

高等学校教材

环境系统分析

● 程声通 陈毓龄 编著

高等教育出版社



● HUANJING XITONG FENXI

高等学校教材

环境系统分析

程声通 陈毓龄 编著

高等教育出版社

内 容 提 要

环境系统分析是研究环境系统的数学模型化和最优化的新兴边缘学科。本书正文共分十章,较详细地论述了环境各要素的模型化和环境系统最优化的原理和方法。每章都含有较多的例题,有助于读者对问题的理解。保持了教材的系统性和完整性,书末附有最优化技术基础的主要内容。书中给出的一些计算机源程序有助于读者理论联系实际地学习本课程。

本书是环境工程专业本科教科书,也可以作为环境监测、环境规划与管理等专业的教学参考书。此外,本书也可以作为从事环境管理、监测、评价和规划等方面工作的技术人员的参考书。

高等学校教材

环境系统分析

程声通 陈毓龄 编著

*

高等教育出版社 出版

高等教育出版社照排中心照排

新华书店北京发行所发行

北京市制本总厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 20.25 字数 500 000

1990年4月第1版 1990年4月第1次印刷

印数 0001—2 660

ISBN7-04-002747-X/K·123

定价 5.00 元

前 言

环境系统分析是研究环境系统的数学模型化和最优化新兴边缘学科,兴起于本世纪六十年代。当时,社会经济的高速度发展与人类生存环境的破坏形成尖锐的矛盾,人们迫切希望找到一种有效的手段和方法,协调经济发展和环境保护之间的矛盾,保护和改善人类的生存条件。环境系统分析就是在这种情况下应运而生的。环境系统分析所提出的方法能够在高层次上为环境保护和经济发展的协调提供技术支持,也能在各个层次上为环境规划、管理、评价和设计服务,因而受到人们的普遍重视。

我国在七十年代末期开始研究环境系统分析技术,并用以解决环境质量评价和环境规划问题;八十年代初,一些高等学校开设了《环境系统分析》或《环境系统工程》课程,开始全面、系统地论述环境系统的模型化、最优化和环境保护的决策问题。本书是根据全国高等学校环境工程专业教材委员会审订的《环境系统分析》教材大纲编写的。在1987年9月的审稿会议上,对原大纲的内容作了某些调整,使教材的内容更为紧凑、增强了教材的科学性、系统性和实用性。

本书正文共分十章,前二章主要论述系统分析及环境系统分析的基础及共同性问题,第三至第六章论述环境系统的模型化及模拟技术;第七至第十章研究环境系统的最优化与综合分析。考虑到最优化技术是环境系统分析的主要基础。很多学校在讲授环境系统分析的同时,还需要讲授最优化技术,本书将这一部分内容作为附录列出,供教学参考。这样安排有利于保持教材的完整性和系统性,又照顾到实用性。实际中遇到的系统分析问题,大多是多变量、多参数系统,只有借助计算机才能解决。配合课堂教学,编制一定数量的程序并在计算机上执行是环境系统分析课程教学的重要手段。为了帮助对计算机技术不很熟练的读者,本书附有若干个常用计算机源程序。为了保证程序的通用性,全部按子程序的形式给出,读者可以根据自己需要解决的问题的特点,编制相应的主程序调用。所有程序都用标准FORTRAN语言编写,并在IBM-PC/XT或PC/AT机上检验通过。

近二十几年来,环境系统分析的进展日新月异,理论研究和方法学的研究取得很大进展。由于环境系统分析是一门跨学科的综合技术,目前尚处于发展之中。论述系统工程学的原理和方法在环境管理和污染控制方面的应用的专著有不少问世,但难以找到系统论述环境系统分析的理论和方法的适用教科书。本教材的出版可以说是一种尝试。书中所涉及的某些定义、理论和方法都还处在发展变化之中,有的则需经进一步的实践验证。此外,在解决实际问题中所应用的系统分析技术更是千变万化,本书只能论述最基本的内容和方法。在使用本教材时,要注意结合具体条件进行阐述,不必拘于本教材给出的内容和论点。

本教材正文部分的讲授约需60学时,为了减轻学生负担,有关差分方程、多目标规划等内容可以不作为基本要求讲授。各章学时分配参见下表:

章 次	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
建议学时数	4	6	6	8	4	6	8	4	10	4

DAB0468

在设有环境质量评价课程的学校,可以不讲授第九章;对于某些专业,第二章和第十章也可以不作为基本内容;这样,正文部分的学时数可以降至40学时。

附录中最优化技术部分全部讲授约需30学时,可以根据条件只讲授最优化基本知识和线性规划部分的内容,约需12学时。

计算机程序的编写和上机调试的学时安排视各校的情况而定。在可能的条件下,可以安排3—4次上机练习题,每人上机15—20小时左右,以巩固课堂学习的成果。

本书除作为高等学校环境工程专业本科教材外,也可以作为环境监测、环境规划与管理等专业的教材或教学参考书。此外,本书还可以作为从事环境管理、监测、评价和规划的技术人员的参考书。

本书第五章由陈毓龄编写,其余各章由程声通编写。张天柱编写附录中最优化技术部分;李京峰、胡少华、章欣、郑柏林、陈捷、程声通等参加程序编制与调试,由程声通和郑柏林完成程序的格式化和统调校验工作。

本书由韦鹤平、徐鼎文、孟繁坚等参加审稿,林肇信教授担任主审。林肇信教授对全部书稿字斟句酌的审阅,为本书增色不少。在教材的组稿、审订、编辑及出版过程中,张月娥和王永竑同志作了大量的工作,付出了辛勤的劳动。顾夏声教授、许保玖教授、傅国伟教授等对本书的写作给予了很多指导,在此一并表示深切的感谢。

由于本书所涉及的知识面很宽,书中的内容又正处在兴盛发展之中,作者受知识面和水平的限制,错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1989年6月

目 录

前言	1
第一章 绪论	1
第一节 系统及其特征	1
第二节 系统分析	2
第三节 环境系统分析	5
习题	8
第二章 数学模型概述	9
第一节 数学模型的定义和分类	9
第二节 模型的建立	10
第三节 模型参数的估值方法	13
第四节 模型的验证与误差分析	18
第五节 灵敏度分析	20
习题	25
第三章 环境质量基本模型	27
第一节 污染物在环境介质中的运动特征	27
第二节 基本模型的推导	29
第三节 非稳定源排放的解析解	32
第四节 基本模型的稳态解	36
第五节 污染物在均匀流场中的分布特征	41
第六节 解析模型的应用	43
第七节 环境质量基本模型的数值解	47
习题	52
第四章 河流水质模型	54
第一节 河流中的基本水质问题	54
第二节 单一河段水质模型	59
第三节 多河段水质模型	62
第四节 其它河流水质模型	74
第五节 河口水质模型	78
习题	84
第五章 湖泊和水库的水质模型	87
第一节 湖泊和水库的水质特征	87
第二节 湖泊与水库的营养源与营养负荷	88
第三节 湖泊、水库的箱式水质模型	91
第四节 深湖与水库的温度模型	98
第五节 湖泊水库的生物学模型	101

习题	104
第六章 大气质量模型	105
第一节 污染源预测模型	105
第二节 箱式大气质量模型	107
第三节 高架点源扩散模型	110
第四节 线源和面源模型	115
第五节 大气质量模型中的参数估计	119
习题	129
第七章 水污染控制系统规划	131
第一节 系统的组成与分类	131
第二节 规划的依据	134
第三节 排放口处理最优规划	136
第四节 均匀处理最优规划	141
第五节 区域处理最优规划	145
第六节 水资源—水质系统规划	148
习题	149
第八章 大气污染控制系统规划	151
第一节 大气污染控制的过程	151
第二节 比例下降规划模型	152
第三节 地面浓度控制规划	155
第四节 大气环境质量—经济—能源系统规划	160
习题	163
第九章 环境质量评价模型	164
第一节 环境质量评价的内容与分类	164
第二节 污染源的评价和预测	165
第三节 环境质量指数评价	173
第四节 环境质量影响评价模型	183
第五节 环境质量的功能力评价	187
习题	196
第十章 环境问题的决策分析	198
第一节 环境决策的一般概念	198
第二节 常用的决策分析工具	200
第三节 一般决策问题	210
习题	213

附录一 最优化技术基础 214

第一节 线性规划 214

第二节 整数规划 231

第三节 非线性规划 236

第四节 动态规划 246

附录二 常用程序选 253

一、最小二乘法求线性函数的参数(子程序
OLRM) 253

二、梯度法估计模型参数(子程序 GPEM)..... 255

三、矩法计算河流弥散系数(子程序 CSEOD)
..... 258

四、一维河流的水质模拟(子程序 OWQS 和
INSNC) 262

五、一维河口有限段模型(子程序 THO) 269

六、湖泊水库的营养负荷计算与富营养化
判别(子程序 LPN) 278

七、大气污染箱式模型(子程序 ABOM 和
INSNC) 285

八、大气污染控制规划——比例下降模型(子
程序 ROBM)..... 290

九、大气污染控制规划——地面浓度控制
模型(子程序 GCCM, LPSM) 296

十、水污染控制规划——排放口处理最优
规划(子程序 WPCP0, WPCP1, WPCP2,
INSNC) 304

第一章 绪 论

第一节 系统及其特征

一、系统的定义和分类

1. 系统的定义

系统这一概念来源于人类的长期社会实践,但由于受到科学技术发展水平的限制,一直没有得到应有的重视。在美国,直到本世纪四十年代才开始在工程设计中应用系统这一概念,到了五十年代以后才把系统的概念逐步明确化、具体化,并在工程技术系统的研究和管理中得到广泛的应用,七十年代以后又进一步被推广到人类社会经济活动的几乎所有领域。

系统的概念最初产生于实际的工程问题和具体事物,例如人们很早就研究了灌溉系统、电力系统、人体呼吸系统、消化系统等。随着社会的发展与科学技术的进步,人们发现在这些千差万别的系统之间,存在着共性。研究它们之间的共性,对于研制、运行和管理具体的系统具有重要意义。于是,有关系统、系统分析的研究就应运而生了。

系统是由两个或两个以上相互独立又相互制约的、执行特定功能的元素组成的有机整体。系统的元素又称为子系统,而每个子系统又包含若干个更小的子系统;同样,每一个系统又是一个比它更大的系统的子系统。

一个形成系统的诸要素的集合永远具有一定的特性,或表现为一定的行为,这些特性和行为不是它的任何一个子系统(元素)所能具有的;一个系统不是由组成它的子系统的迭加,而是按照一定的规律的有机综合。

2. 系统的分类

系统可以按不同的方法分类。按照系统的成因,可以分为自然系统、人工系统和复合系统。存在于自然界,不受人类活动干预的系统称为自然系统;由人工建造、执行某一特定功能的系统属于人工系统;介于自然系统与人工系统之间的系统是复合系统。环境保护系统及其各种子系统大多属于复合系统。

按照状态的时间过程特征,可以分为动态系统和稳态系统。状态随着时间变化的系统称为动态系统,否则称为稳态系统。

按照系统和周围环境的关系,可以分为开放系统和封闭系统;按照系统内变量之间的关系,可以分为线性系统 and 非线性系统;按照参数的分布特征,可以分为集中参数系统和分布参数系统等。

同一个系统可以按不同的分类方法归属于不同的类型。例如,污染控制系统既是复合系统,又是动态系统,也是开放系统。

对于不同类型的系统,可以采用不同的解决方法。

二、系统的特性

(1) 整体性 系统的整体性是由系统具有特定的功能决定的。组成系统的各个要素虽然各自具有不同的性能，但它们是根据逻辑统一性的要求而构成的整体。因此，即使每个要素并不都很完善，但也可以综合、统一成为具有良好功能的系统。反之，即使每个要素都是良好的，作为整体却不具有所要求的功能，这种系统就不是一个完善的系统，因为它的整体性差。

(2) 相关性 系统内各要素之间是有机联系，相互作用的。在这些要素之间存在着某种相互依赖、相互制约的关系。没有相关关系的要素不能构成系统。同时，系统中任何一个要素的变化都会对其它要素产生影响。

(3) 目的性 人工系统和复合系统都具有一定的目的性，为达到特定的目的，系统都具有特定的功能。系统通常都是多目的性的，一个目的可以用一个或多个具体的目标来表示，当所有的目标都满足要求时，系统即实现了既定的目的。

(4) 阶层性 作为一个相互作用的要素的集合，系统内部存在着一定的层次结构。一个系统可以包含若干个一级子系统，每个一级子系统又可以包含若干个二级子系统，等等。在系统和子系统，以及各子系统之间存在着物质的、能量的和信息的交换。系统的层次结构是实现系统递阶控制和目标管理的基础。

(5) 环境适应性 任何一个系统都存在于一个更大的系统（即环境）之中，它必需适应环境的变化。不能适应环境变化的系统，是没有生命力的系统。系统的环境往往表现为对系统及对组成系统的诸要素的约束。

第二节 系统分析

一、系统分析的基本概念

系统分析的研究对象是复杂的大系统。这种大系统的特征是在系统中存在着许多矛盾因素和不确定因素。对这样的大系统，如果没有一套行之有效的辅助决策分析方法，就不可能找到设计、实现和运行管理大系统的方案。人们从长期的工程实践中认识到，要进行系统的最优化设计，要对系统的有关重大问题正确决策，就必须进行系统分析。

系统分析是对研究对象进行有目的、有步骤的探索和研究过程，它运用科学的方法和工具，确定一个系统所应具备的功能和相应的环境条件，以确定实现系统目标的最佳方案。

系统分析过程和传统的工程学科方法不同，它除了要研究系统中各要素的具体性质，解决系统要素的具体问题之外，还着重研究和揭示各个要素之间的有机联系，使得系统中各个要素的关系协调融洽，达到系统总目标最优的目的。

系统分析的过程是对系统的分解和综合。所谓分解，就是研究和描述组成系统的各个要素的特征，掌握各要素的变化规律；所谓综合就是研究各个要素之间的联系和有机组合，达到系统的总目标最优。系统分解和综合的过程都要建立和运用数学模型。各种数学方法是系统分析必备的手段。

由于系统分析的对象是大系统，大系统的物质流、能量流和信息流的量都很大，而且随着研究的深入，系统分析所面临的问题日趋复杂。因此，求解数学模型的工作量很大，电子计算机已经成为系统分析的主要工具。

二、系统分析的方法和步骤

系统分析是对研究对象进行有目的、有步骤的探索过程，通常的工作方法是：确定系统的功能和目标，调查系统的环境约束，调查系统的资源条件，研究系统的要素并对其模型化，实现系统的综合（最优化）并为系统设计和系统实施提供最优方案。

系统分析的方法和步骤对于不同的问题并不是一成不变的，要根据具体研究对象确定适用的分析程序。作为一般的系统分析问题，大体可以按如下步骤进行。

1. 明确问题的范围和性质

根据问题的范围和性质确定问题的要素及要素间的相互关系，以及它们和环境间的关系。根据具体条件、实事求是地反映系统内部结构及其与外界的联系是特别重要的。

2. 设立目标

目标就是系统的决策者希望实现的理想。目标的确定要经过大量的调查和分析。只有明确目标，才能作出决策分析。系统目标往往不止一个，常是多个目标的集合。

3. 收集资料

根据系统分析的目标和要求，调查与系统要素及目标有关的各种资料和数据。这些数据可以从以前或当前的调查、实验、观察、统计和记录中获取，也可以根据要求进行补充试验和调查。

4. 建立模型

这里的模型包括系统的结构模型和优化模型。建立模型要识别主要元素，简明扼要，避免繁琐复杂。

5. 制定系统的评价标准

对于社会经济决策系统的评价，通常包括如下标准：

- (1) 若所能支付的费用已定，则应选择在此费用下效益最大的方案；
- (2) 若效益标准已定，则应选择为实现既定效益所需费用最低的方案；
- (3) 若所能支付的费用和应达到的效益都无法确定时，则应选择效益、费用比最大的方案；
- (4) 在多目标的条件下，一般没有唯一标准，问题的决策与决策者的偏好关系很大。

6. 综合分析

运用数学模型和电子计算机，综合协调各子系统之间的关系，分析研究系统的各种可能的方案，并提出系统分析的结果。

三、系统评价的指标和标准

系统的优劣是相对的，对一个系统的评价是看其对预定目标的满足程度。评价一个系统的主要因素包括：

1. 系统的功能

功能是指系统所起的作用与所应完成的任务。功能目标评价是系统评价的重要内容。没有功能的或低功能的系统都不是所期望的。人们总是企望建立一个高功能系统。一个系统的功能可能是多方面的。

2. 系统的费用

费用包括建立一个系统所需的物化劳动、活劳动、流动费用,以及各种内部和外部的损失费用等。在满足一定功能的条件下,人们总是期望建立一个低费用系统。

3. 系统可靠性

可靠性是指系统的各个层次和组成部分,在预定期限和正常条件下,运行成功的概率。可靠性的要求往往与费用密切相关。

4. 系统实现的时间

建立一个系统所需的时间也是主要的评价指标。在较短的时间里发挥投资效益,是每一个决策者的共同愿望。

5. 系统的可维护性

一个好的系统在长期运行过程中,应便于维护管理。

6. 系统的外部影响

一项工程的外部影响有时是很大的。对诸如生态平衡影响、资源和能源消耗等,都应建立相应的评价指标和评价标准。

四、系统的模型化

系统的模型化就是用数学符号来表达系统的各个部分及其联系;表达系统的整体功能、系统的价值及各种价值之间的关系。在系统分析中对模型的要求为:

- (1) 现实性 现实性是指在一定程度上能够反映和符合系统的实际状况;
- (2) 简洁性 在现实性的基础上,尽量使模型简单明了,以节省时间和费用并便于应用;
- (3) 适应性 模型对于外部条件的变化应具有一定的应变能力。

上述要求,在很多情况下是相互矛盾的。例如,为了提高模型的现实性要求,模型可能很复杂,它的求解就困难,适应性就差。要根据具体情况确定适当的复杂程度,以满足各方面的要求。

数学模型在系统分析中起着重要作用,它是系统分析的前提和基础。本书第二章将比较详细地论述有关数学模型的一些问题。

五、系统最优化

系统最优化是系统综合的重要方法和手段。系统最优化通常是通过最优化数学模型实现的。

最优化的方法很多,要根据问题的性质选用适当的方法。对于过于繁杂的系统,有必要作适当的简化。通过突出主要因素,忽略次要因素,或改变模型的型式,使最优化方法的应用成为可能。

目前通用的一些最优化方法,如线性规划、动态规划,网络与图论等在系统分析中都得到广泛应用。

六、系统分析与系统工程

“系统工程”一词是本世纪五十年代提出来的,它是为了合理地开发、设计和运行一个系统而采用的思想、程序和方法的总称。作为研究问题与解决问题的思想方法,系统工程与系统分析具有相似的概念。

如果把一事物或一个工程从构思到完成的整个过程称为系统工程的话,则系统分析可以看成是这一过程中的一个步骤(图1-1)。

一事物或一个工程项目的系统工程可以分成规划准备、系统分析、系统设计和系统实施等几个阶段。系统分析是其中的主要组成部分。系统分析是针对研究问题的整体,进行全面的、互相联系的和发展的研究,以期找到解决问题的最佳方案或替代方案,并预测这些方案实施后可能产生的后果。

系统设计是在系统分析提出最佳方案的基础上进行的,它运用各种工程方法(包括最优化方法),将系统分析的结果落实在工程措施上,以确保系统分析的结果得以实现。

系统实施就是将系统设计的成果转变为现实的过程。在系统实施阶段,各种系统论方法,如图与网络技术、各种最优化方法都得到广泛应用。

在实际工作中,系统分析、系统设计和系统实施这三个阶段的内容在时间上一般是顺序执行的。只有提出一个好的系统分析方案,才能保证作出好的系统设计,继而保证最终实施的工程质量。但是,从认识论的角度,这三个阶段又不是截然可分的。系统分析的成败与前人的工作及分析者过去的阅历和经验直接相关,而这些经验中很多要在系统设计和系统实施的过程中取得。同时,在一项工程中,在系统设计和系统实施阶段提出反馈信息,修改或部分修改系统分析方案的事例也是屡见不鲜的。

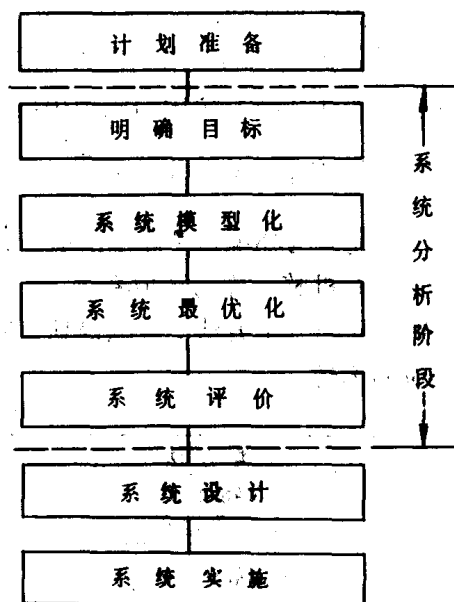


图1-1 系统工程的程序

第三节 环境系统分析

一、环境系统分析的发展概况

本世纪五六十年代以来,随着世界各国工业化和城市化的加速,一些经济比较发达的国家相继出现了爆炸性的公害事件。这些事件不同于简单的中毒或工伤问题,而是在时间和空间上都非常广泛的综合性效应。这些问题的解决只有调动社会各个领域的力量,协同配合,才有成效。在这种形势下,美、日、英等主要工业国先后建立了全国性的科研机构和管理机构,展开了综合性的全国或区域的环境污染防治规划和管理的研究和实施。环境问题的全局性、复杂性和综合性等特点,为系统分析方法的应用提供了广阔的领域,世界上很多著名的环境污染防治工程的研究和实施都应用了系统分析的方法。

1972年,美国人瑞奇(Rich)教授首次以《环境系统工程》为名发表专著(英文),阐述了环境工程的过程及其与环境之间的关系;1977年,日本人高松武一郎教授等发表了同名专著(日文),应用化工过程系统工程的研究成果阐述环境系统的治理、规划等问题;1985年,清华大学出版社出版了《水污染控制系统规划》一书,用系统分析的观点和方法,阐述了水污染控制系统的模型化和最优化问题;同年,南京大学出版社出版了《环境系统工程概论》一书,广泛讨论了系统论在环境保护领域的应用问题。在过去二三十年间,国内外发表了大量的文章和专著,使系统分析方法在环境系统中的应用出现了空前繁荣的局面。

二、环境系统的分类与组成

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。

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

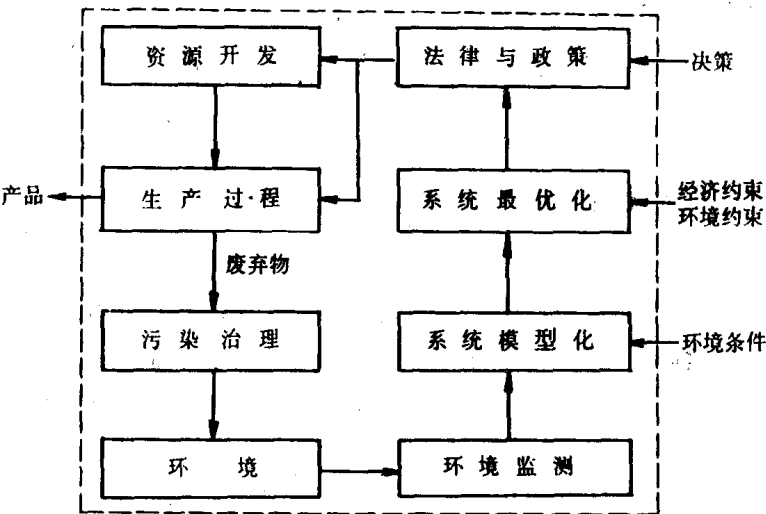


图 1-2 污染控制系统的组成

为着实现这一总的目的有机结合在一起的。图 1-2 表示环境污染控制系统的各个组成部分与控制过程。

从图 1-2 不难看出,环境系统是一个复杂、庞大的整体,它不仅包含对环境要素的认识和理解,也包含着对资源和社会经济活动的管理,以及为保护环境而制订的方针和政策。

三、环境系统分析的任务

目前,人类所面临的环境问题是由于工业化所造成的空气、水体和土壤的污染。污染的发展,既直接危害着人体的健康、威胁着人类的生存,又妨碍和限制了人类社会的进一步发展。环境已经成为人类社会继续前进的制约因素。

研究环境系统内部各组成部分之间的对立统一关系,寻求最佳的污染防治体系;研究环境质量和经济社会发展的对立统一关系,建立最佳的经济结构和经济布局是环境工作者面临的两大任务,在实现这两大任务的过程中,系统分析可以成为有力的工具。

上述两大任务所包含的具体内容为:大气污染控制系统的模拟、规划和控制;水体污染控制系统的模拟、规划和控制;固体废弃物的运输与处理、处置规划;城市生态系统的规划与管理;城市环境、资源(能源)和经济发展的综合平衡;区域环境系统的规划与综合防治以及环境信息系统的开发等。

应用系统分析方法解决上述环境问题的显著特点是通过模型化和最优化来协调环境系统中各要素之间的关系,实现经济效益、环境效益和社会效益的统一。作为系统分析人员,在解决各类环境问题的过程中,最主要的工作是建立起环境系统中各要素的数学模型以及系统的最优化模型。

建立数学模型的第一步是要对所研究的环境系统提出一个概念模型。所谓概念模型是指环境系统分析人员通过去粗取精、去伪存真提出的反映环境系统本质的简化表达形式。概念模型大多用简化图或框图表达(图 1-3)。

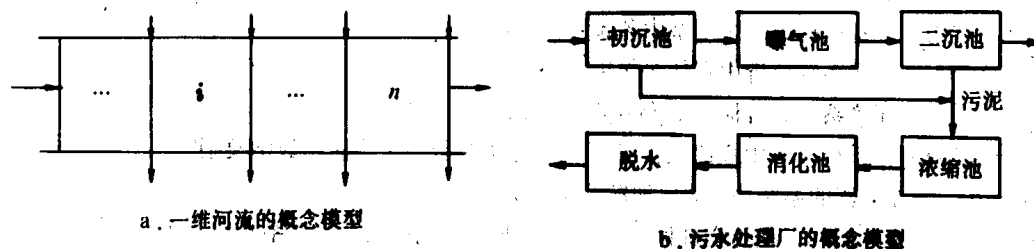


图 1-3 环境系统的概念模型

数学模型是在概念模型的基础上建立的。环境系统分析中所用的数学模型大致分以下几类:环境质量的模拟和预测模型、污染物治理工艺过程模型、环境工程的费用与收益模型、环境决策模型等。

目前在各个领域广泛应用的各種最优化方法,在环境系统分析中都可以应用。应该指出,最优化方法是在一定条件下的理想化产物,在确定性的决策中应用较多,但环境问题大多属于非确定性决策问题,采用替代方案选优的方法进行决策是解决环境问题的重要途径。

四、环境系统分析的基础理论

环境系统分析的基础理论主要由环境科学和系统工程的基础理论构成。

环境科学是一门范围广泛的组合科学，所涉及的学科很多。与环境系统分析紧密相关的内容有：环境污染控制的原理和方法；环境质量评价的原理和方法；环境区划和区域环境规划的原理和方法；环境经济学原理和方法；环境毒理学和环境标准的制订原则和方法以及人类生态系统的结构、功能及演变规律等。一个系统分析人员，只有对上述问题有深入的理解，才能建立起能表达其实质的、具有实用功能的数学模型。

解析数学和计算数学中的很多内容为求解各种环境数学模型提供了方法。

系统工程学的理论基础之一——运筹学是解决环境系统最优化和辅助环境决策的重要手段。规划论、博弈论、图论等在环境规划和管理中起着重要的作用。由于环境系统的多目标、多层次、多变量特征，大系统的分解协调技术具有广阔的应用前景。

求解环境系统模型的计算过程复杂、计算量大，电子计算机已经成为环境系统分析中不可缺少的工具。

环境系统分析涉及政治、经济、法学、美学、科技等领域及现代科学技术的几乎所有学科。作为环境系统分析人员，不仅要具备环境科学、系统工程学方面的基础知识，还要求有较多的社会知识和解决实际问题的能力。一个好的系统分析人员既是一个脚踏实地的工程师，又是一位高瞻远瞩的战略家。

习 题

1. 简述系统分析的研究对象与研究内容。
2. 简述系统分析的基本原理和方法。
3. 用生活或工作中的具体事例，说明应用系统分析方法解决问题的思路和步骤。
4. 对于解决一件复杂的事物，应用系统分析方法会取得哪些成效？用自己的经验说明之。
5. 什么是系统，一个系统应具备哪些特征？
6. 系统的各个特征在最优化模型中各起着什么作用？
7. 分解和综合在系统分析中有什么作用？它们的含义是什么？
8. 如何确定环境系统的目标？举例说明环境系统的多目标特征。
9. 数学模型在系统分析中起什么作用？系统分析是否一定要应用数学模型？
10. 在一个多要素的系统中，如何理解系统最优化的概念？
11. 系统分析在系统工程的全过程中占有什么地位？它们之间的关系是什么？
12. 对一个系统分析人员的基本理论和实际经验有哪些要求？为什么说一个好的系统分析人员既是工程师，又是战略家？

第二章 数学模型概述

第一节 数学模型的定义和分类

一、数学模型的定义和特征

根据对研究对象所观察到的现象及其实践经验,归结成一套反映数量关系的数学公式和具体算法,用来描述对象的运动规律,这套公式和算法称为数学模型。

数学模型应用于科学技术的每一个领域,是一切科学技术部门的重要工具和手段,也是环境系统分析的基础。

数学模型的一个重要特征是它的抽象性。通过数学模型,可以将一个形象思维问题转化为抽象思维问题,从而可以突破实际系统的约束,运用已有的数学研究成果对研究对象进行深入的研究。这种研究,较之在原型或实物模型上的研究具有很多优点。用数学模型研究不需要过多的专用设备和工具,可以节省大量的基建投资和设备运行费用;用数学模型可以大大加快研究工作的进度,缩短研究周期,特别是在电子计算机得到广泛应用的今天,这一优越性就更为突出;在实际环境条件或物理模型上同时作多因素的研究是比较困难的,而数学模型却可以不受此限制,例如七十年代开发的河流水质模型 QUAL-Ⅱ 中就包含了 14 种水质组分(即 14 个因素),而水库水质模型 EPAECO 则包含了 19 个因素;数学模型除用于模拟研究对象的状态外,还可以方便地用于考察系统对各个变量或参数的灵敏度和稳定性。

数学模型也存在局限性。一个环境问题往往存在着众多的变量,这些变量之间,各个变量与其周围环境之间存在着错综复杂的物质、能量和信息的交换。一个模型不可能包含所有的变量,也不可能反映每一个变量的全部运动规律,它只能是对实际对象的抽象和简化。这种抽象和简化必然有某种程度的失真,在对实际系统的实质缺乏足够的认识时,这种失真就更为显著。

一个好的数学模型是在深刻认识和分析研究对象的基础上建立起来的。根据大量的实际数据,对各种现象进行由表及里、由浅入深的观察和分析,是建立模型的前提;同时,由于客观实际在不断地发展和变化,反映客观世界的模型也要不断修改和补充。一个最好的的数学模型也不会比实际系统更真实。尊重客观、尊重实际是建立模型和应用模型的重要原则。

二、数学模型的分类

人们所使用的模型可以分为抽象模型和具体模型两大类。图 2-1 是根据模型的形式进行的分类。

按照变量和时间的关系,可以分为动态模型和稳态模型。前者的变量的状态是时间的函数,

而后者则不随时间变化。

按照变量之间的关系,可以分为线性模型和非线性模型。前者的各个变量之间呈线性关系,后者则是非线性关系。

按照变量的变化规律,可以分为确定性模型和随机模型。前者的变量都遵循某种确定的规律变化和运动,后者的变量的变化是随机的。

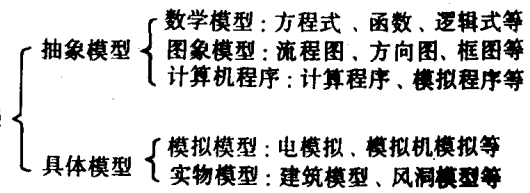


图 2-1

按照模型的用途,可以分为模拟模型和管理模型。模拟模型广泛应用于环境质量的模拟、预测和评价上。管理模型则用于环境系统的规划和管理决策,使设计和运行处在最佳或较佳的状态。

按模型中参数的性质,可以分为集中参数模型和分布参数模型。参数可视为不随时空变化的模型,称为集中参数模型;将参数视为时间、空间的函数,亦即参数在时间和空间上按一定的规律分布的模型称为分布参数模型。

从不同的角度,还可以对模型作各种形式的分类。各类模型在环境系统分析中都有应用。

第二节 模型的建立

一、对模型的基本要求

建立数学模型所需的信息通常来自两个方面,一是对系统的结构和性质的认识和理解,二是系统的输入和输出的观测数据。利用前一类信息建立模型的方法称为演绎法;用后一类信息建立模型的方法称为归纳法。用演绎法建立的模型称为机理模型,这类模型一般只有唯一解;用归纳法建立的模型称为经验模型,经验模型一般有多组解。不论用什么方法,建立什么样的模型,都必须满足下述基本要求。

1. 模型要有足够的精确度

精确度是指模型的计算结果和实际测量数值的吻合程度,精确度不仅与研究对象有关,而且与它所处的时间、状态及其它条件有关。对于模型精确度的具体规定,要视模型应用的主客观条件而定。通常,在人工控制条件下的各种模拟试验及由此建立的模型可以达到较高的精确度;而对于自然系统和复合系统的模拟及由此建立的模型,不能期望具有较高的精度。

精确度通常用误差表示,将在本章第四节中讨论。

2. 模型的型式要简单实用

一个模型既要具备一定的精确度,又要力求简单实用。精确度和模型的复杂程度往往是成正比的。但随着模型的复杂程度的增加,模型的求解趋于困难,要求的代价亦增加。有时为了简化模型以便于求解,只能降低对模型精度的要求。

3. 模型的依据要充分

依据充分的含义指的是模型在理论推导上要严谨,并且要有可靠的实测数据来检验。

4. 模型中应该有可控变量

可控变量又称操纵变量,是指模型中能够控制其大小和变化方向的变量。一个模型中应该有一个或多个可控变量,否则这个模型将不能付诸实用。