

基于数据库与专家系统的柴油机故障诊断软件开发

金炳哲¹, 陈冬梅², 徐在强²

(1. 91202 部队, 辽宁 葫芦岛 125000; 2. 七一一研究所, 上海 201108)

摘要: 基于对某型实船柴油机历史运行数据以及系统结构的分析, 借助专家系统开展柴油机故障诊断软件的设计和开发。着重介绍了数据库的构成及数据挖掘技术, 对实现该故障诊断系统的关键技术, 如故障分类、贝叶斯网络推理诊断模型、基于 SVM 的柴油机故障诊断与预测以及专家系统进行了分析; 并对该故障诊断系统的软件实现进行了描述。

关键词: 柴油机; 故障诊断系统; 软件; 数据库

中图分类号: TP277.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2017)01-0042-04

Development of Diesel Engine Fault Diagnosis Software Based on Data Base and Expert System

Jin Bingzhe¹, Chen Dongmei², Xu Zaiqiang²

(1. 91202 Unit, Liaoning Huludao 125000;

2. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

Abstract: Based on the analysis of historical operation data and system structure of a ship's diesel engine, the design and development of diesel engine's fault diagnosis software was carried out with the use of expert system. The data base constitution and data mining technology are introduced in detail, and the key technologies to realize fault diagnosis, such as fault classification, Bayesian network reasoning and diagnostic model, diesel engine fault diagnosis and prediction based on SVM, as well as expert system are analyzed. Moreover, the software implementation of this fault diagnosis system is described.

Key words: diesel engine; fault diagnosis system; software; data base

0 引言

船舶柴油机是船舶的动力源和“心脏”, 一旦出现故障将产生难以估量的损失。随着数据库技术在柴油机状态监测和故障诊断系统中的应用规模、范围和深度的不断扩大, 监测的数据越来越多。激增的数据背后隐藏着许多重要信息, 而能否充分利用这些数据中的大量信息去监测柴油机运行状态, 诊断故障原因、位置和严重程度, 则须要对数据进行分类、记录和存储, 以及进行更高层次地挖掘分析, 建立专家知识库以及推理诊断决策^[1]。

故障诊断系统可分为现场总线层、数据库层、诊断与推理层、人机交互及管理层。专家知识库和推理层是系统的核心模块, 数据采集和数据库是诊断与推理的基础。本文着重介绍基于实船运行数据与专家系统工具的柴油机故障诊断软件的开发。

1 故障诊断数据库和数据挖掘技术

1.1 柴油机故障诊断数据库

柴油机故障诊断数据库是构建故障诊断专家系统, 对柴油机进行故障关联分析和数据挖掘的基础。柴油机故障诊断数据库除在柴油机出现故障时

收稿日期: 2016-03-23

作者简介: 金炳哲(1973-), 男, 工程师, 主要研究方向为柴油机运行管理与维修。

可用于快速查明原因,指导维修工作之外,还可将实船出现的典型故障及出现故障前后的数据作为典型数据进行存储和研究,为后续故障诊断系统的自学习功能提供训练样本。柴油机故障诊断数据库可分为以下 3 个数据库:系统数据库、历史数据库和典型故障数据库。柴油机故障诊断系统数据库的组织结构图如图 1 所示。其中,系统数据库主要包括设备描述、配置以及用户权限和日志;历史库主要包含实时收集的参数数据、报警数据以及状态监视等数据经过压缩处理后保存下来的运行参数;典型故障库保存经过分析、处理、分类的故障数据。

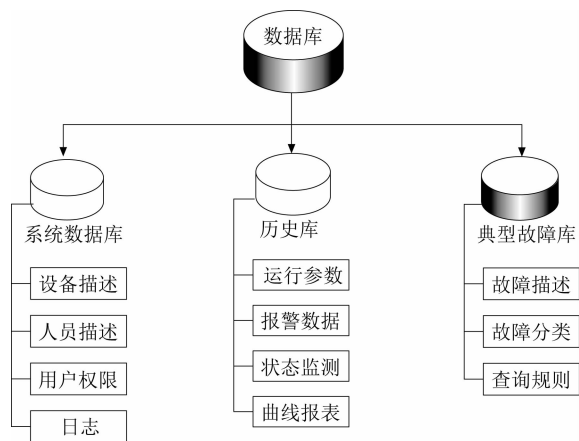


图 1 柴油机故障诊断数据库组织机构图

1.2 数据挖掘技术

数据挖掘是从数据库、数据仓库或其他信息库中的大量数据中发现知识的过程。常用的数据挖掘算法有关联分析、分类与预测分析、聚类分析、孤立点分析、序列分析等,本文主要阐述用于实船热工参数的数据挖掘算法。

(1) 聚类

以实船数据为基础,通过数据统计、机器学习法提取柴油机正常/有故障征兆/非正常运行时的柴油机本体、油、水、气等监测参数的按照正态分布的数值及概率,形成各子系统 A、B、C 聚类,其中每一聚类代表该系统的不同健康状态。

(2) 关联分析

若两个或多个数据项的取值之间重复出现且概率非常高时,就存在某种关联,这样就可以建立起这些数据项的关联规则。若两项或多项属性之间存在关联,那么其中一项的属性值就能够依据其它属性值进行预测,如柴油机的滑油进机压力、排气温度、主机淡水进口压力、增压器滑油进口压力等监测参数均须和柴油机的转速进行关联分析。柴油机的转速(负荷)越大,对润滑、冷却介质的热传导效应越强,因此在对热工参数进行分析时须与转

速进行多维度关联分析。

(3) 序列分析

任何渐发性故障的产生均会在早、中、晚期出现不同的故障征兆,时序分析就是指从时序数据中发现相对时间或者相对其他顺序所出现的频率较高的子序列模式^[2]。如对柴油机滑油品质中磨粒成分、磨粒浓度趋势的分析可以较好地反映出不同部位柴油机摩擦副(缸套、主轴颈、主轴瓦)的磨损程度。

2 柴油机故障诊断及推理

柴油机故障诊断系统的核心在于如何实现故障诊断及推理,其中,对柴油机进行实船传感器配置和故障分类是基础,而故障推理、柴油机故障诊断及预测、故障诊断专家系统是实现柴油机故障诊断的关键技术。

2.1 故障分类

对柴油机(16VPA6 型)系统进行分解^[3],根据各个子系统实现的功能和现有的传感器,将该柴油机的故障分成以下几类:海水系统、燃油系统、滑油系统、冷却系统、增压系统、起动系统等,如表 1 所示。

2.2 贝叶斯网络推理诊断模型

贝叶斯网络诊断模块为系统的核心,贝叶斯网络推理诊断模型如图 2 所示。本研究将柴油机分为各个相对独立且相互关联的子系统,然后对子系统各个故障类别分别建立贝叶斯网络模型。一般故障现象由高层次的一个或几个原因导致,高层次原因又可能由一个或几个更高层次的原因造成,其成因比较复杂,因此解决故障成因的措施根据具体设备的情况也存在多样性。建立贝叶斯网络节点关系后,还须根据专家经验和故障实例,估算该故障原因的各个节点的条件概率以及置信度,这种概率估算的方法通过一段时间的自学习过程可大大提高故障诊断效率^[4]。

2.3 基于 SVM 的柴油机故障诊断与预测

柴油机由于其系统组成复杂,参数众多,故障规律很难用简单的数学模型描述。SVM(Support Vector Machine,支持向量机)能够解决小样本、非线性和高维模式识别等实际问题,因此本文采用 SVM 对船舶主柴油机进行故障诊断。

基于 SVM 的柴油机故障诊断与预测,首先利用 SVM 的模型对实船的数据进行批量学习(batch learning),将实船高维样本进行分类或者回归,判断其工作状态为正常还是故障,根据样本学习出故

障预测函数。而在线 SVM 是在对历史数据进行批量学习的基础上, 根据实时采集的样本, 边学习边给出结果, SVM 算法对于新获得的样本, 利用预测函数对类别标签的真实值和预测值进行对比, 如果预测值与真实值在可接受范围内, 则接受该预测

函数; 否则优化模型参数, 整个过程是重复迭代的过程, 直至所有样本完成运算^[5]。图 3 为基于 SVM 的柴油机健康状态实时曲线, 图 4 为某时刻影响柴油机健康状况的关联点详细信息。

表 1 16VPA6 柴油机故障分类及相关测点

子系统	故障表现	相关监测点
海水系统	低温淡水冷却器出口海水温度异常	海水泵出口压力、淡水冷却器海水进/出口温度、滑油冷却器海水出口温度
	主机滑油冷却器出口海水温度异常	
	海水系统压力低	
淡水循环系统	柴油机高温淡水出口高温	空冷器漏水液位高、A/B 列增压器淡水出口温度、淡水冷却器淡水进/出口温度、左主机淡水进/出口温度、主机淡水进/出口压力、左主机膨胀水箱低位、空冷器出水温度
	柴油机高温淡水进口高温	
	耗水量高于正常	
	低温淡水温度异常	
	低温淡水系统压力异常	
滑油系统	柴油机进口滑油温度异常	预供滑油压力、曲柄销溅油温度、滑油进口压力、滑油进口高温、滑油泵出口压力、自净式滑油滤器压差高、左主机油底壳低位
	柴油机滑油进口压力异常	
燃油系统	燃油进口压力降低	A/B 列高压燃油管漏油、燃油进口压力、自净式燃油滤器压差高
	燃油泄漏	
曲轴箱透气系统	曲轴箱压力升高	柄箱油雾浓度或温度过高、曲轴箱高压、曲轴箱压力
	曲轴箱油雾浓度高	
进排气系统	柴油机进口空气温度高	A/B 列增压器涡轮出口温度、A/B 列增压器空气出口压力、A/B 列增压涡轮进口废气压力、A/B 列增压器滑油进口压力、左主机增压器滑油滤器压差高、空冷器进/出口空气温度、空冷器进/出口空气压力、A1-A8 缸排气温度、B1-B8 缸排气温度、A/B 列排气总管温度、A/B 列排气背压、A/B 列增压器转速、主机转速
	柴油机进口空气压力异常	
	A 排和 B 排增压器转速有差异	
	柴油机相继增压系统故障	
	某气缸排气温度异常 (含非正常上升、持续下降、急剧下降)	
	所有气缸排气温度异常	
柴油机主轴承	单个轴承温度缓慢上升或下降	第 1~9 主轴承温度、推力轴承前径向轴承温度、推力轴承后径向轴承温度、推力轴承正车推力块温度、推力轴承倒车推力块温度、推力轴承油池温度、1#中间轴承轴瓦温度、1#中间轴承油温、2#中间轴承轴瓦温度、2#中间轴承油温
	所有主轴承温度升高	
	单个主轴承温度急剧上升	
	推力轴承温度异常	
起动系统	柴油机不转	起动空气压力、控制空气压力、控制空气瓶压力、左主机转速、空气总管压力
	缓慢盘车后柴油机不转	
	柴油机旋转但不起	

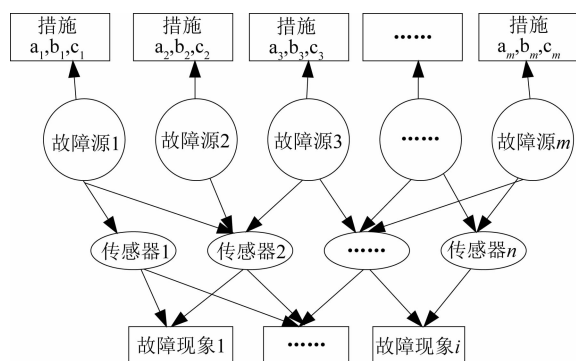


图 2 贝叶斯网络诊断模型

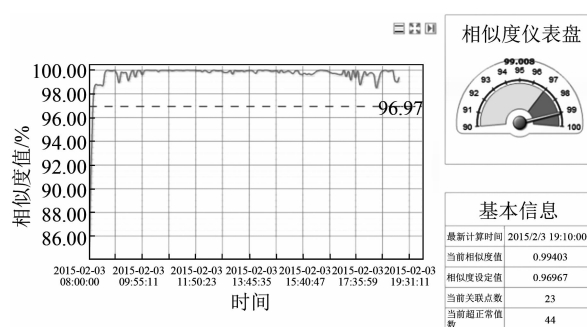


图 3 基于 SVM 的柴油机健康状态实时曲线

2.4 专家系统

柴油机故障诊断专家系统将专家知识、数据挖

掘工具、故障推理与预测、模型及知识管理、用户交互及图形显示相结合，是故障诊断软件的核心。该系统采用推理控制语言，具备自学习能力，结合实船数据进行可检出的最常见的故障的诊断。柴油机故障诊断专家系统架构图如图 5 所示。

时间	相似度量	关联测点	超正常值个数	状态记录
2015/2/3 13:05:00	0.99971	3	47	None

展开/收起超正常值统计

序号	测点名称	测点描述	单位	测值	正常范围	模型范围	状态	时间	趋势图
1	269812592	右DE冷却水压力	mpa	378	0至100	95至387	在线	2015-02-03 13:05:00	
2	269812672	右DE冷却水压力	mpa	341	0至100	90至367	在线	2015-02-03 13:05:00	
3	269812656	右DE冷却水压力	mpa	330	0至100	87至356	在线	2015-02-03 13:05:00	

图 4 健康状况的关联点信息详情

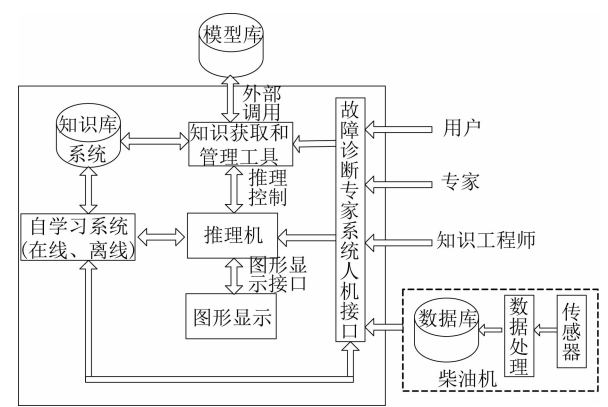


图 5 柴油机故障诊断专家系统架构图

3 柴油机故障诊断的软件实现

故障诊断软件在实现上可分为现场总线层、数据库层、诊断与推理层、人机交互及管理层。

现场总线层采用 CAN 总线层和串行总线采集柴油机各子系统的温度、压力、转速以及开关量参数。

数据库层的实时数据库软件接收网络上以太网数据帧，并进行协议转换、数据校验、数据提取，将提取到的监测点数据以文件的形式压缩并存储。实时数据库软件采用 Visual Studio 2010. net 平台开发。

诊断与推理层采用基于知识的故障诊断专家系统平台，该平台由面向对象的推理机、解释器、工具库、知识管理工具组成，工具库中的数据挖掘工具可对多种异构数据（关系型数据、文本数据）和数据挖掘工具进行统一管理，支持多维数据在线分析处理并控制整个数据挖掘流程，包括数据准备、挖掘、表述以及评价，使数据和数据挖掘任务

有机结合。该工具利用面向对象的思想进行知识管理，利用 ODBC 接口、SQL 数据访问方式访问知识库。在知识库中知识对象的逻辑结构由类（Class）、槽（Slot）、侧面（Facet）组成，分别对应数据库中的三个表：对象表（Class Base）、属性表（Slot Base）和方法表（Facet Base）。推理机在故障求解过程中采用内存组织的方法读取知识库至知识对象缓存中，利用控制黑板开展推理机和知识对象树中结点间的通信，通过规则解释器对对象方法中的过程脚本进行翻译执行，在执行中可以调用各函数和模型，并通过设备函数接口对外部设备的数据库进行访问，最终给出推理结论。

人机交互及管理层也采用 Visual Studio 2010. net 平台开发。该层主要有柴油机故障总览展示、冷却系统、滑油系统、燃油系统、进排气系统、启动与调速系统的诊断信息交互，柴油机故障应答与处理，柴油机故障诊断辅助决策，柴油机健康状况显示及预测，柴油机参数分析及柴油机故障排查等功能。

4 结束语

本文在对 16VPA6 柴油机的实船运行数据挖掘及故障分类的基础上，从实船应用角度进行了柴油机故障诊断系统的理论研究和相应的软件开发，以实现 16VPA6 机故障诊断系统的实用性推理。本研究的结果将在后续的工作中利用更多实际样本进行验证和完善，并将实现在其他柴油机机型上的技术迁移，以推广应用并逐步完善。

参考文献

[1] 孙卫祥. 基于数据挖掘与信息融合的故障诊断方法研究 [D]. 上海：上海交通大学，2006.

[2] 张瑜，彭玉清. 关于时序模式发现算法的研究 [J]. 河北科技大学学报. 2004，25（2）：27-29.

[3] 顾宏中，郭中朝. 16VPA6STC 柴油机改用 MIXPC 涡轮增压系统的研究 [J]. 中国造船. 2008，（49）（1）：90-96.

[4] 刘存香，刘学军，韦志康. 基于 Bayesian 故障诊断网络的柴油机故障信息关联度研究分析 [J]. 拖拉机与农用运输车，2008，35（1）：48-49.

[5] 邹义，詹玉龙. 基于支持向量机的船用柴油机故障诊断研究 [D]. 上海：上海海事大学商船学院，2006.