

# 某水泥粉磨站 CFG 桩复合地基的设计与施工

李兆斌, 左秉旭

(黑龙江省桩基础工程公司, 黑龙江 哈尔滨 150036)

**摘要:**结合工程实例,根据场区工程地质条件和结构设计要求,对采用 CFG 桩复合地基技术进行地基加固处理的设计、施工与检测进行了介绍,对加固处理效果进行了评价。

**关键词:**CFG 桩复合地基;地基承载力;长螺旋钻孔管内泵压;变形监测

**中图分类号:**TU472.3 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)12-0048-02

CFG 桩复合地基是目前应用比较广泛的地基加固处理方法之一。CFG 桩复合地基技术具有地基承载力提高幅度大、复合地基变形小、施工速度快、造价低等特点,特别是当采用长螺旋钻孔管内泵压施工工艺时,更具有无泥浆和噪声污染的优点,加固效果明显。

## 1 工程概况

新建工程位于内蒙古自治区东部,省际大通道西侧。拟建年产 80 万 t 水泥粉磨站,包括水泥调配库、水泥粉磨、水泥库、包装车间及成品库等单项工程,基础落地面积合计为 4000 m<sup>2</sup>,基础埋深 2.4 m,

结构类型为砖混及框架结构,平面形式为矩形及圆形。结构设计要求地基承载力特征值  $f_{ak} \geq 300$  kPa,建筑物最大沉降量  $\geq 60$  mm,建筑物倾斜  $\geq 0.002$ 。

## 2 工程地质情况

根据场区岩土工程勘察报告,拟建工程场地位于西辽河冲积平原上,地势平坦,其地貌成因类型为人工堆积、冲(湖)积。

勘察控制深度内,岩土为全新统( $Q_4^{al}$ )及上更新统( $Q_3^{al}$ )的冲(湖)积粉土、粉质粘土、细砂等,地层分布较连续,呈水平层理,地基土物理力学性质指标见表 1。

表 1 地基土物理力学性质指标(平均值)表

| 土层名称                | 天然重度 $\gamma$<br>/(kN·m <sup>-3</sup> ) | 含水量<br>$w/\%$ | 孔隙比<br>$e$ | 液性指数<br>$I_L$ | 压缩模量<br>$E_s/\text{MPa}$ | 标贯击数 $N$<br>/[击·(30 cm) <sup>-1</sup> ] | 地基承载力特征值<br>/kPa |
|---------------------|---|---------------|------------|---------------|--------------------------|---|------------------|
| ①细砂                 | 19.3                                    |               | 0.816      |               |                          | 8.3                                     | 120              |
| ① <sub>1</sub> 粉质粘土 | 19.2                                    | 23.3          |            | 0.37          | 2.61                     | 3.0                                     | 105              |
| ②细砂                 | 19.3                                    |               |            |               |                          | 14.5                                    | 150              |
| ② <sub>1</sub> 粉质粘土 | 19.2                                    | 34.5          |            | 0.8           |                          |   | 105              |
| ② <sub>2</sub> 粉土   | 19.3                                    | 18.8          |            | 0.28          |                          |   | 110              |
| ② <sub>3</sub> 粉砂   | 19.4                                    |               |            |               |                          |   | 130              |
| ③细砂                 | 19.4                                    |               |            |               |                          | 23.0                                    | 170              |
| ④细砂                 | 19.5                                    |               |            |               |                          | 34.8                                    | 200              |

场区地下水类型属松散岩类孔隙潜水,含水层岩性主要为细砂,地下水水位埋深 3.9~5.1 m,年变幅在 1.0 m 左右,地下水水质良好,对混凝土无腐蚀性,适宜建筑施工。

## 3 地基加固处理方案选择

建筑物基础埋深 2.4 m,位于①<sub>1</sub>粉质粘土层,该层天然地基承载力及变形无法满足结构设计要

求,必须进行地基加固处理。结合场区的地质条件、工程特点、周边环境及工期要求,经过综合分析和充分论证,最终确定地基加固处理采用 CFG 桩复合地基。

## 4 CFG 桩复合地基设计

### 4.1 复合地基设计参数的确定

CFG 桩复合地基设计主要需确定 5 个参数:桩

收稿日期:2007-11-09

作者简介:李兆斌(1968-),男(汉族),辽宁金县人,黑龙江省桩基础工程公司副总工程师,钻探工程专业,从事地基与基础工程施工工作,黑龙江省哈尔滨市香坊区香顺街 82 号。

长、桩径、桩间距、桩身强度等级及褥垫层厚度。

#### 4.1.1 桩长

CFG 桩复合地基要求桩端落在强度较高、压缩性较小的土层上,这是 CFG 桩复合地基设计的一个重要原则。因此,桩长是 CFG 桩复合地基设计时首先要确定的参数,它取决于建筑物对承载力和变形的要求、地质条件等因素。根据场区地质条件,确定桩端持力层为④细砂层,桩长 15.0 ~ 16.0 m,桩端均进入持力层  $\geq 2.0$  m。

#### 4.1.2 桩径

CFG 桩采用长螺旋钻孔管内泵压施工工艺时,桩径一般为 400 mm 或 600 mm,考虑到本工程单桩承载力不会太高,同时考虑到工程造价,所以本工程桩径设计为 400 mm。

#### 4.1.3 桩间距

##### 4.1.3.1 确定天然地基承载力特征值

由基底标高可以看出,建筑物基底位于第①<sub>1</sub>粉质粘土层,天然地基承载力特征值为 105 kPa。

##### 4.1.3.2 计算单桩竖向承载力特征值

根据场区岩土工程勘察报告给定的水下钻孔桩各土层侧阻力特征值及端阻力特征值,按照公式:

$$R_a = q_{pa}A_p + u_p \sum q_{sia}l_i$$

计算出单桩竖向承载力特征值  $R_a$  为 440 kN。

##### 4.1.3.3 计算面积置换率

根据本工程结构设计要求的复合地基承载力特征值及前面确定的天然地基承载力特征值、单桩承载力特征值,按照公式:

$$m = (f_{spk} - \beta f_{sk}) / [(R_a/A_p) - \beta f_{sk}]$$

计算得到面积置换率  $m \geq 0.0617$ 。

##### 4.1.3.4 计算桩间距

采取正方形布桩,桩间距为  $s = (A_p/m)^{1/2} \leq 1.427$ 。

初步确定桩间距为 1.4 m,此时复合地基承载力特征值为 308.08 kPa。

#### 4.1.4 确定桩身强度等级

桩体试块抗压强度平均值应满足  $f_{cu} \geq 3R_a/A_p$  的要求。

本工程  $f_{cu} \geq 3R_a/A_p = 10.51$  MPa,所以 CFG 桩的桩身强度等级取 C15。

#### 4.1.5 确定褥垫层厚度

根据建筑物荷载及基底土质情况,确定褥垫层厚度为 200 mm,材料采用粒径为 5 ~ 15 mm 的碎石。

#### 4.2 布桩

复合地基设计参数确定后,可进行布桩。CFG 桩可只在基础范围内布置,本工程采取正方形布桩,理论桩数可按照公式  $n = A/s^2$  来确定。实际布桩数要比理论布桩数多,一般多 6% 左右。各单项工程 CFG 桩复合地基设计参数见表 2。

表 2 各单项工程 CFG 桩复合地基设计参数表

| 单项工程         | 桩长<br>/m | 桩径<br>/m | 桩数<br>/根 | 桩间距<br>/m | 褥垫层<br>厚度/mm | 桩身强<br>度等级 | 基础落地<br>面积/m <sup>2</sup> |
|--------------|----------|----------|----------|-----------|--------------|------------|---------------------------|
| 水泥粉磨         | 16.0     | 0.4      | 425      | 1.3 ~ 1.4 | 200          | C15        | 730                       |
| 水泥库          | 15.5     | 0.4      | 162      | 1.4       | 200          | C15        | 300                       |
| 包装车间<br>及成品库 | 15.0     | 0.4      | 1244     | 1.4       | 200          | C15        | 2300                      |
| 水泥调配库        | 15.5     | 0.4      | 362      | 1.4       | 200          | C15        | 670                       |
| 合计           |          |          | 2193     |           |              |            | 4000                      |

#### 4.3 变形计算

经程序软件计算,地基加固处理后,在附加应力作用下各建筑物沉降量计算的最大值均小于 50 mm,建筑物倾斜  $< 0.001$ ,满足结构设计要求。

#### 5 CFG 桩复合地基施工

CFG 桩采用长螺旋钻孔管内泵压混合料成桩工艺施工,共投入 2 台(套)施工设备。施工要点如下。

(1)施工前应按设计要求由试验室进行配合比试验,施工时按配合比配制混合料,坍落度为 160 ~ 220 mm。

(2)提钻速度应与混合料泵送量相配合,钻头应埋入混合料中 3.0 m 左右,以防缩径、断桩现象发生。

(3)褥垫层的夯填度(夯实后的褥垫层厚度与虚铺厚度的比值)  $> 0.9$ 。

(4)施工时采取隔桩跳打(隔二打一),防止窜孔。

本工程 2006 年 4 月 25 日开工,到 5 月 22 日结束,施工工期 28 天。

#### 6 CFG 桩复合地基加固效果

##### 6.1 施工检测

为检测 CFG 桩复合地基的加固效果和施工质量,在桩体强度满足荷载试验条件时,进行了如下检测。

(1)低应变对桩身质量的检测,检测桩数为总桩数的 15%,共 330 根。检测结果:桩身强度等级均达到 C15,桩身质量完整。

(下转第 51 页)

土的早期强度。

### 3.2 混凝土搅拌和运输

为确保混凝土的搅拌质量,本工程施工过程采用商品混凝土,商品混凝土在生产前采用热水冲洗搅拌机,采用电脑自动配料,严格控制混凝土的配合比。拌制时先投入骨料和水,最后投入水泥,控制混凝土的出机温度不低于 20℃。

因混凝土搅拌站和施工现场的距离长达 30 km,混凝土采用罐车运输,为防止运输过程中混凝土温度降低较快,对罐车外部包裹棉帆布进行保温。

### 3.3 混凝土浇筑

因单节混凝土井壁高度为 5~6 m,单节混凝土井壁的浇筑量为 27~36 m<sup>3</sup>,为缩短混凝土浇筑时间,避免混凝土温度降低过快,影响混凝土的浇筑质量,故利用泵车直接将混凝土泵送至模板内进行浇筑。由于冬季北方多雾,为防止混凝土运输过程中道路阻塞,导致混凝土温度降低、坍落度损失过快,因此混凝土尽量选择在 11:00~18:00 时段气温较高时浇筑。为防止混凝土堵管,浇筑前混凝土的坍落度控制在 120 mm,浇筑时的最低温度不低于 10℃。

为防止浇筑过程中断,泵管中的混凝土温度降低、流动性变差而发生堵管事故,每节井壁浇筑时必须保证混凝土的连续供应。

井壁浇筑时,在每节井壁不同位置埋设深度不同的 3 根测温管,随时监控井壁内混凝土的温度变化情况。

当浇筑前发现混凝土温度低于要求,或混凝土流动性变差,可能影响井壁质量时,不得继续浇筑。

### 3.4 混凝土养护

冬季施工混凝土,必须加强养护,使混凝土在受冻前达到临界强度。

为确保混凝土井壁质量,对井壁采用棉帐篷覆盖、电暖气加热进行养护。为此,特制作直径 6.3 m、高 6.5 m 的双层棉帐篷,需对井壁养护时,利用吊车将帐篷直接吊起罩在混凝土井壁外,且周围压实。

混凝土浇筑后,先在井壁外沿圆周方向均布 6 个 2 kW 电暖气,然后将井壁马上采用棉帐篷覆盖。拆除模板时,则将棉帐篷吊开,模板拆除后,在井壁表面喷涂养护剂,对井壁重新覆盖,并采用电暖气加热养护。经实测,当室外温度为 -10℃ 时,帐篷内的温度可达到 15~18℃,而井壁内混凝土的温度则达到 25~30℃。

混凝土在棉帐篷内的养护时间根据同条件养护下的试块强度确定,要求混凝土试块的抗压强度不低于设计强度的 70%。经实测,预留试块的 3 天抗压强度达到设计强度的 30% 以上,平均为 15.23 MPa。7 天抗压强度达到 65% 以上,平均为 26.92 MPa。根据室外温度不同,混凝土在棉帐篷内的养护时间控制在 3~5 天。

## 4 结语

本工程经采取以上措施,确保了钢筋混凝土井壁的施工质量,对与井壁同条件养护的混凝土试块进行 28 天强度试验,实际强度超过了设计强度。井筒建成后井壁未发现渗水等现象,运行良好。

### 参考文献:

- [1] 俞宾辉. 建筑混凝土工程施工手册[M]. 济南:山东科学技术出版社,2004.
- [2] 刘津明,韩明. 土木工程施工[M]. 天津:天津大学出版社,2001.
- [3] GB 50204-2002, 混凝土结构工程施工及验收规范[S].
- [4] GB 50268-97, 建筑工程冬季施工规程[S].

## 7 结语

本工程采用 CFG 桩复合地基技术进行地基加固处理,达到了预期的效果。经过经济对比分析,为建设单位节约基础投资 25%~30%,为当年动工、当年投产奠定了基础。同时,也为 CFG 桩复合地基技术在此地区的推广应用提供了可靠的经验。

### 参考文献:

- [1] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] 江正荣. 地基与基础施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.

(上接第 49 页)

(2) 复合地基静载荷试验,检测点数为总桩数的 1%,共 22 点,承压板面积为 1.4 m×1.4 m。

检测结果:复合地基承载力特征值均大于或等于 300 kPa,累计沉降量均小于或等于 18 mm,满足设计要求。

### 6.2 变形监测

从基础施工结束开始对建筑物进行变形监测,经过一年多,沉降已趋于稳定,各建筑物的总沉降量均小于 35 cm,建筑物倾斜 < 0.0009,复合地基加固处理满足结构设计要求。