

戴 锋 编著 张永祥 审订

# 现代系统工程

—大规模决策的思想、过程和方法

河南人民出版社

# 现代系统工程

——大规模决策的思想、过程和方法

戴 锋 编著

张永祥 审订

河南人民出版社

1988年11月

## 内 容 简 介

本书以大规模决策的实际过程和逻辑过程为基本线索，全面介绍了系统工程开发的基本思想和基本方法，具有较强的整体性、逻辑性和综合性。本书共设十一章，包括系统生成、系统诊断、系统预测、系统研究、系统建模、系统仿真、系统评审、系统决策和系统管理等内容。

本书可供管理及有关专业的大专院校师生、科研工作者或从事管理工作的行政干部和技术干部参考阅读，还可用作各类管理干部的培训教材。

## 现 代 系 统 工 程

——大规模决策的思想、过程和方法

戴 臻 编著

张永祥 审订

责任编辑 王恩荣

河南人民出版社出版

郑州市第二商标印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 12印张 304千字

1988年11月第1版 1988年11月第1次印刷

印数1—10,000册

ISBN 7-215-00491-0/D·69

定 价 3.90 元

# 序

系统工程诞生于本世纪40年代，随着现代化大生产和科学技术的迅猛发展而迅速地发展起来。它越来越显示出强大的生命力，有的科学家预言：系统工程的发展将给人类带来深刻的变化，将会引起整个社会组织管理的变革。

在我国，要想进一步提高社会生产效率、完善各级组织管理、实现部门体制优化，加速各项事业的发展，仍然面临着进一步开展系统工程普及教育的问题。从这个意义上讲，本书的指导思想与现实要求是相吻合的。

戴伟同志结合自己的研究、实践和教学，在工程系统的体系结构、内容设置、应用过程和新方法消化引进等方面进行了大量有益的探索，并将所做的工作高度概括在这本集普及和提高于一体的系统工程著述之中。这本书概念清晰、层次分明、语言流畅、通俗易懂，并具有较强的系统性和逻辑性，我相信绝大多数读者都会从中获益，并相信它将为系统工程知识的普及和推广起到积极的作用。当然，系统工程作为一门新兴学科、还有一个不断成熟和不断完善的过程，因此，随着时间的推移，本书可能会出现一些需要改进和完善的方面。但就目前及今后一段时间看，它仍不失为一本值得推荐的读物。

最后，我在这里向作者表示衷心祝贺，并希望作者今后能做更多的工作获更大的成绩。

张永祥

一九八八年十一月

## 前 言

系统工程作为一门解决大规模决策问题的现代学科，一经问世就受到广泛的关注。由于各行各业人士的共同致力，系统工程无论是在理论研究还是在实际应用上都取得了重大进展。近些年来，它在社会、经济、军事、科技、生态、教育、交通、医学等领域中所产生的巨大作用已为人所共睹。与传统的方法手段相比，系统工程在思想方法与实际手段上带来的重大变革恰恰适合于解决规模大型化、结构复杂化、形式多样化的现代社会、生产问题，因此，它引起了各个阶层各个行业中有志弄潮于社会浪尖者的极大兴趣。

系统工程是历史发展的必然产物，是现代社会生产方式的必然需求。系统工程的强大生命力不仅仅是其纯学术方面的研究成果，更重要的是其大非寻常的实际效力。所以，系统工程能否对社会发展起到更大的推动作用则在于它能否有更大程度的普及。实际上，系统工程思想及其技术方法可以在不同程度上被不同阶层和从事不同工作的人们所接受，关键是能有一些内容设置较为合理、内容难易较为适当、便于学习使用的系统工程书籍流行于社会。

为了更紧密地结合实际，更直接地指导行动，使更多的人了解和掌握系统工程方法，本书在内容安排上以解决大型复杂问题和新系统开发的实际过程与逻辑过程为基本线索，这与以往一些系统工程书籍有较大不同。进一步，本书强调系统性与层次性，在有关各章的开始都进行了概论方面的叙述，这可使读者从概念

上全面了解系统工程思想和过程。各章概论部分之后配有大量的典型方法，这可使已有一定高等数学知识的读者具备运用系统工程方法进行实际管理和对系统工程本身进行深入钻研的基本能力；本书注重实用性，立足于解决大型复杂问题和新系统开发的一般过程与基本步骤，提供了可资参考的具体思路；本书追求可读性，注意避免复杂的数式推导和奇偏概念，尽可能以通俗的方式进行叙述，减轻读者的阅读负担。

为本书的出版，张永祥审阅了全部书稿，王亮、李心民给予了大力支持，洪晓莉、金宏哲、彭建华做了大量有关工作，吴铁铸、王振兴提出了许多宝贵意见，作者在此一并表示深谢。

由于作者水平所限，加之时间仓促，错误与缺点在所难免，恳请所有读者悉心指教。

## 作 者

于郑州中国人民解放军信息工程学院

# 目 录

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| <b>第一章 系统工程的基本问题</b> .....      | ( 1 )  |
| § 1.1 系统工程及其基本要素 .....          | ( 2 )  |
| § 1.2 系统工程的基本任务 .....           | ( 4 )  |
| § 1.3 系统工程的基本原则 .....           | ( 8 )  |
| § 1.4 系统工程开发的基本过程 .....         | ( 12 ) |
| <b>第二章 系统工程的基本理论及其方法论</b> ..... | ( 14 ) |
| § 2.1 系统工程的理论发展概述 .....         | ( 14 ) |
| § 2.2 一般系统论简述 .....             | ( 16 ) |
| § 2.3 耗散结构论简述 .....             | ( 17 ) |
| § 2.4 协同学简介 .....               | ( 18 ) |
| § 2.5 关于模糊理论 .....              | ( 19 ) |
| § 2.6 关于泛系理论 .....              | ( 20 ) |
| § 2.7 系统工程方法论 .....             | ( 21 ) |
| <b>第三章 系统生成</b> .....           | ( 25 ) |
| § 3.1 系统生成的任务 .....             | ( 25 ) |
| § 3.2 对象系统生成 .....              | ( 26 ) |
| § 3.3 开发系统生成 .....              | ( 27 ) |
| § 3.4 过程系统生成 .....              | ( 29 ) |
| § 3.5 系统生成的方法问题 .....           | ( 34 ) |
| <b>第四章 系统诊断</b> .....           | ( 35 ) |
| § 4.1 系统诊断的基本任务 .....           | ( 35 ) |
| § 4.2 系统诊断的基本过程 .....           | ( 37 ) |
| § 4.3 系统诊断的基本内容 .....           | ( 40 ) |

|            |                       |         |
|------------|-----------------------|---------|
| § 4.4      | 系统诊断的基本方法 .....       | ( 42 )  |
| <b>第五章</b> | <b>系统预测</b> .....     | ( 48 )  |
| § 5.1      | 系统预测概述 .....          | ( 48 )  |
| § 5.2      | 定性预测方法 .....          | ( 58 )  |
| § 5.3      | 定量预测方法 .....          | ( 66 )  |
| § 5.4      | 综合预测方法 .....          | ( 78 )  |
| § 5.5      | 预测方法的选择 .....         | ( 85 )  |
| <b>第六章</b> | <b>系统研究</b> .....     | ( 88 )  |
| § 6.1      | 系统研究概述 .....          | ( 88 )  |
| § 6.2      | 系统的政策研究 .....         | ( 90 )  |
| § 6.3      | 系统的价值研究 .....         | ( 93 )  |
| § 6.4      | 系统的行为研究 .....         | ( 95 )  |
| § 6.5      | 系统的可行性研究 .....        | ( 97 )  |
| § 6.6      | 系统的战略研究 .....         | ( 104 ) |
| § 6.7      | 系统的目标研究 .....         | ( 107 ) |
| <b>第七章</b> | <b>系统建模</b> .....     | ( 108 ) |
| § 7.1      | 系统模型与建模概论 .....       | ( 108 ) |
| § 7.2      | 系统的概念模型 .....         | ( 122 ) |
| § 7.3      | 系统的结构模型 .....         | ( 129 ) |
| § 7.4      | 系统的性能模型 .....         | ( 169 ) |
| § 7.5      | 系统的优化模型 .....         | ( 180 ) |
| <b>第八章</b> | <b>系统仿真</b> .....     | ( 201 ) |
| § 8.1      | 系统仿真概论 .....          | ( 201 ) |
| § 8.2      | 用于离散仿真的蒙特卡洛方法 .....   | ( 202 ) |
| § 8.3      | 战略与策略实验室——系统动力学 ..... | ( 206 ) |
| <b>第九章</b> | <b>系统评审</b> .....     | ( 236 ) |
| § 9.1      | 系统评审的基本问题 .....       | ( 236 ) |
| § 9.2      | 系统的经济性评审方法 .....      | ( 247 ) |

|                         |         |
|-------------------------|---------|
| § 9.3 系统的综合性评审方法 .....  | ( 255 ) |
| <b>第十章 系统决策</b> .....   | ( 276 ) |
| § 10.1 系统决策概论 .....     | ( 276 ) |
| § 10.2 竞争决策方法 .....     | ( 287 ) |
| § 10.3 风险决策方法 .....     | ( 299 ) |
| § 10.4 完全不确定性决策方法 ..... | ( 309 ) |
| § 10.5 确定性决策方法 .....    | ( 314 ) |
| <b>第十一章 系统管理</b> .....  | ( 329 ) |
| § 11.1 系统管理概论 .....     | ( 329 ) |
| § 11.2 目标管理方法 .....     | ( 336 ) |
| § 11.3 计划管理方法 .....     | ( 340 ) |
| § 11.4 作业管理方法 .....     | ( 366 ) |
| § 11.5 质量管理方法 .....     | ( 368 ) |
| <b>主要参考文献</b> .....     | ( 373 ) |

# 第一章 系统工程的

## 基本问题

先举两个例子。苏联曾有一架米格25型飞机叛逃到日本，经过检查，日本技术人员发现飞机上许多零、部件就其本身而言并不是最先进的，不少零、部件与美国的同类产品相比要落后得多。但是米格25型飞机的整体性能，即它的爬高能力和飞行速度在当时是世界第一流的。这是因为设计制造时以飞机的整体性能达到最优为目标，尽管个别零、部件不是最好，却收到了较好的整体效果。我们还知道美国的阿波罗登月计划取得了巨大的成功。当时，日本的一些专家在参观了阿波罗计划中所采用的设备和工艺之后认为，日本有能力达到这些设备和工艺所需的各项要求。但将它们视为一个整体进行有计划的设计和管理，这是当时的日本所做不到的。也即是说，即便当时日本政府作出同样的登月决策，也不可能如期实现。通过上述两个事例，我们可以注意到这样两点：

1. 在科学技术飞速发展的现时代，人类所面临的问题通常是大规模的和十分复杂的，它涉及到众多的因素和纵横交错的关系。这使得人们在解决问题时不仅要考虑问题的各个局部，更重要的是考虑到问题的全局。

2. 在各个局部功能未达到最佳的情况下，经过合理组合，可以使所产生的整体功能远远大于各局部功能之和，甚至达到整体功能最佳。

注意局部但不过分强调局部，将基本着眼点置于全局，使问题在根本上和整体意义上得到全面解决，这便是系统工程方法的

要义所在。

## § 1.1 系统工程及其基本要素

系统工程起源于美国。作为一门科学，它是60年代才出现的。到了70年代，系统工程方法已广泛应用于社会、经济、军事、教育、生态等许多领域。在我国，系统工程方法得到中央各部门的重视并有了迅速的发展则是近些年的事。那么，什么是系统工程呢？

系统工程就其根本含义而言，是在解决复杂的实际问题时，考虑得全面一些，深入一些，长远一些，客观一些，科学一些。按照一般的说法，系统工程是一个将已有学科分支中的知识有效组织并加以创新，以用于解决综合性问题的技术性思想体系、过程体系和方法体系。系统工程虽然说是工程，但它与机械工程、电气工程等日常人们所说的工程相比，具有许多不同的性质。其他工程都是相对特定领域而言的，系统工程则不将自己的研究对象限制在任何特定领域，它不但可以以物质、能量和信息做为自己的研究对象，还可以以自然现象、生态环境、人类社会、工矿企业等不同类型的组织体做为研究对象。这是系统工程方法得以迅速发展的原因之一；系统工程迅速发展的另一个原因是它综合地运用数学、物理、化学、医学、心理学、社会学、经济学等多种学科的技术方法，在这个意义上讲，任何其他学科是无法与之相比的；此外，系统工程迅速发展的又一个原因是它着眼于问题的整体状态，抓住总体目标，注意到局部，又不过分强调局部。这很适合于解决当今许多复杂的大规模问题。因此，系统工程方法至少具备以下几个基本特征：

1. 研究对象不限定在任何特定领域；
2. 综合地吸收运用现有各门学科的技术与方法；
3. 从全局着眼，注意局部但不拘于局部。

系统工程所研究的是现实中的各种活动。就一般意义而言，这活动涉及人、物、环境和信息等要素。

人。是指参与系统活动的人，即设计系统和运行系统的人。作为设计系统的人，他们的实践经历、知识结构、思维方式和分析能力都直接影响着系统要素、结构的合理性，直接影响着系统功能的强弱，最终影响着系统问题解决的有效性，例如前例中提到的米格25型飞机的结构设计者。作为运行系统的人，他们直接影响着系统的运动进程、速度、方向，以致影响系统目标的最终实现，比如前例中米格25型飞机的驾驶者。所以，系统素质的高低取决于人的素质高低。

物。这里所说的物是指一切实物的直接形式或间接形式。它包括：资金、原材料、燃料、动力设备、矿山、河流等等。物是系统工程中的客体，是系统工程研究的基本对象。对资金、原材料、燃料、动力设备等客体进行整体性有计划的管理，合理地分配资金，全面地调配物资，有效地使用燃料、动力和开发矿藏、河流，充分地发挥各种设备的作用，积极调动人的主观能动性，是系统工程要研究的中心问题之一。

环境。这里所说的环境包括社会环境、经济环境和自然环境。环境在系统工程的研究过程中自始至终地起着限制、约束或推动作用。这作用是不容忽视的。否则，就会违背客观规律，最终走向失败。比如要用系统工程方法制定一项规模较大的发展计划。首先要考虑有关政策的允许范围及将给社会带来的种种影响；其次要考虑经济条件是否允许，能获得多少投资、能集中多少资金及物资和资源的供应；再次，还要考虑它将给有关人员的生活条件、生活环境带来何种影响，等等。

信息。反映一定情况的资料或消息就是信息。系统工程中所说的信息一般包括外部信息（系统以外的各种有关信息）、内部信息（系统内部的有关信息）和技术信息（科学技术的发展状况、人类实践的经验及它们所能提供的有关方法）。外部信息

常常告诉我们需要去做。因此，它直接影响着系统工程开发的目标；内部信息常常告诉我们有条件有可能干些什么工作或事情，因为它反映着系统内部的人、财、物等有关条件；技术信息则为我们提供所需的方法和手段，提供计划、组织和管理的有效形式和措施。技术信息的获取以外部信息和内部信息的获取为依据，进而决定着系统工程研究的成效。

## § 1.2 系统工程的基本任务

作为社会生产迅速发展、科学技术突飞猛进的产物，作为具有瞬息万变、信息爆炸特征的现时代产物，系统工程肩负着什么样的任务，需要解决什么样的问题呢？

从一般意义上讲，系统工程方法的基本特征决定了它的基本任务是解决实际中单一学科无法解决的复杂问题。系统工程方法所采用的基本思想是，将复杂的实际问题视为一个由多种要素构成的系统，综合运用现代科学技术，对系统中的各种活动、现象进行深入地分析研究，从最优角度进行全面规划，从实用角度进行整体协调，从过程角度进行有效管理，切实解决实际问题，获得最佳的社会、经济、环境效益，实现系统的总战略和总目标。

根据我国目前及未来的发展状况，系统工程肩负着解决如下诸领域中重大问题的艰巨任务。

1. 社会经济领域。党的十二大报告提出，我国现代化建设的战略目标是从1981年到本世纪末的二十年中，我国经济建设在不断提高经济效益的前提下，力争使全国工农业的年总产值翻两番。党的十三大报告中又进一步提出，到下个世纪中叶，我国应力争进入中等发达国家的行列。这为社会经济领域的发展勾画出了基本框架，也为系统工程方法在社会经济系统中的应用指出了基本方向。社会经济系统中系统工程所要研究的具体任务如表1.1所示。

表1.1

| 任 务 方 面 |       | 任 务 内 容                                             |
|---------|-------|-----------------------------------------------------|
| 社会系统    | 地区、社会 | 区域规划, 城市规划, 地区治理, 防灾措施, 垃圾处理, 生活消费, 社会管理, 市场管理等。    |
|         | 文化教育  | 编排节目, 自动广播, 文化教育规划, 教育结构, 计算机辅助教学, 书刊编辑等。           |
|         | 国家行政  | 经济预测, 经济规划, 预算系统, 公共事业规划, 金融政策, 外交情报, 公安警察, 行政管理等。  |
| 工交服务系统  | 工业设备  | 发电厂, 钢铁厂, 化工厂, 仓库自动控制, 机械自动化, 原料综合利用, 废料处理, 工业机器人等。 |
|         | 交通运输  | 航空管理, 铁路运行, 道路交通管理, 运输系统等。                          |
|         | 服务系统  | 自动售票, 情报服务, 银行联机系统等。                                |
|         | 技术发展  | 发展新技术, 研制新产品, 技术情报管理, 能源利用, 自动设计, 自动制图, 信息网及检索技术等。  |
| 农业      | 农林渔牧  | 农林渔牧综合规划, 农业资源利用, 排水开垦, 人工草场, 农业区划等。                |

2. 生态环境领域。自然生态系统在演化过程中, 依靠生命和环境的相互作用自动地进行自我调节趋近最佳结构, 所谓“物竞天择, 适者”生存就是这种运动的基本概括。生态系统的这种运动选择通常要依照以下几个原则:

(一) 物质最佳循环原则。生物圈中的物质是有限的。营养物质的多重利用和最佳循环再生, 是自然系统长期生存的基本原则。

(二) 能量最大利用原则。能流是生态系统的生命线, 一切生命形式都尽可能攫取可利用的能量、占领一切可利用的生态位置, 形成精巧高效的共生关系网, 以利于各种物群的生长繁衍。

(三) 最小风险原则。生态系统中的能量流动, 并不是简单的生与死的循环, 而是一种螺旋式上升的演进过程, 虽然其中绝大多数能量以热的形式耗散了, 但一部分却以质的形式储存下

来，记录了生物与环境世代交互作用的信息，如遗传基因、学习功能等。通过生存斗争与自然选择使得生存下来的系统是生物与环境之间关系最适应、世代风险最小的系统。

长期以来，人们并没有真正注意到自然界及人类生存环境的这种内在关系与内在规律。以致在有些地方，人们的生产及其他一些活动有意无意地破坏了自然生态的平衡，造成了某些自然灾害。比如有些地区滥杀某些生物致使另一些生物失去天敌而泛滥成灾。再比如有些地区滥砍滥伐森林，使水土严重流失，导致气候异常，出现各种各样的自然灾害。所谓生态系统工程便是为解决这类问题而产生的。生态系统工程将系统工程方法运用于包括农村、城市在内的生态系统研究将产生如下两方面的作用：

（一）使生态系统的结构与功能相互协调，形成动态平衡，避免无知或无组织造成的动态失衡。

（二）通过以多层次营养结构为基础的物质转化、分解、富集与再生，充分发挥物质的生产潜力，并保持永续利用。

系统工程方法在生态系统研究中的任务大致如表1.2所示。

表1.2

| 任 务 方 面          |       | 任 务 内 容                                     |
|------------------|-------|---------------------------------------------|
| 生<br>态<br>系<br>统 | 城市系统  | 人口，交通，土地利用，居住问题，工业噪音，工业污染，工业用水等。            |
|                  | 农村系统  | 河流、沼气等自然资源的利用，良种培育、作物杂交等。                   |
|                  | 国土、资源 | 国土开发，海洋开发，地热及其他地下资源开发，潮汐利用，环境保护，森林种植，人工草皮等。 |

3. 军事领域。现代军事科学技术的迅速发展，给部队工作者带来一系列复杂问题。在军事科学研究方面：军事运筹学、国防经济学、军事心理学、军事管理学、军事教育学等方面的工作亟待深入进行；作为军事技术研究：战略研究定量化、武器研制仿真化、指挥控制自动化、作战方案优化化、教育训练模拟化、后勤

保障科学化、军队管理系统化等方面的问题也亟待进一步解决。

在上述各个问题的研究解决过程中,不能只是对个别事物进行分析,而要对整个系统进行分析;不能只是单角度分析,而要进行多角度分析;不仅要有纵向分析,还要有横向分析。要做到以上所述,不运用系统工程方法将会一筹莫展。

系统工程方法在军事领域中的运用,其任务不仅是去指导研究有形的“硬”课题(如激光武器、航天飞机、生物武器、原子武器等),更重要的是将整个军事领域或有关部分视为一个整体,一个完整的系统,对系统中各种有形的事物进行预测、研究、决策、管理等无形的工作,以提高整个系统效率和效益。

现代战争较之以往要复杂、速变、激烈得多,这要求军队高度发挥整体效应。虽然领导者个人的智慧、知识和经验十分重要,但这还不够,还应借助“外脑”的功力,实现领导决策和专家决策相结合。比如美国空军部门的规划就借助于著名的兰德公司。此外,现代战场上,知识和信息流量如潮、瞬息万变。面对这种局面,再高明的指挥员仅凭个人智慧作出的决策都不免带有更大的风险。要想弥补这一点,就需要建立由不同知识结构、不同经验的专家、“谋士”组成的智囊团,依靠众人的头脑,依靠系统工程方法,借助电子计算机,建立一套科学的决策程序。从而面对一切突如其来的情况都能准确而迅速地作出决策,适应现代战争的需要。系统工程方法在军事领域的任务内容大致如表1.3所示。

表1.3

| 任 务 方 面          |      | 任 务 内 容                        |
|------------------|------|--------------------------------|
| 军<br>事<br>系<br>统 | 后勤系统 | 军用交通, 军用医疗, 军械维护, 给养输送等。       |
|                  | 武器系统 | 武器研制, 武器维修, 武器更新, 武器生产, 装备论证等。 |
|                  | 指挥系统 | 战略研究, 情报分析, 指挥自动化等。            |
|                  | 作战系统 | 军事演习, 作战仿真, 最佳进攻路线选择, 未来战争预测等。 |
|                  | 防御系统 | 核武器防御, 化学武器防御, 空袭防御, 海上防御等。    |

系统工程除了肩负以上诸领域的大型研究任务以外，还在能源、矿山、化工、科技、教育、医药等领域肩负有任务，这里就不再详细叙述了。

### § 1.3 系统工程的基本原则

系统工程作为一种解决大型复杂问题的有效方法，它包含有若干需要遵循的基本原则。这些基本原则是正确使用系统工程方法的根本保证。从本身的特征和意义上看，这些基本原则可分为两大类，一类是在思想方法上具有指导意义的原则，它们反映着系统工程方法的本质特性，我们称之为系统性原则；另一类是在实际分析过程中必须注意把握的原则，它反映着系统工程方法的工程特性，这里称之为工程性原则。由于前者实质上属于理论范畴，又可称为原理。下面分别就这两类原则进行简要的叙述。

#### 1. 系统性原则。

(一)整体性原则。现代科学技术的飞速发展使科学研究的对象和人们对它们的认识角度都发生了巨大的变化。有机的整体取代了被分割的局部。以往认为是独立的部分，现在看来是一个更大整体的组成部分，同时又是由若干更小部分构成的整体。因此，系统工程方法要求人们将复杂的对象问题及有关事物视为一个整体，针对问题分析各有关的局部但不陷入任何局部，追求效果的整体最佳，追求目标的整体实现，使问题在全局意义上得到最终解决。比如，一个工厂要想提高产值和利润，不仅要注意到产品另、部件的生产和产品的组装，还必须注意到产品的质量和产品的销路。又比如，军队现代化实际上是军人素质、武器、后勤保障、作战、指挥及防御等诸个子系统的整体现代化。

(二)关联性原则。关联是指系统内部元素之间及系统与外部环境的联系。按照系統工程的观点，系统的内部关联决定着系统的功能与特性，系统的外部关联则决定着系统运动发展的方