

# CFG 桩螺旋钻孔—泵压砼成桩工艺 施工参数和工艺流程的探讨

佟建兴

(中国地质大学,北京 100083)

郑惜平

(深圳市建设土石方机械工程公司,深圳 518028)

岑文龙

(中国地质大学,北京 100083)

**【摘要】** 对 CFG 桩螺旋钻孔—管内泵压砼成桩法工艺流程进行了分析概括;从成桩工艺出发,推导出施工参数的理论公式,对工艺流程进行量化管理,并应用到工程实践中。

**【关键词】** CFG 桩;施工参数;工艺流程

**【中图分类号】** TU472.35

## Discussion on Constructional Parameter and Technological Process of Twist Drill-Concrete Pump Piling of CFG Piles

**【Abstract】** The technological process using twist drill concrete pump piling of CFG piles is analyzed and summed. Based on the mechanism of piling, theoretical formulas of constructional parameters are derived and then applied to the practice of engineering.

**【Key words】** CFG piles; constructional parameter; technological process

### 0 引言

CFG 桩(水泥粉煤灰碎石桩)是 20 世纪 80 年代末期发展起来的的可变强度桩,由于具有良好的经济效益和社会效益,该技术已在全国 20 多个省、市、自治区得到推广。特别是近几年来,CFG 桩复合地基技术在高层建筑地基中广为应用,目前已经成为北京地区高层建筑中应用最为普遍的地基处理技术之一。

CFG 桩的施工方法分为如下几种:沉管灌注成桩、泥浆护壁钻孔灌注成桩、长螺旋钻孔—管内泵压砼成桩等。其中,长螺旋钻孔—管内泵压砼成桩工艺由于施工噪声低、设备行走灵活、成桩速度快、对地层适用性强,而被广泛应用,现已成为北京地区 CFG 桩复合地基处理的主要成桩工艺。但是,由于工艺流程设计不合理、施工参数设置不当造成的工程质量问题,也是屡见不鲜,深为从事该工艺的业内人士头疼。笔者曾

就该工艺中常见工程问题及其处理,作过一些探讨。本文试从施工设备、砼拌和物、工艺流程等几个方面出发,对这种施工方法做进一步的概括和分析,同从事 CFG 桩复合地基处理工作的工程技术界人士商榷。

### 1 CFG 桩长螺旋钻孔—管内泵压砼成桩法的施工

#### 1.1 主要施工设备及其相关技术参数

长螺旋钻孔—管内泵压砼成桩工艺主要配套设备包括长螺旋钻机、砼泵和搅拌机。长螺旋钻机分为步履式及履带式两种。钻杆中心是一根直径为  $d$  的无缝钢管,螺旋叶片的外径  $D$  等于桩孔的直径,螺旋叶片的螺距一般为  $(0.6 \sim 0.7)D$ ,钻头处装有两个可以上下翻动的闸门,保证钻杆中空部分同外界导通。长螺旋钻机可适用于粘性土、粉土、砂土、人工填土和淤泥质土等多种地层,但当遇到砖瓦、

条石或砂卵石层时,则很难继续钻进。该工艺用砼泵一般为液压活塞式。按工作能力可分为 HB-15, HB-30, 和 HB-60 等多种泵型,其最大泵送量依次为  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  和  $60 \text{ m}^3/\text{h}$  等。输料管道直径主要有 100 mm, 125 mm, 150 mm 及 200 mm 等型号。工程实践中要求输料管道直径不超过钻杆内径  $d$ 。考虑到工艺特点和搅拌机工作性能,该工艺一般使用大容量强制式双卧轴搅拌机,如 JS500 和 JS1000,以保证泵送的连续性。

### 1.2 砼拌和物及其主要技术参数

由于该工艺采用泵压砼灌注成桩,故要求拌和物具有良好的可泵性。可泵性好的砼应该是:输送过程中与管道之间的流动阻力尽可能小;有足够的粘聚性,保证在泵送过程中不泌水,不离析。为了顺利泵送,砼要有一定的流动性;如果水灰比或坍落度过大,虽然在初始时砼具有很好的流动性,但是在泵送过程中却容易发生离析而导致管道阻塞,反而失去可泵性。根据工程实践,砼坍落度控制在 180~200 mm 之间为宜。

该工艺一般选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。粗集料最大粒径与输料管径之比;碎石不宜大于 1:6;卵石不宜大于 1:5;针、片状颗粒对砼可泵性的影响很大,它不但降低砼的稳定性,而且扁长颗粒容易卡在泵管中造成堵塞,故针、片状粗集料颗粒的质量分数不宜大于 10%。细集料以 II 区中砂为宜;砂率能显著影响砼的和易性,一般而言,合适的砂率为 40%~50%。用粉煤灰取代部分水泥是 CFG 桩用料特点之一,粉煤灰既是细骨料,又起到低标号水泥的作用,它不仅能改善拌和物的和易性及稳定性,延缓凝结时间,减少管内摩擦,而且可使桩体具有明显的后期强度;该工艺用粉煤灰一般为 I 级灰或 II 级灰,用量为水泥质量的 25% 左右。外加剂宜采用泵送剂,它具有减水、增塑、保塑以及提高拌和物稳定性等多种功能,对泵送施工极为有利,其掺量一般为水泥质量的 0.1%~0.15%。

### 1.3 工艺流程

对于地下水埋藏较深,降水效果良好,且加固区为均匀稳定粘性土层的工地,一般不需考虑地下水对施工的影响,可按下述干孔灌注成桩工艺流程:

钻机就位→成孔至设计深度→提钻 20 cm 左右→边灌砼边提钻→成桩→钻机移位→封顶→钻机就位

近几年来,CFG 桩复合地基技术在高层建筑地基中广为应用,所处理的高层建筑物层数达到 35 层,高度超过 100 m。高层建筑基础埋藏深,地下水位相对于施工作业面(基坑底部)比较浅,尤其是加固区有较厚砂层存在时,在长螺旋钻机钻进成孔过程中,周围土体中的水将会很快流入钻孔。当钻至设计深度后,钻孔内已经积存了大量地下水。如果仍按干孔灌注成桩,势必是在水中灌注砼,很有可能造成桩体砼的离析,形成离析桩甚至断桩。因此必须考虑地下水对成桩工艺的影响。可以将干孔灌注成桩工艺流程改进为水下灌注成桩工艺流程:

钻机就位→成孔至设计深度→提升钻杆 20 cm 左右→钻杆内灌注砼→边灌注砼边提升钻杆→成桩→钻机移位→封顶→钻机就位

工艺流程第四步即在继续提钻前灌注适量砼,砼在自重作用下,可由钻头闸门流出并沿钻杆与孔壁间上返,将积水挤至砼料顶部,使钻头被埋在砼料中,形成隔水状态,然后边提边灌,正常成桩。成桩至地表后,孔中积水自然被排出桩外。

### 1.4 主要施工参数及其量化设置

搅拌机、砼泵和长螺旋钻机三位一体,构成完整的成桩系统。三者的配合,就是做到搅拌机生产能力同砼泵泵送能力的协调匹配、砼泵泵送速度同钻机提拔速度的动态平衡,以及泵送次数同钻杆内拌和物高度关系的人为控制。施工过程中需要设置的主要参数包括:拌和物搅拌时间  $t$ 、搅拌机小时生产能力  $Q_0$ 、砼泵实际输送量  $B$ 、泵送一次的输送量  $b$ 、钻杆

提拔速度  $v$ 、水下灌注工艺流程第四步钻杆内砼的灌注高度  $h$ 、为保证高度  $h$  而必需的泵送次数  $c$  等。

#### 1.4.1 拌和料的搅拌时间及搅拌机的生产能力

搅拌时间对砼拌和物的均质性和可泵性有明显影响,但也不是可以任意延长。该工艺中,使用容积为 400~1 000 L 强制式搅拌机,搅拌时间以 2 min 左右为宜;如使用容积为 400~1 000 L 的自落式搅拌机,搅拌时间以 3 min 左右为宜。搅拌机小时生产能力:

$$Q_0 = 3\ 600 \times N \times \frac{V}{t_1 + t_2 + t_3} \quad (1)$$

式中:  $Q_0$  —— 搅拌机小时生产能力,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$N$  —— 搅拌机台数;

$V$  —— 搅拌机出料容量,  $\text{m}^3$ ;

$t_1$  —— 装料时间, s;

$t_2$  —— 搅拌时间, s;

$t_3$  —— 卸料时间, s。

#### 1.4.2 砼泵泵送能力

砼泵的主要技术参数是其泵送能力,包括:单位时间输出量、泵送距离和泵送一次的输出量等。这些参数可在砼泵的说明书中查到。但是这些数据是指在标准条件下所能达到的能力。因此在施工中砼泵实际输出量应根据具体条件按下式计算:

$$B = \beta \cdot B_0 \quad (2)$$

式中:  $B$  —— 砼泵的实际输送量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$B_0$  —— 砼泵的设定输送量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$\beta$  —— 配管条件系数,按表 1 取值,砼输送管的水平换算距离按表 2 确定。

表 1 配管条件系数表

水平换算的泵送距离/m	配管条件系数 $\beta$
0~49	1.0
50~99	0.9~0.8
100~149	0.8~0.7
150~179	0.7~0.6
180~199	0.6~0.5
200~249	0.5~0.4

表 2 砼输送管的水平换算长度表

种类	规格	水平换算长度/m
向上垂直管/m	100A (4B)	3
	125A (5B)	4
	150A (6B)	5
向下垂直管/m		1
锥形管/根	175A→150A	4
	150A→125A	8
	125A→100A	16
弯管/根	$R=0.5\text{ m}$	12
	$90^\circ$	
	$R=1.0\text{ m}$	9
软管/根(5~8m)		20

注:①  $R$  — 曲率半径;

② 弯管的弯曲角度小于  $90^\circ$  时,需将表列数值乘以该角度对  $90^\circ$  角度的比值;

③ 斜向配管时,其长度按水平投影长度加垂直投影距离的换算长度计

如果施工过程中输送管的配管条件变化不大,砼泵的实际平均输送量也可按下面的简易公式估算:

$$B = Q/t \quad (3)$$

式中:  $B$  —— 砼泵的实际输送量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$Q$  —— 泵送砼量,  $\text{m}^3$ ,根据搅拌机出料容积  $V$  确定;

$t$  —— 连续泵送状态下泵送  $Q\text{m}^3$  砼需要的时间 (h),在泵送过程中记录。

泵送一次的砼输送量  $b$  可按下述方法标定:搅拌机搅拌砼料  $Q$ ,用砼泵泵送完毕并记录总的泵送次数  $c$ ,则:

$$b = Q/c \quad (4)$$

#### 1.4.3 提拔速度与泵送量的关系

钻杆提升成桩期间,砼阻塞于输料管或钻杆中,不能继续灌注成桩,称为堵管。堵管是成桩过程中最常遇到的问题,直接影响到成桩质量和工程进度。造成堵管的原因之一是砼泵的实际输送量同钻杆提速不能协调匹配。输送量过大或钻杆提速过慢,在泵送压力的作用下,砼容易发生泌水离析。对于失水失浆后的粗集料而言,接缝、弯道和糙面都会使它的传输受阻,并很快挤压密实,导致堵管。而泵

送量过小或钻杆提拔速度过快,会使砵供应不足,成桩质量受到影响。所谓泵送量与钻杆提速的协调匹配,就是实现钻头同桩孔中砵料面相对位置的动态平衡(见图1),即对于  $M_m$  高的桩体,其等体积的砵在泵送时间上应该等于钻杆提拔  $M_m$  需要的提拔时间。结合施工机理,不难得出下面的公式:

$$B_1 = v \cdot \alpha \cdot \pi \cdot D^2 / 4 \quad (5)$$

式中:  $B_1$ ——砵泵实际输送量,  $m^3/min$ ;  
 $v$ ——钻杆提拔速度,  $m/min$ ;  
 $\alpha$ ——桩体充盈系数;  
 $D$ ——桩径,  $m$ 。

钻杆提拔速度和泵送量一般均可调节。首先限定一个变量,然后根据式(5),求出与之协调匹配的另一个变量,从而实现了对上述平衡的动态控制。

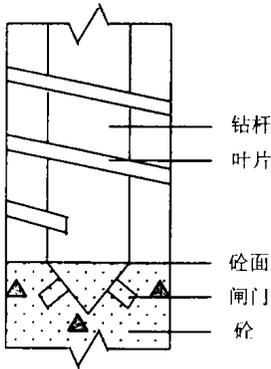


图1 干孔灌注成桩示意

#### 1.4.4 泵送次数同钻杆内砵拌和物高度的关系

前述水下灌注成桩工艺流程中,第四步钻杆内灌注砵的高度以  $6 \sim 8 m$  为宜。根据工程实践,此高度砵的压强足以使砵由钻头闸门流出并沿钻杆与孔壁间上返  $1 m$  以上(见图2),将积水挤至砵料顶部,使钻头被埋在砵料中,起到良好的隔水作用。钻杆内砵灌注高度可利用砵泵的泵送次数调节:

$$c = h \cdot \pi \cdot d^2 / (4 \cdot b) \quad (6)$$

式中:  $c$ ——泵送次数(砵拌和物开始压入钻杆时计),次;  
 $h$ ——钻杆中砵的灌注高度,  $m$ ;

$b$ ——泵送一次的砵输送量,  $m^3/次$ ;  
 $d$ ——钻杆内径,  $m$ 。

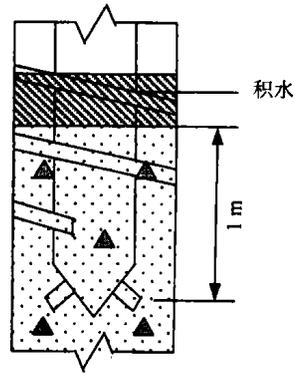


图2 水下灌注成桩示意

## 2 工程实例

### 2.1 工程概况

北京望京新城 K5 区 521 # ~ 524 # 四栋塔楼,地上 24 层,地下 2 层,箱形基础,总建筑面积  $10 \text{ 万 } m^2$ 。基底标高  $31.44 m$ ,埋深  $-7.01 m$ 。基底以下土层为:砂质粉土—粉质粘土层,厚  $10.0 m$ ;重粉质粘土—粘土层,厚  $5.50 m$ ;以下为稳定的粘质粉土—砂质粉土。管井降水至标高  $30.50 m$  以下。基底持力层承载力标准值  $160 kPa$ ,不能满足设计要求,采用 CFG 桩复合地基处理方案。综合考虑拟建建筑物上部结构要求和岩土工程条件,本工程采用了长螺旋钻孔—管内泵压砵成桩法施工方案。

### 2.2 CFG 桩主要设计参数

设计复合地基承载力标准值  $\geq 400 kPa$ 。CFG 桩按正方形布置,桩间距  $1.55 m$ ,桩长为  $17.5 m$ ,桩端持力层为粘质粉土—砂质粉土层。桩径为  $400 mm$ ,桩体标号 C20。褥垫层采用级配砂石,厚  $20 cm$ 。四栋塔楼共布桩 2 120 根。

### 2.3 工艺流程和施工参数

主要施工设备:步履式长螺旋钻机;固定液压活塞式砵泵;强制式双卧轴搅拌机。原材料及拌和物主要参数:普 425 # 硅酸盐水泥;粒径  $0.5 \sim 2.0 cm$  碎石;II 区中砂;II 级袋装

粉煤灰:FX-124 泵送剂,砂率为 0.69,水灰质量比 39%,坍落度 180~200 mm。四栋塔楼均采用水下灌注成桩工艺流程。灌注砼前提钻 20 cm;灌注成桩过程中,使砼泵泵送量

不变,调节钻杆提拔速度;钻头埋入砼料面深度控制在 1 m 以上,调节泵送次数。其它主要施工参数见表 3、表 4:

表 3 泵送量与钻杆提速施工参数设置表

楼号	砼泵最大输送量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	砼泵设定输送量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	砼泵实际输送量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	钻杆理论提速值 /( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ )	钻杆设置提速值 /( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ )
521#	30	30	27	3.3	3.0
522#	40	30	27	3.3	3.0
523#	40	40	36	4.3	4.0
524#	40	30	27	3.3	3.0

注:充盈系数  $\alpha$  取 1.1;配管条件系数  $\beta$  取 0.9

表 4 钻杆内砼灌注高度与泵送次数施工参数设置表

钻杆内砼灌注高度 /m	钻杆内径 /m	泵送一次砼输送量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{次}^{-1}$ )	理论泵送次数 /次	设置泵送次数 /次
8	0.15	0.015	9.4	10

## 2.4 检测结果

本工程进行了复合地基静载试验及单桩静载试验,并依据相关规程对总桩数的 20%作了低应变动力测试。检测结果表明:处理后复合地基承载力标准值均  $>400$  kPa,桩体强度均  $>C20$ ;桩身结构完整的一类桩 385 根,桩身结构基本完整、对桩的使用不构成影响的二类桩 33 根,一、二类合格桩共计 418 根,占检测总数的 98.6%,断桩 6 根,经开挖核实,断裂距桩顶 0.5 m,且断口对接吻合,由此分析是剔除保护桩头用力不当所致。本工程未发现缩径桩、空心桩、离析桩、夹泥桩等常见不良桩体。

## 3 结语

本文以北京望京新城 K5 区 521#~524# 四栋高层塔式住宅楼地基处理作为针对性试验研究,获得了理想成果。对于文中论述的施

工参数和工艺流程,笔者曾在北京富华家俱厂三栋高层塔楼、北京健翔新村一栋高层塔楼以及中华民族园云南景区(C 区)等 CFG 桩复合地基处理工程项目中予以实际应用。工程实践表明,文中论述的有关 CFG 桩长螺旋钻孔一管内泵压成桩法的两种工艺流程是科学合理的;文中设定的施工参数可靠有效。由此已广泛应用,获得了良好的社会声誉和可观的经济效益。

## 参 考 文 献

- 1 龚洛书主编.混凝土实用手册.北京:中国建筑工业出版社,1994
- 2 哈尔滨建工学院,西安冶金建筑学院合编.混凝土机械和桩工机械.北京:中国建筑工业出版社,1980
- 3 张伯岳.CFG 桩复合地基的施工和试验.建筑技术,2000,31(3):182

收稿日期:2000-12-25