

可靠性·维修性·保障性技术丛书 ②

丛书主编 王自力

RMIS

可靠性维修性保障性 要求论证

Demonstration of Reliability, Maintainability and Supportability Requirements

主编 王自力

可靠性·维修性·保障性技术丛书

可靠性维修性保障性 要求论证

**Demonstration of Reliability, Maintainability and
Supportability Requirements**

主 编 王自力
副 主 编 孙宇锋
编写组成员 肖波平 肖依永 赵广燕
(按姓氏笔画排序) 黄 巍 阚琳洁

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书系统介绍了 RMS 要求论证技术,全书共分七章。主要内容包括:武器装备 RMS 要求论证概述、RMS 论证工作要求及论证程序、RMS 定量要求论证、装备 RMS 定性要求和工作项目要求、装备 RMS 定量要求论证的仿真方法、典型装备 RMS 要求论证示例等。

本书可供武器装备管理机关、论证部门、研制生产部门的 RMS 专业人员及技术与管理人员阅读参考,也可作为高等院校本科生、研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

可靠性维修性保障性要求论证/王自力主编. —北京:
国防工业出版社, 2011. 4
(可靠性·维修性·保障性技术丛书)
ISBN 978-7-118-07305-8

I. ①可... II. 王... III. ①武器装备 - 可靠性工
程 - 研究 IV. ①E237

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 053631 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 18½ 字数 318 千字

2011 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 48.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

《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。本套丛书中阐述的可靠

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



可靠性、维修性(含测试性)、保障性(又称可靠性维修性保障性,以下简称 RMS)是影响武器装备效能、作战适用性、作战能力、生存性及寿命周期费用的重要因素,武器装备 RMS 水平的高低直接决定了装备战斗力水平发挥的高低,对战场或战争的结果有着重要影响。近年来世界范围内几场高科技战争的特点表明:武器装备作战效果的好坏直接体现于装备系统效能的高低,因此在装备研制过程中不仅要重视装备个体性能(包括 RMS)水平的高低,更要重视装备系统的整体效能。

武器装备论证的任务是在处理武器装备的发展、建设和管理等问题中,针对需要达到的目标提出并选择一种最切实际且效果最佳的方案,并证明其必要性、可行性和优越性。武器装备论证是现代武器装备研制工作的龙头,是决定新研装备能否在当前及未来一段时间内对付各种威胁、满足军事需要的关键。武器装备的 RMS 要求作为重要的战术技术指标,是新研武器装备的任务需求和使用要求的重要组成部分,是承制方确定装备技术方案、进行研制、生产和试验的依据,也是订购方进行监控、考核、以及验收的依据。武器装备 RMS 要求论证,是对未来装备的实际使用与保障情况进行科学分析,对其战备完好与任务成功能力进行合理预测,正确估计 RMS 要求对武器装备总体效能的影响,并在武器装备 RMS 需求和实际研制能力之间进行权衡,提出科学合理的装备 RMS 要求,实现尽可能减少装备的寿命周期费用、降低对维修和综合保障要求的目标。

我国武器装备 RMS 要求的论证技术,经过近二十年的发展,已经取得了不少成果。但由于武器装备 RMS 要求论证技术涉及面广,与作战任务、使用要求、工程设计及使用、维修保障等技术密切相关,技术难度大。到目前为止,工程实践中还缺乏一套系统的理论与方法来全面指导并规范 RMS 要求论证

工作。本书根据武器装备 RMS 要求论证工作及其技术发展需求,汇集整理了我国近十年来 RMS 要求论证技术的多方面研究和实践成果,旨在详细介绍符合国情且具有操作性的 RMS 要求论证程序与方法,为武器装备 RMS 要求论证工作提供指导和技术支持。

全书共分七章,第 1 章绪论。分析了 RMS 要求论证在武器装备建设和发展过程中的重要意义和作用,回顾了国内外武器装备 RMS 要求论证技术的发展。第 2 章是可靠性维修性保障性要求。介绍了可靠性要求、维修性要求、保障性要求以及 RMS 综合要求的相关基本概念,详细讨论了装备各类 RMS 要求的常用参数及其模型。第 3 章是 RMS 论证工作要求和程序。围绕武器装备 RMS 要求论证工作需求,分析了 RMS 要求论证的基本原则,说明了 RMS 要求论证的工作要求和职责,分别阐述了新研武器装备和改型装备 RMS 要求论证的程序及其定量要求论证的一般过程,并结合典型装备的论证过程进行了示例分析。第 4 章是 RMS 定量要求论证。围绕装备 RMS 要求论证的程序,结合示例说明了 RMS 定量要求论证各环节的基本方法,包括了确定 RMS 基本定量要求、RMS 顶层参数及指标确定方法、RMS 参数目标值和门限值的确定方法、RMS 合同指标的确定方法、RMS 参数指标的技术和经济可行性分析方法、RMS 参数指标与性能和费用间的权衡方法、RMS 要求的验证方法等。第 5 章是 RMS 定性要求和工作项目要求论证。阐述了确定 RMS 定性要求的原则,说明了可靠性、维修性、测试性、保障性、安全性定性要求应包含的内容;结合相关标准介绍了装备 RMS 的主要工作项目内容,重点阐述了 RMS 工作项目要求剪裁的基本原则和方法。第 6 章是 RMS 定量要求论证的仿真方法。分析了建模与仿真技术在装备 RMS 定量要求论证中的重要作用,介绍了 RMS 定量要求论证中的仿真分析流程,重点阐述了 RMS 定量要求论证中相关的仿真模型和算法、以及仿真工具的设计思路。第 7 章是典型装备 RMS 要求论证示例。

本书第 1、2 章由王自力、赵广燕编写,第 3、7 章由孙宇锋编写,第 4 章由孙宇锋、肖依永编写,第 5 章由肖波平编写、第 6 章由黄巍编写。全书由王自力主编,屠庆慈、陈新主审,阚琳洁修订校正。本书参考的主要技术资料,得到了武器装备 RMS 要求论证领域曾天翔、罗汉生、马绍力、王兴安、张启成、杨云、林武强、阮咏梅、张军、吴昌等许多专家学者的帮助,本书编写过程中覃彤、王潇、高龙等同志参加了相关资料收集、案例举证、文字编撰等工作,在此一并

表示感谢。

本书尽可能从工程实际出发,选用有参考意义的内容,供武器装备管理机构、论证部门、研制生产部门的可靠性专业人员及技术与管理人员参考阅读,也可作为高等院校本科生、研究生的参考书。

由于作者的知识 and 经验的局限性,本书的缺点和错误在所难免,诚望广大读者提出宝贵意见,以利纠正。

作者

2010 年 9 月

缩 略 语

ADT (Administrative Delay Time) 管理延误时间	单元
AT (Alert Time) 待命时间	MCS P (Mission Completion Success Probability) 任务成功概率
ATE (Automatic Test Equipment) 自动测试设备	MCR (Mission Capable Rate) 系统能执行任务率
BIT (Built - In Test) 机内测试	MDT (Mean Downtime Ratio) 平均不能工作时间
CMT (Corrective Maintenance Time) 修复性维修时间	MFHBF (Mean Flight Hour Between Failures) 平均故障间隔飞行小时
DMEA (Damage Modes And Effects Analysis) 损坏模式及影响分析	MFDT (Mean Failures Detection Time) 平均故障检测时间
DMMH/FH (Direct Maintenance man hours per flight hour) 每飞行小时直接维修工时	MLDT (Mean Logistic Down Time) 平均保障资源延误时间
DT (Down Time) 不能工作时间	MMBF (Mean Mileage Between Failures) 平均故障间隔里程
ESS (Environmental Stress Screening) 环境应力筛选	MMH/FH (Maintenance man hours per flight hour) 每飞行小时平均维修工时
ETE (External Test Equipment) 外部测试设备	MMT (Mean Maintenance Time) 平均维修时间
FAR (False Alarm Rate) 虚警率	MT (Maintenance Time) 维修时间
FDR (Fault Detection Rate) 故障检测率	MTBDE (Mean Time Between Downing Event) 平均不能工作事件间隔时间
FEA (Finite Element Analysis) 有限元分析	MTBCF (Mission Time Between Critical Failures) 平均严重故障间隔时间
FIR (Fault Isolation Rate) 故障隔离率	MTBF (Mean Time Between Failures) 平均故障间隔时间
FMECA (Fault Modes And Effects Analysis) 故障模式、影响及危害性分析	MTBM (Mean Time Between Maintenance) 平均维修间隔时间
FRACAS (Failure Report, Analysis & Correct Action System) 故障报告、分析和纠正措施系统	MTBMA (Mean Time Between Maintenance) 平均维修活动间隔时间
LCC (Life Cycle Cost) 寿命周期费用	
LORA (Level of Repair Analysis) 修理级别分析	
LRU (Line Replaceable Unit) 外场可更换	

MTBR (Mean Time Between Removals) 平均拆卸间隔时间	ability) 可靠性、维修性和保障性
MTTR (Mean Time Repair) 平均修复时间	SCA (Sneak Circuit Analysis) 潜在通路分析
PMT (Preventive Maintenance Time) 预防性维修时间	SDT (Supply Delay Time) 供应延误时间
RCMA (Reliability Centered Maintenance Analysis) 以可靠性为中心的维修分析	SGR (Sortie Generation Rate) 出动架次率
RQT (Reliability Qualification Test) 可靠性鉴定试验	SRU (Shop Replaceable Unit) 车间可更换单元\内场可更换单元
RMS (Reliability, Maintainability and Support-	ST (Storage Time) 贮存时间
	TAT (Turn Around Time) 再次出动准备时间
	UT (Up Time) 能工作时间
	UUT (Unit Under Test) 被测单元

符 号

符号	中文	符号	中文
A	可用度	R_A	待命可靠度
A_o	使用可用度	R_D	发射飞行可靠度
A_i	固有可用度	R_F	飞行可靠度
A_a	可达可用度	R_L	发射可靠度
A_S	贮存可用度	R_M	武器系统战斗工作可靠度
A	在航率	R_m	任务可靠度
D_m	任务成功度	R_N	引(核)爆可靠度
L_{DMF}	每飞行小时直接维修工时	R_{RF}	受油速率
L_{SE}	使用寿命(期)	R_S	储存可靠度
L_{ST}	储存寿命	r_{FA}	虚警率
L_{TOL}	总寿命	r_{FMC}	能执行全部任务率
M_{BCF}	平均严重故障间任务里程	r_{FD}	故障检测率
M_{BF}	平均故障间隔里程	r_{FI}	故障隔离率
M_{DE}	维修事件的平均直接维修工时	r_{IFS}	空中停车率
M_{DA}	维修活动的平均直接维修工时	r_{MC}	能执行任务率
M_R	维修工时率	r_{NMC}	不能执行任务率
M_{ST}	单车战斗准备时间 (任务前准备时间)	r_{PMC}	能执行部分任务率
P_A	事故率或事故概率	r_{SEP}	保障设备满足率
P_D	检测合格率	r_{SEU}	保障设备利用率
P_I	备件保障概率	r_{SF}	备件满足率
P_L	损失率或损失概率	r_{SU}	备件利用率
P_{MC}	任务成功率	r_{SG}	出动架次率
P_{MR}	装备完好率	r_U	利用率
P_{OR}	战备完好率	r_{UER}	提前换发率
P_{tp}	技术准备完好率	T_{AL}	无维修待命时间
P_{wp}	待机准备完好率	T_{BA}	平均事故间隔时间
		T_{BCF}	平均严重故障间隔时间

(续)

符号	中文	符号	中文
T_{BD}	平均需求间隔时间	T_{MCR}	重要零部件平均更换时间
T_{BF}	平均故障间隔时间 (平均故障间隔挂飞时间)	T_{MFHBF}	平均故障间隔飞行小时
T_{BO}	大修间隔期	T_{MRF}	平均恢复功能用的任务时间
T_{BM}	平均维修间隔时间	T_{MLD}	平均保障资源延误时间
T_{BPM}	平均预防性维修间隔时间	T_{PT}	平均预防性维修时间
T_{BR}	平均拆卸间隔时间	T_R	冗余分系统切换时间
T_{CT}	平均修复时间	T_{SR}	备件供应反应时间
T_{ER}	更换发动机时间	T_{STM}	任务前准备时间
T_{MAD}	平均管理延误时间	T_{TA}	再次出动准备时间
T_{MAXCT}	最大修复时间	T_{TF}	平均故障前时间
		T_{TFO}	首次大修期限



缩略语

符号

第 1 章 绪论	1
1.1 武器装备 RMS 要求论证的意义	1
1.1.1 武器装备 RMS 要求论证的内涵	1
1.1.2 武器装备 RMS 要求论证的地位	4
1.1.3 武器装备 RMS 要求论证的作用	4
1.2 武器装备 RMS 要求论证的发展	6
1.2.1 RMS 要求论证工作国外发展主要历程	6
1.2.2 国外 RMS 要求论证主要工具	7
1.2.3 国内 RMS 要求论证的发展现状	10
1.2.4 RMS 要求论证工作的发展特点	11
1.3 武器装备可靠性维修性保障性要求论证的原则	13
第 2 章 可靠性维修性保障性要求	18
2.1 基本概念	18
2.1.1 定性要求	18
2.1.2 定量要求	19
2.1.3 RMS 使用参数与合同参数	20
2.1.4 目标值、门限值、规定值和最低可接受值	21
2.1.5 工作项目要求	23
2.2 RMS 综合要求	24
2.2.1 效能	25
2.2.2 寿命周期费用	28
2.2.3 常用的 RMS 综合参数的定义及模型	29

2.3	可靠性要求	44
2.3.1	基本概念	44
2.3.2	常用的可靠性参数的定义及模型	46
2.4	维修性要求	54
2.4.1	基本概念	54
2.4.2	常用的维修性参数的定义及模型	55
2.5	测试性要求	59
2.5.1	基本概念	59
2.5.2	常用的测试性参数的定义及模型	59
2.6	保障性要求	62
2.6.1	基本概念	62
2.6.2	常用的保障系统及其资源参数的定义及模型	63
2.7	安全性要求	65
2.7.1	基本概念	65
2.7.2	常用的安全性参数的定义及模型	66
第3章	可靠性维修性保障性论证工作要求及程序	68
3.1	可靠性维修性保障性论证工作要求和职责	68
3.1.1	可靠性维修性保障性论证工作要求	68
3.1.2	可靠性维修性保障性要求论证的工作职责	71
3.1.3	注意事项	72
3.2	可靠性维修性保障性要求论证程序	72
3.2.1	总体论证程序	72
3.2.2	立项阶段论证程序	74
3.2.3	方案阶段论证程序	77
3.2.4	改型装备 RMS 要求论证程序	79
3.2.5	注意事项	80
3.3	RMS 定量要求论证过程	81
3.3.1	RMS 定量要求论证一般过程	81
3.3.2	典型装备 RMS 定量要求论证过程分析	83
第4章	可靠性维修性保障性定量要求论证	87
4.1	可靠性维修性保障性定量要求参数集	87
4.1.1	典型装备 RMS 参数基本集	87

4.2	可靠性维修性保障性顶层参数选择及论证	98
4.2.1	RMS 顶层参数及指标确定的程序和方法	98
4.2.2	典型装备 RMS 顶层参数及指标确定	105
4.2.3	注意事项	110
4.3	可靠性维修性保障性参数目标值的确定	110
4.3.1	确定 RMS 参数目标值的原则和方法	110
4.3.2	典型装备顶层参数分解和 RMS 目标值的确定	115
4.3.3	注意事项	123
4.4	可靠性维修性参数门限值的确定	123
4.4.1	基于 Duane 模型的可靠性门限值确定法	123
4.4.2	维修性指标门限值的确定	130
4.4.3	典型装备 RMS 参数门限值确定	131
4.4.4	注意事项	133
4.5	可靠性维修性保障性合同参数指标的确定	133
4.5.1	RMS 使用参数指标转换为合同参数指标的方法	134
4.5.2	典型装备 RMS 合同参数指标的确定	134
4.5.3	注意事项	136
4.6	可靠性维修性保障性参数指标的技术可行性分析	136
4.6.1	技术可行性分析程序	136
4.6.2	技术可行性分析方法	137
4.6.3	典型 RMS 参数指标的技术可行性分析	140
4.6.4	注意事项	141
4.7	可靠性维修性保障性参数指标的经济可行性分析	142
4.7.1	RMS 参数指标的经济可行性分析程序	143
4.7.2	装备寿命周期费用的构成	146
4.7.3	装备寿命周期费用的估算方法	147
4.7.4	装备寿命周期费用的影响因素	148
4.7.5	RMS 参数指标的经济性优化设计	149
4.8	可靠性维修性保障性参数指标的综合权衡	153
4.8.1	装备 RMS 参数指标综合权衡程序	153
4.8.2	装备 RMS 参数指标综合权衡方法	157

4.9	确定可靠性维修性保障性要求的验证方法	167
4.9.1	装备 RMS 要求验证方法	167
4.9.2	装备 RMS 要求验证方法选取时应做的工作	168
4.9.3	装备 RMS 要求验证方法选择的顺序	169
4.9.4	典型装备 RMS 要求验证方法的选择	170
4.9.5	典型装备验证方法案例	173
第 5 章	装备 RMS 定性要求和工作项目要求	176
5.1	确定 RMS 定性要求的因素及程序	176
5.1.1	确定 RMS 定性要求应考虑的因素	176
5.1.2	确定 RMS 定性要求程序	177
5.1.3	装备 RMS 定性总要求	177
5.2	可靠性通用定性要求	180
5.2.1	简单性	180
5.2.2	冗余	181
5.2.3	降额	181
5.2.4	采用成熟技术	181
5.2.5	环境适应性	182
5.2.6	人一机工程设计	182
5.3	维修性通用定性要求	183
5.3.1	可达性	183
5.3.2	标准化和互换性	184
5.3.3	单元体与模块化	185
5.3.4	标记	185
5.3.5	安装、固定与连接	186
5.3.6	紧固件	186
5.3.7	人素工程	187
5.3.8	保养	188
5.3.9	维修环境	188
5.3.10	维修安全	189
5.3.11	战场抢修	189
5.4	测试性通用定性要求	190
5.4.1	测试点	190