

系统工程系列教材

系统工程技术

薛惠锋 苏锦旗 编著
吴慧欣 邢书宝



国防工业出版社

National Defense Industry Press

系统工程系列教材

系统工程技术

薛惠锋 苏锦旗 吴慧欣 邢书宝 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书共 11 章。作为工科类和管理类应具备的必要知识和学习其他相应课程的重要基础,本书根据相关专业知识结构的需要,系统介绍了系统工程、系统工程技术基础、系统信息技术、系统分析设计技术、系统建模技术、系统仿真技术、系统预测技术、系统评价技术、系统决策技术、系统优化技术、综合集成技术等内容,重点放在系统基本思想方法及系统工程技术的阐述方面。

图书在版编目(CIP)数据

系统工程技术/薛惠锋等编著. —北京:国防工业出版社, 2007. 7

(系统工程系列教材)

ISBN 978-7-118-05055-4

I. 系... II. 薛... III. 系统工程—工程技术—教材 IV. N945.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 026674 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 22½ 字数 519 千字

2007 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

系统工程是多学科的高度综合,它的思想和方法来自各个行业与领域,又综合吸收了邻近学科的理论工具。系统工程在自然科学、社会科学、工程技术、生产实践、经济建设及现代化管理中有着重要意义。随着科学技术和社会经济建设的不断发展进步,系统工程得到迅速广泛的发展和应用。作为工科类和管理类应具备的必要知识和学习其他相应课程的重要基础,本书根据相关专业知识结构的需要,系统介绍了系统工程、系统工程技术基础、系统信息技术、系统分析设计技术、系统建模技术、系统仿真技术、系统预测技术、系统评价技术、系统优化技术、系统决策技术、系统集成技术等内容,重点放在系统基本思想方法以及系统工程技术的阐述方面,内容力求新颖、实用、跟上时代步伐。

系统工程自诞生以来,越来越显示出强大的生命力,它的发展对人类社会的变化和社会组织管理的变革都产生了重要影响。因此,系统工程绝非一般的组织、管理方法问题,它具有深刻的革命性和社会性,是会对科学技术产生变革的重要学科。因此,在工科类和管理类的相关专业中,系统工程课程的地位越来越重要,编写一本对这些专业有较好针对性的系统工程技术教材成为相关专业建设的迫切需求,针对这种情况,笔者编著了本教材。

本书在结构体系的安排上,力求克服以前重方法理论轻技术的问题,将系统工程技术放到最重要的地位来认识,在系统工程技术的各章节尽量做到内容新颖、先进实用。

本书的编写参考了国内外大量的相关资料文献,吸取了有关兄弟院校的宝贵经验,可以说,本教材的编写是集体智慧的结晶。在此对所有给予我们支持和帮助的朋友、同事、有关人员以及参考文献的作者一并表示衷心感谢。本书建立在读者具备一定的数学和信息技术的基础上,着重阐述系统工程基础技术、系统信息技术以及系统工程解决处理问题各个具体环节所用到的技术,尤其是加入了最新发展和应用的技术,力求全面新颖,同时能深入浅出,通俗易懂,适合于不同专业背景的读者。全书融入系统工程教学经验和科研成果,在编排上注意体现思路的完整性,同时也考虑到自学者的学习方便。

系统工程是一门博大精深的学问,对其内容的理解,仁者见仁,智者见智。这些年来,系统工程技术本身发生了很大的变化,尽管作者力求“与时俱进”,但也难免挂一漏万,书中的内容安排仅仅建立在作者有限认识基础之上,难免有不当或失误之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 系统工程	1
1.1 系统	1
1.1.1 系统的概念	1
1.1.2 系统的特征和分类	2
1.1.3 系统思想的发展	5
1.1.4 复杂适应系统	7
1.2 系统工程	9
1.2.1 系统工程概念	9
1.2.2 系统工程的发展与应用	11
1.2.3 系统工程的任务	13
1.3 系统工程技术	15
1.3.1 系统工程技术概述	15
1.3.2 系统工程技术发展历程	15
1.3.3 系统工程技术过程和特征	17
第 2 章 系统工程技术基础	21
2.1 计算机技术	22
2.1.1 大规模并行处理技术	22
2.1.2 分布式计算机	26
2.1.3 多媒体技术	30
2.1.4 数据库技术	35
2.1.5 面向对象技术	44
2.2 通信技术	49
2.2.1 光纤通信技术	49
2.2.2 卫星通信技术	50
2.2.3 移动通信技术	50
2.2.4 接入网	52
2.2.5 数据通信技术	53
2.3 计算机网络技术	55
2.3.1 计算机网络概述	55
2.3.2 计算机网络技术	58
2.3.3 计算机网络技术的应用	64

第3章 系统信息技术	68
3.1 数据仓库技术	68
3.1.1 数据仓库技术概要	68
3.1.2 数据仓库的结构	70
3.1.3 数据仓库主流支撑技术	71
3.1.4 数据仓库技术的应用	74
3.2 数据挖掘技术	75
3.2.1 数据挖掘概况	75
3.2.2 数据挖掘的内容和本质	76
3.2.3 数据挖掘工作原理	80
3.2.4 数据挖掘与知识发现	82
3.2.5 数据挖掘发展方向	82
3.3 联机分析处理	83
3.3.1 OLAP 发展背景	83
3.3.2 OLAP 概念和特征	84
3.3.3 OLAP 的应用	86
3.4 专家系统技术	88
3.4.1 专家系统的发展	88
3.4.2 专家系统概况	89
3.4.3 专家系统的构造及分类	90
3.4.4 专家系统的开发工具和计算机实现	93
3.5 人工智能技术	95
3.5.1 人工智能简介	95
3.5.2 人工智能发展历史	96
3.5.3 人工智能的研究内容 and 应用领域	97
3.5.4 对人工智能的展望	102
3.6 空间信息技术	103
3.6.1 GIS、GPS 和 RS 技术	104
3.6.2 GIS、GPS 和 RS 的集成	116
3.6.3 3S 技术应用	121
第4章 系统分析设计技术	123
4.1 系统分析	123
4.1.1 系统分析的任务	123
4.1.2 系统分析概念及一般步骤	124
4.2 系统设计	128
4.2.1 系统设计的概念	128
4.2.2 系统设计的过程	129

4.3	结构化系统分析与设计技术	130
4.3.1	结构化生命周期法概念	131
4.3.2	结构化生命周期法的特点	131
4.3.3	采用结构化生命周期法进行系统开发的过程	132
4.3.4	结构化生命周期法的局限性	134
4.4	面向对象系统分析设计	134
4.4.1	面向对象分析设计基础	135
4.4.2	基于 UML 的面向对象的系统分析设计方法	138
4.4.3	面向对象系统分析设计在图书管理系统中的应用	141
第 5 章	系统建模技术	145
5.1	系统模型	145
5.1.1	系统模型的概念	145
5.1.2	系统模型的分类	145
5.2	系统建模方法	148
5.2.1	建模的步骤	148
5.2.2	常用建模方法	148
5.2.3	信息集成及信息系统建模方法	153
5.3	连续系统的建模	159
5.3.1	连续系统的数学模型	159
5.3.2	常微分方程数值解法	161
5.3.3	连续系统的计算机仿真模型	161
5.4	离散系统模型	162
5.4.1	离散事件系统建模	163
5.4.2	Petri 网	164
5.4.3	排队系统	167
5.4.4	库存系统	172
5.5	可视化建模技术	175
5.5.1	可视化建模概念	175
5.5.2	可视化建模方法	177
5.5.3	可视化建模最佳实践	181
5.5.4	可视化建模工具——ROSE	181
第 6 章	系统仿真技术	183
6.1	系统仿真	183
6.1.1	系统仿真的概念	183
6.1.2	仿真研究的步骤	184
6.1.3	系统仿真技术的发展历史和趋势	185
6.1.4	系统仿真技术及其应用	187

6.2	连续系统仿真技术	188
6.2.1	连续系统仿真模型和仿真算法	188
6.2.2	连续系统仿真过程与机制	189
6.2.3	连续系统仿真算法的比较和选择	190
6.2.4	连续动态系统仿真程序	191
6.3	离散事件系统仿真技术	191
6.4	先进仿真技术	196
6.4.1	并行仿真	196
6.4.2	分布式交互仿真	200
6.4.3	虚拟现实技术	206
6.4.4	先进仿真技术在生产中的应用	216
第7章	系统预测技术	220
7.1	系统预测	220
7.1.1	预测概述	220
7.1.2	预测技术	222
7.2	定性预测技术	223
7.2.1	Delphi 法	223
7.2.2	主观概率法	224
7.2.3	领先指标法	224
7.3	定量预测技术	224
7.3.1	时间序列预测技术	224
7.3.2	因果关系预测技术	239
7.4	其他预测技术	242
7.4.1	灰色预测	242
7.4.2	模糊预测	243
7.4.3	基于混沌理论的分析预测	244
7.4.4	拟合预测	244
7.4.5	《易经》预测	244
第8章	系统评价技术	246
8.1	系统评价	246
8.1.1	系统评价的复杂性	246
8.1.2	系统评价与系统决策	247
8.1.3	系统评价应该遵循的原则	247
8.1.4	评价指标体系	248
8.2	评价指标的数量化方法	248
8.2.1	排队打分法	248
8.2.2	体操评分法	248

8.2.3	专家评分法	249
8.2.4	两两比较法	249
8.2.5	连环比率法	249
8.3	评价指标综合的主要方法	250
8.3.1	加权平均法	250
8.3.2	功率系数法	252
8.3.3	主次兼顾法	252
8.3.4	效益成本法	253
8.3.5	分层系列法	253
8.4	现代系统评价技术	254
8.4.1	模糊综合评价	254
8.4.2	专家系统评价技术	257
8.4.3	人机评价技术	260
8.4.4	网络信息挖掘系统评价技术	262
第 9 章	系统方案的优化选择	267
9.1	系统优化技术	267
9.1.1	系统优化概述	267
9.1.2	系统优化的基本原则	269
9.1.3	系统优化设计	272
9.1.4	系统优化技术在实际应用中的选择	274
9.2	系统优化算法	275
9.2.1	优化算法及其分类	275
9.2.2	启发式优化算法	277
第 10 章	系统决策技术	287
10.1	系统决策	287
10.1.1	系统决策的基本原理	287
10.1.2	决策系统	289
10.2	系统决策基本技术	291
10.2.1	不确定性决策技术	292
10.2.2	多目标决策技术	294
10.3	决策支持系统	297
10.3.1	决策支持系统	297
10.3.2	智能决策支持系统	306
10.3.3	辅助决策支持系统	310
10.3.4	综合决策支持系统	313
10.3.5	群决策	316
10.3.6	我国决策支持系统应用研究的进展	324

第 11 章 综合集成技术 327

11.1 综合集成的提出..... 327

11.1.1 复杂巨系统及方法论..... 327

11.1.2 系统综合与资源集成..... 332

11.1.3 综合集成是当代工程技术研究的突出特点..... 334

11.2 综合集成技术..... 337

11.2.1 ‘综合集成技术概要..... 337

11.2.2 研讨厅体系建立..... 340

11.3 综合集成的作用和发展趋势..... 344

11.3.1 综合集成方法的提出推动了系统工程的发展..... 344

11.3.2 综合集成是知识经济时代的技术基础..... 346

11.3.3 综合集成技术的发展趋势..... 347

附 西北工业大学资源与环境信息化工程研究所简介..... 349

第1章 系统工程

1.1 系 统

1.1.1 系统的概念

毫无疑问,系统工程(systems engineering, SE)是研究系统(system)的。

系统概念是系统工程的核心和基本概念。“系统”一词由来已久,在古希腊是指复杂事物的总体。到近代,一些科学家和哲学家常用系统一词来表示复杂的具有一定结构的整体。在宏观世界和微观世界,从基本粒子到宇宙,从细胞到人类社会,从动植物到社会组织,无一不是系统的存在方式。系统时时处处可见:一台机器、一个工厂、一个企业、一定自然条件下的植物群落、一个组织、一个国家等等,都可视为一个系统。从不同的研究和目的出发,可对系统作不同层次和不同范围的划分,例如一个细胞、一个器官、一个人、一个家庭、一条街道、一座城市等,都可相对独立地划为一个系统来进行研究。一个系统可以包括若干子系统,但它本身又是另一个更高层次系统的子系统。

从广义上来讲,组织是一个系统,分析研究物质,必须从组织物质的最基本的要素开始。要研究组织,就必须分析组织的要素。然而在研究有关组织理论的时候,我们会发现对组织要素的分析实在是太少了,即使是这些有限的研究,也没有用于分析管理行为中去。为了更好地研究组织,我们就从系统来理解组织,应用系统理论的原理,全面分析和研究组织的管理活动和管理过程。在现代管理科学领域,尽管各学派百花齐放,但没有一个学派不或多或少地运用着系统理论,几乎每一本管理学的著作都离不开系统概念。

研究组织运用系统思想,并非始于系统学派。早在20世纪30年代,福莱特就明确地提出了管理的整体性思想,指出管理必须着眼于整体内部的协调。巴纳德在他的协作系统的概念中也指出了管理的职能就在于保持组织同外部环境的平衡。此后,管理科学学派也把系统分析作为一种基本方法,用于解决某些工程项目的规划和复杂管理问题的决策。

虽然人类早就有关于系统的思想,但近代比较完整地提出系统理论的,则是奥地利的贝塔朗菲。

20世纪20年代,贝塔朗菲研究理论生物学时,用机体论生物学批判并取代了当时的机械论和活力论生物学,建立了有机体系统的概念,提出了系统理论的思想。从30年代末起,贝塔朗菲就开始从有机体生物学转向建立具有普遍意义和世界观意义的一般系统理论。1945年他发表了《关于一般系统论》,这可以看作是他创立一般系统论的宣言。一般系统论是研究系统中整体和部分、结构和功能、系统和环境等之间的相互联系、相互作用问题。贝塔朗菲研究了机体系统、开放系统和动态系统的理论,试图以机体系统理论解

释生命的本质。他还把开放系统作为系统的一般情形,全面考虑了开放系统的输入、输出和状态等基本因素,科学地解释了与开放系统有关的稳态、等终极以及有序性的增加等问题。关于动态系统,他用数学的方法描述了系统的各种性质,如整体性、加和性、竞争性、机械性、集中性、终极性、等终极性等。所有这些工作,为他的一般系统论奠定了理论基础。

和组织的认识类似,关于系统的认识,目前科技界和哲学界的认识还很不一致,国内外学者给系统所下的定义不下几十个。贝塔朗非认为:系统可以定义为相互作用着的若干要素的复合体。

从许许多多、实实在在的系统和“非系统”中,老前辈钱学森曾给出一个对“系统”的描述性定义:系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合的具有特定功能的有机整体,而且这个“系统”本身又是它所从属的更大系统的组成部分。

尽管学者们提出的系统定义,具体说法有这样或那样的差异,但不难看出,其中有3项是普遍的、本质的东西:①系统的整体性;②系统由相互作用和相互依存的要素所组成;③系统受环境影响和干扰,和环境相互发生作用。学者们提出的系统定义虽然语句不同,并有各种附加条件,但没有一个关于系统的定义不包括这3项。从实际情形来看也是这样,任何系统都必须具备这三者,缺一不可。系统可以促进组织的发展,也可以阻碍组织的发展,在一定条件下,甚至可以对组织的存在和发展起着决定的作用。环境也是组织发展的必要条件,任何组织都同其周围环境相互联系、相互作用着,都不可能孤立地存在和发展。一个城市要是封闭起来,人流、物流、能流和信息流统统切断,不能进出,那么,不要多久,就会变成一座死城。在当今世界上,一个国家的经济如果不同其他国家的经济相互联系、相互交流、互通有无、取长补短,就不可能迅速发展。

1.1.2 系统的特征和分类

1. 系统的特性

1) 集合性

集合性是指系统是由两个或两个以上可以相互区别的要素组成的集合体。如简单的制造系统,一般由工作机、操作者、工具、材料、图纸、工艺卡、电力等要素组合而成。复杂系统则是由许多要素、单元体和活动过程等组成的集合体,如一个工厂通常是由各种类型的设备、各种原材料、能源、生产过程、经营以及各类人员等要素或子系统组成的集合体。

2) 相关性

相关性是指系统内部要素之间的某种相互作用、相互依赖的特定关系。以电力系统为例,它可以分为发电、输电、变电、配电和用电等5个组成要素(或子系统)。电力系统生产的特点是产、供、销同时发生。电无法储存,因此,它们之间的相互联系和相互作用尤为密切,任何要素的变化都将影响到其他要素。比如,发电机出了故障就会影响用户用电及生产;而用电大户停止生产,也必将影响到发电。电厂这个分系统尽管有发电设备和生产能力,但也不能充分发挥作用。这些关系就形成一定的结构或秩序。某一要素如果发生了变化就意味着其他要素也相应地改变和协调。

3) 目的性

目的性是指系统有明确的目的或目标。系统工程的研究对象一般为人工系统,而人

工系统都具有一定的目的性。例如,企业经营管理系统的目的就是在限定资源和现有运行机制的作用下,为了完成或超额完成生产经营计划,实现规定的质量、品种、成本、利润指标等。而一个生产技术系统的目的,则是实现某种技术要求,达到规定的性能、经济和进度指标等。

为了实现系统的目的,系统必须具有控制、调节和管理的功能。管理的过程就是使系统有序化的过程,使系统进入与其目的相适应的状态。

4) 阶层性

阶层性是指系统各组成要素之间具有层次结构。系统作为一个相互作用的诸要素的集合体,可以分解为一系列的子系统,并且这些子系统存在于一定的层次结构中。例如,生物系统是分层次的,从活的分子到多细胞个体,再到超个体的聚合体,层次分明、等级森严。又如,整个自然界犹如一座巨大的建筑物,其中各层次系统逐级地组织起来,成为越来越高级、越来越庞大的系统。

系统的层次结构,通常呈金字塔形。在塔的底部,通常是一些结构和功能相对简单的子系统,越往上越复杂,而占据塔顶的则是结构和功能相当复杂的系统。对于中间层次的系统来说,它既是独立的,又与上下层次的系统有着密切的联系。相对上层,它只是要素或子系统,处于被支配和被控制的地位;相对下层,它又是系统,处于支配和控制的地位。

5) 整体性

系统的整体性主要表现为系统的整体功能或特征,系统的整体功能或特征不是各组成要素功能或特征的简单叠加,也不是组成要素功能的简单拼凑,而是呈现出各组成要素所没有的新功能或特征。一般系统论的创始人贝塔朗非把这一特性概括为:“整体大于它的各个孤立部分之和”。意思是说,系统整体的特征跟组成它的要素的特征相比,好像是“新增加的”、“多出来的”。

系统之所以产生整体性或新质,是因为组成系统整体的各个部分或要素相互联系和相互作用,形成一种协同作用。只有通过协同作用,系统的整体功能才能显现。

6) 环境适应性

环境适应性是指系统适应外界环境变化的能力。所谓环境,是指系统的外部条件,也就是系统外部对该系统有影响、有作用的诸因素的集合。在一个大系统中,对于某一个特定的子系统来说,其他子系统就是它的环境。环境是一种更高级、更复杂的系统。

系统与环境是密切联系的,系统必然要与外部环境产生物质的、能量的和信息交换。外界环境的变化必然会引起系统内部要素的变化。系统必须适应环境的变化。能够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,不适应外部环境变化的系统是没有生命力的。自然界一些系统本能地存在着适应外部环境的特性。生物进化过程就是系统不断适应外部环境的过程,适应者生存,不适应者被淘汰。同样,一个工业企业必须适应市场的变化,不断调整和完善企业的经营策略,只有这样,才能在激烈竞争的市场经济中生存和发展壮大。

系统必须适应环境,就像要素必须适应系统一样。

系统 + 环境 = 更大的系统。

7) 动态性

物质和运动是密不可分的,各种物质的特性、形态、结构、功能及其规律性,都是通过

运动表现出来的,要认识物质首先要研究物质的运动,系统的动态性使其具有生命周期。开放系统与外界环境有物质、能量和信息的交换,系统内部结构也可以随时间变化。一般来讲,系统的发展是一个有方向性的动态过程。

8) 有序性

由于系统的结构、功能和层次的动态演变有某种方向性,因而使系统具有有序性的特点。一般系统论的一个重要成果是把生物和生命现象的有序性和目的性同系统的结构稳定性联系起来,也就是说,有序能使系统趋于稳定,有目的才能使系统走向期望的稳定系统结构。

总之,系统这个概念,其含义十分丰富。它与要素相对应,意味着整体与全局;它与孤立相对应,意味着各种关系和联系;它与混乱相对应,意味着秩序与规律。研究系统,意味着从事物的总体与全局上、从要素的联系与结合上去研究事物的运动与发展,找出其固有的规律,建立正常的秩序,实现整个系统的优化。这正是系统工程的宗旨。

2. 系统的分类

自然界和人类社会普遍存在着各种不同性质的系统。为了对系统的性质加以研究,需要对系统存在的各种形态加以探讨。

1) 自然系统和人造系统

按自然属性可分为自然系统和人造系统。原始的系统都是自然系统,如天体、海洋、生态系统等。人造系统都是存在于自然系统之中的,如人造卫星、海运船只、机械设备等。人造系统和自然系统之间存在着界面,两者互相影响和渗透。近年来,人造系统对自然系统的不良影响已成为人们关注的重要问题,如核军备、化学武器、环境污染等。自然系统是一个高阶复杂的均衡系统,如季节周而复始地变化形成的气象系统、食物链系统、水循环系统等。自然系统中的有机物、植物与自然环境保持了一个平衡态。在自然界中,物质流的循环和演变是最重要的,自然环境系统没有尽头,没有废止,只有循环往复,并从一个层次发展到另一个层次。原始人类对自然系统的影响不大,但近几百年来,科技发展很快,它既造福于人类,又带来危害,甚至灾难,引起了人们极大的关注。例如,埃及阿斯旺水坝是一个典型的人造系统,水坝解决了尼罗河洪水泛滥问题,但也带来一些不良影响,如东部的食物链受到破坏,渔业减产;尼罗河流域土质盐碱化加快,发生周期性干旱,影响了农业;由于河水污染使附近居民的健康受到影响等。但如能运用系统工程方法来全面考虑,统筹安排,有可能得到一个既解决洪水问题又尽量减少损失的更好方案。系统工程所研究的对象,大多是既包含人造系统又包含自然系统的复合系统。从系统的观点讲,对系统的分析应自上而下而不是自下而上地进行。例如,研究系统与所处环境,环境是最上一级,先注意系统对环境的影响,然后再进行系统本身的研究。系统的最下级是组成系统的各个部分或要素。自然系统常常是复合系统的最上一级。

2) 实体系统和抽象(概念)系统

按物质属性可分为实体系统和抽象(概念)系统。所谓实体系统,是指以物理状态的存在作为组成要素的系统,这些实体占有一定空间,如自然界的矿物、生物,生产部门的机械设备、原材料等。与实体系统相对应的是抽象(概念)系统,它是由概念、原理、假说、方法、计划、制度、程序等非物质实体构成的系统,如管理、法制、教育、文化系统等。近年来,逐渐将概念系统称之为软科学系统,并日益受到重视。以上两类系统在实际中常结合在

一起,以实现一定功能。实体系统是概念系统的基础,而概念系统又往往对实体系统提供指导和服务。例如,为实现某项工程实体,需提供计划、设计方案和目标分解,对复杂系统还要用数学模型或其他模型进行仿真,以便抽象出系统的主要因素,并进行多个方案分析,最终付诸实施。在这一过程中,计划、设计、仿真和方案分析等都属于概念系统。

3) 静态系统和动态系统

按运动属性可分为静态系统和动态系统。系统的静和动都是相对的。从某种意义上讲,可以认为在宏观上没有活动部分的结构系统或相对静止的结构系统为静态系统,例如大桥、公路、房屋等。而动态系统指的是既有静态实体又有活动部分的系统,例如学校就是一个动态系统,它不仅有建筑物,还有教师和学生。在中世纪以前,人们曾认为宇宙现象是永恒不变的,习惯将事物看成是恒定的、静止的,这种看法在哲学上是唯心的或机械唯物论的。随着科学的发展和人类的进步,才逐渐认识到世界不是恒定事物的集合体,而是动态过程的集合体,运动是永恒的。宇宙是一个动态系统,静态是相对的。

4) 开放系统和封闭系统

按环境与系统间的关系可分为开放系统和封闭系统。封闭系统是一个与外界无明显联系的系统,环境仅仅为系统提供了一个边界,不管外部环境有什么变化,封闭系统仍表现为其内部稳定的均衡特性。封闭系统的一个实例就是密闭罐中的化学反应,在一定初始条件下,不同反应物在罐中经化学反应达到一个平衡态。开放系统是指在系统边界上与环境有信息、物质和能量交互作用的系统,例如商业系统、生产系统或生态系统。环境发生变化时,开放系统通过系统中要素与环境的交互作用以及系统本身的调节作用,使系统达到某一稳定状态。因此,开放系统常是自调整或自适应的系统。

5) 简单系统、简单巨系统和复杂巨系统

按复杂程度可分为简单系统、简单巨系统和复杂巨系统。简单系统是组成系统的子系统(要素)数量比较少,而且子系统之间的关系也比较简单的系统,如一个工厂、一台设备等。

简单巨系统是组成系统的子系统数量非常多,种类相对也比较多(如几十种甚至上百种),但它们之间的关系较为简单的系统,如激光系统等。研究处理这类系统的方法不同于一般的直接综合法,而是用统计方法加以概括。耗散结构理论和协同学理论在这方面做出了突出的贡献。

复杂巨系统是指组成系统的子系统数量很多,具有层次结构,它们之间的关系又极其复杂的系统,如生物体系统、人脑系统、社会系统等。其中社会系统是以有意识的人作为子系统的,是最复杂的系统,所以又称为特殊的复杂巨系统。这些系统是开放的,所以又称为开放的复杂巨系统。目前,研究、处理开放的复杂巨系统的方法尚在探讨中。

1.1.3 系统思想的发展

现代系统理论诞生于20世纪40年代。它的产生和发展,彻底改变了世界的科学图景和当代科学家的思维方式,是继相对论之后又一次伟大的科学革命。

1. 古代朴素的系统思想

在人们自觉认识系统思想以前,就进行着系统思维。例如古希腊哲学家亚里士多德关于“整体大于部分之和”的论述,就是系统论最基本的思想。

系统思想是我国传统思想的一个突出特点,这种思想是中国古代文明位于世界前列的一个重要因素。

2. 系统思想的淹没

尽管古人曾成功地运用系统思想创造了一个个巨大的历史奇迹,但由于知识贫乏,手段落后,缺乏对整体各个细节的认识能力,因此只能用理想、幻觉的联系来代替未知的事物之间的关系,用臆想补充缺乏的事实。人们在同大自然的抗争中逐渐感到系统思想还不是寻找生存、改造自然的最有效武器。面对具体的现实世界,人们只能将一时难以弄懂的事物采取各个击破的方式,一部分一部分地加以研究,系统思想和方法便逐渐退到次要的位置。

欧洲文艺复兴以后,随着科学思想的觉醒,近代科学开始迅猛发展。望远镜、显微镜、气压计、温度计、摆钟等相继被发明和制造出来,为人们认识客观世界的各个局部提供了十分有效的手段。力学、天文学、物理学、化学、生物学等逐渐发展成独立的学科。尤其是伽利略、牛顿对天体运动和可见物体运动等宏观领域的开创性研究,使人们更加确信世界是由许多作机械运动的部分相加而成的。

机械论虽然也把世界看作一个整体,但这种整体观并不符合系统的思想。机械论立足于一个重要原理——分析还原原理,认为人们只要有了分析的工具和手段,把研究对象分解开来,对各部分进行孤立的研究,再把对各部分的认识综合起来,就可得到对整体的认识。这种偏重于分析的认识方法只能孤立地掌握客观世界的部分属性,不能掌握世界的整体性质。在科学深入到更复杂的领域之前,它确实卓有成效地开垦了科学领域的处女地,给人类文明带来了光明。在这种背景下,系统思想被搁置起来了。

3. 现代系统思想的兴起

19世纪下半叶以来,科学技术进入全面发展的新时期。自然科学由收集经验材料、分门别类的研究阶段,进入到整理经验材料、走向理论综合的发展新阶段,从而不断从新的水平上揭示了自然界的普遍规律。一系列重大的科学发现,科学技术与社会科学的结合,对近代科学方法提出了挑战,为现代系统思想的诞生奠定了基础。

在生物学中长期以来一直存在着机械论和活力论两种对立的观点。活力论认为生命物质与非生命物质之间存在着一条不可逾越的鸿沟,生命现象不能还原为基本的物理、化学过程,机械论不能解释生物学的很多现象。“活力”是超物质的,是赋予生物体以目的和生命力的一种力量。但后来的人工合成尿素和细胞胚胎试验成功使活力论和机械论均受到了沉重的打击。与此同时有些生物学家和哲学家认为只有将生命看作一个有机整体,才能解释上述试验。他们主张用机体论代替机械论和活力论。贝塔朗菲发表了很多论文表达了机体论思想,强调把有机体当作一个整体来看待,认为科学的主要目标在于发现不同层次上的组织原理。他批判地继承前人的机体论思想,把协调、秩序、目的性等概念用于研究有机体,形成了自己关于系统的基本思想。1937年,贝塔朗菲第一次提出了一般系统论概念。到20世纪60~70年代,一般系统论受到人们的普遍重视。

管理领域的进展,是20世纪系统思想兴起的一个重要侧面。19世纪末,随着自由资本主义开始向垄断资本主义的过渡,生产规模不断扩大,只凭经验安排生产的管理方式已经不能适应日益扩大的生产规模和经济发展的需要。在这种背景下,泰罗、法约尔、韦伯等人奠定了科学管理理论,引导人们开始注意把工厂、企业作为一个有机的组织来加以管

理。20 世纪 30 年代,巴纳德提出组织就是“两个或两个以上的人有意识协调而成的力量系统”,社会中的各组织都是这样的协作系统。在他的组织定义中包含“系统”及系统等级概念、系统要素的协同、人有意识有目的的活动以及时间连续性等概念。由此可见,系统思想已经日益深入到管理理论之中,变成自觉的管理理论的基点之一。

1.1.4 复杂适应系统

近年来,系统科学界关注的热点之一,是美国圣菲研究所(SFI)的复杂适应系统(CAS)理论。复杂适应系统理论是在 1994 年正式提出的,它不同于以往的系统理论。所谓复杂系统,是这样的系统:通过对一个系统的分量部分(子系统)的了解,不能对系统的性质做出完全的解释。这种理论提供了认识和管理复杂系统的新思路,在许多相距甚远的领域中,都得到了广泛的应用,提供了有益的启发。

所谓复杂适应系统,是指在特定的外部条件下,可以通过自组织形成特定时空结构的有序状态,在环境的影响下能够自组织、自学习、自适应,不断演化形态而生存、繁衍和发展。如果适应能力赶不上环境的变化,就会衰亡下去。称这种复杂系统是复杂适应系统。

复杂适应系统是无法用标准化的分析方法来理解和解决的系统,它们由许多相互作用的实体组成,并且具有自组织、自适应和自创新等功能。近年来,针对这一问题,人们掀起了研究复杂性理论的热潮。该理论的目标是把许多学科中的原理和准则进行交叉、融汇和贯通,以便集成一些具有普遍性的原理和准则。

复杂性科学的研究对象是复杂适应系统。美国的罗伯特·麦克斯费教授曾将复杂适应系统定义为:“它是由许多异质的智能体组成的开放系统。随着时间的推移,这些智能体在相互之间以及和环境之间以一种非线性的方式发生作用。”这里的开放性是指智能体的行为不仅随着系统外的因素发生变化,而且会随着系统内的因素发生变化。但是,在非人类的生物复杂适应系统中,变化的根源和人类的复杂适应系统中变化的根源是不同的。麦克斯费教授认为:“在非人类的生物复杂适应系统中,智能体变化的源泉主要是通过遗传继承得到的;而在人类的复杂适应系统中,智能体行为变化的源泉主要是由于人类大脑具有无法测量的认识能力。”人类具有认识、交流、学习和协作能力。人类的这些特性使他能创建出不同的新战略,而组织则由具有这些特性的人类组成,所以组织可以从中选择一个具有创新精神的战略。

通常,一个复杂适应系统是另一个复杂适应系统的组成部分,并且它本身也是由许多复杂适应系统组成的。当然,这种组成可以是松散的,也可以是紧凑的。复杂适应系统之间相互作用和相互影响,使它们无时无刻不存在着一种趋势,即产生新的复杂适应系统。在地球上,所有复杂适应系统似乎都是与生命相联系的。在生命的初期,一系列史前的化学反应产生了最早的生命。随后发生的生物进化的进程,就是复杂适应系统的例子,而发生进化的各种生物就是这个复杂适应系统的智能体。在现代的生态系统中,人类个体的学习和思考过程也是一个复杂适应系统。而由许多个体所组成的集合更是复杂适应系统,如家庭、公司、社会、国家等。

复杂适应的概念是和直接适应相对应的。在直接适应中,系统不含有一个变化的策略,而是用一种固定的模式对外部变化作出反应。温室中的恒温器就是直接适应的典型