

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.08.040

顶管近距离下穿既有地铁线路控制技术

李建平

[上海公路桥梁(集团)有限公司, 上海市 200433]

摘 要:新建管线不可避免地会与运营地铁线路交叉,顶管法以其对周边环境影响小、拆迁量少等优点成为下穿运营地铁线路采用的工艺之一。以某一工程案例为依托,对顶管近距离穿越既有运营地铁线路的关键控制技术进行论述,并采用有限元分析软件 PLAXIS3D 对穿越工况进行模拟,提出了顶管顶进施工控制措施,以期为类似工程提供参考。

关键词:顶管法;土压力;总顶力;摩阻系数;注浆量

中图分类号: U449.52 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2022)08-0144-04

0 引 言

顶管施工工程是非开挖工程的一种工艺。它通过辅助设备,将管道在不开挖面层的条件下顶入到地层中,其施工面由线缩成点,占地面积少,与开槽施工法相比,可节约土体开挖量,同时其施工噪音低,对沿线环境污染小,沿线拆迁工作量少,所用资金和时间少,工程造价低。对于管线需要下穿不具备拆迁条件的建(构)筑,顶管法施工是一项重要的选择工艺。现在城市地铁线路四通八达,极大地方便了人们的出行,但是也对后续地下空间开发带来了挑战,新建管线不可避免地会与运营地铁线路交叉,顶管法以其上述优点成为了下穿运营地铁线路采用的工艺之一。但顶管近距离穿越地铁线路有其需要解决的特殊技术问题。

1 工程概况

上海市灵石路(共和新路-沪太路)电力电缆隧道工程自灵石路、沪太路十字路口出发,沿灵石路至共和新路。电力隧道全段采用顶管法施工,管节为混凝土管,内径 3.5 m,外径 4.14 m,管节宽度为 2.5 m。其中 4# 工作井-5# 工作井段长度为 263.1 m,顶管机从 5# 工作井始发后约 213 m,开始以净距 4 m 下穿上海市地铁 1 号线,穿越地铁段管节编号为 14~22 环管节。穿越段距离 4# 接收井 35 m。顶管线路覆土 16 m 左右,穿越段地铁线路所在土层为③_T 层灰色砂质黏土、③ 层灰色淤泥质粉质黏土、④ 层淤泥质

黏土;顶管穿越土层为④ 层淤泥质黏土、⑤₁ 层黏土。下穿段地质纵剖面图(相对位置及土层分布)见图 1。

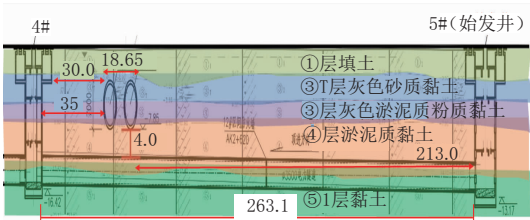


图 1 下穿段地质纵剖面图(单位:m)

2 数值分析顶管穿越对地铁线路的影响

在施工前,采用有限元分析软件 PLAXIS3D 对穿越工况进行模拟,土体模型采用小应变土体硬化模型(HSS),土层力学性能指标按照地质报告土层物理力学性质指标选取。既有地铁线路隧道管片、顶管管节材料为 C50 钢筋混凝土,采用线弹性模型板单元,钢筋混凝土重度取 25 kN/m³。顶管机壳体材料为钢材,按照顶管机头总质量 80 t 换算出顶管机壳体材料等效重度为 44.4 kN/m³。

地勘土体参数见表 1,小应变模型参数按照地质报告参数选取^[1],小应变土体模型其他参数取值见表 2。

表 1 地勘土体参数表

土层编号	压缩模量 /MPa	孔隙比	$\gamma / (kN \cdot m^{-3})$	c / kPa	$\phi / (^{\circ})$
①	6.60	0.860	18.6	4	30.0
③ _T	9.32	0.840	18.6	3	30.4
③	3.02	1.194	17.5	12	14.2
④	2.20	1.402	16.7	10	10.8
⑤ ₁	3.53	1.077	17.8	15	14.3

地铁隧道的变形与隧道的刚度直接相关,修整惯用法^[2-3]是通过刚度有效率折减匀质环的刚度来反映

收稿日期: 2021-11-01
作者简介: 李建平(1978—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事地下工程施工工作。

表 2 小应变土体模型其他参数取值

土层 编号	E_{50ref} /kPa	E_{oedref} /kPa	E_{urref} /kPa	G_{0ref} /kPa	$r = 0.7$
①	6 600	6 600	33.00×10^3	66.00×10^3	0.000 1
③T	9 320	9 320	37.28×10^3	74.56×10^3	0.000 1
③	4 530	3 020	21.14×10^3	60.40×10^3	0.000 1
④	3 300	2 200	17.60×10^3	44.00×10^3	0.000 1
⑤1	5 295	3 530	24.71×10^3	70.60×10^3	0.000 1

接缝对衬砌刚度的弱化作用。相关资料显示,目前盾构结构计算中刚度有效率多按经验取值^[4-7],上海大连路隧道错缝拼装按照 0.65~1.0 取值,广州地铁隧道错缝拼装按照 0.6~0.8 取值^[4],故本次针对地铁隧道的刚度有效率按照 0.7 取值,则地铁隧道混凝土弹性模量为 $30 \times 10^3 \text{ MPa} \times 0.7 = 21 \times 10^3 \text{ MPa}$ 。顶管管节为整体环,环向刚度不考虑折减,顶管环与环之间采用承插连接,并且在穿越段,采用预埋钢板通过焊接连接成整体,顶管隧道接缝刚度较地铁盾构隧道接缝刚度高,故有效率取值按照比地铁盾构隧道有效率高 0.1 取值,本文按照 0.8 取值,则顶管隧道混凝土弹性模量为 $30 \times 10^3 \text{ MPa} \times 0.8 = 24 \times 10^3 \text{ MPa}$ 。管节及顶管机壳物理性能参数见表 3。

表 3 管节及顶管机壳物理性能参数

结构部位	模型 单元	厚度 /m	弹性模量 /MPa	泊松比	重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)
地铁管片	板单元	0.35	21×10^3	0.2	25
顶管管节	板单元	0.32	24×10^3	0.2	25
顶管机壳体	板单元	0.20	200×10^3	0.2	44.4(等效重度)

数值分析模型见图 2。

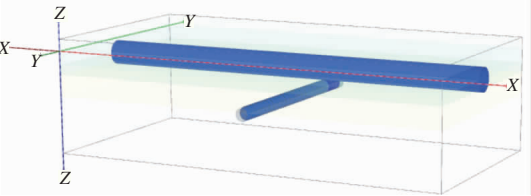


图 2 数值分析模型

采用塑性分析,不考虑渗流。施工阶段依次为:初始应力生成、既有地铁线路生成、顶管管节顶进施工。土体损失率按照 0.5%考虑^[8]。顶管施工完成后,既有地铁线路在顶管穿越后的最大向下位移为 -0.85 mm 。故在理论上,顶管下穿既有地铁线路的影响在可控范围内,关键点是采取施工措施后,把土体损失率控制在 0.5%以内。建立模型后,地铁线路数值分析位移结果见图 3。

3 顶管顶进施工控制措施

3.1 顶管机选型

本次穿越采用常规泥水平衡顶管机,刀盘开口

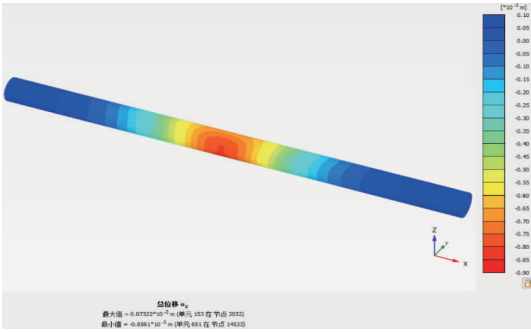


图 3 地铁线路数值分析位移结果(单位:m)

率为 5.3%。为了防止在黏性土层中顶进刀盘结泥饼,应确保刀盘面板上 4 处注水喷射口畅通,同时在顶管机壳体周围圈增设 3 处 2 寸注浆孔作为应急注浆孔,以及在必要时填充刀盘超挖后的建筑空隙。刀盘结构照片见图 4。在顶管机土仓胸板上增设 2 处 2 寸注泥口,用于在顶管管节拼装断电期间的保压使用。在顶管机 4 个纠偏铰接油缸上增设 4 个压力传感器(见图 5),通过土仓面板上的土压力传感器互相校核土仓压力,以提高过程控制精度。

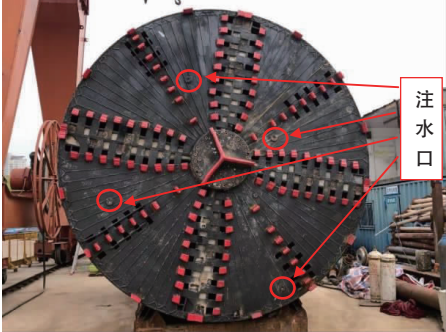


图 4 刀盘结构照片



图 5 铰接油缸上增加油压传感器

3.2 管节改进措施

为避免顶管进出洞发生“磕头”现象,前 5 节管材预埋 $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 钢板,每节 8 处,采用对拉螺杆将管节与机头连接固定。为更有效实时地控制土体沉降,前 12 节管材每节设置 6 处 2 寸注浆孔,其余管节设置 6 处 1 寸注浆孔、2 处 2 寸注浆孔(见图 6)。

在 2 道楔型橡胶止水带的基础上,在角部增加 1 道 2 cm 遇水膨胀止水条,以增强管节间止水性能(见图 7)。



图6 管节连接件及注浆孔预埋照片

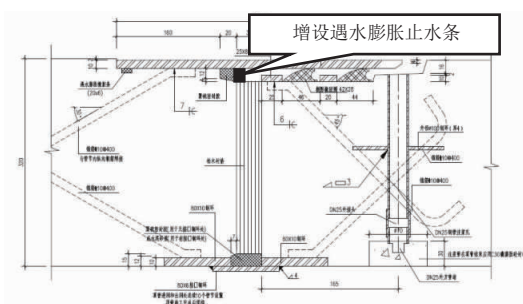


图7 管节接缝增加止水带图(单位:mm)

3.3 顶管止退系统

与常规顶管施工一样,设置止退装置。在穿越既有地铁线路重要建(构)筑时,若管节拼装土仓保持的压力较高,则止退装置尤为重要。故本工程前12节管节增设止退孔(共设置4孔),采用4个200 t 纽扣千斤顶,其余管节增设2个止退孔,全段顶进过程进行主动止退保障,主动止退装置示意图见图8。对顶管穿越前后的止退力和后退量进行监测后得到:前12节管节止退力228 t,后退距离1.8~2.5 cm;48~53管节止退力102 t,后退距离3~5 mm(见图9)。由此可见,随着顶管顶进距离的延长,后退力及后退距离均逐渐减小,此2项数值满足顶管穿越地铁要求。

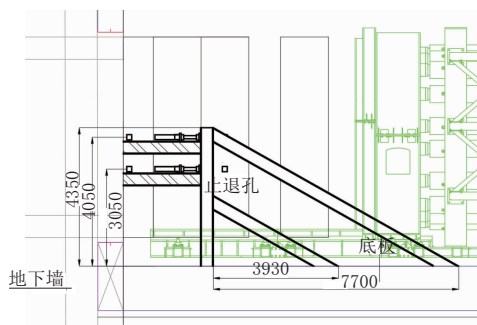


图8 主动止退装置示意图(单位:mm)

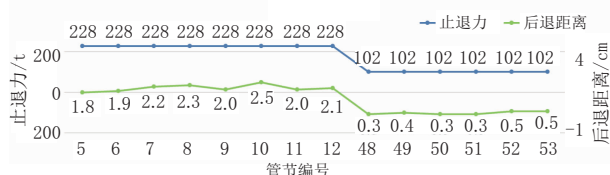


图9 止退参数统计图

3.4 顶进注浆控制措施

为了减少穿越期间管节顶进摩擦力对地铁线路的影响,减摩注浆工作需进行精细化控制。每开始顶进1环管节,全线范围内采用少量减摩注浆,每环下部2个孔打开约1 min,然后上部3个孔打开约1 min;依次开始压注下一环,直至全线完成。并且在管节预留的打土孔上,根据地面及地铁线路的监测数据进行打土作业。1环管节注浆量控制在 2.5 m^3 左右(见图10)。



图10 注浆量统计图

3.5 顶进泥浆控制及土仓压力控制

对泥水顶管进、排泥浆液进行控制。当进水泥浆相对密度控制在1.05~1.10,出泥泥浆相对密度控制在1.25~1.30时,能够有效地对开挖面进行支护和携渣。顶管顶进及停止时,中间要通过旁通模式进行过渡,确保泥舱压力稳定。在管节拼装前,应使泥舱泥水压力大于控制压力0.1 MPa左右,管节拼装时间控制在1 h以内,泥浆压力下降值基本控制在0.1 MPa左右,使其不至于对既有地铁线路造成较大的影响。

4 下穿地铁实际控制效果

在穿越前及穿越过程中,对影响范围内的地铁线路进行全自动监测,监测数据实时共享,监测频率为1次/30 min。影响范围内的地铁线路,在顶管穿越前地铁上行线累计沉降-0.25 mm,地铁下行线累计沉降-0.10 mm;顶管完成穿越后,地铁上行线累计沉降0.60 mm,地铁下行线累计沉降-0.25 mm。故受到顶管穿越影响,上行线产生的向上累计位移为0.85 mm,下行线产生的向上累计位移为0.15 mm。此位移量在地铁管理单位给出的 $\pm 5 \text{ mm}$ 范围内,并且与数值分析结果相接近。

5 结 语

(1)采用合理的数值分析手段,能够较准确地预测顶管顶进对周边环境的影响。通过切口保压、减摩注浆及补充注浆等措施,可以把土体损失率控制在0.5%以内。

(2)顶管穿越敏感建筑物时的止退装置非常重要,尤其在机头土仓保压时,泥浆压力过大,容易造成顶管机头回退而使得前方地面沉降。采用主动止退千斤顶,能够有效减少在管节拼装期间的后退量。同时

要考虑增加管节的止退孔及加强止退孔周边混凝土的浇筑质量。

(3)管节之间的防水会对周边土体损失产生影响,所以在穿越敏感建(构)筑物下方时,要采取措施确保防水质量;同时要考虑顶管管廊运营后,管节之间防水受到损坏时对上方地铁线路沉降带来的影响,故管节之间的缓冲垫需具有耐久性,建议采用橡胶垫。

(4)通过控制切口泥浆指标,缩短管节拼装时间及在停机前通过旁通系统适当提高切口压力,能够较好地控制切口压力在停机断电期间的保压值。

(5)本工程在黏性土中顺利完成了顶管下穿既有运营地铁作业,但在砂性土中存在因管节接口渗漏水所造成的下穿段土体流失。因此,小曲率半径及长距离顶管下穿重要建(构)筑的施工技术需要进行进

一步评估。

参考文献:

[1] 刘志祥,张海清.PLAXIS 高级应用教程[M].北京:中国机械工业出版社,2015.
[2] 朱伟泽.隧道标准规范(盾构篇)及解说[M].北京:中国建筑工业出版社,2001.
[3] 陈中,喻渝.修整惯用设计法在盾构管片结构计算中的应用和体会[J].科学技术通讯,2002(4):1-7,25.
[4] 夏文字.盾构隧道横向变形的精细化数值研究[D].广州:华南理工大学,2016.
[5] 徐凌.软土盾构隧道纵向沉降研究[D].上海:同济大学,2005.
[6] 黄宏伟.盾构隧道横向刚度有效率研究[J].岩土工程学报,2006(28):11-18.
[7] 肖龙鸽,薛文博.盾构隧道管片衬砌的内力分析[J].西部探矿工程,2002(5):94-96.
[8] 孙廉.基于土体损失的超大直径盾构穿越施工影响数值分析[J].建筑施工,2019(8):1538-1540.

《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