

21世纪



经济学类管理学类专业主干课程系列教材

# 系统工程

XITONG GONGCHENG

刘 军 张方风 朱 杰 主编



清华大学出版社  
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社  
<http://press.bjtu.edu.cn>

21 世纪经济学类管理学类专业主干课程系列教材  
北京高校物流技术工程研究中心项目资助

# 系 统 工 程

刘 军 张方风 朱 杰 主编

清华大学出版社  
北京交通大学出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书介绍了系统工程的基本理论和方法,以建立系统思想为主旨,将基本概念、基本理论和基本方法的阐述作为重点,归纳整理和引用了国内外学者许多最新研究成果,并对系统思想在信息系统工程和物流系统工程中的应用作了简要叙述。通过阅读本书,可以帮助读者掌握系统工程的基本概念、基本方法和技术,逐步具有应用系统工程思想解决实际问题的能力。

本书适合管理类、经济类、信息类各专业高年级本科生和硕士研究生作为教材使用,同时也可供教学人员、管理人员和工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

## 图书在版编目(CIP)数据

系统工程 / 刘军, 张方风, 朱杰主编. — 北京: 清华大学出版社; 北京交通大学出版社, 2011. 3

(21 世纪经济学类管理学类专业主干课程系列教材)

ISBN 978-7-5121-0524-9

I. ① 系… II. ① 刘… ② 张… ③ 朱… III. ① 系统工程-高等学校-教材  
IV. ① N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 031069 号

责任编辑: 解 坤

出版发行: 清华大学出版社 邮编: 100084 电话: 010-62776969

北京交通大学出版社 邮编: 100044 电话: 010-51686414

印刷者: 北京市德美印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×230 印张: 15.75 字数: 353 千字

版 次: 2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-0524-9/N·6

印 数: 1~4 000 册 定价: 26.00 元

---

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。  
投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

# 前 言

随着社会经济的快速发展,在工农业生产、社会经济活动、科学研究等领域出现的系统性、复杂性问题日益普遍。面对复杂的现实环境,更新思维习惯,从新的视角思考问题、研究问题,用新的方法解决问题,显得尤为重要。系统工程是20世纪中期产生并迅速发展起来的综合应用方法与技术,它是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、实验和使用的科学方法,强调实践中使用系统思想作指导,以系统整体最优为目标,运用系统论的方法研究和解决实际问题。系统工程的思想、理论、方法与技术已经广泛应用于军事、社会、经济等各个领域,并逐步成为人们认识世界、改造主客观世界的有力武器。

系统工程是理工类、管理类、经济类、信息类等各专业大学生、研究生的一门重要的基础性课程。通过该课程的学习,学习者能够逐步树立系统的思想,掌握系统工程方法论及系统分析方法,增强分析、研究和解决复杂现实问题的能力。

本书从系统和系统工程概念开始,按照系统工程方法论的逻辑思维过程,介绍了系统工程的基本理论和方法,以建立系统思想为主旨,将基本概念、基本理论和基本方法的阐述作为重点,并对系统工程思想和方法在信息系统工程和物流系统工程中的应用作了简要叙述。主要包括:系统模型和仿真、系统分析、系统评价与系统预测及复杂系统理论等。本书强调理论体系的完整,注意系统思想的学习,避开了繁杂的数学推导,力求使内容适合更多专业大学生和研究生作为教材或参考书使用。为了拓展学习者的视野,满足研究性学习的需求,附录列出了国内外系统工程研究机构的名称、研究方向、主要成果及网址。

本书由刘军、张方风、朱杰主编,刘军、朱杰负责全书的框架设计及内容的校审,张方风负责资料的归纳整理和内容编撰。研究生陈伊菲参编了第2、3、4、5章,卫小蕊参编了第6、7章,王璐超参编了第9、10章。在成书过程中,参考和引用了大量国内外学者的研究成果,资料来源列于书末参考文献。在此对这些作者表示敬意和感谢!

本书出版得到北京高校物流技术工程研究中心项目资助。由于作者水平有限,书中难免出现错漏,敬请读者和专家学者批评指正。

编 者  
2010年12月

# 目 录

|                         |      |
|-------------------------|------|
| 第1章 系统与系统工程 .....       | (1)  |
| 1.1 系统的概念 .....         | (1)  |
| 1.1.1 系统的定义 .....       | (1)  |
| 1.1.2 系统的属性 .....       | (2)  |
| 1.2 系统的分类 .....         | (4)  |
| 1.3 系统的结构与功能 .....      | (6)  |
| 1.3.1 系统的结构 .....       | (6)  |
| 1.3.2 系统的功能 .....       | (7)  |
| 1.4 系统工程的概念 .....       | (8)  |
| 1.4.1 系统工程产生的背景 .....   | (8)  |
| 1.4.2 系统工程的定义 .....     | (9)  |
| 1.5 系统工程的研究对象 .....     | (10) |
| 1.6 系统工程的理论体系 .....     | (12) |
| 1.7 系统工程的应用与展望 .....    | (14) |
| 1.7.1 系统工程的应用领域 .....   | (14) |
| 1.7.2 系统工程的发展趋势 .....   | (16) |
| 思考题 .....               | (17) |
| 第2章 系统工程基本理论 .....      | (18) |
| 2.1 概述 .....            | (18) |
| 2.2 系统论基础 .....         | (19) |
| 2.2.1 系统的观点 .....       | (20) |
| 2.2.2 系统的环境、行为和功能 ..... | (21) |
| 2.2.3 系统的演化 .....       | (22) |
| 2.2.4 系统论的方法 .....      | (24) |
| 2.3 控制论基础 .....         | (26) |
| 2.3.1 控制论的发展 .....      | (26) |

|       |                 |      |
|-------|-----------------|------|
| 2.3.2 | 控制论的基本概念 .....  | (27) |
| 2.3.3 | 控制系统及其分类 .....  | (29) |
| 2.3.4 | 控制系统的主要方法 ..... | (31) |
| 2.3.5 | 基本控制规律 .....    | (32) |
| 2.3.6 | 控制论的应用 .....    | (34) |
| 2.4   | 信息论基础 .....     | (35) |
| 2.4.1 | 信息论的发展 .....    | (35) |
| 2.4.2 | 信息论的基本概念 .....  | (36) |
| 2.4.3 | 信息方法与技术 .....   | (40) |
| 2.4.4 | 信息论的应用 .....    | (41) |
| 2.5   | 运筹学基础 .....     | (43) |
| 2.5.1 | 运筹学的发展 .....    | (43) |
| 2.5.2 | 运筹学的基本概念 .....  | (44) |
| 2.5.3 | 运筹学的主要内容 .....  | (44) |
|       | 思考题 .....       | (50) |

|            |                       |             |
|------------|-----------------------|-------------|
| <b>第3章</b> | <b>系统工程方法论 .....</b>  | <b>(51)</b> |
| 3.1        | 概述 .....              | (51)        |
| 3.2        | 霍尔方法论 .....           | (53)        |
| 3.2.1      | 时间维(粗结构) .....        | (53)        |
| 3.2.2      | 逻辑维(细结构) .....        | (54)        |
| 3.2.3      | 专业维(知识维) .....        | (55)        |
| 3.3        | 软系统方法论 .....          | (56)        |
| 3.3.1      | 软系统方法论的提出 .....       | (57)        |
| 3.3.2      | 硬系统方法论的局限性 .....      | (57)        |
| 3.3.3      | 软系统方法论的应用 .....       | (58)        |
| 3.4        | 综合集成方法论 .....         | (60)        |
| 3.4.1      | 综合集成方法论的提出 .....      | (60)        |
| 3.4.2      | 综合集成方法的主要观点 .....     | (61)        |
| 3.4.3      | 综合集成法的特点 .....        | (62)        |
| 3.4.4      | 综合集成研讨厅体系 .....       | (63)        |
| 3.5        | 物理—事理—人理方法论 .....     | (64)        |
| 3.5.1      | 物理—事理—人理方法论的提出 .....  | (64)        |
| 3.5.2      | 物理—事理—人理方法的主要步骤 ..... | (65)        |
| 3.5.3      | 物理—事理—人理方法论的特点 .....  | (66)        |

|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| 3.5.4 物理—事理—人理方法论的应用原则 ..... | (67)        |
| 思考题 .....                    | (67)        |
| <b>第4章 系统模型与仿真 .....</b>     | <b>(69)</b> |
| 4.1 概述 .....                 | (69)        |
| 4.1.1 系统模型概述 .....           | (69)        |
| 4.1.2 系统仿真概述 .....           | (70)        |
| 4.2 系统模型的概念 .....            | (71)        |
| 4.2.1 系统模型的作用 .....          | (71)        |
| 4.2.2 系统模型的分类方法 .....        | (72)        |
| 4.2.3 模型库与模型体系 .....         | (74)        |
| 4.3 系统模型的构建 .....            | (74)        |
| 4.3.1 系统建模的原则 .....          | (74)        |
| 4.3.2 系统建模的方法及步骤 .....       | (75)        |
| 4.3.3 常用的系统模型 .....          | (77)        |
| 4.4 系统仿真的概念 .....            | (79)        |
| 4.4.1 系统仿真的特点 .....          | (79)        |
| 4.4.2 系统仿真的发展历史和趋势 .....     | (79)        |
| 4.4.3 系统仿真的步骤 .....          | (81)        |
| 4.5 系统仿真技术 .....             | (83)        |
| 4.5.1 计算机仿真技术 .....          | (83)        |
| 4.5.2 连续系统和离散事件仿真 .....      | (84)        |
| 4.5.3 分布式交互仿真 .....          | (85)        |
| 4.5.4 虚拟现实技术 .....           | (87)        |
| 思考题 .....                    | (90)        |
| <b>第5章 系统分析 .....</b>        | <b>(91)</b> |
| 5.1 概述 .....                 | (91)        |
| 5.1.1 系统分析的定义 .....          | (91)        |
| 5.1.2 系统分析的意义 .....          | (92)        |
| 5.1.3 系统分析的原则 .....          | (93)        |
| 5.1.4 系统分析的内容 .....          | (94)        |
| 5.1.5 系统分析的步骤 .....          | (97)        |
| 5.1.6 系统分析的方法 .....          | (99)        |
| 5.2 系统目标分析 .....             | (101)       |

|       |                        |       |
|-------|------------------------|-------|
| 5.2.1 | 目的、目标及其属性 .....        | (101) |
| 5.2.2 | 系统目标分析的意义 .....        | (102) |
| 5.2.3 | 系统目标的分类 .....          | (103) |
| 5.2.4 | 系统目标的建立 .....          | (104) |
| 5.2.5 | 目标冲突与协调 .....          | (105) |
| 5.3   | 系统环境分析 .....           | (107) |
| 5.3.1 | 系统环境的概念 .....          | (107) |
| 5.3.2 | 系统环境分析的意义 .....        | (107) |
| 5.3.3 | 环境因素的分类 .....          | (107) |
| 5.3.4 | 环境因素的确定与评价 .....       | (110) |
| 5.4   | 系统结构分析 .....           | (111) |
| 5.4.1 | 系统结构的概念 .....          | (111) |
| 5.4.2 | 系统要素集的分析 .....         | (112) |
| 5.4.3 | 系统相关性分析 .....          | (112) |
| 5.4.4 | 系统阶层性分析 .....          | (113) |
| 5.4.5 | 系统整体性分析 .....          | (114) |
| 5.5   | 系统可行性分析 .....          | (114) |
| 5.5.1 | 可行性分析的基本概念 .....       | (114) |
| 5.5.2 | 可行性分析的意义 .....         | (115) |
| 5.5.3 | 可行性分析在项目开发周期中的地位 ..... | (115) |
| 5.5.4 | 可行性分析的基本内容 .....       | (117) |
| 5.6   | 系统可靠性分析 .....          | (118) |
| 5.6.1 | 系统可靠性的含义 .....         | (119) |
| 5.6.2 | 系统可靠性指标 .....          | (119) |
| 5.6.3 | 可靠性指标体系 .....          | (120) |
|       | 思考题 .....              | (122) |

|       |                         |       |
|-------|-------------------------|-------|
| 第6章   | 系统评价 .....              | (123) |
| 6.1   | 概述 .....                | (123) |
| 6.1.1 | 系统评价的基本概念 .....         | (123) |
| 6.1.2 | 系统评价的复杂性 .....          | (124) |
| 6.1.3 | 系统评价、系统分析及系统决策的关系 ..... | (125) |
| 6.1.4 | 系统评价的思想与原则 .....        | (125) |
| 6.1.5 | 系统评价的内容 .....           | (127) |
| 6.1.6 | 系统评价的步骤 .....           | (128) |

|       |                    |       |
|-------|--------------------|-------|
| 6.1.7 | 系统评价指标体系 .....     | (129) |
| 6.2   | 系统评价的理论和方法 .....   | (130) |
| 6.2.1 | 评价理论 .....         | (131) |
| 6.2.2 | 评价方法 .....         | (132) |
| 6.3   | 费用—效益分析 .....      | (134) |
| 6.3.1 | 费用—效益分析的基本概念 ..... | (134) |
| 6.3.2 | 费用—效益分析的基本原理 ..... | (135) |
| 6.3.3 | 费用—效益分析法的特点 .....  | (136) |
| 6.3.4 | 费用和效益的关系 .....     | (136) |
| 6.3.5 | 费用和效益的估算方法 .....   | (137) |
| 6.3.6 | 费用—效益分析的评价基准 ..... | (138) |
| 6.4   | 层次分析法 .....        | (139) |
| 6.4.1 | 层次分析法原理 .....      | (139) |
| 6.4.2 | 层次结构模型 .....       | (139) |
| 6.4.3 | 判断矩阵 .....         | (140) |
| 6.4.4 | 层次单排序 .....        | (140) |
| 6.4.5 | 一致性检验 .....        | (141) |
| 6.4.6 | 层次总排序 .....        | (142) |
| 6.5   | 模糊评价法 .....        | (142) |
| 6.5.1 | 模糊的概念及度量 .....     | (143) |
| 6.5.2 | 模糊综合评价 .....       | (143) |
|       | 思考题 .....          | (144) |

|            |                   |              |
|------------|-------------------|--------------|
| <b>第7章</b> | <b>系统预测 .....</b> | <b>(145)</b> |
| 7.1        | 概述 .....          | (145)        |
| 7.1.1      | 系统预测的概念 .....     | (146)        |
| 7.1.2      | 系统预测的步骤 .....     | (146)        |
| 7.2        | 定性预测 .....        | (148)        |
| 7.2.1      | 定性预测概述 .....      | (148)        |
| 7.2.2      | 德尔菲法 .....        | (148)        |
| 7.2.3      | 主观概率法 .....       | (150)        |
| 7.2.4      | 交叉概率法 .....       | (150)        |
| 7.3        | 定量预测 .....        | (151)        |
| 7.4        | 时间序列分析预测 .....    | (152)        |
| 7.4.1      | 时间序列的概念 .....     | (152)        |

|            |                     |              |
|------------|---------------------|--------------|
| 7.4.2      | 时间序列预测的概念 .....     | (152)        |
| 7.4.3      | 时间序列的分解 .....       | (152)        |
| 7.4.4      | 随机时间序列预测 .....      | (153)        |
| 7.4.5      | 确定性时间序列预测 .....     | (153)        |
| 7.5        | 灰色预测 .....          | (156)        |
| 7.5.1      | 灰色预测概述 .....        | (156)        |
| 7.5.2      | GM 模型的机理 .....      | (157)        |
| 7.5.3      | GM(1,1)模型的建立 .....  | (158)        |
| 7.5.4      | 数列预测 .....          | (159)        |
| 7.5.5      | 灾变预测 .....          | (159)        |
|            | 思考题 .....           | (159)        |
| <b>第8章</b> | <b>复杂系统理论 .....</b> | <b>(161)</b> |
| 8.1        | 系统复杂性概述 .....       | (161)        |
| 8.1.1      | 复杂性的含义 .....        | (161)        |
| 8.1.2      | 复杂性的特征 .....        | (162)        |
| 8.1.3      | 复杂性研究方法 .....       | (162)        |
| 8.2        | 自组织理论 .....         | (163)        |
| 8.2.1      | 自组织现象 .....         | (164)        |
| 8.2.2      | 耗散结构理论 .....        | (164)        |
| 8.3        | 协同学 .....           | (167)        |
| 8.3.1      | 协同学的主要观点 .....      | (167)        |
| 8.3.2      | 序参量的概念 .....        | (168)        |
| 8.3.3      | 支配原理 .....          | (168)        |
| 8.4        | 复杂性研究 .....         | (169)        |
| 8.4.1      | 简单系统和巨系统 .....      | (169)        |
| 8.4.2      | CAS 理论 .....        | (170)        |
| 8.5        | 复杂网络理论 .....        | (172)        |
| 8.5.1      | 复杂网络概念 .....        | (172)        |
| 8.5.2      | 复杂网络模型 .....        | (173)        |
|            | 思考题 .....           | (175)        |
| <b>第9章</b> | <b>信息系统工程 .....</b> | <b>(176)</b> |
| 9.1        | 信息系统概述 .....        | (176)        |
| 9.1.1      | 信息 .....            | (176)        |

|       |             |       |
|-------|-------------|-------|
| 9.1.2 | 信息系统        | (177) |
| 9.1.3 | 信息系统工程      | (178) |
| 9.2   | 信息系统开发方法论   | (179) |
| 9.2.1 | 概述          | (179) |
| 9.2.2 | 生命周期法       | (180) |
| 9.2.3 | 原型法         | (181) |
| 9.2.4 | 结构化方法       | (182) |
| 9.2.5 | 面向对象方法      | (183) |
| 9.2.6 | 构件法         | (183) |
| 9.2.7 | 敏捷开发方法      | (185) |
| 9.3   | 信息系统规划      | (186) |
| 9.3.1 | 概述          | (186) |
| 9.3.2 | 信息系统规划内容    | (187) |
| 9.3.3 | 信息系统规划模型与方法 | (187) |
| 9.4   | 信息系统建模      | (190) |
| 9.4.1 | 概述          | (190) |
| 9.4.2 | 信息系统建模过程    | (191) |
| 9.4.3 | 信息系统建模方法    | (193) |
| 9.4.4 | 面向需求分析的建模   | (193) |
| 9.4.5 | 面向对象的建模     | (194) |
| 9.4.6 | 统一建模语言 UML  | (195) |
|       | 思考题         | (197) |

|               |               |              |
|---------------|---------------|--------------|
| <b>第 10 章</b> | <b>物流系统工程</b> | <b>(198)</b> |
| 10.1          | 物流与物流系统       | (198)        |
| 10.1.1        | 物流            | (198)        |
| 10.1.2        | 物流系统          | (199)        |
| 10.1.3        | 物流系统的组成要素     | (199)        |
| 10.1.4        | 物流系统的分类       | (201)        |
| 10.2          | 物流系统工程        | (203)        |
| 10.3          | 物流系统工程常用技术    | (205)        |
| 10.4          | 物流系统工程的内容     | (207)        |
| 10.4.1        | 仓储作业管理        | (207)        |
| 10.4.2        | 库存管理          | (209)        |
| 10.4.3        | 运输与配送         | (212)        |

|        |                 |       |
|--------|-----------------|-------|
| 10.4.4 | 供应链协调 .....     | (214) |
| 10.4.5 | 物流信息化与物联网 ..... | (215) |
| 10.4.6 | 物流系统规划 .....    | (217) |
| 思考题    | .....           | (219) |
| 附录 A   | 系统工程研究机构 .....  | (220) |
| 附录 B   | 系统工程术语表 .....   | (228) |
| 参考文献   | .....           | (235) |

# 第 1 章

## 系统与系统工程

20 世纪, 由于生产力的巨大发展, 出现了许多大型复杂的工程技术和社会经济问题, 它们都以系统的面貌出现, 都要求从整体上加以优化解决。由于这种社会需要的巨大推动, 第二次世界大战后, 出现了一个“学科群”, 随着科学形态的系统思想的涌现, 横跨自然科学、社会科学和工程技术, 从系统的结构和功能角度研究客观世界的系统科学便应运而生了。而其中面向解决实际问题的系统工程理论与方法也占据了重要的科学领地。经过各个领域的专家学者几十年的不断探索、发展和完善, 系统工程已经成为研究、分析和处理复杂系统问题的最有效的理论、方法和工具。

### 1.1 系统的概念

系统是系统工程研究的对象。早在古希腊时期, 一些哲学家就已经使用了这一概念, synhistanai 一词本义是指事物中共性部分和每一事物应占据的位置, 也就是部分组成的整体的意思。系统的拉丁语 systema 是表示群、集合等意义的抽象名词, 其英文 system 在中文里则对应了多种解释, 如体系、制度、机构等。很多对象可以被看做是系统, 它是事物存在的认识方式之一。例如, 在研究物流系统时, 仓储系统、配送网络、供应链网络可以看做是系统; 在研究信息系统时, 人、计算机硬件设备、计算机软件、计算机网络等可以看做是系统; 在研究社会问题时, 企业、家庭、工厂、学校等也都可以作为系统来看待。

#### 1.1.1 系统的定义

系统的定义依照学科的不同、待解决问题的不同及使用方法的不同而有所区别, 国外关于系统的定义有很多种。

① 美国的《韦氏 (Webster) 大辞典》中, “系统” 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结合; 由有规则的相互作用、相互依赖的形式组成的诸要素集合”。

② 日本的日本工业标准 (JIS) 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”。

③ 前苏联大百科全书中,“系统”指“一些在相互关联与联系之下的要素组成的集合,形成了一定的整体性、统一性”。

中国的《中国大百科全书·自动控制与系统工程》中,“系统”是指“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”。

仅就系统自身的规定性看,按照现代系统研究开创者贝塔朗菲的定义,系统 (system) 是“相互作用的多元素的复合体”。精确地讲,如果一个对象集合中至少有两个可以区分的对象,所有对象按照可以辨认的特有方式相互联系在一起,就称该集合为一个系统。

钱学森院士在回顾我国研制“两弹一星”的工作经历时说:“我们把极其复杂的研制对象称为‘系统’,即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,而且这个‘系统’本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。”

撇开系统的具体形态和性质,我们可以发现,一切系统均具有以下的特点。

① 首先,系统由多个要素(或元素)构成,构成系统的要素可以是单个事物,也可以是一群事物的集合体。

② 系统的内部与外部要有一定的秩序。也就是说,它的各要素之间、要素与整体之间以及整体与环境之间都存在着一定的有机联系。

③ 系统的整体要具有不同于各个组成要素的结构和功能。如果只是一些元素的简单堆积或重叠,我们则认为它们不构成系统。

从以上要点出发,我们定义:系统是由一些元素(要素)通过相互作用、相互关联、相互制约而组成的,具有一定功能的整体。

### 1.1.2 系统的属性

在理解系统定义时,要注意系统的以下几个方面的属性。

#### 1. 整体性

系统是作为一个整体出现的,具有独立功能的系统要素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,协调存在于系统之中。即,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都不能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间的活动,这种活动的总和形成系统整体的有机行为。在一个系统整体中,即使并不是每个要素都很完善,但它们可以协调、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,也不能称为完善的系统。

## 2. 集合性

集合性表明系统是由许多（至少两个）可以相互区别的要素组成。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运算器、存储器、输入输出设备等硬件所组成，同时还包含操作系统、编程软件、数据库等软件，从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，可以分解为一系列的子系统，有些子系统仍可以继续划分为更小的子系统，而系统本身可能是某个更大系统的子系统。所以，系统具有层次性，这是系统结构的重要特征。通常，判断一个系统的复杂程度不是依据它所包含的组分数目，而是由它所具有的层次多少而决定的。一个系统包含的层次越多，这个系统就越复杂。

系统的各层次之间存在着紧密的联系，在系统层次结构中表征了在不同层次子系统之间的从属关系或相互作用的关系。在不同的层次结构存在着动态的信息流和物质流，构成了系统的运动特性。但是，这一层次的性质并不是由下一层次的性质简单加总得出的，一个复杂系统在由低层次的要素组成高层次的过程中，系统往往产生出新的、原来层次所没有的性质，这个过程在系统科学里被称为涌现（emergence）。涌现现象在诸多学科领域中都有体现，关于它的性质和特点，是近年来复杂性科学研究中的一个热点。这里要强调的是，一个复杂系统的各个层次通常会表现出不同的特点，一般需要采用不同的方法来进行研究。

## 4. 相关性

相关性是指系统内部各要素之间的某种相互作用、相互依赖的特定关系。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一致，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率。

## 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另一系统的标志。系统的目的一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，它们也分为若干层次，因此，需要用一个指标体系来描述系统的目标。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。因此，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，寻求平衡或折中方案。

## 6. 环境适应性

一个系统之外的一切与它相关联的事物所构成的集合，称之为系统的环境。从环境对系统的作用来看，我们往往认为环境的状态是已知的，且只关心环境对系统的作用，而对环境

本身的组成、性质和变化是不关心的。从相互关系上来讲,也只讨论环境对系统的作用,而不考虑系统对于环境的影响。在处理具体问题时,为了使问题简单可解,往往把不易讨论的部分划归为环境。

系统与环境的划分是相对的,根据实际需要和处理问题的便利,针对同一问题可以选择不同的系统和环境。但应该注意的是,在研究同一个问题的过程中,系统与环境的划分不能任意改变。

系统与环境的相互作用是通过物质、能量和信息的交换来实现的,相互作用的结果有可能使系统的性质和功能发生变化。一些系统具有能适应环境变化、保持或恢复其原有状态的性质和功能,这就是系统的环境适应性。

任何系统都产生于一定的环境之中,又在环境中发展和演化。研究系统必须研究它与环境的相互作用,尤其是环境对系统发展及演化所产生的影响。

## 1.2 系统的分类

面对世界上千差万别的具体系统,我们有必要对系统进行分类,以方便采用相应的理论进行研究。按照不同的标准,系统可以有多种分类方法。

### 1. 按照系统与环境的关系进行分类

#### (1) 孤立系统

孤立系统是指与外界没有任何物质、能量、信息的交流,即与周围环境没有任何相互作用的系统。严格来说,自然界并不存在这样的系统,它是一种为研究问题的需要而提出来的理想模型。当系统与外界的相互作用小到可以忽略时,可以被近似看成是孤立系统,如一箱密闭得非常好的恒温的气体。

#### (2) 开放系统

开放系统是指与外界既有物质交换,又有能量交换的系统。现实的事物之间总会存在千丝万缕的联系,所以客观世界中大多是这类系统。系统与环境进行物质、能量交换的最简单的情况是,外界环境不因与系统的作用而发生改变,经过一段时间,系统与环境具有相同的浓度(通过交换物质)和相同的温度(通过交换能量),从而达到平衡态,这种情况将其归为孤立系统。这里所研究的开放系统是,起码与两个源(两个热源或两个物质源)相接触,通过交换而形成的一种活的系统。

#### (3) 封闭系统

封闭系统是指与外界没有物质交换但有能量交换的系统。封闭系统是统计物理学与热力学中的概念,这里不讨论封闭系统。如上所述,如果系统只与一个热源接触,最终必定实现平衡态,则仍将其归入孤立系统;如果系统与外界多个热源交换热量,则将其划归为开放系统。

## 2. 按照组成系统的实际内容进行分类

### (1) 物质系统

组成物质系统的基本元素是原子、分子等无机物质。物理学、化学等自然科学的研究对象都属于此类系统，如地质系统。

### (2) 生物系统

组成生物系统的基本元素是“活”的生物组织。系统对环境有能动的适应性，使自身在自然界中得以生存和发展，如蛋白质系统。

### (3) 人类系统

组成人类系统的基本元素是人。人对于环境不仅有适应性，而且能够主动控制和改造环境，使系统更适应人类的需要，如社会经济系统。

## 3. 按照系统内各子系统之间的相互关系进行分类

### (1) 线性系统

系统中某部分的变化引起其余部分的变化是线性的，或者说系统的输入线性迭加时，系统的输出也线性迭加，就称该系统是线性系统。对于线性系统有比较成熟的理论来分析，它的演化可用线性微分方程进行描述，如经典的控制系统。

### (2) 非线性系统

与线性系统相对，非线性系统内部各组分之间的影响不是线性的，或者说系统的输入、输出不满足迭加原理。对于非线性系统，由于非线性微分方程至今仍没有规范的解法，处理起来要困难得多。所以，对大部分的非线性系统模型，当它的变量保持在一定范围之内时，往往被近似表达为线性系统。

## 4. 按照系统状态与时间的关系进行分类

### (1) 静态系统

静态系统是指状态不随时间改变的系統。这类系统没有记忆，即某时刻的输出仅与系统当前输入有关，而与其他时刻的输入无关。研究静态系统相当于分析系统某一定态的性质。

### (2) 动态系统

动态系统是指状态随时间变化的系统。动态系统在某时刻的输出与其他时刻的输入有关。研究动态系统就要研究系统的时间行为，找出系统状态随时间变化的表达式或运行轨迹。

## 5. 按照系统的演化特点进行分类

### (1) 确定性系统

确定性系统是指外界影响确定、系统的演化规律及子系统之间的相互关系也确定不变的系统。此类系统用确定性方程即可描述。