

# MJS 工法及其在上海某地铁工程 超深地基加固中的应用

张志勇, 李淑海, 孙浩  
(上海广联建设发展有限公司, 上海 200438)

**摘要:**以某地铁车站 MJS 超深地基加固施工为例,阐述了超深 MJS 地基加固施工过程中的技术管理要点,总结了施工过程中的一些心得体会。

**关键词:**MJS 工法;地下空间开发;地铁工程;超深地基加固;高压喷射;大深度

**中图分类号:**TU472.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)07-0041-05

**MJS Engineering Method and Its Application in Super Deep Foundation Reinforcement of a Metro Project in Shanghai/ZHANG Zhi-yong, LI Shu-hai, SUN Hao** (Shanghai Guanglian Construction Development Co., Ltd., Shanghai 200438, China)

**Abstract:** With the construction case of super deep foundation reinforcement of a metro project with MJS engineering method, the paper discussed the main points of technical management in construction process with some experience and understanding.

**Key words:** MJS engineering method; underground space development; metro project; super deep foundation reinforcement; high pressure jet; large depth

## 0 引言

由于上海地区软土特性及建筑物、管线密集的特点,在地下工程建设中为保证施工安全,地基加固已成为必不可少的辅助措施。另一方面,随着城市开发建设的不断深入,地下建(构)筑物和基础埋置深度越来越深,城市地下空间的开发建设进入了向大深度发展的趋势,例如高层建筑、地铁车站、地下设施等的地下室的层数不断增加,由以前的一二层逐渐加深到地下三四层甚至更多,基坑深度也突破初期的十来米朝更深的十几、二十几甚至三四十米、五六十米发展,在这种发展趋势下,原有的地基加固方法如三轴搅拌法、高压旋喷法、双轴搅拌法、压密注浆法等已较难适用。自日本引进的 MJS 工法可以很好地解决大深度地下空间开发过程中地基加固这一难题。

## 1 MJS 工法工艺原理

MJS 工法(Metro Jet System)又称全方位高压喷射工法,是在传统高压喷射注浆工艺的基础上,采用了独特的多孔管和前端造成装置(习惯称之为 Monitor),多孔管由排泥管、高压水泥浆管、倒吸水管(2

个)、主空气管、倒吸空气管、排泥管传感器控制线路管(2个)、削孔喷水管、多孔管连接螺栓孔、备用管路等组成。前端造成装置上分布有压力传感器、排泥口、喷浆口等。实现了孔内强制排浆和地内压力监测,并通过调整强制排浆量来控制地内压力,以防止地内压力过大对地面造成隆起,大幅度减少对环境的影响,而地内压力的降低也进一步保证了成桩直径,确保地基加固的效果。图 1 为 MJS 工法工艺原理图。

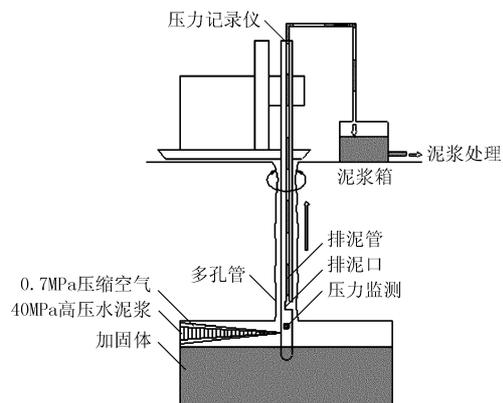


图 1 MJS 工法工艺原理示意图

收稿日期:2012-03-05

作者简介:张志勇(1977-),男(汉族),山东德州人,上海广联建设发展有限公司工程师,岩土工程专业,硕士,从事地下空间开发技术研究及相关施工技术管理工作,上海市国伟路 135 号 10 号楼,zhzy308@163.com。

## 2 MJS工法的特点

(1) 可以“全方位”进行高压喷射注浆施工。MJS工法可以进行水平、倾斜、垂直各方向、任意角度的施工。特别是其特有的排浆方式,能够在富水土层情况下进行水平加固施工。

(2) 成桩直径大,桩身质量好。喷射流初始压力达40 MPa,流量约90~130 L/min,使用单喷嘴喷射,每米喷射时间30~40 min(平均提升速度2.5~3.3 cm/min),喷射流能量大,作用时间长,再加上稳定的同轴高压空气的保护和对地内压力的调整,使得MJS工法成桩直径较大,可达2~2.8 m(砂土 $N < 70$ ,粘土 $c < 50$ )。由于直接采用水泥浆液进行喷射,其桩身质量较好。

(3) 对周边环境影响小,超深施工有保证。传统高压喷射注浆工艺产生的多余泥浆是通过土体与钻杆的间隙,在地面孔口处自然排出。这样的排浆方式往往造成地层内压力偏大,导致周围地层产生较大变形、地表隆起。同时在加固深处的排泥比较困难,造成钻杆和高压喷射嘴周边的压力增大,往往导致喷射效率降低,影响加固效果及可靠性。MJS工法通过地内压力监测和强制排浆的手段,对地内压力进行调控,MJS工法前端造孔装置上设置了排泥口,排泥口开关最大可达62 mm,主机上有专门装置控制排泥口的开启/关闭。施工过程中,当压力传感器测得的孔内压力较高时,可以控制排泥吸浆口的开启大小,调节泥浆排出量达到控制地内压力的目的。可以大幅度减少施工对周边环境的扰动,并保证超深施工的效果。

(4) 专有废浆排放管路,对环境污染少。MJS工法采用专用排泥管进行排浆,有利于泥浆集中管理,施工场地干净。同时对地内压力的调控,有效减少了泥浆“窜”入土壤、水体或是地下管道的现象的发生,可减少对环境造成的污染。

## 3 工程概况

### 3.1 工程简介

上海市某新建地铁车站与另一地铁线路车站形成小十字形换乘站。新建地铁车站主体结构地下连续墙深度达52 m,而另一线路地铁车站原主体结构地下连续墙深度仅41 m,为了提高新建车站主体基坑内承压水的降水效果,须将原地铁车站主体结构41 m深地下连续墙加深。因加固深度超过原有地基加固技术所能达到的范围,因此,设计采用MJS工法桩对换乘段原地铁车站地下连续墙进行加深处

理。MJS工法设计桩径2000 mm,桩顶深度为38 m,与已完成地墙搭接3 m(360°喷射),桩底深度为52 m(180°喷射)。为保证止水效果,MJS工法桩与地下连续墙搭接700 mm。图2为MJS工法桩地基加固平面图,图3为MJS工法桩地基加固剖面图。

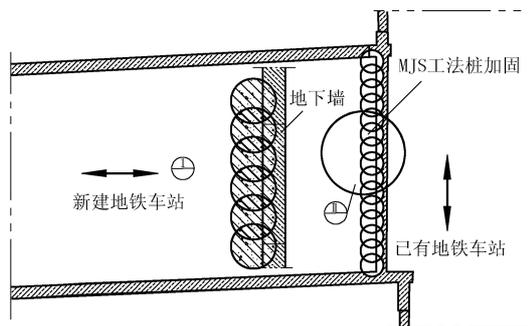


图2 MJS工法桩地基加固平面图

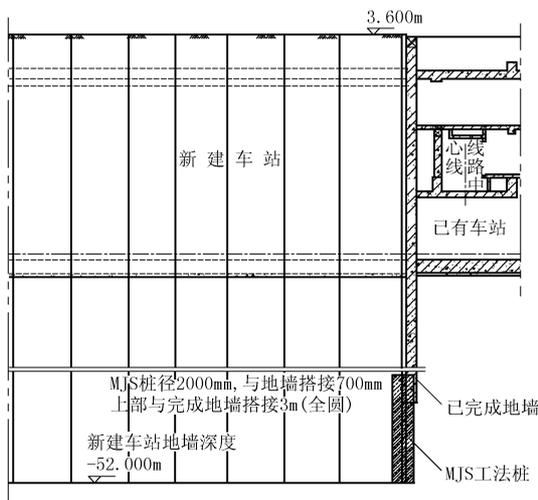


图3 MJS工法桩地基加固剖面图

### 3.2 施工工艺参数

- (1) 桩径:2000 mm。
- (2) 水泥用量:360°喷射阶段,2.72 t/m;180°喷射阶段,1.36 t/m。
- (3) 浆液压力: $\geq 38$  MPa。
- (4) 空气压力:0.7 MPa。
- (5) 浆液流量:90~100 L/min。
- (6) 浆液喷射钻杆提升速度:360°喷射阶段,40 min/m;180°喷射阶段,20 min/m。
- (7) 地内压力控制:1.3~1.8的系数(视地质情况适当进行调节和控制)。
- (8) 浆液配比:水灰比1:1(水泥标号P.042.5)。
- (9) 成桩垂直度误差:深度 $\leq 30$  m,垂直度偏差 $\leq 1/150$ ;深度 $> 30$  m,垂直度偏差 $\leq 1/100$ 。

### 3.3 工程地质条件

本工程场地属古河道沉积区,地基土分布较为稳定。地层主要由粘性土、粉性土、砂土组成,一般

具有成层分布特点。场地地面标高约 3.16 ~ 4.17 m,各土层主要特性见表 1。

表 1 地层特性

层号	土层名称	层厚/m	层底标高/m	状态	密实度	压缩性	土层描述
① <sub>1</sub>	填土	0.70 ~ 3.90	2.67 ~ -0.45		松散		上部杂填土,含碎砖、碎石;下部粘性土,含少量杂物
① <sub>2</sub>	滨填土	2.00	0.30		松散		粘性土为主
②	粉质粘土	0.50 ~ 2.30	1.17 ~ -0.24	可塑 ~ 软塑		中等	局部区域以粘性土为主,土质由上至下逐渐变软,含铁锰质结核
③	淤泥质粉质粘土	3.10 ~ 5.50	-2.90 ~ 5.22	流塑		高等	含云母,夹砂质粉土及薄层粉砂,土质不均匀
④	淤泥质粘土	6.40 ~ 8.80	-10.80 ~ -13.56	流塑		高等	含云母、少量贝壳碎屑,夹少量薄层粉砂
⑤ <sub>1-1</sub>	粘土	4.00 ~ 8.10	-16.01 ~ -19.24	软塑 ~ 流塑		高等	含少量泥钙质结核及半腐植物根茎
⑤ <sub>1-2</sub>	粉质粘土	5.00 ~ 11.00	-23.80 ~ -28.20	软塑		中等	含云母、泥钙质结核,夹少量薄层粉性土
⑤ <sub>3-1</sub>	粉质粘土	8.80 ~ 16.70	-33.94 ~ -40.71	软塑 ~ 可塑		中等	含云母、少量有机质、腐殖质及泥钙质结核
⑤ <sub>4</sub>	粉质粘土	1.90 ~ 5.80	-38.24 ~ -43.41	可塑 ~ 硬塑		中等	含氧化铁条纹、铁锰质结核及少量腐殖土
⑦ <sub>2</sub>	粉细砂	6.00 ~ 22.40	-45.29 ~ -61.30		中密 ~ 密实	中等 ~ 低等	含云母,顶部夹粉土及薄层粘性土;中下部颗粒成分以石英、长石为主,土质致密

根据地层特性表,在 52 m 深度范围内,以粘性土为主,仅在下部分布有粉细砂层,结合岩土工程勘察报告的静力触探表来看,粘性土与粉细砂的分界面基本在地下 43 m 左右,上部的淤泥质粘性土具流变触变性,扰动后强度迅速降低,易粘附 MJS 多孔管钻杆,造成转动或提钻困难,下部粉细砂易产生坍塌,一旦坍塌,可能造成埋钻事故。

#### 4 施工方法

目前 MJS 工法垂直施工方面深度一般局限在 30 m 以浅,超过 30 m 的 MJS 工法桩,国内外未曾涉及。在本工程中,进行深度达到 52 m 之深的 MJS 工法桩施工,仅利用 MJS 主机成孔、喷浆存在着一定难度,主要原因一是受 MJS 主机的扭矩限制,利用 MJS 主机自身施工 52 m 深度的钻孔难度较大;二是 MJS 多孔管钻杆接长至 52 m 深度时,钻杆长细比过大,成孔垂直度控制难度较大;三是受 MJS 主机的扭矩及提吊力限制,若在成孔或喷浆过程中产生多孔管钻杆被土体抱死现象时可能会造成埋钻事故。因此,考虑到以上原因,开发出以下方法进行 MJS 工法施工:在进行超深 MJS 加固施工之前进行预先引孔,引孔至设计深度后,孔内下入钢套管,钢套管内再下入 MJS 钻杆进行喷射。

引孔钻机采用 SGL-10 型履带钻机,引孔直径为 260 mm。引孔后放入钢套管,钢套管外径 219 mm,内径 195 mm,钢套管 3 m 一节,钢套管间采用丝扣连接,钢套管底部下至距桩底 14 m 处,然后在钢套管内放入 MJS 钻杆,MJS 钻杆下到孔底,随后进行喷浆;施工时倒吸出的泥浆,由返浆管送入现场泥

浆箱,再从泥浆箱泵入泥浆车,由泥浆车及时外运。图 4 为超深 MJS 工法地基加固施工流程图。

#### 5 施工主要设备配备(见表 2)

表 2 MJS 工法施工主要设备配备情况

序号	设备名称	规格	数量	功率/kW
1	MJS 工法主机	MJS-40VH	1 台	37
2	高压泵	GF-120SV	1 台	90
3	高压泵	GF-75SV	2 台	55 × 2
4	空压机	日本 AIRMAN 1 MPa/23.5 m <sup>3</sup>	1 台	18.5
5	泥浆搅拌系统	BZ-20L	1 套	56.5
6	泥浆泵	3PNL	1 台	7.5
7	引孔机	SGL-10	1 台套	60
8	测斜仪	CX-5C	1 台套	

#### 6 施工步骤

利用预设钢套管的方式进行 MJS 地基加固施工,其工艺流程包括沟槽开挖、引孔、设置钢套管、MJS 钻杆下放、喷浆、MJS 钻杆起拔、钢套管起拔等。

##### 6.1 沟槽开挖

槽宽度约 0.8 m,深度 1.0 ~ 2.0 m,沟槽开挖之前应先测量放线,根据施工部位及设计要求,确定施工位置,并查看岩土工程勘察报告及管线图,熟悉地下环境,确认安全后方可开挖。沟槽开挖过程中用镐头机将地下障碍物破除干净,如废电缆、雨水管、污水管、混凝土垫层等,直至漏出原状土。在破除导墙及导墙钢筋时,如破除后产生过大的空洞,则需要回填素土压实,重新开挖沟槽。沟槽开挖完毕,须及时将沟槽内砼块等清除干净,以免在后续引孔施工过程中砼块等固体物落入孔内而引起 MJS 钻头上

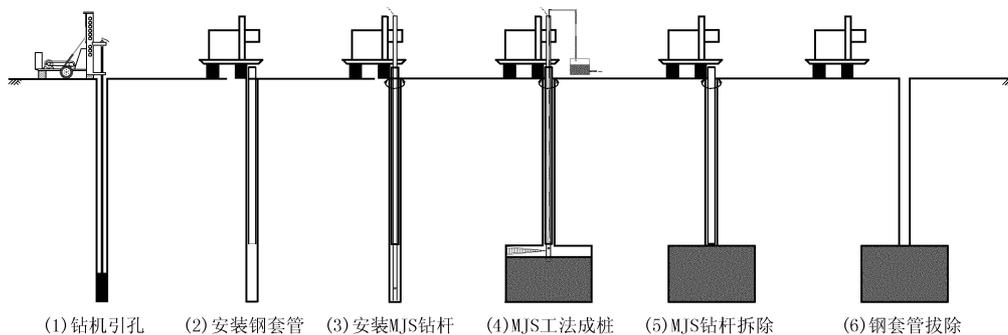


图4 超深 MJS 工法地基加固施工流程图

排泥口堵塞。

## 6.2 引孔施工

钻孔直径 260 mm, 孔深 52 m, 钻孔垂直度应不小于 1/150, 对于引孔施工来说, 确保钻孔的垂直度是关键, 施工中采用以下措施保证引孔质量。

(1) 钻头型式为梳齿钻头, 钻头上加导正器。

(2) 钻机就位时要固定、保证钻机水平度, 钻机周围场地应平整、坚实。

(3) 引孔遇障碍物时应降低钻速, 加大泵量, 反复切削, 成孔好后测垂直度, 直到达到要求。

(4) 引孔深度比设计深度深 30 cm 左右, 引孔好后灌入稠度高的泥浆(泥浆密度  $1.3 \text{ g/cm}^3$  左右)。

(5) 每钻进一个回次的单根钻杆要及时进行扫孔, 保证钻孔直径满足要求。

(6) 按时测定泥浆性能, 防止塌孔及扩孔。

(7) 引孔完后要用盖板盖住孔口, 并且牢固, 以防止物品掉入孔内。

(8) 钻孔过程应分班连续进行, 不得中途长时间停止。

## 6.3 设置钢套管

钢套管采用  $\text{Ø}219 \text{ mm}$  无缝钢管制作, 每节 3 m, 钢套管间采用丝扣连接, 利用钻机分节下放, 连接之前检查套管情况, 套管丝扣上不能有水泥浆等杂物, 套管间丝扣采用生胶带缠绕。套管下放时应缓慢下放, 防止套管下落, 下放过程中若下放困难时不能强行下放, 需重新扫孔。套管下至距桩底 14 m, 套管上端高出自然地面高度约 50 cm, 套管下放到位后在套管口采取固定措施。

## 6.4 MJS 钻杆下放

主机放置应水平并采取措施将其固定牢固, 启动前检查各管路及卷扬机、操作按钮。钻杆连接紧密, 防止漏气, 钻杆间螺栓拧紧应先用气动扳手, 然后人工拧紧, 连接数据线时, 防止接头泥土污染。每

连接一根钻杆, 应测试数据线是否能够有效传递信号。当钻杆放入困难时连接水龙头进行削孔, 确认钻杆放入深度。

## 6.5 喷浆

后台搅拌系统制备水泥浆时, 水泥浆应进行三道过滤, 防止掺入较大颗粒。喷浆前依次打开倒吸水和倒吸空气, 在确认排浆正常时, 打开排泥阀门, 依次开启主空气阀门和高压水泥浆泵。喷射阶段, 第一根钻杆结束之前大约 30 s 时, 将水泥浆切换成水, 当高压水泥浆泵的压力有大幅下降时, 依次关闭高压水泥浆泵, 排泥阀门; 再依次关闭倒吸水、倒吸空气和主空气; 夹紧夹子, 打开卡盘卸下钻杆和水龙头, 拆卸钻杆时不能同时打开夹子与卡盘, 防止钻杆掉入孔底。重新装上水龙头后, 继续按照以上步骤进行地基加固工作。主机操作人员要随时注意调节地内压力, 正常排泥时排泥口阀门不要开启过大, 保持在 30 mm 左右即可, 地内压力高于设定压力时要将排泥口阀门不断进行开启闭合操作, 以防止大的泥块堵住排泥口, 避免压力过大时地面发生隆起。钻杆卸下之后需要及时清洗并且排放整齐, 卸下螺栓放在固定地方, 防止丢失。喷射时要安排专人及时测定排泥管内排出的泥浆密度, 并取样保存。

## 6.6 MJS 钻杆起拔

钻杆起拔时吊车人员、主机操作人员、主机配合人员相互配合, 指令清晰正确, 确认喷射完成并且各设备运转停止后方可拔 MJS 钻杆。钻杆拆开后, 操作人员双手托住, 卷扬拧紧, 缓缓下放, 地面要有人接应。钻杆卸下后在地面要摆放整齐, 将钻杆清洗干净, 并检查钻杆及密封圈是否损坏。钻杆分离时, 夹子必须处于关闭状态。

## 6.7 钢套管起拔

拔外套管之前确认套管能否拔动。若利用吊车拔套管时, 应检查吊具情况, 并且确认卸扣是否拧紧。套管分离后下段套管确认紧固, 确认紧固后方

可拆卸。卸下套管及时清洗干净,并且摆放整齐,摆放位置不影响下一次施工位置。

## 7 几点体会

经过认真的准备与精心的管理,本工程实施过程基本顺利,达到了预期的目标,但从每根桩的具体施工过程来看,也存在着一些经验及教训。在此,笔者总结一些心得体会,与同行共飨,以期共同推动MJS工法的发展。

(1)MJS工法采用了独特的多孔管和前端造成装置(Monitor),实现了孔内强制排浆和地内压力监测,大幅度减少了对环境的影响,适用于在环境复杂区域进行地基加固施工,丰富了地下空间开发的施工手段。

(2)由于MJS施工主机提吊力及多孔管精密度要求高的限制,MJS工法在深度超过30m的地基加固施工时,需采用预埋套管的方式,方可有效保证成桩垂直度,杜绝超深MJS施工过程中钻杆被土体“抱死”而产生埋钻事故。

(3)施工过程中出现过地内压力远小于经验值时,泥浆自套管与MJS钻杆间空隙喷出的现象,说明由于套管与MJS钻杆间空隙的存在导致孔内泥浆压力很难达到经验值,提醒我们在以后预埋外套管的MJS工法施工中,在地面要安装孔口密封器,将套管与MJS钻杆间空隙封闭起来,确保孔内泥浆压力达到经验值后自多孔管内排出。

(4)本场地地层资料显示,下部9m为砂性土层,上部43m为粘性土层,在砂性土内喷射时,地内压力偏小,分析原因主要是砂性土层流动性大,一是很难将套管与MJS钻杆间空隙封闭,二是很容易从排泥口排出,排泥口附近泥浆始终处于流动畅通状态;在粘性土层喷射时,地内压力偏大,离地面越近越明显,分析原因主要是粘性土被高压水泥浆冲落后,流动性补偿,部分堵塞套管与MJS钻杆间空隙,部分缓慢留向排泥口,而高压水泥浆喷射的流量维

持不变,导致孔内泥浆堆积,排泥不畅。

(5)施工过程中,经常出现排泥不出的现象,将排泥管及多孔管拆卸后,观察到水龙头与排泥胶管接头处有较大水泥块或排泥阀门处有较大水泥块现象,分析原因是由于沟槽内泥浆液面超过引孔用护筒端面后水泥块随泥浆流入孔内,因此,对于沟槽内水泥块、砖块等固体物应及时清理。

(6)MJS钻杆采用独特的多孔管,每个管路分别承担一定的功能,施工过程中,出现过全部钻杆下放到位后,又发现多孔管堵塞的现场,必须将钻杆全部拔出,逐根逐个检查多孔管,严重影响了功效,因此,钻杆拆卸后对于多孔管得清洗必须要非常重视。

(7)在MJS工法施工过程中,主空气与倒吸空气分别承担着非常重要的任务,因此,空气压缩机的性能非常重要,一定要保证所使用的空气压缩机能够分别给主空气与倒吸空气提供气源,绝对不能用一个管路给两路空气供气。

(8)本次施工钢套管底部与MJS工法桩桩顶平齐,每根桩施工完毕后,再起拔套管,不影响施工工效,若MJS工法桩桩顶高于套管底部,则需要将钻杆全部拔除后,拔掉一部分套管,再将钻杆放入套管内,方能继续喷射施工,严重影响工效;相反,在拆卸钻杆同时,若能做到同步拆除套管而不必将钻杆全部拔出,则工效可大大提高。因此,在后续工程施工中需要研究新型钢套管,可在不提出全部钻杆的情况下拆除,从而提高MJS施工工效。

## 参考文献:

- [1] 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).
- [2] 何拥军. 全方位高压旋喷注浆工法的工程试验[J]. 地下工程与隧道, 2010, (1).
- [3] 张帆. 二种先进的高压喷射注浆工艺下载[J]. 岩土工程学报, 2010, (8).
- [4] 李耀良, 袁芬. 大深度大厚度地下连续墙的应用与施工工艺下载[J]. 地下空间与工程学报, 2005, (4).

## 庐枞矿集区深部探测科钻预导孔开钻

《中国矿业报》消息(2012-07-19) 庐枞矿集区深部探测科学钻探预导孔近日在安徽省枞阳县正式开钻,标志着大陆科学钻探选址与钻探实验综合研究项目进入新的阶段。

据悉,实施庐枞矿集区深部探测科学钻探预导孔,是国家“深部探测技术与实验研究专项”中的东部矿集区科学钻

探选址预研究课题任务之一,其目标是推断深部地质构造环境、总结成矿规律、探索钻探施工方案,为进一步进行更深层次的地球物理探测和科学超深钻探奠定基础。

受中国地质科学院地质研究所的委托,科学钻探庐枞预导孔项目由安徽313地质队和安徽地调院共同承担。