

新建盾构隧道下穿既有地铁隧道沉降变形影响研究

张学忠

中国水利水电第八工程局有限公司，湖南 长沙

收稿日期：2026年8月16日；录用日期：2026年9月8日；发布日期：2026年9月18日

摘要

本文以怡海站~鲤鱼门站区间隧道工程为背景，采用Midas GTS有限元数值模拟软件开展施工仿真分析。通过研究盾构下穿过程中既有隧道管片竖向位移、水平位移及地面的沉降变形，探究盾构下穿施工对既有管线及场地周边建筑物设施的扰动影响。数值模拟结果表明，该盾构下穿施工方案对周边既有结构产生的变形扰动较小，施工安全可控。

关键词

盾构下穿，数值模拟，变形分析

A Study on the Effects of Settlement and Deformation Caused by a New Shield Tunnel Passing under an Existing Subway Tunnel

Xuezhong Zhang

China Water Conservancy and Hydropower Eighth Engineering Bureau Co., Ltd., Changsha Hunan

Received: August 16, 2026; accepted: September 8, 2026; published: September 18, 2026

Abstract

This paper uses the tunnel project between Yihai Station and Liyumen Station as a case study and employs Midas GTS finite element numerical simulation software to conduct construction simulation analysis. By studying the vertical and horizontal displacements of the existing tunnel segments and ground settlement during the shield tunneling process, this study investigates the impact of the shield tunneling construction on existing utility lines and surrounding buildings and

facilities. The numerical simulation results indicate that this shield tunneling construction plan causes minimal deformation disturbances to existing surrounding structures, and construction safety is manageable.

Keywords

Shield Tunneling, Numerical Simulation, Deformation Analysis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在中国持续的城市发展背景下,基础设施维护和更新工作稳步增加,但随着近年来城市建筑数量的增加,关于新建和现有项目选址的争议不可避免地出现。安全的城市建设已成为一项重大挑战[1]-[3]。新建地铁下穿既有线工程项目,是城市轨道交通网络加密、优化线路布局的关键工程,直接关联既有线路安全和新建工程结构稳定。开展安全评估,可减少工程对城市轨道交通正常运营与居民生活的干扰,维护良好的区域交通与环境。

针对盾构施工下穿既有铁路所带来的沿线安全影响,国内外众多学者已开展较为深入的分析与探究。王柱[4]重点对盾构掘进参数控制、同步注浆与二次注浆加固、渣土改良、加固区推进封环止水及自动化监测等施工关键技术进行探讨,保证既有地铁线路的运营安全。姜红峰等[5]针对苏州轨道交通8号线下穿沪宁高速段,通过有限元数值模拟,研究了路基、管片和深层土体变形规律,验证了数值模拟的准确性。李健叔等[6]针对土压平衡盾构机在密集建筑群下方施工时地表沉降控制难题,结合广州市轨道交通二十二号线盾构区间工程案例,系统分析了掘进参数优化、刀盘配置调整及沉降控制技术等关键参数,显著降低施工扰动风险。凌燕婷[7]针对复杂软土地层盾构隧道下穿高铁桥梁的变形控制难题,依托杭州高教路盾构隧道下穿合杭高铁余杭特大桥工程实例,采用 PLAXIS 3D 建立三维数值模型,系统分析桥墩与承台的位移演化规律。

由上述相关研究可知,盾构下穿施工过程会给既有铁路线路以及邻近工程结构带来一定的安全隐患,施工风险管控不容忽视。开展盾构施工周边环境扰动分析并建立精细化数值计算模型,是保证施工安全的工作重点。本文利用 Midas GTS 有限元数值模拟手段,对盾构下穿既有铁路线路施工全过程进行仿真计算,系统分析下穿施工对既有铁路线路产生的影响效应,为实现盾构工程安全、高效掘进提供参考依据。

2. 工程概况

怡海站~鲤鱼门站区间全长 1688.230 m,在里程 DK3+400~DK3+430 处下穿桂庙路立交桥及地铁 11 号线南前区间,然后进入鲤鱼门站。区段盾构隧道采用 2 台复合式土压平衡盾构机由怡海站始发,鲤鱼门站接收,区间洞身地质穿越中微风化花岗岩、强风化花岗岩、全风化花岗岩、砂质粘性土等地层,区段围岩分级主要为 III~V 级围岩。区段隧道均为双洞单线盾构隧道,管片厚度 0.4 m,隧道外径 8.8 m。

盾构下穿区间工程场地示意图如图 1 所示。

3. 有限元模拟

为探究怡海站~鲤鱼门站区间下穿地铁 11 号线工程的力学响应规律,本文采用 Midas GTS 有限元软

件开展数值模拟分析。有限元计算模型如图 2 所示。

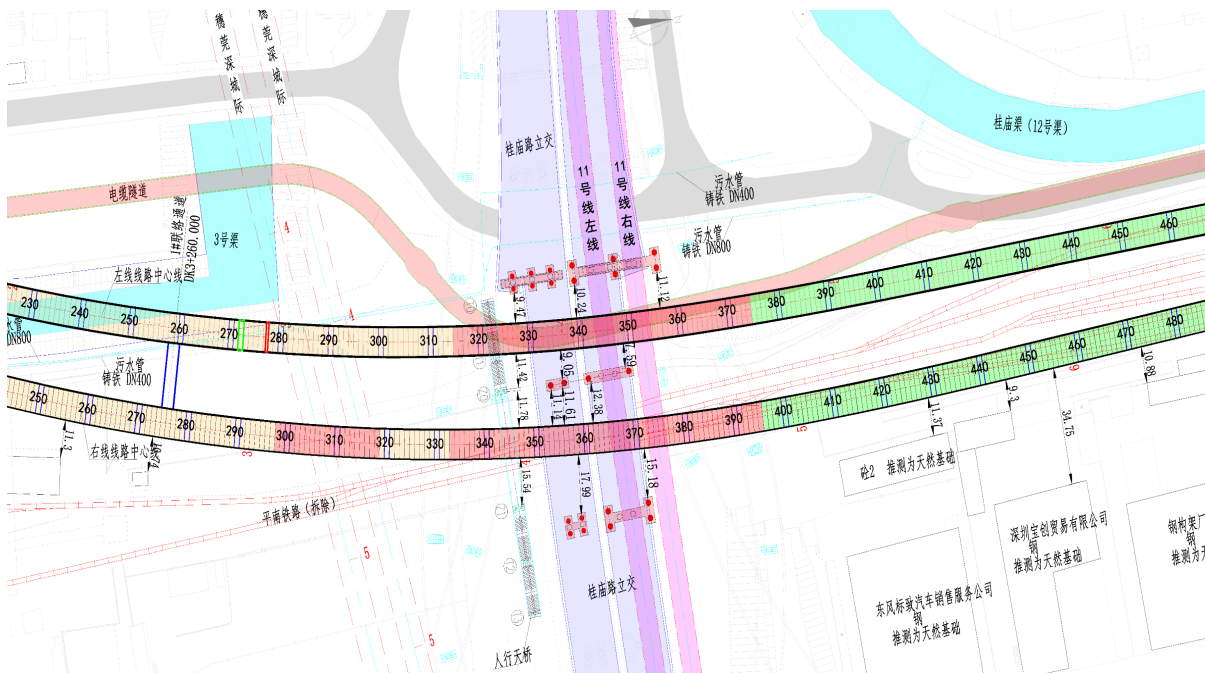


Figure 1. Schematic diagram of the shield tunneling engineering site

图 1. 盾构下穿工程场地示意图

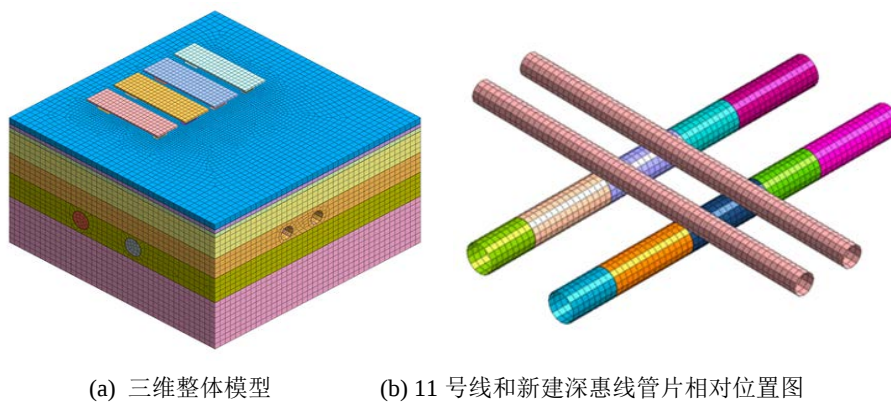


Figure 2. Schematic diagram of finite element calculation model

图 2. 有限元计算模型示意图

完成几何模型搭建后, 依次开展材料参数赋值、网格划分工作, 并针对计算关键区域实施网格加密处理, 同时实现各结构部件之间的耦合接触设置。完成前处理后施加外部荷载与边界条件, 提交求解计算。为削弱数值计算中的边界效应, 本模型各边界与新建隧道外缘的距离控制为盾构隧道外径的 3~5 倍, 据此将模型 X、Y、Z 三个方向尺寸分别取为 120 m、120 m、70 m, 以此保障数值计算结果的可靠度。模型边界约束直接采用 Midas GTS 内置的自动约束功能。

3.1. 计算参数

本次施工场地的地层从上至下依次为：杂填土、淤泥、粉质粘土、砂质粘土、全风化花岗岩、中风化

花岗岩、微风化花岗岩。工程材料方面，高架桥桩和隧道衬砌均为钢筋混凝土结构。

模型中的土层与岩层均采用三维实体单元进行离散，隧道衬砌结构选用二维板单元；整体网格采用混合六面体形式生成，各结构间耦合接触状态良好。岩土及结构材料的力学参数综合依据工程地质勘察报告结合工程经验确定，建模所用各项具体力学参数如表 1 所示。

Table 1. Summary table of physical and mechanical indicators

表 1. 物理力学指标汇总表

名称	重度($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	变形模量(MPa)	泊松比	粘聚力(kPa)	内摩擦角($^{\circ}$)
杂填土	19	19	0.3	10	8
淤泥	16.5	10	0.35	6	4
粉质粘土	18.5	15	0.3	20	12.5
砂质粘土	19	20	0.3	21	14
全风化花岗岩	20.5	500	0.28	30	25
中风化花岗岩	24.1	3000	0.25	35	30
微风化花岗岩	25	5000	0.25	37	35

3.2. 施工步骤模拟

本次盾构下穿施工共设置 7 个计算工况，包含深惠线下穿前初始工况、深惠线右线与左线隧道分步开挖，以及开挖同步开展的衬砌施作工序。

(1) 初始地应力平衡：激活模型原有岩土体网格，同时施加对应的荷载与边界约束，使模型在自重作用下完成应力平衡计算；应力平衡完成后对整体位移进行置零处理，消除初始位移场对后续施工步骤计算结果的干扰。

(2) 深惠线右线开挖：在初始应力平衡的基础上，首先进行深惠线右线开挖。根据施工相关规划，按照工程施工开挖顺序将盾构开挖施工分为三个部分，每个部分开挖过程中，同步进行衬砌管片浇筑。共包含三个施工步骤。

(3) 深惠线左线开挖：进行深惠线左线开挖。与右线开挖过程相同，将工程的开挖过程划分为三个部分，开挖过程中同步进行衬砌管片浇筑。共包含三个施工步骤。

4. 模拟结果

本次数值计算重点分析既有地铁 11 号线隧道管片的竖向、水平位移以及地表沉降变形特征。变形控制标准综合参考住房城乡建设部发布的标准 CJJ/T202-2013《城市轨道交通结构安全保护技术规范》¹与广东省地方标准 DBJ/T 15-231-2021《城市轨道交通既有结构保护监测技术标准》²的相关条文拟定，各项控制指标详见表 2。

Table 2. Summary of the maximum settlement value of the roadbed

表 2. 施工控制标准指标

监测指标	允许变形值(mm)
管片结构沉降变形	5

¹<https://www.chinabuilding.com.cn/article-3646.html>

²https://zfcxjst.gd.gov.cn/jsgl/zcwj/content/post_3701169.html

续表

管片结构隆起变形	5
地面沉降变形	5

4.1. 既有隧道管片沉降变形

隧道开挖后，地下管线产生沉降变形。待模型求解计算完毕，沿桥板纵向选取典型分析剖面，提取数据绘制点线分析图。盾构下穿工况下典型位置的管片沉降变形云图、管片应力分布云图和沉降变化折线图分别如图 3~5 所示。其中，距离指十一号线自西向东的距离。对应的统计结果见表 3。

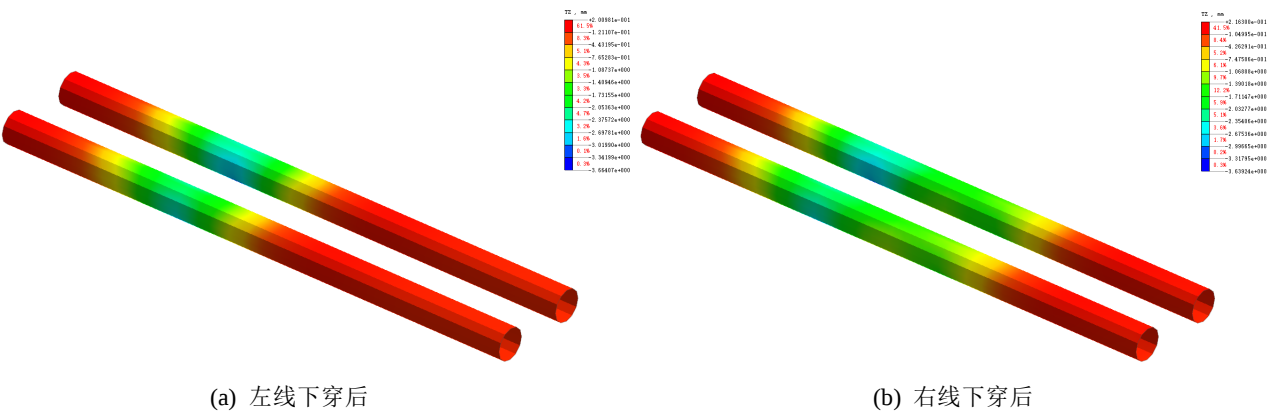


Figure 3. Cloud map of vertical displacement distribution of tunnel segments during typical construction phase
图 3. 典型施工步隧道管片竖向位移分布云图

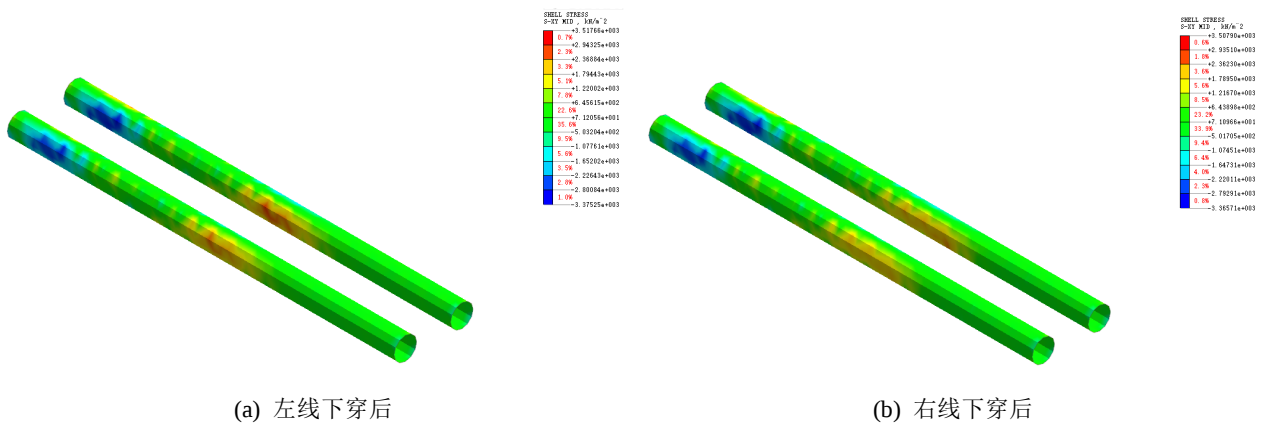


Figure 4. Cloud map of stress distribution of tunnel segments during typical construction phase
图 4. 典型施工步隧道管片应力分布云图

Table 3. Vertical displacement of tunnel segments at each construction stage
表 3. 各施工阶段隧道管片竖向位移

施工阶段	最大隆起(mm)	最大沉降(mm)
左线下穿前	0.01	-0.03
左线下穿中	0.17	-3.62

续表

左线下穿后	0.20	-3.66
右线下穿前	0.20	-3.66
右线下穿中	0.21	-3.64
右线下穿后	0.22	-3.63

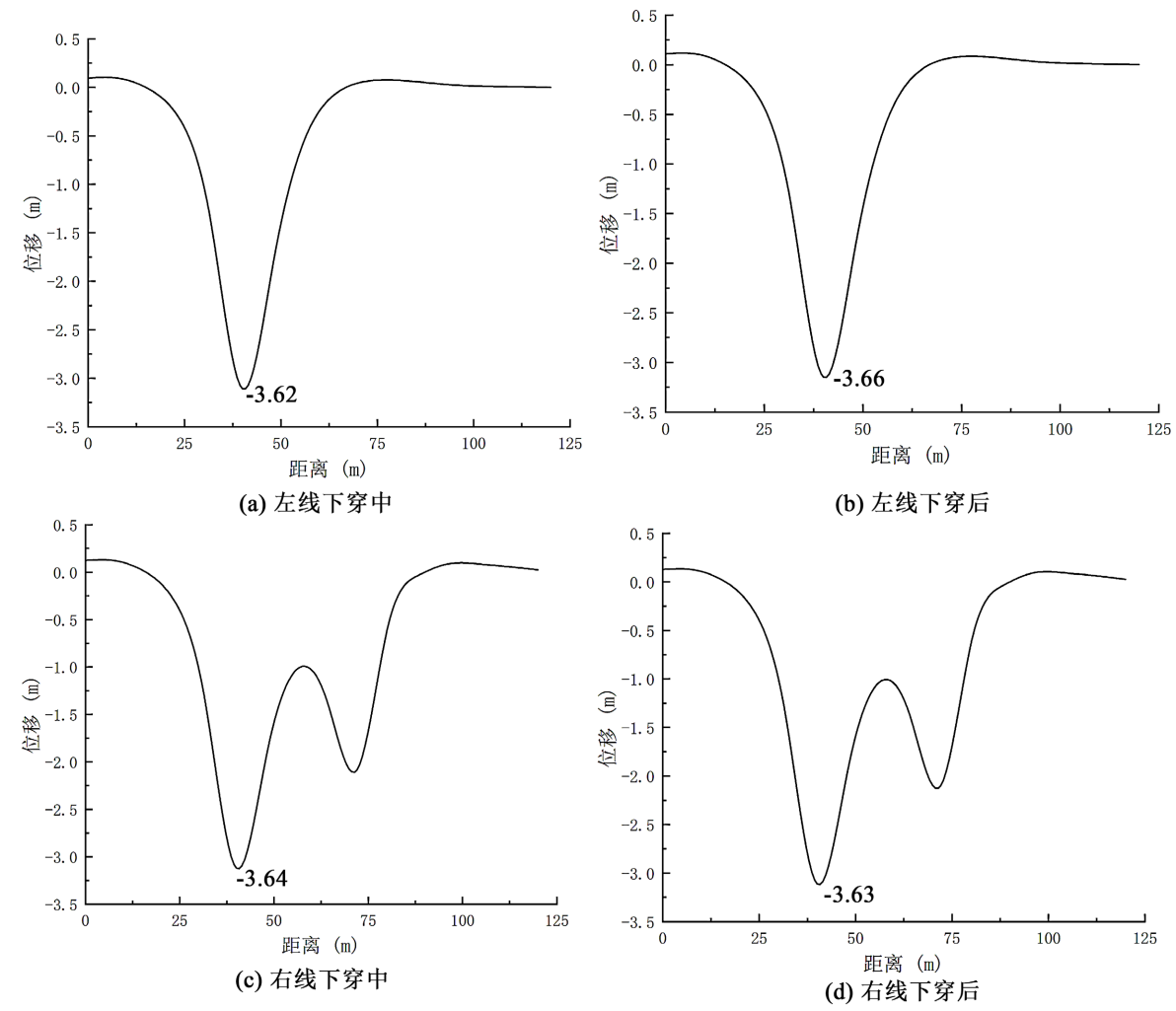


Figure 5. Vertical displacement distribution point and line diagrams of tunnel segments at each construction stage
图 5. 各施工阶段隧道管片竖向位移分布点线图

新建盾构开挖使地层原始应力释放重分布，下穿核心区管片应力集中，引发既有隧道主要竖向沉降。同时本工程花岗岩地层刚度大，有效抑制变形，各项位移均满足规范限值。

根据前述变形控制标准，桥板竖向位移限值为 5 mm。由表 3 计算结果可得，桥板最大竖向位移为 3.66 mm，小于规范允许限值，满足相关控制要求。

4.2. 既有隧道管片水平变形

设置临时支撑结构后，地下管线将产生沉降变形。待模型求解计算完毕，沿桥板纵向选取典型分析

剖面，提取数据绘制点线分析图。盾构下穿工况下典型位置的管线水平变形云图、水平应力分布图和变化折线图分别如图 6~8 所示。其中，距离指十一号线自西向东的距离。对应的统计结果见表 4。

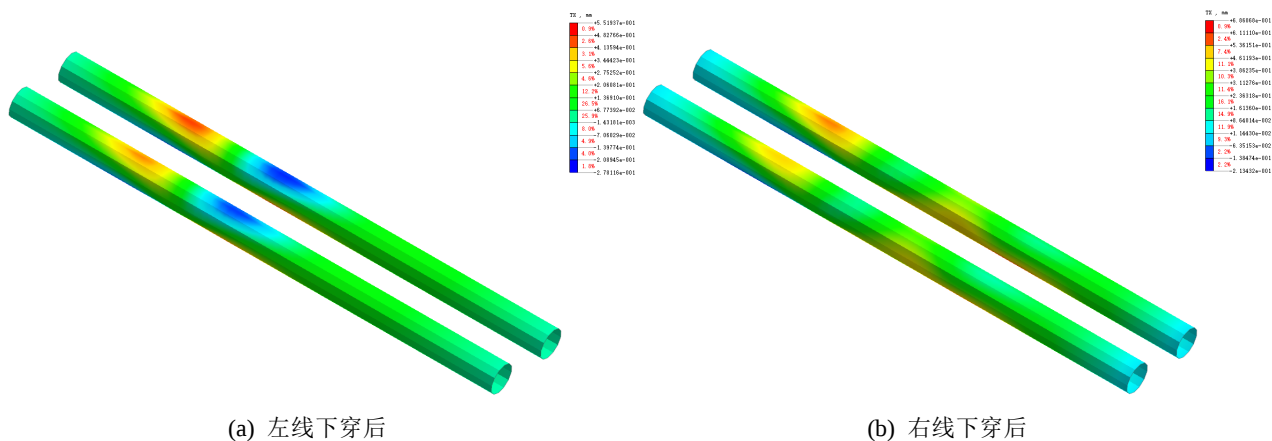


Figure 6. Cloud map of horizontal displacement distribution of tunnel segments during typical construction phase
图 6. 典型施工步隧道管片水平位移分布云图

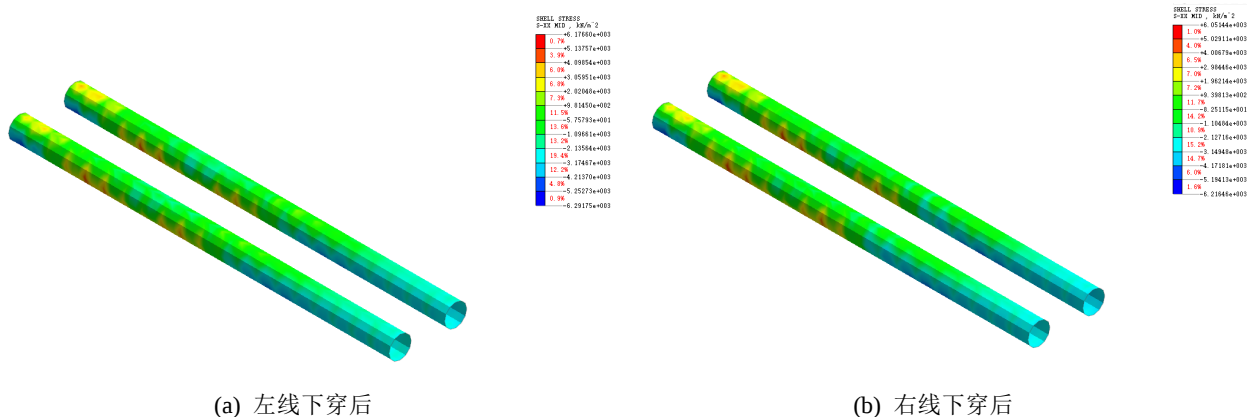
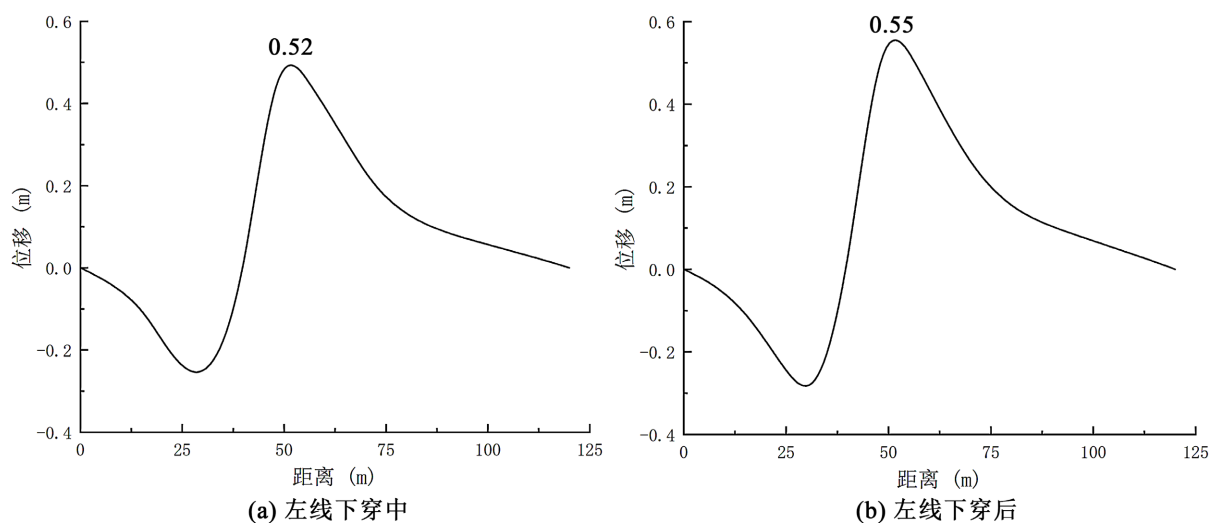


Figure 7. Contour map of horizontal stress distribution in tunnel segments for typical construction stage
图 7. 典型施工步隧道管片水平应力分布云图



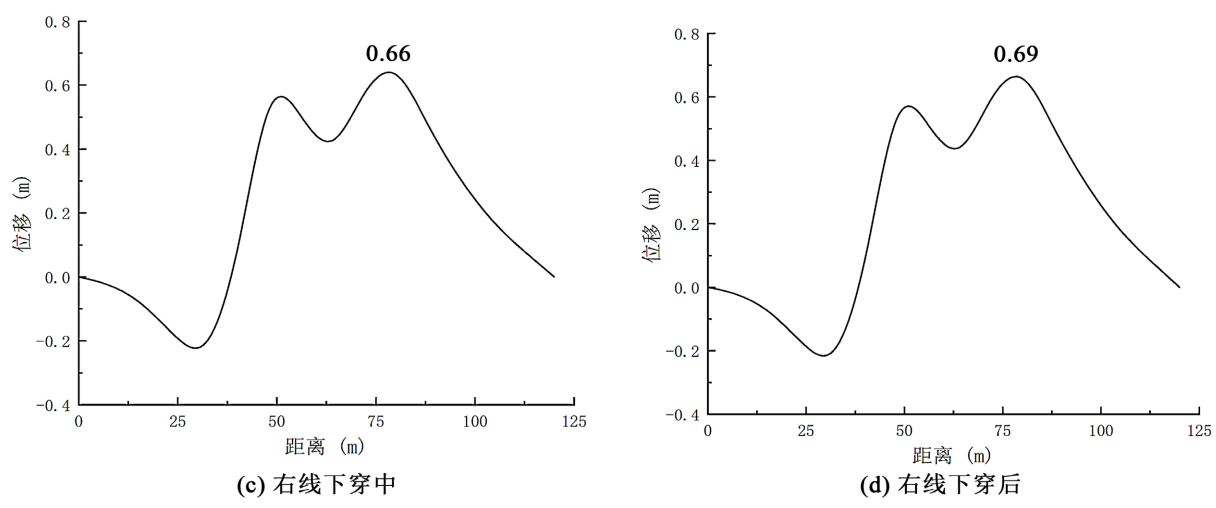


Figure 8. Horizontal displacement distribution point and line diagrams of tunnel segments at each construction stage
图 8. 各施工阶段隧道管片水平位移分布点线图

新建盾构开挖使地层原始应力释放重分布，下穿核心区管片应力集中，左右线掘进产生应力叠加，侧向挤压带来小幅水平变形。

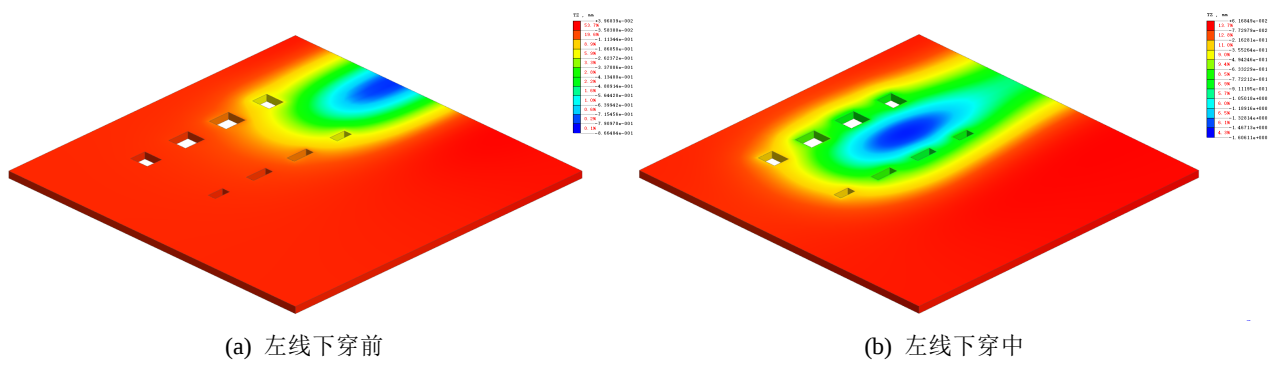
根据前述变形控制标准，桥板竖向位移限值为 5 mm。由表 4 计算结果可得，桥板最大水平位移为 0.69 mm，小于规范允许限值，满足相关控制要求。

Table 4. Horizontal displacement of tunnel segments at each construction stage
表 4. 各施工阶段隧道管片水平位移

施工阶段	最大变形(mm)
左线下穿前	0.01
左线下穿中	0.52
左线下穿后	0.55
右线下穿前	0.56
右线下穿中	0.66
右线下穿后	0.69

4.3. 施工场地地面沉降变形

本文所述的盾构下穿施工中，各施工阶段地面沉降变形云图和各施工阶段地面沉降变形值如图 9、表 5 所示。



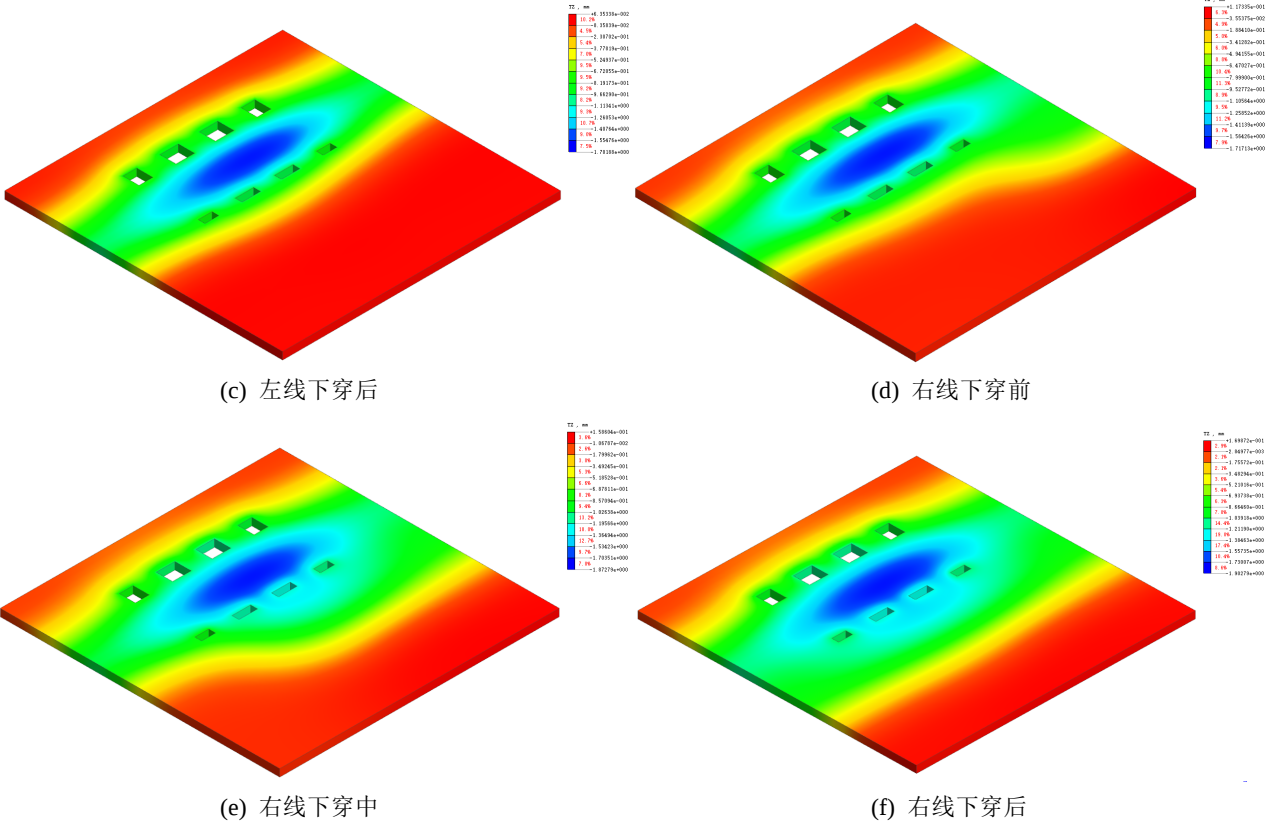


Figure 9. Cloud maps of ground settlement and deformation at each construction stage
图 9. 各施工阶段地面沉降变形云图

Table 5. Ground settlement and deformation values at each construction stage
表 5. 各施工阶段地面沉降变形值

施工阶段	最大沉降(mm)
左线下穿前	-0.87
左线下穿中	-1.61
左线下穿后	-1.70
右线下穿前	-1.72
右线下穿中	-1.87
右线下穿后	-1.90

根据前述变形控制标准，桥板竖向位移限值为 5 mm。由表 5 计算结果可得，地面最大沉降为 1.90 mm，小于规范允许限值，满足相关控制要求。

5. 结果与讨论

本文以怡海站~鲤鱼门站区间深惠线下穿地铁 11 号线实际工程为依托，采用 Midas GTS 有限元软件复现盾构下穿施工全过程，仿真分析盾构掘进对既有建(构)筑物及周边环境的变形扰动规律，通过对邻近结构开展数值模拟研究，得到主要结论如下：

- (1) 与已有工程案例对比得出，软土、砂层地层双线盾构下穿既有地铁，既有隧道竖向沉降普遍可达

5~16 mm, 变形风险较高。本工程处于花岗岩风化硬岩地层, 既有隧道最大竖向、水平位移与地表沉降量级均与深圳同类花岗岩地层盾构下穿案例结果接近, 硬岩地层整体变形显著小于软土工况。

(2) 整体仿真结果表明, 盾构下穿全过程中, 既有 11 号线隧道最大竖向位移为 3.66 mm, 最大水平位移为 0.69 mm, 施工区域地表最大沉降为 1.90 mm, 各项变形指标均满足规范控制限值。施工期间仍需做好沉降管控, 保障工程施工安全。

(3) 盾构下穿掘进阶段, 既有 11 号线隧道竖向变形响应显著, 水平变形幅值相对较小。随着工作面持续推进, 结构变形呈现先快后慢的发展特征, 并逐步趋于收敛稳定; 既有隧道右线衬砌变形大于左线, 衬砌中部以及盾构下穿影响区域的竖向沉降效应最为突出。地表沉降整体数值偏小, 沉降主要集中于施工场地中部范围。

(4) 由数值模拟结果可知, 深惠线盾构下穿施工对既有地铁隧道、管线及地表产生的变形扰动整体有限。现场施工应重点监测既有线路的位移变化, 严格管控邻近建构筑物的沉降与变形。

参考文献

- [1] 梁程程, 祝磊. 深厚黏土地层盾构开挖面稳定性对既有铁路的影响分析[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2025, 26(2): 48-54.
- [2] 费瑞振, 施成华, 张春雷, 等. 盾构下穿既有隧道扰动预测模型及掘进参数优化[J]. 岩土工程学报, 2026, 48(3): 590-598.
- [3] 徐干成, 李成学, 王后裕, 等. 地铁盾构隧道下穿京津城际高速铁路影响分析[J]. 岩土力学, 2009, 30(S2): 269-272+276.
- [4] 王柱. 盾构近距离下穿既有地铁线路施工关键技术[J]. 四川水泥, 2026(8): 230-232.
- [5] 姜红峰, 徐永乐, 杨平, 等. 富水软弱地层盾构下穿沪宁高速路基变形数值模拟分析[J/OL]. 施工技术(中英文), 1-12. <https://link.cnki.net/urlid/10.1768.TU.20260805.1040.004>, 2026-08-17.
- [6] 李健叔, 张晨光. 土压平衡盾构机下穿密集建筑群施工技术参数研究[J]. 科学技术创新, 2026(15): 125-128.
- [7] 凌燕婷. 复杂软土条件下盾构下穿高铁桥梁的综合技术与变形规律研究[J]. 现代隧道技术, 2026, 63(3): 203-209.