

21世纪高等院校规划教材

# 系统工程的理论 与方法概论



主 编 佟春生  
副主编 畅建霞 王义民



国防工业出版社

National Defense Industry Press

21 世纪高等院校规划教材

Introduction to the Theory and  
Method of Systems Engineering

# 系统工程的理论与方法概论

主 编 佟春生  
副主编 畅建霞 王义民

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书以系统为主线,全面地介绍了系统科学、系统工程方法论中的新观点、新理论、新技术。全面地阐述了系统工程的建模、优化、模拟、预测、评价、决策分析等新理论和新技术。本书可作为大学工科、管理学科、经济学科等本科生教材,也可作为各类专业技术人员和管理人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

系统工程的理论与方法概论/佟春生主编. —北京:  
国防工业出版社,2005.8  
21世纪高等院校规划教材  
ISBN 7-118-04046-0

I. 系... II. 佟... III. 系统工程 IV. N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 091647 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 14½ 332 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:23.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

# 前 言

随着人类社会的发展、文明的进步以及由此带来的“整体、和谐、可持续”理念的不断深化,旨在进一步揭示和预演人类社会的复杂活动、各种事物的演变过程,并运用有效的思维方式和技术方法,设计、实施和实现一个或多个能以最佳方式达到预期目标的系统化过程,以获得最佳的社会效益和最大化的经济效益和生态效益,这正是当今科学界广泛关注、不断探索的热点领域。

建立在系统科学基础上的系统工程方法论和系统工程技术告诉人们:在遇到或面对复杂问题时,应当如何认识问题(系统的观点),如何去思考问题(系统科学、系统工程方法论),以及如何去处理问题(系统工程技术),才能达到系统最优化,获得满意解乃至最优解。

“工程”的本义是指服务于特定目的的工作程序,系统工程中的“工程”概念不同于常规工程技术的“工程”概念,常规工程技术的“工程”是指应用自然科学原理和方法于实践,设计和生产出有形实体(“硬件”)的技术过程;而系统工程中的“工程”概念既包括上述“硬件”的设计与建造,包括与这些“硬件”紧密相关的概念、思想、规划、计划、方案、程序等(“软件”)活动过程,包括协调硬件与软件技术的“软件”(orgware),还包括探讨人类活动系统的“人件”(human-ware)。“工程”外延已延拓了常规工程技术中的“工程”的范畴,其内涵已抽象为处理各种问题的工作程序。系统工程是研究各种系统普遍适用的,使系统整体最优化和整体协调化的方法论和综合性工程技术。它使用的方法明显体现出“事理”和“人理”特征;它所提供的是处理问题的过程(一般方法)。系统工程具有多学科综合性的特点:它汇集众多学科之长,组织管理各种复杂系统。只有应用和协调各学科的广泛知识,才可能有效地规划、设计、管理一个复杂系统。

本书由中北大学分校佟春生副教授(博士)、西安理工大学畅建霞副教授(博士)、西安理工大学王义民讲师(博士)编著。本书的内容及结构,是基于系统科学和系统工程方法论的思想,依照系统工程的一般方法和步骤:建模、优化、模拟、预测、评价、决策分析等来安排相应章节的。

需要说明的是,书中所有的材料都是作者多年来研究和应用成果,以及近年来国内外不同学者的大量研究成果,其中的主要部分列于书后参考文献中。在此,作者对各位学者表示衷心的感谢。

作者

2005年3月

# 目 录

<b>第 1 章 系统科学与系统工程概述</b> .....	1
1.1 系统与系统论 .....	1
1.1.1 系统概念 .....	1
1.1.2 系统的定义 .....	2
1.1.3 系统的层次、结构、行为、功能 .....	2
1.1.4 系统的特性 .....	3
1.1.5 系统的分类 .....	3
1.1.6 系统科学研究的主要内容 .....	6
1.1.7 复杂系统及其特点 .....	7
1.2 系统科学概述 .....	7
1.2.1 系统科学方法论 .....	7
1.2.2 系统科学理论基础 .....	12
1.3 系统工程概述 .....	20
1.3.1 系统工程的含义与特点 .....	20
1.3.2 系统工程的发展与应用 .....	22
1.3.3 系统工程的理论基础 .....	25
1.3.4 系统工程方法论的特点 .....	27
1.3.5 系统工程的基本逻辑过程与方法 .....	27
1.4 系统科学与系统工程方法论的关系 .....	37
思考题 .....	37
<b>第 2 章 系统模型化的理论与方法</b> .....	39
2.1 系统模型化概念 .....	39
2.1.1 系统模型与模型化 .....	39
2.1.2 系统模型分类 .....	40
2.2 系统模型化过程 .....	41
2.2.1 系统建模的具体要求 .....	41
2.2.2 系统模型化的基本理论 .....	42
2.2.3 系统模型化程序 .....	43
2.2.4 系统模型化方法 .....	44
2.3 数学建模 .....	44
2.3.1 数学模型的特点 .....	44
2.3.2 数学模型分类 .....	45

2.3.3	数学模型的建立步骤 .....	47
2.3.4	数学建模的工具 .....	48
思考题	.....	49
<b>第3章</b>	<b>系统规划与最优化的理论与方法 .....</b>	<b>50</b>
3.1	概述 .....	50
3.1.1	系统最优化概述 .....	50
3.1.2	优化方法的分类 .....	50
3.2	线性规划 .....	51
3.2.1	线性规划的基本概念 .....	51
3.2.2	单纯形法 .....	53
3.2.3	改进单纯形法 .....	59
3.2.4	线性规划的对偶问题 .....	64
3.3	非线性规划 .....	66
3.3.1	一维搜索 .....	66
3.3.2	梯度法 .....	68
3.3.3	约束函数法 .....	70
3.4	动态规划 .....	72
3.4.1	多阶段决策问题 .....	72
3.4.2	动态规划的基本概念 .....	72
3.4.3	动态规划的基本原理和方法 .....	74
3.5	系统优化理论的新进展 .....	75
3.5.1	遗传算法 .....	75
3.5.2	蚂蚁算法 .....	91
3.5.3	粒子群算法 .....	98
3.5.4	混沌算法 .....	102
思考题	.....	108
<b>第4章</b>	<b>系统模拟(仿真)的理论与方法 .....</b>	<b>109</b>
4.1	系统仿真概论 .....	109
4.1.1	系统仿真概念 .....	109
4.1.2	系统仿真分类 .....	110
4.1.3	系统仿真的基本步骤 .....	111
4.2	系统模拟概论 .....	114
4.2.1	模拟与模型 .....	114
4.2.2	系统模拟模型 .....	114
4.2.3	系统模型的结构 .....	115
4.2.4	系统模拟 .....	116
4.2.5	系统模拟方法 .....	117
4.2.6	计算机模拟 .....	117
4.2.7	计算机模拟的应用 .....	118

4.3	系统动力学仿真	119
4.3.1	什么是系统动力学	119
4.3.2	系统动力学建模仿真步骤	120
4.3.3	因果关系、反馈及系统边界	122
4.3.4	系统动力学流图法	124
4.3.5	DYNAMO 语言的应用	125
4.3.6	高级计算机模拟语言	129
4.3.7	DYNAMO 语言程序设计实例	130
	思考题	131
<b>第 5 章</b>	<b>系统预测的理论与方法</b>	<b>133</b>
5.1	系统预测原理与方法	133
5.1.1	预测的概念	133
5.1.2	预测的基本原理	134
5.1.3	预测的分类	136
5.1.4	预测步骤	138
5.2	定性预测	140
5.2.1	德尔斐法	140
5.2.2	主观概率法	144
5.2.3	交叉概率法	145
5.3	定量预测	146
5.3.1	时间序列分析	146
5.3.2	一元非线性回归模型和多元线性回归模型	147
5.3.3	一元线性回归	149
5.4	灰色预测——GM(1,1)模型	155
5.4.1	GM(1,1)模型的基本原理	155
5.4.2	灰色预测的类型	155
5.4.3	GM(1,1)模型的建立方法和步骤	156
5.4.4	模型检验	156
5.5	人工神经网络算法	159
5.5.1	BP 网络的结构	159
5.5.2	BP 神经网络的计算过程	160
5.5.3	模糊神经网络算法	161
5.5.4	遗传 BP 算法	162
5.6	统计学习理论	165
5.6.1	支持向量机理论	165
5.6.2	最小二乘支持向量机	168
5.6.3	改进的最小二乘支持向量机	169
5.6.4	基于混沌优化的最小二乘支持向量机径流预测模型	170
5.7	小波分析	172

5.7.1	小波分析的发展历史 .....	172
5.7.2	小波分析的基本原理 .....	172
5.7.3	小波分析在水文时间序列组成分析中的应用 .....	175
	思考题 .....	178
<b>第6章</b>	<b>系统综合评价的理论与方法</b> .....	<b>179</b>
6.1	系统评价 .....	179
6.1.1	系统评价的概念 .....	179
6.1.2	系统评价的原则 .....	179
6.1.3	系统评价的步骤 .....	180
6.1.4	系统综合评价的要素 .....	181
6.2	多目标综合评价 .....	183
6.2.1	多目标综合评价指标的建立及筛选 .....	183
6.2.2	指标权重的确定 .....	185
6.2.3	综合评价模型的比较分析 .....	186
6.2.4	多目标评价的灵敏度分析 .....	188
6.3	可拓学评价方法 .....	188
6.3.1	矛盾问题 .....	188
6.3.2	可拓学的基本理论 .....	189
6.3.3	可拓学在系统评价中的应用 .....	194
6.4	集对分析法 .....	196
6.4.1	集对分析简介 .....	196
6.4.2	SPA 评价方法的步骤 .....	196
6.4.3	三种基本方法及应用举例 .....	197
	思考题 .....	200
<b>第7章</b>	<b>系统决策与对策分析的理论及方法</b> .....	<b>201</b>
7.1	决策分析与对策分析概述 .....	201
7.1.1	基本概念 .....	201
7.1.2	科学决策的程序 .....	201
7.1.3	决策特点 .....	202
7.1.4	决策的分类 .....	203
7.2	常用决策方法 .....	203
7.2.1	决策矩阵 .....	203
7.2.2	决策树 .....	204
7.2.3	不确定型决策 .....	205
7.3	风险型决策 .....	207
7.3.1	期望值准则 .....	207
7.3.2	决策方法 .....	207
7.4	多目标决策 .....	210
7.4.1	多目标决策的分析方法 .....	210



---

7.4.2 对策分析 .....	212
7.5 可能度与满意度决策方法 .....	217
7.5.1 可能度和满意度的概念 .....	217
7.5.2 可能度和满意度的并合 .....	218
7.5.3 可能度和满意度方法在系统多目标分解中的应用 .....	219
思考题 .....	221
参考文献 .....	222

# 第 1 章 系统科学与系统工程概述

## 1.1 系统与系统论

### 1.1.1 系统概念

系统思想(system thought)就其最基本的涵义来说,是关于事物的整体性观念、相互联系观念、演化发展的观念。

系统这一概念来源于人类的长期社会实践和科学总结。人类自有生产活动以来,无不在同自然系统打交道。管子《地员篇》、《诗经》农事诗《七月》等古籍,对农作与种子、地形、土壤、水分、肥料、季节等诸因素的关系,都有辩证的叙述;并提出了如何根据天时、地利和生产条件合理地安排农事活动。周秦至西汉初年古代医学总集的《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。战国时期秦国李冰设计建造了伟大的都江堰,包括“鱼嘴”岷江分水工程、“飞沙堰”分洪排沙工程、“宝瓶口”引水工程三大主体工程 and 120 个附属渠堰工程,工程之间的联系处理得恰到好处,形成一个协调运转的工程总体。在东汉时期,古代天文学家张衡提出了“浑天说”,揭示天体运行和季节变化的联系,编制出历法和指导农业活动的廿四节气。这些古代农事、工程、医药、天文知识和成就,都在不同程度上反映了朴素的系统概念的自发应用。

朴素的系统概念,不仅表现在古代人类的实践中,而且在古代中国和古希腊的哲学思想中得到了反映。古希腊的唯物主义哲学家德谟克利特(Democritus)就曾论述了“宇宙大系统”,他认为世界是由原子和虚空所组成,原子组成万物,形成不同的系统和有层次的世界。公元前 6 世纪至公元前 5 世纪之间,我国春秋末期思想家老子强调自然界的统一性;南宋陈亮的理一分思想,试图从整体角度说明部分与整体的关系。用自发的系统概念考察自然现象,这是古代中国和古希腊唯物主义哲学思想的一个特征,这一思想包含了系统思想的萌芽。

古代朴素唯物主义哲学思想虽然强调对自然界整体性、统一性的认识,却缺乏对这一整体各细节的认识能力,因而对整体性和统一性的认识也是不完全的。对自然这个统一体各个细节的认识,是近代自然科学的任务。19 世纪以来,自然科学取得了一系列伟大的成就,特别是能量守恒、细胞和进化论的发现,使人类对自然过程的相互联系的认识有了很大的提高。马克思、恩格斯的辩证唯物主义认为,物质世界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体。辩证唯物主义体现的物质世界普遍联系及其整体性的思想,也就是系统思想。

20 世纪中期现代科学技术的成就,为系统思想提供了定量方法和计算工具。现代科

学技术对于系统思想方法来说,第一个贡献在于使系统思想定量化,成为一套具有数学理论、能够定量处理系统各组成部分相互联系的科学方法;第二个贡献在于为定量化系统思想的实际应用提供了强有力的计算工具——电子计算机。这就是系统思想如何从经验到哲学到科学、从思辨到定性到定量的大致发展情况。

### 1.1.2 系统的定义

系统(System)一词在古希腊时期就已使用,从词源上讲,它来自于拉丁语 Systems,由词头“共同”和词尾“位于”结合而成,表示共同组成的“群”与“集合”的意思。系统是一个涉及面广、内涵丰富的概念,但关于它的定义尚没有统一的定论。

一般系统论的创始人贝塔朗非(L. V. Bertalanffy)认为“系统可以定义为相互关联的元素的集合”。在韦氏(Webster)大词典中,系统被定义为“有组织的或被组织化的整体”,是“形成集合整体的各种概念、原理的综合”,是“以有规律的相互作用或相互依存形式结合起来的对象的集合”。美国著名学者阿柯夫(R. L. Ackoff)认为“系统是由两个或两个以上相互联系的要素所构成的集合。我国学者钱学森等对系统的定义是,“系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的、具有特定功能的有机整体”。

对于这些定义,尽管表述不同,但都共同地指出了系统的三个基本特征,第一,系统由元素所组成;第二,元素间相互影响、相互作用、相互依赖;第三,由元素及元素间关系构成的整体具有特定的功能。

环境处在系统外部,是包围系统的单元集合体。或者说一个系统之外的一切与它相关的事物构成的集合,称为该系统的环境。

### 1.1.3 系统的层次、结构、行为、功能

#### 1. 系统的层次

元素和子系统都是系统的组成部分,简称组分。

#### 2. 系统的结构

组分及组分之间的关联方式的总和。

关联方式主要是因果关联(数学和逻辑关系),表现形式有树状和网状两种。

系统结构(树状和网状结构)划分:

①系统框架结构与运行结构(静态与动态);②系统时间结构与空间结构(时空关联结构)。

#### 3. 系统的行为

系统相对于它的环境所表现出来的任何变化,或者说,系统可以从外部探知的一切变化。行为属于系统自身的变化,是系统自身特性的(外部)表现,但又同环境有关,反映环境对系统的作用或影响。

#### 4. 系统的功能

系统行为所引起的、有利于环境中某些事物乃至整个环境续存与发展的作用。

凡系统必有结构,结构与功能关系密切。系统结构和环境共同决定系统功能。

区分系统的功能与性能;性能指系统在内部相关和外部联系中表现出来的特性和能力。性能一般不是功能,功能是一种特定的性能。

### 1.1.4 系统的特性

从系统的定义可以引申出一般系统都具有的特性。

#### 1. 相关性

组成系统的各要素之间具有相互联系、相互作用、相互依赖的特定关系,某一要素发生变化则会影响其他要素的状态变化。

#### 2. 层次性

又称阶层性。一般系统都具有一定的层次结构。一个系统可分解为若干子系统,而子系统还可以分解为亚子系统,等等,以致最终可分解为要素,这样就构成具有特定的空间层次结构。系统的层次结构表明了不同层次子系统或要素之间的从属关系或相互作用关系。例如一个公司就是一个层次比较明显的系统,它由子公司、车间、工段、班组,以及相应的职能部门构成。各层次的子系统相互联系,相互作用,以特有的功能为统一的目标而相互协调运行。不同的层次结构存在着不同的运动形式,构成了系统的整体运动特性,为深入研究复杂系统的结构、功能和有效地进行控制与调节提供了条件。

#### 3. 整体性

系统整体性表明系统中的要素以及要素间的相互关系,是根据特定的统一性要求协调存在于系统整体之中。任何一个要素不能离开整体去研究,要素之间的联系和作用也不能脱离整体去考虑,系统不是各个要素的简单集合,否则它就不会具有作为整体的特定功能。整体性要求人们不能脱离整体去研究一个要素,以及要素间的相互联系和相互作用,脱离了整体,要素的功能和要素间的作用便失去了系统意义,也就无法得出有关系统整体的正确结论。在一个系统整体中,即使每个要素并不都很完善,但它们也可以协调、综合成为具有良好功能的系统。相反,即使每个要素都是良好的,但作为整体却不具备这种良好的功能,也就不能称之为完善的系统。

#### 4. 目的性和功能性

功能性是系统的基本特性之一,它表明系统具有的作用和效能,但不一定所有系统都有目的,例如太阳系或某些生物系统等自然系统。系统的功能以系统的结构为基础,系统的特定结构决定系统的特定功能,系统不同,其功能也不同,这正是区别一个系统和另一个系统的重要标志。

#### 5. 环境适应性

任何一个系统都存在于特定的物质环境之中,它必然与环境不断地进行物质、能量、信息的交换。外界环境的变化会引起系统特性的改变,相应地引起系统内各部分相互关系和功能的变化。为了保持和恢复系统原有特性,系统必须具有对环境的适应能力,例如反馈系统、自适应系统和自学习系统等。

### 1.1.5 系统的分类

自然界和人类社会普遍存在着各种不同形态的系统。为方便系统性质的研究,有必要对系统存在的各种形态加以分类。

#### 1. 按系统构成分类

可分为自然系统、人造系统、复合系统。

自然系统是由自然物天然形成的系统,如季节周而复始地变化形成的气象系统、天体系统、动植物系统、海洋系统、矿藏系统等。人造系统是人们为达到某一目的,由人工建造的系统,如法律系统、教育系统、管理系统等。复合系统是由人造系统和自然系统相结合而成的系统。如企业系统、农业系统、地质勘查系统等。

## 2. 按系统物态分类

可分为实体系统和概念系统。

实体系统是由物质实体组成的系统,这些实体占有—定空间,如机械系统、桥梁系统、电力网络系统等。与实体系统相对应的是抽象概念系统,它是由概念、原理、假说、方法、计划、制度、程序等非物质实体组成的系统,如法律法规系统、教育系统、计划系统、管理系统等。近年来,逐渐将概念系统称之为软科学系统,并日益受到重视。

以上两类系统在实际中结合在一起,以实现—定功能。实体系统是概念系统的基础,而概念系统又往往对实体系统提供指导和服务。例如,为实现某项工程实体,需提供计划、设计方案和目标分解,对复杂系统还要用数学模型或其他模型进行仿真,以抽象出系统的主要因素,并进行多个方案分析,最终付诸实施。在这一过程中,计划、设计、仿真和方案分析等都属于概念系统。

## 3. 按系统状态分类

可分为静态系统和动态系统。

静态系统是指系统状态不随时间改变的—系统,如没有运行的仪器设备等。严格地讲绝对静态的系统是没有的。动态系统是指系统状态随时间变化的—系统,如生产系统、社会系统等。

## 4. 按系统与环境关系分类

可分为开放系统和封闭系统。

开放系统是指系统与外界环境有信息、物质和能量交互作用的—系统,如生产系统、人体系统、生态系统等。在环境发生变化时,开放系统通过系统中要素与环境的交互作用以及系统本身的调节作用,使系统达到某—稳定状态。因此,开放系统经常是自调整或自适应的系统。封闭系统是与外界无明显联系的—系统,环境仅仅为系统提供了一个边界,不管外部环境有什么变化,封闭系统仍表现为内部稳定的均衡特性,如完全自给自足的乡村、完全封闭的容器等。世界上不存在严格意义上的封闭系统,任何系统都或多或少或快或慢地同环境交换物质和能量,但当—个系统的开放性微弱到相对于—定目的可以忽略不计的程度,作为—种理论抽象,可以视为—个封闭系统。

这里定义的封闭系统——物理学称为孤立系统;

这里定义的只有能量交换的系统——物理学称为封闭系统;

这里定义的同时进行物质、能量交换的系统——物理学称为开放系统;

这里定义的物质、能量和信息全面开放的—系统——物理学尚无专门定义。

## 5. 按系统某些特定分类

可分为因果系统、控制系统、对象系统。

因果系统是输出完全决定于输入的—系统,如信号系统、测试系统等。控制系统是有控制功能和手段的—系统,如自动化系统、人体系统等。对象系统是按系统对象区分的—系统,如工业系统、水利系统等。

## 6. 钱学森关于系统的分类

钱学森关于系统的分类如图 1-1 所示。系统可以分为简单系统和巨系统；简单系统分大小，巨系统分简复，复杂巨系统又有一般和特殊。

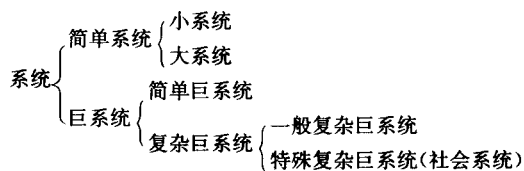


图 1-1 系统的分类

### (1) 巨系统

20 世纪 60 年代末提出了大系统概念和大系统理论。随着社会经济、生态环境等系统成为研究对象，人们发现还存在比大系统的规模大得多的系统。70 年代末，钱学森在论述社会系统工程时第一次提出巨系统概念。大体上说，由几个、十几个元素或子系统组成的是小系统；由上百个、上千个元素或子系统组成的是大系统；如果元素或子系统数量极大，成万上亿，上百亿，万亿，那就是巨系统。

组分数目多到巨型规模，就使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。

量变可以引起质变，即巨系统中会出现简单系统中没有的现象，如自组织现象。

巨系统通常有宏观与微观的层次划分，系统在这两个层次上的行为特性有性质上的区别，这是不同于小系统和大系统的重要特点。巨系统是一个新的科学概念，一种新的系统观点。巨系统问题要求建立巨系统理论和方法。

### (2) 复杂巨系统

中国人口的微观组分(人)接近 13 亿，这是一个巨系统。大脑作为一个巨系统，空间占有虽十分有限，但所包含的神经元约  $10^{11}$  数量级，若从行为特性看，它属于典型的复杂系统。

从系统结构看，一方面是系统组分和种类的多少，另一方面是系统组分之间关联关系的复杂程度和层次结构。在巨系统中，如果系统组分种类不多，只有几种、几十种，相互关系又比较简单，应称为简单巨系统。对于简单巨系统，用统计方法进行研究取得了成功。这就是从微观到宏观的统计综合方法——哈肯和普里果金建立自组织理论所用的方法。

在巨系统中，如果组分种类繁多(几十、上百、上千或更多)，并有层次结构，它们之间的关联方式又很复杂(如非线性、不确定性、模糊性、动态性、适应性等)，这就是复杂巨系统。这类系统无论在结构、功能、行为和演化方面都非常复杂，在时间、空间和功能上都存在层次结构。

如人脑系统，由于记忆、推理和思维功能以及意识作用，其输入—输出反应特性极其复杂。人脑可以利用过去的信息(记忆)和未知的信息(推理)，以及当时的输入信息和环境作用，能做出各种复杂反应。从时间角度看，这种反应可以是实时反应、滞后反应，甚至是超前反应。人脑系统的研究吸引了众多科学家，其微观结构在细胞层次正在逐步研究清楚，但在宏观层次上涌现出思维、意识等极为复杂的整体功能，它的机制至今尚未探明。

这个事实也说明,应把人脑作为复杂巨系统,把微观与宏观结合起来进行研究(脑科学)。

总之,不同类型的系统要用不同的方法。大系统理论不能用来解决巨系统问题,简单巨系统理论不能用来解决复杂巨系统问题。

(3) 开放的复杂巨系统

控制论等技术科学把开放性表述为系统的输入、输出和干扰,自组织理论把开放性表述为控制参量数对系统的影响和涨落的作用。

在开放的复杂巨系统概念中,钱学森给“开放的”一词赋予新的内涵。“开放的”不仅意味着系统与环境进行物质、能量、信息的交换,接受环境的输入和干扰、向环境提供输出,而且还具有主动适应和进化的含义。“开放的”还意味着在分析、设计或使用系统时,要重视系统行为对环境的影响,把系统运行与保护环境结合起来考虑。

在开放的复杂巨系统理论的形成过程中,“巨”、“复杂”、“开放的”3个限制词是逐步加上的。从一般的系统概念中区分出巨系统概念,把巨系统区分为简单的与复杂的两种,再强调系统的开放性,区分出开放的复杂巨系统(open complex giant system),代表钱学森 20 年来系统思想的三次飞跃(如图 1-2 所示):

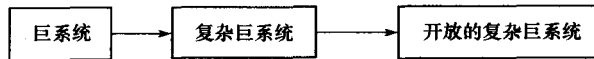


图 1-2 钱学森 20 年来系统思想的三次飞跃

(4) 复杂系统的内在表现

①开放性。考虑系统与其环境之间的物质、能量或信息交换,更能反映客观世界的真实性;②非线性。具有多解、多稳态,能够描述稳定性交换,更能追踪客观世界的多样性;③随机性。微涨落放大,更能体现系统从无序到有序或从有序到混沌的自发性;④突现性。通过整体与局部的关系,研究系统整体的突现行为,更能体现系统结构与行为演化的目的性。

1.1.6 系统科学研究的主要内容

系统科学研究的主要内容是开发系统理论、非线性理论、随机系统理论及自组织理论等,可由图 1-3 描述。其中,自组织是系统追求的目标。

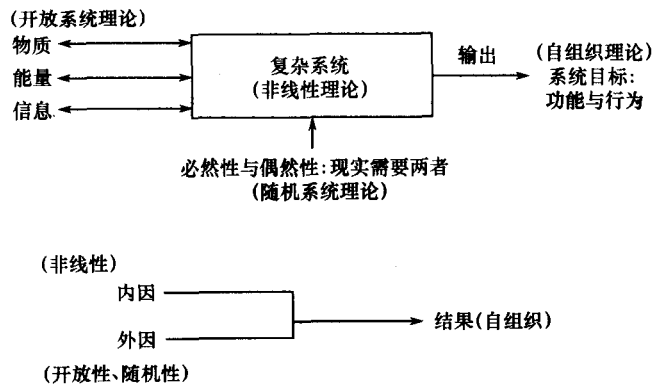


图 1-3 开发系统理论框架

如:社会自组织、经济自组织——可持续发展;生态自组织——生态平衡;军事自组织——协同作战。

围绕整体性(自组织)这一主题,从多个侧面(开放性、非线性、随机性三个方面),以多种形式(确定与不确定、连续与离散等形式),运用数学模型和各类突现行为,研究系统的结构演化和自组织。

### 1.1.7 复杂系统及其特点

(1) 复杂性。社会的演变始终是朝着复杂性增加的方向发展。这种复杂性分为2类:有组织复杂性和无组织复杂性。如图1-4所示。

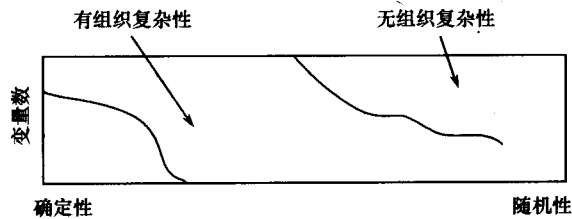


图 1-4 系统演变过程

(2) 复杂系统的外部表现。复杂系统的外部表现主要体现在系统的规模、系统的行为方面(图1-5)。一是系统规模大;二是系统行为复杂;三是系统不仅规模大而且行为复杂。

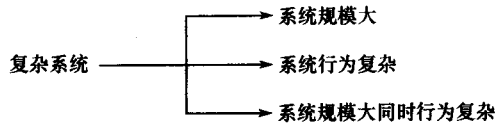


图 1-5 复杂系统的外部表现

## 1.2 系统科学概述

### 1.2.1 系统科学方法论

#### 1.2.1.1 系统科学方法论的特征

系统科学方法论是在系统论、控制论和信息论基础上创立的,它是唯物辩证法的具体化,是架设在对客观事物和过程高度抽象的唯物辩证法与客观事物和过程具体运行实践之间的桥梁。作为20世纪以来认识世界、改造世界的基本方法论,它具有如下特征。

##### (1) 整体性

整体性是系统科学方法论的基本出发点,它为人们从整体上研究客观事物提供了有效方法。该方法论要求人们始终把研究对象作为一个整体来看待。认为世界上事物和过程都不是其组成部分杂乱无章的偶然堆积,而是一个合乎规律的、由各要素组成的有机体。这一整体的性质与规律只存在于各组成要素间的相互联系、相互依赖、相互制约和相互作用之中。而各组成部分孤立的特征总和并不能反映整体的特征。



## (2) 综合性

综合是相对分析而言的。15世纪~19世纪上半叶的方法论主要是以分析为特征的。当时科学本身的发展在客观上需要把整体分解成部分加以精确地研究。然而由于事物本身是其组成部分相互联系的整体,科学的发展本身又要求揭示不同物质运动形式的共同属性和规律,这就需要采用综合的方法。综合方法是把系统的各组成部分、各部分的结构和性能、各部分的联系、历史发展等因素联系起来加以考察,从中找出共同性和规律性的方法。因此系统科学方法论的关键是综合。

## (3) 定量化和最优化

定量化是系统科学方法论与传统方法论的主要区别之处。运用系统科学方法论处理系统问题时,总是尽量采用各种数学语言和数学工具使系统得到较精确的定量描述,以反映系统发展变化的规律。在定性分析指导下的定量化可克服单纯定性分析的缺点,为进一步深刻地认识事物和过程提供捷径。最优化是定量化的方法之一,它可依据需要,确定系统最优目标而得到最大效益。它是系统科学方法论中方法的核心。

## (4) 信息化

系统科学方法论以信息论为其基础理论之一。因此,它在处理系统问题时特别强调信息的重要作用。这一点区别于只着眼于物质、能量,而忽视信息的传统方法;该方法论在处理系统问题时撇开物质与能量的具体形态,而把任何系统当作一个信息的传输和加工的系统,并认为只有信息流才能使系统维持正常的、有目的的运动,强调信息流对系统的支配、调节和控制作用。

## (5) 人一机方式

系统科学方法论是以人利用计算机作为处理系统问题的基本方式。在处理系统问题的过程中,人始终处于主导地位。当前,系统越来越复杂,需要处理的信息量越来越大,仅靠人脑进行加工是不够的,必须借助于人脑的延伸物——计算机的帮助。因此人一机方式就自然地成为系统科学方法论处理系统问题的基本方式。

### 1.2.1.2 系统科学方法论的组成

系统科学的方法论是系统方法、信息方法、反馈方法相互关联而构成的方法体系。

#### 1. 系统方法

系统方法是指按照事物本身的系统性,把被研究对象作为系统,始终从整体与部分、整体与环境、部分与部分之间的相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的关系上精确、综合地考察和研究,以使系统处于最优运行状态的一种方法。其特点是整体性、综合性和最优化。系统分析方法、模型化方法、最优化方法和模拟实验方法等是其经常使用的工具。

#### 2. 信息方法

信息方法是指运用信息的观点,把系统看作借助于信息的获取、传递、加工、处理而实现其有目的性运动的一种研究方法。其特点是把信息的概念作为分析和处理问题的基础,它完全撇开研究对象的具体运动形态,把系统的有目的的运动抽象为一个信息变换过程。该过程如图 1-6 所示。

由图 1-6 可以看出,信息方法强调信息流的处理和加工过程,尤其是反馈信息流的存在能使系统实现预期的目标。