

基于地下电学特征变化监测城市垃圾场有害液体的渗漏

肖波¹, 郑文棠¹, 丁金伟¹, 折京平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: 对城市垃圾场有害液体通过渗漏污染地下水问题的解决已迫在眉睫, 而目前对垃圾场有害液体渗漏监测的方法存在各种问题, 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少, 时间间隔长的缺点。介绍了垃圾渗漏污染的基本机理和使用环境地球物理电阻率法监测渗漏的原理, 通过引用了一个数据模拟的例子对比全通道方法与其他传统方法, 表明了全通道方法明显的优势。同时讨论了使用永久埋地电极进行数据采集和处理的优点, 并且提出该监测方法分阶段的数据处理和解释的主要思路和原理。针对垃圾场的极大市场规模, 采用全通道电阻率法作为数据采集方案, 可有效对垃圾场进行实时、高效、全方位的监测, 可在全行业范围内推广应用。

关键词: 电阻率法; 垃圾填埋场泄漏; 地下水污染

中图分类号: TM756.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)02-0110-05

Leakage Pollution Monitoring of Municipal Landfill Based on the Resistivity Method

XIAO Bo¹, ZHENG Wentang¹, DING Jinwei¹, ZHE Jingping², 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., Xian 710054, China)

Abstract: The groundwater pollution resulting from landfill leakage in urban areas has become an increasingly serious threat. At present, there are various problems in the method of monitoring the landfill leakage. The environmental geophysics methods are the main approaches for leakage monitoring. However, similarly to other landfill leakage monitoring methods, these traditional geophysical methods have the problems of limited surveying range and a long period of survey intervals. This paper introduces the elemental mechanism of landfill leakage pollution, whilst also reviewing the principles of applying resistivity method to monitor leakages. The resistivity Full Channel Method is introduced with apparent advantages; these are illustrated using a synthetic model to compare the Full Channel Method against other traditional methods. This paper also discusses the advantages of using permanent buried electrodes for data acquisition, and processing, while introducing the main methodologies and principles of the data interpretation on the resistivity anomaly. With the extensively large scale of the landfill industry, the data acquisition and processing with resistivity Full Channel Method can provide real-time, high-efficiency, and comprehensive monitoring, which deserves to be applied within all landfill sites.

Key words: resistivity method; landfill leakage; groundwater pollution

收稿日期: 2017-05-06

基金项目: 中国能建广东院科技项目“土壤修复”(EX03791W);

2017年广州市科创委产学研协同创新重大专项(201704020200)

作者简介: 肖波(1984), 男, 湖南邵阳人, 高级工程师, 硕士, 主要从事环境污染调查及勘探工作(e-mail)757291xiaobo@163.com。

通过对垃圾场研究区进行现场水、土样采集进行室内化学分析测定污染物的化学成分含量: 垃圾主要由工业和生活垃圾组成, 按其污染物、化学类型可分为无机污染和有机污染, 其中, 无机污染物有氰化物、砷, 汞、铬、镉、铜、镍、亚硝酸盐等

离子;有机污染物有农药(DDT、六六六等)、有机含氯化合物、醛、酮、酚、多氯联苯和芳香族氨基化合物、高分子聚合物(塑料、合成橡胶、人造纤维)、染料等^[1]。垃圾填埋场污染地下水主要是通过工业垃圾中有毒有害物质、生活垃圾中有机物经过液氧发酵后形成的渗沥液透过隔膜进入地下水源。经过检测,垃圾渗沥液中含有大量难降解的有毒污染物,并能产生不安全的累积效应,在局部富集起来。

由于垃圾场往往位于沟谷地带,地质结构往往具有裂隙节理发育的特征。因此,如文献[1]所述:一旦场区底部防渗处理不达标,将导致垃圾场发生渗漏污染。渗漏污染液由渗漏点进入地下渗漏通道向外扩散,其渗漏通道往往是与渗漏点连通的地下裂隙破碎带、节理密集带或透水层,渗流方向多为垃圾填埋场的下游,渗漏扩散速度与水力梯度、渗透系数和水动力弥散系数有关。垃圾场中产生这些有害液体如果渗透到地下水系,将造成严重的环境污染。因此,需要对垃圾掩埋场设置防渗系统。一般采用以橡胶,树脂等高分子材料做成的土工膜以及复合土构成防渗层。但是这些防渗层也会在一定的情况下出现破损,如填埋过程中的碾压、老化等。故对垃圾场所进行有效的有害液体渗漏的监测已迫在眉睫。

1 传统的垃圾场渗漏监测方法

目前,监测防漏效果最直接的方法是钻孔取样后做化学分析。但是由于钻孔采样的数量是有限的,不易全面了解场区内污染物渗透的分布,并且调查工作的周期太长,实时性差,不适合作长期的监测。环境地球物理的方法能够克服上述问题^[2]。

常用的环境地球物理的方法有:重力,电,磁,地震波及放射性等。方法的选择取决于研究对象的物理特征。电法是目前国内外比较常用的方法。其基本原因和原理为:随着污染物渗透至地下裂隙带会导致地下岩体电性特征发生改变。文献[1-3]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。如:上述文献所描述的无机污染物在水中多以带电离子形式存在,离子浓度愈大,地下水的导电性愈强,可使水体导电性增加可达十倍左右。而有机污染物多以大分子化合物的形式溶于水体之中,使地下水因混杂了有机杂质而导致电

阻率增加 $10 \sim 100 \Omega \cdot m$ 。但是,因为无机污染物在水中多以带电离子形式存在,相比有机杂质而言更易于地下的运移。因此,出现高导带状或羽状异常,更应提高警惕。值得注意的是:渗滤液的注入对砂土电阻率的改变作用明显,电阻率的变化幅度较大,整体表现为随注入量的增多,电阻率逐渐降低,当被污染介质的污染物达到一定的浓度后,电阻率便不再降低。这意味着:污染物的浓度与电阻率关系是复杂的,当反演的电导率模型值没有持续上升,却存在污染物渗流量不断增大的可能。

环境地球物理电法常用的方法有电阻率法和探地雷达法^[1-16],瞬变电磁法^[17]。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;而电阻率方法则可将供电与测量电极直接永久性地布置于防渗层低部;另外,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,而电阻率方法则可通过密集分布电极来弥补这一缺陷。

2 新型垃圾场渗漏电法监测方法

2.1 新型垃圾场渗漏电法监测原理

电阻率法是通过观测地表电场(电势)的变化来确定地下电性的变化,从而达到监测污染物是否渗透及圈定渗透范围的目的。该方法通常使用四极装置的方法:采用两个电极(A和B)向地下供电,另外两个电极(M和N)测量其所在点的电势。常用的装置类型有,温纳(Wenner)装置,施伦贝尔(Schlumberge)装置,偶极(Dipole-Dipole)装置,等等。不同的装置类型会对地下电性变化有不同的敏感性。相对而言,偶极装置则对浅部水平分析的电性变化反映较灵敏,为了提高分辨率,也可采用两种以上装置组合的测量模式^[1]。

不难看出,对于每一次的供电(A和B),上述某一特定的装置仅采集两个电势值(M和N)。随着地下电场的数字模拟及反演技术的飞速发展,拘泥于几个特定的装置类型的方法已经不能解决特殊场地的监测任务(如垃圾场的有害液体渗漏的监测)。

可采用的方式为：对于一次供电，将测量地表所有其它观测点的电势值，将这些观测值均作为本次供电的有效观测电势数据对地下电阻率模型进行反演，极大地增加了观测电势数据量，该方法称为全通道方法。众所周知，观测数据量的大小在地球物理反演中减小多解性和提高可靠性起着关键的作用。

通过设计开发出专业垃圾场的有害液体渗漏的监测设备。同时编制相应的数字模拟与数据处理的反演软件，可在地球物理探测项目中获得较为满意的应用结果。

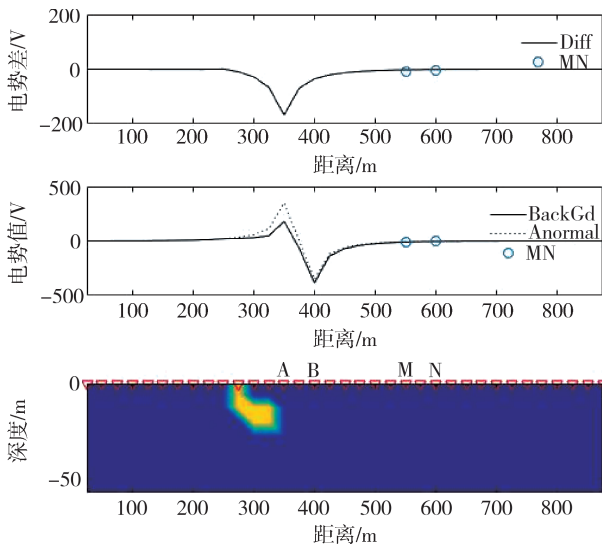


图1 观测工作方法示意图

Fig. 1 Schematic diagram of observation work method

图1是该方法(全通道方法)观测工作方法示意图。由上、中、下3个子图构成。该示意图下图是在一个均匀的背景电导模型中模拟出约300 m处)防渗层局部出现了破损,污染物沿裂隙带渗透并造成了局部的高电导条带(黄色)。图中的多个红色倒立小三角代表所布置的电极。选择其中的两个电极(A和B)作为供电电极、另外随机两个条件吻合的电极作为测量电极(M和N)。通过模拟记录了除(A和B)之外的所有电极点的电势数据,通过单次供电,可观测得到整个测区的地表电势曲线(或曲面,三维观测),而不仅是(M和N)两点的电势值。中图的虚线示意的是没有被污染的均匀背景电导模型的电势曲线(标识为BackGd),实线示意的是已被污染的电导模型的电势曲线(标识为Anormal)。这两条曲线显示由于高电导污染物沿裂隙带

渗透,导致地表电势发生了明显的变化,而这种变化在整个测区内是非常不均匀的:变化大的区段意味着该区段是异常反应的灵敏区段,将这两条曲线的差值绘于上图(标识为Diff),可以清楚的看到自污染物渗透区域的左起始端(约250 m处)至该点附近(约500 m)的测段出现了较大的异常。然而,四极装置法的M和N以目前的观测位置来看,并不属于最佳的观测位置,通过不断地变化供电及测量电极的位置和一次又一次的供电,最终可得到最佳位置的观测数据。

由于该方法对每次供电都采集所有测点(处供电电极外)的电势值,保证了无论污染物渗透发生在测区的何处,都能获得该此供电所能提供的多个最佳观测值;同时,随着供电电极位置的变化,对于特定的污染物渗透带将提供不同的全测区观测值,相当于从不同的角度、方位和距离来观测这个异常渗透带;另外,对于来自同一次供电数据,不存在供电电源的非一致性问题。如此,该方法较为适合于监测污染渗透。

2.2 垃圾场渗漏电法监测数据处理

首先,针对新建的垃圾填埋场,在垃圾场建好未开始使用之前,可采集数次数据,作为今后的数据对比参考;对于已经建成的垃圾场,假定为垃圾场的废液渗漏开始只可能发生在某些点或某些小区域上,而且这些废液会引起局部区域的土壤的电阻率变化。根据污染的情况不同对数据处理分为三个步骤进行:

1) 每采集一次数据后的处理:待每天的数据采集完成后,运行一个程序自动的对比数天的数据,查看是否有任何电极点处的电阻率大幅降低。如有,进入数据处理2。否则,就视为正常。

2) 若发现某些电极点处的电阻率大幅降低时,利用现有数据进行局部三维反演,以查看漏点的位置和范围,如此情况在数天中持续恶化,进入数据处理3。同时,继续监视,并尽可能找出原因。该工作需专业人员来分析完成。

3) 若发现某些电极点处的电阻率持续降低时,完成较详细的局部的三维数据采集,并进行三维反演计算,以确定漏点的电阻率变化详情和污染的范围,该工作需专业人员来分析完成。

对于电性数据出现异常,或电导率模型的反演结果的分析,没有统一或普遍施用的标准。根据垃

圾掩埋前的电性反演结果,掩埋后电性变化的历史规律;观测场地所可能得到的地质信息(地层结构,岩性特征,破碎带分布),场地渗透物化学分析结果,地表降水记录,钻孔测试记录,地下潜水面记录,防渗层施工记录等综合判断。

2.3 新型垃圾场渗漏电法监测数据分析依据

2.3.1 理论依据

为了定量分析或模拟地下水系及污染渗透物的运移规律,需了解地下岩石物理参数(如渗透系数、孔隙率)等,通常该类参数是由钻孔试验得出。文献[3]提供了一个地球物理的方法,该方法是利用 Archie 定律将砂岩电阻率 ρ_0 与孔中流体的电阻率 ρ_w 及孔隙率 φ 联系起来,见公式(1)。

$$\rho_0 = a\rho_w\varphi^{-m} \quad (1)$$

式中: m 称之为岩石胶结因子,与矿物颗粒及空隙形状有关;系数 a 与矿物成份有关,由测区的物性分析来获得。

当岩体中含有黏土成份时,公式(1)不再适用,应修改为如公式(2)所示:

$$\frac{\rho_w}{\rho_0} = \frac{1}{F_i} + \left(\frac{BQ_v}{F_i}\right)\rho_w \quad (2)$$

式中: F_i 称之为固有形状因子; BQ_v 与黏土颗粒引起的颗粒表面的双电层结构有关,由测区的物性分析来获得。

理论研究中:文献[3]将公式(1)和(2)主要用于估计孔隙率,并进而估计渗透系数(水力传导系数);由于公式(1)式对孔隙率计算是成立及可靠的,故当污染渗透发生时, m 、 a 及 φ 值均与孔隙流体无直接关系,因此不会发生变化。因此,由观测数据反演得到的电阻率(或电导率的倒数)的变化可直接求得孔隙中流体电阻率的变化。

2.3.2 经验依据

实际工程应用中,环境地球物理中以电阻率法对渗透污染监测的经验都是值得借鉴的。例如,文献《城市垃圾污染的地球物理调查》^[17] 的调查结果显示垃圾场渗出液的实测电阻率均在 $0.4 \Omega \cdot m$ 左右,而自来水的电阻率均在 $32 \Omega \cdot m$ 左右;他们提出视电阻率在 $10 \Omega \cdot m$ 左右可定性为被渗漏液污染。又例如,文献《高密度电阻率法在垃圾填埋场渗漏检测中的应用》^[11] 提出:带状低阻异常或异常梯度带重合,并与相邻剖面的异常体具有相似可比性作为地下渗漏通道的存在依据;由所圈定的渗

漏通道低阻电性值的相对大小和梯度带相对陡缓确定地下水是否存在污染、污染程度及分布范围。

2.4 新型垃圾场渗漏电法监测应用前景

“全国地下水污染防治规划(2011—2020年)”指出:“近年我国污水排放量急剧增加,全国668座城市垃圾年产量达到1.8亿t,2009年,全国城市生活垃圾无害化处理率仅为72%;截至“十一五”,全国垃圾靠填埋平均水平为77%。部分垃圾填埋场渗滤液饱含有毒有害物质,透过隔膜进而严重污染地下水,同时,防渗膜的隔膜内部结构随着时间而发生变化,其阻隔污染水的效能急剧降低。

传统依靠钻孔取样后做化学分析的监测方法由于其周期长、实时性差、代表性差的原因而不能大范围推广。传统的物探方法由于受其本身原理对物性基础的依耐性,所能进行垃圾场底部污水监测的方法极其有限。新型的电法监测方法现在正处于研发及实用阶段,在部分同类型的地下水监测中已取得较好的效果,由于其采用永久布极、实时监测、三维处理,依靠大量的数据提高地球物理反演的可靠性并减小多解性,能较好的对垃圾场污染水渗漏进行有效观测,其市场前景极为广大。

3 结论

论文针对垃圾场有害液体通过渗漏监测种种不足,介绍了一种新型的电法监测—全通道方法,结论如下:

1)介绍了垃圾渗漏污染的基本机理和使用电阻率法监测渗漏的原理,通过引用了一个数据模拟的例子对比全通道方法与其他传统方法,表明了全通道方法明显的优势。

2)讨论了使用永久埋地电极进行数据采集和处理的优点,并且提出该监测方法分阶段的数据处理和解释的主要思路和原理。

3)针对垃圾场的极大的市场规模,采用全通道电阻率法作为数据采集方案,可有效对垃圾场进行实时、高效、全方位的监测,可在全行业范围内推广应用。

参考文献:

- [1] 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,2001,35(5):680-691.
LIU G H, XU J, WANG M, et al. The application of high-density resistivity method to landfill leakage detection [J]. Geo-

- physical & Geochemical Exploration, 2001, 35(5): 680-691.
- [2] 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.
YE T F, GONG Y L, NENG C X, et al. Application of Environmental Geophysical Methods in the Investigation of Contaminated Sites [J]. Journal of the University of South China (Science and Technology), 2008, 22(3): 9-14.
- [3] ARISTODEMOU E, THOMAS-BETTS A. DC resistivity and induced polarization investigations at a waste disposal site and its environments [J]. Journal of Applied Geophysics, 2000(44): 275-302.
- [4] BUSELLI G, LU K. Groundwater contamination monitoring with multichannel electrical and electromagnetic methods [J]. Journal of Applied Geophysics, 2001, 48(3): 11-23.
- [5] KODA E, TKACZYK A, LECH M, et al. Application of electrical resistivity data sets for the evaluation of the pollution concentration level within landfill subsoil [J]. Applied Sciences, 2007, 262(7): 1-13.
- [6] ALEXANDRE L. 利用电阻率和探地雷达(GPR)法进行污染场地地球物理勘查 [J]. 赵玉军, 译. 水文地质工程地质技术方法动态, 2009(3): 27-38.
ALEXANDRE L. Using electrical resistivity and GPR (GPR) method for geophysical exploration of contaminated sites [J]. Translated by ZHAO Y J. Dynamics of Hydrogeology Engineering Geology, 2009(3): 27-38.
- [7] 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, 206(增刊1): 72-75.
XIAO B, MA H Y, WANG Z H. Application of geophysical prospecting technology in environmental soil and rock monitoring and detection [J]. Site Investigation Science and Technology, 2016, 206(Supp. 1): 72-75.
- [8] 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.
WANG Y, HE B S. Insights on the assessment of groundwater environment impact for coal-fired power plant projects [J]. Southern Energy Construction, 2014, 1(1): 83-87.
- [9] 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(3): 23-27.
YE T F, GONG Y L, DONG L, et al. Environmental geophysics in the investigation of contaminated sites [J]. Environmental Monitoring Management and Technology, 2009(3): 23-27.
- [10] 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.
BAI L. Application of geophysical methods in contaminated sites [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2008.
- [11] 程业勋, 杨进. 环境地球物理学概论 [M]. 北京: 地质出版社, 2005.
CHEN Y X, YANG J. Introduction to Environmental Geophysics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005.
- [12] HOFFMANN V, KNAB M A. Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1999(66): 313-326.
- [13] BERNSTONE C, DAHLIN T, OHLSSON T, et al. DC-resistivity mapping of internal landfill structures: two pre-excitation surveys [J]. Environmental Geology, 2000, 39(3): 360-371.
- [14] ARISTODEMOU E, THOMAS A. DC resistivity and induced polarisation investigations at a waste disposal site and its environments [J]. Journal of Applied Geophysics, 2000(44): 275-302.
- [15] JORGE L P, WALTER M F, VAGNER R E, et al. The use of GPR and VES in delineating a contamination plume in a landfill site: a case study in SE Brazil [J]. Journal of Applied Geophysics, 2004(55): 199-209.
- [16] ATEKWANA E A, SAUCK W A, WERKEMA D D. Investigations of geoelectrical signatures at a hydrocarbon contaminated Site [J]. Journal of Applied Geophysics, 2000, 40(2): 67-80.
- [17] 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.
CHENG Y X, LIU H S, ZHAO Z Y. Investigation of urban landfill contamination using geophysical methods [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2004, 1(1): 26-30.

(责任编辑 高春萌)

中国能建广东院微电网储能应用技术入选国家重点节能低碳技术

2017年1月19日, 国家发改委公布了《国家重点节能低碳技术推广目录(2017年本, 低碳部分)》, 该目录涵盖非化石能源、燃料及原材料替代、工艺过程等非二氧化碳减排、碳捕集利用与封存、碳汇等领域。中国能建广东院申报的“微电网储能应用技术”位列该目录之首, 被纳入27项国家重点节能低碳技术之一。自2011年起, 广东院便前瞻性地开展了先进储能技术在智能微电网中的应用研究工作, 针对智能微电网中储能系统的系统配置、定容方法、关键设备选型方法、控制策略等进行了深入研究, 被授权国家发明专利近十项, 并获得了2016年度电力工程科学技术进步奖和中国能建科学技术奖。目前, 广东院微电网储能应用技术已在多个智能微电网示范项目中得到实施应用, 使得微电网在全生命周期内创造更高经济效益, 积极推进了新型储能设备在智能微电网中的示范应用, 促进了储能产业的技术进步和发展。

(中国能建广东院)