

城市轨道交通 14 号道岔结构设计方案及其性能分析

方 东 周华龙 王小韬 周昌盛 刘宇航

(中铁二院工程集团有限责任公司, 610031, 成都)

摘 要 [目的]既有城市轨道交通线路道岔存在侧向过岔速度偏低进而影响折返能力的问题。为使地铁 8 节编组 A 型车在远期具备 30 对/h 的能力,需要设计可满足高速过岔要求的道岔结构方案,使道岔侧向过岔速度达到 67 km/h。[方法]以钢轨质量规格为 60 kg/m 的 14 号道岔(以下简称“14 号道岔”)为研究对象,提出了 14 号道岔及其交叉渡线的结构设计方案。根据现行的相关标准和规范,运用道岔转换计算理论,对所提设计方案进行了岔尖轨转换计算。建立了无缝道岔有限元模型,对 14 号无缝道岔的设计方案进行了静力学仿真分析。[结果及结论]该设计方案的道岔转换力、不足位移最大值、轮缘槽宽最小值均满足控制指标要求,道岔钢轨强度、传力部件强度、可动部分纵向位移值均满足规范要求。

关键词 城市轨道交通; 轨道线路; 14 号道岔; 结构设计; 过岔速度

中图分类号 U231.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.03.029

Structural Design Scheme and Performance Analysis of Urban Rail Transit No. 14 Turnout

FANG Dong, ZHOU Hualong, WANG Xiaotao, ZHOU Changsheng, LIU Yuhang

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 610031, Chengdu, China)

Abstract [Objective] Existing urban rail transit turnouts suffer from low lateral crossing speed, which adversely affects turn-back capacity. To enable 8-car A-type metro trains to achieve a capacity of 30 pairs per hour in the long term, it is necessary to design a turnout structure scheme that can meet high-speed crossing requirements, with a lateral crossing speed of up to 67 km/h. [Method] The research takes a No. 14 turnout with a rail mass specification of 60 kg/m (hereinafter referred to as 'No. 14 turnout') as research object, and a structural design scheme for the No. 14 turnout and its diamond crossing is proposed. Based on current relevant standards and specifications, the turnout conversion calculation theory is employed to perform switch rail conversion calculations for the proposed design scheme. A seamless turnout finite element model is established to conduct static simulation analysis for the

design scheme of No. 14 seamless turnout. [Result & Conclusion] The proposed design scheme meets the required control indicators for turnout conversion force, maximum allowable displacement, and minimum wheel flange groove width. Furthermore, the strength of the turnout rails, force transmission components, and longitudinal displacement of movable parts are all compliant with the specifications.

Key words urban rail transit; rail line; No. 14 turnout; structural design; crossing speed

随着城市轨道交通线路客运量的持续增加,部分城市的骨干线路运能已不满足需求。为提高线路运能,部分城市轨道交通线路采用了地铁 8 节编组 A 型车的超长编组方案,该方案下线路在远期须具备 30 对/h 的系统能力。与地铁 6 节编组 A 型车的编组方案相比,该方案下列车长度较长,列车在折返线内的走行距离也有所增加。为了保证线路具备 30 对/h 的折返能力,需要提高列车在折返线内的运行速度。为此,道岔侧向过岔速度须达到 67 km/h^[1],方能满足列车折返的时间要求。因此,需要设计一种满足高速过岔要求的道岔结构设计方案。本文以钢轨质量规格为 60 kg/m 的 14 号道岔(以下简称“14 号道岔”)为研究对象,对 14 号道岔进行结构设计,并分析其性能。

1 14 号单开道岔结构设计

1.1 一般结构

14 号单开道岔的轨距按 1 435 mm 进行设计。经调研^[2],目前城市轨道交通正线一般均为设置了轨底坡的线路(其轮轨接触状态较无轨底坡的线路更好),因此本文的 14 号单开道岔在岔区设置了坡度为 1/40 的轨底坡或轨顶坡。14 号单开道岔用于整体道床时,采用长枕埋入式无砟道床,岔枕断面与铁路客运专线道岔的岔枕断面相同,以提高轨道结构的整体性。14 号单开道岔用于碎石道床时,岔枕采用提速型岔枕结构,并在预埋套管周围设置螺

旋筋。

1.2 扣件系统

14号单开道岔的扣件系统由底板、铁座、Ⅲ型弹条、轨距块、轨下胶垫、板下弹性垫板、调高垫板、复合定位套或复合偏心套、盖板、岔枕螺栓、弹簧垫圈等多个零部件组成。

1.3 转辙器结构

1.3.1 尖轨尖端结构设计方案

尖轨与基本轨的贴靠方式为水平藏尖式,藏尖深度为3 mm,尖轨尖端的顶部宽度按理论值(2 mm)进行设计,尖轨工作边和非工作边的斜度均为1:4。为加强尖轨尖端区域的稳定性,基尖轨密贴区段的斜面应贴合藏尖结构,以提高列车在道岔区段运行的安全性^[3]。

1.3.2 尖轨轨型、防跳设计方案

尖轨采用60AT2型钢轨,该轨型的横向抗弯刚度小,可有效减小尖轨的扳动力。基尖轨处于密贴状态时,尖轨与基本轨轨头下颚配合,以实现防跳。基尖轨处于斥离状态时,则设置防跳限位装置。尖轨采用防跳措施后,能够优化轮轨的动力学指标,防止或减少尖轨拱腰等病害,改善道岔的运行状态^[4]。

1.3.3 滑床板结构设计方案

14号道岔采用弹性扣压滑床板,通过弹性夹扣压道岔基本轨,为道岔提供较好的弹性,并保持扣压力稳定。此外,14号道岔采用辊轮滑床板技术,在尖轨扳动部分设置了2对双轮辊轮和2对单轮辊轮装置。

1.3.4 尖轨跟端结构设计方案

尖轨跟端采用弹性可弯结构,对长肢侧轨底进行铣削,以降低尖轨的横向刚度,进而减小扳动力。在尖轨跟端设置2个限位器,2个限位器间预留10 mm间隙,以满足较大轨道温度变化下的空间要求。

1.3.5 牵引点设置方案

转辙器按2个牵引点进行设计。道岔的电务系统均采用分动外锁闭装置。转辙机通过托板安装在岔枕上,在道岔轨件及岔枕上预留电务安装孔。

1.4 合金钢组合辙叉

心轨采用锻造合金钢,叉跟轨、翼轨均采用在线热处理钢轨制造。综合考虑辙叉长度、岔枕排布、翼轨弯折位置、间隔铁排布等因素,本文14号道岔辙叉采用M27高强螺栓,螺栓数量为20套。

1.4.1 合金钢心轨、间隔铁设计方案

合金钢心轨的趾端宽度为60.0 mm,跟端宽度

为82.5 mm。心轨与叉跟轨连接处的轨头宽度为100.0 mm,轨腰宽度为110.0 mm。心轨长度为2 850 mm。心轨工作边一侧为直线,另一侧为曲线。

间隔铁采用整铸式或机加工成型,共设计13块间隔铁,其中:双孔间隔铁9块,双孔间距为150 mm,宽度为230.0 mm;单孔间隔铁4块,宽度为150.0 mm。

1.4.2 翼轨、叉跟轨设计方案

翼轨采用60 kg/m在线热处理钢轨制造。在其水平方向设置了2个弯折点,垂直方向有6 mm的抬高设计。翼轨与心轨之间采用间隔铁连接。

叉跟轨采用60 kg/m在线热处理钢轨制造,在其水平方向设置了1个弯折点,叉跟轨跟端部位的扭转角度比例为1:40。直股侧叉跟轨为直线型,曲线侧叉跟轨为曲线型。

1.4.3 辙叉组合方案

心轨与间隔铁的连接结构采用坡度为4°的斜面(以下简称“4°斜面”)楔形结构,即将心轨两侧设计为4°斜面的楔形结构,与同样设有4°斜面的间隔铁进行组装。该连接结构能防止心轨、翼轨间的上下错动,使合金钢辙叉的整体刚度更大,稳定性更好。对与合金钢心轨间隔铁匹配的叉跟轨轨腰部位进行成型加工,可提高辙叉的制造精度,降低其组装难度。

1.5 护轨及护轨垫板

采用钢轨质量规格为33 kg/m的槽型护轨,护轨顶面高出导轨顶面12 mm。导轨内侧的扣压方式与转辙器的扣压方式相同,均采用弹性夹扣压。护轨调整片采用圆孔式,以避免其产生脱落现象^[5]。

2 14号道岔交叉渡线结构设计

2.1 一般结构

14号道岔交叉渡线(渡线间距为5 m)的一般结构与14号单开道岔一致,扣件系统采用Ⅲ型弹条安装扣件,锐角辙叉部分护轨采用钢轨质量规格为33 kg/m的槽型护轨,护轨垫板采用弹性夹扣压基本轨。道岔单开部分及菱形直股部分的轨距均为1 435 mm,钝角辙叉范围内的轨距为1 440 mm,锐角辙叉部分的轨距为1 435 mm。在锐角辙叉趾端接缝前完成轨距的过渡。

2.2 辙叉结构

在交叉渡线区段,14号道岔A型辙叉、B型辙

叉均采用合金钢组合辙叉。为满足锐角辙叉部分护轨的安装要求,将序号为 74 号至 77 号岔枕上辙叉部分的垫板更换为护轨垫板,其余部分结构均与 14 号单开道岔合金钢组合辙叉结构一致。由于通

过 7 号锐角辙叉、7 号钝角辙叉时的列车运行速度相对较低,本文采用了传统的高锰钢整铸辙叉。7 号锐角辙叉、7 号钝角辙叉的主要参数如表 1 所示。

表 1 7 号锐角辙叉、7 号钝角辙叉的主要参数

Tab.1 Main parameters of No.7 acute-angle and obtuse-angle frogs

辙叉类型	长度/ mm	趾距/ mm	跟距/ mm	趾端开口宽度/ mm	跟端开口宽度/ mm	咽喉区宽度/ mm	轮缘槽宽/ mm
7 号锐角辙叉	4 203	1 844	2 359	262.7	332.8	65	46
7 号钝角辙叉	6 864	3 432	3 432	489.1	489.1	47	47

注:2 种辙叉的辙叉角均为 $8^{\circ}10'16''$ 。

3 14 号道岔的螺栓防松设计

对 14 号道岔区域所有关键部位的螺栓进行防松设计:

- 1) 顶铁采用防转支座进行机械防松;
- 2) 限位器设防转槽,螺母侧设螺母防松帽,配合开口销,实现防松防脱;
- 3) 护轨螺栓采用加开口销的方式进行防脱设计;
- 4) 辙叉采用钢轨垫圈防转片结构,防止螺栓松动。

4 14 号道岔的转换计算

4.1 计算参数

14 号单开道岔的尖轨长度为 14.340 m,扳动到正位时的密贴段长度为 5.836 m,扳动到反位时的密贴段长度为 5.836 m,尖轨跟端类型为弹性可弯^[6]。

尖轨牵引方案为:采用多机多点分动外锁闭的牵引方式,设置 2 个牵引点,第 1 个牵引点距尖轨尖端 0.480 m,动程为 0.16 m;第 2 个牵引点距尖轨尖端 5.355 m,动程为 0.08 m。

14 号道岔的主要计算参数包括:

1) 道岔平面线形:导曲线半径为 680.717 5 m;采用割线形曲线尖轨,相离值为 4 mm;导曲线实际起点与尖轨尖端的距离为 3.264 m,导曲线理论起点与尖轨尖端的距离为 4.339 m。

2) 尖轨长度为 14.340 m,其中弹性可弯段长度为 3.200 m,弹性可弯段中心点与尖轨尖端的距离为 9.941 m。

3) 设置 4 组辊轮,这 4 组辊轮分别距尖轨尖端 0.120 m、3.195 m、6.245 m、9.245 m。辊轮的摩擦

因数均取 0.05,辊轮的抬高量均取 0.003 m。

4) 滑床台的摩擦因数取 0.25。

4.2 计算结果

4.2.1 转换力计算

根据计算结果,第 2 个牵引点的转换力远远大于第 1 个牵引点。第 2 个牵引点转换力达到最大值后开始减小,其原因是此时该牵引点已经扳动到位。尖轨由定位到反位的过程中,第 1 个牵引点的最大转换力为 1 535.16 N,第 2 个牵引点的最大转换力为 2 982.27 N;尖轨由反位到定位的过程中,第 1 个牵引点的最大转换力为 1 518.46 N,第 2 个牵引点的最大转换力为 2 987.04 N。2 个牵引点的最大转换力均未超过指标控制值(一般为 4 200 N)。

4.2.2 不足位移计算

根据计算结果,尖轨转换完成后在第 1 个牵引点、第 2 个牵引点处的不足位移为 0,且第 1 个牵引点、第 2 个牵引点之间的不足位移最大值小于第 2 个牵引点至尖轨跟端之间的不足位移最大值。由定位到反位的过程中,尖轨在距尖轨尖端 9.30 m 位置处产生的不足位移最大值为 0.58 mm。由反位到定位的过程中,尖轨在距尖轨尖端 9.06 m 位置处产生的不足位移最大值为 0.34 mm。上述不足位移最大值均小于控制指标值(2 mm)。

4.2.3 轮缘槽宽计算

尖轨由定位到反位、由反位到定位 2 个过程的轮缘槽宽如图 1 所示。由图 1 可知:尖轨由定位到反位、由反位到定位 2 个过程的轮缘槽宽变化几乎一致,均呈现出随着与尖轨尖端距离的增加,轮缘槽宽先减小后增大的趋势;这 2 个过程中,与尖轨尖端的距离为 6.78 m 测量点处的轮缘槽宽均最小,其值为 80.32 mm。该值可以满足控制指标(最小轮缘槽宽不小于 65 mm)要求。

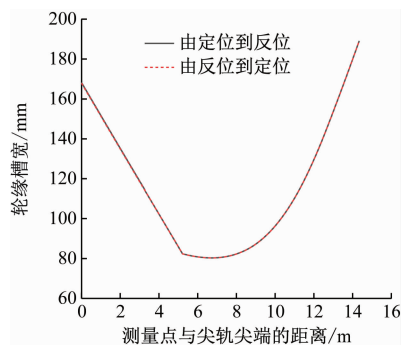


图1 尖轨由定位到反位、由反位到定位的轮缘槽宽

Fig.1 Wheel flange groove width of the point rail from normal position to reverse position and vice versa

5 14号无缝道岔静力学分析

5.1 确定静力学参数

14号无缝单开道岔全长为46.300 m,其中:前长为21.927 m,后长为24.373 m。道岔采用牌号为

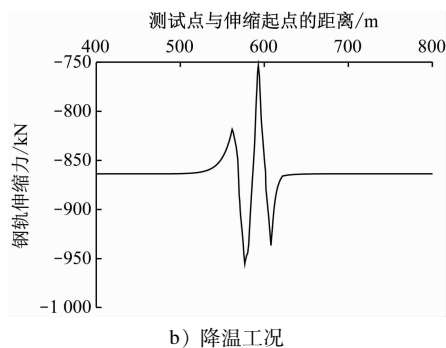
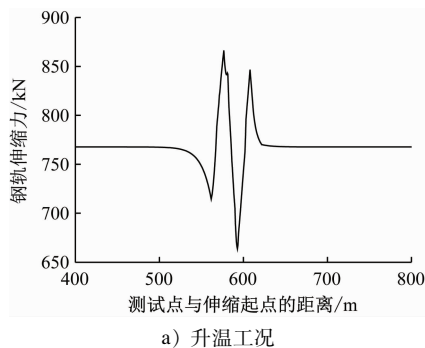


图2 2种温度工况下钢轨伸缩力随测试点距离的变化曲线

Fig.2 Curves of rail tensile force changing with distance from test points under two temperature conditions

分别对左开道岔(编号为1#道岔)、右开道岔(编号为2#道岔)进行数值仿真分析。升温、降温工况下这2个道岔的尖轨位移如表2所示。这2个道岔均为固定辙叉,只有转辙器尖轨可动,其余部分均不可动。

表2 1#道岔、2#道岔的尖轨位移计算结果

Tab.2 Calculation results of point rail displacement of No.1 turnout and No.2 turnout

项目	1#道岔尖轨位移/mm		2#道岔尖轨位移/mm	
	升温工况	降温工况	升温工况	降温工况
绝对位移	10.81	-12.51	-10.81	12.50
相对于基本轨的伸缩位移	10.79	-12.48	-10.79	12.48

注:取沿列车运行方向的向右位移为正值。

5.2.2 列车制动工况计算结果分析

制动力通过轮轨摩擦直接作用于轨面,然后通

过扣件将部分荷载传递到路基上。作用于轨面的制动力集度 q 的计算式为:

计算时,列车荷载选用城际铁路列车活载,列车荷载的加载长度为400 m。设定最高轨温为65℃,最低轨温为-20℃,锁定轨温为25℃。

5.2 计算结果分析

5.2.1 伸缩工况计算结果分析

分别分析了升温、降温2种工况下正线I股道的伸缩力,图2为2种温度工况下钢轨伸缩力随测试点距离的变化曲线。由图2可知:升温工况下,钢轨的最大伸缩力为866.34 kN;降温工况下,钢轨的最大伸缩力为-955.29 kN。

过扣件将部分荷载传递到路基上。作用于轨面的制动力集度 q 的计算式为:

$$q = \mu Q \quad (1)$$

式中:

μ ——轮轨黏着系数;

Q ——设计荷载。

参照UIC(国际铁路联盟)标准, μ 取0.164。分别分析正线I股道列车从左至右制动、从右至左制动2个制动工况下钢轨纵向力随测试点距离的变化曲线,其计算结果如图3所示。由图3可知:从左至右制动工况下,钢轨的纵向附加压力最大值为32.36 kN,纵向附加拉力最大值为30.96 kN;从右至左制动工况下,钢轨的纵向附加压力最大值为30.96 kN,纵向附加拉力最大值为32.36 kN。

5.2.3 钢轨强度检算结果分析

表3为钢轨强度的检算结果。由表3可知:钢

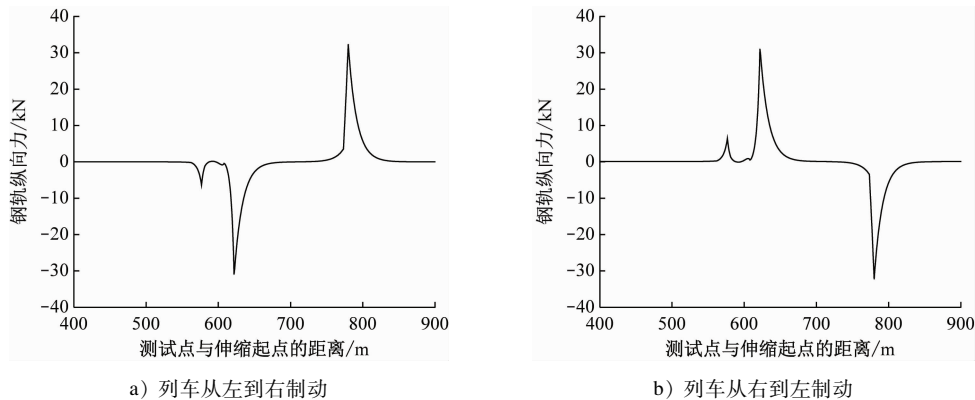


图3 2种制动工况下钢轨纵向力随测试点距离的变化曲线

Fig. 3 Curves of rail longitudinal force changing with distance from test points under two braking conditions

表3 钢轨强度检算结果

Tab. 3 Rail strength checking calculation results

项目	钢轨动弯 应力/MPa	伸缩应力/ MPa	制动应力/ MPa
钢轨纵向受压	125.50	111.86	4.18
钢轨纵向受拉	107.56	128.51	4.18

轨纵向应力均未超出钢轨允许应力值(363.08 MPa),钢轨强度满足要求。

5.2.4 道岔可动部分的纵向位移检算

经检算,尖轨尖端相对于基本轨的纵向伸缩位移均小于规定限值(40 mm)的要求。

6 结语

本文提出了14号道岔及其交叉渡线的结构设计方案,运用道岔转换计算理论对所提设计方案进行了道岔尖轨转换计算。建立了无缝道岔有限元模型,对14号无缝道岔设计方案进行了静力学仿真计算和分析。

计算结果表明:优化后的14号无缝道岔转换力、不足位移最大值、轮缘槽宽最小值、钢轨纵向压力、钢轨纵向拉力等指标值,以及尖轨尖端相对于基本轨的纵向伸缩位移均满足控制指标要求。下一阶段应进一步研究城市轨道交通线路14号单开道岔刚度的分布规律,并对道岔刚度采取均匀化措施,以提高列车快速过岔时乘客乘坐的舒适性,减少钢轨及道岔养护维修的工作量,延长设备零部件的使用寿命。

参考文献

[1] 李成辉. 轨道[M]. 成都:西南交通大学出版社,2005.

LI Chenghui. Rail[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2005.

- [2] 熊维,田春香,徐井芒,等. 地铁12号道岔线形优化设计研究[J]. 铁道工程学报,2017,34(10):87.
XIONG Wei, TIAN Chunxiang, XU Jingmang, et al. Research on the optimization design about layout of No. 12 metro turnout[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(10):87.
- [3] 王国术. 城市轨道交通60 kg/m 钢轨12号对称道岔设计[J]. 铁道建筑,2018,58(4):130.
WANG Guoshu. Design of No. 12 symmetrical turnout matching 60 kg/m rail for urban rail transit[J]. Railway Engineering, 2018, 58(4):130.
- [4] 周华龙,陈嵘,陈馨超. 深圳地铁9号道岔关键新技术的设计研究[J]. 低碳世界,2014,4(7):199.
ZHOU Hualong, CHEN Rong, CHEN Qingchao. Design and research on key new technologies of No. 9 turnout in Shenzhen Metro[J]. Low Carbon World, 2014, 4(7):199.
- [5] 张刚. 城市轨道交通用60 kg/m 钢轨9号单开道岔的研制[J]. 山西建筑,2019,45(6):118.
ZHANG Gang. The development of No. 9 turnout of 60 kg/m rail of urban rail transit[J]. Shanxi Architecture, 2019, 45(6):118.
- [6] 于浩,王平,徐井芒,等. 高速道岔尖轨转换锁闭力计算分析[J]. 铁道标准设计,2020,64(10):24.
YU Hao, WANG Ping, XU Jingmang, et al. Calculation and analysis of locking force of high speed turnout point rail switching[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(10):24.

· 收稿日期:2023-11-02 修回日期:2024-01-26 出版日期:2025-03-10
Received:2023-11-02 Revised:2024-01-26 Published:2025-03-10
· 通信作者:方东,工程师,709975397@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