

环境科学与工程系列丛书
HUANJINGKEXUE YU GONGCHENG XILIECONGSHU

环境系统数学模型

郑 彤 陈春云 编



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

环境科学与工程系列丛书

环境系统数学模型

郑 彤 陈春云 编

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环境系统数学模型/郑彤, 陈春云编. —北京: 化学工业出版社, 2003. 4

(环境科学与工程系列丛书)

ISBN 7-5025-3251-X

I. 环… II. ①郑…②陈… III. 环境系统-数学模型 IV. X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 014941 号

环境科学与工程系列丛书

环境系统数学模型

郑 彤 陈春云 编

责任编辑: 刘兴春

责任校对: 陶燕华

封面设计: 郑小红

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行

环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 17 1/4 字数 418 千字

2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3251-X/X · 101

定 价: 40.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《环境科学与工程系列丛书》编辑委员会

主 任 王宝贞 任南琪
副主任 马 放 于秀娟 赵庆良
委 员 (按姓氏笔画为序)
于秀娟 马 放 王宝贞 王 鹏 冯玉杰
刘俊良 汪群慧 任南琪 祁佩时 姜安奎
赵庆良 黄君礼 杨基先

出版者的话

环境科学是在环境问题日益严重后产生和发展起来的一门新兴的综合性学科。近年来，其各分支学科如环境工程学、环境化学、环境生物学、环境经济学等发展异常迅速，国内各高等院校环境科学工程专业学生数量迅猛增长，为给高等院校环境科学与工程专业学生系统地提供一套环境科学与工程专业教学参考书，同时也为满足从事环保科研、设计及工程技术人员需要，化学工业出版社委托哈尔滨工业大学环境工程学院环境科学与工程系组织有关专家编写了这套丛书，丛书具有以下特点。

(1) 系统性 紧紧围绕环境科学与环境工程专业的主要研究方向，系统介绍了相关学科的基本理论与应用。

(2) 实用性 紧紧围绕环境科学与环境工程的应用实际，突出了科研成果的转化，因而实用性很强。

(3) 前沿性 突出了环境科学与工程各学科当前的研究进展与应用现状，并预测了今后的发展趋势。

(4) 交叉性 环境科学与工程各学科多为新兴的边缘学科，是众多学科交叉与渗透产生的，因此在编写过程中突出了学科之间的交叉性与渗透性。

(5) 权威性 丛书的编写人员都是在各自的研究领域有较高声望和一定造诣的专家、学者，因此，对于从事相关领域的教学和科学研究人员具有较高的参考和实用价值。

多年来，化学工业出版社一直把环保图书作为主要出书方向之一。2000年6月、2001年6月、2002年6月化学工业出版社成功地在全国各大、中城市举办了三届化工版环保图书展，2003年6月化学工业出版社将在全国各大、中城市的新华书店举办第四届化工版环保图书展。本套丛书也会在众多专家、学者的支持下如期出版参展，希望能得到广大读者的认可，也希望广大读者对化学工业出版社环保图书出版多提宝贵建议与意见。

前 言

随着社会经济的高速发展,地球环境资源遭到掠夺式地开发,生态环境日趋恶化,严重地威胁着人类的可持续发展。协调发展经济与保护环境之间的矛盾已成为当务之急。用系统的观点去看待经济发展与环境保护之间的关系,用系统工程方法去解决这一矛盾已成为人们的共识,而系统工程方法的应用正是建立在对所研究系统模型化基础之上的。

环境系统数学模型是指用数学语言对环境系统各组成要素之间的关系进行描述,通过数学上的演绎推理和分析求解,使我们能够发掘出环境系统发展的内在规律,进而寻求到解决环境与经济之间的矛盾的有效途径。

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,环境系统的数学建模除要用到必要的应用数学知识外,还要用到环境科学、生态学、流体力学、经济学、计算机科学等学科的相关知识,是一项需要多学科协同“作战”的、地地道道的系统工程,它需要具有扎实的数学基础和宽广知识面的复合型人才来完成。世界上许多发达国家都对这类人才的培养给予了应有的重视,采取了相应的举措。一个最好的例子就是从1985年开始举办的美国大学生数学建模竞赛(mathematical contest in modeling, MCM),从偶尔出现与环境保护有关的竞赛题目,到1999年开始单独开辟了一个选题范围确定在环境科学、环境工程、生物学和资源管理方面竞赛项目,称为交叉学科数学建模竞赛(the interdisciplinary contest in modeling, ICM);至今已举办了4届,参赛队由最初的几个国家的几十支代表队发展到目前十多个国家的数百支代表队。

作者郑彤自1996年以来任哈工大环境科学与工程专业学生“环境系统工程”课程主讲教师,2000年开始任哈工大参加美国大学生数学建模竞赛代表队 ICM 组指导教师。在这些年的教学、竞赛指导工作中,他对环境系统数学建模工作的重要性、任务的复杂性有较深的体会;鉴于目前能较全面、系统地介绍环境系统数学建模方面的书籍非常少,遂产生了编写此书的想法。

本书共分7章,基本涵盖了环境系统数学建模所涉及的几个最有代表性的领域。第1章主要介绍了数学建模的一些最基本的知识;第2章对污染物在环境介质中最基本运动规律的数学描述进行了较详尽的介绍;其余各章分别介绍了地表水、地下水、大气、多介质环境以及生态环境相关模型的建立及性质。同时还对目前常用的一些地表水、大气环境质量预测的模型软件做了简要介绍。此外,在本书的附录中,对1999年和2000年 ICM 获得杰出奖(Outstanding)的优秀论文进行了简介。

本书的编写针对于环境科学与工程专业本科生数学基础偏弱的特点,对所涉及的应用数学问题尽量做到深入浅出地介绍,目的在于使读者对环境系统数学模型的建立思想、解的性质以及应用条件能有个较清晰的了解。它既可作为环境专业的本科生、研究生的学习参考书,也可供非数学专业的环境工作者、ICM 参赛者研究学习之用。

本书的地下水水质模型部分由陈春云编写,大气环境质量模型一章的模型软件介绍部分由余学春编写,其余部分由郑彤编写;附录部分,1999年 ICM 优秀论文的简介由钟敏完成,2000年 ICM 优秀论文的简介由马英完成。

本书在编写过程中还得到了何仲怡教授、孙寿家教授、王鹏教授、张玉宏教授、于秀娟教授的指导、鼓励和帮助，在此对他们表示衷心的感谢！

同时感谢郑熠阳为本书稿的打印付出的辛勤劳动。

由于本人水平有限，编写内容难免有不妥、失误之处，诚恳地希望读者给予批评指正。

编 者

2003.1

内 容 提 要

随着社会经济的高速发展,地球环境资源遭受到掠夺式地开发,生态环境日趋恶化,严重地威胁着人类的可持续发展。协调发展与保护环境,用系统的观点去看待、用系统工程方法去解决经济发展与环境保护之间的关系,进而寻求解决环境与经济之间矛盾的有效途径。环境系统数学模型就是在此基础上编写而成。

全书共分七章,主要介绍了数学建模的基本知识,污染物在环境介质中的最基本运动规律的数学描述以及地表水、地下水、大气、多介质环境以及生态环境相关模型的建立及性质;同时,还对目前常用的一些地表水、大气环境质量预测的模型软件做了简要介绍;此外,在附录中对1999~2000年ICM获得杰出奖的优秀论文进行了简介。该书基本涵盖了环境系统数学建模所涉及的最有代表性的领域,具有较强的知识性、可操作性和实用价值。

本书主要适用于环保科研、环境规划设计、管理人员参考;也可供高等院校的本科生、研究生、教师及ICM参赛者研究学习之用。

目 录

1 环境系统与数学模型	1
1.1 系统与环境系统概述	1
1.1.1 系统的概念	1
1.1.2 系统模型	3
1.1.3 环境系统概述	5
1.2 数学模型概述	8
1.2.1 数学模型的定义和特征	8
1.2.2 数学模型的分类	9
1.2.3 对数学模型的要求	11
1.2.4 环境系统中的数学模型	11
1.3 环境系统数学模型的建立	11
1.3.1 准备阶段	11
1.3.2 系统认识阶段	12
1.3.3 系统建模阶段	12
1.3.4 模型求解阶段	28
1.3.5 模型检验阶段	29
2 环境质量基本模型	37
2.1 污染物在环境介质中的运动特征	37
2.1.1 随着介质的迁移运动——推流迁移	37
2.1.2 环境介质对污染物的分散作用	37
2.1.3 污染物的衰减与转化	39
2.2 环境质量基本模型的推导	40
2.2.1 零维模型	40
2.2.2 一维基本方程	41
2.2.3 二维模型	42
2.2.4 三维模型	42
2.3 环境质量基本模型的解析解及其应用	42
2.3.1 零维模型	43
2.3.2 一维模型	43
2.3.3 二维模型	46
2.3.4 三维模型	49
3 地表水水质模型	51
3.1 地表水水质参数的选择及水质过程分析	51
3.1.1 地表水水质参数的选择	51
3.1.2 地表水水质过程分析	51

3.2	河流水质模型	56
3.2.1	单一河段水质模型	56
3.2.2	一维多河段水质模型	59
3.2.3	二维多河段河流水质模型	62
3.2.4	河流中重金属迁移转化的一维确定性数学模型	66
3.3	河口水质模型	70
3.3.1	河口的水文特征	71
3.3.2	河口的冲洗时间	72
3.3.3	河口水质模型基本方程	72
3.4	近海水域水质模型	75
3.4.1	二维流体动力学模型	76
3.4.2	潮流混合模型	77
3.5	湖泊与水库水质模型	78
3.5.1	湖库的水文、水质特征分析	78
3.5.2	湖泊与水库的箱式水质模型	80
3.5.3	非完全混合水质模型	82
3.5.4	狭长湖库移流衰减模型	84
3.5.5	湖库环流二维稳态混合衰减模型	84
3.6	地表水水质管理模型	84
3.6.1	地表水污染控制系统规划概述	84
3.6.2	排放口处理最优规划模型	88
3.6.3	均匀处理最优规划模型	89
3.6.4	区域处理最优规划模型	91
3.6.5	水资源—水质系统规划模型	94
3.7	地表水水质模型通用软件简介	95
3.7.1	河流系统的恒定态水质模型	95
3.7.2	河流系统的动态模型	96
3.7.3	水库与湖泊的一维模型	98
3.7.4	水库与湖泊的多维模型	98
3.7.5	模型软件的选择	99
4	地下水水质模型	100
4.1	污染物在含水层中迁移的物理化学及生物作用	100
4.1.1	物理、化学作用	100
4.1.2	生物作用	105
4.2	地下水水质模拟的基本原理	106
4.2.1	地下水污染系统的组成	106
4.2.2	地下水污染系统的物理模拟	107
4.2.3	地下水质量的数学模拟	108
4.3	地下水运动及地下水污染的基本方程	113
4.3.1	地下水运动的基本特征	113

4.3.2	污染物在地下水中迁移的数学模型	115
4.3.3	弥散方程的解析解	120
4.4	地下水水质模拟和预测	131
4.4.1	预测计算的方法原理	131
4.4.2	开采含水层中发现污染基地时的预测计算	136
4.5	地下水水质管理模型概述	141
4.5.1	地下水污染系统环境质量评价程序	142
4.5.2	污染源调查、预测及评价	143
4.5.3	地下水环境质量现状评价	149
4.5.4	地下水污染系统的环境质量影响评价	154
5	大气环境质量模型	156
5.1	大气污染的特征分析	156
5.1.1	大气的垂直分层及边界层大气的运动特征	156
5.1.2	大气中污染物质的扩散过程	157
5.2	大气污染预测模型概述	160
5.2.1	大气污染物预测模型的分类	160
5.2.2	大气预测模型的选择	160
5.3	大气环境质量基本模型	161
5.3.1	瞬时点源的解	161
5.3.2	有风条件下连续点源的解	163
5.4	高架连续点源扩散模型	164
5.4.1	高架连续点源的地面浓度模型	166
5.4.2	高架连续点源的地面轴线浓度模型	166
5.4.3	高架连续点源最大落地浓度模型	166
5.4.4	地面连续排放点源模型	168
5.4.5	高架连续点源在危险风速下的地面绝对最大浓度模型	169
5.4.6	逆温条件下的高架连续点源模型	170
5.4.7	可沉降颗粒物的扩散模型	171
5.4.8	高架多点源连续排放模型	171
5.5	线源和面源排放扩散模型	172
5.5.1	线源扩散模型	172
5.5.2	面源扩散模型	173
5.6	长期平均浓度的估算	179
5.6.1	孤立排放源的长期平均浓度	179
5.6.2	多排放源的长期平均浓度	180
5.7	大气环境质量规划模型	181
5.7.1	大气污染控制系统规划模型概述	181
5.7.2	比例下降规划模型	181
5.7.3	地面浓度控制规划模型	182
5.8	大气环境质量模型通用软件简介	183

5.8.1 简单模型	183
5.8.2 复杂模型	185
6 多介质环境生态数学模型	189
6.1 多介质环境生态数学模型概述	189
6.1.1 多介质环境生态数学模型的定义及建立意义	189
6.1.2 多介质环境生态数学模型研究的现状及发展	189
6.2 污染物在多介质环境中的过程分析	190
6.2.1 水/气界面的物质传输过程	190
6.2.2 土壤/大气界面的物质传输	193
6.2.3 水/沉积物界面的物质传输	200
6.2.4 污染物在水生食物链的迁移与归趋	204
6.2.5 污染物在多介质环境中的生物、化学转化过程	208
6.3 多介质环境数学模型的建立	210
6.3.1 多介质环境的箱式模型	210
6.3.2 逸度算法的多介质环境模型	211
6.3.3 多介质环境的稳态非平衡流动模型	212
7 环境生态学数学模型	219
7.1 单个种群的确定性模型	219
7.1.1 马尔萨斯 (Malthus) 模型	220
7.1.2 逻辑斯谛 (Logistic) 模型	221
7.1.3 Mckendric 模型	222
7.1.4 离散模型	225
7.2 单个种群的随机模型	230
7.2.1 纯生过程	231
7.2.2 纯死过程	232
7.2.3 简单生死过程	233
7.3 种群间相互作用的模型	235
7.3.1 竞争模型——Lotka-Volterra 模型	235
7.3.2 Volterra 捕食模型	237
7.4 可再生资源管理的数学模型	240
7.4.1 可再生资源增长的数学模型	241
7.4.2 可再生资源开发的数学模型	242
7.4.3 可再生资源开发的经济行为分析	244
附录	247
附录 1	247
附录 2	250
参考文献	260

1 环境系统与数学模型

1.1 系统与环境系统概述

1.1.1 系统的概念

1.1.1.1 系统的定义

“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，早已为人们所熟悉。究竟什么是系统呢？往往不同的人或同一个人在不同的场合会对它赋予不同的含义。“系统”一词频繁出现在学术讨论和社会生活中，包罗万象的外延，使之成为逻辑上空无一物的概念。概念上的混淆将给系统研究带来一定的困难。我们并不打算在此对系统下一个一劳永逸的定义，而是从系统基本特征的角度，寻找一种较为通用的描述方式。为此，我们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。”

这个定义，与类似的许多定义一样，指出了作为系统的三个基本特征：第一，系统是由若干元素组成的；第二，这些元素相互作用、相互依赖；第三，由于元素间的相互作用，使系统作为一个整体具有特定的功能。虽然系统的定义形形色色，但都包含了这三个方面，即这三点是定义“系统”的基本出发点。因此，在美国的《韦氏（Webster）大辞典》中，“系统”一词被解释为“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结合；由有规则的相互作用、相互依存的形式组成的诸要素集合。”在日本的 JIS 标准中，“系统”被定义为“许多组成要素保持有机的秩序向同一目的行动的集合体。”前苏联大百科全书中定义“系统”为“一些在相互关联与联系之下的要素组成的集合，形成了一定的整体性、统一性。”

1.1.1.2 系统的特性

由系统的定义，不难总结出一般系统应具有下述特性。

(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或相互作用的关系。在不同的层次结构中存在着不同的运动形式，构成了系统的整体运动特性，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，牵一发而动全身。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”，提高系统整体运行的效果。

（4）目的性

通常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，而这正是区别这一系统和那一系统的标志。系统的目的一般用更具体的目标来体现，比较复杂的社会经济系统都具有不止一个目标，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，不仅要考核它的产量、产值指标，而且要考核它的成本、利润和质量指标。在指标体系中各个指标之间有时是相互矛盾的，为此，要从整体出发，力求获得全局最优的经营效果，这就要求在矛盾的目标之间做好协调工作，寻求平衡或折中方案。

（5）适应性

任何一个系统都存在于一定的物质环境之中，因此，它必然要与外界产生物质、能量和信息交换，外界环境的变化必然会引起系统内部各要素的变化。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。例如，一个企业必须经常了解市场动态、同类企业的经营动向、有关行业的发展动态和国内外市场的需求等环境的变化，并在此基础上研究企业的经营策略，调整企业的内部结构，以适应环境的变化。

1.1.1.3 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。

（1）自然系统与人造系统

按照系统的起源，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。人造系统则是人们将有关元素按其属性和相互关系组合而成的系统，如人类对自然物质进行加工，制造出各种机器所构成的各种工程系统。实际上，大多数系统是自然系统与人造系统的复合系统，如在人造系统中，有许多是人们运用科学技术，改造了自然系统；随着科学技术的发展，出现了越来越多的人造系统。但是，值得注意的是，许多人造系统的出现，却破坏了自然生态系统的平衡，造成严重的环境污染和生态系统良性循环的破坏。近年来，系统工程愈来愈注意从自然系统的属性和关系中探讨研究人造系统。

（2）实体系统与概念系统

凡是以矿物、生物、机械和人群等实体为构成要素的系统称之为实体系统。凡是由概念、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称为概念系统，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，而概念系统往往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、命令等概念系统，也包括计算机系统、通讯设备系统等实体系统。

(3) 动态系统和静态系统

动态系统就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。而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，即模型中的变量不随时间变化，它是动态系统的一种极限状态，即处于稳定的系统。例如，一个化工生产系统是一种连续生产过程，系统中的参数是随着时间变化而变化的动态系统。大多数系统都是动态系统，但是，由于动态系统中各种参数之间的相互关系是非常复杂的，要找出其中的规律性非常困难。有时为了简化起见而假设系统是静态的或使系统中的参数随时间变化的幅度很小而视同静态的。

(4) 控制系统与行为系统

控制就是为了达到某个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进行时，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的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) 开放系统与封闭系统

开放系统是指与其环境之间有物质、能量或信息交换的系统；封闭系统则相反，即系统与环境互相隔绝，它们之间没有任何物质、能量和信息交换。照此定义，可把封闭系统当成与环境完全隔绝的孤立系统。开放系统还可进一步区分为：只有能量交换的系统，同时进行物质、能量交换的系统和物质、能量、信息开放的系统。

1.1.2 系统模型

1.1.2.1 系统模型的定义与特征

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。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，系统模型只是系统某一方面或几方面本质属性的描述，所以，一方面，根据对同一个系统的不同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。

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。

1.1.2.2 系统模型应用的必要性（系统分析的必要过程）

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, 最终得出结论。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 5 个方面的考虑。

① 系统开发的需要。在开发一个新系统时, 由于此时系统尚未建立, 无法直接进行实验, 只能通过建造系统模型来对系统的性能进行预测, 以实现系统的分析、优化和评价。

② 经济上的考虑。对大型复杂系统直接进行实验, 其成本是十分昂贵的, 但是使用系统模型就便宜多了。

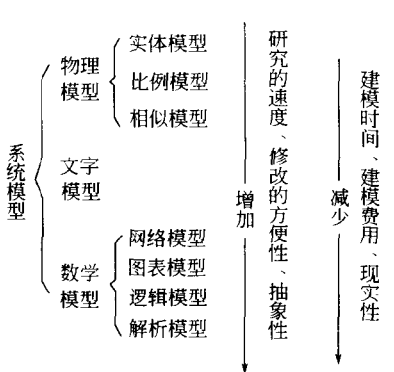
③ 安全上的考虑。对有些系统(如载人航天飞行器、核电站等)通过直接实验进行分析往往是很危险的, 有时甚至是根本不允许的。

④ 时间上的考虑。社会、经济、生态等系统, 由于惯性大、反应周期很长, 对其直接进行实验要等若干年以后才能看到结果, 这是系统分析和评价所不允许的。而使用系统模型进行分析, 很快就可得到分析结果。

⑤ 系统模型容易操作, 分析结果易于理解。有时对现实系统进行直接实验虽然是允许的, 而且也不过分费时、费钱, 但此时采用系统模型仍然具有优越性, 因为现实系统中包含的因素太多而且复杂, 实验得到的结果往往难以直接与其中的某一因素挂钩, 因此直接实验的结果不易理解, 而且试验过程中要改变系统参数也相当困难。但是, 若使用系统模型情况就不一样了, 由于系统模型突出了研究目的所要关注的主要特征, 因此容易得到清晰的结果, 而且在系统模型(尤其是数学模型)上进行参数修正也是非常容易的。

1.1.2.3 系统模型分类

系统种类繁多, 作为系统的描述——系统模型的种类也是很多的, 一般将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。系统模型分类与特征比较如图 1-1 所示。



各种模型的含义解释如下所述。

① 实体模型。即系统本身, 当系统的大小刚好适合研究而又不存在危险时, 就可以把系统本身作为模型。实体模型包括抽样模型, 例如标准件的生产检验是从总体中抽取一定数量的样本进行的, 样本就是实体模型。

② 比例模型。是放大或缩小的系统, 使之适合于研究。

③ 相似模型。根据相似原理, 利用一种系统去代替另一种系统。例如用电路系统代替机械系统、热力学系统进行研究, 则电路系统就是后二者的相似模型。

④ 文字模型。如技术报告、说明书等。在物理模型和数学模型都很难建立时, 有时不得不用它来描述研究结果。

⑤ 网络模型。用网络图来描述系统的组成元素以及元素之间的相互关系(包括逻辑关系与数学关系)。

⑥ 图表模型。用图像和表格描述的模型, 它们可以互相转化, 这里说的图像是指坐标

系中的曲线、曲面和点等几何图形。

- ⑦ 逻辑模型。表示逻辑关系的模型，如方框图、程序单、模拟机排队图等。
- ⑧ 解析模型。用数学方程式表示的模型。

1.1.3 环境系统概述

1.1.3.1 环境系统的概念

广义的环境系统，系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。揭示这种本质，对于研究和解决当前许多环境问题有重大的意义。

在研究人与环境这个矛盾的统一体时，把由两个或两个以上的与环境污染及控制有关的要素组成的有机整体称为环境系统。

1.1.3.2 环境系统的分类与环境要素

(1) 环境系统的分类

按不同的分类方法，可以得到不同类型的环境系统。表 1-1 给出了几类常见的分类方法及相应的系统。

表 1-1 环境系统的分类

分类方法	系 统 名 称
污染物的发生及迁移过程	污染物发生系统、污染物输送系统、污染物处理系统、接受污染物的环境系统
环境管理功能	自然保护系统、环境管理系统、环境监测系统、污染控制系统等
环境保护对象	大气污染控制系统、水污染控制系统、城市生态环境系统等

根据不同的目的，可有不同的分类方法：对于环境管理，人们大多按照环境管理功能进行分类；对于从事环境规划的专家，大多按照环境保护对象对环境系统进行分类；而对于环境工程技术人员，则主要是按污染物的发生及迁移过程对环境系统分类。当然，各种分类方法之间是互相交叉的。例如，按环境保护对象划分的各种系统又是按环境管理功能划分的污染控制系统的系统。

各种环境系统都具有特定的功能，例如大气和水污染控制系统的功能就是运用各种行政的、经济的和技术的手段，控制大气和水体的污染。这些系统中的每一个要素（或子系统）都是为着实现这一总目的而有机地结合在一起。如图 1-2 所示。

(2) 环境要素

构成人类环境整体的各个独立的、性质不同的而又服从整体演化规律的基本物质组分，即称为环境要素，也称为环境基质。

环境要素包括水、大气、生物、阳光、岩石和土壤等（有的学者认为，环境要素不包括阳光）。它分为自然环境要素和社会环境要素，但通常是指自然环境要素。

环境要素组成环境的结构单元，环境的结构单元又组成环境整体或环境系统。例如，由