

# 自平衡法试桩在天津新港四号路基础托换工程中的应用

林德山, 李 岩

(山东正元建设工程有限责任公司勘察设计研究院, 山东 泰安 271100)

**摘 要:**介绍了自平衡试桩法在天津滨海新区中央大道新港四号路基础托换工程试桩中的应用,与传统静载试验方法相比,省时、省力、节约、安全,且试桩结果可靠。

**关键词:**自平衡试桩;位移;桩侧摩阻力;桩承载力

**中图分类号:**TU753.8 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2008)01-0052-03

传统的桩基荷载试验方法有 2 种,一是堆载法,二是锚桩法<sup>[1]</sup>。2 种方法都是采用油压千斤顶在桩顶施加荷载。其存在的主要缺陷是:前者必须解决几百吨甚至上千吨的荷载来源、运输及堆放问题;后者必须设置多根锚桩及反力大梁。这不仅费用昂贵,施工时间较长,而且易受吨位和场地条件的限制(堆载法目前国内试桩最大极限承载力仅达 3000 t,锚桩法的试桩最大极限承载力  $\geq 4000$  t),以致许多大吨位桩和特殊场地的桩(如山地、桥桩)的承载力往往得不到准确数据,基桩的潜力不能合理发挥。

为解决以上难题,美国西北大学教授 Osterberg 于 20 世纪 80 年代研制成功桩底加载实验方法(即自平衡测试法)<sup>[2]</sup>。在我国,东南大学土木工程学院于 1996 年成功研制出该法的关键设备(荷载箱、位移测量、数据采集处理系统),并应用于实践。我们在天津新港四号路基础托换工程中成功地采用了该法。

## 1 工程概况

### 1.1 工程简述

天津滨海新区中央大道工程是规划滨海新区的中轴线,是连接汉沽区、塘沽区、大港区的城市主干道工程。新港四号路地道采用双向十车道断面,因受津滨轻轨高架桥墩柱和基础的影响,地道无法正常穿越,故须对津滨轻轨高架桥 A339 和 A340 号墩进行基础托换。

新港四号路地道基础托换工程是中央大道贯通开发区和塘沽区的重要节点工程,工程位于南海路与新港四号路的交叉口处。新港四号路地道由北向南依次下穿新港四号路、津滨轻轨高架桥、进港二线铁路和大连东道。

### 1.2 试桩概况

托换结构基础采用  $\varnothing 2.0$  m 钻孔灌注桩,桩长 90.0 m,单桩承载力为 29100 kN。工程桩桩位之上为津滨轻轨高架桥,高架桥梁底高程为 10.00 m(大沽高程系统,下同),地面高程为 3.00 ~ 3.50 m,净空距离仅有 7.0 m 左右。

为了确保津滨轻轨高架桥基础的安全、顺利托换,为桩基设计提供最直接的依据,验证钻孔灌注桩施工工艺的可行性,为桩基施工设备的选择和施工工艺的改进提供重要依据。根据有关规范,必须通过试桩确定和验证其桩基单桩极限承载力;测定试桩穿越土层侧壁极限摩阻力及桩端阻力;以及验证在净空仅有 7.0 m 的条件下,桩长 90 m、桩径 2.0 m 钻孔灌注桩施工方案的可行性。

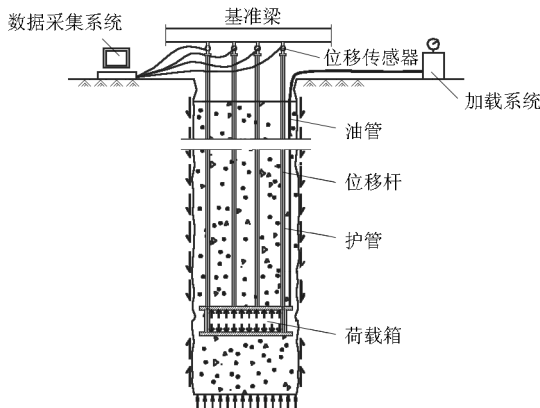
## 2 测试原理

自平衡试桩法是将特制的加载设备——荷载箱,与钢筋笼相连接,预埋入到制定位置(即平衡点),并将高压油管 and 位移杆引到地面,由高压油泵向荷载箱内冲油而加载(见图 1)。荷载箱上下面板(钢板)将力传递到桩身,使上部桩身摩擦力与下部桩身摩擦力及端阻力平衡(自平衡),维持加载。根据向上和向下的  $Q-s$ 、 $s-lgt$ 、 $s-lgQ$  曲线判断桩承载力、桩基沉降、桩弹性压缩和岩土塑性变形。

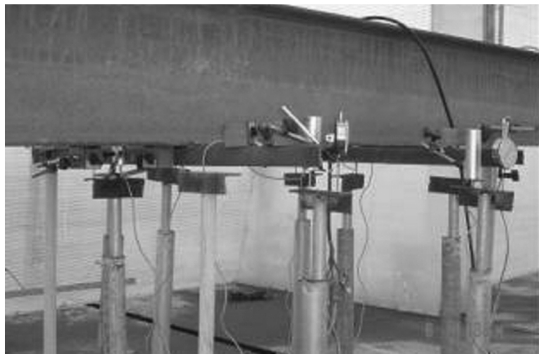
桩的自平衡试验开始后,荷载箱产生的荷载沿着桩身轴向向上、向下传递。假设基桩受到载荷后,桩身结构完好(无破损,混凝土无离析、断裂现象),则在各级荷载作用下混凝土产生的应变等于钢筋产生的应变,通过量测预先埋置在桩体内的钢筋计,可以实测到各钢筋计在每级荷载作用下所得的

收稿日期:2007-07-09

作者简介:林德山(1975-),男(汉族),山东台儿庄人,山东正元建设工程有限责任公司勘察设计研究院工程师,土木工程专业,从事地基与基础工程、岩土工程的施工技术与管理,山东省泰安市东岳大街 163 号。



(a) 桩承载力自平衡试验示意图



(b) 加载用电子位移传感器

图 1 桩承载力自平衡试验示意图

应力-应变关系,可以推出相应桩身截面的应力-应变关系,那么相应桩截面微分单元内的应变量亦可求得。由此便可求得在各级荷载作用下各桩身截面的轴力及轴力、摩阻力随荷载和深度变化的传递规律。

### 3 试桩施工

#### 3.1 施工准备

钻孔灌注桩施工选用改造后的 GW-25 型回旋钻机,钻机的总高度为 7.0 m,钻塔有效高度为 5.5 m,主动钻杆的总长度为 4.5 m,每回次进尺 1.8 m,单根钻杆 1.5 m,每节钻杆 3.0 m。

首先在空旷的地带铺设好机枕和道轨,把钻机安装在导轨上,然后在导轨上移动钻机对准桩位点,使桩位点、转盘中心、天车中心在同一条直线上。用钠质膨润土、钠羧甲基纤维素(CMC)、聚乙烯酰胺(PHP)、纯碱配制泥浆,泥浆的密度为 1.15~1.2 g/cm<sup>3</sup>,漏斗粘度为 18~22 s,含砂率 <2%<sup>[3]</sup>。选用滚刀钻头开孔,滚刀钻头钻体的长度为 2.0 m,质量约 10 t。

#### 3.2 钻孔施工

开孔采用减压钻进,滚刀钻头的钻头体较长,可确保钻孔的垂直度,另在钻头上 6.0 m 处加导正器。钻孔施工至孔深 20、40、60、80、90 m 时检测孔斜。

钻孔至设计标高后进行清孔,清孔采用气举反循环法进行,使泥浆密度降至 1.20 g/cm<sup>3</sup> 以下、含砂率 <3%。

### 3.3 钢筋笼制作和试验测试设备埋设

由于场地特殊要求以及结构配筋形式,钢筋笼在现场分段制作,单节长度为 6.0 m,直螺纹连接方式(两接头主筋纵向间距错开 1 m 以上),并将各节段编号,为测试各土层的摩阻力,在土层性质发生变化的桩身各截面对称地布置弦式钢筋计,钢筋计总数为 36 根<sup>[4]</sup>,在岩土分层界面处,桩身对称布置 4 个测点,为求出桩端极限承载力。根据钢筋应力计的测试结果可以得出桩身各截面的轴力,从而得出各截面间土层的摩阻力变化情况。

钢筋笼制作过程中,将钢筋计安装在设计要求的位置,同时保证钢筋计的导线出口在同一方向。钢筋笼制作时,将荷载箱立于平地上,将事先分好节的钢筋笼,先用 L 形钢筋将上节钢筋笼焊接在荷载箱的上顶板上。将荷载箱安装到测试桩设计的位置,然后在荷载箱上预留的混凝土灌注导管口处加设导向钢筋,确保导管顺利通过荷载箱。

导管安装完毕后进行二次清孔,二次清孔完成后,进行水下混凝土灌注成桩。

## 4 试桩检测

### 4.1 试桩测试

加载采用慢速维持荷载法,测试按文献[2]和文献[3]的附录 B“试桩试验办法”进行。

由于试桩吨位大(29100 kN),荷载分级施加,每级加载为极限承载力的 1/15,第一级按 2 倍荷载分级加载,卸载仍分 5 级进行。加载采用油压泵和荷载箱,荷载箱位移(桩身)的位移量测采用电子百分表,钢筋计数据采集使用 DY-50 型数据采集仪,每级加载后在第一小时内分别于 5、15、30、45、60 min 各测读一次桩顶、桩底位移,以后每隔 30 min 测读一次,电子位移传感器连接到电脑,直接由电脑控制测读,在电脑屏幕上显示  $Q-s$ 、 $s-lgt$ 、 $s-lgQ$  曲线。每级加载下沉量,在最后 30 min 内如不大于 0.1 mm 时即可认为稳定。

### 4.2 终止加载条件

(1) 总位移量  $\geq 40$  mm,本级荷载的下沉量大于或等于前一级荷载的下沉量的 5 倍时,加载即可终止。取此终止时荷载小一级的荷载为极限荷载。

(2) 总位移量  $\geq 40$  mm,本级荷载加上后 24 h 未达稳定,加载即可终止。取此终止时荷载小一级的荷载为极限荷载。

(3)总下沉量 < 40 mm,但荷载已大于或等于设计荷载乘设计规定的安全系数,加载即可终止。取此时的荷载为极限荷载(29607 kN)。

4.3 卸载

(1)卸载应分级进行,每级卸载量为 3 个加载级的荷载值。每级荷载卸载后,应观测桩顶的回弹量,观测办法与沉降相同。直到回弹量稳定后,再卸下一级荷载。回弹量稳定标准与下沉稳定标准相同。

(2)卸载到零后,在 1.5 h 内每 15 min 观测一次,开始 30 min 内,每 15 min 观测一次。

5 测试结果

整个测试正常,桩身混凝土质量良好,属 I 类桩;桩身强度试验,龄 16 天龄期养护的抗压强度 32.9 MPa;弹性模量  $3.59 \times 10^4$  MPa。综合分析确定桩成果见表 1 和表 2。经初步验算,测出值略大于设计数据,能够满足工程安全要求。

表 1 试桩预估加载值与最终加载值分级表

加载级数	SZ1 试桩预估加载值/kN	SZ1 试桩最终加载值/kN
1	2 × 1940	2 × 1940
2	2 × 2910	2 × 2910
3	2 × 3880	2 × 3880
4	2 × 4850	2 × 4850
5	2 × 5820	2 × 5820
6	2 × 6790	2 × 6790
7	2 × 7760	2 × 7760
8	2 × 8730	2 × 8730
9	2 × 9700	2 × 9700
10	2 × 10670	2 × 10670
11	2 × 11640	2 × 11640
12	2 × 12610	2 × 12610
13	2 × 13580	2 × 13580
14	2 × 14550	2 × 14550

6 结论

本试桩极限承载力  $Q_u$  为 29607 kN,按照等效转换曲线,对应的位移为 17.73 mm(图 2),测试结果表明能够满足设计要求。在净空高度仅有 7.0 m 的场地上施工桩长为 90.0 m、桩径为 2.0 m 的大口径桩,采用正循环泥浆护壁施工工艺能满足轻轨基础托换工程承载力的要求。虽施工时间较长(为 14 天),只要控制泥浆各项指标,孔底沉渣厚度、孔壁泥皮厚度均能达到预计效果。

试验可知,桩的极限摩阻力除了依赖于桩周土的物理状态、物理力学状态外,还与施工工艺、土层特点、试验环境等有较大关系。采用该法可以判定

表 2 测试结果表

试桩编号	SZ1 试桩
预定加载值/kN	2 × 14550
最终加载值/kN	2 × 14550
荷载箱处最大向上位移/mm	8.55
卸载后向上残余位移/mm	4.39
上部桩土体系弹性变形/mm	4.16
荷载箱处最大向下位移/mm	5.53
卸载后向下残余位移/mm	2.60
下部桩土体系弹性变形/mm	2.93
桩顶向上位移/mm	2.93
桩顶残余位移/mm	1.24
上段桩压缩变形/mm	5.62
荷载箱上部桩的实测极限承载力 $Q_{u上}$ /kN	14550
荷载箱下部桩的实测极限承载力 $Q_{u下}$ /kN	14550
荷载箱上部桩段长度/m	55.00
荷载箱上部桩自重/kN	$\pi \times 1.0^2 \times 55.00 \times 14.5 = 2504$
荷载箱上部桩侧摩阻力修正系数 $\gamma$	0.8
单桩竖向抗压极限承载力 $Q_u$ /kN	$Q_u \geq [(14550 - 2504)/0.8] + 14550 = 29607$

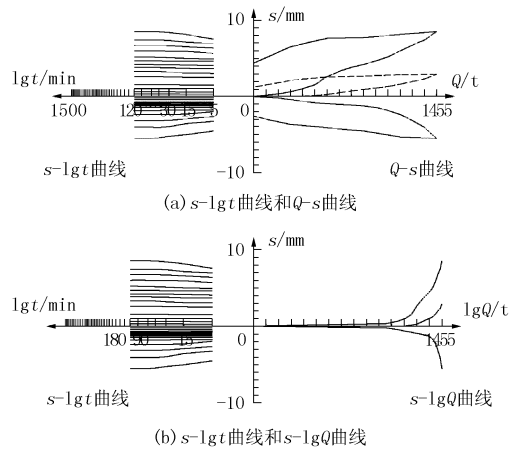


图 2 天津滨海新区轻轨托换基础 SZ1 曲线图

桩周与桩端的阻力分布,可以清楚的分出桩周和端部的土阻力分布和各自的位移曲线。

桩承载力自平衡测试法与传统堆载静压试验相比,省时、省力、节约、安全。桩基荷载试验的极限承载力值,是在短期荷载作用下的测试结果,而在实际桥梁建设中,恒载是逐步加到桩基上,通车后才有活载作用,偏于安全。

参考文献:

[1] JGJ 106 - 2003, 建筑桩基检测技术规范[S].  
 [2] DB 32/T 291 - 1999, 桩承载力自平衡测试技术规程[S].  
 [3] JGJ 041 - 2000, 公路桥涵施工技术规范[S].  
 [4] 南京东南大学科技服务中心. 天津滨海新区轻轨桥墩桩基托换桩质量检测报告[Z]. 2006.