

柴油机故障 智能诊断及专家系统

王朝晖 张来斌 陈如恒 张喜庭 编著

煤炭工业出版社

72-588
W31

国家博士后基金资助项目
石油大学(北京)校基金资助项目

柴油机故障智能诊断及专家系统

王朝晖 张来斌 编著
陈如恒 张喜庭

煤炭工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

柴油机故障智能诊断及专家系统/王朝晖等编著.
—北京:煤炭工业出版社,1999.5

ISBN 7-5020-1685-6

I. 柴… II. 王… III. 柴油机-故障诊断 IV. TK428

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 03519 号

柴油机故障智能诊断及专家系统

王朝晖 张来斌 陈如恒 张喜庭 编著

责任编辑:姜庆乐

*

煤炭工业出版社 出版

(北京朝阳区霞光里 8 号 100016)

北京房山宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092 \text{mm}^{1/32}$ 印张 $3\frac{3}{8}$

字数 55 千字 印数 1-1,000

1999 年 6 月第 1 版 1999 年 6 月第 1 次印刷

书号 4456 定价 10.00 元

版权所有 违者必究

· 本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

内 容 提 要

本书共分六章，第一章简要介绍了柴油机故障诊断的主要方法、主要设备及发展趋势；第二章介绍了大型柴油机故障的诊断方法；第三章讨论了基于动态框架的自动诊断技术；第四章总结了柴油机的故障模式；第五章介绍了复合模糊贴近度与 BP 神经网络的推理诊断模型；第六章简要介绍了柴油机故障诊断专家系统 EDES。

本书可供从事故障诊断研究及现场设备管理工作的技术人员等使用。

前 言

柴油机是一种被普遍使用的动力设备，它的运行状况的好坏，直接关系到使用部门的生产能否正常运行。因此，做好对柴油机的故障诊断工作，对提高柴油机使用安全性、降低污染、节约维修费用及降低消耗具有重要的意义。由于柴油机结构较为复杂，因此只用一般的简单方法对它进行诊断是不够的，必须借助于基于数字信号分析处理技术、人工智能技术的各种计算机诊断方法，才能达到较高的准确性及方便性。

本书是根据作者多年的研究成果编写而成的，主要论述如何利用数字信号分析及人工智能技术，对大型柴油机的故障进行智能诊断，目的在于总结研究成果，并提出一些新的诊断技术，从而对柴油机故障诊断理论的发展起到一定的促进作用，同时切实提供一些实用诊断技术供大家参考。

全书共分六章，第一章为概述；第二章主要介绍了柴油机的各种基于数字信号处理技术的计算机诊断方法，如无负载测功法、燃烧振动提纯法、喷油正时诊断法等；第三章讨论了自动诊断技术，即

如何自动执行各种诊断方法，从而降低诊断的工作量；第四章总结了柴油机的故障模式，为柴油机的诊断提供了依据；第五章提出了复合模糊与神经网络的故障智能识别技术，为专家诊断系统提供了一种推理机制；第六章对作者开发的大型柴油机故障诊断专家系统 EDES 系统进行了简介。

该书具有较高的理论价值及实用价值，可供研究和技术人员参考使用。

本书的出版得到了国家博士后自然科学基金及石油大学（北京）校基金的资助；在编写过程中，得到了华北油田、塔里木油田及李江新、赵金洲、罗大博、张宪军等同志的支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免有不当之处，恳请广大读者批评指正。

作 者

1999.1

目 录

第一章 概述	1
一、柴油机故障诊断的主要方法	1
二、柴油机故障诊断的主要设备	5
三、柴油机故障诊断专家系统	6
四、柴油机故障诊断的发展趋势	11
第二章 大型柴油机故障的诊断方法	12
一、柴油机诊断参数的确定	12
二、无负载测功法	15
三、转速波动诊断法	21
四、燃烧振动提纯法	25
五、单边包络频响函数缸压诊断法	29
六、幅值分布诊断法	37
七、转速、振动双通道喷油正时诊断法	40
八、燃烧振动的双特征诊断法	43
九、小结	45
第三章 基于动态框架的自动诊断技术	47
一、概述	47
二、动态框架	48
三、动态框架的静化	50
四、利用诊断标准库自动诊断	53
五、小结	54
第四章 柴油机的故障模式	55

一、柴油机故障模式的确定	55
二、PZ12V190 柴油机故障模式汇总	58
第五章 复合模糊贴近度与 BP 神经网络的	
推理诊断模型	70
一、概述	70
二、模糊贴近度及 BP 神经网络的故障识别	
原理	71
三、模糊框架重定位扩展	76
四、复合模糊贴近度与 BP 神经网络推理	
方法的实现	79
五、小结	83
第六章 柴油机故障诊断专家系统 EDES	
简介	84
一、EDES 诊断知识库	84
二、推理方法	86
三、柴油机故障诊断专家系统 EDES 简介	89
参考文献	93

第一章 概 述

一、柴油机故障诊断的主要方法

我国石油、冶金、煤炭等系统拥有众多的大型柴油机,例如油田作为钻井动力用的 PZ12V190 柴油机,冶金、煤炭系统运输用的康明斯柴油机等。做好对这些柴油机的故障诊断工作,具有极大的社会效益和经济效益。以 PZ12V190 系列柴油机为例,全国共有 5000 余台,若按平均功率 600kW,年工作 4000h,燃油耗降低 1% 计算,则年节约柴油 2.4 万 t,折合人民币 4320 万元;若每台柴油机延长寿命 10%,则相当于增加了 500 台柴油机,折合人民币 12500 万元;若某些故障可以预报,从而避免恶性事故的发生,则经济效益更是相当可观的。

柴油机是复杂的往复式机械,含有若干个子系统。由于其结构复杂性及诊断方法的代表性,因此,它作为机械设备故障诊断技术的一个重要研究对象,已得到了国内外研究界的广泛关注,并提出了许多诊断方法。

1. 功率诊断法

柴油机功率是衡量其整体性能的一个指标。

对功率的测量有直接测量法和间接测量法。直接测量法是指用水力、电力等方法对柴油机加载,从而直接测出其有效功率,它是一种基于实验台架的方法,如德国申克公司生产出了 DH2100 型测功机,国内启东仪表厂也生产了大功率测功机。而无负载测功法是一种间接测量功率的方法,其原理是在柴油机空载加速的工况下测量其转速特性,通过转速变化率与瞬时功率的关系对功率进行求解^{[1][2][3]}。

2. 燃油系统诊断方法

燃油脉冲压力法是燃油系统的一种诊断方法。

当燃油系统的某个环节发生故障时,燃油的流动压力、流速等参数必然发生变化,而这种变化也会相应地体现在燃油压力波形的变化上。当将夹持式传感器夹在高压油管外壁拾取燃油压力脉冲信号时,通过对其波形的分析,即可达到对燃油系统诊断的目的。

燃油脉冲压力诊断法只适用于高压燃油供给系统,且夹持式压电晶体传感器造价较高,一般需专门订做。

3. 润滑系统诊断方法

润滑系统的诊断参数是润滑油压力及润滑油品质。

润滑油压力直接反应出润滑系统的密封性好坏,

特别是曲柄连杆轴承的密封程度。但由于润滑油压力是缓变信号,且测点位置较少,故对它的研究较少,一般是以车载的压力表读数作为评判依据。

润滑油中所含杂质成份是与柴油机磨损状况有一定的函数对应关系的,所以通过铁谱及光谱对润滑油进行油质分析以实现柴油机相应部位磨损状况的诊断,已成为现在普遍使用的方法。

比较而言,光谱分析较铁谱分析成本高,在现场应用得较少。

4. 进排气系统诊断方法

进排气系统的主要诊断方法是频谱分析法。

通过对气阀落座造成的冲击在气门附近的振动响应信号进行拾取、分析,可以对气阀的磨损状况及气门间隙进行诊断。利用FFT谱分析法,可求出气阀落座的敏感频率^{[14][15][16]};利用时序建模法可对气门间隙大小进行分析^[17]。

频谱诊断法方便实用,但由于柴油机振源较多且复杂,因此进行频谱分析时需考虑噪声信号的干扰并加以去除。使用单一频率作为敏感频率时,误诊、错诊的可能性较大,而从多个频段及其幅值综合评判时效果较好。

5. 气缸活塞组诊断法

对气缸活塞组诊断的方法有缸压诊断法、转速波动诊断法、振动频谱分析法及噪声分析法。

缸压诊断法是利用缸体表面振动信号,采用传递函数法对气缸压力进行数值模拟,从而对缸压进行间接诊断。

噪声分析法是利用噪声对缸内的燃烧状况进行诊断,通过燃烧噪声的量级大小,对不正常燃烧进行分析。该方法在现场应用时,对环境隔音效果要求较高,因此现场实用性较差。

转速波动诊断法是利用转速对缸内熄火进行识别。其原理是在某缸或多缸熄火的情况下,必然造成转速的不均匀从而引起波动,因此通过对柴油机转速的波动程度分析,可判断出熄火现象是否存在。测量转速所用的传感器多为电磁感应传感器,实用性好,但当柴油机缸数较多时,其灵敏度较差。

振动频谱分析法是利用振动信号的频域特征对拉缸、窜油等故障进行对比分析,通过故障模拟对比性实验,从而找出故障的特征频率。

6. 其它诊断方法

对于电起动柴油机,通过对起动电压、电流的测量,可以对起动时的缸压进行诊断。

对于电动轮汽车,可以用水电阻法对柴油机功率进行测量。

通过对水温的诊断,通常可以判断水冷却系统工作状况的好坏。

进气压力用来诊断涡轮增压器及空气滤清器的状

况;曲轴箱窜气压力可以用来诊断气缸的密封状况。

二、柴油机故障诊断的主要设备

柴油机故障诊断设备发展至今,可以分为固定式和移动式两类。

1. 固定式诊断设备

固定式诊断设备多用于航空柴油机及大型汽车柴油机,可实时对柴油机的转速、温度、压力等主要参数进行监测,进行故障报警及紧急情况处理^[37]。

2. 移动式诊断设备

移动式诊断设备是指便携式的诊断仪表及诊断系统。

诊断仪表是指针对柴油机某个参数进行诊断的仪表,如电流计、电压计、漏气检测仪、红外测温仪、无负载测功仪、烟度计、频谱分析仪等^{[38][39][40]}。

诊断系统是指可对多个参数进行诊断的集成化仪表系统。目前,世界上较著名的系统有:挪威的 MJ-1 系统、DETS 系统、MEKOM 系统,瑞士的 CYLDET-CM 系统、Dieseldac 系统、SEDS 系统;法国的 PED 系统;美国的 MHMSJ5800 系统、JI500、D500 系统,英国的 Auto-matc450 系统,日本的 ETS-101C 系统,奥地利的 AVL LIST Gmbh845 系统^{[37][40]}。这些系统有的诊断参数可多达 81 个,但有的系统必需借助于解体

检测。

三、柴油机故障诊断专家系统

柴油机故障诊断专家系统能够实现数据的自动处理、故障模式的自动识别、故障的自动判别,具有极高的实用性及方便性。它作为专家系统的一个重要应用,得到了快速发展。

1. 诊断型专家系统的主要结构

专家系统 (EXPERT SYSTEM)是人工智能领域的重要分支之一,是一种能以人类专家水平完成专门任务的计算机系统^[51]。它具有启发性、透明性、灵活性等特点^[52],是一种高级推理系统。

专家系统的核心主要包括:知识库、知识获取部分、推理机、解释部分^[53]。

知识库用于存贮专家系统的知识,供推理机推理使用。知识是以一定的结构存贮在知识库中的,这种结构被称为知识表达^[54]。目前较为成熟的知识表达方法有:谓词逻辑、产生式规则、特征表、语义网络、框架、剧本^[55]。

知识获取部分用于获取知识到知识库中,并对知识库中的知识进行管理、维护。对于经验知识,一般是通过人机对话的形式进行知识编辑,然后将知识转化为知识库的内部形式,较为高级的系统,是通过编译

实现知识转化的。对于可进行数据处理的数据信号知识,由于知识模式的确定性,还可进行知识的自动获取,一般是通过对样本的修正来实现的^{[57][58]}。

推理机用于将知识库中的知识与当前状态知识进行匹配,即进行推理,然后给出推理结果。推理方式分为正向推理、反向推理及混合推理^[59]。正向推理也称数据驱动推理,是在已知外界初始信息的情况下,与知识库中的各个目标进行匹配,最后求出满意解;反向推理也称目标驱动推理,它依次假设知识库中的一个目标为待求目标,然后不断地从外界获取知识进行验证,直到找到满意解为止;混合推理则是先进行正向推理缩小搜索空间,然后进行反向推理进行求解。

推理解释部分用于在推理过程中对用户提出的问题进行解释,回答为什么这样进行推理。它增加了推理的透明度,同时也是对专家系统进行调试的工具。

目前大多数专家系统都是在以上几个部分的基础上进行细化,并采用适当的知识组织、调度策略构成的^{[60][61]}。

2. 诊断型专家系统的发展阶段

诊断型专家系统作为专家系统的一个应用领域,同专家系统的发展过程一样,经历了三代^[57]:

第一代专家系统(60年代中期~60年代末期)以化学专家系统 DENDRAL、数学专家系统 MACSYMA 为代表,其特点是高度专业化,结构、功能不完整,移植

性差,专业问题求解能力强,但缺乏推理解释能力。

第二代专家系统(70 年代初期~70 年代末期)以医疗诊断专家系统 MYCIN、地质探矿专家系统 PROSPECTOR、数学发现专家系统 AM 为代表,其特点是应用性强,系统结构完整,功能较全面,移植性好,具有推理解释功能,透明性好,采用了启发推理、非精确推理;知识表达采用产生式规则、框架、语义网络等,可进行人机对话。

第三代专家系统(80 年代)以多学科综合性专家系统 HPP'80、骨架型专家系统 EMYCIN 和 EPXERT 等为主,其特点是综合多学科,并含有专家系统开发工具,是大型知识工程系统。

3. 国内外主要诊断型专家系统的特点

在知识表达方面,大多数诊断型专家系统都是以产生式规则和框架进行知识表达的。利用产生式规则进行知识表达,一方面得益于现存的人工智能语言,如 LISP、PROLOG,另一方面受益于它的表达合乎人的心理逻辑,便于进行知识获取,并且推理时的解释形式利于人接受,如国外 Teknowledge 公司推出的 M.1 系统、斯坦福研究院的 AL/X 系统、Expert 系统、KES 系统、S1 系统等^[62]。利用框架进行知识表达得到了越来越多的应用,这主要得益于面向对象的编程技术的兴起及普及,以 C 语言为代表。C 语言作为一种中级语言,其优越性能以 UNIXS 系统为代表已得到举世

公认。它可开发出任何人工智能语言所具有的功能,并具有强大的数值计算能力。C 语言对面向对象的数据结构极为支持,这种数据结构是众多计算机工作者所公认的最佳数据结构^{[63][64]},而框架正是一种面向对象的数据结构。

在诊断推理方面,主要表现在对推理逻辑和推理模型的研究上。在人工智能领域中,存在着许多推理逻辑,较著名的有模态逻辑与动态逻辑、3-值逻辑、直觉主义逻辑的类型理论、时态理论及面向非单调推理的语义理论等^[65],而与专家系统密切相关的是与不精确推理相关的逻辑。最早的不精确推理方法当属 MYCIN 系统中的可信度法(CF),它定义了规则的不确定性及证据的不确定性^[66]。以后又有用置信函数、Bayes 概率等方法处理不精确逻辑^[66]。模糊逻辑作为一种降低系统复杂性的方法,近期在专家系统的推理逻辑中得到了广泛的应用。尽管它的逻辑理论基础与精典的形式逻辑相比尚很不完善^[65],但它在实际中的应用成果已为人所共识。目前较成熟的模糊逻辑有 Zadeh、Baldwin、Tsukamoto、Yager、Mizumoto 等人提出的模糊推理方法^[67]。国内许多专家系统也对模糊逻辑进行了发展^{[68][69][70]}。对推理模型的研究则表现在如何对推理的知识进行划分及控制,从而使推理过程更为有效。如 Davis 基于结构与功能的推理模型^[74]、Govindaraj 的假设框架模型^[75]、Reiter 的形式化的第