

文章编号:1005-0523(2011)02-0014-05

## 不同车轮踏面对高速轮轨关系的影响研究

周新建<sup>1</sup>,王琦<sup>1,2</sup>,王成国<sup>3</sup>,张海<sup>1,3</sup>

(1.华东交通大学载运工具与装备教育部重点实验室,江西 南昌 330013; 2.武汉铁路局,湖北 武汉 430071; 3.中国铁道科学研究院铁道科学技术研究发展中心,北京 100081)

**摘要:**根据中国高速铁路的现状,在轮对内侧距选用1353、轨底坡选用1:40、钢轨选用中国高速钢轨CHN60的前提下,研究了CRH2上使用的LMa、CRH3上使用的S1002G和日本新干线圆弧车轮JP-ARC这3种踏面对CHN60轮轨的影响。研究结果表明,LMa与CHN60的轮轨接触点分布比较均匀,有利于车轮型面的保持;其次是S1002G,最差的是JP-ARC踏面。另外,通过比较这3种踏面的磨耗情况和脱轨系数,研究了这3种踏面对车辆平稳性的影响。研究结果表明,随着车辆运行速度增加,3种踏面的平稳性下降。S1002G踏面在平稳性方面优于LMa和JP-ARC;车轮磨耗情况方面,LMa踏面优于S1002G和JP-ARC;安全性(脱轨系数)方面,S1002G踏面优于LMa和JP-ARC。

**关键字:**轮轨关系;平稳性;磨耗;脱轨系数

中图分类号:U266.2

文献标识码:A

由于历史和技术等原因,各国高速铁路采用了不同形状的钢轨、车轮和轮对内侧距。高速铁路的理论研究和实际运行情况表明,车轮踏面形状、轮对内侧距以及与不同钢轨匹配情况直接改变轮轨接触几何关系,对轮轨关系影响非常大,其受到学者们的高度重视<sup>[1-8]</sup>。对于高速车辆来说,轮轨匹配主要考虑的是车辆系统稳定性、轮轨的动力学作用以及高速轮对寿命(镟修周期)。

### 1 不同车轮踏面接触几何关系分析

轮轨接触几何关系对轮轨关系影响非常大,现选用S1002G,LMa,以及JP-ARC踏面研究与中国高速铁路钢轨CHN60的匹配情况,轮轨接触主要参数见图1。

图1中:

$a$ —轨底坡;

$h$ —轨距;

$l$ —轮对内侧距,左右轮缘内侧之间距离;

$L$ —轮距,左右名义滚动圆之间的距离。

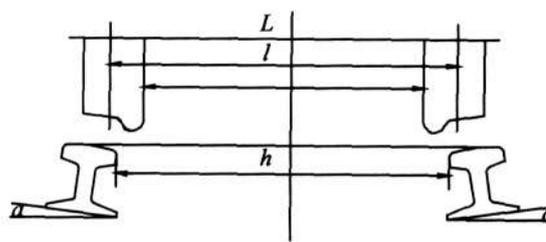


图1 轮轨接触参数示意图

Fig.1 Schematic diagram of wheel-rail contact parameters

图2是3种典型车轮踏面(S1002G,LMa、JP-ARC)

轮廓对比,图中,整个车轮踏面分成踏面、轮缘及轮角3部分。在轮轨接触过程中,比较大的踏面锥度具有比较好曲线通过性能,即使车辆在小半径曲线上通过时也不会发生轮缘接触。但是临界速度与等效锥度有密切联系,等效锥度越高,临界速度越低。因此车轮踏面的等效锥度需要权衡直线上临界速度以及曲线通过来综合设计。

收稿日期:2011-01-25

基金项目:国家自然科学基金项目(51005075)

作者简介:周新建(1963—),男,教授,博士。

良好的轮轨接触几何关系是接触点应该尽可能在车轮踏面上均匀分布,这样车轮的磨耗分布就均匀,有利于车轮的型面的稳定。同时接触点又不能分布太大,如果分布的太开,影响车辆的蛇行稳定性。所以良好的轮轨接触几何关系需要同时考虑车轮型面的保持和车辆的蛇行稳定性问题。图3是3种车轮踏面与CHN60轨的轮轨接触点情况。从图3(a)可以看出S1002G踏面与CHN60钢轨的轮轨接触点分布随着轮对横移的变化情况,接触点分布不太均匀,轮对横移的时候,接触点位置在车轮踏面和钢轨顶面发生横向跳移。这样对车辆磨耗情况是不利的。从图3(b)LMa踏面与CHN60钢轨的轮轨接触点分布情况可以看出,轮轨接触点在LMa踏面上分布比较均匀,没有跳移的现象,有利于车轮型面的保持。从图3(c)JP-ARC踏面与CHN60钢轨的轮轨接触点分布情况可以看出,轮轨接触点在JP-ARC踏面上分布过于集中,而且有很明显跳移现象,这样不利于车轮型面保持。

轮轨匹配直接影响轮轨关系,从而影响车辆运行的动力学性能,其中等效锥度是轮轨几何匹配的最重要参数之一,下面采用Adams/Rail中的RS GEO轮轨接触匹配计算方法对上述3种踏面与CHN60钢轨的匹配状况进行计算,计算结果如图4。

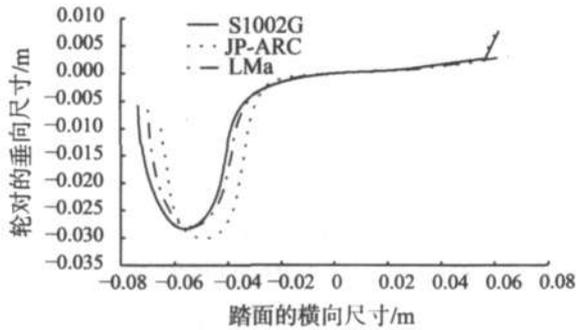


图2 3种踏面轮廓对比  
Fig.2 Comparison of three kinds of tread profile

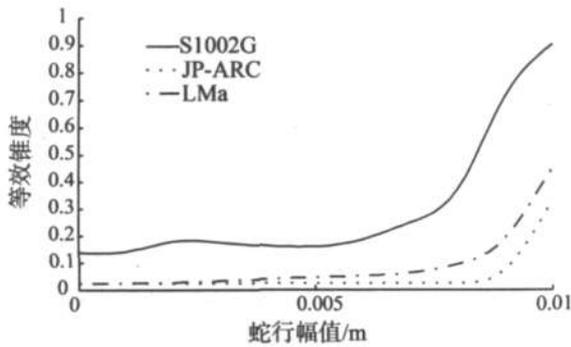


图4 3种踏面的等效锥度比较  
Fig.4 Comparison of three kinds tread of equivalent conicity

根据国际铁路联盟标准UIC519规定,当轮对蛇行幅值为3 mm时,其等效锥度定义为名义等效锥度。表1为上述3种踏面的名义等效锥度。

S1002G是在S1002踏面基础上改进设计的踏面,S1002G的轮缘厚度增大(轮背与名义滚动圆的距离73.5 mm),LMa为70 mm,JP-ARC为65 mm。

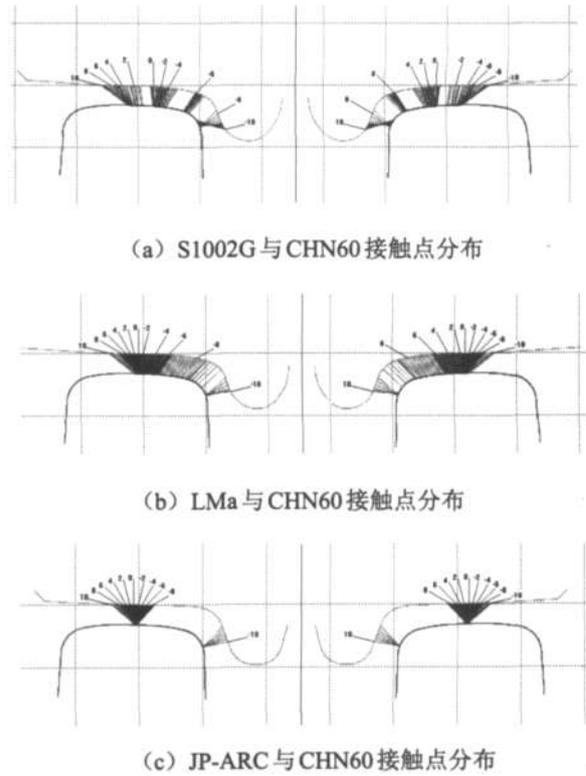


图3 3种踏面与CHN60的接触点分布  
Fig.3 Three kinds of tread contact point distribution with CHN60

表1 3种踏面的名义等效锥度  
Tab.1 Three kinds of tread of nominal equivalent conic

踏面	名义等效锥度
S1002G	0.176
LMa	0.0337
JP-ARC	0.0254

## 2 仿真模型建立

本文仿真计算中采用了ERRI标准考题的车辆模型作为研究对象,如图5所示,模型由1个车体、2个构架、8个轴箱和4个轮对构成。

构架与车体之间通过悬挂单元和阻尼器连接。悬挂单元定义了二系纵向、垂向和横向连接刚度;构架与车体之间的阻尼器包括垂向、横向和纵向阻尼器,分别定义二系垂向减振器、二系横向减振器和抗蛇行减振器的阻尼特性。考虑到构架与车体之间的横向相对位移增大到一定值时,会产生很大的力,模型中采用止挡单元(Bumpstop)来模拟这种现象。

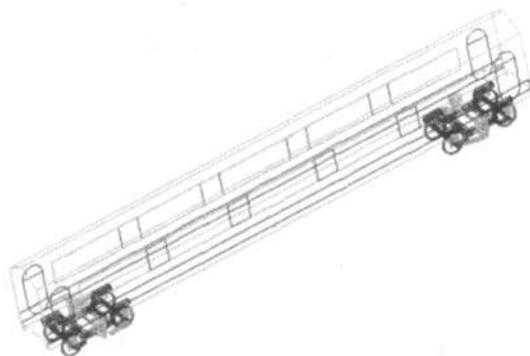


图5 高速车辆仿真模型

Fig.5 Simulation model of high-speed vehicles

## 3 不同踏面对车辆平稳性能影响比较

为考察不同踏面与中国高速铁路适应情况,使用上节建立高速车辆动力学模型,踏面选用S1002G,LMa,以及JP-ARC。轨道的不平顺使用武广高速铁路的实测数据,轮对内侧距选用1353,曲线半径8000m,仿真计算速度分别为300 km/h,330 km/h,350 km/h,380 km/h,400 km/h。

3种踏面在不同速度下的横向平稳性指标如图6所示,垂向平稳性指标如图7所示。由图6可以看出,随着速度的增加,3种踏面的横向平稳性指标都有所上升,平稳性都有所下降。平稳性指标在330~400 km/h速度段内随速度的变化比较明显,其中LMa踏面的横向的加速度相对最大,S1002G最小,并且随着速度增加,S1002G的平稳性指标也是均匀增加。JP-ARC的平稳性比LMa的平稳性要好一点,差别不大,但都明显比S1002G差。由图7可以看出,3种踏面的垂向平稳性也是随着速度增加都有所下降。3种踏面的垂向平稳性方面还是S1002G最好,其次是LMa,最后是JP-ARC。这说明S1002G踏面在平稳性方面优于LMa和JP-ARC踏面。

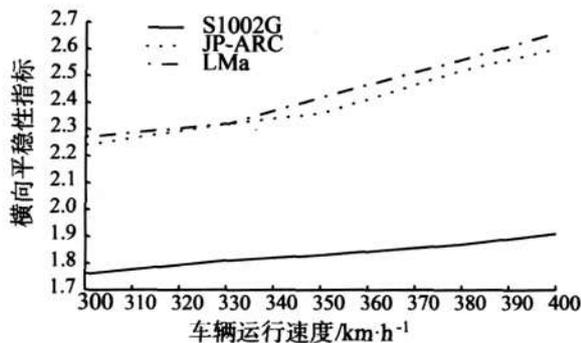


图6 3种踏面对车辆横向平稳性影响的对比  
Fig.6 Comparison of three kinds tread effect  
vehicle lateral stability

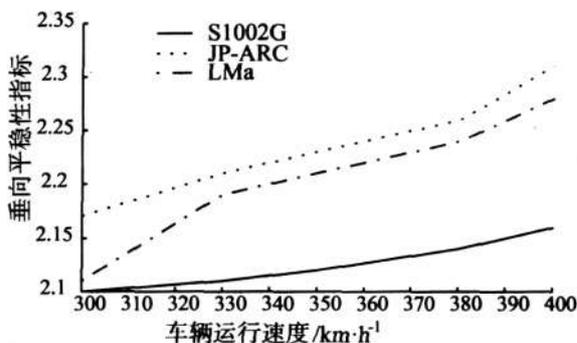


图7 3种踏面对车辆垂向平稳性影响的对比  
Fig.7 Comparison of three kinds tread effect  
vehicle vertical stability

## 4 不同踏面的磨耗情况比较

车轮在钢轨上高速运行将产生的车轮踏面、轮缘和钢轨的磨耗是评价车辆动力学性能的一项重要指标。本文将分直线和曲线来分析3种踏面的磨耗情况,曲线半径为 $R=8000$  m。另外为了对3种踏面的磨耗特性进行比较,取第1轴2个轮对磨耗指数均方根RSM的平均值。

3种不同踏面在直线上不同速度下的磨耗情况如图8所示,曲线上的磨耗情况如图9所示。由图8可以看出,3种踏面的磨耗指数随着速度的增加磨耗指数均增加,其中S1002G踏面的磨耗最大,这可能与轮

轨的接触点分布不太均匀,轮对横移时候,接触点位置在车轮踏面和钢轨顶面发生横向跳移,如图3(a)所示,造成了磨耗高。JP-ARC踏面的磨耗小于LMa踏面的磨耗,但这两个踏面的磨耗情况差别不大。总的来说JP-ARC踏面和LMa踏面直线上的磨耗性能好于S1002G。

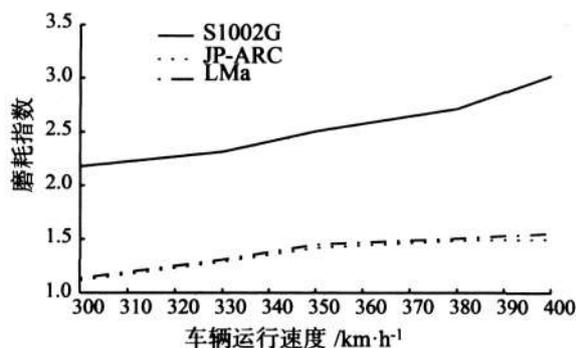


图8 3种踏面在直线上不同速度下磨耗对比  
Fig.8 Comparison of three kinds tread wear in line at different speeds

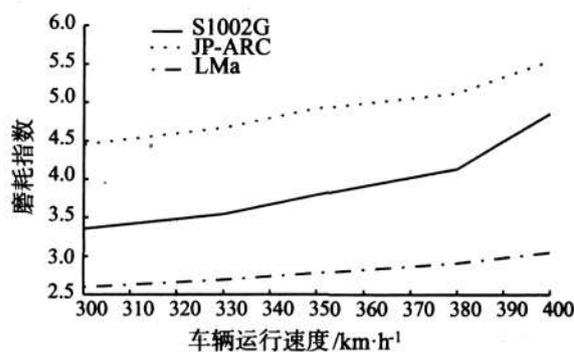


图9 3种踏面在曲线上不同速度下磨耗对比  
Fig.9 Comparison of three kinds tread wear in curve at different speeds

由图9可以看出,3种踏面在曲线磨耗指数随着速度的增加磨耗指数都增加,其中JP-ARC踏面的磨耗情况最为严重,其次是S1002G踏面,最好的是LMa踏面。S1002G踏面在曲线上的磨耗情况有所改善的原因可能与此踏面的等效锥度比较高有关,等效锥度高,有利于通过曲线。总的来说LMa踏面在曲线通过性能优于S1002G和JP-ARC踏面。

脱轨系数作为车辆运行安全的重要指标,下面比较3种踏面在曲线上的脱轨系数。为了对不同踏面的安全性进行比较,取第一轴总脱轨系数的均方根的平均值进行比较。

脱轨系数的计算结果如图10所示,由图10可以看出,随着速度的增加,3种不同踏面的脱轨系数均增加,其中JP-ARC最大,S1002G最小。JP-ARC在350-380 km/h的速度范围的脱轨系数增加的速率降低,在380 km/h的时候和LMa踏面几乎一样,但随着速度的增加,又上升速率又加快。总的来说,在曲线通过的安全性上S1002G踏面优于JP-ARC和LMa踏面。

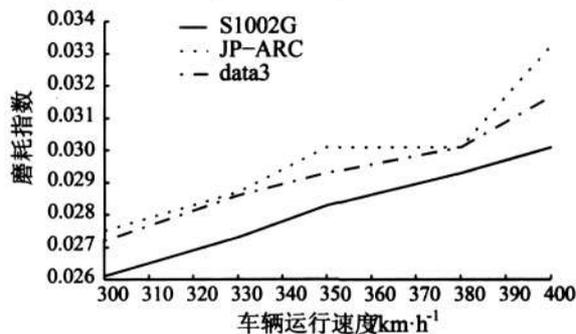


图10 3种踏面在曲线上不同速度下脱轨系数对比  
Fig.10 Comparison of three kinds tread derailment coefficient in curve at different speeds

## 5 总结

1) 轮轨接触几何对轮轨关系影响非常大,不同踏面形成不同轮轨接触几何关系。S1002G与CHN60的轮轨接触点分布不太均匀,LMa与CHN60的轮轨接触点分布比较均匀,有利于车轮型面保持。JP-ARC与CHN60的轮轨接触点分布过于集中,有很明显跳移现象,不利于车轮型面保持;

2) 随着车辆运行速度增加,3种踏面的平稳性下降,其中S1002G在平稳性方面最优,其次是LMa,最差的是JP-ARC。S1002G踏面在平稳性方面优于LMa和JP-ARC踏面;

3) 车轮磨耗情况方面,在直线上S1002G的磨耗值最大,LMa和JP-ARC磨耗值差别不大。在曲线上JP-ARC的磨耗值最大,其次是S1002G,磨耗最小的是LMa。LMa踏面在车轮磨耗方面优于S1002G和JP-ARC;

4) 安全性方面,JP-ARC的脱轨系数最大,其次是LMa,脱轨系数值最小的是S1002G。S1002G踏面在安全性方面优于LMa和JP-ARC。

**参考文献:**

- [1] 王成国,王永菲. 高速轮轨接触几何关系的比较分析[J]. 铁道机车车辆, 2006, 26(4):1-5.
- [2] 孙善超,王成国,李海涛,等. 轮/轨接触几何参数对高速客车动力学性能的影响[J]. 中国铁道科学,2006,27(5):93-98.
- [3] 沈钢,顾江. 低地板车辆的踏面外形设计及动力学仿真[J]. 同济大学学报:自然科学版,2003,31(10):1206-1211.
- [4] KALKER J J. Simulation of the development of a railway wheel profile through wear [J]. Wear, 1991,150(1):355-365.
- [5] FUJIMOTO H. Influence of arc and conic profile on vehicle dynamics [J]. Proceedings of Japanese Society of Mechanical Engineers:Part C, 1998,64(621):1520-1527.
- [6] 朴明伟,樊令举,梁树林,等. 基于轮轨匹配的车辆横向稳定性分析[J]. 机械工程学报,2008,44(3):22-28.
- [7] 张剑,孙丽萍. 车轮型面动态高速曲线通过性比较[J]. 交通运输工程学报,2007,7(6):6-11.
- [8] 陈泽深,王成国. 铁道车辆动力学与控制[M]. 北京:中国铁道出版社,2004.

## A Study on the Effects of Different Wheel Treads on Relationship between High-speed Wheel and Rail

Zhou Xinjian<sup>1</sup>, Wang Qi<sup>1,2</sup>, Wang Chengguo<sup>3</sup>, Zhang Hai<sup>1,3</sup>

(1. Vehicle and Equipment Key Laboratory of Education Ministry, East China Jiaotong University, 30013 Nanchang, China; 2. Wuhan Railway Bureau, Wuhan 430071, China; 3. Research and Developing Center of Railway Science Technology, China Academy of Railway Sciences, 10081 Beijing, China)

**Abstract:**Based on the current situation of China Railway High-speed, when distance between backs of wheel flanges is 1353, rail base inclination is 1:40, CHN60 is selected as rail, this paper studies the effects of three different wheel treads on relationship between High-speed wheel and rail. The three different wheel treads are LMa used for CRH2, S1002G used for CRH3, and JP-ARC used for the Japanese Shinkanse. The results show that the wheel-rail contact point of LMa and CHN60 is well distributed for maintaining wheel treads, better than S1002G and JP-ARC's wheel-rail contact point distribution. Meanwhile, the paper explores the effects of these three different wheel treads on stability of the vehicle by comparing its wear and derailment quotient. The conclusion is that stability of the vehicle decreases in each kind of wheel tread as the vehicle speed increases. S1002G is superior to JP-ARC and LMa in stability. LMa is superior to JP-ARC and S1002G in wear. And S1002G is superior to LMa and JP-ARC in safety (derailment quotient).

**Key words:**relationship between wheel and rail; stability; wear; derailment quotient