



民航飞机结构修理专业实训教材



飞机结构修理

主编 孟忠文 卿光辉 邢瑞山



中国民航出版社

民航飞机结构修理专业实训

飞机结构修理

孟忠文 卿光辉 邢瑞山 主编

中国民航出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

飞机结构修理/孟忠文, 卿光辉, 邢瑞山主编. —
北京: 中国民航出版社, 2016. 6
ISBN 978-7-5128-0354-1

I. ①飞… II. ①孟… ②卿… ③邢… III. ①飞机构
件-维修 IV. ①V267

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 094423 号

飞机结构修理

孟忠文 卿光辉 邢瑞山 主编

-
- | | |
|-------|-----------------------------------|
| 责任编辑 | 杨玉芹 |
| 出 版 | 中国民航出版社 (010) 64279457 |
| 地 址 | 北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼 (100028) |
| 排 版 | 中国民航出版社录排室 |
| 印 刷 | 北京京师印务有限公司 |
| 发 行 | 中国民航出版社 (010) 64297307 64290477 |
| 开 本 | 787×1092 1/16 |
| 印 张 | 44 |
| 字 数 | 1130 千字 |
| 版 印 次 | 2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷 |
-
- | | |
|------|---|
| 书 号 | ISBN 978-7-5128-0354-1 |
| 定 价 | 88.00 元 |
| 官方微博 | http://weibo.com/phcaac |
| 淘宝网 | https://shop142257812.taobao.com |
| 电子邮箱 | phcaac@sina.com |

前 言

本教材是飞机结构修理专业学生的学习与实训指导书。大部分内容是根据学生的特点编写的,属于基础性的内容较多。本教材在编写指导思想上借鉴了加拿大的职业教育模式,并结合中国国情,构建的是以工作过程为导向的人才培养模式,注重结合飞机维修行业的实际,体现飞机结构修理专业人才的需求特点,重点突出基本技能的培养。

本教材在编写过程中依托仿真或真实的学习情境,结合现行的飞机维修手册、防腐手册、结构修理手册,配套使用飞机修理工作单,注重学生职业能力训练,坚持学生知识、能力、素质的协调发展,力求实现学生由知识能力向动手能力的转变,达到培养合格的飞机机务维修人才的目标。

本教材也大量借鉴并介绍了航空器制造体系的内容,尤其是飞机的设计、制造等方面的技术资料和国家标准及行业标准,目的是拓展学生的视野,使之了解相关行业的动态。本教材也可以作为机务维修人员技能学习的参考读物。

本教材涉及的大部分内容与工单,是我们在长期教学过程中积累的资料,并经过了教学实践的检验。对于存在的问题与不足,我们在教学过程中多次修改、完善,最终完成本教材的编写。

本教材在编写过程中得到了兄弟单位同志的大力帮助。其中,第13章“飞机结构腐蚀与防护”由陕西飞机工业有限公司的梁芳明、谭晓辉两位工程师协力撰写,第18章“复合材料结构修理”由中国民航大学卿光辉教授与广州民航职业技术学院邢瑞山老师编写,其他章节内容由编者与同事共同编写。有些单位虽然没有直接参与编写,但也提出了不少宝贵意见,如在广州飞机维修工程公司工作多年的刘赐捷师傅给本教材提供了大量的资料,并提出完善教材内容的意见。在教材的整理过程中,广州民航职业技术学院的郭亮老师给予了很大帮助,参与了教材的编辑与整理工作。在此对所有参编人员表示最诚挚的感谢。

由于编者的知识和经验有限,本教材在内容取舍、项目制作以及文字描述等方面,难免会出现错误和不妥之处,恳请读者、同行批评指正。

编 者

2016年11月

目 录

前言

第 1 章 飞机维修的基本原理与方法	1
1.1 飞机维修的基本概念和分类	1
1.2 我国飞机维修发展	3
1.3 飞机维修的基本理论和思想	5
1.4 飞机结构维修的基本方法	11
1.5 飞机结构材料新技术	19
1.6 飞机表面修复新技术	27
第 2 章 飞机站位与图纸认识	32
2.1 飞机的站位、区间与尺寸	33
2.2 飞机结构图	43
第 3 章 飞机维修安全防护	86
3.1 安全条例有关部分	86
3.2 人为因素	91
3.3 消防知识	92
3.4 设备使用安全规则	94
3.5 机加工车间安全操作规程	97
3.6 区域安全	99
3.7 安全保护	102
3.8 职业安全卫生管理	103
第 4 章 维护文件及维修手册	104
4.1 广义航空出版物	104
4.2 狭义航空维修文件的概念、分类及简介	106
4.3 维修类型、方式与维修任务	107
4.4 维修大纲和维修方案	109
4.5 手册的认识	111
4.6 飞机的编号	117
4.7 客户有效性代码 (Customer Effectivity Code)	118
4.8 维修文件的有效性问题	118
4.9 ATA100 号规范	120

4.10	AMM 手册查询规范	124
4.11	飞机结构修理手册的介绍与应用	130
4.12	举例: 4 号前缘缝翼蒙皮出现裂纹如何修理	134
第 5 章	飞机的检查	140
5.1	飞机维修的分类与检查	140
5.2	航空器的损伤的检查	144
5.3	设备无损检测	147
第 6 章	飞机钣金结构件协调的基本知识	178
6.1	钣金协调的基本概念	178
6.2	协调路线与协调原则	179
6.3	协调方法	184
6.4	模线样板-标准样件工作法介绍	188
6.5	产生钣金零件不协调的原因	196
6.6	工艺流程编制基本知识	197
第 7 章	装配时的定位、固定与装配准确度	201
7.1	装配定位的基本原理	201
7.2	飞机装配过程和装配方法	201
7.3	装配基准	209
7.4	定位方法	210
7.5	定位后的固定	221
7.6	飞机装配准确度	223
7.7	制造准确度和协调准确度	225
7.8	补偿结构与工艺	225
第 8 章	普通铆钉铆接	230
8.1	铆接的种类及形式	230
8.2	铆钉	232
8.3	铆接常用工具及设备	249
8.4	铆接制孔、铤窝与压窝	270
8.5	铆接种类与方法	285
8.6	铆接安全	296
8.7	铆接过程分析与铆钉连接强度计算	297
8.8	铆接质量控制	299
8.9	普通实心铆钉的拆除	304
8.10	实做工单之一: 钻孔和铆钉的拆除	309
8.11	实做工单之二: 钻头的辨识与刃磨	311
8.12	实做工单之三: 平板件铆接	312

8.13 实做工单之四：镦窝 - 冲窝铆接	315
第9章 特种铆接	320
9.1 单面铆接	320
9.2 高抗剪铆钉的铆接	331
9.3 环槽铆钉铆接	336
9.4 干涉配合铆接	340
9.5 密封铆接	353
第10章 航空螺纹紧固件的连接与拆卸方法	364
10.1 航空器螺纹紧固件	364
10.2 螺纹紧固件的连接与装配	375
10.3 普通螺纹紧固件的拆除	394
10.4 高锁螺栓的安装与拆除	401
第11章 焊接	407
11.1 焊接方法介绍	407
11.2 焊接安全	414
11.3 气焊与气割方法介绍	422
11.4 手工焊条电弧焊	432
11.5 钎焊工艺	452
11.6 常见的焊接缺陷及质量检验	464
11.7 实做工作单：手工电弧焊接	478
11.8 实做工作单：用电烙铁进行钎焊焊接	479
第12章 胶接	481
12.1 胶接技术发展简史	481
12.2 胶接技术在航空方面的应用	481
12.3 飞机金属胶接结构件的分类与应用	482
12.4 飞机结构胶接技术概述	484
12.5 结构胶接用黏结剂	487
12.6 构件的胶接形式	494
12.7 胶接技术的特点	499
12.8 胶接设备及工装	500
12.9 检验、测试与质量检查	506
12.10 典型胶接工艺过程	513
12.11 铝蜂窝夹层结构的制造	517
12.12 实做工作单：铝合金金属板件胶接	521

第 13 章 飞机结构腐蚀与防护	525
13.1 结构腐蚀的种类及各种腐蚀现象以及相关腐蚀原理的简介	525
13.2 防腐措施——结构设计与合理的修理方案	538
13.3 结构腐蚀的处理方法、程序及安全注意事项	551
13.4 腐蚀损伤的等级介绍	559
13.5 各种有效的机体防腐措施	560
13.6 手册应用及防腐维修实例	568
第 14 章 飞机的密封修理	571
14.1 密封的分类	571
14.2 密封材料与密封元件	572
14.3 密封剂的使用	578
14.4 密封形式	582
14.5 密封铆接的工艺过程	584
14.6 其他形式密封中的密封剂的涂敷	588
14.7 密封试验	590
14.8 密封结构渗漏的原因及排除	591
14.9 封严件密封	593
第 15 章 飞机铝合金蒙皮的修理方法和应用	601
15.1 蒙皮轻微损伤的处理	602
15.2 蒙皮裂纹的修理	605
15.3 蒙皮破孔的修理	605
15.4 蒙皮大范围损伤的修理	607
15.5 蒙皮损伤的修理原理	608
15.6 按照维修手册的方案进行修理	614
15.7 机翼蒙皮及前缘蒙皮的修理	620
15.8 发动机短舱蒙皮的修理	621
第 16 章 飞机结构纵向构件的修理	625
16.1 梁的结构及特点	625
16.2 梁缘条和长桁的修理方法	627
第 17 章 横向结构件及腹板的修理	643
17.1 隔框	643
17.2 翼肋	655
17.3 典型腹板修理	656

第 18 章 复合材料结构修理 663

18.1 复合材料在民航业的使用现状和未来发展方向 663

18.2 复合材料的分类与标志 668

18.3 复合材料的常见损伤及其检查 671

18.4 复合材料损伤的修理 677

18.5 复合材料成形工艺及常用维修设备 681

18.6 复合材料的切割、钻削 689

参考文献 692

第1章 飞机维修的基本原理与方法

1.1 飞机维修的基本概念和分类

维修是当今生产过程中必不可少的，并且迅速发展起来的一个新兴的领域。它的形成与发展由以下三方面因素促成：

- (1) 生产（安全、效益、社会）的需求；
- (2) 技术上采用的最新手段、方法和理论；
- (3) 对维修人员的更高要求，不仅要具有丰富的实践经验、动手能力，而且要具有分析问题的能力。

1.1.1 飞机维修的基本概念

维修：包括设备的维护与修理。

维护：日常的保持设备良好工作状态的工作。

修理：恢复设备良好工作状态的一切工作。

维修工作的特殊性表现在五个方面：①排除故障，预防故障，是使用的前提和安全的保证；②是投资的一种选择；③是售后服务中的一项工作；④具有重要意义，是三“Re”产业，即修理（Repair）、再生（Recycling）、再利用（Reuse）；⑤涉及的领域在不断扩大。

1. 飞机维修的概念

飞机维修（修理）是指对使用到规定时限或出现损伤的飞机进行的恢复其规定技术状态的各种技术活动。主要包括：

- (1) 机体结构维修（A照）；
- (2) 发动机维修（P照）；
- (3) 机载设备维修（E照）。

飞机维修工作是（军机、民机）机务人员的主要工作。

2. 飞机维修的目的

飞机维修（修理）的目的是使飞机恢复到完好的使用状态。

民用飞机：恢复其各种使用状态，满足适航要求。

军用飞机：恢复其技战术性能，满足作战和训练要求。

3. 飞机维修的基本流程

根据飞机维修要求、维修部位等不同，飞机维修的工作内容不尽相同，但是归纳起来包括以下基本流程：检测—保养—维护—故障—定位—拆卸—修理—更换—修复—装配—调校—检验。

1.1.2 飞机维修的分类

1. 按照维修时机分类

按照维修时机分类,可分为定时维修、视情维修、健康监控、修复修理等四种。

(1) 定时维修:以工作时间确定维修时间,按照统一规定的时间间隔,不管飞机的工作状况如何都进行维修;适用于已知寿命分布规律且确有耗损期的零部件的维修。这类零部件故障的发生与使用时间有较明确的关系,且大部分能工作到预期的时间。定时维修以规定的时间为标准,修理时机的掌握比较明确,便于计划和组织,但针对性差,工作量大,不经济。

(2) 视情维修:是通过检查掌握飞机各部分的可靠性程度,只对其可能发生功能性故障的部分,做必要的预防维修。视情维修没有固定的时间间隔期或工作时间,带有一定的随机性。它适用于耗损故障初期(从量变发展到质变前),有明显缺陷的电子装备或零部件。这种修理需要有适当而有效的检测手段。视情维修的优点是针对性强,能够充分利用装备或零部件的工作寿命,减少不必要的修理活动,又能比较有效地预防故障发生。

(3) 健康监控:是对装备的技术状态进行连续监控,通过统计分析确定电子装备或零部件不应再继续使用而进行的维修。它适用于有完整、有效的状态监控手段的装备。其优点是可以充分利用被监控部分的使用寿命,但必须有连续监控或诊断的先进手段。

(4) 修复修理:在事先不知道装备何时出现何种问题,无法预先安排计划的情况下,根据装备使用过程中发现的问题而进行的修理称为修复修理。修复修理也叫排除故障或事后修理,主要用于难以事先预防的随机性故障的修复。

2. 按照维修方式分类

按照维修方式分类,可分为原位维修和离位维修两种。

(1) 原位维修:直接在飞机上进行的维修。适用于故障较简单的和具有可更换单元的维修。在航空装备发生故障时,首先要进行分析、判断,确定是否通过原位维修恢复装备的正常工作状态。在原位修理不能恢复装备正常工作状态的情况下,采取离位维修。

(2) 离位维修:拆离飞机进行的维修。虽然存在一些不利因素,如耗费人力、物力和时间,有时甚至造成人为故障,但它是维修工作中必不可少的。其优点是具有良好的维修环境和条件,有充分可靠的维修手段。

3. 按照维修程度分类

按照维修程度分类,可分为小修、中修和大修三种。

(1) 小修:是排除故障和轻度损伤的维修。小修是保证飞机经常处于良好状态的重要手段,通常由基层级维修机构完成。主要是根据故障缺陷的具体情况,按照有关技术标准和工艺规程,有限地拆开有关部位,排除故障,更换或修复个别零部件。

(2) 中修:在飞机使用寿命期内,每使用一定飞行小时或日历时间后所进行的局部分解检查、换件等预防性维修,或结构件中度损伤的修理。中修是保证飞机能正常可靠用完规定寿命的重要手段,通常由中级维修机构完成。主要是按照各型飞机规定的使用时限、修理范围和要求,将飞机的主要系统、部件进行分解、检查、修复和更换不合格的零部件,然后进行装配、调整和试验,使其达到规定的技术标准。

(3) 大修:在飞机使用完规定的大修间隔时限,或外场发生了无法排除的故障、结构

件有严重损伤时所进行的维修。大修是技术最复杂、范围最广的预防性维修措施，是恢复飞机技术性能、保证使用寿命的主要手段，通常由基地级维修机构（大修厂）完成，个别的由国内飞机制造厂或国外飞机制造厂完成。大修要按照飞机修理技术标准和工艺规程，将飞机分解，对所有零部件进行检查、修复，更换不符合要求的零部件，排除故障，恢复原有的精度、性能、技术指标和可靠性。经过大修的飞机必须给定下一次大修时限。

4. 按照维修组织形式分类

按照维修组织形式分类，可分为机动维修和固定维修两种。

(1) 机动维修：主要是指根据飞机所在地和维修力量的布置情况，灵活机动地实施维修，有阵地维修、伴随维修、巡回维修、临时设点维修等组织形式。

(2) 固定维修：主要是指依托维修基地、工厂、修理所等，在固定地点对飞机进行的维修。

5. 按照维修方法分类

按照维修方法分类，可分为原件维修、换件维修和拆拼维修三种。

(1) 原件维修：对飞机上损坏或不符合性能要求的零、部件进行维修，使之恢复规定的功能。

(2) 换件维修：将飞机上已损坏的零部件更换为新品，使飞机恢复规定的功能。

(3) 拆拼维修：从损坏的飞机中拆取可用零部件，拼装成完好的飞机。战时飞机由于具有使用强度高、战斗损失数量大、损坏情况复杂、时间要求紧急等特点，还要采用紧缩维修、加速维修等应急维修方法。

1.2 我国飞机维修发展

1.2.1 我国民机维修发展

我国民机维修发展的历史主要分为以下两个阶段：

(1) 从建国初期至20世纪60年代：1950年在北京成立中苏民用航空股份公司，1954年该公司苏联股份移交中国政府。1957年机队规模达64架，1960年成立中国民用航空局101厂，后成立102厂、103厂。

(2) 20世纪70年代以后：1974年，中国成为国际民航组织理事国。1971年后引进美国B707飞机，1980年后引进大批欧美飞机取代苏制飞机。1980年在北京组建我国第一个维修基地。1989年，国航与德国汉莎公司合资成立北京飞机维修工程公司（AMECO）；同年，广州飞机维修公司（GAMECO）成立，由南航、香港和记黄埔、洛克希德-马丁国际航空服务公司合作建设而成。1993年，厦门太古（TAECO）成立，由香港飞机工程、厦门航空、波音民机、国泰航空、日本航空、北京凯兰航空等合资建立，目前为国内规模最大的飞机维修服务中心。1999年，山东太古（STAECO）成立，由厦门太古与山东航空公司合作建立。东航维修基地于2002年开始承担民机大修工作。2001年，摩天航宇航空发动机维修公司成立，由德国摩天航宇航空发动机制造公司与南航合作建立。1999年，四川斯奈克玛发动机维修公司成立，是国内第一家致力于CFM56发动机维修的公司，由法国斯奈克玛发动机维修公司、中国国际航空有限公司、美国威利斯融资租赁公司、北京凯兰航空等合资建立。

2008年，中国大飞机公司成立，成为中国最具潜力的飞机制造和维修龙头企业。

1.2.2 我国军机维修发展

新中国成立前,我党早在抗日战争时期就注意培养和聚集航空技术人才。1946年,组建东北民主联军航空学校及其修理厂、机械厂、材料厂,收集并修复日军留下的残破飞机供航校训练飞行用;1948—1949年间,航校机务处进驻沈阳,接收日军、国民党军遗弃的航空工厂、仓库,以后又派工作组随军进关,相继接收各地的机场和航空工厂;1949年3月成立中央军委航空局,下设航空工程处,统管所接收的航空工厂。

新中国成立后,1949年11月,在中国人民解放军空军正式成立后,各地的航空装备修理工厂归空军统管;1951年,根据中央军委和政务院的决定,除中、小修理仍由空军部队修理厂承担外,空军将所属的16个航空装备修理工厂和两个航材仓库全部移交给国家航空工业局。空军的飞机、航空发动机由航空工业局所属工厂负责大修。

为使航空工业集中力量研制生产新型装备,从1954年开始,航空工业局陆续将飞机、航空发动机的修理工作转交给空军负责。空军组建了管理航空修理工厂的业务部门,制定了空军修理工厂的建设规划。经过多年的建设,空军已形成门类齐全、布局合理、修理配套,集修理、教学、科研于一体的航空装备修理系统,修理理论、修理技术和管理水平也有较大提高。

21世纪初,空军航空修理工厂对中国人民解放军空军装备的新型飞机、直升机及其配套的发动机基本上都具备修理能力。

1.2.3 我国飞机维修技术发展

现代飞机在结构设计技术、新材料技术、自动检测技术、前沿先进推进技术、通信技术、电子对抗技术等方面运用了许多新技术,这也为新时期的飞机维修技术提出了新的要求、创造了发展机遇,一些维修新技术应运而生。一般分为故障诊断技术和修理工艺技术两个方面。

1. 故障诊断技术

飞机的故障来源主要有两类,一是系统性来源,从某种意义上讲是不可避免的;二是随机性来源,即由偶然因素引起的。现代飞机的很多设备无法事先确定其技术状态、寿命期望值或可靠性衰退的程度,发生故障是随机的,常采用状态监控的方式进行维修,即在飞机的日常使用中,经常会有故障报告,而且需要进行处理或维修。

故障诊断技术包括检测技术、信号处理技术、识别技术和预测技术等,主要是应用各种无损检测、计算机自动诊断、扫描电镜、电子探针以及各种分析等技术手段,实现对装备、子系统及零部件故障的快速分析和定位。研究的主要内容包括故障机理、故障模式、故障统计、故障检测、故障隔离等。

2. 修理工艺技术

修理工艺技术包括机体结构修复技术、零部件修复技术、表面保护技术等。主要应用钣金成形、机械连接、铆接、焊接、胶接、热处理、表面处理、表面强化、喷涂等工艺手段,对飞机整体及其系统零部件进行维护保养,提高使用可靠性,延长使用寿命;对损伤的结构、机械零部件、系统元器件实施修复,以恢复其功能和性能。

修理工艺技术是伴随着飞机设计、制造和材料、工艺等技术的发展而不断发展进步。随

着维修思想的发展,现代飞机的修理更加侧重于新技术、新材料、新设备、新工艺的研究和应用,如复合材料结构修理技术、整体油箱密封修理等,以提高修理质量和效益。

1.3 飞机维修的基本理论和思想

1.3.1 维修理论的产生与发展

1. 维修理论的内涵

维修理论是研究维修的本质、规律,包括:

- (1) 维修设计理论;
- (2) 维修技术理论;
- (3) 维修管理理论。

维修理论涉及的学科:①数学——概率统计、模糊数学;②力学——工程力学、断裂力学、应用力;③物理学——故障物理;④工程学——可靠性工程、维修工程;⑤电子信息学——现代化诊断技术、计算机技术;⑥管理学——现代管理。

维修是一门综合性工程技术应用理论。现代维修理论的核心是以可靠性为中心的维修,解决安全与效益这对矛盾。

- ①过分考虑安全,效益下降;
- ②过分追求效益,安全下降;
- ③合理的安全,保障合理的效益。

对于航空维修业,效益是追求的最终目标,安全是永恒的主题(生命线)。

2. 维修理论的发展

20世纪50年代以前缺乏飞机维修的理论,维修只是作为一种技艺存在;20世纪50年代以后航空维修费猛增,经费与人力占30%,出现了“以预防为主”的维修思想。20世纪60年代以后飞机维修问题增多,出现了一些更深刻的问题,民航工作者在工作实践与摸索中积累了大量而丰富的经验,并在此基础上提出了理论指导的观点。20世纪70年代有了较完善的“以可靠性为中心”的维修理论。经过20世纪80年代进一步完善,20世纪90年代以后,“以可靠性为中心”的维修理论在全球范围内被各种行业广泛采用。

我国于20世纪80年代在民航、空军首先采用“以可靠性为中心”的维修理论。

3. “以预防为主”维修思想

在20世纪40年代以前,地面装备一般采用“事后维修”,即在装备发生故障以后才进行维修保养。直到20世纪50年代初,才逐渐确立“以预防为主”的维修指导思想,这种思想要求装备上的零部件(元器件)在即将磨损或损坏之前及时进行更换、修理,将维修工作做在故障发生之前,是一种积极主动的维修指导思想。

在航空事业发展的最初年代,飞机的设计、制造比较简单,发动机剩余功率有限,受质量的限制,飞机不可能采用过多的余度技术,任何一个机件出了故障都有可能直接危及飞行安全。为了尽量能保证每个机件可靠安全,要求维修工作走在故障的前面。因此,广泛地采取了预防维修措施,形成了“以预防为主”的维修指导思想。

由于认为机件磨损是时间的函数,所以定时维修就成为预防维修的唯一方式。

由于没有先进的检测手段,主要靠直观检查,于是拆卸分解的离位维修就成了预防维修

的唯一方法。

20 世纪 70 年代以前,我军航空装备的维修工作也一直贯彻“以预防为主”的维修指导思想,在装备余度小、维修手段落后的情况下,为了保证装备可靠与飞行安全,采取“多做工作、勤检查”的办法,进行了大量的预防维修工作。

“以预防为主”的维修思想的基本观点认为:预防维修与使用可靠性之间存在因果关系。每个机件的可靠性与使用时间相关,具有翻修时限,到时必须翻修;翻修越彻底,越能预防故障发生。

可是,问题是:预防维修工作做得越多是否意味着飞机的可靠性就越高?“以可靠性为中心”的维修指导(Reliability-Centered Maintenance, RCM)思想是以充分利用装备的固有可靠性为原则,来确定维修方式的指导思想。

随着维修工作的不断发展,人们认识到对于某些类型的故障,不论做多少工作仍然是不能防范的。某些装备过分强调定时维修、大拆大修,反而可能诱发许多人为故障,降低装备的效能。因此,不能仅依靠多做工作来预防故障,应在维修质量、效率、经济等方面进行研究和改进。应该以可靠性理论为基础,通过对影响可靠性的因素进行分析和试验,应用逻辑分析决断法,优选维修方式,确定合理的使用期限,科学地制定维修内容。

4. 可靠性工程的发展

20 世纪 40 年代以前,装备并不复杂,使用环境也不太恶劣,可靠性问题只作为一般质量问题去解决,没有专门作为一门学科进行研究。

20 世纪 40 年代是可靠性工程的萌芽时期。各种复杂的电子装备相继出现,电子装备的可靠性问题严重影响武器装备的效能。在第二次世界大战期间,美国有 60% 的机载电子设备运到亚洲东部后不能使用,50% 的电子装备储存期间失效,其原因是电子管的可靠性太差。为此,美国成立了电子管研究委员会,专门研究电子管的可靠性问题,从采用新材料及新工艺、发展质量控制及检验统计技术等方面来提高电子管的可靠性。

20 世纪 50 年代是可靠性工程兴起和形成的年代。人们对可靠性采用统计的方法进行系统的定量研究。1952 年,美国国防部成立了电子装备可靠性顾问团,1957 年该团队提出了《军用电子器件可靠性试验规范》,为可靠性试验奠定了技术基础,对可靠性试验程序、数据收集、数据处理可靠性分析、可靠性指标的指定等提出了广泛的建议。该报告首次提出平均间隔时间(Mean Time between Inspection, MTBF)这个重要的概念,并将它作为评定军用产品可靠性的指标。在这期间出现了冗余技术,并从理论上证明了采用低可靠性元件可以组装成高可靠性的产品,标志着可靠性已成为一门独立的学科。

20 世纪 60 年代是可靠性工程全面发展的时期,主要为可靠性物理研究阶段,对可靠性问题的本质——故障、失效模式的机理进行研究,从电子设备扩大到各种军用设备,提出了各种加速试验的方法,制定出有关可靠性的各种军用标准,把可靠性正式列为军用产品质量指标。各发达国家也相继开展了可靠性的研究,使装备的可靠性有了大幅度提高,例如,20 世纪 50 年代的“先驱者号”卫星发射 11 次只有 3 次成功,而 20 世纪 60 年代发射的阿波罗登月舱,除阿波罗 13 以外,每次发射成功地到达月球表面并安全返回。

20 世纪 70 年代是可靠性工程发展步入成熟的阶段。其主要特点是建立集中统一的可靠性管理机构,负责组织、协调可靠性政策、标准、手册和重大研究课题;制定出一套较完善的可靠性设计、试验及管理的方法和程序。为解决复杂装备系统投入外场使用后出现的战备完好性低和使用保障费用高的问题,从型号项目论证开始就强调可靠性设计,通过加强元气

件控制,采用更严格的降额设计及热设计,强调环境应力筛选,可靠性增长试验和综合环境应力的可靠性试验等一系列措施来提高装备的可靠性。

自20世纪80年代以来,可靠性工程向着更深、更广的方向发展。在发展策略上,把可靠性作为提高装备战斗力的重要手段;在管理上,强调可靠性管理应当制度化;在技术上,深入开展软件可靠性、机械可靠性、光电器件可靠性和微电子器件可靠性等研究,全面推广计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)技术在可靠性领域的应用,积极采用模块化、综合化、容错设计、光导纤维和超高精横流电路等新技术来提高装备的可靠性。

我国的可靠性工艺起步于20世纪60年代,进入20世纪80年代以后,有了迅速的发展,取得的主要成绩有:

- (1) 制定了一系列标准和法规,对推动可靠性活动的法制化、规范化发挥了重要的作用。
- (2) 对现役装备开展定寿、延寿和可靠性增长工作,大幅度提高了许多装备的可靠性水平。
- (3) 修改了许多装备的维修大纲,确立了以可靠性为中心的维修指导思想。
- (4) 在研装备的可靠性工作得到广泛开展。
- (5) 建成了由众多分网和网点单位组成的可靠性数据交换网,使装备质量与可靠性信息工作向着从研制、生产到使用全过程闭环管理迈进了一大步。
- (6) 可靠性基础研究取得了成果,研究对象更广泛,研究范围已向先进技术领域不断扩展。

1.3.2 “战备完好性”维修思想

战备完好性是指军事单位接到作战指令时,实施其作战计划的能力。它是在编装备、产品可用性、保障性的函数。战备完好性的概率度量称之为战备完好率,表示当要求武器装备投入作战时,装备准备好能够执行任务的概率。

目前,国内外均以战备完好性作为衡量装备优劣的主要指标。国外从20世纪70年代开始研究,国内从20世纪80年代开始研究。在海湾战争中,美F-16的出勤率为95.4%。

1. 最大限度地提高装备可靠性

在研制中,加强零、部件品质控制,通过可靠性增长试验和综合环境应力可靠性试验,提高固有可靠性。在使用中,对易损耗部件进行预防维修,掌握故障规律,通过检测和监控与视情维修,提高使用可靠性。可靠性是保证战备完好性的基础。

2. 加强维修性设计,提高故障快速排除能力

从寿命周期效费角度来讲,须综合考虑可靠性和维修性才能获得最佳的战备完好性。设置检查口、测试点、控制装置,改进装备维修性,减少平均修复时间(Mean Time to Repair, MTTR)。

提高故障诊断、机内测试(Built in Test, BIT)能力,利用人工智能技术,提高维修效率,降低使用保障费用。

故障快速排除能力是保证战备完好性的重要手段。

3. 提高装备保障性

为确保装备是可保障的、易保障的,须在研制时考虑让保障系统与飞机同时交付,并尽

量便于保障和维修。

采用模块化设计,增强原件通用性、保障性是保证战备完好性的重要因素。

1.3.3 “以可靠性为中心”维修思想

1. 可靠性的定义

从工程的角度出发,可靠性可定义为产品无故障完成任务的能力。

我国国军标《可靠性维修性术语》(GJB451—90)把可靠性定义为“产品在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的能力”。所谓“规定的条件”,主要指环境条件、负荷条件、使用维修条件和工作方式等。条件越恶劣,产品的可靠性就越差。产品在设计生产时必须考虑它对各种条件的适应能力,适应性越强,可靠性就越高。在使用和维修时,应尽量保证产品对各种条件的要求,以保证可靠性。之所以提出“规定的时间”,是由于产品的可靠性是时间的函数。随着时间的推移,产品的可靠性会越来越低,所以在产品设计时,应考虑产品的使用期、保险期或有效期等。所谓“规定的功能”,是指产品性能指标及其发挥的作用。产品的可靠性可以针对完成某种功能而言,也可以针对完成多种功能而言。因此,在讨论某一产品的可靠性以前,必须规定它在什么情况下叫不可靠,也就是说一定要对产品出故障(或失效)的判断加以规定。

进入20世纪90年代以后,可靠性的概念有了新的发展,1991年美国国防部把可靠性定义为“系统及其组成部分在无故障、无退化或不要求保障系统的情况下执行其功能的能力”。显然,对可靠性的要求更严了。

可靠性工程是指为了达到产品可靠性要求而进行的有关设计、试验、生产和管理等一系列工作。它与系统整个寿命周期内的全部可靠性活动有关。

可靠性设计是根据系统结构原理建立“可靠性模型”,将系统可靠性指标分配给各分系统,根据设计方案进行预设故障模式,在此基础上进行影响及危害性分析、故障树分析、系统的容差分析,并对元器件进行降额设计及热设计、容错设计、电磁兼容设计、软件可靠性设计等。

可靠性试验是对产品的可靠性进行调查分析和评价的一种手段。它是为了用实验数据来说明产品是否满足规定的可靠性的要求,也对试验中发现的产品的缺陷、故障和后果进行分析,为采取有效纠正措施提供依据。

可靠性生产是为了使产品的固有可靠性得以实现或尽可能接近,它包括工艺可靠性外构件的接收验收、元器件筛选的可靠性,以及生产线和关键工序的可靠性质量控制等。

可靠性管理包括制定可靠性标准、范围,建立健全企业的质量保证体系,制订可靠性工作计划,进行可靠性数据统计分析,组织可靠性评审和验证等,确保产品可靠性指标的实现,推进产品的可靠性增长。

“产品的可靠性是设计出来的,生产出来的,管理出来的”这一思想,越来越为人们所理解。为了提高产品的可靠性,就要十分重视设计和生产阶段的可靠性工作。据美国海军电子实验室统计,在产品不可靠性原因中,设计占40%,元器件占30%,使用和维修占20%,制造占10%。可见,设计和生产阶段的不可靠性原因占80%,此阶段也是提高产品可靠性的重要阶段;但在电子设备的修理中,也不可忽视产品的可靠性工作,修理中元器件选用不当、操作不当等都会对设备的可靠性产生一定的影响。