

飞机电源智能监控系统

朱新宇 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

飞机电源智能监控系统 / 朱新宇编写. —成都 :西南交通大学出版社, 2002.5

ISBN 7-81057-642-9

. 飞... . 朱... . 航空电气设备—电源—自
动检测系统 . V242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 016376 号

飞机电源智能监控系统

朱新宇 编著

*

出版人 宋绍南

责任编辑 张华敏

封面设计 毕雪屏

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码 : 610031 发行科电话 : 7600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbs@center2.swjtu.edu.cn

西南冶金地质印刷厂印刷

*

开本 : 787mm × 1092mm 1/32 印张 : 4.0625

字数 : 79 千字 印数 : 1—400 册

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-642-9/V · 007

定价 : 12.00 元

内 容 简 介

本书主要介绍飞机电源系统故障监控的原理、实施方案及人工智能的使用。第一章为绪论,主要介绍了监控技术在飞机电源系统中的应用现状;第二章为飞机电源系统分析与管理方案,介绍了两种机型已有的电源系统监控的实现情况,提出了监控技术在飞机电源系统中的实施方案;第三章为基于故障树的电源系统测试性分析,介绍了故障树的实现机理;第四章为基于数据采集的故障诊断,介绍了采用数据采集进行故障定位的优点及实现方法;第五章为电源系统故障专家系统设计,研究了在飞机电源系统中采用人工智能的手段和途径;第六章为飞机电源系统智能监控软件设计,主要介绍了在系统管理方面软件实现的情况。

本书为作者在飞机电源系统监控方面的主要研究成果,解决了为改装机型或在研究机型电源系统提供较好监控系统的技术问题,可供飞机系统设计人员、机务维修人员、航空部门的工程技术设计、管理人员和其他技术人员阅读,也可供相关领域的技术人员参考。

前 言

现代飞机装备了大量的电子装置,它们对电源各项指标的变化比较敏感,对电源的供电品质提出了越来越高的要求,对飞机电源系统进行全方位的综合化监控势在必行。综合监控在这里包含有两个含义:一方面是对系统内各功能部件的统一调度管理,进行电源与负载的转换、切除与控制;另一方面的含义是发现所辖范围内存在的故障或干扰因素,并采取一定的保护、补救措施,避免故障范围的进一步扩大,尽最大可能地保证供电的连续性。使用综合监控系统可实现设备管理的智能化,系统间的信息交流不再孤立,在很大程度上实现了资源共享,而且可以在现有设备配置的基础上获得更多的有用信息,为系统的高效运行提供了条件。

本书介绍了数字 GCU 实现方案,并提出了基于数据采集的故障分析方法,这种方法是通过电压、电流信号离散化并进行采集,再经过一系列处理就可得到我们所需的各种信息,这种方法与传统的基于传感器的方法相比,需要的组件较少,再加上微机的使用,使得它很容易与其他系统交换信息,而且即使增加分析指标,一般也不需要再增加外围电路,只要改变相应软件的算法即可。组件的减少对提高系统

的可靠性是有益的。专家系统由于推理方式灵活，规则容易修改，推理时间短，而成为首选方法。结合故障树分析取得系统内故障之间的逻辑关系，再利用专家经验性的启发性信息，便构成了电源系统故障诊断专家系统，数字模拟取得了较好的效果。

本书由北京航空航天大学教授、博士生导师、电气工程及其自动化专业教学指导委员会副主任委员沈颂华审稿，提出了重要的修改和补充意见。在成书过程中还得到了中国民航飞行学院教务处何秋钊副教授的大力帮助与支持，在此一并感谢。

由于航空技术发展日新月异，不同的电源系统及其监控技术之间存在较大差距，再加上编者学识水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请广大读者指正。

编者

2002年1月

目 录

第1章 绪论

1.1 电源系统综合管理自动化的意义	1
1.1.1 故障检测的意义	2
1.1.2 故障检测的发展	4
1.1.3 机内检测存在的问题	8
1.2 飞机电源系统综合管理自动化的实现	9
1.2.1 现状	9
1.2.2 电源系统综合管理的实现	10

第2章 飞机电源系统分析与综合管理方案

2.1 军用飞机	13
2.1.1 军用飞机电源系统	13
2.1.2 机内检测系统	18
2.2 B757 飞机	22
2.2.1 B757 飞机交流电源系统	22
2.2.2 机内检测系统	23
2.3 飞机电源系统故障分析	25
2.3.1 短路	26
2.3.2 开路	33

2.3.3	频率异常	35
2.3.4	电压异常	38
2.3.5	过激磁	39
2.3.6	旋转整流器故障	39
2.4	电源系统综合管理的实现方案	40
2.4.1	综合管理的实现方案	41
2.4.2	GCU 实现方案	44
第 3 章 基于故障树的电源系统测试性分析		
3.1	故障树的发展及应用	49
3.2	电源系统 FT 的建立	52
第 4 章 基于数据采集的故障诊断		
4.1	基于数据采集的故障检测	63
4.1.1	基于数据采集故障检测的意义	63
4.1.2	检测点的选取	65
4.2	利用谐波分析旋转整流器故障	66
4.2.1	交流励磁机的工作特点	67
4.2.2	利用谐波电枢反应实现故障检测	69
4.3	采集数据的频谱分析	73
4.3.1	离散傅立叶变换	73
4.3.2	快速傅立叶变换	76
第 5 章 电源系统故障专家系统设计		
5.1	专家系统 (ES) 介绍	84
5.2	基于规则的专家系统	86
5.3	专家系统在电源系统监控中的应用	88
5.3.1	基于故障树模型的诊断技术	89
5.3.2	规则库	90

5.3.3 全局数据	94
5.3.4 推 理	95
5.3.5 专家系统的实现	99
第 6 章 飞机电源系统智能监控软件设计	
6.1 程序总体结构	103
6.2 人机界面	105
6.2.1 故障设置	105
6.2.2 数据采集处理	111
6.2.3 故障隔离	115
6.2.4 故障报警及处理	116
附 录 (缩 略 词)	118
参 考 文 献	120

第 1 章 绪 论

1.1 电源系统综合管理自动化的意义

从 20 世纪 60 年代开始研究的固态配电系统，是以计算机为中心，通过多路总线和固态（或混合式）功率控制器构成的新型配电系统，现称为飞机电气综合控制系统。

飞机电气综合控制系统具有以下特点：

电网重量轻，配电汇流条设置在用电设备附近，电源至用电设备间的馈电线可取尽量短的路径，并显著地减少了控制线。

具备了容错供电的能力，即供电系统出现故障后仍能向用电设备供电。

实现了负载的自动管理，自动协调电源所能供给的功率和用电设备所需的功率，有效地提高了电源利用率；有序地加载与卸载，避免了多个大容量负载同时的突加或突卸，改善了供电品质；减轻了飞行人员的负担，避免了误操作引起的事故，缩短了负载监控的时间。

固态功率控制器具有接通断开负载、实现故障保护和提供开关状态信息的功能，保护作用通过直接检测电流来

实现，而不是热保护方式，改善了保护选择性，改变了短路故障引起的后果。

采用计算机资源共享，一旦其中一台计算机失效，其工作可以由别的计算机分担，保证系统连续运行。

具有自检测功能，实现地面维护自检和飞行中周期性自检，提高了维修性，提高了飞机出勤率。

该系统具有自检测功能，可实现地面维护自检和运行自检，正确地记录与隔离故障，从而显著地改善了使用和维修性，系统信息可以自动或根据需要进行显示，飞行员掌握了系统的运行参数、状态信息与故障情况，便于对飞机电气系统进行人工监控。

1.1.1 故障检测的意义

发动机是飞机的“心脏”，电源系统就是飞机的“血液”。随着飞机用电设备的日益增多，电源系统的可靠性、维护性及可测试性都成了人们日益关注的目标，存在于电源系统中的故障可能会导致空中断电，处置不当还会危及飞行安全，而该系统的故障运行分析又是十分复杂和伤脑筋的问题。

任何存在但又不能检测出的故障状态，如果不能得到纠正，它就会成为任务不可靠度的一部分。完备的测试可以减少未被检测出的故障发生，这就显示出测试的重要性。随着科学技术的发展，重要系统和设备的测试问题越来越受到人们的重视，不正确的故障诊断会造成可用零部件不必要的拆卸和重复维修工作，这两者都将增加地面维护费用，减少系统可用性，例如，人们发现在直升机上的重复维修活动以每

飞行小时 0.32 次的比率发生,而且 50% 以上的重复维修活动被确定为是由错误诊断造成的,包括测试设备、检测和标准维修工作。如果用自动监控和告警替代操作人员的直觉判断,估计每次活动由于维修造成的设备不可用性可以减少 25%,虽然这些数据是针对直升机维修的,但完全有理由认为其他类型的飞机也存在着类似的数据。飞机的使用保障费用(包括维修费用)累加起来是十分可观的,如美空军 A-10 飞机,平均每架每年的使用保障费用近 50 万美元,四年的费用就可以买一架新的飞机;在我国这个比例更大,初步估算,一架歼 6 飞机使用 15 年的使用保障费用,达到新机购置费的 5~6 倍。

如果没有有效的诊断技术,要想找出故障,需要的时间要比维修周期中完成其他任何作业所需的时间都要长,这是因为惯常使用的试错法检测常常会引出错误的结果,而且在很大程度上依赖于维护人员的经验,这必然延长或推迟工作进程,并导致重复性工作。即使采用后来使用的“故障报告手册”和“故障隔离手册”,要想准确快速地查出故障所在也不是件容易的事,还需要附加一定的测试手段。一个 LRU 被怀疑存在故障就会被送往内场,那里的技师按一定程序对它们进行详细地诊断与检查,并排除发现的故障。即使送去的 LRU 不包含任何故障,技师也必须对它们进行全面的检测,最后还要对它们进行适航认证,这方面的花费与维修故障的设备所需的费用不相上下。技术问题造成的延迟,对于客机,一般来说每架飞机每个小时要多花费 2000 美元,而且使得维护费用也会增加,每个小时的直接花费为 280 美

元。可见，有效的故障检测手段不仅可以延长系统的可用性，在节约经费方面也有很大的潜在效益。

1.1.2 故障检测的发展

对飞机电源系统的控制和保护，已经从分立式、模拟电路的继电监控发展成了今天的智能化、多任务设备，它的发展大致经历了四个阶段。

(1) 第一阶段

以 A300、DC-10、F-15 等飞机为代表，采用分立元件、模拟电路进行监控保护，它们只对过压、欠压、短路等几个故障采用专门的敏感电路进行在线监测。在早期的波音 747 飞机中有 20 个系统或设备采用了 BIT，L-1011 飞机中有 65 个系统或设备采用了 BIT，其中 49 个具有手动测试能力，6 个具有自动测试能力，10 个具有故障隔离监控能力。BIT 的使用虽然在一定程度上减少了故障隔离时间、航班延误时间及次数，但由于其效率较差，虚警率较高。

(2) 第二阶段

以 B757/767、A310、F-16 等为代表，它们在设计时对测试性、维护性已进行了考虑，提出了快速有效的故障隔离要求，并规定了故障隔离的目标，设计更加规范化。由于微处理器、数字技术的使用，数据处理、传输更加方便快捷，而且采用了编码显示，可以给飞行员提供比以前更多的故障信息。由于采用了故障信息存储技术，为飞行后的视情维修提供了强有力的参考依据。波音 757 飞机的发动机指示和机组警告系统 (EICAS) 完全按照 ARINC 423 《机内测试设备

的设计和《使用指南》进行设计，故障检测和隔离能力都有提高，标志着 BIT 技术进入了第二代。

（3）第三阶段

以 B747-400、A320、F/A-18 为代表，实施了新的 ARINC604 规范，对全机数字化 BITE 通过中央维护计算机进行了综合化集中管理，显示信息的可读性大大提高，存储信息的可用性更强。减少了检测系统的复杂性，提高了 BIT 的标准化程度。航线维修人员通过座舱里的电子显示器能进行故障自动检测及隔离，简化了维修程序，缩短了维修时间。这一代的 BIT 具有如下优点：

故障显示一致性好。故障数据由座舱里两个互为余度的阴极射线管显示器利用英文标准缩写进行集中显示，减少维修人员的培训和维修文件的编写。

数据相关性好。所有储存的故障数据可通过航班号、故障发生日期及时间（也可包括飞行高度及速度）等参数来确定，减少航线维修所需的测试设备。

数据集中显示和控制，分散储存。通过集中式故障显示系统控制和显示 BIT 的数据，每个 LRU 故障记录标准化，不需要专门的显示和控制设备，提高了系统的可靠性。故障数据存储在每个 LRU 的存储器中，提高灵活性。

可达性好。维修人员在座舱里便可通过单个的显示器访问每个电子分系统的 BIT，进行故障检测、隔离，只有当更换有故障的 LRU 时才需要进入设备舱中。

兼容性好。该系统可与机载综合数据系统（AIDS）交联，在飞行中可通过打印输出打印结果，或通过机载通信寻址与报告系统向地面维修站发送故障信息，以便在飞机着陆前做好检修准备，缩短地面维修时间。

扩大故障检测范围。随着 BIT 应用范围的不断扩大，越来越多的飞机结构、发动机、电子、飞行控制、液压、空调和电气等系统的故障可由 BIT 进行检测和隔离。

(4) 第四阶段

以 B777、F-22、RAH-66 等飞机为代表，设计更加规范，采用了双向高速数据总线，实现了高度的综合化与自动化，具有更大的信息处理能力，提高了系统的平均故障间隔时间，延长了非计划维修间隔时间。所有计算机都由中央飞行信息管理系统统一管理，它达到了较高的智能管理水平，无须驾驶员进行干预。

B777 飞机上的机载维修系统 (OMS) 就是负责收集处理飞机系统内各外场可更换单元 (LRU) 的机内检测信息，它是在波音 747-400 以及其他现代飞机的 CMC 的基础上发展而成的。除了采用中央维修计算机外，还具有状态监控、机载数据装载、维修功能测试及其他与维修有关的特点。波音 777 的 CMC 收集、处理、存储的信息涉及 87 个系统/子系统和 200 个内装 BITE 的 LRU，波音 747 - 400 CMC 则只涉及 14 个系统/子系统和 90 个 LRU。

CMC 能判明采用容错/余度结构的 LRU 所剩余的余度，并提供相应的信息。这样，部件故障的发展演变过程得到了监控，维修管理人员可以在故障发展到使 LRU 丧失容错/余度能力之前安排故障的检修工作，以恢复 LRU 的固有设计余度，有利于避免飞机因故障临时停飞而扰乱航班计划。作为一种有效的故障诊断工具，可为维修人员进行故障诊断、确定维修活动、安排维修计划提供信息支援。CMC 本身虽然不影响也不判断飞机的适航性，但可帮助维修人员和飞行

员识别、确认适航性故障和经济性故障。表 1.1 列出了四代飞机 BIT 的特点。

表 1.1 BIT 技术在飞机上的应用及发展

划代项目	第一代	第二代	第三代	第四代
机种	B747、DC10、A300、F15	B757/767、A310、F16	A320、B747-400、F/A-18	B777、F22
服役年代	20 世纪 70 年代初期	20 世纪 80 年代初期	20 世纪 80 年代后期	20 世纪 90 年代后期
适用规范	无	ARINC 423	ARINC 604	ARINC 624
性能特点	分离的 BIT 模拟式信号	分系统组成联合 BIT，部分集中显示与控制、实现数字化、规范化	综合的 BIT 系统，集中显示与控制，实现了数字化、规范化和综合化	设置了中央控制计算机，实现了数字化、规范化、综合化和自动化
显示形式	机电式指示器、功能	测试机电式指示器、阵列显示	发光二极管显示器、数字字符显示	平板显示器、数字字符显示
飞行记录	无	无	10 次飞行数据	64 次飞行数据

接 口	机载综合数据系统	机载综合数据系统	中央飞行数据系统、机载综合数据系统、机载通信寻址报告系统	中央飞行数据系统、机载综合数据系统、机载通信寻址报告系统、电子库系统
-----	----------	----------	------------------------------	------------------------------------

1.1.3 机内检测存在的问题

对系统进行测试常采用逻辑流、自动测试设备（ATE）、机内测试设备（BITE）三大类。

（1）逻辑流

逻辑流是一种查找故障的路径图，也是一个系统故障事件的顺序图，它基本上是一种打工检测步骤。在简单的串行格式中，数据流一次只能通过一个元件，介于正常信号和不正常信号之间的元件就是故障源。在复杂格式中，数据流沿并行路径扇出，故障点不能一次定位，须进一步采取措施进行确定。

（2）自动测试设备

自动测试设备是一种用来自动进行功能或静态参数分析，并评定被测单元（UUT）的性能降低程度的设备，还可用于对 UUT 的故障实施隔离。ATE 与被测单元是分离的，它主要是在野战级和后方维修级使用——或者是把 UUT 送到有 ATE 之处，或是把 ATE 带到有 UUT 的地方。

（3）机内测试设备

机内测试设备的故障检测和隔离能力用于周期地或连续

地监控系统的运行状态，并用于维修前的观测。由于 BITE 在主系统内运行，所以具有传统测试设备和技术不能做到的检测和隔离故障的能力，能够满足设计要求的 BITE 可以大大减少对受过良好训练的后方和野战级维修人员的需求，它允许技能水平较低的人员查找故障，并把故障的设备集中送到野战级和后方级维修。

逻辑流类似已有的故障手册，是一种人工检测方法，检测周期长，但其处理方法可以应用到 ATE 或 BITE 中，一般来说，专用诊断采用 BITE，通用诊断采用 ATE。为了提高飞机的自我保障能力，飞机中应该有一定数量的 BITE。

在我国现役飞机中，电源大多还采用低压直流电源，少数采用了变频或恒频交流电源，它们都采用模拟电路完成控制、保护功能，也没有按 BIT 技术进行设计。如果按照全新的标准重新设计，势必花费大量的人力、物力、财力，而且费效比很高。即使最新研制的飞机电源系统，其 BIT 能力也仅相当于国外第二代前期的水平，对我国电源 BITE 加速开发已经是刻不容缓的事情。

1.2 飞机电源系统综合管理自动化的实现

1.2.1 现状

我国现有飞机的“机上内检和告警综合系统”具有以下功能：