螺旋板载荷试验改进及成果应用

谢昭宇
（深圳市勘察测绘院有限公司，深圳　518028）

摘要：本文通过工程实践，针对螺旋板载荷试验的深度超深问题，将现行螺旋板载荷试验设备加以改进，使其测试深度大大增加，实现了同一钻孔不同深度的多次试验、螺旋板板头的重复使用。同时，结合工程实践数据进行分析、验证，证实改进后深层螺旋板载荷试验的成果真实，数据可靠，同时有效地扩大了试验深度，节约了野外试验成本，提高了试验效益。

关键词：螺旋板载荷试验；改进；应用
中图分类号：TU413　　**文献标识码**：A

Abstract：In this paper，testing depth limit in screw plate loading test（SPLT）has been greatly improved by ameliorating the present SPLT facility in engineering practice. With the improved SPLT experimental devices，the test depth in the experiment increases dramatically，and several tests can be conducted in the same borehole in different depths by repeatedly using the screw plate head. The testing results obtained by the improved SPLT devices are validated by analyzing the engineering practical data and the results are approved to be actual and liable. By using the improved test devices，testing depth in SPLT increases，and the tests conducted in the open field have been made more beneficial and economical.

Key words：screw plate loading test（SPLT）；improvement：application

0　引言

螺旋板载荷试验(SPLT)是由挪威人N.JanBu于1973年提出的，是由常规的平板载荷试验演变而来的，它是将一螺旋形的承压板用人力或机械旋入地面以下的预定深度，通过传力杆向螺旋形承压板施加压力，测定承压板的下沉量，以获得荷载-沉降-时间关系，然后根据理论公式或经验公式获得地基土参数的一种现场测试技术。

螺旋板载荷试验适用于深层地基土或地下水位以下的地基土。它可以测求地基土的压缩模量、固结系数、饱和软粘土的不排水抗剪强度、地基土的承载力等，其测试最大深度一般10~12m。

1　螺旋板载荷试验的改进

深圳地铁2号线全线主要持力层为残积砾(砂)质粘土，其顶板埋深一般在13~18m之间。而普通螺旋板载荷试验设备一般适合于12m深度以内，深度过大，传力杆将产生较大挠曲，导致螺旋板板头倾斜，致使测量位移偏大、土体加荷不均而导致局部破坏，无法满足技术要求，导致试验失败。同时普通螺旋板载荷试验设备在试验结束之后，将螺旋板板头弃于钻孔中，在一个试验点之后，如果继续做下一深度的试验，必须在旁边重新开孔。试验结果将是不同位置不同深度的数据，特别是地层差异较大时，势必产生较大影响。

针对螺旋板载荷试验深度超深问题，我院对普通螺旋板载荷试验设备加以改进(见图 1)，在传力杆中间分段加置导向板(一般 5m 左右加置一片)，从而解决深度过大后产生的挠曲、土体受力不均、局部破坏等问题，其测试最大深度可以达到20~30m。经过多次反复试验，以及通过标贯、动探、旁压等多项原位测试手段结合对比分析，验证其是有效、可行的。同时由于导向板的导向作用，可以让螺旋板板头位于钻孔中心位置，在试验结束之后，即可用直径稍大于板头的钻头直接打捞出来，从而实现了螺旋板的板头、钻孔的重复利用。并且可以得到同一地质点不同深度的数据，更好地反应了钻孔的土层及其力学性质。特别对于深圳地区厚层~巨厚层残积土层的分带具有重大意义。

收稿日期：2007-11-13；**修订日期**：2008-01-10
作者简介：谢昭宇(1982 -)，男(汉族)，湖北鄂州人，大学本科，助理工程师.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

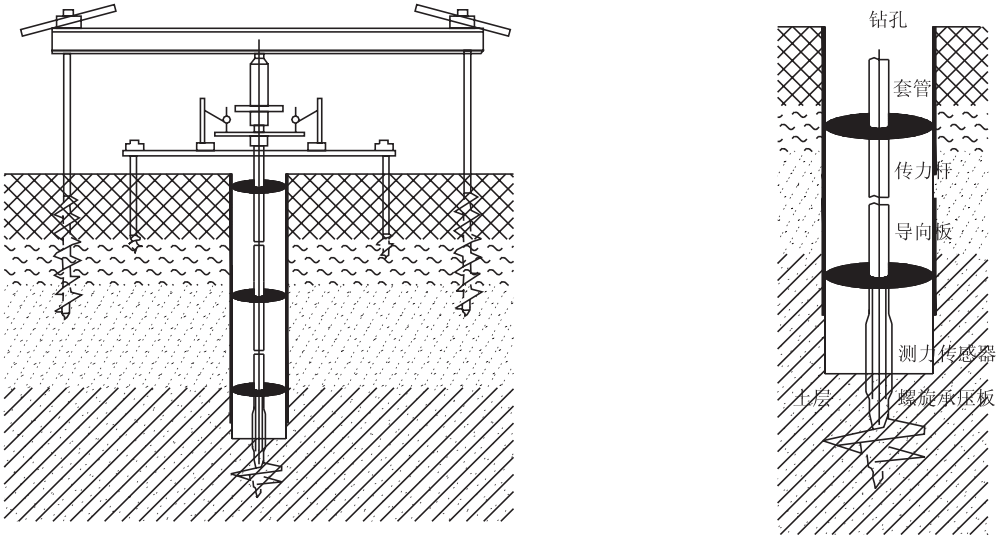
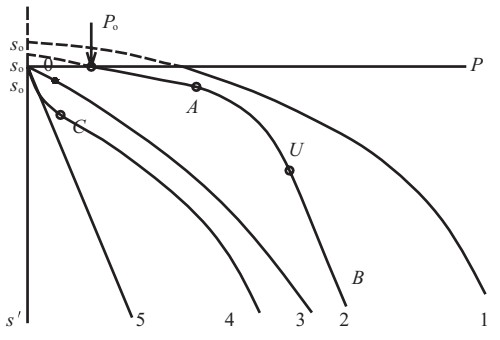


图 1　螺旋板载荷试验装置示图

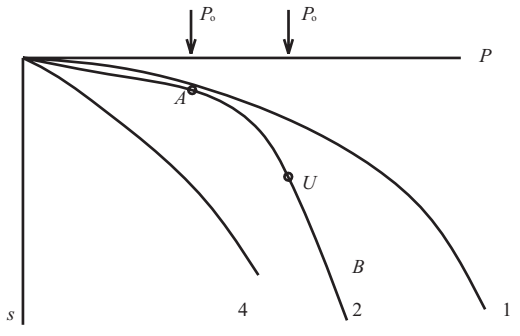
2　成果应用

2.1 螺旋板载荷试验应用

(1)根据实测数据绘制 p–s' 曲线。当 p–s' 曲线的前段曲线呈直线且不过坐标原点时(如图 2a 中曲线 2，应先求得该段直线的斜率 c 和截距 s_o，然后对比例界限(即第一拐点 A)以前各点的沉降值按 $s=cp$ 进行修正；对比例界限以后各点的沉降值按 $s=s'-s_0$ 修正。



(a)实测曲线



(b)修正曲线

图 2　荷载—沉降曲线

(2)当整个 p–s' 曲线呈圆弧形时(如图 1a 中的曲线 1 及 3，可用双曲线法拟合：

$$p=s/(a+b's) \tag{1}$$

$$s=s'r-s_o \tag{2}$$

式中：s_o—沉降修正量；a、b'—曲线拟合参数，亦即回归直线的截距、斜率，曲线拟合时，应试取 s_o 值达最佳拟合为止。

(3)当 p–s' 曲线呈反弯形时(如图 2a 中曲线 4)，对反弯点 C 以后的实测数据，可按上述双曲线法拟合，也可按式(3)的三点法拟合，取两者中精度较高者进行整理：

$$3s=3s_1'-3s_2'+s_3' \tag{3}$$

式中 s_1'、s_2'、s_3' 分别为反弯点 C 以后对应于荷载 p_1、p_2、p_3 的实测沉降。p_1、p_2、p_3 应符合下列条件：

$$p_3-p_2=p_2-p_1 \tag{4}$$

(4)根据修正后的数据绘制 p–s 曲线(图 1b)，必要时尚应绘制 lg$p$–lg$s$、$p-\Delta s/\Delta p$(Δp 为荷载增量，Δs 为沉降增量)、$s-\sqrt{t}$ 或 s–lg$t$ 等曲线。

(5)根据《铁路工程地质原位测试规程》(TB100102-2001)，通过 p-s、p-s' 曲线求取 p_0、p_F、p_L，通过拐点法、相对沉降法、极限荷载法三种方法综合求取地基基本承载力 σ_0、p_u。根据《工程地质手册》(第四版)中公式(3-5-14)求取 E_0。根据大量现场试验，针对深圳地区，将公式中系数 0.33 调整为 5.5。

$$E_o=\Delta pD/s \tag{5}$$

式中：E_o—变形模量(MPa)；Δp—压力增量(MPa)；s—压力增量 Δp 下固结完成后的最终沉降量(mm)；D—螺旋板直径(mm)。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.2 工程实例

深圳地铁 2 号线一期工程西起蛇口车辆段，沿线穿过蛇口老城区、规划填海发展区、高新技术园区和世界之窗旅游景区，在世界之窗站与 1 号线接驳，12 站 12 区间，线路总长度 13.40km，全部为地下线。全线 2/3 位于填海区，填土厚度一般为 6~8m，其下为海积淤泥、淤泥质砂，冲洪积粘土、砾砂、残积砾(砂)质粘土。全线主要穿越层、持力层均为花岗岩残积土，对其力学性质研究具有特别意义。投资估算 55.90 亿元。计划 2010 年建成。

花岗岩残积土颗粒成分具有“两头大、中间小”的特点，即颗粒成分中，粗颗粒(＞2mm)的组分及颗粒小的组分(＜0.005mm)的含量较多，而介于其中的颗粒成分则较少。这种独特的组分特征，使其既具有砂土的特征，亦具粘性土特征。

残积土厚度较大，沿线一般在 10~20m，最厚达 30~40m。根据风化残积土的力学性质，根据螺旋板载荷试验，结合标准贯入试验强度将花岗岩残积土分为二带：p_L＜450 kPa（修正后标贯击数 N＜15 击＝时，划分为可塑状残积土⑧$_2$；p_L≥450kPa(修正后标贯击数 15≤N＜30 击)时划分为硬塑状残积土⑧$_3$。

特此对该层进行了大量试验，其数据统计结果见表 1。

深层螺旋板载荷试验数据统计表　　表 1

指标名称 / 项目统计	层号	p_F (kPa)	p_L (kPa)	p_u (kPa)	Δp (MPa)	s (mm)	σ_0 (kPa)	E_0 (MPa)
统计件数	砾(砂)质粘土 ⑧$_2$	12	12	12	12	12	12	12
最小值		320	400	400	0.32	4.677	200	15.18
最大值		440	540	540	0.44	11.595	270	37.63
平均值		371	485	485	0.37	7.295	243	23.53
标准差		32.264	46.815	46.815	0.032	1.751	23.408	5.663
变异系数		0.09	0.10	0.10	0.09	0.24	0.10	0.24
标准值		354	460	460	0.35	6.377	230	20.56
统计件数	砾(砂)质粘土 ⑧$_3$	11	11	11	11	11	11	11
最小值		400	570	570	0.4	5.689	285	16.04
最大值		560	800	800	0.56	13.863	400	35.58
平均值		473	655	655	0.47	11.073	327	19.83
标准差		46.140	63.154	63.154	0.046	2.415	31.577	5.466
变异系数		0.10	0.10	0.10	0.10	0.22	0.10	0.28
标准值		447	620	620	0.45	9.739	310	16.81

注：p_0—初始压力(kPa)；p_F—临塑压力(kPa)；p_l—极限压力(kPa)；p_u—极限承载力(KPa)；σ_0—地基基本承载力(kPa)；E_0—变形模量(MPa)

结合室内土工试验、标准贯入试验、双桥静力触探试验、重型动力触探试验、旁压试验、K_{30} 载荷试验等多种方法综合求取地基承载力特征值 f_{ak}、变形模量 E_0，详见表 2。

各工法求取地基承载力特征值 f_{ak}、变形模量 E_0 汇总表　　表 2

试验方法	f_{ak}(kPa)		E_0(MPa)	
	砾(砂)质粘土⑧$_2$	砾(砂)质粘土⑧$_3$	砾(砂)质粘土⑧$_2$	砾(砂)质粘土⑧$_3$
室内试验	230	264		
标贯试验	280	350	20.4	31.7
静力触探	259	382	22	30
动力触探	300	350	22.8	24.2
深层螺旋板试验	211	281	20.6	16.8
旁压试验	200	329	15.4	19.5
K_{30} 试验	256		19.3	
实际采用值	220	250	20	24

由上表对比、分析可以看出，深层螺旋板载荷试验求取的地基承载力特征值 f_{ak}、变形模量 E_0 与实际 K_{30} 试验值十分接近，说明深层螺旋板载荷试验是一种比对、分析求取 K_{30} 试验值的适合方法。同时也验证我院采取的螺旋板改进方法是有效的、可行的，其数据是可信、可靠的。

3 结语

螺旋板载荷试验在深圳地铁 2 号线的初步应用表明，对于地下水位以下基础下卧土层的承载特征具有较强的适宜性与模拟性，尤其是测定埋深大于

（下转第 19 页）

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

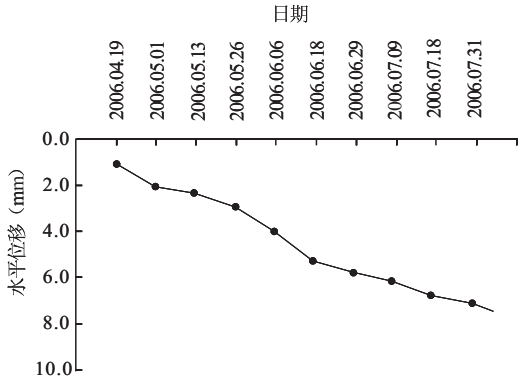


图 6　观测点的水平位移发展过程

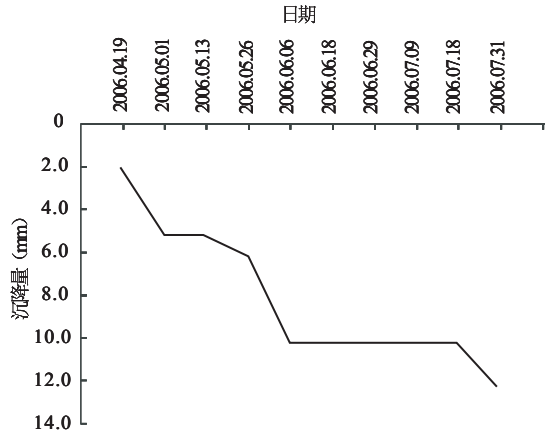


图 7　观测点的沉降过程

4　结语

针对深基坑开挖土钉墙锚喷支护过程中的位移问题，本文在按稳定控制进行设计的基础上，对基坑外土体的下沉和墙后土体的水平位移采用数值计算方法进行了变形控制设计，并对基坑开挖边坡水平位移和沉降量进行了现场观测。

监测数据表明，观测点的水平位移和沉降量分别与相对应的数值计算结果较为接近。本文进行的土钉墙位移控制设计方法可为相关深基坑支护工程设计提供参考。

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国行业标准. 建筑基坑支护技术规程(JGJ120-99)[S]. 北京：中国建筑工业出版社，1999.

[2] 周瑞忠，邱高翔. 基于 BP 网络的深基坑支护位移反分析[J]. 土木工程学报，2001，34(6)：60~62.

[3] 刘雅君，曹国娥. 深基坑工程土体参数 WHP 法反演计算及挡墙位移预报[J]. 建筑科学，2002，18(2)：32~34.

[4] 张钦喜，何建勇，霍达，熊宗喜，秦俊生等. 土钉墙变形破坏的数值模拟及设计参数优化[J]. 土木工程学报，2003，36(11)：24~28.

[5] 韩爱民，肖军华. 复合土钉墙变形数值模拟与设计参数优化组合[J]. 地下空间与工程学报，2005，1(5)：797~803.

（上接第 15 页）

12m 的土层承载力及变形模量，可获得接近实际的试验结果。文中介绍的试验特点及我院做出的技术改进，供以参考。相信随着螺旋板载荷试验在岩土工程勘察规范中位置的确定和试验理论、计算公式的不断完善，必将有着更广泛的应用和发展。

当然，螺旋板载荷试验理论在野外试验及资料整理上还不够完善。如水位以下砂层，试验过程中由于水力作用，出现涌砂现象，导致试验结果误差较大。同时作为载荷试验的一种，螺旋板载荷试验急需完善理论公式，估算或计算基床系数等力学参数。

特别是基床系数的求取，一般基床系数是通过 K_{30} 试验求得，而 K_{30} 试验必须先开挖一试验平台，在开挖形成的工作面上进行试验。开挖过程中，不可避免地产生土体扰动及应力释放，同时 K_{30} 试验必须将地下水降到工作面以下，从而和实际地质情况有较大差别。而螺旋板载荷试验则可以减小、甚至消除以上影响，理论上可以更加准确求取土体的真实基床系数。

参 考 文 献

[1] 常士骠，张苏民. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2007，218~234.

[2] 林宗元. 岩土工程试验监测手册[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2005，195~208.

[3] 谢树彬等. 铁路工程地质原位测试工程[M]. 北京：中国铁道出版社，2003，6~18.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net