

980987

普通高等教育规划教材

# 系统工程

(第2版)

西安交通大学 任应洛 主编

机械工业出版社

980087

普通高等学校规划教材

# 系统工程

(第2版)

主编 汪应洛

编者 汪应洛 姚德民

赵永昌 陶谦坎



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书第1版曾荣获1992年第二届全国高等学校机电专业优秀教材一等奖。全书共五章,内容包括:系统与系统工程、系统分析、系统模型与仿真、决策分析与现代企业经营战略。为便于教学各章附有复习思考题。

本书系普通高等教育规划教材,适用于管理工程类专业,也可作为各级管理人员、工程技术人员和企业领导干部的培训教材和自学参考书。

## 系统工程

(第二版)

西安交通大学 阮晓华 主编

责任编辑:阮晓华 封面设计:冉晓华

封面设计:冉晓华 校对:肖新民

文字编辑:李子祥

机械工业出版社(北京西城门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

四川成都新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:16.5·字数:402千字

1985年6月北京第1版

1995年5月北京第2版·1995年5月成都第8次印刷

印数:49 701—53 200·定价:9.90元

ISBN 7-111-04362-6/P·581 (课)

## 作者简介

汪应洛 生于1930年，安徽人。西安交通大学管理学院院长、教授、博士生导师。兼国务院学位委员会管理科学与管理工程学科评审组组长、国家教委科技委委员兼管理学科组组长、国家教委管理工程类教学指导委员会主任委员、全国软科学指导委员会委员、中国系统工程学会副理事长、中国机械工程学会常务理事兼工业工程分会主任委员。著有《系统工程导论》、《系统工程》、《战略研究理论及企业战略》、《战略决策》、《系统工程理论、方法与应用》等。科研成果获国家教委科技进步一、二等奖各一项。1990年获“全国高等学校优秀科技工作者”称号。

## 前 言

本书系1986年出版的高等学校试用教材《系统工程》的第2版。该书曾获1992年第二届全国高等学校机电类专业优秀教材一等奖。

系统工程是20世纪中期才开始兴起的一门交叉学科。它把自然科学和社会科学中的一些思想、理论、方法等根据系统总体协调的需要，有机地结合起来。由于科学技术的飞速进步，以及现代管理科学的高度发展，作为高等学校管理工程类专业，需要从系统总体出发来观察和处理问题，需要掌握系统的知识。《系统工程》就是为这一目的而编写的一本教材。

本书内容共分五章。第一章主要阐述系统和系统的概念，系统的发展沿革和应用情况，系统的理论基础和方法论；第二章阐述系统的概念，内容与方法，介绍了系统分析技术；第三章阐述系统模型和仿真的基本方法，分别介绍了当代国内外常用的系统建模方法和仿真技术；第四章阐述决策分析的基本概念，决策分析的类型及决策分析的过程；第五章阐述了现代企业经营战略的概念和重要作用，介绍了企业经营战略研究方法论和制订企业经营战略的方法，同时介绍了国际上常用的市场战略和海外发展战略。

本书第一章、第五章由西安交通大学汪应洛教授编写并修订；第二章由哈尔滨工业大学姚德民教授编写并修订；第三章由上海机械学院赵永昌教授编写，西安交通大学陶谦坎教授修订；第四章由西安交通大学陶谦坎教授编写并修订。汪应洛教授担任主编。

本书由中国科学院院士张钟俊教授担任主审，哈尔滨工业大学黄梯云教授担任第2版主审，清华大学赵纯均教授，华中理工大学黎志成教授，华东理工大学戴家幸教授，同济大学黄渝祥教授参加了审稿会，对本书提出了宝贵的意见，在此表示感谢。

本书系普通高等教育规划教材，适用于管理工程类专业，也可作为各级管理人员、工程技术人员和企业领导干部的培训教材和自学参考书。

系统工程涉及的知识面非常广泛。限于我们的水平，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

1994年5月

04319/02

# 目 录

<p><b>第一章 系统与系统工程</b> .....1</p> <p>第一节 系统的概念 .....1</p> <p>第二节 系统工程是一门新兴的交叉学科 .....5</p> <p>第三节 系统工程方法论 .....9</p> <p>第四节 系统工程发展的过程与展望 .....11</p> <p>第五节 系统工程的应用 .....14</p> <p>复习思考题 .....20</p> <p><b>第二章 系统分析</b> .....21</p> <p>第一节 系统生命周期的概念和阶段划分 .....21</p> <p>第二节 系统分析的意义和概念 .....22</p> <p>第三节 系统分析的要素和步骤 .....24</p> <p>第四节 系统环境分析 .....26</p> <p>第五节 系统目标分析与系统结构分析 .....34</p> <p>第六节 系统模型化和最优化 .....46</p> <p>第七节 系统评价 .....48</p> <p>第八节 系统分析技术 .....65</p> <p>复习思考题 .....80</p> <p><b>第三章 系统模型与仿真</b> .....82</p> <p>第一节 系统模型 .....82</p> <p>第二节 模型的构造 .....83</p> <p>第三节 系统工程中常用的一些模型 .....84</p>	<p>第四节 系统仿真 .....137</p> <p>复习思考题 .....151</p> <p><b>第四章 决策分析</b> .....153</p> <p>第一节 决策分析的基本概念 .....153</p> <p>第二节 决策分析类型及决策分析过程 .....153</p> <p>第三节 风险型决策分析 .....158</p> <p>第四节 灵敏度分析 .....169</p> <p>第五节 信息的价值 .....170</p> <p>第六节 效用理论 .....174</p> <p>第七节 多目标决策 .....180</p> <p>第八节 冲突分析 .....216</p> <p>第九节 决策支持系统简介 .....225</p> <p>复习思考题 .....227</p> <p><b>第五章 现代企业经营战略</b> .....230</p> <p>第一节 企业经营战略的概念及意义 .....230</p> <p>第二节 战略研究方法论 .....231</p> <p>第三节 企业经营战略的制订 .....234</p> <p>第四节 市场战略 .....241</p> <p>第五节 海外发展战略 .....252</p> <p>复习思考题 .....257</p> <p><b>参考文献</b> .....258</p>
--	--

编 者

1993年3月

# 第一章 系统与系统工程

## 第一节 系统的概念

半个多世纪以来，在国际上“系统”作为一个研究对象引起了很多人的注意。“系统”吸引了众多领域的专家从事研究和应用，并逐步形成了一门新兴的学科体系。

“系统”(system)这一概念来源于人类长期的社会实践。人类认识现实世界的过程，是一个不断深化的过程。客观世界中一切事物的发生和发展，都是矛盾的对立和统一。在古代，哲学家们往往把世界看成一个整体，寻求共性和统一，但由于科学技术理论很贫乏，又缺乏观测和实验手段，所以对很多事物只能看到一些轮廓和表面现象，往往是只见森林，而不见树木。随着科学技术的发展，理论丰富了，工具与手段更先进了，认识也逐步深化了，但仍受到当时科学技术水平的限制和世界观的局限，往往又只看到一些局部现象，致力于微观现象的研究，以致只见树木而不见森林。进入19世纪以来，认识不断深化，在对个体，对局部有了更多、更深的了解以后，再把这些分散的认识联系起来，才看到了事物的整体，以及构成整体的各个部分之间的相互联系，从而形成了科学的系统观。现代科学的发展比过去更要求在多种学科门类之间进行相互渗透，这是在更深刻地分析的基础上向更高级综合发展的新阶段，因而出现了许多交叉学科和边缘学科。系统科学就是在这种背景下产生的一门交叉学科。

朴素的系统概念，在古代的哲学思想中就有所反映。古希腊的唯物主义哲学家德谟克利特(Democritus公元前467~前370年)就曾论述“宇宙大系统”，他在物质构造的原子论基础上，认为世界是由原子和虚空组成的，原子组成万物，形成不同系统层次的世界。古希腊的著名学者，亚里士多德(Aristoteles公元前384~前322年)关于事物的整体性、目的性、组织性的观念，以及关于构成事物的目的因、动力因、形式因、质料因的思想，可以说是古代朴素的系统观念。我国春秋末期，思想家老子就曾阐明自然界的统一性，用自发的系统概念观察自然现象。古代朴素唯物主义哲学思想强调对自然界整体性、统一性的认识，把宇宙作为一个整体系统来研究，探讨其结构、变化和发展，以认识人类赖以生存的大地所处的位置和气候环境变化规律对人类生活和生产的影响。如在西周时代，就出现了用阴阳二气的矛盾来解释自然现象，产生了“五行观念”，认为金、木、水、火、土是构成世界大系统的五种基本物质要素。现代耗散结构理论的创始人I.普里高津(I. Prigogine)在从“存在到演化”一文中指出：“中国传统的学术思想是着重于研究整体性和自发性，研究协调与协和。”但是，当时都缺乏对这一整体各个细节的认识能力。直到15世纪下半叶，近代科学开始兴起，近代自然科学发展了研究自然界的分析方法，包括实验、解剖和观察的方法，把自然界的细节，从总的自然联系中抽出来，分门别类地加以研究。这就是在哲学史上出现的形而上学的思维方法。19世纪上半期，自然科学有突破性进展，特别是能量转化、细胞学说和进化论的发现，使人类对自然界的演化过程的相互联系的认识有了很大的提高。恩格斯早在1886年就对系统的哲学概念作了精辟的论述。马克思、恩格斯的辩证唯物主义认为，物质世界是多样性和统一性的辩证统一。

系、相互制约、相互依赖、相互作用的事物和过程所形成的统一整体。这也就是系统概念的实质。当然，现代科学技术对于系统思想的发展是有重大贡献的。当代社会中的许多问题都受到人类活动和自然环境中的诸多因素的影响。在社会发展和经济管理活动中，往往由于事物本身具有的模糊性或不稳定性，以及外界环境的不确定性而使事件的发展难以预料，再加上人们的社会目标和价值标准的差异，使许多决策者感到在做重大决策时愈来愈困难了。确实，复杂的客观事物，在发展过程中的因果关系，往往难于用直觉、简单的经验或一般数理方法作出本质的描述。在决策时需要对所研究的系统对象的内部结构和外部环境有充分的了解，还需要对系统的运行机制和发展规律作深刻的剖析，为此推动了系统科学的发展，并产生了系统等交叉学科。

系统思想是进行分析和综合的辩证思维工具，它在辩证唯物主义那里吸取了丰富的哲学思想，在运筹学、控制论、各门工程学和社会科学那里获得了定性和定量相结合的科学方法，并通过系统工程充实了丰富的实践内容。

### 一、系统的定义

系统是具有特定功能的、相互间具有有机联系的许多要素 (element) 所构成的一个整体。在美国的韦氏 (Webster) 大辞典中，“系统”一词被解释为“有组织的或被组织化的整体；结合着的整体所形成的各种概念和原理的综合；由有规则的相互作用、相互依存的形式组成的诸要素集合；等等。”在日本的 JIS 标准中，“系统”被定义为“许多组成要素保持有机的秩序，向同一目的行动的集合体。”一般系统论的创始人 L·V 贝塔朗菲 (L. V. Bertalanffy) 把“系统”定义为“相互作用的诸要素的综合体”。《中国大百科全书·自动控制与系统工程》卷解释系统是由相互制约、相互作用的一些部分组成的具有某种功能的有机整体。

综上所述，一个形成系统的诸要素的集合永远具有一定的特性，或者表现一定的行为，而这些特性和行为是它的任何一个部分都不具备的。一个系统是一个可以分成许多要素所构成的整体，但从系统功能来看，它又是一个不可分割的整体，如果硬把一个系统分割开来，那么它将失去其原来的性质。在物质世界中，一个系统中的任何部分可以被看为一个子系统，而每一个系统又可以成为一个更大系统中的一个部分。这是一个分析与综合有机结合的思想方法。

### 二、系统的特性

一般系统都具有下述特性：

#### 1. 整体性

系统是由两个或两个以上的可以相互区别的要素，按照作为系统所应具有的综合整体性而构成。系统整体性说明，具有独立功能的系统要素以及要素间的相互关系（相关性、阶层性）是根据逻辑统一性的要求，协调存在于系统整体之中。就是说，任何一个要素不能离开整体去研究，要素间的联系和作用也不能脱离整体的协调去考虑。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。脱离了整体性，要素的机能和要素间的作用便失去了原有的意义，研究任何事物的单独部分不能使你得出有关整体性的结论。系统的构成要素和要素的机能，要素的相互联系要服从系统整体的目的和功能，在整体功能的基础上展开各要素及其相互之间的活动，这种活动的总和形成了系统整体的有机行为。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。

反之，即使每个要素都是良好的，但作为整体却不具备某种良好的功能，也就不能称之为完善的系统。

## 2. 集合性

集合的概念就是把具有某种属性的一些对象看成一个整体，从而形成一个集合。集合里的各个对象叫做集合的要素（子集）。系统的集合性表明，系统是由两个或两个以上的可以互相区别的要素所组成的。这些要素可以是具体的物质，也可以是抽象的或非物质的软件、组织等。例如，一个计算机系统，一般都是由计算器、存储器、输入与输出设备等硬件所组成，同时，还包含有操作系统、程序设计、数据库等软件，而形成一个完整的集合。

## 3. 层次性

系统作为一个相互作用的诸要素的总体来看，它可以分解为一系列的子系统，并存在一定的层次结构。这是系统空间结构的特定形式，在系统层次结构中表述了在不同层次子系统之间的从属关系或相互作用的关系。在不同的层次结构中存在着动态的信息流和物质流，构成了系统的运动特性，为深入研究系统层次之间的控制与调节功能提供了条件。例如，在大系统控制理论中就专门研究递阶控制系统的理论和方法。

## 4. 相关性

组成系统的要素是相互联系、相互作用的，相关性说明这些联系之间的特定关系，以及这些关系之间的演变规律。例如，城市是一个大系统，它是由资源系统、市政系统、文化系统、教育系统、医疗卫生系统、商业系统、工业系统、交通运输系统、邮电通讯系统等相互联系的部分组成，通过系统内各子系统相互协调的运转去完成城市生活和发展的特定目标。各子系统之间具有密切的关系，相互影响、相互制约、相互作用，牵一发而动全身。要求系统内的各个子系统整体目标，提高系统的有序性，尽量避免系统的“内耗”，提高系统整体运行的效果。

## 5. 目的性

通常系统都具有某种目的，要达到既定的目的，系统都具有一定的功能，而这正是区别这一系统和那一系统的标志。系统的目的般用更具体的目标来体现，对于比较复杂的社会经济系统都具有不止一个的目标，因此，需要用一个指标体系来描述系统的目标。比如，衡量一个工业企业的经营实绩，不仅要考核它的产量、产值指标，而且要考核它的成本、利润和质量指标的完成情况。在指标体系中各个指标之间有时是相互矛盾的，有时是互为消长的。为此，要从整体出发力求获得全局最优的经营效果，这就要求在矛盾的目标之间做好协调工作，寻求平衡或折衷方案。

为了实现系统的目的，系统必须具有控制、调节和管理的功能，管理的过程也就是使系统的有序化过程，使它进入与系统目的相适应的状态。

## 6. 环境适应性

任何一个系统都存在于一定的物质环境之中，因此，它必然也要与外界环境产生物质的、能量的和信息的交换，外界环境的变化必然会引起系统内部各要素之间的变化。系统必须适应外部环境的变化，不能适应环境变化的系统是没有持续生命力的，而只有能够经常与外界环境保持最优适应状态的系统，才是经常保持不断发展势头的理想系统。例如，任何一个工业企业都必须经常了解市场动态和同类企业的经营动向，有关行业的发展动态，国内外市场的需求等环境的变化，在此基础上研究企业的经营策略，调整企业内部的结构，以适应

环境的变化。

### 三、系统的分类

在自然界和人类社会中普遍存在着各种不同性质的系统。为了对系统的性质加以研究，需要对系统存在的各种形态加以探讨。系统形态可作如下分类：

#### 1. 自然系统与人造系统

按照系统的起源，自然系统是由自然过程产生的系统。这类系统的组成部分是自然物（矿物、植物、动物等）所自然形成的系统。像海洋系统、矿藏系统、生态系统等。

人造系统则是人们将有关元素，按其属性和相互关系组合而成的系统。如人类对自然物质加工，造出各种机器所构成的各种工程系统。如葛洲坝水利电力系统。

实际上，大多数系统是自然系统与人造系统的复合系统。如在人造系统中，有许多是人们运用科学力量，改造了自然系统。随着科学技术的发展，出现了越来越多的人造系统。但是，值得注意的是，随着许多人造系统的出现，却破坏了自然生态系统的平衡，造成严重的环境污染和生态系统良性循环的破坏。近年来，系统工程愈来愈注意从自然系统的属性和关系中，探讨研究人造系统。

#### 2. 实体系统与概念系统

凡是以矿物、生物、机械和人群等实体为构成要素所组成的系统称之为实体系统。凡是由概念、原理、原则、方法、制度、程序等概念性的非物质实体所构成的系统称为概念系统，如管理系统、军事指挥系统、社会系统等。在实际生活中，实体系统和概念系统在多数情况下是结合的，实体系统是概念系统的物质基础，而概念系统往往是实体系统的中枢神经，指导实体系统的行为。如军事指挥系统中既包括军事指挥员的思想、信息、原则、命令等概念系统，也包括计算机系统、通讯设备系统等实体系统。

#### 3. 动态系统和静态系统

动态系统就是系统的状态变量是随时间而变化的，即系统的状态变量是时间函数。而静态系统则是表征系统运行规律的数学模型中不含有时间因素，即模型中的变量不随时间而变化，它是动态系统的一种极限状态，即处于稳定的系统。例如一个化工生产系统是一种连续生产过程，系统中的各种参数是随着时间变化而变化的动态系统。实际上多数系统都是动态系统，但是，由于动态系统中各种参数之间的相互关系是非常复杂的，要找出其中的规律性非常困难。有时为了简化起见而假设系统是静态的，或使系统中的各种参数随时间变化的幅度很小，而视同稳定的。

#### 4. 控制系统与行为系统

控制就是为了达到某个目的给对象系统所加的必要动作。控制对象要由控制装置操纵，使其符合规定的目的。因此，为了实行控制而构成的系统叫做控制系统。当控制系统由控制装置自动进行时谓之自动控制系统。如计算机控制的机械加工生产过程自动控制系统等。

行为系统是以完成目的的行为作为构成要素而形成的系统。所谓行为就是为了达到某一确定的目的而执行某种特定功能的一种作用，这种作用能对外部环境产生某些效用。这种系统一般是根据某种运行机制而实现某种特定行为的系统，而不是受某种控制作用而运行的系统。

#### 5. 开放系统与封闭系统

开放系统是指系统与环境之间具有物质、能量与信息交换的系统。例如，生态系统、

商业系统、工厂生产系统。这类系统通过系统内部各子系统的不断调整来适应环境变化，以使其保持相对稳定状态，并谋求发展。开放系统一般具有自适应和自调节的功能。开放系统是具有生命力的系统，一个国家、一个地区、一个企业都应该是一个开放系统，通过和外界环境不断地变换物质、能量和信息，而谋求不断地发展。

封闭系统是指系统与环境之间没有物质、能量和信息的变换，由系统的界限将环境与系统隔开，因而呈一种封闭状态的系统。这类系统要能存在，要求该系统内部的各个子系统及其相互关系之中存在着某种均衡关系，以保持系统的持续运行。

研究开放系统，不仅要研究系统本身的结构与状态，而且要研究系统所处的外部环境，剖析环境因素对系统的影响方式及影响的程度，以及环境随机变化的因素。由于环境是动态变化着的，具有较大的不确定性，甚至出现突变的环境。所以当—个开放系统存在于某一特定环境之中时，该系统必须具有某些特定的功能，才能具有继续生存和发展的条件。

## 第二节 系统工程是一门新兴的交叉学科

用定量和定性相结合的系统思想和系统方法处理大型复杂系统的问题，无论是系统的设计或组织建立，还是系统的经营管理，都可以看成是一种工程实践，统称为系统工程。

### 一、在科学技术的体系结构中，系统工程属于工程技术

由于系统工程是一门新兴的交叉学科，尚处于发展阶段，还不成熟，至今还没有统一的定义。现列举国内外知名学者对系统工程所作的解释，为读者认识“系统工程”提供引导和参考。

(1) 中国著名科学家钱学森同志指出 “系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法”，“系统工程是一门组织管理的技术。”

(2) 美国著名学者H.切斯特纳(H. Chestnut)指出 “系统工程认为虽然每个系统都是由许多不同的特殊功能部分所组成，而这些功能部分之间又存在着相互关系，但是每一个系统都是完整的整体，每一个系统都要求有一个或若干个目标。系统工程则是按照各个目标进行权衡，全面求得最优解(或满意解)的方法，并使各组成部分能够最大限度地互相适应。”

(3) 日本工业标准(JIS)规定 “系统工程是为了更好地达到系统目标，而对系统的构成要素、组织结构、信息流动和控制机制等进行分析与设计的技术”。

(4) 日本学者三浦武雄指出 系统工程与其他工程学不同之处在于它是跨越许多学科的科学，而且是填补这些学科边界空白的边缘科学。因为系统工程的目的是研究系统，而系统不仅涉及到工程学的领域，还涉及到社会、经济和政治等领域，为了圆满解决这些交叉领域的问题，除了需要某些纵向的专门技术以外，还要有一种技术从横向把它们组织起来，这种横向技术就是系统工程。也就是研究系统所需的思想、技术、方法和理论等体系化的总称。

《中国大百科全书·自动控制与系统工程》卷指出：系统工程是从整体出发合理开发、设计、实施和运用系统的工程技术。它是系统科学中直接改造世界的工程技术。

综上所述，系统工程是以研究大规模复杂系统为对象的一门交叉学科。它是把自然科学和社会科学中的某些理论、方法、思想、策略和手段等根据总体协调的需要，有机地联系起来，把人们的生产、科研或经济活动有效地组织起来，应用定量与定性分析相结合的方法和

计算机等技术工具,对系统的构成要素、组织结构、信息交换和反馈控制等功能进行分析、设计、制造和服务,从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目的,以便最充分地发挥人力、物力、财力的潜力,通过各种管理技术,使局部和整体之间的关系协调配合,以实现系统的综合最优化。

系统工程是一门工程技术,但它与机械工程、电子工程、水利工程等工程学的某些性质不尽相同。各门工程学都有其特定的工程物质对象,而系统工程的对象,则不限于某种特定的工程物质对象,任何一种物质系统都能成为它的研究对象,而且还不只限于物质系统,它可以包括自然系统、社会经济系统、管理系统、军事指挥系统等等。由于系统工程处理的对象主要是信息,在国外有些学者认为系统工程是一门“软科学”(soft science)。

系统工程在自然科学与社会科学之间架设了一座沟通的桥梁。现代数学方法与计算机技术,通过系统工程,为社会科学研究增加了极为有用的定量分析方法、模拟实验方法、建立数学模型的方法和优化方法。系统工程为自然科学研究提供了定性分析方法和辩证思维方法以及深入剖析人与环境相互关系的方法。系统工程并为从事自然科学的科学技术人员和从事社会科学的研究人员之间的相互合作开辟了广阔的道路。

我国著名科学家钱学森提出了一个清晰的现代科学技术的体系结构,认为从应用实践到基础理论,现代科学技术可以分为四个层次:首先是工程技术这一层次;再就是技术科学这一层次;然后是基础科学这一层次;最后通过进一步综合、提炼达到最高概括的哲学。在此基础上,钱学森同志又进一步提出了系统科学的体系结构。他认为系统科学是由系统工程这类工程技术、系统工程的理论方法(像运筹学、大系统理论等一类技术科学)及系统工程的理论基础(即系统学所组成的一类新兴科学),最后通过进一步综合、提炼达到最高概括的哲学。

## 二、系统工程的应用技术理论基础

人类的历史,是一个由必然王国向自由王国不断发展的历史,社会劳动的规模日趋扩大,社会经济活动日趋复杂,使人们对统筹兼顾、全面规划、发展战略等原则从朴素的、自发地应用,提高到科学、自觉的应用,把它们从经验提高到科学理论。系统工程的应用技术理论基础是由一般系统论、大系统理论、经济控制论、运筹学等学科相互渗透、交叉发展而形成的。而系统学(systematology)则是研究系统结构与功能一般规律的科学。

### 1. 一般系统论(general systems theory)

通过对各种不同系统进行科学理论研究而形成的关于适用于一般系统的学说。美国理论生物学家路德维希·冯·具塔朗非是主要创始人。他把一般系统论的研究内容概括为关于系统的科学、数学系统论、系统技术、系统哲学等。由于以往对系统的研究属于哲学观念的范围,未能成为科学,因而具塔朗非在创立一般系统论时强调它的科学性,指出一般系统论属于逻辑和数学的领域,它的任务是确立适用于“系统”的一般原则。

具塔朗非在20世纪20年代研究生物学时,提出了机体系统论的概念,后来他把“有组织的机体”这个术语用于解释社会现象和工程设施等事物时,逐步形成了系统论的纲领。1945年后,具塔朗非公开发表文章介绍一般系统论的基本原理。1954年美国成立了“一般系统学会”,1986年具塔朗非在《一般系统论的基础、发展和应用》一书中,把系统作为科学研究的对象,系统地、全面地阐述了动态的开放系统的理论,书中指出了当代系统研究已出现了进一步普遍化倾向,不仅在生物学中,而且在行为科学和社会科学中,很多现象已能应用数学

表达式和模型了，不同领域的系统在结构上的类似性是明显的。而有关秩序、组织、整体性、目的性等重要问题，就是一般系统论的基本概念。60年代以后，不仅具塔朗菲以生物学作为一般系统论的生长点，以维纳为代表的一批学者创立了控制论，形成了许多与一般系统论相似的观点，同时，工程系统分析也得到了迅速的发展。1969年比利时著名学者I.普利高津研究远离平衡态开放系统时提出非平衡热力学和统计物理学中耗散结构理论。1973年原联邦德国的赫尔曼·哈肯发现了不同系统之间共同存在着同一系统的要素之间的协同现象而创立了协同论 (synergetics)，他的发现已超出非平衡统计物理学的研究而有更普遍的意义。它研究系统从无序到有序转变的规律和特征，既适用于非平衡系统中发生的有序结构或功能的形成，又包括平衡态中发生的相变过程。由于协同学不受一些热力学概念的束缚，一开始就得到了广泛的应用。对有关的自然科学问题，协同学一般能给出定量结果，对有关的社会科学问题，它也能在科学分析的基础上给予定性说明。协同学在发展进程中推动着系统工程的发展。20世纪下半叶，一般系统论对管理科学的发展有深刻的影响，现代管理科学愈来愈重视管理中的组织联系方面的因素，并开始强调“系统管理”的观念。系统工程的发展正是为组织管理“系统”的规划、研究、设计、制造、试验和使用提供一种科学方法。系统工程所取得的积极效果，又为进一步地发展一般系统论开辟了广泛的应用领域。

## 2. 经济控制论

经济控制论是用当代控制论的科学方法分析经济过程的学科。它为合理地控制经济过程提供了新的见解，并提供了一种有效地计划和管理国民经济及其各部经济的新工具。从60年代初期，控制论开始被经济学家大量引进经济领域。1965年美国哈佛大学的经济学教授R. Dobbell 和控制论教授何毓琦首次合作利用控制论建立经济学模型。1966年该校经济系的L. Taylor 和D. Rendrick 教授应用控制理论中的共轭梯度法则制订南朝鲜经济最优计划模型。1972年由美国国家经济研究局发起，在普林斯顿成立了第一个“随机控制和经济系统”研究小组，有邹至应教授和 Athans 教授等40几位经济学家和控制论专家们参加。此后，控制论在宏观经济和微观经济方面都得到广泛应用。例如美国的密歇根宏观经济控制模型是根据计量经济理论，使用反馈控制技术建立起来的大规模非线性随机控制模型，用以分析和制订美国的国家经济政策。

当前，在我国建立社会主义市场经济体系，需要深入了解我国社会主义经济运行机制和经济过程模式控制的科学原理，这就是经济控制论迅速发展的社会背景。

由于宏观经济预测和政策分析的需要，东西方经济学家已把注意力从传统的经济静态优化转移到动态优化上来，把控制变量引进动态优化模型，因而有可能通过现代计算手段直接获得经济决策方案。然而，要做到这一步的前提是解决计量经济模型的状态空间化。于是，计量经济系统状态空间模型的结构特点、经济意义和获得最优控制解的途径，便成为经济控制论的中心议题。

经济系统是相互依存的一个整体，投入—产出模型是一种简单而有用的经济分析工具，是包含许多经济部分、高度解集、确定供给的综合模型。但在实际经济运行中，考虑到收益变化、生产技术变化、生产中的时间滞后，以及资本积累过程等时间因素引起变量变化，因而人们在静态投入—产出模型的基础上加进变化因素后，研究动态投入—产出模型，从而形成经济控制论的又一重要内容。

## 3. 运筹学 (operation research)

应用分析、试验、量化的方法，对经济管理系统中人、财、物等有限资源进行统筹安排，为决策者提供有依据的最优方案，以实现最有效的管理。

运筹学往往运用模型化的方法，将一个已确定研究范围的现实问题，按照规定的预期目标，将现实问题中的主要因素及各种限制条件之间的因果关系、逻辑关系建立数学模型，通过模型求解来寻求最优方案。

运筹学的分支主要有：线性规划、动态规划、排队论、对策论等。

(1) 线性规划 (linear programming) 在经营管理工作中，经常要处理如何最有效地运用各种设备、材料、资金、信息、时间以及劳动力等资源，以便最经济有效地完成预定任务的问题。这一类统筹规划问题用数学语言表达出来，就是在一组约束条件下寻求一个目标函数的极值的问题。如果约束条件表示为线性方程式，目标函数表示为线性函数时，就称为线性规划。一般线性规划的数学模型可表示为：

要求目标函数实现最大化 (或最小化)

$$\max Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

由  $m$  种有限资源构成的一组约束条件

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq (=, \geq) b_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

各变量不能取负值，即

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

如果在所要考虑的数学规划问题中，目标函数与约束条件是非线性的，就称为非线性规划问题 (non-linear programming)。如果决策变量中要求取值必须满足整数的线性规划问题，就称为整数规划 (integer programming)。凡规定决策变量只能取值 0 或 1 的特殊整数规划，就称为 0-1 规划。

(2) 动态规划 (dynamic programming) 它是将一个复杂的多段决策问题分解为若干相互关联的较易求解的子决策问题，以寻求最优决策序列的方法，如研究水力资源多级分配的优化问题。

将系统运行过程分为若干相继的阶段，而在每个阶段都要作出决策的过程，就称之为多段决策过程。多段决策过程中每一段的结束状态就是下一段的初始状态。因此，只从某一段来看，决定的决策最优，对于下一段未必是最有利的，所以多段决策过程的策略选定要通盘考虑整体规划，然后选定一个策略使系统的目标函数值达到最优，这就是多段决策过程的最优化问题。

(3) 排队论 (queuing theory) 研究排队现象的统计规律性，并用以指导服务系统的最优设计和最优经营策略，又称随机服务系统理论。在这种服务系统中，例如铁路售票处、公共汽车，其服务对象何时到达和占用系统的时间长短都是随机的，事先无从确知。这是一种随机聚散现象。它通过研究每个个别的随机服务现象的统计规律，找出反映这些随机现象平均特性的规律，从而在保证较好经济效益的前提下，改进服务系统的工作能力。

排队过程的一般模型，如图 1-1 所示。

考察各种各样的随机服务系统，可以看出它们具有下列共同的组成部分：①系统的输

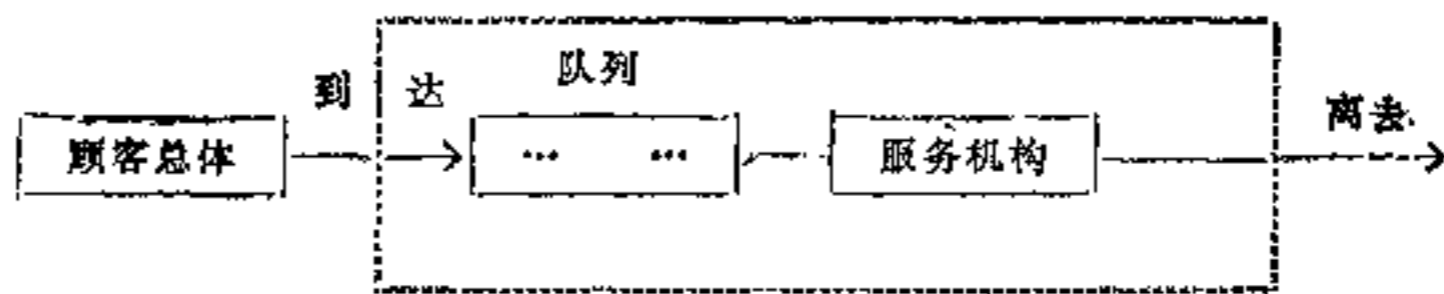


图1-1 排队过程的一般模型

入。顾客到达服务站要求服务的情况是多种多样的。如顾客到达有每次一个，也有每次多个的；到达时间有预知的也有随机的；有等间隔的，也有不等间隔的等等。系统的输入就是指顾客到达的情况。②系统的服务规则。服务站按照某种规定向顾客提供服务。例如，顾客按到达先后接受服务，也有顾客可以享受优先服务等等。系统的服务规则就是指服务站为顾客提供服务的规则。③系统的服务机制。一个服务系统同一时刻可以为多少顾客提供服务，对每位顾客服务多少时间，也有许多不同的情况。例如，服务站的数目、服务时间的分布状况等，这些情况统称为系统的服务机制。

为某种目的而建立的服务系统，需要满足一定的服务要求。服务能力太小，不能满足顾客的需要，往往会导致服务质量低劣。但是，服务能力过大，也会造成不必要的浪费。因此，根据顾客的要求，如何合理地设计与控制随机服务系统，使它能最经济、最有效地满足顾客的需要，这就是应用排队论的目的。排队论的理论基础是概率论和数理统计学。

(4) 存储论 (inventory theory) 在经营管理工作，为了保证系统的有效运转，往往需要对原材料、元器件、设备、资金以及其他物质保障条件，保持必要的储备。存储论就是应用数学方法研究在什么时间，以多少数量，从什么供应渠道来补充这些储备，使得在保证生产正常运行的情况下，保持库存和补充采购的总费用最少。

20世纪70年代末我国著名科学家钱学森运用系统思想，从系统观点对分布在不同学科中的科学成就进行概括和统一，揭示了系统普遍规律和深刻性质，奠定了系统学的理论基础。例如，现代科学揭示系统具有自组织性，在涨落作用下，能自发形成稳定的有序结构，系统在一定条件之下，可以从有序变成混沌，也可以从混沌变成有序，还可以从一种有序变为另一种有序而导致状态突变。混沌现象表明，确定性系统可以产生随机行为。所有这些理论都在不同程度上揭示了系统的深刻性质和规律，使得人们对系统有了更加深入的认识。

### 第三节 系统工程方法论

系统工程方法论 (methodology of systems engineering) 就是解决系统工程实践中的问题所应遵循的步骤、程序和方法。它是系统工程思考问题和处理问题的一般方法，把分析对象作为整体系统来考虑，进行分析、设计、制造和使用时的基本思想方法和工作方法。系统工程具有自己独特的方法论，它的方法论体系的基础就是运用系统思想和各种数学方法、科学管理方法、经济学方法、控制论方法以及电子计算机等技术工具来实现系统的模型化和最优化，进行系统分析和系统设计。从事系统工程实践的大都是自然科学工作者和工程技术人员，他们常把处理工程技术问题遵循的步骤、程序和方法移植过来，处理系统工程所要解决的组织管理、规划和决策等类问题，并在实践中收到显著的成效。20世纪60年代，许多学者根据实践经验，总结系统工程方法论，其中美国学者H·霍尔(H. Hall)最先提出了

“三维结构体系”，作为系统工程方法论的基础。

三维结构体系是由时间维、逻辑维和知识维组成的一个立体的、跨学科的体系，如图1-2所示。

霍尔的系统工程方法论的程序与步骤如图1-3所示。

霍尔系统工程方法论强调明确目标，核心内容是最优化，认为现实问题都可归纳为工程一类的问题，应用定量分析的手段，求得最优解。随着实践经验不断丰富和系统工程学科的不断发展和创新。在50~60年代期间，系统工程主要用来寻求各种“战术”问题的最优策略，组织管理大型工程项目等。70年代以来，现代系统工程已用于研究社会经济系统及其发展战略问题，涉及的社会经济因素相当复杂。为适应这种发展，从70年代中期开始，有些学者对霍尔系统工程方法论提出修正和补充。英国兰卡斯特大学的切克兰德对霍尔系统工程方法论提出了系统的修改意见，并提出“软科学”系统工程方法论。他认为完全按照解决工程技术问题的思路来解决社会经济问题或软科学问题，会碰到很多困难，也不完全合适。因而，切克兰德提出了适合于软科学的系统工程方法论，其主要内容如图1-4所示。

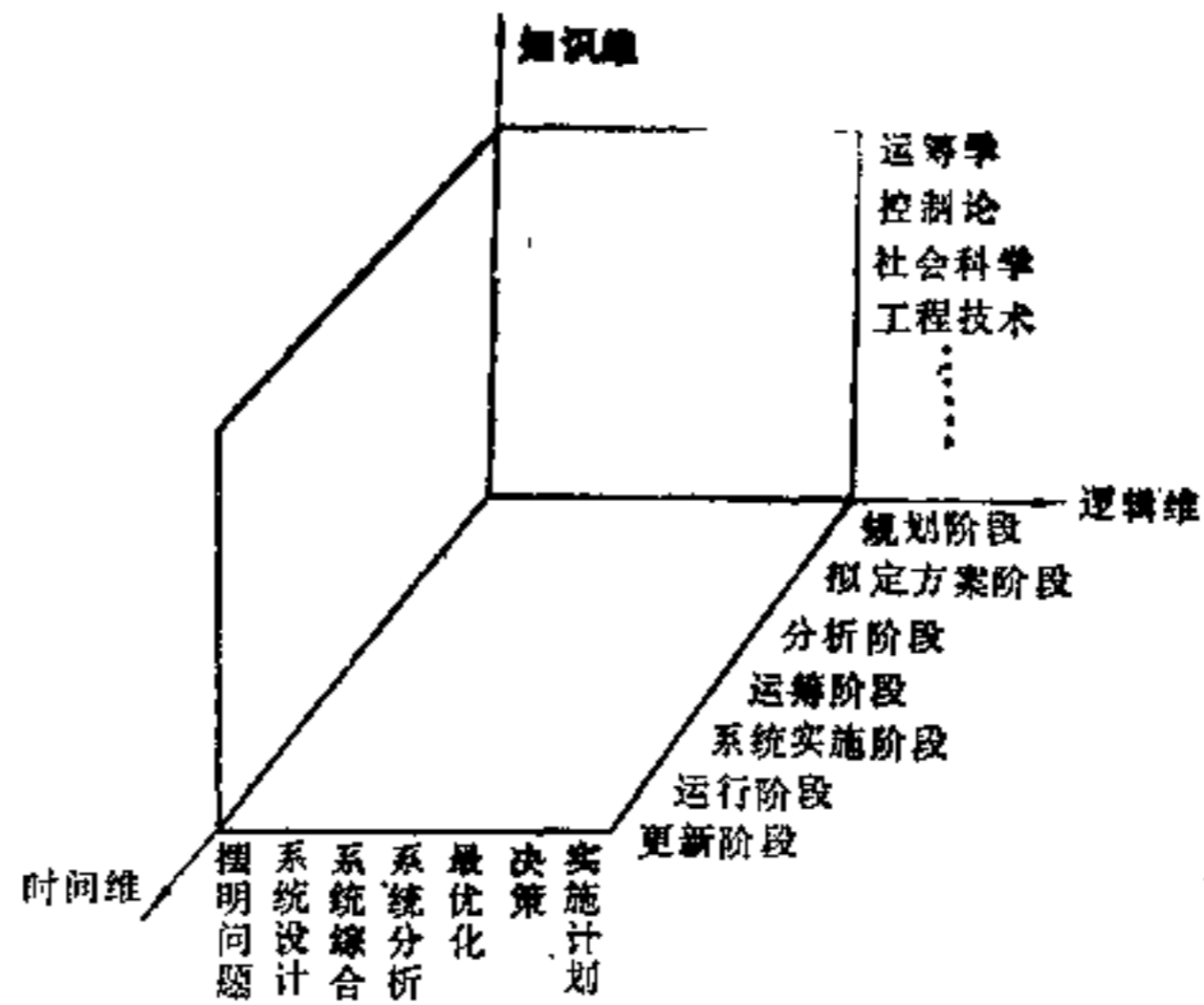


图1-2 三维结构体系图

为适应这种发展，从70年代中期开始，有些学者对霍尔系统工程方法论提出修正和补充。英国兰卡斯特大学的切克兰德对霍尔系统工程方法论提出了系统的修改意见，并提出“软科学”系统工程方法论。他认为完全按照解决工程技术问题的思路来解决社会经济问题或软科学问题，会碰到很多困难，也不完全合适。因而，切克兰德提出了适合于软科学的系统工程方法论，其主要内容如图1-4所示。

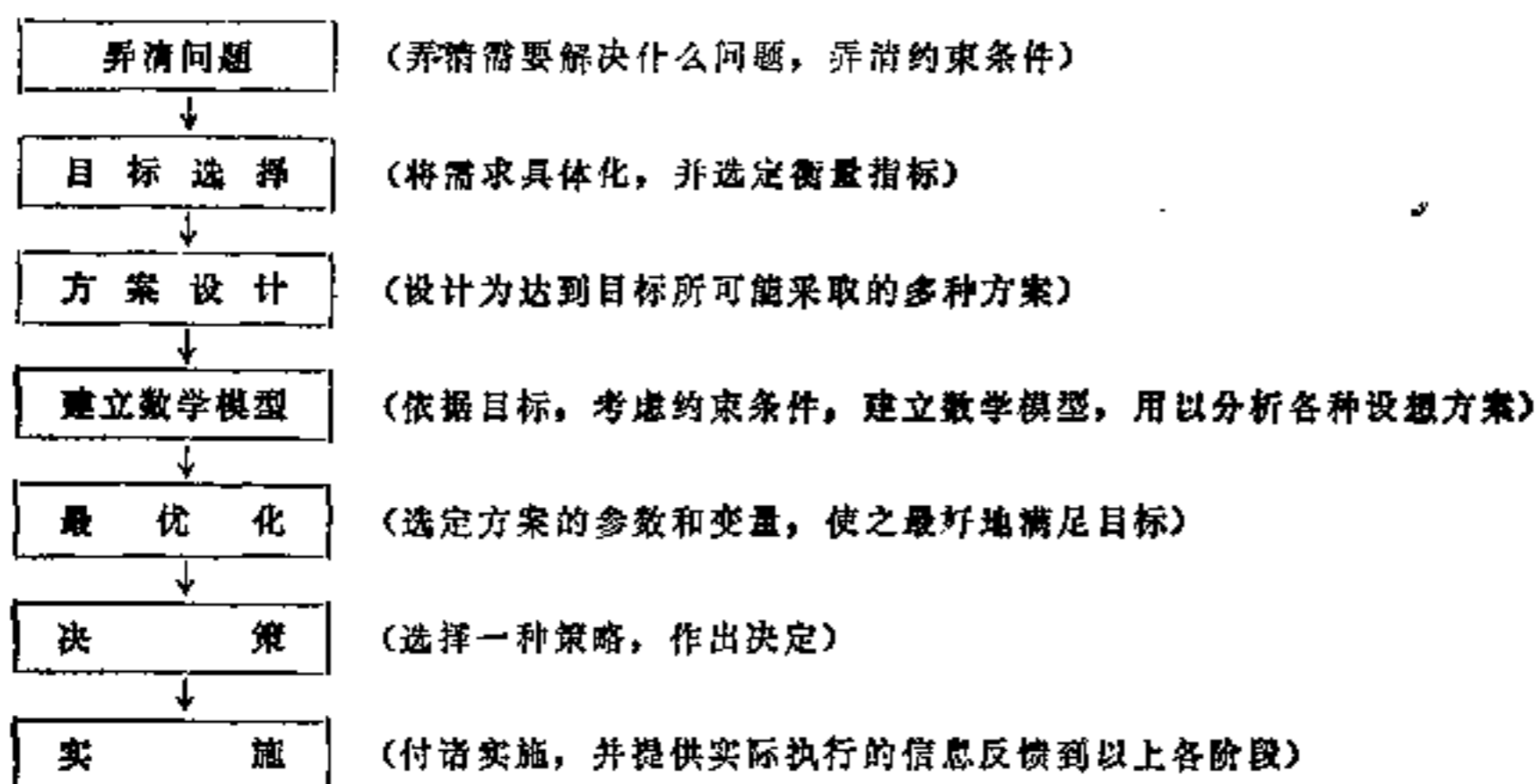


图1-3 霍尔系统工程方法论的程序与步骤

切克兰德系统工程方法论的出发点是，社会经济领域中的问题往往很难象工程技术问题那样事先将“需求”给定清楚，因而也难以按若干个衡量指标设计出符合此“需求”的最优系统。切克兰德系统工程方法论的核心不是“最优化”，而是“比较”或“学习”。从模型和现状的比较中，学习改善现状的途径。“比较”这个环节含有组织讨论，听取各种集体中人们意见的含义，从而不拘泥于描述定量求解的过程。反映了人的因素和社会经济系统的特点。切克兰德方法论是霍尔方法论的扩展。当现实问题确实能够工程化，在弄清其需求时，

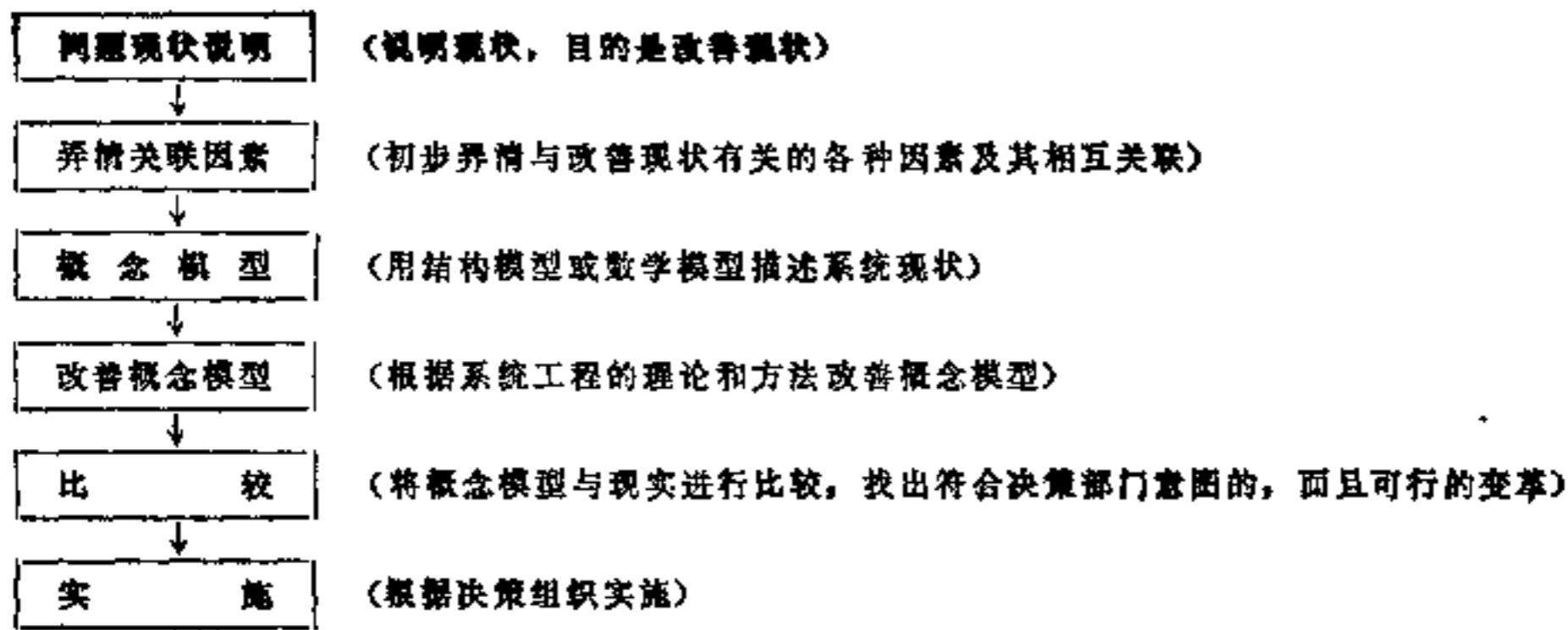


图1-4 软科学系统工程方法论的主要内容

概念模型阶段就相当于霍尔方法论中的建立数学模型阶段, 而改善概念模型阶段就相当于最优化阶段, 实施的不是变革而是设计好的最优系统。

#### 第四节 系统工程发展的过程与展望

社会生产的需要, 是科学技术发展的动力。系统工程作为一门科学技术虽然形成于本世纪50年代的西方, 但系统工程思想和方法的运用则可追溯到古代。中华民族的祖先在大量社会实践活动中, 在改造大自然中, 认识了自然界各种复杂的事物。在了解自然、改造环境的过程中, 出现了许多充分体现系统思想和方法的事例。

##### 1. 朴素的系统思想在我国古代的自发应用

战国时代(公元前250年)秦国太守李冰父子主持修建了驰名中外的四川都江堰水利工程就是一例。工程包括三个主要部分,“鱼嘴”是岷江分洪工程,“飞砂堰”是分洪排沙工程,“宝瓶口”是引水工程,三个部分巧妙结合形成一个工程总体。即使根据今天的试验,工程在排沙、引水、防洪等方面都作了精确的数量分析,使工程兼有防洪、灌溉、漂木、行舟等多种功能。由于在渠道上设置了水尺测量水位,合理控制分水流量,使工程不仅分导了汹涌急流的岷江,而且化害为利,利用分洪工程,有节制地灌溉了十四个县的几百万亩农田。该工程不仅在施工时期有一套管理办法,还建立了持续不断地岁修养护制度,每年按规定淘沙修堤,使工程经久不衰,至今仍能充分发挥它的效益。都江堰水利工程体现了非常完善的整体观念、优化方法和开放的、发展的系统思路,即使从现在的观点看,仍不愧是世界上一项宏伟的系统工程。

我国古代的系统思想还充分反映在军事理论与军事活动中,春秋时代的《孙子兵法》,从道、天、地、将、法五个方面来分析战争的全局,指出,“凡此五者,将莫不闻,知之者胜,不知者不胜”。这里所讲的“道”,就是要内修德政,注重战争是否有理,有道之国,有道之兵,就能得到人民的支持,这是胜利之本。但是战争除此因素外,还有天时、地利的客观条件。而将领的才智、威信状况,士兵是否训练有素,纪律、赏罚是否严明,粮道是否畅通等则是主观条件。《孙子兵法》从系统整体出发,对不同层次的系统及环境进行全面分析的思想,这是我国古代全面、深刻的军事系统思想。

通过整理祖国古代系统思想及应用方法的成就,将有助于逐步建立具有我国特色系统工程学科体系。