

农业系统工程

基础

高等农业院校试用教材

河南农业大学
东北农学院
沈阳农业大学
浙江农业大学
安徽农学院

合 编

河南科学技术出版社

高等农业院校试用教材

农业系统工程基础

河南农业大学 东北农学院
沈阳农业大学 浙江农业大学
安徽农学院 合编

河南科学技术出版社

高等农业院校试用教材

农业系统工程基础

河南农业大学 东北农学院
沈阳农业大学 浙江农业大学
安徽农学院 合 编

责任编辑 史治五

河南科学技术出版社出版

汝 南 县 印刷厂印刷

河南省新华书店发行

350×1168毫米 32开本 13.5印张 313 千字

1987年8月第1版 1987年8月第1次印刷

印数1—10,340册

ISBN 7-5349-0000-X/S·1

统一书号16245·210 定价3.80元

内 容 提 要

农业系统工程是一门新兴学科，是系统工程在农业中的具体应用。目前，高等农业院校作为各类专业的一门重要专业基础课开设、讲授，也是农、林业科技人员必需掌握的一门新知识。

全书分八章：系统工程概论、系统工程基本方法、线性规划、动态规划、网络分析技术、决策与对策、系统预测技术和系统模拟等。内容简明扼要，系统理论与实例紧密结合，方法程序具体，每章节都控制在一定学时之内。可作为高等农业院校各专业基础课教材，亦可供各级农业管理人员、技术人员和各级农业领导干部的培训教材和参考书。

前 言

本书是根据1986年7月农牧渔业部委托北京农业工程大学召集的农业系统工程研讨班讨论通过的《农业系统工程基础》教学大纲编写的。

系统工程是20世纪中期发展起来的一门新兴的管理工程技术,它从军事领域开始,逐渐渗透扩散应用到社会和经济的各个方面。农业系统工程就是系统工程的理论和方法在农业中的应用。随着科学技术的发展和农业的现代化,高等农业院校各个专业的学生都需要掌握系统思想和初步学会运用系统工程的理论和方法,定性定量相结合地对系统整体进行分解、协调和组装,分析综合和评估,以期用最少的代价,最大限度地利用各种农业资源,获取最好的综合效益。《农业系统工程基础》这本教材就是为这一目的而编写的。

本书共八章:系统工程概论;系统工程的基本方法;线性规划;动态规划;网络分析技术;决策与对策;系统预测技术;系统模拟。第一章和第七章由河南农业大学朱永达编写;第二章和第五章由东北农学院杨广林编写;第三章由安徽农学院竺开华编写;第四章由浙江农业大学冯祖安编写;第六章由沈阳农业大学张松明编写;第八章由浙江农业大学陈秉钧编写。朱永达担任主编。

东北农学院余友泰教授、北京农业工程大学柳克令教授、中

国人民大学张象枢教授审阅了书稿，提出了宝贵的意见，特此表示感谢。

本书适用于高等农业院校各个专业，也可作为各级农业管理人员、技术人员和各级农业领导干部的培训教材和参考书。建议学时数为48~72。除第一章和第二章外，其余六章的内容，各专业可根据不同要求作安排。书中加*号部分属于选学内容。

由于农业系统工程尚处于发展阶段，它涉及的学科领域非常广泛，内容极其丰富，而且具有很强的实践性。限于我们的水平，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

目 录

前言.....	(1)
第一章 系统工程概论.....	(1)
§ 1—1 系统概念.....	(1)
§ 1—2 系统分类.....	(13)
§ 1—3 系统工程及其发展过程.....	(15)
§ 1—4 农业系统工程.....	(22)
第二章 系统工程的基本方法.....	(26)
§ 2—1 逻辑思维过程总体设计方法.....	(26)
§ 2—2 开展综合研究的方法.....	(34)
§ 2—3 模型化的研究方法.....	(35)
§ 2—4 系统工程中的价值评定方法.....	(43)
§ 2—5 系统控制的方法.....	(52)
第三章 线性规划.....	(56)
§ 3—1 引例.....	(56)
§ 3—2 线性规划模型及其解法.....	(62)
§ 3—3 对偶问题.....	(111)
§ 3—4 建模中的注意事项.....	(134)
§ 3—5 目标规划.....	(141)
* § 3—6 参数规划.....	(150)
* § 3—7 整数规划.....	(159)

第四章 动态规划	(169)
§ 4—1 多阶段决策问题	(169)
§ 4—2 动态规划的基本方程和最优化原理	(173)
§ 4—3 动态规划实例	(179)
第五章 网络分析技术	(192)
§ 5—1 概述	(192)
§ 5—2 图的基本概念和矩阵表示方法	(193)
§ 5—3 PERT网络分析方法	(198)
§ 5—4 网络最大流问题	(214)
第六章 决策与对策	(223)
§ 6—1 决策分析概述	(224)
§ 6—2 确定型决策	(229)
§ 6—3 风险型决策	(232)
§ 6—4 不确定型决策	(240)
§ 6—5 决策树	(244)
§ 6—6 贝叶斯分析在决策中的应用	(247)
§ 6—7 对策分析	(255)
第七章 系统预测技术	(272)
§ 7—1 引言	(272)
§ 7—2 定性预测技术	(277)
§ 7—3 定量预测技术	(289)
* § 7—4 投入产出法	(337)
第八章 系统模拟	(359)
§ 8—1 系统模拟引论	(359)
§ 8—2 用通用语言进行系统模拟	(367)
§ 8—3 系统动力学简介	(378)

第一章 系统工程概论

系统工程是20世纪后半期出现的一门新兴学科。它从军事科学领域开始,逐渐扩大到社会、经济等各个领域。系统工程的发展始于20世纪50年代中期,但大规模的研究和应用则是从1978年以后才开始的。目前,在军事、经济、能源、农业、矿业、水利、环境、交通、人口、大型项目管理、企业管理和教育等,不少方面都已得到实际应用,有的已初见成效;不少高等院校设置了系统工程本科、硕士生和博士生专业,开设了系统工程课程,系统工程已从初期的传播国外的理论、方法和应用情况,进入到紧密联系我国现代化建设,独立开展系统工程理论和方法研究的阶段。在某些方面,如系统科学体系、运筹学、控制论、模糊数学等已发表了大量论文,有些已达到国际水平。随着我国社会主义现代化建设事业的发展,系统工程将愈来愈广泛地得到应用,并发挥愈来愈大的作用。

§1—1 系统概念

系统工程是以一般系统为研究对象的一门工程技术。其核心是用系统思想、系统方法来认识问题、分析问题和处理问题。为了掌握系统工程这门技术,首先必须弄清系统的概念。

一、系统概念的形成过程

“系统”一词由来已久，可说是到处都在应用。例如：国民经济系统、军事系统、政法系统、文教系统、工交系统、农业系统。又如，高等农业院校中一般都设有农学、林学、植保、畜牧、农业工程等系科。但是，把它用于科学领域，赋予特定的含义，并进而形成一个科学体系，形成一门学科，则必须深入进行讨论。

系统概念来源于人类长期的社会实践，它与人类认识逐步深化的过程一样，经历了一个曲折的发展过程。

系统概念在古代人类社会实践中，就已萌生，它寓于朴素的唯物论和辩证法之中，其特点是强调对客观世界整体性、统一性的认识，强调组成客观世界的诸元素之间的联系，早在公元前6世纪至5世纪之间，我国春秋时代末期的思想家老子，在其著述中就曾指出：“天下万物生于有，有生于无”（《老子》第二十五集）；“无，名天地之始，有，名万物之母”（《老子》第一集），初步揭示了有与无，始与母之间的相互联系，表述了老子对自然界系统性的见解，春秋、战国时代的《孙子兵法》，从道、天、地、将、法五个方面来分析战争全局。指出：“凡此五者，将莫不闻，知之者胜，不知者不胜”。这是古代很深刻的军事系统思想。周、秦至汉初成书的我国医学经典《黄帝内经》的五行说，则可说是我国比较完整的一般系统论的原始理论。阴阳五行说强调人体内各器官的有机联系，强调人体健康与自然环境的有机联系，进而阐明了诸如春夏阳气发泄，气血易趋于表，因而皮肤疏泄，多汗少溺等许多生理、病理现象，强调医治疾病必须因时、因地、因人制宜。这种朴素的系统思想和方法，表现在工程建设上的杰作是战国时期（公元前250年）李冰父子主持修建的都江堰水利工程。它的三大主体工程（“鱼嘴”分洪工程、“飞沙

堰”分洪排砂工程、“宝瓶口”引水工程)和120个附属渠堰工程,形成一个有机整体,兼有防洪、灌溉、漂木、行舟等多种功能,渠道上设置了水尺,根据测得的水位,多级分水,合理控制分水流量,使汹涌急流的岷江化害为利,灌溉了成都平原上14个县的几百万亩农田。工程完成后,又建立了一套岁修养护制度。每年按规定淘砂修堤,因此,虽经历二千多年,至今仍发挥着效益。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,即使以现在的观点看,仍不愧为世界上一项宏伟的系统工程范例。几乎是同一时期,古希腊唯物主义哲学家德谟克利特(公元前467~370)写出了《宇宙大系统》一书,可惜已经失传,古希腊百科全书式的伟大学者亚里士多德(公元前384~前322年),提出“整体大于它的各部分的总和”的论点,这是系统基本特征的一个极精辟的论述,他还提出用四因论(质料因、形式因、动力因、目的因)来说明事物的构成及生灭变化,这是古希腊朴素系统思想中极有价值的遗产。但是,由于受时代,和科学发展的局限,当时的人们还缺乏对事物整体各方面细节的深刻认识,因而对事物整体性的认识也不可能完备。所以,古代朴素的系统思想与当时的辩证法一样,都不可避免地带有猜测,直觉和思辩的性质。

直到15世纪下半叶,近代科学兴起,力学、天文学、物理学、化学、生物学等学科逐渐从古代的混为一体的自然哲学中分离出来,发展了研究自然界的独特的分析方法——实验、解剖和观察的方法——把自然界的细节从总的联系中抽出来,分门别类地加以研究。这种认识事物的方法,反映在哲学上就是形而上学的思维方法。这种思维方法,撇开事物总体的联系来考察事物和过程,因而堵塞了人们由了解事物的部分到了解事物整体,再到了

解事物之间普遍联系的道路，所以，在形而上学，机械论占统治地位的那个时期（即17~18世纪），系统思想的发展受到很大的局限，但是，应当看到，近代自然科学的发展加深了人们对各种不同系统（物理、化学、天文、地理、生物、数学等）的认识，因而为现代系统科学的发展打下了基础。

从19世纪起，能量守恒与转化定律，细胞学说和进化论三大科学发现，使人类对客观事物的整体性质和对自然过程的相互联系的认识有了新的发展。达尔文的生物进化理论认为生物界是一个由众多互相联系着的各种生物构成的不断进化的总体。门捷列也夫的“元素周期律”，揭示了元素性质周期地随其原子量而变化的规律，所有元素构成一个秩序井然的系统，元素周期表就是这个无机世界的生动形象的模型，德国数学家莱布尼茨在《单子论》中提出：单子是“事物的元素”，是“组成复合物的单纯实体”，任何事物都是在联系中显现出来的。德国古典哲学大师黑格尔，第一次把“系统”范畴提到辩证的普通方法论的高度，他对系统整体与其部分的关系作了很深刻的论述，指出：“不应当把动物的四肢和各种器官只看作动物的各个部分，因为四肢和各种器官只有在它们的统一体中才是四肢和各种器官……。四肢和各种器官只是在解剖学家的手下才变成单纯的部分，但这个解剖学家这时所处理的已不是活的躯体，而是尸体。”（《马克思恩格斯选集》第3卷，第648页），恩格斯对黑格尔的系统思想给予了高度的评价，认为它体现了“一个伟大的基本思想，即认为世界不是一成不变的事物的集合体，而是过程的集合体”（《马克思恩格斯选集》第4卷，第239~240页），恩格斯在这里所讲的“过程的集合体”，阐明了“系统”的哲学概念，在总结这段历史发展进程时，恩格斯有一段极为精辟的论述。他说：“由于这三

大发现和自然科学的巨大进步，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。”（《马克思恩格斯选集》第4卷第241页）。总之，19世纪的自然科学，“本质上是整理材料的科学，关于过程，关于这些事物的发生和发展，以及关于把这些自然过程结合为一个伟大整体的联系的科学”（同上），这样的自然科学，为马克思主义哲学提供了丰富的材料，辩证唯物主义关于物质世界普遍联系及其整体性的思想，正是系统思想的实质。

现代科学技术对于系统思想和系统方法的发展，作出了重大的贡献。其一是使系统方法定量化，成为一套具有数学分析，能够定量处理系统各组成部分之间关系，并与定性分析相结合，相辅相成的科学方法；其二是为定量化系统方法的实际应用提供了强有力的计算工具和信息处理枢纽——电子计算机。

总之，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取得了哲学的表达形式；在运筹学、控制论、信息论，各门工程学和社会科学等学科那里取得了定性和定量结合的表达手段；在系统工程那里取得了丰富的实践内容。从系统概念形成过程的简略考察中，可以看出，这一过程也就是人类认识客观世界的一个否定之否定的发展过程。迄今为止，这个过程可以大致地概括为：古代直观的朴素的整体认识——>近代经验的部分认识——>现代辩证的定性与定量相结合的整体认识。现代系统理论正是这个发展过程的必然产物。

二、系统的定义

在韦氏大辞典中，对系统一词的解释是：“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。”

日本JIS(工业标准)中的“系统”定义是：“许多组成要素保持有机的秩序，向同一目的行动的东西。”一般系统论的创始人L·V·贝塔朗菲把系统定义为“相互作用的诸要素的综合体。”美国著名学者阿柯夫认为：系统是由两个或两个以上相互联系的任何种类的要素所构成的集合，因此，系统不是一个不可分解的要素，而是一个可以分成许多部分的整体。苏联学者乌耶莫夫则从系统功能的角度上，认为系统是客体具有的“那么一种满足某种预先确定的性质的关系。”我国学者钱学森认为：系统是“由相互作用和相互联系的若干组成部分结合而成的具有特定功能的整体。”

综合各种论述，“系统”定义如下：系统是由两个或两个以上相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的元素（事物或过程）组成的，具有某种特定功能，朝着某个特定目标运动发展的有机整体（集合）。这个定义中包含五个要点：第一，由两个或两个以上元素组成。单个元素构不成系统。第二，各元素之间相互联系，相互依赖，相互制约，相互作用。鸡蛋和石头两个没有丝毫联系的元素，构不成系统。第三，各元素协同动作，使“系统”作为一个整体而具有各组成元素单独存在时所没有的某种特定功能。例如，两个氢原子和一个氧原子在一定条件下结合形成一个水分子，水分子具有氢原子和氧原子所没有的特定性能。第四，“系统”是运动和发展变化的，是动态的发展过程。第五，“系统”的运动有明确的特定目标。

三、系统的特性

作为系统，区别于非系统有以下六个特性：

1. 整体性：客观世界从宏观的天体到微观的粒子，从无机界到有机界，从人类社会到人类思维，任何事物都是由各种元素以一定的方式构成的有机整体，整体性是一切事物普遍具有的属性。但是，由于客观事物的组成元素和相互作用的方式是各种各样的，所以，整体性的形式也是千差万别的。归纳起来不外有两种：

一种整体是各组成部分的简单凑合，如一堆沙子，一堆苹果，一堆玉米等等，它的各组成部分之间缺乏有机的联系，各组成部分的数量、质料，堆积形式对整体功能的影响甚小。因此，这种整体只能称为“非系统”联系的整体。

另一种整体的各组成部分之间，各组成部分和整体之间，整体及其各个组成部分与外部环境之间保持着有机的联系。例如，由四肢和各种器官组成的人体；由上万个零件组成的飞机；由种子精选、种子处理、施肥、耕地、播种、中耕除草、病虫害防治、排灌、收割、脱粒、烘干，直至入仓等一系列生产环节所组成的作物生产过程等。这种整体的各个组成部分的数量和结合形式，以及同外部环境相互作用的形式，对事物的整体功能产生直接的影响，因此，这种整体称为系统联系的整体。

这里的要点是系统整体、系统组成元素和系统外部环境三者之间必须具有有机的联系，而且作为整体一定要具有各组成部分自身单独所不具有的某种特定功能。氯化钠可以食用，但分离出的氯气是根本不具有食盐意义的有毒气体；螺丝钉的功用是联接零件和部件，但当成千上万个螺丝钉把各种零部件装配成一部汽车后，作为整体的汽车的功能是无法在单个螺丝钉上找出来的。关于系统的这种整体性效应，恩格斯在《反杜林论》中曾指出：“许多人协作，许多力量溶合为一个总的力量，用马克思的话来

说，就造成‘新的力量’，这种力量和它的一个个力量的总和和本质的差别。”贝塔朗菲在创立一般系统论时，重申亚里士多德“整体大于部分之和”的著名论点，都是在于要强调阐明系统的整体性效应。

有一点必须说明，在现实生活中，如果简单地从数量上来看，系统整体既存在大于部分之和的情况，也存在等于或小于部分之和的情况。在集合论中，有穷集合的整体大于部分之和；但在无穷集合中，整体就可以等于部分之和。锂受质子轰击产生裂变，其质量大于部分之和；但用高能粒子击碎质子后，每个碎片均可恢复到原来质子的大小，就出现了整体小于部分之和的情况。那么又应当怎样来理解“整体大于部分之和”的内涵呢？这里的核心是系统整体具有各构成元素自身所没有的性质和功能，系统整体所具有的性质和功能，不等于各组成元素的性质和功能的简单相加。

整体性是系统理论的核心，它要求我们在考察任何系统时都要从整体着眼，从部分着手，着重考察系统组成要素之间的联系和系统与环境之间的联系，从整体上正确揭示系统的性质和发展规律，并据此改进系统结构，使各组成要素按整体目标的要求协同动作，以求得整体的优化。

2. 关联性：系统的关联性包括两个方面。

(1) 指组成系统的各元素之间按一定次序排列组合（称为有序性），以一定形式相联结，以一定数量比例关系相匹配，形成系统的内部结构。同样的元素，排列组合不同，联结形式不同，数量比例不同，就形成不同的结构，表现出不同的功能。众所周知，金刚石和石墨的化学成分都是碳，但两者原子排列结构不同，具有完全不同的性能。金刚石是立方晶体结构。外观透

明，不导电，硬度很高；而石墨是鳞片状晶体结构，不透明，导电，硬度低。社会生活里，同样的劳动力，由于组合方式不同，可以得到完全不同的劳动效果。一支好的排球队，当然要求每个队员都有良好的全面的技术素质，但更重要的是全队的配合默契，协同作战。如果人人都想当主攻手，那么这支球队肯定赢不了球。总之，系统组成元素的数量匹配协调，联结形式合理，排列组合有序，系统内部结构就好，系统整体功能就强；反之，系统内部结构就不好，系统整体功能就差。

(2) 指系统整体及其组成元素与外部环境之间以一定形式相联结，形成系统的外部结构。因为任何系统都存在于一定的外部环境之中，必然与外部环境发生物质、能量和信息的交换，所以，环境的变化也必然要影响系统及其组成元素，这叫做系统的环境适应性。为使系统与环境相适应，可以调节系统的内部结构，使其适应周围环境；也可以改变周围环境，使其适应系统发展的需要。不管用那一种办法，都必须使系统与环境保持一种良性的循环关系，否则系统和环境都会受到损害，当系统与环境之间以比较稳定的形式和在一定数量范围内发生物质、能量和信息的交换时（即系统处于缓慢的量变阶段时），系统具有调整内部结构，以适应环境变化的自组织能力；当系统与环境之间的物质、能量和信息的交换形式和数量发生强烈变动时（即系统处于急剧的质变阶段），原系统的内部结构由于已不能适应这种变化而解体，各组成元素重新组合，包括增加或减少某些元素，形成具有新性能的新结构、新系统。水加热到 100°C 就沸腾而成水蒸汽，两者的分子结构虽然相同，但具有完全不同的物理性能。

这里说明一个重要的道理，系统性能取决于系统内部结构（内因），但又必须在一定的外部环境条件下才能充分发挥作用；