

西安地区 PHC 管桩上浮问题初探及预防

曹小飞, 黄宇

(中国有色金属工业西安勘察设计研究院, 陕西 西安 710054)

摘要:在西安地区,随着预应力高强混凝土管桩(PHC)在工程中的广泛应用,施工中出现的质量问题也逐渐增多。个别工程项目甚至出现了在南方饱和软土地区常见的因桩身上浮导致单桩承载力大幅降低的工程病害。结合西安地区东郊某静压管桩(PHC)工程的特点,分析并阐述了挤土效应和桩身卸压回弹造成饱和黄土场地静压PHC管桩出现场地隆起、桩身上浮形成“吊脚桩”的原因和机理,并据此提出了针对饱和黄土场地管桩施工所应注意的关键环节和预防措施。

关键词:饱和黄土;预应力高强混凝土管桩;管桩上浮;挤土效应;卸压回弹;西安地区

中图分类号:TU473.1⁺3 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2013)01-0066-04

Preliminary Study on Upfloat of PHC Pipe Pile in Xi'an Area and the Prevention/CAO Xiao-fei, HUANG Yu (Xi'an Engineering Investigation and Research Institute of China National Non-ferrous Metals Industry, Xi'an Shaanxi 710054, China)

Abstract: Pre-stressed high strength concrete pipe pile (PHC) is extensively used for projects in Xi'an area with the construction quality problems gradually increasing. Engineering disease of individual project, such as pile capacity largely reducing, is often seen in saturated soft soil in south area because of shaft upfloat. The paper analyzes the causes and mechanism of heave by squeezing effect and shaft decompression rebound; "suspending pile" by shaft upfloat with a PHC pipe pile project in eastern suburb of Xi'an. Based on the above, the key links and preventive measures have been suggested for PHC pipe pile project construction in saturated loess site.

Key words: saturated loess; pre-stressed high strength concrete pipe pile; pipe pile upfloat; squeezing effect; decompression rebound; Xi'an area

0 引言

预应力高强混凝土管桩(PHC管桩)在工程应用中具有桩身质量易保证、单桩承载力较高、施工速度快、施工中各种环境污染少等优点^[1],近年来在西安地区的工业及民用建筑上获得了广泛应用,尤其是在西安地区的北郊、东郊等地具有良好的桩端持力层,更利于充分发挥PHC管桩强度高、承载力大的特点,多应用于高层建筑的桩基工程中。

在西安地区饱和黄土场地,地基土体因抗剪强度较高,沉桩挤压会使其产生水裂现象,降低了超静孔隙水压力的影响和范围,使邻近土体不易受到挤土影响产生排水剪切破坏,邻近土体可以对桩周土体的变位起约束作用,沉桩时地基土体只在桩周小范围产生位移且位移量很小,所以西安地区饱和黄土场地管桩施工很少产生场地隆起和桩身上浮。但是,一些施工单位对管桩静压施工在理论上认知深度不足,不能够针对工程特点采取相应的预防措施,以及为了追求施工速度和经济效益放松了对施工关

键环节的控制,导致了PHC管桩施工中的各种质量问题,个别工程出现了常见于南方饱和软土地区的“桩身上浮,单桩承载力大幅降低”问题。

本文由西安市东郊某静压PHC管桩工程基桩质量检测报告的结果并结合该工程特点,分析、阐述了该工程管桩上浮、形成“吊脚桩”的原因和机理,提出了在西安地区饱和黄土场地静压管桩施工为避免出现桩身上浮所应注意的环节及预防措施。

1 工程概况

1.1 建筑概况

西安市东郊某小区主要由4幢高层住宅楼构成。高层住宅楼均为地上25层,地下2层,框架-剪力墙结构,桩筏基础。基桩采用PHC-AB500(125)型预应力高强混凝土管桩,压桩机静压送桩,桩顶标高-11.58m(±0.00高程417.75m),有效桩长20.0m。总桩数为680根,设计单桩承载力特征值为2250kN。

收稿日期:2012-07-23

作者简介:曹小飞(1971-),男(汉族),安徽泗县人,中国有色金属工业西安勘察设计研究院工程师,工程物探专业,从事工程物探、人工地基工程质量检测工作,陕西省西安市雁塔区西影路46号,exf710915@sohu.com;黄宇(1970-),男(汉族),陕西乾县人,中国有色金属工业西安勘察设计研究院工程师,岩土工程专业,从事岩土工程、人工地基工程质量检测工作,13096920139@163.com。

1.2 工程地质概况

根据岩土工程勘察报告,建筑场地地貌单元属灞河 II 级阶地,地形较平坦,勘探点地面高程介于 415.66 ~ 417.63 m。桩身处于③黄土、④古土壤、⑤黄土、⑥粉质粘土及⑦圆砾中(性质指标见表 1),其中⑦圆砾及其以下土层分布连续,厚度大,力学强度高,为良好的桩端持力层。地下水水位距基坑底面很浅,介于 1.2 ~ 1.7 m 之间。

表 1 桩周土相关性指标

层号	土层名称	地层厚度 /m	含水率 ω /%	饱和度 S_r /%	压缩系数 a_{1-2} /MPa ⁻¹	粘聚力 c /kPa	内摩擦角 ϕ /($^\circ$)
③	黄土	2.20 ~ 6.40	22.1	83	0.23	36.0	11.9
④	古土壤	3.90 ~ 5.20	22.4	86	0.25	40.5	12.6
⑤	黄土	6.60 ~ 10.10	21.8	87	0.21	43.6	11.1
⑥	粉质粘土	1.60 ~ 2.10	22.0	91	0.20		

2 基桩质量检测结果

检测单位于 2010 年 1 月 4 日进场开始检测工作。根据检测方案,1 ~ 4 号楼各进行 3 根桩单桩竖向抗压静载试验,共 12 根。试验前采用低应变对试桩进行了桩身完整性检测,12 根试桩桩身完整性良好,均为 I 类桩。

首先进行 1 号楼的静载试验,3 根试桩分别在加载至 2000 kN 及 2500 kN 时,桩顶沉降量急剧增大,试验压力无法维持,试验终止。初次静载试验结果汇总表 2,典型的 $Q-s$ 曲线、 $s-lgt$ 曲线见图 1。

表 2 初次静载试验结果汇总表

试验桩号	休止时间 /d	最大加载 /kN	桩顶沉降量 /mm	极限承载力 /kN
T1	25	2500	63.60	2000
T2	27	2000	42.35	1500
T2	27	2000	43.48	1500

T1 ~ T3 号试桩为现场随机抽取,具有很强代表性,而静载试验确定的单桩极限承载力仅为 1500、2000 kN,远不能满足 4500 kN 的设计要求,故此 3 根桩静载试验结束后,检测工作停止。

3 原因分析

由单桩静载试验前的低应变法检测结果,可以排除桩身完整性原因造成单桩极限承载力急剧降低。分析 3 根试桩的荷载 - 沉降关系曲线,明显属于刺入破坏,可以认为桩端承载力未发挥。通过现场观察,可发现基坑底面弧形隆起,边缘低、中间高,局部地段存在“橡皮土”。由此,判断管桩桩身上浮

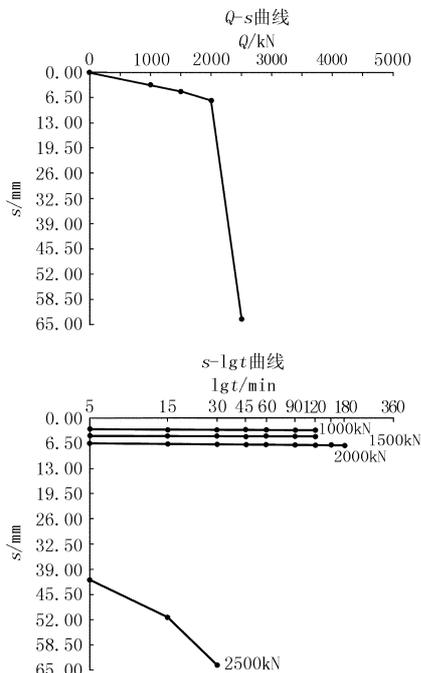


图 1 T1 号管桩荷载 - 沉降关系曲线

形成“吊脚桩”,从而基桩丧失了应有的承载力。经监理单位及施工单位对所有管桩桩顶标高复测,结果发现绝大部分管桩有上浮现象,最大上浮量达 40 cm 之多,证实了桩身上浮的判断。

结合基桩施工情况及场地工程地质条件,分析管桩桩身上浮原因主要基于以下两点。

3.1 挤土效应

预应力管桩施工中会遇到一种称为挤土效应的现象,这是由于沉桩时使桩周的土体结构受到扰动,改变了土体的应力状态而产生的。挤土效应一般表现为浅层土体的隆起和深层土体的横向挤出,对已经施打的桩的一种典型影响表现为:沉桩时,造成邻近已压入的桩产生上浮,桩端被“悬空”^[2],使桩的承载力达不到设计要求。一般情况下,在饱和软土地区施工因防护措施不足,管桩入土时易产生挤土效应从而造成已压入桩的上浮^[3]。

本工程基桩桩侧的土层自上而下依次为黄土、古土壤、黄土、粉质粘土,为较密实、中压缩性土,强度较高。这样的工程地质条件有利于避免因挤土效应造成土体隆起引起桩身上浮。考虑本工程的几个特点:桩顶标高 - 11.58 m,桩基础埋深大;压桩施工速度快;地下水位距有效桩顶标高埋深浅,降水深度有限。

分析认为:

(1) 桩的埋深大,则桩间土的初始竖向有效应力增大,土体受桩挤压时产生水裂现象的孔隙水压

力阈值提高,土体中孔隙水压力会保持较高水平,因此压桩越深土层中保持的孔隙水压力越高,较高的孔隙水压力破坏了桩间土体强度,扩大了孔隙水压力影响的程度及范围。

(2)较快的压桩施工速度使土体几乎没有休止时间,孔隙水压力消散缓慢。

(3)由于压力差作用,孔隙水是向上排出。压桩时,有限的降水深度使桩间土在压桩机的作用下出现“橡皮土”,也造成孔隙水向上排出缓慢,从而降水对孔隙水压力的消散起到的作用不大。

综上所述,桩侧土体强度好、桩埋深大,强力压入的管桩在土体内产生较高的孔隙水压力,破坏土体强度,增强挤土效应,使每根桩周围土体受挤土影响范围、程度扩大;过快的压桩施工速度及有限的降水深度使孔隙水压力消散缓慢;每根桩的挤土影响在桩与桩之间相互叠加,场地内土层孔隙水压力整体上升,明显增强挤土效应,最终造成场地隆起,桩身上浮形成“吊脚桩”。这样,在西安的饱和黄土场地压桩就出现了饱和软土地区的病害。

3.2 桩的回弹

桩身的卸压回弹是本工程形成“吊脚桩”的另一重要原因。

我们知道,在饱和粘性土中沉桩时,桩侧土体受桩的挤压及向下摩擦作用会产生变形和超孔隙水压力,此时桩侧土体变形包含弹性变形和塑性变形两部分,表现为弹塑性变形。压桩完成后,超孔隙水压力和土体变形未能充分消散,桩侧土体卸压,在超孔隙水压力作用下,土体的弹性变形部分恢复,恢复过程中桩身被抬起,产生回弹,桩尖脱离持力层。

此外,压桩速度过快,终压后的复压完成过快,会造成桩身回弹量的增大。经了解,为在春节前完成基桩的施工及质量检测工作,施工单位采用2台静压桩机同时施工,压桩速度快。有时施工班组为赶时间,终压力时稳定压桩时间短,对终压后的复压过程敷衍了事,没有按规范要求认真采取终压连续复压2~3次^[4]的措施。

4 处理措施及效果

4.1 处理措施

既然管桩承载力大幅降低是由于桩身上浮引起的,针对导致桩身上浮的原因,施工方对整个小区的桩基工程进行了处理。

(1)桩间土体的孔隙水压力过高,破坏土体强度,增强挤土效应。因此,促进桩间土体的孔隙水压

力的消散成为必然措施,随着孔隙水压力消散过程,桩间土体中有效应力得到恢复,桩的承载力得到提高。对此,施工单位采取了增加降水井、加大降水力度、设置砂井排水、布设应力释放孔措施。

(2)桩身上浮桩尖脱离持力层(⑦圆砾),桩端阻力无从发挥。为将桩尖重新置于持力层中,对全部基桩采用HD45型柴油锤复打送桩,要求管桩复打贯入量大于桩顶标高复测时确定的上浮量,收锤标准按最后10击贯入度 ≤ 20 mm控制。

4.2 处理效果

在处理完成后,检测单位于2011年4月27日又重新进行单桩静载试验检测。随机抽取的12根试验桩的静载试验结果见表3,单桩极限承载力较之前有大幅提高,可取值5000 kN。比较具有代表性的静载试验 $Q-s$ 曲线、 $s-lgt$ 曲线见图2。

表3 处理后静载试验结果

桩号	距处理后时间/d	最大加载 5000 kN	
		沉降量/mm	回弹量/mm
T1	25	23.49	8.58
T2	26	29.00	17.93
T3	28	24.58	10.59
T4	31	24.88	11.72
T5	32	23.88	16.35
T6	32	27.98	11.96
T7	36	21.87	12.62
T8	38	24.04	17.45
T9	38	35.35	15.23
T10	43	40.51	18.85
T11	44	37.89	16.24
T12	42	36.91	17.23

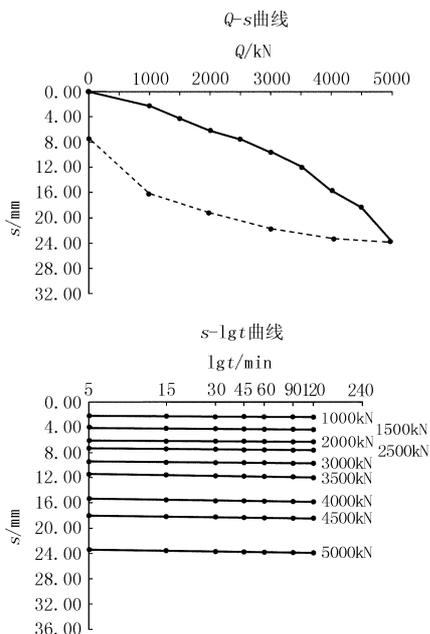


图2 T1号管桩荷载-沉降关系曲线(第二次试验)

由12根试桩的静载试验数据所绘 $Q-s$ 曲线均为缓变型曲线,说明经过处理后,桩周土体固结较充分,桩侧阻力及端阻力较处理前均得到更充分发挥; $s-lgt$ 曲线簇在各级荷载作用下基本平行,未见明显向下弯曲,曲线间距随桩顶作用荷载增大而增大,这说明随着荷载的增加,虽然沉降量进一步增大,但桩端土的承载力也进一步增大,各试验桩累计沉降量 s 介于21.87~40.51 mm之间,总体较大,说明桩端土承载力发挥较为充分。检测结果表明,采取的处理措施合理、有效,达到了预想的处理效果。

5 预防措施

针对西安地区饱和黄土场地静压管桩产生桩身上浮的原因,提出在管桩静压施工中应注意问题及预防措施如下。

(1)实践证明,饱和黄土场地管桩施工必须根据工程地质条件及工程特点认真考虑挤土效应产生的可能性。埋深较浅的地下水及丰沛的供水量、大面积密集布桩的桩基、埋深大的桩基等等都是重点考虑的因素。

对可能发生挤土效应的施工场地,在打桩期间,应计划合理的施工顺序和施工速度,在打桩过程中,同一单体建筑要求先打场地中央的桩,后打周边桩,先打持力层较深的桩,后打持力层较浅的桩,并隔排跳打。结合工程的具体情况严格控制打桩速率,即在实际施工过程中,控制每天的沉桩根数,不可连续打桩,保证土体具有一定的休止时间。

必要时还应采取其它相应的措施,如:先预钻孔再打桩,可有效的降低挤土效应;设置应力释放孔,并确保其有效性;设置塑料排水板或袋装砂井等措施^[5],加强孔隙水的排出,降低超孔隙水压力对土体的不利影响。

(2)对于桩身的卸压回弹,采用开口桩尖可解决在粘性土层中快速沉桩引起桩的卸压回弹问题。由于开口桩尖在沉桩时桩内孔可以进入部分土体,

可减少超孔隙水压力和粘土挤土作用,减低桩身上浮的可能性。

控制沉桩速度并采取多次复压的措施能起到消除粘土层中快速沉桩卸压回弹使桩体上浮的作用。

(3)在沉桩施工过程中应对已施工桩桩顶标高进行监控,发现桩身上浮应停止施工并及时通报监理单位及设计方,采取有效措施进行处理。

6 结语

(1)西安地区饱和黄土场地的工程地质条件,有利于充分发挥PHC管桩的各种工程性能上的优点。但是如果不能在主观上加强施工质量管理,客观上不能针对工程特点及场地工程地质条件采取有效应对措施,同样会出现桩身上浮、形成“吊脚桩”这种工程病害。

(2)西安地区饱和黄土场地出现桩身上浮的主要原因为挤土效应和桩身卸压回弹。

(3)桩身上浮这种质量问题可以通过对桩基施工人员提高质量意识、强化规范施工、杜绝违规操作,加强施工人员专业素质,客观上采取有效应对措施,工程各方人员的共同努力来避免。

(4)在西安地区桩身上浮这种质量问题较为少见,相比南方饱和软土地区,采取何种措施可以更简单、有效的预防和处理这类问题,尚需更多的工程实践,并总结经验。

参考文献:

- [1] 黄英. PHC超高强预应力管桩优点及应用[J]. 福建建筑, 1999, (2).
- [2] 卞立民, 徐海波, 徐建平. 沉桩挤土效应研究综述[J]. 华中科技大学学报(城市科学版), 2002, (3).
- [3] 陈文. 饱和软土中静压桩沉桩机理及挤土效应研究[D]. 江苏南京: 河海大学, 1999.
- [4] JGJ 94-2008, 建筑桩基技术规范[S].
- [5] 杨智良, 胡俊, 戚新秀. 高强度预应力混凝土管桩施工技术探讨[J]. 安徽建筑, 2005, (5).

河北三河煤田页岩气开发前景看好

《中国矿业报》消息(2012-12-27) 河北省地矿局探矿技术研究院日前邀请有关专家就三河煤田页岩气资源的地质勘查与开发利用前景进行了座谈。专家认为,三河煤田中的页岩气与煤层气资源,仍有较大的开发利用前景,该煤田借助页岩气资源能够“起死回生”。

据了解,三河煤田经过数十年的勘探与开采,由于煤层遭到层状岩浆岩的侵入与破坏,已丧失了开采的经济价值。三河煤田是一个走向北西的向斜构造,复合型页岩气资源藏储盆地,其深部有中上元古界含有机碳较高的海相黑色页岩,中部有上古生界石炭二叠系海陆交互相至滨海沼泽相含煤黑色页岩,上部有中生界侏罗系陆相含

煤黑色页岩。该矿区因含煤黑色页岩地层沉积以后,遭受后期构造岩浆活动的破坏,裂隙孔隙发育,从而具有较好的气藏条件;含黑色页岩的向斜构造盆地上部,被厚度不等的新生界地层所覆盖,使页岩气具有较好的藏储条件。

专家们经研讨认为,三河煤田页岩气资源形成的地质条件,为河北省数十个黑色页岩盆地中比较好的一个,可以将页岩气、煤层气资源开发与煤炭地下气化开采结合起来,创立一个页岩气、煤层气资源开发的新模式。当前该煤田需开展的首要任务是进行地质勘查与资源开发方式的调查研究。