

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2023.05.023

现代有轨电车6号单开新型道岔设计

闫宇青

(中铁宝桥集团有限公司,陕西宝鸡721006)

摘要:为满足现代有轨电车正线道岔的实际需求,提出一种新型的有轨电车60R2槽型钢轨6号单开道岔结构,通过科学设计与理论检算方法分析6号单开新型道岔的平面线型、转辙器结构及辙叉及护轨结构的可靠性、安全性和养护维修的方便性。研究表明:在道岔转辙器设计时,引入“直+曲”组合尖轨线型和采用弹性可弯结构可消除跟端活接头结构的调道病害和道岔的不平顺性;采用合金钢尖轨的跟端固定结构能很好的限制尖轨水平、垂直、纵向等运动;采用上下层焊接的深浅槽式合金钢组合辙叉结构,能延长辙叉服役寿命,提高现代有轨电车侧向通过交叉渡线的安全性。

关键词:现代有轨电车;槽型钢轨;合金钢;道岔设计

中图分类号: U482.1;U213.6

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2023)05-0157-06

Design of the New No. 6 Single Turnout with 60R2 Grooved Rail for Modern Trams

YAN Yuqing

(China Railway Baoqiao Group Co., Ltd., Baoji, Shaanxi 721006, China)

Abstract: In order to meet the actual needs of modern tram mainline switches in urban rail transit, a new type of No. 6 single turnout with 60R2 grooved rail has been developed for modern tram line. Through scientific design and theoretical calculation methods, the reliability, safety, and convenience of maintenance of the plane line type, switch structure, frog and guard rail structure of the No. 6 single turnout were studied and analyzed. The results are as follow. In the design of the turnout switch, the introduction of a "straight + curved" combination switch rail line and the use of an elastic and bendable structure have eliminated the track adjustment defects and unevenness of the turnout caused by the trailing end movable joint structure; The heel fixed structure using alloy steel pointed rails can effectively limit the horizontal, vertical, and longitudinal deformations of the pointed rails; A deep and shallow groove type alloy steel composite frog structure with welded upper and lower layers has been used to extend the service life of the frog and improve the safety of modern trams passing through the cross crossover laterally.

Keywords: modern tram; grooved rail; alloy steel; turnout design

现代有轨电车运行可靠、舒适、节能、环保等特点,作为城市新兴先进的公交方式,已完成了从传统到现代化的转变,在全球得到推广应用。传统的铁路道岔主要由工字轨加工制造而成,现代有轨电车道岔主要用槽型钢轨加工制造。现代有轨电车主要铺设于城市路面,要便于钢轨埋入地面,还能够给电车提供走行轨道,在保证电车正常运行的同时,还要

保证路面其他交通参与者的正常通行。有轨电车道岔设计时要保证埋入式结构的耐用性和维修方便。因此,有轨电车道岔对材料及道岔用轨型的选择有着较为特殊的要求,道岔不仅要安全可靠,而且要性能稳定,适应性强。为了积极响应国家内外双循环发展战略,应尽快研发适合国际市场更多轨型、结构形式、扣件形式及集成化的有轨电车道岔产品,为

收稿日期:2023-05-14

修稿日期:2023-06-30

基金项目:国家自然科学基金项目(51778484)

作者简介:闫宇青(1984—),男,高级工程师,主要从事轨道交通道岔设计等方面工作。E-mail:28239914@qq.com

“一带一路”建设贡献更多的力量。

国内外对道岔设计方面的研究积累了大量宝贵经验,文献[1]收集了我国铁路道岔各个发展阶段的重点产品,对具有代表性的道岔还提供了配套的转辙设备主要技术参数和部件布置图。赵晨^[2]针对国家铁道试验中心环形试验线的运行需求,设计了 60 kg/m 钢轨 15 号单式同侧道岔。文献[3]系统论述天津地铁 6 号线道岔选型,通过对三开道岔与普通道岔结构、侧向速度、导曲线半径、配线形式等经济和技术比较分析方法,定性和定量的阐述了地铁设计中根据车站周边房屋楼群,交通疏解,管线切改等周边环境的制约,选用三开道岔类型的合理性。张立军等^[4]介绍了交叉渡线道岔的平面线型、结构设计、扣件系统、轨下基础等关键技术。该道岔是一种新型重载渡线道岔,可与现有 160 km/h 的提速道岔用交叉渡线道岔实现替换,其单开辙叉、锐角辙叉、钝角辙叉均采用合金钢组合辙叉,以达到延长道岔及其部件使用寿命的目的,采用弹性铰接装置可有效隔断震动的传递,调整铰接岔枕之间离缝。赵振华等^[5]基于既有 50 kg/m 钢轨 9 号道岔的现场调研和重载铁路道岔关键设计技术,提出新型 50 kg/m 钢轨 9 号单开道岔设计原则。王树国等^[6]根据国内外重载铁路道岔运营实践和技术发展趋势,提出了重载道岔设计的技术原则和技术指标。骆焱等^[7]采用 60AT2 尖轨并设置轨顶坡,提高了列车经过岔区时的平稳性和旅客的乘坐舒适度;采用镶嵌翼轨式合金钢组合辙叉提高了辙叉使用寿命,减小了养护维修量;采用不同刚度的板下弹性垫层,实现了城市轨道交通道岔区的刚度均匀化及整体低刚度化,有效降低了岔区的振动噪声。刘婷林等^[8]采用弹性可弯式尖轨提出了新道岔转辙器,彻底消除了活接头病害,对辙叉跟端进行了优化(采用夹板连接),选用 33 kg/m 槽型护轨,基本轨内侧采用弹性扣压,提高了车辆段道岔的通过速度(侧向通过速度由 25 km/h 提高到 35 km/h),保证了道岔功能要求。王雷等^[9]介绍 60R2 槽型钢轨 6 号不对称三开道岔的设计,阐述道岔平面线型、结构设计等关键技术。蔡鲁泉等^[10]以北京有轨电车西郊线轨道安装工程为例,介绍了道岔施工中现场准备、道岔布置、道床立模、道岔精调、道床混凝土浇筑、道岔施工、道床顶面施工等具体施工工序,总结出了有轨电车槽型钢轨道岔安装施工技术。近年来,我国研制的现代有轨电车道岔结构主要有以下三种。主要结构型式

及优缺点对比如表 1 所示,方案一采用高锰钢转辙器与整铸造高锰钢辙叉,由于高锰钢无法直接与导轨焊接,其尖轨跟端养护维修量大,而辙叉需要整体铸造,需要个性化开模,不能通用。方案二转辙器采用焊接式框架阻焊,焊接工艺要求高,且转辙器不易清理框架槽,道岔结构整体复杂,维修难度大;方案三采用了拼装式转辙器与焊接辙叉组合结构,整体性好,寿命长,性价比高而且维护工作量小。

由表 1 可知,转辙器尖轨设计中,转辙器跟端采用活接头(枢轴式)结构以达到降低转辙机转换力的目的。尖轨跟端采用压板限位的方式满足无缝线路的使用要求。这两者之间存在着一定的矛盾,采用跟端活接头时,容易发生尖轨跟端连接结构变形、接头错牙引起的掉道等病害;采用跟端压板限位时,容易引起扳动力过大,限位装置失效等病害。为解决这一矛盾,既能满足尖轨无缝线路的使用要求,又能保证道岔尖轨顺利实现搬动转换。

基于现代有轨电车道岔实际运用中存在的痛点问题,本文拟提出一种新型合金钢弹性可弯尖轨及跟端限位机构,以满足道岔无缝线路的使用需要和解决道岔尖轨搬动力过大等问题。

1 60R2 槽型钢轨 6 号单开道岔结构设计

1.1 平面线型设计

现代有轨电车 60R2 槽型钢轨 6 号单开道岔主要技术参数如下:道岔角度 $9^{\circ}27'44''$,全长 $L = 16\ 000\text{ mm}$,前长 $a = 4\ 760\text{ mm}$,后长 $b = 11\ 240\text{ mm}$,轨距 1 435 mm。导曲线为单圆曲线,导曲线半径为 50 m。尖轨按相离 6 mm 半切线型设计,导曲线实际起点在理论 28 mm 断面,密贴段结束处在尖轨理论 35 mm 断面。道岔平面线型如图 1 所示。

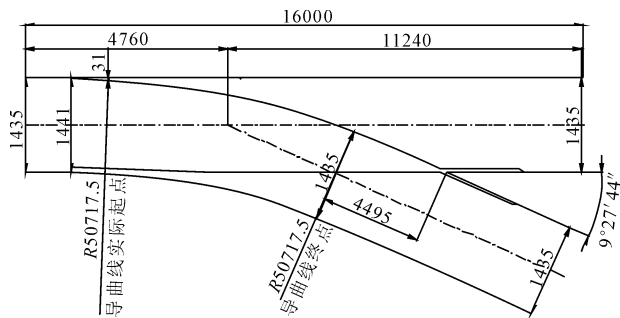





图 1 60R2 槽型钢轨 6 号单开道岔线型图(单位:mm)

表 1 现代有轨电车主要结构及优缺点

序号	结构型式名称	结构示例	主要优缺点
1	方案一:高锰钢转辙器 + 整铸造高锰钢辙叉		高锰钢无法直接与导轨焊接;枢轴式尖轨跟端养护维修量大;普通高锰钢辙叉表面硬度提升周期过长;高锰钢铸造需要开模,各种型号模具不能通用。
2	方案二:焊接转辙器 + 高锰钢辙叉		焊接式框架组焊零部件多,焊接要求高,产品整体尺寸精度低;转辙器框架内腔较深,不易清理;道岔整体结构复杂,维修养护难度大;相对其他结构服役寿命短。
3	方案三:拼装式转辙器 + 焊接辙叉		整体性好,寿命长;性价比高,维护工作量小。

为了提高道岔转辙区尖轨强度,延长道岔服役寿命,将尖轨向非工作边侧水平加厚 3 mm,导曲线实际起点变为 31 mm 断面,密贴段结束处变为 38 mm 断面,增加了曲线尖轨的粗壮度,提高了尖轨的耐磨性,如图 2 所示。

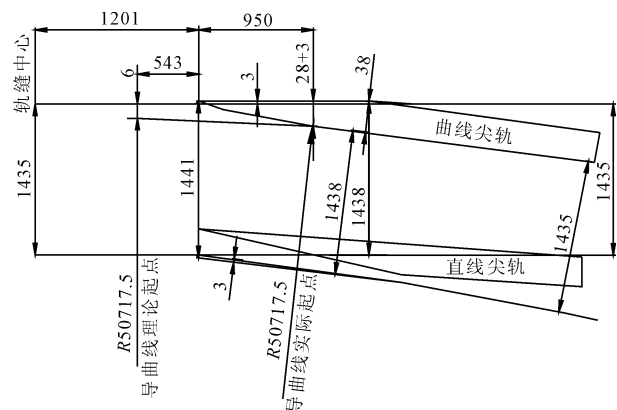


图 2 60R2 槽型钢轨 6 号单开道岔转辙器部分轨距图

轨底,轨头、轨底均采用圆弧过渡。如图 3 所示。

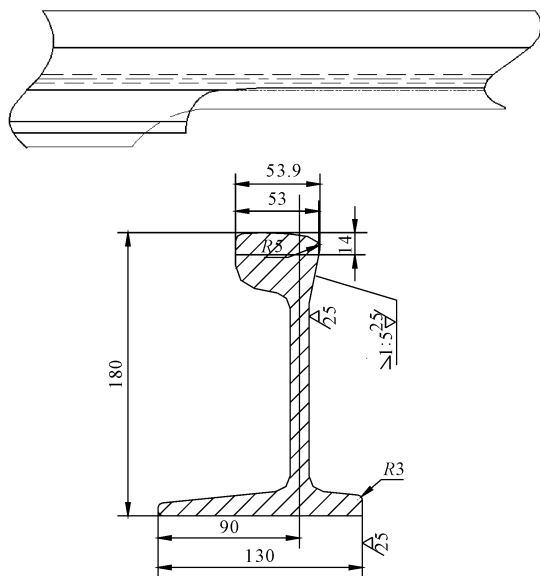


图 3 基本轨结构示意图

1.2 转辙器设计

1.2.1 基本轨设计

道岔区基本轨采用 60R2 钢轨加工制造,分直曲和左右侧。采用 1:5 斜藏尖结构,同时铣削内侧

1.2.2 转辙器框架与尖轨结构设计

(1) 尖轨结构设计。转辙区尖轨采用合金钢板加工制造,尖轨在下料时,按照尖轨的设计外形轮廓进行下料,以提高尖轨的加工效率和材料利用率。

由于本次尖轨设计采用了合金钢板加工制造,设计灵活性强,设计时考虑转辙机的接口尺寸,为降低尖轨在转换时的搬动力,考虑弹性可弯段的设计,为

保证弹性可弯尖轨固定端的可靠性,设计时配合尖轨固定端结构,考虑弹性可弯尖轨固定端设计。尖轨各断面设计具体如图 4 所示。

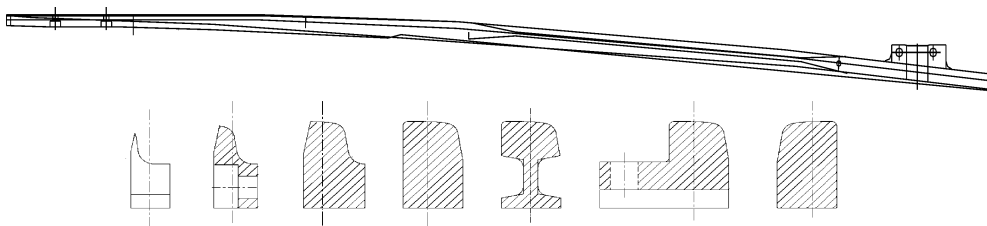


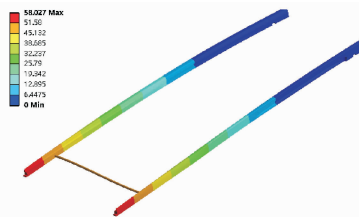
图 4 合金钢尖轨示意图

(2) 尖轨强度验算。为了保证尖轨设计的可靠性,对尖轨建立了三维有限元模型,变截面梁采用关键断面插值形成连续结构,如图 5 所示。对尖轨的设计强度进行校核,分别对直线、曲线尖轨的 15 mm、25 mm、35 mm 断面进行强度检算。尖轨不同断面的强度校核示意图见图 6。由图 5 和图 6 可知,直线、曲线尖轨各薄弱断面强度均小于合金钢材料的屈服极限,且安全系数均大于 2.5,尖轨的强度满足设计要求,具体见表 2。

(3) 尖轨搬动力检算。为了校核尖轨的实际搬动力是否满足设计理论值的要求,建立尖轨与转辙机耦合有限元模型,对尖轨的设计搬动力进行校核。经计算,当尖轨牵引点动程按照设计动程 60 mm 时,尖轨前端开口值为 68 mm,扳动力为 2 378.6 N,远小于转辙机的额定功率 3 500 N,可以看出尖轨的结构设计合理,满足工电配合的要求,搬动力计算见图 7。



图 5 尖轨三维模型图



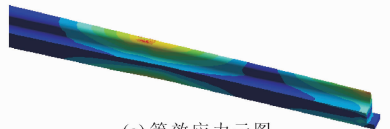
(a) 尖轨尖端最大等效位移



(a) 等效应力云图

Tabular Data				
Time [s]	Force Reaction (X) [N]	Force Reaction (Y) [N]	Force Reaction (Z) [N]	Forc
1.	0.	0.	2266.5	2266.5

(b) 尖轨搬动力计算示意图



(b) 等效位移云图

图 6 尖轨 15 mm 断面等效位移及等效应力云图

表 2 合金钢尖轨各断面计算结果

校核内容	最大受力/MPa	最大移动量/mm	设计安全系数
尖轨 15 mm 断面	383.83	3.22	2.53
尖轨 25 mm 断面	285.34	2.75	2.86
尖轨 35 mm 断面	225.67	2.46	3.25

图 7 尖轨尖端最大等效位移及尖轨搬动力计算示意图

(4) 尖轨跟端结构设计。弹性可弯尖轨设计的核心技术为尖轨动程选择、弹性可弯段长度的确定及跟端固定结构的设计。有轨电车道岔的轨型较为特殊,基本轨没有对应的尖轨 AT 轨的轨型,因此尖轨固定端的设计更为特殊和重要,为了改变以往有轨电车尖轨采用 50AT1 或 60AT1 钢轨,跟端固定结构采用压板扣压,设计了一种能限制尖轨跟端六个自由度的限位结构,有效的解决尖轨跟端在线路使用过程中出现的错牙及爬行而引起的掉道病害,具体见图 8。

1.3 辙叉及护轨设计

1.3.1 合金钢辙叉设计

道岔合金钢辙叉采用分层焊接结构,上层为

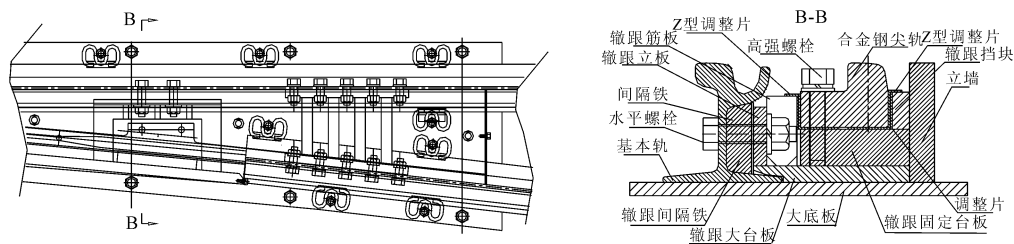


图 8 弹性可弯尖轨固定端结构示意图

合金钢钢板、下层为普通结构钢,辙叉两头加工成 60R2 槽型钢轨,与标准钢轨进行厂内闪光焊连接,具体如图 9 所示。护轨采用合金钢加工而成,与槽型钢轨栓接,为保护轨安装稳固,在护轨与槽型钢轨腰间设置间隔铁。

1.3.2 合金钢辙叉深、浅槽计算

为了保证有轨电车顺利通过菱形交叉,特对菱

形交叉部分的深浅槽进行了模拟计算。辙叉轮缘槽深、浅槽设计原则在于车轮通过辙叉有害空间处,最不利情况下车轮踏面同时接触翼轨和心轨,并考虑车轮磨耗极限情况下,车轮与辙叉间具有足够的接触宽度,以保证车轮安全通过,辙叉区域轮轨关系示意及车辆踏面如图 10 所示。

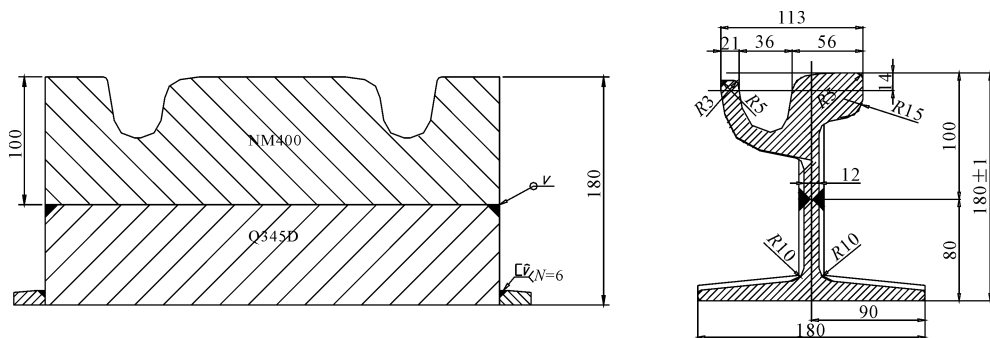


图 9 上下层组合合金钢辙叉示意图

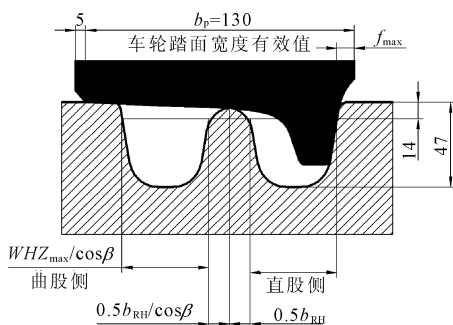
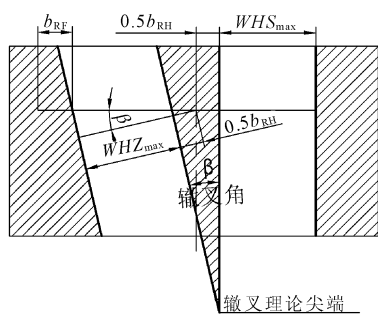


图 10 辙叉俯视图及辙叉断面图

根据辙叉区域轮轨关系示意图(图 10)可得公式(1),如果其值大于等于 0,说明最不利过岔情况下,车轮与辙叉间具有足够的接触宽度,辙叉可按深槽设计;否则,辙叉有害空间区域应按浅槽设计,使得最不利情况下,可通过浅槽设计抬高车轮,使其安全通过。

$$b_p - f_{max} - WHS_{max} - (0.5 \times b_{RH}) - ((0.5 \times b_{RH}) + WHZ_{max}) / \cos\beta - b_{RF} \geq 0 \quad (1)$$

1.4 电务接口设计

现代有轨电车 6 号单开道岔尖轨设一个牵引点,尖轨尖端开口值、动程分别为 68 mm 和 60 mm,见图 11。

2 厂内试制试铺和现场使用效果

(1) 厂内试铺。为了验证 60R2 槽型钢轨合金钢道岔设计的合理性,特对首组道岔进行了试制和试铺。试制试铺过程中通过对所有零件进行厂内组装和工电联调,通过测试道岔各部位尺寸均能满足设计要求和用户需求。

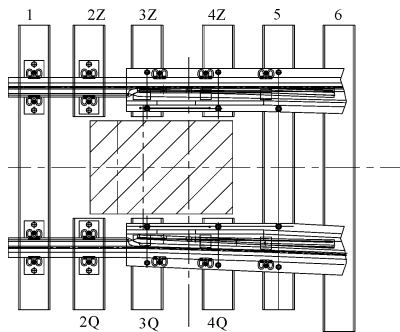


图 11 工电接口示意图

(2) 现场使用效果。现代有轨电车 60R2 槽型钢轨 6 号合金钢道岔于 2020 年 6 月正式在云南普者黑有轨电车示范线上道试运营,道岔整体状态良好。通过对道岔的上道检测,发现尖轨和辙叉采用合金钢材质后,极大地提升了道岔的整体耐磨性和服役寿命。弹性可弯尖轨跟端结构稳定。另外,也可进一步提升转辙器跟端结构的稳定性,防止现有结构由于跟端高强螺栓松动或者断裂造成掉道病害发生,后续将尖轨的固定端后移,通过设置大间隔铁的方式,以提升跟端结构的稳定性。

3 结 论

基于现代有轨电车道岔实际运用中存在的痛点问题,本文提出了一种新型的有轨电车线路用 60R2 槽型钢轨 6 号单开道岔结构,通过科学设计与理论检算方法分析了 6 号单开新型道岔的平面线型、转辙器结构及辙叉及护轨的结构的可可靠性、安全性和养护维修的方便性。主要得出如下结论:

(1) 研发了国内首组 60R2 槽型钢轨 6 号单开道岔,在槽型钢道岔引入“直+曲”组合尖轨线型,合金钢尖轨首次采用弹性可弯结构,消除了跟端活接头结构的调道病害和道岔的不平顺性。

(2) 采用合金钢尖轨的跟端固定结构能很好的限制了尖轨水平、垂直、纵向等方向的运动。

(3) 采用上下层焊接的深浅槽式合金钢组合辙叉结构,延长了辙叉服役寿命,提高了现代有轨电车侧向通过交叉渡线的安全性。

(4) 对现代有轨电车 6 号槽型钢道岔尖轨强度及搬动力进行了理论计算,为后续类似产品的开发设计提供了理论支撑。

参考文献:

- [1] 杨 西. 铁路道岔参数手册[M]. 中国铁道出版社, 2009.
- [2] 赵 晨. 60 kg/m 钢轨 15 号单式同侧道岔设计[J]. 铁道建筑, 2023, 63(1): 14-18.
- [3] 孟凡铁. 天津地铁 6 号线三开道岔的应用研究[J]. 铁道标准设计, 2012(11): 5-11.
- [4] 张立军, 葛 晶, 樊小平. 27 t 轴重 60 kg/m 钢轨 12 号 5.0 m 线间距交叉渡线道岔设计[J]. 铁道建筑, 2021, 61(9): 124-128.
- [5] 赵振华, 司道林, 王 璞, 等. 50 kg/m 钢轨新型 9 号单开道岔设计[J]. 中国铁路, 2021(7): 41-46.
- [6] 王树国, 葛 晶, 王 猛, 等. 重载铁路 12 号道岔设计[J]. 铁道建筑, 2013(12): 98-102.
- [7] 骆 焱, 乔神路. 城市轨道交通 60 kg/m 钢轨 12 号单开道岔设计研究[J]. 铁道勘察, 2020, 46(3): 142-146.
- [8] 刘婷林, 石 熠, 乔神路. 城市轨道交通车辆段新型 9 号单开道岔设计研究[J]. 铁道勘察, 2020, 46(3): 123-127.
- [9] 王 雷, 张立军, 李永茂, 等. 60R2 槽型钢轨 6 号不对称三开道岔设计[J]. 铁道建筑, 2019, 59(2): 143-146.
- [10] 蔡鲁泉, 张群英, 闫 龙, 等. 有轨电车槽型钢道岔施工技术[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(9): 216-219.

(上接第 90 页)

- [12] 张巨松, 扬 合, 曾 尤. 国内外混凝土发泡剂及发泡技术分析[J]. 低温建筑技术, 2001, 5(4): 66-67.
- [13] 王翠花, 潘志华. 混凝土发泡剂的泡沫稳定性研究[J]. 化学建材, 2006, 22(3): 47-50.
- [14] Li T, Wang Z, Zhou T, et al. Preparation and properties of magnesium phosphate cement foam concrete with

H_2O_2 as foaming agent[J]. Construction and Building Materials, 2019, 205(30): 566-573.

- [15] Jones M R, Ozlutas K, Li Z. Stability and instability of foamed concrete[J]. Magazine of Concrete Research, 2016, 68(11): 1-8.