



湛江深厚老黏土地区钢管桩沉桩规律

陈章宇¹, 冯光华¹, 丁树清²

(1. 中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230; 2. 中交四航局第一工程有限公司, 广东 广州 510310)

摘要: 对湛江老黏土地基5个工程钢管桩施工进行总结, 得出以下结论: 老黏土地区持力层宜选择50击的中粗砂层或者40击以上黏土层, 此时基桩承载力恢复系数为1.26~1.40, 比一般黏性土高; 打桩锤宜选择D128、D138柴油锤, 二档档位终锤贯入度宜为2~5 mm/击, 三档档位终锤贯入度为6~10 mm/击, 能量传递系数为28.5%~47.6%; 当持力层和桩锤符合上述情况时, 直径在1 000~1 400 mm的钢管桩总锤击数小于2 500的占统计83.8%, 打桩效率最高。

关键词: 老黏土; 钢管桩; 沉桩规律; 控制标准

中图分类号: U 655.55⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)03-0183-06

Regularity of pile-sinking construction for steel tube piles in Zhanjiang deep old deposited soil

CHEN Zhang-yu¹, FENG Guang-hua¹, DING Shu-qing²

(1. CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2. The First Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510310, China)

Abstract: Based on summarizing sinking construction for steel tube piles in deep old deposited soil of 5 projects, conclusions are as follows. The bearing stratum of steel tube pile in deep old deposited soil should be medium coarse sand of 50-blow count SPT or deep old deposited soil of 40-blow count SPT. The coefficient of restitution for pile capacity is 1.26~1.40 and higher than other caly soil. Diesel hammer of D128 or D138 should be chosen for pile driving equipment. The final set should be 2~5 mm/blow for second gear and 6~10 mm/blow for third gear. Energy transfer coefficient for steel tube piles in deep old deposited soil is 28.5%~47.6%. The total number of blows less than 2 500 is 83.8% of the statistics steel tube piles with diameter 1 000~1 400 mm and pile driving efficiency is highest when the bearing stratum and final set is as above-mentioned. Furthermore, the control standard of pile-sinking construction soil can give instruction to theoretical research and engineering practice for steel tube pile in deep old deposited.

Keywords: old deposited soil; steel tube pile; pile-driving regularity; control standard

大直径钢管桩因为承载力大、沉桩工艺简单及抗弯能力强而被越来越多地应用^[1]。随着我国钢材产量的增加和钢管桩防腐新技术及新材料的研制与开发, 钢管桩日益受到设计人员的重视, 现已广泛应用于承载特性要求高的跨海大桥桩基工程、近岸和沿海码头工程以及超高层建筑中^[2]。

国内外工程人员对于钢管桩的承载力特性进

行了大量的研究工作^[3-5]。而对于老黏土地区钢管桩的沉桩效果和控制标准少有总结性的科研成果, 工程人员在该地区进行钢管桩设计和施工时缺少系统的指引。根据规范^[6], 老黏土定义为晚更新世 Q_3 及其以前沉积的土。老黏土是一种沉积年代久、工程性质较好的黏土, 其含水率、塑性指数、压缩模量和内聚力等主要物理指标优于一般黏性土。

通过对湛江老黏土地区5个工程共2 122根钢

收稿日期: 2014-12-18

作者简介: 陈章宇(1986—), 男, 助理工程师, 从事桩基检测与科研工作。

管桩的桩径、总锤击数、终锤贯入度、沉桩有效能量、入土深度等信息进行汇总，总结了该地区钢管桩的沉桩规律。

1 工程概况

1.1 5个工程钢管桩概况

表1为5个工程钢管桩概况。

表1 5个工程钢管桩概况

| 工程 | 钢管桩型号 | 钢管桩数量/根 | 桩锤型号(打桩数) | 备注 |
|----|------------------|---------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1 | φ1 400/20 mm | 68 | D100 锤(15 根) | 柴油锤 |
| | φ1 200/18 mm | 28 | D138 锤(14 根) D128 锤(67 根) | |
| 2 | φ1 100/18(16) mm | 475 | D128 锤(51 根) D138 锤(424 根) | 二档沉桩 |
| 3 | φ1 400/18 mm | 334 | D128 锤(144 根) D138 锤(190 根) | 三档沉桩 |
| 4 | φ1 300/18 mm | 114 | D138 锤 | Q345B 钢板 桩顶 7 m 壁厚 20 mm |
| | φ1 200/18 mm | 395 | | |
| 5 | φ1 200/18 mm | 708 | 直桩(442 根) 斜桩(266 根) | |

1.2 工程地质

5个工程均位于湛江深厚老黏土地区，根据地质勘察资料，地质情况具有相似性。勘区上部、中上部土层一般为软弱土-中软土，承载能力较低，且土质不均匀，一般不宜考虑作为地基持力层。中下部灰色黏土（老黏土）的物理力学性指标表明该土层具有显著的结构性，其强度指标偏好，其压缩性指标偏差，一般孔隙比较大，具有高-中等的压缩性，该组土层上部为软塑-可塑状，承载力较低，具有高压缩性，不应考虑作为地基持力层，其中下部为可塑-硬塑状，承载能力较高，可考虑作为地基持力层。第5层及以下中粗砂一般呈中密-密实状，具有高的承载能力，可考虑作为桩端持力层。

2 钢管桩沉桩规律

2.1 工程1码头沉桩规律

工程1使用的钢管桩有φ1 400 mm和φ1 200 mm

两种型号，沉桩均使用柴油锤。φ1 400 mm钢管桩沉桩情况见表2。

表2 油码头φ1 400/20 mm钢管桩沉桩参数

| 入土深度/m | 持力层 | 总锤击数/击 | 终锤贯入度/(mm·击 ⁻¹) |
|-------------|-----------|-------------|-----------------------------|
| 23.40~46.50 | 40 击的老黏土层 | 1 732~4 362 | 0~5 |

工程1φ1 400 mm钢管桩桩尖高程和设计高程、钢管桩沉桩终锤贯入度、总锤击数的统计情况见图1~3。

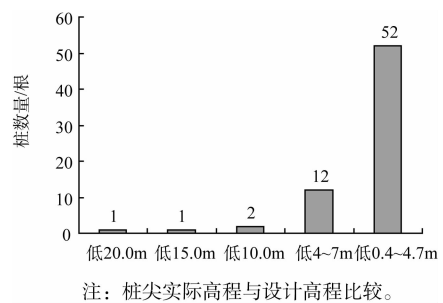


图1 工程1钢管桩设计高程

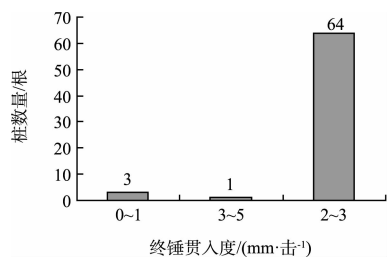


图2 工程1钢管桩终锤贯入度

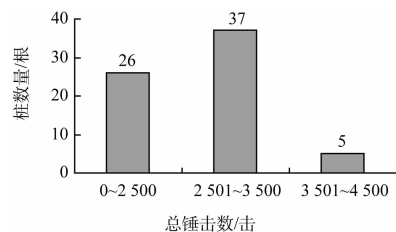


图3 工程1φ1 400 mm桩径钢管总锤击数

入土深度为23.40~46.50 m，其中有1根桩的桩尖高程比设计高程低20.10 m，有1根桩的桩尖高程比设计值低15 m，有2根桩的桩尖高程比设计值低10 m，有12根桩的桩尖高程比设计值低4~7 m，其余52根桩的桩尖高程比设计值低0.4~4.7 m。桩端持力层为中粗砂层。

终锤贯入度为 0 ~ 5 mm/击, 其中有 3 根桩的终锤贯入度为 0, 1 根桩的终锤贯入度为 5 mm/击, 其余的终锤贯入度为 2 ~ 3 mm/击。

总锤击数为 1 732 ~ 4 362 击, 其中锤击数在 2 500 击以下的有 26 根桩, 锤击数在 2 501 ~ 3 500 击之间的有 37 根, 锤击数在 3 501 ~ 4 500 击之间的有 5 根。

工程 1 $\phi 1\ 200$ mm 桩径钢管桩沉桩参数见表 3。

表 3 工程 1 $\phi 1\ 200/18$ mm 钢管桩沉桩参数

| 入土深度/m | 持力层 | 总锤击数/击 | 终锤贯入度/(mm·击 ⁻¹) |
|---------------|-----------|-------------|-----------------------------|
| 27.10 ~ 31.40 | 40 击的老黏土层 | 885 ~ 1 314 | 9 ~ 11 |

由表 2 可知, $\phi 1\ 200$ mm 桩径钢管桩和 $\phi 1\ 400$ mm 钢管桩的持力层均为中粗砂层。工程 1 高应变动测结果见表 4。

表 4 工程 1 高应变结果

| 桩号 | 桩径/mm | 桩长/m | 有效能量/kJ | 动测承载力/kN | | | 承载力恢复系数 | 备注 |
|----------------|-------|------|---------|----------|---------|---------|---------|----|
| | | | | 承载力 | 侧阻力 | 端承力 | | |
| 1 [#] | 1 200 | 56 | 103.4 | 6 661.9 | 4 900.7 | 1 761.2 | 1.26 | 初打 |
| | | | 127.6 | 8 392.6 | 6 015.0 | 2 377.6 | | 复打 |
| 2 [#] | 1 200 | 54 | 133.4 | 7 457.0 | 5 407.9 | 2 049.1 | 1.28 | 初打 |
| | | | 158.6 | 9 544.9 | 6 758.2 | 2 786.8 | | 复打 |
| 3 [#] | 1 400 | 61 | 116.7 | 8 404.9 | 5 814.4 | 2 590.2 | 1.31 | 初打 |
| | | | 120.3 | 11 010.3 | 7 409.9 | 3 600.4 | | 复打 |
| 4 [#] | 1 400 | 66 | 126.1 | 7 650.7 | 4 173.6 | 3 477.1 | 1.26 | 初打 |
| | | | 135.6 | 9 639.5 | 4 736.8 | 4 902.7 | | 复打 |

黏性土层所能提供的侧摩阻力较低, 侧摩阻力占总承载力的 55% ~ 69%; 复打时, 由于经过一段时间休止, 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, 甚至超过原状土的强度, 桩的侧摩阻力逐渐增加, 占总承载力的 79% ~ 81%。复打/初打的承载力恢复系数在 1.26 ~ 1.31 之间。

2.2 工程 2 码头沉桩规律

工程 2 钢管桩沉桩参数见表 5, 工程钢管桩桩径均为 1 100 mm。

表 5 工程 2 钢管桩沉桩参数

| 入土深度/m | 持力层 | 总锤击数/击 | 终锤贯入度/(mm·击 ⁻¹) |
|---------------|-----------------------|-------------|-----------------------------|
| 16.40 ~ 27.10 | 50 击中粗砂层或者 40 击黏土层 | 729 ~ 5 224 | 1 ~ 11 |

图 4 ~ 6 为工程 2 钢管桩桩尖设计高程、终锤贯入度和总锤击数的统计。入土深度为 16.40 ~ 27.10 m。所有桩的桩尖实际位置均没有低于设计高程, 与设计高程相差 0 ~ 1 m 的有 142 根, 与设计高程相差 1 ~ 2 m 的有 93 根, 与设计高程相差 2 ~ 3 m 的有 59 根, 与设计高程相差 3 ~ 4 m 的有 62 根, 与设计高程相差 4 m 以上的有 119 根。

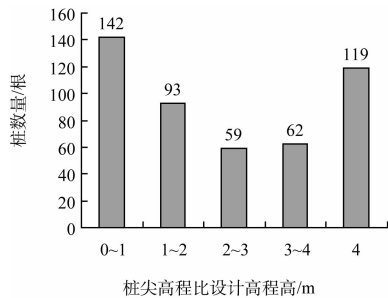


图 4 工程 2 钢管桩设计高程

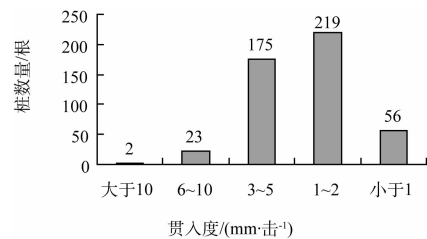


图 5 工程 2 钢管桩终锤贯入度

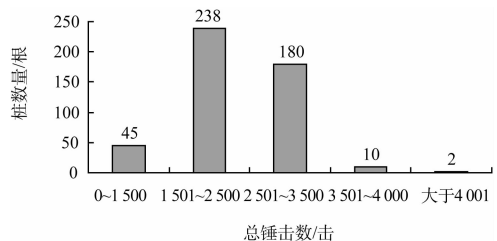


图 6 工程 2 钢管桩总锤击数

终锤贯入度为 1~11 mm/击, 其中终锤贯入度大于 10 mm/击的有 2 根, 终锤贯入度在 6~10 mm/击的有 23 根, 终锤贯入度在 3~5 mm/击的有 175 根, 终锤贯入度为 2 mm/击的有 219 根, 终锤贯入度为 1 mm/击的有 56 根。总锤击数为 729~5 224 击, 其中锤击数在 1 500 击以下的有 45 根, 锤击数在 1 501~2 500 之间的有 238 根, 锤击数在 2 501~3 500 之间的有 180 根, 锤击数在 3 501~4 000 之间的有 10 根。锤击数最多的 2 根分别是 D2A 桩总锤击数超过 5 224 击, G8 桩总锤击数为 4 017 击。桩尖土层为中粗砂层或者黏土层。

2.3 工程 3 码头沉桩规律

工程 3 钢管桩桩径均为 1 400 mm, 采用柴油锤沉桩施工, 沉桩参数见表 6。

表 6 工程 3 钢管桩沉桩参数

| 入土深度/m | 持力层 | 总锤击数/击 | 终锤贯入度/(mm·击 ⁻¹) |
|-------------|------------------------|-----------|-----------------------------|
| 16.40~27.10 | 50 击中粗砂层或者 40 击老黏土层 | 729~5 224 | 1~11 |

图 7~9 为工程 3 钢管桩桩尖设计高程、终锤贯入度和总锤击数的统计。

入土深度 22.4~43.9 m。其中, 有 9 根桩的桩尖低于设计深度, 有 26 根桩桩尖高程比设计值

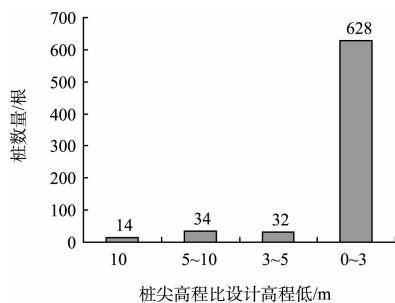


图 7 工程 3 钢管桩设计高程

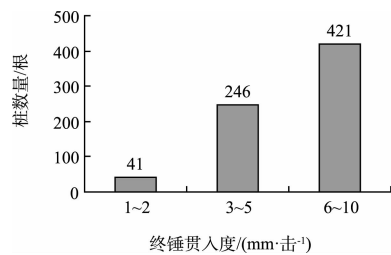


图 8 工程 3 钢管桩终锤贯入度

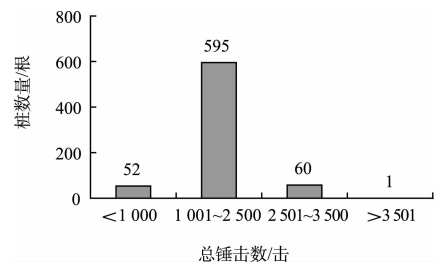


图 9 工程 3 钢管桩总锤击数

高 2~10 m, 其余 299 根的桩尖高程比设计高程高 2 m 以内。

桩尖基本进入中粗砂层或者黏土夹砂层。

终锤贯入度为 1~5 mm/击。其中, 贯入度在 1~2 mm/击的有 34 根, 贯入度在 3~5 mm/击的有 300 根。总锤击数为 892~4 880 击。锤击数在 1 500 击以下的有 242 根, 这些桩的终锤贯入度为 4~5 mm/击; 锤击数在 1 501~2 500 击之间的有 49 根, 锤贯入度为 2~5 mm/击; 锤击数在 2 501~3 500 击之间的有 30 根, 锤贯入度为 2~3 mm/击; 锤击数在 3 501~4 500 击之间的有 10 根, 锤贯入度为 1~2 mm/击; 有 3 根桩的总锤击数超过 4 500 击, 终锤贯入度为 2 mm/击。

表 7 高应变结果显示, 钢管桩的承载力在 7 500~11 600 kN 之间, 复打贯入度明显减小, 承载力相对于初打承载力有明显的提高, 动测承载力恢复系数均在 1.30 以上。

表 7 高应变动测结果

| 桩号 | 贯入度/(mm·击 ⁻¹) | 有效能量/kJ | 入土深度/m | 动测承载力/kN | | | 承载力恢复系数 | 备注 |
|----|---------------------------|---------|--------|----------|---------|---------|---------|----|
| | | | | 承载力 | 侧阻力 | 端承力 | | |
| 1# | 4 | 112.5 | 35.4 | 8 252.8 | 7 019.0 | 1 233.7 | 初打 | |
| | 2 | 120.4 | 35.4 | 11 040.3 | 8 958.2 | 2 082.1 | 复打 | |
| 2# | 3 | 151.5 | 35.0 | 8 666.5 | 6 826.8 | 1 839.7 | 初打 | |
| | 2 | 160.2 | 35.2 | 11 248.2 | 8 728.1 | 2 520.0 | 复打 | |

2.4 工程4 码头沉桩规律

工程4 钢管桩沉桩参数见表8, 工程钢管桩数量为509根, 桩径有 $\phi 1\ 200\ \text{mm}$ 和 $\phi 1\ 300\ \text{mm}$ 两种。

表8 工程4 钢管桩沉桩参数

| 入土深度/m | 持力层 | 总锤击数/击 | 终锤贯入度/ ($\text{mm}\cdot\text{击}^{-1}$) |
|-----------|----------|-----------|---|
| 18.8~38.7 | 50 击中粗砂层 | 571~2 658 | 2~1 |

图10~12为工程4 钢管桩桩尖设计高程、终锤贯入度和总锤击数的统计。入土深度为18.8~38.7 m。除了2根桩的桩尖高程比设计值低3~7 m, 其余490根桩的桩尖高程比设计值相低2.0 m以内。

桩尖基本进入中粗砂层。

终锤贯入度为2~15 mm/击。终锤贯入度在2~5 mm/击的有13根; 终锤贯入度在6~10 mm/击的有482根; 终锤贯入度在11~15 mm/击的有14根。

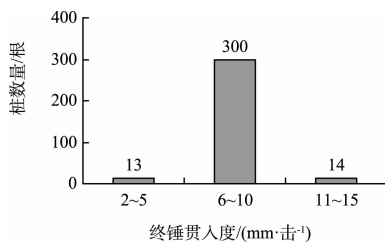


图10 工程4 钢管桩设计高程

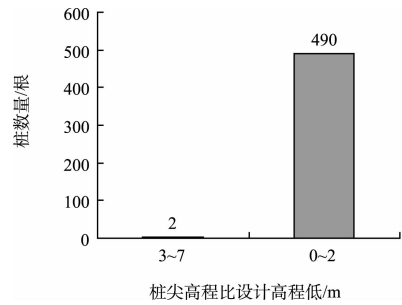


图11 工程4 钢管桩终锤贯入度

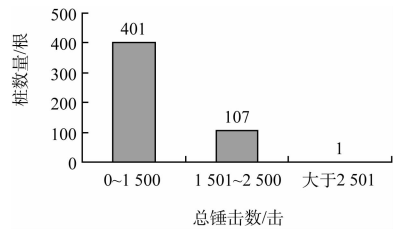


图12 工程4 钢管桩总锤击数

总锤击数为571~2 658击。总锤击数在1 500击以下的有401根; 总锤击数在1 501~2 500击的有107根; 总锤击数超过2 500击的只有1根。

沉桩过程中有53根钢管桩进行了初打高应变测试, 占钢管桩总数的10.4%, 8根桩还同时进行了复打高应变测试。动测结果见表9。

高应变测试结果显示, 钢管桩的动测承载力在7 500~12 000 kN之间, 复打承载力相对于初打承载力有明显的提高, 动测承载力恢复系数在1.30~1.40之间。

表9 高应变动测结果

| 桩号 | 桩长/m | 有效能量/kJ | 动测承载力/kN | | | 承载力恢复系数 | 备注 |
|----|------|---------|----------|---------|---------|---------|----|
| | | | 承载力 | 侧阻力 | 端承力 | | |
| 1# | 62 | 119.9 | 8 829.7 | 5 717.1 | 3 112.6 | 1.37 | 初打 |
| | 62 | 198.3 | 12 111.4 | 8 416.1 | 3 695.3 | | 复打 |
| 2# | 50 | 200.5 | 9 412.8 | 5 757.6 | 3 655.3 | 1.32 | 初打 |
| | 50 | 205.2 | 12 383.1 | 8 280.2 | 4 102.9 | | 复打 |
| 3# | 48 | 175.1 | 8 320.7 | 4 745.9 | 3 574.8 | 1.40 | 初打 |
| | 48 | 192.5 | 11 648.6 | 7 497.7 | 4 150.9 | | 复打 |
| 4# | 50 | 189.6 | 9 165.1 | 5 275.2 | 3 889.9 | 1.30 | 初打 |
| | 50 | 150.7 | 11 890.5 | 7 502.4 | 4 388.1 | | 复打 |

2.5 工程5 码头沉桩规律

工程5 钢管桩沉桩参数见表10, 工程钢管桩数量为708根, 其中直桩442根, 斜桩266根, 桩径均为1 200 mm。

表10 工程5 钢管桩沉桩参数

| 入土深度/m | 持力层 | 总锤击数/击 | 终锤贯入度/ ($\text{mm}\cdot\text{击}^{-1}$) |
|-----------|----------|-----------|---|
| 33.4~53.1 | 50 击中粗砂层 | 549~3 771 | 1~10 |

图 13 ~ 15 为工程 5 钢管桩桩尖设计高程、终锤贯入度和总锤击数的统计。入土深度为 33.4 ~ 53.1 m。有 14 根桩的桩尖高程比设计值低 10 m 以上, 有 34 根桩的桩尖高程比设计值低 5 ~ 10 m, 有 32 根桩的桩尖高程比设计值低 3 ~ 5 m, 其余 628 根桩的桩尖高程比设计值相低 3.0 m 以内。

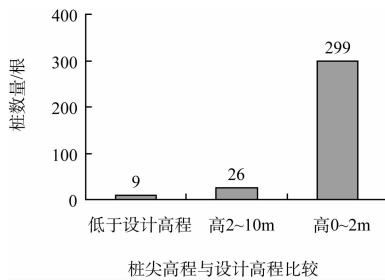


图 13 工程 5 钢管桩设计高程

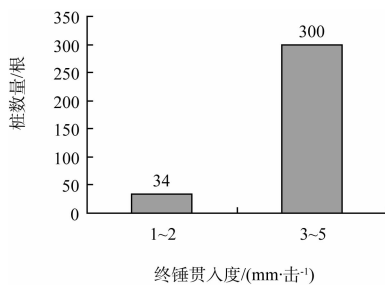


图 14 工程 5 钢管桩终锤贯入度

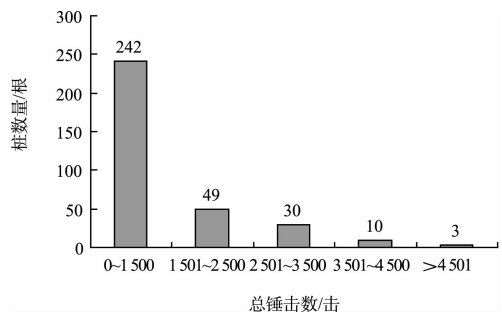


图 15 工程 5 钢管桩总锤击数

桩尖基本上都进入中粗砂层。

终锤贯入度为 1 ~ 10 mm/击。终锤贯入度在 1 ~ 2 mm/击的有 41 根; 终锤贯入度在 3 ~ 5 mm/击的有 246 根; 终锤贯入度在 6 ~ 10 mm/击的有 421 根。总锤击数为 549 ~ 3 771 击。总锤击数在 1 000 击以下的有 52 根; 总锤击数在 1 001 ~ 2 500 击的有 595 根; 总锤击数在 2 501 ~ 3 500 击的有 60 根; 总锤击数超过 3 500 击的只有 1 根。高应变动测结果见表 11。

高应变测试结果显示, 钢管桩的动测承载力在 8 925 ~ 12 746 kN 之间, 复打承载力相对于初打承载力有明显的提高, 动测承载力恢复系数达在 1.18 ~ 1.35 之间。

表 11 工程 5 高应变动测结果

| 桩号 | 桩长/m | 有效能量/kJ | 动测承载力/kN | | | 承载力恢复系数 | 备注 |
|----|------|---------|----------|---------|---------|---------|----|
| | | | 承载力 | 侧阻力 | 端承力 | | |
| 1# | 59 | 102 | 9 287.4 | 5 861.3 | 3 426.1 | 1.31 | 初打 |
| | 59 | 189 | 12 166.5 | 8 434.7 | 3 731.8 | | 复打 |
| 2# | 59 | 131 | 9 093.1 | 5 680.4 | 3 412.8 | 1.33 | 初打 |
| | 59 | 310 | 12 072.0 | 8 325.9 | 3 746.1 | | 复打 |
| 3# | 59 | 211 | 8 995.9 | 5 855.2 | 3 140.7 | 1.35 | 初打 |
| | 59 | 203 | 12 144.5 | 8 051.0 | 4 093.5 | | 复打 |

3 结论

1) 湛江老黏土地基中, 钢管桩作为桩基础的一种形式, 桩尖持力层应选择标贯击数达到 50 击的中粗砂层或者标贯击数在 40 以上的黏土层 (含黏土混砂层)。

2) 打桩锤为 D128 或者 D138 柴油锤, 打桩档位在三档或者二档, 对应的终锤贯入度分别

控制在 2 ~ 5 mm/击和 6 ~ 10 mm/击, 桩锤的有效能量控制在 120 ~ 200 kJ。能量传递系数为 28.5% ~ 47.6%。

3) 湛江老黏土地区钢管桩基桩承载力恢复系数为 1.26 ~ 1.40, 比一般黏性土高。

(下转第 191 页)