

桩基托换施工对桥梁群桩及既有隧道管线变形分析

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：2025年9月15日；录用日期：2025年10月5日；发布日期：2025年10月20日

摘 要

本文以深惠城际线路区间隧道工程为依托，以深惠I标土建二工区怡鲤区间桩基托换施工为工程背景，使用Midas GTS有限元数值模拟软件，通过分析既有隧道管片、桥梁桩基结构和桥板变形的情况，探讨桩基托换施工对于场地周边设施的影响。数值模拟结果表明，本次桩基托换施工对周边结构影响较小，具有较好的安全性。

关键词

桩基托换，数值模拟，变形分析

Analysis of the Deformation of Pile Foundation Replacement Construction on Bridge Pile Groups and Existing Tunnel Pipelines

Xuezhong Zhang

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

Received: September 15, 2025; accepted: October 5, 2025; published: October 20, 2025

Abstract

Based on the tunnel project of the Shenhui intercity line, and taking the construction of pile foundation replacement in the Yili section of the second civil engineering area of Shenhui Standard I as the engineering background, this paper uses Midas GTS finite element numerical simulation software

to analyze the deformation of the existing tunnel segments, bridge pile foundation structure and bridge slab, and discusses the impact of pile foundation replacement construction on the surrounding facilities of the site. The numerical simulation results show that the pile foundation replacement construction has little impact on the surrounding structure and has good safety.

Keywords

Pile Foundation Support Replacement, Numerical Simulation, Deformation Analysis

Copyright © 2025 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

在我国城市化进程不断推进的背景下,基础建设维护更新也在稳步行进。但近年来,城市中的构筑物数量持续增长,这使得新启动的工程项目在空间布局上,难免会与已建成的建筑设施发生位置上的冲突,桩基托换工程项目日渐成为城市空间安全施工的一大挑战[1]-[3]。因此,如何处理好新建工程与现有结构的关系,将是本次桩基托换施工的一大挑战。

现阶段,已有不少学者针对桩基托换对邻近盾构管线等工程结构的影响展开深入探讨。何瀚[4]针对低矮空间下深基坑支护与基坑内部既有桩基托换两大难点,通过改进连续墙成槽工艺、吊装技术、钢板桩施工方案等举措,优化低矮空间施工工艺,并采用数值模拟方法进行验证。党佳宁[5]对桩基托换期间既有线桥梁结构和轨道实施全自动化监测,利用自动化检测技术,获取实时准确的既有隧道结构、轨面变形监测数据,动态指导桩基托换施工。魏永冬等[6]结合既有运营城市轨道交通,探究双线盾构隧道对近接高架桩基施工的影响。利用数值软件分析,得出了盾构桩基间距和盾构掘进和对桩基影响的正相关性。万治安等[7]依托某城市地铁双线盾构隧道切桩穿越桥梁工程项目,通过数值计算和现场实测,探究盾构切桩穿越对邻近工程结构的影响。汪海波等[8]依托成都13号线一期工程探究邻近盾构隧道对于桥梁桩基础施工过程中产生的影响,通过数值计算得出结论:地表沉降呈现W型凹槽,且隧道正上方沉降量最大。

上述研究结果显示,桩基托换施工会对周边环境造成一定影响。为确保本次桩基托换工程中,工程结构以及周围构筑物的安全与稳定,应该对施工现场及周边建筑物进行精细化建模,分析桩基托换施工对于城际线路工程结构以及邻近既有地铁线路变形的影响。因此,本文将采用MIDAS GTS建模,运用三维有限元软件探求本次工程桩基托换对于既有地铁隧道和高架桥板,以及桥墩、桩基与承台的影响,为类似工程的安全施工提供参考。

2. 工程概况

怡海站~鲤鱼门站区间深惠鲤鱼门站南侧约10~30 m处,下穿1号线大新站~鲤鱼门站盾构区间,隧道距1号线盾构隧道最小净距3.1 m。隧道与桂湾四路桩基冲突,需进行桩基托换。桂湾四路桥桩为 $\phi 1.5$ m桩基,桩长约54 m。

桂湾四路高架桥为钢箱梁简支形式,需托换的8根桩基直径1.5 m,桩长54 m,持力层为中微风化花岗岩,新做桩基与既有桩基尺寸参数一致;桩基托换基坑临近220 KV电缆隧道,隧道为采用明挖法施工的钢筋混凝土结构。桩基托换基坑深4.78 m,地层较差。

桩基托换工程立面图和施工步骤示意图如图 1，图 2 所示。

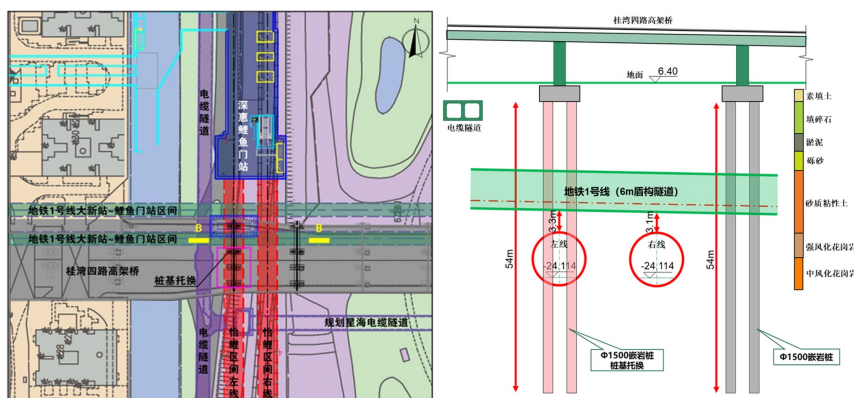


Figure 1. Elevation of pile foundation replacement project
图 1. 桩基托换工程立面图

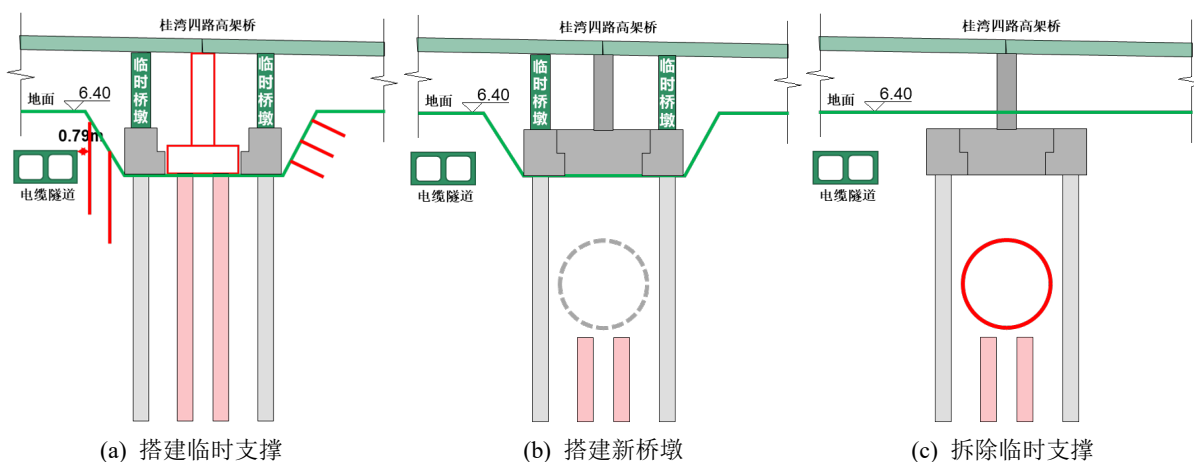


Figure 2. Schematic diagram of pile foundation replacement construction steps
图 2. 桩基托换施工步骤示意图

3. 有限元模拟

3.1. 模型建立

为研究本次深惠 I 标土建二工区怡鲤区间桩基托换工程项目，本文采用 midas GTS 软件建模分析。计算模型见图 3。

在几何模型构造完成后，完成材料属性的定义，随后划分网格，并在计算的关键位置加密网格。同时，确保不同结构之间模型耦合。最后，施加外力和边界荷载，提交计算。考虑到模型边界效应的影响，本次数值模拟建模中，模型边界位置和隧道边缘之间的长度不应小于 3 倍隧道外径。故模型三轴方向长度分别设为 120 m，120 m，70 m，保证模拟计算的准确性。同时，本模型的边界条件采用 Midas 软件中的自动约束。

3.2. 计算参数

本次建模当中，地层属性从上至下依次如表中所示。模型土层、岩层各单元均为 3 d 实体单元，隧道衬砌结构为 2 d 实体单元，新旧桩基结构为 1 d 实体单元，均采用混合六面体网格生成，耦合情况良好。具体材料参数见下表 1。

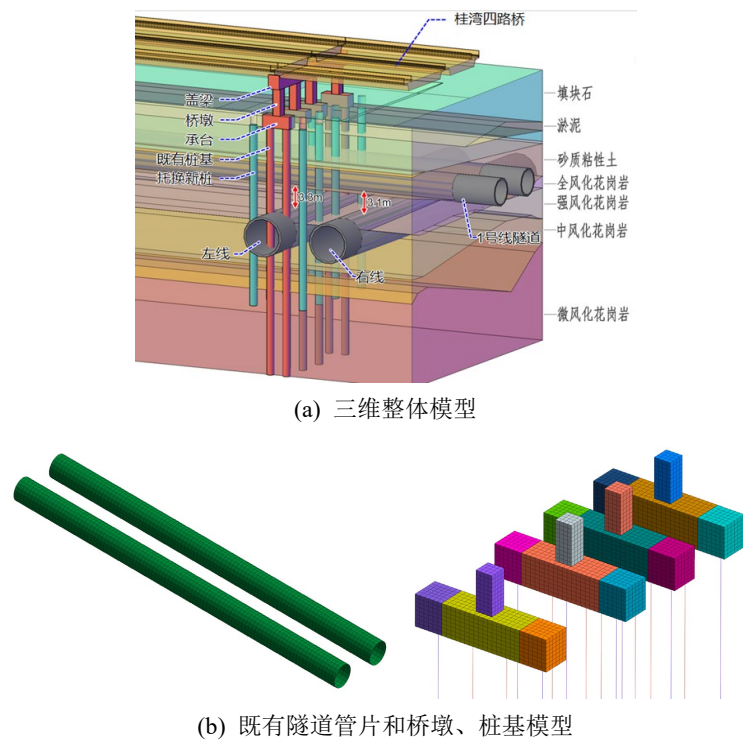


Figure 3. Schematic diagram of finite element calculation model
图 3. 有限元计算模型示意图

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	19.5	40	0.3	10	8
砾砂	19.3	50	0.4	0	30
粉质粘土	18.5	15	0.3	20	12.5
强风化花岗岩	20.5	500	0.28	30	25
中风化花岗岩	24.1	3000	0.25	35	30
C30 混凝土	30	30,000	0.3	-	-
衬砌管片	25	30,000	0.3	-	-

3.3. 施工步骤模拟

本次桩基托换工程共采用四个施工工况步，涵盖了桩基托换前工程状况，临时支撑的施加，旧桩基的拆除和新桩基的浇筑。

- 1) 初始应力平衡：先激活原施工方案中的相应网格，同时激活荷载和边界条件，使整体模型在荷载作用下达达到平衡。平衡完成后进行位移清零，避免其对后续的计算结果产生影响。
- 2) 打入新桩基：在初始应力平衡的基础上，在正确位置打入新桩基。
- 3) 搭建临时支撑：在打入新桩基的基础上，完成临时支撑的搭建。
- 4) 拆除原桥墩：完成原有桥墩的拆除。
- 5) 取出旧桩基：将原桥墩拆除完成后，取出旧桩基。
- 6) 搭建新桥墩：在原桥墩位置浇筑新的桥墩和支柱，使其与临时桥墩部分的桩基浇筑为一体化结构。

7) 拆除临时支撑：将先前搭建的临时支撑拆除，完成桩基的托换工作。

4. 模拟结果

4.1. 控制标准

本控制标准的制定，以国家标准 CJJ/T202-2013《城市轨道交通结构安全保护技术规范》作为基础依据，同时参考广东省标准 DBJ/T 15-231-2021《城市轨道交通既有结构保护监测技术标准》的相关内容，具体拟定结果如下表 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
管片结构隆起变形	5
墩柱、承台、桩基沉降	5
桥面板竖向位移	5

4.2. 桥板板面位移

搭建临时支撑后，桥板沉降变形较明显。沿桥板纵向取典型线，进行点线图绘制。根据计算结果，桩基托换施工典型位置桥板位移变形云图和折线图如图 4、图 5、表 3 所示。

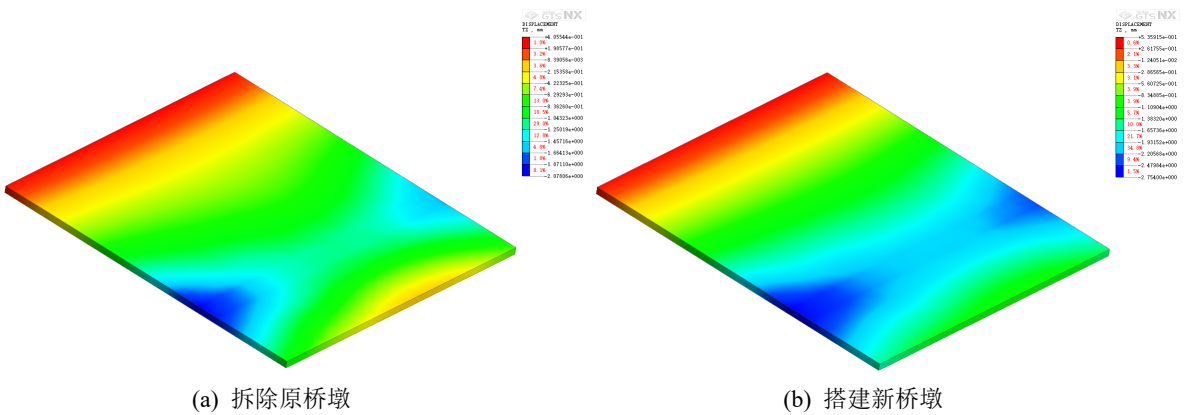
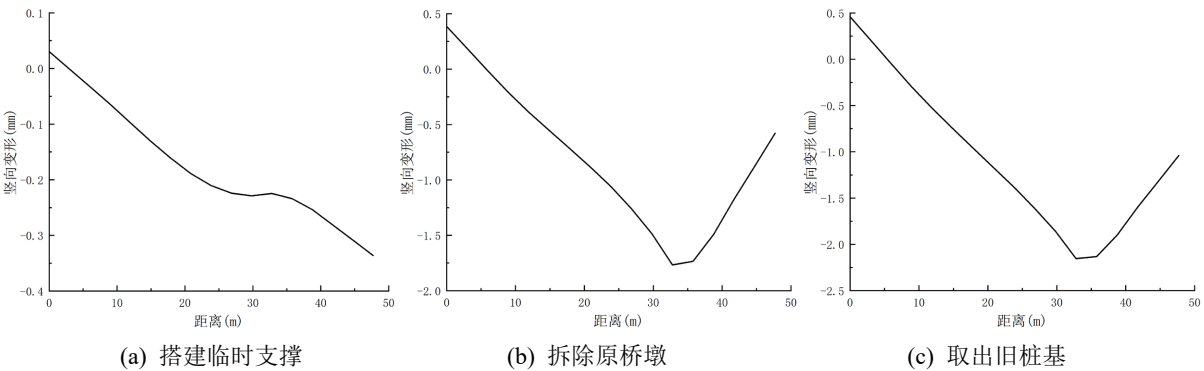


Figure 4. Vertical displacement distribution cloud map of the typical position of the bridge plate
图 4. 典型位置桥板竖向位移分布云图



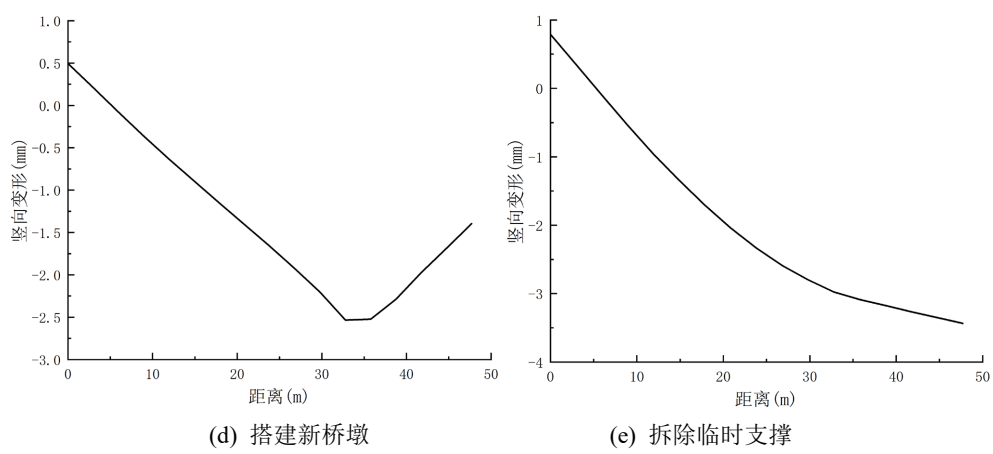


Figure 5. Vertical displacement distribution point line diagram of bridge slab in each construction stage
图 5. 各施工阶段桥板竖向位移分布点线图

Table 3. Bridge slab displacement at each construction stage
表 3. 各施工阶段桥板位移

施工阶段	最大隆起(mm)	最大沉降(mm)
打入新桩基	-	-0.05
搭建临时支撑	0.04	-0.40
拆除原桥墩	0.41	-2.08
取出旧桩基	0.50	-2.42
搭建新桥墩	0.54	-2.75
拆除临时支撑	0.85	-3.70

由前述控制标准可知，桥板竖向位移值应 ≤ 5 mm；由表 3 可见，桥板的最大竖向位移值为 3.70 mm，符合相关规定要求。

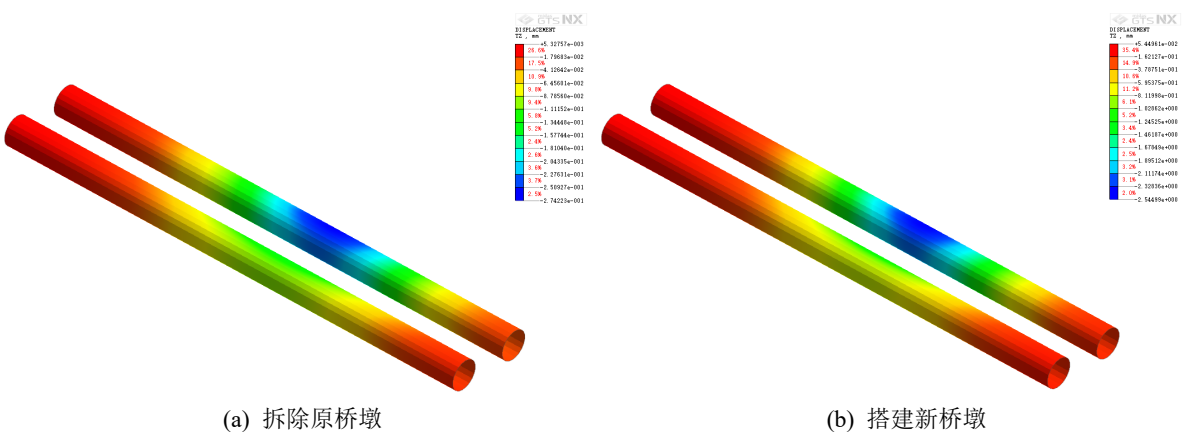


Figure 6. Cloud diagram of vertical displacement distribution of tunnel lining in typical location
图 6. 典型位置隧道衬砌竖向位移分布云图

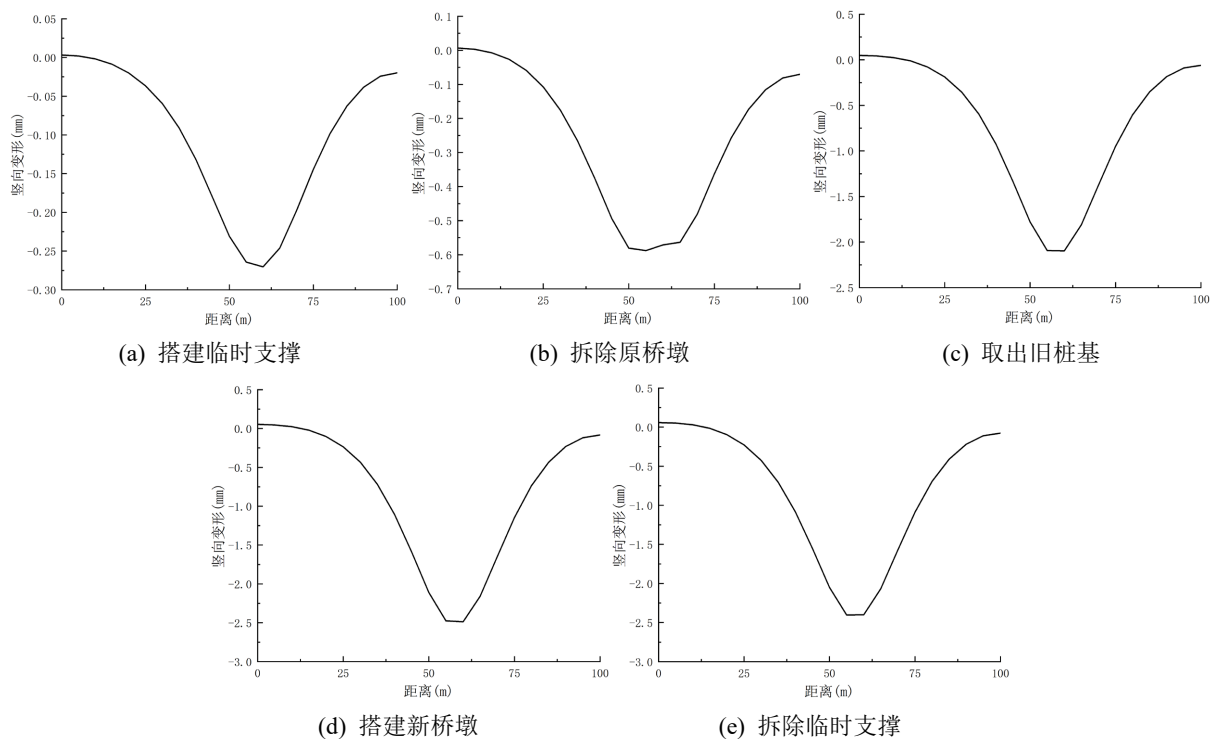


Figure 7. Point line diagram of the vertical displacement distribution of tunnel lining in each construction stage

图 7. 各施工阶段隧道衬砌竖向位移分布点线图

Table 4. Tunnel segment displacement at each construction stage

表 4. 各施工阶段隧道管片位移

施工阶段	最大沉降(mm)
打入新桩基	-0.05
搭建临时支撑	-0.27
拆除原桥墩	-0.59
取出旧桩基	-2.15
搭建新桥墩	-2.55
拆除临时支撑	-2.46

4.3. 既有隧道管片位移

搭建临时支撑后, 衬砌沉降变形较明显。现沿衬砌纵向选取典型线, 进行点线图绘制。根据计算结果, 本次桩基托换中既有隧道线典型位置竖向位移分布云图和折线图如图 6、图 7、表 4 所示。

由前述控制标准可知, 隧道管片竖向位移沉降应 ≤ 5 mm, 由表 4 可见, 隧道管片的沉降最大值为 2.46 mm, 符合相关规定要求。

4.4. 既有桥墩、桩基和承台位移

本次桩基托换施工中, 既有桥墩、桩基和承台位移分布云图如图 8、表 5 所示。

由前述控制标准可知, 桥墩、桩基和承台沉降值应 ≤ 5 mm, 由表 5 可见, 桥墩、桩基和承台的沉降最大值为 3.14 mm, 符合相关规定要求。

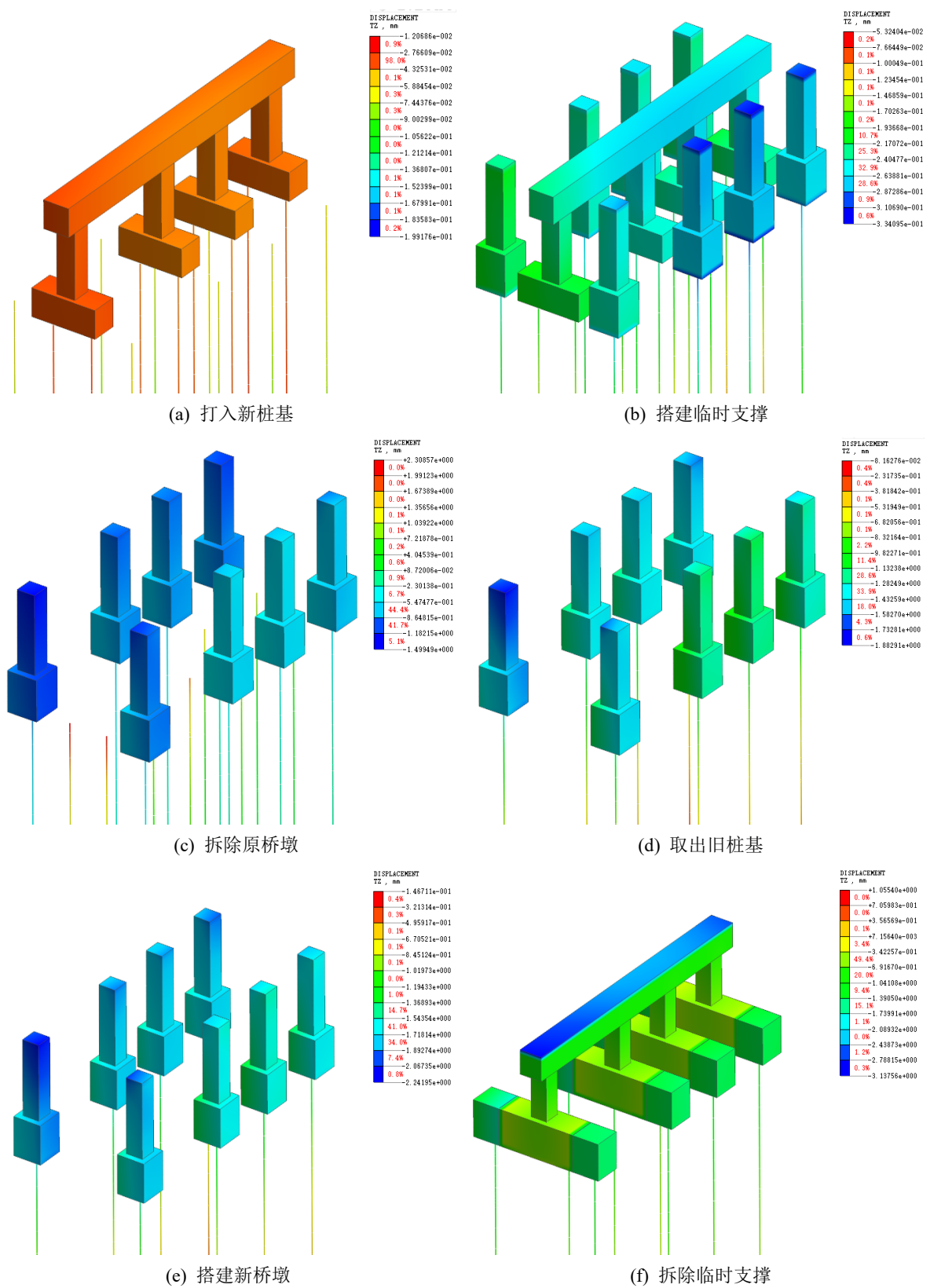


Figure 8. Cloud map of vertical displacement distribution of piers, pile foundations and caps at each construction stage
图 8. 各施工阶段桥墩、桩基和承台竖向位移分布云图

Table 5. The displacement of piers, pile foundations and bearing platforms at each construction stage
表 5. 各施工阶段桥墩、桩基和承台位移

施工阶段	最大沉降(mm)
打入新桩基	-0.20
搭建临时支撑	-0.34
拆除原桥墩	-1.50
取出旧桩基	-1.88
搭建新桥墩	-2.24
拆除临时支撑	-3.14

5. 结论

本文依托深惠 I 标土建二工区怡鲤区间桩基托换项目，通过有限元软件模拟桩基托换过程对工程结构的变形影响，对邻近工程结构进行数值模拟分析，得到结论如下。

1) 从整体来看，整个桩基托换施工过程中，桥板最大竖向位移为 3.61 mm，桥墩最大竖向位移为 3.71 mm，隧道管片最大竖向位移为 1.78 mm，均满足规定的控制标准。施工过程中应注意控制沉降，确保施工安全。

2) 在桩基托换的过程中，起始阶段桥板和桥墩结构变形量稍大，而既有地铁隧道管线变形相对较小。在施工行进过程中，结构变形发展先快后慢，随施工进度而逐渐减小并趋于稳定。具体来看，既有隧道衬砌右线中部、桥板靠近桩基托换位置的左右侧部沉降变形较明显。桩基托换过程中，要重点关注既有高架桥板和桥墩的变形和位移情况，控制好桥板竖向变形。

3) 数值模拟分析中可以看出，本次桩基托换工程对既有隧道管线和桥板、桥墩结构变形影响较小。规范施工操作，防范施工风险，可保证本次桩基托换施工安全进行。

参考文献

[1] 马忠政, 马险峰, 徐前卫, 等. 盾构穿越桥梁桩基的托换及除桩施工技术研究[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 6(1): 105-111.

[2] 毕经东. 地铁施工中的桩基托换技术研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 石家庄铁道学院, 2007.

[3] 卢慈荣, 许原骑, 范礼彬, 等. 地铁基坑与托换桩相互影响的数值分析与监测[J]. 地下空间与工程学报, 2018, 14(2): 500-506.

[4] 何瀚. 地铁深基坑内既有天桥桩基托换与基坑支护体系一体化研究[J]. 建设机械技术与管理, 2025, 38(4): 69-72.

[5] 党佳宁. 自动化监测技术在桩基托换过程中对既有线路沉降变形分析与应用[J]. 城市建设, 2025(16): 92-94.

[6] 魏永冬, 辛凯凯, 刘传浪, 等. 双线盾构隧道施工对近接高架桩基的影响研究[J]. 广州建筑, 2024, 52(8): 16-19.

[7] 万治安, 张长顺, 周游, 等. 双线盾构切桩穿越对桩基托换桥梁及地表的影响[J]. 建筑机械化, 2025, 46(5): 129-136.

[8] 汪海波, 杨永庆, 卢文东, 等. 盾构隧道近接铁路桥梁桩基施工影响分析[J]. 北方交通, 2022(12): 61-65.