

教育部高等学校“农业机械化及其自动化本科专业综合改革试点”
项目和吉林大学一流学科建设项目资助

NONG YE XI TONG GONG CHENG
YUAN LI FANG FA JI YING YONG

农业系统工程 原理方法及应用

杨印生 张孝义 / 编著

 吉林大学出版社

教育部高等学校“农业机械化及其自动化本科专业综合改革试点”项目和吉林大学一流学科建设项目资助

农业系统工程

原理方法及应用

杨印生 张孝义 / 编著

吉林大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

农业系统工程原理方法及应用 / 杨印生, 张孝义

编著. — 长春: 吉林大学出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-5677-2808-0

I. ①农… II. ①杨… ②张… III. ①农业系统工程

IV. ①F302.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 299051 号

书 名: 农业系统工程原理方法及应用

作 者: 杨印生 张孝义 编著

责任编辑: 刘守秀 责任校对: 刘守秀

吉林大学出版社出版、发行

开本: 787×1092 毫米 1/16

印张: 12 字数: 180 千字

ISBN 978-7-5677-2808-0

封面设计: 刘瑜

吉林省吉财印务有限公司 印刷

2014 年 12 月 第 1 版

2014 年 12 月 第 1 次印刷

定价: 32.00 元

版权所有 翻印必究

社址: 长春市明德路 501 号 邮编: 130021

发行部电话: 0431-89580028/29

网址: <http://www.jlup.com.cn>

E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

前 言

农业系统工程作为一门新兴学科，不单单是系统工程在农业中的应用，更是系统工程理论与方法在农业中的延伸与拓展，农业系统工程是高等院校农业工程类、农业经济管理类专业的一门重要专业基础课。作者多年为吉林大学农业机械化及其自动化专业本科生以及农业经济管理、系统工程专业硕士研究生、农业机械化工程专业博士研究生讲授农业系统工程相关课程，本教材就是根据作者多年来的讲稿以及相关研究成果编著而成的。

本书从系统科学的学科体系与系统的一般原理、系统模型与系统分析、系统因素辨识、系统聚类、系统预测、系统决策、系统优化以及系统评价等方面介绍系统科学思想与系统工程方法，在不失数学严谨性和系统性的前提下，注重模型方法和应用案例的结合，力求原理与方法描述通俗易懂、案例介绍立竿见影，以使读者学以致用，为农业工程类、农业经济管理类专业以及其他相关专业提供一本适用的教学参考书和工具书。

在本书的撰写过程中，作者参考了有关方面的文献和资料，吸收了相关方面的研究成果，在此一并向原作者表示感谢。尤其在编写过程中得到了吉林大学生物与农业工程学院郭鸿鹏教授、白丽教授以及吕东辉教授的大力支持，郭鸿鹏教授还受邀编写了第四章，在这里特别表达谢意！限于编者的水平，加之时间仓促，书中可能有一些疏漏和不妥之处，敬请读者和同行批评指正。

最后，作者特别感谢中国农业工程学会农业系统工程专业委员

会主任委员、东北农业大学博士生导师王福林教授百忙之中对本教材的审阅。

作 者

2014 年 9 月 1 日

目 录

第一章 系统科学与系统的一般原理	1
§ 1 系统科学的对象、特点和体系结构	1
1.1 系统科学的对象和特点	1
1.2 系统科学的体系结构	2
§ 2 系统的一般原理	5
2.1 系统的基本概念	5
2.2 系统的特征和系统的一般原理	6
§ 3 系统科学综合案例——中国三农问题出路的系统思考 ...	13
3.1 三农复合系统	14
3.2 三农复合系统的功能	15
3.3 判断三农复合系统功能实现状况的准则	15
3.4 提高三农复合系统功能的途径之一	16
3.5 提高三农复合系统功能的途径之二	18
3.6 提高三农复合系统功能的途径之三	19
3.7 结束语	20
习题一	21
第二章 系统模型与系统分析	22
§ 1 系统模型	22
1.1 系统模型的定义和分类	22
1.2 系统建模方法	24
1.3 数学建模方法举例	25
§ 2 系统分析	28

2.1	系统分析的定义与要素	28
2.2	系统分析的步骤	29
§ 3	系统工程方法论	30
3.1	系统工程的概念和原则	30
3.2	系统工程方法论	31
§ 4	农业机械化系统规划与管理的信息—决策模式	33
4.1	农业机械化规划和管理传统模式	33
4.2	农业机械化系统中的不确定性	34
4.3	农业机械化系统管理的信息—决策模式	37
§ 5	系统分析和系统工程案例	39
案例 1	企业与系统管理案例——海尔 OEC 管理法	39
案例 2	制造业系统管理——6+1 系统	39
案例 3	纽约市供水网扩建工程的系统分析	40
习题二		41
第三章	系统因素辨识分析方法	42
§ 1	DEMATEL 方法	42
1.1	TN 法简介	42
1.2	因素分析与识别的 DEMATEL 方法	43
1.3	案例分析:影响我国农机作业委托发展的因素分析	47
§ 2	灰色关联分析方法	49
2.1	灰色关联分析方法的步骤	49
2.2	案例分析:产品绿色属性的关键因素分析	51
2.3	关于加权灰色关联分析模型的注记	52
§ 3	数量化理论方法	53
3.1	基本概念	53
3.2	数量化理论 I	54
3.3	案例分析:负重能力与性别相关性分析	56
3.4	关于数量化理论方法的注记	58

§ 4 解释结构模型法	58
习题三	61
第四章 系统聚类分析方法	63
§ 1 模糊聚类分析	63
1.1 模糊聚类分析的步骤	63
1.2 案例分析:环境单元分类问题	66
1.3 最佳水平 λ 的确定	69
§ 2 动态聚类分析	70
2.1 重心法聚类的步骤	70
2.2 案例分析:玉米杂交种的分类	72
§ 3 系统聚类分析	74
3.1 距离和聚合指数	74
3.2 系统聚类分析的功能和特点	76
3.3 最短距离法和最长距离法	77
3.4 相邻距离法	80
习题四	81
第五章 系统预测方法	82
§ 1 预测概述	82
1.1 预测及其特点	82
1.2 预测的基本过程	83
1.3 预测分类	85
§ 2 定性分析预测方法	87
2.1 头脑风暴法	87
2.2 调查预测法	88
2.3 集合意见法	89
2.4 德尔菲(Delphi)法	91
§ 3 定量分析预测	94
3.1 财务预测法	94

3.2 市场预测	94
3.3 趋势预测法	97
3.4 主观概率预测法	100
§ 4 灰色预测	101
习题五	103
第六章 系统优化与决策方法	104
§ 1 系统优化概述	104
1.1 最优化方法的研究对象和特点	104
1.2 优化模型及其研究方法	105
§ 2 系统优化模型举例	105
2.1 线性规划问题	105
2.2 运输问题	106
2.3 指派问题	107
2.4 非线性规划	108
2.5 随机线性规划	109
§ 3 决策概述	111
3.1 决策的意义	111
3.2 决策的过程	112
§ 4 确定型决策	115
4.1 直觉决策法	115
4.2 投资回收决策法	116
4.3 确定型决策方法	117
§ 5 不确定型决策	120
5.1 不确定型决策法	120
5.2 盈亏平衡分析决策法	123
5.3 风险型决策方法	125
5.4 决策树方法	127
习题六	129

第七章 系统评价	132
§ 1 系统评价概述	132
1.1 系统评价及其特点	132
1.2 系统评价的原则和步骤	133
§ 2 层次分析评价	135
2.1 层次分析法简介	135
2.2 层次分析法的步骤	135
2.3 案例分析:层次分析法在拖拉机总体性能评价 中的应用	141
§ 3 协调分析方法	145
3.1 协调分析方法基本思想与简介	145
3.2 协调分析方法的步骤	146
3.3 案例分析:农村公园建设计划方案评价	148
§ 4 模糊相似优先比法	150
4.1 模糊相似优先比法	150
4.2 案例分析:日本甜橘引种决策问题	151
§ 5 数据包络分析(DEA)	155
5.1 DEA 的基本模型—— C^2R 模型	156
5.2 DEA 的基本模型——BCC 模型	161
5.3 案例分析:奶牛场生产效益分析	163
5.4 案例分析:食品加工业管理效率评价与分析	171
5.5 案例分析:集成 AHP/DEA 方法在农作业方案 评价中的应用	174
习题七	178
参考文献	180

第一章 系统科学与系统的一般原理

§ 1 系统科学的对象、特点和体系结构

1.1 系统科学的对象和特点

所谓系统科学就是从系统的角度观察客观世界所建立起来的科学知识体系,是以系统问题、系统现象为研究对象的学科。系统科学思想的突出特点是强调整体性,凡是着眼于处理部分与整体、差异与统一、结构与功能、自我与环境、有序与无序、合作与竞争、阶段与全过程等相互关系的问题或现象,都是具有系统意义的问题或现象。现代科学技术、工程活动以及管理实践的各领域都存在大量的系统问题或系统现象,用系统观点分别研究它们就形成各个领域的特殊系统理论。若撇开这些问题所涉及的具体领域的特殊性质,即撇开其特有的物理意义、生物意义、心理意义或经济意义等,在纯粹系统意义(把对象仅仅作作为系统)上研究,就是系统科学的内容。

系统科学的思想来源于古代人类社会实践。我国古代很早就有许多运用朴素的系统思想解决实际问题的例子。战国时期秦国李冰父子设计修建的都江堰水利工程,它包括“鱼嘴”岷江分水工程、“飞沙堰”分洪排沙工程、“宝瓶口”引水工程三大主体工程和 120 个附属渠堰工程,工程之间的联系处理得恰到好处,形成一个有机整体,兼有防洪、排沙、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 个县的几百万亩粮田。工程完工后，又建立了一套岁修养护制度，每年按规定淘沙修堤，因此，虽然该工程在历经二千多年，至今仍发挥着效益，该工程堪称我国古代运用系统思想解决实际问题的典范。北宋年间，汴都（今河南开封）的宫室在遭到火灾以后，大臣丁渭奉命修建，修建工程的泥土、石料、木材等建筑材料都需从郊外由旱道运到建筑现场，另外，完工后的建筑废弃物又要从旱道运出城外。这在当时是需要花费大量的人力、物力和财力的，丁渭根据工程实际，设计出了一套方案，就是在工地前面的大街上挖取泥土使用，几天以后，大街被挖成了巨沟，并通过护城河与汴河相通，河水流入沟中，船只可直接由汴河驶入工地，于是便可从四面八方运来建筑材料，再也不需经过郊区码头起卸，然后用陆运搬到工地的繁重手续了，在工程将要结束时，再把废弃的瓦砾、灰土等投入巨河，平土以后，重新成为大街。这一设计方案由于系统解决了取土、运输、清除废料和修复街道等多项任务，因此节省了大量的人力、物力和财力，并使工程提前完工。

系统科学不是简单的交叉科学或边缘科学，是研究所有科学其共性的学问，研究对象是具有系统意义的现象或问题。其实对任何一个学科的问题描述、求解都需要系统思想的指导，更须从不同的视角去观察和诠释。苏东坡诗句“横看成岭侧成峰，远近高低各不同。不识庐山真面目，只缘身在此山中。”其实就体现了系统观察和系统分析问题的观点，意思就是说庐山是座丘壑纵横、峰峦起伏的大山，游人所处的位置不同，看到的景物也各不相同。有时人们为什么不能辨认庐山的真实面目呢？因为身在庐山之中，视野为庐山的峰峦所局限，看到的只是庐山的一峰一岭一丘一壑，局部而已，这必然带有片面性。游山所见如此，观察世上事物也常如此。

1.2 系统科学的体系结构

虽然很早就有了系统科学的朴素思想，但是系统科学体系的架构形成还是 20 世纪后半叶的事情。70 年代初，一般系统理论家贝

塔朗菲首先建构了一种系统科学体系，但是由于缺乏明确的学科体系思想的指导，这个体系没有得到广泛认可。80年代初，我国科学家钱学森先生在明确的学科系统观点指导下，通过对比自然科学的学科体系建构了系统科学的体系结构。钱学森发现自然科学有三个层次：工程技术层次，如水利工程、电气工程等；技术科学层次，如水力学、电工学等；基础科学层次，如物理学、生物学等。自然科学又通过自然辩证法这座桥梁与哲学联系起来，如图 1.1 所示。其实这种模式具有共性，其他学科的体系也可以归纳为这种所谓的“三层次一桥梁”框架，如图 1.2 所示。

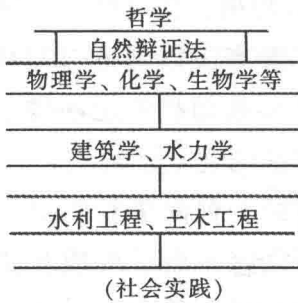


图 1.1 自然科学体系结构

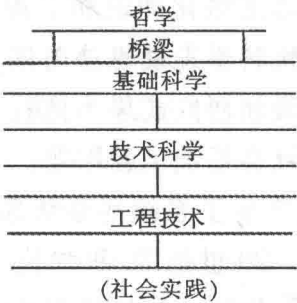


图 1.2 自然科学“三层次一桥梁”框架

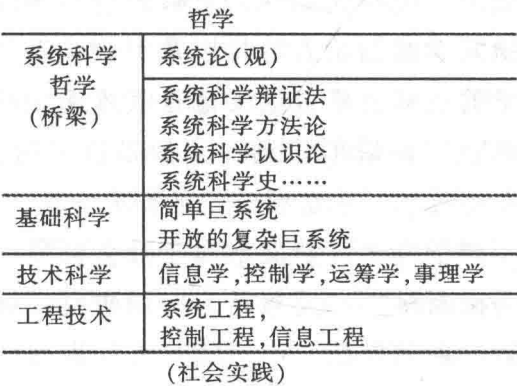


图 1.3 系统科学体系的“三层次一桥梁”框架

把这个一般框架用于系统科学，钱学森构建了系统科学体系的“三层次一桥梁”框架，如图 1.3 所示。其中工程技术包括系统工程、控制工程、信息工程等；技术科学包括运筹学、控制学、信息学、事理学等；基础科学包括简单巨系统学、开放的复杂巨系统学等；桥梁就是系统科学哲学，包括系统科学辩证法、系统科学方法

论、系统科学认识论以及系统科学史等。

说起系统科学的产生背景和历史,其实可以从构成系统科学体系的有关部件产生谈起。信息学的渊源可以追溯到19世纪发明电话和电报;控制学的渊源可以追溯到瓦特蒸汽机调速器对自动调节技术的应用,20世纪30年代的伺服系统理论,维纳控制论;运筹学和系统工程的渊源可以追溯到19世纪末出现的垄断性大企业对经营管理技术的需要、科学管理泰勒制、爱尔朗排队问题,20世纪30年代出现的列昂捷夫投入、产出模型,以及工业生产组织与计划,即线性规划问题。当然最强大的动力来自于战争的需要,第二次世界大战是定量化理论和工程技术发展的里程碑。20世纪70年代前后是系统科学发展迅速时期,重大进展主要有①以理论自然科学和数学的最新研究成果为依托,出现了一系列基础科学层次的系统理论;②社会系统工程问题;③系统科学体系的建立。总之,20世纪40年代产生了系统科学体系的一批“构件”,但尚未组织成一个有机整体;20世纪70年代构件进一步齐全完善,而且形成初步的结构框架,作为一种知识系统的系统科学在整体上算是形成了。在系统科学理论发展史上,最为代表性的贡献者包括一般系统理论的创始人贝塔朗菲,协同学的创始人哈肯以及我国学者钱学森等。钱学森先生对系统科学的贡献主要包括①他是我国系统科学论研究的发动者和带头人,提供了持续的推动;②他是这一研究中主要思想、观点的提出者;③他提出了系统科学论的研究方法。

系统科学既不属于自然科学又不属于社会科学,是一门独立的学科门类,而且是横断科学,任务是为一切研究领域提供用系统观点考察对象的一般原理和方法。当然随着人们主观认知水平的提升以及客观认知技术的进步,人们描述问题、解决问题的能力得到大大提升,系统科学研究的对象不管在深度和广度上都呈现出高度的复杂性和非线性性,因此系统科学与非线性科学、复杂性科学有着密切的联系。系统的复杂性主要体现在两个方面:一方面是研究的系统变量繁多、维数过大,另一方面就是变量之间的关系复杂,有无关系以及怎样的关系甚至无法直接辨识和判断。可以肯定地说,

系统因素之间的非线性关系是绝对的，线性关系只是相对的。实际上，非线性是产生复杂性的主要数学根源，所以近年来有关非线性科学和复杂性科学的研究日益成为研究热点，如分形学、混沌学等等都是非线性科学的典型分支。

§ 2 系统的一般原理

2.1 系统的基本概念

系统是由相互制约的各部分组成的具有一定功能的整体。如：一台机器、一只动物、一家公司、一个国家、一篇论文、一句话等等都是一定的系统。系统的概念可以用集合来描述：

d. f. 1 如果对象集 S 满足下列两个条件：

- ① S 中至少包含两个不同对象；
- ② S 中的对象按一定方式相互联系在一起。

则称 S 为一个系统， S 中的对象为系统的元素。

系统的元素具有基元性、不可分性和对于系统的相对性等特征。元素是构成系统的最小部分或基本单元，即不可再划分的单元，基本特征是具有基元性。机器作为系统，元素是不能再用机械方法分解的零件。句子作为系统，元素是单词或单字。所谓元素的不可分性，是相对于它所属系统而言的，离开这种系统，元素本身又成为由更小单元构成的系统。单词或单字可以划分为若干字母或笔划，是一种符号系统，但是字母和笔划没有语义，不是构成句子的元素。相对于句子系统，单词或单字是不再可分的基本单元。社会系统是以人为元素，人作为生物学系统以细胞为元素。但细胞没有社会性，细胞之间只有生物学和物理学的作用，不能作为社会系统的元素。研究社会系统，不需要也不能以细胞元素来讨论。机器零件由分子组成，但设计和使用机器只须考虑零件之间力学的或电磁的相互作用，无须把机器当作以分子为元素的系统。

从系统的定义来看,系统必为一个整体,但整体不一定是系统。为此,我们可以给出非系统的集合定义。

d. f. 2 对象集合 N 如果满足以下两个条件之一:

- ① N 中只有一个不可再分的对象;
- ② N 中不同对象之间没有按一定方式联成一体。

则称 N 为一个非系统。

在元素众多、结构复杂的系统中,元素之间有一种成团现象,部分元素按某种方式更紧密地联系在一起,具有相对独立性,有自己的整体特性。不同集团的元素之间往往不是直接相互联系而是通过所属集团联系在一起。这类集团被称为子系统或分系统,其集合定义如下:

d. f. 3 S_i 为 S 的一个子系统,若它同时满足条件:

- ① S_i 是 S 的一部分;
- ② S_i 本身是一个系统。

如农业产业系统是整个国民经济系统的一个子系统,农业机械化系统又是整个农业系统的一个子系统等等。

有了子系统的概念,我们可以给出系统划分的集合描述。

d. f. 4 设系统 S 被划分成 n 个子系统 $S_1, S_2, \dots, S_n$, 如果有:

- ①完备性 $S = S_1 \cup S_2 \cdots \cup S_n$;
- ②独立性 $S_i \cap S_j = \Phi, i \neq j$ 。

则 $S_1, S_2, \dots, S_n$ 称为 S 的划分。

集合划分的概念正是系统聚类分析的思想基础。

2.2 系统的特征和系统的一般原理

系统具有多元性、目的性和功能性、整体性、相关性、层次性、可控性、动态性以及环境适应性等八个基本特征。下面通过逐一介绍系统的特征阐述系统的一般原理。

(1) 多元性

最小的系统是由两个元素构成的,称为二元系统。一般的系统

均由多个元素组成，称为多元系统。很多系统包含无限多元素，称为无限系统。大量系统可以按照实体划分为元素，但是也有很多系统须依靠抽象力寻找最小组分，称为要素更为适宜。教练员把球队看作由技术、战术、体能、士气、心理素质等要素构成的系统。力学中的质点被视为没有实体组分的对象，以质量、速度、位置等为要素，叫作质点系统。

(2) 目的性和功能性

系统的元素之间一切联系方式的总和，称为系统的结构。按照元素在空间中的排列方式可以把系统的结构分为空间结构和时间结构，如晶体的点阵结构、建筑物的立体结构。当然也存在时空混合结构，如树的年轮。按照对称与否可以把系统结构分为对称结构与非对称结构，如中国古建筑具有明显的对称结构，西洋建筑的非对称结构比较明显。人体既有对称结构，如人的五官对称，四肢对称；也有非对称结构，如肝、脾成单，心脏偏左，肺脏偏右。系统结构还有深层结构与表层结构之分，如社会系统，根本制度是深层结构，具体运作体制是表层结构。系统还存在硬结构与软结构，如计算机系统的硬件即硬结构，软件即软结构。

系统在内部联系和外部联系中表现出来的特性和能力，称之为系统的性质。系统行为所引起的环境中某些事物的有益变化，称为系统的功能。任何一个系统都是有目的的，凡人工系统或复合系统都有明确的目的（或目标）。这种目的性既是系统的功能体现，也代表人的愿望和要求。比如建设一个生产系统，在开工之前就应有明确目的，如生产什么产品，该产品的技术性能指标如何等。显然，系统的目的性决定系统的结构，或者说系统的目的性决定着系统要素构成及诸要素在广义空间的相对位置和有机联系。

(3) 整体性

整体性指的是系统整体具有各组成部分自身独立存在时所不具有的性质，这种性质叫作系统质或整体质。一般情况下它不等于各组成部分的性质的简单相加，这就是系统的整体突现原理，又称为非加和原理或非还原性原理。大家熟知的韩愈诗句“天街小雨润如