

倾斜 PHC 管桩的处理方法及剩余承载力研究

何稼超

(同济大学,上海市 200092)

摘要:已完成施打的 PHC 管桩,由于疏于保护等因素,使桩承受了非能预见的水平荷载,桩身通常会出现一定程度的倾斜,它会使 PHC 管桩桩身产生裂缝、断裂、弯曲或倾斜,使 PHC 管桩承载力降低或者失效,对工程质量及安全产生重大的影响。通过某工程的 PHC 管桩受基坑滑坡影响造成倾斜处理实例,从现有理论分析成果出发,结合工程实际处理的对策,得出对于工程实际中具有指导意义的结论,为类似工程缺陷桩的处理提供一个有效的方案。

关键词:PHC 管桩倾斜;检测方法;剩余承载力

中图分类号:TU473.1

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2021)04-0217-04

0 引言

近年来,我国的基建事业发展迅猛,基建项目遍地开花,基建中有许多民生保障类项目。这些项目的特点无一例外都将工期作为主要的控制因素。预应力高强混凝土(PHC)管桩以其施工速度快、造价低廉、沉桩质量容易保证等诸多优势,在这类工程建设中大量采用,且效果良好。

但是,在我国很多地区,由于其场地土质偏软,在工程实施过程中,容易导致预应力混凝土管桩桩体出现倾斜、偏位、弯曲、裂缝,甚至断桩等情况的发生。这些情况发生的主要原因总结如下:桩尖、桩头制作的偏差、大面积高密度的群桩基础引起的挤土效应、基坑围护出现边坡滑移等。此类桩基质量问题引起的后果相当严重,会对建构筑物的安全性带来威胁。因此,如何科学合理、正确评价有缺陷的工程桩的剩余承载能力,或通过合理的处理手段使其基本恢复原有的承载能力,是工程实践中经常面对的问题。这类问题处理得当,对工程有着实际的重要意义。

1 工程及地质概况

沿海某市污水厂的改扩建工程,其初沉池直径 40 m,池体高度 5.5 m,中心筒位置再落深 3 m,是典型的钢筋混凝土圆形水池结构。

拟建场地属浙东南沿海滨海相沉积平原地貌类

型。勘探深度范围内地基土主要为 5 个工程地质层。从上至下依次为:①₀ 杂填土、②₁ 含粉砂淤泥、②₂ 淤泥、③₂ 黏土、④₂ 粉质黏土、⑤₂ 粉质黏土。各层土的基本物理力学参数见表 1 所列。

表 1 初沉池位置地质土层情况一览表

层序	层厚 /m	c /kPa	φ /($^{\circ}$)	含水量 /%	压缩模量 E_{s1-2} /MPa
① ₀					
② ₁	12.2	9.2	10.3	47.4	2.4
② ₂	22.3	9.8	9.8	55.8	2.0
③ ₂	8.5				3.1
④ ₂	11.7				4.0
⑤ ₂	未穿透				

由于池底持力层土性较差,承载能力严重不足,加之地质浅层有高厚软土,基础设计采用高强预应力混凝土管桩(PHC 管桩)。

根据分析和计算,桩端持力层取④₂ 粉质黏土层,设计采用直径 600 mm 的 PHC 管桩,型号 AB110,桩长 50 m,单池布桩 166 根。单桩竖向承载力特征值 600 kN,无抗拔承载力的要求。

2 工程桩实施情况

由于该项目用地紧张,工艺平面布置时,初沉池与生物反应池的基坑相距仅 5 m,初沉池的底板高于生反池基坑底 4 m 多,由于生反池基坑开挖时,未有妥当的围护措施,加之边坡开挖深度内的杂填土和含砂淤泥土性过于软弱,生反池基坑靠近初沉池侧出现土体滑移现象,造成初沉池靠近生反池侧的已完成沉桩的工程桩共计有 54 根出现不同程度的倾斜,桩顶明显向生反池侧倾斜,最大桩顶偏位达 95 cm。

收稿日期:2020-01-09

作者简介:何稼超(1989—),男,工学学士,工程师,从事工程结构设计工作

桩基布置及桩顶偏位示意图见图 1 所示。

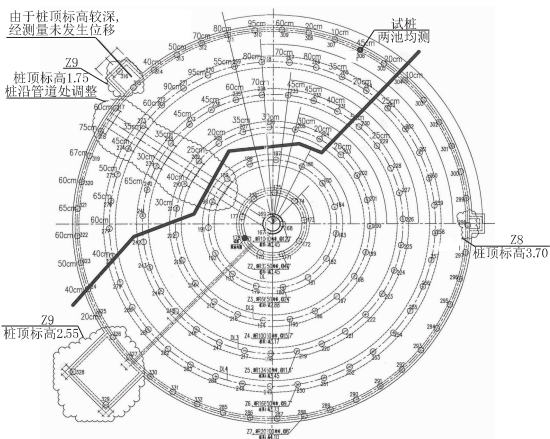


图 1 初沉池桩基偏位图

3 工程桩偏位分析

沉桩时施工正常、后期土体滑移造成的工程桩偏位,符合德比尔(De Beer)所说的“被动桩”概念,即承受由桩周土水平位移所产生水平荷载的桩。此类桩会随着桩周土的水平运动,桩身继而产生倾斜、挠曲变形,桩的水平位移可达到开挖深度的 1%~2%,甚至更大。根据德比尔和沃拉斯(De Beer and Wallays)等对承受土体水平运动的桩的现场试验成果,软粘土地基侧向流动引起的作用于桩上的侧向压力很大,足以使较大尺寸的桩产生变形,甚至破坏^[1]。

经分析判断,土体滑移造成桩顶偏位意味着工程桩可能出现如下缺陷:

- (1)桩身未损坏、桩整体倾斜;
 - (2)桩身出现裂缝、桩整体倾斜;
 - (3)桩身出现裂缝、桩出现整体挠曲;
 - (4)桩身弯折及出现断点(断裂),折点(折断)位置的上部桩身倾斜、下部略有倾斜或基本保持竖向。
- 情况(1)和(2)的桩身保持直线完整性,无弯折现象,但存在竖向倾斜角。情况(3)的桩身往往较长,比较柔,由于挠曲后其曲率半径的存在,桩身会有附加弯矩。情况(4)的桩折点(折断)位置一般在土层滑移深度下方的桩身弯剪力最大处、或桩身薄弱处(接桩处),上部桩往往由于倾斜率过大,且与下部有折(断)点,容易使整根桩基本失去承载能力。

桩整体倾斜、挠曲变形或桩身出现裂缝、桩身折断均会造成工程桩的承载能力降低。从工程应用实际和安全出发,人们最关注的是已偏位的工程桩是否还能满足工程需要,缺陷桩的剩余承载能力或者其经过修复后是否还能满足设计要求,这是迫切需要解决的首要问题。

4 检测结果

4.1 桩身完整性检测结果

在 54 根偏位桩中,共存在 I 类桩 3 根,II 类桩 19 根,III 类桩 32 根,无 IV 类桩。

根据《建筑基桩检测技术规范》定义,I 类桩桩身完整。II 类桩指桩身有轻微缺陷,不会影响桩身结构承载力。III 类桩指桩身有明显缺陷,对桩身结构承载力有影响。无 IV 类桩意味着工程桩未出现桩身折断等严重影响结构承载力的情况。

4.2 桩身垂直度检测结果

按照工程桩偏位值,结合桩身完整性检测结果,共选取了 8 根桩作倾斜率(角)测定。结果详见表 2 所列。

表 2 桩身垂直度检测结果一览表

桩号	321	322	310	311	318	270	271	266
偏位值 /cm	65	60	95	80	75	95	90	80
完整性	II 类	III 类	III 类	III 类	III 类	II 类	II 类	I 类
缺陷深度 /m	11	12	4	11	12	10	12	完整
倾斜角 /($^{\circ}$)	2.5	3.1	4.1	3.4	2.6	3.6	2.8	3.1

4.3 检测结果分析

- 分析上表中具体数值可以得出的基本结论是:
- (1)偏位桩一般均存在桩身垂直度的问题,有一定的倾斜角。
 - (2)偏位数值和桩身完整性无必然联系,即不存在偏位值大的桩其完整性一定就差。
 - (3)接桩处一般为桩身薄弱位置(表中缺陷深度的位置基本同上部单节桩长,只有桩号 310 例外),当桩受上部土体滑移影响,接桩处承受弯剪能力弱于桩身。
 - (4)偏位值和桩身倾斜角无明显对应关系,即不存在偏位值大的桩其倾斜角就大。
 - (5)基本无桩身弯曲现象。

5 处理思路

由于现行桩基规范仅对锤击沉桩时,桩的插入垂直度偏差有不得超过 0.5% 的要求(折算倾斜角为 0.28 $^{\circ}$),未对沉桩后的桩身垂直度定出允许的偏差值。其定义的 II 类、III 类桩对承载能力的影响,一般认为是指桩身基本垂直情况下的结论。该工程受生反池基坑滑坡影响,桩身发生倾斜偏位,倾斜角度一

一般在 $2.5^{\circ}\sim 4.1^{\circ}$ 之间。当桩身倾斜超过一定角度后,桩的承载能力会有影响。为保证工程的安全性,必须正确评估倾斜角与基桩承载力损失的关系。

(1)对倾斜角与基桩承载力损失的关系进行分析;

(2)采用静载试验抽样验证上述评估结论;

(3)根据现状桩的实际位置对初沉池底板内力和配筋进行复核计算。

6 桩身倾斜角与基桩承载力关系的理论分析

桩身发生倾斜对竖向荷载下基桩承载力的影响主要有三个方面:沉降值、桩身弯矩和桩身剪力。

对于承受竖向荷载的倾斜桩,其承载能力的特性国内外均有一定的研究。他们一般采用的试验方法是室内模型测试,理论分析采用岩土专业的有限差分软件 FLAC3D。

郑刚等^[2]人的研究结论是:存在着基于桩身倾斜度对桩顶沉降影响的沉降影响门槛值和对桩体破坏模式影响的破坏模式门槛值。即当桩体倾斜角小于门槛值时,其在相同竖向荷载作用下桩顶沉降的值小于竖直桩,其竖向承载能力不低于竖直桩。当桩体倾斜角超过相应的门槛值时,其沉降会大于竖直桩,竖向承载能力小于竖直桩。他们给出的两者门槛值为倾斜度 4% (合 2.29°)。土质条件、桩身刚度和强度、桩顶约束条件等都会影响该门槛值大小。在软土地质中,门槛值有所增大,其中沉降影响门槛值为倾斜度 5% (合 2.87°),破坏模式门槛值为倾斜度 $4\%\sim 5\%$ 。

苏子将等^[3]分析了软土地区中承台下桩基的倾斜度对竖向荷载承载力的影响。该研究以桩基沉降 40 mm 时的荷载作为容许承载力,即仅研究倾斜度与桩顶沉降的关系来评判竖向荷载作用下的桩基承载力,结论是:在倾斜度 $0^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 范围内,容许承载力随倾斜度成正比;超过 12° 时,随倾斜度增大容许承载力逐渐减少。

上述两项研究的结果差异较大,仔细分析一下,形成这个结果的原因有:

郑刚等人研究的对象为模型桩,桩顶端无约束,为自由状;试验土体采用砂土;研究的内容为桩顶沉降和桩身弯曲破坏两个方面。苏子将等人研究的是工程桩,桩径 $1\ 200\text{ mm}$,桩长 71 m ,单个承台下有 11 根桩,可以理解为桩顶有约束的群桩基础,桩周土为淤泥、粘土和圆砾石;研究的内容仅为桩顶沉降。

桩弯曲后,桩的竖向极限承载力会减少。这一点,在国外也有相同的研究成果。根据瑞典规范,当桩的弯曲曲率半径由 400 m 到 100 m 范围变化时,规定其容许承载力线性地减少到零^[4]。

胡文红等人^[4]进一步的研究表明,决定倾斜桩的竖向极限承载能力的往往不是沉降大于容许值和桩体的剪切破坏,而是桩身最大弯矩超过桩身极限抗弯强度而造成的破坏,即当竖向荷载达到一定数值后,桩身弯曲破坏模式(剪切力往往小于桩体极限抗剪强度很多而基本不会发生破坏)的(倾斜度)门槛值要低于沉降门槛值。

另外,郑刚等人研究的另一个结论是:(相同)竖向荷载作用下桩身截面弯矩随倾斜度的增加而逐渐增大,弯矩最大值发生在距桩顶端 $2.5\sim 3.5\text{ m}$ 范围内。这一点与胡文红等人研究的结果:不同竖向荷载作用下倾斜度为 5% 的桩,其桩身最大弯矩值发生在距桩顶端 $2.5\sim 3.0\text{ m}$ 处有相似之处。

7 工程倾斜桩处理对策

7.1 理论上的结论

根据上述系列研究成果,结合该单体工程桩的倾斜度数据和桩身完整性检测结果,理论上可得出下述结论:

(1)在竖向设计荷载作用下,桩顶沉降数值与其它无倾斜角的垂直工程桩基本一致,不会有较大的差异。

(2)由沉桩引起的倾斜桩在竖向设计荷载作用下,桩身剪力与桩体极限抗剪强度相比较小。但由基坑滑移引起的倾斜桩由于存在着土的水平位移产生的压力,其桩身剪力要大一些。

(3)倾斜桩由于在竖向荷载作用下桩体承受过大的弯矩而导致弯曲破坏,是导致桩极限承载力下降的主要因素。该工程的偏位桩如无初始弯曲应力,应在桩体破坏模式的门槛值以内。

(4)当倾斜桩桩顶存在着承台、底板等有约束构件时,由于限制了桩顶的水平位移和转动,桩身挠曲明显减少,桩身弯矩减少,从而桩的极限承载力不会受太大的影响^[4]。

7.2 相应的处理对策

(1)对偏位桩顶端滑移的土体(高度约 3 m)进行必要的整平,目的是消除桩顶单侧土压力作用,平衡桩端周围的土压力。

(2)对检测结果为 III 类的桩从缺陷处下 2 m 到

桩顶进行补强处理。

(3)对其它偏位桩在顶端 5 m 长度范围内进行补强处理。

(4)补强方法:采用钢筋笼灌芯加固。钢筋笼做法:纵筋为 6 根 14 mm,箍筋 6 mm,间距 100 mm,混凝土采用 C40 微膨胀细石混凝土。补强的目的是增加桩体的抗弯强度,不减少原有工程桩的竖向承载能力。

(5)偏位桩完成上述灌芯施工 10 d 后对 III 类桩进行小应变复测,要求达到 II 类桩。

(6)小应变检测合格后,对于偏位在 90 cm 以上的桩(共 3 根)采用静载试验检测其承载力。

(7)对于偏位在 80 cm 以上的桩,采用底板加腋补强(共 6 处)。

8 处理结果验证

按上述方式对偏位工程桩处理后,原 III 类桩经小应变复测后,桩身完整性变为 II 类。对选取的 3 根偏位桩与 2 根未偏位桩(正常桩)进行静载试验。其沉降值见表 3 所列。

表 3 沉降值一览表

桩号	偏位值/mm	(补强后)桩身完整性	最大荷载/kN	沉降值/cm	备注
310	950	II 类	1 220	2.3	
270	950	I 类	1 220	1.9	
311	800	II 类	1 220	2.2	
198	未偏位	I 类	1 220	1.8	正常桩
295	未偏位	I 类	1 220	2.1	正常桩

从表 3 可以看出,该工程偏位的工程桩由于倾斜率不是太大,在进行必要的补强处理后,其承载能力未受明显影响。对偏位值(倾斜率)更大的工程桩,或偏位后存在一定弯曲应力的桩身,其剩余承载能

力是否还能满足工程要求,是后续更值得研究的问题,并需要实际工程来进行检验的。

初沉池施工完成后经过闭水试验,目前已投入运行一年多,经沉降跟踪监测,累计沉降 1.5 cm 并基本稳定,达到设计要求。

9 结 论

(1)沉桩时,因垂直度控制误差而产生的倾斜工程桩,其桩身一般不存在初始弯曲应力。而由沉桩时,挤土效应或基坑滑坡引起的工程桩倾斜,由于土体水平位移的作用,桩身局部长度会存在一定的初始弯曲应力。

(2)管桩的抗弯极限承载能力较弱,由于局部弯曲破坏导致倾斜,其工程桩竖向极限承载能力减小是最易发生的事故。

(3)依据该工程实际处理结果,在桩身倾斜率 7%(合 4.1°)以内,如消除或减少桩身周围土体的不平衡水平应力(消除桩的初始弯曲应力),倾斜工程桩的竖向荷载极限承载能力和沉降值基本同竖直桩。

(4)倾斜桩在竖向荷载作用下,桩身最大弯矩发生在桩顶以下 2.5~3.5 m 区段内,对该部分的桩身进行加强处理(如灌芯补筋),提高其抗弯极限能力是必须的。

参考文献:

[1] 史佩栋.实用桩基工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.
[2] 郑刚,等.竖向荷载作用下倾斜桩的承载力特性[J].天津大学学报,2012(7).
[3] 苏子将,等.软土地基中倾斜桩基承载力数值分析[J].四川建筑,2008(10).
[4] 胡文红,等.浅层土体加固对倾斜桩竖向承载力影响研究[J].岩土工程学报,2013(4).

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com