

强夯后填土 CFG 桩复合地基加固技术

骆永生, 郑平, 吴旭君

(冶金部建筑研究总院深圳分院, 深圳 518054)

摘要:根据填土区填土性质和厚度的特点,在多种地基处理和桩基础工法的综合比较基础上,拟建工业厂区拟采用强夯后填土+CFG 桩复合地基。经理论分析计算结合实际工程经验,确定了强夯及 CFG 桩施工参数。现场检测结果表明,本方案满足设计要求。

关键词:强夯加固; CFG 桩复合地基; 施工参数; 检测分析

作者简介:骆永生(1976—),广东惠州人,从事地基基础工程施工。

1 概述

某工业厂区拟建于大面积填土上,厂房、综合楼及宿舍楼均为框架结构,独立基础柱荷载一般为 600~4 500 kN。

1.1 主要土层分布

(1) 人工填土:广布,松散,未完成自重固结,平均厚度 5 m;

(2) 冲坡积黏土:局部分布,软塑-可塑,平均厚度 3~4 m,承载力特征值 150 kPa;

(3) 残积砂质黏性土:广布,硬塑,平均厚度 4 m,承载力特征值 200 kPa;

(4) 强风化凝灰岩:岩石风化强烈,碎块状,承载力特征值 800 kPa。

1.2 地下水

地下水位埋深为 4.5~7.0 m,主要接受大气降水及基岩裂隙水渗透补给,地下水对混凝土具中等腐蚀性。

1.3 填土厚度大

填土区总面积为 16 000 m²,填土厚度为 0.5~8.2 m,平均达 5 m 厚。

1.4 环境

拟建区位于原始地貌属剥蚀残丘及山间凹地交汇处,经填土平整,场地附近周边无建筑物。

2 地基基础方案选择

根据场地岩土工程地质条件特点、建筑物结构和荷载特点、周边环境及当地已具备的施工方法等条件,经勘察、设计和相关岩土工程专家多次讨论分析,拟建区初步采用地基基础方案如下。

2.1 强夯后填土人工地基

在整个场地采用强夯法完成动力固结后,填土承载力达到 160 kPa,可为整个场地内的道路及地下管线基础提供相应的持力层,有效减少此类构筑物在填土地基上沉降及不均匀沉降。

2.2 CFG 桩复合地基

多层厂房建筑物采用强夯加固后的填土和 CFG 桩形成桩土复合地基。

CFG 桩+桩间土+碎石垫层联合构成 CFG 桩复合地基,其主要技术优势为:

(1) 采用长螺旋钻机将中空的长螺旋钻杆钻至设计深度,在泵压(4~6 MPa)作用下边提升钻杆边灌注混凝土成桩,成孔成桩一起完成,有效避免了桩身质量问题。

(2) 桩顶和基础混凝土承台之间设置厚度 20~25 cm 的压实碎石垫层,调整桩土应力比,避免桩顶及承台底面应力集中。

(3) 充分发挥强夯后桩间填土(地基承载力特征值 160 kPa)的承载作用,减少桩数,降低工程

造价。

(4) 施工速度快,成孔能力强,可穿透回填土中直径较大强风化块石。

3 设计计算

3.1 强夯

(1) 设计对强夯加固后填土的要求

强夯后填土地基承载力特征值 $f_{ak} = 160 \text{ kPa}$, 地基变形模量 $E_0 = 7.0 \text{ MPa}$ 。

(2) 夯击能量选取

强夯法的有效加固深度通常由梅那(Menard)公式估算:

$$H = \alpha \left(\frac{W \cdot H}{10} \right)^{\frac{1}{2}}$$

式中, H 为加固有效深度(m); W 为夯锤重量(kN); H 为锤落距(m); α 为修正系数。

该公式仅提供有效加固深度的估算值,据大量实践表明,该公式计算结果偏大,结合本公式的初步计算结果,并依据《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)和实际施工经验,夯击能量选取单击夯击能 $2500 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

(3) 设计施工参数(见表1)

表1 施工参数表

	夯击能 (kN·m)	夯点间距 (m×m)	夯击 遍数	最后两击平均 夯沉量(mm)
点夯	2500	4 m×4 m	点夯一遍	≤50
满夯	1000	搭接1/4	满夯一遍	每点1~2击

3.2 CFG 桩复合地基

(1) CFG 桩复合地基承载力特征值设计要求
复合地基承载力特征值为 400 kPa 。

(2) CFG 桩复合地基构成(见图1)

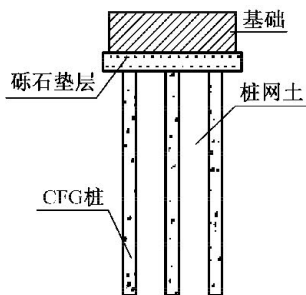


图1 复合地基构造图

CFG 桩+桩间土+碎石褥垫层构成了 CFG 桩复合地基。上部结构荷载通过承台将荷载通过碎石褥垫层传至桩土复合地基。由于垫层是柔性的,在荷载作用下,一方面 CFG 桩桩头刺入垫层,另一方面在垫层传递荷载作用下桩间土产生沉降,在垫层的调整作用下,桩土变形协调,较充分发挥了桩间土的承载作用。

(3) 复合地基承载力计算及布桩

① 岩土参数

计算中强夯后填土和坡积土、残积土按一层考虑,桩侧摩阻力特征值为 25 kPa ,强风化岩桩侧、桩端阻力分别为 60 kPa 和 1000 kPa 。

② 桩的几何参数

桩径 0.45 m ,桩距 1.35 m ,桩长 13.5 m ,桩端持力层为强风化岩层。

③ 单桩承载力特征值(R_a)和复合地基承载力特征值(f_{spk})

$$R_a = U_p \sum q_{si} \cdot l_i + q_p \cdot A_p$$

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

式中, U_p 为桩周长(m); q_{si} 为桩侧摩阻力特征值(kPa); l_i 为桩侧土层分层厚度(m); A_p 为桩截面积(m^2); q_p 为桩端阻力特征值(kPa); m 为桩面积置换率; R 为单桩承载力特征值(kN); β 为桩间土承载力折减系数; f_{ak} 为桩间土地基承载力特征值(kPa); f_{spk} 为复合地基承载力特征值(kPa)。

桩面积置换率按3倍桩间距布桩时通常为 $0.104 \sim 0.157$;取 $m = 0.1$ 。

计算得: $R_a > 500 \text{ kN}$, $f_{spk} > 400 \text{ kPa}$ 。

计算结果表明,复合地基承载力可满足设计要求

④ 桩的平面布置

按桩距 $3d$,边桩中心距承台边缘 $1d$ 的原则布桩,典型的独立柱基承台和条形基础下桩的平面布置图见图2(图中尺寸均为 mm)。

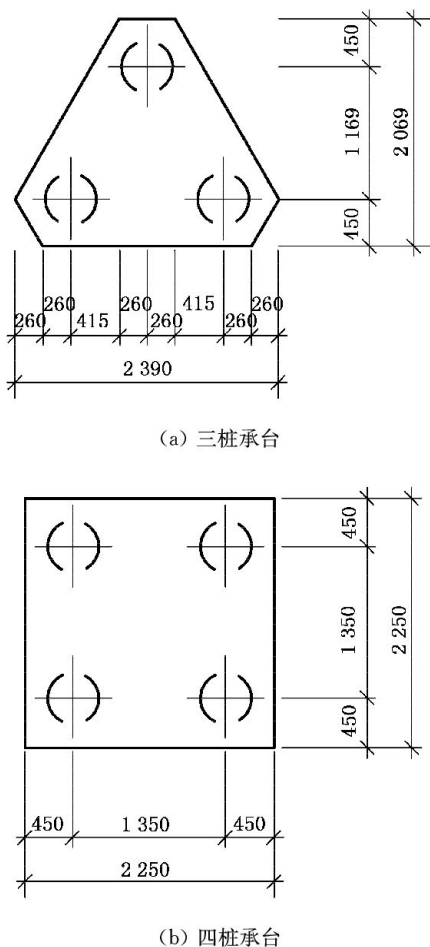


图2 典型的CFG桩平面布桩图

4 施工技术

4.1 强夯施工

(1) 工艺流程

① 平整施工场地并测放夯点,夯机就位,测量夯前锤顶高程;

② 将夯锤起吊到预定的高度,等夯锤脱钩自由下落后,测量锤顶高程(若夯锤歪斜,应及时将坑底整平);

③ 重复上述步骤2,按设计规定的夯击次数及收锤标准,完成一个夯点的夯击;

④ 移到下一夯点,重复上述步骤②、③,直至完成一遍夯点夯击。推平夯坑,整平场地,进行一遍低能量满夯施工,满夯布点相互重叠1/4锤底面积;

⑤ 平整场地完成。

(2) 施工质量控制

- ① 夯坑周围地面不应发生过大的隆起;
- ② 不因夯坑深度过深而发生起锤困难;
- ③ 单击夯击能2500 kN·m,最后两击平均夯沉量 ≤ 50 mm;
- ④ 各夯点的定位偏差 ≤ 50 mm。强夯时夯锤中心一定要与夯点重合,夯锤必须平稳落地,如发现夯锤偏心应及时调整。

4.2 CFG桩复合地基施工

(1) 工艺流程

该工法的成桩工艺及地基做法如下(图3):

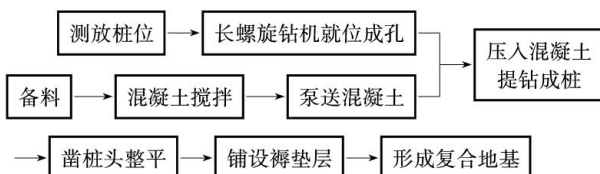


图3 工艺流程

(2) 施工质量控制

① 施工前应按设计要求由试验室进行配合比试验,施工时严格按配合比配制泵压混合料(坍落度宜为160~200 mm);

② 钻至设计深度后,混合料泵送量应与拔管速度相配合,拔管速度应控制在2.5~3.0 m/min;

③ 施工垂直度偏差不应大于1%。施工桩顶标高宜高出设计桩顶标高不少于0.5 m;

④ 清土和截桩时,不得造成桩顶标高以下桩身断裂和扰动桩间土;

⑤ 褥垫层铺设宜采用静力压实法,当基础底面下桩间土的含水量较小时,也可采用动力夯实法,夯填度(夯实后的褥垫层厚度与虚铺厚度的比值)不得大于0.9。

5 现场检测分析

5.1 强夯地基检测分析

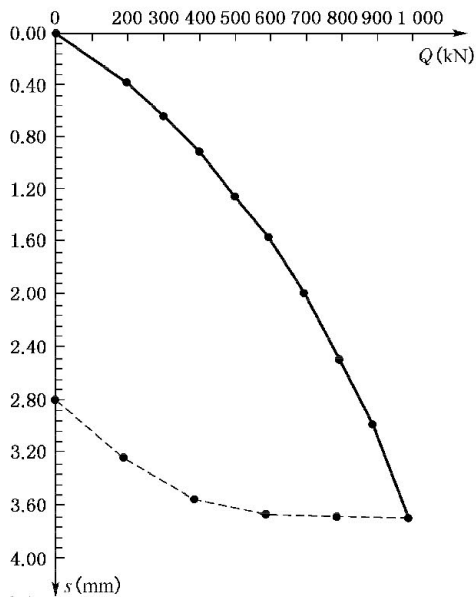
选取点夯位和夯点间土分别进行静载试验,试验结果为:点夯位: $f_{ak} = 200$ kPa, $E_0 = 10.6$ MPa;夯点间土: $f_{ak} = 180$ kPa, $E_0 = 9.2$ MPa。由静载试验结果可知,强夯后地基承载力特征值和变化模量达到设计要求。

5.2 单桩复合地基检测分析

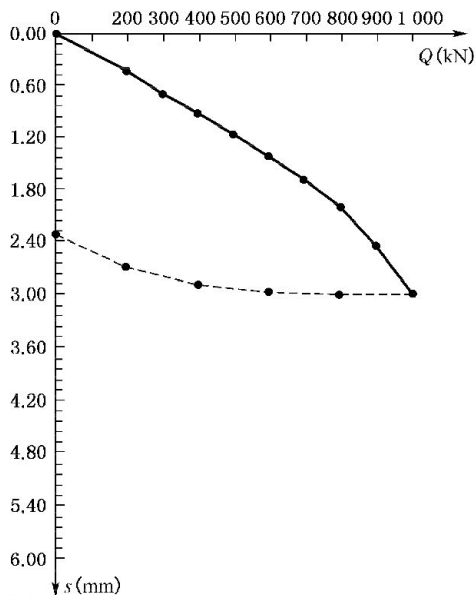
(1) 检测结果汇总表2、图3。

表 2 检测结果汇总表

桩号	桩径 (mm)	桩长 (m)	单桩承载力设计值 (kN)	最大荷载 (kN)	累计沉降 (mm)	残余沉降 (mm)	承载力设计值对应沉降 (mm)
52#	450	11.8	500	≥1 000	3.58	2.81	1.25
441#	450	12.8	500	≥1 000	2.97	2.30	1.15



(a) 52# 桩



(b) 441# 桩

图 3 单桩 Q-S 曲线

从上表 2、图 3 可知:单桩复合地基沉降量较小,而且 Q-S 曲线呈圆滑平缓状,无明显陡降段,沉降较稳定。综合分析,桩极限承载力为 $Q_u \geq 1\ 000\ \text{kN}$,符合设计要求。

6 结 论

(1) 强夯法虽然在不同的土层和地下水条件下,加固效果存在一定的不确定性,若据场地土性质、地下水特点,周密设计施工参数,加强施工过程控制和检测,强夯加固的效果是可以保证的。

(2) 填土区道路及地下管线等构筑物,宜采用强夯后填土作持力层。对多层厂房建筑,CFG 桩复合地基既可充分利用强夯后填土地基的承载力,又能充分发挥 CFG 桩的承载力。

(3) 强夯后填土 CFG 桩复合地基的承载力特征值远大于预估的计算值,可满足设计要求,同时又可达到工期短、经济节约的目的。

参 考 文 献

- [1] 徐至均. 水泥粉煤灰碎石桩复合地基[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [2] JGJ79—2002 建筑地基处理技术规范[S].
- [3] JGJ94—94 建筑桩基技术规范[S].
- [4] 陈希哲. 土力学地基基础[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [5] 地基处理手册编写委员会. 地基处理手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998.