

大直径盾构近距离平行侧穿高架桩基的影响分析

尹富秋, 冯 雷, 陈向科

[上海城投公路投资(集团)有限公司, 上海市 200050]

摘 要: 沪通二期宝山隧道工程规模为单洞双线隧道, 盾构段长度约2 km, 采用泥水平衡盾构法施工, 盾构管片外径13.1 m。根据路线规划方案, 该隧道全程与同济快速路高架桥并行, 与同济快速路距离由最近3 m至逐渐远离。为分析隧道近距离穿越对既有桥梁桩基的影响, 采用MIDAS GTS有限元软件, 对桩基与隧道边净距不同的2种典型断面建立有限元模型, 以模拟隧道侧穿高架桥的施工过程, 并根据桩基所受影响程度, 提出了相应的不同刚度隔离桩保护措施。结果表明, 随着高架桥桩基与隧道边净距的增加, 隔离桩的刚度需逐渐提高, 才能有效减轻盾构侧穿施工对高架桥的影响。

关键词: 盾构隧道; 平行侧穿; 高架桩基; 数值模拟; 保护措施

中图分类号: U447

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)10-0223-04

Analysis of Influence of Large-diameter Shield Tunneling through Elevated Pile Foundations in Parallel at Close Range

YIN Fuqiu, FENG Lei, CHEN Xiangke

[Shanghai Chengtou Highway Investment (Group) Co., Ltd., Shanghai 200050, China]

Abstract: The scale of the Hutong Phase II Baoshan Tunnel Project is a single-tunnel double-track tunnel. The length of shield section is about 2 km. The construction is carried out by using the slurry balance shield tunneling method. The outer diameter of the shield segments is 13.1 m. According to the route planning scheme, the tunnel runs parallel to the Tongji Expressway Elevated Bridge throughout the entire process. The distance to Tongji Expressway starts from the nearest 3 m and gradually decreases. To analyze the impact of short-distance tunnel passage on the existing bridge pile foundations, MIDAS GTS finite element software is used to establish the finite element models for two typical cross-sections with different net distances between pile foundations and tunnel edges in order to simulate the construction process of tunnel side crossing elevated bridges. Based on the degree of impact on pile foundations, the corresponding protective measures with different stiffness isolation piles are proposed. The results indicate that as the increase of clear distance between the elevated bridge pile foundation and the tunnel edge, the stiffness of the isolation pile needs to be gradually improved in order to effectively reduce the impact of shield tunneling construction on the elevated bridge.

Keywords: shield tunnel; parallel lateral passage; elevated pile foundation; numerical simulation; protection measures

0 引 言

随着城市地下空间开发日趋完善,隧道选线时,很难做到规避所有地面建(构)筑物,因此隧道施工过程中经常会遇到近距离穿越桥梁桩基的情况。盾构施工会导致其周边土体应力场的改变,从而对邻近的桥梁桩基产生不利影响。

针对这一问题,国内外众多学者已经进行了大量的研究工作,并主要通过注浆加固、设置隔离桩等

工程措施来减轻盾构施工引起的土体扰动对建筑物的影响。这些研究普遍取得了令人满意的工程效果。李杰^[1]研究分析了钻孔灌注桩隔离加固技术,证实了使用灌注桩作为隔离桩,可以有效降低盾构施工对高铁桥结构的影响。卢致强等^[2]则专注于研究隔离桩在隧道侧向穿越邻近建筑物时的应用效果及其影响因素,深入探讨了隔离桩的长度、位置、隧道的埋深以及隧道与建筑物之间的距离等因素对隔离效果的影响。郝丁等^[3]以天津地下直径线项目为实例,对比分析了桥梁桩基在加固和未加固2种条件下受盾构推进影响的位移情况,结果证明采用隔离加固措施能显著减少桩基位移,加固成效显著。

收稿日期: 2024-07-26

作者简介: 尹富秋(1982—), 男, 学士, 高级工程师, 从事工程建设管理工作。

基于以上学者的研究成果,本文进一步分析了超大直径盾构侧向穿越桥梁桩基时,根据桩基受影响程度的不同,采取不同刚度隔离桩保护措施的加固效果。通过深入分析,旨在为类似的复杂工程提供更加科学、有效的保护策略。

1 工程概况

沪通二期宝山隧道工程规模为单洞双线隧道,全长约3 km,其中盾构段长度约2 km,采用泥水平衡盾构法施工。隧道采用单层钢筋混凝土衬砌,管片外径13.1 m,厚度0.6 m,环宽2 m,混凝土强度等级为C60。盾构隧道覆土厚度最大为13.5 m,最小为6.6 m。盾构隧道所处地层土质主要为淤泥、淤泥质黏土、粉土、粉质黏土。

盾构隧道与同济快速路高架桥及NE匝道平行。根据承台桩基与隧道的净距将承台进行分类,小于5 m的承台有4个,5~10 m的承台有11个,10~15 m的承台有9个。其中最小净距仅为3 m。盾构隧道与G1503和同济快速路高架桥相对位置关系见图1。

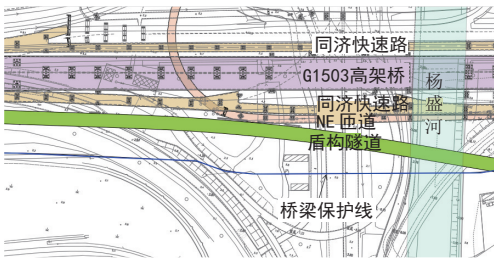


图1 盾构隧道与G1503和同济快速路高架桥相对位置关系

根据桩基与隧道的实际距离,本工程对距离隧道10 m以内的承台采取保护措施。保护方案如下:

- (1)对于距离盾构隧道3~5 m的桩基,设置钻孔灌注桩为隔离桩,桩径0.8 m,间距1 m,桩长至隧道以下5 m。
- (2)对于距离盾构隧道5~10 m的桩基,设置三轴搅拌桩为隔离桩,桩径0.85 m,间距0.6 m,桩长至隧道以下5 m。

2 计算模型

2.1 模型介绍

本文选取了2个典型断面,分析盾构对既有高架桥的影响。2个典型断面中,桩基与隧道边净距分别为3 m和5 m。承台均为4桩承台,尺寸为4.5 m×4.5 m×2.2 m,桩长为68 m。盾构隧道与既有桩基相对位置关系见图2。

对以上典型断面建立有限元模型,分别命名为

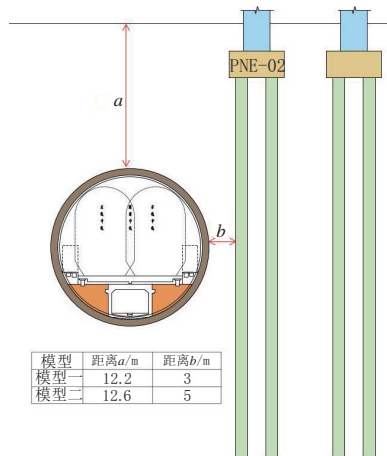


图2 盾构隧道与既有桩基相对位置关系

模型一、模型二。模型一采用钻孔灌注桩作为隔离桩对桥梁进行保护,模型二采用三轴搅拌桩对桥梁进行保护。

模型的选取范围要充分考虑大直径盾构隧道施工的有效影响范围,并尽可能减弱边界带来的影响。根据以上原则,模型尺寸长90 m,宽108 m,高100 m。模型包括隧道管片结构、隧道周围等代层、盾构机机壳、桥梁承台、桩基、桥墩,以及周围土体。

有限元模型一、模型二见图3。

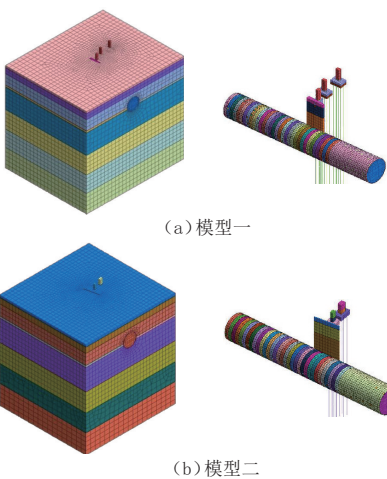


图3 有限元模型

2.2 模型参数

土体采用修正摩尔-库伦模型,土层参数见表1。盾构机壳采用壳单元,为弹性材料,考虑到盾构机壳有许多钢支撑,盾构机壳实际刚度非常大,因此假定盾构机壳刚度很大,能保证机壳变形小于衬砌变形。

衬砌采用C60混凝土,在模型中采用板单元进行模拟。考虑管片接头的存在使管片环整体刚度降低,因此对管片刚度进行折减,折减系数为0.8^[4]。

等代层采用弹性材料,其材料为早期浆液,弹性模量为0.05 MPa。

隔离桩采用矩形实体单元模拟,矩形实体弹性模量为隔离桩实际弹性模量,厚度由隔离桩实际刚度转换计算而得。桥梁桩基采用桩单元模拟,桩单元可模拟桩土之间的接触关系。

土层参数、隔离桩参数和桩单元参数见表 1 至表 3。

表 1 土层参数

土层编号	土层名称	重度/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	黏聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	压缩模量/ kPa		
					E_{50}	E_{oed}	E_{ur}
① ₋₁	填土	18.0	10.0	20.0	5.4	4.50	31.5
③ ₄	粉土	19.2	7.8	25.3	11.2	9.36	65.5
④	淤泥	16.4	6.0	2.8	3.0	2.55	17.9
⑥ ₃	粉质黏土	20.0	60.7	12.6	12.4	10.35	72.5
⑦ ₃	粉质黏土	18.5	18.5	12.6	15.6	13.05	91.4
⑦ ₄	粉土	18.9	7.2	30.8	24.9	20.70	62.4
⑧ ₅	粉砂	19.6	3.0	30.0	27.5	27.50	82.5
⑧ ₇	中砂	20.0	1.3	40.4	35.0	35.00	105.0

表 2 隔离桩参数

材料	弹性模量/ kPa	容重/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	泊松比
三轴搅拌桩	100	20	0.3
C40 钻孔灌注桩	3.25×10^4	25	0.2

表 3 桩单元参数

材料	最终侧摩阻/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$)	剪切刚度模量 K_s / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	法向刚度模量 K_n / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)
桩界面	20	1 120	11 200

2.3 施工工况模拟

整个模型模拟盾构掘进 60 m,每隔 2 m 为 1 个开挖步,共计 30 个开挖步。为避免边界效应对结果的影响,前 10 个开挖步都进行位移清零。从距离桩基 20 m 位置开始进行位移累加,一直到隧道穿越桩基 20 m 后结束。模型模拟了盾构隧道穿越桩基前、中、后的整个过程。

3 计算结果及分析

3.1 未采取保护措施时的桩基变形

未采取保护措施时,在盾构穿越后,模型一桥梁桩基最大沉降为 8.4 mm,承台处最大水平变形为 1.6 mm,桩身水平最大位移为 4.95 mm;模型二桥梁桩基最大沉降为 5.82 mm,承台处最大水平变形为 1.2 mm,桩身水平最大位移为 1.87 mm。桥梁桩基结构变形见图 4、图 5。

3.2 采取保护措施后的桩基变形

采取保护措施后,在盾构穿越后,模型一桥梁桩基最大沉降为 4.48 mm,承台处最大水平变形为 1.1 mm,桩身水平最大位移为 3.62 mm;模型二桥梁桩基最大沉降为 3.53 mm,承台处最大水平变形为 0.97 mm,桩身水平最大位移为 1.59 mm。桥梁桩基

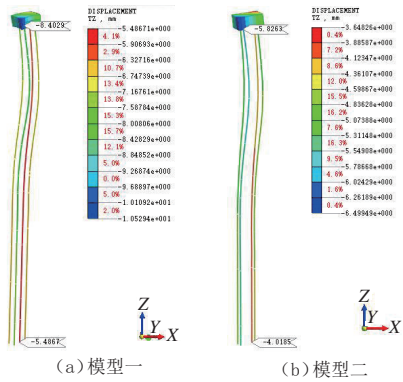


图 4 盾构穿越后桥梁桩基结构沉降图(未采取保护措施)
(单位:mm)

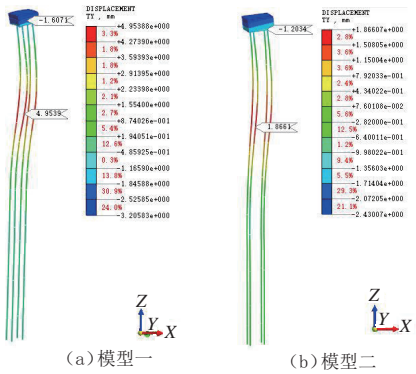


图 5 盾构穿越后桥梁桩基结构水平变形图(未采取保护措施)
(单位:mm)

结构变形见图 6、图 7。

3.3 计算结果分析

对比采取保护措施前后的桩基变形和沉降结果可知,采取保护措施后,对于桩基沉降而言,模型一减少了 47%,模型二减少了 39%;对于桩基水平位移而言,模型一减少了 27%,模型二减少了 15%。这一数据说明,隔离桩的设置可以有效减小盾构侧穿对桥梁桩基的影响,且隔离桩的刚度越大,隔离效果越好。

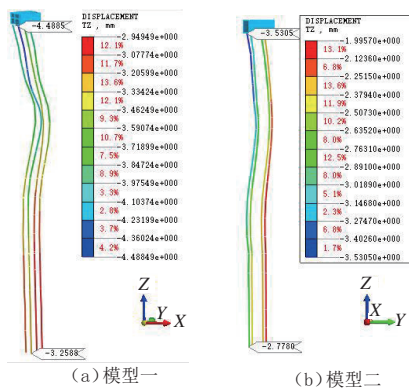
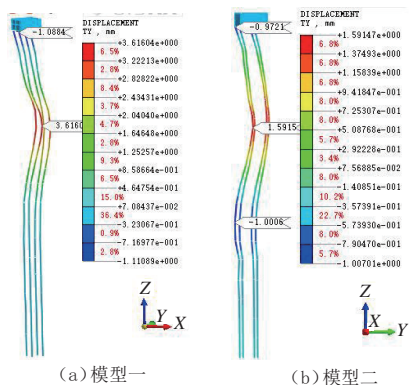


图6 盾构穿越后桥梁桩基结构沉降图(采取保护措施)(单位:mm)

图7 盾构穿越后桥梁桩基结构水平变形图(采取保护措施)
(单位:mm)

4 结 语

(1)在超大直径盾构施工中,采取隔离桩保护措施能显著减少桥梁桩基的沉降和水平位移,从而有效保护邻近的桥梁结构。

(2)在不同距离条件下,采用不同刚度的隔离桩均可以有效减小盾构侧穿对既有桥梁的影响,隔离桩刚度越大,控制桥梁桩基变形效果越好。

(3)从工程应用的角度看,本研究为盾构隧道设计和施工单位提供了重要的技术指导,尤其是在城市复杂环境下的地下空间开发方面,研究结果对于提高城市地下工程的安全性、降低环境影响具有长远的意义。

参考文献:

- [1] 李杰. 盾构下穿高铁桥群钻孔灌注桩隔离加固技术[J]. 公路, 2018, 63(1): 262-270.
- [2] 卢致强, 曹平, 刘建伟, 等. 地铁隧道侧穿邻近建筑中隔离桩的应用研究[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(12): 94-99.
- [3] 郝丁, 韩玲冲. 大直径盾构穿越桥梁桩基的安全性分析[J]. 北京建筑工程学院学报, 2014, 30(2): 27-31.
- [4] 叶飞, 苟长飞, 陈治, 等. 盾构隧道同步注浆引起的地表变形分析[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(4): 618-624.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: roadbridgeflood@163.com

