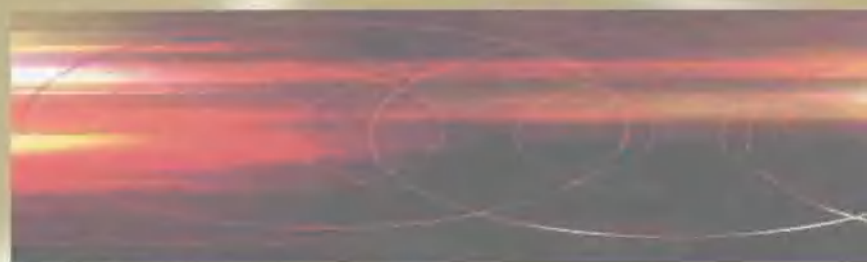


NONGYE XITONG GONGCHENG GAILUN

农业系统工程 概论



主 编 王丽娟
副主编 李莉鸿 陈 雁

东北林业大学出版社

农业系统工程

主 编 王丽娟

副主编 李莉鸿 陈 雁

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

农业系统工程概论/王丽娟主编. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2007.7

ISBN 978-7-81131-107-5

I. 农… II. 王… III. 农业系统工程 IV. F302.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 117905 号

责任编辑: 戴 千

封面设计: 彭 宇



NEFUP

农业系统工程概论

Nongye Xitong Gongcheng Gailun

主 编 王丽娟

副主编 李莉鸿 陈 雁

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

哈尔滨市工大节能印刷厂印装

开本 787 × 1092 1/16 印张 17.25 字数 400 千字

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 978-7-81131-107-5

F·214 定价: 30.00 元

前 言

随着现代科学技术的发展, 社会科学与自然科学之间的相互渗透和影响已成为当代科学技术发展的又一大特征, 许多边缘学科相继出现, 其中“最有影响力的当属系统工程”。我国著名学者钱学森曾深刻指出: “系统工程可以解决的问题涉及自然、改造提高社会生产力、提高国防力量、改造社会活动、改造我们国家的行政、法制等; 一句话, 系统工程涉及整个社会。所以我们面临由于系统工程而引起的社会变革不亚于 120 多年前的那一次; 那是因为自然科学的发展壮大, 从而创立了科学的工程技术, 即把千百年来人类改造自然的手艺上升到理论的科学, 由此爆发了一场大革命。系统工程是一项伟大的创新, 整个社会将会有一个大改变。

当然, 我们现在仅处在这一过程的开端, 像象我们以前已经提到的那样, 我们现在能够看到的只是很小一部分。”

我国从 20 世纪 60 年代初开始系统工程方面的理论和应用研究。1962 年, 在钱学森的倡导下, 最早对尖端科学管理的系统工程方法的探讨; 1964 年, 华罗庚教授开始推广统筹法和优选法; 1978 年, 以钱学森为代表的一批著名学者, 首先倡导并支持在农业领域普及、广用系统工程的理论和方法, 以期推动我国农业现代化的迅速发展。1980 年, 《中国农业工程学会》、《中国科学院农业现代化委员会》相继在全国范围举办“农业系统工程学习班”, 中国人民大学张象枢教授在学习班讲授《系统工程在农业中的应用》课程, 从此系统工程这一新兴学科便在农业这个广阔天地里蓬蓬勃勃地发展起来了, 并很快形成了系统工程的一个重要分支——农业系统工程。

会书由黑龙江八一农垦大学王丽娟担任主编并负责组织编写、定稿和修改工作; 山东工商学院李莉鸿、东北农业大学陈雁担任副主编; 东北农业大学王福林教授担任主审。具体编写分工为: 黑龙江八一农垦大学王丽娟编写第三章, 山东工商学院李莉鸿编写第六章, 东北农业大学陈雁编写第五章, 东北农业大学来荣胜编写第四章, 黑龙江八一农垦大学颜丽娟编写第一、八章, 黑龙江八一农垦大学刘晓晶编写第二章, 东北农业大学杜晶编写第七章。

作者在本书编写过程中参考了大量的文献资料, 借鉴和吸收了国内外众多学者的研究成果, 对他们的辛勤劳动深表谢意。在《农业系统工程概论》即将出版的时候, 作者对多年来培养过自己的老师、帮助过自己的同事、关心过自己的朋友表示诚挚的谢意。由于作者水平有限, 书中存在缺点和不足之处在所难免, 敬请各位同行专家和广大读者批评指正。

编 者

《农业系统工程》编委会

主 编：王丽娟

副主编：李莉鸿 陈 雁

参 编：颜丽娟 刘晓晶 朱荣胜 杜 晶

主 审：王福林

目 录

第一章 系统工程概述.....	1
第一节 系统概述	1
第二节 系统工程概论	7
第三节 农业系统工程	13
第二章 系统工程方法论.....	18
第一节 系统分析	18
第二节 霍尔三维结构模型.....	22
第三节 软系统方法论	27
第四节 并行工程方法	31
第五节 综合集成法	34
第六节 物理—事理—人理系统方法论.....	39
第三章 环境辨识与问题诊断.....	45
第一节 农业系统环境辨识.....	45
第二节 自然环境辨识	49
第三节 社会环境系统辨识.....	52
第四节 农业系统诊断	59
第五节 层次分析法在系统诊断中的应用.....	62
第六节 结构模型解析法在系统诊断中的应用.....	71
第四章 生态系统模型.....	85
第一节 概 述	85
第二节 微分方程模型	86
第三节 矩阵模型	93
第五章 聚类分析.....	100
第一节 聚类分析的概念	100
第二节 模糊集合基础	101
第二节 模糊聚类分析	124
第四节 动态聚类分析	130
第五节 系统聚类分析	134
第六章 系统预测.....	141
第一节 预测概述	141
第二节 定性预测方法	150
第三节 回归分析预测方法.....	171
第四节 马尔可夫过程预测法.....	179
第五节 季节周期预测法	183
第六节 组合预测方法	188
第七章 系统模拟.....	195
第一节 系统模拟概述	195
第二节 标准随机数和随机数产生的方法	199
第三节 系统模拟示例	205
第四节 离散系统模拟（蒙特卡罗（MONTE-CARLO）法）	211
第五节 系统动力学	226

第八章 系统决策分析.....	252
第一节 决策分析概述	252
第二节 决策类型与方法	256
第三节 决策支持系统	265
参考文献.....	270

第一章 系统工程概述

第一节 系统概述

一、系统思想的形成过程

人类在早期并没有系统的概念，对自然界的认识，往往把现象或事物看成是孤立的、割裂的、互不联系的。但是，人类自有生产活动以来，无不在同自然系统打交道。管子《地员篇》、《诗经》农事诗《七月》、西汉汜胜之著《汜胜之书》等古籍，对农作与种子、地形、土壤、水分、肥料、季节、气候诸因素的关系，都有辩证的论述。战国时期秦国李冰父子设计修建的都江堰水利工程，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 and 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 个县的几百公顷粮田。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，该工程历经 2000 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。系统概念不仅表现在古代人类的实践中，而且在古代中国和古希腊的哲学思想中也得到了反映。古代中国和古希腊的唯物主义思想家都从承认统一的物质本原出发，把自然界当成一个统一体。古希腊辩证法奠基人之一的赫拉克利特（Heracleitus）在《论自然界》一书中说：“世界是包括一切的整体。”古希腊唯物主义者德谟克利特（Democritus）曾著有名为《宇宙大系统》一书也体现了系统的思想。公元前 6 世纪至前 5 世纪之间，我国春秋末期思想家老子强调自然的统一性；南宋陈亮的理一分殊思想，称理一为天地万物的理的整体，分殊是这个整体中每一事物的功能，试图从整体角度说明部分与整体的关系。用自发的系统概念考察自然现象，这是古代中国和古希腊唯物主义哲学思想的一个特征。古代辩证唯物论的哲学思想包含了系统思想的萌芽。

15 世纪下半叶，近代自然科学发展了研究自然界的独特的分析方法，包括实验、解剖和观察，把自然界的细节从总的自然联系中抽出来，分门别类地加以研究。这种考察自然界的方法移植到哲学中，就成为形而上学的思维方式。形而上学的出现是有历史根据的，是时代的需要，因为在深入的、细节的考察方面比古代哲学进步，在 300 多年的历史时期中，对科学、技术、文化的蓬勃发展起了不可磨灭的重要作用。但是，形而上学撇开总体的联系来考察事物和过程，蕴含着极大的局限性，随着人们对客观事物认识的不断扩展和深化，这种局限性就日益显露出来，并堵塞了人们从了解部分到了解整体、从分析具体细节到洞察普遍联系的道路。

19 世纪上半叶，自然科学取得了一系列伟大成就。特别是能量转化、细胞和进化论的发现，使人类对自然过程的相互联系的认识有了很大提高。

对于 19 世纪的自然科学，恩格斯（F. Engels）认为，“本质上是整理材料的科学，是关于过程、关于这些事物的发生和发展以及关于联系——把这些自然过程结合为一个大的

整体——的科学”，这样的自然科学，为唯物主义自然观建立了更加坚实的基础，为马克思主义哲学提供了丰富的材料。马克思（K. Marx）、恩格斯的辩证唯物主义认为，物质世界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体。辩证唯物主义体现的物质世界普遍联系及其整体性的思想，也就是系统思想。

由此可以看出，在近代科学技术和文化发展的基础上，到了 19 世纪，系统思想进一步从经验上升为哲学，从思辨进展到定性论述。

科学的定量的系统思想，是在现代科学、技术、文化发展的基础上形成的。现代科学技术对于系统思想方法来说，第一个贡献在于使系统思想定量化，成为一套具有数学理论、能够定量处理系统各组成部分相互联系的科学方法；第二个贡献在于为定量化系统思想的实际应用提供了强有力的计算工具——电子计算机。这两大贡献都是在 20 世纪中期实现的。定量化系统方法及强有力的计算工具电子计算机的出现，被成功地应用于作战分析及工程、经济、社会领域的大型复杂系统问题的解决中。至此，系统思想方法就从一种哲学思维发展成为专门的科学。

概括地说，系统思想是进行分析与综合的辩证思维工具，它在辩证唯物主义那里取得了哲学的表达形式，在运筹学等学科那里取得了定量的表述形式，在系统工程那里获得了丰富的实践内容。古代农事、工程、医药、天文方面的实践成就，以及建立在这些成就之上的古代中国和古希腊朴素的唯物主义自然观（以抽象的思辨原则来代替自然现象的客观联系）；近代自然科学的兴起，以及由此产生的形而上学自然观（把自然界看作彼此不相依赖的各个事物或各个现象的偶然堆积）；19 世纪自然科学的伟大成就，以及建立在这些成就基础之上的辩证唯物主义自然观（以实验材料来说明自然界是有内部联系的统一整体，其中各个事物、现象是有机地相互联系、相互依赖、相互制约着的）；20 世纪中期现代科学技术的成就，为系统思想提供了定量方法和计算工具；这就是系统思想如何从经验到哲学到科学、从思辨到定性到定量的大致发展情况。

从系统思想形成过程的简略考察中，可以看出，这一过程也就是人类认识客观世界的一个否定之否定的发展过程。迄今为止，这个过程可以大致地概括为：古代朴素的唯物主义自然观→近代形而上学自然观→19 世纪的辩证唯物主义自然观→20 世纪中期形成的系统观→现代系统理论五个阶段。

二、系统的概念

（一）系统的概念

系统一词由来已久，在古希腊就已经使用。从词源上讲，它来自于拉丁语 *systema*，由词头“共同”和词尾“位于”结合而成，表示共同组成的群或者是集合的概念。系统是系统科学、系统工程的最基本的概念，但是关于它的定义尚没有统一定论。下面列举几个关于系统的有代表性的定义：

(1)在韦氏大辞典中，系统一词被解释为：有组织的或是组织化了的总体以及构成总体的各种概念、原理和规则的相互作用及相互依赖诸要素的集合。

(2)奥地利生物学家，一般系统论的创始人贝塔朗菲把系统定义为：相互作用的诸要素的综合体。

(3)日本工业标准对系统的定义是：许多组成要素保持有机的秩序，并向同一目标行动，

就称作系统。

(4)我国著名科学家、系统工程的倡导者钱学森认为：系统是由相互作用、相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机体，而且这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。

综合各种定义，我们认为：系统是由若干个（两个或两个以上）相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的元素组成的具有某种特定功能的有机整体。在这个定义中，通过分析可以得出系统概念中包含有如下几个要点：

第一，系统是由两个或两个以上可以相互区别的元素组成的，单个元素构不成系统；

第二，系统中的各元素相互间具有联系，彼此独立的各元素不能称其为系统；

第三，系统是一个有机整体；

第四，系统具有某种特定的功能。

（二）系统的结构

系统的结构是指构成系统的元素及元素间关联方式的总和。在系统元素不变的情况下，往往把元素间的关联方式称为结构：

在对系统进行研究时，必须对系统结构进行分析。结构分析的重要内容是划分子系统，分析各个子系统的结构（元素及其关联方式和关联力），阐明不同子系统之间的关联方式。一般来说，同一系统可以按照不同标准划分子系统，以便从不同侧面了解系统结构，但是按照同一标准划分出来的子系统有可比性，按照不同标准划分出来的子系统没有可比性，把按照不同标准划分得到的子系统并列起来，是概念混淆的重要原因。

系统的结构方式无穷无尽，目前尚无完备的结构分类方法。一般情况下，应注意从以下两方面对系统作结构分类。

(1)框架结构与运行结构 当系统处于尚未运行或停止运行的状态时，各元素之间的基本联接方式，称为系统的框架结构。系统处于运行过程中相互依存、相互支持、相互制约的方式，称为系统的运行结构。

(2)空间结构与时间结构 元素在空间的排列或配置方式，称为系统的空间结构(spatial structure)。元素在时间流程中的关联方式，称为系统的时间结构(temporal structure)。有些系统主要呈现空间结构，有些系统主要呈现时间结构，有些系统兼而有之，后者称为时空结构(spacetime structure)。

（三）系统的功能及与结构的关系

系统的功能实际就是指系统的功用和效能。凡系统都具有功能。学校的功能是为社会培养人才和提供科研成果。系统的功能是系统的一种整体特性，只要把元素整合为系统，就具有元素总和没有的功能。

功能的概念也常用于子系统，它是指子系统对系统存续发展所起的作用和贡献。如果子系统是按照它们在系统中的不同功能划分出来的，按照各自的功能相互关联、相互作用、相互制约，共同维持系统整体的生存发展，就把功能子系统的划分及其相互关联方式称为系统的功能结构。

系统的功能与结构关系密切，结构决定功能，但功能对结构也有重要影响，只有系统的结构合理，系统才有可能发挥出最佳功能。另外，系统的功能不仅取决于结构，它还取决于系统所处的环境及其组织管理水平。系统结构相同，由于所处的环境和组织管理水平

的不同,可能表现出不同的功能,同时结构不同的系统,也可能表现出相同的功能。也就是说,系统的功能是由系统的结构、所处的环境和组织管理与生产水平等共同作用决定的。

(四) 系统的环境及其相互关系

系统的环境就是系统外部整体,或者说包围系统的整个空间。如图 1-1 所示。图中 M 表示物质, I 表示信息, E 表示能量。系统与环境的交界,称为系统的边界。任何系统都是处于一定的环境之中,超超环境的系统是不存在的。但是,有些环境对系统影响很小,对于这样的环境在研究系统时可以不予考虑。

既然系统是处于环境之中,那么系统与环境就存在一定的联系,一般这种联系主要表现在物质、信息和能量的流动上,这种流动又叫物质流、信息流和能量流。一般来讲,系统与环境是相互作用的,环境对系统而言,一方面提供条件(如资源、市场等),以维持系统功能的正常发挥,另一方面又作为约束,制约系统的发展;系统对环境而言,一方面输出环境所需要的产品,同时还输出破坏环境的污染物。当系统与环境相适应时,系统则能很好地发展,当系统与环境不相适应时,则系统的发展就会受到制约,系统的功能就不能够充分发挥。为了使系统与环境相适应,可通过两个途径来实现,一是可以调节系统内部结构,使其适应变化了的环境;二是可以创造条件改变环境,使其满足系统发展的要求。

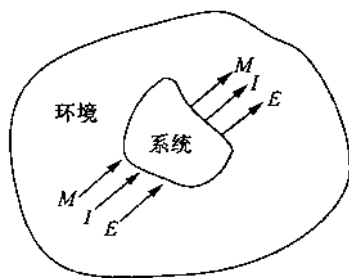


图 1-1 系统与环境的关系

三、系统的分类和特征

(一) 系统的分类

世界上的系统千差万别,可以从不同的角度将它们分为不同的类别。

1. 按系统形成划分为自然系统与人工系统

凡是由自然力形成的系统都称为自然系统。如银河系、太阳系等各种天体系统;山川河海及各种矿藏所构成的地理系统都按自身的特定规律运行,是无目的的系统。与自然系统相反,凡是需要消耗人、财、物、组建起来的系统都称为人工系统。人工系统都是人类为达到某种预期的目的而建造的,因此是有目的的系统。如机床、汽车、飞机、宇宙飞船等各种工程系统。

在人们的活动中,大多数系统都是自然系统和人工系统的复合系统。人工系统以自然系统为环境,以改造、利用自然为目的。随着科学技术的飞速发展,各种复合系统必将越来越多。

2. 按组成系统要素的属性划分实体系统与概念系统

实体系统又称硬件系统,指由有形的物质构成的各种系统。如自然系统,各种复杂的工程系统等都是实体系统。而由概念、原理、原则、方法、体系、程序等要素组成的系统都是概念系统。有时又叫软件系统。

实体系统与概念系统关系非常密切。一般而言,概念系统是为实体系统提供指导和服务。而实体系统则是概念系统的物质基础。

3. 按系统与环境的关系划分开放系统与封闭系统

所谓开放系统是指系统与环境之间不断进行物质、信息和能量交换的系统。相反，系统与环境之间不存在物质、信息和能量交换的系统叫封闭系统。

一般而言，不管系统大小，都存在于特定的环境之中，或者说系统与环境总是成对存在的。因此，实际中绝对封闭的系统是不存在的，而开放系统则是普遍的。

4. 按系统的状态与时间的关系来划分为静态系统与动态系统

任何一个系统都可用一组状态变量来描述。如人体系统的状态变量可以是身高、体重、健康状况、文化水平等，它们构成人体系统状态变量集。如果系统的状态变量不随时间而变化，则该系统称为静态系统，表示成 $X = \{x_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ ，其中 X 代表状态变量集， x_i 代表状态变量的分量；当系统的状态变量随着时间推移而变化，则该系统称为动态系统，表示成 $X(t) = \{x_i(t) | i = 1, 2, \dots, n\}$ ，其中 t 代表时间变量。

实际中，由于“运动的普遍性原理”，绝对静止的系统也是不存在的。但在某些具体问题中，由于系统的状态变化比较慢，而研究的时间相对较短，人们为简化研究，也常把动态系统近似看成静态系统。

5. 按照人们对信息的掌握程度来划分为白色系统、黑色系统和灰色系统

客观世界是由物质、能量和信息所组成的，它们决定了事物的性质。因为物质的新陈代谢和能量的相互转换，必须依靠信息才能进行，所以我们也可以说，客观世界是信息世界。在信息世界中，既有大量的已知信息，也有不少未知信息和非确知的信息。信息完全已知的系统称为白色系统。例如：一个商店，在人员、资金、损耗、销售等信息完全明确的情况下，可算出该店的盈利、库存额，判断出商店的销售态势、资金的周转速度等；像商店这样意义下的系统就是白色系统。信息完全未知的系统称为黑色系统。例如，湖北的神农架野人，飞碟，遥远的某个星球的体积、重量、是否存在生命等等全然不知。介于上述两者之间的，即部分信息已知，部分信息未知的系统称为灰色系统。例如，对于电力负荷系统，对其影响的供电机组、电网容量、生产能力、大用户情况、某些主要产品耗电情况等信息是已知的，但是影响负荷的其他很多因素，像天气情况、行政与管理政策的变化、地区经济活动等是难以确切知道的，因此，电力负荷系统是灰色系统。

当然，系统还有许多其他的分类方法。例如，按系统的可控情况又可分为可控系统、不可控系统、非完全可控系统，按输入输出关系可分为开环系统和闭环系统等。

(二) 系统的特征

明确系统的特征，是我们正确认识系统的基础，也是区别非系统的基本标志。一般而言，系统都有以下基本特征：

1. 目的性（或目的指向性）

前面已经讲到，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，或看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。因此，深刻了解系统的目的性及其具体目标指向，这对于做好各项工作具有普遍意义。

2. 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。一般情况下

它不等于各组成部分的性质的简单相加，而且不能回溯到各组成部分。系统的整体性质有时可以通俗地表达为“ $1+1>2$ ”。如螺丝钉的功能是联接零件和部件，当成千个螺丝钉把各种零部件装配成一部车后，作为整体的汽车的功能是无法在单个螺钉上找出来的。但实际情况是复杂的，也有可能等于2或者小于2的情况，这取决于系统的结构、各部分的属性及系统内协同作用的强弱。

3. 关联性

包括内部关联和外部关联两个方面：

(1) 内部关联。内部关联指系统组成部分与系统整体之间的关系和系统各组成部分之间的相互关系。

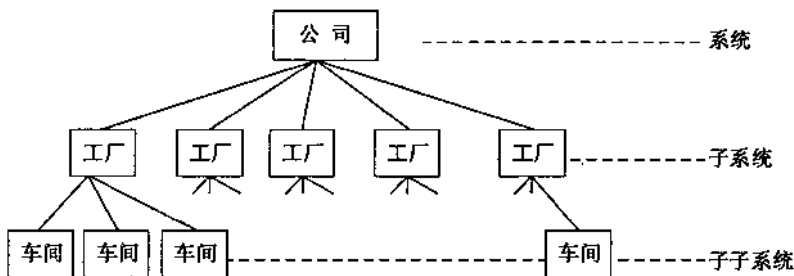
系统内部各要素之间相互储存、相互制约的关系，就是系统的相关性。它一方面表现为子系统同系统之间的关系，系统的存在和发展，是子系统存在和发展的前提，因而各子系统本身的发展，就要受到系统的制约。另一方面，表现为系统内部子系统或要素之间的关系。某要素的变化会影响另一些要素的变化，而各个要素之间关系的状态，对子系统和整个系统的发展，都可能产生重要的影响。

(2) 外部关联。外部关联指系统整体及其组成部分与环境之间以一定的数量和方式输入输出物质、能量和信息。

为使系统在给定时刻和在环境里实现正常的功能，要求系统有相对稳定的内部结构；为使系统在变化的环境中也能实现正常的功能，要求系统有比较灵活可变的内部结构。系统结构既稳定又可变的二重性，是系统内部关联与外部关联综合制约的反映。总之，系统功能取决于系统的内部结构，但又必须在一定外部条件下才能充分发挥作用。

4. 层次性

又称阶层性。一般系统都具有一定的层次结构。一个系统可分解为若干子系统，而子系统还可以分解为亚子系统等，最终可分解为要素，这样就可构成具有特定的空间层次结构。系统的层次结构表明了不同层次子系统或要素之间的从属关系或相互作用关系。如图 1-2，工厂的车间，相对于工厂系统来说是子系统，而相对于班组子系统来看，又是个系统，工厂相对于公司系统来说也是个子系统。系统与子系统是相对而言的，而层次是客观存在的。



由于不同层次的系统有密切的联系，因此，在研究一个具体系统时，首先要弄清处于哪个层次，然后根据需要确定向上和向下所必须涉及的层次。总之，既要看到“树木”这个较低的层次，又要看到“森林”这个较高的层次。要协调好各层次间的关系，这样才能取得好的整体效益。

5. 动态性

前面我们已经提到,绝对静止的系统是不存在的。因此,动态性是所有系统的共同特征。所谓动态性是指系统的状态(变量集)、结构、组成要素等,都处在不断运动和发展之中。系统内部的联系就是一种运动,系统与环境相互作用也是一种运动,运动是系统的生命。因此,必须用动态的观点去分析系统自身及环境条件的发展和变化,并依此提前做出相应的储备措施,最终实现全程动态最优化。

6. 环境的适应性

我们已经知道,任何一个系统都处在一定环境之中,并且与环境进行着物质、信息和能量的交换。系统的输出可改变环境,而环境则对系统的运动与发展有约束和制约作用。当系统与环境相适应时,系统则能很好地发展;当系统与环境不相适应时,则系统的发展就会受到制约,系统的功能就不能够充分发挥。不适应环境的系统是不能健康发展或维持的。比如地球上曾有数千种动物,由于不适应地球环境的变化而消亡了。又如一个企业的发展问题,必须经常了解同类企业和有关行业的动向、国内外市场需求情况、市场价格变化等信息,并根据环境条件的变化及时调整经营策略,以确保在激烈竞争的环境中立于不败之地。

系统对环境的适应并不都是被动的,也有能动的,那就是改善环境。环境可以施加作用和影响于系统,系统也可以施加影响于环境。如构成社会系统的人类具有适应环境的能力,没有条件可以创造条件,没有良好的环境可以改造环境。这种能动地适应和履行环境的可能性,受到一定时期类掌握科学技术知识和经济力量的限制。

第二节 系统工程概论

一、系统工程的发展过程

在中国,早在2600多年前就有了《周易》,之后,孔子所作的《易传》,老子创始的《道家》、庄子的《天运》都试图对自然的深化,社会的发展做出统一解释,他们都把世界看成是一个由基本要素组成的、动态演化的多层次的系统整体,主张从整体上把握这个基本要素组织起来的系统世界。

在西方,大体也同样的久远,古希腊的赫拉克利特探索着组成万物的要素,德谟克利特提出构成系统要素的原子论,以及亚里士多德的“整体大于各部分的总和”更是系统论的最基本思想。

现代系统思想则是以系统科学的诞生为标志,进入20世纪之后的事。系统工程属于系统科学的学科范畴。

20世纪20年代中期,一般系统论的创始人贝塔朗菲从批判当时生物学中流行的机械论观点出发,提出生物学的机体论概念,强调把有机体作为一个整体或系统来考察,这是一般系统理论的萌芽。20世纪30年代,他进一步提出开放系统理论和一般系统理念的概念。到20世纪40年代,美国贝尔电话公司在发展微波通讯网络时首先应用系统方法,并提出了“系统工程”这个名词。第二次世界大战期间,为对付德国飞机轰炸,英国于1940年8月建立了世界上第一个有组织地按系统观点,用系统工程方法分析和研究作战问题的

小组。1942年3月美国建立了类似的组织。两国在反潜、反空袭、商船护航、布置水雷等军事行动中应用系统工程方法,取得了良好效果。美国陆军部于1942年6月开始实施的利用核裂变反应来研制原子弹的计划,亦称曼哈顿计划。为了先于纳粹德国制造出原子弹,该工程集中了当时西方国家(除纳粹德国外)最优秀的核科学家,动员了10万多人参加这一工程,历时3年,耗资20亿美元,于1945年7月16日成功地进行了世界上第一次核爆炸,并按计划制造出两颗实用的原子弹,整个工程取得圆满成功。在工程执行过程中,负责人L·R·格罗夫斯和R·奥本海默应用了系统工程的思路和方法,大大缩短了工程所耗时间。这一工程的成功促进了第二次世界大战后系统工程的发展。第二次世界大战中发展起来的运筹学,奠定了系统最优化技术的数学基础。1945年,应美国空军要求,成立了后来被称为“思想库”的兰德公司,在研究复杂系统的分析方法方面取得了很大成果。1948年前后,美国麻省理工学院电气专家申农提出《信息论》,数学教授维纳提出《控制论》,大大推动了系统工程的发展。同一时期,在冯·诺依曼博士指导下,建成世界上第一台电子计算机,为系统工程提供了强有力的信息处理和运算工具。1950年,美国麻省理工学院开始讲授系统工程学,1954年钱学森在美国出版了《工程控制论》一书,对系统工程的发展和普及起了重大推动作用。1957年美国学者古德和迈克尔出版了《系统工程》一书。20世纪60年代以后,一般系统理论在国际上引起了广泛重视,很多的学者投入到这个研究领域。1964年美国召开首次系统工程年会,同年在宾夕法尼亚大学和亚利桑那大学先后建立系统工程专业和系,设置系统工程学位。1969年比利时物理学家普利高津提出了耗散结构理论、德国物理学家哈肯提出了协同学。这两种理论的提出丰富了系统工程的内容。

进入20世纪70年代后,由于电子计算机的迅速发展和普及,系统工程广泛地应用到社会、经济、政治、技术、生态等各方面。世界上许多国家,都程度不同地应用系统工程来解决本国的问题。这就进一步促进了系统工程的发展。

系统工程有组织地在我国开展始于20世纪50年代中期。1956年中国科学院力学研究所建立了我国第一个运筹学教研组。20世纪60年代初,华罗庚教授在全国推广“统筹法”,取得显著成就。在国防科研部门建立的“总体设计部”,运用计划协调技术组织研制工作,开始有组织地应用系统工程的理论和方法。1978年9月钱学森等在“文汇报”发表《组织管理的技术——系统工程》的文章。1979年10月国防科委、中国科学院等单位在北京举行系统工程学术交流会,这次会上钱学森、关肇直等21位学者联合倡议成立中国系统工程学会。1980年11月中国系统工程学会成立,钱学森、薛暮桥为名誉理事长,关肇直为理事长。出版会刊《系统工程理论与实践》,一些院校先后设立系统工程专业。1980年2月中国科学院系统科学研究所成立。1980年下半年举办了全国性的系统工程广播讲座和电视讲座。系统工程队伍日益壮大,系统工程的研究也从初期的传播国外的理论、方法和应用,进入到联系我国社会主义建设实际独立开展系统工程理论和方法的研究。在军事系统工程、社会经济系统工程、农业系统工程等方面已经取得了一批可喜的成果。

二、系统工程的概念和特点

(一) 系统工程定义

系统工程这个词来源于英文“System Engineering”。概括地讲,系统工程是在系统科学结构体系中,属于工程技术层次,对于系统工程至今还没有一个统一的定义。国内外

有一些学者对系统工程的含义有过不少的阐述。现列举一些国内外学者对系统工程所做的解释。

(1)1975年美国科学技术辞典对系统工程的注释是,“系统工程是研究复杂系统设计的科学,该系统由许多密切联系的元素所组成。在设计该系统时,应有明确的预定功能和目标,并使得各个组成元素之间以及各元素与系统整体之间有机联系,配合协调,从而使系统整体能够达到最佳的目标。同时还要考虑到参与系统中人的因素与作用。

(2)1977年日本学者秋山穰和和西川智登把系统工程定义为,“系统工程是为了把对象创造出来或者在改善的对候,最优地并且最有效地达到该对象的目的,根据系统的思考方法,把它作为系统而进行开发、设计、制造及运行的思考方法、步骤以及各种方法的综合性的工程体系。

(3)1978年我国学者钱学森对系统工程的定义是,“系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验与使用的科学方法,是一种对所有系统都具有普遍意义的方法。”

综合上述各种定义,系统工程是以有人参与的复杂大系统为研究对象,按照一目的对系统进行分析与管理,以期达到总体效果最佳的理论与方法。

(二)系统工程的特点

系统工程是以大系统为研究对象的一门边缘交叉学科,属于一门工程学,用以改造客观世界并取得实际成果,这与一般工程技术问题有共同之处,但系统工程又是一类包括了许多类工程技术的一大工程技术门类,它与各类专门的工程学(如机械工程、电气工程)等相比,具有明显的特点,主要有:

(1)研究对象的广泛。各门工程学都有其特定的工程物质为对象,而系统工程的对象则不限于某个领域,任何一种物质系统都有它的研究对象,而且它的研究对象还不止限于物质系统,它可以包括自然系统,社会经济系统、经营管理系统、军事指挥系统等。由于它处理的对象是信息,在国外有些学者认为系统工程是一种“软科学”,它在整个工程体系中占据着非常重要的地位。在实际运用各门工程学于各种系统的研究、设计、制造、运用时,系统工程是一门必需的基本工程技术和组织管理技术。

(2)系统工程是一门跨学科的学科。不仅要用到数、理、化、生物等自然科学,还要用到社会学、心理学、经济学、医学等与人的思想、行为、能力等有关的学科,是自然科学和社会科学的交叉。因此,系统工程形成了一套处理复杂问题的理论、方法与手段,使人们在处理问题时,有系统的整体的观点。

(3)在处理复杂的大系统时,常采用定性分析和定量计算相结合的方法。因此系统工程所的对象往往涉及到人,这就涉及到人的价值观、行为学、心理学、主观和推理,因而系统工程所研究的大系统比一般工程系统复杂得多,处理系统工程问题不仅要有科学性,而且要有艺术性。

三、系统工程的理论和技术基础

系统工程是一门交叉学科,有其宽广的理论和技術基础。它们主要是一般系统论、信息论、控制论、运筹学、耗散结构理论、协同学、突变论等。通常把一般系统论、信息论、控制论称为“老三论”,而把耗散结构理论、协同学、突变论称为“新三论”。下面就这些方面的内容简要阐述。

（一）一般系统论

一般系统论 (General System Theory, 简称 GST) 是由奥地利理论生物学家贝塔朗菲 (1901—1972) 首先提出并发展的, 早在 20 世纪 20 年代他就提出“机体生物学”观点, 用以反对生物学研究中的“机械论”和“活力论”, 主张把一切有机体都作为一个整体、一个系统来研究。1937 年他首次提出一般系统论的基本思想。1954 年成立了“一般系统论研究会”, 并出版了“系统年鉴”, 这时一般系统论才得到承认。1968 年, 他积数十年研究心得写成并发表了《一般系统论—基础、发展与应用》(General System Theory Foundation, Development, Applications) 一书, 进一步表述了一般系统论所包含的主要内容和基本观点, 并归纳出系统的整体性、动态相关性、开放性、层次等级性和有序性。

（二）信息论

关于信息的概念由来已久。随着科学技术的发展, 人们对信息的获取、加工、存储、传输的要求越来越高。尤其是 20 世纪 40 年代, 由于通信技术与计算机的兴起, 对信息论的形成和发展起了重要的作用。信息论于 20 世纪 40 年代末产生, 其主要创立者是美国的数学家申农 (C.E.Shannon) 和维纳。信息论是一门研究信息的获取、传送和处理等一般规律的科学。

人们根据不同的研究内容, 把信息论分成三种不同的类型。

狭义信息论: 即申农信息论。主要研究消息的信息量、信道 (传输消息的通道) 容量以及消息的编码问题。

一般信息论: 主要研究通信问题, 但还包括噪声理论、信号滤波与预测、调制、信息处理等问题。

广义信息论: 不仅包括前两项的研究内容, 而且包括所有与信息有关的领域。

（三）控制论

为了使系统按照最佳的方案进行实施和运行, 达到系统预期的目标, 必须对系统进行有效地控制。要对系统实施控制, 就必须运用控制论的理论和方法, 所以, 控制论也是系统工程的一个重要理论基础。控制论最早是美国人维纳于 1947 年创立的, 他对控制论的定义是: “关于动物和机器中控制与通信的科学。” 维纳于 1948 年出版了《控制论》一书, 阐述了两个根本观念:

(1) 一切有生命、无生命系统都是信息系统。控制的过程也可以说是信息运动的过程。无论是机器还是生物, 在构成控制系统的前提下, 都存在着对信息进行接收、存取和加工的过程。

(2) 一切有生命、无生命系统都是控制系统。一个系统一定有它的特定输出功能, 而要具有这种输出功能, 必须有相应的一套控制机制。

控制必须要有目标, 没有目标, 则无所谓控制。通过一系列有目的的行为及反馈使系统受到控制。人们根据维纳的定义形成的比较公认的看法是: “控制论是以研究各种系统共同存在的控制规律为对象的一门科学。” 钱学森认为相对论、量子论、控制论是 20 世纪上半叶最伟大的三项理论。

（四）运筹学

运筹学是软科学中“硬度”较大的一门学科, 兼有逻辑的数学和数学的逻辑的性质, 是