

- 与仿真研究[J].公路交通科技,2006,23(4):124-127.
- [3] MILANES V, PEREZ J, ONIEVA E, et al. Controller for urban intersections based on wireless communications and fuzzy logic [J]. IEEE transactions on intelligent transportation systems, 2010, 11(1): 243-248.
- [4] 曹洁,苏玉萍,吴国龙,等.城市交通信号灯两级模糊控制及仿真研究[J].交通与计算机,2007,25(1):82-85.
- [5] 李忠勤,范红刚,董金波.单交叉口交通信号的模糊控制[J].黑龙江科技学院学报,2011,21(4):306-311.
- [6] 曹艳玲,梁法明,刘孟楠,等.基于模糊决策的大型客车电动助力转向系统研究[J].郑州大学学报(工学版),2015,36(3):64-67.
- [7] 刘红红,杨兆升.基于神经网络的实时交通信号控制与仿真研究[J].交通运输系统工程与信息,2008,8(2):43-47.
- [8] 申时凯,余玉梅.模糊神经网络在信息安全风险评估中的应用[J].计算机仿真,2011,28(10):91-94.
- [9] LIN C J, CHEN C H. Identification and prediction using recurrent compensatory neuro-fuzzy systems [J]. Fuzzy set and systems, 2005, 150(2): 307-330.
- [10] 许伦辉,习利安,袁路生.孤立交叉口多相位自适应模糊控制及其神经网络实现[J].中国公路学报,2005,18(3):90-93.
- [11] 段鹏飞,段兰兰,田琦. ANFIS 在供热管网泄漏故障诊断中的应用[J]. 郑州大学学报(工学版),2014,35(4):56-60.
- [12] 赵国生,董艳艳.变电站电压无功模糊控制器的设计[J].郑州大学学报(工学版),2013,34(4):55-58.
- [13] 李晓磊,邵文江,钱积新.一种基于动物自治体的寻优模式:鱼群算法[J].系统工程理论与实践,2002(11):32-38.

Research on Intelligent Control of Traffic Signal for Five-road Intersection of Unbalanced Traffic Flow

DONG Hailong, TANG Minan, CHENG Haipeng

(School of Automation and Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to alleviate traffic congestion and reduce the time of vehicles waiting, of unbalanced intersection, this paper adopted a traffic signal control method based on artificial fish swarm algorithm, which could achieve multi-phase and variable phase sequence intelligent control at five-road intersection. Firstly, the passable urgency of a red light phase was decided according to its vehicle queuing length and the red light duration; and the highest passable urgency phase should be the next green light phase. Secondly, the current vehicle queuing length of green light phase and the difference between vehicle queuing length of the next and current green light phase were taken as the inputs. The fuzzy neural network controller was used to control delays of the green light. In order to avoid fuzzy neural network falling into local minimum, artificial fish swarm algorithm had optimized the parameters of it. After simulation studies in the case of different rates of vehicle arrival, the results showed that this method was better than the traditional control in automatically adjusting the signal cycle, which reduced the average delay of vehicles for about 7.2%.

Key words: five-road intersection; traffic signal; fuzzy neural network; artificial fish swarm algorithm; average delay of vehicles

文章编号:1671-6833(2017)01-0074-04

全矢谱技术在 WTDS 实验台故障诊断中的应用

韩 捷, 张钱龙

(郑州大学 振动工程研究所, 河南 郑州 450001)

摘 要: 针对如何准确地诊断风力发电机齿轮箱故障的问题, 从全矢谱技术理论分析着手, 在处理风力涡轮机动力传动故障诊断综合实验台实验数据的过程中, 全面介绍全矢谱技术的应用方法. 实验结果表明, 基于同源信息融合的全矢谱技术在风力涡轮机动力传动故障诊断综合实验台上, 能正确地找到预设的故障位置, 并准确地判断出故障性质.

关键词: 全矢谱; 风力涡轮机; 故障诊断

中图分类号: TH17 **文献标志码:** A **doi:**10.13705/j.issn.1671-6833.2016.04.032

0 引言

风力发电机可以有效地将风能转化为电能, 近年来逐渐受到人们的关注. 然而, 这些大型设备一旦出现故障, 将会造成巨大的经济损失. 据世界风力发电网数据, 风力发电机系统的失效率 12% 来自齿轮箱的失效^[1]. 齿轮箱的失效是导致故障时间长、维修费用高和经济效益低的主要原因, 一般其损失要占风电设备总价的 15% ~ 20%^[2]. 由于工作环境复杂, 风力发电系统齿轮箱主要在轴承和齿轮方面容易出现故障. 因此, 如何通过准确的诊断方法来提高其可靠性, 是我们需要解决的问题.

近年来, 基于信息融合的全矢谱技术在设备故障诊断中逐步显现出优越性. 目前, 郑州恩普特设备诊断工程有限公司在线监测系统用该方法实时分析电厂汽轮机、水泥厂立磨减速机等机组振动数据, 大大提高了系统可靠性; 雷文平等^[3]将其应用到转子动平衡中, 提出转子全矢动平衡法, 提高转子动平衡精度; 王植申等^[1]将其应用到风力发电系统齿轮箱轴承的故障诊断中, 并取得了较好的结果.

在风力发电机齿轮箱故障诊断中, 王植申等在判断故障所在位置时, 只通过单通道测量值简单对比得出结论, 在处理早期故障的振动数据时, 由于数据差别不大, 采用这样的直接方法是行不

通的; 在判断故障性质时没有通过与单通道数据进行对比, 证明全矢谱技术在判断故障性质时所体现出的先进性, 其主要说明了全矢谱技术能准确提取振动特征. 而笔者主要目的是以风力涡轮机动力传动故障诊断综合实验台 (wind turbine drivetrain diagnostics dimulator, WTDS) 小齿轮缺齿故障为实验对象, 在实验过程中用全矢谱计算方法处理实验数据, 通过各测点间全矢谱的横向对比来验证全矢谱技术能正确找到故障位置; 通过单个测点的全矢谱及其单通道频谱的纵向对比来证明全矢谱技术在判断故障性质上的优越性.

1 全矢谱计算方法

全矢谱算法不仅可以在平面上对同源信号进行融合, 同时还可以在三维空间进行推广^[4-5].

由于转子涡动现象的存在, 转子在旋转过程中, 其各阶频率轴心轨迹是一个椭圆. 如图 1 所示, 如果用单向传感器测量, 方向不同, 所测的各阶振幅也不同, 所以在频率结构上会产生较大误差, 进而导致故障的误判、错判.

由文献[4]可知

$$\begin{cases} X_{ci} = \frac{1}{2} [\operatorname{Re} Z_i + \operatorname{Re} Z_{N-i}]; \\ X_{si} = \frac{1}{2} [\operatorname{Im} Z_i - \operatorname{Im} Z_{N-i}]; \end{cases} \quad (1)$$

收稿日期: 2015-03-27; 修订日期: 2015-05-10

基金项目: 河南省教育厅科学技术研究重点项目指导计划资助 (13B603970.0); 河南省高等学校精密制造技术与工程重点学科开放实验室开放基金资助项目 (PMTE201302A)

作者简介: 韩捷 (1957—), 男, 河南安阳人, 郑州大学教授, 博士生导师, 主要从事设备故障机理及智能诊断技术等方面的研究和产品开发, E-mail: hj_em@163.com.

$$\begin{cases} Y_{ci} = \frac{1}{2} [\text{Im}Z_i + \text{Im}Z_{N-i}]; \\ Y_{si} = \frac{1}{2} [\text{Re}Z_i - \text{Re}Z_{N-i}], \end{cases} \quad (2)$$

式中: $X_{ci} = X_i \cos \phi_{xi}$, X_i, ϕ_{xi} 分别为离散信号 $\{x_i\}$ 的振幅和相位角; $X_{si} = X_i \sin \phi_{xi}$; $Y_{ci} = Y_i \cos \phi_{yi}$, Y_i, ϕ_{yi} , 分别为离散信号 $\{y_i\}$ 的振幅和相位角; $Y_{si} = Y_i \sin \phi_{yi}, i = 0, 1, \dots, N - 1$.

由式(1)和(2)可得出主振矢为

$$\begin{cases} R_{ak} = \frac{1}{2N} [|Z_k| + |Z_{N-k}|]; \\ R_{bk} = \frac{1}{2N} [|Z_k| - |Z_{N-k}|], \end{cases} \quad (3)$$

式中: $k = 1, 2, \dots, N/2 - 1$. 根据全矢谱运算方法得到的椭圆轨迹主振矢 R_a 和副振矢 R_b , 可以准确地知道转子故障信号幅值谱的频谱结构.

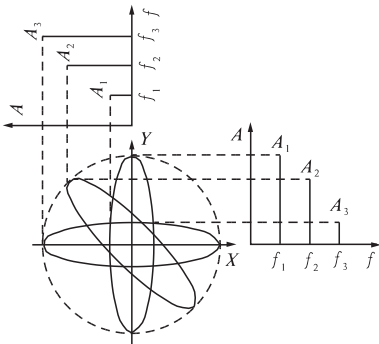


图 1 单向信号测量出不同频率结构
Fig. 1 Different frequency structures of unidirectional signal

2 实验部分

2.1 实验过程

郑州大学振动工程研究所新引进的 WTDS 实验台是专门诊断风力发电机传动系统各种故障的综合性实验台,如图 2 所示.

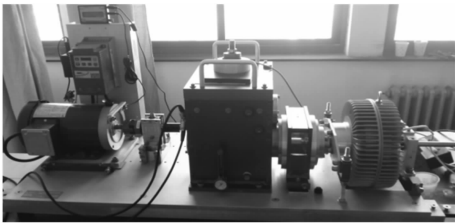


图 2 WTDS 实验台
Fig. 2 The experimental station of WTDS

WTDS 传动系统主要包括一个由套筒轴承支撑的 2 级平行轴齿轮箱、一个齿轮轴径向负载、一个 1 级行星齿轮箱和一个磁力制动器组成. 该实

验台可模拟直齿和斜齿齿轮的齿面磨损、点蚀、轮齿裂纹、断裂以及缺齿等故障,也可模拟滚动轴承内圈、外圈、滚动体故障及其耦合故障. 这些故障的模拟便于故障诊断技术和先进信号处理方法的研究. 为了使实验结果更加清晰,本次实验对象为单一的输入轴小齿轮故障.

本次实验所使用的检测设备为 PDES-E (设备状态监测与安全评价仪). PDES-E 点、巡检系统采用便携式故障诊断仪器客观准确地收集有关设备运行的各类参数,可以由仪器自带传感器直接测量多种参量信息 (如机器的振动、温度、压力、转速、流量等). 对于点、巡检仪上传的各类数据,提供各种分析统计方法,如常规的趋势分析与预测,对于采集的振动数据还可以进行波形分析、频谱分析、相关分析、功率谱分析等. 对于多通道多转子截面还可以提供全矢谱、全息谱等信息融合的方法,从而深入分析设备存在的故障原因^[6]. 根据故障特点,实验采用加速度传感器进行振动测量.

2.2 测量过程

齿轮箱的 3 根轴分别命名为:与电机端相连接的轴为输入轴;与行星齿轮箱相连接的轴为输出轴;余下的传动轴称为中间轴. 输入轴两端分别为测点 1、2,中间轴的两端为别为测点 3、4,由于输出轴的输出无法安装传感器,只在另一端设置一个测点 5. WTDS 齿轮箱和测点分布简图如图 3 所示.

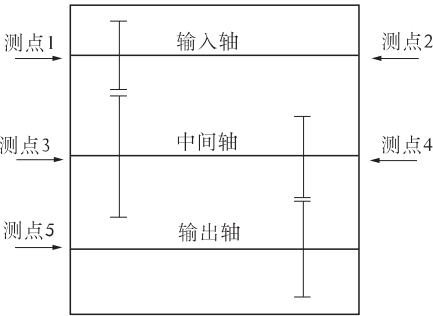


图 3 WTDS 齿轮箱和测点分布简图
Fig. 3 The gear box and the measuring points distribution diagram of WTDS

利用 PDES-E 中加速度传感器对 5 个测点进行振动信号采集,采集过程中由于实验台的原因,在每个测点安装传感器时,并不能保证两个通道是绝对的水平与竖直方向,但两通道始终保持着垂直关系,如图 4 所示.

在下文中所指的水平方向 x 信号和竖直方向

y 信号都是相对的,并非绝对的. 齿轮箱一级减速齿数比为 100/29,二级减速齿数比为 90/35,输入轴转速为 3 600 r/min,即旋转频率为 60 Hz,则中间轴和输出轴的旋转频率分别为 17.4 Hz 和 6.8 Hz. 采样频率为 7 680 Hz,采样点数为 4 096. PDES-E 测得各测点 x 和 y 信号,对测得的数据进行处理,得到各测点信号频谱图如图 5~7 所示.

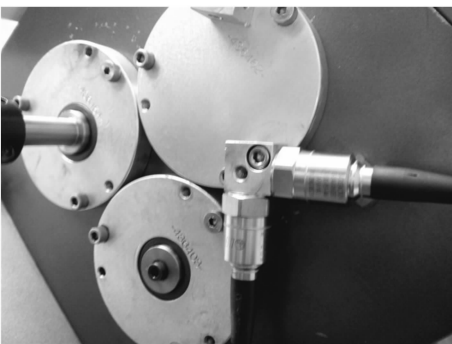


图 4 传感器安装位置

Fig. 4 Sensor installation location

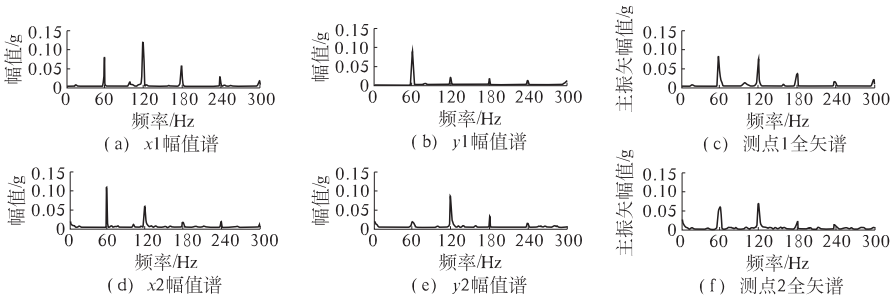


图 5 输入轴测点 1,2 幅值谱和全矢谱

Fig. 5 The amplitude spectrum and full vector spectrum of input shaft measuring points 1,2

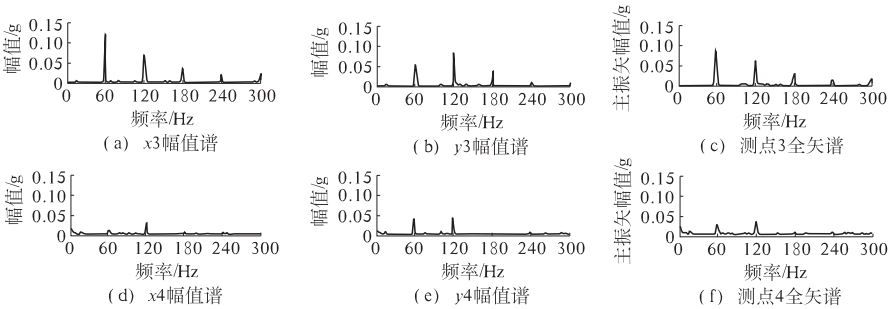


图 6 中间轴测点 3,4 幅值谱和全矢谱

Fig. 6 The amplitude spectrum and full vector spectrum of intermediate shaft measuring points 3,4

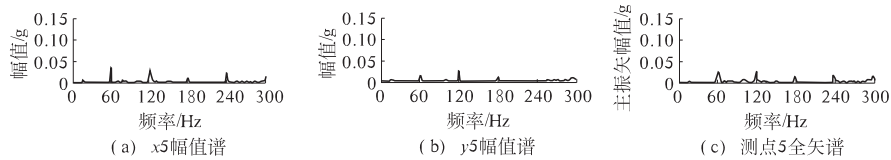


图 7 输出轴测点 5 幅值谱和全矢谱

Fig. 7 The amplitude spectrum and full vector spectrum of output shaft measuring point 5

对各测点振动幅值进行分析:图 5 中输入轴两端测点 1 和 2 振动幅值较大;图 6 则可以看出中间轴两端测点 3 振动幅值较大,而测点 4 振动幅值就比较小;图 7 中测点 5 的振动比较小,与测点 4 的振动比较类似. 这主要是因为测点 1、2 和 3 振幅比测点 4 和 5 大,结合图 3 测点分布,由振动的能量传递关系可知,可能是输入轴或者中间轴部件出现故障. 横向对比:对比测点 1、2 和 3 的

x 或 y 单通道幅值时,单从各测点单通道幅值谱分析,比较 3 个测点 x 通道振幅和 y 通道振幅大小时会判断出不同的故障位置,造成误判;对比测点主振矢大小,1 和 3 测点振幅比测点 2 大,可推测是输入轴和中间轴大小齿轮啮合时出现故障,准确判断出故障位置. 5 个测点频谱图有一个共同点就是分别在频率为 60、120 和 180 Hz 处有比其他频率较大的振动幅值,输入轴频率又为 60

Hz,因此可推断输入轴小齿轮出现故障.要判断出故障性质,还需对测点1的信号振动特征作进一步分析.纵向对比:图5中, x_1 通道二倍频振幅大于一倍频是转子平行不对中的故障特征; y_1 通道具有强烈的一倍频能量,属于转子不平衡的故障特征,同一个位置的测点得出两种不同的故障,故出现误判.而对比分析测点1的主振矢特征,以输入轴的转频及其高次谐波有较大的振幅并且振动冲击逐渐减小,是典型的齿轮缺齿或局部断裂故障特征.综上,通过全矢谱分析,可判断该故障是输入轴小齿轮缺齿故障,这与实验所用的小齿轮相吻合.从上述实验结果可以看出,在WTDS实验台上,单独以单通道振动特征判断故障所在的位置及其性质与实验所用的小齿轮缺齿故障是有差别的,而在该实验中利用全矢谱技术所判断出的故障位置与性质和实验预设故障是相符的.

3 结论

笔者简单介绍了全矢谱的快速计算方法,并分别通过在WTDS实验台上运用单通道测量与基于同源信息融合的全矢谱技术,对比发现:基于同源信息融合的全矢谱技术在WTDS实验台上

能正确地找到预设的故障位置,并准确地判断出故障性质.同时,上述实验也证明了运用全矢谱技术的WTDS实验台可以作为大型风力发电机组齿轮箱故障诊断的实验平台,为机组故障诊断提供现场应用.

参考文献:

- [1] 王植申,韩捷,陈宏,等.基于全矢谱的风力发电系统齿轮箱的故障诊断研究[J].机械设计与制造,2011(11):109-111.
- [2] AMIRAT Y, BENBOUZID M E H, AI-AHMAR E, et al. A brief status on condition monitoring and fault diagnosis in wind energy conversion systems [J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2009 (13): 2629-2636.
- [3] 雷文平,韩捷,陈宏,等.全矢动平衡方法及其实验研究[J].中国工程机械学报,2011,9(1):103-107.
- [4] 韩捷,石来德.全矢谱技术及工程应用[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [5] 韩捷,张瑞林.旋转机械故障机理及诊断技术[M].北京:机械工业出版社,1997.
- [6] 李小丽. PDES 设备安全评价点巡检系统在漳村煤矿的应用[J].煤,2011,20(12):52,91.

The Application of Full Vector Spectrum Technology in Fault Diagnosis of WTDS Experimental Platform

HAN Jie, ZHANG Qianlong

(Institute of Vibration Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to accurately diagnose the wind turbine gear box fault, the application of full vector spectrum was fully introduced in an experimental data processing of wind turbine drivetrain diagnostics simulator (WTDS). The result showed that full vector spectrum technology which based on homologous information fusion could find the correct preset fault location and accurately determine the nature of the fault on WTDS.

Key words: full vector spectrum; wind turbine; fault diagnosis