高等学校教材

# 系统工程方法论



高志亮　李忠良　编著

XI TONG
GONG CHENG
FANG FA
LUN

西北工业大学出版社

China 需要全本请访问 www.ertongbook.com

□策划编辑/杨　军
□责任编辑/杨　军
□封面设计/苏　湘

ISBN 7-5612-1819-2
9 787561 218198 >

ISBN 7 - 5612 - 1819 - 2 / N • 6

定价：20.00元

China

高等学校教材

# 系统工程方法论

高志亮　李忠良　编著

西北工业大学出版社

China

**【内容简介】** 本书以“系统”为主线，全面而系统地介绍了系统论、系统科学、系统科学方法、一般系统论、大系统和开放的复杂巨系统以及系统的复杂性，引入了东方系统论和研讨厅等国内外近年来有关系统工程方法论中的新观点、新理论、新技术，有利于读者全面、系统地学习系统工程理论和技术。

本书在编写过程中力求内容充实、结构清晰、通俗易懂，可作为高校本科生、研究生系统工程方法论课程的教材，也可供工程技术和科学研究人员及管理工作者参考。

**图书在版编目（CIP）数据**

系统工程方法论/高志亮，李忠良编著. —西安：西北工业大学出版社，2004.8
ISBN 7-5612-1819-2

Ⅰ. 系… Ⅱ. ①高… ②李… Ⅲ. 系统工程-方法论-高等学校-教材 Ⅳ. N945—03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 076130 号

**出版发行**：西北工业大学出版社
**通信地址**：西安市友谊西路 127 号 **邮编**：710072
**电　　话**：(029)88491757　88493844
**网　　址**：www.nwpup.com
**印 刷 者**：陕西丰源印务有限公司
**开　　本**：787 mm × 1 092 mm　1/16
**印　　张**：13.5
**字　　数**：317 千字
**版　　次**：2004 年 8 月第 1 版　　2004 年 8 月第 1 次印刷
**定　　价**：20.00 元

China

# 前　言

有人经常问我给学生开什么课，我回答开设系统工程方法论，他会很快地说：噢，是管理。这倒使我无言以对。

系统工程主要研究人类社会的复杂活动，它包括大规模生产、重大科学技术和社会经济结构等，即以复杂系统为对象，在系统理论、思想、观点指导下，借助现代计算机工具来分析、揭示和预演各种事物的发展演化过程，从而设计出一个或多个能够多、快、好、省地达到预期目标的系统化过程，然后精心组织这种系统化过程的实施和实现，使人们在这些活动过程中尽量避免盲目性和失误，以获得最佳的社会效果和最大的经济效益。而系统工程方法论就不同了，它是将思维方式和技术方法有效地结合，使人变得更加聪明。特别是在重大的科学技术工程领域以及科学创新中具有广泛的应用，发挥了非常重要的作用。

正是由于系统工程方法论的这一基本特征，笔者非常赞同并主张理、工科学生一定要学习系统工程方法论，因为学习了系统工程方法论之后，理、工科学生的科技思想会大大地开阔，当他们面对更加复杂的工程问题时，会以系统的观点去认识它，会在系统科学思想的指导下运用系统工程方法去处理它，从而达到系统最优化，获得最优解。

但目前还没有发现将系统、系统科学、系统科学方法，一般系统论、大系统理论和开放的复杂巨系统融会在一起构成一本适合于理、工科学生使用的教材，让学生在有限的教学课时里，领略和学习到有关系统理论的全部知识，于是，笔者将自己近年来教学中的教案集册成书，供理、工科大学生或研究生使用，使他们能掌握这方而的更多知识、理论和技能。

全书包括绪论共 10 章。绪论对全书重要内容作了高度概括性的介绍；第 2 章是对系统知识、概念、特征的介绍；第 3 章、第 4 章介绍了系统科学与系统科学方法，特别是介绍了研究系统的科学方法；第 5 章对系统工程方法进行了专门的介绍；第 6 章介绍了系统最优化，特别是引人了现代最优化算法的内容；第 7 章之后为新系统论知识的介绍；最后一章对系统复杂性进行了探讨。各章之后都附有思考题供读者思考与复习。

需要说明的是，书中所有的材料都来源于近年来国内、外对系统工程科学颇有研究的科学家和学者们，我的贡献是将他们的思想、观点、原理甚至于精彩的描述用系统的线条串了起来，将其引人到大学的课堂，让更多的青



China 需要全本请访问 www.ertongbook.com

年一代来学习它，运用它、提升它，使系统学理论在科学领域绽放出更加绚丽光彩。

在本书的编写中，借鉴了前人的研究成果，在文后参考文献中均一一列出，在此，笔者对他们表示衷心的感谢，如果未被列出的，那定是作者的遗漏，对此除了表示衷心感谢外并请原谅。

作　者

2004 年 1 月



China

# 目　录


第 1 章　绪论 …… 1

1.1　系统是解开复杂性问题的一把金钥匙 …… 1
1.2　系统科学是寻求复杂多元事物共性的科学 …… 2
1.3　系统工程是解决综合性问题的最有效方法 …… 3
1.4　学习系统工程方法论的意义 …… 5
1.5　非线性复杂问题的求解是对系统工程方法论的挑战 …… 6
思考题 …… 7

第 2 章　系统与系统论 …… 8

2.1　系统的概念形态和特征 …… 8
2.1.1　系统的概念及其含义 …… 8
2.1.2　系统的定义 …… 9
2.1.3　系统的形态 …… 9
2.1.3.1　自然系统与人造系统 …… 11
2.1.3.2　实体系统与概念系统 …… 11
2.1.3.3　动态系统和静态系统 …… 12
2.1.3.4　控制系统与行为系统 …… 12
2.1.3.5　开放系统与封闭系统 …… 12
2.1.4　系统的特性 …… 12
2.1.4.1　整体性 …… 12
2.1.4.2　集合性 …… 13
2.1.4.3　层次性 …… 13
2.1.4.4　相关性 …… 13
2.1.4.5　目的性 …… 13
2.1.4.6　环境适应性 …… 13
2.2　系统理论及原理 …… 14
2.2.1　系统理论的产生与发展 …… 14
2.2.1.1　古代中国的系统思想 …… 14
2.2.1.2　古代国外系统思想 …… 16




China

2.2.2 现代系统理论的形成 …… 17
2.3 一般系统论原理及结构 …… 19
2.3.1 基本概念 …… 19
2.3.2 一般系统结构理论 …… 20
2.3.3 一般系统结构模型 …… 21
2.3.4 一般系统原理与规律 …… 22
2.3.5 自然法则:从简单到复杂 …… 23
2.3.6 系统基本组成部分及其特性 …… 24
2.3.7 系统基本层次及其特性 …… 24
2.3.8 复杂性的根源 …… 25
2.3.9 研究与展望 …… 26
思考题 …… 26

**第3章 系统科学与系统科学思维** …… 27

3.1 系统科学 …… 27
3.1.1 系统科学的产生与兴起 …… 27
3.1.2 系统科学的体系结构 …… 29
3.2 系统科学思维及作用 …… 30
3.2.1 系统科学思维的类型和特点 …… 30
3.2.1.1 反馈控制思维 …… 30
3.2.1.2 功能模拟 …… 32
3.2.1.3 黑箱辨识 …… 33
3.2.1.4 思维的信息加工 …… 34
3.3 系统科学思维方法的基本原则 …… 35
3.3.1 整体性原则 …… 36
3.3.2 相关性原则 …… 36
3.3.3 综合性原则 …… 37
3.3.4 目的性原则 …… 37
3.3.5 层次性原则 …… 38
3.3.6 历时性原则 …… 38
3.4 系统科学思维的作用和意义 …… 39
思考题 …… 41

**第4章 系统科学方法论** …… 42

4.1 系统科学方法的产生及概念 …… 42
4.1.1 系统科学方法产生的历史条件 …… 42
4.1.1.1 科学进步要求运用系统科学方法 …… 42
4.1.1.2 近代科学需要系统科学方法解决自身的矛盾 …… 43
4.1.1.3 现代工程技术需要系统科学方法来设计和管理 …… 44



China

4.1.2 系统科学方法的产生和发展 …… 44
4.1.2.1 一般系统论方法 …… 44
4.1.2.2 信息论方法 …… 45
4.1.2.3 控制论方法 …… 45
4.1.2.4 系统自组织方法 …… 46
4.1.3 系统科学方法的结构 …… 47
4.1.3.1 系统科学的一般方法 …… 47
4.1.3.2 系统科学的特殊方法 …… 47
4.1.3.3 系统工程方法 …… 48
4.2 系统科学的方法 …… 48
4.2.1 结构方法 …… 48
4.2.1.1 形式结构方法 …… 48
4.2.1.2 空间结构方法 …… 50
4.2.1.3 时间结构方法 …… 52
4.2.1.4 空间一时间结构方法 …… 53
4.2.1.5 结构方法的意义 …… 54
4.2.2 功能方法 …… 55
4.2.2.1 功能分析方法 …… 56
4.2.2.2 黑箱分析方法 …… 58
4.2.2.3 功能模拟方法 …… 58
4.2.3 历史方法 …… 60
4.2.3.1 历史方法的对象 …… 60
4.2.3.2 状态空间方法 …… 62
4.2.3.3 非平衡系统方法 …… 65
4.2.3.4 序参量方法 …… 68
4.2.3.5 超循环方法 …… 72
思考题 …… 76

**第5章 系统工程与系统工程方法** …… 77

5.1 系统工程 …… 77
5.1.1 系统工程的基本概念 …… 77
5.1.2 系统工程的含义 …… 79
5.1.3 系统工程的分类 …… 80
5.1.3.1 工程系统工程 …… 80
5.1.3.2 社会系统工程 …… 81
5.1.3.3 军事系统工程 …… 81
5.1.3.4 企业系统工程 …… 82
5.1.4 系统工程的程序和方法论 …… 85
5.1.4.1 系统工程的程序 …… 85



China

5.1.4.2 系统工程方法论 …… 86
5.2 系统工程的基础理论和工具 …… 88
5.2.1 系统工程的基础理论 …… 88
5.2.1.1 运筹学 …… 88
5.2.1.2 控制论 …… 89
5.2.1.3 科学计算 …… 90
5.2.2 系统工程的得力工具——电子计算机 …… 90
5.3 系统工程的研究方法和步骤 …… 91
5.3.1 系统开发阶段 …… 93
5.3.2 系统建造阶段 …… 93
5.3.3 系统运行阶段 …… 93
5.4 系统工程方法 …… 94
5.4.1 系统分析 …… 94
5.4.1.1 系统分析的目标 …… 94
5.4.1.2 系统分析的要素 …… 94
5.4.1.3 系统分析的三维结构 …… 96
5.4.2 网络分析 …… 96
5.4.2.1 网络分析的类型和优点 …… 96
5.4.2.2 网络图 …… 96
5.4.2.3 网络分析的具体内容 …… 97
5.5 系统工程的应用与发展 …… 98
5.5.1 系统工程的应用及范围 …… 98
5.5.2 系统工程的未来设想及展望 …… 99
思考题 …… 101

**第6章 系统优化与现代最优化** …… 102

6.1 系统优化 …… 102
6.1.1 优化与最优的问题 …… 102
6.1.2 最优化算法及分类 …… 103
6.1.3 系统最优化 …… 103
6.2 遗传算法 …… 104
6.2.1 遗传算法的概念 …… 104
6.2.1.1 遗传算法的生物遗传学基础 …… 104
6.2.1.2 遗传算法的一般结构 …… 105
6.2.1.3 遗传算法的特点 …… 106
6.2.1.4 遗传算法的基本操作 …… 107
6.2.2 遗传算法的应用与发展 …… 112
6.2.2.1 改进遗传算法的一般结构 …… 112
6.2.2.2 编码问题 …… 113



China

6.2.2.3 混合遗传算法 …… 113
6.3 模拟退火算法 …… 114
6.3.1 模拟退火算法的基本概念 …… 114
6.3.1.1 物理退火过程 …… 114
6.3.1.2 Metropolis 算法 …… 115
6.3.1.3 模拟退火算法 …… 116
6.3.2 模拟退火算法的关键参数控制 …… 117
6.3.2.1 控制参数初值 $t_0$ …… 117
6.3.2.2 控制参数终值 $t_f$ …… 118
6.3.2.3 Markov 链长 $L_K$ …… 119
6.3.2.4 控制参数的更新函数 $T(t)$ …… 120
6.3.3 模拟退火算法的应用 …… 120
6.3.3.1 模拟退火算法应用的一般要求 …… 120
6.3.3.2 典型组合优化问题的模拟退火算法 …… 122
6.4 人工神经网络算法 …… 125
6.4.1 神经网络的基本概念 …… 125
6.4.1.1 人工神经元模型 …… 126
6.4.1.2 人工神经网络模型 …… 128
6.4.2 神经网络的学习方法 …… 129
6.4.2.1 学习机理 …… 129
6.4.2.2 学习方法 …… 130
6.4.2.3 学习规则 …… 131
6.5 BP 网络算法及应用 …… 134
6.5.1 感知器网络模型及算法 …… 134
6.5.1.1 感知器网络模型 …… 134
6.5.1.2 感知器网络的学习算法 …… 135
6.5.2 BP 网络与误差反向传播算法 …… 135
6.5.2.1 BP 网络 …… 135
6.5.2.2 误差反向传播算法 …… 136
6.5.2.3 BP 网络学习算法的改进及应用 …… 139
6.5.2.4 RBF 网络 …… 140
思考题 …… 141
**第 7 章 大系统与开放的复杂巨系统及其方法论** …… 142
7.1 大系统的基本概念 …… 142
7.1.1 大系统的含义及特点 …… 142
7.1.2 大系统理论方法 …… 142
7.2 开放的复杂巨系统的基本概念 …… 143
7.2.1 开放的复杂巨系统的含义 …… 143



China 需要全本请访问 www.ertongbook.com

7.2.2 开放的复杂巨系统的特点 …… 144
7.3 开放的复杂巨系统理论方法 …… 145
7.4 大系统选优理论及方法 …… 146
7.4.1 大系统选优理论的基本含义 …… 146
7.4.2 分解—协调方法 …… 147
7.4.2.1 系统的分解 …… 147
7.4.2.2 系统的协调 …… 148
7.4.2.3 分解—协调的结构形式 …… 149
7.5 大系统与开放的复杂系统的应用及前展 …… 151
思考题 …… 151

**第8章 研讨厅系统方法论** …… 153

8.1 研讨厅系统 …… 153
8.1.1 研讨厅的概念 …… 153
8.1.2 研讨厅的特点 …… 154
8.1.3 研讨厅的作用 …… 154
8.1.4 研讨厅研究的意义 …… 155
8.2 研讨厅系统的概念 …… 156
8.2.1 研讨厅系统的含义 …… 156
8.2.2 研讨厅系统的综合集成 …… 156
8.2.2.1 网络集成管理 …… 156
8.2.2.2 数据集成管理 …… 157
8.2.2.3 应用集成管理 …… 157
8.2.3 系统结构 …… 157
8.3 研讨厅系统方法论 …… 158
8.3.1 从定性到定量的实现 …… 158
8.3.1.1 用结构化的方法逼近非结构化 …… 158
8.3.1.2 综合运用系统工程方法的规范化研讨流程 …… 159
8.3.1.3 面向问题的模型重构 …… 159
8.3.1.4 反馈式、层次化的流程控制机制 …… 159
8.3.1.5 自动化的专家意见综合治理 …… 159
8.3.2 研讨厅工作流程 …… 159
8.3.2.1 研讨管理及注册 …… 160
8.3.2.2 研讨主题 …… 161
8.3.2.3 研讨状态 …… 161
8.3.2.4 生成研讨流程 …… 161
8.3.2.5 研讨过程 …… 161
8.3.2.6 综合归纳及报告产生 …… 162
8.3.3 研讨模板 …… 162



China

8.4 钱学森与钱学森研讨厅思想 …… 163
8.4.1 钱学森科研简况 …… 163
8.4.2 钱学森的系统思维 …… 164
8.4.2.1 钱学森系统思维产生的条件和形成标志 …… 164
8.4.2.2 钱学森系统思维的特征 …… 166
8.4.2.3 钱学森系统思维的重大意义 …… 167
8.4.3 钱学森研讨厅思想 …… 168
思考题 …… 169

**第 9 章 东方系统论** …… 170

9.1 东方系统论的基本概念 …… 170
9.1.1 东方系统论的含义 …… 170
9.1.2 东方系统论的基本内容 …… 171
9.1.3 研究东方系统论的意义 …… 171
9.2 东方系统方法论 …… 173
9.2.1 东方系统论的基本方法 …… 173
9.2.2 东方系统方法论的主要原则 …… 174
9.2.3 东方系统方法论的过程 …… 174
9.3 东方系统论的应用 …… 175
9.3.1 应用范围 …… 175
9.3.2 应用案例 …… 176
9.3.2.1 水资源管理 …… 176
9.3.2.2 交通运输结合部的物理-事理-人理(WSR)系统管理模式分析 …… 178
思考题 …… 182

**第 10 章 系统复杂性与复杂性科学及演化** …… 183

10.1 复杂性与系统复杂性 …… 183
10.1.1 复杂性的含义 …… 183
10.1.2 复杂性处理原则与方法 …… 184
10.1.3 系统复杂性 …… 185
10.1.4 复杂性科学 …… 186
10.2 系统演化与复杂性系统的演化 …… 187
10.2.1 系统的演化 …… 187
10.2.2 系统演化的分析方法 …… 187
10.2.3 复杂性系统的演化 …… 188
10.2.4 复杂性系统演化的分析方法 …… 189
10.3 复杂系统实例——地球系统演化 …… 190
10.3.1 地球系统与地球系统科学 …… 191



China

10.3.2 地球系统演化与人类面临的重大问题 …… 191
10.3.3 地球系统演化过程 …… 193
10.3.4 复杂地球系统研究方法及前沿 …… 198
10.3.4.1 地球系统研究方法与步骤 …… 198
10.3.4.2 研究领域 …… 199
10.3.4.3 现在应起步的领域前沿 …… 199
10.4 地球系统演化研究对系统复杂性研究的启示 …… 200
思考题 …… 200
参考文献 …… 201
后记 …… 203



China

# 第1章 绪 论

## 1.1 系统是解开复杂性问题的一把金钥匙

在自然界和人类社会中，普遍存在着由若干个环节组成的链状事物，这种环环相扣、动此及彼的链状事物就是我们常说的系统。比如太阳系是由恒星、行星、彗星、卫星等环节组成的链，这是一个在万有引力定律作用下的力学系统。在地球上存在着许多自然系统，如海洋系统、气象系统、矿藏系统、生态系统等，这些自然系统是组成地球这一链状物的环节。在人类社会中存在着生产系统、经济系统、消费系统、科学系统、技术系统、教育系统、通信系统、交通系统、医疗系统、服务系统等，这些系统就是人类社会这个大系统的组成环节。当然，这些系统本身又是由许多个环节组成的，如交通系统就是由线路、汽车、人组成，线路又可由主干道、次干道、快车道、支道组成，而人又由驾驶员、乘务员、管理员、修理人员、乘客、行人等组成，车辆又由公共汽车、电车、出租车、货车、自行车、有轨电车等组成，这些构成了交通系统的内部结构。

由此可见，系统的概念是相对的，不是绝对的。许多小系统可以组成一个较大的系统；许多较大的系统又可组成一个大系统；许多大系统又可组成更大的系统。同时，又可看到，系统的存在具有普遍性，大至宇宙，小到原子，它们都是链状事物，都有其结构和组成环节，都具有一定的层次性，各子系统或元素之间都相互关联、由此及彼、相互作用、相互依存，构成了一个整体。因此，我们说系统概念是人们打开世界奥秘的一把金钥匙。

认识系统的链与环的关系还有更深的现实意义。在工作、学习和生活中，我们经常会碰到的成功与失败，其促成条件应从链与环之间关系的系统观点来看。这有两个方面的因素：一是是否认识到所要处理的这些事物的全部组成环节，如果忽视或没能看到其中的一个环节就会碰钉子；二是是否认识到这些环节相连接部分的形式和特点，这在不同系统中是具有差别的，认识不到这些，也照样会碰钉子、遭失败。比如烧柴-森林-土地沙漠化的关系、招生-培养-就业的关系、除麻雀-虫害-水草的关系等，都是分析这种成功-失败链环中的实际例子。因此，从系统观点看，要想把事情办得好一些，多一点成功，少一点失败，就必须培养人的系统意识。

所谓系统意识，就是在思考、研究、探索和处理某一事物时，要有意识地把它看成一个系统，即它不是一个简单孤立的存在，而是一个完整系统的存在；明确链-环关系，并从系统内相关角度去分析它、认识它。这样一种思考问题的方法如能形成，对做好各项工作，无疑将收效甚大，起到事半功倍的效果。这一点无论在科研、技术、经济、管理领域，还是在处理国家事务、国际关系等方面都得到了很好的验证。我国航天人自己设计、开发、研制的“自创型”航天器——“神舟五号”飞船——顺利升空并返回，其共有七大系统：宇航员系统、发射场系统、飞船



China

应用系统、载人飞船系统、测控通信系统、运载火箭系统和着陆系统。这七大系统组成了载人航天飞船的成功发射，成功运行，成功着陆，而且每一个子系统中又包含着相当多的子系统，如着陆系统又包括主着陆场和备着陆场、陆上应急援救、海上应急援救、通信测量、宇航员医保等系统。这是航天总指挥人员系统意识的必然，也是系统意识成功的典范。我们还可以再举一个小例子：我们每一个人都要吃饭，做饭的粮食要到粮店去购买。为什么到粮店能买到粮食呢？其原因是在这个城市内存在着一个庞大的粮食供应系统。这个系统包括种粮、购粮、存粮、粮食加工、粮食分配、粮食运输、粮食管理等环节，而粮店只是其中的一个环节。能买到粮食，说明所有这些环节都能正常运行。如果这些环节中任何一个环节出了问题或没有能有机地配合运行，那么，从粮店是买不到粮食的，这就是购粮问题上的系统意识。一个城市的粮食管理干部，如果没有系统意识，那么，这个城市的粮食供应是不会搞好的。如果他们的系统意识不强，也是搞不好的，如其他环节都完好，但就是没有应急系统，假如一个城市发生了重大灾害，如运输应急系统，当发生大水，陆路出现问题怎么办？所以系统意识不强也是办不好事的。推而广之，可以将其放到一切领域或每一个事情上，这就是学习系统的关键所在。

## 1.2 系统科学是寻求复杂多元事物共性的科学

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。的确，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，从而推动了系统科学的发展，并产生了系统等交叉学科——系统科学，系统科学的产生是科学发展的必然。

我们知道，科学也同世间一切事物一样，是矛盾的对立统一体。矛盾的产生和解决，就使得科学进入了新的发展阶段。科学的发展概括起来可分为三个阶段：古代综合发展阶段；近代分析发展阶段；现代综合发展阶段。系统科学就是科学发展到现代综合发展阶段的产物。古代综合发展阶段是指近代自然科学形成的前期阶段，这个阶段的自然科学往往把科学、哲学、宗教和迷信混杂在一起。但是，宇宙的统一观，使人们试图把五光十色的世界看成一个整体，寻求其共性和统一。尽管在这种看法中，存在着许多荒诞不经的东西，但是这种对待世界上多元现象的综合看法，不但没有阻碍相反却促进了思维和认识的深入，促进了科学的发展，产生了许多综合型的科学巨人，如亚里斯多德、赫拉克利特等，这是第一个综合发展阶段。随着科学的发展，资料的积累越加丰富和广泛，专门化的倾向越来越明显，那种综合的观点逐渐被丢掉了，取而代之的是分析发展阶段。这是现代科学发展的奠基阶段，它使科学向纵深前进了一大步，人类的大量科学成果主要是这个阶段的产物。由于分析发展的结果，科学家的视野越来越窄，问题越搞越专。科学家之间也越来越不了解，致使缺乏交流的共同语言，使得某些具有共性的科学成果无法得到交流和推广，相同或类似的原理被多次重复研究，造成科学研究中人为的割裂，很容易造成对事物的片面性认识，这就是形而上学思维产生的根源，它阻碍了科学的进一步发展。因此，现代科学的发展，比过去任何时候都更加要求在各种科学门类之间，进



China

行更多的相互联系和相互渗透，这就使科学进入了综合发展阶段。系统科学就是科学高度综合发展阶段的产物，这种才能、知识和科学的综合形成了一种趋势，这种趋势的表现之一，就是在许多学科的交界处出现新的学科(边缘科学)。因此，从上世纪 20 年代初，就出现了一种在复杂的多元现象中寻求统一理论的新尝试，比如在自然科学中的振动理论。众所周知，声波和水波是振动，电磁波和固体波也是振动，这是不同物质的振动。在寻求不同质的振动中，人们综合出一切振动的共性，比如波长、振幅、频率、相位等，从而产生了这一新理论，系统科学就是这种寻求事物共性的一门科学。贝塔兰菲(L. V. Bertalanffy)的一般系统论就是在这样的条件下孕育形成的。早在 1924—1928 年间，他就多次发表文章表述了系统科学的思想，其主要目的是力图确立适用于系统的一般原则。贝塔兰菲的一般系统论的几个基本观点是：①系统观点。他认为一切有机体都是一种自然整体——系统，要解释复杂现象不仅要分析它们的组成部分，而且要估计到这些组成部分之间联系的总和。②动态观点。他认为一切生命现象本身都处于积极的活动状态，活的东西的基本特征是组织。他提出了开放性系统理论，认为任何活的系统都是与环境发生物质、能量交换的系统。③等级观点。他认为各种有机体都按严格的等级组织起来，生物系统是分层次的，从活的分子到多细胞个体，再到超个体的聚合体，层次分明，等级森严。贝塔兰菲的一般系统论的出现，为近代科学走出象牙之塔的怪圈起了极大的催化作用，也使系统科学在寻求事物共性、解决一些无法解决的问题中，发挥了重大作用。

## 1.3 系统工程是解决综合性问题的最有效方法

在中国，20 世纪 50 年代初有一句最为响亮的口号，叫“多、快、好、省地建设社会主义”。其实当初人们在提出这一口号时也并非能对这一口号赋予多大的科学含义。因为当初人们在高昂的社主义建设热情激励下，希望建设的项目更多，建设的速度更快，同时还要节约资金，省力省时，更为重要的是还要好，这正体现了人们朴素的系统工程思想。其实朴素的系统思想与系统工程概念在我们中国古代就有。春秋末期，伟大的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，就出现了我们的先祖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。不仅如此，我国古代先哲不但具有系统思想，还有系统工程的实践。

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(图 1-1)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。工程在排沙、引水、防洪等方面都作了精确的数量分析，所以工程兼有防洪、灌溉、漂木、行舟等多种功能。由于在渠道中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，有节制地灌溉了十四个县的几百万亩农田。该工程不仅在施工期间有一套科学的管理办法，而且在工程竣工后还建立了持续不断的岁修养护制度，每年按规定淘沙修堤，使这一水利工程始终处于良好的运行状态，至今仍在充分发挥着它的效益。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



China 需要全本请访问 www.ertongbook.com