正循环钻进、气举反循环清孔工艺施工应用

周曙春，杜坤乾，谢 军

（中冶集团武汉勘察研究院有限公司，湖北 武汉 430080）

摘 要：本文阐述了正循环钻进、气举反循环清孔工艺的施工原理、参数选择以及施工技术控制。通过两种施工工艺的结合运用，不仅有效解决了桩孔孔壁的稳定性问题，防止孔壁坍塌，减少泥皮厚度；还能大幅度地缩短清孔时间，降低孔底沉渣厚度，提高单桩承载力，减少泥浆排放量。从工期、质量、经济、环保等角度来看，正循环钻进、气举反循环清孔施工工艺具有明显优势，有较强的推广应用价值。

关键词：正循环钻进；气举反循环；清孔工艺

中图分类号：TU753.3 **文献标识码**：A **文章编号**：1000－4548(2011)S2－0166－03

作者简介：周曙春(1973－)，男，江西莲花人，硕士，高级工程师、一级建造师、注册岩土工程师，从事岩土工程勘察设计、施工技术与管理工作。E-mail: zsc886@vip.sina.com。

Application of directional circulation drilling and air-lift reverse circulation borehole cleaning

ZHOU Shu-chun, DU Kun-qian, XIE Jun

（Wuhan Surveying-Geotechnical Research Institute Co., Ltd. of MCC, Wuhan 430080, China）

Abstract: The construction process principles, parameters and control of construction technology of directional circulation drilling and air-lift reverse circulation borehole cleaning are described. Through the combination of two kinds of construction technologies, it can effectively solve the pile bore hole wall stability problems, prevent the hole wall collapse, reduce the thickness of clay skin, significantly shorten the time to clean the hole, reduce the hole bottom sediment thickness, improve the bearing capacity and reduce emissions of mud. From the construction period, quality, economy and environmental protection perspective, the directional circulation drilling and air-lift reverse circulation borehole cleaning has obvious advantages, certain promotion and application value.

Key words: directional circulation drilling; air-lift reverse circulation; borehole cleaning

0 引 言

南京河西新城区某经济适用房 B02 栋高层住宅楼，原设计 28 层，基础采用钻孔灌注桩，桩径 Φ700，桩数 250 根，入中风化泥质粉砂岩 1.5 m，设计承载力 6000 kN。后因需增加安置房套数，设计由 28 层改为 34 层，桩数、桩径不变，入岩 6.5 m，承载力要求变更为 7200 kN，桩长达到 66 m。入岩深度的加大使施工时间大大增加，对土层孔壁的稳定性要求也相应提高；而承载力的大幅度提高，对桩端沉渣要求更为严格。如果采用正循环清孔工艺，则时间长、且很难把孔底沉渣清理干净；而采用反循环施工工艺清孔工艺，清孔质量虽然有所提高，但对钻杆、导管密封性要求高，且因场地砂层厚度达 30 m，施工过程中容易造成垮孔、埋钻事故。为解决这一施工难题，我们采用了正循环钻进、气举反循环清孔工艺。工程实践证明不仅有效地清理孔底沉渣，承载力得到保证，而且施工进展很顺利，工效较高。

1 正循环钻进、气举反循环清孔原理

正循环钻进工艺，即泥浆经钻杆内腔流向孔底，将钻头切削破碎下来的钻渣岩屑，经钻杆与孔壁的环状空间，携带至地面。具有设备简单轻便，适应狭小场地作业，操作简易，设备配套器具少，工程费用较低等优点[1]。

气举反循环又称压气反循环，其工艺原理：在钻孔灌注桩成孔后、桩身混凝土浇灌前，先将气液混合器放入灌浆导管内一定深度位置，再将压缩空气通过送风管送至气液混合器，使压缩空气与导管内的泥浆

收稿日期：2011－08－02

混合，形成密度比导管外泥浆密度小的泥浆空气混合浆液。混合浆液在管内外压差的作用下，沿导管内腔上升，经排渣管排至沉淀池。经沉淀后的泥浆又以自流方式连续不断地流回桩孔内，形成反循环。在泥浆循环过程中，孔底的沉渣随混合浆液上返排出桩孔，从而达到清除桩底沉渣的效果[2]。如图 1 所示[3]。

2　施工器具与工艺参数选择

2.1　正循环钻进器具

正循环钻进成孔工艺较为简单，设备也不多，钻机是最主要的，其次还包括泥浆泵等。因桩长较长，桩端持力层为中风化的泥质砂岩，钻进过程中还需穿越巨厚砂层，对扭矩要求较大，施工时选择 GPS-20 型旋转钻机。其主要技术参数见表 1。

表 1 GPS-20 型旋转钻机技术参数

Table 1 Technical parameters of GPS-20 rotary drilling

技术参数名称	数　值
钻孔直径/mm	2000
钻进深度/m	80
转盘扭矩/(kN m)	30
转盘转速（正转和反转）/(r min^{-1})	8,14,18,26,32,56
功率（泥浆泵）/kW	30
钻机功率/kW	37

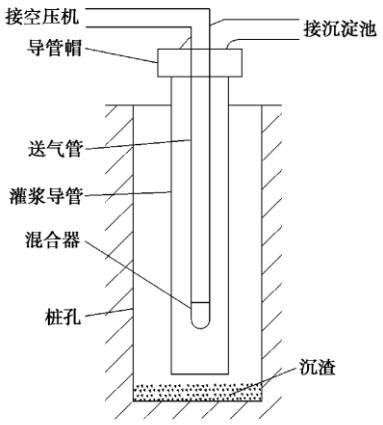

图 1 气举反循环清孔示意图

Fig. 1 Sketch of air-lift reverse circulation borehole cleaning

2.2　气举反循环清孔器具

气举反循环清孔工艺的机具，除施工桩孔的钻机、泥浆泵和灌浆导管等机具外，还应配如下机具：

（1）VF-6 / 7 型空压机，最大排气量 6 m^3/min，额定排气压力 0.8 MPa。

（2）送风管，送风管根据需要，不同位置采用不同的材质，导管内采用 DN20 镀锌管，长度视气液混合器沉没深度而定；空压机储气罐和孔口镀锌铁管之间采用 DN25 橡胶高压软管连接，其长度宜在 80 m 以内，以减少风压损失。

（3）气液混合器，使压缩空气与导管内泥浆混合，产生气液混合浆液。混合器采用 DN20 镀锌管，长 1200 mm，上端用螺纹与风管连接，下端孔口封死，管周呈梅花型均匀开孔，孔径 10 mm、孔距 30～40 mm。

2.3　清孔工艺参数选择

混合器安放深度是影响气举反循环清孔效率的关键参数，如果安放深度太浅，导管内无法形成稳定液流，则气举反循环失败；如果太深，排浆量过大，泥浆补给跟不上，致使桩孔内泥浆面迅速下降，影响孔壁稳定，容易引起孔壁坍塌。根据工程经验，施工时采用 0.6 倍的孔深。

清孔时所需的风压和风量也是气举反循环清孔工艺的二个主要技术参数[4]，空压机的配备应根据清孔时风压和风量来选择。空压机的压力(p)可按公式（1）计算：

$$p=\frac{r_a H}{1000}+\Delta P \quad 。 \tag{1}$$

式中　r_a 为泥浆密度（g/cm^3），一般取 1.15～1.18；H 为混合器安放深度（m），一般取孔深的 0.6 倍；ΔP 为供气管道压力损失，一般取 0.05～0.1 MPa。

空压机风量(Q)是根据导管内混合浆液上返速度及导管内径来计算的，可按公式（2）计算：

$$Q=\beta d^2 v \quad 。 \tag{2}$$

式中　Q 为所需风量（m^3/min）；β 为经验系数，一般取 2～2.4；d 为导管内直径（m）；v 为导管内混合浆液上返流速（m/s），一般取 1.5～2.0。

3　施工技术控制

3.1　埋设护筒

护筒起定位、保护孔口和维护水头压力等作用，钻孔前应埋设护筒。根据桩径大小，按桩位点进行人工挖孔，下放钢护筒，护筒内径大于桩径 100 mm，其上部开设溢浆口，并高出地面 0.3 m，埋深 1.5 m 左右，用仪器监测护筒的埋设，护筒周围用黏土回填，并夯实。

3.2　钻机安装

必须准、平、稳、牢，使天轮、滑车、转盘中心、桩中心在一条铅垂线上，钻机对位安装偏差严格控制在 5 cm 以内，钻机机座必须稳固，以确保钻进过程中不发生倾斜或位移，用仪器复核定位后方可开钻。

3.3　钻进速度与泥浆

在钻进过程中，要经常注意土层的变化，对不同地层，须采用不同的钻速、钻压、泥浆比重和泥浆量。钻进过程中适时地接长钻杆，及时加水补浆，经常检查泥浆指标，随时根据地质情况控制泥浆比重及钻进速度。在粉细砂地层钻进应适当提高泥浆比重和黏度，一般采用的比重为 1.2～1.35，黏度 18～24 S。在钻进

过程中要勤检查钻机是否移位，钻头是否偏移桩位中心，防止出现斜孔。如发生钻杆有偏差，应减慢速度，并提起钻头，上下反复扫孔几次，以便有足够的力量削去硬层，然后转入正常钻孔状态。

3.4 气举反循环清孔

出水管（导管）下放深度以沉渣面深度控制，距沉渣面 300～400 mm 为宜。随着泥渣的排出，孔底沉渣厚度减少，出水管（导管）应同步跟进，保持管口与沉渣面的距离。风管的管路必须是密封良好，不漏气、漏水，风管的插入深度按 0.6 倍的孔深控制，可以上下小范围波动。开始送风时应先向孔内送浆，停止清孔时应先关空压机停气后再断浆，以防水头损失而塌孔。清孔过程中，要注意补充泥浆，有条件时可以挖大泥浆池，备用一定数量泥浆，以防泥浆补给量不足，孔内泥浆面下降，造成孔口坍塌事故发生。送风量应从小到大，风压应稍大于孔底水头压力，当孔底沉渣太厚、沉淀板结或块度较大时，可适当加大送风量，并摇动出水管（导管），以利排渣。

4 效果与质量评价

4.1 清孔效果

施工实践证明，气举反循环进行长桩身钻孔桩清孔效果十分理想。南京河西新城区某经济适用房住宅小区，前期施工的其他楼栋采用正循环清孔时时间普遍在 5 h 以上，而采用气举反循环清孔时，一般在 30 min 左右沉渣厚度、泥浆指标就可以达到灌注混凝土要求，大大缩短清孔时间，提高了清孔效率。从另一角度来看，正循环清孔时间长、泥浆密度相对要高、浓度较大，势必造成孔内压力大，对孔壁四周作用力也大，使孔壁泥皮变厚，降低了桩周摩阻力，也降低了单桩承载力。

4.2 沉渣厚度检测

为准确了解气举清孔的效果，控制桩端沉渣厚度，清孔结束后，除对每根桩进行简易沉渣测定外，业主还委托第三方采用了 JJC-1D 型灌注桩沉渣检测仪进行抽检，抽检比例 20%。具体原理是采用棒状梯度微电极系，利用电极系自重及重力加速度将其插入孔底原始地层，然后根据井液（泥浆）、沉渣及原始地层之间的电阻率变化值，求出孔底沉渣的厚度。根据抽检的 50 根桩结果表明：沉渣厚度均小于 5 cm，效果良好。

4.3 静载荷试验

施工完成达到养护龄期后，抽检了 3 根工程桩进行静载荷试验检测，均满足设计要求的 7200 kN。

4.4 经济与环境效益

正循环钻进、气举反循环清孔工艺仅比正循环施工工艺增加一个空压机设备，其他均为辅助机具，设备成本增加十分有限。但由于清渣速度快，每根桩能减少 3 个小时以上清孔时间，缩短工期，提高了劳动生产率，降低施工成本，具有市场竞争优势；同时因清渣速度快，泥浆排放量减少，减少量在 10%以上，减少环境污染，也降低了泥浆外运费用。

5 结 语

正循环钻进、气举反循环清孔二种施工工艺并举使用，和正循环施工工艺相比，能够有效缩短清孔时间、减少沉渣厚度；同时还能避免像反循环施工工艺对钻杆、导管密封性要求高、砂石泵维护和保养费用高、在深厚砂层中施工过程中容易造成垮孔、埋钻事故的缺点。从工期、质量、经济、环保等角度来看，正循环钻进、气举反循环清孔施工工艺具有明显优势，值得推广使用。

参考文献：

[1] 史佩栋. 实用桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. (SHI Pei-dong. Practical handbook for pile foundation engineering[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1999. (in Chinese))

[2] 史佩栋. 桩基工程手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008. (SHI Pei-dong. Pile and pile foundation handbook[M]. Beijing: China Communications Press, 2008. (in Chinese))

[3] 喻荣华. 气举反循环清孔在大口径钻孔灌注桩的应用[J]. 西部探矿工程, 2005(7): 126－127. (YU Rong-hua. Application of air-life reverse circulation borehole cleaning to large diameter bored pile[J]. West-China Exploration Engineering, 2005(7): 126－127. (in Chinese))

[4] 彭振斌. 灌注桩工程设计计算与施工[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. (PENG Zhen-bin. Engineering design calculation and construction of bored pile[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997. (in Chinese))

（本文责编 黄贤沙）