

# CFG 桩复合地基在天津某回填土地地中的应用

孙冶默

中国石化工程建设有限公司 北京市 100101

**摘要:** 天津某项目场地需进行大面积回填土, 且场地中存在软弱土层。该项目的工业仓库采用 CFG 桩的复合地基处理方案。本文对该工程 CFG 桩复合地基进行了设计计算, 并与现场试验桩平面载荷试验的结果进行对比分析, 验证了 CFG 桩复合地基在该回填土地地应用的合理性。

**关键词:** CFG 桩; 复合地基; 回填土; 软弱土层

CFG 桩是由碎石、石屑、砂、掺水泥加水拌和制成的桩 (Fig.1), 与桩间土、褥垫层一起形成复合地基, 由桩土共同承担上部荷载。CFG 桩的适用范围很广, 可以提高地基土的承载力, 在各种类型土质的地基均有应用。该技术具有质量易控制、工程造价经济, 且施工快的特点, 已在内地地基处理中得到了大量的运用<sup>[1]</sup>。

天津 PP 项目包装厂房及仓库经过方案比选, 采用 CFG 桩的复合地基处理方案, 本文对该方案进行了设计计算, 并与现场 CFG 试验桩平面载荷试验的结果数据进行对比分析, 以期验证该地区使用 CFG 桩的合理性。

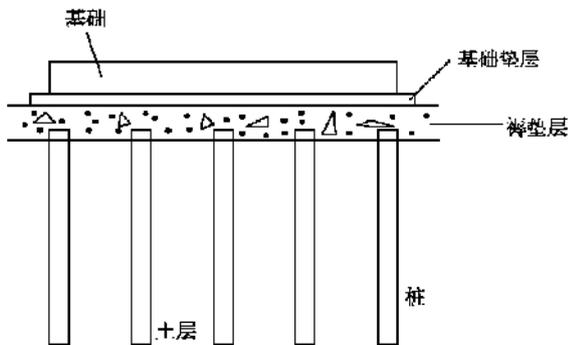


Fig.1 CFG 桩复合地基示意图

## 1 工程概况

天津某项目位于天津市大港区, 建设于原有烯烃部厂区内, 其中包装厂房及仓库总占地面积 10561 m<sup>2</sup>, 场地中有包装厂房、成品仓库及辅助用房等建筑物。其中包装框架为钢筋混凝土框架, 高 23 米, 基础埋深 -2.50m, 拟作桩基础; 包装厂房及成品仓库为轻型门式刚架结构, 高 7~8 米, 基础埋深 -1.50m, 拟作天然地基。本工程 ±0.000 高于场地地坪, 需进行大面积回填土。

## 1.1 场地工程地质情况

该场地地层主要由粉质黏土、粉土组成, 其中 3b 层以下土质较差, 存在软弱土层, 地基承载力及变形均无法满足要求, 该场地需作地基处理。场地地层自上而下分布如 Table 1 所示:

Table 1 场地土层物理力学性质表

土层编号	土层名称	层厚 (平均厚度) m	标准贯入试验 锤击数N	土体状态	承载力特征值 $f_{ak}/kPa$	桩的极限侧阻力		桩端土地基承载力	
						(复合地基) $q_{ak}/kPa$	(复合地基) $q_{pk}/kPa$		
2	粉质黏土	0.60~2.00 (1.36)	4~6	软塑	90	18			
3a	粉质黏土	0.40~1.80 (0.95)	3~4	软塑	90	18			
3b	粉土	1.50~4.10 (2.13)	9~12	中密	120	26			
3c	粉质粘土	0.80~4.20 (2.60)	2~3	流塑	90	8			
3d	淤泥质粉质黏土	8.20~11.1 (9.38)	1~4	流塑	85	8			
4	粉质黏土	0.90~3.70 (2.25)	6~14	可塑	120	29		350	
5a	粉土	1.60~5.50 (3.63)	17~24	中密~密实	180	36		450	

## 1.2 地基处理方案选择

由于包装厂房及仓库部分地坪需进行大面积回填土, 可采用压实地基处理或复合地基处理。为了选择更有效的地基处理方案, 对强夯、预应力混凝土管桩 (PHC) 及 CFG 桩的方案进行比较。

对于填土地基, 采用强夯法可有效降低土体压缩性, 提高承载力, 但该方法的施工噪音大, 且产生的振动会对临近厂区内的设备存在影响, 因此不予考虑; 采用 PHC 管桩复合地基方案的优点在于单桩承载力大, 总桩数少。但接头部位在弱腐蚀性的水环境中的防腐蚀措施复杂, 难以实现, 且影响工期进度; CFG 桩具有施工速度快、工期短、质量容易控制、工程造价低廉的特点, 且桩身无配筋, 抗腐蚀效果好。

综合考虑施工工期、施工成本、对周围环境影响等各方因素, 最终选择 CFG 桩的地基处理方案。

## 2 CFG 桩复合地基的设计

本工程包装仓库基础采用独立基础，埋深 -1.50m，坐落在 2 层粉质粘土层上，其承载力特征值为 90kPa。CFG 桩复合地基方案需要将  $f_{spk}$  处理至 130kPa 以上。

CFG 桩复合地基的设计步骤如下，需要确定以下桩体数据：

(1) 桩径：CFG 桩桩径一般为 350~600mm，可根据工程需要选用，本工程选取  $d=500\text{mm}$ 。

(2) 桩长：本工程确定 CFG 桩进入 4 粉质黏土作为持力层，且进入 4 层不少于 2 倍桩径，取桩长  $L=20\text{m}$ 。

(3) 单桩竖向承载力特征值  $R_a$ ，可按式估算：

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_{pi} + \alpha_p q_p A_p$$

式中： $u_p$ ——桩的周长 (m)；  
 $q_{si}$ ——桩周第  $i$  层土的侧阻力特征值 (kPa)，可按地区经验确定；  
 $l_{pi}$ ——桩长范围内第  $i$  层土的厚度 (m)；  
 $\alpha_p$ ——桩端阻力发挥系数，应按地区经验确定；  
 $q_p$ ——桩端端阻力特征值 (kPa)，可按地区经验确定；  
 对于水泥搅拌桩、旋喷桩应取未经修正的桩端地基土承载力特征值。

其中，桩身截面周长， $u_p=1.571\text{m}$ ；桩端持力层为粉质粘土， $q_p=350\text{kPa}$ ；计算得到单桩承载力特征值  $R_d=475\text{kN}$ ，取单桩承载力特征值  $R_a=450\text{kN}$ 。

依据规范 (JGJ 79-2012)<sup>[2]</sup>，复合地基承载力特征值按下式计算：

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1 - m) f_{sk}$$

式中： $\lambda$ ——单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值；  
 $R_a$ ——单桩竖向承载力特征值 (kN)；  
 $A_p$ ——桩的截面积 ( $\text{m}^2$ )；  
 $\beta$ ——桩间土承载力发挥系数，可按地区经验取值。  
 $f_{spk}$ ——复合地基承载力特征值 (kPa)；  
 $f_{sk}$ ——处理后桩间土承载力特征值 (kPa)，可按地区经验确定；  
 $m$ ——面积置换率；

根据设计要求， $f_{spk}=130\text{kPa}$ ； $f_{sk}$  取天然土地基承载力特征值  $f_{sk}=90\text{kPa}$ ； $A_p=0.1963\text{m}^2$ ；单桩承载力发挥系数取 0.8，桩间土强度发挥系数  $\beta$ ，一般取 0.9 ~ 1.0，本工程取 0.80。将上述数据代入上式，求得  $m=0.0280$ 。

(4) 桩距：按规范，桩最大桩间距为 (3 ~ 5)d，按下面公

式计算桩的最大间距 (布桩方式为正方形布桩)：

$$D = (d/1.13\text{m})^{1/2} = 2.74\text{m}$$

取  $D=2.50\text{m}$  满足规范要求。

(5) 有粘结强度复合地基增强体桩身强度应满足下式的要求。

$$f_{cu} \geq 4 \lambda R_a / A_p$$

式中

$f_{cu}$  —— 桩体试块 (边长 150mm 立方体) 标准养护 28d 的立方体抗压强度平均值 (kPa)

本工程强度等级取 C15，求得  $f_{cu} \geq 8253\text{kPa}$ ，满足设计要求。

(6) 褥垫层：在桩顶和基础间设置褥垫层，可调节分配桩土的应力，保证桩土共同承担上部荷载，减少基础底面的应力集中。本工程褥垫层厚度取 300mm。

## 3 CFG 桩复合地基平板静载荷试验

### 3.1 试验桩设置

选取三根 CFG 桩进行平板载荷试验，因设计方案 2.5m 的桩间距，采用 6.25 $\text{m}^2$  的承压板。试验桩数据如 Table 2：

Table 2 CFG 桩试验桩参数

桩号	桩径 (mm)	桩长 (m)	桩距 (m)	压板面积 ( $\text{m}^2$ )	地基处理后复合地基承载力特征值 (kPa)
P-1	500	20	2.5	6.25	130
P-2	500	20	2.5	6.25	130
P-3	500	20	2.5	6.25	130

### 3.2 试验原理

试验装置示意图见 Fig.2 所示。试验按规范 (JGJ79-2012)<sup>[2]</sup> 的要求进行。

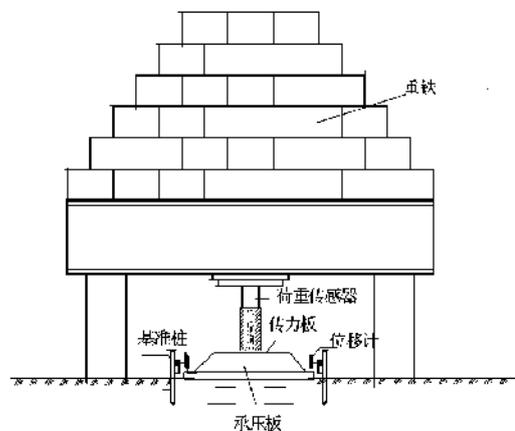


Fig.2 复合地基平面静载试验装置示意图

采用慢速维持荷载法 (堆载法)，对承压板施加竖向力，

承压板下铺设 150mm 左右的中粗砂垫层。每一级加载后，由位移传感器记录复合地基产生的沉降。

### 3.3 试验方法

试验最大荷载为 260kPa，分 9 级加载，首级加载量为 52kPa，以后每级加载量均为 26kPa。

每加一级荷载后，记录承压板沉降量  $s$ ，并之后每 0.5h 记一次。当沉降量稳定后，即可加载下一级。

### 3.4 数据分析

根据静载荷实测数据，绘制 CFG 桩复合  $p-s$  曲线 (Fig.3)。加载到 260kPa 结束时， $p-s$  曲线呈平滑曲线，均未出现明显拐点，且各级荷载下沉降均匀，最终沉降 P-1、P-2、P-3 的沉降量分别为 9.06mm、8.75mm、13.13mm。试验结果说明试验桩未达到极限破坏，因此可以确定此三根试验桩的复合地基承载力特征值不小于 130kPa，满足设计要求。

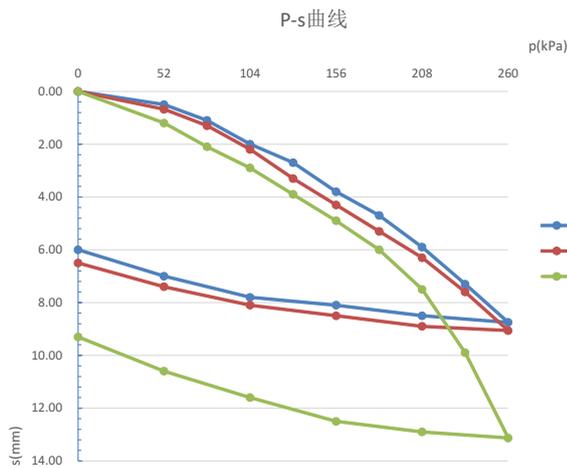


Fig.3 CFG 单桩复合  $p-s$  曲线

## 4 CFG 桩单桩抗压静载荷试验

### 4.1 试验桩设置

选取三根 CFG 桩进行单桩抗压静载荷试验。试验桩数据如 Table 3:

Table 3 CFG 桩试验桩参数

桩号	桩径 (mm)	桩长 (m)	单桩竖向抗压极限承载力 (kPa)
P-4	500	20	960
P-5	500	20	960
P-6	500	20	960

### 4.2 试验原理及方法

采用慢速维持荷载法 (堆载法)，对试验桩施加竖向力，

每一级加载后，由位移传感器记录复合地基产生的沉降。

试验最大荷载为 960kN，分 9 级加载，首级加载量为 192kN，以后每级加载量均为 96kN。每加一级荷载后，记录桩顶沉降量  $s$ ，并之后每 0.5h 记一次。当沉降量稳定后，即可加载下一级。

### 4.3 数据分析

根据抗压静载荷实测数据，绘制 CFG 桩复合  $Q-s$  曲线 (Fig.4)。加载到 960kN 结束时， $Q-s$  曲线呈平滑曲线，均未出现明显拐点，且各级荷载下沉降均匀，最终沉降 P-4、P-5、P-6 的沉降量分别为 9.14mm、10.74mm、11.25mm。试验结果说明试验桩未达到极限破坏，因此可以确定此三根试验桩的抗压承载力特征值不小于 480kN，满足设计要求。

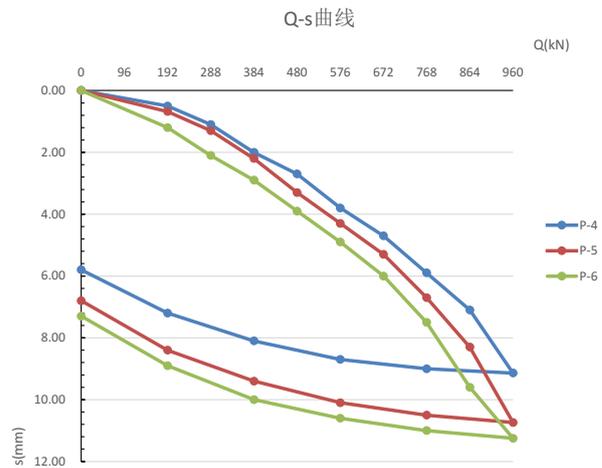


Fig.4 CFG 单桩抗压静载  $Q-s$  曲线

## 5 结论

(1) 在回填土地承载力不足，且下层存在软弱土层时，CFG 桩地基处理方案可满足承载力和变形要求。

(2) 在同样承载效果的地基处理方案中，CFG 桩复合地基具有工程经济合理的特点，适合于沿海地区的应用。

### 参考文献:

- [1] 栗冰. CFG 桩复合地基褥垫层作用机理及按变形控制设计方法的研究 [硕士学位论文 [D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [2] 中国建筑研究院. 建筑地基处理技术规范 (JG J79 - 2012). 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

作者简介: 孙冶默, 性别: 男, 出生: 1992 年 11 月, 民族: 汉族, 籍贯: 河南许昌; 学历: 硕士; 职称: 工程师; 研究方向: 土木工程桩基础设计;