

SCIENCE MANAGEMENT



普通高等学校“十四五”规划管理科学与工程类专业新形态精品教材

Systems Engineering Theory and Methodology

系统工程理论与方法

刘明广 李高扬 编著



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

系统工程的理论与方法

系统工程的理论与方法

System Engineering Theory and Methodology

系统工程理论与方法

作者：李俊 等



清华大学出版社
Tsinghua University Press

内 容 简 介

本书较为系统地介绍了系统工程的基本理论与方法,重点介绍了系统与系统工程的基本概念、系统工程理论基础、系统工程方法论、系统建模、系统预测方法以及系统综合评价理论与方法,并结合具体的例题阐述系统工程理论与方法的应用。通过本书的学习,可以使读者全面掌握系统工程的基本理论与方法,并能运用系统工程相关思想、理论、方法与技术解决实际问题。

本书可以作为管理类和部分理工类专业的本科生、研究生教材,以及企业管理人员和系统工程师等的参考书,重点面向管理科学与工程、工程管理、工商管理、公共管理、信息资源管理、工业工程以及物流与供应链管理等专业的本科生和研究生读者。

图书在版编目(CIP)数据

系统工程理论与方法/刘明广,李高扬编著. —武汉:华中科技大学出版社,2022.5
ISBN 978-7-5680-6358-6

I. ①系… II. ①刘… ②李… III. ①系统工程-教材 IV. ①N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 078087 号

系统工程理论与方法

刘明广 李高扬 编著

Xitong Gongcheng Lilun yu Fangfa

策划编辑:周晓方 宋 焱

责任编辑:肖唐华

封面设计:原色设计

责任校对:张汇娟

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:18.75 插页:2

字 数:448千字

版 次:2022年5月第1版第1次印刷


定 价:59.90元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

总序

Forward



根据教育部高等学校教学指导委员会制定的《管理科学与工程类教学质量国家标准》中的定义,管理科学专业能够了解组织经营与管理决策的一般流程,能够通过系统和优化思想进行运营管理和资源配置建模,能够掌握通过定量分析和信息技术进行管理决策支持的基本理论与方法。全国工程管理专业学位研究生教育指导委员会制定的《工程管理硕士专业学位基本要求》指出,工程管理硕士(MEM)的培养目标在于为我国培养一大批既具有扎实的工程技术基础,又具有现代管理素质与能力,能够有效推动我国工程领域技术创新与技术发展,能够有效计划、组织、指挥和控制工程实践及技术开发等活动的高层次复合型工程管理专业人才。

早在2004年,华南师范大学就开设了管理科学本科专业。管理科学专业重在以量化分析技术与系统科学方法的应用为特色,旨在培养具备扎实宽厚的管理学、经济学、计算机技术等多学科知识,同时掌握管理科学的基本理论和专业知识,并能对各类实际管理问题提供分析技术与解决方案的复合型管理技术人才。2014年,华南师范大学获批工程管理硕士专业学位点。经过多年的探索与创新,华南师范大学管理科学本科专业与工程管理硕士专业逐渐形成了独有的特色和优势。

加强教学资源建设是华南师范大学管理科学与工程管理专业建设的重要抓手之一,而教材作为培养人才的重要载体,是进行教学的基本和重要工具。经过认真研讨,为了进一步推进管理科学与工程管理相关专业教学内容与方式的变革,我们提出将教材作为推动教学资源建设的突破口,以教材的建设带动其他教学资源建设,全面提升整个教学团队的教学能力。为此,我们组建了一支专业技术过硬且具有丰富的课堂讲授和编写经验的团队,在紧跟国内外相关研究领域的最新前沿理论与实践的基础上编写本套丛书,被华中科技大学出版社确定为普通高等学校“十四五”规划管理科学与工程类专业新形态精品教材。

本套丛书在内容上具有以下几个鲜明特色:(1)理论与方法的全面性和新颖性。随着新兴技术的不断崛起,如今的知识更新速度比过去任何时候都更加迅速。丛书的每本教材紧跟国内外前沿,与时俱进,尽量保证理论与方法的全面性和新颖性,所采用的数据、案例也力争最新。(2)理论与方法讲解浅显易懂,逐层深入。丛书对理论与方法的讲解注重知



识的层次结构,浅显易懂,满足不同层次、不同专业背景读者的学习要求。(3)注重操作性。丛书编者具有丰富的实战经验,尽量结合具体的例题或案例讲解每一种理论或方法,同时尽量提供相应的软件操作指导。(4)提供配套的演练数据与课后习题。丛书针对例题尽量提供配套数据供读者进行演练,同时提供课后习题供读者练习与思考。

本套丛书的编写和出版得到了编者所在院校的各位领导和同事的大力支持,也得到了华中科技大学出版社的鼎力支持,在此表示衷心感谢。

由于编写教材是一项非常辛苦的工作,其不仅需要编写者对所编写内容非常熟悉,而且还要能将所涉及的学科内容向读者阐述清楚,这具有很大的挑战性。与此同时,编写的时间和资源受限,书中难免存在错误和疏漏之处,敬请相关领域的各位同仁提出宝贵的意见和建议,以便我们及时修订和完善。

丛书编委会

2022年3月

前言

Preface

科学决策与管理在现代社会中的重要性日益凸显。伴随着高度现代化、智能化、数据化以及科学化的时代到来,不会运用量化的方法解决复杂的实际问题,会日益失去竞争力。本书旨在全面介绍系统工程的相关理论与方法,使读者通过本书的学习,能够运用系统工程的相关思想、理论、方法与技术解决各类实际问题。

自从 20 世纪 40 年代以来,系统工程相关理论与方法得到了迅速发展,目前,系统工程在各行各业都得到了广泛的运用。与此同时,随着新时代的发展,系统工程也出现了一些新的理论与方法,但市场上的部分书籍知识更新较缓慢。鉴于此,为了对系统工程的理论与方法知识体系进行一定的更新,我们决定编写《系统工程理论与方法》一书。

全书共分为 6 章。第一章为绪论,重点讲述系统思想的形成与发展、系统的定义、系统的特征与分类、系统工程的发展历史、系统工程的定义与特点以及系统工程的应用领域;第二章为系统工程理论基础,重点讲述“老三论”(一般系统论、控制论、信息论)、“新三论”(耗散结构理论、协同学理论、突变理论)、运筹学、非线性科学以及复杂性科学理论;第三章为系统工程方法论,重点讲述霍尔三维结构方法论、切克兰德软系统方法论、兰德系统分析方法论、钱学森综合集成研究方法论、顾基发和朱志昌等人物理—事理—人理方法论以及王浣尘螺旋式推进系统方法论;第四章为系统建模,重点讲述系统模型的概念、分类与系统建模的总体方法、解释结构模型、DEMATEL 模型、社会网络分析模型、结构方程模型、微分方程模型以及演化博弈模型;第五章为系统预测,重点讲述系统预测的概念、分类与预测步骤、时间序列平滑预测法、趋势外推预测法、灰色预测法以及回归分析预测法;第六章为系统综合评价,重点讲述系统综合评价的概念、评价指标体系的构建、评价指标的标准化、评价指标的权重确定、评价指标综合的基本方法、层次分析法、网络层次分析法、模糊综合评价法、灰色关联度综合评价法、多元统计综合评价法(主成分分析综合评价法和因子分析综合评价法)以及数据包络分析法。

本书的各章节内容由刘明广和李高扬共同编写。唐玥、丁雅婷、梁怡珊、廖子萱和李齐峰等同学进行了部分文献资料整理以及校对工作。

本书的编写和出版得到了华南师范大学质量工程精品教材项目资助,同时也得到了华



中科技大学出版社的鼎力支持,在此表示衷心感谢。

本书在编写过程中参考了大量的文献资料和网络资源,书中和书后已经尽可能地罗列各参考文献来源,但难免会有遗漏,特向被遗漏罗列的文献和网络资源作者致歉,并向所有作者表示最诚恳的感谢!

本书可以作为经济管理类和部分理工科类专业的本科生、研究生教材,以及企业管理人员和系统工程师等的参考书。




由于系统工程是一门交叉学科,涉及内容众多,编写本书要求的技术难度高,再加上我们的技术水平和能力有限,书中难免会有不妥和错误之处,敬请广大读者批评指正!

编者

2022年3月

目录

Contents

/1		第一章 绪论
/1		第一节 系统
/8		第二节 系统工程
/12		第三节 系统工程的应用领域
/14		第二章 系统工程理论基础
/14		第一节 “老三论”
/18		第二节 “新三论”
/21		第三节 运筹学
/25		第四节 非线性科学
/29		第五节 复杂性科学
/33		第三章 系统工程方法论
/33		第一节 霍尔三维结构方法论
/36		第二节 软系统方法论
/39		第三节 系统分析方法论
/47		第四节 综合集成研究方法论
/49		第五节 物理-事理-人理方法论
/51		第六节 螺旋式推进系统方法论



/53

**第四章 系统建模**

/53

第一节 系统建模概述

/56

第二节 解释结构模型

/74

第三节 DEMATEL 模型

/82

第四节 社会网络分析模型

/98

第五节 结构方程模型

/112

第六节 微分方程模型

/122

第七节 演化博弈模型

/132

**第五章 系统预测**

/132

第一节 系统预测概述

/135

第二节 时间序列平滑预测法

/149

第三节 趋势外推预测法

/172

第四节 灰色预测法

/179

第五节 回归分析预测法

/198

**第六章 系统综合评价**

/198

第一节 系统综合评价概述

/223

第二节 层次分析法

/235

第三节 网络层次分析法

/250

第四节 模糊综合评价法

/261

第五节 灰色关联度综合评价法

/267

第六节 多元统计综合评价法

/279

第七节 数据包络分析法

/288

**参考文献**

第一章 绪论

本章课件



◇ 学习目标

1. 掌握系统的定义、特征、分类及其相关概念,如系统要素、结构、功能、行为和环境等。
2. 掌握系统工程的定义、特点。
3. 了解系统思想的形成与发展以及系统工程的发展历史。

◇ 学习重难点

1. 充分理解系统以及系统工程的定义。
2. 厘清系统的结构与功能之间的关系。
3. 运用系统概念和系统思想解决实际问题。

第一节 系统



一、系统思想的形成与发展

(一) 古希腊哲学中的系统思想

泰勒斯(Thales)认为,无论事物之间有多大差异,它们之中仍然有一种元素是这些东西的基础。同时,在事物的变化之中也一定包含了某种不变的元素。这个元素便是构成宇宙万事万物与各种变化的本原,这个本原便是水。阿那克西曼德(Anaximander)认为,世界万物的本原不是具有固定性质的东西,而是“阿派朗”(无限定,即无固定限界、形式和性质的物质)。“阿派朗”在运动中分裂出冷和热、干和湿等对立面。总之,火、气、水、土之中的任何一种,都不能生成万物,世界万物及其性质是多样性的,不能被简单地归结为某一特



定的物质形态和属性。赫拉克利特(Herakleitus)认为,世界万物的本原是火,宇宙是永恒的活火,宇宙本身是它自己的创造者,宇宙的秩序都是由它自身的逻各斯所规定的。逻各斯的本意是“话语”,赫拉克利特将其引申为“说出来的道理”,意指世间万物变化的一种微妙的尺度和准则。赫拉克利特还提出“一切皆流,一切皆变”“人不能两次走进同一条河流”。这使他成为当时具有朴素辩证法思想的“流动派”的卓越代表。毕达哥拉斯(Pythagoras)把非物质的、抽象的数夸大为宇宙的本原,认为“万物皆数”,数是万物的本质,数为宇宙提供了一个概念的模型,数量和形状决定一切自然物体的形式,而整个宇宙是数及其关系的和谐的体系,天体运动必须是均匀的圆周运动。德谟克里特(Demokritos)认为,万物的本原是原子与虚空。原子是最小的不可分割的物质颗粒。宇宙的一切事物都是由在虚空中运动着的原子构成。原子处在永恒的运动之中,即运动为原子本身所固有。亚里士多德(Aristotle)认为组成天体的元素与地球不同,是纯粹的“以太”,是第五元素。柏拉图(Plato)认为,宇宙开头有两种直角三角形,一种是正方形的一半,另一种是等边三角形的一半。从这些三角形就合理地产生出四种正多面体,这就组成了四种元素的微粒。火微粒是正四面体,气微粒是正八面体,水微粒是正二十面体,土微粒是立方体。第五种正多面体是由正五边形形成的十二面体,这是组成天上物质的第五种元素,叫作“以太”。古希腊哲学中关于系统思想提出了各种对宇宙的组成的假设,发现了一系列自然、社会和人类的规律,在系统的要素、要素之间的关系、系统的结构、系统的功能、系统的演化等方面具有丰富而深刻的研究成果。

(二)中国古代文化的系统思想

我国古代天文学家为发展原始农牧业,很早就关心天象的变化,把宇宙作为一个整体系统,探讨了它的结构、变化和发展,揭示了天体运行与季节变化的联系,编制出历法和指导农事活动的二十四节气。北魏时期的著名学者贾思勰在《齐民要术》一书中叙述了气候因素与农业发展的关系,对农业与种子、地形、耕种、土壤、水分、肥料、季节以及气候等因素相互关系进行了研究。我国春秋末期的思想家老子强调自然的统一性,提出“道生一,一生二,二生三,三生万物”,“人法地,地法天,天法道,道法自然”。春秋时代,出现了世界构成“五行说”。东汉时期,张衡提出了世界构成的“浑天说”。我国古代的《周易》和《洪范》所提及的八卦、阴阳五行包含着丰富的系统整体观思想。同样是我国自然科学和社会科学融为一体的哲理性著作《易经》从整体的角度去认识和把握世界,把人与自然看作是一个互相感应的有机整体,即“天人合一”。我国最早的医学典籍《黄帝内经》建立了中医学上的“阴阳五行学说”“藏象学说”“经络学说”以及“论治”“运气学”“养生学”等学说,从整体观上论述了医学。我国古代的系统思想还反映在军事理论方面,春秋战国时期孙武的《孙子兵法》,从“道、天、地、将、法”五个方面分析战争的全局,也是从系统思想出发,把环境、系统整体与系统中诸要素紧密结合。中国古代虽然没有确定提出系统的概念,但对世界的构成、要素之间的联系以及整体性概念有了一定程度的认识,并且能将系统的思想运用到改造客观世界为自身服务,像《齐民要术》、《黄帝内经》以及《孙子兵法》等均是典型的代表。

(三)近现代系统思想

由于近代科学技术的迅速发展,力学、天文学、物理学、化学、数学以及生物学等学科日

益成为独立学科而得到快速发展,产生了许多研究自然界的独特方法。在培根所著的《新工具》一书第二卷中提出了方法论理论,阐述了归纳法的步骤,通过分析、比较、拒绝、排斥进行真正的归纳,从而提出了定性—归纳推理的研究方法。1637年,笛卡尔在其著作《方法论》的三篇附录之一“几何学”中提出了解析几何的基本方法,将几何学代数化,创立了解析几何。19世纪上半叶,自然科学已取得了重大进展,尤其是能量转换、细胞和进化论学说使得人类认识自然世界能力有了很大提升。这个时期的自然科学为唯物主义自然观奠定了坚实的基础。马克思、恩格斯的辩证唯物主义把唯物主义和辩证法有机地统一起来。辩证唯物主义认为物质世界是按照它本身所固有的规律运动、变化和发展的,事物发展的根本原因在于事物内部的矛盾性。事物矛盾双方既统一又斗争,促使事物不断地由低级向高级发展。因此,事物的矛盾规律,即对立统一的规律,它是物质世界运动、变化和发展的最根本的规律。辩证唯物主义体现了系统思想。现代科学技术迅速发展进一步丰富了系统思想并形成了一系列定量系统方法。20世纪40年代,贝塔朗非(Bertalanffy)针对还原论的局限性提出了一般系统论,该理论提出了整体性原则、动态结构原则、能动性原则以及有序性原则。第二次世界大战时期,定量方法为研究系统问题提供了强有力的帮助,此时期的控制论、信息论和运筹学三大学科相继诞生,使得系统思想从哲学层面的学科发展成为系统工程专门的学科。20世纪60年代与80年代,包含协同学、耗散结构理论、突变理论、超循环理论等自组织理论学科群相继诞生,对系统思想有了更加深层次的认识和升华。20世纪90年代以后,以综合集成工程方法、复杂适应系统(CAS)理论以及复杂网络理论为代表的复杂性科学将系统科学理论推向了崭新领域。如今,大数据、数据挖掘、人工智能等新兴学科的崛起,使得系统思想的广度、深度和时代性都在不断地发展。

二、系统的定义

系统一词的概念和内涵是逐渐发展而来的,系统一词最早出现在古希腊语中,意思是任意一些对象集合体。随着社会的发展,其内涵还在不断发展和完善之中,目前至少有几十种系统的定义,以下是几种比较有代表性的系统定义。

(1)奥地利生物学家、一般系统论创始人贝塔朗非认为,系统是相互作用的多要素的复合体。

(2)Webster大辞典定义:有组织的或被组织化的整体、相联系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的集合。

(3)日本JIS标准中对系统的定义:系统是由许多组成要素保持有机的秩序,向同一目的行动的体系。

(4)奥斯卡·兰格(Oskar Lange)将系统定义为:系统是由依靠因果关系链连接在一起的因素集合。

(5)凯尔什涅尔(Kelshnier)将系统定义为:系统是本质或实物、有生命或无生命物体的集合体,它接受某种输入而产生某些输出。

(6)苏联学者乌约莫夫(Uyomov)将系统定义为客体的集合,在这个集合上实现着带有固体性质的关系。

(7)美国著名学者阿柯夫(Ackoff)认为,系统是由有两个或两个以上的相互联系的任



何种类的要素组成的集合。

(8)钱学森将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。

(9)汪应洛认为，系统是由两个及以上有机联系、相互作用的要素所组成，具有特定功能、结构和环境的整体。

(10)《中国大百科全书·自动控制与系统工程》将系统定义为相互制约、相互作用的一些部分组成的具有某些功能的有机整体。

以上各种系统定义中还涉及要素、结构、功能、行为、环境几个概念，其中，要素是构成系统组成成分的最小单元。这个最小单元是相对而言，对于同一个研究对象，研究的目的不同，界定系统的最小元素即组成成分也不同。结构是系统的要素及其联系即系统内部各要素在时间或空间上排列和组合的具体形式。如果说一个大学的教师中，男的占52%，女的占48%，那么，这两个百分数就是这个大学教师系统的性别结构；将大学教师划分为35岁(含35岁)以下、36岁~45岁(含45岁)以及45岁以上三部分，35岁(含35岁)以下、36岁~45岁(含45岁)以及45岁以上分别占比为40%、30%、30%的话，这三个百分数就是这个大学教师系统的年龄结构。功能是系统与环境相互作用过程的秩序和能力。功能是系统对外部的影响，是系统对环境的作用和输出。功能也是系统结构的结果，即有了系统结构才有了系统的结果。在系统要素给定的情况下，调整这些要素的关系，就可以提高系统的功能。系统的结构是系统由内部各要素相互作用的秩序，而功能则是系统对外界作用过程的秩序。归根到底，结构与功能所说明的是系统的内部作用与外部作用。系统功能揭示了系统外部作用的能力，是系统内部固有能力的外部体现。换句话说，系统的功能是由系统的内部结构所决定的，即系统的结构决定系统的功能。例如，金刚石和石墨的主要构成元素都是碳元素，但碳元素的排列不同导致了其性质功能的截然不同。系统行为是指系统受到外界刺激产生响应或反作用于环境，这种作用与反作用现象就是系统的行为。系统行为变化有三种：对环境的某一刺激的反作用；对环境某一刺激的响应，但这种响应并不反作用于环境；不由外界环境引起的自发活动。环境是与系统或系统要素相关联的其他外部要素的集合。系统通常存在于一定的环境之中，因此，环境是系统外界事物及诸多要素的集合。

尽管以上各种定义表述上存在差异，但存在一些共性，具体表现在以下几个方面。

第一，系统是由两个及以上的要组成要素组成的整体，构成这个整体的各个要素可以是单个事物也可以是一群事物组成的小系统。

第二，系统的各个要素之间、要素与整体之间以及整体与环境之间存在着一定的有机联系和制约。

第三，这些要素之间存在着一定的结构形式，系统内部子系统与子系统之间又通过一定方式相互联系，组成高一级系统。

第四，系统要素之间的联系与作用必定产生一定的功能。

综上所述，系统是由若干个(至少两个)相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的元素组成的具有某种特定结构、功能，与环境具有密切联系的有机整体。

三、系统的特征

在界定了系统的定义之后,需要明确系统的特征,这是进行系统研究的基础。通常,系统至少具有以下几个特征。

(1)集合性:由系统的定义可知,系统是若干个(至少两个)可以相互区别的要素组成的集合体。

(2)相关性:系统内部的要素与要素之间、要素与系统之间、系统与其环境之间存在着一定的联系。如果系统内部的要素与要素之间、要素与系统之间、系统与其环境之间均不存在任何联系,那么就不能称之为系统。

(3)层次性:系统可以按照某种标准分解为若干个子系统,子系统又可以分解为更小的子子系统,而每一个系统又往往隶属于更大系统的一部分。例如,国家按照行政区划分为省、市、县、镇、村等。

(4)整体性:系统的整体性是指系统具有独立的整体功能,系统的整体功能不是各组成要素功能的简单叠加,这个整体功能具有不同于各组成要素的新功能。系统是作为一个整体出现的,是作为一个整体存在于具体环境之中,与环境发生相互作用的,系统的任何组成要素或者局部都不能离开整体去研究。系统的整体观念或总体观念是系统概念的精髓。

(5)涌现性:系统的各个部分组成一个整体后,就会产生出整体具有而各个部分原来没有的某些性质、功能或要素。当低层次上的几个部分组成上一层级时,一些新的性质、功能、要素就会涌现出来。

(6)目的性:系统尤其是有人参与的系统都有它的目的,否则,也就失去了这个系统存在的价值和意义。研究一个系统首先要明确系统的目的性,目的性决定了系统功能和行为的方向,即便是同一个系统,由于其研究的目的不同,系统要素的构成、结构、行为与环境的关系等都存在着差别。

(7)环境相关性:任何一个系统都存在于一定的环境中,环境与系统之间存在着物质、能量和信息的交换,环境的变化对系统的变化有很大的影响,同时,系统的作用也会引起环境的变化。

四、系统的分类

(一)按自然属性分为自然系统与社会系统

自然系统是由天体、矿藏、生物、海洋各类自然物为要素形成的系统。如森林系统、海洋系统、大气系统等。他们不具有人为的目的性与组织性,所以不是系统工程直接研究的对象。社会系统是指由人介入自然系统并发挥主导作用而形成的系统,它们具有人为的目的性与组织性。如物流系统、区域创新系统、教育系统、生态创新系统、运输系统、经济系统、工程技术系统以及经营管理系统等。

(二)按物质属性分为实体系统与概念系统

实体系统是由各类物质实体组成的系统,如计算机系统、生产系统、通信系统、军事系



统以及海洋系统等。概念系统是由概念、原理、原则、制度、规定、习俗、传统等非物质实体组成。实体系统可以是自然系统,也可以是人造系统,但概念系统一定是人造系统。实体系统是概念系统的基础,而概念系统为实体系统提供服务和保障。

(三)按运动属性分为静态系统与动态系统

静态系统是指系统状态参数不随时间显著改变的系統,没有输入与输出。如没有启动的手机、洗衣机、汽车,停工待料的工厂。动态系统是其状态参数随着时间显著改变的系統。如已经启动的手机、洗衣机、汽车,正在生产的工厂。静态系统和动态系统的区分是相对的,很难找到绝对的静态系统,如没有开机的手机,虽然可以看成是静态系统,但手机内部嵌入的时钟还是在不停地运转。

(四)按系统与环境间的关系属性分为开放系统、封闭系统与孤立系统

开放系统与外界环境之间存在着物质的、能量的、信息的流动与交换的系统;封闭系统与外界没有物质交换,但存在能量和信息交换;孤立系统与外界没有任何交换。现实世界中基本不存在完全孤立系统,完全孤立系统的结局注定是消亡。

(五)按反馈属性分为开环系统与闭环系统

如果系统的输出能够反过来影响系统的输入,则称为闭环系统,能够加强原输入作用的反馈称为“正反馈”;正反馈会造成系统振荡,因此大多数的系统会加入阻尼或是负反馈,避免系统因振荡造成不稳定甚至损坏。马太效应就是社会上常见的正反馈现象,例如收入分配不合理可能导致“富者愈富,贫者愈贫”。而削弱原输入作用的反馈称为“负反馈”。恒温箱就是典型的负反馈系统,当设定恒定温度 37°C 时,通电后恒温箱温度迅速提升,只要温度没有达到 37°C ,电阻丝就一直加热,当温度超过 37°C 时,系统就会自动断电停止加热,当温度低于 37°C 时系统又通电加热,如此反反复复,从而使得恒温箱温度稳定在 37°C 。没有反馈的系统称为开环系统,人们常说的“开弓没有回头箭”就是典型开环系统写照。

(六)按系统综合复杂程度分为物理系统、生物系统和人类社会系统及宇宙系统

薛华成教授主编的《管理信息系统》一书从系统的综合复杂程度将系统分成三类九小类,具体见图 1-1。

(1)框架:这是最简单的系统,如一栋楼房、桌子、椅子以及板凳等,这些系统的构成要素之间联系简单,通常而言都是静态系统。

(2)时钟:该类系统按照预定的规律进行变化,什么时候到达什么位置是事先按照一定的规则设计好的。

(3)控制机械:控制机械系统能够自动调节,如恒温箱能在控制的温度范围内进行自动调整,或者控制物体按照某种轨道运行,当系统受到外部干扰后能够自动调整回到原位。

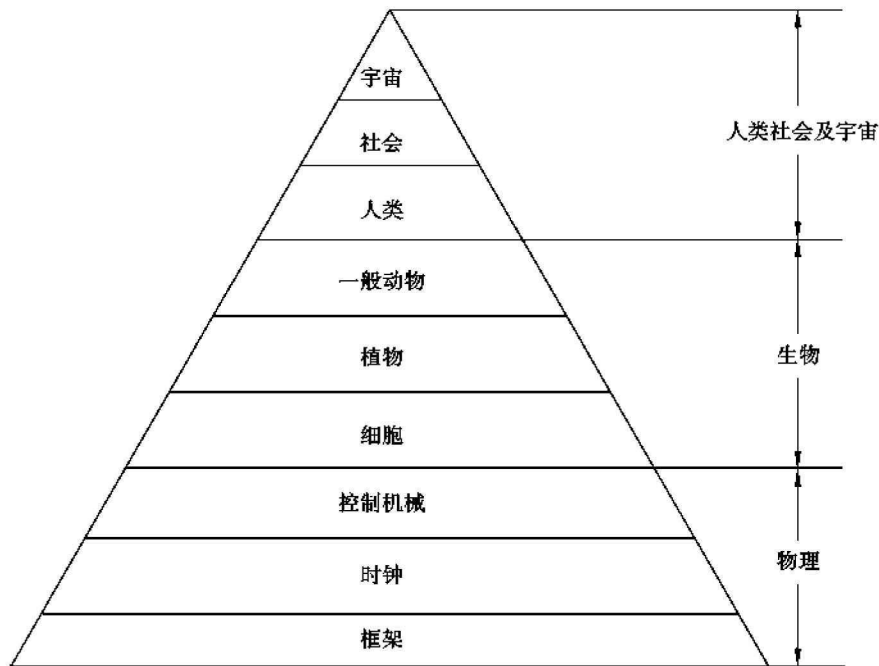


图 1-1 从系统的综合复杂程度划分的系统类别

(4)细胞:细胞系统是一类能够新陈代谢和自我繁殖、具有生命的系统,是比物理系统更高级的系统。

(5)植物:植物系统是由细胞群体组成的系统,显示了单个细胞所没有的功能,是比细胞系统更加复杂的系统。

(6)一般动物:一般动物的最大特征具有可动性,它具有根据自己目的去寻找食物、寻找目标的能力,它对外界是敏感的,同时具有学习的能力。

(7)人类:人具有较大的存储、处理信息的能力,思维能力、说明目标和使用语言工具均超过一般动物,人还能获得知识和学习的能力。

(8)社会:社会是人类政治、经济活动等上层建筑的系统。

(9)宇宙:宇宙不仅包括地球以外的天体,还包括目前人类未知的天体。

以上九小类系统中,(7)、(8)和(9)三个底层系统是物理系统,中间的(4)、(5)和(6)是生物系统,最高层的(1)、(2)和(3)是人类社会系统及宇宙系统。

(七)按照对系统的认识程度分为黑色系统、白色系统和灰色系统

黑色系统是指明确了系统与环境的联系,但对其内部各要素之间的错综复杂的关系机理不明的系统,即研究者只知道该系统的输入和输出,但不知道实现输入、输出关系的结构与过程。若用箱子类比系统,则该系统可称为“黑箱”。白色系统是指研究者不仅知道该系统的输入和输出,而且知道实现输入、输出关系的结构与过程。若用箱子来类比系统,则这种系统可称为“白箱”系统,它相当于一只能打开来看清楚内部到底装有何物的箱子。研究者对该系统有较充分的认识,能从理论上描述和精确预测这一系统的运动规律。我国学者



邓聚龙把控制论的观点和方法延伸到复杂的大系统中,将自动控制与运筹学的数学方法相结合,研究了广泛存在于客观世界中具有灰色性的问题,把信息不完整的系统称为灰色系统。信息不完全一般指:系统因素不完全明确;因素关系不完全清楚;系统结构不完全知道;系统的作用原理不完全明了。同样,若用箱子类比系统,则这种系统可称为“灰箱”。

(八)按照系统结构复杂程度分为简单系统和复杂系统

我国著名科学家钱学森按照系统结构复杂程度将系统分为简单系统和复杂系统,进一步按照系统规模将系统分为小系统、大系统和巨系统。把这两个分类标准统一起来,可以形成图 1-2 所示的系统分类。另外,钱学森院士还非常重视系统的开放性,一直倡导研究开放的复杂巨系统。

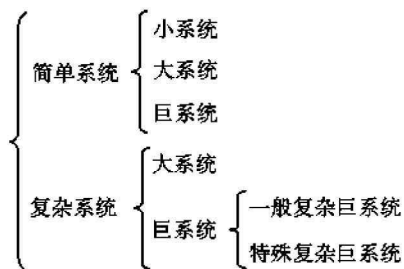


图 1-2 钱学森的系统分类

另外,按数学性质属性,可分为线性系统和非线性系统;按照系统的变化是否连续可分为离散系统和连续系统;按照系统是否含有不确定因素,可分为确定系统和不确定系统;按照系统运动过程和运行特征,可分为控制系统和行为系统。

第二节 系统工程



一、系统工程的发展历史

尽管系统思想源远流长,但系统工程真正成为一门正式学科起源于 20 世纪初期的泰勒(Taylor)的科学管理,泰勒在 1911 年出版的《科学管理原理》一书中提出了工业管理系统概念。他认为要达到最高的工作效率的重要手段是用科学化的、标准化的管理方法代替经验管理,从而致力于探索管理科学的基本规律,发明一系列科学管理方法。20 世纪 20 年代逐渐形成了工业工程,主要研究生产在时间和空间上的管理技术。20 世纪 30 年代,美国发展与研究广播电视正式提出系统方法(system approach)的概念。20 世纪 40 年代,美国贝尔电话公司首次使用“系统工程”一词,并提出硬件系统开发的规划、研究、开发、工程应用研究和通用工程阶段的一套工作方法,后来又提出了排队论原理。在该时期,美国研制原子弹的“曼哈顿”计划由于采用了系统工程方法进行协调,使得原子弹的研制时间大