

农业系统工程讲义

第五分册

系统工程在农业上的应用

张象枢

中国科学院农业现代化研究会
全国农业系统工程研究会学习班编印
湖南省系统工程学会农业系统工程研究会

一九八一年九月

目 录

第一章	系统工程与农业现代化.....	(1)
第二章	农业生态经济系统工程.....	(9)
第三章	农业系统模型.....	(26)
第四章	农业生产函数模型.....	(36)
第五章	农业数学规划模型(上) ——线性规划在农业中的运用.....	(58)
第六章	农业数学规划模型(下) ——参数规划、目标规划和整数规划.....	(81)
第七章	农业决策模型.....	(104)
第八章	农业博弈模型.....	(116)
第九章	农业库存模型.....	(130)
第十章	农业排队模型.....	(146)
第十一章	农业统筹模型.....	(162)
第十二章	农业生态系统模型.....	(176)
第十三章	农业系统模拟.....	(190)
第十四章	农业系统预测.....	(210)

第一章 系统工程与农业现代化

一、系统工程的形成与发展

(一) 普通系统论的产生

辩证唯物主义是系统工程的哲学基础。辩证唯物主义关于局部与全局的辩证统一和事物内部矛盾的发展与演变的原理更是系统概念的精髓。普通系统论的创始人贝塔朗菲在回顾普通系统论形成过程时,就曾明确地把“马克思和恩格斯的辩证法”列举为普通系统论的思想来源之一。

普通系统论的产生是科学发展历史过程的必然结果。下面以生物科学和农业科学为例来加以说明。

生物科学及农业科学和一切科学的发展过程相同,大体上经历了三个发展阶段。第一个阶段,主要是综合地、全面地考察生命现象和农业生产,还没有来得及区分为各门学科。这时的生物科学和农业科学虽然能从整体的观点对生命现象和农业生产进行比较全面的考察,但是过于笼统,研究得很不深入。在第二阶段人们把对生命现象和农业生产的研究划分为各门具体科学(如植物生理学,土壤学、遗传学……等),由各门学科分别从不同侧面对生命现象进行深入、具体的研究,在这一阶段中各门生物科学和农业科学有了很大发展,使人类对生命现象和农业生产的理解更深刻了。但是,随之而来的却是使人们逐渐习惯于孤立地、静止地研究生命现象和农业的某一侧面。这也就是恩格斯所批评的那种只见树木,不见森林的现象。

科学发展的历史迫切要求进入第三阶段,即在分门别类地对客观事物进行具体研究的基础上,再对客观事物进行综合、全面的研究。辩证唯物主义的产生为向这一阶段转变奠定了哲学基础。普通系统论的产生则是实现这一转变中的一个重大历史事件。

普通系统论来源于生物科学中的机体论。这是一种与机械论相对立的生物学理论。生物学中的机械论坚持下列错误观点:(1)简单相加的观点,这就是把有机体分解为各要素,并简单地相加起来;(2)“机器”观点,把生命现象简单地比作机器,认为“动物即机器”,“人即机器”;(3)被动反应的观点,认为有机体只有在受到刺激时才作出反应,否则就静止不动。贝塔朗菲针锋相对地提出了机体论的下列观点:(1)系统观点,一切有机体都是一个整体——系统;(2)动态观点,一切生命现象本身都处于积极的活动状态;(3)等级观点,各种有机体都按严格的等级组织起来。到了本世纪的三十年代,贝塔朗菲又在机体论的基础上提出了普通系统论。普通系统论的产生从思想理论方面为系统工程的产生作好了准备。

(二) 系统工程产生的物质技术基础

在人类进行的大规模工程建设中早就蕴含有丰富的系统思想。我国宋朝丁谓主持的

皇宫修复工程、明朝永乐年间的铸造铜钟的“群炉汇流”和“连续浇铸”工艺,就是其中的光辉范例。但是,由于当时没有具备足够的理论基础和物质技术基础,因此,未能得到充分发展。

现代科学技术的飞速发展,为系统工程的产生提供了必要的物质技术前提:

第一,现代科学技术本身的性质,使人们必须用系统观点来考虑问题。正如贝塔朗非指出的,如果说过去的蒸汽机、汽车或无线电等方面的问题,对于在各自专业中受过训练的工程师来说是胜任有余的,那末,现代的弹道导弹或太空飞行器则必须靠机械、电子、化工等不同性质的技术相互配合才能产生,这就迫使人们不能仅仅孤立地研究单个机械,而是要研究整个系统。

第二,在科学技术飞速发展的基础上,整个人类社会以至自然界各种客观事物之间的联系日益密切,彼此关系日趋复杂。环境保护、城市规划等涉及自然界与人类社会各方面的问题已经提到人们面前,成为迫切需要解决的问题。而这些问题的解决,只有在系统观点的指导下,用系统工程的方法才能解决。

第三,现代数学,尤其是运筹学的发展为系统工程学奠定了基础,而电子计算技术的高度发展更使大型复杂问题的最优化决策成为可能。这一切都有力地推动了系统工程的发展。

(三) 系统工程的形成与发展

系统工程开始于本世纪三十年代末形成,首先是运用在军事方面。一般认为英国为防备德国空军空袭而进行的有关雷达系统应用的研究、著名的大西洋潜艇战役和北非登陆战役,都是系统工程的萌芽。

四十年代美国贝尔电话公司首先使用了“系统工程的”这个名称,并在设计电话自动交换等项工作中开始使用系统工程的方法,四十年代美国在理论物理学家奥本海默领导下组织了一万五千名科学家和工程师进行研制第一颗原子弹的曼哈顿计划是系统工程的一次成功的实践。六十年代阿波罗登月计划的实现则是正式运用系统工程方法的伟大胜利。七十年代系统工程更进入了解决各种复杂大系统问题的阶段。它被用来解决涉及更多社会因素的公共交通、城市规划、保健事业、行政管理、生态系统等问题。

二、系统工程的基本概念

系统工程是一种在辩证唯物主义指导下,从满足符合人类利益的目标出发,认识并改造客观世界的新兴工程技术。

什么是系统?系统就是由若干组成部分相互有机地组合起来共同完成某种功能的综合体。系统具有下列几个明显的特征:

第一、系统内部结构的相对稳定性

(1) 从辩证唯物主义关于客观事物互相联系,相互制约的基本原理出发,我们在考察客观事物时必须坚持整体观点,即必须把它们看成完成共同功能的、同属于一个整体的要素。

(2) 决不能把系统中各构成要素看成各自孤立的,而要认识到它们彼此是互相紧

密地联系在一起。

(3) 由于客观事物的发展要经过由量变到质变的过程, 所以当系统处在量变阶段时, 系统中各要素间的联系具有相对的稳定性。这就使系统各要素在一定条件下形成某种相对稳定的内部结构, 以保证系统的有序性。

(4) 系统内部结构, 从纵的方面来看, 表现为处在系统不同等级、不同层次上的各要素之间的关系。

(5) 系统内部结构, 从横的方面来看, 表现为处在系统同一等级、同一层次上的各要素之间的关系。

(6) 系统内部结构的稳定性是系统相对稳定性在系统内部的表现。系统相对稳定性在系统外部, 即系统与环境相互关系方面则表现为系统对于环境的适应性。

第二、系统对于环境的适应性

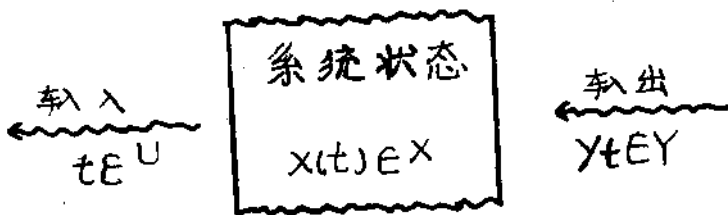
(1) 从辩证唯物主义关于客观事物发展中外因与内因辩证关系的原理出发, 决不能认为系统能够脱离环境而独立存在, 它处在与环境的密切联系之中。它既要通过环境的输入受到环境的影响, 又要通过对环境的输出对环境施加影响。

(2) 一切环境因子的总和同样构成为一个系统。由环境因子总和构成的系统可看作原有系统的母系统, 而原有系统则是由环境因子总和构成的母系统的子系统。

(3) 由于客观事物的发展要经过由量变到质变的过程, 所以当系统处于量变阶段时, 系统与环境之间的关系是相对稳定的, 这就表现为系统对于环境的适应性。因此从本质上说, 系统对于环境的适应性, 不外就是系统稳定性在系统外部关系上的表现。

(4) 我们可以通过系统状态与环境对系统的输入以及系统对于环境的输出的相互关系, 对系统进行内描述和外描述。

通过输入与输出来描述系统变量的方法叫做系统的外描述; 通过系统的状态变量来描述输入与输出的方法叫做系统的内描述。见下图:



输入集 $(U) = \{u_1, u_2, u_3, \dots\}$

状态集 $(X) = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$

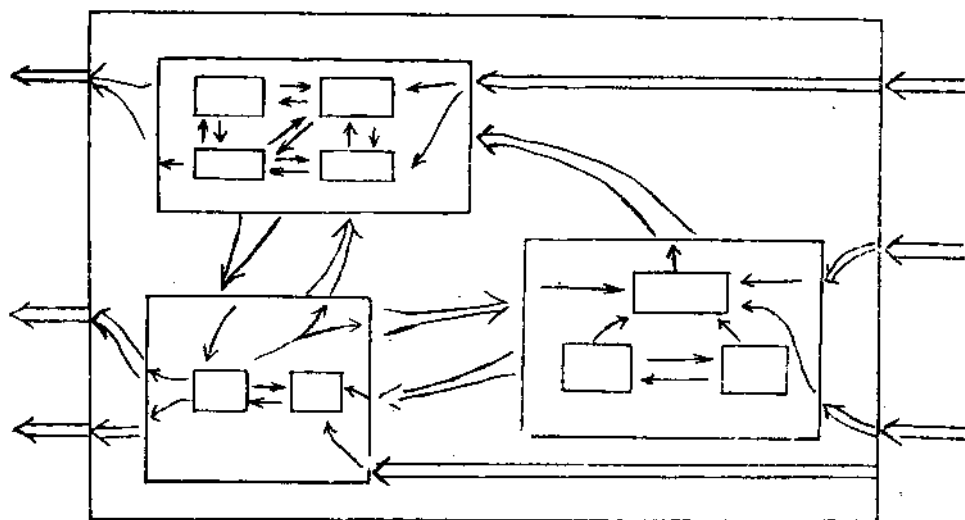
时间集 $(T) = \{t_1, t_2, t_3, \dots\}$

输出集 $(Y) = \{y_1, y_2, y_3, \dots\}$

以农业中的种植业生产系统为例, 农作物的生产要靠来自环境的阳光、水分、养料(土壤中原有的养料和肥料)等输入因素, 而当农作物成熟之后就可提供各类农付产品作为输出因素。我们既可以通过阳光、水分、土壤、肥料等输入因素以及农付产品等输出因素的变动来分析农作物的生长(外描述), 又可以通过研究农作物生长状态来分析

阳光、水分、土壤、肥料的输入状况并预计农付产品的产量（内描述）。

（5）所谓黑箱（black box）理论，就是在系统外描述的基础上发展起来的一种认识系统的方法。见下图：



图：由三个层次构成的系统结构和过程，可看作一组有等级的黑箱。

根据黑箱理论，我们可以把我们对其内部状态认识不清的对象看作黑箱。把外部对它作用看作输入，而把它对外部的作用看作输出。我们通过研究任何一个黑箱的输入和输出的关系，即使还不知道这个黑箱的状态，也可以按照输入和输出的情况来预测黑箱的行为。

第三、系统的可测性与评价系统优劣的判别基准

（1）从马克思主义认识论关于客观事物可知性的原理出发，我们认为系统的内部结构、系统与外部环境的关系以及系统的变化都是可知的，我们既可以逐步认清系统状态及其变化的性质，也可以测量系统状态的具体状况及其变化的程度。我们不仅可以对它进行定性研究，也可以对它进行定量分析。

（2）我们对系统状态进行定量分析的最终结果应能使我们对系统的优劣进行评价。

（3）为了评价系统的优劣，必须对系统完成其功能的状况进行定量分析。

以某个农业生产的经济系统为例，它的功能就是为整个国民经济系统提供高产优质低成本的农产品，以满足社会的需要。

以某个绿色植物的叶为例，它的功能就是进行光合作用。

（4）因此，我们如果想要对系统功能状况进行定量分析，并在此基础上评价其优劣，就必须运用有关的自然科学和社会科学的知识，尤其是农业技术科学和农业经济科学的知识，科学地规定评价系统功能优劣的判别标准。

第四、不同现实系统的同型性与模型法在系统研究中的重要作用

(1) 从马克思主义认识论关于人类对客观事物的认识是客观事物的反映这一基本原理出发, 我们认为, 各种不同现实系统的同型性是系统工程通过模型对现实系统进行研究的客观依据。

(2) 什么是不同事物彼此之间的同型性? 所谓不同质的事物之间的同型性, 就是指当我们研究各种不同质的客观事物时, 在撇开它们的具体物质属性之后, 它们彼此在形式上还有许多相同之处, 如量的关系、空间关系、时间关系以及其他方面的相似性等。

例如, 在种植业系统中输入肥料以增加作物产量、在畜牧业系统中增加饲料可增加畜产品产量。尽管农作物和牲畜两者一个是动物、一个是植物, 彼此有很多区别。但是, 我们却可以用下列同一种农业生产函数模型来代表这两个不同过程的数量变化关系。

$$Y = f(x)$$

在种植业生产系统的场合, x 代表施肥量而 Y 代表农作物的产量; 在畜牧业的场合, x 代表饲料消费量, 而 Y 代表畜产品的产量。我们之所以能用 $Y = f(x)$ 这个数学模型来代表种植业生产和畜牧业生产过程, 就是因为种植业生产系统与畜牧业生产系统在数量关系上具有同型性。

(3) 模型法在系统工程中具有重要作用, 因为模型与现实系统具有同型性, 所以我们就有可能用在一个比较容易实验的领域中通过模型进行等当试验来代替在另一领域中必要而又难以进行的实验。

例如, 人体虽有其特殊性, 但在某些方面也与机械有相似之处。当把人体向上弹射时, 如弹射力超过人体的耐受限度就会造成脊椎的压缩性骨折, 这与弹簧阻尼系统受力后变形的规律是一致的, 因此可用弹簧阻尼系统模拟人体的韧带、肌肉和椎间盘的关系, 我们测定了它的反应, 就间接了解了人体的反应规律。这类机械系统在外力作用下的运动规律可用若干个数学方程式 (即数学模型) 来表示。当我们运用模型算出作用力与机械系统的参数, 求得模拟装置的反应之后, 就可以知道有多大的作用力才可能引起人体的损伤。可见, 模型法确有极重要的实用价值。

(4) 我们既要充分认识模型的重要性, 又要时刻注意模型的局限性。决不能把模型和现实系统等同起来; 对于通过模型得来的结果, 一定要结合现实系统的实际状况, 反复进行检验、修正、使之与实际情况相符。

第五, 系统的可控性与系统的最优化

(1) 从辩证唯物主义关于事物内部矛盾的发展与演变的基本原理出发, 我们认为一切现实系统内部都充满着矛盾, 它们永远处在不断变化之中。

(2) 由于客观条件的差别, 现实系统有朝不同方向, 按不同程度变化的种种可能性。

(3) 从辩证唯物主义关于人的主观能动作用的原理出发, 我们认为, 可以通过正确的策略使现实系统朝着对我们有利的方向发展, 可以把现实系统向有利于我们的方向发展的可能性变为现实性, 这也就是说系统是可控的。

(4) 为此, 我们必须探索并且提出若干种可资参考的改革现实系统的方案, 並通

过模型加以分析比较，从中选出最优方案，以便实现系统的最优化。

三、农业系统工程在农业现代化中的作用

如上所述，既然系统工程是一种工程技术，就要用来改造客观世界并取得实际结果。为此，就必须把系统工程的一般原理与一定的专业知识（军事、农业）结合起来，建立不同专业的系统工程。农业系统工程就是其中之一。

随着系统工程在各个领域中的广泛应用，在第二次世界大战以后，农业系统工程也和其他专业的系统工程一样得到发展，并对农业的发展起到了积极的作用。下面我们从我国农业现代化的需要出发，结合农业系统工程在世界各地应用的情况，从三个方面论述农业系统工程对于促进农业现代化的重要作用。

第一、农业系统工程有助于实现农业管理的现代化

农业系统工程作为一种农业组织管理的技术，是农业现代化管理中必不可缺的一个组成部分。

当然，由于管理具有两重性，我们在进行现代化农业管理时首先必须注意通过及时调整上层建筑与经济基础之间的矛盾和生产关系与生产力之间的矛盾来充分调动人的积极性。但是，与此同时丝毫也不能忽略合理组织与管理农业生产力的工作，农业系统工程在这方面是可以大有作为的。

目前，世界上很多国家已经运用了农业系统工程的方法改进农业计划、合理进行农业生产布局、改善农场经营管理。在农业计划工作方面，美国、苏联、英国、西德等国已经运用线性规划的方法编制国家、地区以至某些农场的农业计划，美国的农业经济学家海地等人已为美国编制了农业生产布局的数学模型。很多国家都在运用网络模型安排大规模农业工程的工序。

除了比较先进的国家以外，很多发展中的国家（如墨西哥、印度等国）也在国际组织的帮助下运用农业系统工程的方法制订发展本国农业的方案。

我国在六十年代中曾在农业中推广过统筹法（即网络模型）和线性规划，不少农业科学研究机关也曾运用正交试验法进行过实验设计。最近几年又开始了农业系统工程学科建设工作。可以肯定农业系统工程必将对我国农业管理的现代化发挥其应有的作用。

第二、农业系统工程的发展，有助于推进现代化农业科学技术的发展。

现代农业科学和一切其他科学技术一样，正处在一个新的发展阶段。这个阶段的重要特征之一就是日益打破原有学科的界限，趋向整体化。农业系统工程这门新兴工程技术的出现，是这种整体化趋势的一个重要标志。

过去的农业科学技术往往因受到本门学科的限制不能很好地与其他学科密切配合，不能充分估计到环境的复杂性，又缺乏足够的定量分析。因此当涉及某些跨学科性质的问题时，往往无能为力。

农业系统工程和其他专业的系统工程一样，属于一种横断学科。所谓横断学科，就是指现代化科学中出现的系统论、信息论和控制论等。它们与其它学科不同，不是以客观世界的某种物质结构及其运动形式为对象，而是以许多种物质结构及其运动形式中

的某一个特定的共同方面（例如系统性、信息和控制等）为研究对象，因而它们的研究领域十分宽广，它们所研究的共性超出了过去熟知的一些科学领域。它们的对象伸展到了客观现实的一切领域或许多领域之中，以农业系统工程而言，它的对象就伸展到一切有关农业的科学（如各门农业经济科学和各门农业技术科学）中，涉及到关于各种不同系统的内部结构、系统与环境关系、判别系统优劣标准、系统模型化以及选择系统最优方案的种种问题，这样，就使它能够得心应手地处理大量的跨学科问题，可以充分估计环境的复杂性，可以进行足够的定量分析。

例如，在植保研究中运用农业系统工程的方法，已成为近年来国外最活跃的研究课题之一。过去防治病虫害往往只靠农药，常会带来杀害有益的天敌以及污染环境等副作用。七十年代美国运用系统工程方法设计出了美国棉铃虫种群动态的系统模拟模型和电子计算机程序。该数学模型从棉铃虫在早春随气温上升羽化开始，通过成虫在田间对寄主植物的产卵选择，以及卵的分布、幼虫的孵化、为害与化蛹，直到下次成虫羽化，对棉铃虫进行全面的模拟。其中还包括着各种作用因素对各个虫态的影响，尤其是成龄以后幼虫在田间的互相残杀等。这一切都是很难在田间进行试验的，而通过系统模型及电子计算机程序的模拟，就可洞察昆虫每个虫态的行为活动细节以及各种作用因素对每个虫态的影响。这样，就可以为选择最优的防治策略提供科学依据。1976年荷兰也运用了类似的方法提出了适用于荷兰全国商业性果园的果树红叶螨综合控制方案。

在渔业方面，1975年美国对华盛顿湖的水域生态系统进行了系统分析。他们设计了大量的系统模拟模型，对水生环境进行了模拟。还对湖内不同水质中不同生态类型鱼类（包括有11种以上的鱼种群）的呼吸率、生长率、死亡率进行了模拟，然后运用系统工程方法进行了综合分析，提出了控制湖水水质变化的最佳措施。这样，不仅保获了水生环境，而且增加了渔业生产。

系统工程技术在农业中广泛应用的另一个重要结果就是加速了自然科学与社会科学互相渗透，推进了一系列边缘学科的发展，农业中各种边缘学科的发展，尤其是农业技术经济学的发展，有助于使各门农业技术科学更好地为社会主义建设事业服务，有助于提高各门农业技术科学研究成果的经济效果。

第三，农业系统工程可以在拟订我国及各地区实现农业现代化最佳方案方面起积极作用。它是探索多快好省地实现农业现代化的有效方法。

目前我国正面临着实现农业现代化的艰巨任务，究竟我们整个国家、每个地区、每个农场和农村人民公社如何从自己的实际情况出发来实现农业现代化，到底要采用哪一种实现农业现代化的方案，这里有大量迫切需要解决的问题。

这些问题涉及到了农业技术科学和农业经济的一切科学，也给农业系统工程提出了一系列的研究课题。

农业现代化过程是一个极其复杂的过程。如果我们把我国或某一地区、某一企业的现有农业看作一个系统，那末这个系统既包含有农林牧渔各业，又涉及到水利、肥料、土壤改良、良种繁育与推广、密植、植物保护、田间管理等农业技术措施，还有农业的机械化。就农业系统的外界环境而言，既包含有我国或某一地区、某一企业的各种自然环境因子（阳光、温度、水分、空气、土壤），又要涉及各种社会经济条件（生产

关系与生产力的具体状况)。在确定评价农业现代化方案优劣的标准时,既要考虑到如何适应客观经济规律的要求,多快好省地实现农业现代化,又要考虑到如何适应自然规律的要求,在实现农业现代化的过程中逐步改善我国的生态环境。为了提出各种可资参考的农业现代化实施方案,我们既要根据马克思主义的基本原理和各门科学知识对我国或某一地区、某一企业的现状以及今后发展趋势进行定性研究,而且还要作大量的定量分析。最后,还需要对各种方案进行对比、评价并从中选择最佳方案。

由此可见,在制定农业现代化实施方案的每一步骤中,都迫切需要运用农业系统工程的方法。然而目前我国农业系统工程的研究与农业系统工程的学科建立还只是刚刚开始,再加上长期以来我国一直缺乏比较精确的农业生产和农业科学实验的数据,这也给开展农业系统工程的研究工作带来极大困难。但是,我们有优越的社会主义制度,有马克思主义理论的正确指导,而且我国广大农民、干部和科学工作者已积累了丰富的管理经验,只要我们在马克思主义哲学的正确指导下,在认真总结自己农业管理经验的基础上虚心学习国外农业系统工程的先进经验,我们就可以尽早建立农业系统工程的学科体系,充分发挥农业系统工程在实现农业现代化中的积极作用。

第二章 农业生态经济系统工程

农业系统工程是以农业系统为对象的工程。农业系统,从本质上看,应是农业生态系统与农业经济的综合体。本章着重分析农业系统功能、农业系统结构、农业系统环境、农业系统动态、农业系统控制与农业系统工程方法等问题,使我们对农业系统工程有一个完整的、系统的认识。

一、农业系统功能分析

农业系统既是属于国民经济系统的子系统,又是属于生态系统的子系统。作为农业经济系统,它是属于国民经济系统的子系统;作为农业生态系统,它又是生态系统的子系统。

农业系统的功能,就是农业系统的各个组成部分结合在一起以后能够达到的共同目的。系统的功能应该表明系统在其所属的更高层次大系统中的地位和作用。就农业系统而言,其功能应能充分说明农业在整个国民经济系统以及全球生态系统中的地位和作用。

农业系统在国民经济系统以及全球生态系统中的独特功能是由农业的本质决定的。恩格斯在1882年12月22日致马克思的信中指出:“通过劳动积蓄能,实际上只有在农业中才行;在畜牧业中,一般说来,植物积蓄的能只是转移给动物;这里其所以谈得上积蓄能,那只是因为要是没有畜牧业,饲料植物就会无用地枯萎掉,而在畜牧业中则被利用了。相反地,在所有的工业部门中只消耗能。最多也只能考虑到这样一种情况:植物产品——木材、稻草、亚麻等等——和积蓄了植物能的动物产品,通过加工得到利用,也就是说,比听任它们自然腐烂,可以保存更长的时间”。⁽¹⁾从恩格斯的这段话可以看出农业的本质特点或独特功能就在于它能够通过劳动积蓄能。

农业生产的上述本质特点或独特功能,使它在国民经济系统和全球生态系统中占有重要地位和作用。

从农业系统在国民经济系统中的地位和作用来看,农业系统的功能应该是充分利用光、热、水、气、土、生物微生物等自然资源和劳动力、各种生产资料以及资金等经济资源,生产日益增多的高产、优质、低成本的各类农产品。

从农业系统在全球生态系统中的地位和作用来看,农业系统的功能应该是控制和管理好农业生态系统,不断改善环境。改善环境包含有两方面的内容:一是为农业生产的持续和稳定增产创造前提条件,二是为人类创造优美的生存环境。

在农业系统增加农业生产和改善环境这两大目标之下,农业系统各组成部分还有很

注1, 马克思恩格斯《资本论》书信集 人民出版社1976年版第403—404页

多具体目标。例如，在种植业部门中的高产、优质、低成本、高劳动生产率、养地、防止水土流失等。整个农业系统的总目标（总功能）和一切具体目标（具体功能）合起来构成了一个完整的系统。只有完整地、系统地分析农业系统实现各个目标的程度，才能对农业系统是否实现自己功能以及实现功能的具体状况进行科学分析。

在农业系统功能分析中有两个重要问题：第一，处在同一层次中的系统各组成部分在实现上一层系统功能中所起的作用；第二，处在不同层次的系统各组成部分在实现系统整体功能中所起的作用。

第一个问题，可用计算功能评价系数的方法解决。具体作法是：

1. 对系统各组成部分在实现农业系统总体功能中所起的作用进行两两对比。例如，假设有某个农业系统由 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 、 B_5 、 B_6 、 B_7 、和 B_8 等八个组成成分构成。我们就可用 B_1 依次与 B_2 、 B_3 、

B_4 、 B_5 、 B_6 、 B_7 、 B_8 对比各自在实现系统功能中所起作用的大小。如 B_1 的作用大于 B_2 ，则 B_1 得1分，如 B_3 的作用大于 B_1 ，则 B_3 得1分，……依此类推。

2. 分别累计 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 、 B_5 、 B_6 、 B_7 和 B_8 的得分数以及这八个组成成分全体总得分数。

3. 用全体总得分数除每个组成成分得分数，就可以得出系统各组成部分的功能评价系数。计算结果见下表：

表一 功能评价系数表

	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	累计得分	功能评价系数
B_1	×	1	1	0	1	1	1	1	6	0.212
B_2	0	×	1	0	1	1	1	1	5	0.719
B_3	0	0	×	0	1	1	1	0	3	0.107
B_4	1	1	1	×	1	1	1	1	7	0.250
B_5	0	0	0	0	×	0	1	0	1	0.036
B_6	0	0	0	0	1	×	1	0	2	0.073
B_7	0	0	0	0	0	0	×	0	0	0
B_8	0	0	1	0	1	1	1	×	4	0.143
合计									28	1.00

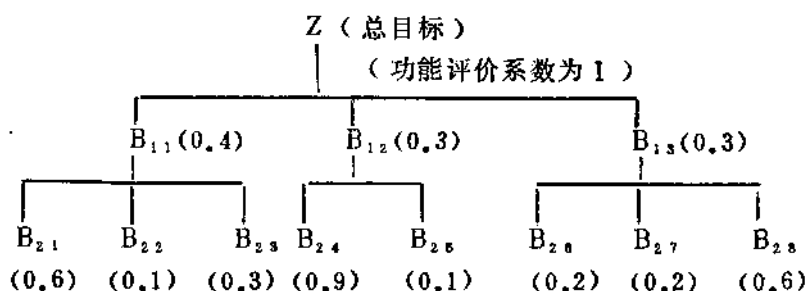
第二个问题可用目标树的方法解决。具体作法是：

1. 分析系统各组成成分之间的关系，绘制成树形图。

2. 用上述功能系数评价法，依次计算每一层次中处在同一层次的各系统组成成分在实现各层次子系统功能中所起作用的大小。

3. 如果我们想要了解处在第 i 层的第 j 个组成成分 B_{ij} 在实现农业系统总体功能中的作用大小，就可以用 B_{ij} 的功能评价系数乘它的母系统 $B_{i-1, h}$ 的功能评价系数，再乘以 $B_{i-1, h}$ 的母系统 $B_{i-2, g}$ 的功能评价系数……依此类推。

上述计算过程，可用下列目标树说明：



图一 目标树图

如果我们要了解 B_{24} 在实现农业系统总目标中所起的作用，就可以用 B_{24} 的功能评价系数(0.9)乘 B_{12} 的功能评价系数(0.3)，得(0.27)。如果要了解 B_{27} 在实现农业系统总目标中起的作用，可以用 B_{27} 的功能评价系数(0.2)乘 B_{13} 的功能评价系数(0.3)，得(0.06)。

二、农业系统结构分析

农业系统是一个巨大而复杂的系统。它呈现为一种多层次的等级结构。

作为农业生态系统，农业系统分为生态系统、群落、种群和有机体等不同等级。作为农业经济系统，又可按农业(作为国民经济的一个重要部门)部门结构，农业生产各要素结构、农业生产关系各要素结构等不同方面区分为不同的等级。

就农业部门结构而言，第一个层次，首先要把广义的大农业区分为农业(指狭义的农业，即种植业)、林业、牧业、禽业、渔业、虫业、微生物业和副业。第二个层次，以狭义的农业为例，可分为粮食作物和经济作物两大类。第三个层次，以经济作物为例，又可细分为棉、油、麻、糖、菜、烟、药、杂……等。

就农业生产关系结构而言，第一个层次首先应从我国目前农村的实际情况出发，区分为社会主义公有制经济和社会主义的集体所有制经济。第二个层次，以社会主义的集体所有制经济为例，还要进一步区分处在人民公社、生产大队和生产队等不同级别的集体所有制经济。第三个级别可对不同所有制形式和不同级别的经济内部生产关系的具体情况(如人与人在生产中的相互关系、分配等)作进一步分析。

就农业生产力结构而言，首先应区分为劳动者、劳动工具和劳动对象等三个方面。然后又可分别对这三方面的内容作进一步细分。

农业科学技术是农业生产力中具有独特性质的组成部分，农业科学技术可以从农业生产力结构中分离出来，构成从属于农业生产力系统的一个子系统。农业科学技术本身又是一个多层次的农业科学技术系统。

上述农业系统各个组成部分彼此的联系是通过相互之间的输入和输出进行的。这种千丝万缕的输入和输出关系把系统各个组成部分连接在一起，形成一个整体。

从农业生态系统的观点来看，这种相互的输入与输出表现为环境——植物——动物——微生物这四个组成部分之间的能量转化和物质循环。植物是生产者，动物是消费

者,微生物是分解者。这四个部分之间的能量转化和物质循环不断进行,形成了物质流和能量流。

从经济学的观点来看,系统各组成成分之间的输入与输出表现为产品在农业和非农业部门之间、农业内部各部门之间的交流。在存在商品生产和商品交换的条件下,还表现为价值在各部门之间的转移。在实物再生产过程中,种植业部门生产的饲料输入到畜牧业部门供各种畜禽食用,而畜牧业部门则以粪肥供应种植业部门作为肥料。在价值形成与增殖过程中,饲料的价值转移为畜牧业产品价值的一部分,粪肥的价值则转移为种植业产品价值的一部分。人类的劳动在产品生产中创造了新的使用价值,同时又在价值形成和增殖过程中创造了新的价值。这样就形成了产品流和价值流。

农业生态系统的物质流,能量流和农业经济系统中的产品流、价值流,总是川流不息地进行。这必然会不断地产生大量信息,形成信息流。

在农业系统中的物质流、能量流、产品流、价值流和信息流是否能畅通无阻,是决定系统各组成成分之间协调与否的重要因素,而系统各组成成分之间的协调与否关系到系统是否能充分实现自己的功能。因此,农业系统结构分析的重要任务就是要通过调节系统各组成成分之间物质流、能量流、产品流和价值流,协调系统各组成成分之间的关系,促使系统结构日趋完善。为了达到这一目的,除了详尽地分析系统各组成部分的结构,彼此之间输入,输出的关系以外,还要及时掌握反映物质流、价值流、产品流和价值流具体进程的信息。

应该指出,具体研究每一层次内部客观事物发展的规律性是各门生物科学和各门经济科学的任务。农业系统工程在农业系统结构方面的研究任务是:1.从纵的方面研究处在不同层次的各个系统组成部分的协调关系;2.从横的方面研究处在同一层次的各个系统组成部分的协调关系;3.整个农业系统的总体协调关系。农业系统工程在研究农业系统的纵向协调关系、横向协调关系和总体协调关系时,不仅要进行定性分析,而且要进行定量分析。因此,就有必要运用各种定量分析的工具。

下面以农业部门结构问题为例,介绍农业系统工程研究协调问题的方法。

为便于说明,假设某个农业系统中有甲、乙两个生产单位,它们各自生产一种产品,其产量 X_1 及 X_2 待定。每种产品的产值都是100单位,生产 X_1 需要资源 $1 X_1$ 单位,生产 X_2 需要资源 $2 X_2$ 单位,资源总量限制为8个单位。从本单位生产能力来看,甲生产单位生产 X_1 的数量限制在4以下,即 $X_1 \leq 4$ 。乙生产单位生产 X_2 的数量限制在3以下,即 $X_2 \leq 3$ 。怎样安排两个车间的生产计划,才能使总产值最高呢?上述问题可用下列数学模型表达:

总目标是使总产值最高:

$$Z = 100X_1 + 100X_2 \longrightarrow \max$$

约束条件为

$$X_1 \leq 4$$

$$X_2 \leq 3$$

$$1 X_1 + 2 X_2 \leq 8$$

由于这两个生产单位构成一个整体,它们都从属于处在上一个层次的领导机构。甲和乙都有各自的决策人,他们的目标是根据本单位分得的资源数量,充分利用本单位的

条件，使本单位获得最大的产值。上级决策人的目标则是使其所属的甲和乙两个生产单位产值之和达到最大值。因此，就有必要由上级决策人在甲和乙两个单位之间进行协调。现在假设上级决策人通过在甲、乙两单位之间合理分配资源来协调它们的生产活动，则协调的具体作法如下：

如上所述，总的资源约束条件是

$$1X_1 + 2X_2 \leq 8$$

若上级决策人采取的资源分配协调方案为

$$1X_1 \leq 2$$

和

$$2X_2 \leq 6$$

甲、乙二单位的最优化决策问题是

甲单位

$$\text{目标函数 } Z = 100X_1 \rightarrow \max$$

$$\text{上级分配资源量约束条件 } 1X_1 \leq 2$$

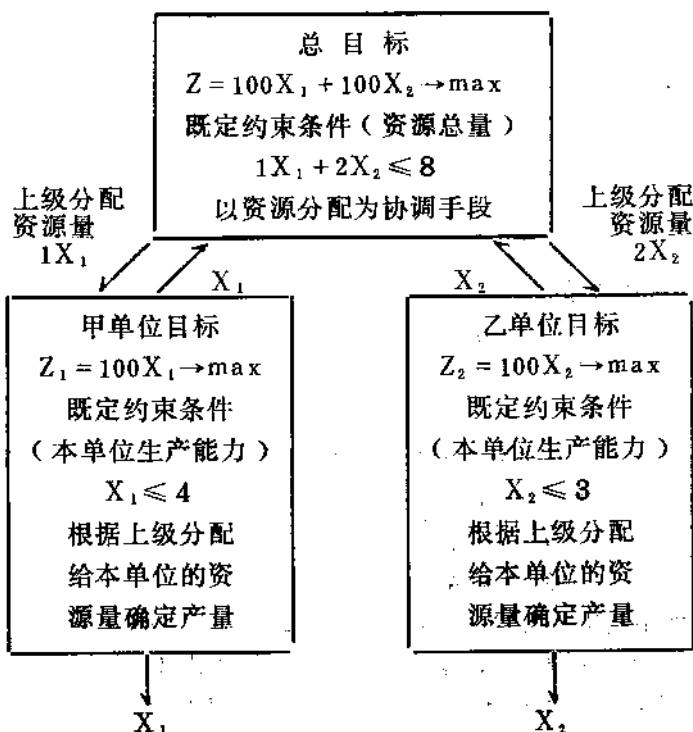
$$\text{本单位生产能力限制约束条件 } X_1 \leq 4$$

乙单位

$$\text{目标函数 } Z = 100X_2 \rightarrow \max$$

$$\text{上级分配资源量约束条件 } 2X_2 \leq 6$$

$$\text{本单位生产能力约束条件 } X_2 \leq 3$$



图二 农业系统协调示例图

甲、乙两单位根据目标函数及约束条件，可作出在本单位生产能力和上级分配资源量约束下的最优决策为：

$$X_1 = 2$$

$$X_2 = 3$$

总产值为：

$$100X_1 + 100X_2 = 200 + 300 = 500$$

若上级资源分配方案为：

$$1 X_1 \leq 3$$

$$2 X_2 \leq 5$$

则甲、乙两单位最优决策为：

$$X_1 = 3$$

$$X_2 = 2.5$$

总产值为：

$$100X_1 + 100X_2 = 300 + 250 = 550$$

若上级资源分配方案为：

$$1 X_1 \leq 5$$

$$2 X_2 \leq 3$$

则甲、乙两单位最优决策为：

$$X_1 = 4$$

$$X_2 = 1.5$$

总产值为：

$$100X_1 + 100X_2 = 400 + 150 = 550$$

若上级资源分配方案为

$$1 X_1 \leq 4$$

$$2 X_2 \leq 4$$

则甲、乙两单位的最优决策为：

$$X_1 = 4$$

$$X_2 = 2$$

总产值为：

$$100X_1 + 100X_2 = 400 + 200 = 600$$

可见，上级的最优协调方案为

$$1 X_1 \leq 4$$

$$2 X_2 \leq 4$$

而甲、乙两单位的最优决策为 $X_1 = 4$ ， $X_2 = 2$ 。这个协调方案对于总体来说，保证总体达到了最优。对于甲单位来说，这个协调方案使它既保证了总体最优，又充分利用了本单位生产能力，实现了局部最优。可是，对于乙单位来说，这个协调方案虽然保证了总体最优，但远未能充分利用本单位的生产能力，因而并不是局部最优方案。

上面的这个例子虽然很简单，但是它清楚地表明了对农业系统结构的分析，对系统各组成成分进行纵向协调、横向协调和总体协调的目的就是要实现农业系统的总体最优化。总体最优化是评价农业系统结构优劣的唯一正确标准。只有能保证农业系统总体最

优化的系统结构，才是最佳的、最合理的结构。

三、农业系统环境分析

农业系统与环境有密切关系。从生态学的观点来看，农业生态系统是生物与环境的统一体，生物不能离开环境单独存在。从经济学的观点看，农业经济系统是国民经济系统中不可缺少的重要部门，农业经济系统对于国民经济系统中其他部门有相互依存的关系，农业不能脱离国民经济整体而独立存在。从农业系统工程的观点来看，只有最能适应生态环境和经济环境而且又最有利于改善生态环境和经济环境的农业系统，才是最合理的农业系统。

农业系统包括自然环境和经济环境。自然环境来自太阳的光、热等资源、土壤资源以及除农业生物本身以外的生物资源组成。经济环境则由除农业部门本身以外的国民经济各部门组成。

对于农业生物而言，自然环境是农业生物赖以生存和发展的基础。环境不仅在当时可提供生物所需要的物质与能量，而且具有再生能力，如果措施得当，可以不断地得到补偿。物质和能量不断地在有生命的生物群体和无生命的环境之间进行转化循环。生物与环境就是由物质和能量的循环联成一体。环境通过向生物输出物质和能量对生物施加影响，具体地讲就是通向生物输出光、热、水、气、养分来影响生物。生物则通过自己对环境的输出对环境起反作用。这种关系就是生物与环境之间的适应与改造的关系。

从经济学的观点来看，除农业本身以外的整个国民经济系统构成了农业的经济环境。国民经济向农业输出农业生产资料的类别（拖拉机和农业机具、肥料、农药等）、数量和质量，直接影响到农业生产力水平和整个农业的面貌。国民经济对于各种农产品的需求则是考虑农业结构时的重要决定因素之一。反过来农业是国民经济的基础，农业对于国民经济各部门的发展也起着重要的促进作用。农业与国民经济其他各部门之间的这种关系，是具体地通过农业和国民经济各部门之间的经济平衡体现出来的。

具体分析农业环境中各项自然环境因子和各项经济环境因子对农业的作用是各门具体农业科学和农业经济科学的任务。例如，农业气象学研究气象因子对于农业的作用，土壤学研究土壤因子对于农业的作用，如此等等。农业系统工程对于农业系统环境分析的研究任务，在于从整体上研究农业的环境系统，研究农业系统对于环境系统的适应性。具体地讲，农业系统工程应对农业环境系统进行下列各方面的分析：1. 把自然环境诸因子与经济环境诸因子看成一个完整的系统，综合地研究环境系统与农业系统之间的输入和输出关系；2. 全面地研究农业系统对于环境系统的适应性以及农业系统对于环境的反作用；3. 从提高与改善农业系统功能的总目标出发，研究衡量改善农业环境方案以及控制与调整农业系统方案优劣的判别标准；4. 运用上述标准对农业系统及其环境进行定性分析和定量分析，选择能够最大限度地提高与改善农业系统功能的方案。

如上所述，农业的自然环境诸因子和经济环境诸因子是作为一个整体，综合地对于农业系统起作用的。以农业系统中作物种植制度分析为例，据刘异浩、韩湘玲等同志研究，我国可分为三个种植带：A. 一年一作带：包括东北、内蒙、西北、青藏、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$