

中国农业系统工程丛书

农业系统动力学

山东科学技术出版社

一九八七年·济南

中国农业系统工程丛书
农业系统动力学

*

山东科学技术出版社出版

(济南市玉函路)

山东省新华书店发行

山东人民印刷厂印刷

*

850×1168毫米32开本 12.875印张 1 插页 279千字

1988年5月第1版 1988年5月第1次印刷

印数: 1—5000

ISBN 7—5331—0284—3/S·51

定价 4.25元

2520/26

《中国农业系统工程丛书》编审委员会

主 任 石 山

副主任 杨挺秀 张象枢 周曼殊

委 员 (按姓氏笔画为序)

马培荣	邓聚龙	邓 琦	亓桂明	石 山	刘德铭
刘志明	刘笃慧	刘玉斌	朱志明	吕富保	庄郁华
许尚武	陈锡康	陈克明	陈国良	陈绵云	吴 健
迟范民	杨挺秀	杨广林	张象枢	张沁文	周 平
周曼殊	罗庆成	竺开华	赵庆祯	晏国生	章志敏
曹和光	韩 宁	谭跃进	魏俊生		

《农业系统动力学》

主 编 周曼殊

撰 稿 谭跃进 魏俊生 陈英武 周曼殊

责任编辑 梁柏龄

序

自从党中央提出在本世纪末，我国国民经济翻两番的号召后，许多地区都在制订规划，特别在县一级，农业规划占着很重要的份量，是经济规划的中心课题之一。科学技术应该面向经济建设，而经济建设又应该依靠科学技术。制订规划是进行经济建设的重要步骤，也必须从现代科学技术中寻求新的概念、新的方法。我国农业系统工程，一开始就紧密联系实际，服务于中心课题，所以，在近年来得到了迅速发展，显示了它的生命力。

从事农业系统工程工作，需要三方面的人才，即农业专家、系统工程专家和懂得系统工程的农业专家或懂得农业的系统工程专家。后一方面的人才，是不可或缺，急需培养的，举办短训班，出版适合自修之用的课本，过去几年证明，是行之有效的方法。但还很不够，特别是书籍出版方面。《中国农业系统工程丛书》正是在这种情况下问世的。

发挥集体智慧，由较多人共同执笔，可缩短时间，取材或可较丰富。但在编辑、校审方面，若不加强，则可能有零星碎玉，难成一体之嫌。

这套书自需兼普及与提高。这是一项很难的工作，权衡取舍，颇费思考。若能寓巴人于白雪之中，出阳春于下里之内，则可称上乘。

丛书的编辑和撰稿同志，在过去几年中，曾共同研究项目，

相处有年，观点与共，故能笔执众人，书成一体；他们或素习科研，或娴于教学，但都参与实际工作，对农业系统工程的理论和实践，亲有体会。

希望丛书的出版，对我国农业系统工程的进一步开展，作出贡献。

中国系统工程学会理事长 许国志
中国科学院学部委员

一九八七年二月

前 言

农业是人类赖以生存最重要的产业，也是劳动密集、技术密集和科学密集的产业。中国是世界上最古老的农业大国之一，中华人民共和国成立后，逐步解决了十亿人口的吃饭和穿衣问题，这是世界性的创举。现代科学技术的发展，日新月异，当今世界已进入信息社会，新技术革命已在全球范围内展开，总结农业现代化国家的经验，探索我国农业现代化的道路，是历史的必然，经济建设的需要。要走自己的农业现代化的道路，必须解决好农业决策科学化，农业在国民经济、社会、生态、科学技术综合发展中的作用及相互关系，农业的结构与布局，农业生态平衡，农业人口的发展与控制，以及能源、交通、商品生产、农村城镇建设等的系统性问题。国内外经验证明，农业系统工程是解决这些问题的重要科学方法与手段。

我国开展农业系统工程的应用，始于1980年，起步虽晚，但路子对头，发展很快。一开始，就在中国系统工程学会名誉理事长钱学森教授所倡导的“强调实践，讲求实效，不坐而论道”的思想指导下，面向农村经济发展，经过农业系统工程专家、技术人员和农业管理干部的辛勤劳动，短短六年，就在全中国24个省（市、自治区）、250个地、县开展了农业系统工程的应用实践，并出现了黑龙江省海伦县、吉林省靖宇县、宁夏回族自治区固原县、山东省长清县和湖南省娄底地区、浏阳县等，一批具有中国特色、对农业系统工程理论和实践有重要意义的

典型。自农业系统工程的应用试点开始，就十分重视人才开发和培养，强调为国民经济建设服务、为农业现代化服务。所以，农业系统工程发展快，效益高，受到各级党、政领导干部和广大农民欢迎，普及范围日益广泛。目前，用农业系统工程的理论、方法，进行预测、决策和管理，制订农村经济、社会、生态、科技综合发展规划，已成为不可缺少的科学手段。

为了总结农业系统工程的应用经验，满足全国各地迫切需要，中国系统工程学会农业系统工程委员会组织全国著名专家和丰富实践经验的科技人员百余人，编写了《中国农业系统工程丛书》。这套丛书强调了农业系统思想、理论、方法、工具和程序的统一，以设计和效益为主线，包括十一个分册，即：《农业系统工程概论》、《农业系统工程总体设计》、《农业系统工程子系统设计》、《农作物栽培技术系统优化设计》、《农业系统动力学》、《农业系统线性规划》、《农业投入产出技术与模型》、《农业系统灰色理论与方法》、《农业系统的预测与决策》、《微机与农业系统工程应用软件》和《农业系统工程应用与效益》。

中国系统工程学会理事长、中国科学院学部委员许国志先生，给予热情指导，并在百忙中，克服视力障碍，为《丛书》写序。我们努力做到“寓巴人于白雪之中，出阳春于下里之内”和“笔执众人，书成一体”的要求。

农业系统工程在我国仍处开拓阶段，《丛书》的出版，是我国农业系统工程发展的一个里程碑，愿将它奉献给读者，意在抛砖引玉，共同实践，继续探索，不断修改，日臻完善，为加快我国农村经济、社会、生态、科技协调发展作出贡献。

在编写过程中，承蒙中共山东省委、山东省人民政府、山

东省科学技术委员会以及全国各有关领导和同行的大力支持，
在此表示衷心感谢。

《中国农业系统工程丛书》编委会

一九八七年三月

编者的话

系统动力学的出现和发展，在国际上引起许多争论，毁誉不一。经过前一段应用实践，我们认为：如何看待系统动力学，似以一分为二为好。它提供的系统化建模方法，把数学部分尽量转移给计算机来完成，让人们集中精力去研究实际系统的因果关系结构。这种结构研究方法适合于追踪社会、经济、管理、农业、生态等系统的复杂性，较好地解决了复杂系统建模困难。另外古典物理系统是受唯一决定论支配，其对应的数学描述是唯一解。但是这种唯一性对于社会、经济系统并不成立。社会系统具有弹性（伸缩性），其特点是多途径、等结局性。而系统动力学提供的一套计算机仿真实验方法，能够给出多方案比较的结果。表面上看似似乎不如数学优化严密，但工程上恰恰是更好地追踪实际系统的复杂性。

系统动力学的缺点是缺乏定性理论指导，仿真实验带有盲目性。特别是非线性微分动力学研究，近年来取得显著的进步，对于结构的演变、分岔、突变、混沌等现象，在系统动力学中很少反映。

总起来看，系统动力学出现的历史还不长，上述缺点也是难免的。为了更好地发展，就要扬长避短，采取学科开放，吸取相邻学科的最新成果，就有可能使系统动力学在研究复杂社会系统中，发挥更大的作用。

关于系统动力学的研究对象是小系统，还是大系统？对这

个问题认识上目前也不统一。事实上，系统动力学的数学描述是一阶常微分方程组，从数学角度看，当然既可以反映小系统，也可以反映大系统，无非是方程组个数、变量个数多寡不同而已。

从人们认识世界历史发展来看，总是从简到繁，从小到大，从易到难，过去几千年文明历史是研究小系统为主的，只是到了本世纪中叶出现了电子计算机，复杂大系统的定量研究才成为可能。直到目前为止，复杂大系统的运动规律，人们认识得还很不够。建国后我们在建设中，出现的几次重大决策失误。从认识论上看，都是在对大系统的复杂性认识上犯了简单化，片面性的错误。因此，在本书中，我们更强调复杂大系统，这并没有否定用系统动力学研究小系统的意思，无非想要强调一下研究复杂大系统的紧迫性。

近几年，我们参加了有关省、地、县发展国民经济总体规划研究，应用系统动力学方法，建立地区社会、经济、生态、技术总体模型。总体模型中包括农林牧副渔、工农商、科教文等众多子系统。应当说这是十分典型的复杂大系统。实践表明，由于系统动力学固有的系统化建模方法和结构研究的优点，用来研究复杂大系统确有独到之处。这些我们在本书中将有专门的介绍。

本书在编写过程中，研究生高麟、谭林书、周世鹏等做了一些工作，在此表示感谢！由于时间仓促，难免有不妥之处，希望读者提出宝贵意见。

一九八七年四月

目 录

第一章 大型复杂系统与系统动力学	1
第一节 系统工程与系统科学	1
第二节 系统动力学概论	7
第三节 模型与仿真	15
第二章 问题诊断与系统概念开发	21
第一节 问题诊断	21
第二节 问题的动态定义	28
第三节 反馈系统	35
第四节 流图法	48
第三章 DYNAMO语言	59
第一节 DYNAMO语言的基本规则	59
第二节 方程式语句	64
第三节 命令语句	72
第四节 普通函数	79
第五节 宏函数	86
第六节 正规模型举例	94
第四章 DYNAMO方程式的建立	102
第一节 决策方程式的基本形式	102
第二节 辅助方程式的建立	115
第三节 关于状态变量和延迟现象	123
第四节 模型参数与初值	127
第五章 简单系统与行为模式	130

第一节	一阶系统的重要参数	139
第二节	正负反馈系统的行为	145
第三节	反馈系统的机制转化和行为模式	160
第四节	系统模型实例	170
第六章	系统化建模原理与方法	190
第一节	物理系统建模	190
第二节	系统动力学的系统化建模	200
第三节	子系统组装复杂大系统	223
第四节	建模原理及应用	236
第七章	模型分析与有效性	250
第一节	模型分析方法	250
第二节	模型输入测试	253
第三节	灵敏性分析	260
第四节	模型的有效性	270
第八章	理论综合体	277
第一节	理论综合体	277
第二节	三种稳定结构	279
第三节	动态系统一般介绍	285
第四节	突变	286
第五节	分岔	293
第六节	自组织	303
第九章	系统动力学模型研究	320
第一节	洞庭湖治理问题的模型研究	320
第二节	洞庭湖交通问题的模型研究	352
第三节	洞庭湖区水产规划动态仿真模型研究	367
第四节	区域总体规划的系统动力学研究	381

第一章 大型复杂系统与系统动力学

第一节 系统工程与系统科学

先介绍系统的概念。系统是由一组相互联系的单元组合起来的具有特定功能的有组织整体。这种广泛的系统定义适用于所有物理系统和非物理系统。电、机械、机电、水力、热工系统是物理系统的例子；经济系统、政治系统、军事系统、文教系统则属于社会系统；农业系统则指：农、林、牧、副、渔、虫、微生物等各业构成的系统。按照上述系统的定义，一个系统既可以十分简单，也可以非常复杂。例如一个电网络就是一个系统，一台整流器是由二极管、变压器和若干电阻、电容构成，其功用是将交流电压整流成直流电压，并作为电源使用；而导弹是个十分复杂的系统，它由弹体结构、发动机、控制系统、弹头等部件构成，其功用是为了将弹头运送到目标，以摧毁敌人的军事设施。从以上两个例子中可见，简单系统其构成单元可能是元件，或器件，而一个复杂系统构成单元本身仍然是一个系统（或者叫子系统）。

一、现代化与大系统

近几十年，科学技术有了飞跃的发展。如果从物质、能量、信息三个客观存在形态考察，图1—1到图1—4反映了这种趋势。图1—1是我国粮食的增长；图1—2是交通运输速度的变

化；图1—3是美国电话台数的增长；图1—4是日本发电设备的发展趋势。从物质、能量、信息看，三者都呈指数函数，飞速地增长，结果出现了所谓：“空间的狭窄”与“时间的缩短”。恩格斯指出：“辩证法是关于普遍联系的科学”〔1〕。科学技术的进步，使得“空间变狭窄”；“时间相对地缩短”；事物间的普遍联系越来越重要！

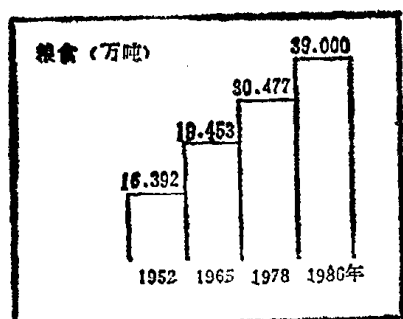


图 1—1 我国粮食的增长

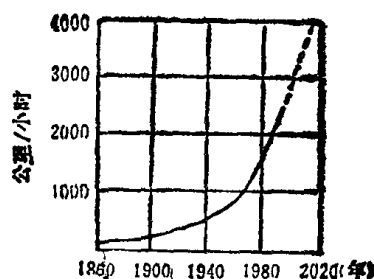


图 1—2 交通运输速度

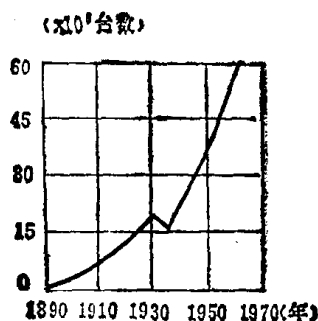


图 1—3 电话台数的增长

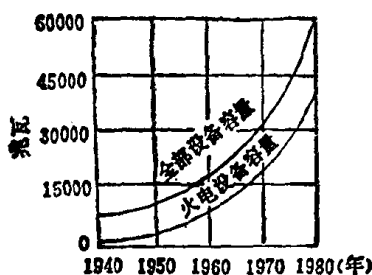


图 1—4 发电设备的容量

如果说几千年前，相隔万里之遥的中、美两地人民，由于交通不便，“老死不相往来”，那么今天坐喷气式客机，一两天就能到达；用电讯传输，每秒30万公里，瞬息即达。

科学的进步，同样使得毫不相干的事物，彼此发生联系。社会发展史讲的是“从猿到人”，现在有人认为：“人和石头同类”〔1〕。我国人工合成蛋白质与核糖核酸，打破了生命与无生命的界限。

任何事物都有两重性。科学技术的进步是好事，但处理不当，盲目发展，又会变成坏事。例如，当汽车的数量不多时，它是极其方便的运输工具，但到了数量很大以后，则成为公害和事故的罪魁祸首。总之，科学技术的进步，使得面临的客观系统，组成单元越来越多，单元之间联系也更加密切。简而言之，现代化使得众多的大系统（本书把大型复杂系统简称为大系统），涌现在人们面前。

二、大工程、大科学、大经济

1942年，美国“曼哈顿工程”动员了15万科技人员，耗资20亿美元，历时3年，创造出第一批原子弹。1961年开始的阿波罗登月计划，规模更大，前后参加研究人员据称达到400万，最后一年即动员了42万人之多，参加研制的有200多个公司，120所大学，花费了300亿美元，终于在1969年实现了人类第一次登上月球的愿望，这些都是大工程的典型实例。

从学科领域看：由于电子技术的发展，信息采集和加工技术有很大进步，加强了学科间的联系、交流、杂交，在社会科学与自然科学之间宽广的交叉地带，出现了许多边缘学科，横断学科，综合学科的群落，统称为交叉学科。这是老的单一专业学科在长期发展后，前锋受阻、智力横向转移，或者回采相邻学科的必然结果。具体来讲，诸如决策科学、系统科学、城市科学、环境科学、思维科学、管理科学等等，都具有交叉科学的特点，这些学科与过去老的某一专业学科相比，都具有大

系统的显著特点，因此又出现大科学的提法。

从经济领域看，老的观点是把经济与生产混同起来，发展经济就是发展生产，只有体力劳动才算生产第一线的劳动者，一切脑力劳动者都属于“脱产干部”，这种生产即经济的观念是小经济观念。由于现代化的发展，孤立的小经济观念已越来越不适应了。现代经济是一个动态大系统，它包括：市场调查→预测与规划→科学研究→技术开发→产品研制→工厂生产→储存运输→流通销售→市场服务等众多环节组成的经济循环圈，这个循环圈中，每个环节相互依存，相互作用，哪一环节脱节都会导致整个经济活动的中断，这就是大经济的观念。

无论是大工程、大科学或大经济，从系统科学的角度看都是大系统，大系统与过去人们比较熟悉的简单事物，具有不大相同的运动规律，为此有必要介绍其特点。

三、大系统复杂性

一般地讲，大系统有以下特点：

（一）大型性 大型首先是大规模、大范围、大尺度等含义；还有多的意思，不仅仅系统单元多，涉及因素很多，大系统还有多形态、多目标、多学科、多变量等特点。

（二）关联性 大系统不仅仅单元多，影响因素多，而且这些单元，因素都不是孤立的，彼此之间存在错综复杂的相互关系。以现代化城市为例，一旦供电系统破坏，则照明、供水、交通、生产、生活都会受到影响。真是“牵一发而动全身”。

（三）风险性 风险性指由于自然的、技术的原因或者人为的疏忽，造成工程失败。如航天火箭是成千上万零部件组成，耗资巨大，研制周期长。如果控制线路中有一个虚焊点，未被觉察，就可能飞行中整个火箭坠毁，造成巨大损失。这叫

“差之毫厘，失之千里”。

风险性还有一层意义，就是大系统出现了错误，即使认识到了，想要改正，也不是一朝一夕所能奏效。例如，我国人口82年增长到10亿，如要回到50年代的人口水平，有人计算需用50年时间。毁林开荒，围湖造田，严重破坏了自然生态，至使一些地区洪水泛滥，自然灾害频繁，吃到了苦头，要想纠正，也不是很容易的。

总之，风险性使大系统研究具有尖锐性。

（四）模糊性 是指难以准确地定义事物的内涵与外延。社会系统中用经济标准来划分阶级是可以度量的。如规定占地百亩以上，以剥削为主者定为地主，界限很分明；而用政治思想标准来划分阶级，就难以捉摸。当系统中考虑人的行为，人的意识活动，往往难以准确地度量。即使存在失误或隐患，也不易发现和察觉。

由于大型性与关联性，大系统必然是高度综合，具有跨学科、跨行业的特点，是成千上万人从事的集体事业。因此，又具有“社会—技术系统”的特征，需要社会科学家、自然科学家与工程技术人员的集体智慧，协同攻关来加以解决。

农业是个“自然环境、生物、人类社会”交织在一起的大系统。从大宇宙（指宇宙学范围的星际空间）、小宇宙（指原子核内部的亚微观世界）、中宇宙（以人为代表的中等尺度的广义世界）结构来看，最复杂的要算中宇宙。人作为智慧生命，具有最大的复杂性，40多亿人口组成的社会大系统，其特点是：①边界模糊；②子系统之间接口无形；③原因与结果在时空上分离；④系统弹性（伸缩性）大；⑤系统追踪困难。

总起来讲：大系统具有多因子、多变量、多层次、多目