

美国波士顿地铁轴箱内置式转向架结构设计

刘志远 张文康 高纯友 徐成祥 李 涛 王凯风 刘海涛

(中车长春轨道客车股份有限公司,130062,长春//第一作者,高级工程师)

摘 要 轴箱内置式地铁车转向架具有结构空间紧凑、重量轻、曲线通过性能好等特点。结合美国波士顿地铁项目的要求,中车长春轨道客车股份有限公司自主成功研制了轴箱内置式地铁转向架。重点介绍了美国波士顿地铁轴箱内置式地铁转向架的设计技术参数、结构组成及特点,对转向架构架强度进行了计算及试验验证,以及对车辆进行了动力学性能分析。

关键词 地铁;轴箱内置式转向架;结构设计

中图分类号 U260.331;U231

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.03.037

Development of Bogie with Inboard Bearing for Boston Metro in America

LIU Zhiyuan, ZHANG Wenkang, GAO Chunyou, XU Chengxiang, LI Tao, WANG Kaifeng, LIU Haitao

Abstract Metro bogie with inboard bearing features compact structure space, light-weight and good curve passing performance. According to specification requirements of Boston MBTA (Massachusetts Bay Transit Authority) project, CRRC has independently and successfully developed the bogie with inboard bearing for metro cars. In this article, the design parameters, structure and characteristics of the bogie for Boston MBTA is introduced, its structural strength is calculated and tested, the dynamics performance of metro vehicle is analyzed.

Key words metro; bogie with inboard bearing; structure design

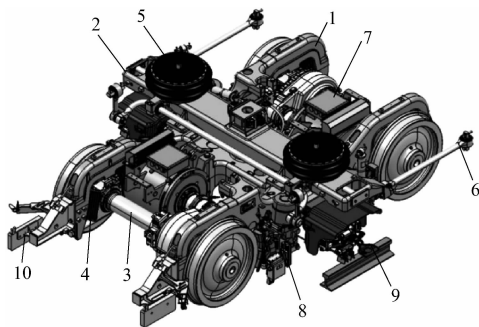
Author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

轴箱内置式地铁转向架具有结构空间紧凑、重量轻、运行噪声低、曲线通过性能好、适应扭曲线路强等诸多优点。目前,地铁发展较早的北美市场对于轴箱内置式地铁转向架的需求量非常大,尤其是美国地铁市场。中车长春轨道客车股份有限公司(以下简为“长客股份”)于2014年12月中标美国波士顿地铁项目,依托美国波士顿地铁项目要求,

长客股份自主研制了轴箱内置式地铁转向架。

1 轴箱内置式地铁转向架基本结构

转向架为轴箱内置式带摇枕结构,设计过程中主要采用了美国设计标准,包括 FRA(联邦铁路管理局),APTA(美国公共交通协会)和 AAR(美国铁路协会)等标准。转向架采用整体铸造构架和铸造摇枕;二系悬挂采用双曲囊空气弹簧,控制模式采用三点控制方式;一系悬挂采用人字形橡胶弹簧;每根车轴都由1套驱动装置驱动;每台转向架上装有4套踏面制动单元,其中每车一位转向架安装2套带停放功能的制动单元;采用第三轨受流方式;一位转向架上还装有信号天线、轮缘润滑、三轨冰雪刮刀及紧急停车触发装置。转向架整体结构示意图如图1所示。转向架的主要设计技术参数如表1所示。



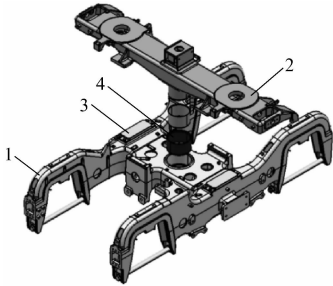
注:1——构架;2——摇枕;3——轮对轴箱装置;4——一系悬挂装置;5——二系悬挂装置;6——牵引装置;7——驱动装置;8——基础制动装置;9——受流装置;10——信号装置

图1 轴箱内置式地铁转向架整体结构示意图

1.1 构架和摇枕

构架采用整体铸造结构,构架上设有各种设备的安装座,包括受流器、制动单元、电机及齿轮箱等。摇枕亦采用整体铸造结构,摇枕内腔作为空气弹簧的附加气室,内腔采用防腐涂层进行防腐。构架和摇枕结构组成如图2所示。

表1 轴箱内置式地铁转向架的主要设计技术参数	
参数	取值
轨距/mm	1 435
轴重/t	14.2
最高运营速度/(km/h)	101
最高设计速度/(km/h)	112
最小水平曲线半径/m	76.2(正线),36.6(车辆段)
轴距/mm	2 083
轮对内侧距/mm	1 355.7
车轮直径/mm	711.2(新轮),654(磨耗到限)
转向架质量/kg	5 500

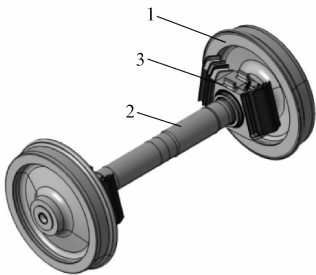


注:1——构架;2——摇枕;3——旁承;4——中心销摩擦套
图2 构架及摇枕结构组成

构架和摇枕之间通过旁承传递垂向载荷,并通过中心销传递纵向力和横向力,构架上的中心销孔内安装有具有自润滑功能的摩擦套。构架和摇枕之间设有旋转止挡,防止构架和摇枕之间发生过量的旋转运动。构架和摇枕的铸造材料采用C4钢,其性能优于B级钢。构架使用寿命不小于30a。

1.2 轮对轴箱装置

轮对由车轮、车轴、轴箱、轴箱轴承和降噪阻尼环等组成,且每条轮对上都装有1套齿轮箱和接地装置。轴箱轴承为内置式,轮对轴箱装置如图3所示。车轴的设计寿命为40a,材质为AAR标准M-101中的F级,且按照EN 13104标准进行强度分析。车轮采用整体锻造结构,材质为AAR标准M-107中的B级,车轮直径为711.2mm,且其强度分析按照EN 13979和AAR S-660标准进行。每个车轮

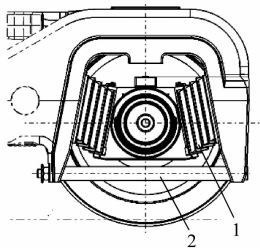


注:1——车轮;2——车轴;3——轴箱组成(含轴承)
图3 轮对轴箱装置

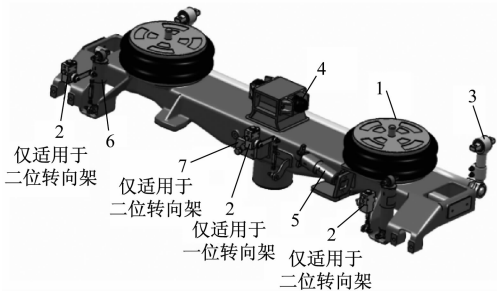
安装有2套降噪阻尼环,轴承为自密封结构,轴箱采用整体铸造结构,铸钢材质为B级钢。

1.3 悬挂牵引装置

转向架采用两级悬挂结构。一系悬挂结构(见图4)采用人字型橡胶弹簧,一系橡胶弹簧安装在轴箱的两侧。一系悬挂还包括一系定位杆和撞击止挡,一系定位杆同时能够起到起吊的功能。二系悬挂结构(见图5)主要由空气弹簧、高度调整阀、差压阀、抗侧滚扭杆、横向及垂向液压减振器、横向缓冲止挡等组成。



注:1——人字型橡胶弹簧;2——一系定位杆
图4 一系悬挂结构图



注:1——空气弹簧;2——高度阀;3——抗侧滚扭杆;4——横向缓冲器;5——横向减振器;6——垂向减振器;7——差压阀
图5 二系悬挂结构图

其中,空气弹簧(见图6)为双曲囊结构,弹簧内部带有1个辅助橡胶弹簧,在空气弹簧无气时提供紧急状态下的支撑刚度,同时紧急橡胶弹簧内还设有金属止挡。车辆采用3点控制空气弹簧的充风和排风,其中一位转向架上装有1套高度阀控制系统,二位转向架装有2套高度阀控制系统,且二位转向架上的两个空气弹簧之间设有一个差压阀。抗侧滚扭杆的垂向连杆一端采用无磨耗的橡胶节点结构,另一端采用关节轴承的结构进行连接。横向缓冲止挡与中心销的自由间隙为10mm,止挡内部设有金属止挡,保证止挡的最大弹性压缩量不超过20mm。每个转向架设有一个横向液压减振器和两个二系垂向液压减振器,用于控制车辆的横向和垂向

振动。当车轮直径由于磨损或镟轮加工造成车辆高度降低时,可在旁承和构架之间增加调整垫。构架和摇枕之间的纵向力和横向力主要通过中心销进行传递,摇枕和车体间设有双牵引拉杆(见图 7),用于传递纵向力,且牵引拉杆的两端均装有弹性橡胶节点。

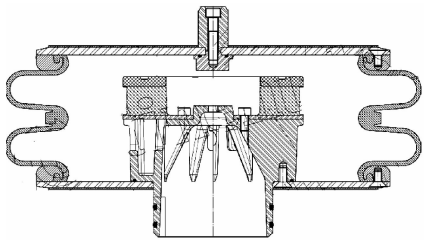


图 6 空气弹簧结构示意图

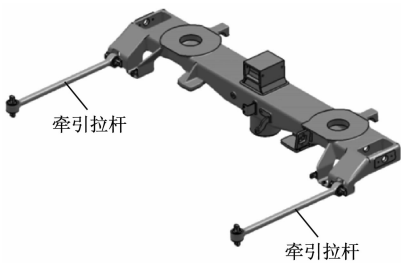


图 7 牵引拉杆安装示意图

1.4 驱动装置

每台动车转向架均装有两套驱动装置。牵引电动机采用架悬式,与构架上的电机吊座刚性连接。齿轮箱为平行轴式,齿轮箱采用二级齿轮传动结构。齿轮减速箱箱体的一端通过轴承安装于车轴上,箱体的另一端通过吊杆弹性地吊装于构架侧梁的齿轮箱吊座上。联轴节为齿式结构。电机上设有速度传感器,为牵引、信号和制动提供速度信号。驱动装置具体结构如图 8 所示。

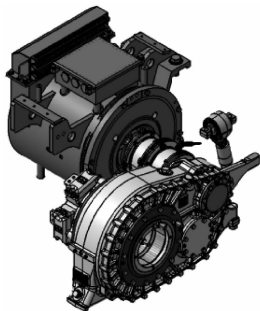


图 8 驱动装置结构图

1.5 基础制动装置

基础制动装置(见图 9)采用踏面制动形式。一

位转向架每根车轴上安装有常用制动和带停放功能的制动各 1 套,二位转向架 4 个制动单元均为常用制动。转向架制动管路安装在构架底部。停放制动缸可以通过手动方式进行缓解,且缓解作业可以在司机室和车下进行。另外,一位转向架一位轴的两侧各装有 1 套紧急停车触发装置。

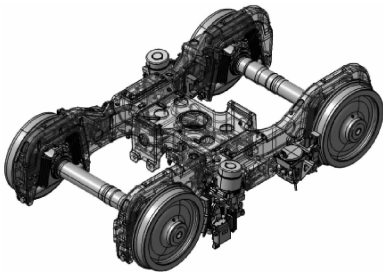
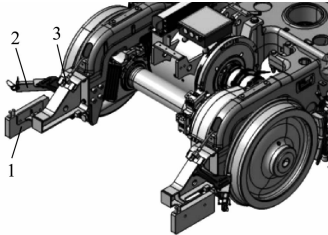


图 9 基础制动装置结构图

1.6 辅助装置

每组车的一位转向架端部安装有 ATP(列车自动保护)天线和轮缘润滑装置(见图 10),天线和轮缘润滑安装支架采用 A588 钢板焊接而成,天线支架与构架的连接采用螺栓连接,并设有二级保护装置。



注:1——ATP 天线;2——轮缘润滑;3——二级保护装置

图 10 ATP 天线及轮缘润滑安装示意图

2 转向架分析计算及试验验证

2.1 构架强度计算及试验验证

根据用户合同要求及美国国家标准 AWS D 1.1,采用 ANSYS 软件对构架静强度和疲劳强度进行了分析。其中,静强度要求在规定的载荷下(包括 30 g 设备冲击载荷),最大应力不得超过屈服强度的 50%;疲劳强度不得超出 AWS D 1.1 中规定的疲劳许用应力。计算结果显示,构架及摇枕的静强度及疲劳强度均满足标准及合同要求。

另外,长客股份对构架结构进行了强度试验,且试验结束后均进行了磁粉探伤。结果显示,构架未出现任何裂纹,且满足强度要求。

2.2 车辆动力学性能分析

采用 Vampire 软件对车辆进行了动力学性能分析计算,且分别对用户合同中规定的 11 种工况进行了计算分析,计算内容包括车辆高速稳定性、运行安全性、侧风倾覆、静态轮重减载及动态轮重减载、乘坐舒适性能以及小曲线通过性能等。

为了确保计算结果的准确性及有效性,采用轨道检测设备对已经磨耗到限的轨道进行了正线和车厂线的轨道测试,根据测试结果形成真实的轨道谱,并将真实的轨道谱输入到计算模型中。另外,对不同运营公里的车轮进行了踏面外形测试,并绘制出磨耗踏面外形。结合轨廓测试及磨耗轮踏面外形测试,动力学计算考虑了新轮/新轨,新轮/磨耗轨,磨耗轮/新轨,磨耗轮/磨耗轨 4 种轮轨匹配关系,并逐一对其动力学性能进行计算分析。结果表明,车辆的动力学性能完全满足用户合同要求。

3 结 语

轴箱内置式地铁转向架完全是长客股份自主

研发的产品,同时也是长客股份及国内其它轨道车辆企业首次为美国地铁提供转向架产品。该类型的转向架通过结构设计、计算及试验验证,证明转向架性能完全满足用户合同及规范使用要求。

参考文献

- [1] 严隽毫. 车辆工程[M]. 3 版. 北京:中国铁道出版社,2007.
- [2] 孙天助,梁树林,傅茂海,等. 内侧轴箱式转向架曲线通过性能研究[J]. 铁道车辆,2008,46(12):1.
- [3] 梁树林,傅茂海. 内侧悬挂转向架在城轨车辆中的应用研究[J]. 铁道车辆,2006,44(4):4.
- [4] 许小强,赵洪伦,沈钢. 内轴箱式轻轨转向架的设计研究[J]. 铁道车辆,2000,38(增刊1):113.
- [5] UNZICKER T. Truck frame and bolster structural performance FEA report[R]. Atchison; Bradken, 2016.
- [6] TITUS S. Truck frame and bolster test report[R]. Buchanan; Clark, 2017.
- [7] LIU Y. Vehicle dynamics simulation report[R]. Springfield: ENSCO, 2017.

(收稿日期:2018-09-05)

(上接第 93 页)

加速度级曲线中出现的两个峰值对应的中心频率 31.5 Hz 和 80 Hz 与轨道板第 5 阶、第 10 阶主振型的固有频率有关,减振垫轨道的中心频率介于 3.15 Hz 和 8 Hz 之间时的减振效果较好。

(3)隧道埋深大于 11 m,以及采用减振垫轨道结构的情况下,隧道正上方地面和楼层的 Z 振级最大值均小于 70 dB,能够满足环评标准的要求。

(4)对比类似现场试验结果可知,本文所建立的数值模型可以较好地预测列车运营所致环境振动,在土层厚度和土质参数改变的情况下亦可作进一步推广应用。

参考文献

- [1] 于鹏,蔡向辉,蔡小培,等. 不同减振垫刚度下板式轨道减振特性研究[J]. 铁道标准设计,2017(4):1.
- [2] 曹宇泽,田苗盛,杨其振. 隔离式橡胶浮置板减振性能分析

[J]. 铁道工程学报,2013(2):34.

- [3] 张娅敏. 设置减振垫层的双块式无砟轨道分块长度静力学分析研究[J]. 铁道建筑技术,2014(12):51.
- [4] 赵才友,王平. 桥上无砟轨道橡胶减振垫减振性能试验研究[J]. 中国铁道科学,2013(4):8.
- [5] 付琪璋. 道床板长度对减振垫轨道结构振动性能影响分析[J]. 铁道标准设计,2016(6):5.
- [6] 金浩,刘维宁,周顺华. 板下减振垫对橡胶浮置板轨道减振性能的影响[J]. 铁道科学与工程学报,2016(2):245.
- [7] 翟婉明. 车辆-轨道耦合动力学[M]. 4 版. 北京:科学出版社,2015.
- [8] 和振兴. 板式无砟轨道交通引起的环境振动研究[D]. 成都:西南交通大学,2008.
- [9] 中华人民共和国环保部. 城市区域环境噪声标准:GB3096—1993[S]. 北京:中国标准出版社,1994.
- [10] 张胜龙. 地铁列车引起的周围建筑物振动及二次噪声预测研究[D]. 北京:北京交通大学,2016.

(收稿日期:2018-02-01)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com