

利用高密度电阻率法进行盐渍土含水率的测定

张虎元¹, 王少一¹, 赵天宇¹, 王志硕²

(1. 西部灾害与环境力学教育部重点实验室(兰州大学), 兰州 730000;

2. 中国水电顾问集团西北勘测设计研究院, 西安 710065)

摘要: 盐渍土中含有较多的可溶盐, 其工程性质对含水率很敏感。将室内试验与现场试验相结合探索了电阻率法间接测定盐渍土含水率的可行性。采用高密度电阻率法对盐渍土浸水试验后的影响范围进行测试, 通过在室内恒定温度下测定的盐渍土电阻率与含水率的关系, 建立特定土体结构下的电阻率与含水率的数学模型。现场实测高密度电阻率值, 利用现场观测的土层温度, 计算出浸水范围的含水率, 与现场分层实测含水率进行对比, 验证了数学模型的可靠性。

关键词: 高密度电阻率法; 电阻率模型; 盐渍土; 瓜州

中图分类号: P642.13⁺9

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2012)01-0095-07

洪积相盐渍土广泛存在于我国西北地区。近几年, 随着我国对西北地区开发的进一步推进, 一些大型的工程开始施工建设。盐渍土作为一种不良地基, 具有吸湿、膨胀、淋溶、沉陷等特性, 对在其上的建筑物有着很大的危害^[1]。

利用高密度电阻率法对地质体和污染范围的界定在国内已经较为成熟的技术方法。在国内, 郭秀军等^[2-4]使用高密度电阻率法对石油管道的泄露、滑坡面及断层破碎带的位置进行了确定; 许宏发等^[5]用电阻率法对深部巷道的破裂进行测试取得较好成果; 刘斌等^[6]和姜振蛟等^[7]利用电阻率成析成像法对矿井突水和水文调查进行过研究。刘国华等^[8]和刘松玉等^[9-10]的研究结果表明土的电率率主要取决于土的一些结构参数(如孔隙率、孔隙形状、孔隙结构、饱和度、孔隙水电阻率、温度、固体颗粒成分、颗粒形状、颗粒定向性以及固化状态等), 付伟等^[11-12]研究过冻土的单轴抗压强度和变形与电阻率的关系。在国外, Aristodemou 和 Thomas-Betts^[13] 和 Batayneh^[14] 等应用高密度电阻率法对污染物的范围进行了检测。最早是 Archie^[15] 提出了适用于饱和和无粘性土、纯净砂岩的电率率结构模型; Keller^[16] 对 Archie 模型进行了改进,

提出了推广的 Archie 模型; Waxman^[17] 将土颗粒的导电性引入电阻率模型中; Halvorsen^[18] 提出了非饱和土的电率率模型。但是对于在盐渍土地层上使用高密度电阻率法对浸水试验后水浸的范围进行测试的研究成果未见报道。

甘肃酒泉风力发电基地就是建立在瓜州盐渍土地基上, 为了分析水对盐渍土地基的危害程度, 对盐渍土进行了浸水试验研究。本文使用高密度电阻率法对浸水试验后的浸水范围进行了测试, 并进行室内电阻率试验, 建立电阻率与含水率的关系模型。根据此关系模型结合现场测量的高密度电阻率剖面反演结果, 确定土层在特定位置的含水率, 通过人工开挖取样进行含水率测定的校核, 两者吻合较好。

1 现场高密度电阻率法测试

1.1 测试场地及仪器

瓜州风电场位于疏勒河右岸(北岸), 属北山山系山前倾斜冲积平原的戈壁滩地貌。根据勘察结果得出工程区地基土主要由第四系上更新统洪积松散堆积物组成。本次浸水试验地层是第四系全新统洪积(Q_4^pl)砾砂层, 含少量粘性土。颗分累积曲线如图 1 所示, 计算出的不均匀系数 $C_u = 17.27$, 曲率系数 $C_c = 2.54$, 得出此试样属于级配良好型。

对现场试验土层的盐渍土取样, 使用 ICS-2500 研究型离子色谱仪进行可溶盐分析, 得出此盐渍土层属于中等盐渍化的硫酸盐渍土。

为测定试验土层的溶陷量及平均溶陷系数, 现场开挖试坑, 对试验土层进行浸水试验, 试坑长 15m, 15~25m 的坡度为 15°, 浸水坑尺寸 3m × 4m, 浸水坑水

收稿日期: 2011-03-28; 修订日期: 2011-06-26

基金项目: “西北地区大型风力发电场盐渍土工程地质特性研究”项目资助

作者简介: 张虎元(1963-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事与废弃物处置有关的环境岩土工程教学与研究。

E-mail: zhanghuyuan@lzu.edu.cn

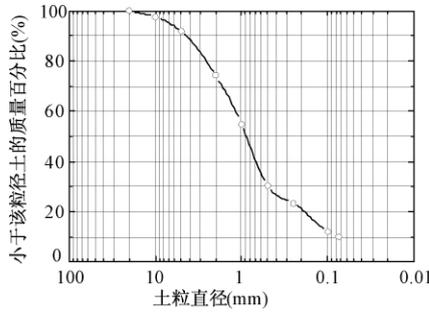


图1 颗粒大小分布曲线

Fig. 1 Cumulative distribution curve of particle

头高度保持 0.3m,载荷板面积 0.5m²,浸水试验平面布置如图 2 所示。采用高密度电阻率法对浸水试验后的水浸范围进行测量,测量仪器是吉林大学工程技术研究所生产的 E60CN 型电法仪器,采用抗干扰性较强的 Wenner 装置^[3,19],分别对浸水前后的土层电阻率进行了对比测试,测量极距选用 1m。

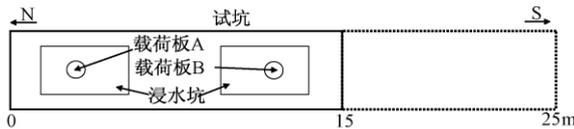


图2 浸水试验平面布置图

Fig. 2 Water immersion test general layout

1.2 现场电阻率测试

试坑开挖后立即利用高密度电阻率法沿试坑中线进行测量,测线长 15m,走向 5°;浸水试验结束后,沿浸水试验前测线进行对比测量,为了更大限度地测量出水浸的范围,延长测线长度到 21m。浸水前后测量

剖面起点都是图 2 中的 0m 处。由于浸水前后测线布置的位置,仪器设置的参数如极距都使用 1m、装置形式都采用 Wenner 法等,测线的起点以及反演过程都相同。浸水后延长测线长度进行测量,只是为了扩大探测范围,对测量精度及结果的影响很小,浸水前后可以进行电阻率变化的比较。

根据现场高密度电阻率实测数据,采用 RES2DINV (Semi Demo) 2D 反演软件进行电阻率反演计算,反演的电阻率剖面见图 3 和图 4。从图 3 中看出浸水前地层的电阻率都在 3.96 ~ 10.60Ω·m,地层电性较为均匀。图 4 清楚地反映出浸水试验后浸水影响的范围。两载荷板 A 及 B 位置分别位于剖面水平距离 2.70 ~ 3.50m 和 11.70 ~ 12.50m 处,由于载荷板对土体的压密作用,载荷板所在位置(水平位置 3.00 ~ 3.50m 和 11.70 ~ 12.40m)下的电阻率为 2.42 ~ 3.96Ω·m;与此相对应,在载荷板两侧即水平位置 0 ~ 2.00m, 3.70 ~ 5.80m, 9.00 ~ 10.20m 和 12.40 ~ 14.30 m 表现为低电阻区,电阻率值小于 2.42Ω·m,此时土体含水率已经或近似饱和状态。这是因为载荷板下的土体由于荷载的压实作用抑制了水的向下渗流,使得水的渗流方向改为侧向渗流为主;还有可能是载荷板对周围土体的剪切破坏,在载荷板周边土体形成水的渗流通道,使载荷板两侧的含水率高于载荷板所在位置下土体的含水率。根据刘国华等^[8]的研究认为影响土体电阻率的最主要的因素是土体的含水率。这样就造成在载荷板位置电阻率相对较高,而在载荷板两侧电阻率较低。

图 4 中载荷板两侧表现电阻率值分布范围不是绝

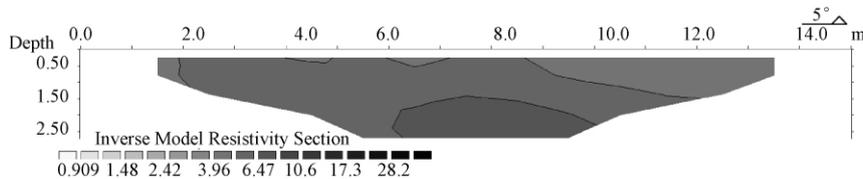


图3 浸水前反演模型电阻率剖面图

Fig. 3 Resistivity-depth profile (before water immersion test)

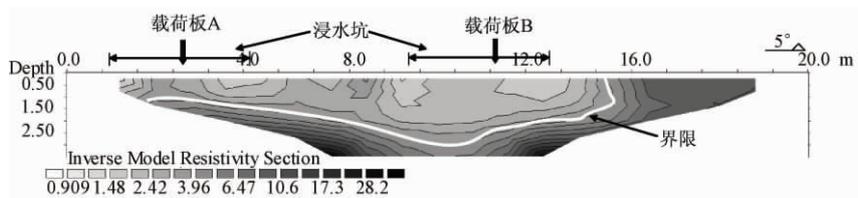


图4 浸水后反演模型电阻率剖面图

Fig. 4 Resistivity-depth section (after water immersion test)

对的“对称”,是因为在现场条件下由于土体颗粒排列的微小差异以及载荷板微小的不均匀沉降,使得载荷板两侧水的侧渗能力不同,水流侧渗的不对称性造成了在载荷板两侧电阻率分布范围的较小差异。为了进一步确定盐渍土电阻率与含水率的关系,专门进行了盐渍土电阻率的室内测量。

2 室内电阻率试验

室内试验通过测定特定温度下盐渍土的电阻率 ρ 和含水率 w ,建立恒定温度状态下的电阻率与含水率数学关系式。根据此数学模型,利用现场高密度电阻率法测量结果反演出的电阻率值,确定土层在特定位置的含水率(即计算值),与现场挖坑分层取样测量的实测含水率进行对比,验证电阻率与含水率关系的可靠性。

2.1 试验装置

测量室内电阻率的装置选用的是以 TxDOT Designation: Tex - 129 - E 标准为基础进行放大 2 倍的 Miller Soil Box,以用来消除边界效应的影响,采用四相电极法电阻率测试装置(图 5)进行,Miller Soil Box 尺寸为 20.4cm × 30.4 cm × 9 cm,供电电极距 AB = 20.4 cm、测量电极距 MN = 6.8 cm。按此装置参数测试时,实际测试的是 M、N 间土样的电阻率,其电阻率计算公式为:

$$\rho = \frac{S}{L_{MN}} \frac{\Delta U}{I} = \frac{9 \times 30.40 \times 10^{-4}}{6.80 \times 10^{-2}} \frac{\Delta U}{I} = 0.40 \frac{\Delta U}{I} \quad (1)$$

式中: S ——土样的断面面积(m^2);

L_{MN} ——M、N 间的距离;

$\Delta U, I$ ——实测 M、N 间的电位差和电流。

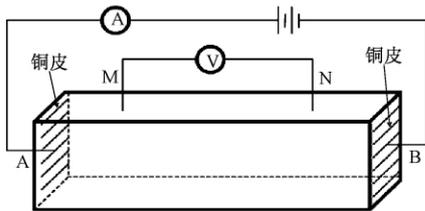


图 5 Miller Soil Box 装置图

Fig.5 Device of Miller Soil Box

2.2 试样制备与测试

试验试样取自瓜州风电场砾砂层,依据《土工试验方法》(GB/T50123 - 1999)标准,对于粗粒土现场采用灌水法测得此土层的天然密度为 $1.69g/cm^3$,对开挖取得的土进行烘干测得的含水率为 10.25%,计

算的干密度为 $1.53 g/cm^3$ 。进行室内试验时,依据 Miller Soil Box 的体积,控制干密度为 $1.53g/cm^3$,计算出烘干样品的质量,然后按照不同含水率的要求加入蒸馏水,充分搅拌,放入保鲜袋中养护 24h,使水分充分浸润,分层均匀压入 Miller Soil Box 中进行电阻率的测试。

试验仪器原理如图 5 所示,装置使用的测量仪器为重庆地质仪器厂生产的直流电法仪。数据观测时土样及环境温度在 $18^\circ C \pm 1^\circ C$ 的状态下。

2.3 电阻率与含水率的关系

控制干密度为 $1.53g/cm^3$,通过对不同含水率试样的电阻率测试,得出了电阻率与含水率的关系(图 6),表明电阻率随含水率的增大呈幂函数关系减小。

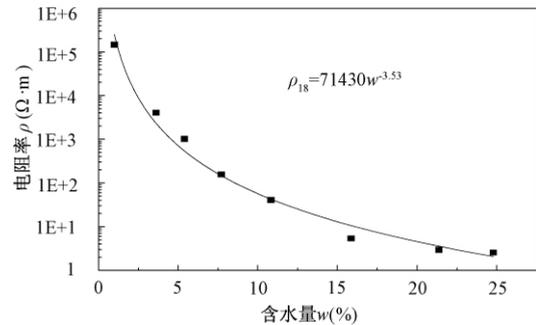


图 6 室内试验确定的电阻率与含水率的关系

Fig.6 Relationship between resistivity and water established by laboratory data

图 7 给出了土的电阻率与含水率的概念模型。一般认为随含水率增大,土中水的主要存在形式发生变化,电荷的迁移率随含水率的增大而增大,土的电阻率随之减小。类比图 7 的分析模式,可以推断图 6 中的含水率小于 5% 时,电阻率的变化非常明显,曲线较陡,此时盐渍土中水的形态可能从吸附水到毛细水形态的转变,此时电流由沿土颗粒表面依靠双电层传导到沿土颗粒表面及土、水串联形成的路径传导^[21],土的导电通路增加,离子迁移速率增加,电阻率减小;在含水率从 5% ~ 20% 时,电阻率的变化较小,其关系曲线较缓和,此时盐渍土中水的形态可能以毛细水和重力水的形式存在,含水率增大,土中孔隙水的连续性得到改善,大部分电流沿连续的孔隙水传导,土的电阻率持续减小;当含水率大于 20% 时,土的电阻率趋于稳定,盐渍土中的水以重力水的形式存在,此时土中孔隙水的连续性已较好^[22],含水率的继续增加对孔隙水的整体连续性影响不大,土样逐渐饱和,电流主要通过孔隙水传导。根据室内试验结果拟合得出如下关系式:

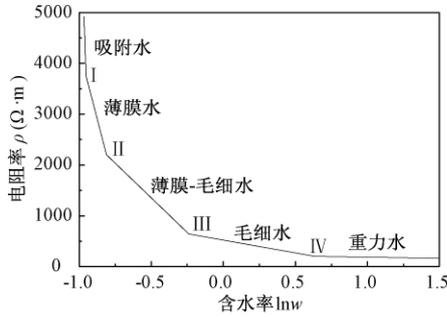


图7 土的电阻率与土中水的形式^[20]

Fig.7 Soil resistivity as effected by water content in different status

$$\rho_{18} = 71\ 430w^{-3.53} \quad (R^2 = 0.99) \quad (2)$$

式中: ρ_{18} ——18℃时土的电阻率(Ω·m);

w ——含水率(%)。

由于温度影响离子的活动性,温度升高使离子活动性增强,从而导致土电阻率下降。Keller和Frischnecht^[20]研究得出了土的电阻率 ρ 与其18℃时的电阻率有如下关系:

$$\rho = \frac{\rho_{18}}{1 + \alpha(t - 18)} \quad (3)$$

式中: t ——温度(℃);

α ——试验常数,约为0.025℃⁻¹。

盐渍土是一种特殊土体,室内电阻率测试时所使用的土样是烘干后的,土样原有的易溶盐含量没有发生变化,其土的结构参数(如孔隙率、孔隙形状、孔隙结构、孔隙水电阻率、固体颗粒成分、颗粒形状、颗粒定向性等)短时期内也不会发生变化,对电阻率的影响可认为是常数。综合式(2)、(3)可得出盐渍土电阻率模型为:

$$\rho = \frac{71430}{1 + 0.025(t - 18)} w^{-3.53} \quad (4)$$

3 电阻率与含水率关系的实际验证

3.1 现场土层温度监测

2009年7月,通过埋设温度探头的方法对盐渍土地温和气温的变化进行了观测。图8是2009年7月30日一天中气温与地温的变化关系。从图中可以看出一天之中气温最低点是6:00时的20.6℃,温度最高点出现在14:00时的38.4℃,而地温在一天之内的变化幅度很小,只有1m深度范围内的地温有微小的波动,其它深度范围内地温基本不随气温的变化而波动,在20:30~21:00之间的的气温和深度1m的地温相差1℃。

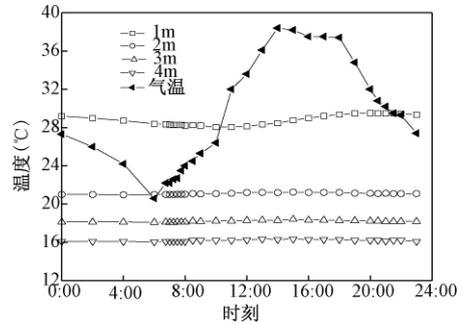


图8 地层及空气温度监测值

Fig.8 Monitored temperature of soil and the air

浸水后进行的高密度电阻率测量是在20:30~21:00之间进行的,此时测量的气温为32℃,所以1m深度范围内的地温经过折算确定为31℃。

3.2 现场浸水剖面的确定

盐渍土具有吸湿、膨胀、淋溶、沉陷等特性,遇水土中易溶盐类被溶解,土体结构破坏,承载力显著下降。为了比较浸水前、后盐渍土地基承载力的变化并测定盐渍土地基的溶陷系数,本次现场试验采用浸水静力载荷试验的方法测试了盐渍土地基的溶陷性。为了测定浸水影响的范围,使用高密度电阻率法分别在浸水前后进行了测量。

通过对浸水前后的高密度电阻率测量,根据浸水前的电阻率测量得出原始地层的电阻率在3.96~6.47Ω·m之间。浸水后进行的高密度电阻率测量时地层深度1m范围内地温约31℃,反演电阻率剖面中(图4)3.96Ω·m这条等值线所在剖面中的位置就是浸水达到的界限,在3.50m处浸水的影响范围在70cm左右。从电阻率剖面图中看出,利用高密度电阻率法能清晰地反映出浸水的影响范围。利用浸水后测量的电阻率值根据建立的电阻率与含水率关系的数学模型,计算出所对应的含水率。

3.3 实测含水率与计算含水率的对比

现场利用高密度电阻率法进行测试后,在载荷板A(即2.70~3.50m处)和载荷板B(即11.70~12.50m处)开挖探坑,沿深度方向每隔20cm取样进行现场含水率的测定。表1列出了计算含水率和实测含水率。其中,计算含水率是根据图4浸水后反演模型电阻率剖面相应深度的电阻率反演值,依据式(4)计算得到的。A、B剖面的实测值分别是载荷板A及B所在剖面含水率现场实测结果。图9形象的描绘出含水率和深度的关系,即随着深度的增大含水率逐渐降低。说明随着深度的增加,水的渗入量越来越少。

表 1 含水率计算值与实测值
Table 1 Calculated and measured values
of moisture content

| 深度 (cm) | 10 | 30 | 50 | 70 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 电阻率 ($\Omega \cdot m$) | 1.48 | 2.42 | 3.96 | 6.47 |
| 根据电阻率计算的含水率 (%) | 19.60 | 17.05 | 14.83 | 12.90 |
| 载荷板 A 剖面实测含水率 (%) | 18.40 | 16.80 | 15.05 | 12.25 |
| 载荷板 B 剖面实测含水率 (%) | 18.53 | 16.94 | 18.32 | 12.15 |

应当看到,表 1 中 B 剖面的 50cm 深度处,实测含水率突然增大为 18.32%,这可能是水在 12.5m 位置入渗的不均匀造成的。取图 4 剖面中 A、B 位置实测含水率为“实测值”(如上所述,剔除 B 剖面 50cm 深度的权值),取剖面 A、B 位置的电阻率反算相应深度的含水率为“计算值”,采用相关性公式对实测值与计算值的相关性进行分析,得到计算值与剖面中 A 位置实测值的相关系数为 0.98,与剖面中 B 位置实测值的相关系数为 0.99。证明式(4)建立的电阻率间接预测瓜州盐渍土含水率模型是可靠的。

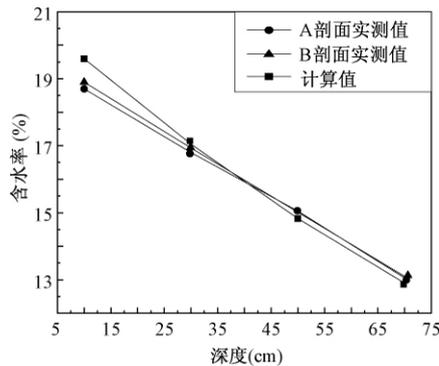


图 9 含水率随深度的变化

Fig. 9 Water content of different depths

4 结论

使用高密度电阻率法对现场盐渍土水浸范围进行测试,并对室内测量一定温度下的电阻率与含水率建立的电阻率与含水率的数学模型进行了检验。研究结论如下:

(1) 瓜州风电场盐渍土的电阻率随含水率的增大呈幂函数关系减小。

(2) 根据室内试验结果,建立了盐渍土的电阻率与含水量关系数学模型,利用此数学模型计算出的含水率与开挖分层取样烘干测得的含水率之间的相关系数不小于 0.98,证实了该数学模型的适用性。证实了

使用高密度电阻率法对盐渍土浸水试验后水浸范围的划分和含水率的确定都是准确的。

参考文献:

- [1] 黄雪峰,陈正汉,哈双,等. 大厚度自重湿陷性黄土场地湿陷变形特征的大型现场浸水试验研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(3): 382 - 389. [HUANG X F, CHEN Z H, HA S, et al. Large area field immersion tests on characteristics of deformation of self weight collapse loess under overburden pressure [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(3): 382 - 389. (in Chinese)]
- [2] 郭秀军,孟庆生,王基成,等. 地球物理方法在含油工业污水管道渗漏探测中的应用[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(1): 279 - 282. [GUO X J, MENG Q S, WANG J C, et al. Leakage detection of underground pressureless industrial waste water pipeline using GPR, electrical and SP method [J]. Progress In Geophysics, 2007, 22(1): 279 - 282. (in Chinese)]
- [3] 郭秀军,贾永刚,黄潇雨,等. 利用高密度电阻率法确定滑坡面研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(10): 1662 - 1669. [GUO X J, JIA Y G, HUANG X Y, et al. Application of multielectrodes electrical method to detection of slide-face position [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(10): 1662 - 1669. (in Chinese)]
- [4] 郭秀军,王兴泰. 利用高密度电阻率法进行断层破碎带探查的数值模拟方法[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(5): 755 - 761. [GUO X J, WANG X T. Numerical Simulation Method in the Exploration of Faultage with High Density Resistivity [J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2001, 31(5): 755 - 761. (in Chinese)]
- [5] 许宏发,钱七虎,王发军,等. 电阻率法在深部巷道分区破裂探测中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(1): 111 - 119. [XU H F, QIAN Q H, WANG F J, et al. Application of electric resistivity method to zonal disintegration exploration of deep roadway [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(1): 111 - 119. (in Chinese)]
- [6] 刘斌,李术才,李树忱,等. 电阻率层析成像法监测系统 在矿井突水模型试验中的应用[J]. 岩石力学

- 与工程学报,2010,29(2):297-307. [LIU B,LI S C,LI S C, et al. Application of electrical resistivity tomography monitoring system to mine water inrush model test [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010,29(2):297-307. (in Chinese)]
- [7] 姜振蛟,卞建民,查恩爽,等. 高密度电阻率成像法在水文地质领域中的应用[J]. 水文地质工程地质,2010,37(2):21-26. [JIANG Z J, BIAN J M, ZHA E S, et al. The application of the electrical resistivity tomography in hydrology: An overview [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2010,37(2):21-26. (in Chinese)]
- [8] 刘国华,王振宇,黄建平. 土的电阻率特性及其工程应用研究[J]. 岩土工程学报,2004,26(1):83-87. [LIU G H, WANG Z Y, HUANG J P. Research on electrical resistivity feature of soil and its application [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004,26(1):83-87. (in Chinese)]
- [9] 刘松玉,韩立华,杜延军. 水泥土的电阻率特性与应用探讨[J]. 岩土工程学报,2006,28(11):1921-1926. [LIU S Y, HAN L H, DU Y J. Experimental study on electrical resistivity of soil-cement [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006,28(11):1921-1926. (in Chinese)]
- [10] 韩立华,刘松玉,杜延军. 温度对污染土电阻率影响的试验研究[J]. 岩土力学,2007,28(6):1151-1155. [HAN L H, LIU S Y, DU Y J. Experiment study on effect of temperature on electrical resistivity of contaminated soils [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007,28(6):1151-1155. (in Chinese)]
- [11] 付伟,汪稔,胡明鉴,等. 不同温度下冻土单轴抗压强度与电阻率关系研究[J]. 岩土力学,2009,30(1):73-78. [FU W, WANG R, HU M J, et al. Study of relationship between uniaxial compressive strength and electrical resistivity of frozen soil under different temperatures [J]. Rock and Soil Mechanics, 2009,30(1):73-78. (in Chinese)]
- [12] 付伟,汪稔. 饱和粉质黏土反复冻融电阻率及变形特性试验研究[J]. 岩土力学,2010,31(3):769-774. [FU W, WANG R. Experimental study of electrical resistivity and deformation characteristics of saturated silty clay during repeated freeze-thaw cycles [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010,31(3):769-774. (in Chinese)]
- [13] Aristodemou E, Thomas-Betts A D C. Resistivity and induced polarisation investigations at a waste disposal site and its environments [J]. J Appl Geophys, 2000,44:275-302.
- [14] Batayneh A T, Barjous M O. Resistivity surveys near a waste disposal site in the Qasr Tuba area of central Jordan [J]. Bull Eng Geol Environ, 2004,64(3):285-291.
- [15] Archie G E. The electric resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics [J]. Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, 1942,146:54-61.
- [16] Keller G V, Frischknecht F C. Electrical methods in geophysical prospecting [M]. New York: Pergamon Press, 1966.
- [17] Waxman M H, Smits L J M. Electrical conductivity in oil-bearing shaly sand [J]. Society of Petroleum Engineers Journal, 1968,8:107-122.
- [18] Halvorson A D, Rhoades J D. Field mapping soil conductivity to delineate dryland saline seeps with four-electrode technique [J]. Soil Science Society of American Journal, 1976,40:571-574.
- [19] Nart Coşkun. Nondestructive electrical resistivity method to map the drainage system of football playgrounds [J]. DOI: 10.1061/ASCECF.1943-5509.0000037.
- [20] Larisa Pozdnyakova. Electrical properties of soils [D]. Laramie, WY: University of Wyoming, 1999.
- [21] Mojid M A, Cho H. Wetting Solution and Electrical Double Layer Contributions to Bulk Electrical Conductivity of Sand-Clay Mixtures [J]. Vadose Zone Journal, 2008,7(3):972-980.
- [22] Fukue M, Minato T, Horibe H, et al. The microstructures of clay given by resistivity measurements [J]. Engineering Geology, 1999,54:43-53.

Determination of water content of saline soil with multi-electrode resistivity method

ZHANG Hu-yuan¹, WANG Shao-yi¹, ZHAO Tian-yu¹, WANG Zhi-shuo²

- (1. *Key Laboratory of Mechanics on Disaster and Environment in Western China*
(*Lanzhou University*), Ministry of Education, Lanzhou 730000;
2. *Northwest Hydro Consulting Engineers, Xi'an* 710065, China)

Abstract: Saline soil contains more soluble salt. Its engineering properties to moisture content are very sensitive. In combination with laboratory data and field test, this paper explores the resistivity method to indirectly measure the feasibility of saline soil moisture content. Saline soil water immersion test area of effect was surveyed with multi-electrode resistivity under specific temperature of indoors. Relationship of resistivity of saline soil and moisture content was determined. Combining with the results of multi-electrode resistivity inversion profile, the field observation of soil temperature field test is calculated within the scope of the water immersion test influence of the moisture content. Comparing with the moisture content of stratified sampling, the reliability of the mathematic models is verified.

Key words: multi-electrode resistivity; resistivity model; saline soil; Guazhou

责任编辑:汪美华

(上接第 94 页)

Experimental study of parameters on CO₂ structural stratigraphic sequestration applied to the Ordovician reef Limestone in the Tarim Basin

CHANG Chun¹, LI Xu-feng², Xia Lu¹, YU Qing-chun¹

- (1. *School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing* 10083, China;
2. *Center for Hydrogeology and Environmental Geology, China Geology Survey, Baoding* 071051, China)

Abstract: Saline aquifer has the most sequestration potential among all the sites that can implement CO₂ geological sequestration. Structural stratigraphic sequestration is the basic mechanism which can affect CO₂ storage capacity in a saline aquifer. In this paper, an experimental method is used to measure the irreducible water saturation to a rock sample, a key parameter that affects structural stratigraphic storage capacity. The rock sample is taken from the Ordovician reef limestone in the Tarim Basin, which is widely considered to be rich in oil and gas. Firstly, effective porosity and permeability coefficient of the sample are measured with saturated weighing and permeating experiment, and are 0.0283, 5.56×10^{-9} m/s, respectively. Irreducible water saturation is measured through supercritical CO₂ flooding core saturated water under simulating strata temperature of 40°C and strata pressure of 8 MPa, and the result is 0.451. Meanwhile, the changes in pressure and flux with time are observed during the core flooding experiment through supercritical CO₂.

Key words: structural stratigraphic sequestration; reef limestone; supercritical CO₂; irreducible water saturation

责任编辑:张若琳