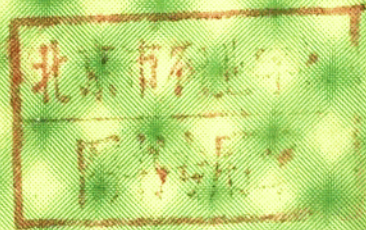


中等农校选修试用教材

农业工程综合技术

卢增兰 施忆秋 编著



陕西省农业学校

一九九零年九月

第二章 农业工程及农业系统工程

当前，我国农业正处在由自给半自给生产向商品生产转化，由传统农业向现代化农业转化的过渡时期，对科学技术的要求也在发生变化。过去，我们搞农业生产主要目标是提高单位面积产量，往往特别重视技术效益。现在，为了达到农业总产值翻一番的要求，不仅要增加粮食、肉奶禽蛋鱼和棉花等轻工业原料的总产量，还要增加产品的商品量和农民的纯收入；不仅需要重视技术效益，还需要提高经营、管理水平，力争获得经济效益、社会效益和生态效益的统一。为此继续单纯依靠传统的专业或学科已经满足不了经济发展的需要，今后除继续发挥农业机械、化肥和农田水利的增产作用外，开发农村能源、保护农业环境、合理利用土地及设施农业等农业工程问题，日益引起了人们的关注。与此同时，随着系统工程的发展，农业系统工程这一新的专业或学科将在建设具有中国特色的现代化农业中发挥重要作用。

第一节 工程与农业工程

一、工程及农业工程的概念

“工程”一词来源于“引擎”或发动机。过去，把运用数学、物理学、化学等基础科学的原理与工业生产实践所积累的技术经验相结合的产物，如建筑工程、水利工程、机械工程等等称为“工程”。随着科学的发展，“工程”作为一个广义的词，其应用范围已经超出了工业部门。

通常所说的“工程”，是将自然科学的原理应用到工业、农业部门的许多学科的总称^①，其中应用到农业生产中的学科称为“农业工程”。它通行于国际上的简要定义为：“将工程的理论、技术和方法应用到农业上去的一种综合性学科”。^②陶焱来指出（1989）：“农业工程”不仅可以理解为为农业和农村发展服务的工程，也可以理解为农业建设本身。因为农业建设本身就是一种工程建设。例如一个区域的农业开发、一个畜牧场的兴建、一座农产品加工厂的设计和施工都是一种工程行

动，是典型的农业工程。在这里，“工程”就是一个任务，凡要组织一批人力、物力，要完成一个任务，都可以称作一项“工程”。有关农业生产和农民生活的各种工程措施及工作任务均称作“农业工程”。

二·农业工程的综合性及广泛性

任何工程都是综合性的。农业工程也不例外。为了搞好工程项目，除了着重解决一些技术问题，如精心设计，严格组织施工外，还必须重视工程的组织管理，进行工程的经济核算，计算投入与产出、验证工程的各种效益，包括眼前的经济效益、社会效益乃至长远的生态效益。^③值得注意的是，在这种情况下，它所解决的问题已不仅只是技术问题，也包括组织管理；它不仅只处理微观世界的具体技术问题，也处理宏观方面的发展战略等问题，而且农业工程的范围已经从农业建设扩大到农村服务，因此，它的理论基础已不仅只是自然科学，也包括社会科学。

十年以前，我国大多数人对“农业工程”这个在1909年正式出现^②的名词还存有疑问。他们认为“农业机械”、“农田水利”的意义是明确的，它们是机械工程与水利工程为农业服务的结果；而“机械工程”与“水利工程”的意义也是明确的，那么为什么还要提出“农业工程”呢？农业与工程是什么关系？农业工程包括的范围是不是太广泛了？经过十年的实践，特别是随着农业生产与农村商品经济的发展，农业工程技术日益成为社会的迫切需要。人们对“农业工程”的理解也就深刻多了。农业，包括农林牧副渔等几个方面，是十分复杂的产业，而农村又是幅员广大、地形气候土壤各异、社会发展差别很大的十分复杂的地区，因此存在的许多问题往往不是用简单的技术方法可以解决的。与此同时，能够为农业和农村发展服务的工程技术，如机械、土木、水利、电子、化学、核物理乃至系统工程模糊工程等等，也是多种多样的。如果我们规定了某一工程技术，就只能限于解决某一类的问题，对为数众多的其他种种问题，就无法加以解决，甚至不能加以认真的了解和探讨，^④这对于社会的发展是不利的。

“农业工程”这种广泛性是由农业这门产业的性质所决定的，并非来源于某些人的臆想。这种学科命名的方法，与“机械工程”、“土木工程”、“电机工

程”等以工程技术类别来分别命名的方法不同，而是以服务对象来命名的，即把为农业服务的工程技术，叫做“农业工程”这与人们已经习惯的“铁道工程”、“航天工程”是相似的。^③

“农业工程”是一个正在发展中的学科。它的内涵和外延目前尚无定论。据1989年北京国际农业工程学术讨论会资料，“农业食品生产是许多国家面临的共同问题。农业工程在这一国民经济领域起着重要的作用，它将工程科学技术措施应用于生产实际”。这次会议上交流的460篇论文，除综述外，分为8个部分：〔1〕农业机械化，〔2〕农业动力与机械，〔3〕收获后工艺及加工工程，〔4〕土木工程，〔5〕农业建筑与环境，〔6〕农业电子学，电气化，自动化与遥感，〔7〕农村能源工程，〔8〕农业系统工程与管理工程。会议召开了5个专题讨论会：〔1〕农业机械化发展战略与农机市场，〔2〕农业水土工程研究的新进展，〔3〕农业生态系统工程研究，〔4〕农业系统工程与管理工程研究成果交流，〔5〕农业工程教育与适用技术的开发与推广。从这些内容可以看出，“农业工程”项目的多样性和综合性决定了它的内容的广泛性。

三、农业工程与生物学的关系

作为农业工程，还有一个区别于其他工程的特点，那就是“农业工程”是以有生命的物质为对象的工程，因此属于“农业工程”的一切研究、设计工作必然联系到动植物的生物学特性，或是涉及到生物生长发育的过程，或是涉及生物与环境的关系。农田整治、调控水、土关系，无非是为种子发芽、生长创造良好的大田环境条件；在畜禽舍的设计中，一定要考虑到通风、保暖、降温、排污、灭菌等设备的配套运行，为畜禽的生长、繁殖创造良好的环境条件。至于动植物的工厂化生产，更需要对动植物的生长习性进行深入的了解，才能设计出适用的工程设施。其他如种子贮藏、果品保鲜、饲料制备、食品加工等等也都涉及到农产品的品质及其变化规律等问题。如果说一般工程技术的理论基础是“数、理、化”，那么“农业工程”的理论基础在数理化之外，还必须加上生物学，近年也还涉及到系统论、控制论、信息论等新兴科学。正因为如此，“农业工程”包含了许多前人没有或很少研究过的现象和一些基础理论问题等待我们去深入发掘。^⑤

四、农业工程与交叉科学

在农业生产和农业科学方面，多年来形成了以农林业畜医病经化水机等为主要方向的专业生产体系、专业学科及专业研究机构，而且越分越细。这种趋势发展到现在，已经适应不了农业总产值翻番业向现代化商品生产转化的需要。农业工程综合技术就是为了满足这一需要而设置的一个新兴的边缘学科或交叉学科。农业生产及农业科学包括许多生产门类及学科，作为服务于农业生产和农村生活的农业工程技术及农业工程学，当然也具有交叉科学的特性。它既包括生物学与工程学的交叉，也有自然科学与社会科学的交叉，还有各专业之间的交叉。

近40年来，综合研究或整体化过程已经成为当代科学的主要发展趋向。^④

在解决重大的社会实践问题过程中，社会科学、自然科学和技术科学互相渗透，产生了许多既不属于纯粹自然科学或技术科学，也不属于纯粹社会科学的新的交叉学科或边缘学科。在1983年的全国交叉科学讨论会上，钱三强指出：“交叉科学也就是边缘科学、尖端科学、综合科学。”“本世纪末和下世纪初，将是交叉科学的新时代。几个学科之间的交叉点也是新兴学科的生长点。还将出现自然科学向社会科学的奔流”。除已有的生物工程、能源科学、营养科学与农业工程等交叉科学技术外，还要发展与四个现代化的战略、规划有关的各种交叉学科或软科学，如科学学、管理科学、思维科学、领导科学、社会工程学等等。^⑤

“软科学”这个名词是从电子计算机的“软件”引伸而来。它是一门新兴的高度综合的科学，涉及自然科学、社会科学和工程技术诸多领域，并为它们的发展提供最优化的方案和决策。

钱学森认为：“交叉科学的兴起势在必然。不要视交叉学科为非正规学科。大家公认的正规工业学科，如土木工程、水利工程等本身也是交叉的。”“交叉科学离不开哲学”，都要以辩证唯物主义为指导”。^⑥钱伟长认为：“目前我国对交叉科学的研究还没有给予足够的重视。学科划分得过细、过专，缺乏横向联系，不能综合地解决当前的社会经济问题，也不符合社会主义经济建设要讲究综合效益的方针。”被称为“钱氏三杰”^⑦的这些意见对改造农业科学，发展农业工程、农业系统工程科学及农业生产有重要指导意义。

第二节 系 统

从农业工程到农业系统工程，这是一个重要发展。农业系统工程既是农业工程的一个分支，更重要的它又是系统工程的一个分支。系统工程是在一般系统论和工程控制论的理论指导下，采用运筹学方法和电子计算机技术处理工作思考问题的方法，因此，学习和研究农业系统工程需要首先了解有关“系统”和“系统工程”的基本知识。

一、系统的概念及分类

40年代，系统首先被用于太阳系，说明地球等九大行星环绕太阳运行的规律。后来发明了电，为了供电就需要发电厂、输电线、变电所，加上把电送到用户的各种电器，就必须配备一套流程，这就是电力系统。

贝塔兰菲（奥）从对生物学的研究出发，对自然和社会中的现象，从系统的观点指出，在很多表面上极不相同的领域中存在着某种共同性，为系统理论奠定了基础。此后系统观点逐渐被用来做为分析、思考、处理问题的方法。现在关于“系统”简单的意义是：由相互关联、相互制约的要素（元件、部件、成员、成份）组成的、具有一定功能、达到一定目的、包含若干程序的综合体称为“系统”。

这里所说的“系统”通常含有以下四个条件：即复数的要素、某种功能、最终目的及程序。例如一杯咖啡，就包含有茶杯、咖啡、茶匙、糖块乃至煮咖啡的各种用具等一系列要素，各种要素的功能不同，但目的都是为了饮用，并且还需要经过煮煮加糖，用茶匙搅拌，拿到嘴边喝等一系列程序。当然我们实际工作中所指的系统要比这个系统复杂得多。现实的系统大致分为三类：

1、自然系统：例如太阳系；银河系、水循环系统（由海面的水蒸发→云的生成→由气流导致云的移动→降雨→流入河流→流入海洋），以及各种生物系统（包括个体生物及生态系统）。自然系统是遵循自然规律按照一定目标自然形成的，不涉及人们的目的，所以属于无目的系统。

2、人工系统：人工系统是为了达到人类各种目的而建立的。例如生产系统，

交通系统、电子系统、信息处理系统、教育系统、经营管理系统等。象企业的事务部门那样的以人的功能为主要元素的人工系统通常称为组织。

3、复合系统：人工系统与自然系统相组合的系统。如气象预报系统、交通管制系统、导航系统、广播系统等人一机组合的系统。

二、系统的结构与功能

凡系统必有结构，系统各单元（要素）相互联系和构成关系，称为结构，结构可分为多种结构，多级结构、有序结构。系统结构思想具有普遍性。结构愈合理，愈精细，功能就愈好。优化的结构才能产生高效的功能。结构不合理就会降低总体功能。破坏了结构就丧失了功能。

根据贝塔兰非的著名定律“非加和”原则，系统总体不等于单元和，有两种情况：其一，总体大于单元之和，即 $1 + 1 > 2$ 。其二，总体小于单元和，即 $1 + 1 < 2$ 。因此，结构合理，总体功能大于单元和，结构不合理，即使单元（局部）最优，总体功能也不会最优，甚至最差。如单一农业经营或单抓粮食，农业产值在农业经济结构中占的比例很大，但农业生产力却很低，相反，一些林牧业发展较快的地方，农业生产水平也较高。因此，诸如国民经济调整、农业结构调整优化等，实质上都是研究系统的结构与功能问题。

三、系统论的概念

贝塔兰非在“一般系统论”一书中说：“现在系统的观点已经渗入许许多多科技领域，并证明是必不可少的了。”“一般系统论对整体和整体性进行科学探索，而这在不久前还被认为是超出科学的各个边界的形而上学观念”。“它的发展来自很复杂，其中一个来自自动工程（如蒸气机、电动机）到控制工程（用低动力装置控制某些过程并引入计算机或自动装置）的发展。”“技术已经发展到使人们不能按单个机器而要用系统去思维的程度了。受过去专业训练的工程师能制造蒸汽机、汽车，但要制造弹道导弹或空间飞行器就必须把机械、电子、化学等等不同技术造就的零件装配在一起，这主要考虑人的关系、人和机器的关系，还要考虑金融、经济、社会和政治等广泛得多的问题”。“于是，系统方法就应运而生了”，它要求“提出一定的目标，为寻找实现目标的方法和手段就要求系统专家在极复杂的相互

关系网中，按最大效益和最小费用的标准去考虑不同解决方案并选出可能的最优方案”。这些发展不限于工业和军事的“复合体”，^⑪现在不仅政治家、农学家，甚至家庭主妇如何处理“开门七件事”，也有系统及系统工程问题。^⑫

系统论将每一个过程和对象都看作一个系统。这个系统与它的环境构成一个统一体。系统论强调系统和整体的观点，强调要联系环境来考虑系统，注意系统和环境中各个部分的相互作用，从全局来分析系统的变化过程。同时，系统论还把系统看成是由许多子系统组成的层次结构。子系统又由更小的系统组成。每个子系统都有一定的功能，但整个系统的功能不是各个子系统功能的简单相加，而且具有与子系统连接方式（即系统结构）密切相关的特殊功能。系统论强调系统的结构分析，提供了一种结构—功能模型，推进了科学研究中的结构—功能分析趋势。^⑬

第三节 系统工程

一、系统的概念

系统工程是40年代兴起的一门运用先进科学方法，对“系统”的规划、研究、设计、制造、试验和使用等进行组织和管理的技术。^①它在国际上虽然已经存在40年，但十年前在我国曾被看作是资本主义的东西而加以否定。^②现在，国家领导人也说：“系统工程”使我们学到一种处理任何工作、思考任何问题的方法，把方方面面都想到，处理得更周密，更完整这不更好吗？“现代的科学技术、现代的工程项目，已不是牛顿、瓦特、爱迪生的时代。一个人或几个人的小组可以搞研究、搞发明创造，搞个人奋斗，特别是一些较大型的、复杂的系统工程，要依靠集体，用系统的观点和方法来分析、组织和管理这项工作”。钱学森还指出：“近10年来，我们国家可以说摸索出来这样一个成功的方法。”“我们国家在发展中有着各种各样的问题，各种各样意见如何权衡，如何决策才符合社会主义建设规律和国民经济发展的要求，最后提出对大家来说都满意并符合规律的建议”，“必须采用系统工程方法，只有采用这种方法才能解决问题”。

这里讲的系统工程是定性与定量相结合的方法，就是通过收集专家的不同意见和建议，吸收过来，然后用上百个参数，
在众多专家建议和思路的基

基础上结合起来，用专家的智慧建立模型，再进行运算，制定最优方案”。系统工程对新创一种本来没有的事物时，常能发挥很大的作用，它有助于促使人们去完善的考虑事物的要素、功能、目的及程序等具体概念。

系统工程是一门“软”技术。以乐队为例，指挥所完成的工作就是一项简单的系统工程。他着眼于整个乐队的和谐演奏。不难想象，不管每个演奏者的技能（属“硬技术”）高超到何种程度，如果指挥不当，也决不会奏出悦耳的乐章。

二、系统工程的要素

系统工程有人、财、物资、设备、任务和信息六个要素。第一个要素是人，组织人来完成任务，人是最关键的因素。对人要从两个方面来考虑，一是数量，二是质量，质量太差，数量再多也不行。在系统工程里，有“人流”这个名词，因为人是流动的，他的工作对象不断在变化。人的管理是最复杂的，管理得好，一个人当十个人用，管理得不好，十个人抵不上一个人用。最经济合理地利用我国的人力是系统工程提出的一个很出色的要求。^⑩

物资（能源和原材料）设备（基建、房子、机电设备、仪表）和财务（工资、投资、流动资金）是属于物质的三个要素。还有任务和信息两个要素。需要着重指出的是，除人、财、物之外，信息是系统工程最重要的东西。信息就是消息，就是下情上达、上情下达。它可以用数据、图表、规章制度及决策来表示。系统工程里有个语言叫做“信息反馈”。信息对各个部门，对每个人都要起反应，这个反应，术语叫反馈。信息和人流、物流一样，也是不断流动着的一个东西。要使信息能够达到应该晓得信息的人身上去，使他发生反应，称为“信息流”。一个高效率的工作体系就是靠信息自觉的反馈来推进工作的，而不需要等领导下令^⑪。如材料部门应根据得到的信息（需要数量及库存盘点结果），决定原材料的调进和调出而不致造成停工待料或占用资金过多，加大成本。

信息流里最忌讳的是信息失真或失灵，导致决策错误，造成不应有损失。如武汉钢铁公司有一项工程完成了，试用很好，但事后发现电力不够用，由于事先缺少这个“参效”，这个工程要等二、三年后有了电才能用，以致积压了大量资金，损失不小。

越是近代化工业，工程越大，信息越多，流动越快。信息处理的越快，工作效率越高，成功率越高，而损失也越小。所以信息流的处理是工程处理中最重要的问题。在一个具体工程里，那么多人为了一个共同的目标在工作，有许多信息互相在影响，领导为了掌握全局情况，在原来用方块和线条相结合的施工程序图的基础上，现在多用网络图来表示各个下属机构之间的关系。有些经常变化的复杂的网络图需要电子计算机来搞，反映在一个显示板上，信息的反馈非常清楚，那个地方窝工了都一目了然。^⑪

三、系统工程特性

在应用系统工程方法研究或研制某一系统时，需要重视它的以下特性：

1、全局性（系统性、整体性）：必须从整个系统的全局出发，而不是只从一个分系统（局部）要求出发。如水土保持光搞某个单项措施不行，必须从全局出发，以生物措施为主，工程及耕作措施为辅，三者结合综合治理。又如要发展农业必须从大农业全局考虑，就粮食考虑粮食，往往搞不上去，从农、林、牧、副、渔等各行业通盘考虑，才能同步前进，甚至还要涉及更广泛的因素如政策、法律等上层建筑问题。

2、关联性：由于系统的各个部分是相互作用、相互依赖的，要尽可能地采用明确的方式（如图表）来表示它们的相互关系——关联性，例如用投入——产出分析可以很好地描述国民经济各部门的生产和分配的关系；用数理统计中的回归分析方法来讨论系统中某些功能与系统中某些部分变量的线性关系等。

3、最优性（满意性）：设计、制造和使用系统的最终目的是希望完成它的功能而且效果最好，因此需要使用运筹学中许多最优化方法、最优控制理论、决策论等选择出最优的系统方案。

4、实践性：系统工程和某些科学的区别之一是它非常着重实用，如果离开具体的项目和工程，就谈不上系统工程。当然这并不排斥对系统工程本身理论和对其他项目系统工程经验的借鉴。

5、综合性：由于近代的复杂的大系统涉及面广，不但有技术因素，还有经济因素、社会因素等，因此光靠一、二门学科的知识是不够的，需要多种学科的综合

同时由于一个人很难门门精通，所以也需要博取众长，由有关专家、领导和有经验的工人协作攻关。

6、目的性：一个系统的构成都有一个整体的目的或目标，而其中各个子系统或元素又分别具有它们各自的中、小目的。例如消化系统总的目的是消化食物，提供身体需要的各种营养物质，而口腔、胃、肠等又各自有其特有的功能和目的。

7、历时性：结构复杂的大系统，构成或建设时间往往很长，其间由于环境或技术的变化，目的、目标的修正追加，常需要改良系统，使它的功能符合情况变化的要求。因此，系统具有历时性或成长性，如用某种新元件去更换原有元件，或在原有系统中设置某些新元件时，能使系统的性能得到改善或提高。

8、层次性：所谓层次性，就是事物中具有不同等级的相对独立的部分。如整个农业系统可分为世界、国家、省市、地区、县、乡、行政村、自然村、作业组和农户等10个等级。整个农业系统内部的各个层次是各自独立的，但相互之间又有制约关系。对于农业这个复杂的大系统来说，为了便于研究，一定要有层次结构的观念。

四、系统工程的理论与实践

系统工程虽然是在日常人们组织生活、工作中总结出来的技术或方法，但它有一套理论。最重要的是定性方面的理论，其背景多数是根据辩证唯物主义的论点决定的。其中最主要的就是一个全面观点、全局观点，一个根据客观事物规律来进行工作这样一个观点。比如各个要素不断在变动，人们根据变动可以作出决策，作决策时一定要认识到所有事物都受到一定条件的约束，这约束就是客观事物规律，如经济条件、技术条件的约束，你不能异想天开，不能盲目蛮干，否则有可能几亿元的投资由于你的决策错误而遭到损失。^①

系统工程建立在定量的基础上。定量需要许多数学理论，其中最主要的就是运筹学。它主要研究经济活动与军事活动中能用数量来表达的有关运用、筹划与管理等方面的问题。^①

在运筹学中，现在普遍使用的理论是线性规划理论。所谓线性，就是一个因素对总的任务的影响是跟这个因素的能力成正比的，这个因素的条件加倍，对完成

总的任务的可能也增加一倍。因素是很多的,有的因素变了以后对总的完成任务是有阻碍的,这阻碍也有个比例问题。各个因素对一个事情总是有利有弊,线性规划就是利弊跟你的措施是成正比的。当然,自然规律里不完全是成正比的,这一套一般叫非线性规划,这比线性规划正的发展,要求比较高,用起来不象线性规划容易方便,现在还没有完成得很好。^⑬

线性规划及非线性规划虽然都需要现代数学理论而且大量的数字运算离不开电子计算机,但是古往今来许多才智、有经验的人,即使缺少这种理论和工具,往往也能具有与现代运筹学不谋而合的思维方法;这种思维方法对于提高工作效率具有非常重要的作用。汉代名相张良在战争中能够“运筹策帷幄中,决胜千里外”,当时他实际应用的就是一种运筹学。宋代科学家沈括在他的《梦溪笔谈》中,也记录了不少善于思维、明乎运筹的人物事迹。如宋真宗时为了修复被大火烧成废墟的开封宫殿,挑选善于思维的丁谓任修葺使。当时要完成这项重大的建筑工程,需要解决三大难题:一是取土困难,因为要到郊区去挖土,路途太远;二是大量建筑材料的运输问题;三是大量垃圾难以处理。为此丁谓首先下令“凿通衢取土”,从施工现场向外挖了几条大深沟,就近取土用于施工。第二步再把水引入深沟,“引诸道竹木筏排及船运杂材,尽自甬中入至宫门”。第三步再把工地垃圾填入深沟。取得了“一举而三役济”的良好效果,“省费以亿万计”,还大大缩短了工期。^⑭

目前我国电子计算机还不普遍,而且一般干部的数学基础也不够。目前不能都搞很高的、定量的决策问题,可先搞一些定性的决策问题。有了这个基础,以后有了电算机,水平高了,如虎添翼,就可以很快收到更大成效。

系统工程的理论还有控制论、信息论、博弈论、决策论、模糊数学、可靠性理论、排队论、库存论等等。控制论研究的对象是世界上广泛存在的系统,所谓控制就是一种作用,在这种作用下,被作用对象可以改变运动状态。人类对农业系统的控制手段主要是技术、经济、管理等措施。信息是保留在大脑中的思维形式,是对客观事物的属性和运动变化规律的影响。信息的概念表示系统的有序度。信息论研究改进输入物质及能量的办法来扩大它的有序度,减少它的无序度。

博奕论就是博弈论。许多决策非胜即败，对这类问题需要用数学方法来衡量。探索用最好的策略来对付对抗性矛盾的理论就是博奕论。决策论就是根据已有信息提供可能的决策并于测可能产生的后果，最后选定最优决策。模糊数学是从1956年开始发展起来的一门分析和处理模糊现象的数学理论。它是处理人类活动和自然环境中不能准确分清是与非的复杂系统最合适的数学方法。

五、系统工程的步骤和方法

系统工程的推行步骤包括：

1、确定目标：通过系统调查、资料汇集和分析，由有关部门专家，共同商讨，明确本系统的目标、本系统的组成要素和新技术等，并把目标条文化。目标一旦确定，就不能轻易改变，但如果计划或实施过程中已预测到可能有不良后果时，也有必要进行修正。

2、列举要素：根据已选定目标，确定完成任务的各要素，明确各个要素在各阶段所应承担的特定功能及其主次。

3、系统综合：按照系统总的功能的要求和经费、能源、技术力量、劳力等条件形成一些备选方案，例如能源系统工程中，为了要满足将来对能源的需要，就要根据当时及发展中的具体条件（如技术、设备等）考虑可供选择的能源（如石油、煤、核能、太阳能、生物能源、水电等）每种能源可以开采多少，转换多少？这里不仅有定性的问题，同时要考虑定量问题。

4、系统分析：对已设计出来的备选方案进行选优。这是一个十分重要的环节。通常要建立模型，把备选方案和评价目标联系起来进行分析比较，这就是一般所说的模拟实验，这个实验可以在人的思考中完成，也可以运用数学方法在计算机中进行。

5、系统选择和决策：根据备选方案的模拟结果分歧比较其优劣，选出最优方案。有时备选方案很多，评价目标也很多，而且彼此之间还有矛盾，这时要选一个对所有指标都最优的方案，一般是不可能的，需要在各指标之间有一定的妥协，衡量比较后，找出一个最满意的方案（决策）来实施或试用。

6、实施：根据选定最优方案，进行设计，确定工作的时间程序和步骤然后付

在实施过程中，随着工作的进展不断提出各种类型的技术报告，检查系统运行过程中与目标的偏离程度，如果偏离不大，稍加修改提出控制措施即可；如果偏离太大，则要反馈到前面几个步骤，重新选择方案。在系统运行中，要特别注意新理论、新技术、新装置的发明及应用以求不断研究改进。

以上的步骤，并不一定要求严格按照时间顺序来进行，有时还需要出现多次循环反复。（图2~1）。

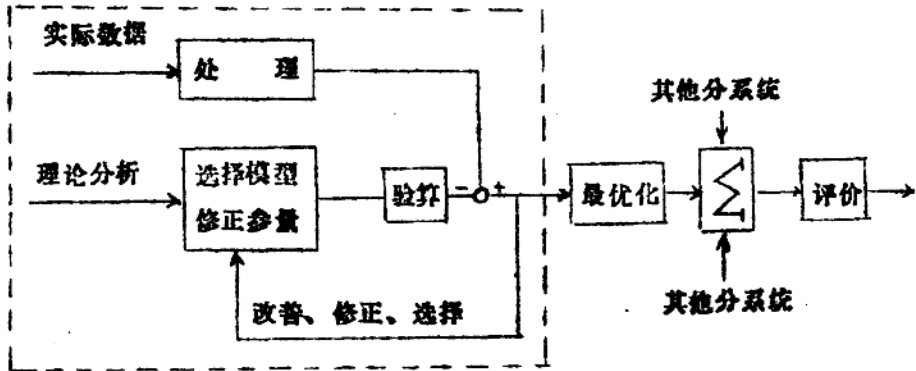


图2~1 系统分析方法和过程

六、系统工程模型

模型和模拟方法在系统工程研究中占有极为重要的位置。因为系统工程所要研究的系统的开发问题，其研究对象不仅是有待建立的，而且具有复杂性、模糊性、无样本性和信息不充分性，有的甚至是不容许直接实施的危险系统，于是就特别需要运用模型和模拟仿真的方法来表达和考虑这些问题。

模型可分数学模型和结构模型两类。^②把系统内部和系统与外界环境的联系，用某种函数关系来表示，这种数量关系就是函数模型、数学模型或数学方程式。建模后即可用计算机进行仿真，得到模拟的结果。根据这种结果，人们可以对自己研究的实际系统做到心中有数，甚至可以事先采取相应措施，使系统向着积极的方向发展，最后实现全局最优的目标。例如我国人口预测模型。^③

表2~1

我国人口顶峰模型

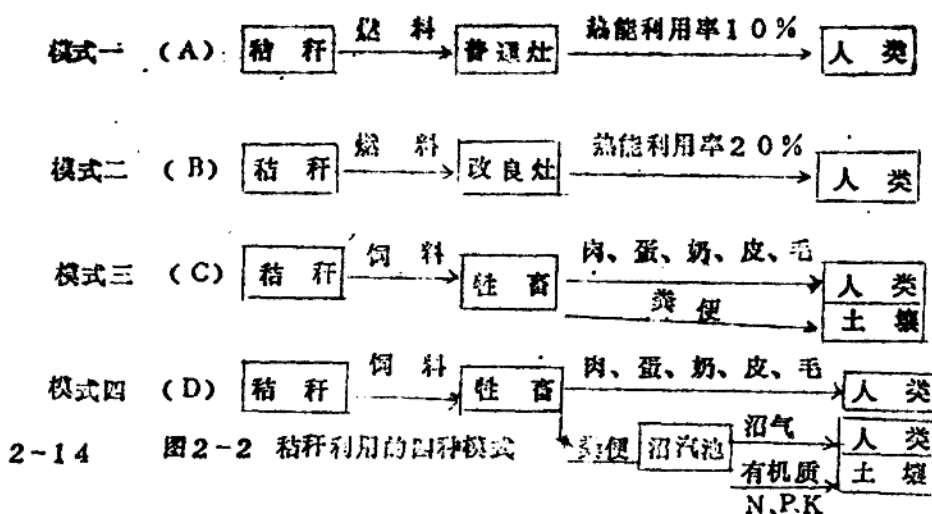
比生育率 ^①	达到人口顶峰年份	所需时间	最高人口数(亿)	平均增长人口(万/年)	新增人口对粮食需求(亿斤) ^②
3.0 ^③	无期	∞	42.64	3270	173.31
2.5	无期	∞	26.84	1640	86.92
2.3 ^④	无期	∞	21.19	1139	60.37
2.0	2030	70	15.32	790	41.87
1.5	2050	45	11.72	430	22.79
1.0	2005	25	10.54	304	16.61

①比生育率：一对夫妇所生孩子数；②按1979年人均530斤计；

③1975年生育率

④1978年生育率。

另一类是结构模型，又分为思想结构模型及具体结构模型两种，都属于定性或半定量模型。在实践中，结构模型比数学模型适用范围广泛得多。对于复杂的、难以定量的大系统，结构模型可提供形式化研究。对于能够建立数学模型的系统，辅以结构模型能够清晰地描写大量单元间的复杂关系，为全面的定量研究提供必要的基础。例如农作物秸秆利用的四种模式^②（图2~2）



这两种模式的综合利用比较如表2~2。不难看出，其中以第四种模式最佳。

表2~2 秸秆利用模式比较

利用模式	热种利用率	动物营养	N、P、K	有机质
A	10%	0	仅P、K	0
B	20%	0	仅P、K	0
C	0	利用	利用	利用
D	60%	利用	利用	利用

七、系统工程师的条件

现代技术和社会很复杂，传统的方法和手段已经不够用了，需要整体或系统的方法，需要通才或具有多学科知识的一专多能人才。如美国40年代开始搞原子工程时，美国当局并没有请当时在物理学科有很高造诣的爱因斯坦、费米等人担任技术总指挥，而是选择了只有38岁的加州理工大学一个理论物理教授奥本海默来干这件事。原因在于他除专攻物理外，研究过文科、地质、建筑、外语等，具有广博的知识和敏锐的综合思维能力，能抓住问题的关键并现实地指出它们的解决方向^⑨。根据他提出的“曼哈顿计划”，领导和组织各行各业2.5万名科技人员和12万生产人员，用三年半时间，赶在希特勒之前，把原子弹造出来了，对第二次世界大战的胜利结束起了重要作用。

阿波罗登月计划也是为此。这样一个计划实际美国在1954年就提出来了，一直没有得到美国政府支持。后来到1957年苏联人造飞船成功了，美国就吓一跳，急起直追，订了一个“阿波罗计划”。人不仅要天上绕几圈就回来，还得到月球上去，那就艰难多了，有许多问题要解决。如人坐的飞船怎么样从地球表面的轨道走上月球表面的轨道？月球上没有发射台，它怎么回来？回不来怎么办？飞船的建造，需要许多谁也没见到过的新材料。对人的要求更多，月球上谁也没去过，只晓得月球的引力只有地球的1/6~1/7，人上去了一定飘飘然不好走，脚只要稍微一

点可能跳很高，都是灰尘，走路可能陷下去；穿什么样的衣服？一定要密封的，但出了汗又怎么办？为此，阿波罗计划，从1959年开始，动员了42万个科学家，花了几百亿美元，用了13年时间，“整个改变原来美国的教育制度，全面地改组了他们很多企业，”^①于1972年1月7日终于登上了月球 并返回地面。这是人们有意识地应用系统工程技术的一个巨大的组织行动。阿波罗计划的总指挥韦伯说：阿波罗计划中没有一项新发明的自然科学理论和技术，都是现成的技术的运用，关键在于综合”。^②

随着国内外系统工程的蓬勃发展，系统工程这一广阔的天地，正吸引着各种领域的科学家和技术人员前来开拓，造就了越来越多的系统工程师——科学技术战略人员。这些系统工程人员需要具备的条件应是：

1、知识较渊博：不仅对某一种专业有较深的造诣，而且对许多领域都有相当的理解的“T”形人才，他们既是“专家”也是“博家”、“杂家”。

2、分析和综合能力：应具有严密演绎的思考能力，同时又兼有归纳、综合的思维能力。

3、开拓型人才有足够的想象力和创造力，对新事物敏锐，善于发现新问题、提出新问题。用美国贝尔研究所所长凯尔的说法，系统的研制、设计是一种组织化的创造产物。从这个意义上看，科学和艺术正是一根藤上的两个瓜，它们的根就是创造性的思维，只有把科学技术当做艺术创作来理解的人，才能不断创新、开拓新境地。霍尔指出：“创造性思维是人区别于猴子的最重要的内容，应当作为比黄金更为贵重的东西来对待并慎加保护”。

4、有组织和决策能力：善于与不同类型的人相处，发挥其所长，同时善于判断、选择、有魄力进行最困难的最后决策。

5、正确的传达和运用信息：善于理解其他领域的动向，同时与各类专家的知识概念有良好的接口。

总之，系统工程师应有多方面的修养（数理的、工程的、技术的、经济学的、心理学的……），应该是那些能够登高望远，通观全局，广泛掌握纵横知识，善于创造的人。