

基于地下电学特征变化对垃圾场有害液体 渗漏监测的研究试验

李学山¹, 肖波¹, 郑文棠¹, 董龙飞², 刘伟¹

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663; 2. 西安澳翔勘探技术开发有限公司, 西安 710054)

摘要: [目的] 传统的环境地球物理的方法是垃圾场有害液体渗漏监测的主要手段之一, 但该类方法存在监测范围小, 灵活性差、时间间隔长、监测精度差等缺点。为了改善上述情况, 研发了一种新型的分布式电法系统来监测有害液体的渗漏。[方法] 从分布式电法系统原理入手, 通过硬件、软件设计及实现, 对设备系统进行研发及试验。该新型分布式电法系统采取一次性布极, 全通道、多极距的数据采集方法, 通过对各个检测电极采集到的电势分布进行分析可快速和准确地检测到渗漏点。[结果] 野外试验结果表明: 该新型分布式电法系统可快速、有效地检测到土壤电阻率变化情况, 检测成果可靠, 仪器设备分辨率高, 数据直观, 异常体位置明显, 可有效圈定试验浇灌区域点。[结论] 电法系统通过多次检测可实现对垃圾场试验液体渗漏进行动态监测, 为环境岩土污染调查及检测、监测提供了有效的参考依据。

关键词: 电阻率法; 垃圾场渗漏; 地下水污染; 分布式电法系统

中图分类号: P631.3; X83

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0209-06

Leakage Pollution Monitoring Research of Municipal Landfill Based on the Resistivity Method

LI Xueshan¹, XIAO Bo¹, ZHENG Wentang¹, DONG Longfei², LIU Wei¹

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

2. Xi'an Aoxiang Exploration Technique Development Co., Ltd., Xi'an 710054, China)

Abstract: [Introduction] The traditional environmental geophysics method is one of the main solutions of monitoring liquid leakage of hazardous liquids in landfills. However, such methods have the defects of limited monitoring range, low flexibility, long time interval and poor monitoring accuracy. This article aims to establish a new distributed electrical method to monitor the leakage of hazardous liquids to improve the above situation. [Method] This article introduced the new method by starting from the basic principles of distributed electrical system, designation and implementation of the system's software and hardware, which contributed to the research, development and tests of the system. The new distributed electrical method adopted a data acquisition method, which had the features of one-time electrodes placement, full-channel and multi-electrode spacings. The leakage points could be detected quickly and accurately by analyzing the potential distribution collected by each electrode. [Result] Field test results show that the new distributed electrical method can detect the change of soil resistivity quickly and effectively, the test results are reliable, the resolution of collected data points is high, the data is intuitive, the position of abnormal body is obvious. The watered area and points can be effectively delineated. [Conclusion] The method can achieve dynamic monitoring of landfill liquid leakage through out multiple tests, which also provides an effective reference for detection, monitoring and environmental or geotechnical investigations.

Key words: resistivity method; landfill leakage; groundwater pollution; distributed electrical method

收稿日期: 2018-01-25 修回日期: 2018-04-16

基金项目: 中国能建广东院科技项目“土壤修复”(EX03791W); 广东省应用型研发重大专项(2016B020242006); 广州市科创委产学研协同创新重大专项(201704020200)。

垃圾填埋场防渗层的防渗处理不达标或者防渗层在长年累月填埋过程中的碾压、老化等问题的影响下, 导致垃圾场出现渗漏进而对所在地地下水 and 土壤造成了严重污染^[1]。因而及时检测到有害液体的渗漏点并加以及时处理显得尤为重要。传统的环

境地球物理的方法是垃圾场有害液体渗漏监测的主要手段之一,但该方法存在监测范围小,灵活性差、时间间隔长、监测的精度差等缺点。论文研究了采用一种新型分布式电法系统来监测有害液体的渗漏情况的技术方法,该方法采用一次性布极,全通道、多极距进行数据采集。由于渗漏点的结构与渗漏点区域外的地质构造不同,通过微机程控原理控制检测电极网络中的任意两个检测电极做为供电电极(一正一负)向地下注入稳定电流,形成一个稳定的电势场,各个检测电极网络采集的电势存在差异,通过对采集电极的电势分布状况进行分析可快速、准确地检测到渗漏点,为污染渗漏治理提供有效的数据依据。

1 传统的垃圾场渗漏监测方法

传统的垃圾场渗漏检测以钻孔取样后进行化学分析为主,该方法不受地质结构约束、不受地下水位影响,可直观、准确的反映地下岩土体的基本结构和空间分布,但由于钻孔采样数量有限,单点的取样无法全面地反映出地下污染渗漏情况,且其调查时间周期长,时效性差,已损坏地质体结构造成地下水二次污染。环境地球物理的方法能够克服上述问题^[2-15]。

环境地球物理电法常用的方法有电阻率法和探地雷达法、瞬变电磁法^[2-15]。探地雷达法对浅层介质电性的变化有较高的灵敏度,该方法适用于在表层地面进行扫描探测工作,但垃圾填埋场的表面是随着垃圾填埋工作的进行而不断地变化的,给分析工作提供了额外的负担,于此同时,很难将探地雷达放置在防渗层低部进行工作;此外,由于污染源的渗透途径往往由防渗层的局部破损处开始,难以形成大块体的岩体电性变化,对此,瞬变电磁法存在分辨率不足的问题。而电阻率法则可通过永久布设电极及密集分布电极来探地雷达以及瞬变电磁法的不足,电阻率法的基本原理为:污染液体渗透至地下岩土层裂隙带从而导致地下岩体电性特征发生改变,进而该岩土层的电阻率值,文献^[2-10]较详细地论述了多种污染物改变岩体电性特征的方式和程度。不论是无机物污染还是有机物污染,被污染的岩体导电性都会出现变化,在人工电场下采集的数据呈现的电阻率也将产生不同的变化,通过本文所阐述的电阻率法,可进行渗漏点的监测。

2 新型分布式电法系统研究

2.1 分布式电法基本原理

电法是以地下岩土层的电性差异为物性基础,是通过观测分析岩土体自然电场或者人工场分布变化规律来解决地质问题的勘察方法。通常,假设在目标区域大地电阻率是均匀的,可采用任意电极装置来采集两点之间的电位差,既在地表任意选取两点 A、B 通过电极供电,同时选取任意两点 M、N 通过电极测量其电位即可得出其电位差,而对于 M、N 两点的电位,可由以下公式计算:

$$U_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{U_{AM}} - \frac{1}{U_{BM}} \right) \quad (1)$$

$$U_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{U_{AN}} - \frac{1}{U_{BN}} \right) \quad (2)$$

显然, AM 在 MN 间所产生的电位差:

$$\Delta U_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{U_{AM}} - \frac{1}{U_{BM}} - \frac{1}{U_{AN}} + \frac{1}{U_{BN}} \right) \quad (3)$$

由公式可得均匀大地视电阻率的计算公式为:

$$\rho = K \left(\frac{\Delta U_{MN}}{I} \right) \quad (4)$$

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{U_{AM}} - \frac{1}{U_{BM}} - \frac{1}{U_{AN}} + \frac{1}{U_{BN}}} \quad (5)$$

式中: K 为电极装置系数。

从而得到任意电极装置的视电阻率计算基本公式。

2.2 分布式电法硬件设计

本文研究的分布式电法系统是利用多根多芯线缆将大量检测电极串接起来,接到主控箱上。主控箱用于高压的控制与极性转换、命令的解析与数据的上传以及电流的采集,如图 1 所示。

检测电极主要是工作状态的切换与 RS485 的数据通讯,在一个供电电极 A、B 对里,其中 N 个检测电极中的两个切换为供电电极完成发送高压电压,剩余的检测电极切换成采集电极进行 N-2 个通道的电压并行采集,如图 2 所示:图中 \longleftrightarrow 为多芯线缆, \equiv 为检测电极所在位置。电极布设方式为:矩形布设、极距相等,所有电极可作为供电电极(供电时)、测量电极(非供电时)。

2.3 分布式电法软件设计

本次反演软件设计采用的是圆滑约束最小二乘法,采用了基于准牛顿最优化非线性最小二乘法的新算法。反演软件自动将地下电性体网格成多个矩

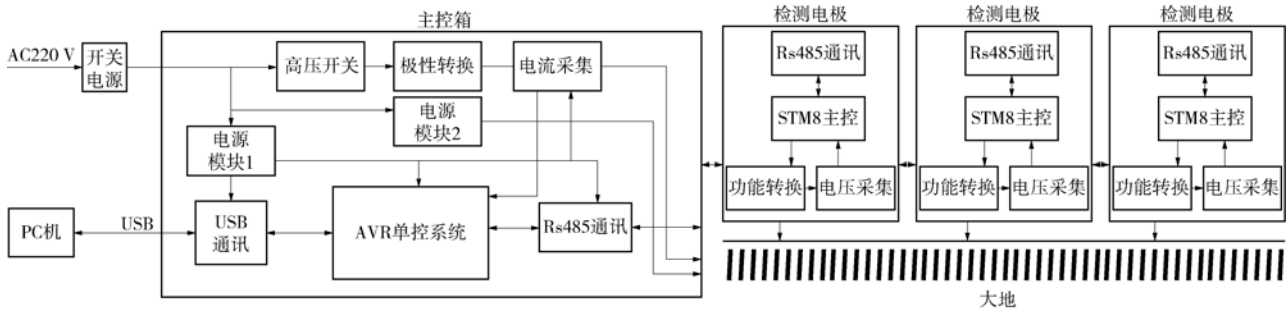


图 1 分布式电法系统结构框图

Fig. 1 Structural diagram of distributed electrical system

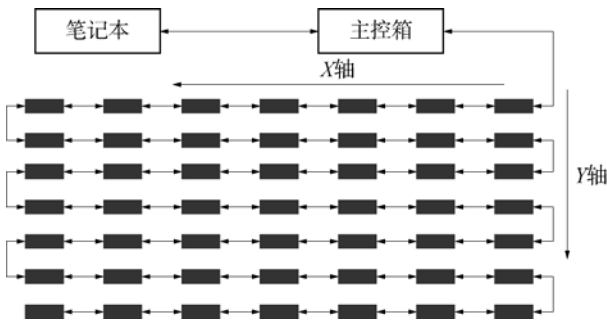


图 2 分布式电法系统电极采集方式图

Fig. 2 Instruments and electrodes layout figure of distributed electrical system

形模型单元块, 赋予初始值并迭代计算各矩形模型单元块的电阻率值, 使其与被观测到的视电阻率值保持最小的差值。反演软件依据采集的数据量、参数设置、计算机配置进行迭代次数选择, 多次迭代后形成视电阻率图, 进而根据工作目标结合地质进行综合解释。具体数据处理流程见如图 3 所示。

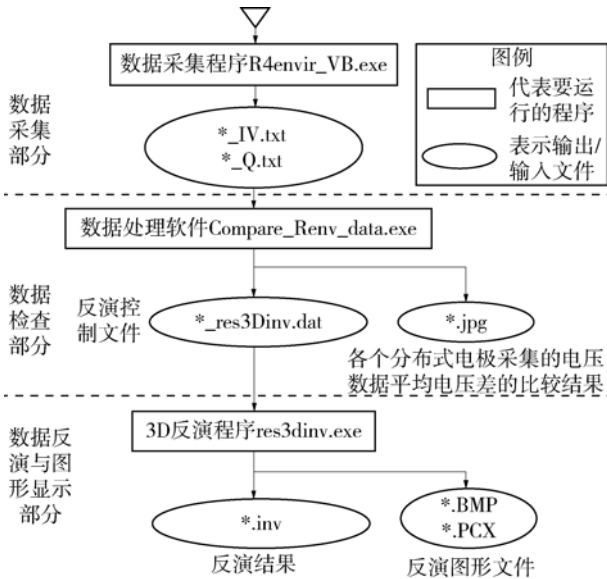


图 3 分布式电法系统数据处理流程

Fig. 3 Flow chart of data processing of distributed electrical system

3 试验分析

本次的实验场为广州油某制气厂, 如图 4 所示。该场区地表为素填土, 呈红褐、黄褐色为主, 主要由人工堆填的粘性土及砂组成, 成分不均匀, 基岩为花岗岩。

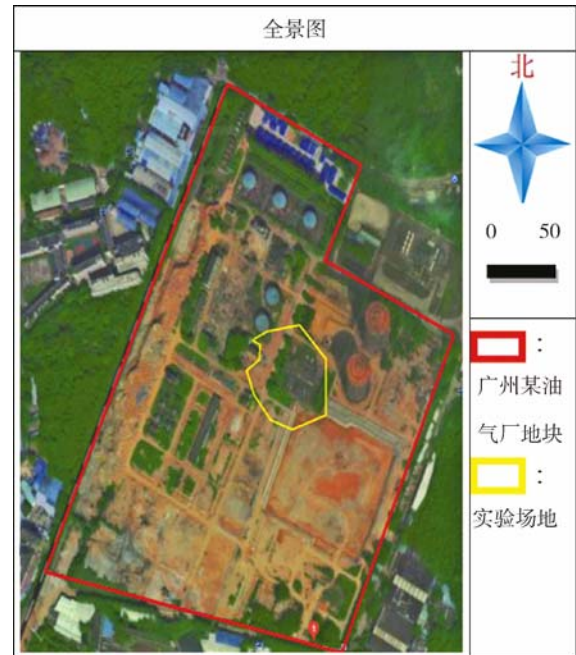


图 4 试验场地俯瞰图

Fig. 4 Top view of the test site

为检测仪器方法的有效性, 采用两种不同方案进行试验:

方案一: 场地为 10 m × 10 m, 电极布置间距为 1 m, 电极沿 X 轴、Y 轴方向等间距的各布置 10 个测量电极, 形成一个 10 × 10 的电极网络, 如图 5 所示。

方案二: 场地为 36 m × 24 m, 电极布置间距为 3 m, 电极沿 X 轴、Y 轴方向等间距的各布置 96 个测量电极, 形成一个 12 × 8 的电极网络, 如图 6

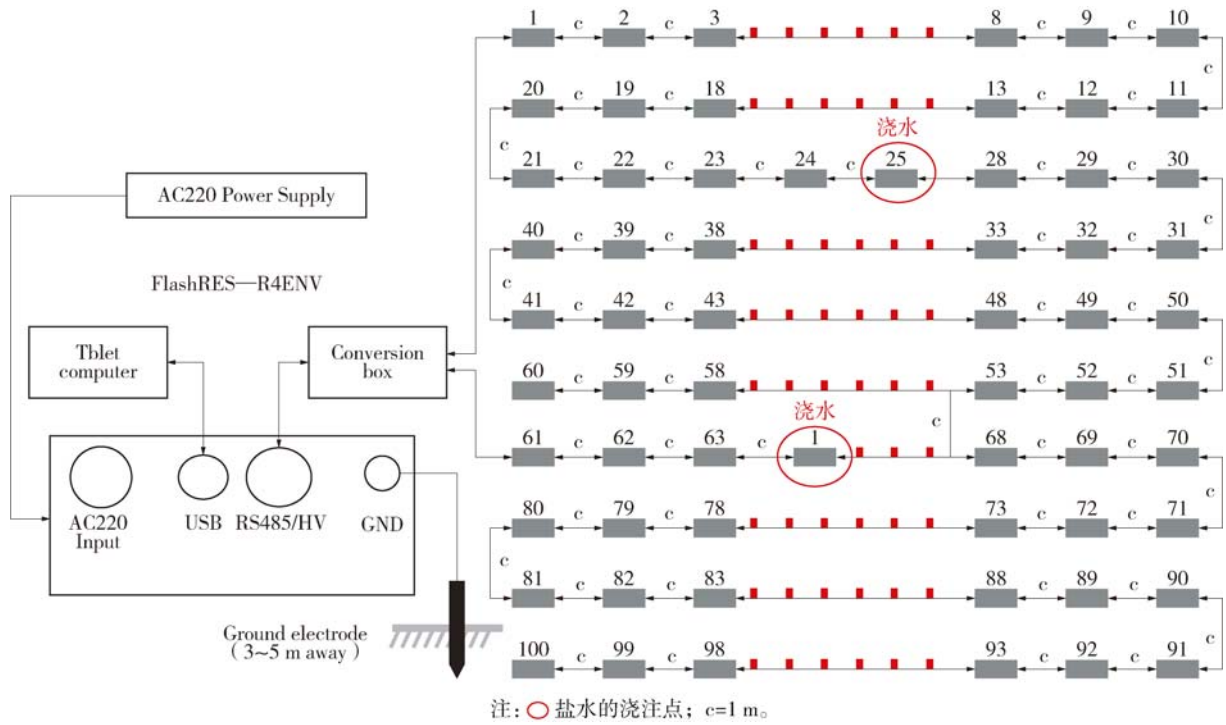


图 5 方案一电极网络布置图

Fig. 5 The layout of electrodes for plan 1

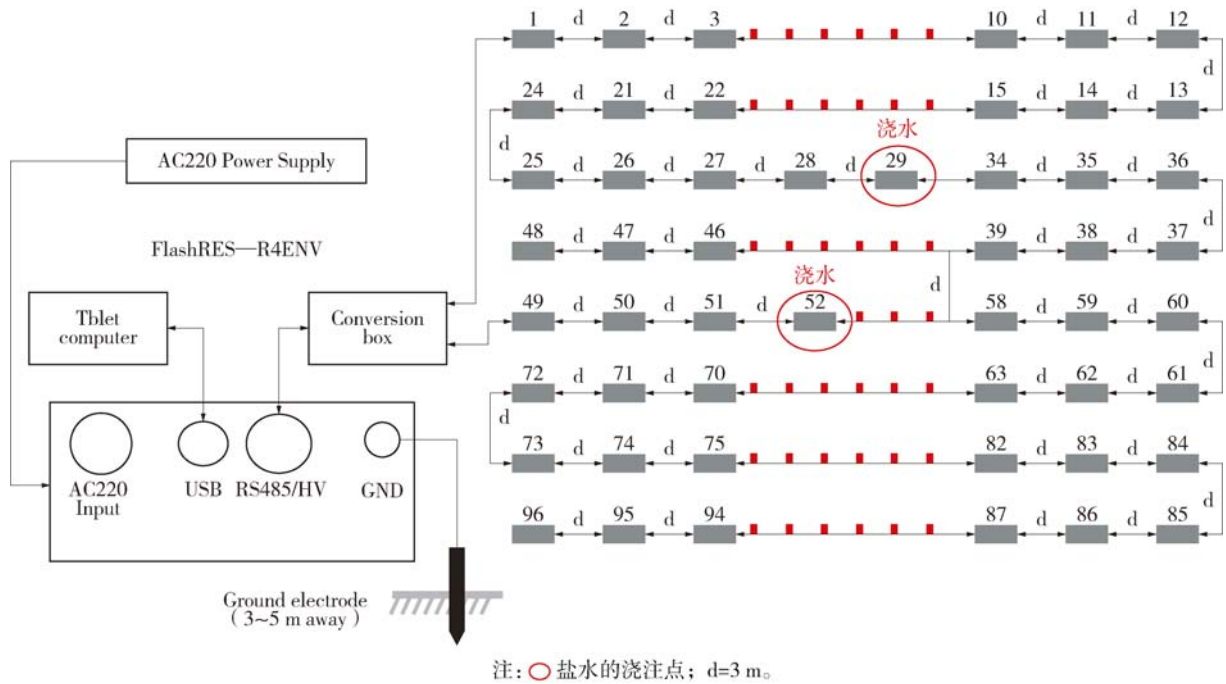


图 6 方案二电极网络布置图

Fig. 6 The layout of electrodes for plan 2

所示。同时，为能够反映渗漏点，试验过程中分别选择两个电极做为参考点，并以电极为中心浇灌 10 L 以上的盐水，分别检测渗漏点浇灌盐水前、后

电阻率变化情况，以入渗前布极区域内的电阻率空间分布特征并将获取的数据作为参考值；检测盐水渗入土层后引起的岩土电阻率分布特征的变化，从

而验证此方法对于渗漏点的反应以及可行性与有效性。

在方案一中, 分别选择检测电极 25 与 64 为浇灌盐水的测试点, 如图 5 所示。

在方案二中, 分别选择检测电极 29 与 52 为浇

盐水的测试点, 如图 6 所示。

在方案一中, 分别选择检测电极 25 与 64 为浇灌盐水的测试点, 如图 7 所示。

在方案二中, 分别选择检测电极 29 与 52 为浇灌盐水的测试点, 如图 8 所示。

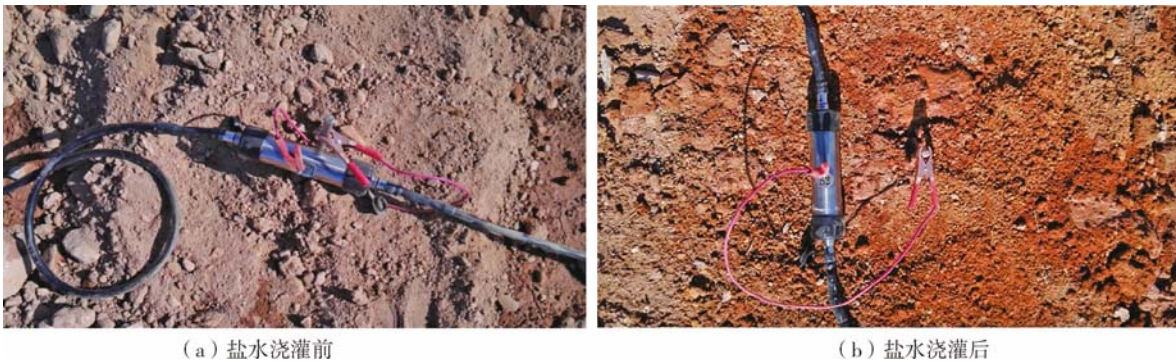


(a) 盐水浇灌前

(b) 盐水浇灌后

图 7 方案一浇灌盐水前后的测试图

Fig. 7 Before and after watering electrodes in plan 1



(a) 盐水浇灌前

(b) 盐水浇灌后

图 8 方案二浇灌盐水前后的测试图

Fig. 8 Before and after watering electrodes in plan 2

经过对采集数据进行反演计算, 处理, 并将浇灌盐水后检测的电阻率值减去浇灌盐水前的背景场值, 方案一的计算结果如图 9 所示, 方案二的计算结果如图 10 所示。图 9 表明了测试的渗漏检测电极点 25 与 64 在浇灌盐水后其电极检测到的电阻率值有了明显的变化。图 10 表明了测试的渗漏检测电极点 29 与 52 在浇灌盐水后其电极检测到的电阻率值相对于其他检测电极电阻率的值也有明显的变化, 通过该变化可知, 该新型分布式电法系统对土壤电阻率变化反应敏感, 浇灌盐水前后检测成果数据对比直观, 异常体位置明显, 检测成果可靠, 能有效检测出浇灌盐水区域点, 两次实验的结果验证了该方法可以对于检测有害液体的渗漏具有可行性

与有效性。

4 结论

论文针对目前针对垃圾场有害液体渗漏情况, 提出并设计一种针对垃圾场的有害液体的渗漏可实时、动态检测的新型分布式电法系统。论文介绍了该系统的基本原理以及硬件、软件组成, 通过试验分析, 表明了该新型分布式电法系统分辨率高, 数据直观, 对电阻率变化反应敏锐, 可有效地圈定试验浇灌区域点, 通过多次检测可实现对垃圾场试验液体渗漏进行动态监测, 为环境岩土污染调查及检测、监测提供了有效的参考依据。

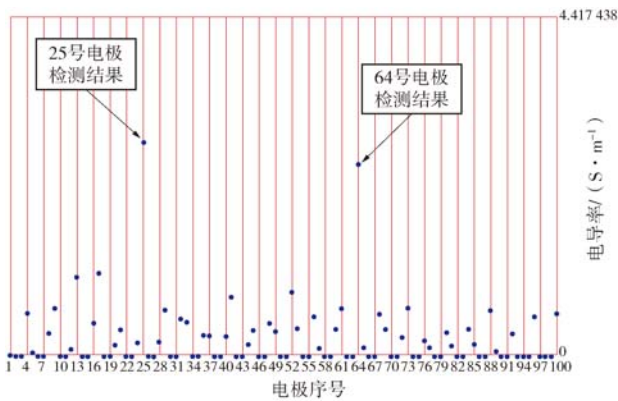


图9 方案一浇灌盐水后测试计算结果图

Fig. 9 Testing results after watering electrodes in plan 1

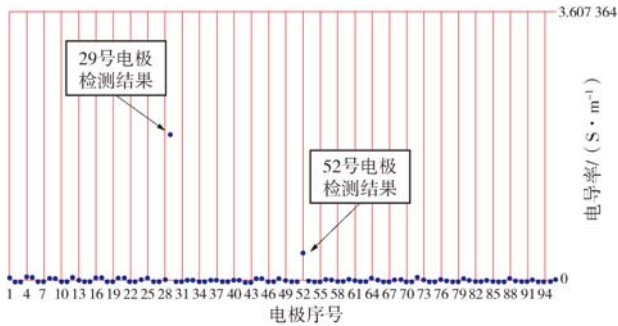


图10 方案二浇灌盐水后测试计算结果图

Fig. 10 Testing results after watering electrodes in plan 2

参考文献:

[1] 肖波, 郑文棠, 丁金伟, 等. 基于地下电学特征变化监测城市垃圾场有害液体的渗漏 [J]. 南方能源建设, 2017, 4(2): 110-114.
XIAO B, ZHENG W T, DING J W, et al. Leakage pollution monitoring of municipal landfill based on the resistivity method [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(2): 110-114.

[2] 岳宁, 王刚, 阚飞, 等. 低渗透性裂隙岩体水流三维入渗过程的高密度电阻率成像法研究 [J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2017, 53(1): 9-18.
YUE N, WANG G, KAN F, et al. Study of low-permeable fractured rock mass in three-dimensional infiltration using high-density electrical resistivity tomography [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2017, 53(1): 9-18.

[3] 刘国辉, 徐晶, 王猛, 等. 高密度电阻率法在垃圾填埋场渗漏检测中的应用 [J]. 物探与化探, 2011, 35(5): 680-683+691.
LIU G H, XU J, WANG M, et al. The application of high-density resistivity method to landfill leakage detection [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2011, 35(5): 680-683+691.

[4] 王刚, 刘汝学, 黄少文, 等. 基于高密度电阻率成像法的低

渗透裂隙岩体水流入渗特征原位试验研究 [J]. 中国科技论文, 2016, 11(3): 263-269.
WANG G, LIU R X, HUANG S W, et al. In-situ experimental study of water infiltration properties within low-permeable fractured bedrock based on high-density electrical resistivity tomography [J]. China Science Paper, 2016, 11(3): 263-269.

[5] 叶腾飞, 龚育龄, 能昌信, 等. 环境地球物理方法在污染场地调查中的应用 [J]. 南华大学学报(自然科学版), 2008, 22(3): 9-14.

[6] 叶腾飞, 龚育龄, 董路, 等. 环境地球物理在污染场地调查中的现状及展望 [J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(3): 23-27.

[7] 郭秀军, 魏丽, 贾永刚, 等. 垃圾填埋场渗滤液污染地下水含水层及修复过程的三维动态监测实验 [J]. 地球物理学进展, 2006, 21(2): 637-642.

[8] 尚浩. 利用三维电学系统进行地下液相污染扩散过程监测研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.

[9] ALEXANDRE, LISBOA, LAGO, et al. 利用电阻率和探地雷达(GPR)法进行污染场地地球物理勘查——巴西圣保罗里贝朗雷图市润滑油废物处理区研究实例 [J]. 水文地质工程地质技术方法动态, 2009(3): 27-38.

[10] 肖波, 马海毅, 王占华. 浅析物探技术在环境岩土检测、监测中的应用 [J]. 勘察科学技术, 2016(增刊1): 72-75.

[11] 王艳, 何宝石. 燃煤电厂项目地下水环境影响评价的几点认识 [J]. 南方能源建设, 2014, 1(1): 83-87.

[12] 叶腾飞, 龚育龄, 董路, 等. 环境地球物理在污染场地调查中的现状及展望 [J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(3): 23-27.

[13] 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.

[14] 程业勋, 杨进. 环境地球物理学概论 [M]. 北京: 地质出版社, 2005.

[15] 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.

作者简介:



李学山

1982-, 男, 河南新乡人, 高级工程师, 硕士, 主要从事核电、大型电厂、海上风电、高电压等级电网等项目的岩土工程勘察及项目管理工作 (e-mail) lixueshan@gedi.com.cn。

LI X S

肖波(通信作者)

1984-, 男, 湖南邵阳人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电力勘察设计工作 (e-mail) xiaobo@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)