

## 盾构隧道施工对临近轻轨桥桩的影响分析

杨春华<sup>1</sup> 赵洪尧<sup>2</sup>

1. 南昌轨道交通集团有限公司地铁项目管理分公司, 江西 南昌 330013

2. 大连海事大学交通运输系, 辽宁 大连 116026

**[摘要]**文中通过模拟盾构施工过程中对地层的扰动, 分析了施工因素对临近轻轨桥桩的影响规律。研究了开挖顺序、土仓压力和掘进速度三个主要施工因素对桥桩垂直位移、桩周土垂直位移、桥桩与桩周土的侧向位移的影响。结果表明, 开挖顺序对桥桩变形影响显著, 土仓压力对垂直位移影响较小, 而掘进速度对侧向位移有一定影响。本研究为隧道盾构施工提供了理论依据和实践指导。

**[关键词]**盾构施工; 施工因素; 桥桩; 数值模拟

DOI: 10.33142/aem.v6i10.14403 中图分类号: U655.5 文献标识码: A

### Analysis of the Impact of Shield Tunnel Construction on Adjacent Light Rail Bridge Piles

YANG Chunhua<sup>1</sup>, ZHAO Hongyao<sup>2</sup>

1. Subway Project Management Branch of Nanchang Rail Transit Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330013, China

2. Department of Transportation Engineering, Dalian Maritime University, Dalian, Liaoning, 116026, China

**Abstract:** This article analyzes the impact of construction factors on adjacent light rail bridge piles by simulating the disturbance of the strata during shield tunneling construction. We studied the effects of three main construction factors, namely excavation sequence, soil silo pressure, and excavation speed, on the vertical displacement of bridge piles, the vertical displacement of soil around piles, and the lateral displacement of bridge piles and soil around piles. The results indicate that the excavation sequence has a significant impact on the deformation of bridge piles, while the soil pressure has a relatively small effect on vertical displacement, and the excavation speed has a certain impact on lateral displacement. This study provides theoretical basis and practical guidance for tunnel shield construction.

**Keywords:** shield tunneling construction; construction factors; bridge piers; numerical simulation

### 引言

随着城市化进程的加快, 地下空间成为重要的城市发展资源。盾构施工技术, 以其对地面交通和环境影响较小的优势, 被广泛应用于地铁、隧道和水利工程等城市基础设施建设中<sup>[1-5]</sup>。然而, 盾构施工可能对周边地层及邻近结构物, 特别是轻轨桥桩等关键设施造成影响, 引发安全问题<sup>[2, 6]</sup>。桥桩作为轻轨系统的重要支撑, 其稳定性直接关系到整个系统的安全运行。因此, 研究盾构施工对桥桩影响的规律, 对于优化施工方案、确保工程安全具有重要的理论和实践价值。

近年来, 国内外学者对盾构施工对邻近结构物的影响进行了大量研究。魏纲等<sup>[3]</sup>综述了盾构隧道施工对邻近隧道影响的研究进展。孙逸玮等<sup>[4]</sup>通过试验研究了盾构施工对邻近桥桩的影响, 并提出了控制措施。国际上, 任建喜等<sup>[7]</sup>通过案例研究分析了盾构隧道施工对邻近建筑物的影响。尽管现有研究为理解盾构施工的影响提供了理论基础, 但关于施工因素如开挖顺序、土仓压力和掘进速度等对桥桩影响的综合研究仍然相对有限。

本研究采用控制变量法, 通过计算模型模拟盾构施工过程, 监测分析了不同施工因素对临近轻轨桥桩垂直位移和水平位移的影响。研究结果表明, 施工因素对桥桩的稳

定性有显著影响, 其中开挖顺序的影响尤为关键。本研究旨在为隧道盾构施工提供科学的指导建议, 以降低施工对邻近基础设施的影响, 确保工程安全。

### 1 工程概况

本研究是基于某城市地铁5号线的关键工程段落, 该区间隧道设计穿越一段轻轨桥梁下方, 桥梁与地铁车站相邻, 隧道开挖长度为75m, 顶部覆盖层厚度为13m。该城市地铁5号线一期工程全线总长19.688km, 线路沿城市主要街道敷设, 连接了城市多个重要区域和交通枢纽。该地区属于中温带大陆性半湿润、半干旱季风气候, 具有明显的四季变化和季节性降水特征。地形地貌上, 该城市所在区域属于平原地貌, 海拔高度在189~306m之间, 地层结构多样, 包括多种类型的沉积岩和土壤。地质特征方面, 该地区位于沉降带, 地质构造运动相对较弱, 但存在多条不同方向和规模的断裂。水文条件上, 该区域有若干河流水系, 包括大型河流及其上游的水库, 对地下水文地质条件有重要影响。

本工程的隧道设计和施工需要考虑多种因素, 包括隧道与轻轨桥梁的相对位置以及施工过程中可能对周边环境造成的影响。特别是盾构施工过程中, 施工参数的选择对地层沉降和邻近结构的变形具有显著影响, 因此, 本研究旨在通过三维数值模拟, 优化盾构隧道施工参数, 以减

少施工对周边环境的影响，确保工程安全和效率。



图1 隧道开挖实际现场图

## 2 数值模型建立

### 2.1 模型建立

考虑到模型的边界效应，根据岩石力学知识，隧道开挖影响范围为3~5倍洞径范围，根据现场实际位置关系，建立桥梁-地层模型参数为：横向106m；竖向59m，隧道顶部至地表13m，隧道以及模型长度为74m。通过FLAC3D软件建立三维模型，土层采用实体单元进行模拟，选取摩尔库伦本构模型，衬砌管片选用实体弹性壳体单元，选用弹性本构模型。模型边界约束条件：模型左、右两侧施加X方向垂直边界面的水平约束，前、后侧施加Y方向垂直边界面的水平约束，底部Z方向竖向约束，上部自由无约束。渗流边界条件：土体边界不透水，开挖面不透水，管片及注浆不透水。

### 2.2 模型参数

在简化后的三维数值模型中，隧道开挖所影响范围的地层共有四种地层，分别是素填土、全风化泥岩、强风化泥岩、中风化泥岩。在FLAC3D软件中的计算参数如表1所示。地表轻轨部分由轻轨桥面及轻轨桥桩组成，横板、支撑、条形基础选用实体单元模拟，模型模拟桥面长74m，宽4m，高2m。材料性质设为钢筋混凝土，应用弹性本构模型。三维计算模型如图2所示，共计101695个节点，112448个单元，FLAC3D隧道模型如图2所示。

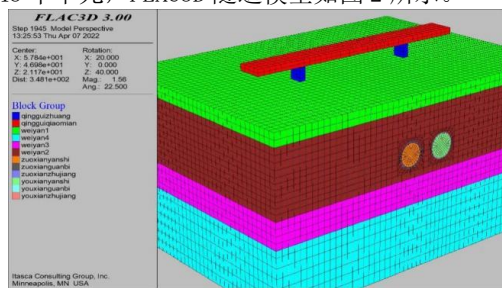


图2 三维模型图

表1 模型地层计算参数

地层类型	体积模量 E/GPa	剪切模量 E/GPa	粘聚力 C/kPa	内摩擦角 Φ/°	密度 ρ/kg/m <sup>3</sup>
素填土	0.12	0.04	15	9	1800
全风化泥岩	0.25	0.07	26	15	1920
强风化泥岩	0.39	0.10	60	25	2170
中风化泥岩	4.23	1.03	120	30	2390

## 3 计算结果分析

为了分析盾构开挖对建筑物沉降的影响，在两个桥桩中心设置监测点，监测其竖向位移，并在桥桩桩周土设置监测点，逐步跟进监测，隧道模型的测线布置如图3所示。

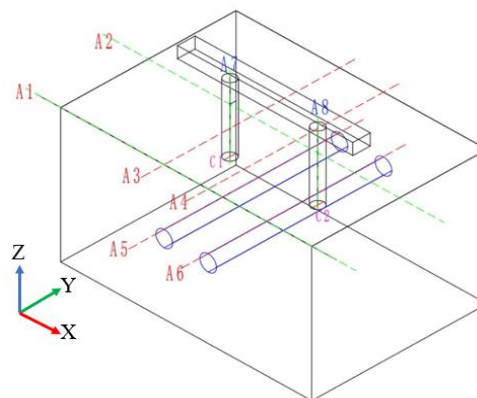


图3 测线布置图

### 3.1 开挖顺序影响分析

本小节设置两种工况，研究不同开挖顺序下盾构隧道对桥桩的影响。工况一：先进行左洞开挖，再开挖右洞，两条线路间相差75m；工况二：先进行右洞开挖，再开挖左洞，两条线路间相差75m。

#### 3.1.1 先开挖桥桩与桩周土相对位移

桩周土与桥桩的沉降变形不一致，所以有可能导致桥桩上的负摩阻力。设计时，如果忽视负摩阻力，将会造成桩端地基的屈服或刺入破坏，相当于间接增加了桩上端荷载，会引发桩身破坏以及上部构筑物不均匀沉降等，甚至引发构筑物沉降、倾斜、开裂等事故。将桥桩的变形与桩周土的变形相减，可以得到桩周土与桥桩的相对位移。

如图4所示，X轴为桩周土的沉降值减去桥桩的竖向位移值，可以得到桩周土与桥桩的相对位移。其中正值代表桥桩相对桩周土位移向下，即产生正的摩阻力，负值表示桥桩相对桩周土位移向上，产生负摩阻力，下文正负值所表示含义与此一致。由图4中可以看出，桥桩在隧道开挖和底部桩端处全部为负值，桥桩在这两处有可能产生负摩阻力。

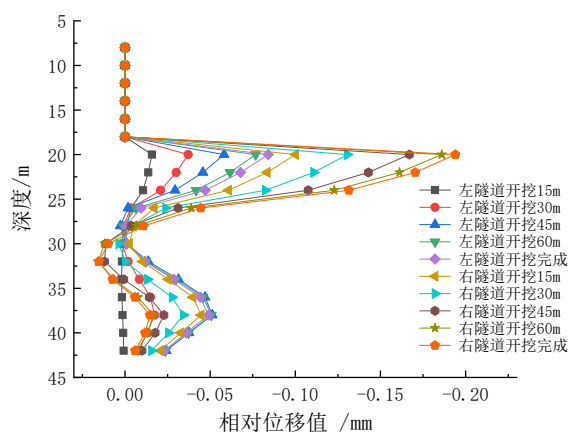


图4 工况一左桥桩与桩周土相对位移

### 3.1.2 后开挖桥桩与桩周土相对位移

由图 5 中可以看出在上侧桩端有可能产生负摩阻力且在隧道深度范围内产生正摩阻力,其面积可以与桩端处产生的负摩阻力抵消。相比与工况一、工况二产生的负摩阻力对桥桩承载力的影响较小。

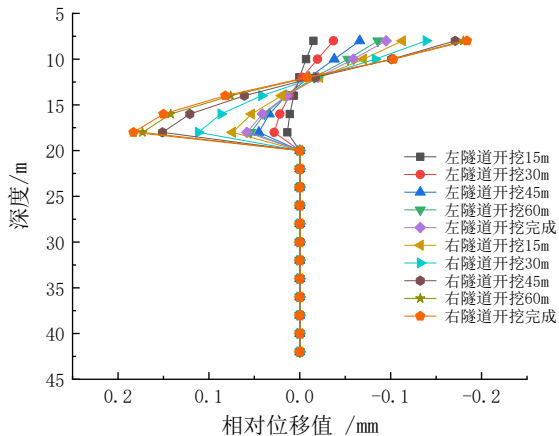


图5 工况二左桥桩与桩周土相对位移

### 3.2 土仓压力影响分析

本小节设置如下三种工况进行比较。工况一：土仓压力 0.2MPa；工况二：土仓压力 0.4MPa；工况三：土仓压力 0.6MPa。

#### 3.2.1 左桥桩与桩周土相对位移分析

由图 6 中可以看出桥桩在隧道深度范围和下桩端范围有可能产生负摩阻力。且产生负摩阻力的地方大于正摩阻力的地方,三种工况引起的相对位移值相差不大,所以土仓压力对左桥桩与桩周土的相对位移影响较小。

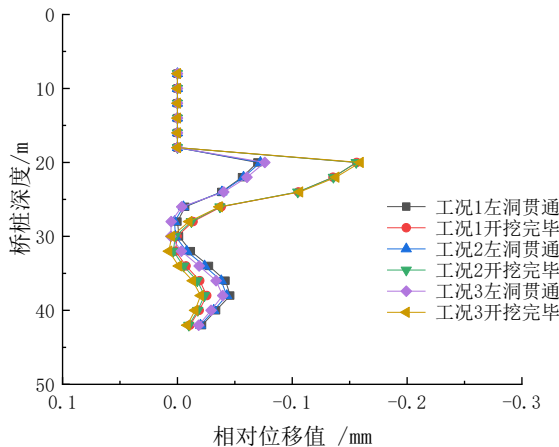


图6 左桥桩相对位移值

#### 3.2.2 右桥桩与桩周土相对位移分析

由图 7 可以看出在上侧桩端有可能产生负摩阻力且在隧道深度范围内产生正摩阻力,其面积可以与桩端处产生的负摩阻力抵消。三种工况引起的相对位移值相差不大,所以开挖速度对右桥桩与桩周土的相对位移影响较小。

不大,所以土仓压力对右桥桩与桩周土的相对位移影响较小。

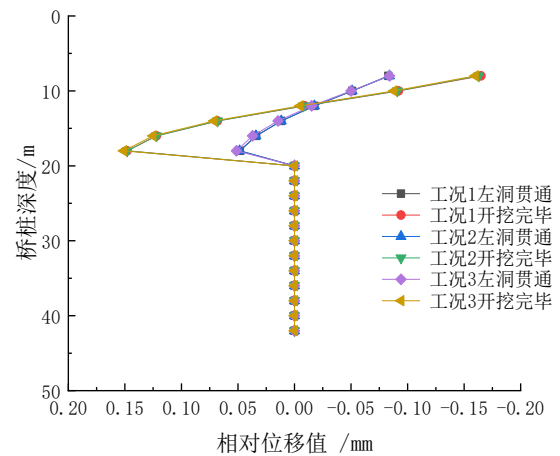


图7 右桥桩相对位移值

### 3.3 掘进速度影响分析

由于管片宽 1.2m,本小节设置如下三种工况进临近桥桩地层模拟分析。工况一：以 3.6m 为一日进尺；工况二：以 6m 为一日进尺；工况三：以 8.4m 为一日进尺。

#### 3.3.1 左桥桩与桩周土相对位移分析

由图 8 中可以看出桥桩在隧道深度范围和桩端范围有可能产生负摩阻力。且产生负摩阻力的地方大于正摩阻力的地方,三种工况引起的相对位移值相差不大,所以开挖速度对左桥桩与桩周土的相对位移影响较小。

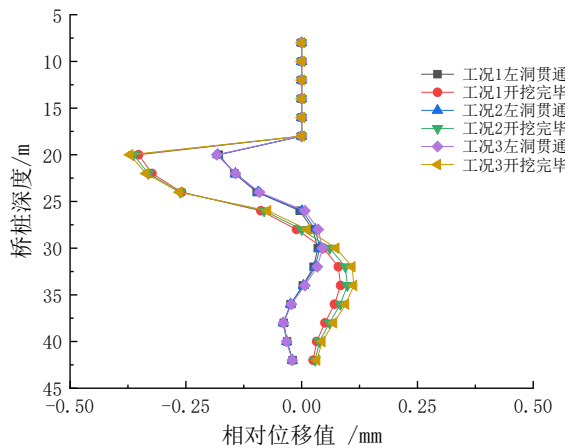


图8 左桥桩相对位移值

#### 3.3.2 右桥桩与桩周土相对位移分析

由图 9 中可以看出在上侧桩端有可能产生负摩阻力且在隧道深度范围内产生正摩阻力,其面积可以与桩端处产生的负摩阻力抵消。三种工况引起的相对位移值相差不大,所以开挖速度对右桥桩与桩周土的相对位移影响较小。

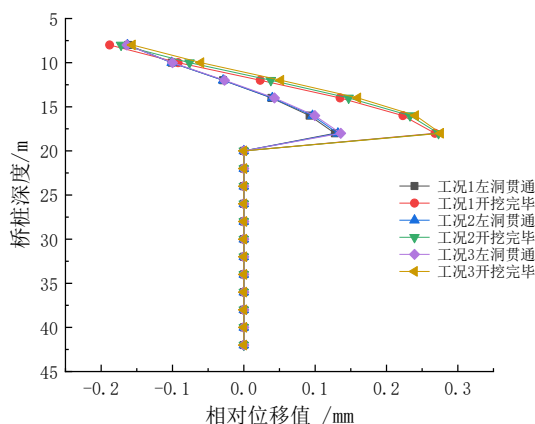


图9 右桥桩相对位移值

#### 4 结论

本文主要进行的工作是研究三种施工因素对桥桩竖直位移、桥桩桩周土的竖直位移、桥桩与其桩周土的侧向位移、桥桩侧向位移的影响,综合分析其对桥桩产生的影响,用以指导隧道盾构施工。

开挖顺序的两种施工因素对桥桩的竖向位移和桥桩的水平位移影响,通过桥桩的相对位移可以看出,先开挖左桥桩容易产生较大区域的负摩阻力区域,这会间接增加桥桩上端的承载力。反观先开挖右洞的工况,产生正摩阻力区域和负摩阻力区域面积大致持平。并且研究其水平位移,先开挖左洞对桥桩的影响确实大于先开挖右洞对左侧桥桩的影响,工况一开挖最终对左桥桩的影响为 2.36mm,而对右桥桩的影响大小为 2.24mm,由于模型对称,即工况二对左桥桩的影响与工况一对右桥桩影响大小相同,小于工况一。综上所述,应当选择先开挖左洞的工况。

土仓压力对桥桩和桩周土以及其竖直的相对位移几乎影响不大,所以三种工况皆可,而从侧向位移来看,土仓压力越大,桥桩的侧向位移越大。综合看来还是应当选择土仓压力较大的工况三即 0.6MPa 的土仓压力。

掘进速度对桥桩和桩周土的竖直位移同样影响不大,从桥桩的水平位移来看,桥桩桩身的变形呈倒葫芦形状,开挖速度越大,则隧道深度桥桩侧向位移越大,但是影响幅度又不至于过大。综上所述,在不延误工期的情况下应当选择 6m/d 的开挖速度比较稳妥。

#### [参考文献]

- [1] 代洪波,季玉国.我国大直径盾构隧道数据统计及综合技术现状与展望[J].隧道建设(中英文),2022,42(5):757-783.
  - [2] 赵丽雅.盾构隧道近距离侧穿高架桥桥桩风险分析[J].四川建筑,2019,39(5):112-114.
  - [3] 魏纲,赵得乾麟,黄睿.盾构施工对邻近隧道影响的模型试验研究综述[J].现代隧道技术,2021,58(5):1-8.
  - [4] 孙逸玮.盾构隧道施工诱发邻近桥梁桩基变形机理与注浆控制研究[D].长沙:长沙理工大学,2022.
  - [5] 赵方彬.盾构法修建地铁隧道的技术现状与展望[J].工程建设与设计,2018(20):191-192.
  - [6] 周海华.地铁隧道盾构下穿高架桥施工优化及风险评估[J].山东交通科技,2023(2):26-29.
  - [7] 任建喜,杨锋,朱元伟.邻近建筑物条件下西安地铁盾构施工风险评估[J].铁道工程学报,2016,33(7):88-93.
- 作者简介:杨春华(1971.1—),女,专业:城市轨道交通工程,学历:本科,职称:工程师。