

故障诊断

交流传动试验系统中齿轮箱在线故障诊断研究

伍 雄, 高连升, 程 浩

(株洲中车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 齿轮箱在交流传动试验系统中起着变速、改变传动方向以及传递力矩的作用, 其状态直接影响交流传动试验系统的可靠运行。文章提出一种齿轮箱在线故障诊断方法, 其通过 DASP 数据采集仪采集动车台位齿轮箱振动的加速度, 然后对所采集的波形进行时域、频谱以及三维谱阵分析, 通过提取异常振动信号, 从而实现对齿轮箱运行状态的在线分析及诊断。

关键词: 齿轮箱; DASP 数据采集仪; 加速度; 时域; 频域; 三维谱阵

中图分类号: TH132.4

文献标识码: A

文章编号: 2096-5427(2018)02-0073-04

doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2018.02.017

On-line Fault Diagnosis for the Gearbox in AC Drive Test System

WU Xiong, GAO Liansheng, CHENG Hao

(Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: Gearbox plays an important role of varying speed, changing direction and transferring torque in AC drive test system, and its state directly influences the reliable operation of the AC drive test system. This paper introduced an on-line fault diagnosis method for gearbox which collects the gearbox vibration accelerations on train station through a DASP acquisition instrument, analyzes their time domain, frequency spectrum and three-dimensional spectralarray, and extractes the abnormal vibration signals from acquisition waveforms to realize the online analysis and diagnosis of gearbox faults.

Keywords: gear box; DASP number-picking instrument; acceleration; time domain; frequency domain; three-dimensional spectrum array

0 引言

在交流传动试验系统中, 齿轮箱分为同步齿轮箱和变速齿轮箱, 具有变速、改变传动方向及传递力矩的作用。齿轮箱一旦出现故障, 维修成本高且耗时长, 严重影响试验的效率和进度。目前交传试验系统主要依靠听诊法判断齿轮箱的运行状况。听诊过程中, 操作人员需在齿轮箱高速运行条件下接触齿轮箱来判断设备状态, 且无法对齿轮箱的运行状况进行有效的预测。本文通过监测齿轮箱运行过程中所产生的振动, 并对有效振动信号进行提取分析以及对大量的振动数据进行分析比对, 提出一种可以通过监测齿轮箱运行过程中的振动信号来对齿轮箱运行状态进行预判的方法。

1 齿轮箱振动信号检测方法

在各种齿轮箱故障分析与诊断方法中, 以振动检测为基础的齿轮箱故障诊断方法具有测量简便、实时性强等优点^[1-3], 其关键技术是从复杂的振动信号中提取和分离出与齿轮箱故障特征有关的信息, 主要的分析方法包括: 时域分析和频域分析。

1.1 时域分析

在线监测和故障诊断过程中, 时域波形分析是最直观的诊断方法。对于某些有明显特征的故障, 可以利用时域波形作初步和直观的判断。观察时域波形, 可以粗略地得到 3 方面的信息: 信号频率成分是否复杂; 振动信号幅值是否有变化; 信号中有无明显的冲击和调制成分。时域波形分析内容包括峭度指标、波形指标、峰值指标和裕度指标 4 个参数。

(1) 峭度指标。峭度指标反映信号偏离正态分布的程度,它对信号中的冲击成分特别敏感,其值仅与数据长度和标准差相关,与输入轴转速、齿轮箱各零部件尺寸以及负载无关。

(2) 波形指标。波形指标适用于点蚀类故障,能对早期故障进行预报,并能反映故障的发展趋势。

(3) 峰值指标。峰值指标适用于轴承元件上的局部剥落、擦伤、刻痕和凹陷等离散型缺陷。离散型缺陷产生的脉冲虽然总能量不大,但剥削的峰值却在增加。

(4) 裕度指标。裕度指标适用于机械设备的磨损情况。

1.2 频域分析

频域分析是目前故障诊断应用最广泛的一种信号分析方法,它可以分析信号能量和幅值随频率的分布^[4-7];根据这些分布的情况,就可知道齿轮、滚动轴承哪一部分出现了故障。例如齿轮在发生不平衡故障时,振动信号中就会有回转频率成分;滚动轴承外圈上的点蚀会引起周期性的冲击,在信号中就会有相应的频率成分出现等。因此频域分析是齿轮箱故障诊断的一种重要方法。

2 在线测试电路

目前针对齿轮箱故障分析暂且没有一个明确的标准,对若干同一型号的轴承或齿轮在相同条件下同一部位进行振动检测,并将振动值相互比较,找出振动信号异常的轴承或齿轮是一种有效的方法。以下主要通过测量动车台位同种工况条件下、不同轴上的同步齿轮箱的同一部位振动信号,并对其进行时域和频域的比较,从而判断齿轮箱是否有故障。

齿轮箱在线故障诊断测试电路如图1所示:在齿轮箱关键点上安装加速度传感器,通过DASP数据采集仪采集齿轮箱的振动数据,传给上位机,并用DASP专业软件进行时频分析。



图1 在线测试原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the on-line test

齿轮箱的加速度传感器布点位置一般选择安装误差较大点位,故障频发位置及轴承接口位置。此次试验中

加速度传感器布点位置如图2所示。

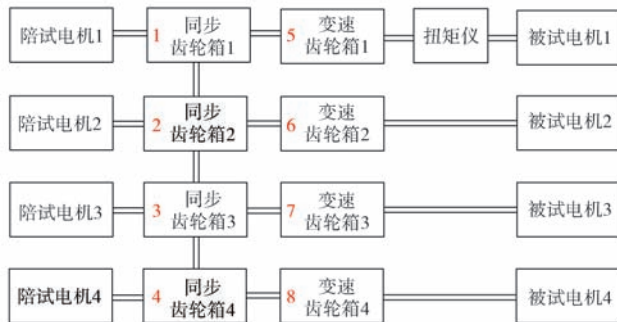


图2 布点位置图

Fig. 2 Measuring point location

3 振动信号分析

齿轮箱故障在线诊断的方法有:

(1) 对于比较严重的故障,可以实时监测齿轮箱振动信号的波形,利用绝对判定的标准来判断齿轮箱是否存在故障,即判断实测振值(加速度幅值、均值、最大值等)是否超过某一限值。

(2) 对于比较轻微的故障,一种方法是利用相对判定标准,对齿轮箱的同一部位进行定期的振动检测,对数据进行存储并建立一个数据库,以齿轮箱无故障情况下的参数(最大值、峭度指标、峰值指标、频谱图等)为标准,把实测值与基准值进行比较;另一种是利用类比判定标准,通过实测同类齿轮箱同一部位在同种工况状态下的振动信号,比较同类齿轮箱的振动信号,找出偏差值,结合时域以及频域分析就可以很好地判定齿轮箱是否存在故障。

3.1 动车台位同步齿轮箱

图3是通过DASP采集的4台同步齿轮箱靠电机侧的输入轴上的波形。通过时域分析得到同步齿轮箱振动的峰值、峭度指标、波形指标、峰值指标和裕度指标等,具体如表1所示。

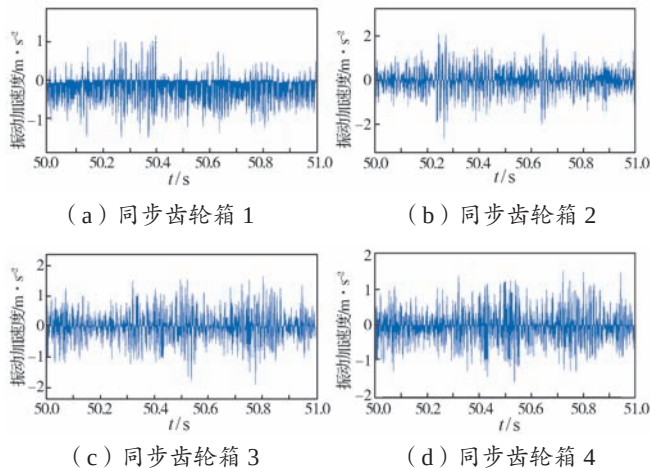


图3 同步齿轮箱的振动波形

Fig. 3 Vibration waveforms of the synchronous gearboxes

表 1 同步齿轮箱振动信号分析结果
Tab. 1 Vibration signal analysis results of synchronous gearboxes

位置	振动加速度 峰值 /m·s ⁻²	峭度指标	波形指标	峰值指标	裕度指标
1	1.241 33	0.326 15	1.065 41	2.164 32	2.399 42
2	2.276 28	0.287 82	1.304 77	4.440 01	6.941 19
3	1.244 51	0.071 31	1.241 51	3.141 81	4.573 28
4	1.528 52	0.078 61	1.265 18	3.676 42	5.540 83

分析 4 台同步齿轮箱在同一工况、同一时刻的时域波形，可以得出以下结论：

- (1) 第 1 台同步齿轮箱峭度指标最大，为 0.326 15，这说明它的冲击成分明显大于其他 3 台同步齿轮箱；
- (2) 第 2 台同步齿轮箱振动幅值普遍偏大，其波形指标、峰值指标和裕度指标均最大，分别达到了 1.304 77，4.440 01 和 6.941 19；
- (3) 根据 ISO2372 振动标准，第 2 台齿轮箱振动强度属于 B 级，其他 3 台的振动强度属于 A 级。

图 4 为同步齿轮箱靠电机侧的输入轴上的频谱图，图 5 为其三维谱阵图。

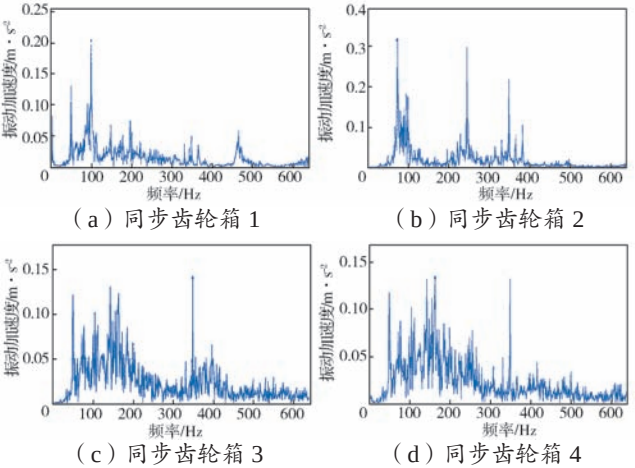


图 4 同步齿轮箱的频谱图
Fig. 4 Spectrogram of the synchronous gearboxes

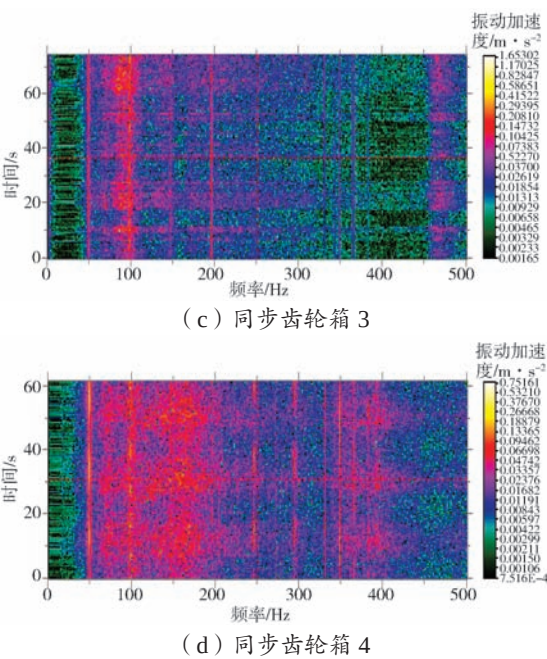
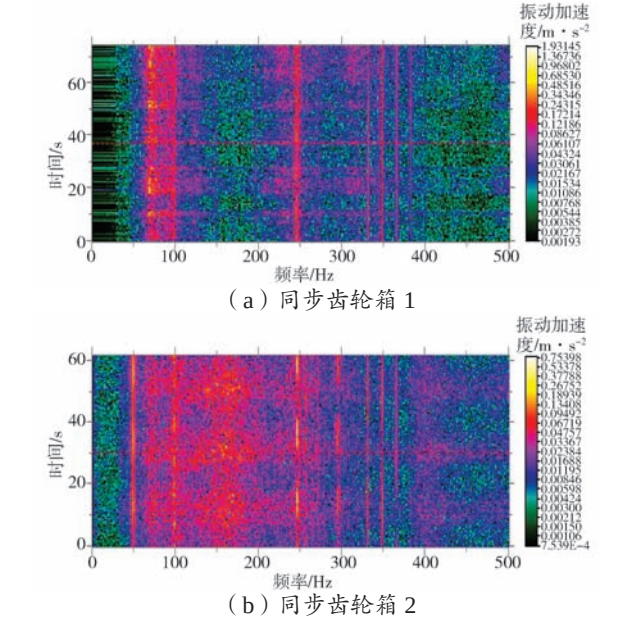


图 5 同步齿轮箱的三维谱阵图
Fig. 5 Three-dimensional spectrum array of the synchronous gearbox vibration

通过对 4 台同步齿轮箱的振动数据进行频谱分析和三维谱分析可以得出：

- (1) 4 台齿轮箱振动最大位置分别为 100 Hz, 70 Hz, 350 Hz 和 170 Hz，这些频率点有可能就是齿轮箱这个位置的共振频率；
- (2) 由三维谱阵图可以看出 2 号同步齿轮箱的振动偏大；
- (3) 从 2 号同步齿轮箱的振动谱可以看出，它的主频信号可能被一些冲击信号加载过，从而产生了边频带。

综合时域以及频域分析得知，2 号同步齿轮箱的振动明显大于其他 3 个同步齿轮箱的振动，且有冲击信号的存在，推断 2 号齿轮箱可能存在问题。最后拆开防护罩，发现同步齿轮箱靠电机侧的输入轴上的计数齿轮盘松动了，如图 6（b）。



(a) 计数齿轮盘松动前的状态 (b) 计数齿轮盘松动后的状态
图 6 计数齿轮盘松动前后的图片
Fig. 6 Pictures of the count gear plate before and after it loosening

3.2 动车台位变速齿轮箱

动车台位 4 台变速齿轮箱输入侧振动波形如图 7 所示，其振动频谱见图 8。

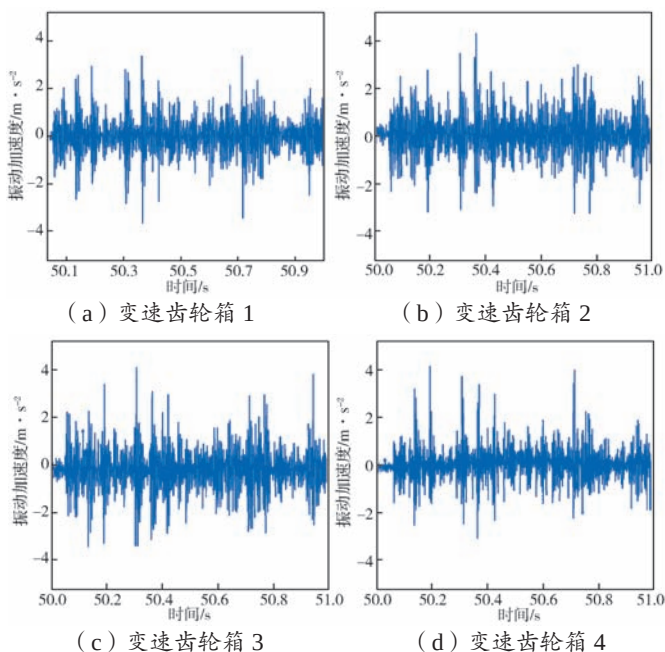


图7 变速齿轮箱的振动波形

Fig. 7 Vibration waveforms of the transmission gearboxes

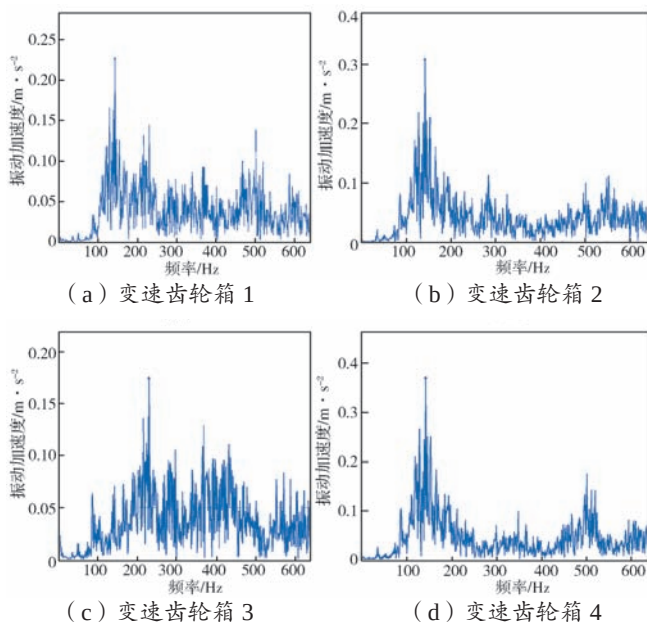


图8 变速齿轮箱的频谱图

Fig. 8 Spectrogram of the transmission gearboxes

通过时频分析可以看出, 4台齿轮箱的最大振动加速度分别为 4.2678m/s^2 、 4.2219m/s^2 、 4.4876m/s^2 、 4.1523m/s^2 , 4台变速齿轮箱的频谱形状相似、幅值相当, 通过振动信号幅值、频谱等方面的类比, 我们可以判断4台变速齿轮箱运行是正常的。

4 结语

本文通过 DASP 采集齿轮箱振动的数据, 并对所采集的数据进行时域、频谱以及三维谱阵分析, 然后在同种工况条件下对比同类型齿轮箱同位置的振动数据, 分析出齿轮箱振动的各种参数(如最大值、峭度指标、峰值指标、频谱图等), 从而辨别出齿轮箱的故障。该方法的采用, 对维护齿轮箱的正常运行起着非常大的作用。在此基础上进一步扩大齿轮箱故障的数据库, 可得到解决齿轮箱故障的最佳匹配方案。

参考文献:

- [1] 周平. 轨道交通齿轮箱状态监测与故障诊断技术 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2012.
- [2] 杜林森. 轨道车辆健康诊断系统的研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2010.
- [3] 阮腾达. CRH5 动车组传动系统故障诊断方法研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
- [4] 刘静. 同步齿轮箱初始故障在线监测与诊断专家系统的研究 [D]. 武汉: 武汉科技大学, 2009.
- [5] 清华大学工程力学系 固体力学教研组振动组. 机械振动 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [6] 雷亚国, 何正嘉, 林京, 等. 行星齿轮箱故障诊断技术的研究进展 [J]. 机械工程学报, 2011, 47(19): 59-67.
- LEI Y G, HE Z J, LIN J, et al. Research Advances of Fault Diagnosis Technique for Planetary Gearboxes [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47(19): 59-67.
- [7] 潘秀业, 潘宏侠. 齿轮箱故障诊断技术现状及展望 [J]. 测试技术学报, 2006, 20(4): 368-376.
- WEI X Y, PAN H X. Review of the Gearbox Fault Diagnosis Technology [J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2006, 20(4): 368-376.

(上接第72页)

- [2] 方云根, 曾小清, 王刚. 轨道交通列控系统共因失效分析 [J]. 上海交通大学学报, 2015(7): 1052-1057.
- FANG Y G, ZENG X Q, WANG G. Common Cause Failure Analysis of Automatic Train Control System [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2015(7): 1052-1057.
- [3] 白鑫, 王阳, 白湛. 基于 EN50126 标准的铁路联调联试安全分析 [J]. 中国铁道科学, 2011(4): 104-108.
- [4] IEC. IEC 61508 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems (Part 6, Edition 2.0) [S]. 2010.

- [5] 李红, 赵建平. 故障树法在大型冗余结构失效率计算中的应用 [J]. 仪表技术与传感器, 2012(12): 86-88.
- LI H, ZHAO J P. Application of Fault Tree Method in Reliability Calculation of Large Redundancy [J]. Instrument Technique and Sensor, 2012(12): 86-88.
- [6] 姜坚华, 张辉. 基于相异和检测技术的二取二安全平台的安全性计算 [J]. 中国铁路, 2015(9): 43-47.
- [7] CENLEC CLC/TR 50126-2:2007 Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 2: Guide to the application of EN50126-1 for safety [S]. 2007.