

填埋场衬层渗漏的电学法检测研究进展

刘景财,孙晓晨,能昌信,董路,郑开达

(中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室,
中国环境科学研究院固体废物污染控制技术研究所,北京 100012)

摘要:综述了几种常用的填埋场渗漏检测方法,指出电学法已成为填埋场不同运行阶段(施工期和运营期)渗漏检测的主流方法。分析了各阶段电学检测方法的适用条件和优缺点,在防渗膜铺设阶段,常利用双电极法或电极-偶极子法进行施工完整性检测;在填埋场运营期间,根据场地实际情况可以选择电极格栅法、基于物联网的监测预警云平台、阵列式偶极子法或高密度电法进行膜渗漏检测及长期监测。

关键词:垃圾填埋场;渗漏检测;电学法

中图分类号:X705

文献标志码:A

文章编号:1006-2009(2021)05-0006-04

Research Progress of Electrical Method for Leakage Detection in Landfill Liner

LIU Jing-cai, SUN Xiao-chen, NAI Chang-xin, DONG Lu, ZHENG Kai-da

(State Key Laboratory of Environmental Benchmarks and Risk Assessment, Research Institute of Solid Waste Management, Chinese Research Academy of Environment Science, Beijing 100012, China)

Abstract: This paper summarized several common leakage detection methods in landfill, pointed out the electrical method had become the main method for the leakage detection in different operation stages of landfills (construction period and operation period), and analyzed the applicable conditions, advantages and disadvantages of the electrical detection method in each stage. In the stage of impermeable membrane laying, dual-electrode method or electrode-dipole method was usually used for construction integrity test. In landfill operation period, electrode grid method, IoT-based monitoring and early warning cloud platform, array dipole method or high-density electrical method could be applied to membrane leakage detection and long-term monitoring according to the actual situation of the site.

Key words: Landfill; Leakage detection; Electrical method

目前我国城市“垃圾围城”现象十分普遍,填埋是城市垃圾中固体废物的最终处置方式^[1]。为保证填埋场长期环境安全性,常采用“三重屏障”措施,即地质屏障、人工防渗屏障和废物预处理屏障。填埋场的人工防渗屏障是人工构筑的防渗衬层,其主要功能是将场内填埋的废物与周围环境彻底隔离,是“三重屏障”中最重要的部分,也是填埋场建设中最受重视的设施之一^[2]。高密度聚乙烯膜(HDPE)是国内外普遍使用的填埋场防渗材料。在填埋场人工衬层铺设期间,机械或人为不规范操作会造成衬层破损,并且容易在接缝处留下孔隙;在填埋场运营期间,地基不均匀下陷、缩性形变、酸

碱腐蚀、光化学氧化等因素也会导致HDPE膜破损,进而导致填埋场渗漏,污染土壤和地下水环境,威胁人类健康^[3-5]。因此,加强填埋场渗漏检测十分必要,选用科学的渗漏检测方法能够降低漏检和误检率,精准定位渗漏点,为采取有效的人工防渗层修复措施提供技术支持。今对填埋场渗漏检测方法进行综述,重点介绍填埋场不同运行阶段(施

收稿日期:2020-05-29;修订日期:2021-06-08

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务专项基金资助项目(2019YSKY-002)

作者简介:刘景财(1985—),男,山东临沂人,高级工程师,硕士,研究方向为环境监测技术。

工期和运营期)的电学渗漏检测方法,并对各阶段检测方法的适用条件和优缺点进行比较。

1 填埋场渗漏检测方法

目前针对 HDPE 土工膜的渗漏检测方法主要有地下水监测法^[6]、电化学感应电缆法^[7]、电容传感器法^[8]、电学法等。监测井法根据地下水是否被污染来判断填埋场衬层是否破损,只有在地下水污染严重时才能被监测到;电化学感应电缆法须针对不同的填埋场研制不同的电缆,适用范围小且费用高;电容传感器法通过识别土壤湿度来推断是否发生渗漏,难以判断土壤湿度增加是因被渗滤液浸湿还是因地下水位升高而导致;电学法根据场内是否形成电流回路来判断衬层是否破损,能够克服上述方法的缺点,并且在衬层刚破损时即可检测到漏洞。填埋场渗漏检测方法比较见表 1。

电学法在 1985 年成功应用于填埋场漏洞检测,一些学者系统比较了国内外填埋场渗漏检测方法后表明,电学法是一种简便且有效的检测方法,在防渗膜渗漏检测中得到了广泛应用^[9-11]。管绍朋等^[12]通过建立漏洞检测模型,研究了双衬层填埋场电学方法检测漏洞的原理,推导了检测层中的电势分布规律。能昌信等^[13]建立了高压直流电法等效模型,研究了填埋场渗漏检测的电学特征。杨萍等^[14]开展了偶极子法防渗膜渗漏检测研究,分析了膜上介质厚度对偶极子检测的影响。张辰等^[15]构建了电极阵列,采用分区检测、多点供电的方式实现填埋场渗漏检测。

表 1 填埋场渗漏检测方法比较

Table 1 Comparison of landfill leakage detection methods

方法	是否任何时候都能安装	能否确定渗漏位置	能否确定漏洞大小	能否广泛应用	能否重复使用	能否实现自动化
监测井法	否	不能	不能	能	能	不能
电学法	部分	能 ^①	能 ^①	能	能	能
示踪剂法	是	不能	不能	能	能	不能
电容传感器法	否	能	不能	能	不能	不能
电化学感应电缆法	否	部分	不能	能	部分	能

①双电极法除外。

2 填埋场不同运行阶段的电学渗漏检测方法

2.1 施工完整性检测

填埋场完成 HDPE 膜铺设后需要进行完整性检测,检查是否存在机械或人为原因造成的破损,常用的检测方法有双电极法和电极-偶极子法。在实际工程中,常将两种方法结合使用,先用双电极法对主、次防渗膜进行渗漏定性判断,再用电极-偶极子法对主防渗膜进行完整性检测,准确找到渗漏点位置。

2.1.1 双电极法

双电极法以地下水或渗滤液的导电性和 HDPE 膜的绝缘性为基础实现土工膜的完整性检测,基本原理是在 HDPE 膜的上下两侧各放置一个供电电极,检测时将两个供电电极分别接入高压直流电源的两极。若 HDPE 膜上无漏洞,则供电回路中没有电流;若 HDPE 膜上存在漏洞,则电流利用渗滤液或地下水的导电性穿过 HDPE 膜形成回路(见图 1)。该方法适用于填埋场在裸膜条件下的漏洞检测,优点是不需要预先在衬层下安装任何传感器;缺点是只能检测有无渗漏点,无法获知渗漏点的位置、大小和数量信息。

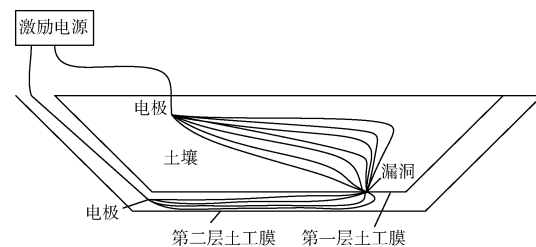


图 1 双电极法检测原理示意

Fig. 1 Schematic of the principle of dual-electrode detection

2.1.2 电极-偶极子法

Darilek 等^[16]对双电极法进行改良得到电极-偶极子法,原理是利用膜的高阻特性,通过场内两侧放置的供电电极向场内施加高压直流电压,使用具有固定间距的两个检测电极(偶极子)检测介质中的电势差。在偶极子逼近漏洞的过程中,偶极子检测电压增大,当偶极子两极关于漏洞对称时,偶极子检测电压为零,据此可以判断漏洞位置(见图 2)。该方法适用于已铺设导流层或保护层的场地运营前的土工膜完整性检测,优点是检测系统可靠,能够有效检测防渗膜漏点,定位准确;缺点是成本相对较高,且填埋场内危险废物对电极、电极接头和导线等检测元件的腐蚀会限制其使用寿命。

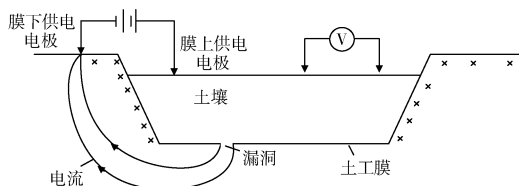


图 2 电极 - 偶极子法检测原理示意

Fig. 2 Schematic of the principle of electrode-dipole detection

2.2 运营过程中的渗漏检测

填埋场在运营期间,由于地基不均匀下陷、缩性形变、酸碱腐蚀等原因会导致防渗层渗漏,使用的检测方法主要分为在场地内预埋传感器阵列和在地表铺设电极阵列两类。

2.2.1 电极格栅法

电极格栅法的检测原理是基于渗滤液的导电性优于地下水,施工时在土工膜下安装由具有规则排列电极导线组成的电极格栅。当发生渗漏时,测量电压的数值取决于电极是否被渗滤液浸湿及渗滤液含量,被渗滤液浸湿处的电极电压高于未被浸湿处的电极,渗滤液含量高的区域电压高于含量低的区域。通过绘制监测区域的电压分配图,可以判断土工膜上漏洞的位置、大小和数量。电极格栅法主要应用于重点污染源场地,如危险废物填埋场、飞灰填埋场等。该方法的优点是精度高,组件简单,能够长期监测衬层下的完整区域;缺点是需要施工时铺设电极格栅,不适用于已经建好的填埋场。

2.2.2 基于物联网的监测预警云平台

针对填埋场渗漏检测的长期性要求,利用高压直流电法研究开发出基于物联网的监测预警云平台(见图 3)。该系统主要包括高压信号源及其控制单元、数据采集单元、数据处理单元和通信单元,用户可利用云平台远程控制填埋场地上位机,及时准确地发现填埋场铺设与运行中渗滤液渗漏和污染情况。监测预警云平台适用于分格填埋的刚性填埋场,利用场地中的传感器进行土工膜完整性检测。该方法优点是操作方便,能够实现实时检测,并将监测数据存储在后数据库,缺点是必须在填埋场建设初期铺设。

2.2.3 阵列式偶极子法

阵列式偶极子法是在偶极子法的基础上改进,将检测电极呈阵列分布(见图 4)。在填埋场内外

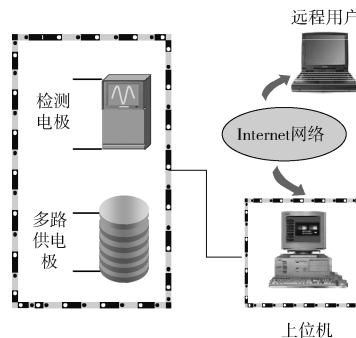


图 3 基于物联网的监测预警云平台示意

Fig. 3 Schematic of IoT-based monitoring and early warning cloud platform

分别放置一个电极作为供电电极,利用其向场地内施加高压直流电,电极阵列根据偶极子法的方式完成场地土工膜完整性检测。绘制检测区域的电势平面图,可以判断衬层是否渗漏,并判断渗漏位置、大小和数量。阵列式偶极子法适用于已堆填的场地,能够实现场地定期渗漏检测。该方法的优点是检测精度高,适用于复杂场地条件的渗漏检测,缺点是不能实现场地次防渗层的漏点定位。

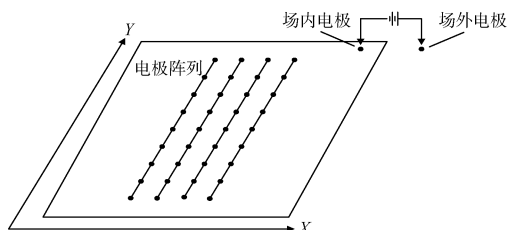


图 4 阵列式偶极子法原理示意

Fig. 4 Schematic of the principle of the array dipole method

2.2.4 高密度电法

高密度电法以探测物质的导电性差异为基础,结合电剖面法和电测深法的特点,通过解释分析人工电流场的变化和分布规律来判断填埋场防渗衬层是否破损^[17]。方法利用可视化成像方式呈现场内渗漏处电阻率的变化,从而得到漏洞的位置和数量。近几年发展的三维高密度电法具有三维可视化的优势,能够更加直观地反映人工衬层的破损情况。高密度电法适用于已填埋的场地,进行土工膜破损检测的同时还能分析场地污染情况。该方法的优点是操作简单,能够直观地反映地下情况;缺点是受探测物质导电性的影响,当渗滤液与周围物质的导电性差异较小时无法检测渗漏。

3 结语

综述了填埋场施工和运行阶段土工膜渗漏检测研究进展,分析了各种电学检测方法的适用条件和优缺点。在HDPE膜铺设阶段,常利用双电极法或电极-偶极子法进行施工完整性检测;在填埋场运营期间,根据场地实际情况可以选择电极格栅法、基于物联网的监测预警云平台(须预先铺设传感器)、阵列式偶极子法或高密度电法(无须预先铺设传感器)进行HDPE膜的渗漏检测及长期监测。电学检测方法不会造成场地的二次污染,操作易掌控,费用低,既可用于衬层的施工验收,也可用于场地运营期间的渗漏检测。

[参考文献]

- [1] 郝鑫瑞,李妹静,曾媛,等. 生活垃圾填埋气中甲烷短期产生时空变化规律探究[J]. 环境监测管理与技术,2020,32(5): 52-55.
- [2] 周文武,陈冠益,穷达卓玛,等. 拉萨垃圾填埋场地下水环境质量影响分析研究[J]. 环境监测管理与技术,2020,32(4): 20-23.
- [3] 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.
- [4] 能昌信,孙新宇,徐亚,等. 垂直HDPE膜安装过程的电学破损检测方法[J]. 环境工程学报,2018,12(1): 349-355.
- [5] SUN X C, XU Y, LIU Y Q, et al. Evolution of geomembrane degradation and defects in a landfill: Impacts on long-term leachate leakage and groundwater quality[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 224: 335-345.
- [6] 杨梦丽,叶明亮,马友华,等. 基于重金属有效态的农田土壤重金属污染评价研究[J]. 环境监测管理与技术,2019,31(1): 10-13.
- [7] 刘亚军,杨勇,谭秀丽,等. 湖北典型矿冶城市土壤重金属污染评价及源解析[J]. 环境监测管理与技术,2019,31(5): 26-30.
- [8] 李赞. 电容传感器渗漏检测方法研究[J]. 河南科技,2010(23): 55-56.
- [9] 王勋,陈琼,鄂俊. 三电极法在土工膜渗漏检测中的应用[J]. 环境卫生工程,2019,27(1): 60-63.
- [10] 能昌信,王彦文,王琪,等. 填埋场渗漏检测高压直流电法等效电路模型的建立[J]. 环境科学,2005,25(1): 200-203.
- [11] 张建锋,谢玉华,刘见宝,等. 电法在垃圾填埋场渗漏监测研究中的应用[J]. 河南工程学院学报(自然科学版),2016,28(3): 51-53.
- [12] 管绍朋,王玉玲,能昌信,等. 电学方法在双衬层填埋场渗漏检测中的应用[J]. 中国环境科学,2011,31(12): 2013-2017.
- [13] 能昌信,董路,王琪,等. 填埋场地电模型的电学特性[J]. 中国环境科学,2004,24(6): 758-760.
- [14] 杨萍,孔波,姜余祥,等. 防渗膜渗漏偶极子检测的应用[J]. 物探与化探,2014,38(6): 1265-1268.
- [15] 张辰,能昌信,王振翀. 基于分区多点供电的填埋场渗漏实时检测系统研究[J]. 环境科学与技术,2012,35(11): 148-151.
- [16] DARILEK G T, PARRA J O. The electrical leak location method for geomembrane liners [J]. Journal of Hazardous Materials, 1989, 21(2): 177-187.
- [17] 姜勇,徐刚,杨洁,等. 高密度电法在原位修复土壤过程中的监控研究[J]. 环境监测管理与技术,2020,32(6): 18-22.

本栏目编辑 姚朝英

· 征订启事 ·

欢迎订阅 2022 年《环境科技》杂志

《环境科技》是由江苏省生态环境厅主管,江苏省徐州环境监测中心、江苏省环境科学研究院联合主办的集学术性与实用性于一体的环境科学技术类期刊,为“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊)。国内统一刊号:CN 32-1786/X,国际标准刊号:ISSN 1674-4829。本刊以直接为环境污染防治实践服务为宗旨,重点报道环境科学最新实用技术、科研成果、治理开发及国内外最新信息与动态,内容涉及水、气、声、固等污染处理技术及清洁生产、生态保护等实用技术的推广应用。常设栏目有:研究报告、污染防治、环境评价与规划、专论与综述、环境管理、环保论坛等,从多角度向读者介绍国内外环境保护新成果、新技术、新动态、新经验等,对环境保护管理、科研院所、污染防治技术开发设计、环保产业、工矿企业等部门从事环保工作的管理和专业技术人员及大专院校师生均有较强的参考价值,欢迎有关单位和个人订阅。

本刊为双月刊,大16开国际标准版,80页,每逢双月25日出版。国内定价(含邮费)15元/期,全年90元。全国各地邮局均可订阅。联系方式:地址:徐州市新城区彭祖大道与太行路交叉路路西《环境科技》编辑部;邮编:221018;电话:0516-85635681,85635682;传真:0516-85737126;电子信箱:jshjkj@126.com。

订阅方式:1. 当地邮局订阅:邮发代号:28-179。2. 银行转账汇款:账号:10107501040010729;收款单位:江苏省环境监测协会;开户行:中国农业银行股份有限公司南京茶亭东街支行;电子版回执单下载地址: <http://jshj.cbpt.cnki.net/>。