

# 旋挖成孔灌注桩后注浆工艺在成都京东方 桩基工程中的应用

孟宝华<sup>1</sup>, 邓宇<sup>1</sup>, 徐俊<sup>2</sup>

(1. 成都四海岩土工程有限公司, 四川 成都 610041; 2. 中石化中原建设工程有限公司, 河南 濮阳 457000)

**摘要:**旋挖成孔灌注桩以其适用范围广、施工速度快等优点在工程领域中得到广泛应用,但也因其沉渣难以控制、在大直径卵石地区施工不便等因素使其发展受到制约。根据成都京东方桩基工程实例,首先分析了湿法作业下旋挖成孔灌注桩后注浆工艺的施工技术要点,进而对后注浆工艺的注浆量、注浆压力、泥浆用量进行总结,最后,对桩端沉渣控制、填方地段施工工艺等工程问题的处理提出建议措施。

**关键词:**灌注桩;旋挖成孔;后注浆;湿法作业

**中图分类号:**TU473 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)11-0084-04

**Application of Post-grouting Technology for Rotary Holing Cast-in-place Pile in Pile Foundation Project of BO-ECD/MENG Bao-hua<sup>1</sup>, DENG Yu<sup>1</sup>, XU Jun<sup>2</sup>** (1. Chengdu Sihai Rock & Soil Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610041, China; 2. Sinopec Zhongyuan Construction Engineering Co., Ltd., Puyang Henan 457000, China)

**Abstract:** Because of good adaptability and speedy construction, rotary holing cast-in-place piles have been widely used in engineering fields, but the disadvantages of difficult sediment control and inconvenience for construction in areas with large-size gravels restrict its development. Based on the engineering case of BOECD, the key points of construction technology of post grouting for rotary holing cast-in-place pile by wet operation are firstly analyzed; then grouting capacity, grouting pressure and slurry amount of post grouting are summarized; finally, some suggestions are put forward for the engineering problems such as hole bottom sediment control and fill section construction process, which may be helpful to the similar projects in the future.

**Key words:** cast-in-place pile; rotary holing; post grouting; wet operation

## 0 引言

旋挖成孔作为灌注桩中的一种施工工艺,自20世纪80年代后期被引入国内后<sup>[1-2]</sup>,越来越广泛地被应用到桩基工程中,旋挖成孔与其它成孔方式相比,其施工效率、施工质量及在环境保护等方面均有一定的优势<sup>[3]</sup>。

旋挖成孔灌注桩一般适用于粘性土、粉土、填土、碎石土、卵石土及风化岩层。其适用范围广、施工速度快、施工安全度高、桩径设计灵活、综合经济效益好,在桩基施工中的应用范围非常广泛。自青藏铁路工程后,越来越多的国家大型基础项目的建设运用了该技术,并且取得了很好的效果<sup>[1,4]</sup>。但也因其难以进行扩底桩施工、在含漂石或大直径卵石地区钻进困难、桩底沉渣难以控制等因素使其发展受到制约<sup>[5-6]</sup>。近年来,随着扩孔钻头<sup>[7]</sup>、后注浆等工艺在桩基工程中的运用,使旋挖成孔技术得到

进一步发展。

本文基于成都京东方桩基工程实例,结合后注浆工艺的成功运用,在总结旋挖成孔灌注桩后注浆工艺施工技术要点的基础上,就该工艺运用过程中常见问题与处理措施进行了初步分析,供相关工程技术人员参考。

## 1 工程概况及工程地质条件

### 1.1 工程概况

成都京东方光电科技有限公司(简称“BO-ECD”)第6代LTPS/AMOLED生产线项目位于成都市高新区西区,建筑面积约60万m<sup>2</sup>,由FAB厂房、CUB综合动力区、WWT污水处理区、综合楼、立体仓库等构成,其中FAB区、CUB区、WWT区设计采用端承摩擦桩,为处理桩端沉渣和减小沉降,均采用后注浆工艺。工程设计总桩长约10万m,桩径800

收稿日期:2016-03-06; 修回日期:2016-07-14

作者简介:孟宝华,男,汉族,1988年生,助理工程师,硕士,从事岩土工程设计与施工管理工作,四川省成都市龙泉驿区大面镇合能四季映像11栋一单元1503(610101),mengbaohua@163.com。

mm,桩长8.5~14.5 m,混凝土强度等级为C40,钢筋主筋 $\varnothing 20$  mm(HRB400级),箍筋 $\varnothing 8$  mm(HPB300级),加劲箍 $\varnothing 18$  mm(HRB400级)@2000 mm,桩端进入密实卵石不少于 $1.5d$ ( $d$ 为桩径),单桩采用桩端注浆,承台桩分桩端、桩侧注浆,桩端注浆量1.6 t,桩侧注浆量0.8 t,终止注浆压力1.0~2.0 MPa。设计单桩竖向承载力特征值5000 kN。

## 1.2 场地工程地质条件(见表1)

表1 各土层主要物理力学性质指标

层号	地层岩性	揭露地层 厚度/m	$(E_s)P_{1-2}/$ MPa	$c/$ kPa	$\varphi/$ ( $^\circ$ )	$q_{sik}/$ kPa	$q_{pk}/$ kPa	$f_{ak}/$ kPa
①	杂填土	0.3~3.1		0	10			
②	粉质粘土	0.5~3.3	6.97	57	15.8	50	130	
② <sub>1</sub>	粉砂		10	0	25	36	150	
③	松散卵石	0.4~1.1	30	0	30	90	200	
④	稍密卵石	0.4~2.7	35	0	32	120	350	
⑤	中密卵石	0.4~3.6	40	0	35	140	450	
⑥	密实卵石	4.5~9.9	45	0	40	150	2500	600
⑥ <sub>1</sub>	粗砂		25			70	240	
⑦	密实卵石	3.1~8.0	50			160	2800	620
⑦ <sub>1</sub>	粗砂		28			70	250	
⑧	密实卵石	未钻穿	55			170	3000	640
⑧ <sub>1</sub>	粗砂		31			70	260	

## 2 成孔方案优化选择

拟建场地内局部有1.0~2.0 m的堆土,地势较为平坦。根据地勘报告,杂填土厚0.3~3.1 m,粉质粘土、粉砂厚0.5~3.3 m,稳定水位埋深9.0~13.0 m,该场地杂填土层因土质结构松散,均匀性差,不经处理不宜作为天然地基持力层。

根据场地土层及试桩情况,本工程成孔关键在于解决上部松散土层及下部卵石层的施工,成孔可以考虑人工挖孔、冲击成孔、冲击加回旋成孔、旋挖成孔等工艺。

### 2.1 人工挖孔

虽然在该地层中人工挖孔可以采用护壁以防塌孔,但本工程卵石层厚,胶结情况好,且卵石层中间砂层易造成塌孔,使施工人员安全难以保证,加之施工周期仅2个月,因此不考虑此方案。

### 2.2 冲击成孔或冲击加回旋成孔

采用冲击钻成孔,对于上部松散土层钻进效果较好,也可以解决卵石层钻进问题,但由于在粉质粘土层钻进效率低,砂质充填卵石层在受到冲击震动时,易造成孔壁不稳定。而采用冲击加回旋成孔,机械交叉作业量大,增加了施工时间及管理难度,且无

法满足2个月的工期要求,故不考虑这2种方案。

## 2.3 旋挖成孔

旋挖钻机通过钻头的旋转、削土、提升、卸土,反复循环而成孔,具有功率大、移位方便、钻孔速度快、工作效率高的特点<sup>[8]</sup>。根据地层特点配备旋挖机附件,可以取得较好的钻进效果,试桩阶段用时1.5 h即可成一个孔。

由于地下水的影响,导致桩身混凝土质量缺陷、桩侧摩阻力降低等,施工场地局限性大、积水和污泥较多,施工环境恶劣<sup>[9]</sup>。

根据《建筑桩基技术规范(JGJ 94—2008)》,以CUB区桩顶标高-1.6 m,桩长8.5 m桩为例,采用后注浆工艺时,理论计算单桩竖向承载力特征值5467 kN,而常规桩需要24.11 m桩长才能达到这一承载力。桩长减小达64.8%之多。

综上所述,本工程拟采用化学泥浆护壁结合后注浆工艺,以减少对周围环境影响,提高施工质量,节约成本。

## 3 旋挖成孔灌注桩后注浆工艺施工技术要点

钻孔灌注桩后注浆工艺是混凝土灌注完成后通过预埋的注浆管向桩侧和桩端注入高压水泥浆,提高桩端和桩侧摩阻力的施工技术。其施工流程为:场地平整、钻机就位→桩位放线、护筒埋设→泥浆制备→旋挖钻进→成孔检测→一次清孔→钢筋笼及注浆管制作与下放→导管安放→浇筑混凝土→后注浆<sup>[10]</sup>。后注浆相关工序施工要点如下。

### 3.1 泥浆制备

本工程拟采用化学泥浆(Neptune泥浆)进行护壁,孔内直接造浆法。泥浆密度应控制在1.15~1.25 kg/L,含砂率 $\leq 8\%$ 。一般情况下泥浆加量按与水的质量比0.01%~0.1%配制,根据现场实地情况试验确定配合比例。本工程泥浆用量及性能指标如表2所示。

表2 各土层泥浆用量及性能指标

地层状况	Neptune 泥浆加量 (与水的质量比)/%	粘度/ s
粘土	0.02~0.06	24~30
淤泥、细中砂	0.03~0.07	26~32
粗砂、小砾石	0.04~0.09	26~35
卵石	0.07~0.11	35~45

在钻进过程中或将钻头提出钻孔外后,向孔内

注浆,泥浆液面不得低于护筒底部,必须保证液面比地下水水位要高 100 ~ 150 mm,防止地下水进入<sup>[11]</sup>。

在护筒内先进行泥浆的配制,护筒内配制用量为平均用量的 1.5 ~ 2 倍;在钻至护筒底部以下 3 m 后,加量按照平均用量添加即可。在钻孔至距设计孔深 3 ~ 5 m 时,可停止添加化学泥浆。

### 3.2 钢筋笼及注浆管的制作和下放

(1)将绑扎好声测管的钢筋笼预先转移到场地内堆放点,下置  $\varnothing 200$  mm 原木,然后进行绑扎注浆管操作,完毕后成品钢筋笼分型号放置,经过质检人员验收后进行下放。

(2)在钢筋笼上挂标识牌,注明桩号、孔深、吊筋长度等相关信息,空桩较深的钢筋笼可在注浆管或声测管上用胶带标识出护筒顶位置。

(3)吊放钢筋笼入孔时一般采用正反旋转的下放方式。若遇阻碍应停止下放,查明原因进行处理,严禁高提猛落和强制下入。下放钢筋笼时,控制吊筋长度,以控制钢筋笼的桩顶标高及上浮等问题。

### 3.3 水下混凝土浇筑

水下混凝土浇筑是最后一道关键性的工序,施工质量将严重影响灌注桩的质量,所以在施工中应注意以下几点。

(1)混凝土浇筑必须连续作业,余料不足一根桩时,严禁浇筑,以防止断桩及吊车窝工。

(2)浇筑过程中应有专人指挥,以防导管提升过猛或导管埋入过深,造成断桩。

(3)在实际湿法施工过程中,由于旋挖钻进过程中加入水,使得现场作业环境变差,因此,应及时抽回水以保证后续作业。

### 3.4 后注浆

后压浆质量控制采用注浆量和注浆压力双控方法,以水泥注入量控制为主,泵送终止压力控制为辅。成桩 2 天以后即可进行后注浆作业,具体时间可视基桩施工态势进行调整,但一般不宜超过成桩后 30 天。

水泥浆水灰比 0.5,使用 P. O 42.5 低碱水泥。水泥压入量及泵送终止压力如表 3 所示。

表 3 水泥压入量及泵送终止压力

注浆位置	桩径/mm	水泥用量	终止压力/MPa
桩端	800	1600 kg/桩	$\leq 2.0$
桩侧	800	400 kg/层	$\leq 1.0$

注浆过程中应注意以下几点。

(1)水泥压入量达到设计值的 70%,泵送压力  $> 6.0$  MPa 可停止压浆;水泥压入量达到设计值的 70%,泵送压力不足预定压力的 70% 时,应调小水灰比,继续压浆至满足预定压力。

(2)若水泥浆从桩侧溢出,应调小水灰比,改间歇压浆至水泥量满足预定值。

(3)桩侧压浆量未达到设计标准,可按其不足量的 1.2 倍由桩端压浆补入。

施工完成后效果见图 1。

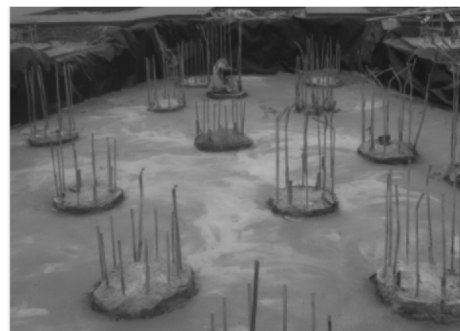


图 1 桩施工完成效果图

## 4 施工注意事项

### 4.1 混凝土方量控制

由于工程采用水下混凝土浇筑,串孔、软弱层、混凝土质量缺陷等不可预见性因素多,给混凝土方量控制增加了一定难度。根据本工程及相关工程经验,可通过以下方面进行控制。

(1)严格控制混凝土供应量,以确保其与实际用量相一致。

(2)加强质量控制,对泥浆的指标及时检测,控制土层变化在钻进中的影响,减少或防止意外情况的发生。

(3)控制旋挖钻机转速及提升速度。严格控制每回次钻进深度,避免发生埋钻事故,同时回转斗升降速度宜保持在 0.75 ~ 0.85 m/s,避免因速度过快而引起孔壁坍塌,造成超方。

(4)应控制好最后一次灌注量,保证凿除浮浆后桩顶混凝土强度的同时计算好超灌量,减免因此而产生的超方。

### 4.2 孔口坍塌处理

成孔后由于振动和泥浆冲刷的影响,护筒的周围和底部土层松动,使孔口坍塌。

发生坍塌后立即打捞护筒,并对桩孔进行粘土

回填夯实处理,然后重新钻进。以 $\varnothing 800$  mm桩为例,在桩施工时,先在夯实处理的桩位处挖 $\varnothing 1200$  mm的圆坑,选用 $\varnothing 1000$  mm、长2.5 m钢护筒,再将护筒放入圆坑内,护筒底部0.5 m深度四周回填混凝土,其余部分回填粘土进行处理。

#### 4.3 沉渣控制

旋挖桩桩端沉渣控制一直是一个技术难题。经对相关文献分析<sup>[11-12]</sup>及成都京东方桩基工程现场调研,提出以下3种沉渣控制措施,力求在工程中通过多种控制措施相结合,降低沉渣厚度,最大限度地消除沉渣对基桩承载力的不利影响。

(1)混凝土浇筑方式采用滑阀(隔水塞)式施工工艺;

(2)成桩后采用后注浆技术对沉渣进行固结;

(3)用清孔钻头进行清孔,有条件时下钢筋笼后进行二次清孔。

由于设置滑阀工艺施工繁琐,因此,很多项目并没有实施这项工艺。经多个工地现场试验分析,采用后注浆工艺过程中,可结合以下措施控制沉渣厚度,效果良好。

(1)选用平底捞砂钻斗,进行捞渣,并保持不进尺,慢速空转捞渣。

(2)尽量做好各工序之间搭接,缩短施工时间,成孔后待灌时间一般不超过3 h,防止因等待时间过长引起的沉渣。

(3)钢筋笼吊放过程中,要求对准孔位,垂直缓放入孔,尽量碰撞孔壁使泥土坍塌桩底。

(4)有条件时采用导管进行二次清孔。

#### 4.4 填方地段处理

在成都京东方桩基工程CUB区施工中,小部分区域由于往年连年砂石被盗,之后进行回填,钻孔揭露回填土厚度2~11 m,填土多为生活垃圾,在旋挖钻进过程中,频频出现塌孔、串孔现象,混凝土超方严重,由于松散土层的孔隙率相当大,泥浆发生严重的漏浆现象,向孔内补充的泥浆很快便从孔壁渗漏,无法保持水头高度,塌孔现象不能得到较好的控制。

经多次讨论及试桩分析,决定采取以下措施来解决这一问题:加长护筒,穿越易垮塌段;垮塌段较长时,采取全套管旋挖钻进法,塌孔问题得到解决。

## 5 结语

本文通过对旋挖成孔灌注桩后注浆技术成功运

用的经验总结,在分析该项技术及施工中相关问题的基础上,对其在工程中的应用及进一步完善提出了部分对策和建议。

(1)旋挖成孔灌注桩后注浆工艺通过向桩侧和桩端注入高压水泥浆,对桩间土及桩底沉渣进行固结。通过成桩后选取的3组静载试验,单桩竖向极限承载力达到了12500 kN,较理论值高12.5%,结合桩身质量检测,证实其有效提高了桩端和桩侧摩阻力,提升了施工质量。

(2)两台旋挖钻机30天完成了CUB区其中712根桩的施工,提升了工程进度。根据理论计算,相同竖向承载力特征值前提下,采用后注浆工艺时桩长较常规桩减小值达64.8%。

(3)随着旋挖成孔工艺应用范围逐步延伸,以及其在房屋建筑、市政基础设施建设中的广泛使用,该技术与其他工艺的综合运用已成为一种趋势,如何在发挥其特点的基础上,融合其他工艺,推进技术创新,将成为日后工程技术人员关注的课题。

#### 参考文献:

- [1] 周红军. 我国旋挖钻进技术及设备的应用与发展[J]. 探矿工程, 2003, (2): 11-14, 17.
- [2] 张启君. 国内外旋挖钻机发展现状与结构特点分析(上篇)[J]. 建设机械技术与管理, 2006(4): 47-52.
- [3] 周红军. 旋挖钻进技术适用性的初步研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(8): 39-45.
- [4] 翟戎军, 李兴磊. 泥浆护壁旋挖成孔灌注桩在工程实践中的应用[J]. 四川建材, 2010, 36(5): 47-48.
- [5] 岳大昌, 李明, 郑体, 等. 旋挖机械清渣在嵌岩扩底桩中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(8): 50-52.
- [6] 王科. 成都地区旋挖成孔灌注桩的相关问题探讨[J]. 四川建筑科学研究, 2011, 37(1): 124-127.
- [7] 周治国, 唐孟雄, 等. 嵌岩旋挖扩底抗拔桩工程应用研究[J]. 岩土工程学报, 2009, 28(S2): 3838-3843.
- [8] 陈飞, 陈雄志. 旋挖钻进工艺在钻孔灌注桩后压浆工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(12): 57-59.
- [9] 丁力生, 梁旭黎, 王自强, 等. 深基坑地下水对钻孔灌注桩施工的影响及对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4): 51-54, 59.
- [10] 王康妍. 旋挖桩的施工体会[J]. 广东科技, 2009, (5): 162-163.
- [11] 熊启东, 李成芳, 孔凡林. 旋挖成孔灌注桩施工质量控制技术探讨[J]. 重庆建筑, 2013, 12(1): 41-43.
- [12] 康景文, 孟贵林, 李圣, 等. 昔格达泥岩中后压浆冲孔灌注桩承载力研究[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(S2): 123-126.