

与在建地铁共线的城市桥梁基础及 基坑维护方案研究

何巍

(上海浦东工程建设管理有限公司,上海市 201210)

摘要: 随着社会的不断发展,许多城市修建了越来越多的城市快速路和地铁。由于快速路网和地铁网的不断加密,城市快速路和地铁共线的情况也越来越多。在临近既有地铁或在建地铁的工况下新建城市快速路,如何采取措施才能保证各自结构的安全至关重要。依托上海某城市快速路新建工程,针对该工程与在建地铁共线的情况,着重对该工程临近地铁位置的设计方案进行研究,重点进行桥梁基础形式的比选和分析,提出了桩基形式采用钻孔桩桩底注浆+永久钢护筒、基坑形式采用贴壁式永久拉森钢板桩的保护方案,为相似的临近地铁的城市桥梁新建工程提供参考。

关键词: 城市桥梁;地铁;桩基

中图分类号: TU473

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0224-04

Research on Maintenance Schemes for Urban Bridge Foundations and Foundation Pits Shared with Under-construction Subway Lines

HE Wei

(Shanghai Pudong Engineering Construction Management Co., Ltd., Shanghai 201210, China)

Abstract: With the continuous development of society, an increasing number of urban expressways and subways is built in many cities. Due to the continuous densification of the expressway network and the subway network, there are more and more cases where urban expressways and subways share the same lines. Under the condition of newly building the urban expressways adjacent to the existing subways or under-construction subways, it is of vital importance to take the measures to guarantee the safety of their respective structures. Relying on a new urban expressway project in Shanghai, aiming at the situation that this project shared with the under-construction subway line, the focus is on studying the design scheme of this project adjacent to the subway position, and the foundation form of foundation pit is specially compared and analyzed. A protection scheme is proposed, which adopts the bored pile bottom grouting + permanent steel casing for the pile foundation form and the wall-mounted permanent Larsen sheet piles for the foundation pit form, providing a reference for the construction of similar new urban bridge projects adjacent to subways.

Keywords: urban bridge; subway; pile foundation; subway shared line; structural safety

0 引言

近年来,随着社会的发展和进步以及城市人口的不断增加,许多城市尤其是大型城市的交通压力也在不断增大。为缓解交通压力,提高通行效率,便于人们出行,往往采用修建地铁和城市快速路的方案,以便不断地完善路网和轨道交通网络。

在我国,城市快速路一般采用高架桥梁的形式建设,而地铁则较多的采用地下隧道的形式建设。

早期修建城市快速路和地铁时,由于快速路网和地铁网分布相对稀疏,相互之间的影响也相对较小。但随着城市的不断发展,快速路网和地铁网络密度的不断提高,新修建城市快速路和地铁时,往往会存在较多的相互影响,甚至会出现城市快速路和地铁共线的情况。李俊龙,黄小国等研究了在桥梁与盾构距离较近时,桥梁建设对既有盾构的影响,以及既有盾构建设对现状桥梁的影响,并提出了加强桥梁基础配筋,盾构周边土体注浆等措施。但以往研究的工况多针对于桥梁基础与盾构净距在3 m左右或3 m以上的情况,当桥梁基础与盾构净距仅1.5 m的工况缺少研究。现有研究的局限性主要体现在以下

收稿日期: 2025-07-03

作者简介: 何巍(1973—),男,工学学士,高级工程师,从事建设工程全过程咨询管理工作。

几个方面,首先是缺乏对极小净距条件下结构相互作用的系统分析,特别是当净距缩小至 1.5 m 时,盾构施工引起的地层损失对桥梁桩基产生的水平位移影响更为显著;其次是在软土地质条件下,不同基础形式(钻孔桩与钢管桩)在动态施工过程中的适应性对比研究不足;最后,针对钻孔桩加钢护筒与钢管桩方案的经济性,目前尚缺乏详细的造价对比研究。针对这种情况,在修建城市快速路和地铁时,如何采取措施才能够保证各自结构的安全至关重要^[1-5]。因此,需要对临近地铁的城市桥梁设计方案进行进一步的研究,弥补现有研究的局限性。

依托上海某城市快速路新建工程,针对该工程与在建地铁共线的情况,着重于对该工程与地铁共线段的设计方案进行研究,重点进行桥梁基础形式的比选和分析,为相似的涉及地铁的城市桥梁新建工程提供参考。

1 工程概况

上海市某城市快速路新建工程采用全线高架的总体方案,工程采用双向 4 车道断面布置,标准桥宽 17.5 m,标准结构形式采用简支小箱梁结构、桥面连续,标准跨径为 30 m,并且在跨路口、跨河道等位置采用连续钢箱梁、连续组合梁或简支组合梁等大跨径结构。高架桥梁的下部结构采用独柱墩+大挑臂预应力混凝土盖梁的形式,基础形式采用摩擦桩基础,并通过承台将桩基和立柱相连。桥梁标准横断面如图 1 所示。

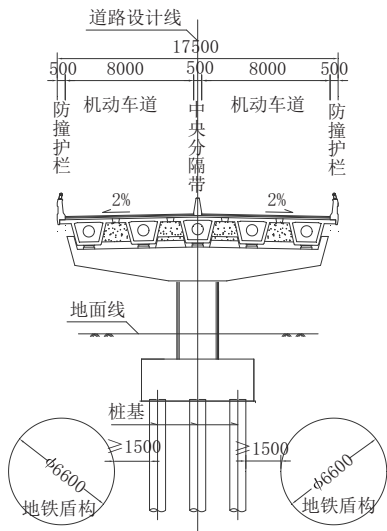


图 1 桥梁标准横断面示意(单位:mm)

该工程与在建地铁共线布置,在建地铁采用双洞盾构的形式,盾构外径 6.6 m,盾构衬砌厚度 0.35 m,

盾构的土压平衡系数约 1.05,盾构顶埋深 9~19 m。

桥梁设计与地铁的相互影响主要存在于桩基和承台维护结构,因此对桥梁桩基和承台维护结构方案开展研究。

2 桥梁桩基比选分析

2.1 桩基选型分析

上海地区的地质特点多以软土为主,较适宜的桥梁基础形式为摩擦桩基础。常规采用的有预应力管桩、钻孔灌注桩和钢管桩。预应力管桩在工程造价上虽然最为便宜,但振动和噪声较大,容易对周边环境造成噪声污染,并且挤土效应明显。本工程位于市区,桥位附近存在较多商场、住宅,道路两侧存在管线,采用预应力管桩,对周边的建筑和管线会产生较大的影响,故首先排除。

本工程另一个特点是,桩基实施完成后,短期内将进行轨道交通的盾构作业,或者盾构先行实施,完成后短期内进行桩基施工。桩基距离轨道交通盾构的净距多在 1.5~3 m 范围内,根据地铁建设方的提资,地铁盾构引起的地层损失率约为 0.5%,且盾构过程中对周边土体有一定扰动,从而对桥梁基础产生主要影响如下。

(1)当桥梁桩基先实施后盾构时,地层损失导致盾构中心及上下一定范围内的土体产生往盾构方向的位移,将引起临近的桩基产生水平位移。

(2)当先盾构后施工桥梁桩基时,若采用钻孔桩,为防止塌孔引起盾构结构水平位移破坏,桩基需设置永久钢护筒,护筒长度至少延伸至盾构底以下不小于 3 m。

(3)盾构导致周边土体松动,在盾构一定范围内,影响桥梁桩基的侧摩阻力。

因此,若先盾构后施工桥梁桩基,可采用的方案有钢管桩或钻孔桩同时临近盾构的一侧设置永久钢护筒,若桥梁桩基先实施后盾构时,可进一步比选钢管桩和无永久钢护筒的钻孔桩方案。

2.2 桥梁桩基先实施后盾构工况的有限元模拟分析

为分析盾构隧道施工对既有桥梁桩基的影响,采用 MIDAS GTS NX 2023 版有限元软件进行模拟计算分析,针对钻孔灌注桩方案和钢管桩方案,详细研究盾构施工对桩基产生的影响,钻孔灌注桩直径取 1 m,桩长取 60 m,钢管桩直径取 0.8 m,桩长取 50 m,两者在地基承载能力上基本等效^[6-10]。

同时统计沿线地铁盾构的埋深数据,得到沿线

地铁盾构最大埋深约 19 m,最小埋深约 9 m,故确定以下 4 种计算工况。

- 工况 1:采用钢管桩,盾构隧道埋深 9 m。
- 工况 2:采用钢管桩,盾构隧道埋深 19 m。
- 工况 3:采用钻孔桩,盾构隧道埋深 9 m。
- 工况 4:采用钻孔桩,盾构隧道埋深 19 m。

模型中桩基与盾构的净距按 1.5 m 进行模拟,以工况 1 为例,有限元分析模型尺寸为 50(X)×60(Y)m,如图 2 所示。

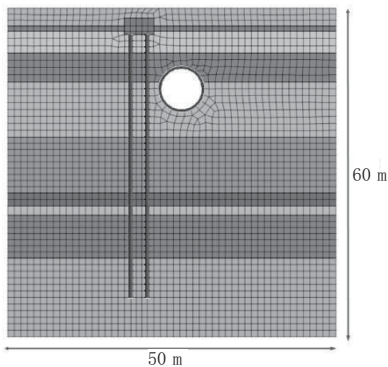


图 2 有限元模型示意

模型中土体按理想弹塑性体考虑,选用修正摩尔库伦屈服准则,承台与土体采用平面应变单元模拟,桥梁桩基和盾构衬砌采用一维梁单元模拟,分析中通过单元的“激活、钝化”实现土体开挖、结构施作等施工过程。

模型中所有边界条件均为位移边界条件。其中:地表为自由边界条件;模型左、右表面水平(X)位移限制为零,其它方向自由;模型底部边界的竖向(Y)位移限制为零,其它方向自由。初始地应力的计算主要考虑土体自重,由有限元程序直接求得初始应力场。

- 结合实际施工工序,设定计算工序如下。
- 工序 1:土体初始应力场计算,位移清零。
 - 工序 2:土体开挖,同时激活盾构衬砌。

在各工况连续计算中,位移和应力逐次累加,上一工况的位移和应力将作为下一工况的初始应力和位移状态^[11-15]。

计算可得各工况桩基水平位移结果,钢管桩桩身正应力、剪应力结果,灌注桩桩身弯矩、剪力结果,并取最不利结果如表 1 所示。

计算可得,当桩基采用钻孔灌注桩时,地铁盾构引起桩身最大水平位移约 10 mm,地铁盾构引起最大弯矩为 1210 kN·m,叠加上静力工况后基本组合的弯矩约 2020 kN·m(地铁盾构引起弯矩的组合系

表 1 计算结果汇总

	钻孔桩	钢管桩
桩身最大水平位移/mm	10	12
盾构引起桩身最大弯矩/kN·m	1210	
盾构引起桩身最大剪力/kN	552	
盾构引起桩身最大正应力/MPa		58
盾构引起桩身最大剪应力/MPa		22

数暂取 1.0),对桩基配筋进行加强,采用 D32 的纵筋和 D12 的箍筋,按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362-2018)中第 5.3.8 条计算可得,桩基压弯承载能力安全系数为 0.96,小于 1.0,不满足规范要求。地铁盾构引起桩身最大剪力为 552 kN,叠加上静力工况后基本组合的剪力约 816 kN·m(地铁盾构引起剪力的组合系数暂取 1.0),接近桩身抗剪承载能力 865 kN,桩身抗剪强度安全储备小。在此情况下,若要采用钻孔灌注桩方案,应设置钢护筒用以抵抗桩身变形。

当桩基采用钢管桩时,地铁盾构引起桩身最大水平位移约 12 mm,引起桩身最大正应力为 58 MPa,叠加上静力荷载后的桩身最大拉应力为 204 MPa,小于 270 MPa,最大剪应力为 22 MPa,叠加上静力荷载后的桩身最大剪应力为 34 MPa,小于 155 MPa,桩身强度均满足要求且具有一定的安全储备。

3 经济性比较分析

为进一步保证方案的合理性,针对单个承台分别采取钻孔桩+钢护筒方案和钢管桩方案进行经济性对比如下。

经过测算,单根钢管桩的费用约 17 万元,单根钻孔桩的费用约 10 万元,单根钢护筒的费用约 9 万元。考虑到本工程并非所有桩基都需设置钢护筒,统计后,仅约 40% 的桩基需设置钢护筒,故对钻孔桩+钢护筒方案和钢管桩方案的经济性估算对比如表 2 所示。

表 2 钻孔桩+钢护筒方案和钢管桩方案经济性估算对比表

方案	钢管桩	钻孔桩加钢护筒
费用比例	1	0.8
方案比选	比选	推荐

对比可得,由于距离较远的钻孔桩可不设置钢护筒,故从总造价上比较,钻孔桩加钢护筒的经济性优于钢管桩。

根据上述分析,当桩基距离盾构较近时,无论先盾构后施工桥梁桩基,还是先施工桥梁桩基后盾构,桥梁基础的 2 种等代方案均为钻孔桩+钢护筒方案

和钢管桩方案。

考虑到本工程大部分承台需在地铁盾构之后再实施,同时结合相关工程的实施经验,由于钢管桩免共振施工引起砂土液化对地铁盾构存在一定影响,同时为控制沉降,桩基需进入砂层较长,钢管桩打入困难,因此推荐采用钻孔灌注桩形式,临近地铁的桩基设置永久钢护筒。钻孔灌注桩桩径为 1.0 m。同时考虑到地铁盾构对土层扰动后影响盾构范围及以上土层的侧摩阻力,加之地铁对桥梁沉降要求高,故对桩长再进行适当加长并进行桩底注浆。桩端持力层选为 7-2 层及 9 层,平均桩长约 65 m。

4 盾构顶推完成后施工桥梁基础工况下的基坑维护方案

对于盾构顶推完成后施工桥梁基础的工况,需考虑承台基坑维护尽可能减小对地铁结构的影响,根据相关工程的实施经验和地铁管养单位的征询意见,承台基坑维护应在坑底采用水泥土搅拌桩进行加固,同时采用永久拉森钢板桩不拔除的形式并贴壁施工,以避免拉索钢板桩拔除产生的空隙引起盾构水平位移的风险,拉索钢板桩还可兼做承台浇筑的模板。

在坑深方面,应根据地铁埋深进行控制,保证基坑深度不超过地铁埋深的 1/2,基坑维护方案如图 3 所示。

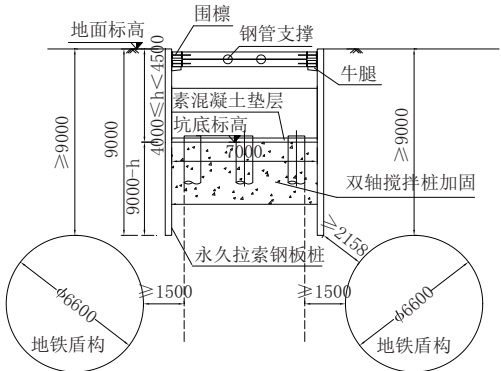


图 3 盾构后施工桥梁基础工况下的基坑维护方案

5 结 语

该文依托上海某城市快速路新建工程,针对该工程与在建地铁共线的情况,对桥梁基础选型进行分析,对比了多个桥梁基础方案的合理性和经济性,并给出了盾构顶推完成后施工桥梁基础工况下的基坑维护方案,最终形成如下结论和建议供相近工程参考。

(1)当桥梁桩基与地铁盾构距离仅 1.5 m 时,无

论盾构和桥梁桩基的施工先后顺序如何,均推荐采用钻孔桩+钢护筒的桥梁基础方案,护筒长度设置至盾构底以下不小于 3 m。该方案与钢管桩方案相比,桩身最大水平位移由 12 mm 减小至 10 mm,桩身强度安全系数由 1.3 增大到 2.0 以上,同时可节省约 20% 的造价,且与传统的钻孔桩加强配筋的方式相比,可适应盾构与桩基净距更近的工况,起到更好的保护效果。

(2)桥梁桩基设计时应不计入盾构范围及以上土层的侧摩阻力,同时应增加桩长并进行桩底注浆。

(3)对于盾构顶推完成后施工桥梁基础的工况,承台基坑深度应控制在不超过地铁埋深的 1/2,维护形式应采用永久拉森钢板桩贴壁施工不拔除的形式,并在坑底采用水泥土搅拌桩进行加固,钢板桩与盾构的净距应控制不小于 1.5 m。该方案与传统的拉森钢板桩拔除方案相比,可避免钢板桩拔除产生的空隙引起盾构水平位移的风险,同时钢板桩可兼做承台浇筑的模板,缩短施工时间。

参考文献:

[1] 李俊龙. 城市桥梁基础对既有地铁区间结构的影响分析[J]. 智能城市, 2022(3):30-32.
[2] 王皞,胡宏波. 盾构下穿既有铁路桥梁的加固与施工方案分析[J]. 建筑施工, 2024(2):229-232.
[3] 李天野. 考虑地层变形规律的盾构隧道下穿高速铁路桥梁段扰动性建模分析[J]. 广东交通职业技术学院学报, 2023(3):10-14.
[4] 黄小国,李新星,金峰. 盾构穿越桥梁桩基改造设计研究[J]. 中国市政工程, 2019(5):81-84.
[5] 谢涛,王天翔. 与地铁盾构(车站)相关的城市桥梁方案设计[J]. 城市道桥与防洪, 2022(5):104-107.
[6] 王宏宇. 地铁盾构隧道侧穿城市桥梁桩基数值模拟分析[J]. 山西建筑, 2022(2):147-150.
[7] 邓敦毅,侯建林,李鹏,等. 盾构隧道穿越桥桩加固方案影响性对比分析[J]. 山西建筑, 2019(6):155-157.
[8] 包芮,文彦鑫,刘莹,等. 双线盾构隧道施工对近接桥梁桩基的影响研究[D]. 2019(5):105-110.
[9] 陈子全,汪波,吴迪,等. 盾构隧道穿越桥梁桩基群的桩基托换技术研究[J]. 现代隧道技术, 2019(5):133-141.
[10] 张明,潘梦阳. 盾构近距穿越桥梁施工对地表及桥梁桩基的影响[J]. 科学技术与工程, 2019(27):311-320.
[11] 杨军,秦岭. 盾构隧道近接桥梁群桩分区方法与桩基施工技术[J]. 中国标准化, 2019(9):7-9.
[12] 周正晟. 南京轨交 5 号线盾构下穿机场高速桥梁施工技术研究[J]. 上海建设科技, 2019(4):25-29.
[13] 张洪峰. 浅埋盾构隧道近接桩基础渗流应力耦合安全性分析[J]. 公路工程, 2019(4):250-257.
[14] 杨利波. 地铁盾构隧道侧穿桥梁施工稳定性分析[J]. 科技创新与应用, 2024(18):67-70.
[15] 张军. 深埋地铁隧道对临近桥梁桩基的扰动分析[J]. 工程技术研究, 2024(7):20-23; 34.