

总装备部国防科技图书出版基金资助

武器装备 项目进度、费用与风险管理

徐 哲 © 著

Schedule,
Cost and Risk Management
for Weapon System



国防工业出版社

National Defense Industry Press

武器装备项目进度、 费用与风险管理

Schedule, Cost and Risk Management
for Weapon System

徐 哲 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

武器装备项目进度、费用与风险管理 / 徐哲著. —北京:
国防工业出版社, 2011. 3

ISBN 978 - 7 - 118 - 07164 - 1

I. ①武... II. ①徐... III. ①武器装备管理: 项目管
理 IV. ①E075

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 235928 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 16¼ 字数 300 千字

2011 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 56.00 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 第六届评审委员会组成人员

主任委员 刘成海

副主任委员 宋家树 蔡 镭 程洪彬

秘书长 程洪彬

副秘书长 邢海鹰 贺 明

委 员 于景元 才鸿年 马伟明 王小谟

(按姓氏笔画排序) 甘茂治 甘晓华 卢秉恒 邬江兴

刘世参 芮筱亭 李言荣 李德仁

李德毅 杨 伟 肖志力 吴有生

吴宏鑫 何新贵 张信威 陈良惠

陈冀胜 周一宇 赵万生 赵凤起

崔尔杰 韩祖南 傅惠民 魏炳波

前 言

武器装备是国防科学技术发展的重要目标,是现代高技术战争的关键,具有重要的军事意义。为了增强我国武器装备的研制能力和对军方装备需求以及战术技术指标的快速反应能力,武器装备研制和生产部门必须及时将国际先进管理技术运用于武器装备的研制过程中,缩短研制周期,降低寿命周期成本,降低研制失败的风险。因此,进度、费用与风险管理是武器装备项目管理的重点。

本书综合运用系统工程、项目管理、系统仿真、随机网络、统计分析等理论和方法,从我国武器装备管理的实际出发,考虑武器装备研制过程不确定性的特点,深入浅出地介绍武器装备项目进度管理、费用管理、风险管理,以及进度与费用的联合分析与控制的最新理论、方法和应用。本书不同于一般的项目管理教材和著作,主要包括了作者近年来的相关研究工作,着重突出学术性、创新性和实用性,融入了武器装备进度、费用与风险管理的最新理论成果和应用技术。为了帮助读者更好地理解 and 掌握相关的理论和方法,本书还系统介绍了大量的应用案例研究。

本书共分为八章,包括武器装备系统管理概述、进度管理、费用管理、风险管理、联合分析与控制五大部分。

在武器装备系统管理概述中,概括了武器装备的基本概念,阐述了武器装备的全系统和全寿命管理的特点和必要性,同时探讨了武器装备全寿命费用管理、武器装备项目管理的基本内容。

在武器装备项目进度管理中,结合武器装备项目的特点,重点介绍了项目进度计划的编制、优化与控制的基本过程和相关理论方法,并应用于某武器装备项目进度管理。

在武器装备费用管理中,主要有两个内容:一是根据我国武器装备系统研制费用估算中存在的样本数据少,解释变量之间存在多重共线性的特点,重点介绍了解决这些问题的偏最小二乘回归法,并给出了该方法在某型无人侦察机

和某军用飞机发动机研制费用估算两个实例中的应用;二是根据武器装备这类大型复杂系统研制费用随时间分布的特点,介绍了 Weibull 时间—费用分布模型及其模型参数的估计方法,并结合三个武器装备研制项目详细介绍了以上方法在事前投资预算、事中预测和事后拟合评估三个阶段的应用;此外,还讨论了时间—费用分布均衡优化问题及算法。

在武器装备项目风险管理中,主要包括四个内容:一是依据项目风险管理过程,介绍武器装备项目风险识别、风险估计、风险评价、风险处理与控制这四个过程运用的主要工具和技术;二是探讨武器装备项目技术风险的概念与内涵,提出两种技术风险评估方法:基于技术风险因子的技术风险评估方法和基于 GERT 多反馈分支仿真的技术风险评估方法,并分别应用于两个武器装备研制项目技术风险评估中;三是在 GERT 多反馈分支仿真模型的基础上,根据性能风险的定义,通过设定仿真时钟实现对研制工期和研制费用的约束,提出基于可靠性理论的性能风险评估方法;四是通过仿真输出结果的统计分析,建立费用与进度的边沿风险概率、条件风险概率以及联合风险概率定量估计模型。

在大型项目费用与进度联合分析与控制中,介绍了大型项目费用与进度联合分析与控制的理论、方法和应用问题,包括费用与进度联合置信估计、费用与进度联合基准计划曲线和实际执行曲线、费用与进度联合绩效监测与预测的内容。

本书是在作者 2006 年完成的博士论文《武器装备费用优化与风险分析的理论与应用研究》及之后 5 年的延续研究工作基础上著成的。作者自 1992 年开始师从冯允成教授攻读硕士学位,进入国防系统工程与项目管理研究领域,在导师的悉心指导和帮助下,作者在这一领域的研究不断深入,并取得了一些成果,作者愿借此机会,向冯允成教授致以崇高的敬意及深深的谢意。鲁大伟、刘荣、李科、吴瑾瑾、汪阳青、贾子君在北京航空航天大学学习期间参与了与本书相关内容的研究,开展了一部分资料收集、实证研究和程序开发工作,本书包含着我们共同工作的成果,在本书出版之际,作者愿向他们表示最诚挚的谢意。

本书的研究工作在不同时期先后受到国家 863 航天领域基金(项目编号 863-2-1-3-9)、航空科学基金(项目编号 02J51074)、航空创新基金(项目编号 07E51009)和国家自然科学基金(项目编号 70871004)的资助。本书的出版有幸获得国防科技图书出版基金的资助,并承蒙评审委员会对本书的写作计

划和初稿提出了十分重要的建议。作者愿借此机会,向各位专家表示衷心的感谢。本书在研究和写作过程中,作者查阅了大量的研究文献,从中获得了很多有益的启发和思路,在此对本书参考文献中列出的所有作者表示深深的谢意。

由于作者学识有限,书中难免存在局限和不足,敬请专家和读者批评指正。

作者

2010年8月30日

目 录

第 1 章 武器装备系统管理概述	1
1.1 武器装备及其管理	1
1.1.1 武器装备的概念	1
1.1.2 武器装备管理的概念	2
1.2 武器装备全系统管理	3
1.2.1 武器装备系统管理的概念	3
1.2.2 武器装备系统管理的三维结构	4
1.3 武器装备全寿命管理	5
1.3.1 武器装备寿命状态空间	5
1.3.2 武器装备寿命周期	6
1.3.3 武器装备全寿命管理	7
1.4 武器装备全寿命周期费用管理	8
1.4.1 全寿命周期费用的概念	8
1.4.2 研制阶段全寿命周期费用管理的重要性	9
1.4.3 全寿命周期费用估算方法	11
1.4.4 全寿命周期费用的管理与控制	12
1.5 武器装备项目管理	13
1.5.1 项目与项目管理的基本概念	13
1.5.2 武器装备项目管理体系	15
1.5.3 武器装备项目管理的意义	17
1.6 系统科学与系统工程的新发展	18
1.6.1 系统方法论的发展	18
1.6.2 复杂系统科学的发展	20
1.6.3 系统工程新方法	21
1.6.4 大型集成系统(体系)	22

第2章 武器装备项目进度管理	24
2.1 项目进度管理概述	24
2.1.1 项目进度管理的基本过程	24
2.1.2 项目进度计划方法	25
2.2 网络计划技术	29
2.2.1 关键路线法	29
2.2.2 计划评审技术	31
2.2.3 网络计划仿真	32
2.3 项目进度计划编制	33
2.3.1 活动定义	34
2.3.2 活动排序	35
2.3.3 活动时间估算	36
2.3.4 项目进度计划	37
2.4 项目进度计划优化	38
2.4.1 工期优化	38
2.4.2 工期—费用优化	39
2.4.3 资源优化	41
2.5 项目进度计划控制	43
2.5.1 进度计划控制概述	43
2.5.2 进度计划控制的基本过程	44
2.6 武器装备项目进度管理应用研究	45
2.6.1 项目计划	46
2.6.2 项目进度计划编制	48
2.6.3 工期优化	53
第3章 武器装备研制费用参数模型	58
3.1 武器装备费用参数模型概述	58
3.1.1 费用参数模型及其特点	58
3.1.2 费用驱动因子的确定方法	59
3.2 普通最小二乘回归模型	60
3.2.1 建模原理	60
3.2.2 多重共线性及其危害	61

3.3	偏最小二乘回归模型	62
3.3.1	特点与优势	63
3.3.2	建模原理	63
3.3.3	建模步骤	64
3.3.4	变量投影重要性指标	64
3.4	其他费用参数建模方法	66
3.4.1	人工神经网络建模方法	66
3.4.2	灰色系统建模方法	68
3.5	PLS 在武器装备研制费用估算中的应用研究	69
3.5.1	PLS 在小样本时的应用	69
3.5.2	PLS 在变量多重共线性时的应用	71
第4章	武器装备研制费用随时间分布模型	75
4.1	武器装备研制费用随时间分布的特点	75
4.2	Weibull 时间—费用分布模型	76
4.2.1	Weibull 概率分布函数	76
4.2.2	Weibull 时间—费用模型	77
4.3	单峰 Weibull 分布参数估计	78
4.3.1	经验估计法	78
4.3.2	线性回归法	78
4.3.3	Weibull 累积分布拟合法	79
4.3.4	高斯—牛顿迭代法	79
4.4	多峰时间—费用分布模型	81
4.4.1	多峰时间—费用分布的叠加过程	81
4.4.2	多峰时间—费用分布的拟合过程	81
4.5	在武器装备研制项目中的应用研究	82
4.5.1	事前投资预算阶段的应用	82
4.5.2	事中预测阶段的应用	84
4.5.3	事后拟合评估阶段的应用	85
4.6	时间—费用分布均衡优化	87
4.6.1	问题的提出	87
4.6.2	仿真建模与统计分析	88

4.6.3	代表性样本网络计划与活动关键度	89
4.6.4	均衡优化	91
4.6.5	应用研究	93
第5章	武器装备项目风险管理概述	96
5.1	武器装备项目风险及分类	96
5.1.1	武器装备项目风险的定义	96
5.1.2	武器装备项目风险等级的度量	97
5.1.3	武器装备项目中的主要风险	99
5.2	武器装备项目风险管理	101
5.2.1	武器装备项目风险管理的概念	101
5.2.2	武器装备项目风险管理过程	101
5.2.3	武器装备项目各阶段的风险管理	106
5.3	武器装备项目风险识别方法	107
5.3.1	核对表法	107
5.3.2	专家调查法	107
5.3.3	流程图法	108
5.3.4	情景分析法	108
5.3.5	类推比较/经验学习研究法	108
5.4	武器装备项目风险估计方法	109
5.4.1	风险估计的基本内容	109
5.4.2	主观估计法	110
5.4.3	客观估计法	111
5.4.4	外推法	114
5.5	武器装备项目风险评价方法	114
5.5.1	层次分析法	114
5.5.2	等风险曲线法	115
5.5.3	模糊风险分析法	116
5.5.4	故障树分析法	117
5.5.5	概率风险评估法	117
5.5.6	影响图法	119
5.5.7	风险矩阵法	119

5.5.8	网络分析方法	120
5.6	武器装备项目风险的处理与监控	122
5.6.1	风险避免	122
5.6.2	风险控制	122
5.6.3	风险转移	124
5.6.4	风险承担	124
第6章	武器装备技术风险评估	125
6.1	武器装备技术风险概述	125
6.1.1	技术风险的概念与内涵	125
6.1.2	技术风险源	126
6.1.3	技术风险管理的重要性	127
6.1.4	技术风险评估方法	129
6.2	基于风险因子的技术风险评估方法	130
6.2.1	技术风险因子的概念	131
6.2.2	技术风险概率估计	131
6.2.3	技术风险后果估计	132
6.2.4	技术风险评估过程	134
6.3	基于 GERT 多反馈分支仿真的技术风险评估方法	134
6.3.1	GERT 仿真建模理论	135
6.3.2	基于 Arena 的 GERT 仿真	137
6.3.3	技术风险量化指标分析	139
6.4	武器装备技术风险评估的应用研究	141
6.4.1	基于风险因子的技术风险评估	141
6.4.2	基于 GERT 多反馈分支仿真的技术风险评估	147
第7章	武器装备性能、费用与进度风险估计	156
7.1	基于 GERT 多反馈分支仿真的性能风险估计方法	156
7.1.1	仿真实现策略	156
7.1.2	性能风险估计模型	157
7.1.3	武器装备性能风险估计的应用研究	159
7.2	费用风险与进度风险的独立估计	165
7.2.1	费用风险估计方法	165

7.2.2	进度风险估计方法	166
7.2.3	费用与进度边沿风险概率估计	167
7.3	费用与进度联合风险估计	167
7.3.1	联合风险概率估计	167
7.3.2	条件风险概率估计	168
7.4	武器装备费用与进度风险估计的应用研究	169
7.4.1	仿真输出结果的统计分析	169
7.4.2	风险独立估计	171
7.4.3	联合风险估计	173
7.4.4	条件风险估计	174
7.4.5	联合风险的预测估计	176
第8章	大型项目费用与进度联合分析与控制	179
8.1	费用与进度联合分析与控制概述	179
8.2	费用与进度联合置信估计	181
8.2.1	独立估计及其局限性分析	182
8.2.2	基于多重仿真的联合置信估计方法	185
8.3	获得值法基本理论	189
8.3.1	获得值法的起源与发展	189
8.3.2	获得值法基本参数与分析指标	191
8.3.3	获得值法 S 曲线	194
8.4	项目基准计划曲线	196
8.4.1	PB-S 曲线与随机 S 曲线的概念	196
8.4.2	建立 PB-S 曲线	198
8.4.3	随机 S 曲线	201
8.4.4	选择基准计划 PB-S 曲线	202
8.5	项目实际执行曲线	203
8.5.1	数据矩阵方法	203
8.5.2	两个新的数据矩阵	205
8.5.3	建立实际执行 PB-S 曲线	205
8.6	项目绩效监测与预测	207
8.6.1	基于随机 S 曲线的绩效监测	207

8.6.2	基于随机 S 曲线的绩效预测	209
8.7	项目绩效监测与预测的应用研究	212
8.7.1	项目介绍	212
8.7.2	建立随机 S 曲线和基准计划 PB-S 曲线	213
8.7.3	建立实际执行 PB-S 曲线	215
8.7.4	项目绩效监测	220
8.7.5	项目绩效预测	222
参考文献		225

Contents

Chapter1	Systems management generalization of weapon system	1
1.1	Weapon system and its management	1
1.1.1	Concept of weapon system	1
1.1.2	Concept of weapon system management	2
1.2	Total system management of weapon system	3
1.2.1	System management concept of weapon system	3
1.2.2	System management three dimensions structure of weapon system	4
1.3	Total life management of weapon system	5
1.3.1	Life state space of weapon system	5
1.3.2	Life cycle of weapon system	6
1.3.3	Total life management of weapon system	7
1.4	Life cycle cost management of weapon system	8
1.4.1	Concept of life cycle cost (LCC)	8
1.4.2	Importance of LCC management in development phases	9
1.4.3	LCC estimation methods	11
1.4.4	LCC management and control	12
1.5	Project management of weapon system	13
1.5.1	Basic concepts of project and project management	13
1.5.2	Project management sysyem of systems for weapon system	15
1.5.3	Project management significance of weapon system	17
1.6	New development of systems management and systems engineering	18
1.6.1	Development of systems methodology	18
1.6.2	Development of complex systems science	20