

# 机械传动电机轴承故障信号诊断仿真研究

龙凤起

天津龙创恒盛实业有限公司, 天津 301600

**[摘要]**在以往的经验模态分析中存在着模态化,无法完全提取故障的特点,而原支持向量机、以及作为相关向量机的诊断方法的核心函数的选取并不灵活且由于结构较复杂,容易出现识别效果低下的问题。因此本文提供了一个根据变分模态分析中样品的劣变情况和混合布谷鸟来改进 M-RVM 中的机械传动电动机轴承故障诊断的新方案。第一步, VMD 通过分析故障信息,获得多个子序列。接着,通过对其中的活性成分进行过滤,获取了样品中腐烂的构成故障特征向量;最后,再将特征向量注入基于混合鸽尾算法优化后的 M-RVM 故障诊断模块,正确识别马达的动作状态。仿真结果使得人们能够更精确检测发电机轴承的故障状况。和以往的分析诊断法比较,轴承故障识别检测性能大大提高,对应于实际工程有着重要意义。

**[关键词]**机械传动; 电机轴承; 故障信号诊断; 仿真研究

DOI: 10.33142/aem.v4i2.5434

中图分类号: TP18;TH133.3

文献标识码: A

## Simulation Research on Bearing Fault Signal Diagnosis of Mechanical Transmission Motor

LONG Fengqi

Tianjin Longchuang Hengsheng Industrial Co., Ltd., Tianjin, 301600, China

**Abstract:** In the previous empirical modal analysis, there are the characteristics of modal, which can not completely extract the fault. However, the selection of the original support vector machine and the core function as the diagnosis method of correlation vector machine is not flexible, and due to the complex structure, it is easy to have the problem of low recognition effect. Therefore, this paper provides a new scheme to improve the bearing fault diagnosis of mechanical transmission motor in M-RVM according to the deterioration of samples in variational modal analysis and hybrid cuckoo. In the first step, VMD obtains multiple subsequences by analyzing fault information. Then, by filtering the active components, the rotten fault eigenvector in the sample is obtained; Finally, the feature vector is injected into the M-RVM fault diagnosis module optimized based on the hybrid dovetail algorithm to correctly identify the action state of the motor. The simulation results enable people to detect the fault condition of generator bearing more accurately. Compared with the previous analysis and diagnosis methods, the performance of bearing fault identification and detection is greatly improved, which is of great significance in practical engineering.

**Keywords:** mechanical transmission; motor bearing; fault signal diagnosis; simulation study

### 引言

机械旋转轴承的正常管理工作状况,影响着机械传动电机的日常工作安全和寿命。经科学研究证实,机器设备故障的约百分之三十都是由机械旋转轴承造成的,轴承正常高效平稳管理工作的重要性很大。但因为电动机的复杂工作环境和机构,轴承故障谐波信息通常以非平稳性、非线性表示,因此故障特征的获取就更加困难,信号与噪声也相应减弱,影响了电动机的轴承故障状态识别率。要改善电机的管理工作特性,就需要充分获取故障信号的特性,以实现准确认识电机正常管理工作状况的目的。所以,怎样通过迅速、正确地获取故障信息的特性,从而准确认识电动机轴承的故障状况,是专家和研究者共同关注的问题。作为最具代表性的自适应时间频谱分析之一,将传统的经验模态分析应用于非线性非平滑信号的故障特征提取。不过,因为 EMD 系统采用求包络线的方式,导致谐波信息分量不连续,且经过多次分析后增大包络线上的估计偏差,模态混叠现象更加严重,特征提取不足。为解决这种问题,在本文中给出了变分模态分析的方式。用这种

方法开展信号的自适应分析,可以成功地处理 EMD 的模态混叠现象,从而降低了端点效应,并可以研究电机轴承类型的运行状况。当以不同类型的故障动作状态完成特征提取之后,就必须使用更高功能的多分类器实现对故障问题动作状态的辨识。支持向量机和相关向量机可以应用于故障诊断。

### 1 电机轴承故障诊断系统模型

#### 1.1 电机轴承故障诊断系统模型概述

在故障综合诊断系统的模块建设中,先对所收集到的原始信息进行故障特征提取,并针对以往的 EMD 和小波等信息分析不完整、模态混叠等问题,再采取将 VMD 与采样熵信息结合的方式与传统方法比较,得出信号特点分析结论。然后,再结合故障诊断的算法,正确识别马达的动作状态。针对 SVM、RVM 等检测计算核心参数的选取难、结构复杂等问题,采用了适应于本研究场景的多类型相关向量机实现轴承类型故障诊断。终于,通过运用混合布谷鸟优化算法进而修改了诊断模型,并充分提炼故障特点,从而实现了精确识别发电机故障原因的目的,从而得出正确判断结论<sup>[1]</sup>。

## 1.2 电机轴承故障振动信号特征

提取机械驱动马达的振荡信息中,含有可以表示发电机工作状况的信息。利用分解旁路信息,能够有效地减少原始数据复杂度,同时可以获得当前正在发生的故障状态特点。传统 EMD 的分析出现了模态混叠问题,严重影响特征提取效率。而 VMD 可以通过执行在不同分量顺序中的自适应分割来解决这样的困难问题。所以,在本说明书中,使用了 VMD 对轴承的振动信号执行了自适应性分析,以获取故障特征。

## 1.3 电机轴承故障分类研究

随着模型辨认的进展,如 SVM、RVM 等智能故障问题判断方式也在多故障辨识应用领域中获得了很好的运用。但由于传统的 SVM 算法将系数正则化,核函数取值并不很灵活性,轻故障问题的精确辨识也比较难。而用作二值分类器的 RVM 在处理更多类型问题时需求扩大,将面临累积偏差、结构变化等更复杂的问题。为此,本文选取了基于 RVM 提出的 M-RVM 方法来建立划分模式,并充分发挥了 M-RVM 建模的间歇性高、对核函数的影响小、广义能力高的优势,使用多概率似然函数直接进行多故障划分。在 M-RVM 算法诊断中,通过选择核函数参数影响了判断效率。采用导入混合鸽算法实现了基于 M-RVM 参数优化的故障问题分析,并能够提高检测准确度和运算效果。

## 1.4 电机轴承故障诊断原理模型

综上所述,文章中给出了一个通过结合 VMD 分解样本更新补丁和混合鸽鸟来改进 M-RVM 的马达故障诊断更新方案。利用组合 VMD 和采样块来进行信息特征提取,并构成特征向量,有助于改变传统信号分析的模态混叠、以及信息特性不易于分类的缺陷问题。除利用混合鸽算法优化 M-RVM、识别马达的运行状况、改进故障诊断的有效性 with 精度之外,还可以利用 M-RVM 的模式进一步提高诊断效率<sup>[2]</sup>。

## 2 故障诊断方法流程

### 2.1 故障信息的取得方法

为充分进行信号分析中的特征提取,进一步提高故障诊断的准确度与有效性,在本本文中,为了进行电机的动作状态识别,提出改善算法。各个国家的科学研究人员经过不断的探索、研究和实践,根据在轴承发生故障时采集信号的传感器的不同进行分类。故障信息的取得方法总结如下。

#### (1) 振动分析法

这种方法利用了机器在运行时的空气动力学特征,并利用装在箱体或轴承上的加速度感应器,来取振动或故障信息。振动分析法传感器的配置比较灵活,对信息的检测方法简单便捷,能满足于各种类型、在不同条件下的不同信息分析。尤其是由于近年来传感器科技的飞跃发展,这种方法进一步提升了信息拾取与准确度的一个阶段,同时也给这种方法的广泛应用带来了源泉活水,从而有着更强的实用性。

#### (2) 油分析法

这种方法首先从取出轴承行业用油液中的细颗粒物之后,再综合分析其中粒子的磨损、组成、尺寸、数量等变化,从而推断轴承的工作状况是否良好。油液分析法在某种程度上也能够检测出滚动轴承的早期磨损故障,但是用

该方法在采集和分析油液时,由于采样过程十分不方便,而且颗粒的萃取步骤也需要非常漫长,因此实时性比较差。所以,用该方法来检测滑动支座的故障效果是有限的。

#### (3) 温度测量法

用传感器检测轴承工作温度后,可以通过比较正常轴承运行时间与记录下的工作温度之间的差异,来确定该轴承是不是出现了故障。温度检测方法操作简便,只需要在轴承部位加装水质感应器,可以远程进行监测故障,检测轴承损伤。但是,该种方法的最大问题是水质感应器对轴承故障的起始阶段的检测不灵敏,并且当传感器察觉到温度与正常温度大不相同,轴承可能已经发生故障。温度传感器需要高灵敏度,在实际设计中很难。

#### (4) 声音传输技术

当材质和工件施加机械应力时,就会引起变形、断裂、侵蚀、破碎,在瞬间形成强大的力量,以弹性波的形态释放。这叫做音响发射。通过设备接受该信息,从而,能够根据信息的各种特性来检查材料及部件是否良好。这种过程也被叫做声学传输技术<sup>[3]</sup>。其提供的这项技术被广泛应用于动态可逆检测,并取得了不错的成效。但是,目前,用来接受声传信息的装置在市场上比较昂贵,因此声传输技术的应用是有限的,并且需要进一步改进。综合这些优点和缺点,为了通过滚动轴承诊断取得故障信息,振动分析法至今仍然是主流,可以理解为可靠的方法。因此,本文还选择振动分析方法来获得轴承故障的特征信息。

## 2.2 机械转动轴承故障诊断内容

当主机的转子轴承出现故障时,就应该及时检查它,尽快排除故障,从而避免产生更大的经济损失。旋转轴承的故障诊断流程,主要由下列四个部分所组成。

(1) 信息采集:轴承的故障信息由装在箱体以及轴承座上的各种感应器所采集。这些故障信号中一般含有幅度、电压、温度等,并把这些信号传送计算机数据处理系统。

(2) 特征提取:在接收信息后所获得的故障信息,噪声与干扰成分的程度往往有所不同。在该阶段,通过必要的带通滤波和光谱分析等技术手段,消除了杂乱的噪音和扰动,并获取了合理的故障信号指标。

(3) 模式识别:将前步提取的有效故障信号指标,输入有人工智能的分类器中进行状态辨识,从而判断该轴承类型故障所属的类别,进而确定该具体故障位置。

(4) 故障处理:经过前三个步骤后,在确定了各轴承类型故障的种类和情况后,再选择对具体问题的具体应用分析的科科学方式,并作出决定介入,比如重点观察、停止检查交换或循环观察等。

## 3 机械转动轴承故障诊断研究的展望

由于现代机械工业技术的蓬勃发展,工业机械逐渐呈现出了重复化、高速化、半自动化、智能的新特征,滚动轴承是现代工业机器的关键构成要素。据统计,所有机器故障的约百分之三十都是由滚动支座所造成的。因此采用相应的故障诊断方式检查轴承类的工作状况,并合理估计轴承类的故障形式,使滚动支座的故障形式从初始状态中

消失,从而最大限度地利用了滚动支座的工作可能性,这是十分关键而有实际意义的。第一种对滑动支座故障的主要检测方式为:温度法检查和油样分析法,温度法检查方法对滑动支座的速度负荷和润滑变化都十分灵敏,只是无法检出早期因孔蚀剥落的微小损坏。油样分析法也有仅应用于润滑油对滚动轴承的极限。滚动轴承故障诊断的模式及辨认的多类型问题,其核心内容就是如何获得轴承类型及故障信号特性,并通过相应的分类器正确鉴定故障类型。振动工作信号中含有的各种背景噪声,以及故障特征信号也往往被噪声所遮蔽。此外,因为各种技术因素,对故障样本量的收集能力不够。比如,当大型机器出现故障时,或者因为运转系统出现了故障,不可能的故障样本数量众多,而专家的诊断系统和人工神经网络等,基于经验风险最小化原理设计的新一代人工智能分类系统训练样品需要非常多比较样本量的时候,由于这种方式存在太过模型拟合现象,因此一般化能力相对较差,故障的判断效率也较差,且准确度相对低下<sup>[4]</sup>。随着现代工业的高速发展,机械设备和设备间的联系将日趋密切。滑动支座作为现代工业制造机械设备的核心元件,在出现故障的情形下,其后果往往是无法想像的,如果轻则机械瘫痪,如果重则甚至可以威胁人的生命。据有关调查,滚动座轴承机械故障易损件中的一个,占总机械故障的约百分之三十,同时,一旦故障出现,故障机理很复杂,在故障初期的机械特征并不明显,仅仅声音可以通过听成刀片状该轴承就能够正常工作,因此很难发现简单机械的正常使用,而如果出现问题,则该轴承已损坏,已经到了无法挽回的地步。所以,通过一定的技术手段,在轴承故障的初期如何检查就成为了课题。

轴承故障具体的工作内容:

(1) 特征提取和模式识别是轴承故障诊断的核心。本文通过对比了用作振荡信息分析方法的常规方法的时域法、频域法、时频法,确定了频率区间分析方法中的希尔伯特黄变换为最先进的频谱分析方法,尤其适合于轴承的特征提取研究。然后,通过对比了人工神经网络、专家制度、以及支持向量机的优缺点,确定了支持向量机有利于识别轴承类型以及故障诊断的方法模型<sup>[5]</sup>。

(2) 在轴承故障的诊断特征提取方法中,针对 HHT 在 EMD 分析过程中形成的端点效应现象,对比了当前所普遍采用的端点效应抑制法的优势与劣势,进行分析后,使用镜编码器法进行抑制。在该方案中,第一步,采用镜像方式把原始信号扩大至二倍,扩大后的信号和原信息相对称,波形结构一致。然后,再将分解后的 IMF 分量中除去端部的信息,变为实际的 IMF 分量。仿真试验中发现了 Mirror-EMD 的有效性。而采用 Mirror-EMD 法获得的 IMF 分量的波浪形成分和原来的模拟信号分量很好地一致。

(3) 尽管如此,在实际使用中, Mirror-EMD 方法在分析过程中很容易收到噪声的影响。为此,本文中给出了一个改进 wt-Mirror-EMD 的方案,在分析信号之前进行小波阈值噪声去除预处理,在消除噪声以后再把信号分解为前一个的 Mirror-EMD,并经过仿真检验后表明了有效性<sup>[6]</sup>。

(4) 对实际的轴承故障信息,通过使用调整后的 wt-Mirror-EMD 法进行特征提取。仿真检验的结论是, WT-Mirror-EMD 方法可以使轴承故障频谱曲线对于另外二个方案更加清晰。在论文的最后,准确地提供了故障特征向量。

(5) 在轴承类故障问题的检测建模辨认阶段,本文首先选取了特性良好的以 SVM 为状态识别的电机轴承类故障诊断研究分类器。鉴于 SVM 对惩罚参数和核参数的选取都具有主观问题,本文首先使用经典的 PSO 计算提出了优选问题。在实际使用中,较基本的 PSO 计算更容易进入局部最佳状态。而常规的线性逆时间 PSO 方法在优选问题上则是明显受限的。针对上述新问题,本文首先给出了一个 ILPSO 算法,其权重系数随着对粒子的适应性而自适应地改变,同时也使用测试函数来证明了改进计算的效果。接着,本文又结合 SVM,构建了 ILPSO-SVM 的诊断模型,对轴承类设备故障问题开展了模式识别。仿真试验的结果显示,将 ILPSO-SVM 和基本的 PSO-SVM、传统改进的线性递减 LPSO-SVM 比较,粒子替换频次更低,分类精度高。这种改进方法 ILPSO-SVM 的效果也越来越明显了<sup>[7]</sup>。

#### 4 结语

本论文针对于无法有效提取发电机轴承故障的特点、无法准确鉴定故障状态、以及一般的 EMD 分析、SVM、RVM 分类诊断等缺点,为了解决易产生模态混叠的传统 EMD 分析故障特点无法有效提取的缺陷。此外,还利用选择了适合于 CS-PSO 算法的 M-RVM 模型最佳核心参数,从而使计算拥有了更高效的运算效能。论文中给出的方案综合验证了模拟和实验数据,从而能够更迅速和精确地辨识发电机轴承的运行状况,该方案也为智能故障诊断提出了一个可行方式。

#### [参考文献]

- [1]路照妮,朱希安.机械传动电机轴承故障信号诊断仿真研究[J].自动化仪表,2019,40(9):46-51.
- [2]朱文龙,杨家伟,关照议,等.牵引电机轴承故障诊断技术综述[J].控制与信息技术,2021(5):12-19.
- [3]孙文明,闫晟煜.基于样本分位数散布熵的汽车电机轴承故障诊断方法[J].机械设计与研究,2021,37(4):110-114.
- [4]周永强,卜文绍.电机轴承故障的多尺度排列熵特征提取与 GK 识别[J].组合机床与自动化加工技术,2021(4):70-74.
- [5]于元灏,杨光永,晏婷,等.基于 CSSA 与 MCKD 的电机轴承故障提取[J].电子测量技术,2021,44(14):142-147.
- [6]李琛,徐彦伟,颜潭成,等.基于 FFT-SDAE 的地铁牵引电机轴承故障智能诊断[J].现代制造工程,2021(11):155-161.
- [7]张利宏,罗振鹏.电机机械转动轴承故障的会议制随机森林诊断方法[J].重庆理工大学学报(自然科学),2021,35(9):109-115.

作者简介:龙凤起(1969-)男,总经理,本科学历,毕业院校:中央广播电视大学。工程师、产品、技术负责人。