

国外典型变轨距转向架轮轴间的磨耗分析

周殿买¹, 黄志辉², 徐 彬³, 戴晓超¹, 孔瑞晨¹

- (1. 中车长春轨道客车股份有限公司, 吉林 长春 130062;
2. 西南交通大学 牵引动力国家重点实验室, 四川 成都 610031;
3. 长春汽车工业高等专科学校, 吉林 长春 130011)

摘 要: 变轨距转向架技术在国外已有成功应用经验, 在运用过程中出现了车轴磨损、滑动轴承使用寿命短等问题。详细介绍了日本和波兰变轨距转向架出现的问题、原因和解决措施, 分析了西班牙变轨距转向架的特点及磨耗情况, 为我国变轨距转向架轮轴磨耗问题提供解决思路。

关键词: 变轨距转向架; 滑动轴承; 车轴磨损; 变轨距技术

中图分类号: U260.331⁺.1; U270.331⁺.1

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2018.06.008

Wear Analysis of Wheel Shaft in Typical Gauge Changeable Bogies Abroad

ZHOU Dianmai¹, HUANG Zhihui², XU Bin³, DAI Xiaochao¹, KONG Ruichen¹

- (1. CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., Changchun, Jilin 130062, China;
2. State Key Laboratory of Traction Power, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China;
3. Changchun Automobile Industry Institute, Changchun, Jilin 130011, China)

Abstract: Gauge changeable bogie technology has been successfully applied abroad, and problems such as axle wear and short service life of sliding bearings have appeared in the course of operation. The problems, causes and solving measures of gauge changeable bogies in Japan and Poland were introduced in detail. The characteristics and wear condition of gauge changeable bogies in Spain were analyzed. A feasible way to solve the problem of wheel axle wear in the development of gauge changeable bogies in China was put forward.

Keywords: gauge changeable bogie; sliding bearing; axle wear; gauge changeable technology

0 引言

世界上典型的变轨距转向架或列车主要有西班牙 Talgo、CAF-BRAVA、德国 DB AG / Rafil Type V、瑞士 MOB EV09、波兰 25AN/S、日本可变轨距列车、韩国 KGCW、俄罗斯“Восток-Занан”等。西班牙和波兰的变轨距技术已经实现了商业运用, 日本的变轨距技术处于运用考核阶段, 其他国家的变轨距技术多处于研究阶段。

目前我国正在研发采用变轨距技术的 400 km/h 跨国联运高速动车组。采用变轨距技术作为解决轨距差

异最有效的方式, 能够实现不同轨距线路之间直接的互联互通。由于我国在研发变轨距动车组阶段缺乏实际应用及考核经验, 因此有必要学习和汲取国外变轨距技术的应用经验, 并妥善处理运用中发现的问题。

1 日本变轨距转向架轮轴磨耗分析

1.1 总体情况介绍

日本变轨距列车及其转向架历经了 3 代的研发、优化与反复试验, 针对其变轨距关键技术不断进行方案与结构的改进调整。第一代 B 型转向架及第二、第三代转向架均采用了架悬式电机和整体旋转轮对的形式、锁紧机构安装在车轮外侧和转臂连杆带动锁紧杆的方式。第一代 B 型转向架采用了车轴外端滚子花键

传递扭矩; 第二代转向架采用了车轴内侧滚子花键传递扭矩; 第三代转向架在车轮内侧与大齿轮套间安装滚子花键传递扭矩^[1-8]。3代产品如图1所示。

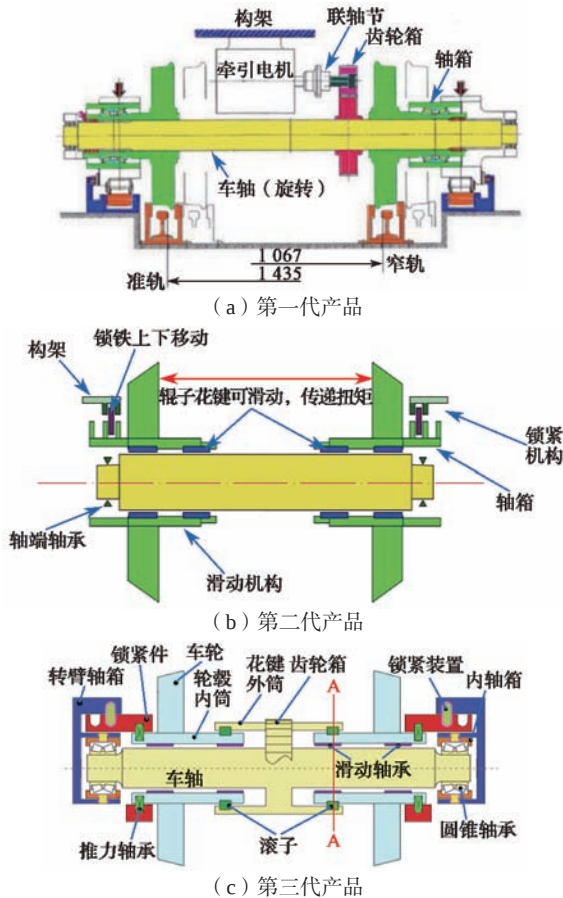


图1 日本3代变轨距转向架花键传递扭矩结构

为了使车轮能够沿着车轴进行横向运动, 日本的3代变轨距转向架在车轮和车轴间都安装了滑动轴承。滑动轴承与车轮之间为过盈配合, 与车轴之间为间隙配合。对车轴表面进行高频淬火、电镀NiB处理, 提高了表面硬度和耐磨性能。

滑动轴承为OILES#2000金属基固体润滑剂分散型轴承, 见图2。滑动轴承烧结层内均匀分散着固体润滑剂和润滑油, 可在任意方向运动, 也可在无油条件下使用。若与润滑脂同时使用, 性能将更加优异。其滑动轴承具有承载能力强、适应速度范围宽、摩擦因数低、耐磨性能好等特点。

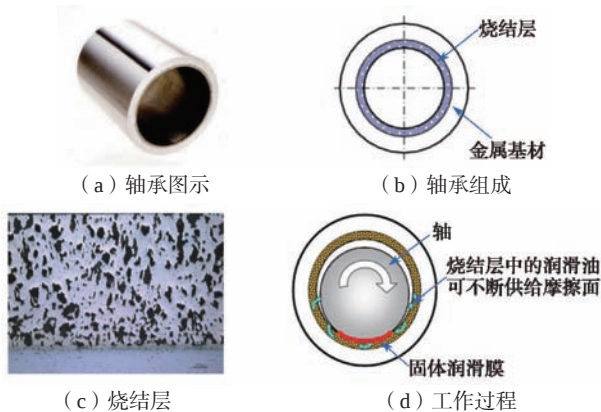
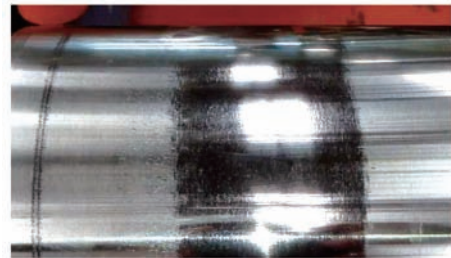


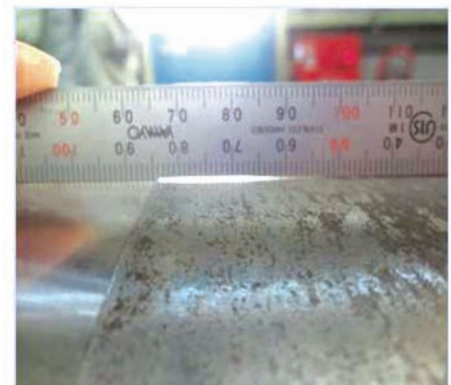
图2 滑动轴承

1.2 车轴表面磨耗问题

日本的3代变轨距转向架均开展了运用考核试验, 试验里程最长的A型转向架达到了60万km。在运用考核过程中出现了车轴表面磨耗问题, 尤其是第三代变轨距转向架在累计行驶3.3万km时, 就发现了车轴表面异常磨耗, 此时进行变轨过程400次^[5], 如图3所示。



(a) 车轴表面正常磨耗



(b) 车轴表面异常磨耗

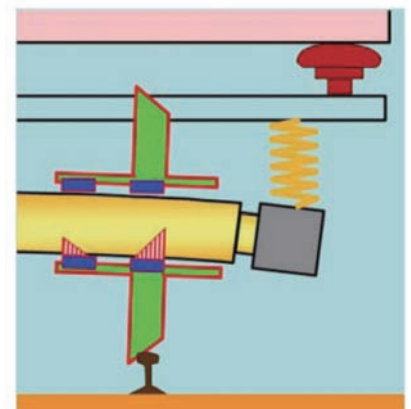
图3 车轴磨耗情况

1.3 原因分析

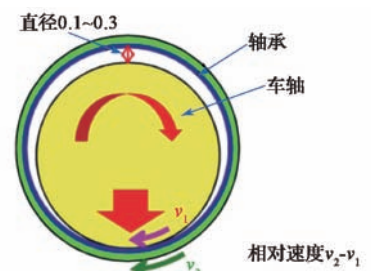
针对车轴异常磨耗问题, 其技术评价委员会细致分析了轮对的设计结构以及受力情况, 认为主要是由车轴的弯曲变形和轮、轴存在间隙造成的^[5], 见图4。具体原因如下:

①从轮对的设计结构分析, 车轴在承受垂向力时将发生弯曲变形, 滑动组成端部与车轴的接触部位, 由于应力集中将会产生严重磨耗。

②车轴和滑动轴承(车轮)间是间隙配合, 所以在运行时车轮和车轴的角速度一致, 线速度存在差异,



(a) 轮对受力分析



(b) 车轴和滑动轴承配合关系

图4 车轴与车轮的配合结构

造成两者之间的旋转磨损。

1.4 解决措施

日本变轨距技术评价委员会针对车轴异常磨损的原因进行了分析研究,随后提出了解决方案和对策,并组织开展试验进行验证。其主要措施如下:

①修改滑动轴承形状,使其内部轮廓与车轴的弯曲变形基本一致,呈曲面状,避免应力集中造成的异常磨损。

②减小车轴和滑动轴承(车轮)间的间隙大小,降低两者之间的相对线速度差值。

③车轴和滑动轴承(车轮)间添加润滑脂,降低两者之间的摩擦因数。

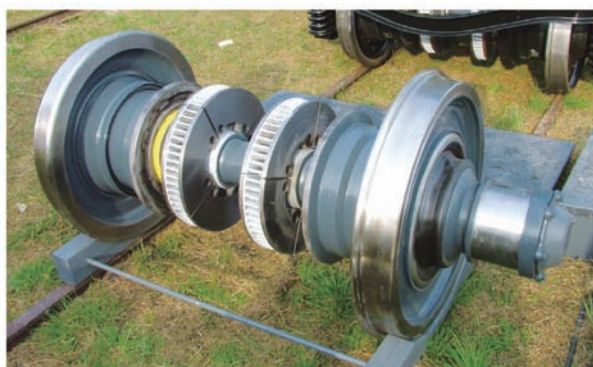
④增加车轴表面硬度和镀层深度,拉伸强度由 350 MPa 提高至 520~590 MPa,疲劳强度由 187 MPa 提高至 300 MPa。

⑤开展台架试验,确认改进效果;继续进行线路运行考核试验。

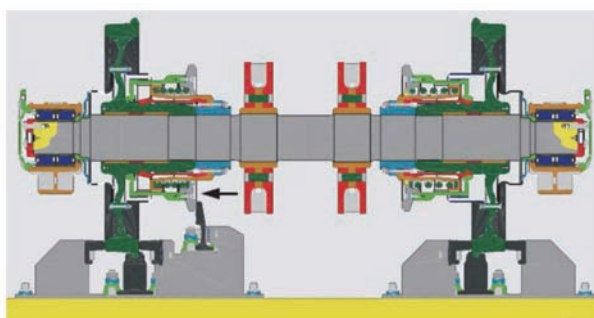
2 波兰变轨距轮对磨耗分析

2.1 总体情况介绍

波兰从 2003 年开始试运行装有 SUW2000 型变轨距轮对的 25AN/S 客车转向架,运行线路的轨距分别为 1 435 mm 和 1 520 mm。SUW2000 型变轨距轮对结构与德国的 DBAG/ Raifil V 型变轨距轮对相似,整体轮对、轴盘制动、固定式制动单元主要由车轴、车轮、锁紧装置、防护盖、支承环和保险螺母等组成,锁紧机构安装在轮对内侧。主要应用于客车、货车等非动力转向架上,见图 5。



(a) 轮对外形



(b) 轮对剖视图

图 5 SUW2000 型变轨距轮对外形及结构图

SUW2000 型变轨距轮对在车轮和车轴间都安装了径向干摩擦滑动轴承。滑动轴承与车轮之间为过盈配合,与车轴之间为间隙配合。对车轴表面进行镀铬处理,提高表面硬度和耐磨性能。

滑动轴承的型号为 ELGOGLIDE-ZGB,具有承载能力强、适应速度范围宽、摩擦因数低等特点,见图 6。滑动轴承背衬为钢制材料,滑动层为 0.5 mm 厚的合成树脂,粘结于背衬上,粘结剂耐潮、不膨胀,不会和金属形成熔焊,适用于无油条件下使用;而有润滑时滑动层的磨损会大大增加。



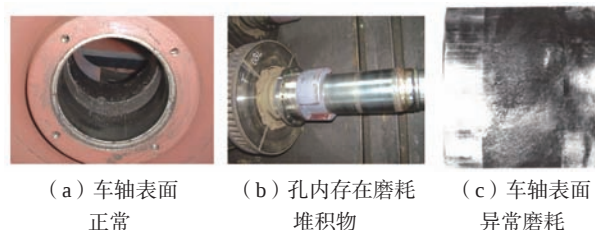
(a) 轴承图示

(b) 轴承装配

图 6 滑动轴承及装配图

2.2 车轴表面磨耗问题

SUW2000 型变轨距轮对已经装车运用多年,车轴表面状态整体情况良好,偶有车轴异常磨耗故障,但滑动轴承磨耗较快,更换周期短,见图 7。



(a) 车轴表面正常

(b) 孔内存在磨耗堆积物

(c) 车轴表面异常磨耗

图 7 滑动轴承磨耗情况

波兰的运用公司曾跟踪了 SUW2000 型变轨距轮对滑动轴承的磨耗情况,运行 10 万 km 后车轴和滑动轴承(车轮)间总间隙数值接近 0.5 mm,如表 1 所示。

表 1 10 万 km 后车轴和滑动轴承间隙 mm

项目	1 轴	2 轴	3 轴	4 轴
新造时间隔(平均)	0.166 5	0.172 5	0.177 0	0.202 5
10 万 km 后间隔(平均)	0.484 0	0.400 0	0.376 0	0.496 0
磨耗量	0.317 5	0.227 5	0.199 0	0.293 5

2.3 原因分析

针对车轴异常磨耗问题和滑动轴承磨耗快,波兰的研究人员细致分析了轮对的设计结构以及受力情况,认为主要原因是与车轴的弯曲变形和轮轴间存在间隙以及滑动轴承涂层的耐磨性有关,见图 8。

车轴的弯曲变形和轮、轴的间隙与日本的情况基本一致,日本变轨距转向架的滑动轴承耐磨性能略好,所以车轴损伤较严重;波兰变轨距轮对的滑动轴承耐磨性能略差,所以轴承磨损较严重。轴承的主要组成为:①聚四氟乙烯织物;②树脂基体;③支撑纤维;④钢背基体;⑤粘结剂。

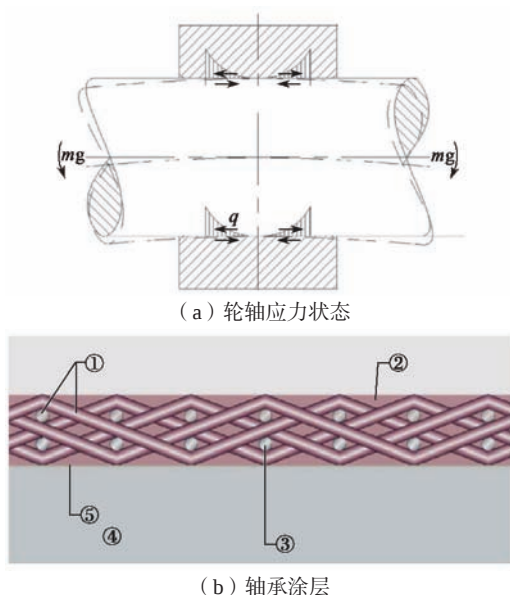


图8 轮与轴的配合以及滑动轴承涂层

2.4 解决措施

波兰 SUW2000 型变轨距轮对的核心问题是轴承磨损较快, 影响运用成本和检修周期。研究者在试验室用小试样进行了模拟试验, 用价格便宜的材料替代滑动轴承, 并考虑增加润滑脂。试验进行了 600 万次旋转, 相当于运行 10 万 km。结果表明: 钢-钢 (钢套-车轴) 配合的表面, 存在磨损和锈蚀情况; 钢-镀钼 (钢套-车轴镀钼) 配合的表面, 存在磨损斑点; 钢-钢 (钢套-车轴-MoS₂) 加 MoS₂ 润滑剂配合的表面, 状态良好。车轴表面情况见图 9。钢套的磨耗量为 0.05~0.15 mm, 车轴的磨耗量小于 0.01 mm^[9] 从试验室的数据来分析, 可以不采用滑动轴承, 以降低运用和检修成本。增加 MoS₂ 润滑脂可以降低摩擦因数, 减小磨耗量, 但目前波兰并没有在线进行试验和应用。

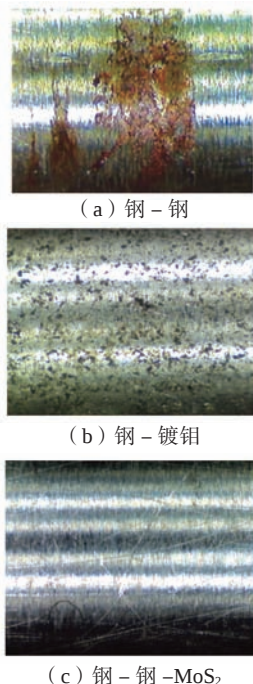


图9 不同材质车轴表面

3 西班牙变轨距转向架特点及磨耗情况

西班牙自 20 世纪 60 年代开发出 Talgo RD 型变轨距转向架, 其变轨距转向架应用广泛, 在高铁、城际铁路、机车上都有应用, 可实现 1 435/1 520/1 668 mm 轨距的变换。典型的 Talgo RD 型变轨距转向架, 采用独立旋转轮对结构, 左右两侧车轮各采用一根短车轴, 每个车轮安装 2 套锁紧机构, 利用销钉锁紧。另一种是 CAF 公司 BRAVA 型变轨距转向架, 牵引电机采用

体悬方式, 由旋转套将齿轮箱、制动盘和车轮连接, 轴承安装在车轮内, 左右车轮共同旋转, 车轴不旋转, 锁紧机构安装在车轮外侧, 见图 10。

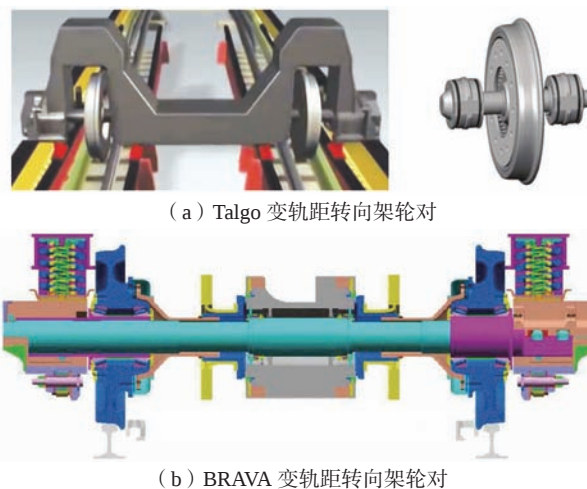


图10 西班牙变轨距转向架轮对

西班牙 2 种结构型式的变轨距转向架已经装车运用多年, 在车轮和车轴间也安装了滑动轴承, 至今未见车轴表面磨损情况的报道。

Talgo 型变轨距转向架每侧轮轴共同旋转, 左右车轮独立旋转, 滑动轴承不旋转; BRAVA 型变轨距转向架左右车轮共同旋转, 车轴不旋转, 其滑动轴承只是在车轮横向滑动时, 减小轮轴间的摩擦力, 不随着车轮转动, 所以车轴表面状态良好。当然, 由于采用的是独立轮技术, 轮缘磨耗会严重一些。

4 结语

日本变轨距技术应用于动车组, 但一直没有商业运行; 波兰的变轨距技术在货车和客车上都有应用; 西班牙变轨距技术主要采用独立车轮, 他们各有特点。我国正在研制的 400 km/h 高速动车组与日本有较多相似之处, 需要解决类似日本变轨距转向架在试验过程中产生的磨耗问题, 除参考日本的修整滑动轴承的轮廓形状、增加润滑等措施外, 在结构空间允许的情况下, 可以在车轴上加装对应的轴套, 将磨损控制在滑动轴承和轴套之间, 同时可以借鉴波兰的试验研究, 将滑动轴承改成轮套, 也能够进一步降低成本。

参考文献:

- [1] TOKUDA Noriaki, 周贤全. 可变轨距转向架的开发 [J]. 国外铁道车辆, 2006, 43(1): 27-30.
- [2] TAKAO K, ISHIGE M. Structure of an independent-wheel-system bogie with a DDM and its performance at high speed [J]. Quarterly Report of RTRI, 2008, 49(4): 199-202.
- [3] TOKUDA Noriaki, 周冬妍, 刘宏友. 带 DDM 独立车轮转向架的结构及其高速运行性能 [J]. 国外铁道车辆, 2010, 47(6): 22-25.
- [4] TOKUDA Noriaki, 苏明. 带直接驱动电机的独立车轮系统转向架的结构及其在高速时的性能 [J]. 国外铁道机车与动车, 2010(2): 3-6.

(下转第 71 页)

表 6 标准车轮廓形各点坐标值

坐标	1	2	3	...	134	135	136
y	-70	-69	-68	...	63	64	65
z	9.519	15.844	18.351	...	-5.493	-6.493	-7.493

将计算结果与文献 [18] 给定的等效锥度值进行对比, 对比结果如图 13 所示, 虚线部分为计算得出的轮对等效锥度, 中间实线部分为文献 [18] 标准中已给出的等效锥度值, 上下实线分别为标准等效锥度值 $\Delta \tan \gamma_e \pm 0.05$, 即误差上下限。

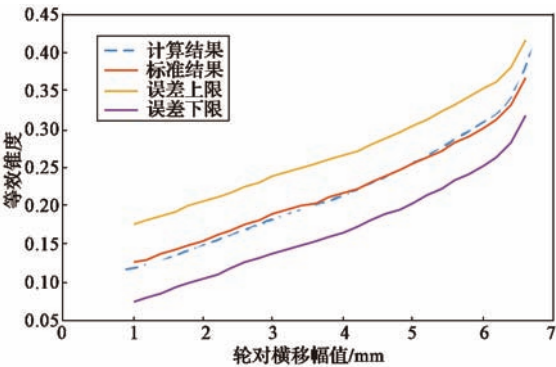


图 13 $\tan \gamma_e$ 函数曲线

对比结果显示, 计算得出的等效锥度值在标准数值上下波动, 其误差范围为 0.001~0.01。根据铁道行业标准 TB/T 3332—2013 要求: 等效锥度计算的容许误差应符合条件 $\Delta \tan \gamma_e = \pm \min(0.05, 0.5 \tan \gamma_e)$ 。本方法计算精度符合标准要求。

4 结论

①检测、计算过程中的一些因素会对结果产生影响, 采取下列措施将会得到更为理想的计算结果: a. 将程序运算中的步长 h 减小为 0.01, 提高计算精度; b. 采用分辨率更高的 CCD 相机, 提高拍摄质量; c. 对激光光源和摄像机采取避振措施, 降低拍摄误差。

②本文提出的轮对检测、计算系统, 通过数字图像处理获取轮对踏面轮廓曲线, 精确获取踏面数据, 结合编程软件实现镟修后轮对的等效锥度参数的自动运算, 具有速度快、精度高、稳定性好的特点, 对优化镟修轮对检测流程和保障车辆运行安全具有重要意义。

参考文献:

[1] 董孝卿, 王悦明, 王林栋, 等. 高速动车组车轮踏面镟修策略研究 [J]. 中国铁道科学, 2013(1): 88-94.

[2] Method for determining the equivalent conicity: UIC 519: 2004 [S].

[3] 姜中蛟. 激光检测的现状及应用 [C]. 桂林: 中国计量测试学会光辐射计量学术研讨会, 2009.

[4] 冈萨雷斯, 伍兹. 数字图像处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.

[5] 李佳奇, 党建武. 边缘检测算子在铁路图像中的研究 [J]. 微型机与应用, 2011, 30(18): 29-31.

[6] 焦雪. 基于视觉特性的图形图像分割算法研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2016.

[7] 汪波. 复杂背景图像中的文字提取算法研究 [D]. 西安: 长安大学, 2004.

[8] 李鹏杰, 杨树元. 运动目标自动特征提取与跟踪 [J]. 计算机科学, 2002, 29 (增刊 2): 174-178.

[9] ANURADHA M. Advances in digital image processing [J]. Journal of Modern Optics, 2015, 33 (3): 197-208.

[10] POLACH O, NICKLISCH D. Wheel/rail contact geometry parameters in regard to vehicle behaviour and their alteration with wear [J]. Wear, 2016, 366/367: 200-208.

[11] ZACHER M, NICKLISCH D, GRABNER G, et al. A multi-national survey of the contact geometry between wheels and rails [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail & Rapid Transit, 2015, 229(6): 691-709.

[12] Railway applications—Method for determining the equivalent conicity EN 15302: 2008 [S].

[13] 任利惠, 谢纲, 沈钢, 等. 踏面等效斜率计算方法的比较 [J]. 城市轨道交通研究, 2011, 14(6): 9-13.

[14] 干锋, 戴焕云, 高浩, 等. 铁道车辆不同踏面等效锥度和轮轨接触关系计算 [J]. 铁道学报, 2013, 35(9): 19-24.

[15] SHIMIZU A, IIDA T. Analyzing Effect of Profile Change of Top Surface of 60 kg Rail upon Vehicle Dynamics [J]. Quarterly Report of Rtri, 2015, 56(1): 21-25.

[16] 王福天. 车辆系统动力学 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1993.

[17] 冯雁. 重载铁路小半径曲线轨道动力特性研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2014.

[18] 铁路应用 确定轮轨等效锥度的方法: TB/T 3332—2013 [S].

作者简介: 邬再新 (1971—), 男, 硕士, 副教授, 研究方向为数控技术。

(上接第 45 页)

[5] 軌間可変技術評価委員会. 軌間可変電車の技術開発に関する技術評価 [R]. [S. l.]: [s. n.], 2010(平成 22 年).

[6] 江崎秀明, 加賀谷博昭, 山城秀夫, 等. 軌間可変台車の高速走行安定性解析 [C] // 日本機械学会論文集 C 編. [S. l.]: [s. n.], 2013: 1859-1871.

[7] 高尾喜久雄. フリーゲージトレインの開発 —軌間の異なる新幹線と在来線の直通運転を目指して— [C] // 日本機械学会第 18 回交通・物流部門大会講演論文集. [S. l.]: [s. n.], 2009: 67-70.

[8] 谷藤克也, 井之本渉. 車輪・車軸間の回転方向に遊間がある鉄道車両の運動特性 [C] // 日本機械学会論文集 C 編. [S. l.]: [s. n.], 2003: 2595-2601.

[9] SZKODA Maciej, MICHNEJ Maciej. A method of fretting wear reduction in an automatic wheel set gauge change system [J]. Engineering Failure Analysis, 2014, 45: 363-375.

作者简介: 周殿买 (1967—), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 长期从事机车车辆转向架研究。