

偶极子间距对电法检测填埋场渗漏的影响

管绍朋¹, 王玉玲², 能昌信², 孙文燕¹

(1. 山东工商学院 通信工程系, 山东 烟台 264005; 2. 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: 偶极子间距会对电法检测填埋场漏洞的灵敏度和准确度产生影响。基于电法检测填埋场渗漏的原理, 对偶极子间距的影响进行了分析及实验验证。理论及实验结果表明: 偶极子间距越大, 漏洞检测的灵敏度越高, 但定位准确度同时降低且易造成漏检; 偶极子间距越小, 漏洞定位的准确度越高, 但检测灵敏度降低。工程实践中, 偶极子间距通常确定为 1 m。

关键词: 填埋场; 电法; 渗漏检测; 偶极子间距; 污染检测

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2012)03-0445-03

高密度聚乙烯(HDPE)材料具有优良的防渗性能, 被广泛应用于填埋场的防渗系统中。但在HDPE膜焊接铺设过程中, 不规范的人工操作以及机械的施压等原因极易导致膜的破损, 因此防渗系统施工完毕后必须进行防渗膜的完整性检测。电学方法自1985年在美国获得成功应用以来, 已成为防渗膜渗漏检测技术的主流^[1]。该方法的基本原理是利用了HDPE膜的高阻特性, 对填埋场地施加高压直流电, 当防渗膜完好无损时, 只有极少量电流流过防渗膜(近似为零), 膜上的电势分布均匀。一旦防渗膜出现破损, 漏洞位置为电流提供通路, 导致漏洞附近的电势出现异常, 从而可根据膜上保护层中的电势分布确定漏洞位置^[2]。实践中, 通常采用一对固定间距的金属电极(偶极子)对电势进行采集, 即偶极子法。偶极子检测法的可行性已经经过实验验证^[3], 但笔者在实践中发现, 偶极子的间距会对检测效果产生明显影响。为此, 对偶极子间距的影响进行了深入研究, 并对工程应用中偶极子间距的确定提出建议。

1 理论分析

通常, 填埋场面积达数万平方米。为简化模型, 可将填埋场看作水平方向为无穷远的层状结构^[4], 自上而下依次为: 膜上媒质层、防渗层和膜下土壤层。假设防渗膜上存在一个半径为 a 的漏洞, 可建立图1所示漏洞检测模型。膜上媒质中的电势共由

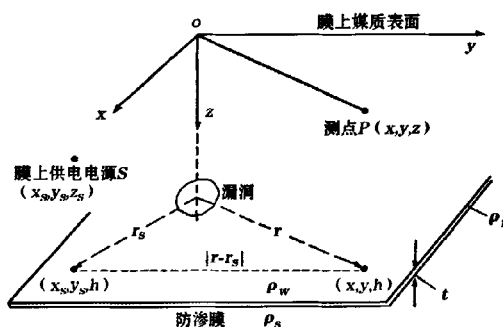


图1 电法填埋场漏洞检测模型

两部分组成: 流经防渗膜未破损部分的电流形成的电势和流经漏洞的电流在媒质中产生的电势。假设膜上媒质层的电阻率为 ρ_w , 厚度为 h ; HDPE 防渗膜电阻率为 ρ_t , 厚度为 t ; 膜下土壤层的电阻率为 ρ_s , 厚度为无穷大, 则膜上媒质中任意一点的电势为^[5]

$$\begin{aligned} \phi &= \phi_p + \phi_i, \\ \phi_p &= \frac{I\rho_w}{4\pi} \left\{ \frac{1}{\sqrt{|r-r_s|^2 + (z-z_s)^2}} + \frac{1}{\sqrt{|r-r_s|^2 + (z-z_s)^2}} + \int_0^\infty R(\lambda) \frac{e^{-\lambda(h+z_s)} + e^{-\lambda(h-z_s)}}{1 - R(\lambda)e^{-2\lambda h}} \times \right. \\ &\quad \left. [e^{-\lambda(h+z)} + e^{-\lambda(h-z)}] J_0(\lambda|r-r_s|) d\lambda \right\}, \quad (1) \end{aligned}$$

收稿日期: 2011-01-10

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)重点项目(2007A4061303); 山东省自然科学基金资助项目(Y2008B60)

$$\phi_s = I_0 \frac{\rho_w}{4\pi} \int_0^\infty T(\lambda) \frac{e^{-\lambda(h+z)} + e^{-\lambda(h-z)}}{1 - R(\lambda)e^{-2\lambda h}} J_0(\lambda r) d\lambda; (2)$$

$$R(\lambda) = \frac{\rho_s - \rho_w + \lambda t \rho_l}{\rho_s + \rho_w + \lambda t \rho_l},$$

$$T(\lambda) = \frac{2(\rho_s + \lambda t \rho_l)}{\rho_s + \rho_w + \lambda t \rho_l} = 1 + R(\lambda),$$

其中, ϕ_p 为流经防渗膜未破损部分的电流形成的电势, ϕ_s 为漏洞电流在膜上媒质中产生的电势, (x_s, y_s, z_s) 为膜上媒质中供电电极的坐标, (x, y, z) 为膜上媒质中任意一点的坐标, r_s 为漏洞中心与供电电极之间的水平距离, r 为漏洞中心与测点之间的水平距离, I_s, I_0 分别为供电电流和漏洞电流, h 为膜上媒质厚度, $J_0(\lambda r)$ 为零阶第一类 Bessel 函数。

以上模型已在危险废液暂存库中获得验证。但对于填埋场来说, 防渗膜上为固体(垃圾层), 膜上供电电极只能位于垃圾层的表面。电势采集时, 偶极子也只能在垃圾层表面移动。因此, 有 $z_s = 0, z = 0$ 。则式(1)简化为

$$\phi = \frac{I_s \rho_w}{2\pi} \left\{ \frac{1}{|r - r_s|} + \int_0^\infty R(\lambda) \frac{2e^{-2\lambda h}}{1 - R(\lambda)e^{-2\lambda h}} J_0(\lambda |r - r_s|) d\lambda \right\} + \frac{I_0 \rho_w}{2\pi} \int_0^\infty \frac{T(\lambda)e^{-\lambda h}}{1 - R(\lambda)e^{-2\lambda h}} J_0(\lambda r) d\lambda. (3)$$

假设膜上供电总电流 I_s 为 1 A, 通过漏洞的电流 I_0 为 100 mA, 膜上供电电极与原点的距离 r_s 为 30 m, 膜上媒质厚度 h 和电阻率 ρ_w 分别为 0.5 m, $30 \Omega \cdot \text{m}$, HDPE 防渗膜厚度为 2 mm, 电阻率为 $10^{14} \Omega \cdot \text{m}$, 膜下土壤电阻率为 $50 \Omega \cdot \text{m}$, 测线为沿供电电极与漏洞之间的连线。当偶极子间距分别为 0.5、1、1.5 m 时, 测线上的电势分布如图 2 所示。

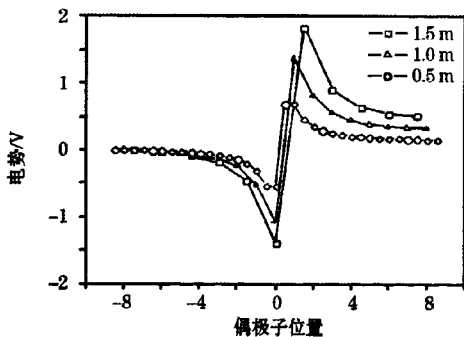


图2 电势分布与偶极子间距之间的关系

可以看出, 偶极子间距越大, 漏洞附近的电势异常越明显, 漏洞越容易被检测出来, 即偶极子的灵敏度得到提高, 同时检测效率得到提高, 但偶极子间距

增大后, 漏洞定位的准确度将会下降。

固定偶极子的间距为 1 m, 改变膜上媒质的厚度 h , 同时保持其他参数不变, 则测线上的电势分布如图 3 所示。

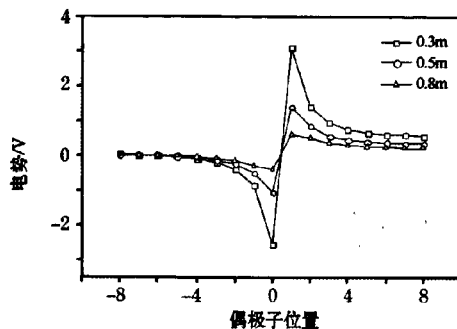


图3 电势分布与膜上媒质厚度之间的关系

可以看出, 膜上媒质越薄, 偶极子间距在漏洞附近的电势读数就越大, 漏洞越容易被检测出来。因此, 在条件允许的情况下, 膜上媒质保护层应尽可能薄一些。

假设防渗膜上存在 2 个漏洞, 流经 2 个漏洞的电流皆为 100 mA, 供电电极与 2 个漏洞在同一直线上, 与两漏洞中心的距离为 30 m, 膜上媒质厚度为 0.5 m, 偶极子间距为 1 m, 其他参数同上。测线上的电势分布与两漏洞间距之间的关系如图 4 所示。

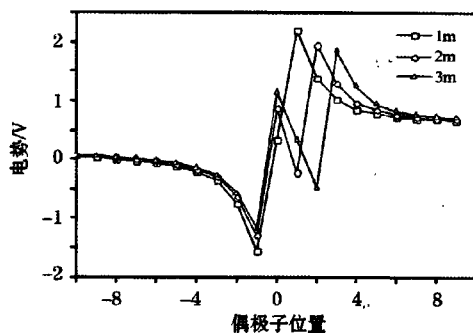


图4 电势分布与漏洞间距之间的关系

可以看出, 当两漏洞的间距大于偶极子间距时, 偶极子在漏洞附近会出现 2 次明显的电势跳变, 即两个漏洞皆可被检测出来; 但当两漏洞间距小于等于偶极子间距时, 偶极子在两漏洞附近只会出现一次电势异常, 即只有一个漏洞能被检测出来。因此, 工程应用中偶极子间距不宜过大。

2 实验验证

实验在中国环境科学研究院内的小型实验填埋

场中进行。填埋场尺寸为 $40\text{ m} \times 20\text{ m} \times 0.8\text{ m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 深), 池底铺设厚度为 1.5 mm 的 HDPE 防渗膜。防渗膜上共有 2 个直径 2 cm 的圆形漏洞, 第一个位于防渗膜的正中间, 第二个位于第一个漏洞的正西方 2 m 处。防渗膜上铺设 30 cm 厚的砂土用来模拟膜上媒质层。膜上供电电极位于第一个漏洞正东方 18 m 处; 场外回路电极距实验填埋场南边 30 m ; 两电极皆为直径 1 cm 的圆柱状电极, 埋置深度 10 cm , 偶极子间距为 1 m 。场内供电电极接直流电源的正极, 场外回路电极接直流电源的负极, 调整回路电流为 100 mA , 测线沿供电电极与漏洞之间的连线, 则偶极子采集的电势读数如图 5 所示。

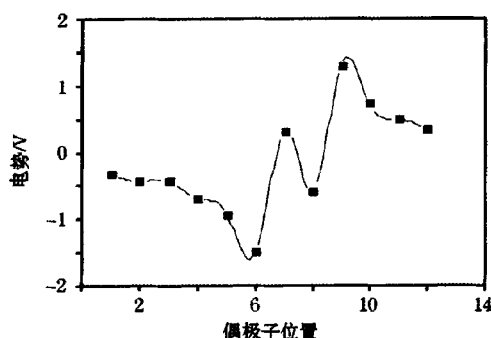


图 5 偶极子法的实验数据

从图 5 可以看出, 偶极子经过 2 个漏洞的附近时, 电势出现了 2 次明显的跳变, 2 个漏洞皆能被检测出来。然而, 对于不同的填埋场来说, 受场地条件的影响, 电势异常的幅度并不相同。实践中, 为提高定位准确度, 可在电势异常位置附近以较小的步长移动偶极子, 电势异常出现最大值的位置即为漏洞位置。

3 结论

(1) 偶极子间距越大, 漏洞附近的电势异常越明显, 检测的灵敏度越高, 但偶极子间距增大后, 漏洞定位的准确度将会下降。

(2) 膜上媒质越薄, 同样的偶极子间距在漏洞附近的读数越大, 偶极子检测的灵敏度越高。因此, 在满足填埋场设计要求的前提下, 膜上媒质层应尽可能薄一些。

(3) 对于多个漏洞情况, 当偶极子间距小于两漏洞间距时, 偶极子在两漏洞附近会出现两次明显的电势跳变, 即两漏洞皆可被检测出来; 但当偶极子间距大于两漏洞间距时, 偶极子在两漏洞附近只会出现一次电势跳变, 即只有一个漏洞被检测出来。因此, 工程应用中, 为避免漏检情况的发生, 发现漏洞后应及时进行修补并对同一区域进行复测。

综上, 兼顾检测精度及灵敏度, 并考虑操作的便利性, 工程应用中, 偶极子间距通常选择 1 m 。

参考文献:

- [1] Darilek G T, Laine D L. Costs and benefits of geomembrane liner installation CQA [C]//Geosynthetics 2001 Conference Proceedings [C]. Portland, Oregon: 2001; 65-75.
- [2] Darilek G T, Laine D L. Performance-Based specification of electrical leak location surveys for geomembrane liners [C]//Industrial Fabrics Assoc. Int., Geosynthetics 99 conference Proceedings. Minn: Saint Paul, 1999; 569-573.
- [3] 杨萍, 能昌信, 董路, 等. 人工合成衬成渗漏检测高压直流电法漏洞电流模型 [J]. 环境科学学报, 2005, 25(10).
- [4] 杨萍, 董路, 王琪. 单合成衬层填埋场渗漏检测的多介质模型 [J]. 中国环境科学, 2008, 28(01).
- [5] Parra J O, Owen T E. Model studies of electrical leak detection in geomembrane lined impoundments [J]. Geophysics, 1988, 53(11).

IMPACT OF DIPOLE SPACING IN ELECTRICAL LANDFILL LEAKAGE DETECTION

GUAN Shao-peng¹, WANG Yu-ling², NAI Chang-xin², SUN Wen-yan¹

(1. School of Communication Engineering, Shandong Institute of Business and Technology, Yantai 264005, China; 2. Research Institute of Solid Waste Management, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The dipole spacing could affect the detection sensitivity and accuracy in the electrical landfill leakage detection. Based on the principle of electrical method, the influence of dipole spacing was analyzed and validated by experiment. The theoretical and experimental results show that: (1) the greater the dipole spacing is, the higher the detection sensitivity is, but the locating accuracy lower and some leaks will easily be undetected; (2) the smaller the dipole spacing is, the higher the leak locating accuracy is, but the detection sensitivity lower. In engineering practice, the dipole spacing usually is determined as 1 m .

Key words: landfill; electrical method; leakage detection; dipole spacing; influence

作者简介: 管绍朋(1976-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为环境监测技术。