

基于飞行数据的民航飞机 故障诊断专家系统

Fault Diagnosis Expert System Based
on Flight Data for Civil Aviation

郎荣玲 潘磊 吕永乐 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

基于飞行数据的民航飞机 故障诊断专家系统

郎荣玲 潘 磊 吕永乐 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

飞行数据中蕴含了飞机的状态信息,如何充分利用飞行数据对于提高飞机的安全性具有重要的意义。本书以飞行数据为数据源,利用专家系统的方法搭建了民航飞机故障诊断专家系统。

本书共分为9章:第1章介绍背景及意义,并系统介绍民航飞机故障诊断的发展现状以及目前飞行数据的应用及特点;第2章系统介绍基于飞行数据的故障诊断专家系统的结构设计;第3章介绍基于飞行数据的故障诊断专家系统的数据库设计与维护;第4~6章分别系统地介绍专家系统中的征兆获取、故障树分析、推理机技术;第7、8章利用粗糙集技术进行了自学习,丰富了专家系统的知识库,并利用知识库维护技术保障了知识库的简化;第9章介绍相似性查询诊断技术。

本书不仅适合于飞机故障诊断领域的研究生、教师、科研人员和实际工作者使用,而且可以推广应用于模式识别和综合评价等领域。

图书在版编目(CIP)数据

基于飞行数据的民航飞机故障诊断专家系统/郎荣玲,潘磊,吕永乐编著. —北京:国防工业出版社, 2014. 2

ISBN 978-7-118-09197-7

I. ①基... II. ①郎... ②潘... ③吕... III. ①民用飞机—故障诊断 IV. ①V271②V267

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 015470 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 9 $\frac{3}{4}$ 字数 188 千字

2014 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 59.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

对民航业来讲,航班安全不仅会影响到民航企业的形象及经济利益,也是保障旅客与机组人员人身安全及公私财产不受损害的重要前提。虽然影响航班安全的因素有很多,诸如飞行员操作能力、飞机系统故障、维修质量、机场设施、空中交通管理、天气、油料、旅客等,但飞机系统故障和维修质量是其中最主要的影响因素。

飞机故障具有故障征兆与故障模式间没有明确的对应关系、故障诊断涉及的结构层次有所提高、诊断时间要求紧等特点,使得传统的仅仅依靠维修手册、维修大纲、可靠性报告等获得的知识是远远不够的。此外,飞行数据中蕴含了丰富的飞机状态以及故障征兆与故障模式对应关系的信息。因此本书在利用传统的专家系统方法的基础上,引入自学习技术,以飞行数据为数据源丰富专家系统的知识库。希望本书能促进利用飞行数据进行民航飞机故障诊断技术的发展,推动我国飞机故障诊断领域的发展。

本书共分为9章:第1章介绍背景及意义,并系统介绍民航飞机故障诊断的发展现状以及目前飞行数据的应用及特点;第2章系统介绍基于飞行数据的故障诊断专家系统的结构设计;第3章介绍基于飞行数据的故障诊断专家系统的数据库设计与维护;第4~6章分别系统地介绍专家系统中的征兆获取、故障树分析、推理机技术;第7、8章利用粗糙集技术进行了自学习,丰富了专家系统的知识库,并利用知识库维护技术保障了知识库的简化;第9章介绍相似性查询诊断技术。

与作者共同编著本书的研究人员有王园硕士、刘陶硕士、张景新硕士、侯安华硕士等,作者由衷地对这些研究者表示感谢。

编著者
2013年8月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 背景及意义	1
1.2 故障诊断专家系统	3
1.3 飞行数据	6
1.3.1 飞行数据的应用	6
1.3.2 飞行数据的特点	7
第 2 章 基于飞行数据的故障诊断专家系统	9
2.1 系统设计	9
2.2 分系统设计	11
2.2.1 地面维护子系统设计	11
2.2.2 故障诊断子系统设计	12
第 3 章 数据库的设计与维护	18
3.1 数据库设计	18
3.1.1 基本数据表	18
3.1.2 故障诊断子系统数据库设计	22
3.2 数据库维护	26
3.2.1 基本数据表维护	26
3.2.2 故障诊断子系统数据库维护	29
第 4 章 故障征兆获取技术	36
4.1 故障征兆获取方法	36
4.1.1 隶属函数与隶属度	37
4.1.2 BP 人工神经网络	38
4.2 故障征兆获取仿真	44
第 5 章 故障树分析技术	47
5.1 故障树的发展	47

5.2	故障树的表示	48
5.2.1	故障树结构函数	48
5.2.2	基本概念	49
5.3	故障树分析方法	50
5.3.1	故障树定性分析	51
5.3.2	故障树定量分析	53
5.3.3	故障树转换为规则	56
5.4	故障树分析的仿真	57
5.4.1	故障树的数据库存储	58
5.4.2	最小割集的求解	59
5.4.3	仿真结果分析	60
第6章	推理机技术	63
6.1	故障树与推理机的联系	63
6.2	推理机的构造	63
6.2.1	确定性推理	65
6.2.2	不确定性推理	66
6.2.3	规则的冲突消解策略	69
6.3	推理机仿真	70
6.3.1	确定性推理机程序仿真	70
6.3.2	不确定性推理机程序仿真	72
第7章	知识获取技术	74
7.1	国内外研究发展现状	74
7.2	基于故障树的知识获取模型	78
7.2.1	概述	78
7.2.2	故障树的存储	79
7.2.3	故障树的建立	79
7.2.4	故障树转化为规则	81
7.2.5	故障树的维护	81
7.2.6	实验结果分析	84
7.3	基于粗糙集的知识获取模型	86
7.3.1	概述	86
7.3.2	连续属性离散化	90
7.3.3	属性约简	99
7.3.4	属性值约简	103

7.3.5	实验结果分析	105
7.4	基于粗糙集的增量式学习模型	107
7.4.1	概述	107
7.4.2	增量式学习模型	107
7.4.3	实验结果分析	112
第8章	规则库维护技术	115
8.1	概述	115
8.2	相关理论及算法	116
8.3	规则的循环校验及冗余校验	120
8.4	实验结果分析	122
第9章	相似性查询诊断技术	126
9.1	相似性查询方法及主要技术点	126
9.2	相似性查询方法相关理论	127
9.3	时间序列的模式表示	127
9.4	时间序列的相似性度量	132
9.4.1	常用的相似性度量方法	132
9.4.2	缩距比及相关知识	136
9.5	时间序列的索引技术	137
9.5.1	常见的索引结构	137
9.5.2	基于 DRR 的 DRR - tree 索引结构	139
9.6	相似性查询方法的索引建立	140
9.6.1	子序列的存储	140
9.6.2	新节点的插入	141
9.7	仿真实验	142
9.7.1	仿真数据实验	142
9.7.2	真实数据实验	144
参考文献		147

第1章 概述

1.1 背景及意义

1. 民用飞机故障诊断的重要性

对民航业来讲,航班安全不仅会影响到民航企业的形象及经济利益,也是保障旅客与机组人员人身安全及公私财产不受损害的重要前提。影响航班安全的因素有很多,如飞行员操作能力、飞机系统故障、维修质量、机场设施、空中交通管理、天气、油料、旅客等,其中飞机系统故障和维修质量是最主要的影响因素。

飞机像其他产品一样会出现各种各样的故障,但飞机又不同于其他产品,飞行安全非常重要,因此,对飞机的维护和机载航电设备的性能提出了非常高的要求。现在的民用飞机和军用飞机大量采用 ARINC429、ARINC629、GJB289A - 97 或 FIRE1394 等总线技术和微型计算机技术,系统集成复杂,飞机操纵系统采用数传技术,发动机的燃油系统实现自动控制,给飞机的日常维护带来了很大困难,同时对检测诊断技术要求很高。在飞机的飞行和起飞、降落等过程中,都不可避免地会出现各种故障,如阀门卡死或产生泄漏、盘管结垢严重导致换热不良等。这些故障如果得不到及时排除,势必导致系统运行参数严重偏离要求的设定值,增加系统能耗,缩短设备使用寿命,因而及时查明故障原因并排除故障具有重要的意义。传统的定期维护和例行检查虽然在一定程度上减少了故障的发生和危害,但这种方法需要大量有经验的专业人员,浪费许多人力与资源。

随着航空技术的发展,现代民用飞机系统的规模和机载设备日趋复杂,在保障飞行安全、降低维护成本、提高飞机可用性等方面对故障诊断提出了更为严格的要求。

2. 民用飞机故障诊断的特点

(1) 故障征兆与故障模式间没有明确的对应关系。飞机系统由 30 多个子系统组成,子系统之间相互关联,且子系统又包含多个分系统。在子系统内,层次之间的信息联系又是不确定的,例如,A320 系列飞机的无线电导航系统、大气数据惯性基准系统、飞行管理、制导计算机系统、电子飞行仪表系统等都与飞行控制系统存在着数据通信,而飞行控制系统内部的分系统之间又存在相互交联信号。由此可见,故障具有纵向传播和横向传播特性。较高层次系统的故障来源于底层次系统故障,同一层次上的不同系统之间在结构和功能上存在许多联系和耦合,这为故

障的准确定位带来了困难。

(2) 故障诊断涉及的结构层次有所提高。随着飞机模块化、集成化程度的提高,故障诊断的结构层次也相应提高。尤其是航线维护,当故障源查到某一部件层,就要求整体更换此部件来排除故障,即航线维护诊断到部件级而非元件级。这就要求故障诊断的准确性要提高;否则,虚警率高会造成严重的浪费,漏警率高会导致事故的发生。

(3) 诊断时间要求紧。航线维护是在航前、航后、短停期间进行。为了减少因航班延误带来的损失,要求航线维护在规定时间内完成,尤其是短停时间要求紧,这就对故障诊断方法的效率提出了更高的要求。

3. 民用飞机故障诊断知识的来源

故障诊断知识是进行故障诊断的信息基础。民用飞机故障诊断的知识主要来源于维修手册(故障信息)、维修大纲(经验知识)、可靠性分析报告(统计信息)以及专家经验。

1) 维修手册

维修手册中包含了民航飞机的系统结构图、系统原理图、故障诊断步骤等信息,维修人员在使用时按自己的理解形成推理规则。维修手册内容主要包括传统故障隔离和排除的全过程。由于维修手册是标准文件,未体现出飞机使用后的个体特征和环境差异,同时从维修手册中获取的规则往往比实际情况复杂。

目前,飞机维修主要依据制造厂商提供的排故手册进行排故。排故手册涵盖了几乎所有可能引起该故障的组件,并给出了组件的拆换次序,这虽然能够解决绝大部分飞机维护中遇到的故障问题,但排故过程繁琐,排故效率低,尤其在飞机飞行短停过程遇到故障时,经常由于无法及时维修导致航班延误,造成航空公司的巨大损失。针对飞机维修工作量快速增长与维修效率低的矛盾,将人工智能方法应用于民航飞机故障诊断提高维修效率已经成为一种行之有效的方法。

2) 维修大纲

维修大纲是民航飞机故障诊断依据的计划性文件,主要包含部件的计划维修信息,包括故障发生的维修间隔、维修等级、计划维修项目、零部件的重要度信息。通过维修大纲可以估计故障出现的时间,用这一时间与实际的工作时间进行比较,可以指导故障诊断。

3) 可靠性报告

可靠性报告是可靠性管理的一个环节。可靠性管理方案是根据中国民航适航当局的要求,确保飞机运行于连续有效的持续适航维修大纲之上,以达到保障飞机飞行安全、低维修成本和提高维修质量的目的而编制的用于对飞机维修方案实施动态监和调整的指导性文件,它是持续适航维修大纲的重要组成部分。为持续保证维修方案的有效性,确保在适当的时候进行正确的维修工作,防止飞机状态的恶化,修复和改善飞机内在的可靠性水平,就需要对飞机、发动机及机载设备的故障

损坏前各种有意义的征象(如疲劳、腐蚀、磨损等)进行收集、分析、评估、处理和监控,并据此对维修方案进行持续不断的优化,在此过程中收集的各种数据就是可靠报告的内容。

可靠性报告数据包括:

- (1) 机组和维修人员故障报告(来源于飞行记录本);
- (2) 航班不正常事件报告(来源于维修和维修运行控制);
- (3) 部分附件拆换情况报告(来源于监控);
- (4) 发动机非计划拆换报告(来源于监控);
- (5) 发动机空中停车报告(来源于技术管理部和各维修单位);
- (6) 飞机/发动机运行数据(来源于飞行记录本);
- (7) 非例行检查发现(来源于维修单位);
- (8) 飞机重大结构修理报告(来源于维修单位);
- (9) 飞机重复故障处理情况报告(来源于维修单位)。

典型性能参数如下:

- (1) 航班不正常千次率 = $1000 \times \text{影响航班任务正常执行次数} / \text{营运起落次数}$;
- (2) 延误率 = $100 \times \text{延误次数} / \text{营运起落次数}$;
- (3) 飞机故障率 = $1000 \times \text{故障次数} / \text{总飞行时间}$;
- (4) 平均非计划拆换间隔时间(MTBUR) = $\text{空中时间} \times \text{装机数} / \text{非计划拆换次数}$;
- (5) 非计划拆换率 = $1000 \times \text{非计划拆换次数} / (\text{空中时间} \times \text{装机数})$;
- (6) 平均无故障时间(MTBF) = $\text{空中时间} \times \text{装机数} / \text{确认故障拆换次数}$ 。

可靠性报告是由飞机制造商和航空公司定时发布的,是故障统计历史信息的记录,其实质是故障的经验统计,是一种使用后的行为,也是智能故障诊断方法应用的主要领域。

民用飞机的故障诊断技术作为一门交叉学科经过几十年的发展形成了多种多样的诊断方法,目前研究和应用比较多的是基于知识的诊断方法,该方法是以知识为基础、以知识处理为核心的智能化诊断方法。目前比较常见的基于知识的诊断方法有数学模型方法、信号处理方法、专家系统、模糊理论、神经网络、粗集理论等,其中专家系统是一种应用较为普遍的飞机故障诊断技术。

1.2 故障诊断专家系统

专家系统是一个具有相关领域内大量专家知识的智能程序系统,它应用人工智能(Artificial Intelligence, AI)技术,根据一个或多个人类专家提供的特殊领域知识进行推理,模拟人类专家做决定的过程来解决那些需要专家才能解决的复杂问题,从功能上可以把它定义为“一个在某领域具有专家水平解题能力的程序系

统”,专家系统提供了一个自动诊断和处理知识数据的高效手段。专家系统还利用程序和知识去控制问题的求解过程。将专家系统技术应用于飞机故障诊断领域,可以提高诊断的效率以及诊断率,降低虚警率。

1. 专家系统的研究意义

1968年,斯坦福大学的 E. A. Feigenbaum 教授开发了第一个分析化合物分子结构的专家系统——DENRAL 系统,首次实现借助专家思想来解决实际问题,自此之后,专家系统受到了广泛的关注,在众多领域产生了较大的经济效益。E. A. Feigenbaum 教授于 1993 年指出,几乎所有专家系统的工作效率至少比人高 10 倍,而且能继承和发展专家经验、提高解决问题的质量,他将专家系统定义为:专家系统是一个智能计算机程序,它利用知识和推理过程来解决那些需要专家知识才能解决的复杂问题,所用的知识和推理过程可认为是最好的领域专家的专门知识模型。

专家系统的优势使其获得广泛关注,与要求人类专家完成同样的任务比较,专家系统的优势如下:

(1) 对于同样的数据,专家系统因采用计算机运算,一般情况下能够比人类具有更快的运算速度,进而有助于缩短解决问题的时间。

(2) 专家系统的输出是一致的,它们不会疲倦、不耐烦或生气,不会带有主观色彩,不会受周围环境的影响,这样使得专家系统的结论更加标准化、公平化。

(3) 当需要最短的时间和最低的成本时,可以立刻复制专家系统,有助于迅速继承专家经验,而人们通常需要多年的培训才可能达到专家的水平。

(4) 专家系统的实现可使人们在一定程度上得到解放,例如,可以使工作人员从繁琐的工作中解放出来,可以使专家有更多的时间集中考虑真正需要他们高水平的专业知识才能解决的问题。

(5) 在人们认为不便或危险的地方,专家系统更能体现出优势。

(6) 专家系统能更方便地汇集多领域专家的知识和经验,具有较强的协作解决问题的能力。

近年来,专家系统一直是人工智能研究中最活跃和最富有成果的一个分支,它在求解时能够推导出专家级解的独有特点,吸引着越来越多的人对其进行不断的研究,并逐步将这些理论研究应用于实际。国内外研究开发的专家系统已应用于工业、医疗、交通、军事、农业、商业、经济和管理等各领域,并取得了巨大的社会效益和经济效益。目前,专家系统仍然是科研工作者的研究热门课题之一,随着专家系统技术的深入发展,必将取得更大的成果。

2. 专家系统的特点

(1) 推理性能。专家系统可根据一定的推理策略,利用知识对现有事实进行推理。

(2) 灵活性。专家系统的知识库与推理机既相互联系又相互独立,相对独立

性使得知识库中的知识便于修改和补充而不影响推理机,使系统易于扩充,具有较大的灵活性。正如知识的自动获取是设计一个专家系统时的“瓶颈”问题,该特性的实现也是一个难点。

(3) 透明性。专家系统的解释机构能向用户解释它的推理过程,易于人们的理解,具有较好的透明性。

(4) 交互性。专家系统一般要求提供较友好的界面,便于人们录入专家知识、进行交互推理等操作。

3. 专家系统的关键技术

专家系统作为人工智能的一个重要研究领域,是基于知识的一种启发式推理系统。根据知识库中所存专家知识,模拟人类专家在决策过程中的思维方法,以此来解决复杂的工程问题。E. A. Feigenbaum 教授说:“专家系统的威力来自于其所具有的知识”,一个成功的专家系统必须具有一个丰富的知识库和一套完备的知识推理与管理机制。因此要建立一套实用的专家系统,必须先解决知识表达方法、推理机和知识获取三个关键问题。

4. 专家系统的结构

1983 年, Hayes Roth 等人提出了一种专家系统的理想结构,图 1.1 所示,其中:

(1) 语言处理模块:负责用户与系统之间的信息交流和转换,为用户提供与系统直接对话的能力。

(2) 黑板:负责记录系统在求解过程中所产生的中间假设和结果,是沟通系统中各个部件的全局工作区。

(3) 解释模块:负责回答用户的提问,它从黑板中找出对回答用户的问题有意义的信息。

(4) 知识库:在知识库中,知识被划分为规则、事实、问题三类。

(5) 调度模块:负责管理控制议程,决定下一步做哪些工作。

(6) 一致性处理模块:维护系统所得出的结果具有一致表示形式。

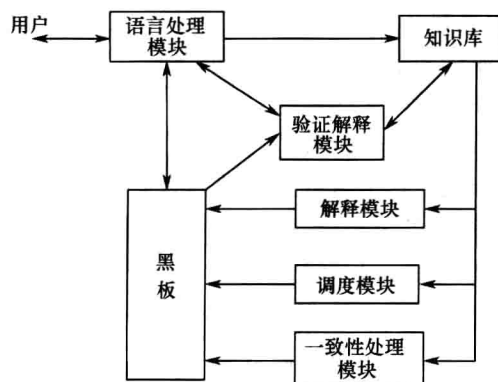


图 1.1 专家系统的理想结构示意图

(7) 验证解释模块:用于向用户解释系统行为的验证解释模块。

1.3 飞行数据

1.3.1 飞行数据的应用

飞行数据记录仪俗称“黑匣子”,最先运用于飞机上,称为机载用“黑匣子”。“黑匣子”记录飞机在飞行过程中的各种飞行参数。记录在飞行记录仪中的数据,蕴涵了飞机健康状态的信息,可以用于飞机的故障诊断。因此,若飞机发生事故,事故后可以通过阅读“黑匣子”内的数据,查找、分析飞机事故产生的原因。

本书将记录在飞行数据记录仪中的数据称为飞行数据,并主要研究利用飞行数据进行故障诊断的技术。基于飞行数据的飞机故障诊断,是以飞行数据为依据,诊断飞机设备的技术状态是否正常,确定故障性质、故障部位及故障起因,提出相应维修措施以排除飞机故障的过程,是保证飞机安全重要的措施。

飞行数据在很多领域都有非常重要的应用,概括起来说,大概有以下几个方面:

(1) 飞行数据是调查分析飞行事故的主要依据。利用飞行数据来分析事故原因是飞行数据最基本也是最重要的作用。从 20 世纪 40 年代开始,人们就已经开始重视对飞行数据的利用,当飞机发生飞行事故后,根据所记录的飞行数据分析事故原因。因此,飞行数据在调查事故原因、保障航空安全方面有着无可替代的作用。

(2) 飞行数据可以指导飞机设计。一个新型号的飞机在开始研发时,要通过试飞来验证设计思想,而试飞的同时就获得了飞行数据。传统意义上,对一个飞机的评判主要是建立在试飞员对飞机性能的评判上,但是后来人们发现,这种做法很不精确和科学,因此要想全面地掌握飞行性能,其中包括飞机的气动性、飞机的速度性等,就必须依靠对飞机数据的使用,这是试飞员所不能提供的。并且通过对飞行数据的研究还要从原理入手,进一步的挖掘飞机设计可以优化的地方。同时对飞机数据分析还能提高设计的工作效率,以及设计的安全可靠性。现在这种新的思想和技术已经在新型飞机的设计工作中被广泛使用。

(3) 飞行数据可以用于机务维修。目前,国内多数航空公司在机务维修方面还主要采用定时维修方式,这种传统的飞机维修方式对机体、发动机和主要机体都规定一个使用时间,到时就要更换或拆下维修。定时维修带来的问题是,大多数机件是在完好状态下被更换或维修的,还有不少机件并不会通过定时更换或维修而避免故障的发生。这些都说明定时维修方式存在浪费大、效率不高的问题。现在随着飞行数据记录器的普遍应用,利用飞行数据地面分析系统对记录的飞行数据进行分析,可以对飞机体、发动机、各系统机件的技术状况进行完整连续的监控,从

而掌握机件在何时发生失效、什么原因导致失效以及失效后的后果等。以此为基础,就可以制定出合理的维修方案,在最恰当的时机进行针对性的维修工作。一旦发现故障征兆,能及时自动或半自动地确定故障点,提供排故的方案建议。这样就能在提高飞行安全水平的基础上,减少大量非必要的维修工作,降低维修成本,提高飞机利用率。

(4) 利用飞行数据构成飞行质量评判和检查监督系统。传统的对飞行员空中飞行动作质量的评分方法,主要依靠同机的检查员、教员的主观判断。这就像足球裁判、体操裁判一样,难免出现偏差甚至误判,而且在单座飞机上的飞行质量是不受监督的。如果利用飞行数据系统在地面重现空中飞行动作和数据,评分的准确性就要高得多。若使用专门编制的飞行质量评判软件,则可进一步提高评分的准确性和客观性。这种方法已成为先进国家评估飞行训练质量的重要手段。

还有一些国家利用民用、军用飞机上的飞行数据设备构成对空中飞行情况的检查监督系统,检查机组人员在空中是否按规定操作以及有无不安全因素。此外,一些国家利用飞行数据对一个时期的同类事故做综合分析,找出内在原因,制定预防措施。这就使飞行数据不仅在发生飞行事故之后发挥作用,而且能够通过提高飞行训练质量、监控空中操作,改进操作程序,积极地预防事故,保证飞行安全。现代航空研究表明,设备故障原因不再是飞行事故发生的主要原因,当今航空安全的最大威胁是人的不安全因素,因此提高飞行安全的重点仍然是解决人为错误,要根据数据而不是凭感觉做出进一步决定。目前,大多数航空公司正在进行的飞行操作质量保证计划是建立在飞行数据应用基础之上的。飞行操作质量保证系统能使航空公司从飞机的数字飞行数据记录器或快速存取记录器上采集数据,然后经过飞行数据分析应用软件的处理,帮助航空公司提前准确地找出存在的问题,消除潜在的事故隐患。

上面介绍的是飞行数据常见的应用,事实上,飞行数据的应用非常广泛。因此,充分利用飞行数据记录器所记录的飞行数据,对于飞机的安全保障有着非常重要的意义。

1.3.2 飞行数据的特点

由于飞行数据的海量化、飞行环境的不确定性以及从飞行模型的复杂化,从飞行模型入手分析飞行数据的工作量是巨大的,并且稳定性较差,从飞行模型的入手这个工作很难实现。因此,只有从数据入手“跳开”飞行模型,所以本书采用了基于相似性查询方法和基于贝叶斯分类器的方法这种技术来处理飞行数据。

虽然飞机故障诊断技术得到了快速发展,但仍存在一些难题。当前,飞机的故障诊断主要面临如下问题:

(1) 飞行数据信息数据庞大。飞机是由众多的部件、元件和子系统等构成的有机系统,各部分紧密相连,结构复杂,功能强大。仅收集其中某部分或部件的特

征数据是不够的,必须对整个系统进行全面监测,尽可能收集更多的数据。在故障诊断时,如果仅根据某部件、元件或子系统的特征来进行诊断,那么对导致飞机故障原因的本质认识也是片面的。因此,在飞机的故障诊断中,要处理的信息数据是非常庞大的。

(2) 飞行数据具有不完整性。尽管对飞机进行全面的监测收集到较为全面的数据,但人们对故障本质的认识及对故障发生的预测的能力有限。在进行数据监测时,很难做到绝对全面,在进行故障诊断时或许会发现缺少其中的一部分数据,因此,收集到的数据具有不完整性。

(3) 故障原因具有不确定性。飞机是一个复杂的系统,各部分紧密相连,如果某部件、元件或子系统发生故障,其他部件、元件或子系统或多或少地也出现一些异常现象,这给故障诊断带来了困难。在一定程度上,故障发生的原因在诊断过程中具有不确定性。

(4) 故障诊断仍具有主观性。故障诊断是在人们对事物的认识基础上进行的,只要有人的参与,就存在主观性。纵观民航故障诊断的三个阶段,主观性不断地得到克服,但即使是智能诊断阶段也离不开领域专家的先验知识。

第2章 基于飞行数据的故障诊断专家系统

基于飞行数据的故障诊断专家系统包括地面维护以及故障诊断两个子系统。地面维护子系统主要完成基本的维护和管理功能,例数据库的维护,用户管理、知识库的维护等。故障诊断子系统完成根据飞行数据进行故障诊断的功能。

专家系统是基于知识的一种启发式推理系统。根据知识库中所存专家知识,模拟人类专家在决策过程中的思维方法,以此来解决复杂的工程问题,具有灵活性、透明性、交互性等特点,因此故障诊断子系统采用的是专家系统的结构。

2.1 系统设计

1. 系统整体功能设计

基于飞行数据的故障诊断专家系统的主要功能如下:

(1) 数据库的建立和管理。数据库的建立和管理是故障诊断专家系统的一个基础组成部分,为系统数据提供了存储、描述和管理的平台。

(2) 知识库的维护。支持领域专家对知识库的维护,包括知识的增加、删除以及修改,并且系统具有自学习功能,能够不断丰富知识库。

(3) 故障诊断。以飞行数据为数据源,提取故障征兆信息,然后利用专家系统推理的方法进行故障诊断。

(4) 报告的输出。支持将故障诊断的结果、过程等以报告的形式输出。

2. 故障诊断专家系统整体结构设计

基于飞行数据的故障诊断专家系统的硬件结构如图 2.1 所示,该系统由多台计算机和数据库服务器组成。所有计算机均采用 Windows 操作系统,数据库服务器采用 Windows Server 操作系统和 DB2 数据库管理系统。

故障诊断专家系统主要由地面维护子系统、故障诊断子系统两部分组成。其软件整体结构如图 2.2 所示。

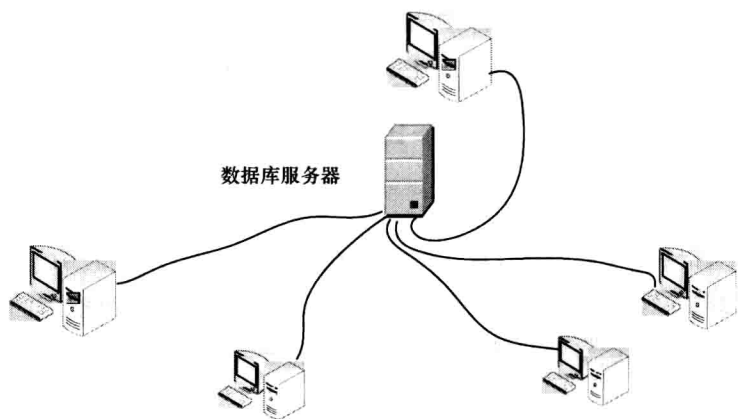


图 2.1 故障诊断专家系统的硬件结构

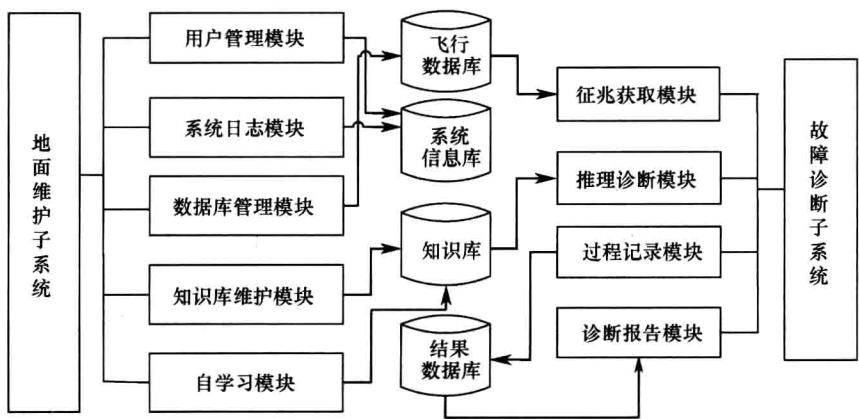


图 2.2 故障诊断专家系统软件整体结构

3. 故障诊断专家系统工作流程

- (1) 用户通过身份验证登录后,进入故障诊断专家系统的子系统选择界面。
 - (2) 在系统使用过程中,如果用户需要进行故障诊断,则进入故障诊断子系统进行故障诊断。
 - (3) 在系统使用过程中,如果用户需要进行维护,则进入维护子系统进行数据库管理、模型维护等操作,并通过自学习功能丰富知识库。
 - (4) 在系统运行过程中,日志管理模块可以记录下各用户的操作使用情况。
- 故障诊断专家系统的工作流程如图 2.3 所示。