

试建立基于检测振动加速度信号的设备故障部位诊断模型

刘红星¹ 左洪福¹ 姜澄宇¹ 屈梁生²

¹(南京航空航天大学民航学院, 南京, 210016)

²(西安交通大学, 西安, 710049)

TRYING TO ESTABLISH PATTERNS FOR LOCATING A MACHINE FAULT
BASED ON MEASURING VIBRATIONAL ACCELERATIONS

Liu Hongxing¹, Zuo Hongfu¹, Jiang Chengyu¹, Qu Liangsheng²

¹(Civil Aviation College, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016)

²(Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049)

摘要 往复式压缩机、内燃机等复杂设备,一旦出现故障,诊断的首要任务是要判断它们的故障部位。以检测振动加速度信号取代传统的耳听手摸的经验方法是这类设备诊断的一个趋势。尝试着提出了基于检测振动加速度信号的设备故障部位诊断模型——单特征模型和多特征集成模型。通过在往复式压缩机和内燃机上的实例验证表明,提出的单特征模型和多特征集成模型具有一定的可行性,其中多特征集成模型比单特征模型更有效。

关键词 故障部位 诊断 加速度

中图分类号 TH406.5, TK407

Abstract Once a complicated machine such as a reciprocating compressor or a combustion engine malfunctions, it is most important to locate the fault in it. This paper introduces two patterns to judge the fault position, which are based on measuring vibrational accelerations. With the real examples on a reciprocating compressor and a combustion engine, the two patterns proposed were verified to be feasible to some extent, and the multiple-feature based pattern was more effective than the one-feature based pattern.

Key words fault position, diagnosis, acceleration

具有多部件和多种运动的复杂机械设备,如往复式压缩机、内燃机等,它们一旦出现故障,诊断的首要任务是要判断它们的故障所在的部位。传统的在强背景噪声和振动下的耳听手摸的纯经验判断方法是原始的粗糙的,费时又费力且常出现误判。安装多传感器提取如温度、压力、振动等多种信息,再综合利用这些信息建立模型进行判断的方法,往往投资过高且难以在多台设备上铺开应用^[1,2]。目前可望在实际中推广使用的方法是:仅从设备表面上拾取振动加速度信号,再充分提取加速度信号的各种特征参数,然后利用这些特征参数建立故障部位判断模型进行判断。本文拟基于设备各部位拾取的加速度信号的若干种特征参数,提出简单而又有一定实用意义的故障部位判断模型。

1 故障部位判断的模型

(1)基本假设 若一设备出现了故障,现要判断它的故障部位。先假设:¹ 该故障仅有可能在设备的N个部位范围内发生;⁰ N个部位中有2个

部位同时出现故障的情况为小概率事件;» 各部位的加速度信号是在各部位的状态敏感点拾取;¼ 设备状态不变,各部位拾取的加速度信号特征不变;½ 设备某部位出现故障,该部位加速度信号各特征较其正常情况的变化比其他部位特征各自正常情况的变化大。

(2)基于单特征参数的判断模型 若对设备出现故障时从机壳上拾取的N个可能故障部位的振动加速度信号均提取同样的某种特征指标,这时这N个部位信号的特征指标可构成一向量

$$F = [f_1 \ f_2 \ \dots \ f_N]$$

其中: f_j 为对应于第j个部位的加速度信号的特征指标。

假设设备处于正常工况条件下以上N个部位加速度信号的该种特征指标向量为

$$O = [o_1 \ o_2 \ \dots \ o_N]$$

其中: o_j 为正常工况下对应于第j个部位的加速度信号的特征指标。

由上面的向量F和O可得另一向量

$$M = [m_1 \ m_2 \ \dots \ m_N]$$

其中: $m_j = \frac{f_j - o_j}{\sum_{i=1}^N (f_i - o_i)}$

以上M的各元素之和为1,它是基于上述基本假设的一个基本概率分配函数,或称为一个mass函数,各元素的物理含义是其对应部位出现故障的信度。若有

$$m^k = \max(m^1, m^2, \dots, m^N) \quad (1)$$

即部位k出现故障的信度最大,则确定部位k为此特征参数判断出的故障部位。

(3)多特征参数的集成判断模型 每算出各部位加速度信号的一种特征参数,利用上节的方法和式(1),就可以给出故障部位的一个判断。由于单个特征参数反映的信息不全面,再加上各种随机因素,因此基于它作出的判断常出现误判。为了提高故障部位判断的准确率,可以将依据多个特征参数作出的多个判断进行集成。

若从各部位加速度信号中均提取了相同的L种特征参数,利用上节公式,由它们可得到相应的L个mass函数,即L个判断;这些mass函数构成一个矩阵

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1N} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{L1} & m_{L2} & \dots & m_{LN} \end{bmatrix}_{L \times N}$$

其中: m_{ij} 为用第i个特征参数求得的第j个部位的mass函数值。

基于 Dempster-Shafer 推理合成公式^[3,4],可以将占据矩阵M不同行的mass函数进行合成。合成后的新的mass函数设为向量

$$M_M = [M_1 \ M_2 \ \dots \ M_j \ \dots \ M_N]$$

其第j个元素为

$$M_j = \prod_{i=1}^L m_{ij} \bigg/ \sum_{k=1}^N \prod_{i=1}^L m_{ik} \quad (2)$$

表1 二级排气出现异常前后4个二级排气阀信号频域的两特征指标

二级排气 工况	排气阀1		排气阀2		排气阀3		排气阀4	
	谱重心频率	谱熵	谱重心频率	谱熵	谱重心频率	谱熵	谱重心频率	谱熵
正常	0.3977	0.8106	0.5211	0.7484	0.4971	0.8443	0.4958	0.8525
异常	0.3017	0.6973	0.5265	0.7696	0.4546	0.7736	0.3997	0.8483

表2 各排气阀的mass函数值

	排气阀1	排气阀2	排气阀3	排气阀4
按谱重心频率建立的mass函数	0.4002	0.0222	0.1774	0.4002
按谱熵建立的mass函数	0.5409	0.1015	0.3374	0.0202
用公式(2)合成的总mass函数	0.7551	0.0079	0.2088	0.0282

从表2可推知是排气阀1出现了故障——这与实际情况是相符的,实际情况是排气阀1的阀

其中: m_{ij} 为第i个特征参数求得的第j个部位的mass函数值;L为特征参数个数;N为可能的故障部位个数。

向量 M_M 的各元素之和也为1,它是由各单个特征参数确定的mass函数合成的总的mass函数,其含义是基于多特征参数的各部位出现故障的信度。同样,如果 $M_k = \max(M_1, M_2, \dots, M_N)$, 即部位k出现故障的信度最大,则确定部位k为由多特征参数判断的故障部位。

2 工程应用实例

作者在本文采用了经使用认为较好的信号频域的两特征指标——谱重心频率和谱熵^[5],下面的实例就是基于这两个指标的。

(1)在往复式压缩机故障气阀识别中的应用 往复式压缩机气阀出现故障时,常可以根据温度和压力等二次仪表初步判断是哪一级气阀出现了故障;但是,同级的气阀往往有好多个,到底是哪一个出现了故障,这凭经验是很难判断的。下面是某L-20/8型空气压缩机二级排气出现异常时,基于检测振动加速度信号并计算其谱重心频率和谱熵参数,对二级排气阀中的故障气阀进行判别的实例。

表1列出了压缩机二级排气出现异常前后、分别从4个二级排气阀阀盖拾取的振动加速度信号频谱的2个特征指标。表2列出了分别用谱重心频率和谱熵两个特征参数根据1.2节的方法建立的mass函数值及利用式(2)合成后的总mass函数值。

片出现折断。可以看出,不管直接用单个指标建立的mass函数对故障气阀进行判断还是用合成的总mass函数进行判断,都有一定的判断力;但显然利用公式(2)推理的结果更令人满意。

(2)内燃机故障部位判别的实验 在一台4-135型内燃机上模拟了某进气门间隙过大故障。气门均分布在缸头部位,一般认为,气门故障会在缸头的振动中反映明显,而活塞环磨损等故障会

在缸壁的振动中反映明显。在模拟故障前后分别采集缸头缸壁两部位的振动信号,提取各信号频域的谱重心频率和谱熵两特征指标,然后照例建立基于单特征的 mass 函数并合成总的 mass 函数。表 3 列出了获得的缸头缸壁的各 mass 函数值。显然,缸头部位的 mass 函数值大于缸壁,即缸头部位出现故障的信度大,这与进气门有故障是一致的。还可以看出,根据合成的总 mass 函数值判断效果更好。

表 3 缸头缸壁的 mass 函数值

	缸头	缸壁
按谱重心频率建立的 mass 函数	0.6089	0.3911
按谱熵建立的 mass 函数	0.9051	0.0949
用公式(2)合成的总 mass 函数	0.9369	0.0631

3 结 论

通过例证说明,本文试提出的基于检测振动加速度信号的设备故障部位诊断模型具有一定的可行性。多特征参数的集成判断模型比单特征判断模型更有效。

由于实际情况的复杂性,本文的基本假设有时可能满足不了,这时本文的诊断模型的使用可能会遇到困难。但不管怎样,本文的模型和方法与

传统的耳听手摸的凭经验诊断模式相比无疑是一个进步。

参 考 文 献

- 1 Bogler P L. Shafer-dempster reasoning with applications to multisensor target identification systems. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1987, 17(6): 968~977
- 2 Luo R C, Kay M G. Multisensor integration and fusion in intelligent systems. IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics, 1989, 19(5): 901~931
- 3 Zhu Q, Lee E S. Dempster-shafer approach in propositional logic. International Journal of Intelligent Systems, 1993, 8: 341~349
- 4 张文修,梁怡著.不确定性推理原理.西安:西安交通大学出版社,1994
- 5 刘红星,林京,等.FFT 谱熵及其在机械诊断中的应用.中国机械工程,1997, 8(6): 157~159



刘红星 男,1968 年生,南京航空航天大学博士后,研究领域为机械监测与诊断。

- 左洪福,男,1959 年生,南京航空航天大学民航学院教授。
姜澄宇,南京航空航天大学教授、博导。
屈梁生,西安交通大学教授、博导。

第六届全国流体弹性力学学术交流会在深圳召开

由中国航空学会、中国力学学会、中国空气动力学会、中国水利学会、中国船舶工程学会联合举办的“第六届全国流体弹性力学学术会议”,作为'98 珠海航空学术交流会之一,于 1998 年 11 月 15~19 日在深圳市召开。崔尔杰(本届会议执行主席)、周盛、杨永年、唐敏中、贺长胜、冯明溪等会议组委会委员主持了这次会议。中国科学院院士童秉纲教授应邀到会并做学术报告,出席这次会议的 40 多名人员,分别来自中科院、航空、航天、船舶等部门的研究设计单位和有关高等院校,既有这个科学领域中极有影响的学者,也有各工程领域应用研究第一线的专家。会议发表(包括书面发表)的学术论文 35 篇,在内容上集中于两大主题,即“非定常气动力和水动力”和“气弹性与水弹性”,包括流体弹性力学的基本理论、数值计算(含工程方法)和实验技术,从不同角度反映国内流体弹性力学的研究方向,研究水平、最新成果及其在航空、航天、水利水电、船舶、海洋工程、核工程等工程技术和科学领域中的广泛应用。

会议建议由中国力学学会流固耦合专业委员会牵头,5 学会联合,在跨入 21 世纪的 2000 年召开“第七届流体弹性力学学术会议”。

会议期间组织全体代表参观了'98 珠海国际航空航天博览会。

(李铁柏)