

装备系统工程

(第2版)

陈学楚 张诤敏 陈云翔 梁工谦 陈翔宇 编著



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

装备系统工程

(第2版)

Materiel Systems Engineering
(Second Edition)

陈学楚 张诤敏 陈云翔 编著
梁工谦 陈翔宇

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

装备系统工程 / 陈学楚等编著. —2 版. —北京: 国防工业出版社, 2008.1 重印

ISBN 978-7-118-03833-0

I. 装... II. 陈... III. 武器装备—军事系统工程
学 IV. E92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 026373 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)

京南印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 10 5/8 字数 265 千字

2008 年 1 月第 6 次印刷 印数 10001—11500 册 定价 35.00 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

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 刘成海

副主任委员 王 峰 张涵信 张又栋

秘书长 张又栋

副秘书长 彭华良 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 韩祖南 舒长胜

前 言

现代武器装备的论证、研制、使用和保障是一项复杂的系统工程。在寿命周期过程中,特别是在早期阶段,如果未采用系统工程的理论和方法进行管理,常常容易出现性能指标达不到要求,研制进度不断延长,研制费用一再追加,维修保障不配套,最终将诸多的问题遗留给使用部队,其使用保障费用负担沉重,出勤率低,难以形成应有的作战能力。

军事部门在采办过程中如何有效地控制性能、进度和费用的指标,获得作战效能高而寿命周期费用和总拥有费用低的武器装备?怎样使所采办的武器装备开始部署使用之时就能迅速发挥其应有的作战效能,并且能够持续保持其作战能力?这是一些有待解决的实际问题。20世纪60年代以来,美军在武器装备研制过程中,也遇到过类似的问题。由于在论证、设计、研制、试验、评审、生产、采购、使用、保障直到退役的全寿命周期中,采用了系统工程的理论和方法,使问题解决得较有成效。为了吸收外军的有益经验,并结合我军情况,我们曾编著《装备系统工程》一书,1995年由国防工业出版社出版,该书曾多次印刷,受到读者欢迎;但出版已10年,在此期间,国内外情况和装备系统工程学科又有较大的变化和发展,为此决定修订再版,以适应我军装备现代化建设发展的需要。

第2版基本保留初版各章的内容,即绪论、系统工程管理、可靠性与维修性、保障性与综合保障、预防性维修、修复性维修、战场

抢修、装备信息管理等八章;此外,新增加项目管理、风险管理、合同管理、备件管理、软件维护和软件保障等五章内容,共计十三章。

关于系统工程的常用工具,如预测技术、仿真技术、网络技术、评价和决策技术、排队论、对策论、图论、技术经济分析等,由于目前这方面已有大量出版物,本书不再赘述。

本书编著人员有陈学楚(一、二、七、十章)、张净敏(四、九、十二章)、陈云翔(三、八章)、梁工谦(六、十一章)、陈翔宇(五、十三章),全书由陈学楚主编。限于编著人员水平,错误之处希望读者指正。

本书在编著和出版过程中得到总装备部综合计划部维修局、总装备部技术基础管理中心和空军装备部综合计划部的大力支持,特此致谢。

编著者

2005年3月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 装备使用中出现的問題	1
1.1.1 危及安全	1
1.1.2 出勤率下降	2
1.1.3 費用负担沉重	3
1.2 效能与費用	4
1.2.1 效能	4
1.2.2 費用	5
1.3 装备系统工程的基本概念	6
1.3.1 系統	6
1.3.2 系统工程	8
1.3.3 系统工程中的一般步骤与方法	9
1.3.4 装备系统工程概述	11
第二章 系统工程管理	18
2.1 系统工程管理概述	18
2.1.1 研制阶段划分	18
2.1.2 系统工程过程	19
2.1.3 寿命周期综合	19
2.2 系统工程过程	20
2.2.1 系统工程过程综述	20
2.2.2 要求分析	24
2.2.3 功能分析和功能分配	29
2.2.4 设计综合	30

2.2.5 验证	31
2.3 工作分解结构	35
2.3.1 工作分解结构的定义	35
2.3.2 工作分解结构的制定	36
2.3.3 工作分解结构的作用	37
2.4 技术状态管理	37
2.4.1 技术状态	38
2.4.2 技术状态管理	39
2.4.3 技术状态项目	39
2.4.4 规范	40
2.4.5 技术状态基线	42
2.4.6 技术状态管理过程	43
2.4.7 技术状态管理与合同管理	45
2.5 技术审查	46
2.5.1 系统要求审查	46
2.5.2 系统设计审查	47
2.5.3 软件规范审查	47
2.5.4 初步设计审查	47
2.5.5 关键设计审查	48
2.5.6 测试准备审查	49
2.5.7 生产准备审查	49
2.5.8 正式鉴定审查	49
2.6 权衡研究	50
2.7 建模与仿真	51
2.7.1 建模与仿真的概念	51
2.7.2 仿真分类	52
2.7.3 基于仿真的采办	53
2.8 产品度量	54
2.8.1 技术性能度量	54
2.8.2 作战适用性度量	54
2.9 寿命周期各阶段主要工作	55

2.10 系统工程管理的有关计划及主要活动	58
2.10.1 系统工程管理的有关计划	58
2.10.2 寿命周期各阶段的主要活动(举例)	61
第三章 可靠性与维修性	63
3.1 可靠性的基本概念	63
3.1.1 可靠性与可靠度	63
3.1.2 故障率	66
3.1.3 平均寿命	68
3.1.4 可靠寿命	68
3.1.5 任务可靠性与基本可靠性	69
3.2 可靠性试验及评估	70
3.2.1 可靠性试验的目的和种类	70
3.2.2 指数分布的点估计和区间估计	72
3.2.3 定时有替换截尾抽样试验	75
3.2.4 寿命评估	79
3.2.5 可靠性增长试验	83
3.3 维修性和可用性	86
3.3.1 维修性、维修度	86
3.3.2 任务维修性与基本维修性	87
3.3.3 平均修复时间	87
3.3.4 测试性	87
3.3.5 可用性	89
3.4 寿命周期过程中可靠性与维修性工作	91
3.4.1 寿命周期过程中可靠性与维修性活动	91
3.4.2 可靠性、维修性工作项目	92
第四章 保障性与综合保障	94
4.1 保障性	94
4.1.1 保障性定义	94
4.1.2 保障性参数与要求	95
4.2 综合保障	96

4.2.1	基本概念	96
4.2.2	装备保障	97
4.2.3	综合保障要素	99
4.2.4	装备保障方案	100
4.2.5	综合保障计划与综合保障工作计划	101
4.3	保障性分析	103
4.3.1	保障性分析的概念	103
4.3.2	保障性分析的目的和内容	104
4.3.3	备选方案的评价和权衡分析	108
4.3.4	保障性分析的应用举例	110
4.4	装备寿命周期过程中的综合保障活动	111
第五章	项目管理	113
5.1	项目管理概述	113
5.1.1	项目管理的由来和发展	113
5.1.2	项目	115
5.1.3	项目管理	116
5.1.4	项目管理的阶段和内容	118
5.1.5	项目管理知识体系	120
5.2	项目管理的组织	122
5.2.1	职能式组织结构	122
5.2.2	项目式组织结构	123
5.2.3	矩阵式组织结构	125
5.2.4	项目组织结构的选择	127
5.3	美军项目采办组织	128
5.3.1	项目主任	128
5.3.2	项目办公室	129
5.4	项目主任应做好的几项关键工作	133
第六章	风险管理	137
6.1	风险及其分类	137
6.1.1	项目风险定义	137

6.1.2 项目风险的分类	138
6.1.3 风险等级	139
6.2 风险管理过程	139
6.2.1 风险管理概念	140
6.2.2 风险规划	141
6.2.3 风险评估	143
6.2.4 风险处理	148
6.2.5 风险监控	152
6.3 风险管理与项目管理	153
6.3.1 风险管理是项目管理的有机组成部分	153
6.3.2 项目采办过程的风险管理	154
6.3.3 项目风险管理的 5 条准则	155
第七章 合同管理	157
7.1 概述	157
7.1.1 合同的概念	157
7.1.2 合同法的基本原则	158
7.1.3 合同订立及履行中的若干事项	160
7.2 武器装备研制项目的招标	164
7.2.1 招标的基本方式	164
7.2.2 招标前的准备工作	165
7.2.3 招标程序	166
7.3 武器装备研制合同	168
7.3.1 武器装备研制合同的作用	168
7.3.2 合同类型	169
7.3.3 合同内容	170
7.3.4 提高合同管理水平,充当“精明买主”	173
第八章 预防性维修	175
8.1 以可靠性为中心维修的形成与发展	175
8.1.1 以可靠性为中心维修的形成	175
8.1.2 以可靠性为中心维修的发展	179

8.2 维修方式、维修工作类型和维修级别	181
8.2.1 维修方式	181
8.2.2 维修工作类型	183
8.2.3 维修级别	185
8.3 以可靠性为中心维修的基本内容	186
8.3.1 辩证地对待定时维修	186
8.3.2 提出潜在故障概念,开展视情维修	189
8.3.3 提出隐蔽功能故障与多重故障概念,控制故障风险概率	192
8.3.4 区分不同的故障后果,采取不同的对策	195
8.3.5 科学评价预防性维修的作用	196
8.3.6 确定预防性维修工作的基本思路	197
8.4 预防性维修大纲	199
8.4.1 预防性维修大纲概述	199
8.4.2 系统和设备以可靠性为中心的维修分析	203
第九章 修复性维修	206
9.1 修复性维修的主要内容	206
9.1.1 修复性维修的概念	206
9.1.2 修复性维修的性质与任务	206
9.1.3 修复性维修的主要内容及其程序	208
9.2 装备系统的故障特征与故障模式	208
9.2.1 装备系统的故障特征	208
9.2.2 装备结构机件的故障模式	209
9.3 装备状态监控与故障诊断	211
9.3.1 装备状态监控与故障诊断内容及分类	211
9.3.2 故障诊断的主要理论和方法	214
9.3.3 状态监控与故障诊断系统的技术结构	215
9.4 装备故障诊断及维修技术	218
9.4.1 嵌入式诊断技术	218
9.4.2 无损检测技术	219
9.4.3 智能维修技术	223

9.4.4 远程维修技术	223
第十章 战场抢修	225
10.1 战场抢修的作用	225
10.2 战场抢修与平时维修的主要区别	228
10.3 战场损伤评估与修复	233
10.3.1 战场损伤评估	233
10.3.2 战场损伤修复	238
10.4 战场抢修性及其设计	244
10.4.1 战场抢修性	244
10.4.2 抢修性的设计及其管理	246
第十一章 备件管理	251
11.1 备件及其管理指标	251
11.1.1 备件	251
11.1.2 备件的分类	252
11.1.3 备件管理指标	253
11.2 经济订货量模型	254
11.2.1 确定型 EOQ 模型	254
11.2.2 随机型 EOQ 模型	256
11.3 备件的储备	257
11.3.1 备件的平均需求量	257
11.3.2 备件保障率水平的确定	259
11.3.3 备件储备量	261
11.3.4 按费用优化备件储备	263
11.4 寿命周期各阶段的备件管理工作	264
第十二章 软件维护和软件保障	267
12.1 软件维护的基本概念	267
12.1.1 软件故障	267
12.1.2 软件维护	270
12.1.3 软件维护与硬件维修的区别	272
12.2 软件可维护性	273

12.2.1 软件可维护性的概念	273
12.2.2 软件可维护性的定量研究	277
12.3 软件维护实施	277
12.3.1 以软件工程为基础	277
12.3.2 软件维护过程	278
12.3.3 软件能力成熟度模型	281
12.4 软件保障	285
12.4.1 软件保障与保障性	285
12.4.2 软件保障要素	286
12.4.3 软件保障的组织与实施	288
12.4.4 软件保障过程	290
第十三章 装备信息管理	293
13.1 信息及信息流程	293
13.1.1 信息的概念	293
13.1.2 信息系统简介	294
13.1.3 信息流程	295
13.2 装备信息管理及 CALS	297
13.2.1 装备信息管理的概念	297
13.2.2 CALS	298
参考文献	306

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Emergence problems in materiel operation	1
1.1.1 Endangerment safety	1
1.1.2 Reduction utilization rate	2
1.1.3 Heavy cost load	3
1.2 Effectiveness and cost	4
1.2.1 Effectiveness	4
1.2.2 Cost	5
1.3 Basic concept of materiel systems engineering	6
1.3.1 System	6
1.3.2 Systems engineering	8
1.3.3 General steps and methods in systems engineering	9
1.3.4 Materiel systems engineering generalization	11
Chapter 2 Systems engineering management	18
2.1 Systems engineering management generalization	18
2.1.1 Development phases divide	18
2.1.2 Systems engineering process	19
2.1.3 Life cycle integration	19
2.2 System engineering process	20
2.2.1 Systems engineering process generalization	20
2.2.2 Requirements analysis	24
2.2.3 Functional analysis and functional allocation	29
2.2.4 Design integration	30
2.2.5 Demonstration	31