

# 自平衡法在沙特国王港项目桩基施工中的应用

葛朋钊, 王昭

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

**摘要:** 沙特国王港项目桩基工程总共包含灌注桩 3 940 根, 项目中的所有灌注桩均处于吹沙填海区域。为保证灌注桩单桩竖向承载力符合相关规范, 根据沙特灌注桩规范<sup>[1]</sup>要求, 每 100 根灌注桩需选取 1 根进行静载试验, 据此该项目共需进行 40 次静载试验。由于试验工程量大且试验点分布较广, 采用传统的锚桩法<sup>[2]</sup>静载试验周期长、影响施工进度, 而采用自平衡法桩基静载试验装置简单, 省时省力且试桩可作为工作桩使用, 进而节约了施工成本。阐述了自平衡法在沙特国王港项目桩基施工中的应用过程。

**关键词:** 灌注桩; 自平衡法; 静载试验; 沙特国王港项目

**中图分类号:** U65; U655.4; U655.54; U655.55

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2023)03-0072-04

## Application of Self-balancing Method in Pile Foundation Construction of Saudi King's Port Project

GE Pengzhao, WANG Zhao

(Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610066)

**Abstract:** The foundation project of Saudi King's Port Project includes a total of 3940 piles, and all the piles in the project are located in the sand-blowing reclamation area. In order to ensure that the vertical bearing capacity of a single pile meets the requirements of the specification, according to the requirements of the Saudi concrete pouring pile standard<sup>[1]</sup>, 1 per 100 concrete pouring piles needs to be selected for a static load test, according to which a total of 40 static load tests are required for this project. Due to the large amount of test works and the wide distribution of test points, the traditional static load test using anchor pile method<sup>[2]</sup> takes a long time, which affects the construction progress, and pile foundation static load test using the self-balancing method is adopted. The device is simple, time-saving and labor-saving, and the test pile can be used as working piles, therefore, the construction costs are saved. This article describes the application process of the self-balancing method in the pile foundation construction of Saudi King's Port Project.

**Key words:** concrete pouring pile; self-balancing method; static load test; Saudi King's Port Project

### 1 概述

随着桩基施工的快速发展, 对桩基静载试验的要求也越来越高。为了保证桩基施工的质量, 沙特灌注桩规范要求每 100 根工作桩需要选取 1 根进行静载试验。沙特国王港项目位于沙特东部阿拉伯湾沿岸、朱拜勒以北约 80 km, 总面积约 1 120 万 m<sup>2</sup>。由于项目中的许多建筑物位于填海区域, 因此, 混凝土灌注桩地基加固对建筑物的安全起着至关重要的作用。该地区基岩以第三纪泥灰岩、黏土、砂岩和石灰岩为主, 深部地层由钙质粉砂岩、砂质灰岩和砂泥灰岩组成。基岩沿项目所在的沿海地带被上覆第四纪风积砂(沙丘砂)、

近海砂(盖层砂)和萨布哈沉积所掩盖。为了向大范围的沉桩作业提供第一手施工资料, 包括有效桩长、入岩深度、沉渣、灌入度、桩焊接、承载力, 在其主体灌注桩施工之前, 该项目就已采用传统锚桩法进行了数十根试验桩施工, 但由于锚桩法不仅要额外施打 4 根辅助桩, 而且需要转运大型荷载、架设大型反力梁, 耗时耗力, 效率极低, 且由于已经施工完成的灌注桩间距较密(横向间距为 4.8 m, 纵向间距为 5 m), 导致传统的试验方法无法适应场地要求。为了满足桩基施工进度要求, 优化施工方案, 选择合理的试验方法就显得尤为重要。阐述了自平衡法在沙特国王港项目桩基施工中的应用过程。

收稿日期: 2023-03-18

## 2 自平衡法静载试验

### 2.1 自平衡法静载试验的原理

桩基自平衡法的主要装置为荷载箱,其由活塞、顶盖、底盖、箱壁4部分组成。在灌注桩施工前,通过对试验区岩土层及岩土层参数进行分析,根据不同的地质情况确定了荷载箱安装的具体位置。正式施工时,将荷载箱焊于钢筋笼的特定部位并浇筑成桩,待灌注桩达到设计强度后,通过顶部高压油泵给荷载箱施压产生一个向上和向下的内力,进而使荷载箱产生位移,再通过位移传感器测出荷载箱向上、向下的位移,即可得到试验荷载与桩身内力位移之间的平衡关系曲线,最后将上部桩极限承载力进行换算并与下部桩极限承载力相加,即可得到单桩的极限承载力。自平衡法的基本原理见图1。

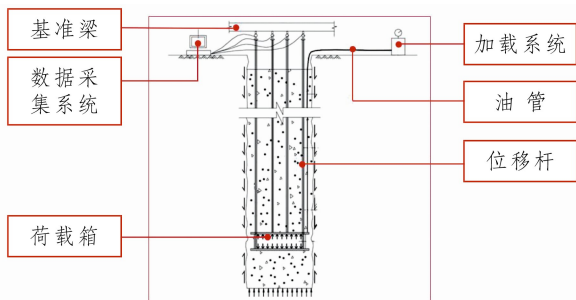


图1 自平衡法基本原理图

### 2.2 桩基自平衡法具有的优点

相对于传统堆载法及锚桩法静载试验,自平衡法具有以下优点:

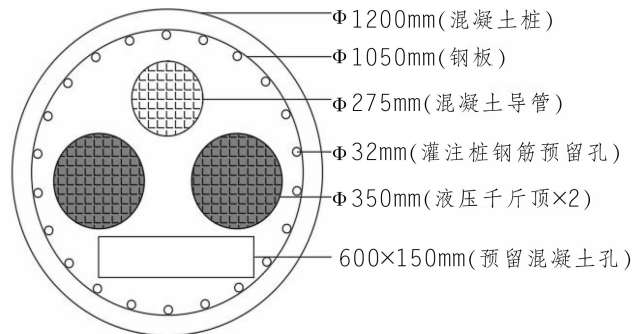


图2 荷载箱组成示意图

(1) 装置简单,不需要堆载,不需要搭设大型反力架,试验过程安全可靠。

(2) 省时省力。由于该装置轻便,无需专门进行场地道路的平整,无需施打多余的反力桩及桩帽制作,节省工期及费用。

(3) 试桩可作为工程桩使用。自平衡法可直接在工作桩上进行试验,试验完成后通过提前预留的导管灌浆,进而实现试验桩的再次利用。

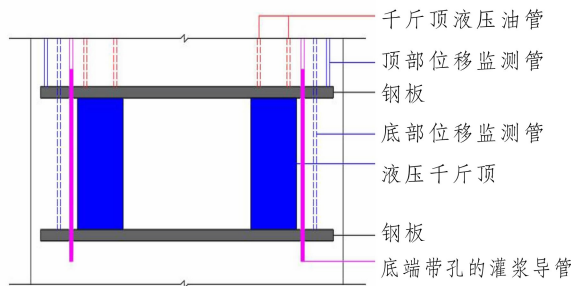
(4) 适应各种复杂地形,不受场地限制,可在基坑、坡地、水下进行工作。由于该项目工作桩密集,桩间距较小,自平衡法是该项目最合理、最适用的施工方法。

### 2.3 试桩的施工流程

施工准备→荷载箱制作→荷载箱与钢筋笼连接→测量放线→钻机就位、钻进成孔及清孔→钢筋笼吊装→水下混凝土浇筑→等待28d进行承载力检测→试验后灌浆施工→试验数据的分析与整理。

#### 2.3.1 荷载箱的制作

以沙特国王港项目直径1200mm的灌注桩为例介绍了荷载箱的制作过程,其荷载箱由两块直径为1050mm的钢板和两个直径为350mm的液压千斤顶组成,钢板上预留直径275mm的混凝土导管孔与600mm×150mm的混凝土回流孔,将钢板焊接在液压千斤顶的上下两端,两块钢板间再用钢筋适当加固,从而完成荷载箱的制作。荷载箱组成情况见图2。



#### 2.3.2 荷载箱及试验设备的安装

(1) 在需要与钢筋笼进行连接的地方将钢筋笼连接部分切除,并将上、下钢筋笼分别焊接在对应的承重钢板上,焊接时上、下两个钢筋笼应与荷载箱完全垂直,应将其偏心角度控制在5%以内,焊接应牢固可靠,防止钢筋笼吊装时脱落。

(2) 荷载箱需要设置上下喇叭筋,其一端焊接在主筋上,另一端焊接在混凝土导管孔周围,如此实施既能加固钢筋笼与荷载箱的连接,又能在混凝土浇筑时引导导管安装。同时,将荷载箱上下2m范围内的箍筋适当加密,以保证钢筋笼的结构强度。喇叭筋的加工情况见图3。



图 3 喇叭筋加工示意图



图 5 顶部位移监测杆

(3) 安装液压油管、位移监测杆并将其延伸至钢筋笼顶部。

① 在顶部和底部承重板上分别安装一个位移监测杆,用于测量单元的上下运动。位移监测管的安装采用内置位移杆加外套护管的方式,护管与荷载箱的上下钢板应连接可靠并与钢筋笼绑扎,应确保护管完好、无破损,不得漏浆。

② 荷载箱与钢筋笼焊接完成后安装高压油管,油管与荷载箱连接并与钢筋笼绑扎延伸至地面。其底部、顶部位移监测杆的安装情况见图 4、图 5,荷载箱钢筋笼的连接情况见图 6。

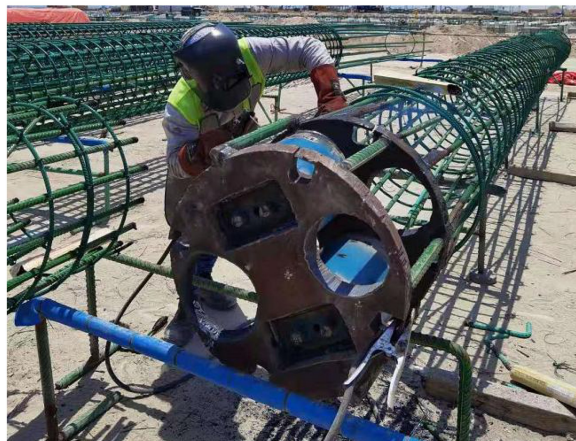


图 6 荷载箱钢筋笼的连接



图 4 底部位移监测杆

### 2.3.3 钢筋笼的吊装及试桩浇筑

灌注桩的施工与常规灌注桩的施工方法类似,但需注意以下几点:

(1) 钢筋笼的升降应垂直,使用多点起吊以确保钢筋笼垂直。

(2) 钢筋笼应安装适当数量的保护层垫块,以确保钢筋笼在混凝土浇筑过程中不偏心。

(3) 承重板之间的临时挡杆应在荷载箱吊至孔口时进行半切割,以保证千斤顶加载时挡杆断

裂从而允许承重板在千斤顶的作用下发生位移,同时确保钢筋笼顺利入孔。

(4) 钢筋笼应延伸至顶部截桩水平以上的地面,用以支撑位移杆等仪器的安装。

(5) 钢筋笼与荷载箱放入孔中后需要进行二次清孔,待检查无误后即可开始浇筑混凝土。当所浇筑的混凝土接近荷载箱时,拔导管的速度应放慢以确保混凝土在荷载箱位置充分填充;当荷载箱上部的混凝土厚度大于 2.5 m 时,应将导管的底端提升至高于桩身荷载箱、连续浇筑混凝土至设计桩顶。荷载箱下部的混凝土坍落度宜大于 200 mm,以便于混凝土在荷载箱处快速填充。

(6) 混凝土浇筑完成至正式试验之前,应在桩周围设置警戒线以保护桩头试验的管线不被破坏。

### 2.4 试验及加载流程

(1) 混凝土浇筑完成后需等待 28 d,待桩达到设计强度。为了保证试验数据的准确性,应先进

行截桩到设计高程后方可进行试验。

(2)搭设基准梁及帐篷。基准梁的支座应安装在距试桩至少5倍桩径的位置。测量时,为减少外界雨水、风等因素的影响,需要在灌注桩检测部位搭设防风帐篷以确保试验时不受外界环境干扰。

(3)试验前的准备工作。在试验设备、仪器仪表的运输过程中应确保其不受到损伤,以保证现场测试数据的准确无误,且各种检测仪器设备均应在检定和校准周期的有效期内。检测前,由专业人员对仪器进行检查调试。

(4)试验加载程序。加载应采用逐级加载的方式,所施加的荷载应以最大规定试验荷载的5%为增量增加,每一个荷载增量应保持至少10 min,在达到100%荷载、观测60 min后逐级卸载,随后加载至100%荷载,再按5%的增量加载至200%荷载,测读360 min,最后以10%的荷载逐级卸载至0荷载,即完成试验。加载流程见图7。

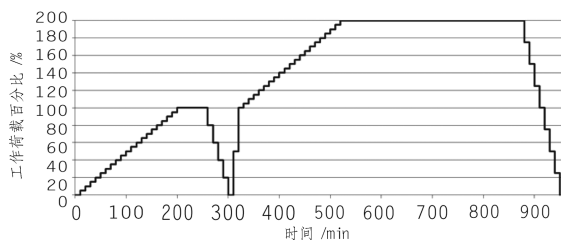


图7 加载流程示意图

## 2.5 灌浆施工

(1)通过预埋的注浆管进行压水清洗,向一根管中压入清水、待另一根管中流出的污水变成清水时开始对荷载箱处的缝隙进行压浆。

(2)补浆量以从一根注浆管压入、另一根注浆管冒出新鲜水泥浆为准。然后封闭管头,采用压力补浆(压力为2~4 MPa),建议持续1 h,压浆水泥量约为0.2~0.5 t(采用压浆压力、压浆量双重控制)。

(3)灌浆材料的强度不得低于灌注桩的混凝土强度。

## 3 质量保证措施

(1)试验应符合现行《静态轴向压缩荷载下桩的标准测试方法》ASTM - D1143/D1143M - 2007(2013)<sup>[3]</sup>等行业规范要求。

(2)严格按照对应的工作桩设计参数进行试验桩的施工。灌注桩的施工按照常规灌注桩施工

流程进行,钻孔时严格掌握钻杆的垂直度,严防偏孔、斜孔,成孔后应进行清孔。

(3)位移监测杆应按要求与荷载箱牢靠连接,位移监测杆套管与钢筋笼应适当固定并保证其密封性。液压油管与主筋绑扎,钢筋笼吊装前应检查油管及位移监测杆套管的长度与位置。

(4)钢筋笼安装完成后,注意保护油管及钢管封头。

(5)试验用的位移测量仪器、高压油泵等仪器设备应按照就近、方便、安全的原则安放,精密仪器必须安放在工作桌(台)上。

(6)试验现场必须搭建能防雨、遮阳的临时帐篷或设施以保护仪器设备。

(7)施工期间,现场施工负责人应会同有关人员对各施工部位定期进行安全排查,并安排专人负责现场的监督工作。

## 4 安全保证措施

(1)一定要遵守沙特阿美石油公司的HSE管理<sup>[4]</sup>与沙特阿美安全规范<sup>[5]</sup>。

(2)施工前必须进行专项安全技术交底工作,施工过程中要明确分工,统一指挥。

(3)各种试验检测操作须由专业人员进行,各种操作人员应佩戴相应的安全防护用具和劳保用品(安全帽、安全鞋、反光背心、护目镜、手套等)。严禁操作人员违章作业,管理人员违章指挥。

(4)测试现场所接电源必须符合临时架设电源线路的要求,禁止乱接电源、电线,防止漏电、触电等事故的发生。

(5)起重吊装作业时,吊装前须对所有吊具进行检查以确保吊具无损坏,需要在吊装区域设置好警示区和警示牌,禁止无关人员进入吊装作业区。起重吊臂旋转半径范围内严禁站人,吊装作业必须由持证起重工指挥。

(6)发生事故时应立即停止试验并报告相关人员,保留现场、记录事故发生的过程,配合调查人员进行调查。

## 5 结语

在沙特国王港项目灌注桩试验施工过程中,由于试验桩数量较多、桩间距密集,最终决定采用桩基自平衡试验方法进行试验,既解决了试验场

(下转第81页)

有相应的操作合格证上岗,严禁发生无证操作设备的情况,同时亦不准将机械设备随意交由无相应操作资格证的人员使用。对于每台机器的操作人员都必须建立一人一档,实行专人专管。

②操作人员必需严格按照相对应的说明书和安全技术交底进行,并严格按照工作前所制定的检查制度或要求实施,在工作中需要密切注意观察对机器的运行状态并定期进行检查与保养。

③指挥相关施工机械的作业人员必须处于安全开阔地段,同时按照明确设定的指挥联系信号进行指挥。

④必须对施工用的机电仪器、车辆等设备定期进行安全大检查,对出现的问题要及时排除、整改,按照“四不放过”的原则进行调查处理,制定防范措施,防止机械事故的发生。

### 3 结 语

随着我国城市轨道交通建设投入的不断加大,城市地铁建设呈飞速发展,市民出行紧张的状况得到了缓解。但随着国家新型城镇化发展,城市人口数量迅速增长,远期城市发展将会面临既有车站预留规划线路接口不足<sup>[5]</sup>,换乘车站设计容量不满足通行要求等新问题,成都轨道交通 18 号线天府新站改扩建工程通过支架系统体系设计,利用 PLC 液压同步顶升控制系统分级加压、卸载,构建结构受力“0”状态,完成了体系转化,达到了预期的施工效果,有效解决了既有车站容量不足的问题,降低了对既有运行车辆行车安全的危胁,保证了施工安全,缩短了建设周期,所取得的经验可为后续类似工程借鉴。

地狭小、传统锚桩法试验无法开展的技术问题,又缩短了工期,保证了灌注桩的施工进度,节约了成本,取得了较好的经济效益。该试验方法具有工艺简单、试验数据准确、效率高等多种优点,值得在国内、外同类工程施工中推广应用。

#### 参考文献:

[1] 沙特国王港施工项目灌注桩规范,RE621012-2020-20[S].

[2] 刘捷,顾章川,俞先江.锚桩法静载桩基检测在港口工程试桩中的应用[J].铁道建筑,2014,54(6):63-65.

(责任编辑:李燕辉)

## 引江补汉工程输水总干线出口段输水隧洞开始混凝土衬砌

2023年5月29日,由中水五局承建的引江补汉工程输水总干线出口段安乐河输水隧洞正式开始混凝土衬砌施工。首仓混凝土衬砌部位为输水隧洞渐变段,计划分3仓浇筑,总长度15米。边顶拱首仓混凝土浇筑长度为4.5米,衬砌厚度为70厘米,浇筑过程持续6小时。项目部以“创一流工程、建精品工程”为目标,在工程开工准备阶段,多次联合业主、设计、监理召开专题会议,明确相关工艺、技术要求及突发事件应急措施,并对进场前的人员进行技术、质量、安全交底工作。在工程施工过程中,现场管理人员对关键工序进行全过程旁站监督,对混凝土振捣工序进行严格控制,对已浇筑部分的模板和衬砌台车进行测量监控。项目部还以施工现场重点任务为抓手,持续开展“党建+”活动,打造“五彩融”党建品牌,切实将党建融入生产一线,针对生产经营任务开展“党员先锋队”“青年突击队”“工人先锋号”创建活动,以“水清人廉”作为示范点,高效优质推进工程建设。由中水五局承建的引江补汉工程输水总干线出口段位于湖北省十堰市丹江口市,包含安乐河出口段隧洞、桐木沟检修交通洞、出口检修闸、出口检修排水泵站、安乐河整治及交通桥等施工作业面。

(中水五局 供稿)

号线天府新站改扩建工程通过支架系统体系设计,利用 PLC 液压同步顶升控制系统分级加压、卸载,构建结构受力“0”状态,完成了体系转化,达到了预期的施工效果,有效解决了既有车站容量不足的问题,降低了对既有运行车辆行车安全的危胁,保证了施工安全,缩短了建设周期,所取得的经验可为后续类似工程借鉴。

#### 参考文献:

[1] 李斌.既有地铁工程扩建改造技术研究[D].天津大学,2015.

[2] 安东辉,邵文.地铁车站扩建改造工程对原有结构受力影响分析[J].铁道标准设,2020,64(11):129-135.

[3] 杜宇.运营地铁几种土建相关改扩建工程研究[J].隧道建设(中英文),2020,40(7):1017-1028.

[4] 韩刚.既有地铁车站钢筋混凝土结构快速破除施工综合技术[J].铁道建筑技术,2017,(9):69-72.

[5] 余海.基于大换乘客流复杂条件下既有有线换乘站改造方案研究[J].科学技术创新,2020,24(35):107-111.

#### 作者简介:

吴晓强(1986-),男,山西朔州人,项目工程部副主任,工程师,学士,从事市政工程施工技术与管理工  
田川(1980-),男,湖北荆州人,副总经理,高级工程师,本科,从事市政经营及技术管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

[3] 静态轴向压缩载荷下桩的标准测试方法,ASTM-D1143/D1143M-2007(2013)[S].

[4] 彭国生.沙特阿美石油公司的HSE管理[J].安全、健康和环境,2011,27(1):1-4.

[5] 沙特阿美安全规范,SAES-H-0001-2016[S].

#### 作者简介:

葛朋钊(1981-),男,河北保定人,高级工程师,从事市政工程施工技术与管理工  
王昭(1987-),男,甘肃陇南人,高级工程师,从事市政工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)