

单轴转向架跨坐式单轨车辆牵引平衡装置参数研究

杜子学 许亮

(重庆交通大学轨道交通研究院, 400074, 重庆//第一作者, 教授)

摘要 根据单轴转向架跨坐式单轨车辆自身结构的特点, 在转向架与车体之间安装有平衡拉杆与牵引拉杆。因平衡杆和牵引杆之间存在相互作用影响, 如果两者设计不当, 将会导致整车动力学性能恶化, 所以需要恰当地选取平衡杆及牵引杆的刚度参数以及安装位置。通过仿真计算分析了牵引平衡装置的参数对整车动力学性能的影响, 合理选取了满足车辆最佳动力学性能的牵引平衡装置参数。

关键词 跨坐式单轨车辆; 单轴转向架; 牵引平衡装置; 刚度参数; 动力学性能

中图分类号 U270.3:U232

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.07.027

Research on Traction Balancing Device Parameters for Single-axle Bogie Straddle-type Monorail Vehicle

DU Zixue, XU Liang

Abstract According to the structure characteristics of straddle-type monorail vehicle single-axle bogie, the balance bar and the traction rod is installed between the bogie and the car body because of the interaction between balance rod and traction rod. If both are not properly designed, the whole vehicle will deteriorate in the dynamic performance. Therefore, it is necessary to properly select the stiffness parameters and the installation position of balance bar and traction rod. In this paper, the influence of the traction balancing device parameters on the dynamic performance of the whole vehicle is analyzed through simulation calculation, and the traction balancing device parameters required by the optimal vehicle dynamic performance are reasonably selected.

Key words straddle-type monorail; single-axle bogie; traction balancing device; stiffness parameters; kinetic performance

Author's address Research Institute of Rail Transit, Chongqing Jiaotong University, 400074, Chongqing, China

跨坐式单轨作为一种技术独特、有别于地铁走行方式的城市轨道交通, 具有广阔的应用前景^[1]。单轴转向架跨坐式单轨车辆不同于传统的双轴转向架车

辆, 单轴转向架走行轮轮对设置在转向架中部^[2], 故传统的中央牵引销和Z字型牵引均不再适用。本文采用单拉杆牵引装置来传递车体与转向架之间的牵引力。

文献[3]提出了考虑轨道不平顺性的轮胎作用力的单轨车辆的动力学模型并进行了频谱分析。文献[4]阐述了跨坐式单轨交通在日本的发展状况。文献[5]提出了针对日本的中小城市发展铰接式转向架的跨坐式单轨交通。文献[6]针对巴西圣保罗2号线, 对车辆-桥梁耦合动力学进行数值模拟。文献[7-8]建立了双轴跨坐式单轨车辆动力学特性研究, 基于有限元与多体动力学对跨坐式单轨车辆刚柔耦合体系进行了创新。文献[9]针对单轴转向架单轨车辆的转向架的牵引机构, 设计了牵引机构加载试验方案, 研究了不同横向偏摆角度对牵引机构力学性能的影响。

以上文献未对跨坐式单轨车辆的牵引平衡装置进行研究。本文就新型单轴转向架跨坐式单轨车辆牵引平衡装置参数进行了研究, 可为今后国内单轴转向架的量产提供技术指导意义。

1 单轴转向架跨坐式单轨车辆牵引平衡装置结构布置

所谓单轴转向架就是每台转向架内只有一个轮对或一根车轴, 属于非常规转向架。图1为单轴转向架三维结构简化示意图。图1中, 走行轮轮对居中布置, 空气弹簧和油压减振器则布置在转向架中部靠下的稳定轮支架的两侧, 且在转向架左右两侧斜对称布置; 牵引平衡装置布置在纵向一侧。图2为建立的动力学仿真模型^[10]。

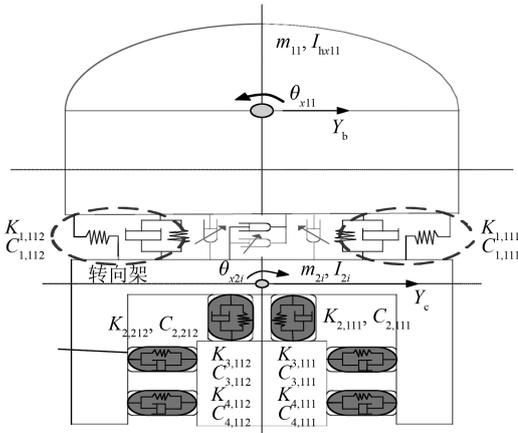
图1所示的平衡杆及牵引杆通过橡胶关节将车体与构架相连, 并由橡胶关节的变形来传递载荷。牵引杆与平衡杆结构简单, 安装和维护方便。本文采用的是单侧牵引拉杆结构, 拉杆一端连接转向架, 另一端连接车体, 与平衡拉杆平行布置, 保证牵引时转向架与车体不发生较大角度的偏转, 同时使

牵引制动力的传递更稳定。



图1 单轴转向架结构简化示意图

最大径向力、走行轮最大垂向力、倾覆系数、导向力矩及车体侧滚角。牵引拉杆安装位置对整车动力学性能影响的仿真分析计算结果如图3所示。



注： m_{11} 为车体质量； m_{21} 为转向架质量； θ_{x11} 为车体侧滚角； θ_{x21} 为转向架的侧滚角； $K_{1,111}$ 、 $K_{1,112}$ 为二系悬挂的刚度； $K_{2,111}$ 、 $K_{2,112}$ 为走行轮刚度； $K_{3,111}$ 、 $K_{3,112}$ 为导向轮刚度； $K_{4,111}$ 、 $K_{4,112}$ 为稳定轮刚度； $C_{1,111}$ 、 $C_{1,112}$ 为二系悬挂的阻尼； $C_{2,111}$ 、 $C_{2,112}$ 为走行轮阻尼； $C_{3,111}$ 、 $C_{3,112}$ 为导向轮阻尼； $C_{4,111}$ 、 $C_{4,112}$ 为稳定轮阻尼； Y_b 为车体横向位移； m_{21} 为转向架质量； I_{y21} 为转向架转动惯量； I_{bx11} 为车体转动惯量； Y_c 为转向架横向位移

图2 单轴转向架跨式单轨车辆动力学模型

与双轴转向架类似，走行轮、导向轮与稳定轮分别与走行路面、导向路面接触。因跨式单轨车辆不同于传统钢轮钢轨耦合车辆，车体与转向架之间靠二系悬挂系统连接，故可简化成“车-轮-轨”耦合动力学模型。

2 牵引拉杆关键参数研究

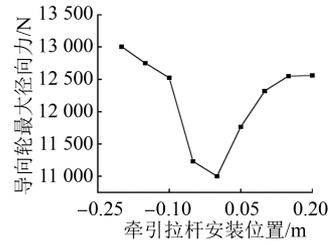
牵引机构是转向架的关键部件，其具有的弹性结构将车体与转向架构架纵向连接，以传递车体相对转向架的牵引力，保证车辆运行稳定性。

本节将通过计算分析牵引拉杆关键参数对整车动力学性能的影响。

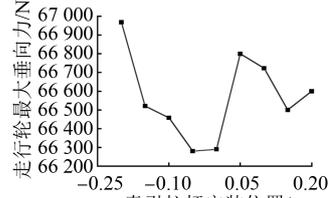
2.1 牵引拉杆安装位置对整车动力学性能的影响

取牵引拉杆距转向架车轴中心的垂向距离 h 为 $-0.2 \sim 0.2$ m。

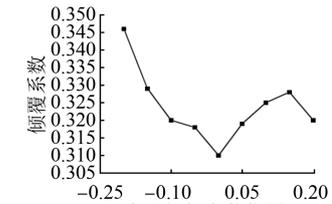
主要考察的整车动力学性能指标包括导向轮



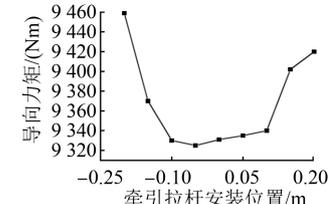
a) 导向轮最大径向力变化趋势



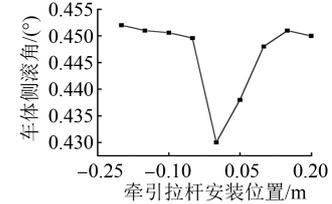
b) 走行轮最大垂向力变化趋势



c) 倾覆系数变化趋势



d) 导向力矩变化趋势



e) 车体侧滚角变化趋势

图3 牵引拉杆安装位置对整车动力学性能参数的影响

从图3可以看出，随着牵引拉杆安装位置的变化，车辆的动力学性能指标也发生相应变化。导向力径向力、走行轮最大垂向力均随安装位置的增高而先变大后变小，倾覆系数、导向力矩、车体侧滚角随安装位置的增高呈波动趋势。经综合考虑， h 取 $0 \sim -0.1$ m 时整车动力学性能最佳。

2.2 牵引拉杆刚度对整车动力学性能的影响

表1为牵引拉杆刚度对整车动力学性能参数的

影响。由表1可知,随着牵引拉杆刚度增加,导向力矩也一直增加,但倾覆系数、车体侧滚角均先减小后增大,而导向轮径向力与走行轮垂向力呈波动趋势。经对比分析,当牵引拉杆刚度设置为4~6 MN/m时,车辆动力学性能相对其他工况较好。

表1 牵引拉杆刚度对整车动力学性能参数的影响

牵引拉杆刚度/(MN/m)	导向力最大径向力/N	走行轮最大垂向力/N	倾覆系数	车体侧滚角/(°)	导向力矩/(N·m)
2	12 465	66 345	0.299	0.432	9 347
4	12 532	66 370	0.297	0.422	9 439
6	12 619	66 386	0.298	0.427	9 449
8	12 702	66 387	0.298	0.427	9 555
10	12 621	66 389	0.299	0.429	9 560

综上所述,牵引拉杆参数可以确定为安装位置取-0.1 m,拉杆刚度取5 MN/m。

3 平衡拉杆关键参数研究

单轴转向架只有一对走行轮,故转向架结构并不稳定。当转向架处于驱动或者制动工况时,由于受到反倾力矩的作用,出现俯仰而失去平衡,所以在构架和车体之间需要设置平衡装置。本文采用单拉杆平衡装置,该装置设置在与牵引拉杆同侧的转向架前端梁处。

3.1 平衡拉杆参数对车辆平稳性的影响

取平衡拉杆距转向架车轴中心的垂向距离 h_2 为0~0.5 m。主要考察整车的动力学性能指标为平稳性指数。

图4为平衡拉杆安装位置对平稳性指数影响的仿真分析计算结果。

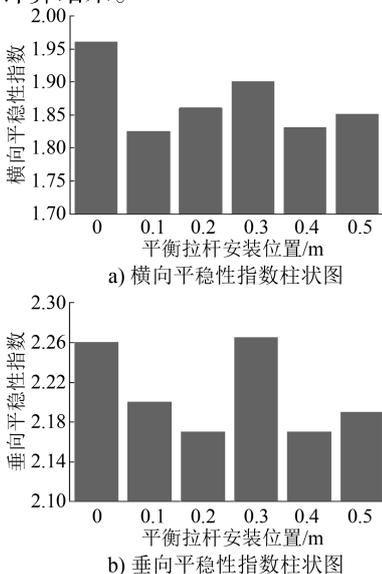


图4 平衡拉杆安装位置对平稳性指数的影响

从图4可以看出,横向平稳性指数与垂向平稳性指数随平衡拉杆安装位置变化的趋势,其平稳性指数均小于2.5,且在安装位置为0.4 m处时,横向平稳性最好,同时垂向平稳性也良好,故 h_2 取0.4 m。

图5为平衡拉杆刚度对平稳性指数影响的仿真分析计算结果。

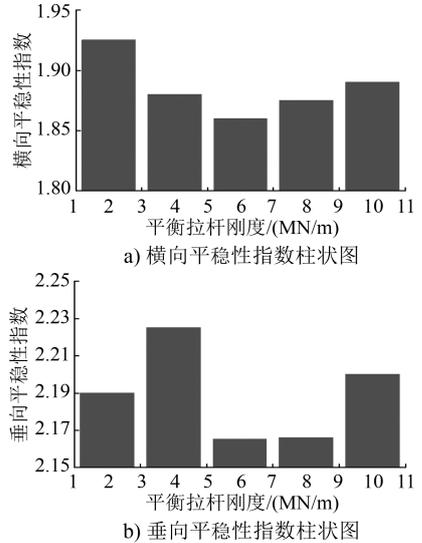


图5 平衡拉杆刚度对平稳性指数的影响

从图5可以看出,当平衡拉杆刚度取6 MN/m时,车辆横向平稳性最好;当平衡拉杆刚度取6~8 MN/m时,车辆垂向平稳性最好。经综合考虑,平衡拉杆刚度可取6 MN/m。

3.2 平衡拉杆参数对前、后转向架点头角的影响

图6为平衡拉杆安装位置对转向架点头角的影响

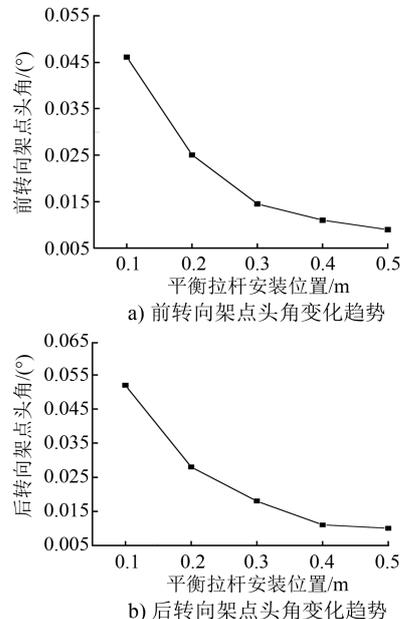


图6 平衡拉杆安装位置对转向架点头角的影响

响的仿真分析计算结果。

从图6可以看出,随着平衡拉杆安装高度的增加,前、后转向架点头角均逐渐减小。结合3.1节结论考虑,在确保点头角小且动力学性能良好的前提下, h_2 取0.4 m。

4 结论

本文针对单轴转向架跨坐式单轨车辆的结构特点,分析了不同工况下其牵引平衡装置参数对车辆动力学性能的影响,得出以下结论:

1) 从仿真数据分析可以得出,当牵引拉杆安装位置为-0.1 m处、刚度为5 MN/m,平衡拉杆安装位置为0.4 m处、刚度为6 MN/m时,车辆动力学性能达到最优化状态。

2) 通过对单轴转向架牵引平衡装置参数进行分析研究,合理选择牵引平衡装置的安装位置与杆系刚度,可使单轴转向架跨坐式单轨在设计时满足各项性能标准,优化牵引平衡装置。

参考文献

- [1] 杜子学,李宁,陈师.跨坐式单轨车辆曲线通过性能仿真分析[J].城市轨道交通研究,2012(7): 22.
- [2] 杜子学,王行聪.跨坐式单轨车曲线通过性仿真分析[J].机械设计与研究,2009(增刊): 205.
- [3] 张茂松,李芾,杨阳,等.基于单轴转向架的公铁两用车牵引平衡装置研究[J].铁道车辆,2017(3): 1.
- [4] 左长永,杜子学.基于MD ADAMS的跨坐式单轨车辆动力学性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2013.
- [5] 张笑华.直接驱动转向架轮对定位形式及牵引机构对动力学性能的影响[D].成都:西南交通大学,2012.

- [6] TIMAN P E. Why monorail systems provide a great solution for metropolitan areas[J]. Urban Rail Transit, 2015(1): 13.
- [7] 夏赞鸥,庞巴迪单轨关键技术的改进与革新[J].现代城市轨道交通,2016(1): 96.
- [8] GODA K N T, HIRAIISHI M, IWASAKI K. Response Analysis caused by Track Irregularity for a Monorail (Japanese) [J]. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers C, 1999(637): 3546.
- [9] NEHASHI A. New types of guided transport [J]. Japan Railway & Transport Review, 2001(6): 10.
- [10] KUWABARA T, HIRAIISHI M, GODA K, et al. New Solution for Urban Traffic: Small-type Monorail System [C] // Automated People Movers: Moving to Mainstream-Proceedings of the 10th International Conference on Automated People Movers. Orlando, Florida: American Society of Civil Engineers, 2005: 1-7.
- [11] JANJIC D. Dynamic train-bridge interaction in Monorail Sao Paulo Metro Line 2 [C] // Proceedings of the 36th International Association for Bridge and Structural Engineering Symposium on Long Span Bridges and Roofs-Development. Kolkata, India: International Association for Bridge and Structural Engineering, 2013.
- [12] NAEIMI M, TATARI M, ESMAEILZADEH A, et al. Dynamic interaction of the monorail-bridge system using a combined finite element multibody-based model [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multibody Dynamics, 2015(2): 132.
- [13] 刘羽宇,葛玉梅,杨翊仁.跨坐式单轨交通系统耦合振动特性[J].交通运输工程学报,2010(2): 46.
- [14] 彭立群,林达文,吴兴磊,等.跨坐式单轨车转向架牵引机构试验设计与研究[J].铁道机车车辆,2014(2): 70.
- [15] YILDIZ A S, SIVRIOGLU S. Semi-active Vibration Control of Lateral and Rolling Motions for a Straddle Type Monorail Vehicle [J]. IFAC-Papers On Line, 2016(3): 279.

(收稿日期:2018-07-02)

(上接第128页)

5 结语

通过对7号线东坡路站周边现状条件、现设计方案及预留换乘条件进行分析,从换乘形式、站内流线、工程改造措施等方面对7号线与13号线的东坡路站换乘方案进行研究,对13号线车站方案做如下优化调整:

1) 调整站位。由原方案的青羊大道东侧沿家园路敷设调整为跨青羊大道敷设,增加客流吸引力,提升车站功能。

2) 优化换乘形式。由原方案的通道换乘改为共站厅换乘,改造车站增加台-台换乘节点,缩短换乘距离,实现单循环换乘。

3) 内部客流流线优化。通过对楼梯扶手组精细

化设计,减少站内客流流线交叉,改善换乘体验。

4) 站内局部改造。打通局部堵点,实现非付费区四象限顺畅联通。

客流仿真计算结果表明,上述优化调整效果好,两线站厅、站台级换乘区域人流密度较低,服务水平较高,验证了改造方案的合理性及优越性。

参考文献

- [1] 邱蓉.新建线路与既有线换乘方案研究[J].铁道建筑技术,2013(6): 54.
- [2] 储强锋.杭州地铁市民中心站换乘改造实例[J].都市轨道交通,2016(5): 60.
- [3] 中铁第一勘察设计院集团有限公司.成都轨道交通13号线一期工程车站换乘功能评价研究报告[R].西安:中铁第一勘察设计院集团有限公司,2019.

(收稿日期:2020-04-02)