



# 农业系统分析与模拟

刘铁梅 谢国生 主编



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

01

# 农业系统分析与模拟

刘铁梅 谢国生 主编

国家自然科学基金资助项目  
华中农业大学研究生教育创新工程基金资助

科学出版社

北京

S126  
L684

## 内 容 简 介

本书主要介绍了有关农业系统分析、农业系统模型、农业气候模型、作物发育模型、光合生产模型、物质分配与器官生长模型、产量模型、水分和养分效应模型、农业专家系统、作物智能管理与决策支持系统等的结构、功能与构建方法等内容。编者结合近年来在农业系统学与农业信息技术领域的科研成果和学术积累,以作物生长的技术-环境-产量动态关系为主线,阐述了农业系统分析和农作物系统模型的数学基础、发展历史、基本原理、方法和应用。本书注重了研究性与应用性、机理性与知识性、参考性与学习性的统一。

本书主要面向高等农业院校农学类专业的研究生和高年级本科生,以及农业教育、科技和管理人员。特别适用于作为农业系统学或农业信息学等专业教学和科研的教材或参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

农业系统分析与模拟/刘铁梅,谢国生主编. —北京:科学出版社,2010.2  
ISBN 978-7-03-026751-1

I. ①农… II. ①刘…②谢… III. ①作物-生长发育-生物模拟②作物-生长发育-建立模型-管理决策系统 IV. ①S126

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第020779号

责任编辑:丛楠 甄文全/责任校对:张怡君  
责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

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>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2010年2月第一版 开本:787×1092 1/16

2010年2月第一次印刷 印张:16 3/4

印数:1—2 500 字数:398 000

定价:48.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 编审人员

**主 编** 刘铁梅 (华中农业大学)  
谢国生 (华中农业大学)

### 副主编

朱 艳 (南京农业大学)  
邹 薇 (云南农业大学)  
庄恒扬 (扬州大学)  
曹宏鑫 (江苏农科院)

### 编写人员 (按姓氏汉语拼音排序)

刘铁梅 (华中农业大学)  
王 燕 (华中农业大学)  
王丽珍 (武汉职业技术学院)  
谢国生 (华中农业大学)  
薛利红 (中国科学院南京土壤研究所)  
杨 毅 (华中农业大学)  
赵 全 (西南科技大学)  
朱 艳 (南京农业大学)  
张新虎 (甘肃农业大学)  
庄恒扬 (扬州大学)  
邹 薇 (云南农业大学)

**主 审** 曹卫星 (南京农业大学)

## 前 言

作物生产系统是一个复杂而独特的多因子动态系统，不仅受栽培品种的遗传特性影响，而且受气象、土壤、栽培技术及病虫害等多种因素的影响。作物生产系统的行为具有显著的时空变异性、区域性，且定量化和年度间稳定性较差。因此，传统的作物栽培模式及管理技术往往以定性或半定量的经验知识为主，在某地或对某一作物所获得的研究成果，只能粗略地引用于其他地区或其他品种，而补充地方性试验，通常成本高、试验周期长、成果转化慢。因此，如何提高试验成果的实用性，改善试验结论的外推性，提高农业研究的效率，一直是人们密切关注的问题。随着农业信息技术的发展，作物生长模拟模型日趋成熟，已经被广泛应用于支持发达国家和发展中国家的大田试验研究与推广，其潜在价值是巨大的。

农业系统学的发展经历漫长的时期，特别是 20 世纪 80~90 年代在国外快速发展，形成了不同的分支学科。在我国，经过长期的研究与实践，也形成了各有特色的学科体系和具有一定应用价值的作物智能管理及决策系统。随着时代的发展，农业系统模拟模型的研究进入了一个新时期。模拟模型吸取了作物生理学、作物栽培学、土壤学、农业气象学、植物病理学等学科的知识，能迅速地回答许多“如果……那么……”一类问题。利用适当的数据，模拟模型可预测某些农田条件的生产情况，也可用于区域性规模的农田生产，还可模拟不同气候模式下的产量。这种模型不存在地理限制，可以应用到不同地域、不同栽培条件、其他栽培品种或其他耕作制度。尽管主要的模拟和预测结果仍需要用田间试验来检验和评价，应用模型研究比仅仅进行试验研究的进展要快得多。此外，一些发达国家利用作物模拟模型及决策支持系统、3S 技术 [遥感 (RS)、地理信息系统 (GIS)、全球定位系统 (GPS)] 及精准农业技术等辅助进行不同时空条件下的农业资源环境监测、农业生产管理、肥水运筹、病虫害预测和防治，以及农业可持续发展等，克服了传统农业固有的缺点，大大提高了农业生产管理决策的科学性和量化水平，取得了显著的经济效益、社会效益和生态效益。

在作物模拟及信息农业快速发展的进程中，广大农业教育与科技人员及高校学生迫切需要了解和掌握有关农业系统分析与模拟的基本原理、方法和技术。然而，国外已有的有关作物生长模拟的书籍，或者偏重于作物生长的数学分析和理论模型，或者偏重于作物生长系统的某些方面，缺少系统性、完整性和适用性。国内专门论述有关作物生长模拟基本原理和应用技术的专著或教科书还不多见。

本书共分 13 章，各位编者具体分工如下：第 1 章（谢国生：2.6 万字，刘铁梅：2.0 万字），第 2 章（谢国生：4.6 万字，王燕：3.0 万字），第 3 章（谢国生：2.8 万字，曹宏鑫：2.0 万字），第 4 章（刘铁梅：1.5 万字，曹宏鑫：1.0 万字），第 5 章（刘铁梅：2.8 万字），第 6 章（刘铁梅：2.2 万字，邹薇：1.1 万字），第 7 章（邹薇：1.1 万字），第 8 章（庄恒扬：1.1 万字），第 9 章（刘铁梅：1.5 万字，薛利红：1.0 万

字), 第10章(朱艳: 1.8万字), 第11章(朱艳: 1.5万字, 杨毅: 1.0万字), 第12章(张新虎: 3.0万字, 王丽珍: 1.3万字、赵全: 1.9万字), 第13章(朱艳: 6.3万字)。

在本书的编写过程中, 各位编者都非常敬业, 在尽可能短的时间里保质保量地完成了各项任务, 认真地查阅和引用了国内外大量参考文献, 详细列出了文献来源。此外, 本书的编写还得到了夏燕、孔德艳、赵欣欣、赵伦、孟翎冬、周朝、汪瑞清等同学和我的朋友钟华的帮助, 在本书的出版过程中, 得到了科学出版社责任编辑甄文全、丛楠的大力支持和帮助。非常感谢南京农业大学曹卫星教授对本书进行了认真仔细的审阅。特别感谢华中农业大学植物科学技术学院院长曹凑贵教授多年来在农业系统分析与模拟研究领域对我们的大力支持和帮助。在此, 编者对所有支持和参与本书出版的有关单位和同事表示最衷心的感谢。

由于农业系统分析和模拟还是一门年轻的学科, 处在快速的发展过程中。有些基本概念、原理和方法的建立还不令人满意。本书涉及的专业领域比较广泛, 新术语和新概念较多。尽管编者花费了大量的时间和精力, 但限于我们的专业水平, 唯恐还有不妥或不足之处。希望本书的出版能起到“抛砖引玉”的作用, 激发更多的同仁重视和参与本领域的研究, 以促进我国农业信息学的研究更上一个新的台阶。

编者

2010年1月

# 目 录

前言		
第一章 概述	1	
第一节 系统的定义	1	
第二节 系统的组成	3	
一、要素	3	
二、结构	3	
三、功能	4	
四、行为	5	
五、环境	5	
第三节 系统的特点	6	
一、集合性	6	
二、关联性	6	
三、层次性	7	
四、整体性	8	
五、目的性	8	
六、可控性	8	
七、时序性	9	
第四节 系统的分类	9	
一、按自然属性分类	9	
二、按物质属性分类	10	
三、按运动属性分类	10	
四、按与环境的关系分类	11	
五、按规模大小和复杂程度分类	12	
六、白色系统、灰色系统和黑色系统	12	
第五节 系统科学体系	12	
一、一般系统论	14	
二、运筹学	14	
三、控制论	15	
四、信息论	15	
五、耗散结构论	15	
六、协同学	16	
七、突变论	16	
第六节 系统分析	17	
一、系统分析的原则	17	
二、系统分析的要素	19	
三、系统分析的内容	21	
四、系统分析的步骤	25	
习题	28	
参考文献	28	
第二章 农业系统分析	29	
第一节 农业系统分析的定性研究方法	29	
一、调查研究	29	
二、图像分析	30	
第二节 农业系统分析的定量方法	33	
一、抽样调查	33	
二、统计推断	43	
三、方差分析	56	
四、相关分析	58	
五、因素分析法	59	
六、关联度分析	63	
习题	69	
参考文献	70	
第三章 农业系统模型构建	72	
第一节 系统模型概述	72	
一、系统模型的概念与特征	72	
二、系统模型的分类	72	
三、系统模型的应用	74	
第二节 农业模拟模型	75	
一、农业模拟模型和作物模拟模型的概念	75	
二、农业系统模拟模型的特征	75	
三、农业系统模型的研究进展	76	
第三节 农业系统模拟的基本原理与		

技术.....	87	一、水稻钟模型 .....	127
一、系统模型化的基本原理 .....	87	二、小麦钟模型 .....	128
二、系统模型化方法 .....	88	习题 .....	130
第四节 农业模拟模型研制步骤.....	92	参考文献 .....	130
一、模型选择与总体框图设计 .....	92	<b>第六章 光合作用与物质积累模型</b> ...	131
二、资料获取、算法构建与数据库.....	93	第一节 作物光合作用模型 .....	131
三、模块设计与模型实现 .....	94	一、光-叶片光合作用反应曲线.....	131
四、模型检验与改进 .....	94	二、光、CO <sub>2</sub> -叶片光合作用反应曲线	
习题.....	97	.....	132
参考文献.....	97	第二节 呼吸作用 .....	133
<b>第四章 农业气候模型</b> .....	101	第三节 美国的 CERES 系列模型物	
第一节 太阳辐射模型 .....	101	质生产的计算 .....	133
一、太阳辐射的分类 .....	101	第四节 荷兰 SUCROS 模型对 CO <sub>2</sub>	
二、日长与太阳辐射的模拟计算 .....	102	同化速率的模拟 .....	134
三、太阳直接辐射与散射辐射的计算		一、单位叶面积瞬时光合作用 .....	134
.....	105	二、群体同化速率的模拟计算 .....	134
第二节 温度模型 .....	106	三、维持呼吸 .....	137
一、气温的周年变化 .....	107	四、干物质生产 .....	137
二、气温的周日变化 .....	110	五、各器官干物质分配与生长 .....	137
三、土壤温度的日变化和年变化 .....	111	第五节 BarleyGrow 模型对大麦光	
第三节 降水模型 .....	113	合生产的模拟 .....	138
一、二次随机与雨季权重分配方法 ..	113	一、单位叶面积瞬时光合作用 .....	138
二、雨期方法 .....	114	二、群体瞬时光合作用 .....	138
习题 .....	115	三、到达冠层的瞬时光合有效辐射 ..	139
参考文献 .....	115	四、群体日光合同化量 .....	139
<b>第五章 作物发育模拟模型</b> .....	116	五、温度对光合作用最大速率的影响	
第一节 CERES-WHEAT 模型 ..	116	.....	139
第二节 SUCROS 模型 .....	118	六、冠层呼吸作用与干物质积累模型	
第三节 小麦生理发育时间模拟模		.....	140
型 .....	118	第六节 RCSODS 模型对群体光合	
一、建模的基本原理与假设 .....	118	作用的模拟 .....	141
二、模型的描述 .....	119	一、群体光合作用 .....	141
第四节 大麦顶端发育和物候发育		二、作物呼吸作用模型 .....	141
模拟模型 .....	122	三、群体干物质积累 .....	142
一、生理发育时间模型中的参数 .....	123	第七节 刘德利模拟的群体光合作	
二、生理发育时间的计算.....	123	用 .....	142
第五节 水稻钟模型和小麦钟模型		习题 .....	143
.....	127	参考文献 .....	143



<b>第七章 物质分配与器官生长模拟模型</b> .....	145	<b>第三节 水稻产量预测模型</b> .....	162
<b>第一节 物质分配系数模型</b> .....	145	<b>第四节 遥感与产量估测模型</b> .....	163
一、各器官的物质分配系数 .....	145	一、半干旱地区灌溉条件下冬小麦产量	
二、物质分配系数的几种假说 .....	146	SAFY 模型 .....	163
<b>第二节 物质分配指数模型</b> .....	147	二、基于卫星遥感的小麦产量模型 .....	164
一、分配指数 .....	147	<b>第五节 南京农业大学作物产量模</b>	
二、各器官的生长 .....	148	拟模型系列 .....	166
<b>习题</b> .....	149	一、小麦模型 .....	166
<b>参考文献</b> .....	149	二、棉花模型 .....	167
<b>第八章 作物光合面积指数的模拟</b> ..	151	<b>第六节 江苏省农业科学研究院作</b>	
<b>第一节 CERES-WHEAT 模型</b> ..	151	物产量模型系列 .....	168
一、出苗到顶小穗形成期 (Stage 1)		一、玉米产量模型 .....	168
LAI 的模拟方法 .....	151	二、棉花产量模拟模型 .....	169
二、茎秆生长阶段 (Stage 2) LAI 的		<b>第七节 关于产量预测模型的方法</b>	
计算 .....	152	研讨 .....	169
三、开花前穗生长期 (Stage 3) LAI 的		一、产量构成法 .....	169
计算 .....	153	二、收获指数法 .....	170
四、穗生长到籽粒开始灌浆前 (Stage 4)		三、产量构成模拟方法的争议 .....	170
LAI 的计算 .....	153	<b>习题</b> .....	171
五、籽粒灌浆期 (Stage 5) LAI 的计算		<b>参考文献</b> .....	171
.....	153	<b>第十章 土壤水分模型</b> .....	173
<b>第二节 南京农业大学江苏省信息</b>		<b>第一节 水分平衡</b> .....	173
<b>农业高技术研究重点实验</b>		一、作物冠层对降水的截流量 .....	173
<b>室模拟方法</b> .....	154	二、土壤中的渗透和径流 .....	174
一、叶面积指数模拟 .....	154	三、植被含水 .....	175
二、穗面积指数的模拟 .....	155	四、蒸散量 .....	176
<b>第三节 江苏省农业科学研究院作物</b>		五、根部水分吸收 .....	180
<b>叶面积指数动态模拟方法</b>		<b>第二节 水分效应因子</b> .....	181
.....	155	一、水分的供需关系 .....	181
<b>习题</b> .....	156	二、水分亏缺的影响 .....	181
<b>参考文献</b> .....	156	<b>习题</b> .....	182
<b>第九章 作物产量模拟模型</b> .....	158	<b>参考文献</b> .....	182
<b>第一节 CERES-WHEAT 模型</b> ..	158	<b>第十一章 作物养分效应的模拟</b> .....	183
一、主要目的和总体框架 .....	158	<b>第一节 土壤氮模型</b> .....	183
二、模型中作物遗传参数 .....	159	一、土壤中氮的组成 .....	183
三、模拟产量的方法 .....	159	二、土壤中氮的收支模型 .....	184
<b>第二节 Sirius 模型</b> .....	161	三、土壤无机氮运动模型 .....	184
		四、矿化与固定 .....	185

五、硝化作用 .....	187	一、专家知识的描述 .....	215
六、反硝化作用 .....	188	二、专家系统开发环境 .....	215
第二节 养分吸收与分配 .....	188	三、专家系统的设计技巧 .....	216
一、养分吸收需求 .....	188	四、建立专家系统的步骤 .....	218
二、肥料利用率与作物需肥量 .....	190	第七节 专家系统的应用实例 .....	218
三、氮素的吸收与分配动态 .....	191	一、甜菜害虫专家系统的建设 .....	218
第三节 氮、磷、钾的关系及养分		二、食用菌栽培专家系统的设计与开发	
效应因子 .....	192	.....	221
一、氮、磷、钾的关系 .....	192	习题 .....	225
二、养分效应因子 .....	195	参考文献 .....	225
习题 .....	196	<b>第十三章 基于模型的作物管理决策支</b>	
参考文献 .....	196	<b>持系统</b> .....	226
<b>第十二章 专家系统及其应用</b> .....	197	第一节 决策支持系统的概念、特征	
第一节 概述 .....	197	与功能 .....	226
一、专家系统的定义和特点 .....	197	一、决策支持系统的产生与发展 .....	226
二、专家系统的发展历史 .....	197	二、作物管理决策支持系统的类型与结	
三、专家系统的优点 .....	198	构 .....	232
四、与专家系统相关概念 .....	198	三、农业决策支持系统的开发技术 .....	241
第二节 专家系统的结构 .....	200	第二节 主要农业决策支持系统及	
一、专家系统的基本结构 .....	200	其应用 .....	251
二、专家系统的理想结构 .....	201	一、基于生长模型的作物管理决策系统	
第三节 专家系统的分类 .....	202	.....	251
第四节 知识获取方法与知识表示		二、基于知识规则的作物管理决策系统	
.....	205	.....	253
一、专家知识的获取 .....	205	三、基于知识模型的作物管理决策系统	
二、专家系统知识表示 .....	208	.....	254
第五节 推理方式 .....	210	四、专家系统与生长模型相结合的作物	
一、演绎推理、归纳推理和默认推理		管理决策系统 .....	256
.....	210	五、基于模型和 GIS 的作物管理决策支	
二、确定性推理与不确定性推理 .....	213	持系统 .....	257
三、单调推理和非单调推理 .....	215	习题 .....	258
第六节 专家系统设计 .....	215	参考文献 .....	258

# 第一章 概 述

## 第一节 系统的定义

系统这一概念来源于人类的长期社会实践和科学总结。人类自有生产活动以来，无不在同自然系统打交道。例如，管子《地员篇》、《诗经》、农事诗《七月》等古籍，对农作物与种子、地形、土壤、水分、肥料、季节等因素的关系，都有辩证的叙述；并提出了如何根据天时、地利和生产条件合理地安排农事活动。周秦至西汉初年古代医学总集的《黄帝内经》，强调人体各器官的有机联系、生理现象和心理现象的联系、身体健康与自然的联系。战国时期秦国李冰设计建造了伟大的都江堰（图 1.1），包括“鱼嘴”岷江分水工程、“飞沙堰”分洪排沙工程、“宝瓶口”引水工程三大主体工程 and 120 个附属渠堰工程，工程之间的联系处理得恰到好处，形成一个协调运转的工程总体。在东汉时期，古代天文学家张衡提出了“浑天说”，揭示天体运行和季节变化的联系，编制出历法和指导农业活动的二十四节气。这些古代农事、工程、医药、天文知识和成就，都不同程度地反映了朴素的系统概念及其自发应用。

朴素的系统概念，不仅表现在古代人类的实践中，而且在古代中国和古希腊的哲学和军事思想中得到了反映。我国春秋末期的思想家老子强调自然界的统一性，指出“天下万物生于有，有生于无”，“无，名天地之始；有，名万物之母”，表述了老子对自然界统一性的见解。《孙子兵法》从道、天、地、将、法 5 个方面来分析战争全局，指出“凡此五者将莫不闻，知之则胜，不知者不胜”。古希腊的唯物主义哲学家德谟克利特（Democritus）就曾论述了“宇宙大系统”，他认为世界是由原子和虚空所组成，原子组成万物，形成不同的系统和有层次的世界。古希腊伟大学者亚里士多德提出“整体大于组成它的各部分的总和”的著名论点，提出用四因论（质料因、形式因、动力因、目的因）来说明事物的构成及生灭变化。用自发的系统概念考察自然现象，这是古代中国和古希腊唯物主义哲学思想的一个特征，这一思想包含了系统思想的萌芽。

19 世纪以来，自然科学取得了一系列伟大的成就，特别是能量守恒、细胞学说和进化论的提出，使人类对自然过程相互联系的认识有了很大的提高。马克思、恩格斯的辩证唯物主义认为，物质世界是由无数相互联系、相互依赖、

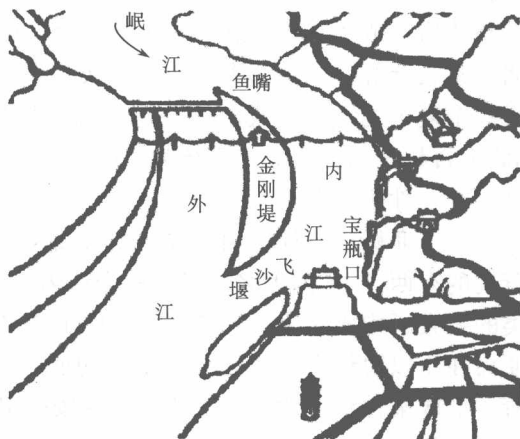


图 1.1 都江堰示意图

相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体。辩证唯物主义体现的物质世界普遍联系及其整体性的思想，也就是系统思想。20世纪中期以来，现代科学技术的成就，为系统思想提供了定量方法和计算工具。现代科学技术对于系统思想方法来说，第一个贡献在于使系统思想量化，成为一套具有数学理论、能够定量处理系统各组成部分相互联系的科学方法；第二个贡献在于为量化系统思想的实际应用提供了强有力的计算工具——电子计算机。这就是系统思想如何从经验到哲学再到科学、从思辨到定性再到定量的大致发展情况。

“系统”这个名词，从它的拉丁语“systema”来分析，是“在一起”、“放置”的意思，因此，很久以来用于表示群体、集合等概念。但系统作为一个科学概念，还是在20世纪，由于科学技术的发展才逐步明确起来的。随着当今世界经济和科学技术的迅速发展，生产、社会活动、科学研究以及人类文化活动的规模日益扩大，各部门之间的联系日益密切，逐渐形成了一个有机整体。

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，贝塔朗菲就开始从研究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标志。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—般系统论奠定了理论基础。

在《韦氏大辞典》中，对系统一词的解释是：“有组织的或被组织化的整体、结合着的整体所形成的各种概念和原理的综合，由有规则的相互作用、相互依存的形式组成的诸要素集合等。”《牛津大辞典》定义“系统为一组相联结、相聚集或相依赖的事物，构成一个复杂的统一体或由一些组成部分根据某些方案或计划有序排列而成的整体”。《苏联大百科全书》定义“系统为一些在相互关联与联系之下的要素，形成了一定的整体性、统一性集合”。

日本工业标准(JIS)中的系统定义是：“许多组成要素保持有机的秩序，向同一目的行动的东西。”美国著名学者阿柯夫认为，“系统是由两个或两个以上相互联系的任何种类的要害所构成的集合”。R. 吉布松定义系统是“互相作用的诸元素的整体化总和，其使命在于以协作方式来完成预定的功能”。B. H. 萨多夫斯基认为，系统是“互相联系着并形成某种整体性统一体的诸元素按一定方式有秩序地排列在一起的集合”。N. B. 布拉乌别尔格、B. H. 萨多夫斯基和尤金指出，“从系统的整体性出发，可以从性质方面通过下列特征给系统概念下定义：①系统是由相互联系的诸元素组成的整体性复合

体；②它与环境组成特殊的统一体；③任何被研究的系统通常都是更高一级系统的元素；④任何被研究的系统的元素通常又都作为更低一级系统”。

我国系统科学界对“系统”一词较通用的定义是：系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分（要素）结合而成的、具有特定功能的有机整体。依据此定义可以看出，系统必须具备三个条件：第一，系统必须由两个或两个以上的要素（部分、元素、子系统）所组成，要素是构成系统的最基本单位，因而也是系统存在的基础和实际载体，系统离开了要素就不称其为系统；第二，要素与要素之间存在着一定的有机联系，从而在系统的内部和外部形成一定的结构或秩序，任何一个系统又是它所属的一个更大系统的组成部分（要素），这样，系统整体与要素、要素与要素、整体与环境之间，存在着相互作用和相互联系的机制；第三，任何系统都有特定的功能，这是整体具有不同于各个组成要素的新功能，这种新功能是由系统内部的有机联系和结构所决定的。

## 第二节 系统的组成

### 一、要 素

要素是指构成系统的基本单元或部分。应有两个或两个以上的要素才能构成系统，要素可以是单个事物，也可以是一群事物组成的小系统。例如，对银河系而言，太阳系是它的一个组成要素；而这一要素是由太阳、九大行星及卫星、小行星群等，按照一定的相互关系和运行规律组成的一个小系统。总之，要素是相对于系统而言的，一个大系统往往是由若干个小系统和要素所组成的。系统与要素之间的关系是相互依存、互为条件，而且也是相互作用的。各种要素在系统中的地位和作用不尽相同，特别是在要素数目较多的复杂系统中更是如此。

### 二、结 构

系统结构指系统内部各组成部分或要素在空间、时间等方面的有机联系、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。因此，系统结构也是组分及组分之间的关联方式的总和。任何系统的整体性都是在某种结构基础上的整体性，系统的结构越严密，有序性越高，整体性也就越强。

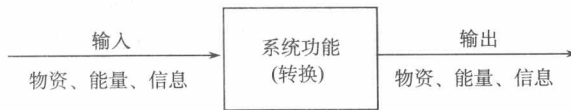
系统结构具有相对稳定性、多层次性和适应性。所谓稳定性是指在一定条件下系统总是趋向于保持某一状态，从而要求保持相应的结构形态。由于系统是有层次的，故其结构亦是分层次的，相对于高层次的结构，低层次的结构作为系统的要素起作用，相对于低层次的结构，高层次的结构则是作为系统的整体起作用。所谓适应性是指由于系统与变化着的外界环境的相互作用，当外界环境发生大的改变时，系统结构相应地亦有所变异。

系统结构具有不同的形式，其基本形式有：数量结构、时序结构、空间结构和逻辑结构。另外，还可以把系统结构划分为平衡结构与非平衡结构、有序结构与非有序结构等形式。各构成要素之间的联系排列方式保持相对不变的系统结构称为平衡结构，如晶

体结构。这类系统结构中的各个要素有固定位置，它的结构稳定性非常明显。系统的各组成要素对环境经常保持着一定的活动性，处于必须与环境不断进行物质、能量、信息交换才能保持有序性的系统结构，称为非平衡结构。这种结构本质上是一种动态结构。有序结构与非有序结构的划分主要是以系统内有无固定的秩序为标志。

### 三、功 能

任何系统都有一定的功能，系统的功能反映系统与外部环境的关系，表达出系统的性质和行为。系统功能体现了一个系统与外部环境之间的物质、能量和信息的输入与输出的转换关系，见图 1.2。



系统功能是系统整体的功能，是原来各组成部分不具备或不完全具备、只是在系统形成后才具备的。有时候人们把它称为系统的整体属性。系统功能又可分为外部功能和内在功能。系统整体对外在环境的作用或影响称为系统的外部功能，简称外功能；系统整体对内在环境的作用或影响称为系统的内部功能，简称内功能。一个系统的内部功能、外部功能是相互作用的。一般来说，内部功能是外部功能的基础，内部功能的状况决定着外部功能的状况；外部功能是内部功能的外在表现，外部功能的发挥会刺激内部功能的提高和进一步完善。

系统功能有以下几个基本特点。

#### (1) 系统功能具有易变性

系统功能与系统结构相比是更为活跃的因素。一个系统对外部环境发挥功能总要遵循一定的规律，随着环境条件的不同，将相应地引起系统功能的变化。一个系统的结构在一定范围内总是稳定的，但功能则不同，只要环境的物质、能量、信息交换有所变动，此时系统与环境的相互作用过程、状态、效果都会发生变化。系统在发挥功能的过程中，会随着环境条件的变换而相应地调整它的程序、内容和方式，不断地促进系统结构的变革，以使系统不断地获得新的功能。

#### (2) 系统功能具有相对性

当要素组成系统之后，要素之间发生了各种联系（包括分工与合作），使系统的功能出现了量的增加和质的飞跃。俗话说：“一个巧皮匠，没张好鞋样；两个笨皮匠，彼此有商量；三个臭皮匠，赛过诸葛亮。”然而，在不协调的关系下，系统的功能就存在问题。例如，俗话说：“一个和尚挑水吃，两个和尚抬水吃，三个和尚没水吃。”系统功能能否实现关键在于要素之间的关系和系统的结构。只有调整要素之间的关系，建立合理的系统结构，才可以提高和增加系统的功能。

#### (3) 系统功能的发挥需进行有效的控制

在功能管理的活动中，要有进行监督和控制的管理机构。管理机构的主要任务是对

管理对象进行调查（或测定），求出该对象所表示的状态和输出的管理特征值，并与管理目标相互比较。通过比较找出差距并进行判断，必要时可采取适当的行动。有效的控制包括预见性、全面性和及时性。

功能是系统诸要素在一定结构下形成的效应，是系统行为所引起的、有利于环境中某些事物乃至整个环境续存与发展的作用。系统结构和环境共同决定系统功能。但应当指出的是，系统的功能或总体效果最优，并不是要求系统的所有组成要素都孤立地达到最优（那样会使系统的成本太高）。另外，系统的所有组成要素都孤立地达到了最优并不意味着一定有系统功能或总体效果的最优。为了实现系统总体效果最优，有时还要遏制甚至牺牲某些局部的效果（利益）。这就有一个协调的问题，是一种“抓总”的工作。统筹兼顾的安排，即整个系统的合理组织与管理，各种资源的合理配置与使用，正是系统工程所要做的工作。

#### 四、行 为

行为是指实现系统目标所进行的活动，亦是系统功能的外部表现。任何系统都存在于一定的环境之中，行为属于系统自身的变化，是系统自身特性的（外部）表现，但又同环境有关，反映环境对系统的作用或影响。系统的存在和发展都必须适应客观环境，系统的这一性质可称为系统的环境适应性。

#### 五、环 境

任一系统在时间与空间上都是有限的，系统以外的其他与之有关的事物就是系统的环境，它是系统行为的外部制约条件。在研究系统时，首先要区分哪些是系统内部要素，哪些是外部环境要素，从而得出系统的边界。

当然环境是相对于系统而言的，有时某一系统及环境的结合可能构成另一个新的系统。系统与环境之间总要有物质、能量或信息的交换，其中，输入是环境送进系统的物质、能量或信息，输出则是系统送出环境的物质、能量或信息。例如，加工厂输入的是原料、毛坯，输出的是成品；火力发电厂输入的是煤的化学能，输出的是电能；计算机系统输入的是原始信息，输出的是处理结果信息。

系统不能脱离环境而存在，它处于与环境的密切联系之中。它既要通过环境的输入受到环境的约束，同时又要通过对环境的输出而对环境施加影响。客观事物的发展要经过量变到质变的过程，当系统处于量变阶段时，系统与环境之间的关系是相对稳定的，这就表现为系统对环境的适应性。因此，从本质上说，系统对于环境的适应性，可以说是系统稳定性在系统外部关系的表现。

系统必须适应外部环境的变化。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；不能适应环境变化的系统是难以存在的。但环境具有不确定性。所谓不确定性是指没有概率分布能与所考察的事件的结果相联系的情形，就是事件发生的可能性完全不可知的情形。不确定性分为外生不确定性和内生不确定性。外生不确定性由于系统的环境因素所导致，如国家政策法规对组织来说是外生不确定性因素；内生不确定性由于系统本身因素所导致，如组织内部的人事变动情况等。一般来说，内生不确定性

和外生不确定性是相互作用的，如一座建筑物由于建筑者的偷工减料（内生）和意外地震（外生）的联合作用而倒塌。

不确定性可分为 4 个层次：环境前景清晰明显、环境前景有几种可能、环境前景有一定范围、环境前景不明确。不确定性具有的层次性说明其本身包含着一定程度的确定性。因此，面对不确定的环境一定要避免一种非黑即白的态度，或者低估环境的不确定性，轻率做出预测或决策；或者高估环境的不确定性而摒弃所有分析，单凭直觉做事。

### 第三节 系统的特点

系统的特点包括集合性、关联性、层次性、整体性、目的性、可控性、时序性。现分述如下。

#### 一、集合性

集合性表明系统是由许多（至少两个）可以相互区别的要素组成。例如，一个工业企业是一个系统，它的要素集合如图 1.3 所示。

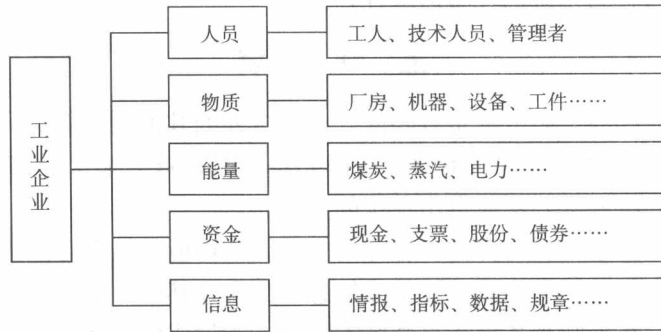


图 1.3 工业企业的组成要素（孙东川等，2009）

#### 二、关联性

所谓关联性是指系统内部的要素与要素之间、要素与系统之间、系统与其环境之间存在的各种联系。联系又称关系，常常是错综复杂的。如果不存在关联性，众多的要素就如同一盘散沙，只是一个集合（set）而不是一个系统。以电力系统为例，它可以分为发电、输电、变电、配电和用电 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。例如，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。



关联性包括内部关联和外部关联两个方面。内部关联是指系统组成部分与系统整体之间的关系和系统各组成部分之间的相互关系。系统各组成部分以一定形式相互联系,并满足一定的数量关系,形成一定的内部结构,从而使系统呈现出相应的特性。金刚石和石墨都是碳元素构成的,只是由于碳原子的排列不同,就呈现出完全不同的性能,金刚石是立方晶体,透明,不导电,很硬。石墨是鳞片状晶体,不透明,导电,很软。阻抗相同的若干电阻元件,以串联形式或并联形式或混合形式连接时,具有完全不同的总电阻。氮肥、磷肥、钾肥以不同比例施用,作物的产量就不同。总之,系统组成元素的数量匹配协调、联系形式合理、排列组合有序,系统内部结构就好,系统整体功能就强。反之,系统内部结构就不好,系统整体功能就差。

外部关联是指系统整体及其组成部分与环境之间以一定的数量和方式输入、输出物质、能量和信息。任何系统都存在于一定的环境中,环境与系统间发生着各种物质、能量和信息的交换,这种交换称为系统的输入与输出。环境提供并限定了系统的运行条件,因此系统只有适应外界环境的变化时,才会具有生命力。系统这种自动调节自身的结构、活动以适应环境变化的特性又称为系统的自组织性。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。

为使系统在给定时刻和环境里实现正常的功能,要求系统有相对稳定的内部结构,为使系统在变化的环境中也能实现正常的功能,要求系统有比较灵活可变的内部结构。系统结构既稳定又可变的二重性,是系统内部关联与外部关联综合制约的反映。为使系统与环境相适应,可以调节系统内部结构,使其适应变化的环境,也可以创造条件改变环境,使其满足系统发展的要求。实践中,不论采用哪种方法,都必须使系统与环境处于协调运行的良好状态,否则系统和环境都会受到损害。总之,系统功能取决于系统的内部结构,但又必须在一定外部条件下才能充分发挥作用。

### 三、层 次 性

层次性是指系统各组成要素之间具有层次结构。系统作为诸要素相互作用的集合体,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,从生物大分子到多细胞个体,再到超个体的聚合体,层次分明、等级森严。高层次系统由低层次系统组成,但具有低层次系统所没有的特性(功能)。

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。处于不同层次上的系统,具有不同的结构和功能,要求解决不同层次的问题,涉及不同的学科。由于不同层次的系统有密切的联系,所以,在研究一个具体系统