

# 跨线运行动车组异常振动问题研究\*

崔利通 宋春元 王安国 王显亮 屈升 罗仁

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司国家轨道客车工程研究中心转向架研发部, 130062, 长春;

2. 西南交通大学牵引动力国家重点实验室, 610031, 成都//第一作者, 工程师)

**摘要** 针对跨线运行动车组出现的车辆异常振动问题, 通过实测车轮踏面外形、钢轨廓形, 以及车辆振动测试, 从轮轨接触关系及振动传递特性分析异常振动原因。因线路钢轨廓形不同, 导致长期在不同线路运行的动车组车轮踏面最大磨耗位置存在差异, 使得车辆在磨耗后期对线路适应性下降。当车辆跨线运行时, 由于钢轨廓形变化导致轮轨匹配不良, 转向架蛇行运动能量增大。此能量通过二系悬挂传递至车体, 引起车体异常抖动。

**关键词** 动车组; 跨线运行; 异常振动; 车轮踏面; 钢轨

**中图分类号** U260.11<sup>+</sup>1; O266.2

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2019.04.015

## Abnormal Vibration Problems of EMU Train in the Cross-line Operation

CUI Litong, SONG Chunyuan, WANG Anguo, WANG Xianliang, QU Sheng, LUO Ren

**Abstract** According to the abnormal vibration problems of EMU train in the cross-line operation, by measuring the wheel tread, rail profile and through vehicle vibration test, the causes of abnormal vibration are analyzed from angles of rail/wheel contact relationship and vibration transmission characteristics. Due to different rail profiles, the maximum wear position change of wheel treads is a long-standing problem for EMU trains running on different lines, leading to vehicle adaptability decline in the later stage of wheel wear. The changes in rail profile cause bad wheel-rail matching when trains running across lines, therefore the energy of bogie hunting will increase and be transferred to the car body by the second suspension, leading to the abnormal car body vibration.

**Key words** EMU; cross-line operation; abnormal vibration; wheel tread; rail

**First-author's address** CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

我国高速铁路钢轨廓形主要有 2 种标准廓形

(CHN60 及 60N) 和 1 种打磨廓形(60D)<sup>[1-2]</sup>。京沪线、哈大线、沪昆线等设计时速为 300 km/h 及以上的高速客运专线钢轨廓形以 60D 为主。哈齐线、丹大线、宝兰线等设计时速为 250 km/h 的高速客运专线钢轨廓形以 60N 为主。由于钢轨廓形存在差异, 当长期在一种廓形轨道上运行的动车组跨线运行或换线运行时, 其车辆振动响应存在较大差异。本文针对运行在哈齐线的某型动车组在跨线运行哈大线时出现的实际故障问题, 从车轮踏面外形、钢轨廓形、轮轨匹配关系等方面进行对比分析, 研究跨线运行动车组异常振动问题成因。

## 1 异常振动现象

长期在哈齐线运行的某型动车组, 镟后运行 27 万 km, 在哈齐线运行状态良好, 未出现异常振动问题。当该动车组在哈大线跨线运行时, 车辆出现明显抖动现象, 其平稳性指标达到 3.0 (如图 1 所示)。

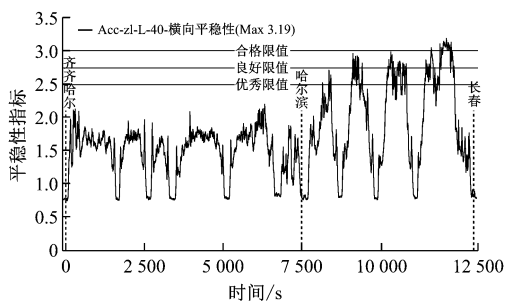


图1 平稳性指标

根据 GB 5599—1985<sup>[3]</sup>, 对车辆枕梁横向振动加速度  $a_y$  进行 40 Hz 低通滤波, 以 10 s 为 1 个分析段, 计算其均方根值。在哈齐线运行时 (0 ~ 7 500 s) 的枕梁  $a_z$  均方根值基本在 0.015 g ( $g$  为重力加速度) 以内, 在哈大线 (7 500 ~ 12 500 s) 运行时的枕梁  $a_y$  均方根达到 0.045 g, 约为哈齐线的 3 倍, 如图

\* 中国铁路总公司科技研究开发计划重大课题 (2017G011-A); 中国铁路总公司科技研究开发计划重点课题 (Z2015-J006)

2 所示。

对枕梁  $a_y$  进行短时傅里叶变换,得到枕梁  $a_y$  的时频特性图,如图 3 所示。由图 3 可见,哈齐线未出现能量集中的频率,而哈大线在 7~8 Hz 频率范围内有明显的能量集中。车辆的异常抖动与该频率相关。

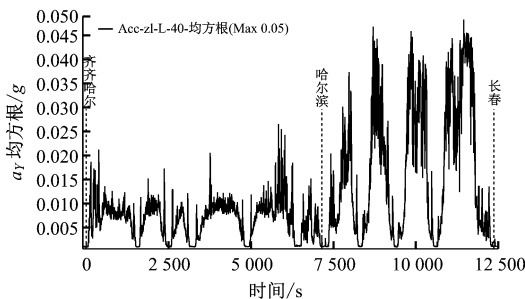


图 2 枕梁  $a_y$  均方根的时程图

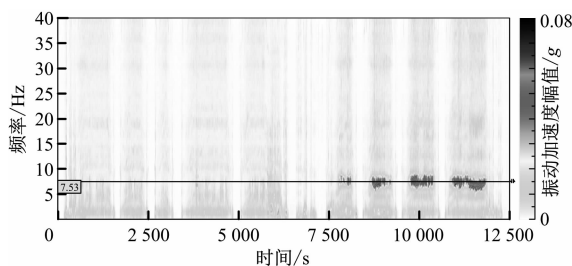


图 3 枕梁  $a_y$  时频特性图

## 2 振动问题分析

### 2.1 振动传递

对车辆构架和枕梁的  $a_y$  均进行 0.5~10.0 Hz 带通滤波,结果如图 4~5 所示。由图 4~5 可见,构架的振动现象与枕梁表现一致;哈齐线振动幅值相对较低,未出现谐波成分;哈大线振动幅值相对偏

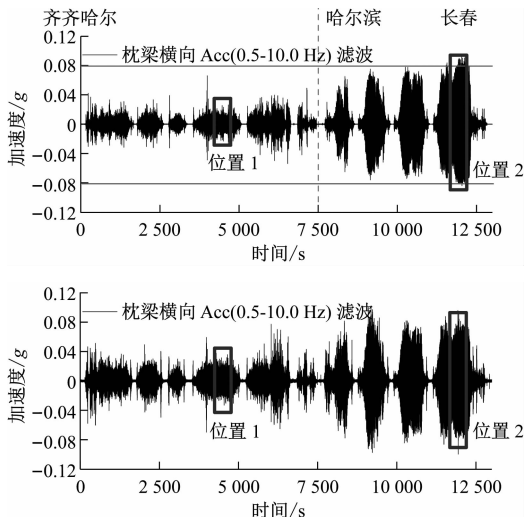


图 4 枕梁和构架的  $a_y$

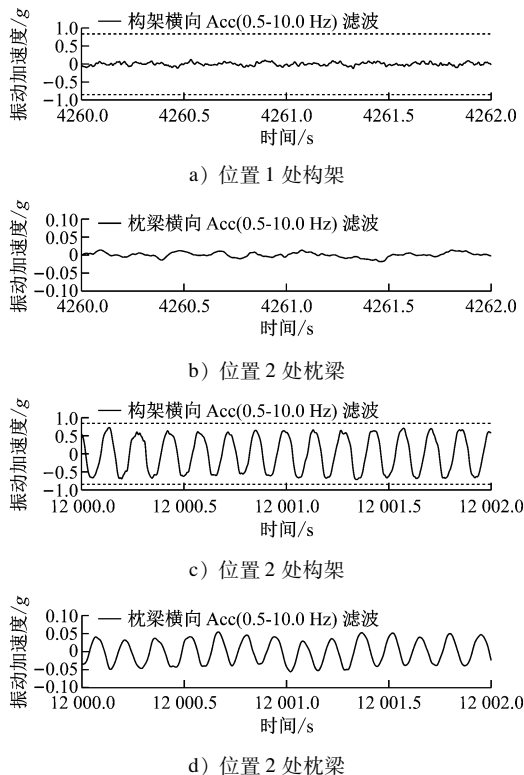


图 5 枕梁和构架的  $a_y$  图局部位置放大

高,出现明显的谐波成分。

根据相位差,可判断谐波振动先发生在构架,后发生在枕梁,如图 6 所示。

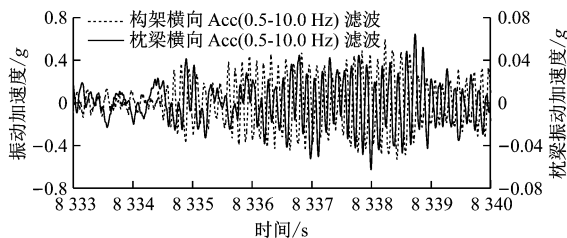


图 6 振动加速度

对构架  $a_y$  进行短时傅里叶变换,哈齐线未出现能量集中频率,哈大线构架也出现与枕梁相同的 7~8 Hz 能量集中频率(如图 7 所示)。车辆在哈大线出现异常抖动的直接原因为转向架构架在 6~8 Hz 频率范围内的振动能量较大,并通过二系悬挂传递到车体,引起车体抖动。

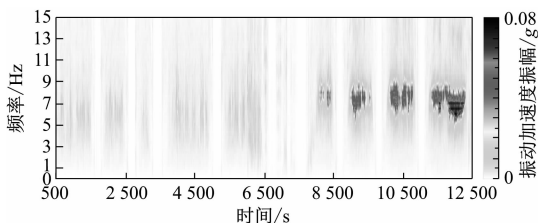


图 7 构架  $a_y$  时频图

2.2 车轮踏面外形

转向架构架在 7~8 Hz 频率范围的横向振动一般来自于转向架蛇行运动。首先,对车轮踏面外形进行调查。由于长期运行在哈大线的动车组在镟后运行里程相近条件下并未出现明显抖动问题,因此分别对镟后运行里程相近且主要运行交路为哈齐线和哈大线的动车组进行车轮外形普查。通过比较踏面磨损外形、最大磨损位置等,分析两条不同线路运行动车组的差异。

对比踏面磨损外形发现,哈齐线运行的动车组车轮踏面磨损量明显大于哈大线运行的动车组(如图 8 所示)。

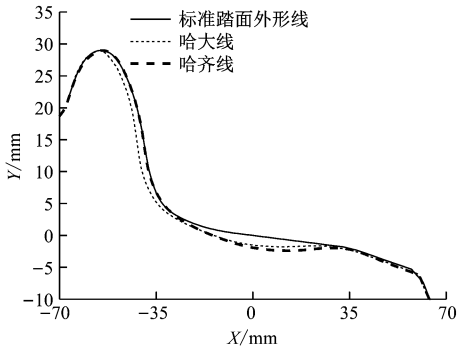


图 8 哈齐线和哈大线动车组车轮踏面镟后 27 万 km 最大磨损量对比

动车组车轮踏面最大磨损位置统计如图 9 所示。哈齐线运行的动车组车轮踏面平均最大磨损位置为名义滚动圆外侧 2.7 mm;哈大线运行的动车组车轮踏面平均最大磨损位置为名义滚动圆外侧 1.5 mm。

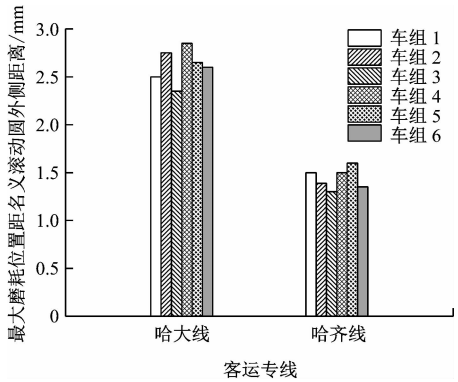


图 9 哈齐线和哈大线动车组车轮踏面最大磨损位置统计

2.3 线路钢轨外形

实测钢轨廓形与标准廓形对比结果如图 10 所示。由图 10 可以发现,哈大线和哈齐线线路钢轨存在一定差异性。哈齐线钢轨内侧轨顶位置比标准

60D 偏低,哈大线钢轨廓形接近 60D。

2.4 轮轨匹配分析

选取镟后运行 25 万 km 左右的两线动车组车轮踏面与哈大线实测钢轨进行轮轨匹配。在轮对横移量 1~2 mm 范围内,在哈齐线运行的动车组等效锥度为 0.4~0.9,负斜率增长;在哈大线运行的动车组等效锥度小于 0.3,正斜率增长(如图 11 所示)。将两线运行的动车组车轮踏面与哈齐线实测钢轨进行轮轨匹配,等效锥度均在 0.3 以内(如图 12 所示)。

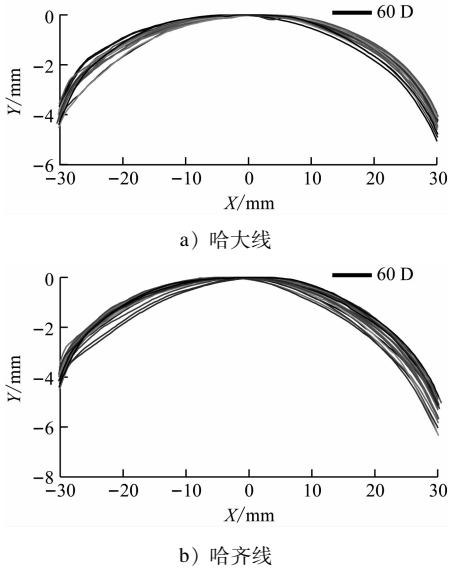


图 10 实测钢轨与标准 60D 钢轨廓形对比

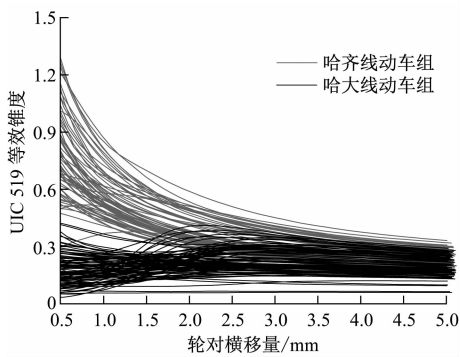


图 11 不同动车组车轮踏面与哈大线钢轨匹配等效锥度

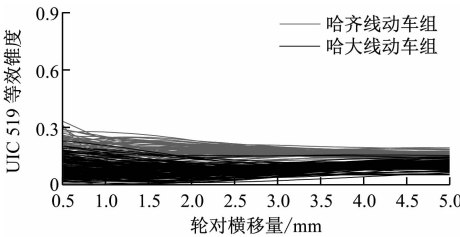


图 12 不同动车组车轮踏面与哈齐线钢轨匹配等效锥度

根据踏面磨耗后的等效锥度、结构参数和悬挂参数,对转向架蛇行运动频率进行数值计算<sup>[5-6]</sup>。当等效锥度为 0.4 时,列车运行速度为 200 ~ 250 km/h,柔性转向架蛇行运动频率为 7 ~ 9 Hz(如图 13 所示)。

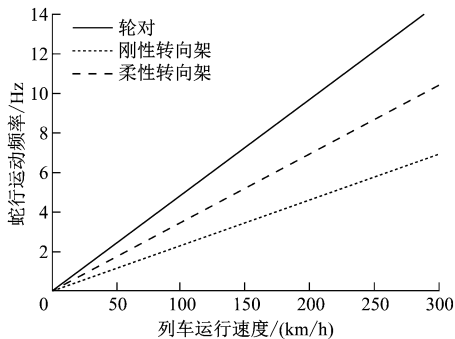


图 13 转向架蛇行运动频率

以实测车轮踏面与实测钢轨廓形数据为基础,进行仿真分析。由仿真结果可知,构架谐波振动加速度峰值达到 0.6 g,车体谐波振动加速度峰值达到 0.7 g。仿真结果与线路实测结果相近。

将哈齐线动车组轮对内侧距分别调整减小 2.0 mm(相当于车轮踏面最大磨耗位置向名义滚动圆侧偏移 1.0 mm)和 3.0 mm(相当于车轮踏面最大磨耗位置向名义滚动圆侧偏移 1.5 mm),再进行等效锥度计算。调整后的等效锥度曲线(如图 14 所示)与哈大线未调整轮对内侧距的动车组等效锥度曲线基本吻合。

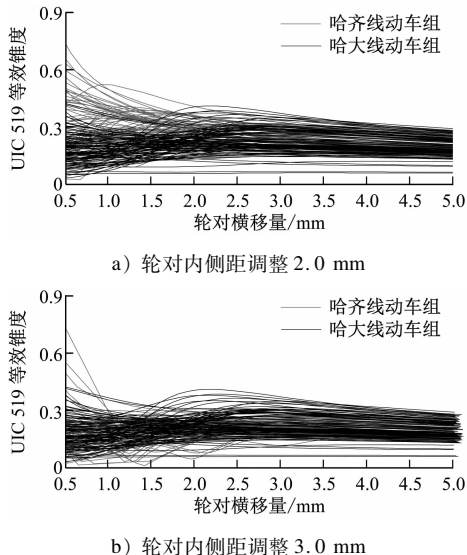


图 14 调整轮对内侧距后等效锥度曲线

将调整最大磨耗位置的车轮踏面外形用于仿真计算。根据仿真结果,当车辆在哈大线运行时,构架和枕梁横向振动幅值明显下降。

由于车轮表面硬度小于钢轨,轮轨磨耗属于“共形”磨耗,故车轮踏面会按照钢轨表面进行磨耗。由于哈大线和哈齐线钢轨廓形不同,因此,长期在这两条线运行的动车组车轮踏面外形存在一定差异。通过轮轨匹配分析可知,当哈齐线动车组车轮踏面外形与哈大线钢轨匹配时,等效锥度超过 0.4,转向架蛇行运动能量偏大。这是导致车辆在哈大线运行出现异常抖动的根本原因。

### 3 结语

当前国内线路钢轨标准廓形有 3 种。由于不同线路的钢轨廓形不统一,导致跨线运行动车组易出现异常振动问题。主要表现为车体平稳性指标超标,构架横向振动加速度偏大,严重时会出现转向架失稳。

不同线路的钢轨廓形对于车轮踏面产生的磨耗效果不同。踏面最大磨耗位置的差异,会导致车辆在磨耗后期对线路适应性下降。当车辆跨线或换线运行时,由于钢轨廓形变化导致了轮轨匹配不良,使轮轨接触角、等效锥度增大,转向架蛇行运动能量偏大。这是车辆出现异常抖动的根本原因。为减小动车组跨线运行时车辆振动响应的差异性,建议统一钢轨廓形,以减弱轨道产生的原始激励。

### 参考文献

- [1] 周清跃,张银花,田常海,等. 60N 钢轨廓形设计及试验研究[J]. 中国铁道科学, 2014,35(2):128.
- [2] 周清跃,田常海,张银花,等. 高速铁路钢轨打磨关键技术研究[J]. 中国铁道科学, 2012,33(2):66.
- [3] 中华人民共和国铁道部. 铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范:GB 5599—1985[S]. 北京:国家标准局,1985.
- [4] SHIRO K. 设计柔性转向架运行特性的方法(上)[J]. 国外铁道车辆, 1993(5):23.
- [5] SHIRO K. 设计柔性转向架运行特性的方法(下)[J]. 国外铁道车辆, 1993(6):40.
- [6] 卢春房. 中国高速铁路的技术特点[J]. 科技导报, 2015,33(16):13.

(收稿日期:2017-09-18)