

Influence Study on Large Cross-section Pipe Jacking with Small Net Distance Over Subway Tunnel in Complex Environment

Zhengkun Jian

China Railway Second Survey and Design Institute Engineering Group Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, Chian

Abstract

With the continuous development of urban underground space in China, the construction of new underground structures by pipe jacking method in busy traffic areas will inevitably intersect with existing subways. Based on the construction of a pipe jacking tunnel over-crossing an existing subway tunnel in an underground space development project, this paper uses numerical simulation to analyze the whole construction process, and studies the influence of large-section pipe jacking construction with small clear distance over-crossing on the existing subway tunnel under complex environment. The results show that the over-crossing construction of the pipe jacking tunnel causes uplift deformation of the existing subway shield tunnel, with a maximum uplift value of 3.48 mm and a maximum horizontal convergence value of 2.21 mm. During the whole pipe jacking construction, the deformation and stress of the subway shield tunnel meet the relevant control requirements.

Keywords

large section; pipe jacking tunnel; small clear distance; over-crossing; numerical simulation

复杂环境下大断面顶管小净距上跨地铁隧道影响研究

简正坤

中铁二院工程集团有限责任公司, 中国·四川成都 610000

摘要

随着我国城市地下空间的不断开发,在交通繁忙地段采用顶管法新建地下结构,将不可避免与既有地铁线路形成空间交叉。本文以某地下空间开发项目顶管隧道上跨地铁隧道施工为工程背景,采用数值模拟方法对施工全过程进行分析,研究复杂环境条件下大断面顶管小净距上跨施工对既有地铁隧道的影响规律。研究表明,顶管隧道上跨施工会引起既有地铁盾构隧道产生隆起变形,最大隆起变形值为3.48mm,最大水平收敛值为2.21mm;在顶管施工全过程中,地铁盾构隧道的变形与受力均满足相关控制要求。

关键词

大断面;顶管隧道;小净距;上跨;数值模拟

1 引言

随着我国城市化进程不断加快,国内众多城市已开通、建成或正在建设地铁线路,城市核心区地下空间立体化开发需求持续增长,地铁、市政通道、综合管廊等地下工程空间交叉的情况日益增多。对于交通繁忙区域的新建地下工程,采用明挖法施工对地面交通及周边建筑物影响较大,而顶管法具有经济性好、安全性高、施工效率高、对环境扰动小等优势。但顶管掘进过程会扰动周边土体应力状态,导致地层产生不同程度的变形;当大断面矩形顶管以小净距上跨运营地铁隧道时,近距离开挖卸荷易使下伏地铁隧道出现明显

上浮变形[1-5]。

本文以某地下空间开发项目为依托,重点研究大断面顶管隧道在同步下穿市政隧道并上跨地铁隧道的复杂环境下,对既有隧道结构的影响规律。采用有限元软件对施工全过程进行模拟分析,总结复杂环境下大断面顶管隧道上跨施工对地铁隧道变形与受力的影响特征,以期为类似工程的设计与施工提供参考。

2 工程概况

新建大断面矩形顶管隧道断面尺寸为10.4m(宽)×7.5m(高),整体预制钢筋混凝土管片幅宽1.5m、厚700mm,采用土压平衡顶管机施工;顶管隧道位于两条交通主干道交叉口,其中南北向道路低于东西向道路,交叉处为市政浅埋暗挖隧道,为四跨钢筋混凝土框架结构,沿结构

【作者简介】简正坤(1995-),男,中国贵州遵义人,硕士,工程师,从事地下结构与隧道工程研究。

纵向设 1 条变形缝，沿结构横向设 2 条变形缝，市政隧道分为 6 块，顶管隧道沿南北向平行下穿市政隧道，两者净距 1.4m~1.7m；地铁盾构隧道由东南至西北方向敷设，顶管隧道呈 60° 交角上跨地铁隧道，盾构隧道外径 6.0m，钢筋混凝土管片环宽 1.5m、厚 300mm，错缝拼装，两者竖向距离 1.6m~1.9m；工程所处位置地层从上之下依次是素填土、可塑~硬塑状砾质粘性土、全风化花岗岩、强风化花岗岩，市政隧道底部主要位于可塑状砾质粘性土地层，顶管隧道主要位于硬塑状砾质粘性土地层，地铁隧道主要位于全风化花岗岩地层，三者平面关系如图 1 所示，剖面关系如图 2 所示。从剖面关系图上可以看出，顶管掘进方向左侧为全覆土，右侧上方为市政隧道空腔，顶管本身受力处于偏压状态，顶管掘进破坏周围土体状态后，相较于单一顶管上跨地铁隧道的变形的受力变化规律更复杂。

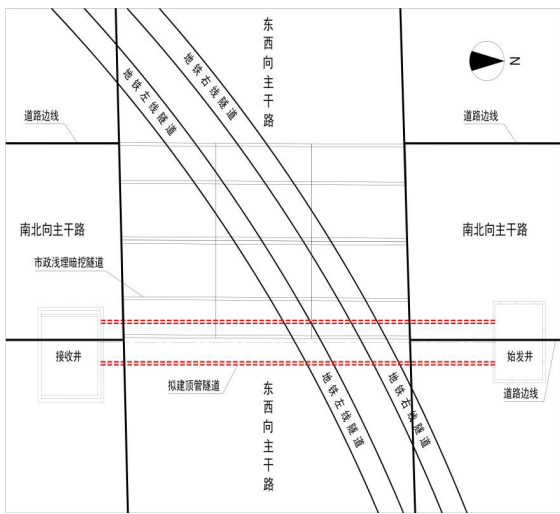


图 1 顶管隧道与市政隧道、地铁隧道平面位置关系图

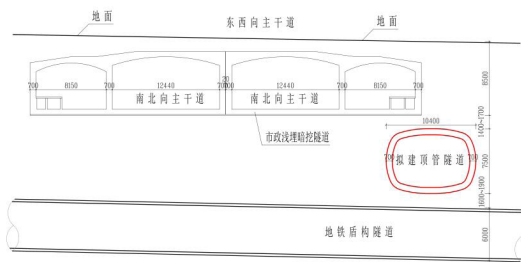


图 2 顶管隧道与市政隧道、地铁隧道剖面位置关系图

3 顶管施工数值模拟

3.1 模型建立

本次三维数值模拟使用 MIDAS GTS-NX 岩土有限元分析软件。数值计算中，采用不同本构模型模拟各类材料：隧道衬砌采用线弹性本构模型，各土层土体采用摩尔-库伦弹

塑性本构模型；市政隧道、地铁盾构隧道、顶管隧道采用壳单元模拟，土体采用实体单元模拟。

模型重点分析偏压条件下顶管掘进对下方地铁盾构隧道的变形及受力影响。顶管始发井、接收井与地铁盾构隧道距离较远，超过 3 倍洞径，基坑开挖对地铁的影响可忽略，因此本次模拟不考虑两端基坑开挖对地铁隧道的作用。综合顶管隧道与既有结构的空间位置、顶管掘进影响范围等因素，按实际工况建立数值模型。市政隧道衬砌厚度按实际厚度取不小于 700mm，地铁隧道衬砌厚度取 300mm，顶管隧道衬砌厚度取 700mm，以垂直于顶管方向为 X 轴，顶管掘进方向为 Y，竖直方向为 Z 轴，三维模型尺寸 X×Y×Z 为 100m×100m×50m，将模型水平边界沿隧道 X 和 Y 方向进行水平方向固定，底部沿 X、Y、Z 方向进行固定，上部为自由地面，计算模型如图 3 所示。

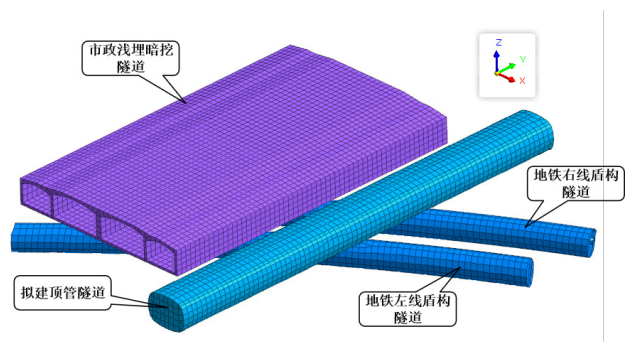


图 3 有限元模型示意图

3.2 施工过程模拟

顶管采用土压平衡顶管机进行施工，顶管管节由北侧始发井吊入，管片幅宽为 1.5m，顶管掘进施工时，将 1 节管片全部顶入土层后，再拼接下一环管片继续顶进，循环往复直至掘进完成。本次模拟步骤如下：（1）平衡地应力，位移清零；（2）施工市政隧道、地铁盾构隧道，位移清零；（3）以 1.5m 为循环进尺模拟顶管隧道掘进，进行顶管土体开挖及顶管衬砌结构的生成，掘进完成立即支护，直至洞通。

4 计算结果分析

本文主要研究复杂环境下顶管施工对地铁隧道的影响。考虑到市政浅埋暗挖隧道为矿山法施工，采用现浇整体式结构，整体性与抗变形能力较强，因此仅对地铁盾构隧道的变形与受力进行分析。

由于模拟施工步骤较多，选取典型工况分析顶管施工对地铁隧道位移与应力的影响。按照顶管掘进断面与地铁隧道的位置关系，共划分为 7 个工况进行分析：工况 1：顶管隧道掘进至距离地铁右线隧道 3D 时（D 为地铁盾构隧道直径，D=6m）；工况 2：顶管隧道掘进至距离地铁右线隧道 1D 时；工况 3：顶管隧道掘进至地铁右线隧道正上方时；工况 4：顶管隧道掘进至地铁左线隧道正上方时；工况 5：顶管隧道掘进至距离地铁左线隧道 1D 时；工况 6：顶管隧

道掘进至距离地铁左线隧道 3D 时；工况 7：顶管隧道掘进完成时。

4.1 位移分析

顶管隧道施工完成后，既有地铁左、右线盾构隧道的竖向位移云图如图 4 所示，水平 Y 方向的位移云图如图 5 所示，水平 X 方向的位移云图如图 6 所示，整个施工过程中不同工况下既有地铁左、右线盾构隧道的竖向位移变化规律如图 7 所示。

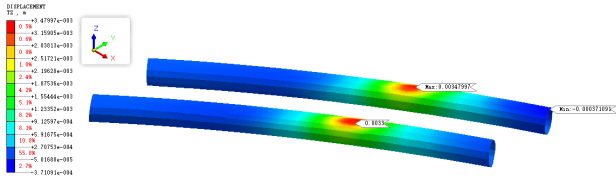


图 4 地铁盾构隧道竖向位移云图

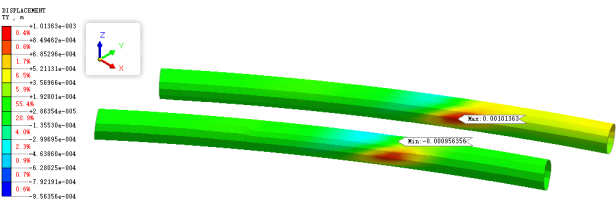


图 5 地铁盾构隧道水平 Y 方向位移云图

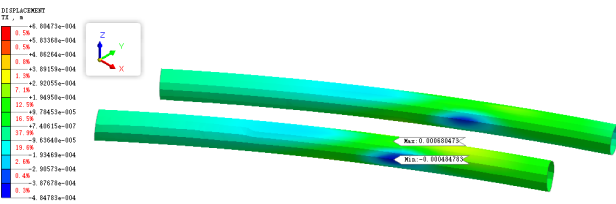


图 6 地铁盾构隧道水平 X 方向位移云图

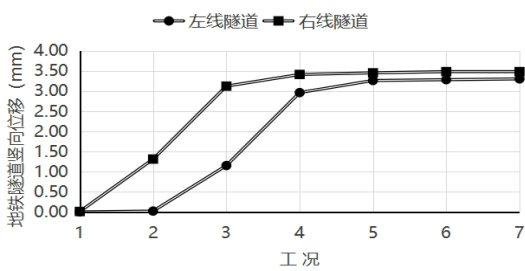


图 7 地铁盾构隧道竖向位移变化图

从顶管施工完成后地铁盾构隧道竖向位移云图中可以看出，顶管隧道上跨施工将引起地铁盾构隧道结构的隆起变形，隧道隆起变形范围主要集中在顶管隧道两侧 10m（对应顶管隧道的一倍洞径），隆起变形的最大值出现在地铁隧道与顶管隧道轴线交叉位置，地铁左线、右线隧道的最大隆起变形值分别为 3.30mm、3.48mm，最大水平收敛值分别为 -2.15mm、-2.21mm，均满足控制要求。

从竖向位移变化图上可以看出，顶管隧道施工至距离地铁右线隧道 3D 时，右线隧道竖向位移为 0.01mm，基本没有发生变形；顶管隧道施工至距离地铁右线隧道 1D 时，右线隧道竖向位移为 1.31mm，左线隧道竖向位移为 0.02mm，右线隧道开始明显变形，而左线隧道没有发生明显变形；顶管隧道施工至地铁右线隧道正上方时，右线隧道竖向位移为 3.12mm，受顶管隧道开挖影响明显，左线隧道竖向位移为 1.15mm，也发生明显变形；顶管隧道施工至地铁左线隧道正上方时，右线隧道竖向位移为 3.41mm，已接近最大值，左线隧道竖向位移为 2.96mm，已发生明显变形；顶管隧道施工至距离地铁左线隧道 1D 时，右线隧道竖向位移为 3.45mm，已接近最大值，左线隧道竖向位移为 3.26mm，已接近最大值；顶管隧道施工至距离地铁左线隧道 3D 时，右线隧道竖向位移为 3.48mm，左线隧道竖向位移为 3.28mm，已趋于稳定。

4.2 应力分析

顶管隧道施工完成后，既有地铁左、右线盾构隧道的主应力云图如图 8 所示，从主应力云图可以看出，顶管隧道施工完成后，地铁盾构隧道的最大拉应力为 1.8MPa，最大压应力为 3.7MPa，最大拉应力受顶管掘进影响，出现在顶管隧道与地铁隧道轴线相交处，最大压应力出现在覆土较厚的位置。

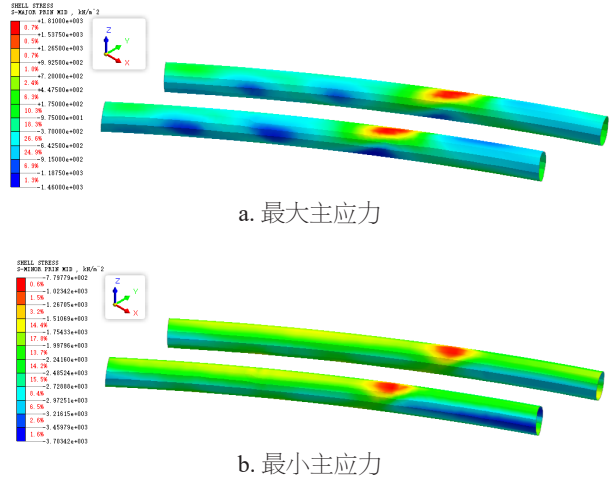


图 8 地铁盾构隧道主应力云图

5 结语

本文以复杂环境下大断面顶管小净距上跨既有地铁盾构隧道工程为背景，采用有限元软件对施工全过程进行模拟计算与分析，得到以下结论：

- (1) 顶管隧道上跨施工过程中，地铁左线、右线隧道的最大隆起变形值分别为 3.30mm、3.48mm，最大水平收敛值分别为 -2.15mm、-2.21mm，均满足控制要求。
- (2) 顶管隧道上跨施工过程中，地铁盾构隧道的最大拉应力为 1.8MPa，最大压应力为 3.7MPa，均满足承载力要

求,最大压应力出现在覆土荷载最大位置。

(3) 地铁隧道隆起变形主要集中在顶管轮廓线外1倍开挖洞径范围内;顶管施工至距离地铁隧道1D时隧道开始出现明显变形,施工至地铁隧道正上方时变形快速增大,施工至远离地铁隧道1D时变形接近最大值,施工至远离地铁隧道3D时变形趋于稳定。

参考文献

- [1] 姜之阳. 浅埋大断面矩形顶管对下伏运营地铁隧道变形影响研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2023.
- [2] 肖旦强, 张仕超, 胡智, 等. 大断面矩形顶管施工对近接斜交既有隧道影响研究[J]. 现代隧道技术, 2022(S1): 441-447.
- [3] 霍超, 阮恒丰, 李忠超, 等. 双线矩形顶管上穿施工对地铁盾构隧道影响分析[J]. 岩土力学, 2024, 45(5).
- [4] 苏州城北路综合管廊工程. 大断面矩形顶管上跨地铁隧道施工变形分布特征及控制措施[J]. 隧道建设(中英文), 2025.
- [5] 易丹, 严德添, 党军. 大断面矩形土压平衡式顶管上跨施工对运营地铁隧道变形的影响分析[J]. 隧道建设, 2018, 38(4): 594-602.