

中心城区近地铁顶管井洞口全方位高压喷射工法加固技术应用

侯 森

[上海公路桥梁(集团)有限公司, 上海市 200433]

摘 要:以上海市灵石路(共和新路—沪太路)电力电缆隧道工程为例,详细介绍了全方位高压喷射工法在近地铁地下连续墙顶管井中的实施过程;通过克服井位加固施工临近地铁线路、沉降控制要求高等不利因素,验证了全方位高压喷射工艺的可靠性与实用性,取得了较好的施工效益。

关键词:顶管;MJS工法;高压喷射;沉降控制

中图分类号: U455.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)09-0187-04

0 引 言

非开挖管道施工技术广泛应用于城市给排水、电力管线等市政工程领域,而顶管法施工是其中最重要的方式之一,具有环境影响小、相对造价低、穿越复杂地层适应性强等特点。随着城市建设的不断发展,对于顶管工艺的需求日益增大,而顶管工作井的设计也向着“深”、“大”方向不断发展,复杂的施工环境致使工程难度不断增大^[1]。

全方位高压喷射工法(Metro Jet System, MJS)是由传统旋喷桩技术改进、演变而来,其核心技术是主动排泥和孔内压力监测,施工更加灵活、加固强度更高,能最大限度地降低对周边土体和建(构)筑物的影响,对周边环境具有更好的控制和保护效果。本文从工程实际出发,详细介绍了MJS工法在近地铁顶管工作井支护结构中的应用。

1 工程概况

上海市灵石路(共和新路—沪太路)电力电缆隧道工程位于灵石路沿线,隧道全长约2 660 m,内径3.5 m,顶管法施工。沿线共设置5座顶管井,其中4#~5#段需下穿上海地铁1号线及共和新路高架,全长263.1 m。4#顶管井位于灵石路共和新路西侧灵石路非机动车道中央,内径10 m,外径12 m,采用地下连续墙围护结构,钢筋笼整体一次成型吊装入槽,钢筋混凝土围檩支撑明挖顺作法施工;地下连续

墙分7幅施工,厚度为1 m。4#顶管井与地铁位置关系示意图见图1。4#顶管井紧邻地铁1号线,井边缘距隧道结构外边线35.0 m,东侧过渡井外缘距地铁隧道结构仅29.3 m。

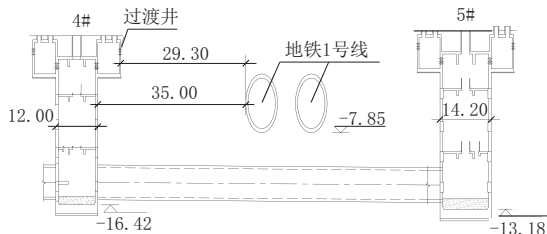


图1 4#顶管井与地铁位置关系示意图(单位:m)

1.1 工程地质情况

4#顶管井场地内涉及地基土层类型及其力学参数见表1。其中,基坑开挖土层涉及的③、④和⑤₁层为软黏土,强度低,渗透性低,含水量高,压缩性高,灵敏度高,具触变性和流变性,开挖揭露时易发生坍塌并产生较大的回弹变形。

由勘察成果显示,场地地下潜水位埋深为1.15~2.60 m(标高1.11~3.77 m),受潮汐、降水量、季节、气候等因素影响而变化,工程设计地下水位按-0.5 m计算。

1.2 工程重点难点

(1)接收井紧邻运行中的地铁1号线,地下连续墙接缝止水加固长度为38 m,涉及土层较多,存在不可预见的风险,且地铁运营单位要求施工期间总沉降量不大于5 mm,对施工沉降控制要求极高。

(2)项目位于市区,施工场地内地下管线复杂,涉及权属单位较多,管线搬迁工作量大,搬迁耗时较长,且搬迁空间有限,管线搬迁后仍存在于施工影响

收稿日期: 2022-01-03

作者简介: 侯森(1995—),男,硕士,工程师,主要从事市政工程施工及管理工作。

表 1 地基土层类型及力学参数

土层	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	C/kPa	$\phi/(\circ)$	孔隙比 e	透水性 分级
① ₁ 填土	18.4	2.6	30.7	0.811	
③ ₁ 灰色砂质 粉土	17.5	8.5	18.5	1.194	弱透水
③ ₂ 灰色淤泥质 粉质黏土	18.6	14	14	0.846	微透水
④ ₁ 灰色淤泥质 黏土	16.7	12	14.3	1.402	不透水
⑤ ₁ 灰色黏土	17.8	18.5	18.6	1.077	不透水
⑤ ₂ 灰色粉质 黏土	18.0	15	18.5	0.976	微透水
⑤ ₄ 灰绿色粉质 黏土	19.2	64	15.4	0.781	微透水
⑦ 草黄-灰色 砂质粉土	18.6	2	31.3	0.849	弱透水

范围内。

(3)场地南侧紧邻住宅小区,土体加固和基坑开挖期间可能引起周边建(构)筑物的侧向变形。

2 施工区域及方案设计

原设计地下连续墙接缝止水采用 $\phi 800@600$ 高压旋喷桩止水,每个接缝 3 根止水桩,呈梅花状分布,加固至地下连续墙底部,水泥掺量 25%,7 个地下连续墙接缝累计共 21 根止水桩。顶管进出洞口加固为 $\phi 800@600$ 高压旋喷桩,深度为 10.14 m,顶管上部及下部各加固深度 3 m(顶管外径 4.14 m),加固宽度 10.14 m,延顶管轴线方向水平加固长度 5 m,呈圆弧桩布置,水泥掺量 25%。

原设计高压旋喷桩加固示意图见图 2。

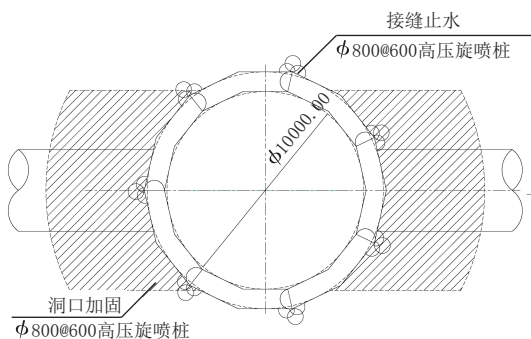


图 2 原设计高压旋喷桩加固示意图(单位:mm)

由于本项目 4# 洞口加固距地铁 1 号线过近,且地下连续墙接缝止水施工涉及土层较多,特别是存在承压水及微承压水土层,因此存在不可预见的风险。另外,施工范围内隧道区间运行时间较长,区间上行线累计最大沉降量为 -40.22 mm,下行线累计最大沉降量为 -29.33 mm;上行线累计最大收敛 66 mm,下行线累计最大收敛 73 mm,且地铁运营单位对施工沉降控制要求极高。施工期间地铁隧道结构保护

要求见表 2。

表 2 施工期间地铁隧道结构保护要求

检测项目	控制值/mm
沉降(隆起)及水平位移累计量	<5
水平直径收敛变化	<5

此外,由于高压喷射注浆法产生的泥浆只能被动排除,高达 80%^[2]的孔内泥浆会被挤压排至地面,污染较为严重。且施工时无法控制地内泥浆压力,极易造成地内压力波动,从而导致地面隆起。

为减少施工对地层的扰动,确保对地铁 1 号线的保护,拟将地下连续墙接缝止水桩及洞口加固的高压喷射注浆法改为 MJS 施工。

3 MJS 技术及施工工艺

3.1 MJS 工艺原理

MJS 的施工原理与高压喷射注浆法基本相同。加固材料以高压流体的形式从喷射口射出,伴随着导管在设定高度内不断旋转提升,从而形成具有一定强度的加固土体^[3]。其核心技术是使用前段施工装置探测地内压力并传至控制中心,从而调节主动排泥系统吸走多余泥浆,保持孔内压力为某个恒定值(见图 3)。如此可大大降低施工中形成的废弃浆液对周边辐射范围内环境的影响,确保成桩质量^[4]。

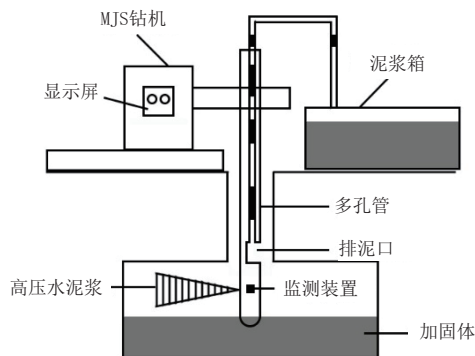


图 3 MJS 工作原理

与传统的高压旋喷单管法、双管法及三重管法技术不同,MJS 工法采用独特的多孔管技术。MJS 多孔管钻杆内部除连接孔外,有多达 11 个孔用于供应空气、水、硬化材料以及排浆(见图 4)。



图 4 MJS 多孔管

3.2 施工范围及参数控制

地下连续墙接缝止水桩及顶管洞口处加固均采用 $\phi 2400$ MJS桩,其中顶管洞口处MJS桩间搭接800 mm。MJS加固形式示意图及相关施工参数见图5、表3。

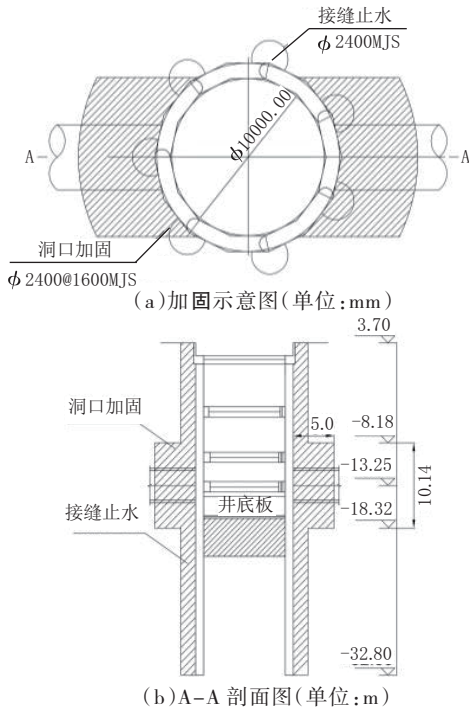


图5 MJS加固形式示意图

表3 MJS相关施工参数

控制项目	参数设置
水泥掺量	$\geq 40\%$
泥浆压力	≥ 40 MPa
空气压力	0.5~0.7 MPa
地内压力设置系数	1.3~1.6(视地质情况适当进行调节和控制)
成桩垂直度误差	$\leq 1/100$
提升速度	40 min/m(全圆)
浆液流量	85~100 L/min

新地下连续墙接缝止水桩长36.5 m,桩顶高程3.70 m,桩底高程-32.8 m,地下连续墙接缝止水桩由原设计3根梅花状桩改为1根;顶管进出洞口加固桩长10.14 m,桩顶高程-8.18 m,桩底高程-18.32 m。

3.2.1 施工准备

施工前做好工程放样,根据施工图纸在现场确定轴线和孔位;对施工人员进行技术交底与安全教育;相关材料(水泥桶仓、泥浆池、水泥)应满足施工要求等。

3.2.2 施工流程

桩位放样装机就位后导孔施工,对接钻杆和钻头;动力头360°转动,将钻杆钻入土体,达到预定高

度后开启回流气和回流高压泵;打开排泥阀门,开启高压水泥浆泵和主空压机,当底部喷浆不少于2 min后提升钻杆和注浆管至设计顶标高(密切监测地内压力),清洗管路;喷浆结束,移机。

进行MJS工法施工时,必须全程加强对现场及周边环境的监测,指导施工。

3.2.3 质量保证措施

(1)做好施工过程中的质量管理与相关参数记录,对每一道工序实施闭环的工作控制。

(2)桩身垂直度是检验成桩效果的重要参数,需控制每个孔位误差不大于50 mm,钻杆垂直度误差不大于1%。

(3)施工前对设备进行检修保养,尽量防止中段施工的现象发生。如发生喷浆中断,再次复喷时应将钻杆下放至中断高度下500 mm,以防止出现断桩。

(4)配浆参数应严格按照设计要求进行,派专人每日检查浆液质量。

(5)为保证成桩质量,应进行跳桩施工,保证单桩成桩时间不小于24 h。

(6)施工过程中对地内压力进行实时监测,根据施工情况及时调整地内压力设置系数。施工过程中发现冒浆、不反浆等不正常情况时,应暂停施工,待调整至正常情况后,方可继续施工。

3.2.4 施工效果

(1)MJS施工期地面沉降监测:本工程MJS施工以顶管井西侧桩位为试验段,施工前在井位西侧设置3排沉降监测点,每排设置2处,间隔5 m,共计6处沉降监测点位。沉降监测点位布置图见图6。

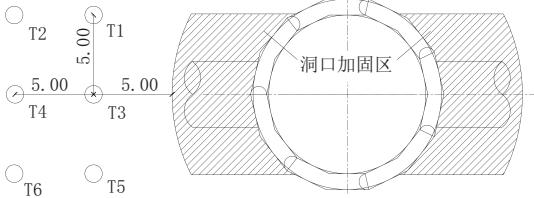


图6 沉降监测点位布置图

MJS施工期间顶管井西侧地层沉降量变化见图7。由图7可知,至井位西侧MJS施工完成,6处沉降监测点累计最大隆起量为1.03 mm(T3点),累计最小隆起量为0.38 mm(T6点)。由此可见,MJS施工对周边地层影响远远小于地铁周边监测控制值,处于安全可控范围内。

(2)洞口探孔监测:本工程顶管井采用地下连续墙工艺,顶管进洞前需打设探孔来判定洞口土体加固质量与渗漏情况。打设探孔示意图见图8。如图8

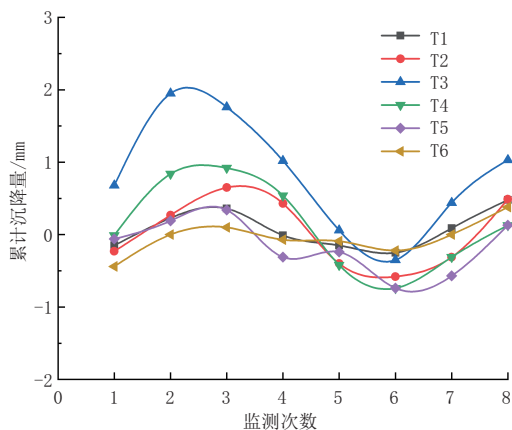


图7 MJS施工期间顶管井西侧地层沉降量变化

所示,在洞门沿十字方向按顺序先凿除5个直径5 cm的探孔,探孔深度需不小于1.5 m(贯穿混凝土并进入加固区域),每个探孔凿出后需静置0.5~1.0 h。图9为4#接收井洞门探孔实图,探孔打设后顺孔洞有少量清水流出,留置一段时间后已无渗漏水,可以推测洞口MJS加固效果较好,洞口范围内无渗流通道产生。

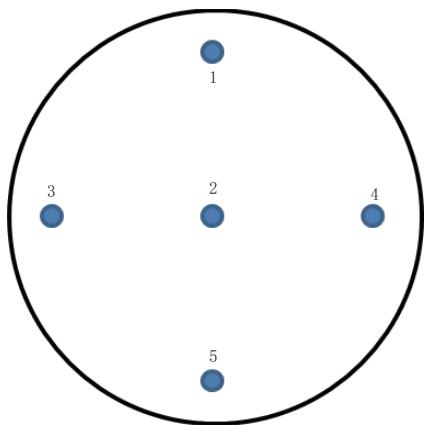


图8 打设探孔示意图



(a) 4号探孔



(b) 2号探孔

图9 探孔实图

4 结 语

(1)MJS工法应用于近地铁区域顶管井加固具有良好的实施效果,施工期间未发生挤土效应,地面累计最大、最小隆起量分别为1.03 mm、0.38 mm,对周边环境影响较小。

(2)MJS桩施工自动化集成性能较高,能够设定相关施工参数及主动排泥,方便泥浆的管理,减少对周边土体的扰动,有效降低工程的施工风险。

(3)随着城市的不断发展,MJS施工将向着桩径更大、深度更深、环境更加复杂的方向发展,未来必将出现更多创新的施工技术与方法。

参考文献:

- [1] 吕品,张涛.大口径长距离混凝土顶管下坡顶进施工技术[J].城市道桥与防洪,2017(7):19,207-208,211.
- [2] KAUSCHINGER L J, HANKOUR R, PERRY E B. Methods to estimate composition of jet grout bodies[C]// Grouting, Soil Improvement & Geosynthetics.[S.l.]: ASCE, 1992: 194-205.
- [3] 姜叶翔,李瑛,顾翀.不同地基加固工艺对周边环境变形影响分析[J].地基处理,2020,31(4):335-339.
- [4] 张鹏飞.MJS工法在后世博园通道下穿综合管沟中的应用[J].中国市政工程,2015(1):56-59,102.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com