

基于济南先行区工程静压桩的施工分析

宋军龙¹ 刘晶晶²

1.山东建筑大学设计集团有限公司；2.山东大卫国际建筑设计有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i7.8196

[摘要] 针对济南先行区工程的PHC AB型预应力管桩静压桩抱桩施工过程中存在基桩不能满足设计要求有效桩长的问题进行原因分析；通过对勘察报告参数、各工程桩入土深度统计、压桩力等分析表明工程中影响桩入土深度的原因主要是压桩力不足，并借鉴行业经验提出可靠的措施保证基桩的有效桩长。PHC管桩在海、河、湖泊等软土地区应用十分广泛，具有承载力高、施工质量容易控制、施工周期短、造价低等特点^[1]。桩基施工过程中场区土层分布连续起伏、夹层、土层参数、地下水位、桩间距、沉桩速率、桩尖选择等等因素都对桩基施工产生不同的影响，进而影响桩的入土深度，故应根据试桩、工程桩施工过程的实际情况，采取相应的措施，保证桩的有效长度和入持力层深度的要求。

[关键词] PHC AB型预应力管桩；静压桩；抱桩；压桩力；有效桩长；入土长度

Based on the construction analysis of static pile in Jinan pilot area project

Song Junlong¹ Liu Jingjing²

1.Shandong Jianzhu University Design Group Co., LTD.;

2.Shandong David International Architectural Design Co., LTD.

[Abstract] This article analyzes the reasons for the problem that the foundation piles cannot meet the effective pile length requirements of the design during the static pressure pile holding process of PHC AB prestressed pipe piles in the Jinan Pilot Zone project; Through the analysis of survey report parameters, statistics on the depth of each engineering pile entering the soil, and pile driving force, it is shown that the main reason affecting the depth of pile entering the soil in the project is insufficient pile driving force. Reliable measures are proposed based on industry experience to ensure the effective pile length of the foundation pile. PHC pipe piles are widely used in soft soil areas such as seas, rivers, and lakes, and have the characteristics of high bearing capacity, easy control of construction quality, short construction period, and low cost. During the pile foundation construction process, factors such as continuous undulations in the field soil layer distribution, interlayers, soil layer parameters, groundwater level, pile spacing, pile sinking rate, and pile tip selection all have different impacts on the pile foundation construction, which in turn affects the depth of the pile into the soil. Therefore, corresponding measures should be taken according to the actual situation of the test pile and engineering pile construction process to ensure the effective length and depth of the pile into the bearing layer.

[Key words] PHC AB type prestressed pipe pile; Static pressure pile; Pile holding; Pile driving force; Effective pile length; Depth into soil

一、工程地质条件

济南先行区地处黄河冲积平原，地貌单元呈现平坦开阔的特征，为区域工程建设提供了良好的地质基底条件。在地质勘

探过程中，钻孔作业揭示出场区内地下水系的显著存在特征。该区域地下水赋存于第四纪松散沉积物的孔隙之中，其补给来源具有双重性：一方面依托大气降水垂直入渗，另一方面接受

地下径流的侧向补给;而排泄途径则主要表现为蒸发作用和地下径流的自然疏导。水文监测数据显示,场区地下水位埋藏深度介于地坪下 1.80~4.90 米区间,绝对高程值分布于 18.52~19.92 米之间。值得注意的是受季风气候影响地下水位存在年际动态变化,年变幅达 1.0~3.0 米。通过对比分析近 3~5 年的水文地质资料,发现该场地历史最高地下水位曾达到 21.00 米标高,这一数据为工程抗浮设计和防渗措施制定提供了重要的水文基准参数。

根据试验综合分析表明,拟建场区岩土层可分为 11 个主层,6 个亚层;分析方式主要包括野外钻探、原位测试、室内土工试验。现自上而下分述如下:

①层素填土。稍湿的黄褐色松散土,填土中主要包含粉土、黏性土、少量建筑垃圾、植物根系。依据堪查及调研结果表明该层填土为无规律堆积而成,密实度及均匀性较差,堆积年限 1~3 年。场区普遍分布,厚度:0.30~3.00m,平均 1.32m;厚度变化大,分布不连续,具高压缩性,力学性质差;建议全部挖除。

①-1 层杂填土。杂色,松散,稍湿,以建筑垃圾、碎砖块为主,混少量黏性土。据调查,该层填土为无规律堆积而成,密实度及均匀性较差,堆积年限 1~3 年。该层钻孔揭露,厚度:0.50~2.70m,平均 1.45m;厚度变化大,分布不连续,具高压缩性,力学性质差;建议全部挖除。

②层粉土。稍密实的湿土体,目力鉴定土体的摇震后反应溅水迅速,目测切面粗糙;其土层中云母碎片、氧化铁条纹含量低且局部存在粉质黏土的薄层。该土层于场区内连续不均匀分布,其分布的厚度为 0.80m 到 6.60m;该土层为中等压缩性的土,其力学性质一般。

②-1 层粉质黏土。软塑至可塑的土体,目力鉴定土体的摇震后没有反应,目测切面稍有光滑;其土层局部存在粉土薄层。该土层于场区内连续不均匀分布,其分布的厚度为 0.50m 到 4.40m,该土层为中等压缩性的土,力学性质一般;

③层粉质黏土。可塑且局部软塑的土体,目力鉴定摇振后没有反应,目测切面稍光滑;其土层局部存在黏土薄层,含铁锰质氧化物少量。该土层内连续不均匀分布,其分布厚度为 1.30m 到 6.50m;该土层为属中等高压缩性的土,力学性质一般。

③-1 层粉土。密实度为稍密~中密的湿土体,目力鉴定摇振后反应迅速,干强度和韧性为低,切面目测粗糙;其土层局部存在粉质黏土薄层。该土层于场区内连续不均匀分布,其分布厚度为 0.80m 到 5.00m;该土层压缩性为中等,力学性质一般。

④层粉土。密实度为中密的湿土体,目力鉴定摇振后反应迅速,目测切面粗糙;其土层局部存在粉砂趋势的相变,含氧化铁条纹及云母碎片少量。该土层于场区内连续不均匀分布,其分布厚度为 0.50m 到 3.20m。该土层的压缩性为中等,力学强度一般。

⑤层黏土。可塑的土体,目力鉴定摇振后无反应,目测切

面粗糙,其土层夹杂粉粒、粉质粘土。该土层于场区内连续不均匀分布,其分布厚度为 0.50m 到 3.50m;该土层的压缩性为中等,力学性质一般。

⑤-1 层粉土。密实度为中密~密实的湿土体,目力鉴定摇振后的反应迅速,切面目测粗糙,其土层存在云母碎片。该土层于场区内连续不均匀分布,其分布厚度为 0.50m 到 1.50m;该土层的压缩性为中等,力学强度一般。

⑥层粉质黏土。可塑的土体,目力鉴定摇振后没有反应,目测切面粗糙;该土层场区内连续不均匀分布,其分布的厚度为 0.70m 到 2.80m;该土层的压缩性为中等,力学性质一般。

⑦层粉质黏土。可塑的土体,目力鉴定摇振后没有反应,目测切面粗糙;其土层中含少量有机质,白色螺壳碎片,具轻微腥臭味、铁锰质氧化物少量,区域混少量小径姜石(粒径为 0.5cm 到 1.0cm),局部有粉土薄层。该土层场区内连续不均匀分布,其分布厚度为 1.20m 到 5.20m;该土层的压缩性为中等,力学性质一般。

⑦-1 层粉土。密实的湿土体,目力鉴定摇振后反应迅速,目测切面粗糙,其土层区域存在粉质黏土薄层,含少量氧化铁条纹及云母碎片。该土层场区内连续不均匀分布,其分布的厚度为 0.70m 到 2.60m;该土层的压缩性为中等,力学性质一般。

⑧-1 层粉砂。密实度为中密至密实的饱和土体,该土层局部区域存在细砂,颗粒的级配性差,具有较好的分选性、磨圆度。该土层场区内连续不均匀分布,其分布的厚度为 1.20m 到 4.40m;该土层的压缩性为中等,力学强度较好,可作为拟建建筑物的桩端持力层。

⑧层细砂。密实的饱和土体,该土层局部含有中砂,颗粒的级配性差,具有较好的分选性、磨圆度。该土层场区内连续不均匀分布,其分布的厚度为 3.70m 到 7.10m;该层土为低压缩性土,力学强度较好,可作为拟建建筑物的桩端持力层。

⑨层中砂。密实褐黄色~黄褐色的饱和土体,该土层局部区域相变为细砂,分选性较好,颗粒的级配性差。该土层场区内连续不均匀分布,分布的厚度为 2.90m 到 6.00m;本层属中等低压缩性的土,力学强度较好,可作为建筑物基桩的持力层。

⑩层粉质黏土。硬塑部分可塑的土体,目力鉴定摇振后无摇振后没有反应:目测切面稍光滑,该土层含姜石少量。该土层土层内连续不均匀分布,分布的厚度为 1.20m 到 11.80m。本层属中压缩性土,力学性质较好,可作为拟建建筑物的桩端下卧层。

⑪层粉质黏土。硬塑的土体,目力鉴定摇振后没有反应,目测切面稍光滑,该土层含少量姜石。该土层土层内连续不均匀分布,该层未穿透,最大的揭露厚度为 5.40m。该土层的压缩性为中等,力学性质较好,可作为拟建建筑物的桩端下卧层。

二、压桩机理及桩有效长度不足分析

本工程采用地上四层钢结构框架体系,依据结构受力特性与荷载分布规律,基础方案选用桩基承台形式。桩基设计遵循 4d 间距原则(d 为桩径)有效桩长控制在 18.5~22 米区间,桩

尖构造采用十字型闭口钢制形式,以⑧-1层粉砂作为桩端持力层单桩竖向承载力特征值 $R_a=1000\text{KN}$,配套桩基机械总荷载达680吨。依据土工动力学理论,地基振动阻尼机制由材料阻尼与逸散阻尼耦合构成。前者源于土颗粒间摩擦及孔隙流体的粘滞效应,后者则通过表面波与体波(含剪切波、压缩波)形式实现振动能量扩散。三轴试验揭示土体变形特性:密砂或强超固结黏土在剪切过程中呈现初始压密-剪胀变形两阶段特征,而松散土体则表现为剪缩行为。静压沉桩过程涉及复杂的土-桩相互作用机制。压桩力作为动态阻力,实质反映了桩周及桩端土体的动态支承性能。基于球形孔扩张理论解析沉桩效应,桩体贯入引发桩周土体的扰动重塑,具体表现为:粘性土在超孔隙水压力作用下发生剪缩,粉土及砂土则呈现剪胀效应,上述变形导致桩侧摩阻力衰减,形成有利于桩体贯入的暂态效应。随着休止期固结发展,土体触变性逐步恢复,最终单桩承载力可达成设计与检测指标要求。

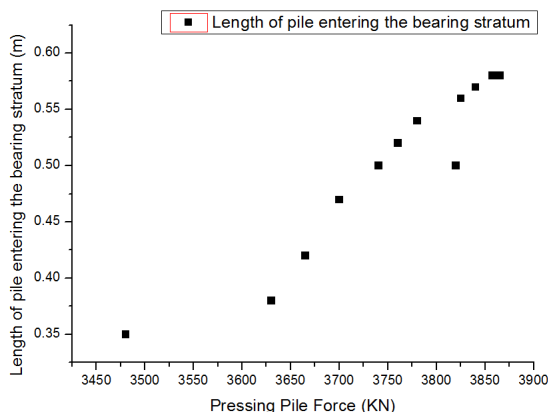


图1 压桩力与桩入持力层深度关系统计图

统计分析显示,本工程134根静压桩的入土深度呈现20.35~24m的分布区间,施工沉桩压力值域为3419KN至3880KN,具体分布特征参见图1所示。在桩端嵌入持力层深度控制方面,统计结果显示实际入层深度介于0.35~0.60m之间,该数值以每10根桩为单元取均值后呈现如图1所示。值得注意的是规范规定砂土持力层最小嵌入深度不应小于1.5倍桩径^[5],本工程部分桩体未完全满足该要求。结合工程地质剖面分析,由于场地土层呈现连续但不均匀的空间分布特征导致压桩力与入土深度之间未形成严格对应关系,但总体趋势上仍呈现正相关关联特性。这种统计规律反映了土层力学性质的复杂变异性对沉桩参数的显著影响,需在后续承载力核算与沉降控制中予以重点关注。

沉桩过程中桩有效长度不足现象的多维度成因分析如下:从桩间距设计维度考量,本工程依据规范对饱和黏性土及密实土层的特殊要求,已采用4.0d(d为桩径)的增大间距设计,该数值经理论验证可基本消除挤土效应对沉桩效率的影响。其次在桩尖构造选型方面,针对场地内坚硬薄夹层及中密砂土层的特性,选用闭口十字型桩尖,该形式能有效提升桩端刺入能力。在压桩阻力分析层面,存在桩身材料与土层

的双重约束。依据图集L21G404第27页参数,桩身允许最大压桩力达4286KN,约为单桩极限承载力的2.14倍,表明桩身具备充足抗压储备。而根据静压施工规范公式

$$R_r = 6.25U_p \sum \frac{\alpha_i \cdot N_{si} \cdot l_i}{S_{ii}} + 312.5\beta \cdot N A_p$$

估算,土层理论压桩

需求值为3300KN,相当于极限承载力的1.65倍,显示实际采用的压桩力存在安全冗余。综合研判,施工单位的保守操作策略是导致有效桩长不足的主因。为避免压桩机超载风险,施工单位刻意降低了压桩力施加水平,使得桩体未能充分克服土层阻力达到设计深度。这种风险规避行为虽保障了设备安全,却牺牲了桩基的设计效能,需在后续施工中通过动态监测与优化参数调整实现平衡。

三、建议采取措施

桩身质量控制方面,需严格保证混凝土强度形成所需的养护周期。采用蒸压养护工艺时,以出釜后1天作为PHC AB型管桩的养护基准;其他工艺条件下,应满足28天标准养护要求。试桩环节应强化动态监测,重点建立每节桩体、送桩压力与贯入深度的对应关系,为后续规模化施工提供参数支持。针对特殊地质条件需采取差异化沉桩策略。当穿越压缩模量 $E_s \geq 10\text{MPa}$ 的硬黏土或标贯值 $N \geq 15$ 的密实砂层时,建议辅以引孔工艺或配备液压振动装置,通过预钻孔或高频振动降低沉桩阻力。采用抱压式桩机作业时,夹具定位须避开桩身合缝处,防止结构损伤。

施工参数控制方面,应建立双控指标体系:严格监控管桩倾斜率与沉桩速率确保符合规范要求,当达到设计终压力值后稳压时间不宜超过3分钟,稳压期间若油压异常攀升需立即终止加压。需特别指出的是,终压力与单桩极限承载力存在本质区别,后者需经历超孔隙水压力消散、土体固结强度恢复等过程,反映土体对桩体的“静止”支承能力。根据统计规律,建议压桩设备选型时预留1.65~2.14倍的安全系数,以适配20~24m的桩长范围。

[参考文献]

- [1]杨绪军.PHC管桩辅助沉桩措施与工艺[J].武汉大学学报(工学版),2013,46(S1):274-276.
- [2]张克恭,刘玉松主编.土力学[M].中国建筑工业出版社2001.6
- [3]史佩栋.桩基工程手册.[M].人民交通出版社.2015.7
- [4]邱成添.典型地质条件下静压管桩的工程特性研究[D].广东工业大学,2006.
- [5]建筑桩基设计规范
- [6]郭杨 杨成斌 预应力混凝土管桩应用新技术[M].中国建筑工业出版社,2016.

作者简介:宋军龙(1987—),男,汉族,籍贯山东省莱阳市,研究生,中级工程师,结构工程。