

深大基坑开挖对石家庄地铁3号线的变形研究

孙宇亮¹, 王少康², 乔东杰¹, 高祥志^{1*}

¹北京爱地地质工程技术有限公司, 北京

²首钢地质勘查院地质研究所, 北京

收稿日期: 2026年6月29日; 录用日期: 2026年7月21日; 发布日期: 2026年7月31日

摘要

为探究新建深大基坑对既有区间隧道的影响, 本文以石家庄地铁3号线新百广场站 - 东里区间为研究对象, 采用迈达斯数值模拟软件, 建立了基坑 - 地层 - 隧道的三维有限元模型, 再结合现场实测数据, 且验证模型后, 指出了新建基坑开挖过程中隧道的变形规律及机理, 旨在为类似工程提供参考, 确保隧道的结构安全和正常运营。

关键词

深大基坑, 新百广场站 - 东里隧道区间, 迈达斯数值模拟, 变形影响

Study on the Deformation Characteristics of Deep Foundation Pit Excavation on Shijiazhuang Metro Line 3

Yuliang Sun¹, Shaokang Wang², Dongjie Qiao¹, Xiangzhi Gao^{1*}

¹Beijing Aidi Geological Engineering Technology Co., Ltd., Beijing

²Institute of Geology, Shougang Geological Exploration Institute, Beijing

Received: June 29, 2026; accepted: July 21, 2026; published: July 31, 2026

Abstract

In order to explore the influence of the new deep foundation pit on the existing tunnel, this paper takes the Xinbai Square Station-Dongli section of Shijiazhuang Metro Line 3 as the research object, and uses Midas numerical simulation software to establish a three-dimensional finite element model of foundation pit-formation-tunnel. After combining the field-measured data and verifying the model,

*通讯作者。

文章引用: 孙宇亮, 王少康, 乔东杰, 高祥志. 深大基坑开挖对石家庄地铁 3 号线的变形研究[J]. 土木工程, 2026, 15(7): 173-180. DOI: 10.12677/hjce.2026.157189

the deformation law and mechanism of the tunnel during the excavation of the new foundation pit are pointed out, which aims to provide a reference for similar projects and ensure the structural safety and normal operation of the tunnel.

Keywords

Deep Foundation Pit, Xinbai Square Station-Dongli Tunnel Section, Midas Numerical Simulation, Deformation Effect

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

城市轨道交通作为现代城市交通的重要组成部分，在改善交通堵塞、优化城市环境等层面起着关键作用[1]-[3]。随着城市更新建设的接续发展，地下岩土空间的利用开发越来越广泛，新建基坑工程日益增多。由于城市空间有限，许多新建基坑不得不临近既有地铁站施工。基坑开挖过程中会引起周边土体应力重分布[4]，导致既有地铁站结构产生变形，若变形过大，将严重影响地铁的安全运营[4]-[6]。

石家庄新百广场站 - 东里隧道区间作为城市轨道交通的重要枢纽，周边人流量大，商业活动频繁，其结构安全和正常运营至关重要。基坑开挖会改变周边地层的应力状态，导致地层变形，进而可能引起地铁车站结构的位移、内力变化等问题[7]-[10]。如果这些变形超过一定限度，将影响地铁车站的结构安全和行车安全，因此，研究新建基坑开挖对石家庄新百广场站 - 东里隧道区间的变形影响具有重要的工程实际意义。

MIDAS GTS NX 作为一款工程常用软件，具有强大的建模功能和丰富的本构模型，能够准确模拟基坑开挖等复杂岩土工程问题。本文利用该软件对新建基坑开挖过程进行模拟，分析新百广场站 - 东里隧道区间的变形特性。

2. 工程背景

2.1. 工程概况

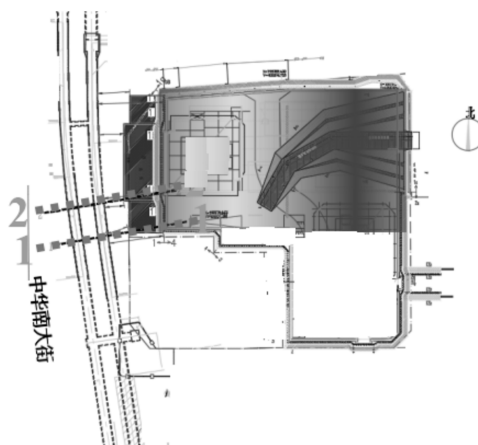


Figure 1. Location relationship diagram between the project and the surrounding environment

图 1. 工程与周边环境位置关系图

石家庄新百广场站 - 东里站隧道区间位于城市繁华商业区，周边地质条件较为复杂，主要地层包括粉质黏土、砂土等。拟新建基坑位于新百广场站附近，中华南大街东侧。基坑规模较大，开挖深度约为 19.4 m，采用桩锚的支护形式。基坑与新百广场站 - 东里隧道区间的最小水平净距离较近，约为 32.5 m，其开挖过程会对车站结构产生显著影响，工程与周边环境位置关系如图 1 所示。

基坑规模较大，开挖深度约为 19.4 m，采用桩锚的支护形式。基坑与新百广场站 - 东里隧道区间的最小水平净距离较近，约为 32.5 m，其开挖过程会对车站结构产生显著影响，基坑支护与隧道的位置关系如图 2 所示。

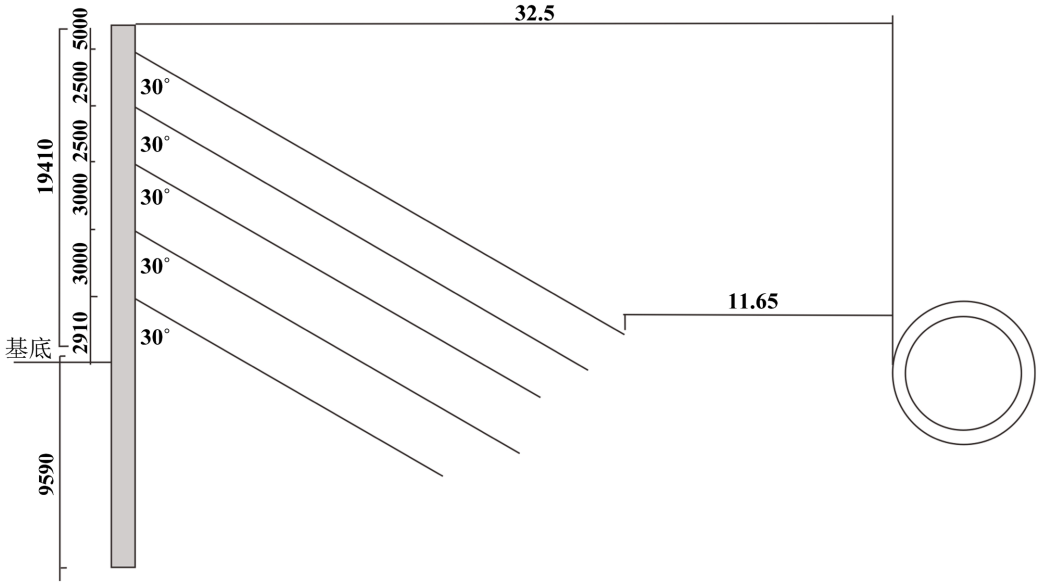


Figure 2. Location relationship diagram between foundation pit support and tunnel
图 2. 基坑支护与隧道的位置关系图

2.2. 工程地质条件

拟建场地内的土层包括三大类，土层有素填土、细砂粉土互层沉积与卵石。根据工程勘察报告，土层的性质指标(层厚、比重、杨氏模量、粘聚力、摩擦角)如表 1 所示。

Table 1. Main physical and mechanical properties of soil layer
表 1. 土层主要物理力学性质指标

土层	$H/(m)$	$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	$E_s/(MPa)$	$C(kPa)$	$\varphi(^{\circ})$
① 杂填土	2.9	1.71	8.39	0	10
② 黄土状粉土	4.3	1.9	23.47	18.9	22.9
③ 细中砂	4.4	1.86	28.94	0	34.5
④ 粉质黏土	9.6	1.99	35.25	19.6	30
⑤ 中砂	2.4	1.99	40	0	33
⑥ 砂卵石	14.9	1.98	55	0	34
⑦ ₂ 粉黏土	6.8	1.92	55	20	32
⑧ 卵石	4.7	2.1	100	0	36

3. 数值模型建立

3.1. 模型范围及网格划分

根据基坑与新百广场站 - 东里隧道区间的相对位置关系及工程地质条件，确定数值模型的范围。模型长 $\times$ 宽 $\times$ 高取为 $180\text{ m} \times 100\text{ m} \times 50\text{ m}$ ，基坑长 $\times$ 宽 $\times$ 高取为 $60\text{ m} \times 40\text{ m} \times 19.4\text{ m}$ ，以确保能够充分考虑基坑开挖的影响范围并减少边界效应。采用六面体单元对模型进行网格划分，对基坑及隧道附近区域进行网格加密，以提高计算精度，整个模型共划分约 14 万个单元，计算模型如图 3 所示，其中 X 正方向为正东方向，Y 方向为竖直方向，Z 正方向为正北方向，坐标原点位于图 3 中 X 轴和 Y 轴相交处。

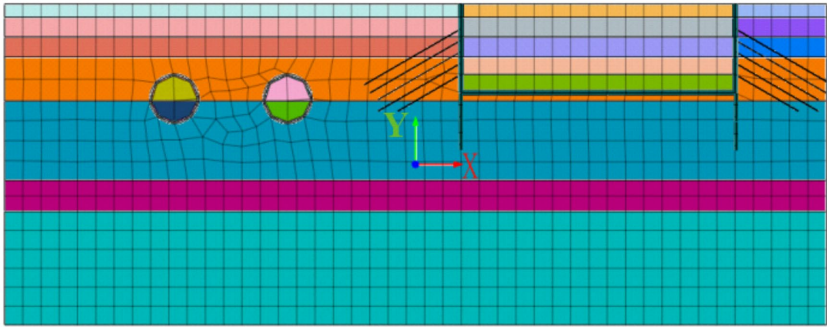


Figure 3. Three-dimensional finite element model
图 3. 三维有限元模型

3.2. 材料参数确定

隧道结构、支护桩、锚杆和底板采用线弹性材料模型，其弹性模量和泊松比根据实际工程材料取值，各构件杨氏模量、泊松比、比重如表 2 所示。模型的土体本构采用莫尔 - 库伦模型，支护桩采用等效法简化成 2D 板单元，其余材料均采用 3D 实体。

Table 2. Component calculation parameters
表 2. 构件计算参数

构件类型	$E/(\text{MPa})$	ν	$\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$
支护桩	27,500	0.3	23.9
锚杆	175,000	0.35	78.5
底板	30,000	0.3	23.9
管片	32,500	0.3	24.3

3.3. 边界条件设置

模型底部边界固定竖向位移，四周边界固定水平位移，上部边界为自由边界。在基坑开挖过程中，考虑土体的自重应力，先进行初始地应力平衡计算，然后再模拟基坑开挖及支护施工过程。

3.4. 施工过程模拟

按照实际施工顺序，分阶段模拟基坑开挖过程。首先进行土体自重固结分析，得到初始应力场。然后，每次开挖一定深度的土体，接着施工相应深度的冠梁、锚杆、钢梁及底板，模拟过程中考虑土体开挖卸荷及支护结构的作用。共分为 6 个开挖阶段，直至基坑开挖至设计深度。

4. 模拟结果分析

4.1. 模型整体竖向位移分析

从模拟结果来看(模型整体竖向变形如图 4 所示), 底板主要表现为隆起, 且基坑中心的隆起量最大, 最大隆起值为 5.1 mm。支护桩主要表现为沉降, 最大沉降量位于桩顶, 最大沉降值为 3.7 mm。从整体模型图可以看出, 支护形式能够有效控制基坑及邻域结构的变形。

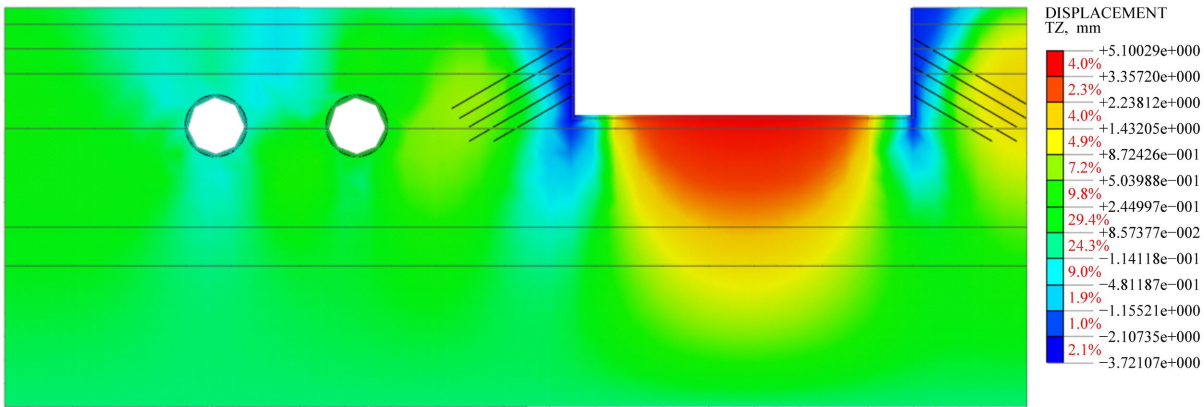


Figure 4. The overall vertical deformation diagram of the model
图 4. 模型整体竖向变形图

4.2. 区间隧道竖向位移分析

随着基坑开挖的进行, 新百广场站 - 东里隧道区间的竖向位移逐渐增大。从模拟结果来看(隧道竖向位移如图 5 所示), 隧道主要表现为隆起, 且靠近基坑一侧的隆起量较大。在基坑开挖初期, 隧道竖向位移增长较为缓慢, 随着开挖深度的增加, 位移增长速率逐渐加快。当基坑开挖至设计深度时, 隧道最大隆起量出现在靠近基坑的边缘位置, 约为 0.17 mm, 这是由于基坑开挖导致周边土体应力释放, 土体向基坑方向移动, 从而带动隧道产生隆起变形, 靠近基坑一侧受到的影响更为显著。

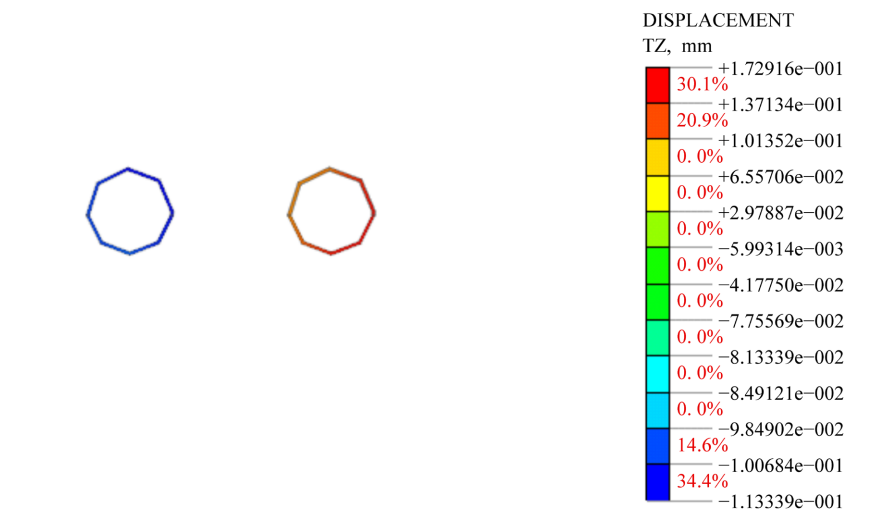


Figure 5. Vertical displacement deformation nephogram of tunnel
图 5. 隧道竖向位移变形云图

4.3. 区间隧道水平位移分析

随着基坑开挖的进行，新百广场站 - 东里隧道区间的水平位移逐渐增大。从模拟结果来看(隧道水平位移如图 6 所示)，隧道水平位移方向主要表现为向东，且靠近基坑一侧的隆起量较大。当基坑开挖至设计深度时，隧道最大水平位移量出现在靠近基坑的边缘位置，约为 1.3 mm，这是由于基坑开挖导致周边土体应力释放，土体向基坑方向移动，从而带动隧道向东位移，靠近基坑一侧受到的影响更为显著。

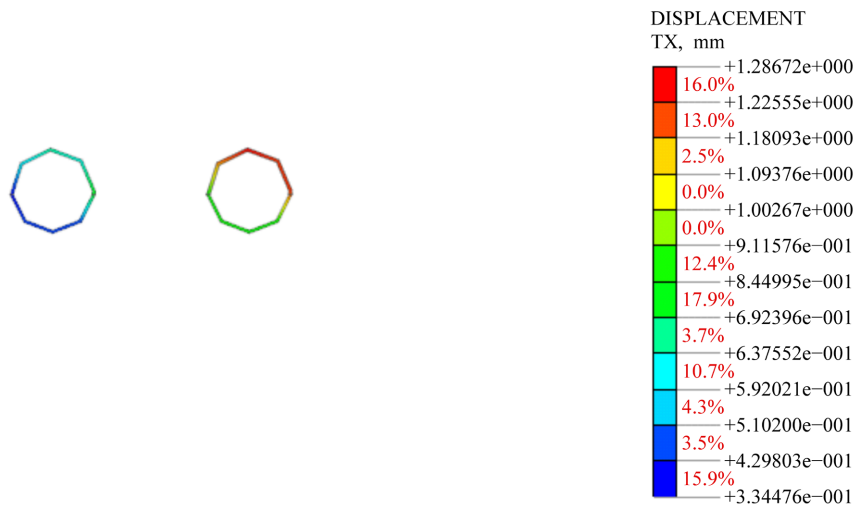


Figure 6. Horizontal displacement deformation nephogram of tunnel
图 6. 隧道水平位移变形云图

5. 与实际监测数据对比

在基坑开挖及隧道变形监测过程中，布置了相应的监测点(监测点布置如图 7 所示)，对隧道的竖向位移进行实时监测。将数值模拟结果与现场监测数据进行比对(监测点时程水平位移对比如图 8 所示)，发现两者在变化规律上基本相同。数值模拟得到的隧道位移量与监测数据虽有一定误差，但误差在可接受范围内，这表明所建立的数值模型和采用的模拟方法具有较好的可靠性与合理性，能够较好地反映新建基坑开挖对新百广场站 - 东里隧道区间的变形影响。

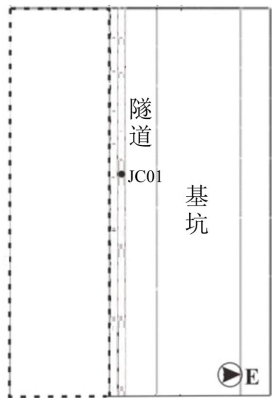


Figure 7. Layout diagram of tunnel monitoring points
图 7. 隧道监测点布置图

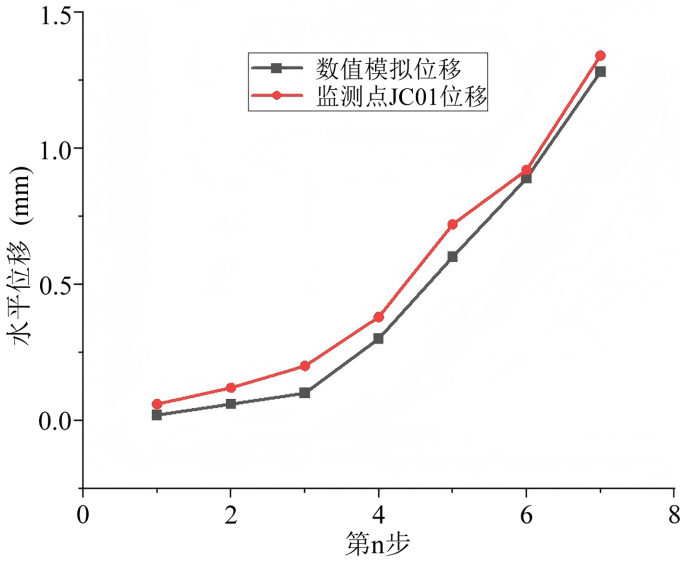


Figure 8. Comparison diagram of time-history horizontal displacement of typical monitoring points
图 8. 典型监测点时程水平位移对比图

6. 结论与建议

6.1. 结论

本文通过 MIDAS GTS NX 模拟,对新建深大基坑开挖对石家庄新百广场站-东里隧道区间的变形影响展开了分析,得到以下主要结论:

- 1) 基坑开挖会导致新百广场站-东里隧道区间产生明显的竖向隆起和水平位移,竖向隆起以靠近基坑一侧较大,水平位移方向朝向基坑。
- 2) 由于基坑开挖导致周边土体应力释放,土体向基坑方向移动,从而带动隧道向东水平位移和向上隆起位移,靠近基坑一侧受到的影响更为显著。
- 3) 对于本地地质条件,当水平净距为 32.5 m,开挖深度为 19.4 m 时,隧道最大隆起值约为 0.17 mm,水平位移为 1.3 mm,均在控制标准内。但在未来类似工程中,若净距小于 30 m 时,应考虑双排隔离桩、分层开挖等加强措施。
- 4) 数值模拟结果和现场监测数据吻合较好,验证了模型的合理性。

6.2. 建议

- 1) 在基坑开挖前,应进一步优化基坑开挖顺序及支护设计,合理考虑分层、分步及放坡等因素,必要时可采取加强支护措施,以减小对地铁车站的影响。
- 2) 加强对隧道与基坑边坡土体的变形监测,及时得到变形动态,实时调整施工参数,如发现变形异常,要立即采取对应的控制措施。
- 3) 对相似工程,在设计与施工阶段,要充分探究新建深大基坑和隧道的互相影响,可借鉴本文的研究方式与结果,保证隧道和基坑工程的可靠安全。

参考文献

- [1] 阮恒丰,梁荣柱,康成,等. 旁侧基坑开挖对地铁盾构隧道影响的精细化数值模拟研究[J]. 隧道建设(中英文), 2024, 44(S2): 245-255.

- [2] 杨长京. 顶部基坑开挖对既有地铁隧道的影响研究[J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(9): 106-110.
- [3] 陈长青. 深基坑施工对近邻建(构)筑物影响机理及监测分析[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2012.
- [4] 吉茂杰, 刘国彬. 开挖卸荷引起地铁隧道位移预测方法[J]. 同济大学学报, 2001, 29(5): 531-535.
- [5] 张治国, 黄茂松, 王卫东. 邻近开挖对既有软土隧道的影响[J]. 岩土力学, 2009, 30(5): 1373-1380.
- [6] 魏纲, 赵城丽. 基坑开挖引起临近隧道的附加荷载计算方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(S1): 3408-3417.
- [7] 周泽林, 陈寿根, 陈亮, 等. 基坑施工对下卧地铁隧道上抬变形影响的简化理论分析[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(12): 2224-2234.
- [8] 高祥志, 姚爱军, 李彦霖, 等. 超大直径盾构下穿交通枢纽变形特征与控制[J]. 公路, 2024, 69(4): 387-394.
- [9] Gao, X.Z. and Yao, A.J. (2024) Deformation Characteristics and Instability Mechanism of Transportation Hub under Downward Traversal Conditions of the Double-Track Super-Large Diameter Shield Tunnel. *Geohazard Mechanics*, 2, 131-142. <https://doi.org/10.1016/j.ghm.2024.03.005>
- [10] 韩国俊, 刘洋, 邢如飞. 道路施工对下方地铁隧道的沉降影响分析[J]. 铁道标准设计, 2012(S1): 97-100.