



石油高等院校经管类特色教材

系统工程理论与方法

(第二版)

肖艳玲 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油教材出版基金资助项目

石油高等院校经管类特色教材

系统工程理论与方法

(第二版)

肖艳玲 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在吸收国内外系统科学和系统工程最新研究成果的基础上,结合编者多年的教学和科研经验,系统介绍了系统工程的基本概念、理论和方法,包括系统和系统工程的一般原理和系统分析、系统评价、系统决策、系统建模、灰色系统的分析与预测等方法。

本书可作为高等院校经济管理专业的教材,也可作为管理和工程技术人员学习系统工程理论与方法的培训教材和自学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

系统工程理论与方法/肖艳玲主编. —2版.

北京:石油工业出版社,2012.7

石油高等院校经管类特色教材

ISBN 978-7-5021-9076-7

I. 系…

II. 肖…

III. 系统工程—高等学校—教材

IV. N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 100242 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: <http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部:(010) 64523574 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 7 月第 2 版 2012 年 7 月第 2 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:14.75

字数:372 千字

定价:26.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

随着科学技术的进步和社会经济的发展，事物之间的相互联系日益加强，整个世界向复杂性不断增加的方向发展，使得用“整体”的概念和“系统”的方法来处理复杂性问题变得越来越重要。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，是对所有系统都具有普遍指导意义的科学理论与方法。

本书的第一版是大庆石油学院（现改名为东北石油大学）“九五”重点建设教材，于2002年由石油工业出版社出版。为了更好地适应学科的发展、专业教学、科研实践的变化和要求，故对第一版进行修订。该书按照学科要求和学生思维规律构造了系统工程内容体系，吸收了石油工业企业的应用案例，在保证基本理论的完整性和系统性的基础上，理论联系实际地应用案例分析和吸收国内外最新理论和研究成果，体现了行业和学科特色。

系统工程内容极为广博。编写时力图涵盖系统工程的最新内容，将新近出现的灰色系统理论和WSR系统方法论在系统工程理论与框架中加以介绍。与第一版比较，新版增写了数据包络分析、理想点法、主成分分析、WSR评价法、多属性折中决策、确定型决策、系统动力学模型等内容，对其余章节也进行了一定的删减、修改和补充。另外在第一至第六章中均增加了综合应用案例和大量的方法应用算例，尤其注重引入系统工程理论与方法在石油行业中的应用，同时对各章的习题进行了完善、补充。

本教材由东北石油大学肖艳玲任主编，东北石油大学孙彦彬担任本书的主审。具体分工如下：肖艳玲负责第一章至第六章的编写和修订，尹志红负责第一章、第二章、第三章的编写和修订，罗洪云负责第三章、第四章的编写和修订，高翠娟负责第四章、第五章、第六章的编写和修订。

本书的编写参考了大量国内外的图书文献和期刊资料。在此，向提供意见和建议的专家学者和有助于本书出版的人员，以及所有参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于系统工程尚属迅速发展的新学科，作者的水平有限，疏漏之处敬请读者指正。

编 者

2012年2月

目 录

第一章 系统与系统工程概述	1
第一节 系统的基本概念.....	1
第二节 系统思想的形成与发展	10
第三节 系统工程的产生与发展	12
第四节 系统工程方法简介	17
第五节 系统工程在油田企业中的应用	26
第二章 系统分析	31
第一节 系统分析的基本概念	31
第二节 系统环境分析	40
第三节 系统目标分析	45
第四节 系统结构分析	50
第三章 系统评价	56
第一节 系统评价概述	56
第二节 价值分析法	59
第三节 专家评估法	62
第四节 模糊评价法	67
第五节 层次分析法	73
第六节 数据包络分析	88
第七节 理想点法	96
第八节 WSR 评价方法	100
第九节 主成分分析法.....	106
第四章 系统决策	113
第一节 系统决策概述.....	113
第二节 确定型、风险型和完全不确定型决策.....	117
第三节 补充完全信息和不完全信息的决策.....	127
第四节 效用理论.....	133
第五节 风险分析.....	141
第六节 马尔科夫决策.....	146
第七节 多属性折中决策.....	154
第八节 对策性决策.....	157

第五章 系统模型	167
第一节 系统模型概述.....	167
第二节 解释结构模型.....	169
第三节 模拟模型.....	186
第四节 系统动力学模型.....	194
第六章 灰色系统	204
第一节 灰色系统的关联分析.....	204
第二节 灰色系统预测.....	218
参考文献	226

第一章 系统与系统工程概述

第一节 系统的基本概念

一、系统的含义

系统工程的研究对象是各类系统，系统（System）的概念已经普及到一切学科领域，并已渗透到日常的思维、言谈和一般性的宣传之中。系统是客观存在的，可谓处处有系统，处处是系统。但是，人们对系统的认识有一个发展过程。如果要追溯它的由来，无论在中国或者在西方它都很早就出现了，几乎同哲学一样古老。

随着科学技术的发展，系统被赋予进一步的含义。韦氏大辞典（Webster 大辞典）对系统的解释是：系统是有组织的或组织化了的总体；是构成总体的各种概念、各种原理的综合；是以有规则的相互作用或相互依赖的形式结合起来的对象的集合。在日本工业标准（JIS）中，系统的含义是“多数构成要素保持有机的秩序，向同一目的行动的事物”。国内外关于系统的定义有几十种，其确切定义根据学科不同、使用方法不同和解决的问题不同而有所区别。

综上所述，系统的定义一般如下：“系统是由两个或两个以上相互区别、相互依赖和相互制约的单元（或要素、组成部分）有机结合起来的具有特定功能的有机整体”。系统的定义可以用以下四个要点来表达：

- （1）系统是一个整体；
- （2）系统是由若干（两个或两个以上）部分（单元、要素、元素、子系统等）组成的；
- （3）系统的各部分是按一定的结构联系在一起的；
- （4）系统具有特定（不同于其他系统，也不同于其组成部分）功能。

系统的一般定义具有概括性和抽象性。一个系统具有什么组成部分，它们是如何关联和制约的，具有什么功能，只有对具体实际系统才能具体化。如一个公司、一项计划、一个工程项目、一项任务、一台设备等都是一个系统。系统没有一个绝对的规模界限。许多子系统可以组成一个系统，许多系统可以组成一个大系统，许多大系统又可组成一个更大系统，系统是无限可分、无限包含的。

对所研究的特定系统来说，系统内部相互作用的基本组成部分称为要素。它是完成系统某种功能无须再细分的最小单元。系统要素是根据系统的目的及所应具备的功能确定的。所以，系统是一个相对概念，系统要素一定是相对的，它分解到何种程度取决于系统的目的和应具备的功能。

系统的要素及其联系称为系统结构。系统结构是系统要素在时间与空间上有机联系与相互作用的方式或秩序，是决定系统功能的内因，是为功能服务的。系统组成部分相互关联、制约和作用，是通过物质、能量和信息形式实现的。具有相同组成部分的系统，由于它们的制约、作用关系不同而具有不同的系统功能。比如固态的冰、液态的水、气态的水蒸气，虽

然都是由氢二氧一所组成，但它们的宏观性质却大不相同。尤其值得指出的是，它们都具有其组成部分所没有的特性和功能。改变系统组成部分或改变相互关联、制约、作用关系可以改变系统功能，从而使系统具有人们所希望的功能。这就是控制论、运筹学、系统学的基本思想，也是系统工程应用的基本目的。

系统每时刻所处的情况称为系统状态，系统状态随时间的变化称为系统行为。系统对其环境的作用称为系统输出，环境对系统的作用称为系统输入。

系统结构和系统环境决定了系统功能。环境对系统的需求，主要是功能需求，而不是系统结构本身。系统丧失功能也就丧失了其存在的价值。系统功能是通过系统输入—输出关系表现出来的，即作为一个系统，一般具有将某种输入经过处理产生某种输出的特定功能，如图 1-1 所示。

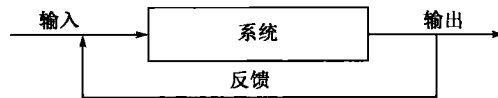


图 1-1 系统功能图

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，以调节输入使输出达到要求。比如生产系统是人、机、料、法的输入，经过加工转换，得到产品、利润和服务的输出；企业管理系统输入的是企业决策、计划等信息，经过指挥、执行等职能，并通过反馈控制，输出的是经营所期望的结果。

二、系统与环境的划分

当研究系统时，首先遇到的是系统与环境的界定问题，即系统与环境的划分。系统环境是指与系统及系统要素相关联的其他外部要素的集合。系统与系统环境的分界称为系统边界。研究具体系统时，必须把系统与环境划分开来，系统边界的划分要从要素分析开始，而系统的要素又是由系统的目的和功能决定的。

首先，根据研究需要和客观需要，把一些要素放在一起，看作一个系统。比如，对一台电视机的需求是传播声音和图像这两种基本功能，而要完成这两个功能就需要一些元件，这些元件就是系统要素，是无须再细分的最小单元。虽然为了保证元件具有一定的功能，元件材料是重要方面，但目前没有必要去细分研究它。所以说，系统要素是相对的。

其次，系统目的不同，系统要素也不同。例如，以企业作为一个系统，则对这一系统有作用的因素包括劳动力、资金、厂房、设备、原材料、用户、竞争者或合作者、政府政策、社会舆论、技术水平等。这些因素究竟划归系统还是划归环境呢？

划入系统的要素一般具有如下性质：

- (1) 它对所研究的问题具有举足轻重的影响。
- (2) 它能由系统的设计和系统的运营而得到控制调节。
- (3) 它能对系统行为产生直接影响。

就上述企业系统而言，若现在的目标是提高投入—产出率，则劳动力、资金、厂房、原料和设备以及技术水平可归属于系统要素，其他因素则认为是系统的环境。若企业在实现提高投入—产出率的同时，还要实现保护环境的目标，积极采取防公害对策。这样，企业为此要配备人员、添加设备等，由于这些特别活动的需要，系统的边界为此也将扩大，如

图 1-2 所示。

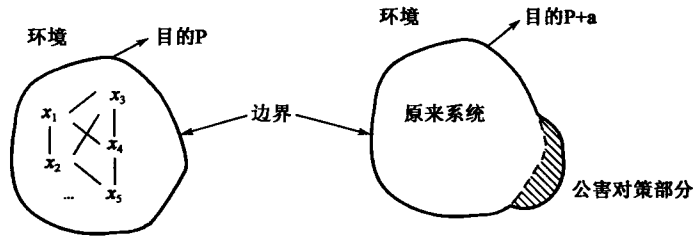


图 1-2 系统边界的变化

为了能够确定重点考察的系统要素范围，在很多情况下，首先以凭经验得到的边界作为工作前提，然后在详细研究中再对这一边界进行修改。因为对于系统边界的确定主要是依靠妥善的思考，而不存在理论上的边界判别准则。但是在确定系统边界时，应当注意以下几点：

- (1) 由于系统观点易于引起考察范围的扩大，所以要注重系统要素和环境要素的区分。
- (2) 环境不仅影响到系统结构，也影响到系统的过程，所以要准确界定影响的范围。
- (3) 环境本身也是系统，虽然考虑的重点是系统的边界因素和重要环境因素之间的关系，但有时单独考察环境的局部是不够的，而应了解相邻系统的功能以及它们的内部结构。

另外，系统边界确定不但与所研究的问题有关，而且与对所研究问题的要求有关，要求越高，归入系统的要素越多，问题分析的复杂性也同时增加。

三、系统的分类

系统是无所不在、无所不包的。自然界和人类社会普遍存在着各种不同性质的系统。人的身体内部有血液循环系统、消化系统等。父母、兄弟姐妹构成家庭，众多的家庭组成了社会，由于人们在社会中的地位不同，形成了阶层、政党。人们从事不同的劳动，构成了不同的部门、企业，这些都是社会系统。周围接触的人中，有的人来自于石油系统，有的人来自于化工系统，都属于工业系统。出门坐车，处于交通系统之中；到班上工作，又投身于服务系统或生产系统之中。可以说，一切都包含在某个系统之中，某个系统又属于一个更大的系统。上面所述，都是系统的具体形式，为了对系统的性质加以研究，有必要对系统存在的各种形态加以分类。

1. 按系统要素的来源分

(1) 自然系统——由“自然物”（物质或客观规律）所形成的系统，如矿藏系统、生物圈等，又如各种社会规律和自然规律。它们是客观世界在发展过程中已经存在的系统。

(2) 人工系统——人工生成的系统。它是人类为达到某种目的而建造的，即系统功能之所以存在，就是为了完成系统的特定目的。例如工具（由原始简单的石器到飞机、轮船、导弹、登月飞船等）、设施（设备、建筑物、城市、港口等）、团体（社会、国家、学校、企业、生产队等）和意识形态（哲学、文学、艺术、法律、宗教、技术、科学理论等）。人类通过对自然现象和社会现象的科学认识，用人工方法研制出来的科学体系和技术体系都是人工系统。

(3) 自然与人工的复合系统——系统中有些要素是自然形成的，有些要素是人工形成的。这类系统往往是人类在改造客观世界的过程中对自然系统加以改造而形成的，例如农业

系统、地震预报系统、采油系统等。

2. 按系统要素的属性分

(1) 实体系统（硬性系统）——以矿物、生物、能量、机械、人类等实体的、物理方面的存在物为组成部分的系统，例如建筑物、机械系统等。

(2) 概念系统（软性系统）——以概念、原理、原则、法则、制度、方法、步骤等非物理方面的存在物为组成部分的系统，例如一本书、科学技术体系、社会意识形态等。

(3) 实体与概念的复合系统——由物质实体和非物质实体组成的系统，如企业系统、管理系统等。实际上实体系统与概念系统是不能完全分开的，实体系统是概念系统的物质基础，概念系统是为实体系统提供指导和服务的。只有把实体系统与概念系统结合起来，人工系统才能得以建立和不断完善。

3. 按系统与环境的关系分

(1) 开放系统——与外部环境有交换关系的系统。例如一个教育系统就与社会有物质、信息等交换。

(2) 封闭系统——与外部环境无交换关系的系统。封闭系统只在系统内部结构中交流物质、能量及信息。例如由绝热材料包围的封闭气缸中的气体可以近似地认为是封闭系统。

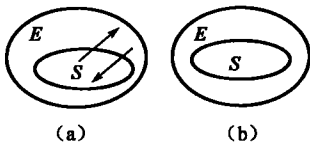


图 1-3 开放系统与
封闭系统示意图

若设 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，则当 $S R E$ 或 $E R S$ 时， S 称为开放系统，如图 1-3 (a) 所示。当 $S \bar{R} E$ 或 $E \bar{R} S$ 时， S 称为封闭系统，如图 1-3 (b) 所示。

绝大多数系统属于开放系统。因为事物总是运动变化的，没有不与外部环境发生任何联系的系统。不过在一定的时间内不依赖于外部而且具有稳定运行能力的系统，就可以近似看作是一个封闭系统。总之，开放系统是绝对的，封闭系统是相对的。

4. 按系统状态是否随时间变化分

(1) 静态系统——系统状态参数不随时间变化的系统，如没有运行的仪器设备。

(2) 动态系统——系统状态参数随时间变化的系统，如生产系统、社会系统等。

由于宇宙间一切事物都处于不断变化之中，因此不存在真正的静态系统。然而有时为了研究上的方便，人们把随时间变化极慢的系统，即惯性很大的系统，近似地看做是静态系统。

5. 按人对系统的认识程度分

(1) 黑色系统——人们当前对其要素和结构还一无所知的系统。

(2) 白色系统——人们对其要素和结构已完全可知的系统。

(3) 灰色系统——人们对其要素和结构的认识若明若暗的系统。

从认识论的角度看，黑色系统向白色系统的转化是在认识过程中实现的。黑色系统和白色系统的划分是相对的。例如，对于同一个管理信息系统，从用户角度分析，是属于黑色系统。用户只需要了解如何使用该系统，通过界面完成特定的操作即可，而不需要知道系统是怎样设计、运行的。但对于该系统的开发人员来说，他们对系统的运行过程非常了解，因此，从开发人员的角度看，它又是一个白色系统。在现实世界中，灰色系统是存在形式最多的一种，因此，研究的大部分对象都是灰色系统。

6. 按系统内子系统种类和关系分

(1) 简单系统——组成系统的子系统种类较少，它们之间关系比较简单。对于某些非生命系统，如一台机械设备，可视为简单系统。这一类系统用传统的数学、物理、化学、控制论等知识可以很好地描述。研究这些简单系统可以将各子系统之间的相互作用直接综合为系统整体的功能。

(2) 复杂系统——组成子系统的种类较多，并有多层结构，它们之间的关联关系复杂，如人体系统、人脑系统、生态系统、社会系统等。一个人本身就是一个复杂系统，以人为子系统主体构成的社会系统就是开放的复杂巨系统。确切地说，这里的开放性包括两方面的含义：一是系统与系统中的子系统分别与外界有信息、物质等交换；二是系统中的各子系统通过学习获取知识。对于开放的复杂巨系统的处理，著名科学家钱学森提出了“从定性到定量综合集成研讨厅”方法，见本章第四节。

除上述分类以外，还可从其他角度把系统分为控制系统、行为系统、目的系统、对象系统等。

系统以不同形态存在于自然界和人类社会之中，而且现实中运行的系统往往都是几种系统形态的结合体，如图 1-4 所示。

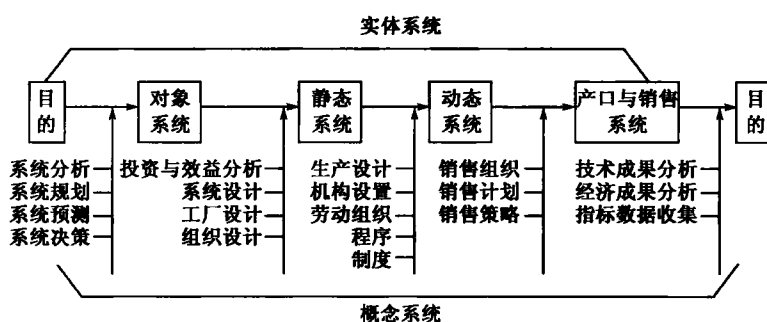


图 1-4 几种系统形态的结合

尽管系统形态种类繁多，但起主导作用并且大量存在的是由实体系统和概念系统相结合而构成的人造复合系统。在分析设计具体系统（比如一个企业）时，必须从设定的目的出发，选择对应的对象系统，并根据对象系统的特点和要求，建立其静态系统，辅以相应的计划、制度、程序和管理，使之转化为动态系统，生产出产品，并在销售系统的组织计划活动中，实现系统的目的。从上述分析可以看出：从设定目的到最后实现系统目的，是建立实体系统和概念系统的过程，又是两者顺次结合走向实现系统目的的过程。

应当指出的是，自然界中还存在各种黑色系统，或者说潜在系统需要研究。人们对系统的认识并没有结束，系统的概念还在发展之中。这在讨论系统概念时必须给予注意。

四、系统的特征

系统的特征，是从各种具体的系统中抽象出来的系统的共性。明确系统的特征是正确认识系统的关键。作为一个系统，一般具备五大特征。

1. 目的性

通常系统都具有某种目的。人工系统的目的是完成某种特定功能。比如，经过改造的自然农田系统，目的是为了发展农业生产，增加粮食产量；一个技术系统的目的是实现某种技

术要求，达到给定的性能、经济和进度指标。但明确系统的目的并非易事，必须经过严格的论证，并要求提出科学的书面报告。

系统的目的—般用更具体的目标来表达，即系统目的是由系统各组成部分的目标共同作用的结果，表示为

$$G = \{g_j \mid g_j \in G, j = 1, 2, \dots, m\}$$

式中 G ——系统总目标；

g_j ——系统分目标；

m ——分目标个数。

可以从以下三个方面理解系统的目的性：

(1) 人工系统必须具有目的性，否则系统不应存在。比如有的工程项目刚刚“上马”就“下马”了，主要原因就是“盲目上马”。

(2) 要实现系统目的，—般要制订具体目标。在完成系统总目的的要求下，首先制订总目标及总功能，然后层层分解，落实到各基层组织，明确责任和岗位，通过同时或顺次完成一系列任务来达到系统功能，以确保系统目的的最终实现。

(3) 分目标之间可能是矛盾的，要注意整体平衡与协调。比如设计一个工厂，它的分目标可能有基建费最低、运行费最小、可靠性最大等。显然，较低的基建投资往往导致较高的运行费，较高的安全可靠标准将使基建费和运行维修费都增加。通常情况下，系统都有相互矛盾的分目标。因此，为了获得全局最佳结果，要在矛盾的目标之间根据贡献的大小寻找一个折中方案。

2. 整体性

系统是由相互联系的各个部分组成的有机整体。它作为一个整体存在于特定的环境之中。整体性与辩证法把事物看做是各个对象相互联系的整体观点是一致的。系统的整体性可以从以下几方面来理解：

1) 系统是一个集合

系统是一个由两个或两个以上的相互区别的要素结合而成的，其中的要素可以是实体的，也可以是非实体的，可表示为

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

式中 X ——集合；

x_i ——集合的组成要素；

n ——要素的个数。

例如，一个简单的生产系统的集合可表达为

简单的生产系统 $X = \{\text{机械设备 } x_1, \text{原材料 } x_2, \text{操作者 } x_3, \text{计划 } x_4, \text{利润 } x_5, \text{成本 } x_6, \text{核算 } x_7\}$ 。

其中机械设备、原材料、操作者是实体要素；计划、利润、成本、核算是非实体要素，两类要素相辅相成，而且人的要素是不可忽视的。

2) 系统整体联系的整体性

在系统中各个要素对整体的影响不是独立的，而是依赖于其他若干要素的协同作用。也就是说，系统要素的性质和行为并非独立地影响系统整体的功能或特征，而是相互影响、相互协调地来适应系统整体的要求，实现系统的功能。比如，从我国石油企业系统结构的现状来看，大庆油田直接从事原油生产的采油厂，不是完全意义上的独立结构，而仅仅是中国石

油天然气集团公司下属的分系统中的一个小系统。各采油厂只有在中国石油天然气集团公司的整体中才能发挥它们的作用和功能。

3) 系统功能的非加和性

系统要素相互区别、相互作用构成了整体，而整体具有部分集合所没有的特性和功能，即整体功能不等于各部分功能之和，这是系统的主要特性之一。比如，湖泊是由水分子构成的，它能够溶解氧气，对有机污染物有净化作用，但作为一个水分子则没有溶氧自净的作用。同时，构成系统的要素不一定都很完善，但可以构成性能良好的整体。反之，即使每个要素是良好的，但组成的整体不一定具有良好的整体功能，也就不能称为完善的系统。

由此可知，系统之所以产生整体性或新质，是因为系统的各个组成部分和各部分之间的联系服从系统的目的和要求，并形成一种协同作用。只有通过协同作用，系统的整体功能才能显现。

3. 相关性

1) 系统内部要素的相关性

系统的各个组成部分是相互联系和相互制约的，如图 1-5 所示，用数学表达如下：

若 $x_i \in X_i \subset X$, $x_j \in X_j \subset X$, 则 $x_i R x_j$ or $x_j R x_i$ 。

系统中某一要素变化，就意味着其他要素也要作相应的调整和改变。因此，从这个意义上看，系统也可表示为要素和关系的二元组：

$$S = \{X | R\}$$

比如，石油工业是一个庞大的综合性工业系统。它包括石油勘探、油田开发设计、钻井、油田地面建设、采油、加工、储运等多个层次的子系统。每个子系统又是由一系列生产环节组成，按时间划分的阶段性十分明显，阶段的衔接存在着先后顺序。除主要生产过程之外，还有供水、供电、机修、通讯、供应等辅助生产。从生产的空间分布看，各生产部门、各生产环节之间又相互交错、相互制约。譬如，采油厂要增加产能、提高油气产量、获取更大的经济效益，就必须依靠勘探、钻井、试采、油建、井下作业等系统的有机协作。

2) 系统与环境的相关性

系统的生存与运行几乎都要从外界环境输入，并向外界环境输出，输入与输出把系统要素与环境要素连接起来，并可能形成反馈作用，随着时间的延长，就会促进或严重影响其他系统的生存和发展。系统相关性引起的这种连锁效应根据其后果的好坏可分为良性循环和恶性循环。

[例 1] 江苏省吴江县某乡注重改革农业生产结构，建立了农、工、副、渔、蚕桑、畜牧相结合的农业生产生态系统，基本实现了“桑茂、蚕壮、菜嫩、羊肥、猪大、粮多、人富”的良性循环，如图 1-6 所示。

农业生产结构的优化，促进了农业生产的良性循环，实现了“三水促三养、三养促三熟、三熟夺高产”。

[例 2] 某地农村因为能源短缺，不得不砍伐树木，甚至采伐草根作燃料，其结果虽解决了暂时的燃料短缺，却破坏了生态平衡，引起了恶性循环，造孽于后代，如图 1-7 所示。

系统工程的主要目的之一，就是找出一些反馈循环，把恶性循环消灭在初始阶段，同时促进良性循环的发展。

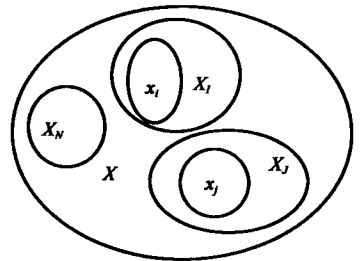


图 1-5 系统相关性示意图

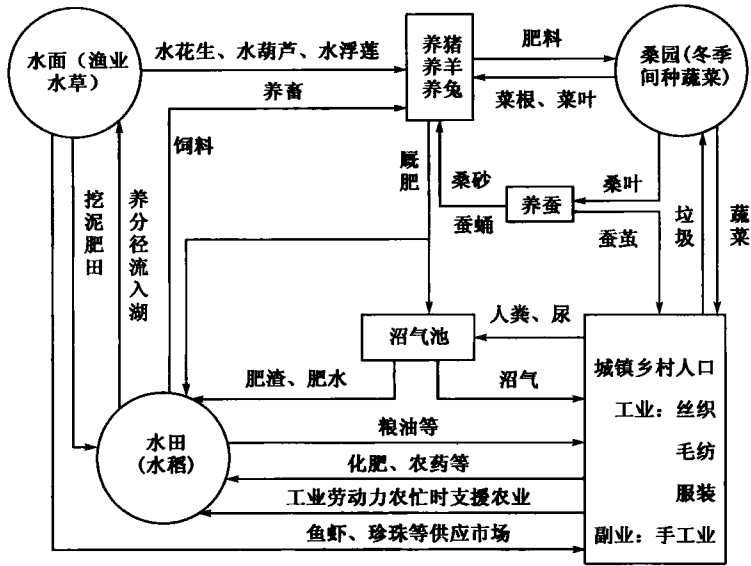


图 1-6 农业生产的良性循环

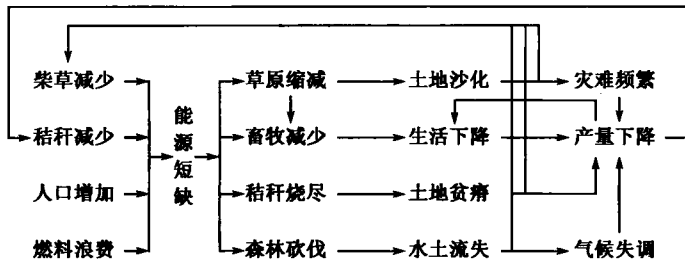


图 1-7 恶性循环

4. 层次性

由于客观事物的复杂性，任何系统都可以在空间和时间上进行分解，形成多层次结构。

1) 系统按空间分解，形成系统结构的层次性

系统从横向上可分解为若干子系统，每个子系统从纵向又可层层分解下去，分解为若干层次的子系统，最后层次为要素。要素是完成系统功能的最小单元。这种分解的基本标志是目标，一系列的目标要求产生一系列分系统。系统、分系统和系统要素构成了层次结构，如图 1-8 所示。

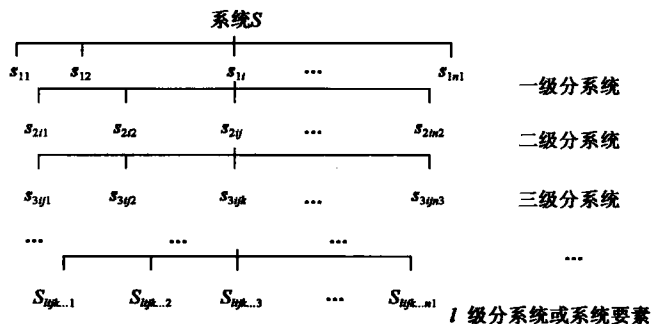


图 1-8 系统层次图

在层次图的底部，通常是一些结构和功能相对简单的子系统，越往上越复杂，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，又与上下层系统有着密切的联系。相对上层，它处于被支配和被控制的地位；相对下层，它处于支配和控制地位。

系统的层次性体现了系统目标逐级具体化和系统要素在系统结构中的位置和隶属关系。比如，采油厂作为大型复杂的系统，其内部包含很多层次，从组织角度可分为大队（厂矿）、小队（车间）、班组；从生产过程可分为联合站、中转站、计量间、单井；从管理层次上可分为决策层、执行层、操作层。系统的层次性，要求在实际工作中，必须注意健全和维护系统秩序，根据各个层次的特性和不同需要，采取相应的管理方法，提出不同的管理目标，健全各个层次的管理制度，使各系统和各层次做到密切协作、有机结合、高效运转，并合理安排管理幅度，注意目标、标准和制度的配套。

2) 系统按时间进行分段，形成系统发展的有序性

任何系统本身都会经历从孕育、产生、发展到衰退、消亡的过程。系统的变化、发展不是随意的，而是有其自身的发展规律。系统发展的这种动态的有序性显示：在实际工作中，既要不失时机地扩大系统，又要避免在不利条件下盲目地扩大系统。

例如企业在生产产品时，要考虑到产品的经济寿命曲线（图 1-9 所示），要了解目前产品是处在萌芽期、发展期，还是处在成熟期或衰退期。对于还有一定销路的老产品，不要盲目生产，而在此之前适当时候就要改进老产品或研制新产品以更新换代。这就是按系统的动态有序性特征对生产进行合理安排。

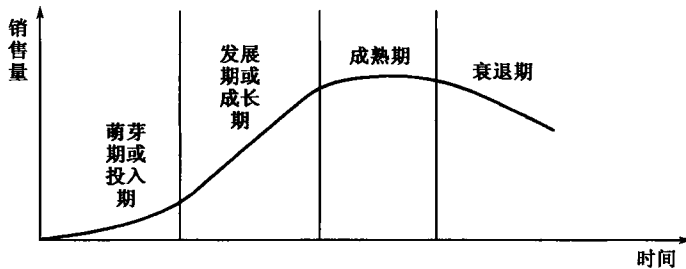


图 1-9 产品的经济寿命曲线

5. 环境适应性

系统适应外部环境的变化，以获取生存和发展能力的性质，就是系统的环境适应性。

1) 系统必须适应于环境，否则无法生存

系统与环境的作用是相互的。一方面，系统不能脱离环境而存在。系统存在于环境之中，外界环境通过与系统进行物质、能量、信息的交换，对系统产生影响，使系统结构发生振荡。当环境变化超过了系统承受能力时，系统将解体，被新的适应环境要求的系统所代替。只有系统与环境保持最佳适应状态，才能对环境做出尽可能大的贡献。另一方面，系统又可以通过输出对环境施加影响，如人类不仅能够适应自然环境，还能够利用和改造自然环境，使其满足人类的需求。

2) 通过不断完善系统要素和调整系统内部结构，来适应环境

比如一个采油厂，其主要产品是石油和天然气，而石油和天然气的生产客观上受众多自然条件和社会经济条件的影响和制约。在原油生产过程中，由于油气层中的油气量及许多相

关因素在不断变化，许多技术参数也在不断变化，此时开采工艺，包括注水、注聚合物、压裂、净化脱水、集输以及设施装备等也必须随之不断地变换和调整，否则，由于石油储备量不断降低，地层压力的下降，而导致油井产量减少，油井提前报废。同时，采油厂作为相对独立的经济实体，它的系统功效常因外部社会经济环境的变化而呈现不稳定状态。如国际石油价格的涨落、国家经济政策的调整、石油产品供求关系的变化等都对采油厂有重大影响。因此要求石油企业必须加速系统内部诸要素的优化，不断提高自身素质，强化控制、反馈和调节能力，不断灵活创新，以适应环境的变化。

上述系统的五个基本特征，是处理系统问题时应具备的主要观点：即从总体目标出发着眼长远、整体优化的观点；从系统的内外联系分析问题的观点；考虑系统结构层次性的观点；考虑外界条件变化，使系统适应环境的观点等。在系统分析、设计、评价、决策时，这些基本观点是第一位的。离开这些基本观点，将会导致错误的结果。

第二节 系统思想的形成与发展

“系统”的概念及系统思想来源于人类长期的社会实践，是人类社会实践的科学总结。从古代系统思想到辩证系统思想的演变经历了相当漫长的历史进程，其大致分为三个阶段。

一、古代朴素的系统思想

人类很早就已经有了“系统”的概念和系统思想的萌芽，这主要体现在对整体、组织、结构、等级的认识。如我国古代天文学家为发展农牧业，很早就关心天象的变化，把宇宙看作一个整体，探讨它的结构、变化和发展，揭示了天体运动与季节变化的联系，编制出了历法和指导农事活动的二十四节气。古代朴素的系统思想还在古代哲学中得到反映。我国春秋末期的思想家老子就强调自然界的统一性。古希腊卓越的哲学家德谟克利特说过“世界是包含一切的整体”。古希腊著名学者亚里士多德（Aristoteles）进一步发展了朴素的系统思想，提出“整体大于各部分的总和”的思想。他以房屋为例，说明一所房屋并不等于砖瓦、木料等建筑材料的总和，指出“由此看来，很清楚，你有了各个部分，但还没有形成整体，所以各个部分单独在一起和整体并不是一回事”。亚里士多德的这一思想后来成为一般系统论的主要观点之一。

古代朴素唯物主义哲学思想虽然强调对自然界整体性、统一性的认识，包含了正确的整体观。但由于历史条件的限制，缺乏对整体中各个细节的认识能力，所以对很多事物只能看到一些轮廓及表面现象，往往是只见森林，不见树木，因而其对整体性和统一性的认识是不完全的。

二、机械论的整体观

15世纪下半叶，由于近代科学的兴起，力学、天文学、物理学、化学以及生物学等学科逐渐从原来混为一体的哲学中分离出来，获得迅速的发展。产生了研究自然界的独特的分析方法，即实验、解剖与观察等，把事物分门别类地加以研究。这种方法使得人类对自然界的各个细节的认识更加深刻，促进了自然科学的发展，但这种方法在哲学上却形成了形而上学的思维方法。它撇开了事物的总体联系，把事物看做是彼此孤立的、互不相关的东西，往往只看到局部现象，而不能纵观全局。

三、辩证的系统思想

19世纪上半叶，自然科学的发展取得了伟大的成就，特别是能量转化、细胞和进化论的发现，揭示了客观世界的普遍联系，使人类对自然现象和过程的相互联系的认识有了很大的提高。恩格斯指出“由于这三大发现和自然科学的其他巨大进步，我们现在不仅能够指出自然界中各个领域内过程之间的联系，而且总的说来也能指出各个领域之间的联系了，这样，我们就能够依靠自然科学本身所提供的事实，以近乎系统的形式描绘出一幅自然界联系的清晰画面”。辩证唯物主义认为，物质世界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约和相互作用的事物和过程形成的统一整体，这种普遍联系及整体性的思想，就是对系统思想的哲学概括。

四、系统思想的典型案例

[例 1] 皇宫修复工程

宋真宗祥符年间，由于皇城失火，宫殿全部被烧光。皇帝任命一个名叫丁渭的大臣全权负责皇宫的修复工程。这样的工程怎样才能完成得又快又好呢？经过反复考虑，他提出了一套完整的施工方案：首先是挖沟，把皇宫前面原有的一条大街挖成沟渠，用挖出的土烧砖，从而就地就近解决部分建筑材料问题；其次是引水，把已挖好的这条沟渠同开封附近的汴水相接通，形成渠道，运进沙石和木材等，使用了当时最经济有效的运输方式——水运，节约了大量的人力、物力和时间；最后是填沟，在皇宫修复后撤水，并用废物填沟，修复原有的大街。这里体现的系统思想是很典型的，它从始至终把皇宫的修复工程看成一个整体，把挖沟、引水和填沟三个环节巧妙地联结起来，不仅从中体现了快、好、省的要求，并有步骤地达到了预期目的。

[例 2] 都江堰工程

地处我国四川省都江堰市灌口镇境内的都江堰工程是举世瞩目的。这是公元前 250 年由蜀郡太守李冰父子带领当地的人们修建的一项防洪灌溉工程。据考证，四川的美称——“天府之国”的得名来源于都江堰工程。在这项工程兴建之前，四川的情况可用三句话来概括“洪水泛滥、土地龟裂、民不聊生”。李冰等人通过分析，认识到“洪水”意味着水太多了，“龟裂”说明水太少了，能否将多余的水送到缺水的地方去？为了达到这个目的，都江堰工程主要由鱼嘴分水堤、飞沙堰溢洪道、宝瓶口进水口三部分工程组成：一是分水工程。这是将岷江的水分流为内江和外江的鱼嘴分水堤工程。外江为岷江正流，通过分流，使多余的水经宝瓶口进入内江，不仅能用于灌溉，而且达到了防洪的目的。二是引水工程。它是将玉垒山劈开，将进入内江的水引入灌溉渠道，即有名的宝瓶口工程。通过引水渠道工程，解决了多水和缺水的调节问题。三是分洪排沙工程。它处于分流后的内江和外江之间，由飞沙堰和人字体工程组成。这两级溢洪道控制了内江水位，它们前呼后应，略高于两江水面。因此，水小为岸，水大为口，流石沉堰、洪落沙收。这项工程解决了进入灌溉渠道的水量问题，又解决了河道的疏通问题。图 1-10 为都江堰工程系统图。

都江堰工程是世界水利工程史上的奇迹，是中华民族智慧的象征。三个部分构成了整体，从而解决了川西平原的防洪灌溉问题。从今天的观点来看，这是一个完整的系统工程。因为它的设计体现了系统思想，应用的知识是综合性的，解决的问题则带有全局优化的性质。当然，这种系统思想尚处于初级、朴素的阶段。