

民用航空器维修基础系列教材  
中国民用航空维修协会推荐

# 飞机维修 APS 理论

(第 2 版)

航空工业出版社

北 京

## 内 容 提 要

《飞机维修 APS 理论（第 2 版）》概要介绍了适航法规与维修思想、航空公司维修方案的主要内容和制定流程；详细阐述了 APS 理论的理论体系和实施方法。对 APS 理论体系的阐述包含定义和模型、核心内容、理论内涵及运行特征等主要方面；对 APS 理论实施方法的阐述包含全面生产准备、科学施工程序及规范工作标准等主要方面。书中还附有典型应用案例作为实践的指导。因此，本书具有很高的学术价值，对工程实践也有指导意义。

## 图书在版编目（CIP）数据

飞机维修 APS 理论 / 郭润夏主编. --2 版. --北京：  
航空工业出版社，2020.1

ISBN 978-7-5165-1978-3

I. ①飞… II. ①郭… III. ①民用飞机-维修 IV.  
①V267

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 157801 号

飞机维修 APS 理论（第 2 版）  
Feiji Weixiu APS Lilun (Di Er Ban)

---

航空工业出版社出版发行

（北京市朝阳区北苑 2 号院 100012）

发行部电话：010-85672663      010-85672462

北京富泰印刷有限责任公司

全国各地新华书店经售

2020 年 1 月第 1 版

2020 年 1 月第 1 次印刷

开本：787×1092 1/16

字数：227 千字

印张：9

定价：58.00 元

# 《飞机维修 APS 理论（第 2 版）》编委

顾 问：李彤彬 董健康

主 编：郭润夏

副主编：王 坤

编 委：雷景波 史志波 王 勇 刘贵行



# 前 言

飞机维修是技术和人才密集型产业，是航空公司安全运行管理链条上至关重要的一环。2014年5月，中国南方航空根据自身发展情况以及在维修实践中的不断探索，提出了飞机维修APS理论。APS理论通过生产有准备、施工有程序、工作有标准三个直接抓手，将各项日常维修工作中的标准步骤和工作要求用统一的形式进行描述，用来指导日常维修工作。APS理论让每一位机务从业者参与到维修工程的流程设计、时间管理、成本控制和实际操作中，充分调动了员工的创造性，增强了主人翁责任感，更大程度地体现了机务人员的价值。

五年多的维修实践表明，APS理论是一套行之有效的维修管理方法，是维修系统坚持理论创新、管理创新和技术创新的一项重要成果，彰显了中国民航的系统思维和创新精神。APS理论提出了严谨的理论体系、明确的执行标准和清晰的实现路径，可以有效前移安全关口，推动飞机维修由“结果导向”向“过程控制”和“源头管理”转变，实现了精准管理、精细维修，使飞机维修更安全、更高效、更优质，有必要面向整个中国民航维修系统进行推广。

本书编委包括维修系统的高级管理人员和资深工程师以及中国民航大学从事飞机维修研究的专家学者。在编委共同协商和研究的基础上，不断进行修改凝练后，经过进一步的归纳总结得到完整书稿，本书是集体智慧和研究成果的结晶。

在书稿的撰写过程中，史志波撰写了第1章；王坤撰写了第2章；郭润夏撰写了第3章；雷景波撰写了第4章；王勇和刘贵行撰写了第5章；郭润夏完成了全书统稿；李彤彬和董健康详细审阅了全部书稿并提出宝贵修改意见。

本书可以作为CCAR147培训和高等院校机务类专业的正式教材，也可以作为飞机维修人员的参考书。对于CCAR147培训，建议安排2个学时概略讲授第1章和第2章，重点讲授第3章至第5章，其中，第3章和第4章是理论部分，建议安排10学时，第5章是实作部分，建议安排4学时；对于高等院校机务类专业教学，建议深入讲授全书，总计安排28学时为宜。

书中引用或直接列举、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，都在章节后的参考文献中一一列出。另外还有一些直接或间接对本书做出贡献的同行，这里不再逐一枚举。

在书稿的撰写过程中，得到了中国民用航空局飞标司的大力支持、指导和高度肯定，在此表示感谢。

相信APS理论能够成为中国民航维修管理的引路之光。

《飞机维修APS理论（第2版）》编委  
2019年7月



# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第 1 章 适航法规与维修思想 .....      | 1  |
| 1.1 运行维修适航法规体系 .....       | 1  |
| 1.1.1 适航法规体系和组织机构 .....    | 1  |
| 1.1.2 运行维修法规 .....         | 3  |
| 1.2 维修思想发展概况 .....         | 5  |
| 1.2.1 民航维修概念 .....         | 5  |
| 1.2.2 维修思想发展 .....         | 5  |
| 1.3 以可靠性为中心的维修思想 .....     | 8  |
| 1.4 MSG-3 分析方法 .....       | 9  |
| 1.4.1 MSG-3 分析方法基本要求 ..... | 10 |
| 1.4.2 MSG-3 分析程序 .....     | 10 |
| 1.4.3 维修审查委员会报告 .....      | 18 |
| 第 2 章 航空公司维修方案 .....       | 21 |
| 2.1 维修方案制定 .....           | 21 |
| 2.1.1 管理部门对维修方案的要求 .....   | 21 |
| 2.1.2 维修方案的制定依据 .....      | 22 |
| 2.1.3 维修方案的内容 .....        | 22 |
| 2.1.4 维修方案的转换 .....        | 24 |
| 2.2 维修方案实施 .....           | 24 |
| 2.2.1 准备维修工作单 .....        | 24 |
| 2.2.2 维修方案执行计划 .....       | 25 |
| 2.2.3 维修控制中心 .....         | 27 |
| 2.3 维修可靠性管理 .....          | 27 |
| 2.3.1 维修可靠性方案 .....        | 27 |
| 2.3.2 可靠性方案的管理 .....       | 28 |
| 2.3.3 可靠性管理机构及各部门职责 .....  | 32 |
| 2.3.4 可靠性方案的修改 .....       | 33 |
| 第 3 章 APS 理论体系 .....       | 34 |
| 3.1 维修系统运行水平的度量标准 .....    | 34 |
| 3.2 APS 理论的定义和模型 .....     | 34 |
| 3.2.1 APS 理论的定义 .....      | 34 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 3.2.2 APS 理论的模型 .....          | 35         |
| 3.3 APS 理论的内容 .....            | 37         |
| 3.3.1 生产有准备 .....              | 37         |
| 3.3.2 施工有程序 .....              | 38         |
| 3.3.3 工作有标准 .....              | 38         |
| 3.4 APS 理论的内涵 .....            | 39         |
| 3.4.1 一种理念 .....               | 40         |
| 3.4.2 一种模式 .....               | 40         |
| 3.4.3 一套标准 .....               | 41         |
| 3.5 APS 理论的运行特征 .....          | 41         |
| 3.5.1 运行背景 .....               | 41         |
| 3.5.2 APS 工具 .....             | 43         |
| 3.5.3 一体化推进 .....              | 44         |
| 3.5.4 维修信息化 .....              | 46         |
| 3.5.5 APS 施工文件 .....           | 51         |
| 3.5.6 运行评估 .....               | 52         |
| <b>第 4 章 APS 理论的实施方法 .....</b> | <b>58</b>  |
| 4.1 全面生产准备的实施方法 .....          | 58         |
| 4.1.1 宏观层面的全面生产准备 .....        | 58         |
| 4.1.2 微观层面的全面生产准备 .....        | 66         |
| 4.2 科学施工程序的实施方法 .....          | 72         |
| 4.2.1 宏观层面的科学施工程序 .....        | 72         |
| 4.2.2 微观层面的科学施工程序 .....        | 78         |
| 4.3 规范工作标准的实施方法 .....          | 93         |
| 4.3.1 宏观层面的规范工作标准 .....        | 93         |
| 4.3.2 微观层面的规范工作标准 .....        | 100        |
| <b>第 5 章 APS 理论应用案例 .....</b>  | <b>102</b> |
| 5.1 A330 飞机绕机检查 .....          | 102        |
| 5.1.1 识别安全风险 .....             | 102        |
| 5.1.2 生产准备-A .....             | 103        |
| 5.1.3 施工程序-P .....             | 105        |
| 5.1.4 工作标准-S .....             | 117        |
| 5.2 标准线路施工 (导线修理与导线终端施工) ..... | 118        |
| 5.2.1 识别安全风险 .....             | 118        |
| 5.2.2 生产准备-A .....             | 119        |
| 5.2.3 施工程序-P .....             | 120        |
| 5.2.4 工作标准-S .....             | 133        |
| <b>附录: 中英文名称对照表 .....</b>      | <b>134</b> |

# 第 1 章 适航法规与维修思想

民用航空是指使用各类航空器从事除国防、警察和海关以外的所有的航空活动。民用航空产品是指民用航空器、航空发动机或者螺旋桨。民用航空器的适航性是指航空器包括其部件及子系统整体性能和操纵特性在预期运行环境和使用限制下的安全性和物理完整性的一种品质，这种品质要求航空器始终符合其型号设计并处于安全运行状态。适航包括初始适航和持续适航，初始适航是指航空器和每个零部件的设计和生与适航当局规定的适航标准和规范的符合性；而持续适航是指航空器在取得适航批准投入使用之后，其运行的固有安全性与适航当局批准的在设计制造时的基本安全标准的符合性。因此，航空器的适航性涉及航空器的设计、制造、使用和维修全过程。

航空器投入使用后，其初始适航性是一定的。因此，对于投入使用的航空器，如何保持和恢复其持续适航性，对航空器的安全运营就是至关重要的。尽管保持民用航空器的持续适航性是航空器研制与制造部门、适航当局和使用维修单位（航空公司）的共同责任，但航空器使用或维修单位承担着保持航空器持续适航性的根本责任。航空器在整个运行使用过程中的基本质量，必须依靠使用、维修单位依照各种经批准的使用规范、维修规则及标准进行保持和恢复。良好的使用和有效的维修是保持航空器持续适航性的最重要因素。

## 1.1 运行维修适航法规体系

### 1.1.1 适航法规体系和组织机构

航空活动的跨国性决定了航空法包括国际法和国内法两部分。国际法的制定是通过国家间相互协商来进行，而国内法的制定是通过国内立法机关来进行。中国民用航空的适航法规体系采用三级管理模式，包括法律、法规和规章三部分，以及指导具体操作程序的规范性文件，如图 1-1 所示。第一层次是由全国人大常委会通过、国家主席签署主席令发布的《中华人民共和国民用航空法》，属于国家法律，是民航法律体系的龙头，是制定民航法规、规章的依据。第二层次是由国务院通过、总理以国务院令发布的或者授权交通运输部（民航局）发布的关于民用航空行政法规，如《中华人民共和国民用航空器适航管理条例》等。第三层次是民航规章，是中国民用航空局根据法律和国务院的行政、决定、命令，在本部门的权限范围内发布的规范性文件。经部务会议通过，以交通运输部令发布。适航法规还规定了一系列适航标准。适航标准是一类特殊的技术标准，是为了保证实现民用航空器的适航性制定的最低安全标准，是国家法规的组成部分，也是民用航空规章的一部分，必须严格执行。适航标准是适航部门进行型号合格审定的依据，民用航空器的设计只有符合了适航标准的要求才能通过型号合格审定，如 CCAR-25 部即运输类飞机适航标准。

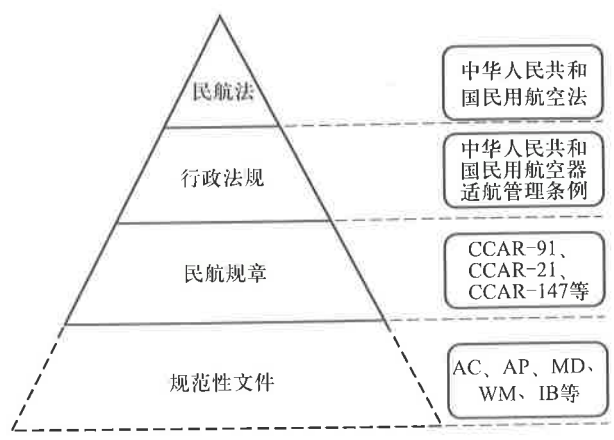


图 1-1 中国民航适航法规及其规范性文件体系图

此外，民航局机关各职能部门为落实法律、法规、民航局规章和政策的有关规定，在其职能范围内制定，经民航局局长授权，由职能部门主任、司长、局长签署下发的有关民用航空管理方面的文件，称为规范性文件，用来指导开展适航工作等。主要有咨询通告（AC）、管理程序（AP）、管理文件（MD）、工作手册（WM）和信息通告（IB）。

中国民用航空局的组织机构采用内设外管的组织模式，如图 1-2 所示。中国民航局内部采取三级管理制度，第一层是行政决策层，局属内设机构属于该层次；第二层为执法监督层，地区管理局和安全生产监督管理局负责执法监督和行业管理；第三层为委任代表基础层，包括各种委任代表和委任单位代表，代表中国民用航空局外部监管机构对所辖地域民航企事业单位进行安全管理和市场管理。局属内部机构中与适航直接有关的主管部门为航空器适航审定司和飞行标准司。民航局下设 7 个民航地区管理局，各地区管理局内设适航审定处，处理各辖区适航审定业务。目前，地区管理局在全国共设 39 个安全生产监督管理局和 1 个安全运行监督办公室。委任代表制度作为民航局监管机构的一个外延，不仅在业务上更接近一线工作，而且能够在很大程度上突破行政资源有限的瓶颈，实施更

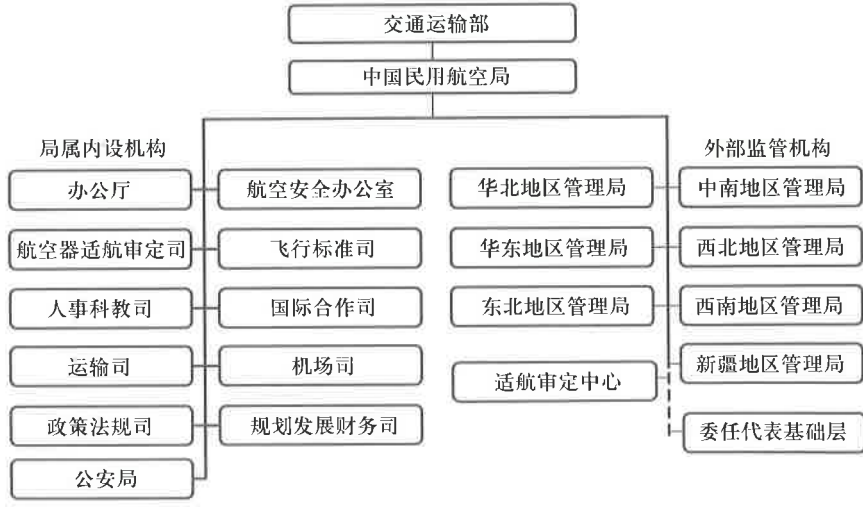


图 1-2 中国民航组织机构示意图

有效、更接地气的基层工作，委任代表制度同样在欧美适航管理中发挥着重要的作用，主要有适航委任代表与委任单位代表。

1.1.2 运行维修法规

CCAR 是中国民航规章的缩写，也是指中国民航规章体系。中国境内的所有航空公司和其他航空企业均需按照 CCAR 要求进行各自管理体系的建立。CCAR 有很多部，根据不同的工作性质，各类企业单位选用不同的内容进行规范和管理。CCAR 各类适航法规规章关系如图 1-3 所示。民用航空器适航管理是以保证民用航空器的安全性为目标的技术管理，是政府适航管理部门在制定了各种最低安全标准的基础上，对民用航空器的设计、制造、使用和维修等环节进行科学统一的审查、鉴定、监督和管理。保障民用航空安全、维护公众利益，促进民用航空事业的发展是民用航空器适航管理的宗旨。

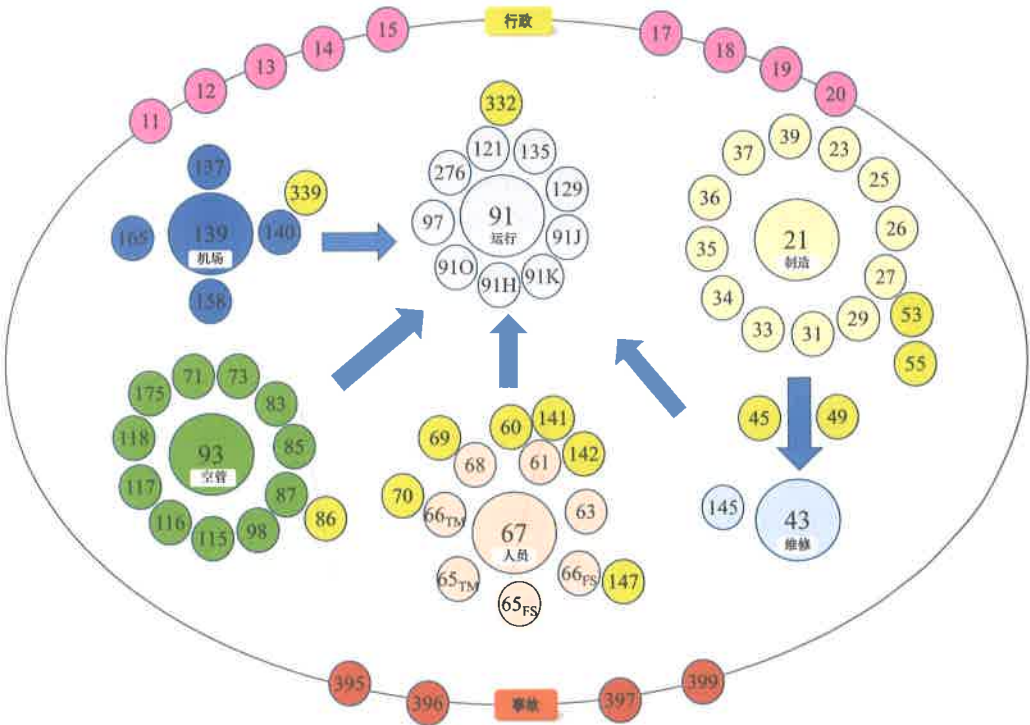


图 1-3 中国民航各类适航法规关系图

初始适航管理是在航空器交付使用前，适航部门依据各类适航标准和规范，对民用航空器的设计和制造进行的型号合格审定和生产许可审定，以确保航空器和航空器部件的设计、制造是按照适航部门的规定进行的。初始适航管理是对设计、制造的控制。持续适航管理是在航空器满足初始适航标准和规范、获得适航证、投入运行后，为持续保持它在设计和制造时所达到的基本安全标准和适航水平，始终处于安全运行状态而进行的管理。持续适航管理是对民用航空器的使用、维修的控制。主要依据各种维修规章和标准，使航空器的适航性得以保持和改进。

持续适航管理责任主要有适航当局、航空器设计和制造厂商和航空器使用和维修部

门承担。适航当局主要负责对航空器在使用过程中所涉及的适航性进行评估。设计和制造厂商需要及时地收集航空器使用中发生的重大故障问题,提出纠正措施,编发技术服务通告,以保证航空器的持续适航性。使用和维修部门承担着保持航空器持续适航性的根本责任,保障民用航空安全。为保证航空器的持续适航性,航空器的使用和维修部门必须具有如下方面的职能:完善的维修设施、设备和器材;合格的维修人员和维修管理人员;完整的并良好运转的维修工作程序。

适航管理运行规章主要有三部:CCAR-91《一般运行和飞行规则》、CCAR-121《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》和 CCAR-135《小型航空器商业运输运营人运行合格审定规则》。对于公共航空运输运行,除应当遵守 CCAR-91 适用的飞行和运行规定外,还应当根据自身运营范围等遵守公共航空运输运行规章中的 CCAR-121 和 CCAR-135 的规定。CCAR-91 部对运行公司规定维修要求,任何人(包括商业非运输运营人和航空器代管人)使用的大型航空器及其航空器部件的维修工作都应当由按照 CCAR-145 部获得相应批准的维修单位实施或者按照 CCAR-43 部实施,其他任何维修应当按照 CCAR-43 部实施。

CCAR-43 部作为维修和改装的一般规则,具体规定按 CCAR-91 部在国内外运行的非运输航空器、私用大型航空器、农林喷洒作业飞机以及按 CCAR-135 运行的 9 座以下飞机的维修和批准恢复使用要求。CCAR-43 部是 CCAR-91 部维修要求的实施细则,CCAR-43 部提供了比 CCAR-145 部更简化的维修检查放行规则。

按 CCAR-135 部运行的 10 座以上的飞机、CCAR-121 部运行的大型飞机和 CCAR-91 部的大型飞机维修,其他航空器机体翻修、部件车间修理等均需按照 CCAR-145 部《民用航空器维修单位合格审定规定》规定实施维修放行。CCAR-66 部《民用航空器维修人员执照管理规则》适用于从事在中国登记的民用航空器的维修、部件维修和维修管理工作的中国公民与非中国公民的执照和资格证书的颁发。CCAR-145 部、CCAR-121 部对人员资格要求做出了明确规定,CCAR-66 部规定了这些人员如何获取相应的资格,其目的主要是规范民航维修人员的执照管理,保障民用航空器持续适航和飞行安全,提出放行人员资质的最低要求。

CCAR-147《民用航空器维修培训机构合格审定规定》,用于为取得 CCAR-66 部所规定的各类维修执照的人员提供培训的机构(简称维修培训机构)的合格审定及其监督检查。CCAR-147 确定了培训机构的管理部门和形式,明确了机构类别,制定了受理、审查和批准的时限要求以及维修培训机构的合格审定要求。

综上所述,运行维修法规之间的关系如图 1-4 所示。

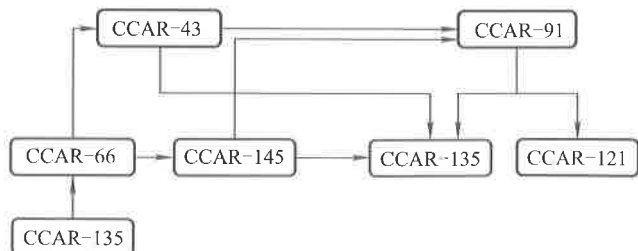


图 1-4 中国民航运行维修法规关系图

## 1.2 维修思想发展概况

### 1.2.1 民航维修概念

民用航空器的全寿命周期涉及设计、制造、使用、维修四个重要环节。为了确保所有的人员对维修所能实现的任务有相同的理解，需要统一所有人员对于航空器维修的认识。

狭义的民用航空器维修是指为了满足客货运输、通用航空和训练飞行等的需要，及时提供技术状态良好的飞机而进行的一切活动。民用航空器维修的目的是通过各级机务人员的维护和修理，保证飞机、发动机和机载各系统及设备的完好性和适航性，使飞机能安全、环保、可靠和经济地完成各项飞行任务。广义的民用航空器维修是当前民航事业中的一个大的系统工程，包括从飞机的选型、使用、维护、修理一直到飞机退役全过程的监督、实施和管理，以及与其相适应配套的人员培训、考核和科研工作等。

### 1.2.2 维修思想发展

维修思想，又称维修理念或维修哲学，是制定具体维修大纲、程序和策略的理论基础。

#### (1) 传统维修思想

在航空维修史上，上世纪 50 年代到 70 年代，以定期全面翻修方式为主的传统维修思想一直占着主导地位。这种思想来自于早期机械故障得出的直观想法：机件要磨损→磨损会引起故障→故障危害安全。其理论基础就是传统的浴盆曲线可靠性模型（如图 1-5 所示）。该模型表示每个项目在使用过程中，都要经历早期故障、偶然（随机）故障和耗损故障三个时期。根据这个曲线，传统观点认为，每个项目都具有固定寿命，到使用寿命必须翻修，翻修得越彻底就越安全，维修工作做得越多就越可靠。

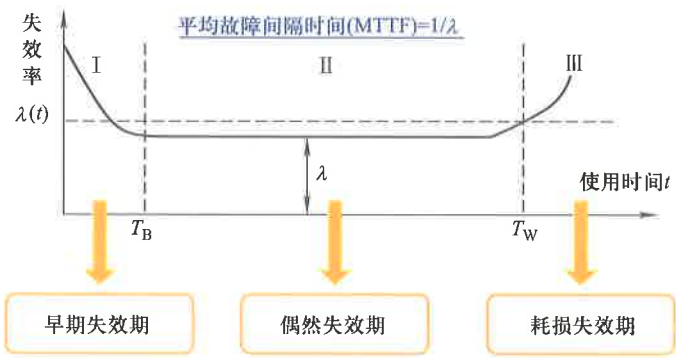


图 1-5 “浴盆曲线”模型及其参数示意图

传统的“预防为主”航空维修思想，对早期设计的飞机来说是有合理性的，因为浴盆曲线对零件和简单部件往往是适合的，而早期飞机的一些系统和部件均比较简单，故障率也往往随使用时间的增加而增加，预防更换可以起到降低总故障率的作用。

可靠性是指设备在规定的条件下和规定的时间内完成固定功能的能力。可靠度是可靠性的量化指标,可靠度是在规定时间内和规定条件下,系统完成规定功能的概率,它是时间函数,记作  $R(t)$ 。

设  $T$  为产品的随机变量,则

$$R(t) = P(T > t)$$

表示产品的寿命  $T$  超过规定时间  $t$  的概率,即产品在规定时间内完成规定功能的概率。相应的累计失效率可以定义为产品在规定条件下和规定时间内失效的概率,记作  $F(t)$ ,有时也称为累计失效分布函数或者不可靠度,其值等于 1 减可靠度,即有

$$R(t) + F(t) = 1$$

失效率密度是累计失效率对时间的变化率,记作  $f(t)$ 。它表示产品落在包含  $t$  的单位时间内的概率,即产品在单位时间内失效的概率,表示为

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = F'(t)$$

失效率是工作到某时刻尚未失效的产品,在该时刻后单位时间内发生失效的概率,记作  $\lambda(t)$ ,称为失效率函数,有时也称为故障率函数。按上述定义,失效率是在时刻  $t$  尚未失效的产品在  $t \sim t + \Delta t$  的单位时间内发生失效的条件概率,即

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} P(t < T \leq t + \Delta t | T > t)$$

上式反映了  $t$  时刻失效的速率,故也称为瞬时失效率。由条件概率

$$P(t < T \leq t + \Delta t | T > t) = \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{P(T > t)}$$

得到

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{P(T > t)} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} \\ &= \frac{dF(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} \\ &= - \frac{R'(t)}{R(t)} \end{aligned}$$

失效率函数有 3 种基本类型,即早期失效型、偶然失效型和耗损失效型。失效函数与时间的关系如“浴盆曲线”模型所示,对于系统来说,一般地在工作过程中,失效率随时间的变化而分阶段属于上述 3 种类型。产品在早期失效期呈现高的失效率,随着使用时间的延长和早期失效的排除,失效率迅速下降,达到  $T_b$  时间(参见图 1-5),失效率将稳定在一个数值上。产生早期失效的原因可能是多种多样的,如制造质量不高、元器件或者原材料缺陷、错误安装等。产品在偶然失效期内失效率高且基本恒定。偶然失效期一般是产品主要工作时间,这期间的失效主要是由偶然因素引起而发生的。在此期间的失效率  $\lambda(t)$  反映了产品的可靠性水平,所以 MTTF(平均故障前工作时间)或 MTBF(平均故障间隔时间)为  $\lambda(t)$  的倒数。

$$MTTF(MTBF) = \frac{1}{\lambda}$$

上式表示产品的可靠性水平。在耗损失效期，失效率随时间迅速增加，其失效基本是由于元器件老化、机械零件磨损等原因所致。当失效率  $\lambda(t)$  超出技术条件的允许值时，就应考虑翻修或者更换，使产品的可靠性水平恢复到开始使用时的水平。

飞机的安全性与其各个系统、部件、附件和零件的可靠性紧密相关，可靠性又与飞机的使用时间直接相关，而且在预防维修与飞机可靠性之间存在着根本的因果关系，因此，必须通过按使用时间进行的预防性维修工作，即通过经常检查、定期修理和翻修来控制飞机的可靠性，翻修期长短是控制飞机可靠性的重要因素。传统的“预防为主”维修思想是一种积极主动的维修思想，它同早期航空装备发展水平和维修条件是适合的，其合理部分作为一种维修方式——定时维修方式保存下来，对于保证飞行安全和飞行任务起到了应有的作用。但传统的维修思想存在较大的缺点，主要表现在三个方面：一是维修工作以直接经验作为指导，只能提出一般性的维修原则，缺乏针对性；二是只着重解决维修中的具体技术问题，忽视了维修的整体内涵，缺乏对维修管理的研究；三是机械地实行定时定程维修的离位分解检测维修，不可避免地使维修工作出现频繁分解拆卸的现象，导致维修工作针对性差、工作量大、耗时多、费用高，而且还会因拆装可能埋下一些新的故障隐患，甚至降低了航空装备的可靠性。

## (2) 现代航空维修思想

现代航空维修思想，是以可靠性为中心的维修（RCM）思想，其含义是按照以最少资源消耗保持装备固有可靠性和安全性原则，应用逻辑判断的方法确定装备预防性维修要求的过程或方法。这种思想是建立在综合分析航空技术装备固有可靠性的基础上，根据不同机体的不同故障模式和后果，而采取不同维修方针和维修制度的科学的预防维修思想。它的实质是采取经济有效的维修，对航空技术装备的可靠性实施最优控制。

美国联合航空公司最早对航空装备的使用时间和可靠性的关系进行研究，通过分析数据后，绘制了许多航空附件的可靠性曲线。曲线的类型大致可以归纳为6种类型，如图1-6所示。可靠性包括两个方面：一个是固有可靠性，与飞机方案论证、设计技术、原材料、成品设备选取和制造技术有关。一旦产品制造完成，固有可靠性就确定下来，不再随其他条件变化；另一个是使用可靠性，即飞机投入航线后，受到使用环境、驾驶技术、地勤保障影响所具有的可靠性。以可靠性为中心的维修思想反映了人们对飞机故障特性的更深刻认识，形成了更成熟的观点。飞机的固有可靠性取决于设计和制造，正确的使用 and 维修可以保持和恢复可靠性；磨损性故障与使用时间有关，偶然性故障与使用时间无关；定时维修对磨损性故障有效，对偶然性故障基本无效，飞机结构越复杂，使得飞机故障发生率也相对较高；对于采取多余度技术和故障保护措施后的飞机，飞机某个部件甚至某个系统出现故障，也不一定会影响安全；预防维修应充分体现预防特性，即要具有前瞻性、及时性、准确性，相应的维修要有针对性，只做必要的维修工作。

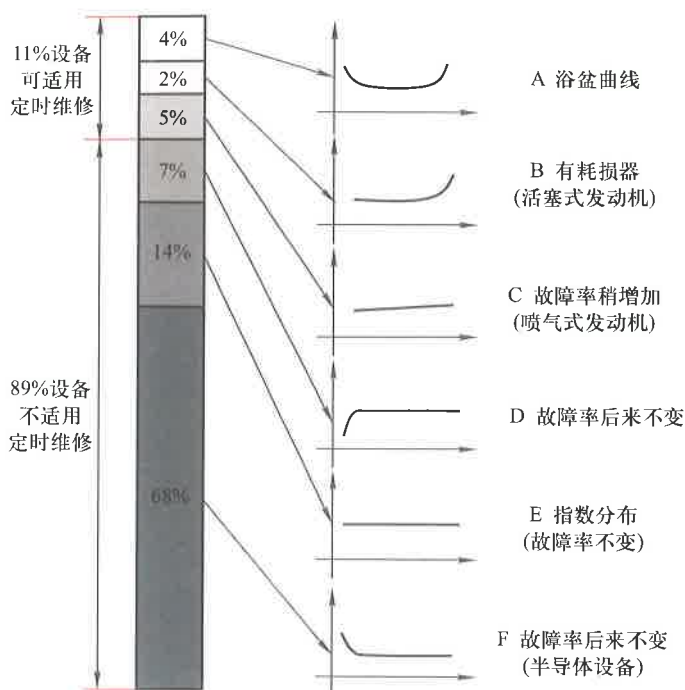


图 1-6 航空器部件可靠性曲线类型

### 1.3 以可靠性为中心的维修思想

以可靠性为中心的维修 (RCM) 思想建立在设备的设计特点、运行功能、故障模式和后果分析的基础上, 以最大限度提高设备的使用可靠性为目的, 应用可得到的安全性和可靠性数据, 判别哪些子系统和零部件处于临界状态, 哪些需要修复、改进或重新设计, 确定维修必要性和可行性, 对维修要求进行评估, 最终制定出实用、合理的维修计划。

RCM 思想以维修的适用性、有效性和经济性为决断准则, 确定是否进行预防性维修工作, 并确定工作的内容、维修级别、时机等的逻辑决断方法。其基本观点如下。

(1) 定时维修对复杂设备的故障预防几乎不起作用, 但对简单设备的故障预防有作用。传统维修思想认为随着使用时间的增加, 设备的故障发生是必然的, 因此需要在故障发生前进行预防性维修。但事实是只有简单设备遵循“浴盆曲线”模型, 设备的发生、发展与使用时间存在直接关系; 复杂设备中存在许多故障模式, 使得其总的故障率为常数, 因此不存在耗损故障期, 定期维修也就对复杂设备的故障预防不起作用, 相反, 还可能会由于采用定期维修会给稳定的使用中设备带来早期故障和造成人为维修差错故障, 增大总故障率。设备的故障规律不同, 应采取不同方式控制维修工作时机。对于有耗损性故障规律的设备适宜定时拆修或更换, 以预防功能故障或引起多重故障。对于无耗损故障规律的设备, 定时拆修或更换常常是有害无益, 适宜于通过检查、监控、视情进行维修。

(2) 根据故障发展模式,明确潜在故障和功能故障。设备的故障模式有一个发展过程,不是一触即发的,在机体尚未丧失其功能故障前有迹可循,可根据某些物理状态或者工作参数判断其功能故障的发生状态。潜在故障是一种指示功能故障即将发生的可鉴别的状态。通过定义潜在故障来开展视情维修,利用潜在故障来防止功能故障的出现,使设备在不发生功能故障的前提下得到充分的利用,达到既安全又经济的使用目的,这是现代维修理论的一个重要贡献。

(3) 设备可以通过检查并排除隐蔽功能故障从而预防多重故障的发生。隐蔽功能故障是指正常使用设备的人员不能发现的功能故障,多重故障是指由接连发生的多个独立故障所组成的故障事件,它可能造成其中任一故障不能单独引起的后果。多重故障与隐蔽功能故障关系密切,如果隐蔽功能故障没有及时发现和排除,就会造成多重故障,产生严重的后果。可采取加大对隐蔽功能故障的检测频率,来及时排除隐蔽功能故障,防止多重故障的发生。

(4) 预防维修的作用是以最小的经济代价来保持和恢复设备的固有可靠性与安全性。由于设备的可靠性与安全性是设计制造赋予的固有特性,有效的维修可以提高使用可靠性,或者防止固有可靠性水平的降低;优良的维护工作可以使设备接近或达到已经具有的固有可靠性水平,但不能超过它。假如设备的可靠性与安全性水平满足不了使用要求,只有重新设计才能提高,即维修越多不一定越安全、越可靠。

(5) 预防维修能够预防和减少功能故障的次数,但是不能改变故障的后果。故障的后果(包括安全性和经济性后果)是由设备的设计特性所决定的,只有更改设计,才能改变故障的后果。安全性后果可以通过余度技术、破损安全设计、损伤容限设计等措施而降低为经济性后果。

(6) 预防维修的基本思路。旧维修观念认为,对可能出现的任何故障都要做预防性维修工作,维修工作做得越多,越能够预防故障,但实践证明并非如此。以可靠性为中心的维修理论按照故障的后果和做维修工作既要技术可行又有效果来确定预防性维修工作。

“技术可行”是指该类维修工作与设备或机件的固有可靠性特性是相适应的;“有效果”是指该类维修工作能够产生相应的效果。RCM认为,故障后果严重程度影响采取预防性维修工作的决策。即如果故障有严重后果,就应尽全力设法防止其发生,至少应将故障风险降到最低水平。反之,除了日常的清洁和润滑外,可以不采取任何预防措施,可在故障出现后再来排除。RCM过程把故障后果分成下列4类:隐蔽性故障后果、安全性和环境性后果、使用性后果、非使用性后果。

(7) 设备使用前的初始预防性维修大纲制订后,需要在使用期间收集使用数据资料,不断修订,逐步完善。

(8) 预防性维修大纲只有通过使用维修部门和制定部门长期共同协作才能逐步完善。

## 1.4 MSG-3 分析方法

早期飞机的维修要求基本上由产品制造厂确定,主要是对飞机结构和系统/零部件进行定时翻修。随着新技术的应用和飞机系统的日趋复杂和完善,以及飞机使用数据的搜

集和积累,对飞机投入使用后的维修要求有了更新的认识,提出了更先进有效的制定维修要求的新思路。结合诺兰等提出的 RCM 逻辑决断图和决断法,在美国联邦航空局主持下,美国航空运输协会制定了 MSG-3《航空公司/飞机制造厂家维修大纲的制定文件》,用于指导制定维修大纲,于 1980 年 9 月颁布实施。MSG-3 着眼于确定整个飞机系统或分系统的维修工作,遵循自上而下,从大到小的分析顺序,从飞机系统/动力装置、结构分析、区域检查和闪电/高强度辐射场(L/HIRF)四个方面进行分析。在确定维修工作时,不仅考虑所确定的工作是否适用,还要看是否有效。由此为飞机系统/动力装置指定不同级别的维修工作,即润滑/勤务(LU/SV)、操作检查/目视检查(OP/VC)、检查/功能测试(包括一般目视检查(GVI)、详细检查(DI)、特别详细检查(SDI)、性能恢复(RS)和报废(DS)等维修工作。对于结构项目的维修任务一般有一般目视检查、详细检查和特别详细检查。区域检查任务有一般目视检查、详细检查,保证飞机规定区域内的所有系统、部件和装置都受到足够的监控,以确保安装和总体状态的安全性。研究表明,应用 MSG-3 后,减少了很多不必要的维修工作,确保只选择那些保持飞机使用可靠性的工作,或有经济效益的工作。

#### 1.4.1 MSG-3 分析方法基本要求

MSG-3 分析过程分为上下两层,如图 1-7 所示。上层分析通过 4 个问题来评估每一个对象的功能失效,根据其影响对该失效进行分类。在这一层,首先将失效划分为显性失效和隐性失效这两大类,然后根据失效影响,对这两类失效进一步细分。经过第一层分析后,将所有对象的功能失效分为 5 类,即明显的安全性影响、运行性影响、经济性影响、隐蔽的安全性影响和非安全性影响。下层分析则针对每一个功能失效的失效原因,通过对 5 个问题的顺次回答来选择应采取的具体维修工作。这 5 个问题是根据维修工作的难易、深浅程度循序铺排,形成一个从简单到复杂、由浅入深的逻辑分析流。经过下层分析,由浅入深地得出 6 种维修工作,即①润滑/勤务,②操作/目视检查,③检查/功能检查,④恢复,⑤报废,⑥以上 5 种维修工作的组合。

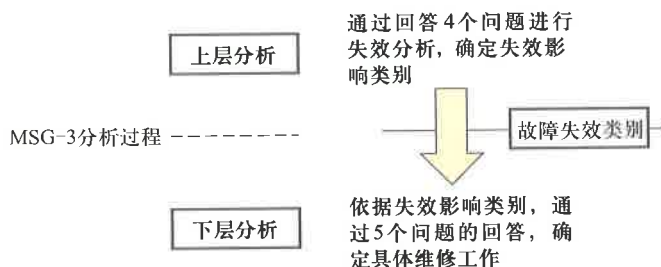


图 1-7 MSG-3 双层分析示意图

#### 1.4.2 MSG-3 分析程序

##### (1) 系统/动力装置分析

国际规范 MSG-3 2009.1 给出了系统/动力装置的 MSG-3 分析的通用流程。重要维修项目(MSI)是指可实施维修检查工作的具有特定功能的维修项目,它可以是系统、设

备、附件、组件或零件。系统工作组、动力装置工作组及电子电气工作组按照 ATA2200 把飞机分成系统和子系统，直到所有航线可更换单元（LRU）。重要维修项目是从飞机的安全性、运行性和经济性的观点出发，对飞机的各个系统、子系统、设备或部件、直至对零件或元器件进行分析，并结合各系统安全性分析（SSA）报告中的有关内容进行确定的。

系统/动力装置重要维修项目维修任务的确定是按照系统/动力装置逻辑决断图进行的，逻辑决断分为上下两层分析。上层分析要求对每个“功能故障”进行评价，开展功能故障影响分析，明确功能故障、故障原因等，对每一功能故障按照流程图的要求进行故障影响类别的判定，确定功能故障影响类别。通用的失效影响分析逻辑流程，即逻辑决断上层分析，如图 1-8 所示。下面针对图 1-8 中四个问题的判断及注意事项进行详细说明，以帮助维修工程分析人员进行正确合理的失效影响分析。

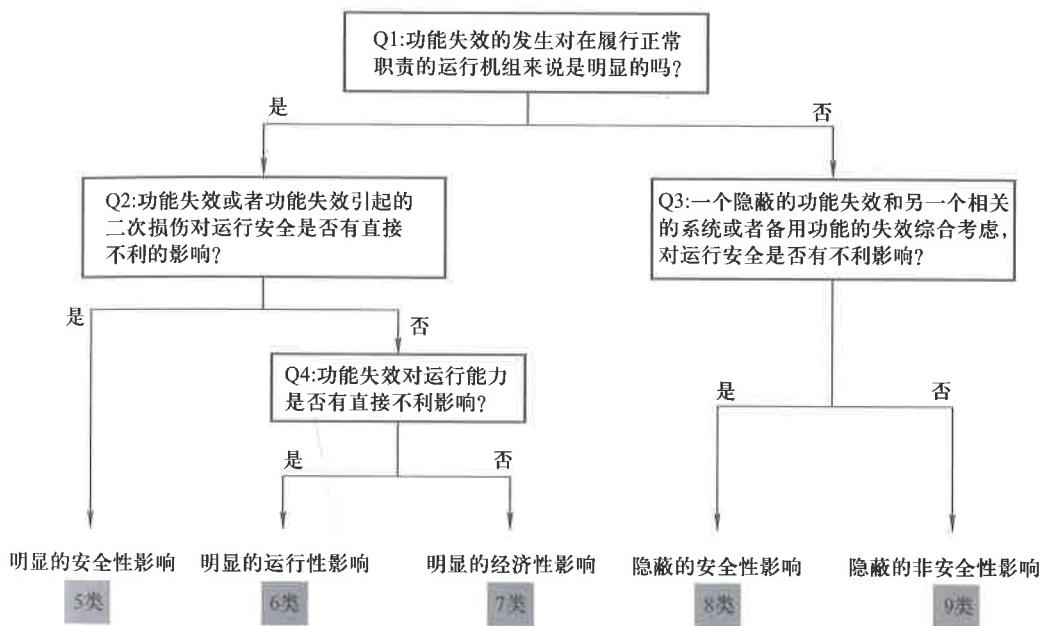


图 1-8 MSG-3 逻辑决断上层分析

问题 1：问题 1 用于判定是否为明显的或隐蔽的功能失效。为方便理解问题 1 的回答，下面介绍相关的定义。

定义 1：隐蔽的功能。

① 功能的工作和不工作对于履行正常职责的运行机组人员通常不明显可见。

② 功能正常情况下不工作，在需要其工作之前，其状态对于履行正常职责的运行机组人员通常不明显可见。

定义 2：运行机组人员正常职责。

① 运行机组人员包括驾驶舱机组人员和客舱服务人员，不包括地面勤务人员。

② 正常职责是指与飞机日常运行相关的职责，包括在飞机运行时按飞机飞行手册（AFM）执行的工作程序及正常检查；运行机组人员感官察觉到的异常或者失效包括气味、噪声、振动、温度、可见损伤或失效等。

问题 1 是询问运行机组人员在履行正常职责期间能否知道所发生的功能失效,其目的是区别明显的和隐蔽的功能失效。飞行机组的“正常职责”在适航当局批准的 AFM 中有明确定义,此类正常职责由驾驶舱机组人员完成,MSG-3 工作组可认为飞行机组检查属于运行机组“正常职责”的一部分。

问题 2: 问题 2 用于判断是否对飞机安全有直接不利影响的功能故障。对于问题 2,以下定义可帮助维修工程分析人员进行正确判断。

① 直接功能失效或者由其引起的二次损伤是其本身影响造成的,不是与其他功能失效联合产生的,称之为直接失效。

② 对安全性有害的影响:即故障后果是极其严重的、或者可能是灾难性的、甚至导致机毁人亡,妨碍持续安全飞行或者着陆。该故障都被看作是对使用安全性有害的功能故障。

③ 运行指的是乘客和机组人员为了飞行为目的的在飞机上所经历的时间。

问题 3: 问题 3 用于判断是否为影响飞机安全性的隐蔽功能失效。对于问题 3,以下定义可帮助维修工程分析人员进行正确判断。

定义 1: 安全/应急系统或设备。

① 提供在应急状态时撤离飞机的能力。

② 如果需要时它不起作用,可能会对安全具有不利影响。

问题 3 中所提到的失效是指一个隐蔽功能的失效(机组人员不知道失效发生),其本身失效不会影响飞机安全性,但如果它与一个附加功能失效(相关系统或功能备份)结合则会对运行安全有不利影响。这里所考虑的失效组合一定是导致后果最严重的失效组合。

问题 4: 问题 4 用于判断是否对飞机运行有影响。对于问题 4,以下定义可帮助维修工程分析人员进行正确判断。

定义 1: 运行影响。

某系统功能失效导致的影响会妨碍完成飞行任务,如引起航班延迟/取消、地面或飞行中断、高阻力、高度限制等。

定义 2: 该问题的回答如果是肯定的,则会产生以下不利的影响。

① 接受运行限制或在飞机签派遣前做出纠正。

② 飞行机组使用非正常或应急程序。

判断某系统功能失效是否对飞机运行能力有影响,通常需要查看主最低设备清单(MMEL)和/或其他规定运行程序的相关文件。与之前提到的飞机飞行手册的使用一样,如果 MSG-3 分析期间 MMEL 处于不成熟状态,则需要进行假设,并记录在案,MMEL 一旦处于可用状态后要即刻核实之前的假设判断是否准确。一旦分析者回答了上层的应用问题,将进入以下五种故障后果类别分析阶段:

① 明显的安全性(第 5 类)。

② 明显的运行性(第 6 类)。

③ 明显的经济性(第 7 类)。

④ 隐蔽的安全性(第 8 类)。

⑤ 隐蔽的非安全性(第 9 类)。

工程实例 1

以某机型起落架系统主轮及轮胎组件 MSI 为例，详细说明 MSG-3 失效影响分析在工程实际中的应用。驾驶舱内有发动机指示及机组警告系统（EICAS），起落架轮胎压力指示信息会在 EICAS 上有所显示。如表 1-1 所示。

表 1-1 起落架轮胎压力故障信息表

| 提示信息                          | 信息类型 | 显示颜色 |
|-------------------------------|------|------|
| 前轮压力低<br>(NOSE TIRE LO PRESS) | 告诫类  | 琥珀色  |
| 主轮胎压力低<br>(TIRE LO PRESS)     | 注意类  | 蓝绿色  |
| 轮胎压力错误<br>(TIRE PRESS FAULT)  | 注意类  | 蓝绿色  |

起落架主轮及轮胎组件 MSI 有一系列的功能，在这里仅针对其中的一个功能模块“提供充气能力及压力保持”进行功能失效分析，表 1-2 列出了对于此功能失效会产生的失效影响、类别判定及失效原因。表 1-2 中用到了如“1、1A、1A1、1A1A”等标识，主要是为了体现分析的层次关系，如“1”表示主轮及轮胎组件 MSI 的第一个功能，“1A”表示此功能的第一个功能失效模式，“1B”表示此功能下层分析第二个功能失效模式，“1A1”表示首个功能失效模式产生的第一个失效影响，“1A1A”表示第一个功能失效模式产生的失效原因。

基于系统 MSG-3 失效影响分析逻辑流程，针对表 1-2 功能失效中提到的 1B “不能保持压力”与 1C “压力保持能力降低”进行失效影响分析。1B “不能保持压力”失效影响分析逻辑流程判断：

① 问题 1：“功能失效的发生对在履行正常职责的运行机组来说是否明显”，回答是“是”。该功能失效对运行机组是明显的，因为“TIRE LOPRESS”注意信息会显示在发动机指示和机组警告系统（EICAS）上。

② 问题 2：“功能失效或者功能失效引起的二次损伤对运行安全是否有直接不利影响？”，回答是“否”。该功能失效不会对运行安全造成直接不利影响，因为其他轮及轮胎组件可满足安全降落条件。

③ 问题 4：“功能失效对运行能力是否有直接不利影响？”，回答是“是”。根据 MMEL，轮胎不能保持压力，飞机将不具备放行条件，所以该功能失效会对运行能力造成不利影响。根据逻辑流程判断，可以得出 1B “不能保持压力”属于第 6 类影响，明显的运行性影响。

下层分析是根据每个功能故障影响以及引起故障的原因，确定需要采取的维修任务类型，故障模式影响分析（FMEA）是维修任务下层分析的一个主要输入。

五类故障影响类别（明显的安全性、明显的运行性、明显的经济性、隐蔽的安全性和隐蔽的非安全性）的检查工作制定是相似的，在各类故障影响类别中，可能需要通过回答六个问题来最终确定适用的维修工作，如图 1-9 所示。

表 1-2 主轮及轮胎组件 MSI 功能失效分析 (部分)

| 功能              | 功能失效        | 提示信息                 | 类别 | 失效原因                                       |
|-----------------|-------------|----------------------|----|--------------------------------------------|
| 1 提供充气能力 & 压力保持 | 1A 不能提供充气能力 | 1A1 失去主轮充气能力         | 9  | 1A1A 主轮及轮胎组件 (充气活门故障在关闭位)                  |
|                 | 1B 不能保持压力   | 1B1 失去压力保持能力, 机动能力降低 | 6  | 1B1A 主轮及轮胎组件 (充气活门故障在打开位)                  |
|                 |             |                      |    | 1B1B 主轮及轮胎组件 (过压保护塞故障在打开位)                 |
|                 |             |                      |    | 1B1C 主轮及轮胎组件 (过压保护塞密封、压力传感器密封、热保险塞密封) 轻微泄露 |
|                 | 1C 压力保持能力降低 | 1C1 轮胎磨损增加           | 9  | 1C1A 主轮及轮胎组件 (过压保护塞密封、压力传感器密封、热保险塞密封) 轻微泄露 |
|                 |             |                      |    | 1C1B 主轮及轮胎组件 (充气活门) 轻微泄露                   |
|                 |             |                      |    | 1C1C 主轮及轮胎组件 (轮胎扩散率)                       |

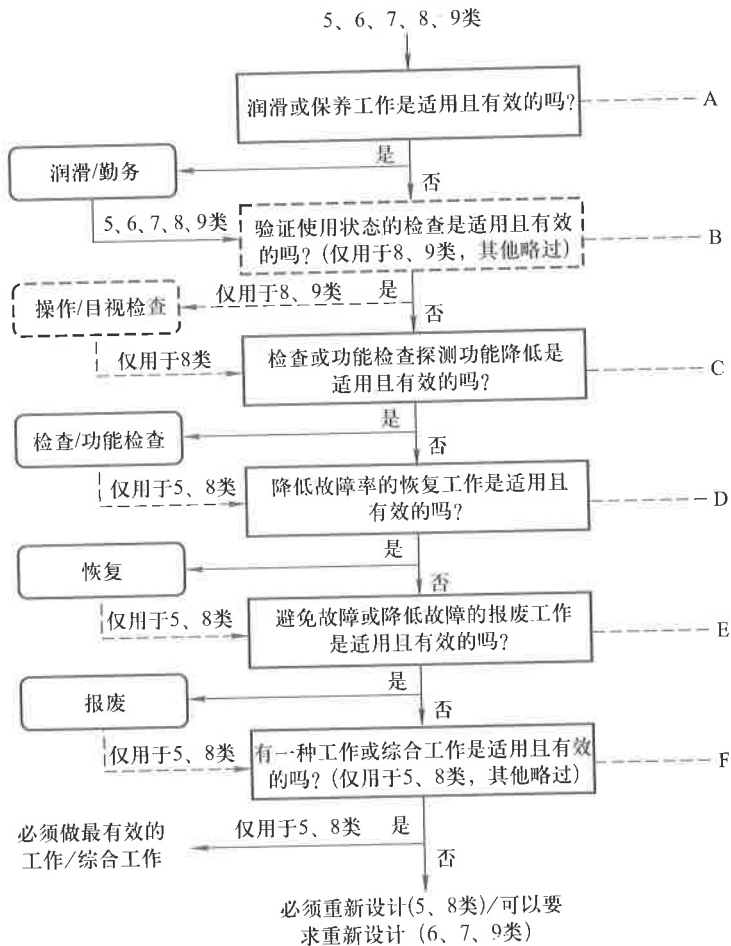


图 1-9 MSG-3 逻辑决断下层分析

在下层, 即工作选择部分, 可以看到并行的和默认的逻辑。不管第一个问题“润滑/勤务”的回答如何, 都必须问第二个问题。在隐蔽的和明显的安全性影响分支中, 即 5

类和8类,所有后续问题都必须问。而在其他分支中,除了第一个问题外,得出“是”的回答后就可以结束分析工作。所以,从图1-9中可以看到,虚线框的操作/目视检查,只适用于8、9类隐蔽的故障影响类别,目的是为了发现隐蔽故障。对于影响安全性的5、8类故障影响类别,流程中需要对每项维修任务进行判断和选择,以选择最有效的维修任务或任务组合,对于6、7、9类非安全性的故障影响类别,只要选择一项且有效的维修任务即可停止分析。对于维修间隔,通常是根据系统的可靠性指标、试验数据、系统设备的部件维修手册(CMM)以及参考相似机型运行的维修经验确定的。

## (2) 结构分析

结构检查大纲的项目分析流程如图1-10所示。重要结构项目(SSI)是飞机结构分析中的重要项目,重要结构是受飞行地面载荷和操纵载荷的任何重要的结构部分、结构元件或结构组件,这些结构失效将影响结构完整性并危及飞行安全。飞机结构检查要求,就是在飞机的使用寿命期内,以探测和预防由疲劳损伤(FD)、环境恶化(ED)和偶然损伤(AD)引起的结构失效的结构检查工作。

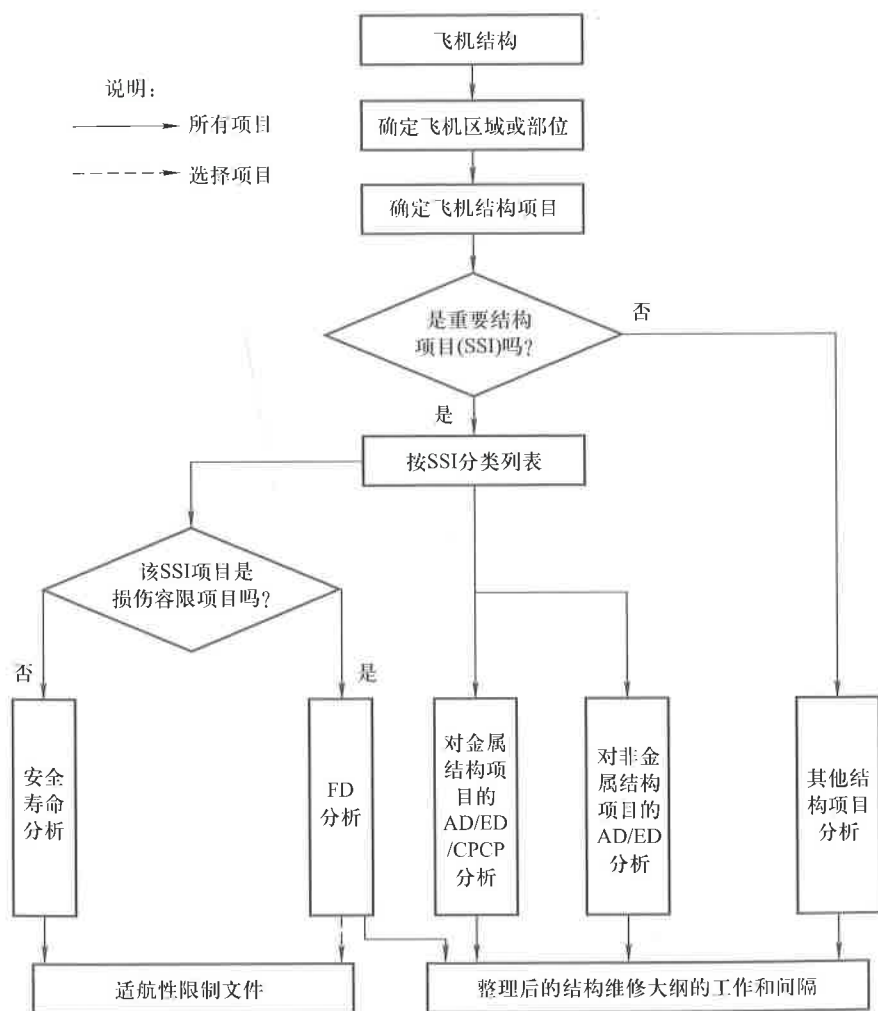


图 1-10 结构分析大纲逻辑决断分析流程

首先确定飞机结构区域部位, 列出飞机结构项目, 对上述项目进行分析, 确定出 SSI; 然后, 对于确定为 SSI 的结构项目, 根据其是否为损伤容限项目确定需要开展的分析工作。通常, 飞机除了起落架和发动机动力装置部分为安全寿命设计项目外, 其余大部分为损伤容限设计项目。损伤容限项目指破损后仍具有承载能力的结构项目, 该类项目必须制定检查要求。结构安全寿命项目是指没有损伤容限能力, 部件在预期有疲劳裂纹发生之前就被更换以保证安全, 更换要求包括在飞机的适航性限制内, 不需要进行定期疲劳检查来保持持续适航性。对于安全寿命项目和损伤容限设计的结构, 按照疲劳损伤分析给出其寿命限制和检查任务。对于 SSI 项目, 结构工作组按照偶然损伤和环境恶化评级系统进行分析, 得出其检查任务和间隔。

### (3) 区域检查

区域检查可使用区域分析程序制定, 分析流程如图 1-11。它要求对飞机每个区域进

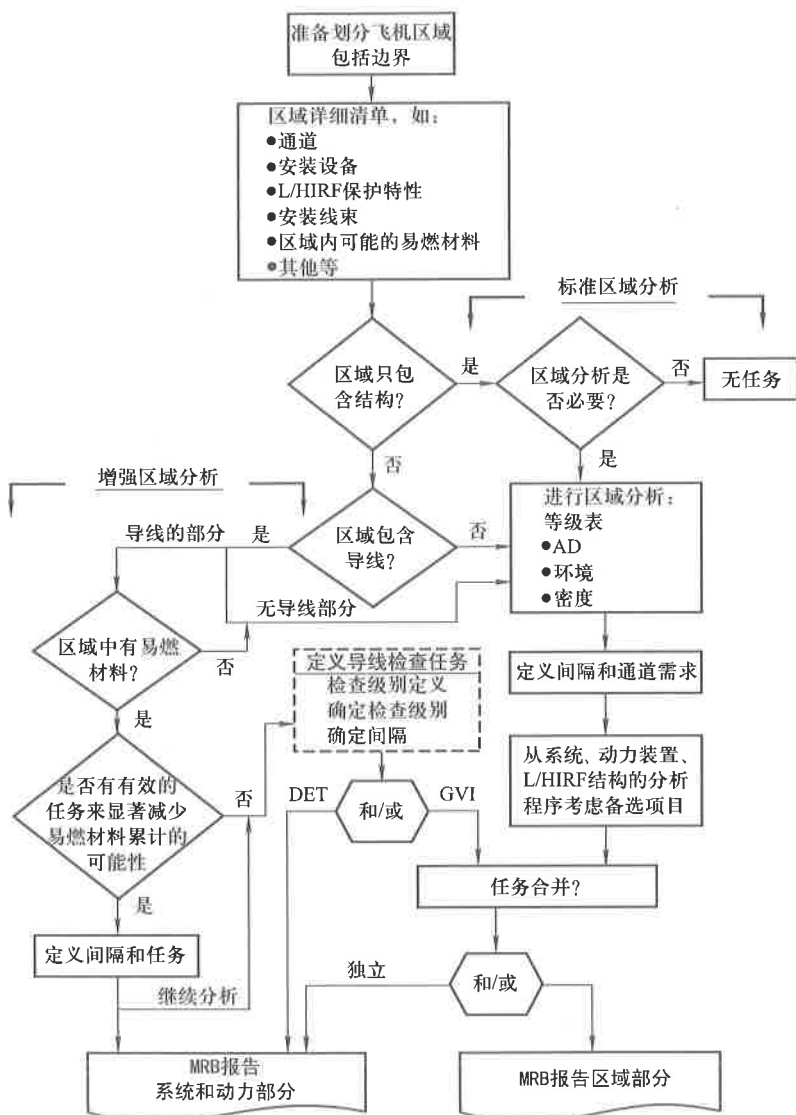


图 1-11 区域检查大纲逻辑决断分析流程

行综合评审,而且通常在结构、系统/动力装置的逻辑分析之后进行。区域检查主要是对分析的区域内部和外部进行如下检查:管路、导线、附件、紧固件以及可见连接件的锁紧和连接是否牢固可靠;是否有明显的损伤、渗漏、过热或漏气膨胀、管路堵塞现象;是否有可见的裂纹变形、擦伤、磨损、焊缝和电焊失效、表面处理的恶化、腐蚀以及液体流入;对区域进行清洁、清除可燃物聚集等一系列的检查工作。

按照 ATA2200 规范的定义将飞机外部和内部划分成 100~800 共 8 个主要区域,各主要区域进一步划分成子区域。在进行区域划分之后,根据区域内是否包含导线和可燃物聚集来确定进行标准区域分析还是进行增强区域分析。区域检查的维修周期是根据一套评级系统确定的,主要考虑区域偶然损伤的可能性、对环境恶化的敏感性及区域稠密性等因素,根据对各级别的判定,利用矩阵关系确定最终维修周期。

#### (4) 闪电/高强度辐射场 (L/HIRF)

ATA 在 MSG-3 文件 (2003 修订版) 中新增加了闪电/高强度辐射场 (L/HIRF) 防护系统的维修任务分析,如图 1-12 所示,目前都已成为航空器维修大纲的重要组成部分。

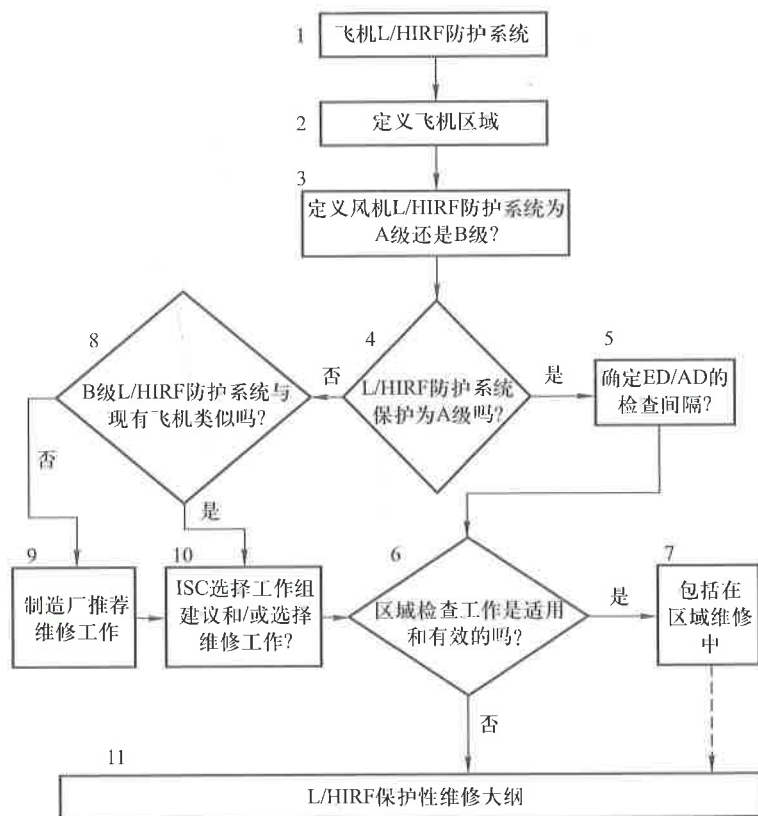


图 1-12 闪电/高强度辐射场维护分析逻辑决断分析流程

通常情况下,航空器涉及 L/HIRF 的项目较少,所以一些航空器制造厂家在区域分析的最后增加 L/HIRF 分析,也可针对 L/HIRF 项目单独进行维修任务分析。L/HIRF 维修工作的目的是减少由于单个故障(如雷击)或者一个普通故障(例如 AD 和 ED)对 L/

HIRF 防护系统的冗余通道造成的影响, 从而影响飞机的适航性。MSG-3 中 L/HIRF 分析程序包括确定飞机 L/HIRF 防护系统的预定维修工作的指导性方针, 每个 L/HIRF 防护项目按照环境恶化和/或偶然损伤引起衰退的敏感性来评估, L/HIRF 防护系统维修工作的制定是在飞机型号审定和 MRB 报告的制定时进行的。基于防护系统失效的后果, 采用逻辑图形式分析, 确定合理有效的维修任务以及维修检查间隔。如何确定检查间隔和合理有效的任务类型对于 L/HIRF 的检查具有关键的作用, 对于 L/HIRF 防护最常用的检查方式是一般目视检查。另外, 考虑检查区域内 L/HIRF 防护部件的实际安装情况 (导线的密度、编织管道、连接器和设备的安装等)、接近的难易程度以及防护部件退化情况, 采用专门的任务类型, 当 GVI 无效时则考虑详细检查、功能检查或者报废。当所有任务均无效时, 则 L/HIRF 防护部件需要进行重新设计。

### 1.4.3 维修审查委员会报告

依据 CCAR 21.50、CCAR 121.151、CCAR 121.364、CCAR 121.367、CCAR 135.45、CCAR 25.1529 条和 CCAR 25 附录 H, 航空器制造厂家应制定一份供局方批准和为航空运营人使用的初始最低计划维修和检查要求, 即维修审查委员会报告 (MRBR)。

2015 年 5 月 25 日, 民航局飞标司发布了咨询通告 AC-91-26 《航空器计划维修要求的编制》, 在该咨询通告中明确了民用航空器制造厂家应该采用 MSG-3 的分析方法制定计划维修要求, 分别针对运输类飞机和非运输类航空器维修计划制定流程做了说明, 运输类航空器计划维修任务的制定流程如图 1-13 所示。为了保证维修任务的有效性, 航空器制造厂家应当在航空器交付运行后建立机队使用数据的收集、处理、分析的完整的可靠性管理体系, 然后结合机队使用数据的分析和 MSG-3 维修任务分析, 对计划维修任务进行持续优化。

维修大纲的制定是一项复杂的系统工程, 航空器制造厂家在制定初始的维修大纲前需要建立专职的 MSG-3 维修分析团队, 在维修任务分析的初期, 需注重对重要源头输入文件例如“系统安全性分析 (SSA)”做充分参考。在完成维修大纲和维修手册的初稿时需对所有的维修程序进行验证, 确保维修任务的可操作性和手册编写的准确性。在航空器投入运行后, 应当建立航空器机队使用数据的收集、处理、分析的完整的可靠性管理体系, 对维修任务进行持续优化, 定期评估并修订航空器的维修大纲。

#### 工程实例 2

A320 系列飞机的维修方案是完全按照 MSG-3 的分析逻辑制定的, 目前使用的维修计划文件 (MPD) 将维修任务分成系统 (包括发动机和辅助动力装置 APU)、结构 (包括腐蚀防护和控制方案 CPCP 工卡) 和区域三个部分, 每一部分的维修工作又以飞行小时 (FH)、飞行循环 (FC) 和日历时 (DY/MO/YE) 三个参数进行控制, 使得营运人可以根据自己的飞机营运情况最大限度的合理安排飞机的维修工作, 降低维修成本, 增加飞机的利用率。MPD 中的每一项工作除了对其维修任务进行了具体的工作任务定义并明确检查方法外, 还指明了其来源 (MRBR、ALI、CMR 和 CPCP), 维修人员对飞机进行的维修工作内容及其重要程度可以一目了然。

在一次某架 A320 飞机的 1C (5500FH/3400FC/20MO) 检中, 系统/动力装置的维修任务共有 183 项, 结构项目共有 8 项, 区域检查项目共有 39 项, 其中适航限制项目

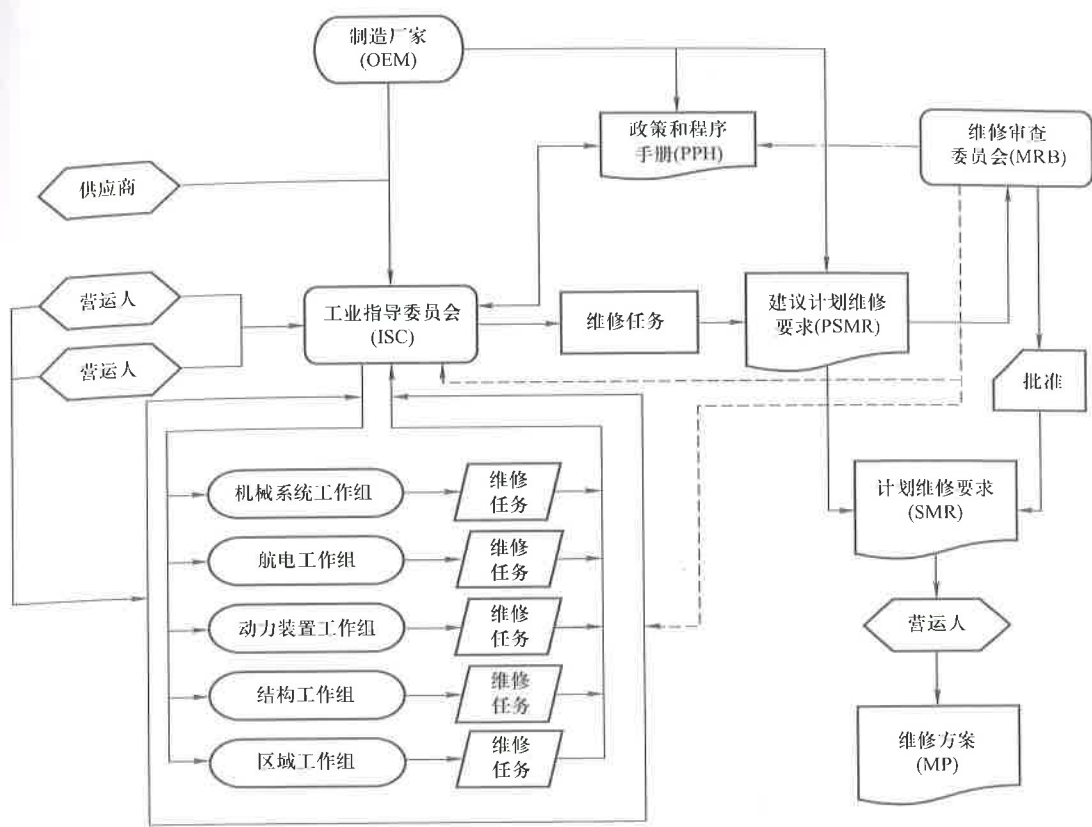


图 1-13 运输类航空器计划维修任务制定流程图

(ALI) 为 12 项, 审定维修要求项目 (CMR) 为 9 项。在系统/动力装置的工卡中操作检查/功能测试占有的比例为 47%, 充分体现了对系统完整性的要求 (从上到下的系统角度)。检查和详细检查工卡占有比例为 35%, 而拆装/报废的工卡只占有 4%。依据 MSG-3 分析逻辑增加的区域检查工卡不仅要求检查系统/动力装置的安装情况和状态, 结构状态和导线的安装情况, 还要检查与之相关的整流罩、盖板及其项目的状态, 确保指定的检查区域的整体安全性和可靠性。综合分析各种工卡所占有的比例及其检查要求, 能够更加深入了解 MSG-3 分析逻辑中的自上而下的分析理念, 从而更好地理解工卡的工作内容以及对维护人员工作能力的要求, 更合理的进行维修工作, 从而降低维修成本, 确保飞行安全。

## 参考文献

- [1] ATA MSG-3 运营人/制造厂家预定维修大纲制定文件 [S], 2009. 1.
- [2] ATA MSG-3 Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development, Volume 1—Fixed Wing Aircraft [S]. America: Air Transport Association of America, 2013.
- [3] ATA MSG-3 Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development, Volume 2—Rotoraircraft [S]. America: Air Transport Association of America, 2013.

- [4] AC-121/135-67 维修审查委员会和维修审查委员会报告 [S]. 北京: 中国民用航空局飞行标准司, 2006.
- [5] 中国民用航空局. AC-91-26 航空器计划维修要求的编制 [S], 2015. 05.
- [6] 耿端阳, 左洪福, 刘明等. 民用飞机计划维修工作决策支持方法研究 [J]. 航空学报, 2006, 27 (5): 861-863.
- [7] 王勇, 徐志锋, 王莹. MSG-3 系统失效影响分析原理 [J]. 航空维修与工程, 2013 (2): 71-74.
- [8] Jiang W U, Plant O. Health State Evaluation Method for Light Aircraft [J]. Mechanical Research & Application, 2017 (1): 11.
- [9] Gonçalves F C C, Trabasso L G. Aircraft Preventive Maintenance Data Evaluation Applied in Integrated Product Development Process [J]. Journal of Aerospace Technology and Management, 2018, 10.
- [10] Gerdes M, Scholz D, Galar D. Effects of condition-based maintenance on costs caused by unscheduled maintenance of aircraft [J]. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2016, 22 (4): 394-417.

## 第2章 航空公司维修方案

航空公司维修方案简称维修方案（AMP），有的称为客户维修方案（CMP）或维修要求系统（MRS），本书统称为维修方案。维修方案是指一套文件，该文件描述、说明了适用于特定飞机并确保其安全运行的维修任务，及其实施的周期和相关的程序等。维修方案应当基于 MRBR 编制，同时航空运营人还应当结合设计批准书持有人推荐的维修计划大纲、飞机的实际运行环境、运行种类、使用特点以及局方的强制要求等。维修方案是航空公司实施计划维修的具体安排，是运行规范的重要组成部分，体现了航空运营人的责任和机队全寿命管理的原则和方法，必须保持其正确、完整、有效，做到动态管理，有效控制。

### 2.1 维修方案制定

#### 2.1.1 管理部门对维修方案的要求

CCAR121 部第 121.367 条“飞机维修方案”要求：（a）合格证持有人应当为其所运营的每架飞机编制维修方案，并呈交给局方审查批准后按照方案准备和计划维修任务。（b）合格证持有人飞机的初始维修方案应当以局方批准或者认可的计划维修要求以及型号合格证持有人的维修计划文件或者维修手册中制造商建议的维修方案为基础。在咨询通告 AC-121-53《民用航空器维修方案》中，进一步说明了管理部门对维修方案的要求。

维修方案的主要特点包括：

##### （1）强制性

维修方案是航空公司必须制定，并依据此执行维修工作的指令性文件。

##### （2）实用性

航空器运营人通过制定、实施、调整优化维修方案，确保航空器安全运营、维修任务有计划执行、满足各类适航性规定、保证运营可靠性、平衡安全性和经济性要求、合理制定停场时间等。

##### （3）系统性

维修方案是一个科学的、完整的系统。从它的制定、实施、变更、控制和批准都有严格的程序和必须遵守的规定和要求，航空公司必须建立一套完整的文件体系、管理体系和具体的程序，才能确保维修方案的正确、有效实施。

##### （4）复杂性

维修方案编制方法复杂，涉及的技术文件多，考虑因素多。

##### （5）动态性

航空运营人应根据需要、要求、使用情况的变化，通过可靠性管理等手段对维修方案进行持续不断的调整和优化，以保持航空器的持续适航性、安全性、可靠性、经济性。

### 2.1.2 维修方案的制定依据

航空运营人在制定维修方案时, 主要依据的技术文件和资料包括:

- (1) 机型的维修大纲 (MRBR) 或技术维修规程和有关的服务通告;
- (2) MSG 分析程序 (用于制定航空公司自选和改装项目的维修检查要求或为修改维修任务和间隔进行补充分析, 参与 MRBR 制定和修改);
- (3) 制造商提供的 MPD 或等效文件;
- (4) 适航性限制部分、审定维修要求和适航指令;
- (5) 飞机制造方供应商推荐和国家标准要求的时限和维修检查要求;
- (6) 航空公司根据运营类别、运营环境和条件制定的维修检查要求, 如双发飞机 ETOPS 飞行、II/III 类运行, 高原机场运行等;
- (7) 飞机特殊构型要求 (自选设备、客舱布局和公司要求的飞机改装等);
- (8) 局方规章要求;
- (9) 航空公司对飞机进行重要修理和重要改装增加的维修检查要求;
- (10) 经济评估 (飞机直接维修成本分析和控制报告等) 提出的建议。

维修方案的制定依据如图 2-1 所示。

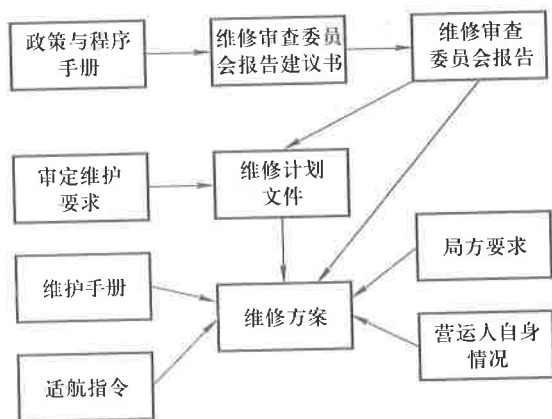


图 2-1 维修方案制定依据

### 2.1.3 维修方案的内容

维修方案的内容主要包括: 概述和计划维修要求。

#### (1) 概述

维修方案的目的、适用范围、编写依据、机队特点和运营要求、名词术语、表格说明、方案修改和手册的有效性控制等。

- ① 适用的机型、机号以及发动机和 APU 等型号;
- ② 方案的依据: MRBR 或 MPD, ALS, 其他技术文件, 如补充结构检查大纲、腐蚀预防与控制大纲, 适航指令和服务通告等列入方案情况;
- ③ 适用范围, 航空器预计的日利用率和平均航段时间等;
- ④ 机队主基地、停放机场、航线结构特点和要求, 以及基地机场环境特点和维修能力;

⑤ 维修计划的主要控制参数及转换规则、各级维修检查的区分和间隔数值，还包括定义和缩略语解释；

⑥ 维修方案的更改和控制：规定更改周期和说明，要求所有使用、监督单位必须有一套现行有效的维修方案。

### (2) 计划维修要求

计划维修要求是维修方案中的必备项目，应包括航空公司要求完成的所有计划维修和检查任务，可以根据机型特点、运行要求和经验进行组合。维修检查的具体项目以表格的形式给出。

#### ① 系统/动力装置维修检查要求

包括：系统和动力装置维修检查规则、典型表格说明和以表格形式给出的维修检查项目（21世纪初开始，闪电/高强度辐射场防护要求和燃油箱系统适航性限制也包含在该部分维修检查要求中），部附件和动力装置的时限管理，明确统一的规定和管理需要在车间定期进行检查、修理和翻修的发动机、螺旋桨、部附件和设备，寿命限制件的管理原则等。

#### ② 结构维修检查要求

包括：检查规则、典型表格说明和以表格形式给出的项目，以及腐蚀预防和控制大纲中的相关内容。

#### ③ 区域维修检查要求

包括：所检查区域的可见部分，系统安装是否正常和牢固，电气线路互连系统和闪电/高强度辐射场的一般技术状况，一些用来接近特定区域而必须拆下/打开的整流罩、面板和其他项目的内外表面的一般情况。

#### ④ 抽样检查大纲

波音要求将结构疲劳的抽样检查要求包含在结构检查的 DTR 检查表中，由用户根据情况选择。空客要求每个用户机队制定一个抽样大纲，选择的样本飞机是机队中机龄最长或飞行循环次数最多的。

#### ⑤ 特殊运行维修要求

包括：水域飞行，II类和III A/B/C类运行，缩小垂直间隔标准运行（RVSM），飞机延伸航程运行以及所需导航性能（RNP），新航行系统，极地飞行和在磁场不可靠区域飞行，在高原机场运行和在高山地区航线飞行等。对于从事特殊运行的飞机，要求制定所要求的维修方案或特殊维修检查要求。这些特殊运行维修要求，有的直接加入维修方案，有的编辑为专门文件或工作单，成为维修方案的组成部分。注：II类运行是指决断高度低于60m（200ft）但不低于30m（100ft），跑道视程不小于300m的精密进近着陆；III A类运行是指决断高度低于30m（100ft）或无决断高度，跑道视程不小于175m的精密进近着陆；III B类运行是指决断高度低于15m（50ft）或无决断高度，跑道视程小于175m但不小于50m的精密进近着陆；III C类运行是指无决断高度和无跑道视程限制的精密进近着陆。

#### ⑥ 其他维修检查要求

根据国家或局方要求增加的检查要求，如应急定位器（ELT）的检查、试验和寿命要求等。

### 2.1.4 维修方案的转换

当航空运营人引入使用过的航空器时,需要先对飞机技术状态进行检查,再对原来维修方案进行转换。首先需要对航空器进行维修任务评估,确定是否需要增加或减少维修项目,若有则加入维修方案;然后进行时间转换,即将机身、动力装置、螺旋桨和部附件已使用的累计时间转换为航空运营人维修方案规定的时间和参数,具体换算原则可参考 AC-121-53,转换后加入运营人维修方案。

## 2.2 维修方案实施

维修方案的实施是通过一系列工作和程序实现的,首先制定执行计划。该计划规定了实施维修方案的基本程序,也称为维修任务工作计划(MTOP),AC-121-66中称其为维修计划和控制。维修方案执行计划对航空运营人不做强制要求,但它是保证正常运行所必需的,缺乏维修方案执行计划 and 控制的航空运营人不能说明其维修方案实施情况,可能会在审批时遇到困难并受到管理当局频繁的监察。

维修方案的实施包括准备工作单、制定执行计划,按照工作单要求和公司的资源实施维修检查,填写维修记录,完成维修工作后审核归档等。MTOP 需要科学分配各种维修资源,按规定实施维修任务、记录并反馈相关信息。

### 2.2.1 准备维修工作单

维修工作单又称工作卡或工卡,不是规章要求项目,但是维修行业“最好的习惯”。工作单是运营人的飞机维修方案、维修手册和其他维修要素的组合,是一种用简单的方法满足规章关于维修要求的手段,是航空公司维修/检查工作的指令性文件,包括实施维修工作的方法、程序、标准、使用材料、相关提示和执行记录,用于证明维修工作完成情况。完成维修工作并正确填写工作记录和正确签署的工作单,是维修质量和航空器适航性的证明,是飞机技术状况和履历记录的一部分。

工作单既是维修活动符合运营人手册要求,符合公司政策和程序的保证,也是记录工作符合情况的技术和标准,并且是可靠性信息收集的主要途径之一。

工作单的开始部分应该写明要做什么工作,什么时候做以及参考文件,这部分来源于航空公司维修方案。后面列出维修施工要求和需要的材料、工具,这部分来源于机型的技术资料和手册或通用工业标准等。

国内维修单位一般使用中文,至少要包含以下内容:

- (1) 单位名称;
- (2) 工作单标题或名称和编号;
- (3) 维修工作执行时间或字母检级别;
- (4) 维修工作实施依据;
- (5) 飞机注册号和累计飞行时间或件号和工作时间;
- (6) 所要求的器材、工具和设备;
- (7) 工时记录和飞机停场时间;

- (8) 编写和批准者姓名；
- (9) 维修施工要求；
- (10) 工作单实施结论；
- (11) 工作者及其签名或者盖章；
- (12) 完成日期。

工作单具体如图 2-2 所示。

XXX AIRLINES

Job Card 工卡号: A20J215800-01-1-1

MECHANIC & ELECTRICAL  
机电

Fuselage  
机身

A/C Type  
机种: A319/A320/A321

A/C Tail No.  
飞机号:

Maint. Station  
维修站:

Work Order  
工作指令号:

Workorder Date  
工作指令日期:

Print Date  
打印日期:

JC SEQ No.  
顺序号:

|                                                                                         |                                   |                             |                                                                       |                                               |                   |                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------|
| Threshold 阈值:<br>6000FH or<br>72MO                                                      | Interval 间隔:<br>6000FH or<br>72MO | Man Hours 工时:<br>1          | Labor 人力:<br>2                                                        | Revision 修订:<br>2018-08-01                    | Version 版本:<br>R3 | Written/Revised By 编写/修订:<br>XX 2019-02-12 |
| Station 站址:<br>N/A                                                                      | Slinger 吊架:<br>N/A                | Related Card 相关工卡:<br>N/A   | Reference Documents 参考文件:<br>21-58-00-200-001-A<br>21-58-42-000-001-A | Reviewed/Approved By 审核/批准:<br>XXX 2019-02-20 |                   |                                            |
| Zone 区域:<br>191                                                                         | Access Panel 检修盖板:<br>191BB       | MPS And MRE 号:<br>21-58-101 |                                                                       |                                               |                   |                                            |
| Job Title<br>工作标题:<br>Remove - CSAS Ozone Converter for cleaning<br>拆下 - CSAS 臭氧转换器进行清洁 | Mech<br>机械员                       | Inso<br>检验员                 |                                                                       |                                               |                   |                                            |

Tools & Equipment 工具和设备:

|   | P/N(RF)件号(参考)        | QTY 数量       | DESIGNATION 名称                        | REMARK 备注                                                           |
|---|----------------------|--------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1 | No Specific<br>无特殊规定 | 1            | Access Platform<br>接近平台               | H./高: 2M (6 FT)<br>APP/适用性: All/所有飞机<br>From/来源: 21-58-42-000-001-A |
| 2 | No Specific<br>无特殊规定 | AS REQ<br>按需 | Plug - Blanking<br>堵头                 | APP/适用性: All/所有飞机<br>From/来源: 21-58-42-000-001-A                    |
| 3 | No Specific<br>无特殊规定 | AS REQ<br>按需 | Safety Clip-Circuit Breaker<br>断路器保险夹 | APP/适用性: All/所有飞机<br>From/来源: 21-58-42-000-001-A                    |

图 2-2 某航空公司工作单示例

对工作单的管理需要从工作前开始，包括所需人员、工具及工作中易引发维修差错或需重点注意的内容的全面准备，详细的施工程序和完善的工作和评价标准。

2.2.2 维修方案执行计划

制定维修方案执行计划是实施维修方案的重要步骤，有的航空公司将它称为维修工作执行计划（MTOP）或维修计划和控制方案。航空公司习惯用字母表示的工作包组合实施维修方案，在飞机的 MRBR 和 MPD 取消字母检后，采用相同或相近时间任务的工作包组合方式。

### (1) 主要内容

维修资源计划, 飞机使用情况统计和发动机状态监控, 航线维修和勤务安排, 航空器定期维修计划, 航空器部附件监控和拆换计划, 机身增压舱的修理评定以及对重要结构修理、改装进行损伤容限评估制定的补充检查的执行计划, 维修有关的分析、化验和飞行记录器译码, 航材供应和送修控制。

### (2) 基本程序

- ① 按照公司维修方案和飞机技术手册编写工作单;
- ② 技术、质量和生产管理部门和车间共同评审工作单施工和签署要求;
- ③ 根据工作单和技术手册要求, 准备所需要的工具、设备、器材和材料;
- ④ 审查非计划维修工作单和维修任务的符合性和人员技术准备情况;
- ⑤ 确定工作单或某些工序是否属于或含有所要求的检查项目并做出标记;
- ⑥ 预计完成工作单的计划工时和停场时间, 并要求记录实际完成时间;
- ⑦ 将同一工组或同一人实施的工作单进行组合, 形成工作包, 列出所有工作单的目录清单和执行时间。

维修单位编制某期定期维修的总维修工作项目清单配以相应的工卡, 形成定期检修工作包, 下发车间执行, 同时, 通知工程、质控、航材、工具设备部门做好相应的准备和各项保障工作。

从事维修工作的车间接到维修计划和相应的工作单后, 应认真研究, 分配合格的人员或小组, 在技术部门支援配合下, 按照工作单、手册或标准完成飞机的维修检查工作, 并进行记录和签署。在维修工作实施过程中, 如果发现工作单缺陷、错误或不符合具体情况, 应向具体部门反馈, 按规定修改, 保证其符合性。

维修计划执行流程如图 2-3。

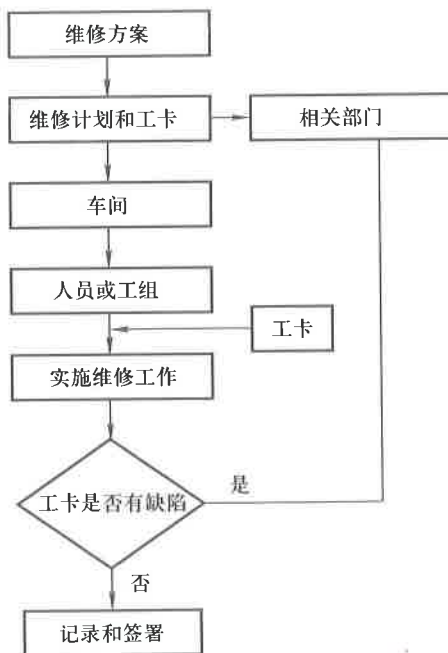


图 2-3 维修计划执行流程

### 2.2.3 维修控制中心 (MCC)

为保证维修计划的准确性和可控性,及时处理飞机运行发生的问题,航空公司维修计划和控制部门都建立维修控制中心(MCC)或等效机构,以便及时掌握航班状况和航线维修信息、协调维修资源、快速处理运行中发生的问题并与运行控制部门协调。其基本职能包括:

- ① 航空器调配;
- ② 使用中发现重复故障的排除及发布临时非例行检查和维修指令;
- ③ 正确执行航空器 MEL 并对现有的 MEL 项目实施控制;
- ④ 维修人员、工具设备和器材的调度和调配;
- ⑤ 应急处置,包括空中和地面紧急事件援助和地面紧急事件处理。

## 2.3 维修可靠性管理

目前飞机维修大纲和维修方案多采用 MSG-3 思想制定,在确定飞机系统/动力装置和结构等的维修方式的同时,也要求对其技术状况进行持续分析和控制,用来保持航空器维修大纲和方案的有效性和适用性。可靠性方案就是用来持续分析航空公司维修方案的科学管理方法。

CCAR121 部第 121.368 条“可靠性方案”中要求:合格证持有人应当建立可靠性管理体系来持续监控维修方案的有效性,对于机队较小的飞机可以采用加入其他合格证持有人或者飞机制造厂的可靠性管理体系的方法。可靠性管理体系监控的项目应当至少包括飞机各主要系统、维修重要项目和结构重要项目。

航空公司应建立可靠性方案,通过统计可靠性和事件可靠性分析,持续监督评价维修、翻修、校验和检查任务和间隔,并建立性能控制标准,持续监控飞机和系统的可靠性状态并用于维修方案的修订。

### 2.3.1 维修可靠性方案

维修可靠性反映飞机系统和结构功能改变和故障对运营的影响,包括影响运营可靠性的飞机故障,同时也对机组报告故障、维修检查发现故障和缺陷等不影响运营可靠性的飞机故障进行管理。通过对机队维修可靠性分析研究,及时发现并采取相应措施,保证飞行安全和可靠运行。

维修可靠性分为统计可靠性和事件可靠性。统计可靠性采用统计学方法对飞机系统和部附件的故障、拆换和翻修信息进行采集和分析,识别飞机和附件技术状况的变化是否处在可接受范围;事件可靠性是对单独事件按照可靠性要求进行分析并采取相应措施。

维修可靠性方案简称可靠性方案,是用来衡量飞机及其系统性能、管理维修计划且被局方批准的一套规则和方法,也是一种指导可靠性管理的方法和程序。可靠性方案对飞机整机、系统、部件、结构、动力状态进行监控,与可接受的性能标准进行比较,迅速识别性能恶化趋势,在出现更严重故障前采取纠正措施,并对纠正措施进行监控。

可靠性方案的主要监控项目包括:飞机系统故障,动力装置故障和非计划拆卸,附

件故障和非计划拆换, 非计划维修, 计划维修内容和频度, 飞机结构损伤和故障。

通过可靠性监控如果发现项目的可靠性性能下降, 故障超过警戒值, 发出报警通知、实施工程调查与分析, 制定并执行纠正措施, 恢复可靠性水平, 保证飞机安全可靠运行。

### 2.3.2 可靠性方案的管理

可靠性方案的主要内容包括: 采集数据, 分析数据和性能标准, 工程调查和纠正措施等。可靠性管理是一个闭环控制过程, 要求对飞机使用、维修过程中产生的质量和可靠性信息进行数据收集和分析处理。采集数据应及时、准确、完整和连续, 然后对数据信息进行分析处理, 鉴定性能是否恶化和不良趋势, 必要时请工程技术部门调查和分析, 查找可能原因, 制定纠正措施。纠正措施实施后, 要对实施效果进行跟踪监控, 循环往复。具体控制过程如图 2-4 所示。

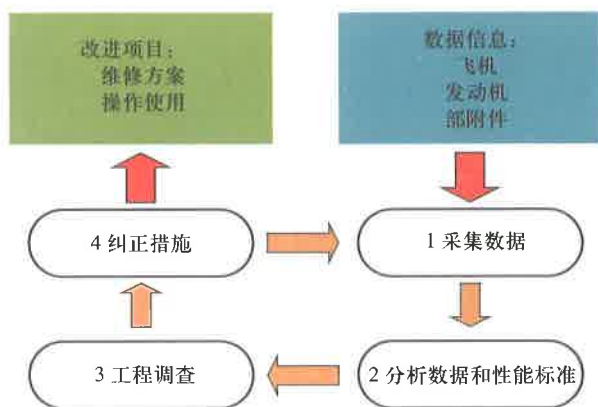


图 2-4 可靠性闭环控制

#### (1) 采集数据

飞机在使用和维修过程中会产生和收集到大量数据, 这些数据可用来判断飞机技术状况, 不断改进维修和管理, 为改进设计提供信息。采集到的数据必须及时、准确、完整和连续, 只有真实的数据, 才能保证分析得到的结果具有较高的可信度。

数据主要来自于飞行员、乘务员、维护人员、运控中心和航材部门, 具体数据主要有飞机、发动机使用数据, 系统故障系统, 重要/不正常事件, 部件拆换和修理数据等。采集到的数据保存在计算机系统中。具体如图 2-5 所示。

#### (2) 分析数据和性能标准

从飞机实际运行中获取数据后, 对收集到的数据进行统计分析, 建立以数学形式表达的性能标准。利用统计可靠性建立的性能标准规定了可接受的不可靠度的最大值。满意的可靠度不能超过这个指标值, 若超过则需要采取相应的措施。

##### ① 警戒值的确定

飞机的可靠性状况是通过当前与过去性能比较来确定的, 表述过去性能状况的参数称为警戒值。警戒值是一种事件出现的概率, 若实际状况超出警戒值, 要求进行一次调查。警戒值是由过去 12 个月使用数据确定的, 并且每隔 12 个月重新计算一次, 每次调整幅度应当根据航空运营人的使用经验并能反映出季节和环境因素的影响。警戒值用于飞

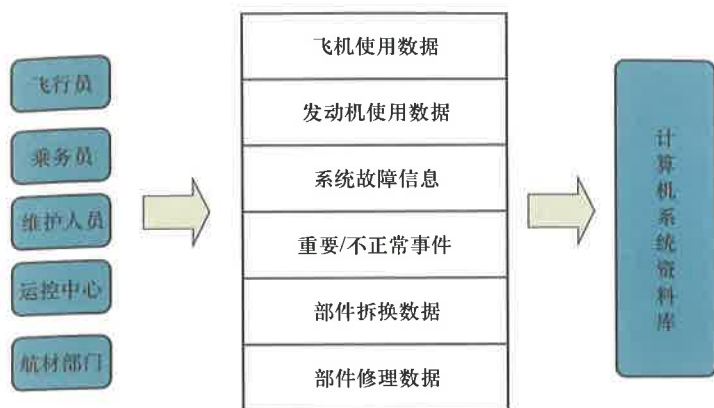


图 2-5 采集数据

机整机、系统、动力装置和部件，来描述期望或不期望的趋势或状况，有时被称为上控制限（UCL）。

确定警戒值依据可靠性的概率理论，可靠性统计的各种事件通常均服从正态分布、泊松分布，计算样本是在运行条件比较稳定、偶然因素起作用的情况下选取，根据过去 12 个月发生的事件统计。

不同航空公司选取的分布模型可能存在差异，但最常用的是正态分布。在正态分布下，计算警戒值。

$$(UCL) = \bar{X} + K\sigma$$

其中： $\bar{X}$ ——平均值

$X$ ——每月的比率

$N$ ——统计计算的月数

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}}$$

$K$ ——计算因子，也称为系数，其数值代表警戒值的置信水平。

按照正态分布，警戒值是过去 12 个月数据计算的平均值再加上标准偏差的放大值，具体参考 AC-121-54。应当为每个需要分析的系统或附件设置警戒值。

## ② 警告和警告状态

警告：当每月的或 3 个月的平均出现率超过了 UCL 时，则存在一个警告。根据显示的比率和有无改善或恶化的趋势，可能会分为多种警告状态。

对收集、计算数据与计算得到的性能指标（警戒值）进行比较，确定系统和部件的可靠性状况，研究其变化趋势，为工程调查并采取措施提供信息。

维修方案可靠性要求每月的性能水平，如日利用率/可用率、航班不正常率、系统报告故障率、部件非计划拆换率、平均非计划拆换时间等，与已制定的警戒值相比较来确定系统或部件的可靠性状况，当飞机、系统、发动机或部附件可靠性处于警戒状态时，

可靠性监控部门应进行该项目故障模式、原因及其影响后果的初步分析, 确认警戒状态的正确性, 以周报、月报、警告通报、季度小结和年度总结的方式发出可靠性警戒状况报告, 如图 2-6 所示。之后, 工程技术部门将进行详细的调查和分析。

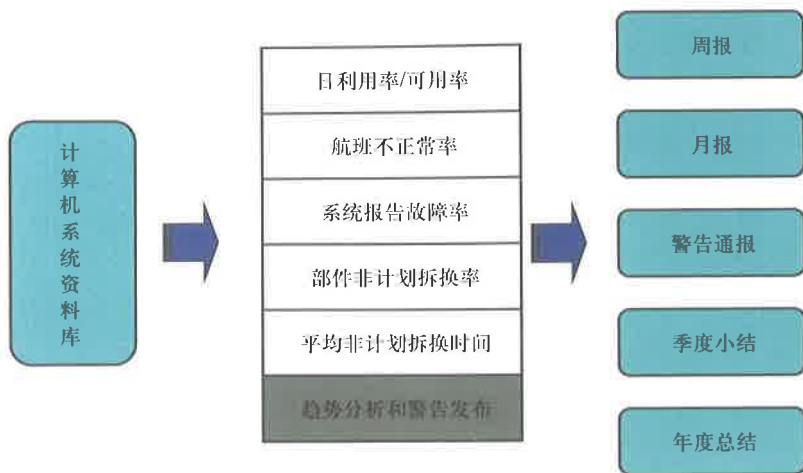


图 2-6 分析数据和性能标准

### (3) 工程调查

当一个主要性能参数进入警告状态时, 工程技术部门应及时进行调查分析, 提出系统或部件警戒状态分析报告。具体的调查报告要根据系统、动力装置和部附件的数据分析结果, 对航线维护质量、定检维修质量、工程技术部门调查、维修方案调查、部件送修质量调查且与世界上其他机队和其他公司比较结果提交给可靠性管理委员会, 如图 2-7 所示。

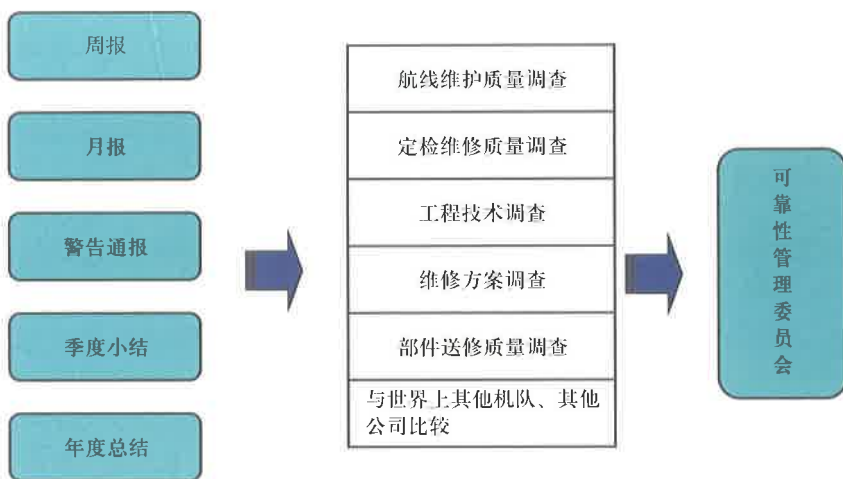


图 2-7 工程调查

### (4) 纠正措施

纠正措施是可靠性维修控制的核心, 可靠性管理重在纠正, 每次发生超出规定的偏离, 都应有相应的纠正措施。纠正措施由工程部门制定, 由可靠性管理委员会批准实施,

并在随后的运行过程中监控其实施效果。

可靠性管理委员会对工程调查的结果进行评估分析，最终确定具体改进措施，如航线/定检维修质量改进、工装设备改进、部件修理质量改进、维修方案修改、人员培训和注意飞机操作和使用等，由相关部门进行改进，相关可靠性部门进行监控改进效果，如图 2-8 所示。

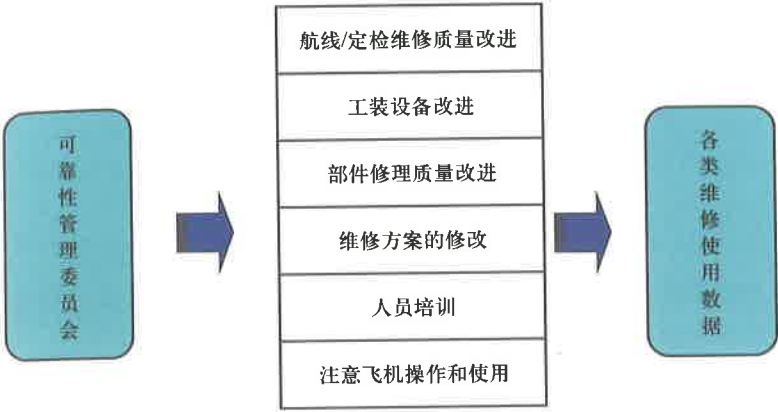


图 2-8 纠正措施

综上所述，可靠性管理的闭环管理流程如图 2-9 所示。

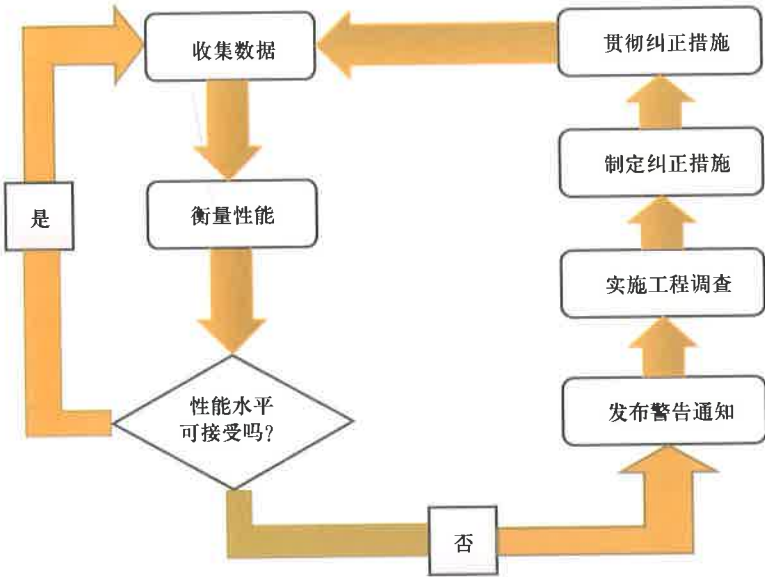


图 2-9 可靠性管理闭环管理流程

某航空公司“前轮转弯故障导致拖把剪切销折断故障调查”实例。

2019 年 5 月 5 日，某架 A330 在推出时前起落架拖把接耳的一个剪切销断裂，更换转弯控制盒后测试正常，故障造成航班延误。拆下的转弯控制盒在车间测试时未能确认故障。

工程调查: A330 飞机通过操作前起转弯控制盒上的转弯旁通手柄到拖飞机位来解除前轮转弯, 拖飞机完成将旁通手柄放回 FLIGHT 位后, 如果转弯系统可用, 前轮将自动定中。

前轮转弯正常断开后会在飞机电子中央监控 (ECAM) 上显示绿色 “N/WS DISC” 备忘信息, 如果有发动机运转则显示琥珀色 “N/WS DISC” 信息。刹车/转弯控制组件 (BSCU) 软件升级后, 可以避免在推出过程中因 5GC 突发故障而导致的前轮转弯非指令性接通。在拖把连接状态下对飞机液压系统增压 (或发动机起动) 前, 通过检查 “N/WS DISC” 备忘信息来确认前轮转弯系统是否已正确解除, 可以有效避免推飞机过程中因前轮转弯故障导致拖把剪切销折断或前起落架结构损伤。

建议措施: 在 FCOM 和 QRH 推出或起动前的标准操作程序中要求机组在推出前检查前轮转弯脱开的备忘信息。

A320、A380 和 A330 系统逻辑类似, 建议在航线推飞机程序中增加 “对于空客机队飞机, 拖把连接拖车前与机组确认 ECAM 已正确显示 N/WS DISC 备忘信息”, 避免因系统故障或人为原因导致前轮转弯系统从一开始就没有正确断开。

空地交流时向机组介绍相关原理, 建议机组如果在推飞机过程中起动发动机, 先确认 ECAM 正确显示 N/WS DISC 备忘信息。

### 2.3.3 可靠性管理机构及各部门职责

可靠性管理的机构通常包括可靠性管理委员会及其所属部门, 有的航空公司称为可靠性控制委员会。可靠性管理委员会主要负责评估可靠性报告、批准纠正措施和维修方案的更改, 决定可靠性方案的修订, 保证维修工作符合标准并对发出的警告通知进行跟踪调查、保证纠正措施得到实施等。可靠性管理委员会每月召开一次会议, 会议记录或备忘录由可靠性办公室负责存档。

不同航空公司维修可靠性管理机构的设置和 workflows 不同, 大的航空公司在可靠性管理委员会下设不同部门, 从各个方面提供和收集维修和可靠性信息, 共同保证可靠性方案的实施。

#### (1) 可靠性办公室

可靠性办公室负责日常维修可靠性管理, 是可靠性管理委员会的常设机构。经可靠性管理委员会主席批准的纠正措施, 由可靠性办公室发布、监督实施和评估。

#### (2) 工程技术部

工程技术部负责制定维修标准、程序和方案, 并对可靠性方案证实的警告情况进行调查和分析。

#### (3) 生产计划和控制部

生产计划和控制部门是维修单位生产指挥和信息汇总单位, 从所有维修工作中收集服务信息数据, 计划并安排飞机的维修和检查、附件更换以及飞机、系统和附件的改装, 保证修改的工作文件完整性, 并印发给维修部门, 收集维修部门的实施维修和改装信息等。

#### (4) 其他部门

其他部门包括维修部门、翻修和修理车间, 维修控制中心, 维修培训部, 航材保障

部等,各管理部门和生产单位按照机构分工和职责,保证飞机的适航性和可靠性方案的正确性,提供维修和改装中发生或发现的所有信息,以及对纠正措施的跟踪信息。

#### 2.3.4 可靠性方案的修改

可靠性方案的修改是为保证可靠性监控系统持续有效的闭环控制过程,尤其是警戒值的修改。

可靠性方案的所有修改都须经可靠性管理委员会批准,超过职权范围的修改,经可靠性管理委员会同意后向管理当局申请并获得批准。

### 参考文献

- [1] 常士基,刘延利,郭润夏.民用航空维修工程[M].航空工业出版社,2018.
- [2] 邢丞.探索低成本航空的维修计划执行方案[J].航空维修与工程,2009(04): 76-78.
- [3] 江曦.中小型航空公司维修可靠性管理解决方案[D].成都:电子科技大学,2013.
- [4] 马嘉.中小航空公司可靠性方案的制定与数据分析[D].北京:北京邮电大学,2011.