

# 超大吨位自平衡法与静压法荷载试验结果比对研究

张广彬<sup>1</sup>, 姬同庚<sup>2</sup>, 李志斌<sup>1</sup>

(1. 河南省交通规划勘察设计院, 河南 郑州 450052; 2. 河南高速公路发展有限公司, 河南 郑州 450052)

**摘要:**介绍了超大吨位自平衡法和拉锚静压法静载试验在桃花峪黄河大桥桩基承载力检测中的应用,依据自平衡法试验结果和拉锚静压法荷载试验结果的对比分析,对自平衡法静载试验进行了应用分析研究。研究发现,自平衡法将桩身分为两段、利用试桩本身来施加荷载,简单、方便,试验结果和静压法相比误差很小,可以有针对性地在大吨位静载试验中进行推广应用。

**关键词:**自平衡法; 拉锚法; 静载试验; 超大吨位; 承载力; 桩侧摩阻力

**中图分类号:** TU473      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4548(2011)S2-0471-04

**作者简介:** 张广彬(1977-),男,河南郑州人,工程师,主要从事岩土工程检测及桩基检测技术研究。E-mail: zzxw1998@126.com。

## Comparison of load test results between self-balanced method and static pressure method

ZHANG Guang-bin<sup>1</sup>, JI Tong-geng<sup>2</sup>, LI Zhi-bin<sup>1</sup>

(1. Henan Provincial Communications Planning Survey & Design Institute, Zhengzhou 450052, China; 2. Henan Expressway Development Company Limited, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** The applications of self-balanced method and the pile load test using tension-press-anchor system under large tonnage load in static loading tests are introduced. Both the methods are used in bearing capacity tests on pile foundation of Yellow Taohuayu River Bridge. The results are compared and show that the error is very small. Using the self-balanced method, pile body is divided into two segments. The load is applied by the pile body. The proposed method is more convenient and inexpensive, and it can be popularized in engineering.

**Key words:** self-balanced method; tension-press-anchor method; static load test; super-large tonnage; bearing capacity; friction resistance of pile

## 0 引言

武西高速公路桃花峪黄河大桥项目是省“十五”规划的武陟至西峡高速公路上的一座大桥,该高速公路是郑州西南绕城高速公路向北延伸跨越黄河的一条南北向高速大通道。桃花峪黄河大桥试桩工程共进行了5根试验桩,设计桩长90 m,设计桩径1.8 m,设计极限承载力38144 kN。

## 1 试验方法的选取

### 1.1 桩身完整性测试

桩身完整性检测采用较为直观可靠的声波透射法进行,检测时首先平测,如发现异常加密或斜测、扇测,该方法确定桩身完整性相对其他方法来说直观、可靠。

### 1.2 桩的承载力测试

桩的承载力可以采用高应变法、静压法<sup>[1]</sup>和自平衡法<sup>[2]</sup>。高应变法具有快速方便的优点,但该工程桩极限承载力38000 kN,根据规范至少需要38~60 t重的重锤进行锤击,无法实施,且该方法测试结果和静载试验结果比有一定的误差,桩越长误差越大。静压法可采用堆载法、锚桩横梁法和拉压锚法。如采用堆载法和锚桩横梁法,平台反力装置进行加载,则根据规范,需要堆载1.2倍的预估极限荷载,即45600 kN。该方法相对直观,但工效低,速度慢,费用高;两支墩中到中至少距离18 m以上,需要20 m以上的大梁,国内设备很难满足;必须解决几百吨甚至上千吨的荷载堆放及运输问题;设置多根锚桩及反力大梁,所需费用昂贵,安全性低。本工程采用拉压锚法(见图1~2)。该方法将传统的堆载或锚桩加载装置中受弯构件

转换为拉压构件，受力合理，使得反力装置结构大大简化，由于受力合理，设备较简单，安全性相对来说较高，费用也相对较低。

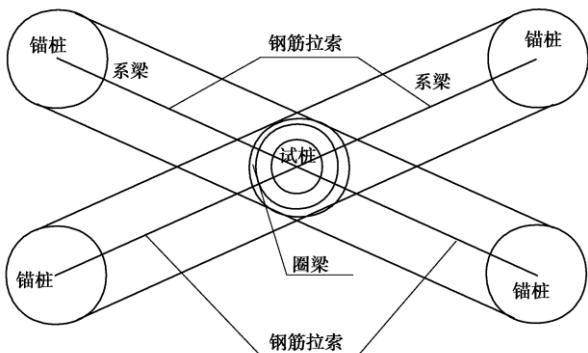


图 1 拉锚法示意图

Fig. 1 Schematic diagram of tension-press-anchor system

表 1 工程场地地质概况<sup>[3]</sup>

Table 1 Geological profiles of engineering site



图 2 拉锚法测试现场图

Fig. 2 Field loading test with tension-press-anchor method

自平衡试桩法是接近于竖向抗压桩实际工作条件的一种试验方法，其加载设备采用专利产品——荷载箱，它与钢筋笼连接后安装在桩身下部，并将高压油

土层 编号	土层名称	土层厚 度/m	岩性描 述	极限摩阻 力/kPa	容许承载 力/kPa
1	粉土	1.1	灰黄色,稍湿,稍密。含植物根茎。上部夹粉质黏土。	30	100
2	粉砂	1.0	灰黄色,含泥,稍湿,松散。主要矿物成份为石英、长石。	35	100
3	粉土	2.9	灰黄色,稍湿,稍密。有少量黄斑。	35	110
4	粉砂	4.7	灰黄色,湿一饱和,松散。局部夹细砂。含泥,主要矿物成份为石英、长石。	35	100
5	细砂	9.3	黄灰色,含泥,饱和,松散一稍密。局部夹粉质黏土薄层。主要矿物成份为石英、长石,含少量云母。	45	120
6	粉砂	8.0	黄灰色,含泥,饱和,中密。主要矿物成份为石英、长石,含少量云母,偶见胶结块。	55	200
7	细砂	2.0	灰黄色,饱和,密实。主要矿物成份为石英、长石,含少量云母。夹钙质胶结薄层。含少量砾石。	60	300
8	细砂	18.6	褐黄色、灰黄色,饱和,密实。主要矿物成份为石英、长石,含少量云母。偶见蜗牛碎片。局部夹粉质黏土和中砂薄层。31.2~31.5 m 和 45.1~45.5 m 含卵石,含量约 30%,粒径 2~6 cm。	60	300
9	粉质黏土	3.4	黄褐色,硬塑一坚硬。有铁锰质浸染。局部夹薄层细砂,含少量卵石。	85	350
10	粉土	3.3	棕红色,湿,密实。见铁锰质浸染及钙质网纹。夹粉质黏土。局部钙质弱胶结。	80	300
11	粉质黏土	9.1	灰白色,坚硬。夹粉土。有较多灰白、灰兰色斑块。含弱胶结粉砂岩,薄层,岩心呈块状,岩块 2.5~6.5 cm。	90	350
12	粉质黏土	7.8	棕黄色、棕红色,硬塑一坚硬。少量铁锰质浸染。含砂量较大,约 20%,切面粗糙。下部含砾石约 20%。底部 30 cm 胶结成岩。	85	350
13	细砂	3.0	褐黄色,含泥,饱和,密实。主要矿物成份为石英、长石。	65	300
14	粉质黏土	3.6	褐黄色,坚硬。少量铁锈斑块。上部 30 cm 钙质胶结。	90	350
15	粉质黏土	2.9	棕红色,坚硬。含较多铁锰质浸染。有少量灰兰色团块。	90	350
16	粉质黏土	3.7	褐黄色,硬塑一坚硬。局部夹粉土和黏土。含少量铁锰质浸染、灰兰色团块。局部钙质弱胶结。本层夹多个薄层粉土。	85	350
17	黏土	5.8	棕红色,硬塑一坚硬。局部夹粉质黏土。有铁锰质浸染。偶见灰兰色团块。切面光滑。	85	350
18	粉土	2.7	黄褐色,很湿,密实。较多铁锰质浸染,少量黏土团块。局部夹粉质黏土薄层。	80	300

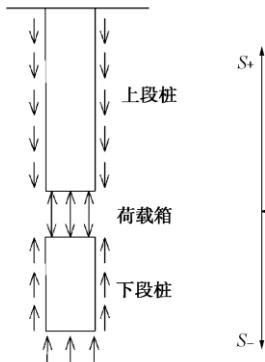
图 3 自平衡试验测试原理示意图<sup>[4]</sup>

Fig. 3 Schematic diagram of principle of self-balanced method



图 4 自平衡试验测试现场图

Fig. 4 Field loading test with self-balanced method

管和位移棒一起引到地面。试验时,从桩顶通过高压油管对荷载箱内腔施加压力,箱顶与箱底被推开,产生向上与向下的推力,从而调动桩周土的侧阻力与端

阻力的发挥,直至最后破坏。将桩侧土摩阻力与桩端土阻力叠加而得到单桩抗压极限承载力。荷载箱的埋设位置是根据地质报告进行计算后确定的,原则是荷载箱放在桩身平衡点处,使上、下段桩的承载力相等以维持加载(见图3~4)。

考虑到本工程桩基础设计承载力高、工期紧张、场地地质情况复杂多变等各种因素,经过多种方案的比较与筛选,试桩采用拉锚法和桩基自平衡加载法进行静载试验。

## 2 场地工程地质

试桩与钻孔ZK34—010间距在1~15 m。根据钻孔ZK34—010的成果,场地地基土可分为18个基本单元,各土层岩土名称及其特征见表1。

## 3 自平衡法和拉锚法静载试验结果

两种方法载荷试验的测试结果列于表2和表3。

表2 TSZ1~TSZ4 试桩自平衡静载试验成果

Table 2 Results of pile TSZ1~TSZ4 tested by self-balanced static loading method

试桩编号	最终加载值/kN	荷载箱上部桩身实测极限承载力 $Q_{u上}/kN$	荷载箱下部桩身实测极限承载力 $Q_{u下}/kN$
TSZ1 桩	30515	15258	22886
TSZ2 桩	19072	9536	22886
TSZ3 桩	38144	20979	19072
TSZ4 桩	45773	22886	22886

表3 TSZ5 试桩静载试验统计结果

Table 3 Static loading test results of pile TSZ5

试桩编号	单桩竖向抗压极限承载力 $Q_u/kN$	单桩竖向正常使用承载力 $P_a/kN$
TSZ5 试桩	49587	24794

桩周土层极限摩阻力结果见表4。

表4 桩周土层极限摩阻力统计值

Table 4 Statistical values of ultimate frictional resistance

土层编号	土层 (ZK34-010)	层底标高 /m	土层厚度 /m	自平衡法实测值 /kPa	拉锚法实测值 /kPa	两种方法结果相差百分比/%
0	地表	96.72	0			
1	粉土	95.62	1.1	33	声波法表明上部	
2	粉砂	94.62	1	33	混凝土缺陷, 数	
3	粉土	91.72	2.9	36	据失真	
4	粉砂	87.02	4.7	40	40	0
5	细砂	77.72	9.3	39	39	0
6	粉砂	69.72	8	43	40	8
7	细砂	67.72	2	38	49	-22
8	细砂	49.12	18.6	47	43	9
9	粉质黏土	45.72	3.4	78	88	-11
10	粉土	42.42	3.3	68	87	-22
11	粉质黏土	33.32	9.1	82	134	-39
12	粉质黏土	25.52	7.8	111	161	-31

## 4 测试结果分析

### 4.1 承载力分析

(1) 根据施工记录,4根锚桩的桩长及按灌注量推算出来的平均桩径不同。由于桩径、桩长不同及试验方法的局限,5根试验桩的承载力相差较大。

(2) 由于自平衡法是通过桩体本身提供反力,而平衡点很难确定。为了更好地检测得出桩极限承载力,本次使用将荷载箱放置于不同位置,以期使每根桩自平衡试验中达到极限状态(上段或下段),极限承载力是达到极限状态的桩身上段和下段承载力叠加而得出的。这种叠加可能会产生一定误差。

(3) 根据荷载-摩阻力关系曲线,高程25.52(粉质黏土)下的桩侧摩阻力未充分发挥,结合总的沉降量,可以得出该桩并未完全破坏,由于锚桩上拔过大,且最大加载量已超出设计要求的极限承载力38144 kN的30%,达到49587 kN,故停止加载。

### 4.2 桩侧摩阻力与端阻力分析

(1) 高程69.72 m以上6层土粉土、粉砂、粉土、粉砂、细砂、粉砂自平衡法所测结果与拉锚法所测结果基本一致。

(2) 高程22.52~69.724 m间6层土细砂、细砂、粉质黏土、粉土、粉质黏土、粉质黏土,自平衡法所测结果比拉锚法所测结果略小,相差幅度介于1%~39%,平均约17%。

(3) 高程6.52~18.92 m4层土粉质黏土、粉质黏土、粉质黏土、黏土,自平衡法所测结果大于拉锚法所测结果,幅度在19%~92%,平均约47%。

(4) 桩端阻力自平衡法所测结果比拉锚法所测结果大16%。

13	细砂	22.52	3	139	140	-1
14	粉质黏土	18.92	3.6	173	145	19
15	粉质黏土	16.02	2.9	190	155	23
16	粉质黏土	12.32	3.7	163	85	92
17	黏土	6.52	5.8	126	81	56
桩端土层极限承载力/kPa			752	647	16	

(5) 总体分析,自平衡法所测桩侧摩阻力比拉锚法所测结果略大,平均相差幅度约6%。

## 5 结 论

(1)自平衡法静载试验在做到极限破坏状态下,荷载箱上部桩侧摩阻力结果比静压法静载试验结果略小,说明自平衡法向上加载与传统向下加载,所得到的桩侧极限摩阻力略小,属于自平衡法试验方法的局限,需要积累经验,得出适用于不同土层的经验参数。

(2)由于锚桩上拔过大,且最大加载量已超出设计要求的极限承载力,静压法在最大荷载49587 kN作用下,TSZ5试桩仍未破坏,自平衡法所得桩侧摩阻力比静压法静载试验结果要大,个别达到90%以上,说明在超大吨位情况下,传统静压法难以做到桩的极限状态,自平衡法可以有目的地把荷载箱放在桩身靠下部位,做到桩的极限状态,获得桩身下部的真实数据。

(3)从经济角度分析,自平衡法静载试验时间短,费用低,省时省力,尤其适用于极限承载力非常大的桩的载荷试验。

## 参 考 文 献:

- [1] JGJ 106—2003 建筑基桩检测技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (JGJ 106—2003 Technical code for testing of building foundation piles[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002. (in Chinese))
- [2] JT/T 738—2009 基桩静载试验: 自平衡法[S]. 北京: 人民交通出版社, 2009. (JT/T 738—2009 Static loading test of foundation pile-self-balanced method[S]. Beijing: China Communications Press, 2009. (in Chinese))
- [3] GB 50021—2001 岩土工程勘察规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009. (GB 50021—2001 Code for investigation of geotechnical engineering[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2009. (in Chinese))
- [4] 龚维明, 戴国亮. 桩承载力自平衡测试技术及工程应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006. (GONG Wei-ming, DAI Guo-liang. The bearing capacity of pile self balanced load test technique and its application in engineering[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2006. (in Chinese))

(本文责编 明经平)