

# 粉喷桩复合地基在软土地基处理中的应用

胡 华

(江汉油田分公司江汉采油厂)

**摘 要** 结合粉喷桩复合地基加固软弱地基的具体工程实测资料,分析了用粉喷桩复合地基替代钻孔灌注桩加固地基的加固效果和粉喷桩在工程中的应用价值。

**主题词** 粉喷桩 复合地基 软土地基 处理

粉喷桩加固软土地基于1971年在瑞典首次应用于工程实践。它是深层搅拌桩的一种,以水泥粉为固化剂的搅拌桩。其作为一种加固地基的变形特性,减少在荷载作用下可能发生的沉降和不均匀沉降。我国80年代初开始应用。实践证明,粉喷桩主要适用于加固淤泥、淤泥质土和含水量较高的、地基承载力不大于120kPa的粘性土、粉土等软土地基。水泥搅拌与桩间土一起,通过褥垫层,形成复合地基。粉喷桩复合地基是一种利用特殊的搅拌机械,在钻孔过程中,将粉状的水泥或石灰喷入地下并充分搅拌混合,与周围土体共同作用相互影响,起到加固地基作用,成为水泥土搅拌桩复合地基。本文结合粉喷桩加固软土地基具体工程实例,分析粉喷桩在油田矿区的软弱地基的应用。讨论其方法也具有一定的工程应用价值。

## 1 工程地质条件

根据江汉石油管理局勘察设计研究院提供的《广华联合站5000m<sup>3</sup>原油罐岩土工程勘察报告》(编号:地-4466),拟建广华联合站新建5000m<sup>3</sup>原油罐高为12.68m,直径为23m,结构形式为钢结构。该场地位于广华联合站内,东北部紧靠化验室及办公室,西邻已建第二号3000m<sup>3</sup>罐。拟建场地为一片表层遍布碎石的空地,四周为水泥混凝土道路,地形平坦,在大地构造上属于华南地台的江汉断陷,处长江—汉江冲积平原中部,为汉江I级阶地。本次勘察结果表明,拟建场地浅层土均为第四纪全新统冲积—湖积地层。根据静力触探结果,拟建场地在勘探深度范围内土层自上而下共分为5层,各地

层简述如下:

第1层粉质粘土,呈软—可塑状态,厚0.8~1.8m,横向分布比较均匀,承载力较高,压缩性大,土质均匀性较差,其上部覆盖着0.4~0.9m厚的人工填土,成分为块石碎石混土、罐体周边表层为0.05~0.15m厚的混凝土地坪。 $f_k = 100\text{kPa}$ ,  $E_s = 3.51\text{MPa}$ 。

第2层淤泥质土,厚约2.7~4.1m,承载力低;在1号孔附近下卧2-1层为淤泥,呈透体状分布,厚约1.7m,承载力低,呈软—流塑状态。 $f_k = 65\text{kPa}$ ,  $E_s = 2.73\text{MPa}$ 。

第3层粘性土总厚约3.7~5.2m,其中3层为粘土夹薄层粉砂,厚0.4~3.8m,承载力稍高。 $f_k = 95\text{kPa}$ ,  $E_s = 3.73\text{MPa}$ ;中部3-1层为淤泥质土,厚1.2~3.5m,主要分布在1<sup>#</sup>孔附近,软硬不均,呈软—流塑状态,承载力低。 $f_k = 65\text{kPa}$ ,  $E_s = 2.73\text{MPa}$ 。

第4层粉质粘土夹薄层粉砂,厚5.9~8.3m,厚度变化较大,承载力稍高。 $f_k = 115\text{kPa}$ ,  $E_s = 4.40\text{MPa}$ 。

第5层粉细砂,分上下两层,其上为5-1层,厚2.5~4.2m,稍密状态,承载力较高。 $f_k = 120\text{kPa}$ ;下层未钻穿,中密至密实状态,顶板埋深19.2~20.6m,承载力高。 $f_k = 200\text{kPa}$ 。

## 2 设计与施工

由于场地内该土层的承载力较小,天然地基均不能满足设计要求,经过对粉喷桩复合地基、沉管灌

**作者简介** 胡华,男,1986年广东石油学校毕业,工程师,现为质量监督站站长。

注桩和钻孔灌注桩三种方案的技术和经济的比较,现采用了技术可行、基础费用较低的粉喷桩加固地基方案。设计复合地基承载力特征值为 120kPa,单桩竖向承载力特征值分别为:Ⅰ区、Ⅱ区单桩竖向承载力特征值分别为 80kN;Ⅲ区等于 110kN。在其建筑物范围内共打入了 801 根桩,桩径 500mm,桩长分别为:Ⅰ区,12.4m;Ⅱ区,12.9m;Ⅲ区,10.4m。

施工机械使用 SH-15 型粉喷桩搅拌机,施工工艺采用全程复搅复喷,施工过程针对此基础变化较大的软弱地质情况,放慢提升搅拌的速度,尽可能使水泥浆液与有机质粘土充分搅拌,以达到增强桩身强度的目的。

### 3 加固检验及效果

为了检验原油钢罐地基加固效果,施工结束后对罐基进行了现场静载荷检测和试水压试验,检验其地基承载力和施工后的沉降变化情况。

#### 3.1 承载力试验

本工程采用单桩、单桩复合地基静载荷两种试验,试验加载装置采用钢结构荷重平台和袋装砂自重来控制,加载时采用手动油压千斤顶加载、工字钢搭设堆载平台、沙袋堆积提供反力的形式。加载方式为慢速维持荷载法,共分 10 级加载,压板采用 20mm 厚的方形钢板,底面积为单桩处理面积 1.00m × 1.00m、0.80m × 0.80m、0.65m × 0.65m,板底铺设 70mm 中粗砂找平层,试坑底开挖至基底标高。荷载值通过压力表测量,再由千斤顶的标定曲线换算给出进行测量。见图 1。试验是依据中华人民共和国行业标准《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2002),并参照《建筑地基基础技术规范》(DB 42/242-2003)及其他有关规范、规程。

本工程共进行了三组粉喷桩复合地基载荷试验。

依据 JGJ 79-2002《建筑地基处理技术规范》检测三组复合地基,并按照该标准判定:场区 33<sup>#</sup>、103<sup>#</sup>、193<sup>#</sup> 点复合地基承载力特征值大于等于 120kPa,见表 1。

#### 3.2 沉降观测

经施工后监测,建筑物在试水压结束后,说明不均匀沉降情况基本稳定,在近 1 年的沉降观测中,未发现新的不均匀沉降。试水压后油罐倾斜度如表 2

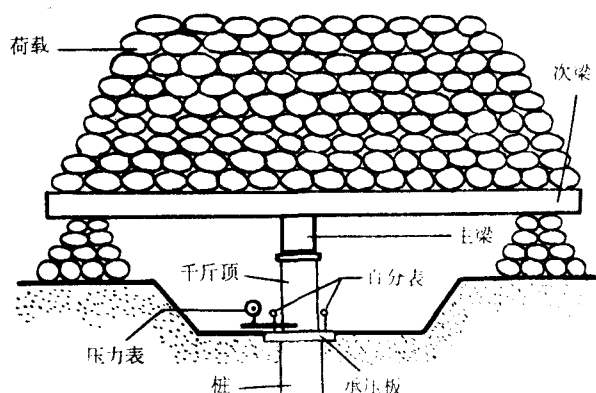


图1 静载荷检测示意图

所示。

### 4 结束语

(1)通过广华联合站新建 5000m<sup>3</sup>原油罐采用粉喷桩复合地基的工程实例,表明粉喷桩用于加固钢罐基础是可行的,设计经济合理、效果良好,具有发展前景。

(2)本工程在设计复合地基的承载力主要依据的公式:

$$f_{spk} = mR_s/A_p + \beta(1-m)f_{sk}$$

$f_{spk}$ ——复合地基的承载力特征值, kPa;

$m$ ——面积置换率;

$R_s$ ——单桩竖向承载力特征值, kN;

$A_p$ ——桩的截面积, m<sup>2</sup>;

$\beta$ ——桩间土折减系数,宜按地区经验取值,如无经验时可取 0.75~0.95,天然地基承载力较高时取大值;

$f_{sk}$ ——处理后桩间土承载力特征值, kPa, 宜按当地经验取值,如无经验时,可取天然地基承载力特征值。

通过上式的计算,复合地基承载力特征值约等于 137.5kPa,与现场静载荷试验的检测结果都满足设计要求。

(3)粉喷桩复合地基与以往加固油罐地基采用的沉管灌注桩和钻孔灌注桩方案相比,具有工艺简单、适应性强、造价低等优点,并节约了投资,有明显的社会效益。

表1 复合地基试验结果汇总表

| 编号 | 桩号  | 最大试验荷载 |        | 极限承载力  |        | 承载力特征值 |        | 残余沉降<br>(mm) |
|----|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
|    |     | (kPa)  | 沉降(mm) | ≥(kPa) | 沉降(mm) | (kPa)  | 沉降(mm) |              |
| 1  | 33  | 240    | 26.40  | 240    | 26.40  | 120    | 5.88   | 15.32        |
| 2  | 103 | 240    | 3.50   | 240    | 3.50   | 120    | 1.02   | 1.34         |
| 3  | 193 | 240    | 18.32  | 240    | 18.32  | 120    | 4.67   | 9.73         |

表2 建筑物倾斜观测表

| 观测日期<br>2003年 | 时间    | 观测点:A、B  |          |          | 观测点:C、D  |          |          | 观测点:E、F  |          |          | 观测点:H、N  |          |          | 荷重增加情况   |
|---------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|               |       | 施测<br>标高 | 本次<br>下沉 | 累计<br>下沉 | 施测<br>标高 | 本次<br>下沉 | 累计<br>下沉 | 施测<br>标高 | 本次<br>下沉 | 累计<br>下沉 | 施测<br>标高 | 本次<br>下沉 | 累计<br>下沉 |          |
| 10.25         | 16:00 | 30.238   | 0        | 0        | 30.235   | 0        | 0        | 30.242   | 0        | 0        | 30.238   | 0        | 0        | 布点       |
| 10.26         | 16:30 | 30.226   | 12       | 12       | 30.226   | 9        | 9        | 30.232   | 10       | 10       | 30.231   | 7        | 7        | 水位 5.0m  |
| 10.27         | 17:00 | 30.226   | 0        | 12       | 30.224   | 2        | 11       | 30.229   | 3        | 13       | 30.224   | 7        | 14       | 水位 5.0m  |
| 10.28         | 17:00 | 30.220   | 6        | 18       | 30.221   | 3        | 14       | 30.228   | 1        | 14       | 30.221   | 3        | 17       | 水位 5.5m  |
| 10.29         | 8:00  | 30.217   | 3        | 21       | 30.216   | 5        | 19       | 30.219   | 9        | 23       | 30.215   | 6        | 23       | 水位 8.0m  |
| 10.30         | 16:00 | 30.199   | 7        | 39       | 30.201   | 5        | 34       | 30.205   | 6        | 37       | 30.200   | 3        | 38       | 水位 9.5m  |
| 10.31         | 16:00 | 30.187   | 2        | 51       | 30.179   | 14       | 56       | 30.182   | 12       | 60       | 30.177   | 11       | 61       | 水位 11.0m |
| 11.2          | 16:00 | 30.173   | 14       | 65       | 30.175   | 4        | 60       | 30.173   | 9        | 69       | 30.171   | 6        | 67       | 水位 11.0m |
| 11.3          | 9:00  | 30.170   | 3        | 68       | 30.173   | 2        | 62       | 30.172   | 1        | 70       | 30.170   | 1        | 68       | 水位 11.0m |

## 参 考 文 献

- 1 龚晓南. 复合地基理论及工程应用. 中国建筑工业出版社, 2002. 11
- 2 中华人民共和国行业标准. 建筑地基基础设计规范. GB 50007-2002, 中国建筑工业出版社
- 3 中华人民共和国行业标准. 建筑地基处理技术规范. JGJ 79-2002, 中国建筑工业出版社
- 4 罗骥先主编. 桩基检测手册. 人民交通出版社, 2003. 1
- 5 湖北省土木建筑学会. 土工基础. 2004. 2

(编辑 云 帆)

(上接第61页)

## 6 结 论

(1) 天然气是一种优质、高效、清洁的能源和化工原料。天然气发电是一种绿色发电技术, 具有投资少, 建站周期短, 运行费用低、投资回收期短等特点。

(2) 王场油区利用富余天然气发电, 一方面减少了环境污染, 消灭了火炬; 另一方面创造了可观的经济效益。根据经济评价约1年2个月可收回全部投资。

(3) 王场油区天然气发电机组运行平稳, 发电技术成熟, 推广应用燃气发电技术可拓展燃气应用领域, 特别对减少水、土壤、空气污染尤为有利, 具有长远的社会效益, 且有很好的推广应用前景。

## 参 考 文 献

- 1 陈赓良. 国内外天然气利用的现状与展望. 石油与天然气化工, 2002, 31(5)
- 2 武利亚. 关于天然气市场的开发与培育的建议. 北京: 石油工业出版社, 2000. (13)
- 3 张良鹤. 天然气集输工程. 北京: 石油工业出版社, 2001. 4
- 4 李安洪. 定时进气技术在燃气发动机上的应用. 石油机械, 2003. 5
- 5 袁斌. 燃气发电机组的供气工艺. 油气田地面工程. 2001(02)
- 6 电机工程手册编委会. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1982. 12
- 7 王毓东. 电机学. 浙江大学出版社, 1989. 12

(编辑 云 帆)