

飞机的使用 可靠性与维修性

上册

中国人民解放军空军工程学院

一九八一年十一月

说 明

随着科学技术的发展，近廿多年来，可靠性和维修性，已成为航空技术装备在整个研制、生产和使用过程的一个极其重要的问题，它不仅关系到装备的安全可靠程度、维修难易程度，而且影响到使用效率、战斗能力的提高，国防费用的节省，以及部队体制、编制的改革，维护规程的修订等等，因此，愈来愈引起人们的重视。

这本教材主要介绍以可靠性为中心的基础理论，用以分析飞机的可靠性、维修性与维护规程。它适用于我院培训航空工程机务干部，也可供部队机务干部参考。讲授时间为200小时，可根据不同学制、对象，按大纲要求，适当选取教材内容。

教材共九章，分上、下册。一、六、九章由廖庆清同志编写，二、八章由魏邦明同志编写，三、四章由陈学楚同志编写，五章由郭安同志编写，七章由李佐华同志编写。教材是初次编写，编写者水平有限，经验不足，时间又紧，在结构的安排、内容的选取、实际的结合等方面，都会存在一些问题，敬请批评指正。

上册目录

第一章 绪论	1
第一节 飞机维修理论.....	1
第二节 维修思想.....	5
第三节 维修的组织管理.....	9
第二章 概率论及数理统计基础知识	15
第一节 概率及其运算法则.....	15
第二节 随机变量及其分布.....	27
第三节 常用概率分布.....	52
第四节 统计量.....	76
第五节 统计推断.....	86
第三章 可靠性的基本概念	103
第一节 可靠性概述.....	103
第二节 可靠性的数量化和可靠性的量度.....	106
✓ 第三节 可靠度和故障密度的定义及其计算.....	108
✓ 第四节 故障率的定义及其计算.....	118
✓ 第五节 平均寿命及可靠寿命.....	129
✓ 第六节 串联系统和并联系统的可靠度.....	134
✓ 第七节 故障率曲线.....	142
第四章 飞机的使用可靠性	148
第一节 几个名词术语介绍.....	148
第二节 故障与失常模型分类.....	151
第三节 不可翻修机件可靠性分析的一般方法.....	154
第四节 可翻修机件可靠性分析的一般方法.....	167
第五节 可维修机件可靠性的计算.....	173
第六节 可靠性的广义模型.....	179
第七节 随机工作时间的可靠性.....	188
第八节 假设检验.....	190
第九节 非工作贮备系统的可靠度.....	214
第十节 维护中提高使用可靠性进行的工作.....	218
附表1~7.....	222

第一章 绪 论

飞机使用中的可靠性与维修性是飞机维修理论中的重要组成部分,是制定飞机维修思想、方针、政策的重要的理论基础。本章从飞机维修是一个大系统出发,在揭示飞机维修任务、特点后,探讨飞机维修理论和维修思想,围绕“以可靠性为中心”着重阐述飞机维修的组织管理,使我们所做的每项维修工作都建立在有理论根据、有正确思想指导的基础之上。

第一节 飞机维修理论

维修理论来自维修实践,又用来指导维修实践。因此,在研究维修理论之前,先探讨一下飞机维修实践所担负的任务和特点。

一、飞机维修的任务和特点

(一) 飞机维修的任务

飞机和其他有使用价值的产品一样,制成出厂时是符合设计图纸要求和规定功能的。质量合格的飞机交给使用单位后,为什么要进行维修呢?这是由于飞机无论在空中飞行还是在地面停放,其技术状况总会由于内部和外部各种因素的影响,由正常变为不正常,由良好变为不良。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,飞机在使用过程中受各种因素影响会偏离这个技术条件,这就是矛盾。解决这个矛盾就是维修的任务。

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战术技术性能和发挥其最大效能所采取的技术措施;修理是指飞机性能变坏或部件发生故障或失效时,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和随时可用状态,对于我军航空兵部队来说,维修的最终目的是保证飞机能圆满完成作战、训练及其它飞行任务。为了达到这一目的,不仅要从机务技术上保证飞机本身具有良好的可靠性、维修性和战术技术性能,而且要求各级工程机务部门对各项维修工作实施有效的组织管理,使整个维修工作能以最少的人力物力和时间,取得最大的维修效果。

(二) 飞机维修的特点

1. 飞机是“准单次系统”,具有空中使用的特点。

有的武器装备,如巡航导弹、靶机、炸弹等,只使用一次,不论是否达到目的,都不能再恢复使用,这在系统工程中称为“单次系统”。对于单次系统的维修任务,在于使用之前的整个时间内进行维修保养,以保证随时处于可用状态。一般地说,飞机和其它许多地面水面装备都不属于单次系统,要反复多次使用,使用中出了故障,经过维修又恢复到再次使用的状态。但飞机又有空中使用的特点,空中出现故障不能象地面车辆可以停车修理,也不象水中潜艇可以坐卧海底或悬停修理,如果空中出了问题(如机毁事故)又可能和单次系统一样不能恢复使用了。这样,飞机同时具备了“单次系统”和“复次系统”两方面的特点,称

为“准单次系统”。这类装备不仅要象对待单次系统那样严格做好第一次(也仅此一次)的使用准备,而且要保证从开始使用直到报废为止的整个多次使用过程中,每一次使用的可靠。同时还要适应空中与地面交替的反复使用要求,把每一次维修都与整个使用过程中所有维修结合起来考虑。这个特点,使得对飞机维修过程中寻求最优对策的分析和计算复杂化,需要作更深入的理论研究。

飞机是在空中使用的,空中这个特定环境给行飞安全带来了特殊的影响,从而对维修质量提出了更高的要求。我航空兵部队,肩负着保卫祖国神圣领空的重任,飞机维修的好坏,直接影响到部队的战斗力,而现代战争的突然性,战术的多变性,战斗的复杂性,兵器的破坏威力大和空中战机的转瞬即逝等特点,都要求航空兵随时作好出动准备,广泛实施机动作战,复杂环境下保证飞机出动,大强度出动,短时间的再次准备,以及保持部队持续的战斗力等等,这样不仅要求在维修技术上要达到高水平,而且要求维修的组织管理上要科学化、现代化。

2. 可靠性对飞机维修提出更高要求。

可靠性是指产品在规定的使用条件下,和一定的时间内完成规定功能的能力。产品的可靠性有固有可靠性和使用可靠性之分。前者是指产品设计制造出来以后,本身内在具有的或可能达到的可靠性,后者则是加上了使用与维修这个因素之后,在使用过程中所表现的可靠性。产品的功能越多,构造越复杂,出故障的机会也越多。例如组成某个系统的每一个元件的可靠度都达到99%,但不能说整个系统的可靠度也是99%。当这个系统是由10个这样的元件串联组成时,系统的可靠度为90.4%,而当附件增加到100个时,系统的可靠度只有36.6%。飞机是由千万个机件、部件组成的,要求有很高的可靠性,这就对飞机的设计、制造和使用维修提出了极为严格的要求。飞机即使具有很好的战术技术性能,若可靠性得不到保证,再好的战斗性能也无从实现。飞机及其装备,不仅构造复杂,而且往往是现代科学技术的综合应用。新飞机的设计和生产中,广泛采用了新技术,新材料,新工艺,还缺乏实际使用的考验,这也给维修带来新的课题。

3. 飞机维修是技术性保障,又是综合性工程。

保证飞机安全飞行和发挥最大效能,需要许多部门密切配合,从各个方面提供保障。工程机务对飞机实施维修,是以飞机为对象,以技术为手段,是一种技术性保障,通过具有维修专业知识技能的人员和相应的工具仪器设备相结合,对飞机提供技术,使飞机的战术技术性能获得充分发挥。

随着现代科学技术和军事装备的迅速发展,以及现代战争的特点,飞机维修已由单纯的涂抹擦洗修补等日常作业,逐步形成一个大系统。它是一个多系统、多层次、多专业组成的有机整体。横的方面有外场修理订货以及训练科研等业务系统,纵的方面有从上到下的各级工程机务部门(包括各级航空修理厂)以及各业务系统中的飞机、发动机、军械、仪电、无线电、雷达等不同专业,还有与这一整体密切相关的使用部门,物资保障部门和设计制造等部门。工程机务这一有机整体在运转过程中,各个部门、系统和专业之间是相互联系、相互依赖相互制约和相互作用的。在组织和实施飞机维修中还受战争条件、装备状况,物资、环境和人员技术水平等许多不确定因素的影响。维修的最终目的要求达到高质量、高效率与低消耗、圆满完成战斗和训练任务。从以上飞机维修的多因素、多变动、多目标的活动特点,

及其复杂的互相制约的构成状况来看，它具有“系统”的基本特征。因此，要搞好飞机维修工作，就不仅是一个具体的技术保障了，要以整个维修系统为对象，把要研究和管理的事与物用概率、统计、运筹，模拟等方法，经分析、判断、推理等程序建立成某种系统模型，进而采用最优化方法求得系统的最佳结果，即经过工程处理使系统的各组成部分互相协调、互相结合，以获得技术上先进、经济上合算、运行中可靠、时间上最节省。要达到上述目的就涉及现代科学技术的许多领域，当前，在维修理论方面应用得比较广泛的则是运筹学和系统工程，特别是其中的可靠性理论。

二、维修理论的概念和内容

（一）维修理论的提出

长期以来，提到飞机维修理论，一般只着眼于具体技术问题的解决。我们工程机务人员（包括科研人员）所学的技术知识，主要也就是各自专业有关的技术学科和所需的基础学科，再加上所维修装备的构造和原理。按照过去的认识，关于飞机维修理论似乎就是这些，并不存在什么专业技术以外的飞机维修理论。

然而，这种认识既没有反映现代科学技术发展的现实，也不能适应飞机维修工作现代化的需要。且不说我们原来的维修专业的划分只反映四十年代以前的飞机装备情况，更重要的是由于航空技术装备的发展和条件的复杂化，对飞机维修工作提出了越来越高的要求。飞机维修方面的问题，特别是一些方针性的问题，决不是处理好一个具体技术问题就能解决的。例如，如何才能以最少的人力物力和时间取得最大的维修效果；如何确定最合理的维修制度和维修方式；怎样划分维修专业和维修等级，工厂维修和部队维修的科学管理和维修质量控制等等。这些问题按照现代化的要求，都应当在现代科学技术的基础上，通过理论的研究，用科学的方法才能解决。即使是对故障的研究，也不能满足于具体故障的技术分析，而是把同型装备总体的故障进行综合分析，研究故障发生和发展的规律，对故障进行定量的预测以确定总的预防性维修措施。其他如排除故障，要研究在不同情况下探测，诊断、排除、验证的最优程序；解决寿命问题，要研究寿命的本质和确定寿命的方法。此外，从维修角度提出装备的设计准则和具体要求；现代化维修手段的研制；维修工作中电子计算机的运用和各种有关维修技术、工程管理的收集分析和处理等问题。所有这些问题的解决，已经不能仅仅依靠专业技术学科和行政的规定，而是需要有一定的科学理论和方法。否则，就很难在现代化的道路上有所革新和突破。

这里特别提一下可靠性理论和系统工程，可靠性理论应用于飞机维修只有二十多年历史，却已取得明显效果。系统工程横跨自然科学和社会科学及技术科学和工程技术，并包括了工程技术中的许多门类。系统工程的出现是科学上的一项伟大创新，它对维修工作一系列方针性决策性的问题上，具有重要意义。

✓维修理论是一门新兴的边缘科学理论。随着航空技术的日益复杂，维修工作规模日益专业化和日益庞大，维修理论日益为人们所重视，并逐渐从各门基础科学中脱胎出来，形成了我们急需研究的维修理论雏型。

（二）维修理论的内容

所谓理论，是事物的抽象和概括，是事物的本质、关系和运动规律的反映。因此，飞机

维修理论，总的说应是飞机维修这一复杂事物的性质、特点、内外联系及其活动规律的反映。由于飞机作为维修的对象它是比较复杂、先进的技术装备，而飞机的维修工作又牵涉到多方面的比较复杂的事物，它需要运用许多方面的科学技术，因而决定飞机维修理论必然是吸取多种科学的有关理论综合而成的。系统工程是一门新兴的科学，其中维修理论更是处在研究发展之中，特别是我国近一两年才开始探讨和研究这方面的问题，因而对它的定义、内容还难以给出一个统一的结论。但目前我们正在研究的，大致包括下面五个方面。

1. 飞机维修概论

是各项维修理论研究的基础，又是研究结果的综合。它从总体上研究飞机维修的性质、特点、构成、分类和维修思想方针等一些基本问题，并据以概略制订维修的各项政策和措施。

飞机维修概论的研究，应当是根据我们自己的和国外的先进经验，以科学的方法结合实际加以总结，最后体现在大纲、条令、条例和规章制度等技术文件中。

2. 可靠性理论

是目前国外飞机维修中运用得最广泛的带有基础性的理论，是一门新的技术科学，它在飞机维修方面的应用范围至今还在不断发展。可靠性理论的研究，包括可靠性原理（数学基础）、可靠性工程，可靠性技术等。最经常运用的，则是故障的统计分析，即用数理统计和概率论等不定值的数学运算方法、定量地分析可靠性。从维修的时机（周期）、寿命、维修方法的确定到维修措施长期效果的评定，都要依靠故障的统计分析。目前把运筹学范畴的线性和非线性规划、网络技术等于维修分析、寻求最优对策也包括在可靠性理论研究之内。

3. 维修性理论

是一个新的课题。维修性本来包括在可靠性之中，由于维修工作对各种技术装备特别是军用装备的重要意义日益突出，而飞机的维修性要求又特别高，国外已经有“维修性工程”这一专门的工程技术学科。飞机的维修性能是要通过设计来实现的，维修性能的好坏又直接与使用有关，因此，研究制订维修性设计准则和具体要求，是使用部门维修理论研究的重要内容。维修性与可靠性有共同的数学基础和很大的类似性。它们之间的一个重要区别是维修性必须考虑人的因素。例如人的体形度量、感知能力、心理特质、信息处理能力、学习和工作方法、工作环境对人的影响和人对环境的适应性等。因此，维修理论涉及人素工程和工效学这样一些现代技术科学。此外，有关维修手段研制的理论也应包括在维修性理论之内。

4. 故障工程分析的有理论

故障是飞机维修工作中主要的研究对象。对故障的分析，可以从不同的角度进行。前面说的可靠性理论中的故障统计分析是一种宏观分析，这里说的工程分析则是对具体故障的定性分析。它也可以有不同的方法，例如进行逻辑的分析，即用数理逻辑的方法（布尔代数）进行分析以找出故障的原因，用逻辑符号表达的故障原因分析的图解，称为“故障树”。经常性的故障分析（现在外场常用的方法）是一种技术性分析。作为故障工程分析的理论比技术性分析所用的理论更为概括，它不一定是针对具体装备的故障，而是把故障作为一种现象来分析的理论。例如用断裂力学的原理分析材料裂纹发生和发展的规律；用工程热物理学来研究发动机的某种损伤或性能变化；关于调查飞行事故原因的技术理论等。更加概括的则有故障的物理学；研究故障机理。美国军用标准还规定有“故障类型、影响与危险性分析”，它

不是研究已经发生的故障，而是分析一个系统（设备、机件）可能发生的故障。此外，研究查找故障的最优化程序的理论是运筹学的问题，也是故障分析理论的一部分。

5. 维修管理理论

在维修工作中，管理占很大比重。所谓管理就是计划——组织——控制的反复循环。现代管理已由三S^①时代（标准化、专业化、系列化）进入三C^②时代（控制、信息和计算技术）。管理中大量采用系统工程、数学模型、电子计算机、通讯技术、控制论及信息论等科学技术理论。目前，管理已经形成一门科学——管理学。研究的范围一般分为三个部份。一是教育训练，指维修人员的培养训练、养成等问题，是科学管理的基础。二是法规，是维修思想、维修方针、维修编制、维修方式等等的立法，它是科学管理的核心。三是工程，是维修工程技术和维修手段的总和，是维修管理的关键。由于上述三个部分的头一个字母都是E字，所以也可以说：它们是维修管理科学的“三E”^③支柱。西方国家在维修管理上的一个核心思想是经济、有效，研究如何以最少的维修代价获取最大的维修效果。因此，他们很重视成本效益分析或系统分析。

关于飞机维修的理论，当然不止上述五个方面。如技术装备物理学，它是研究技术装备本身的原理与构造。显然，这是维修工作必不可少的理论基础，不了解技术装备，无法进行维修。但由于这部分内容繁多，习惯上把它作为各自专业的理论来对待，所以这里没有列入。再说，已列入的五个方面中，其实际内容和范围也肯定要广泛得多。例如，发展新的维修工艺方面的许多新的技术科学；在军用产品验收工作中的抽样检验技术，维修管理中的预测、质量控制等都属维修理论应研究的范围或内容。

总的说来，航空维修理论是现代科学理论与航空维修工程实践相结合的产物，它涉及的科学领域，联系研究的问题都是很广泛的。它既论物理（如工程技术方面的理论），也论事理（如组织管理工作方面的理论）。它主要研究领导部门的决策性问题，也涉及部队工厂的具体组织实施和维修技术。航空维修理论的研究，应是一项群众性的研究，这项工作在近一二年来已初步开展，各级工程机务部门和广大工程机务人员都普遍重视，在各自的专业技术领域，联系研究自身的问题，使飞机维修理论的研究，获得可喜的开端。

第二节 维修思想

飞机维修思想是指人们对飞机维修的目的、对象（航空技术装备）、主体（维修人员）以及维修活动（措施行动）的总体的认识。行动是由思想来指导和支配的有了正确的维修思想，才会有与之相适应的维修方针和具体的组织实施。维修思想来源于维修实践，又受维修实践中质量、效率和经济三大指标的检验。我们应注意从实践经验进行总结和概括，使之上升到理论，形成一种揭示内部规律的思想认识，反过来又用这个思想来指导维修工作（同时又受实践的检验），以推动维修工作向前发展。当前，我们迫切要求改革飞机维修以适应我军现

① 三S是原文 Standardization, Specialization, Seriation 的简称

② 三C是原文 Control, Communication, Computation 的简称

③ 三E是原文 Education, Enforcement, Engineering 的简称

代化建设的需要，因此，对维修思想的研究，显得特别重要。

一、维修思想的形成与发展

维修思想的确立，是建立在当时维修的技术装备、维修人员的技术水平、维修手段和维修条件客观实际的基础上的。因此，研究确定一种维修思想必须根据实际情况，立足现在，着眼发展，既要保持相对的稳定性，又必须随着科学技术的发展和人们认识的提高而有所发展。

（一）“预防为主”维修思想的形成

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。基于这种可靠性与安全性的紧密联系，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可靠安全，要求维修工作应走在故障的前面。因此，广泛地采取预防维修措施，形成了“预防为主”的维修思想。由于机件磨损是时间的函数，因此定期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，因此拆卸分解的离位维修就成为预防维修的唯一方法。这种维修思想及其方式、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。工业不发达的国家如此，工业先进的国家也是如此。

“预防为主”的维修思想，也一直是我航空兵维修工作的指导思想，在我军的工程机务工作中起了积极作用。建军初期，技术装备余度很小，维修人员缺乏经验，维修手段落后，为了保证机件可靠与飞行安全，采取“全盘学苏”“多做工作、勤检查”的办法，进行了大量的预防工作，保障了战训任务的完成。进入六十年代，由于苏联背信弃义和外军封锁，促使我军维修思想从“全盘学苏”、“多做工作”的基础上，逐步建立适合我国具体情况的维修路子。进一步强调了“质量第一，预防为主”的指导思想，采用“一上三化”（维护规定上飞机、检查飞机量具化、量具标准化、操作规程化）和“严把两关”（基层关、预防关）措施，力争把维修质量落实在飞机“四无”上，并重视抓基本维修知识的训练、基本操作技能的提高和基本维护保养，使预防维修工作向纵深发展，走向程序化、条理化，对提高维修质量和保障能力起了重大作用。到了六十年代中期，由于十年浩劫，工程机务工作遭到破坏，削弱了领导精力。但是广大机务人员仍基本贯彻“预防为主”的思想，坚持保障了飞行任务的完成。总之，几十年来在贯彻“预防为主”方面，各级工程机务人员经过了很大努力，克服了许多困难，在飞机固有可靠性不高、器材供应不足、维修手段落后、工作条件较差的情况下，保证了千万个飞行小时，积累了丰富的维修经验，为空军建设作出了重大贡献。

但在贯彻“预防为主”的维修思想中，我们也有过失误而接受了不少的教训。譬如在确定检查内容和检查时机方面就缺乏理论基础和科学根据，“多做工作、勤检查”既无法获得高质量，又往往带来“早期故障”。再如维修思想存在许多难以克服的矛盾。粉碎四人帮后，党的十一届三中全会发出全党、全国、全军工作着重点转移到四化建设的号召，空军于七九年四月召开了工程机务会议，根据我国实际情况，参考外军先进经验，立足现在着眼未来，提出改革维修体制、改革维修手段、修改维护规程和评定技术职称的“一定三改”维修方针。80年，空军先后召开了维修理论座谈会和维修理论学习班，81年各军区空军普遍对大

队以上机务干部的维修理论进行普遍教育。总的说来，维修理论研究已在全空军普遍展开。广大工程机务干部，都从不同的角度，探索维修思想的确切性和维修工作的规律性，提出改革维修工作的建议。这是机务战线出现的可喜现象。

（二）“以可靠性为中心”维修思想的提出

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，维修费用随之增高，维修费用通常等于产品价值的3~20倍。五十年代，美国空军全部费用的1/3用于维修，全部人员的1/3从事维修。这种状况迫使人们考虑如何提高维修工作效益，以较小代价换取较大效果。

由于喷气发动机的出现，剩余功率增大，飞机设计上采用的多余度技术日益增多，一套机件失控后可以转用备用机件，使可靠性与安全性的联系不那么紧密了；由于可靠性理论和可靠性工程技术的发展，飞机的可靠性、维修性逐步提高；由于先进的探测仪器设备被广泛采用，很多拆卸分解检查让位给原位检查；由于加强了资料数据的统计分析，更加科学地掌握了机件使用和故障规律。所有这一切，为改革维修方针、改进维修方式，改革维修体制和改善维修训练等创造了条件，从而改变了指导维修工作的思想。早期的“工作→磨损→故障→危及安全”的传统维修认识，逐步演变为：**产品在规定的使用时间和使用条件下，不一定会产生足以影响规定功能的故障；即使出了故障，由于采用多余度技术，也不致危及安全；维修人员的主要责任是控制影响产品可靠性下降的各因素，以保持和恢复其固有可靠性；预防维修对随机性故障是无效的。**基于这种认识的飞跃，产生了“以可靠性为中心”的新的维修思想。

“以可靠性为中心”的维修思想的提出只有十多年历史，但在保证质量、提高效率、降低费用等方面收到了明显效果。目前已广泛地为世界各国民航和空军部队所采用。近年来，我军亦强调了维修理论的学习，以可靠性理论作指导，从实际出发，在现有条件下对操作规程、体制和维修方式方法和手段作了试验性的改革、试点，都收到了较好的效果。增强了早期发现故障的能力，提高了维修工作质量和效率，减少了飞机停飞架日，有利于战训飞行，有利于部队的全面建设。实践证明：“以可靠性为中心”的维修思想是航空维修理论和航空技术装备发展的必然产物，也是维修思想演变的必然趋势。

二、以可靠性为中心的维修思想要点

现代飞机维修思想，集中反映在如何提高和保持飞机可靠性问题上，称之为“以可靠性为中心”的维修思想。它是以可靠性理论为基础，通过对影响可靠性因素的具体分析，科学地制定维修内容，优选维修时机，划分维修类型从而设法控制飞机的可靠性。

以可靠性为中心的维修思想，包含以下几个要点：

（一）飞机及其装备，以至每一个机件的**可靠性取决于三个因素：一是设计标准和生产工艺水平，二是使用和维修技术水平，三是机件的工作环境。**三个因素中，前一个是内在的、固有的因素，后两个是外在的因素。按照外因通过内因起作用的道理，第一个因素是根本性的，是决定可靠性的关键。一架飞机经过设计试验和通过一定的生产工艺制造出来后，它的可靠性水平就定下来了，叫固有可靠性。飞机交付给使用单位后，我们按照规定的条件对飞机进行正确的使用和维修，只能保持和恢复这个固有水平，而不能超过它。但是，错误

维修会使可靠性下降甚至造成事故。因此，在维修工作中，我们要强调遵守制度，执行规程，严守操作规定。

(二) 要使飞机的可靠性有根本的改进，必须改变基础工程，包括改进工程设计、改装和提高生产工艺质量。看来这是设计制造部门的事，但使用与维修部门是产品可靠性的检验者和控制者。根据对产品使用可靠性的分析，系统地总结实践中出现问题，向设计和生产部门反馈改进飞行固有可靠性的情报资料和要求，是使用与维修部门的应有责任。目前，我国使用的航空装备，大都是苏联五十年代或更老的产品进行仿制或“反设计”而生产出来的。这些产品原型设计比较落后，对现代产品所必须考虑的可靠性、维修性、可用性、经济性等许多要求很少考虑。我们在多年的仿制中尽管做了一些设计改进，却没有认真加以系统的研究和重新设计。往往是一种产品生产出来就投入使用，设计部门很快就转而注意另一种新产品的研制，而把使用中出现的问題大部份留给使用部门自己去解决，这就更增大了我们向设计、制造部门反馈的必要性了。产品的重新设计或改进，需要一段时间，在目前的现实情况下，维修单位进行某些急需部件的局部加改装以提高或改善飞机固有可靠性，看来是必需的和可行的。

(三) 维修工作必须通过对影响可靠性因素的具体分析来控制可靠性，包括规定基本的维修方针，确定最优的维修方式方法。

飞机及其设备，在使用过程中由可靠变为不可靠，实际上就是发生故障或失效。所谓对可靠性的控制，实质上就是对故障的控制。故障的发生，往往是随机的、难以予料的。在可靠性分析中，解决这类随机的不确定性事件的方法，就要用模型分析法，运用概率论和数理统计等数学工具，结合维修实践中取得的大量资料，找出故障的分布规律，并进行定量分析。根据分析结果，采取一定的方法进行科学的推断，就可以按照不同的机件划分不同的维修类型，确定不同的维修方式，采取不同的维修措施，以及确定各种维修措施最恰当的时机。

影响可靠性下降的因素是多方面的，如机件所处的环境条件、使用特点和维修人员的技术水平等。早期的维修工作往往把时间作为故障（不可靠）的主要或唯一因素，经过多年的可靠性理论研究和维修实践，证明这种认识是片面的。机件在不同的使用维修条件下，表现各种不同的性能参数，如温度、压力、流量、振动波幅频率等，定量掌握这些参数的突变规律，就可以为我们采取视情维修或监控创造必要条件。以可靠性为中心维修的先进之处，就在于它运用可靠性理论，对影响可靠性的诸因素进行了控制，从而控制了可靠性。

(四) 不断改进飞机的维修性能。维修性是表示飞机维修工作难易的属性。产品在使用中发生劣化、故障是不可避免的，维修性就成了使用的前提和必然条件。如果说可靠性是要求飞机不出或少出故障，那么维修性就是要求出了故障便于排除并迅速恢复正常。在设计飞机时，可靠性的提高是从飞机本身的规律出发的，而维修性则是从人的因素出发，考虑维修人员的方便和效率。如果该检查的机件很难看到，该拆卸的机件难以摸到，需检测的部位没有测试点等，就会给维修工作造成很大困难，带来人力、物力、时间的很大浪费。所以，维修性要求设计研制飞机时做到简单性、可靠性、可达性、小型化、单元体等，尽量为维修工作提供方便。

维修性设计，还应当把维修人员的功能受到生理等限制不可避免地会出现差错这一因素

考虑进去。维修操作一般出现的差错有接错、装反、遗漏等。如果飞机设计时就采取措施，做到错了接不上，反了套不进，漏了装不好或采用明显的标志、显示等，就可以从根本上消除差错的发生。

一个机件的维修性，通常以维修度来衡量，用概率来表示。整架飞机的维修性，通常以每飞行小时所需的维修工时做为主要的定量指标。

在国外，有关飞机维修性的具体标准和军用规范通常由军方提出，并参加飞机设计、制造。根据他们的经验，这项工作必需从设计阶段就抓紧，如果等到试制成了再修改就很困难。

(五) 要建立一套完整的情报资料的收集和分析机构。对可靠性进行具体分析和控制，向设计、制造部门提出改进可靠性、维修性的要求，以及对整个维修工作进行系统研究和定量的分析等，都需要维修实践中的大量性能参数、技术数据、情报资料的积累和统计。因此，飞机维修系统建立一套完整的情报资料收集和分析机构是非常必要的。

第三节 维修的组织管理

在第一节里，我们已谈到飞机维修已形成一个大系统，对这样一个规模庞大、专业复杂、互相制约、功能综合的有机整体，如何组织管理、使其协调一致发挥其最大效能，便是我们要研究解决的一个重要课题。装备越复杂，技术越先进，对维修管理的要求就越高。航空工程机务人员，尤其是各级领导干部，既要掌握装备的维修技术，更要学会科学的维修管理，**从总体上对飞机维修系统进行统筹安排、综合平衡，使这个有机整体真正做到技术上先进，经济上合算，运行中可靠，时间上最省。**

飞机维修管理是一门科学，涉及的范围比较广，它不仅限于专业技术理论，而且建立在系统工程学、运筹学、可靠性、维修性和数理统计、电子计算机等现代科学技术理论和方法的基础上。它是从飞机维修总体出发，着眼整个维修过程中的组织、计划、协调、控制、予測等重要环节，应用现代科学技术对维修思想、维修方针、维修制度、类型、方式、手段等重大问题进行分析研究并实施科学管理。现将有关问题作些阐述。

一、维修方针

维修方针，是指维修工作的一些原则性规定和技术政策，它是维修思想在贯彻执行中的反映。有既定的维修思想，就有与之相应的维修方针。

维修方针的确定和检验有两条基本标准：

(一) 可靠性——必须保证飞机及其装备的可靠性安全性达到规定的水平，并保证完成指定任务。

(二) 经济性——以最少的人力、物力和时间来达到维修的目的。

西方国家非常重视经济效果。注意经济效果决不是只能为资本主义经济服务，社会主义经济管理更要注意经济效果的原则。

二、维修制度

维修制度，是指从飞机维修的整体出发，按照不同的维修深广度划分为不同的维修等级

并制订相应的工作制度。显然，不同的维修等级反映不同的维修任务范围，配置不同的组织编制，配备相应的工具设备等。等级的划分、编制和制度的确定，应当以飞机装备的数量、质量（主要指固有可靠性）为依据，以保证使用可靠性、安全性、经济性和高效率为目标，考虑平时与战时的转换等因素而研究制定。

维修等级的划分，目前各国有所不同，就工作内容说一般分为飞行机务准备，定期检修，部队修理和工厂翻修（大修）等四级。

飞行机务准备制度，苏军和美军的做法不同。美国空军的机务准备较简单，不要求较高的技术水平，而苏军的则比较复杂。美军的外场级维修的飞行保障工作只规定飞行前后检查，没有再次出动检查，只是根据具体情况进行特别检查（如着陆粗暴就检查起落架等）。苏军的机务准备则有四种，即予先、直接、再次出动和飞行后，每种准备都有规定的检查内容。飞行后检查不属于飞行后准备而属于予先准备。除了机务准备外，还有机械日制度。我们采用的是三种准备加机械日的制度。即把苏军的飞行后准备与予先准备合为一种。

定检制度，各国也有所不同。苏军定检周期一般都是飞行小时规定的，间隔在200小时以下的属于定检，更长期的则属于中修范围。美军飞机的定检周期一般较长，短的为100小时，长的达1000小时以上。间隔时间的规定与飞机翻修时限（我们称为寿命）有关。美国的周期性工作有二种制度，一种叫阶段制，就是把一个寿命循环内所有需进行的维修工作，划分为工作量大致相等的若干阶段进行，例如每100小时进行一次阶段检查，在整个寿命循环内没有重复性工作。另一种叫定期制，即按照固定的间隔时间进行定检，每次定检的工作量差别较大。1974年美军对F-4飞机的周期性工作制度进行了改革。首先是把寿命循环时间由450小时延长到600小时，定检间隔由75小时延长到100小时。后来又阶段制改为定期制，即把主要的定检工作集中在300小时和600小时两次大的定期检修，其余的100，200，400，500小时定检工作量很少，可以在外场进行，由定检队派人支援，一般只需半天或一天内就能完成。这样，只有在300小时和600小时两次定检才要送往机库进行，而根据F-4的年飞行时间，600小时大体上正好到达工厂进行“计划性工厂维修”的时限，可以由工厂结合工厂维修来完成。这样，定检队实际只完成300小时定检。经过这样改革，大大减少了定检队维修人员和维修费用，而且大大减少了因定检而停飞的飞机。据计算，由于减少停飞飞机，美国战术空军驻欧空军和太平洋空军的F-4飞机的可用数等于增加了三个半飞行中队（每个中队约24架飞机）。改革中，他们非常重视实际效果的检验。检验标准有两条：一是改革前后飞机可靠性、安全性的对比；二是包括飞行利用率在内的技术经济效果。

美军飞机没有中修制度，苏军的飞机则有中修，但这种中修实际上是间隔时间较长，工作量较大的定期检修，象上面所说的美军F-4飞机的300小时定检，也可以说是一种中修，只因为需要较多的技术力量和仪器设备，因此要由级别较高的维修机构进行。

大修或翻修的制度各国有不同的做法，大致有五种类型。第一类是按照规定期限送厂翻修，出厂后寿命从零开始。我国空军采用的就是这一类。第二类是根据工程判断提的间隔时间送厂进行有限项目的检修。西方主要国家如美国、西德和北大西洋集团各国空军均采用这种方式。第三类是视情维修，即根据观察到的可靠性降低的情况送厂进行有限的定期返修，世界各国民航普遍采取这种方法。第四类是在做出飞机送厂的决断之前先对飞机进行检查，曾在英美海空军中试行，因送厂飞机失去计划性，生产安排有困难，目前采用的不多。第五

类是完全不做定期送厂工作，以色列空军采用这种方式。1979年二月在瑞士召开的第一届国际飞机维修工程会议认为第一类方式是由于对机件不摸底，靠大量拆卸普遍检查来发现问题的一种最费钱、最耽误时间的方式。世界各国在40~50年代普遍采用过，目前大都已废除了，只有我们仍在采用。值得注意的是在翻修的问题上，国外目前大部已经或准备取消翻修时限（翻修寿命）的规定。过去我们一直认为，把飞机、发动机按照一个规定的时限进厂全面翻修，即全面地进行分解、检查、探伤、安装、试验是全面恢复良好的彻底办法，是保持和恢复可靠性的主要手段。但是、国外的多年实践和可靠性分析结果都表明，翻修时限的长短与飞机、发动机的可靠性之间几乎没有什么关系，即过多的翻修并不能提供满意的可靠性水平。美国空军在兰德公司协助下对许多机种进行了这样的分析，我军翻修厂对涡喷六发动机翻修时限也做了初步分析都得出相似结论，而且分析结果还表明，在翻修出厂后投入使用的早期，故障率有明显的增大。因此，新型装备在未取得使用经验时，可以规定一个翻修时限，而在积累了一定的经验数据后，以视情方法控制翻修时机，按照每型飞机的具体情况决定翻修内容，是比较好的办法。所以好的维修制度，不仅关系到可靠性，而且可以大大提高飞机可用率、减少因维修而停飞的飞机，提高出动强度，节约维修人力物力。近几年来，许多国家在维修制度方面作过不少研究，不断在改进，其重点都是放在大修和翻修上。

三、维修类型

维修类型，是指从不同的角度按照维修的特点对飞机维修工作进行的分类。

（一）按照维修性质划分有**预定维修**和**非预定维修**

1. 预定维修——依据事先规定的维修内容、时机，按照预定计划进行的维修。其目的主要是预防故障，防患于未然。预定维修又分为两类：一是例行维修，其维修时机与机件使用时间（次数）没有直接联系，如飞行前、后检查，再次准备、停放保管、防潮去锈、改地换季工作等。二是维修时机与机件使用时间直接相关的，如定检、中修、大修、翻修等。

2. 非预定维修——事先不知道何时出现何种问题，无法预先安排计划，而是根据飞机使用过程中发现的问题进行维修，所以也称事后维修。通常包含故障判断、排除，机件的修复以及恢复后的验证试飞等。

（二）按维修方法区分有**离位维修**和**原位维修**

1. 离位维修——需要拆卸或分解后进行的维修。

2. 原位维修——不需要拆卸或分解而直接在飞机上进行的维修。

离位或原位维修，其自身并无先进与落后之分。一般说来，外场的飞行保障和日常维护主要采用原位维修，而定检和修理工作主要采用离位维修。拆卸维修确实存在一些不利因素，如浪费人力物力和时间，有时甚至造成人为故障，但它是维修工作中的必不可少的方法。原位维修虽无上述缺点，但深度广度受一定限制。要实现原位维修必须采用先进的维修手段和改进飞机的维修性。例如，对飞机结构的裂纹、腐蚀和损伤的检查，过去通常采用拆卸、去漆、分解、检查、调试、组装等繁复工序，采用无损探伤后，基本上可以在飞机上进行原位检查。

（三）按维修深度区分有**全面翻修**、**部份检修**、**特定检查**、**功能测试**和**日常维修保养**等。

(四) 按维修场所区分有外场维修和内场维修。

通过对维修类型的分类, 可以针对不同维修工作的特点、性质和相互关系进行分析研究, 发现问题, 提出办法, 改进维修工作。特别是在制订维护规程、确定维修方式、分析予定维修和非予定维修时是必不可少的。非予定维修工作量的大小, 是衡量予定维修有效性的主要标志, 同时又是确定予定维修的基本依据; 予定维修的总工作量, 是衡量飞机及其装备的可靠性和维修性的重要标志, 同时也反映飞机可用度的状况。

四、维修方式

维修方式是在对机件可靠性特性认识的基础上, 控制和掌握维修工作进行的时机和类型。

维修方式主要有三种。

(一) 定期方式: 以工作时间确定维修周期, 按照统一规定的时间, 不管技术状况如何而进行的拆卸维修的控制方式。它适用于故障的发生与工作时间有紧密联系, 对安全有直接影响, 而又无法视情或鉴控的机件。

定期方式的主要优点是以时间定检查周期, 便于组织计划及掌握。缺点是它以机件使用时间作为控制周期的单一参数, 因此就不能有效地预防那些与使用时间没有直接关系的故障。

(二) 视情方式: 根据机件实际技术状况, 控制机件可靠性的方式。它要求机件在发生功能故障前就采取措施, 因此这是一种预防性的维修方式。

视情方式的理论根据是: 认为具有较缓慢发展的耗损故障, 从潜在期发展到功能故障必定有个过程和特征(如参数恶化), 据此, 恰当地拟定检测时间间隔, 当参数恶化到极值时, 作出更换或修理以预防故障。

视情方式适用范围:

1. 属于耗损故障的机件, 而且具有较缓慢发展的特点, 能估计出量变到质变所需的时间, 能定出状况恶化参数标准, 并有适用的状况鉴控手段。
2. 机械故障对飞行安全有直接危害, 并有恶化参数可供鉴控。
3. 属隐蔽功能(机件、系统正常工作与否, 无信号显示) 又能作原位检测的机件。

视情方式是随着技术装备和鉴控手段而发展起来的一种维修方式。优点是能够有效预防故障, 较充分利用机件的工作寿命, 减少维修工作量, 提高飞机利用率和减少人为差错和早期故障。但要实现视情维修必须具备①明确耗损故障的初始和恶化参数, ②鉴控手段。

(三) 事后方式: 依靠收集和分析机件总体的使用维修资料和对机件在使用中的状况进行连续监控而决定维修措施的方式。由于分析和监控的内容都是已经发生的情况的事后数据资料, 而且有了这种监控, 机件可以使用到不能继续使用时为止, 因而称事后维修方式。事后方式是把机件状况的视情检查提高到连续监控, 也可以说是视情方式发展到更高一级了。实现这种方式, 能使机件寿命得到充分利用, 维修工作量很少, 极大地避免了人为差错, 使维修工作由被动变为主动, 可以说是一种理想的维修方式。

但是, 事后方式是以飞机机件可靠性高和监控手段先进为前提。机件本身的固有可靠性高, 不易发生故障, 在功能系统方面采用余度技术, 在飞机结构方面采用破损安全设计, 做

到故障自动防护，有机载和地面的监控和自动记录设备，形成了以电子计算机为主要设施的收集、储存、传递和分析的资料情报系统。事后方式适用于：属隐蔽功能，偶然故障且故障对安全无直接危害的机件；虽属耗损故障且对安全无直接影响，但采用定时，视情方式进行预防维修的费用大于故障后果均可采用事后方式。从国外目前的情况看，采用这种方式的多是民航宽体飞机，军用机尤其是歼击机，歼轰机则采用较少。

三种主要维修方式，本身没有先进或落后之分。问题只在于某种方式对于某种机件来说是否最适用、最有效、最经济。例如，定期方式虽然是一种早期的传统方式，有许多缺点，但是在现代飞机上，如果某机件的故障率确与使用时间有关系，对安全有直接影响，定期方式仍不失为一种有效的和经济的方式。此外，有些新型机件，在没有掌握其使用规律前，可以暂用定期方式控制。我们目前所进行的定期检修，其中有许多内容在性质上属于视情方式，不能认为定期检修都是定期方式。因此，究竟采用何种维修方式，是对具体维修对象而言的，要对具体对象进行具体分析后分别确定。分析的方法，美国是采用“逻辑决断”的方法，苏联是对机件的结构形式、可靠性、维修性等逐项全面分析的方法，这些方法，在第九章中将专门介绍。

五、维修手段

维修手段，是直接或间接用于飞机维护、修理、保养的各种工具、仪器、设备。

维修手段是落实正确的维修方针，实现适用的维修方式的重要条件。先进的维修手段在减少维修工时，提高工作效率，减轻劳动强度，保证维修质量上起着重要作用。

随着航空技术的发展和飞机维修性能的提高，维修手段也发展很快。现代维修手段发展的主要动向是：实现维修操作的全部机械化、自动化，大部份机件的检测、试验实现原位无损探伤检查；对飞机上某些机件、系统、装置实现连续状况监控；采用电子计算机收集储存传递和分析数据资料，来实现维修技术和维修管理科学化。

现代维修手段中正在大力推进的主要有两个方面，即监控技术和无损探伤技术。

（一）监控技术设备，用于不断地连续监控航空技术装备的技术参数变化情况，做出趋势分析和预报。目前，用于民航的较多，用于军用飞机的较少；用于发动机的较多，用于飞机的较少。

用于监控发动机技术状况的有：振动分析器，用来探测外来物打伤，转子质量不平衡、轴承损坏，以及指示振动量是否超过规定等；与振动分析器功能相似的声音分析器；监控涡轮盘裂纹用的电涡流探测器，能及时发出警告；发动机热段监控器是感受发动机的转速和温度，能发出超转警报，记录超温温度及超温时间，自动折算和显示热段的剩余寿命；滑油监控是通过对滑油状况的探测以发现所润滑的机件的早期故障。目前机载的监控方法有：磁塞（金属屑探测仪）和安装在滑油路上的探测器，滤片，对杂质和金属屑进行监控。机载的监控设备有座舱仪表和自动记录仪，目前比较广泛采用的机载设备只能将数据记录下来，由地面设备来分析和处理。比较新式的一种飞机综合数据系统，不仅可以用来监控发动机的技术参数，而且还能监控飞机结构和其它系统的参数，以及飞行员的操纵情况等。

（二）无损探伤设备

无损探测是一门以物理学、力学、电子学和材料学等为基础的新兴科学技术。它以不损伤检测对象为前提，通过各种检测手段来及时、准确地发现构件内在或表面的缺陷，并表明

各种缺陷的形状、大小、性质以及各种有关的性能和物理量，为构件的能否可靠使用提供依据。此外，它是实现质量控制，提高劳动效率和保证安全的重要手段。

据国外资料报导，在飞机的损坏总数中，由于疲劳裂纹引起的占50%左右。美国 JT-3 D 发动机的故障原因分析表明，高周和低周疲劳破坏占全部故障的1/3。从美国空军的 64 起飞机结构的重大断裂事故分析中看出，有55%的事故来源于结构材料的缺陷和工艺缺陷等所形成的疲劳裂纹。据我军航修厂的粗略统计，一架歼五飞机在每一次翻修进厂时，一般有64个另件的 135处经常产生裂纹。一架歼六飞机有70多另件经常产生裂纹。一台涡喷六发动机有80多个零件出现过裂纹。因此维修工作如何采用无损探伤技术找出早期疲劳裂纹并及时采取措施以防患于未然，是一个急待解决的问题。

在飞机维修工作中，随着先进无损探伤技术的应用，推动了维修方式的巨大改革，定期维修逐步走向视情和监控，离位检查逐步变为原位检查，飞机大修也由定期进厂、全部大修逐步向视情送修和分阶段部分大修转变。无损探伤的广泛使用也推动维修体制和编制的相应改革，部队增建了一些无损探伤机构，修理工厂也将由以修理小组为主的修理体制转为以故检为中心的修理体系。由于飞机结构设计的改进和无损检测手段加强，今后外场能够检查的部位和更换的机件将逐渐增多，维修等级和部队工厂分工也将有相应改革。无损探测技术与断裂力学、计算技术的互相配合，对飞机维修工作将会带来更大的变化。

国外探测技术发展很快，用于飞机维修的已有数十种。我军在飞机维修中也逐步由早期的着色探伤、磁力探伤、荧光探伤、发展到超音波、电涡流、X射线、激光全息摄影等探伤技术。

飞机维修的组织管理要研究解决的基本问题远不只上面提到的几个方面。其它还有维修体制与组织形式，维修人员培训，维修情报的收集和处理，维修工程预算等。这些问题，有的有待进一步收集资料加以研究，有的在本书各章节中将有阐述，这里不再赘述。

上面提到的一些基本内容，都是从维修工作的组织管理角度提出的。国外的情况和我军的实践都说明，必须把维修的组织管理作为科学问题来对待，运用现代科学技术，把我们实践的经验提到理论的高度来总结，才能有力地推动航空工程机务工作现代化的步伐。飞机维修理论涉及科学技术中许多新的学科，从系统工程，人素工程，工效学以至计算机科学，管理学等等，都可以在飞机维修工程中加以运用。目前国外运用得比较广泛的是**可靠性、维修性理论**。美苏等国对这一理论已进行了多方面的深入研究，但对我们维修工作却还是一个新课题。为了把飞机维修工作建立在现代化科学技术的基础上，科学地解决维修工作的基本问题，我们应该积极开展维修理论，特别是可靠性、维修性理论的研究和应用，以加速航空工程机务工作的现代化建设。