

渤海石油输灰码头改造钢管桩拔除施工

焦卫峰

(第一航务工程局, 天津 300042)

摘要: 主要叙述了渤海石油输灰码头改造过程中老码头钢管桩拔除的施工工艺, 重点对钢管桩拔除过程中所采取的措施进行了介绍。

关键词: 钢管桩; 拔除; 施工

中图分类号: U657 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-3688(2006)01-0056-03

Extraction of Steel Tubular Piles During Rebuilding of a Jetty for Bohai Petroleum Company

JIAO Wei-feng

(Tianjin Port Const. Corp., Tianjin 300042, China)

Abstract: The paper mainly deals with the technology for extraction of steel tubular piles during the rebuilding of an old jetty for Bohai Petroleum Company and the measures taken during the extraction of the steel tubular piles.

Key words: steel tubular pile; extraction; construction

1 工程概况

本工程是将原有的墩式栈桥码头改扩建成为一个专用的顺岸式高桩梁板码头。老码头于1980年设计建成, 码头岸线总长度142.4 m, 前沿水深-5.0 m, 共由7个大墩台(每个墩台下设6根钢管桩)、2个双桩墩台(下设2根钢管桩)和6个单桩墩台(下设1根钢管桩)组成, 墩台钢管桩总共52根, 分别由18根直径为 $\varnothing 630$ mm (10NiCuP)和34根直径为 $\varnothing 720$ mm (16Mn 螺纹钢)的钢桩组成。所有钢管桩均采用封闭式桩尖结构, 施打完成后在空腔中灌满细砂, 壁厚12 mm, 桩长25.7 m, 桩顶标高+4.7 m, 桩底标高-21.00 m, 埋入泥面以下深度为16 m。7个大墩台之间由6个单桩墩台通过钢引桥纵向连接形成纵向通道, 其中有两个大墩台通过两个双桩墩台和钢引桥与岸相连, 形成陆上横向通道。新建码头前沿线长223.424 m, 宽15 m, 码头顶面高程+5 m, 采用高桩梁板结构; 桩基采用600 mm \times 600 mm 预应力混凝土空心方桩、 $\varnothing 1000$ 灌注桩及400 mm \times 500 mm 板桩; 现浇混凝土桩帽; 上部结构采用预制安装梁、板和钢筋混凝土靠船构件, 各构件安装好后均采用现浇钢筋混凝土接头将其连接成整体; 码头前沿水深为-6.66 m。

2 地质条件

该区土层分布较有规律, 自上而下分别为:

①淤泥(Q_1^m): 孔隙比 e 平均值1.669, 液性指数 I_L 平均值1.20, 压缩系数 a_{1-2} 平均值1.2, 标准贯入试验锤击数 $N_{63.5}$ 平均值为0击。属流塑状高压缩性欠固结土, 该层土上部呈半流动状态。工程性质极差。

②淤泥质粘土(Q_4^m): e 平均值1.274, I_L 平均值0.95, a_{1-2} 平均值0.9, $N_{63.5}$ 平均值为1.4击。属软~流塑状高压缩性欠固结土, 工程性质很差。

③粘土(Q_4^m): e 平均值1.108, I_L 平均值0.93, a_{1-2} 平均值0.76, $N_{63.5}$ 平均值为3.8击。属软~流塑状高压缩性欠固结土, 工程性质较差。

④泥炭质粘土(Q_4^h): e 平均值0.871, I_L 平均值0.57, a_{1-2} 平均值0.47, $N_{63.5}$ 平均值为5.6击。属可塑状态中等偏高压缩性土, 工程性质一般。

⑤粉质粘土(Q_3^{nl}): e 平均值0.698, I_L 平均值0.48, a_{1-2} 平均值0.30, $N_{63.5}$ 平均值为11.5击。为可塑状中等压缩性土, 工程性质较好。

⑥粘土(Q_3^{nl}): e 平均值0.737, I_L 平均值0.35, a_{1-2} 平均值0.30, $N_{63.5}$ 平均值为11.5击。属可塑状中等压缩性土, 工程性质较好。

⑦砂质粉土(Q_3^{nl}): e 平均值0.589, a_{1-2} 平均值0.13, $N_{63.5}$ 平均值为33.8击。为密实状态中等偏低压缩性土, 工程性质较好。

⑧粉细砂(Q_3^{nl}): $N_{63.5}$ 平均值为47.5击。具密实状态低压缩性, 工程性质较好。

收稿日期: 2005-04-20

作者简介: 焦卫峰(1971-), 男, 工程师, 主要从事港口与航道

⑨细砂 ($Q_{3.5}$): $N_{63.5}$ 平均值为 49.7 击。具密实状态低压缩性, 工程性质较好。

3 钢管桩最大上拔力理论计算

3.1 理论依据

根据《港口工程桩基规范》单桩抗拔极限承载力设计值计算公式:

$$T_d = 1/\gamma_R(U \sum \xi_i q_{si} l_i + G \cos \alpha)$$

式中: T_d 为单桩抗拔极限承载力设计值, kN; γ_R 为单桩抗拔承载力分项系数, 取 1.45; ξ_i 为折减系数, 对粘性土取 0.7~0.8, 对砂土取 0.5~0.6, 桩的人土深度大时取大值, 反之取小值; G 为桩重力, kN, 水下部分按浮重力计; α 为桩轴线与垂线夹角, ($^\circ$)。

3.2 土层的侧摩阻力计算

计算结果见表 1。

表 1 土层侧摩阻力计算结果

| 序号 | 土层名称 | 标高/m | 层厚/m | 单位面积侧摩阻力/kPa | 侧摩阻力/kN | |
|----|-------|---------------|------|--------------|----------|----------|
| | | | | | Ø630 mm | Ø720 mm |
| ① | 淤泥 | -3.09 以上 | 1.5 | 8 | 23.76 | 27.12 |
| ② | 淤泥质粘土 | -3.09~-7.09 | 4.0 | 9 | 71.28 | 81.36 |
| ③ | 粘土 | -7.09~-14.59 | 7.5 | 21 | 311.85 | 355.95 |
| ④ | 泥炭质粘土 | -14.59~-17.09 | 2.5 | 36 | 178.20 | 203.40 |
| ⑤ | 粉质粘土 | -17.09~-20.59 | 3.5 | 44 | 304.92 | 348.04 |
| ⑥ | 粘土 | -20.59~-22.89 | 2.5 | 60 | 297.00 | 339.00 |
| 合计 | | | | | 1 187.01 | 1 354.87 |

3.3 最大上拔力计算结果

最大上拔力计算结果见表 2。

表 2 最大上拔力计算结果

| 桩型 | 侧摩阻力/kN | 桩重/kN | 桩内砂重/kN | 总上拔力/kN | 安全系数 | 理论最大上拔力/kN |
|------|---------|-------|---------|---------|------|------------|
| Ø630 | 1 187 | 48 | 144 | 1 379 | 1.3 | 1 793 |
| Ø720 | 1 355 | 55 | 188 | 1 598 | 1.3 | 2 077 |

注: (1) 钢管桩上拔时会携带部分周围泥土, 泥土重量未计算在内; (2) 计算中安全系数取 1.3。

4 拔桩工艺

由于本次拔桩在天津港地区历史上没有现行的经验可参照, 再加上此钢管桩为上世纪 80 年代初期施工, 距今已有 20 余年, 因此本次施工主要存在以下几个难点: 一是由于设计港池泥面标高新码头比老码头有所降低, 而老码头钢管桩所在部位正好在新码头港池内, 因此为保证以后船舶停靠安全, 钢管桩最好能全部拔除而不产生断裂, 否则水下二次截桩施工起来会很麻烦; 二是钢管桩在施工时仅在泥面以上采用了简单防腐, 经历了长时间的海水侵蚀, 钢管桩已在水位变化区、浪溅区、大气区锈蚀非常严重, 尤其是水位变化区有大量的海蛎子粘结, 经实测在水位变化区的钢管桩壁厚仅为 6 mm, 且局部已锈透, 有小孔出现, 如果上拔力过大, 则上拔过程中会很容易发生断裂, 给施工安全带来隐患; 三是经历了几十年的钢管桩, 周围包裹土层对钢

管桩桩身的侧摩阻力与理论计算得出的数值可能存在很大程度的差异, 精确的上拔力很难得到, 给施工设备的合理选用增添了难度。

4.1 不同施工方案的综合比较分析

根据以上施工特点, 在施工准备期我们主要考虑了以下几种方案作为比较:

(1) 采用美国 APE400 型液压震动锤振动上拔

采用打桩 16 号 (双钩最大吊重 160 t) 配美国进口的 APE400 型液压震动锤进行上拔。这种工艺首先需要对 APE400 型液压震动锤进行改造, 使原有的夹具适应现行钢管桩的要求。主要原理是通过震动对原有土体进行扰动以破坏土体的侧摩阻力, 从而减小上拔力, 达到拔除的目的。拔桩时利用打桩船的一个主钩吊液锤系统, 首先将替打安放在钢管桩上; 用打桩船的另一个主钩起吊预先套在钢管桩上的钢丝绳, 缓慢加力, 使钢丝绳逐渐处于绷紧状态; 然后启动液压震动锤开始振动, 破坏桩的侧摩阻力, 减小上拔力, 观察钢管桩的位移; 当钢管桩有向下的位移时吊钢管桩的一个钩开始用力, 初期保持一定大小的力, 使桩匀速缓慢向上移动直至拔出。在上拔的过程中用钩头的实际吊力来控制停锤时间。此种工艺准备期长, 施工较繁琐, 成本也比较高。

(2) 制作专用钢套筒方案

制作比待拔钢管桩直径大一级的专用钢套筒, 长度控制在 25 m 左右。施工时首先利用打桩船将钢套筒套在原有钢管桩上沉入一定的标高, 然后再进行上拔; 拔除钢套筒后接着对原有钢管桩进行上拔。此种方法通过打入钢套筒用

以破坏老钢管桩周围土体的侧摩阻力, 最终减小上拔力, 以达到利用较小的起重设备对钢管桩进行拔除的目的。该方法施工简单, 费用较省, 但施工很费时, 工程进度无法保证。

(3) 直接利用大型起重船进行上拔

根据理论计算的最大上拔力, 考虑一定的安全系数, 配以满足最大上拔力要求的大型起重船 (200 t 以上) 直接用钢丝绳 ($\varnothing 55$ mm) 锁双扣进行上拔。这种方法需要在施工时首先选择 2~3 根桩进行试拔, 通过试拔来初步确定上拔力以及在上拔过程中起重船加力的规律。采用此方法最简单, 也最经济, 施工操作也较简便, 最主要的是能保证工程的施工进度。但必须事先摸索出上拔桩过程中起重船的用力规律。

4.2 现场拔除施工

经过认真细致的分析论证, 在对工期、质量、安全综合考虑对比的基础上, 我们最终选择了第 3 种方案, 并利用现有的 500 t 起重船进行施工。在整个施工过程中, 主要采取了以下措施, 来防止钢管桩在拔除过程中的断裂, 从而保证了工程的顺利进行:

(1) 桩内灌砂不清除直接用钢丝绳锁扣上拔。利用 $\varnothing 55$ mm 的钢丝绳, 根据待拔钢管桩的直径进行插扣, 对两种类型的钢管桩分别制作了两套, 每套 2 根, 一次使用一套, 另一套留做备用。在低潮时首先利用陆上 50 t 吊机配合将绳扣套在待拔钢管桩上, 人工使钢丝绳扣下到泥面以上约 1/3 处, 然后将两根绳扣用铁丝绑在一起, 以保证钢管桩在上拔过程中两个方向用力均匀。钢丝绳套好后, 钩头开始缓慢上升, 使钢丝绳逐渐处于绷紧状态, 待一切准备工作就绪后, 开始施加一定大小 (约 100 t) 的力, 维持几分钟, 陆上人员仔细观察钢管桩的位移情况, 如果钢管桩开始产生位移, 则可继续加大一级用力, 当钢管桩上升约为总长度的 1/3 时, 可继续保持当时的上拔力, 直至钢管桩全部被拔出。

(2) 采用已拔小直径钢管桩 ($\varnothing 630$ mm) 套入大直径钢管桩 ($\varnothing 720$ mm) 内, 然后用钢丝绳锁双扣进行上拔。在进行钢管桩拔除时, 考虑到钢管桩在施工水位变化区腐蚀较严重, 据当时现场开始二三天拔除的效率及效果看, 在这个区域钢管桩断裂的可能性较大, 而且由于大直径的钢管桩与小直径的钢管桩材质不同, 腐蚀的程度也不尽相同。现场检查的结果, $\varnothing 720$ mm 钢管桩比 $\varnothing 630$ mm 的腐蚀严重。当时为增加钢管桩的桩身刚度, 在上拔时没有将钢管桩内的沙子掏出, 但上拔时钢管桩仍然多在锁扣部位发生变形甚至断裂。为解决这一难题, 我们采取了以下方法: 首先对小直径的 $\varnothing 630$ mm 钢管桩在不掏砂的情况下进行拔除, 然后将 $\varnothing 720$ mm 钢管桩中锁扣部位以上的沙子掏出, 将已拔出的 $\varnothing 630$ mm 钢管桩截成与待拔钢管桩中掏砂长度相同的短节, 并插入待拔钢管桩中, 再用钢丝绳锁扣进行上拔。从现场拔除的实际情况看, 采用这种方法增加了待拔钢管

桩的桩身刚度, 明显降低了断桩率。

(3) 在钢管桩一定位置处趁低潮时用气焊掏眼, 然后将一定直径的钢棒穿入钢管桩中, 再用钢丝绳锁扣进行上拔。

在上拔 $\varnothing 630$ mm 钢管桩时发现现场索扣工序比较繁琐, 在上拔时由于钢丝绳施加于钢管桩的握裹力较大, 再加上钢管桩本身的锈蚀, 很难保证钢管桩不变形, 导致拔桩效率较低, 而且也比较容易断裂。针对这种情况, 我们采用了在钢管桩距离泥面约 1/3 位置处在低潮时用电气焊打孔, 孔径约 60 mm, 然后在孔中插入 50 mm 粗的钢棒做吊耳, 再套上钢丝绳, 等高潮时进行拔除, 这样可减少钢管桩的轴向变形, 对防止断桩也起到了一定的效果。

5 实际上拔力与理论值比较

比较结果见表 3。

表 3 实际上拔力与理论值比较

| 桩型 | 实际上拔力 /kN | 理论上拔力 /kN | 断桩根数 | 总根数 | 断桩率 /% | 断桩部位标高 |
|-------------------|-------------|-----------|------|-----|--------|----------|
| $\varnothing 630$ | 1 700~1 903 | 1 793 | 3 | 18 | 17 | 0~+1.0 m |
| $\varnothing 720$ | 2 000~2 200 | 2 077 | 9 | 34 | 26 | 0~+1.0 m |

注: (1) 实际上拔力值通过起重船上仪器所显示的钩钧最大吊重而取得。(2) 从实际统计情况看, 实际值与理论值基本吻合。

6 断桩处理

在本次拔除的 52 根钢管桩中, 共计断桩 12 根, 其中 $\varnothing 630$ mm 桩断桩 3 根, $\varnothing 720$ mm 桩断桩 9 根, 所有断桩几乎都发生在锈蚀比较严重的区域。对于拔断的钢管桩, 我们采用长臂钩机上驳, 在低潮时对钢管桩周围土方挖除至 -4.0 m 标高, 然后潜水员进行水下截桩。所有断裂的钢管桩, 经过潜水员一到两次气焊切割后, 已全部达到了船舶停靠水深的要求。

7 结束语

本次拔桩由于对预想的方案进行了充分的论证对比, 因此从施工的效果看, 选择大型起重船直接上拔方案既取得了很好的经济效果, 同时也大大地缩短了工期, 为后续工序的早日开工创造了条件, 也为整个码头的提前投产提供了保证。在拔桩过程中所采取的一系列措施被实践证明也是十分有效的。通过 52 根桩在上拔过程中的上拔力统计情况看, 实际的上拔力与理论计算的上拔力存在一定的差异, 这主要与各土层的物理力学指标的取值有关, 但这种差异并不是特别明显, 因此可以说理论计算为合理选择船机设备起到了很好的指导作用。通过这次拔桩所掌握的数据, 对以后在天津港地区同等地质条件下进行钢管桩桩基承载力验算积累了一定的原始资料。