

x i t o n g g o n g c h e n g

系统工程

黄永平 陆朝荣 编著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

系统工程

黄永平 陆朝荣 编著

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

系统工程/黄永平,陆朝荣编著. —徐州:中国矿业·
大学出版社,2002.2

ISBN 7 - 81070 - 489 -3

I. 系… II. ①黄…②陆… III. 系统工程
IV. N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 005558 号

书 名 系统工程

著 者 黄永平 陆朝荣

责任编辑 姜志方

责任校对 杜锦芝

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 江苏徐州新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 14.5 字数 350 千字

版次印次 2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

印 数 1~1050 册

定 价 19.50 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

系统工程是在当代科学技术高度发展的基础上,为有效解决各种错综复杂的系统性问题而迅速形成的一门综合性组织管理技术。实践表明,系统工程在各种系统的开发、建设及管理中,已经发挥并将继续发挥它的重要作用,因此,作为高等学校管理专业的学生,需要具备系统工程的有关知识。

为满足空军后勤学院管理工程本科专业教学的需要,我们编写了本教材。本书是在使用了近四年的内部印刷教材《系统工程》基础上改写而成的。这次修订在保持原书体系和风格的基础上,对有关章节进行了较大的压缩,删除了一些内容不是很成熟、针对性不强的部分,完善和补充了必要的相关内容,增加了一些军事后勤管理的实例,增强了教材的针对性和系统性,使之更适应了教学的需要。全书共分九章:系统、系统工程、系统分析、系统模型、系统预测、系统优化、系统综合评价、系统可靠性和系统决策。讲课学时约为 50 学时。全书由黄永平主编,陆朝荣参与编写了部分章节,裴永林审阅了全书。

本书是作者在多年教学实践的基础上,参阅了大量的有关书籍、文献,并汲取了国内外有关系统工程的研究成果编写而成的。本书可供高等学校管理工程专业本科生和研究生使用,也可作为各级管理干部的参考书。

由于系统工程涉及的知识面很宽,限于编者水平,加之时间仓促,书中所述内容不妥之处在所难免,希望专家、学者和广大读者提出宝贵意见。

编者

2002 年 1 月

目 录

第 1 章 系统	(1)
1.1 系统的概念	(1)
1.2 系统的特征	(7)
1.3 系统的结构、功能和生命周期	(9)
第 2 章 系统工程	(15)
2.1 系统工程概述	(15)
2.2 系统工程方法论	(26)
第 3 章 系统分析	(39)
3.1 系统分析的基本概念	(39)
3.2 技术与费用、效果分析	(46)
3.3 可行性分析	(51)
第 4 章 系统模型	(57)
4.1 系统模型概述	(57)
4.2 系统仿真及模型	(63)
4.3 模糊模型及应用	(74)
4.4 投入产出模型	(86)
第 5 章 系统预测	(95)
5.1 系统预测概述	(95)
5.2 定性预测法	(101)
5.3 定量预测技术概论	(106)
5.4 回归分析预测法	(108)
5.5 时间序列预测法	(119)
5.6 灰色预测	(127)
第 6 章 系统优化	(137)
6.1 系统最优方案概述	(137)
6.2 系统优化的程序及方法	(140)
6.3 多目标系统优化	(147)
第 7 章 系统综合评价	(154)
7.1 系统评价概述	(154)
7.2 指标体系的建立	(167)
7.3 指标评分法	(171)
7.4 指标综合的加权平均法	(172)

第 8 章 系统可靠性	(177)
8.1 系统可靠性技术概述	(177)
8.2 系统可靠性的数量指标	(180)
8.3 系统可靠度模型与预测	(186)
8.4 系统可靠度分配与设计	(189)
8.5 可靠性管理	(193)
第 9 章 系统决策	(196)
9.1 系统决策概述	(196)
9.2 不确定型的决策	(202)
9.3 模糊型决策	(209)
9.4 多阶段决策	(215)
9.5 层次分析法	(220)
参考文献	(225)

第1章 系 统

1.1 系统的概念

系统这个术语,对于现代人来说并不陌生。人们在日常工作和生活中相当广泛地接触到“系统”这个词汇,如军事系统、后勤系统、油料系统、油料储存系统、油料调拨系统、政治思想系统、公共交通系统、机器中的传动系统等等。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着。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,根据事物中内在的、本质的、必然的联系,从整体的角度进行分析和研究,这类事物就被看作为一个系统。目前,系统的概念已得到广泛使用。

然而系统作为一个概念,既不是人类生来就有的,也不是像有些人讲的那样是 20 世纪 40 年代突然出现的,它的形成和发展与人类长期社会和生产实践紧密相连。由于受到早期科学技术的影响和传统分析研究方法的限制,系统这个概念一直没有受到应有的重视。直到 20 世纪 40 年代,美国开始在工程设计中应用“系统”这一概念,到了 50 年代以后才使系统的概念逐步明确化、具体化,并在工程技术的研究和管理中得到广泛的应用。

1.1.1 系统思想

1.1.1.1 古代朴素的系统思想

系统的概念来源于人类的长期社会实践。人类很早就已经有了系统思想的萌芽,这主要表现在对整体、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国家,在古代大量名著中可以找到很多有关系统的朴素思想。古代农事、军事、工程、医药、天文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农牧业,很早就关心气象的变化,把宇宙作为一个整体系统,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。如《管子》的《地员》篇、《诗经》的农事诗《七月》等,对农作物与种子、地形、土壤、水分、肥料、季节、气候诸因素的相互联系,以及怎样恰当地利用这些因素达到农业生产的目的,作出了体现系统思想的叙述。

从周秦至汉初成书的古代医学经典《黄帝内经》以及其后的古代医学名著中,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、相互制约所组成的有秩序、有组织整体。《黄帝内经》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。

公元前 5 世纪春秋末期,著名军事家孙武所著《孙子兵法》一书中阐述了不少朴素的系统思想,他从道、天、地、将、法五个方面对战争进行系统分析。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,有道之本,得到人民的支持,这是胜利之本。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、赏罚是否分明,粮道是否畅通等则是主观条件。《孙子兵法》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的认识,很生动地表现出以系统思想研究战争的特色,是一部揭示战争规律的杰作。现在国外许多系统工程学者和管理学家,都十分推崇《孙子兵法》的思想,并将它应用于现代管理之中。

我国古代劳动人民运用系统思想改造自然的社会实践中的成功事例很多,下面简述两例。

公元前 250 年的战国时期,李冰父子带领四川人民修筑闻名于世的都江堰。该项工程包括“鱼嘴”岷江分水工程、“飞沙堰”分洪排沙工程、“宝瓶口”引水灌溉工程的三大主体工程 and 120 多个附属渠堰工程。三个主体工程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、防洪等方面都作了精确的数量分析,使工程兼有防洪、浇灌、漂木、行舟等多种功能。由于在渠道上设置了水尺测量水位,合理控制分水流量,使工程不仅分流了汹涌流急的岷江水而化害为利,还利用分洪工程浇灌了 14 个县的几百万亩田地。该工程不仅在施工时期建立了一套施工管理办法,还在工程建成后建立了一套维修保养制度,每年按规定淘沙修堤,使工程至今仍能充分发挥效益。都江堰工程形成一个协调运转的工程总体,体现了非常完美的整体观念、优化方法和发展变化的系统思想,即使从今天的观点来看,仍不失为世界上一项宏伟的水利建设工程。

宋真宗祥符年间,皇城失火,宫殿被全部烧光,皇帝命一个名叫丁谓的大臣全权负责皇宫的修复工程。这项工程的清理废墟、挖土烧砖、运输建筑材料等工作都很繁重。丁谓采用了一种优化施工方案:在皇宫前的大街上,挖沟取土烧砖,从而就近解决部分建筑材料问题;再放水入沟,形成航道,用船运输沙、石、木材等,这是当时最经济有效的运输方式;竣工后再将废砖碎瓦回填,修复大街,解决了废墟清理问题。这种一举三得的施工方案,是一种有效的全局优化的系统工程方法的应用。

国外在生产及其他社会活动中具有朴素系统思想的例子也很多,如巴比伦人很久以前就开始运用整体的思想观念来观察宇宙,他们把宇宙描述成一个分层次、有结构的整体。

朴素的系统思想,不仅表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也得到了反映。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,把自然界当作一个统一体。

古希腊哲学家亚里斯多德的“四因”(目的因、动力因、形式因、质料因)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思想中最有价值的遗产。他曾深刻地揭示:“一般说来,所有的方式显示全体都并不是部分的总和。”他以房屋作例子,说明一所房子并不等于它的砖瓦、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”,也就是说“整体大于部分之和”,这是系统问题的一种基本表述,至今仍然正确。用数学符号表示为:

$$1 + 1 > 2$$

类似的系统思想在几何学的奠基人欧几里德和天文学家托勒密的著作中也有具体描述。

1.1.1.2 系统思想的成熟和发展

古代朴素唯物主义哲学思想包含了系统思想的萌芽,它强调对自然界整体性、统一性的认识,但由于科学技术发展水平的限制,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。对自然界这个统一体各个细节的认识,则是近代社会科学和自然科学所发展起来的。

15 世纪下半叶,近代自然科学开始兴起。天文学、力学、物理学、化学、生物学等,相继从混为一体的哲学中分离出来,迅速获得发展而产生了研究自然界的独特的分析方法。这些方法包括实验、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,开始了对自然统一体各个细节的认识。

天文学中作为近代自然科学起点的哥白尼的日心说,体现了人们对日常接触最密切的一个自然系统——太阳系的认识深化,这为后来对太阳系的全面认识提供了知识基础。

牛顿力学是以经验归纳方法建立起自己的自然哲学体系的。牛顿认为,自然哲学的目的就在于发现自然界的结构和作用,并尽可能把它们归结在一个统一的科学体系之中。牛顿力学对于后来物理学达到系统水平上的认识提供了基础。

同时产生并发展起来的微积分以及其他数学工具,直到现在,在系统理论中仍是不可缺少的工具,而且这些数学工具为后来的数学发展提供了前提,以至产生了当代的种种数学体系,这为现代系统理论的产生作了知识准备。

17 世纪上半叶以来,自然科学取得了巨大成就,使得人类对客观事物的整体性质和对自然过程中相互联系的认识有了新的发展。17 世纪的自然科学,正如恩格斯所说:“本质上是整理材料的科学,关于过程、关于这些事物的发生和发展以及关于把这些自然过程结合为一个伟大整体的联系的科学。”到了 19 世纪,自然科学的巨大进步,特别是能量转化、细胞和进化论的发现,这使人类对自然过程的相互联系的认识有了重大突破,这样“我们能够依靠经验自然科学本身提供的事实,以近乎系统的形式描绘出一幅自然界联系的清晰画面”。

19 世纪自然科学和近代工业的发展,为马克思主义哲学提供了丰富的资料,为辩证唯物主义自然观建立了更加巩固的基础。马克思哲学认为,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。这种普遍联系及其整体性思想,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”。这里“集合体”就是现在讲的“系统”及其特征,而“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。系统思想是辩证唯物主义的重要组成部分,它的出现改变了世界科学技术的发展图景和科学家的思维方式,使人们在改造自然和社会的进程中,逐步揭示出客观事物的本质联系和内部规律。以实践论为主要特征的马克思主义哲学,强调自然、社会、人的统一,成了以后以主客体相互塑造为中心的系统理论的哲学基础。

同时,由于科学技术的进步,人们对传统的分析研究方法提出了挑战。传统的分析方法往往把一个事物分解成许多独立的部分来分别进行研究,人们可以把问题分得很细,然后进行深入地研究。但是这样的研究方法往往容易把事物看成是孤立的、静止的,因而所得出的结论只能限制在一个局部的条件下,如果放到一个更大的范围来考虑,这个结论就可能是片面的,甚至是错误的。因此,人们逐渐认识到,应当把事物当作一个整体来研究,把研究的对象看作一个系统,从整体出发来研究系统内部各组成部分之间的有机联系以及系统与外部环境的相互关系。在主体论、认识论、实践论的统一中总结系统观念、系统思想,形成了系统理论。

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,其具体表现在:

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

系统一词来自古希腊语,有“共同”和“给以位置”的含义,也就是部分组成整体的意思。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。1937年美籍奥地利理论生物学家冯·贝塔朗菲第一次提出将系统作为一个重要的科学概念予以研究。目前,系统的定义依照学科、使用方法和解决问题的不同而有所不同,国外关于系统的定义已不下40多个。我国系统科学界对系统的定义为:

系统是由若干个可以相互区别、相互联系而又相互作用的要素,在给定的环境约束下,为达到特定功能,以一定结构形式而存在的有机集合体。而这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。

由于系统概念是逐步形成的,至今对系统的认识也还没有结束,系统的概念还在发展,因此对系统概念的理解应持发展的观点。对系统概念的理解必须从以下几方面去考虑:

① 系统必须由两个或两个以上的要素(部分、元素)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,系统离开了要素就不成其为系统。构成系统的要素随系统的不同而不同,要素数目的多少是由系统的复杂程度所决定的。

② 系统是按一定方式结合的有机整体。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。例如钟表是由齿轮、发条、指针装配而成的,但随便把一堆齿轮、发条、指针放在一起不能构成钟表,必须按一定的结合关系装配起来才行。

③ 任何系统都有特定的功能,是整体具有且不同于各个组成要素的新功能。这种新功能是由系统内部有机联系的要素、以及系统以整体方式和系统环境之间相互作用所决定的。我国古代谚语“三个臭皮匠,顶上一个诸葛亮”,说的是几个普通人组织起来集思广益的集体智慧是惊人的。但俗话说:“一个和尚挑水吃,两个和尚抬水吃,三个和尚没水吃”,为什么同样是三个普通人,会有如此大的差别呢?这里的关键就是系统如何来组织,以满足特定的系统功能。

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 and 变化中,系统和要素总是相互伴随而产生,相互作用而变化。系统和要素的相互作用是:

1.1.2.1 系统通过整体作用来支配和控制要素

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。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。当系统的功能和特性发生变化,要素以及要素之间的关系也随着产生变化。如政府机构改革,政府管理功能变化,随之要求政府机构设置等诸要素产生变化。

1.1.2.2 要素通过相互作用决定系统的特性和功能

系统中每一个要素的性质或行为将影响到整个系统的性质或行为,例如在人体系统中每一个器官的性质或行为将会影响人体这个整体的性质或行为,人们通常所说的十指连心就是如此。但每一个要素的性质或行为,以及它影响整体的途径依赖于其他一个或几个要素的性质或行为。因此,没有一个要素是独立地影响整体的,同时系统不能分解成独立的要素,一个系统也不能分解成独立的子系统。例如,人体内的所有子系统,像神经系统、呼吸系统、消化系统等是相互影响的,并且每一个子系统都非独立地影响系统的性能。因此,任何一个子系统都不可能脱离人体而成为一个独立的系统。

一般来说,要素对系统的作用有两种可能趋势:一种是如果系统的各组成要素具有一种协调、适应的比例关系,就能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;另一种是要素相互之间出现不协调、不适应的比例关系,这就会破坏系统的平衡和稳定,甚至使系统衰退和死亡。

1.1.2.3 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,系统与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,它在这个更大系统中的地位是一个要素,而同时它本身又是较低一级要素的系统。如军队油料系统是军队后勤系统的一个要素,但军队油料系统又是包含油品、油料保障人员、油料保障设备等诸要素在内的一个系统。

1.1.3 系统的分类

系统可以以不同的形态而存在着,因此根据系统性质,对系统有多种分类方法。

1.1.3.1 自然系统和人造系统

根据系统的自然属性,可分为自然系统和人造系统。

自然系统指由自然物自然形成的系统,如天体系统、海洋系统、生物系统、矿藏系统等。自然系统的行为只有“自为目的”。

人造系统是指为达到人类所需要的某种目的,由人类设计和建造起来的系统,如生产系统、交通系统、管理系统等。人造系统一般可归纳为三种类型:一是由人将零部件装配成工具、仪器、设备,以及由它们所组成的工程系统;二是由一定的制度、组织、程序、手段等所组成的管理系统和社会系统;三是根据人对自然现象和社会现象的科学认识而建立起来的科学体系和技术体系。

在现实生活中,大多数系统是自然系统和人造系统相结合的复合系统。如一个工厂,它既有天然的原料和燃料,又有人造的机器和人为的一套管理制度,它是属于“人—机”和“自然—社会”的复合系统。

虽然人造系统是人为达到某种目的而构造的系统,但这种系统必须遵循自然规律,以自然系统为基础。目前,一些人造系统打破了自然系统的平衡,使自然系统(大气、生态、海洋)受到极大破坏,给人类的生活和生存带来威胁和危机。

1.1.3.2 实体系统和概念系统

根据系统的物质属性,可分为实体系统和概念系统。

实体系统是以自然物、人造物和人等实物要素构成的系统。如一座电站、一架飞机都可视为实体系统。

概念系统是指由概念、原理、原则、方法、制度、程序等观念性的非物质实体所构成的系统,如学科体系、法律条文、管理制度等均属概念系统。

在实际生活中,实体系统和概念系统在多数情况下是结合的,概念系统为实体系统提供服务和指导,而实体系统是概念系统的服务对象。例如,计算机管理系统中的计算机是实体系统,管理的程序、方法等组成概念系统。

1.1.3.3 动态系统和静态系统

根据物体的运动属性,可分为动态系统和静态系统。

动态系统是指系统的状态随着时间的变化而变化,即系统中的状态变量是时间的函数。如各种生产系统、生物系统都是动态系统。静态系统则是系统的状态不含有时间因素。从哲学的角度来说,任何系统都是动态的,静态系统只是动态系统的一种暂时的极限状态,绝对稳定、静止不动的系统是不存在的。

1.1.3.4 开放系统和封闭系统

根据系统与环境之间的关联程度,可分为开放系统和封闭系统。

开放系统是指不断同外界环境进行物质、能量和信息交换的系统,如一座城市、一座工厂等都是开放系统。封闭系统则正好与此相反。从系统思想的观点来看,几乎一切系统都是开放系统,即使过去物理学、机械学、热力学系统中占主导地位的所谓孤立系统(即封闭系统),也可视为开放系统的一种极端的特例(与外界的物质、能量和信息的交换都等于零)。开放系统的一个最大特征,就是它在同环境进行物质、能量和信息的交换中,能保持组织的有序性和自组织性。如最简单的生命系统,就是靠吸收养料和排泄废物等活动来维持有机体的延续和发展的。

1.1.3.5 简单系统和复杂系统

根据系统大小规模和复杂程度,可分为简单系统和复杂系统,还可细分为简单系统、大系统、巨系统、复杂巨系统。

简单系统处理起来可能比较容易,有些可用单一学科的知识就可以解决,但对大系统或更复杂的系统来说,一般都要综合多门学科的知识才能解决,这是必须予以高度重视的。

1.1.3.6 控制系统和因果系统

根据系统是否可以控制,可将系统分为控制系统和因果系统。

控制是为了达到某个目的给对象系统所加的必要动作,使被控制对象符合规定的目的。因此,为了进行控制而构成的系统叫做控制系统。当控制系统由控制装置自动进行时谓之自动控制系统。

因果系统是输出完全决定于输入的系统。因果系统必须是一个开放系统。因果系统的内容是由单一因素决定的,其状态与结果具有一致性。这类系统一般为测试系统,如信号系统、记录系统、测量系统等。

1.1.3.7 对象系统和行为系统

对象系统是按照具体研究对象进行区分而产生的系统。如企业的经营计划系统、生产系统、库存系统等。

行为系统是以完成目的的行为作为构成要素而形成的系统。所谓行为就是为了达到某一确定的目的而执行某特定功能的一种作用。这种作用能对外部环境产生某些效用。行为系统的区别并不以系统的组成部分及其相互联系作为标准,而是根据行为特征的内容加以区别的。也就是说,尽管有些系统组成部分及其有关内容是相同的,但如果其执行特定功能的作用不同,那它们就不能是同类的系统。行为系统一般需要通过组织体系来体现,如社会

系统、经济系统、管理系统等。

依据系统的其他特征还可以划分为线性系统和非线性系统、确定系统和随机系统、连续系统和离散系统；按照专业特点还可分为工程系统、经济系统、军事系统、管理系统等等。

本书所涉及的系统主要是研究人造的大系统。

1.2 系统的特征

在系统概念和系统形态的基础上，可概括出系统的特征。明确系统的特征，是我们认识系统、研究系统、掌握系统思想的关键。一般说来，系统有七大特征。

1.2.1 目的性

“目的”是指人们在行动中所要达到的结果和意愿。系统的目的是人们根据实践的需要而确定的。人造系统都具有目的性，而且往往不止一个目的，如军队油料保障系统的目的性就是随时、随地、保质、保量、快速、经济地对军队供应油料。一个人造系统若无明确的目的，这个系统就不应该存在。

系统的目的决定着系统的基本功能和作用。系统的功能一般是通过同时或顺次完成一系列任务来达到。这些任务完成的结果就达到系统中间的或最终的目的。

由于复杂系统具有多目的，当组织规划这个错综复杂的大系统时，这时系统总目的又划分为若干分目的。用数学式子表达为：

$$G = \{g_i | g_i \in G, i = 1, 2, \dots, p\}$$

式中 G ——系统的总目的；

g_i ——系统的分目的。

当系统的总目的和分目的达到具体化时，我们得到系统的目的树，如图 1-2-1。

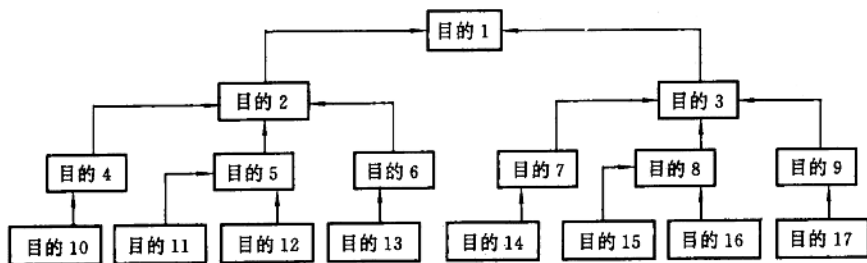


图 1-2-1

从图 1-2-1 中可看出，要达到目的 1，必须完成目的 2 和目的 3；要达到目的 2，必须完成目的 4、目的 5 和目的 6；以此类推。这可明显地看出在一个复杂系统内所包括的各项目的，即从目的 1 到目的 17，层次分明，次序明确，相互影响，而又相互制约。通过图解可对目的树的各个项目的目的进行分析、探讨和磋商，统一规划和协调。

系统分目的集必须保证系统总目的的实现，但是分目的之间可能是矛盾的。如果出现相互矛盾的分目的，要采用某种形式的折衷，即在矛盾的分目的之间寻求平衡。

1.2.2 集合性

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组成。要素可以是实体的,如人、设备、仪器等等,也可以是非实体的,如文件、计划、程序等等。

系统的集合性用数学式可表达为:

$$X = \{x_i | x_i \in X, i = 1, 2, \dots, n, n \geq 2\}$$

式中 X ——系统的集合;

x_i ——系统集合的组成要素或组成单元。

1.2.3 相关性

系统的组成要素是相互作用,相互依存又相互制约的。集合性确定系统的组成要素,相关性则说明这些要素之间全部关系的总和,这种相关性是实现系统目的所必需的。

系统的性能不仅仅同组成它的要素的性质有关,而且与它们之间的关联形式有关。如一个企业中的机构和人员,若相互关系处理得当,同心协力,企业则经济效益好;若相互关系处理不适当,则互相扯皮,影响生产,经济效益差。

系统的相关性特征具有重要的指导意义:

① 在实际工作中,当我们要想改变某些不合理要素时,必须注意考察与之相关要素的影响,使这些相关要素得以相应的变化。通过各要素发展变化的同步性,使各要素之间相互协调与匹配,从而增强协同效应以提高系统的整体功能。

② 系统内部诸要素之间的相关性不是静态的,而是动态的。要素之间的相关作用是随时间变化的,因此必须把系统视为动态系统,在动态中认识和把握系统的整体性,在动态中协调要素与要素、要素与整体的关系。

③ 系统的组成要素,既包括系统层次间的纵向相关,也包括各组成要素的横向相关。协调好各要素的纵向层次关系和要素之间的横向关系,才能实现系统的整体功能最优。

1.2.4 层次性

层次性又称等级性或阶层性。系统作为一个相互关联要素的总体,有着一定层次结构并分解为一系列的分系统。某个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。如以军队一个师为研究对象,从层次性来看其下有团、营、连、排、班等层次,而师则从属于军。

1.2.5 整体性

整体性是从协调的侧面说明上述四个特征的,即具有独立功能的系统要素以及要素间的相互关系和在阶层性上的分布,只能逻辑地统一和协调于系统的整体之中。这表明,任何一个要素不能脱离整体去研究,要素间的联系和作用以及层次分布也不能离开整体的协调去考虑。脱离了整体性,要素的功能和要素间的作用以及阶层分布便失去了意义。

系统的整体性应保证在给定的目的下,使系统的要素、要素的关系以及其阶层结构的整体结合效果为最大。

系统的整体性要求:

① 不应从系统的单独部分得出有关整体的结论。局部最优(个别优势)不等于整体最优。

② 分系统的目的必须纳入系统的整体目的,否则将导致力量分散,影响整体目的。

③ 系统的各项局部指标和标准必须具有整体性。

系统的整体性特征的主要作用是:

① 依据确定的目的,从整体出发把要素组成为一个有机的系统,协调并统一诸要素的

功能,使系统功能产生放大效应,发挥出系统的整体优化功能。

② 把不断提高要素的功能作为改善系统整体功能的基础。一般是从提高组成要素的基本素质入手,按照系统整体目的的要求,不断提高各个部门特别是关键部门或薄弱部门的功能素质,并强调局部服从整体,从而实现系统的最佳整体功能。

③ 改善和提高系统的整体功能,不仅要注重发挥各个组成要素的功能,更重要的是要调整要素的组成形式,建立合理结构,促使系统整体功能优化。

1.2.6 环境适应性

环境是指存在于系统以外的事物(物质、能量、信息)的总称,也可以说系统的所有外部事物就是环境。因此,任何系统都时刻存在于一定的环境(即更大的系统)之中,环境是一种更高级的、复杂的系统。

环境的变化对系统有很大的影响,系统与环境是相互依存的,系统与外部环境之间必然产生物质的、能量的和信息的交换。没有这种正常的交换,系统便不能生存,因此,系统必须适应外部环境变化,才能够获取生存和发展能力。经常与外部环境保持最佳适应状态的系统,才是理想的系统,不能适应环境变化的系统是难以生存的。任何系统都必须适应环境,这是一条不以人们意志为转移的客观规律,这就是所谓系统的环境适应性。

系统所处的环境,是系统的限制条件或者称为约束条件。环境对系统的作用表现为对系统的输入。系统在特定的环境下对输入进行工作,就产生了输出。把输入转换为输出,这就是系统的功能。

1.2.7 动态性

前面已阐述,绝对静止的系统是没有的。系统的动态性表现在两个方面:一个是在空间上,系统与环境之间的“流通”、“流动”;一个是在时间上,系统本身从孕育、产生、发展、衰退到消亡的变化过程。

当然,我们还可以列出系统的其他一些特征,诸如反馈性、再现性等等。

具有上述性质的整体,均称为系统。系统无所不在,无时不有。总之,世界上没有一种事物不属于一定的系统。系统乃是物质存在的普遍方式。

1.3 系统的结构、功能和生命周期

系统的结构与功能是系统科学的基本范畴,是系统不可分割的两个方面。系统的结构是系统保持整体性及具有一定功能的内在依据。系统科学就是从系统的结构与功能的观点出发去研究整个客观世界的科学。探讨系统结构与功能是理解系统的基本特性和系统方法应用的一个重要环节。

1.3.1 系统的结构

所谓结构,是指系统内部各组成要素之间的相互联系、相互作用的方式或秩序,即各要素在时间或空间上排列和组合的具体形式。结构是系统的普遍属性。没有无结构的系统,也没有离开系统的结构。无论是宏观世界还是微观世界,一切物质系统都无一例外地以一定结构形式存在着、运动着和变化着。目前“结构”一词已被广泛地应用到自然、社会和人的思维各领域中。属于自然界领域的,如宇宙结构、生态环境结构、人体结构等;属于社会领域的,如经济结构、产业结构、区域结构、组织结构、人才结构等;属于思维领域方面有逻辑结构、概念

结构等。结构所揭示的是系统要素内在的有机联系形式。而系统结构在整体上又有它的若干特点。

1.3.1.1 结构的稳定性

稳定性是系统存在的一个基本特点。系统之所以能够保持它的有序性,在于系统各要素之间有着稳定的联系。稳定是指系统整体状态能持续出现,可以静态稳定存在,也可以动态稳定存在。由于系统受到外界环境的干扰,有可能使系统偏离某一状态而产生不稳定,但一旦干扰消除,系统又可恢复原来状态,继续出现稳定。系统结构的稳定性,就是指系统总是趋向于保持某一状态。系统中各要素之间,只有在稳定的联系情况下,才构成系统的结构。在系统中各要素稳定联系又可分为平衡结构和非平衡结构。

凡是各构成要素之间的联系排列方式保持相对不变,这种系统结构称为平衡结构,这类系统结构各个要素有固定位置。例如晶体结构,其晶体的物性依晶体内部原子或分子的排列方向而异,它的结构稳定性非常明显,一旦晶体结构形成,其系统内部的分子和原子的相互作用就不会随时间而改变。

凡是系统的各组成要素对环境经常保持着一定的活动性,系统处于必须与环境不断进行物质、能量、信息交换才能保持有序性的系统结构,称为非平衡结构。这种结构,与平衡结构显然不同,不仅各要素之间的相对位置可以改变,而且组成要素总是处于活动形态中。这类结构存在着两种表现情况:一种情况是对有机程度高、结构严密的系统而言,该系统中各要素的结合虽然不能随便变动,但又保持着与环境经常进行物质和能量的交换,这就是结构的动态稳定。结构的动态稳定是非平衡系统能够自我保持稳定并对环境发挥作用的一个必要条件。例如生物体就属于这类非平衡结构。另一种情况,是对那些非严密结构系统而言的,非严密的非平衡结构系统,其组成要素及其位置总是处于变动中。例如销售系统,在一定时期内由于销售对象不断地变换,使销售活动出现很大的随机性。为了保持要素之间的有机联系,可以通过数理统计方法从整体上求出随机现象所呈现的规律,这种联系方式也是属于系统结构稳定性的一种形式。一般认为,社会系统、经济系统、交通运输系统等人造系统,都是属于动态稳定型的非平衡结构系统。

1.3.1.2 结构的层次性

系统结构的层次性包括等级性和多侧面性两重含义。等级性是指任何一个复杂系统,都可以从纵向上把它分为若干等级,即存在着不同等级的系统层次关系,其中低一级的系统结构是高一级系统结构的有机组成部分。在社会系统中,人们极其熟悉等级层次。在国家体制上,从全国到省、市、县、区、乡;在军队的组织上,从总部机关到大军区、军、师、团、营、连、排等。多侧面性则是指任何同一级的复杂系统,可以从横向上分为若干个互相联系而又各自独立的平行部分。如军队后勤保障系统又可分为油料保障系统、运输保障系统、军械保障系统、军需保障系统、财务保障系统等等。

研究和理解系统结构的层次性,有助于人们根据各类系统结构层次的特殊规律去进行科学预测和决策,以便进行合理的调整和系统管理。

1.3.1.3 结构的开放性

任何系统总存在于环境之中,总要与外界进行能量、物质、信息的交换,系统的结构在这种交换过程中总是由量变到质变,这就是系统结构的开放性。任何系统的结构在本质上是开放的,总处于不断变化过程中,这是系统与变化着的外部环境相互作用的必然趋势,只有坚

持系统结构开放性观点,才是分析事物的科学态度。

1.3.1.4 结构的相对性

客观世界是有限的,系统的结构形式也是无限的。在系统结构的无限层次中,高一级系统内部结构的要素,又包含着低一级系统的结构;复杂大系统内部结构中的要素,又是一个简单的结构系统。结构与要素是相对于系统的等级和层次而言的。所以,系统结构的层次性,决定了系统结构与要素的相对性。一般来说,高一级的结构层次对低一级结构层次有着较大的制约性,而低一级结构又是高一级结构的基础,它也反作用于高一级的结构层次,它们之间有着辩证的关系。

各种系统的具体结构是大不一样的,大系统的结构往往是很复杂的。但是从一般的意义上来说,系统的结构可以用以下式子表示:

$$S = \{\Omega, R\}$$

式中 S ——代表系统;

Ω ——表示要素的集合;

R ——表示要素之间的各种关系的集合。

作为一个系统,必须包括其要素的集合与要素之间关系的集合,两者缺一不可。两者结合起来,才能决定一个系统的具体结构。

1.3.2 系统的功能

系统的结构与功能是不可分割的一对范畴,理解系统的结构是理解系统功能的基础。与系统结构的概念相对应,把系统与外部环境相互作用所反映的能力称为系统的功能。当然,各种系统的特定功能是不一样的,但从一般意义上来说,系统功能体现了一个系统与外部环境之间的物质、能量和信息的输入与输出的转换关系,可以用如图 1-3-1 所示。

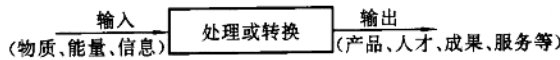


图 1-3-1

系统的输入是作为原材料的物质、能量与信息。系统的输出是经过处理(或转换、加工)的物质、能量与信息,例如产品、人才、成果、服务等等。所以,系统可以理解为一种处理或服务机构,它把输入转变成人们所需要的输出。从狭义上来说,处理或转换就是系统的功能。对于闭环系统,也把反馈作为系统的功能。

系统结构所说明的是系统内部状态和内部作用,而系统功能所说明的是系统的外部状态和外部作用。贝塔朗非曾解释:结构是“部分的秩序”,“内部描述本质上是‘结构’描述”。功能是“过程”的秩序,“外部描述是‘功能’描述”。功能是系统内部固有能力的表现,它归根到底是由系统的内部结构所决定的。系统功能的发挥,既要受环境变化制约,又要受系统内部结构制约和决定,这就体现了功能对于结构的相对独立性和绝对依赖性的双重关系。

系统功能具有两个特性:

① 易变性。系统功能与系统结构相比是更为活跃的因素。一个系统对外部条件发挥功能总要遵循一定的规律,表现为一定的秩序。随着环境条件的不同,将相应地引起系统功能的变化。一个系统的结构在一定阈值内总是稳定的,但功能则不同,当环境有所变动,此时系统与环境相互作用的过程、状态、效果都会随环境条件变化而变化。所以系统在发挥功能的