

文章编号: 1674—8247(2021)01—0035—06
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.01.008

联络线施工对邻近线路基扰动影响

张 红¹ 秦文达¹ 张海凤² 孙召伍² 曹乾桂²

(1 中铁十局集团有限公司, 济南 250001; 2 鲁南高速铁路有限公司, 济南 250102)

摘 要:新建高速铁路联络线引入邻近既有线路时,联络线建设引发的附加荷载可能对既有路基产生扰动。本文依托鲁南高速铁路曲阜东站联络线接轨段路基工程,开展不同桩型群桩试桩试验,研究群桩成桩对邻近场地的挤土变形影响,同时对比不同桩型成桩工艺的优缺点,进而为联络线地基加固方案提供设计依据。并在此基础上,结合接轨段路基变形监测数据,研究联络线地基加固及路基填筑对既有路基的扰动影响。研究结果表明:联络线地基加固选用灌注桩要优于预应力管桩和微型注浆钢管桩。鲁南高速铁路曲阜东站接轨段联络线采用灌注桩+钢筋混凝土承台板结构进行地基加固对既有京沪高速铁路路基扰动的影响微弱。采用轻质混凝土进行路基填筑,既有路基最大沉降变形为 4.7 mm,满足规范要求。

关键词:联络线;既有路基;地基加固;路基填筑;沉降变形

中图分类号:U213.1 **文献标志码:**A

Disturbance of Construction of Connecting Line to Earthworks of Adjacent Lines

ZHANG Hong¹ QIN Wenda¹ ZHANG Haifeng² SUN Zhaowu² CAO Qiangui²

(1. Railway NO. 10 Engineering Group Co., Ltd., Ji'nan 250001, China;

2. Lunan High Speed Railway Co., Ltd., Ji'nan 250102, China)

Abstract: When a new high-speed railway connecting line is introduced into the adjacent existing line, the additional load resulting from the construction of the connecting line may have adverse disturbance effects on the existing earthworks. This paper takes the earthworks for the junction section of connecting line in Qufu East Station of Rizhao-Lankao High-Speed Railway as a case, conducts the test of pile groups with different pile types to investigate the influence of pile groups on soil compaction deformation in adjacent sites, and compare the advantages and disadvantages of different pile types, thus providing design basis for earthworks reinforcement of connecting line. Combined with the monitoring data of earthworks deformation in the junction section, the disturbance of the foundation reinforcement and earthworks filling for the connecting line on the existing earthworks is studied. The results show that cast-in-place pile is better than prestressed pipe pile and miniature grouting steel tube pile in foundation reinforcement of connecting line. The foundation reinforcement of connecting line in Qufu East Station of Rizhao-Lankao High-Speed Railway with cast-in-place pile and reinforced concrete bearing platform slab structure has a minor disturbance on the existing earthworks of Beijing-Shanghai High-Speed Railway. Light concrete is used for earthworks filling, and the maximum settlement of the existing earthworks is 4.7mm, which meets the specification requirements.

Key words: connecting line; existing earthworks; foundation reinforcement; earthworks filling; settlement

收稿日期:2020-07-12

作者简介:张红(1989-),男,工程师。

引文格式:张红,秦文达,张海凤,等.联络线施工对邻近线路基扰动影响[J].高速铁路技术,2021,12(1):35-40.

ZHANG Hong, QIN Wenda, ZHANG Haifeng, et al. Disturbance of Construction of Connecting Line to Earthworks of Adjacent Lines[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(1):35-40.

随着我国高速铁路的发展,铁路线路越来越密集,新建线与既有线发生交叉、并行或引入的情况逐渐增多^[1-5]。邻近既有线的新建线路基施工会给既有线带来附加荷载,导致既有线路路基变形,严重时劣化轨道工作性能。目前,针对新建线与既有线平行且相离的情况,部分学者已结合具体工程展开研究,如黄建陵等人^[6]针对沪宁城际铁路分析了新建线地基开挖对既有京沪铁路路基边坡稳定性的影响;刘维正等人^[7]对新建沪宁城际铁路进行原位监测,监测数据表明既有线路基受到新建线地基加固的挤土影响较小。相比新建线与既有线平行且相离的情况,新建线引入既有线的工程更加复杂。新建线引入既有线需拓宽既有线路基以实现接轨,既有线路基要承受附加荷载,易引发附加沉降。张万涛等人^[8]针对石济客运专线引入既有京沪高速铁路德州东站并站工程,探讨了地基加固和路基填筑对既有线路基变形的影响;李井元等人^[9]采用数值模拟方法对鲁南高速铁路引入京沪高速铁路曲阜东站接轨段路基的临界距离、路基填料、地基处理及施工安全等展开分析,获得了重要研究成果。然而,目前有关新建线引入既有线的研究仍然较少,针对该问题的研究仍不深入,随着类似工程的逐渐增多,邻近既有线的新建线施工扰动问题将愈加凸显。

鉴于此,本文依托鲁南高速铁路曲阜东站新建联络线接轨段路基工程,开展不同桩型群桩试桩试验,研究群桩成桩对邻近场地挤土变形影响,同时对比不同桩型成桩工艺的优缺点,进而为联络线地基加固方案提供设计依据。再结合接轨段路基变形监测数据,研究联络线地基加固及路基填筑对既有路基的扰动变形影响。

1 工程背景

鲁南高速铁路是中国首例在既有线正常行车情况下进行联络线路基施工的线路^[10]。新建鲁南高速铁路以在曲阜东站并站的方式引入既有京沪高速铁路,分别通过高速铁路上、下联络线与既有京沪高速铁路两侧股道进行接轨,如图 1 所示。为满足路基接轨要

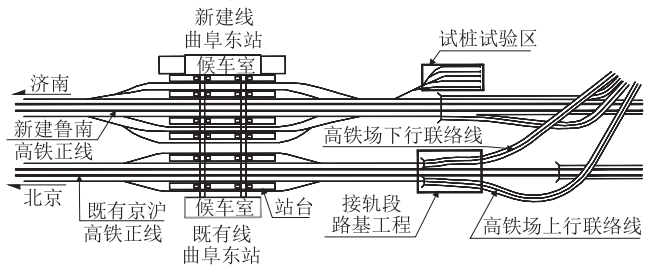


图 1 曲阜东站平面布置图

求,既有京沪高速铁路两侧需进行帮填拓宽。然而,帮填拓宽区域地基加固引发的挤土效应以及路基填筑施工所增加的附加荷载都将对既有地基及路堤产生不利影响。因而选择合理的地基加固方式以及路基填筑材料对控制联络线施工对既有路基影响至关重要。

2 联络线地基加固对邻近路基变形影响

2.1 群桩施工试桩试验

为进一步确定合理的地基加固桩型以及有效的防控挤土变形措施,在联络线施工以前,选取预应力管桩(下称“管桩”)、微型注浆钢管桩(下称“微型桩”)及全套管全回转钻孔灌注桩(下称“灌注桩”)开展了大面积群桩成桩工艺及挤土变形试桩试验^[11],试桩试验区位置,如图 1 所示。本文对 3 种桩型成桩挤土效应以及成桩工艺进行对比,并以此说明接轨段路基地基加固采用灌注桩的设计依据。

在相同加固范围条件下,管桩与微型桩、灌注桩在成桩完成后,距试验区 1 m 测孔的深层土体横向水平位移对比结果如图 2 所示。值得说明的是,由于各桩型的桩径及桩间距不同,本文采用相近加固范围成桩所引起的挤土位移进行近似对比,即认为 8 排微型桩的加固宽度(宽度约为 4.5 m)近似等于 3 排管桩的加固宽度(宽度约为 5.0 m),5 排微型桩+2 排管桩的加固宽度(宽度约为 7.0 m)等于 5 排微型桩+1 排灌注桩的加固宽度(宽度约为 6.5 m)。相同加固范围条件下各桩型引发的最大横向水平位移值如表 1 所示。

表 1 最大横向水平位移对比表

对比项	1 m 测孔最大横向水平位移对比/mm		1 m 测孔最大横向水平位移对比/mm	
	V 区 8 排微型桩	IV 区 管桩 3 排	I + II 区 微型桩 + 管桩	III 区 微型桩 + 灌注桩
管桩与微型桩	1.2	4.6	—	—
管桩与灌注桩	—	—	1.8	6.2

从图 2 和表 1 可以看出,3 排管桩压桩引起距试验区 1 m 测孔的最大横向水平位移量约为 8 排微型桩引起的 4 倍,并且方向一致。5 排微型桩+2 排管桩引起距试验区 1 m 测孔的最大横向水平位移量约为 5 排微型桩+1 排灌注桩引起的 3 倍。但微型桩+灌注桩成桩引起的土体位移方向与微型桩+管桩引起的不一致。微型桩+灌注桩成桩引起的土体位移方向向灌注桩钻孔的孔内方向发展,其主要原因在于灌注桩施工过程中,钻孔施工完毕后遭遇小雨,导致混凝土灌注施工暂停,因而引发了一定程度的缩孔现象,使得土体水

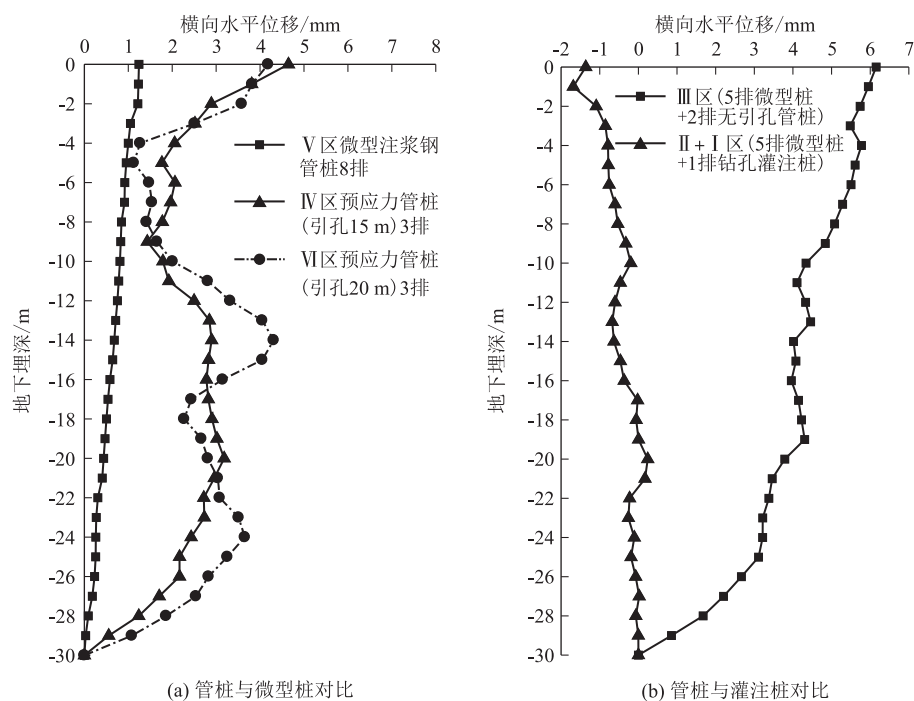


图 2 距试验区 1 m 测孔的横向水平位移对比图

平位移向孔内发展,但位移量很小。

整体上,管桩成桩引发的挤土变形要显著大于微型桩和灌注桩成桩引发的土体扰动变形。

3 种桩型的成桩工艺及其成桩设备如图 3 所示。管桩采用山河智能 ZYJ680 液压静力压桩机进行静压施工,静压前采用 KLL20-600 长螺旋钻机进行预引孔施工,钻机处于工作状态时可高达 26.5 m,对于邻近京沪铁路运营存在潜在施工风险。微型桩采用 XY-2 型微型桩机进行施工,因桩数较多,需多组微型桩机同时施工,易造成施工场面混乱,不易管理,且微型桩质量不易控制。灌注桩桩径较大,所需数量相对较少,采用 XRT2000 全套管全回转钻机配合神钢 7080GS 履带吊等器械进行施工。XRT2000 全套管全回转钻机最大高度 4.02 m,神钢 7080GS 履带吊工作状态最大高度小于 10.0 m,相较管桩施工来说,对邻近线安全可能引发的施工风险要小很多。

从挤土变形量、施工机械作业空间及邻近既有线路作业安全等因素综合考虑,灌注桩要优于管桩和微型桩。

2.2 接轨段路基地基加固对既有路基变形影响

2.2.1 接轨段路基桩位分布及测点布置

基于以上试桩成果,新建联络线地基最终采用钻孔灌注桩进行地基加固。为尽可能地降低路基填筑引发的附加沉降以及工后累积沉降,在灌注桩桩顶以上



图 3 各桩型成桩工艺及施工设备图

铺设钢筋混凝土承台板对上部路基填料进行支撑。钢筋混凝土承台板厚 0.8 m,埋入原地面以下 0.3 m,与桩顶刚性连接(桩主筋全部锚入承台板),承台板底设 0.05 m 厚 C25 混凝土垫层。

鲁南高速铁路引入京沪高速铁路接轨段联络线地基加固的桩位布置及监测测点分布如图 4 所示。联络线接轨段共分布有 7 个水平位移计测孔,对应编号 H1~H7,布置于既有路基坡脚位置,与钻孔灌注桩桩心最近距离约为 1.2 m。

2.2.2 既有路基坡脚水平变形

典型测孔的横向水平位移分布如图 5 所示,其他测孔分布规律类似,并且位移量比列出测孔要小,在此不再赘述。图中横向水平位移为垂直既有线路方向的水平位移,其中正值代表朝向既有路基边坡坡外,负值代表朝向坡内。

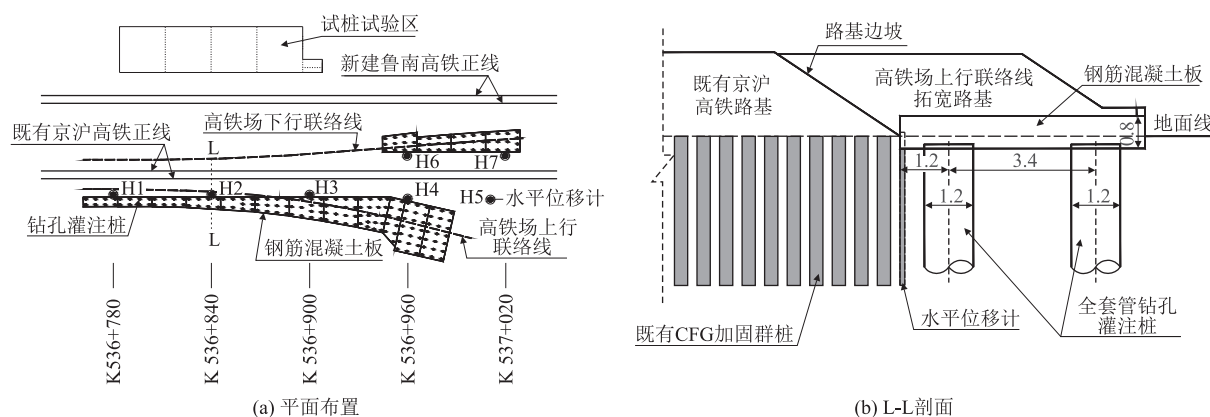


图4 桩位分布及测点布置图

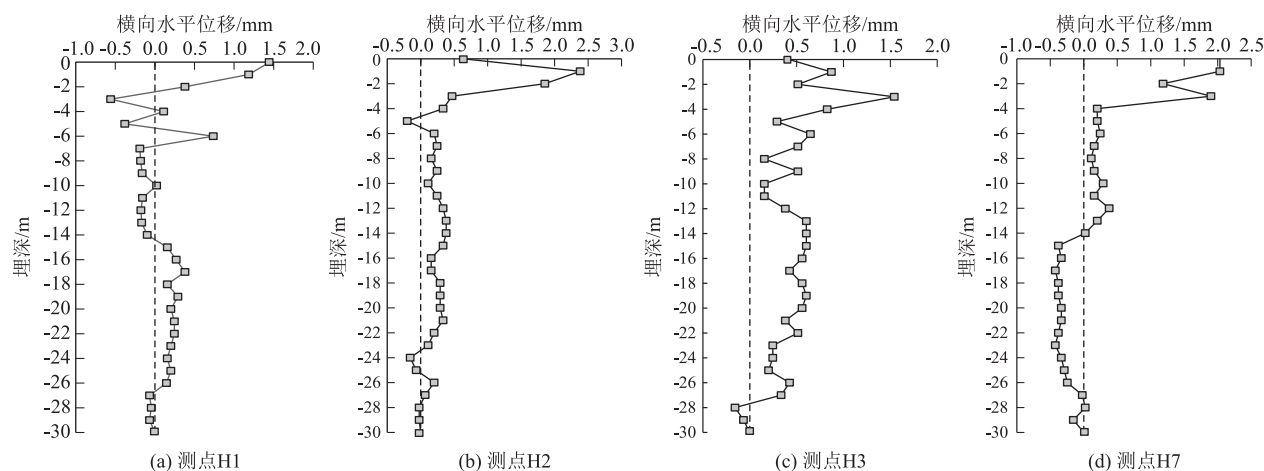


图5 典型测点横向位移分布

从图5中可以看出,灌注桩施工完成时,H2测孔位移量最大,主要原因为:H2测孔比H3测孔离桩位更近,比H1测孔邻近成桩数量更多。值得注意的是,各测点横向水平位移都朝向坡外,且位移分布主要集中在地下埋深0~8.0 m之间,其原因可能是钻孔灌注桩施工完成后发生了一定缩孔,在邻近既有京沪路基荷载的侧向压力影响下,缩孔现象加重,导致坡脚位移向孔内发生一定位移,但位移量不大。因此,钻孔灌注桩施工邻近既有线时,钻孔施工完成后应及时进行灌注,以控制缩孔位移的继续发展。

整体上,各测孔横向水平位移均不大,最大位移量在H2测孔埋深1 m位置处,为2.38 mm,表明联络线采用灌注桩进行地基加固对既有路基扰动影响微弱。

3 联络线路基填筑对邻近路基变形影响

高速铁路无砟轨道路基对变形控制极为严格,联络线路基填筑所施加的附加荷载可能引发既有路基产

生较大附加沉降。为尽可能减小联络线路基填料施加在既有路基上的附加荷载,根据室内试验成果并借鉴类似工程经验,最终选择轻质混凝土作为既有京沪铁路拓宽联络线路基的主体填料。采用的轻质混凝土湿密度为 $650 \sim 850 \text{ kg/m}^3$,帮填路基表层为0.6 m厚级配碎石掺5%水泥,表层下方为0.6 m厚高强度加筋轻质混凝土层,其下浇筑普通轻质混凝土。结合既有路基沉降变形监测数据,本文对轻质混凝土在联络线路基填筑中的适用性展开分析与评价。

3.1 沉降变形监测测点布置

接轨段既有路基是沉降变形观测的重点部位。采用测点物位计,结合水平基准点物位计建立沉降变形监测点,通过传输总线传输至数据平台中心,建立沉降变形实时监控与预警系统。在接轨段内I股道和II股道沿线路方向每隔约20 m布设1个监测点(如图6(a)所示),监测点固定在无砟轨道底座板外侧侧面(如图6(b)所示),沿平行于线路方向布设监测线。

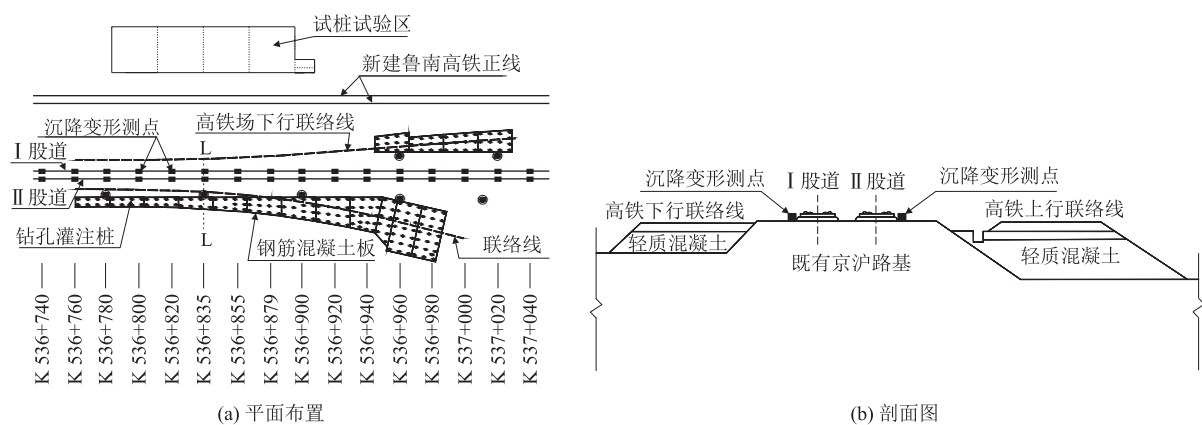


图6 接轨段既有路基沉降变形测点布置示意图

3.2 既有路基沉降变形分布

接轨段既有路基沿线沉降变形分布如图7所示。

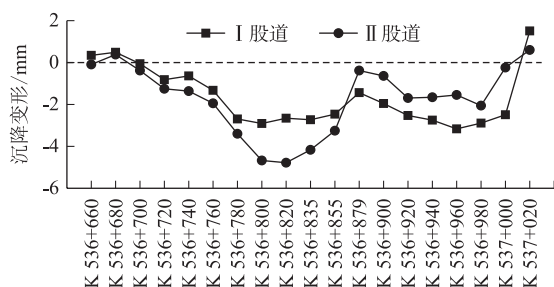


图7 接轨段既有路基沉降变形分布图

由图7可知,联络线路基填筑完成后,接轨段路基在里程K 536+700~K 537+020内均发生了明显的沉降变形,其中在里程K 536+700~K 536+879之间,Ⅱ股道沉降变形整体大于Ⅰ股道,主要原因在于:该里程段内高速铁路上行联络线填筑轻质混凝土体积量明显大于下行联络线,而从K 536+879断面往大里程方向,高速铁路上行联络线逐渐远离Ⅱ股道,同时下行联络线填筑量逐渐增加。

Ⅰ股道最大沉降变形量发生在断面K 536+960上,为3.2 mm;Ⅱ股道最大沉降变形量发生在断面K 536+800断面上,为4.7 mm。李井元等人采用数值模拟方法,开展了不同填料引起的京沪高速铁路路基面附加沉降影响研究,计算得到Ⅰ股道路肩沉降量为0.52 mm、Ⅱ股道路基沉降量为0.77 mm。相比本文的现场实测数据,计算值要小得多,其原因一方面在于本文测点位置位于京沪路基轨道底座板两侧,与数值计算测点位置有所差异;另一方面在于实际工程中,各种器械施工都会对既有京沪路基产生一定的扰动影响,而数值计算中并未体现此种影响。

TG/GW 115-2012《高速铁路无砟轨道线路维修

规则(试验)》^[12]中规定:经常保养时,轨道静态高低容许偏差管理值为4.0 mm,该值为10 m弦测量所得值。Ⅰ股道和Ⅱ股道相邻沉降变形测点都在20 m左右,相邻测点高低偏差最大约为3.9 mm。由此可见,Ⅰ股道和Ⅱ股道保养时,轨道静态高低容许偏差都要小于4.0 mm,满足规范要求。因此将轻质混凝土用于联络线路基填筑,路基帮填对既有京沪线正常运营的扰动影响很小。

典型测点沉降变形的时程曲线如图8所示。

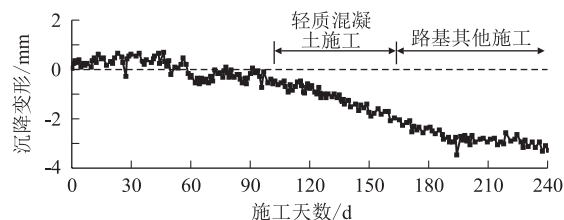


图8 Ⅰ股道K 536+960测点图

由图8可知,在轻质混凝土施工期间,沉降变形呈线性增长,轻质混凝土施工完毕后的路基其他施工继续引发了测点的沉降变形,并约占总沉降量的1/3。表明轻质混凝土填筑完成后,其他施工阶段仍能引发路基发生较大沉降变形,应对后期施工阶段(如轨道安装等),继续加强自动化监控,并建立预警机制。

4 结论

本文针对联络线施工对邻近线路基的扰动变形问题,开展了不同桩型群桩施工试验,并结合鲁南高速铁路引入京沪高速铁路联络线路基施工的现场监测数据,分析了联络线地基加固及路基填筑对既有线路基的扰动变形影响,得到以下结论:

(1)从挤土扰动变形影响、施工机械作业空间及邻近既有作业安全等因素综合考虑,联络线地基加

固全套管钻孔灌注桩要优于预应力管桩和微型注浆钢管桩。

(2)鲁南高速铁路曲阜站联络线地基采用灌注桩+钢筋混凝土承台板结构进行加固对既有路基扰动影响微弱,既有路基坡脚最大位移量为2.38 mm,表明灌注桩+钢筋混凝土承台板结构的设计是合理的。受邻近既有路基荷载的附加侧向压力作用,灌注桩成桩过程中,路基坡脚位移朝向坡外发展,钻孔完成后应及时进行混凝土灌注,以防止位移持续发展。

(3)将轻质混凝土用作鲁南曲阜站联络线路基材料进行填筑施工,既有线接轨段沿线沉降变形不大,满足《高速铁路无砟轨道线路维修规则(试验)》要求,表明路基帮填对既有京沪高速铁路正常运营的扰动影响很小。但填筑完成后的其他施工阶段有可能导致沉降变形较大增长,因此应对后期施工阶段继续加强自动化监控并建立联动预警机制。

参考文献:

- [1] 董方志. 石济客运专线并行京沪高速铁路线间距研究[J]. 高速铁路技术, 2014,5(1): 35-41.
DONG Fangzhi. Study on Distance between Shijiazhuang-Jinan Passenger Dedicated Line and Beijing-Shanghai High-Speed Railway in Parallel Section[J]. High Speed Railway Technology, 2014, 5(1): 35-41.
- [2] 杨泉, 高柏松, 李井元, 等. 新建线临近既有无砟高速铁路路基施工方案研究[J]. 高速铁路技术, 2016,7(2): 15-19.
YANG Quan, GAO Baisong, LI Jingyuan, et al. Research on Subgrade Construction Scheme of Newly Built Railway Close to Ballastless Track High-Speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2016,7(2): 15-19.
- [3] 王兴荣, 温晓鹏. 引入既有客运专线新建车场路基设计[J]. 铁道勘察, 2014,40(6): 23-25.
WANG Xingrong, WEN Xiaopeng. Subgrade Design on New-built Parking Lot Leading into Existing Passenger Dedicated Line[J]. Railway Investigation and Surveying, 2014,40(6): 23-25.
- [4] 李方豫. 高速铁路引入既有站高速车场与普速车场关系的研究[J]. 铁道标准设计, 2014,58(9): 67-69.
LI Fangyu. Study on Alternative Layouts for Incorporating Existing High Speed Railway Yard and Ordinary Speed Railway Yard[J]. Railway Standard Design, 2014,58(9): 67-69.
- [5] 乔俊飞. 晋中南重载铁路下穿京沪高速铁路立交方案研究[J]. 铁道标准设计, 2014,58(4): 48-51.
QIAO Junfei. Study on Grade Separation Scheme of Middle and Southern Shanxi Heavyhaul Railway Crossing below Beijing-Shanghai High-Speed Railway[J]. Railway Standard Design, 2014,58(4): 48-51.
- [6] 黄建陵, 左坤. 紧邻既有线城际铁路路基稳定性计算与分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2010,7(4): 49-55.
HUANG Jianling, ZUO Shen. The Research on Sub-Grade Construction Technology of Inter-City Railway Line that Close to the Existing Line[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2010,7(4): 49-55.
- [7] 刘维正, 徐林荣, 左坤, 等. 桩筏地基加固对紧邻既有线路基的影响[J]. 交通运输工程学报, 2015,15(3): 16-26.
LIU Weizheng, XU Linrong, ZUO Shen, et al. Influence of Pile-Raft Foundation Reinforcement on Subgrade of Adjacent Existing Railway[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2015, 15(3): 16-26.
- [8] 张万涛. 高速铁路路基帮填沉降变形控制及监测技术应用探讨[J]. 铁道标准设计, 2017,61(4): 47-50.
ZHANG Wantao. Discussion on Subgrade Widening Settlement Deformation Control and Monitoring of High-Speed Railway[J]. Railway Standard Design, 2017,61(4): 47-50.
- [9] 李井元, 陈伟志, 李宁, 等. 引入既有无砟高铁接轨段路基工程关键技术[J]. 铁道工程学报, 2017, 34(8): 22-27.
LI Jingyuan, CHEN Weizhi, LI Ning, et al. Key Technology of Introducing Ballastless Track Upon High-Speed Railway Subgrade[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(8): 22-27.
- [10] 李双龙, 魏丽敏, 杜猛, 等. 大面积静压群桩对邻近场地挤土变形影响试验研究[J]. 中国铁道科学, 2020,41(3): 31-40.
LI Shuanglong, WEI Limin, DU Meng, et al. Experimental Study on Squeezing Deformation in Adjacent Site Caused by the Construction of Large-Area Jacked Pile Group[J]. China Railway Science, 2020, 41(3): 31-40.
- [11] 王基全. 群桩施工引起邻近场地扰动变形的试验研究[J]. 铁道建筑, 2019,59(8): 96-102.
WANG Jiquan. Experimental Study on Disturbing Deformation of Adjacent Sites by Group Pile Construction[J]. Railway Engineering, 2019,59(8): 96-102.
- [12] TG/GW 115-2012 高速铁路无砟轨道线路维修规则(试行)[S].
TG/GW 115-2012 Maintenance Rules for Ballastless Track of High Speed Railway (Trial) [S].