

大直径盾构并行施工对邻近高铁桩板结构路基的影响程度分区研究^{*}

陈利民

(上海东华地方铁路开发有限公司, 200071, 上海)

摘 要 [目的] 大直径盾构在长距离、小净距并行邻近高铁施工时,对既有结构及周围环境的变形要求极为严格,需要根据影响程度分区,对可能受到较大影响的区域进行防护加固。[方法] 依托上海市轨道交通市域线机场联络线盾构并行沪杭高速铁路路基段工程,通过 FLAC3D 有限差分软件建立模型,分析盾构并行施工对高铁桩板结构路基的变形影响,明确不同施工条件下隧道与既有高铁的安全距离,得到盾构并行施工的影响程度分区。[结果及结论] 增大隧道埋深、高铁桩板结构桩长和隧道与路基的水平距离均能减小盾构并行施工引起的路基水平位移;增大隧道埋深会增加路基竖向位移,但受地质因素影响,出现增大隧道埋深,路基沉降减小的情况;得到不同施工条件下满足变形控制指标的安全距离及盾构并行既有高铁桩板结构路基的影响程度分区。

关键词 盾构施工; 高铁桩板结构路基; 有限差分法; 变形规律; 影响程度分区

中图分类号 U456: U455.43

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.06.024

Impact Degree Zoning of Large Shield Parallel Construction on Pile-plate Structure Roadbed of Adjacent High-speed Railway

CHEN Limin

(Shanghai Donghua Local Railway Development Co., Ltd., 200071, Shanghai, China)

Abstract [Objective] When a large-diameter shield is used for parallel tunnel construction adjacent to high-speed railway with long and small clear distances, it has extremely strict requirements for the deformation of the existing structure and the surrounding environment. There is the need to zone the affected area according to the influence degree, protect and reinforce the area that may be greatly affected. [Method] Based on the shield construction project of Shanghai Airport Link running in parallel with the roadbed section of Shanghai-Hangzhou High-speed Railway, a model is established by FLAC3D finite difference software to analyze the effect of parallel shield con-

struction on the deformation of the pile-plate structure roadbed of the high-speed railway, determine the safe distances between the tunnel and the existing high-speed railway under different construction conditions, and zone the area based on the influence degree of parallel shield construction. [Result & Conclusion] Increasing the buried depth of the tunnel, the pile length of the high-speed railway pile-plate structure and the horizontal distance between the tunnel and the roadbed can reduce the horizontal displacement of the roadbed caused by the parallel construction. Increasing the tunnel buried depth will increase the vertical displacement of the roadbed, but the roadbed settlement may reduce as the buried depth of the tunnel increases under the influence of geological factors. The safety distance meeting the deformation control index under different construction conditions and the zoning of different influence degrees when shield tunnel runs in parallel with the existing high-speed railway pile-plate structure roadbed are obtained.

Key words shield construction; high-speed railway pile-plate structure roadbed; finite difference method; deformation law; impact degree zoning

随着我国轨道交通的不断发展,出现越来越多盾构隧道下穿、平行、上跨既有高速铁路线路的工程,在这类工程问题中必须考虑盾构施工对既有高铁变形的影响^[1]。盾构施工会造成周围土体应力环境变化^[2],从而影响既有高铁的运营安全。文献[3]运用统计力学对影响分区表达式中的相关指标进行了研究,得到基于埋深比和几何近接度的近接影响分区。文献[4]研究了不同隧道埋深、下穿角度、地层类型等计算条件下盾构施工对高铁路基变形的影响。文献[5]通过数值模拟研究了不同覆土厚度、不同隧道净间距、不同围岩条件下新建隧道对既有隧道变形的影响。尽管上述学者对盾构施工引起的邻近既有结构变形开展了相关研究,但针

^{*} 上海市科委“科技创新行动计划”项目(19DZ1201000)

对软土地区大直径盾构并行邻近高铁工程对高铁桩板结构路基变形影响的研究鲜见报道。

本文依托上海市轨道交通市域线机场联络线(以下简称“上海机场线”)盾构并行既有沪杭高铁路基段工程,基于数值模拟研究不同施工条件下盾构并行施工对高铁桩板结构路基变形的影响规律,得到不同施工条件下满足变形控制指标的安全距离 S 以及大直径盾构并行既有高铁桩板结构路基的影响程度分区,可为类似工程提供参考。

1 工程概况

上海机场线连接上海虹桥与浦东机场,并能够实现与市中心交通的快速换乘。机场线盾构段(里程为DK6+645—DK7+002)长距离并行既有沪杭高铁,并行段隧道埋深为7.80~19.13 m,沿小里程往大里程方向,隧道埋深逐渐加深,隧道与高铁路基的水平距离逐渐减小,隧道外边缘与路基坡脚的最近距离为8.4 m,盾构并行沪杭高铁路基段最近节点处隧道纵断面图见图1。

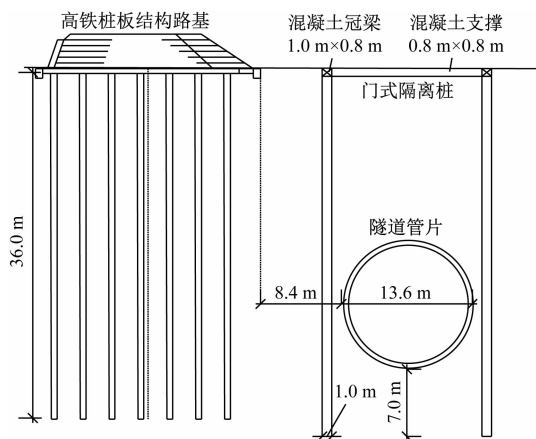


图1 隧道与路基位置关系横断面图

Fig.1 Cross section of shield tunnel and roadbed location

工程采用外径13.6 m的双线大直径盾构管片,其厚度为0.55 m。沪杭高铁路基高约3.6 m。路基底部采用厚0.5 m的C30混凝土桩板,桩板底部采用直径为0.6 m,间距为0.3 m的钻孔桩加固,桩长约36 m。

场地土层物理力学参数见文献[6]。上海机场线盾构并行沪杭高铁段工程中,盾构穿越土层具有高含水量、触变性、弱渗透性和明显的流变性等特点,其施工会引起周围土体和邻近高铁产生较大

变形。

2 数值模拟

2.1 数值模拟工况

为确定不同施工条件下的盾构并行既有高铁桩板结构路基的影响程度分区,本文工况考虑3个参数变量:①隧道埋深 H 分别取9.3 m、16.1 m、29.7 m、43.3 m;②高铁桩板结构桩长 h 分别取 $H-0.5$ m、 $H+0.5D-0.5$ m、 $H+1.0D-0.5$ m、 $H+1.5D-0.5$ m,其中 D 为隧道直径,0.5 m为路基底部承载板的加固厚度;③路基坡脚与隧道外边缘距离 L 分别取6.8 m、10.2 m、13.6 m、17 m、20.4 m、23.8 m、27.2 m、30.6 m、34 m、37.4 m、40.8 m、44.2 m、47.6 m。对这3个参数变量进行组合,形成208个数值模拟工况,针对不同组合工况建立数值模型,计算不同施工条件下盾构施工对高铁桩板结构路基的变形影响。

2.2 数值模型的建立

采用FLAC3D有限差分软件进行建模计算。模型包括高铁桩板结构路基、衬砌及土体,按照实际工程设置模型尺寸为110 m×6 m×70 m,如图2所示。本文采用应力释放系数法模拟隧道开挖,参照文献[7],在模拟中采用0.5%的地层损失率。

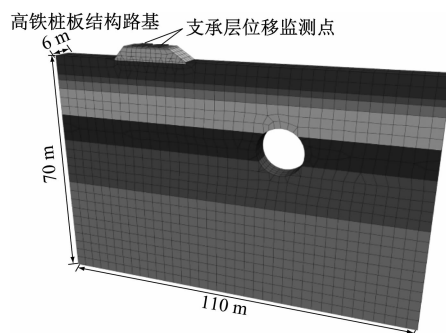


图2 模型示意图

Fig.2 Model diagram

2.3 模型参数的选取

高铁桩板结构路基的模型参数取值见表1。其中:桩顶与承载板刚接,通过摩擦接触来模拟桩土间的相互作用;隔离桩、冠梁和横撑均采用线弹性的实体单元来模拟,混凝土强度等级为C30,隔离桩顶与冠梁刚接,冠梁与横撑刚接;桩-土、冠梁-土、横撑-土间设置摩擦接触。

表 1 高铁桩板结构路基的模型参数

Tab. 1 Model parameters of high-speed railway pile-plate structure roadbed

结构层	厚度/m	弹性模量/ MPa	泊松比	密度/ (kg/m ³)
支承层	0.3	3.25×10^4	0.2	2 500
基床表层	0.4	180.00	0.2	2 300
基床底层	2.3	45.00	0.3	2 100
基床以下路堤	0.9	30.00	0.3	1 800
承载板	0.5	3.00×10^4	0.2	2 500
桩基		3.00×10^4	0.2	2 500

3 不同施工条件下高铁路基变形

3.1 高铁桩板结构路基的变形控制指标

邻近既有高速铁路进行基坑或盾构施工时,不可避免会对既有高速铁路路基产生扰动,从而产生各类变形,引起轨道不平顺。高速铁路对轨道平顺性有较高要求,根据《邻近铁路营业线施工安全监测技术规程》的规定,高速铁路无砟轨道水平和竖向位移均须控制在 2 mm 以内^[8-9]。因此,高铁桩板结构路基支承层水平和竖向位移的控制指标取为 2 mm。

3.2 计算结果分析

3.2.1 支承层水平位移

提取隧道埋深 $H=9.3$ m、 $H=16.1$ m、 $H=29.7$ m、 $H=43.3$ m 的计算结果,在不同 L 和 h 的条件下,支承层水平位移最大值如图 3 所示。由图可知,支承层水平位移受隧道埋深、高铁桩板结构桩长及路基与隧道水平距离的影响显著。增大隧道埋深、高铁桩板结构桩长和隧道与路基的水平距离均能明显减小支承层水平位移。结合高铁桩板结构路基支承层水平位移控制指标,计算的部分施工条件下,支承层水平位移最大值未超出变形允许限值。

3.2.2 支承层竖向位移

提取隧道埋深为 $H=9.3$ m、 $H=16.1$ m、 $H=29.7$ m、 $H=43.3$ m 的计算结果,在不同 L 和 h 的条件下,支承层竖向位移最大值如图 4 所示,结合支承层竖向变形控制指标明确各施工条件下支承层竖向位移是否超限。

由图 4 可知,支承层竖向位移受隧道埋深、高铁桩板结构桩长及路基与隧道水平距离的影响显著。增大高铁桩板结构桩长、隧道与路基水平距离均能

减小支承层竖向位移。增大隧道埋深支承层沉降先减小后增大,原因在于隧道埋深较浅时,盾构掘进面地层力学性质较差,随隧道埋深增加,盾构掘进面地层变好,此时盾构施工对桩板结构路基变形的影响小于隧道埋深较浅时的影响。

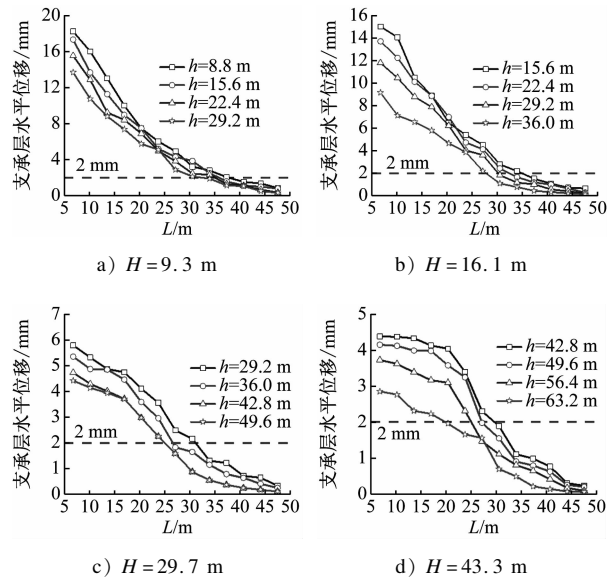


图 3 各施工条件下的支承层水平位移最大值

Fig. 3 Maximum vertical displacement of the support layer under various construction conditions

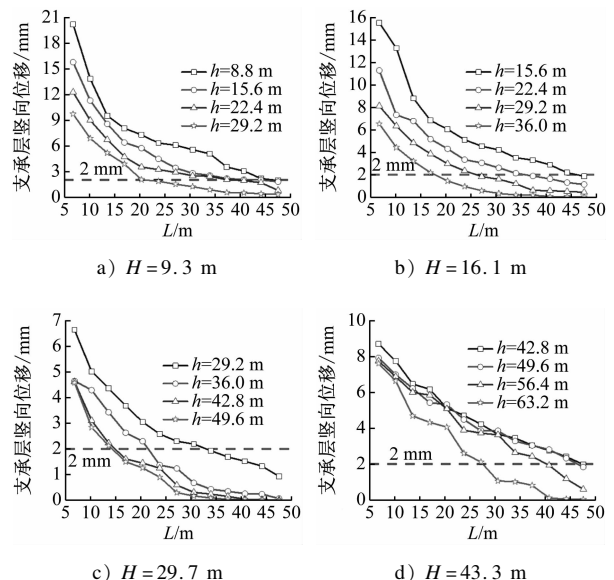


图 4 各施工条件下的支承层竖向位移最大值

Fig. 4 Maximum vertical displacement of the support layer under various construction conditions

结合高铁桩板结构路基支承层竖向位移控制指标,计算的部分施工条件下,支承层竖向位移最大值未超出变形允许限值。

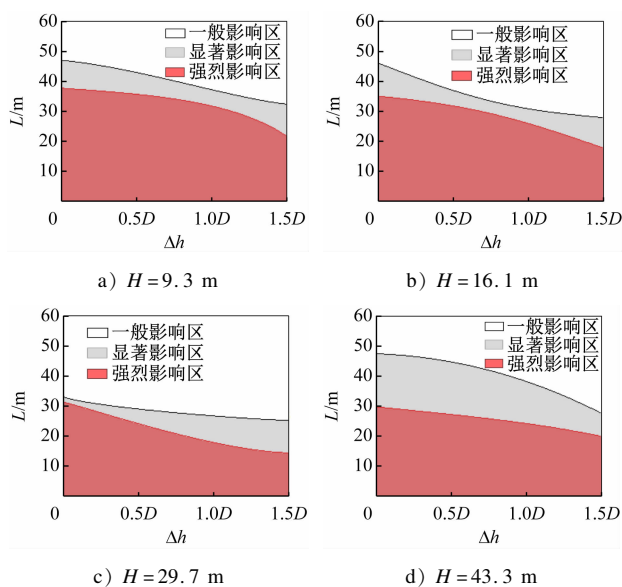
4 影响区域划分

4.1 影响区域划分标准及方法

对不同施工条件下支承层水平和竖向位移最大值进行插值处理,明确不同施工条件下隧道与既有高铁的安全距离,并绘制基于隧道与既有高铁安全距离的盾构并行高铁桩板结构路基影响程度分区图,同时以上述高速铁路无砟轨道水平和竖向位移 2 mm 限值为控制标准,将区域划分如下:①强烈影响区,高速铁路无砟轨道水平和竖向位移均超过 2 mm;②显著影响区,高速铁路无砟轨道水平和竖向位移其中一个超过 2 mm;③一般影响区,高速铁路无砟轨道水平和竖向位移均未超过 2 mm。

4.2 典型隧道埋深下的影响程度分区

图 3 和图 4 中分别以支承层水平和竖向位移控制指标(2 mm)绘制与横轴平行的水平线,得到与插值线相交点,随后过交点绘制与纵轴平行的竖直线,得到在不同施工条件下的安全距离 S ,并绘制基于隧道与既有高铁安全距离的盾构并行高铁桩板结构路基影响程度分区图。不同隧道埋深时的影响程度分区如图 5 所示。



注: $\Delta h = h - (H - 0.5 \text{ m})$ 。

图 5 不同隧道埋深时的影响程度分区图

Fig. 5 Zoning diagram of impact degree with different tunnel buried depths

当盾构外高铁桩板结构路基位于强烈影响区和显著影响区时,为有效控制盾构施工对高铁桩板结构路基变形及行车安全的影响,必须采取变形控

制措施。变形控制措施参考如下:

1) 详细勘察隧道穿越地层地质条件,根据岩土体参数等优化盾构施工参数,具体通过控制盾构机在掘进过程中的相关技术参数等。

2) 提前对隧道外部采取变形控制措施,具体为:对高铁路基采取控制措施以及隧道与高铁路基之间采取控制措施。上海机场线盾构并行沪杭高铁工程中采用桩板结构对路基进行加固,隧道与高铁桩板结构路基之间可采用土层位移隔断法、地层注浆加固等方法进行控制。

3) 加强施工期间现场的动态监控量测,及时掌握施工过程中既有高铁线路的动态信息并确保盾构施工造成的地层扰动对高铁桩板结构路基的影响在可接受范围内,从而对危及施工安全的潜在隐患提前准确预知,并采取有效措施进行补救,保证施工安全。

当盾构外高铁桩板结构路基位于一般影响区时,为有效控制盾构施工对高铁桩板结构路基变形及行车安全的影响,需进行辅助防护加固措施设计或建立科学的预警监测系统。

5 结语

本文基于上海机场线盾构并行沪杭高铁路基段工程,研究了不同施工条件下盾构并行施工对高铁桩板结构路基变形的影响规律,并结合变形控制指标,明确不同施工条件下隧道与既有高铁的安全距离,得到盾构并行高铁桩板结构路基的影响程度分区。得到以下结论:

1) 增大隧道埋深、高铁桩板结构桩长和隧道与路基的水平距离均能减小盾构并行施工对高铁桩板结构路基的水平位移。

2) 增大隧道埋深会增加盾构并行施工对高铁桩板结构路基的竖向位移,但受工程地质因素的影响,出现增大隧道埋深,路基沉降减小的情况。

3) 以高铁桩板结构路基变形控制指标为依据,得到不同施工条件下满足变形控制指标的安全距离,以及大直径盾构并行既有高铁桩板结构路基的影响程度分区(分为强烈影响区、显著影响区和一般影响区)。位于强烈影响区和显著影响区的高铁桩板结构路基处于危险状态,必须进行防护加固措施设计;位于一般影响区的高铁桩板结构路基需进行辅助防护加固措施设计或建立科学的预警监测系统。

参考文献

- [1] 王培鑫,周顺华,狄宏规,等. 基坑开挖对邻近铁路路基变形影响与控制[J]. 岩土力学, 2016, 37(增刊1): 469.
WANG Peixin, ZHOU Shunhua, DI Honggui, et al. Influence and control of foundation pit excavation on deformation of adjacent railway subgrade [J]. Rock and Soil Mechanics, 2016, 37 (SI): 469.
- [2] 苟凌云. 盾构法隧道施工引起地表沉降规律研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2021.
GOU Lingyun. Study on the subsidence caused by shield tunnel construction[D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University, 2021.
- [3] 袁竹. 矿山法隧道下穿铁路沉降影响分区研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2010.
YUAN Zhu. A study on influence zoning of railway settlement during tunnel construction underpassing by conventional method [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010.
- [4] 何卫. 暗挖地铁隧道下穿高速铁路路基沉降规律与控制措施研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
HE Wei. Research on the subgrade settlement and controlling measures of high-speed railway during the under-passing of shallow metro tunnel construction[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2015.
- [5] 林志军. 地铁盾构隧道下穿既有高铁隧道施工影响及控制技术研究[D]. 长沙: 中南大学, 2014.
LIN Zhijun. Study on the effect of construction of undercrossing shield tunnel on the existing high-speed railway tunnel and its control technology[D]. Changsha: Central South University, 2014.
- [6] 谭勇, 康志军, 卫彬, 等. 上海软土地区某地铁风井深基坑案例分析[J]. 浙江大学学报(工学版), 2016, 50(6): 1048.
TAN Yong, KANG Zhijun, WEI Bin, et al. Case study on deep excavation for metro ventilation shaft in Shanghai soft clay [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2016, 50 (6): 1048.
- [7] 冯祖国. 隧道施工引起地表沉降的 Peck 公式预测概述[J]. 价值工程, 2020, 39(17): 133.
FENG Zuguo. Summary of Peck formula prediction of ground subsidence caused by tunnel construction [J]. Value Engineering, 2020, 39(17): 133.
- [8] 中华人民共和国国家铁路局. 高速铁路设计规范: TB 10621—2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
State Railway Administration of the People's Republic of China. Code for design of high speed railway: TB 10621—2014[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2014.
- [9] 中华人民共和国国家铁路局. 邻近铁路营业线施工安全监测技术规程: TB 10314—2021[S]. 北京: 中国铁道出版社有限公司, 2021: 24.
National Railway Administration of People's Republic of China. Technical specification for safety monitoring of operating railway infrastructures with adjacent constructions: TB 10314—2021 [S]. Beijing: China Railway Publishing House Co., Ltd., 2021: 24.
- 收稿日期: 2023-08-28 修回日期: 2023-09-05 出版日期: 2024-06-10
Received: 2023-08-28 Revised: 2023-09-05 Published: 2024-06-10
· 作者: 陈利民, 高级工程师, 13913923816@139.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢结构设计标准: GB 50017—2017[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard for design of steel structures: GB 50017—2017[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017.
- [9] 周扬, 杨文波, 杨林霖, 等. 车致振动荷载作用下富水软弱地层中盾构隧道动力响应分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2022, 41(5): 1067.
ZHOU Yang, YANG Wenbo, YANG Linlin, et al. Analysis of dynamic response characteristics of shield tunnel under train load in water-rich soft stratum [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2022, 41(5): 1067.
- 收稿日期: 2021-12-13 修回日期: 2022-04-01 出版日期: 2024-06-10
Received: 2021-12-13 Revised: 2022-04-01 Published: 2024-06-10
· 作者: 陈扬勋, 高级工程师, 921291423@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

《城市轨道交通研究》入选上海市高校优秀科技期刊案例库

第五届上海市高校精品·优秀·特色科技期刊案例库遴选工作日前已经结束。按照遴选方案, 遴选工作委员会遴选出 26 种“精品科技期刊”、26 种“优秀科技期刊”和 26 种“特色科技期刊”。《城市轨道交通研究》入选“优秀科技期刊”案例库。

(供稿:《城市轨道交通研究》编辑部)