

胶轮导轨车辆制动系统运行试验研究

倪胜义

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司,266111,青岛//高级工程师)

摘 要 阐述了某有轨电车的编组设计及列车制动技术。通过对有轨电车的牵引与制动性能的测试,分析了牵引变流器的电压与电流、车辆加速度与速度、制动缸压力等运行安全关键参数指标。研究了车辆分别通过直道与弯道时,电制动力和气制动力的分配顺序、各基础制动单元的制动力分配关系,以及引起牵引变流器的电压、电流变化的因素。

关键词 胶轮导轨电车; 制动系统; 控制方式; 运行试验

中图分类号 U482.1.06

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.09.029

Operation Test of Rubber Wheel Guided Tram Braking System

NI Shengyi

Abstract The formation design and train braking technology of a certain tram are introduced. Through a test of tram's traction and braking performances, the key security parameters of tram are analyzed, including voltage and current of the traction converter, vehicle acceleration and speed, as well as brake cylinder pressure. The distribution order of electric braking force and pneumatic braking force, the braking force distribution relationship of each basic braking unit when the tram vehicle passes through straight and curve sections, the factors that cause changes of traction converter voltage and current are studied.

Key words rubber-tired tram; braking system; control mode; operation test

Author's address CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., 266111, Qingdao, China

对中型城市来说,现代有轨电车是便捷实用的选择,无需开凿地下通道,车站无需配备昂贵的环控设备,乘客乘降便利无需上下很长的距离^[1]。根据运行系统的不同,现代有轨电车主要分为钢轮钢轨和胶轮导轨两种制式。钢轮钢轨式现代有轨电车由两条 U 型钢轨实现导向与限制横向位移,转向架下的轮对在钢轨上运动^[2]。胶轮导轨式现代有轨电车由一条钢轨来实现导向与限制横向位移,车轮为橡胶式,可在路面上行驶,与社会车辆共享

车道^[3]。

本文介绍了胶轮导轨式现代有轨电车的制动系统控制方式与结构,并对其制动性能进行了试验,探讨了车辆制动工况的种类以及电制动与气制动的分配方式。

1 列车概况

1.1 编组情况

本文研究的车辆为胶轮导轨电车,车辆外观造型如图 1 所示,车长 25 m,定员载荷 167 人,其中座位 30 个^[4]。



图 1 胶轮导轨车辆外观造型

虽此车辆名为“有轨电车”,但属于胶轮导向电车系统,而非真正传统意义上的有轨电车。电车驱动源为 2 台功率 220 kW 的牵引电机,车辆运行采用 GPS 定位,车站可实现全天候视频监控。

如图 2 所示,车辆采用 3 模块编组方式。车辆由 2 个司机模块(ME)、2 个贯通道模块(MI)和 3 个乘客模块组成。车辆由前后 2 个司机模块中异步电机进行电力牵引,实现双向开动功能。



图 2 胶轮导轨车辆车组

1.2 车辆主要技术参数

该类型有轨电车的车辆主要参数如表 1 所示。

表 1 胶轮导轨车辆主要参数

名称	参数
车辆编组/节	3
外廓尺寸	2 220 mm(宽)×2 950 mm(高)
MI 轴距/mm	1 750
ME 轴距/mm	1 500
最高车速/(km/h)	70
最大加速度/(m/s ²)	1.3
紧急减速度/(m/s ²)	5
最大坡度/%	13
定员载荷/人	167
最大载荷/人	212
超员载荷/人	235
最小曲线半径/m	10.5
空车质量/t	23.6
供电方式	DC 750 V 架空接触网受流
主动轴最大牵引力矩/(N·m)	2 200
牵引发动机最大转速/(r/min)	4 200
牵引控制	VVVF
制动方式	再生制动、电阻制动、空气制动
制动盘直径/mm	385

2 车辆制动系统控制方式与结构

2.1 制动系统控制方式

电车有 3 种司机发出的制动指令,包括制动脚踏板、蘑菇按钮(安全制动)、极限制动手柄(手刹)。制动原理分为气制动和电制动。气制动为盘型制动、电制动包括能耗制动(电阻制动)和回馈制动(再生制动)。

胶轮导轨车辆的制动由减速控制单元(UCD)控制。如图 3 所示,UCD 根据刹车踏板的角度调节制动力,可触发电制动和气制动两种制动方式。当踏板处于第一行程,UCD 控制牵引控制单元(TUC)实施电制动;当踏板处于第二行程,UCD控

制比例继动阀(EVP)实施气制动。

电制动启动后,牵引电机变为发电机,产生的电能通过牵引控制单元(TCU)检测^[5]。当电压高于 900 V 时,制动撬棒会打开,电能通过制动电阻被消耗掉。制动撬棒的作用是快速释放输入端滤波电容的电流,制动电阻采用自然风冷却。能耗制动是将电能转为热能的过程,当电压低于 900 V 时,将电能反馈到牵引供电系统^[6]。气制动是指车辆 UCD 通过电信号控制 EVP 调节气制动力大小。

胶轮导轨车辆包括以下几种制动工况:

1) 常用制动。由脚踏板发出制动信号,主要使用电制动,低速与制动力不足时需要气制动补偿。当电车速度小于 8 km/h 时,即使踏板在第一段行程内,电制动停止工作,UCD 通过 EVP(比例继动阀)控制 EBS(电子制动系统)进行气制动补偿,满足车辆所需的制动力要求,直至车辆完全停止。

2) 紧急制动。制动脚踏板的第二段行程,开始启用气制动,并在速度大于 8 km/h 时,仍然保留电制动由脚踏板发出制动信号,此时制动信号经过继动阀比较后,通过 EBS 控制制动所需气压,采取电、气混合制动,制动力最大。

3) 安全制动。当列车的安全卡检测到错误时,会自动施加安全制动,需要进行旁路操作或者救援回车辆段。另一种施加的办法是司机拍蘑菇按钮,采用纯气制动。此法响应速度快,可靠性高,虽然制动力一般,但可以保证适中的制动距离以及强制降弓的效果。

4) 驻车制动。驻车制动可以保证电车在桥上停下,或者在有坡度的站台停站时不会溜车。当电车检测到速度在 3 km/h 以下的信号时,驻车制动施加。牵引踏板上有两个位移传感器。当牵引踏板触发其中的一个位移传感器时,电车就会缓解驻车制动。

2.2 制动系统气路结构

图 4 为该有轨电车制动系统气路传输路线图。图中:①表示两台空压机分别位于司机室模块 ME1 和 ME2,车辆运行时只有司机所在一侧的空压机工作;②表示空压机将空气传递给乘客模块 MP3 后通向乘客模块 MP1 和 MP2;③表示乘客模块 MP1 和 MP2 分别将空气传输到司机室模块 ME1、贯通道模块 MI1 和司机室模块 ME2、贯通道模块 MI2 共 4 个转向架上的基础制动单元。

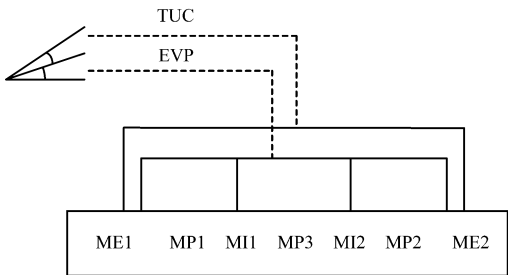


图 3 胶轮导轨车辆减速控制单元原理

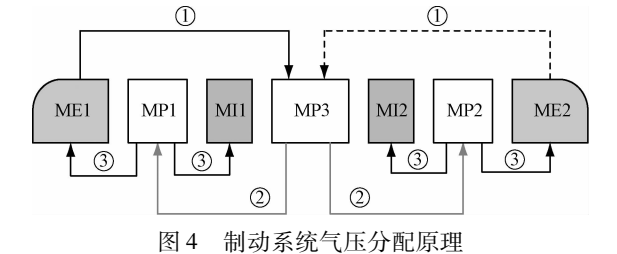


图4 制动系统气压分配原理

3 制动系统试验

3.1 测试设备介绍

为研究胶轮导轨车辆运营条件下制动系统的常用制动性能,对有轨电车在干燥、清洁、无风的弯道上施加快速制动,使其运动速度由 20 ~ 30 km/h 减速到 0。

测试设备包括雷达传感器、压力传感器、电压和电流传感器等。有关测试情况如表 2 所示。其中:采用雷达传感器(安装位置如图 5 所示)测量列车速度;采用压力传感器(安装位置如图 6 所示)测量制动缸压力;电压传感器和电流传感器(安装位

表 2 有关测试情况				
测试项	测试设备	测试编号	测点位置	
制动性能	雷达		动车车头处	
制动缸	拖车	压力传感器	拖车制动缸	MI1 和 MI2 轴上制动缸压力测试接口
	动车	压力传感器	动车制动缸	ME1 轴上制动缸压力测试接口
牵引变流器	电压传感器、 电流传感器	牵引变流器	ME1 车顶处的牵引变流器电压、电流接口	

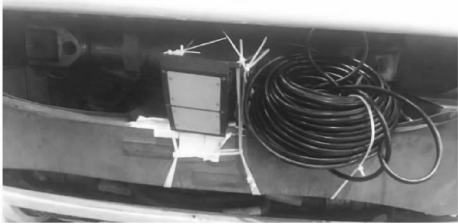


图5 测速雷达安装位置

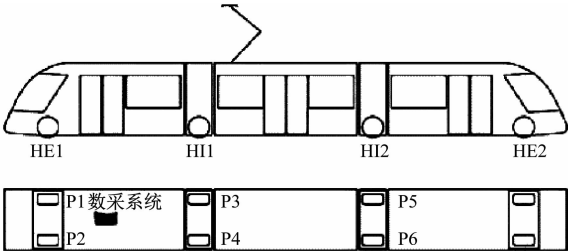


图6 制动缸压力传感器安装位置

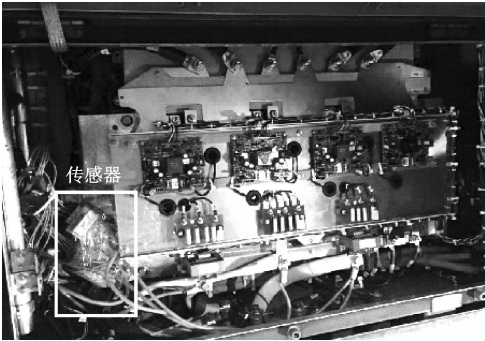
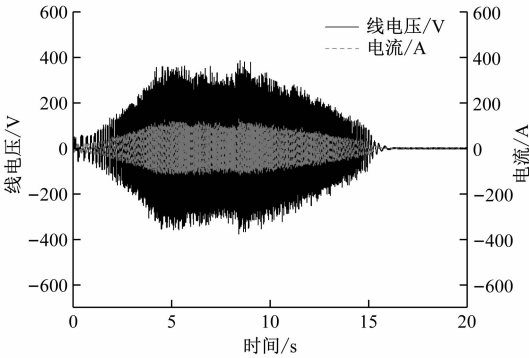


图7 电压、电流传感器安装位置

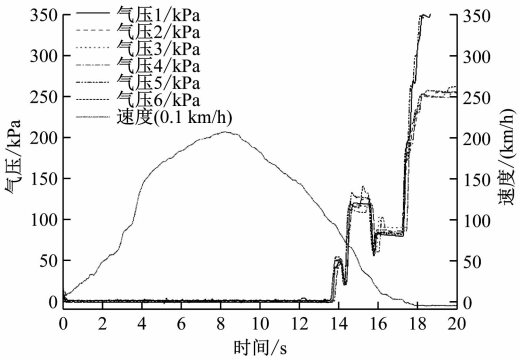
置如图 7 所示)测量牵引变流器输出电压、电流。

3.2 AW0(空载)直道 50% 常用制动运行试验

以 AW0 直道 50% 常用制动工况为例,依次得出了变流器线电压、线电流曲线、制动力分配曲线和车辆速度曲线,测试结果如图 8 所示。



a) 变流器线电压、线电流变化曲线



b) 制动缸压力-车速变化曲线

图8 AW0 直道 50% 常用制动

从图 8 可以看出,此胶轮导轨车辆的制动符合制动控制策略的节能原则,制动过程优先选择电制动,电制动力不足由气压制动力补充。

在 8.5 s 制动开始,由电制动力提供总制动力,此时牵引电机变为发电机,由于牵引电机电压未达 900 V,施加再生制动,将电能反馈到牵引供电系统。

在 13.5 ~ 16.0 s 之间,有轨电车运动速度下

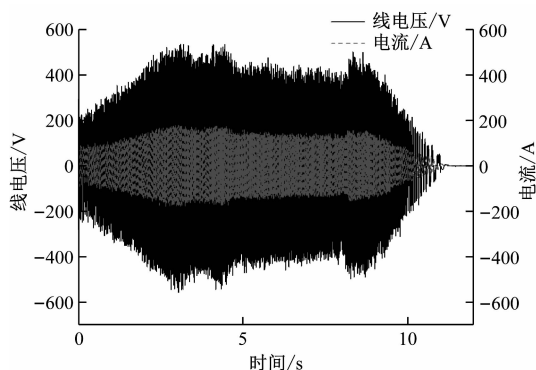
降,致使电动机转速下降而引起制动电流下降;制动电流下降引起感应电压下降,导致电制动力下降,从而达不到制动力要求^[7]。制动力不足部分由气制动补充,以保证车辆速度曲线基本保持线性下降,实现恒减速制动。

在 16.5 ~ 17.5 s 之间,有轨电车速度降为 8 km/h 以下,电制动力为 0,由气制动提供总制动力。

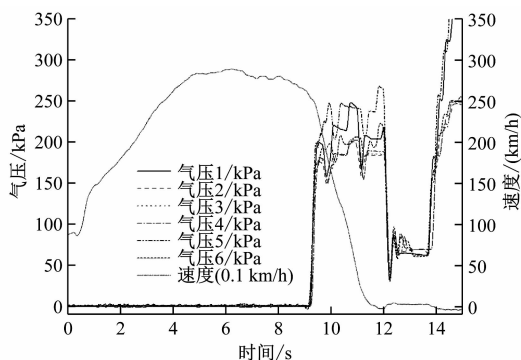
在 18 s 时常用制动结束,车辆停止运动,施加驻车制动,气压迅速上升。

3.3 AW0 弯道快速制动运行试验

以 AW0 弯道快速制动工况为例,依次得出了变流器线电压和线电流曲线、制动力分配曲线和车辆速度曲线,测试结果如图 9 所示。



a) 变流器线电压、线电流变化曲线



b) 制动缸压力-车速变化曲线

图 9 AW0 弯道快速制动

从图 9 可以看出,此胶轮导轨车辆的制动符合制动控制策略的节能原则,制动过程优先选择电制动,电制动力不足由气压制动力补充。

在 8 s 制动开始,由电制动力提供总制动力,此时牵引电机变为发电机,由于牵引电机电压未达 900 V,施加再生制动,将电能反馈到牵引供电系统。

在 9 ~ 11 s 之间,有轨电车运动速度下降,由于电动机转速下降引起制动电流下降,制动电流下降引起感应电压下降,导致电制动力下降,从而达不到制动力要求,不足部分由气制动补充,保证车辆速度曲线基本保持线性下降,实现恒减速制动。制动缸气压约为 200 kPa,压力建立起来的时间小于 2 s,符合有轨电车制动最大响应的要求。

在 11 ~ 12 s 之间,有轨电车速度降为 8 km/h 以下,电制动力为 0,由气制动提供总制动力。

在 14 s 时快速制动结束,车辆停止运动,施加驻车制动,气压迅速上升。

同时,从图 9 制动缸压力曲线还可以看出,各基础制动单元气压未见明显的分配现象,表明车辆在进行弯道制动时,主要依靠导向滑轮实现方向控制,制动系统未参与导向任务。

4 结语

胶轮导轨式有轨电车作为现代有轨电车的一种类型,通过多级供电电压设计实现车辆系统用电。在制动过程中,采用电制动力优先,不足部分由气制动力补充原则,保证车辆处于以恒减速度运动。同时,车辆通过导向轮和导向轨的约束,轮轴运转限制器迫使轮胎发生偏转,使车辆沿导轨方向行驶。在弯道制动时,气压制动系统能够控制车辆实现恒减速度制动,但未通过压力分配来协助导向任务。

参考文献

- [1] 阿德南. 亚的斯亚贝巴城市轨道交通车辆制式选择研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- [2] 薛美根, 杨立峰, 程杰. 现代有轨电车主要特征与国内外发展研究[J]. 城市交通, 2008(6): 88.
- [3] 任利惠, 胡亮亮, 侯件件, 等. 劳尔有轨电车的导向特性[J]. 城市轨道交通研究, 2013(3): 53.
- [4] 高江宁. Translohr 有轨电车轨道结构[J]. 城市轨道交通研究, 2012(4): 98.
- [5] 钱广民. Translohr 胶轮导向电车电气系统技术特点研究[J]. 城市轨道交通研究, 2014(4): 97.
- [6] 许伶俐, 刘炜, 廖钧, 等. 城市轨道交通列车牵引和制动能耗实测分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2016(9): 1818.
- [7] 林仕立, 宋文吉, 胡婧娴, 等. 轨道交通车辆再生制动能量及利用率的仿真研究[J]. 城市轨道交通研究, 2014(5): 59.

(收稿日期: 2020-03-10)