



# 军事航天系统工程

□ 耿艳栋 编著 □



国防工业出版社

National Defense Industry Press

本书得到总装备部“1153”人才工程专项经费资助

# 军事航天系统工程

耿艳栋 编著

国防工业出版社

·北京·

**图书在版编目(CIP)数据**

军事航天系统工程 / 耿艳栋编著. —北京: 国防工业出版社, 2007. 4

总装备部研究生教育精品教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 05081 - 3

I. 军… II. 耿… III. 军事技术 - 航天系统工程 - 研究生 - 教材 IV. E9 V57

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 035028 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)

北京四季青印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 880 × 1230 1/32 印张 15½ 字数 446 千字

2007 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 39.00 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

# 前 言

系统工程是 20 世纪 50 年代伴随着导弹、航天等大规模的复杂的工程技术活动而发展起来的新兴工程技术,属系统科学体系的工程技术层次,已广泛应用于人类社会的各个领域。军事航天系统工程是系统工程理论、方法和技术在军事航天领域的具体应用,是关于组织管理军事航天系统的规划、研究、设计、制造、试验、运行控制和使用的科学方法和技术的总称,是系统工程门类的一个重要分支。

军事航天系统建设是一项规模庞大、技术复杂、投资大、周期长、风险高的复杂系统工程。只有运用系统工程这样一门综合性的组织管理技术,才能解决各种层次、各个阶段的建设管理与顶层设计问题。军事航天系统工程课程是(军事航天)作战指挥学硕士研究生的一门具有鲜明专业特色的专业课,长期以来,一直没有合适的教材。2001 年,《军事航天系统工程》教材被列入军队院校“2110 工程”和总装备部“双十二工程”重点建设学科作战指挥学学科的教材编写计划;2004 年 6 月,教材被选入《总装备部研究生教育精品教材》编写计划。军事航天系统工程既是一种技术处理过程,又是一种管理过程。在系统的规划、论证、型号系统研制、使用与保障整个寿命周期内,技术和管理两个方面都必不可少。教材主要从军方对军事航天系统规划与建设的管理角度,以系统思想为指导,以军事航天系统建设为研究对象,按照全系统、全寿命管理的思路,先整体后局部,自上而下,循序渐进地较系统地介绍了军事航天系统工程的基础理论和方法论,军事航天系统的发展规划、综合论证、型号管理、系统工程过程、系统分析与控制、系统评价与决策以及建模与仿真等内容。

本教材根据作者多年从事系统工程研究、军事航天理论研究和讲授“军事航天系统工程”课程的经验,在讲义的基础上编写而成,同时吸收了 10 年来重点学科建设中课程体系与课程标准论证的成果。本教材是

将系统科学与系统工程研究的最新成果、国内外航天系统建设管理经验同中国特色军事航天系统建设实践相结合,面向作战指挥学学科硕士研究生教学需要而编写的一部内容丰富、体系完整、理论联系实际的实用教材。

本教材共 10 章,内容包括:系统与系统科学,系统工程及其方法论,军事航天系统及其发展,军事航天型号系统综合论证,军事航天型号系统研制管理,军事航天系统工程过程,系统分析与控制,军事航天软件开发与管理,军事航天系统评价与决策,军事航天系统建模与仿真。每章均配有思考题。鉴于篇幅限制,大量的系统工程具体方法和算法,本书并未收录,具体运用时可参考相关书籍。

在本教材的编写过程中参阅了大量资料和著作,吸收了同行们辛勤劳动的成果,在此向同行们表示衷心感谢。自教材列入重点建设学科教材建设规划以来,得到了院、系领导和机关特别是研究生处和教保处的大力支持和帮助,得到了常显奇教授、陈庆华教授、李云芝教授、赵新国教授、冯书兴教授、李霖教授、于小红教授、罗小明教授、程永生高工、周雁飞高工、杨毅强高工、游光荣研究员、侯妍副教授、杨东德副教授等教研室同仁的支持、帮助和鼓励,在此对他们一并表示感谢。

本教材可作为军事航天学、作战指挥学、军事装备学等学科硕士研究生的专业课教材,也可作为军事航天系统建设管理人员、工程技术人员、领导干部的培训教材和自学参考书。

由于系统工程是一门正在发展还未成熟的新兴学科,其在军事航天领域的应用经验和成果也在不断丰富,同时也由于编者认识和研究水平有限,书中不足和错漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编著者

2006 年 11 月

# 目 录

第 1 章 系统与系统科学 .....	1
1.1 系统思想概述 .....	1
1.1.1 古代系统思想 .....	1
1.1.2 近代系统思想 .....	3
1.1.3 科学系统思想 .....	4
1.2 系统科学 .....	5
1.2.1 系统科学概念 .....	6
1.2.2 系统科学的发展 .....	6
1.2.3 系统科学的体系结构 .....	12
1.2.4 系统科学的地位作用 .....	15
1.3 系统科学的基本概念 .....	17
1.3.1 系统 .....	17
1.3.2 系统的结构 .....	19
1.3.3 整体涌现性 .....	20
1.3.4 系统的层次 .....	21
1.3.5 系统与环境 .....	23
1.3.6 系统的行为 .....	25
1.3.7 系统的功能 .....	25
1.3.8 系统的状态 .....	26
1.3.9 系统的演化 .....	28
1.3.10 系统的过程 .....	29
1.4 系统的一般特性 .....	30
1.5 系统的分类 .....	33
1.5.1 非系统科学的系统分类 .....	34

---

---

1.5.2 系统科学的系统分类	35
1.6 系统理论	37
1.6.1 系统理论的主要内容	38
1.6.2 系统学	39
1.6.3 复杂适应系统理论	39
1.6.4 系统理论的应用	40
1.7 系统科学的技术科学	41
1.8 系统思维方式	42
1.8.1 对传统思维方式的反思	43
1.8.2 系统思维方式	45
1.8.3 系统思维方式与传统思维方式的比较	47
小结	49
思考题	50
<b>第2章 系统工程及其方法论</b>	<b>52</b>
2.1 系统工程概述	52
2.1.1 系统的概念	52
2.1.2 系统的特点	55
2.1.3 系统的形成与发展	58
2.1.4 系统的应用	60
2.2 军事航天系统工程	68
2.2.1 军事航天系统的概念	68
2.2.2 军事航天系统的基本观念	69
2.2.3 军事航天系统的主要内容	72
2.3 系统工程方法论	72
2.3.1 系统工程方法论的概念	72
2.3.2 系统工程方法论的特点	73
2.3.3 系统工程方法论发展现状	75
2.4 系统方法论	76
2.5 霍尔的“三维结构”方法论	82
2.5.1 三维结构	82

---

---

2.5.2 逻辑维各步骤常用方法 .....	86
2.6 切克兰德的“调查学习”模式 .....	90
2.7 并行工程方法学 .....	92
2.7.1 并行工程的定义 .....	92
2.7.2 并行工程过程设计 .....	93
2.7.3 并行组织管理模式 .....	94
2.7.4 并行工程的实施 .....	95
2.7.5 并行工程与序进工程的比较 .....	96
2.8 综合集成工程方法学 .....	97
2.8.1 方法论层次上的综合集成 .....	98
2.8.2 工程技术层次上的综合集成 .....	98
2.8.3 总体设计部 .....	99
2.9 物理—事理—人理系统方法论 .....	100
2.9.1 物理、事理和人理的主要内容 .....	100
2.9.2 WSR 系统方法论的工作过程 .....	100
2.9.3 WSR 系统方法论的主要原则 .....	102
2.9.4 WSR 系统方法论常用的方法 .....	103
小结 .....	104
思考题 .....	105
<b>第3章 军事航天系统及其发展 .....</b>	<b>106</b>
3.1 军事航天系统 .....	106
3.1.1 军事航天器系统 .....	106
3.1.2 航天运输系统 .....	118
3.1.3 航天发射场系统 .....	119
3.1.4 航天测控系统 .....	120
3.1.5 航天着陆场系统 .....	121
3.1.6 航天员系统 .....	122
3.1.7 航天应用系统 .....	123
3.1.8 航天指挥控制系统 .....	128
3.2 军事航天发展概况 .....	128



3.2.1	军事航天发展简史 .....	128
3.2.2	军事航天发展现状 .....	131
3.2.3	军事航天发展趋势 .....	135
3.3	航天政策 .....	137
3.3.1	航天政策概述 .....	137
3.3.2	我国的航天政策 .....	144
3.4	军事航天发展战略 .....	147
3.4.1	军事航天发展战略的概念 .....	147
3.4.2	军事航天发展战略的主要任务 .....	148
3.4.3	军事航天发展战略的研究与制定 .....	149
3.4.4	军事航天发展战略研究与制定的组织体系 .....	151
3.5	军事航天系统发展规划与计划 .....	152
3.5.1	军事航天系统发展规划与计划概念 .....	152
3.5.2	军事航天系统发展规划与计划的制定 .....	153
3.5.3	航天装备发展规划、计划、预算一体化体制 .....	155
3.6	军事航天型号系统寿命周期 .....	156
3.6.1	寿命周期的概念 .....	156
3.6.2	寿命周期阶段划分及其任务 .....	157
3.6.3	寿命周期中的系统工程活动 .....	162
3.6.4	寿命周期综合 .....	163
3.7	航天装备预先研究 .....	165
3.7.1	航天装备预先研究的分类及特点 .....	166
3.7.2	航天装备预先研究工作过程及内容 .....	167
3.7.3	航天装备预先研究管理 .....	169
3.7.4	先期技术演示与先期概念技术演示 .....	172
小结	.....	174
思考题	.....	175
<b>第4章</b>	<b>军事航天型号系统综合论证 .....</b>	<b>177</b>
4.1	军事航天任务需求分析 .....	177
4.1.1	军事航天任务目标的确定 .....	177

---

---

4.1.2	军事航天任务的结构 .....	178
4.1.3	军事航天系统要求的确定 .....	179
4.2	军事航天型号立项论证 .....	181
4.2.1	概述 .....	181
4.2.2	立项论证及其内容 .....	181
4.2.3	立项论证阶段的主要工作 .....	183
4.2.4	战术技术指标的论证过程 .....	183
4.3	军事航天型号方案论证 .....	184
4.3.1	方案论证 .....	184
4.3.2	方案论证的工作内容 .....	185
4.3.3	方案论证的过程 .....	187
	小结 .....	188
	思考题 .....	189
<b>第5章</b>	<b>军事航天型号系统研制管理 .....</b>	<b>190</b>
5.1	军事航天型号系统研制的组织管理 .....	190
5.1.1	型号办公室 .....	190
5.1.2	研制部门的系统工程机构及其职能 .....	193
5.1.3	矩阵组织结构 .....	195
5.1.4	我国航天工程管理体制 .....	196
5.2	军事航天型号系统工程管理计划 .....	202
5.3	军事航天型号系统层次结构 .....	204
5.4	军事航天型号研制合同管理 .....	206
5.4.1	合同管理 .....	206
5.4.2	系统工程对合同签订的支持 .....	209
5.5	军事航天型号研制程序 .....	209
5.5.1	研制程序 .....	210
5.5.2	研制程序管理 .....	213
5.6	军事航天型号研制进度控制 .....	213
5.6.1	总进度和工作进度的控制 .....	213
5.6.2	进度计划协调优化方法 .....	214

5.7 军事航天型号研制质量管理 .....	216
5.7.1 概述 .....	216
5.7.2 质量管理原则 .....	217
5.7.3 论证质量管理 .....	218
5.7.4 采办招标质量管理 .....	220
5.7.5 研制过程质量管理 .....	222
5.7.6 可靠性管理 .....	224
5.8 军事航天型号寿命周期费用 .....	226
5.8.1 寿命周期费用概述 .....	226
5.8.2 寿命周期活动对费用的影响 .....	227
5.8.3 寿命周期费用估算的基本要求 .....	228
5.8.4 费用分解结构 .....	229
5.8.5 寿命周期费用估算的一般程序 .....	230
5.8.6 费用估算方法 .....	233
5.9 军事航天工程试验管理 .....	234
5.9.1 试验的分类和任务 .....	235
5.9.2 试验的内容和特点 .....	236
5.9.3 飞行试验 .....	238
5.9.4 试验管理及试验计划 .....	240
5.10 军事航天型号研制定型管理 .....	241
小结 .....	242
思考题 .....	244
<b>第6章 军事航天系统工程过程 .....</b>	<b>245</b>
6.1 系统工程过程概述 .....	245
6.2 要求分析 .....	249
6.2.1 要求的类型 .....	249
6.2.2 良好要求的特征 .....	251
6.2.3 要求分析 .....	251
6.2.4 要求分析的程序 .....	254
6.2.5 要求分析的输出 .....	258

---

6.3 功能分析和功能分配 .....	260
6.3.1 功能分析和功能分配 .....	260
6.3.2 功能体系结构 .....	264
6.3.3 要求分配举例 .....	264
6.4 设计综合 .....	269
6.4.1 设计研制 .....	269
6.4.2 设计综合的手段 .....	271
6.5 验证 .....	273
6.5.1 概述 .....	273
6.5.2 试验与评定 .....	274
6.6 系统工程过程的输出 .....	277
6.6.1 概述 .....	277
6.6.2 系统体系结构 .....	278
6.6.3 技术规范 .....	278
6.6.4 技术状态基线 .....	280
6.6.5 决策数据库 .....	281
小结 .....	281
思考题 .....	282
<b>第7章 系统分析与控制 .....</b>	<b>284</b>
7.1 工作分解结构 .....	284
7.1.1 概述 .....	284
7.1.2 WBS 的制定 .....	285
7.1.3 工作分解结构举例 .....	288
7.2 技术状态管理 .....	289
7.2.1 概述 .....	289
7.2.2 技术状态管理过程 .....	292
7.2.3 技术状态管理与合同管理 .....	296
7.2.4 “神舟”飞船的技术状态管理 .....	296
7.3 接口管理与资料管理 .....	298
7.3.1 接口管理 .....	298

---

---

7.3.2	资料管理 .....	300
7.4	技术审查和技术审核 .....	301
7.4.1	概述 .....	301
7.4.2	正式技术评审 .....	303
7.4.3	非正式评审 .....	307
7.5	权衡研究 .....	307
7.5.1	抉择 .....	307
7.5.2	权衡研究的基本做法 .....	309
7.5.3	费效分析 .....	310
7.6	度量 .....	311
7.6.1	管理中的度量 .....	311
7.6.2	产品度量 .....	311
7.6.3	获得值 .....	314
7.6.4	管理过程度量 .....	315
7.7	风险管理 .....	316
7.7.1	风险的概念 .....	316
7.7.2	风险管理概述 .....	321
7.7.3	风险规划 .....	326
7.7.4	风险评估 .....	327
7.7.5	风险处理 .....	331
7.7.6	风险的监控与报告 .....	334
7.7.7	航天项目风险案例统计分析 .....	334
7.8	型号改进策略与方法 .....	336
7.8.1	概述 .....	336
7.8.2	产品改进策略 .....	337
7.8.3	开放式系统方法 .....	343
7.8.4	改型管理 .....	350
	小结 .....	351
	思考题 .....	352
<b>第 8 章</b>	<b>军事航天软件开发与管理 .....</b>	<b>354</b>

---

---

8.1	概述 .....	354
8.2	软件工程和软件寿命周期 .....	360
8.2.1	软件危机 .....	360
8.2.2	软件工程 .....	360
8.2.3	软件寿命周期 .....	362
8.3	软件开发过程和要求 .....	363
8.3.1	软件开发过程及主要活动 .....	363
8.3.2	软件开发模型 .....	367
8.3.3	软件开发过程成熟度模型 .....	371
8.3.4	软件开发的要求 .....	372
8.4	软件工程化管理 .....	373
8.4.1	软件工程化管理基础 .....	374
8.4.2	软件开发计划 .....	377
8.4.3	软件评审 .....	378
8.4.4	软件配置管理 .....	380
8.4.5	软件测试 .....	381
8.4.6	软件验收与移交 .....	382
8.5	软件质量特性和质量管理 .....	384
8.5.1	软件质量概念 .....	384
8.5.2	软件质量特性 .....	385
8.5.3	软件质量管理 .....	387
8.6	软件保障 .....	387
8.6.1	软件维护 .....	388
8.6.2	软件保障的其他要素 .....	389
8.6.3	软件保障组织 .....	390
	小结 .....	391
	思考题 .....	392
<b>第9章</b>	<b>军事航天系统评价与决策 .....</b>	<b>394</b>
9.1	系统评价 .....	394
9.1.1	系统评价概述 .....	394

---

---

9.1.2	系统评价的原则与步骤 .....	398
9.1.3	评价指标体系的建立 .....	401
9.1.4	系统评价指标值的确定 .....	403
9.1.5	系统评价的常用方法 .....	404
9.2	军事航天系统效能评价 .....	405
9.2.1	效能概述 .....	405
9.2.2	系统效能评价方法 .....	412
9.2.3	军用卫星系统的效能评价 .....	420
9.3	费用—效能分析 .....	421
9.3.1	费用—效能分析概述 .....	421
9.3.2	寿命周期过程中的费用—效能分析活动 .....	423
9.3.3	费用—效能分析的基本程序 .....	424
9.3.4	装备费用—效能分析的国家军用标准 .....	428
9.4	系统决策 .....	428
9.4.1	决策与决策过程 .....	429
9.4.2	决策问题及其分类 .....	430
9.4.3	决策的策略 .....	431
9.4.4	决策的基本步骤 .....	432
9.4.5	决策分析方法 .....	436
9.4.6	决策支持系统 .....	437
9.4.7	里程碑决策 .....	440
	小结 .....	442
	思考题 .....	443
<b>第 10 章</b>	<b>军事航天系统建模与仿真 .....</b>	<b>445</b>
10.1	系统模型 .....	445
10.1.1	系统模型的概念 .....	445
10.1.2	系统模型分类 .....	447
10.1.3	系统的数学模型 .....	448
10.2	系统建模方法 .....	451
10.2.1	对系统模型的要求 .....	451

---

---

10.2.2	系统建模的原则 .....	452
10.2.3	系统建模的主要方法 .....	452
10.2.4	系统建模的信息源 .....	453
10.2.5	系统建模步骤 .....	454
10.2.6	系统建模者应具备的素质 .....	455
10.3	系统仿真 .....	457
10.3.1	系统仿真的概念 .....	457
10.3.2	系统仿真的作用 .....	458
10.3.3	系统仿真的特点 .....	460
10.3.4	系统仿真的基本步骤 .....	462
10.3.5	系统仿真的校核、验证与确认 .....	464
10.4	系统仿真技术在军事航天领域的应用 .....	468
10.4.1	航天系统设计分析 .....	468
10.4.2	航天装备需求分析与评价 .....	471
10.4.3	基于仿真的采办 .....	472
10.4.4	航天试验模拟训练 .....	473
10.4.5	空间作战实验 .....	474
	小结 .....	475
	思考题 .....	476
	参考文献 .....	477



# 第 1 章 系统与系统科学

系统科学是 20 世纪科学领域重大新发展之一。它在自然科学与社会科学的大量实践成果基础上,集中地研究了人们观察客观事物的方法,以及人们有效做事的方法,是一门方法论性质的学科。这一学科兴起,是人类对于系统和复杂性长期认识过程的延伸,也是在现代信息技术的推动下,人类社会、经济和思想正在发生深刻变革的重要组成部分。系统科学研究人类认识和控制复杂系统的一般思想和方法,是学习军事航天工程的基础。通过本章的学习,了解系统思想和系统科学的形成过程,掌握系统科学的基本概念,从整体上把握系统科学体系,掌握系统的定义、一般特性与分类,了解系统理论的发展现状,培养系统思维方式。

## 1.1 系统思想概述

系统观念源远流长,经历了古代—近代—现代的漫长发展历程,到 20 世纪中叶才形成了科学的定量的系统思想。系统思想(system thought)就其最基本的涵义来说,是关于事物的整体性观念、相互联系观念、演化发展的观念。

### 1.1.1 古代系统思想

系统概念来源于古代人类的社会实践和科学总结。人类自有生产活动以来,无不在同自然系统打交道。人类在知道系统思想、系统工程之前,就已经在进行辩证的系统思维了。北魏时期的著名学者贾思勰在《齐民要术》一书中,辩证地叙述了农作与种子、地形、土壤、水分、肥料、