

# 自平衡测试技术在国内桥梁桩基检测中的应用实例

戴国亮, 龚维明, 薛国亚, 蒋永生

(东南大学土木工程学院自平衡测试技术研究中心 南京市 210096)

**摘 要:** 介绍了桩承载力自平衡测试技术近 5 年来在国内桥梁桩基检测中的应用情况, 包括润扬长江大桥、苏通长江大桥、杭州湾跨海大桥、南京长江三桥等国家重点工程。被检桩最大桩径为 2.8 m, 最大桩长 125 m, 最大承载力达 12 000 t。检测结果直接用于工程实际中, 充分发挥了大直径超长桩基的承载潜能, 取得了显著的经济效益。

**关键词:** 自平衡测试技术; 桥桩; 承载力; 等效转换曲线

## 1 国内外发展概况

用桩侧阻力作为桩端阻力的反力测试桩的承载力的概念早在 1969 年就被日本的中山(Nakayama)和藤关(Fujiseki)所提出。20 世纪 80 年代中期类似的技术也为 Cernac 和 Osterberg 等人所发展, 其中 Osterberg 将此技术用于工程实践, 并推广到世界各地, 所以一般称这种方法为 Osterberg-Cell 载荷试验或 O-cell 载荷试验。试验示意图如图 1 所示。

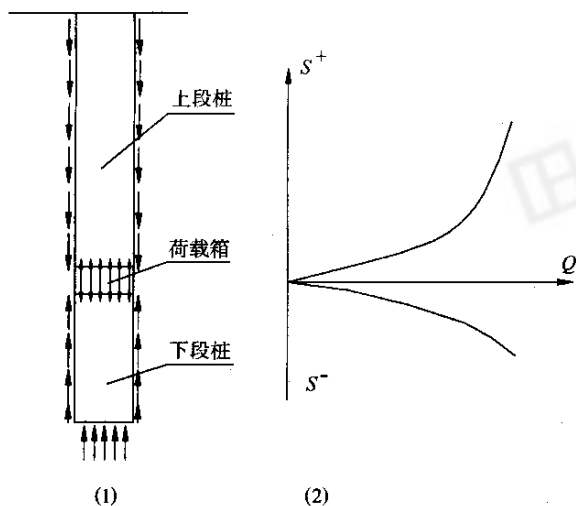


图 1 试验示意

美国工程实例有:

(1) 麻省波士顿附近 Saugus 河铁路大桥桥墩基桩, 采用钢管桩, 长 39 m, 直径 460 mm, 壁厚

12.7 mm, 水上打桩, 试桩目的在于测定粉质粘土层所能提供的桩侧摩阻力, 以便加以利用, 实测单位侧阻力为 29 kN/m<sup>2</sup>;

(2) 佛罗里达州 Orange 港公路大桥桥墩基桩, 水深 24 m, 船上打桩, 桩穿越砂与粉土层及坚粘土层, 嵌入软弱而性质多变的石灰岩。进行 3 根钻孔桩试验, 采用堆载法、锚桩法与 O-cell 测桩对比, 试验结果吻合。

近几年欧洲及日本、加拿大、新加坡等国和香港、台湾地区也广泛使用该法, 例如: (1) 香港九龙广东铁路公司某大楼嵌岩桩, 嵌岩段直径为 1 m, 深 3 m。该试桩目的在于确定嵌岩段的总承载力。测得最大桩端、桩侧荷载均为 14 700 kN; (2) 新加坡某工程基桩, 地层是上层为 13.7 m 的海洋粘土, 下卧含漂石硬粘土。进行了 2 根试桩, 其中 1 根为钻孔扩底桩, 其直身部分桩径为 1.2 m, 长 51.5 m, 扩底直径为 2.4 m, 试验测得桩端单位阻力为 2 670 kN/m<sup>2</sup>, 另 1 根为直身钻孔桩, 尺寸同前, 试验测得桩端单位阻力为 3 500 kN/m<sup>2</sup>。以上国家和地区都已有相应的测试规程, 目前该法已应用在钻孔灌注桩、钢桩和预制桩中。

在国内, 清华大学李广信教授在 1993 年首先将此方法介绍到国内, 并在以后几年指导博士和硕士又做了大量的理论研究和模型试验, 但缺乏现场试验研究。史佩栋从 1996 年来相继介绍了该方法在国外的应用和发展情况。但是该技术在国外属专利产

品,没有相关技术资料报道。东南大学土木工程学院与江苏省建设厅、南京市建筑质监站经过努力于 1996 年率先开始实用性应用,于 1999 年制定了江苏省地方标准《桩承载力自平衡测试技术规程》(DB32/T291—1999),并获两项国家专利。

本文对自平衡试桩法在国内特大桥梁桩基检测中的部分工程实例加以归纳,以供参考。

2 国内工程实例

2.1 润扬长江大桥

润扬长江公路大桥联接镇江、扬州两市,是江苏省“四纵四横四联”公路主骨架和 5 处跨江公路通道规划中的项目,北联同江~三亚国道主干线,南接上

海~成都国道主干线,是江苏省高速公路网建设的重要组成部分。

采用自平衡试桩法进行了 6 根钻孔灌注桩的试桩,其中 1 根采用双荷载箱测试。试验数据见表 1。

部分试桩自平衡测试曲线如图 2 所示。

表 1 润扬长江大桥试桩有关数据

桩号	试桩场地	桩径/m	桩长/m	试桩承载力/kN
Y48	陆地	1.8	53.79	40 000
ZN121	长江边	2.8	60.5	120 000
ZN36	长江边	1.2	60.5	30 000
ZN131	长江边	1.2	61.66	30 000
Y34	世业洲	1.5	75.45	40 000
Y20	长江上	1.5	89.0	40 000

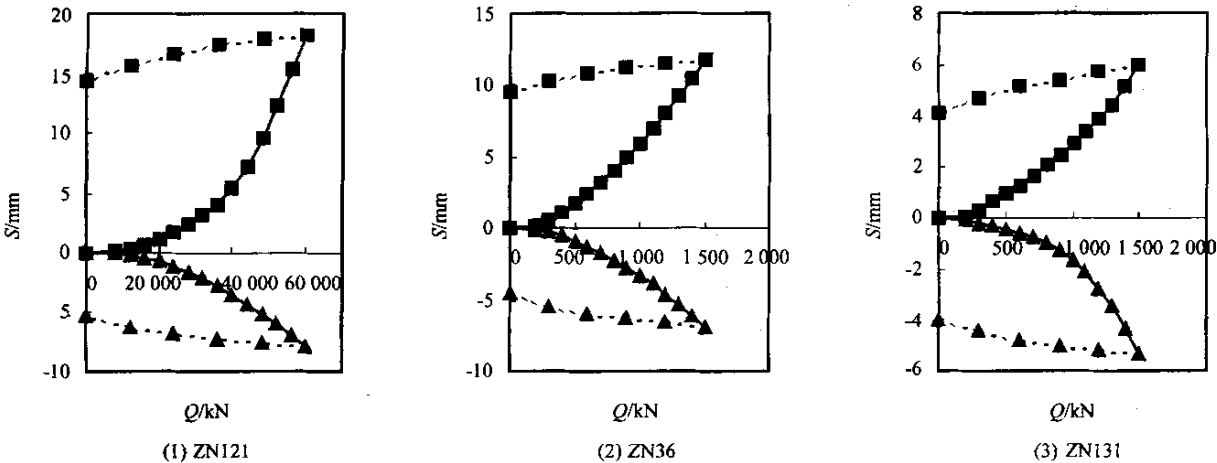


图 2 润扬长江大桥部分试桩自平衡法测试曲线

2.2 杭州湾跨海大桥

杭州湾跨海大桥工程位于浙江省嘉兴市海盐县郑家埭与宁波市慈溪丰收闸之间,跨越杭州湾。大桥总长 36 km,为双向六车道,桥宽 33 m。该工程南、北通航孔桥采用桩径为 2.0 m 的钻孔灌注桩,其余拟采用桩径为 1.5 m 的钻孔灌注桩、桩径为 1.2 m (1.0 m)的 PHC 桩、1.2 m 预应力混凝土大管桩和桩径 1.2 m 的钢管桩。其中桩径为 1.5 m 的钻孔灌注桩采用“桩承载力自平衡法测试技术”进行测试,共 3 根试桩 A1、A2 和 E。根据测试目的和要求,在桩底和中部设 2 个荷载箱,并对试桩 A1 采用后压浆技术处理,以提高桩的端承力。表 2 为杭州湾跨海大桥试桩参数。

部分试桩转换曲线如图 3 所示。

2.3 东海大桥数据

表 2 杭州湾大桥试桩参数

试桩编号	持力层	桩径/m	桩长/m	预估极限承载力/kN
试桩 A1	粉砂层	1.5	80	32 000
试桩 A2	粘土层	1.5	90	32 000
试桩 E	细砂层	1.5	101	32 000

东海大桥起始于上海浦东南汇区的芦潮港,跨越杭州湾北部海域,全长近 32 km。由于本工程位于杭州湾海域,风、浪、流等自然条件十分复杂,给海上钻孔灌注桩的施工带来较多困难,且海上大直径钻孔灌注桩的设计与施工经验很少,因此有必要对通航孔 2.5 m 桩径的大直径钻孔灌注桩进行试验,通过科学试验与检测分析,以验证并指导钻孔灌注桩的设计与施工。初步确定 2 根试桩,采用自平衡试桩法进行,东海大桥试桩有关参数见表 3,荷载箱埋设位置如图 4 所示。

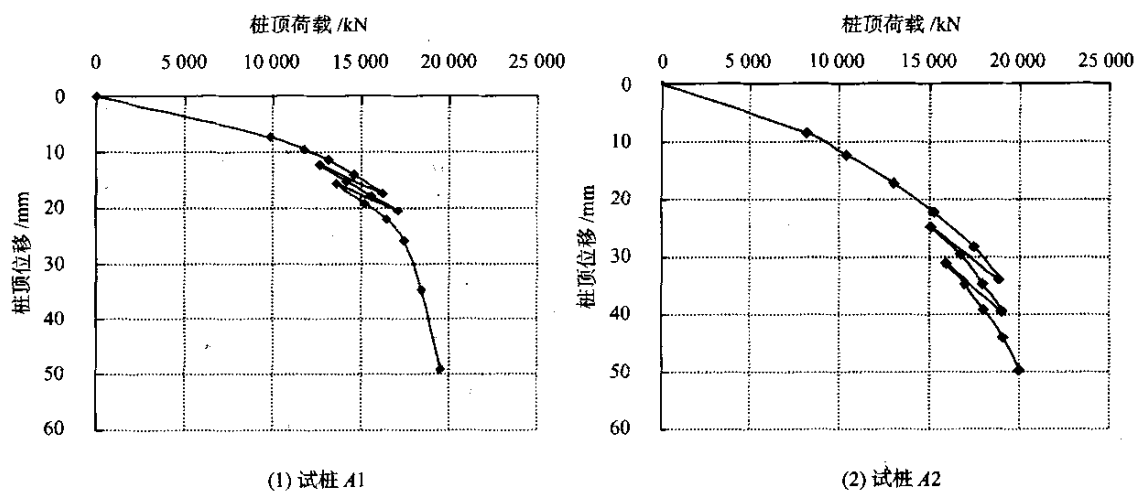


图 3 杭州湾大桥试桩精确转换曲线

表 3 东海大桥试桩参数

编组	试桩位置	预估极限承载力/kN	设计桩径/m	设计桩长/m	桩端持力层
F	主通航孔 PM336	2×24 000	2.5	110	11—1 层粉细砂
E	副通航孔 PM241	2×30 000	2.5	110	⑨层灰色含砾粉细砂

东海大桥测试曲线如图 5、图 6 所示,等效转换曲线如图 7、图 8 所示,最终得到 2 根试桩压浆前后的极限承载力。本次试桩测试完毕后经高压注浆,作为工程桩使用。

2.4 苏通长江大桥

苏通大桥主桥采用 1 088 m 的双塔斜拉桥,专用通航孔为 140 m+268 m+140 m 的连续刚构,引

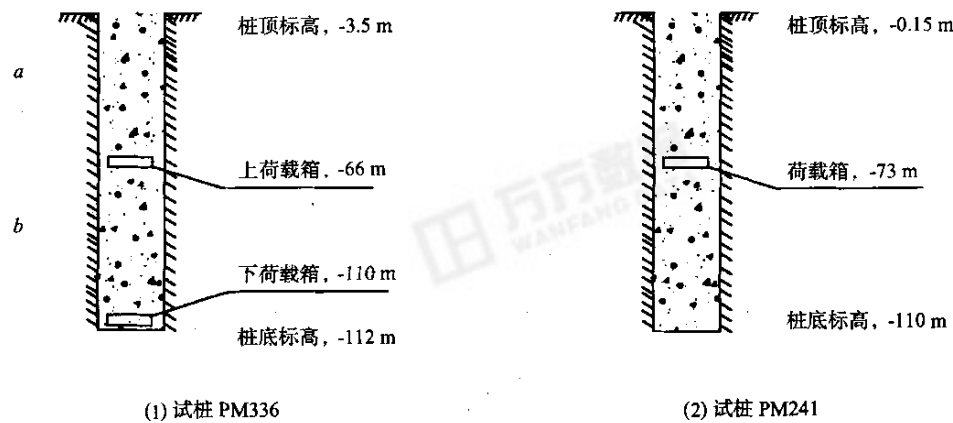


图 4 东海大桥荷载箱位置示意

桥分别采用跨径 75 m、50 m、30 m 的等高度预应力混凝土连续梁。基础采用钻孔灌注桩,其中主桥和近塔辅助墩基础采用桩径为 2.5 m 的群桩基础,斜拉桥远塔辅助墩和过渡墩采用桩径为 2.5 m 的灌注桩,专用通航道桥主墩采用桩径为 3.0 m 的灌注桩,专用航道桥过渡墩和 75 m 跨箱梁采用桩径为 1.8 m 的灌注桩,50 m 跨箱梁采用桩径为 1.5 m 的灌注桩,

30 m 跨箱梁和桥台均采用桩径为 1.2 m 的灌注桩,桩长 57.5~118 m,灌注桩总数为 2 580 根。

一期试桩共进行 6 根,自平衡试验 5 根,见表 4,进行了压浆前后测试。二期试桩共 3 根,有关参数见表 5。二期试桩部分转换曲线见图 9。

经过一、二期试桩,初步确定了苏通大桥主桥桩基设计方案以及后压浆技术等措施,直接应用于设

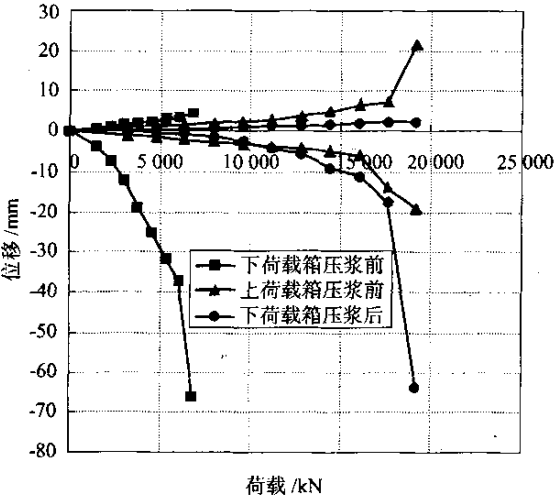


图 5 东海大桥 PM336 压浆前后自平衡测试曲线

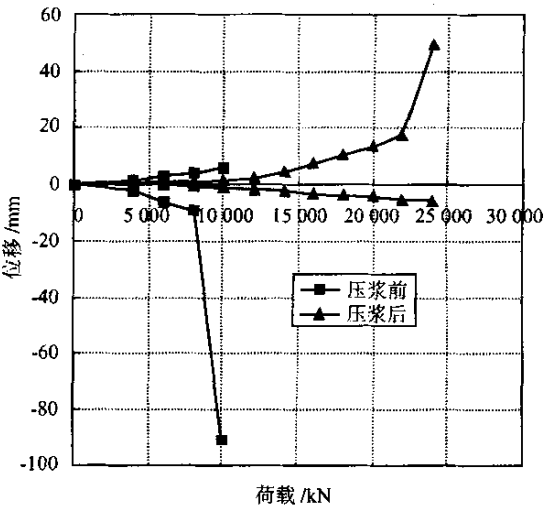


图 6 东海大桥 PM241 压浆前后自平衡测试曲线

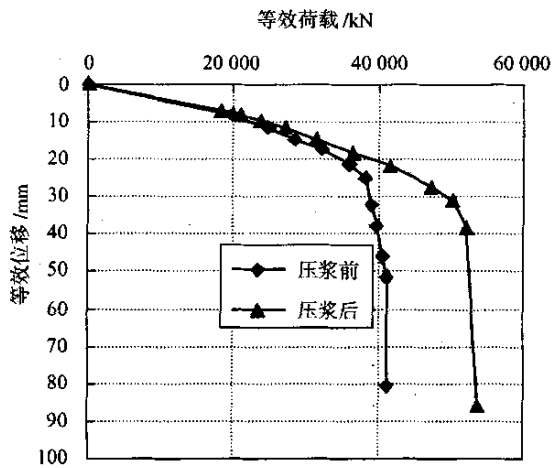


图 7 东海大桥 PM336 压浆前后转换曲线

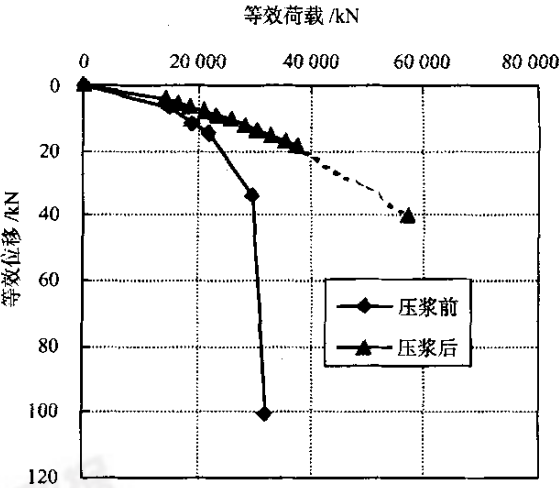


图 8 东海大桥 PM241 压浆前后转换曲线

表 4 苏通大桥一期试桩参数

位置	编号	桩径/m	桩顶标高/m	桩底标高/m	桩长/m	极限承载力/kN	试验方法	是否压浆
北岸	N1	1.0	2.2	-73.8	76	13 760	锚桩法	否
	N2	1.0	2.2	-73.8	76	13 760	自平衡	否
	N3	1.8	2.2	-73.8	76	29 610	自平衡	是
南岸	S1	1.5	3.9	-80.1	84	24 400	自平衡	是
	S2	1.5	3.2	-65.8	69	17 360	自平衡	是
	S3	1.5	3.2	-65.8	69	17 360	自平衡	是

计中,取得了显著的经济效益。

2.5 南京长江三桥

拟建的南京长江三桥位于南京长江大桥上游约 19 km 处。南岸位于新秦淮河口上游约 800 m,属南京市雨花台区数据在西江口下游约 1 000 m,属南

京市江浦区。大桥全长 4 744 m,由主桥和引桥两部分组成,其中主桥长 1 284 m,设计为双柱钢箱梁斜拉桥,主跨 648 m;引桥长 3 460 m,其中南引桥长 680 m,北引桥长 2 780 m,桥宽 32 m。该大桥为沪蓉国道主干线的重要组成部分。试桩参数见表 6。

表 5 苏通大桥二期试桩参数

试验类型	编号	桩径/m	桩顶标高/m	桩底标高/m	桩长/m	压浆管路	测试方法
压浆工艺桩	GYZ1	2.5	4.0	-102.0	106	6 回路 U 形管	不测试
	GYZ2	2.5	4.0	-121.0	125	4 直管	
	GYZ3	2.5	4.0	-121.0	125	6 回路 U 形管	
载荷试验桩	SZ2	2.5	4.0	-121.0	125	6 回路 U 形管	先压浆后测试
	SZ3	2.5	4.0	-102.0	106	6 回路 U 形管	先压浆后测试
	SZ4	2.5	4.0	-121.0	125	4 回路 U 形管+4 直管	先测试后压浆再测试

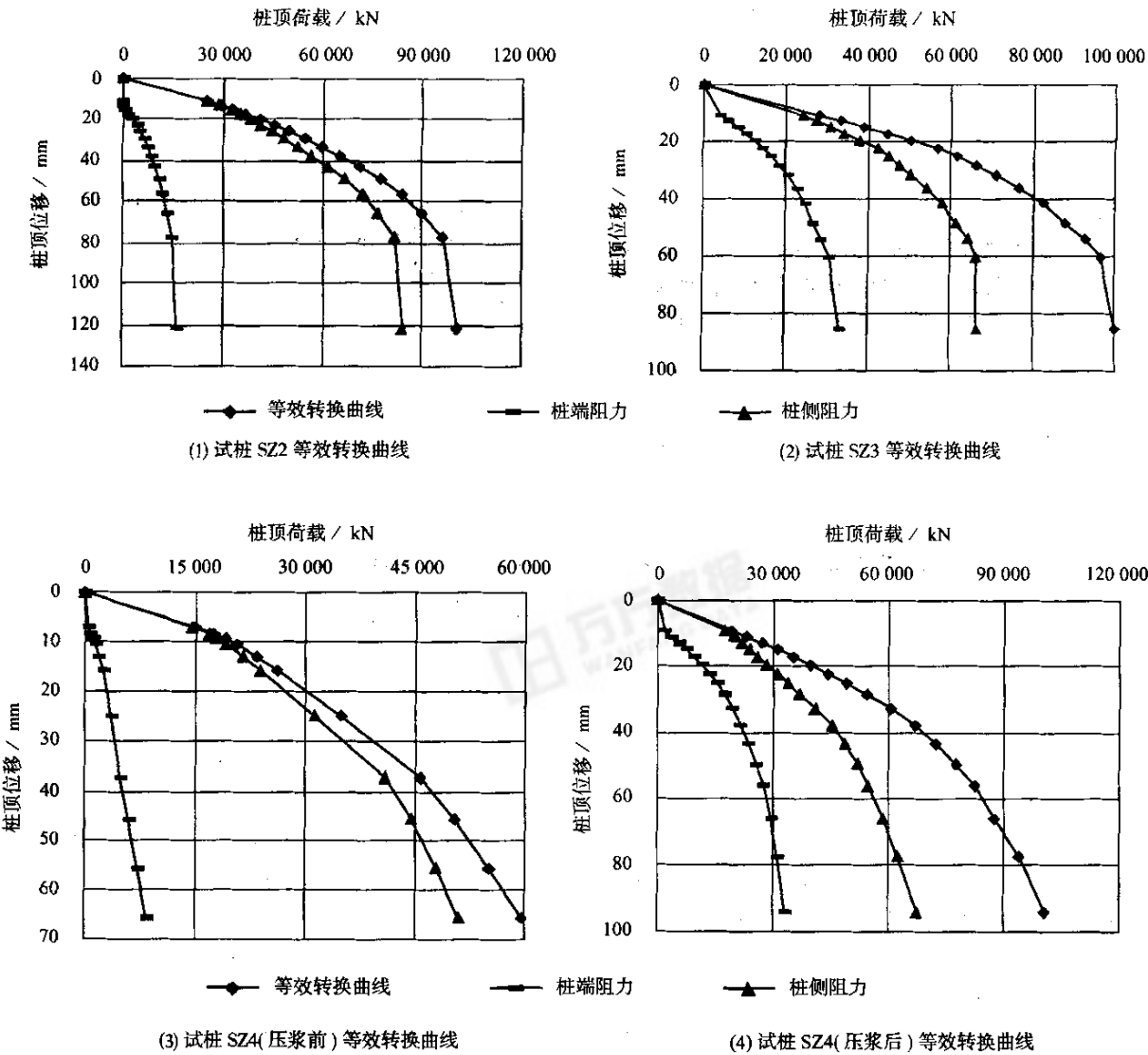


图 9 苏通大桥二期试桩部分成果

表 6 南京长江三桥试桩参数

编号	桩径 m	桩长 m	有效桩长 m	桩端持力层	设计加载值 kN	最终试验值 kN
1	2.0	89	52	微风化泥岩	2×33 000	90 410
2	2.0	100	50	微风化泥岩	2×33 000	93 780
3	1.5	99	43	微风化泥岩	2×20 000	59 624

试桩实测承载力远远大于设计加载值,经建设方和设计方协商后,将主墩桩长缩短,带来了巨大的经济效益。

3 结论

本文归纳和总结了自平衡试桩法在国内特大吨位桥梁桩基检测中的应用情况。从自平衡试桩法原理和工程实例可知,该测试方法有以下几个特点。

(1) 装置较简单,不占用场地,不需运入数百吨或数千吨物料,不需构筑笨重的反力架,试桩准备工作省时省力。

(2) 几乎不受试桩试验吨位的限制,可以测得特大吨位桩基的承载力,桩基潜力可以得到合理发挥。

(3) 试验费用省。尽管荷载箱为一次性投入器件,但与传统方法相比可节省试验总费用的 30%~60%,具体比例视桩与地质条件而定。

(4) 试验后试桩仍可作为工程桩使用,可利用预埋管对荷载箱进行压力灌浆。

(5) 方便重复试验。可在不同的桩端深度(双荷载箱或多荷载箱技术)和同一桩端深度的不同时间(后压浆试桩效果对比),在同一根桩上方便地进行试验。

(6) 该方法适用范围广,可以在传统堆载法无法进行的水上、坡地、基坑底、狭窄场地上试桩,也可以对用传统试桩法难以进行的斜桩、嵌岩桩、抗拔桩等进行试桩。

参考文献:

[1] Jori Osterberg. New device for load testing driven piles and drilled shaft separates friction and end bearing. Piling and Deep Foundations. 1989,421~427

[2] 前田良刀. 第二东名东海大府高架桥工区における壁基础原位置載[J]. 基礎の工,1996,(5).

[3] Bengt H Fellenius, Richard Kulesza, jack Hayes. O-Cell Testing and FE Analysis of 28-m-deep Barrette in Manila, Philippines [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1999, 125(7).

[4] 龚维明,蒋永生,翟晋. 桩承载力自平衡测试法[J]. 岩土工程学报,2000,22(5).

[5] 龚维明,戴国亮,蒋永生,等. 桩承载力自平衡测试理论与实践[J]. 建筑结构学报,2002,23(1).

Engineering Applications of Self-Balanced Load Test  
in Internal Bridge Piles

DAI Guo-liang, GONG Wei-ming, XUE Guo-ya, JIANG Yong-sheng

(Center of Self-balanced Test Technique, College of Civil Engineering, Southeast University; Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The engineering applications of self-balanced test technique are summarized in internal bridge piles, including Runyang Yangtze River Bridge, Sutong Yangtze River Bridge, Hangzhou Bay Sea bridge and Nanjing No. 3 Yangtze River Bridge which are national key engineering. The tested piles are up to 2.8 m in diameter, 125 m in length, 12 000 ton in bearing capacity. The test results are applied in engineering design, which brings bearing capacity potential of superlong piles into play and achieves remarkable economic benefits.

**Key words:** self-balanced test technique; bridge pile; bearing capacity; equivalent up-loaded curve