

可靠性·维修性·保障性技术丛书 ①

丛书主编 王自力

RIMS

# 可靠性维修性保障性 工程基础

Fundamentals of Reliability & Maintainability & Supportability Engineering

主编 康 锐

Reliability  
Maintainability  
Supportability



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

可靠性·维修性·保障性技术丛书

# 可靠性维修性保障性 工程基础

**Fundamentals of Reliability &  
Maintainability & Supportability Engineering**

主    编    康    锐  
副  主  编    屠庆慈  
编写组成员    田  仲  阮  镰  林逢春  
(按姓氏笔画排序)    屠庆慈  章国栋  康  锐  
                    曾天翔  戴慈庄

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书阐述了国内外武器装备可靠性、维修性、测试性、保障性、安全性(简称RMS)工程的发展历程、现状和趋势,阐明了其在武器装备研制、生产、使用中的重要地位和作用,分章节系统地介绍了可靠性、维修性、测试性、保障性、安全性的基本概念、技术要求及设计、分析、试验与评价方法,以及元器件选择与控制、软件工程与软件可靠性和RMS工程管理方法。本书的主要内容是在参考国外相关技术领域最新发展动态的基础上,结合我国武器装备建设与国防科技发展近十年来的工程实践经验编写完成的,可以为相关行业规范化开展可靠性、维修性、保障性等工程实践提供指导。

本书可供武器装备研制单位工程技术与管理人員在工作中参考使用,也可作为工业工程专业、系统工程专业、质量与可靠性工程专业的大学本科生和研究生的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

可靠性维修性保障性工程基础/康锐主编. —北京:国防工业出版社,2012.1

(可靠性·维修性·保障性技术丛书)

ISBN 978-7-118-07848-0

I. ①可... II. ①康... III. ①可靠性工程  
IV. ①TB114.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第257107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100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

\*

开本 710×960 1/16 印张 30 $\frac{1}{4}$  字数 538千字

2012年1月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 76.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 《可靠性·维修性·保障性技术丛书》 编辑委员会

主任委员 王自力

副主任委员 康 锐 屠庆慈

委 员 (按姓氏笔划排序)

于永利	马 麟	石君友	田 仲	付桂翠
吕 川	吕明华	朱小东	刘 斌	刘春和
阮 镰	孙有朝	孙宇锋	李建军	宋晓秋
陆民燕	陈 新	罗汉生	金惠华	房祥忠
赵 宇	赵廷弟	姜同敏	章国栋	曾天翔
曾声奎	曾曼成	徐居明	戴慈庄	

1995年,国防科技及教育界著名专家杨为民教授组织编辑出版了国内第一套《可靠性·维修性·保障性丛书》,对推动武器装备质量观念的转变,提高武器装备的可靠性、维修性、保障性水平,发挥了重要的推动作用。

15年后的今天,树立现代质量观,持续提高可靠性、维修性、保障性水平,已成为武器装备建设与国防科技发展中的共识,特别是《武器装备质量管理条例》的颁布实施,表明可靠性、维修性、保障性在现代质量观中具有战略性、全局性和基础性的地位和作用,高可靠、长寿命、好维修、易测试、能保障、保安全已成为武器装备研制、生产和使用中的普遍要求,可靠性、维修性、保障性工程活动已全面进入武器装备寿命周期各阶段,为提高武器装备的效能、降低寿命周期费用发挥了不可替代的作用。

在上述背景下,在武器装备建设与国防科技发展中,无论在技术上还是在管理上,都对可靠性、维修性、保障性提出了更高的要求。为适应这种新形势,我们组织有关专家重新编辑出版了这套《可靠性·维修性·保障性技术丛书》,共12册,以满足广大工程技术和管理人员的迫切需求。

本套丛书认真总结了15年来国内外武器装备可靠性、维修性、保障性最新实践经验,全面吸收了我国在预先研究和技术基础研究领域中取得的主要研究成果,从装备、系统、设备、元器件等多个产品层次和硬件、软件等不同产品类别,可靠性、维修性、测试性、保障性、安全性等多种质量特性,以及论证、研制、生产和使用与保障等寿命周期各阶段,全方位地论述了相关领域的基本概念、技术方法、实践经验及发展方向,具有系统性、实用性和前瞻性,从而有助于读者全面、系统地了解 and 掌握该项技术的全貌。本套丛中阐述的可靠

性、维修性、保障性理论与技术,对武器装备和一般民用工业产品均具有普遍的适用性。

《可靠性·维修性·保障性技术丛书》是一套理论与工程实践并重的著作,它不仅可以为广大工程技术和管理人员提供有用的指导和参考,也可作为有关工程专业本科生、研究生的教学参考书。我们相信,这套丛书的出版,对我国武器装备可靠性、维修性、保障性工程的全面深入发展将起到重要的推动和促进作用。

丛书编辑委员会

2010年12月

本书是《可靠性·维修性·保障性技术丛书》的第一册。书中阐述了国内外武器装备可靠性、维修性、测试性、保障性、安全性(简称 RMS)工程的发展历程、现状和趋势,阐明了其在武器装备研制、生产、使用中的重要地位和作用,分章节系统地介绍了可靠性、维修性、测试性、保障性、安全性技术以及元器件选择与控制、软件工程与软件可靠性和相关的工程管理内容。本书的主要内容是在参考国外相关技术领域最新发展动态的基础上,结合我国武器装备建设与国防科技发展近十年来的工程实践经验编写完成的,可以为相关行业规范化开展可靠性、维修性、保障性等工程实践提供指导。

本书共分 10 章,其主要内容如下:

第 1 章阐述了 RMS 工程的作用和地位,国内外 RMS 的发展历程、现状和趋势及 RMS 基本要求。

第 2 章阐述了 RMS 工程需要的主要数学基础知识。

第 3 章~第 7 章分别阐述了 RMS 的基本概念、技术要求以及设计、分析、试验和评价方法。

第 8 章、第 9 章分别介绍了元器件的选择与控制、软件工程与软件可靠性等内容,这两部分内容是影响系统和产品可靠性的重要基础。

第 10 章从系统工程的角度阐述了 RMS 管理的基本目标和主要方法。

参加本书撰写的有:第 1 章,曾天翔(第 7 章);第 2 章,林逢春、康锐;第 3 章,屠庆慈;第 4 章,章国栋;第 5 章,田仲;第 6 章,章国栋、康锐;第 7 章,曾天

翔;第8章,戴慈庄;第9章,阮镰;第10章,康锐。全书由康锐统编,王自力、屠庆慈主审。特别感谢陈希成、吕瑞为第10章的编写提供了原始素材。由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,还望读者不吝指教。

本册编写组

2011年10月



<b>第1章 绪论</b> .....	1
1.1 可靠性维修性保障性的作用和地位 .....	1
1.1.1 RMS 在高技术战争中的作用 .....	1
1.1.2 RMS 在现代装备研制中的地位 .....	5
1.2 RMS 工程的发展 .....	7
1.2.1 国外 RMS 工程的发展 .....	7
1.2.2 我国 RMS 工程的发展 .....	17
1.2.3 RMS 工程的发展趋势 .....	20
1.3 RMS 要求 .....	25
1.3.1 基本概念 .....	25
1.3.2 常用的 RMS 综合参数的定义及模型 .....	27
1.3.3 RMS 要求的确定原则 .....	42
1.3.4 RMS 要求的确定过程 .....	42
1.3.5 装备 RMS 要求的发展 .....	44
1.3.6 RMS 要求确定应注意的事项 .....	46
参考文献 .....	47
<b>第2章 可靠性维修性保障性数学基础</b> .....	48
2.1 概率论基本概念 .....	48
2.1.1 随机事件 .....	48
2.1.2 随机事件的频率和概率 .....	50
2.1.3 随机变量及其概率分布 .....	52
2.2 数理统计基本概念 .....	61
2.2.1 总体和样本 .....	61
2.2.2 分布参数估计 .....	62

2.3	蒙特卡罗方法	65
2.3.1	基本概念	65
2.3.2	随机抽样方法	65
2.3.3	系统仿真建模	66
2.3.4	仿真试验分析	67
2.3.5	注意事项	70
	参考文献	71
<b>第3章</b>	<b>可靠性技术</b>	<b>72</b>
3.1	定义与内涵	72
3.1.1	可靠性与可靠度	72
3.1.2	基本可靠性与任务可靠性	72
3.1.3	耐久性	72
3.1.4	无维修工作期	73
3.1.5	故障/失效	73
3.2	可靠性要求	74
3.2.1	定性要求	74
3.2.2	定量要求	74
3.2.3	注意事项	76
3.3	可靠性设计与分析	76
3.3.1	建立可靠性模型	76
3.3.2	可靠性分配和预计	82
3.3.3	制定和贯彻可靠性设计准则	85
3.3.4	故障模式影响及危害性分析	89
3.3.5	故障树分析	95
3.4	可靠性验证与评价	100
3.4.1	可靠性验证与评价的目的	100
3.4.2	可靠性验证与评价的类别	100
3.4.3	一般要求	101
3.4.4	环境应力筛选	101
3.4.5	可靠性研制试验	103
3.4.6	可靠性增长试验	105
3.4.7	可靠性鉴定与验收试验	108
3.4.8	寿命试验	114

3.4.9 可靠性分析与评价 .....	116
参考文献 .....	117
<b>第4章 维修性技术</b> .....	<b>118</b>
4.1 定义与内涵 .....	118
4.1.1 维修性的内涵 .....	118
4.1.2 维修性与产品的使用和维修费用 .....	119
4.1.3 维修性工作与维修性工程 .....	119
4.2 维修性要求 .....	121
4.2.1 维修性要求的确定 .....	121
4.2.2 定性要求 .....	121
4.2.3 定量要求 .....	123
4.3 维修性设计与分析 .....	125
4.3.1 维修性建模 .....	125
4.3.2 维修性分配 .....	129
4.3.3 维修性预计 .....	132
4.3.4 维修性分析 .....	143
4.3.5 制定和贯彻维修性设计准则 .....	145
4.4 维修性试验与评价 .....	150
4.4.1 维修性演示验证 .....	151
4.4.2 维修性定性评价 .....	155
4.4.3 定性评价与定量评价的融合 .....	157
4.4.4 产品使用中的维修性评价 .....	158
参考文献 .....	158
<b>第5章 测试性技术</b> .....	<b>159</b>
5.1 定义及内涵 .....	159
5.1.1 测试性 .....	159
5.1.2 测试性设计与分析 .....	159
5.1.3 测试性参数 .....	159
5.1.4 机内测试 .....	159
5.1.5 测试性模型 .....	160
5.1.6 诊断策略 .....	160
5.1.7 诊断方案 .....	160
5.1.8 嵌入式诊断 .....	160

5.1.9	中央测试系统	161
5.2	测试性要求	161
5.2.1	定性要求	161
5.2.2	定量要求	162
5.2.3	注意事项	164
5.3	测试性设计与分析	164
5.3.1	测试性设计与分析的内容和程序	164
5.3.2	诊断方案的确定	165
5.3.3	测试性建模和测试信息分析	173
5.3.4	测试性分配和预计	175
5.3.5	制定和贯彻测试性设计准则	180
5.3.6	固有测试性和诊断策略设计	183
5.3.7	嵌入式诊断设计	188
5.3.8	外部诊断设计	192
5.4	测试性验证与评价	196
5.4.1	测试性验证试验	196
5.4.2	测试性分析评价	202
5.4.3	测试性核查	203
5.4.4	虚警率验证问题	203
5.4.5	注意事项	204
	参考文献	204
<b>第6章</b>	<b>保障性技术</b>	<b>206</b>
6.1	定义与内涵	206
6.1.1	保障性	206
6.1.2	保障系统	207
6.1.3	保障方案	210
6.1.4	综合保障	213
6.2	保障性要求	214
6.2.1	保障性要求的层次	214
6.2.2	保障性要求的提出	219
6.3	保障性分析中的主要方法	220
6.3.1	以可靠性为中心的维修分析	224
6.3.2	修理级别分析	239

6.3.3	使用与维修工作分析	249
6.4	规划保障资源	251
6.4.1	备件规划与供应	251
6.4.2	保障设备研制与采购	253
6.4.3	保障设施规划与建立	255
6.4.4	人力、人员的规划	256
6.4.5	训练与训练保障	257
6.4.6	技术资料编制与发布	259
6.4.7	计算机资源保障	260
6.5	保障性试验与评价	263
6.5.1	保障性试验与评价的目的	263
6.5.2	保障性试验与评价的时机	263
6.5.3	保障性试验与评价的类型	264
	参考文献	267
<b>第7章</b>	<b>安全性技术</b>	<b>269</b>
7.1	定义及内涵	269
7.1.1	安全性	269
7.1.2	安全	269
7.1.3	事故	269
7.1.4	危险	269
7.1.5	危险可能性	269
7.1.6	危险严重性	270
7.1.7	风险	270
7.1.8	系统	270
7.1.9	分系统	270
7.2	安全性要求	270
7.2.1	定性要求	270
7.2.2	定量要求	273
7.2.3	注意事项	276
7.3	安全性分析与设计	277
7.3.1	安全性分析	277
7.3.2	安全性设计	293
7.4	危险及其控制	300

7.4.1	危险的主要来源	300
7.4.2	危险分类	300
7.4.3	环境危险及其控制	300
7.4.4	热危险及其控制	301
7.4.5	压力危险及其控制	301
7.4.6	毒性危险及其控制	302
7.4.7	振动危险及其控制	302
7.4.8	噪声危险及其控制	302
7.4.9	辐射危险及其控制	303
7.4.10	化学反应危险及其控制	303
7.4.11	污染危险及其控制	304
7.4.12	材料变质危险及其控制	304
7.4.13	着火危险及其控制	305
7.4.14	爆炸危险及其控制	305
7.4.15	电气和电子危险及其控制	305
7.4.16	加速度危险及其控制	306
7.4.17	机械危险及其控制	306
7.4.18	注意事项	307
7.5	安全性验证与评价	307
7.5.1	安全性验证	307
7.5.2	安全性评价	311
7.5.3	符合安全规章的评价	313
7.5.4	注意事项	313
	参考文献	313
<b>第8章</b>	<b>元器件的选择与控制技术</b>	<b>314</b>
8.1	定义与内涵	314
8.1.1	元器件的定义和分类	314
8.1.2	元器件固有可靠性和使用可靠性	315
8.1.3	元器件质量等级与质量保证等级	315
8.1.4	元器件的失效率等级	316
8.1.5	元器件质量与可靠性	317
8.1.6	QPL、QML、PPL	318
8.2	元器件的选择	318

8.2.1	一般原则	318
8.2.2	元器件选择的顺序	319
8.2.3	元器件质量等级的级别	319
8.2.4	常用国产元器件质量等级与质量系数	321
8.2.5	元器件质量等级的选择	328
8.2.6	推荐选择的常用国产元器件	329
8.2.7	禁止和限制选择的元器件	332
8.2.8	元器件优选目录和优选目录的使用	334
8.3	元器件的使用	335
8.3.1	降额使用	335
8.3.2	热对元器件的使用影响和解决措施	340
8.3.3	元器件使用的耐环境考虑和措施	344
8.3.4	元器件使用的其它问题	349
8.4	元器件选用控制	351
8.4.1	元器件选用全过程控制内容	351
8.4.2	元器件选择的控制	352
8.4.3	元器件的采购	356
8.4.4	元器件下厂监制和验收(或复验)	358
8.4.5	元器件的二次筛选	359
8.4.6	元器件的破坏性物理分析	361
8.4.7	元器件的保管和发放	363
8.4.8	元器件的装机和调试	366
8.4.9	元器件的静电防护	366
8.4.10	元器件的失效分析	368
8.4.11	元器件的评审	369
8.4.12	元器件的信息管理	370
	参考文献	370
<b>第9章</b>	<b>软件工程与软件可靠性工程</b>	<b>371</b>
9.1	定义与内涵	371
9.1.1	软件工程	371
9.1.2	软件工程化	371
9.2	软件开发过程与过程控制	371
9.2.1	软件开发过程	371

9.2.2	软件开发过程模型	373
9.2.3	软件开发过程控制	376
9.3	软件验证过程	386
9.3.1	软件验证过程的方法	386
9.3.2	软件开发各阶段的验证	386
9.4	软件开发过程的质量控制	394
9.4.1	软件文档	394
9.4.2	软件需求管理	395
9.4.3	软件测试	397
9.4.4	软件配置管理	400
9.4.5	注意事项	404
9.5	软件可靠性工程	405
9.5.1	定义及内涵	405
9.5.2	软件可靠性参数与指标	406
9.5.3	软件可靠性设计	407
9.5.4	软件失效模式和影响分析	414
9.5.5	软件可靠性测试	418
9.5.6	注意事项	426
	参考文献	427
<b>第 10 章</b>	<b>可靠性维修性保障性管理</b>	<b>428</b>
10.1	概述	428
10.1.1	装备全系统全特性全过程管理	428
10.1.2	系统工程的作用与任务	430
10.2	工程专业综合	437
10.2.1	工程专业综合的实施要素	437
10.2.2	RMS 工程与传统工程的综合	438
10.2.3	RMS 的工程专业综合	438
10.3	RMS 管理要点	442
10.3.1	RMS 管理目标	442
10.3.2	RMS 管理原则	443
10.3.3	RMS 管理方法	444
10.3.4	RMS 管理重点	444
10.4	RMS 工作计划	451



10.4.1	工作策划 .....	451
10.4.2	工作分解 .....	454
10.4.3	工作说明 .....	455
10.4.4	工作进度 .....	456
10.4.5	工作费用 .....	457
10.5	RMS 组织 .....	457
10.5.1	RMS 专业岗位与专业人员 .....	457
10.5.2	RMS 专业机构及工作流程 .....	458
10.5.3	型号的 RMS 组织体系 .....	460
10.6	某飞机设计所 RMS 组织管理发展历程 .....	461
10.6.1	概念引入与技术普及阶段 .....	461
10.6.2	技术发展与规范管理阶段 .....	462
10.6.3	认识更新与组织改进阶段 .....	462
	参考文献 .....	464
附录	与可靠性维修性保障性有关的国军标 .....	465