

文章编号: 1674—8247(2024)03—0087—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.03.016

嘉兴南站咽喉区插入道岔可行性研究与论证

何建林

(沪杭铁路客运专线股份有限公司, 上海 200000)

摘要:新建南通至宁波高速铁路拟引入嘉兴南站,修建沪甬、苏杭方向联络线接轨沪昆场,按沪昆高速铁路预留条件插入道岔,新铺道岔与既有道岔间夹直线长度为15 m,小于《高速铁路设计规范》相关规定。为探究设计方案可行性,通过数值仿真对道岔间夹直线长度为15 m时车辆的通过性能以及无缝道岔的温度力进行研究。结果表明:(1)道岔间夹直线长15 m条件下,车辆的各项动力学指标均能满足规范要求;(2)在嘉兴地区特有的温度环境下,无缝线路的温度力受道岔间夹直线长度的影响较小,其静力学指标均能满足规范要求;(3)在综合考虑工程投资、对既有铁路运营影响以及工程合理性等因素,可优化咽喉区布置,将15 m作为道岔间夹直线长度的设计标准。研究成果可为其他项目和相关规范修编提供参考。

关键词:接轨;道岔间夹直线;有限元分析;车辆通过性能;无缝道岔温度力

中图分类号:U213.9 文献标志码:A

A Feasibility Study and Demonstration on Insertion of Turnouts in the Throat Area of Jiaxing South Station

HE Jianlin

(Shanghai-Hangzhou Railway Passenger Dedicated Line Co., Ltd., Shanghai 200000, China)

Abstract: The new Nantong-Ningbo High-speed Railway aims to connect with Jiaxingnan Station, with branch lines connecting to Shanghai-Kunming High-speed Railway yard to facilitate links between Shanghai-Ningbo and Suzhou-Hangzhou directions, utilizing the reserved conditions of Shanghai-Kunming High-speed Railway to insert turnouts. However, the straight section length between the new and existing turnouts is 15 m, which falls short of the specifications outlined in the Code for Design of High-speed Railway. To explore the feasibility of this design, a simulation analysis was conducted from the perspectives of vehicle passing performance and temperature forces of continuously welded rail turnouts. The findings revealed that: (1) Under the condition of a 15 m intermediate straight section between turnouts, all dynamic performance indicators meet the code requirements. (2) In the temperature environment of the Jiaxing region, the temperature forces of continuously welded rail tracks are minimally affected by the intermediate straight section length between turnouts, with all static performance indicators satisfying code requirements. (3) Considering factors such as engineering investment, impact on existing line operations, and engineering rationality, the layout of the throat area can be optimized, adopting 15 m as the design standard for the intermediate straight section length between turnouts. The study outcomes can serve as a reference for other projects and contribute insights for revisions of related codes.

Key words: junction; intermediate straight section between turnouts; finite element analysis; vehicle passing performance; temperature forces of continuously welded rail turnouts

收稿日期:2024-04-01

作者简介:何建林(1983-),男,高级工程师。

引文格式:何建林. 嘉兴南站咽喉区插入道岔可行性研究与论证[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(3):87-91.

HE Jianlin. A Feasibility Study and Demonstration on Insertion of Turnouts in the Throat Area of Jiaxing South Station[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(3):87-91.

新建南通至宁波高速铁路设计引入嘉兴南站,正线新建通甬场,为满足本线宁波至上海方向、苏州至杭州方向客运交流^[1]需求,修建沪甬、苏杭方向联络线接轨沪昆高速铁路嘉兴南站3道、4道。线路接入沪昆高速铁路既有场,接入点前后均采用18号道岔(GLC(07)02),经比选研究采用的接轨方案如图1所示。按照沪昆高速铁路预留条件,新铺道岔与既有道岔间夹直线分别为15.38 m、15.50 m。夹直线长度满足TB 10099-2017《铁路车站及枢纽设计规范》^[2]要求,即相邻单开道岔间插入的钢轨长度,有列车同时通过两侧线一般情况采用25 m,困难情况采用12.5 m,但不满足TB 10621-2014《高速铁路设计规范》^[3]中“到发线上道岔对向布置时,应插入不小于25 m长度的钢轨”的规定。结合嘉兴南站既有情况,若以道岔间夹直线长度不小于25 m为标准进行改建,车站两端咽喉、旅客站台均需改建,信号、接触网等设施均应进行改造,不仅增加工程投资约3 300万元,而且将对沪昆高速铁路运营带来重大影响,社会影响较大。因此有必要开展针对性研究,为工程建设及设计提供理论支撑。

本文以沪昆高速铁路嘉兴南站为例,探讨车站到发线对向道岔之间的夹直线长度标准,在调研国内外现状的基础上,开展有限元模拟计算,量化道岔间夹直线长度的影响程度,论证道岔间夹直线长度15 m方案的可行性。研究成果可为其他项目提供借鉴,也可为规范修编提供参考。

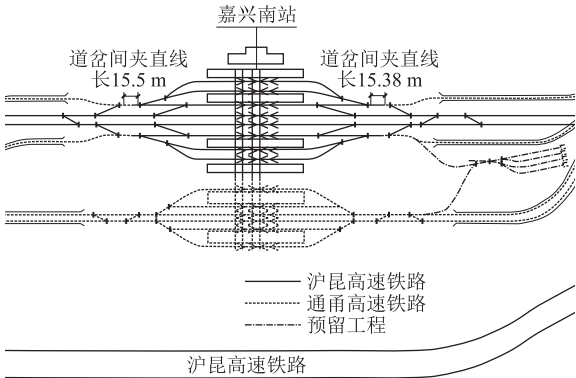


图1 嘉兴南站联络线接轨平面布置示意图

1 道岔间夹直线长度调研

1.1 国外道岔间夹直线长度

日本新干线轨道结构规定“道岔与邻近曲线间的夹直线长20 m以上,道岔间夹直线原则上应15 m以上”^[4]。

德国铁路规范对正线缓和曲线与道岔基本轨接缝直线长度无具体规定,只规定运行速度大于140 km/h条件下,各组道岔之间夹直线长度不应小于0.4 V。

欧洲轨道标准设计参数规定“两次欠超高突变夹直线长度应满足: $L=q \cdot V$ (其中 $70 \text{ km/h} \leq V \leq 100 \text{ km/h}$, q 取值0.2)”。当列车过岔速度 $V=80 \text{ km/h}$ 时,最小夹直线长度为16 m。

1.2 国内既有高速铁路客站道岔间夹直线长度案例

本文调研、收集了国内部分客运站资料^[5],针对到发线道岔对向布置夹直线长度进行统计,北京南站、济南西站、长春西站、洛阳龙门站均存在到发线道岔对向布置夹直线长度不足25 m的情况,具体情况如表1所示。

表1 到发线道岔对向布置夹直线长度不足25 m 工况案例表

车站	有无列车同时通过两侧线	道岔型号	道岔间夹直线长度
北京南站	有	60 kg18号/专线4223 A	214~230号, 12.508 m
济南西站	有	60 kg18号/GLC(07)02	24~54号, 15.477 m
长春西站	有	60 kg18号/GLC(07)02	11~25号, 15.467 m 15~29号, 15.456 m
洛阳龙门站	有	60 kg18号/专线4245 A	12~28号, 12.508 m 16~18号, 12.508 m

2 道岔间夹直线长度影响仿真分析

TB 10621-2014《高速铁路设计规范》中“到发线上道岔对向布置时,应插入长度不小于25 m的钢轨”的规定,系考虑减少无缝线路温度应力对道岔的影响。为进一步分析接轨方案道岔间夹直线长度存在的问题,量化道岔间夹直线长度的影响程度,建立有限元模型对道岔间夹直线长度缩短至15 m方案下的车辆通过性能和无缝道岔温度力进行研究。

2.1 车辆通过性能仿真计算

2.1.1 车辆-道岔耦合动力学模型

(1) 车辆模型

参照CR400BF车辆结构,车辆模型共考虑了42个自由度,包括1组车体、2组转向架和4组轮对的纵向、横移、沉浮、侧滚、点头和摇头各6个自由度^[6]。为模拟车辆悬挂系统的减振作用,模型中考虑了一系悬挂弹簧、二系空气弹簧、二系横向减振器、二系垂向减振器、横向止挡、抗侧滚扭杆和牵引拉杆等力元作用^[7]。

(2) 道岔模型

道岔区尖轨和心轨的廓形沿纵向高度和宽度逐

渐变化,根据设计图纸的控制断面廓型,将道岔各关键截面廓形离散化,再结合道岔钢轨顶宽变化规律,沿线路纵向通过数学方法进行拟合和插值即可获得道岔任意位置的钢轨截面廓形,针对道岔不同位置的廓形,拟合插值时需采取不同的离散分段方式。

为准确计算车辆通过道岔时系统各部件动态响应,建立了包含轨下基础横移、沉浮和侧滚3个自由度的道岔动力学模型,如图2所示。

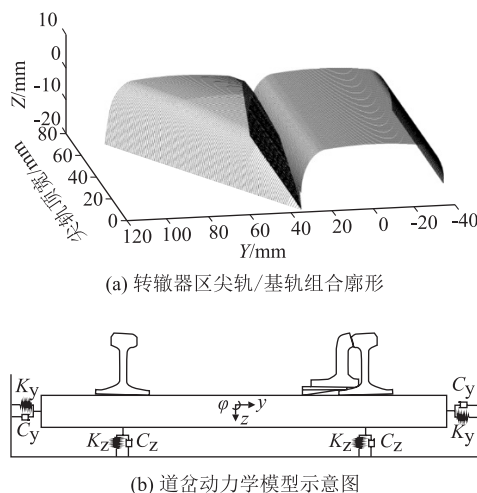


图2 道岔钢轨廓形及动力学模型示意图

(3) 轮轨接触模型

基于迹线法求解道岔区轮轨空间接触几何关系。由于道岔尖轨及心轨廓形沿线路纵向呈变截面分布,无法直接用解析式表示,根据关键断面拟合插值的方式便能得到任意位置处道岔钢轨廓形,据此用于道岔区轮轨接触几何关系计算。根据迹线法原理计算出车轮踏面的接触迹线,得到特定状态下的接触迹线 and 对应钢轨廓型数据后,采用最小距离法求解左、右侧轮轨接触点,根据左右侧轮轨接触点即可求解接触点在车轮踏面及钢轨轮廓面接触面上的位置、接触点在轮对及钢轨坐标系中的位置和接触角等接触几何参量,如图3所示。

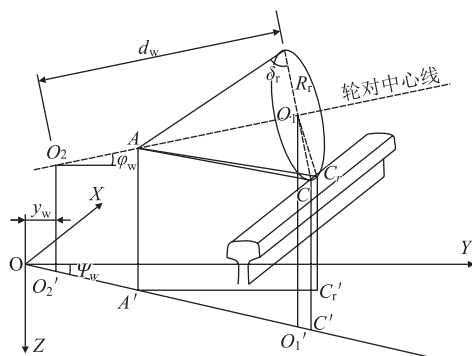


图3 迹线法原理计算示意图

道岔区轮轨接触力的求解是在道岔区轮轨接触几何关系计算结果的基础之上,计算道岔区轮轨法向力和轮轨切向蠕滑力。轮轨法向力根据半 Hertz 接触理论进行求解,轮轨蠕滑力用 Kalker 简化理论及 FASTSIM 算法进行求解^[8-12]。

2.1.2 典型工况

根据嘉兴南站平面布置,针对模拟工况分别建立两组 GLC(07)02 道岔间距 15.38 m 异向对接的车辆-道岔耦合动力学模型,车辆均以 80 km/h 直向和侧向速度通过,模型考虑轨道随机不平顺的影响。车辆及轨道主要相关参数如图4所示。

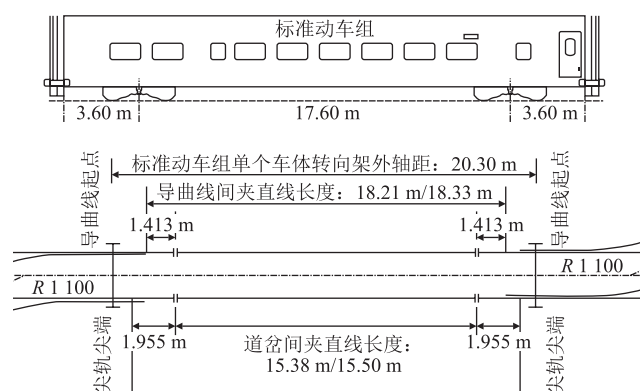


图4 车辆及轨道主要相关参数图

2.1.3 计算结果及分析

(1) 80 km/h 直向通过

车辆以 80 km/h 的速度直向通过对向道岔时,导向轮对左右车轮的轮轨垂向力、横向力、轮轴横向力、脱轨系数、轮重加载率、车体垂向加速度及横向加速度分别如图5~图9所示。

由图5~图9可知,车辆直向通过异向对接铺设道岔时,车辆、轨道各动力指标在车轮通过两道岔时出现峰值,各指标峰值统计如表2所示。

(2) 80 km/h 侧向通过

车辆以 80 km/h 的速度侧向通过对向道岔时,导向轮对左右车轮的轮轨垂向力、横向力、轮轴横向力、脱轨系数、轮重加载率、车体垂向加速度及横向加速度各指标峰值如表3所示。

由表2、表3可知,车辆以 80 km/h 的速度直向和侧向通过异向对接铺设的道岔时,各项动力学指标均能满足要求。

2.2 无缝线路温度力仿真计算

建立路基有砟轨道无缝道岔模型,计算夹直线 15 m 和 25 m 两种对向道岔工况下的温度力。根据嘉兴地区气象特征,有砟轨道无缝道岔设计锁定轨温按

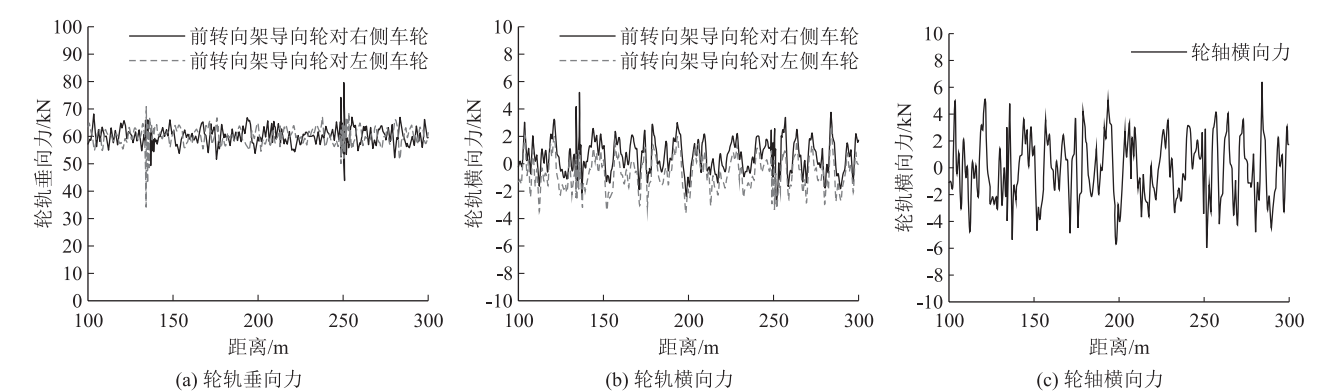


图 5 轮轨、轮轴受力图

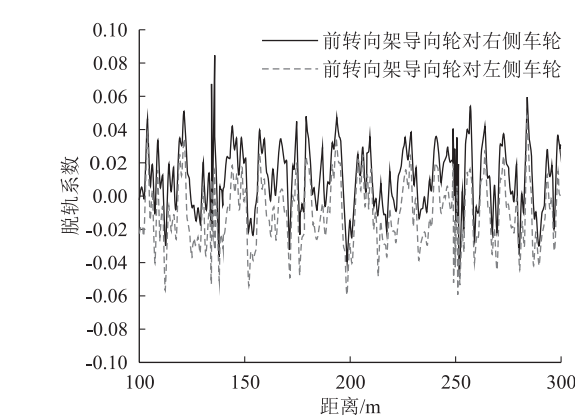


图 6 脱轨系数图

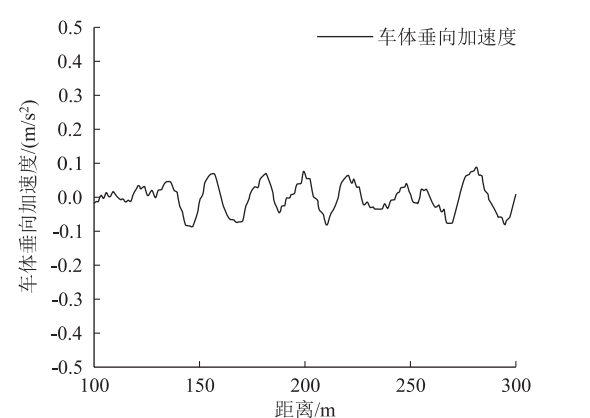


图 8 车体垂向加速度图

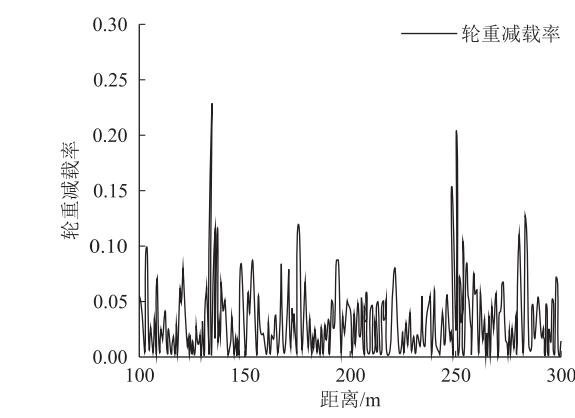


图 7 轮重减载率图

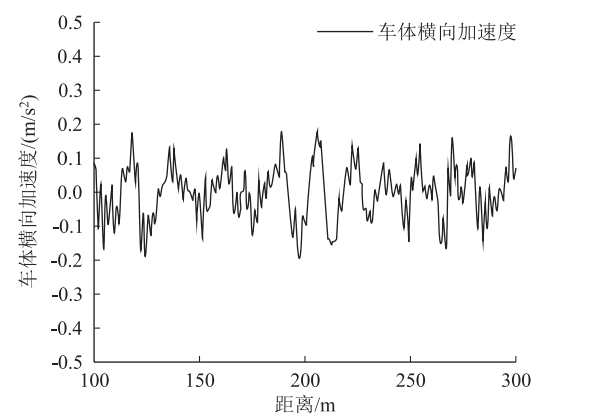


图 9 车体横向加速度图

表 2 直向过岔各动力学指标峰值表				
评价指标		右侧车轮	左侧车轮	限值
行车 安全性	轮轨垂向力/kN	79.59	70.7	170
	轮轨横向力/kN	5.29	2.78	47
	轮轴横向力/kN	6.48		50
	脱轨系数	0.084	0.051	0.8
	轮重减载率	0.23		0.8
行车 平稳性	车体垂向加速度/(m/s ²)	0.089		2
	车体横向加速度/(m/s ²)	0.194		1.5

表 3 侧向过岔各动力学指标峰值表				
评价指标		右侧车轮	左侧车轮	限值
行车 安全性	轮轨垂向力/kN	83.71	79.7	170
	轮轨横向力/kN	42.23	28.37	47
	轮轴横向力/kN	33.29		50
	脱轨系数	0.56	0.47	0.8
	轮重减载率	0.23		0.8
行车 平稳性	车体垂向加速度/(m/s ²)	0.07		2
	车体横向加速度/(m/s ²)	0.48		1.5

30 ℃ ± 3 ℃ 计,以钢轨降温 43.9 ℃ 工况,计算道岔间夹直线对钢轨温度力的影响。

2.2.1 夹直线长度对温度力的影响

(1)道岔受力检算

钢轨温度力如图 10 所示,道岔受力检算结果如表 4 所示。

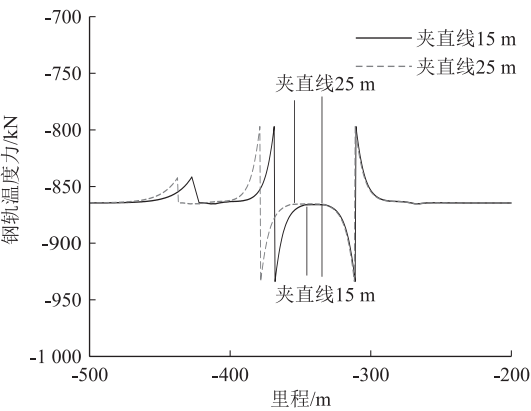


图 10 钢轨温度力图

表 4 钢轨温度力峰值统计表

项目	温度力/kN	
	夹直线 15 m	夹直线 25 m
温度力最大值	932. 561	932. 561
温度力最小值	792. 669	792. 669

根据 TB 10015 – 2012《铁路无缝线路设计规范》关于钢轨强度检算的相关规定,结果如表 5 所示。

表 5 钢轨强度检算表(MPa)

计算工况		温度+ 伸缩应力	制动 应力	轨底动弯应力	轨底 总应力
夹直线长 度	15 m	121. 033	4. 555	33. 36	158. 948
	25 m	121. 033	4. 555	33. 36	158. 948
U71Mn、U71MnG 钢轨容许应力 $[\sigma] = 457/1. 3 = 351. 5$					[351. 5]

由图 10、表 4 及表 5 可知,道岔间夹直线长度由 25 m 缩短至 15 m 时,温度力最大值、最小值相等,且夹直线范围内的钢轨温度力小于道岔钢轨受力,对道岔安全性无影响。

(2)道岔稳定性检算

按 TB 10015 – 2012《铁路无缝线路设计规范》附录 B 方法,定义 2 mm 时温度应力,采用统一公式进行稳定性检算,且考虑安全系数 $K = 1. 3$ 条件下的允许温度力。等效道床阻力取 11. 5 kN/m。

根据计算结果,满足无缝线路稳定性的允许温升为 82 ℃,而本工点实际温升 34 ℃,因此稳定性能够满足要求。

2.2.2 夹直线长度对道岔钢轨位移的影响

根据计算结果,提取道岔尖轨尖端相对于基本轨位移、心轨尖端相对于翼轨位移进行检算。

夹直线长 15 m 时,尖轨尖端相对于基本轨位移 18. 346 mm,夹直线长 25 m 时为 18. 345 mm,二者均满足小于 40 mm 的要求,且仅相差 0. 001 mm;心轨尖端相对于翼轨位移同样满足小于 20 mm 的要求,且相差仅 0. 001 mm。故夹直线长度 25 m 调整为 15 m 对钢轨位移基本无影响。

2.2.3 夹直线长度对道岔限位器受力的影响

根据计算可知,夹直线长度 25 m 时,间隔铁受力最大为 149. 571 kN,与夹直线长度 15 m 时相等,且满足间隔铁受力要求。故夹直线长度 25 m 调整为 15 m 对限位器受力状态无影响。

2.3 方案可行性分析

通过仿真模拟道岔间 15 m 夹直线工况,接轨道岔与既有道岔间夹直线长 15. 38 m、15. 50 m 能够满足各项动力学指标,且在嘉兴地区温度环境下无缝线路温度力对道岔影响较小。

3 结论

本文在调研国内外铁路标准的基础上,通过建立有限元模型,从车辆通过性能及无缝道岔温度力开展仿真分析,量化道岔间夹直线的影响程度,得到主要结论如下:

(1)道岔间夹直线长 15 m 能够满足各项动力学指标;在嘉兴地区特定温度环境下,无缝线路温度力受道岔间夹直线长度的影响较小,表明嘉兴南站咽喉区按预留条件插入道岔具可行性。

(2)综合考虑工程投资、对既有铁路运营影响、工程合理性等的因素,可优化咽喉区布置,将 15 m 作为道岔间夹直线长度的设计标准。

参考文献:

[1] 中国铁路设计集团有限公司. 新建南通至宁波高速铁路可行性研究报告[R]. 天津: 中国铁路设计集团有限公司, 2022.
China Railway Design Corporation. Feasibility Study Report on the Construction of Nantong-Ningbo High-speed Railway[R]. Tianjin: China Railway Design Corporation, 2022.

[2] TB 10099 – 2017 铁路车站及枢纽设计规范[S].
TB10099 – 2017 Code for Design of Railway Station and Terminal [S].

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

参考文献:

- [1] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].
TB 10621-2014 Code for Design of High Speed Railway [S].
- [2] TB 10099-2017 铁路车站及枢纽设计规范[S].
TB 10099-2017 Code for Design of Railway Station and Terminal [S].
- [3] TB 10082-2017 铁路轨道设计规范[S].
TB 10082-2017 Code for Design of Railway Track [S].
- [4] TB 10098-2017 铁路线路设计规范[S].
TB 10098-2017 Code for Design of Railway Line [S].
- [5] 朱颖, 许佑顶, 林世金, 等. 高速铁路建造技术-下-设计卷[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
ZHU Ying, XU Youding, LIN Shijin, et al. High-speed Railway Construction Technology-Part II-Design Volume [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2015.
- [6] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建郑州至万州铁路河南、湖北省界至万州段初步设计[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2016.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Preliminary Design of Henan and Hubei Provincial Boundary to Wanzhou Section of Zhengzhou-Wanzhou Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2016.
- [7] 刘杰. 高速铁路站场专业设计接口探讨[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(6): 95-99.
LIU Jie. On the Design Interfaces of High-speed Railway Station and Yard Discipline [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(6): 95-99.
- ~~~~~
- (上接第91页)
- [4] 孙海富. 高速铁路道岔与曲线间夹直线优化研究[J]. 铁道工程学报, 2020, 37(2): 17-20.
SUN Haifu. Research on the Straight Line Optimization between Turnout and Curve of High Speed Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2020, 37(2): 17-20.
- [5] 宋唯维, 施善斌. 基于杭长客运专线谈高速铁路车站与既有车站并站设计[J]. 高速铁路技术, 2011, 2(1): 23-26.
SONG Weiwei, SHI Shanbin. Design for Merger between High-speed Railway Station and Existing Station Based on Hangzhou-Changsha Passenger Dedicated Line [J]. High Speed Railway Technology, 2011, 2(1): 23-26.
- [6] 刘冀, 徐井芒, 王平, 等. 车轮磨耗对高速车辆侧向过岔动力学性能的影响[J]. 铁道标准设计, 2023, 67(6): 37-45.
LIU Ji, XU Jingmang, WANG Ping, et al. Effects of Wheel Wear on Dynamic Performance of High-speed Vehicles Passing through Branch Line of Turnouts [J]. Railway Standard Design, 2023, 67(6): 37-45.
- [7] 张志良, 史海欧, 袁泉, 等. 地铁道岔侧向速度提升和低磨耗结构设计研究[J]. 铁道建筑, 2021, 61(6): 129-134.
ZHANG Zhiliang, SHI Haiou, YUAN Quan, et al. Research on Structure Design of Increasing Passing Speed and Low Wear in the Diverging Route of Metro Turnouts [J]. Railway Engineering, 2021, 61(6): 129-134.
- [8] 陈嵘, 陈嘉胤, 王平, 等. 轮径差对道岔区轮轨接触几何和车辆过岔走行性能的影响[J]. 铁道学报, 2018, 40(5): 123-130.
CHEN Rong, CHEN Jiayin, WANG Ping, et al. Effect of Wheel Diameter Difference on Wheel-Rail Contact Geometry and Vehicle Running Behavior in Turnout Area [J]. Journal of the China Railway Society, 2018, 40(5): 123-130.
- [9] 秦清华. 城市轨道交通桥梁线形变化对列车运行性能的影响[J]. 铁道建筑, 2018, 58(7): 142-146.
QIN Qinghua. Influence of Linear Change of Urban Rail Transit Bridge on Train Running Behaviour [J]. Railway Engineering, 2018, 58(7): 142-146.
- [10] 高志国. 高速铁路大跨桥上无缝道岔理论研究与工程应用[J]. 中国铁路, 2022(8): 195-201.
GAO Zhiguo. Theoretical Study on Welded Turnout on Long-span Bridge of High Speed Railway and Its Engineering Application [J]. China Railway, 2022(8): 195-201.
- [11] 时瑾, 龙许友, 魏庆朝, 等. 高速铁路站场岔后曲线参数优化研究[J]. 铁道工程学报, 2010, 27(7): 29-33.
SHI Jin, LONG Xuyou, WEI Qingchao, et al. Study on Parameter Optimization of Curves Behind the Turnouts in Station Yard of High-speed Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2010, 27(7): 29-33.
- [12] 陈浩, 芦道林. 高速铁路道岔动力学分析及关键技术研究[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(3): 40-46.
CHEN Hao, LU Daolin. Kinetic Analysis of High-speed Railway Turnout and Research of Its Key Technologies [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(3): 40-46.