

环境系统模型 及数值模拟

孙培德
楼菊青 编著

**MODELLING AND
NUMERICAL SIMULATIONS IN
ENVIRONMENTAL SYSTEMS**

中国环境科学出版社

高等院校环境类系列教材

本书得到浙江省“新世纪 151 人才工程”第一、二层次培养基金资助

本书得到浙江省高校中青年学科带头人培养基金资助

环境系统模型及数值模拟

孙培德 楼菊青 编著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

环境系统模型及数值模拟 / 孙培德, 楼菊青编著. —北京: 中国环境科学出版社, 2005.12

ISBN 7-80209-253-1

I. 环… II. ①孙… ②楼… III. ①环境系统—模型
②环境系统—数值模拟 IV. X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 161175 号

环境科学与工程出版中心

电话(传真): 010-6711 2735

网 址: www.cesp.cn

电子信箱: sanyecao@cesp.cn

本中心立足于出版环境科学与工程类专业图书。以服务为宗旨, 以市场为导向。做绿色文明的倡导者, 充当环境文化的传播者。

出版发行 中国环境科学出版社

(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.cn>

联系电话: 010-67112765 (总编室)

发行热线: 010-67125803

印 刷 北京东海印刷有限公司印刷

经 销 各地新华书店

版 次 2005 年 12 月第一版

印 次 2005 年 12 月第一次印刷

开 本 787×960 1/16

印 张 25.25

字 数 470 千字

定 价 29.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

目 录

第一章 环境系统与数学模型概论.....	1
第一节 系统与系统工程.....	1
一、系统.....	1
二、系统工程.....	4
三、系统模型.....	5
第二节 环境系统工程.....	8
一、环境系统概述.....	8
二、环境系统的分类与环境要素.....	9
三、环境系统工程.....	11
第三节 数学模型概论.....	12
一、数学模型的定义和特征.....	12
二、数学模型的分类.....	12
三、数学模型建立的要求.....	14
第四节 环境系统数学模型.....	14
一、环境系统数学模型.....	14
二、环境系统的模型化过程.....	15
第五节 环境系统数学建模方法.....	16
一、图解建模法.....	16
二、状态空间法(质量平衡法).....	16
三、量纲分析法.....	17
四、概率统计法.....	17
五、模糊数学法.....	18
六、灰色系统建模法.....	19
第二章 污染物浓度场基本模型及解析解.....	21
第一节 污染物浓度场的运动特征.....	21
一、介质的迁移运动——推流迁移.....	21
二、污染物的分散运动.....	21
三、污染物的衰减与转化.....	23
第二节 污染物浓度场基本模型.....	24
一、零维模型.....	24
二、一维模型.....	25
三、二维模型.....	26
四、三维模型.....	26
第三节 污染物浓度场基本模型解析.....	27
一、零维模型.....	27
二、一维模型.....	27
三、二维模型.....	31
四、三维模型.....	35

第三章 环境系统优化模型	38
第一节 环境系统优化模型概论.....	38
第二节 线性规划及其应用.....	40
一、线性规划的基本概念.....	40
二、图解法.....	44
三、单纯形法.....	44
四、人造基.....	52
五、对偶问题.....	52
第三节 整数规划及其应用.....	53
一、概述.....	53
二、圆整法.....	54
三、割平面法.....	56
第四节 非线性规划及其应用.....	56
一、基本概念.....	56
二、下降迭代算法.....	60
三、一维搜索.....	61
四、无约束最优化法的解法.....	65
五、有约束非线性规划.....	69
第五节 动态规划及其应用.....	74
一、动态规划的基本方法.....	74
二、动态规划方法的应用.....	80
第六节 环境系统优化模型研究进展.....	83
第四章 地表水水质模型及其应用	88
第一节 水质模型及模型参数概论.....	88
一、水质模型参数的选择.....	88
二、水质模型过程分析.....	88
第二节 河流水质模型.....	94
一、单一河段水质模型.....	95
二、一维多河段水质模型.....	99
三、二维多河段河流水质模型.....	103
四、河流中重金属迁移转化的一维确定性数学模型.....	107
第三节 河口水质模型.....	112
一、河口的水文特征.....	113
二、河口的冲洗时间.....	114
三、河口水质模型基本方程.....	115
四、河口有限段模型.....	117
第四节 海口水质模型.....	120
一、二维流体动力学模型.....	120
二、潮流混合模型.....	121
第五节 湖泊与水库水质模型.....	121
一、湖库的水文、水质特征分析.....	122
二、湖泊与水库的箱式水质模型.....	123
三、非完全混合水质模型.....	126
四、狭长湖库移流衰减模型.....	128

五、湖库环流二维稳态混合衰减模型.....	129
第六节 地表水水质管理模型.....	129
一、水污染控制系统规划.....	130
二、排放口处理最优规划模型.....	137
三、最优化均化处理.....	140
四、区域处理最优规划模型.....	140
第七节 地表水模型研究进展.....	141
第五章 地下水水质模型及其应用	148
第一节 地下水污染概论.....	148
一、地下水基础知识.....	148
二、地下水污染含义与污染途径.....	150
三、污染物在地下水含水层中迁移与转化.....	151
四、地下水污染系统的模拟.....	156
第二节 地下水污染物质迁移扩散模型.....	158
一、污染物质在地下水中迁移的数学模型.....	158
二、弥散方程的解析解.....	162
第三节 地下水污染预测.....	173
一、地下水污染预测概述.....	173
二、近似解析法.....	174
三、数理统计法.....	176
四、灰色预测法.....	182
第四节 地下水质量评价.....	187
一、地下水质量评价概述.....	187
二、污染源调查、预测与评价.....	188
三、地下水污染评价.....	194
四、地下水环境质量评价.....	198
第五节 地下水水质模型研究进展.....	201
一、各类地下水水质模型.....	201
二、地下水多组分反应溶质迁移模型的研究进展.....	203
三、地下水与河水相互作用的研究进展.....	206
第六章 大气环境质量模型及其应用	211
第一节 大气污染特征及预测模型概论.....	211
一、大气污染的特征分析.....	211
二、大气污染物预测模型的分类.....	216
三、大气预测模型的选择.....	217
第二节 大气环境质量扩散模型.....	218
一、高斯模式.....	218
二、几个常用的大气扩散模式.....	221
三、非点源扩散模式.....	224
第三节 大气环境质量规划模型.....	232
一、大气污染控制系统规划模型概述.....	232
二、比例下降规划模型.....	233
三、地面浓度控制规划模型.....	234

第四节 大气模式研究进展	236
一、高斯模式及其变形模式	236
二、统计模式	237
三、大气压扩散相似模式	238
四、K 模式	238
五、ADMS 模型	239
六、ATDL 模型	240
七、应用中应该注意的几个问题	240
第七章 垃圾填埋场数学模型及其应用	243
第一节 固体废物处理处置概述	243
一、固体废物来源与分类	243
二、固体废物处理与处置技术	244
三、垃圾填埋场功能	244
第二节 垃圾填埋场选址评价方法	245
一、垃圾填埋场选址特点	245
二、基于 AHP 法定权的多层复杂系统模糊集评价方法	245
三、卫生填埋场选址的影响因素分析	248
四、垃圾填埋场址选择的适宜性评价实例	250
第三节 垃圾填埋场沉降模型	252
一、垃圾填埋场沉降原理	252
二、沉降分析和计算	252
三、灰色模型测预	254
第四节 垃圾填埋场中气体运移模型	255
一、垃圾填埋场气体概况	255
二、填埋场释放气体运移数学模型	255
三、填埋场释放气体运移数值模型	257
第五节 垃圾填埋场中水分运移模型	258
一、概念模型	259
二、数学模型	260
第六节 垃圾填埋场封盖坡体稳定性分析模型	262
一、降雨条件下非饱和渗流规律	262
二、控制模型及 Galerkin 有限元数值模型	262
三、降雨条件下的边坡稳定分析实例	264
第七节 垃圾填埋场模型化研究进展	265
第八章 核废料地质处置法安全性分析的 THM 耦合模型	268
第一节 引言	268
第二节 组织机构	270
第三节 第一阶段研究的问题与方法	270
一、远场的 THM 模型——BMT1	270
二、多裂隙模型 (BMT2)	272
三、应力—流动耦合模型 (TC1)	273
第四节 耦合数学模型的描述	274
一、程序 THAMES 的 THM 耦合数学模型	274

二、程序 MOTIF 和 THM 耦合数学模型	277
三、程序 CASTEM2000 的 THM 耦合数学模型	278
四、程序 ROCMAS 的 THM 耦合数学模型	280
五、程序 UDEC 的 THM 耦合数学模型	281
六、线性和非线性分析程序的 THM 耦合数学模型	282
第五节 DECOVALEX 项目研究进展	284
第九章 环境系统数学模型常用数值方法	287
第一节 概述	287
一、数值方法原理	287
二、数值模拟特点	287
第二节 有限差分法	288
一、导数的差分近似	288
二、一维弥散方程的差分格式	290
三、二维弥散方程的差分格式	295
第三节 有限单元法	296
一、有限元的基本概念	297
二、有限元法中常用的基函数	299
三、一维弥散方程的有限单元法	306
四、二维弥散方程的有限单元法	309
第四节 边界元法	313
第五节 数值方法研究进展	315
第十章 环境系统模型参数识别	318
第一节 水文参数的识别	318
第二节 水力弥散系数的识别	319
一、河流纵向弥散系数 E_x 估算	319
二、河口纵向弥散系数 E_x	320
第三节 水质模型生化参数的识别	321
一、耗氧系数 k_1 的估值	321
二、复氧系数 k_2 的估值	324
三、硝化系数 k_N 的估值	327
第四节 水质模型多参数的同时识别	328
一、梯度法	329
二、梯度法基本原理	329
三、模拟退火算法	331
四、遗传算法	333
五、最速下降法	334
六、阻尼最小二乘法	337
七、HSY 算法	338
第五节 环境系统模型参数的反分析	339
一、反分析概述	339
二、反分析主要方法	340
第六节 参数识别研究进展	341

第十一章 环境系统工程数值模拟及其应用	343
第一节 环境系统工程数值模拟软件概述	343
一、环境系统工程数值模拟	343
二、地表水质模型数值模拟软件发展概况	345
三、地下水质模型数值模拟研究概况	345
四、非点源污染模型研究概况	346
五、以水质为中心的流域管理模型	347
第二节 城市生态规划模型及其应用	348
一、城市生态规划概况	348
二、农业生态环境质量评价指标体系构建	348
三、农业生态环境质量评价	349
第三节 平原河网水污染预测数值模拟	354
一、平原河网水质模型发展	354
二、平原河网水质模型	354
三、水质模型的检验	358
四、水质模型的应用	359
第四节 黄浦江上游河口水质预测数值模拟	360
一、概述	360
二、模型选择	360
三、参数估值	363
四、模型的检验	365
第五节 地下水污染预测数值模拟	367
一、济宁市地下水污染概况	367
二、水文地质模型的建立	367
三、数学模型的建立	368
四、模型的校正和验证	369
五、地下水水质预报	369
第六节 城市大气气溶胶数值模拟	370
一、气溶胶特性与污染源处理	370
二、模式系统介绍	370
三、模式模拟处理	375
四、模式模拟结果	376
第七节 填埋场气体迁移数值模拟	380
一、填埋气体渗流的滑脱机制	380
二、填埋气体迁移的滑逸耦合模型	381
三、滑逸耦合数值模型的应用	383
第八节 热—水—应力耦合弹塑性数值模拟	385
一、引言	385
二、THM 耦合模型控制方程	386
三、建立有限元格式	388
四、算例	390

第一章

环境系统与数学模型概论

第一节 系统与系统工程

一、系统

1. 系统思想的起源与发展

什么是系统呢?“系统”一词来源于人类长期的社会实践,存在于自然界、人类社会以及人类思维描述的各个领域,早已为人们熟悉。我们可以采用钱学森给出的对系统的描述性定义:“系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合的具有特定功能的有机整体,而且系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。”系统是物质存在的方式,从基本粒子到银河系,从细胞到人体,从天然自然物到人工自然物,无一不是系统的存在方式。“系统”在于“系”,就是组成系统的各要素之间的联系;其次,在于“统”,要素之间联系成为一个统一的有机整体。世界上没有离开系统的物质;也没有离开物质的系统。有物质就一定有系统,有系统就一定是物质的。观念系统不过是物质系统的派生物。

系统作为一个概念,它来源于古代人类的社会实践经验。人类自有生产活动以来就在同自然系统打交道,形成了古代农事、工程、医药、天文等方面的系统知识。这些知识在不同程度上反映了朴素的系统概念的自发应用。同时,在古代哲学思想中,也反映了朴素的系统思想。

现代系统思想的发展最早出现于生物学领域。20 世纪初期产生了在系统科学发展历程中比较重要的一种思想,即贝塔朗菲的一般系统论思想,其突出的成就是提出了系统的整体观点、动态观点和等级观点。19 世纪末,工业生产规模日益扩大,专门从事组织管理的阶层随之出现,系统思想借助于在管理问题中的应用得到了长足发展。20 世纪中期,随着信息技术和控制技术的蓬勃发展,诞生了系统工程学科的基础理论——信息论与控制论。信息论主要研究系统的通信机制,控制论主要研究系统的反馈机制。它们所体现的系统思想为后来的复杂系统研究提供了基础性理论。可以说现代的系统思想是进行分析与综合的辩证思维工具,辩证唯物主义是系统思想的哲学表达形式,运筹学和其他系统科学是系统思想的定量表述形式,系统工程是丰富了系统思想的实践内容。

2. 系统的特性

(1) 整体性。系统整体性说明, 具有独立功能的系统要素以及要素间的相互关系是根据逻辑统一性的要求, 协调存在于系统整体之中。也就是说, 任何一个要素不能离开整体去研究, 要素之间的联系和作用也不能脱离整体去考虑。系统不是各个要素的简单集合, 否则它就不会具有作为整体的特定功能。脱离了整体性, 要素的机能和要素之间的作用便失去了原有的意义, 研究任何事物的单独部分不能得出有关整体性的结论。系统的构成要素和要素的机能、要素间的相互联系要服从系统整体的功能和目的。在整体功能的基础上展开各要素及其相互之间的活动, 这种活动的总和形成了系统整体的有机行为。在一个系统整体中, 即使每个要素并不都很完善, 但它们也可以协调、综合成为具有良好功能的系统。相反, 即使每个要素都是良好的, 但作为整体却不具备某种良好的功能, 也就不能称之为完善的系统。

(2) 层次性。系统作为一个相互作用的诸要素的总体来看, 它可以分解为一系列的子系统, 并存在一定的层次结构。这是系统结构的一种形式, 在系统层次结构中表述了在不同层次子系统之间的从属关系, 为深入研究复杂系统的结构、功能和有效地进行控制与调节提供了条件。

(3) 相关性。组成系统的要素是相互联系、相互作用的, 相关性说明了这些联系之间的特定关系和演变规律。例如, 城市是一个大系统, 它由资源系统、市政系统、文化教育系统、医疗卫生系统、商业系统、工业系统、交通运输系统、邮电通讯系统等相互联系的部分组成。通过系统内各子系统相互协调的运转去完成城市生活和发展的特定目标; 各子系统之间具有密切的关系, 相互影响、相互制约、相互作用, 要求系统内的各个子系统根据整体目标, 尽量避免系统的“内耗”, 指导系统整体运行的效果。

(4) 目的性。系统都具有某种目的, 为达到既定的目的, 系统都具有一定的功能, 而这正是区别不同系统的标志。系统的目的一般用更具体的目标来实现, 比较复杂的系统具有不止一个目标, 因此, 需要用一个指标体系来描述系统的目标。例如, 衡量一个工业企业的经营业绩, 不仅要考核其产量、产值指标, 而且要考核其成本、利润和质量指标。

(5) 适应性。任何一个系统都存在于一定的物质环境中, 因此, 它必须要与外界产生物质、能量和信息交换, 外界环境的变化必然会引起系统内部要素的变化。不能适应环境变化的系统是没有生命力的, 只有能够经常与外界环境保持最优适应状态的系统, 才是具有不断发展势头的理想系统。

3. 系统的分类

在自然界和人类社会中普遍存在着各种不同性质的系统。为了对系统的性质加以研究, 需要对系统存在的各种形态加以探讨。系统的分类有不同的准则, 根据不同的准则分类, 系统可被分为多种类型。

(1) 按组成部分属性分类。按组成部分属性分类, 可将系统分为自然系统、人造系统和复合系统。自然系统是由自然过程产生的系统。这类系统是自然物(矿物、植物、动物等)所自然形成的系统, 像海洋系统、生态系统等。人造系统则是人类为了达到某种目的, 人为建立起来的系统, 如环境系统、排水系统以及给水系统。复合系统既指人们为了认识和利用自然规律而建立起来的系统, 如气象预报系统。复合系统是自然系统与人造系统的综合。

(2) 按构成要素形态分类。按构成要素形态分类可将系统分为实体系统与概念系统。实体系统是指以矿物、生物、机械和人群等实体为构成要素的系统。概念系统是指由概念、原理、原则、方法、制度、程序等概念性的非物质实体所构成的系统。如管理系统、军事指挥系统、社会系统等。在实际生活中, 实体系统和概念系统在多数情况下是相结合的, 实体系统是概念系统的物质基础, 而概念系统是实体系统的中枢神经, 指导实体系统的行为。例如, 军事指挥系统中既包括军事指挥员的思想、信息、原则等概念系统, 也包括计算机系统、通讯设备系统等实体系统。

(3) 按所处状态分类。按所处状态分类可分为动态系统与静态系统。动态系统是系统的状态变量随时间变化的系统, 即系统的状态变量是时间的函数。静态系统则是表征系统运行规律的数学模型中不含有时间因素, 即模型变量不随时间变化, 它是动态系统的一种极限状态, 即处于稳定状态的系统。在实际工作中以动态系统研究为主。但由于动态系统中各种参数之间的相互关系过于复杂, 为了找出其中的规律, 可以假设系统是静态的或使系统中的参数随时间的变化幅度很小而等同于静态。

(4) 按行为的目的分类。按行为目的分类可将系统分为控制系统与行为系统。控制就是为了达到某目的给对象系统所加的必要动作, 因此, 为了实行控制而构成的系统叫做控制系统。当控制系统由控制装置自动运行时, 称之为自动控制系统, 如计算机控制的机械加工生产过程自动控制系统。行为系统是以完成目的的行为作为构成要素而形成的系统。所谓行为就是为了达到某一确定目的而执行某种特定功能的一种作用, 这种作用能对外部环境产生某些效用。这种系统一般是根据某种运行机制而实现某种特定行为的系统, 而不是受某种控制作用而运行的系统。

(5) 按与环境的关系分类。按与环境的关系分为可将系统分为开放系统与封闭系统。开放系统是指与其环境之间的物质、能量和信息交换的系统。开放系统可进一步区分为能量交换系统, 同时进行能量、物质交换的系统和物质、能量、信息开放的系统。封闭系统是与环境互相隔绝, 之间没有任何物质、能量和信息交换。封闭系统也可被认为是孤立系统。

二、系统工程

系统工程是一门新兴的高度综合的科学。它从系统的观点出发,跨学科地考虑问题,运用现代科学和技术的方法去研究和解决各种系统的问题。系统工程也是一种组织管理的科学方法,它把所研究的对象看成一个系统,解决如何对系统进行规划、治理、组织和管理,使之获益。可以说系统工程是以系统为对象的工程学。

1. 系统工程的发展过程

系统工程和其他科学一样是社会发展的需要和产物。其方法的运用原则可以追溯到古代。我国战国时期(公元前 250 年)秦国太守李冰父子主持修建的都江堰水利工程就是运用系统工程概念的一个很杰出的实例。进入 20 世纪以来,由于社会生产力的高度发展,使自然科学、技术科学以及社会科学之间的整体性联系这一特点日益突出,系统工程正是适应和加强这种整体性联系而创立的一门崭新的边缘科学。

一般认为,系统工程作为一门学科正式形成是在 1940 年代,为适应军事和工业、通讯等部门的需要而逐渐发展起来的。当时,英国为适应战争需要,由曼彻斯特大学的 P.M.S.Blackett 领导的一个由生理学家、数学家、物理学家、测量学家、军官等各类专业人员组成的研究小组,来制定对付德国空军和海军的对策,在同一时期,美国贝尔电话公司实验室在发展通讯网络时,按照时间顺序,把工作划分为规划、研究、发展、工程应用和通用工程五个阶段,并首先使用了系统工程这个名词。

1957 年美国密执安大学歌德和迈克尔两位教授合著的《系统工程》对系统工程的理论和方法作了初步阐述。1965 年,美国学者编写了《系统工程手册》,比较完整地阐明了系统工程理论、系统方法、系统数学、系统环境等各方面内容,形成了一个较为完整的体系。

1970 年代后,系统工程在应用方面出现了两个特点,一是在社会、经济、环境、军事、政府等部门得到广泛的应用,另一是进入了解决各种复杂的大系统阶段,出现了跨国、跨区域和全球性的大系统研究活动。1972 年在奥地利成立了由两个国家组成的“国际应用系统分析研究所”,该所已先后就世界能源系统、资源和环境系统等进行研究。系统工程的国际学术交流活动日益频繁,标志着系统工程开始迈入初步成熟阶段。

当今世界已步入系统的时代,随着社会经济的发展而出现的现代化生产特点和管理特征,出现了组织复杂、综合性强的相互制约、相互联系的社会化系统。这类独特的系统要求各个部门为了达到自己的目的,必须从总体立场出发,综合而系统地掌握它与外界环境的关系,从总体最优的原则来协调各子系统的关系。其次是由于科学技术的发展而产生的科技高度综合趋势,出现了多学科、大规模

和信息化的系统。它迫使人们要在较短时期内对综合性较大的问题做出判断和决策,从而大大推动了系统工程的发展。

2. 系统工程的原则

系统工程是一类研究系统总体与全局性问题的工程技术,它在处理和解决问题时应考虑以下原则:

(1) 整体性原则。系统工程要求我们处理问题时,要从系统在空间和时间域上的整体性着眼,要求总体的功能大于各部分功能的总和。总体功能与各部分功能的总和之间的关系有三种可能,一种是如我们所期望的总体功能大于各部分功能的总和,第二种可能是两者相等,我们要避免出现第三种可能即总体功能小于各部分功能的总和。

(2) 综合性原则。综合性原则是实现整体性原则和系统考虑问题的核心。具体来说,一是要综合考虑系统目标的多样性或多宗旨性;二是要综合考虑某项决策在付诸实施后引起的多方面的后果;三是考虑在达到同样目标可采用的不同的途径和方法,按照最佳的原则综合使用多种方法,提出多种可行性方案进行评估。

(3) 优化性原则。为了更好地运用系统工程的概念,应尽可能运用数学工具,进行优化分析,以期实现最佳的目标体系。也就是说该系统在实现其最佳目标时,要求内部各子系统之间的分工协作和控制方式应该在结构和环境许可的条件下,保证系统对可能空间、时间、物质、能量和信息等的利用率最高。

(4) 模型化原则。模型化原则指应用一个与所研究的真实系统相似的系统模型,在该模型上进行实验,认识真实系统的情况。模型化原则的提出、模拟和仿真技术的广泛应用,使人们有可能在较短的时间内,以较少的消耗、最高的效率和最大的可能性来全面研究系统间的内部条件和外部环境以及当前和未来之间的各种复杂关系,从而认识整个系统的各种特性和总体运动规律,为实现系统的最优优化制定正确的方案。模型化原则为实现系统最优化提供了很好的手段。

3. 系统工程的应用领域

1970年代之后,系统工程开始广泛应用于人类社会和生产活动的各个领域,并取得了显著的效益,表1-1列出了系统工程应用领域。

三、系统模型

1. 系统模型的定义和特征

为了掌握系统发展变化的规律性,必须根据系统的目的,抓住系统各单元之间的联系,系统地考查与研究,其中最简便、最有效的方法就是模型化方法,建立系统模型。

系统模型是对一个系统某一方面本质属性的抽象、描述或模仿,它以某种确定的形式(如实物、文字符号、图表、数学表达式等)提供关于该系统的知识信息。

系统模型是系统某一方面或几方面本质属性的描述。由于系统是复杂的,系

统的属性也是多方面的,对于大多数的研究目的而言,没有必要也难以考虑系统的全部属性,所以,一方面,根据对同一个系统不同的研究目的可以建立不同的系统模型,另一方面,由于许多系统在某一方面存在共性,同一种模型往往可以代表不同的系统。

表 1-1 系统工程应用领域表

应用范围		应用举例
工业系统	过程系统	最优设计, 最优控制, 分级控制, 过程模拟
	网络系统	供水, 排水, 交通, 电力, 广播通讯
	自动化系统	大型企业自动化, 仓库自动化
社会工程系统	经济系统	宏观经济模型, 流通机构, 资源分配, 地区规划
	市政系统	地区开发, 城市规划, 环境保护, 污染控制
	教育系统	教育组织, 教育机构, 智力开发
自然系统工程	资源开发系统	海洋开发, 能源开发, 地下资源利用
	气象系统	天气预报, 防灾对策
	农林系统	农业资源, 林业资源, 渔业资源, 农村经济发展规划
	给水、排水系统	供水, 用水, 污水处理, 排水, 水重复利用, 再生水
	环境系统	自然环境保护, 环境管理, 环境污染监测, 环境污染控制
服务公务系统	预约系统	铁路、飞机座位, 旅馆预约
	银行系统	联机自动化
	邮政系统	信件分析
管理系统工程	经营管理系统	经营管理, 需求预测, 经营组织, 人事
	信息管理系统	生产信息系统, 技术信息系统
军事系统工程	武器装备研制系统	设计, 规划, 运行
	作战指挥系统	通讯, 自动化地面防空系统

系统模型反映着实际系统的主要特征,但它又高于实际系统而具有同类问题的共性,因此,一个适用的系统模型应该具有如下 3 个特征:

- ◆ 现实系统的抽象或模仿;
- ◆ 由反映系统本质或特征的主要因素构成;
- ◆ 集中体现了这些主要因素之间的关系。

2. 系统模型应用的必要性

人类认识和改造客观世界的研究方法,一般来说主要有三种,即实验法、抽象法、模型法。实验法是通过客观事物本身直接进行科学实验来进行研究的,因此局限性比较大。抽象法是把现实系统抽象为一般的理论概念,然后进行推理和判断,因此这种方法缺乏实体感,过于概念化。模型法是在对现实系统进行抽象的基础上,把它们再现为某种实物的、图画的或数学的模型,然后通过模型来

对系统进行分析、对比和研究，最终导出结论。由此可见，模型法既避免了实验法的局限性，又避免了抽象法的过于概念化，所以它成为现代工程中一种最常用的研究方法。

在系统工程中，广泛使用系统模型还基于以下五个方面的考虑：

- ◆ 系统开发的需要；
- ◆ 经济上的考虑；
- ◆ 安全上的考虑；
- ◆ 时间上的考虑；
- ◆ 系统模型容易操作，分析结果易于理解。

3. 系统模型的分类

(1) 基本分类。按基本分类，系统模型分为物理模型、文字模型和数学模型三大类，其中物理模型与数学模型又可分为若干种。系统模型的基本分类如图 1-1 所示。

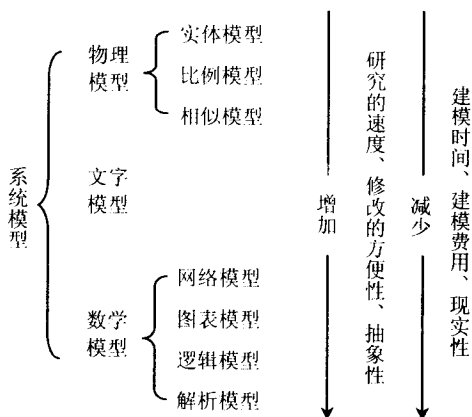


图 1-1 系统模型的基本分类与特征比较

(2) 按研究问题的出发点分类。按研究问题的出发点可将系统模型分为宏观模型与微观模型。宏观模型主要反映系统各元素（子系统）之间的相互关系，而不涉及元素内部因素，一般说这种模型只是对系统作定性描述。微观模型主要描述系统元素（子系统）内部各种变量、参数之间的关系模型，它是定量模型。

(3) 按研究对象分类。按研究对象分类，可将系统模型分为水质模型、工程模型、经济模型等。

(4) 按用途分类。按用途分类，系统模型可分为预测模型、决策模型以及最优化模型等。

第二节 环境系统工程

一、环境系统概述

1. 环境系统的定义

广义的环境系统,指地球表面包括非生物的和生物的各种环境因素及其相互关系的总和。非生物因素有温度、光、电离、辐射、水、大气、土壤、岩石以及其他如重力、压力、声音和火等;生物因素是指各种有机体,它们彼此作用,并同非生物环境密切联系着。环境系统是一个不可分割的整体,但通常总是把地球环境系统分为大气圈、水圈、岩石圈(或土壤岩石圈)和生物圈,而各种物质的相互渗透、相互依赖和相互作用在这些圈层的交界面上表现尤为显著。

环境系统概念的提出,其意义是把人类环境作为一个统一的整体看待,避免人为地把环境分割为互不相关的、支离破碎的各个组成部分。环境系统的内在本质在于各种环境因素之间的相互关系和相互作用过程。

2. 环境系统的特点

环境系统是一个复杂的,有时、空、量、序变化的动态系统和开放系统,环境系统除具备一切系统所固有的特性外还具有其属于自身的一些特性。

系统内外存在着物质和能量的变化和变换:系统外部的各种物质和能量进入系统内部,这种过程称为输入;系统内部也对外界发生一定的作用,通过系统内部作用,一些物质和能量排放到系统外部,这种过程称为输出。在一定的时空尺度内,如系统的输入等于输出,就出现平衡,叫做环境平衡。

系统的组成和结构越复杂,它的稳定性越大,越容易平衡;反之,系统越简单,稳定性越小,越不容易平衡。任何一个系统,除了组成成分的特征外,各成分之间还具有相互作用的机制,这种相互作用越复杂,彼此的调节能力就越强,反之则弱。这种调节的相互作用,称为反馈作用,最常见的反馈作用是负反馈作用,它使系统具有自我调节的能力,以保持系统本身的稳定和平衡。

由于在环境系统中各子系统和各组成成分之间存在着相互作用,并构成一定的网络结构,正是这种网络结构,使环境系统具有整体功能,形成集体效应,起着协同作用。

环境系统的特性主要有整体性、有限性、不可逆性、隐显性、持续反应性、灾害放大性。

(1) 整体性。环境系统的整体性体现在人与地球是一个整体,地球的任一部分,或任一系统,都是人类环境的组成部分;各部分之间存在着紧密的相互联系、相互制约关系,局部地区的环境污染或破坏,总会对其他地区造成影响和危害。所以人类的生存环境及其保护,从整体上看是没有地区界线、国界和省界的。