

长螺旋钻机施工 CFG 桩常见质量问题及应对措施

陈 果¹, 于跃生², 赵绎钧³

(1. 中国地质大学(北京)研究生院, 北京 100083; 2. 内蒙古地质矿产勘查院, 内蒙古 呼和浩特 010010; 3. 内蒙古地质工程总公司, 内蒙古 呼和浩特 010050)

摘要:结合一些工程实例, 将长螺旋钻机施工 CFG 桩常见的质量问题归纳为几何形态偏差超标、物理性能破坏失效两类, 并从这一角度定性分析了这些问题对复合地基承载力的影响, 指出了问题产生的主要原因, 给出了常用的应对措施。还从设备和工艺方面提出了改进的建议。

关键词:CFG 桩; 长螺旋钻机; 施工工艺; 复合地基; 承载力

中图分类号:TU473.1⁺4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)01-0062-03

Common Quality Problem and Countermeasures on CFG Pile Constructed by Long Spiral Drilling Machine/CHEN Guo¹, YU Yue-sheng², ZHAO Yi-jun³ (1. Graduate School of China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Inner Mongolian Geology Minerals Investigation Institute, Huhhot Inner Mongolia 010010, China; 3. Inner Mongolian Geology-engineering Parent Company, Huhhot Inner Mongolia 010050, China)

Abstract: With some project examples, this article put common quality problems of CFG pile into two kinds: the error surpasses the standard stipulation for the geometry size and the physical performance destroyed and expired. And from this point, the influence to the bearing capacity of composite foundation was qualitative analyzed, primary cause of these problems and the countermeasures were put forward, and some suggestions were made on equipment and technology.

Key words: CFG pile; long spiral drilling machine; construction technology; composite foundation; bearing capacity

长螺旋钻机施工 CFG 桩(水泥粉煤灰碎石桩, Cement Flyash Gravel Pile), 目前以钻孔管内泵压混合料灌注(超流态混凝土压灌)成桩为主要工艺方法, 该工法适用于粘性土、粉土、砂土以及对噪声或泥浆污染要求严格的场地。从工程实践看, 此工艺能够施工出符合设计和规范要求的 CFG 桩, 但是由于地层、设备和操作等因素, 施工中有相当多的问题桩出现, 影响所形成复合地基的质量。本文拟结合一些工程实例, 对长螺旋钻机压灌施工 CFG 桩常见的质量问题及影响、应对措施作一分类总结, 并提出设备工艺改进的相关建议, 以供借鉴。

1 常见质量问题及影响

1.1 常见质量问题的分类

长螺旋钻机施工 CFG 桩常见的质量问题有: 偏桩、缩径、断桩、夹泥、桩身空心、桩端不饱满不密实、桩身砼强度不够等, 按照其施工工艺和对复合地基质量的影响, 可分为几何形态偏差超标、物理性能破坏失效 2 种。凡带有这些质量问题的桩可称之为“问题桩”。

1.1.1 几何形态偏差超标

包括: 桩垂直度偏差超标、桩位偏差超标、桩径偏差超标、桩长偏差超标等情况。一般(规范)规定: 桩垂直度允许偏差为 1%; 桩距 $s(3d \leq s \leq 6d)$ 条件下, 满堂布桩基础的桩位允许偏差为 $\leq 0.5d$, 条形基础的垂直于轴线方向桩位允许偏差 $\leq 0.25d$ 、平行轴线方向桩位允许偏差 $\leq 0.3d$, 单排布桩桩位允许偏差 $\leq 60 \text{ mm}$; 桩径 $D(350 \text{ mm} \leq D \leq 600 \text{ mm})$ 允许偏差为 $\leq 20 \text{ mm}$; 桩长允许偏差为 $\leq 100 \text{ mm}$ 。施工所成 CFG 桩其偏差凡是超过上述规定, 称之为偏桩; 其中实际桩径小于设计桩径称之为缩径。

1.1.2 物理性能破坏失效

包括: 断桩、夹泥、桩身空心、桩端虚化(不饱满不密实)、桩身砼强度不足。断桩包括深层断桩和浅层断桩 2 种情况。

1.2 问题桩对复合地基承载力的影响

1.2.1 几何形态偏差对复合地基承载力的影响

不考虑设计需求的复合地基承载力值($f_{sp,k}$)、桩间土承载力值($f_{s,k}$)、土的侧阻力特征值(q_{si})、端阻力特征值(q_p), $f_{s,k}$ 、 q_{si} 、 q_p 为岩土勘察实验值。

$$\text{由 } m = (f_{sp,k} - \beta f_{s,k}) / (R_k / A_p - \beta f_{s,k}) \quad (1)$$

$$\text{及 } n = mA / A_p \quad (2)$$

收稿日期: 2008-06-12

作者简介: 陈果(1985-), 男(汉族), 内蒙古呼和浩特人, 中国地质大学(北京)在读硕士研究生, 地质工程专业, 北京市海淀区学院路 29 号, Hehei8468@163.com。

$$\text{知 } m \propto (R_k^{-1}, A_p = \pi d^2) \quad (3)$$

$$m \propto (n, A^{-1}, A_p) \quad (4)$$

$$\text{由 } R_a = U_p \sum q_{si} l_i + q_p A_p \quad (5)$$

$$\text{知 } R_a \propto (U_p = \pi d, \sum l_i = l, A_p = \pi d^2) \quad (6)$$

$$\text{由 } f_{sp,k} = m R_k / A_p + \beta(1 - m) f_{s,k} \quad (7)$$

$$\text{知 } f_{sp,k} \propto (m, R_a, A_p^{-1}) \quad (8)$$

于是有表 1。

表 1 CFG 桩几何形态偏差对复合地基承载力的影响

偏差源	桩垂直 度偏差	桩位偏差	桩径 偏差	桩长 偏差
直接影响的参数	$f_{s,k}, q_{si}, q_p$	s [n (桩布置形式)]	d	l
间接影响的参数	R_a	m	m, R_a	R_a
最终影响的参数	$f_{sp,k}$	$f_{sp,k}$	$f_{sp,k}$	$f_{sp,k}$

注:一般地,将 CFG 桩均匀地布置在基础底面积范围内。

1.2.2 物理性能破坏失效对复合地基承载力的影响

$$\text{由 } f_{cu} \geq 3R_k / A_p \quad (9)$$

$$\text{知 } R_k \propto (f_{cu}, A_p) \quad (10)$$

于是有表 2。

表 2 CFG 桩物理性能破坏失效对复合地基承载力的影响

破坏源	断桩	夹泥	桩身空心	桩端虚化	桩身砼强度不足
直接影响的参数	l	l	f_{cu}	q_p	f_{cu}
间接影响的参数	R_a	R_a	R_k	R_a	R_k
最终影响的参数	$f_{sp,k}$	$f_{sp,k}$	$f_{sp,k}$	$f_{sp,k}$	$f_{sp,k}$

1.2.3 工程设计计算实例

北京交通大学学生 6 号公寓。地层条件为:上部人工堆积回填土层;上部底层(约 20.0 m 以浅)为粘性土、粉土、砂土交互分布;下部第四系一般沉积地层,下部顶层(20.0 m 以深)由卵石、粘性土组成。地下水 - 35.0 m 深度范围内:第一层埋深 4.7 ~ 6.2 m,上层滞水,降水及地表水补给;第二层埋深 10.9 ~ 14.2 m,潜水,降水补给;第三层埋深 27.8 ~ 28.9 m,上层滞水,降水及地表水补给。基础持力层:④粉质粘土 - 重粉质粘土, $f_{sp,k} = 170$ kPa;⑤细砂层 $f_{sp,k} = 220$ kPa。

计算结果: $l = 19.5$ m + 0.5 m, $d = 410$ mm, $n = 306$ 根, $s = 1600$ mm \times 1600 mm, $R_a = 680$ kN, $f_{cu} = C20$ 。

1.3 偏差、破坏程度分类

按照工程经验和检测结果,将问题桩的偏差、破坏的严重程度分为以下 3 类:

(1) 经测量或检测、估算分析,如桩的偏差、破坏的严重程度达到标准值(设计)的 5% ~ 10% 及以上时,认为该桩的质量问题严重,必须采取补救措

施。

(2) 经测量或检测、估算分析,如桩的偏差、破坏的严重程度达到标准值(设计)的 1% ~ 5% 时,认为该桩的质量问题一般,是否采取补救措施可视具体情况而定。

(3) 经测量或检测、估算分析,如桩的偏差、破坏的严重程度小于标准值(设计)的 1% 时,认为该桩的质量问题轻微,可不采取补救措施。

但是对于断桩的情形则必须采取补救措施。

2 出现问题桩的原因、应对措施及工程实例

2.1 出现问题桩的原因

2.1.1 桩垂直度偏差超标的原因

场地未能压实或钻机垫衬不稳,以至钻机在钻进时倾斜,导致钻孔偏斜超标;钻进时未根据地层情况采取纠偏措施,钻具跑偏,以致钻孔偏斜超标。

2.1.2 桩位偏差超标的原因

测量放线、定位不准;测量仪器前后系统误差超标;施工中孔位标志因地层扰动而移动,有时还会因钻机支撑时支撑脚压在桩位旁使原标定的桩位发生移动;钻机对位不准。

2.1.3 桩径偏差超标(扩径、缩径)的原因

灌注后桩顶封土不合格,或围桩挤桩,混合料上涌使桩径缩小;钻头和钻杆直径不能同时保证设计要求;地下水位埋藏较浅的地层提拔钻具时孔底形成负压空隙水压或真空现象,形成压差地下水产生流动,造成桩孔缩径或塌孔;砂土地层由于凝聚力很小受钻具扰动造成孔壁的不稳定或坍塌;施工过程中应力的重新分配和调整可能造成桩孔缩径。

2.1.4 桩长偏差超标的原因

超钻或少打。

2.1.5 浅层断桩的原因

对保护桩长部分的混合料振捣不够,桩顶混合料密实度不足;混合料坍落度过大、拔管速率过快,桩顶浮浆过多,桩体强度降低;截桩方法不当。

2.1.6 深层断桩的原因

灌注不连续;砼量灌注不足;提钻太快泵送砼跟不上提钻速度,泥浆侵入;灌注时间过长,泥浆残渣沉淀加厚而堵管;二次下球;相邻桩太近,造成串孔。

2.1.7 桩身夹泥的原因

处理堵管措施不完善,砼压力、流量太大,冲破泥皮,将泥浆夹裹于桩内;导管漏水或导管提漏;二次下球;拔管过晚,砼不能及时充填而泥浆填入。

2.1.8 桩身空心的原因

排气阀不能正常工作,管内空气与砼混合,桩体存气;管内混合料不充实;管路和料斗内砼离析。

2.1.9 桩端虚化(不饱满不密实)的原因

初泵时先提钻后泵料;导管距离孔底距离不恰当;初灌量不合理;堵管,混合料流速减慢;阀门开启不当,钻头上的土掉入桩孔或地下水浸入桩孔。

2.1.10 桩身砼强度不足的原因

水质超标;水量超量;配合比不合理、骨料级配

不合理、材料质量不达标;混合料坍落度过大。

2.2 应对措施的总结

根据工艺特点和现场的经验,将常见质量问题的应对措施(预防措施、补救措施)归纳见表3。

2.3 工程实例

依照上述对问题桩产生原因的认识和应对措施,使以下工程(表4)的质量得到很好的保障。

表3 CFG桩常见质量问题的应对措施

质量问题	预 防 措 施	补 救 措 施
桩垂直度偏差超标	①施工前清除地下障碍,平整压实以防钻机偏斜; ②放桩位时认真仔细,严格控制误差; ③开钻前和钻进过程中注意检查复核桩机的水平度和垂直度; ④成孔中发现钻杆摇晃或难钻时,应放慢进尺,防止桩孔偏斜	超标严重的应补桩
桩位偏差超标	①根据周围桩对需施工桩的桩位进行复核,保证桩位准确; ②开孔时先慢后快,防止桩孔位移	超标严重的应补桩
扩径、缩径	①要有专人对钻杆、钻头的直径进行检查,控制其磨损程度; ②成孔中发现钻杆摇晃或难钻时,应放慢进尺,防止扩径; ③加强施工场地标高和已打桩桩顶标高观测	①缩径严重的应补桩; ②扩径严重的要防止串桩、挤桩
桩长偏差超标	①注意进尺标记,进尺达到设计标高时应停止钻进; ②现场技术员应确认停钻时进尺是否达到要求	桩长小于设计严重的应补桩
断桩	①成桩过程中泵料要连续,严禁间歇式泵料,可采取配备储料罐等措施,避免中途停机,尤其要避免在砂土和粉土层内停机; ②严禁先拔管后泵料,拔管速度一般控制在2~3 m/min,在含水砂层段内,适当放慢提钻速度; ③采取加大砼泵量的措施,保证钻杆孔内有0.1 m ³ 以上的泵料,且钻杆孔内混合料表面高度始终略高于钻杆底出口; ④经常检查排气阀,防止其被水泥堵塞,保证排气阀正常工作; ⑤保持输送管道具有良好的泌水性,合理设置砼输送管; ⑥每根桩的投料量不应小于设计灌注量,应根据现场施工情况调整最佳停止泵料的高度; ⑦如灌注过程中因意外原因造成灌注停滞时间大于砼的初凝时间时,应重新成孔灌桩,或自砼面向下钻1~2 m再灌; ⑧桩顶采用足够厚度的湿粘土封顶,满足砼养护的要求	①浅层断桩的,应开槽除掉断口以上部分,剔凿下部桩头至密实段,采用比桩体强度高一个等级的砾石砼,接桩至设计高程,其戴帽的嵌入深度>100 mm,直径600 mm; ②发现深层断桩的,在断桩旁补桩
夹泥	①开始泵砼尽可能提高泵压,产生大的冲击力,克服泥浆阻力; ②保持连续泵砼,防止堵管; ③提升钻杆要准确可靠,防止早提; ④检查管路是否有漏水、弯曲等缺陷,发现问题要及时更换	严重夹泥的应补桩
桩身空心	①施工中应经常检查排气阀的工作状态,发现堵塞及时清洗; ②泵送时要经常敲打输送管,确认管内混合料是否充实; ③防止因故间歇时管路和料斗内砼离析	严重空心的应补桩
桩端虚化	①施工中前、后台工人应密切配合,保证提钻和泵料的一致性; ②拔管应直提,不得旋转提拔钻杆,避免反插导致砼与土混合	虚化严重的应补桩
桩身砼强度不足	①拌制CFG桩砼用水避免使用有侵蚀性的水; ②在改善和易性时尽量减少用水,降低砂率; ③优化粗骨料级配,除5~15 mm外,适量加入20~40 mm碎石; ④在保证顺利泵送的前提下控制坍落度,一般140~200 mm; ⑤粉煤灰的选用要经过配比试验以确定级别、掺量; ⑥优化选择外加剂,推荐使用早强型减水剂	严重不足的应补桩

表4 CFG桩工程实例情况

工程名称	CFG桩数量/棵	直径/mm	砼强度	单桩承载力设计值/kN	复合地基承载力检测值/kPa	开工时间
北京交通大学学生公寓2、3、4、6、7号楼基础处理	2319	410	C20	520~660	450	2004.12~2005.02
北京航洋软胶囊项目基础处理	900	410	C20	530~580	430	2005.09~2005.10
华能北京热电厂一期脱硫技改工程复合地基	990	410	C20	500~560	420	2006.03~2006.04

>3 Lu 占 88% ~ 92%, 平均值为 11.65 ~ 15.99 Lu, 远大于防渗标准(透水率 > 3 Lu), 而灌后透水率均小于 3 Lu(区间值为 0.5 ~ 1.76 Lu), 满足防渗标准。

4.4 灌浆前后岩体波速对比分析

灌浆前在各灌区的抬动观测孔内做岩体波速测试, 灌后在各区检查孔中做了岩体波速测试。灌前各区岩体波速为 1832 ~ 2826 m/s, 灌后有所提高: 左岸 A1 区岩层比较完整, 灌后波速提高到 2902 ~ 3376 m/s, 平均提高 550 ~ 1070 m/s, 增幅为 19.5% ~ 58.4%, 说明岩体的整体性和防渗能力都有较大的提高, 起到良好的灌浆效果。

5 综合评价

根据钻灌工艺及灌浆试验成果资料分析, 灌浆过程的质量控制以及灌浆前后岩体波速对比、压水试验透水率对比、岩体抬动位移的变化等评价如下。

(1) 各灌区各序次灌浆孔单位注入量呈递减趋势, 符合灌浆规律; 灌浆前后岩体波速有较大的提高、透水率显著变小, 说明灌浆试验所用的灌浆压

力、孔排距、浆液配合比、灌浆材料、施工工艺等符合各试验区的岩层特征。

(2) 各试验区灌浆前压水试验透水率远大于防渗标准, 灌浆后压水试验透水率小于灌前透水率, 且全部小于设计要求的防渗标准, 能达到防渗目的。

(3) 左岸 A1 区和右岸 B1、B2 区灌浆试验所在位置为强至弱风化岩层, 岩体完整性差, 风化带内夹层多充填次生粘泥, 局部充填不均匀, 这类岩层的水理性较差, 遇水极易软化, 其饱和湿抗压强度较天然状态抗压强度降低幅度很大, 基于这个原因, 建议在该部位施工过程中尽量减少水对岩体特别是新鲜岩石的影响以及大的灌浆压力可能对岩层整体造成的破坏, 因此在该部位灌前的压水试验应少做或不做, 灌浆压力可适当减小。

(4) 左岸灌浆廊道和右岸的帷幕灌浆孔孔、排距宜采用 1.5 m, 最大灌浆压力 ≥ 2.5 MPa。为减少水对夹层泥质充填物的影响, 可用风钻造孔, 少做或不做灌前简易压水; 左岸趾板帷幕灌浆孔孔距宜采用 2.0 m、排距采用 1.5 m, 最大灌浆压力 ≥ 3.0 MPa。

(上接第 64 页)

3 设备工艺改进的建议

设备工艺改进的思路: 目前长螺旋钻机施工 CFG 桩的设备、工艺虽然已趋成熟, 但是在保证施工质量方面仍然有改进的空间, 应当针对常见的质量事故, 在保持设备总体不变的前提下设计相应的机构元件, 同时完善现场工艺, 以可靠避免问题桩的出现。

3.1 设备方面

3.1.1 泵送和提钻的联动问题

建议增加一套数控的泵送和提钻的联动系统。使现场人员可以根据有关参数调整系统设置, 实现泵送和提钻的联动, 避免提钻与灌注配合不当的问题, 提高效率减少事故。

3.1.2 弯头曲率半径、弯头材料

混合料由砼泵通过刚性管、高强柔性管、弯头最后到达钻杆心管内, 因此弯头曲率半径成为能否让砼保持顺畅的关键。弯头曲率半径过大过小都不合

适。制作具有合理曲率半径的弯头需要优选制造材料。

3.2 工艺方面

解决挤桩工艺难题, 可采用以下 2 种方法:

(1) 建议优先采取隔桩跳打(多台钻机施工时, 可以用网络图的方式, 增大跳打的距离, 加大隔桩数量)的方式, 同时大量采用菱形布桩的方法, 在上述泵送和提钻的联动实现的条件下可以缩短砼的初凝时间。

(2) 在保证土的置换率前提下, 建议适当采用“短径长桩”的方法, 改善施工中桩间应力状态。

参考文献:

- [1] 徐至钧, 王曙光. 水泥粉煤灰碎石桩复合地基[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [2] 龚晓南. 地基处理新技术[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997. 46 - 54.
- [3] JGJ 79 - 2002, 建筑地基处理技术规范[S].