第33卷 第3期
2011年9月

西 北 地 震 学 报
NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL

Vol. 33 No. 3
Sept., 2011

西安黄土新型旋转触探试验研究

刘奉银[1]，赵静源[1]，贾 凯[1]，罗士梅[2]

（1. 西安理工大学 岩土工程研究所，陕西 西安 710048；
2. 中国有色金属工业西安勘察设计研究院，陕西 西安 710054）

摘 要：对西安理工大学研制的新型旋转触探仪进行调试并进行了5个干密度，4个含水率试样的室内旋转触探试验。通过对实验数据的分析定性得出了：相同含水率条件下稳定锥尖阻力与稳定扭矩随干密度增大而增大；相同干密度条件下稳定锥尖阻力与稳定扭矩随含水率增大而减小。试验结果也为通过旋转触探定量确定岩土物理力学性质参数提供了依据。

关键词：旋转触探；含水率；干密度；锥尖阻力；扭矩；黄土

中图分类号：TU413.5 **文献标识码**：A **文章编号**：1000－0844(2011)03－0239－04

A New Rotary Penetration Test on Xi'an Loess

LIU Feng-yin[1], ZHAO Jing-yuan[1], JIA Kai[1], LUO Shi-mei[2]

(1. *Institute of Geotechnical Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an* 710048, *China*;
2. *Xi'an Engineering Investigation and Design Research Institute of China National Non-ferrous Metals Industry, Xi'an* 710054, *China*)

Abstract: A new rotary penetration apparatu, which was developed by Xi'an University of Technology, is verified, and the tests on Xi'an loess samples with five different dry densities and four water contents are done using the apparatu. The test results show that the probe resistance and torque increase with dry density increasing in same water content condition at a certain depth of 5 m, meanwhile the probe resistance and torque drop with increasing of water content in same dry density condition. The test result will provide good basis for determinating the soil physical and mechanical properties through the rotary penetration test.

Key words: **Rotary penetration test; Water content; Dry density; Resistance of probe; Torque; Loess**

0 引言

静力触探试验（Cone Penetration Test，CPT）简称为静力触探或静探，是采用静力将标准圆锥形探头以一恒定速度压入土中，利用探头内的力传感器，测定探头阻力、侧壁摩阻力和孔隙水压力等参数，进而判定土层的工程性质及其分类的一种原位测试方法。1917年首先由荷兰人开始应用静力触探技术，至今已有80多年的历史[1]，其中最具有代表性的是“荷兰深层静力触探”，简称“荷兰锥”。作为一种日臻完善的原位测试技术，静力触探已经越来越多地为岩土工程技术人员所接受。我国勘测大师王钟琦1965年首次研制成功电测静力触探并将其应用于勘测[2]。从那时起静力触探技术在我国也已有50多年的历史。我国黄土因其特殊的结构特性在地震时发生的灾害较多，如地震滑坡、震陷和液化等[3]，深入研究这些灾变机理的关键是要搞清黄土的物理力学性质，如含水率、干密度和抗剪强度指标等，因此，应用静力触探研究黄土的这些参数对黄土灾害的预警和治理有着重要的意义。

虽然静力触探技术在研究领域中已经取得了长

收稿日期：2011-03-12
基金项目：国家自然科学基金(10872162)；陕西省黄土力学与工程重点实验室重点科研计划项目(05JS33)；西安理工大学岩土工程学科建设项目(106003081)
作者简介：刘奉银(1968－)，男(汉族)，山东滕州人，博士，教授，主要从事黄土力学与非饱和土力学与工程方面的研究工作.

足进展，应用成果也相当丰富，同时在生产建设中发挥了自身优点[4-6]，解决了许多实际工程遇到的困难。但在土质较为坚硬的黄土及软岩地区中的应用还存在诸多不适应的地方。迄今为止，应用静力触探在上述地区开展理论研究和工程应用相对较少。究其原因，主要由于原有触探设备在贯入能力、自重和反力等方面的限制。因为在硬质地层材料中进行触探试验时触探阻力较大，从而极大地降低了触探深度，影响测试效果，有时还会因为长时间超负荷运作造成触探设备损耗甚至破坏。

西安理工大学的研究人员基于提高硬质地层中静力触探能力的目标对静力触探进行了深入研究，分析了静力触探过程中的主要影响因素，最终提出以旋转触探的方式代替原有触探设备中直接压入的思路，成功研制了新型触探设备[7-11]。旋转触探仪的问世为静力触探试验在硬质地层中的应用提供了硬件设备基础，使得我们有必要也有可能来进一步研究旋转触探在硬质地层中的应用[9-11]。本文采用西安理工大学的旋转触探仪对不同含水率及不同干密度的西安黄土试样进行试验研究，分析含水率、干密度对锥尖阻力和扭矩的影响。

1 研究方法

1.1 土样制备

试验用土取自西安理工大学曲江校区，采用重塑试样。首先配成不同含水率的土样若干，然后根据预控制的试样干密度计算出一个土样所需的湿土，用专门的加载制样设备把土料在试样模中分十二层压实。土样的含水率分别配至10%、12%、14%、16%；控制土样干密度为1.40 g/cm^3、1.45 g/cm^3、1.50 g/cm^3、1.55 g/cm^3、1.60 g/cm^3；试样尺寸为200 mm×200 mm ×240 mm。

1.2 试验方案

本次试验采用郑菲菲等[10]试验确定的最优组合为旋转速度 $R=30$ r/min 与触探速度 $U=1.0$ cm/s，采用直径为35.7 mm的标准探头，对每个含水率下不同干密度的五个试样进行旋转触探试验。在试验过程中试样受到的压力按照5 m埋深控制.

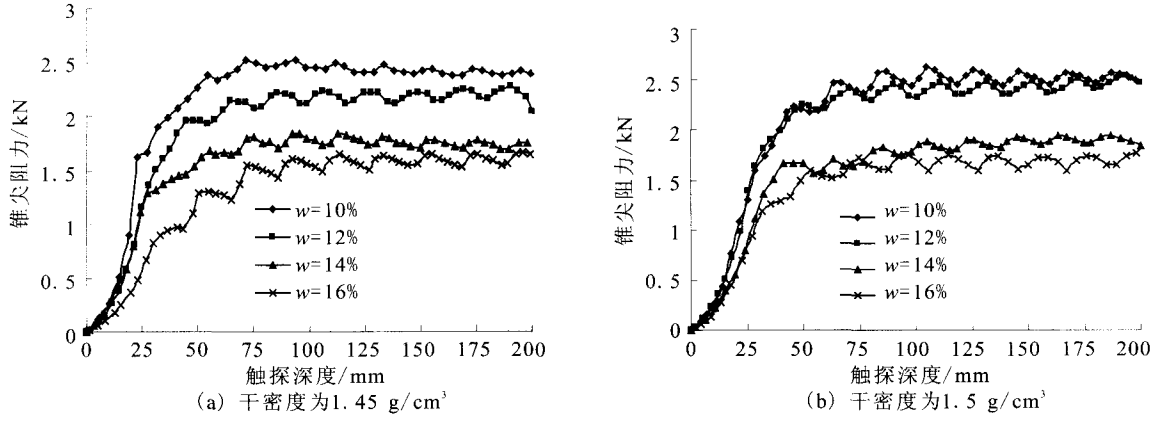


图1 不同含水率下锥尖阻力随触探深度的变化曲线

Fig. 1 The relationship between probe resistance and penetration depth with different water contents.

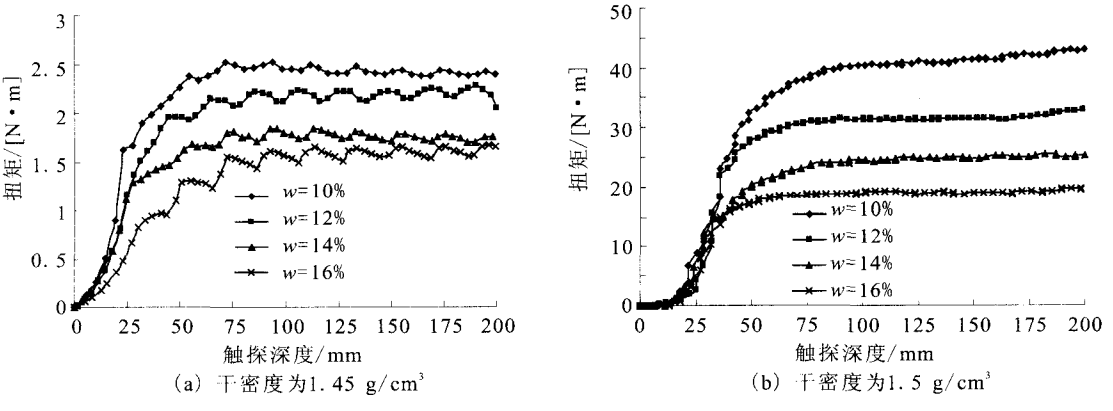


图2 不同含水率下扭矩随触探深度的变化曲线

Fig. 2 The relationship between torque and penetration depth with different water contents.

竖向加自重应力,侧向按照不同深度处土的静止土压力施加。试验结果表示为锥尖阻力和扭矩随触探深度的变化曲线。

2　试验成果分析

2.1　不同含水率条件下的试验结果分析

根据前述的试验分别整理了控制干密度为1.45 g/cm³、1.50 g/cm³ 时不同含水率下锥尖阻力与触探深度的关系(图 1),和扭矩与触探深度的关系(图 2)。

从图中可以看出锥尖阻力随着触探深度的增加而增加,最后趋于一个稳定值;不同含水率下锥尖阻力的稳定值不同,稳定锥尖阻力随含水率的增大而减小,但并不是均匀减小的。扭矩随触探深度的增加而增加,最后趋于一个稳定值;扭矩随触探深度的变化与锥尖阻力随触探深度的变化趋势是类似的,也是随着含水率的增大而减小的。

从图中我们可以看到,在锥头逐渐进入土样的过程中,锥尖阻力和锥尖扭矩是不断增大的,其过程也是孔穴不断扩张的过程,待锥头完全进入土体,孔穴扩张半径达到最大值时,锥尖阻力和锥尖扭矩在某一稳定值上下小范围波动(当然该波动是其他因素的影响)。这里我们是针对其含水率与干密度对稳定锥尖阻力和锥尖扭矩进行分析,对于其他因素的影响暂不做讨论。

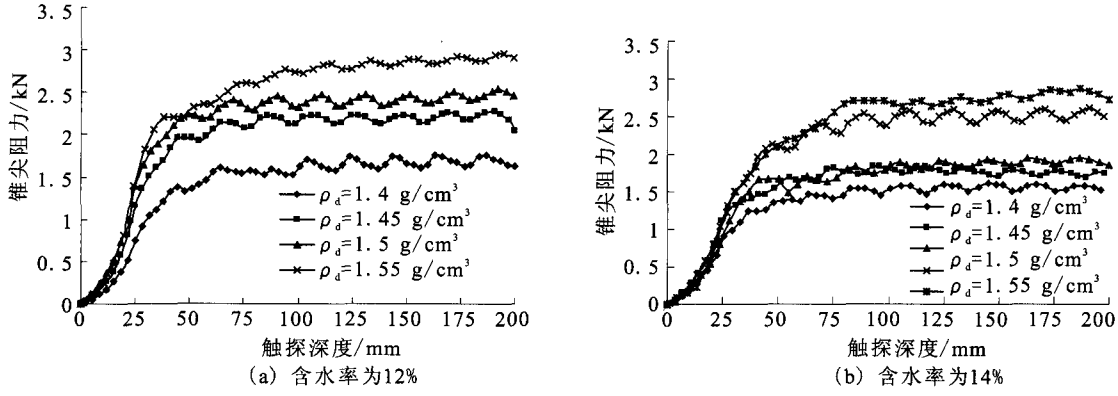
表 1 是干密度为 1.45 g/cm³、1.50g/cm³,不同含水率条件下稳定锥尖阻力和稳定扭矩的汇总。

表 1　不同含水率下稳定锥尖阻力与稳定扭矩

干密度/[g·cm⁻³]	含水率/%	稳定锥尖阻力/kN	稳定扭矩/[N·m]
1.45	10	2.43	35.67
	12	2.18	29.65
	14	1.76	9.79
	16	1.59	16.95
1.5	10	2.51	40.79
	12	2.40	31.55
	14	1.89	24.96
	16	1.68	19.09

2.2　不同干密度条件下的试验结果分析

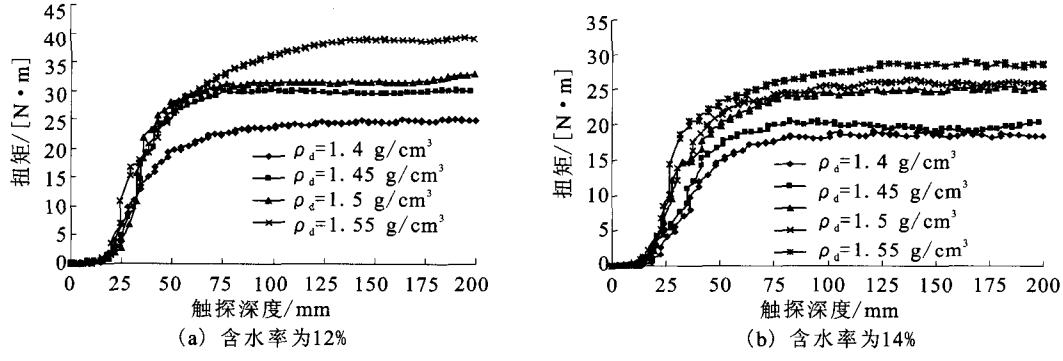
根据前述试验整理了控制含水率为 12%、14% 时不同干密度下锥尖阻力与触探深度的关系如图 3,和扭矩与触探深度的关系如图 4 所示。



(a) 含水率为12%　　(b) 含水率为14%

图 3　不同干密度下锥尖阻力随触探深度的变化曲线

Fig. 3　The relationship between probe resistance and penetration depth with different dry bulk densities.



(a) 含水率为12%　　(b) 含水率为14%

图 4　不同干密度下锥尖扭矩随触探深度的变化曲线

Fig. 4　The relationship between probe torque and penetration depth with different dry bulk densities.

从上图中可以看出锥尖阻力随着触探深度的增加而增加，最后趋于一个稳定值；不同干密度下锥尖阻力的稳定值不同，稳定锥尖阻力随干密度的增大而增大。扭矩随触探深度的增加而增加，最后趋于一个稳定值；扭矩随干密度的增大而增大，这与锥尖阻力随干密度的变化趋势是相类似的。

表 2 是在这两级含水率条件下不同干密度的稳定锥尖阻力和稳定扭矩的汇总。

表 2 不同干密度下稳定锥尖阻力与稳定扭矩

含水率 /%	干密度 /[g·cm^{-3}]	稳定锥尖阻力/kN	稳定扭矩 /[N·m]
12	1.4	1.65	24.34
	1.45	2.18	29.65
	1.5	2.40	31.55
	1.55	2.86	38.79
14	1.4	1.54	18.57
	1.45	1.76	19.79
	1.5	1.89	24.96
	1.55	2.50	25.89
		2.74	28.67

3 结论

(1) 对于试验研究的土类，锥尖阻力和扭矩随着触探深度的增加而增大，最后达到一个稳定值；

(2) 在试验范围内，锥尖阻力与扭矩随含水率的增大而减小，随干密度增大而增大；

(3) 这些试验结果不仅能分析上述定性规律，还将为旋转触探试验定量确定土层物理力学性质及合理划分地层，提供定量依据。

[参考文献]

[1] 孟高头. 土体原位测试机理方法及其工程应用[M]. 北京：地质出版社，1997.

[2] 徐金明，刘绍峰. 岩土工程实用原位测试[M]. 北京：中国水利水电出版社，2007.

[3] 徐舜华，王兰民，孙军杰，等. 含水量对黄土震陷性定量影响研究[J]. 西北地震学报，2010，32(1)：31-35.

[4] 刘祖典. 黄土力学与工程[M]. 西安：陕西科学技术出版社，1997.

[5] 黄兴鹊. 无电缆全自动连续贯入静力触探试验[J]. 岩土工程界，2003，6(6)：75-77.

[6] 徐超，石振明，高彦斌，等. 岩土工程原位测试[M]. 上海：同济大学出版社，2005.

[7] 毛玉坤，刘奉银，李宁，等. CPT 理论分析及提高触探能力的新思路[J]. 西北地震学报，2007，29(1)：40-44.

[8] 毛玉坤. 旋转触探的阻力影响因素研究与仪器研制[D]. 西安：西安理工大学，2007.

[9] 罗士梅. 新型旋转触探仪在坚硬黄土中应用的试验研究[D]. 西安：西安理工大学，2008.

[10] 郑菲菲. 坚硬黄土新型旋转触探试验研究[D]. 西安：西安理工大学，2009.

[11] 赵静源. 西安黄土旋转触探参数与土性指标关系的试验研究[D]. 西安：西安理工大学，2011.

(上接 232 页)

[参考文献]

[1] Diylajee V A, Raymond G P. Repetive Load Deformation of Cohesionless Soil[J]. Geotech. Engrg. Div., ASCE, 1982, 108(10):1215-1229.

[2] Behzadi G, Yandell W O. Determination of elastic and plastic subgrade soil parameters for asphalt cracking and rutting prediction[J]. Transportation Research Record, 1996, 1540:97-104.

[3] 王建荣，张振中，王峻，等. 振动频率对原状黄土动本构关系的影响[J]. 北地震学报，1999，21(3)：310-314.

[4] 周建. 循环荷载作用下饱和软粘土的孔压模型[J]. 工程勘察，2000，(4)：7-9.

[5] 钟辉虹，黄茂松，吴世明，等. 循环荷载作用下软黏土变形特性研究[J]. 土工程学报，2002，24(5)：629-632.

[6] Sakai A, Samang L, Miura N. Partially-drained cyclic behavior and its application to the settlement of a low embankment road on silty-clay[J]. Soils and Foundations, 2003, 43(1):33-46.

[7] 顾中华，高广运. 循环荷载下饱和粘土强度等效计算探讨[J]. 西北地震学报，2005，27(1)：13-16.

[8] 黄茂松，李进军，李兴照，等. 饱和软粘土的不排水循环累积变形特性[J]. 岩土工程学报，2006，28(7)：891-895.

[9] 沈珠江. 软土工程特性和软土地基设计[J]. 岩土工程学报，1998，20(1)：100-111.

[10] 何开胜，沈珠江. 天然沉积粘土的结构性调查[J]. 东南大学学报(自然科学版)，2002，32(5)：818-822.

[11] 刘恩龙，沈珠江. 不同应力路径下结构性土的力学特性[J]. 岩石力学与工程学报，2006，25(10)：2058-2064.

[12] 郝玉龙，王立忠，陈云敏，等. 深厚软土水泥搅拌桩复合地基沉降分析及控制[J]. 岩土工程学报，2001，23(3)：345-349.