

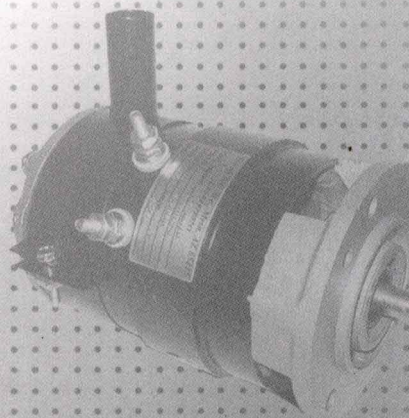
民航特色专业系列教材

航空维修工程学

左洪福 蔡 景 吴 昊 陈志雄 编著



科学出版社



民航特色专业系列教材

● 飞行技术

飞行原理
航空气象学
机组资源管理
空中领航学

● 机场运行与管理

机场安全
机场发展战略与管理
机场管理信息系统
机场规划与设计
机场经营管理
机场运行
现代航空运输管理

● 空中交通管理与签派

飞行性能工程学
飞行员无线电陆空通话教程
机载雷达与通信导航设备
航空公司运行控制方法
航行情报服务
空中交通流量管理理论与方法
空中交通规划
空中交通管理基础
目视与仪表飞行程序设计
新航行系统

● 民航电子电气工程

导航与定位系统
飞机电气系统
飞机电气测试技术
检测技术与传感原理
民航机载电子设备与系统
现代民航通信技术

● 民航机务工程

飞机腐蚀与防护
飞机结构
高亚音速飞机飞行动力学
航空发动机
航空维修工程学 
航空安全工程原理
航空保障技术与工程
可靠性原理
民用飞机系统原理

● 民航运输管理

航空运输地理
航空运输经济学
航空运输商务
航空运输生产计划
航空运输市场营销学
航空运输营运与管理
航空运输资源组织
收益管理基础

www.sciencep.com

ISBN 978-7-03-029835-5



9 787030 298355 >

高等教育出版中心 工科分社

电 话: 010-64034873

E-mail: gk@mail.sciencep.com

销售分类建议: 航空航天

定 价: 39.00 元

民航特色专业系列教材

航空维修工程学

左洪福 蔡景
吴昊 陈志雄 编著

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书建立了航空维修工程学的完整理论体系和框架,全面阐述了航空维修工程理论、技术及最新研究成果。全书力求突出航空和民航特色,内容全面详实,强调理论、规范标准及可操作性。

本书首先介绍了维修工程学的基本概念、学科体系、地位及维修要求的确定。接着对 MSG、RCM 等维修思想进行了综合比较,详细阐述目前广泛采用的 MSG-3 分析方法,并对飞机维修作业、级别分析进行了分析研究。然后结合实际,对飞机维修方案,飞机维修管理,适航、可靠性管理,发动机状态监测、寿命预测和机队管理,以及维修保障体系等进行了详细分析。最后介绍了飞机备件管理和供应体系,并对维修过程中涉及的成本进行了分析、评估。

本书可作为航空维修工程技术方面的本科生专业基础课教材,也可作为相关领域研究生教材,同时可供工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

航空维修工程学/左洪福等编著. —北京:科学出版社,2011

民航特色专业系列教材

ISBN 978-7-03-029835-5

I. ①航… II. ①左… III. ①航空器-维修-高等学校-教材
IV. ①V267

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 259096 号

责任编辑:贾瑞娜/责任校对:林青梅

责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市安泰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2011 年 1 月第一次印刷 印张:22

印数:1—3 500 字数:443 000

定价:39.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

丛 书 序

改革开放以来,我国民航事业获得了持续、快速、健康的发展。2010年,我国民用航空发展的主要预期指标是:航空运输总周转量 493 亿吨千米、旅客运输量 2.6 亿人次、货邮运输量 498 万吨。30 年来上述指标年均增速均达到两位数字,大约是中国国民经济发展速度的两倍,是世界民航业发展速度的四倍。从 2005 年至今,中国民航没有发生运输飞行事故,创造了中国民航历史上安全运营时间最长的纪录,安全、生产、效益形势喜人。按照我国国民经济发展中长期规划和国际通用方法预测,中国民航的持续快速增长还会有较长一段时间。

近年来,中国民航总局党组提出了全面推进建设民航强国的战略构想,因此,对民航各层次管理和专业技术人才的培养提出了更高的要求。民用航空教育必须把培养知识面广、专业素质高、动手能力强、责任心强的专业人才作为自己的奋斗目标,以适应整个行业发展的需要。但是目前民航专业教材体系建设相对滞后,长期以来多数教材源于国外,不能完全符合中国实际;教材出版时间较早,知识相对陈旧,学生难以据此掌握当前民航的高新科学技术。教材问题已经客观地影响到教学效果和质量。

南京航空航天大学民航学院成立于 1993 年,由原中国民用航空总局和中国航空工业总公司正式联合创办,已形成具有培养本科、硕士、博士、博士后多层次人才的办学格局。目前设有交通管理与签派、民航运输管理、民航机务工程、民航电子电气工程、机场运行与管理、飞行技术 6 个专业。依托国家级、江苏省特色专业建设点,依靠国防科学技术工业委员会重点学科建设,以及承担国家级、省部级科研项目等多方雄厚的科研实力,形成了集市场营销、运营管理和维修保障为一体的全方位的人才培养体系,成为我国民用航空领域的重要教学和科研基地。

通过对近 17 年教学与科研成果的凝练与总结,为适应教学改革和民航发展的需要,及时反映现代民航科技领域的研究成果,保证教材建设与教学改革同步进行,我们出版了《民航特色专业系列教材》丛书。本套丛书在组织编写中,重点体现了以下几个方面的特色:

1. 突出民航和航空制造专业特色。教材编写过程中充分考虑到专业的交叉性、综合性和国际性强的特点,在要求学生掌握知识的同时,以培养技术与管理结合、适应性强、综合素质高、能在航空制造企业和民航企事业单位服务的复合型人才为目标,丰富和完善教材内容。

2. 面向民航应用,注重实践能力的培养。适当拓宽专业基础知识的范围,以增强学生的适应性;面向民航工程实际,注重实践环节,强化在民航系统就业所必需的职业技能培养内容,以促进对学生的实际动手能力和创新能力的培养。

3. 强化专业素质教育。在专业所应具备的基本知识基础上,拓宽和延伸专业课内容,及时反映民航科技的最新成果,提升学生的专业素质和学习能力。

4. 兼顾学历教育和执照教育。由于民航专业的特殊性,获取专业执照是从业的必要条件,本套教材在编写过程中,注重学历教育和执照教育的有机结合,为学生顺利走上工作岗位创造条件。

5. 满足多层面的需求。针对同一类课程,根据不同的教学层次和学时要求,编写适合不同层次需求的教材,涵盖不同范围的拓展知识单元,注重与先修课程、后续课程的有机衔接,每本教材在重视系统性和完整性的基础上,尽量减少内容重复。

本套教材注重知识的系统性与全面性,突出民航专业特色;兼顾学生专业能力和综合素养的全面培养,力图提高民航专业人才的培养质量和完善人才培养的模式;着力推广民航专业教学经验和教学成果,推进民航专业教学改革。本套教材的编写出版为提高民航专业教学的整体水平做了有益的探索。

温家宝总理指出:“教育寄托着亿万家庭对美好生活的期盼,关系着民族素质和国家未来。不普及和提高教育,国家不可能强盛。”为了不断促进民航院校学生素质的提高以适应我国民航事业的持续、快速、健康发展,我们在教材编辑与创新上做了一些尝试,迈出了可喜的一步。作为一名老航空工作者,我为此鼓与呼。在丛书编写过程中,南京航空航天大学民航学院还得到众多相关学校与学院各方教授、专家、学者的帮助与指正,在此一并感谢。

王 知

2010年7月

前 言

航空维修是维修工程领域中起步较早、要求极高、发展迅猛、成效显著、体系和规范非常完整、技术和思想十分先进的一个分支,产生了影响深远的航空维修思想,形成了全球化的 MRO 产业。今天,在航空领域,维修工程不但不再是可有可无、难登大雅之堂的专业,而且早已经发展成为决定安全与效益、横跨设计与使用的新型支柱型专业。每年仅民航业吸纳的高校毕业生就数以万计。

在航空维修的专业领域,已经出版发行的著作、书籍很多。但作为本科生及以上层次的专业教材却很少。笔者任教于民航类维修工程专业多年,一直深感这是一件紧迫的事。但苦于笔者在维修工程领域的研究和实践积累有限,因而多次下笔而辍。近些年来,我国 ARJ21 及大客飞机相继研制,笔者所在的团队有幸参与其中,因此在多年的民用飞机维修领域的工程实践和几位博士生、硕士生的理论研究基础上,先后编写了多轮的教学讲义,通过四五年的教学实践,不断地对讲义进行修改、提高后,经过编撰人员的进一步归纳和系统化总结提炼而成本教材。因此,本教材凝聚了项目合作单位和本单位合作人员及研究生们的集体智慧和研究成果。民航维修领域作为一个相对新的学科,涉及随机过程、概率论、机械、管理、可靠性等众多知识,具有很强的交叉学科特点。

在书稿的撰写过程中,除署名作者外,耿端阳副教授撰写了第 5 章、第 6 章的部分初稿,王华伟副教授撰写了第 1 章、第 11 章的部分初稿,博士生王烨、吴静敏参加了第 9 章、第 10 章的撰写,戎翔讲师参加了第 6 章的撰写。参加维修工程相关科研项目的主要人员除本书的编撰人员外,还有柏文华、常士基、涂群章、陈果、许娟、赵红华、刘昕、李艳军、谢庆华、刘伟、王国华、潘光熙、原石中、葛忠汉等老师和工程技术人员。另外还有一些上面没提及的研究生直接或间接地对本书作过贡献,这里不再一一列举。作者在此铭记,并致以谢忱。

对本书影响最大的著作是甘茂治、康建设和高崎先生的《军用装备维修工程学》,以及陈学楚的《维修基础理论》,另外一些优秀著作的思想在书中也有所体现。书中个别地方直接摘录了一些优秀著作的内容,也参考了大量学术论文和资料,这些都已文后参考文献中一一列出。

由于时间紧迫,这次撰写只是力求框架体系、层次结构及主要内容上的合理性,其他地方难免存在疏漏和不妥,以后会不断完善。希望读者能够给予指正,不胜感谢。

左洪福

2010 年 9 月

目 录

丛书序

前言

绪论	1
0.1 维修与维修工程学	1
0.2 维修工程学相关概念	2
0.3 维修工程学的学科体系与地位	6
习题与思考题	15
第1章 可靠性、维修性与维修要求	16
1.1 可靠性	16
1.2 维修性	28
1.3 维修要求的制定	36
1.4 维修要求的设计实现	43
习题与思考题	46
第2章 航空维修思想	48
2.1 维修思想	48
2.2 民用飞机维修思想	57
2.3 RCM 思想	65
2.4 航空维修思想的应用	73
习题与思考题	74
第3章 系统/动力装置维修大纲	75
3.1 确定系统/动力装置维修工作	75
3.2 应用数学模型确定维修间隔	84
3.3 应用 CBR 方法确定维修间隔	99
3.4 基于 MIDOT 的确定维修间隔	107
习题与思考题	110
第4章 飞机结构/区域/LHIRF 维修大纲	111
4.1 飞机结构分析程序	111
4.2 区域分析程序	117
4.3 飞机闪电/高强度辐射场分析程序	120

4.4 确定维修任务的矩阵法	123
4.5 任务转移	133
习题与思考题	134
第5章 维修作业和级别分析	135
5.1 维修作业分析的概述	135
5.2 维修作业拆卸信息	138
5.3 维修作业拆卸工序规划方法研究	142
5.4 修理级别分析的概述	146
5.5 民用飞机 LORA 分析的一般过程	147
5.6 民用飞机 LORA 的非经济性分析	148
5.7 民用飞机 LORA 的经济性分析	154
习题与思考题	161
第6章 飞机维修方案	162
6.1 维修大纲	163
6.2 维修计划文件	168
6.3 用户维修方案	172
6.4 维修方案的修改与优化	174
习题与思考题	179
第7章 飞机维修管理	180
7.1 维修生产活动的组织与管理	180
7.2 维修生产管理体系	182
7.3 工作包及工卡管理	189
习题与思考题	193
第8章 发动机视情维修管理	194
8.1 视情维修的状态	194
8.2 基于状态的剩余寿命预测	201
8.3 发动机机队管理	206
8.4 送修等级与工作包	219
习题与思考题	231
第9章 维修质量管理	232
9.1 维修质量管理内容与管理体制	232
9.2 适航管理	236
9.3 可靠性管理	245
习题与思考题	264

第 10 章 维修保障系统	265
10.1 维修保障系统总体介绍	265
10.2 维修人员和保障设备	270
10.3 《航空维修技术手册》和 IETM 标准	274
10.4 工程与技术支援	282
10.5 维修保障的数字化技术及其发展	288
习题与思考题	291
第 11 章 备件支援管理	292
11.1 民用飞机备件的概念	292
11.2 备件支援体系	295
11.3 备件计划	299
11.4 备件库存管理	306
11.5 备件供应与采购管理	317
习题与思考题	323
第 12 章 维修成本控制	324
12.1 维修成本的基本概念	324
12.2 飞机设计和选型阶段的 DMC 分析	328
12.3 飞机使用阶段的 DMC 评估	332
习题与思考题	339
参考文献	340

绪 论

维修的概念源远流长。航空器在使用过程中受高、低周载荷及环境作用,其组成部分不可避免地会出现退化、故障或失效,从经济、安全、质量和效率方面考虑,维修是恢复这些可修工程系统功能的唯一选择。

现代工程系统越来越复杂化和大型化,系统建造成本越来越昂贵。在生产质量和生产效率大幅度提高的同时,对社会安全的作用和环境的影响也越来越大。因此,维修越来越重要,也越来越复杂。

0.1 维修与维修工程学

0.1.1 维修

维修(maintenance)是为保持或恢复工程系统到其规定的技术状态所进行的全部活动。它是一个非常广泛的概念,涉及工程系统的各个组成部分,也贯穿于工程系统从设计到报废的全寿命周期过程。

维修活动包括维修资源使用和维修任务完成的所有工作。维修活动既包括技术性的活动(如润滑保养、检测、故障隔离、拆卸安装、零部件更换、修理或修复、大修、校正、调试等),又包括管理性的活动(如使用或储存条件的监测、使用或运转时间及频率的控制等)。现代维修的概念,还扩展到了对工程系统进行的局部改进和改装。

维修的对象可以是所有的工程系统。这里的工程系统是指通过用比较大而复杂的设备建造的可修人造系统,如航空器、水陆载运工具、工矿设备、武器装备、大型计算机软件、建筑设施等大型系统。本书为航空维修工程学,主要研究航空器的维修,包括飞机、发动机及其系统。

航空器维修的直接目的是持续保持其处在规定的技术状态下工作,即预防航空器及其组成系统的功能退化和故障及其后果。而当其状态受到破坏(即发生故障或遭到损坏)后,使其恢复到规定状态。

航空器维修的根本目标则是以最低的维修成本,尽可能地保持、恢复甚至延长其可靠性寿命,保证飞行安全,最大限度地提高其利用率。不采取及时、合理的维修,航空器的使用可靠性和安全是无法保障的。

维修的代价是维修成本。在民航运输业,一台发动机一次送修的费用为 200 万 USD 左右。一架飞机每飞行一小时的直接维修成本是 300~500USD。民航业的维修成本通常要占到全部直接运营成本的 11%~20%,其中动力装置部分约占 40%。一架军用喷气式飞机每年的维修成本高达 160 万 USD,约占总使用成本的 11%。

美军在 1997 财政年度预算的装备使用维修费用为 790 亿 USD。美军每年花在武

器装备的维修费用大约为 120 亿 USD,其中:海军占 59%,空军占 27%,陆军占 13%,其他为 1%。据统计,近 40 年来美军装备维修费约占国防费用的 14.2%。20 世纪 80 年代以来维修费几乎接近装备研制费与采购费之和。

维修成本如此之大,是值得专门对维修进行研究的。1968 年,英国作过一个估计,合理的维修可以提高设备的利用率,因此每年可以减少约 3 亿 GBP 的因设备停用而造成的生产损失。

0.1.2 维修工程学

维修工程学(maintenance engineering)是研究工程系统维修思想、维修要求、维修策略、维修计划及维修保障系统的建立及其运行规律的学科。

维修工程学既是一门关于维修的工程技术科学,也是一门系统工程科学。按照系統工程的观点,维修工程学既要研究工程系统全寿命过程维修任务的规划、设计、管理、控制和评估等概念系统范畴的问题,也要研究为了实现上述概念而建立的维修保障系统的功能、要素、相互关系、建立和运行方法等实体系统范畴的问题;同时,还要研究工程系统本身与维修工程之间的相互影响、协调权衡等相互作用。因此,维修工程学也可表述为:运用系统工程思想和全系统、全寿命过程观点,采用工程技术科学的方法,优化全寿命维修的计划,规划维修保障系统,权衡工程系统的使用、维修特性,使之具有良好的有关维修和保障的设计特性,并达到最佳匹配与协调,并对维修保障进行宏观管理和控制,以实现及时、有效而经济的维修。

作为一门学科,上述定义中的要点如下:

(1)研究的对象是工程系统的维修任务,研究的范围涉及维修的规划设计、维修保障系统规划运筹、维修决策与管理,以及工程系统本身与维修有关的设计特性(如可靠性、维修性、测试性、保障性等)和要求。

(2)研究的时域贯穿于工程系统的全寿命过程,包括工程系统的论证、研制、使用、维修直至退役;研究的空域包括工程系统的整体、局部和基本结构。

(3)研究的直接目的是优化工程系统的设计特性、维修方案和维修保障系统,使维修及时、有效而经济。

虽然维修工程学和维修的最终目的与目标是一致的,如以最少的维修成本保持工程系统的完好率,但二者有本质的区别。维修工程学是关于系统分析和方法论的,而不是具体的维修活动。维修工程学既不是研究具体维修作业的维修技术,又不是研究具体设计、验证方法的设计科学,而是进行有关维修任务的规划、设计和管理,维修保障系统的规划和控制的工程技术科学。

0.2 维修工程学相关概念

0.2.1 维修要求

维修包括安全和经济两个方面的目标。安全目标体现在:维修可以使航空器保持

或延长使用寿命,可以持续保持其使用的安全性和可靠性。经济目标则体现在:科学的维修可以提高飞机和发动机的利用率,可以保持运输和战术质量;同时,维修还要以最低的全寿命维修成本达到安全和经济目标。

航空器的维修目标要通过转化成飞机设计指标、维修方案目标要求和维修保障系统设计要求才能得以实现。这些由维修目标分解出来的指标和要求,统称为维修要求(maintenance requirements)。

维修要求是为了能够并便于对产品进行维修而对航空器设计、维修和保障所提出的要求,是设计、使用、维修、成本和效率等多种因素的综合权衡结果,也是维修工程学要实现的具体要求和指标。

维修对航空器设计的总体(或顶层)要求来源于使用要求,通常要通过分解、转化成详细的维修性要求和可靠性要求,才能在航空器设计中加以贯彻,形成航空器的面向维修保障的质量属性。

以民用飞机为例,其维修要求包括以下内容:

(1)整机级(顶层)维修要求。例如,过站停留时间(短停)小于 30min,直接维修成本小于 338USD/FH,飞机派遣可靠度大于 99.5%,飞机利用率为 2720FH/a、8FH/d 等。

(2)系统和结构的可靠性及维修性要求。顶层维修要求要进一步分解细化成系统、子系统及部件的可靠性和维修性的指标,在产品设计和成品采购中贯彻实施。

(3)维修方案要求。例如,要求采用最新版的美国运输协会 ATA MSG-3 规范, A 检/500FH、C 检/4000FH/4000FC/18mths 等。

(4)维修保障要求。例如,要求备件库存的保障率达到 95%,飞机停飞待件(AOG 件)24h 到货等。

0.2.2 维修策略

1. 维修策略的基本概念

策略是根据形势发展而制定的行动方针。维修策略(maintenance strategy or maintenance policy)是针对产品劣化情况而制定的维修方针,包括劣化评估依据(形势描述)、维修决策行动及计划。

1)劣化评估依据(criteria)

劣化评估依据主要包括寿命、状态和故障,用于评估产品的劣化情况。

(1)寿命。产品统计寿命即可靠性寿命,一般用累计疲劳时间(飞行小时(FH)、起落次数(FC)等)或日历时间来描述。

(2)状态。产品实际运行状态,一般用观测状态即产品运行时的各种“二次效应”,如振动信号、磨损颗粒、性能参数和功能参数等来描述。

(3)故障。这是故障发生后的描述,如使用困难报告、故障检测报告和停机现象等。

2)维修决策行动或作用(action)

维修决策行动实际上就是在决策点对产品施加的作用,包括维修措施及其预期效

果。实际维修工作中一般采取的维修措施包括润滑保养、操作检查、检查(一般目视检查、详细目视检查、特殊详细检查)、功能检查、修理、更换和改进设计等多种形式。预期效果主要是产品功能、性能或可靠性的保持或恢复的程度或水平,主要分成以下3种程度(图0-1):

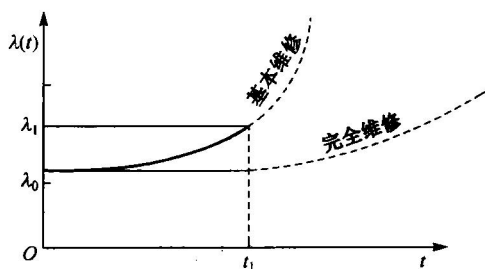


图0-1 基本修复和完全修复

(1)基本维修或最小维修。产品修复后瞬间的故障率与故障前瞬间的故障率相同。

(2)完全维修。产品修复后瞬间的故障率与新产品刚投入使用时的故障率相同,即修复如新。

(3)中度维修。产品修复后瞬间的效果介于基本修复和完全修复之间。

另外,还有改进性维修(如改进后功能得到增加或性能得到增强)和更坏维修(如更换后增加了早期故障率、维修差错导致故障率增加等情况)等。

3) 行动执行的计划(plan)

行动执行的计划包括维修或更换的间隔或周期的安排等。民用飞机维修周期一般为,日检;24h;A 检;500FH;多重 A 检;500NFH;C 检;4000FH 或 4000FC 或 18mths。

一个有效的维修策略可以减少产品运营过程中的停工次数,保持或恢复系统可靠性,预防故障出现的次数,减少劣化带来的维修费用,即以尽可能最低的维修费用,保持或恢复产品到最合适的系统可靠性、可用度和安全性能。

2. 基本的预防性维修策略

预防性维修(preventive maintenance, PM)是在发生故障之前,使产品保持在规定状态所进行的各种维修活动。它一般包括擦拭、润滑、调整、检查、定期拆修和定期更换等活动。这些活动的目的是在产品故障前发现故障并采取措施,防患于未然。预防性维修适用于故障后果危及安全或任务完成或导致较大经济损失的情况。目前,预防性维修包括定时维修策略、视情维修策略和主动维修策略。

1) 定时维修策略

定时维修策略(predetermined maintenance, PM; 或 hard time maintenance, HTM; 或 time based maintenance, TBM)是在对产品故障规律充分认识的基础上,根据规定的间隔期或固定的累计工作时间(如飞行小时)或里程,按事先安排的时间计划进行的维修。定时维修策略的条件是已知产品的寿命分布规律且确有耗损期,其故障与使用时间的关系,系统中大部分零、部件能工作到预期的时间。

2) 视情维修策略

视情维修策略(condition based maintenance, CBM; 或 on condition maintenance, OCM; 或 predictive maintenance, PdM)是通过采用一定的状态监测技术对产品可能发

生功能故障的二次效应进行周期性的检测、分析和诊断,再根据状态发展情况所安排的预防性维修。视情维修的检查计划是基于状态而安排的动态的时间间隔或周期,适用于损耗故障初期有明显劣化征候的产品,并要求有适用的监测技术手段和标准。只有加强对故障机理和劣化征候的研究,完善检测手段,才能做好这项工作。

3) 主动维修策略

主动维修策略(proactive maintenance)对引起产品故障的根源性参数如油液污染度、物体的理化性能及温度等进行识别,主动采取事前的维修措施,将其控制在一个合理的范围内,以防止引发产品发生进一步的故障或失效。这是从源头切断故障的维修策略,以达到减少或者避免故障发生的目的。一般的维修策略只能消除产品表面上的异常现象,而没有注意到产品内部的隐患性故障及根源。主动维修策略着重监测和控制可能导致产品材料损坏的根源,主动消除产生故障的根源,达到预防故障或失效发生并延长产品寿命的目的。

3. 事后维修策略

事后维修策略(corrective maintenance, CM)也称修复性维修、修理或排故,是不在故障前采取预防性的措施,而是等到产品发生故障或遇到损坏后,再采取措施使其恢复到规定技术状态所进行的维修活动。这些措施包括下述一个或全部活动:故障定位、故障隔离、分解、更换、再装、调校、检验及修复损坏件等。

4. 改进性维修策略

改进性维修策略(improvement or modification)是利用完成产品维修任务的时机,对其进行经过批准的改进或改装,以消除产品的使用性和安全性方面的缺陷,提高使用性能和可靠性或维修性;或者使之适合某一持续的用途。它是维修工作的扩展,实质是修改产品的设计。结合维修进行改进,一般属于基地级维修(制造厂或修理厂)的职责范围。

0.2.3 维修思想与维修方案

维修思想(maintenance concept),又称维修原理、维修理念或维修哲学。这些思想和哲学是制订具体的维修大纲、程序和策略的理论基础。一个完整的维修思想应该是结构化、客户化的,它通常包括维修目标和所需资源的确定,重要维修项目的确定,故障模式及其影响分析,维修策略的选择,维修策略参数的优化、应用和评估、反馈修改等基本过程。

维修方案是维修思想的最终表现,是运用维修思想进行系统、全面的维修任务分析、规划和设计而产生的具体结果。

民用航空器主要采用 MSG(maintenance steering group, MSG)思想,这是 FAA 维修指导思想的思想,又称为 MSG 维修思想。它是世界各国民用航空界公认的制订民用飞机维修大纲的指导思想。民用飞机维修方案(maintenance schedule, MS;或 maintenance program, MP)是对维修对象全寿命、全系统维修任务的统筹安排,包括计划维修项目、维修时机或维修间隔、维修工作和维修工时计划等。

在军事装备领域,主要采用“以可靠性为中心的维修”(reliability centered maintenance, RCM)思想。RCM 起源于航空业,是国内外军方制订航空器维修大纲的指导思想。RCM 也在航空界以外的其他工业领域中得到了广泛应用。军事装备维修方案或称为维修保障方案,是从总体上对装备维修保障工作的概要性说明,是关于装备维修保障的总体规划。其内容包括维修类型(如计划维修、非计划维修)、维修原则、维修级别划分及其任务、维修策略、预计的主要维修资源和维修活动约束条件等。

0.2.4 维修保障系统

无论完成何种维修工作,都需要一定资源。维修保障系统(maintenance support-ing system)是由实施维修的所有维修保障要素经过综合和优化后的总体,是维修所需的物质资源、人力资源、信息资源及管理手段等要素组成的系统。

军用飞机的综合后勤保障(integrated logistics support, ILS)可以简单地分成使用保障和维修保障两部分,维修保障系统是 ILS 的核心组成部分。民用飞机称 ILS 为“产品支援”或俗称“客户服务”,其基本内容和军用飞机综合保障是一致的。

维修保障活动是围绕许多与维修工作紧密相关的因素进行的,包括以下内容:

- (1)维修设备与工具,包括保障航空维修所需的各种设备、检测仪器和操作工具。
- (2)技术资料或技术出版物,是指导用户如何维修的一批技术文件,包括技术说明书、故障隔离手册、飞机维修手册、发动机维修手册和图解零备件目录等。
- (3)备件供应,包括确定采购、分类、接收、储存、转运、批发和处理补给品要求的所有管理活动、程序和技术,是综合后勤保障重要的要素之一。
- (4)人力,这项要素是指按预定的维修任务要求,确定维修人员的技能水平和人员数量,以确保对飞机进行正确维修和放行。
- (5)培训和培训保障。这项要素是指进行人员培训时涉及的程序、技术、培训教材、培训装置和设备等。
- (6)外场(或现场)技术服务。由于航空器极其复杂,交付使用后还会发生许多意料不到的问题,需要承制方提供服务代表、信息、技术指导和应急支援等外场技术服务。民用航空器外场技术服务的依赖性更高。

0.3 维修工程学的学科体系与地位

0.3.1 维修工程学的形成

20 世纪 50 年代以来,随着产品的大型化和复杂化,用户对产品的质量和使用、维护要求越来越高,可靠性、维修性工程得到迅速发展。随后,美国从 60 年代起开始了维修工程领域的研究,并逐渐形成为与可靠性工程、维修性工程并列的学科。

1970 年在英国形成了设备综合学学科,其实质与维修工程学并无大的差异,只是其研究和涉及的范围更广一些,对象更侧重于企业的设备。日本自 1973 年在欧洲考察设备综合工程后,也提出了适合其国情的“全员生产维修(TPM)”,更加强调企业全体

人员参与管理的作用。1975年美国在陆军部主持下,由航天局编写出版了《维修工程技术》(*Maintenance Engineering Techniques*)一书,论述了维修工程的理论和方法。该书主要是为了满足实施维修工程的需要,对维修工程的各项任务 and 所用的方法进行了全面的讨论。前苏联虽然没有提出“维修工程”名称,但形成了系列标准。1974年联合国教育科学及文化组织将“设备维修工程”列入技术科学分类目录。目前,有关维修工程的著作已出版了很多。下面是 B. S. Dhillon 列出的部分维修工程学著作:

◇ *Maintenance Engineering Handbook* edited by L. R. Higgins, McGraw-Hill Book Company, New York, 1988.

◇ *Engineering Maintenance Management* by B. W. Niebel, Marcel Dekker, Inc., New York, 1994.

◇ *Maintenance Fundamentals* by R. K. Mobley, Butterworth-Heinemann, Inc., Boston, 1999.

◇ *Maintenance Strategy* by A. Kelly, Butterworth-Heinemann, Inc., Oxford, U. K., 1997.

◇ *Reliability-Centered Maintenance* by J. Moubray, Industrial Press, Inc., New York, 1997.

◇ *Applied Reliability-Centered Maintenance* by J. August, Penn Well, Tulsa, Oklahoma, 1999.

◇ *Maintenance Planning and Control* by A. Kelly, Butterworth and Co. Ltd., London, 1984.

◇ *Quality, Warranty, and Preventive Maintenance* by I. Sahin and H. Polatoglu, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1999.

◇ *Glossary of Reliability and Maintenance Terms* by T. McKenna and R. Oliveron, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1997.

◇ *Maintenance Engineering Techniques*, Report No. AMCP 706-132, Department of the Army, Washington, D. C., 1975.

◇ *Guide to Reliability-Centered Maintenance*, Report No. AMCP 705-2, Department of the Army, Washington, D. C., 1985.

◇ *Queues, Inventories, and Maintenance* by P. M. Morse, John Wiley & Sons, New York, 1958.

◇ *Maintenance Engineering Handbook* by L. C. Morrow, McGraw-Hill Book Company, New York, 1966.

◇ *The Complete Handbook of Maintenance Management* by J. E. Heintzelman, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1976.

与维修工程相关的部分欧美杂志如下: