

导轨式胶轮电车单元式铰接车体的铰接机构运动学分析

王树才¹ 马 凯¹ 刘持军¹ 王瑞革¹ 陈秉智²

(1. 中车四方车辆有限公司,266111,青岛;2.大连交通大学机车车辆工程学院,116028,大连//第一作者,高级工程师)

摘 要 介绍了多模块铰接式胶轮承载的导轨式胶轮电车系统架构和主要技术参数。阐述了单元式铰接车体的组成和运动学关系。利用 MSC ADAMS 软件分析了车辆在小半径平曲线、小半径竖曲线及小半径 S 型曲线线路条件下的通过性能。校验了走行部与车体之间、车体自身之间是否有干涉发生,并计算了车体相对最大转角,确认铰接机构运行关系满足车辆运行需求。

关键词 导轨式胶轮电车;单元式铰接车体;铰接结构;曲线通过;运动学

中图分类号 U482.102
DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.05.006

Kinematics Analysis of the Articulated Structure for Rubber-wheeled Guide Tram with Unit-articulated Carbody

WANG Shucai, MA Kai, LIU Chijun, WANG Ruige, CHEN Bingzhi

Abstract The structural and main technical parameters of the rubber-wheeled guide tram system with multi-module hanged bogie are introduced, the composition and the kinematic relationship of the uni-articulated carbody are elaborated. Then, MSC ADAMS software is used to analyze the vehicle's performance in passing small radius horizontal, vertical and S type curves. Whether there is interference between the running part and the vehicle body itself is checked, the relative maximum angle of carbody is calculated to confirm that the operating relationship meets the vehicle's operational requirements.

Key words rubber-wheeled guide tram; unit-articulated carbody; curve passing; kinematics

First-author's address CRRC Sifang Co., Ltd., 266111, Qingdao, China

导轨式胶轮电车是一种采用橡胶车轮由常规路面上进行承载,并由坐落在中间导轨上特殊形状的钢轮引导车辆运行的有轨电车^[1-3],具有占地面积小、坡道通过能力强等特点。

对于土地资源紧张的老城区或景区等,常规轨

道交通制式已不能提供优质高效的通行服务^[4],而导轨式胶轮电车更为适用。

1 车辆概况

导轨式胶轮电车采用由橡胶车轮承载及驱动、由单轨钢轮导向的模式。车辆为 3 模块单元式铰接车体,其基本编组形式为“Mc1+ Tp+ Mc2”^[5]。其中,Mc 为带司机室的动车,Tp 为带受电弓的拖车。走行部设置在端部车体底部、中间车体与端部车体之间。导轨式胶轮电车车辆的主要技术参数取值见表 1。

表 1 导轨式胶轮电车主要技术参数取值	
参数	取值
最高运行速度/(km/h)	80
车辆的基本单元长度/mm	约 7 000
车辆宽度/mm	2 400
车辆高度/mm	3 200
客室地板面高度/mm	270
车辆定距/mm	≤7 000
轴重/t	≤11

2 铰接装置与车体的运动学分析

2.1 铰接装置的工作要求

由于导轨式胶轮电车主要在城市道路或郊区公路上行驶,路况比一般有轨电车线路复杂。当橡胶轮胎经过凸凹不平的坑道时,由于 3 节车体会先后出现侧滚,车体之间会形成较大的扭转角度,故 3 节车体铰接处要求其纵向具有一定的旋转自由度,以缓解铰接处的受力。电车在运行经过坡道时,三节车体会沿坡道及水平路面形成夹角,故 3 节车体铰接处要求横向也具有一定的旋转自由度。可见,车体与贯通道之间的连接轴承不仅要具有以垂直轴旋转为主要旋转自由度,而且在纵向轴和横向轴也应有一定的旋转自由度,才能保证车辆顺利通过弯道、坑道及坡道等复杂线路。

2.2 铰接结构的组成及工作原理

单元式铰接车体的导轨式胶轮电车(以下简为“导轨式胶轮电车”)主要结构包括端部车体、中间

车体、摇架和铰接装置(如图 1 所示)。其中铰接装置主要包括固定铰、弹性铰和自由铰等 3 个独立模块。电车车体之间的连接有上下两部分铰接结构。

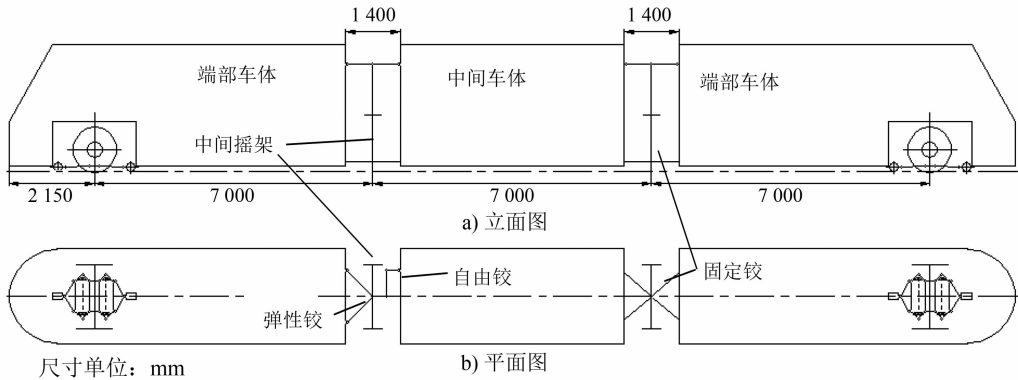


图 1 导轨式胶轮电车主要结构示意图

2.2.1 下部固定铰结构

导轨式胶轮电车上部固定铰结构如图 2 所示。固定铰两端为与车体连接的固定铰座。固定铰中部安装在摇架上,可保证端部车体、中间车体和摇架两两之间均可转动。

固定铰座通过铰接轴承 1 绕垂向轴自由旋转,与中间摇架之间通过铰接轴承 2 绕垂向轴自由旋转,使下部固定铰结构在水平轴向和垂向轴向均有一定的旋转自由度,进而可使端部车体及中间车体相对摇架有一定的点头自由度,从而满足了导轨式胶轮电车通过复杂线路的装配自由度要求。

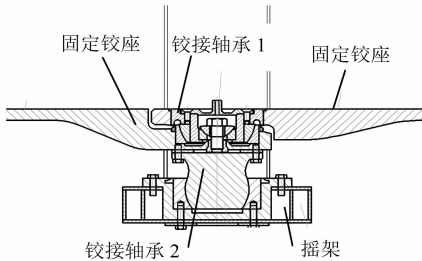


图 2 导轨式胶轮电车的下部固定铰结构

2.2.2 上部铰接结构

导轨式胶轮电车的上部铰接结构如图 3 所示。弹性铰一端与车体连接;另一端通过关节轴承与摇架相连。当车体在水平曲线运动时,弹性铰围绕摇架上的关节轴承 1 转动;当车体在竖曲线运动时,弹性铰围绕车体端的关节轴承 2 转动。

2.2.3 铰接结构的其他装置

由于下部铰接处侧滚方向自由度放开,所以需在车体端部与摇架之间安装抗侧滚装置来减小端部车体与贯通道之间的侧滚角度。由于中间车体

两端连接的轴承都存在侧滚方向的自由度,因此安装三角拉杆式弹性铰抗侧滚装置来限制中间车体与摇架之间的侧滚自由度。端车与摇架之间可以允许车体发生点头方向的运动,可设置具有抗侧滚装置的自由铰,以限制侧滚自由度。

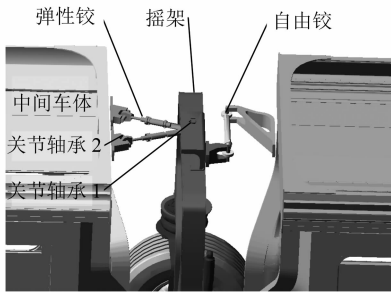


图 3 导轨式胶轮电车的上部铰接结构

2.3 不同工况下的车体转动

1) 工况 1。当端部车体进入水平曲线而第一个非动力走行部未进入曲线时,车体转动示意图如图 4 所示。端部车体上部与弹性铰围绕关节轴承 1 共同旋转,端部车体下部与固定铰围绕铰接轴承 1 共同旋转,从而实现车体转动。

2) 工况 2。当端部车体与非动力走行部全部进入水平曲线时,车体转动示意图如图 5 所示。摇架在走行部的作用力下将摇架转动,形成摇架与车体端部平行的姿态。以此类推,车辆进入水平曲线;反之离开水平曲线。

3) 工况 3。当端部车体进入竖曲线时,车体转动示意图如图 6 所示。固定铰座围绕铰接轴承 2 转动;弹性铰围绕关节轴承 2 转动;自由铰的 Z 字型结构在外力作用下,发生垂向方向的转动;从而实

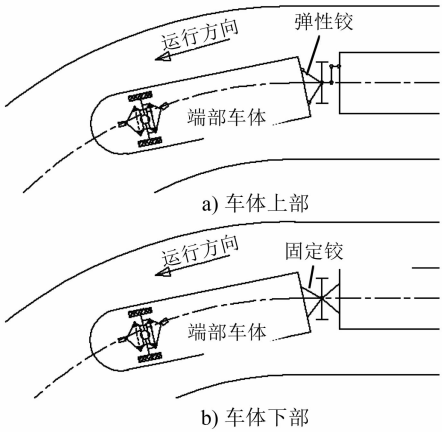


图 4 工况 1 的车体转动示意图

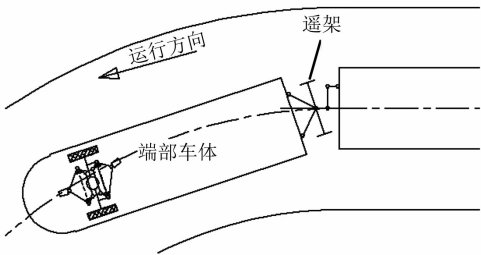


图 5 工况 2 的车体转动示意图

现端部车体相对中间车的垂向转动,车辆进去竖曲线。以此类推,车辆进入竖曲线;反之,车辆离开竖曲线。

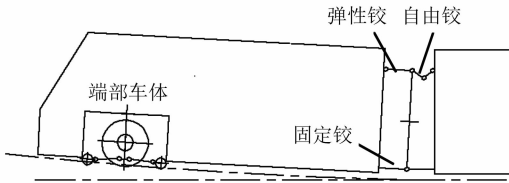


图 6 工况 3 的车体转动示意图

3 曲线通过性能验证

3.1 模型建立

利用 MSC ADAMS 多体系统动力学软件,建立多单元系统模型如图 7 所示。通过点线运动副简化模型模拟导向轮与轨道的啮合关系,通过旋转运动副模拟纵向牵引杆连接关系,通过接触单元模拟橡胶轮胎与地面的摩擦滚动,通过弹簧单元模拟空气弹簧连接关系,通过球铰模拟弹性铰与自由铰的连接关系。

计算时其端部车体下部的橡胶轮既可绕轮轴自转,又可通过导向轮的作用下实现转向。假设端部车体下部橡胶轮朝向与其下部导向轮方向一致,

即与二者轨道切线方向一致。

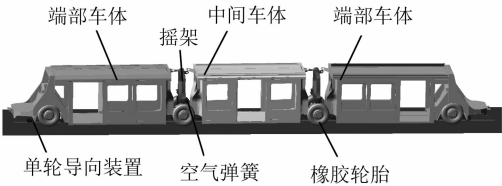


图 7 整车运动学模型

3.2 电车通过小半径平曲线线路时的性能验证

为验证单元式铰接车体的小半径平曲线通过性能,在 MSC ADAMS 软件中建立半径为 15 m 的小半径平曲线轨道模型。轨道模型采用 1/4 圆来模拟该车拐直角弯,以检查曲线通过过程中主要部件之间的干涉情况,并确定车体最大转动角。小半径曲线通过的仿真模型及仿真计算结果如图 8 所示。

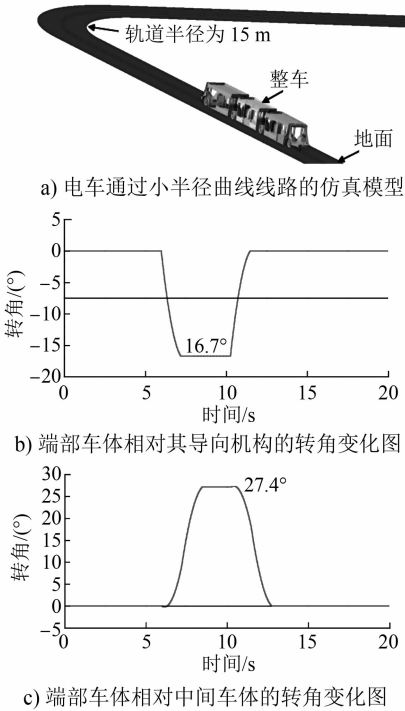


图 8 电车通过小半径平曲线线路的仿真计算

根据仿真计算结果,当电车通过半径为 15 m 小半径弯道时,车体与走行部之间、车体与摇架之间均没有干涉发生,车体与走行部之间的最大转角为 16.7°,两车体之间最大转角为 27.6°^[5]。这可为车体尺寸优化提供依据。

3.3 电车通过竖曲线坡道时的性能验证

为验证单元式铰接车体的小半径竖曲线通过性能,在 MSC ADAMS 软件中设计半径为 200 m、坡度为 13% 的竖曲线轨道进行模拟。根据相切原理,取 60.00 m 长坡道(曲线部分长 25.87 m,直线部

分长 34.13 m,坡度为 13%)进行计算。以计算车体及摇架之间的转角,并计算排障器最小离地间隙。竖曲线坡道通过的仿真模型及仿真计算结果如图 9 所示。

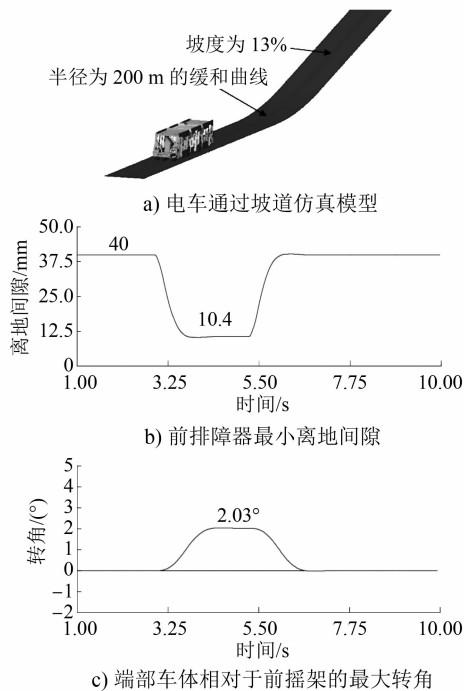


图 9 电车通过小半径竖曲线坡道的仿真计算

根据仿真计算结果,当车辆通过竖曲线坡道时,车体与走行部之间没有干涉发生,排障器最小离地间隙为 10.4 mm,端部车体相对于摇架的扭转角度最大,为 2.03° ^[5]。这可为关节轴承的选择以及车体尺寸的优化提供依据。

3.4 电车通过小半径 S 型曲线线路时的性能验证

为验证单元式铰接车体的小半径 S 型曲线通过性能,在 MSC ADAMS 软件中设计了半径为 15 m 的 S 型曲线轨道。该轨道为 2 个 1/2 圆相切连接,且计算时不设 S 型曲线的夹持线,以检查 S 型曲线通过过程中主要部件之间的干涉情况,并计算车体间的最大相对转角。电车通过小半径 S 型曲线线路时的仿真模型及仿真计算结果如图 10 所示。

根据仿真计算结果:当车辆经过半径为 15 m 的 S 型曲线时,车体与走行部之间没有干涉发生;车体与走行部的相对转角出现在前端部车体,最大转角为 16.8° ;两车体最大扭转出现在后端部车体与中间车体之间,最大为 28.0° ^[5]。这可为车体尺寸优化提供依据。

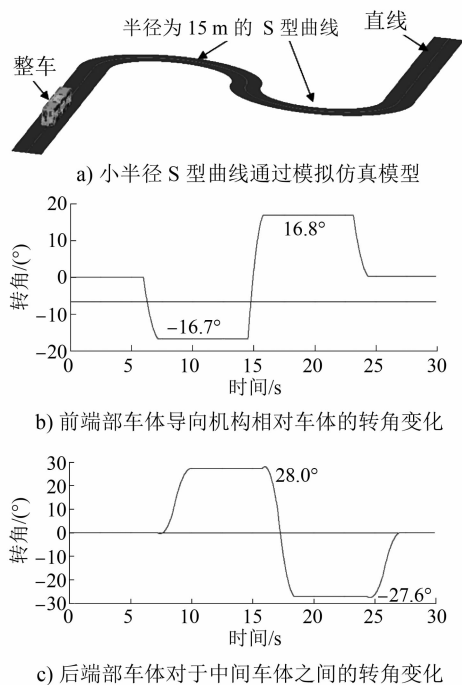


图 10 小半径 S 型曲线通过模拟仿真计算

4 结论

1) 由理论分析和 MSC ADAMS 软件的仿真结果可见,导轨式胶轮电车的铰接机构设计合理,满足运动学关系。

2) 通过 MSC ADAMS 软件,仿真计算出小半径平曲线、小半径竖曲线及小半径 S 型曲线线路条件下,车体之间、车体与走行部之间的最大转动角,为车体结构的详细设计和优化、轴承选型提供依据。

3) 通过铰接机构的工作原理分析和仿真计算,验证了单元式铰接车体之间的运动学关系的可行性。

参考文献

- [1] 夏春生.新型中运量城市公共交通系统的分析与实践[J].城市轨道交通研究,2018(5): 19.
- [2] 马凯,孙珉堂,周家林,等.导轨电车车辆的系统设计[J].城市轨道交通研究,2018(3): 32.
- [3] 李芾,杨阳.城市自导向胶轮电车技术特点与应用[J].西南交通大学学报,2016,51(2): 291.
- [4] 周庆瑞,金锋.新型城市轨道交通[M].北京:中国铁道出版社,2008.
- [5] 方吉,阎帅,孙光奇,等.胶轮钢轨导向电车可行性分析报告[R].大连:大连交通大学,2015.
- [6] 杨基厚.机构运动学与动力学[M].北京:机械工业出版社,1987.

(收稿日期:2018-07-08)