

系统工程原理与应用

系统工程原理与应用

陈来安 陆军令 编著

学术

51.942

7

00463

出版社

学术 期 刊 出 版 社

系统工程原理与应用

陈来安 陆军令 编著

学 术 期 刊 出 版 社

2PBB/58 12

系统工程原理与应用

陈来安 陆军令 编著

责任编辑 沈国峰 吕秀齐

*

学术期刊出版社出版

(北京海淀区学院南路86号)

一二〇一工厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

*

1988年3月第一版 开本: 787×1092毫米1/16

1988年3月第一次印刷 印张: 17

印数: 1—7 200 字数: 412千字

ISBN 7-80045-018-X/N·2

定价: 7.00元

科技新书目刊号169-089

前 言

系统工程是当代正在迅速发展和逐步完善的一门新兴学科，从它诞生之日起，就展现了巨大的生命力。我国从60年代初开始有组织地应用系统工程解决导弹的研制、生产、试验和管理工作。此后，它广泛应用于能源、交通、农业、建筑、矿业、水利等部门的协调与发展，以及社会、经济、人口、生态环境、城市规划、企业管理等方面。

本书阐述了系统工程的基本观点、基本理论和基本方法，以及系统科学的发展趋向。重点放在如何从客观实际中确定系统目标、功能、要素、结构，如何划分系统与环境界限，建立系统模型，选择优化方案，以便建立一个新的系统或改造一个旧的系统，并控制其在最佳状态下运行。

本书力图突出本学科特点，理论联系实际。书中所介绍的有关系统动态学、模糊系统、系统可靠性等内容，便于根据教学、自学需要进行选择和取舍，以扩大本书专业适应范围。

全书共八章，第一、四、六、七章由陈来安编写，第二、三、五、八章由陆军令编写。编写过程中曾得到钱炳华教授等有关同志的支持，在此谨致衷心谢意。

目 录

第一章 系统工程概述	(1)
第一节 系统的基本概念	(1)
第二节 系统的分类	(10)
第三节 系统工程的学科性质及其理论基础	(14)
第四节 系统开发的阶段与步骤	(20)
第五节 系统科学的形成与发展趋向	(25)
第二章 系统分析与预测	(31)
第一节 系统分析的基本概念	(33)
第二节 系统分析的要素与准则	(34)
第三节 系统分析的步骤	(36)
第四节 系统的需求分析	(40)
第五节 系统的预测技术	(51)
第三章 系统可行性分析	(81)
第一节 系统可行性分析的概念与步骤	(81)
第二节 系统的技术分析	(84)
第三节 系统的经济效益分析	(86)
第四节 可行性分析报告的编制	(100)
第五节 可行性分析举例	(102)
第四章 系统模型与模拟	(107)
第一节 模型的概念	(107)
第二节 系统模型的分类及步骤	(108)
第三节 系统的结构模型及其特性	(111)
第四节 建立系统模型的途径	(124)
第五节 系统动态结构模型	(147)
第六节 系统模拟模型	(154)
第五章 系统的评价与决策	(165)
第一节 系统的评价	(165)
第二节 系统分析举例	(174)
第三节 系统的决策	(181)
第四节 系统层次分析法	(191)
第六章 系统动力学	(205)
第一节 系统动态(动力)学的产生	(205)
第二节 系统动态(动力)学的特点及研究步骤	(207)

第三节	系统动态学的基本概念	(208)
第四节	系统动力学的应用	(217)
第五节	系统动力学的模拟法	(224)
第六节	系统的反馈回路与调节	(225)
第七章	模糊系统	(229)
第一节	模糊集合论	(229)
第二节	模糊关系及推理合成	(231)
第三节	模糊集理论应用	(234)
第八章	系统可靠性	(240)
第一节	系统可靠性的基本概念	(240)
第二节	系统可靠性的数量指标	(247)
第三节	系统可靠性分析	(249)
第四节	系统可靠性分配	(257)

第一章 系统工程概述

第一节 系统的基本概念

一、什么是系统

系统——互有联系并为完成某种特定功能的诸要素的集合。

构成系统的三个条件是：两个以上的要素，要素间互有联系，能完成某种特定功能。前两个条件是指系统的内部结构(转换机构)而言，第三个条件是指通过外部输入经转换机构产生输出并完功能。如图1.1所示，输入、转换机构、输出又可称为构成系统的三元素。例如一台电视机是由许多复杂元件组成，电视机的功能是通过从外部输入微波，经过复杂的元件转换机构输出图像及声音，完成电视机的功能。

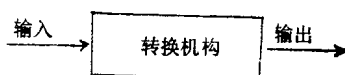


图1.1 系统三元素

与系统概念有关的还有“要素”、“结构”、“功能”、“行为”以及与系统并存的“环境”。

要素——系统内部相互作用的基本组成部分，是完成系统某种功能无须再细分的最小单元。因此，要素是根据系统的目的及所应具备的功能而确定的。因为任何人造系统均有其目的性，目的是由若干功能去完成的，而要素又是完功能的最小单元。

一个系统常具备多种功能，某些关系极为密切的要素常组成一个子系统，去完成某种功能，所以子系统是部分要素的集合，而系统是全部要素的集合。例如电视机最主要的是具有传播图像及声音两种功能，而构成传播图像及声音两个子系统的要素分别是由若干元件组成的，这些元件就是系统的要素，即无须再细分的最小单元。当然每个元件的材料还可分解成分子、原子……，但这是另外系统所研究的问题。虽然为了保证元件具备一定的功能，材料是很重要的方面之一，但目前没必要去再细分研究它。从宏观及微观上分析任何事物，向下或向上均可无限制的分解和组合下去，乃至无穷。但是，系统的要素必须是相对的，它分解到何种程度是根据系统的目的和应具备的功能来决定的。

结构——系统的要素及其联系。系统结构是要素的秩序，是系统要素在时间与空间有机联系与相互作用的方式或秩序，是系统内部的描述，是决定系统功能的内因，也是系统功能的保证，是为功能服务的，也是系统作功的渠道。只有要素而无联系，或虽有联系，但却杂乱无章不能作功，均不能称之为系统。要素间的相互作用及其联系表现为物质的、能量的及信息的流动。这些流动通过系统的有机结构而作功——即完成系统的功能。电视机外界的微波通过内部元件间的线路的流动在不断作功，最后将图像及声音传播出来，它既有能量的流动，也有信息的流动。

系统要素虽相同，但结构不同，可以组成不同系统，但结构相同，系统必同。金刚石与石墨就是一个明显的例子，虽然它们的化学成分都是碳，但由于原子排列结构不同，性能就出现了根本差异，金刚石透明、不导电、硬度高，而石墨却相反，不透明、导电、硬度低。因此，不同的系统具有不同的结构、不同的结构会产生不同的功能，所以说系统是结构和功能的统一体。对每一系统来讲，其结构都是有序的，否则功能就会造成紊乱。它不仅适用于工程系统，也适用于社会、经济等系统。社会经济要素虽相同，但目的及结构不同，功能也会产生差异。

要素之间的联系是有向的，它们有单向、双向、直接、间接之分，如图1.2所示。要素之间的联系按其作用形式可分为影响关系、从属关系、制约关系、协同关系、对抗关系、因果关系等。

功能——系统与环境相互作用过程的秩序和能力。功能是系统对外部的影响，是系统对环境的作用和输出。功能也是系统结构的结果，即有了结构然后才具有功能。系统丧失功能，也就失去了存在的价值。环境对系统的需求，主要是指功能需求，而不是系统结构本身。失去功能的系统，结构虽存，却犹如废物。例如，一台电视机是一个复杂的系统，如果它失去显像播音功能，则其机体结构就失去价值。系统结构是完成功能的保证，功能是系统在环境中所能起的作用，是完成系统任务好坏的标志。系统从环境中输入物质、能量、信息，通过系统结构有秩序的流动和转换处理作用而完成功能。人对事物的记忆力、分析和解决问题的能力及反应速度等都标志着人脑的功能大小和好坏。所以，功能又可认为是系统转换机构的效率和效益，它是可以相互比较和衡量的。

行为——系统存在于环境之中，输入表现为环境作用于系统，系统受环境刺激作用，产生响应或反作用于环境，即系统的输出，这种作用与反作用(或影响)现象是描述系统外部活动的行为过程与状态。一个(或一组)输入引起一个(或一组)输出。所以，系统行为又是完成一系列输入与输出活动的集合。系统的结构与行为，犹如物理学中的空间和时间。系统结构是系统要素在空间的联系，在一定的时间内认为是不变的，而系统的行为则是随时间变化的，不仅有量变，还可能质变。如果系统结构也随时间变化了，则可看作是系统有了演变。系统对环境的适应与调节能力，可视为系统结构的弹性表现，并不意味着结构有了本质变化。

系统行为的变化有三种，即对环境的某一刺激(变化)的反作用；对环境某一刺激(变化)的响应，但这种响应并不反作用于环境；不由外部环境引起的自发的活动。

系统研究的主要内容是研究系统的结构、功能与行为。系统存在于自然环境和社会环境之中，必然要受到自然规律和法则的制约，并受社会经济规律和法则的约束。

环境——与系统或系统要素相关联的其他外部要素的集合。系统一般存在于环境包围之中，因此，环境是系统外界事物及诸要素的集合。系统与环境的相互作用，一般表现为环境对系统的输入和系统对环境的输出。输入表现为环境施加影响于系统的部分，常以 $u_1, u_2, \dots, u_n$ 表示输入。输出表现为系统施加影响于环境的部分，以 $y_1, y_2, \dots, y_k$ 表示，如图1.2所示。通过输入与输出，系统表现特定行为。

由于客观事物的复杂性，使系统具有多层次结构。即系统从横向分解为若干子系统(或分系统)，每个子系统从纵向又可层层分解，分成若干层次的子系统，最后层次为要素，要素是完成系统功能的最小单元。如图1.3所示。

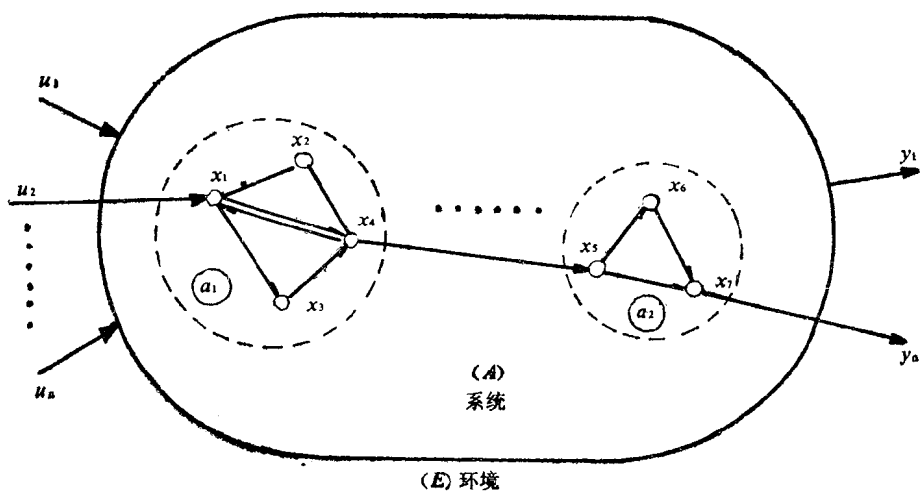


图1.2 系统、子系统、要素与环境

(A) 系统 (a_i) 子系统 x_i 要素 (E) 环境 → 单向联系 ⇌ 双向联系 x₁ 与 x₂ 直接联系 x₁ 与 x₄ 有间接联系
 u_n 输入 y_k 输出 x_4 与 x_5 子系统间的联系 ... 子系统边界线 — 系统边界线

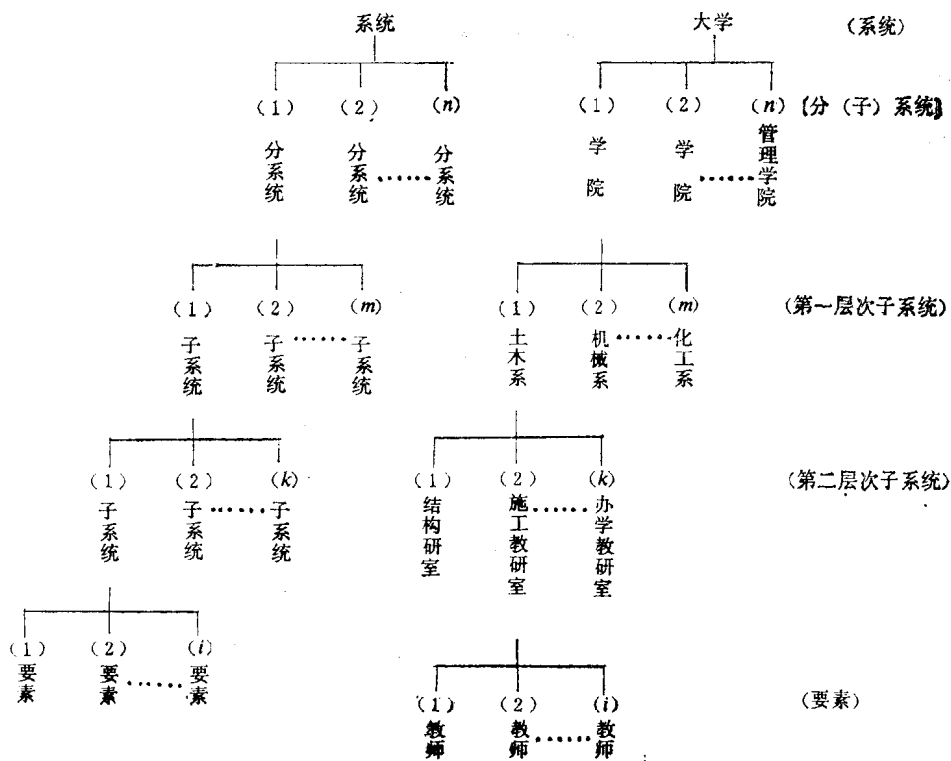


图1.3 系统的结构层次性

一个建筑物是个系统，它来源于客观世界的需求，为了达到人们生产与生活的目的，建筑物需要具备以下功能，即能承受包括抗震在内的各种荷载，以及防雨、隔热、隔音、通风、采光等要求。完成这些功能需要由建筑设计、结构设计、水暖电设计以及技术经济等子系统去承担。这些子系统的组成要素是：房间的组合与分隔，门窗布置、室内装修、梁板、柱基础承重结构及墙板围护结构、水暖电管线布置、概预算及工程造价……等。这些要素的有机联系及组合，构成了建筑物的空间结构，保证上述功能的完成。建筑物使用功能的改变，会引起空间结构的变化。例如图书馆与火车站、饭店的使用功能是不同的，因此，在组织人流、平面布置及空间结构上都是不同的。当然也不排斥在同一建筑物设计中有不同的建筑结构方案，但它的变化是局部性的。

建筑物(系统)的环境有自然环境，工程技术环境，社会经济环境。自然环境如场地、地质、地形、气候(温度与日照等)都会影响建筑物的位置、朝向、基础类型、深度及大小，以及墙的厚度及层高等；工程技术环境影响建筑材料、室内外装修，水暖电设备质量及安装技术及机械化施工水平等；社会经济条件包括国家政策、法令、法规、经济状况(投资)、城市规划对建筑物的立面及层数要求、环境保护法对污染控制的规定，以及建筑物所在地的民族风俗、习惯、历史、文化水平等都会影响建筑物的内容和外形。

建筑物在规划设计、施工安装、竣工使用各阶段的输入与输出也是不尽相同的。在规划设计阶段输入上级下达的指令要求(投资、规模、工期、地点等)及有关数据，它们以信息流为主，通过人的思维活动输出方案、工艺、图纸等设计文件；在施工安装阶段主要输入各种建筑材料、半成品、卫生、电气、照明设备及机器等，通过工程公司的施工安装和组织管理活动最后输出建筑物(产品)；在竣工使用阶段，对工业建筑来说主要投入生产用原料、半成品、动力、人员和设备，通过完成建筑功能而输出产品；对民用建筑来说也输入各种荷载，包括活荷、风荷、自然界中的雨雪、炎热与严寒、生活用水、电、气，输出建筑物的承重、防寒、隔热、隔音、照明等功能，以满足人们居住生活、休息的需求。

二、系统的特征

1. 目的性

我们设计一个新系统或改造一个原有系统都是为了实现一定目的，因此人工系统都有鲜明的目的性。

例如一个企业管理系统的基本功能就是合理地组织企业的人员、物资、资金、休息等流程，以便有效地向社会提供所需的产品，并提高企业的经济效益。为此，就必须把经营、销售、计划、生产、供应、财务、人事等部门当作一个有机的整体组织起来，发挥各自的特定功能，达到总目标，即尽量以较少的劳动消耗和资金占用量，在规定的时间内提供更多的符合品种、规格及质量要求的产品。

在完成系统总目的要求下，首先制定总目标及总功能；并层层分解，落实到各基层组织，并明确责任、岗位，协同工作。

2. 层次性

系统结构具有鲜明的层次性。某系统从属于更大系统，成为更大系统的一个要素，而该系统的要素又可成为一个具有自己诸要素的更小系统。如图1.4所示，当进行城市小区规划时，可把规划当作一个系统看待，它有建筑物、活动场所、道路、绿化……等子系统。而住宅、粮店、邮局、幼儿园、树木花草、主次干道……等成为系统的要素。在小区规划中，住宅是作

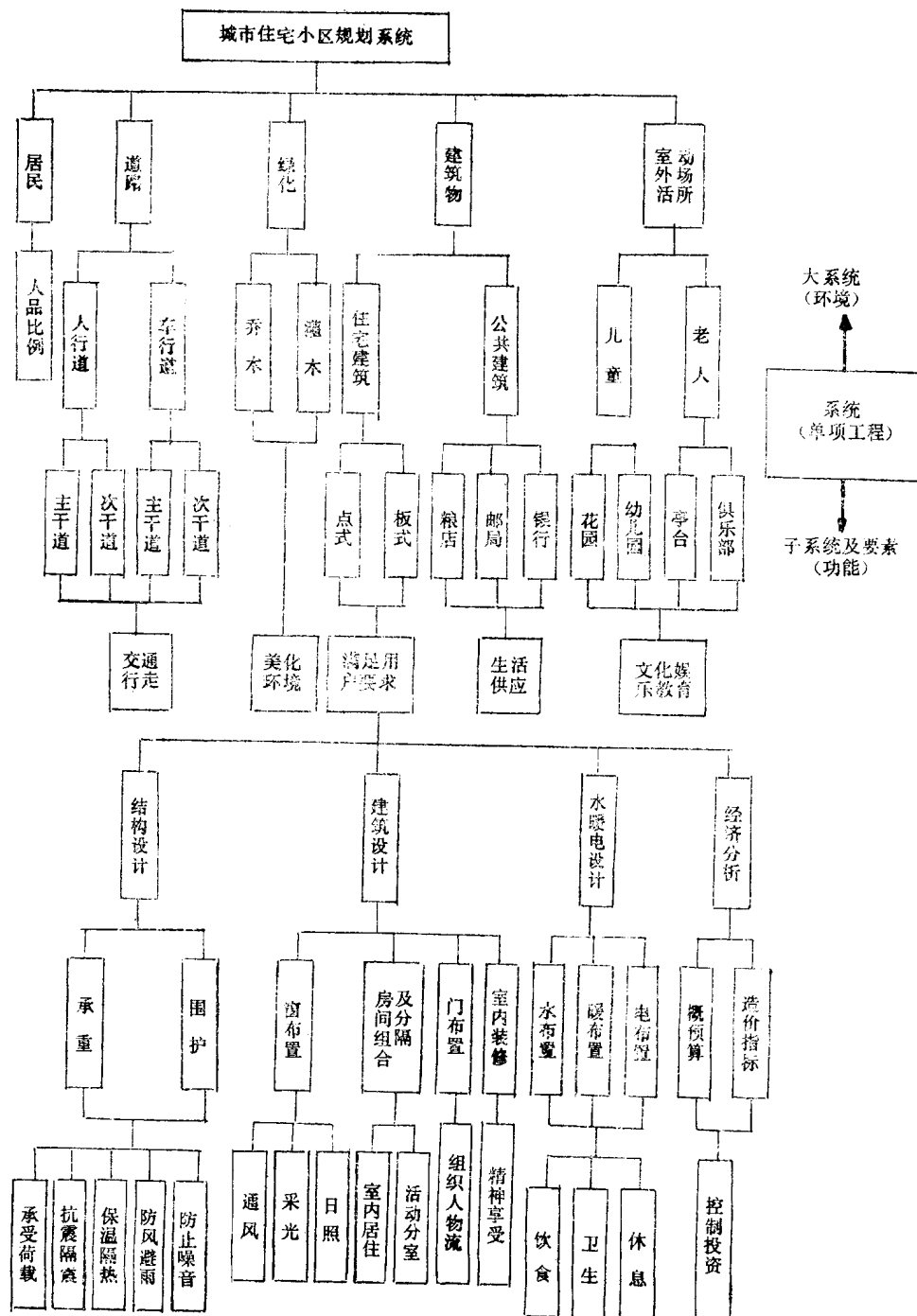


图1.4 小区规划与住宅系统

为一个无须再细分的最小单元(即要素)出现的。因为只要考虑每个住宅在小区内的平面和空间布局就可以了,没有必要再对住宅内部的房间组合、室内装修、管道布置……等进行详细考虑了。但当进行住宅设计时,住宅又成为系统。它又有自己的子系统(如建筑、结构、水电暖设备、技术经济指标……等)和要素(如房间分隔、门窗布置、室内装饰、采光、通风、管道设备布置等)。所以系统与要素是相对的。

环境是与系统有关的外部要素的集合。更大系统中的要素(或子系统)往往是下一级系统的环境。在上例小区规划中的子系统如道路、其他建筑物、室外活动场所、绿化等变成住宅系统的环境。由于系统的层次性,同一事物对大系统来说它是要素;对更小系统来说它又是环境。所以系统与环境也是相对的。

3. 集合性

系统是全部要素的集合,要素不仅有实体形态,还有赖以形成的概念形态。例如一个工厂的生产系统,不仅有机械设备,原材料、工人等实物要素,还有计划、利润、成本、核算等概念要素。因此,集合也就有实物集合与概念集合之分。这两种集合是相辅相成的,只有硬件的实物集合,而无软件的概念集合去组织、管理、指挥、控制和决策是不能充分发挥系统的作用的。

必须指出人的要素是不可忽视的,例如人的素质及能动性,犹如机械的性能和效率,但人的能动性和潜力是巨大的,而机械的性能和效率却又是有限的。在同样物质条件下,某级组织成员的思想、气质、协作和创新精神,往往起着重大作用。俗语中的“三个臭皮匠顶个诸葛亮”,“三个和尚没水吃”,都是三个要素,由于素质不同,效果差别悬殊,而它们不是简单的数量相加。

4. 关联性

系统的各个组成部分是相互联系、相互制约的。有了关联才会产生集合,没有关联性也就没有集合性。我们不仅要看到系统内部的关联性,还要看到系统与外部环境的关联性。一个系统的存在和运转,要从外部环境输入,并向外部环境输出。输入与输出可把系统要素与环境要素连接起来,并可能形成回路,随着时间的延长,就会严重的影响其他系统的生存和发展。例如工厂排出的污水、废渣、有害气体往往会严重污染农产品、土壤、地下水和空气,对生物圈中的动植物以及人类,生态平衡均产生不良后果。系统工程主要目的之一就是找出它的回路,对恶性循环应消灭或控制在初始阶段,同时应促进良性循环的发展。

5. 整体性

整体性包括两个涵义,一是空间的整体性,另一是时间的整体性。

空间的整体性是指要素通过相互联系和相互作用构成了整体,而整体可以具有部分集合所没有的特性和功能,它存在着质变。例如湖泊由水分子组成,它可溶解氧,对有机污染物能起净化作用。但作为一个水分子却起不了溶氧自净作用。这表现了整体性能是个体性能所没有的一个例子。整体大于部分之和是系统所具有的主要特征之一。

时间的整体性是指系统在整个寿命期内总体应处于最优,例如对一个系统的开发,从系统的诞生、生长、衰退与更新全过程考虑它的整体优化,而不是只考虑某阶段中的最优。

6. 适应性

系统存在于环境包围之中,外界环境通过对系统要素秩序的干扰,使之产生振荡,并引起系统功能的波动。相反,系统由量变到质变也会引起系统功能结构及性质的变化,从而使

环境产生振荡。当环境变化在适当限度之内，而原来系统尚能承受时，不会引起系统结构产生本质的变化，此时系统仍可按独立系统处理。但当环境变化超过了系统承受能力时，会使系统解体，系统性能发生重大变化，这时会把与系统强烈关连的外界部分要素，划归到新系统中来加以考虑研究，这种重新组合促进了事物的变革，使新系统适应变化了的外界环境。所以研究系统内部的自适应能力，是系统概念中的核心部分。例如由于汽车数量迅速增长，会引起外部环境的变化，如能源紧张，大气及噪音污染，交通事故增加，道路拥挤，运输能力下降等等，使社会产生骤烈振荡。这时就有必要把环境中的振荡要素如能源、环境污染、安全事故、公路与汽车制造业作为一个新的系统综合研究，从根本上找出一系列治理的办法。

7. 动态性

系统在时间上是有序的，系统的状态不是静止的，状态参数是可随时间改变的，从静态角度去研究某系统，在此时刻的状态，又可看成是相对不变的。例如人口就是一个动态系统，随着时间的增长人口数量在不断发生变化。如以工业建设项目为例，它也是动态系统，它在规划、设计、施工、投产各个阶段的要素、环境及功能都在不断发生变化。在规划设计阶段，以产品方案、生产规模、工艺流程、设备选择、厂房设计等概念要素为主；在施工阶段以施工方案、施工进度、施工技术、设备安装以对实体要素的加工建造为主；在投产以后，从原材料采购、产品加工、市场销售、经济核算以产品生产、流通实体要素为主，辅以经济管理概念要素。这些都反映了系统在时间上的动态特性。

上述系统的七个特征也是处理系统问题时应具备的主要观点，即从总目标出发着眼于长远、整体优化的观点；从系统内在联系综合分析问题的观点；考虑时间及空间差异的动态观点；系统结构的阶递性、层次性的有序观点；考虑外界条件变化，使系统适应环境的观点等。在系统分析、综合、设计、评价、决策时，这些基本观点是第一位的，具体数量方法是第二位的。舍去基本观点，一味追求数量方法，将会导致错误结果。

三、系统与环境

当研究系统问题时，首先遇到的是系统与环境的界限如何划分，不把这个问题解决好，研究系统是无法进行的。

系统与环境要进行物质、能量和信息的交换，以维持系统的生命。系统处于环境包围之中，但环境不包括系统要素；同时，系统也不包括环境要素，所以系统与环境的划分首先应从要素开始。

系统与环境是指特定时间条件下而言的，由于系统的动态特征，不同时间，系统与环境的界限可能产生变化，系统和环境的要素也会产生新的组合。

系统存在于客观世界之中，客观世界是系统形成的源泉。客观世界中存在的问题是系统产生的胚胎，当问题日益被人们感到需要解决时，便把客观存在的问题变成系统原型。所谓问题常表现为理想境界与现实情况之间的差距，人们为改变现实达到理想的状况，不断改造自然界和变革社会现状以求生存和发展，便会产生需求和目标。人们为了达到需求目的，便会产生总目标，总目标逐层分解形成目标集，与目标集相对应的是系统的功能集，完成每项功能又需要若干要素集。系统要素就是这样形成的。如图1.5所示。

每个要素具有自己属性，例如一个车间(系统)具有若干机床(要素)，每个机床(要素)的属性有：性能、功率、生产效率、价格、重量、寿命、可靠性等。要素间的联系反映了要素

属性间的联系，要素的属性千变万化，但归纳起来不外是物质、能量、信息三种类型。系统目的不同，要素也不一样，如要研究提高车间的生产能力，则会用到机床的性能、功率、生产率等，性能、功率、生产率等便是达到系统目标或功能的最小单元——即要素。如果系统要研究如何提高车间的经济效益，则产品成本，即原材料单价、利润、管理费等都变成系统要素了。环境是系统外部的约束条件，是影响系统的重要原因，环境要素可分为自然物理的、工程技术的、社会经济的三个方面：

1. 自然物理环境包括水文、地质、地形、气象、矿藏、河流、山脉、动植物、微生物、环境保护、生态平衡等。
2. 工程技术环境包括土木建筑、机械工程、电气设备、铁路交通、能源利用、资源开发、规范规程等。
3. 社会经济环境包括方针、政策、法令、人口、计划、价格、税收、市场、合同、资金、管理等。

环境要素的取舍，取决于它对系统的影响程度，对系统影响甚微的环境要素可以忽略不计。系统的信息反馈来源于环境，既影响系统的输入又影响系统的输出，环境要素是物质、

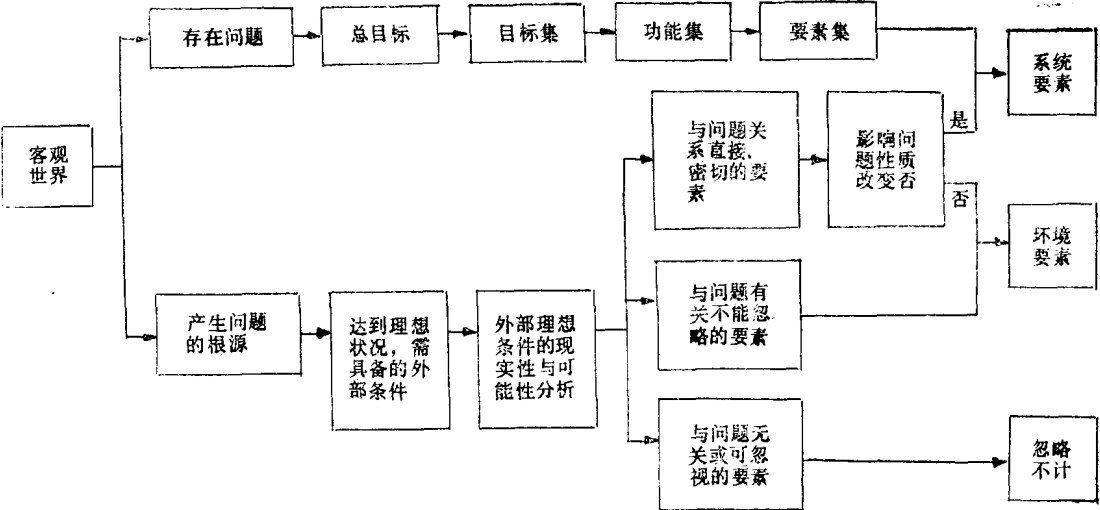


图1.5 系统与环境要素的形式过程

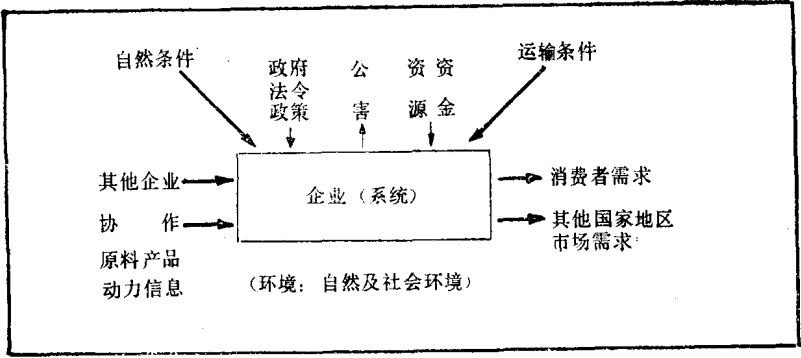


图1.6 系统与环境

能量、信息、人际关系等要素的总称。

例如，一个企业，处于社会环境之中，它受政府法令和政策的约束；它供给社会消费者的需求；它输入原材料、半成品、电力、能源动力；它和其他企业进行协作和竞争；在它输出产品的同时又输出污水、废气、废渣，对自然环境产生公害和影响；以上都属于企业系统与环境相互间的作用，当然还有大量无形的信息交流，如图1.6所示。

环境是更大系统的一个组成部分，将子系统从更大系统中切割出来，从切割出来的系统看，原来大系统的剩余部分就变成了环境，如图1.7所示，被切割出来的系统产生目标函数，原来更大系统产生约束条件。

例如：一个制造企业为了生产产品由环境中输入原材料、半成品并存入仓库中，然后用这些原料在铸工车间制成铸件，并送至金工车间进行加工，加工好的零件到电镀车间进行电镀，然后到装配车间装配成合格产品送至成品库，最后输入市场进行销售，如图1.8(a)所示，如果我们把金工车间分割出来当作一个系统加以研究或设计，那么原来企业（除掉金工车间以外）都变成了金工车间的环境，因为它要受铸工车间生产铸件的约束，还要满足总产品数量和电镀车间的需求，如图1.8(b)所示。

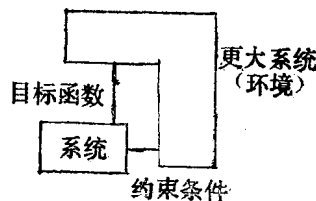
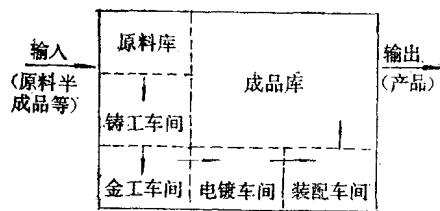
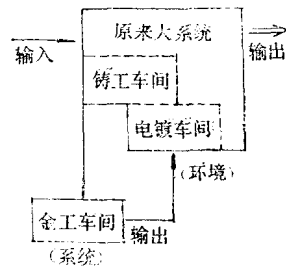


图1.7 系统从更大系统中切割出来



(a) 切割前的大系统



(b) 切割后的金工车间系统及其环境

图 1.8

一般来讲，系统本身产生目标函数，环境产生约束条件，可用下列数学模型表示：

目标函数： $\max(\text{或}\min) Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

约束条件：

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m \end{cases}$$

式中: $b_1, b_2, \dots, b_m$ ——外界环境能供给的原材料、半成品、动力……的数量; $x_1, x_2, \dots, x_n$ ——系统生产各种产品数量; a_{ij} ——生产单位 j 产品所需要的 i 种材料(半成品、动力)的数量。

在建立系统模型前,不要急于在数学方程的表达式上去思考问题,而应多在系统与环境的分界线上详加研究,因为不把系统与环境的分界线搞清楚,就很难建立起准确的模型,甚至会造成思想及逻辑上的紊乱,一般在系统边界之内,就是我们要研究和设计的系统,在边界之外而同系统有关联的部分就称为系统的环境。前面谈到,系统与环境的界限,很大程度取决于系统的目的要求,目的要求范围扩大时,就会使一部分环境要素划到系统中来了,这要根据系统的大小和具体情况来决定。例如,体制改革后的生产——经营型企业,就扩大了系统的边界,把原来生产型企业的环境部分,如原材料供应单位、市场销售,同行业的竞争都当作经营系统要素看待了。系统的目标往往是划分系统与环境的标准,目标函数往往是系统本身所产生的,环境列为约束条件,一般凡是系统无法控制的因素,多属环境部分。在划分系统与环境边界时应注意以下几点:

1. 研究分析问题(未来的系统)的着重部分应作为系统的要素。
2. 对研究分析问题有重大影响的部分也应看作系统的要素,如果忽略了这部分或把它当作环境看待,往往会使系统的性质发生质的变化。
3. 对研究分析问题有关联,但却无重大影响而又不可忽略的非着重部分,可视为系统的环境。
4. 对系统影响甚微的部分,可从环境中略去,便于简化研究。

当系统与环境的边界限划清了,系统的输入与输出就明确了,输入是环境施加影响于系统本身的部分,输出是系统施加影响于环境的部分。环境可以约束和控制系统,而系统只能影响环境,系统一般无法控制环境。低一级的环境只能受到更大或更高一级的系统所控制。因低级系统的环境为更大系统的一个组成部分,如前例金工车间系统的环境铸工、电镀装配车间是更大系统企业的组成部分,所以说系统与环境是相对的。

输入通过系统转化为输出,输出的结果,在环境中产生信息又反馈给输入,以调节原材料输入的数量,使生产的产品满足市场的需求,达到供需均衡。当系统处于量变过程中,系统与环境之间的关系是相对稳定的,当系统由量变产生质变时,系统与环境间产生振荡,反之当环境发生了质的变化,往往又会引起系统功能及结构性质的变化。

第二节 系统的分类

系统以不同形态存在于自然界和人类社会之中。从以下系统分类中可看出,尽管系统形态种类繁多,但起主导作用而且大量存在的还是由实体系统与概念系统相结合的人造复合系统。

系统按形态分,一般可分为以下几种类型:

一、自然系统与人工系统

如果系统与环境之间,只有物质存在而没有人的作用时,它仅是由自然发生而形成的自然物或现象,这时的系统称为自然系统,自然系统又可分为物理系统及生物系统,物理系统如宇宙天体、山脉、河流、海洋、矿藏、气象等;生物系统如自然生长的动植物、微生物、

生态平衡系统等。如果系统与环境之中任一方向人的因素在起作用,那么这个系统则称之为人工系统。人工系统有三种类型,如由人类对自然物加工制造出来的矿石、钢铁、房屋、公路、水库等人造实体系统;还有由生产、劳动、制度、组织、程序等构成的管理系统和社会活动系统;以及根据自然现象和社会现象的科学认识,用思维方法研究出来的概念系统,如文学、哲学、逻辑学、道德、宗教等。

人工系统是系统工程的主要研究对象,许多工程技术系统是在对自然物加工过程中产生的,它实际是自然与人工系统的复合物,故又称为人工与自然的复合系统。

人们在改变加工自然物的状态时,如果破坏了自然界的生态平衡,又会产生公害,这种反馈作用,又会给人类生存和安全带来危害。所以在开发人工系统时,必须是无公害的、安全的、保护生态平衡和净化环境的。

二、实体系统与概念系统

如果系统与环境是由物质实体组成则称为实体系统,实体系统以研究硬件为主,故属硬科学,如机械系统,人-机系统,电力系统、生物系统……等。如果系统与环境是由非物质实体组成,则称为概念系统,它以研究软件为主,故属软科学,如经营管理、计划组织、教育、文化等系统。但许多系统往往是实体系统与概念系统互为依赖,相互并存的复合系统。实体系统的开发通过人的思维活动,又可促进概念系统的完善和上升到更高一级的理论,再由理论指导实体系统的开发和实践活动。硬科学的发展没有软科学的配合是不可能取得较好效果的。科学技术体系、法律体系、文化教育体系都属概念系统,精神文明系统在建设庞大、复杂、先进的物质文明社会中,是不可缺少的重要支柱,因为它是概念系统。建设一个国家也是一样,只有物质实体系统,没有精神概念系统是不行的。

三、封闭系统与开放系统

系统客观存在于环境之中,互相进行物质、能量及信息的交换,这种与环境相互发生联系的系统称之为开放系统。如果系统不与环境发生联系,那么这个系统就称之为封闭系统,封闭系统可以在系统内部结构中交流物质能量及信息,而与环境不发生关系。

如果 S 表示系统, E 表示外部环境, R 表示相互有关系, $\bar{R}$ 表示相互无关系,如果系统 S 与环境 E 有关系时,也就是当

$$SRE \text{ 和 } ERS$$

成立时,则 S 称为开放系统,如图1.9(a)所示。

如果

$$S\bar{R}E \text{ 和 } E\bar{R}S$$

成立时,则称为封闭系统。如图1.9(b)所示。

闭关自守的全部自给自足的小农经济体系,它的原料来自本系统,而产品亦由本系统消耗掉,而不向环境输出时,这就是封闭系统。如果某小区域利用水资源发电,只供本区自己使用,在水资源相当固定并无变化的情况下,可把它当作一个系统要素看待,而不视为环境的输入,那么这个小区发电、输电、用电系统也可以认为是一个封闭系统。

系统绝大多数属开放系统,只有系统与环境不断地广泛地交换物质、能量和信息,不断地输入与输出,系统才更具有生命力。因果系统属于开放系统,系统的输入来自于环境,即所谓原因,借助输入产生输出,即为结果,又反作用于环境,绝对的封闭系统是鲜见的。

如果外部环境变化的同时,引起系统内部结构的变化,此系统称为柔性系统,社会现象中很容易受价值观念或行政手段改变的系统就属这种。如果外部环境变化后,仅给系统带来