

专题论述

现代汽车故障诊断方法及其应用研究*

张丽莉¹, 储江伟², 强添刚¹, 韩大明¹, 邹本存¹

(1 东北林业大学 交通学院, 黑龙江 哈尔滨 150040 2 吉林大学 交通学院, 吉林 长春 130025)

摘要: 目前, 对于汽车故障诊断问题已采用了很多的方法进行研究, 笔者在大量收集国内外研究成果的基础上, 对现有的汽车故障诊断方法进行了分类整理。包括人工直观经验法、仪表设备诊断法、汽车自诊断方法、专家系统故障诊断法、基于数值特征识别的汽车故障诊断方法等。并且对这几种方法的研究现状、关键实现技术及应用分析、相应的未来发展趋势等作了较为深入的分析。并提出高度集成化的汽车故障诊断系统是未来汽车故障诊断领域的重要发展方向。

关键词: 汽车; 故障诊断; 集成化; 发展方向

中图分类号: TK05

文献标识码: A

文章编号: 1007-4414(2008)01-0008-09

Modern automobile fault diagnosis method and its application study

Zhang Li-li, Chu Jiang-wei, Qiang Tian-gang, Han Da-ming, Zou Ben-cun

(1. Transportation college of northeast forestry university Harbin Heilongjiang 150040 China

2. Transportation college of Jilin university Changchun Jilin 130025 China)

Abstract: At present a lot of methods about automobile fault diagnosis have been adopted. Based on large collection of papers at home and abroad classification of current methods have been presented in this paper including artificial experience method, instrument diagnosis method, on-board diagnosis, expert system method, basing on numerical feature state recognition method and so on. And their studying status, key realization technologies and application analysis, future development directions are also analyzed. Then it is put forward that high-integration diagnosis system is the development direction in automobile fault diagnosis field.

Key words: automobile fault diagnosis; integration; development direction

目前, 对汽车故障诊断问题已采用很多方法进行的研究, 其诊断原理可分为: 人工直观经验法、仪表设备诊断法、汽车自诊断法、专家系统故障诊断法、基于数值特征识别的汽车故障诊断及近几年发展的集成化的故障诊断系统等。笔者以汽车故障诊断为检索词, 对 1994 年至今的在中文期刊网上 300 多篇相关研究文献的内容进行归纳整理和分析, 得出各种诊断方法在不同时期研究论文的数量比例统计结果, 如图 1 所示。从图中可见, 传统的人工直观经验法和仪表设备诊断法在 2000 年前共占 36% 的比例, 随着自诊断技术及专家系统等技术的发展, 该方法有下降的趋势; 近两年来, 由于集成多种功能的综合测试仪和综合测试系统的出现, 该方法又呈现了一定的上升趋势。而汽车自诊断方法、专家系统故障诊断及基于数值特征识别的汽车故障诊断方法等一直在汽车故障诊断领域的研究中占有较高比例, 成为汽车故障诊断领域最基本的故障诊断方法。同时, 随着网络技术、通信技术及电子技术的飞速发展, 基于网络和人工智能的集成化故障诊断系统将成为未来汽车故障诊断领域的主要发展方向。

1 人工直观经验法

人工直观经验法是指在熟悉被检汽车构造和工作原理的前提下, 根据维修人员自身的经验, 通过原地检视或道路试验, 凭感觉、观察及一些简单的测试工具, 采用将某个部位症状放大或暂时消隐的方法, 对汽车的故障和现象进行判断^[1]。其中常用的方法包括观察法、试验法、模拟法、听觉法、触觉法、嗅觉法、替换法、度量法、分段排查法、局部拆卸法、结构分析法及排序分析法等。

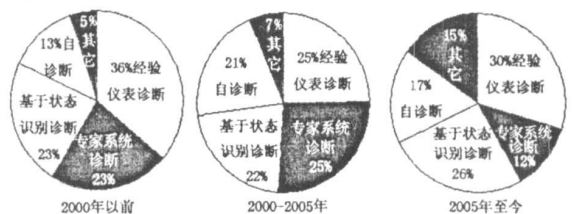


图 1 几种主要故障诊断方法在不同时期应用研究所占比例

人工直观经验法一般不需要专用设备和特定条件, 任何场合下都可进行故障诊断, 可有效降低维修

* 收稿日期: 2007-10-08

作者简介: 张丽莉 (1977-), 女, 黑龙江五常人, 博士, 研究方向: 智能化汽车故障诊断方法与技术。

成本,具有良好的灵活性和适应性。但该方法对复杂故障诊断的准确性很大程度上取决于诊断人员的技术水平和实际经验。目前,我国熟练的高级维修技师非常少,而且培养这类人才需要大量投资和较长时间的实践经验,使得人工直观经验诊断法的作用受到限制。

2 仪表设备诊断法

仪表设备诊断法是指采用检测设备、仪器和工具来检测汽车的结构参数、技术状态(如间隙、尺寸、形状、相关位置的变动、真空度、压力、油耗和功率等)、曲线和波形等,从而对汽车故障进行诊断的方法^[2]。典型的诊断设备有万用表、示波器及一些专用诊断仪器,如美国通用公司的 TECH-2、日本三菱公司的 MUT- II、韩国大宇公司的 Scanner、德国大众汽车公司的 VAG 1551和 1552以及深圳元征公司的迷你电眼睛系列产品等^[3]。

随着汽车电控系统诊断设备的发展,结合诊断和分析设备于一体的测试设备应运而生,它既能完成诊断仪串行通讯测试内容,也能完成分析仪并行在线测试内容。如美国 snap-on公司生产的 PAC,通过更换插卡的方式可以具有电脑扫描器、点火分析仪、四通道汽车示波器、汽车万用表、废气分析仪、信号模拟器等多种组合功能;深圳元征公司生产的 ADC 2000具有扫描器、四通道示波器、汽车万用表、点火示波器等 4种功能,也是集串行诊断并行分析于一体的综合测试设备。

综合测试系统是指利用各种现代的检测技术、监测仪器和设备,为完成某一特定的测试任务所建立的综合故障测试系统,是汽车故障诊断和检测实现现代化的重要标志。如基于微机的发动机故障检测与诊断系统^[4],利用虚拟仪器技术开发的发动机检测系统^[5],汽车变速器故障诊断计算机分析系统^[6],汽车变速器性能检测与故障诊断系统^[7]及液压制动系故障诊断系统等^[8]。

仪器设备诊断法能够在汽车不解体的情况下较准确迅速地诊断出汽车的故障,并可对总成或组合件做出其技术状况的定量评价或确切的定性评价,还可发现某些隐患,预报总成和组合件的寿命等,从而使汽车诊断从定性诊断转变为定量诊断阶段,它是汽车故障诊断领域的飞跃。但该法仍受专业人员培养的限制,同时,在汽车保有量不大的国家或地区,其利用率不高。

3 汽车自诊断方法

按照 GB/T5624-2005规定,随车诊断(On

Board vehicle Diagnosis简称 OBD),又称车载诊断或车上诊断,是指汽车电控系统的自诊断系统,具有实时监视、储存故障码及交互式通讯等功能。该系统始于 20世纪 80年代,1985年美国加利福尼亚州大气资源局(CARB)制定了第一代车载诊断系统(OBD),但由于该系统的设计存在缺陷且缺乏统一的诊断标准使其发展受到限制^[9]。1994年美国汽车工程师协会(SAE)制定了 OBD II标准,即第二代车载自诊断系统,并迅速成为世界汽车工业的车载自诊断标准。同时,欧洲联盟、加拿大、墨西哥及日本等国也纷纷参照 OBD II建立了自己的标准,如 EOBD、JOB D等。我国为适应国际环保组织的要求,也相应实施了 EOBD标准,但由于燃油品质等因素的影响,使其实施具有一定困难。总之,无论 OBD II还是 EOBD除了可对排放有关的零部件失效进行诊断外,还可对部件老化、部件失效引起的排放超标进行诊断,从而实现对在用车整个使用寿命范围内的排放控制,满足了国际环保组织对于汽车排放监控的要求^[10]。

3.1 主要应用技术分析

3.1.1 OBD II及其相关标准

OBD II具有标准化的诊断插座、通讯协议、故障诊断码、扫描工具及诊断模式等,其采用的主要标准如表 1所示。

3.1.2 与 OBD I相关的通讯网络协议

网络通讯协议主要用于解决通讯中的优先权、数据共享、数据传输带宽、故障诊断标准及独立性问题。带 OBD II诊断系统的汽车,其电控系统是建立在 B类数据网络通讯协议基础之上的,如图 2所示,应层将网络中的数据从一节点传到另一节点;数据链路层将位和标志转化为有效的、无差错的帧或数据;物理层及线路形成了数据链路层之间传递信息的路径^[11]。

3.1.3 OBD II系统与车下诊断设备的通讯

在 OBD II系统与车下检测设备实现通讯时,必须遵循一些约定,如单请求多应答约定、应答时间约定、请求信号之间的最小间隔约定、应答信号最大值约定等,以实现通讯的正常进行,且不会干扰 OBD II系统内部的网络通讯。系统同车下诊断设备采用统一的诊断信息接口,如图 3所示。

诊断信息以相应的故障码形式输出,故障码的含义可参照相应的汽车故障诊断代码手册。诊断信息可采用故障码读取,包括故障指示灯指示、扫描仪读取两种方法;还可采用数据流读取,因不同厂牌和车系的汽车,其数据流参数的名称和内容不完全相同,因此应根据维修手册加以确认^[12]。

表 1 OBDI 采用的主要标准

序号	标准号	英文名称	中文名称	分类
1	SAE J1930	Electrical/Electronic (E/E) system diagnosis terms definition abbreviation and acronyms	电气/电子诊断系统术语、定义、缩写词及缩略语	诊断术语
2	SAE J1962	Diagnostic connection	诊断数据连接器 (DLC) 及其排列诊断插座	
3	ISO15031-3	Road vehicles communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics— part 3 diagnostic connector and related electrical circuit specifications and use	道路车辆—车辆和排放诊断外部设备间通讯—第 3 部分: 诊断联接装置, 相关电气线路技术要求和使用的	
4	SAE J2012	Recommended practice for diagnostic trouble code definitions	诊断故障代码定义	故障码
5	SAE J1978	OBDII scan tool	OBDII 扫描工具	
6	SAE J2011	Universal interface for OBDII scan	OBDII 诊断工具的通用接口	扫描工具及其接口
7	SAE J205	Expanded diagnostic protocol for OBDII scan tools	OBDII 扫描工具扩展诊断协议	
8	SAE J1979	E/E diagnostic test modes	电气/电子诊断测试模式	诊断测试模式
9	SAE J190	Enhanced E/E diagnostic test modes	增强的电气/电子诊断测试模式	
10	SAE J1850	Class B data communications network interface	B 类数据通信网络接口	
11	SAE J1850VPM	Variable pulse width modulation	可变的脉冲宽度调节通讯协议电路	
12	SAE J1850PWM	Pulse width modulation	脉冲宽度调节通讯协议电路	
13	ISO15031-5	Road vehicles communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics— part 5 emissions related diagnostic services	道路车辆—车辆和排放诊断外部设备间通讯—第 5 部分: 与排放相关的诊断服务	诊断通讯协议
14	ISO9141-2	Road vehicles— diagnostic system — part 2 CARB requirement for interchange of digital information	道路车辆—诊断系统—第 2 部分: 数字信息互换要求用的 CARB 要求	

3.2 车载自诊断方法的发展趋势

车载自诊断方法虽然已成为当今电控汽车的一种重要故障诊断方法, 但仍具有局限性, 如不能测量车辆排放物具体数值, 只起到随车监测排放物的作用; 工作的可靠性受车辆运行环境的影响; 不能指示如何对车辆进行维修; 仅能检测出汽车电控系统 70% ~ 80% 的故障等^[13]。因此, 该方法将在以下几方面进行改进, 以适应未来汽车故障诊断的发展。

(1) 进一步完善车载自诊断系统的各项功能。包括故障参数记录功能、故障定位功能、故障预警功能、参数替代



图 2 B 类数据通讯网络结构

功能和驾驶员知情功能等^[14]。

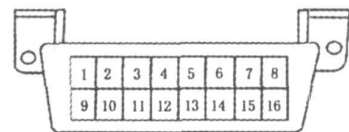


图 3 OBDII 诊断信息接口

(2) 进一步加强诊断信息输出的标准化工作。目前的美国标准和欧洲标准也将统一成国际化标准, 使车载自诊断系统具有更大范围的通用性^[15]。

(3) 加强车载自诊断理论和技术的研究。如将专家系统的知识获取技术、神经网络技术、模式识别等技术同 OBD 技术结合; 同时加强对系统适应性和鲁棒性的理论和方法的研究; 加强对控制系统的一些故障检测算法结构及容错控制等理论和技术的研究等^[16], 使车载自诊断技术进一步发展。

4 专家系统故障诊断方法

4.1 国内外研究现状

4.1.1 国外研究现状

国外汽车故障诊断专家系统的研究发展大致经历了 3 个阶段。如表 2 所示^[17~20]。

4.1.2 国内研究现状

我国在汽车故障诊断专家系统方面的研究一直

紧跟国外学术动态, 并注重加强对新理论、新方法和新趋势等方面的把握和研究, 取得了一些研究成果^[21], 其主要研究与应用状况如表 3所示。

4.2 实现关键技术及其解决方法

构建汽车故障诊断专家系统同构建其它领域的专家系统一样, 其关键技术主要是知识获取、知识表示方法和推理机制的选择等, 针对上述关键技术, 许多学者进行了解决方法的研究。一方面注重对传统方法的改

进, 另一方面将新理论、新技术与传统方法融合, 促进了专家系统在汽车故障诊断领域的进一步应用。

4.2.1 传统方法改进

针对知识获取困难问题, 采用故障规则的自动获取手段; 针对知识表示方法单一问题, 采用组合的知识表示方法; 针对推理机制选择的问题, 采用多种推理策略等方法, 使得传统方法得到了进一步的应用, 具体改进方法如表 4所示^[22-30]。

表 2 国外汽车专家系统的研究发展阶段

阶段	年代	特点	应用
第一阶段	20世纪 70年代后期到 80年代中期	将人工智能应用于汽车故障诊断领域。	意大利米兰汽车工业大学研制的汽车电器系统故障诊断专家系统。
第二阶段	20世纪 80年代中期到 90年代后期	试制以及实用性评价, 先进的理论同传统方法融合。	将神经网络、模糊理论等引入传统专家系统中, 但受开发语言的限制, 效率低。
第三阶段	20世纪 90年代后期至今	实用化发展。	出现了解决故障诊断问题的专家系统构筑工具。

表 3 专家系统在汽车故障诊断中的研究与应用

诊断部位	应用	所属类型
发动机总成	利用相关软件开发设计, 如 Lisp、Prolog等等	传统方法
	(1)知识获取和表示: 基于粗集理论的知识自动获取, 扩展产生式规则的知识表示; 介于产生式和框架之间的分类框架的知识表示。	传统方法改进
	(2)推理方法: 故障树推理; E-R图和故障树推理结合; 双可信用不精确推理。基于案例推理; BP神经网络; 模糊理论、神经网络与规则推理相结合; 融合案例推理与规则推理; 模糊技术、多媒体技术与专家系统结合; 基于专家知识, windows数据库和多媒体技术。	新技术新理论
电器系统	基于 JAVA规则引擎的故障诊断; 基于 ASP网络的远程故障诊。	远程技术
	诊断基元、产生式规则以及过程的混合知识表示。	传统方法改进
转向系统	神经网络; 神经网络与规则相结合。	新技术新理论
	基于 B/S Browser/Server的远程诊断。	远程技术
空调系统	基于多元回归统计分析的规则获取方式。	传统方法改进
	基于模糊理论; 基于神经网络。	新技术新理论
制动系统	基于遗传神经网络。	新技术新理论
	集产生式、语义网络式和框架式知识表示于一体的节点式知识表示方法。	传统方法改进
传动系统	神经网络; 案例推理。	新技术新理论
	面向对象程序设计语言 Java与人工智能语言 Prolog结合, 利用 Inetme 技术。	远程技术
行驶系统	产生式规则, 框架和树相结合的多知识表示。	传统方法改进

4.2.2 新技术新理论的应用

将新理论新技术与传统方法融合, 出现了如基于案例的专家系统、基于模糊理论的专家系统、基于神经网络的专家系统、基于行为的专家系统以及远程故障诊断专家系统等, 如表 5所示^[31-43]。

4.3 专家系统研究应用趋势

尽管将专家系统应用于汽车故障诊断取得了一定的进展, 但是仍不能完全代替专家的思维过程, 需要同领域专家合作。因此, 诊断的智能化、网络化和集成化是未来汽车故障诊断专家系统的发展趋势^[44]。

(1) 提高知识获取能力 解决知识获取的途径主要是通过机器学习, 因此发展和完善现有的机器学

习方法, 探索新的学习方法, 建立新的机器学习系统, 特别是多种学习方法协同工作的智能诊断专家系统, 是研究的重要方向^[45]。

(2) 增加知识表示方式 寻求更加准确、直观和方便的知识表示方式, 注重知识库的可维护性, 扩展性以及容错能力的发展, 使得知识表示向智能化的方向发展。

(3) 改进推理方法精度 基于神经网络的推理、基于案例的推理及基于模糊诊断的推理等方法有效提高了诊断推理的精度, 目前出现的将信息融合技术与神经网络技术结合实现故障的推理过程, 可全面提高故障诊断的准确性和可靠性^[46]。

表 4 专家系统传统方法关键技术的改进 特点

关键技术	改进方法	特 点	应 用
知 识 获 取	基于多元回归统计	带有反馈的自学习功能, 对于已验证的数据能不断补充到建立判别函数和判别规则的总体数据库中。	汽车发动机摩擦系统故障
	基于粗集的方法	是一种处理含糊和不确定问题的新型数学工具, 利用粗集理论和动态简约思想, 实现对故障规则的自动获取。	汽车发动机异响类故障
	树结构和产生式规则结合	能够实现知识的自动获取, 通用性好, 易于扩充和移植。	汽车功能故障
	规范化形式	便于把浅层知识和深层知识结合起来, 可以直接输入计算机, 加快知识获取速度。	汽车发动机故障
知 识 表 示	分类框架表示	略去传统框架中有关槽、侧面的概念, 仅保留它的父子关系, 以简化知识表示。	汽车发动机摩擦系统故障
	节点式知识表示	靠不同节点之间的语义关系、因果关系和数值关系相互连接, 使知识表示更加灵活和具有广泛性。	汽车功能故障
	规则架—规则体的知识表示	提高知识库的检索效率, 使得知识表示更加灵活方便。	汽车制动系统
	诊断基元、产生式规则和过程相结合的混合知识表示	有利于知识库的管理, 增强了系统的解题能力。	汽车电气系统故障诊断
	产生式规则、框架和故障树相结合的多知识表示	取长补短, 最大限度地提高知识的表达能力和系统的效率。	汽车发动机故障
	面向对象的知识表示和产生式规则相结合	具有很强的表达能力, 适用于表达复杂的知识。它不仅具有语义网的表达特性, 而且具有继承性、封装性, 知识表示独立性好, 易于模块化、结构化的特点。	汽车发动机故障
	模糊产生式规则	也称扩展产生式规则, 对产生式规则的诊断结果设立支持程度矩阵, 用信任程度因子的方法客观的表示知识。	汽车发动机故障
	故障树知识表示	便于将故障知识形成层次结构, 形象直观, 符合实际, 很好的实现故障知识的内容分析、组织和表示。	汽车发动机故障
	混合推理	结合了正向推理和反向推理的优点, 通过正向推理形成假设, 通过反向推理证实假设的过程。	整车故障
推 理 方 法	双可信度的不精确推理	合理地模仿人类专家的诊断思维, 通过推理获得触发故障集、初诊故障集和诊断结果, 推理效果优于单一可信度。	汽车发动机故障
	内嵌的推理机实现推理	利用现成的框架, 简化推理编程过程, 加快推理速度。	发动机点火系故障

表 5 新技术新理论同专家系统结合的应用状况

类型	特 点	应 用
基于 案例	利用过去求解成功或失败的经验, 通过对历史案例知识的挖掘, 获得知识, 不需对知识进行规则提取, 便于进行增量式学习, 主要用于分析不确定性故障以及源知识难于表示成规则而易于表达成案例的情况。	①将粗集理论中的事例特征项的权值向量确定算法、事例相似度计算算法和基于事例推理的算法应用到汽车异响故障诊断专家系统当中; ②采用动态存储模型技术, 实行分类分层存储; ③采用最近邻策略与模糊策略对实例进行匹配基于。
模糊 理论	将模糊理论与专家系统技术相结合, 具有较强的结构性和知识表达能力, 适合于诊断不确定信息和不完整性信息。	①采用人工智能的方法, 利用专家知识动态建立模糊诊断矩阵; ②以模糊数学理论为基础, 建立了汽车故障诊断专家系统的诊断模型。
基于 神经 网络	将神经网络与故障诊断专家系统结合, 无须描述规则, 只需提供典型样本, 知识库容错性强, 学习对象是抽象数据, 适用性强。	①采用传统 BP算法; ②采用动态调整学习速度的激励函数参数的办法对 BP算法进行修正; ③把神经网络与传统专家系统结合的全集成型诊断系统。提高了基于规则的传统专家系统的推理效率, 克服了逻辑推理不能并行推理的不足, 实现了较为完整的规则库维护机制; ④采用遗传算法对系统进行优化, 将模糊理论与神经网络结合来诊断汽车空调压缩机故障; ⑤用模糊映射神经网络代替模糊推理过程, 并与规则推理相结合的方法, 用于汽车发动机的故障诊断专家系统推理机设计中。
基于 行为 远程 故障 诊断	在缺乏先验知识的情况下, 通过行为交互, 构成诊断系统, 不必事先给出所有故障类型。 解决专家系统开发过程的关键技术问题。	开发基于行为的诊断专家系统的关键是故障行为征兆(语义征兆、网络征兆)的自动获取问题、新故障的自动识别和分类问题。 ①开发基于 ASP(Active Server Page即动态服务器脚本)网络的汽车故障诊断专家系统; ②建立基于 B/S(Browser/Server即客户机/服务器)的汽车远程故障诊断专家系统。

(4) 网络集成故障诊断专家系统 网络架构下的集成故障诊断专家系统符合现代汽车故障诊断领域要求, 基于实例、规则和模糊神经网络模型的集成诊断专家系统, 是集成故障诊断专家系统的研究方向之一, 同时多媒体技术的应用也有助于提高故障诊断的准确性和效率; 通过局域网和因特网等实现诊断服务信息的交流和共享, 达成多专家协同诊断已经成为现代故障诊断领域的发展趋势^[47]。

5 基于数值特征识别的汽车故障诊断方法

基于特征状态识别方法不仅适用于机械系统的故障诊断, 而且也适用于电器、电子及控制系统的诊断。其诊断步骤首先为获得诊断信息, 其中最主要的获取方式是通过拾振器拾取机械系统的振动信号。然后对诊断信息进行预处理和分析, 包括滤波、A/D转换以及数字信号的预处理等, 最后, 对系统的状态进行识别。常用的状态识别方法有时域模型识别法、频域识别法、逻辑推理法、距离函数分类法、灰色模型关联度分析法, 还有基于模式识别的方法, 如基于混沌特征量的状态识别、模糊识别以及神经网络识别等。

通过在中文期刊网上检索, 对 1994年 至今的 80

多篇基于数值特征识别的汽车故障诊断研究文献的研究内容进行归纳整理和分析, 不同时期研究论文的数量比例统计结果, 如图 4 所示。由图中可见, 基于小波分析和神经网络识别的故障诊断方法一直占有很高的比例, 近年来, 随着模糊理论及混沌识别等技术的发展, 数值特征识别方法有了很大的发展。

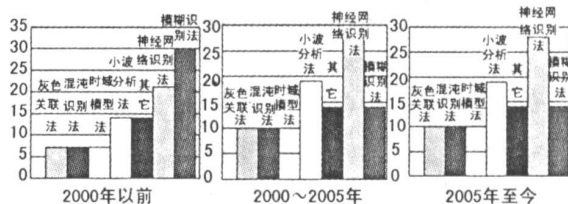


图 4 状态识别方法在不同时期应用研究的比例

5.1 信号数值特征分析

经过处理后的离散信号称为时间序列, 对这些信号的分析主要采用两种方法即时域分析方法, (如自回归 (AR)模型法) 和频域分析方法 (如傅立叶变换、加窗傅立叶变换法等)。近年发展起来的小波理论, 由于在时域和频域都具有良好的特性, 成为特征信号分析最广泛使用的方法。关于这几种特征信息分析方法的比较情况如表 6 所示^[48~55]。

表 6 几种数值特征分析方法的比较

分析方法	适用条件	特 点	在汽车故障诊断领域的应用
AR模型	线性系统、缓慢发生的故障或者是平稳信号	将系统用数学模型来描述 通过观测模型本身的变化或模型参数的变化来判断系统的工作状态。	用于汽车传动系统如变速器、传动轴的故障诊断
傅立叶变换	稳态信号	是将一个任意函数表示为具有不同频率的谐波函数的线性叠加, 它缺乏局部性检测能力, 不能很好地表现信号中的局部突变特征。	只能用于稳态信号, 目前在汽车故障领域应用较少
加窗傅立叶变换	非稳态信号	可获得信号频率分量的分布情况。但它是以固定的滑动窗口对信号进行分析, 因此不适应对要求具有不同分辨率的信号进行分析。	目前在汽车故障领域应用较少
小波分析	突变的 不平稳信号	小波分析具有“变焦”功能, 能在高频处采用短窗以获得良好的时域分辨率, 而在低频处采用长窗以获得良好的频域分辨率, 因此可以对具有不同分辨率的信号进行分析。	汽车传动系统如变速箱、传动轴以及发动机总成等涉及机械振动的故障诊断

5.2 状态模式识别

模式识别是指对表征事物或现象的各种形式的 (数值的、文字的和逻辑关系的) 信息进行处理和分析, 以对事物或现象进行描述、辨认、分类和解释的过程。它是信息科学和人工智能的重要组成部分, 已经在天气预报、卫星航空图片解释、工业产品检测、字符识别、语音识别、指纹识别、医学图像分析等许多方面得到了成功的应用。目前用于汽车故障诊断领域的模式识别方法主要有灰色模型关联度分析法、混沌识别法、模糊识别法以及神经网络识别法等。对这几种

主要模式识别方法的比较, 如表 7 所示。

在实际进行故障诊断中, 上述的特征提取和识别方法并非孤立使用, 而是结合在一起的。如张成宝将时序建模方法与神经网络结合, 利用时序参数对网络进行训练, 建立齿轮状态的分类网络, 以实现变速箱齿轮状态的识别^[68]; 吴勉将小波包理论、联合时频信号处理方法以及模糊神经网络结合, 实现对信号的智能采集、分析和识别^[69]; 张艳等融合模糊理论、神经网络和遗传算法的优点, 结合补偿理论, 设计了一种用于柴油机振动故障诊断的新方法, 该方法虽然花

费较长的训练时间, 但通过训练得到的系统参数可以达到全局最优, 而且识别精度高, 计算复杂度低^[70]; 郑海波等将小波变换与 BP 神经网络结合, 使得计算

和分类速度加快, 并组成实用化的在线故障诊断系统^[71], 具有广阔的发展前景。

表 7 几种主要状态模式识别方法比较^[56-67]

识别方法	基本思想	特 点	在汽车故障诊断领域的应用
灰色模型 关联度分析法	利用灰色模型的关联分析法来确定实际模式归属于某个标准模式。	在一定程度上能够较好的解决故障模式识别问题, 将粗集方法引入到灰色关联模型中, 能够更好地把待检模式向量从其不属于的状态模式中区分开来, 使分类的精度大大提高。	发动机点火系统、传动系统等。
基于混沌特征量的模式识别	在系统处于混沌状态的前提下, 通过计算相应的混沌特征量来判别系统的状态。	能够从一维信息中识别出系统的高维状态。	主要用于发动机的故障诊断。
基于模糊理论的模式识别	通过某些故障现象的隶属度来求出各种故障原因的隶属度, 以表示故障存在的可能性。	针对汽车故障的模糊性和随机性的状态进行故障诊断。	发动机、转向系统等。
基于神经网络的模式识别	模拟人脑神经元的结构特性, 对事物的特性进行数学模拟, 进而识别出系统的状态。	不需要开发算法和规则, 减少软件工作量, 具有并行分布、非程序的、适应性的、大脑风格的信息处理本质和能力。	汽车传动系统如离合器、变速箱等的故障诊断。

此外, 还出现了一些新的基于特征信息识别的故障诊断方法, 如张海军等运用统计模拟的方法, 提取发动机信号的故障特征并给出这些特征值的置信区间, 实现了故障的定量诊断^[72]; 任志英等提出了测量声信号以判断系统故障的方法, 并提出了解决声信号测试的关键技术, 如声源的辨别、去噪声干扰以及测量精度等^[73]; 朱福根等根据小波和人工免疫系统的原理, 提出了一种基于小波变换的故障诊断系统, 并介绍了一种用状态识别的免疫算法, 即疫苗算法, 此算法在小样本获取、连续学习、数据压缩等方面具有明显的优越性^[74]。还有如将分形几何引入到汽车故障诊断中, 从那些不规则的特征信号中提取出它的结构特征的分形维数, 该方法可用于汽车故障的分类, 运行状态的异常判断, 故障征兆的早期预报等。

5.3 数值特征识别方法应用研究趋势

上述几种基于数值特征识别的方法是当前汽车故障诊断领域广泛研究与应用的方法。近年来, 许多学者研究的一些新理论和新技术都致力于解决该方法中各环节的技术问题。尽管这些方法为汽车故障诊断发挥了很大作用, 但仍存在不足, 表现在提取有效信号、去除干扰信号的手段还有待进一步加强; 状态识别的精度以及将这些方法固化起来并转化为实用产品的技术还不完善等。因此, 基于数值特征识别的汽车故障诊断方法将在如下方面研究与应用:

(1) 完善和优化现有的状态识别方法 目前状态识别方法还存在如识别精度低、识别速度慢等问题, 有些方法还只是实验室阶段, 没有得到具体的应用。还有待于进一步研究^[75-76]。

(2) 新理论与新方法的研究 目前的小波理论、模糊数学方法、神经网络、混沌理论、免疫算法及分形

几何等理论和技术已经在汽车故障诊断领域有了一定的应用, 今后将更加注重将非线性数学工具应用于汽车故障诊断, 并将多种理论和技术进行融合和集成, 促进故障分析手段的多样化^[77]。

(3) 与汽车故障状态的远程诊断系统集成 将基于数值特征识别的故障诊断方法用于汽车运行状态的远程实时监测, 可以大大提高车辆的使用效率^[78]。如将小波分析用于短时突变信号的去噪和提纯, 可大大降低误报和虚报警的发生率; 将模糊理论用于状态分类, 使得复杂系统状态的分类精度得到提高; 运用神经网络理论可以对不同来源的复杂信号很好的融合, 并不断修正、积累经验, 达到自组织自适应的目的; 将分形理论用于状态识别, 通过一个主要变量的时间序列来重构相空间, 以混沌系统在相空间中的几何形态特征参数来获得实际被监测系统的状态变化^[79-81]。

(4) 智能化状态识别方法的应用研究 将各种状态识别方法同专家系统结合, 借助信息技术、网络技术以及人工智能技术, 发展具有智能化识别功能的产品, 并使其安装简单, 操作方便。目前发展的一些大型集成化故障诊断检测设备已经具有这些功能, 随着科技的进步和汽车智能化水平的不断提高, 智能化状态识别方法将具有广阔的应用前景^[82]。

6 结 论

综上所述, 未来汽车故障诊断将在传统方法的基础上, 不断的融合各种先进的技术和理论方法, 如将人工智能技术、状态监测技术、故障诊断理论以及实际经验知识进行系统性集成, 并以网络化方式运行的故障诊断系统。该系统不仅是相关检测技术的集成, 而且是故障诊断信息和理论的集成, 其高级形式是远

程协作诊断。其支持技术主要包括检测设备或仪器通讯的标准化、故障诊断专家系统的通用化、故障诊断推理方法的多元化和故障诊断知识获取的网络化等 4 个方面^[83]。

目前,美国工程师协会已经把各公司的几十种通信方式统一起来,较大程度上解决了检测设备或仪器与车载计算机系统之间通信协议的标准化问题,改善了汽车的计算机性能和通信速度,加速了其标准化进程;对于故障诊断专家系统只能针对单一车型等通用化问题,目前已经提出研究专家系统构造工具的新课题,主要来解决不同种类车型故障诊断专家系统开发的统一模式和程序,使同一车系不同车型或同一总成生产厂家生产的产品的故障诊断知识库得到共享,该系统实际上是数值计算与符号推理的集成,是多种知识处理技术和多种诊断技术的集成以及多个模块或功能子系统的集成;针对集成化汽车故障诊断系统的推理机制,应根据不同的故障模式或类型采用相应的方法。将基于符号的推理方法与基于数值计算的推理方法相结合,对提高诊断结论的准确性十分有利。如现在普遍研究的神经网络专家系统、模糊专家系统等都是多元化融合推理的实例。由于计算机网络技术的日益成熟,积累的速度将大幅度提高,周期明显的缩短。这使专家系统的性能得到提高,功能得到改善。广域网络系统提供了各个企业与诊断网站的互联通道,同时,由于广域网络设备配置的可靠性高,通讯速度快,具有良好的扩展能力,满足了网络用户对广域网络的需求。总之,高度集成化的汽车故障诊断系统是未来汽车故障诊断领域的重要发展方向。

参考文献:

[1] 杜晓慧,丛 峙,邹振礼. 汽车故障诊断技术简论[J]. 黑龙江交通科技, 2005(7): 57-58.
[2] 赵英勋. 汽车诊断技术的发展与对策[J]. 汽车研究与开发, 2004(5): 28-31
[3] 周 凡. 汽车电控系统的故障诊断方法[J]. 交通标准化, 2006(2): 179-183
[4] 彭富明. 汽车发动机故障检测与诊断系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2005(13): 1351-1353
[5] 郑殿旺. 汽车变速箱故障诊断计算机分析系统[J]. 汽车研究与开发, 1996(3): 55-57.
[6] 郭荣春,王贇松. 基于虚拟仪器的汽车远程故障诊断系统的研究[J]. 山东理工大学学报, 2003(3): 13-16
[7] 王奉涛,马孝江. 汽车变速器性能检测与故障诊断系统设计[J]. 仪器仪表学报, 2006(6): 382-385
[8] 睦召令,阎永军,陈 昊,等. 汽车液压制动系的计算机诊断系统[J]. 南京林业大学学报, 2000(4): 32-34
[9] 刘庆华. OBD_ II—第二代车载故障诊断系统[J]. 汽车维修与保养, 2006(7): 63
[10] Gilberto Gerardo Differences between on-board diagnostic Systems (EOBD, OBD— II, OBD— FR1 and OBD— BR2)[J]. SAE

Paper 2006(012671): 12-14
[11] 戴冠军,周启明,谢小军. 电控汽车自诊断系统通讯网络设计原理[J]. 汽车技术, 2003(2): 39-40
[12] Carlo N Grimaldi and Francesco Mariani Prediction of engine operational parameters for on-board diagnostic using a free model technology[J]. SAE Trans Section 3, Journal of Engines 1999(1): 1224
[13] 王旭斌,王生昌,李茂月. 车载自诊断的原理及使用[J]. 汽车电器, 2006(12): 31-34
[14] Zhou Xing-li, Xian On board self-diagnostic strategies research for electronic controlled diesel oil injection System[J]. Automatics 2007(013540): 25-28.
[15] Paul A KisBalusis On-board vehicle diagnostics[J]. SAE Paper 2004(210009): 33-34.
[16] Yu tong Gao, M David Checkel Emission factors analysis formulae for vehicles using an on-board in-use emissions measurement system[J]. SAE Paper 2007(011327): 16-19
[17] Marko K A James J V Fekkmamp TM et al Automotive diagnostics using trainable classifier[J]. Statistical testing and Parameter selection in Proc of IJCNN 1990(8): 32-36
[18] Yi Lu, Tie Qi Chen, Brennan T Hamilton A fuzzy diagnostic model and its application in automotive engineering diagnosis[J]. Applied Intelligence 1998(9): 231-243
[19] Siaszowski W J Worden K Classification of faults in gear-boxes preprocessing algorithms and neural networks[J]. Neural Computing & Applications 1997(5): 160-183.
[20] Janice M Lukicb, Wayne D Brandt Integrated diagnostics for the vehicle system[J]. SAE 2006(912683) 2-5
[21] 刘凤霞,孙凤英,纪峻岭. 专家系统故障诊断法及其在汽车故障诊断中的应用[J]. 交通科技与经济, 2001 3(2): 40-43
[22] 陈 铭,李 纲,王成焜. 基于油液分析的汽车发动机摩擦系统故障诊断专家系统知识库的建立[J]. 润滑与密封 1998(4): 21-23
[23] 盛颂恩,劳佳锋,陈久军. 基于粗集理论的故障规则自动获取系统的研究[J]. 浙江工业大学学报, 2004(4): 203-207
[24] 闵永军,万茂松,黄银娣,等. 汽车功能故障知识表示的研究[J]. 林业机械与木工设备, 1999(6): 20-22
[25] 赵志宏. 确定性故障诊断知识节点式表示技术[J]. 长安大学学报, 2003(1): 80-83.
[26] 成 曙,张振仁,李晓建,等. 汽车电气设备故障诊断专家系统的设计与实现[J]. 工业仪表与自动化装置, 2004(2): 21-23
[27] 王璐玮,尹朝庆,葛守飞. 基于 μ 规则引擎的汽车发动机故障诊断专家系统研究与开发[J]. 交通与计算机, 2005(5): 30-34
[28] 许占文,葛 岳. 关于神经网络的汽车故障诊断专家系统[J]. 沈阳工业大学学报, 1998(5): 46-49.
[29] 赵树朋,张世芳,邝朴生. 汽车电喷发动机故障诊断专家系统的开发研究[J]. 河北农业大学学报, 2002(4): 79-81.
[30] 崔 林,杨铁皂,朱圣柳. 汽车发动机点火系统故障诊断专家系统的开发[J]. 洛阳工学院学报, 1998(3): 40-44.
[31] 尹旭日,张从文,王教东. 汽车故障诊断中基于粗集的 CBR 方法研究[J]. 交通与计算机, 2005(1): 83-86
[32] 尹旭日,周志华,陈世福. AFDES中基于 Case推理方法的研究[J]. 计算机应用与软件, 2002(1): 39-41.
[33] 张力军,石湘龙. 案例推理在汽车维修故障诊断中的应用[J]. 湖南理工学院学报, 2005(9): 73-76.

- [34] 王秉仁, 姜小丽, 张 雷. 基于模糊逻辑推理的汽车故障诊断的研究[J]. 机电工程, 2005(10): 55—57
- [35] 胡 琳. 汽车故障诊断专家系统诊断模型的研究[J]. 电子技术应用, 1997(12): 23—26
- [36] 曹建国, 罗 辑. 基于神经网络的发动机异响故障诊断方法[J]. 机械制造技术 2004(2): 19—20
- [37] 王伟杰, 赵学增, 黄文涛. 基于 BP网络的故障诊断正向推理方法[J]. 车用发动机, 2001(8): 33—35
- [38] 孙 乔, 潘旭峰, 李晓雷. 神经网络在汽车传动系统故障诊断中的应用[J]. 计算机应用系统, 1996(8): 16—18
- [39] 卫绍元, 张 蕾. 基于神经网络的汽车故障诊断专家系统开发中的问题研究[J]. 公路交通科技, 2001(4): 78—81.
- [40] 张 蕾, 董恩国. 遗传优化算法在压缩机故障诊断中的应用[J]. 压缩机技术, 2004(4): 4—6
- [41] 胡奕涛, 武和雷. 车用发动机故障综合智能诊断方法研究[J]. 车用发动机, 2003(6): 4—6
- [42] 辛惠娟, 钱东平, 李志芳. 基于 ASP网络开发汽车发动机故障诊断专家系统[J]. 农机化研究, 2006(2): 190—193
- [43] 陈 豪, 张为公. 基于 B/S的汽车远程故障诊断系统[J]. 北京汽车, 2004(2): 33—36
- [44] Kristian Jankeoy. Experimental design and development of an expert system for the knowledge-based engine process optimization of modern diesel engines[J]. SAE 2006(32): 11.
- [45] Michael Hadjiminichae, John M. Carthy. Development of a fuzzy expert system for aviation risk modelling[J]. SAE 2005(1): 3357
- [46] Sheng Yeh, Brian Kochowski, Thiagaraj Subbjan. An expert system for vehicle restraint system design[J]. SAE 2005(1): 1304.
- [47] 陈朝阳, 张代胜, 任佩江. 汽车故障诊断系统的现状与发展趋势[J]. 机械工程学报, 2003(11): 1—6
- [48] 秦贵和, 赵宏伟, 臧雪柏, 等. 基于发动机空载模型的油门及转速传感器故障检测方法[J]. 吉林工业大学学报, 1996(2): 19—23
- [49] 羊拯民, 张成宝. 时序分析在汽车变速器齿轮故障诊断中的应用[J]. 农业机械学报, 2000(3): 4—7
- [50] 杨 宇, 于德介, 程军圣. EMD和 AR模型在汽车变速器轴承故障诊断中的应用[J]. 汽车工程, 2004(6): 743—746
- [51] 杨文平, 陈国定, 石博强. 基于小波理论的复杂机械振动信号降噪分析[J]. 北京科技大学学报, 2002(4): 455—457 .
- [52] 张梅军, 何世平, 葛强盛, 等. 伪魏格纳分布和连续小波变换在变速器故障诊断中的应用[J]. 解放军理工大学学报, 2002(1): 77—81.
- [53] 李 力, 屈梁生. Haar小波变换在变速器齿轮故障诊断中的应用[J]. 汽车工程 2003(5): 510—513
- [54] 冯志华, 朱忠奎, 殷明华, 等. 瞬态成分提取在变速器齿轮故障诊断中的应用[J]. 汽车工程, 2005(2): 251—254 .
- [55] 庞 茂, 周晓军, 胡宏伟, 等. 基于解析小波变换的奇异性检测和特征提取[J]. 浙江大学学报, 2006(11): 1995—1997
- [56] 黄文涛, 王伟杰, 赵学增. 灰色关联分析在点火系统故障诊断中的应用[J]. 农业机械学报, 2003(6): 11—13
- [57] 赵 韩, 张 彦, 方良海, 等. 灰色关联分析法在汽车零部件故障分析中的应用[J]. 农业机械学报, 2005(8): 125—128
- [58] 吴晓兵. 基于灰色粗集模型的汽车变速器故障诊断方法[J]. 北京理工大学学报, 2000(5): 577—580
- [59] 徐玉秀, 杨文平, 任立义. 关联维数及其在故障诊断中的应用研究[J]. 振动. 测试与诊断, 2001(4): 275—281
- [60] 杨文平, 陈国定, 石博强等. 基于李雅普指数的汽车发动机故障诊断研究[J]. 振动工程学报, 2002(4): 476—478
- [61] 徐玉秀, 原培新, 杨文平. 基于柯氏嫡的汽车发动机状态预测的可行性研究[J]. 振动与冲击, 2004(3): 101—104.
- [62] 吴义虎, 周育才, 张利军, 等. 车用汽油机污染物排放特性模糊分析方法及应用研究[J]. 中国公路学报 2001(3): 101—105
- [63] 王伟杰, 黄文涛, 赵学增. 发动机点火系统模糊诊断方法的研究[J]. 小型内燃机与摩托车, 2002(3): 1—3
- [64] 张成宝, 丁玉兰, 雷雨成. 人工神经网络在汽车变速器齿轮故障诊断中的应用[J]. 汽车工程, 1999(6): 374—378.
- [65] 卫绍元, 张 蕾. BP神经网络在汽车故障诊断中的应用研究[J]. 辽宁工学院学报, 2001(1): 12—14.
- [66] 张 蕾, 董恩国, 李泳鲜. 遗传神经网络法在汽车故障诊断中的应用[J]. 汽车技术, 2003(1): 36—39.
- [67] 魏 超, 卫绍元, 王贤军. 结合遗传算法的人工神经网络在汽车故障诊断中的应用[J]. 辽宁工学院学报, 2003(2): 53—55
- [68] 张成宝, 丁玉兰, 吴光强, 等. 汽车变速箱齿轮状态识别方法的研究[J]. 同济大学学报, 2000(2): 236—240
- [69] 吴 勉, 邵惠鹤. 基于时频分析与神经网络的实时智能故障诊断系统的软件设计[J]. 系统仿真学报, 2001(8): 179—182
- [70] 张 艳, 陈 东, 李晓雷, 等. 融合阴阳补偿理论的软计算故障诊断方法[J]. 北京理工大学学报, 2001(3): 304—309
- [71] 郑海波, 陈心昭, 李志远. 小波神经网络故障诊断系统的设计与应用[J]. 农业机械学报 2002(1): 73—76
- [72] 张海军, 屈梁生, 肖云魁. 汽车发动机诊断的统计模拟方法[J]. 汽车工程, 2003(1): 96—100.
- [73] 任志英, 严世榕. 基于声信号的发动机故障测试方案及分析研究[J]. 现代机械, 2005(6): 48—50
- [74] 朱福根. 基于免疫机理的汽车故障检测技术研究[J]. 传感技术学报, 2006(3): 645—648
- [75] Srinivas Jorna Jagadda. Fault diagnosis of drive line system using response optimization[J]. SAE 2007(1): 3727
- [76] 肖淑梅, 贾民平. 现代汽车状态检测和故障诊断技术及其发展[J]. 扬州职业大学学报, 2005(2): 53—56
- [77] Geoffrey McCullough, Neil McDowell, George Irwin. fault diagnostics for internal combustion engines—current and future techniques[J]. SAE 2007(1): 1603.
- [78] 储 浩, 张 雨, 吴文兵. 汽车状态远程监测技术[J]. 长沙交通学院学报, 2003(3): 14—18
- [79] Shahram Azadi Abbas Soljani. Application of wavelet Analysis to the suspension system fault detection of a vehicle[J]. SAE 2007(1): 2370.
- [80] ByungHo Lee, Yann G. Guezennec, Gökçen Rizonji. Model-Based Fault Diagnosis of Spark-Ignition direct-injection engine using nonlinear estimations[J]. SAE 2005(1): 71
- [81] Song Yiqi, Mark K. Krafcz, Laci J. Jalicz. Overview of remote diagnosis and maintenance for automotive systems[J]. SAE 2005(1): 1428.
- [82] Saad Yaser Yasir, Majid Hashemipour, Subramaniam Ganesan, Ram Shama. Fuzzy logic control based failure detection and identification (FDI) Module for Internal Combustion (IC) Engines[J]. SAE 2006(1): 1352.
- [83] 储江伟, 崔鹏飞. 关于集成化汽车故障诊断系统及其支持技术研究[J]. 公路交通科技, 2005(2): 121—125