

普通高等院校



系列规划教材

系统工程

主 编 张晓冬

副主编 王福林 周康渠



科学出版社

www.sciencep.com

普通高等院校工业工程系列规划教材

系统工程

主 编 张晓冬

副主编 王福林 周康渠

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书共分9章。第1章介绍了系统与系统工程的概述,论述了系统工程的产生、发展、特征及应用。第2章简要介绍了系统工程的理论基础,包括控制论、信息论、新三论、运筹学、复杂适应系统理论。第3章介绍了系统工程方法论,包括霍尔方法论、切克兰德方法论和综合集成方法论。第4章介绍了系统模型及系统建模方法,对系统模型进行了定义和分类,详细给出了解释结构建模方法、IDEF0建模方法、Petri网建模方法和广义建模方法。第5章给出了系统分析的主要内容和步骤,详细介绍了系统环境、目标和结构分析方法,以及可行性分析和具体的系统分析方法。第6章给出了系统评价的主要内容和步骤,详细介绍了几种典型的系统评价方法,包括关联矩阵法、指标评分法、层次分析法、模糊综合评价法和数据包络分析法。第7章给出了系统预测与决策的主要内容和步骤,详细介绍了回归分析预测方法、不确定型决策、风险型决策、冲突分析和决策支持系统。第8章介绍了网络计划技术,包括网络图、关键线路法、计划评审技术和图解评审技术。第9章从人机系统优化配置、生产能力决策、神舟五号工程和名牌系统工程等领域给出了系统工程的典型应用案例。

本书可作为高等院校工业工程、管理科学与工程、机械工程、工程管理、工商管理等专业本科生、研究生和MBA的教材和参考书,也适合于从事系统规划、开发和运作管理的有关人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

系统工程/张晓冬主编. —北京:科学出版社,2010.7

普通高等院校工业工程系列规划教材

ISBN 978-7-03-028159-3

I. ①系… II. ①张… III. ①系统工程-高等学校-教材 IV. ①N945

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第122681号

责任编辑:孙明星 匡 敏 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年7月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010年7月第一次印刷 印张:18

印数:1—4 000 字数:420 000

定价:32.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

在人类发展史上,系统思想被不断地应用于社会活动和生产活动中,其应用领域几乎遍及工程技术和社会经济的各个方面。系统工程是系统科学中直接改造世界的工程技术。它应用定量分析和定性分析相结合的方法,对系统的构成要素、组织结构、信息交换和控制机制进行规划、设计、分析、评价、预测和决策,从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目标。因此,只有学习和应用先进的系统工程理论、技术和方法,才能对系统中有限的资源进行正确的组织和管理,才能使局部和整体之间的关系协调配合,才能充分地发挥人力和物力的潜力,从而实现系统的综合优化运行。随着科学技术的日新月异,尤其是信息技术的发展,系统工程的研究和应用也在发生深刻的变化,新概念、新技术和新方法不断涌现。本教材就是从系统思维和技术集成的角度,介绍系统工程的概念、方法论、定性和定量分析方法及系统工程的具体应用,并辅以大量案例和练习,其目的就是使学生了解系统工程的基础理论和方法论,使其掌握系统建模、分析、评价、预测及决策的实用方法,从而适应现代工业工程、管理科学与工程等人才培养的需要。

本书由张晓冬任主编,王福林、周康渠任副主编,并共同制定了本书的大纲。其中,第1章、第2章、第3章由张晓冬、王莹编写;第4章的4.1节、4.2节、4.3节、4.6节由周晓光编写;第4章4.4节由石宇强编写;第4章4.5节由曾强编写;第5章、第8章、第9章由周康渠、宋李俊、肖燕编写;第6章由孙福田编写;第7章7.1节、7.3节、7.4节、7.5节、7.6节由王福林编写;第7章7.2节由谭小群编写。全书由北京科技大学张群教授主审。

本书的部分研究工作得到了国家自然科学基金项目(批准号:70501036、70971146)以及新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-08-0608)的资助;本书的编写和出版得到科学出版社、北京科技大学、重庆大学、东北农业大学、重庆理工大学、西北工业大学、河南理工大学、西南科技大学的大力支持,在此表示衷心感谢!

本书在编写过程中参考了大量文献,已尽可能地列在书后的参考文献中,但其中仍难免有遗漏,特别是一些资料经过反复引用已难以查实原始出处,这里特向被漏列文献的作者表示歉意,并向所有的作者表示诚挚的谢意!

系统工程是一门正在发展的综合性交叉学科,编写此书涉及面较广,技术难度较大,加上编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2010年3月

目 录

前言

第 1 章 系统与系统工程概述	1
1.1 系统概述	1
1.1.1 系统的定义及属性	1
1.1.2 系统的分类	4
1.1.3 系统的结构与功能	6
1.1.4 系统思想的演变与发展	7
1.2 系统工程概述	9
1.2.1 系统工程的产生与发展	9
1.2.2 系统工程的定义与特征	10
1.2.3 系统科学的学科体系	12
1.2.4 系统工程的应用	13
本章习题	14
第 2 章 系统工程的理论基础	16
2.1 控制论	16
2.1.1 控制论的产生与发展	16
2.1.2 控制系统的构成	17
2.1.3 控制任务与控制方式	17
2.2 信息论	18
2.2.1 信息论与信息概念	18
2.2.2 信息的度量	19
2.2.3 信息方法	20
2.3 新三论	21
2.4 运筹学	23
2.5 复杂适应系统理论	25
2.5.1 复杂适应系统的基本思想	25
2.5.2 复杂适应系统理论的特点	26
2.5.3 复杂适应系统的基本模型	27
本章习题	28
第 3 章 系统工程方法论	29
3.1 系统工程方法论概述	29
3.2 霍尔方法论	29
3.2.1 时间维	29
3.2.2 逻辑维	30

3.2.3 知识维	32
3.3 切克兰德方法论	33
3.3.1 切克兰德方法论的提出	33
3.3.2 切克兰德方法论的方法步骤	34
3.3.3 切克兰德方法论的应用评价	35
3.4 综合集成方法论	36
3.4.1 综合集成方法论的提出	36
3.4.2 综合集成研讨厅体系	38
本章习题	39
第4章 系统模型及系统建模方法	40
4.1 系统模型的定义和分类	40
4.1.1 系统模型的定义	40
4.1.2 系统模型的分类	40
4.2 系统建模方法概述	42
4.2.1 系统建模的基本原则	42
4.2.2 系统建模的思考方法	43
4.2.3 系统建模的一般步骤	44
4.3 解释结构建模方法	44
4.3.1 ISM 工作原理	44
4.3.2 系统结构的基本表达方式	45
4.3.3 递阶结构模型的建立原理	49
4.3.4 递阶结构模型的建模方法	54
4.3.5 实例分析	55
4.4 IDEF0 建模方法	59
4.4.1 IDEF0 的基本概述	59
4.4.2 IDEF0 的基本符号说明	60
4.4.3 IDEF0 的建模步骤	63
4.4.4 IDEF0 建模应用案例	65
4.5 Petri 网建模方法	66
4.5.1 一般 Petri 网模型	66
4.5.2 计时 Petri 网模型	68
4.6 广义模型化方法	69
4.6.1 广义模型化方法的提出	69
4.6.2 广义模型的概念	70
4.6.3 广义模型化方法	71
4.6.4 广义建模方法的应用案例	73
本章习题	75
第5章 系统分析方法	76
5.1 系统分析概述	76

5.1.1	系统分析的定义	76
5.1.2	系统分析的特点	77
5.1.3	系统分析的要素	78
5.1.4	系统分析的步骤	78
5.2	系统环境、目标与结构分析	80
5.2.1	系统环境分析	80
5.2.2	系统目标分析	85
5.2.3	系统的结构分析	87
5.3	系统可行性分析	89
5.3.1	可行性分析	89
5.3.2	可行性分析的内容	91
5.3.3	可行性分析报告	92
5.4	常用的系统分析方法	93
5.4.1	德尔菲法	93
5.4.2	主成分分析	96
5.4.3	聚类分析	98
5.4.4	量本利分析法	100
5.4.5	成本效益分析法	105
5.4.6	技术经济分析	109
	本章习题	117
第 6 章	系统评价	119
6.1	系统评价概述	119
6.1.1	系统评价基本概念	119
6.1.2	系统评价与决策	120
6.1.3	系统评价的步骤与内容	120
6.2	关联矩阵法	124
6.3	指标评分法	126
6.3.1	评价指标的规范化	126
6.3.2	常用指标评分法	127
6.4	层次分析法	130
6.4.1	AHP 的基本原理	131
6.4.2	AHP 的基本步骤	131
6.5	模糊综合评判法	138
6.6	数据包络分析(DEA)方法	145
	本章习题	155
第 7 章	系统预测与决策	157
7.1	系统预测与决策概述	157
7.1.1	系统预测概述	157
7.1.2	系统决策概述	161

7.2	回归分析预测方法	168
7.2.1	线性回归模型	168
7.2.2	线性回归模型的参数估计	169
7.2.3	线性回归模型的统计特征	170
7.2.4	回归模型的统计检验	172
7.2.5	采用 excel 进行多元线性回归分析	178
7.3	不确定型决策	181
7.4	风险型决策	184
7.4.1	决策表法	186
7.4.2	决策矩阵法	186
7.5	冲突分析	188
7.5.1	冲突分析与对策论	189
7.5.2	冲突模型的基本要素	189
7.5.3	冲突模型的分类	191
7.5.4	冲突分析的基本步骤	192
7.5.5	冲突分析实例	193
7.6	决策支持系统	199
7.6.1	决策支持系统概述	199
7.6.2	决策支持系统的构成和结构	201
7.6.3	智能型决策支持系统	203
7.6.4	群决策支持系统 GDSS	206
	本章习题	208
第 8 章	网络计划技术	209
8.1	网络计划方法	209
8.1.1	甘特图法	209
8.1.2	关键线路法	210
8.1.3	计划评审技术	210
8.1.4	图解评审技术	211
8.2	网络图的编制	211
8.2.1	网络图的组成	211
8.2.2	网络图的编制	212
8.3	关键线路法	216
8.3.1	分析法	216
8.3.2	图上算法	220
8.3.3	表格算法	220
8.4	CPM 网络的优化	222
8.4.1	时间的优化	222
8.4.2	时间-费用优化	224
8.4.3	资源优化	228

8.5 计划评审技术	230
8.5.1 根据平均作业时间确定完成任务总工期及概率的方法	230
8.5.2 根据作业的标准差确定关键线路的方法	231
8.5.3 根据各线路在指定日期内完成任务的概率确定关键线路	232
8.6 图解评审技术	232
8.6.1 PERT 的发展——GERT	232
8.6.2 GERT 网络节点特征及其绘制实例	233
8.6.3 用 GERT 网络解决系统问题的步骤	235
本章习题	236
第 9 章 系统工程的应用案例	238
9.1 制造企业人机系统优化配置分析与设计	238
9.1.1 人机系统优化配置分析	238
9.1.2 人机系统优化设计	238
9.2 某台资电子加工企业生产能力扩充决策分析	240
9.3 神舟五号工程	262
9.4 名牌系统工程案例	268
9.4.1 名牌系统工程的作用	268
9.4.2 某葡萄酒企业的名牌之路	269
参考文献	272

第1章 系统与系统工程概述

1.1 系统概述

1.1.1 系统的定义及属性

1. 系统的定义

“系统”是系统理论、系统工程和整个系统科学的基本研究对象。从自然界到人类社会存在着各种各样的系统,如生物系统、经济系统、管理信息系统、水力发电系统、机械传动系统等。“系统”已成为人们熟悉并广泛应用的词汇。各种系统的组成与功能虽然完全不同,但若抛开它们的具体物质组成、运动形态和功能,从整体和部分间的关系与作用来看,则又存在着普遍的共性,而这些共性构成了一般系统论的研究基点。

1967年,日本JIS工业标准中对系统的定义是:许多组成要素保持有机的秩序,向同一目的行动的东西。1968年,一般系统论的奠基者L. V. 贝塔朗费给系统作出明确定义:相互作用的诸要素的综合体。1972年,美国著名学者阿柯夫(R. L. Ackoff)认为:系统是由两个或两个以上相互联系的任何种类的要素所构成的集合。我国著名科学家钱学森院士在回顾研制“两弹一星”的工作历程时说:“我们把极其复杂的研制对象称为‘系统’,即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成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一个更大系统的组成部分。”

上述定义虽有不同,但均从不同角度描述了系统的共性。在此,本书引用汪应洛院士在《系统工程》一书中给出的定义:系统是由两个以上有机联系、相互作用的要素所组成的,是具有特定功能、结构和环境的整体。该定义有四个要点:

(1) 系统及其要素。系统是由两个以上要素组成的整体,构成这个整体的各个要素可以是单个事物(元素),也可以是一群事物组成的分系统或子系统。系统与其构成要素是相对的概念,取决于所研究的具体对象及其范围。图1-1为制造系统的构成要素,由生产者、生产方法、物料、机器及工具、生产环境组成。

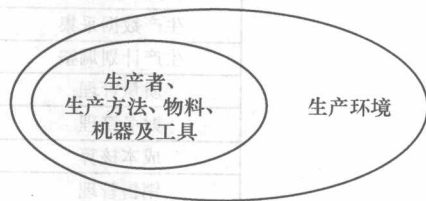


图1-1 制造系统的构成要素

(2) 系统和环境。任一系统又是它所从属的一个更大系统(环境或超系统)的组成部分,并与其相互作用,保持较为密切的输入输出关系。系统连同其环境(或超系统)一起形成系统总体。系统与环境也是两个相对的概念。

(3) 系统的结构。在构成系统的诸要素之间存在着一定的有机联系,这样在系统的内

部形成一定的结构和秩序。结构,即组成系统的诸要素之间相互联系的方式。图 1-2 为一个制造系统的层级式组织结构。

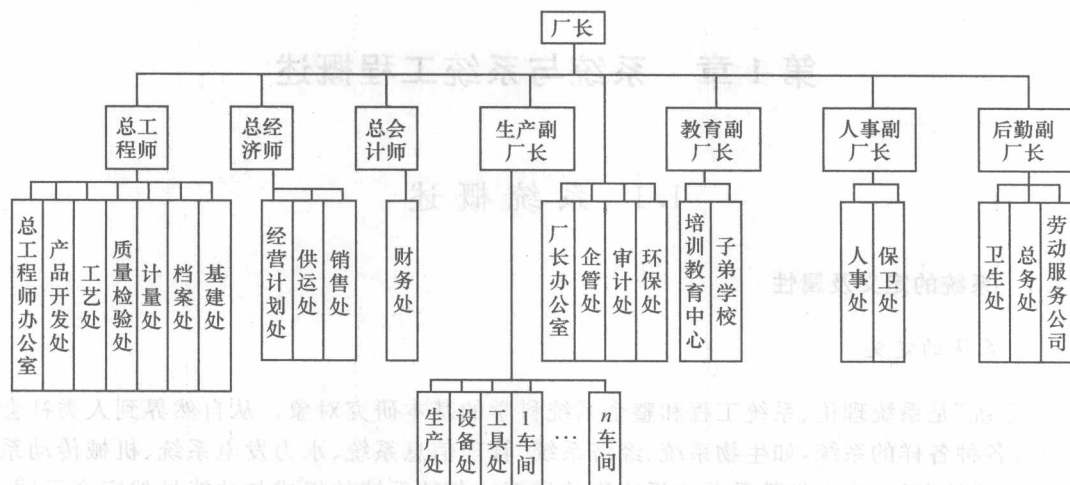


图 1-2 制造系统的层级式组织结构

(4) 系统的目的和功能。任何系统都应有其存在的作用与价值,有其运作的具体目的,也即有其特定的功能。图 1-3 为制造系统的功能构成。以实现产品设计与制造功能为主线,制造系统具有产品开发、工艺规划、制造、库存、装配、包装、发货、运输、售后服务和回收利用功能。以实现对企业进行经营管理功能为主线,制造系统主要执行计划管理、生产控制、财务管理、销售管理、后勤管理、质量管理等功能。

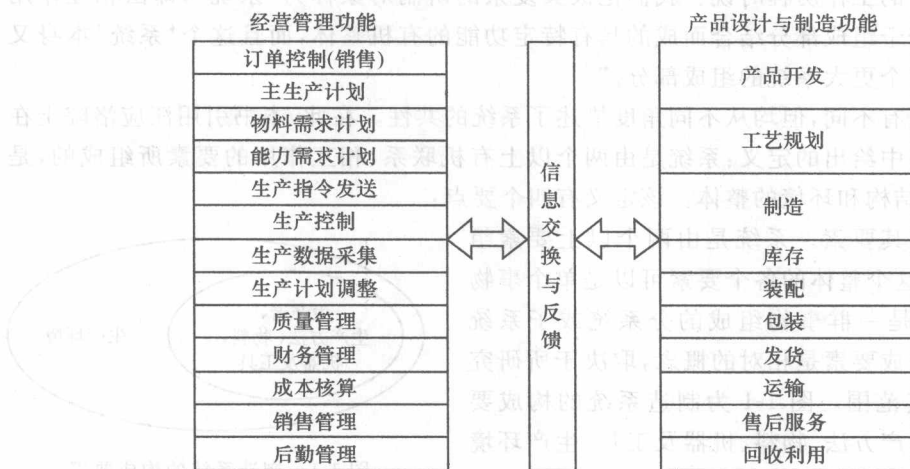


图 1-3 制造系统的功能构成

2. 系统的属性

基于上述定义,系统具有如下重要属性。

1) 整体性

系统的整体性又称为系统的总体性、全局性,是系统最基本、最核心的属性。整体性是指系统中具有独立功能的要素围绕系统的整体目标相互联系、相互作用,从逻辑上统一和协调为系统的整体行为。其整体功能不等于各个要素的功能之和,而是具有不同于各组成要素的新功能。在一个系统整体中,即使每个要素都不是最优,但通过协调、综合可以成为具有良好功能的整体系统;反之,即使每个要素都达到了最优,但组成整体的各要素无法协调运行,也就不能构成功能良好的整体系统。因此,系统整体性要求我们不能离开整体去考虑系统的构成要素及其联系,必须在实现系统目标的前提下,使系统的总体结合效果最佳。

2) 相关性

系统的相关性是指系统各要素之间、系统与要素之间、系统与环境之间是相互联系、相互作用的。系统的相关性构成了系统结构问题的基础。以人体系统为例,每一个器官或小系统都不能离开人体这个整体而存在,各个器官或小系统的功能与行为影响着人体整体的功能和行为,而且它们的影响都不是单独的,而是在与其他要素的相互关联中影响整体。如果不存在相关性,众多要素就如同一盘散沙,只是一个集合,而不是一个系统。例如,计算机CPU,只有在主板等其他元件的协同下,才能发挥其计算的功能。因此,相关性是分析系统和改进系统必须考虑的重要问题。

3) 环境适应性

任何系统都存在于一定的环境中,并与环境之间产生物质、能量和信息的交换。环境的变化必定对系统及其要素产生影响,从而引起系统及其要素的变化。系统要获得生存与发展,必须适应外部环境的变化,这就是系统的环境适应性。系统这种自动调节自身结构、活动以适应环境变化的特性,又称为系统的自组织性。

系统的环境适应性提示我们,研究系统时必须注重系统的环境,只有在一定的环境中考察系统,才能明晰系统的全貌;只有立足于一定的环境中去研究系统,才能有效地解决系统中的问题。例如,对于企业管理系统,必须针对企业当前所处的技术环境、经济环境、社会环境进行系统分析才能对系统进行有效的改善。

系统的环境适应性除了系统要适应环境的变化外,还包括系统对环境的改变作用。因此,系统的构造和运行必须考虑其对环境的影响,使系统和环境均维持良好的状态,才能实现二者的可持续发展。例如,绿色制造系统就是考虑系统对环境的影响,尽量使制造过程的资源消耗和废弃物减少。

4) 目的性

系统的目的性是指系统整体的特定功能,它提供了设计、建造或改造系统的目标与依据,反映了系统整体行为的方向性。一个系统必须具有它作为一个整体所体现的目的与功能,才具有存在的意义。因此,明确系统的目的是设计、建造或改造系统的首要工作。需要指出的是,系统整体功能的目的不仅取决于现有状态,而且也依赖于系统未来的终极状态,并受其制约。例如,战争中交战双方的行为与决策不仅要考虑现有状态,而且更须服从“取胜”这个终极状态,“不争一城一地的得失,消灭敌人有生力量”的战略思想便是从目的性出发的范例。此外,一般系统大都是多目标系统,它们具有多层次的目标体系,因此要区分主要目标与次要目标。例如,企业的运行与决策不应只考虑经济利益这唯一目标,更要围绕可

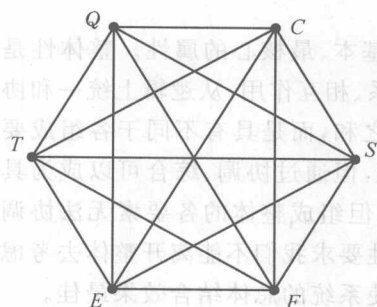


图 1-4 制造系统的六角形决策目标

持续发展这个长远目标,追求股东、客户、员工、环境等多方利益的平衡与多目标优化,图 1-4 为制造系统的六角形决策目标框架,包括交货期更短(time)、质量更高(quality)、成本更低(cost)、服务更好(service)、柔性更高(flexibility),环境性更友好(environment)。

5) 层次性

一个复杂系统通常包含许多层次,上下层次之间具有包含与被包含,或者是控制与被控制的关系。一个系统可以分解为若干子系统,子系统又可再分成更小的子系统直至要素,而每一个系统又往往隶属于一个更大的系统。例如,有机生命系统是按照严格的等级组织起来的,包括“生物细胞—大细胞—器官—生理子系统—个体—群体—生态系统”;行政系统包括“国务院—省(自治区、直辖市)—市—县(旗)—乡镇(苏木)”;高校系统包括“大学—学院—系—班级”。图 1-5 为一个企业管理系统的层次结构,可分为战略计划层、经营管理层、作业(业务)层。

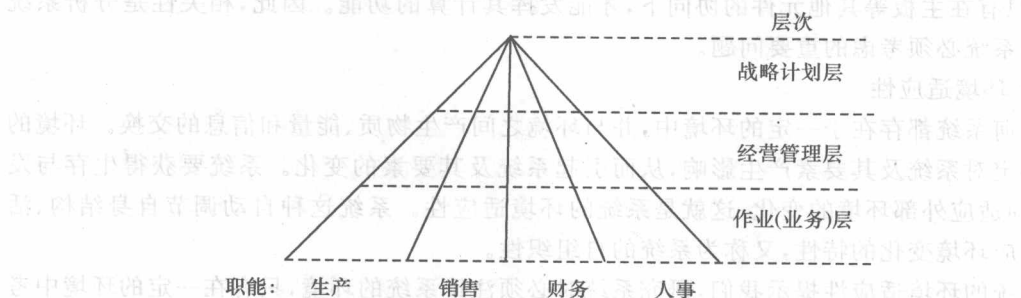


图 1-5 企业管理系统的层次结构

系统的层次性表明,研究分析一个系统应明确系统的等级及其内部结构,使系统具有合理的层次结构。

1.1.2 系统的分类

按照不同的标准,可以将千差万别的系统进行如下分类。

1. 按自然属性分类

系统按自然属性可分为自然系统与人造系统。自然系统的构成要素是自然物和自然现象,如太阳系、海洋、气象、地质构造、原始森林。人造系统又称为社会系统,它的要素是人为的或是在人的参与下形成的系统,它具有人为的目的性与组织性。人造系统(或人工系统、社会系统)按其研究对象,可以分为经济系统、教育系统、行政系统、医疗卫生系统、交通运输系统、科技系统、军事系统等。其中,经济系统又可以进一步细分为工业系统、农业系统、服务行业系统等。人造系统通常都具有经济活动,所以又常常称为社会经济系统。系统工程所研究的大多数系统是自然系统和人造系统的复合系统。这两类系统是相互依存、相

互制约的。一方面,自然系统及其规律是人造系统的基础,影响和制约人造系统;另一方面,人造系统常常导致自然系统的破坏,造成各种公害,如环境污染、生物多样性破坏、温室效应、大气层空洞等。科学地处理两者之间的关系(如控制环境污染、保护生态环境)是当代系统工程的重要课题。

2. 按物质属性分类

系统按其物质属性可分为实体系统和概念系统。实体系统是由各类物质实体组成的系统,如生物、建筑物、电子计算机、通信网络等;概念系统是由人的思维创造的,它由非物质的观念性东西(原理、概念、方法、程序等)所构成,如法律系统、信息系统、知识系统等。实体系统可以是自然系统,也可以是人造系统,而概念系统一定是人造系统。人们有时也将实体系统称为硬系统,而将概念系统称为软系统,如将一台机械传动装置称为硬系统,而将计算机控制程序称为软系统。

3. 按运动属性分类

系统按其运动属性可分为静态系统和动态系统。所谓静态系统是指其状态参数不随时间显著改变的系統,没有输入与输出,如静止不动的机器设备、停工待料的生产线等。如果系统内部的结构参数随时间而改变,具有输入、输出及其转化过程,则称该系统为动态系统,如正在行驶的汽车、开放的服务系统、活的生命系统等均是动态系统。系统的静态与动态是相对划分的,严格地说,静态系统是难以找到的,但如果在我们所考察的时间范围内,系统受时间变化的影响很小,为研究问题方便起见,忽略系统内部结构与状态参数的改变,可将其近似地当做静态系统看待。

4. 按系统与环境的关系分类

根据系统与环境的关系,系统可分为开放系统和封闭系统。当系统与外界环境之间存在着物质、能量、信息流动与交换时,则称系统为开放系统。如果系统与环境之间无明显的交互作用,则称系统为封闭系统。严格的封闭系统是难以找到的,但当上述的交互作用很弱,以至可以忽略时,则视系统为封闭系统。因此,封闭系统是开放系统的某种近似或简化,目的是便于分析研究。

开放系统又可分为开环系统和闭环系统,如果系统的输出能反过来影响系统的输入,则该系统具有反馈特性。能增强原输入作用的反馈称正反馈;而削弱原输入作用的反馈称负反馈。没有反馈的系统称为开环系统,而具有反馈特性的系统称为闭环系统,如图 1-6 所示。开放系统是动态的、“活的”系统,封闭系统是僵化的、“死的”系统。系统由封闭走向开放,就可以激发系统活力。

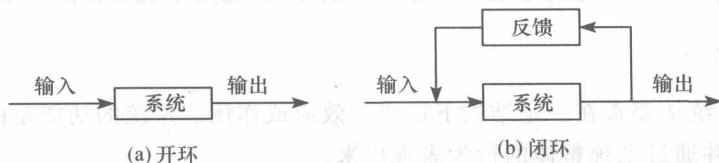


图 1-6 开环与闭环系统

5. 按系统的复杂性分类

我国著名科学家钱学森院士提出,按照系统结构的复杂程度可以将系统分为简单系统和复杂系统。复杂系统可分为大系统和巨系统,其中,根据系统规模、开放性和复杂性,巨系统又可分为一般复杂巨系统和特殊复杂巨系统。

1.1.3 系统的结构与功能

1. 系统的结构

系统的结构是指系统内部各组成部分之间在空间、时间等方面的有机联系,包括相互作用的组织机构、方式和秩序。显然,系统不是要素的简单组合,要素间只有存在一定的相互关系(结构)才能构成系统。

各种系统的具体结构是大不一样的,许多系统的结构是很复杂的。从一般意义上说,系统的结构可以用以下式子表示为

$$S = \{E, R\} \quad (1-1)$$

其中, S 表示系统(system), E 表示要素(elements)的集合, R 表示建立在集合 E 上的各种关系(relations)的集合。

由式(1-1)可知,作为一个系统,必须包括要素的集合与关系的集合,两者缺一不可。只有把两者结合起来,才能决定一个系统的具体结构与特定功能。

要素集合 E 可以分为若干子集 E_i ,如一个企业,其要素集合 E 可以分为人员子集 E_1 、设备子集 E_2 、原材料子集 E_3 、产品子集 E_4 等;而人员子集 E_1 又可分为工人子集 E_{11} 、技术人员子集 E_{12} 、管理人员子集 E_{13} 等,即

$$E = E_1 \cup E_2 \cup E_3 \cup \dots \quad (1-2)$$

$$E_1 = E_{11} \cup E_{12} \cup E_{13} \cup \dots \quad (1-3)$$

不同的系统,其要素集合 E 的组成有很大的差异。但在要素集合 E 之上建立的关系集合 R ,对不同的系统而言,却是大同小异。在一般的情况下,它可以表示为

$$R = R_1 \cup R_2 \cup R_3 \cup R_4 \quad (1-4)$$

其中, R_1 ——要素与要素之间、局部与局部之间的关系(横向关系);

R_2 ——局部与全局(系统整体)之间的关系(纵向联系);

R_3 ——系统整体与环境之间的关系;

R_4 ——其他各种关系。

根据系统的整体性、关联性等属性,在系统要素给定的情况下,调整这些关系可以提高系统的功能和整体性能。这就是组织管理工作的作用,也是系统工程的着眼点。

2. 系统的功能

功能是指系统诸要素在一定结构下形成的效应或作用。系统的功能是由系统要素及其关系所决定的,并通过系统整体的行为表现出来。

一方面,结构表示系统构造形式的特征,而功能表示系统的行为特征,并主要由系统内

部的结构所决定;另一方面,系统的功能体现了系统与外部环境相互联系和作用的能力,描述了它们之间物质、能量和信息的输出、输入关系。

从一般意义上讲,系统的功能可用图 1-7 来表示,即接受环境的输入(如物质、能量、信息),在系统内部进行处理和转换(如加工、组装),再向环境输出(如产品、人才、成果)。

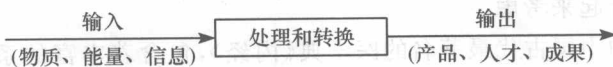


图 1-7 系统的功能

所以,系统可以理解为是一种处理与转换机构,它把输入转变为实现其目的所需要的输出。因此,也可将系统看成一种函数关系,用数学公式表示为

$$Y = F(X) \quad (1-5)$$

其中,自变量 X 是来自环境的输入,因变量 Y 是向环境的输出。 X 与 Y 都是矢量,也就是说有多种输入、多种输出; F 也是矢量函数,即系统具有多种处理和转换功能。

系统工程的任务旨在增强系统的功能和性能,特别是提高系统处理和转换的效率,即在一定的输入条件下,使得输出多、快、好;或者在一定的输出要求下,使得输入配置尽可能节约。

图 1-8 给出了一个制造系统的功能、构成要素、运作目标和控制过程。

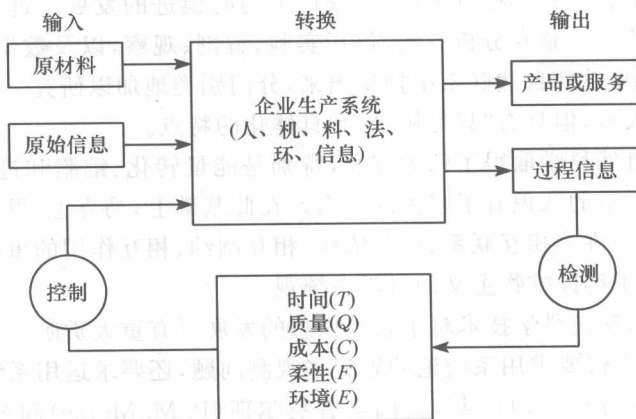


图 1-8 制造系统的功能、构成要素、运作目标和控制过程

1.1.4 系统思想的演变与发展

系统思想及其实践可以追溯到古代。古希腊的唯物主义哲学家德谟克利特曾提出“宇宙大系统”的概念,并最早使用“系统”一词。辩证法奠基人之一的赫拉克利特提出“世界是包括一切的整体”。亚里士多德提出的“整体大于部分的总和”,就是系统论的基本原则之一。我国春秋末期的思想家老子强调自然的统一性,指出“道生一、一生二、二生三、三生万物”。西周时代,出现了世界构成的“五行说”,即世界由金、木、水、火、土五种要素构成。东汉时期,张衡就提出了“浑天说”,并造出我国历史上最早的系统模型——地动仪。

虽然古代还没有提出明确的系统概念,但对客观世界的系统性及整体性却已有了一定程度的认识,并能把这种认识运用到改造客观世界的实践中去,中国在这方面尤为突出。例如,公元前6世纪,中国古代著名的军事家孙武在他的《孙子兵法》中,阐明了不少朴素的系统思想和运筹方法。该书共13篇,讲究行军打仗要把道(义)、天(时)、地(利)、将(才)、法(治)等5个要素结合起来考虑。

秦汉之际成书的中国古代最著名的医学典《内经》,包含着丰富的系统思想。它根据阴阳五行的朴素辩证法,把自然界和人体都看成由金、木、水、火、土五种要素相生相克、相互制约而形成的有秩序、有组织、有组织的整体。人与天地、自然又是相应、相生而形成的一个更大系统,如战国时期由李冰父子组织建造的四川都江堰水利工程,明朝永乐年间的大铜钟浇铸工程及脍炙人口的故事田忌赛马等都体现了这一点。朴素的系统观念在我国古代的军事理论和军事活动方面也有充分的体现。《孙子兵法》就是从系统整体观念出发,对系统的不同层次及系统与环境进行了全面分析,是我国古代深刻军事思想的最好体现。时至今日,《孙子兵法》仍是中国乃至世界许多热衷系统思想的学者、军事家、管理专家研究的对象。

但从客观上讲,由于缺乏观测和实验手段,科学技术理论又很贫乏,所以,古代朴素的系统思想不可能建立在对系统具体剖析的基础上,对很多事物只能看到它们的一些轮廓及表面现象,往往是“只见森林,不见树木”。

到15世纪下半叶之后,随着近代科学技术的兴起,力学、天文学、物理学、化学、生物学等逐渐从浑然一体的古代哲学中分离出来,获得了与时俱进的发展。近代自然科学发展了研究自然界的方法论及一整套分析方法,包括实验、解剖、观察,以及数据的收集、分析与处理,把自然界的细节从总的自然联系中抽检出来,分门别类地加以研究。这就比古代朴素的系统思想前进了一大步,但具有“只见树木”和具体化的特点。

到了19世纪,自然科学取得了伟大成就,特别是能量转化、细胞和进化论的发现,使人类对自然过程相互联系的认识有了很大的提高。在此基础上,马克思、恩格斯的辩证唯物主义认为,物质世界是由许多相互联系、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,逐渐形成了辩证唯物主义的科学系统观。

进入20世纪后,现代科学技术对于系统思想的发展具有重大贡献。现代社会实践活动的大型化和复杂化,不仅要求用系统论的思想来观测问题,还要求运用系统分析方法对问题进行定性分析与定量分析。1946年,美国学者莫尔斯(P. M. Morse)和金博尔(G. E. Kimball)编写了《运筹学的方法》一书。1948年,美国科学家维纳(Wiener)编写了《控制论,或关于在动物和机器中控制和通信的科学》一书。同年,香农(C. E. Shannon)编写了《通信的数学理论》一书。它们分别标志着运筹学、控制论和信息论学科的诞生。在这一时期,系统理论在管理科学和工程实践中的进一步应用,推动了系统工程学的创立和发展。

从20世纪60年代中后期开始,又出现了许多新的系统理论。比利时物理化学家普利高津于1969年提出了耗散结构理论。同年,德国物理学家哈肯(H. Haken)提出了协同论,协同论从宏观、微观及两者的联系上回答了系统自动走向有序结构的基本问题,其成果被称为自组织理论。法国科学家托姆(R. Thom)于1972年发表了《结构稳定性与形态发生学》,对突变理论作出深刻的系统阐述,创建了突变论。20世纪80年代以来,非线性科学和复杂性系统理论研究的兴起,对系统科学的发展起到了非常积极的推动作用。