

直流电阻率法检测垂直铺膜深度问题研究

毛吉祥,王媛

(河海大学 隧道与地下工程研究所,江苏 南京 210098)

摘要:为了研究垂直铺塑防渗工程防渗膜检测中不同铺膜深度的电测深曲线特性,通过室内试验对若干组饱和砂土层垂直铺设不同深度防渗膜的简化模型运用直流电阻率法进行测量。结果表明,膜上土表处测点垂直膜走向测线的电测深曲线在每一层土的探测范围内表现出等梯度变化的特征,且各段的梯度与膜的铺设位置有密切的对应关系。

关键词:垂直铺塑防渗膜;室内试验;直流电阻率法;铺膜深度;电测深曲线

中图分类号:TU43

文献标识码:A

Preliminary study on the problem of detecting the depth of vertically laying geomembrane with DC resistivity method

MAO Jixiang, WANG Yuan

(Tunnel and Underground Engineering Institute, Hohai University, Jiangsu Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to study the characteristics of electric sounding curve corresponding to different laying depth of the membrane in detection of impervious membrane in Vertical Laying plastic Film project, several groups of indoor experiment with different laying depth of membrane paving inside the saturated soil using DC resistivity method were taken. It was found that the electrical sounding curves of the measurement of the point on the surface of the sand above the membrane along the cross-section of the membrane character as follows: the apparent resistivity corresponding to the detection range of each electrical layer changes with constant gradient which has a close relationship with the laying position of the membrane.

Key words: vertically laying geomembrane; indoor experiment; DC resistivity method; laying depth of geomembrane; electrical sounding curves

机械垂直铺膜技术是近年来发展起来的一种新型防渗技术,因其防渗效果显著、施工方便、经济性高等显著优点,在堤防工程中得到较为广泛的应用^[1]。它采用特制机械开沟造槽,然后垂直埋入塑料薄膜,形成以塑料薄膜为主的防渗帷幕。在垂直铺塑的施工过程中,若是开槽速度过快,铺塑的速度过慢就会塌坑,造成防渗膜铺设卷底现象,使土工膜的埋设深度不够^[2]。这种情况下,垂直铺膜的防渗效果通常会大打折扣。特别在汛期来临时,由于渗流的集中作用,在膜底以下防渗性能较差的土体由于水压力过大,可能会出现集中渗漏和渗透稳定问题,甚至有溃坝的风险。为此,探测垂直铺膜深度是评价堤防加固效果的重要方

面。防渗膜的材料是聚乙烯塑料物质,垂直铺塑这类纤薄直立的防渗体对电流场影响极为明显,故进行其分布范围和分布状况探测,可通过分析比较防渗膜的存在对电流场影响的不同程度便可反映出膜的存在状况,基于电场理论的直流电阻率法在近年来的微小结构物的探测中达到了很好的效果,开展垂直铺塑质量检测和监测在技术上是可能和可行的^[3]。针对直流电阻率应用和理论的研究非常之多^[4-9]。但是,在现场运用直流电阻率法对铺设垂直防渗膜的地电断面进行测量,所得的电测深资料的解释由于膜的影响非常困难。本文通过室内试验对简化的多组地电模型进行电阻率法测量,以探寻膜的铺设深度是如何影

收稿日期:2016-03-08

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(2014B3714)

作者简介:毛吉祥(1991-),男,河南固始人,硕士,研究方向为堤防隐患检测、堤防工程。

响视电阻率的分布特征,从而为现场测量资料的解释提供一些参考。

1 室内试验设计与实施

1.1 试验槽结构

采用定制的有机玻璃组装的槽体作为试验模型的载体,该模型槽的结构如图1所示。试验槽中间(1 m×1 m×0.5 m)的空间为主体部分,在其内填筑土体,在图中“铺膜位置”垂直铺设塑料薄膜,在槽体的两侧连接主体部分的是水箱,与主体部分通过打孔的透水玻璃板连接。

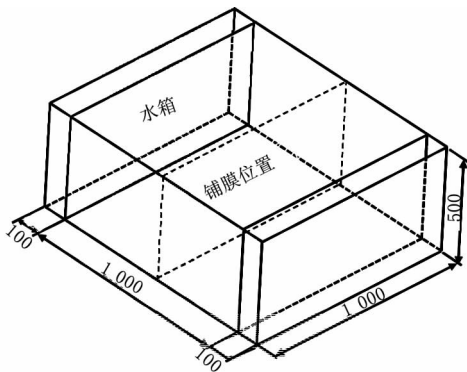


图1 试验槽结构图示(mm)

Fig.1 The diagram of the structure of laboratory test tank(unit:mm)

1.2 试验模型

首先,在图1中“铺膜位置”处铺上设定尺寸的塑料薄膜,薄膜与槽体侧壁的连接采用双面胶固定,再用玻璃胶作防水处理。

根据膜顶位置及膜底位置的不同设置组成了以下工况(表1):

表1 各工况下铺膜位置控制参数表

Tab.1 Table of rolling parameters

工况	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
膜顶深度 H_t /cm	0	0	0	0	0	0	5	10	15	0	0
膜底深度 H_b /cm	35	25	20	15	10	5	25	25	25	0	45
膜的宽度 h /cm	35	25	20	15	10	5	20	15	10	0	45

注:表中工况10即不铺设土工膜工况。

待膜固定好以后,开始填筑土体。本试验为电阻率法检测垂直铺膜深度问题的初步研究,因此力求模型简单、有代表性,采用均质的细砂作为填筑土体,它的优点是颗粒小,本身流动性比较大,且渗透性好,在水的作用下易于密实与饱和。

为了控制变量,每种工况仅仅在膜的铺设深度上有差别,其他因素应保持一致,故保持每次试验砂土层厚度相同,为45 cm。

砂土铺设完成以后,往水箱中加入同样水质水的水(本试验采用自来水),直到砂土完全饱和稳定,标记下此时水箱中液面的位置,作为每次试验的控制水位。

1.3 直流电阻率法检测

直流电阻率法是以地壳中岩(矿)石的电阻率差异为基础,通过观测和研究人工直流电场的变化和分布规律,达到查明地质构造或解决某些地质问题的目的^[10]。对于均匀各向同性介质,供电电极向地下供入电流强度为 I 的电流,地表测量电极 M 、 N 点的电位可表示如下:

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

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

可得 M 、 N 间电位差为:

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

由此可得均匀大地的电阻率为:

$$\rho = K \frac{\Delta U_{MN}}{I} = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \frac{\Delta U_{MN}}{I} \quad (4)$$

式中, K 为装置系数,由供电电极 A 、 B 和测量电极 M 、 N 的相对位置决定,可根据工作需要设计 A 、 B 、 M 、 N 间的相对位置关系,构成不同的工作装置。

实际工作中,地表往往不是水平的,地下介质也是非均匀的,此时仍按照式(4)求出的“电阻率”值称为视电阻率,以符号 ρ_s 表示,单位和电阻率相同,为 $\Omega \cdot m$ 。它除受各种岩石电阻率的综合影响外,还与岩、矿石的分布状态(包括一些构造因素)、电极排列等具体情况有关。

常规直流电阻率法按照测量过程中电极的排列方式主要有电测深法、电剖面法、中间梯度法。

本次室内试验采用重庆地质仪器厂的 DZD-6A 多功能直流电法仪,仪器自带多种常规的电极排列方式,每次测量只需输入电极位置,系统会自动计算出 K 值。根据仪器内置的电表测出电流值和电压值,由公式(4)给出每个测量点的视电阻率值。

本次测量采用图2中两种电极排列方式布置电极施测。

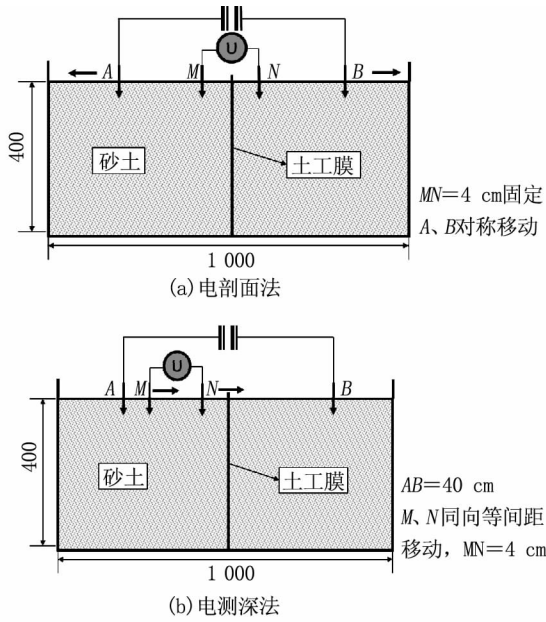


图2 电阻率法电极排列方式

Fig.2 Electrode arrangement of electrical resistivity method

2 试验数据分析

2.1 中间梯度法确定膜的平面位置

对铺膜(表1 工况3)和未铺膜两种工况下,采用图2(a)的电剖面法布极方式,测得不同测量点(M、N 中点位置 O')处视电阻率的变化曲线,结果见图3。

如图3所示,铺膜情况下的曲线可以看到在曲线中间位置有一个很尖的峰值,其位置正好是在土工膜垂直铺设的位置。在测点沿着测线方向作扫描时,视电阻率增加的梯度也在不断地变大,在铺膜的地方视电阻率突增。而未铺膜工况作为对比,其视电阻率值在铺膜工况下膜垂直铺设位置不远的地方,电阻率明显低于铺膜工况下的视电阻率值,且该工况下视电阻率变化很小,梯度非常平缓。这反映了垂直铺膜较其周围低电阻土体在水平方向上异常具有很高的分辨率,是能够通过电剖面法准确捕捉到异常位置,从而找到铺膜断面准确位置的。

2.2 不同铺膜深度的电测深曲线分析

对不同铺膜深度的模型采用图2(b)的电测深法电极测量方式,测量膜上方测点垂直膜走向测线的电测深曲线。

(1) 膜底深度不同工况

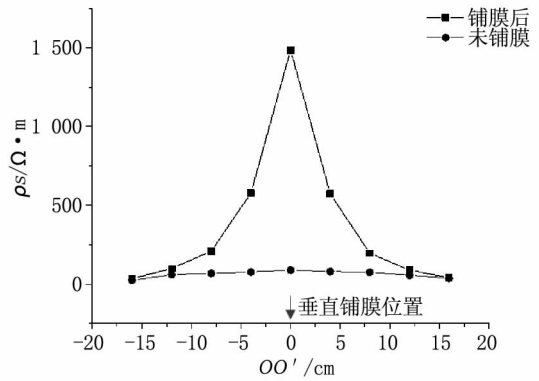


图3 电剖面法视电阻率曲线

Fig.3 Apparent resistivity curves of electrical profiles method

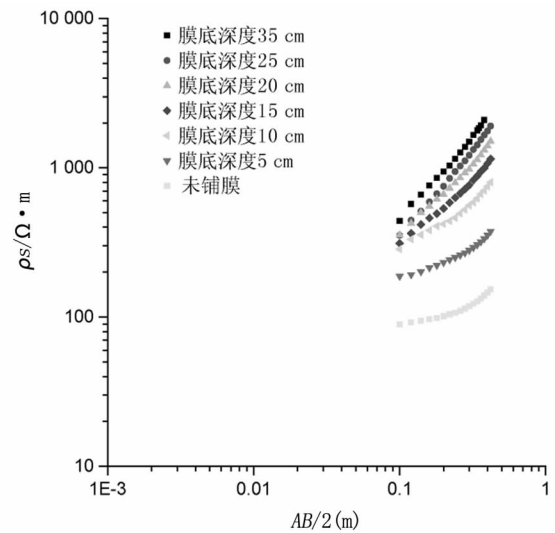


图4 膜底深度不同工况电测深曲线

Fig.4 Electric sounding curves of models with different bottom depth of membrane

膜底深度不同工况下电测深曲线如图4所示。可以发现以下规律:各工况视电阻率随着电极距的增加,不断地增加,这是由本试验模型所决定的,本试验槽内填筑单一砂土层,砂土层下部为试验槽底的绝缘有机玻璃材料,电性由低阻向高阻过渡;膜底深度不同几种工况的测量曲线都由首、尾两段直线和中间过渡段曲线三部分组成,其它条件不变(试验条件控制)的情况下,随着膜底深度越大,首位两段直线的斜率越大,即视电阻率变化的梯度越大。

(2) 膜顶深度不同工况

膜顶深度不同工况下电测深曲线如图5所示。图中曲线同样为两段直线与中间过渡曲线组成,且视电阻率不断增大,反映了探测范围由铺膜砂层逐渐向底部边界过渡;直线段的斜率随着膜顶深度的增加(膜底深度不变)逐渐变大。

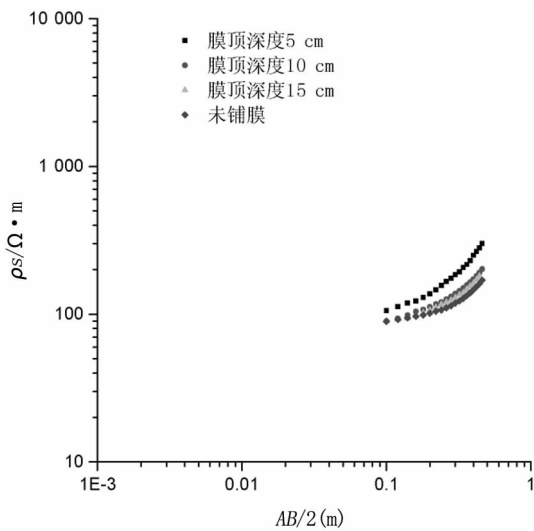


图5 膜顶深度不同工况电测深曲线
Fig.5 Electric sounding curves of models with different top depth of membrane

由不同膜底工况及其对比,可得出以下结论:随着探测深度不断地增加,当探测范围跨过土层分界位置处,视电阻率曲线表现出分层过渡的特性,这一点与水平多地层的常规电测深曲线类似;膜的存在使原本水平地层的电测深曲线的水平段变为具有一定斜率(梯度)直线段,膜底埋深越大,膜顶埋深越小,直线段的斜率越大,即视电阻率梯度越大。

3 结论

1) 直流电阻率法(电剖面法)进行断面扫描时,膜上方测点的视电阻率具有很明显的异常,说明膜的电阻率法检测在水平向上分辨率很高。

2) 由于防渗膜的存在,其正上方测点电测深

视电阻率出现显著异常,电测深曲线同水平层电测深曲线一样受土体分层影响表现出分段的特性,每一层表现为等斜率变化的直线。在采用高密度电法测深时可以根据膜位置处从上往下视电阻率梯度的变化规律分析土层分布,且视电阻率稳定变化带的梯度大小与膜的铺设位置存在对应关系。

参考文献:

- [1] 严斌. 垂直铺膜技术在防渗工程中的应用[J]. 西部探矿工程, 2002(5): 45-46.
- [2] 丁凯. 电场作用下水的粘性试验分析[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2010, 27(3): 14-17.
- [3] 万小旗, 姜兆起, 章恒. 电法测漏在垂直铺塑工程中的研究现状[J]. 科教文汇: 上旬刊, 2014(10): 104-105.
- [4] 宋克民. 垂直铺塑防渗帷幕之地球物理特性及其施工质量无损检测方法的实现[J]. 水利规划与设计, 2008(5): 26-28.
- [5] 郭秀军, 宋克民, 张晓培, 等. 利用双排列 CP 电阻率测试技术进行垂直铺塑施工质量检测研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005(18): 3266-3270.
- [6] 冷元宝, 黄建通, 张震夏, 等. 堤坝隐患探测技术研究进展[J]. 地球物理学进展, 2003(3): 370-379.
- [7] 王兴泰. 高密度电阻率法及其应用技术研究[J]. 长春地质学院学报, 1991(3): 341-348.
- [8] 孙银行, 盖利亚. 直流电阻率法在水文地质调查中的应用[J]. 矿产勘查, 2014(1): 103-107.
- [9] 黄俊革, 王家林, 阮百尧. 坑道直流电阻率法超前探测研究[J]. 地球物理学报, 2006(5): 1529-1538.
- [10] 雷宛. 工程环境物探教程[M]. 北京: 地质出版社, 2006.

(责任编辑 王利君)

(上接第 44 页)

建设, 2005(5): 27-30.

[11] 吕文斌. 派酶土壤固化剂在道路工程中的应用研究[J]. 上海公路, 2010(1): 49-52.

[12] 陈永辉, 王颖. 就地固化技术处理围海工程吹填土的试验研究[J]. 水利学报, 2015, 46(S1): 61-69.

[13] NENAD JELISIC, MILLO LEPPNEN. Mass stabilization of organic soils and soft clay[C]//Proceedings, 3th Int. Conf. Grouting and Ground Treatment: 2003(2): 552-561.

[14] 徐洋, 谢康和. 复合双层地基的极限承载力计算[J]. 土木工程学报, 2004, 37(4): 82-86.

[15] 秦会来, 黄茂松. 双层地基极限承载力的极限分析上限法[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(4): 611-616.

[16] 杨果林. 含软弱下卧层的双层地基工程特性试验研究[J]. 工程勘察, 1998, 1: 1-5.

[17] MERIFIELD R S, SLOAN S W. Rigorous plasticity solutions for the bearing capacity of two layered clay soils. Geotechnique 2001, 49(4): 471-490.

[18] 张其一, 栾茂田. 复合加载情况下双层地基极限承载力研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(4): 1131-1135.

[19] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.

[20] Chen W F. Limit analysis and soil plasticity[M]. Amsterdam: Elsevier, 1975.

(责任编辑 李军)