

文章编号: 1002-7602(2009)06-0008-03

# 轮对纵向定位误差对高速动车运行性能的影响分析

姚 远, 张红军, 罗 赟  
(西南交通大学 牵引动力国家重点实验室, 四川 成都 610031)

**摘 要:** 利用 SIMPACK 软件建立高速动车模型, 通过改变轮对初始偏转角来模拟轮对安装误差以及运用过程中一系橡胶定位装置出现的纵向定位误差, 讨论了这些误差对车辆直线动力学性能的影响。结果表明, 一系定位纵向误差使得车轴偏转对车辆横向动力学性能的影响较大。

**关键词:** 高速动车; 轮对; 纵向定位误差; 动力学性能; 计算机模拟  
**中图分类号:** U270.1<sup>+</sup>1 **文献标识码:** A

轮对安装误差以及机车车辆运用过程中出现的一系定位变形误差共同作用使得轮对偏离理想位置, 轮轴偏转有可能使高速车辆运行性能变差, 需要从运用模拟角度来进行动力学分析。

## 1 数学模型

利用 SIMPACK 软件建立某型动车组动车整车动力学模型(图 1)。模型由 1 个车体、2 个构架、4 条轮对、2 套抗侧滚扭杆、一二系弹簧和减振器等刚体组成。模型共 21 个刚体、46 个独立自由度和 20 个非独立自由度。其中, 轮对的垂向和侧滚运动是由横移决定的, 不是独立自由度。模型的主要参数为: 转向架轴距 2.7 m, 转向架中心距 19 m, 名义滚动圆之间的距离 1 493 mm, 车轮直径 890 mm, 轴箱的横向自由间隙 0.5 mm, 弹性最大位移 20 mm, 一系纵向刚度 26 kN/mm、横向刚度 4.99 kN/mm, 轴重 17 t。

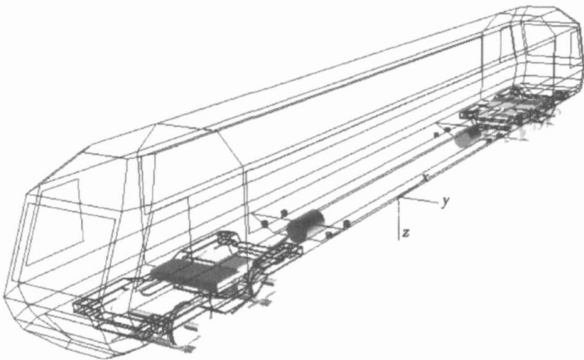


图 1 整车动力学模型

采用我国秦沈高速客运专线线路轨道谱。踏面为 XP55 型磨耗形踏面, 钢轨为 P60 钢轨, 轨底坡为 1/40。当轮对的横移量在 0~3 mm 之间变化时, 等效锥度大约为 0.06。用数值积分方法求解, 充分考虑轮轨接触几何和蠕滑关系的非线性、轮对自由横动量和轴箱横向止挡刚度的非线性、二系横向止挡刚度的非线性以及各减振器的卸荷特性。

模型中, 通过改变轮对两侧一系纵向定位位置来模拟相应的定位误差。轮对左右两侧纵向定位位置误差对应轮对的偏转角见表 1(偏转角正值表示轮对顺时针偏转)。

| 表 1 轮对左右两侧纵向定位位置误差对应轮对的偏转角 |         |
|----------------------------|---------|
| 两侧纵向位置误差/mm                | 偏转角/rad |
| 0                          | 0       |
| 0.2                        | 0.000 1 |
| 0.4                        | 0.000 2 |
| 0.8                        | 0.000 4 |
| 1.6                        | 0.000 8 |
| 3.2                        | 0.001 6 |

## 2 单轮对偏转分析

假设车辆直线运行时 1 位轮对出现偏转角。图 2 为动车 1 位轮对存在偏转角时其横移量平均值, 可见随着偏转角的增大, 轮对横移量也增大。偏转角为 0.001 6 rad 时, 轮对平均横移量为 5 mm。轮对横移量与运行速度关系不明显。

收稿日期: 2008-05-16; 修订日期: 2009-03-30  
基金项目: 长江学者和创新团队发展计划资助(IRT0452)  
作者简介: 姚 远(1983-), 男, 博士研究生。

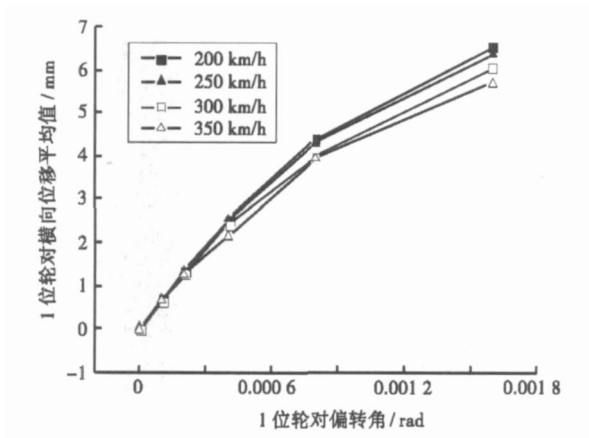


图 2 1 位轮对横移量平均值

图 3、图 4 分别为 1 位轮对的轮轴力及导向力。轮对轮轴力和左右侧车轮导向力随着偏转角的增大而增大,当一系两侧纵向定位误差为 1.6 mm 时,轮轴力和导向力大约为理想状态时的 2 倍,右侧车轮导向力明显高于左侧车轮导向力。

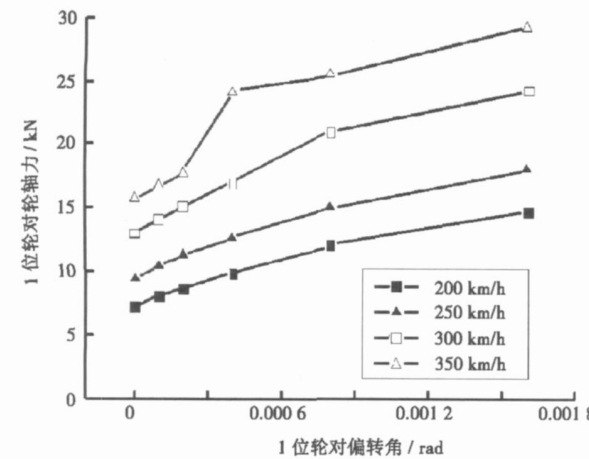


图 3 1 位轮对轮轴力

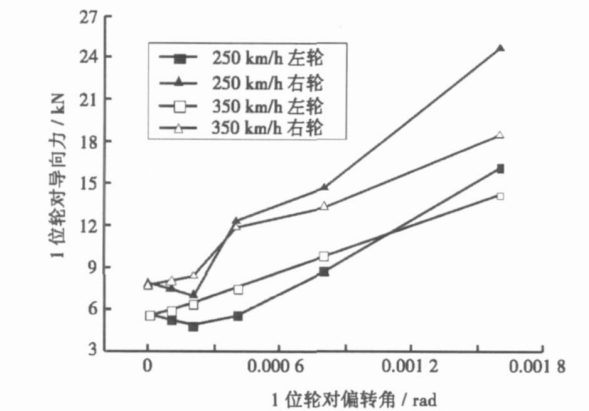


图 4 1 位轮对导向力

角的增大,左右侧车轮磨耗功也增大。由于轮对右偏,右侧车轮磨耗功大于左侧车轮。高速下车轮磨耗较低速下车轮磨耗大。

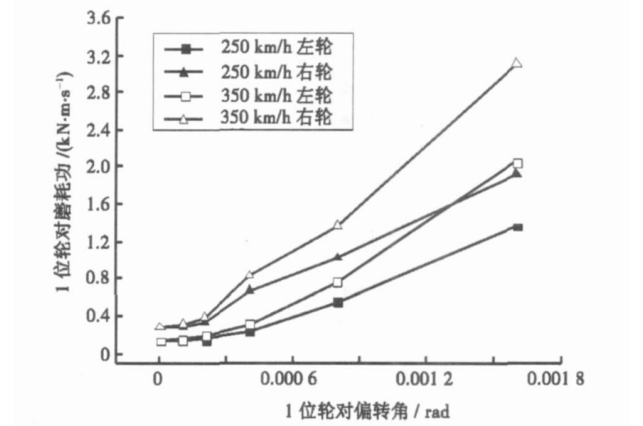


图 5 1 位轮对车轮磨耗功

以上计算结果表明,由于 1 位轮对纵向定位存在误差,使得轮对顺时针偏转,造成轮对运动中心线与轨道中心线不重合,增大了轮轴力、车轮导向力以及车轮磨耗。

3 不同组合工况分析

由于同一转向架前后轮对轴线不平行存在随机性,本文讨论同一转向架上轮轴偏转的 3 种不同组合工况(图 6)。工况一为仅仅前轴偏转而后轴不偏,即前文讨论的工况;工况二为前后轴偏转方向一致;工况三为前后轴偏转方向相反。为了简化工况类型,假设工况二和工况三中前后轴偏转角大小一致。3 种工况的运行速度均为 300 km/h。

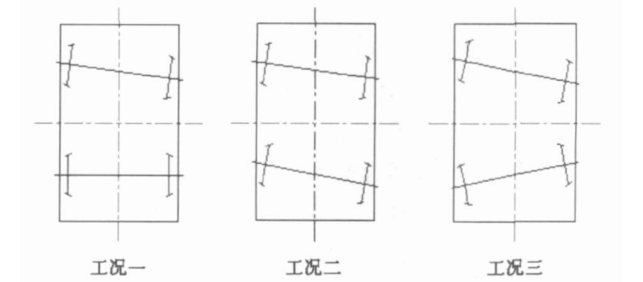


图 6 各种工况组合

图 7 为各组合工况下轮对横移量的平均值。由图 7 可知,由于前轮对顺时针偏转,各组合工况下前后轮对运动中心线都相对轨道中心线右移;工况三前后轮对横移量较其他工况大;工况二前后轮对横移量最小,其后轮对横移量大于前轮对。

图 5 为 1 位轮对左右两侧车轮磨耗功。随着偏转

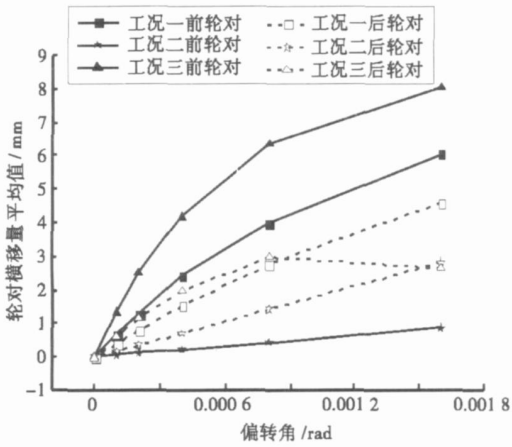


图 7 轮对横移量平均值

图 8 为各组合工况下前后轮对的脱轨系数，其规律与轮对横移量类似，工况二脱轨系数最小，工况三脱轨系数最大。当轮对左右两侧纵向定位误差为 1.6 mm 时，工况三前轮对脱轨系数为 0.65，为理想值的 4.5 倍，给高速运行带来安全隐患。

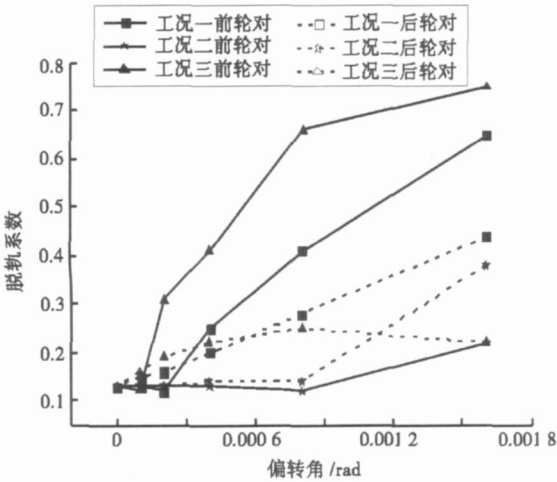


图 8 前后轮对脱轨系数

图 9、图 10 分别为轮对左右两侧纵向定位误差为 1.6 mm 时各组合工况下轮轴横向力以及左右侧车轮磨耗功。由图 9 可知，轮轴横向力工况三最大，工况二最小。由图 10 可知，车轮磨耗功工况三较大，工况二最小。由于轮对顺时针偏转，前轮对右轮磨耗功大于左轮，而后轮对左轮磨耗功大于右轮，其中工况三前右侧车轮磨耗功为左侧车轮磨耗功的 1.6 倍，容易导致轮对偏磨。

表 2 给出了各工况下车辆横向平稳性指标及非线性临界速度。随着偏转角的增大，横向平稳性指标变化不大，当轮对左右两侧纵向定位误差为 3.2 mm 时，横向平稳性变化较大，工况二的横向平稳性指标较工况一和工况三小。由表 2 可知，轮对轴线不平行对车

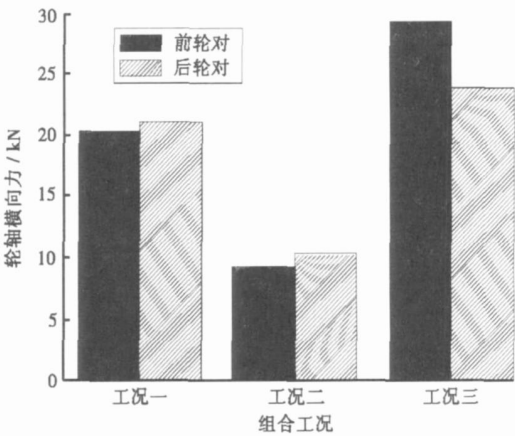


图 9 轮轴横向力

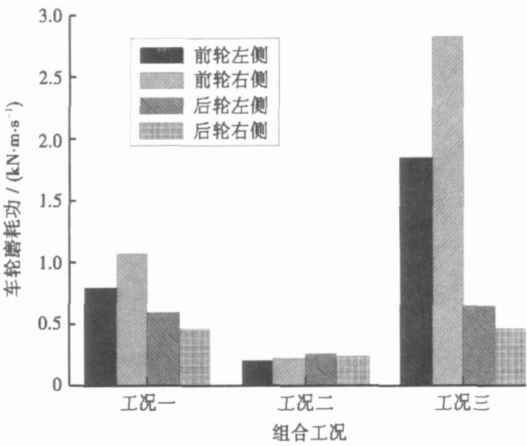


图 10 车轮磨耗功

辆横向运行稳定性没有影响。

表 2 横向动力学性能指标

| 偏转角/rad | 横向平稳性指标 |      |      | 非线性临界速度/( km · h <sup>-1</sup> ) |     |     |
|---------|---------|------|------|----------------------------------|-----|-----|
|         | 工况一     | 工况二  | 工况三  | 工况一                              | 工况二 | 工况三 |
| 0       | 1.19    | 1.19 | 1.19 | 408                              | 408 | 408 |
| 0.000 1 | 1.19    | 1.19 | 1.19 | 408                              | 412 | 408 |
| 0.000 2 | 1.19    | 1.19 | 1.19 | 408                              | 408 | 408 |
| 0.000 4 | 1.19    | 1.19 | 1.19 | 408                              | 406 | 410 |
| 0.000 8 | 1.20    | 1.19 | 1.20 | 408                              | 408 | 408 |
| 0.001 6 | 1.27    | 1.20 | 1.27 | 408                              | 408 | 408 |

4 结论

(1) 由于存在轮对左右两侧纵向定位误差，轮对偏转对车辆动力学性能有影响。高速运行时，随着偏转角的增大，轮对平均横移量、轮对轮轴力、车轮导向力、脱轨系数以及车轮磨耗功都增大，车辆横向平稳性

(下转第 32 页)

试验结果。

4 结论与建议

国外标准都是自成体系的,都是建立在大量的分析试验和反复的实践基础上的,并且都在不断修订,并需要长期的工程应用实践。我国的 TB/T 1335—1996 在应用过程中没有出现明显的问题,分析认为是偏安全的。由于国际联运的需要,UIC 577 标准采用得较广泛;2006 年欧盟委员会决议通过的 TSI 标准《跨欧大陆铁路系统“铁路车辆—货车”子系统的互操作性技术规范》引用了 EN 12663—1999(没有规定大于 22.5 t 的轴重,轴重 22.5 t 时每延米重 8 t),说明了该标准应用也比较广泛。

我国货车车体试验和评定标准亟待修订和完善,如 TB/T 1335—1996 的端墙侧压力公式等。应深入地研究国外标准,系统分析、具体研究现行标准,通过归类、分析、比较,找出其中的差异和问题,制定适合我国运输及新技术发展的新标准。为我国未来研制 80 t 级通用货车(轴重 27 t)和轴重 30 t 及以上专用货车提供基础。

鉴于北美铁路协会 AAR 的货车设计、制造和试验标准已经过长期的实践检验,被证明是先进的和成熟的,并为除欧洲以外的多数国家所采用,建议我国铁路货车设计制造业在大轴重铁路货车的设计制造上借鉴和引用 AAR 标准。对于车体的验收标准,应当考虑适合我国国情,并与国际标准接轨,建议如下:

(1) 对北美铁路 AAR 标准进行研究,分析其载荷工况的应用工程背景,尤其是车辆纵向载荷的产生环境。结合大秦线运用实践,加强车辆纵向力的分析研究,提出适合我国运用环境的纵向力考核标准和规范。建议对大秦线 2 万 t 列车的纵向动力学进行大量试

验,获得其纵向载荷谱,根据试验数据确定的纵向载荷,更有利于开发技术先进、性能可靠的大轴重货车。

(2) 分析我国大秦线开行 2 万 t 重载列车的运用经验和试验数据,进一步研究 2 万 t 列车的纵向力考核标准,即第一工况纵向拉伸力取 2 250 kN、压缩力取 2 500 kN,第二工况纵向压缩力取 2 800 kN。如果 30 t 轴重货车的列车编组吨位提高到 3 万 t,还应进行系统的研究和试验。在可靠的论证和试验的基础上进一步研究实际运用载荷工况。

(3) 相邻车辆速度差引起的冲击如调车场上的调车冲击是导致车辆损坏的主要原因之一,建议在结构方案确定后进行车体单端冲击强度计算和车辆冲击仿真计算。对于冲击试验,应在 TB/T 1335—1996 的基础上,结合我国实际运用工况和 AAR 冲击标准,进行大量的调研、分析与试验,提出合理的冲击速度和车钩力。

(4) 开展货车车体刚度评定标准研究,建议新型货车车体弯曲刚度和扭转刚度与类似车体结构相比,车体刚度不能有明显的降低。分析研究与试验结合,提出合理的车体弯曲刚度评定值。

(5) 开展货车车体疲劳试验方法与标准研究。建立整车疲劳试验台,模拟实际运用载荷工况,提高车体运用可靠性。

(6) 我国的动力学、疲劳计算长期采用国外的载荷谱,但实际线路和运用条件与国外的差别却很大。所以,应加强中国线路及运用条件的基础研究,开展货车载荷谱的试验研究,在货车产品设计中充分利用 70 t 级货车载荷谱的阶段性研究成果,进一步研究大秦线 80 t 级货车的载荷谱,提升货车技术水平,提高车辆的结构可靠性。

(续完)  
(编辑:郭 晖)

(上接第 10 页)

指标、非线性临界速度变化不显著。

(2) 同一转向架前后轮对偏转方向不一致时,轮对偏转对动力学性能影响最大;而前后轮对偏转方向一致时,对动力学性能影响最小。

参考文献:

[1] 王志平. SS-7 型电力机车轮缘偏磨问题的探讨[J]. 机车电传动, 2005, 45(2): 70—72.  
[2] Landon M Kanner, Cornelius O Horgan. Constitutive modeling

and the trousers test for fracture of rubber-like materials [J]. International Journal of Non-Linear Mechanics, 2007, 42(2): 204—215.  
[3] Guo Z, Sluys L J. Computational modelling of the stress-softening phenomenon of rubber-like materials under cyclic loading [J]. European Journal of Mechanics - A/Solids, 2006, 25(6): 877—896.  
[4] 张曙光, 金学松. 高速轮轨系统动力学研究体系及其系统建模[J]. 科学通报, 2007, 52(7): 855—860.

(编辑:李 萍)

# ABSTRACT

## **Initial Discussion of Feasibility of 35-Year Safe Operation of Zhuan K6 Bogie Bosters**

LIU De-gang, et al.

(male, born in 1972, senior engineer, Research and Testing Department of Qingdao Sifang Rolling Stock Research Institute Co., Ltd., Qingdao 266031, China)

**Abstract:** The structural differences between bosters of Zhuan K6 bogies and the original Zhuan 8A bogies are compared. The finite element analysis for the static strength is made. The stress levels are compared. And the fatigue damage of the two types of bogies are analyzed. Furthermore, the feasibility of application of Zhuan K6 bogie bolsters for 35-year is discussed.

**Key words:** freight car bogie; bolster; finite element analysis; fatigue life

## **Research on Braking System for 160 km/h Rapid Freight Cars**

ZHU Ying-chun, et al.

(male, born in 1970, senior engineer, Braking Technology Development Department of CSR Meishan Rolling Stock Co., Ltd., Meishan 620010, China)

**Abstract:** Described are the model selection, system composition, calculation and testing of brakes in the braking systems for 160 km/h rapid freight cars.

**Key words:** rapid freight car; braking system; research

## **Analysis of Effect of Longitudinal Wheelset Positioning Error on the Operation Performance of High Speed Motor Cars**

YAO Yuan, et al.

(male, born in 1983, graduate student for doctor degree, Traction Power State Key Laboratory of Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** The SIMPACK software is used to establish the model of high speed motor car. Via changing the initial reflection angle of wheelsets, the wheelset installation error as well as the longitudinal positioning error appeared in the primary rubber positioning device in operation is simulated. The effect of these errors on the linear dynamics performance of vehicles is discussed. The result shows that the axle reflection due to the longitudinal error in the primary positioning affects the lateral dynamics performance of vehicles greatly.

**Key words:** high speed Motor Cars; wheelset; longitudinal positioning error; dynamics performance; computer simulation

## **Analysis of Disk Braking Flutter for Rolling Stock Based on Stick-Slip Theory**

HUANG Cai-hong, et al.

(male, born in 1985, graduate student for doctor degree, Traction Power State Key Laboratory of Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** After analysis of disc braking flutter, a flutter model with two degrees of freedom in parallel is established. Through digital simulation, the effects of different braking speeds, different braking pressures and different dampings on flutter are discussed, and the conclusion to control the braking flutter is obtained.

**Key words:** rolling stock; disc braking; flutter; digital simulation

## **Design of Plug Doors on "Harmony" DMUs for Beijing-Badaling Line**

JIA Gui-gan

(male, born in 1965, senior engineer, Passenger Car Design Department of CSR Nanjing Puzhen Rolling Stock Co., Ltd., Nanjing 210032, China)

**Abstract:** Described are the structure, functions, principles and peripheral interface relations of the plug doors on "Harmony" DMUs for Beijing-Badaling Line.

**Key words:** plug door; structure; function; principle; interface

## **Design and Realization of the Temperature Monitoring System for Traction Motors on Multiple Units**

LU Xiao-long

(male, born in 1962, senior engineer, Rolling Stock Department of Shanghai Railway Bureau, Shanghai 200071, China)

**Abstract:** In order to monitor the surface temperature of traction motors on multiple units in real time and to find the troubles in motors as early as possible, it is put forward in the paper that the wireless spread spectrum technique shall be applied, to form the free topological structure with the nodes being able to form network automatically, to monitor the temperature of traction motor in real time, and through the GPRS radio network, to transmit the data of each train to the dispatching center of multiple units in real time.

**Key words:** multiple units; traction motor; temperature; monitor

## **Development of KM<sub>70B</sub> Stainless Steel Coal Hopper Cars**

ZHAO Tian-jun

(male, born in 1971, senior engineer, Technical Center of CNR Qiqihar Rail Traffic Equipment Co., Ltd., Qiqihar 161002, China)

**Abstract:** Described are the main technical parameters, structure and testing result of KM<sub>70B</sub> stainless steel coal hopper cars.

**Key words:** stainless steel; hopper car; structure; parameter; test result