

# 超厚卵砾石层反循环灌注桩施工技术

韩羽<sup>1</sup> 杨悦<sup>2</sup>

1 中信建设有限责任公司, 江苏 南京 211899

2 中信建设建筑规划设计研究院, 江苏 南京 211899

**[摘要]** 中国是世界上最大的发展中国家, 特别是 20 世纪以来, 中国进入了快速发展时期, 建筑业随着经济的增长而快速提高, 在建筑钻孔施工上也出现了许多的问题, 也研究出了相应的对策。如今, 反循环灌注桩施工技术具有抗震能力强、噪声低、承载能力高、能克服复杂多变的地质条件等特点, 广泛用于桩基工程施工。该技术不仅提高了施工效率, 而且保证了施工质量, 降低了施工成本, 满足了灌注桩的地基施工条件。

**[关键词]** 反循环; 灌注桩; 后注浆灌注

DOI: 10.33142/ec.v5i11.7149

中图分类号: TU473.14

文献标识码: A

## Construction Technology of Reverse Circulation Cast-in-Place Pile in Super Thick Gravel Layer

HAN Yu<sup>1</sup>, YANG Yue<sup>2</sup>

1 CITIC Construction Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211899, China

2 CITIC General Institute of Architectural Design and Research Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211899, China

**Abstract:** China is the largest developing country in the world. Especially since the 20th century, China has entered a period of rapid development. The construction industry has improved rapidly with the economic growth. There have also been many problems in the construction of drilling holes, and the corresponding countermeasures have been studied. Nowadays, the construction technology of reverse circulation cast-in-place pile is widely used in pile foundation construction because of its strong seismic resistance, low noise, high bearing capacity, and ability to overcome complex and changeable geological conditions. This technology not only improves the construction efficiency, but also ensures the construction quality, reduces the construction cost, and meets the foundation construction conditions of cast-in-place piles.

**Keywords:** reverse circulation; cast in place pile; post grouting

### 引言

反循环灌注桩施工技术由于有着较优越的地层适应性和较大的结构承载力, 目前已被普遍用于建设路桥和建筑等设施。当采用了泥浆护壁技术工艺后, 因为在桩侧灌注桩时会产生大量沉渣、并在桩侧产生水泥皮, 从而在一定程度上降低了桩基的设计承载力; 当沉渣厚和水泥皮过厚后, 则桩基承载力明显下降。在近年来, 人们根据水泥护壁灌注桩的固有缺陷, 专门探讨了后注浆材料工艺, 在成桩规定时间内, 再通过桩体上预留的注浆料管, 向桩侧灌注水泥浆以稳定桩侧的沉渣、向桩侧灌注水泥浆以稳定桩侧泥皮, 以起到增加承重、减少下沉的作用, 进而显著地增加桩的承载能力。在反循环灌注桩时, 这种方法随着所选择的施工方法、灌注材料类型、与基础土层的差异等有改变, 因此应采用实地测量确定注浆工艺系数和桩基承载力。

### 1 我国钻孔灌注桩技术发展

通过长期开发, 中国国内钻孔灌注桩工艺已经越来越完善, 桩种也越来越丰富, 根据《建筑桩基技术规范》, 钻孔灌注桩无噪声、无震动、对环境影响较小、对土质地层特征的适应性较好、单桩长桩直径不受限制、对施工现场冲击较小以及单桩承载力大的突出优势, 已获得了广泛

应用。但是, 因为在泥浆护壁和清孔等作业的过程中并没有完全的结束, 导致在桩周和桩基之间产生了大量的软弱土壤岩层, 这样一来, 钻孔灌注桩的摩阻力和侧压力也就无法加以合理使用, 从而使得钻孔灌注桩的侧阻和端阻都比普通直接打入桩的低。所以, 为满足超高承载力和低沉降率的特点, 常采用后注浆的浇注方法的钻孔灌注桩<sup>[1]</sup>。

### 2 简述反循环钻机成孔灌注桩施工技术

反循环法钻成孔的施工技术都是在一定静水压力下完成钻井的, 因此与正常循环钻成孔技术比较, 能够准确鉴定成孔法口径大、深度大、成孔法技术水准较好、对水泥要求不大、能够比较准确的鉴别洞底地质构造等的技术特点。反循环法钻成孔一般使用的填筑料、熟料、砂砾等的地层, 以及当使用圆锥形钻机时都可以钻进软岩, 甚至是使用滚轮型钻机时也可以钻进的硬岩。但是, 反循环法钻成孔通常都不能使用于自重较湿陷的黄土层, 或者通常都不能使用于没有地下水的地下层内, 对颗粒尺寸很大的卵砾石层和大孤岩石打钻的效率也不大, 最重要的都不容易进尺。

### 3 反循环钻孔机械选型

#### 3.1 机械构造和分类

反循环技术操作先装置, 一般由机械设备(驱动头、

旋转安装钻塔、提升设施、运行机制等)、钻具(水笼头、钻杆、增压设施、配重、钻挺、接续安装、钻头等)、钻渣分流系统、液压设备等系统所构成。

国内常见的反循环法钻头,主要包括:泵吸反循环钻头、空气举反循环法钻头、水喷射反循环法钻头、气举水蒸气喷射真空泵吸反循环钻机、正逆循环两用钻头、具有抓取能力的反循环法钻头、潜水式反循环法钻头、冲击反循环法钻机等,而由于科学技术的不断进步,反循环法钻头也在逐渐地向多用途、广泛应用、成孔操作效率高、操作控制简单的方向发展。

### 3.2 钻孔机械选型

在选择钻井设备时,一般依据钻井区域的地质情况、口径、孔深度以及其他的设计和施工条件,选择配置最适当的钻进、出渣等设备。至于钻头选择则一般按照钻井口径和钻井深度决定。在针对岩层条件不同,都需要选用各种钻头实施钻进的情况下,同样的也需要将钻机的转盘扭矩和对驱动动力功率的影响也考虑在内。所以,选用类型适当的钻机也是钻井设备选型的关键内容之一,在现场施工中,根据不同的岩层条件和岩层类型而选择适当的钻井类型、钻孔工艺,并且钻井系数也有所差异。目前的反循环钻进钻头类型品种较多,如多瓣式钻头、三翼式钻头、四翼式钻头、滚轮式钻头等<sup>[2]</sup>。

## 4 反循环技术路线标准

### 4.1 埋设护筒

当钻孔进入了一定深处时,在地下水位以下的钻孔壁土在静水压力下沉积而流入空隙中,从而形成了流砂。如果能在降水剂内维持高于正常地下水头的水头高度,则可以增加钻孔内的静水压力,从而稳定降水剂壁,防止钻孔内坍塌。护筒长除了起这种功能之外,还同时有隔绝地表水、稳固钻孔内地层、固定桩口标高和实现钻孔导向的功能,目前制造护筒长的材质有很多种,应用比较广泛的是钢护筒。护筒长规格一般要求的是坚固耐用,不漏水,其尺寸也是相应于钻孔口径一般为约20mm以下,各节口径一般为约2~3m。并且,根据地表土层、地表水和地下水位的不同,将布置护筒长的方式分为了挖埋式护筒长、填筑材料地基式的护筒长、施工地筑岛式护筒长,以及深水式护筒长等。而在反循环技术的施工布置时,护筒长度在埋设的地区最顶部高程还必须超过地下水位2.0m以上,而在处于干旱地区时,高度还需要高于地6.3m。所以,在护筒长底端内的埋设深度要求为黏性土,不低于高温关系的1.0~1.5m以内,而砂土则应该在将护筒附近的0.5~1.0m高温关系区域内全部挖去,并弃填黏性土至距护筒长底0.5m以内;在深结冰地区,底应埋于深结冰土层以下0.5m,对水深地段内的或在河道下为弱黏性土、细淤泥土层等有深度的,底应尽量深至不透水处的黏性土层下1~1.5m,而在河道下为黏性土层较厚的,底应沉向至砂砾、卵石层下1.0~6.5m。当河道内为粘性土、泥沙、砂土时,对护筒长度及底内的埋藏深度应认真研究后判断,

应下沉至砾石土层。当河道内土壤为黏性土、泥沙、细砂土等时,对护筒长度及底内埋藏深度应认真研究并确定,且不宜低于3.0m。在干处及浅水航道上的筑岛,护筒长度直径宜按常规方式实测并进行确定,宜使用导向支架或装置定向,且要进行竖直安装,其导向支架也应有适当的硬度和可靠性。当灌注桩完成后,除在设计中另有规定以外;护筒长短的最大结合点,一般要求内无凸出物,能耐拉、压且不漏水;钢护筒及钢筋砼的护筒长度,通常应予全部拆毁。护筒平面方向的误差不能超过5,最大偏差率也不能超过1%<sup>[3]</sup>。

### 4.2 泥浆护壁

钻孔浆液主要由水、膨润土等构成。水泥原料中应采用膨润土,因为膨润土有比重小、黏性好、含沙量低、失水小、浆液较薄、安全性好、固壁力大、钻具旋转压力小、钻孔率大、成浆力好的特性。膨润土主要材料是钠质和钙,用作水泥原料,膨润土约占比水的8%,粘土地层通常可减少在水的含量至3%~5%。条件较差的,膨润土用量一般在水的12%以下。

### 4.3 钻进及清孔

反循环钻机在钻进中,必须保证桩座的稳固,在钻杆导架和垂直:护筒长度的距离周围密封,不漏水。对于较松软的土壤起砂现象在钻孔时应降低进尺速度,向孔内浇水量或泥浆的流速也不要过大,并保持孔中适当的水泥温度,以防止出现坍孔。当发生严重坍孔时,采用高粘土水泥浆的投入方法,在孔室平衡时用较低速方式钻孔。

对于常采用的泵吸反循环钻孔方式,在开启离心水泵后,先慢慢转动钻机的钻头,直到以反循环方式正常工作,钻机到达底部。在开始钻孔工作时,需先缓慢转动,待钻机磨损工作后,再慢慢增加转速,并调整压力以使钻机的磨损及吸口不堵水。尤其在确认到孔底的高度时;即可完成下一次的清孔过程。首先暂停钻具回转,将钻机抬高至孔底500~800mm左右,其次再使用高质量水泥,将钻机以慢速回转进行反循环清孔,会先原位怠速几十秒,直至满足正常清孔的操作条件即可。在清孔过程中排渣时,应当着重保证孔中水头,以避免坍孔,当出浆液和流入浆液的品质要求类似或相同时,应及时中止清孔程序,且清孔后的洞底沉渣层厚宜不超过工程要求。

### 4.4 钢筋制作与安装

钢筋主筋接头采用双侧钢筋搭设方式连接,各散截面宽度连接数量比应不超过50%,并与泵管板相连接。混凝土钢筋笼的质量、工艺、接头数量、结构设计应满足工程设计规定。钢筋与砼骨架的混凝土材料采用同标号混凝土旋转垫片。安装密度设置在垂直方向约2m,每一层沿圆周向内安装有4~6孔钢筋直径笼制造完毕后,龙骨的架设采用汽车吊,为保证龙骨不倾斜,一般使用二点吊挂;第一挂钩位置在龙骨的下部,第二挂钩位置在龙骨长度的中部位置以及三艘位之间。在吊挂时先抬起第一挂点,使骨架高度稍稍提高,然后连同第二挂点一同起吊运行,当龙骨高度全部离开地面时,第一挂点停止了起吊运行,并

继续上升至第二挂点。随着第二挂钩位置的上升，慢慢松开第一挂钩位置，直到同地面成直角，并停止了吊挂。观察骨架是否顺直。骨架入孔后要缓缓下放，严禁摇动或接触洞壁。将骨架暂时支撑于护筒口，再吊挂第2节骨架，使左右2节骨架处于同直线距离上开始连接，在连接时应预先连接好顺桥走向的连接，当最后接口焊好之后，整个连接就可以下沉于孔，直到整个骨架的安装工作完成。要在洞内固定位置，避免在浇注过程中产生浮笼现象。钢筋骨架的制造与吊装时的最大容许误差为：钢筋间距±10mm；箍筋间隙±20mm；骨架外径±；结构骨架倾斜度±0.5%；结构骨架保护层厚±20mm；结构骨架中间的平面位置为±20mm；结构骨架顶部高度±20mm；结构骨架下部高度±50mm<sup>[4]</sup>。

#### 4.5 导管的安装

导管一般选用口径 300mm×3.5mm×3m 无缝钢管，连接紧固，密闭性好，刚度高，不易变形。在安装之前首先做好导管水的压力测试，同时检验密封垫好坏以及导管内是否有残物，在安装后把导管水清理干净，涂油并与螺钉联接后存放整齐。在吊装时应按利深计算出导管高度，下导管的过程中也要逐项记下导管序号以及按各段尺寸对准洞深中心吊挂。

#### 4.6 第二次清孔

导管入孔后，再一次在孔底的沉渣层数达到要求后，可通过泵吸或反循环工艺完成第二次清孔。清孔后要逐步冲淡浆液，将其黏度控制在 25~28s 之间，清孔，持续时间不少于 10min。第二次清孔技术完成后，用特制皮尺测量桩基的沉渣量，在孔底部沉渣≤5cm 后可终止清孔技术。第二次清孔技术后要求在 30min 后就必须进行浇注砼，否则仍需进行清孔技术。

#### 4.7 灌注水下混凝土

灌注桩的钢材骨架既可整体制成，亦可由部分节制件组成。制作完毕后，在骨架上部，按照骨架长短、孔径尺寸，均匀设有吊环及固定柱，在钢筋外部还设有调节保护层厚度的部件，并须采用合理的保护措施，以避免在浇注过程中钢筋骨架的上升。

浇注水下混凝土时一般采用刚性导管（由钢管制成），导管内径一般为 20~35 厘米。导管使用时应进行必要的水密、承压式和接头抗拉等试验，水密试验的水压不应小于井孔内最大水深一点五倍的外压力，而水压承压式试验时超过了导管壁负荷的最大内压力。在导管上端面接灌注漏斗，漏斗底口高出井口水面或桩顶的必须高度可参考下式计算：

$$h_c \geq (p_0 + \gamma_w H_w) \gamma_c \quad (1)$$

式中： $h_c$ —井孔内混凝土面以上，导管内混凝土柱高度，m；

$H_w$ —井孔内混凝土面以上，水或泥浆深度，m；

$\gamma_c$ —混凝土拌和物的容量， $kN/m^3$ ；

$p_0$ —使导管内混凝土下落至导管底并将导管外的混凝土顶升时所需的超压力，采用 100~150kPa，桩径 1m 左右时取下限，2m 左右时取上限。

灌注混凝土时，所需的首批混凝土数量应能满足导管初次埋置深度（≥1.0m）和填充导管底部间隙的需要，其所需混凝土的数量可参考以下公式计算：

$$V \geq \frac{\pi d_3}{4} h + \frac{\pi D^2}{2} H^2 \quad (2)$$

式中： $V$ —首批混凝土所需数量， $m^3$

$H$ —井孔混凝土面高度达到 $H_c$ 时导管内混凝土柱需要的高度，m；

$H_c$ —灌注首批混凝土时所需井孔内混凝土面至孔底的高度，m。

浇注工作开始时，应持续推进，并尽量减少拆除导管的空隙时间。当导管中的水泥不足时，要渐进地浇注，预防导管中出现高温空气囊；还需定期检查井孔的水泥面情况，以及时调整导管埋深，当掺入缓凝剂，灌注效率高、导管较坚实，还有能力起重时，要及时调整导管埋深，新浇注的桩顶高程需预加规定的高程，预加高程应于新地基础施工时凿除，凿除之后以免损坏桩体<sup>[5]</sup>。

## 5 结语

组织反循环水开挖灌注桩建设的主要内容，包括选定施工设备、制定施工技术、选择开挖地点、钻孔、清孔和浇注水下混凝土。工程建设中出现的主要现象有：在钻孔中塌口、偏孔、提高了精度或缩口、在真空泵以及灌注水泵启动过程中的故障、钻孔磨损脱落、护筒长度冒水、钻孔渗漏等现象，在工程建设中，要及时进行了各种技术指标和主要技术参数的检查工作，以及时发现各个环节中可能存在的工程质量问题，及时采取了相应的对策，合理地解决了施工过程中的一些通病，以努力提高反循环法钻成多孔灌注桩工程的实施效率。

### [参考文献]

- [1]杨浩.旋挖成孔灌注桩的设计、施工及应用研究[D].南昌:南昌大学,2018.
  - [2]张文利.砂砾石层路基加固中钻孔灌注桩技术的应用[J].交通世界,2018(2):84-85.
  - [3]崔宏柏.钻孔灌注桩正循环与反循环实例分析比较[J].中国标准化,2018(8):137-139.
  - [4]王震,彭超.正反循环泥浆护壁在钻孔灌注桩成孔中的运用研究[J].粘接,2020,41(1):115-119.
  - [5]朱红明,朱文,魏耀华,等.泵吸反循环超长直径钻孔灌注桩施工技术研究[J].低温建筑技术,2020,42(3):125-128.
  - [6]杨爱民.公路桥梁人工挖孔桩接力反循环钻孔灌注桩施工技术[J].交通世界,2022(1):63-64.
- 作者简介：韩羽（1977.10-），毕业院校：哈尔滨工业大学，所学专业：土木工程，当前就职单位名称：中信建设有限责任公司，职称级别：高级工程师；杨悦（1973.5-），毕业院校：哈尔滨工业大学，所学专业：建筑设计及其理论，当前就职单位：南京科创基地项目部，副总工程师及设计部经理，高级工程师。