

复合载体夯扩桩在天津石油化工有限公司 储油罐基础工程中的应用

杨浩军

张华东 雷玉华

(北京波森特岩土工程有限公司 102218) (天津市华政岩土工程有限公司 300451)

[提要] 结合天津市一个工程实例,介绍了复合载体夯扩桩在沿海软土地区的设计和施工,并对软土地区施工过程中容易出现的问题进行了分析,提出了可行的解决方案。

[关键词] 复合载体夯扩桩 承载力 静载荷试验 变形

Application of Ram-compaction Piles with Composite Bearing Base in the Oil Storage Tank Foundation of Sinopec Corp in Tianjin/Yang Haojun¹, Zhang Huadong², Lei Yuhua² (1 Beijing Puissant Geotechnical Engineering Co., Ltd., Beijing 102218, China; 2 Tianjin Huazheng Geotechnical Engineering Co., Ltd., Tianjin 300451, China)

Abstract: Based on an engineering in Tianjin, the design and construction of the ram-compaction piles with composite bearing base used in oil storage tank foundation in soft soil area are introduced, The construction problems are put forward, and the resolvents are given.

Keywords: ram-composite piles; bearing capacity; static load test; settlement

天津位于沿海软土地区,地下水位较高。由于地质沉积原因,往往存在淤泥层,含水量高,承载力低,不能作为基础持力层,必须进行地基处理。传统地基处理的方案为采用桩基础,且必须采用泥浆护壁,往往施工工期长、造价高。采用复合载体夯扩桩对深层土体进行填料夯击处理,在桩端形成载体基础,使单桩承载力大幅度提高,大大节省了造价,是一项值得大力推广的工艺。而且在软土地区,由于上部土层较软,侧摩阻也小,采用复合载体夯扩桩更具有明显的优势。结合天津石油化工有限公司储油罐工程复合载体夯扩桩载体基础的设计与施工,对该技术在软土地区的设计和施工进行介绍,以供参考。

一、工程概况

拟建工程为天津兴桐石油化工有限公司区内储油罐,共6个,每个直径28.0m,高18.0m,储油1万 m^3 ,采用满堂布复合载体夯扩桩基础,设计桩径为 $\phi 500$,桩长21.0m,设计单桩承载力特征值为1400kN,单个油罐基础布桩见图1。拟建场区位于天津港保税区,该场区原为浅海滩,后冲填建港,故地表上部较软,有较厚的建筑垃圾填土层,各层地质参数见表1。地下水标高-1.2m。

二、方案的选择与分析

由于工程上部荷载较大,故采用普通的地基处理无法满足设计要求,必须采用桩基础。在天津地区常常采用的桩基础为预制桩、钻孔灌注桩。预制桩施工进度快捷,桩身质量易控制,但其造价高,施工过程中

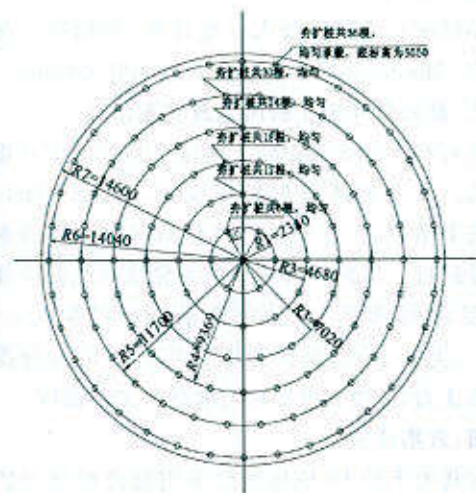


图1 单个储油罐基础复合载体夯扩桩布桩平面

噪音大,且施工中容易造成相邻桩的上移;钻孔灌注桩施工周期长,成本高,由于桩身较长,施工中容易导致缩径。复合载体夯扩桩作为一种深层地基处理技术,通过桩身把上部结构的荷载传递到载体,并通过载体扩散到下部周围土体,深层土体经过填料和重锤夯击挤压,土的物理力学指标改变,并且在夯击过程中产生纵波,使土体颗粒重新排列,重新固结,压缩模量大,地基承载力提高。

结合工程的实际设计荷载和地质条件,分别对三种方案进行经济对比,如表2所示。

分析认为,采用复合载体夯扩桩成本低,质量易保

证,承载力也容易控制,并且复合载体夯扩桩发明于天津,自诞生以来,在天津很多实际工程中都被采用,配备了素质良好的施工队伍,积累了很多设计和施工经验,最终决定采用复合载体夯扩桩基础。

表 1 兴桐石化工程地质参数

土层	厚度 (m)	w (%)	γ (kN/m ³)	I_L	e	E_s (MPa)	f_k (kPa)
①素填土	1.0	—	—	—	—	—	—
① ₁ 冲填土	2.2	17.2	17.4	1.02	1.33	3.4	50
②淤泥	3.8	52.7	16.4	1.34	1.57	2.0	50
③粉质粘土	0.6	27.8	19.3	0.78	0.79	5.7	60
④淤泥	7.9	53.6	16.7	1.36	1.54	2.4	50
⑤淤泥质粘土	3.7	41.4	17.9	0.96	1.17	3.0	70
⑥粉质粘土	2.8	31.1	18.7	0.92	0.91	6.0	125
⑦粉土	4.2	22.2	20.2	0.80	0.63	14.7	200
⑧粉砂	5.2	18.2	20.9	0.61	0.52	23.3	200

表 2 三种桩基础方案的对比

方案	桩径 (mm)	桩长 (m)	总桩数 (根)	单桩承载力 (kN)	总造价 (万元)
预制桩	400×400	24.0	254	1 200	88.9
钻孔灌注桩	φ600	26.5	216	1 400	113.2
复合载体夯扩桩	φ500	21.0	216	1 400	75.6

三、复合载体夯扩桩的设计

1. 复合载体夯扩桩单桩承载力设计

上部油罐设计荷载为30 000t,根据基础形式,设计布桩216根,单桩承载特征值为1 400kN。根据场区的地质勘察资料,地面下21m左右为层⑦,该土层稳定,承载力高、压缩性低,且其下无软弱下卧层,故选取该土层作为复合载体夯扩桩持力层。

设计桩径为φ500,有效桩长21.0m,根据承载力深度修正公式

$$f_a = f_{ak} + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) \quad (1)$$

载体端部持力层土体承载力为220kPa,位于地面下25.0m,经深度修正为 $f_a = 220 + 3.0 \times 8.5 \times (23 - 0.5) = 793\text{kPa}$ 。施工中三击控制为8mm,根据《复合载体夯扩桩设计规程》(JGJ/T135—2001),单桩承载力

$$R_a = u_p \sum q_{sia} l_i + q_{pa} A_e \quad (2)$$

单桩承载力特征值估算 $R_a = 1 480\text{kN}$ 大于设计值1 400kN,满足设计要求。

2. 桩身混凝土承载力验算

根据规范,桩身混凝土强度必须满足

$$Q \leq 0.7 f_c A_p \quad (3)$$

设计单桩混凝土等级采用C30, $f_c = 14.3\text{N/mm}^2$, $0.7 f_c A_p = 1 965\text{kN} > 1 820\text{kN}$,满足设计要求。

3. 配筋

根据规范,桩身采用8φ14,箍筋采用φ6@200,桩

顶2.0m范围内加密箍筋,采用φ6@100。

4. 地基变形验算

由于拟建设工程为储油罐,对变形要求较严格,对其进行沉降计算。工程采用承台基础,依照规程JGJ/T135—2001,承台沉降采用分层总和法计算。

根据天津地区的沉降观测资料和经验,沉降计算经验系数 ψ_s 取1.0,经计算工程最终沉降为34.7mm,小于规范限值200mm。

四、复合载体夯扩桩的施工

依据复合载体夯扩桩施工规程,采用北京波森特岩土公司的专利设备进行施工,施工中应注意的问题如下。

(1)天津地区地表以下20.0m左右范围内为软土或淤泥土,土体呈流塑~软塑状态,复合载体多设计在软土下层的粉砂层顶部,故复合载体施工时应注意填砖量的控制,过大的填料和夯击能量易引起载体与桩身的结合不良而影响单桩的承载力。

(2)混凝土浇灌完毕后,应注意拔管的速度,拔管速度过快,在桩身易形成缩径或断桩。天津地区地下水高,该工程设计桩长较长,因此要防止拔管速度过快而引起的缩径和泥浆的反灌,最好提管时间控制在浇灌完混凝土后进行。

(3)在软土地区应控制好成桩速度,成桩速度指每天沉桩的数量,在软土地区地下水位较高、土的含水量也较大,成桩过程中会引起超孔隙水压力,若施工速度过快,超孔隙水压力得不到消散,会加剧土体的变形,引起相邻桩施工质量和周围临近建筑物的墙体开裂。

(4)施工中应严格控制施工顺序,打桩顺序的安排应有利于保护已打桩不被新施工桩影响,一般采用横移退打的方式自中间向两端对称进行或自一侧向单一方向进行。

五、桩基检测

工程共施工工程桩216根,根据《复合载体夯扩桩

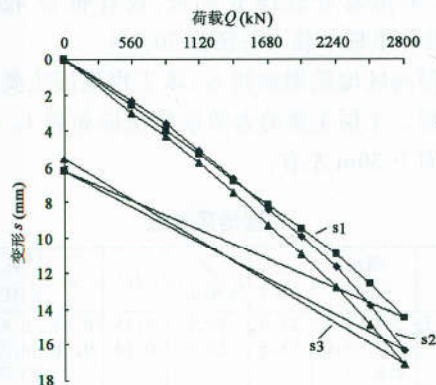


图 2 试桩 Q-s 曲线

(下转第 51 页)

设计桩径为 $\phi 420$, 有效桩长 6.5m, 基础埋深为 1.4m, 载体端部细砂承载力为 250kPa, 位于地面下 8.9m, 根据规范 GB50007—2002 承载力深度修正公式, 细砂修正后的承载力特征值为 $f_{sa} = 250 + 3.0 \times 19.5 \times (9.9 - 0.5) = 799.9\text{kPa}$ 。施工中三击控制初步定为 7cm, 干硬性混凝土填量为 0.3m^3 , 根据《复合载体夯扩桩设计规程》(JGJ/T135—2001), 不考虑桩侧摩阻力, 单桩承载力特征值估算为 $R_a = 1\ 359\text{kN}$ 。大于设计单桩承载力特征值 900kN。

2. 桩身混凝土承载力验算

设计单桩混凝土采用 C25, 桩身混凝土强度满足 $0.7f_c A_p = 2\ 424\text{kN} > 900\text{kN}$, 满足规范设计要求。

3. 软弱下卧层的验算

由于载体地面以下受力层范围内存在软弱下卧层, 对下卧层的承载力进行验算, 桩径为 420mm, 桩间距为 1.8m, 小于 6 倍桩直径, 以四桩承台为例, 根据规范《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94) 对该工程的砂质粉土和粉质粘土进行验算。

砂质粉土: $\gamma_0 = 1.0$, $A_0 = 2.2$, $B_0 = 2.2\text{m}$, $\theta = 17.5^\circ$, 得

$$\sigma_z = 124.8\text{kPa}$$

$$\sigma_z + \gamma_z z = 353.4\text{kPa}$$

$$q_{uk}^w / \gamma_q = 426\text{kPa} > 353.4\text{kPa}$$

软弱下卧层承载力满足设计要求。

经验算粉质粘土承载力也满足设计要求。

4. 变形验算

该工程采用承台基础, 对承台沉降进行计算, 依照规程 JGJ/T135—2001, 采用分层总和法, 根据地区的沉降观测资料和经验, ψ_s 取 1.0, 经计算, 工程最终沉降为 32.3mm, 小于规范限值 200mm。

四、复合载体夯扩桩检测

工程共施工工程桩 5 075 根, 桩长为 5.45~8.5m,

(上接第 49 页)

设计规程》(JGJ/T135—2001) 对工程桩随机抽取, 共抽取 3 根桩进行检测, 经天津市金海技术开发公司对这 3 根桩进行慢速维持荷载试验, 在 2 倍设计荷载下, 最大变形为 24.6mm, 最小变形为 18.4mm, 与计算沉降相符, 且卸载后 3 根桩回弹率都在 28% 以内, 该工程复合载体承载力都满足设计要求, 其 $Q-s$ 曲线如图 2 所示。

六、结语

复合载体夯扩桩改变了传统桩基础的概念, 通过锤击跟管成孔, 通过填料对深层土体进行加固, 提高了深层地基土承载力, 并通过桩身把上部荷载传递到深

所有复合载体夯扩桩

载体都进入砂土层。

随机抽取工程桩 25 根

进行检测。对这 25 根

桩的荷载试验曲线进

行分析, 曲线呈缓变

型, 最大沉降 28.6mm,

最小沉降为 13.5mm,

说明在 2 倍设计荷载

下, 均未达到极限值,

承载力满足设计, 通过

卸载, 回弹量较大, 由此

可见该工程桩承载力还

有一定的储备, 图 1 为

A 区部分试桩荷载试验

的 $Q-s$ 曲线, 试桩的

施工控制参数见表 3。

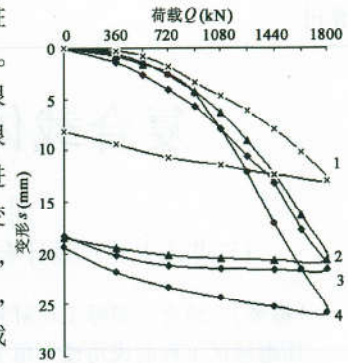


图 1 部分试桩 $Q-s$ 曲线图

试桩施工控制参数

表 3

桩号	桩径(mm)	桩长(m)	填料(m^3)	三击(cm)
1#	420	7.2	0.35	7
2#	420	6.5	0.3	8
3#	420	6.8	0.3	8.5
4#	420	6.3	0.3	9

五、结语

结合晨鸣纸业 30 万 t 涂布白卡纸厂房工程的地质条件, 对复合载体夯扩桩的设计进行介绍。通过该工程的施工情况和施工检测可以分析, 复合载体夯扩桩应用于工业建筑的地基处理是可行的, 能节省大量造价, 是一项值得大力推广的施工工艺。

参 考 文 献

1. 顾晓鲁等. 地基与基础. 中国建筑工业出版社, 2002.
2. 建筑桩基技术规范. 中国建筑工业出版社, 1990.
3. 王继忠等. 复合载体夯扩桩设计规程. 中国建筑工业出版社, 1991.

层土体进行扩散。通过本工程可以看出, 在天津软土地区, 由于上层软土侧摩阻力低, 若采用普通桩基础, 桩长较长, 而采用复合载体施工工艺能有效降低成本, 具有明显的经济效益。

参 考 文 献

1. 复合载体夯扩桩设计规程(JGJ/T135—2001). 中国建筑工业出版社, 2002.
2. 建筑地基基础设计规程(GB50007—2002). 中国建筑工业出版社, 2002.
3. 建筑桩基技术规范(JGJ94—94). 中国建筑工业出版社, 1994.