

普通高等教育规划教材

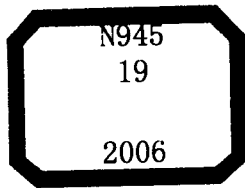
系统工程学导论

袁旭梅 刘新建 万杰 编

Introduction to
Systems Engineering

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





普通高等教育规划教材

系统工程学导论

袁旭梅 刘新建 万杰 编
田乃硕 主审

机械工业出版社

本书系统、全面地介绍了系统科学与工程的基本原理、系统工程活动的总体组织管理框架与系统工程技术方法。具体包括系统工程学的发展简史、系统工程学的基础理论、系统分析、系统设计、系统工程管理、企业系统管理、系统结构模型技术、控制理论与方法、系统仿真技术、人工神经网络技术、系统动力学方法、系统评价与检验、系统工程案例等内容。

本书是作者在多年从事本科和研究生层次教学的基础上,根据学科的新发展编写的一本以本科生为主要教学对象的教材,主要适用于管理科学、工业工程、工程管理和工商管理等专业,也适用于初次接触本学科的其他理工科专业的研究生。

图书在版编目(CIP)数据

系统工程学导论/袁旭梅,刘新建,万杰编. —北京:
机械工业出版社, 2007. 1

普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-20360-7

I. 系... II. ①袁...②刘...③万... III. 系统工程学—高等学校—教材 IV. N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 135913 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:曹俊玲 版式设计:霍永明 责任校对:张玉琴
封面设计:陈沛 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·10.125 印张·368 千字

定价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639、88379641、88379643

编辑热线电话:(010)88379718

封面无防伪标均为盗版

前 言

系统工程作为一种工程组织和管理实践的指导思想已经得到了广泛的传播，深入人心。根据不完全统计，我国已出版了数百种书名中含有“系统工程”一词的论著，中国期刊全文数据库中收录了七种直接以“系统工程”为中心词命名的学术期刊。2000年，中国系统工程学会编辑出版了《系统科学》和《系统科学与工程研究》两种教材性著作，分别针对硕士生和博士生层次的教学，这标志着我国系统科学与系统工程的学术水平又站在了一个新的平台之上。我们编写这本书的目的，就是在新平台基础上，出版一本适合本科教学的教材，为学生将来在系统科学和系统工程方面的进一步学习提供入门教程，为进入社会工作培养系统观和应用系统工程方法的基本技能。

我们编写本书的指导思想是：吸收最新研究成果，突出思想原理，技术方法完整，理论表述明快，概念定义准确。作为一本大学使用的本科教材，内容上应以当今比较成熟的科学理论为主，所以，我们选编内容以《系统科学》和《系统科学与工程研究》为参照系，吸收了以往教材中的积极内容和其他一些研究成果。另外，从有关文献材料中我们发现，在系统设计和系统工程管理内容方面，我国还有一定差距，学界缺少沟通，不仅在流行教材中介绍不多，而且有许多术语很不统一，本书只能尽力而为，在有些地方作了标注。

系统科学与工程是一门综合性交叉学科，不仅技术方法层出不穷，而且基本思想原理也十分丰富，不断推陈出新。虽然如此，纵览各种专著、教材，在基本原理上许多基本内容则是大家公认的，这也是系统工程学能作为一门学科独立存在的前提。在这本教材中，我们没有简单地罗列前人的知识，而是阐释了我们自己对系统工程

学这门学科的特点及重要理论方法的认识，也收录了我们的某些研究成果。

作为一门大学课程，系统工程学的内容应是导论性的，它不可能包罗万象。这是因为，其一，不可能在一门课中介绍所有的方法技术，它们都可以独立成为一门课程或包含在更专门的课程中；其二，各种方法技术适用于不同类型领域的系统工程活动，没必要也不可能在一门导论性的课程中全面介绍。所以，本教材以讲述系统思想方法论和综合系统方法为主，对一些技术分支学科和特殊技术方法只作了简略介绍。

本教材的内容体系是：

- (1) 系统科学与系统工程学的发展史和渊源。
- (2) 系统学的重要思想与理论。
- (3) 系统工程活动的总体组织管理框架(有的书称为系统工程方法论)。
- (4) 其他管理类课程中没有介绍的重要系统工程技术方法。
- (5) 典型的系统工程案例。

本书前三章是系统工程的基础理论篇。这一部分，首先详细介绍了系统科学与系统工程学的基本概念和基本问题，然后以简明的语言和框架介绍了系统工程学的系统科学基础。在这一部分，我们加强了对系统科学与工程发展史的介绍，以期使学生对系统工程学产生亲切感，消除对系统思想的神秘感。

本书第四至第七章是系统工程活动的组织管理方法论。方法论是系统工程学的核心内容。通过这一部分的学习，主要使学生对系统工程的过程步骤形成比较清晰的轮廓，深入理解系统工程活动的思想方法和技术应用特点。

第八至第十三章介绍了一些主流的和新的系统工程技术方法。这些方法既能体现系统思想的核心，又可在不同领域的系统工程实践中应用。在这一部分的系统评价一章中，融入了我们自己的研究成果，希望对系统评价这一活动重新认识，建立更加科学的评价方法论。

本书最后一章编写了四个系统工程技术和方法论应用案例，其

中包括我们的一些科研成果。

本教材适用于普通高等院校经济管理类本科生，也可以作为相关专业硕士研究生的参考教材。我们建议，在教学中教师应根据实际教学需要对内容适当取舍或添加，有些内容，可以安排学生结合课外材料阅读，不必逐节讲授；对有些题目可以组织课堂或小组讨论，让自发的系统思维变为自觉的系统思维；应努力用系统工程的思想方法组织系统工程学的教学。

我们愿意倾听任何批评和建议。我们的电子邮件地址是：lxj@ysu.edu.cn, yxm@ysu.edu.cn, jeanwan@eyou.com。

编 者

2006年11月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 泡茶问题.....	1
第二节 古代系统思想.....	3
第三节 古代系统工程实践.....	7
第四节 现代系统科学与系统工程学的产生与发展	11
第五节 系统工程学的研究对象与内容	21
问题与讨论	24
参考文献	24
第二章 系统工程学的基本原理	26
第一节 系统工程学的基本范畴	26
第二节 系统的特性	34
第三节 系统的结构与分类	36
第四节 耗散结构理论	39
第五节 协同学	43
问题与讨论	45
参考文献	46
第三章 系统工程学的基础理论	47
第一节 引言	47
第二节 运筹学	48
第三节 信息论	55
问题与讨论	66
参考文献	66
第四章 系统分析	67
第一节 典型系统工程方法论	67

第二节 系统分析的基本概念	76
第三节 系统分析的基本要素	79
第四节 系统分析的主要作业	84
问题与讨论	89
参考文献	89
第五章 系统设计	91
第一节 系统设计的一般过程	92
第二节 任务分析	93
第三节 功能分析	95
第四节 系统综合	102
第五节 系统权衡	104
第六节 设计评审	109
第七节 系统研制规范与配置管理	111
问题与讨论	113
参考文献	113
第六章 系统工程管理	114
第一节 概述	114
第二节 系统工程管理计划	115
第三节 系统工程组织	124
问题与讨论	130
参考文献	131
第七章 企业系统管理	132
第一节 管理系统	132
第二节 作业系统管理	138
第三节 信息系统管理	143
问题与讨论	148
参考文献	148
第八章 系统结构模型技术——解释结构模型	150
第一节 系统结构模型	150
第二节 解释结构模型	156

第三节 解释结构模型法的应用	164
问题与讨论	166
参考文献	168
第九章 控制理论与方法	169
第一节 控制问题、控制任务与控制方式	169
第二节 控制系统	175
第三节 线性系统的数学模型	179
问题与讨论	190
参考文献	193
第十章 系统仿真技术	194
第一节 仿真技术的产生与发展	195
第二节 系统仿真的类型	199
第三节 Petri 网建模方法	202
第四节 离散事件系统仿真方法及策略	206
第五节 系统仿真的一般步骤	213
问题与讨论	215
参考文献	216
第十一章 人工神经网络技术	217
第一节 人工神经网络的发展	217
第二节 生物神经元及生物神经网络	220
第三节 人工神经元与人工神经网络	224
第四节 反向传播网络模型	231
第五节 人工神经网络的应用	233
问题与讨论	239
参考文献	239
第十二章 系统动力学方法	240
第一节 系统动力学概述	240
第二节 系统动力学基本原理	242
第三节 系统动力学建模方法	244
第四节 Vensim 系统动力学软件	248

问题与讨论	256
参考文献	257
第十三章 系统评价与检验	258
第一节 系统评价的基本概念	259
第二节 系统工程中的系统评价	263
第三节 系统评价的一般过程	265
第四节 系统评价的基本方法论	269
问题与讨论	278
参考文献	278
第十四章 案例	279
案例一 全国粮食产量预测	279
案例二 高考志愿填报辅助评价系统研究	284
案例三 ISM 在天津富临刀具公司 BPR 中的应用	288
案例四 区域经济—资源—环境协调发展评价	297
参考文献	304
索引	305
后记	311

第一章

绪 论

第一节 泡茶问题

泡茶问题是华罗庚先生提出的一个最简单的系统工程的例子，他原先把它归于统筹法中。对这个问题，我们可以用系统工程学的语言叙述如下。

一、问题描述

- (1) 目标：喝到一碗清新的热茶。
- (2) 条件：已有一个茶壶、一包好茶叶、一个燃着的火炉和可用的水源。
- (3) 其他要求：以最节约资源的方式实现目标。
- (4) 系统工程研究任务：为解决喝茶问题设计一个计划系统(设计一个解决泡茶问题的行动计划)。

二、问题分析

为了完成所提出的系统工程研究任务，我们需要对所提出的问题作一些系统分析。

(1) 资源要求：根据我们的日常经验，现代人类的活动通常需要人、财、物等类资源。在这个泡茶问题上，不涉及资金的多寡，所需的资源包括：凉水、茶壶、茶叶、茶碗、火炉。这些资源目前都已齐备，且假设除了人力资源外没有限制。

(2) 目标要求：以最节约资源的方式泡一壶好茶。在这个问题中，前面提到的各项资源除了人力资源外，都是没有限制的。但实际上，茶壶的大小是确定的，因而所用的水是确定的。再假定炉火的发热量及热效率是确定的，那么，一旦装满水的茶壶放到火上，其烧开的时间也是确定的。另外，茶叶使用量也是有定额的。所以，在泡茶问题上，前述各项资源除随机干扰外，不存在节约问题。这个问题，唯一涉及的节约问题是关于一种既无限又有限的资源——时间的节约。

根据以上分析，我们可以更进一步把这个系统工程研究任务界定如下：

设计一个解决泡茶问题的行动计划，要求合理安排各道工序，以便最大限度地节约时间。

三、定性策划几个备选方案

根据日常经验，对以上泡茶问题可以有以下三种解法：

甲：①洗净水壶；②灌上凉水；③壶放在火上；④等水开；⑤水开后，以最快的速度洗茶杯，找茶叶；⑥泡茶，待茶泡好；⑦喝茶。

乙：①洗净水壶；②洗茶杯；③找好茶叶；④灌凉水；⑤壶放火上；⑥等水开；⑦水开后，用准备好的茶杯、茶叶泡茶；⑧等待茶泡好；⑨喝茶。

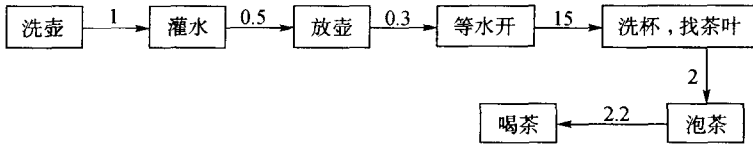
丙：①洗净水壶；②灌凉水；③壶放火上；④洗茶杯；⑤拿茶叶；⑥水开之前，可干一些其他事；⑦水开，泡茶；⑧喝茶。

四、方案分析与比较

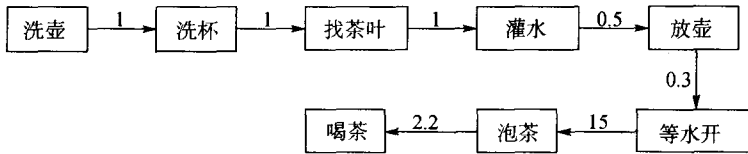
- (1) 列出泡茶所需的全部工序。
- (2) 确定每道工序所需的时间。
- (3) 确定各道工序之间的时间连接关系。
- (4) 分析计算每种方案所需的总时间。
- (5) 作出比较结论。

对于以上三种方案，我们可以用图 1-1 表示：

甲：



乙：



丙：

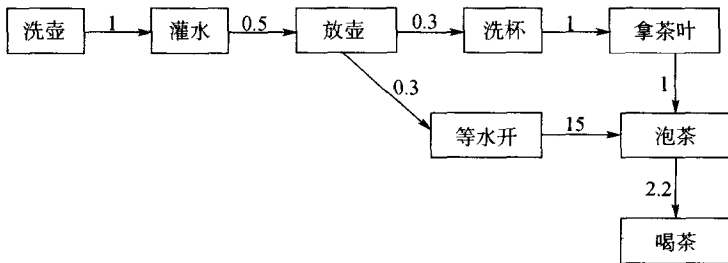


图 1-1 泡茶系统工程备选方案工序

根据以上分析，显然，丙方案是符合要求的最优方案。对于这样一个简单系统工程问题，至此可以说已经达到了目标。

关于以上泡茶系统工程的研究，包括了一般系统工程研究的主要环节和重要思想原理。主要环节包括：目标分析、要求分析、方案策划、系统分析（优化选择）、决策等；重要思想原理包括：最优化原则、并行统筹思想、工序图方法。

第二节 古代系统思想

系统工程的理论与方法以系统思想或系统观为中心指导思想。所谓系统观就是事物普遍联系的观点、运动的观点和历史（即演化）的观点，所以，系统

工程的思想渊源可以追溯到非常遥远的古人的论述。

一、古代中国的系统思想

根据文献资料,在我国现存的古代最早著作中,系统思想就很显著了。

首先,中国古代哲学之宗《周易》就是一部具有体系的系统哲学著作。周易的本体内涵体现在它的卦序、卦辞和对爻的解释(爻辞)中。整个卦序是宇宙事物从诞生到完结的发展的一个大循环规律的唯一描述;而每一卦中,随着从初爻到上爻的发展,又体现了事物在一个阶段中的发展规律,而且每一卦内的发展都与此卦在整个卦序中的位置相关,不是独立的。后世关于易学的发展虽然走向神秘世界,但是他们都遵从或延续了事物之间相互联系、相互作用的周易哲学思想观。实际上,周易可以被看作是古人对日常生活事物和社会政治经济军事事物的经验总结。古人们看到了事物之间的表面联系,这些表面联系重复多次或在一次中的感受非常强烈之后,他们就把它作为一种规律记录下来。只不过在古代(其实在现代也多是如此),能够全面把握和研究这些规律的人极少,因而就披上了“卜卦”的色彩,再加上一些想像思维,就出现了神的世界。但是,在当时,人们由于实践条件的限制,对事物之间的本质联系难以研究,也就多有推断谬误。

其次,从周易发展出来的儒家和道家思想虽然在表面上是具有某些对立的两种思想体系,但是,它们都秉承了周易的系统思想观。实际上,人们生活在一个充满相互联系的宇宙中,彻底的机械观是不可能持续、系统地存在的。孔子在许多观点上表现了唯心论的思想,但是他写的《易传》是对《周易》辩证系统思想的现实诠释,多处体现了唯物思想和系统观。道家就其存在形式而言,更是全面的唯心体系,但是,他们从事的活动是实实在在的唯物行为。其炼丹也好,练气练武也好,都是在自觉或不自觉地实践着系统思想和唯物观。

除了哲学著作以外,在中国古代的各种专业书籍如气象、农事、医药等著作中都以不同方式和不同角度表现着系统思维。管子的《地员篇》、《诗经》中的农事诗《七月》、西汉汜胜之的《汜胜之书》等古籍,对农作物与种子、地形、土壤、水分、肥料、季节、气候诸因素的关系,都有辩证的叙述。齐国名医扁鹊主张按病人气色、声音、形貌综合辨症,用砭法、针灸、汤液、按摩、熨帖等多种疗法治病。周秦至西汉初年的古代医学总集《黄帝内经》强调人体各器官的有机联系、生理现象和心理现象的联系、身体健康与自然环境的联系等,这些都是系统观的体现。

墨翟是中国古代的政治和军事思想家,也是伟大的科学家和工程师,是中

国历史上的达·芬奇^①。墨子(对墨翟之敬称)极其反对战争,但是他深知,光讲道理是不会让大国君主放弃战争的,因而提出“深谋备御”,以积极防御制止以大攻小的侵略战争。从“非攻”出发,《墨子》论述了作为弱小国家如何积极防御的问题。其理论体系可以概括为以下三个方面:

(1) 倡导积极准备,力争做到有备无患。只有在战前进行后勤、城防、军备、外交、内政等物质和精神上诸方面的充分准备,才能形成守城防御战斗中的有利条件和主动地位,赢得防御作战胜利。

(2) 提出“守城者以亟伤敌为上”的积极防御指导思想。墨子认为,在守城防御中,应守中有攻,积极歼敌。具体措施是:利用地形,依托城池,正确布置兵力;以国都为中心,形成边城、县邑、国都的多层次纵深防御,层层阻击,消耗敌人;顽强坚守与适时出击相结合。

(3) 在防御作战具体战法方面,提出了一整套防御作战战术原则。在《备城门》等篇中,墨子通过回答禽滑厘的询问,对十二种攻城方法一一对以有效防御。对如高临法、水攻法、穴攻法等当时颇为先进的攻城术,墨子对以别具匠心的应对措施,并详细解说守城器械的制作方法、使用技巧等。

墨子防御理论在中国兵学史上占有重要地位,后世有关防御原则和战术的记述,多源于《墨子》,以至于一切牢固的防御也被笼统称为“墨守”。从以上论述中可以看出,墨子的积极防御思想具有很强的系统观和辩证观。他综合考虑了军事与政治、经济的联系,并且实现了从战略指导思想到具体战斗技术的全面设计;通过切实的技术措施劝说国家君主放弃战争思维,以实现他的和平政治思想。

二、古希腊的系统思想

古希腊文明的最大贡献在于哲学和科学方面,其不少重要人物在现代科学技术教科书中都无一例外地被提到。如前所说,这时的科学由于人类受技术条件的限制只能从整体表象上去观察研究,所以其或浅或深一般都具有整体观和联系观的特征。下面择其数人予以简述。

亚里士多德(Aristotle)是古希腊的伟大思想家和科学家,其思想是现代科学思想的直接源泉。亚里士多德和他的学生对生物进行了极深入的研究,他们

^① 达·芬奇(Leonardo da Vinci,1452—1519)是意大利文艺复兴时期的著名画家、科学家和建筑师。他一生完成的作品不多,但几乎件件都是不朽的名作。他的笔记中涉及科学研究的范围极其广阔,从物理、数学到生理解剖,几乎无所不包;他在技术方面的创造发明遍及民用、军事、工程、机械等各方面。

对动物进行解剖、分类，准确描述了动植物的形态，提出生物学的层次思想。他们认为，生物机体结构有高低差别，可以排成从低到高的阶梯，人是自然界最高级的动物，是一朵其他生命均向其看齐的“自然花”。由此，生物学从他们的研究中真正诞生。在生物学史上，亚里士多德被认为是分类学之父。他的“有血的”和“无血的”这种分类被人们一直沿用，直到后来拉马克将它改名为“脊椎动物”和“无脊椎动物”。

埃菲斯的赫拉克利特(Heraclitus of Ephesus)是爱奥里亚学派学术思想的发展者。赫拉克利特认为，世界的本原是永恒运动、发展着的火，燃烧的火象征着自然界中普遍的现象和转化。他认为，世间一切事物和现象都是基于一种变的原则即“对立斗争和报复”。赫拉克利特认为，世界本身就是事物的不断发展、变化和不断更新，一切都在变化着，也存在着，所以运动和发展与物质本原是不能脱离的。为了证明自己的观点，赫拉克利特提出了“人不能两次踏入同一条河流”的著名命题，指出一切事物都处于永恒的不断变化中。赫拉克利特在《论自然界》一书中说：“世界是包括一切的整体。”

欧几里得的《几何原本》是一部划时代的著作，它是用公理法建立起演绎体系的最早典范。人类在此之前所积累下来的数学知识，是零碎的、片断的，可以比作砖瓦木石，只有借助于逻辑方法，把这些知识组织起来，加以分类、比较，揭露彼此间的内在联系，整理在一个严密的系统之中，才能建成宏伟的大厦。《几何原本》体现了这种精神，它对整个数学的发展产生深远的影响。这样一种学科理论体系是典型的知识和精神产品系统，是系统思想的自然体现。

阿基米德吸收了几何学中的演绎方法，他仿照欧几里得的方法，从一系列他所谓的不证自明的公理出发，推证出了他的杠杆原理。阿基米德巧妙的证明方法在科学史上占有重要的地位，它开辟了利用数学方法研究科学问题的道路，对数学和物理学的发展起到了推动作用。这种定量逻辑分析方法正是现代系统科学和系统工程理论与技术的基本特征之一。

泰勒斯是公认的希腊哲学鼻祖和数学家，他在数学方面的贡献是开始了命题的证明，标志着人们对客观事物的认识从感性上升到理性，这在数学史上是一个不寻常的飞跃。

古希腊唯物主义思想家德莫克利特(Democritus)把宇宙看成一个统一的整体，从整体上进行研究，并把宇宙看成是由原子组成的，原子的运动和相互作用构成了整个宇宙的运动变化。他发表了一部名为《宇宙大系统》的著作，可惜没有流传下来。

三、古罗马的系统思想

相比于古希腊,古罗马对人类文明的贡献主要在法律和技术方面。在科学上较著名的有托勒密和盖伦。托勒密利用自己观测的大量资料 and 前人积累的成果,正确地说明了月亮绕着地球运动的规律,相当准确地确定了月地距离,将本轮—均轮模型发展到了顶峰,使地心说的体系与实测的结果相符合。他集地心说之大成,在其《天文大全》的13卷本中,建立了最完整的地心说宇宙体系,这一体系统治欧洲达一千余年,直到哥白尼的日心说模型确立为止。盖伦是古希腊以来医学的集大成者之一。他认为,人体由三种不同等级的器官、液体和灵气组成(即关于人体小宇宙的理论),并通过人体解剖考察了心脏和脊髓的作用。关于工程技术上的贡献在下节中论述,本节主要介绍古罗马的法律成就。

应该说,一个社会最能体现系统思想的上层建筑就是法律制度体系和官僚行政体系。如果这些体系的内部组成之间的联系或与外部的联系不协调,就会出现矛盾,破坏社会的稳定与平衡。因为统治者总是想方设法维护自己的权利,所以就特别重视法制系统的建设,使之日臻完善。

古罗马帝国拥有一部令世人称颂的文明之珠——罗马法。罗马的法律从公元前450年的十二铜表法发端,到奥古斯都成为元首后发展为—套十分完备的体系。罗马法律包括三个方面,第一方面是罗马公民法,它应用于罗马公民,包括元老院颁布的法令、元首颁布的法令、法官颁布的法规以及一些传统习俗。第二方面是万民法,它应用于罗马帝国治下的不分民族的所有人民,它保护奴隶制和私有财产,并保护商品交易行为,比如买卖、合伙制和合同。第三方面是自然法,它由斯多葛派提出,虽然没有多少具体内容,但它强调一个重要理念:自然法是自然和社会的理性和正义的秩序,所有人都是平等的,都拥有基本权利,而政府对这些权利不能侵犯。如果国王不遵守自然法那他将自动变成暴君。罗马法的产生标志着文明进步的新阶段。当然,在每一个统治时代的晚期,由于统治者的意识不能随社会的发展而保持不断进步,社会矛盾就被激化,最后导致改朝换代。

第三节 古代系统工程实践

古人不仅留下了丰富的系统思想,而且进行过卓有成效的系统工程实践。作为实践者,他们的系统工程思想还是自发的和不成体系的。

一、都江堰

都江堰位于四川省中部岷江中,已有2000多年历史,是当今世界上惟一