

城市轨道交通车辆回流装置与专用轨的匹配关系研究

黄远清 刘玉民 刘东坡 陈晓丽

(北京轨道交通技术装备集团有限公司, 100044, 北京)

摘要 [目的]采用钢轨回流的城市轨道交通车辆在运行过程中产生的杂散电流会对附近金属物造成电腐蚀,而专用轨回流方式可解决此类问题。有必要对城市轨道交通车辆回流装置与专用轨的匹配关系进行综合分析。[方法]通过分析城市轨道交通车辆回流装置与专用轨之间的结构匹配特点,基于城市轨道交通车辆转向架、回流装置、走行轨及专用轨等结构的参数,以及悬挂参数和限界,创新性地建立了垂向和横向的尺寸链分析方法,校核了某城市轨道交通在6种工况下车辆回流装置与专用轨的空间尺寸匹配关系。通过SIMPACK仿真软件建立带回流装置车辆整车动力学仿真模型,分析在4种工况下车辆回流装置与专用轨的垂向接触压力在列车运行过程中是否处于合理范围内。[结果及结论]车辆回流装置与专用轨的空间尺寸匹配关系校核表明:回流装置的部分结构需要调整。仿真分析表明:车辆回流装置与专用轨的垂向接触压力均在合理范围内。

关键词 城市轨道交通; 车辆回流装置; 专用轨; 匹配关系
中图分类号 U225.4⁺5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.08.049

Research on the Matching Relationship between Backflow Device and Special Rail of Urban Rail Transit Vehicles

HUANG Yuanqing, LIU Yumin, LIU Dongpo, CHEN Xiaoli

(Beijing Rail Transit Technology and Equipment Group Co., Ltd., 100044, Beijing, China)

Abstract [Objective] The stray current generated during the operation of urban rail transit vehicles with rail backflow method will cause electrical corrosion to nearby metal objects, while the special rail return mode can solve such problems. It is necessary to comprehensively analyze the matching relationship between the backflow device of urban rail transit vehicles and the special rail. [Method] Based on the structural parameters of bogies, backflow devices, running rails and special rails of urban rail transit vehicles, as well as their suspension parameters and gauges, a vertical and horizontal dimensional chain analysis method is innovatively established by analyzing

the structural matching characteristics between the backflow device and the special rail. The spatial size matching relationship between the vehicle backflow device and the special rail of an urban rail transit vehicle under six working conditions is checked. The vehicle dynamics simulation model with backflow device is established by SIMPACK simulation software. Whether the vertical contact pressure between vehicle backflow device and special rail is within a reasonable range during train operation is analyzed under four working conditions. [Result & Conclusion] The checking of the spatial size matching relationship between the vehicle backflow device and the special rail shows that partial structure of the backflow device needs to be adjusted. Simulation analysis verifies that the vertical contact pressure between the vehicle backflow device and the special rail is within a reasonable range.

Key words urban rail transit; vehicle backflow device; special rail; matching relationship

目前,采用钢轨回流的城市轨道交通车辆在运行过程中产生的杂散电流会对附近金属物造成一定的电腐蚀,而采用专用轨回流可防止此类问题发生。因此,城市轨道交通车辆回流装置与专用轨匹配关系的研究显得尤为必要。

1 车辆回流装置与专用轨的结构匹配特点

城市轨道交通车辆回流装置安装在车辆转向架上,转向架^[1]由构架、回流装置、车轮车轴、轴箱装置及一系悬挂等系统组成,其中:一系悬挂由一系弹簧和一系橡胶垫等组成,回流装置由安装座、复位气缸、调节齿板、扭簧及碳滑板等组成。回流装置处于城市轨道交通车辆转向架、专用轨、走行轨,以及CJJ/T 96—2018《地铁限界标准》中规定的车辆轮廓、车辆限界及设备限界所形成的空间区域内,在车辆运行过程中,该装置根据车辆动力学状态在所形成的区域内动态变化。城市轨道交通车

辆回流装置与专用轨结构示意图如图 1 所示。另外,回流装置存在工作、自由及切除等 3 种状态:该装置处于工作状态时,碳滑板与专用轨始终接触;该装置处于自由状态时,碳滑板能达到最高位置;该装置处于切除状态时,碳滑板能够达到最低位置。

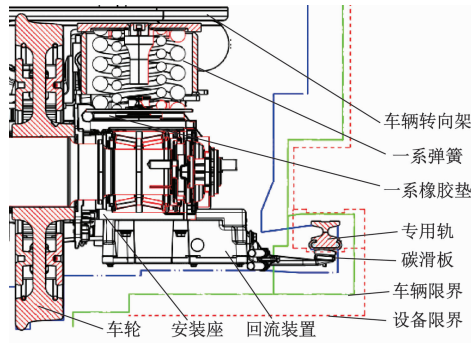


图 1 城市轨道交通车辆回流装置与专用轨结构示意图

Fig. 1 Diagram of urban rail transit vehicle backflow device and the special rail structure

在正线、车辆段、停车场、跨线区域及道岔等区域存在断轨区^[2],而在断轨区则存在端部弯头^[3],

回流装置通过专用轨断轨区时须经过滑出专用轨再进入专用轨。回流装置在滑出专用轨过程中,碳滑板与端部弯头经历了从完全接触、部分接触、临界接触、开始脱离到完全脱离的状态转变,进入专用轨过程则相反,两者之间存在匹配关系。

2 车辆回流装置与专用轨的空间尺寸匹配关系

2.1 尺寸链分析方法的建立

对车辆回流装置和专用轨的匹配结构进行详细分析后^[4-5],定义初始状态为 AW0(空载)时,专用轨轨面与走行轨轨面保持平行且在一定尺寸位置。规定车辆前进方向为 X 向(纵向),垂直于钢轨轨面为 Z 向(垂向),根据右手定则确定 Y 向(横向)。在垂向,垂直轨面向下为负,向上为正;在横向,靠近轨道中心为负,远离轨道中心为正。

2.1.1 垂向尺寸链

影响垂向尺寸链组成环的车辆、走行轨及专用轨等的尺寸符号见表 1—表 3。

表 1 影响垂向尺寸链组成环的车辆尺寸符号

Tab. 1 Vehicle dimension symbols affecting vertical dimensional chain assembly rings

项目	基本尺寸符号	上偏差符号	下偏差符号
车轮磨损(超定值后需对回流装置高度调整)	A_1	$A_{1,上}$	$A_{1,下}$
车轮镟修后高度(超定值后需对回流装置调整,调整后仍存在偏差)	A_2	$A_{2,上}$	$A_{2,下}$
轮轨间隙导致车轮在轨道上垂向位移(如等效锥度为 0.1~0.6,最小轮轨间隙为 10~62 mm)	A_3^*	$A_{3,上}$	$A_{3,下}$
轴箱体与车轴安装偏差(轴承中心线到轴箱体上端面的公差)	A_4	$A_{4,上}$	$A_{4,下}$
一系橡胶垫变化量(AW0(空载)—1.3AW3(超载))	A_5^*	$A_{5,上}$	$A_{5,下}$
一系悬挂加垫厚度(超定值后需调整四角高、轮重及轴重差)	A_6^*	$A_{6,上}$	$A_{6,下}$
一系弹簧两端上下止挡的间隙(如设置)	A_7^*	$A_{7,上}$	$A_{7,下}$
构架上安装一系弹簧的端面到安装回流装置端面的距离公差	A_8	$A_{8,上}$	$A_{8,下}$
回流装置(含旋转轴)安装端孔距碳滑板的距离偏差	A_9	$A_{9,上}$	$A_{9,下}$
碳滑板磨损量	A_{10}	$A_{10,上}$	$A_{10,下}$
电气间隙值(电压为 1 500 V 或 750 V 或额外规定的其他电压)	A_{11}^*	$A_{11,上}$	$A_{11,下}$

注: * 表示其尺寸需根据具体结构进行判断,表 2—表 5 类同。

表 2 影响垂向尺寸链组成环的走行轨尺寸符号

Tab. 2 Running rail dimension symbols affecting the vertical dimensional chain assembly rings

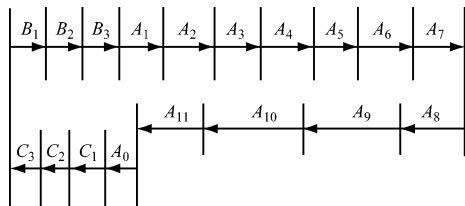
项目	基本尺寸符号	上偏差符号	下偏差符号
走行轨安装偏差	B_1^*	$B_{1,上}$	$B_{1,下}$
走行轨磨损	B_2	$B_{2,上}$	$B_{2,下}$
走行轨弹性变形	B_3	$B_{3,上}$	$B_{3,下}$

表 3 影响垂向尺寸链组成环的专用轨尺寸符号

Tab. 3 Special rail dimension symbols affecting the vertical dimensional chain assembly rings

项目	基本尺寸符号	上偏差符号	下偏差符号
专用轨安装偏差	C_1	$C_{1,上}$	$C_{1,下}$
专用轨磨损	C_2	$C_{2,上}$	$C_{2,下}$
专用轨端部弯头	C_3^*	$C_{3,上}$	$C_{3,下}$

通过表 1—表 3 形成垂向尺寸链示意图,见图 2。



注: A_0 为垂向尺寸链的封闭环,为碳滑板与专用轨轨面的间距。

图 2 回流装置与专用轨的垂向尺寸链示意图

Fig. 2 Diagram of backflow device and special rail vertical dimensional chain

2.1.2 横向尺寸链

影响横向尺寸链组成环的车辆、走行轨及专用轨等的尺寸符号见表 4—表 6。

表 4 影响横向尺寸链组成环的车辆尺寸符号

Tab. 4 Vehicle dimension symbols affecting horizontal dimensional chain assembly rings

项目	基本尺寸 符号	上偏差 符号	下偏差 符号
轮轨间隙	D_1^*	$D_{1,上}$	$D_{1,下}$
列车通过曲线时轨距加宽量	D_2^*	$D_{2,上}$	$D_{2,下}$
车轮在一定条件下的横向移动	D_3^*	$D_{3,上}$	$D_{3,下}$
车轮横向组装误差	D_4	$D_{4,上}$	$D_{4,下}$
轴箱轴承横向游隙量	D_5	$D_{5,上}$	$D_{5,下}$
一系橡胶垫横向偏移量	D_6	$D_{6,上}$	$D_{6,下}$
一系弹簧横向变形量	D_7	$D_{7,上}$	$D_{7,下}$
一系橡胶垫定位安装误差	D_8	$D_{8,上}$	$D_{8,下}$
一系弹簧位置至回流装置安装孔的偏差	D_9	$D_{9,上}$	$D_{9,下}$
回流装置安装孔到回流装置转轴的偏差	D_{10}	$D_{10,上}$	$D_{10,下}$
回流装置转轴到碳滑板中心的距离	D_{11}	$D_{11,上}$	$D_{11,下}$

表 5 影响横向尺寸链组成环的走行轨尺寸符号

Tab. 5 Running rail dimension symbols affecting horizontal dimensional chain assembly rings

项目	基本尺寸 符号	上偏差 符号	下偏差 符号
走行轨安装偏差	E_1^*	$E_{1,上}$	$E_{1,下}$
走行轨侧面磨耗	E_2	$E_{2,上}$	$E_{2,下}$
走行轨横向弹性变形量	E_3	$E_{3,上}$	$E_{3,下}$
走行轨内侧面到轮对内侧面的接触间距	E_4	$E_{4,上}$	$E_{4,下}$

通过表 4—表 6 形成回流装置与专用轨的横向尺寸链示意图,见图 3。

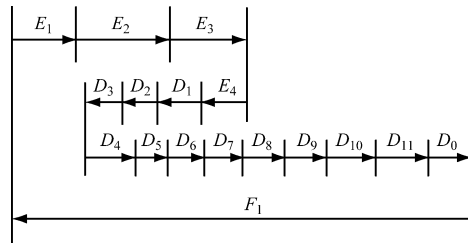
某碳滑板宽度和专用轨接触面宽度取值见

表 7。

表 6 影响横向尺寸链组成环的专用轨尺寸符号

Tab. 6 Special rail dimension symbols affecting horizontal dimensional chain assembly rings

项目	基本尺寸符号	上偏差符号	下偏差符号
专用轨的横向安装误差	F_1	$F_{1,上}$	$F_{1,下}$



注: D_0 为横向尺寸链的封闭环,为回流装置的碳滑板中心线与专用轨轨面中心的距离。

图 3 回流装置与专用轨的横向尺寸链示意图

Fig. 3 Diagram of backflow device and special rail horizontal dimensional chain

表 7 碳滑板宽度和专用轨接触面宽度取值

Tab. 7 Carbon strip width and special rail contact surface width

参数	取值
碳滑板宽度 G_1/mm	65 ± 1
专用轨接触面宽度 G_2/mm	92 ± 1

2.2 六种工况下车辆回流装置与专用轨的空间尺寸匹配关系

依据某 A 型城市轨道交通车辆及专用轨结构,通过尺寸链分析方法得到计算结果,见表 8。

表 8 尺寸链分析方法下车辆及专用轨结构尺寸的计算结果

Tab. 8 Calculation results of vehicle and special rail structural dimensions based on dimensional chain analysis method

项目	计算结果
A_0/mm	0
垂向尺寸链分析方法	$A_{0,上}/\text{mm}$ 62.0 $A_{0,下}/\text{mm}$ -72.0
D_0/mm	0
横向尺寸链分析方法	$D_{0,上}/\text{mm}$ 43.5 $D_{0,下}/\text{mm}$ -38.5

注: $A_{0,上}$ 、 $A_{0,下}$ 分别为 A_0 的上、下偏差; $D_{0,上}$ 、 $D_{0,下}$ 分别为 D_0 的上、下偏差。

对表 8 中的计算结果进行分析,判断在所形成

的限定空间内是否会出现异常。对以下6种工况进行具体校核:

1) 工况1: 工作状态下, 回流装置发生垂直向下极限偏移, 专用轨发生垂直向上极限偏移时, 碳滑板不与专用轨轨面脱离, 即 $|A_{0,下}|$ 为 72 mm, 小于回流装置可调节高度。工况1下车辆回流装置与专用轨的匹配状态如图4所示。

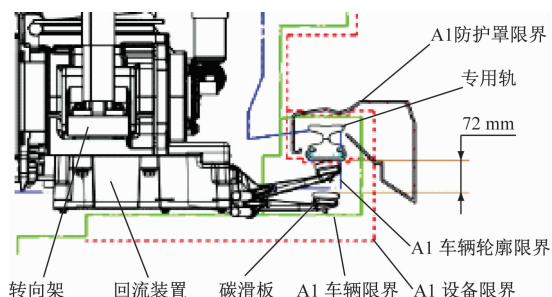


图4 工况1下车辆回流装置与专用轨的匹配状态

Fig.4 Matching state of vehicle backflow device and special rail under working condition 1

2) 工况2: 自由状态下, 回流装置发生垂直向上极限偏移, 专用轨发生垂直向下极限偏移时, 碳滑板不与专用轨端部弯头的轨头干涉相撞, 即 $A_{0,上}$ 为 62 mm, 小于等于端部弯头距离专用轨正常轨面的高度。

3) 工况3: 切除状态下, 回流装置发生垂直向上极限偏移, 专用轨发生垂直向下极限偏移时, 留存有足够的电气间隙安全余量, 即切除状态高度 $-A_{0,上} \geq$ 电气间隙。假如 750 V 直流电压的电气间隙为 20 mm, 初始隔离状态高度 $\geq A_{0,上} + 20 \text{ mm} = 82 \text{ mm}$, 小于回流装置可调节高度, 但超过 CJJ/T 96—2018 中 A1 型车辆限界 9 mm, 需对回流装置结构进行调整。工况3下车辆回流装置与专用轨的匹配状态如图5所示。

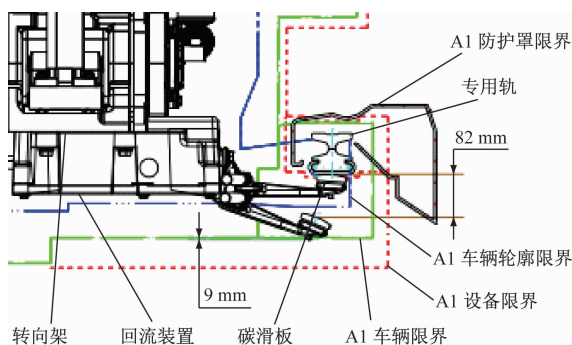


图5 工况3下车辆回流装置与专用轨的匹配状态

Fig.5 Matching state of vehicle backflow device and special rail under working condition 3

4) 工况4: 切除状态下, 回流装置发生垂直向下极限偏移, 碳滑板不与轨旁设备碰撞, 即初始隔离状态高度 $+A_{0,下} = 154 \text{ mm}$, 超出 A1 设备限界 5 mm, 需对回流装置结构进行调整。工况4下车辆回流装置与专用轨的匹配状态如图6所示。

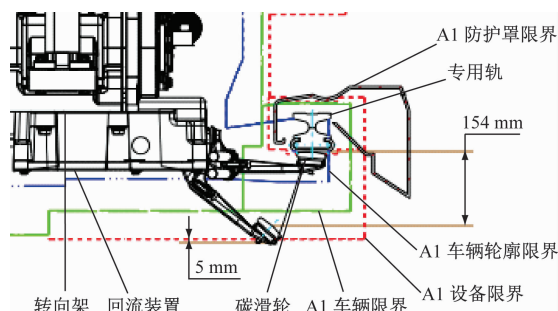


图6 工况4下车辆回流装置与专用轨的匹配状态

Fig.6 Matching state of vehicle backflow device and special rail under working condition 4

5) 工况5: 工作状态下, 回流装置在垂向极限位置下发生横向向右极限偏移, 专用轨发生横向向左极限偏移时, 碳滑板不与专用轨脱离, 即 $D_{0,上}$ 为 43.5 mm, 小于等于 $G_1/2$ 和 $G_2/2$ 中的较大值(见表7)。工况5下车辆回流装置与专用轨的匹配状态如图7所示。

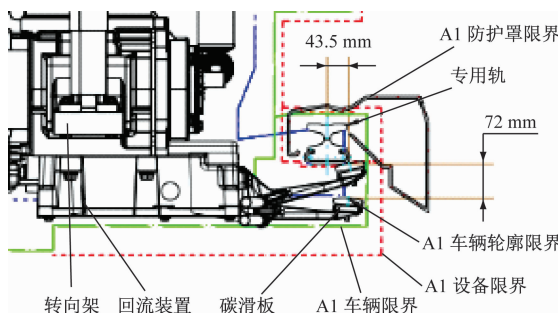


图7 工况5下车辆回流装置与专用轨的匹配状态

Fig.7 Matching state of vehicle backflow device and special rail under working condition 5

6) 工况6: 工作状态下, 回流装置在垂向极限位置下发生横向向左极限偏移, 专用轨发生横向向右极限偏移时, 碳滑板不与专用轨脱离, 即 $D_{0,下} = 38.5 \text{ mm}$, 小于等于 $G_1/2$ 和 $G_2/2$ 中的较大值(见表7)。工况6下车辆回流装置与专用轨的匹配状态如图8所示。

3 车辆回流装置与专用轨的接触压力匹配关系

为了分析车辆回流装置与专用轨的接触压

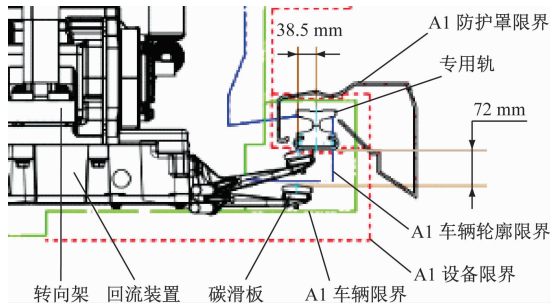


图8 工况6下车辆回流装置与专用轨的匹配状态
Fig.8 Matching state of vehicle backflow device and special rail under working condition 6

力^[6]在列车运行过程中是否处于合理范围内,以某A型城市轨道交通车辆及专用轨结构参数为依托,采用SIMPACK软件建立带回流装置车辆整车动力学仿真模型^[7],如图9所示。

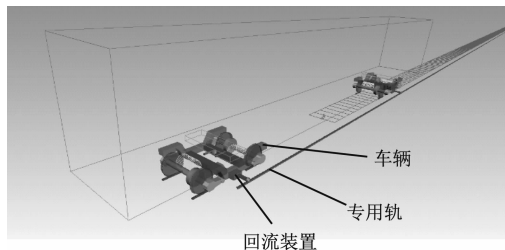


图9 带回流装置车辆整车动力学仿真模型
Fig.9 Whole-train dynamic simulation model of vehicle with backflow device

通过上述模型对正常工况、工况1、工况5、工况6共4种工况进行仿真分析,得出如下结论:

1) 在4种工况下,回流装置与专用轨的垂向接触压力均在轨道不平顺激励下发生动态变化,且均在初始静态压力120 N上下浮动,垂向接触压力最大值未超过145 N,在合理范围内。

2) 当回流装置与专用轨的垂向接触位置变化时,其垂向接触压力发生一定量的变化,但在合理范围内。

3) 当回流装置与专用轨的横向接触位置发生不同程度的变化时,垂向接触压力发生的变化较小,可不予考虑。

4 结论

1) 总结得到了城市轨道交通车辆回流装置与专用轨之间的结构匹配特点。车辆回流装置位置在转向架、专用轨及限界等所形成的空间内动态变化。

2) 创新性地采用尺寸链的分析方法,得到了城市轨道交通车辆回流装置与专用轨在垂向和横向的尺寸链关系,并校对了对某城市轨道交通车辆在6

种工况下的空间尺寸匹配情况,得到了需调整回流装置结构的结论。

3) 创新性地采用SIMPACK软件建立带回流装置车辆整车动力学仿真模型,得到了4种工况下回流装置与专用轨的垂向接触压力在合理范围内。

参考文献

- [1] 柳拥军. 城市轨道交通车辆[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 10.
LIU Yongjun. Urban rail vehicles[M]. Beijing: Science Press, 2016: 10.
- [2] 高利华. 北京地铁房山线第三轨供电电轨区的车辆过压故障原因分析及解决措施[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(10): 194.
GAO Lihua. Cause analysis and solutions of vehicle overvoltage fault in the third-rail power supply track breakage area on Beijing Metro Fangshan Line[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(10): 194.
- [3] 李峰. 直流1500 V接触轨端部弯头的研究[J]. 城市轨道交通研究, 2011, 14(6): 83.
LI Feng. Analysis of DC 1500 V contact rail ends[J]. Urban Mass Transit, 2011, 14(6): 83.
- [4] 李伟. 城轨车辆受流器与三轨的匹配研究与分析[J]. 技术与市场, 2016, 23(5): 48.
LI Wei. Research and analysis on the matching of urban rail vehicle current collector and three rails[J]. Technology and Market, 2016, 23(5): 48.
- [5] 邓谊柏, 陈中杰, 徐园, 等. 上海轨道交通11号线南段工程车辆受流器设计[J]. 技术与市场, 2012, 19(4): 26.
DENG Yibo, CHEN Zhongjie, XU Yuan, et al. Design of current collector device for Shanghai Metro Line 11 southern section vehicle design and research of[J]. Technology and Market, 2012, 19(4): 26.
- [6] 宁晓芳, 柳拥军. 第三轨供电系统中受流器与第三轨的接触压力及其对受流性能的影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(5): 106.
NING Xiaofang, LIU Yongjun. Analysis of contact pressure between collector and conductor rail and its influence on current collecting performance in third rail power supply system[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(5): 106.
- [7] 黄远清. 随机振动下地铁车辆传动系统参数优化研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
HUANG Yuanqing. The parameter optimization research of metro vehicle drive system under random vibration[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.

· 收稿日期:2023-09-01 修回日期:2023-11-20 出版日期:2024-08-10
Received:2023-09-01 Revised:2023-11-20 Published:2024-08-10
· 通信作者:黄远清,高级工程师,huangyuanqing@rtte.cn
· ©《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