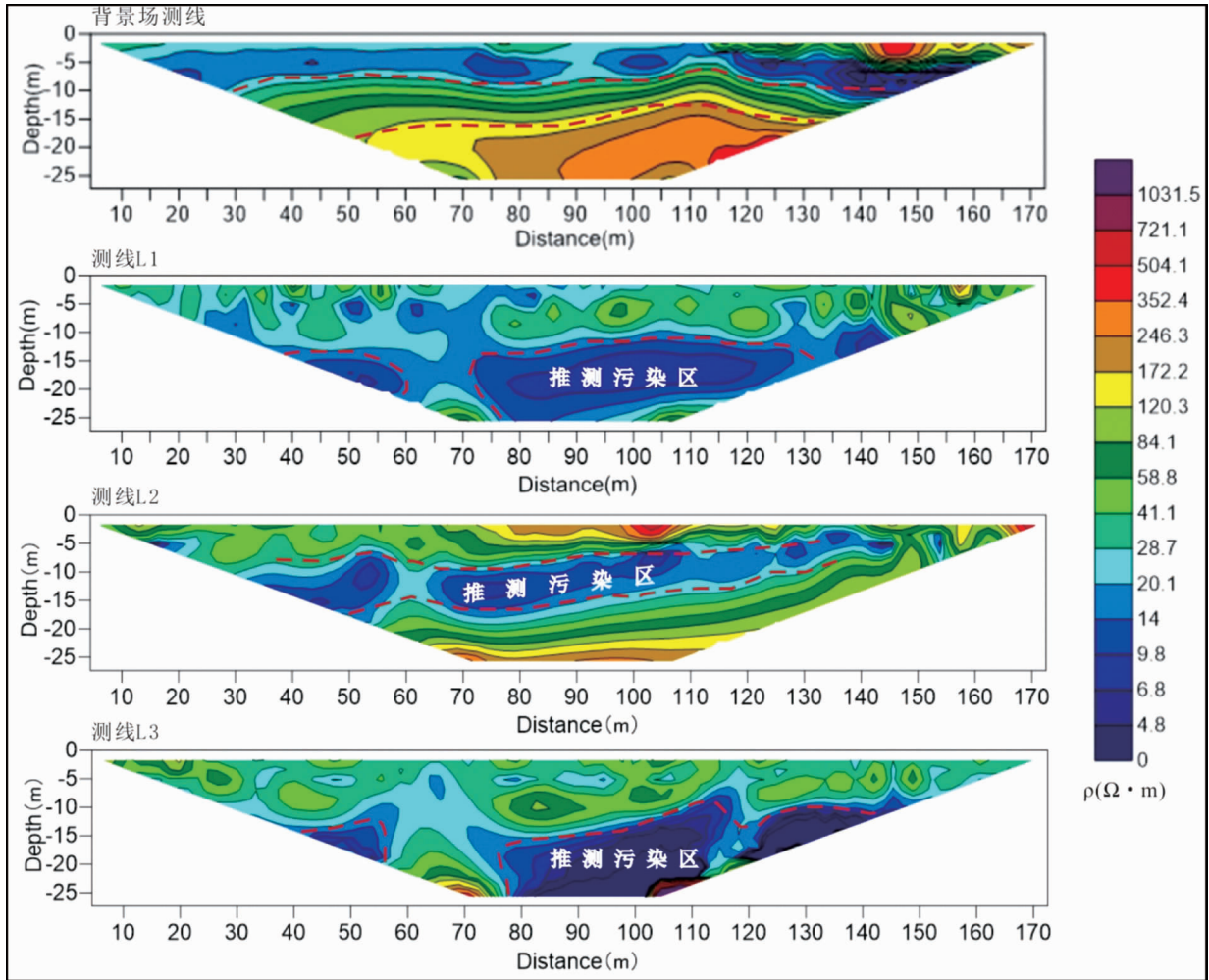


图6 高密度电法反演电阻率剖面图(温纳装置)(据朱源婷、黄彪等实测,2017)

Fig. 6 The inversion result of high density electrical method (Wenner Array)

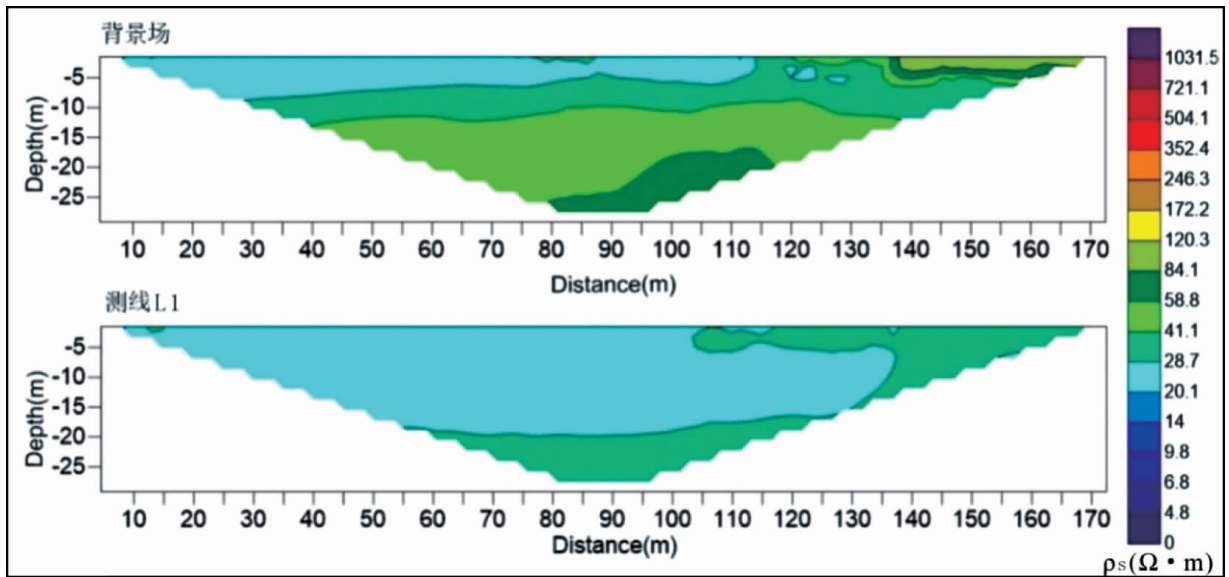


图7 测线L1与背景场测线视电阻率剖面对比图(据朱源婷、黄彪等实测,2017)

Fig. 7 Comparison profile of apparent resistivity of L1 and background line

## 4 结论及建议

针对武汉市二妃山生活垃圾填埋场,结合场区地质相关资料及前期室内物性试验结果,在确定了场区地下水流向(自然电场法)、推测可能的污染区后,利用高密度电法对场区污染范围进行了圈定,结果如下:填埋IV区产生的垃圾渗滤液随地下水流向向场区西、南侧渗透,对L1、L2、L3测线所在处均造成了较严重污染,被污染区域主要位于地下10~25m深度段。同时也总结出本场区红黏土受渗滤液污染后电性变化特征:武汉地区红黏土在受到生活垃圾渗滤液污染后,电阻率值会明显降低,其值在 $15 \Omega \cdot m$ 左右可视为受到了渗滤液污染,低于 $5 \Omega \cdot m$ 可视为污染较严重。通过本次调查,我们认为高密度电法和自然电场法在垃圾填埋场污染调查中的应用效果是比较显著的,并为同类型垃圾填埋场的渗漏调查及治理提供了一定的理论依据和参考。同时本次调查仍存在一些不足:在下一步的工作中还需补充钻探及水质检测等资料进行验证分析,使调查结果更加准确、可靠。

## [参考文献]

- 曹静,吴灿灿,李雪,等. 2009. 浅谈几种常用电法勘探的原理及优点[J]. 工程技术,18:37.
- 龚娟. 2010. 二妃山垃圾填埋场地下水环境质量浅析[J]. 环境科学与管理,35(5):62-65.
- 郭永龙,王焰新,蔡鹤生,等. 2002. 垃圾填埋场渗滤液对地下水环境影响的评价[J]. 地质科技情报,21(1):87-90.
- 刘东,孙建亭,江丁酉,等. 2002. 二妃山垃圾填埋场污染地下水的可行性分析[J]. 地质科技情报,21(3):79-83.
- 李金铭. 2005. 地电场与电法勘探[M]. 北京:地质出版社,369-374.
- 罗莉,寇学永. 2015. 武汉市二妃山垃圾填埋场环境影响后评价探讨[J]. 环境科学与技术,38(6P):436-440+457.
- 刘勇,冯其林. 2005. 二妃山垃圾卫生填埋场防渗体系的设置与渗滤液的收集处理[J]. 土工基础,19(4):45-47.
- 王俊业. 2002. 应用自然电场法研究地下水水流场[J]. 物探与化探,26(2):140-142.
- 闫天龙. 2014. 地电方法在地下水污染调查中的应用研究[D]. 中国地质大学(北京).
- 张微. 2012. 谈物探技术自然电场法[J]. 黑龙江科技信息,13:63.
- 朱源婷. 2017. 垃圾填埋场渗漏电阻率变化特征研究[D]. 中国地质大学(武汉).

## Environmental Investigation of High Density Electrical Method in Municipal Solid Waste Landfill of Wuhan City

HUANG Biao, ZHU Yuan-ting

- (1. Guizhou Transportation Planning Survey & Design Academe Co.Ltd, Guiyang 550081, Guizhou, China;  
2. College of Environmental Monitoring of Guizhou Province, Guiyang 550004, Guizhou, China)

[Abstract] In this paper, Erfeishan landfill site in wuhan city was taken as the research object. Based on the preliminary physical property test results and the existing data of the site, the pollution situation of the landfill site was investigated by high density electric method and self-potential method. The results shows that the landfill leachate generated in the area IV has caused serious pollution to the west and south side of the site. The survey identifies the direction and range of leakage pollution, and it provides a reference for the leakage investigation of the same type of landfill.

[Key Words] Landfill; Leachate pollution; High density electrical method; Self-potential method