

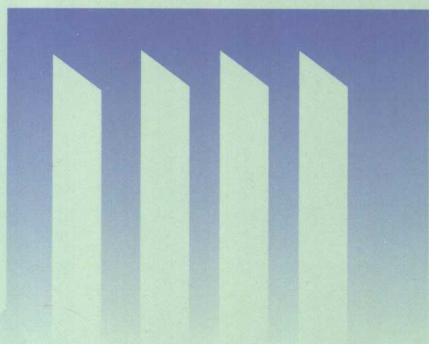


军队“2110工程”建设项目 军事装备学

系统工程理论与实践

XITONG GONGCHENG LILUN YU SHIJIAN

陈庆华 李晓松 等著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

“工程”建设项目 军事装备学

系统工程理论与实践

陈庆华 李晓松 张炜 著
李元左 陈浩光

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书以装备领域的决策优化问题为切入点,系统介绍了系统工程的理论与方法,并进行了实例分析。全书共分为六章,第1章重点介绍了系统和系统工程发展历史、基本概念,分析了系统工程方法论。第2章针对装备领域的决策优化问题,以“定界对偶算法”为核心,介绍了系统工程常用的运筹学方法。第3、4、5章分别从系统分析与预测、系统模型与模拟、系统评价与决策等角度阐述了系统工程的理论与方法。第6章运用前面几章的理论和方法结合实际分析了一些系统工程案例。

本书可作为军事装备学、军事运筹学、作战指挥学、军事后勤学等专业的研究生教材,也可供有关专业的军校教师、研究生和大学高年级学员以及从事装备发展论证、装备采购、装备管理保障等工作的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

系统工程理论与实践 / 陈庆华等著. —北京:国防工业出版社, 2009.12

ISBN 978 - 7 - 118 - 06669 - 2

I. ①系... II. ①陈... III. ①系统工程 IV.

①N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 236699 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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 20¼ 字数 380 千字

2009 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 46.00 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

“2110 工程”教材(著作) 编审委员会

主任 曲 炜

副主任 封伟书 张 炜 冯书兴 潘 清

委员 (按姓氏笔画排序)

于小红 王 宇 白海威 由凤宇

李希民 宋华文 张宝玲 陈庆华

陈向宁 陈新华 郑绍钰 赵伟峰

赵继广 耿艳栋 贾 鑫 桑爱群

阎 慧 谢文秀 蔡远文 熊龙飞

军事装备学教材(著作)

编委会

主 编 张 炜

副主编 宋华文 白海威

编 委 陈庆华 郭世贞 李 霖 郑绍钰
于洪敏

序

为了总结梳理军事装备学学科建设成果,提升军事装备学学科建设水平和装备人才培养质量,在军队“2110工程”专项经费支持下,在学院“2110工程”教材(著作)编审委员会统一组织指导下,军事装备学学科领域的专家学者编著了一批适应装备人才培养需求,对我军装备工作具有主要指导作用的军事装备学系列丛书,将分别以军事装备学的学术专著和专业教材的形式陆续出版。

在总装首长、机关和军事装备学专家学者的共同努力下,军事装备学走过了从无到有、从小到大、从弱到强的快速发展历程,建立了军事装备学学科体系,创立了军事装备学理论,获得了多项国家级和军队级奖项,培养了一大批“指技俱精”的高素质的装备人才,造就了一支具有较高学科理论素养和丰富实践经验的军事装备学学术队伍,为我军军事装备学学科建设和装备人才培养作出了巨大贡献。

作为军事装备学学科建设继往开来的一件大事,编辑这套丛书是军事装备学学科建设的重要内容,是装备人才培养的重要基础,也是体现军事装备学学科建设水平的重要标志,它承担着记载与弘扬军事装备学学科成就、积累和传播军事装备学知识的使命,是众多军事装备学专家学者辛勤汗水的结晶。编著这套丛书,旨在系统全面地将实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我军特色的军事装备学学科知识体系。一是总结军事装备学学科建设和装备人才培养的理论研究与实践探索的重要成果和宝贵经验,将专家学者的思考、观点和实践经验归纳总结出来,以利于军事装备学知识的积累和传承;二是紧紧围绕我军武器装备现代化建设和军事斗争装备准备,以装备指挥、装备管理、装备保障和装备采办为主要内容,为军事装备学任职培训提供一套系统、全面的教学用书。

本套丛书的编著出版对于系统深入总结军事装备学学科建设和装备人才培养的重要成果,推进军事装备学学科建设,提高装备人才的培养质量,加快装备现代化建设和军事斗争装备准备具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

军事装备学教材(著作)编委会

2009年12月

前 言

2007年10月总装司令部与总装学位办发出通知,要求各军事装备学培养单位按照批准的《军事装备学学科建设与研究生培养指南》规划课程体系。“装备运筹学”被列入军事装备学博士生核心课程,“装备系统工程”被列为军事装备学硕士研究生核心课程。目前,军事装备学博士生使用的《装备运筹学》教材已被批准为总装系统研究生教育精品教材,于2007年由国防工业出版社出版。而军事装备学硕士生使用的《装备系统工程》教材至今尚未编辑出版,因此编写一部适应军事装备学硕士研究生培养特点的“装备系统工程”用书已经成为我军军事装备学研究生培养教材建设的重要内容。正是在这一背景下,我们开始了《系统工程理论与实践》的写作工作。

本书以装备领域的实际问题为牵引,以装备领域的决策优化为切入点,从系统的角度对装备领域得到广泛运用的系统工程理论与方法进行了全面梳理、系统总结和深入分析。本书立足于整体指导局部的思想,将辩证唯物论与现代科学技术相结合,定性分析与定量分析相结合,用系统工程的理论与方法研究装备科研、订货、保障部队使用直至装备退役、报废的全系统全寿命管理活动中的决策优化问题。本书尽量简化运筹学中有关数学方法的论证,从系统思想出发,以“问题导向”,由浅入深地介绍数学模型的建立和求解方法,力求通俗与实用。

本书共6章,内容包括:系统与系统工程;系统工程常用的运筹学方法;系统分析与预测;系统模型与模拟;系统评价与决策;系统工程案例等。全书由陈庆华组织编写,其中,系统决策、系统动力学方法和层次分析法由李元左完成初稿;遗传算法由陈浩光完成初稿;系统评价、系统预测由李晓松、张炜完成初稿;其他章节由陈庆华完成初稿;全书最终由陈庆华统稿定稿。

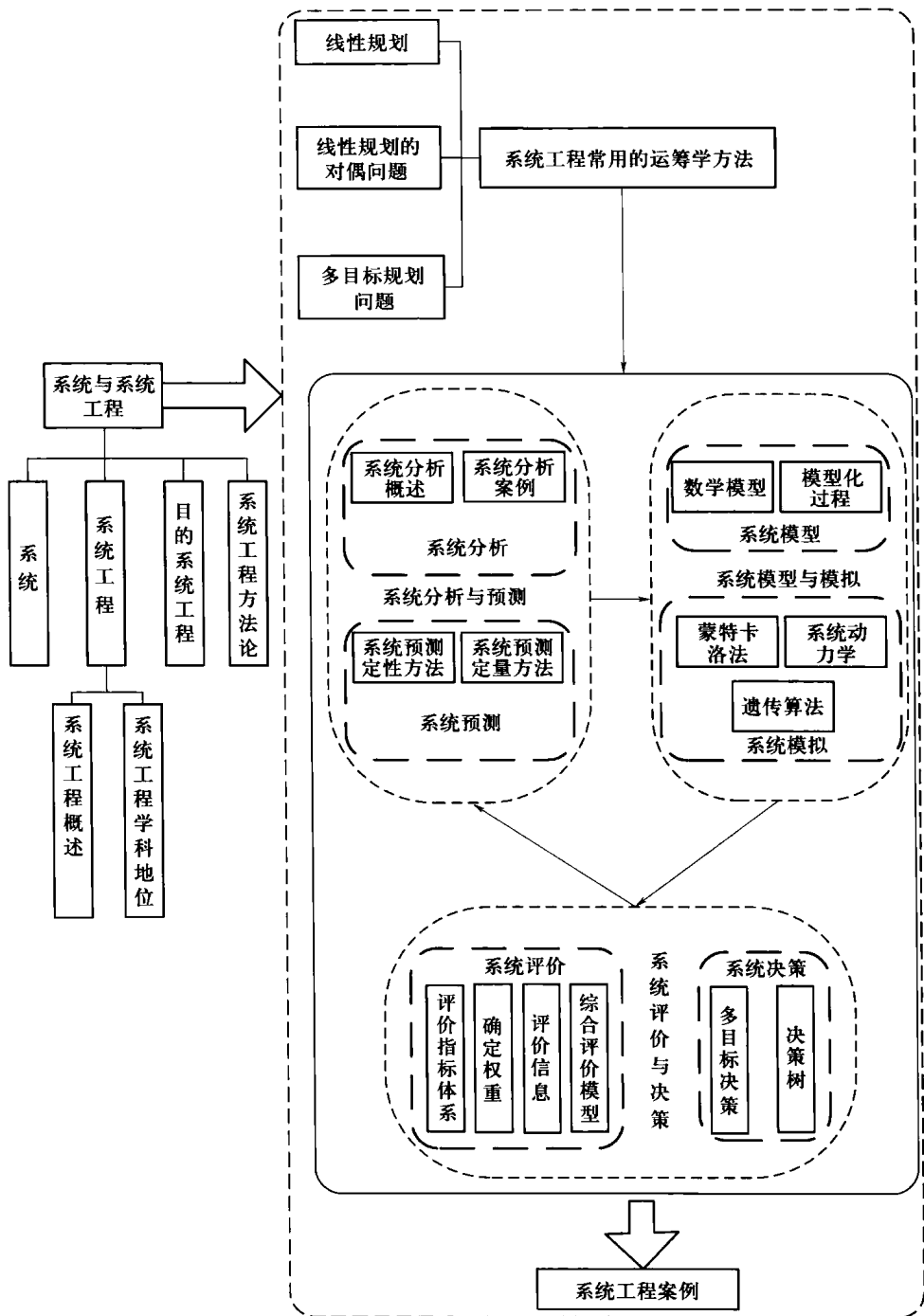
书中的部分案例是作者在实际应用系统工程的思想、工具和方法进行研究的成果总结,阅读这些案例可以帮助读者理解和掌握系统工程的有关理论和方法。本书在写作的过程中,参考了国内外一些学者和专家编著的同类教

材和著作,并从中借鉴了一些研究成果,在书中进行了标注,并列出了相应的参考文献。作者对这些学者在系统工程领域所做出的重要贡献表示崇高的敬意,并对引用他们的成果感到十分荣幸,在此表示衷心的感谢。

在本书写作过程中,郭桂蓉院士、陈火旺院士、汪应洛院士、王众坨院士、汪浩教授、张最良教授、李乃奎教授等曾给予指导;宋华文、薛勇、郭全魁等对本书的内容结构提出了许多建议;赵伟峰、由凤宇等对本书的出版倾注了许多心血,在此表示感谢。

由于作者理论水平有限,书中谬误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

陈庆华
2009年5月



全书的逻辑框架

目 录

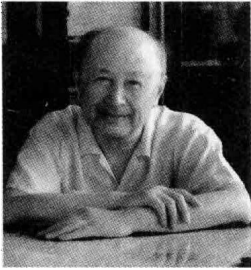
第1章 系统与系统工程	1
1.1 系统概述	1
1.1.1 系统的概念	2
1.1.2 中国古代系统思想	4
1.1.3 系统思想的成熟与发展	7
1.1.4 系统特征	8
1.1.5 系统分类	11
1.2 系统工程概述	15
1.2.1 系统工程的发展简史	15
1.2.2 系统工程在中国的发展	17
1.2.3 系统工程观念	18
1.2.4 系统工程概念	21
1.3 系统工程的学科地位	23
1.3.1 人类的知识体系	23
1.3.2 系统工程是一门新的“社会—技术”学科	25
1.3.3 系统工程与运筹学的关系	27
1.4 目的工程系统	28
1.4.1 目的工程系统的全寿命过程	28
1.4.2 战略级目的工程的宏系统结构	29
1.5 系统工程方法论	31
1.5.1 系统工程方法论的概念	31
1.5.2 系统工程方法论的主要代表	33
1.5.3 系统工程方法论的结构和过程	43
1.5.4 系统工程方法论的子结构框	44
1.5.5 数量化问题	45
1.5.6 优化问题	46
1.5.7 系统工程活动的主要环节	47
参考文献	48

第2章 系统工程常用的运筹学方法	51
2.1 线性规划	52
2.1.1 线性规划问题的提出	52
2.1.2 线性规划的“定界对偶算法”	54
2.2 线性规划的对偶问题	64
2.2.1 线性规划的对偶理论	64
2.2.2 原材料与产品的对偶	70
2.2.3 运输与贩卖的对偶	74
2.2.4 关键路径与里程碑结点的对偶	78
2.2.5 二人零和博弈局中人的对偶	83
2.3 多目标规划问题	86
参考文献	93
第3章 系统分析与预测	95
3.1 系统分析概述	95
3.2 系统分析的要素和步骤	99
3.2.1 系统分析的要素	99
3.2.2 系统分析应该避免的问题	100
3.2.3 系统分析的步骤	100
3.3 系统分析案例	104
3.3.1 “曼哈顿”计划	104
3.3.2 “阿波罗”计划	105
3.3.3 中国载人航天工程	108
3.3.4 阿拉斯加原油运输问题	113
3.3.5 汽车行业应对石油危机问题	115
3.3.6 “鱼钩”与“长矛”	117
3.4 预测概述	119
3.4.1 预测的概念	119
3.4.2 预测的步骤	120
3.5 定性预测方法	121
3.5.1 主观概率法	122
3.5.2 德尔菲法	123
3.5.3 交叉影响法	126
3.5.4 领先指标分析法	127
3.6 定量预测方法	128
3.6.1 平滑预测法	128

3.6.2	回归分析预测法	135
3.6.3	灰色预测模型	140
3.6.4	GERT 网络模型预测法	144
	参考文献	155
第 4 章	系统模型与模拟	157
4.1	模型的本质	157
4.2	模型分类	158
4.3	模型在系统工程中的作用	160
4.4	数学模型的特点与分类	163
4.4.1	数学模型的特点	163
4.4.2	数学模型分类	164
4.4.3	对数学模型分类原则的说明	166
4.5	模型化过程	170
4.5.1	模型发展过程中的辩证关系	171
4.5.2	模型化过程的构造方法论	171
4.5.3	系统模型的集巢化	172
4.5.4	模型化过程的规范化	176
4.5.5	系统模型研究的一个简单例子	178
4.6	模拟	180
4.6.1	模拟的分类	180
4.6.2	模拟的实质	183
4.6.3	蒙特卡洛法	185
4.7	系统动力学	190
4.7.1	系统动力学的分析过程	190
4.7.2	应用实例	193
4.8	遗传算法	199
4.8.1	遗传算法的步骤和特点	200
4.8.2	遗传算法参数与操作的设计	201
4.8.3	装备运输装载问题	210
	参考文献	218
第 5 章	系统评价与决策	220
5.1	系统评价概述	220
5.1.1	系统评价的含义	220
5.1.2	系统评价的步骤	222
5.2	系统评价的指标体系	225

5.2.1	评价指标体系的基本概念	225
5.2.2	建立系统评价指标体系的过程	226
5.2.3	实例分析	227
5.3	系统评价指标权重	232
5.4	系统评价信息的获取与处理	233
5.4.1	系统评价信息的获取	233
5.4.2	系统评价信息的处理	235
5.5	系统综合评价方法	240
5.5.1	层次分析法	240
5.5.2	模糊综合评价法	247
5.6	系统决策	250
5.6.1	决策的概念	250
5.6.2	决策树	251
5.6.3	多目标决策	255
	参考文献	259
第6章	系统工程案例	261
6.1	湘钢技术改造问题	261
6.2	长沙市城市交通问题	264
6.3	小轿车总装厂选址问题	266
6.4	预测“非典”疫情	267
6.5	地震预测	270
6.6	资源城市的替代产品问题	272
6.7	怀柔山区发展问题	273
6.8	让运筹学为部队建设发挥作用	274
6.9	住房分配问题	276
6.10	用系统论分析社会组织	277
6.11	生死抉择	279
6.12	病态平衡	281
6.13	水盆里的水为什么会旋转呢	283
6.14	一滴汽油能污染整个游泳池吗	283
6.15	聪明的喜鹊	284
6.16	爱因斯坦给出的智力测试题	284
6.17	排列结构与信息传递	286
6.18	当上了全师炊事员节煤标兵	286
6.19	放猪放鸭子的学问	287

6.20	建房计划制定时的困惑·····	287
6.21	经济适用房装修·····	289
6.22	如何申报科技成果奖·····	291
6.23	如何指导研究生·····	293
6.24	百年不遇的洪水冲垮了“垵子”·····	298
6.25	三人结构的稳态现象·····	298
6.26	多功能体检床·····	299
6.27	医院里的告示·····	300
6.28	组织一次学术年会·····	301
6.29	系统工程人员的一次谈心会·····	303
结束语·····		308



钱学森

系统工程,在整个 21 世纪应用的价值及其意义肯定会越来越大,而其本身也将不断发展^[1]。

——钱学森

第 1 章 系统与系统工程

1.1 系统概述

系统工程(systems engineering, SE)的研究对象是系统(system)。系统概念是系统的核心和基本概念。“系统”一词在汉语中,通常是作为名词来使用的,有时也作为形容词和副词使用;作为系统工程的科学术语,则需要在日常用语的基础上加以提炼和界定。系统无处不在。自然界和人类社会存在着多种多样的系统,例如:

- 银河系,太阳系,地球;
- 长江流域,黄土高原,珠江三角洲;
- 人类,中华民族,国防教育,军事通信网;
- 装备订货系统,航天发射系统;
- 马克思主义,毛泽东思想,邓小平理论,“三个代表”重要思想,科学发展观;
- 三峡工程,西部大开发,振兴东北,“神舟”七号,抗击 SARS,举办“奥运”,等等。

从这些实例中看到,“系统”的含义,包括了简单的事物、描述结构、显示过程、确定属性、区分功能,进而到描述纵横关系、层次关系等。

这些系统的形态和性质是大不一样的。系统可以互相包含与被包含,可以互相交叉和融合。每一个人都生活在系统之中,而且是生活在多种多样、互相交叉的系统之中。

1.1.1 系统的概念

“系统”一词最早出现于古希腊德莫克利特所写的《宇宙大系统》一书中,“syn-histanai”一词原意是指事物中共性部分和每一事物应占据的位置,也就是部分组成整体的意思。



冯·贝塔朗菲

20 世纪初一般系统论的创始人奥地利生物学家冯·贝塔朗菲(Von Bertalanffy),针对当时机械论观点与方法,指出“不能只是孤立地研究部分和过程,还必须研究各部分的相互作用,应把生物作为一个整体或系统来考虑”,他把“系统”称为“相互作用的多要素的复合体”。如果一个对象集中存在两个或两个以上的不同要素,所有要素按照其特定方式相互联系在一起,就称该集合为一个系统。其中的要素是指组成系统的不同的最小的(即不需要再细分的)组成部分。

美国的韦伯斯特(Webster)大辞典把“系统”称为“有组织的或被组织化的整体、相联系的整体所形成的各种概念和原理的综合,由有规则的相互作用、相互依存的形式组成的诸要素的集合”。

苏联学者乌约莫夫考察了大量的系统定义后,给出了“系统”的两个等价定义。“任一客体,其中发生某种满足确定性这个性质的关系,这个客体就是系统”。“任一客体,其中发生某种预先确定的性质的关系,这个客体就是系统”。

在日本的 JIS(工业标准)中认为,“系统”是许多组成要素保持有机的秩序,向同一目标移动的东西。

《现代汉语词典》中“系统”的定义如下:①有条理;有顺序:系统知识、系统研究。②同类事物按一定的秩序和内部联系组合而成的整体:循环系统、商业系统、组织系统、系统工程。③由要素组成的有机整体。与要素相互依存相互转化,一系统相对较高一级系统时是一个要素(或子系统),而该要素通常又是较低一级的系统。系统最基本的特性是整体性,其功能是各组成要素在孤立状态时所没有的。它具有结构和功能在涨落作用下的稳定性,具有随环境变化而改变其结构和功能的适应性,以及历时性。④多细胞生物体内由几种器官按一定顺序完成一种或几种生理功能的联合体。如高等动物的呼吸系统包括鼻、咽、喉、气管、支气管和肺,能进行气体交换^[2]。

钱学森给出的“系统”定义是指由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的、具有特定功能的有机整体。这个定义,与类似的许多定义一样,指出了作为系统的三个基本特征:第一,系统是由若干元素组成的;第二,这些元素相互作用、互相依赖;第三,由于元素间的相互作用,使系统作为一个整体具有特定的功能^[3]。