



深厚黏土层中超长钢管桩工程性状分析

赵敬考¹, 冯光华², 张华章³, 卢任贵²

(1. 渤海石油航务建筑工程有限责任公司, 天津 300452; 2. 中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230; 3. 中交第四航务工程局有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 通过对海南洋浦深厚沉积层中70~76 m的超长钢管桩试桩和沉桩过程高应变动测, 探讨了深厚沉积层中超长钢管桩工程性状, 得出如下结论: 1) 深厚黏土层中超长钢管桩呈现典型的摩擦桩性状, 侧阻力占的比例超过80%; 2) 黏土层中钢管桩的端阻力能完全发挥, 其桩端承载力闭塞系数达到0.83; 3) 深厚黏土层超长钢管桩沉桩柴油锤锤击能量传递系数略低, 约为0.3。深厚黏土层中超长钢管桩的工程性状揭示对设计、施工和研究工作具有参考作用。

关键词: 深厚黏土; 超长钢管桩; 工程特性

中图分类号: U 655.54⁴.1

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2013)09-0129-03

On behavior of super-long steel tube piles in deep clay area

ZHAO Jing-kao¹, FENG Guang-hua², ZHANG Hua-zhang³, LU Ren-gui²

(1. Bohai Oil Harbor Engineering Construction Co., Ltd., Tianjin 300452, China; 2. CCCC Sihan Engineering Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China; 3. CCCC Forth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: Based on the PDA test on the 70 ~ 76 m long steel tube piles driven into Yangpu harbor of Hainan province, we probe into the behavior of the super-long steel tube pile in deep clay and draw conclusions as follows: 1) The super-long steel tube pile in deep clay area behaviors like the friction pile, and the friction resistance is over 80% of the ultimate bearing capacity; 2) The tip resistance of super-long steel tube pile in deep clay the can be fully functional, and the plugged effect of the pile tip is about 0.83; 3) The energy transfer coefficient of super-long steel tube pile in deep clay is about 0.30. Furthermore, the behavior of super-long steel tube piles is discussed with respect to their contribution to the bearing capacity in deep clay area.

Key words: deep clay; super-long steel tube pile; engineering characteristics

随着海洋工程的发展, 基桩向着大直径和超长桩长方向发展, 其中钢管桩具有施工便捷、耐久性好、承载力高等特点^[1]。而超长钢管桩, 特别是深厚黏土地基中钢管桩的工程性状是一个值得深入研究的课题。

1 工程概况

本工程位于洋浦港神头港区, 为化工品接卸码头, 码头平台长度为323 m, 宽23 m, 采用现浇

钢筋混凝土高桩墩台结构码头。墩台基桩均采用钢管桩, 桩径为800 mm, 壁厚为20 mm, 共364根。

试验桩桩长为70~76 m, 材质为Q390, 桩锤为D100柴油锤二档施打, 终锤贯入度取最后3阵, 每阵10击, 平均贯入度不大于5 mm/击。沉桩区域以深厚黏土层为主, 夹杂砂层。由于夹砂层较硬, 会导致桩身沉桩应力较大, 持力层为标贯12击的黏土层, 土层分布情况见表1。根据设计要求, 试桩入土深度为46.08~47.71 m, 复打承载力

收稿日期: 2013-03-02

作者简介: 赵敬考(1980—), 男, 工程师, 主要从事水运工程、海洋工程施工管理工作。

要求为7 700 kN。

表1 土层分布情况

土层名称	土层描述	本层深度/m	标贯击数
淤泥	浅灰黄色, 饱和, 很软	4.5	0
粉细砂	灰绿色, 饱和, 中密	2.2	18
砂混淤泥	灰色, 饱和, 松散	2.5	5
细砂	浅灰色, 饱和, 中密	1.5	6
粗砾砂	褐黄色, 饱和, 中密	0.5	16
黏土	灰色, 湿, 黏性较大	2.0	7
粉质黏土	浅灰绿色为主, 稍湿。坚硬-硬	2.7	13
黏土	灰色, 湿, 硬	13.0	7
黏性土混砂	灰色, 稍湿, 坚硬	1.4	15
粗砾砂	灰色, 饱和, 密实	1.8	33
粉质黏土	浅灰绿色, 稍湿, 硬	0.7	12
黏土	灰色, 湿, 硬	9.8	12

2 试验概况

因本码头施工区域以往工程项目较少, 对于

该区域深厚黏土层中钢管桩沉桩特性历史数据较少, 为详细了解钢管桩在柴油锤作用下的单桩轴向承载力、土的阻力分布、打桩应力、瞬间沉降特征、闭塞系数和承载力恢复系数等参数, 同时为工程桩提供参考, 因此设计要求试桩3根。试验桩桩位见图1。

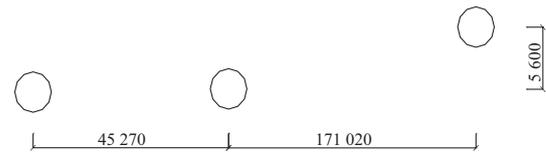


图1 试桩桩位示意(单位: mm)

3 试验结果分析

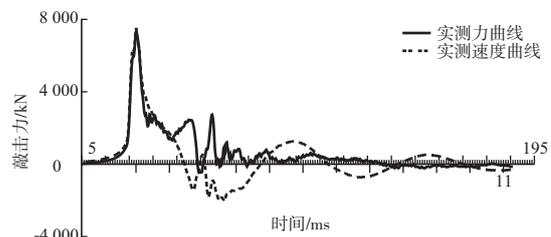
考虑到试桩区域为深厚黏土层。初打和复打间隔7 d^[2]。要求复打动测贯入度均小于1 mm/击。3根桩初打和复打沉桩参数见表2。

表2 高应变动力测试主要参数

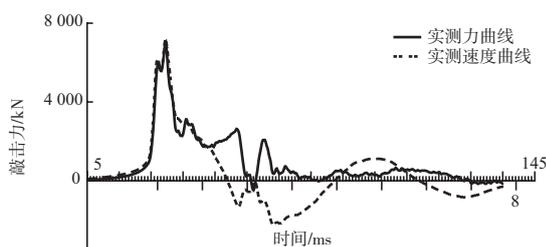
桩号	桩长/m	入土深度/m	试验重锤参数		测点处实测参数			动测贯入度/(mm·击 ⁻¹)	备注
			锤质量/t	施打档位	最大冲击力/kN	最大桩顶速度/(m·s ⁻¹)	最大加速度/(m·s ⁻¹)		
1#	76	46.08	10	II	7 651	2.50	123	5.0	初打
		47.27	10	II	8 022	2.64	104	0.7	复打
2#	71	47.71	10	II	7 841	2.80	134	6.8	初打
		48.38	10	II	7 754	2.79	115	1.0	复打
3#	70	47.71	10	II	5 954	2.45	117	6.1	初打
		48.19	10	II	7 063	2.21	102	0.8	复打

3.1 高应变测试力和速度曲线

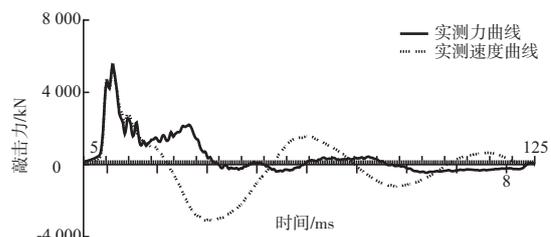
本分析采用capwap分析软件对高应变数据进行拟合, 得到曲线拟合法高应变测试结果。根据桩位附近钻孔资料, 各土层的阻力参数拟合分析曲线和现场测试曲线吻合, 3根试验桩的实测曲线参数见图2。由图可知, 1#和2#试验桩的桩尖持力层较软, 3#试验桩进入了硬层。



b) 2#桩



a) 1#桩



c) 3#桩

图2 初打高应变测试曲线

3.2 试验桩动位移分析

高应变采用桩锤击打桩顶,桩身产生和静载同一级别的位移值,使动态土阻力充分发挥,以检测单桩承载力极限值。动位移大小直接关系到桩侧土和桩端土极限阻力的发挥。深厚黏土层中,会出现动位移较大的情况,特别是对于超长钢管桩,其位移值是沉桩质量的表征。而对于停歇一段时间后的黏土层,由于土层的黏结力恢复,其高应变监测的动位移值会比初打时候少很多。由表3可知,初打和复打最大动位移值均超过20 mm,桩周土和桩端土阻力值能充分发挥,高应变检测承载力更接近极限承载力。

表3 试桩初复打最大动位移 mm

桩号	初打最大动位移	复打最大动位移
1 [#]	43.95	25.34
2 [#]	39.13	21.03
3 [#]	26.41	23.55
平均	36.50	23.31

3.3 深厚黏土层中超长钢管桩闭塞系数和承载力恢复系数分析

黏土地质条件下,动力沉桩过程中,由于锤击能量以及桩的扩孔作用,土体中产生较高的孔隙水压力,使得土体有效强度降低,桩周一定范围内的土体会发生不同程度的扰动和重塑,使得打桩过程中的动态土阻力远小于土静摩阻力。

在一定的桩重以及锤击能量条件下,黏性土层所能提供的侧摩阻力较低,使得桩身贯入深骤大,远大于正常施工条件下可以控制的贯入度,导致实际检测值与设计桩阻力估计值相差甚远。经过一段时间后,黏土层的孔隙水压力逐渐消散,土体逐渐固结压密,同时土的结构强度也逐渐恢复,抗剪强度提高,甚至超过原状土强度,桩的承载力也不断增强^[3-6]。

该码头桩端持力层为黏土层,根据地质勘察报告,其侧阻力和端阻力推荐值为65 kPa和3 500 kPa。计算得到闭塞系数平均值为0.83,承载力恢复系数为1.17。由于钢管桩桩径为800 mm,闭塞效应较为明显,具体估测数据见表4。

表4 试验桩闭塞系数和承载力恢复系数统计

项	闭塞系数	承载力恢复系数
1 [#]	0.69	1.21
2 [#]	0.86	1.14
3 [#]	0.93	1.15
平均	0.83	1.17

由于钢管桩的桩长较大,入土较深,且钢管桩桩径较小,在深厚黏土地区其闭塞系数较大,所以设计时候应该注意端承力的控制。

初打和复打均采用D100柴油锤二档施打。侧阻力比例均值为82.4%,端阻力比例均值为17.6%,测试参数结果见表5。

表5 3根试桩初复打测试结果

桩号	动测承载力/ kN	摩阻力/ kN	侧阻力比例/ %	端承载力/ kN	端阻力比例/ %	拟合分析桩顶 最大位移/mm	最大检测能量/ (kN·m)	能量传递 系数
1 [#]	6 651.2	5 626.2	84.6	1 025.0	15.4	41.0	89.5	0.27
1 [#] 复打	8 037.4	6 827.7	84.9	1 209.7	15.1	46.0	96.2	0.29
2 [#]	7 110.4	5 814.1	81.8	1 296.4	18.2	44.4	101.3	0.30
2 [#] 复打	8 074.9	6 556.4	81.2	1 518.5	18.8	43.1	115.4	0.34
3 [#]	7 079.1	5 790.6	81.8	1 288.5	18.2	45.2	100.5	0.30
3 [#] 复打	8 135.3	6 492.4	79.8	1 642.9	20.2	48.9	110.4	0.33
平均值			82.4		17.6	44.8	102.2	0.31

由表5可知,超长钢管桩的承载力特性呈现典型的摩擦桩特点,侧阻力均值在80%以上,但考虑到黏土较为深厚,能量较小,因此能量传递效率约为30%左右。

4 结论

1) 深厚黏土层中,因土性较软,钢管桩的入土深度较大,超长钢管桩呈现典型的摩擦桩性状,侧阻力占的比例超过80%,端阻力较小。