

系统工程引论

Introduction to Systems Engineering

(第4版)

◎ 王众托 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

系统工程引论

(第4版)

王众托 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是高等工科院校自动化、计算机、信息管理与信息系统、管理科学与工程专业的专业课程以及理工科各本科专业本科与研究生公共课程与通识课程使用的“系统工程”教材。

全书包括系统工程学科的对象和任务，系统工程思想与方法，系统工程项目从需求分析、建构、设计、集成到工程实施与评价的全生命周期之工作方法与步骤，系统的描述与建模，系统的结构模型，系统的静态分析与优化，系统的动态建模与分析，随机服务系统，网络系统，系统可靠性，决策分析的概念与决策实用方法，复杂系统工程与体系工程等内容。本书增加了有关系统工程的实施方法与步骤的内容，以及介绍了近年来在复杂系统工程与体系工程等方面的新进展。

本书各章节可以按照不同的课程要求与学时，灵活组成不同类型的教材结构，以满足各种类型读者的要求。这本教材也可作为工程技术与管理培训与自学用书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

系统工程引论/王众托编著. —4版. —北京: 电子工业出版社, 2012.8
ISBN 978-7-121-17444-5

I. ①系… II. ①王… III. ①系统工程—高等学校—教材 IV. ①N945

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第140048号

策划编辑: 赵 平

责任编辑: 徐云鹏 特约编辑: 张燕虹

印 刷: 北京东光印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 24 字数: 614千字

印 次: 2012年8月第1次印刷

印 数: 3000册 定价: 49.00元

凡所购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

随着社会经济的发展和科学技术的进步，人类社会出现了越来越多的大型复杂系统。这些系统的规划、设计、建造、运用需要建立在科学的基础之上，系统工程作为对系统进行组织管理的技术也就应运而生了。20 世纪的后半叶，系统工程的思想和方法在军事和民用工业等各个领域中的应用有了很大发展，取得了很大成效，而系统工程学科本身也有了很大发展。我国从 20 世纪 70 年代后期开始，在钱学森、许国志等老一辈科学家的领导和指引下，开拓了中国的系统工程研究和应用事业，在工业、农业、军事、科技、资源、环境、经济等领域取得了很多成果，产生了很大影响。现在，人们在面临重大而复杂的任务时，常常会把它看做一项系统工程，并谋求从整体上综合而有序地解决问题。特别是当前为了落实科学发展观，建立和谐社会，面临复杂多变的环境和形势，需要处理许多带有全局性、长远性的问题，更有必要充分利用系统工程的理念和方法。

在 20 世纪 70 年代末期，在高等学校的教学计划中开始出现了系统工程课程，并在研究生培养的学科目录中出现了系统工程专业（首先在自动化学科内，后来又在管理科学与工程学科及航天工程学科内）。近年来，这门课程不仅在自动化、管理类专业开设，而且已经成为理工科院校各类专业的公共课程。

为了解决系统工程的教材问题，原电子工业部自动控制教材编审委员会为自动控制专业组织编写了这本教材。第 1 版于 1984 年由电子工业出版社正式出版（在此之前的 1981 年，曾由国防工业出版社以《系统工程学》为书名出版过内部发行版）。第 2 版（修订本）于 1991 年出版。这两版曾长期作为自动化类本科生与研究生的教材。由于系统工程作为一门通用性的学科，在许多理工科院校为广大高年级本科生和研究生开设，因此，需要更为通用的教材，有必要对本教材进行修订，以适应更广泛的教学要求。

2006 年修订出版的第 3 版，开始将这本教材定位于理工科院校的工程技术类及与技术有关的管理类的各专业所开设的系统工程通用教材，或者更广泛的通识性教材，内容着重于系统工程的理念和方法论。因为这些概念才是系统工程学科的最根本的内容；其次是定性和定量相结合的系统分析和综合方法。为适应更广泛的教学要求，压缩了一些计算细节，扩大了系统工程理念和方法的阐述。

近年来，系统工程的实践和学科内容又有了新的进展，特别是随着系统规模的日益庞大，组成要素日益复杂和多样化，尤其是个人和组织行为的影响造成的复杂性与不确定性，系统工程的思想、理论与方法也有了新的发展。因此，本教材又需要及时加以修订，以满足当前需要。

这次第 4 版的修订增加了许多新的内容，对原来的有些内容也加以适当的调整。郑板桥有一副好对联：“删繁就简三秋树，领异标新二月花”。教材的修订就应该对较为成熟的内容删繁就简，使学生能够提纲挈领加以掌握，又能领异标新对一些新出现的思想和方法（尽管还不成熟）加以介绍，引起学生的兴趣，启发他们对新内容的进一步思考和运用，使他们在今后的社会经济、科技文化建设中具备更加广阔的视野和敏锐的目光。

下面分章对本书内容加以简介。

第 1 章介绍了系统与系统工程的基本概念。首先对系统的含义、属性和特征做了介绍，阐述了系统的分类。介绍了工程学的两种含义：一种含义是指那些规模庞大、涉及因素众多的任务、项目，对它们需要从整体上加以把握，综合地进行处理；另一种含义是指处理上述任务或项目应用的思想、方法所构成的学科。阐明了系统工程学科的定义和特征。本章还论述了系统工程的原则和国内外系统工程的广泛应用。

第 2 章阐述的是系统思想。本章首先介绍了系统思想的发展和主要理念、系统和环境的关系，从系统的秩序与组织、整体性、层次性、演化性、复杂性等特性来具体研究系统思想的含义，还探讨了系统、信息、控制三者之间的关系问题。

第 3 章是本教材的重点之一。首先，说明了方法论和方法的关系，介绍了硬、软两种系统工程方法论，以及方法论的进一步发展。接着，依次讨论了本书作者提出的系统直觉的概念，以及系统分析、系统综合的概念。然后，讨论了知识在系统工程中的作用。最后，讨论了系统工程中应该处理好的几个关系。此外，还探讨了系统工程既是科学又是艺术的特点，以及工程队伍与人才问题。

第 4 章探讨的是系统工程过程。这是新增的一章，首先阐述了系统工程与项目的关系，然后介绍了系统工程项目的过程特点，以及系统生命周期的概念。还探讨了生命周期概念的演化。这里对经常忽视的系统验证与系统的确认做了介绍。在这一章，特别介绍了工程学的两个新的概念：敏捷系统工程与系统再造工程。

第 5 章介绍了系统需求分析和系统建构，也是新增的一章。多年来，系统工程项目的经验表明：系统待解决的问题的确立、系统需求的确定是关乎项目成败的关键。这一章对需求分析过程及其管理进行了探讨，并在此基础上提出了系统建构问题。系统建构与系统集成问题是关乎系统开发的两项重要工作。按照一般说法，系统工程除了方法论外，许多方法和技术都是从其他学科（如运筹学、控制理论等）借用过来的，还没有自己独特的方法和技术。但是，本书作者认为，这两项乃是系统工程学科本身所独具的方法和技术。由于在已有的系统工程教材中，这方面的论述较少，所以本书在这一章和下一章加以研究。系统建构可以认为是在系统工程中怎样把系统的要求落实到构建一个前所未有的系统上的过程 and 任务。本章首先介绍建构工作的一般原则和特点，然后讲述建构的步骤和方法。

第 6 章讲述了系统的设计与集成。首先，介绍了系统的工程阶段中的初步设计和工程技术设计，还特别介绍了系统的运行可行性设计。然后，探讨了系统集成问题，包括它的含义和类型，围绕着当前举国上下所关心的自主创新中的系统集成创新，探讨系统集成的各种形式及集成创新的特点。最后，以系统集成创新的方法论的研究作为对系统集成研究的实际应用。

第 7 章介绍的是系统的描述和模型建立。这里所说的描述，包括从开始确定问题时所写的问题剖析报告，直到具体的数学模型公式或计算机程序。本章首先介绍了量化和尺度，接着研究了数据和指标体系。为系统建立模型，实际上就是对系统的某些属性加以描述，特别是用符号语言来描述。本章最后一节讲述了建模的共性问题，特别强调了结构模型的重要性，为后几章讲述各类数学模型的建立做准备。

第 8 章讲述了系统的结构建模。首先介绍了怎样从描述问题的概貌和系统轮廓的概念模型过渡到描述系统的结构形态的结构模型，阐明了结构模型的特点是描述系统各组成部分之间及它们与外界环境之间的关系（这里所谓关系，既包括因果关系、顺序关系、联系关系、

隶属关系，也包括优劣对比关系等)。本章强调结构模型乃是从系统的概念模型过渡到定量分析的中介，而且即使对那些难以量化的系统来说也可以建立结构模型，用来深化对系统的认识。然后，介绍了各种结构模型的形式和建立方法。

第 9 章讲述了系统的静态建模、静态分析与优化，从最简单的静态模型的建立开始，依次介绍了静态分析与优化的方法。虽然系统的核心部分是它的理念和方法论，以及概念模型的建立，但是，一些基本的数学模型的建立和定量分析方法还是很重要的，因为通过这些方法可以更深入地掌握系统的特性。与前两版相比，这一版对许多静态优化的具体计算方法进行了删节，因为那些是运筹学、优化方法等课程的内容。

第 10 章讲述了系统的动态建模、动态分析与优化。这里同样从最简单的动态模型建立开始，逐步引述了系统的动态性能与特点。本章的一个重点是对非线性系统的动态分析做了阐述，因为随着系统复杂性的增加，非线性因素的作用和影响是不能忽视的。在这一章中，特别对种群的动力学形态做了一些分析，因为种群的概念不仅限于自然生态系统，而且现在工业生态、信息生态的研究也提到日程上来了。此外，还提到了正反馈在系统中的作用。

第 11 章介绍了网络系统。这类系统由许多节点通过线路连成网络。在线路中，有物料、能量或信息在流动，例如运输网、信息网等。有一些工作计划，也是按相互的关系绘制成网络形式的，可以认为是沿时间展开的网络。本章介绍了各类网络的分析方法。近年来，复杂网络的研究为系统复杂性研究开辟了一条新的道路，它的应用不仅限于实际的物理网络，而且会延伸到企业集群、知识传播和集成、科研合作等问题的分析研究之中。因此，在这一版中特地增加了有关复杂网络的内容。

第 12 章介绍了随机服务系统的动态建模与分析。这类系统大量存在于各种服务业（运输、通信、商业、银行等）之中，其中接受服务者的到来时刻和服务者进行服务的时间，都随时机和条件而变化。因此，服务系统的状况也是随机的，是随时机与条件而变化的。本章介绍了几类典型的服务系统的分析方法和系统的特点。

第 13 章介绍了系统的可靠性。任何系统要想发挥它的效用，首要条件是能可靠地工作。因此，在设计、研制和运用一个系统时，必须考虑系统的可靠性问题。这一章介绍了系统可靠性与可用性的分析方法。首先，介绍了可靠性的基本概念；然后，介绍了可靠性模型与可靠度计算及系统可靠性估计与分配；最后，介绍了可维修系统模型与可用度计算。

第 14 章介绍了系统的工程实现。由于系统工程项目所在的领域不同，专业各异，因而各有其实现的方法。本章只针对少数几个共性问题，特别是进度的定量分析与安排问题做一些介绍。

第 15 章介绍了实用评价方法。在前几版中，这部分内容是放在有关决策的章节里的。考虑到在整个系统工程过程之中，各个阶段都会有评价的需要，所以单列一章。这里首先探讨了系统评价的作用和评价的原则，然后讲述专家评价法、层次分析法、模糊综合评价法。由于层次分析法用得较多，所以讲得也比较详细。

第 16 章介绍了决策分析基础。人类的决策活动有着悠久的历史。开始时，只能凭借经验来进行决策，在积累了大量的成功和失败的正反面经验后，借助于各类科学的理念、方法和数学与计算机工具，逐步形成一些决策科学方法。但是，决策本身，特别是大型复杂决策问题本身涉及因素过多（尤其是一些心理和行为因素），决策又是一项创新性很强的工作，目前还难以形成普遍的规律。因此，人们更重视所谓“决策分析”这一学科，它主要是指可以用于实际生活的一些理性决策的理论与方法。本章将介绍有关决策分析的一些基本概念、决策

分析过程和步骤、风险型决策分析方法，以及在决策分析过程中人们对决策结果的满意程度的一些基本度量方法。

第 17 章介绍了实际生活中的决策方法。首先分析了决策模式，接着介绍了行为决策的一些概念（这一节是本书新加的内容。由于近来行为经济学的发展，人们对行为决策开始重视起来）。然后，介绍了多准则决策概念和方法，以及计算机决策支持系统的概念和结构。最后，讲述了元决策的概念、方法与步骤。

第 18 章是新添加的一章，介绍了复杂系统和复杂系统工程。随着社会经济和科学技术的发展，各式各样的系统变得越来越庞大和越来越复杂，使用传统的系统工程方法来研究和开发这些系统已经显得力不从心了。于是，人们开始关注系统的复杂性，把复杂系统问题的研究当做当前系统学科研究的热点之一，并且开始探索处理复杂系统工程问题的方法。

第 19 章也是新添加的一章，介绍了“系统的系统”以及处理这类系统的体系工程。现在许多复杂系统多半不是一次设计就建造出来的，而是将一些现有系统的有关部分加上新的部分集成而得到的。可以说，它是由系统组成的系统，因而可称为“系统的系统”。现在，出现了专门研究这类“系统的系统”的新学科分支：体系工程。这一章简要介绍了这方面的内容。

前面曾经提到，本书是按照理工科院校的工程技术类（如自动化、信息工程、计算机、机械制造等）专业及与技术有关的管理类（如系统工程、工程管理、信息管理、工业工程、项目管理等）专业所开设的系统工程课程通用教材的要求编写的，着重于系统工程的理念、方法论和系统分析与综合方法的介绍。关于各行各业的应用，希望学生在学完本课程后主动联系自己的专业实际，进行有机的结合。

本教材可作为高年级与研究生（包括专业学位的研究生）的系统工程课程的教科书或教学参考书，可按不同的教学要求与学时数灵活安排。

如果需要完整而深入地掌握系统工程的理念和方法而课时数为 40~50 学时，可以全面讲授本书各章内容（其中，第 8 章与第 15 章后面的几节可视需要与学生的基础加以删节）。

如果作为通识性教材，学时数为 30~40，可略去第 8 章的后几节和第 15 章的后半部分。对于第 7 章、第 8 章和第 11 章，则可按照专业需要选讲，或做简要的概念性介绍。

对于学时更少的短期课程或者培训课程来说，可以只选第 1 章到第 4 章、第 16 章的前半部分内容，第 9 章和第 10 章的有关概念的几节，以及第 4 章、第 5 章、第 6 章的开头部分；对于第 11 章、第 12 章、第 13 章，则按照课程对象有选择地加以定性的简介。作为讲座的参考材料，可以选用第 1 章、第 2 章、第 3 章。

本书也可供广大的工程技术人员、科研人员和管理人员自学参考。希望他们首先阅读第 1 章至第 6 章，以及第 14 章、第 15 章，第 16 章、第 17 章的定性描述部分；然后再按照工作需要选读其余各章。

由于系统工程是一门方法性的学科，为了适应更多的专业使用，本书无法一一列举更多的实例，所以建议读者在读到每一部分时都能联系自己的工作经验和见闻，考虑系统思想和方法的应用。

作者
2012 年 3 月

致 谢

我国的系统工程研究和应用事业，一直是在以钱学森、许国志为首的老一辈科学家的领导下从无到有开拓出来的。他们的远见卓识为系统工程的应用和学科研究指明了方向。我们的系统工程教学和研究工作一直是沿着他们指引的方向前进的。国外的先行者也通过国际学术交流为我国的系统工程事业和学科提供了有益的经验。特别应该提到的是模糊系统理论的创始人、美国的札德教授(L.A.Zadeh)和日本的榎木義一教授(Y.Sawaragi)，他们十分重视中国传统的系统整体思维，提倡在系统学科中充分发挥东方系统思维的独特作用，作者从和他们多次面对面的交流中得到许多教益，对我们的系统工程理念的发展起到了推动作用。

在系统工程学科建设与教材建设方面，原电子工业部工科自动控制专业教材编委会的主任、已故的中科院院士、上海交通大学张钟俊教授一直关怀和支持系统工程教材的编写。在系统工程学科与研究生教育的创建过程中，作者和华中理工大学的陈珽教授、清华大学的郑维敏教授、天津大学的刘豹教授、西安交通大学的胡保生教授、汪应洛院士有过长期交流，学到了许多经验和体会，特别是陈珽教授和他的同事担任了本书前两版的主审工作，使作者得以改正一些错漏的地方。

本书作者对系统的认识和理解，除了从前人的著作和经验中吸取了养分外，在系统工程应用的长期实践中也得到合作者的许多启示。在多年的教学实践中，无论是听课的学生，还是一同担任过教学工作的同事，都根据他们对教材的使用经验和体会向作者提出过很多意见和建议，从本书的内部发行版到第1版、第2版，每次都能根据这些意见进行修订，使得公开发行的两版先后获得原电子工业部的优秀教材奖，这是和他们的建议分不开的。

在此，对上述各位前辈、同事、合作者和学生，表示诚挚的谢意。

最后，还应该提到我的终身伴侣邓文竹教授，她校读了第3版的文稿，对第4版内容也提出过有益的建议。她认真细致甚至苛刻的要求，使作者得以改正一些错漏和表达不恰当的地方。我们都已是耄耋之年，欣逢盛世，能够有机会和精力从事书稿的编校，既是一件幸事，也是一件乐事。但作者深信书稿中还存在不少错误和不当之处，恳切希望广大读者不吝赐教，作者的电子邮件地址是：wangzt@dlut.edu.cn。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市海淀区万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 系统与系统工程的基本概念	1
1.1 系统的概念	1
1.1.1 系统的含义与概念	1
1.1.2 系统的属性	2
1.2 系统的类型	3
1.2.1 按系统生成的原因分类	3
1.2.2 按系统的构成内容分类	4
1.2.3 按系统与环境的关系分类	4
1.2.4 按系统状态对时间的关系分类	4
1.2.5 按系统的规模大小和复杂程度分类	4
1.3 系统的结构与功能	5
1.3.1 系统的结构	5
1.3.2 系统的功能	5
1.3.3 结构与功能之间的关系	6
1.4 系统工程的产生与发展	6
1.4.1 系统工程的形成和发展	6
1.4.2 系统工程的含义	8
1.5 系统工程学科的定义与学科特点	9
1.5.1 系统工程学科的定义	9
1.5.2 系统工程的学科特点与学科位置	10
1.6 系统工程的应用举例	12
参考文献	13
习题与思考题	14
第 2 章 系统思想	15
2.1 系统思想和系统观	15
2.2 系统与环境	16
2.3 系统的秩序与组织	17
2.3.1 系统的秩序	17
2.3.2 系统的组织	18
2.3.3 系统的自组织	19
2.4 系统整体性思想	20
2.4.1 系统整体性的含义	20
2.4.2 系统整体性性能的涌现	21
2.4.3 整体性思想在系统工程中的应用	22

2.5	系统层次性思想	23
2.6	系统的演化性	24
2.7	系统的复杂性	24
2.8	系统与信息	26
2.8.1	信息的含义	26
2.8.2	系统中的信息	27
2.9	系统与控制	28
	参考文献	30
	习题与思考题	30
第3章	系统工程的方法论	31
3.1	系统工程的方法体系	31
3.1.1	系统工程的方法论、方法、技术与工具	31
3.1.2	系统工程方法论	31
3.1.3	系统工程的原则	32
3.2	硬系统方法论	33
3.2.1	系统工程的三维形态图	34
3.3	软系统方法论	36
3.3.1	软系统方法论的含义	36
3.3.2	软系统方法的步骤	37
3.3.3	对软系统方法的一些探讨	38
3.4	系统方法论的进一步发展	39
3.4.1	还原论、整体论和系统论方法	39
3.4.2	综合集成方法论	40
3.5	系统直觉	41
3.6	系统分析与系统综合	43
3.6.1	系统分析	43
3.6.2	系统综合	43
3.7	系统与知识	44
3.7.1	知识的含义与类型	44
3.7.2	显性知识与隐性知识	45
3.7.3	系统中的知识	46
3.8	功能模拟和黑箱方法	46
3.8.1	功能模拟	46
3.8.2	黑箱方法	47
3.8.3	隐喻	47
3.9	系统工程中需要处理好的几个关系	48
3.9.1	人与天然系统的关系	48
3.9.2	人与人工自然系统的关系	49

3.9.3	系统工程中的人与人的关系	49
3.9.4	个人内心的各种关系	50
3.9.5	综合考虑	50
3.10	系统工程既是科学又是艺术	51
3.11	系统工程的队伍与人才	52
3.11.1	系统工程的队伍	52
3.11.2	系统工程师的职业特点	53
3.11.3	应在广大领导人员和专业人员中普及系统工程知识	54
	参考文献	54
	习题与思考题	55
第 4 章	系统工程过程	56
4.1	系统工程与项目管理	56
4.2	系统工程过程的含义	57
4.3	系统生命周期	58
4.4	系统生命周期模型的演化	60
4.4.1	系统生命周期模型的进一步发展	60
4.4.2	综合集成方法在系统工程过程中的应用	62
4.5	系统的验证与系统的确认	64
4.5.1	系统的验证	64
4.5.2	系统的确认	65
4.6	敏捷系统工程	65
4.7	系统再造工程	67
4.7.1	企业的再造工程	67
4.7.2	系统再造工程	68
	参考文献	70
	习题与思考题	71
第 5 章	系统需求分析和系统建构	72
5.1	问题的确定	72
5.2	需求的开发问题	74
5.3	需求的调查	75
5.4	需求的分析与系统需求的定义	78
5.4.1	需求的分析	78
5.4.2	系统需求的定义	78
5.4.3	需求定义的工作难点	79
5.5	系统需求的管理	80
5.6	系统的建构问题	80
5.6.1	系统建构的意义	80
5.6.2	整体功能涌现与建构	82

5.7	系统建构工作的特点与原则	82
5.7.1	建构工作的特点	82
5.7.2	建构原则	84
5.8	系统建构工作的步骤	85
5.8.1	明确系统需求或问题	85
5.8.2	系统边界的确定	85
5.8.3	目标的确立	86
5.8.4	指标与指标体系	87
5.9	系统建构的实施	88
5.9.1	进行功能与体系结构设计	88
5.9.2	对各结构方案进行评价、选择	89
5.9.3	建立各种属性的体系结构	89
5.10	系统建构工作的方法	90
5.10.1	规范化方法	90
5.10.2	理性化方法	90
5.10.3	论证法	90
5.10.4	试探法	90
	参考文献	92
	习题与思考题	92
第6章	系统的设计与集成	93
6.1	系统的初步设计	93
6.2	工程技术设计	94
6.3	系统的运行可行性设计	95
6.3.1	系统的运行可行性的含义	95
6.3.2	系统的可使用性	96
6.3.3	系统的可支持性	96
6.3.4	系统的可生产性与可废弃性	97
6.3.5	系统的可承担性	97
6.4	系统集成	98
6.4.1	系统集成的含义	98
6.4.2	系统集成的进展	99
6.4.3	系统集成的类型	99
6.5	系统集成创新	100
6.5.1	创新的类型	100
6.5.2	系统集成创新的形式	101
6.6	系统集成创新的方法论	102
6.6.1	系统集成创新的目的：新功能的涌现	102
6.6.2	集成的关键在于综合，而具体实施首先需要进行“系统建构”	

(建立系统的体系结构)	102
6.6.3 系统集成创新必须同时着重技术和管理	102
6.6.4 要恰当掌握集成的“度”	103
6.6.5 要注意系统集成创新中的知识集成与创造	103
6.6.6 在系统集成创新过程中需要运用各种思维方式	104
6.6.7 系统集成的关键在于接口	105
参考文献	105
习题与思考题	106
第7章 系统的描述与模型建立	107
7.1 系统的描述与建模	107
7.1.1 系统描述语言	107
7.1.2 建模也是一种系统描述	108
7.2 模型方法	109
7.2.1 模型方法的含义	109
7.2.2 概念模型与结构模型	110
7.2.3 定性模型与定量模型	110
7.2.4 系统建模过程	111
7.3 同构性与同态性	112
7.4 量化与尺度	113
7.5 数据的采集与管理	114
7.5.1 数据的类型	114
7.5.2 数据的管理	115
7.5.3 必须重视数据工作	115
7.6 系统的定性描述与知识表示	116
7.6.1 知识表示用于系统的定性描述	116
7.6.2 逻辑表示法	116
7.6.3 关系表示法(特征表表示法)	117
7.6.4 产生式规则表示法	118
7.6.5 语义网络表示法	118
7.6.6 框架表示法	119
7.6.7 面向对象的表示法	119
7.6.8 本体表示法	120
7.7 不确定性描述(一)——随机性	120
7.7.1 随机性描述	120
7.7.2 回归分析	122
7.8 不确定性描述(二)——模糊性	123
7.8.1 模糊性	123
7.8.2 语言变量	124

7.8.3	模糊数	126
7.8.4	模糊逻辑与模糊模式识别	127
7.8.5	模糊关系	127
7.9	非结构化信息的知识表示方法	128
7.9.1	半结构化数据与非结构化数据	128
7.9.2	半结构化数据的知识表示	129
7.9.3	多媒体信息的知识表示	130
	参考文献	130
	习题与思考题	131
第 8 章	系统的结构建模	132
8.1	引言	132
8.2	概念模型	133
8.3	系统结构模型的矩阵表示	134
8.3.1	邻接矩阵的运算	135
8.3.2	可达矩阵	136
8.4	系统结构模型的分解	138
8.4.1	结构模型的分解	138
8.4.2	分解方法	139
8.5	索引矩阵与出现矩阵	140
8.5.1	索引矩阵	140
8.5.2	出现矩阵	140
8.6	结构模型的建立 (1)	142
8.6.1	结构模型建立的过程	142
8.6.2	具体做法	143
8.6.3	简化方法	143
8.6.4	实例	145
8.6.5	待定元素求法	146
8.7	结构模型的建立 (2)	148
8.7.1	关系划分 $\Pi_1(S \times S)$	148
8.7.2	级别划分 $\Pi_2(S)$	149
8.7.3	分部划分 $\Pi_3(S)$	151
8.7.4	是否强连接单元的划分 $\Pi_4(S)$	152
8.7.5	强连接子集的划分 $\Pi_5(S)$	152
8.7.6	可达矩阵的变换	153
8.8	层次结构分析	155
8.8.1	层次结构分析法	155
8.8.2	举例	156
	参考文献	157

习题与思考题	157
第 9 章 系统的静态模型、静态分析与优化	160
9.1 系统的静态模型	160
9.1.1 静态模型	160
9.1.2 静态模型方程	161
9.1.3 生产函数模型	162
9.2 系统的静态分析（边际分析）	163
9.2.1 静态分析	163
9.2.2 边际分析	164
9.3 系统的静态优化（1）——线性规划问题	165
9.3.1 线性规划问题举例	167
9.4 系统的静态优化（2）——非线性规划问题	168
9.4.1 非线性问题优化	168
9.4.2 凸函数	169
9.4.3 只有等式约束的问题	171
9.4.4 具有不等式约束的问题	172
9.4.5 孔-特克条件	174
9.5 无约束优化的近似计算方法	175
9.5.1 近似计算方法	175
9.5.2 一元函数的搜索算法	176
参考文献	178
习题与思考题	178
第 10 章 系统的动态分析与优化	180
10.1 系统的动态模型	180
10.1.1 系统的动态与动态模型	180
10.1.2 系统的动态方程	181
10.2 系统动态模型举例	183
10.2.1 最简单的市场模型	183
10.2.2 模型方程与解	184
10.3 线性系统的动态分析	184
10.3.1 线性连续系统的方程解	184
10.3.2 线性离散系统的方程解	186
10.4 非线性系统的动态分析	186
10.4.1 非线性系统的动态特性	186
10.4.2 相空间与相迹	187
10.4.3 一类特定的非线性模型	190
10.5 非线性系统的多样性态、分叉与混沌	192
10.5.1 非线性系统的多样性态	192

10.5.2	分叉	193
10.5.3	混沌	194
10.6	反馈与控制的作用	195
10.7	动态优化	195
10.8	离散事件动态系统	196
	参考文献	197
	习题与思考题	197
第 11 章	网络系统	199
11.1	引言	199
11.2	最短路径问题	200
11.2.1	问题的提出	200
11.2.2	标记法	201
11.2.3	算法步骤	202
11.2.4	设备更新的例子	203
11.2.5	多起点多终点问题	205
11.3	最大流问题	207
11.3.1	问题的提出	207
11.3.2	网络拓扑结构分析	207
11.3.3	算法	209
11.3.4	计算举例	210
11.4	复杂网络	212
11.4.1	各种类型的复杂网络	212
11.4.2	复杂网络的分析	213
11.4.3	无尺度网络	214
	参考文献	217
	习题与思考题	218
第 12 章	随机服务系统的动态建模与分析	219
12.1	随机系统	219
12.1.1	随机服务系统的特点	219
12.1.2	随机服务系统的输入过程	219
12.1.3	排队规则	221
12.1.4	服务机理	221
12.2	生灭过程	223
12.2.1	生灭过程的定义	223
12.2.2	生灭过程的微分方程组	223
12.2.3	稳态解(极限解)	224
12.3	无限队长、泊松输入、指数服务分布的系统	225
12.3.1	系统的稳态解	225