

悬挂式单轨车辆曲线通过性能分析

刘雷雨¹ 吴 晓³ 丁军君² 李 芾² 王孔明³

(1. 中铁物轨道科技服务集团有限公司, 100036, 北京; 2. 西南交通大学机械工程学院, 610031, 成都;

3. 中铁二院工程集团有限责任公司, 610031, 成都//第一作者, 助理工程师)

摘 要 分析悬挂式单轨车辆的转向架结构及组成, 建立相应的 SIMPACK 动力学仿真模型, 总结悬挂式单轨车辆通过曲线时的受力分布和力矩平衡公式。应用控制变量法分别研究曲线通过速度、导向轮轮轨间隙和导向轮径向刚度对车辆曲线通过性能的影响。仿真结果表明, 导向轮径向载荷随曲线通过速度和导向轮轮轨间隙的增大而增大, 随导向轮径向刚度的增大而减小。其中, 导向轮轮轨间隙对构架的横向加速度影响较大, 对车体横向加速度影响较小。

关键词 悬挂式单轨车辆; 动力学仿真; 曲线通过性能

中图分类号 U270.1+1; U232

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2019.04.017

Analysis of the Curve Negotiation Performance for Suspended Monorail Vehicle

LIU Leiyu, WU Xiao, DING Junjun, LI Fu, WANG Kongming

Abstract The structure and composition of suspension monorail vehicle bogie are analyzed, a corresponding SIMPACK dynamics simulation model is established. On this basis, the force distribution and moment balance formula when the suspension monorail vehicle is passing through the curve sections are summarized. Then, the control variable method is used to analyze the effects of running speed, wheel/rail clearance and radial stiffness of the guide wheel on the vehicle curve passing performance. The simulation results indicate that the radial load of guide wheel will increase with the wheel/rail clearance increase, and decrease with the increase of guide wheel radial stiffness. In which, the wheel/rail clearance of guide wheel has larger influence on the frame lateral acceleration, but less effect on the lateral acceleration of car body.

Key words suspended monorail vehicle; dynamic simulation; curve negotiation performances

First-author's address China Railway Materials Track Technology Service Group Co., Ltd., 100036, Beijing, China

提供理论支撑和参考依据, 本文采用多体动力学软件, 建立了悬挂式单轨车辆的动力学仿真模型, 研究车辆在不同工况下的曲线通过性能。

1 仿真模型

悬挂式单轨车辆由 2 个转向架和 1 节车体组成。转向架包含构架、走行轮、导向轮、差速齿轮箱、摇枕、牵引电机和基础制动装置等。电机和齿轮箱通过传动轴相连。基础制动装置采用盘形制动, 安装于电机转轴上。走行轮和导向轮均采用橡胶轮胎。走行轮位于齿轮箱两侧, 主要用于承受车辆系统的竖向载荷, 传递牵引力和制动力。导向轮水平安装于齿轮箱一端两侧, 起导向作用, 只承受横向力, 垂向力可忽略不计^[1]。摇枕通过中心销与构架铰接。车体通过二系悬挂与摇枕相连^[2]。建模时把车体、摇枕、构架、齿轮箱和走行轮视为刚体。仿真模型共包含 17 个刚体, 52 自由度。图 1 为该仿真模型动力学关系拓扑图。

1.1 走行轮和导向轮

悬挂式单轨交通车辆的走行轮和导向轮均采用橡胶轮胎, 轮轨接触关系复杂。其中走行轮主要承担垂向载荷, 以及轮轨间的横向力和回正力矩。参考文献[1-3]均提到悬挂式单轨交通车辆的导向轮只承受径向力, 导向轮和导向轨之间的切向力可忽略不计。因此, 仅考虑导向轮径向力 $F(x)$, 其计算模型如式(1)所示。

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ K(x-a) + D \, dx/dt, & x > a \end{cases} \quad (1)$$

式中:

x ——导向轮横向位移;

a ——导向轮轮轨间隙;

K ——导向轮径向刚度;

D ——导向轮径向阻尼。

为了给悬挂式单轨车辆的曲线通过性能研究

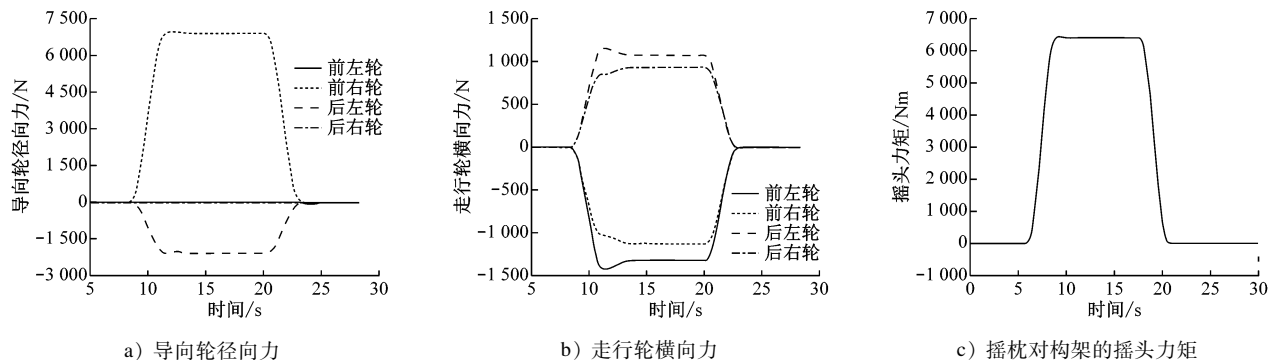


图3 通过曲线时的一位转向架受力时程图

轨间隙通过曲线;③车辆以相同的速度和间隙、不同的导向轮径向刚度通过曲线。

2.1 不同曲线通过速度下的导向轮径向载荷

设置导向轮轮轨间隙为0,车辆曲线通过速度 v 分别取10 km/h、15 km/h、20 km/h、25 km/h、30 km/h和35 km/h,进行导向轮径向力仿真。仿真结果如图4所示。由图4可知,导向轮所受径向力随

v 的增大而增大。经分析, v 增大时,车体过曲线时所受离心力也增大,因此导向轮上的径向力也相应增加。由图4 b)可知, $v=30$ km/h时,一位转向架只有右侧导向轮受力。这说明此时车辆完全依靠右侧导向轨通过曲线,对导向轨负担过重,易引起轨道梁变形。因此,建议车辆通过半径50 m曲线时的运行速度低于30 km/h。

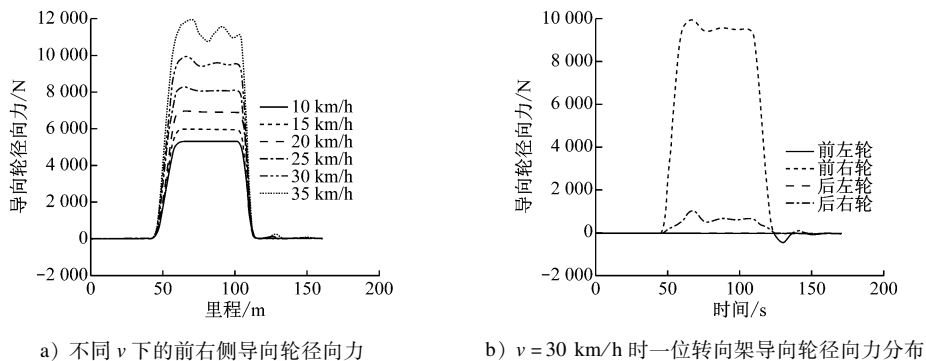


图4 导向轮径向力仿真结果

2.2 不同的导向轮轮轨间隙下的曲线通过性能

设车辆以20 km/h的速度通过曲线,设置导向轮轮轨间隙 a 分别为-2 mm(负值表示导向轮预压缩量)、0、2 mm、4 mm和6 mm进行仿真。仿真结

果如图5所示。由图5可以看出,轮轨间隙对导向轮径向力和构架横向加速度影响较大,对车体横向加速度影响较小;而且当车辆进出缓和曲线时,构架横向加速度的波动较为明显。由图5b)、图5c)

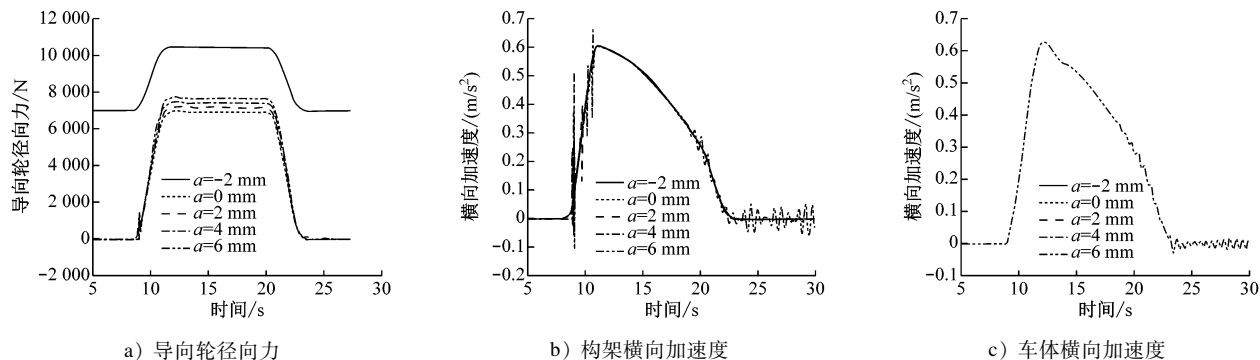
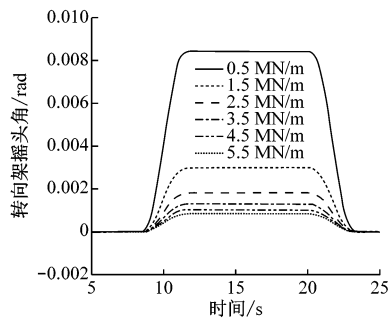


图5 不同导向轮轮轨间隙的曲线通过性能仿真结果

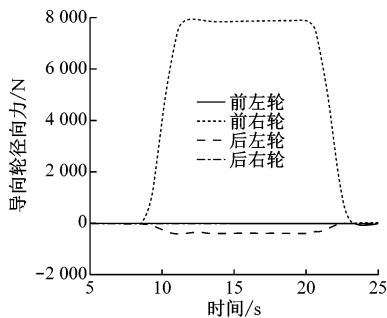
还可以看出,当轮轨间隙达到 6 mm 时,构架和车体的横向加速度波动明显增加。因此,建议轮轨间隙应尽量小,并应低于 6 mm。

2.3 不同导向轮径向刚度下的曲线通过性能

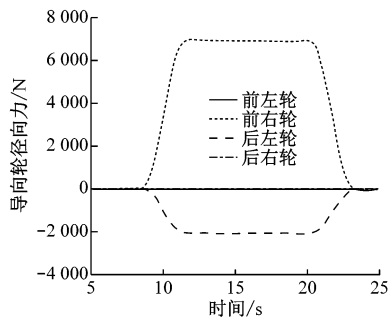
假设车辆以 20 km/h 运行,导向轮轮轨间隙为



a) 转向架摇头角



b) $K=0.5 \text{ MN/m}$ 时的导向轮径向力时程图



c) $K=3.5 \text{ MN/m}$ 时的导向轮径向力时程图

图 6 不同导向轮径向刚度下的曲线通过性能仿真结果

由图 6 a) 可以看出,转向架摇头角随径向刚度的增大而减小。当导向轮径向刚度增大时,导向轮径向压缩量也减小,从而导致转向架摇头角减小。由图 6 b)、6 c) 可以看出,当 $K=3.5 \text{ MN/m}$ 时,导向轮径向力的分布更均匀,能够更合理地利用左右侧导向轨进行导向,有利于提高轨道梁的使用寿命。因此,建议导向轮径向刚度应大于 3.5 MN/m ,具体应根据橡胶轮胎的尺寸大小和经济性等情况而定。

3 结语

通过建立 SIMPACK 动力学仿真模型对转向架进行受力分析,发现当车辆左转时一位转向架前右侧导向轮受力最大。进一步分析曲线通过速度、导向轮轮轨间隙和导向轮径向刚度对车辆曲线通过性能的影响,分析结果表明:①导向轮径向力随曲线通过速度和导向轮轮轨间隙的增大而增大,随导向轮径向刚度的增大而减小;②当曲线通过速度过大时转向架只有右侧导向轮受力,容易引起轨道梁变形;因此建议曲线半径为 50 m 时,车辆通过速度应低于 30 km/h;③导向轮轮轨间隙对构架的横向加速度影响较大,对车体横向加速度影响较小,建议导向轮轮轨间隙应尽量小且低于 6 mm;④当导

向轮径向刚度大于 3.5 MN/m 时,导向轮径向力分布更均匀,对导向轨的负担较轻,有利于提高轨道梁的使用寿命。

参考文献

- [1] GODA K, NISHIGAITO T, HIRAIISHI M, et al. A curving simulation for a monorail car[C]// Proceedings of the 2000 ASME/IEEE Joint Railroad Conference. New Jersey: IEEE, 2000: 171.
- [2] 李忠继, 林红松, 颜华, 等. 空轨列车系统横向运动稳定性研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2016, 13(3): 564.
- [3] 合田憲次郎, 西垣戸貴臣, 平石元実, 等. モノレール車両の軌道不整に対する応答解析(タイヤカ方向性を考慮したモデル化の検討)[C]// 日本機械学会論文集. 東京: 機械学会出版社, 1999.
- [4] 高嵩, 王孔明, 刘文龙, 等. 曲线段车速和轨距对悬挂式单轨车辆导向力影响研究[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2016, 35(3): 281.
- [5] 肖梯, 蒲全卫, 陈喜红, 等. 悬挂式独轨车辆动力学仿真研究[J]. 机车电传动, 2015(2): 10.
- [6] 胡晓玲. 悬挂式单轨车辆曲线通过性能研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
- [7] 曹恺, 王伯铭, 王孔明. 基于 ADAMS 的悬挂式单轨车辆曲线通过性能分析[J]. 机车电传动, 2016(1): 75.
- [8] 黄运华, 丁军君. 跨坐式单轨车辆曲线通过性能评价指标研究[J]. 电力机车与城轨车辆, 2013, 36(2): 1.

(收稿日期: 2017-06-15)