



全国高技术重点图书自动化技术领域

Advanced
Manufacturing
Systems

现代制造系统分析与设计

任守渠 等著

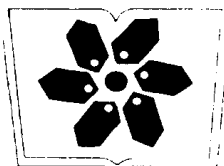
Advanced
Manufacturing
Systems

现代制造系统分析与设计

科学出版社

TH166
9

DZ 92/107



中国科学院科学出版基金资助出版

现代制造系统分析与设计

任守桀 等著



00473296



科学出版社

1999

内 容 简 介

本书以系统论、控制论与信息论的相互交叉,计算机信息技术与先进制造技术相互融合的方法,论述在动态、突变、混沌的市场环境下,先进制造系统的制造、管理与决策的模式。全书共八章,内容包括:系统、信息与控制,系统分析与设计的基本原理,信息系统的规划与管理,决策支持与决策支持系统,典型管理模式,先进制造系统与管理模式,生产计划与控制系统的分析与设计,工厂 CIM 系统总体设计。基于问题-求解工程方法的复杂制造系统的分析与设计方法是本书的主题,基本思路是:针对企业的经营目标及过程的需求,在开放式体系结构和有关参考模型的支持下,通过一组科学的、明确的方法、步骤及相应的工具,分析与设计出以计算机为基础的先进的信息系统与决策支持系统。本书是作者们 10 年来在这些方面研究与开发工作的总结。

本书可供制造业系统中的工程技术人员、管理决策人员、研究开发人员学习参考,也可作为高等学校中自动化、制造工程、系统工程等有关专业的研究生及高年级大学生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代制造系统分析与设计/任守策等著. -北京:科学出版社,1999. 7

ISBN 7-03-007338-X

I. 现… II. 任… III. ①计算机集成制造系统-系统分析 ②计算机集成制造系统-系统设计 IV. TH166

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 04634 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1999 年 8 月 第 一 版	开本: 787 × 1092 1/16
1999 年 8 月 第 一 次 印 刷	印张: 23 1/4
印数: 1—2 000	字数: 538 000

定价: 36. 00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

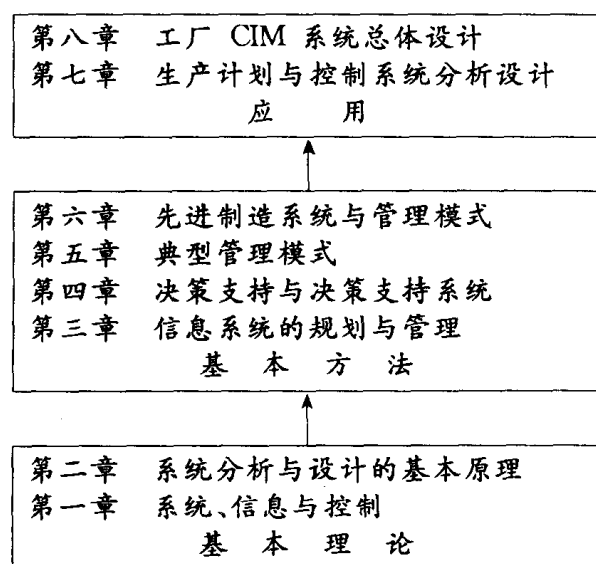
世界已经进入了信息时代,信息产业已成为社会的重要支柱.制造业正面临着新的挑战与机遇.主要的挑战是:制造业所处的环境是不断改变与难以预测的环境,本质上是一种湍流(turbulent)的环境,混沌(chaos)的环境.信息时代人们对产品的需求有如艺术品,变化莫测各不相同;人们对产品的认识是:产品是在原始资源(物质、能量与数据)上赋予信息的产物,即赋予顾客需求信息及相关制造知识的产物.制造过程则是这种赋予信息与知识的过程.认识的变化与深入产生了新的概念,创造了新的方法,最后得到了突破性的新的成果,顾客化产品(customized product)及其生产系统即先进制造系统(AMS, Advanced Manufacturing System)就是这一过程的产物.

在这种混沌的环境中,产品是按特定顾客的特殊需求设计与制造的.由于每一产品都不相同,因而企业面临着不断设计新产品的需求;每一产品的生产加工过程也各不相同,企业面临着不断重构制造系统的需求;最后,企业需要不断改变经营过程(BPR, Business Process Re-engineering),总之企业经常处于动态重组之中.在这种形势下,建立在传统经典力学与运筹学基础上的企业规划、生产计划与调度控制等方法,在理论与实践上都面临着新的挑战,因为这些理论与方法都是假定系统的环境是相对稳定与平稳的,只要知道系统的初始条件,系统就会按事先已知的规律变化,从而知道某一时刻的结果,初始条件有些误差,但只要误差足够小,其结果的误差也会足够小.但是,混沌环境下的先进制造系统,具有数以千万计的变量,它们之间相互关联,不仅要具有负反馈的机制来保持系统稳定性,而且还必须要具有正反馈的机制促使系统进化,以快速适应环境的变化,它是一种复杂的非线性动态系统,对初始条件极为敏感,因而具有所谓“蝴蝶效应”.传统的柔性制造系统、递阶控制系统及其管理与决策方法,已经不能满足这种复杂而又具有突变的非平稳环境的要求,取而代之的是有人参与的自学习、自适应、自组织机制及系统.这里“自组织”是一个既形象又严格的科学术语,指的是复杂系统为适应环境的变化而形成的新的有序状态,它是在少数参数驱动下自发地、自动地形成的,协同论(synergetics)中称之为序参数.因此,决策者、设计师可以通过控制这些序参数来重组系统.序参数是隐藏在数以万计的系统变量之中,而且是在高深层次之中,它们是使系统运动方程特征根中具有正实部的那些参数,必须通过数学变换的方法才能发现它们,进而控制它们,使企业向人们期望的方向,良性地进化与发展.系统分析、设计方法也面临着挑战,传统的按部就班式的生命周期法业已过时;传统概念下的原型法,其速度与解决问题的深度也不能满足这种非平稳的、多样化的、突变环境的需求,代之的将是由自组织理论指导下,在先进的信息技术工具支持下的快速原型法.

信息时代的技术是千变万化,日新月异的.为了适应这种环境,人们从不同的角度提出了各种先进制造系统的模式,如从快速响应市场变化提出了敏捷制造(agile manufacturing);从市场的随机性提出了随机制造系统(RMS, Random Manufacturing System);从计算机仿真角度提出了虚拟公司;从仿生学提出了仿生制造;从分形理论提出了分形公

司,为了保护环境又提出绿色制造等.这些先进制造模式共同的目标是:快速响应不可预测的市场的变化,实现混沌同步.共同方法是:分散系统的自组织机制.“自组织”的科学实质是:系统为适应环境变化,产生新的功能,形成新的时空有序结构,不是靠外力的直接作用与干预所形成的,而是在一组科学的客观规律与公平合理的规则约束下自动地形成的.对于上述这些模式逐一介绍它们的具体细节既不可能更无必要,因为信息时代这种具体的模式与技术将会越来越多不胜枚举.但在这些模式与技术中却存在着共同的、相对稳定的东西.同样,大千世界中的万物,不论是自然物还是人造物,都是由一些基本的因而相对稳定的东西通过进化或是人为的合成而产生的.信息时代的新理论、新概念、新方法与新学科是通过基本理论与基础学科相互交叉而诞生的;信息时代的新技术是基本技术相互融合的产物.面对这样的客观世界,人们应该如何正确地认识世界与有效地改造世界?这是当今出版科技书籍时首先要研究与回答的问题,也是撰写本书时我们首先要思考的问题,这里我们用一个通俗的例子来说明.张三与李四两人都要到某处参加一个学术会议,但是两人都不认识这个地方,需要向人打听与请教路途.张三获得的是具体的街道的细节特征和具体的路径.李四获得的是地图,并学会看图的本领.现在要问:谁找到了?谁迷了路?读者思考一下可以想象到:如果这条街道的东西一直不变,那么两人都能找到,而且张三又快又省事.如果街道不断改变,那么李四一定会找到,而张三可能迷路.因为地图是二维街道经过简化、抽象从而突出本质的模型,是相对稳定的.张三记的那些具体的特征是会改变的,一旦弄错必定迷路.当今,国外将教会人们具体的特征与操作程序的教学方式称为“培训”,将教会人们掌握基本的理论与方法的教学方式称为“教育”.这也是敏捷制造中强调人是企业最重要的资源,并主张“终身教育”,而不是“终身培训”的道理所在.因为人的记忆能力与推理能力总是有限的,不可能记住信息时代所有东西的一切细节.但是我们也要指出:培训具体的操作步骤是形象、具体而又会立竿见影的,而讲授基本理论与方法则是抽象与日久见功夫的.本书将以后一方法为主.

本书是多种学科的相互交叉与多种技术的相互融合的产物,它们包括:制造科学与技术、信息科学与技术、系统科学与技术和管理科学.基于这些需求与特点,本书内容将分成基本理论、基本方法与应用实例等三个层次,如下图所示:



本书采用问题求解的工程方法,它的基本思路是:针对制造业中制造与经营管理的目标及过程的需求,在开放式体系结构和有关参考模型的支持下,通过一组科学的、明确的方法、步骤及相应的工具,分析与设计出以计算机为基础,面向制造业的信息系统与决策支持系统.本书同一些理论书籍相比,它是面向应用的;同一般工程书籍与手册相比,它又是综合与提高的.现代复杂制造系统中的信息系统与决策支持系统必然是综合与创新的.它必须有多种学科理论的支持,简单学会一些绘制系统的工具是远远不够的.众所周知,光会工程制图,不会基本的制造理论,是不可能设计出一部新的先进的机器.同理,不掌握基本的系统、信息与控制的概念与方法,是不可能设计出支持复杂制造过程的信息系统与决策支持系统.因为它远比过去支持企业事务处理的管理信息系统(MIS, Management Information System)复杂.

在严酷的环境下经过长期进化而生存的自然物,如生物、云彩、岩石等,它们的基本特征是:内部具有分形结构;靠自组织的方法重构自己,形成多姿多彩的形态与功能以适应新的环境,达到同环境协同而生存的目的.具有快速设计顾客化产品、制造系统重构、经营过程再造能力的先进制造系统,这一人造物必然也应该具有分形结构与自组织能力.目前国际上提出的各种先进制造模式,其共同的目标只有一个,即快速重组自己以适应市场的突变.因此,先进制造系统的自学习、自适应、自组织机制的要点应该有两条:一是具有层次的、开放的实体结构,二是实现有效的、增值的集成与迭代的机制和方法,因此集成将是本书重要的内容.

科学与技术总是在继承中发展起来的,本书篇幅也是有限的.因此,将充分利用已有的我国工程人员已经习惯的而且有效的方法与工具.本书将其有限的篇幅主要放在“集成”(integration)上,做好问题求解的工程方法同这些现存的方法之间的“接口”.因此,集成是本书的中心概念与方法.复杂的制造系统是通过集成一些基本单元来实现的,信息系统也是如此,就连艺术品也同集成理论与技术密切相关.有人问著名音乐家 Stern:“为什么有的音乐家谱写出的曲子那么美妙动听?有的却平平淡淡,更有的像噪声?”他思考片刻后回答道:“音符固然是一重要因素,但更为重要的是音符之间的连接”.集成概念用在具体物理系统上表现为“连接”(接口);集成概念用在技术上表现为“融合”(technology fusion);集成概念在学科上体现为“交叉协同(synergy)”;集成概念在组织上的体现是“合作”.为此,在制造上要有新意,而不是“拼盘”;在管理上是有增值的,而不是重复计算;在系统上是非线性的(即 $1+1 \neq 2$, $1+1 > 2$ 或 $1+1 < 2$),而不是线性的叠加(即 $1+1=2$);我们的目标是:通过有效的方法,克服非线性集成中的风险(即 $1+1 < 2$),夺取由非线性集成所带来的附加效益(即 $1+1 \gg 2$).

本书是面向应用的,因此在描述系统时主要用的工具是自然语言与图表.但是,必要的数学工具也不回避.目的之一是为了揭示隐藏在深层次中的问题本质,二是为了沟通数学与具体物理系统之间的语言,便于实现多学科的协同工作.数学在这里是整理复杂制造系统的工具.因此,自然语言、图形与数学都是一种工具与语言,用来描述制造系统、分析制造系统与改造制造系统.

参加本书编写的有:任守桀,博德(Jürgen Bode),崔德光,罗邵武和石中岳.其中任守桀写第一、二、五章,第四章中的第五节,第六章(第七节由滕晓林写)及引言并负责全书内容规划;罗邵武写第七章;博德写第三章;石中岳写第八章;崔德光写第四章大部分;杨吉江负

责校对与修改第三、七章.他们在近8年的时间中一直从事计算机集成制造系统这个领域(CIMS,Computer Integrated Manufacturing System)的理论研究、技术开发与工程实施.这本书也是这些方面研究与开发工作的总结.

本书是在中国科学院科学出版基金委员会的支持下出版的,在撰写过程中得到“八六三”高技术计划CIMS主题的支持,同时还得到英国Croucher基金会的支持.本书曾得到杨家墀院士、梁思礼院士和李衍达院士的大力支持与帮助,并得到来自企业、学校和研究机关的技术人员的帮助与支持,我们在此表示衷心的感谢.

纵观过去,展望未来,竞争胜负归根结蒂取决于企业的资源.信息时代中人是诸种资源中最重要的关键资源,开发与利用这种资源的手段是教育,作者期望这本书能在这一过程中会起到应有的作用.

任守集

1998年10月

目 录

第一章 系统、信息和控制	(1)
1.1 引言.....	(1)
1.2 一般系统理论的基本概念.....	(3)
1.3 孤立系统、封闭系统和开放系统	(9)
1.4 信息、信息量与信息的负熵	(10)
1.5 控制论的基本概念.....	(14)
1.6 有限合理性原理.....	(23)
1.7 复杂系统理论.....	(25)
1.8 计算机集成制造系统的概念模型.....	(30)
参考文献	(32)
第二章 系统分析与设计的基本原理	(33)
2.1 问题-求解工程方法的基本概念	(33)
2.2 西蒙模型.....	(35)
2.3 霍尔模型.....	(37)
2.4 生命周期法.....	(39)
2.5 原型法.....	(44)
2.6 复杂系统分析与设计的工具.....	(45)
2.7 制造系统设计的基本原理.....	(49)
参考文献	(55)
第三章 信息系统的规划和管理	(56)
3.1 信息系统规划与管理的必要性.....	(56)
3.2 信息系统管理的基本问题.....	(58)
3.3 信息系统的规划.....	(74)
3.4 中国信息系统管理的特色.....	(94)
参考文献	(96)
第四章 决策支持与决策支持系统	(98)
4.1 概述.....	(98)
4.2 决策支持系统	(104)
4.3 决策支持系统的集成	(117)
4.4 分布式决策支持系统和群决策支持系统	(124)
4.5 基于自组织的决策模式及决策支持系统	(126)
参考文献.....	(143)
第五章 典型管理模式	(145)
5.1 管理及管理模式	(145)

5.2	物料需求计划模式	(146)
5.3	制造资源计划模式	(149)
5.4	准时制生产管理模式	(157)
5.5	最优生产技术模式	(167)
	参考文献	(170)
第六章	先进制造系统与管理模式	(171)
6.1	概述	(171)
6.2	精益生产模式	(176)
6.3	并行工程	(178)
6.4	敏捷技术与敏捷企业	(190)
6.5	计算机集成制造	(205)
6.6	质量功能布署	(217)
6.7	鲁棒设计方法	(232)
	参考文献	(237)
第七章	生产计划与控制系统分析设计	(238)
7.1	分析设计框架	(238)
7.2	目标体系框架	(247)
7.3	系统功能和信息的分析与设计	(250)
7.4	PETRI 网建模分析	(286)
7.5	系统软件结构	(303)
7.6	人-机界面的分析设计和结构模式	(308)
	参考文献	(311)
第八章	工厂 CIM 系统总体设计	(313)
8.1	引言	(313)
8.2	CIMS 需求分析	(314)
8.3	CIMS 总体设计	(325)
8.4	CIMS 功能模型设计	(332)
8.5	CIMS 信息模型设计	(336)
8.6	CIMS 技术设计	(342)
8.7	CIMS 经营运作模式设计	(362)
	参考文献	(363)

第一章 系统、信息和控制

1.1 引言

我们生活的世界中存在着各种各样的简单的和复杂的系统,例如,制造系统、电力系统、计算机信息系统、经济系统、生态系统、语言系统和社会系统等.在这些系统中有的是自然系统,有的是人造系统.自然系统是自然演进过程中自然形成的,如海洋系统、矿物系统、生态系统等.自然系统的组成部分是自然物,如动物、植物、矿物等.自然系统呈现出高度的平衡与有序,如季节现象与食物链等.人们可以利用它但不能破坏这种自然平衡.人造系统是由人工造出的各种要素所构成的,如电力系统、信息系统等.实际上,现实世界中的系统大部分是自然系统与人造系统的混合的复合系统.这些系统又区分成封闭系统和开放系统.单纯按计划机制运转的经济系统是封闭系统.生态系统是开放系统,按市场机制运转的经济系统也是开放系统.任何一种系统都具有五大特性:目的性、整体性、一致性、动态性与有序性.也就是为了特定的目标,各个单元(又称子系统)间必须保持整体、一致而有序的相互关系,并能随环境变化而动态地改变自己的行为.例如,制造业信息系统中的各个子系统(工程子系统、计划子系统、财务子系统等)通过有关数据与信息的相互的联系,使得信息系统整体有序,把正确的信息、在正确的时间、用易于理解的表达形式送给有关部门中需要这种信息的合适人员,达到辅助与支持决策的目的.客观世界中总是存在着各种各样的干扰,使系统行为偏离人们的期望目标,为了协调与控制好系统中的各个子系统,使它宏观整体有序地工作,人们就必须寻找合适的控制点,采用科学有效的控制机制与控制方法,在可靠信息的支持下控制全局.因此,系统、信息和控制是我们认识复杂系统,进而改造各种人造系统的基础.

本章介绍和讨论信息论、控制论和系统论中的基本概念、方法和在制造系统中的应用.目的是使读者能从这种高度来分析自己所从事的各种复杂系统,善于运用这些基本规律和基本方法来处理日常工作中出现的问题.这样才能在竞争剧烈与技术日新月异的环境中看清正确的方向,把握好通往正确目标的主航导,取得持久的高深层次的效益.这些高深层次的附加效益是系统整体性带来的.古希腊哲学家 Aristotle 在公元前三百年就指出:the whole is more than the sum of its part,用当今系统论的语言解释就是整体系统的总效益应大于系统中的各子系统效益的代数和.为了让读者更加具体地了解到这种附加效益的实际意义,激发读者学习与掌握系统基本理论和方法,夺取这些附加效益的积极性,让我们先举几个大家熟悉的例子.

1.1.1 力学系统——工字钢

设有三块形状与材料都完全相同的钢材,每一块抗弯强度为一个力学单位.现将这三块钢材平叠一起,则总的抗弯强度能力为三个力学单位.如若将这三块钢材平放并焊接在一起,由于焊接而引起的应力集中使总的抗弯强度小于三个力学单位.最后,如若将这三

块钢材按“工”字形组合焊接在一起形成“工字钢”，实验与理论分析都表明：这时总抗弯能力大大超过三个力学单位。这是一个简单的力学系统，由三个子系统组成，系统目标是提高整体抗弯能力。例子生动地说明了子系统间不同连接会产生截然不同的系统整体性能。

1.1.2 管理系统——分工与合作

今有一个房屋翻修工程，要翻修 10 间相同的办公室，包括：刷墙、铺地板和改装电灯等项目。现有 2 家工程队来承包，甲公司将 10 间分别包给 10 个人，每人承担一间中的全部工作，价格为 10 万元，工程一个月完成。乙公司采取专业分工制，一人负责铺地板，一人负责装电灯，一人负责粉刷墙，一人负责备料等辅助工作，一人负责组织与协调，共需 5 个人，价格为 10 万元，工程一个月完成。设每人每月工资为 5000 元，材料费 4 万元，则甲公司盈利 1 万元，乙公司盈利 3.5 万元。本例子说明了简单系统（甲公司 10 个不关联的独立系统）和复杂系统（乙公司采用分工与合作的方法，因此是有联系的）带来不同的整体效益。

1.1.3 用精度不高的元件构成高精度的系统

众所周知半导体器件的性能对温度十分敏感，因此过去采用的模拟机时计算精度受环境温度影响是个严重问题。数字计算机用相同的电子器件，但用非线性方法组成，它用“0”与“1”两个状态组成计数系统，从而大大地提高了系统的计算精度，外界干扰如不超过改变状态的“阈值”，对总系统无影响。

上述三个例子生动地说明了系统给人们带来的效益。这里包括了为实现总系统的目标，如何划分子系统和如何协调各子系统这两个基本问题。无分工单干式的作业方固然不好，但是采用分工作业方式时如果协调不力，不仅会降低效益而且可能落得全局皆空的结果。例 2 中乙公司如若改装电灯工种不落实或临时离开，则 10 个房间全无电灯一个也不能用。甲公司尽管效率低，但是全盘皆空的概率却远比乙公司小。工字钢系统中如果抽去一条那么整体都跨。从系统数学模型上看，单干是线性叠加的关系，因此尽管效率低，但是只要一人在干系统总有一份效益。合作则是非线性乘积的关系，因此效率是很高的，但是只要一项为零全局皆空。这也是信息时代信守承诺是生活与工作的基本法则之一的道理。上述实例是人们在无数成功与失败的经验和教训中总结起来的，而且是自然进化而成的，不论何种原因是规律可循的。本章要讨论的协同论（synergetics）就是指导上述系统中协调各子系统乃至相关学科的理论基础。目的是让读者提高到基本规律的高度来认识这些现象。

本章不仅介绍一般系统的基本概念，封闭系统、开放系统的主要特征以及信息论、控制论中的基本理论，还要以这些理论为基础，讨论生产计划与控制系统。因为它是企业中复杂信息系统的核心，同时又是处理信息系统复杂性（例如：不确定性、多目标、离散事件的优化等）的典型例子。最后抽象与归纳出面向计算机集成制造 CIM 信息系统的概念模型。

1.2 一般系统理论的基本概念

系统是由一组要素为完成特定功能,通过相互间的有机联系而组成的整体.韦伯斯特(Webster)字典中把系统定义为:“一组按某种形式相互作用或相互关连的要素所形成的统一整体”,这里元件及关连均是广义的.系统可能是一种物理系统,也可能是一种抽象系统.抽象系统是一组相互关连的概念或模型的有序排列.一般系统由输入、处理和输出组成.它有一定的活动空间,并在特定的环境下为特定的目标而运转着.活动空间即系统空间,它同环境的交界决定了系统的边界.为了对这些概念有个初步的感性认识,我们先研究现代制造系统这个复杂的系统,如图 1.1 所示.

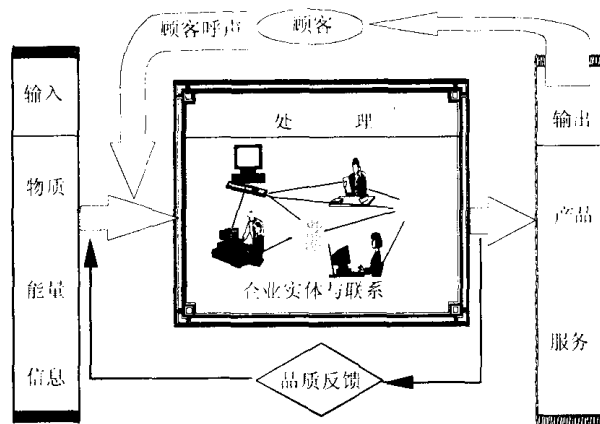


图 1.1 制造系统模型

该模型是对现代企业生产与经营过程这一种复杂系统经过简化、抽象后的描述,从而突出本质地揭示了现代企业生产经营中物质与信息运动过程的实质.输入包括:物质(原料、设备、资金、人员等)、能量与信息.输出包括:产品和服务.企业一切活动就如一个复杂系统,它将输入经过处理与变换后成为市场所需要的各种产品与服务.企业中的实体犹如总系统中的各种子系统,它们不同的联系构成不同的功能,用来处理各种输入的物质、能量和信息资源达到预期的目的,形成最终产品与服务.图中实体与联系是广义的,对于具体的物质系统,实体与联系是具体的,对于抽象的系统,实体与联系是抽象的,它们可以是概念或符号的集合.例如机床实体与零件实体,它们间相互作用的联系,形成切削加工的处理与功能;工程部门中的设计人员实体与计算机实体间的相互作用的联系,形成设计过程与设计的功能;经营部门中的经理们以会议形式进行的相互间交换信息、意见的联系,形成决策过程与决策功能.上述这些过程与功能尽管具体物理东西的形式与内容截然不同,但是“输入—处理—输出”这三个过程在逻辑上是完全相同的.对于复杂系统这种简化、抽象与突出的本质的描述是十分重要的,只有这样人们才可能利用系统论与控制论中的理论、方法和工具去认识与设计企业中复杂的经营管理与生产过程.

1.2.1 系统的分类

复杂系统只能分门别类地进行研究.目前对系统分类是从不同角度进行的.大的分为

自然系统与人造系统,实体系统与概念系统.从系统同环境间的关系可分成开放系统与封闭系统.从人们对系统运动规律掌握的程度分为确定性与不确定系统;从系统状态变量是否随时间变化分为静态系统与动态系统;从系统运动过程是否满足叠加规律分成线性系统与非线性系统;从引起系统变化的各种事件是否可数又分成连续事件系统与离散事件系统.现实世界中的实际系统不可能有着严格的界面,严格地属于上述某一类.但是在进行理论研究时就必须进行必要的简化和一定的抽象,才能揭示隐存在复杂系统深处的本质.具体工作中遇到的复杂系统总不会是全面复杂或要求百分之百地精确,任何实际工程问题总是为解决某类问题,并企图取得满意的结果.因此,上述各类系统的基本规律对复杂的工程系统是有指导意义的.

1. 静态系统与动态系统

静态系统是系统状态变量不随时间变化的系统,描述它运动规律的数学模型中不包含时间这一因素.系统某一时刻的输出变量直接由该时刻的输入变量所决定.动态系统则相反,它的状态变量是随时间而变化的,描述它运动规律的数学模型中包含时间这一因素.某一时刻输出值由系统这一时刻的输入变量与过去的输入变量所确定.因此,动态系统具有记忆过去历史的本领,系统内部具有记忆功能的存储单元.物理意义是这种单元具有储存能量的作用.正是由于这个本质使动态系统呈现出各种独特的品质与行为.例如,迟后效应、超调振荡及不稳定等.静态系统由于无储能记忆元件,因而不存在迟后、振荡或不稳定等现象.静态系统严格地说不存在的,但如若记忆功能可以忽略不计,则可以近似地视为静态系统.例如,白炽灯、线性固定阻值的电阻组成的电路等均可视为静态系统.设在电阻二端加一电压,则输出电流 $I(t)$ 同电压 $V(t)$ 间的关系由下式所决定:

$$I(t) = \frac{V(t)}{R} \quad (1.1)$$

其中 R 为电阻值,则电阻上某一时刻的电流仅取决于该时刻施加于电阻上的外来电压的数值,而同过去情况无关.电灯也是如此.电扇系统是动态系统,因为它有两个储能元件,一个是储存机械能的储能单元,另一个是储电磁能的储能单元.若外加电压 $V(t)$,则电扇中的电流 $I(t)$ 及电扇转速 $n(t)$ 由下述微分方程式(1.2)所决定:

$$\begin{aligned} V(t) &= I(t)R + L \frac{dI(t)}{dt} \\ M - M_c &= J \frac{dn(t)}{dt} \\ M &= F[I(t)] \end{aligned} \quad (1.2)$$

其中 J 为机械转动惯量,它描述机械储能元件储存动能的本领. L 为电路电感,它描述电磁储能元件的特性. M_c 是机械力矩, M 是电磁力矩.从上面的方程组可以看到,加上电压后,电扇不可能在 $t=0$ 间隔内转动到额定值,必须经过一段时间使两个储能元件存储到相应的动能及电磁能.这是因为现实世界不存在功率 $P=\infty$ 的电源.因此,需要时间来存储这些机械和电磁能.上述是物理系统的例子,信息系统等抽象系统也有类似这种现象.例如外汇兑换信息系统是静态系统,仓库中库存信息系统则是动态系统.设外汇比率为 $K(s,t)$,设 t 时间输入某国换币数量为 $V(s,t)$,设该时刻相应人民币值为 $O(t)$,则有

$$O(t) = K(s,t) \times V(s,t) \quad (1.3)$$

其中 $K(s, t)$ 为 S 种外币 t 时刻对人民币的比值. 因此, 某一时间某人可换得的人民币数目, 只同该时刻此人持有的外币种类、数量及该时刻这种外币的兑换率有关, 同此人及该银行过去情况无关. 对于兑换货币这种业务过程, 它不需要兑换人在银行中的过去历史有关的信息. 因此, 不需要设置这类记忆单元.

仓库信息系统中设有记忆单元, 存储现在库存的情况, 它记录了仓库过去存储的情况. 设第 k 时刻的库存量为 $X(k)$, 订货速率为 $D(k)$, 进货速率为 $I(k)$, 则 $K+1$ 时刻的库存量 $X(k+1)$ 为

$$X(k+1) = X(k) + I(k) - D(k) \quad (1.4)$$

由于进货率不可能为无穷大, 因此为获得一定的库存量必须经历相应的一段时间. 某一时刻的库存量不仅取决于该时的进货量, 而且同该时刻前的库存量有关, 即具有记忆历史状况的性能.

动态系统具有记忆功能, 这是客观规律, 人们无法抗拒它. 但是, 人们却可以依据这个规律按人们的期望改造现实世界. 例如, 可以采用机械惯性小的材料做风扇, 改变叶片形状等方法来提高风扇起动速度, 减少起动时间. 对于企业中的库存, 则可以通过改善经营管理依靠信息技术, 促进物流畅通等办法来减低库存. 记忆单元, 惯性和库存也有有用的方面. 它是抗拒外界干扰, 减低风险的有效措施之一. 但是, 库存什么、存多少、何时存等问题却是应该认真研究的课题. 掌握系统规律有助于人们更深刻地认识这类问题.

现实世界中大多数系统都是动态系统, 静态系统只是动态系统的一种极限状态, 即稳态时的系统. 实际工程中的某些情况下, 如果系统行为随时间变化不是主要的因素时, 则可将系统近似地当作静态系统来处理.

2. 确定系统与不确定性系统

确定性系统是指这样的一类系统: 系统中的各个子系统的行为及各子系统间相互作用是完全清楚的, 系统环境对它的各种作用也是完全清楚的. 因此, 在外力作用下, 人们能够准确地预见系统未来的行为. 例如, 管理信息系统中的事务处理系统是确定性系统. 当人们输入数据后, 它将按事先安排的分类及格式输出. 正确的计算程序系统也属于确定性系统, 它是严格按一组指令而运转的.

不确定性系统又称概率系统, 在动态情况下叫随机系统. 它指的是这样的一类系统: 人们不能完全准确地事先掌握它的行为, 系统中的变量是随机变量. 人们对这类系统只能从宏观层次上去认识, 只能掌握它们的统计规律, 即掌握它们的平均趋势和偏离范围. 气象系统是随机系统, 它只能预报短期温度变化的范围, 而不能事先知道某地、某时刻温度的准确的数值. 库存系统也是一种不确定性系统, 因为人们不可能准确地事先知道某一时刻究竟有多少人来购货. 人-机交互的计算机系统也是一种随机系统. 因为尽管计算机程序是确定性的, 但是人的行为却是不确定性的, 正是发挥了人的这种灵活性, 使人与计算机结合起来的人-机系统, 具有适应环境中不确定的能力. 不确定系统的理论基础是概率论和随机过程理论, 概率论是建立在统计学概念基础上的. 因此, 必须拥有足够数量的样本或实验数据. 但是, 某些重大工程, 例如航天飞船就不可能通过多次花钱的实验数据而获得足够多的样本. 随着决策论、混沌理论(chaos theory)和分形几何(fractal geometry)的出现及发展, 人们认识到随机现象的本质在于人们没有掌握这一过程的全部规律. 因

此, 概率不是客观世界某一事件出现可能性大小的度量, 而是人们对该过程知识掌握多少状况的度量, 从而形成主观概率论. 它同传统的客观概率论相比, 更加触及事物本质. 这些理论的形成与发展, 对于我们认识现实世界的不确定现象, 诸如各种评比、打分、统计等过程具有深刻的意义.

3. 线性系统与非线性系统

线性系统与非线性系统间的根本分水岭是看它是否遵守与服从叠加原理. 线性系统符合叠加原理, 即系统同时承受各种输入, 系统输出等于系统各个输入所引起的输出的代数和. 设系统有 n 个输入, 分别为 u_1, u_2, \dots, u_n , 系统输出为 Y , 则线性系统输出 Y 为

$$Y = L(u_1 + u_2 + \dots + u_n) \equiv L(u_1) + L(u_2) + \dots + L(u_n) \quad (1.5)$$

其中 L 表示线性系统内部相互关系及对输入的处理. 在数学上 L 是一种线性映射. 非线性系统, 不服从叠加原理. 这时系统输出与输入关系为

$$Y = N(u_1 + u_2 + \dots + u_n) \neq N(u_1) + N(u_2) + \dots + N(u_n) \quad (1.6)$$

其中 N 表示非线性系统内部相互关系及对系统输入的处理. 数学上 N 也是一种映射, 但它是在非线性空间中的一种非线性映射. 在复杂的信息系统中, 处处存在着非线性现象, 它给我们在分析系统问题时带来不少困难. 但是, 非线性却蕴藏着大千世界中丰富多彩的景象, 深刻地认识这些非线性系统的规律, 正确地应用这些规律会给我们带来高深层次的效益. 本章开始的三个系统的例子, 生动地说明了非线性给人们带来的效益. “工”字钢系统、合作系统和数字机系统都是非线性系统. 因为, 它们都不符合叠加原理. 在数学上, 除了一次项外还有高次项, 如下式:

$$Y = k_1 u_1 + k_2 u_2 + \dots + k_n u_n + \beta_1 u_1 u_2 \dots u_n + \dots + H.O. \quad (1.7)$$

其中高次项物理意义是合作, β_1 是协调, 协调不好 β_1 为负值, 起到相反的效果. 本章开头用“平放焊接”式的力学系统、简单地将 CAD/CAPP/CAM/MIS 等集成起来, 实现计算机管理自动化等都是线性集成. 因为它的效益是各子系统计算机化后所带来的效益的叠加.

并行工程模式或其它先进制造与管理模式指导下集成起来的 CIMS 系统是高效的非线性系统. 这里的关键是正确的分工与有效的协调, 使系统效益除线性部分的初始效益外, 还有合作式的非线性项所带来的附加的集成效益. 这里 β_1 是关键参数, 它是使并行工程模式下系统宏观有序的序参数, 它应该是决策者紧抓不放的决策变量.

4. 连续系统与离散系统

连续系统又称连续时间系统指的是这样的一类系统, 它的变量在全部时间中均能测到, 系统状态变量是不可数的, 即变量是时间的连续函数. 温度自动控制系统, 化工生产过程等均属于连续系统. 离散事件系统 (discrete event systems) 指的是系统状态是可数的事件, 即变量不是时间的连续函数. 制造业中的生产过程和股票市场中的股票值等是离散事件系统. 连续系统可用微分方程来描述, 各阶导数描述了系统的变化趋势. 数学中微分方程理论给人们分析与设计这类系统以有力的支持. 离散事件不存在导数, 因此遇到了数学上的组合优化中的 $Np-C$ (非多项式) 计算复杂性问题. 目前, 离散事件动态系统 DEDS 理论是分析这类系统的工具之一. 实际上, 现实世界中不存在数学概念意义下严格的连续

系统与离散事件系统,读者应视具体情况来决定自己遇到的系统接近于哪一类.

系统同环境的关系,又分成开放系统与封闭系统,这部分将在本章第三节中介绍.

1.2.2 一般系统的形式化模型

至此,我们对系统及其现实意义有了一般的理解.本节将对系统进行必要的进一步的抽象,进而给出一般系统的形式化的模型,其目的是帮助我们在更高的层次上认识复杂系统的全局,在更深的意义上认识复杂系统的宏观和微观结构,这样才能运用自如地处理每天碰到的各种各样千变万化的系统中的复杂问题.我们主要研究的对象是各种各样用途的信息系统,并以系统的观点考察它们中的各种逻辑关系,为此可用图 1.2 来描述.

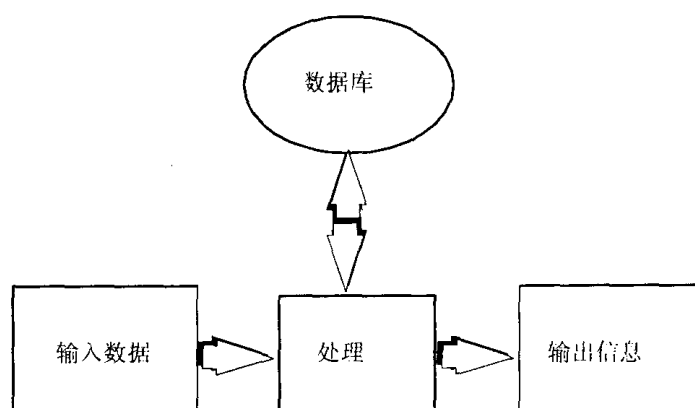


图 1.2 信息系统

前面我们已经讨论过,系统是一种相互联系的实体(objects)的集合,则系统 S 可以表示为

$$S \subset \times \{O_i | i \in I\} \quad (1.8)$$

其中 O_i 表示系统中的各种实体,如企业中的人事实体、工程实体等.相互联系,在数学上表现为函数关系,或一般的关系 R .现在,我们要进一步深入地讨论上述这种实体与联系的概念,进而建立一般系统的数学模型.一个好的模型必须真实而又抽象地反映实际的对象.“真实”指的是模型应能描述实际对象的各种性能与行为,而且便于利用它来对现实对象进行深入的分析,进而作出各种有效的决策.“抽象”指的是应该反应对象及其变化过程中深一层次的本质性的东西.这样才能使实体的模型在变化的环境中具有强大的生命力.一般在建立系统模型时,应考虑如下几个问题.

1. 系统空间

系统空间指的是所研究问题中各种实体活动的范围,它决定了系统与环境间的边界.例如,计算机集成制造系统(CIMS, Computer Integrated Manufacturing System)包括了企业中工程、制造与经营管理等三大实体.企业同市场的交界是 CIMS 系统的边界.一般说来系统空间愈大导致系统模型愈复杂,但是处理得当(有能力处理的话)系统总体效益就愈好.因此,正确选定系统空间是建模的首要问题.

2. 属性及系统状态

系统由各种不同类型的实体组成,每一实体应选择哪些属性(attributes,或称信息)才能充分描述该实体的各种功能,则是系统建模中的另一个重要问题.因为,任何一种人造系统都是为实现特定目标服务的,目标又必须由相应功能来实现,而属性间的各种联系又表现为功能.

属性中随时间或空间而变化的属性称为系统变量,其中随时间变化而且反映系统所处情况的变量称为系统状态.例如,人事系统中的“人”这一抽象实体(除去张三、李四这些现实人的具体特征而形成的抽象实体),高层只需记录姓名、年龄、性别、职业等四个属性,其中年龄、职业是随时间变化的,称它们为状态.每一名具体的人,他的姓名、年龄、性别和工种构成一条记录或状态变量的一个取值.因此属性、状态是同系统功能相联系的,它们间的相互作用或对它们进行特定处理后形成支持决策功能的相应信息.这些属性和状态是分层次的,为了更好地利用各种人员,对于基层的人事系统,还需有进一步详细的属性或状态变量,如专业、工作经历等.改变状态变量一般是要消耗资源的,它们一般同相应的储能单元相联系.状态变量一般分成可控制状态(controllable)和不可控状态(uncontrollable);可观察状态(observable)和不可观察状态(unobservable).可控状态指的是人们在外界可以对它施加影响的状态,不可控状态指的是人们在外界无法对它施加影响的状态.可观察状态指的是可以通过物理设备测量到的或通过推算出来的状态,不可观察状态是无法测量或推算到的状态.建模时,应该以最少的但又是充分的属性和状态来描述系统,即它们应该是正交无冗余的.状态变量的数目应该同系统空间的维数相同.

3. 系统输入与输出变量

系统输入变量指的是外界施加于系统的那些变量.它们是环境中对系统重要而又本质的那些部分,输入变量在系统中是独立的变量.输出变量则是相关变量,由系统状态及输入变量所决定,输出变量执行系统对环境的交换及影响.

4. 系统目标及决策者的价值

任何系统都是为了完成特定功能,实现某些目标而工作的.当目标多个、资源又有限时就会产生冲突.这时决策者的价值观(value model)是处理冲突的依据.

至此,一般系统 S 可用下面7重组来描述:

$$S = \{T, I, I_p, X, Y, \delta, F\} \quad (1.9)$$

其中 T 是描述时间的一个集合,它可能是连续的实数,也可能是离散的实数.即 $T \subset R$ 或 $T \subset I$,它们分别表示连续时间系统或离散时间系统.

I 是输入集合, $I \subset R^n$.即输入集 I 为 n 个实数变量.

I_p 表示某一时间间隔中,系统输入片段子集的模式,即 $I_p \subset [I, T]$.系统输入模式是由它的环境所决定.当我们研究复杂系统中某一个子系统的输入模式时,它可能是另一个子系统的输出片段或者是另外几个子系统输出片段某种形式的函数.

X 表示系统状态, $X \in R_n$, X 是时间函数.系统中全部的 $X(t)$ 构成系统 S 的状态空间.