

Study on Longitudinal Rigidity Modeling Method of Side Bearing on Wagon

Shuang Liu, Zhibin Zhang, Kewei Lv

Dalian R. & D. Center, CRRC Qiqihar Rolling Stock Co., Ltd., Dalian Liaoning
Email: 348511662@qq.com

Received: Jan. 8th, 2018; accepted: Jan. 19th, 2018; published: Jan. 26th, 2018

Abstract

In the research of vehicle dynamic performance, the dynamic simulation modeling usually only considers vertical characteristics for the side bearing, focuses on vertical rigidity, statistics preload amount, clearance and longitudinal friction, and ignores the longitudinal and lateral characteristics. It is not in conformity with the actual situation. In this paper, in addition to the above characteristics, the longitudinal and lateral rigidity characteristics of the side bearing are added to the dynamic modeling process. The results of the research show that the longitudinal rigidity of side bearing has a notability influence on anti-hunt stability of simulated vehicle. It is suggested that side bearing characteristics should be considered in the future research of vehicle dynamic performance.

Keywords

Side Bearing, Dynamic Analysis, Hunting Instability

铁路货车旁承纵向刚度建模方式探讨

刘 爽, 张志彬, 吕可维

中车齐齐哈尔车辆有限公司大连研发中心, 辽宁 大连
Email: 348511662@qq.com

收稿日期: 2018年1月8日; 录用日期: 2018年1月19日; 发布日期: 2018年1月26日

摘 要

在进行车辆动力学性能研究中, 动力学仿真建模对旁承的处理通常只考虑垂向特性, 重点关注垂向刚度、预压量、间隙和纵向摩擦, 对于旁承的纵横刚度往往不做处理, 这与实际情况是不符的。本文在动力

学建模过程中除了考虑以上参数外,还加入了旁承的纵横向刚度。研究表明,旁承的纵向刚度对仿真车辆的抗蛇行稳定性能影响显著,建议在日后的车辆动力学性能研究中考虑旁承这一特性。

关键词

旁承, 动力学分析, 蛇行失稳

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

发展重载、快捷铁路货车是我国当前的大趋势,相应的对货车的动力学性能和运行安全性就有了更高的要求。蛇行失稳作为铁道车辆运行的首要问题之一,一直是动力学研究的重中之重。一旦车辆系统出现蛇行失稳,将恶化其运行品质,大大降低其运行平稳性,并导致轮轨间强烈的相互作用,引起严重的轮轨磨耗,对线路造成严重的危害,甚至会引发脱轨的危险[1]。因此,分析研究车辆的抗蛇行运动稳定性具有极为重要的意义。

旁承作为铁路货车必不可少的零部件之一,以提供一部分车辆回转摩擦阻力矩的形式保证车辆的抗蛇行稳定性,另外旁承垂向上的挠度又能保证车辆的曲线通过能力和过三角坑等恶劣线路的能力。在以往的铁道车辆动力学建模中,对旁承的处理通常只考虑垂向特性,重点关注垂向刚度、压缩量、间隙和垂直于垂向的面摩擦,对于旁承的纵横向刚度往往不作处理,这与实际情况是不符的。本文将利用动力学仿真分析软件 SIMPACK 建立某型快捷货车的动力学计算模型,分析不同建模方式下的旁承纵向刚度对所建车辆模型抗蛇行稳定性和动力学性能的影响。

2. 车辆系统建模说明

采用多体系统动力学软件 SIMPACK 建立的整车系统动力学模型。模型中考虑 1 个车体、2 个摇枕、2 个转向架构架、8 个轴箱和 4 个轮对共计 17 个刚体。车体、转向架构架、轮对均考虑纵向、横移、浮沉、侧滚、点头和摇头 6 个自由度,摇枕考虑与车体间的侧滚、摇头 2 个自由度,轴箱仅考虑点头 1 个自由度,全车共计 55 个自由度,各刚体的自由度见表 1 所示,动力学模型如图 1 所示。

铁道车辆是一个复杂的多体系统,理论计算分析模型只能根据研究的主要目的和要求,简化一些次要因素做相应的假定,包括忽略各部件的弹性变形,只考虑单节货车车辆模型,只考虑车辆匀速运行的情况,车体、转向架各部件及悬挂均对称布置。

模型中还要考虑一些非线性环节,包括非线性轮轨接触几何、非线性轮轨相互作用力和非线性悬挂系统[2]。因本文对上述非线性环节的处理均按照常规动力学仿真分析计算进行,此处不再赘述。

3. 车辆抗蛇行稳定性评判方法

抗蛇行运动稳定性是决定车辆能否高速运行的关键因素,车辆系统的蛇行运动特性通常具有图 2 所示的三种主要形式[3]。我国目前采用的 GB 5599-1985《铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范》中对货车抗蛇行稳定性的评判未做具体要求[4]。本文根据各大高校院所以往仿真惯例对车辆抗蛇行稳定性的处理规定,通过查看轮对横向移动是否收敛的方式进行了蛇行失稳临界速度判定。给定一段 300 m 长的

Table 1. Degrees of freedom of vehicle system
表 1. 车辆系统的自由度

刚体	纵向	横向	垂向	侧滚	点头	摇头
车体	X_C	Y_C	Z_C	ϕ_C	θ_C	ψ_C
摇枕	-	-	-	ϕ_B	-	ψ_B
构架	X_F	Y_F	Z_F	ϕ_F	θ_F	ψ_F
轮对	X_W	Y_W	Z_W	ϕ_W	θ_W	ψ_W
轴箱	-	-	-	-	θ_A	-

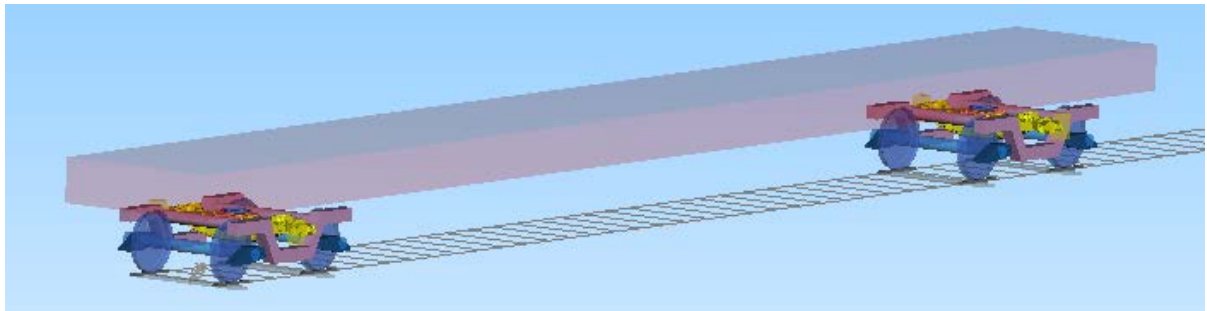


Figure 1. Vehicle dynamics model
图 1. 车辆动力学模型

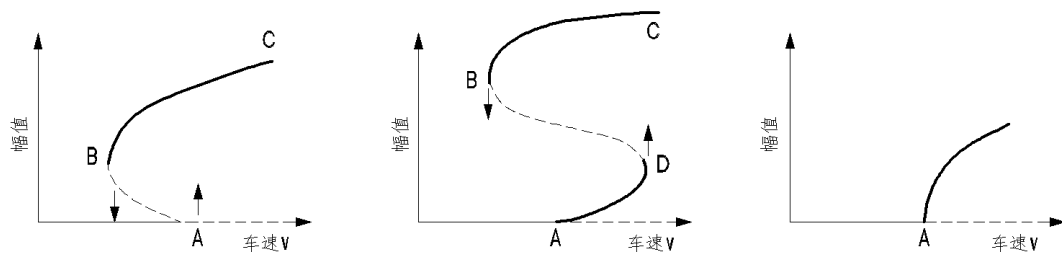


Figure 2. Definition of critical speed of vehicle system
图 2. 车辆系统临界速度的定义

实测郑武线扰动线路，首先让车辆运行在不平顺轨道上并激发其振动，然后让车辆运行在理想光滑轨道上，通过观察系统的振动能否衰减到平衡位置，来判断系统是否出现蛇行失稳。如果在某一车速下系统的振动不再收敛到平衡位置，则这时的车速值即为系统的蛇行失稳临界速度。

4. 对旁承的建模处理

以往在 SIMPACK 软件中对旁承的处理是采用 5 号力元和 100 号力元相结合的方式，其中 5 号力元用来表示旁承的垂向刚度、阻尼、间隙、预压量等特性；100 号力元用来处理旁承在纵横向的摩擦。本文依然采用 5 号力元表示旁承的垂向刚度、阻尼、间隙、预压量；然后采用 194 号力元来处理旁承的纵横向特性。给定旁承一个纵横向刚度，旁承纵向刚度元件产生的弹性变形力未达到上下旁承最大静摩擦力时，没有产生相对滑动，旁承纵向刚度元件产生的弹性变形力一旦达到上下旁承最大静摩擦力时，就会产生相对滑动。显然，这样处理与实际情况更相符。

对于旁承的回转摩擦力矩的计算，需考虑滚子间隙的影响，其具体算式为：

$$T_s = \begin{cases} (P_s + k_z \Delta z) \mu_s d_s & \Delta z \leq \Delta c \\ (P_s + k_z \Delta c) \mu_s d_s & \Delta z > \Delta c \end{cases}$$

其中 P_s 为旁承的承载, k_z 为旁承的垂向刚度, Δc 为旁承滚子间隙, μ_s 为旁承面摩擦系数, d_s 为旁承距转向架中心距离。

由上式可见, 采用双作用弹性旁承, 当间隙压死后, 摩擦力矩不会因接触刚度的增大而进一步加大, 有效限制了摩擦力矩的过度增大以保证曲线通过能力。

5. 计算结果分析

本文以某型快捷货车为分析对象, 讨论旁承建模方式和纵向刚度对车辆抗蛇行稳定性及运行平稳性和安全性的影响。

车辆模型考虑了空车、重车、轮轨接触新造状态和磨耗到限状态。

旁承选用铁路货车常用的常接触弹性旁承, 垂向特性保持不变, 纵向刚度分别为原处理方式即不考虑、4 MN/m、5 MN/m、6 MN/m、7 MN/m、8 MN/m。其中原处理中不考虑纵向刚度的方式实际上是让旁承的纵向刚度为无穷大。

针对车辆抗蛇行稳定性的计算结果如图 3 所示。结果表明: 采用 194 号力元处理旁承纵横向特性和摩擦后, 车辆的临界速度有明显的降低, 可见建模方式的变化对车辆抗蛇行稳定性的影响是比较明显的。

针对车辆运行平稳性的计算结果如图 4、图 5 所示。限于篇幅, 此处只列出空车新造状态下的计算结果, 图中不同系列代表着车辆在直线工况下不同的运行速度, 单位 km/h (下同)。图中显示: 车体横向加速度和横向平稳性指标受旁承建模方式和纵向刚度影响较大, 随着旁承纵向刚度的增大而减小; 车体垂向加速度几乎不受影响, 垂向平稳性与垂向加速度趋势一致。

针对车辆运行安全性的计算结果如图 6、图 7 所示。以空车新造状态的计算结果为例, 横向轮轨力、横向轮轴力和脱轨系数这些与车辆横向性能有关的指标都多少受到影响, 随着旁承纵向刚度的增大而减小, 而只与垂向轮轨力相关的轮重减载率则几乎不受影响。

综上所述, 旁承的不同建模方式所反映的纵向刚度对所建车辆模型的横向性能影响是不同的。应当探索和寻找或确认合理的建模方式。

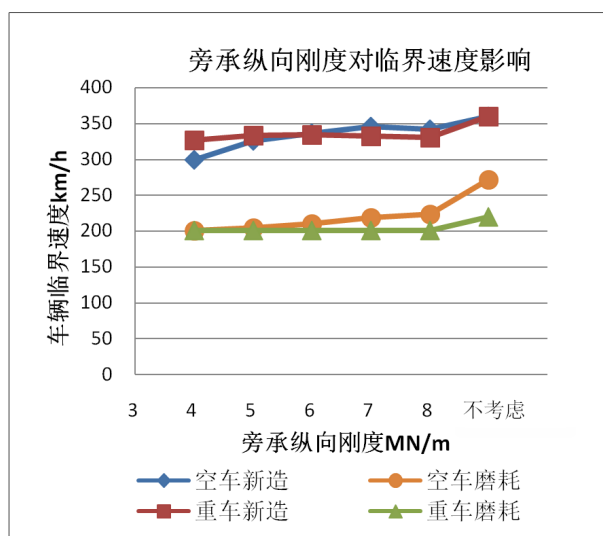


Figure 3. Critical speed of vehicle with different side bearing longitudinal rigidity

图 3. 不同旁承纵向刚度下车辆的临界速度

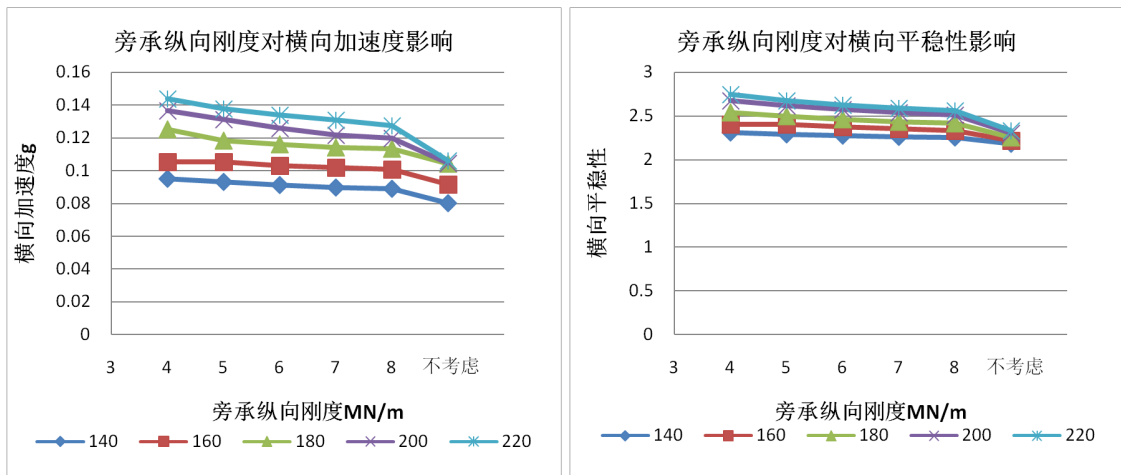


Figure 4. Lateral acceleration and stationarity with different side bearing longitudinal rigidity
图 4. 不同旁承纵向刚度下车体的横向加速度和横向平稳性

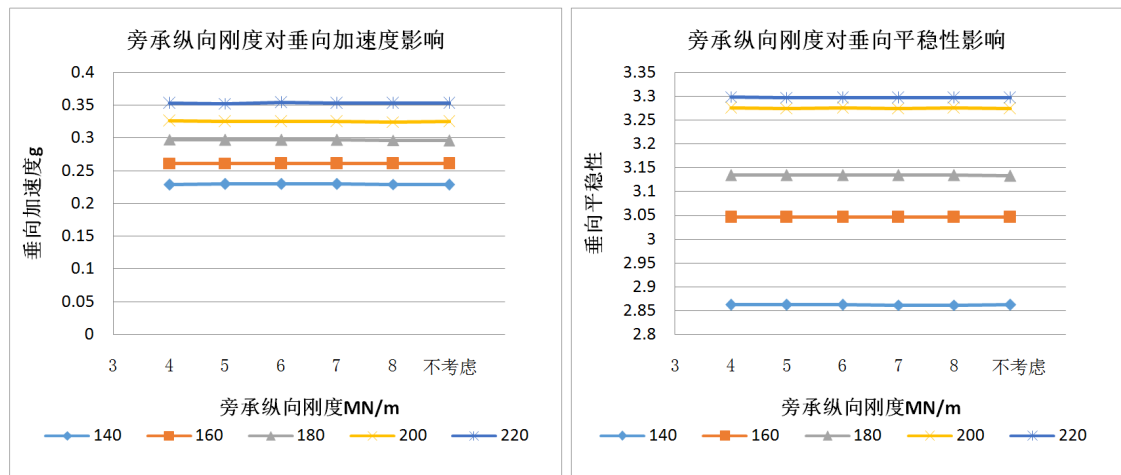


Figure 5. Vertical acceleration and stationarity with different side bearing longitudinal rigidity
图 5. 不同旁承纵向刚度下车体的垂向加速度和垂向平稳性

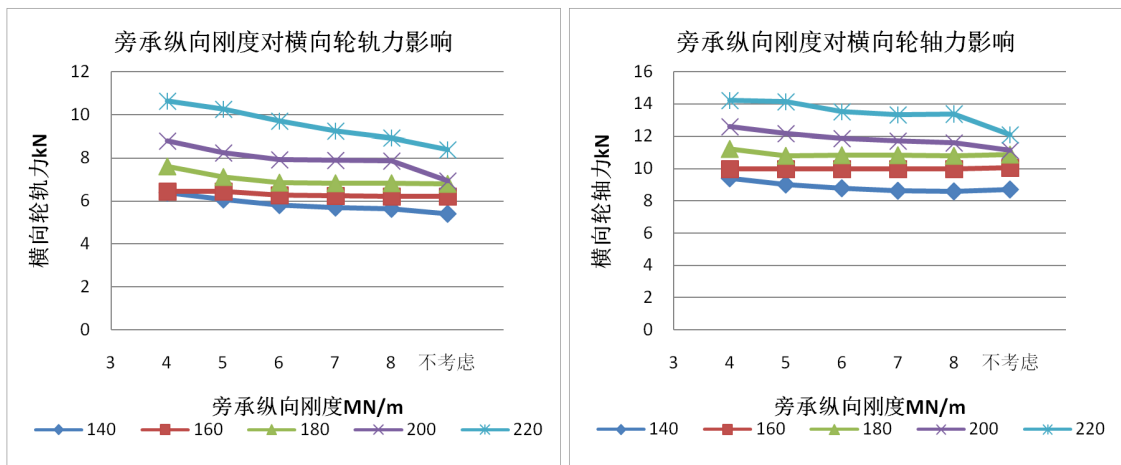


Figure 6. Lateral wheel-rail and wheelset force with different side bearing longitudinal rigidity
图 6. 不同旁承纵向刚度下的横向轮轨力和横向轮轴力

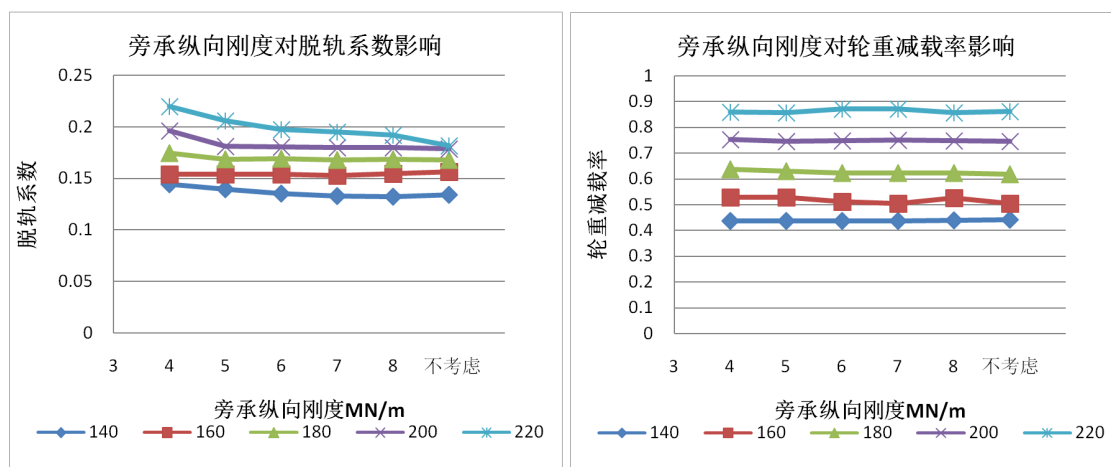


Figure 7. Derailment coefficient and wheel load reduction rate with different side bearing longitudinal rigidity
图 7. 不同旁承纵向刚度下的脱轨系数和轮重减载率

6. 结论

1) 更改旁承的建模方式和纵横向刚度对所建车辆模型的抗蛇行稳定性影响显著, 这是因为在车体和摇枕没有产生相对滑动之前, 旁承的纵向刚度和转向架二系弹簧的纵向刚度是串联关系, 这就减小了整个系统总的纵向刚度。

2) 随着抗蛇行稳定性受到的影响, 车辆的各项横向运行性能也受到这一特性的干扰, 而垂向运行性能影响不大。

3) 鉴于以上结论, 在日后的车辆动力学性能仿真研究和样机试制及试验中考虑旁承这一特性是十分必要的。

参考文献 (References)

- [1] 王福天, 毛家训. 车辆系统动力学[M]. 北京:中国铁道出版社,1994:1-18
- [2] Lewis, R. and Olofsson, U. (2011) Wheel-Rail Interface Handbook. CRC, Boca Raton, Boston, New York, Washington DC, 74-84.
- [3] Iwnicki, S. (2006) Handbook of Railway Vehicle Dynamics. Taylor & Francis, Boca Raton, London, New York, 390-394. <https://doi.org/10.1201/9781420004892>
- [4] 田光荣. 铁路货车蛇行失稳评判限值的研究[J]. 中国铁道科学, 2016, 37(5): 87-93.

Hans 汉斯

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3431, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojtt@hanspub.org