

转子测量面形状误差对振动测量的影响

张西宁, 温广瑞, 刘玉柱

(西安交通大学机械制造系统国家重点实验室, 710049, 西安)

摘要: 为了有效地识别振动信号中存在的虚假信号, 采用全息谱方法对具有时间延迟和相位延迟的理想测量面和典型测量面形状误差转子的振动信号进行了理论分析和试验研究. 同时, 分析并讨论了两种情况下测量面形状误差引起的虚假振动信号对实际振动信号的影响, 总结了两种情形下的振动和全息谱特征, 得到了具有测量面形状误差的转子振动信号特征. 通过试验和现场数据验证结果, 与理论分析结果一致, 从而为现场转子测量面形状误差的诊断提供了新的识别理论和方法.

关键词: 转子; 振动; 形状误差; 测量面; 全息谱

中图分类号: TB533 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)01-0070-03

Influence of Shape Error of Rotor Measurement Section on Vibration Testing

ZHANG Xining, WEN Guangrui, LIU Yuzhu

(State Key Laboratory for Manufacturing Systems Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: To effectively identify the illusory components in vibration signal, both rotor vibration signal of rotor with ideal shape at measurement section and illusory signal generated due to the typical shape error at measurement section are analyzed to summarize the signal characteristics adopting holospectrum method. Simultaneously, the influences on real vibration signal from shape error at measurement section and the characteristics of real vibration signal of rotor are discussed. The results are verified by the analysis of experimental and practical signals to provide a new method for actual monitoring and diagnosis of rotary machinery.

Keywords: rotor; vibration; shape error; measurement section; holospectrum

大型回转机械作为国民经济各支柱产业中的关键设备, 对其进行监测和诊断具有重要的意义. 回转机械的监测中常用的电涡流型传感器可直接测量转子表面到传感器端面之间的距离, 因此直接反映了转子相对于轴承座的振动情况. 目前, 工业中常采用双传感器垂直安装的方式来获得转子的运动信息, 并依此诊断存在的故障^[1].

采用位移信号对回转机械进行正确的监测诊断, 是基于测量面截面形状是理想圆这一假设条件, 如果测量面上存在形状误差, 由该误差引起的虚假信号会叠加到转子的真实振动信号上, 严重时会引起监测中的虚警或导致错误的诊断结论^[2]. 因此, 研究由误差产生虚假信号的特征和识别具有重要的意义.

1 回转机械振动信号分析

当不考虑转子轴向串动时, 转子的测量截面一方面匀速自转, 另一方面中心沿着振动轨迹运动, 截面中心绕轨迹运动一周, 转子截面也自转了 360°. 相对于某一传感器来说, 测量截面上的各点依次通过传感器, 当测量截面是理想的圆时, 传感器的输出信号就是测量截面中心点的信号.

由相互垂直的传感器信号构成的全息谱, 完整地反映了转子的运动, 是回转机械监测和诊断的最重要手段^[3], 不同倍频分量全息谱椭圆的大小和形状等都是故障分析的依据. 表 1 给出了各倍频分量的特征和所反映的信息^[4].

表1 转子振动信号的特征和反映的信息

振动量	转子信息	全息谱特征
直流	转子位置	
1倍频	安装偏心、失衡和弯曲等	1倍频椭圆比较圆
2倍频	裂纹,转子连接不对中	2倍频椭圆比较圆
3倍频	不对中,动静碰磨	
4倍频	不对中等	4倍频椭圆比较扁
≥ 5 倍频	动静件间的碰磨等	各倍频分量存在

2 测量截面形状误差影响的分析

假设转子没有振动,对测量截面形状误差引起的虚假信号进行讨论,这时由水平和垂直方向测量到的信号,反映了转子测量截面半径沿圆周的变化.本节将分椭圆和三棱形截面的情况进行讨论.

2.1 椭圆形测量截面的分析

当测量截面形状是理想的椭圆时(如图1所示),沿转子截面一周存在着2个高点和2个低点,显然由传感器测到的信号在转子旋转一周时变化了2个周期,证明这2个周期的变化并不是按照三角函数规律而变化的.因此,椭圆形状的测量截面在传感器上会产生转频的2倍频、4倍频和6倍频等偶数倍频分量.在以上各虚假分量中,主要影响的是2倍频分量,其余的倍频分量幅值较小.

假设传感器安装方式为 0° 和 90° ,2个传感器信号除了相互之间有时间上的延迟外,其他按照相同的规律变化.时间延迟和相位延迟分别为

$$\tau = \pi / (2\omega) \quad (1)$$

$$\theta = \tau X\omega = X\pi/2 \quad (2)$$

式中: ω 是转子的转动角速度; X 表示倍频数.延迟时间相当于转子转过 90° 时所需的时间,显然延迟时间对所有的分量来说是相同的,但不同倍频分量的相位延迟却不同.2个传感器信号的2倍频分量间的相位相差 180° ,4倍频分量间的相位相差 360° ,高倍频相位差可依此类推.需要注意的是这里的2个传感器信号之间并不是希尔伯特信号关系.

在全息谱上2倍频椭圆为一条经过2、4象限的直线,4倍频椭圆为经过1、3象限的直线,其他高倍频椭圆依此类推.图2是理想的椭圆形截面的全息谱图.

2.2 三棱形测量截面的分析

当测量截面形状是三棱形时(如图3所示),转

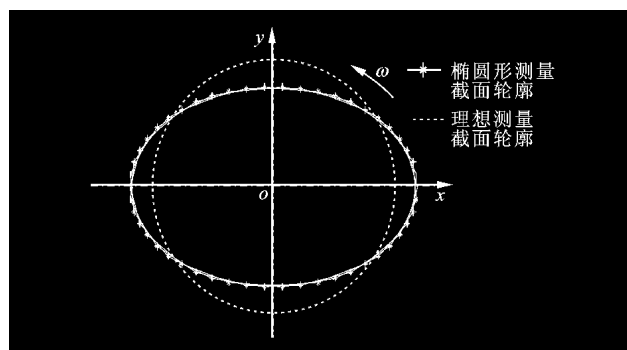


图1 模拟椭圆的测量截面形状

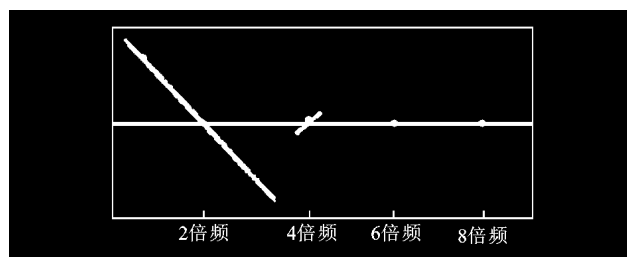


图2 椭圆形测量截面的全息谱图

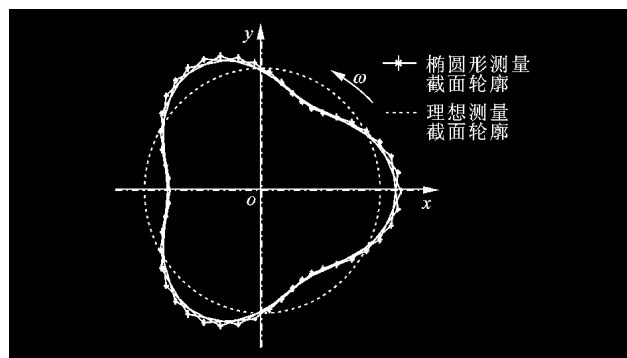


图3 模拟三棱形的测量截面形状

子截面一周存在3个高点和3个低点,传感器测量到的信号在转子旋转一周时变化3个周期,同样该变化也不是按照三角函数规律变化的.因此,三棱形测量面在传感器上会产生3倍频分量、6倍频分量、9倍频分量等3的整数倍频分量.在以上各虚假分量中,3倍频分量比较显著,其余的倍频分量幅值相对较小.假定2个传感器在 0° 和 90° 上安装,其输出信号间的关系与椭圆截面的情况相同,因此2个传感器信号的3倍频分量间的相位相差 270° ,6倍频分量间的相位相差 180° ,9倍频分量间的相位相差 90° ,其他高倍频依此类推.同样,需要注意的是这里的2个传感器信号之间也不互为希尔伯特信号.

在全息谱上,3倍频椭圆为反向进动的圆,6倍频椭圆为一条经过2、4象限的直线,其他高倍频椭圆依此类推(见图4).

2.3 任意形状测量截面的分析

实际测量面的形状比较复杂,但由测量面形

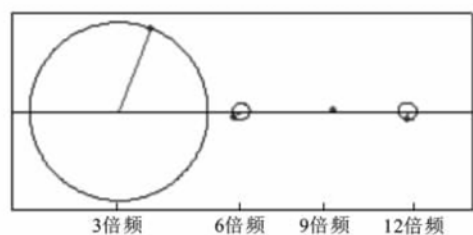


图4 三棱形测量截面的全息谱图

状误差形成的虚假信号一定是以转频为周期的,其基频实际上反映了几何中心相对于旋转中心轴线的偏移量。2、4、6等偶数倍频分量反映了测量截面的椭圆形程度,其中以2倍频分量为代表;3、6、9等3的整数倍频分量反映了测量截面的三角形程度,其中以3倍频分量为代表;4、8、12等4的倍频分量反映了测量面的4边形程度,其中以4倍频分量为代表。其余的截面形状可依此类推。采用相互垂直的2个传感器来测量时,2个传感器的信号变化相同,变化规律参见式(1)和式(2)。

3 测量面形状误差的识别和验证

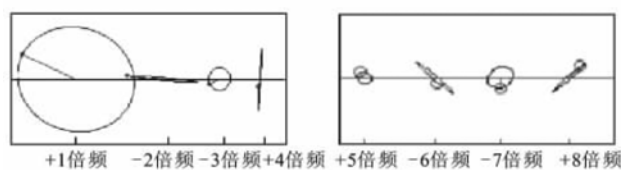
当回转机械测量截面存在形状误差时,垂直的2个传感器的输出信号会存在一定的时间延迟,考虑实际振动的影响,时间延迟现象的显著程度也会发生变化。另外,2个真实振动信号有时也会出现时间延迟的现象,但在全息谱上由于存在固定延时,因此会导致不同的倍频分量之间存在着相位差。如果在全息谱上出现偶数倍频的椭圆比较扁(或是直线),而奇数倍频的椭圆比较圆的现象,同时相邻的偶数倍频扁椭圆(或直线)的长轴方向是相互垂直的,就可推断存在椭圆形、三棱形等测量面的误差。

图5是在工业现场测量到的转子测量面上存在三棱形误差时的全息谱图^[5],各倍频椭圆的形状等完全符合本文前3节分析的规律。为了进一步进行验证,在试验台转子上加工了椭圆形和三棱形轴段面,并进行了试验。图6和图7分别给出了椭圆形截面、三棱形截面图和试验测试信号的全息谱图。其中,椭圆形截面试验的转速为2 824 r/min,三棱形截面的试验转速为2 704 r/min。虽然试验测试信号中除了测量面形状误差产生的虚假振动信号外,还包含了转子的振动信息,但是从图7全息谱图上仍可明显看出存在测量面形状误差时的特征,即扁椭圆(或线)与圆相间,相邻偶数倍频扁椭圆的长轴方向相互垂直。试验中,信号各倍频分量间的相位差和

椭圆偏心率见表2。

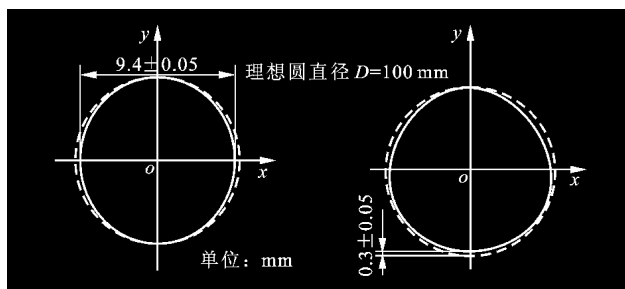
表2 测量面形状误差试验的全息谱图参数

频率倍数	椭圆形截面		三棱形截面	
	相位差/(°)	偏心率	相位差/(°)	偏心率
1	69.74	0.68	72.39	0.73
2	198.98	0.17	192.59	0.11
3	242.85	0.56	246.56	0.65
4	341.38	0.16	319.73	0.36



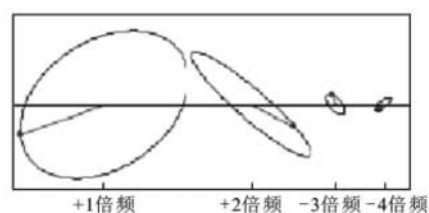
(a) 1~4 倍频 (b) 5~8 倍频

图5 实际信号的二维全息谱图

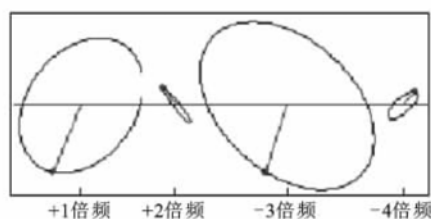


(a) 椭圆形测量截面 (b) 三棱形测量截面

图6 试验中转子的测量截面形状



(a) 椭圆形状



(b) 三棱形状

图7 测量面形状误差试验的全息谱图

4 结 论

本文研究了在典型测量面形状误差情况下所产生的虚假转子振动信号的特征及其全息谱特征,给出了在垂直安装的传感器上所产生的虚假信号间的时间延迟和相位延迟,揭示了虚假信号在全息谱上形成的扁椭圆(或线)与圆相间、相邻偶数倍频扁椭圆在长轴方向相互垂直的规律.通过测试信号和实际机组信号的试验分析,验证了虚假信号间的延时特征和全息谱特征,并可应用于对测量面形状误差的识别.

参考文献:

[1] 李宵,裴树毅,屈梁生.全息谱技术用于化工设备故障

诊断[J].化工进展,1993(4):33-37.

LI Xiao, PEI Shuyi, QU Liangsheng. The practice of machinery diagnosis in chemical plant via holospectrum [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 1993(4):33-37.

[2] QU Liangsheng, CHEN Yuedong, LIU Xiong. Discovering the holo-spectrum [J]. Noise & Vibration Control Worldwide, 1989, 20(2): 58-63.

[3] 刘石.基于全息谱技术的柔性转子动平衡新方法[D].西安:西安交通大学机械工程学院,2005.

[4] 屈梁生,何正嘉.机械故障诊断学[M].上海:上海科学技术出版社,1986:132-135.

[5] 吴松涛.大机组现场动平衡原理与技术[D].西安:西安交通大学机械工程学院,2003.

(编辑 管咏梅)