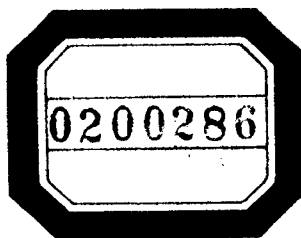


水污染控制系统规划

付国伟 程声通

清华大学出版社





水污染控制系统规划

傅国伟 主编
程声通

清华大学出版社

内 容 简 介

本书是编者在清华大学环境工程专业大学生、研究生的教材及参考“全国第一届水环境系统工程短训班”、“辽宁省水环境系统工程培训班”的讲稿基础上写成的。全书共分十章，着眼于水污染控制合理规划的全过程。以河流污染控制系统为主要对象，重点阐明水质模型的建立、经济分析、规划和水质评价的基本原理与方法。书中有较多的例题和习题，书末还附有七个大型算例。

本书可作为高等工科院校环境工程、给排水工程、水资源工程及其他有关专业的教材或教学参考书，也可供从事环境保护、市政建设、水资源开发与规划等专业工作的技术人员与管理干部参考。

21171/21

水 污 染 控 制 系 统 规 划

傅国伟 主编
程声通

★

清华大学出版社出版

北京 清华园

北京景山学校印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

★

开本：787×1092 1/16 印张：19 $\frac{1}{2}$ 字数：499千字

1985年9月第1版 1985年9月第1次印刷

印数：00001~15,000

统一书号：15235·153 定价：3.80元

序

水污染控制系统规划是本世纪六十年代以后提出的新课题。这一课题的研究，带着明显的时代特征：运用现代科学技术的最新成就——系统工程方法和电子计算机技术，来解决水污染控制系统的规划问题。

处理水污染控制问题，必然要涉及政治、经济、法律、美学等领域和现代科学技术的几乎所有学科。水污染控制系统是一个多变量、多目标、多层次的复杂系统。它的研究是一个循环不断的分析-综合过程。必须用全面的观点、互相联系的观点和发展的观点对这一系统进行定量化的研究，才能找到一个最佳的（或满意的）污染控制方案，从而达到最佳的（或满意的）社会效果。系统工程方法为这一研究提供了较为理想的手段，而电子计算机则是进行这一研究的必不可少的工具。

建立系统的数学模型，是整个研究工作的基础。在水污染控制领域，数学模型主要是指：各类水体的水质模型和生态模型、污水处理和输送过程的模型、污染源模型、各类工程设施的经济模型、收益-费用分析模型、水质评价模型、各类规划模型等等。由于环境系统的开放性、庞大性、复杂性和随机性，上述数学模型的研究目前还远不能认为已经成熟、尚有待于进一步的开发和完善。本书所涉及的只是目前比较成熟、应用较多的一部分。

建立数学模型和进行数学运算，在水污染控制规划中占有重要的位置，但它们决不是第一位的问题。在整个研究中最重要的是对所研究的系统的各部分、各要素要有深刻的认识。没有对实际问题的透彻理解，不占有大量的实际资料，就不可能得到一个切合实际的数学模型和一个好的规划方案。因此，掌握实际环境问题的脉搏，从错综复杂的实际系统中抽象出概念模型、找出清晰的思路，往往要比掌握几种具体的计算方法重要得多，也困难得多。保持清醒的头脑，善于从战略上研究问题，抓住主要矛盾，是对环境规划人员的基本要求。

衡量数学模型的“好”与“坏”的标准不在于它的复杂程度，而在于它是否能真实反映实际系统的主要特征。一切研究工作的前提是对实际系统的合理简化。抓住主要因素，通过抽象和分析，建立起系统模型。模型既要能反映实际系统的本质，又要尽量避免复杂的数学运算。数学模型越复杂，建立模型和检验模型所必需的数据就越多，这对系统资料积累不多的地方，往往是难以实现的。由简入繁，由浅入深，也是研究水污染控制的必由之路。

在应用数学模型的同时，要看到模型的局限性。模型的适用范围、条件要严格遵守。客观实际在不断变化，一个最好的数学模型也不会比实际系统更真实。因此，必须根据变化着的实际情况，对已建立起来的模型不断进行检验和修正，使其尽可能接近实际系统。

数学模型是水污染控制研究的重要内容，但有许多问题，至少在目前，还难以用数学模型来表达。它们还需要通过人们的主观判断作出决策。数学模型不可能囊括一切。当然，掌握系统工程的方法，对于作出正确的判断无疑是有帮助的。

今天，环境科学还没有发展成为一门独立的科学，它是各有关学科（包括社会科学、自然科学和技术科学的几乎所有领域）的集合。环境科学的生存、发展的基础和生命力在于各学科的有机结合和互相渗透。在水污染控制领域，就是要实现环境科学与水污染防治工程的结合，把环境科学的研究成果变为改善环境的实施方案。在编写过程中，我们力求能够做到

这一点。

水污染控制系统规划的内容是十分丰富的，决不止于本书所涉猎的范围。由于参加本书编写的同志对本课题的研究为时较短，理论水平差，实际经验少，不可能在本书中纳入与本课题有关的全部内容，而只是编写了基本的理论和方法。为了增强本书的实用性，各章均附有较多的例题，书末还附有若干个大型算例。本书大部分内容选自国内外的书刊，部分内容是我们近年来的研究成果。

由于我们水平所限，书中错漏之处一定很多，请读者不吝赐教，以便及时改正。

编 者

一九八二年初春

目 录

序

第一章 绪论	傅国伟 (1)
第一节 人类对环境问题的认识过程	(1)
第二节 环境系统的组成结构	(4)
第三节 环境系统工程	(7)
第二章 水污染控制系统及其规划原则	傅国伟 (11)
第一节 水污染控制系统的分类及其组成	(11)
第二节 水污染控制系统规划问题的类型	(13)
第三节 规划的经济评价依据	(16)
第四节 规划过程与步骤	(19)
第三章 经济分析	张兰生 (22)
第一节 经济分析的重要性	(22)
第二节 经济知识	(23)
第三节 工程经济分析	(31)
第四节 收益-费用分析	(36)
第五节 污水处理厂的费用函数	(47)
第四章 城市污水系统	程声通、傅国伟、邢建 (53)
第一节 概述	(53)
第二节 污水输送的费用	(53)
第三节 最优管径的计算	(57)
第四节 污水处理的一般过程	(61)
第五节 沉淀过程的模型与模拟	(63)
第六节 污水生物处理过程的模型与模拟	(71)
第七节 污水处理系统的最优设计	(76)
第五章 河流水质模型	傅国伟 (93)
第一节 污染物在河流中的迁移转化过程	(93)
第二节 水质模型的基本方程	(103)
第三节 河流水质模型	(118)
第六章 水质模型的识别与参数估值	傅国伟 (137)
第一节 水质模型的建立过程	(137)
第二节 河流水质模型单一参数的估值方法	(138)
第三节 同时估计河流水质模型所有参数的方法	(151)
第七章 河口模型	杜文涛 (165)
第一节 概述	(165)
第二节 数学模型的导出	(165)

第三节	模型的简化和分类	(169)
第四节	模型的解法	(172)
第五节	河口模型中的参数	(177)
第六节	参数估值	(179)
第八章	河流水质模拟	程声通(185)
第一节	概述	(185)
第二节	水质模拟的准备	(186)
第三节	一维河流的水质模拟	(187)
第四节	河流扩散段的二维水质模拟	(199)
第九章	水质及水污染控制规划	程声通(206)
第一节	概述	(206)
第二节	系统的组成	(207)
第三节	规划的依据	(208)
第四节	系统的分类	(210)
第五节	排放口最优化处理	(211)
第六节	最优化均匀处理	(224)
第七节	区域最优化处理	(228)
第八节	水量调节与水污染控制	(232)
第九节	规划模型的灵敏度分析	(236)
第十节	水污染控制规划的决策过程	(240)
第十一节	水污染控制与多目标规划	(243)
第十章	水体质量评价	张兰生(250)
第一节	概述	(250)
第二节	水环境背景特征的调查与资料收集	(251)
第三节	评价程序	(252)
第四节	污染源调查及评价	(254)
第五节	评价方法	(257)
第六节	污染程度分级	(275)
第七节	评价图及评价报告书的编制	(277)
附录	算例	(279)
一、	北京市东南郊水污染控制的系统分析	聂桂生、傅国伟 张兰生、程声通(279)
二、	黑龙江省松花江沿岸有机污染允排量的确定	朱仲平(280)
三、	区域性污水处理系统的最优规划	程声通(283)
四、	废水处理厂的最优设计	邢建(286)
五、	多目标规划方法在水资源及水污染控制系统综合规划中的应用	周大地(288)
六、	多级递阶分解协调优化算法在水污染控制规划中的应用	张天柱(292)
七、	大沙河水质模型与水质规划	秦大立(295)

第一章 绪 论

第一节 人类对环境问题的认识过程

一、教训

人类对环境问题的认识，曾经经历了曲折的道路，付出过昂贵的代价。

以十九世纪欧洲纷纷掀起工业革命来说，那时在人们的头脑中似乎工业化只有百利而无一害，似乎自然资源是取之不尽、用之不竭的，似乎自然环境的自净能力是无限的。因此，那时“工厂鳞接、烟囱林立、黑烟滚滚”被看作是社会繁荣昌盛的时髦景象，追求的只是生产的“利润”。但是，到了廿世纪四十年代，一些工业发达国家，纷纷出现了大规模的环境污染问题，发生了震撼社会的“公害爆炸”。悲惨的伦敦烟雾事件，可怕的本水俣病，以及自然界根本不存在的DDT之类人工合成物质在生物体内的出现等等，使人们开始醒悟到单打一的工业化是不行的。现代工业的发展虽然创造了巨大的物质财富，同时人类的环境又为它支付了相当巨大的代价。人类从严酷的事实中提高了对人类活动与环境之间关系的认识，开始把这两者放在一起作为一个系统，一个整体来看待和处理。

二、发展

在控制污染的初期（即廿世纪六十年代以前），人们的认识以及处理的方法，还处在初级阶段，受到许多因素的限制。当时面临严重的污染现状，为了对付已排出的“三废”，忙于采取应急的措施——主要运用“排出口处理”三废的技术来控制污染。以水污染控制为例，美国十几年来每年都花了近50亿美元的投资用于处理污水，日本每年投资则近20亿美元。目前，美、日、英、法、西德等国已建成了平均每1万人即有一座二级处理的污水处理厂。这种控制方法虽然可以改善污染的状况（主要是控制“第一代污染问题”——即水体因有机污染缺氧而造成的大量死鱼问题。例如，目前一些工业化国家的许多河流已复氧、产鱼），但是单纯依靠这种排出口处理技术，不仅耗资巨大、经济效能低，甚至可能陷入恶性循环，不解决任何环境污染问题。譬如，如果不考虑整体的效应而盲目地进行废水的深度处理（如三级以上的处理），虽然可以消除水的局部污染，但是由于深度处理措施本身消耗的能源和资源的生产又可能会引起新的更大的污染。同时，许多国家还普遍存在着富营养化问题以及特殊有毒致癌物质的污染问题。如美国环保局1979年的调查报告指出：在美国淡水中检出了百种以上的有机污染物，其动物致癌试验有22.5%呈阳性反应，对其中32种化合物所做的动物畸形形成试验有62.5%呈阳性反应，对29种化合物所做的诱变试验100%呈阳性反应。象这种“第二代污染问题”更不是用单纯排出口处理措施所能对付得了的。

六十年代末期以后，环境污染的控制开始进入了一个比较高级的阶段——综合防治环境污染的新阶段。在这个阶段中，除继续研究和发展各种控制污染的新技术、新方法外，更注重于研究和发展综合防治的措施。提出了以下一些代表性措施或重要的技术方针。

1. 开展环境影响的预测评价

1969年美国首先把“环境影响预测评价”制度列入《国家环境政策法》中，规定对拟建

中的有环境影响的工程计划，包括对各种不同的开发方案或不同的环保措施作出环境影响评价、预测和选择，并要求编写环境影响报告EIS (Environmental Impact Statement)。这项以预防为主来协调人类活动与环境保护之间关系的措施，受到国际上的普遍重视。许多国家，如瑞（典）、新、澳、法、日、英、加、西德等都在推广它。在环境影响评价中，常常需要模拟大气中水体质量的变化规律、还需要相应的质量评价与计划方案选择的方法。

2. 开发无污染工艺，实行闭路循环或废物资源化

消除污染、改善环境质量，根本问题在于搞好污染源的防治。工业上采用无污染或少污染的新工艺，有时往往也是低成本、少消耗的工艺。例如，国外大力发展的煤的加压气化技术，既减少煤的直接燃烧所产生的灰尘和二氧化硫，又因提高了热效率而可能补偿加压气化的投资，因此它是今后经济发展中一个带方向性的问题。在农业上，利用生态规律代替或减少昂贵的化学药物既能促进生产又有利于环境保护，例如联合国正在大力提倡推广澳大利亚依靠畜牧业进行生物固氮的作法，这样可以提高地力又减少化肥的用量和危害。

对工业生产中流失的物料和水，采取闭路循环和回收处理，从整体上看也往往可能比目前传统的生产工艺更为经济。对此许多国家极为重视，把它看作是水污染防治的首要环节，并进行了各种污染源流失系统的技术经济分析，不断提高了物料的收得率和水的回用率，大幅度削减了物料的流失量。例如，美国造纸工业每吨产品流失的总悬浮固体和BOD的量已控制到5~20和5~10公斤（我国目前为100~200和60~300公斤）；美国的制革行业，每吨产品流失的悬浮固体和BOD的量分别为5~5.8和4~4.6公斤（我国目前则为60~100和60~70公斤）。又例如瑞典每生产一吨纸浆，在废水中流失的BOD₇，1969年为20~25公斤，1972年降为4~5公斤，而1980年则仅为1~2公斤。

3. 开展区域综合治理

这是治理环境污染的重要发展和当前的趋势。区域综合治理是在某个区域或某个水域范围内，按照当地的生态条件和环境质量目标，统一地全面研究各种治理措施与方案，寻求其综合的最优（或准优）方案。例如，许多发达国家在治理河流污染过程中，对一个区域水污染控制系统，研究了水体自净能力、污水输送与处理的规模、污水处理的去除率这三者的相互制约关系，应用了费用最小的水质规划，取得了明显的成果，说明比传统的由排出口进行污水处理的做法经济合理。譬如，1972年美国 Converse A.Q对新英格兰州Merrimack河的区域

污水处理系统进行了“最优”规划。得出如图1—1所示的结果，说明该区域内设立4座集中污水处理厂最为经济，它比分散为18座就地污水处理厂的方案节省40%以上的费用。又例如，日本从1965年以后，由原来以改进排水处理设备为主转向以建立区域污水处理系统为主，全国划分为54个管理区，每个区域内对它的污染源、下水道和中心处理厂群作为一个系统，采用系统分析的方法进行规划，至1976年已建立了29个这样的污水处理系统。这种按区

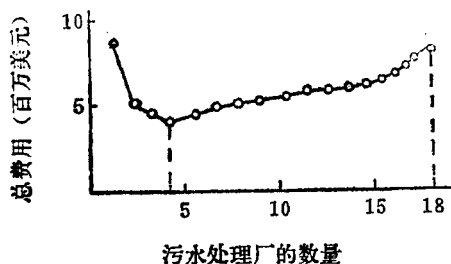


图1—1 Merrimack河的污水处理厂规划结果

域综合治理所规划的系统，以15年发展计划而言比过去分散局部处理的系统可节省20%以上的费用。

4. 加强环境管理，研究环境保护与经济协调关系

由于环境污染所造成的损失是很大的。据美国环境质量委员会的估算,美国在1971~1976年期间因污染所造成的损失达到3000亿美元;相当于每年损失500亿美元;同时,控制污染所需要的投资也是很大的,美国在1971~1976年的总投资为1050亿美元,相当于每年投资180亿美元,它占1975年美国国民经济生产总值的1.5%,今后十年内如按高的环境污染控制标准估计则年投资还将增加到280亿美元以上。因此,有的经济学家指出“环境问题已引入经济理论领域,新的经济理论应面向资源、面向环境”。

目前一般人们都看到并基本同意,环境目标与经济发展目标是互相影响、互相依赖的。现在面临的问题是如何来协调这两个复杂的关系,应当和如何解决有关的原则、方法和措施?

首先,国际上普遍认为:由于发展经济所引起的环境破坏、造成的社会代价应由“污染者支付”,并认为这一原则应当法律化,以便促进企业改善环境。1974年联合国环境规划署(UNEP)在墨西哥召开的讨论会指出:“在全面了解环境变化过程、维护环境自净能力和合理利用资源的原则下,通过环境管理能够解决人类面临的最大挑战——经济发展和环境保护问题。所谓环境管理,也就是协调经济发展和环境的容量这两个目标的过程”。

为了解决上述问题,除了要对生产和消费方面指明节约资源、不破坏环境的具体的可供选择的办法(包括:技术、过程、实践和产品)之外;还必须要有适当的方法来估价各种可供选择的办法,确定它们在发展上和环境上的收益和费用,以便于作出实现对环境无害的发展的决策。因此,当前国际上正在探索和研究如何把广泛的损益分析用于环境保护和环境改善措施的方案研究并进行评价和分析。

最后,还必须有适当的组织机构,在选择符合人民最大利益的办法方面,作出决策和采取行动(包括环境立法和各种奖惩制度)。这里需要强调的是,1975和1979年联合国召开的两次国际讨论会都指出:“应当对人类的总资源(包括天然的和人为的)进行最优化的管理”“应当在制订经济发展规划时就考虑生态平衡的问题,就把环境作为经济发展中的一项积极因素来考虑,并把它纳入到开发计划之中,而不是不予考虑或只作为像防止污染的消极因素来被动应付”。这一点反映了当前工业发达国家对解决环境问题的新的倾向,也是环境管理上的重大问题。

三、认识和方法

从人类历史的经验教训中可以看出环境污染的形成及其控制都不是孤立的,它们实际上是在当代技术经济条件下,人类活动与生态平衡、经济发展与环境质量、污染物排放与环境容量、生产工艺与污染治理、废物回收与处理、人工处理与自然净化、以及各种处理过程之间等等一系列关系的综合协调和失调问题。如果避开这些相互关联因素所组成的环境问题的整体,而只是局部地、片面地去考虑问题、头疼医头、脚疼治脚地去处理问题,往往会是无济于事,甚至适得其反。国际上一些“环境悲观论者”的悲观论点多半也正是以这种非系统处理环境问题的某些现状为背景的。然而,环境污染控制过程中客观存在的种种相互制约关系,以及系统论的思想和现代系统工程方法的发展都促使许多人去系统地研究环境问题,并取得了显著的成果。在这种背景下,廿世纪六十年代后期,环境污染的控制进入新的综合防治阶段。由于这个时期提出了许多综合性很强的问题,过去所使用过的比较狭隘孤立的、以定性判断为主的方法已经不能适应这种要求了。更为迫切地需要提供一种能够定量描述环境系统及其各个组成部分,从而能把该系统从技术经济和环境效果上求得整体最优化的方法。这样,已经发展起来的系统工程学这门新的学科比较迅速地在环境保护工作中得到应用。仅

仅十几年的时间，环境系统工程的研究发展非常迅速，在水污染控制和大气污染控制方面取得了较为显著的效果。例如，国际上著名的河流如美国的特拉华河（Delaware）、威拉米特河（Willamette）、和威斯康星州的福克斯河（Fox），英国的泰晤士河（Tames）和特伦特河（Trent），加拿大的圣约翰河（Saint John），西德的乃卡河（Neckar），法国的圣诺曼提河（Seiene Normandy）等，在其污染控制的规划和治理过程中，都运用了系统工程学的方法，都研究和应用了水质的数学模型来模拟、评价和预测污染的现状以及各种治理方案，并运用优化的方法寻求最佳的治河方案。这种系统分析的结果不仅具有重要的经济价值，如前已提到的美国 Merrimack 河的区域污水处理厂比完全分散处理的方案节省费用 40%，美国特拉华河的费用最小治理规划比传统的均匀处理费用节省 20%。并且还为管理和规划提供了比较系统又很重要的信息，以便在此基础上作出比较切合实际的决策。如美国威拉米特河在系统分析中提供了各河段溶解氧降低 0.2mg/l 时将对费用产生的影响值，这就为合理选择水质标准提供了重要的依据；西德内卡河是一条入海的河流，在水质模拟中提供了这样一种资料：虽然在排污口设了污水处理厂，但在该河的下游溶解氧仍达不到 4mg/l 的要求，这一定量计算结果说明本来不经处理的污水排入河中以后在 5 天内就入海了，此时在河中不发生硝化作用，有了处理后，因停留时间增加，污水中含氮有机物由处理厂排出后就在河中硝化，由此引起河中氧的继续消耗，因此规划中提出在沿河的某几个污水处理厂内进行污水的硝化处理，显示了数学模拟的效用。

第二节 环境系统的组成结构

一般来说,环境可分为自然环境、生物环境和社会环境。环境可以理解是人类赖以生存和发展的所有要素及条件的综合。它对人类起着作用,而人类的活动又影响着环境。当人类对自然环境及其固有的发展变化规律缺乏足够的正确认识时,人类的高度技术文明使人类活动与生态平衡,污染物排放与环境容量,经济发展与环境质量等一系列关系发生失调,造成了环境的污染和破坏。环境问题可用图 1-2 说明。

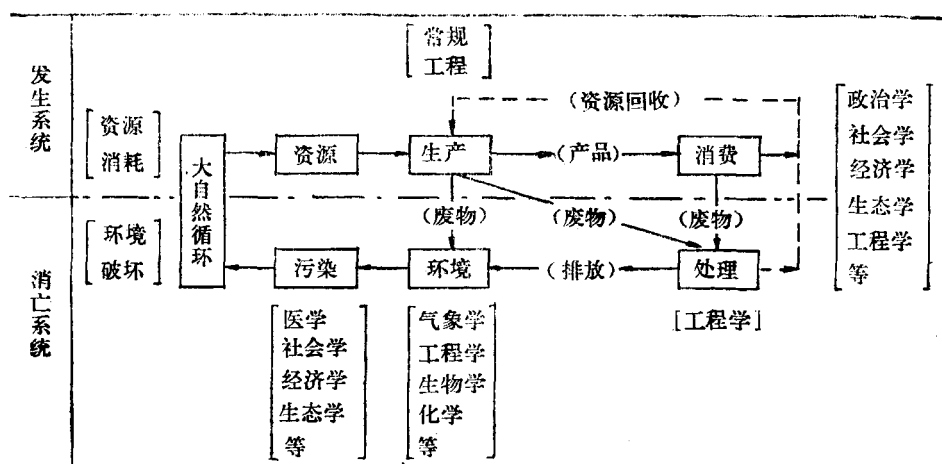


图1-2 环境问题整体图

若把人类环境问题看作是一系列相互作用、相互联系、互有因果关系的子系统所组成的大系统，每个子系统又分为若干个分系统，它们的组成情况可用图 1—3 说明。

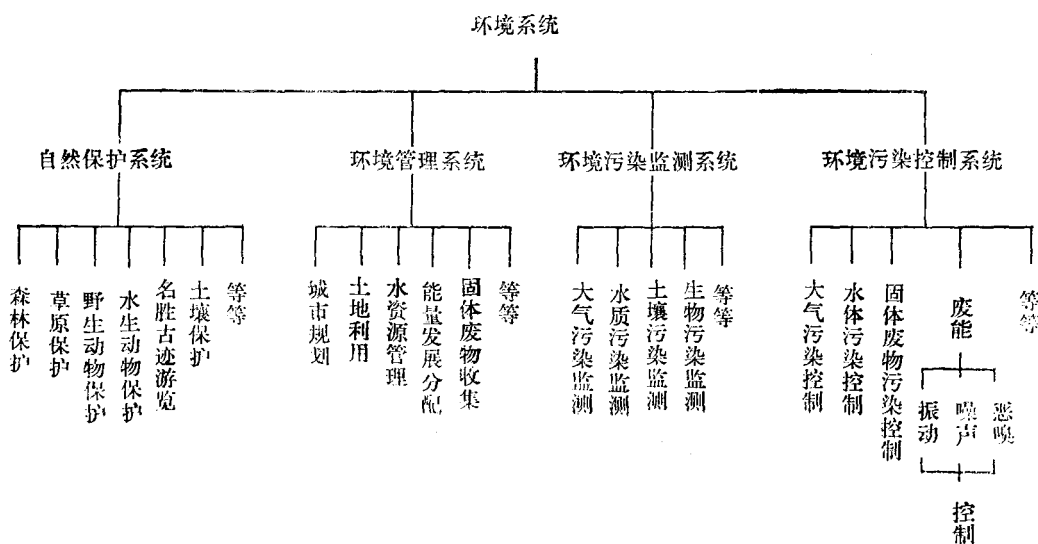


图1—3 环境系统的各种子系统

从图1—3可以看出要消除或控制环境污染，不外乎有三个途径：

- (1) 减少从资源生产到环境污染这一过程的物质流和能量流。办法是：改革生产工艺、减少生产量和减少人口。
- (2) 改革生产流程。采用图中所示的资源回收和闭路循环。
- (3) 减少污染影响的程度。办法有：提高废物处理的效率、合理规划综合治理（包括合理利用环境的自净能力）。

为了经济有效地控制环境，可以把上述控制途径与各种环境过程分别综合成一个环境污染控制的系统进行整体的分析研究。这种环境污染控制系统，既可以按环境保护的不同对象（或不同资源）来区分，如水体、大气、固体、土壤噪声等污染控制系统；还可以随研究的目的和范围的不同而区分为：污染源排放系统，三废处理系统，环境稀释自净及其污染控制系统，区域环境规划管理系统以及城市生态系统等。下面由小到大列举几个有代表性的环境污染控制系统的组成及其结构。

污染源排放控制系统（图1—4）

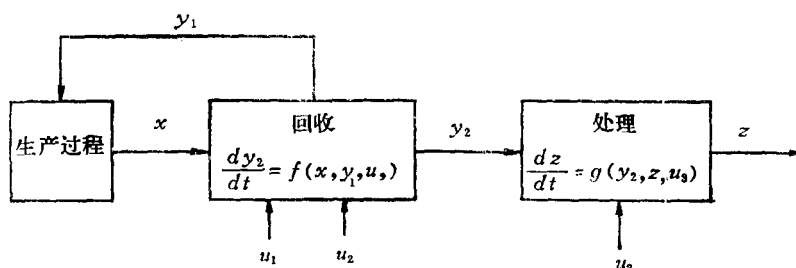


图1—4 污染源排放控制（回收—处理）系统

以工厂使用某种溶剂后排出废溶剂为例。单从生产有利（产生“正效果”）出发，常规的作法是只在废溶剂浓度高于 y_1 时才考虑其回收利用，即按 y_1 来定量设计和控制回收装置。现在为了使最后流失的废溶剂浓度不超过规定的标准 Z ，当由回收装置排出的排出液浓度 y_2 （ $y_2 < y_1$ ）高于排放标准 Z 时，就要增添处理废溶液的装置（产生“负效果”）。应当把这两种效果联合起来考虑。即，在最后排出液浓度不超标的条件下，求得新的最经济的 y_1 设计控制浓度，依此来设计和控制回收装置和处理装置（决定相应的设计变量 u_1 、 u_2 和 u_3 ）。

环境稀释自净及其污染控制系统（图1—5）

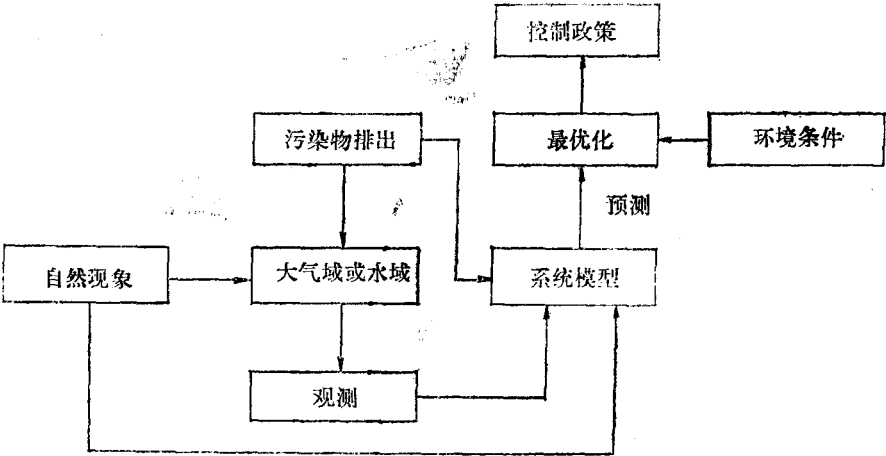


图1—5 大气域或水域污染控制系统

图中的系统是对大气污染或水体污染的控制系统。从人类活动系统所排出的污染物以“负效果”输入本系统引起大气或水体状态的变化，将由自然现象（气象或水文）状态所观测的结果代入环境系统的模型，预测未来的状态，再用这种预测的结果来规定合乎环境标准的最优（或准优）的控制政策，以控制人类活动的输出。

城市环境系统（或城市生态系统）

图1—6是一个十分庞大的系统。组成该系统的子系统有自然环境的水域、大气和土壤，

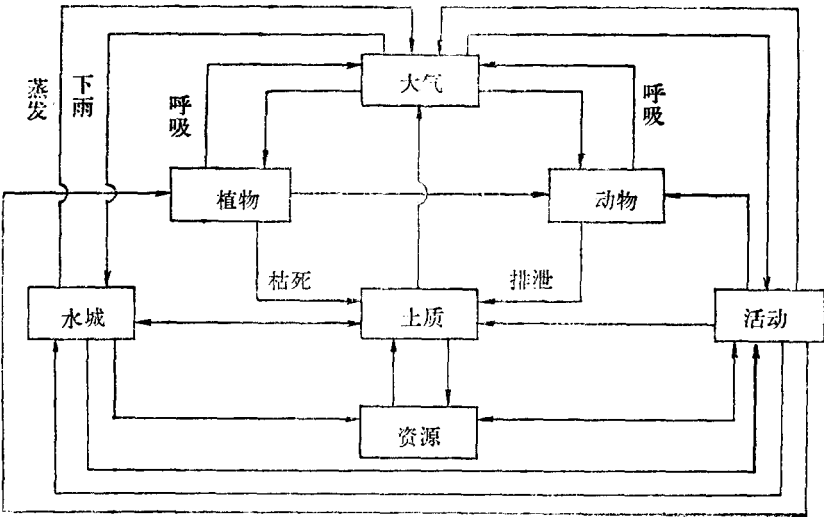


图1—6 城市生态系统

动物和植物、资源以及人们的工农业生产活动、消费活动和污染防治活动。对此系统进行分析的目的之一是在该城市各种自然条件下，如何最经济地把工农业活动（或连同污染防治活动）控制成不破坏城市生态动态平衡的状态。

从以上所列举的环境系统的组成及其结构可以看出，环境系统（或环境污染控制系统）是一个庞大复杂的有机综合体。它具有多级递阶结构的，多输入、多变量的，在时间、空间和数量上都具有随机性和不确定性的以及多目标的特点。同时，它也是动态的、周期性很长的、开放性的系统。它不仅涉及到自然科学，还涉及到组织、管理、教育、经济、法律、政治等广泛的上层领域，包含着深刻的社会性。

为了维护和提高人类的生活质量，使人类更好地生存和发展，就应该对这个大系统及其各个组成部分作出尽可能准确的概括描述，并通过现有的某些规律和假想条件来预测将来的变化和发展，使人类的活动与整个生态系统相协调。

第三节 环境系统工程

一、环境系统工程的任务、内容、方法和特点

环境污染及其控制问题可以是各种各样的。但是从“系统论”的观点来看，各种环境问题都组成一定的“环境污染控制系统”。这种系统是由若干个相互区别又相互联系的环境污染及其控制的过程按一定方式所组成的，处于一定的外界环境约束之中，为达到总的污染控制目标而存在的有机整体。环境污染控制系统整体的功能（或效应）并不简单地等于各个组成过程功能的机械叠加，而是由组成过程与目标之间相互作用来决定的。因此，系统的整体效应是最重要的。系统内各组成过程及其相互联系要服从系统整体的目标和要求。

环境系统工程的任务是从系统的观点出发，跨学科地考虑问题，运用系统工程的方法，应用现代数学和电子计算机等工具，寻求环境问题的总体获得最优化的控制。也可以说环境系统工程就是有效、满意或最优地规划、设计管理、运行“环境污染控制系统”的工程技术。

环境系统工程研究的主要内容是环境污染控制过程和系统的模型化和最优化。为了把环境问题作为一个总体系统来研究，首先，需要在大量的问题中分清所存在的基本问题，把注意力集中到有限的范围内，一方面要尽可能地把复杂的问题简化，另一方面又要保留系统的足够信息，保持问题的基本特性不变；同时必须定量地来表达这种环境污染控制系统的基本特性，建立起能代替系统进行分析的数学模型。然后，在一定的约束条件下（譬如规定的环境质量要求）对各种污染控制过程的可调因素，调到使系统评价功能的数值为最佳（譬如污染控制的总消耗费最小）。

数学模拟是解决环境系统工程定量问题所不可缺少的手段。由于环境系统的庞大复杂，我们很难用倾倒大量污染物或停止排放污染物的办法来试验环境的抗污或自净能力和污染物的迁移转化规律。用缩小比例尺的实物模型的模拟试验方法则不仅要消耗大量的人力、物力，而且在技术上除了模拟局部的水文、气象特性外，在模拟环境质量的变化上难以达到相当的真实性的。因此国际上对数学模拟水污染与大气污染给予了普遍的重视，认为它是一种省钱、灵活可以得出相当真实性的以提供规划预测的依据和手段。这种非实物的数学模型，往往要在计算机上进行试验分析和求解，最后配合必要的现场和实物模型试验加以验证，从而建立起能代替真实系统的模型。根据推导方法的不同，环境数学模型可以区分为理论模型和

经验模型两大类型。理论模型（或称现象模型）是把系统中所包含的现象，根据物理、化学和生物学的各种定律以及环境中污染物迁移转化的过程原理，按照数学知识和边界条件推演出的数学方程。经验模型也称黑箱模型，它不考虑系统内部的变化过程，直接从系统的输入和输出的实测数据通过统计回归来建立其定量关系。由此建立起来的经验模型，只能在实测数据的条件和范围之内才能应用。由于环境系统比一般的化学装置和机械装置要复杂，其变化过程不仅有物理、化学现象，而且也常常包括生物学现象，要完全确定地阐述环境现象是很困难的。目前用得最多的水质数学模型是介乎上述两者之间的属于“灰箱”类结构。即对理想的现象模型，按照实用的目的作出各种简化和近似，并往往还引入某种由现场实测数据统计所得的经验公式作为部分补充。

环境系统的评价、调优与决策是研究环境污染控制系统的出发点和归宿。其中经济评价往往是主要依据。为了优化决策常常要使用某种最优化的方法，这里可以分为两种方法：直接最优化或间接最优化，间接最优化，也称为解析最优化，它是把过程对象用现象模型表达，然后用数学解析方法求出最优解；或是通过大量试验实测数据回归出的函数，再求其最优解。鉴于环境污染控制问题的复杂性，要把它简化为单目标的目标函数关系式，存在着许多困难，因此往往难于采用间接最优化方法求解。这时可以采用直接最优化方法，即直接通过各种方案和可调因素的模拟计算，对比其环境效果与费用而作出决策，这种方法虽然不能得到数学解析或数学规划法所求得的“最优解”，但也能求得实用满意方案或合理方案。

逻辑思维（或方法论）是研究人类正确思维法则的科学，它在系统工程中比其它技术领域显得更为重要。系统工程学的方法论指的是：把逻辑学与各种对立统一的概念有意识地系统化，形成“工程逻辑”。如抽象、概括、比较；综合和分析；归纳和演绎；原因和结果；内容和形式；偶然与必然；质和量的分析等等。方法论的研究和应用对于环境系统工程也是很重要的。可以用图1—7和图1—8来说明环境系统工程的方法和程序。环境系统工程方法论的关键在于能否从客观庞大复杂的系统中抽象出目标和条件的数学模型，并求出适当的答案。

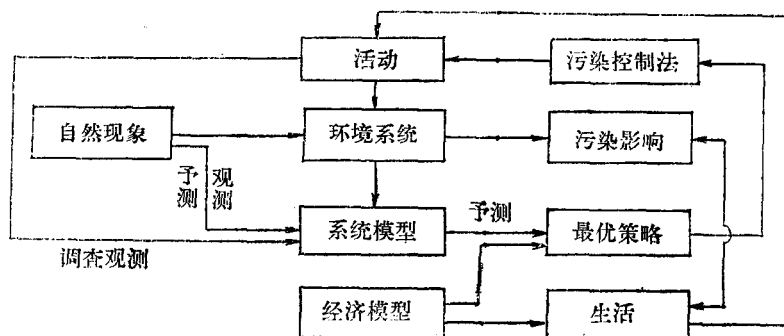


图1—7 环境系统工程方法论

电子计算机的应用，使求解大量联立方程和模拟计算求优成为可能。这也正是环境系统工程的必要手段。人机系统的合理配合也是环境系统工程的技术内容之一。

综上所述可以看出，环境系统工程学具有全局性、关联性、最优性、综合性、软科学性和实践性等几个特征。它基本属于环境科学的应用科学范畴。同时，它又是社会学、法学、经济学、工程技术、医学等的统一体。

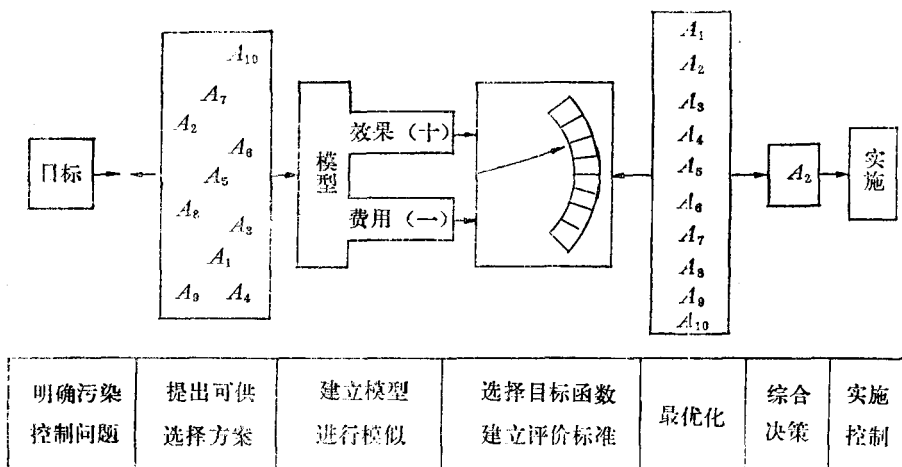


图1—8 环境系统工程的工作步骤

总结起来，“环境系统工程”可大体概括为：以环境质量的变化规律、污染物对人体和生态的影响、环境自净能力以及有关环境工程技术原理为依据，运用系统工程学的理论和方法，研究如何建立起一个合理的环境污染控制系统的数学模型，并研究如何利用它来分析各种污染控制过程可调因素（或各种可替换的方案）对环境目标或费用、能耗等的影响，提供尽可能完整的资料，以便作为决策者规划、设计、管理环境问题以及预断评价环境影响和合理制订环境目标的依据。

二、环境系统工程学的基础理论

环境系统工程学的基础理论应该由环境科学和系统工程学这两方面的基础理论所组成。

环境科学可以认为是研究环境质量与人类活动间相互关系以及研究环境质量的保护、控制、利用和改造的科学技术管理体系。它不仅涉及到自然科学的许多范畴，也涉及到社会科学的范畴。其中环境物理学、环境化学、环境生物学、生态系统学可以作为其理论基础，而人类生态系统学又是它的核心。环境科学体系中的一些基本理论和方法。如：控制环境污染的原理和方法，环境质量评价的原理和方法、环境区划和规划的原理和方法，环境经济和法律的原则和方法，环境毒理学和环境标准制订的原则和方法以及人类生态系统的结构功能及其演变规律等对于环境系统工程来说是其重要的基本理论和原则。

系统工程学是在系统论、控制论、信息论、运筹学、管理科学和计算机科学等基础上发展起来的一门科学。也是利用这些理论和方法解决系统问题并尽量使系统优化的科学。所以，这些就是系统工程学的基础理论。这些理论和方法互相渗透、互相影响。例如控制论就是利用信息反馈原理进行自动控制的；而自动控制中又经常采用运筹学的一些方法使系统达到最优化；运筹学也常用到控制论原理和信息理论；信息理论又是在控制论的基础上产生的，这三者是互相补充而发展的。

运筹学是系统工程学的起源和主要基础。其特点是用来处理全系统的运用问题和子系统的运用问题，并使运用方式不影响系统本身的完整性。环境规划管理决策问题常常涉及到运筹学中的规划论，博弈论，图论等理论和方法。如水质或大气质量模型建立后，可用数学规划法（有线性规划、动态规划、非线性规划等）来求出各排污口的最佳削减量；用图论方法可建立管理结构模型，环境经济决策树模型。环境监测、大气污染源控制等需要采用网络

理论。其他如极大值原理、优选法、决策论等在环境系统中也有众多的应用。

目前控制论在环境问题上的应用主要有对环境系统进行分析,进行识别与模型化,进行控制等三个方面。由于环境问题有很强的非稳态特性,对此很难用一般数学规划求解,需要用控制论中的反馈控制等方法来求解,这方面国外正在发展之中。由于环境系统的复杂、多层次、带有很多不确定性。因此大系统理论具有特别重要的意义。环境系统的多级递阶结构,环境系统的分解、协调和规划,环境系统数学模型的建立和简化,环境系统的仿真方法、分析方法、信息传递和处理以及环境系统状态估计等都属应用大系统理论的范畴。其次模糊理论十分适合研究环境分类、环境质量综合评价及识别等方面。此外,由于环境系统的因素众多,因此有关多目标的规划方法和决策方法是有重要的实用价值的。

由于电子计算机具有容量大、能贮存、速度快、无差错的特点,因此它已成为环境质量评价、模拟预测和规划决策中不可缺少的工具,是环境系统工程的组成部分。

环境系统工程正在逐步成为不同学科的科技工作者们,共同研究和应用于规划、设计、管理、控制环境问题的重要手段。它们的应用也将有助环境系统工程学本身的建立和发展。