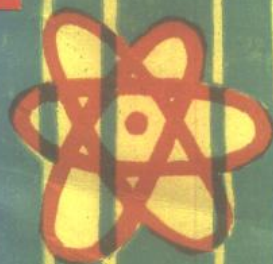


系统工程与 现代管理科学

编辑 朱松春 高兴耀 魏宏森



北京系统工程学会

前 言

为了使各级从事管理工作的领导，经营管理干部，科技干部，掌握现代管理科学基本知识，增强企业活力，提高管理水平，增加经济效益，北京系统工程学会组织了北京高等院校、科研单位的学者、专家，在一九八四年二月举办了为期三个月的《系统工程与现代管理科学》讲座，受到欢迎。根据学员的建议和响应胡耀邦同志关于“大家要下苦功夫学习一切新知识”的号召，特将这个讲座的讲稿，经作者本人整理修改，汇编成册。

全书共四大部分十九个专题。第一部分为系统工程、系统分析和管理。第二部分为决策与计划模型和基本方法。第三部分为技术经济分析与评价。第四部分为系统预测。

本书可供各单位领导，经营管理，科技干部以及教育工作者学习和应用，也可做大专院校师生的学习参考书。

由于科学技术和现代化建设发展很快，涉及管理问题很多，本书还不可能都涉及到，对一些主要问题进行了论述。由于我们水平有限，书中缺点，错误在所难免，欢迎批评指正。

编者

一九八五年四月

第一部分

系统工程、系统分析和管理的

系统工程与企业管理、企业素质.....	刘源张 (1)
✓系统分析的要点.....	郑维敏 (6)
系统分析与系统管理.....	李国纲 (14)
科技管理与系统工程.....	柴本良 (31)
√系统工程的产生及其意义.....	魏宏森 (46)

第二部分

决策与计划模型和基本方法

大系统决策过程的综合分析方法.....	朱兴杨砾 (57)
模型论.....	顾基发 (79)
资源充分有效利用与最优生产计划.....	周方 (90)
规划论及其在经济管理中的应用.....	邓志刚 (100)
网络方法.....	甘兆煦 (119)
决策论基础.....	孙之荣 (142)

第三部分

技术经济分析与评价

可行性研究与经济评价.....	朱兴 (165)
项目评价方法简介.....	朱兴徐立 (185)
行业规划与项目评价的一个实例.....	叶焕庭 (215)
价值工程.....	韩荣 (214)

第四部分

系统预测及其他

“2000年的中国”的系统研究.....	王慧炯 李泊溪 (235)
人才预测.....	朱松春 杨砾 (252)
系统工程与经济心理学.....	徐联仓 (265)
城市建设与系统论.....	钮德明 (273)

系统工程与企业管理、企业素质

刘 源 张

一、系统工程与企业管理

关于什么是系统工程，现在说法不一。系统工程是发展的，在我们国家有各种说法，在领导的讲话当中也常提到这个名词，比如说：用系统工程改革我们的工作等等。系统这个词我们很熟悉，如交通系统，工交系统、商业系统等等。

1、系统的概念

那么系统是什么性质的东西呢？用一句话说，就是对我们研究的对象在本质认识上所使用的一个概念。要使我们日常生活好一点，工作做的好一点，首先要了解自己的经验，再了解客观事物；只有这样才能生活的好一点，工作的好一点。我们在日常生活中，在干的过程中，常想：为什么要干？为什么要生活？第一个要做的事情就是看、观察；第二是分析；第三是了解。也就是说，先从表面观察，然后，通过分析逐步深入到事物的本质的认识上去。这个本质的认识从表面现象深入到本质里去，就发生一个所谓本质的飞跃，就形成一个概念。当我们对客观事物认识形成概念时，认识就抓到本质了。形成什么样的概念，才算认识到本质？这需要对概念提出一些要求。系统概念也是对客观认识。例如人有消化系统，泌尿系统等，有四肢，躯干；是不是说，一个人，有一个头、两只手、两只脚，中间一个肚子，加起来就是一个人？桌子有一个桌面、四条腿，加起来就是一个桌子呢？这个问题从很早就提出来了，不能简单的回答。这是为什么呢？让我们回想一下过去科学所走过的路程。大家都知道，所谓近代科学已有三百多年的历史，最长也不超过四百年吧，科学有了很大进步，特别是近五十年来取得了飞跃的进步，这个道理在哪儿呢？道理很简单，就是在对宇宙、对客观事物去认识时，进行分析，而且还要分开认识来分析。这是为什么呢？就是因为世界万物，包括我们自己在内，都是很复杂的；而人类的智慧是有限的，能力有限，手段也有限，一次认识，不会一下就认识出来，因此就要分开来认识。比如对分泌系统和消化系统，物理系统，化学系统分开认识，就是把一个整体分成部分来认识。

2、系统的性质

系统有三个性质，第一个是整体性。系统不是由简单的元素、零件组成的。恩格斯在《反杜林论》中引用拿破仑讲的这样一个故事：当时的法国骑兵和木留克骑兵比较，一个木留克骑兵和法国骑兵打，木留克骑兵不是对手，从骑术，剑术、勇气上都不行，如果用十个骑兵和十个骑兵打，就可以免免强强打败对手；一千个木留克骑兵则可以打败一千五百个法国骑兵。以此解释量变到质变的飞跃。此例足可以说明系统的概念。系统决不是一些简单的元素、零件的组合，变成系统的能量就能超出简单相加之和，用我们的话来讲就是：“团结就是力量”。

第二个性质是目的性。简单的系统是因素的组合、元素的组合，这样说什么都是系统了。人有头和手，桌子有桌面和四个腿，房子有房顶和地面，都是系统；天体也是系统，这些是有形的。无形的系统如法律等，这样说什么都是系统了。我们所说的系统是有目的性

的。目的性是个老大难问题，从两个方面说这个老大难问题。这里有个典故，就是拿破仑在一次宴会上和拉普拉斯说：“在你的天体运行著作中怎么没有提到上帝呢？”拉普拉斯回答说：“陛下，我不需要上帝”。拿破仑为什么问拉普拉斯这句话呢？拉普拉斯又为什么不回答？有当时的背景。从十七世纪到十八世纪，科学正处在一个萌芽发展阶段，在这以前，从西欧国家来说，占统治地位的是神学，神学是为宗教服务的；当时神学主要的观点，是论证上帝是否存在，上帝在哪儿。神学就想出一个办法来论证这个观点，它提出一个解决问题的办法。用宇宙万物的创造，用宇宙的美妙这个办法来表现上帝的存在。认识到这个就是目的性，神学的目的是通过天体运动来显示上帝的存在。因此天体运行本身就是目的，地球绕太阳转，月亮绕着地球转，运动本身有个目的，目的就是显示上帝的存在。拿破仑问他写的这个天体运动怎么没有明确上帝呢？拉普拉斯说做为科学家我不需要上帝。科学从来都有它的目的性。

我们研究的系统工程有目的性，而这个目的性是人为赋予的。比如，人是很复杂的、很巧妙的，也是个系统，但是，人是不是系统工程研究的对象呢？不是的。人的目的是什么呢，几千年来就讨论这个问题；哲学讨论，人生学也讨论。企业生产的目的是生产出产品满足社会需要很显然是人为赋予的。中国对企业赋予了目的，日本人对企业赋予了目的，美国人对企业赋予了目的，这些目的过去是不相同的，现在也还有差异。

第三个性质是环境性。系统不是空想的，是实实在在的存在于某一个环境当中的。例如，北京的某一个厂是八十年代的，是十二大召开以后的环境中的企业。环境不仅处在系统环境中，更重要的是系统对环境产生的作用与反作用的关系。

什么是环境？简单的说：是处于系统以外的因素，而且对环境内部的因素都有联系的因素，这些因素就叫做环境。在一个空间上画一个圈，圈里就是系统，圈里有各种各样的元素，同样有些元素在圈外边，就是环境。企业系统的元素是由人、财、物构成的，有产、也有供、销，这个企业以外的企业同样也是人、财、物构成的，也有产、供、销。如企业有厂长，有书记，有科长、车间主任，还有第一线工人。在企业边界以外，厂长上边有局长，还有同级厂长等，以及市场、外贸等环境。系统与环境有作用，也有反作用，内部因素对外部因素有作用，外部因素也对这个内部因素有作用。如外边那个厂长讲理不讲理，对企业经营管理就有影响；本企业搞的好坏，对外边也有影响，这就是作用及反作用。讲的更现实一点，就谈到管理体制的问题，企业的自主权问题，在更大一点就是我们这个经济能不能搞上去；环境的作用，都是个大问题。比如拿边界来说，这里有一个系统有个环境，企业还在市场中存在，企业的经营管理是计划经济与市场调节相结合的，计划经济也得和市场发生联系。计划经济和市场经济的区别就是对市场的作用，允许范围和限制范围的大小。我们的市场是在中国国民经济的环境里边，中国经济还要与世界的经济凑在一起，它不是孤立的。我们实行的开放政策，就是把我们的国民经济和世界经济拴在一起了。这个重要的事情说明，我们不仅引进外资，引进外力，我们还要向外国投资，如我们的大量外汇跟外国的财团或银行发生联系，同时也在欧洲、在外边放债。这些都说明，我们的国民经济一方面和世界发生联系，另一方面也和企业联系在一起了。例如：我们想把国民经济搞上去，如果企业经营管理不好，国民经济也难搞上去，这就是企业对国民经济的作用；反之，国民经济管理的不好，企业也没办法搞好，这就是环境对企业的作用。因此，环境对系统（或系统环境）总有作用及反作用这么一个性质。这个性质我们就叫环境性。

以上讲的系统的三个性质，只有满足这三个性质的系统，才是我们研究的对象。第一个是整体性，它的整体一定大于部分的和，第二个特点是人为赋予的目的性，第三个是环境作用与反作用的环境性。因为我们研究的系统就是这么一个系统，必须满足这三个性质的系统，才能作为系统的研究对象。

3、系统工程对“三性”方法体系的运用

系统工程或系统分析，系统科学，管理科学，在本质上并没有多大的区别，那么系统工程是干什么呢？系统工程就是对“三性”的规定。规定是概括性的词，首先是指对系统的描述，用什么来描述它；可以用语言来描述，用数学描述，用物理方法描述，用计算机也是一种描述。其次是论证。整体性、目的性和环境性之间是有联系的。目的性，要有真正的目的性，例如作为一个厂长当然要完成上级交给的任务，这个是不是目的？这是目的，但这是表面的目的；真正的目的是满足人民生活的需要。轻工业部是要提高人民的生活水平，生产是为这个目的。如果只有生产的目的，没有满足人民生活需要目的，你的任务能算完成的很好吗？没有提高人民生活的生产，老百姓没有得实惠，还不能达到真正的目的。对此要进行论证。第三个规定的内容，就是要处理。系统工程只能是研究这些的。

从企业来看，企业的元素是人、财、物，产、供、销，还有外贸，这是一种说法。还有另外一种说法，企业只有人、财、物、产、供、销，没有外贸。有的企业不一定有外贸，企业的人、财、物、也可能也各不一样。如纺织、冶金、机械的企业人、财、物就不尽一样。但是，我们把这些形形色色的差别都去掉，剩下最本质的东西，企业还是三大件。一个是输入，一个是输出，输出输入中间还有一个转变机构。这是对企业最起码的三大件或叫做三大元素。这个构成就是企业。输入的东西必须经过转变机构能变成一个输出的东西，输入是人、财、物，输出也是人、财、物。经过一个转变机构，从输入到输出，人财物都改变了，物改变了，进来的是原料，出来的是产品；财也是改变的，资金投入，也要输出，输出就要有增殖，要有效益；人也改变了，进来是刚进门的一个大学生，出去的时候已经是在各方面都提高了。而且，输入和输出都是人、财、物这个性质，恰恰是我们中国社会主义企业的特点，我们的工业从建国以后从无到有从小到大。拿纺织工业来说，工厂扩大建新厂需要干部，这些干部靠老厂输入，支援它的人力。所以说，我们中国企业的输出和输入是一样的。因此，我们说，做什么工作都需要由转变机构来描述其输出输入，来论证它，处理它。在描述和论证之前要对模型进行假设。假设就是把研究对象与事物无关的事项舍掉，看其本质的东西而提供假设。假设是对系统行为的解释，所有企业都是输入、输出、转变机构三大件构成的，这就是一种假设。把输入通过一个机构变成输出，这就是企业的行为，企业就是干这个的。进一步论证，输入到输出有一个提高，对材料来讲是增殖，产品进入市场。输入也是从市场来，市场有劳动力市场、资金市场、技术市场，有了这三个市场，企业三大件活动一样，即输入输出都要经过这些环节从市场取得原材料，销售产品。输出也要放到市场上实现价值，赵紫阳同志提出经济效益问题，什么是经济效益？就是用较少的劳动消耗和物资消耗生产较多的、满足社会需要的产品，而且，在社会上有价值。这里所说的最重要的两件：一是满足社会需要，二是实现价值。

4、系统工程的原则

①整体为目标

企业内有各种机构，如计划科，财务科，技术科，人事科，车间有前方后方的，等等。

系统工程研究的原则，就是针对企业整体，以整体为目标。虽然处理问题可能是生产科的问题，也可能是计划科的问题，但是还要以企业整体为目标，不但要考虑企业的计划为目标，还要从整个国民经济为目标。这就是全局的观点。

全局的观点有三个层次，生产科以企业做为整体，企业要以行业为整体，行业要以整个国民经济为整体。总之要有整体目标。

△ ②以问题为重点。

企业以什么为重点，是强调质量，还是品种，数量？重点要弄清楚，重点也是活的，有变化的。不是强调质量，质量是重点；还有成本问题，企业的经营方针战略目标都与时间有关，在一个时间内数量够了，在另一个时间又强调品种成本等等。

△ ③以数据说话，做定量分析。

△ ④以价值判断为证明。

自然科学排除价值判断，物理学研究的粒子，是好是坏不问它；心理学研究人的心理问题，也不赋予价值判断。系统工程研究的对象必须要以价值来判断证明。企业是讲究经济效益的，不仅考虑企业本身的效益，还要考虑社会效益。以卡车来说，第一汽车制造厂和第二汽车制造厂，两个工厂都在搞节油，搞节油要付出代价，对企业来讲要付出代价，得负的效益，对用户来讲则得到好处。沈阳水泵厂搞节约水泵要赔钱的，大庆油田用了这个水泵，一年节约很多电费，取得的社会效益很大。大庆油田知道水泵厂由于生产这种水泵赔了钱，而且工人奖金也得不到。大庆则拿出钱，给他们发奖金。从这例子证明，这个价值问题，企业效益小，而社会效益大，在资本主义企业不干，在中国的社会主义企业就要干。这就是价值判断。它是衡量企业性质的一个重要标志。

二、企业素质

企业素质不仅关系着企业的生存发展，而且关系着宏伟目标的实现，既是火燃眉毛的当务之急，也是发展战略的长远大计。正如赵紫阳同志在一九八三年六月二十五日中央工作会议讲话中指出的：“如果我们的企业不来一个根本转变，不在质量上，素质上有一个显著的提高，在国内就没有生命力，在国际上就没有竞争力，就没有出路。一句话，不前进，就无法生存”。

1、企业素质提出的背景

企业素质这个词在三十年前就使用了。以前没有引起人们的注意，到了去年八月工交会议，袁宝华同志代表国家经委两次提出来，八月中旬又召开了少数企业参加的座谈会，在会上对企业素质进行了讨论。会后各地方各部门对企业素质做了调查研究。

为什么去年提企业素质？在以前没有引起重视，现在重视了呢？总的来说，是因为所有企业，当前都面临着一场严重的挑战，面临着能否继续生存下去的十分尖锐的问题。

第一，尽管国家对企业管理很重视，从打倒“四人邦”以来对企业进行了整顿。可是全国四十多万个企业，都在国家、党委领导下，一样的进行整顿，但效果不一样，有的不用说就干了，还走在前面，企业管理很出色，有的企业无论你说怎样说它还不动。

第二是企业整顿，精简机构，要有内部条件，有的赔钱，有的赚钱。这里就有价值规律的问题，许多企业没有认识到价值规律的作用。这些年才逐步有所认识。尤其是对计划经济为主、市场调节为辅的方针和划分企业内外部条件，要有个认识过程。

第三是市场，产品需要有用户。用户是上帝，由于买方市场开始形成。人们对市场的作

用开始注意。

2、企业素质内容

企业在生产活动中有两大运动，即人流和物流，物流是从原材料购入经过一道道工序加工，到在制品、半成品、最后到成品入库，投入市场。信息流是伴随着物流发生的各种各样的信息，各生产环节和管理部门之间的信息传递，以及厂长做报告，下指示，上级来电指示等等。

素质就表现在人流、物流上，更重要的表现在物流上，过去对人流和物流颠倒。物流是单向的，从输入到输出。信息流是双向的，从输入到输出，从输出再回到输入；不是双向的就没有反馈，也管不起来。物流流量是不变的，形状变而量不变。信息流的流量是变的，如企业整顿要验收，企业就得准备材料，接待验收者，不来检查验收，就不需要准备材料。在企业中经常出现物流不畅通，信息流没有形成。从整体看，信息流应促进物流。信息流还有个最优化的问题，信息流最佳了，物流也会最佳。

企业素质是指企业进行发展经营活动所必须的基本条件，或者说是企业生产经营活动能力各因素的总合，概括起来包括三个方面，一是人的素质，二是技术素质，三是管理素质。

△人的素质，这是企业素质的关键。最主要的包括领导班子和企业职工队伍，当前对领导班子的要求，是实行“四化”。职工队伍是“双补”。实现这两个要求是不是企业素质就高了呢？不一定。这仅是对当前来讲的，对长远还远远不够，对人来讲还要求有体力，技能、意志。新时代的劳动力首先是体力，要有个好体力，加强体质锻炼，其次是技能，掌握专业技能，单纯的双补还不够，还应在企业内部流动，在企业间流动。日本企业都采取培养办法来提高职工的技能，各种工种都干干。工人是多面手。其好处是，不论做什么工作都会有全局观点。我们不是这样，一干就是终身不动。一个人老在一个地方就会麻木不仁，没有刺激性。人才流动对人讲是个刺激，人才活跃，提合理化建议会全面的。第三是意志，使人有三感思想：历史感，自豪感，责任感。对人要尊重。

△技术素质，它是企业素质的基础。技术素质表明企业技术与设备水平。主要包括科研，设计、工艺等方面的能力与水平，也包括设备，工具、工装等方面的先进性与完备性。在实际工作中往往一提技术素质就强调设备，这仅是一个方面，更重要的不是物，而是人。不是有了设备就出了产品，而是要有人。美国的技术很高，而生产不出高级产品，日本知道技术是你的，在技术上胜过你是没有办法，只有在造上下功夫。生产第一线是工人，所以日本非常强调生产技术，在日本强调在造上下功夫。半导体抛光，利用栗子皮抛光，产品很出名，就是在加工上下功夫。我们恰恰在这方面不注意，不但产品的数量，质量差距也很大。产品的差距，实际上是技术与装备的差距。我们不但要在技术上、装备上缩短与先进国家的差距，而且要对职工队伍进行培养，提高其技能，发挥它们的聪明才智。

△管理素质，它是企业素质的主导。它包括企业领导体制，经营决策能力，管理基础工作，组织结构，经济责任制等等。

管理素质表明企业经营管理水平和效率，对环境变化的适应能力。

举个例子，苏联在一九八二年十二月八月《经济报》上的文章说，有一个机械工厂和美国比较，这个机械厂搞工卡模具的工人人数占全厂工人人数的38%，而且是社会化的，文章就批评这种大而全不可采取，造成生产效率不高，应改变企业组织结构。

从管理素质讲要“软”化，日本有一个统计数字，一九八三年十二月一月，调查622个

公司，一九七七年前方工作人员数占53%，到八二年是48%，前方人少了，后方人员多了。在后方人员中也发生变化，搞调查研究、搞情报的由一九七七年的11.9%上升到一九八二年13.7%。结论是，制造业开始“软”化了。信息在企业中渗透了。这些数字证明，加强了企业的信息流，强化了经营决策能力。

今天讲的这些第一不是空谈；

第二，不一定要搞专业训练，结合自己的经验，勤于观察，会有创新的，企业、管理会有出色成绩的。

第三，无论是领导者，管理、科技工作者，人人都可以搞系统分析。它没有什么奥秘。

系统分析的要点

郑维敏

本文不是介绍系统分析的各种方法及工具，而是强调在具体进行系统分析时应注意的要点。内容有七个方面（1）什么是系统分析，（2）目标树及ISM，（3）设想及方案，（4）数据库及知识库，（5）灵敏度分析——鲁棒性及影子价格，（6）效益函数及二次型，（7）集体决策

一、什么是系统分析

在社会主义建设中，人们利用各种技术去改造客观世界。从系统的观点看，这是社会技术系统。技术进步对社会主义现代化起推动作用，社会进步为提高生产力、开发新技术创造条件。它们是相互促进的。在现代化社会，社会技术系统的许多问题需要综合地加以考虑。例如在能源系统中应考虑：资源问题、资源转换为有用形式的问题、能源的分配及合理使用问题、环境问题、社会效益问题，等等。社会技术系统所遇到的问题，根据人们的经验及知识，利用现代化技术工具，予以综合分析，这就是系统分析。其目的是收集、归纳有关事件及资料，分析可行方案，提供信息，协助决策者更好地解决问题。系统分析将考虑社会技术系统的建设、运行以及对各有关方面的影响，例如经济方面的成本、效益分析，技术效果的分析，环境影响的分析，社会效益的分析等。

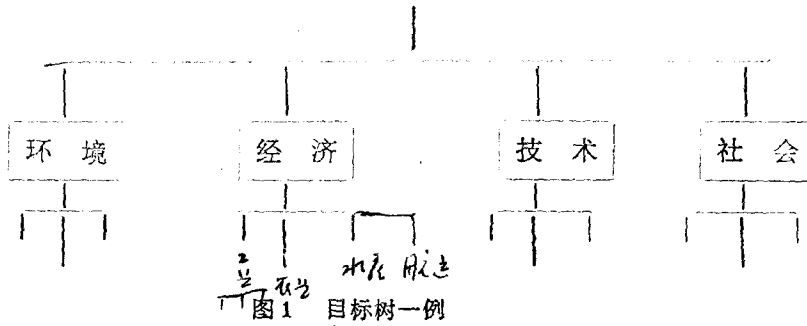
△系统分析包含以下几方面的内容：描述及确定目的及目标，提出可能的方案，收集有关的经验、知识、资料及数据，建立必要的数学模型及模式，分析及评价各种可行方案，根据分析反复考虑目的及目标，提出新方案重新分析，最后把有关信息及分析结果提供决策者或委员会参考。

系统分析主要是协助决策者利用科学知识对许多复杂问题做出决策。它可以避免委员会上的一般议论，带有偏见的争论，以及个人的地位或声誉代替推理的现象。

二、目标树及ISM

为了做好大型工程的规划，有许多问题或性能或目标需要考虑，例如一项环境保护的工程，不但需要考虑环境效益，而且要考虑经济方面的成本，技术方面的可行性及先进性，社会方面的人口迁移就业，城市规划，等，见图1。每一方面又有许多子问题，例如经济效益可能有工业、农业、水产、航运等许多方面。它们又可以再行划分，例如工业又可以分为许多

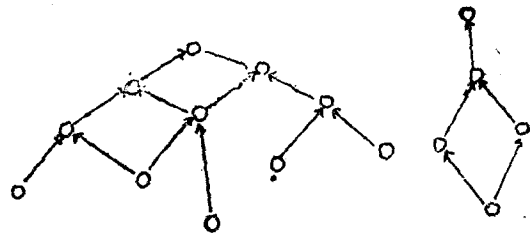
不同的行业。这样就形成了如图2所示的目标树。



从另一角度看，某一项具体措施，例如设立一项中外合资经营的企业，将改进生产手段，从而在经济方面能提高生产率，同时对社会结构也产生影响。又例如大力进行智力开发，必将提高社会素质，从而促进生产，可见在复杂系统中子问题或子目标是彼此关联而有层次的。

对于简单的问题，往往可以根据常识建立目标树，例如图1。对于复杂问题，可能不是简单的树状结构，而是有层次，有联系的结构，如图2所示，这叫结构模型。它能把问题和目标，按范围、层次及有无关联，清晰的予以描述，它是问题的一种定性描述，它按问题定义及范围，根据总问题或总目标把考虑的子问题形成集合，并叙述各子问题之间“有或无”的关联。因此是一种解释性结构模型。

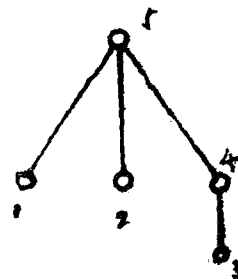
这种解释性结构模型，可以根据座谈会，经验交流会、专家意见，用表格或矩阵的形式予以汇总，然后经过处理形成树状模型。例如河流污染的控制，有（1）污水处理系统的投资问题，（2）运行费用问题，（3）征地问题，（4）人口迁移问题，（5）总成本问题……等。它们的从属关系可以在表格中用“0”表示无从属关系，“1”表示有从属关系，见表1。相应的矩阵，以及根据矩阵，分析计算出来的解释性结构模型如图3的有向图所示。有关的分析计算方法叫ISM。



来的解释性结构模型如图3的有向图所示。有关的分析计算方法叫ISM。

	1	2	3	4	5
1	1	0	0	0	1
2	0	1	0	0	1
3	0	0	1	1	1
4	0	0	0	1	1
5	0	0	0	0	1

表1.从属关系矩阵一例



三、设想及方案

为了达到目标，必须提出解决问题的设想及方案。为此，应举行各种座谈会，书面征求

意见,组成调研组,委托研究单位及高校进行初步研究,并在此基础上进行范围较广的有书面材料的讨论会。这样归纳出来的或形成的设想或方案可以作为系统分析及方案评价的起点。

例如在河流污染治理中,可能的方案有:上游调水,工厂自行处理污水,自来水取水口移到上游,污水排海,建立污水处理厂,立法以加强管理,综合治理等方案。然而,对这些方案常常是众说纷云,以各自专业的角度甚至偏见出发,各叙己见,并且缺少定量分析。因此,决策者很难估价及选择。系统分析者不是代替决策者去决策,而是对这些方案进行综合分析,以及根据决策者改造客观世界的蓝图及态度、对全局的考虑,以及决策者的经验,提出一些有价值的信息及优选出几个可比较的方案,供决策者参考。最后由决策者选定出满意的方案。这样选定的方案不只是考虑的比较周到,而且往往可以节省投资,例如10%左右,这个数字对几十亿的工程,还是很可观的。总之,在归纳出设想、方案后,应该进行系统分析。做这项工作肯定要耗费一定的资金及人时,然而效果也是明显的。

四、数据库及知识库

对方案进行分析或评价,应从目标树或系统解释性结构模型所规定的各个方面或目标,逐一研究,然后再综合进行多目标决策分析。要考虑的方面或目标往往很多,其中有些是可定量的,有些是难以定量的。例如河流污染综合治理中的污水处理系统,投资是可以定量的,然而这个系统对人民健康的影响及社会影响,却是难以定量的。河流污染控制的示意图如图4。

可定量的,有河流污染现状的状态方程:

$$t_{N+1,j}L_{N+1} + \dots + t_{j+1,j}L_{j+1} = r_j$$

$$j = 1, \dots, N$$

其中 L_{j+1} 是第 $(j+1)$ 河段所排污水中的BOD含量, r_j 是第 j 段的氧亏, $t_{m,j}$ 是传递系数, $t_{N+1,j}L_{N+1}$ 表示上游第 $(N+1)$ 段进来的BOD,耗氧后在下游第 j 段所引起的氧亏。全河流共分 N 段。用向量及矩阵表示是

$$TL = R$$

如果设置污水处理厂,对部分污水或全部污水进行处理,则有

$$TU = X$$

其中 U 是污水经处理后除去的BOD, X 是氧亏的改进。对于污水处理量的优化分配是:

$$\text{Min } C'U$$

$$U$$

$$S.t. TU = X \geq S \text{ (规定值)}$$

这可以用线性规划的方法求解。为此,需要收集大量数据,对BOD排放量的分布及河流传递系数进行测定,这是一项耗资及耗时的工作,然而也是一项基础工作。建设污水处理厂的成成本 C' ,即成本函数也是一项难以确定的函数,而且是非线性的。另外,考虑工厂的规模效益,还需要考虑把污水集中到某些点,集中处理的问题。因此,线性规划方程式只是一种非常简化了的模型,这里我们只是用它来说明什么是可以定量的。

建立数学模型,把数学模型及数据放入计算机进行严格的计算及优化,这些内容,我们给它起个名字叫“数据库”。

有许多问题是难以定量的,例如污水对人民健康的影响,环境美对工作效率的影响,目

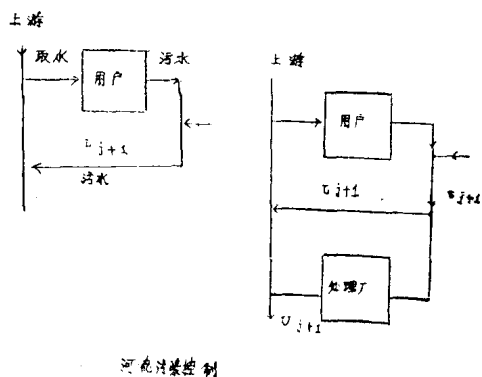


图4 河流污染控制

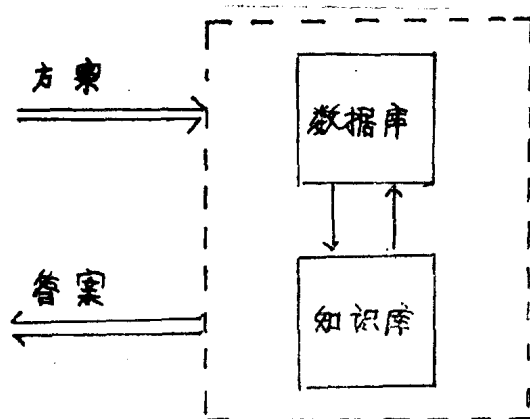


图5 数据库与知识库的相互作用

前都很难以用数学模型来表示。要分析这些影响，只能去收集有关的科学规律，听取有关人员的意见（知识及／或经验），以及专家们的近似推理。根据知识及／或经验，和专家近似推理的这部分子问题的模式，可以建立一些专家系统，我们叫它为“知识库”。‘知识库’是用语言变量描述的，分析方法是近似推理，这是“知识库”的主要特点。

在进行系统分析时，我们必须建立数学模型及专家系统，也就是“数据库”及“知识库”。在解决实际问题的过程中，“数据库”及“知识库”是缺一不可的。即使在数学模型的建立及计算过程中也往往有许多不确定的因素：偶然性及可能性，前者是概率统计问题，后者是模糊问题。这些不确定性的处理也要借助于分析者及专家们的近似推理及判断。可见，‘数据库’及“知识库”是相互作用的，见图5。

五、灵敏度分析：鲁棒性及影子价格

在规划阶段，肯定有许多不确定的因素，例如建厂的单位成本，模型参数等。为了掌握系数或参数的变化对结论的影响，必须进行灵敏度分析，以确定可能出现的偏差及结论的可信度。在某些优化分析中，某些参数允许在较大的范围内变化而不影响系统分析的结论。

举例说明如下，若规划方案主要有两项性能或目标 X_1 及 X_2 ，假如对四个方案按两项目标进行评比。四个方案的性能如图6的1，2，3，4所示，方案1的 X_2 大 X_1 小，方案

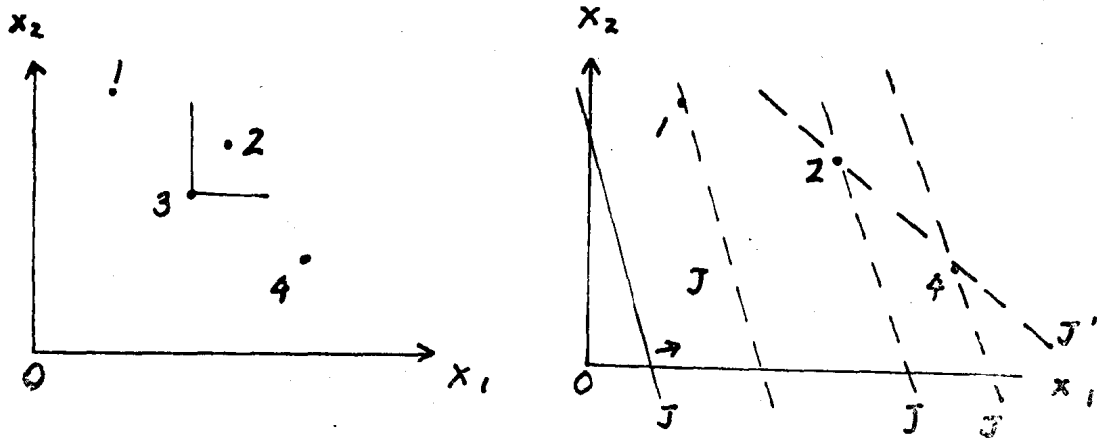


图6 鲁棒性示例

4的 X_1 大 X_2 小。对每一点划直角坐标，如果在右上角有点存在，那么这一点所表示的图6方案，它的两项性能都比右上角那一点差，因此这一点（例如图中的点3）肯定是不可取的，

方案3叫做劣解。图中的其他方案叫做非劣解。优化就是从非劣解中寻找最优解。因为有两项性能指标，为了综合考虑，可以用目标函数 $J = C_1 X_1 + C_2 X_2$ 的值作为综合考虑的准则。若 $C_1 > C_2$ ，则表示性能指标 X_1 比 X_2 更为重要， C_1, C_2 ，叫做权系数或效益系数。 J 是一条直线，它的斜率与 C_1, C_2 有关，图中箭头表示 J 增长的方向。显然，按图6的斜率，方案4的 J 最大，因此方案4最优。方案优劣次序的选定与权系数 C_1, C_2 是密切相关的。然而从图可知， J 的斜率在一定范围内变化时，例如 J' （它相当于不同的 C_1, C_2 值），最优结论不变，这叫鲁棒性，也就是不灵敏性。这种鲁棒性对系统分析的可用性是有利的。

又例如线性规划LP及非线性规划NLP。

LP

NLP

$$\text{目标 } \begin{matrix} \text{Max } J = \text{Max} & (C_1 X_1 + C_2 X_2) \\ X_1, X_2 & X_1, X_2 \end{matrix}, \quad \begin{matrix} \text{Max } J = \text{Max} & f(x_1, x_2) \\ X_1, X_2 & X_1, X_2 \end{matrix}$$

$$\text{约束 } a_{11}X_1 + a_{12}X_2 \leq b_1$$

$$f_1(x_1, x_2) \leq b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 \leq b_2$$

$$f_2(x_1, x_2) \leq b_2$$

$$a_{31}X_1 + a_{32}X_2 \leq b_3$$

$$f_3(x_1, x_2) \leq b_3$$

$$X_1, X_2 \leq 0$$

$$X_1, X_2 \leq 0$$

LP

NLP

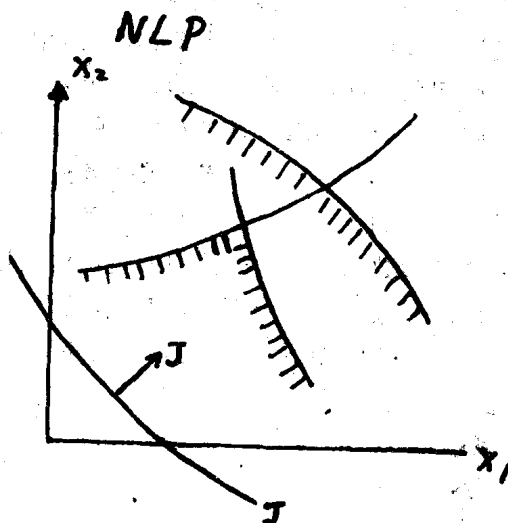
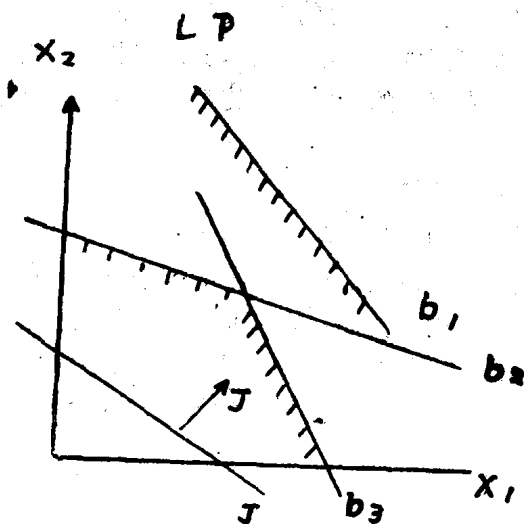


图7 LP与NLP问题中的鲁棒性。

从图7可见，对 C_1, C_2 或 $J = f(x_1, x_2)$ 都具有一定程度的鲁棒性。

社会是人造的，因此有许多约束条件也不是不能改变的。例如 b_1 表示投资额或资源分配额，这是决策者可以据全局的考虑而加以调整的。又例如 b_2 可能是建设人力或周期的限制， b_3 是输送污水路线的限制，等等。从图7可知，最优解一定在某些约束条件的边界交点上，以及在另外一些约束条件的可行域内，它们分别用 S_b 及 S_f 表示。显而易见，只有改变 S_b 的那些约束条件才会影响最优解及目标函数的数值，即

$$\Delta J = \lambda_b^T \Delta S_b$$

$$\Delta J = \lambda_f^T \Delta S_f = 0 \rightarrow \lambda_f = 0$$

其中 ΔS_b , ΔS_r 是资源约束的改变值, ΔJ 是相应的目标函数的增减。由 ΔS_r 产生的 $\Delta J = 0$, 所以 $\lambda_r = 0$, 而 ΔS_b 将产生 ΔJ , λ_b 叫做影子价格, 即单位资源所产生的价值。

系统分析不只是分析已有的方案, 而且要在分析过程中产生新方案。这一思想, 对系统分析者是非常重要的, 只有这样才能使系统分析更为有用。系统分析者可以根据影子价格产生新的方案, 即按照影子价格的大小, 考虑限制条件的改变, 例如增加一条污水输送管线, 或改变污水处理厂的地点。影子价格也是作灵敏度分析时得到的。灵敏度分析, 鲁棒性及影子价格的计算, 是系统分析的一项重要内容。

六、效益函数及二次型

评价一种方案要考虑许多目标, 性能或属性, 即综合评价。综合评价要考虑总效益或社会效益。为了弄清综合评价及效益的基本概念, 举例说明如下。例如有十元钱可以用来买苹果, 每元买5个苹果。显然有不少方案, 花2元买10个, ……, 或花10元买50个。50个苹果的效益最大, 令它为1。最多花10元, 它的效益用(-1)表示。若效益是线性关系, 并认为10元钱与50个苹果的价值是等价的(是合理的价格), 则效益函数

$$u_1(x_1) = \frac{x_1}{50}, \quad u_2(x_2) = \frac{-x_2}{10}, \quad \text{如图8所示。总的效益是 } u(x_1, x_2)$$

$$u(x_1, x_2) = k_1 u_1(x_1) + k_2 u_2(x_2)$$

$$= 0.5 \times \frac{x_1}{50} - 0.5 \times \frac{x_2}{10}$$

其中 $k_1 = k_2 = 0.5$, 表示二者是等价的。计算 $u(x_1, x_2)$, 得到:

$$u(5, 1) = 0$$

$$u(50, 10) = 0$$

可见, 由于是线性等价的, $u(x_1, x_2) = 0$, 在这种情况下, 如果不加其他条件, 就不可能评比那个方案的效益更大些。若认为1元钱比5个苹果更重要, 例如 $k_1 = 0.3, k_2 = 0.7$,

$$u(x_1, x_2) = 0.3 u_1(x_1) + 0.7 u_2(x_2)$$

$$= 0.3 \times \frac{x_1}{50} - 0.7 \times \frac{x_2}{10}$$

$$u(50, 10) = -0.4$$

$$u(25, 5) = -0.2$$

$$u(0, 0) = 0$$

由此可以推论, 不买苹果是最好的方案。反之, 若认为苹果比钱更为重要, 例如 $k_1 = 0.7, k_2 = 0.3$ 则有:

$$u(x_1, x_2) = 0.7 u_1(x_1) + 0.3 u_2(x_2)$$

$$= 0.7 \times \frac{x_1}{50} - 0.3 \times \frac{x_2}{10}$$

$$u(50, 10) = 0.4$$

$$u(0, 0) = 0$$

于是把10元钱全买苹果是最好方案。以上的结论都是符合常情的。

若钱的效益函数 $u_2(x_2)$ 仍是直线, 而苹果的效益函数 $u_1(x_1)$ 不是直线而是图9所示的曲线。也就是说头几个苹果的效益较高, 苹果多了时, 每个苹果的效益就逐渐减小了。这就是 $u_1(x_1)$ 曲线的物理意义。

$u_1(x_1) \text{ 与 } u_2(x_2)$

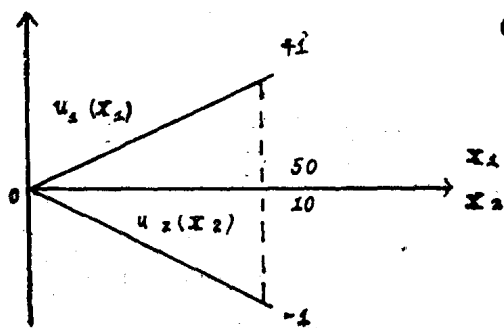


图8效益函数图线

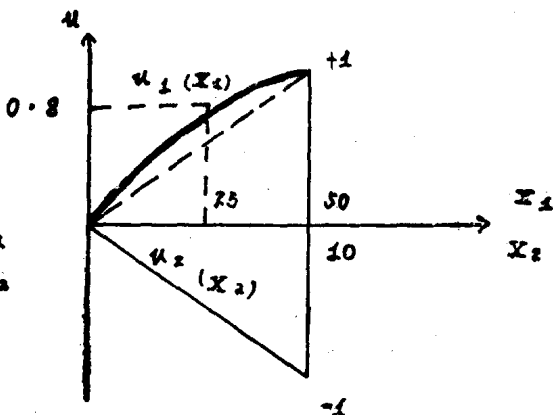


图9非线性情形

此时

$$u(x_1, x_2) = k_1 u_1(x_1) + k_2 u_2(x_2)$$

若 $k_1 = k_2 = 0.5$, 则有

$$u(0, 0) = 0$$

$$u(50, 10) = 0$$

$$u(25, 5) = 0.5 \times 0.8 - 0.5 \times 0.5 = 0.15$$

这三种方案, 第3方案 $x_1 = 25$, $x_2 = 5$, 总效益最高。曲线 $u_1(x_1)$ 比较符合实际情况, 这种形状的曲线包含了单位效益随着数量的增长而递减的规律, 它还包含了人的偏好, 例如对风险的态度。必须指出, 把成本效益 $u_2(x_2)$ 加上 (+1), 把直线提高, 如图10所示, 也是完全可以的。

在多目标或多属性的情况下, 将有

$$u(x_1, \dots, x_m) = k_1 u_1(x_1) + k_2 u_2(x_2) + \dots + k_m u_m(x_m)$$

不同的方案, 总效益函数 $u(x_1, x_2, \dots, x_m)$ 的数值也是不同的。我们将按 $u(x_1, \dots, x_m)$ 的大小, 来排列方案的优劣次序。最优方案, 应按下式选定:

$$\max_{\underline{x}} u(x_1, x_2, \dots, x_m)$$

所有的单项效益函数 $u_i(x_i)$, $i = 1, \dots, n$, 应该根据统计资料, 专家及决策者的知识, 经验及偏好来建立。权系数 $k_1, \dots, k_m$, 应根据决策者对全局的权衡加以确定。单项效益函数的建立是比较困难的。

我们常采用以下的数学形式

$$u(x) = a + bx$$

$$u(x) = a + be^{-cx}$$

其中参数 a, b, c , 待定。当然, 这些参数的选定只能是近似的。不过采用数学方程, 便于在计算机上进行灵敏度分析, 从而可以估计分析结果的可用性及可信度。

由于单项效益函数难以建立, 而权系数却相对地容易确定些, 为此我们采用一种二次型

目标函数。例如只有两个性能指标 x_1 及 x_2 时, 设定目标函数 C

$$C = k_{11} (x_1 - x_1^*)^2 + k_{22} (x_2 - x_2^*)^2$$

其中 x_1^* , x_2^* 为理想指标, 见图11, C 的物理意义是: 各方案的 x_1 , x_2 离开理想指标的偏

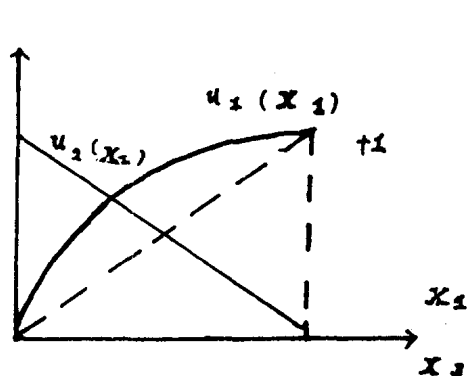


图 10

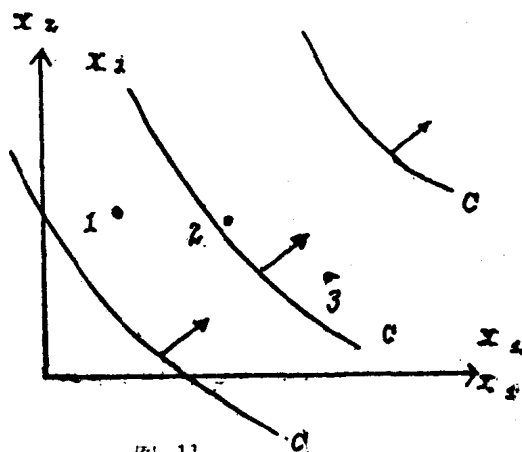


图 11

差平方和, k_{11} 及 k_{22} 是加权系数。若 $k_{11} = k_{22}$, C 就是圆弧, 箭头的方向是 C 减小的方向。显然最优方案是

$$\min_{\underline{x}} C = \min_{\underline{x}} \underline{x}^T K \underline{x} = \min_{\underline{x}} (x_1, \dots, x_m)$$

从 C 的形状可知, 当 x_1 较大而接近 x_1^* 时; x_1 的增量所减小的目标函数 C 的值是递减, 对 x_2 亦然, 它们在一定程度上反映了单项效益函数的非线性特性。

七、集体决策

按照效益函数排列方案的优劣次序时, 不同的人会有不同的评价结果。有时决策是由集体作出的, 那么如何根据每人的意见进行综合呢? 对方案排序是按照效益函数的大小排列的。例如决策者 I 的意见, 第 i 个方案 a_i 的效益函数是 $U_I(a_i)$, 于是方案与相应的效益函数可以表达如下:

$$\text{决策者 I : } \left[a_1 / U_I(a_1), a_2 / U_I(a_2), \dots, a_m / U_I(a_m) \right]$$

假如有 5 个方案,

$$\text{决策者 I : } \left[a_1 / 1, a_2 / 0.98, a_3 / 0.92, a_4 / 0.15, a_5 / 0.9 \right]$$

其优劣次序是

1	2	3	4	5
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5

对决策者 II 可能有:

$$\begin{aligned} \text{决策者 II : } & \left[a_1 / U_{II}(a_1), a_2 / U_{II}(a_2), \dots, a_5 / U_{II}(a_5) \right] \\ & = \left[a_1 / 0.1, a_2 / 0.08, a_3 / 0.06, a_4 / 0.05, a_5 / 1 \right] \end{aligned}$$

其优劣次序是

1	2	3	4	5
a_5	a_1	a_2	a_3	a_4

按优劣次序来看，似乎决策者 I 及 II 的集体决策应该选 a_1 ，这是因为 a_1 在决策者 I 的序列中它是第一，在决策者 II 的序列中它是第二。显然，这并不合理，我们不能只考虑名次，还应考虑它们的效益函数值。因此可以按以下的原则选择

$$\text{Max} [u_I(a_1) \wedge u_{II}(a_1), u_I(a_2) \wedge u_{II}(a_2), \dots, u_I(a_n) \wedge u_{II}(a_n)]$$

其中 $\wedge$ 的意义是取小。它的物理意义是小中取大，称为“Max-Min原则”。按这个原则，在上例中应选定 a_5 为最优。显然，这是合理的。

又若有三个方案，两位决策者，他们的评价是

$$I: \left\{ a_1 / 0.95 \quad a_2 / 0.55 \quad a_3 / 0.5 \right\}$$

$$II: \left\{ a_1 / 0.5 \quad a_2 / 0.55 \quad a_3 / 0.3 \right\}$$

按Max-Min原则，应该选 a_2 。在这种情况下，这样的选择也不完全合理。我们可以用另一种选择原则。

$$\text{Max} [u_I(a_1) u_{II}(a_1), u_I(a_2) u_{II}(a_2), \dots, u_I(a_n) u_{II}(a_n)]$$

其中效益函数的值相乘。按照这个原则，对5个方案的例子将选择 a_5 ，对3个方案的例子将选择 a_1 。这个原则的物理意义是相互修正效益函数，然后择优选择。

八、结束语

系统分析不只是对已有方案进行评价，它应产生新方案并提供有用的信息。系统分析的成败在于目标树、数据库及知识库，和效益函数的建立。

系统分析与系统管理

李 国 纲

系统分析是从运筹学派生出来的一门实用科学。运筹学所能解决的问题只是在局部的、短期的、确定的情况下选择最优方案，一旦遇到复杂、不确定因素较多的组织管理问题，或者关系到全局的问题，在应用中会受到一定的限制，为此，美国兰德公司组织有关专家研究出一种新的分析方法，与运筹学相比能对范围更广的系统进行分析，称为系统分析。至今已有四十多年的历史。近年来，它的应用范围已扩展到企业经营管理系统中来，被工业企业用作经营管理的决策工具。特别是随着应用数学的发展与深化，以及大容量、高速度运算的电子计算机的出现，使系统分析发展到一个新的水平。

一、系统分析的基本概念

(一) 系统分析的定义

关于系统分析的概念至今还没有一个比较完整和严谨的科学定义。一般认为，系统分析就是对一个系统内的基本问题，用系统观点思维推理，在确定与不确定的条件下，探索可能采取的方案，通过分析对比，为达到预期目标选出最优方案的一种决策方法。也可以说，系统分析就是为决策者选择一个行动的方向，通过对情况的全面分析，对可能采取的方案进行