

文章编号:1002-7610(2020)05-0039-04

基于振动的状态监测系统在铁路运营车辆上的应用

Kosuke NISHITANI,等(日)

摘要:介绍了一种振动倍频带分析与机器学习相结合的铁路车辆牵引设备状态监测方法,以及运营列车上所采集的振动数据的分析结果。

关键词:牵引设备;振动;监测;日本

中图分类号: U279.3 **文献标志码:** B

Application of a Condition Monitoring System through Vibration of Railway Vehicles in Operation

Kosuke NISHITANI, et al. (Japan)

Abstract: The condition monitoring method combining vibration octave band analysis and machine learning for railway vehicle traction equipment and analysis results of vibration data acquired from a running train are introduced.

Key words: traction equipment; vibration; monitoring; Japan

1 概述

认为利用振动的状态监测方法可有效监测铁路车辆牵引设备的状态。然而,由于牵引设备产生的振动随车辆的运行条件而变化,因此,在某些情况下,仅利用诸如振幅之类的简单方法进行评定,难以准确地把握设备的状态。

因此,作者开发出了一种振动倍频带分析与机器学习相结合的状态监测方法^[1-2]。商业运营铁路车辆的牵引设备除长时间运行滑动部件磨损引起振动变化外,振动还会随着外界温度及气候条件等环境变化而变化。因此,为了将这种状态监测技术投入实际应用,有必要采集牵引设备在正常状态下至少1年的振动数据来把握振动的变化状态。

因此,作者将所提出的状态监测系统用于商业运营的内燃车辆。下面将介绍所提出的状态监测方法,以及商业运营列车上所采集的振动数据的分析结果。

2 状态监测系统的概况

2.1 系统配置

图1为应用所提方法的状态监测系统的配置图。该系统由车载状态监测仪、地面计算机诊断程序及测量设备振动的振动加速度传感器组成。用状态监测仪

对振动加速度传感器采集的振动数据进行倍频带分析,再通过地面诊断程序判定是否异常来监测设备的状态。诊断程序的分析结果并不是实时地传递给乘务员,而是传递给地面的车辆检修人员,以便在故障发生前对设备进行检修。

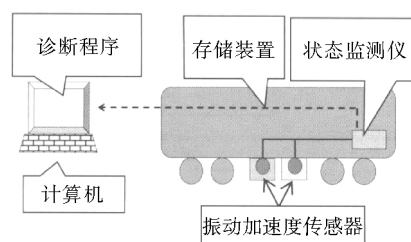


图1 系统配置

2.2 异常检测方法概况

异常检测方法是将设备正常状态下的振动数据作为训练数据存储于计算机里,通过判断被评定设备的振动数据(测试数据)是否在正常数据范围之内,从而判定是否异常。如图2所示,首先,将所采集的振动数据按每秒钟进行分割,对各段数据分别进行倍频带分析。然后,将每个分析结果转换成多维空间某一点的坐标,根据测试数据与训练数据(正常数据)的最近距离进行异常判定。通过计算如下的指数判定异常,将测试数据与训练数据的最近距离除以基准距离的商减

收稿日期:2019-12-02

去 1 的差值作为异常指数。异常指数为正时,即如果测试数据与训练数据的最近距离大于基准距离,则将该测试数据判定为异常。这个基准距离必须是多数训练数据判定为正常的距离。因此,这种方法对训练数据自身进行异常判定,将 99% 的训练数据判定为正常的距离定义为基准距离。

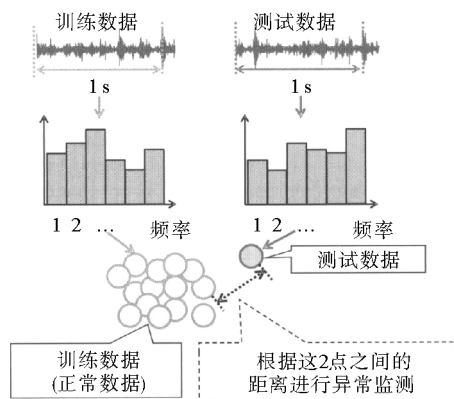


图 2 异常检测方法

由于这种方法要计算测试数据与全部训练数据的距离,所以产生的一个问题就是计算时间随训练数据数量的增加而增加。为此,应用一种算法,通过从训练数据中选取异常判定所必需的数据作为原型数据,然后从训练数据中删除与原型数据类似的数据来减少计算时间^[3]。

此外,该方法还将振动数据分为“低频带(100 Hz 及以下)”、“中频带(100 Hz~1 kHz)”和“高频带(1 kHz 及以上)”,对各频带分别进行异常判定。通常情况下,旋转体不平衡及连接部松动等引起的振动处于 100 Hz 及以下频带。齿轮及轴承等划伤或异常磨损引起的振动处于 1 kHz 及以上频带。另外,根据划伤或松动状况不同,认为异常振动也会出现在 100 Hz~1 kHz 频带。因此,通过对各频带进行异常判定,从而可对异常进行简易诊断^[4]。

3 在商业运营列车上的应用

3.1 目标车辆和车载设备

本次选择内燃车辆作为状态监测系统装用的目标车辆。对车辆的 4 种设备,即发动机、传动装置、恒速装置和装在车辆地板下方的散热器进行了状态监测。在每个设备上分别安装一个振动加速度传感器。图 3 所示的状态监测仪布置在车内司机座椅上部。图 4 为设备布置图。状态监测仪每秒钟对振动加速度传感器采集的振动数据进行倍频带分析,并将其保存在存储装置中。此外,由于状态监测仪有串行通讯端口,除振动数据外,还可以采集和保存车辆运行数据。本次除保存振动数据的倍频带分析结果外,还将诸如采自变流器控制器(CCS)列车速度及发动机转速之类运行数

据以 CSV 文本格式记录在 SD 卡中,CCS 是一种传动控制器。状态监测仪由车载蓄电池供电,当发动机转速达到 600 r/min 及以上时,会自动开始记录。

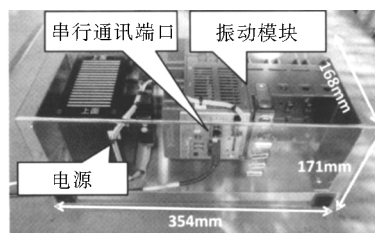


图 3 状态监测仪

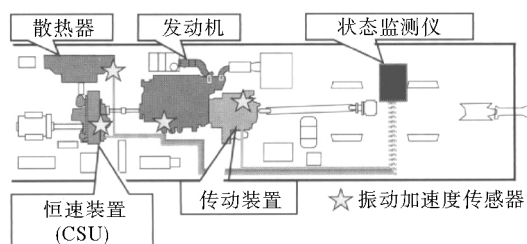


图 4 设备布置

3.2 诊断程序

本次开发的诊断程序,通过图 5 所示的异常率显示屏和运行曲线显示屏这两种屏幕来显示分析结果。

首先,在图 5(a)所示的异常率显示屏上,表格由车辆编号和日期组成,表格中的数值显示每天的异常率(1 天的振动数据中,判定为异常数据的比例)。根据数值,可用颜色深浅区分表中的单元格。图 5 中,异常率小于 0.1 时显示为“正常”,异常率处于 0.1~0.2 时显示为“警示”,异常率为 0.2 及以上时显示为“异常”。除了要监测的 4 个设备的全频带、高频带、中频带和低频带异常率(共计 16 个)外,还可显示每天的 CCS 故障率以及前述 16 个异常率的最大值,共计有 18 个选择显示项目。在该表的底部,用曲线图显示所选项目异常率的时间历程。利用该显示功能,可确认每天各车载设备各频带的状态变化。

其次,选定异常率显示屏的异常率值,则切换为图 5(b)所示的运行曲线显示屏。在该屏幕上,以表格的形式显示与在异常率显示屏上选定的日期和车号对应的各设备各频带的异常率和 CCS 故障率。此外,在该表格的下部,显示 1 天的运行状态(列车速度、发动机转速等)、CCS 故障代码及异常率的时间序列数据,而且,在曲线图上通过移动光标,可显示出每个项目的瞬时值。以这种方式,可详细确认、分析车辆运行状态和异常率的变化。

4 商业运营期间的振动分析结果

4.1 数据采集情况和训练数据

在商业运营的内燃车辆上安装了振动加速度传感

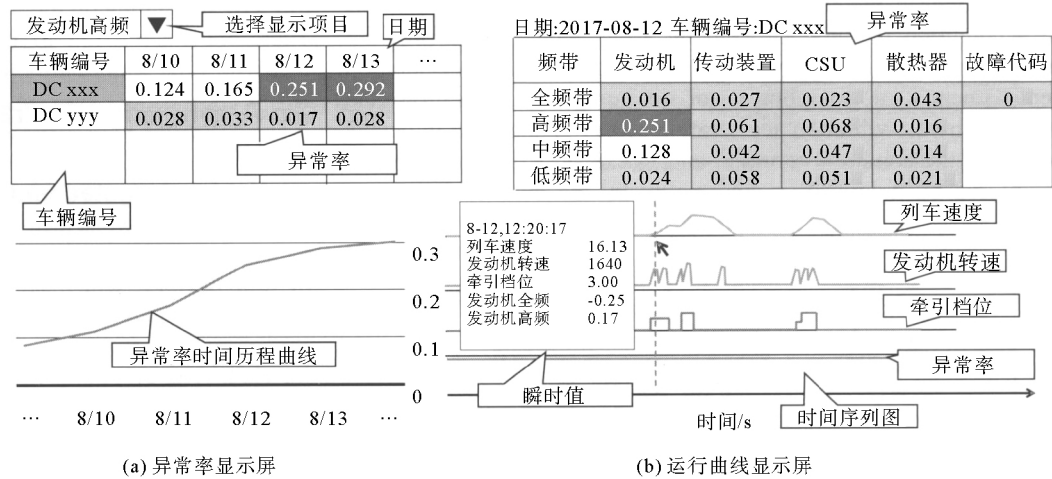


图5 诊断程序显示屏

器与状态监测仪,从2017年2月底到10月底,监测仪采集了约8个月的振动数据。在此期间,车辆在商业运营过程中发生了散热器风扇不工作的故障。散热器风扇由发动机供能旋转的恒速装置(CSU)驱动。研究结果发现,CSU内散热器风扇的旋转轴因磨损而劣化,最终导致损坏。下面介绍了诊断程序对这种问题的分析结果。考虑到外界温度会导致振动发生变化,因此选定冬季(2月)1天、春季(3月—5月)2天和夏季(6月—8月)3天的数据作为训练数据。

4.2 分析结果

首先,表1列出了故障发生当天的异常率。由于CSU高频带异常率最高,所以认为由于磨损导致CSU内发生异常振动。其次,图6表示故障发生前70天到故障发生日(但只是车辆在商业运营的天数才算在内)CSU各频带每天异常率的时间历程。

表1 故障发生之日的异常率

频带	发动机	传动装置	CSU	散热器
全频带	0.016	0.020	0.041	0.012
高频带	0.158	0.087	0.337	0.164
中频带	0.043	0.035	0.165	0.051
低频带	0.016	0.014	0.023	0.010

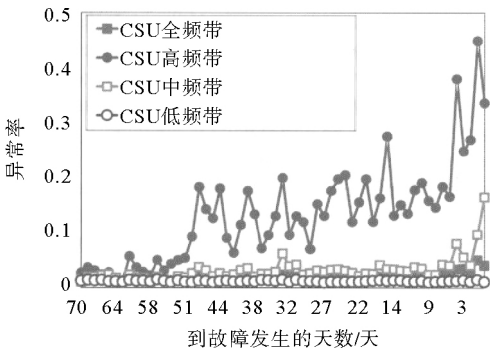


图6 CSU的异常率

全部日期内全频带、中频带和低频带的异常率基

本上都低于0.1,而高频带异常率自约50天以前起频繁超过0.1。到故障发生日,高频带的异常率一直呈增大趋势。从上可以看出,通过对各频带的异常率进行监测,就有可能在早期阶段捕捉到像这次这样的故障迹象。

为了更详细地进行分析,图7示出了故障发生前约15 h内一段5 min(指6:36至6:41)的列车运行数据及CSU高频带异常指数。车辆设计以25 km/h及以上速度牵引运行时,采用直接驱动级,此时传动装置的直接耦合器连接。车辆排气制动时也采用直接驱动级,通过关闭发动机排气口的截流阀增加发动机的旋转阻力从而产生制动力矩。从图7可以看出,以直接驱动级运行时,CSU高频带异常指数呈现出变正(即判定为异常)的趋向。因此,仅用直接驱动级运行期间的数据计算异常率。

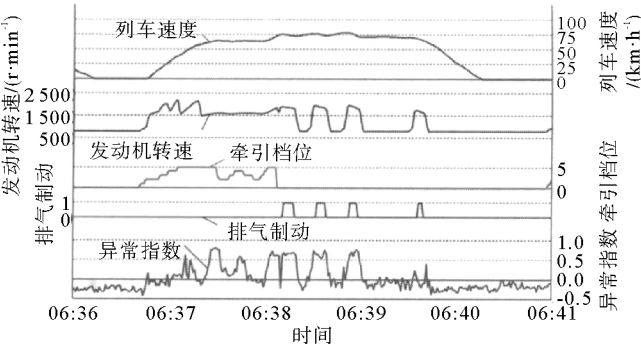


图7 运行数据和CSU高频带异常指数

图8为故障发生前70天到故障发生日采用直接驱动级时异常率的时间历程。图8中,除CSU高频带异常率外,还显示了发动机和与CSU连接的散热器的高频带异常率。从图8可以看出,CSU高频带异常率从约50天以前起频繁超过0.3,到故障发生日,异常率一直呈现增大趋势,最终超过了0.8。此外,散热器高频带异常率也呈现增大趋势,可以看到自故障发生前10天起就超过了0.2。由于此次的故障部位是散

文章编号:1002-7610(2020)05-0042-05

提高铁道车辆电子装置维修技术的研究

高野 直树,等(日)

摘要: 介绍西日本铁路公司针对机车车辆上安装的以服务类设备为首的电子元件的失效、故障增多的现象开展的调查,并研究了维修处理的对策与方法。

关键词: 自动广播装置;故障;电子元件;对策;日本

中图分类号: U279.3 **文献标志码:** B

Study on Improving Maintenance Technologies of Electronic Devices for Railway Vehicles

高野 直树, et al.(Japan)

Abstract: The investigation into the phenomenon of increasing failure of electronic components, primarily service equipment on rolling stock, conducted by West Japan Railway Company is introduced and the maintenance countermeasures and methods are studied.

Key words: automatic broadcast device; failure; electronic components; measures; Japan

收稿日期:2019-10-31

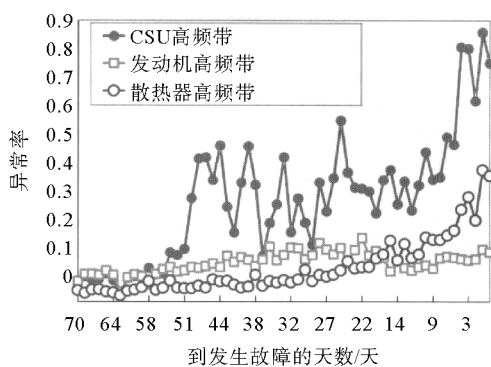


图8 采用直接驱动级时高频带异常率

热器风扇的旋转轴,所以可认为 CSU 的异常振动也传递到了散热器。

以上结果表明,通过划分频带及限定运行条件的异常分析,可以在故障发生前 1 个多月掌握异常趋向,并可在某种程度上推定异常发生的部位和原因。

5 结论

本文介绍了一种振动倍频带分析与机器学习相结合的状态监测方法,报道了将该方法应用于商业运营列车,以采集设备长期处于正常状态下的振动数据的情况。采用该方法对商业运营列车运行中出现的故障进行分析的结果表明,可以在故障发生前 1 个多月掌

握异常趋向。此外,通过划分频带及限定运行条件的异常分析,异常趋向变得更为明显,以此表明可在某种程度上推定异常发生的部位和原因。

今后,还要继续对商业运营列车运行中的振动数据进行采集,并积累训练数据。此外,还将扩大对同型号运营列车的振动数据的采集,分析车辆及设备的个体差异。

参考文献:

- [1] Minoru Kondo, Tatsuro Takashige, Shinichi Manabe, Hiroshi Kanno. Abnormality Detection in a Contaminated Diesel Engine by a Vibration Monitoring Method[J]. RTRI Report, 2016, 30(4): 47-52 (in Japanese).
- [2] Minoru Kondo, Tatsuro Takashige. Abnormality Detection for Auxiliary Drive Shafts on Diesel Cars Using Vibration Condition Monitoring[J]. QR of RTRI, 2018, 59(1): 15-21.
- [3] Minoru Kondo. Prototype Selection Method for Vehicle Condition Monitoring Using Machine Learning[C]. Technical Meeting on Transportation and Electric Railway. IEE Japan, TER-18-036, 2018 (in Japanese).
- [4] Minoru Kondo. Simple Machine Diagnosis with Frequency Band of Abnormal Vibration[J]. RTRI Report, 2018, 32(1): 35-40 (in Japanese).

周方涵 译自《Japanese Railway Engineering》
2019, No203, 12~14

阎 锋 校