

# 汽车动力传动系统的状态监测与故障诊断

孙乔 耿立恩 吴友生 龙维薇 (北京理工大学车辆工程学院 100081)

**摘要:**本文以汽车动力传动系统为对象,综合振动分析,铁谱、光谱分析,理化分析和工程数据库等多种手段,建立了基于数据融合与神经网络技术的故障诊断专家系统。

## 1. 系统结构

汽车工业是支柱产业,近年来取得了巨大的发展。由于汽车是一个复杂的机械、电子和化工等的综合产品,随着使用时间的增加,不可避免地会导致其技术状态恶化,从而动力性能下降、经济性变差、可靠性降低。因此,如果定期检查车辆的技术状况,及时发现故障隐患并采取相应的措施,就可以延长汽车的使用寿命。发动机和传动箱作为汽车的重要组成部分,结构复杂,工作环境恶劣,故障率高,解体检查不便,为此,本文采用数据融合技术,以振动分析、铁谱分析、光谱分析和理化分析为基础,提出一种智能化的状态监测与故障诊断专家系统,用以监测诊断包括突发故障和新故障在内的动力传动系统多种故障。系统构成如图1所示。

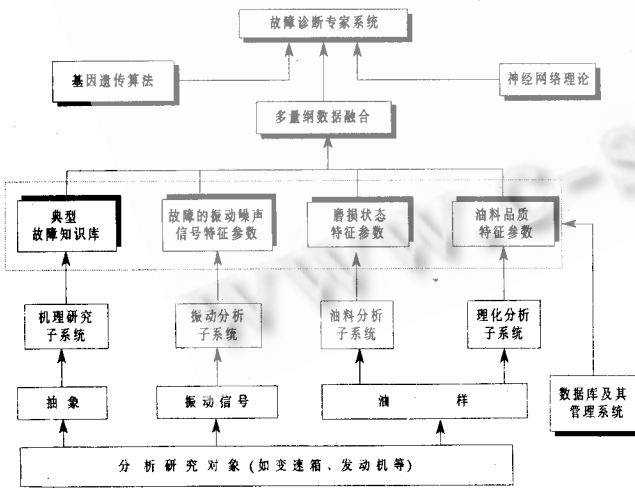


图1 基于数据融合与神经网络技术的故障诊断专家系统

## 2. 振动分析子系统

利用振动手段进行状态监测和故障诊断从内容上大体可以分为三个部分,即信号采集、数据分析处理以及识别与预测。

在故障诊断当中,需要将实测得到的振动信号变换为更易于分析识别的形式,以方便信息的提取;识别与预测就是按照提取出的故障特征量,把待检模式与已知标准模式相对比,从而判断机器有无故障,并估计故障的传播、发展,对机器的劣化趋势作出预报。

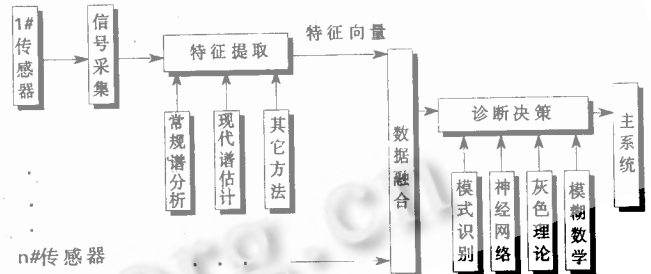


图2 谱分析功能结构图

(1)谱分析。图2所示的谱分析模块是针对动力传动系统,以模式识别、灰色系统理论和模糊数学为基础建成的,可以进行高速、连续大容量数据采集以及时、频域信号处理和特征提取。在状态监测和故障诊断过程中,往往要求能够高速、连续采样和大容量存储数据。本文实现了在32位保护模式下对1MB以上内容空间进行直接访问,以及对A/D转换器工作方式的控制,最大可能地挖掘了A/D板和80X86微机性能的潜力。此项技术已被用于减少泄漏误差,并在一定场合下替代抗混滤波器。

为提高自动识别故障的能力,还采用了模式识别理论、灰色系统理论和模糊数学等多种算法,对特征向量进行分类处理。

(2)子波分析。付立叶变换能较好地反映稳态、周期信号的频域特征。但一方面因为是对整个时域信号进行分析,得到的是全局信号的频谱,从而淹没了一些有价值的局域奇异性特征,而奇异信号往往最能反映出故障的情况;另一方面,付立叶变换的时间分辨率和频率分辨率不能同时变得很高,所以不适合于分析突变的、非平稳信号和短时、宽带信号,而动力传动系统中经常发生的一些故障,其振动信号多为瞬态的冲击信号,为此,我们将子波分析引入故障诊断,作为付立叶变换的补充。

诊断故障的关键是从信号中提取特征,理论已经证明只要选择的子波基合适,子波分析对信号的奇异性有较明显的特征。如果子波基为平滑函数的一阶导数,则由子波变换的极大值点可以找到原始信号的奇异点,即故障发生的时间;由极大值线可以计算出奇异信号的 Lipschitz 正则度  $\alpha$ ,由  $\alpha$  值的大小可以区别故障的类型。如果子波基为平滑函数的二阶导数,则由子波变换的过零点可以找到原始信号的奇异点,由两相邻过零点间的积分值可以确定故障的类型。

### 3. 油料分析子系统

润滑油在润滑机件的同时,也将机器运转过程中摩擦所产生的大量金属磨损颗粒携入油内,形成悬浮液,由此可见,机器中循环流动的润滑油必然携带着机器中零部件运行状态的大量信息,所以油料分析是进行故障诊断的一种有效手段,定期抽取油样并分析其中磨粒的形态、成分、含量,研究变化趋势,就可以利用已有的知识积累判断设备部件磨损的类型、程度,预测寿命,从而根据设备实际状态进行计划性维修。

(1)铁谱图象分析系统。传统的铁谱分析技术较为成熟,在油料分析中有非常重要的作用,但是却存在着定量信息少,主观性过强和重复性较差等不足,本研究采用了图象处理方法予以改进,所完成的铁谱图象分析系统有三个组成部分,包括铁谱图象处理软硬件、磨损颗粒自动识别和典型磨损颗粒图象管理系统。

铁谱图象处理的硬件系统包括铁谱图象输入模块(显微镜、照相机、扫描仪)、处理模块(解码器、真彩色图象处理卡、编码器和微机)、输出模块(监视器、硬盘及录像机);软件系统包括 VC32 图象卡系统软件,以及针对铁谱图象预处理和提取磨损颗粒几何形态特征而自行开发的软件。

(2)光谱分析及理化测试。在检测小颗粒时要采用光谱分析,而为了了解润滑油的品质特性需要进行理化分

析。与铁谱技术相比,这些测试手段操作比较简单。

本研究采用的光谱分析仪器是美国 BAIRD 公司的 MOA 发射式光谱仪,通过电弧放电将油料激发出光子,再由光学系统分解为不同波长的光谱,观测原子的发射光谱及光强就可以判断出特定元素的浓度。

颗粒计数运用了 DCA 颗粒计数器,仪器的核心部分是一滤网,当油液流经滤网时,颗粒对滤网的堵塞导致流速发生变化,由传感器测出后再经过数学模拟就可以推断出磨损颗粒的尺寸分布。理化测试包用于快速有效地检测润滑油的多个理化指标,如粘度、总酸值、总碱值、水分含量等,由此可判断润滑油的氧化、腐蚀和污染程度。

### 4. 工程数据库及其管理系统

数据库是专家系统必不可少的组成部分。故障诊断过程所产生的大量数据、图表、实验曲线需要由数据库系统进行统一管理,而多量纲数据融合和进一步计算更需要数据库支撑。

(1)数据库的结构。首先需要确定故障诊断系统的数据库构成。针对故障诊断的多种分析方法,建立了以下的数据库:振动参数库用于存储振动信号的磁带编号、特征向量及时频分析图和功率频谱图等;光谱库包含油料中多种元素的含量;颗粒计数库包含油料颗粒的尺寸分布;理化指标库则用于存储油样的型号、温度、粘度、水分含量、酸碱度等品质特征参数,及被测系统的一些机械特征参数,如转速、扭矩、功率、室温等。以上各库都具有一个公共字段,即“采样序号”,它将实验编号与样品序号相结合,从而使各库中的记录一一对应起来。

作为每次实验的汇总,还建立起一个实验总成库存储各次实验的对象、时间、润滑油种类等参数,同时存储各个测得量随时间变化的曲线。

(2)数据库系统的功能设计。故障诊断数据库系统首先应具备一个典型数据库系统的基本功能,如:浏览、插入、补充、修改、删除各项记录,这些功能在用户视图上实现。然后,还需完成对库中信息进行索引、排序、查询、统计、作报表等功能。

故障诊断数据库有其特殊性,即数据的输入、输出接口设计和图形存储。诊断测试中的一部分已实现计算机化,产生的数据以文本文件的形式储存,如光谱分析得到的数据以 .txt 文件形式储存,在输入数据库前先去掉多余的项,使之与预定的数据库结构相符合,即可进行数据传输,这便是数据库的输入接口的设计。同时,数据库中

的记录也可以转换为文本文件的形式以便用于特定的环境。

已完成的铁谱图象数据库采用 Foxpro 作为编程语言,在数据库中包含了铁谱图号、监测对象、磨粒类型、磨粒来源、拍摄方式等信息,而磨粒图象则以通用字段的形式存入库中;同时实现对库中信息的检索、增删、打印等功能。

### 5. 人工神经网络、数据融合与专家系统

故障诊断其实就是一种模式识别和分类的问题,在对其研究当中,本文引入人工神经网络、数据融合与专家系统的思想,以构造高智能的故障诊断系统。

人工神经网络是生物学中脑神经网络的某种抽象、简化和模拟,多层神经网络的工作原理是建立在模式变换的基础上的,因此,将其应用于模式识别是十分自然而有效的。模式识别必须有大量的知识和经验,但知识获取的困难是当前面临的一个瓶颈问题,人脑对知识的获

取过程几乎是一种无意识的潜在行为,所以,若用明确的规则集合来描述知识肯定困难重重。

而由于神经网络的自学习、自组织和并行分布式处理等特点,使得基于神经网络的识别系统和传统的识别系统比较起来有以下几个明显的优点:

- (1) 能识别带有噪声或变形的输入模式。
- (2) 具有很强的自适应学习能力。
- (3) 能把识别处理和若干预处理融合一体进行。
- (4) 识别速度快。由于人工神经网络的设计是在对人脑如何处理信息不太了解的情况下进行的,所以距人脑的处理能力无论规模上还是性能上都有着很大的差距,另外其本身也存在着一些问题,如网络结构的选择缺乏理论指导,一般靠经验,则需要大量的计算;样本训练所采用的 BP 算法基于梯度下降,存在着局部极小,收敛速度慢等缺点。