

动车组齿轮箱异常振动监控数据分析

付时瑞¹ 卜 峰¹ 吴艳鹏¹ 曹 琦¹ 陆东宇¹ 崔健东²

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司检修运维事业部, 130062, 长春;
2. 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, 130062, 长春//第一作者, 工程师)

摘 要 动车组列车大多配备 TDDS(列车振动监控系统)对车辆运行中的振动状态数据进行记录、分析,以及对齿轮箱振动监控异常数据进行预警、报警提示。分析了某型动车组运行中的一次振动预警数据,对 TDDS 的阈值选取及工作原理进行了介绍。同时通过数据分析手段得出此次异常振动原因,并确认了故障位置。

关键词 动车组; 齿轮箱; 异常振动; 振动监控; 数据分析

中图分类号 U266.2;U270.332

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.02.024

Analysis of Abnormal Vibration Monitoring Data of EMU Gearbox

FU Shirui, BU Feng, WU Yanpeng, CAO Qi, LU Dongyu, CUI Jiandong

Abstract Most EMU trains are equipped with train vibration monitoring system (TDDS; tactical data dissemination system) to record, analyze the vibration state of the vehicle in operation, give early warning and alarm prompt for abnormal data of gearbox vibration monitoring. In this paper, the vibration early warning data in a certain EMU train operation are analyzed, the threshold selection and operation principle of the train vibration monitoring system are introduced. At the same time, causes of the abnormal vibration are detected through data analysis, and the fault location is also confirmed.

Key words EMU; gearbox; abnormal vibration; vibration monitoring; data analysis

First-author's address Overhaul and Maintenance Business Unit, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

高速铁路车辆是多自由度复杂动力学系统^[1]的集合,其中,车辆的牵引动力传动系统由牵引电机、万向轴、齿轮箱及动轴轮对组成。在实际运营中,由于车辆加减速、线路不平顺,以及动力系统本身等原因,车辆局部或整体产生异常振动。本文以某型号动车组 TDDS(列车振动监控系统)监测到的

异常振动信息为例,结合数据分析方法,对监测数据进行分析,得出该型号动车组齿轮箱异常振动的故障点。

1 动车组列车振动监控系统

1.1 TDDS 报警阈值设置

动车组 TDDS 由振动监控主机、牵引电机振动传感器及齿轮箱振动传感器组成,具有数据采集、传输、处理及显示等多种功能^[2],通过 TCMS(列车控制与管理系统)的 MVB 线(多功能车辆总线)进行数据通信。运行环境中振动是多个频率组成的复杂振动信号^[3]。采用 TDDS 实时监测电机端与齿轮箱端的振动加速度,每 5 s 的振动加速度处理后得到 1 个振动加速度特征值,若连续 10 个振动加速度特征值超过相应的阈值则产生对应的报警。报警阈值则是通过分析车辆模拟振动数据及车辆运行数据得出,具体设置如表 1~2 所示。

表 1 齿轮箱监测点振动特征值报警阈值设置

Tab.1 Warning threshold setting of vibration characteristic value at gearbox measuring points

列车运行速度/ (km/h)	报警类型	振动加速度时 域阈值/g	振动加速度频域 阈值/(g/Hz)
(100,200]	预警	3.72	0.90
	报警	4.74	0.90
(200,250]	预警	4.97	1.20
	报警	6.33	1.20

注:g 为自由落体加速度。

表 2 电机监测点振动加速度特征值报警阈值设置

Tab.2 Warning threshold setting of vibration acceleration characteristic value at motor measuring points

列车运行速度/(km/h)	报警类型	振动加速度时 域阈值/g
(100,200]	预警	0.85
	报警	1.09
(200,250]	预警	0.85
	报警	1.09

1.2 万向轴预报警逻辑

万向轴动不平衡故障的预警、报警逻辑采用时域和频域相结合的方法进行判别。在时域(以传感器采集的振动数据时序排列)上,判断齿轮箱是否存在振动异常;在频域(以传感器采集的转频幅值数据时序排列)上,对万向轴转频幅值进行判断。时域和频域是“与”的关系,同时超过阈值才判断万向轴动不平衡超标。电机端万向轴动不平衡的预、报警逻辑采用振动加速度时域特征值进行判别,在时域上直接判别万向轴转频幅值是否超界,以此判断万向轴是否存在动不平衡故障。

TDDS 的监测功能需要结合速度信息进行判别。当列车运行速度大于等于 100 km/h 时,需进行万向轴动不平衡监测。速度信号来源于列车 TCMS 的各车电机速度信号(电机转速与万向轴转速一致)。万向轴振动预、报警逻辑框图如图 1 所示。

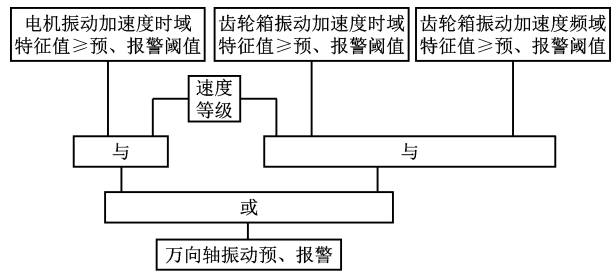


图 1 万向轴振动预、报警逻辑图

Fig. 1 Preliminary waring logic diagram of cardan shaft vibration

2 动车组 TDDS 数据分析

2.1 动车组预警时刻 TDDS 数据分析

对某型号动车组 4 车 1 位端及 4 车 2 位端电机监测点数据进行分析,其振动加速度时域特征值随列车运行速度的变化曲线如图 2 所示。图 2 中标注的加速度预警即为 4 车 2 位端电机监测点产生加速度预警的时段,该时段电机监测点的振动加速度特征值如表 3~4 所示。自检文件预报警时刻截图如图 3 所示。

2.2 动车组车体振动加速度特征值对比分析

由于振动加速度特征值随着列车运行速度的变化而变化,因此为了更好地进行不同位置的横向对比,对测点的振动加速度特征值做了进一步的统计分析。在统计分析时,选择每个测点全天特征值中符合当前运行速度要求的特征值,进行算术平均值计算,根据该算术平均值进行不同位置的对比

分析。

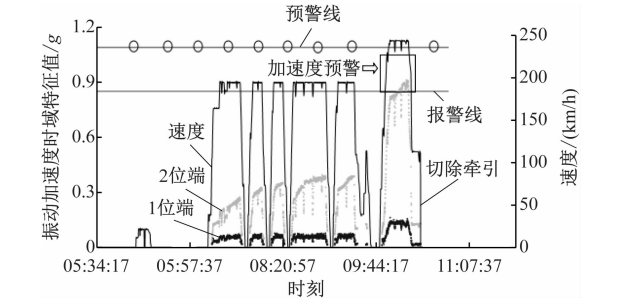


图 2 动车组 4 车电机监测点振动加速度时域特征值曲线

Fig. 2 Time-domain eigenvalue curve of vibration acceleration at EMU 4-vehicle A end motor measuring points

表 3 4 车 2 位端首次加速度预警时刻电机监测点振动特征值统计

Tab. 3 The first preliminary acceleration waring of vibration characteristics at 4-vehicle A end motor measuring points

日期	时刻	列车运行速度/(km/h)	加速度时域特征值/g
2020-02-07	10:10:25	243	0.867
2020-02-07	10:10:30	243	0.878
2020-02-07	10:10:35	244	0.864
2020-02-07	10:10:40	244	0.872
2020-02-07	10:10:45	243	0.880
2020-02-07	10:10:50	244	0.888
2020-02-07	10:10:55	244	0.884
2020-02-07	10:11:00	244	0.884
2020-02-07	10:11:05	244	0.888
2020-02-07	10:11:10	244	0.890

表 4 4 车 2 位端第 2 次加速度预警时刻电机监测点振动加速度特征值统计

Tab. 4 The second preliminary acceleratgion waring of vibration characteristics at 4-vehicle A end motor measuring points

日期	时刻	速度/(km/h)	加速度时域特征值/g
2020-02-07	10:13:55	240	0.865
2020-02-07	10:14:00	241	0.873
2020-02-07	10:14:05	242	0.889
2020-02-07	10:14:10	243	0.905
2020-02-07	10:14:15	244	0.913
2020-02-07	10:14:20	245	0.891
2020-02-07	10:14:25	244	0.882
2020-02-07	10:14:30	243	0.892
2020-02-07	10:14:35	243	0.898
2020-02-07	10:14:40	244	0.900

对某型号动车组 2020 年 1 月 8 日至 2020 年 2

```
self_test_volge;  
ch0=0.1005 ch1=0.9744 ch2=0.0820 ch3=1.6673 ch4=2.0225 ch5=1.8829 ch6=2.4997 ch7=0.0037  
proc_para.power_on: 391 (2020-2-7 17:57:20)  
proc_para.IWDG_reset: 1 (1970-1-1 0:0:0)  
proc_para.MVB_err: 0  
proc_para.AD_err: 0  
proc_para.storage_err: 0  
proc_para.gearacc_err: 0  
proc_para.geartemp_err: 0  
proc_para.motoracc_err: 0  
proc_para.temp_warn: 0  
proc_para.temp_alarm: 0  
proc_para.temp_hidden_bad: 0  
proc_para.gear_acc_warn: 0  
proc_para.gear_acc_alarm: 0  
proc_para.motor_acc_warn: 2 (2020-2-7 10:14:39)  
proc_para.motor_acc_alarm: 0  
mvb_para.power_on: 387 (2020-2-7 17:57:23)  
mvb_para.proc_err: 0
```

图 3 自检文件预报警时刻截图

Fig. 3 Screenshots of self-inspection document warning times

月 6 日期间 4 车各测点在速度为 210 ~ 250 km/h 范围内的特征值进行统计,并计算其平均值,结果如表 5 ~ 6 所示。

从表 5 ~ 6 中数据可以得出,齿轮箱监测点和电机监测点在 4 车 2 位端采集到的振动数据均较大。由此可见,4 车 2 位端电机监测点的振动明显大于 4 车 1 位端电机监测点的振动。

表 5 4 车 1 位端电机监测点振动加速度特征值统计

Tab. 5 Vibration acceleration characteristics statistics at 4-vehicle B end motor measuring points

日期	齿轮箱测点		电机测点 加速度时域 特征值/g
	加速度时域 特征值/g	加速度频域特 征值/(g/Hz)	
2020-01-08	1.36	1.85	0.08
2020-01-10	1.32	1.77	0.08
2020-01-11	1.34	1.83	0.08
2020-01-13	1.35	1.85	0.07
2020-01-15	1.33	1.78	0.08
2020-01-16	1.35	1.85	0.08
2020-01-18	1.31	1.76	0.08
2020-01-20	1.34	1.83	0.08
2020-01-22	1.32	1.76	0.07
2020-01-23	1.32	1.77	0.07
2020-01-24	1.32	1.76	0.08
2020-01-25	1.31	1.75	0.08
2020-01-26	1.32	1.76	0.08
2020-01-29	1.32	1.81	0.07
2020-01-31	1.34	1.79	0.08
2020-02-01	1.33	1.82	0.08
2020-02-03	1.33	1.78	0.08
2020-02-04	1.37	1.87	0.08
2020-02-06	1.39	1.90	0.08

2.3 齿轮箱和电机振动加速度特征值趋势分析

选取 2019 年 12 月 11 日至 2020 年 2 月 6 日期间 4 车各测点在 210 ~ 250 km/h 速度范围内的振动

加速度特征值,并分别计算齿轮箱振动加速度时域特征值、齿轮箱振动加速度频域特征值及电机振动加速度时域特征值,结果如图 4 ~ 6 所示。

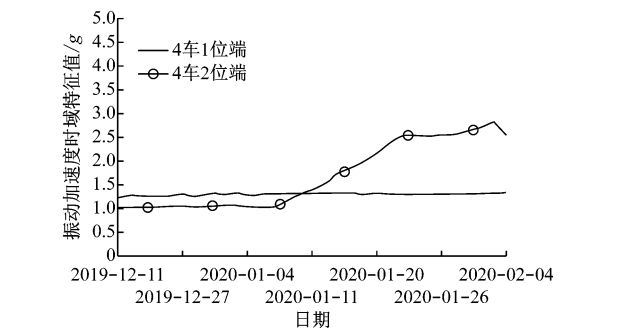


图 4 齿轮箱振动加速度时域特征值变化曲线
Fig. 4 Temporal characteristics variation acceleration curves of gear box

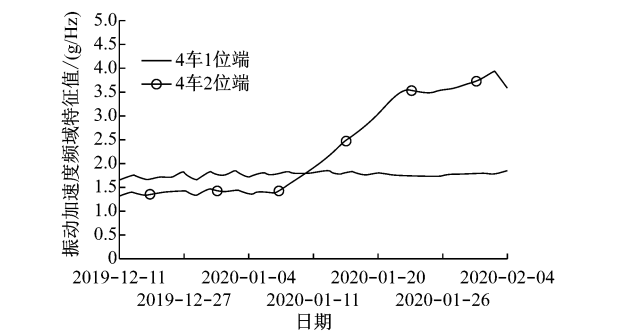


图 5 齿轮箱振动加速度频域特征值变化曲线
Fig. 5 Frequency domain characteristic variation curves of gear box

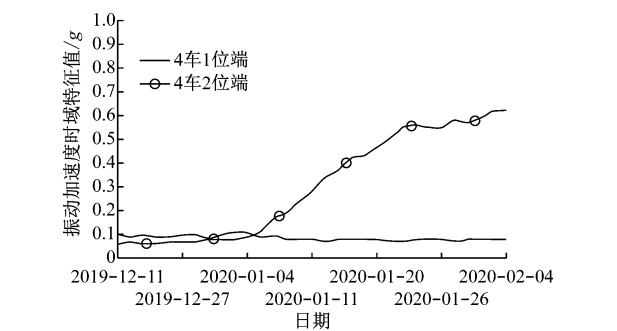


图 6 电机振动加速度时域特征值变化曲线
Fig. 6 Temporal characteristics variation acceleration curves of motor vibration

通过观察图 4 ~ 6 可以看出,4 车 1 位端齿轮箱及电机测点的振动加速度特征值无增大趋势,保持平稳状态;4 车 2 位端齿轮箱及电机测点的振动加速度特征值存在明显的上升趋势。

3 齿轮箱测点的振动加速度频谱值计算

选取预警时刻数据代入式(1)及式(2),分别计

算预警时刻万向轴转频及齿轮啮合频率,从而得到当前时刻齿轮箱监测点的振动加速度频谱值。

表 6 4 车 2 位端电机监测点振动加速度特征值统计
Tab.6 Vibration acceleration characteristics statistics at 4-vehicle A end motor measuring points

日期	齿轮箱监测点		电机监测点 时域加速度 特征值/g
	时域加速度 特征值/g	频域加速度特 征值/(g/Hz)	
2020-01-08	1.16	1.57	0.19
2020-01-10	1.31	1.74	0.24
2020-01-11	1.40	1.92	0.28
2020-01-13	1.54	2.12	0.34
2020-01-15	1.76	2.40	0.37
2020-01-16	1.86	2.58	0.42
2020-01-18	2.03	2.78	0.43
2020-01-20	2.18	3.02	0.47
2020-01-22	2.42	3.34	0.50
2020-01-23	2.56	3.54	0.55
2020-01-24	2.55	3.52	0.56
2020-01-25	2.52	3.47	0.55
2020-01-26	2.58	3.55	0.55
2020-01-29	2.57	3.58	0.58
2020-01-31	2.67	3.69	0.57
2020-02-01	2.72	3.78	0.59
2020-02-03	2.85	3.94	0.62
2020-02-04	2.53	3.56	0.62
2020-02-06	2.64	3.66	0.63

万向轴转频和齿轮啮合频率分别为:

$$f_w = \frac{v}{3.6\pi d} i \tag{1}$$

$$f_n = f_w n_z \tag{2}$$

式中:

- f_w ——万向轴转频,Hz;
- f_n ——齿轮啮合频率,Hz;
- v ——列车运行速度,km/h;
- d ——轮对直径,m;
- i ——齿轮传动比;
- n_z ——锥齿轮齿数。

齿轮箱监测点振动加速度频谱如图 7 所示。根据MPU(中央控制单元)记录预警时刻列车运行速

度为 244 km/h。将其代入式(1)和式(2)可得,万向轴理论转频为 56.4 Hz,齿轮理论啮合频率为 1 524 Hz。结合电机监测点的振动数据,判断出 4 车 2 位端万向轴发生了故障。

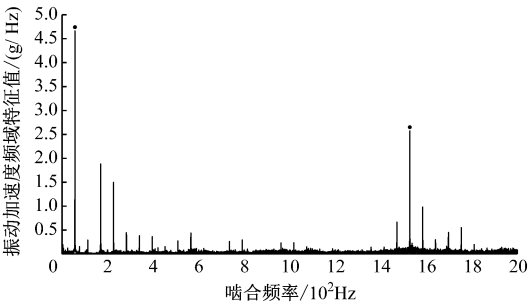


图 7 齿轮箱测点振动加速度频谱
Fig.7 Vibration acceleration spectrum of gear box

4 结语

本文基于动车组车辆牵引电机振动时域特性和齿轮箱转频频域特性分析方法,结合列车监测数据及趋势分析法,得出该动车组运行过程中产生牵引切除故障的原因,并确认了故障点位置。论证了动车组 TDDS 能够有效地监控及分析车辆振动数据,并在必要时可对驾驶员进行预警及报警提示,有效提升了动车组的运营安全性,同时也为后续动车组结构优化提供了数据支撑。

参考文献

[1] 刘涛,李永生,王青权,等. 动车组司机室地板异常振动问题分析[J]. 城市轨道交通研究,2020(2):17.
LIU Tao,LI Yongsheng,WANG Qingquan,et al. Analysis of abnormal vibration of EMU cab floor[J]. Urban Mass Transit, 2020 (2):17.

[2] 刘庆杰,孙茂棠,雷晓燕. 铁路环境振动实时监测分析系统开发[J]. 城市轨道交通研究,2016(5):53.
LIU Qingjie,SUN Maotang,LEI Xiaoyan. Development of real-time monitoring and analysis system for railway environmental vibration [J]. Urban Mass Transit,2016(5):53.

[3] 范超,邱作成,张帅,等. 高速动车组振动温度复合监控系统的应用[J]. 城市轨道交通研究,2021(2):134.
FAN Chao,QIU Zuocheng,ZHANG Shuai,et al. Application of vibration temperature composite monitoring system for high-speed EMU[J]. Urban Mass Transit,2021(2):134.

(收稿日期:2021-08-25)