

# 船艇柴油机运行状态监测故障预报系统的设计

臧 曙<sup>1</sup>, 周东华<sup>2</sup>

(1. 镇江船艇学院 工程系, 江苏 镇江 212003; 2. 清华大学 自动化系, 北京 100084)

摘要 :故障预报技术是近十年来发展起来的一种高技术,为提高复杂系统的可靠性和可维护性开辟了一条新的途径,但相关的研究成果还比较少.介绍了船艇柴油机运行状态监测故障预报系统的结构及各功能模块的设计,特别提出了船艇柴油机运行状态征兆值的提取、监测数据的逻辑运算与数值分析、故障预报的对比与判断以及系统学习机制的具体方法,以增强本系统的实用性.

关键词 :船艇 状态监测 故障预报 专家系统

中图分类号 :TP272.1 文献标识码 :A

## Design of fault prediction system for monitoring the operation state of watercraft diesel

ZANG Shu<sup>1</sup>, ZHOU Dong-hua<sup>2</sup>

(1. Department of Engineering, Zhenjiang Watercraft College, Zhenjiang 212003, China;

2. Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract : Fault prediction is a kind of high technology developed in the past decade, which provides a new way to improve the reliability and maintainability of complex systems. But there are relatively fewer related results in this field. The mechanism and all functional modules of fault prediction system for monitoring the operation state of a watercraft diesel are introduced. In order to make the system more practical, we also introduce the extraction of operation symptom, the Boolean calculation and the numerical analysis of the monitored data, the comparison and judgment of fault prediction as well as some detailed schemes of learning mechanism for the system.

Key words : watercraft; operation state monitoring; fault prediction; expert system

## 0 引言

柴油机是船艇重要组成部分之一,是船艇的核心装备.随着船艇部队对其装备的监控、维修方式从过去的定时检测维修逐渐转为现在的实时监测视情维修,其装备的运行状态监测故障预报的重要性更

日益体现出来,因此对船艇柴油机运行状态监测故障预报的研究就显得更加迫切而又重要.

通常在船艇柴油机的运行状态监测故障预报<sup>[1]</sup>中,维修人员的经验和掌握的专业知识对快速检测、故障预报起着决定性的作用.但在船艇部队这一特定的环境中,由于部队兵役制度的限制,每个岗位的工作人员工作时间短,不可能在短期内掌握较多

收稿日期 :2005-03-16

基金项目 :国家自然科学基金项目 (60234010);国家 973 计划资助项目 (2002CB312200)

作者简介 :臧曙 (1961-),男,江苏镇江人,副教授,清华大学自动化系访问学者,研究方向为复杂动态系统的故障诊断、预报、容错控制与智能维护技术.

E-mail : zangshu @ tsinghua .org .cn

的专业技术.同时,受军事任务、时间以及船艇空间的限制,使得多专家、多人员共同诊断预报的方法难以实现.因此,十分有必要建立一套集多专家知识于一体的柴油机运行状态监测故障预报系统,以保障军事任务的顺利完成,降低对船艇部队人员使用维修技术的要求,节省维修经费,确保船艇装备的完好率<sup>[1]</sup>,适应船艇部队新时期装备维修技术发展的需求.

## 1 系统结构

系统总体结构如图1所示.

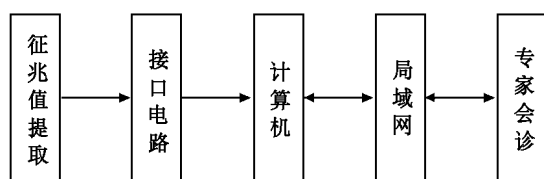


图1 总体结构  
Fig.1 General structure

征兆值提取模块结构如图2所示.

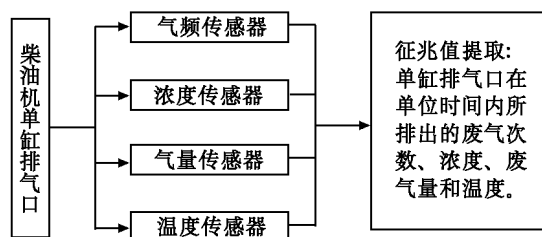


图2 征兆值提取模块结构  
Fig.2 Structure of symptom extraction

接口电路模块结构如图3所示.

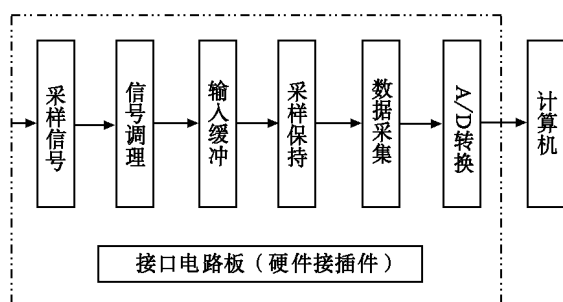


图3 接口电路模块结构  
Fig.3 Structure of input output circuit

计算机处理流程结构如图4和图5所示.

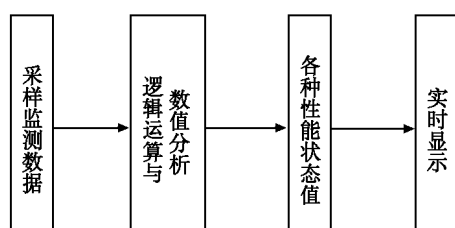


图4 运行状态监测流程  
Fig.4 Flow chart of the running state

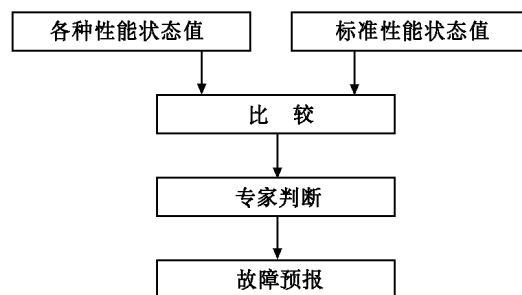


图5 故障预报流程  
Fig.5 Flow chart of fault prediction

局域网、专家会诊模块结构如图6所示.

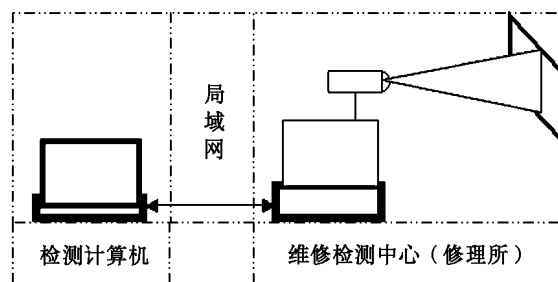


图6 局域网、专家会诊模块结构  
Fig.6 Module structure of the intranet and expert diagnosis

系统基本功能如下:

- (1)实时提供在线监测柴油机各种性能状态值(直观显示);
- (2)提供故障产生的原因、部位及排除方法(预报报告);
- (3)向系统维护人员提供知识库维护和修理功能;
- (4)提供预报结果的解释;
- (5)提供相关的系统服务功能,如存储、打印、网上专家会诊、调阅历史记录等;
- (6)对相关的技术人员进行技术培训;
- (7)系统软件基于 Windows NT4.0 平台,采用 VC++6.0 开发,数据库系统采用 Microsoft Access.

## 2 运行状态征兆值的提取

船艇柴油机运行状态征兆值的提取是这一系统的关键研究点.柴油机是一种比较复杂的动力装备,特别是该系统在现役柴油机上提取征兆值,各种性能传感器的加装变得尤为困难.通过国内外相关资料的检索查询和调研得知,目前国内已有一种废气浓度、温度传感器,该传感器采用分子分析方法检测气体浓度,体积小,便于在较小的空间位置上加装.因此,我们选择这一传感器,采用在柴油机单缸排气口上加装的方法,测得所需的单缸排气口在单位时

间内所排出的废气次数、浓度、废气量和温度,作为所提取的征兆值,加上柴油机上原有的2个特征值(转速和单缸气压),共提取柴油机运行时的6个状态特征值作为该系统实时监测采样值<sup>[1]</sup>。

### 3 接口电路模块结构

接口电路模块结构如图3所示,采用的是目前广为流行的标准接口电路,在此不再详细论述。

## 4 系统软件

### 4.1 逻辑运算与数值分析软件

通过接口电路将所测得的柴油机运行状态征兆值送入计算机,经所建立的数学模型逻辑运算与数值分析,得出柴油机运行状态下的各种性能状态值。

在对柴油机运行状态监测时,只对柴油机稳定工况下的采样值进行逻辑运算与数值分析,如船艇在前进一、前进二、前进三、前进四等状态下所对应的柴油机的各运行工况,而对柴油机的过度运行状态不进行分析。

柴油机稳定工况下的采样值逻辑运算与数值分析结构图如下:

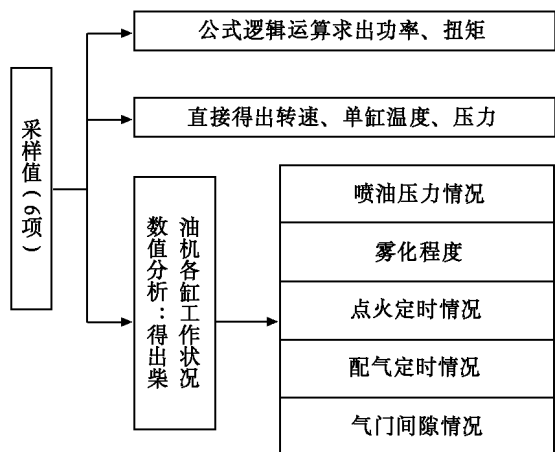


图7 逻辑运算与数值分析结构图

Fig.7 Structure diagram of the logic calculation and numerical analysis

通过逻辑运算与数值分析得出柴油机稳定运行状态时的功率、扭矩、转速、单缸温度、压力、燃油压力情况、雾化程度、点火定时情况、配气定时情况和气门间隙情况等性能状态参数,完成柴油机性能参数的实时显示.同时将这些参数送入故障预报专家系统。

### 4.2 故障预报专家系统软件

故障预报专家系统采用柴油机稳定工况下各项性能标准状态值与柴油机稳定工况下实时采样经逻辑运算与数值分析所得的各项性能状态值进行比较的方法,通过专家知识库进行推理分析,得出柴油机性能状态、故障预报。

柴油机稳定工况下各项性能标准状态值的获取,是通过对性能完好的(或是新的)柴油机在加装检测传感器后,进行多次柴油机各项性能试验而获得的.试验采用渐进筛选的方法,得出不同状态下柴油机各项性能标准状态值.同时按5%性能状态递减,试验得到柴油机在95%,90%,85%,80%,75%,70%和65%性能状态时的柴油机各项性能标准状态值,作为故障预报专家系统数据库,为专家故障预报提供理论依据。

专家系统的数据库指的是存放各种前提、结论、中间结果等事实库.为了进行推理的需要,本系统数据库包括总体事实库、已激活前提库和激活结论库.相对于知识库,事实库的结构较为简单,仅由事实编码及事实内容组成.但为提高推理效率,总体数据库的排列是按照事实出现几率大小的顺序排列的,同时,为了避免推理过程中不必要的重复匹配,编号为单数的事实代表了事实的肯定方面,而编号为双数的事实则代表了事实的否定方面,比如1号事实为“频率下降”,那么2号事实则为“频率上升”,这样在推理的匹配过程中如果1号事实得到了肯定,那么2号事实就不需要再询问了,它一定是否定的,从而避免了在1号事实肯定后仍然要询问2号事实的这种对人来讲不可能发生的计算机行为的发生,提高了专家系统的智能性.已激活前提库和已激活结论库用于存放推理过程中已匹配的规则前提的结论,是在推理过程中动态生成的来为多故障预报服务。

专家系统知识库与推理机的分离是专家系统设计中一项十分重要的技术.现代数据库技术以及编程软件与数据库之间接口技术的发展使得知识库与推理机能够更好的分离.采用Microsoft Access进行知识库的建立和存储以发挥数据库录入简单、条目明晰的特点.而用户在使用本系统进行故障预报时,则是通过本系统与数据库之间的接口进行数据库的查询与管理,无须直接接触数据库,以克服数据库与应用软件间经常切换所带来的麻烦。

知识库包括:规则的编号、规则前提个数、规则前提、规则前提的可信度阈值、规则前提的重要度以

及部件的可维护系数,其中规则的编号是依据船艇柴油机的结构进行的,从而极大地提高了推理效率.编号为知识的检索、修改及推理都带来了极大的方便.

本系统采用的预报方式为实时检测数据输入与标准数据相比较在经专家预报相结合的预报方式.对话预报采用的是数据驱动的正向推理机制,自动预报采用的则是正向推理与反向推理相结合的混合推理机制,在两种预报方式中都用到模糊推理.

在预报过程中,由于预报知识以及故障征兆的模糊性使得专家系统的模糊推理成为必然.在本系统的模糊推理中不仅引入了规则的可信度,同时增加了各规则前提的可信度、各规则前提的重要度以及部件的可维护系数<sup>[1]</sup>.

能否快速准确的判断出故障点是专家系统性能好坏的重要标准.采用的推理机制为先反向推理,不成功再进行正向推理的混合推理机制.其预报过程为先引导选择故障现象及所猜想的故障结论,然后进行推理,如果猜想成功那么系统就会立即停止推理,输出结论,从而极大的提高了预报效率.如果猜想错误,则依据所选择的故障现象进行正向推理以得出预报结论.

故障征兆是按其所处系统的不同部位的规律进行排列的,最后预报结果也是以综合系数大小的顺序输出的.为了避免误选择,在预报中还加入了矛盾判断机制,从而使系统的智能性进一步增强.

为增加系统的可信度及对用户的透明性,专家系统的解释功能是必不可少的.本系统采用的解释方法为追踪解释法(Tracing Explanation),通过跟踪系统的推理过程,从系统运行的角度来解释说明系统的动作和行为.这不仅增加了系统的可信度及对用户的透明度,还监督了推理过程的正确性,确保了故障预报的准确性.

是否具有学习能力是专家系统智能高低的一个重要标准.为了不断更新和完善系统的知识,本系统增加了学习功能,其学习机制采用的是机械学习(Rote Learning).具体方法是:在预报过程中如果遇到系统不能解决的问题,就转而求助人类专家,问题解决后将问题解决过程中所使用的知识经一致性、完整性和无冗余性检验后补充到知识库中,从而完成一次学习.机械学习所涉及的主要技术是良好的人机接口和完善的知识管理功能.

本系统的知识库管理功能包括:知识的分类、知识的存储、知识的检索、知识的增加、知识的删除、知识的修改、知识的一致性、完整性和冗余性检验以及知识的语义和语法检验.本系统的知识库管理功能还包括对数据库的管理,管理内容与知识库的管理内容相同.知识库管理系统的功能是通过本软件与存储知识的数据库软件间的接口实现的,其中知识的增加、知识的删除和知识的修改包含语义和语法的检验.

## 5 局域网、专家会诊模块结构

利用船艇部队现有局域网,可定时通过局域网向维修中心传输信息,由多专家对柴油机性能状态进行会诊,得出诊断结果,提出合理建议.

## 6 结论

综上所述,该系统不仅能完成船艇柴油机运行状态监测,还能进行柴油机故障预报,这对提高船艇装备的完好率,减少故障发生率,降低维修人员的工作强度,延长设备的使用寿命等都有着十分重要的意义.

参考文献:

- [1] 姜苍华,周东华.基于计算智能方法的动态系统故障诊断技术的最新进展[J].控制工程,2003,10(5):385-390.  
JIANG Cang-hua, ZHOU Dong-hua. Fault diagnosis techniques based on computational intelligence for dynamic systems[J]. Control Engineering of China, 2003, 10(5):385-390.
- [2] 金以慧.过程控制[M].北京:清华大学出版社,1993.  
JIN Yi-hui. Process control[M]. Beijing: Publishing Company of Tsinghua University, 1993.
- [3] 陈敏泽,周东华.动态系统的故障预报技术[J].控制理论与应用,2003,20(6):819-824.  
CHEN Min-ze, ZHOU Dong-hua. Fault prediction techniques for dynamic systems[J]. Control Theory and Applications, 2003, 20(6):819-824.
- [4] 周东华,叶银忠.现代故障诊断与容错控制[M].北京:清华大学出版社,2000.  
ZHOU Dong-hua, YE Yin-zhong. Modern fault diagnosis and fault tolerant control[M]. Beijing: Publishing Company of Tsinghua University, 2000.

(编辑:许力琴)