

以可靠性 为中心的维修

▲ 何钟武 肖朝云 姬长法 编著 ▲



中国宇航出版社



本书特点

- 1 反映了国内外近10年来RCM领域的研究与应用成果;
- 2 论述了RCMA首先应考虑安全性与环境性后果,并强调了故障模式所造成的环境性后果应与安全性后果同等对待;
- 3 论述了“真正RCM过程”的判别准则,阐述了进行RCMA时可能出现的“简化”RCM过程的表现形式及存在的问题;
- 4 在系统与设备的RCM逻辑决断中,融入了环境性故障后果的分析;
- 5 在飞机结构的RCM逻辑决断中,增加了非金属材料及CPCP的内容;
- 6 飞机的区域分析更为严谨,论述了区域检查的分析流程图和闪电/高强度辐射场(L/HIRF)的逻辑决断图;
- 7 论述了RCM技术在企业资产管理(EAM)以及确保企业生产安全、环保、节能、经济和高效中的地位与作用;
- 8 阐明了视情维修、预计性维修、基于状态的维修或状态监控之间的关系;
- 9 论述了对维修大纲实施动态管理的技术手段与方法;
- 10 探讨了装备的首翻期、翻修间隔期、经济寿命等理念;
- 11 侧重于基本概念和理论的应用,结合具体实例分析,追求工程上的可操作性;
- 12 可适用于我国大型飞机和舰船的RCM过程;
- 13 可供与资产管理相关的CEO、SCM、EAM、ERP、BPR、TQM、TPM等各类工程技术人员和在校工科师生参考,亦可作为本科生、研究生和RCM技术人员的教材。

ISBN 978-7-80218-290-5



9 787802 182905 >

定价:45.00元

以可靠性为中心的维修

何钟武 肖朝云 姬长法 编著



中国宇航出版社

· 北京 ·

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

以可靠性为中心的维修/何钟武等编著. —北京:中国宇航出版社,2007.8

ISBN 978-7-80218-290-5

I. 以... II. 何... III. 飞机—维修—可靠性理论 IV. V267

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第115366号

责任编辑 艾小军 王旭 装帧设计 03王舍
责任校对 祝延萍 责任印制 任连福

出版 中国宇航出版社
发行

社址 北京市阜成路8号 邮编 100830
(010)68768548

网址 www.caphbook.com/www.caphbook.com.cn

经销 内部发行

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)
(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑
(010)68371105 (010)62529336

承印 北京智力达印刷有限公司

版次 2007年8月第1版
2007年8月第1次印刷

规格 787×1092

开本 1/16

印张 14

字数 355千字

书号 ISBN 978-7-80218-290-5

定价 45.00元

本书如有印装质量问题,可与发行部联系调换

前 言

现代化企业，往往是资产密集型的高新技术企业。其核心竞争力，就是通过有效的管理，实现资产效率的最大化和成本的最低化。设备是企业资产的主要表现形式。随着科学技术突飞猛进的发展，设备的现代化水平不断提高：越来越大型化、高速化、电子化，结构也更加复杂化。因此，任何设备在使用过程中，不出故障是不可能的。它们简直就是“故障发生器”。

世界工业史上3个最严重的事故是博帕尔毒气泄漏、切尔诺贝利核电站和阿尔法石油气爆炸事故。如果当时在这些设施中以可靠性为中心的维修(RCM—Reliability Centered Maintenance)技术应用得当，这些灾难也许就会避免。

我国安全生产基础工作薄弱，与经济高速发展的矛盾越来越突出。因此，如何实现安全生产管理由经验型向科学型转变，以建立安全生产的长效机制，把企业安全生产和增强竞争力的手段建立在科学的理论基础之上，采取科学有效的措施使资产维修工作总量减少、维修费用降低，杜绝重大事故，降低一般事故的发生概率，确保企业资产运营时的安全、环保、节能、降耗、高效，是现代化企业必须直面的一个现实问题。RCM技术，就是在这种背景下诞生的。它源于航空装备的维修实践，并由此发展出一种全新的维修战略框架，使得维修技术由最初的一种技艺，升华为现代企业资产管理的一门边缘学科，这门科学在民航业也称为MSG。

通过RCM逻辑决断，如果找不到合适的维修工作，对具有安全性和环境性后果资产的故障模式，则必须改进设计或工艺，以避免或减轻故障后果；对具有使用性后果和非使用性后果资产的故障模式，则可权衡考虑改进设计或工艺。RCM对只增加维修费用而不相应提高使用可靠性的维修工作，原则上不予预定。由此可见，就复杂的装备而言，应在其方案设计阶段就进行以可靠性为中心的维修分析(RCMA)。波音747飞机应用RCM技术后，在不降低安全性和可靠性的前提下，其维修工时比结构简单得多的DC-8飞机少了许多。

20世纪60年代到70年代，国外在许多工业领域，提出了一些方法用以制定有形资产管理的最佳策略。RCM就是其中的一种方法，它主要用于控制

资产故障的后果。而在这些方法中,RCM是最彻底的。1994年,美国军方不再要求工业承包商必须使用军用规范和标准。它只提出性能要求,并且允许承包商使用可以满足这些要求的任何过程。这项政策为承包商不再使用RCM的军用标准和规范提供了依据。1995年美国取消了其RCM标准MIL-STD-1843,也不再强制装备承包商使用其标准与规范(尽管其内部仍继续使用),包括其RCM标准MIL-STD-2173(AS)。1999年8月,SAE(Society of Automotive Engineers,美国汽车工程师协会)发布了RCM标准JA1011,用于有形资产的维修管理,该标准同样适用于美国的军用武器装备。该标准没有给出一个标准的RCM过程,而只是提供了判据准则,用于判断哪些过程是真正的RCM过程。正因如此,本书前4章主要论述在有形资产上应用RCM时的基本概念,后5章,则着重论述RCM技术在飞机上的应用。

目前,国外已将RCM技术用于铁路/地铁、石油化工、铝矿、供水、食品、造纸、药品、电力、银行,甚至木制品加工、大众房产等行业;我国目前在航空、海洋钻井平台、核电站等少数部门应用了RCM技术。1995年以来,我国的电力行业等不少部门已引进了以RCM技术作为支撑的相关软件,进行企业的资产管理(EAM)。

我国RCM技术应用的瓶颈,一是在于RCM实施过程的管理,二是在于RCM技术的基础教育。就飞机、大型舰船这类复杂装备而言,在其研制期间,RCM技术的实施,是一项跨承制方与使用方的系统工程:既需要各单位行政领导和技术总师的组织,还需要一定经费及相关装备产品的使用可靠性与维修性数据作支持,更需要使用方的参与和协作,以及设计人员与装备维修人员的协调工作与紧密配合。此外,对可靠性专业人员和产品设计人员的可靠性理论和实践经验的要求较高。虽然我国部分科研院所对RCM的应用有一定的研究,也有少量的企业在引进RCM技术进行资产管理时积累了一定的经验,但是高校的综合保障专业,不论是本科生,还是研究生,几乎没有开设RCM这门专业课程,也没有相应的教材。事实上,RCM技术是一门通用的现代企业资产管理的重要学科,应作为工科院校本科生的必修课加以普及。

本书汲取了我国航空领域RCM工作的经验与教训,参考了GJB1378、MSG-3、SAE JA1011、SAE JA1012、IEC 60300-3-11、《RCM II》等国内外的最新研究成果,既系统地叙述了RCM技术的基础理论(前4章),又重点以飞机为研究对象,介绍了系统与动力装置、结构、区域分析等RCM的理论与应用(后5章),旨在帮助人们理解RCM技术在现代企业资产管理和航空装备等领域的应用。它可供制定企业资产维修决策及航空产品维修大纲时

参考，亦可供与资产管理相关的 CEO、SCM、EAM、ERP、BPR、TQM、TPM 等各类工程技术人员和在校工科师生参考。

本书侧重于基本概念和理论的应用，结合具体实例分析，追求工程上的可操作性，力求成为一本工程化极强的读本。

本书在编著和出版的过程中，得到了洪都航空工业集团各级领导大力支持。刘佳博士提供了大量的参考资料。刘毅教授因时间关系，虽没有参加本书的编写，但曾进行过指导。在此一并致谢！

理论来源于实践，只有用于实践才能得到升华。因此，恳请广大工程技术人员和 RCM 行业的专家、骨干，在应用 RCM 时能就遇到的问题和作者进行探讨，以便再版时修订。本人信箱：hezhongwu@163. cm。

何钟武
2007 年元旦

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 RCM 技术在国外研究与应用	(2)
1.3 RCM 技术在我国研究与应用	(3)
1.4 RCM 技术在国内外应用反面事例	(5)
1.5 RCM 与 MSG	(5)
1.6 RCM 和 EAM	(6)
1.7 RCM 发展的社会基础	(8)
1.8 本书的特点	(10)

第一部分 理论篇

第 2 章 RCM 理论基础	(13)
2.1 早期的维修思想与困惑	(13)
2.1.1 早期的维修思想	(13)
2.1.2 早期维修思想的困惑	(14)
2.2 RCM 维修理论的基础	(15)
2.2.1 工龄与可靠性关系	(15)
2.2.2 现代飞机的设计手段	(17)
2.3 RCM 理念的奠定	(18)
2.3.1 RCM 的定义与作用	(18)
2.3.2 RCM 的理念	(19)
2.3.3 传统维修理念的变革	(20)
2.3.4 RCM 的应用特点	(21)
第 3 章 RCM 过程	(24)
3.1 概述	(24)
3.2 RCM 过程	(25)
3.2.1 真正的 RCM 过程	(25)
3.2.2 简化了的 RCM 过程	(26)
3.2.3 敷衍的 RCM 过程	(32)
3.3 功能	(33)

3.3.1	使用背景	(33)
3.3.2	功能列表	(36)
3.3.3	功能描述	(39)
3.3.4	性能标准	(40)
3.4	功能故障	(41)
3.4.1	部分故障和完全故障	(41)
3.4.2	性能标准的上、下限	(42)
3.5	故障模式	(42)
3.5.1	确定故障模式	(43)
3.5.2	列出合理的故障模式	(44)
3.5.3	故障模式与故障原因	(45)
3.5.4	故障原因的层次	(45)
3.5.5	故障模式的信息来源	(47)
3.5.6	故障模式的类型	(47)
3.6	故障影响	(48)
3.6.1	基本假设	(48)
3.6.2	必须的信息	(49)
3.7	故障后果	(50)
3.7.1	故障后果分类	(50)
3.7.2	故障后果评估	(55)
第4章	故障管理策略	(56)
4.1	概述	(56)
4.1.1	故障管理策略的分类	(56)
4.1.2	确定故障管理策略的四要素	(56)
4.2	故障后果管理	(57)
4.2.1	故障后果的风险评估	(57)
4.2.2	具有安全性或环境性后果的明显故障模式	(61)
4.2.3	具有安全性或环境性后果的隐蔽故障模式	(61)
4.2.4	具有经济性后果的明显故障模式	(61)
4.2.5	具有经济性后果的隐蔽故障模式	(62)
4.3	定期维修工作	(63)
4.3.1	视情维修工作	(63)
4.3.2	定期恢复和定期报废工作	(72)
4.3.3	故障检查工作	(73)
4.3.4	维修工作组合	(78)
4.4	重新设计与无预定维修	(78)
4.4.1	重新设计	(78)
4.4.2	无预定维修	(81)

4.5 故障管理策略的选择	(81)
4.5.1 两种方法介绍	(81)
4.5.2 精确方法	(81)
4.5.3 逻辑决断方法	(82)
4.6 故障管理策略的调整	(88)
4.7 RCM 应用中应注意的主要问题	(89)
4.7.1 主观主义	(89)
4.7.2 组织不得力	(89)

第二部分 应用篇

第5章 飞机系统/动力装置 RCMA	(93)
5.1 概述	(93)
5.1.1 系统的特点	(93)
5.1.2 维修对策	(94)
5.1.3 系统/动力装置 RCMA 工作简介	(95)
5.2 技术数据收集	(98)
5.2.1 信息要求	(98)
5.2.2 信息来源	(100)
5.3 重要维修项目的确定	(100)
5.3.1 定义	(101)
5.3.2 确定过程	(101)
5.4 FMEA	(104)
5.5 逻辑决断	(105)
5.5.1 分析的层次	(106)
5.5.2 分析程序	(107)
5.5.3 故障后果	(107)
5.5.4 故障影响类别	(110)
5.5.5 故障管理策略	(113)
5.6 维修间隔期	(118)
5.6.1 总则	(118)
5.6.2 维修间隔信息来源	(118)
5.6.3 维修工作间隔参数	(118)
5.6.4 维修间隔的选择准则	(120)
5.6.5 审定维修要求 (CMR)	(121)
5.7 逻辑决断结果记录与计算机辅助 RCM	(122)
第6章 飞机结构 RCMA	(124)
6.1 概述	(124)

6.1.1	飞机结构设计与维修的发展过程	(124)
6.1.2	结构定义	(125)
6.1.3	结构层次	(126)
6.1.4	结构的功能和功能故障	(126)
6.1.5	结构的分类	(127)
6.1.6	结构损伤类别	(131)
6.1.7	腐蚀防护和控制要求	(132)
6.1.8	结构维修分析的特点	(133)
6.1.9	RCMA 所需信息	(134)
6.1.10	RCMA 分析步骤	(134)
6.2	重要结构项目的确定	(134)
6.2.1	重要结构项目的定义	(134)
6.2.2	典型的重要结构项目	(134)
6.2.3	重要结构项目的确定	(135)
6.3	逻辑决断	(136)
6.3.1	逻辑决断分析应考虑的因素	(136)
6.3.2	逻辑决断过程	(136)
6.4	重要结构项目的评级系统	(139)
6.4.1	偶然损伤评级	(139)
6.4.2	金属材料环境恶化评级	(140)
6.4.3	非金属材料环境恶化评级	(142)
6.4.4	疲劳损伤评级	(143)
6.5	重要结构项目检查要求的确定	(144)
6.5.1	级号与检查要求对照	(144)
6.5.2	疲劳损伤检查要求	(145)
6.5.3	偶然损伤检查要求	(147)
6.5.4	环境恶化检查要求	(147)
6.5.5	维修级别的确定	(147)
6.6	维修间隔期探索	(148)
6.6.1	疲劳损伤的领先使用计划	(148)
6.6.2	环境恶化的领先使用计划	(148)
6.7	结构 RCMA 示例	(149)
6.7.1	领先使用飞机疲劳损伤检查要求	(149)
6.7.2	环境恶化和偶然损伤检查要求	(152)
6.7.3	重要结构维修要求的综合	(156)
第7章	区域分析	(157)
7.1	概述	(157)
7.1.1	区域分析的发展过程	(157)

7.1.2 区域分析的概念	(158)
7.1.3 区域分析的目的	(158)
7.2 区域检查分析	(160)
7.2.1 区域检查的内容	(160)
7.2.2 区域检查工作的分析步骤	(160)
7.2.3 区域划分	(160)
7.2.4 拟订每个区域的工作单	(161)
7.2.5 列出 MSI 和 SSI 中 GVI 项目	(163)
7.2.6 标准区域分析	(163)
7.2.7 加严区域分析	(164)
7.2.8 区域检查间隔	(164)
7.3 L/HIRF 分析	(165)
7.3.1 L/HIRF 的维修工作分类	(166)
7.3.2 L/HIRF 防护的系统级别分类	(166)
7.3.3 L/HIRF 防护分析的要点	(166)
7.3.4 L/HIRF 防护分析的评级	(167)
7.3.5 L/HIRF 分析程序	(167)
7.4 区域检查工作的实施要点	(168)
7.4.1 区域检查工作的定义	(168)
7.4.2 区域检查工作的执行	(169)
7.4.3 维修人员技能要求	(169)
第 8 章 维修可靠性管理	(170)
8.1 概述	(170)
8.2 维修方案的定义	(170)
8.2.1 综合保障对维修方案的定义	(170)
8.2.2 适航规章对维修方案的定义	(171)
8.3 可靠性方案	(172)
8.3.1 可靠性方案的作用	(172)
8.3.2 可靠性方案的基本内容	(173)
8.4 数据资料的来源	(173)
8.5 故障的监控	(174)
8.5.1 重大故障的监控	(174)
8.5.2 一般故障的监控	(175)
8.6 主要可靠性项目的监控	(175)
8.6.1 出勤可靠度	(176)
8.6.2 签派计划完成率	(177)
8.6.3 签派中断率	(177)
8.6.4 非计划拆卸率	(178)

8.6.5 发动机的空中停车率	(180)
8.6.6 发动机的非计划拆卸率	(180)
8.6.7 重大故障率	(181)
8.7 警戒值的确定	(181)
8.7.1 性能参数的确定	(181)
8.7.2 警戒值的确定	(182)
8.7.3 警告和警告状态	(182)
8.7.4 警告极限的修改	(183)
8.7.5 新飞机的警戒值	(183)
8.7.6 机载设备的人工警戒值	(183)
8.7.7 警戒状况的处理	(184)
8.8 维修工作类型与工作间隔的调整	(184)
8.9 可靠性监控报告	(184)
8.9.1 用户的可靠性报告	(184)
8.9.2 飞机承制商的可靠性报告	(185)

第三部分 探索篇

第9章 理念探讨	(189)
9.1 取消首翻期和翻修间隔期	(189)
9.1.1 首翻期的由来	(189)
9.1.2 首翻期的不合理性	(190)
9.1.3 现代飞机维修理念的诞生和发展	(190)
9.1.4 确定维修工作的频次/间隔	(192)
9.1.5 取消首翻期的可行性	(192)
9.1.6 小结	(194)
9.2 飞机使用寿命概念	(194)
9.2.1 问题的提出	(194)
9.2.2 “老”飞机与新飞机的区别	(195)
9.2.3 飞机寿命空间	(196)
9.2.4 飞机寿命的新理念	(197)
附录 A 术语	(198)
附录 B 英文缩略语	(203)
参考文献	(205)
后记	(210)

第1章 绪论

1.1 概述

现代化企业，往往是资产密集型的高新技术企业。其核心竞争力，就是通过有效的管理，实现资产效率的最大化和成本的最低化。设备是企业资产的主要表现形式。随着科学技术突飞猛进的发展，设备的现代化水平不断提高：越来越大型化、高速化、电子化，结构也更加复杂化。因此，任何设备在使用过程中，不出故障是不可能的。它们简直就是“故障发生器”。

世界工业史上3个最严重的事故是博帕尔毒气泄漏、切尔诺贝利核电站和阿尔法石油气爆炸事故。如果当时在这些设施中以可靠性为中心的维修（RCM—Reliability Centered Maintenance）技术应用得当，这些灾难也许就会避免。

我国的工业部门一方面安全生产基础工作较为薄弱，与经济高速发展的矛盾越来越突出；另一方面，资产的利用率不高，致使资产的效费比较低。以飞机为例，F-22飞机基层级、中继级和基地级三级维修的每飞行小时的维修工时为4.6 h，F-35飞机为0.3 h，而我国比F-22飞机简单得多的许多飞机，仅基层级（外场级）维修工时就达10 h以上，这就是差距。

因此，如何实现安全生产管理由经验型向科学型转变，以建立安全生产的长效机制，把企业安全生产和增强竞争力的手段，建立在科学理论基础之上，采取科学有效的措施使资产维修的工作总量减少、维修费用降低，杜绝重大事故，降低一般事故的发生概率，确保企业资产运营时的安全、环保、节能、降耗、高效，是现代化企业必须直面的一个现实问题。RCM技术，就是在这种背景下诞生的。它源于航空产品的维修实践，并由此发展出一种全新的维修战略框架，使得维修技术由最初的一种技艺，升华为而今的现代企业资产管理的一门边缘学科，这门科学在民航业也称为MSG。

RCM技术是目前国际上通用的，用以确定资产预防性维修需求、优化维修制度的一种系统工程方法。它的基本思路是对系统进行功能与故障分析，明确系统内各故障发生的后果，用规范化的逻辑决断方法，确定各类故障后果的预防性对策，通过现场故障统计、专家评估和量化建模等手段，在保证安全性和完好性的前提下，以维修停机损失最小为目标，优化系统的维修策略。

根据故障后果的重要性，RCM将故障后果分为安全性和环境性后果、隐蔽性后果、使用性后果和非使用性后果4种。

RCM技术认为：故障后果的严重程度，影响采取预防性维修工作的决策。即如果故障有严重的安全性和环境性后果，就应尽全力设法防止其发生；对非使用性后果的故障，可以不采取任何预防措施。

RCMA是装备保障性分析（LSA）的主要工具。通过RCMA，不仅可确定维修保障任

务与所需支援（如人员、备件、保障设备、专用设备、计算机保障资源与资金等），还可作为发现设计缺陷，提出改进设计的建议及提高产品固有安全性与可靠性的重要途径。

实践证明，如能正确地将 RCM 技术应用到维修工作中，在保证生产安全性和设备可靠性的前提下，可使日常的维修工作量下降 40% ~ 70%。

因此，RCM 技术关注设备的安全性与环境性后果，是建立安全生产科学管理体系，实现安全生产长效机制、降低维修费用、增强产品竞争力的重要手段和方法。

在应用 RCM 技术对企业资产进行维修管理时，须充分认识到“维修就是投资”的含义，把军民用电企业安全生产和增强竞争力的手段，建立在科学的理论基础上，采取有效、科学的措施，使维修工作总量减少、维修费用降低（一些大企业一年的维修费高达十几亿元），并同时杜绝重大事故，降低一般事故的发生概率。这对企业和社会的效益是巨大的。虽然 RCMA 的工作量和分析费用有所增加，但是与由此可能产生的效益相比几乎是微不足道的。

1.2 RCM 技术在国内外的研究与应用

RCM 理论的研究，最早因航空业所面临的安全、可靠和经济等问题而诞生。过去，人们认为飞机相邻两次大修时间的长短，是控制其故障率的重要因素。然而经过深入研究后确信，可靠性和拆修控制并无必然的直接联系，无论如何缩短维修间隔，也不能提高飞机的安全性和可靠性。与此同时，美国航空维修的费用，已经占到了航空公司总费用的 30%，出现了“买得起，用不起”的现象。如何权衡维修费用与效果，成为人们迫切需要解决的问题。

在 20 世纪 50 年代末，美国有关部门开展了 RCM 理论的研究，并为此于 1960 年成立了一个由联邦航空局和航空公司双方代表组成的工作组。60 年代末首次应用 RCM 技术制定了波音 747 飞机的维修大纲。美国航空界应用 RCM 技术制订飞机维修大纲的指导性文件，从 1968 年的 MSG-1 到 2005 年的 MSG-3（R2005）经历了多次修订，前后共有 10 多个版本。采用 MSG-1 之后，波音 747 飞机在达到该型飞机第一次大检查的 20 000 h 的基本间隔以前，联合航空公司只用了 66 000 工时就完成了飞机结构大检查。而按传统的维修思想，对于体积较小、复杂程度较低的 DC-8 飞机，在相同的结构检查间隔期以前，需要耗费 400 万工时才能完成检查。这就是说在不降低安全性和可靠性的前提下，波音 747 飞机的维修工时顶多只有 DC-8 飞机的 1/60。与此同时，没有采用 RCM 维修思想的军事装备维修费用，却以惊人的幅度增长。这一现象引起了美国国防部重视。

美国在 20 世纪 70 年代，采用 RCM 技术（MSG-2）制订了 S-3A、F-4J、B-52 等飞机的维修大纲，实现了以可靠性为中心的维修，从而达到了飞机在保证飞行安全的前提下最大限度内的战备完好性和最低维修费用这一目标。因此，应用 RCM 技术，通过对维修工作类型进行逻辑决断，将维修资源用在保证资产运行安全、环保、可靠、经济的项目上，事实上就是突出了维修工作的重点，也就是从根本上确保了资产的使用效率。

在 RCM 的发展过程中，里程碑之一是美国联合航空公司的 Nowlan 和 Heap，受美国国防部委托，研究完成并于 1978 年 12 月以 AD 报告（报告号：AD A066579）形式发表的《以可靠性为中心的维修》，这份文件成为 RCM 学科的重要理论基础。到 20 世纪 80

年代中期,美国在此基础上,分别颁布了RCM应用的标准。例如:美国1985年2月颁布的MIL-STD-1843,1985年7月颁布的AMCP750-2,1986年1月颁布的MIL-STD-2173(AS)等,都是关于RCM应用的指导性标准或文件。在80年代,F-111、A6等飞机的维修大纲就是按上述标准要求制订的。美国国防部指令和后勤保障分析标准中,也明确把RCMA作为编制预防性维修大纲的方法。目前美军几乎所有重要的军事装备(包括现役与新研装备)的预防性维修大纲,都是应用RCM方法制订的。

国外不仅注重RCM技术在航空装备和武器系统中的研究与应用,还十分注重其在企业资产与民用设施方面的研究与应用,并取得了良好效果。

20世纪60年代到70年代,国外在许多工业领域,提出了一些方法用以制定有形资产管理的最佳策略。RCM就是其中的一种方法,它主要用于控制资产故障的后果。而在这些方法中,RCM是最彻底的。如1984年,美国三家核电企业,在位于圣地亚哥的电力研究院的支持下,应用了RCM技术;法国法兰西电力公司,应用RCM技术制订核电设施维修大纲。80年代后,随着计算机信息技术的快速发展,很多企业和软件的开发商,均在其开发的企业资产管理(EAM)类软件中的维修管理模块,将RCM理论作为技术支持,如SAP、Datastream、MRO等公司。90年代末,奥地利在铁路行业经营困难的情况下,利用RCM和LCC(寿命周期费用)技术,重新确定机车车辆的维修计划,保证了铁路营运的安全,降低了维修费用,并以此在国际化竞争日趋激烈的背景下,开创了铁路经营的主动局面。此外,印度(如那格浦尔市的一家钢铁厂)、爱尔兰、瑞典等许多国家,在民用工业甚至中小企业中也广泛应用和推广RCM技术。

英国Aladon维修咨询有限公司的创始人J·莫布雷,自1985年起,先后在40多个国家和地区的铁路(含地铁)、石油化工、铝矿、供水、食品、造纸、药品、电力、银行,甚至木制品加工、大众房产等行业,应用了RCM技术,并于1991年,在多年实践的基础上出版了系统阐述RCM的专著《以可靠性为中心的维修》,由于这本专著与以往的RCM标准、文件有较大区别,J·莫布雷又把这本书称为《RCM II》,1997年《RCM II》第二版出版发行。

1999年国际电工委员会首次发布了IEC 60300-3-11 Application Guide Reliability Centered Maintenance;同年,美国汽车工程师协会(SAE)发布了RCM标准JA1011 Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance Processes,用于有形资产的维修管理。该标准没有给出一个标准的RCM过程,而只是提供了判据准则,用于判断哪些过程是真正的RCM过程。2002年1月,美国汽车工程师学会又颁布了JA1012 A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard。

1.3 RCM技术在我国的研究与应用

我国在RCM方面的研究起步较晚,1979年,我国引进了RCM理论,并跟踪研究RCM理论和应用技术。1985年原国防科工委颁布的《航空技术装备寿命与可靠性暂行工作规定》中就明确提出,在装备维修中应采取定时、视情和状态监控3种方式。1989年,颁布了HB6211《飞机、发动机和设备以可靠性为中心的维修大纲的制订》。1992年,我国颁布了RCM方面的国家军用标准,即GJB1378《装备预防性维修大纲的制定要求与方

法》。1990年6月,北京航空航天大学可靠性工程研究所石荣德、田仲和康锐教授,编写了《航空维修理论维修大纲制定方法及其应用》一书。1994年3月国防科工委军用标准化中心颁布了《〈装备预防性维修大纲的制定要求与方法〉实施指南》。这些标准和专著,对我国各类军、民机及其他装备维修大纲的制定,作出了较大的贡献,也为我国后来RCM技术的进一步应用与研究奠定了基础。

RCM技术,目前我国航空、部队和海洋钻井平台、部分大型电站、公路等领域上得到了一定的应用。尽管应用领域较为有限,但效果却是很显著的。例如:1987年,我国某型飞机全面开展RCM的应用研究。1989年,由民航部门、航空工业部门、使用单位和制造厂等联合组织编写了该型飞机的RCM大纲,并在近100架该型飞机中使用。据1992年统计,该型飞机实施RCM大纲后,每架飞机每月的维修停场日减少2天,航材消耗费用降低175元/小时,飞机D检停场时间减少37天。在某型坦克上应用该项技术后,发动机在不改变任何结构的条件下,寿命延长了40%。

20世纪90年代以来,我国的现代民用企业,注重从国外引进RCM技术,进行资产的维修管理。大亚湾核电站为确保电站安全、环保、可靠、经济地运行,从1998年开始探索应用RCM的可行性。该电站在美国专家的指导下,于1999年进行了冷凝水抽水系统的RCMA试点工作,结果发现大大地提高了系统运行的安全性和可靠性,大大地降低了运行及检修成本,从而开始了RCM技术在大亚湾核电站的推广,并列入其所属公司的五年发展计划。到2001年为止,在全厂范围培训RCM骨干达200名、督导员13名,还专门为经理层举办了两期RCM讲座。山东省公路部门从1997年开始探索应用这种维修管理模式,江苏省公路部门自1998年起开始引进RCM维修管理模式,并在一些单位的大、中型设备上试应用,取得了一定的经验和效益。

RCM技术的应用虽然在我国还不够广泛,但为了确保我国各种装备运行的安全、可靠与经济,为了确保化工等企业的资产运营时安全、环保、可靠、经济,应尽快将我国的RCM技术的应用与世界接轨,这样才能全面提高我国企业在国际市场上的竞争力。

我国RCM技术应用的瓶颈,一是在于RCM实施过程的管理,二是在于RCM技术的基础教育。为保证资产的全寿命周期费用最少,必须实现资产维修策略的最优化。就飞机、大型舰船这类复杂装备而言,要求RCM技术的应用,在装备研制的早期阶段就开始实施,在方案设计阶段通过初步的RCMA,对装备在维修时没有恰当的维修工作类型的故障模式,如影响安全、环保、使用、经济,则必须权衡更改设计。然而,RCM技术在我国武器装备中尚未得到普遍的应用,有的飞机型号虽然应用RCM技术编制了维修大纲,但未能如期实施。更为遗憾的是,在一些新型号的研制中,也没有应用RCM技术开展维修工作类型的逻辑决断分析。这主要由于在装备的研制期间,RCM技术的实施,是一项跨承制方与使用方的系统工程,既需要各单位行政领导和技术总师的组织,还需要一定经费及相关装备产品的使用可靠性与维修性数据作支持,更需要使用方的参与和协作,以及设计人员与装备维修人员的协调工作与紧密配合。此外,对可靠性专业人员和产品设计人员的可靠性理论和实践经验的要求较高。虽然我国部分科研院所对RCM的应用有一定的研究,也有少量的企业,在引进RCM技术进行资产管理时积累了一定的经验,但是目前公开出版发行的关于RCM技术方面的专著很少。高校的综合保障专业,不论是本科生,还是研究生,几乎没有开设RCM的专业课程。事实上RCM技术是一门通用的现代企业资