



“十三五”国家重点图书出版规划项目

WILEY

体系工程与装备论证系列丛书

系统工程：21世纪的系统方法论

Systems Engineering: A 21st Century Systems Methodology

[英] 戴瑞克·希金斯 (Derek K. Hitchins) 著

朱一凡 王 涛 杨 峰 译



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>



图书出版规划项目
系列丛书

系统工程：21 世纪的系统方法论

Systems Engineering: A 21st Century Systems Methodology

[英] 戴瑞克·希金斯 (Derek K. Hitchins) 著

朱一凡 王 涛 杨 峰 译

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书译自英国著名系统工程专家戴瑞克·希金斯的著作，作者在书中提出一种新的综合系统方法论，期望这个方法能够在原则上处理所有的系统问题和难题，并得到能解决问题的解。本书从对系统的复杂性认识出发，针对从很小的尺度直到非常大的尺度和范围，研究处理和解决系统问题的理论方法。同时给出大量的案例研究，涉及作战指挥、装备体系、企业组织、生产管理、治安维和、气候能源等涉及自然环境和人类自身多个领域多个层面的系统工程问题，既描述相关系统难题在过去是如何产生的，又描述在未来如何更加有效地解决这些问题。

本书可作为工程专业和管理科学与工程等相关专业研究生和高年级本科生的课程教材，也可作为航天、航空、船舶、交通运输、社会经济和军事等领域复杂社会系统和技术系统相应管理人员、技术人员综合分析求解系统问题的参考书。

Systems Engineering: A 21st Century Systems Methodology

ISBN:978-0470-05856-5, Derek K. Hitchins

Copyright © 2007

John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester,

West Sussex PO19 8SQ, England

Telephone (+44) 1243 779777

Email (for orders and customer service enquiries): cs-books@wiley.co.uk

Visit our Home Page on www.wiley.com

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder. Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书中文简体中文字版专有翻译出版权由 John Wiley & Sons, Inc. 公司授予电子工业出版社。未经许可，不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。

本书封底贴有 Wiley 防伪标签，无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字：01-2017-4580

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：21 世纪的系统方法论/ (英) 戴瑞克·希金斯著；朱一凡等译. —北京：电子工业出版社，2017.9
(体系工程与装备论证系列丛书)

书名原文：Systems Engineering: A 21st Century Systems Methodology

ISBN 978-7-121-32682-0

I. ①系… II. ①戴…②朱… III. ①系统方法—研究 IV. ①N941

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 221881 号

责任编辑：郭穗娟

印 刷：北京宏伟双华印刷有限公司

装 订：北京宏伟双华印刷有限公司

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：787×1 092 1/16 印张：27.5 字数：701 千字

版 次：2017 年 9 月第 1 版

印 次：2017 年 9 月第 1 次印刷

定 价：128.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，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)88254888，88258888。

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。

本书咨询方式：(010)88254502，guosj@phei.com.cn

体系工程与装备论证系列丛书

编委会

主 编： 王维平（国防科学技术大学）

副主编： 游光荣（武器装备论证研究中心）

郭齐胜（装甲兵工程学院）

编委会成员：（按拼音排序）

陈春良 樊延平 荆 涛 李 群 雷永林

穆 歌 王铁宁 王延章 熊 伟 杨 峰

杨宇彬 张东俊 朱一凡

体系工程与装备论证系列丛书

总 序

1990年,我国著名科学家和系统工程创始人钱学森先生发表了《一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论》一文。他认为,复杂系统组分数众多,使得系统的整体行为相对于简单系统来说可能涌现出显著不同的性质。如果系统的组分种类繁多,并具有层次结构,它们之间的关联方式又很复杂,就构成了复杂巨系统;如果复杂巨系统再与环境进行物质、能量、信息的交换,接受环境的输入、干扰并向环境提供输出,而且还具有主动适应和演化的能力,就要把它作为开放复杂巨系统对待了。在研究解决开放复杂巨系统问题时,钱学森先生提出了从定性到定量的综合集成方法,这是系统工程思想的重大发展,也可以看作对体系问题的先期探讨。

从系统研究到体系研究涉及很多问题,其中有三个问题应该首先予以回答:一是体系和系统的区别,二是平台化发展和体系化发展的区别,三是系统工程与体系工程的区别。下面,我引用国内两位学者的研究成果讨论前两个问题的看法,然后再谈谈我自己对第三个问题的看法。

(1) 关于系统和体系的区别。有学者认为,体系是由系统组成的,系统是由组元组成的。不是任何系统都是体系,但是只要由两个组元构成且相互之间具有联系就是系统。系统的内涵包括组元、结构、运行、功能、环境,体系的内涵包括目标、能力、标准、服务、数据、信息等。系统最核心的要素是结构,体系最核心的要素是能力。系统的分析从功能开始,体系的分析从目标开始。系统分析的表现形式是多要素分析,体系分析的表现形式是不同角度的视图。对系统发展影响最大的是环境,对体系形成影响最大的是目标要求。系统强调组元的紧密联系,体系强调要素的松散联系。

(2) 关于平台化发展和体系化发展的区别。有学者认为,由于先进信息化技术的应用,现代作战模式和战场环境已经发生了根本性的转变。受此影响,以美国为首的西方国家在新一代装备发展思路上也发生了根本性转变,逐渐实现了装备发展由平台化向体系化的过渡。武器装备体系化的重要性为众人所知始于35年前的一场战役。1982年6月的黎巴嫩战争中,以色列和叙利亚在贝卡谷地展开了激烈空战,这次战役的悬殊战果对现代空战战法研究和空战武器装备发展有着多方面的借鉴意义,因为通过任何基于武器平台分析的指标进行衡量,都无法解释如此悬殊的战果。以色列空军各参战装备之间分工明确,形成了协调有效的进攻体系,是取胜的关键。自此以后,空战武器装备对抗由“平台对平台”向“体系对体系”进行转变,为世界所周知。同时一种全新的武器装备发展思路——“武器装备体系化发展思路”逐渐浮出水面。这里需要强调的是,武器装备体系概念并非始于贝卡谷地空战,当各种武器共同出现在同一场战争中,执行不同的作战任务,原始的武器装备体系就已形成,但是这种武器装备体系的形成是被动的;而武器装备体系化发展思路应该是一种以武器装备体系为研究对象和发展目标的武器装备发展建设思路,是一种现代装备体系建设的主动化发展思路。因此,武器装备体系化发展思路是相对于一直以来武器装备发展主要以装备平台更新为主的发展模式而言的。以空战装

备为例，人们一般常说的三代战斗机、四代战斗机都是基于平台化思路的发展和研究模式，是就单一装备的技术水平和作战性能进行评价的。可以说，传统的武器装备平台化发展思路是针对某类型武器平台，通过开发、应用各项新技术，研究制造新型同类产品以期各项性能指标超越过去同类产品的发展模式。而武器装备体系化发展的思路则是通过对未来战场环境和作战任务的分析，并对现有武器装备和相关领域新技术进行梳理，开创性地设计构建在未来一定时间内最易形成战场优势的作战装备体系，并通过对比现有武器装备的优势和缺陷确定要研发的武器装备和技术。也就是说，其研究的目标不再是基于单一装备更新，而是基于作战任务判断和战法研究的装备体系构建与更新，是将武器装备发展与战法研究充分融合的全新的装备发展思路，这也是美军近三十多年装备发展的主要思路。

(3) 关于系统工程和体系工程的区别。我认为，系统工程和体系工程之间存在着一种类似“一分为二、合二为一”的关系，具体体现为分析与综合的关系。数学分析中的微分法（分析）和积分法（综合），二者对立统一的关系是牛顿-莱布尼兹公式。它们构成数学分析中的主脉，解决了变量中的许多问题。系统工程中的“需求工程”（相当于数学分析中的微分法）和“体系工程”（相当于数学分析中的积分法），二者对立统一的关系就是钱学森的“从定性到定量综合集成研讨方法”（相当于数学分析中的牛顿-莱布尼兹公式）。它们构成系统工程中的主脉，解决和正在解决大量巨型复杂开放系统的问题。我们称之为系统工程 Calculus（微积分）。

总之，武器装备体系是一类具有典型体系特征的复杂系统，体系研究已经超出传统系统工程理论和方法的范畴，需要研究和发展体系工程，用以指导体系条件下的武器装备论证。

在系统工程理论方法中，系统被看作具有集中控制、全局可见、有层级结构的整体，而体系是一种松耦合的复杂大系统，已经脱离了原来以紧密的层级结构为特征的单一系统框架，表现为一种显著的网状结构。近年来含有大量自主系统的无人作战体系的出现，使得体系架构的分布、开放特征更加明显，正在形成以即联即配、敏捷指控、协同编成为特点的体系架构。以复杂适应网络为理论特征的体系，可以比单纯递阶控制的层级化复杂大系统具有更丰富的功能配系、更复杂的相互关系、更广阔的地理分布和更开放的边界。以往的系统工程方法强调必须明确系统目标和系统边界，但体系论证不再限于刚性的系统目标和边界，而是强调装备体系的能力演化，以及对未来作战样式的适应性。因此，体系条件下装备论证关注的焦点，在于作战体系架构对体系作战对抗过程和效能的影响，在于武器装备系统对整个作战体系的影响和贡献率。

回顾 40 年前，钱学森先生在国内大力倡导和积极践行复杂系统研究，并在国防科学技术大学亲自指导和创建了系统工程与数学系，开办了飞行器系统工程和信息系统工程两个本科专业。面对当前我军武器装备体系建设和发展中的重大军事需求，由国防科学技术大学王维平教授担任主编，集结国内在武器装备体系分析、设计、试验和评估等方面具有理论创新和实践经验的部分专家学者，编写出版了“体系工程与装备论证系列丛书”。该丛书以复杂系统理论和体系思想为指导，紧密结合武器装备论证和体系工程的实践活动，积极探索研究适合国情、军情的武器装备论证和体系工程方法，为武器装备体系论证、设计和评估提供理论方法和技术支撑，具有重要的理论价值和实践意义。我相信，该丛书的出版将为推动我军体系工程研究、提高我军体系条件下的武器装备论证水平做出重要贡献。

汪浩

2017 年 5 月

湖南长沙

译者的话

进入 21 世纪，在人类活动的各个领域中对系统工程有了更深刻的认知和更广泛的应用。不论是在系统工程的工程化方法和流程方面，还是在涉及系统预测、评价、决策等支撑技术方面，都取得了丰硕的成果。其中，系统工程方法论作为系统工程知识体系的核心，是研究一切系统的一般模式、原则和规律的理论体系，是系统规划师、分析师、设计师和开发人员追寻了数十年的目标，也出现了百花齐放、百家争鸣的局面。有以美国国防部和 NASA 为代表提出的偏硬的系统工程方法论，也有以钱学森先生提出的从定性到定量、定性定量相结合为代表的具有东方色彩的综合集成方法论。当前，针对体系层次问题，又再次涌现体系工程方法论的研究热潮。

在这些五光十色的方法论中间，一种方法论具有鲜明的特色，这就是英国著名学者戴瑞克·希金斯提出的方法论。希金斯在其出版的《系统工程：21 世纪的系统方法论》一书中，对复杂系统的量化分析和建模途径做出了深刻的阐述，并借鉴系统工程的流程化方法，提出了一套完整的可操作的系统方法论，同时给出了多个应用分析案例。该书是他几十年跨领域、跨行业系统工程实践的理论升华，对复杂系统的量化分析和建模途径做出了深刻的阐述，既有理论研究的深度，又有适用应用领域的广度。

希金斯提出的系统方法论有三大特色：

(1) 问题导向，该方法论是关于复杂问题求解的整体方法论，大量精力放在问题的诊断和分析上。

(2) 多层通用，适用于产品、项目、组织、行业和社会多个层次。

(3) 流程驱动，即给出流程步骤，又给出每个步骤的工作产品，具有很强的可操作性。

可以说，戴瑞克·希金斯的著作是系统工程方法论研究的经典著作，对于系统工程从业人员深入学习、理解和应用系统工程理论方法解决实际问题具有良好的指导意义。

为了推进系统工程理论方法的应用研究，在电子工业出版社的大力支持下，我们组织策划了“系统工程与装备论证系列丛书”，并将《系统工程：21 世纪的系统方法论》一书的翻译出版列入其中，旨在将国际上最新的理论成果介绍给读者。戴瑞克·希金斯是系统工程界泰斗级人物，工作经历丰富，科研成果显著。在本书中，涉及各领域的社会历史知识极为广泛，数学、物理和系统科学的专业知识颇为深入，体现了作者广博的学识和深厚的底蕴。

在本书的翻译过程中，得到许多同行和专家的指导和帮助，在此表示感谢！感谢电子工业出版社工业技术分社的徐静社长、陈韦凯编辑和郭穗娟编辑，为本书在版权联系和文稿编辑方面付出的努力和给予的指导；感谢王维平教授、李群教授给予的理解支持和指导建议；感谢汤旭栋、方斌强、陈伟、石泽森、陈帅、范蕾、李海兵、李紫漠、周奕丽、周文璐、周威、何磊和王玥等为本书翻译做出的贡献。

由于译者水平有限，在翻译过程中，难免出现不准确和不精致之处，敬请读者批评指正。

译者

2017 年 8 月

原 著 序

戴瑞克·希金斯长期以来一直是系统工程的先驱者，他有着大量的经验，最早在英国皇家空军服役 22 年，直到退休。随后他在公共领域和保密领域获得了大量各种各样的职位，包括担任北约空军指挥控制系统（ACCS）的英国方面技术负责人，以及在英国的两个最好的系统工程公司中担任市场部主任、业务开发部主任和技术部主任。他于 1988 年成为大学老师和学者，开始学术研究。

希金斯先生是国际系统工程学会（INCOSSE）英国分会的首任会长，同时也是英国电子工程师学会（IEE）系统工程专业委员会的首任主席，他还曾经担任英国国防咨询委员会的委员。

他目前的研究涉及系统工程的广泛领域，包括系统思维、系统需求开发、社会心理学和人类学、指挥控制系统设计，以及普适的系统工程。1992 年他出版了他的第一本著作《让系统运转起来》，2003 年出版了他的第二本著作《先进系统思维、系统工程和系统管理》。他还在线出版了电子图书《走向对复杂性的把握》，其中描述了什么是复杂性，它是如何发生的，我们如何利用它。在 <http://www.hitchins.net/SysBooks.html> 网页上可以找到对于这些著作，以及对于他所做的其他相关工作的描述。

系统工程作为用于工业界对复杂性进行管理的主要学说，希金斯先生已经完成了其中大部分的支撑性建设工作。对于开发一个更大范围的系统工程视图，包括产品、项目、业务、行业和社会经济层级，他的工作是决定性的。他在本书中的主要目标是为系统工程同时用于工业界、政府和教育界进行效能、效率和质量分析提供支撑和依据。

这本 400 页¹的新书描述了这幅系统工程的视图，它包括 3 篇共 18 章。3 篇分别如下：

I. 系统——系统科学与系统思维的前沿（第 1 章系统哲学理念，第 2 章系统科学的前沿，第 3 章系统思维的前沿，第 4 章系统工程哲学理念，第 5 章系统模型）

II. 系统方法论（第 6 章系统方法论概述，第 7 章处理复杂的难题和问题，第 8 章开发解决方案空间，第 9 章聚焦解决方案系统的目的，第 10 章系统解决方案架构/设计，第 11 章解决方案系统设计优化，第 12 章构建和验证解决方案系统，第 13 章系统方法论细化说明，第 14 章系统方法论的实践应用）

III. 系统方法论和系统工程（第 15 章系统工程——真正的含义，第 16 章系统构建：目标牵引、涌现为先，第 17 章体系工程的原理与实践，第 18 章系统工程：智能系统）

此外，在各章之间的适当位置，放入了 8 个案例研究，主要是基于作者的系统工程实践经验，有着极好的益处。8 个案例如下：

案例 A. 日本的精益量化供应系统

案例 B. 成功经验的干预

案例 C. 武器系统总体构想

案例 D. 构建国防能力的架构

¹ 实际上该书英文版中的正文有 495 页。

案例 E. 警务指挥控制系统

案例 F. 战斗机航空电子系统设计

案例 G. 21 世纪的国防采购

案例 H. 全球变暖、气候变化和能源

本书研究的是处理和解决问题的方法，针对从小的尺度直到非常大的尺度和范围的问题，分析并处理了大量的问题，讨论如何从理论上和在实践中解决这些问题。书中给出大量的案例研究，既描述这些难题在过去是如何产生的，又描述在未来如何更加有效地解决这些问题。

本书作者戴瑞克·希金斯，非常熟悉系统工程从大约半个世纪前开始出现直到最近时期的演化过程，同时对系统方法论做出了大量决定性的贡献。在本书中，他非常好地阐述了这些知识。特别是，本书提出了一种系统方法论，能够在面对非常大量的难题时，实际应用于对这些难题的分析，以及对解决这些难题可能的方法进行综合。采用某个单一的系统方法论来处理所有类型的系统，从小的技术系统到包括人类、技术和组织的全球社会经济系统，似乎不可能。数十年来，形成这样的方法论过程已经成为所有系统工程师——思想家、分析师、架构师、集成师、设计师——的目标。作者提出了论断，作为新的工作成果，这一点已经成为可能。通过使用这个方法，他提出应当能够验证，或者有可能反驳，针对大量复杂的现实难题提出的潜在解决方案的可接受性、恰当性、适存性和最优性。

毋庸置疑，系统工程的先驱者戴瑞克·希金斯完成了一项极具价值的工作。这价值体现在这项工作对其他系统工程先驱者早期工作的讨论，体现在它对系统工程方法论相关知识的最新贡献上，体现在它综合所有这些成为新的方法论上的系统工程过程，而希金斯教授恰恰是系统工程的发起人。因此，能够欢迎希金斯教授的著作加入 Wiley 出版社“系统工程与管理丛书”中，绝对令人愉悦。

安德鲁·P·赛奇

Wiley 出版社“系统工程与管理丛书”主编

2007 年 6 月 21 日

原著前言

系统工程作为一门公认的学科已发展了半个多世纪。它出现于 20 世纪上半叶开始的对于系统整体和系统“完形”的研究，在第二次世界大战后有极快的发展，特别是在运筹学、数学建模和计算机仿真等技术出现之后。某些系统整体展现出来的性质不能由其任何组成部分独立显现，这种所谓的涌现性质可以通过正确的方式组合正确的系统组成部分而得出，从而形成潜在的大于部分之和的统一整体。而且，这看起来对所有类型的系统都是正确的。

相对于被许多工程师接受的机械论学说，这曾是且现在仍是更有生命力的观点。此外，以此方式考察系统整体可以降低系统的复杂性。特别地，系统可以看作某个更大“整体”的组成部分，在更大整体的环境中开放并与其他系统动态相互作用，如人类身体内各种器官之间的相互作用。用这种方式对世界观察已经成为众所周知的“系统论方法”，其特征是考虑整体的问题及综合出整体解决方案，原则上能够克服当前在政府部门、国防领域和航空航天工程领域中零碎的笛卡儿还原论实践所展现出的缺点。

在 20 世纪后半叶，系统工程——系统论方法的实际应用——在 NASA（美国国家航空航天局）标志性的“阿波罗”登月工程计划中起到了重要作用并得到进一步发展，后又广泛应用于其他国防工程计划如“北极星”、“先驱者”、“宙斯盾”、“星球大战计划”等，同时广泛应用于大西洋两岸的核能工业发展中。

“阿波罗”登月计划的系统工程有明确目标：为了将有限的载荷送到月球并返回，必须设计出整个运载火箭系统。整个系统中包括航天员和技术子系统，他们之间紧密和谐地工作，这就需要开展组织、安排、交流和修正等工作，以使他们能够满足空间、形状和质量方面的限制，而且作为统一的整体协同工作并展现前所未有的必要性质。达到此目标需要一系列的权衡、试验、训练、评价，然后再权衡，如此往复，逐渐产生能够完成看来似乎不可能工作的最优解决方案。在此过程中得到的流程、观念和成就都表明系统工程的极佳作用。系统工程如此成功，但至今仍然被某些人怀疑，他们宁愿相信那是在冷战时期用来欺骗公众和敌对势力的阴谋。

对“阿波罗”登月工程计划有特殊贡献的欧洲人在返回各自国家时，带回了他们所学到的概念、流程、方法和实践经验，系统工程才得以广泛应用，特别是在北约保护伞下运行的航空航天和国防领域的相关组织中。

然而，军事上采用的方法已经发生了变化：不再是为了达到——像“阿波罗”登月计划那样——前所未有的、开创革新的和新兴涌现的目标，而是为了在时间、预算和寿命周期等方面满足军事和政府方面的需求。军事领域的工程人员追求的是一个线性的、机械的业务管理方法，能够在系统解决方案中提出并明确相应标准和需求，能够将这些需求分解为离散的功能和子功能，并实现解决方案系统。如此就产生了“专门的工程”，包括寿命周期费用，以及保障性、可靠性、维修性、人因工程、安全性、电磁兼容、可测试性、软件、可生产性、价值分析和费用设计。以寿命周期费用为例，所考虑的主题如下：

- 工程总体的费用预计；

- 试验与评价；
- 试验工具选择与开发；
- 制造和品质工程；
- 重复发生的生产费用；
- 非重复发生的生产费用；
- 后勤和维修保障；
- 运行使用费用和退役处置费用。

与这些费用相关的每个主题可以进一步分解为更多的亚主题，试图能够覆盖所有可能发生的事件。这个过程的各种复杂性导致最终结果成为“纸面上的工程”，也就是填写表格和在选择框上画勾。具有讽刺意味的是，“系统”这个概念最初就是作为管理复杂性的基本构想，却被此文字过程复杂拙劣的模仿给破坏了。在国防工程管理的前提背景下，“系统”这个观念似乎更多地是针对工程管理中还原论方法的全面性和综合性而言的，若用系统论的语言表达，则这里丝毫没有体现出整体应大于部分之和。

美国的航空航天公司不断地设计和制造出卓越的飞机、舰船和坦克等武器系统。一方面尽管国防工程管理无疑需要高额的费用，似乎对工厂的产品设计和生产的要求却并未降低。另一方面，毫无疑问，国防工程管理能够有助于为作战系统提供全寿命保障设施。然而，并非所有的国防领域都必须遵循这种还原论方法：指挥与控制（C²）便是其中之一，它与非国防领域的空中交通管理、治安/消防/救护服务、政府部门服务及其他更多领域等一样，由信息—决策—行动系统构成。信息—决策—行动系统是社会技术系统，由相关人员组成的团队执行任务，使用技术保障设施完成信息的获取、处理、储存和展现，以支持做出决策。信息—决策—行动系统能够高度技术化，换句话说，它可以是一项不需要人参与的交互智能的虚拟技术。实际上，每个人都可以自视为信息—决策—行动系统。

通常情况下，上述团队收集情报，评估态势，通常在不完整甚至错误的信息基础上辨识威胁和时机，制订战略和计划，决定行动序列，并最终实施计划。信息—决策—行动系统的不同组成部分作为一个统一的整体行动，展示整体特性，包括响应特性、适时性、整体性、决断性和战略/战术眼光。系统工程持续应用在这个非线性的社会技术型信息—决策—行动系统的构思、设计、开发、实施、制造和评价过程中。很明显，这更多的是“整体超出各部分之和”的系统工程，而不是那种在美国国防工程中采用的“国防系统工程管理”。

同时，西方国家在20世纪90年代试图实现的系统工程的“国防系统工程管理”版本并不成功，甚至可能是阻碍生产力的。在如何更加高效而有效地开展此项工作方面，日本所采取的采购与制造方式却给出了强有力的反例：日本采取的方法是联合参与、同步与合成，而不是零碎地、专制地进行和简单化利用还原论。认识到问题的不可避免性，当时的美国政府采取措施废弃了相应的军用标准和系统工程管理方式及实际应用，转而寻求借鉴日本的方式、方法甚至文化来替代或改进其国防采购的途径。

然而，损害已经造成：系统工程的声望已经被玷污了。繁复的美国国防部军用标准和管理实践经验已经在那些经过训练和实践的人员心中印上了深刻的痕迹，在美国国防部的采购实践中，他们仍然坚信这些方法和管理措施是正确的，甚至系统工程的核心思想也几乎被颠覆了。取代了原有的创新性、创造力、管理复杂性、优质化和一致性目标的，是所谓的完备性、完美化及内省原则，最初的“解决用户的实际问题，为用户提供其全部所需要的”工程哲学也已经变成了“用户想要什么就给他什么”。

然而，对真正普适的系统工程的需要总是存在的，就像许多系统已经做到的那样，必须具有在全领域全寿命中创造最佳系统的方法。在遇到复杂的问题和难题时，系统整体思维是唯一理性的途径。显然，零敲碎打的应用并不起作用，尽管不一定使问题更糟。某些所谓系统工程人员实际上并不清楚应当做什么，甚至已经遗忘早先的理念、活力、热情、方法和手段。这些都是由那些在航天航空公司辛勤奉献的工程师们代代传递了下来的，但是现在的雇员们已经很少有在一个工作岗位上工作超过三年或四年的。传统已经灰飞烟灭。

在美国和欧洲曾经活跃过一批掌握着许多经典系统工程专门技术的公司，被称为“系统之家”。这些公司所做的事情是通过构思和设计来提供所谓的特定系统，或称为“交钥匙”方案，最终有目的地解决用户的问题。通常情况下，他们并不是制造商，因为制造必然会影响系统设计目标。反过来，这些公司或是与某些工程公司签订合同按规格制造部件，或是在市场上选购合适的已有部件，然后将它们连接/集成起来形成系统整体综合解决方案。“系统之家”看重客观性的同时也看重完整性，他们普遍具有创新与革新精神，但其业务的效益并不高，因为他们原则上并不直接制造和销售硬件。类似地，信息—决策—行动系统硬件很少，软件开发与用户培训工作也不多，因而其效益也有限。

在 20 世纪 90 年代，“系统之家”中多数公司偏离了系统工程业务领域，因为大型航空航天公司开始承诺为用户做“系统之家”相同的工作，特别是在系统构想、可行性和项目立项方面的研究，而又不要求任何回报，使经费不足的政府感到这确实太具诱惑性。遗憾的是，某些航空航天公司总是缺乏创造力，他们的解决方案常常是一成不变，由来自其产品库的产品组成，缺乏客观性和创新性。更糟的是，他们很少介入信息—决策—行动系统。另一个能够说明问题的例子是，在看起来各自为政的政府部门的零散动议中时常见到的所谓“不可预知的意外后果”条款。

没有资源就没有一切，工业界的工程师们开始改造系统工程。取代最初的在“全系统”层级上的工作，工程师们将他们的还原论工程实践经验应用于系统的组成部分。在这种线性的实践经验中有一个基本假定，即系统整体等于组成部分之和，不多也不少。因而，制造正确的组成部分实现正确的功能，在某种概念架构下集成/连接/结合，便能够得到用户所需要的产品。这看起来确实非常简单和直接。

当然，在系统中有了人类时，而人类又是不便描述和不可预知的变量，这一切便行不通了。因此，这些工程师眼中的系统工程，有时会因混淆被看作“系统的工程”。此时，并不专注于有人类活动的系统，而是关注于构造那些机械的、电子的、电气的和光电的人工系统。涌现的特性并不存在，或者即使存在，也可能是偶然的而非预期的。信息—决策—行动系统因为人类因素不是合适的主题。类似地，商业业务与企业组织也不是“系统的工程”合适的主题。

工程专业的学位课程似乎加上“系统”一词之后就变得性感了，例如，电子/电力工程变成了电子/电力系统工程。此外，还有航空航天系统工程、机械系统工程、通信系统工程，等等。实际上，它们与原本的纯工程课程相比，在课程内容上并没有本质的变化。类似地，航空航天公司和工程公司在其名称中也加入了“系统”一词，就像常说的那样“为它们增添光环”，但是，它们的规则、流程与业务也没有本质的变化。而且，系统工程还被更广泛地滥用于社会工程和社会经济系统中，至少在西方是如此。

最新出现的“系统的系统（体系）”一词也遭遇了这个问题。“体系”的概念尚未完全成熟，但是看起来它是指以某种方式将数量众多的已经存在的、独立的企业组织或商业业务组合在一起，并且联合形成一个系统。通过集成数量众多的已经存在的子系统来构造一个系统已经实践

了数十年。例如，可以通过购买或集成若干已有的系统来建造现代飞机上的航空电子系统，包括一次雷达系统和二次雷达系统、自动飞行控制系统、高度感知与控制系统、飞行操控系统、通信系统、导航系统，等等。航空电子系统是一个“体系”吗？似乎不是。争议的焦点看来仍然在于体系应该是什么，到底其本身就是一个系统还是系统的联合、系统集成或系统家族等？学术界并未拘泥于如此未确定的细节，已经提出了新的需要学习、传播和实践的主题：系统工程。

与此同时，全球领先的日本精益工业产品供应系统持续扫荡着世界，最有名的便是汽车/摩托车的生产。这代表着（社会技术）系统工程的复兴，但是体现出另一种形象和另一种文化：它已将并仍将把西方主要的以还原论为基础的制造业扫进历史垃圾堆。

在这个变化的过程中，研究人员一直在持续寻找所谓的“系统明灯”。作为处理复杂和模糊系统——目标可能并不确定系统——的所谓软系统的概念涌现出来。软科学方法专门用于针对人类活动系统，该方法已经形成了自身的基本概念和系统理论。有了这些，早期的系统工程实践者们可能就不会干得那么辛苦了。

同时，还必须说明，仍然还有一小部分的系统工程学者和业者坚信并坚持用传统的系统方法综合集成各类系统。他们持续不断的研究也产生了新的方法和技术，并且成为当代系统科学的坚强基石。今天，从科学意义上看，关于系统工程的新思想和新方向不仅层出不穷，而且不论是在普通系统还是在大规模系统中都有着重大需求。

社会问题群是罗马俱乐部¹创造出来的一个概念，用于描述人类所面临的一系列关键问题：环境的、政治的、文化的、社会的、经济的、技术的和心理的。社会问题群的核心是这些问题的相互依存，以及在行动/动因方面和响应/效果（通常是与直觉相关的效果）之间的长时间延迟。

本书关注从小而复杂的系统直到也许像社会问题群这么大系统中的问题，探讨解决问题的方法和途径。本书面对所有类型的问题，探讨它们能否在理论上求解，这些解能否在实践应用中得到证实。本书同时给出大量的研究案例，说明近年来的一些问题是如何处理的，以及这些问题是否能在未来得到更有效的解决。

本书提出一种新的综合系统方法论，期望这个方法论能够在原则上运用于处理所有的问题和难题，并得到能解决问题的方案。用单一的方法论解决从微小的技术的问题到大规模社会经济的所有问题似乎是不可能的，但这种方法论是系统规划师、分析师、设计师、开发者追寻了数十年的目标，而只有在现在才有可能成为新工具、方法、科学和思想下的结果。系统方法论采用已有的和新的系统科学方法，其针对复杂问题得到的各种可能的解决方案，在合理性、适用性、持续性及理想性方面应当能够证实或证伪。系统方法论不是一成不变的，它是一个不断变化、不断演进的框架，用来生成和管理独立于问题、方案、背景与环境的相关信息，在系统方法论的实践者和支持者试图找出复杂问题的解决方案时能够提供方法论基础。系统方法论经常会被修正、演化与借用，以便能够针对人类自身和公共环境中出现的各类、各层次、各种规模的问题，探索并找到解决方案。

本书的相关内容可以通过访问网站 <http://www.wiley.com/go/systemsengineering> 获取。

戴瑞克·希金斯

2007年4月

¹ 罗马俱乐部（Club of Rome）是关于未来学研究的国际民间学术团体，也是研究全球性问题的智囊组织。成立于1968年4月，总部设在意大利罗马。

目 录

第一篇 系统：系统科学与系统思维的前沿

第一章 系统哲学理念	1
1.1 涌现的系统运动	1
1.2 系统的本质	2
1.3 因果关系和目的论	3
1.4 涌现	4
1.5 生命与热力学第二定律	5
1.6 人类组织中的熵与功	5
1.7 熵循环	6
1.8 一般系统论和开放系统	6
1.9 博尔丁的系统分类	7
1.10 并行和同态	7
1.11 开放系统的概念	8
1.12 了解开放系统的行为	9
1.13 格式塔（完形）和整体论	10
1.13.1 不可分割性	11
1.13.2 交互动力学	11
1.14 稳定性和稳定状态	12
1.15 系统论方法	13
1.16 系统思维	14
1.17 功能主义和有机体类比	15
1.17.1 有机体类比	15
1.17.2 机器的隐喻	15
1.18 机械系统控制概念	16
1.19 有机体控制概念	16
1.20 基本感知、概念和知觉	17
1.20.1 涌现和层次结构	17
1.20.2 由自身是系统且相互作用的组分构成的系统	18
1.20.3 整体系统的多样性	18
1.20.4 具有所需涌现特性的开放系统的潜在综合方法：系统工程	19
1.20.5 问题空间与解决方案空间	20
1.20.6 演化的自适应系统	21
1.20.7 自组织的临界性	22

1.20.8 弱混沌	22
1.20.9 系统特征	23
本章练习	24
第二章 系统科学前沿	25
2.1 系统论与系统科学	25
2.2 守恒定律与传输现象	26
2.3 排队现象	27
2.4 混沌现象	28
2.4.1 鳞翅目形的洛伦兹图	28
2.4.2 混沌的生成	29
2.4.3 自相似性	31
2.4.4 分形	32
2.4.5 倍周期	34
2.5 信息：守恒还是非守恒	34
2.6 作为自然科学和社会科学的系统科学	35
2.6.1 行为	35
2.6.2 识别与分类	36
2.6.3 公理知识	36
2.6.4 世界模型与世界观	36
2.6.5 解读	36
2.6.6 信念系统	36
2.6.7 本能与意象	38
2.7 社会人类学和文化人类学	40
2.8 社会资本	41
2.9 社会基因型态	42
2.10 复杂性管理	42
2.10.1 涌现特性的聚合	43
2.10.2 反混沌	44
2.11 系统寿命周期与熵循环	45
2.11.1 系统响应原则	45
2.11.2 系统内聚原则	46
2.11.3 适应性原则	46
2.11.4 关联多样性原则	46
2.11.5 多样性受限原则	47
2.11.6 首选模式原则	47
2.11.7 循环发展（熵循环）原则	47
2.11.8 系统寿命周期：统一系统假设	48
2.11.9 系统耐久性：系统衰退	50
本章总结	50
本章练习	51

第三章 系统思维前沿	53
3.1 系统思维的范围、局限和价值	53
3.1.1 示意图	53
3.1.2 因果关系和因果循环模型	55
3.1.3 系统表面现象动态仿真	56
3.1.4 动态交互系统仿真	59
3.1.5 行为建模	61
3.2 系统思维和科学方法	61
3.3 系统表述和系统建模	62
3.4 非线性系统思维	65
本章总结	67
本章练习	68
第四章 系统工程的哲学理念	69
4.1 系统工程为何重要	69
4.2 系统工程的早期例子	70
4.2.1 不列颠之战	70
4.2.2 美国航空航天局(NASA)的“阿波罗”登月计划	70
4.3 系统工程的“系统”特征	71
4.4 系统工程的“工程”特征	72
4.5 问题的求解、定解和消解	73
4.6 系统工程:定义和描述	74
4.7 系统工程的实际目标	76
4.8 定解、求解或消解问题的策略	77
4.9 自组织系统	78
4.10 系统的系统:体系	79
4.11 自底向上的集成	81
4.12 完成系统工程“整体”	81
本章总结	83
本章练习	85
第五章 系统模型	86
5.1 开放系统	86
5.2 简单的嵌套和递归模型	88
5.3 社会基因型态——一个概念模型	88
5.4 控制论模型	89
5.5 系统架构模型	90
5.6 比尔的适存系统模型	92
5.7 开环控制模型	94
5.8 五层系统模型	95

5.8.1	第1层：产品/子系统工程	95
5.8.2	第2层：项目系统工程	97
5.8.3	系统工程的本质	100
5.8.4	第4层：工业系统工程	100
5.8.5	第5层：社会经济系统工程	102
5.9	追求涌现——所有系统的通用参考模型	103
5.9.1	涌现的根源及其能否有目的地“设计”	103
5.9.2	通用参考模型的概念	104
5.9.3	功能管理	106
5.9.4	行为管理	107
5.9.5	通用参考模型的形式模型	109
5.10	列表形式的通用参考模型	111
5.11	通用参考模型和系统论方法	112
5.11.1	实例化分层通用参考模型	114
5.11.2	通用参考模型是否能捕获到涌现	116
5.11.3	通用参考模型比较	117
	本章总结	117
	本章练习	118
案例 A	日本的精益量化供应系统	119
A.1	引言	119
A.2	调查研究	122
A.2.1	开放系统的观点	122
A.2.2	市场拉动与生产推动	125
A.2.3	持续改善和流水线	127
A.2.4	企业联盟	129
	本案例总结	130

第二篇 系统方法论

第六章	系统方法论综述	132
6.1	系统方法论的定义	132
6.2	系统方法论的社会潜力和经济潜力	133
6.3	系统方法论：一个范式	133
6.4	系统方法论的各个方面	134
6.4.1	科学维度	134
6.4.2	逻辑和认识论维度	135
6.4.3	时间维度	135
6.4.4	文化/政治/行为维度	136
6.4.5	道德和伦理维度	136
6.4.6	社会维度	137