



以可靠性 为中心的维修

〔美〕 F.S. 诺兰 著
H.F. 希普

上 册

中国人民
解 放 军 空军第一研究所

以可靠性为中心的维修

〔美〕 F.S. 诺兰 著
H.F. 希普

刘 云、王立群等 译

王立群 校

上 册

一九八二年十月 北京

目 录

前言.....	(7)
词汇表.....	(12)
提要.....	(34)
一种维修原理.....	(49)
第一章 以可靠性为中心的维修——一门 维修学科.....	(54)
1.1 以可靠性为中心的维修分析的 沿革.....	(56)
1.2 RCM 决断逻辑的基础.....	(58)
1.3 复杂装备的可靠性问题	(62)
1.4 维修工作的 概 观.....	(66)
第一部分 理论和原理.....	(70)
第二章 故障的性质.....	(71)
2.1 故障的 定义.....	(72)
2.2 故障的 后果.....	(75)
2.3 故障的 发现.....	(82)

2.4	多重故障.....	(87)
2.5	故障过程.....	(91)
2.6	复杂项目的故障.....	(99)
2.7	故障的定量描述.....	(102)
2.8	工龄—可靠性特性.....	(109)

第三章 四类基本的维修工作..... (114)

3.1	定期视情工作.....	(115)
3.2	定期拆修工作.....	(120)
3.3	定期报废工作.....	(124)
3.4	预定的隐患检查工作.....	(127)
3.5	四类基本工作的特性.....	(131)
3.6	预定维修大纲的范围.....	(140)
3.7	作为预防性维修的产品改进.....	(146)

第四章 初始大纲的制订..... (150)

4.1	重要项目的性质.....	(151)
4.2	RCM决断方法.....	(159)
4.3	RCM决断图的应用.....	(165)
4.4	经济效果的确定.....	(174)
4.5	工龄探索.....	(182)
4.6	维修工作的组合成套.....	(186)

第五章 以可靠性为中心的维修大纲的 修订..... (190)

5.1	使用数据的应用	(191)
5.2	对严重故障的反应	(195)
5.3	维修大纲的修改	(200)
5.4	维修要求的修订	(207)
5.5	产品改进过程	(210)
5.6	现役装备的RCM大纲	(220)

第二部分 应用..... (223)

第六章 RCM理论在飞机上的应用... (224)

6.1	RCM 原理的概述	(225)
6.2	大纲制订组的组织	(229)
6.3	决断过程的开始	(231)
6.4	决断过程中的数据流动	(238)

第七章系 统的RCM分析..... (244)

7.1	系统项目的特性	(245)
7.2	收集所需的数据	(247)
7.3	典型系统项目的分析	(254)
7.4	确定工作周期	(284)

第八章 动力装置的RCM分析..... (286)

8.1	动力装置项目的特性	(287)
8.2	收集所需的数据	(290)
8.3	发动机基本功能的故障	(297)

8.4	发动机次要功能的故障.....	(309)
-----	-----------------	-------

8.5	工龄探索的作用.....	(319)
-----	--------------	-------

第九章 结构的RCM分析..... (324)

9.1	结构项目的特性.....	(325)
-----	--------------	-------

9.2	结构检查计划.....	(336)
-----	-------------	-------

9.3	收集所需的数据.....	(347)
-----	--------------	-------

9.4	结构项目的RCM分析.....	(352)
-----	-----------------	-------

9.5	确定初始的检查期限.....	(356)
-----	----------------	-------

9.6	结构的工龄探索.....	(376)
-----	--------------	-------

第十章 维修大纲的齐全..... (380)

10.1	其他的预定维修工作.....	(381)
------	----------------	-------

10.2	维修工作的组合.....	(388)
------	--------------	-------

第十一章 使用数据的利用..... (399)

11.1	典型的情报系统.....	(399)
------	--------------	-------

11.2	典型的常规分析种类.....	(411)
------	----------------	-------

11.3	维修大纲的修订.....	(419)
------	--------------	-------

11.4	间隔时间——数据问题.....	(439)
------	-----------------	-------

11.5	不同意见的解决.....	(441)
------	--------------	-------

11.6	大纲的精简.....	(444)
------	------------	-------

第十二章 预定维修的作用..... (446)

12.1	安全性、可靠性与预定维修.....	(446)
12.2	航空运输的安全性水平.....	(453)
12.3	设计与维修的伙伴关系.....	(458)
12.4	现役机队的 RCM 大纲.....	(461)
12.5	RCM 的扩大应用.....	(466)

第三部分 附录..... (469)

附录A RCM大纲制订过程的审核... (470)

A.1	大纲制订方案的审核.....	(471)
A.2	对决断过程的审核.....	(475)
A.3	对装备分析的审核.....	(487)
A.4	对现用大纲的审核.....	(494)
A.5	对现役机队的新大纲的审核.....	(495)

附录B RCM大纲的由来..... (498)

B.1	定时方针的矛盾.....	(499)
B.2	对定时方针的认识变化过程.....	(504)
B.3	视情维修的采用.....	(512)
B.4	美国空运协会的 MSG - 1 和 MSG - 2 大纲.....	(515)
B.5	预定维修与使用安全的关系.....	(517)

附录C 故障统计分析..... (520)

C.1	寿命试验数据的分析.....	(521)
-----	----------------	-------

C.2	从限定的日历期间所得数据的分析.....	(526)
C.3	修匀问题.....	(536)
C.4	混合总体的分析.....	(544)
C.5	几种实用的概率分布.....	(547)
C.6	指数分布的特殊用途.....	(554)

附录 D 文献..... (557)

D.1	发展情况.....	(559)
D.2	可靠性理论和分析.....	(562)
D.3	情报科学与决断分析.....	(566)
D.4	维修理论和原理.....	(570)
D.5	维修应用.....	(578)
D.6	其他参考资料.....	(582)

前 言

这本书是作为制订预定维修大纲的逻辑规则“以可靠性为中心的维修”(RCM)的第一次充分阐述。这种大纲的目标是要实现装备的设计所赋予的固有可靠性能力,并且以最低的费用做到这一点。RCM大纲中的每项预定维修工作,都是根据可以鉴别的而且十分明确的理由提出的。分析中对每一个可能的故障的后果都加以评定,并且按照后果的严重程度对故障分类,然后对所有的重要项目——其故障有使用安全性后果和重大经济性后果的项目(机件)——所提出的维修工作,都根据特定的适用性和有效性准则加以评定。因此所得出的维修大纲包括了所有为保证安全性和使用可靠性所需的工作,而且也仅仅包括能实现这一目标的工作。

迄今为止,叙述应用决断图制订维修大纲的唯一文件是MSG-2,即RCM分析的前身。MSG-2主要论述使用前大纲的制订,它未包括装备投入使用后利用使用数据来修订维修大纲,也未包括在装备发展中产品改进工作的作用。它的内容只集中于对这样一套工作的鉴别,这些工作能除去不必要的维修费用而对安全性和使用能力没有不利的影响。它没有提到确定工作间隔时间的问题,没有提到把一件件工作分别组合成一些成套的维修工作,也没有提到在缺乏必要的资料时的决策问题。它对结构部分的大纲的处理是粗略的,而且对结构的区域检查和其他的

一般检查大纲也完全没有讨论。

许多人在应用 MSG - 2 时所经历的困难, 表明了需对 MSG - 2 作修改和补充以阐明许多要点。同样十分清楚的是, 修改和补充的材料范围应当扩大到包括该文件原来所没有阐述的问题。本书就在重要功能项目和重要结构项目的鉴别问题的讨论上作了重要的扩展。RCM 决断图本身也与 MSG - 2 所用的有很大的差别。RCM 决断图的决断逻辑不是象 MSG - 2 决断图那样的从对所提出的维修工作的评定开始的, 而是从确定每个项目维修要求的要素——功能故障的后果——开始的, 然后评定造成功能故障的故障型式。RCM 大纲还采用机械员能完成的四类基本的维修工作来代替三种维修方式, 由此阐明了对隐蔽功能项目的处理。它强调了隐蔽功能在一连串的多个独立故障中的作用, 而且还表明, 可能发生的多重故障的后果在第一个故障的后果的定义中就明确地考虑了。

RCM 决断逻辑的另一个重要方面是, 它包括了在没有足够的资料时为作出初始的维修决断所用的暂定对策。对于规定工作间隔时间的问题, 特别是对规定第一次和尔后重复的视情检查的间隔时间问题, 作了充分的阐述。对于工龄探索的作用, 以及如何利用从使用经历中得出的数据资料来修订初始的维修大纲和改进产品的问题, 也作了详细的阐述。由对 MSG - 2 方法有经验的老手所制订的预定维修大纲, 其内容与由 RCM 分析所得出的大纲的内容可能是十分相似的, 但是 RCM 方法更为严密, 因而其分析结果应该更为可信。RCM 技术还能比较快地

学会，而且比较容易应用于运输机以外的复杂装备。

本书的第一部分对以可靠性为中心的维修的理论和原理作了充分说明，包括：对故障过程的阐述、四类基本工作中每一类的准则、制订初始大纲的决断逻辑的运用、以及能在装备投入使用后使大纲进一步改进的工龄探索工作。第二部分叙述：这些原理在飞机的各系统、动力装置和结构这三大部分的典型项目分析中的应用，在实际执行时对 RCM 工作本身以及和其他预定工作组合成套的讨论，以及管理维修大纲所必需的情报系统。第二部分的最后一章阐述预定维修与使用安全性的关系，设计与维修的伙伴关系，以及 RCM 分析在现役机种和其他类型的复杂装备上的应用。

本书的最后有四个附录。附录 A 概略地叙述审核大纲拟制方案的原则，并讨论在分析中会出现的几个共同性问题。这个材料为分析人员和审核人员提供了一份极好的审核表，而且它作为 RCM 方法训练小组的教学辅助材料也是特别有用的。附录 B 是对民航企业中维修思想变化的历史回顾。附录 C 是讨论在可靠性数据的统计分析中所用的工程方法与技术。附录 D 是由 J·L·道尔比博士编写的，它详述了有关可靠性理论、情报科学、决断分析及其他与 RCM 分析有关领域的文献，而且为这些文献以及有关以可靠性为中心的维修的具体文献提供注释性的指南。此外，H·L·列斯尼柯夫博士曾以《以可靠性为中心的维修的数学方面》为题，写过一本与本书为伍的数学论述。（译注：文献号为 ADA 066580。）

这种性质的这一本书是多方面努力的结果，这里只能

对少数人表示谢意。首先，我们向去任的 W·C·门泽表示感激，他在联合航空公司指导了对维修方针的开创性研究，并感谢联邦航空局为我们过去二十年的研究工作创造了条件。我们还要感谢国防部的 C·S·史密斯和 J·C·赛亚，他们为这本书确定了内容，并在编写过程中给我们提供意见；圣约瑟州立大学的 J·L·道尔比，除了编写文 献目录外，为这本书贡献了他的专长，特别是帮助我们研究重要项目的鉴定划分方法和作为决断逻辑一部分的暂定答案概念，还对有关统计的附录 C 给我们提供意见。N·克拉克对这本书作了校订和清楚的编排，她的条理性的思想方法使得全书有大量的重要改进，因而使得我们的手稿能成功地转写成教科书的形式。

本书的具体内容有许多得到来自民航工业界的朋友和同事们的协助。我们要特别感谢道格拉斯飞机公司的 M 斯通对本书结构一章的大量帮助，飞虎航空公司的 J·F·麦克唐纳对各理论性章节的意见，通用电气公司的 J·F·泊透尔对动力装置一章的意见。在其他一些对本书的一些重要方面有贡献的人中，我们要特别感谢联合航空公司的 T·M·爱德华和 T·D·麦特森，联邦航空局的 E·波义尔，美国海军的 L·艾伯特上尉，航空运输协会的 E·L·汤姆斯，以及米苏里大学的 R·加德。

我们还要感谢联合航空公司的许多人为我们提供了具体的帮助和支持。没有玛丽·梯尔森的努力，我们的手稿就不能形成正式的文字，她愉快地一次又一次地为草稿打字。我们也感谢 C·屈西，她的图艺使得手稿更为清楚，也感谢 J·D·柏奇在整个过程中的努力使这本书得以

完成。最后，我们感谢在长达数月的写作和出版工作中联合航空公司管理部门的支持和我们妻子所给的鼓励。

泰 工 同 F·斯坦利·诺兰

霍华德·F·希普

词 汇 表

1. 故障统计分析 (actuarial analysis)

为确定项目的工龄—可靠性关系而进行的故障数据的统计分析。

2. 工龄 (使用时间)(age)

一个具体项目承受应力的总的时间量度, 用从新的或上次出厂以来的使用小时数、飞行次数、或其他应力单位表示。

3. 工龄探索 (维修周期探索)(age exploration)

为确定每个项目在实际使用条件下的可靠性特性而从使用中的装备收集和分析数据的过程。

4. 故障工龄 (age at failure)

一个具体项目在其故障被发现报告时的使用工龄 (参见平均故障工龄)。

5. 工龄—可靠性特性 (age—reliability characteristics)

由表示项目的使用工龄与其故障概率之间关系的条件概率曲线所呈现的特性 (参见故障统计分析、故障的条件概率)。

6. 适航性指示 (airworthiness directive)

联邦航空局的一种指示, 它明确规定为预防某一种具体的危险性故障所必须进行的预定维修工作及其周期。这种指示在使用经历已经表明装备会发生这种故障之后发出, 规定的维修工作必须持续地进行到装备作了改装消除

了工作的必要性时为止。

7. 分析与监督 (analysis and surveillance)

即工龄探索。

8. 分析系统 (analysis systems)

各种情报系统之一，用于监控装备在使用中的性能和可靠性。

9. 适用性准则 (applicability criteria)

一组具体条件，它们须能说明一项目的故障特性，使能判断某类维修工作能否用于改进该项目的可靠性（参见有效性准则）。

10. 审核 (auditing)

由独立的观察者对 RCM 的决策过程所作的系统性审查。

11. 平均故障工龄 (average age at failure)

一个项目总体的每一件发生故障时的工龄的平均值。

12. 平均可用性 (average availability)

给定一定的隐患检查周期时隐蔽功能的期望可用性。

13. 平均期望寿命 (average realized life)

按一个项目总体的总拆卸次数和总工作时间计算出来的期望寿命（参见生存曲线）。

14. 浴盆曲线 (bathtub curve)

表示某些项目的工龄—可靠性关系的条件概率曲线，它的特征是有一个早期故障区、一个可靠性相对地稳定的区、和一个可鉴别的耗损区。

15. 孔探仪检查 (borescope inspection)

一种维修技术，即用一种光学装置（孔探仪）对组件

的内部零件作目视检查，通常都是通过专门为此而设的探孔进行的。

16. 级号 (class number)

重要结构项目的各品级号中的最小数字，用来确定检查期限的相对值（参见**结构品级号**）。

17. 复杂项目（复杂机件）(complex item)

有许多会造成功能故障的故障型式的项目（参见**简单项目**）。

18. 事后监控方式（状况监控方式）(condition monitoring process)

按照现行的规定用法，指的是一种以无预定维修工作为特征的维修方式。项目（包括具有隐蔽功能的项目）一直使用到发生功能故障为止，其总的可靠性用分析与监督大纲来监控（参见**无预定维修、隐患检查工作**）。

19. 针对性翻修 (conditional overhaul)

使修理件的翻修后使用时间恢复到零的一种维修作业，其工作内容视送厂的待修件的状况而定，可以少到只进行翻修后的性能测试，也可以多到作彻底分解和重新制造。

20. 故障的条件概率 (conditional probability of failures)

项目生存到进入某一具体的工龄间隔期间后在该期间内发生故障的概率（参见**故障的概率密度**）。

21. 故障后果 (consequence of failure)

某一功能故障对装备和对使用单位所造成的后果。在RCM分析中划分为：安全性后果、使用性后果、非使用性后果、和隐患性后果。

22. 修复性维修 (corrective maintenance)

故障项目的更换或修理 (参见预定维修)。

23. 腐蚀 (corrosion)

金属或合金在环境的化学作用下所引起的逐渐恶化。

24. 经济效果 (cost effectiveness)

指的是费用对收益的有利的比值。它是维修工作在预防具有经济性 (而不是安全性的) 后果的功能故障上的有效性准则 (参见有效性准则)。

25. 故障费用 (cost of failure)

对于具有使用性后果的故障, 故障费用是使用性后果的损失和修复性维修费用之和; 对于具有非使用性后果的故障, 它只是修复性维修的直接费用。

26. 费用权衡研究 (cost - tradeoff study)

即经济性权衡研究。

27. 裂纹初现 (crack initiation)

在承受重复载荷的项目上疲劳裂纹的第一次出现, 通常根据目视检查, 但有时也根据无损探伤技术。

28. 裂纹扩展特性 (crack propagation characteristics)

从裂纹初现扩展到裂纹临界长度期间内的裂纹增长速率, 以及所引起的剩余强度下降量。

29. 裂纹临界长度 (critical crack length)

项目的剩余强度不再足以支持规定的损伤容限载荷时的疲劳裂纹长度。

30. 危险性故障

能导致对使用安全性有直接有害影响的功能丧失或二次损伤的故障 (参见安全性后果)。