



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定

农业系统工程

简明教程

● 梁荣欣 主编

● 农业工程各专业

农 业 出 版 社

全国高等农业院校教材

农业系统工程简明教程

梁荣欣 主编

农业生物类各专业

农业出版社

(京)新登字060号

51

11.9-2

全国高等农业院校教材
农业系统工程简明教程

梁荣欣 主编

* * *

责任编辑 何致莹

农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路2号)
新华书店北京发行所发行 通县向阳印刷厂印刷

787×1092mm16开本 20.375印张 1插页 437千字

1992年10月第1版 1992年10月北京第1次印刷

印数 1—2,500册 定价 5.36 元

ISBN 7-109-02097-5/S·1381

内 容 简 介

农业系统工程是一门新兴学科，现已成为各高等农业院校普遍开设的课程，本书正是适应这种需要而编写的。全书共分两篇十章，第一篇主要介绍农业系统工程的概况、原理和基本方法；第二篇重点讲述最基本且又在农业领域适用的线性规划方法、网络技术、预测决策方法、动态仿真技术、生态分析模型及主要计算机应用软件等。

本书的特点是突出适用性和简明性，深入浅出，通俗易懂，并配有应用实例讲解。适合作为高等农业院校本科农业生物类各专业的基本教材及部分专业研究生的选用教材，亦可作为各级农业管理人员、技术人员和领导干部的培训教材和参考书。

主 编 梁荣欣 (东北农学院)
副主编 孟建中 (北京农业大学)
编 者 李英才 (华南农业大学)
张衍林 (华中农业大学)
审 稿 张松明 (沈阳农业大学)
戴有忠 (东北农学院)

前 言

系统工程是20世纪中期发展起来的新兴学科,80年代初期在我国开始广泛传播。系统工程的原理和方法在农业生产和科学研究领域的实际应用与有机结合,产生了农业系统工程。近年来,我国的农业系统工程活动十分活跃,对于促进农业科学的发展及推进我国农业现代化的进程正在发挥着重要的作用。可以预言,面对着席卷世界的新技术革命浪潮的冲击,农业系统工程必将成为迎接这种挑战的有力武器之一。因此,它虽然是刚刚破土的新苗,但显示出的活力却吸引着越来越多的人涉足这一领域。

为适应当今世界科技发展的新形势及我国农业现代化事业的要求,高等农业院校培养的学生,在业务能力方面,除应掌握本专业的专门理论和技能外,还应该具备系统科学思想,学会系统工程方法及综合解决问题的能力。本教材正是根据这一需要而编写的。作为各专业本科学生通用的基本教材,除注重理论性、系统性和科学性之外,本教材还突出适应性和简明性两个特点。为使此教材具有对各专业学科的广泛适用性,以及考虑到农业院校各生物类专业数理基础比较薄弱的特点,我们在选编教材内容时,既注重讲述那些最基本的原理和方法,又重点选择那些在农业领域便于应用的内容。同时,在写法上贯彻“少而精”的原则,全书力求简明扼要,深入浅出,通俗易懂,并配合应用实例加以说明。故本教材定名为《农业系统工程简明教程》。

全书共分二篇十章。第一篇为农业系统工程引论,含三章,主要介绍系统工程和农业系统工程的发展概况、基本知识、基本原则及方法等;第二篇为农业系统工程技术方法,含七章。主要介绍最基本且又在农业领域适用的线性规划方法、网络技术、预测决策方法、动态仿真技术、生态分析模型及主要计算机应用软件等。其中第一、二、三、六章及第九章第一节由梁荣成编写;第四、八章及第十章第一、三、四、五、六节由孟建中编写;第七章第三节及第九章第二、三、四节由李英才编写;第五章及第七章第一、二、四、五节、第十章第二节由张衍林编写。

本书在结构编排上,既考虑了章节间的衔接和前后呼应,又注意到各章的独立性和自成体系,因此使用本教材时,除第一篇内容必讲外,第二篇内容各专业可根据不同要求作适当取舍。讲授学时数以54—72学时为宜。

本书编写过程中,吸取和利用了国内外不少学者的研究成果,书中的某些实例和资料也引自同行们的著作,在此一并表示衷心地感谢。

由于农业系统工程在我国还是一个崭新领域，我们接触的时间不长，因此书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

主 编

1990年4月

目 录

前言

第一篇 农业系统工程引论

第一章 系统工程概述	1
§ 1. 系统工程的形成与发展	1
§ 2. 系统工程的基本知识	5
§ 3. 主要系统理论简介	11
第二章 农业系统工程概述	17
§ 1. 农业系统工程发展概况	17
§ 2. 农业系统工程的特点	19
§ 3. 农业系统工程的基本原则	21
第三章 农业系统工程的基本方法	24
§ 1. 农业系统总体设计方法	24
§ 2. 农业系统模型研究方法	34
§ 3. 农业系统分析方法	41
§ 4. 农业系统开发中的价值评定方法	47

第二篇 农业系统工程技术方法

第四章 线性规划	54
§ 1. 线性规划问题与图解方法	54
§ 2. 线性规划基本理论	59
§ 3. 单纯形解法	64
§ 4. 线性规划问题的矩阵描述	73
§ 5. 对偶理论	76
§ 6. 灵敏度分析	83
§ 7. 多目标问题	98
§ 8. 线性规划的实际应用	104
第五章 网络计划技术	111
§ 1. 网络计划技术概述	111
§ 2. 网络图的构成	113
§ 3. 网络图的绘制	114
§ 4. 网络计划的时间参数计算	120
§ 5. 网络计划的优化	126
第六章 预测方法	135

§ 1. 预测概述	135
§ 2. 德尔菲 (Delphi) 法	140
§ 3. 移动平均法和指数平滑法	143
§ 4. 回归分析预测法	151
§ 5. 灰色预测方法	164
第七章 决策方法	171
§ 1. 决策概述	171
§ 2. 决策的基本方法	177
§ 3. 层次分析决策	185
§ 4. 模糊决策	193
§ 5. 灰色决策	211
第八章 系统动态仿真技术	219
§ 1. 系统动力学简介	219
§ 2. 因果分析	220
§ 3. 系统流程图	222
§ 4. DYNAMO语言	227
§ 5. 系统仿真示例和可信性检验	246
第九章 农业生态系统模型	254
§ 1. 环境因子影响农作物产量潜力的分析模型	254
§ 2. 农业生态系统的结构模型	261
§ 3. 种群系统的网络模型与矩阵模型	267
§ 4. 种群系统变化趋势的模拟	280
第十章 主要计算程序及使用方法	289
§ 1. 线性规划计算程序	289
§ 2. 网络计划计算程序	292
§ 3. 多元线性回归计算程序	295
§ 4. 层次分析计算程序	299
§ 5. 系统动态仿真软件	307
§ 6. 结构模型计算程序	314
主要参考文献	320

第一篇 农业系统工程引论

第一章 系统工程概述

§ 1. 系统工程的形成与发展

一、系统工程产生的背景

近几十年来,科学技术取得了飞跃的进步,未来的发展更是迅不可估。图1.1—1.4反映了世界各国的物质、能量、信息三个基本部门的发展趋势,都呈现指数曲线增长。

这些科学技术的巨大进步,使客观世界事物间的干扰加强了,过去认为互不相干的事物也彼此发生联系了。出现了所谓“空间变狭窄”、“时间相对缩短”的新现象,世界上万事万物间的联系普遍加强并显得更加重要了。在人类面前,涌现出了众多的复杂大系统,使得任何一项工程的开发与实施,不仅涉及到各类科学和技术部门,而且也涉及到诸如政策、人口、教育等许多社会因素。因此,只有综合各个领域的知识,才能有效地解决这类问题,可以说当前的世界已经进入了系统发展的新时代,应该而且必须寻求一种理论和方法

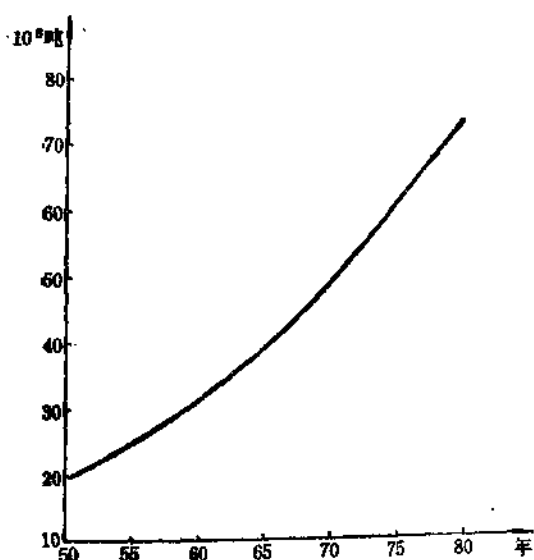


图 1.1 世界钢产量（不含中国）

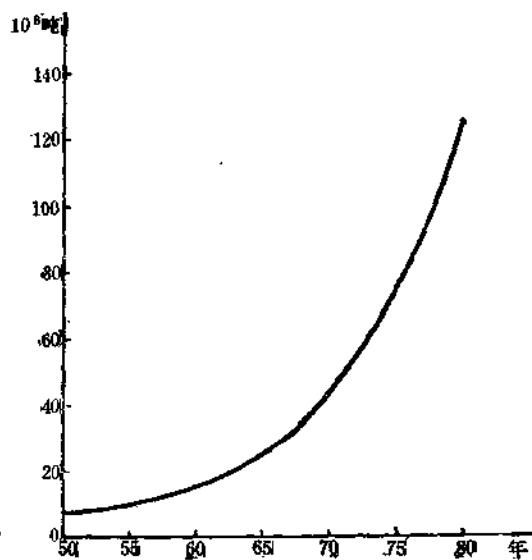


图 1.2 世界化肥产量（不含中国）

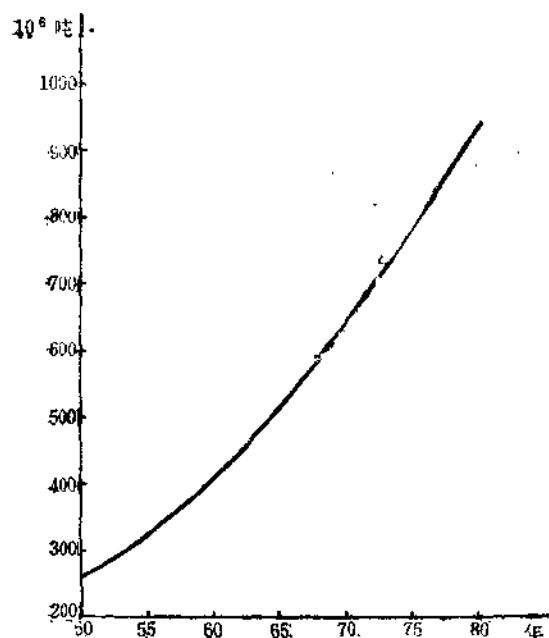


图 1.3 世界能源生产量（折成标准燃料，不含中国）

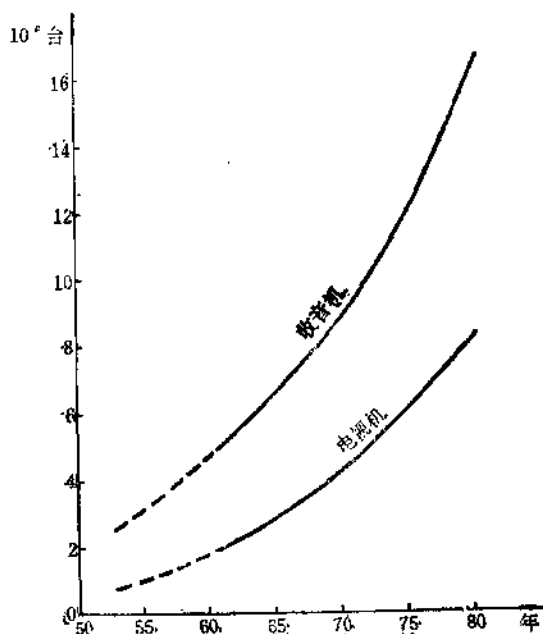


图 1.4 世界收音机和电视机产量（不含中国）

来解决这类系统性问题。于是，系统工程便应运而生了。

二、系统工程产生的基础

1. 思想理论基础 人类认识世界的系统观点，早在古代就开始萌芽了。古希腊的唯物主义哲学家、古代原子论的创始人德谟克利特（公元前460—370年）著有《世界大系统》一书，这是世界上最早采用“系统”提法的著作。被马克思称之为古代最伟大的思想家的亚里士多德（公元前384—322年）的著名论点“整体大于它的各部分的总和”以及对事物生灭变化原因的解釋都是古代系统思想的高度表达形式。在我国古代，最早成书的《易经》和《洪范》两篇著作中，提出的“八卦说”（天、地、雷、火、风、泽、水、山）和“五行说”（金、木、水、火、土）就蕴含了朴素的系统思想。我国春秋时代的思想家老子（公元前580—500年）和战国时代的唯物主义思想家荀况（公元前298—238年）等都在他们的著作中阐述过反映事物之间普遍联系及部分与整体之间辩证关系的系统思想。

15世纪下半叶，随着近代科学的兴起，开始盛行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的方法。这种方式对当时自然科学的发展是必要的，而且起过积极的作用，但同时也助长了形而上学思维方法的发展。然而，就在这一时期，德国唯心主义哲学家和数学家莱布尼茨（1646—1716年）的重要著作《单子论》和德国唯心主义的先验论者康德（1724—1804年）的《纯粹理性批判》等著作却从不同角度阐述了系统思想。

的一些原则。近代的辩证法大师黑格尔(1770—1831年)在他阐明和运用辩证法的原理时,也处处表达出系统的思想原则。

到19世纪下半叶,随着自然科学中的能量转化、细胞学说、进化论的三大发现,使人类对自然界的整体性及相互联系的认识有了进一步提高。马克思、恩格斯明确提出了系统概念和系统思想,恩格斯指出:“由于这三大发现和自然科学的其它巨大进步,我们现在不仅能够指出自然界中各个领域内的过程之间的联系,而且总的说来也能指出各个领域之间的联系了,这样,我们就能够依靠经验自然科学本身所提供的事实,以近乎系统的形式描绘出一幅自然界联系的清晰图画。”建立在19世纪自然科学成就基础之上的辩证唯物主义所体现的物质世界普遍联系及整体性的思想,就是形成系统科学的思想理论基础。

2. 物质技术基础 现代科学技术的发展,对系统思想方法应用于实践起了巨大的促进作用,到20世纪中期,现代科学技术做出了两大贡献。

(1) 现代数学方法(运筹学、离散数学、模糊数学等)的兴起,为系统思想应用于实践提供了量化的可能。

(2) 电子计算机的出现,为量化的系统思想方法的实际应用提供了强有力的计算工具,从而使解决系统问题的复杂计算工作能够变成现实。

可见,现代数学方法和电子计算机的出现,使系统思想方法由哲学思维领域进入了科学实践范围,同时也为系统工程的产生和发展准备了良好的温床。

三、系统工程的发展过程

中国是世界上最早在实践中运用系统思想成功地解决实际问题的国家。例如广为流传的春秋战国时代的齐王和大臣田忌赛马的故事,就体现了对策论的思想。又如战国时代(公元前250年)秦国太守李冰父子在四川岷江上游灌县兴修的都江堰水利工程,就是我国古代成功地应用系统工程方法的例证,这项大型水利工程包括“鱼嘴”分水工程,“飞沙堰”分洪排沙工程和“宝瓶口”引水工程三大主体工程及120个附属渠堰工程,这些大小设施成龙配套,巧妙结合,分导了滔滔的岷江急流,使之转灾为利,驯服地灌溉着成都平原上的良田,二千多年来至今仍发挥着效益。北宋真宗时期,皇宫因火灾被焚,大臣丁渭主持修复工程,他提出的整体施工方案是:在皇城前大道上挖土烧砖备料,形成河道后引进京城附近的汴水,然后用船把建筑材料运入工地,皇宫修好后,再把碎砖杂土填塞河道,修复原来的大道。由于施工环节前后衔接,统筹安排,所以又快又省地完成了修复工程。明朝永乐年间,铸造40多吨重大铜钟时采用的“群炉汇流法”和“连续浇铸法”,也是从整体上进行全面安排,分级调度,充分体现系统思想的成功实例。但是,由于中国长期处于封建统治下,科学技术和生产力一直处于被压抑和落后状态,致使系统工程的萌芽没能在中国民族的土地上发展起来。

近代系统工程萌芽于美国,本世纪30年代,美国在研究电话自动交换机和电视广播时,开始采用系统观点及系统方法,以后在研制机械式微分器及电子数字计算机时亦运用

了系统工程方法作为分析工具。但是,系统工程的成长和影响力的扩大,主要是由于在第二次世界大战中为战争和军事的需要作出了贡献。如著名的大西洋潜艇战役和北非登陆战役的胜利,显示了运筹学在军事决策和战争指挥系统中应用的显著成效。美国陆军在1944年发明的自动化防空火炮系统,被称为可怕的武器,为战争的胜利作了贡献。1942年8月,美国政府实施“曼哈顿计划”,动用约15000名科技人员,耗资20多亿美元,于1945年7月16日成功地爆炸了世界上第一颗原子弹。再次显示了系统工程在组织协调大规模复杂系统时的效能,受到人们的赞誉。二次世界大战以后,随着许多系统工程专家由军事部门转入社会领域,使系统工程深入到社会的各个部门并产生了深刻的社会效益。如欧美国家从60年代出现的电子银行,到80年代全部银行业务的自动化和工程化,便是系统工程和信息技术在经济领域和社会生活中的一个巨大成就。又如用系统工程方法研制成的国际民航订票自动化系统,可以用一次付款的方式使你在几分钟内订到纳入这个系统的任何地点的联运机票,这就大大地提高了效率,改变了人们的生活方式。然而,战后系统工程最脍炙人口的成就还是“阿波罗”号载人登月计划的实现,这一计划从1964年开始执行,到1969年7月16日“阿波罗”11号首次送人登月成功,1972年12月“阿波罗”17号结束最后一次飞行,前后共投资300多亿美元,参加研制的单位有2万多家公司和120多所大学,涉及的科技人员达42万人。这一庞大复杂系统问题的成功解决,在世界上产生了深刻的影响。

系统工程的发展,一方面依赖于在实践中的成功,另一方面也取决于能不断地总结经验并上升到理论高度。1948年美国空军创建的兰德公司(Rand corporation),在研究和解决复杂系统问题时创造了许多新的概念及新的方法,为系统工程的发展起了开拓作用。1954年钱学森在美国出版了《工程控制论》一书,对系统工程的形成和普及起了重大作用。1957年美国密执安大学的古德(H. H. Goode)和迈克尔(R. E. Machol)合著了《系统工程学》一书,初步奠定了这门学科的基础。1965年迈克尔(R. E. Machol)进一步编写了《系统工程学手册》,系统论述了系统工程学的方法论、系统环境、系统元件、系统理论、系统技术、系统数学等,基本上概括了系统工程学的各个方面,使系统工程学构成了一个比较完善的体系。以后各国学者纷纷著书立书,相继出版了许多系统工程方面的书籍,使系统工程在理论上日趋完善。

70年代以后,系统工程已广泛应用于自然系统和社会各个领域的研究,世界上各种类型的国家,都程度不同的应用系统工程来解决本国的问题。这就进一步促进了系统工程的发展,例如日本从美国引进系统工程的理论和方法,特别在质量管理技术上有所创新和发展,致使日本许多产品的质量处于世界领先地位。

我国最早有系统、有组织地应用系统工程是从60年代初开始的,当时主要应用于军事领域导弹技术的研究。70年代中期以后,在钱学森等专家的倡导和推动下,系统工程在我国开始普及并在一些领域开展了研究和应用。1980年11月成立了中国系统工程学会,此后的系统工程活动十分活跃,到80年代中期,系统工程在我国不仅得到较为广泛地普及,而且在许多领域的研究和应用都取得了引人注目的进展,受到社会各方面的重视。

§ 2. 系统工程的基本知识

一、系 统

1. 系统的概念 在现实生活中,“系统”一词正被广泛应用于从自然界到社会生活的各个领域,如:

- 宇宙系统, 太阳系;
- 天气系统, 生态系统;
- 农业系统, 工业系统, 商业系统;
- 导弹系统, 计算机系统;
- 生物进化系统, 原子结构系统;
-

显然,还可以写出许许多多类似的“系统”,从简单的事物分类到划分系属,描述结构”显示过程,进而到说明纵横关系,层次关系等,无一不用“系统”一词。

但是,在系统科学的范畴内,“系统”一词是有其特定含义的。所谓系统,是指由两个或两个以上相互关联的元素组成的具有特定功能的有机整体。

为使系统概念更具有概括性和普遍意义,还可以用数学模型来表示:

$$S = (E, R)$$

其中, S 代表系统; E 为组成该系统的元素集; R 为该系统的关系集。

上式表明系统 S 是由 E 和 R 组成的一个集合,其中构成元素集 E 的元素,既可以是物体、事物,也可以是信息;而关系集 R 则概括了系统元素间的结构、状态和过程等关系。可见,系统的基本属性是由构成系统的元素,以及元素间的关系(结构,状态,过程)所决定的,通常把元素、结构、状态和过程叫做构成系统的四要素。

上述系统概念的定义,至少应包含以下要点:

- (1) 系统至少由两个以上元素组成,单个元素构不成系统。
- (2) 系统各元素之间相互联系,相互依赖,相互制约,相互作用,是有机的结合。
- (3) 系统具备特定的整体功能,它既不同于单个元素的功能,也不是构成系统各元素功能的简单相加。
- (4) 系统不是静止不动的,而是朝着某一方向(目标)运动变化的,系统本身是个动态发展过程。

2. 系统的分类 为了从不同角度认识和研究系统,常把系统进行如下分类:

(1) 自然系统和人造系统 从系统的生成而论,可以分为自然系统和人造系统。凡是由自然力而非人力所构成的系统,均称为自然系统,如天体系统、地理系统、生物系统等。自然系统是客观世界的物质存在和运动的属性之一,是客观世界物质变化的一种形式。人造系统是指由人工造成的各种元素所构成的系统,如各类工具系统(机器、车辆、

飞机、导弹等)、社会系统(国家、企业、工厂等)、意识形态系统(文学、艺术、法律、技术等),等等。

实际上,不少系统是自然系统与人造系统的复合系统,如一些人造系统正是人类运用科学技术,认识、改造了的自然系统。

(2) 物质系统和概念系统 按组成系统的元素性质划分,可以分为物质系统和概念系统。凡是以矿物、生物、机械、能量以及人等物质实体构成的系统,都叫物质系统。凡是由概念、原理、原则、方法、制度、程序等观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、技术系统、教育系统等。在现实生活中,物质系统和概念系统常常是结合的,物质系统是概念系统的基础,而概念系统则为物质系统提供指导和服务。

(3) 动态系统和静态系统 按系统状态与时间的关系划分,可以分为动态系统和静态系统。所谓动态系统是指系统的状态随时间变化而变化的系统,而静态系统的状态则不随时间变化而变化。显然,动态系统的状态变量是时间函数,而描述静态系统的数学模型中则不含有时间因素。当然,从客观世界运动的普遍性出发,是不存在绝对静止系统的。因此,静态系统只是相对而言的,它是动态系统的一种极限状态,即处于稳态的系统。

(4) 开放系统和封闭系统 从系统与外界环境的关系看,可以将系统划分为开放系统和封闭系统。凡是和外界环境间有物质、能量、信息交换的系统称为开放系统,反之称为封闭系统。

开放系统和封闭系统的性质、特点及运动变化规律截然不同,因此,正确地划分开放系统和封闭系统是一个重要的问题。

(5) 可控系统和不可控系统 从系统和人的关系上看,凡是人能够改变其状态的系统都称为可控系统,反之称为不可控系统。显然,大多数人造系统都是可控系统,而大多数自然系统都是不可控系统,有少数自然系统在某种程度上是可以控制的。

二、信 息

1. 信息的概念 1948年,美国贝尔电讯实验所工程师申农(C. E. Shannon)在《贝尔电讯杂志》上发表了著名论文“通讯的数学理论”,系统论述了信息理论,从而奠定了现代信息论的基础。

但是,人们对信息概念的认识和理解,却是由来已久并有一个发展演变过程的。在日常生活中,人们通常把信息理解为消息的意思。申农在他的著作中,把信息和消除不定性联系在一起,认为“信息是用来消除不定性的东西”。控制论的奠基者维纳(N. Wiener)提出“信息就是人和外界相互作用的过程中,同外界进行交换的内容的名称。”还有人把信息理解为集合的变异度、事物的差异或关系,以及系统的有序性等。这些定义,都从不同角度,揭示了信息的本质。

为便于理解,从信息使用者的角度出发,可以给出下述定义:信息是关于事物运动状态和方式的广义知识。如太阳系的星群,微观世界的粒子,天空中的风雨雷电,地球上的

各种生物, 贸易市场的行情, 企业生产的数量、质量, 以及各类报表、图纸、新闻等, 都在向我们提供各种各样的反映事物运动状态和方式的信息。凡是我們观察到的事物、现象等等, 是直接的信息。经过加工整理的数据、资料、理论、观念等等, 是间接的信息。无论是直接信息或间接信息, 都是向人们提供关于事物运动状态和方式的知识。可见, 信息对于人类的作用, 就是提供万事万物的广义知识。

2. 信息的属性

(1) 识别性 信息是客观事物的反映, 它可以通过感官直接识别, 也可以通过各种探测手段间接识别, 对不同的信息来源有不同的识别方式。

(2) 转换性 信息可以从一种形态转换为另一种形态, 如物质信息可以转换为语言、文字、图像、图表等信息形式, 也可以转换为计算机的代码及广播、电视的信号, 而代码和电信号又可以转换成语言、文字、图像等。

(3) 存贮性 人脑存贮信息叫记忆, 计算机用内存贮器和外存贮器来存贮信息, 录音和录像也是存贮信息的方式。

(4) 传递性 人与人之间的信息传递靠语言、文字、表情、动作, 社会活动信息的传递通过报纸、杂志、报告、广播、电视等等。随着科学技术的进步, 信息传递的速度和方式将更加高效率和多样化。传递性是信息的本质特征。

(5) 再生性 人们收集的信息经处理后, 可以用语言、文字、图像等再生成。计算机收集的信息也可以用显示、打印、绘图等形式再生成。

(6) 扩充性 信息随着人们对它的认识和利用的深入而无限的扩充, 随着时间的推移和空间的转换, 对于某一过程或某一地点没有用的信息, 对于另一过程或地点可能是有用的信息。

(7) 共享性 信息和实物不同, 实物通过传递会有失有得, 而信息交易后, 却可以大家共享, 交换信息的双方, 谁都不会失去原有的信息, 只能增加新的信息。信息的共享性是无限的, 这对人类的进步和社会的发展具有十分重要的意义。

(8) 系统性 如果把信息的发源处, 称做“信源”; 信息的接收处, 称做“信宿”; 信息传递的通道, 称做“信道”。那么, 由信源、信道、信宿就组成了一个最简单的信息系统。任何信息总是存在于一定的信息系统之中的, 信息的传递也只能在信息系统中进行, 信息是有系统性的。信息的系统性还表现在任何有价值的信息, 都不是个别的和紊乱的, 而是一组能反映客观事物变化状态的有机整体。

三、控 制

美国学者维纳 (N. Wiener) 于1948年出版了《控制论》一书, 标志着系统控制科学的正式诞生。

1. 关于控制的基本概念

(1) 控制概念 什么是控制? 从不同的角度可以有不同的描述, 但反映的本质是——

致的。现选择一种简练直观的定义如下：控制是施控主体对受控客体的一种能动作，这种作用能够使得受控客体根据施控主体的预定目的而动作，并最终实现这一目的。

上述定义表明，目的性是控制的基本特征，控制必须是有目的的。没有目的就谈不上控制。台风引起海啸，寒流侵袭降温，河流冲积成沙洲，虽然有明显的因果关系，但都不是控制。可见，控制只能发生于生命系统、人类社会系统和人造的物质系统，因为这些系统的存在和发展都是有目的性的。

(2) 传递概念

①输入与输出 开放系统与环境间的相互作用和相互影响是通过输入和输出的方式进行的。一般把环境对系统的作用和影响称为系统的输入，通常指环境向系统投入物质、能量和信息；把系统对环境的作用和影响称为系统的输出，输出的是经过系统加工过滤、转换变形的物质、能量和信息。

②传递函数 任何系统在输入变化的作用下所产生的输出变化，称作输入到输出的变换。通常用传递函数来反映这种变换关系，传递函数一般用输出与输入的比值来表示。在线性系统中，可用下式表达：

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

式中 $Y(s)$ 、 $X(s)$ 分别为系统输出、输入变量的拉普拉斯变换， $W(s)$ 即为传递函数。

传递函数的引入，使我们可以用数学表达式来描述系统输入与输出之间的关系，用数学模型来研究系统的动态行为特性，从而使控制论具有数学定量化的性质。

(3) 反馈概念

①反馈 反馈是系统输出的全部或一部分通过一定的通道反送到输入端，从而对系统的输入和再输出施加影响的过程（图1.5）。一般把系统输出向输入的反送通道叫反馈通道，而把系统输入向输出的变换通道叫输入—输出通道，它和反馈通道一起组成一个循环回路，叫做反馈环。

②正反馈与负反馈 当系统的输出结果反过来作用于系统输入端的原因时，若起削弱原因作用就是负反馈；若起强化原因作用就是正反馈。图1.6是一个具有反馈环的系统，当系统输出值 Y 经过反馈通道（检测元件）反送到系统输入端，通过比较器与已给定的目

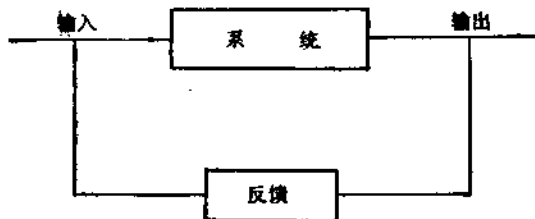


图 1.5 系统的输入输出及反馈