

现代维修理论

Modern Maintenance Theory

陈学楚 主编

国防工业出版社

现代维修理论

Modern Maintenance Theory

陈学楚 主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

现代维修理论/陈学楚主编. —北京:国防工业出版社, 2003. 1

ISBN 7-118-02958-0

I. 现... II. 陈... III. 武器装备—维修—理论
IV. E92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 071973 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 10 255 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2500 册 定价: 26.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

**国防科技图书出版基金
第四届评审委员会组成人员**

名誉主任委员	陈达植			
顾问	黄宁			
主任委员	殷鹤龄			
副主任委员	王峰	张涵信	张又栋	
秘书长	张又栋			
副秘书长	崔士义	蔡镭		
委员	于景元	王小谟	甘茂治	冯允成
(按姓名笔画排序)	刘世参	杨星豪	李德毅	吴有生
	何新贵	佟玉民	宋家树	张立同
	张鸿元	陈火旺	侯正明	常显奇
	崔尔杰	彭华良	韩祖南	舒长胜

序

人类进入 21 世纪,越来越依赖于信息的正常传递、电力的连续供应、列车的正点运行、流水线的持续运作,等等。然而,这一切又取决于设备的完好无损。设备一旦故障,不仅会因停产造成损失,而且会危及设备、环境和人身安全,直接影响生产力和战斗力,造成严重的后果。设备是现代企业生产的主要工具,是创造物资财富的重要手段。设备的正常运转,离不开维修。即使是迅速发展的信息产业,或高度现代化的机器人和航天飞机,也离不开维修。1990 年在德国召开的欧洲维修团体联盟第 10 次会议的主题就是“维修——为了未来的投资”。为了有效地预防故障的发生,防患于未然,需要在正确的时机、正确的部位、以先进的维修理论为指导实施正确的维修。

20 世纪 50 年代以前,维修基本上是一门技艺,缺乏系统的理论,当时采用的是定时维修方式。随着设备的现代化、自动化和智能化程度的提高,维修费用急剧上升,设备可用率不断下降,原有的维修方式已经无法适应客观的需求。从 60 年代起,美国民航界运用现代科学技术,对飞机维修的基本规律进行探索,到 60 年代后期,首次提出以可靠性为中心的维修理论,并据此改革单一的定时维修方式,取得了成功,这是维修从技艺发展成为科学的重要标志。又经过 30 多年的不断改进和应用,这一理论进一步显示出其正确性。例如,20 世纪 50 年代,美国民航大型运输机每百万次飞行的事故约 60 起,其中 $\frac{2}{3}$ 的事故是因机件故障引起的;到 2000 年,每百万次飞行的事故约 2 起,其中 $\frac{1}{6}$ 的事故是因机件故障引起的。当今,以可靠性为中心的维修已使大型运输机成为最安全的交通工具。

以可靠性为中心的维修是以最小的经济代价来保持、恢复设备的固有可靠性和安全性的预防性维修。以可靠性为中心的维修理论认为,一切维修活动归根到底都是为了保持和恢复设备的固有可靠性,根据设备的可靠性状况、不同的故障模式及故障后果,采用逻辑决断分析方法来确定所需的维修内容、维修方式或维修类型、维修间隔期和维修级别,制订出预防性维修大纲,既避免维修不足,又消除维修过度,从而达到优化维修的目的。

长期以来,我国对装备、设备的维修基本上采用的是“三级保养、三级修理”的维修模式。改革开放之后,开始借鉴工业发达国家的维修制度,不断吸纳科学技术的研究成果,实施了以全寿命周期管理理论为指导、以可靠性维修为中心的“精心维护—严格监控下的视情修理—再制造”的维修模式,丰富了现代维修理论的内涵。

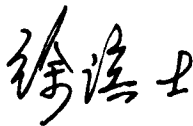
由于在这种理论指导下进行设备维修,既能改善维修质量,保障使用安全,又能缩短停机时间,提高设备可用率,延长设备使用寿命,减少维修工作量,节约维修费用,实施维修管理的创新,落实国家可持续发展战略。因此,这一理论在许多国家的国防、民航、钢铁、电力、信息、铁路、汽车、地铁、海洋石油、核工业、建筑、供水、食品、造纸、卷烟及药品等行业得到广泛应用。

本书主编早在 20 世纪 70 年代,就在我国提倡开展维修理论的研究实践,本书是作者在吸收国内外维修理论最新成果并结合我军维修改革实践基础上提炼而成的,相信此书的出版发行必将有利于推动维修理论的研究与应用,进而促进设备生产力和装备战斗力的提高。

中国工程院院士

中国设备管理协会副会长

国家产学研设备工程开发推广中心主任



2002 年 5 月

前 言

设备的使用离不开维修,正确的维修离不开理论的指导。维修理论是研究设备的故障本质及其预防和修复规律的理论,其核心内容是以可靠性为中心的维修。20世纪60年代以来,许多国家应用这种理论指导维修,收效显著。为了吸收国外的有益经验,并结合我国、我军的实际,我们编著《现代维修理论》一书,期望对提高武器装备战斗力、民用设备生产力和降低使用费用有所帮助。

本书主要内容有:现代维修的基本概念,现代维修理论的产生及其发展,可修复系统可靠性统计分析,故障和故障率曲线,以可靠性为中心维修理论与传统维修观念的差异,以可靠性为中心维修的数学分析,预防性维修大纲的制订,按安全、经济两方面对三种(隐患检测、视情维修、定时维修)间隔期的划分和确定,维修级别分析,维修质量过程控制的基本工具,维修安全分析与评价,维修差错的系统分析,控制系统的维修有序性,战场抢修与平时维修的主要区别,战场损伤评估与修复,装备软件维护的基本概念,装备软件维护实施,装备的磨损及其补偿,装备使用经济决策等。

由于维修理论涉及概率统计、集合论、可靠性工程等多学科知识,目前这方面已有大量出版物,本书直接引用,不再赘述,读者也可以跳过有关数学分析部分,直接阅读实际应用的内容。

本书编著的人员有陈学楚(第一、三、四章)、张净敏(第二、五、十、十一章)、郑东良(第六、七章)、陈云翔(第八章)、唐明文(第九章),全书由陈学楚主编。限于编著人员水平,错误之处,期望读者指正。

本书在编著和出版过程中得到空军装备部领导和机关的大力支持,特此致谢。

编著者

内 容 简 介

本书介绍通用的基础维修理论,主要包括以可靠性为中心的维修,维修间隔期限和维修级别的确定,维修质量控制,维修安全系统分析,控制系统维修有序性,战场抢修,软件维护和使用经济性分析等。

本书可供从事设备使用、维修和设备论证、研制、管理的工作人员以及相关领域的科技人员阅读,也可供高等院校的可靠性工程、维修性工程、安全性工程、装备管理工程等专业师生参考。

The book describes the general fundamentals of maintenance theory, the most of the materials in this book includes reliability-centered maintenance (RCM), determination of maintenance interval and maintenance level, maintenance quality control, maintenance safety system analysis, maintenance sequence of control system, battlefield damage assessment and repair (BDAR), software maintenance, operational economic analysis, and so on.

The book is intended for use by the practicing professional in equipment operation and maintenance, equipment demonstration, development and management, and by the technologist in relevant fields. The book is also referred by the students and teachers of colleges and universities majored in reliability engineering, maintainability engineering, safety engineering, materiel management engineering and the like.

目 录

第一章 绪论	1
1.1 维修的基本概念	1
1.2 现代维修理论.....	17
参考文献	24
第二章 可靠性、维修性及保障性	26
2.1 可靠性、维修性、测试性及可用性.....	26
2.2 保障性.....	32
2.3 可修复系统可靠性统计分析.....	33
参考文献	42
第三章 故障和故障率曲线	43
3.1 故障.....	43
3.2 故障率曲线.....	52
参考文献	66
第四章 以可靠性为中心的维修理论	68
4.1 以可靠性为中心维修理论的内容.....	68
4.2 以可靠性为中心维修的数学分析.....	91
4.3 预防性维修大纲	100
参考文献.....	124
第五章 维修间隔期和维修级别	126
5.1 维修间隔期的确定	126

5.2 维修级别分析	150
参考文献	162
第六章 维修质量控制	164
6.1 维修质量的波动性	164
6.2 维修质量过程控制的基本工具	166
6.3 维修工作质量控制	193
参考文献	196
第七章 维修安全系统分析	197
7.1 维修安全系统工程	197
7.2 维修安全分析与评价	200
7.3 维修差错的系统分析	213
7.4 维修安全的系统控制	222
参考文献	224
第八章 控制系统的维修有序性	225
8.1 非单调关联系统	225
8.2 控制系统的三态性	229
8.3 质蕴涵集和卡诺图法	231
8.4 维修有序性	234
参考文献	237
第九章 战场抢修	238
9.1 战场抢修及其作用	238
9.2 战场抢修与平时维修的主要区别	242
9.3 战场损伤评估与修复	247
参考文献	257
第十章 装备软件维护	259

10.1 软件维护的基本概念·····	259
10.2 软件可维护性·····	269
10.3 软件维护实施·····	272
参考文献·····	283
 第十一章 装备使用的经济性分析 ·····	285
11.1 装备的磨损及其补偿·····	285
11.2 装备的经济寿命·····	290
11.3 装备使用的经济决策·····	294
参考文献·····	303

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Basic concept of maintenance	1
1.2 Modern maintenance theory	17
References	24
 Chapter 2 Reliability, maintainability and supportability	 26
2.1 Reliability, maintainability, testability and availability	26
2.2 Supportability	32
2.3 Reliability statistics analysis for repairable system	33
References	42
 Chapter 3 Failure and failure curves	 43
3.1 Failure	43
3.2 Failure curves	52
References	66
 Chapter 4 Reliability-centered maintenance theory	 68
4.1 Content of reliability-centered maintenance	68
4.2 Mathematical analysis of reliability-centered maintenance	91
4.3 Preventive maintenance program	100
References	124

Chapter 5 Maintenance interval and maintenance level	126
5.1 Determination of maintenance interval	126
5.2 Maintenance level analysis	150
References	162
Chapter 6 Maintenance quality control	164
6.1 Maintenance quality variability	164
6.2 Basic tools of maintenance quality process control	166
6.3 Maintenance work quality control	193
References	196
Chapter 7 Maintenance safety system analysis	197
7.1 Maintenance safety system engineering	197
7.2 Maintenance safety analysis and evaluation	200
7.3 Maintenance error system analysis	213
7.4 Maintenance safety system control	222
References	224
Chapter 8 Maintenance sequence of control system	225
8.1 Non-monotone coherent system	225
8.2 Three states of control system	229
8.3 Prime implication set and Karnaugh map	231
8.4 Maintenance Sequence	234
References	237
Chapter 9 Battlefield repair	238
9.1 Battlefield repair and its role	238
9.2 Main difference between Battlefield repair and normal maintenance	242

9.3 Battlefield damage assessment and repair	247
References	257
Chapter 10 Materiel software maintenance	259
10.1 Basic concept of software maintenance	259
10.2 Software maintainability	269
10.3 Implementation of software maintenance	272
References	283
Chapter 11 Materiel operation economic analysis	285
11.1 Materiel wear and its compensation	285
11.2 Materiel economic life	290
11.3 Materiel operation economic decision-making	294
References	303