

王迪, 尉斌, 闫永利等. 垃圾填埋场地下环境污染检测方法技术研究. 地球物理学报, 2012, 55(6): 2115-2119, doi:10. 6038/j. issn. 0001-5733. 2012. 06. 033.

Wang D, Wei B, Yan Y L, et al. Study of detecting technology for landfill underground environmental pollution. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2012, 55(6): 2115-2119, doi:10. 6038/j. issn. 0001-5733. 2012. 06. 033.

垃圾填埋场地下环境污染检测方法技术研究

王 迪¹, 尉 斌^{1*}, 闫永利², 马晓冰², 王显祥², 杨京勤², 鲁笑颖³

1 北京国环清华环境工程设计研究院有限公司, 北京 100084

2 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

3 北京市大兴区果林研究所, 北京 102600

摘 要 本文应用电阻率成像观测方法对北京通州某垃圾填埋场开展了面积性测量, 应用模糊数学隶属函数的理论给出了分辨地下污染状况的量化指标, 并对填埋场地下环境污染状况进行了分区. 钻孔资料表明, 分区结果真实地反映了填埋场地下环境污染的分布状况.

关键词 电阻率成像观测, 垃圾填埋场, 隶属函数, 地下环境污染

doi:10. 6038/j. issn. 0001-5733. 2012. 06. 033

中图分类号 P631

收稿日期 2011-04-06, 2012-05-07 收修定稿

Study of detecting technology for landfill underground environmental pollution

WANG Di¹, WEI Bin^{1*}, YAN Yong-Li², MA Xiao-Bing²,

WANG Xian-Xiang², YANG Jing-Qin², LU Xiao-Ying³

1 State-Tsinghua Environmental Engineering & Consulting Co., Ltd, Beijing 100084, China

2 Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

3 Institute of Orchard and Forestry, Daxing District, Beijing 102600, China

Abstract Underground environmental pollution caused by landfill has become a severe problem endangering economic development and public health. In order to improve the effectiveness of detecting environment pollution caused by refuse sanitary landfill, we conducted electrical imaging survey(EIS) in a refuse sanitary landfill in the Tongzhou district of Beijing. By adopting the membership function of fuzzy mathematics, we presented the quantitative indication of underground environment pollution and inferred the state of underground environment pollution on the refuse sanitary landfill. It indicates that the inferred results are in good agreement with borehole data.

Keywords Electrical imaging survey (EIS), Landfill, Membership function, Underground environmental pollution

1 引 言

近年来,由城市垃圾填埋引发的地下环境污染

已受到普遍重视,研究人员相继使用地球物理物理方法对由城市垃圾填埋引发的地下环境污染进行研究. Texkan^[1]利用瞬变电磁法和音频大地电磁法圈定科隆垃圾填埋场的范围, Benson^[2]采用甚低频电

基金项目 国家自然科学基金项目(40774070, 40474048)和中科院知识创新工程重大项目(KZCX1-YW-15-14)资助.

作者简介 王迪,男,1970年生,高级工程师,主要从事固体废物处置和场地修复项目的咨询和设计工作. E-mail: wangdee@263.net

* **通讯作者** 尉斌,男,1981年生,工程师,主要从事场地调查、评价和修复工作. E-mail: bnuwb@163.com

磁法和直流电法开展地下水污染填图作业, Park^[3]利用电阻率法监测地下水污染的扩散, Ogily 等^[4]应用 3D 电阻率层析成像法对垃圾填埋场进行探测, Beselli^[5]通过电磁法和多道直流电法对地下水污染进行监测, 闫永利等^[6]采用大地电磁测深法对北京阿苏卫垃圾填埋场进行检测研究. 但从目前国内外解释与推断垃圾填埋地下环境污染状况的方法技术看, 大多是通过人为确定的电阻率值, 如 $10 \Omega\text{m}$ (Texkan 1996), 对地下环境污染区域进行粗略的划分, 很难真实地反映出垃圾填埋地下环境污染的程度.

EIS (Electrical imaging survey, 电阻率成像观测) 是 20 世纪末发展起来的一项新的观测技术, 采用的是阵列式观测方式, 信息量大、分辨率高; 特别是使用直流激发源, 有效地抗人文电磁噪声干扰, 成为工程地质、地下水污染勘查的强有力的手段^[7-12]. 模糊数学理论是由 Zade^[13] 提出, 目前已广泛用于天气预报、农林业规划及地震危险性分析和矿产评估等领域, 成为定量解释客观事物差异中界限标志“不分明性”的有效方法^[14-17]. 本文将 EIS 观测技术与模糊数学理论有机结合, 通过对通州某垃圾填埋场的面积性 EIS 测量, 获取了垃圾填埋场地下介质的视电阻率分布; 应用模糊数学隶属函数的理论, 给出了分辨地下环境污染的量化指标, 并对填埋场地下环境污染状况进行了分区划分. 实际钻孔资料表明, 分区结果与填埋场地下环境污染的分布状况吻合较好.

2 垃圾填埋场概况和 EIS 现场观测结果

垃圾填埋场位于北京市通州区, 占地约 11000 m^2 , 为非正规简易垃圾填埋场. 该填埋场西边是荒地, 北边是果园, 东边为耕地, 南边是林地. 整个区域地形平坦, 适合 EIS 观测. 填埋场周边表层为第四纪泥土, 厚度不足 1 m , 底下是泥沙层, 厚度大约 13 m , 其下为粘土层, 地下水位大约 10 m . 填埋场从 2007 年开始填埋, 填埋物主要是生活垃圾与建筑垃圾.

本次野外观测使用 GeoPen 公司生产的 EIS 观测仪. 在整个填埋场沿东西方向布设了 11 条 EIS 测线, 由北向南编号 1—11 号. 其中, 1—3 号线位于填埋区之外, 4—9 号线为混合垃圾 (生活垃圾与建筑垃圾) 填埋区, 10—11 为生活垃圾填埋区. 野外观测采用 Wenner 装置, 电极距为 3 m , EIS 测线布设见图 1. 其中阴影区域是通过 EIS 观测结合钻孔资料

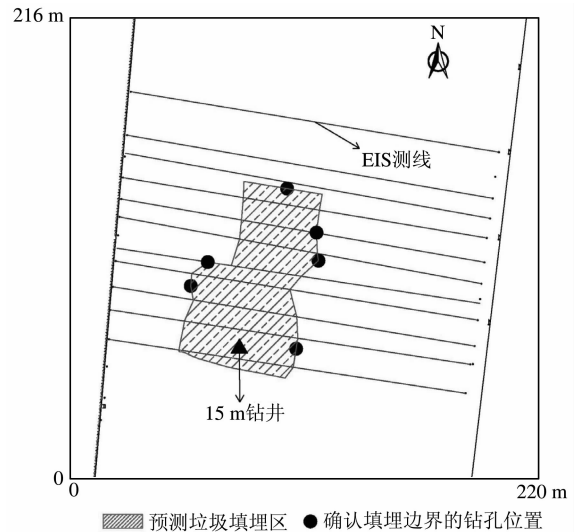


图 1 垃圾填埋场 EIS 测线布设图

Fig. 1 EIS designed profiles on the Landfill

共同确定的垃圾填埋的平面范围.

根据 EIS 观测结果, 填埋区与非填埋区的电性结构存在较为明显的差异. 图 2(a, b) 分别是位于非填埋区 1 号测线和 3 号测线的视电阻率断面. 从图 2 可以看出, 整个剖面以大约 60 m 处为界, 可分为东、西两段. 西段视电阻率较高, 普遍介于 $100 \sim 200 \Omega\text{m}$ 之间; 而东段视电阻率相对较低, 大约在 $20 \sim 100 \Omega\text{m}$ 的范围. 除在东、西两段交界的、大约 $60 \sim 80 \text{ m}$ 地带外, 地下介质的分层性较好. 对比图 2a 和 2b 电阻率变化不难看出, 3 号测线虽较 1 号测线距离垃圾填埋区更近, 但未发现明显的低阻异常, 这说明垃圾渗滤液的污染以纵向迁移扩散为主, 横向的迁移扩散区域很小.

混合垃圾填埋区 5 号测线视电阻率断面如图 3a 所示, 存在 1 个 $10 \sim 20 \Omega\text{m}$ 的低阻异常. 异常的横向范围大约在 $70 \sim 90 \text{ m}$, 深度范围约为 5 m . 在剖面的西段 $0 \sim 60 \text{ m}$ 的地带, 视电阻率较高, 普遍在 $100 \sim 200 \Omega\text{m}$ 之间. 而在东段 $90 \sim 170 \text{ m}$ 的地带, 随着深度的变化, 视电阻率逐渐增大, 从近地表的大约 $20 \sim 30 \Omega\text{m}$, 逐渐增大到超过 $100 \Omega\text{m}$. 符号 | 是钻孔确定的填埋场边界.

生活垃圾填埋区 EIS 探测结果非常明显, 如图 3b 所示. 在 $40 \sim 80 \text{ m}$ 的地带, 存在一个非常明显的 $10 \sim 20 \Omega\text{m}$ 的低阻异常, 其深度大约为 10 m .

从 EIS 观测结果分析, 整个测区 $0 \sim 40 \text{ m}$ 深度上, 视电阻率分布具有西边高、东边低, 深部高、浅部低的特点. 填埋场周边的砂土分布较为均匀. 影响地下介质电阻率变化的因素除了垃圾填埋物外, 主要

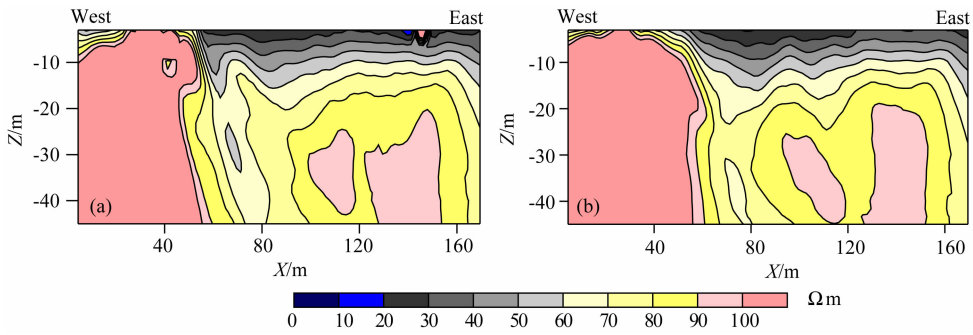


图2 非填埋区 EIS 视电阻率断面(1 号(a)和 3 号(b)EIS 测线)

Fig. 2 The EIS cross-section of apparent resistivity in area without refuse filled (1 (a) and 3 (b) EIS)

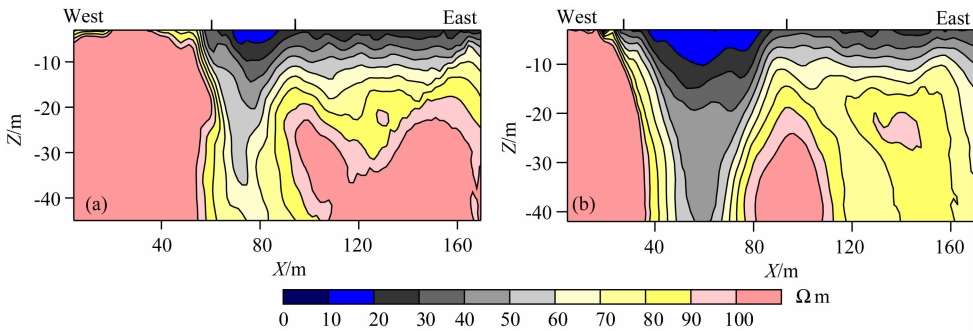


图3 混合垃圾(a)和生活垃圾填埋区(b)EIS 视电阻率断面

Fig. 3 The EIS cross-section of apparent resistivity in area with mixed refuse filled (a) and domestic refuse filled (b)

是近地表土壤的疏松度与潮湿度. 西段因缺乏耕种, 土壤的疏松度与潮湿度较低, 电阻率较高; 而东段连年耕种浇灌, 土壤的疏松度与潮湿度较高, 电阻率较低.

3 地下环境污染程度的划分与钻探结果

该填埋场 EIS 观测到的结果表明, 测区东、西两侧的视电阻率表现出较大的差异. 西侧视电阻率较高, 普遍超过 $100 \Omega\text{m}$, 远高于填埋区 $10 \sim 40 \Omega\text{m}$ 的视电阻率; 东侧则不同, 在 $0 \sim 10 \text{ m}$ 的深度范围内, 视电阻率大致介于 $20 \sim 40 \Omega\text{m}$ 之间, 与填埋区视电阻率的变化范围区别不大. 而 10 m 深度以下, 视电阻率高阻特征表现较为明显, 普遍超过 $70 \Omega\text{m}$. 针对这种情况, 提出了直接采用 EIS 观测到的视电阻率结果计算隶属函数的方法.

采用 Zadeh(1965)表示法, 将地下单元 e_i 的视电阻率值 ρ_i 视为分辨地下环境污染程度的模糊集合 A 的元素:

$$A = \left\{ \frac{\mu(\rho_i)}{\rho_i} \right\}, \quad (1)$$

式中 $\mu(\rho_i)$ 是 ρ_i 的隶属函数.

则戒上型隶属函数计算公式为

$$\mu(\rho_i) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{\rho_i}{\rho_0^{e,w}} - 1 \right)} & \rho_i \geq \rho_0^{e,w} \\ 1 & \rho_i \leq \rho_0^{e,w} \end{cases} \quad (2)$$

其中 $\rho_0^e = 20 \Omega\text{m}$; $\rho_0^w = 40 \Omega\text{m}$.

这里 ρ_0^e 、 ρ_0^w 分别是东、西两侧戒上型隶属函数截断视电阻率值, $\mu(\rho_i)$ 表征地电单元 e_i 隶属污染区的程度.

根据钻孔资料确定的填埋场的边界, 我们针对填埋区及邻近区域进行了地下环境污染程度的计算和成像, 图 4(a, b) 分别为 5 号剖面 and 10 号剖面的成像结果.

根据闫永利(2007)划分标准, 该填埋场地下环境严重污染区 ($\mu(\rho) \geq 0.75$) 的深度范围大约在 $10 \sim 13 \text{ m}$ (混合垃圾区深度大约 10 m ; 生活垃圾区深度约为 13 m), 轻度污染区的深度范围大致为 $10 \sim 20 \text{ m}$. 整体上污染区的深度变化为南深北浅.

为对 EIS 观测结果进行检验, 我们对勘探现场进行了打井验证. 采用 2 台冲击式打井机, 共完成 18 个钻孔. 其中 15 m 勘探井 1 个, 8 m 井 3 个, 6 m 井 14 个, 采集样品 22 个. 为了解调查场地土壤污染

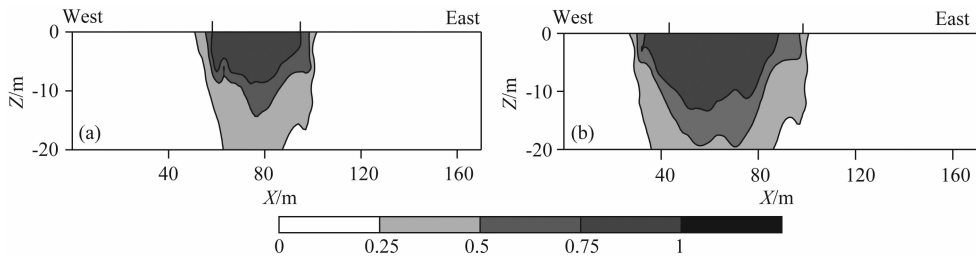


图4 混合垃圾填埋区隶属函数结果

Fig. 4 The result of membership function with mixed refuse filled (a) and domestic refuse filled (b)

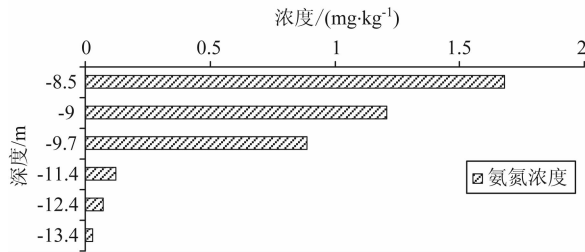


图5 氨氮浓度检测结果

Fig. 5 The inspecting result of ammonia-nitrogen concentration

物背景水平,我们在紧邻垃圾填埋场的南侧采集背景样品2个,根据检测结果,调查场地未受垃圾渗滤液污染的土壤氨氮背景值均为“未检出”。

图5给出的是10号剖面以北15m深井(垃圾物8m)之下8.5~13.4m的氨氮检测结果.该钻孔介于混合垃圾填埋区与生活垃圾填埋区之间.从图5可以直观地看出,在深度9.7~11.5m范围氨氮含量快速衰减.表明该深度范围存在划分地下环境污染程度轻、重的合理界面.这与EIS资料隶属函数给出的严重污染区深度(混合垃圾区10m;生活垃圾区13m)相吻合。

4 结论

通过对北京通州某垃圾填埋场EIS观测,获取了垃圾填埋场及邻近区域地下视电阻率断面,给出了不同类型(混合、生活)垃圾填埋的电性异常特征.针对该填埋场复杂背景电性结构特征,提出了新的利用EIS视电阻率直接计算隶属函数的方法,并对探测区地下环境污染程度进行了分区划分,得到了严重污染区、轻度污染区的范围.钻孔资料表明,隶属函数的分区结果较为真实地反映了地下环境污染的状况。

参考文献(References)

[1] Texkan B. A joint application of radiomagnetotellurics and

Transient electromagnetics to the investigation of waste Deposit in Cologne. *J. Appl. Geophys.*, 1996, 34(3): 199-212.

[2] Benson A K. Mapping groundwater contamination using DC resistivity and VLF geophysical methods-A case study. *Geophysics*, 1997, 62(1): 80-86.

[3] Park S. Fluid migration in the vadose zone from 3D inversion of resistivity monitoring data. *Geophysics*, 1998, 63(1): 41-51.

[4] Ogilvy R D, Meldrum P I, Chambers J E. Imaging of industrial waste deposits and buried quarry geometry by 3D resistivity tomography. *Eur. J. Environ. Eng. Geophys.*, 1999, 3: 103-113.

[5] Buselli G. Groundwater contamination monitoring with multichannel electrical and electromagnetic methods. *J. Appl. Geophys.*, 2001, 48(1): 11-23.

[6] 闫永利, 马晓冰, 袁国平等. 大地电磁法在阿苏卫填埋场地下水污染检测的应用研究. *地球物理学报*, 2007, 50(6): 1863-1868.

Yan Y L, Ma X B, Yuan G P, et al. Application of magnetotelluric method in groundwater pollution detection on Asuwei refuse sanitary landfill. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2007, 50(6): 1863-1868.

[7] Alaia R, Patella D, Mauriello P. Application of geophysical 3D probability tomography in a test-site of the archaeological park of Pompei. *J. Geophys. Eng.*, 2008, 5: 67-76.

[8] Daily W, Ramirez A, LaBrecque D, et al. Electrical resistance tomography experiments at the Oregon Graduate Institute. *J. Appl. Geophys.*, 1995, 33(4): 227-237.

[9] Friedel S, Thielen A, Springman S M. Investigation of a slope endangered by rainfall-induced landslides using 3D resistivity tomography and geotechnical testing. *J. Appl. Geophys.*, 2006, 60(2): 100-114.

[10] Hauck C, Vonder Mühl D, Maure H. Using DC resistivity tomography to detect and characterize mountain permafrost. *Geophysical Prospecting*, 2003, 51(4): 273-284.

[11] Lapenna V, Lorenzo P, Perrone A. 2D electrical resistivity imaging of some complex landslides in the Lucanian Apennine chain, Southern Italy. *Geophysics*, 2005, 70(3): B11-B18.

[12] Mauriello P, Monna D, Patella D. 3D geoelectric tomography and archaeological applications. *Geophysical Prospecting*, 1998, 46(5): 543-570.

- [13] Zadeh L A. Fuzzy set. *Information and Control*, 1965, 8 (3): 338-353.
- [14] 贺仲雄. 模糊数学及其应用. 天津: 天津科学技术出版社, 1983.
He Z X. Fuzzy Mathematics and Its Application(in Chinese). Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 1983.
- [15] 王时标, 王光远. 未确知信息的模糊处理方法在地震危险性分析中的应用. *地球物理学报*, 1994, 37(S2): 185-191.
Wang S B, Wang G Y. The application in seismic risk analysis of fuzzy mathematical methods with unascertain information. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 1994, 37 (S2): 185-191.
- [16] 江为为. 模糊逻辑理论在矿区勘探与解释中的应用. *地球物理进展*, 1998, 13(1): 115-119.
Jiang W W. Application of fuzzy logic set theory in mineral exploration and interpretation. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 1998, 13(1): 115-119.
- [17] 张晓常. 模糊综合评判在地球化学异常评价中的应用. *物探与化探*, 2003, 27(2): 106-109.
Zhang X C. The application of fuzzy synthetic judgement to the appraisal of geological anomalies. *Geophysical and Geochemical Exploration* (in Chinese), 2003, 27(2): 106-109.

(本文编辑 胡素芳)