

NONGYEXITONG

农业系统工程基础

GONGCHENG JICHU

魏淑秋 陈伟侯 编著



北京农业大学出版社

农业系统工程基础

魏淑秋 陈伟侯 编著

北京农业大学出版社

1987

责任编辑：沈凤鸣

封面设计：李颖琳

农业系统工程基础

魏淑秋 陈伟侯 编著



北京农业大学出版社出版

(北京市海淀区马连洼)

新华书店北京发行所发行

河北省正定县印刷厂印刷



开本：850×1168 1/32 印张：12.88 字数：341千

1987年6月第1版 1987年6月第1次印刷

印数5000

ISBN 7-81002-002-1/S·3

统一书号：16446·22

定 价：3.00

前 言

“系统工程”这一概念大体上是二十世纪中叶发展起来的，“农业系统工程”这个概念出现得更晚。运用系统科学的理论和方法研究农业这一庞大、复杂系统，它的意义和价值，越来越多的引起农业工作者的极大关注与兴趣。

目前，我国几乎每省都有一些试点县，在运用“农业系统工程”方法进行规划，调整各种产业结构等，已经取得一些可喜进步和成果。

广大农业管理干部，农业技术干部迫切要求，尽快的了解和掌握“农业系统工程”这一科学方法，以解决现代农业中的新问题。为此，我们编写了这本“农业系统工程”基础。试图用较通俗的语言，深入浅出的介绍一些基本的较为实用的方法，并以实例说明概念与具体计算步骤，使广大的具有中等专业水平以上的技术人员，大部分都可以读懂。又针对一些不单独开设运筹学，概率统计学的农业院校特点，将这本书的重点放在各种系统优化模型的建立与求解方法上。使得学习者在了解农业系统工程基本概念的基础上，掌握一些具体解决系统优化的算法和技能。

本书共分十一章，由魏淑秋、陈伟侯分别撰写；王道龙、王鹏文、罗军、徐六康、游松才、陆健康、刘金铜、蒋次均、郑曼曼、郑秋平等参加校对、制图等工作。

本书的编写提纲曾得到“农业系统工程”专家张象枢先生的指正，他还对某些章节作了具体修改，得到王文隆先生、杨昌业先生启发与帮助。书中某些实例和具体材料来自各地同行们的工作。在此一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促，缺点、错误在所难免，敬请批评指正。

编 者

1986.10.

目 录

第一章 系统与系统工程的基本概念	(1)
第一节 什么是系统	(1)
第二节 什么是系统工程	(4)
第三节 系统的特性	(7)
第四节 系统的种类	(9)
第五节 系统科学与系统工程的区别与联系	(11)
第六节 系统工程的理论基础	(12)
第七节 系统工程人员的素质	(14)
第八节 系统工程的方法、步骤	(14)
第九节 系统工程经常使用的工具和方法	(18)
第十节 国内外系统工程发展概述	(18)
第二章 农业生产函数	(23)
第一节 什么是农业生产函数模型	(23)
第二节 建立农业生产函数模型的基本假设	(26)
第三节 资源投入量与产品产量之间关系	(26)
第四节 资源的合理投入问题	(29)
第五节 资源的相互替代	(37)
第六节 产品间的配合关系	(41)
第七节 常用农业生产函数模型	(46)
(一) S型曲线函数	(46)
(二) 柯布一道格拉斯模型	(52)
(三) 多项式模型	(53)
(四) 技术进步测定模型	(53)
第三章 线性规划	(55)

第一节	线性规划模型的建立	(55)
第二节	二维线性规划图解法	(58)
第三节	将线性规划问题化为标准形式	(64)
第四节	规范形式和基可行解	(70)
第五节	基可行解是最优解的充分条件	(72)
第六节	目标函数无上界的充分条件	(75)
第七节	换基的充分条件	(76)
第八节	用单纯形表求新基的规范形式	(85)
第九节	单纯形算法概述	(89)
第十节	已知基求规范形式	(93)
第十一节	二阶段法	(95)
第十二节	单纯形表的矩阵表示	(100)
第十三节	改进单纯形法	(107)
第十四节	对偶单纯形法	(117)
第十五节	灵敏度分析	(121)
第十六节	线性规划的对偶问题	(130)
第四章	目标规划	(134)
第一节	目标规划的基本概念	(134)
第二节	目标规划的数学模型	(136)
第三节	目标规划的图解法	(143)
第四节	目标规划的单纯形解法	(147)
第五章	动态规划	(160)
第一节	求最小运费问题	(160)
第二节	求最大利润问题	(163)
第三节	动态规划的基本概念	(170)
第四节	离散状态的例题	(173)
第五节	连续状态的例题	(184)
第六章	整数规划	(192)
第一节	整数规划举例	(192)

第二节	分支定界法·····	(196)
第三节	割平面法·····	(202)
第四节	0—1 规划的隐枚举法·····	(207)
第五节	指派问题的匈牙利法·····	(210)
第七章	网络分析·····	(215)
第一节	什么是网络和网络系统·····	(215)
第二节	图的基本概念·····	(218)
第三节	树和树的逐步生成法·····	(220)
第四节	最小树问题·····	(223)
第五节	最短路问题·····	(224)
第六节	匹配问题·····	(228)
第七节	最大流问题·····	(230)
第八节	图上作业法·····	(233)
第九节	中国邮递员问题·····	(239)
第十节	统筹法·····	(243)
第十一节	图与网络的矩阵表示·····	(265)
第十二节	网络与线性规划·····	(270)
第八章	存贮论·····	(272)
第一节	存贮论的基本概念·····	(273)
第二节	确定性模型 I ·····	(275)
第三节	确定性模型 II ·····	(279)
第四节	确定性模型 III ·····	(284)
第五节	随机性模型 I ·····	(287)
第六节	随机性模型 II ·····	(290)
第九章	决策分析·····	(295)
第一节	决策论的基本内容与基本要素·····	(295)
第二节	决策的类型及计算方法·····	(298)
第三节	选择合适种植作物的决策·····	(305)
第四节	贝叶斯决策·····	(313)

第五节	效用理论	(322)
第十章	系统模拟	(329)
第一节	系统模型的基本概念	(329)
第二节	系统模拟	(330)
第三节	模拟方法的分类	(332)
第四节	蒙特卡罗的基本原理	(336)
第五节	静态随机型模拟	(338)
第六节	动态系统模拟	(346)
第七节	模拟结果的检验	(357)
第十一章	系统预测	(360)
第一节	定性预测技术—调查法	(360)
第二节	定量预测技术	(361)
(一)	几种简易预测方法	(361)
	(简单算术平均法, 加权算术平均法, 盈亏临界 分析法, 滑动平均法)	(361)
(二)	回归预测技术	(370)
	(一元回归, 多元回归, 线型选配问题, 非线性 性回归, 正交多项式回归)	(370)
第三节	平稳时间序列预测方法	(392)
第四节	转移概率预测方法	(398)
	主要参考书	(407)

第一章 系统与系统工程的基本概念

第一节 什么是系统

什么是系统？

首先举一些简单的例子来说明：

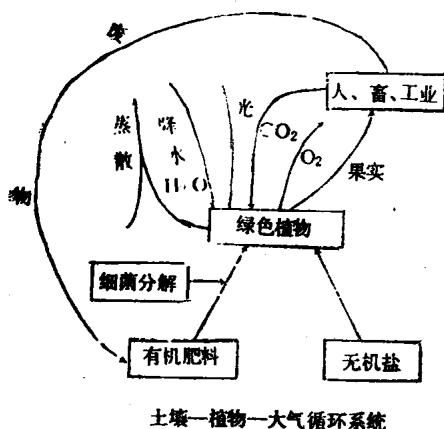


图1.1 土壤—植物—大气系统

图1.1中，绿色植物、果实、人、畜、工业、光、降水、无机盐等等均为要素，它们之间是相互关联着的一个整体。比如：人、畜太多，将植物种子吃尽，植物就失去再生产能力，该整体将要遭到一定程度的破坏。如果降水少，绿色植物产量降低，影响人、畜生活，使人、畜减少；土壤有机质含量降低，肥力递减，土地瘠薄，将导致绿色植物产量再降低，使人畜减少，桔杆也减少，回到土壤中有机肥更少，这样就造成恶性循环。因此，它们之间的结构必须合理，才能造成良性循环，而不致成为恶性循环。图1.1中各要素和要素间的相互关系，就构成一个系统。当然这个系统不是闭合的，它将与系统外进行能量、物质等交换，这就是我们知道的土壤—植物—大气系统。

又如：我们要开辟一个新农场，事先要进行设计。是去开垦沼

泽地、草地、或开垦沙漠、盐滩？这是必须研究的问题。假定这些问题已经研究好了，只要求作出开垦计划。我们的目标当然是希望在短时间内，使得新农场的收益最大。作计划时，就应当全盘考虑。如按图1.2的系统来考虑，如果我们建立的系统的内部结构合理，各单元之间关系协调，就能在短时间内尽快实现本利相当，进而尽快使收入不断增加；如果系统的内部结构不合理，秩序紊乱，顾此失彼，就会造成窝工、浪费，以致造成不可弥补的损失。因此，从全局出发，全面地考虑问题，还要将系统内各元素有序地组织起来，这就是系统思想。

象这样系统有许多，如：

生态系统，生命系统；

原子核结构系统；

通讯系统，交通系统；

宇宙系统，太阳系统；

长江水系，黄河水系；

天气系统；

农业系统，工业系统，商业、教育等系统；

生物进化系统，人类进化系统等等。

有些学者将世界看成一个大系统，正在研究设计“世界模型”。

在韦氏大词典中，系统一词是解释为：“有组织的和被组织化了的整体，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、相互依赖的诸要素形成的集合等等。”

奥地利生物学家L. V贝塔朗菲把系统定义为：“相互作用的诸要素的综合体。”

日本工业标准“运筹学术语”中定义：“许多组成要素保持有机的秩序，向同一目的行动的体系。”

钱学森认为：“系统是由相互作用相互依赖的若干组成部分合成的具有特定功能的有机体，而且这个系统又是它所隶属的一个

垦荒领导小组

物质准备

人员组织

行政后勤

技术力量

其它

资金

开垦方案

肥料

种子

农具

机器

开垦次序

面积

开垦方式

种植业

畜牧业

林业

渔业

果蔬

工业

商业

学校

卫生事业

种类

种植方式

种植面积

种类

牧草面积

饲养劳力

用材林

薪材林

防风林

果林

护田林

池塘养鱼

稻田养鱼

种类

面积

资金

劳力

商店网点

邮电交通

文化站

中 小 学

幼 儿 园

医 疗 站

防 疫 所

需要

消耗

投入

投资

利润

需要

收获量

畜产量

收益

改造气候

用材 薪材

商品 需要

人民 需要

商 品 需 要

原 材 料

需 要

消 耗

需 要

消 耗

需 要

消 耗

图1.2 农场组织开发系统

更大系统的组成部分。”

上述对系统的定义说法尽管不同，但思想都较类似。

我们认为：系统是指由两个或两个以上，有着相互联系的元素（或称要素、元件）组成的，它是执行特定功能，达到特定目的的有机综合体。也可以说成：为执行特定功能，达到特定目标的相互关联的元素集合。

用S表示系统，用V表示各元素的集合，用R表示各元素之间关系，则系统可以表示成： $S = (V, R)$ 。

关系“R”还可以进一步用结构（C），状态（W），过程（P）表示，则系统可以写成：

$$S = (V, C, W, P)$$

一般来说，所谓“系统”必须满足以下条件：

- （1）由两个或两个以上元素组成，一般系统包含大量元素。这里所说“元素”是一种抽象概念，它可以代表各种具体内容。
- （2）系统中元素之间有着相互制约的有机联系；
- （3）系统应有其一定功能；
- （4）系统中存在着人员、资金、物质、能量的流动，它们的流动又都受着信息流的控制；
- （5）系统与外界环境有着密切关系，既要考虑外界环境对系统的影响，也要考虑系统对外界环境的影响。

系统工程是以“系统”为研究对象。因此，用系统工程方法研究问题，首先要看所研究的问题是否构成为一个“系统”。

第二节 什么是系统工程

说的较清楚的是1975年出版的美国科学技术辞典中的定义：

“所谓系统工程是研究许多彼此密切联系的要素所组成的复杂系统设计的科学。设计这种复杂系统时，应有明确的预定功能及目标，而组成它的各要素之间及各要素与系统整体之间都应有有机地

联系、配合协调，以便使系统总体能达到最优目标。在设计时，还要考虑到参与系统中的人的因素和作用。这种科学工程是系统工程。”

所谓工程，是泛指。它不象水利工程，机械工程那样具体，但它也要有周密设计、实施，也有经济效益，因此，称它也是一种工程：使一个庞大、复杂系统，经过“运筹帷幄”，使有限资源，有限条件，发挥最大的作用，使用最少人力、资金去获得最大的收获、成品、利润，用最低成本获得最大的产值。凡是研究这一类问题的工程，都称系统工程。它的力量在于综合各种因素，使结构合理，井然有序，层次分明，从而获得最佳结果。这种综合是遵循非加和原则，即总体之和高于部分之和。简单来说，即是 $1+1 \neq 2$ 。用具体事例来说明：

$1+1 < 2$ ，譬如：一个和尚挑水吃，二个和尚抬水吃，三个和尚没水吃，这就是结构不合理，人的因素得不到充分发挥，结果是 $1+1 < 2$ ，不合算。

那么也可以让它 $1+1 > 2$ ，譬如：三个臭皮匠顶个诸葛亮。诸葛亮的神机妙算，威力很大，而三个臭皮匠合作起来，产生的力量也可抵得上诸葛亮，不就是 $1+1 > 2$ 了吗。在我们生活中这样例子是不少的。例如：同是一个山区，综合开发利用得好，结构合理，布局得当，所得的收益，一定比内部杂乱、顾此失彼的生产布局的收益大。系统工程非常重视综合的力量，美国阿波罗11号登月计划发射成功，被誉为美国系统工程的一大胜利，而阿波罗11号计划总指挥韦伯说：“阿波罗计划中没有一项新发明的自然科学理论和技术，它都是现成技术的运用，关键在于“综合”。

所谓系统工程，它考察问题和解决问题立足于整体概念，寻求从全局，从整体的各部分相互联系中的最优，而不是孤立地考察某个具体问题和局部问题。它是许多学科，部门配合起来协同解决问题，集中各学科、各部门的长处，扬长避短。它是把自然科学和社会科学中某些思想、理论、方法、策略、手段，根据总体协调的需

要，有机地联系起来，把人们的生产、科研或经济活动有效地组织起来，应用数学、电子计算机对系统的构成要素、组织结构、信息交换、反馈控制等功能进行分析、设计、制造和服务，从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目标。

系统工程是自然科学、数学科学和社会科学三大部门之间的一个新兴科学，是研制大系统、跨学科的“横断科学”。

当今时代，科学发展趋势有两个方向同时并存，一是高度分化，一是高度综合，系统科学、系统工程是高度综合的产物。

这种综合是人类各种智慧的综合，对开发人的智慧起着创造性、激发性作用，是智力开发，在一定资源、能量的前提下，凭着人们的运筹、摆布，凭着人们的智慧来创造出最大价值来。

当今世界科学技术的进步，给人类带来许多益处，但也伴随产生“空间狭窄”、“时间缩短”的问题。譬如，火车、汽车出现以前，从北京走到沧州都觉得很远，北京发生的事情很不容易波及到沧州，觉得空间很大。而火车、汽车一出现，这种交流十分快。北京有事，立刻波及到沧州，与沧州联系更多了，觉得空间变小了，而且火箭、卫星使人类生活在地球上可以探索月球上的秘密，使人们觉得“空间狭窄”了。空间各部分相互作用更明显了。所谓“时间缩短”，比如过去没有计算机时，我们要建一个十元逐步回归方程，少说也得一个月完成，若上百个因子，一年也算不完，时间长得很，而电子计算机一出现，即使几百个因子，计算机只几秒钟就将一系列结果告诉你。时间又缩短的多么短，速度越快，一个人一年能作的事就越多，涉及的范围就越广，联系就更加频繁，交互作用愈明显。因此，空间的狭窄，时间的缩短。使人们在研究任何一个问题，任何一个工程的开发和实施时都面临着一个十分庞大、繁杂的系统。自然科学如此，诸如政策法律等社会科学也如此。譬如，某一个山区要发展池塘养鱼，可国家不收购，自销又用不了，交通不发达，外销有困难，尽管养鱼技术很高超，养鱼业也不能发达。又如，发展林业，国家收购价很低，投资大就不合算，尽管自然条件

很好，林业发展也会受到一定限制。

过去要制造汽车，只要有懂得汽车制造的专家就行了。现在要生产汽车，不仅要有懂得汽车制造的专家解决设计、制造汽车中的技术问题，还要有人考虑城市交通问题、能源问题、环境污染等问题。这些问题关系到是否应扩大汽车生产、生产什么型号汽车等大问题。面临着庞大而复杂系统。

再如，推广某种农药和化肥时，不仅要考虑它们的技术效果和经济效果，而且还要看它们的生态效果，考察它们对自然环境的影响。

过去，我们有些地方毁林开荒，围湖造田，严重破坏自然生态平衡，造成水土流失、洪水泛滥，沙化、碱化日益增重，自然灾害十分频繁的惨痛教训，从反面说明了，工程技术已经进入了一个系统发展的时代，需要寻求一种理论和方法来解决这些系统性问题，这就是当今时代系统工程产生和发展的背景。

第三节 系统的特性

系统的特性概括起来有以下几点：

(1) 整体性：

系统论创始人冯·贝塔朗菲认为：机械论的“错误观点之一，就是简单分解，简单相加的观点，也就是把有机体分解为基本的要素，并以这些简单要素相加来说明有机体的属性，他认为必须用作为整体的系统观点来取代上述的错误观点。例如，生物分子水平的功能和属性，简单相加起来，并不等于细胞水平的功能和属性，两者有质的不同。同样细胞水平的功能和属性，简单相加决不等于生物的属性 and 功能。因此，系统思想的整体原则可以用古希腊哲学家亚里斯多德的一个名言：“整体大于部分之和”来概括。即非加和原则， $1+1 \neq 2$ 。

也可以是 $1+1 < 2$ 或 $1+1 > 2$ 两种情形，这就是前面举过的例子：一个和尚挑水吃，三个和尚没水吃；三个臭皮匠凑个诸葛亮。

之所以这样，取决于系统单元间的协调关系，第一种情况：单元间步调不一，协同不好，系统功能效果降低；第二种情况，系统单元间步调一致，协同得好，所以系统功能效果良好。

我国宋朝真宗时，一次皇宫失火，为了修复皇宫，有三项工作必须完成。一是清理废墟；二是取土制砖；三是由外地运来贵重的大理石、木材等。怎样才能妥善安排好这三项工作，尽早修复皇宫呢？当时有位大臣名叫丁谓，他提出一个方案：第一步挖沟与城外河道连接起来，并用挖沟时取出来的土就地制砖；第二步，把南方的大理石、木料经过河道运入工地；第三步，把废墟加以清理，填入沟内垫平。这样很快完成了修复皇宫任务。本来，清理废墟，取土制砖，运大理石及木料这三项是毫无关联的工作，但丁谓却将这三项工作看成一个整体，有机地组织起来，统筹兼顾，比单打一的一个一个完成，效率高很多。这就是系统工程的整体性原则的体现。

再如，我国女排和世界明星队比赛，世界明星队队员从个人的技术水平都不低，但她们却打不过我国女排。主要原因是她们之间配合不够十分协调。中国女排从总体上战胜了世界明星队。

（2）有序性：

凡系统都是有序的，有序原则体现在系统内部层次结构，层次之间相互联系和制约，例如，有机体按严格等级组织起来的，生物系统是有层次的，从活的单个细胞到多个细胞个体，再到个体的聚合体。人类和社会系统也如此，因此层次思想揭示系统与系统间存在“包含”、“隶属”、“支配”、“权威”、“服从”关系，统称传递关系。生物存在着门、纲、目、科、属、种的层次，社会大系统存在政治经济、军事、文教等；经济系统又包括工、农、商、交通；农业又包括各种种植业，畜牧业，林业等。

系统的层次思想启发我们考虑问题要注意上、下、左、右的协调关系，不能脱离系统的有序结构。

凡系统必有结构。无论什么系统，大的小的、开放的、密闭的、自

然的、社会的等等都是有结构的，没有一定的结构，便不成其系统，没有一定的结构，也就没有应有的功能。

例如：一堆砖瓦、钢筋、木材、玻璃、混凝土等建筑单元，如果不是按一定结构组织起来，就不可能构成房子；如果用不同设计结构，可以造成功能、方式十分不同的房子，使人温暖、舒适、优美。又如，一本书，将各页拆开，打乱，则无法形成一本能阅读的书，尽管每页上的字仍还保留，但这本书的功能却变成一堆废纸，但若把它恢复原来的顺序，重订，又成为原来那本书。

（3）与环境的融合性：

系统有序性在系统内部表现为系统结构，在系统外部表现为系统与环境的融合性。

任何一个系统都存在于一定的物质环境中，必须适应外部环境的变化。例如，我们设计一个地方的种植业结构，要考虑该地气候、土壤等环境条件，离开环境孤立谈种植业结构是无意义的。不但不同地方气候、土壤条件下有不同种植业结构，就是同一地方，早年、平年、涝年、冷年、暖年等不同情况，其种植业结构也应不同。又如：一个地区毁林开荒，造成土壤沙化、水土流失严重，破坏生态平衡，进一步使该地区气候变得干燥。因此，系统与外界环境之间有着密切联系，系统要有能适应环境的特殊功能，与环境应是融合的统一体。许多系统成为自适应系统、自学习系统等都是考虑了系统的这种特性。

第四节 系统的种类

一、自然系统与人工系统

山、河、矿藏、气象、动植物等自然物的集合体形成的系统称作自然系统，而有人工干预建造起来的集合体称人工系统。例如：河流流域蒸发降水渗漏等系统，天气系统，属自然系统；而阿波罗登月工程，这是人工系统。又如飞机、轮船制造工程系统，为人工