

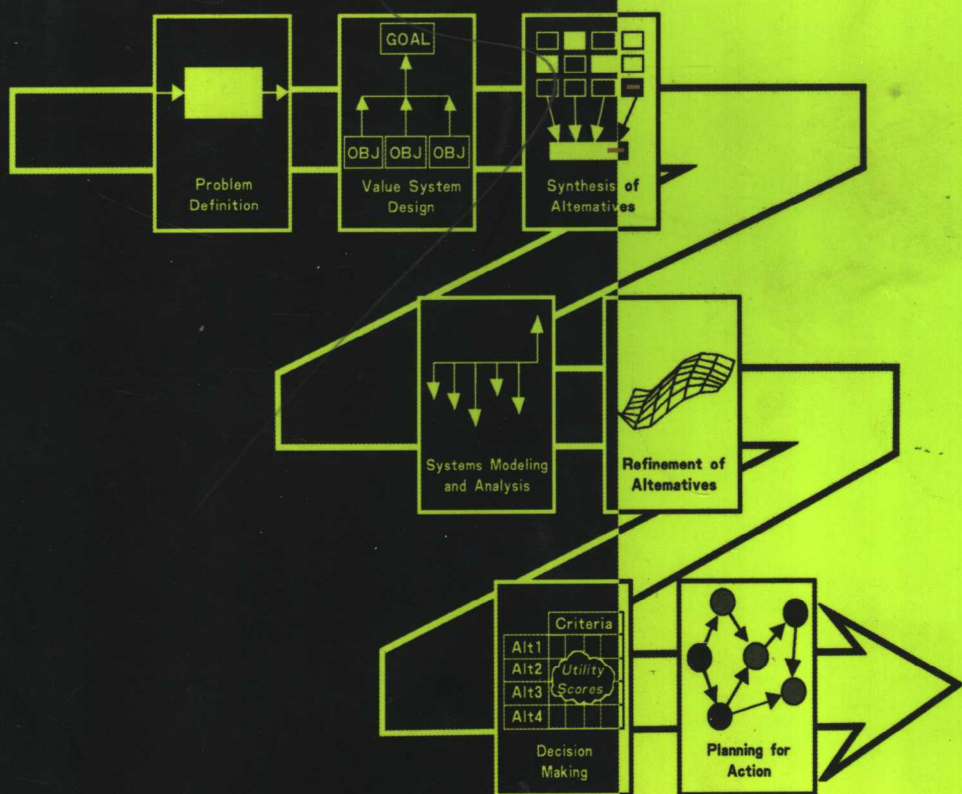
Andrew P. Sage • James E. Armstrong Jr.

系统工程导论

Introduction to Systems Engineering

[美] 安德鲁·P·塞奇 著
詹姆斯·E·阿姆斯特朗

胡保生 彭勤科 译



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

N945

15

SEM
译丛

Wiley 系统工程与管理系列精选译丛

丛书主编 胡保生

Introduction to Systems Engineering

系统工程导论

[美] 安德鲁·P·塞奇 著
詹姆斯·E·阿姆斯特朗

Andrew P. Sage
George Mason University

James E. Armstrong, Jr.
United State Military Academy

胡保生 彭勤科 译



西安交通大学出版社

Xi'an Jiaotong University Press

内容简介

本书是“Wiley 系统工程与管理系列精选译丛”的第一本。全书共分 6 章。主要讨论了各种系统工程和大规模系统的一些基础知识和原理,并通过讨论系统工程的需求、定义,引出描述系统工程过程的生命周期模型。本书的特点是在对系统工程生命周期各过程和系统管理进行阐述的同时,对表达、分析和解释方法的实际应用做了大量的讨论。通过许多丰富的、真实的案例,让读者领会和掌握系统工程方法和问题求解技术。

本书有大量图表,各章末有小结和习题。可作为工程专业和系统管理专业本科高年级学生和研究生教材,也可供其它相关专业的科研人员参考。

ANDREW P. SAGE, JAMES E. ARMSTRONG, JR.

INTRODUCTION TO SYSTEMS ENGINEERING

Copyright © 2000 by John Wiley & Sons, Inc.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, scanning or otherwise, except as permitted under Section 107 or 108 of the 1976 United States Copyright Act, without either the prior written permission of the Publisher, or authorization through payment of the appropriate per-copy fee to the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, Ma 01923, (508)750-8400 fax (508) 750-4744. Requests to the Publisher for permission should be addressed to the Permissions Department, John Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY 10158-0012, (212) 850-6011, fax (212) 850-6008, E-mail: PERMREQ @ WILEY. COM.

All rights reserved. This translation published under license.

陕西省版权局著作权合同登记号:25-2005-079

图书在版编目(CIP)数据

系统工程导论 / (美)塞奇, (美)阿姆斯特朗著;
胡保生, 彭勤科译. —西安:西安交通大学出版社, 2006. 8
(Wiley 系统工程与管理系列精选译丛)
书名原文: Introduction to Systems Engineering
ISBN 7-5605-2235-1

I. 系... II. ①塞... ②阿... ③胡... ④彭...
III. 系统工程 IV. N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 087588 号

书 名:系统工程导论
著 者:(美)安德鲁·P·塞奇 (美)詹姆斯·E·阿姆斯特朗
译 者:胡保生 彭勤科
出版发行:西安交通大学出版社
地 址:西安市兴庆南路 25 号(邮编:710049)
电 话:(029)82668357 82667874(发行部)
(029)82668315 82669096(总编办)
电子邮箱:xjtupress@163.com
印 刷:西安交通大学印刷厂
印 数:477 千字
开 本:687mm×1012mm 1/16
印 张:35.625
印 次:2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷
印 数:0001~3000
书 号:ISBN 7-5605-2235-1/N·7
定 价:57.00 元

版权所有 侵权必究

译 序

本书是 John Wiley & Sons 公司出版的“系统工程与管理丛书”中的一本,其作者是系统工程界世界著名的学者 Andrew P. Sage 和美国西点军事学院的 James E. Armstrong Jr.。这本书概括了他们在美国从事系统工程研究和实践几十年的经验,同时也反映了众多学者和专家们的成就。

对我国系统工程界来说,这是一本值得推荐的好书,也是我们正在翻译的从该系列中挑选出近年出版的 11 本中,首先出版的一本。

该书涉及的问题和方面十分广泛,而译者的能力和英语水平有限,且由于要尽量忠于原文,逐句按意翻译,因此,译文难免有冗长难读和不妥之处。敬请读者予以谅解。

我们要特别感谢 Sage 教授,他抽出宝贵的时间,为本书的中文版写了序言。译稿得到了出版社赵丽萍和宗立文等的费心修改和核对,译者在此对他们表示深切的感谢。在本书翻译过程中,曾得到西安交通大学系统工程研究所冯祖仁、管晓宏、孙国基、李人厚、王拓、邢科义、高峰等教授的帮助,在此一并致以谢意。

译者

2006 年 3 月 15 日

Preface to the Chinese Edition

Systems engineering is a professional endeavor that leads to the engineering of a system of humans, organizations and technologies through knowledge management efforts associated with bringing the perspectives of all stakeholders to the associated issue to bear, such as to enable the appropriate; **definition** of the system to be engineered such as to achieve needed capabilities and fulfill requirements; **development** of the system through appropriate architecture, design, and integration efforts; and ultimate **deployment** of the system in an operational environment and associated maintenance and reengineering of it throughout a useful lifetime of trustworthy service to these stakeholders.

This definition suggests that there are a number of contemporary needs in Systems Engineering. It is certainly correct that Systems Engineering is concerned with the architecting, design, and integration of “elements” that, taken together, comprise the system. These “elements” include human, organizational and technological elements. They also involve needs to manage the directional efforts needed to engineer a system, or systems management. These considerations are much needed as we need to ensure incorporation of such critical human factors as usability, reliability, training and safety in the deployed system as well as managing the deployed system itself. We need also to insure successful organizational integration and interoperability, and deployment for human interaction.

These major needs are much associated with the needs today to develop organizations and to provide for effective knowledge management. Through appropriate knowledge management we are able to cope both with the simultaneous needs for depth and breadth in the resolution of complex issues of large scale and scope. In this way, transdisciplinary solutions are also transinstitutionality based. Also we are much concerned today with global issues and so transnationality is another basis for systems engineering.

This book discusses some of the fundamental and introductory considerations associated with the engineering of large-scale systems, or **systems engineering**. We begin our effort by first discussing the need for systems engineering, and then providing several definitions of systems engineering. We next present a structure describing the systems-engineering process. The result of this is a **life-cycle model** for systems engineering processes. This is used to motivate discussion of the functional levels, or considerations, involved in systems engineering processes; systems methods and tools; systems methodology; and systems management. While there will be a number of discussions throughout the book on systems engineering lifecycle processes, and systems management-especially in the first, second, and last chapters-our major focus is on methods for systems engineering, and on problem solving using a systems engineering approach.

The major content in the book is that in Chapters 3, 4, and 5. In these chapters, we present a number of methods appropriate for **issue formulation, issue analysis and assessment, and issue interpretation**.

This text is written primarily for upper division undergraduate students in systems engineering, and engineering management. It is also, we believe, useful as an introductory graduate level textbook. It should also have value for other engineering areas that offer courses in systems engineering problem solving, systems engineering design, and systems engineering methods. The book should also be attractive to many in industry concerned with systems engineering and technical direction related efforts. These include professionals in such diversified fields as project management, software engineering, information systems engineering, manufacturing, and a wealth of other areas.

It is very appropriate that Chinese language efforts in systems engineering be published as this enhances not only the relevance of systems engineering within China but also the transnational appeal and relevance of systems engineering. It is especially gratifying to know that this work has been selected for this translation. The translation editors are much thanked for their efforts.

Andrew P. Sage

5 March 2006

中文版序言

系统工程是一种专业实践,它通过引入全部利益持有者^①、对有关问题所持看法的知识管理工作,来达到人、组织和技术的工程化。这里所指有关问题,主要如:使系统适当**确定**而能工程化,来达到所需要的能力和满足要求;通过适当的构造、设计和集成工作来**开发**系统;以及在运行环境中最后**配置**系统和它整个有用寿命期间对这些利益持有者提供可信服务的有关维护和重组工程。

这种定义指出系统工程中的许多现代需求。确实,系统工程涉及组成系统各单元的构造、设计和集成。这些“单元”包括人、组织和技术单元。它们还包括管理系统工程化所需的指导工作或系统管理的需求。当我们要求保证在所配置的系统中结合这样一些关键因素,如可用性、可靠性、培训和安全,以及管理被配置的系统本身时,这些考虑更为需要。我们还需要保证成功的组织集成和互操作性,以及对人的交互的配置。

这些主要的需求,更与当今开发组织和提供有效知识管理的需求密切相关。通过适当的知识管理,在求解大规模和大范围复杂问题时,我们就能同时妥善处理深度和广度的需求。在这方面,跨学科的解也是基于超常规的。而且,今天我们更关切全球性问题,因而跨国家考虑问题,也是系统工程的另一个基础。

本书讨论有关大规模系统的工程或**系统工程**的某些基础和原理。我们首先讨论系统工程的需求,然后提供系统工程的几个定义。我们接着提出描述系统工程过程的一种结构。这种结果就是系统工程过程的一个**生命周期模型**。它用来推动系统工程过程中所涉及功能层次的讨论或考虑:系统方法和工具;系统方法论;系统管理。在本书对系统工程生命周

^① 利益持有者是指一个公司或企业,其中包括股东、厂长、管理人员、供应商、政府、雇员和社区——译者注。

期各过程和系统管理做许多讨论的同时——特别在第1,2,6章中——我们的着重点是系统工程方法和利用它来解决问题。

本书的重要内容在第3,4,5章。在这几章中,我们提出适合做**问题表达、问题分析和评价,以及问题解释**的许多方法。

本教科书主要为系统工程和系统管理的高年级大学生编写。我们相信,它也适于作为研究生的入门性教科书。对其它工程领域开设系统工程问题求解、系统工程设计和系统工程方法的课程来说,也应是有价值的。本书对工业中许多关切系统工程和有关技术方向的人来说,是有吸引力的。他们包括这样一些不同领域,如项目管理、软件工程、信息系统工程、制造,以及大量其它领域的专业人员。

作者不仅十分感激中国对系统工程的关切,而且感激系统工程的跨国家要求和对出版这种有价值系统工程中文版工作的关切。还特别高兴地知道,本书已选来翻译和出版。非常感谢翻译者所做的各种工作。

安德鲁·P·塞奇

2006年3月5日

© 2004 Blackwell Publishing Ltd, *Journal of Internal Medicine* 255: 103–110

- 系统方法和工具
- 系统方法论
- 系统管理

本书的主要内容是第 3, 4, 5 章。在这几章中我们提供适合于

- 问题表达 (Issue formulation)
- 问题分析 (Issue analysis)
- 问题解释 (Issue interpretation)

我们要将它们应用于许多情景,以使得我们能领会和开发大系统的工程,以及一般问题的求解。

学习本教科书的前提要求是适中的。它一般假定读者具有在美国开始大学高年级学习所需的公共基础。这包括微积分和微分方程。也假定

已有概率论的某些基本知识,以及对某些物理工程系统的了解。

本书也是工业界关注系统工程和技术方向有关尝试的许多专业人员所感兴趣的。他们包括不同领域项目管理、软件工程、信息系统工程、制造、指挥和控制,以及国防系统获取和采购的专业人员。

下面是借助系统工程过程来表述的、最为重要的系统工程的目的:

1. 系统工程过程应包含系统生命期的所有阶段,或者作为生命期还应包括阶段间的过渡。
2. 系统工程过程应支持问题的理解,以及在过程各阶段中所有利害关系各方的交流。
3. 系统工程过程应在生命期的早期就抓住系统工程产品设计和执行(实施)的需求,它一般作为要求规格和概念设计阶段的一部分。
4. 系统工程过程及其伴随的方法应支持系统设计和开发的自下而上和自上而下的方法。
5. 系统工程过程应使设计、开发和系统管理等方法的一种适当混合能够实施。
6. 系统工程过程应支持导致最终产品和过程的质量保证。
7. 系统工程过程应支持系统产品随时间的演进。
8. 系统工程过程应是适当标准和管理方法的支持者,因而才可能得出可信赖的系统。
9. 系统工程过程应支持系统工程自动辅助工具的利用,以求产生高质量的可靠系统。
10. 系统工程过程应以可教学的和可转移的方法论为基础,而使得过程在所有生命周期是可见和可控的。
11. 系统工程过程应伴随以适当的步骤(procedures),从而使得系统生命期中全部相关的因素能够定义和编制文档。
12. 系统工程过程应伴有适当的度量方法和管理手段。
13. 系统工程过程应支持在系统运行初期、退出服务(退役),或工程重组以继续生产和利用时,产品使用的功能性、可逆性和可转移性。
14. 系统工程过程应支持系统产品开发和系统用户的组织;它们也必须与系统开发和运行相关的环境相兼容。

15. 系统工程过程应支持质量、全面质量管理、与人交互作用的系统设计,以及有关可靠性和完整性等其它属性。

在所有这些要求达成后,就可能得出运行系统是经济的、可靠的、可核查的、可互操作的、可集成的、可移植的、能适应的、能演进的、能理解的、可维护的、可管理的以及有成本效益的,从而使用户有十分高的满意度。这些可以看成代表度量的属性(attributes of metrics),或可以翻译成测度的属性,它能量度一个运行系统工程产品的质量。它们也可以翻译成用来量度系统性能和系统工程过程效果的标准。与代价信息一起,就使得我们能获得系统工程产品的成本和运行效果(有效性能)。

无需说,我们相信系统工程是一个基本的工程学科领域。它在工程和工程教育中的作用,在第1章中将强调说明。第2章描述系统工程的过程。当本书中重点放在系统工程方法的同时,必须依据用于产品工程的过程或产品线来决定选择合适的方法。第3,4,5章将要分别讨论系统工程的主要步骤:

- 问题表达
- 问题分析
- 问题解释

它们描述这些步骤所需的多种方法。技术方向和系统管理,指导在此过程中要采用何种合适过程和方法。本书的最后一章阐述系统管理的几个方面。然而,这并不是本书的主要目的。如所指出的,本书的主要目的是展示系统工程的方法。

Fairfax, Virginia
West Point, New York

Andrew P. Sage
James E. Armstrong, Jr.

目 录

译序

中文版序言

前言

第1章 系统工程引论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 系统工程师	(2)
1.3 系统观点	(5)
1.4 系统工程的定义	(9)
1.5 技术发展的历史	(15)
1.6 系统工程的知识	(18)
1.7 系统工程中的挑战和困难	(20)
1.8 系统工程教育	(27)
1.9 其它系统工程和相关系统理论的研究	(39)
1.10 小结	(41)
习题	(42)
参考文献	(44)
第2章 方法论框架和系统工程过程	(48)
2.1 引言	(48)
2.2 系统获取或生产的方法论框架	(50)
2.2.1 系统工程的逻辑步骤	(56)
2.2.2 系统工程生命期的阶段	(58)
2.2.3 系统工程的二维框架	(64)
2.2.4 生命周期或系统工程阶段	(65)
2.2.5 系统工程的过程	(68)

2.3 系统获取、生产或采购的其他特定生命周期方法	(69)
2.3.1 系统获取或产品开发的七阶段生命周期	(69)
2.3.2 一个 22 阶段生命期	(72)
2.3.3 国防系统获取生命期	(76)
2.4 仿照瀑布模型后的生命期	(80)
2.5 小结	(85)
习题	(86)
参考文献	(87)
 第3章 问题的表达	(89)
3.1 引言	(89)
3.2 情况评估	(91)
3.3 情况评估的方法	(94)
3.4 问题或议题辨识	(100)
3.4.1 处理问题的范围和界限	(101)
3.4.2 系统的定义矩阵	(102)
3.4.3 需求和约束:辨识和分析	(104)
3.4.4 输入-输出矩阵	(106)
3.5 价值系统设计	(109)
3.5.1 目标递阶或目标树	(114)
3.5.2 目标度量或设计准则	(117)
3.6 问题实例的表达	(119)
3.6.1 燃料储备:矿物燃料	(122)
3.6.2 燃料储备:非矿物燃料	(123)
3.6.3 精制的能源	(124)
3.6.4 消耗的能源	(124)
3.6.5 问题定义——需求的辨识	(125)
3.6.6 问题定义——变量的辨识	(127)
3.6.7 问题定义——约束的辨识	(128)
3.6.8 问题定义——社会区域的辨识	(129)
3.6.9 价值系统设计——定义目标	(129)
3.6.10 价值系统设计——目标度量	(131)
3.6.11 系统综合	(132)

3.7 问题表达、设计和开发工作间的各种关系	(134)
3.7.1 功能分解和功能分析	(134)
3.7.2 功能分析和业务过程重组工程	(141)
3.7.3 质量功能配置	(147)
3.8 系统工程要求的陈述	(149)
3.8.1 用户的要求	(150)
3.8.2 系统要求和规格	(152)
3.9 方案的产生或系统综合	(156)
3.9.1 脑力爆发和智力写作	(156)
3.9.2 群件	(160)
3.9.3 台尔斐方法	(169)
3.9.4 形态盒方法	(175)
3.10 可行性研究	(177)
3.10.1 可行性的筛选	(177)
3.10.2 结构和标准	(178)
3.10.3 可行性的准则	(180)
3.11 小结	(182)
习题	(182)
参考文献	(187)
第4章 方案分析	(190)
4.1 引言	(191)
4.2 具有不确定和不完全信息的系统分析	(198)
4.2.1 交叉-影响分析模型	(198)
4.2.2 递阶推断和扩展	(216)
4.2.3 逻辑推理模型和推断	(221)
4.2.4 影响推断和交叉-影响分析的复杂性	(224)
4.3 结构建模:树、因果回路和影响图	(225)
4.3.1 树结构	(226)
4.3.2 因果回路图和影响图	(231)
4.4 系统动力学模型及其扩展	(243)
4.4.1 人口模型	(244)
4.4.2 系统动力学	(250)

4.4.3 研讨会动态模型	(275)
4.4.4 小结	(284)
4.5 经济模型和经济系统分析	(285)
4.5.1 目前价值的分析	(288)
4.5.2 按时间的利润和成本经济评估方法	(291)
4.5.3 工作和进度的系统化度量	(296)
4.5.4 工作拆分结构和成本拆分结构	(301)
4.5.5 成本-利润和成本-效果分析	(303)
4.5.6 小结	(305)
4.6 可靠性、可用性、可维护性和可支持性模型	(307)
4.7 离散事件模型、网络和图形	(322)
4.7.1 网络流	(323)
4.7.2 随机网络和马尔可夫模型	(331)
4.7.3 排队模型和排队网络优化	(336)
4.7.4 离散事件数字仿真	(344)
4.7.5 时间序列和回归模型	(346)
4.8 大规模模型的评价	(359)
4.9 小结	(362)
习题	(364)
参考文献	(368)
第5章 行动进程方案的解释和决策	(375)
5.1 引言——决策的类型	(376)
5.2 形式决策	(395)
5.2.1 规定决策评估和规范决策评估	(395)
5.2.2 决策评估的形式规范模型	(399)
5.2.3 无不确定性先验信息的决策评估	(400)
5.2.4 在事件结果不确定条件下的决策	(404)
5.2.5 效用理论	(416)
5.2.6 多属性效用理论	(430)
5.3 群决策和表决	(442)
5.3.1 表决方法	(443)
5.3.2 伴随表决的潜在问题:几个示例	(444)

5.3.3 有序社会福利函数	(450)
5.3.4 对达成一个社会福利函数的改进	(454)
5.3.5 基本社会福利函数	(460)
5.3.6 小结	(461)
习题	(462)
参考文献	(469)
第6章 系统工程和系统工程管理	(474)
6.1 引言	(474)
6.2 系统工程的组织结构	(490)
6.3 系统管理的实用学	(499)
6.4 系统工程管理的系统工程方法	(504)
6.4.1 以网络为基础的系统规划和管理方法	(505)
6.4.2 直方图	(514)
6.4.3 成本估计方法和工作/成本拆分结构	(519)
6.5 系统工程和系统管理中的人和认知因素	(523)
6.5.1 合理性观点	(533)
6.5.2 人的错误和系统工程	(537)
6.6 小结	(540)
习题	(541)
参考文献	(548)

第 1 章

系统工程引论

本章和第 6 章(本书的最后一章),分别试图对整个系统工程提供一种看法。这是一个主要挑战。我们相信,某些引述性的评价,以及随后在中间各章具体讨论某些方法的基础上,再整体看看大形象,可能是回应这一挑战的一种合适途径。

1.1 引言

通过全书,我们将讨论涉及大系统工程或系统工程的某些基本的和引论性的考虑。我们首先致力于讨论系统工程的需求,然后提出系统工程的几个定义。接着,我们讨论系统工程的过程或系统工程的生命周期(以后简称生命期)。生命期是产品线或过程,用它来产生某种产品或服务,或许甚至是另一种过程。我们还将讨论伴随系统工程的三个功能级或考虑:

- 系统方法和工具
- 系统工程生命期过程或方法论
- 系统管理

虽然本章、下一章和最后一章对系统工程方法论和系统管理有若干讨论,但本书的大部分内容,将主要集中在对于系统工程方法和对于利用一种系统工程途径解决问题的方法的阐述。在这里我们希望为将要做的事提供