

# PHC管桩单桩竖向抗拔静载试验研究

王建斌

广州建设工程质量安全检测中心有限公司 广东省 广州市 510440

**摘要:** 软土地基上建造污水处理站时,由于占地面积大、桩占地范围大、沉桩数量多等原因,桩基设计复杂,施工工作困难,桩基施工过程中以及工后都容易产生桩位偏移。近年来,由于桩基偏位导致桩基破坏的工程事故屡见不鲜,因此桩基偏位原因分析已然成为热点。本文通过研究分析本工程概况、工程地质情况以及施工过程,着重对软土地基PHC管桩偏位的原因进行分析,并给出避免类似问题的建议。

**关键词:** PHC管桩; 静载试验; 抗拔承载力

## Experimental study on vertical pull-out static load of PHC pipe pile

Jian-bin wang

Guangzhou Construction Engineering Quality safety Testing Center Co., LTD., Guangzhou, Guangdong Province, 510440

**Abstract:** When the sewage treatment station is built on the soft soil foundation, due to the large area, large pile area and large pile subsidence, pile foundation design is complex, construction work is difficult, and pile deviation is easy to occur in the process and after pile foundation construction. The pile foundation construction process and after construction are easy to produce the pile position deviation. In recent years, engineering accidents of pile foundation damage caused by pile foundation deviation are common, so the analysis of pile foundation deviation has become a hot topic. By studying and analyzing the general situation, engineering geology and construction process of the project, this paper focuses on the analysis of the reasons for the deviation of PHC pipe pile in soft soil foundation, and gives suggestions to avoid similar problems.

**Key words:** PHC pipe pile; Static load test; Drawing capacity

### 引言

预应力管桩在全世界得到了广泛的应用,在部分国家如中国、日本,已成为桩基础最主要的桩型,因此,合理确定预应力管桩的竖向承载力显得尤其重要。目前,传统的预应力管桩竖向承载力分析方法主要有理论法、规范法和原位测试法。

### 1 工程概述

本工程位于某小区住宅(一期)工程范围内,本工程基础采用预应力钢筋混凝土管桩基础,桩型采用PHC600-AB-130,选择细粉砂层作为桩端持力层,有效桩长不小于25m,桩端进入持力层深度不小于3m,单桩竖向承载力特征值为1600kN。施工采用锤击贯入法,桩基施工前应进行试桩;贯入度、桩长等参数最终以试桩的结果为准,基桩承载力特征值以最终试验为准。以控制有效桩长为主,最后三阵的贯入度为辅,最后三阵(10击/阵)的贯入度均不大于60mm。预应力混凝土管桩

的桩头采用十字型桩尖。

### 2 抗拔试验安装

抗拔试验构造及单桩竖向抗拔静载试验装置,试验预制桩采用静压法施工,入土深度为30m,采用2节15m的单节桩焊接完成。场地表层土为杂填土,地基承载力不满足设计要求,需进行地基处理,处理方式为换填碎石垫层并夯实,换填厚度 $\geq 2m$ ,并通过重型动力触探检测地基承载力是否满足要求。桩孔内插筋,插筋为6根直径为25mm的二级钢筋,插筋深度为4m,并灌注C40微膨胀混凝土,为了防止偏心受力,反力梁的两端采用2个千斤顶对称加载。反力梁采用两根工字钢,型号为1.0m $\times$ 0.45m $\times$ 11m。

### 3 试验方案

基础采用预应力管桩,桩型为PHC800AB110,采用中掘法施工,桩身混凝土设计强度等级C80。进行两根管桩的中掘法现场试验,桩长初步设计为32m。根据PHC管桩

生产工艺,每根桩包括三节管桩,单节长度分别为10m、10m和12m。管桩直径为800mm。为了研究中掘法施工管桩基础的承载特征,并进一步研究桩—土相互作用与管桩荷载传递规律等<sup>[1]</sup>。两根试桩均需安装钢筋计。钢筋计和导线为特制产品,具有耐高温高压蒸养的能力,同时管桩离心生产过程对该钢筋计不产生影响。自顶部起,每间隔一段布置一组钢筋计,每个断面需对称布置4个钢筋计,每根桩共24个钢筋计。在中掘法沉桩完成后,先静置一段时间,再依据我国相应的规范进行单桩静载试验,单桩静载试验采用堆载法,逐级加载以确定单桩极限承载力大小<sup>[2]</sup>。根据《建筑基桩检测技术规范》(JGJ106-2014)采用慢速维持荷载法,按第5、15、30、45、60min测读桩顶沉降量,以后每隔30min测读一次。若每一小时内的桩沉降量不得超过0.1mm,并连续出现两次(从分级荷载施加后第30min开始,按1.5h连续三次每30min的沉降观测值计算),即可施加下一级荷载<sup>[3]</sup>。

#### 4 PHC 桩抗拔承载力计算分析

##### 4.1 根据裂缝控制等级计算桩身抗拔承载力

抗拔桩的裂缝控制计算按照《建筑桩基技术规范》(JGJ94—2008)<sup>[1]</sup>规定进行,对于严格要求不出现裂缝的高强度预应力管桩,其裂缝控制等级为一级,在荷载效应标准组合作用下桩身混凝土不允许出现拉应力,按式(1)进行强度验算:

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq 0$$

式中: $\sigma_{ck}$ 为荷载效应标准组合作用下的法向应力; $\sigma_{pc}$ 为扣除全部应力损失后,桩身混凝土的预应力。PHC500(100)B预应力管桩,桩长30m(2节桩),预应力筋13 $\Phi$ 10.7mm,C80混凝土,有效预应力为7.2MPa,抗拔承载力设计值为:

$$\begin{aligned} R_b &= \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \sigma_{pc} \\ &= \frac{3.14}{4} \times (0.5^2 - 0.3^2) \times 7.2 \times 10^3 \\ &= 904 \text{ kN} \end{aligned}$$

式中:D为PHC管桩外径;d为PHC管桩内径。

##### 4.2 桩的侧阻荷载传递函数及参数的选取

关于桩侧荷载传递函数,建立了理想的弹塑性双折线模型,该模型计算方便和准确度满足工程要求;建立了双曲线模型,该模型可考虑侧摩阻力的非线性性状;建立了三折线模型,该模型可描述桩侧土应变软化性质通过适当改变桩土力学参数,提出了统一的三折线模型,该模型可描述桩侧土应变软化、应变硬化等性质;可考虑非线性受力性状的单桩分析应用软件,根据现场地质实际情况,该软件可选用不同的荷载传递函数分析

侧阻与桩土相对位移间的关系。由于佐藤悟弹塑性双折线模型计算方便且其准确度达到工程要求,本文桩侧荷载传递函数采用该模型。提取高应变法测试数据里管桩承载力充分激发的桩侧阻力作为桩侧阻力极限值,其桩侧荷载传递函数如下式所示。

$$q(s) = \begin{cases} c_s s & (s \leq s_u) \\ q_u & (s > s_u) \end{cases}$$

式中: $c_s$ 为桩侧摩阻力,kPa/mm; $q_u$ 为高应变测试分析结果桩侧阻力极限值,kPa; $s_u$ 为桩土间的相对极限位移,mm。

#### 5 沉桩工艺的选定

选用引孔辅助沉桩法沉桩,采用BL23型长螺旋钻机引孔(最大钻孔深度达23m,钻孔直径为 $\Phi$ 300~800),分别采用C-16Y(锤重16t)、C-17Y(锤重17t)、C-20Y(锤重20t)、C-25Y(锤重25t)四种型号的液压式冲击锤沉桩。根据《建筑桩基技术规范》(JGJ94—2008),采用引孔辅助沉桩法沉桩时,会对管桩的极限侧阻力产生影响,从而影响管桩竖向承载力,故需要进行静载承载力试验验证引孔对管桩的竖向承载力影响<sup>[4]</sup>。引孔的孔径和孔深不但要满足顺利沉桩的要求,还要保证基桩的承载力要求,故采用引孔辅助沉桩法。必须验证基桩的竖向承载力,以验证引孔对基桩功能性的影响<sup>[5]</sup>。

#### 6 抗拔静载试验结果分析

PHC管桩插筋并填充C40微膨胀混凝土,待混凝土龄期满足规范要求方可进行试验。竖向抗拔静载试验按照《建筑基桩检测技术规范》JGJ106—2014的有关规定进行,采用慢速维持荷载法加载。当1#桩、2#桩加载至第10级荷载(1300kN)时,桩顶上拔量突然增大,曲线出现陡变形,达到规范终止加载条件1#桩、2#桩的抗拔极限承载力均取发生陡降的前一级荷载1170kN为了查找抗拔承载力失效的原因,通过开挖桩头发现,桩头位置完好,抗拔钢筋没有拔断,由此判断是桩侧摩阻力不足导致桩被拔出。试验期间处于雨季,大量的降水使得地下水位上升,土层的抗剪强度指标下降,土体发生软化导致桩侧摩阻力下降<sup>[6]</sup>。对于桩的抗拔静载试验,一般的来说,在插筋数量、插筋深度、端头板强度、桩身完整的情况下,对抗拔承载力起决定作用的是桩周土层的摩阻力,而桩周土层的摩阻力又与土的抗剪强度指标、地下水、桩长、桩径密切相关。基桩的竖向抗拔承载力机理:抗拔承载力随着桩周土层深度的增加而增加,桩身应力逐渐向下传递,到桩底处桩身上拔力达到最大,

基桩的抗拔力得到全部发挥<sup>[7]</sup>。

### 7 结论

采用新方法对两种典型持力层试验桩承载力进行计算,并与现场试验进行对比,得到如下结论:1)预应力管桩各类型土桩侧阻力随土的埋深的变化幅度明显不同,各类型土在埋深 $10\text{m} < L \leq 20\text{m}$ 、 $20\text{m} < L \leq 30\text{m}$ 、 $L > 30\text{m}$ 与埋深 $L \leq 10\text{m}$ 的桩侧阻力比值范围分别为1.1~1.5、1.2~1.8、1.3~2.1;其中,淤泥质土、粉细砂—稍密、中粗砂三种类型土,埋深 $L > 30\text{m}$ 与埋深 $L \leq 10\text{m}$ 的桩侧阻力之比值较大,分别达到2.0、2.1、1.9,而强风化泥岩、强风化泥质粉砂岩埋深 $L > 30\text{m}$ 与埋深 $L \leq 10\text{m}$ 的桩侧阻力之比值较小,分别仅达到1.4、1.3。因此,基于大数据处理得出的各类型土不同埋深的力学参数比规范采用相同的修正系数修正力学参数更为合理。2)两个典型强风化岩持力层8根试验桩,基于原位测试数据和大数据分析的计算方法计算结果和静载试验结果的竖向承载力的偏差在10%范围内,且两者的Q-s曲线相吻合,说明采用该方法具有一定的准确性。3)基于原位测试的计算方法,由实测力学参数而得到实测桩侧和桩端的传递函数关系,使传递函数法在力学模型计算中更接近实际情况,即采用成桩后现场试验的方法来研究物理力学参数,并将其力学参数应用到本文计算方法中,得到的结果更接近桩的实际承载性能。

### 结束语

引孔辅助沉桩工艺对于PHC管桩穿越较厚密实砂层有良好的施工效果。案例工程建设场地为废弃坑塘内,且坑塘回填,场地地质条件复杂,需要对各层土的阻力进行验证。通过试打桩、试验桩和工程桩的静载试验,不但验证了各层土的阻力,也证实了采用引孔辅助沉桩工艺的可靠性,可为同类工程提供有益参考。

### 参考文献

- [1]郑勇杰.预应力管桩施工技术在桩基工程中的应用[J].广东建材,2020,36(11):63-64+23.
- [2]李翔宇,盛志强,陈立根,刘金波,吴艳涛.南京金茂广场二期超大吨位基桩静载试验研究[J].建筑科学,2020,36(S1):261-266.
- [3]刘鹏,刘浩,杨渝.PHC管桩在某赛车场软土地基上的应用研究[J].建筑科技,2020,4(05):9-12.
- [4]丁子文.滨海软土地基预应力管桩的应用与问题处理[J].甘肃科技,2020,36(20):101-103.
- [5]李元.高速铁路桥梁钻孔灌注桩静载试验试桩分析[J].建筑,2020(19):69-70.
- [6]许涛.新型管桩静载反力装置在试桩工程中的应用[J].山西建筑,2020,46(18):65-66+97.
- [7]周彩荣,胡鑫印,张锋.大吨位基桩静载试验的分析与应用[J].工程质量,2020,38(09):31-34+42.