

无荷和有荷条件下膨胀土电阻率变化规律的研究

王晶晶 张文慧 齐嘉炜 卢子威

(河海大学岩土工程科学研究所, 堤坝与岩土工程重点实验室, 南京 210098)

摘要 利用双电极电阻率测量装置,通过室内无荷和有荷膨胀土的电阻率试验,对膨胀土的电阻率与含水率及上覆压力之间的关系进行了研究。试验结果表明:在无荷作用时,电阻率随着含水率的增加而减少,电阻率在含水率为15%时呈现跳跃性变化,电阻率与含水率呈负指数变化;在有荷载作用时,膨胀土的电阻率明显减小,电阻率仍然随着含水率的增加而减少,电阻率在含水率为10%时呈现跳跃性变化。膨胀土电阻率的主要影响因素是含水率,而上覆荷载对电阻率影响较小。

关键词 电阻率 膨胀土 含水率

中图分类号 TU443; **文献标志码** A

膨胀土分布广泛且其胀缩性、超固结性、多裂隙性、崩解性、强度衰减性和风化特性等不良工程性质导致的工程问题和地质灾害频繁发生,使得膨胀土问题成为困扰浅表层轻型工程建设的技术难题,膨胀土问题也成为当今岩土工程和工程地质领域中世界性的重大工程问题之一^[1]。国内外很多学者关于膨胀土结构变形问题已经做了十分重要的研究与分析,但传统的膨胀土结构研究方法还存在如下一些问题:微结构研究制样困难,测试麻烦;一些测试技术成本高,使用不便,因而难以满足现代土力学发展和工程应用需要^[2]。

随着研究的深入,电阻率法因其测试方便、连续、快速等优点逐渐被众多学者所采用。土的电阻率指的是当电流垂直通过边长为一米的立方体土时所呈现的电阻大小,是表征土导电性的基本参数。影响土的电阻率的因素很多,比如含水率、饱和度、土骨架、土的结构、孔隙率、温度等^[3,4]。刘松玉等^[5]研制了土的电阻率测试仪,深入分析了现有的土电阻率室内测试原理和方法。查甫生等^[6]介绍了土的电阻率理论及研究现状,分析影响土电阻率的主要因素。缪林昌等^[7]研究了重塑膨胀土的电阻率特性,提出了一种饱和/非饱和土的假想电阻率模型。于小军等^[8]探索了电阻率测试技术在水泥土深层搅拌法工程中的应用,说明电阻率在实际工程中应用中的可行性。

然而,在现实条件下原位膨胀土土样往往取自于一定的地下深度,为模拟更真实的试验条件,需考虑在上覆压力的作用下膨胀土的电阻率是如何变化。通过无荷和有荷的电阻率试验,研究膨胀土电阻率与含水率的变化规律,从而利用电阻率法快速的测量膨胀土在失水收缩过程中含水率的变化,对于分析膨胀土在失水收缩过程中结构的变化具有一定的参考意义。

1 试验方案

1.1 试验土样

试验所用土样取自芜申线航道高淳县东坝镇K41+400处胥河南岸岸坡,取样深度为原地面以下1.0~1.5 m。由于其自由膨胀率为58%,可将它评定为弱膨胀土,土样的基本性质指标见表1。

表1 土样基本性质指标

Table 1 The basic property index of soil sample

含水率 /%	密度/ (g·cm ⁻³)	比重 G_s	液限 ω_L /%	塑限 ω_p /%	自由膨胀率 F_s /%
25.3	1.91	2.73	59.7	22.5	58.0

1.2 试验仪器

利用二相电极法测试膨胀土的电阻率,试验电路图如图1所示。通过测试恒定电流下两个电极之间的电压差 ΔV ,并根据欧姆定律计算出电阻大小 R ,则试样的电阻率 ρ : $\rho = \frac{RS}{L} = \frac{\Delta VS}{IL}$;其中: S 为电极的面积 m^2 ; I 为电流强度 A 。

为确保电极与土样有良好的接触,仪器采用铜板作为电极,电极与土样之间涂抹石墨粉,并运用高

2015年1月6日收到

第一作者简介:王晶晶,男。硕士。研究方向:岩土工程。E-mail: 704902510@qq.com。

强绝缘塑料环刀绝缘性。另外,膨胀土电阻测量时在室内是风干的,土样在失水收缩过程中体积会缩小,其测量得到的电阻率应考虑体积收缩影响进行修正。

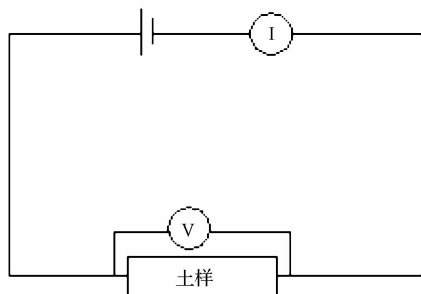


图1 电阻率试验电路图

Fig. 1 Circuit diagram for resistivity test

1.3 试验方案

试验试样按照《土工试验方法标准》(GB/T50123—1999)^[9]进行制备,即风干土样过2 mm筛,配置成初始含水率为26%的土样,然后放置于暗室中24 h进行焖土,保证土样含水率均匀。然后通过压样器制备干密度为 1.6 g/cm^3 ,含水率26%的绝缘环刀试样(环刀试样直径 $\phi = 61.8 \text{ mm}$,高度 $h = 20 \text{ mm}$)若干个,即可进行电阻率试验。在无荷电阻率试验时,将绝缘环刀试样上下两面放置电极,同时在电极上施加1 kPa荷载,保证土样与电极片充分接触;试验时保证室内温度恒定,当时室内气温平均为 24°C ;试验开始后,通过两电极测试土样的电阻,每隔2~3 h记录一次电阻值和试样质量,当两次测量的电阻值相差小于 1Ω 时即可结束试验。在有荷电阻率试验时,将三组干密度为 1.6 g/cm^3 ,含水率为26%的绝缘环刀试样上部施加恒定荷载,所加的荷载依次为15 kPa、30 kPa、45 kPa,有荷土样电阻的测试方法与无荷电阻率试验相同。

2 试验结果与分析

2.1 无荷电阻率试验

膨胀土无荷电阻率与含水率、饱和度的关系如图2、图3所示。从图中可以看出:膨胀土的电阻率随含水率的增大而减小,电阻率在含水率为15%附近呈跳跃性变化,电阻率与含水率呈负指数变化。当土体含水率较小,电阻率随含水率(饱和度)增加呈陡降变化;当含水率达到临界值约为15%(土体的饱和度为58%)后,电阻率随含水率(饱和度)增加的变化幅度明显降低趋于平缓。其变化主要原因有:当土样的含水率比较小,适当的增加含水率可以令土体内部结构的水连通性得到明显改善,土的导

电性得到显著提高,土的电阻率下降;当土样的含水率超过临界值15%之后,土体内部结构水连通性已经到稳定状态,增加含水率对导电性的影响不明显,电阻率基本保持不变。

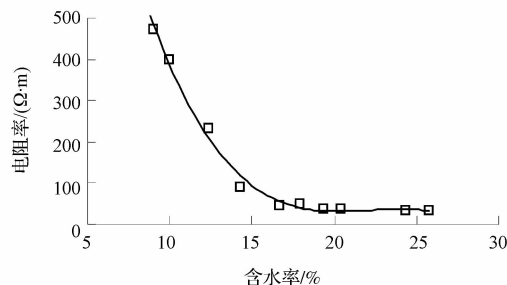


图2 膨胀土电阻率与含水率的关系

Fig. 2 The relationship of expansive soil between electrical resistivity and moisture content

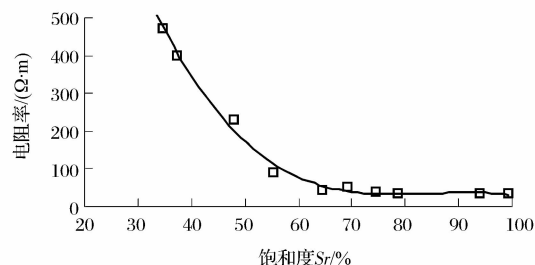


图3 膨胀土电阻率与饱和度的关系

Fig. 3 The relationship of expansive soil between electrical resistivity and degree of saturation

2.2 有荷电阻率试验

膨胀土在不同上覆荷载作用下膨胀土电阻率与含水率的关系如图4~图6所示。从图中可以看出:当施加不同上覆荷载时,电阻率仍然随着含水率的增加而逐渐减小,电阻率在含水率为10%附近呈跳跃性变化,电阻率与含水率呈负指数变化。当土体含水率较小,电阻率随含水率(饱和度)增加呈陡降变化,随着上覆荷载增加而减小;当含水率超过临界值约为10%(土体的饱和度为38%)后,电阻率下降幅度明显降低趋于平缓,不同的上覆荷载对电阻率几乎没

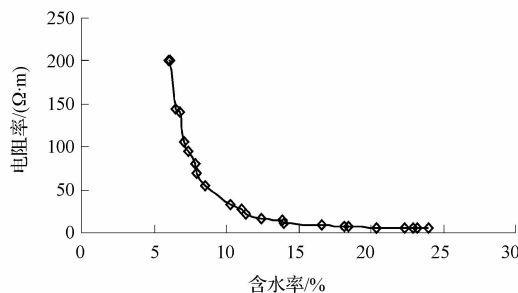


图4 上覆荷载15 kPa

Fig. 4 The overlying load 15 kPa

有影响。其变化主要原因有:当土样的含水率比较小,适当的增加上覆荷载可以令土体内部结构的导电路径到明显改善,土的导电性得到显著提高,土的电阻率下降;当土样的含水率到达临界值 10% 之后,土体内部结构电路连通性已经到稳定状态,增加上覆荷载对土的导电性影响不明显,电阻率基本保持不变。

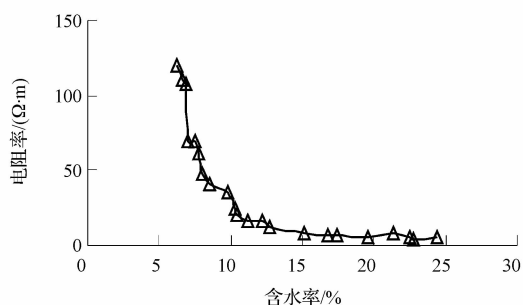


图 5 上覆荷载 30 kPa

Fig. 5 The overlying load 30 kPa

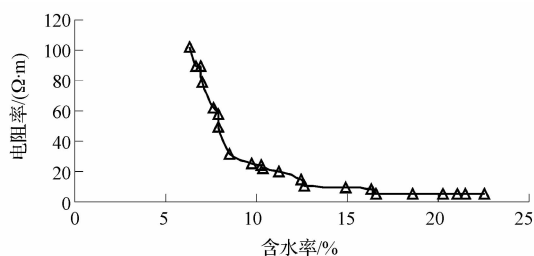


图 6 上覆荷载 45 kPa

Fig. 6 The overlying load 45 kPa

3 结论

1) 无上覆荷载时,膨胀土的电阻率随含水率的增加而降低,电阻率在含水率约为 15% 时呈跳跃式变化。

2) 当施加上覆荷载时,电阻率明显下降,电阻率变化情况与无荷时相似,其突变含水率值降低到 10% 左右。

3) 影响膨胀土电阻率的主要因素是含水率,上覆荷载对电阻率影响较小,电阻率与含水率呈负指数关系。

参 考 文 献

- 1 廖世文. 膨胀土与铁路工程. 北京:中国铁道出版社,1984
Liao Shiwen. Expansive soil and railway engineering. Beijing: China Railway Publishing House, 1984
- 2 于小军, 刘松玉. 电阻率指标在膨胀土结构研究中的应用探讨. 岩土工程学报, 2004; (3):393—396
Yu Xiaojun, Liu Songyu. Researches on application of electrical resistivity indices to the microstructure of expansive soils. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004; (3):393—396
- 3 Herman R. An introduction to electrical resistivity in geophysics. American Journal of Physiology, 2001;69(9): 943—952
- 4 Fukue M, Inato T M, Horibe H, et al. The micro-structures of clay given by resistivity measurements. Engineering Geology, 1999; (54): 43—53
- 5 刘松玉, 查甫生, 于小军. 土的电阻率室内测试技术研究. 工程地质学报, 2006; (2):216—222
Liu Songyu, Zha Fusheng, Yu Xiaojun. Laboratory measurement techniques of the electrical resistivity of soils. Journal of Engineering Geology, 2006; (2):216—222
- 6 查甫生, 刘松玉. 土的电阻率理论及其应用探讨. 工程勘察, 2006; (05):10—15
Zha Fusheng, Liu Songyu. Study on the theory of soil electrical resistivity and its application. Journal of Geotechnical Investigation & Surveying, 2006; (05):10—15
- 7 缪林昌, 严明良, 崔颖. 重塑膨胀土的电阻率特性测试研究. 岩土工程学报, 2007; (09):1413—1417
Miao Linchang, Yan Mingliang, Cui Ying. Studies on electrical resistivity of remold expansive soils. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007; (09):1413—1417
- 8 于小军, 刘松玉. 电阻率测试技术在水泥土深层搅拌法工程中的应用研究. 岩土力学, 2003; (4):592—597
Yu Xiaojun, Liu Songyu. Research on application of electrical resistivity method to cement deep mixing pile engineering. Rock and Soil Mechanics, 2003; (4):592—597
- 9 中华人民共和国建设部. GB/T 50123—1999. 土工试验方法标准. 北京:中国计划出版社, 1999
Ministry of Construction of the People's Republic of China. GB/T 50123—1999. Geotechnical engineering test method and criterion. Beijing: China Plan Publishing Company, 1999

Soilelectrical Resistivity Deformation Trends of Expansive Soils under Free and Loading Condition

WANG Jing-jing, ZHANG Wen-hui, QI Jia-wei, LU Zi-wei

(Geotechnical Engineering Research Institute, Key laboratory of Geo-mechanics and Embankment Engineering, Nanjing 210098, P. R. China)

[**Abstract**] The electrical resistivity of expansive soil is studied indoor with two electrode resistivity measurement that under free and loading condition, and study the relationship of expansive soil resistivity between the water content and the loading condition. The experimental results showed that the soilelectrical resistivity is decreased with the increase of moisture content under free condition. The resistivity changed rapidly when the moisture content is 15% ,and the resistivity and the moisture content conform to the the negative exponent. Soilelectrical resistivity of expansive soils is decreased obviously under loading condition, and the soilelectrical resistivity is still decreased with the increase of moisture content, the resistivity changed rapidly when the moisture content is 10%. Mmoisture content is the main influence factors of expansive soil resistivity, and the loading condition have smaller influence on resistivity.

[**Key words**] soilelectrical resistivity expansive soil moisture content

(上接第 166 页)

7 奥尔连科. 爆炸物理学. 北京:科学出版社,2011:1313—1314

Orr Rienk. Detonation physics. Beijing: SciencePublishing Company,2011:1313—1314

8 孙业斌,惠君明,曹欣茂. 军用混合炸药. 北京:兵器工业出版

社,1995

Sun Yebin, Hui Junming, Cao Xinmao. Military mixed explosives. Beijing:Weapon Industry Publishing Company,1995

Calculation of Detonation Performance for HATO

WANG Yong-shun, NAN Hai, ZHAO Sheng-xiang, ZHANG Wei-peng, LI Yuan-yuan

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710069, P. R. China)

[**Abstract**] The detonation properties of HATO were calculated which are based on the Gibbs free energy minimization method and the BKW EOS. Detonation velocity of HATO was also tested to compare with the calculation result. The results show that the calculation figure is close to the testing result. The detonation volume of HATO is bigger than other explosive's, which will improve the working capacity of ammunition.

[**Key words**] applied chemistry detonation properties BKW equation of state