

# 顶驱双管成孔工艺在 MJS 工法引孔过程中的应用

刘长驰, 顾建戴, 陆震宇

(江苏省无锡探矿机械总厂有限公司, 江苏 无锡 214112)

**摘要:**福州市地铁一号线需穿越江心小岛,并在岛上设置盾构换刀区,换刀区域开挖面需稳定性加固。开挖面上部为中细砂层,透水性强,稳定性差。设计采用 MJS 工法,加固兼止水,成桩直径 $\geq 2200$  mm,搭接 700 mm。岛上 5.6 m 以浅为杂填土层,向下依次为淤泥、中砂、细砂层, MJS 钻杆成孔难度大,抱钻杆及埋钻杆的风险极大。大功率顶驱钻机采用双管钻进轻松穿过回填层和砂层,在砂层中留置一定深度的外套管兼作护套管,可以起到一定的防塌孔功能,成功解决了复杂地层用 MJS 工法施工的引孔难题。

**关键词:**盾构;地基加固;MJS 工法;顶驱双管钻进;引孔

**中图分类号:** TU472      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1672-7428(2016)05-0081-05

**Application of Top-drive Double Casing Drilling in Guide-hole by MJS Method/LIU Chang-chi, GU Jian-dai, LU Zhen-yu** (Jiangsu Wuxi Exploration Machinery Factory Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214112, China)

**Abstract:** Fuzhou subway Line 1 was planned to cross an island in middle of the river and the shield tool changing area was to set up on the island. Stability reinforcement should be made for excavation face of tool changing area; the upper part was medium-fine sand with strong permeability and poor stability. MJS method was adopted in the design for strengthening and water sealing with pile diameter $\geq 2200$ mm and overlapping 700mm. On the island, there was 5.6m thickness of miscellaneous fill layer, followed by silt, medium sand and fine sand layers, drilling was difficult for MJS method because of the risks of drill pipe holding and burying. High-power top drive drilling rig can easily pass through backfill and sand layers with double-pipe. A certain length outer casing was retained in the sand as protecting casing to prevent hole collapse, guide-hole difficulties for MJS construction method in complex strata were successfully resolved.

**Key words:** shield; foundation reinforcement; MJS method; top-drive double casing drilling; guide-hole

## 1 工程概况

项目隶属于福州市地铁一号线的先期工程,盾构在 2 个站之间需穿越闽江,盾构换刀区设计在位于闽江中心的小岛上,盾构停机及换刀位置区为闽江流砂层,上部为 5.6 m 杂填层,有建筑地基层及零星石块,下部为中细砂层,透水性强,必须经过整体加固才能开挖使用。换刀区地层特性见表 1。

表 1 换刀区地层纵剖面

层号	土层名称	层厚 /m	层底标高/m	土层描述
①	杂填土	5.62	3.19	含碎砖、碎石,下部粘性土、含少量漂石
②	淤泥	3.50	-0.31	含少量贝壳碎屑、薄砂,呈流塑状态
③	中砂	3.00	-3.31	带薄层粘性土,致密,透水性强
④	细砂	13.00	-16.31	带薄层粘性土,致密,透水性强
⑤	粉质粘土	1.50	-17.81	以粘性土为主,质地较软,含少量孤石
⑥	砂夹淤泥	27.19	-45.00	含少量贝壳碎屑,局部呈流塑状态

单线盾构换刀加固区范围为 16.45 m × 12.7

m,上下行线合并区域为 25.22 m × 18 m,全施工区域设计旋喷加固桩 176 根,单桩要求:直径 $\geq 2200$  mm,搭接 700 mm,水泥掺量为 40% ~ 60%,水灰比为 1,加固后土体无侧限抗压强度要求达到 2 ~ 3 MPa,渗透系数 $< 10 \text{ cm}^{-7}/\text{s}$ ,桩体须按 20% 比例取心检验。全工期为 3 个月,施工进度每天成桩数量至少 2 根。孔位分布见图 1。

## 2 方案设计和设备配置

旋喷加固桩设计采用 MJS 工法,可以满足桩径 $\geq 2200$  mm 要求,考虑到岛上 5.6 m 以浅为杂填土,中下部中砂和细砂层,局部含漂石、孤石, MJS 自钻能力及加接钻杆效率均不能满足穿过地层的条件,且埋抱钻的风险极大,所以设计的施工方案为:先按孔位坐标引孔,再下入 MJS 钻杆按设计标高旋喷施工。经反复讨论,引孔钻机必须要满足地层所需,既要满足克服杂填土、碎石、孤石层,又能克服局部抱

收稿日期:2015-12-18; 修回日期:2016-03-22

作者简介:刘长驰,男,汉族,1978年生,技术中心副主任,从事岩心钻机、勘察钻机、锚固及旋喷机具的研发和改进工作,江苏省无锡市新梅村锡达路 555 号,XTLCC022@163.com。

钻的可能。理想施工状态为引孔和旋喷施工可以同时进行,即1台引孔机可以满足2套MJS系统同时施工。

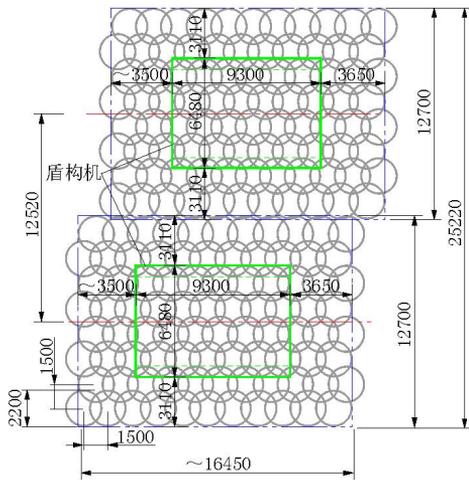


图1 孔位分布图

引孔钻机最初配置我公司的GXL-2型履带式工程钻机(图2),后改进配置为我公司的MDL-C200型履带式多功能顶驱钻机(图3),采用双管钻进方法,内钻杆规格为 $\text{Ø}102\text{ mm} \times 1.5\text{ m}$ ,外套管规格为 $\text{Ø}219\text{ mm} \times 1.5\text{ m}$ ,内外管均配置满足顶驱回转冲击的硬质合金钻头。



图2 GXL-2型钻机

MJS工法主机为MJS-40VH型(图4)。

### 3 试桩引孔及其MJS成桩的施工过程

#### 3.1 试验施工

第一批桩共2根,选位在上行线一侧的第158



图3 MDL-C200型钻机



图4 MJS-40VH型旋喷主机

号、130号桩,跳位目的在于试验引孔和成桩工艺在不同位置的适应性。引孔起初使用GXL-2型钻机施工,地面开孔尚可进行,但随着钻进深度加深, $\text{Ø}219\text{ mm}$ 的套管钻到10.5 m深以后,钻机出现负荷加重甚至电机闷车的现象,考虑到GXL-2型钻机的最大扭矩为 $2760\text{ N}\cdot\text{m}$ 、最大起拔力仅 $30\text{ kN}$ ,钻进能力不够,后停机退出使用。继续引孔时,正式起用MDL-C200型钻机,采用顶驱双管钻进工艺,由钻机的顶驱动力头驱动内外钻杆边回转切削边高频冲击(最大冲击功达 $900\text{ J}$ ,冲击频率达到 $2100\text{ 次}/\text{min}$ ),轻松穿过地表混凝土路面及基础,单根 $1.5\text{ m}$ 钻杆 $5\text{ min}$ 完成,后续钻孔加上装卸钻杆的辅助时间平均 $15\text{ min}/\text{根}$ ,约1个班/孔,期间每2根钻杆精确测量一次,加上返渣泥浆的配比调试,实际钻进时间只有 $3\text{ h}$ ,全程无卡阻, $15\text{ m}$ 深位置出现漂石,开启顶驱模式轻松穿过,在 $10\sim 20\text{ m}$ 深度之间返渣

基本就是中砂和细砂,抱杆力明显增大,及时将泵量增加到 250 L/min,泵压则增加到 5.5 MPa,并将 MDL-C200 型钻机动力头切换至大扭矩状态,轻松穿过,直至 45 m 终孔深度。

起拔  $\varnothing 219$  mm 套管,按设计要求,旋喷加固深度范围为 -39 ~ -15 m,所以留置套管的深度为 0 ~ -15 m,其余全部拔出,终孔后就立即起拔,钻机 75 kN 的起拔力可以完成。

下入 MJS 钻杆,顺利下至孔底,试喷时发现钻头回浆阀门打不开,在反复试验无效果的情况下,只得全部提出钻杆检查,原因是由于底部的淤泥质粘性土和粉细砂的地层受扰动后强度降低,导致第一孔塌孔,后经扫孔得以重新使用。

第 2 根桩避免了上述问题,全程施工顺利。返渣及取心情况见图 5、图 6。



图 5 返渣(全部中细砂)



图 6 取心样品

### 3.2 试桩评价

(1) 顶驱双管钻进非常适合杂填土 + 碎石 + 流砂层,且外套管兼作为 MJS 旋喷施工的护壁套管,是较理想的设计方案,这在第 2 个试桩孔的施工得到了验证。

(2) 在穿过流砂层时,钻机要保持充足的扭矩 (MDL-C200 型钻机最大扭矩为 14000 N·m) 且尽量缩短停机时间,要求加接钻杆的辅助时间尽量短,机组的操作应配合熟练,经数据统计,加接一次钻杆时间可以控制在 6 min。

(3) 流砂层施工泥浆的配比很关键,除了要满足携带击碎的岩粒和砂返出孔口外,还要能对终孔后外套管抽出的孔底段 15 m 进行护壁,在一定时间内 (按设计不低于 5 h) 满足下入 MJS 钻杆及开始旋喷和旋喷过程中不塌孔、不抱钻。经反复对比,最终泥浆密度确定在 1.2 ~ 1.3 g/cm<sup>3</sup> 之间,漏斗粘度在 18 ~ 21 s 比较适宜。

## 4 工程桩施工

### 4.1 施工存在的问题

工程桩开始施工的 1 个星期内,共完成 MJS 桩 5 个,但引好的孔塌陷的也有 5 个,其中一个孔钻杆被卡死,价值 8 万元的钻头掉入孔内,凸现的问题如下:

(1) 旋喷加固段的成孔属于细砂淤泥层,透水性很强,受扰动塌陷的风险极高。

(2) 留置  $\varnothing 219$  mm 套管时间过长后,起拔困难,用主机和汽车吊起拔均不安全,现场的 500 kN 拔管机能力不够,导致套管无法拔出,造成一个引好的孔埋钻。

(3) MJS 排浆功能的开启大小和时间频度的控制,需要一个优化设计,否则开启度过小孔底压力大影响成桩直径,开启度过大或过频易造成塌孔。

(4) 顶驱双管钻具的上端接头容易松扣,加接钻杆时往往是想松的没松开,不想松的会随机松开,影响引孔效率。

### 4.2 采取的措施

(1) 对于引好的孔易塌陷的问题:采取了 2 种方式予以解决。第一种方法是全孔段采取适当口径的 PVC 管护壁,MJS 钻杆下到设计深度直接旋喷,击碎 PVC 管。后采购了  $\varnothing 160$  mm  $\times$  2 mm PVC 管 50 m,但在长管子对接过程中遇到无法牢固粘接的

问题,加之项目技术组担心 PVC 管的阻挡会降低旋喷桩的直径,所以最终认为在深孔施工中不适用而放弃。第二种方法是参考岩心钻探工艺选用泥浆,选择了具有降失水、防塌和润滑的多功能护壁剂添加其中。该护壁剂属于一种植物胶,由纤维、浆糖、灰分、水分等组成,是一种天然的高分子化合物,具有改善泥浆泥皮、润滑、对岩粉悬浮能力强的特点。施工证明,后一种保守的办法起到了一定的作用,引好的孔没有再出现塌孔,能够顺利下入 MJS 钻杆,基本能满足后续的正常施工。

(2)对于  $\varnothing 219$  mm 套管起拔困难的问题:在各施工工序的时间衔接上要掌握好,套管抱紧力和留置时间长短成正比,加之旋喷后水泥浆的渗入,超过一定时间后的抱紧力会更大。所以,正确的施工工序为:引孔至设计深度→提升外套管至设计深度→下入 MJS 钻杆→旋喷→拔出套管,上述工序应连续进行,不能中断。根据计算,正常抱管力为 1000 kN,所以只要选用 1000 kN 以上的拔管机(如图 7)就可以解决,后按此方案执行,基本能做到正常拔管。

(3)排浆功能的控制问题:排浆口开启大小和开启的频度要控制好,后将排浆口控制在 40% 的开启,开启的频度由原来的 1 min 一次降低至 2 min 一次,能够做到成桩和不塌孔之间的平衡。

(4)钻具容易松扣的问题:松扣就意味着加接钻杆效率的降低,理想状态是想松的扣一定要能顺利卸下来,不要求松的扣一定不能轻易松开,否则会



图 7 拔管机

严重干扰加接钻杆的进行。参考了大量的国内外类似顶驱双管钻进的视频,多多少少都存在这个问题,几乎全部是靠机手的操作技巧来解决,“卸不开、敲两锤”、“再不开、顶着搓”,类似土方法尽管简单实用,但对钻杆有伤害,且不符合文明施工的要求。我们尝试了 2 种方法,一是从动力头钎尾—注水轴—排渣头—过渡接头之间的螺纹涂抹岩心钻具上经常使用的一种 SW 树脂胶,在静态纯扭矩状态下效果非常好,在冲击+扭转作用下,有一定的效果但仍然有松开的现象。二是从钻具结构上系统地改进,摒弃从国外引进的“注水轴+内外排渣头+过渡接头+钻杆接头+钻杆”的多重螺纹连接方式(如图 8),改为“注水轴+内外排渣头+钻杆”的方式(如图 9),

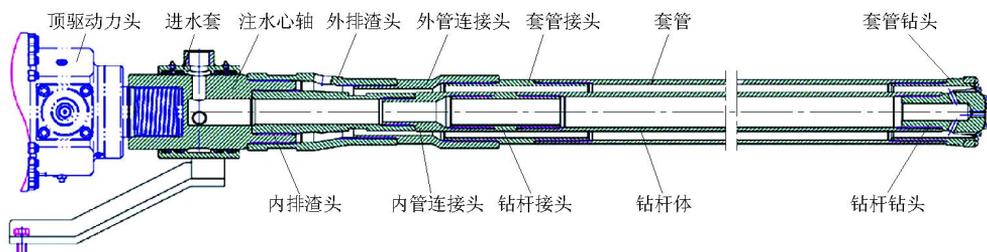


图 8 改进前钻具配置

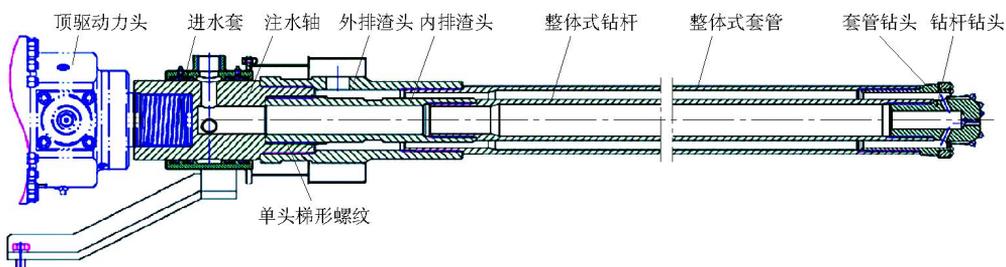


图 9 改进后钻具配置

减少螺纹数量,降低松扣概率;在螺纹连接形式上,除了和钎尾、钻杆连接的用多头波形螺纹,其余用单头梯形螺纹形式,因为梯形螺纹的升角小,自锁性好,牙面接触面大,在事先大扭矩拧紧的条件下,后期松扣的概率非常小。另外,钻杆和套管加工成二端镢粗整体式,热处理采用整体调质加端部氮化,强度更高,这样改进后连接螺纹的数量减少了一半,松扣的概率大大降低,后期的顺利施工也印证了这一改进的效果。

#### 4.3 改进后的施工情况

工程桩施工第一个星期出现的问题,经过上述改进后得以逐一解决,整个上行区88根桩得以在1个半月内顺利完工。在后期的引孔过程中,机台班组根据连续施工的经验,对施工方法又进行了优化,在杂填土层利用双管顶驱钻进,快速穿过;在中砂和细砂层改为外套管单管纯回转钻进,大泵量返渣,MDL-C200型钻机具备14000 N·m 扭矩和140 r/min 的转速,在加大泵量的条件下,完全可以克服返渣和防抱钻问题,偶尔的憋泵也能通过开启顶驱冲击马上振松,效率几乎提高了1倍。

## 5 结语

MJS工法以其多方位、成桩直径大、泥浆对地层的压力可以通过钻头内置的传感器测量并适时抽排的独特优势,在一些关键施工节点有着不可替代的作用。但MJS工法对施工精细度有更高的要求,每节钻杆的拆卸和加接均需进行密封和通断检查,否则下到孔底再出现问题检查将非常麻烦,严重影响效率。要充分发挥MJS工法的优势,必须充分发挥好排浆可控的功能,否则加固效果会达不到预期。

在大深度条件下MJS工法的使用,引孔是关键,在既有岩石又有流砂的复杂地层,引孔质量和效

率就显得更加重要,引孔设备就成为关键设备。顶驱钻机在国内的使用越来越广泛,在基坑锚固、地基加固等领域起到了攻坚克难的作用。MDL-C200型履带式多功能钻机以其移位方便、扭矩大、转速高、冲击效率高的特点,适合在此类关键工程中高效使用。

在施工质量上要严守标准,但在工具配置、施工工艺上不能过于迷信,要灵活创新,理论上论证可行的方案,实际操作上应该大胆尝试,例如本项目中的钻具配置上的改进,排浆控制上的改进,最终都起到了明显的效果。

不同施工领域的同种性质问题可以相互借鉴,例如本项目中的泥浆配比问题,在岩心钻探领域的研究已较深入,借鉴至本项目后,同样可以解决返渣难、易塌孔的困扰。

#### 参考文献:

- [1] 张志勇,李淑海,孙浩. MJS工法及其在上海某地铁工程超深地基加固中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(7):41-45.
- [2] 黄均龙. 多孔管旋喷桩施工设备[C]//王新杰,王庆军. 2013第三届深基础工程新技术与新设备发展论坛论文集. 北京:知识产权出版社,2013.
- [3] 赵浩,何涛,李强,等. 植物胶冲洗液在东乌旗阿吉勒铅锌矿钻探施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(8):35-38.
- [4] 王道富. MJS工法原理及在城市工程建设中的应用[J]. 城市建设理论研究,2011,(28).
- [5] 何拥军. 全方位高压旋喷注浆法的工程试验[J]. 地下工程与隧道,2010,(1).
- [6] 郑英飞,王茂森,岳文斌. 气动潜孔锤双冲击跟管钻进技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):38-41.
- [7] 丁晓庆,何龙飞. 气动潜孔锤跟管钻进技术在岩土工程勘察施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):17-21.