

管理现代化用书

管理系统工程

姚德民主编

GUANLI
XITONG
GONG
CHENG

吉林科学技术出版社

管 理 现 代 化 用 书

管 理 系 统 工 程

姚德民 沈景明 李汉铃 编 著
张广信 康聚秋 沈振闻

吉 林 科 学 技 术 出 版 社

管理现代化用书

管 理 系 统 工 程

姚德民 主编

*

吉林科学技术出版社出版 吉林省新华书店发行

吉林工业大学印刷厂印刷

*

787×1092毫米16开本 20.625印张 490,000字

1986年5月第1版 1986年5月第1次印刷

印数：1—7,925册

统一书号：15376·35

定价：3.80元

前 言

企业管理现代化是改善企业素质、提高经济效益的一条重要途径，也是企业管理发展的必然趋势。我国的管理现代化进程实际上是从党的十一届三中全会后开始的，1978年下半年，各种管理学术活动和培训工作，在北京、上海等大城市中已经开展起来。1979年初，本书的四名编者组织和参加了在上海举办的全国第一期系统工程培训班。系统工程，作为一种重要的管理现代化方法，在祖国大地上吐放出翠绿的嫩芽。几年来，我们先后举办了六届系统工程专业班，广大的具有丰富实践经验的企业科技人员和管理干部，通过学习，不仅初步掌握了这种管理现代化方法的知识，而且在回到自己工作岗位后，都成了第一批推行管理现代化的积极分子，并做出了很多有益的贡献。

1984年，国家经委正式发出通知，将系统工程列入拟推广的现代化管理18个项目之一。广大企业管理人员和计经委干部迫切希望得到一本比较适用的读本，以便学习和推广其应用。现在献给读者的这本书，正是从满足这一热切要求而编写的。

编者除参阅了国内外近年来有关系统工程的著作之外，还吸收了历届系统工程专业班的教学实践和学员的专题总结的丰富内容，力求做到读之有物，用之有法，打破了一般框架。全书分四个部分共十二章：第一部分为系统工程一般原理，包括系统工程一般原理、系统环境和系统预测等三章；第二部分是系统分析，包括系统分析、系统模型和系统优化等三章；第三部分是系统设计，包括系统网络、系统设计和系统决策等三章；第四部分是系统工程应用部分，包括生产过程系统、生产管理系统和生产信息系统等三章。全书形成了一个较完整的理论联系实际的内容结构。编者希望它的出版能对推行管理系统工程、促进我国的四化，繁荣祖国，起到微薄的作用。

参加本书编写的有：哈尔滨工业大学的姚德民（第一、二、十一章），吉林工业大学的沈景明（第三、八章），哈尔滨工业大学的李汉铃（第七、九、十章），吉林工业大学的张广信（第四章），长春光机学院的康聚秋（第五、六章），杭州电子工业学院的沈振闻（第十二章）。姚德民担任主编。

本书除作为推广管理现代化方法——管理系统工程的读物外，对举办短、中期系统工程专业班，以及高等院校和管理干部学院的广大师生，也是一本适用的参考本。

由于本书涉及到较广的学科范畴，编写时间又比较仓促，同时限于编者的水平和经验，错误和不足之处，敬希广大读者批评指正。

编 者

目 录

前 言

第一章 系统工程一般原理	(1)
第一节 引 言.....	(1)
第二节 系统的概念、形态和特征.....	(4)
第三节 系统的概念、定义和内容.....	(14)
第四节 系统工程的程序和方法.....	(18)
第五节 系统的控制.....	(22)
第二章 系统环境	(27)
第一节 引 言.....	(27)
第二节 环境因素的分类.....	(27)
第三节 物理和技术环境.....	(28)
第四节 经济和经营管理环境.....	(34)
第五节 社会环境.....	(37)
第三章 系统预测	(40)
第一节 预测的概念和功能.....	(40)
第二节 预测的分类和范围.....	(41)
第三节 预测的过程和程序.....	(42)
第四节 系统预测的基本方法.....	(44)
第五节 预测的精度.....	(59)
第四章 系统分析	(62)
第一节 系统分析的概念和作用.....	(62)
第二节 系统分析的要素和步骤.....	(62)
第三节 系统分析的原则和指标体系.....	(65)
第四节 系统分析的方法.....	(68)
第五章 系统模型	(93)
第一节 系统模型的基本概念.....	(93)
第二节 系统模型的分类.....	(94)
第三节 建立系统模型的程序.....	(95)
第四节 系统数学模型.....	(96)
第五节 系统模型的应用.....	(107)
第六章 系统优化	(126)
第一节 最优化的基本概念.....	(126)
第二节 最优化程序.....	(130)

第三节	模糊规划	(130)
第四节	拉格朗日乘子法	(146)
第五节	次优化与大系统规划问题	(154)
第七章	系统网络	(161)
第一节	概 述	(161)
第二节	网络图的组成及绘制规划	(164)
第三节	网络图的计算	(172)
第四节	运用网络技术合理调配系统资源	(184)
第五节	求费用最低的总工期 (OPM法一个重要用途)	(187)
第六节	活动延续时间的确定	(189)
第七节	随机网络模拟技术 GERT 简介	(190)
第八章	系统决策	(196)
第一节	决策的概念及功能	(196)
第二节	决策系统与决策过程	(197)
第三节	决策分析的原则与程序	(199)
第四节	决策模型和方法	(201)
第五节	决策技术	(205)
第九章	系统设计	(218)
第一节	系统的可行性分析	(218)
第二节	系统设计的原则和步骤	(225)
第三节	系统设计几个实例	(228)
第十章	生产过程系统	(242)
第一节	生产过程系统的分类	(242)
第二节	生产过程系统模型	(242)
第三节	生产过程系统的最优决策	(246)
第四节	转换分析	(252)
第十一章	生产管理系统	(267)
第一节	生产管理系统的功能	(267)
第二节	生产管理系统的优点	(272)
第三节	生产管理系统的有效化	(277)
第四节	生产管理系统的分析和设计	(278)
第五节	利用模块进行生产管理系统的分析	(280)
第六节	生产管理系统举例	(288)
第十二章	生产信息系统	(294)
第一节	生产信息系统概述	(294)
第二节	生产信息系统组成	(299)
第三节	企业电子计算机管理系统	(309)
附 录		(313)

第一章 系统工程一般原理

第一节 引言

一、系统工程的由来和发展

世间的一切事物的发生和发展，都是矛盾的对立与统一。科学的发展也是这样。它的表现形式是：从综合发展到分析发展，再从分析发展到综合发展。人类科学史的进程证实了这一点。牛顿和牛顿以前的自然科学往往试图把五光十色的世界看成一个整体，寻求共性和统一。这种对待世界上多元现象的综合看法，不但没有阻碍，相反却促进了思维和认识的深入，促进了科学的发展，产生了许多科学巨人。这是科学发展的综合阶段。随着科学的发展与深入，专门化的倾向越来越明显，那种综合的观点逐渐被丢掉了，代之而来的是分析发展。它使科学在纵深方向前进了一大步，取得了大量崭新的成果。但是由于分析发展的结果，科学家的视野越来越窄，问题越搞越专，他们之间也越来越不了解。因而使得某些具有共性的科研成果无法得到交流和推广，相同或类似的原理被多次“创造”出来。造成科学研究中人力、物力的浪费。

同时，由于对客观上本是有机联系的整体（自然现象、社会现象）的人为的割断，很容易构成对事物的片面性认识，因而也阻碍了科学的进一步发展。因此，现代科学的发展比过去任何时候都更要求在各种科学门类之间进行更多的相互联系和相互渗透，在更多的领域内博学。这是在更深的分析的基础上的综合发展阶段。这种才能、知识和科学的集成（综合）已经形成了一种趋势，这种趋势的表现之一就是在许多学科交界处出现新的科学（边缘科学）。这是在复杂的多元现象中寻求统一理论的一种新尝试。比如在自然科学中振动理论就是这种尝试的成果之一。大家知道，声波和水波是振动，电磁波和固体波也是振动，这是不同物质的振动，但是在寻求这些不同物质振动现象的内在联系中，人们综合出一切振动的共性，从而产生了这一新理论。系统科学也是这种寻求事物共性的一种理论。生态系统是系统，社会系统是系统，人机系统也是系统，在总括这些系统的共性的基础上产生了系统理论（或系统科学）。它也是科学发展达到第二个综合阶段的产物。系统工程是系统科学的一个分支，属系统方法论的范畴，它侧重在事物的组织、管理、联系和发展方面，是使创造过程合理化的技术，是高度综合性的一门科学。

系统工程有这样几个发展阶段：1. F. 泰勒在1911年发表的《科学管理法》一书中提出了具有现代含义的系统概念；2. 二次大战中，由于战争需要，在资源分配、工程进度、运输路线、军事对策等方面进行了大量的分析，提出了最优解决问题的概念和方法，产生了运

筹学；3. 1945年，在美国军部建立了兰德公司，它总结了二次大战期间的大量的高级数学方法，并且在经营战略和各种系统开发中取得了大量成果，奠定了系统工程的基础；4. 1957年，H·顾杰和R·马可尔合著的《系统工程学》(System Engineering) 出版，为这门科学第一次命名，从理论上首次进行了总结；5. 1960年左右，系统工程在各个领域内开始形成了体系，扩大了理论和实践的影响范围；6. 1969年，阿波罗宇宙飞船登月，这一宇宙开发计划的成功使系统工程名扬四海，引起人们的广泛关心和注意。现在，从自然科学到社会科学，从技术问题到经济问题，从宇宙开发到一台机器的研制，从城市建设到公害处理，从生产问题到生活问题，广泛地应用着系统工程学的方法，解决复杂而困难的问题，参见表1—1。

表1—1表明，系统工程的应用范围是非常广泛的。这种应用的广泛性说明了这门学科的价值和生命力。

表1—1 系统工程学的应用范围及应用例

应用范围		应用例
自然对象系统	宇宙	宇宙开发，宇宙飞行，通讯卫星等
	气象、灾害	天气预报、地震预报、防灾、台风、洪水、震灾对策、人工气象开发等
	土地、资源	土地开发、海洋开发、资源开发、太阳能开发、地热开发、潮力开发、治山治水、河流开发、农业灌溉、水库流量控制、土地利用、造田环境保护
	农林渔业	农业资源、林业资源、渔业资源、人工农业等
人体系统	生理、病理	生理分析、生理模拟、病理分析、病理模拟、病理情报检索等
	脑神经、心理	思考模型模拟、自动翻译、人工智能、机器人研究、控制论模型、心理适应诊断、职业病研究
	医疗	自动诊断、自动施疗、物理治疗、自动调剂、医疗工程、医院情报管理、医疗保险、假手足、人工内脏等
产业系统	技术开发	新技术开发、新产品开发、技术情报管理、原子能利用、最优控制、过程模拟、自动设计、自动制图等
	工业设施	发电厂设备、钢铁厂设备、化工设备、过程自动化、机械自动化、自动仓库、工业机器人等
	网络系统	电力网、配管分配、安全回路、控制回路、道路计划、情报网
	服务系统	铁道航空的座席预约、旅店剧院预约、银行联机系统、自动售票、情报服务等
	交通控制	航空管制、铁道自动运动、道路交通管理、新交通系统等
系统	经营管理	经营系统、经营模拟、经营组织、经营预测、需要预测、经营计划、生产管理、资财管理、仓库管理、销售管理、财务管理、车辆分配管理、经营情报系统、事物工作自动化等

(续表)

应用范围		应 用 例
社 会 系 统	国际系统	防卫协调、国际能源问题、粮食问题、国际资源问题、国际环境保护、国际情报网、发展中国家的开发等
	国家行政	经济预测、经济计划、公共事业计划、金融政策、保卫、治安警察、外交情报、经济情报服务、司法情报、行政管理、邮政、职业介绍等
	地区社会	地区规划、城市规划、防灾对策、垃圾处理、地区生活情报系统、公用系统、老年人、废残人对策、地区医药
	文化教育	自动广播、组号自动编成、计算机辅助教学、文化教育情报服务、教育计划、自动检字、自动印刷、自动編集等

二、系统工程是怎样解决问题的

那么为什么系统工程有这样大的用处呢？它又是怎样一门科学呢？它是怎样解决问题的？我们还是先从历史上的一些事例来了解它吧！

例1 举世闻名的都江堰工程，地处我国四川省灌县境内。这是公元前250年由李冰父子带领当地人民修建的一项防洪灌溉工程。工程分三个部分：分水工程，这是将岷江分流为内江和外江的鱼嘴工程；引水工程，它把玉垒山劈开，引水进入灌溉渠道，即有名的宝瓶口工程；排砂分洪工程，它处于分流后的内江与外江之间，由飞砂堰和人字体工程组成。它们前后相间，形成呼应，略高于两江水面，而内江水面又高于外江。因此，水小为岸，水大为口，流石沉堰，洪去砂收。这是一个充满着智慧的奇迹，是伟大中华民族的象征。三个部分构成了一个整体，从而解决了川西平原的防洪灌溉问题。从今天的观点看，这是一个完整的系统工程。当然二千多年前人们是不能认识这一点的，而是不自觉地表现出来的系统工程思想。

例2 皇宫修复工程。宋真宗时，由于皇城失火，宫殿被全部烧光。皇帝任命一个叫丁渭的大臣负责皇宫的修复工程。这样的工程怎样才能修复得又快又好呢？经过反复考虑，他提出了一套完整的施工方案：首先，把皇宫前面原有的一条大街挖成沟渠，用沟内的土烧砖，既就地就近，又解决了部分建筑材料问题；而后引开封附近的汴水入沟，形成航道，运进砂石木材等，既使用了当时最经济有效的运输工具，又节约了大量人力和物力；第三，皇宫修复后，撤水，并用废弃物填沟，修复原大街。既利用了废物，又节约了运输。这里体现出来的系统工程思想是很典型的。它从始至终把皇宫的修复工程看做是一个快、好、省相结合的整体，并有步骤地把它修建起来。

例3 泰勒的科学管理法。泰勒把工人的劳动过程分成三个方面进行分析：一是工序分析，即解决工序组成的合理性问题。二是动作分析，解决完成该工序的合理动作问题，如工作地布置、两手动作配合、手动范围等。在研究若干个工人在相同工序上的动作的基础上总

结出最合理的一套动作，并拍摄电影，重新训练工人，从而把劳动生产率提高许多倍。三是时间分析，完成工序要花费一定时间，有机动时间、手动时间、准备结束时间等等。动作分析只解决了操作时间的合理消耗问题，而下余的工序时间部分是否合理则通过时间分析加以解决。这三项分析既有定性分析，又有定量分析。通过这些分析，使工人的劳动组织达到完整、科学、合理，这是系统分析的一个范例。

通过上述三个事例能使大家初步知道系统工程是怎样解决问题的。现在就来概括一下这些实例的基本思想：第一，例1把灌溉工程，也就是把一个空间结构分布看做是一个整体，而例2则把修复工程的时间进程的安排也看做是一个整体。这就是说，不论是空间安排，还是时间过程都可以看成为一个整体，一个系统；第二，它们都找出整体的合理组成部分以及组成部分之间的合理关系，并通过建立组成部分来解决整体功能要求；第三、解决问题要有一个合理步骤或程序；第四、有协调、选优以及从定性解决到定量解决问题的思想。

三、系统工程产生的历史背景和物质条件

到此为止，大家可能提出一个问题，既然许多年前就已经产生了这种优秀思想，为什么还说系统工程是近二十年发展起来的新科学呢？我们说，从一种先进思想发展成为一门科学是有一定的物质基础和条件的。这正象牛顿力学不能出现在16世纪，而爱因斯坦的相对论不能出现在19世纪一样，就是说工程学的产生是有一定的物质条件和背景的：

首先，近年来在自然界、社会、政治、经济、管理、经营以及国家关系等各个方面，组织上日趋复杂，出现了综合性很高的相互制约和相互联系的系统，它突破了区域性、行业性和学科性的界限，成为一类具有独特性质的问题。每个部门，每个行业，每个学科，为了进行工作和研究，都再也不能不考虑这些外界的约束和联系。过去使用的比较狭隘的孤立的方法已经不能解决问题，而要求有一种新的能适应这种新情况的新方法。这就是从系统的角度去观察、思索、分析、解决问题的方法。这种要求是系统工程学产生的客观基础。其次，近二十年来，由于通讯技术和信息科学的发展，使社会生产和经济过程的各个环节得以迅速地有机地联系起来。同时由于电子计算技术的高度发展，使情报的收集、存贮、加工、传送的能力大幅度增加，大大缩短了空间和时间的界限。一方面使人们有可能较全面地掌握、处理和传送大量的情报，同时也被迫在较短时间内对综合性很大的系统性问题做出判断和决策，这种情况刺激了系统方法的急速发展。第三、近年来，随着现代数学，特别是运筹学，计算技术和计算方法的出现和发展，现代化的最优化技术体系已经形成。这使大型复杂问题的定量分析和运算以及最优化决策，使系统的思考方法和最优化管理成为可能。第四、由于科学技术和工业生产的高度发展，使得各种设备仪器高功能化，多功能化、小型化、自动化。这为自动控制和自动检测、远距离传输等提供了可靠的技术手段。同时，装备和系统的稳定性、可靠性、精确性也不断提高。这使得系统地研究问题和处理问题有了可靠的物质基础。因而促进了系统工程学的发展。

第二节 系统的概念、形态和特征

上面例举的事例只能给出有关系统工程的初步印象。为了进一步研究问题，我们首先要

搞清楚系统的概念、形态和特征问题。

一、有关系统的一般论述

在自然界和人类社会中普遍存在着由若干个环节组成的链，这种链就是我们所说的系统图 1—1。比如，太阳系是由恒星、行星、彗星和卫星等组成的，这是一个万有引力定律作用的力学系统。它的每个组成部分就是一个环节。在地球上存在着许多自然系统，如海洋系统、气象系统、矿藏系统、生态系统等等，这些自然系统是组成地球系统的环节。在人类社会中存在着生产系统、经济系统、消费系统、教育系统、科学系统、技术系统、通讯系统、交通系统、医疗系统、服务系统等等。这些系统就是人类社会这个大系统的组成环节。当然，这些系统本身又是由许多个环节组成的。比如，一个交通系统是由线路、车站、车辆、车库、修理厂、司机、乘务人员、管理员、业务组织、研究机构、管理机构等环节组成，等等。从这里我们可以看出，系统是个相对的概念，许多小系统可以组成一个系统，许多系统又可组成一个大系统，许多大系统又可组成更大的系统，它没有一个绝对的规模的界限。有了这个认识就可避免在研究系统时所易于造成的局限性。



图 1—1 链与环节

认识到系统的链与环的关系还有更深的意义。我们常说在处理问题中的成功与失败。从系统的观点看，所以遭受失败是由于二个方面的原因：一是没有认识到这一事物的全部组成环节，忽视了一个环节就会碰钉子；二是没有认识到这些环节的相联结的部分的形式和特点，不认识到这些，也照样碰钉子，遭失败。因此，从系统观点说，为了把事情办得好些，就必须培养人的系统意识。这不论在科研、技术、经济、管理等任一工作中都是如此。所谓系统意识，就是在思考、研究、探索和处理某一事物时，要有意识地把它看成是一个系统，即它不是一个简单的存在，而是一个系统性的存在，并从系统内相关的角度去分析它、认识它。这样一种思考问题的方法，如能形成，那将是收益甚大的。举一个例子说明什么是系统意识。我们每个人都要吃饭，要吃饭就得有粮食，而粮食是到粮店去购买的。那么为什么到粮店就能买到粮食呢？那是因为在这个城市内存在着一个庞大的粮食供应系统。而粮店只是这个系统的一个环节。这个系统还包括购粮、存粮、粮食加工、粮食分配、粮食运输、粮食管理等环节。没有这些环节的有机配合行动，而只有粮店，我们照样是吃不到粮食的。这就是在购粮问题上的系统意识。

在自然界和人类社会中还存在着许多没有被人们注意或被发现的系统。这类系统我们称之为潜在系统。比如，森林、草地和耕地之间的关系，现在已被证明是一个系统性的关系。它们之间必须保持一定的比例。如果把森林和草原全部搞光，那么耕地不仅不会增加，反而会导致水土流失和良田变沙漠。麻雀、粮食和水果的关系也是一样，这是已被我们的实践证明了的。对这类系统的认识与发现，对人类的生存和发展无疑是很重要的。

二、系统的形态

系统是以不同的形态存在的。根据生成原因的不同，系统可以分为自然系统和人造系统。而根据其组成的性质，人造系统又可分成实体系统和概念系统。根据系统的状态是否随

时间改变，实体系统又可分为静态系统和动态系统。根据和外部环境有无交换关系，系统又可分为开系统和闭系统。此外，系统根据某些特定的标志又可分为因果系统、目的系统、控制系统、行动系统、对象系统等。参见表 1—2。

表 1—2 系统的形态与特点

系统形态	定 义	特点与相互关系	实 例
自然系统	由自然物（矿物、植物、动物、海洋）等组成的系统	1. 自然形成的 2. 是人造系统的基础 3. 一般是环境系统	1. 海洋系统 2. 矿藏系统 3. 生态系统 4. 大气系统
人造系统	人工生成的系统	1. 利用自然规律建造 2. 以破坏自然系统为生成基础 3. 人类需要的系统皆属之	1. 工程技术系统 2. 管理系统 3. 科技系统 4. 概念系统
实体系统	由物质实体组成	1. 以硬件为主体 2. 以静态系统及行动系统的形式表现	1. 人机系统 2. 机械系统 3. 设备 4. 电力网 5. 建筑物
概念系统	由非物资实体（概念、原理、方法、制度）等组成	1. 以软件为主体 2. 为实体系统提供服务	1. 科技系统 2. 教育系统 3. 计划系统 4. 程序系统 5. 制度
静态系统	状态不随时间改变的系統	1. 没有输入与输出 2. 属实体系统 3. 是动态系统的基础	1. 车间平面布置系统 2. 教室布置 3. 封存的设备、仪器
动态系统	状态随时间改变的系統	1. 有输入和输出及转化过程 2. 一般有人的干预 3. 需概念系统的配合	1. 生产系统 2. 社会系统 3. 服务系统
闭系统	与外部环境没有交换关系的系統	1. 不向环境输出也不从环境输入 2. 为研究目的做成	1. 静态系统 2. 没投入使用过的其他技术系统 3. 完全自给自足的乡村

(续表)

系统形态	定 义	特 点 与 相 互 关 系	实 例
开系统	与外部环境有交换关系的系统	1. 从环境输入向环境输出 2. 系统状态受环境变化影响 3. 大部分人造系统属之	1. 生产系统 2. 销售系统 3. 社会系统 4. 技术系统
因果系统	输出完全决定于输入的系统	1. 系统内容由单一因素决定, 没有转换过程 2. 一般的测试系统属之	1. 信号系统 2. 测试系统 3. 记录系统
目的系统	按给定目标行动的系统	1. 系统有达到目的的必要手段 2. 有自适应能力	1. 生产系统 2. 管理系统 3. 军队
控制系统	有控制功能和手段的系统	1. 应用反馈原理 2. 有测度及比较机构	1. 自动化系统 2. 自适应系统 3. 人体系统
行动系统	把达到目的的行动做为组成要素的系统	1. 不以组成要素的特征而以行动特性相区别 2. 以组织体为特征	1. 军事系统 2. 劳动系统 3. 侦察系统
对象系统	按对象区分的系统	1. 因对象不同而各有特点 2. 大部分是人参加的复合系统	1. 经营系统 2. 作业系统 3. 管理系统

系统的形态分析能使我们明确各种系统的特点以及它们之间的关系。从表 1—2 中我们看出, 尽管系统形态千差万别, 但是它们中间起主要作用的是实体系统与概念系统相结合的人造复合系统。这是现实世界中存在的各种系统中的大多数。在研究分析设计具体系统时必须从对象系统的特点出发, 建立其静态实体系统, 辅以相应的计划、制度程序和管理(或控制), 从而使之转化为动态系统, 生产出产品, 再辅以销售计划、销售组织及活动, 实现为系统所设定的功能和目的。这就是我们研究系统形态的基本目的。参见图

1—2

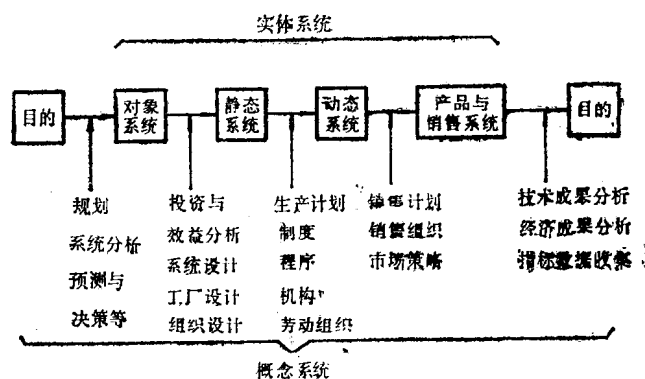


图 1—2 实体系统与概念系统的相互关系

三、系统的概念和特征

在初步了解系统的形态的基础上，我们就来进一步明确系统的概念。由于系统工程学的对象是人造系统，所以系统的概念也主要以人造系统为出发点。

系统 (System) 一词最早发生在古希腊语中，有“共同”和“给以位置”的含义。根据韦氏辞典的说明，系统是“有组织的和被组织化的全体”；“结合着的全体所赖以形成的诸概念，诸原理的复合体”。“以规则的相互作用又相互依存的形式结合着的对象的集合”等等。系统一词还有系统的特定的思考方法的意义，在日本工业标准 (JIS) 中，系统的含义是“多数构成要素保持有机的秩序，向同一目的行动者”便是系统。根据江逊等的定义，“系统是为按计划完成特定目标而设计的结构因素安排序列”。后者包含三个基本思想：第一，作为系统的设计标准需要有应该完成的目的和目标；第二，必须进行构成因素的设计，即建立它们的序列；第三，能量和财物等的输入必须按计划分配。

总括起来看，作为一个系统，它应当具备六个特征：

1. 集合性 集合是个数学名词，即把具有某种属性的一些对象看做一个整体便形成一个集合。集合里的各个对象叫做集合的元素。系统的集合性是说，系统起码是由两个或两个以上的可以相互区别的要素（或元素；也可以是组合单元）所组成。用数学式可表达为：

$$X = \{x_i \in X \mid i = 1, 2, \dots, n\} (n \geq 2) \quad (1-1)$$

式中

X —— 集合

x_i —— 集合的组成要素或组合单元。

比如，一个最简单的制造系统应当包括工作机、操作者、工具、材料、图纸和工艺卡等这些可以相互区别的要素 x_i 。再看一个化工厂的例子。这时系统可理解为人—机的复杂集合体（图 1—3）。

一个化工厂通常包含大量的各种类型的设备、各种原料备品、中间产品、制成

品和水、蒸汽及电力等劳务。为使企业正常运转，需要有一个经理（厂长），同时还要配备若干工长和流程工人。为了有效地经营企业还必须安排各类技术及业务人员，如维修工程师、化学家、会计师和推销员等。上述设备、产品和人员都是系统的要素 x_i ，而这个化工厂则是由 x_i 组成的系统。

2. 相关性 组成系统的要素是相互联系、相互作用的。集合性只说明了系统中应有若干个相互区别的要素，它们之间的关系则没有说。而相关性则说明这些要素之间的关系。系统中只有要素而要素之间没有任何关系，则它仍然不能成为系统。

设 $x_i \in X, i \in X$ ，而 $x_o \in X, o \in X$ ，它们之间的关系可用 R 表示。如：

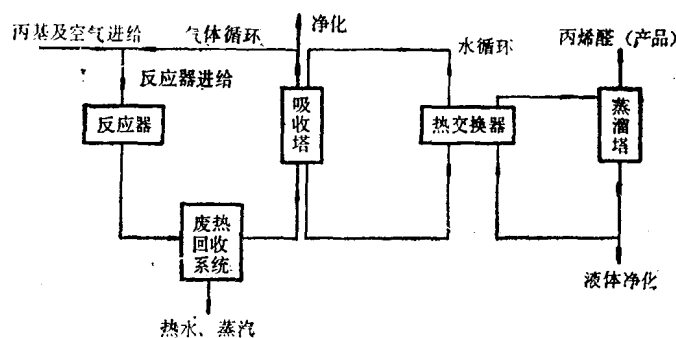


图 1—3 化工厂简化流程框图

$$x_i R x_o, x_o R x_i \quad (1-2)$$

或者 $x_o = R(x_i), x_i = R(x_o) \quad (1-3)$

具有这样两种关系的 $x_i \in X_I, x_o \in X_o$ 的顺序对的组合, 是系统的认识对象。这种认识意味着研究和确定 x_o 和 x_i 相互间的关系。这种对应就称做映象 (mapping)。这是说, 对应于任一个 x_i , 总有一个 x_o 存在, 反之有一个 x_o 也决定着确定的 x_i 的存在。 x_o 是 x_i 的映象, x_i 是 x_o 的原象。 X_I 是原象 x_i 所组成的集合, X_o 是映象 x_o 所组成的集合, 这种关系 R 就是 X_I 和 X_o 的顺序对的关系, 表示为:

$$R = X_I \times X_o = \{(x_i, x_o) | x_i \in X_I, x_o \in X_o\} \quad (1-4)$$

$X_I \times X_o$ 是集合 X_I 和 X_o 的直积集合, (x_i, x_o) 表示要素的序偶。因为式 (1-4) 是作为条件来表现系统的, 所以系统 S 以

$$S = \{X | R\} \quad (1-5)$$

来定义。即系统是以具有 R 关系的集合 X 表征的。于是对应于 x_i , 如果有元素 x_o 存在的话, 则用

$$\forall x_i, \exists x_o \in R^* \quad (x_o = R(x_i)) \quad (1-6)$$

$$(x_i, x_o) \in R^* \subset R \quad (1-7)$$

来表示。 R^* 是 R 中的一个特定的关系集。

例如, 丙烯醛工厂的总效率取决于图 1—3 中所示的所有分系统的正确操作, 因为工厂的单元都有相互作用的任务要完成。其中, 有些物料要从工厂的某一部分重新循环到先前的工艺阶段, 接着又产生进一步的相互作用。为了说明这种相互作用, 我们看下一事实: 离开吸收塔的丙烯醛的浓度越大, 对蒸馏塔的需要量就越少。这样, 吸收塔和蒸馏塔的设计可在相互间保持平衡。同样, 一个小型反应器要便宜些, 但转化率较低。因此需要把未转化的原料多次重复循环并且需要较大的吸收塔和蒸馏塔。同时, 催化剂也用的较费且寿命低。这又影响着反应器管道的最经济尺寸。由于这些相互作用, 因此不可能通过分别考虑各别项目而达到工厂的最佳设计, 即不能脱离其他分系统来设计某一分系统。

3. 目的性 (或目的指向性) 人造系统皆具有目的性, 而且往往不止一个目的 (而达到这些目的的目标又可能是相互矛盾的)。建造一个系统必须具有明确的目的。没有明确目的的系统是不应当存在的。这是系统设计中的一个重要问题。比如, 企业的经营系统在限定的资源和现有的职能机构的配合 (约束) 下, 它的目的可能是完成和超额完成国家计划, 达到规定的质量指标, 成本、利润指标等等。

$$G = \{g_i \in G | i = 1, 2, \dots, p\} \quad (1-8)$$

式中 G ——系统的总目标;

g_i ——分系统或系统要素的目标。

系统的目的决定着系统的基本作用和功能性质。系统功能一般是通过同时或顺次完成一系列任务来达到的。这样的任务可能有若干个, 而这些任务的解决构成了系统和它分系统的功能过程的内容。这些任务完成的结果就取得系统功能的中间的或最终的目的。

系统的目的般用更具体的目标来体现。比如在设计一个工厂时, 目标可能是“使基建费用最低”, 还是使“运行费用最小”, 或“实现最小可能的安全标准”, 还是“使可靠性

最大”，或者是“使维修尽可能方便”等等。实际上对一个给定系统列出一张可能的目标清单并不困难，但是通常这些目标是相互矛盾的。比如，较低的基建投资导致较高的运行（经营）费用，较高的安全和可靠性标准使基建和经营费用都增加，但可能使产量和利润增加。一般说，系统都具有相互矛盾的指标，因此采取某种形式的折衷是必要的。要想获得全局的最佳结果，就要在矛盾的目标之间寻求平衡或折衷方案。为此可通过计算每个目标对某个总目标（例如工厂在计划期内的利润率）的贡献大小来制定最佳妥协是什么，最佳妥协包括那些个问题，并在开始研制系统的阶段就进行详细的调查。

有步骤地进行分析、规划和设计，以达到系统总目标的实现，这就是系统工程的内容。

为了实现系统的目的和目标，系统必须具有管理（或控制）功能。从控制论的观点看，对系统的管理是一种特殊的活动，包括决定系统的作用方式以及为达到指定目的，系统必须进行的工作。换句话说，管理过程应当是系统的有序化的过程，即使它进入与系统目的和任务相适应的状态。管理的优化是要求在最小的努力和物资消耗下达到系统的目的。

4. 层次性 系统做为一个相互作用要素的总体看，它有着一定的层次结构并分解为一系列的分系统。此时分解的基本标志是它的目标作用。分系统必需有功能目的，这是从功能系统的总目标产生出来的。这时，分系统的功能目的是系统功能目的的一部分。比如国民经济的每个部门都有各自的功能目标，但是任何一个部门都不能也不可能解决整个国民经济发展的总目标：“最大限度地满足人们的物资和文化生活上的需要。”

各个分系统本身又可以看成是由分系统组成的。系统、它的分系统和要素可以表示为一个阶层结构形式（图1—4）。这样的图称做系统结构图。图的顶点用符号表示出系统的支配要素和执行要素*。而连线则表示这些要素之间存在各种关系。系统图的顶点数是有限的，因为系统是由有限的要素组成的。

绘制系统结构图是系统研究中的一个基本步骤，建立系统结构图的基础是确定系统的支配要素与执行要素之间所存在的各种关系。

在系统图中订出三种关系（用三种箭线表示）：领属关系（实线），从属关系（点线），和相互作用关系（星线）。领属关系的特点是支配要素可以通过各种控制手段对下属要素（支配要素或执行要素）作用并指向目的地改变它的状态。

从属关系的特点是，该要素按点线指向“服从”控制。相互作用关系则是说，在两个要素（按星线方向）之间存在着一定的物质的、能量的或信息的或某几种同时存在的交换。

领属和从属关系一般说只是信息上的联系。从支配要素向被支配要素发出指令信息，确定受支配要素应当达到什么状态，而从受支配要素向支配要素（沿着点线）传递状态信息。它是描述受支配要素的状态的。

系统的特点在于，当在系统图的二个顶点间确定了领属关系时，则在这二顶点间也就确定了从属关系，这时图上的对应连线的方向是相反的。所以在系统结构图中可以只画出领属关系（实线）而同时就已经意味着对应地存在一条作用方向相反的从属线。

沿星线方向进行着相互作用，这可以是传递信息，可以是传递各种物质资财和电能，也

* 系统的要素可分为支配性的和执行性的。支配性要素起码要对系统中的一个要素有支配关系。支配要素本身同时又可以是受支配的，如果系统的另一个支配要素对它也有支配关系。执行要素是指它对系统的任何要素都不能有支配关系同时从系统的任何一个支配要素来看它都是受支配的。

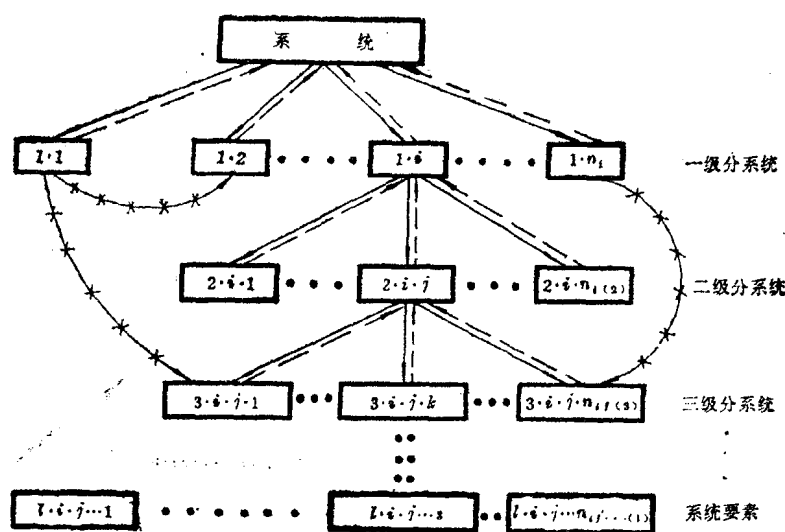


图 1—4 系统结构图

可以是数者并而有之。在系统结构图的不同顶点间传递的相互关系信息叫做环境（情势）信息。在阶的最高顶点上的支配要素称为系统的上阶环，直接接受上阶环支配的要素则称为一阶要素，用数码 $1 \cdot 1, \dots, 1 \cdot i, \dots, 1 \cdot n_1$ 表示，这里 n_1 是一级要素的总数。由一级要素直接支配的要素叫做二级要素，对从属于一级的 $1 \cdot i$ 分系统 ($i=1, 2, \dots, n_1$) 的要素用 $2 \cdot i \cdot 1, \dots, 2 \cdot i \cdot j, \dots, 2 \cdot i \cdot n_{i(2)}$ 来表示。 $n_{i(2)}$ 是从属于 $1 \cdot i$ 分系统中二级要素的总数，等等。

这样，系统就是结构图所有顶点的总体；一级 i 分系统是在下标第二个位置上是 i 的系统结构图的全部顶点的总体： $1 \cdot i, 2 \cdot i \cdot 1, \dots, 2 \cdot i \cdot j, \dots, 2 \cdot i \cdot n_{i(2)}, \dots, l \cdot i \cdot j \dots 1, \dots, l \cdot i \cdot j \dots n_{i(j)} \dots (l)$ 等。这时，包括在一级 i 分系统中的系统要素可能存在于不同的级中。

这样，我们说 $l \cdot i \cdot j \dots s$ 分系统，它是系统结构图中那些包括了 $l \cdot i \cdot j \dots s$ 分系统的顶点的总合，这里 l ——分系统的级号 ($l=1, 2, \dots, m$)， m 是系统的级数。对包括在 $l \cdot i \cdot j \dots s$ 分系统的全部顶点 ($l \cdot i \cdot j \dots s$ 顶点除外) 来说，其特征是它们全部以从属关系与 $l \cdot i \cdot j \dots s$ 顶点相连接（也可能是隔开某个中间顶点）。

对大多数所考察的系统来说，结构图的顶点总数是多得骇人的。比如，我们考察国民经济，那么它是由数万个部门（一级分系统）组成的。而这些部门本身是由大量的局、公司和工厂组成的。即使把基层生产单位（工厂、电站、农场、港口、铁路、枢纽站等）看做是这个系统的执行要素，那么这个数目也是大得出奇的。当在系统的不同要素之间存在着物资流时，这是执行要素所完成的功能过程，我们称之为系统的资财作用过程。

5. 整体性 整体性是从协调的侧面说明上述四个特征的。集合性说明了系统整体的组成；相关性说明整体内要素之间的相互关系；阶层性说明整体内组成要素的分布结构；目的性则说明系统整体的目的，以及整体目的又是分系统和要素的目标的总合。因此整体性是说，具有独立功能的系统要素以及要素间的相互关系（相关性、阶层性）只能逻辑地统一和