

# 基于多 Agent 和网络的航空发动机滑油系统 故障监测与诊断系统研究

龚烈航 徐延军 韩寿松 王哲

(解放军理工大学工程兵工程学院机械工程系 南京 210007)

**摘要:** 本文简介了航空发动机滑油系统检测的现状,建立了航空基于网络的发动机滑油系统故障监测与诊断系统的 Agent 模型,并初步实现了系统的基本功能。

**关键词:** 滑油系统 多 Agent 网络 故障监测与诊断

## Research on Fault Monitoring and Diagnosis System of Multi-Agents and Network Based Aircraft Engine Lubrication System

Gong Liehang Xu Yanjun Han Shousong Wang Zhe

(Department of Mechanical Engineering EIEC, PLAUST, Nanjing 210007)

**Abstract:** In the paper the status of aircraft engine lubrication system monitoring was introduced, the model based on multi-agents and network was established, and the basic function was partly achieved.

**Keywords:** Lubrication System Multi-Agents Network Fault Monitoring and Diagnosis

航空发动机滑油系统是在发动机工作时为高速转动的各个部位提供润滑油,保证发动机各个部件的安全运转。滑油系统的润滑油是反复循环工作的,滑油系统的油液污染状况对发动机乃至飞机的安全影响很大。在滑油系统中,相对运动的金属表面在磨损过程中产生的磨损颗粒不断进入润滑油,同时还不断有其它污染物侵入,如果不对污染物进行控制,循环油液的污染度就会不断增加,从而导致元件迅速破坏。及时有效地对发动机的滑油系统进行监测,可以避免发动机零部件的过度磨损,预防事故的发生,提高飞机的完好率。通过对滑油磨损颗粒进行分析,还可以判断系统各个部位的磨损状况,预测系统故障情况,从而预防事故的发生。

当前主要使用光谱分析方法对航空发动机滑油进行检测,主要检测 Fe、Al、Cu、Cr、Zn、Cd、Ag、Pb、Ti、Sn、Mg、Si 等元素的含量。前面 9 种元素可以反映发动机零部件磨损的状况;Mg 元素可以反映添加剂和水分的变化;Si 元素可以反映环境污染灰尘的影响。这种监测方法虽然具有速度快、准确度高、灵敏度高、适用范围广等特点,但在应用于故障诊断和状态监测时却仍然有一些不足之处。首先,不能反映磨损的形貌和颗粒分布。其次,检测复杂油样时干扰比较严重,有时会出现漏判的情况。最重要的是这种污染控制方法比较单一,并且局限于各个不同的单位和部门,纵向和横向基本上均无联系,各种工作被人为分割开来,无法进行技术合作和数据交流,使污染检测一直停留在仅仅监测的低水平层面。另外也有利用

监测到的油液污染度信息对滑油系统的磨损程度和隐含故障状况进行分析和预测,造成故障诊断信息资源的严重浪费。

目前,随着科技的发展和军用计算机网络的完善,采取多种检测手段,利用计算机网络对航空发动机滑油系统进行远程故障综合监测与诊断已经具备了完备的技术条件。

### 1 基于计算机网络的远程故障诊断系统

从人工智能的角度看,基于网络的航空发动机滑油系统远程故障诊断系统将分布在不同地域的飞机、测试仪器、诊断专家系统知识库及研究者、使用者联

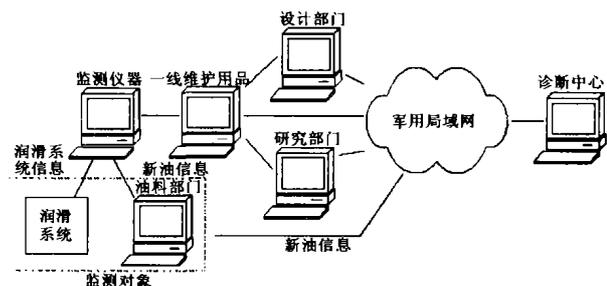


图1 基于计算机网络的远程故障诊断系统结构系起来,动态形成一个由远程诊断中心和注册用户以及滑油监控仪器,滑油系统设计、制造部门,一线维护使用部门和研究部门等子网络组成的故障监测与诊断服务计算机网络系统。基于军用计算机网络的故障监测与诊断网络系统还具有保密性强、安全性好、网络畅通的优点。基于网络的远程故障诊断系统结构如图1所示。

系统中的一线用户主要是航空兵部队内、外场机务中队担负滑油检测的分队，其主要工作是在每一个飞行日结束后的规定时间内对所有参训飞机发动机的滑油系统滑油进行取样和检测，同时对定检试车后的飞机发动机的滑油系统滑油进行取样和检测。在实际工作中由于在运输和保存过程中密封不严以及其他多种因素的影响，很多时候新油的污染程度也比较高。因而在系统中一方面通过检测仪器对工作中发动机滑油进行检测，另一方面也要对油料部门供应的新油进行检测，其污染度作为原始数据存档对比。在测量到工作油液和新油的污染状况以后，一线维护部门和研究部门等子网络可以通过计算机网络进行数据处理和故障诊断与预测；同时还可以与诊断中心进行数据交换，充实和完善故障预测和诊断专家知识库，提高系统的诊断能力；设计制造部门可以根据滑油的污染状况对以后的系统设计进行改进和优化。

## 2 Agent 引入

基于 Agent 的故障预测与诊断系统综合了现代人工智能和计算机软件技术的最新进展，使故障预测与诊断系统具有更高的效率、可靠性、精度和容错性。根据 Michael Wooldridge<sup>[1]</sup> 等人提出的弱定义，规定 Agent 是具有以下特性的软件实体。

- (1) 自主性 (Autonomous): Agent 的运行不需要人类和其他软件的直接干涉，具有控制自身的行为和内部状态能力。
- (2) 反应性 (Responsive): Agent 感知其所处的环境，并能在某一时间内对环境变化做出及时的反应。

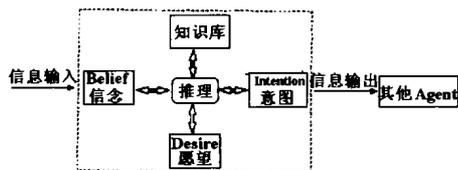


图 2 Agent BDI 组成模块

- (3) 自觉性 (Pro-active): Agent 不仅仅简单地对环境做出反应，它还能以目标为向导主动采取行动，表现出目标驱动的行为。
- (4) 社交性 (Social): Agent 之间通过 Agent 通信语言相互影响，相互作用，解决自身或其他 Agent 的问题。

智能 Agent 有许多具体模型，其中最流行的是 BDI 模型，即 Belief、Desire、Intention 模型，其具体结构如图 2。

本系统中构造监测 Agent、数据处理 Agent、故障诊断 Agent、协调 Agent 和自学习 Agent 完成其服务层面的功能。本故障预测与诊断系统智能 Agent 结构如

图 3 所示。

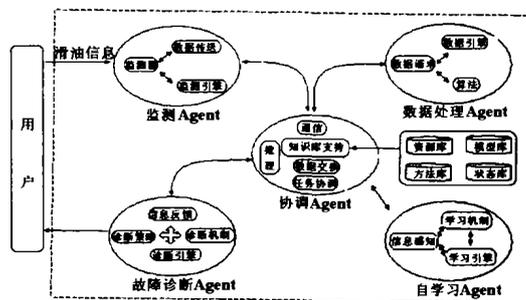


图 3 多 Agent 系统结构

在系统中，各个有机互动、相互关联的 Agent 组成模块构成了系统的整体结构。

基于 Agent 系统的工作原理如下：

监测 Agent 的监测器接收滑油信息，然后将信息传送给监控模块和数据传送模块。监控模块通过系统的知识库判断信息是否超常，并做出相应反应后将反应信息输出，数据传送模块将数据传送到协调 Agent 供系统使用，同时存储在系统知识库中。

数据处理 Agent 根据系统的数据请求对系统数据进行处理。首先根据系统要求选择各种相应的算法，然后启动数据引擎处理系统数据，并将结果输出到系统知识库中。

故障诊断 Agent 根据系统的监测结果和数据，依靠系统的支持知识库对监测对象进行故障诊断。监控引擎区别不同的诊断策略和诊断机制在系统要求的驱动下完成故障诊断任务，并将诊断结果和处理信息反馈输出。

自学习 Agent 的主要功能是完善系统的专家知识库，提高系统的综合能力。自学习 Agent 的感知模块感知到信息以后，区分不同情况，采取相应的自学习机制分别完成各种学习功能。自学习 Agent 的自学习功能主要体现在与故障诊断 Agent 的环境交互方面，包括系统构建时的功能学习和系统运行期间的自我完善学习两部分内容。

协调 Agent 是系统的中枢，它完成系统中各个 Agent 的交互通信和数据交换、传输工作，同时根据系统的整体要求协调各个 Agent 的任务，使系统的运行更加快捷高效。另外协调 Agent 还负责管理系统的公共支持知识库，为系统的各个功能 Agent 提供资源和智力支持。

## 3 结束语

基于多 Agent 的航空发动机滑油系统远程智能故障监测与诊断系统设计时采用面向 Agent 的设计思想，在提高系统能力的同时可以大大减少系统结构的复杂程度。目前系统的研制尚处于局（下转第 43 页）

《润滑与密封》

$$\frac{dp}{\mu_s e^{-(p-p_i)/p_i}} = -\frac{6q}{\pi h^3} \frac{dr}{r}$$

积分得

$$\frac{p_i}{\mu_s} e^{-(p-p_i)/p_i} = \frac{6q}{\pi h^3} \ln r + C \quad (7)$$

当时  $r = r_0$ ,  $p = p_s$ , 可得

$$C = \frac{p_i}{\mu_s} - \frac{6q}{\pi h^3} \ln r_0$$

式中:  $r_0$  为滑靴中心油室半径。

代入式 (7) 得

$$\frac{p_i}{\mu_2} (e^{-(p-p_i)/p_i} - 1) = \frac{6q}{\pi h^3} \ln(r/r_0) \quad (8)$$

当时  $r = r_1$  时,  $p = 0$ , 可得泄漏流量公式:

$$q = \frac{\pi h^3}{6\mu_s \ln(r_1/r_0)} p_i (e^{p_i/p_i} - 1) \quad (9)$$

式中  $r_1$  为滑靴密封带外径。

由式 (8) 可得径向压力分布公式:

$$p = p_s - p_i \ln \left( 1 + \frac{6\mu_s q}{\pi h^3 p_i} \ln(r/r_0) \right)$$

其径向压力分布如图 2 中的曲线 2 和曲线 3 所示, 曲线 1 为按文献 [2] 所给出的压力分布计算公式所得到的压力分布曲线。

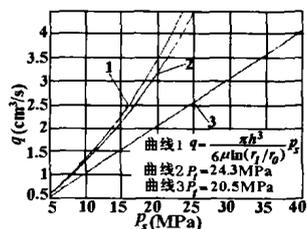


图 1 流量-压力曲线

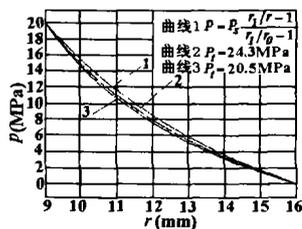


图 2 径向压力分布曲线

将式 (9) 代入上式得

$$p = p_s - p_i \ln \left( 1 + \frac{\ln(r/r_0)}{\ln(r_1/r_0)} (e^{p_i/p_i} - 1) \right)$$

径向压力分布曲线如图 2 所示。

则静压支承滑靴副总支承反力为:

$$W = \int_{r_0}^{r_1} 2\pi \cdot r \left\{ p_s - p_i \ln \left[ 1 + \frac{\ln(r/r_0)}{\ln(r_1/r_0)} (e^{p_i/p_i} - 1) \right] \right\} dr + \pi \cdot r_0^2 p_s \quad (10)$$

(上接第 26 页) 域网范围, 在多机联机测试中已经取得较满意效果。但由于 Agent 技术还不完全成熟, Agent 系统整体上的性质和行为在设计阶段难以确定等原因, 系统还有待于进一步完善和提高, 进而加以推广应用。

参考文献

[1] Wooldridge M. J., Jennings N. R., Intelligent Agents: Theory and Practice, Knowledge Engineering Review, 1995, 10 (2): 115 ~ 152.

3 结论

(1) 按文献 [2] 给出的公式计算静压支承滑靴副的泄漏流量 (图 1 中的曲线 1) 要比按变粘度公式计算出的流量值小 (图 1 中的曲线 2 和曲线 3), 并且其差值随中心油室压力的增大而增大, 如图 1 所示。

(2) 滑靴副泄漏流量并不与工作压力成正比。这个值的大小还取决于流体粘度、粘温系数、粘压系数、流体的密度和比热容。图 1 中曲线 2 和曲线 3 反映了  $p_i$  值越小即粘压系数或温压系数越大, 则泄漏量越大。

(3) 由图 3 可以看出 (曲线 1 为按文献 [2] 给出的公式计算支承反力得到的曲线; 曲线 2 和曲线 3 为按变粘度条件下支承反力计算公式 (10) 得到的曲线), 在变粘度条件下, 滑靴副的支承反力将明显变小,  $p_i$  值越小即粘压系数或温压系数越大, 则支承反力也越小。

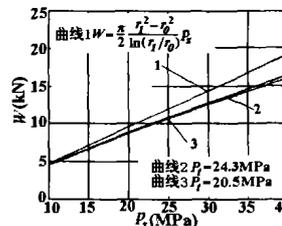


图 3 静压支承反力

(4) 静压支承反力不与工作压力成正比。随着工作压力的增高, 静压支承反力增加明显减慢, 如图 3 中曲线 2 和曲线 3 所示。

参考文献

[1] Song Jun, Wang Shulian, et al, Optimization of Hydraulic Component [M], Beijing: China Machine Press, 1999.  
 [2] Xu Yaoming, Theory of the oil film & the design of the friction pairs of the hydraulic pumps and motors [M], Beijing: China Machine Press, 1987.  
 [3] Ma Wenqi, et al. Study on Temperature Raise of Hydrostatic Bearing Variable Viscosity [J], Beijing: Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2001.8.  
 [4] Jiang Jihai, Ma Wenqi, Zhao Keding. Characteristics of Annular Hydrostatic Bearing at Varying Oil Viscosity [J], Harbin: Journal of Harbin Institute of Technology, 2000.8.

[2] Dale J., A mobile agent for distributed information management, [Ph. D. Thesis], University of Southampton, 1997.  
 [3] Haddadi A., Reasoning about cooperation in agent systems: a pragmatic theory, [Ph. D. Thesis], Manchester, UK. UMIST, 1995.  
 [4] Jennings N. R., Wooldridge M., Application of Intelligent Agents [EB/OL], http://www.cs.umbc.edu/agents/introduction/jennings98.pdf, 1998.  
 [5] 杨叔子等, 人工智能与诊断专家系统 [M], 西安交通大学出版社, 1990.