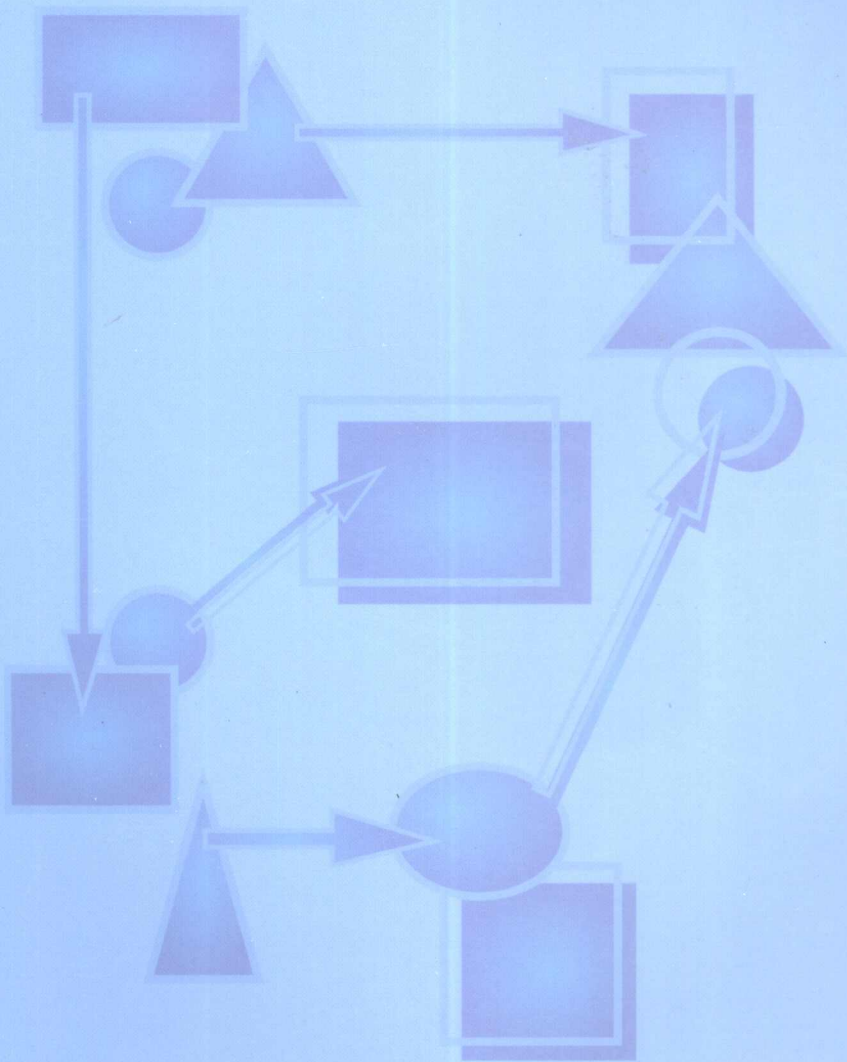


高等学校教材

系统工程

吕永波 胡天军 雷 黎 / 主编
徐一飞 / 主审



Systems Engineering



224

高等学校教材

系 统 工 程

吕永波 胡天军 雷 黎 主编
徐一飞 主审

北方交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书比较全面和系统地介绍了系统工程的基本概念、基本原理、基本思路、分析方法、预测方法、优化方法、评价方法、决策方法等内容,共分为9章,包括了基本理论和模型方法。全书融入了作者长期的教学经验和科研成果,在编排上充分体现了教学思路的完整性,同时也考虑到自学者学习方便,例题的描述详细而准确。此外,书中还附有作者的多项科研实践成果和案例,读者可以由此了解系统工程的一些实际应用,掌握解决实际问题的思路与方法。

本书可作为高等学校工程类、管理类等专业学生的专业基础课教材,或作为其他专业的公共基础课、选修课教材,也可作为广大从事系统工程工作的系统管理人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

系统工程/吕永波,胡天军,雷黎主编. —北京:北方交通大学出版社,2003.1

高等学校教材

ISBN 7-81082-118-0

I. 系… II. ①吕…②胡…③雷… III. 系统工程—高等学校—教材 IV. N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 085998 号

责任编辑:郭 洁

印 刷 者:北京市黄坎印刷厂

出版发行:北方交通大学出版社 电话:010-51686045,62237564

北京市西直门外高粱桥斜街 44 号 邮编:100044

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:15 字数:360 千字

版 次:2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

印 数:2 000 册 定价:25.00 元

前 言

21 世纪,世界经济飞速发展,社会的信息化和生产的知识化要求高度的科学管理,而科学管理的最高体现是决策的民主化和科学化。系统工程作为现代管理科学的代表,在知识经济发展的今天,具有巨大的生命力。

现代社会需要大量 T 型的复合型人才。作为高等工程院校的大学生,应当对系统工程有一个基本的了解。本教材就是基于以上考虑,将系统工程的最基本的理论和方法作一些介绍,并结合案例进行分析,以期对同学们今后的学习和工作有所帮助。

系统工程是一门应用性很强的科学。在学习中,同学们应当着重领会其基本思想和应用思路,并结合一些处理方法,进行系统工程的具体应用。

本教材由北方交通大学系统工程研究所和北京工商大学的几位教师合作编写。编写者长期从事系统工程教学和科研工作,在教材的编写中力求体现教学的成功经验和课题研究的最新成果,在整体结构和内容安排上,更符合综合型大学对大学生素质教育的要求。其中,吕永波教授和田芬老师共同完成了第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 6 章、第 9 章中的案例 1 和案例 5 的编写工作,胡天军副教授完成了第 4 章、第 5 章、第 9 章中的案例 2 和案例 3 的编写工作,雷黎副教授完成了第 7 章、第 8 章的编写工作,贾元华教授完成了第 9 章中的案例 4 的编写工作。全书由徐一飞副教授负责统稿和审校工作。

本教材在编写过程中,得到了北方交通大学教务处及系统工程专业研究生的大力支持;在出版过程中,得到了北方交通大学出版社的领导和编辑们的积极支持与热情帮助。正是在多方面关心与帮助下,本教材得以顺利出版。在此,向所有为本书的完成和出版给予帮助的朋友表示衷心的感谢。由于时间及水平所限,书中错误在所难免,恳请各位专家及读者不吝指正,编者将不胜感激。

作 者
2003 年 1 月

目 录

第 1 章 系统的概念及特点	1
1.1 系统的概念	1
1.1.1 系统思想的形成及演变	1
1.1.2 系统的定义及比较	3
1.1.3 系统的形态	4
1.2 系统的特性	9
1.2.1 整体性	9
1.2.2 相关性	10
1.2.3 目的性	11
1.2.4 环境适应性	11
1.3 系统的结构与功能	13
1.3.1 系统的结构	13
1.3.2 系统的功能	18
1.3.3 系统结构与功能的关系	20
1.4 系统理论概述	21
1.4.1 一般系统论	21
1.4.2 控制论	22
1.4.3 信息论	23
1.4.4 耗散结构理论	24
1.4.5 协同学理论	27
1.4.6 突变理论	28
习题	30
第 2 章 系统工程概述	31
2.1 系统工程的基本概念	31
2.1.1 系统工程的定义	31
2.1.2 系统工程的特点	32
2.1.3 系统工程的形成与发展	33
2.1.4 系统工程的应用范围	35
2.2 系统工程的技术内容	36
2.2.1 运筹学	36
2.2.2 概率论与数理统计学	39
2.2.3 数量经济学	39
2.2.4 技术经济学	39
2.2.5 管理科学	39
2.3 系统工程方法论	40
2.3.1 系统工程方法论的基本原则	40
2.3.2 三维结构方法论	41

2.3.3 软系统方法论	44
2.4 管理系统工程综述	45
2.4.1 管理系统工程的含义	45
2.4.2 管理系统工程的职能	45
2.4.3 管理系统工程活动的结构	46
习题	47
第3章 系统分析	49
3.1 系统分析的概念	49
3.2 系统分析的结构	51
3.2.1 系统分析的程序构成	52
3.2.2 系统分析研究方法的构成	53
3.3 系统分析的内容与逻辑过程	55
3.3.1 系统分析的内容	55
3.3.2 系统分析的逻辑过程	57
3.3.3 系统分析的模拟研究过程	58
3.4 小结	59
习题	60
第4章 系统预测	61
4.1 预测概述	61
4.1.1 预测的概念	61
4.1.2 预测技术的种类	61
4.1.3 预测的程序	62
4.2 定性预测方法	63
4.2.1 市场调查预测法	64
4.2.2 德尔菲法	65
4.2.3 交叉概率法	67
4.2.4 领先指标分析法	68
4.2.5 类推法	69
4.3 定量预测方法	70
4.3.1 简单算术平均法	70
4.3.2 平滑预测法	71
4.3.3 回归分析法	75
习题	82
第5章 线性规划	84
5.1 线性规划问题及其数学模型	84
5.1.1 问题的提出	84
5.1.2 线性规划的数学模型及其标准形式	86
5.2 线性规划问题的解	89

5.2.1 解的几何意义	89
5.2.2 基解、基可行解及其有关定理	92
5.2.3 最优解及其判别	95
5.3 单纯形法	97
5.3.1 单纯形法的基本思路	97
5.3.2 单纯形法的应用	101
5.3.3 人工变量法	104
5.3.4 单纯形法小结	108
5.4 线性规划问题的一般应用举例	110
习题	116
第 6 章 网络规划	120
6.1 网络图的组成及绘制	120
6.1.1 网络图的类型	120
6.1.2 网络图的基本要素	121
6.1.3 网络图的线路与关键线路	122
6.1.4 网络图的编制	123
6.2 事项的时间参数	127
6.2.1 事项的最早开始时间	127
6.2.2 事项的最迟结束时间	128
6.2.3 事项的时差	129
6.2.4 利用事项的时间参数来确定关键线路	129
6.3 工作的时间参数	129
6.4 规定总工期的概率评价	131
6.5 网络图的调整与优化	134
习题	137
第 7 章 系统评价	139
7.1 系统评价概述	139
7.1.1 系统评价的概念、目的	139
7.1.2 评价的内容及分类	139
7.1.3 系统评价的步骤	141
7.2 系统评价的特性	145
7.2.1 环境因素的状况特性	145
7.2.2 系统行为测度的形态特性	146
7.3 系统评价的准则体系	146
7.3.1 评价准则与效用函数	147
7.3.2 风险型和非确定型多目标评价准则	148
7.3.3 系统评价准则设计的范例	149
7.4 常用的系统评价方法	150
7.4.1 单项评价法	150

7.4.2 层次分析法·····	152
7.4.3 模糊综合评价法·····	166
习题·····	172
第8章 系统决策 ·····	173
8.1 系统决策概述·····	173
8.1.1 决策的概念及意义·····	173
8.1.2 决策的过程和步骤·····	174
8.1.3 决策问题描述·····	175
8.2 确定型决策·····	176
8.2.1 问题概述·····	176
8.2.2 特点及决策方法·····	176
8.3 风险型决策·····	177
8.3.1 问题概述·····	177
8.3.2 最大可能准则·····	177
8.3.3 期望值准则·····	178
8.4 不确定型决策·····	179
8.4.1 问题概述·····	179
8.4.2 决策准则·····	180
8.5 多阶段决策·····	183
8.5.1 决策树模型结构·····	183
8.5.2 决策树分析的逆向归纳法·····	185
习题·····	188
第9章 系统工程应用案例 ·····	190
9.1 我国主要集装箱运输港口的竞争力评价研究·····	190
9.1.1 我国主要集装箱运输港口的现状分析·····	190
9.1.2 港口市场竞争力评价指标体系及评价方法·····	190
9.1.3 港口市场竞争力综合评价及其结果分析·····	194
9.1.4 港口未来市场竞争力水平评价·····	195
9.2 深圳海岸港口功能系统评价·····	196
9.2.1 背景和意义·····	196
9.2.2 系统评价原理·····	196
9.2.3 评价结果分析·····	199
9.2.4 深圳大鹏湾深水港建设分析与评价·····	202
9.2.5 华南各港综合优度评价·····	203
9.3 X62W 铣床大修理·····	204
9.3.1 背景和要求·····	204
9.3.2 用网络规划方法建模·····	205
9.3.3 计算结果·····	208
9.4 BTT 公路项目社会效益系统评价·····	209

9.4.1 案例背景.....	209
9.4.2 项目对影响地区经济效益的投入产出分析算法.....	209
9.4.3 项目对沿线地区社会、经济发展影响的综合评价	214
9.5 红牌罐头食品制造的线性规划模型分析	218
9.5.1 案例.....	218
9.5.2 案例解答.....	220
参考文献	227

第 1 章 系统的概念及特点

1.1 系统的概念

在自然界和人类社会中,可以说任何事物都是以系统的形式存在的,每个所要研究的问题对象都可以被看成是一个系统。人们在认识客观事物或改造客观事物的过程中,用综合分析的思维方式看待事物,根据事物内在的、本质的、必然的联系,从整体的角度进行分析和研究,这类事物就被看成为一个系统。

1.1.1 系统思想的形成及演变

1. 古代朴素的系统思想

系统的概念来源于人类长期的社会实践。人类很早就有了系统思想的萌芽,主要表现在对整体、组织、结构、等级等概念的认识。我国是一个具有数千年文明史的古国,在丰富的历史宝库中,可以找到很多有关系统的朴素思想。古代天文、军事、工程、医药等方面的知识和成就,都在不同程度上反映了朴素的系统思想。

我国古代天文学家为发展原始农牧业,很早就关心天象的变化,把宇宙作为一个超系统,探讨了它的结构、变化和发展,揭示了天体运行与季节变化的联系,编制出历法和指导农事活动的二十四节气。古代农事著作,如《管子·地员》、《诗经·七月》等,对农作物与种子、地形、土壤、水分、肥料、季节、气候诸因素的关系,都有辩证思维的论述。

我国古代人民对人体系统方面也很早就有了认识和研究。我国古代最著名的医学典籍《内经》,根据阴阳五行的朴素辩证法,把自然界和人体看成是由五种要素相生相克、相互制约而组成的有秩序、有组织整体。《内经》和其他古代医学中的藏象、病机、气血、津液、经络等学说,以及在此基础上建立起来的辩证论治,都充分体现了系统思想。

我国古代的系统思想还反映在军事理论方面。公元前 5 世纪春秋末期,著名军事家孙武在他的《孙子兵法》中,阐述了不少朴素的系统思想和谋略。《孙子兵法》中“经五事”从道、天、地、将、法五个方面来分析战争的全局,这里所讲的“道”,就是要内修德政,注重战争是否有理,有道之国、有道之兵、得到人民的支持,才是胜利之本。此外,还有天时、地利的客观条件;而将领的才智、威信状况,士兵是否训练有素,纪律、赏罚是否严明,粮道是否畅通等则是主观条件。依据“五事”推论出“七计”,指出“经之以五事,校之以计,而索其情”。《孙子兵法》是一部揭示战争规律的杰作,对战争系统的各个层次、各个方面以及它们的内在联系都进行了全面分析和论述,从而在整体上构成了对战争规律性的认识。据说现在日本许多系统工程学者和管理学家,都热衷于研究《孙子兵法》,把其思想用于现代管理之中。他们认为,《孙子兵法》中关于运筹谋略、对抗策略的论述极其精辟,在 2000 多年后的今天仍然是适用的。

我国古代劳动人民很早就已经把系统思想运用于改造自然的社会实践中去。这方面的事例很多,如战国时期(公元前 250 年)秦国人李冰任蜀郡太守后,主持修建了驰名中外的四川都

江堰水利工程。该项工程包括三个主要部分:“鱼嘴”是岷江分洪工程,“飞沙堰”是分洪排沙工程,“宝瓶口”是引水工程,三个部分巧妙地结合成为一个工程整体。根据今天的试验,工程的排沙、引水、防洪等方面都做了精确的数量分析,使工程兼有防洪、灌溉、漂木、行舟等多种功能。由于在渠道上设置了水尺测量水位,合理控制了分水流量,不仅分导了汹涌流急的岷江而化害为利,还利用分洪工程有节制地灌溉了 14 个县的几百亩田地;工程不仅在施工时期有一套管理办法,还建立了维修保养制度,每年按规定淘沙修堤,使工程长久稳固,至今仍能充分发挥其效益。三大主体工程 and 120 个附属渠堰工程,形成了一个协调运转的工程总体,体现了非常完善的整体观念、优化方法和发展的系统思路,即使从现在的观点看,仍不愧为是世界上一项宏伟的水利建设工程。

所有这些都说明人类在知道系统工程之前,在社会实践中就已经进行辩证的系统思维了,并应用朴素的系统思想改造自然与社会。

朴素的系统思想,不仅体现在古代人类的实践中,而且在我国古代和古希腊的哲学思想中得到了反映。当时的一些朴素唯物主义思想家都从承认统一的物质本源出发,把自然界当做一个统一体,我国春秋末期思想家老子就强调自然界的统一性。古希腊卓越的唯物主义哲学家德谟克利特(公元前 467~370 年)从唯物主义立场出发阐述了系统的思想,他在物质构造的原子论基础上,认为世界是由原子和虚空组成的,原子组成万物,形成不同系统层次的世界,人也是一个小世界,宇宙中有无数世界,这些世界不断产生、发展和消灭。亚里士多德(公元前 384~322 年)的“四因”(目的因、动力因、形式因、质料因)的思想,以及关于事物的种属关系和关于范畴分类的思想等,可以说是古代朴素系统观念最有价值的遗产。他曾经说过:“一般说来,所有的方式显示全体并不是部分的总和。”他以房屋作例子,说明一所房屋并不等于它的砖瓦、木料等建筑材料的总和,并指出,“由此看来,很清楚,你可以有了各个部分,而还没有形成整体,所以各个部分单独在一起和整体并不是一回事”。以后人们把亚里士多德的这一思想概括成“整体大于部分的总和”。类似这种系统观,在几何学的奠基人欧几里得和天文学家托勒密的著作中也有具体表述。

2. 系统思想的成熟与发展

古代朴素唯物主义哲学思想包含了系统思想的萌芽,它虽然强调对自然界整体性、统一性的认识,但缺乏对整体各个细节的认识能力,因而对整体性和统一性的认识是不完全的。恩格斯在《自然辩证法》中指出:“在希腊人那里——正因为他们还没有进步到自然界的解剖、分析——自然界还被当做一个整体而从总的方面来观察。自然现象的总联系还没有在细节方面得到证明,这种联系对希腊人来说是直接的直观的结果。这里就存在着希腊哲学的缺陷,由于这些缺陷,它在以后就必须屈服于另一种观点。”对自然界这个统一体各个细节的认识,是近代自然科学的任务。

15 世纪下半叶,由于近代科学的兴起,力学、天文学、物理学、化学以及生物学等学科逐渐从混为一体的哲学中分离出来,获得了日益迅速的发展,产生了研究自然界的独特的分析方法(包括实验、解剖和观察),这样就把自然界的局部细节,从总的自然联系中抽出来而分门别类地加以研究。这种考察自然界的方法引进到哲学中,就形成了形而上学的思维方法。形而上学的出现是有历史根源的,是时代的需要,这是由于在深入的、细节的考察方面,它与古代哲学相比有一个显著的进步。但是也要看到,形而上学是撇开了总体的联系来考察事物和过程,正如恩格斯所指出的:“以这些障碍堵塞了自己从了解部分到了解整体,到洞察普遍联系的道

路。”

19 世纪上半叶,自然科学已取得了伟大的成就,特别是能量转化、细胞和进化论的发现,使人类对自然过程是相互联系的认识有了很大的提高。恩格斯指出:“由于这三大发现和自然科学的其他巨大进步,我们现在不仅能够指出自然界中各个领域内过程之间的联系,而且总的说来也能指出各个领域之间的联系了,这样,我们就能够依靠经验和自然科学本身所提供的事实,以近乎系统的形式描绘出一幅自然界联系的清晰图画。”这个时期的自然科学,为马克思主义哲学提供了丰富的素材,为唯物主义自然观奠定了更加巩固的基础。马克思、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就是系统思想,这是“一个伟大的基本思想,即认为世界不是一成不变的事物的集合体,而是过程的集合体。”恩格斯讲的“集合体”就是我们现在讲的“系统”及其特征,而他所强调的“过程”,就是指系统中各个组成部分的相互作用和整体的发展变化。因此,系统思想是辩证唯物主义的重要组成部分。当然,现代科学技术的发展对系统思想的方法和实践产生了重大影响,具体表现在:①现代科学技术的成就使得系统思想方法定量化,成为一套具有数学理论,能够定量处理系统各组成部分联系和关系的科学方法;②现代科学技术的成就和发展,为系统思想方法的实际运用提供了强有力的计算工具——电子计算机。

总之,系统思想在辩证唯物主义那里取得了哲学的表达形式,在运筹学和其他学科中取得定量的表达方式,并在系统工程应用中不断充实自己实践的内容,系统思想方法从一种哲学思维逐步形成为专门的科学——系统科学。

1.1.2 系统的定义及比较

系统一词最早出现于古希腊语中,原意是指事物中共性部分和每一事物应占据的位置,也就是部分组成的整体的意思。从中文字面看,“系”指关系、联系;“统”指有机统一,“系统”则指有机联系和统一。可是将系统作为一个重要的科学概念予以研究,则是由美籍奥地利理论生物学家冯·贝塔朗非(Ludwing Von Bertalanffy)于1937年第一次提出来的,他认为系统是“相互作用的诸要素的综合体”。

系统概念同任何其他认识范畴一样,描述的是一种理想的客体,而这一客体在形式上表现为诸要素的集合。我国系统科学界对系统通用的定义是:系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分(要素)结合而成的、具有特定功能的有机整体。

从上述系统的定义可以看出,系统必须具备三个条件:第一是系统必须由两个以上的要素(部分、元素)所组成,要素是构成系统的最基本单位,因而也是系统存在的基础和实际载体,系统离开了要素就不称其为系统;第二是要素与要素之间存在着一定的有机联系,从而在系统的内部和外部形成一定的结构或秩序,任一系统又是它所从属的一个更大系统的组成部分(要素),这样,系统整体与要素、要素与要素、整体与环境之间,存在着相互作用和相互联系的机制;第三是任何系统都有特定的功能,这是整体具有不同于各个组成要素的新功能,这种新功能是由系统内部的有机联系和结构所决定的。

任何事物都是系统与要素的对立统一体,系统与要素的对立统一是客观事物的本质属性和存在方式,它们相互依存、互为条件,在事物的运动和变化中,系统和要素总是相互伴随而产生、相互作用而变化,它们的相互作用有如下三方面。

1) 系统通过整体作用支配和控制要素

当系统处于平衡稳定条件时,系统通过其整体作用来控制 and 决定各个要素在系统中的地位、排列顺序、作用的性质和范围的大小,统率着各个要素的特性和功能,协调着各个要素之间的数量比例关系,等等。在系统整体中,每个要素以及要素之间的相互关系都由系统所决定。系统整体稳定,要素也稳定;当系统整体的特性和功能发生变化,要素以及要素之间的关系也随之产生变化。例如,一个企业管理组织系统的整体功能,决定和支配着作为要素的生产、销售、财务、人事、科技开发等各分系统的地位、作用和它们之间的关系。为使管理组织的整体效益最佳,就要求各分系统必须充分发挥各自的功能,就要对各分系统之间的关系进行控制与协调,并要求各分系统充分发挥各自的功能。

2) 要素通过相互作用决定系统的特性和功能

一般地说,要素对系统的作用有两种可能趋势。一种是如果要素的组成成分和数量具有一种协调、适应的比例关系,就能够维持系统的动态平衡和稳定,并促使系统走向组织化、有序化;一种是如果两者的比例发生变化,使要素相互之间出现不协调、不适应的比例关系,就会破坏系统的平衡和稳定,甚至使系统衰退、崩溃和消亡。

3) 系统和要素的概念是相对的

由于事物生成和发展的无限性,系统和要素的区别是相对的。由要素组成的系统,又是较高一级系统的组成部分,在这个更大系统中是一个要素,同时它本身又是较低一级组成要素的系统。例如,某企业(总厂)是以几个分厂的要素组成的系统,而此总厂又是更大系统企业集团的一个组成要素。正是由于系统和要素地位与性质关系的相互转化,构成了物质世界一级套一级的等级性。

1.1.3 系统的形态

系统是以不同的形态存在的,系统的形态与其所要解决的问题密切相关。根据生成的原因和反映的属性不同,系统可以进行各种各样的分类,其一般形态分述如下。

1. 自然系统和人造系统

自然系统是由自然物(矿物、植物、动物、海洋等)形成的系统,它的特点是自然形成的。自然系统一般表现为环境系统,如海洋系统、矿藏系统、植物系统、生态系统、原子核结构系统、大气系统等。了解自然系统的形成及其规律,是人造系统的基础。

人造系统是为了达到人类所需要的目的而由人类设计和建造的系统,如工程技术系统、经营管理系统、科学技术系统就是三种典型的人造系统。工程技术系统是由人们对自然物等进行加工,用人工方法建造出来的工具和机械装置等所构成的工程技术集合体;经营管理系统是人们通过规定的组织、制度、程序、手段等建立起来的经营与管理的统一体;科技系统是人们对自然现象和社会现象的科学认识,用人工方法研究出来的综合的科学体系和技术体系。

实际上,多数系统是自然系统与人造系统相结合的复合系统。因为许多系统是有人参加活动,由人们运用科学力量,认识、改造了的自然系统。如社会系统,看起来是一个人造系统,但是它的发生和发展是不以人们的意志为转移的,是有其内在规律的。从人类发展的需要看,其趋势是越来越多地发展和创造更新人造系统。随着科学技术的发展,已出现了越来越多的人造系统。但是大量人造系统的发展,也打破了自然系统的平衡,使自然环境(大气、生态、海洋)系统受到极大破坏,造成严重的公害以及各种可知和尚不可知的污染,甚至给人类的生活

和生存带来威胁和危机。因此,近年来系统工程已越来越注重从其与自然系统的关系中来研究、开发、建造人造系统。

2. 实体系统和概念系统

实体系统是以矿物、生物、能源、机械等实体组成的系统,就是说,它的组成要素是具有实体的物质。这种系统是以硬件为主体,以静态系统的形式来表现的,如人-机系统、机械系统、电力系统等。系统不仅具有实体部分,而且还必须有赖以形成的概念部分。

概念系统是由概念、原理、原则、方法、制度、程序等观念性的非物质实体所组成的系统,它是以软件为主体、依附于动态系统的形式来表现的,如科技体制、教育体系、法律系统、程序系统等。

在实践中,实际系统和概念系统通常是结合在一起的。如机械工程是实体系统,而用来制造某种机械所提供的方案、计划、程序就是概念系统。实体系统是概念系统的基础和服务对象,而概念系统是为实体系统提供指导和服务的,两者是不可分的。

3. 封闭系统和开放系统

封闭系统是指该系统与环境之间没有物质、能量和信息的交换,由系统的界限将环境系统与系统隔开,因而呈一种封闭状态。

一个封闭系统,由于它与环境之间不进行任何交流,故这个系统要能存在,首先是该系统内部的部件及其相互之间存在有某种均衡关系。当然,这种均衡关系的意义是随着不同系统的层次以及系统的内容而确定的,但对系统内部的这种均衡关系的认识,将是了解封闭系统的最基本的步骤。例如,有一静态结构系统如图 1-1 所示。

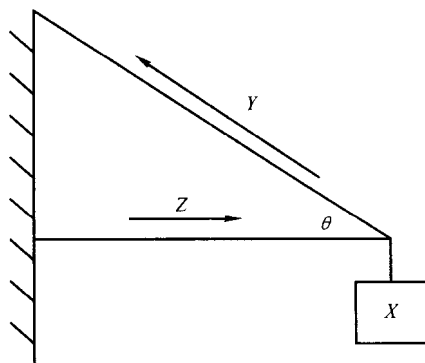


图 1-1 静态结构系统

该系统是一个静力学结构,属第一层次系统。

它包括三个部件:物体 X 及两个支撑轴 Y,Z。这三个部件的属性分别是:物体 X 受重力场的影响,具有重力 X,而重力 X 影响 Y 和 Z 所受的张力与压力。这是对该系统关系的描述。为了维持该系统的均衡关系,系统的三个部件属性间的关系必须满足以下方程组

$$\begin{cases} Y \cos \theta = Z \\ Y \sin \theta = X \end{cases}$$

由以上的说明可以知道,上述系统状况必须通过解释各部件间均衡的法则来准确描述,而法则的描述必须通过系统部件属性来表达。

再如,一物理单摆系统是属于第二层次的简单动态系统,这类系统在部件关系中加入了时间因素。该系统状态虽然会随时间变化,但还是存在着均衡关系。如图 1-2 所示,该系统的部件包括摆 L、摆锤 M、摆锤的位置及其位置的变化情况 θ ,这些部件的特定属性和彼此间的相互关系将影响系统的状态。如果要进一步确认这种关系,则应从系统的特征来解释,也就是设定系统的均衡关系。如果已知该系统是一个封闭系统,若从均衡的

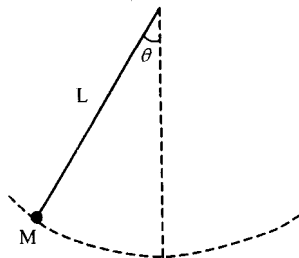


图 1-2 简单动态系统

观点来分析,该系统内部的能量应该保持为常数 C 。而依据物理学知识,该系统的动能为 $\frac{1}{2}mv^2$,其中 m 为摆锤的质量, v 为摆锤在该设定时间段内的速度。此时,该系统的位能为 $L(1 - \cos\theta)mg$,其中 L 为摆长, θ 为摆与垂线所成的角度, g 为重力加速度。那么,从上述的均衡观点出发,即可用方程式 $\frac{1}{2}mv^2 + L(1 - \cos\theta)mg = C$ 表示系统的均衡状态。

又如某些化学平衡方程反应。用一个密封的容器,把若干可以在一定条件下相互起化学变化的化学试剂放在一起,在给定的系列初始条件下,可预料到其中间的状态变化及其最终的系统均衡状态。

图 1-3 为温度自动调节系统。该系统属第三层次的反馈控制系统。这类系统的均衡状态是通过外生变量设定的。一旦外加条件设定均衡状态后,系统的行为状态即以此均衡状态为参考点进行活动。由于此均衡状态是外加设定的,因而这类系统必须存在一种解释系统状态的功能,该功能就是反馈作用。通过反馈作用,系统的行为才能向外加条件所规定的均衡状态调整。在图 1-3 中, R 为房间, B 为冷暖气机, S 为室温感

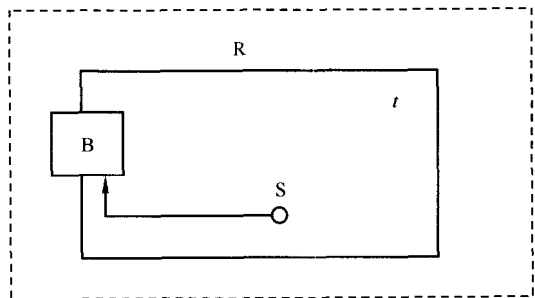


图 1-3 反馈控制系统

觉器。如果设定室温要保持某一温度 t ,那么 S 可将室温的信号反馈给 B ,使 B 进行打开或关上等动作,使房间 R 的温度(系统状态)能达到设定的均衡点。

综上所述,封闭系统都是以系统的均衡观念为基本点的。

开放系统是指系统与环境之间具有物质、能量与信息交换的系统,例如生态系统、工厂生产系统以及商业系统等。这些系统通过系统部件的不断调整来适应环境变化,以使其在某个阶段保持稳定状态。开放系统往往具有自调节和自适应功能。

要分辨某个系统是封闭系统还是开放系统,并不是很容易的事。很多人造系统同时具有开放系统和封闭系统的特征,分辨它需要根据所选择的参考系决定。由于开放系统与环境有密切的关联,而环境因素的变化在事先又难以掌握,所以,在研究开放系统时,除要了解系统本身的特征(状态)外,还必须了解环境的特性,了解环境因素对系统的影响方式及影响程度。环境对系统影响的方式大致可以归纳为以下 9 类。

1) 可预知的平稳环境

这是指环境 with 系统交流的主要因素,是一种固定水准,同时这种水准是可以事先得知的,例如静力系统所受到的地心引力这种环境因素,此种平稳的状况可用图 1-4 所示的线条表现。如果系统与环境交流的因素只具有这种特性,在具体分析时,则这种环境下的系统也可视为封闭系统考虑。

2) 可预知的动态环境

这类环境 with 系统交流的主要因素的水准虽然不定,但它的变化在考察时间段内是可以预知的,如呈周期性的变化或一种特定的时间函数形态等,如图 1-5 所示。例如,星球活动时彼此引力的变动、控制系统的输入信号等。系统处在这类环境中,分析时也可以视为封闭系统来对待。

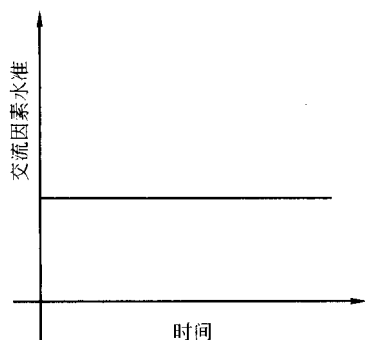


图 1-4 可预知的平稳环境

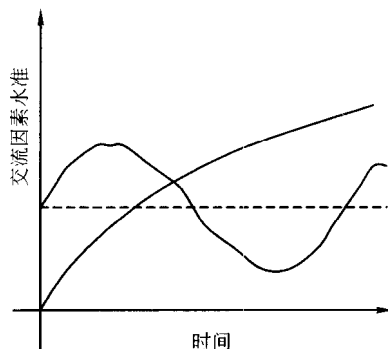


图 1-5 可预知的动态环境

3) 随机的平稳环境

在此类环境中,环境影响系统因素的变化呈一种随机形态。虽说这些因素不可预知,但这些因素变化的概率分布特性可以用概率论描述。例如,统计实验系统的实验结果往往受不可控制因素的影响。在这种环境下的系统,有时也可以用封闭系统的观点来处理,因为这种随机因素可以用随机分布的期望值分析和计算,如图 1-6 所示。

4) 有限不确定性的平稳环境

在此种环境下,影响系统环境因素的变化无法用概率分布的特性来描述,而且事先难以把握会出现哪一类的因素水准。但是,它的变化幅度是有特定范围的,即环境因素对系统的影响水准只能是特定范围内的某些水准之一。例如,企业未来所面临的经济环境,可能会有优、佳、可、劣等数个水准,但届时哪一个水准出现,事先就很难肯定,如图 1-7 所示。

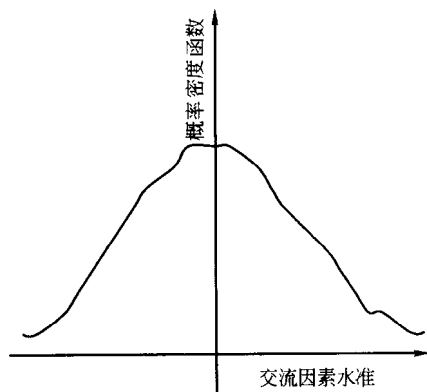


图 1-6 随机的平稳环境

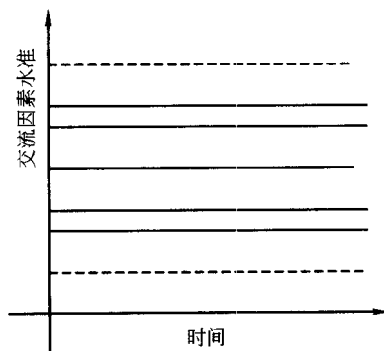


图 1-7 有限不确定性的平稳环境

5) 有限不确定性的动态环境

与有限不确定性的平稳环境的区别,在于此种不确定因素的影响水准是随时间的不同而变化的,不一定保持同样的水准。例如,气候对植物系统的影响、企业面对未来不定的市场订货等,如图 1-8 所示。在此种环境条件下,系统应具有反馈或适应环境变化的特性,这是系统有效存在于这种环境的必要功能。

6) 不安定的动态环境

此类环境使系统处于一种不安定的状态,但环境的变化往往是按照某个特定方向持续变

化的,如图 1-9 所示。这时,系统为了适应环境而必须做出某种有目的的行为反应,如游牧民族的随水、草而迁移的移动规律,这是系统生存在此类环境的必要条件。

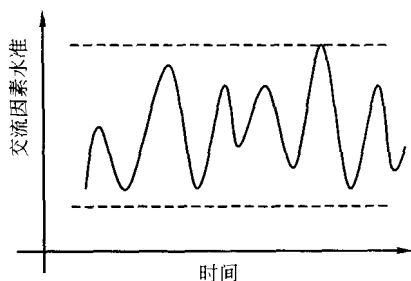


图 1-8 有限不确定性的动态环境

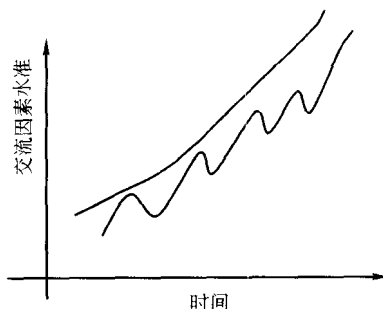


图 1-9 不安定的动态环境

7) 突变的动态环境

有时因无法预知的原因,会出现环境突然发生巨大变化的情况。例如 20 世纪 70 年代和 80 年代初的石油危机。在短期内石油价格猛涨,使一部分石油输入国家,尤其是大量耗用石油能源的国家面临困境。在此突变的环境下,系统要具有自身调整及改变结构的功能,才能有效地在这种环境中生存。突变的动态环境如图 1-10 所示。

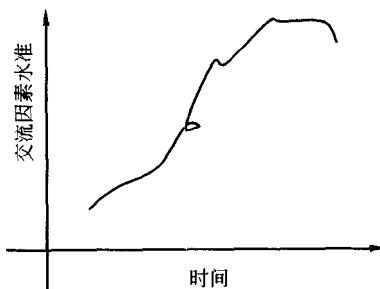


图 1-10 突变的动态环境

8) 竞争的动态环境

上述多种环境的变化一般都不会因系统内部的反应行为而使环境发生变化,故可以说是一种无敌意的环境;而竞争的环境是一种有敌意的环境,即系统的行为会引起环境对系统的反应,这种环境反应行为的目的是要削弱系统行为的效果,例如多个同行企业系统的竞争,这时企业系统所处的环境即是所谓的竞争环境。要在此竞争环境中生存,系统必须具有了解环境变化的功能,即具有某种程度智慧活动的功能。

9) 组合环境

在实践中,一个系统与环境交流的因素是上述八种基本环境因素变动形态中的某几种的组合。例如,20 世纪 70 年代的石油危机,对一个国家来说,可能是突变的环境,但对国内的企业而言,可能是突变与竞争环境的组合。因为这些企业不但要面临突变的环境因素,而且在调整企业结构的过程中,同时还要面临与其他同行企业的竞争。因此,组合环境也可归纳为基本形态之一。

在了解以上不同环境的特征后可以发现,当一个开放系统存在于某一种环境之中时,该系统必须具有某些特定的功能,才能具备继续生存的必要条件。

现实世界中的系统,尤其是社会系统,往往是一个复杂的开放系统,可以用以下两种方式简化了解它。一种方式为局部地解释这类系统;另一种方式为提高这些系统各部件的抽象程度,使它成为一种封闭形态的系统,而从整体上加以了解。

4. 静态系统和动态系统

静态系统是其固有状态参数不随时间改变的系,它没有既定的相对输入和输出,其在系