

# 长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼灌注桩工法 在液化地层及厚砂层组合条件下施工可行性探讨

刘学亮<sup>1</sup>, 宋锦峰<sup>1</sup>, 曹凤学<sup>2</sup>

(1. 北京建工集团总承包部, 北京 100038; 2. 明达海洋工程有限公司, 北京 100038)

**摘要:**通过哈尔滨市松花江边一个项目和北京市城市副中心一个项目的工程实例对比,对液化地层及厚砂层组合条件下长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼灌注桩工法施工进行探索,总结出该工法在类似地质条件下的使用范围为桩长20 m以内,并介绍了施工关键技术措施,在工程中成功应用。对类似工程实施具有一定的借鉴意义。

**关键词:**液化地层;厚砂层;长螺旋钻孔灌注桩;压灌混凝土;后插钢筋笼

中图分类号:TU473.1 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2017)06-0074-04

**Feasibility Study on Cast-in-place Piles Construction by Auger Bored Press Concrete Post-inserted Steel Reinforcement Cage under the Combined Condition of Liquefied Formation and Thick Sand Layer/LIU Xue-liang<sup>1</sup>, SONG Jin-feng<sup>1</sup>, CAO Feng-xue<sup>2</sup>** (1. Beijing Construction Engineering Group, Beijing 100038, China; 2. Mingda Offshore Engineering Co., Ltd., Beijing 100038, China)

**Abstract:** Abstract: By the comparison of 2 project cases at Songhuajiang riverside and in the sub-center of Beijing, the exploration is made on cast-in-place piles construction by auger bored press concrete post-inserted steel reinforcement cage under the combined condition of liquefied formation and thick sand layer, the application scope is summarized to be within 20m and the key technical measures of construction under similar geological conditions are introduced, which has been applied in the project with success and can be reference for similar engineering.

**Key words:** liquefied formation; thick sand layer; auger bored cast-in-place pile; press concrete; post-insert reinforcement cage

## 1 问题的提出

长螺旋钻孔压灌混凝土(泵送超流态混凝土)灌注桩技术是利用长螺旋钻机钻孔至设计深度,在提钻的同时利用混凝土泵通过钻杆中心通道,以一定压力将混凝土压至桩孔中,混凝土灌注到设定标高后,再借助钢筋笼自重或专用振动设备将钢筋笼插入混凝土中至设计标高,形成钢筋混凝土灌注桩。由于其具有适应性强、速度快、质量好、效率高、噪声小、无污染、经济性好等优点,近几年来在国内得到了不断地推广、应用与发展。《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)作为新工法将其纳入,北京地方标准《长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼灌注桩施工技术规程》(DB 11/T 582—2008)已发布实施多年。随着该工艺推广使用,施工桩长不断加长,北京地区京东方薄膜厂房项目基础桩长29 m、直径600 mm、反插钢筋笼长25 m成功获得技术突破,哈尔滨市松

花江边某项目高水位厚砂层条件护坡桩桩长30 m、直径800 mm、反插钢筋笼长30 m获得成功,进一步突破了工艺适应范围。

在该工法不断取得长足发展的过程中,随着北京城市副中心建设发展,通州区潮白河两岸项目建设中广泛采用了该工法,但该区域反插钢筋笼难以安插到位,甚至桩长15 m、直径600 mm的护坡桩也不能完全安插到位。受其影响,本地区超过20 m全长配筋的护坡桩多采用旋挖钻机成孔导管水下灌注工法。

本文通过哈尔滨市松花江边某项目条件和北京城市副中心某工程实践对比,探索长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼灌注桩工法在本地区使用可能存在的问题,为后续类似工程的组织实施提供参考。

收稿日期:2017-04-12; 修回日期:2017-05-05

**作者简介:**刘学亮,男,汉族,1968年生,总工程师,建筑工程专业,北京市西城区广莲路1号建工大厦1505,351245990@qq.com;宋锦峰,男,汉族,1979年生,建筑工程专业,53234348@qq.com;曹凤学,男,蒙古族,1968年生,高级工程师,岩土工程专业。

## 2 工程概况及工艺可行性分析

### 2.1 工程概况

#### 2.1.1 哈尔滨市松花江边某项目

基坑周长约 760.0 m, 基坑开挖深度达 20.95 m。基坑支护设计总体采用桩锚支护体系, 共设计  $\varnothing 800$  mm 支护桩 698 根, 其中包括 28 m 长支护桩 114 根、30 m 长的支护桩 419 根。

#### 2.1.2 北京城市副中心某项目

基坑周长约 1100.0 m, 基坑开挖深度 10 ~ 18 m。基坑支护设计总体采用桩锚支护体系, 共设计  $\varnothing 800$  mm 支护桩 1355 根, 桩长为 16.2 ~ 26.0 m。

### 2.2 工程地质及水文地质条件

#### 2.2.1 哈尔滨市松花江边某项目

依据本工程地勘报告, 场地地基土呈二元结构, 上部以第四系砂土为主, 夹粘土层, 下部为白垩系砂岩及泥岩, 综合划分主层 7 层, 亚层 9 层。场区地下水类型为第四系砂、砾石层孔隙潜水, 地下水赋存于砂层中, 含水层分布稳定。场区临近松花江, 地下水与松花江水力联系密切, 因此, 形成互补的排泄和补给条件, 地下水位年变化幅度 2.0 ~ 3.0 m。静止水位埋深 1.5 ~ 8.0 m。典型地层结构及特征描述见表 1。

表 1 哈尔滨项目典型地层结构及特征

地层名称	性质	层厚/m	液化性评判
①杂填土	松散	7.0	
②细砂	稍密, 饱和	10.0	不液化
② <sub>1</sub> 粉质粘土	软塑, 中等压缩性	2.0 ~ 6.0	
③粉质粘土	可塑, 中等压缩性	2.0	
④中砂	中密, 饱和	20.0	不液化

#### 2.2.2 北京城市副中心某项目

依据本工程地勘报告, 根据野外钻探、原位测试及室内土工试验成果的综合分析, 本次勘探深度 (40.0 m) 范围内的地层划分为人工堆积层、新近系沉积层及第四系沉积层 3 大类, 并按地层岩性及工程特性划分为 6 个大层及亚层。本次勘察钻探深度范围内分布 2 层地下水, 第一层地下水类型为潜水, 埋深 5.0 ~ 15.0 m, 赋存于砂质粉土②<sub>1</sub>层, 粉砂、细砂③层, 细砂、粉砂④层中。第二层地下水类型为承压水, 埋深 8.6 ~ 11.8 m, 赋存中砂层中。典型地层结构及特征描述见表 2。

### 2.3 工程条件对比及工艺可行性分析

#### 2.3.1 工程条件对比

表 2 北京城市副中心项目典型地层结构及特征

地层名称	性质	层厚/m	液化性评判
①粉质粘土填土	松散	2.0	
②粉质粘土	高压缩性, 强度低	3.0	
② <sub>1</sub> 砂质粉土	中压缩性, 强度一般	3.0 ~ 7.0	轻微—中等液化
③粉砂、细砂	中低压缩性, 稍密	2.5	轻微—中等液化
④细砂、中砂	低压缩性, 中密	3.0	不液化
⑤中砂、细砂	低压缩性, 中密	20.0	不液化

依据以上 2 个典型项目对比不难发现, 成功实施 30 m 护坡桩反插钢筋笼的哈尔滨项目地质条件从高水位、地下水补给条件和厚砂层条件均处于不利位置, 而北京城市副中心项目存在的松散、厚层可液化地层是 2 个项目条件的本质区别, 是本地区反插钢筋笼难以安插到位的根本所在。

#### 2.3.2 可液化地层对长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼灌注桩施工影响机理探讨

液化是指饱水的疏松粉、细砂土在振动作用下突然破坏而呈现液态的现象, 由于孔隙水压力上升, 有效应力减小所导致的砂土从固态到液态的变化现象。对于厚层可液化地层, 长螺旋钻孔压灌混凝土施工过程的扰动和压力变化及后插钢筋笼过程的震动, 都会诱发可液化土层液化现象的发生, 尤其对于较长桩型, 施工过程为减小阻力及后插钢筋笼易于实施, 经常采用分段 2 次或 3 次成孔方式, 这也加剧了液化现象出现。而一旦灌注桩周边土体出现液化, 刚刚灌注的混凝土将受到液化超孔隙水压力挤压, 形成缩径或挤压变形, 造成后插钢筋笼无法安置到位, 影响桩体质量。

#### 2.3.3 北京城市副中心某项目工艺可行性验证

综合以上条件分析和北京城市副中心某项目条件, 根据支护桩桩身范围内的地层情况及其桩长、桩径的特点综合考虑, 施工组织方案确定桩长 18 m 以内钻机可 1 次成孔压灌成桩, 施工过程地下水影响的可液化地层厚度有限, 选用长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼施工工艺进行施工。对于桩长 > 20 m 的护坡桩, 对长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼的施工工艺可行性应现场确定。经过工程施工工艺试验, 本项目桩长 20 m 以内桩型采用长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼施工 1 次成孔压灌成桩, 在材料条件及设备条件充分保障下, 能够顺利实施。而对于 21 m 及 26 m 桩型 2 次成孔压灌成桩, 在增加对液化地层扰动的同时, 钻孔内水位抬升加大了液化地层的厚度, 致使后插钢筋笼施工均未取得成功, 最

终对 21 m 以上桩型选用了化学泥浆护壁、旋挖钻机成孔导管水下灌注施工工艺,取得较好效果。

### 3 液化地层及厚砂层组合条件后插钢筋笼灌注桩施工关键技术措施

#### 3.1 机械设备措施

##### 3.1.1 采用具有变频功能钻机或大功率长螺旋钻机

根据施工经验,后插钢筋笼施工取得成功的关键因素之一是长螺旋钻孔压灌混凝土施工质量,而对于液化地层及厚砂层组合条件,压灌高度较小会造成后插钢筋笼施工困难,而压灌高度大又容易造成憋钻埋钻现象发生,通过采用具有变频功能的钻机和长螺旋钻机,总体控制压灌高度 2~3 m,很好地解决了该问题。

北京城市副中心某项目采用 3 台全部装置变频控制的 GKL800 型步履式长螺旋钻机和 1 台 JZU180 型履带式长螺旋钻机,顺利完成 20 m 以内桩长施工任务。各型号钻机主要性能参数见表 3。

表 3 长螺旋钻机主要性能参数

型号	钻孔直径/ mm	钻孔深度/ m	主机功率/ kW	扭矩/ (N·m)
GKL800	800	27.5	55×2	48380
JZU180	800	40.0	90×2	81860

##### 3.1.2 采用适宜的反插钢筋笼装置

(1) 利用振动锤和连接振动锤的锤杆,插入钢筋笼底,从而改变振动着力点,将振锤激振力传递到笼底,提高钢筋笼下放到位的可靠性。

(2) 本工程采用 DZ30A 型耐震振动锤,其整机质量 2.2 t,电动机功率 30 kW,激振力 185 kN,偏心静力矩 170 N·m。

(3) 选择合适的振锤杆:钢筋笼长度最长达到 20 m,振动锤杆的细长比很大,须选用抗弯刚度好的锤杆,以保证钢筋笼及锤杆在起吊过程中锤杆的完好。实际采用 45Mn 合金无缝钢管作为振锤杆,具有高强度和很好的韧性,抗弯性能好。锤杆直径 250 mm,厚度 10 mm,长度 25 m。

#### 3.2 混凝土材料措施

混凝土的质量、运输和浇灌过程中塌落度及和易性满足施工工艺需要,这是钢筋笼能否下放到位的关键因素之一,混凝土的性能要求如下。

(1) 混凝土选用粗骨料最大粒径  $\geq 15$  mm 的细

石混凝土,水泥采用 PO42.5 普通硅酸盐水泥,砂采用粒径 0.3~0.5 mm 的中粗砂,粗骨料含泥量  $\geq 1\%$ ,细骨料含泥量  $\geq 2\%$ ;水采用自来水或可饮用的天然水。混凝土强度 C30,每立方米混凝土水泥用量  $\leq 330$  kg,水灰比  $\geq 0.55$ ;含砂率宜为 35%~40%;灰砂比宜为 1:2~1:2.5。

(2) 混凝土应有良好的和易性和泌水性,初凝时间  $\leq 6$  h,灌注前塌落度  $\leq 220$  mm。

(3) 应充分考虑到施工现场的各种影响因素的不确定性,以及对混凝土运输车辆限行的规定,结合长螺旋压灌混凝土施工工艺的连续作业要求,确保混凝土的性能满足使用要求。对等待时间较长,混凝土性能已经无法满足使用需要的,采取放弃使用的处置办法,确保混凝土的质量要求。

### 4 主要施工成果

北京城市副中心某工程充分利用此工法组织了桩长  $< 20$  m 的护坡桩施工,由于其具有适应性强、速度快、质量好、效率高、无污染等优点,同时由于该工法采用群机作业相互影响小,利于组织多机组作业的有利条件,组织 4 台套设备精心施工,以较短时间完成了桩长  $< 20$  m 的护坡桩施工任务,为整体项目有序推进提供了强有力保障。施工现场见图 1。



图 1 群机施工作业现场

由于施工前对于长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼施工工法从机械、材料及人员组织做了充分的条件准备,施工工作得以按质量有序进行,从混凝土材料和长螺旋钻孔压灌混凝土施工质量开始控制,严格控制压灌高度 2~3 m,既保证了后插钢筋笼施工安置到位,又没出现一例憋钻埋钻事故,经后续施

工开挖及桩头破除,施工的护坡桩钢筋安插到位,桩外侧整齐,充分体现了该工艺的优越性。施工效果见图2。



图2 钢筋笼顶及桩外侧效果

经按规范对20%桩进行低应变检测,所检测桩全部为I类桩。

## 5 结语

通过北京城市副中心某工程施工实践,对液化地层及厚砂层组合条件下长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼灌注桩工法在本区域应用提出建议如下。

(1)对桩长20 m以内的护坡桩,在材料、机械设备及施工管理充分到位的前提下,本区域可以采用此工法,能够体现该工法适应性强、速度快、质量好、效率高、无污染、利于组织多机组作业等优点。

(2)对于桩长较长的护坡桩需通长配筋的混凝土灌注桩,长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼灌注

桩工法本区域应慎用,避免液化地层对桩体质量影响及安置钢筋笼无法到位影响工程质量。

(3)对于桩长较长的基础桩非通长配筋的混凝土灌注桩,长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼灌注桩工法本区域应用应进行全面的工法可行性验证,确保工程施工质量。

由于本项目前期进行了较充分的工法应用探讨及可行性现场试验,通过以上应用总结,对本区域类似工程实施具有一定的借鉴意义。

## 参考文献:

- [1] DB 23/T 360—2010, 钻孔压灌超流态混凝土桩基础技术规程[S].
- [2] DB11/T 582—2008, 长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼灌注桩施工技术规范[S].
- [3] JGJ 120—2012, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [4] 梁成华,王之军,陈辉,等. 超流态混凝土施工工艺在基坑超长支护桩工程中的应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集. 北京:地质出版社,2015.
- [5] 何世鸣,赵晓东,李德江,等. 节能型变频器在长螺旋旋喷搅拌桩止水帷幕中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(10):85-88.
- [6] 李开洋,薛倩冰,陈永前,等. 卵石地层中CFG桩的设计及其施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(7):62-64,69.
- [7] 孙志斌. 长螺旋成孔压灌混凝土成桩后插钢筋笼施工工艺在北京地铁施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(2):36-38,41.