

文章编号: 1674—8247(2023)05—0100—05

DOI: 10.12098/j.issn.1674-8247.2023.05.018

## 日兰高速铁路联络线引入工程的路基优化研究

谷存雷<sup>1</sup> 袁 报<sup>2</sup> 李 宁<sup>3</sup> 杨 泉<sup>3</sup>

(1. 鲁南高速铁路有限公司, 济南 250101;

2. 中铁二院北方勘察设计有限责任公司, 济南 250000;

3. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:** 日兰高速铁路联络线引入既有京沪高速铁路曲阜东站, 线间距仅 6.5 m, 对侧新建高速铁路场, 线间距 20 m, 新建铁路对既有高速铁路沉降变形将产生严重影响。本文以该项目路基工程为依托, 结合实施工期、安全、经济及技术等指标进行综合比选, 通过加强现场试桩及监测, 最终在联络线引入路基工程采用桩板+悬臂式挡土墙、轻质混凝土结构, 对侧高速铁路场采用 CFG 桩+扶壁式挡土墙路基结构, 以减少新建铁路施工对现有高速铁路的影响。研究成果可为临近高速铁路地基加固提供参考借鉴。

**关键词:** 高速铁路; 路基工程; 轻质混凝土; 微型桩; 长螺旋施工工艺

中图分类号: U213.1

文献标志码: A

## A Study on Subgrade Optimization for Rizhao-Lanzhou High-speed Railway Connection line

GU Cunlei<sup>1</sup> YUAN Bao<sup>2</sup> LI Ning<sup>3</sup> YANG Quan<sup>3</sup>

(1. Lunan High Speed Railway Co., Ltd., Jinan 250101, China;

2. North Survey & Design Co., Ltd. of CREEC, Jinan 250000, China;

3. China Railway Eryun Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** The feeder line of Rizhao-Lankao High-speed Railway is connected to Qufu East Railway Station of the existing Beijing-Shanghai High-Speed Railway, with a line spacing of only 6.5 m. A new high-speed railway yard is constructed on the opposite side with a line spacing of 20 m. The new railway will have a significant impact on the settlement and deformation of the existing high-speed railway. For the construction of subgrade for this line, this paper comprehensively compared multiple optional structure schemes in terms of indicators such as construction period, safety, economy, and technology. Through reviews at stages, adding on-site pile testing and close monitoring, the piled-raft foundation with cantilever retaining wall and lightweight concrete structure was ultimately adopted for the subgrade of the feeder line, while a CFG pile with a retaining wall structure was implemented for the opposite high-speed railway yard. This approach aims to minimize the impact of constructing new railway on Beijing-Shanghai High-speed Railway. The research results can provide reference for similiar foundation reinforcement of the adjacent high-speef railway.

**Key words:** high-speed railway; subgrade construction; lightweight concrete; micropile; long spiral construction technology

收稿日期: 2023-03-06

作者简介: 谷存雷(1983-), 男, 高级工程师。

引文格式: 谷存雷, 袁报, 李宁, 等. 日兰高速铁路联络线引入工程的路基优化研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(5): 100-104.

GU Cunlei, YUAN Bao, LI Ning, et al. A Study on Subgrade Optimization for Rizhao-Lanzhou High-speed Railway Connection line [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(5): 100-104.

日兰高速铁路东起山东省日照西站,西至河南省兰考南站,设计速度 350 km/h,全长 494 km。其中,日照西至曲阜东站段长 235 km,设 8 个车站,已于 2019 年开通运营;曲阜至庄寨段长 198.6 km,设 7 个车站,于 2021 年开通运营。日兰高速铁路曲阜东站工程于 2017 年 12 月开工建设,总工期不到两年,面临着工期压力大,运营安全风险高等挑战。

在接轨方案的选择上,王宏礼<sup>[1-2]</sup>等通过综合经济技术比选,推荐采用临沂、菏泽方向均于南侧引入曲阜东站的方案。针对京沪高速铁路曲阜东站接轨和高速铁路场工程,袁报<sup>[3-4]</sup>等采用了扰动小、附加荷载小的研究思路,以降低对既有线的变形影响及干扰。通过并站变并轨,临沂革命老区实现了乘坐高速铁路直达北京的夙愿。

本文拟针对日兰高速铁路曲阜东站项目路基工程进行研究总结。

1 工程概况

曲阜东站路基工程包含两大组成部分:(1)既有京沪高速铁路路基拓宽以满足接轨要求,即高速铁路

场接轨段路基工程;(2)既有京沪曲阜东站东侧新建鲁南车场,即鲁南场并场段路基工程。

京沪高速铁路曲阜东站的路基以填方为主,一般填高 6.5 m。该段属冲洪积平原地貌,地势平坦开阔。此段地表覆盖第四系 Q<sub>4</sub> 粉质粘土( $a_{0.1-0.2}=0.32$ ),部分地表覆盖 8~10 m 厚的松软土( $a_{0.1-0.2}=0.34$ ),下层是第四系 Q<sub>3</sub> 粉质粘土( $a_{0.1-0.2}=0.21$ ),其中含有部分中砂和粗砂夹层,钻孔未揭示基岩,地下水位 8~25 m。

既有京沪高速铁路无砟轨道板 1:1 影响范围路基基底采用桩筏结构进行加固,筏板厚 0.5 m,其余地基采用矩形布置的 CFG 桩进行加固。筏板底范围内桩间距 1.5 m×1.5 m,桩长 30 m,其余范围桩间距 1.5 m(纵向)×1.6 m(横向),桩长 25~15 m 横向渐变。日兰高速铁路引入京沪高速铁路曲阜东站平面示意如图 1 所示。

2 引入工程技术难点分析

2.1 技术难点

日兰高速铁路引入京沪高速铁路的主要技术难

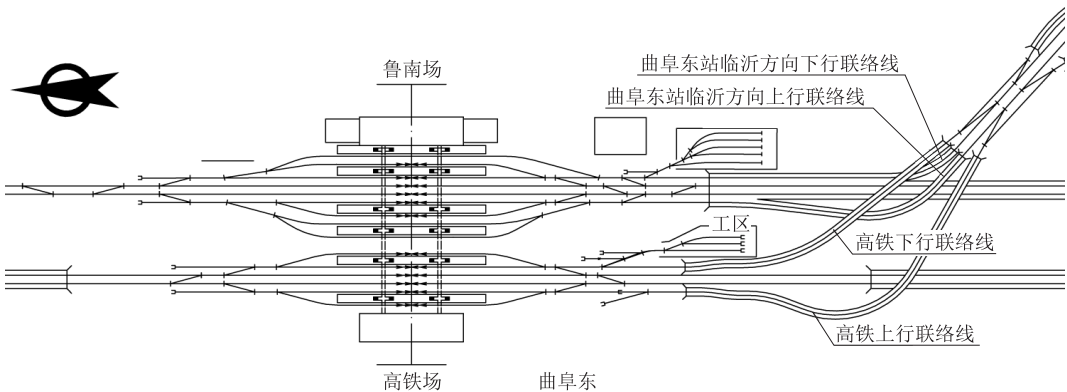


图 1 日兰高速铁路引入京沪高速铁路曲阜东站平面示意图

点为:(1)临近既有运营高速铁路侧施工;(2)无砟轨道严苛的沉降控制;(3)帮填无法避免的附加应力;(4)京沪桩底深厚的可压缩层。

2.2 方案论证

近年来,苏谦等<sup>[5-9]</sup>对轻质混凝土的研究逐渐深入。由于轻质混凝土具有免碾压,重度小等优点,在工程中得到广泛的推广和应用。本文依托工程填料选择轻质混凝土,拟比选 CFG 桩、旋喷桩、管桩、微型钢管桩、钻孔隔离桩等地基加固处理方案,如图 2 所示。结合研究,为减少对既有京沪高速铁路的扰动,初期推荐采用微型钢管桩+轻质混凝土的方案。

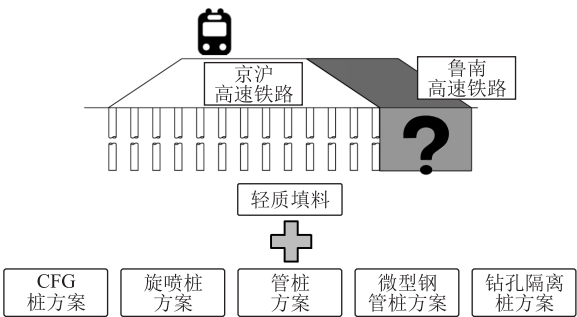


图 2 方案比选示意图

2.2.1 地质参数回归分析

数值模型物理力学参数如表 1 所示。

表 1 模型计算物理力学参数表

编号	土质	弹性模量 $E/\text{MPa}$	重度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	泊松比 $\nu$	黏聚力 $c/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
①	粉砂	15	19	0.35	—	26
②	粉质黏土	3.5	18	0.45	15	10
③	粗砂	20	22	0.3	—	38
④	粉质黏土	4.7	19	0.45	25	15
⑤	粗砂	25	22	0.3	—	38

数值分析结果表明,弹性模量取值压缩模量 10 倍式回归拟合较好。现场施工沉降和计算沉降如图 3 所示。

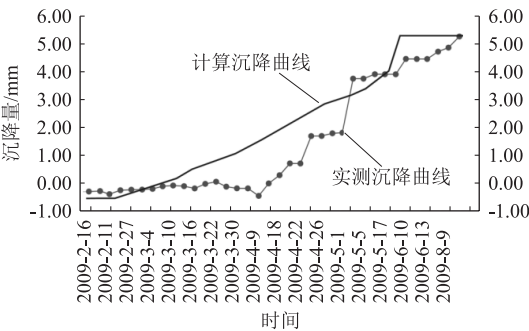


图 3 实测沉降与计算沉降模拟示意图

2.2.2 影响范围确定

当线间距  $L=43\text{ m}$  时,采用 10 m 地基处理深度 + 普通填料填筑,京沪高速铁路的沉降值为 0.8 mm,将 45 m 作为影响控制距离,并使用轻质混凝土加固填筑范围。

2.2.3 轻质混凝土性能改良

通过西南交通大学轻质混凝土室内动力学试验,得到了普通与高强轻质混凝土湿密度与临界动应力的关系,如图 4 所示。综合考虑其动力性能,路基基床表层采用 0.6 m 厚级配碎石,底层采用 0.6 m 高强加筋轻质混凝土,其下采用一般轻质混凝土。新老路基间和基底加强防水设计,以避免外界水渗入轻质混凝土结构。

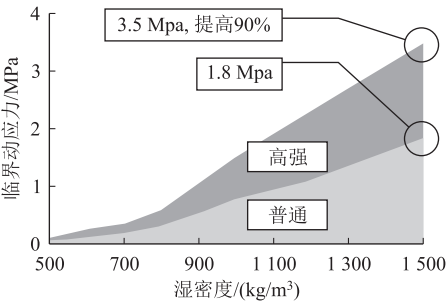


图 4 密度临界动应力示意图

2.2.4 方案比选

确定“轻质混凝土”的填料方案以及“施打附加应力阻断桩”措施后,推荐采取钻孔灌注桩地下连续墙方案。建议鲁南场的地基处理措施及参数(直径、桩长及间距)参照既有京沪高速铁路地基处理措施执行。

经计算,隔离桩应力阻断后,既有京沪高速铁路的沉降量下降了约 40%,但需进一步考虑施工扰动的问题。当隔离桩的桩长达到 30 m 后,既有京沪高速铁路的附加沉降很小,且微型桩桩长变化对既有京沪高速铁路的附加沉降影响并不明显。最终,接轨段选取轻质混凝土 + 30 m 隔离桩 + 15 m 微型桩方案。

随着隔离桩间距的增大,隔离阻断有所下降,但下降幅度并不显著。考虑到咬合桩的施工难度及扰动,隔离桩采用 1.5 m 桩间距,如表 2 所示。由表 2 可知,随着同时施工桩根数的增多,对周围土体的扰动也相应增大。当同时施工桩数  $\leq 2$  根时,对周围土体的应力分布影响相对较小。

表 2 不同桩长隔离桩附加沉降表(mm)

隔离桩桩长/m	微型桩桩长/m		
	10	15	20
20	1.20	1.10	—
25	1.06	1.03	0.99
30	0.97	0.97	0.96

经研究决定在曲阜东站高速铁路场接轨段地基加固中采用钻孔灌注桩措施,并采用预应力管桩 + 筏板 + 轻质混凝土的设计方案和邻近既有线施工全自动沉降、位移监测方案。同时,探讨了全套管抓斗取土工艺的优缺点。该工艺能够有效控制附加应力、避免挤土效应、降低塌孔风险,尤其适用于砂层地基。然而,该工艺也存在一些缺点,如常规设备需要在天窗点进行施工,这可能会对既有 CFG 桩压管造成影响,存在较大的风险。此外,施工速度较慢,无法在一个天窗点完成一根桩的全套施工工艺,使得风险不可控。

综上所述,应综合考虑这些因素,根据不同区域的地质条件和工程需求,对地基处理方式进行优化,并设置试桩区补充不同桩型的工艺试验,以探究不同桩型在不同地质条件下的适用性和效果。

2.3 试桩情况及分析

曲阜东站试桩试验区完成了Ⅵ区(管桩,引孔 20 m 及无引孔)、Ⅳ区(管桩,引孔 15 m)、Ⅱ区(微型注浆钢管桩)共 3 个区的试桩。试验过程中加强了对沉降位移的监测。管桩能够较好地穿过引孔深度范围内的

砂层,但在未引孔的范围内,由于存在摩阻力损失,导致管桩无法穿过较厚的砂层。

试桩结果表明:

(1)前2排桩桩长约为15 m,该2排桩产生的横向作用未完全显现。

(2)从第6排后管桩施工未引孔,其产生的挤土效应偏大。

(3) 当管桩施工至第 8 排以后, 后排桩挤土效果逐渐减小。

(4)若不考虑前2排桩产生的水平位移,从第3排

开始考虑管桩的影响,前3排桩引起的京沪模拟正线位置的地表水平位移为4 mm。后排桩施工结束后,模拟京沪正线位置的地表水平位移为10 mm。

(5) 根据深层水平位移的分析,地面以下 15 m 范围内的水平位移变化不大。在模拟京沪正线位置处,深部水平位移为 5.7 ~ 10 mm。

## 2.4 最终方案确定

经研究确定钻孔灌注桩作为曲阜东站高速铁路场接轨段地基加固措施的设计方案,加固平面示意图 5 所示。

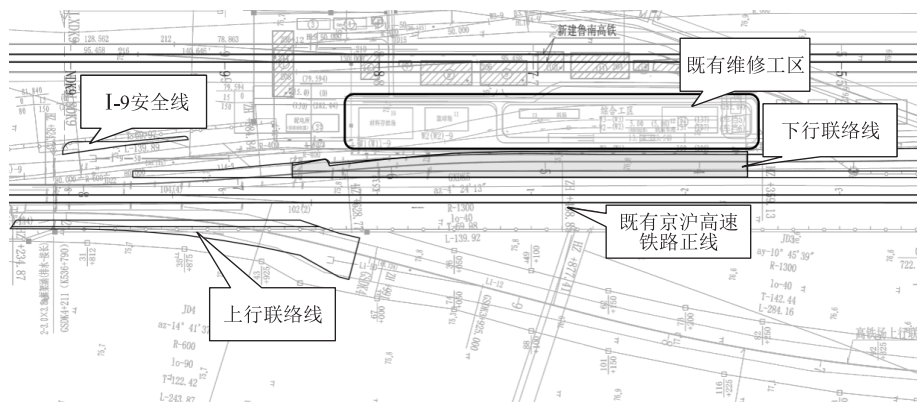


图 5 最终加固平面示意图

上、下行联络线采用埋入式桩板结构+轻质混凝土方案, I-9 安全线的地基加固措施为 CFG 桩, 如图 6 所示。该方案共计 538 根钢筋混凝土钻孔灌注桩,

总桩长 14 925 m。其中,30 m 桩长 295 根,25 m 桩长 243 根。靠近既有线第 1 排桩共计 136 根。

采用全套管全回转(液压)抓斗取土成桩工艺,

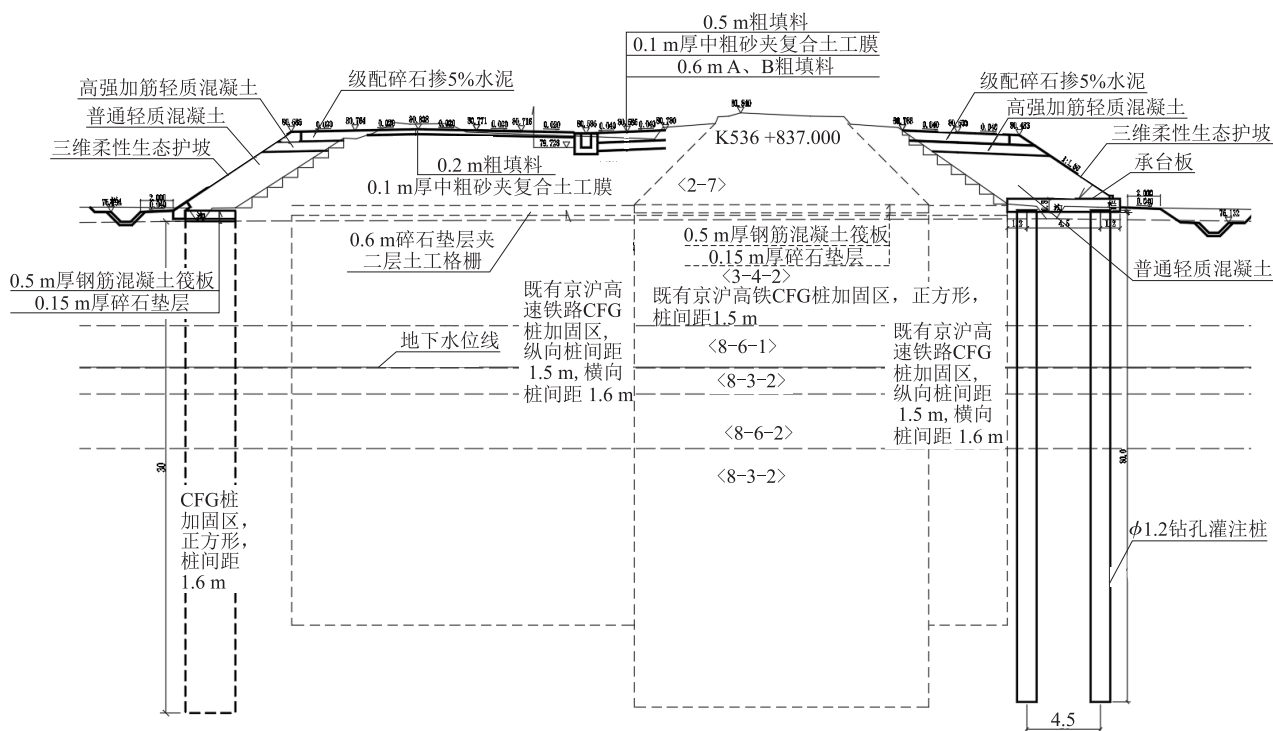


图 6 CFG 桩及桩板结构加固断面示意图



其特点:360°回转钻进,全套管(超前)钻进,管内抓土,套管内保证土体深度不小于 1 m。单桩施工时间 10 ~ 12 h,机械设备高度低,稳定性高,已应用于既有线的施工中,施工振动小,履带吊机行进效率高。同时,控制设备高度,以满足非天窗点施工的要求。CFG 桩采用长螺旋施工工艺。

高永强<sup>[10]</sup>对石济客运专线并行京沪高速铁路工程项目开展了并行 100 km 长度内自动监测系统。本项目借鉴并制定了专项自动监测方案,包括监测范围、系统设计、测点布设设计、设置预警值及报警值等,系统梳理高速铁路自动化沉降监测的实施流程和控制因素,以确保运营安全。自动监测断面示意如图 7 所示。

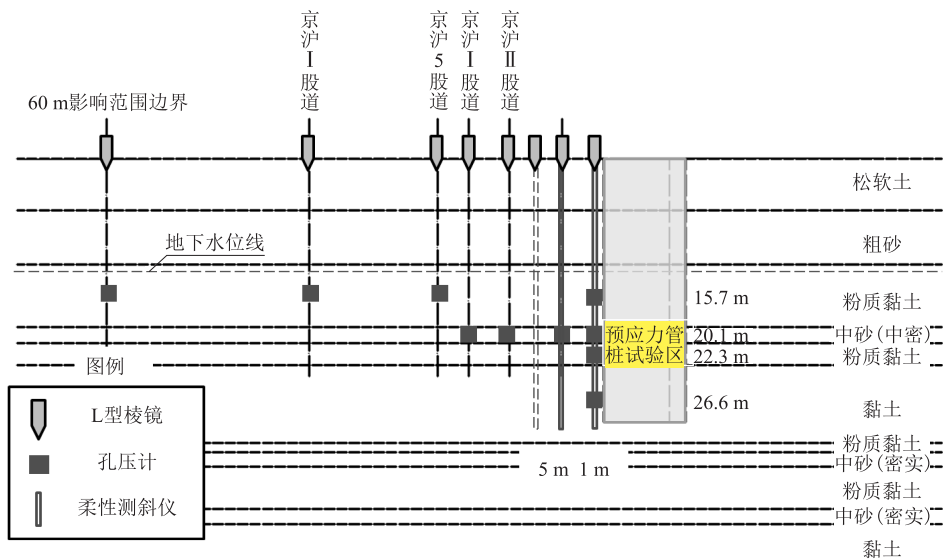


图 7 自动监测横断面示意图

3 结论

- (1)本研究改进后的全套管全回转抓斗取土工艺能够满足非天窗点施工要求,提高了钻孔桩成桩效率,缩短了工期。
- (2)本研究通过试桩工程,优化了施工工艺,确定了合理的技术参数,并结合工期要求优化了施工流程,为临近高速铁路的地基加固提供了经验。
- (3)为加强自动化沉降监测,利用既有工程沉降数据与检算模拟,发现弹性模量取值压缩模量的 10 倍回归拟合的效果较好,可为相关工程的检算提供参考借鉴。

参考文献:

[1] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建铁路曲阜至临沂城际铁路可行性研究报告[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2015.  
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Feasibility Study Report on the Newly-built Qufu-Linyi Intercity Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2015.

[2] 王宏礼, 邹文勇. 鲁南快速铁路客运通道接入曲阜东站方案研究[J]. 铁道运输与经济, 2015, 37(10): 23-28.

WANG Hongli, ZOU Wenyong. Study on Program of Connecting Passenger Transport Corridor of Shandong South Fast Railway to Qufu East Station [J]. Railway Transport and Economy, 2015, 37(10): 23-28.

[3] 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.

[4] 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, 61.  
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, 61.

[5] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].  
TB 10621-2014 Code for Design of High Speed Railway [S].

[6] 苏谦, 赵文辉, 王亚威, 等. 泡沫轻质混凝土力学特性试验研究[J]. 铁道建筑, 2016, 56(4): 144-148.  
SU Qian, ZHAO Wenhui, WANG Yawei, et al. Experimental Research on Mechanical Properties of Foam Lightweight Concrete[J]. Railway Engineering, 2016, 56(4): 144-148.

[7] 王建军. 泡沫轻质土在铁路上的应用分析[J]. 施工技术, 2017, 46(S1): 1279-1281.

(下转第 116 页)

- Railway Technology, 2018, 9(2): 67–71.
- [2] 邢云, 赵荣欣, 李博. 系杆拱桥典型架设方法的施工控制研究[J]. 桥梁建设, 2012, 42(1): 42–47.
- XING Yun, ZHAO Rongxin, LI Bo. Study of Construction Control of Tied Arch Bridges Constructed by Different Typical Erection Methods [J]. Bridge Construction, 2012, 42(1): 42–47.
- [3] 陈代海, 马凤瑞, 仇元森, 等. 高速铁路连续梁拱桥拱肋施工方案对比分析[J]. 铁道建筑, 2017, 57(9): 60–63.
- CHEN Daihai, MA Fengrui, QIU Yuanmiao, et al. Comparative Analysis of Arch Rib Construction Schemes for High Speed Railway Continuous Girder-Arch Bridge [J]. Railway Engineering, 2017, 57(9): 60–63.
- [4] 孙晓红, 任伟新. 钢管混凝土拱桥吊装施工拱肋控制点预抬高值计算[J]. 福建建筑, 2005(3): 52–54, 41.
- SUN Xiaohong, REN Weixin. Prearranged Heights Calculation of Steel Archribs during Erecting Concrete-filled Steel Tubular Archribs [J]. Fujian Architecture & Construction, 2005(3): 52–54, 41.
- [5] 傅安民. 高速铁路(90+200+90)m连续刚构拱拱肋施工方法研究[J]. 铁道建筑, 2021, 61(6): 14–19.
- FU Anmin. Research on Construction Method of (90+200+90)m Continuous Rigid Frame Arch Rib of High Speed Railway [J]. Railway Engineering, 2021, 61(6): 14–19.
- [6] 曹政. 哑铃型截面钢管混凝土系杆拱桥施工优化及受力分析[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2015.
- CAO Zheng. Dumbbell CFST Tied Arch Bridge Construction Optimization and Stress Analysis [D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2015.
- [7] 秦顺全. 桥梁施工控制: 无应力状态法理论与实践[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- QIN Shunquan. Bridge Construction Control: Theory and Practice of Stress-free State Method [M]. Beijing: China Communications Press, 2007.
- [8] 孙九春, 叶小鹏. 浦东大道9号桥竖转提升关键施工技术[J]. 施工技术, 2016, 45(11): 36–38, 45.
- SUN Jiuchun, YE Xiaopeng. The Key Construction Technology of Vertical Lifting of Pudong Avenue No. 9 Bridge [J]. Construction Technology, 2016, 45(11): 36–38, 45.
- [9] 秦翱翔, 刘世忠, 李明哲, 等. 钢管混凝土系杆拱桥拱肋及吊杆施工监控[J]. 铁道建筑, 2018, 58(9): 15–18.
- QIN Aoao, LIU Shizhong, LI Mingzhe, et al. Construction Monitoring for Arch Rib and Suspender of Concrete-filled Steel Tubular Tied Arch Bridge [J]. Railway Engineering, 2018, 58(9): 15–18.
- [10] 王胜杰. 全胶拼高速铁路3×56m连续梁施工控制技术[J]. 铁道建筑, 2022, 62(6): 99–103.
- WANG Shengjie. Construction Control Technologies of 3×56 m Fully Glued Continuous Girder in High Seed Railway [J]. Railway Engineering, 2022, 62(6): 99–103.

(上接第104页)

- WANG Jianjun. Application Analysis of Foamed Lightweight Soil in Railway [J]. Construction Technology, 2017, 46(S1): 1279–1281.
- [8] 苏谦, 赵文辉. 一种具有高耐久性能的轻质混凝土结构: CN207376387U [P]. 2018–05–18.
- SU Qian, ZHAO Wenhui. Lightweight Concrete Structure with High Durability Ability: CN207376387U [P]. 2018–05–18.
- [9] 邵国霞, 曹政. 基于三角模糊数-TOPSIS的既有高铁近接地基加固方案优选[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(2): 40–44.
- SHAO Guoxia, CAO Zhengguo. Scheme Optimization of Foundation Reinforcement Approaching Existing High-speed Railway Based on Triangular Fuzzy Number-TOPSIS [J]. Railway Standard Design, 2019, 63(2): 40–44.
- [10] 高永强. 石济客运专线并行京沪高速铁路桥梁工程沉降自动化监测[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(2): 81–87.
- GAO Yongqiang. Automatic Settlement Monitoring of Parallel Section of Shijiazhuang-Jinan Passenger Dedicated Line and Beijing-Shanghai High Speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(2): 81–87.