

大中型厂站构筑物 PHC 管桩静载试验 沉降异常原因分析及处理措施

王 兴

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要: PHC 管桩凭借其桩身强度高、施工周期短、质量易控制等优点被广泛应用在污水处理厂工艺水池类构筑物中。但由于场地工程地质条件复杂,施工中时有发生关于 PHC 管桩的质量安全问题。结合某工程实例,对静载试验中 PHC 管桩沉降异常的原因进行分析,并提出了相应的处理措施,可为今后类似工程的桩基施工质量控制提供参考。

关键词: 厂站构筑物;PHC 管桩;静载试验;沉降异常;处理措施

中图分类号: TU473.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)12-0193-03

0 引言

随着长江三角洲区域生态环境共同保护规划的颁布,生态环境部对强化污水收集处理设施建设提出了新的要求,即建设绿色智能、安全可靠的城镇污水收集处理设施。特别是在经济发展快速的长三角地区,碳排放量巨大,减污降碳责任重,水务厂站工程建设项目中污水处理厂的规模日渐扩大,大中型厂站构筑物的需求也随之持续攀升。大中型厂站构筑物是指水务厂站工程项目中主要污水处理厂(含污水回用处理厂)的各类大中型水处理工艺水池类构筑物,大中型厂站构筑物单体包括但不限于生物反应池(含曝气池)、二沉池、高效沉淀池、反硝化深床滤池等。

PHC 管桩凭借桩身强度高、施工周期短、质量易控制等优点^[1]被广泛应用在水池类构筑物中。但由于场地条件复杂、整体地势起伏较大和施工赶进度等因素,桩基施工过程中引发了许多质量问题,例如:静载试验不合格^[2]等。本文试图通过对某工程 PHC 管桩静载试验沉降异常进行分析,并提出了相应的处理措施,为今后类似工程的桩基施工质量控制提供参考。

1 工程概况

某污水处理厂二期工程,现状一期规模为 16 万 m³/d,

新建二期工程规模 16 万 m³/d,远期预留规模 8 万 m³/d,污水厂规划总规模为 40 万 m³/d。一期用地面积约为 16.98 hm²,远景总规划用地面积约为 25.46 hm²。本工程生物反应池和矩形周进周出二沉池这两个单体采用连体合建的方式,平面尺寸为 175 m×155.7 m,合建构筑物单体占地面积 27 247.5 m²。合建单体为钢筋混凝土水池结构,基础采用桩筏基础。由于场地工程地质条件复杂,整体地势起伏较大,桩基采用 $\phi 500$ PHC 管桩和 $\phi 600$ 钻孔灌注桩。PHC-500-AB-100-b 共 2 565 根,ZKZ-D600-B2-C35 共 1 139 根,设计单桩竖向承载力特征值均为 875 kN,设计桩长 12~41 m。

待上述桩基施工完成后,按照桩基检测规范需要任意选取一定数量的桩基进行单桩竖向抗压静载试验。在试验过程中有 3 根(1#、2#、3#)钻孔灌注桩竖向抗压极限承载力达到 1750 kN,满足设计要求;有 3 根(1'#、2'#、3'#)PHC 管桩出现沉降偏大的异常情况,竖向抗压极限承载力均未达到 1 750 kN,不满足设计要求。静载试验检测结果详见表 1。

2 工程地质条件

本工程场地条件复杂,整体地势起伏较大,场地北端现状多为空地,场地中部多为建筑弃土高堆积区,场地南端现状多为鱼塘,且场地南侧邻近山体,山体较为平缓,植被发育。各地基土层的主要物理力学性质指标详见表 2。

根据地质勘察报告结论,该工程桩基础以端承为

收稿日期:2022-03-01

作者简介:王兴(1993—),男,硕士,工程师,从事排水工程结构设计工作。

表 1 静载试验检测结果

桩号	桩型	检测时 桩长 /m	最大试 验荷载 /kN	最大沉 降量 /mm	回弹量 /mm	回弹率 /%	极限承 载力 /kN
1#	灌注桩	47.0	1 750	1.80	0.96	53.3	1 750
2#	灌注桩	47.0	1 750	6.92	2.20	31.8	1 750
3#	灌注桩	18.0	1 750	23.01	11.19	48.6	1 750
1'#	管桩	39.0	1 750	49.69	—	—	1 575
2'#	管桩	45.0	1 750	40.76	—	—	525
3'#	管桩	33.5	1 750	91.25	—	—	525

表 2 地基土的物理力学性质指标

层号	地层名称	黏聚力 c/kPa	内摩擦 角 $\varphi/(\text{°})$	预制桩		钻孔灌注桩	
				$q_{\text{sia}}/\text{kPa}$	q_{pa}/kPa	$q_{\text{sia}}/\text{kPa}$	q_{pa}/kPa
① _{1b}	素填土	13.5	11.1	—	—	—	—
② ₁	黏土	14.6	11.9	9	—	8	—
② _{2a}	淤泥	10.1	8.5	5	—	4.5	—
② _{2b}	淤泥质黏土	11.8	9.5	6	—	5	—
③ ₂	淤泥质粉质黏土	15.0	12.1	10	—	9	—
④ ₁	淤泥质粉质黏土	12.9	10.3	9	—	8	—
④ ₂	黏土	16.4	12.3	16	—	14	—
⑥ ₂	粉质黏土	19.3	13.6	20	700	18	350
⑩ ₂	粉质黏土 混角砾	70.9	19.1	44	3 000	40	1 600
⑪ ₂	强风化流纹斑岩	—	—	—	—	50	2 200
⑪ ₃	中等风化流纹斑岩	—	—	—	—	100	4 000

主、摩擦为辅,两者兼而有之,桩基础持力层选择⑩₂层(⑩₂层土层厚度不够时选择⑪₂层)。其中,桩端阻力特征值 q_{pa} 在岩层取值时桩端进入岩层不宜小于 2.0 倍桩径。

3 沉降异常情况原因分析

3.1 沉降异常情况说明

从表 1 可以看出,1'#PHC 管桩在前 9 级加载累计总沉降量为 49.69 mm,在加载第 10 级(1 750 kN)时单级沉降量大于第 9 级(1 575 kN)加载时单级沉降量的 5 倍,且桩顶累计总沉降量超过 40 mm。根据规范本次静载试验加载终止,最终检测单位判定 1'#PHC 管桩极限承载力为第 9 级荷载值 1 575 kN,单桩竖向极限承载力未达到设计要求。

2'#PHC 管桩在前 3 级加载累计总沉降量为 40.76 mm,在加载第 4 级(700 kN)时单级沉降量大于第 3 级(525 kN)加载时单级沉降量的 5 倍,且桩顶累计总沉降量超过 40 mm。检测单位判定 2'#PHC

管桩极限承载力为第 3 级荷载值 525 kN,单桩竖向极限承载力未达到设计要求。

3'#PHC 管桩在前 3 级加载累计总沉降量为 91.25 mm,在加载第 4 级(700 kN)时单级沉降量大于第 3 级(525 kN)加载时单级沉降量的 5 倍,且桩顶累计总沉降量超过 40 mm。检测单位判定 3'#PHC 管桩极限承载力为第 3 级荷载值 525 kN,单桩竖向极限承载力未达到设计要求。

以上 3 根桩自施工完成到竖向抗压静载试验前的休止时间均为 14~21 d,桩的施工工艺为静压沉桩。

3.2 原因分析

3.2.1 沉桩速率过快

首先,钻孔灌注桩单桩竖向抗压静载试验结果合格,对比 PHC 管桩静载试验结果不合格可以看出,地质勘察报告中的地基土层性质是准确的,故排除该项因素。

《预应力混凝土管桩技术标准》(JGJ/T 406—2017)^[3]第 8.4.6 条规定:静压法施工沉桩速度不宜大于 2 m/min。该场地土层上部均为饱和的淤泥及黏性土,沉桩时由于桩对土体的挤土作用,在淤泥层中产生超孔隙水压力。静压沉桩速率过快,导致超孔隙水压力和土体变形未能及时消散(超孔隙水压力会随着土体的隆起和侧移慢慢消失),此时土体表现为弹塑性变形特征,之后土体的卸压回弹恢复过程中致使桩身上浮,桩尖脱离持力层。最终,表现为静载试验时桩基沉降明显偏大的异常情况。

3.2.2 休止时间不足

《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2014)^[4]第 3.2.5 条规定:承载力检测前的休止时间,砂土不应少于 7 d,粉土不应少于 10 d,非饱和黏性土不应少于 15 d,对于饱和黏性土不应少于 25 d。本工程由于施工赶进度,竖向抗压静载试验沉降异常的 3 根 PHC 管桩休止时间均为 14~21 d。而且场地未进行整平,现状地面标高距设计桩顶标高约 5 m,杂填土层较厚,压桩机行走时对土体扰动影响较大。由于桩侧阻力大部分由饱和黏性土提供,休止时间太短,施工期间雨量较大,黏性土层含水量又较高,桩周土未能充分固结,其抗剪强度未能有效恢复,导致桩的静载试验承载力达不到设计要求。

3.2.3 打桩顺序紊乱

《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)^[5]第 7.4.4 条规定:打桩顺序要求,对于密集桩群,自中间向两

个方向或四周对称施打;当一侧毗邻建筑物时,由毗邻建筑物处向另一方向施打;根据基础的设计标高,先深后浅。本工程现场共进场了2台静压桩机进行施工,施工单位也制定了降低挤土效应的施工专项方案,即在毗邻现状构筑物一侧打了一排200 m长的防挤孔。但在实际打桩过程中,由于施工工期紧迫、场地未整平导致2台静压桩机行走困难,打桩顺序未能按照既定路线进行(大部分桩还是按区域由稀疏往密集方向施打)。生物反应池(桩间距2.4 m)和矩形周进周出二沉池(桩间距2.8 m)桩数量均较多,其中生物反应池区域内大面积桩密度较高,这种情况在可塑黏性土中挤土效应较为明显,对桩周土扰动较大,是产生桩身上浮的重要因素之一。

3.2.4 稳压时间过短

一般来说,当压桩力已达到终压力或者桩端已到达持力层时应采取稳压措施。《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)^[5]第7.5.9条第3款规定:稳压压桩力不得小于终压力,稳定压桩的时间宜为5~10 s。本工程快速压桩施工时压桩力一达到终压值,静压桩机即刻卸压,未采取稳压措施,桩身此时由于快速压桩产生的超孔隙水压力未能及时消散而回弹,进一步加大了桩身上浮位移量,对静载试验检测结果也产生了一定的影响。

4 处理措施

通过以上分析,沉桩速率过快、休止时间不足、打桩顺序紊乱、稳压时间过短等因素导致桩身上浮,是此次静载试验不合格的主要原因。因此,沉桩时必须重视桩身上浮问题。为消除桩身上浮对桩竖向抗压承载力的影响,待全部桩基施工完成后对所有PHC管桩复压两次,复压压桩力建议2.5倍竖向抗压承载力特征值,复压顺序自单体区域中间向两个方向或四周对称复压。复压结束后,对管桩标高进行复测,如若仍有桩身上浮现象,对上浮桩再次进行复压,最终待休止时间达25 d以上再对试验桩进行静载试验检测。

对所有PHC管桩复压休止时间达到25 d后,采取验证与扩大检测法,重新随机选取试验桩进行竖向抗压静载试验。最终,所测试验桩竖向抗压极限承载力均满足设计要求。

桩身完整性检测方法选择低应变检测,按规范规定与静载试验同步进行,所测试验桩的桩身完整性检测结果评价均为I类桩或II类桩,不会影响桩身结构承载力的正常发挥,可以作为工程桩使用。

以上检测结果验证了复压是处理桩身上浮最有效的补救措施,同时验证了PHC管桩竖向抗压静载试验沉降异常的主要原因是桩身上浮。

5 结论

对于存在较厚饱和淤泥层和可塑黏性土层时,采用PHC管桩作为桩基础,桩身上浮的问题必须引起重视。减小桩身上浮对桩设计承载力产生影响的几点建议如下:

(1)桩基施工过程中沉桩应缓慢进行,静压法施工沉桩速度不宜大于2 m/min。

(2)承载力检测前的休止时间应达到规范允许限值,不能因为施工赶进度而无视从压桩完成到静载试验检测时的间歇时间。

(3)严格控制压桩顺序,以降低挤土效应,从而减小桩身上浮量。对于施打大面积密集桩群时,自中间区域向两个方向或四周对称施打。当一侧毗邻现状建(构)筑物时,由毗邻现状建(构)筑物处向另一方向施打。

(4)为了能够及时发现桩身上浮的问题,每根PHC管桩施工结束后,都必须准确地测量桩顶标高。在桩基施工过程中,施工管理和监理相关人员往往只关注桩长或终压值是否满足设计要求,忽视了打完桩还要测量桩顶标高,这样在出现事故桩后很难辨别桩身是否上浮。在静载试验检测开始前,再对桩顶标高进行复测,两次测量的桩顶标高进行核对确认桩身是否上浮,若桩身上浮,应及时采取复压的处理措施。

参考文献:

- [1] 李多权.硬黏土地区PHC管桩抗压静载试验异常沉降分析[J].安徽建筑,安徽建筑,2019,26(8):171-172.
- [2] 李国胜.管桩施工不合格的处理方法[J].建筑结构,2019,49(3):112-119.
- [3] JGJ/T 406—2017,预应力混凝土管桩技术标准[S].
- [4] JGJ 106—2014,建筑基桩检测技术规范[S].
- [5] JGJ 94—2008,建筑桩基技术规范[S].