

文章编号: 1674—8247(2022)03—0057—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.03.011

CR400BF 型动车组车体平稳性影响因素 分析及实际运用探讨

李玉成

(中国铁路北京局集团有限公司天津动车客车段, 天津 300161)

摘 要:本文从 CR400BF 动车组经由车体平稳性监测功能发现的故障案例出发,通过对 CR400BF 动车组车体平稳性监测及报警逻辑进行研究,确定了导致车体平稳性指标超限的主要因素为线路或走行部技术状态不良,提出可通过对关键数据进行统计分析来确定平稳性指标超限原因,并根据分析结果有针对性地采取打磨线路、轮对踏面修型或更换技术状态不良配件等措施恢复车体平稳性。此外,本文通过总结分析,提出建立轮对踏面状态、走行部配件性能等数据模型的建议,探索轮对踏面恶化、走行部配件失效规律,从而推动动车组走行部维修模式从计划预防修向数字化精准预防修转变。

关键词:平稳性;报警;减振器;精准预防修

中图分类号:U266.2 **文献标志码:**A

Analysis of Factors Affecting Carbody Stability of Multiple Units CR400BF and Discussion on Their Practical Application

LI Yucheng

(Tianjin EMU Train Depot, China Railway Beijing Group Co., Ltd., Tianjin 300161, China)

Abstract: Based on the fault cases found by CR400BF multiple unit's car body stability monitoring function, this paper studies the car body stability monitoring and alarm logic of CR400BF multiple units, and determines that the main factor causing the car body stability index to exceed the limit is the poor technical state of the line or running gear. It is suggested that the key data can be statistically analyzed to determine the reasons for the overrun of the car body stability index, and according to the analysis results, targeted measures such as polishing the line, repairing the wheel tread, or replacing the parts with the poor technical state can be taken to restore the car body stability. In addition, through summary and analysis, this paper puts forward suggestions on establishing data models of wheelset tread state and running gear parts performance, and explores the law of wheelset tread deterioration and running gear parts failure, thus promoting the change of multiple units running gear maintenance mode from planned preventive maintenance to digital precise preventive maintenance.

Key words: stability; alarm; shock absorber; precision preventive maintenance

CR400BF 动车组自投入运用以来频繁发生车体失稳问题,对此国内外学者对车体失稳机理与影响因

素进行了广泛研究。经研究发现车体失稳表现为车体发生 2 Hz 以内的低频晃动,其根本原因为车体固有频

收稿日期:2021-12-16

作者简介:李玉成(1986-),男,工程师。

引文格式:李玉成. CR400BF 型动车组车体平稳性影响因素分析及实际运用探讨[J]. 高速铁路技术,2022,13(3):57-61.

LI Yucheng. Analysis of Factors Affecting Carbody Stability of Multiple Units CR400BF and Discussion on Their Practical Application[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(3):57-61.

率与轮轨激励频率发生了耦合,轮轨激励能量传递至车体引起耦合振动,最终引发车体失稳晃动。影响车体失稳主要因素有线路激励、轮轨匹配等效锥度、钢轨打磨不到位、研磨子抑制等效锥度增加等,可通过调整钢轨打磨偏差、提升轮对镟修质量、研磨子作用建议等措施改善车体失稳^[1]。目前针对于动车组运用过程中如何识别引起车体失稳的因素以及车体本身状态不良引起失稳的平稳性研究较少,因此本文从运行修中出现的典型案例及车体平稳性的监测原理、报警逻辑出发,分析了激励车体平稳性的主要因素,总结了运用修中识别激励车体平稳性主要因素的方法及应对措施,并提出实际运用中如何更好利用该功能为动车组运用检修提供指导。

1 典型案例

1.1 典型案例一

2020 年 11 月京津城际铁路运行的 CR400BF 动车组发生平稳性减速 1 报警,入库检查走行部状态无异常,测量等效锥度正常。查看当日天津地区天气预报,报警时段天气情况为大雨,并伴有 4 级东北风,研判造成当日动车组车体平稳性报警是由大雨导致的轮轨湿滑外加阵风所致。为验证该结论,对不同天气情况下动车组平稳性报警情况进行了统计分析(如表 1 所示),发现在相同线路条件下(以京津城际铁路为例),雨雪天气下较天气晴好条件下报警次数明显增多。

表 1 不同天气情况下动车组报平稳性报警情况统计表				
序号	日期	天气情况	风力风向	平稳性报警频次
1	2020.11.18	大雨~阴	东北风 4 级	8 组/11 次
2	2020.11.19	阴~晴	东北风 2 级	4 组/5 次
3	2020.11.20	晴~阴	东北风 2 级	4 组/5 次
4	2020.11.21	雨夹雪~阴	东北风 2 级	10 组/10 次
5	2020.11.22	晴	西北风 3 级	3 组/4 次
6	2020.11.23	晴	西北风 2 级	2 组/2 次

2021 年 3 月 CR400BF 某动车组运行中 00 车晃车并降速运行,动车组入库检查走行部及相关数据未发现异常;查阅当日晃车区段天气情况为蓝色大风预警:偏南风 4 到 6 级、阵风 7 级,研判晃车为外部大风所致。为验证该结论,对不同风力条件下动车组平稳性情况进行统计分析(如表 2 所示),发现相同线路条件下(以京津城际铁路为例)风力与晃车呈现正相关性。

通过上述典型案例,可直观地发现不同天气情况、不同风力条件下对动车组平稳性有较大影响,特别是雨雪天气及大风天气条件下,动车组更易发生平稳性报警。

表 2 不同风力情况下动车组平稳性报警情况统计表				
序号	日期	天气情况	风力风向	平稳性报警频次
1	2021.5.4	多云~晴	西北风微风	0 组/0 次
2	2021.5.5	晴	西南风 4 级	3 组/4 次
3	2021.5.6	扬沙	西南风 5 级	5 组/6 次
4	2021.5.7	晴	西风 4 级	2 组/3 次
5	2021.5.8	扬沙~晴	西北风 4 级	2 组/2 次
6	2021.5.9	阴	东南风 3 级	0 组/0 次
7	2021.5.10	阴~晴	东南风 3 级	1 组/1 次

1.2 典型案例二

2018 年 12 月 - 2019 年 1 月 CR400BF 动车组升级至 V1.10 版软件(该软件增加了对车体平稳性的监测)后,发现动车组频繁报代码 2301(平稳性减速 1)报警。经对报警数据分析,发现报警区段高度集中在京津城际铁路下行 60~65 km,上行 100~110 km 处,对线路打磨后该区段报警次数明显减少;可见线路技术条件不良也是引发的车体平稳性下降的主要因素之一。

1.3 典型案例三

2020 年 8 月 - 2021 年 1 月,北京局集团公司某 CR400BF 动车组 1 车多次发生代码 2301(平稳性减速 1)报警,且明显超出其他动车组及该车组其他车厢。为查明故障原因,先后采取调整交路、更换 1 车 2 位平稳性传感等措施,但报警均未得到改善。后将 1 车 8 根抗蛇行减振器全部更换后报警明显改善,初步判断为抗蛇行减振器故障所致。进一步检测分解更换下的 8 根抗蛇行减振器,发现 1 位转向架右下抗蛇行减振器阻尼力不满足技术参数要求,2 号阀系的阻尼孔存在微小颗粒物堵塞,导致抗蛇行减振器静态阻尼力和动态刚度增加,引发 1 车平稳性报警。通过查阅相关文献及研究发现,列车平稳性指标随着抗蛇行减振器常开阻尼孔径的增大而增大,且阻力孔径变化对横向平稳性指标的影响更大^[2]。可见车辆部件性能不佳或失效也是引起车体平稳性下降的主要因素。

1.4 典型案例四

2020 年 7 月某 CR400BF 动车组完成三级修,在运用初期 1 车频繁发生代码 2301(平稳性减速 1)报警,检查动车组走行部、等效锥度正常,跟踪至高级修后走行 7 万 km 时平稳性报警显著减少。根据经验,动车组在轮对镟修初期易出现车体低频晃动,核对镟修前后数据发现,镟修后等效锥度出现了较为明显的下降(但均在建议参考指标之上),与现有经验一致。为进一步查明出现该现象的原因,查阅相关文献及研究发现,动车组在新轮状态下更易引起车辆低频晃动^[3],另外随着踏面磨的不断磨耗,6 万 km 后的车辆

稳定性能最好,12万km的平稳性最差,15~20万km后的横向平稳性接近^[4-5],同时还发现,轮对产生磨耗对车辆横向振动影响较为明显,对垂向振动影响相对较小^[6];车轮多边形对车辆运行平稳性指标影响较小,对轮轨垂向力影响较大^[7],且轮轨力最大值随着车轮多边形幅值的增加而增大^[8]。由此可见,动车组不同轮对踏面状态也是影响动车组车体平稳性的主要因素。

2 车体平稳性监测原理及报警逻辑

2.1 车体平稳性监测原理

CR400BF型动车组采用失稳、平稳一体的集成式监测系统,每节车厢分别设有1台失稳/平稳监控主机、2个失稳传感器、2个平稳传感器,用于监测车体、转向架平稳性。其中,失稳传感器安装在转向架构架端部,每个转向架设置1个失稳加速度传感器,用于监测转向架构架横向和垂向加速度;平稳传感器安装在车体前后端转向架上方左、右侧,每节车厢设置2个平稳加速度传感器,用于监测车体横向、垂向和纵向加速度。动车组运行过程中,通过失稳传感器和平稳传感器采集转向架横向加速度信号及车体横向、垂向和纵向加速度值来判断转向架的稳定性及车体的平稳性,当超出系统预设的预报警限值时,监控主机通过列车网络输出预报警信息,并在监测主机中保存相应信息^[9]。

2.2 平稳性预警、报警的逻辑

2021年5月前,动车组车体平稳性预报警的逻辑根据GB 5599-85《铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范》^[10]设置,平稳性指标值按每2s滑移计算1次(当前的平稳性指标值是过去18s数据的平均结果),横向平稳性指标预警和报警阈值定为:预警阈值2.75,报警阈值3.00;在最近的9次平稳性诊断结果中,如果有6次及以上超过预警阈值2.75,则报预警代码2301;如果有6次及以上超过报警阈值3,则报报警代码23B1。

2021年5月后,动车组车体平稳性预报警的逻辑按照GB/T 5599-2019《机车车辆动力学性能评定及试验鉴定规范》^[11]设置,平稳性指标值按计算时间为5s,每1s间隔滑动计算,并暂按以下判据评判车体平稳性:①横向平稳性连续10次客室(包括司机室)超过2.75/3.0时,进行横向平稳性预/报警;垂向平稳性连续10次客室(包括司机室)超过2.75/3.0时,进行垂向平稳性预/报警。②在非平稳性抖车、晃车及零部件失效前提下,仅一端平稳性指标连续10次超过

3.0时,进行平稳性预警;一、二位端同一方向平稳性指标均连续10次超过3.0,进行平稳性报警。

3 激扰车体平稳性的主要因素分析

CR400BF动车组走行部系统主要由轮对、构架、一系减振系统、二系减振系统、制动装置、牵引装置(动车)及附属装置组成;其中一系减振系统安装在转向架构架上,由轴箱定位装置、双卷螺旋钢弹簧和一系垂向减振器组成;二系减振系统安装在转向架构架和车体(枕梁)之间,由空气弹簧、抗蛇行减振器、二系垂向减振器、横向减振器、抗侧滚扭杆装置、横向缓冲橡胶止挡组成^[12];各部件的主要作用及技术状态不良时对车体平稳性的影响分析如下:

(1)轮对装置主要作用是将轮对与轨道作用产生的作用力,经转向架一系轴箱转臂和轴箱弹簧传递至构架。当轮对装置中轮对的踏面轮缘厚度、径跳值、多边形等参数恶化时,将大幅增加轮轨间的作用力,增大转向架及车体的垂向、横向振动量。

(2)双卷螺旋钢弹簧和一系垂向减振器主要用于减缓和缓冲行驶过程中作用在轮对轴箱上的垂向力。当钢弹簧断裂或减振器技术状态下降或失效时,将大幅减弱对从轮对轴箱上传递而来垂向力的吸收,增大作用在转向架及车体的垂向力及垂向振动。

(3)空气弹簧主要用于吸收转向架与车体作用的垂向力和一定的横向力,缓和车体的垂向及横向振动。当空气弹簧漏风或破裂时,将影响对转向架与车体作用的垂向力和横向力的吸收。

(4)抗蛇行减振器主要用于减缓和缓冲行驶过程中转向架相对于车体的快速转动,消除转向架的蛇行运动,并提高车体的横向平稳性。当减振器技术状态下降或失效时,将影响车体与转向架之间的回转阻尼,影响转向架稳定性及车体的平稳性。

(5)二系横向减振器主要用于吸收转向架横向运动时的能量,衰减车体与转向架之间的横向振动。当减振器技术状态下降或失效时,将影响车体与转向架之间的横向振动力的吸收,影响车体横向平稳性。

(6)二系垂向减振器主要用于抑制转向架相对于车身的垂向运动,吸收车体与转向架之间的垂向振动,提高车体垂向平稳性。当减振器技术状态下降或失效时,将影响车体与转向架之间的垂向振动力的吸收,影响车体垂向平稳性。

(7)抗侧滚扭杆主要用于减缓和缓冲车体在通过曲线或侧风作用时过度倾侧,改善车体的舒适度。当扭杆技术状态下降或失效时,将使车体在通过曲线或

侧风作用时过度倾侧。

(8) 横向缓冲器主要用于吸收由于轨道不平顺和横向加速度而引起的横向力,同时可限制中心销相对于构架的最大横向位移。当缓冲器破损或失效时,将影响车体横向力的吸收。

通过对转向架各部件作用的分析及技术状态不良对车体平稳性的影响,以及前述动车组典型案例、车体平稳性的监测原理、报警逻辑的分析,可发现激扰车体平稳性的因素主要有4个方面:一是外界因素,诸如雨雪、大风天气等;二是线路因素,特别是线路钢轨因磨损引起的几何尺寸变化和形状恶化等;三是车辆自身技术状态因素,诸如减振器失效、轮对因磨损引起的几何尺寸变化和形状恶化等;四是轮轨匹配因素,主要为钢轨与轮对匹配状态不佳等。

4 车体平稳性报警因素的识别及应对措施

结上所述的综合分析,针对总结出的激扰车体平稳性的4个主要因素,提出如下识别方法及应对措施:

4.1 识别方法

(1) 外界因素引起的车体平稳性报警(简称因素一)的识别方法。该因素引起的车体平稳性报警,特别是恶劣天气(诸如雨雪、大风等)引起的车体平稳性报警,特点主要为多辆动车组(一般为局管内城际线更明显)或单组动车组多车厢(跨局运行或长交路更明显)报警。

(2) 线路因素引起的车体平稳性报警(简称因素二)的识别方法。该因素引起的车体平稳性报警,特别是线路钢轨几何尺寸变化和形状恶化等引起的车体平稳性报警,特点主要为从某一时间节点开始,平稳性报警车组明显持续增加且每日数量较为稳定,同时途经该区段的动车组会出现不同程度的车体平稳性报警。

(3) 车辆部件技术状态不良或失效因素引起的车体平稳性报警(简称因素三)的识别方法。该因素引起的车体平稳性报警,特点主要为单一动车组单一车厢一端平稳性(极端情况也可能出现2节或多节车厢平稳性报警)不断出现报警,且通过调整交路亦不会出现明显改善。

(4) 轮轨匹配因素引起的车体平稳性报警(简称因素四)的识别方法。该因素引起的车体平稳性报警,特点主要为车组镟修后初期或镟修后末期,出现单节车厢或多节车厢报警,但通过更换交路会出现较为明显改善。

4.2 应对措施

(1) 对于因素一引起的车体平稳性报警,技术人员在发现平稳性报警或收到晃车信息时,应结合因素一的特点,综合当日运行动车组平稳性报警的数量,及时判定是否为外界天气或大风引起的平稳性下降,初步形成结论后与随车机械师核对外部因素,进一步验证判断的准确性;确定为外部因素引起的报警,待动车组回所后结合轮对踏面诊断系统或人工一级修对转向架状态进行检查确认,后续首趟运行不再发生报警可销号处理。

(2) 对于因素二引起的车体平稳性报警,技术人员在发现平稳性报警显著性增加时,应结合因素二的特点,及时对报警动车组途径的交路进行分析,如发现存在共性交路应进一步查阅报警时刻的公里标确定区段,确定共性区段后及时协调工务部门对线路进行处理;同时为保证动车组的运行安全,应选取报警次数较多的动车组进行轮对踏面参数(特别是等效锥度)的测量,进一步排除车辆自身原因;确定为线路问题后,应结合动车组一级修对走行部紧固件状态重点检查。

(3) 对于因素三引起的车体平稳性报警,技术人员在发现单列动车组平稳性报警显著增加时,应结合因素三的特点,及时对动车组轮对踏面参数进行测量,优先排除轮对踏面参数超限因素;排除轮对踏面因素后,应对报警车厢的二系减振系统进行重点排查。根据现有经验,应优先检查更换报警车厢的抗蛇行减振器,更换后建议在原报警交路进行验证,如报警消除可判断为报警车厢的抗蛇行减振器技术状态不良所致;如报警不消除,应排查二系减振系统中的其他部件。

(4) 对于因素四引起的车体平稳性报警,技术人员在发现单列动车组单节车厢或多节车厢平稳性报警时,应结合因素四的特点,核对动车组镟修后的走行公里数;如为镟修后首趟或初期运行可根据条件调整运行交路观察,同时结合动车组一级修对走行部紧固件状态重点检查;如为镟修后末期(根据现有经验,建议以15万km为界),应立即对报警车厢轮对踏面参数(特别是等效锥度)进行测量核对,如发现轮对踏面参数超限或等效锥度过大(建议大于0.40为准),应立即进行镟修,并对走行部紧固件状态重点检查。

5 车体平稳性监测的优化方向和潜在价值开发

通过本文的分析及典型案例二、三、四可以看出,动车组平稳性系统可有效识别或反映因线路技术状态不良、车辆自身技术状态不良或失效、轮轨匹配不良等

因素引起的车体平稳性报警。目前针对线路技术状态不良引起的车体平稳性报警,运用中经过简单统计分析即可有效识别相应区段并处理;但对于车辆自身技术状态不良或失效、轮轨匹配不良等因素引起的车体平稳性报警,因各部件技术状态不良或失效的数据模型尚不完备,现阶段难以快速定位故障点,对于全面摸索总结动车组因自身技术状态不良引起的车体平稳性报警将是未来的重点方向,提出建议如下:

(1)不断积累动车组平稳性数据,进一步优化平稳性报警参数,减少因外界因素造成的平稳性报警,降低对运用修中的干扰和检查确认工作量。

(2)收集运用修中因动车组自身技术状态不良引起的车体平稳性的报警数据,不断完善各部件技术状态不良或失效的数据模型,降低对故障点的判断难度,提升对故障点的查找效率。

(3)进一步优化平稳性报警策略,增加对垂向平稳性、晃车及抖车的识别策略,积累轮对踏面参数变化在车体平稳性方面的反映,不断探索动车组车轮视情镟修,降低运用修的工作量及动车组全寿命维修过程中的成本。

(4)高级修时建立减振系统部件的技术状态监测,收集减振系统部件寿命周期内技术状态演变的数据模型,通过优化平稳性报警策略,监测运行动车组减振系统部件的技术状态变化,及时识别预警技术状态不良部件,并在失效前对相应部件进行更换,逐步实现走行部由周期性计划检修向数字化精准预防修转变,在降低动车组维修任务及成本的同时,保证动车组技术状态处于安全指标范围内。

6 结束语

本文从 CR400BF 动车组发生的平稳性典型案例及车体平稳性的监测原理、报警逻辑出发,分析了激扰车体平稳性的主要因素,提出了运用修中如何识别激扰车体平稳性因素的方法及相应的应对措施,并提出了车体平稳性监测的优化方向和潜在价值开发等建议,为进一步推动动车组走行部从周期性计划预防性向数字化精准预防性转变提供参考。

参考文献:

- [1] 孟威. 动车组车体蛇行失稳机理与影响因素试验研究[J]. 铁道机车车辆, 2021, 41(2): 28-32.
MENG Wei. Experimental Study on Mechanism and Influencing Factors of Carbody Instability in EMU Train[J]. Railway Locomotive & Car, 2021, 41(2): 28-32.
- [2] 王艺璇, 陈恩利, 戚壮, 等. 抗蛇行减振器阻尼孔径变化对高速车辆动力学性能的影响分析[J]. 机车电传动, 2018(2): 32-36.
- [3] 吴会超, 霍文彪, 卢权, 等. 不同抗蛇行减振器对动车组蛇行失稳的影响研究[J]. 机车电传动, 2017(5): 30-34.
WU Huichao, HUO Wenbiao, LU Quan, et al. Influence Study of Different Anti-Yaw Dampers on EMUs Hunting Instability [J]. Electric Drive for Locomotives, 2017(5): 30-34.
- [4] 梁海啸. 踏面磨耗对车辆稳定性及平稳性的影响分析[J]. 华东科技(学术版), 2012(4): 6.
Liang Haixiao. The Analysis on Effects of Tread Wear on Vehicle Stability [J]. East China Science & Technology, 2012(4): 6.
- [5] 陈经纬, 秦成伟, 许红江. 踏面等效锥度对车辆横向平稳性的影响[J]. 中国铁路, 2013(S1): 58-59.
CHEN Jingwei, QIN Chengwei, XU Hongjiang. The Influence of Equivalent Conicity on Vehicle Lateral Stability [J]. Chinese Railways, 2013(S1): 58-59.
- [6] 张冰玉. 轮对磨耗对高速列车服役性能影响探究[J]. 高速铁路技术, 2016, 7(3): 11-15.
ZHANG Bingyu. Study on the Effect on Service Performance of High-speed Trains by Wheel Wear[J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(3): 11-15.
- [7] 罗仁, 曾京, 邹平波, 等. 高速列车车轮不圆顺磨耗仿真及分析[J]. 铁道学报, 2010, 32(5): 30-35.
LUO Ren, ZENG Jing, WU Pingbo, et al. Simulation and Analysis of Wheel Out-of-roundness Wear of High-speed Train[J]. Journal of the China Railway Society, 2010, 32(5): 30-35.
- [8] 李忠继, 陈志贤, 姚力, 等. 高速铁路车轮多边形对轨道动作用分析[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(5): 73-78.
LI Zhongji, CHEN Zhixian, YAO Li, et al. Analysis on Dynamic Effect of Polygonal Wheels on Tracks of High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(5): 73-78.
- [9] 铁机辆[2021]73号, 关于印发《复兴号动车组走行部温度监测系统暂行技术条件》等4项标准性技术文件的通知[S].
Tie Ji Liang[2021] No. 73, Notice on Printing and Distributing Four Standard Technical Documents Including Provisional Technical Conditions for Temperature Monitoring System of Running Gear of CR EMU Train [S].
- [10] GB/T 5599-2019 机车车辆动力学性能评定及试验鉴定规范[S].
GB/T 5599-2019 Specification for Dynamic Performance Assessment and Testing Verification of Rolling Stock, 18-20.
- [11] GB/T 5599-2019 机车车辆动力学性能评定及试验鉴定规范[S].
GB/T 5599-2019 Standardization Administration of the People's Republic of China [S].
- [12] 长春轨道客车有限责任公司. 时速380公里速度级动车组(8辆编组)维护检修手册[Z]. 长春: 长春轨道客车有限责任公司, 2010.
CRRC Changchun Railway Vehicle Co., Ltd. Maintenance Manual for The 380 km/h EMU Train (8 Cars) [Z]. Changchun: CRRC Changchun Railway Vehicle Co., Ltd., 2010.