

电力技术

崔庄风机管桩上浮原因分析及建议

苏庆郁

中石化江苏油田分公司油气生产服务中心

DOI:10.12238/jpm.v6i8.8316

[摘要] 崔庄风电项目位于江苏省淮安市金湖县，风机基础为预应力高强度混凝土管桩(PHC 桩)加圆形承台基础，在施工中，容易因挤土效应而发生桩体上浮现象。本项目的崔6-8、崔6-16两台风机的基础管桩，出现了集体浮桩，本文进行管桩上浮原因分析，并提出解决措施。

[关键词] 风电项目；风机；基础管桩；桩体上浮；解决措施

Analysis and Recommendations for Pile Sinking in Cui Zhuang Wind Farm Piles By

Su Qingyu

Oil and Gas Production Service Center, Sinopec Jiangsu Oilfield Branch

[Abstract] The Cui Zhuang Wind Power Project, located in Jinhu County, Huai'an City, Jiangsu Province, employs prestressed high-strength concrete (PHC) pipe piles with circular bearing pads as its foundation. During construction, soil displacement effects frequently cause pile uplift. This study investigates the collective floating of foundation piles at Cui 6-8 and Cui 6-16 wind turbines and proposes corresponding solutions.

[Key words] Wind power project; wind turbine; foundation pile; pile uplift; remediation measures

一、概述

崔庄风电项目，位于江苏省淮安市金湖县，计划在崔10-2、崔6-8、崔6-16井场各装一台风机，装机总容量8.5MW，所发电能通过新建10kV线路接入崔庄变电站，实现自发自用，余电不上网。2023年项目已经实施。

根据设计，风机基础为预应力高强度混凝土管桩(PHC 桩)加圆形承台基础，采用直径600mm的PHC桩，设计桩长分别为21m, 23m, 24m，每个基础30根桩。PHC桩，因性价比高、承载力高、施工快、管桩工业化生产等特点，受到青睐，得到了普遍的推广。但是，PHC桩是挤土桩，其在施工中，容易因挤土效应而发生桩体上浮现象。

本项目的崔6-8、崔6-16两台风机的基础管桩，出现了集

体浮桩，在油田风机建设中，出现桩体集体上浮现象还是第一次。

二、地质及施工情况

1、地层情况

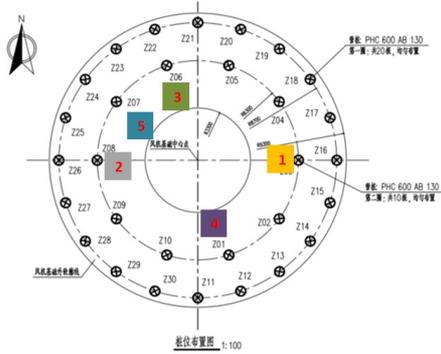
根据淮安市建筑工程质量检测中心有限公司、淮安市建筑科学研究院有限公司，两家淮安市的专业机构发布，苏北地区的桩基工程，出现了大量的浮桩现象，涵盖淮安、宿迁、盐城等多地，包括单体建筑、小区、商场等。本工程场地属里下河浅洼平原区，为浅洼平原地貌单元，地下水位较高，饱和土较多，且多为黏土饱和土地层。

黏土地层具有含砂粒少、有黏性、透水性弱、具有较好可塑性等特点，对于管桩浮桩的影响主要是透水性弱、较好可塑

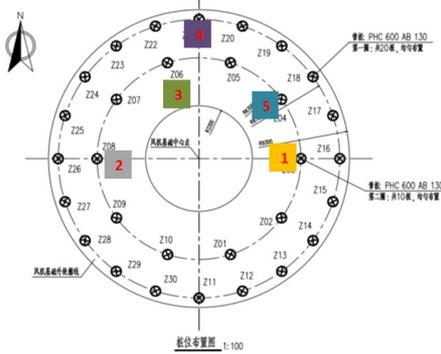
性两个特点的叠加。

因透水性弱，当土层受到外部压力时，土层中的水无法外渗排出，造成超孔隙水压力，因为具有较好的可塑性，在超孔隙水压力的作用下，土层发生整体的变形和位移。工程地质柱状图，地下水稳定水位最深0.6米，桩顶至桩端在粉质黏土层中。

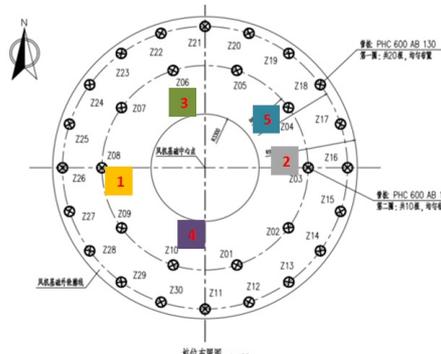
2、打桩施工情况



(崔 10-2)



(崔 6-16)



(崔 6-8)

根据设计文件，三台风机都是采用预应力高强度混凝土管桩(PHC)，都是按照30根桩布置，内圈10跟，外圈20根。在设计图纸要求中，打桩时应合理安排打桩顺序，宜先深后浅，宜先大后小，宜先长后短，宜先内后外，应控制打桩速率和日

打桩量，避免打桩速度过快，24小时内休止时间不应小于8小时，符合《建筑桩基技术规范》中相关要求。锤桩开始时间5.23，结束时间5.26，跨时4天。出现浮桩9cm左右。

结论：先长后短，先内后外，跳打24小时内休止时间不应小于8小时。锤桩过程，符合设计要求的先深后浅、先长后短、先内圈后外圈的打桩顺序，且同圈进桩时也执行了跳打(隔一个打一个)，停锤条件也满足：实际桩顶标高与设计桩顶标高的相差在0.5米以内、最后三阵的平均贯入度<2CM/10击的设计要求。现场锤桩施工符合设计要求。

三、管桩上浮原因分析

1、所选桩型特性

锤桩过程，符合设计要求的先深后浅、先长后短、先内圈后外圈的打桩顺序，且同圈进桩时也执行了跳打(隔一个打一个)，停锤条件也满足：实际桩顶标高与设计桩顶标高的相差在0.5米以内、最后三阵的平均贯入度<2CM/10击的设计要求。现场锤桩施工符合设计要求。

2、浮桩原因分析

浮桩现象主要原因是挤土效应，主要表现为浅层土体隆起，深层土体横向挤出。在地下水位较高的黏土地层，土层渗透性低，土体颗粒间的孔隙水不能及时消散，产生超孔隙水压力，使土体产生水平方向的侧移和垂直方向的隆起，使桩体与桩周土体之间产生向上的相对位移，造成浮桩。

湖南工业大学杨庆光的实验表明，土体的侧向位移，能引起纵向位移，且土体的侧向位移，能引起桩身的倾斜，土体的侧向位移能引起桩身的上浮和倾斜。

影响桩的上浮因素：

①地层特性：地层影响浮桩的主要因素为土体的致密性及含水率。土体颗粒越大，土体的致密性就会越差，渗透性就越好，不容易产生超孔隙水压力，浮桩的概率就小。土体颗粒越细，致密性越好，渗透性越差，容易产生超孔隙水压力，容易浮桩。土层中含水率越高，越容易产生超孔隙水压力，容易浮桩。饱和黏土地层就是致密的高含水地层，容易出现浮桩。

影响桩的上浮因素：

①地层特性：地层影响浮桩的主要因素为土体的致密性及含水率。土体颗粒越大，土体的致密性就会越差，渗透性就越好，不容易产生超孔隙水压力，浮桩的概率就小。土体颗粒越细，致密性越好，渗透性越差，容易产生超孔隙水压力，容易浮桩。土层中含水率越高，越容易产生超孔隙水压力，容易浮

桩。饱和黏土地层就是致密的高含水地层, 容易出现浮桩。

③布桩密度: 布桩密度越大, 上浮可能性越大。在沉桩过程中, 管桩体积占用了土地原有空间, 管桩不断被压入地层中, 逐渐增加土体挤压力, 使得与桩体等体积的土体, 发生压缩以及蠕变; 同时向桩底以及桩周挤出, 使得土体产生水平位移。下部土层较硬限制了土体水平位移, 而浅层土上覆压力较小, 挤压应力会从地表释放, 表现特征为地面隆起, 造成浮桩。《建筑桩基技术规范》中规定了, 不同的土体、不同的布桩数量要求。

3、崔庄风场

(1) 打桩速率

崔 10-2: 跨时 17 天, 最大日进桩量: 6 桩, 24 小时内休止时间大于 8 小时, 浮桩值: 0。

崔 6-8: 跨时 5 天, 最大日进桩量: 9 桩, 24 小时内休止时间大于 8 小时, 浮桩值: 约 10cm。

崔 6-16: 跨时 4 天, 最大日进桩量: 9 桩, 24 小时内休止时间大于 8 小时, 浮桩值: 约 10cm。

(2) 布桩密度

本工程的布桩密度, 以外圈桩中心点作为半径, 以桩身高度作为高度, 所形成的圆柱体体积中, 桩身体积占总体积约 10%。

从崔 10-2 井的地勘资料看, 该地层为饱和性黏土地层, 根据《建筑桩基技术规范》中关于桩基的最小中心距规定, 最小距离为 4.0d。从设计图纸看, 内外圈桩的中心距差 240cm, 为 4 倍的桩径, 执行了最低值。

(3) 认识

打桩速率: 日进桩最大 9 跟(规范没有明确), 24 小时休止 8 小时(符合规范要求), 布桩密度: 土体最高含水趋于饱和(只 2 个层低于 95%) 桩排大于 3 排、大于 9 根, 间距 4d(最低标准。认识: 锤桩达设计要求, 日进桩量规范中没有, 可适当减少日进桩量。按非饱和土出的设计, 桩间距执行了 4d 的最低标准, 建议执行饱和土指标, 桩间距执行 4.5d。

4、桩体上浮的危害

①土体产生的水平位移(侧移), 会对桩身产生横向的剪切力, 容易造成桩体倾斜、桩体破坏等。随着侧移深度的增大, 桩身中下部出现拉力, 出现负摩阻力, 使桩身受拉, 导致接头断脱或者桩身断裂, 使侧摩擦阻力下降。②造成承载力下降。对于摩擦端承桩而言, 有实验表明, 如果在浮桩时桩身倾斜,

桩体的承载力将急剧下降。③容易造成桩端空虚, 失去桩端的承载力, 进一步降低桩体承载力。④造成工程费用的增加。桩体上浮之后, 一般会采取检测、试验甚至会采取补救措施, 使其最终满足设计要求, 这就会增加工程的投入。⑤造成工期拖延。工期的拖延, 相应的也会增加工程的时间成本。

四、目前国内解决方案

1、预防措施

- 1) 合理安排施工顺序, 宜采用自中间向两侧进行沉桩;
- 2) 在施工现场及周围布设部分应变、应力释放孔;
- 3) 预钻孔沉桩。钻孔孔径宜较桩径适当减小, 深度为桩长的 1/3~1/2;
- 4) 采取跳打施工工艺, 减小打桩速度;
- 5) 在沉桩前一段时间设置袋装砂井或塑料排水板, 以消除或减少孔隙水压力同时可以加快固结沉降;
- 6) 控制桩布置密度、间距及桩布置的形态。

2、补救措施

- 1) 做相应的测试, 根据测试结果采取补救方案
 - 2) 如果出现了小斜度斜桩, 采取浇筑混凝土填芯, 后做桩头扩大头;
 - 3) 对于斜度较大, 先填芯, 再矫正, 最后压力注浆, 对浮桩进行桩底(侧)注浆;
 - 4) 复打或复压, 先选取少量上浮桩进行试打或试压, 达到预期效果后再对浮桩进行复打或复压;
 - 5) 对于断桩, 经过小应变判定, 断桩深度不大的情况下, 在垫层施工完成后, 采用人孔挖孔接桩的方法进行处理。
- 本工程, 采取了管芯钢筋笼多加钢筋、加大钢筋的做法。

五、采取措施建议

1、控制锤桩速度, 适当减少日进桩量。本工程最高的一天打了 9 根桩, 因设计没有明确日锤桩量, 是否与浮桩有关有待深入研究。

2、苏北地区的浮桩现象较多, 如果该地区还有机位施工, 建议先布设释放管, 即在桩与桩之间, 打桩之前先压入侧面开了孔的钢管, 以释放孔隙水, 减少超孔隙水压力的影响。

3、使用带孔管桩替代。根据南昌航空大学的相关研究, 带孔管桩施工时, 地层中的孔隙水能渗流进桩芯, 能较为及时的消除孔隙水压力, 能有效的解决超孔隙水压力的问题, 在高含水黏土区域优势比较明显, 可以考虑应用。