

市域铁路大直径盾构并行施工对邻近 高铁路基变形影响分析*

王 纲

(上海东华地方铁路开发有限公司, 200071, 上海)

摘 要 [目的]上海市域铁路机场联络线大直径盾构段与既有沪杭高铁并行。由于高铁路基变形控制要求严格,因此需对大直径盾构并行施工对既有高铁线路的路基变形影响规律进行深入研究。[方法]依托上海市域铁路机场联络线工程,在大直径盾构并行施工过程中,对既有高铁线路路基进行现场监测,分别监测地面沉降以及高铁路基底座板位移。根据现场监测数据,分析了门式隔离桩加固大直径盾构并行施工对土体的扰动及对高铁路基变形的影响规律。[结果及结论]盾构施工完毕后,地面最大沉降位于隧道正上方,远离高铁路基侧地面变形为隆起,靠近高铁路基侧地面变形为沉降;盾构在施工过程中和施工完毕后,地面总沉降最大值分别为 21.14 mm 和 20.32 mm,均满足控制要求;盾构施工对地面竖向位移的影响主要集中在刀盘到达断面前 20 m 和通过断面后 50 m 内;门式隔离桩能有效限制桩外土体位移,控制高铁路基变形,具有良好的隔断效果;盾构施工完毕后,沪杭高铁路基水平向和竖向位移最大值均为 1.9 mm,说明盾构并行施工未影响沪杭高铁的正常运营。

关键词 上海市域铁路; 机场联络线; 盾构施工; 高铁路基; 门式隔离桩; 路基变形

中图分类号 U239.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.02.028

Influence Analysis of City Railway Large-diameter Shield Parallel Construction on Adjacent High-speed Railway Subgrade Deformation

WANG Gang

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

Abstract [Objective] The large-diameter shield section on Shanghai City Railway Airport Link Line is parallel to the existing Shanghai-Hangzhou High-speed Railway. Due to strict deformation control requirements of high-speed railway subgrade, it is necessary to conduct in-depth research on the influence law of subgrade deformation caused by large-diameter

shield parallel construction on existing high-speed railway.

[Method] Based on Shanghai City Railway Airport Link Line engineering, in the process of large-diameter shield parallel construction, through field-monitoring of the existing high-speed railway subgrade, the land subsidence and the high-speed railway subgrade base plate displacement are monitored respectively. Based on field measurement data, the influence law of large-diameter shield parallel construction reinforced with portal isolation piles on soil disturbance and high-speed railway subgrade deformation is analyzed. [Result & Conclusion] Upon completion of shield construction, the maximum land subsidence occurs right above the tunnel, with ground heave at far end from the high-speed subgrade and land subsidence at the closer end. The maximum total land subsidence during and after the shield construction process is 21.14 mm and 20.32 mm, respectively, meeting control requirements. The effect of shield construction on ground vertical displacement is mainly concentrated within 20 m before the cutterhead reaching the section and within 50 m after it passes the section. Portal isolation piles can effectively restrict the displacement of the soil mass outside piles, control high-speed railway subgrade deformation, thus providing good isolation effects. After the completion of shield construction, the maximum horizontal and vertical displacements of Shanghai-Hangzhou High-speed Railway subgrade are both 1.9 mm, indicating that the parallel shield construction did not affect the normal operation of Shanghai-Hangzhou High-speed Railway.

Key words Shanghai city railway; airport link line; shield construction; high-speed railway subgrade; portal isolation pile; subgrade deformation

新建城市轨道交通线路与铁路运营线并行建设时,必须重点关注新建线路施工对铁路运营线安全的影响^[1-2]。大直径盾构小净距并行既有高铁路基施工会造成高铁路基周围土体应力环境变化^[3],

* 上海市科委“科技创新行动计划”项目(19DZ1201000)

进而导致高铁路基产生附加变形。如何有效控制隧道开挖变形及保证既有高铁线路的安全运营,成为工程设计与施工中的关键。

本文依托上海市域铁路机场联络线(以下简称“机场联络线”)大直径盾构隧道并行既有沪杭高铁路基段工程,针对邻近高铁路基的大直径盾构施工变形控制难题,基于监测数据分析了门式隔离桩加固下盾构并行施工对土体扰动及对高铁路基变形的影响规律,可为类似工程提供参考。

1 工程概况

1.1 工程简介

机场联络线连接上海虹桥机场与浦东机场。机场联络线盾构段长距离并行既有沪杭高铁路基,联络线盾构段与沪杭高铁路基的相对位置如图 1 所示。并行段盾构埋深为 7.80 ~ 19.13 m,自小里程往大里程埋深逐渐加深;隧道外边缘与铁路路基坡脚的最近距离为 8.4 m,位于机场联络线里程 DK7 + 002.643 位置处(高铁里程 K5 + 458.990)。盾构段隧道采用外径为 13.6 m、厚度为 0.55 m 的双线大直径盾构管片。为控制高铁路基变形,保证既有高铁线路的安全运营,盾构施工采用门式隔离桩进行防护。隔离桩为 ϕ 1 000 mm、间距 1 200 mm 的钻孔桩,桩底至盾构底以下 7 m;桩顶部设置内支撑,间距为 6 m。

并行段沪杭高铁轨道结构为 CRTS-Ⅱ 型板式无砟轨道,路基高约 3.6 m。高铁路基西侧采用 C25 片石混凝土挡墙,内部采用宽 5.0 m、层间距 0.6 m 的双向土工格栅加固;高铁路基东侧采用 M7.5 浆砌片石拱形截水骨架,内部采用宽 3.0 m、层间距 0.6 m 的双向土工格栅加固。高铁路基底部采用厚 0.5 m 的 C30 混凝土桩板加固。桩板底部采用

ϕ 0.6 m、间距 3 m 的钻孔桩加固,桩长约 36 m。以盾构段并行高铁路基段间距最小位置为例,盾构隧道与高铁路基空间位置关系如图 2 所示。

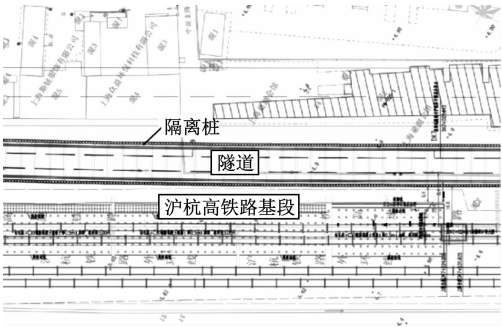


图 1 机场联络线盾构段与高铁路基相对关系平面图
Fig. 1 Planar diagram of relative relation between airport link line shield section and high-speed railway subgrade

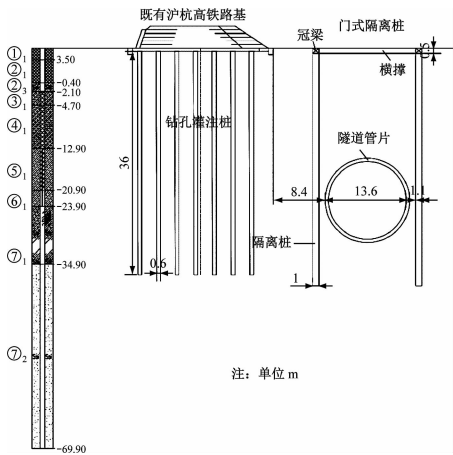


图 2 机场联络线隧道与高铁路基位置关系横断面图
Fig. 2 Cross section drawing of the position relation between airport link line tunnel and high-speed railway subgrade

场地土层物理力学参数如表 1 所示。场地软弱土层深厚,包括③₁ 淤泥质粉质黏土层和④₁ 淤泥质黏土层。软土具有高含水量、触变性、弱渗透性和

表 1 工程场地土层物理力学参数

Tab. 1 Soil layer physical and mechanical parameters of engineering site

地层编号	地层名称	层厚/ m	天然含水量/ %	天然密度/ (g/cm ³)	孔隙比	内摩擦角/ (°)	黏聚力/ kPa	压缩模量/ MPa
① ₁	人工填土	1.6						
② ₁	粉质黏土	3.9	32.14	1.90	0.91	17.15	20.08	4.56
② ₃	粉砂夹粉质黏土	1.7	29.25	1.93	0.82	28.70	6.80	10.66
③ ₁	淤泥质粉质黏土	2.6	42.55	1.77	1.20	17.93	12.40	3.32
④ ₁	淤泥质黏土	8.2	47.09	1.74	1.33	12.57	13.22	2.55
⑤ ₁	粉质黏土	8.0	38.21	1.80	1.10	16.23	15.33	3.63
⑥ ₁	粉质黏土夹粉砂	3.0	32.97	1.85	0.96	20.38	17.65	4.90
⑦ ₁	砂质粉土夹粉质黏土	11.0	26.95	1.94	0.77	31.38	10.04	10.69
⑦ ₂	粉细砂		24.56	1.97	0.71	32.52	3.33	13.45

明显的流变性等特点。在上海软土地区进行盾构近距离并行施工,易对周围土体和邻近高铁路基产生不利影响。

1.2 施工监测方案

机场联络线并行高铁路基的盾构施工段里程

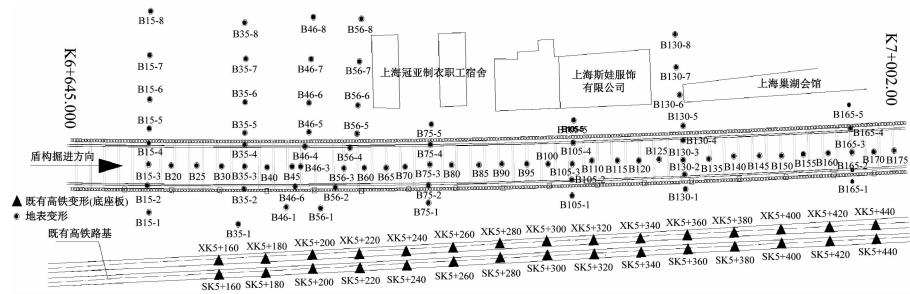


图3 机场联络线并行高铁路基盾构施工段监测点平面布置示意图

Fig.3 Planar layout diagram of monitoring points at airport link line parallel high-speed railway subgrade shield construction section

2 监测数据分析

2.1 地面沉降

为分析机场联络线并行既有高铁路基段的盾构施工对土体的影响规律,收集盾构施工过程中和盾构施工完毕后隧道正上方共30个地面沉降监测点的沉降值进行分析,结果如图4所示。盾构在施工过程中和施工完毕后,隧道正上方地面总沉降最大值分别为21.14 mm和20.32 mm。机场联络线里程DK6+835—DK6+915的地面沉降测点相对其他里程测点出现隆起现象。

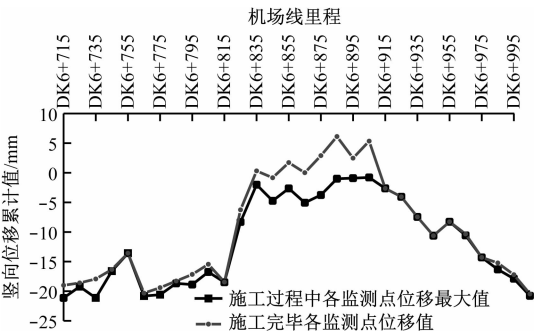


图4 地面各监测点竖向位移统计图

Fig.4 Statistical diagram of vertical displacement at each ground monitoring point

为进一步分析盾构施工沿隧道横向对地面竖向变形的影响,选取盾构隧道46环断面各沉降监测点的实测数据进行分析,结果如图5所示。由图5可知:①地面最大沉降位于隧道上方,且距隧道越

为DK6+645.000—DK7+002.643。监测内容包括地面沉降和高铁路基变形。监测点平面布置如图3所示。地面沉降监测点共77个,高铁路基沉降监测点共30个。

远沉降值越小。B46-8监测点处地面沉降不受盾构施工影响。②盾构施工完毕后,远离高铁路基侧地面变形为隆起,靠近地铁路基侧地面变形为沉降。③门式隔离桩外测点最大隆起为9.12 mm,远小于隔离桩内地面竖向变形,表明门式隔离桩加固能有效限制桩外土体变形,具有良好的隔断效果。

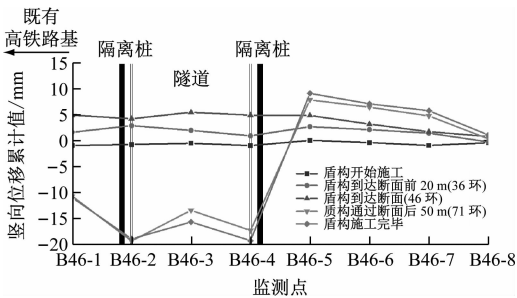


图5 盾构隧道46环断面不同施工阶段不同监测点地面竖向位移

Fig.5 Diagram of ground vertical displacement at different monitoring points in different construction stages of shield tunnel 46 ring section

图6为盾构隧道46环断面不同监测点地面竖向位移时程曲线图。由图6可知:①由于刀盘的压力变化和挤土作用,盾构到达断面前20 m内,土体受到扰动出现轻微隆起现象,最大隆起量为5.48 mm。②盾构通过断面后50 m内,地面沉降迅速发展,此阶段是地面沉降的主要阶段。一方面由于存在65 mm的盾尾间隙;另一方面由于短时间内浆液尚未完全固结,难以提供足够的支护力。此时,地

面最大沉降位于 B46-2 测点处,最大沉降值为 19.29 mm。③盾构通过断面 50 m 后,地面沉降变化速率变缓,随着同步注浆浆液逐渐固结形成强度,地面沉降逐渐趋于稳定。

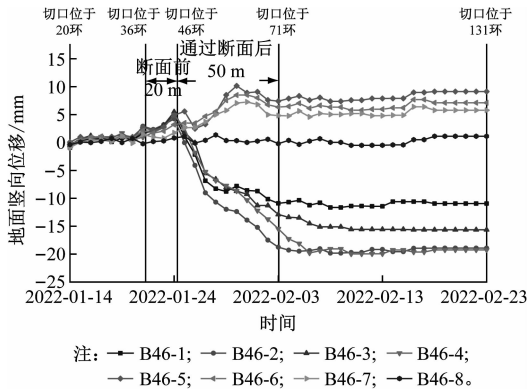


图 6 盾构隧道 46 环断面不同测点地面竖向位移
时程曲线图

Fig. 6 Time-history curve of ground vertical displacement at different monitoring points on shield tunnel 46 ring section

2.2 高铁路基变形

为进一步分析机场联络线并行既有高铁施工对高铁路基的影响,收集盾构施工过程中和施工完毕后高铁路基底座板监测点的监测值进行分析,结果如图 7 所示。其中竖向位移负值表示路基沉降,水平变形负值表示路基向盾构侧方向变形。

由图 7 可知,盾构施工过程中,高铁路基底座板最大隆起为 1.6 mm、最大沉降为 1.9 mm。沪杭高铁路基底座板远离盾构侧移动的最大水平位移为 1.4 mm、向盾构侧移动的最大水平位移为 1.9 mm,各监测点变形的最大值都小于工程监测报警值^[4],说明门式隔离桩防护加固措施能有效控制高铁路基变形,具有良好的隔断效果,可保证既有高铁线的正常运营。

综上所述,机场联络线盾构施工引起沪杭高铁路基变形满足高铁路基变形累计值 ± 2 mm 的控制要求^[6]。开挖期间,在相应区段限速的情况下,机场联络线盾构施工未影响既有高铁线的正常运营。

3 结语

本文基于机场联络线并行沪杭高铁段的盾构施工的实测数据,分析盾构施工对既有高铁路基的变形影响规律,得到以下结论:

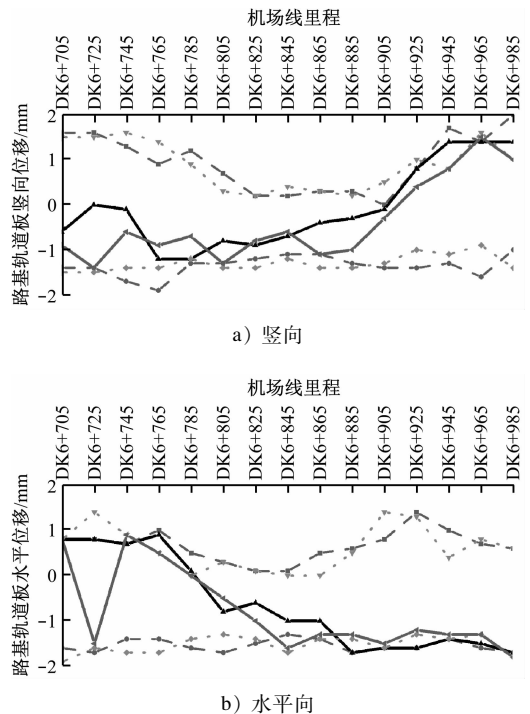


图 7 高铁路基底座板各测点累计位移统计图

Fig. 7 Statistical diagram of cumulative displacement at each monitoring point of high-speed railway subgrade base plate

1) 盾构施工完毕后,地面最大沉降位于隧道上方,远离高铁路基侧地面变形为隆起,靠近高铁路基侧地面变形为沉降。盾构在施工过程中和施工完毕后,地面总沉降最大值分别为 21.14 mm 和 20.32 mm。

2) 盾构施工对地面竖向变形的影响主要集中在刀盘到达断面前 20 m 和通过断面后 50 m 内,通过前土体表现为隆起,通过后土体表现为沉降。

3) 门式隔离桩加固能有效限制桩外土体位移,控制高铁路基变形。盾构施工完毕后,沪杭高铁路基水平和竖向变形最大值均为 1.9 mm。机场联络线盾构施工未影响沪杭高铁的正常运营。

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. Impacts of foundation pit excavation on adjacent railway subgrade and control [J]. Rock and Soil Mechanics, 2016, 37(S1): 469.

(下转第 164 页)

业总成本比值虽然变动较大,但人工成本和营业总成本总体呈上升趋势。针对企业成本上升问题,企业可以采取岗位融合和专业融合措施,优化生产组织以减少人员配置;引入 PPP 融资模式,拓宽融资渠道、发展多元化的投资主体,实现市场化运作。通过政府和社会资本合作来减轻政府债务压力,提高成本效率。同时,该融资模式下,政府通过在项目建设、运营中的支持和监督管理让项目公司为社会提供更好的服务。

2) 北京、成都、武汉、青岛、南京的轨道交通企业的长期偿债能力较弱。2021 年,成都、武汉、南京的轨道交通企业的负债程度偏高。针对负债问题,城市轨道交通企业可以积极推进光伏发电、地源热泵等新技术来减少电力成本;对于新规划设计的线路,可以考虑让线网中的多条线路共享车辆基地从而降低维护成本;推动设施设备国产化进程,使用国产设备降低采购成本。

3) 由盈利能力相关比率研究得出,所统计的城市轨道交通企业盈利能力整体偏低。为了实现城市轨道交通的可持续发展,城市轨道交通企业要大力提升自身的优势,通过提供运营服务咨询、运营管理服务等方式增加收入。

参考文献

- [1] 刘晓冬,代力,周国华,等. 纽约地铁财务困境及对中国轨道交通可持续发展的启示[J]. 都市快轨交通, 2021, 34(6): 160.
- LIU Xiaodong, DAI Li, ZHOU Guohua, et al. New York Subway financial dilemma and the implications for the sustainable development of China's rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021,

34(6): 160.

- [2] 刘丽琴,邢燕婷,李明阳,等. 城市轨道交通运营收支特点研究[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(1): 140.
- LIU Liqin, XING Yanting, LI Mingyang, et al. Revenue and expenditure characteristics of urban rail transit operation[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(1): 140.
- [3] 彭恺,李夏苗. 我国城市轨道交通网络运营盈利能力的实证分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2022, 22(6): 68.
- PENG Kai, LI Xiamiao. Empirical analysis on operational profitability of urban rail network in China[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2022, 22(6): 68.
- [4] 武倩楠,叶霞飞. 国内外典型城市轨道交通运营收益情况调查与分析[J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(12): 106.
- WU Qiannan, YE Xiafei. Investigation and analysis of urban rail transit operating revenue in typical Chinese and foreign cities[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(12): 106.
- [5] 广雨鑫. 天津地铁2、3号线存量项目公私合营模式的TOT(移交-经营-移交)实施方式[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(8): 119.
- GUANG Yuxin. TOT method implementation of public-private partnership model for Tianjin Metro Line 2 and Line 3 existing projects[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(8): 119.
- [6] 张新民,钱爱民. 财务报表分析[M]. 4版. 北京:中国人民大学出版社, 2017.
- ZHANG Xinmin, QIAN Aimin. Financial statement analysis[M]. 4th ed. Beijing: China Renmin University Press, 2017.

- 收稿日期:2023-05-06 修回日期:2023-08-28 出版日期:2024-02-10
Received:2023-05-06 Revised:2023-08-28 Published:2024-02-10
- 通信作者:许得杰,副教授,xudejie126@126.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

(上接第 156 页)

- [2] MROUEH H, SHAHROUR I. Three-dimensional finite element analysis of the interaction between tunneling and pile foundations [J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 2002, 26(3): 217.
- [3] 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 surface subsidence caused by shield tunnel construction[D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University, 2021.
- [4] 上海铁路局. 上海铁路局工务安全管理办法:SHG/GW280—2017[S]. 上海:上海铁路局办公室, 2017.
- Shanghai Railway Bureau. Track work safety management regulations by Shanghai Railway Bureau: SHG/GW280—2017[S].

Shanghai: Office of Shanghai Railway Bureau, 2017.

- [5] 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.
- National 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 Co., Ltd., 2014.

- 收稿日期:2023-06-28 修回日期:2023-09-30 出版日期:2024-02-10
Received:2023-06-28 Revised:2023-09-30 Published:2024-02-10
- 通信作者:王纲,高级工程师,13817975521@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