

现代航空维修理论

张梅倩 编

广州民航职业技术学院机务系

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1—1 航空维修的任务与特点.....	(1)
§ 1—2 航空维修思想的形成与发展.....	(3)
§ 1—3 现代航空维修理论的要点.....	(7)
复习思考题.....	(9)
第二章 故障	(10)
§ 2—1 故障的定义与分类.....	(10)
§ 2—2 故障的发现与故障的后果.....	(11)
§ 2—3 潜在故障与复杂项目故障.....	(18)
§ 2—4 故障的定量描述.....	(22)
复习思考题.....	(31)
第三章 基本的维修工作	(33)
§ 3—1 维修类型与维修方式.....	(33)
§ 3—2 预防性维修工作.....	(35)
§ 3—3 维修大纲的内容.....	(41)
§ 3—4 飞机的维修性.....	(44)
复习思考题.....	(46)
第四章 逻辑分析决断图	(47)
§ 4—1 逻辑分析决断法的特点.....	(47)
§ 4—2 系统/动力装置分析法.....	(49)
§ 4—3 飞机结构分析法.....	(59)
复习思考题.....	(71)
第五章 初始维修大纲的完善	(72)
§ 5—1 初始维修大纲的补充工作.....	(72)
§ 5—2 基准面的标准.....	(76)
§ 5—3 区域的划分.....	(78)
§ 5—4 系统章节和故障代码的编排规则.....	(84)
§ 5—5 设备布局的符号.....	(86)
复习思考题.....	(95)
第六章 应用	(96)
§ 6—1 系统的分析.....	(96)
§ 6—2 动力装置的分析.....	(97)
§ 6—3 应用举例.....	(108)
复习思考题.....	(126)

第一章 绪 论

民用航空是现代航空的使用、维修部门，那么，航空维修工作有没有理论？要不要理论指导？回答是肯定的。航空维修理论是在航空维修实践过程中建立和发展的；反过来它又指导航空维修实践沿着比较正确的途径前进，力求取得好的经济效益。不仅如此，航空维修理论还与航空制造业的发展紧密联系，起到了相互促进的作用。伴随着飞机的出现、发展，航空维修工作也已经历了八十多年，人们在维修实践中，不断认识和探索维修工作的基本规律，不断地把经验上升为理论，以便有力地指导维修实践，并获得实效。目前，许多国家都在这方面进行了大量的实验与研究，并取得了可喜的进展，初步形成了现代航空维修理论，使之既具有实践性，又具有科学性，为了搞好民用航空维修工作，我们必须了解和掌握这门学科，从现有的资料看，美国在这方面的研究比较早，投入的人力、物力和财力比较多，已经提出了一整套较为全面、系统、完善、能见实效的原理和措施。所以，本教材将以此为重点，较系统地介绍现代航空维修理论的形成与发展，基本原理、基本内容和基本手段。

§ 1—1 航空维修的任务与特点

一、航空维修的任务

飞机同其他具有使用价值的产品一样，出厂时是符合设计图纸的要求和具有规定功能的。质量合格的飞机交给使用单位后，为什么要进行维修呢？这是因为飞机无论是在空中飞行还是在地面停放，其技术状况总会受内部和外界各种因素的影响，由正常变为不正常，一方面我们要求飞机本身必须符合一定的技术条件，另一方面飞机在使用或停放过程中受各种因素的影响会偏离这些技术条件，这就是矛盾。解决这一矛盾就是飞机维修的任务。

飞机维修是飞机在使用过程中进行维护和修理的总称。维护是为保护飞机固有的技术性能和发挥其最大效能所采取的技术措施；修理是指飞机的性能变坏或部件失效或发生故障时，为恢复正常状态所进行的技术措施。维修的直接目的是保证飞机处于良好的和随时可用的状态。对于我们民航来说，就应保证飞机圆满完成运输、训练以及其他飞行任务。为达此目的，不仅要求从技术上保证飞机具有良好的可靠性、维修性和技术性能，而且还要求各级机务部门对各项维修工作施行有效的管理，使维修工作能以最少的人力、物力、财力和时间，取得最佳的效果。

随着现代科学技术的发展，新技术、新工艺、新材料的广泛应用，使飞机维修从过去单一的擦洗、涂油、修补等日常作业，逐步形成一个大的工作组合，从专业上可分为飞机、发动机、电器、仪表、无线电、雷达外，还和外场修理、设计制造、训练、器材供

应等部门有密切的联系。因此，要搞好飞机维修工作，不仅要掌握有关的专业知识，还要掌握现代航空维修理论，这样才能改变维修工作的面貌，把维修工作从经验维修提高到科学维修。

二、航空维修的特点

我们知道，维修是为了使用。所以，飞机使用的特点，就决定了维修的特点。

（一）具有空中使用的特点

飞机的使用不同于在地面使用的车辆和在水中行驶的舰船，车辆和舰船在使用中发生故障，可以停车修理，而飞机是在空中使用的，如果发生故障，则难以采取维修措施，就可能造成严重的后果，这个特点给维修工作提出了不同于车辆或舰船的特殊要求，即必须在使用（即飞行）之前，在地面把维修工作彻底做好。

（二）属于准单次系统

飞机与同样用于飞行的巡航导弹或靶机又不同。那些航空器虽然也是在空中使用，且对使用前的维修工作要求也很严格；但是，它们在空中使用的特点是只使用一次，在一次使用之后，无论是否完成任务，都不能恢复使用，这样的系统称为单次系统。飞机则不同，它不是单次系统，因为它不仅只使用一次，而且要多次反复使用，但是，如果在飞行中，飞机本身出了问题，又可能和单次系统一样，成为不可恢复使用的东西。飞机同时具备单次系统和非单次系统两方面的特点，故称其为准单次系统。所以，对于飞机不仅要象单次系统那样，严格做好每次使用前的维修工作，还要保证它从开始投入使用，直到停止使用的整个过程，保持每一次使用的可靠性，以及适应空中与地面交替的反复使用的要求，把每一次的维修工作与整个使用过程中的所有的维修工作综合考虑。根据这个特点，就需要对飞机在维修过程中，为寻求最优对策作更深入的研究与探索。

（三）性能先进、构造复杂

通常，产品的功能越多，构造越复杂，出故障的机会也就越多。

飞机与一般的设备相比，本来就具有性能先进，构造复杂的特点。随着科学技术的发展，这个特点越来越突出。以电子技术的应用为例，美国生产的轰炸机有一个统计数据：1921年以前生产的轰炸机上还未装无线电设备，1940年生产的轰炸机上的无线电设备所用的电子元件只有一千多个；1950年生产的B—47型轰炸机上的电子元件就用了两万多个；1955年生产的B—52型轰炸机的电子元件达五万多个；到1960年，生产的B—58型轰炸机已增到九万多个。民航用飞机的发展情况也大体相似，固然，飞机的性能先进，构造复杂，能减轻飞行人员的劳动强度，提高操作的灵活性，有利于集中精力安全可靠地完成飞行任务。但是，根据概率论的原理，结构的复杂化，又会降低可靠性水平。这就必然要对维修工作提出更新、更高的要求。

（四）对总费用影响大

在保证飞机用于正常飞行的全部费用中，维修费用占了很大一部分。某型飞机作过统计，积累15年的维修费用约为新机价值的2.7倍。这就要我们研究维修工作，以减少维修工时，降低费用，提高利用率，以争取达到好的经济效益。

由上述可以看出航空维修工作对民航事业的重要意义，它对保证飞行安全、航班正常、飞机利用率和有效地利用人力、物力、财力等方面都起着重要作用。从而为我们研

究航空维修工作，提供了必要性和可能性。

§ 1—2 航空维修思想的形成与发展

在本世纪四十年代以前，地面设备的维修工作通常采用“事后维修”的思想，即在设备发生故障以后才进行维修保养。到五十年代初，有的才逐渐采用“预防为主”的维修思想，这个思想要求对设备上的零部件，在即将磨损之前就进行更换修理，将维修工作做在故障发生之前。这使维修思想由原来的消极被动变为积极主动。而航空维修与一般地面设备维修的要求不同，所以，航空维修思想的形成与发展也不同。

一、“预防为主”维修思想的形成

由于航空维修的对象具有空中使用的特点，所以，在航空事业发展的最初年代，就采用了“预防为主”的维修思想，这是因为早期飞机的设计、制造比较简单，发动机剩余功率有限，由于重量的限制，飞机不可能采用过多的余度技术。所以，任何一个机件出了故障都有可能直接危及飞行安全。根据可靠性与安全性之间的紧密联系，人们对机件维修的认识是：机件要工作——工作必磨损——磨损出故障——故障危及安全。为了尽可能保证每个机件能安全可靠的工作，要求在机件故障前作好维修工作，广泛地采用预防性维修措施。预防性维修的传统做法认为：机件磨损随使用时间的增加而增加，使用时间越长，需要做的预定维修工作就越多，装备才可能可靠。因此，定期维修就成为预防性维修的唯一方式。还由于当时没有先进的检测手段，主要凭经验，所以拆卸分解的换位维修就成为定期维修的唯一方法。这种维修思想及方式、方法，在航空界延续了数十年之久，在维修发展史上占有重要的地位。

预防为主维修思想的基本概念是，认为预防性维修与使用可靠性之间存在着因果关系。这种因果关系是根据一种直观的认识，即：工作——磨损——故障，因而每个机件的可靠性都与使用时间有直接的关系，都有一个可以找到的并且在使用中不得超越的翻修时限，到此时限必须翻修，而且，翻修得越彻底，分解得越细，防止故障的可能性就越大，即预防维修工作做得越多，可靠性就越大。

二、“以可靠性为中心的维修”（RCM）维修思想的形成与发展

从可靠性问题都与使用安全性有直接关系这一基本概念出发，航空维修思想较长时间的停留在“预防为主”的维修思想阶段。在经历较长时间的维修实践，后来，人们发现，有些类型的故障，不论预先做多少工作，仍然是不能够防止的。于是，人们对传统的预防维修的作用产生怀疑，纷纷寻求新的解决办法，从而导致“以可靠性为中心的维修”维修思想的产生。

在“以可靠性为中心的维修”维修思想的研究中，美国投入的人力、物力、财力最多，其研究成果也处于世界领先地位，具有代表性，并逐渐为许多航空强国所承认与效仿。

根据美国在这方面研究的情况，在航空界“以可靠性为中心的维修”维修思想的形成与发展，大体上经历了以下几个阶段：

（一）研究与提出阶段

第二次世界大战后，航空事业迅速发展，航空技术装备越来越复杂，维修费用也随之增高。五十年代，美国空军全部费用的 $\frac{1}{3}$ 用于维修，全部人员的 $\frac{1}{3}$ 从事维修。可是，在工作中却发现，有许多类型的故障，不管维修工作做得多么频繁，用拆卸分解的方法都不能防止或减少。这种状况迫使人们去考虑如何提高维修工作的效益，用较小的代价去换取较大的成果。为了解决这个问题，设计部门就开始研究能减轻故障后果的设计，即设计“耐故障”的飞机。如对系统的功能采取冗余，使用多台发动机，破损安全设计等，采取这些设计后，大大地削弱了安全性与可靠性之间的联系。并且对传统的预定维修方针提出疑问，作了许多研究，以弄清翻修期限与使用可靠性之间的确切关系。

1960年由美国联邦航空局（FAA）和航空运输协会（ATA）双方组成的工作组共同研究维修方式与可靠性之间的关系，颁发了《联邦航空局/航空业可靠性大纲》。根据该大纲制定了新的《动力装置可靠性大纲》，它对每种发动机都规定了一个空中停车警告率，如果航空公司的实际空中停车率超过了警告率，则要调查研究并采取相应的措施。它不需要调整翻修时限，除非研究结果表明这是一种补救措施，该大纲的使用结果使翻修时限显著的增加，并从维修中认识到每种发动机有特殊的短寿命部件，这些部件不能生存到规定的翻修期。

在完成了动力装置的可靠性大纲以后，几个航空公司同意研究制定其他系统的可靠性大纲，在1963年由联合航空公司（UAL）着手研究了一些项目，并制定了某些复杂机械项目的《部件可靠性大纲》，其中包括六个项目：DC—8和波音727飞机的座舱增压器、恒速传动装置、氟里昂增压器。得到的结论是：在研究期间尽管规定项目的翻修期限延长了，但部件的可靠性未降低，见图1—1。图中的拆卸率是按每1,000使用小时计算的。根据各航空公司贯彻各个大纲的经验，联邦航空局于1964年公布了《用可靠性方法控制维修的手册》，手册的目的是制定维修可靠性大纲，包括确定一个标准的翻修期限，这是把使用经验与规定的控制相结合的一种方法。1965年联合航空公司实行了《涡轮发动机可靠性大纲》，随后取消了抽样翻修。《涡轮发动机可靠性大纲》一直使用到1972年才被联合航空公司的《以可靠性分析为基础的逻辑资料》所取代。

1965年由诺兰等人设计出一种粗略的决断法来解决制订预定维修大纲问题，并在1967年6月的美国航空和宇航学会的民用飞机设计与使用会议上提出了应用报告。同年，在波音737飞机的初始维修大纲中应用了一个《系统和部件使用性能的评定》的大纲。该大纲用在没有明确的使用时间——可靠性关系的机件。它规定先使用二年，使用期内不规定翻修期，但要监控每个机件的性能。过使用期后，把机件的性能与按二年的实际使用所定的标准作比较，对不符合原来性能标准的机件，采取措施提高其工作的可靠性。这是最先承认某些机件可以不做预定维修工作的大纲。这个大纲和由诺兰等人提出的应用逻辑分析技术，按照每个项目的可靠性特性来分析、确定需做的维修工作的方法——逻辑分析决断法，帮助人们正确、迅速地确定维修项目和维修方式，从而主动地、有目的地实施维修工作，不做徒费时间并会引入早期故障或人为故障的无效工作。实现航空维修工作由“预防为主”的维修思想向“以可靠性为中心”的维修思想转变。

（二）应用与形成阶段

1968年由美国联邦航空局（FAA）和航空运输协会（ATA）组成维修指导小组，

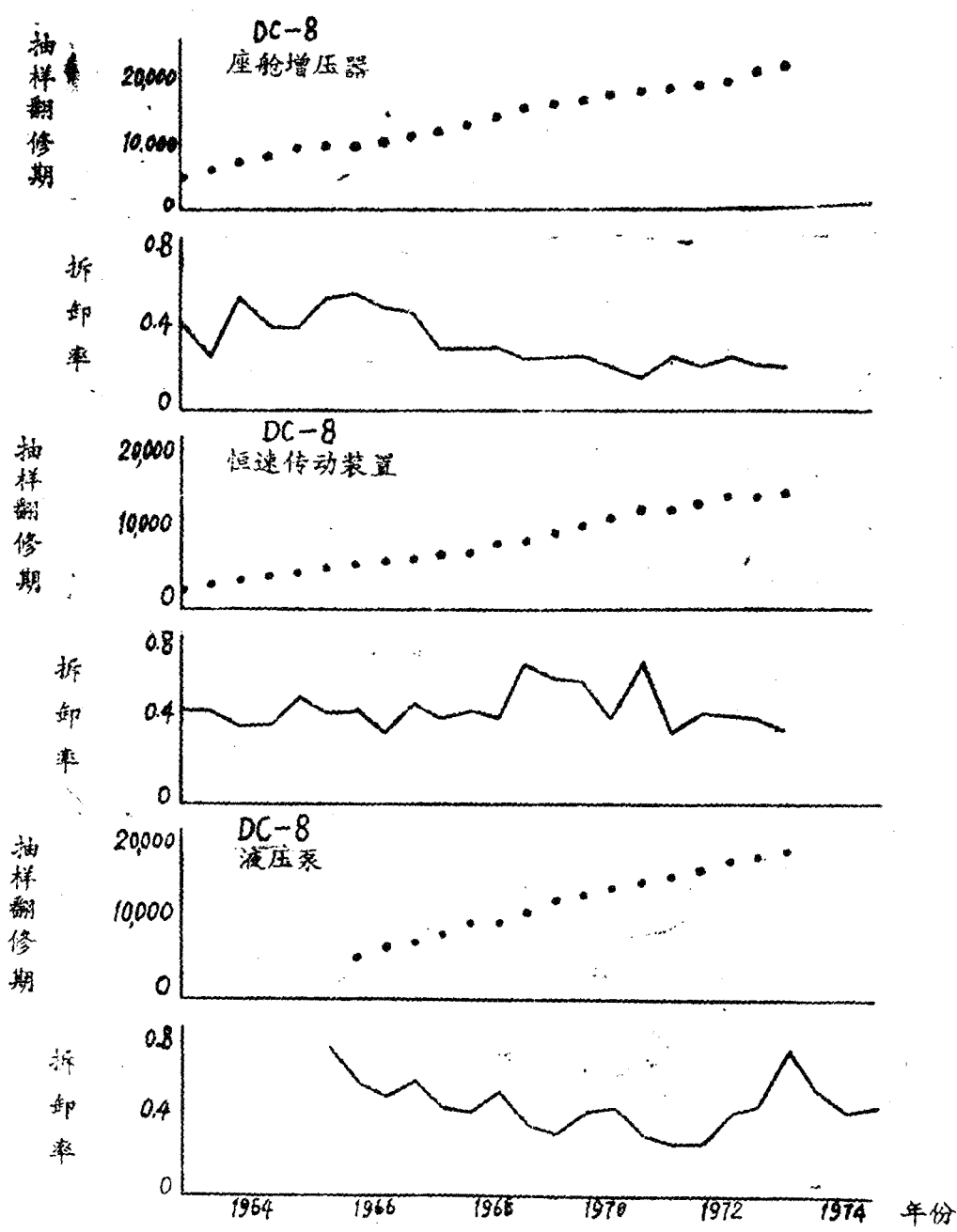


图 1—1 DC—8 飞机的三个部件贯彻部件
可靠性大纲后的统计

研究并起草了《手册：MSG—1 维修鉴定与大纲的制定》。这个文件体现了当时公认的、包括有定时方式、视情方式和状态监控等三种维修方式和初始的逻辑分析决断法。同年，MSG—1 正式用于制定波音747飞机的初始维修大纲，取得了成功的经验，这是第一个以可靠性理论作为指导的维修大纲。

通过MSG—1 的实际应用，发现它还有不足之处，于是在修改MSG—1 的基础上制定出MSG—2。1970年美国航空运输协会颁发了《MSG—2 航空公司/制造公司维修大纲制订书》，并作为洛克希德L—1011和道格拉斯DC—10宽机身飞机的预定维修大纲的基础。MSG—2 还用在军用飞机上。欧洲国家也编写了一个类似的文件，作为制订空中公共汽车A—300和协和号飞机初始预定维修大纲的基础。这时，MSG—1 和MSG—2 所提出的以可靠性为中心的维修思想及其逻辑分析决断法已经得到各国的公认。直到1978年，欧美的一些国家都还是以MSG—2 为基础来制订飞机的维修大纲。

MSG—1 和MSG—2 的技术目标是：以最低的维修费用保证装备达到最大的安全性和可靠性，现举例说明用这种方法所得到的经济效益，按照传统的维修方针，DC—8飞机的初始维修大纲中有339个项目需要定期翻修，而按MSG—2 制定的DC—10大纲中却只有7个项目。DC—10维修大纲中，涡轮发动机已不再规定翻修期限。取消发动机的翻修期限不仅大量节省了工时和器材费用，而且使库存备用发动机的需要量下降了50%以上。目前大型飞机的发动机每台价格为一百万至数百万美元，故这是一个可观的节约。

另一个例子是按照波音747飞机的初始维修大纲，联合航空公司在达到20,000小时以前的，大的结构检查只要花6.6万工时，而按照传统的维修方针，对于较小的而且并不复杂的DC—8飞机，在同一周期内的结构检查要消耗400万工时以上。对于维修任何复杂装备的使用单位来说，维修费用的大幅下降其重要性是显而易见的。更重要的是，这是在不降低装备可靠性的条件下达到的，因为能正确地确定故障临近的征兆，所以能更清楚的了解整个故障过程。

虽然MSG—1 和MSG—2 文件革新了运输机维修大纲所遵循的过程，但它们在其它类型装备上的应用还受到专业性的限制。此外某些概念的阐述也不够全面，如逻辑决断图需要改进，确定维修工作周期的问题没有提到，隐蔽功能故障不明确，没有多重故障的分析，也未说明当装备投入使用后应怎样使用数据来修改初始维修大纲，即未说明现用大纲所需要的情报资料等。

1978年联合航空公司的诺兰等人，对MSG—2 作了修改与扩充，提出了一个新的逻辑分析决断法，称为“以可靠性为中心的维修”或RCM法。RCM法是由装备的具体可靠性特性产生的预定维修工作所组成，它认为：零、组件都会在某个时期发生故障，有些故障的后果比较严重，有些故障对使用安全性有直接影响，而其余的故障只影响到装备的使用能力，故障的后果取决于零、组件本身及装备的设计。有时装备的使用环境也是一个附加的因素，但是故障对装备的影响，以及由此给使用部门带来的后果，基本上是由装备的设计者确定的。因此故障的后果是装备的主要的固有可靠性特性。根据故障的后果来作分析，如果故障影响使用安全，则所有可能预防这种故障的维修工作都是必要的，如果维修工作不能减少故障的危险性，则机件必须重新设计。如故障仅是经济性

的,不涉及安全性,则维修工作的有效性仅根据经济效果。从而克服了MSG—2的一些缺点。

RCM逻辑分析决断法的出现和应用,表征了“以可靠性为中心的维修”维修思想的形成。

(三) 发展阶段

1979年航空运输协会的工作组重新审定了MSG—2中可能需要修改的部分,以MSG—2和RCM的概念为基础发展新的维修大纲。由美国联邦航空局、英国民航局、飞机工程师协会、美国 and 欧州的飞机和发动机制造公司、美国和外国的航空公司、以及美国海军的积极参加和共同努力,于1980年产生了《MSG—3航空公司/制造公司的维修大纲计划书》。

MSG—3大纲提供了供结构用的综合逻辑图,阐述了系统/动力装置和飞机的结构分析法,采用了由上到下的分析法,即按故障后果的分析法。

到目前为止,MSG—3大纲是以可靠性为中心维修思想的成熟与发展,这较完整地概括了现代航空维修理论,并构成了现代航空维修理论的基础。我国民航所使用的飞机,除使用国产的小型飞机外,中、大型的运输机,大都引进美国和西欧国家的。所以我国民航的维修工作,实际上已经开始普及以可靠性为中心的维修思想,并取得一定成效。为此,在本教材中,我们将以MSG—3大纲为重点,来进行讨论和研究。

§ 1—3 现代航空维修理论的要点

由美国和西欧一些国家制定的MSG—3大纲,比较系统、全面地阐述了现代的航空维修理论。所以,这一节所要介绍的要点,实际上主要是MSG—3大纲的要点。现综合概括如下:

一、目的

- (一) 保持装备固有的安全性/可靠性水平。
- (二) 当装备的安全性/可靠性降低后,应使其恢复到原有的水平。
- (三) 原有的可靠性不合适而改进机件的设计。
- (四) 以最低的维修费用来实现上述的三个目的。最低费用包括维修费用和排除剩余故障的费用。剩余故障是指做预定维修后仍会发生的故障。

二、现代航空维修理论的基本原理

- (一) 故障是一种不合格的状况,
- (二) 故障有两种型式:
 - 1. 功能故障;
 - 2. 潜在故障。
- (三) 隐蔽性故障:其功能故障对空勤组是不明显的,因而需要预定维修。
- (四) 由故障的后果决定维修工作的优先次序,故障的后果分成:
 - 1. 安全性后果;
 - 2. 使用性后果;

3. 非使用性后果;

4. 隐患性后果。

(五) 安全性项目: 项目功能的损失或故障型式可能有安全性后果的, 都要进行预定维修。如果预防性工作不能减轻故障后果, 则该项目(机件)必须重新设计。

(六) 经济性项目: 所有的故障后果都是经济性的, 从经济上分析维修措施是否合算。

(七) 由装备的设计决定机件所有的后果, 只有修改设计才能加以改变:

1. 安全性后果可以通过余度而降为经济性后果;
2. 隐蔽功能可以通过配备检测仪表而成为明显功能;
3. 由改进可靠性/维修性可提高有效性。

(八) 用维修大纲保持装备的固有可靠性(不是改进)。装备的固有可靠性是通过设计/制造确定的。

三、适用性与有效性

(一) 适用性: 由机件的设计决定。

(二) 有效性: 按照该项工作所要预防的故障后果来确定的。

四、系统/动力装置的维护工作

(一) 系统/动力装置有四种维护工作:

1. 为发现和预防潜在故障的视情检查;
2. 定期恢复工作;
3. 定期报废工作;
4. 隐患检查工作。

前三类工作是预防功能故障的, 第四类工作是预防隐蔽故障的。

(二) 简单项目是只会有一种或很少几种故障型式的项目, 其可靠性往往随使用时间的增长而下降, 规定使用时间可能会降低总的故障率。

(三) 复杂项目会造成许多种不同的故障型式, 每种故障型式都会引起功能故障, 除非有一种占支配地位的故障型式, 否则其可靠性几乎不随使用时间而下降。因此对复杂项目没有必要规定使用时间。

五、系统/动力装置的决断图

系统/动力装置逻辑分析决断图的工作是根据:

- (一) 功能故障的后果,
- (二) 功能故障对机组是否明显,
- (三) 抗故障能力降低的程度,
- (四) 使用时间——可靠性特性,
- (五) 预定维修工作的经济效果,
- (六) 多重故障的后果。
- (七) 在资料不足的情况下, 采用暂定决断。

六、供结构分析用的维修大纲

(一) 结构损伤的三种原因:

1. 疲劳损伤;

2. 环境恶化;

3. 偶然损伤。

(二) 根据故障后果, 结构分成二种型式;

1. 重要结构;

2. 其他结构。

(三) 供结构用的逻辑决断图。

(四) 以损伤容限评级系统用来确定检查周期。

七、飞机结构的五种检查工作

(一) 地面巡视;

(二) 外部监视;

(三) 内部监视;

(四) 详细检查;

(五) 特别详细检查。

八、初始维修大纲的不断改进

根据使用经验, 要不断修改维修大纲, 主要方法包括:

(一) 监视和分析每个项目的性能, 用作修改维修大纲、改进产品的依据。

(二) 根据故障的后果, 积累使用资料;

(三) 调整检查周期;

(四) 鉴定新的维修工作;

(五) 改进设计。

复习思考题

1. 预定维修思想是怎样形成的?

2. MSG—1 产生之前, 维修思想经历了哪几个阶段?

3. 什么叫“以可靠性为中心的维修”(RCM)?

4. 简述现代航空维修理论的基本要点?

5. 现代航空维修理论中包括哪二个独立的分析部分?

第二章 故 障

所谓可靠性，它是指产品在规定的使用条件下，在规定的时间内，完成规定性能（功能）的能力。然而，最初用可靠性来衡量产品指标，只是作定性分析，即采用可靠性是“好”还是“不好”这样的标准，并没有定量的概念。“以可靠性为中心的维”维修思想形成以后，将可靠性数量化，并把可靠性从定性的分析提高到定量的计量，从而使新的维修思想得到进一步发展。

然而，对可靠性的研究，是从产品本身的不可靠现象入手的。我们习惯上把这种不可靠现象称为“故障”。换句话说，研究可靠性要从研究故障着手，这是由于任何机械装备投入使用后其基本零件都会遭受磨损、腐蚀和疲劳，这将会造成与新装备有一定的偏差。最后这种偏差会达到一定的程度，足以使装备或机件不再符合规定的性能标准，这样就出现了故障。多年来人们的主要精力集中于猜测可能发生故障的使用时间，而不是研究故障是怎样发生的和这种故障会产生什么样的后果。结果，对故障过程注意不够，对造成故障的原因更注意不够；此外，通过维修实践还证明，大多数复杂项目的可靠性并不都随使用时间变化。为了要掌握以可靠性为中心的维修理论，需要进一步研究故障，本章主要讨论故障的定义、故障的过程及后果，以及可靠性的概念，这是编制维修大纲的理论基础。

§ 2—1 故障的定义与分类

一、故障的定义

通常，我们对故障有一种直观的认识。例如，我们都会同意，一台汽车发动机、一个燃油泵或一个轮胎，当它们不能再完成设计的功能时，就出故障了。但是，常常有这种情况，即尽管其性能低于规定值，但机件却还能继续发挥它的功能。如一台汽车发动机也许还能平稳地运转，但其燃料消耗高了；燃油泵还能泵油，但是反应迟缓；轮胎还能保持气压并支承装备的重量，但是其胎面胶表明很快就不能继续使用了。

这些机件算是出故障了吗？如果不算，那么它们的状况还要坏到什么程度才能说是发生故障了呢？此外，在排除这些状况时，需要作一些未曾估计到的修复工作，或者需要修改已经安排的计划，比如：推迟或取消一次预定的任务。在这种情况下，这是否算是故障？

为了概括所有这些可能发生的情况，我们可以给故障下一个广义的定义，即：故障是一种不合格的状况。换句话说，故障是对其原始状况的任何一种可以识别的偏离，而这种偏离对特定的使用者来说是不合格的。但是，确定不合格的状况，还取决于在某种使用范围中的故障后果。例如，航空发动机的滑油消耗量大，对于短程或中程航线来说问题不大，而对远程航线来讲，同样的滑油消耗就会把滑油消耗光。又如发动机仪表故障

对于多发动机的飞机来讲,不会影响飞行安全,而对单发动机的飞机,显然是不合格的。

可见,在合格与不合格之间的分界线,不仅取决于所研究机件的功能,而且还取决于装备的性质和使用范围。因此,不同的使用部门有各自的规定。但在同一使用部门内,则有必要把每个机件的状况(合格与不合格的)以明确无误的术语说清楚。

二、故障的分类

判断一种不合格的状况,必须要有某种标准。如同我们已经了解的,不合格状况的范围,可以是一个机件完全丧失其设计功能到很快就要丧失这种功能的某种迹象。因此,对于维修来说,我们必须把故障进一步区分为功能故障和潜在故障。

1. 功能故障

功能是项目正常的或特征性的机能,有时用性能来定义。功能故障是指一个项目(或包含这个项目的装备)不能满足规定的性能标准。

完全丧失功能显然是功能故障。功能故障还包括一个机件工作时不能达到规定的性能标准。这样,这个定义就给我们提供了一种可以识别的并可以度量的状况,即鉴定功能故障的根据。

为了给任一机件的功能故障下定义,我们必须对其功能要清楚。这是个重要的前提。例如,飞机刹车系统的功能是使飞机停住,那么它的功能故障是不能使飞机停住。但是,刹车系统还有别的功能,它可调节停机的快慢,在飞机地面转变时提供差动刹车,及防止拖胎等等。用这个扩大了的定义可以看到刹车系统会发生很多不同的功能故障。因此,只有确定机件在使用中的所有重要功能后,才能给功能故障下定义。

2. 潜在故障

假如根据某些物理状态或工作参数,就可判断出机件即将发生功能故障,则就有可能在达到功能故障点之前就把机件从使用中拆除。我们把这种指示功能故障即将发生的、可以鉴别的实际状况叫做潜在故障。可以鉴别潜在故障这一事实是现代航空维修理论的一个重要贡献,因为它能使每个机件在不产生功能故障的情况下,得到最大限度的使用。如果机件在潜在故障阶段就加以更换或修理,也可以说是利用了潜在故障来防止功能故障。

对于某些机件,表明故障即将发生的、可以鉴别的状况直接与其性能标准有关。例如,轮胎胎面胶的功能之一是提供一个可以翻新的表层,这个表层是保护轮胎的胎身使之能够翻新的。这个功能不是主要的,因而在列轮胎的功能时可能会被忽略掉。但是,从经济观点来看,这个功能是重要的。因为使用中胎面胶会磨损,如果磨到了使胎身不能翻新的程度,就发生功能故障了。为了预防这个功能故障,我们必须把潜在故障定义为某个不会危及胎身的磨损点。

可见,我们不仅要给故障下定义,而且还必须规定识别故障的标准。例如,按照机件功能与装备之间的关系,定出功能故障的状况以及表明故障即将发生的状况等。

§ 2—2 故障的发现与故障的后果

在这一节内,我们将深入一步地研究怎样发现故障,以及分析故障产生的后果。

一、故障的发现

功能故障和潜在故障两者都可以用在一定工作范围内的可鉴别的状况来定义的。但是，在评定故障数据时，重要的是要考虑几组故障观察者的不同观点。这些观察者包括：空勤组、外场机械员、车间机械员以及乘客。了解观察者如何及何时发现了故障，以及他们是怎样分析故障的，这对使用可靠性和有效的预防性维修都是极为重要的。对这个问题，我们着重从以下几方面进行分析：

（一）发现故障的主要因素：

故障的发现和报告取决于下面两个主要因素

1. 观察者必须处于可发现故障的“正确的”位置。这个“正确的”位置可以是一个具体的地点、一个特定的时间瞬间或者设备的检查点。
2. 观察者必须掌握判别故障（功能故障或潜在故障）的标准。

（二）空勤组在发现功能故障中起重要作用

空勤组成员是唯一处于能观察装备在正常环境中的动态使用的人员。在维修地点的飞机是处于静态环境中的；在飞行中，飞机的各系统都在工作，而且整架飞机都承受空气动力载荷以及低的大气压力和低的环境温度。因此，空勤组会首先观察到许多功能故障。这类故障常常是在空勤组成员用到某一功能时，因该功能不正常时才察觉的。

在大多数的复杂环境中，空勤组察觉故障的能力还由于配置了大量的仪表、警告灯或其它监控装置而进一步提高了。在某些情况下，这些指示器使故障在发生的瞬间就是明显的，要不然将在使用该功能时，才会察觉故障。这些指示器的设置，为如何处理故障争取了较多的时间。例如，某些发动机故障可能要求发动机停车，也许还要求选择备用机场降落；或者在主液压泵发生故障后可能需要接通辅助液压泵；或者无事故征兆，飞机还能继续飞行，也要求空勤组尽可能准确地把这些征兆记入飞行记录本内，以便使问题能尽早排除。因为在有些状况下，性能下降是故障即将发生的标志，因而这些状况也要进行检查，查看是否存在潜在故障。

毫不奇怪，空勤组在发现故障方面是起着主要的作用的。例如，波音747机队在1975年前十个月（总使用时间为51,400小时）的一次研究表明，飞机不在维修基地时，66.1%的故障报告是来自空勤组的，这些故障的排除工作占修复性航线维修总工时的61.5%，其余33.9%的故障包括由航线机械员发现的潜在故障和正常对空勤组是不明显的隐蔽故障。

（三）隐蔽功能项目

虽然大部分功能故障是由空勤组首先发现的，但有许多机件会发生空勤组所观察不到的故障。空勤组的职责往往包括了对某些隐蔽功能项目的特殊检查，然而大部分的这类故障还必须要由维修人员作检查和测试时才能发现。为了确切掌握故障是何时发生的，就必须使观察者确定处于能发现故障的位置上的。因此，从维修上考虑，从空勤组的工作出发，对功能作如下的区分，分为明显功能和隐蔽功能，其定义为：

明显功能是其故障对于在履行正常职责的空勤组来说是明显的功能。

隐蔽功能是其故障对于在履行正常职责的空勤组来说是不明显的功能。

一个机件可能有若干种功能，任何一种功能都会发生故障。如果在这些功能中有一

种功能的丧失是不明显的。则该机件从维修的观点来看必须划作隐蔽功能项目。

隐蔽功能分两类：

1. 一种功能，它正常是工作着的，如果工作中断，对于正在履行正常职责的空勤组来说会是不明显的。例如：飞机动力装置的火警探测系统就属于这一类。这个系统只要发动机在使用，它就在工作，但是它的传感功能是隐蔽的，除非它探测到了火灾；因此，如果它出了某种故障，则其故障同样是隐蔽的。

2. 一种功能，它正常是不工作的，在需用前（通常是在发生其他故障以后）它的良好与否对在履行正常职责的空勤组来说会是不明显的。配合火警系统的灭火系统则属于第二类情况的隐蔽功能，除非探测到了火警，否则它是不工作的，只有当需要使用时，空勤组才能发现它能否工作。

上述说明，由于空勤组处于特殊的位置上，所以，明显的功能故障常常由空勤组发现并作出报告，而隐蔽功能项目的功能故障则大部分要靠地勤人员的检查和发现。可见，作为功能故障的观察者来说，空勤和地勤人员是相互补充的。

（四）故障的证实

空勤组有时报告了在他们看来是不合格的状况，而实际上，按照规定的状况和性能标准是合格的，因为空勤组不可能都知道任何偏离是否代表了潜在故障，为了安全起见，要求空勤组报告在飞行中所观察到的任何异常情况。在飞行中，根据空勤组的报告，指挥人员作出决定，然后通知空勤组是尽快着陆还是继续飞行（作或不作使用限制），指挥人员还要确定飞机在再次放行之前是否应当排除所发现的情况。特别当飞机飞到外站时，这个决定尤为重要。

当飞机进行维修检查时，维修人员就处于一种较好的位置来判断故障是否存在。这样，被怀疑的机件也许就要更换、修理或者标以“可继续使用”。故障观察者对他们所看到的情况会用不同的观点解释，这样常会给故障后果的评定带来困难。例如，座椅后倾装置断裂，任何观察者都会承认这是故障，常常是旅客首先注意到这一情况，并向空中服务员提出。到下一个维修站，航线机械员将会排除，通常是更换该机构，并把损坏件送往维修基地。在维修基地，车间机械员将记录这一故障并进行修理。这个例子中，所有的故障观察者的辨别是一致的。

如果是仪表指示不正常而使空勤组造成在飞行中的发动机停车，情况就有点不一样了。虽然旅客可能不知道发生了故障，但空勤组会报告这是发动机故障，而航线机械员也许会发现这是座舱仪表的故障，而不是发动机的。于是他就更换了有故障的仪表，并报告这是仪表故障。这样，空勤组是唯一的、处于观察到故障的人员，但是却不能证实故障的位置。在另外一些情况下，也许正好相反。例如，在某些发动机上，涡轮叶片在甩出（功能故障）之前会出现一片或几片叶片的安装点松动，这是可检查出来的。如果叶片甩掉了，空勤组和乘客都会突然感觉出了功能故障，但是在这之前由于叶片只是松动而发动机功能正常，空勤组和乘客都没有理由来怀疑是否存在潜在故障。在这种情况下，空勤组成员也许能把松动说明为潜在故障，但是他们却不处于能观察叶片松动的位置。

在预定维修中检查发动机的机械员，要检查叶片的松动，办法是慢慢地转动涡轮并用一根探棒（一般是硬橡胶棒或者是硬塑料管）来探测叶片是否松动。如果他发现了有

任一叶片松动，松动的叶片将作为故障而上报，并拆卸发动机。发动机修理车间的机械员将更详细的检查发动机的内部构造，以证实故障（有时车间机械员也可能是首先观察到发动机叶片松动的人员，而这台发动机是由别的原因拆卸的）。如果他们肯定了外场机械员的诊断，则作为已证实的故障而上报。

当然，情况并不是总能分得很清楚的。常常是没有准确的故障判断方法，不易确定哪一个部件或零件是所报告故障现象的根源，在这种情况下，外场机械员往往会拆下好几个机件，其中任何一个都有可能是问题的所在。这种做法有时被称为“笼统”判断法。在这些被怀疑的机件中，有许多在送往维修基地作测试时，性能仍是正常的。虽然把它们从装备上拆下来时是作为故障报告的，但从车间机械员的角度来看，这些是属于未证实的故障。另外，试验时的环境与外场环境有差异，有时候也使在外场已发生了功能故障的机件，在内场却得不到证实。在这里附带地提一下，不论是作为潜在故障还是由于工作失常而从设备上卸下的机件都称为提前拆卸。当机件已经用到规定的期限而拆卸的，叫做“到期”的机件，由于发生了故障（或被怀疑有故障）而在规定的工作时限之前拆卸的，都是提前拆卸。

二、故障的后果

前面已分析了故障的发现和证实过程，但我们更关心的是故障的后果。这些后果可以是更换一个故障件或机毁人亡。因此，所有的以可靠性为中心的维修工作，包括改进设计，不是受某一故障的频度所支配的，而是由其故障后果的性质所支配的。故任何预防性维修工作必须根据下列的原则：故障的后果决定了维修工作的优先次序，或决定改进设计以防止该故障的再发生。

任何一种设备，它越是复杂，则发生故障的方式就越多。然而，所有的故障只能有下列四类的后果：

1. 安全性后果，即机毁人亡；
2. 使用性后果：它包括间接的经济损失以及直接的修理费用；
3. 非使用性后果：它只包括直接的修理费用；
4. 隐患性后果：它没有直接的影响，仅因未查出的隐蔽功能故障而造成的。

下面，我们将逐项地进行分析。

（一）安全性后果

在评定任何可能发生的故障时，首先要考虑的是安全性，即：功能故障或由其引起的二次损伤对使用安全有直接的有害影响吗？由某一故障对其他部分或项目所造成的直接损伤叫二次损伤，所以，对装备及其上面人员的安全有直接的有害影响所造成的后果，都叫做安全性后果。

假设所研究的故障是航空发动机涡轮叶片甩掉而引起发动机剧烈地振动和推力降低。这个功能故障对单发飞机和机上人员来说，肯定会影响安全，因为推力的丧失将迫使飞机不管下面是什么地形都需立即迫降。如果这种发动机的机匣为非包容机匣，即机匣不能挡住甩出的叶片，则叶片有可能穿透机匣，并对飞机造成难以预料的（也许是严重的）破坏；还存在着燃气从被打坏的机匣中冒出而造成的失火。对于多发动机的飞机来说，推力的丧失对安全性可能没有直接的影响，因为一台发动机不工作，飞机仍可维持

一定的飞行高度并完成飞行。因此，功能的丧失并不是告警的原因。而飞机和乘客仍然有危险，这是由甩出的叶片造成的二次损伤所带来的。在这种情况下，由于存在继发性的后果，故有充分的理由把该故障划成危险的。

任何危险性故障是对飞行安全有直接的、有害影响的故障。如果认为故障的影响是直接的，则该影响必须是立即的，也就是说，有害的影响必须是在完成一次计划飞行之前就会感觉到的。此外，这些后果必须是由一个故障造成的，不是该故障与还没有发生的故障两者相结合造成的。由此可得到一个重要的结论是所有的危险性故障对于空勤组来讲都是明显的；如果一个故障没有明显的后果，按照定义，它不会对安全性有直接的影响。也许有必要让飞机暂时停止使用，以便在继续使用之前排除某些故障，甚至在有的情况下，最好要中断飞行。但是，只要故障本身没有立即的安全性后果，尽管对其采取了预防性措施，也不能把该故障判断为危险的。

并不是每个危险性故障都会造成事故；事实上有些危险性故障并未发生严重的后果。但是，问题不在于这种后果是否是必然的，而在于它是否是可能的，例如涡轮叶片甩出的继发性后果是无法预料的。通常，叶片不一定会打伤乘客或损坏飞机的要害部分，但是却存在这个可能，因此这个故障是属于危险性的。同样的，能引起发动机失火的任何故障都是危险的。尽管有灭火系统，但是不能保证能控制住火灾并能扑灭它。安全性后果总是在最保守的水平上评估的，如果，不能证明故障不会影响安全时，要暂定为危险性故障。

如果发生了危险性故障，就要做出一切努力来防止它再次发生。通常有必要对一个或几个易损坏的机件作改进设计。但是，改进设计和把制成的新零件装到装备上去要花费几个月或几年的时间，所以在这段时间内需要采取其它的措施。仍以涡轮叶片甩出的故障为例，在叶片甩出前很久，就已经发生了一种可以鉴别的实际状况，即叶片松动。因此，作为预定维修的一部分，定期检查这一状况，就有可能发现这一征兆，并可能在潜在故障阶段就把发动机拆卸下来，从而防止了这种危险的功能故障。

（二）使用性后果

排除了安全性后果后，则必须考虑到第二种后果：功能故障对使用能力有直接的有害影响吗？它包括间接的经济损失以及直接的修理费用。

每当排除故障需要打断计划好的使用时，则该故障就有使用性后果。因此，使用性后果包括：在故障发生后需要中断使用，为进行事先未曾估计到的修理而延误或取消航班，或是在修理之前需要有使用上的限制。（危险性故障可以看成是带有使用性后果的故障的一种特殊情况）。在这种情况下，后果是经济性的，它是丧失使用能力的转嫁费用。

需要立即加以排除的故障不一定都有使用性后果。例如，飞机上的一个故障件，可在飞机在航站做正常的短停时进行更换或修复，不会延误或取消飞行，仅有的经济后果是修复故障件的维修费用。相反的是，有时飞机仍可使用，但是它的工作能力下降了，会引起燃油消耗量增大等情况，所以，使用性后果的定义要随具体的使用范围而定，然而，在所有的情况下，使用性后果的总费用却包括由故障造成的经济损失和修复费用。如果故障没有使用性后果，修复性维修的费用却仍然是要花费的，仅仅只有此费用而已。

假设有一种潜在故障，如涡轮叶片松动，是在飞机的使用过程中发现的，则更换发动机所需的时间就会形成使用性后果。因此，对这种故障的检查可以按排在飞机不使用