

# 环境系统分析原理

耘羣文隨的羣耘耘羣栽粵蘊奈再栽酒耘杂粵羣蘊再栽隕耘凍嶺匯再

摇摇赵全升摇摇李摇摇悦

摇摇编著

谢新民摇摇魏永富摇摇杨天行

地 质 出 版 社

· 摇北摇摇京摇摇 ·

## 内 容 提 要

本书比较全面地阐述了有关环境系统分析的基本理论和常用方法。论述了在人类活动影响下污染物在环境系统中的迁移转化规律。以环境系统数学模型、环境系统规划及预测等原理及方法为重点内容。本书既有理论和方法方面的论述，又有应用实例及算例。

本书内容丰富、层次分明、结构合理、简明实用。可作为高等院校环境科学与工程、水文水资源、水利水电工程等专业及其他相关专业本科生、研究生的教材或教学参考书，也可供有关科技人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

环境系统分析原理 赵全升等编著 北京：地质出版社，2005

地质出版社

ISBN 7-116-04111-1

I ①环 Ⅱ 赵 Ⅲ ①环境系统 ②系统分析

IV ①X16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 041111 号

编辑：郭慧兰 校对：郭慧兰 责任编辑：郭慧兰

责任编辑：蔡卫东

责任编辑：郭慧兰

出版发行：地质出版社

社址邮编：北京海淀区学院路 29 号，100083

电话：(010) 64631111 (邮购部)

网 址：http://www.geopress.com.cn

电子邮箱：zhuang@geopress.com.cn

传 真：(010) 64631111

印刷厂：北京印刷学院实习工厂

开 本：787mm×1092mm 1/32

印 张：4.5

字 数：120 千字

印 数：1-1000 册

印 次：2005 年 1 月北京第一版·2005 年 1 月北京第二次印刷

定 价：18.00 元

ISBN 7-116-04111-1

(凡购买地质出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社出版处负责调换)

# 序

环境与发展是当今世界各国普遍关注的重大问题，尤其是自1972年在巴西里约热内卢召开了“联合国环境与发展大会”以来，各国掀起了研究“可持续发展”的热潮，人类对环境与发展的关系有了更新的和更深的认识。面对全球性环境污染和生态破坏对人类生存和发展构成的现实威胁，保护生态环境，实现可持续发展，已成为全世界紧迫和艰巨的任务。

长期以来，近代科学对客观世界进行“分割”的研究，在取得巨大成就的同时，也造成人们对客观世界认识的局限性和片面性，以致在实践中出现许多问题。在环境科学的初期发展阶段，以对人类与环境系统割裂地、片面性地认识来利用和改造统一的整体性的“人类与环境”系统，是产生环境问题不当认识的根源。随着环境科学研究的深入发展，对环境问题的认识也在逐渐深化。大量环境保护工作的实践又使人们认识到，要有效地解决环境问题，必须统筹兼顾，深谋远虑地处理好人类与环境系统的关系，使环境科学向更高层次发展。

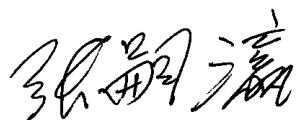
人类与环境系统的关系十分复杂，它是一个以人类为中心的生态系统。环境科学在初期发展阶段所形成的分化形态与其研究对象的整体性，越来越不相适应，这就促进了环境科学向整体化方向发展，其特点是强调研究对象的整体性。把人类与环境系统看作是具有特定结构和功能的有机整体，运用系统分析和系统组合的方法，对人类与环境系统进行全面的研究，是环境科学研究的必然发展方向。环境系统分析的理论和方法是将环境科学由初期发展阶段推进到整体化发展阶段的重要理论基础。环境系统分析将区域环境系统看成是一个大系统。它由一系列的多级子系统构成，各子系统有其本身特有的功能。它们之间相互协调形成区域环境系统的总体结构与功能。区域环境污染系统分析是对“污染源→环境→人群（生物）”的整个过程进行系统分析，即对污染物自污染源排出后，进入环境的途径、行为及其最后的归宿进行全面系统分析研究。对影响和制约这个系统的社会经济和自然环境因素进行科学的描述，建立污染物在环境系统中的输入、输出模型，以及在各环境要素间的传递模型，实现区域环境污染系统分析的定量化和模型化。通过环境系统分析，规划设计出高效的“人类与环境”系统，并随时把它调控到最优化的运行状态。

该书作者在长期的科学研究和工作实践的基础上，对国内外先进的、可用于环境系统分析的理论与方法进行了比较系统的研究和介绍，对各种方法的使用条件、优缺点等进行了比较全面的分析，并配以较多的例题加以应用。该书从理论、方法到实际操作的阐述十分清楚，为读者熟练掌握和融会贯通地运用环境系统分析的理论与方法解决实际问题提供了便利条件。希望广大读者通过大量的实践工作，不断进行检验和

进一步改进、完善环境系统分析的理论与方法，推动我国环境科学事业的蓬勃发展。

为了人类社会的持久生存和发展，人们必须建立新的资源观、价值观和道德观，树立科学的发展观。以人类社会与自然环境的和谐发展为目标，以经济与社会、环境之间协调为发展途径，不断充实环境科学研究内容的理论与实践，将为实现人类新的文明时代——人类社会、经济与环境协调可持续发展的时代作出应有的贡献。

中国科学院院士



张辉  
2004, 10-20

# 前 言

当代科学发展的显著特点是加强跨学科的横向联系和多学科的相互渗透和交叉,因而产生许多综合性很强的跨学科性的新学科和向相邻学科逐渐过渡的边际性学科。环境系统分析这一学科的诞生和发展正体现了这一特点。

人类与环境系统的关系十分复杂。这是一个以人类为中心的生态系统。环境科学在发展阶段已初步形成的分化形态和它所研究对象的整体性,越来越不相适应。把人类与环境系统看作是具有特定结构和功能的有机整体,运用系统分析和系统组合的方法,对人类与环境系统进行全面地研究,是环境科学研究的必然发展方向。环境系统分析将区域环境系统看成是一个大系统。它是由一系列的多级子系统构成,各子系统有它本身特有的功能。它们之间相互协调形成区域环境系统的总体结构与功能。区域环境污染系统分析是对“污染源→环境→人群(生物)”的整个过程进行系统分析,即对污染物自污染源排出后,进入环境的途径、行为及其最后的归宿进行全面系统分析研究。对影响和制约这个系统的社会经济和自然环境因素进行科学的描述,建立污染物在环境系统中的输入、输出模型,以及在各环境要素间的传递模型,实现区域环境污染系统分析的定量化和模型化。对所建优化模型,选择适当的计算方法求解,使环境目标函数在规定的要求下达到最优。

全书共 缘章。第一章,环境系统分析概述,主要介绍系统、系统分析及环境系统分析等基本概念。第二章,地表水水环境数学模型,主要论述水环境水体污染物迁移转化规律和模拟预测方法。该部分主要包括水质迁移转化基本方程及其解、水温模型、河流水质数学模型、水库湖泊富营养化的模拟预测、重金属迁移转化模拟预测及水质模型参数估算方法等内容。第三章,地下水水环境数学模型,主要论述了地下水污染的数学模型及其解法,包括多孔介质中物质输运现象的基本理论、流体动力弥散方程的各种解析解法及数值方法等。第四章,环境系统规划,包括线性规划、目标规划、动态规划、非线性规划、多目标规划及层次分析法等。第五章,环境系统预测,包括回归分析法、数理统计法、模糊数学法、灰色系统法、人工神经网络模型及遗传算法等。

本书的第一、二、四章由赵全升、李悦、魏永富编写;第三章由杨天行、赵全升、魏永富编写;第五章由谢新民、李悦、魏永富编写;本书地表水水环境数学模型的部分内容主要参考了宰援金士博[德]、雒文生、宋星原、叶守泽、夏军、郭生练、陈小红等老师有关著作的内容;非线性规划的部分内容主要参考了刘肇祚、郭元裕、袁宏源、邵东国、郭宗楼、杨悦所、李寿声等老师有关著作的内容。全书最后由赵全升和李悦负责统稿。

本书的成果得益于“九五”国家重点科技攻关项目(怨怨怨怨怨怨怨)、国家重点基础研究发展规划(怨怨)项目、山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目及青岛大学学术著作出版基金的资助。另外,在本书编写过程中,参阅了大量的国内外资料、著作,吸收了同行们的辛勤劳动成果,并得到有关专家、同行的热情帮助,在此向他们谨表谢忱。

研究生纪书华、刘栋、张佃路、战昭君、吴美玲、聂丽曼、李静等为本书做了图件制

作和校核工作，张小园打印了全部手稿，在此向他们表示衷心的感谢。地质出版社蔡卫东先生对本书的书稿进行了十分认真的审阅和加工，使本书质量有明显的提高，在此表示深切的谢意。

由于环境系统分析涉及内容广泛，发展迅速，加之作者理论水平有限和实践经验不足，书中谬误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

张 小 园 远 月

# 目 录

序

前言

第一章 环境系统分析概述 .....	( 员)
第一节 系统与环境系统 .....	( 员)
一、系统 .....	( 员)
二、环境系统 .....	( 猿)
第二节 系统工程与环境系统工程 .....	( 猿)
一、系统工程 .....	( 猿)
二、环境系统工程 .....	( 源)
第三节 系统分析与环境系统分析 .....	( 远)
一、系统分析的基本概念 .....	( 远)
二、环境系统分析 .....	( 远)
三、系统分析的主要内容 .....	( 苑)
四、系统分析的基础理论 .....	( 苑)
五、系统分析的工作步骤 .....	( 愿)
第二章 地表水水环境数学模型 .....	( 怨)
第一节 水质迁移转化基本方程及其解 .....	( 怨)
一、一维水质迁移转化基本方程 .....	( 怨)
二、二维水质迁移转化基本方程 .....	( 员猿)
三、三维水质迁移转化基本方程 .....	( 员猿)
四、水质迁移转化基本方程的解析解 .....	( 员猿)
五、水质迁移转化基本方程的数值解 .....	( 员猿)
第二节 水体的温度模型 .....	( 员肆)
一、水体与大气之间的热交换 .....	( 员肆)
二、河流水温模型 .....	( 员肆)
三、湖泊、水库的水温模型 .....	( 员肆)
第三节 河流水质数学模型 .....	( 员肆)
一、河流一维水质模型 .....	( 员肆)
二、河流二维水质综合模型 .....	( 员肆)
三、河口一维水质模型 .....	( 员肆)
第四节 水质模型单一参数的估值方法 .....	( 员肆)
一、弥散系数 $D$ 的估值 .....	( 员肆)
二、河流水力学参数估值 .....	( 员肆)
三、耗氧系数 $K_1$ 的估值 .....	( 员肆)

四、硝化系数 $k_n$ 的估值 .....	( 235 )
五、复氧系数 $k_2$ 的估值 .....	( 235 )
第五节 摇水质模型多参数同时估值法 .....	( 236 )
一、概述 .....	( 236 )
二、斯特里特-费尔普斯 (Streeter-Phelps) 模型的参数估值 .....	( 236 )
三、托马斯 (Thomas) 模型的参数估值 .....	( 236 )
四、奥康纳 (O'Connor) 模型的参数估值 .....	( 236 )
五、多宾斯 (Dobson) 模型的参数估值 .....	( 236 )
六、水质模型参数估值方法评价 .....	( 236 )
第六节 摇水体重金属迁移转化模拟预测 .....	( 236 )
一、重金属元素在水环境中的污染特征 .....	( 236 )
二、重金属迁移转化的基本方程 .....	( 236 )
三、一维重金属迁移转化模型 .....	( 236 )
四、完全混合型水库湖泊重金属预测模型及其分析解 .....	( 236 )
第七节 摇非点源污染水质模型 .....	( 236 )
一、非点源污染的概念及特征 .....	( 236 )
二、非点源污染发生的机理 .....	( 236 )
三、非点源污染数学模型 .....	( 236 )
四、降雨径流污染负荷预测的经验公式法 .....	( 236 )
第八节 摇水库湖泊富营养化的数学模型及模拟预测 .....	( 236 )
一、磷元素在水体中迁移转化的数学模型 .....	( 236 )
二、混合型水库湖泊总磷数学模型及其分析解 .....	( 236 )
三、浮游植物质量平衡模型及其分析解 .....	( 236 )
四、总磷浓度与富营养化状态的统计相关模型 .....	( 236 )
五、罗伦珍模型 .....	( 236 )
六、氮迁移转化的数学模型 .....	( 236 )
第三章 摇地下水水环境数学模型 .....	( 236 )
第一节 摇地下水运动的基本方程及数学模型 .....	( 236 )
一、地下水渗流的连续性方程 .....	( 236 )
二、承压水三维流的偏微分方程 .....	( 236 )
三、潜水含水层地下水流的偏微分方程 .....	( 236 )
四、饱和和非饱和流的微分方程 .....	( 236 )
五、孔隙裂隙流微分方程 .....	( 236 )
六、定解条件 .....	( 236 )
七、定解问题的提法 .....	( 236 )
第二节 摇多孔介质溶质运移数学模型 .....	( 236 )
一、多孔介质溶质运移机制 .....	( 236 )
二、溶液中一种组分的质量守恒与对流扩散方程 .....	( 236 )
三、多孔介质溶质运移微分方程 .....	( 236 )

第三节摇解溶质运移模型的数值方法 .....	( 104 )
一、概述 .....	( 104 )
二、解流体动力弥散方程的有限元法 .....	( 105 )
三、参数确定方法 .....	( 105 )
第四章摇环境系统规划 .....	( 106 )
第一节摇线性规划 .....	( 106 )
一、线性规划问题及其数学模型 .....	( 106 )
二、线性规划模型的解法 .....	( 106 )
三、灵敏性论证 .....	( 108 )
第二节摇目标规划 .....	( 108 )
一、目标规划的概念 .....	( 108 )
二、评价函数 .....	( 108 )
三、目标规划模型 .....	( 108 )
四、目标规划模型的求解方法 .....	( 108 )
第三节摇动态规划 .....	( 108 )
一、动态规划的基本概念 .....	( 108 )
二、动态规划的基本原理 .....	( 108 )
第四节摇非线性规划 .....	( 109 )
一、非线性规划数学模型 .....	( 109 )
二、基本数学概念 .....	( 109 )
三、无约束条件的非线性规划 .....	( 109 )
四、有约束条件的非线性规划 .....	( 109 )
第五节摇多目标规划 .....	( 109 )
一、概述 .....	( 109 )
二、约束法 .....	( 109 )
三、线性加权法 .....	( 109 )
四、改进的线性加权法 .....	( 109 )
第六节摇层次分析法 .....	( 109 )
一、概述 .....	( 109 )
二、层次分析法的分析步骤 .....	( 109 )
第五章摇环境系统预测 .....	( 109 )
第一节摇回归分析法 .....	( 109 )
一、概述 .....	( 109 )
二、一元线性回归分析法 .....	( 109 )
三、多元线性回归分析法 .....	( 109 )
四、逐步回归分析法 .....	( 109 )
第二节摇数理统计法 .....	( 109 )
一、自回归模型 粵( 粵 ) .....	( 109 )
二、滑动平均模型 粵( 粵 ) .....	( 109 )

三、自相关滑动平均模型 粵匯(責) 揀	(園)
四、随机模型的应用分析	(園)
第三节 模糊数学法	(園)
一、模糊模式识别法	(園)
二、模糊聚类分析法	(園)
三、模糊综合评判法	(園)
第四节 灰色系统法	(園)
第五节 人工神经网络模型	(園)
一、基本概念	(園)
二、神经网络	(園)
三、神经网络 算法	(園)
第六节 遗传算法	(園)
一、基本概念	(園)
二、简单遗传算法 (粵)	(園)
三、 定理	(園)
四、选择方法	(園)
五、交配和突变	(園)
六、编码与译码	(園)
七、收敛判据	(園)
八、高级遗传算法 (粵)	(園)
参考文献	(園)

# 第一章 环境系统分析概述

## 第一节 系统与环境系统

### 一、系统

#### (一) 系统的概念

自 20 世纪 50 年代贝塔朗菲 (L. von Bertalanffy) 提出一般系统论以来,特别是 20 世纪 60 年代应用系统工程解决复杂问题取得重大成功以来,系统思想与系统方法广泛地渗透到各学科领域。系统的概念是随着人类社会生产实践逐渐形成并发展起来的。简单地说,系统思想与方法的核心是把所研究的对象看作一个有机的整体(系统),并从整体的角度去考察、分析与处理事物。

关于系统的定义,目前有多种提法,尚无公认的统一结论。据不完全统计,现有的系统定义将近 100 多种。这些不同提法的出现一般是有各自不同的背景,以不同技术领域的特定内容作为定义的依据,各自反映其特殊技术领域的特征。但是,这些不同的定义又有其相同之处,都力求抽象地概括系统这一术语的内容。尽管系统定义的提法较多,但是在实质上都是指一个由多种元素构成的整体。我国著名科学家钱学森提出的定义是:“把极其复杂的研究对象称为系统,即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成具有特定功能的有机整体,而且这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分”。

#### (二) 系统的类别

在自然界和人类社会中,系统是普遍存在的。从不同的角度出发,可将系统分成不同的类别,大致可分为三类:即自然系统、人工系统和两者组合起来的复合系统。

##### 1. 自然系统

自然系统是由自然物质所组成的系统。如太阳系、银河系、宇宙系和生物系、生态系统,以及微观的原子核系统等。

##### 2. 人工系统

人工系统是为达到人类需求的目的而人为地建立起来的系统。例如:生产、交通、水利、电力、教育、经营、医疗等系统。一般可包括三种类型:一是由人将零星部件装置成工具、仪器、设备,以及由它们组成的工程技术系统;二是由一定的制度、组织、程序、手续等组成的管理系统和社会系统;三是根据人对自然现象、社会现象的科学认识而建立的科学体系和技术体系。

##### 3. 复合系统

由人工系统与自然系统组合起来的复合系统也是广泛存在的系统,它们既有自然系统的特征,又具备人工系统的特性,如交通管制系统、航空导航系统、广播系统等人机系

统。

实际上，大多数系统是由自然系统和人工系统组合起来的复合系统，这类系统一方面要适应自然系统的内在规律；另一方面它又是根据自然系统的内在规律而创造出来的。自然系统和人工系统处在十分密切的组合之中，如环境保护工作中的环境污染监测系统和环境污染控制系统等。

### （三）系统的特征

系统一般具有如下特征。

#### 1. 集合性

系统由两个或两个以上可以互相区分的要素（或子系统）组成。实际工作中，系统常常是巨大而复杂的，这并不一定是在规模上庞大，而是由于非常多的要素作为它的组成部分，从而产生复杂的动作、程序和状态。一个系统常常是由若干子系统有机地结合起来的，子系统又由更小的系统构成，形成一个多层次的结构。

#### 2. 关联性

组成系统的各部分之间及系统与环境之间相互联系、相互制约和相互作用，就是系统的关联性。如果只有一些要素，尽管是多种多样的，若它们之间没有任何联系，就不能称之为系统。

#### 3. 目的性

系统的目的性是指系统都具有特定的功能，即既定的目的。人工系统的目的，有时不止一个，可能有多个，并与系统的结构层次相对应，系统作为总体具有一个总目标，各子系统也可分别具有各自的层次性目标。为了使各层次的目标均能按既定的意图得以实现，就需要一定的手段与方法，使系统的构造要素有机地协调动作，以达到系统功能的总目标。

#### 4. 整体性

系统具有整体性，是因为系统的各个组成部分构成了一个有机整体。各构成要素的独立功能及其相互间的有机联系，只能是在一定的协调关系之下统一于系统的整体之中。脱离整体性，各构成要素的功能及要素间的作用就失去了意义。

#### 5. 不确定性

系统具有不确定性，是因为系统中存在某些不能用确定性方法描述其状态的构成要素所致。这些组成部分的活动或者由于人的认识未完全掌握其准确的规律，或者由于活动本身带有一定的随机性，因而只能使用统计规律等手段反映其活动状态与进程，这就使系统带有不确定性。

#### 6. 环境适应性

任何系统不能孤立存在，而是存在于一定的环境之中，必定与外部环境发生物质的、能量的和信息的交换，以适应外部环境的变化，这就构成系统的环境适应性。能够经常与外部环境保持最佳适应状态的系统是理想的系统，不能适应环境变化的系统是没有生命力的。

系统的上述各特征，归结起来，一是系统本身，二是系统所处的环境。通常总是把环境对系统的作用和影响作为对系统的输入，系统对输入进行工作，产生输出。把输入转换成输出，就是系统的功能、系统的工作、系统的目的。因此，系统又可以看作是把输入变

圆

成输出的转换机构。

## 摇摇二、环境系统

人类生存的环境（自然环境、生物环境和社会环境）是一个大系统。它是由一定时空范围内的物理系统（岩石、土壤、大气圈、水圈）、生态系统（生物与非生物成分组成的循环动态系统）和社会系统等三个大子系统组成的。这个大系统称为环境系统。由于组成环境系统的三大子系统之间或内部不断地发生信息、物质、能量的交换。因而，它是一个具有多层次结构、多输入、多输出、多目标、多变量和随机性的巨大复杂的系统。每个大子系统又是由众多次级子系统组成的。

环境系统是一个非常庞大而开放的复杂巨系统，随着理论与实践的发展，环境系统变得越来越复杂，从系统分析的观点出发，环境系统的复杂性以及伴随着复杂性存在的模糊性，主要表现在系统的组成、系统的指标、目标和约束、系统的决策者等几个方面。

系统的组成。环境系统是由物理系统、生态系统和社会系统三个子系统组成的。每个大子系统又是由众多次级子系统组成的。例如，由技术系统、经济系统等一系列子系统构成社会系统，而技术系统又是由自然保护系统、环境管理系统、环境污染控制系统等一系列子系统构成的。各个子系统之间，具有相互作用、相互联系、互有因果的关系。层次和结构组成的复杂性，因素的众多，意味着层次之间、系统之间和各因素之间都存在着确定的及不确定性的信息和联系。

系统的因素。环境系统的复杂性不仅表现在因素数目的众多，还表现在其属性的多样性。有些因素如污染浓度等环境指标、治理费用等经济指标一般容易量化表达，为清晰性指标；而诸如生态影响、社会效益等指标难于完全量化，但可用语言形式进行描述，为非清晰性指标。同理，环境系统中的目标和约束也有清晰性和非清晰性之分。在许多实际问题中，目标和约束不是固定不变的，允许有一定的变化范围，且仍可以满足要求。

系统的决策。环境系统中的决策与决策者密切相关。在决策过程中，人的主观性对结果影响很大，所起的作用是不容忽视的，甚至是主要的。而人脑的思维、识别与判决具有模糊性。人脑能够从诸多因素中筛选主要因素，根据这些主要因素，联系以前处理类似问题所积累的经验的信息，结合自己的认识，进行一系列推理与判断，最终得到正确的判决结果。

总之，对于环境问题要从物理、生态和社会系统的三者结合上来认识，把这三个大子系统当成一个有机的整体来研究，才能找到解决环境问题最有效的方法。

## 第二节 摇摇系统工程与环境系统工程

### 摇摇一、系统工程

#### （一）系统工程的定义和特点

系统工程是一门新兴学科，目前还缺乏一个公认的定义。不同领域的学者，从各自的背景和不同的观点出发，对系统工程有不同的认识，提出不同的定义。

1974年《美国科学技术辞典》对系统工程提出的定义是：“研究许多密切联系的单元

所组成的复杂系统的设计的科学。在设计时，应有明确的预定功能及目标，并使各组成单元之间以及各单元与系统整体之间有机联系，配合协调，从而使系统整体能够达到最佳目标。同时还要考虑系统中人的因素与作用。”

美国切斯纳茨（~~亨利·切斯纳茨~~）对系统工程提出的定义是：“把各种结构特殊的要素和从属功能构成的系统作为一个整体。目的在于对系统进行调整，使系统整体符合于目的，使系统内部各部分保持在最佳状态。”

从几个有代表性的提法中，可以看出系统工程有如下特点：

① 全局性（又称整体性）。即系统工程总是从全局整体出发，统筹兼顾，而不是从某一个局部、某一个指标来思考和解决问题的。

② 关联性。系统工程研究问题都是要全面深入地考虑系统各部分之间和各因素之间的相互联系和相互制约的情况，并且要用明确的方式（如方程式）表达出来。

③ 最优性（满意性）。系统工程所研究的问题都是最优化问题，如果是多目标决策问题，则要寻求满意解。

④ 综合性。系统工程研究问题总是要求尽可能全面，要考虑经济、技术、政治、环境等多方面的因素，要应用基础数学、运筹学、经济学和各种有关专业知识，需要各方面的专家参加协作等。

⑤ 定量性。系统工程是定量的科学，应用系统工程研究问题，都要进行定量分析，即使有的难于直接或明确定量，也得设法借助其他办法加以定量，而模糊决策、灰色系统和专家评估就属于这类办法。

⑥ 实践性。系统工程非常强调实践，如果离开了具体系统的决策实践，也就谈不上系统工程。当然强调实践，丝毫不排斥对系统工程基本理论的深入探索。

## （二）系统工程的原理

系统工程学是系统论、控制论、信息论、运筹学、电子计算技术以及其他有关工程学科，融合渗透而成的一门综合性管理工程技术。它的任务除了系统的最优规划、最优设计和最佳运行及现代化的组织管理技术之外，还包括各个系统未来技术和状态的预测。

从系统工程的定义可以看出，它是一大类工程技术的总称，而不是单一的学科，它的基础学科是 20 世纪下半叶逐渐形成的以研究系统理论为主要内容的系统科学。系统工程的原理是以系统科学原理为依据。系统科学原理范围比较广，除了整体性、相关性原理以及分解综合性原理以外，还有动态性原理、创造思维原理和反馈原理等。动态性原理是研究系统元素间的联系随时间的变化。创造思维原理是研究如何运用已有的知识辨别和解决陌生的事物，以及如何运用新的方法和原理研究已经熟悉的事物，从而创造新的理论。反馈原理是研究将输入经过处理后的结果（输出）再送回输入环境，从而又对输入产生影响的过程。

## 摇摇二、环境系统工程

### （一）环境系统工程的定义

系统工程以其既定的理论和方法，与各对象的实践相结合，就形成各种各样的系统工程领域，如农业系统工程、水资源系统工程、环境系统工程、社会系统工程等。这些不同的系统工程，其不同点在于各自的具体对象不同，其共同点则是运用系统工程的理论和分源

析的方法去研究问题。

如果系统工程方法用于研究环境系统上就称为环境系统工程。或者说，环境系统工程是对环境系统进行合理规划、设计和运行管理的思想、组织和技巧的总称，也是系统工程的一个专业门类。

环境问题具有跨领域、多系统、多层次、多因素的特点，它涉及社会领域、工程领域、经济领域、生态领域等。环境系统工程是以“人类的环境”系统为对象的，以研究和寻求系统总体最优为目标的多学科的边缘科学和科学方法。根据研究的目的，环境问题又可分为不同的系统，如自然环境保护系统、环境管理系统、环境污染监测系统、环境污染控制系统等。每个系统可分为若干个子系统，每个子系统又可分为若干个分子系统。

## （二）环境系统工程的理论基础

系统工程是在许多学科的基础上发展起来的一门边缘学科，它本身涉及应用数学、自动控制理论、电子计算技术、管理科学等。联系到具体研究对象，又涉及不同门类的工程技术，因此系统工程的领域具有多学科的基础。

前已述及，环境系统工程是系统工程方法在环境系统上的应用。因此，环境系统工程的基础理论应该包括系统工程和环境工程这两方面的基础理论。系统工程理论是在系统科学、控制理论、信息论、运筹学、管理科学以及计算科学等基础上发展起来的。这些就是系统工程的基础理论。环境工程的基础理论是环境科学。

环境科学是近年来新兴的一门介于自然科学和社会科学之间的边际学科。环境科学是研究“人类环境”系统。即人类为中心的生态系统的发生、发展、预测、调控、改造和利用的科学，其目的是探讨在人类活动的影响下，环境质量发生变化的规律及其对人类产生的后果，从而为改善环境和创造新环境提出科学依据。环境科学的主要研究内容是：探索全球范围内环境演化的规律；研究人类活动同自然环境之间的关系；探索环境变化对人类生存的影响；研究区域环境污染综合防治的技术措施和管理措施。因此，环境科学的基础理论不仅是自然科学，也涉及到社会科学。

## （三）环境系统工程的主要研究内容

人类与环境的关系主要是通过人类的生产和消费活动而表现出来的。人类的生产和消费活动也就是人类与环境之间的物质、能量和信息的交换活动。人类通过生产活动从环境中以资源的形式获得物质、能量和信息，然后，通过消费（生产消费与生活消费）活动再以“三废”的形式排向环境。因此，无论是人类的生产活动，还是消费活动无不受环境的影响，也无不影响环境，其影响的性质、深度和规模则是随着环境条件的不同而不同，随着人类社会的发展而发展的。我们就是要对这样的全过程进行系统研究，使大气、水域、土壤以及动植物等子系统不被破坏，而且达到生态系统动态平衡，这是研究环境系统的目的。

环境系统工程研究的主要内容，是从系统的观点出发，采取定量的，或定性与定量相结合的方法，建立环境系统数学模型，进行最优化计算，从经济、技术与社会各方面对环境系统作优化分析和评价，力求决策科学化。所谓系统的观点是指从全局、大范围、长时间、高层次和大空间来考虑问题。定量的方法是建立环境系统数学模型，并用计算机进行各种计算得到结论。定性方法是依专业有关理论对研究的系统加以评述、比较、推断、立论。定性和定量相结合的方法是既要运用专业理论和实际经验来分析问题，又要根据资

料、信息和数学原理建立环境系统数学模型。

### 第三节 系统分析与环境系统分析

#### 摇摇一、系统分析的基本概念

系统分析是从系统观点出发，应用各种技术方法，对系统进行定性和定量分析。它是从运筹学派生出来的一门实用学科，和运筹学相比，更适用于对情况比较复杂、不确定因素较多的系统进行分析。随着应用数学的发展和大容量、高速度电子计算机的出现，使系统分析发展到一个新的水平，目前已成为系统工程的基本处理方法。

系统工程依据其基本原理，形成了它自己特有的思考和解决问题的方法，一般称为系统分析或系统方法。这种方法的基本思路是从系统总体协调观点出发，优选方案确定措施，达到建立系统的目的。这就是系统工程的基本思想和基本方法，也就是完成系统的规划、研究、设计、建造、试验和运用的科学方法。

关于系统分析，至今尚没有一个统一的定义。一般认为，系统分析就是对一个系统内的基本问题，用系统观点思维推理，在确定和不确定的条件下，探索可能采取的方案，通过分析对比，为达到预期目标选出最优方案的一种辅助决策的方法。也就是说，系统分析就是为决策者选择一个行动的方向，通过对情况的全面分析，对可能采取的方案进行选优，为决策者提供可靠的依据。

#### 摇摇二、环境系统分析

环境系统是相互作用事件的集合，对这个集合的研究称之为环境系统分析。人类与环境系统关系十分复杂。环境系统是一个以人类为中心的生态系统。把人类与环境系统看作是具有特定结构和功能的有机整体，运用系统分析和系统组合的方法，对人类与环境系统进行全面的研究。环境系统分析是从全局出发，对现存“人类与环境”系统进行结构与功能性分析，把系统分解为结构单元和组成要素，把总过程分解为分过程，把总目标分解为阶段目标，以了解它们在系统中的地位和作用。系统组合则是在系统分析的基础上，为了研制更合理、更有效的新人类与环境系统而进行结构和功能性组合，将分过程组成总过程，把分目标合成总目标，把系统要素组成结构单元和整个系统，即集零为整。从整体观点出发，运用普遍联系和发展的原则，协调各子系统之间的关系，以寻求高效能的优化结构。

环境保护是一项复杂而且具有风险性的任务，它包括与人类活动密切相关的土地、水、大气和能源等方面的问题。环境保护的主要困难在于环境问题是各有关因素综合作用造成的。例如污水排入河流造成的水污染，就涉及到众多因素，如污染源、排放口位置及其排放方式、处理程度、排水管渠、河流水文情势和稀释扩散以及污染物对生态和人类用水的影响等。以上每一组成部分，虽然均能单独进行分析，而且通常也是这样做的，然而水污染问题却是水污染系统中各个因素综合作用的结果。

将环境问题作为一个系统来研究有许多显著的优点，这样做可以从整体上考虑问题，找出最有效的控制对策。例如在决策污水排放时，对削减污染源排放量、选择处理方法和远

处理程度、排放口位置以及河流水文情势等进行综合考虑，要比单独改进污水处理方法更为有效，也更为经济。以系统的观点解决环境质量问题，为取得最佳可行控制方案，以及制定有效的综合性管理对策开辟了广阔途径。

大系统理论是 20 世纪 70 年代发展起来的新学科。它是研究规模庞大、结构复杂、目标多样、功能综合、因素众多的巨大系统的强有力工具。其主要内容是环境系统分析和环境系统综合。环境系统分析是对已有的大系统或设计方案，进行定性和定量的理论分析或实验研究。以便对系统的技术性能、经济指标、社会效果以及生态影响作出评价和预测，寻找改进现在系统性能和运行效率的途径，为选取系统设计方案、进行规划决策，提供理论和实验依据。环境系统综合是对尚待筹建或改建的大系统，进行规划决策总体设计、制定协调计划和组织管理方法、经济上合理、运行可靠、工作协调的大系统。分析与综合是不能截然分开的，而是相辅相成，交替进行的。

### 摇摇三、系统分析的主要内容

系统工程和系统分析的定义严格说来是不同的，前者是处理系统的工程技术，也就是组织管理“系统”的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学技术，而后者则是应用于前者的数学理论和优选方法。系统分析也区别于运筹学。运筹学只对能定量、能计算的问题进行择优，而系统分析还能对包括某些不能定量、难于计算的因素的系统进行优化决策。

系统分析包括两个核心内容，一个是系统的模型化；另一个是系统的最优化。所谓模型化，就是对所研究的问题或系统用一系列有机组合的数学方程对实际系统进行科学的描述、科学的概括，并作为优化决策的基础。所谓最优化，则是指应用最优化技术对系统进行优化决策。

模型化在系统分析中是非常重要的，甚至是第一位的。模型建立得是否合理，直接关系到决策的结果是否符合实际和是否可取。建立任一实际系统的数学模型，都不是一个章法清晰的过程，而是自始至终对问题不断进行分析、综合而带有创造性的工作，特别建立大型复杂系统的数学模型尤其是如此。实际上，建立任何决策模型，一般都要从实际出发，首先对所研究的实际系统进行周密的调查分析，深入了解存在的问题，明确需要决策的目标；然后收集有关资料，分析系统内部各因素之间的联系以及系统与周围环境的关系等；最后建立模型和进行计算、分析与评价等。

在建立数学模型后，就得采用相应的优化技术进行求解，这些优化技术可以是单一的数学规划法（如线性规划、非线性规划、动态规划、整体规划、几何规划等等），或单一的模拟技术（包括一般的模拟技术和最优化模拟技术），也可以是数学规划法与数学规划法的结合，或数学规划法与模拟技术的结合等。选择优化技术的原则和建立数学模型一样，不是越复杂越好，而是要求方法简便、计算快和存储少，成果具有较好的操作性。环境系统工程优化规划和管理运行中比较常用的各种系统分析方法将于以下各章中分别介绍。

### 摇摇四、系统分析的基础理论

系统分析方法就是系统工程的定量化或定性分析方法，用来解决系统的总体规划、设  
此为试读，需要完整PDF请访问：[www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com) 苑