

高等学校教材

环境系统分析题解

程声通 孟繁坚 徐明德 编

高等教育出版社

高等学校教材

环境系统分析题解

朱

高等教育出版社

(京) 112号

内 容 提 要

本题解是与《环境系统分析》相配套的习题解答。其体例与原教材完全对应，书中不仅对于原教材中的所有例题、习题均给出了解答，同时还适当补充了一些实际问题的解答，书后还附录了在解题中需用到的参数等。

高等学校教材

环境系统分析题解

程声通 孟繁坚 徐明德 编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张9.125 字数230 000

1994 年4月第1版 1994 年4月第1次印刷

印数0001—2 440

ISBN7-04-004652-0/X·3

定价 4.35 元

前 言

高等学校环境工程专业教材《环境系统分析》一书于1990年出版,次年9月,由环境工程类教学指导委员会在北京举办了《环境系统分析》教学研讨班。来自全国10多所学校的教师交流了教学经验,探讨了进一步提高教学质量的途径和方法,包括建议编写和出版一本教学参考书——《环境系统分析题解》。

经过近一年的努力,1993年3月完成了《环境系统分析题解》的初稿,同年4月在北京组织了审稿会。原教材的主审林肇信教授受聘担任本书的主审,韦鹤平教授、杜文涛副教授、季民副教授参加了审查。编者根据审稿会的意见进行了修改。高等教育出版社张月娥、王永兹同志为本书的组稿、编辑和出版做了大量的工作,付出了辛勤的劳动。在此一并表示衷心感谢。

这本题解以原教材各章所列习题为基础,在编写过程中,吸收和补充了一些题目,以保证题解的全面性和系统性。

本书由程声通、孟繁坚和徐明德共同编写。程声通负责全书题目的最终选取,并提供原教材中各章习题的初步解答,孟繁坚提供了部分习题及答案,孟繁坚和徐明德运算和解答了全部习题,并进行多次互校。徐明德和李京峰对原教材所附的计算机程序重新进行了调试。

由于环境问题通常都十分复杂,本书对所有的问题都作了简化和抽象,以节省篇幅。读者在解决实际问题时,可以参考本书所提供的思路和方法,但一定要牢记“具体问题具体分析”这一真理,从实际出发,建立符合实际的模型,然后求解。切不可不顾实际条件,照搬照套。

本书中的习题有一部分运算过程复杂,数字繁多,错误在所难免,欢迎批评指正。

编者

1993年9月

目 录

前言	(1)
第一章 绪论	(1)
内容提要	(1)
题 解	(2)
第二章 数学模型概述	(7)
内容提要	(7)
题 解	(12)
第三章 环境质量基本模型	(38)
内容提要	(38)
题 解	(50)
第四章 河流水质模型	(71)
内容提要	(71)
题 解	(82)
第五章 湖泊和水库模型	(113)
内容提要	(113)
题 解	(122)
第六章 大气质量模型	(130)
内容提要	(130)
题 解	(143)
第七章 水污染控制系统规划	(159)
内容提要	(159)
题 解	(162)
第八章 大气污染控制系统规划	(185)
内容提要	(185)
题 解	(189)
第九章 环境质量评价模型	(201)

内容提要	(201)
题 解	(210)
第十章 最优化技术基础	(225)
内容提要	(225)
题 解	(227)
附录	(262)
1. QUAL-Ⅱ模型中的参数	(262)
2. 有限线源计算积分图	(263)
3. 面源计算中的参数 γ 和 α 的值	(263)
4. 计算烟气抬升的参数 n_0, n_1, n_2	(264)
5. 不同稳定度类的风速垂直分布指数	(264)
6. 帕斯奎尔稳定度分类	(265)
7. 日照等级分类	(265)
8. 净辐射指数 NRI	(265)
9. 特纳尔 (Tuner) 大气稳定度分级	(266)
10. 有代表性的地面粗糙度 z_0	(266)
11. 帕斯奎尔 (Pasquill) 扩散参数	(266)
12. 扩散参数幂函数表达式数据	(267)
13. 典型燃煤锅炉的排放因子	(268)
14. 典型燃油锅炉的排放因子	(268)
15. 典型燃气锅炉的排放因子	(269)
16. 各种燃料的含硫量	(269)
17. 各种燃料的含氮量	(270)
18. 各种燃烧方式的锅炉烟尘占煤总灰分百分比 B	(270)
19. 各类除尘器的除尘效率	(270)
20. 炉膛空气过剩系数 α 参考值	(270)
21. 大气污染物标准指数	(270)
22. $I_{\perp}$ 判别大气质量表	(272)
23. I_{α} 判别大气质量表	(272)
24. 黄浦江水质指数判别水质表	(272)
25. 工业废水排放第一类污染物最高允许排放浓度	(272)

26.工业废水排放第二类污染物最高允许排放浓度·····	(273)
27.十三类有害物质的排放标准·····	(274)
28.大气环境质量标准《GB3095—82》·····	(277)
29.城市区域环境噪声标准《GB3096—82》·····	(277)
30.地面水环境质量标准《GB3838—83》·····	(278)
31.海水水质要求·····	(279)
32.海水中有害物质最高容许浓度·····	(279)
33.生活饮用水水质标准·····	(280)
34.标准差 σ_y , σ 几种算法参数·····	(281)

第一章 绪 论

〔内容提要〕

一、系统及其特征

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，每一个系统又是一个比它更大的系统的子系统。

任何一个系统都具有下述特征：整体性、相关性、目的性、阶层性和环境适应性。

二、系统分析方法

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。

系统分析的基本过程是对系统的分解和综合，通常可以分为下述六个阶段：明确问题的范围和性质、设立目标、收集资料、建立模型、制定评价标准和进行综合分析。

系统分析的基本内容是系统的模型化和最优化。

三、环境系统与环境系统分析

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

环境系统分析的两大任务是：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；研究环境质量和社会经济发展的对立统一关系，建立最佳的经济结构和经济布局。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。

〔题解〕

1. 什么是系统？一个系统应具备哪些特征？

〔参考答案〕（1）系统是由两个或两个以上相互独立又相互制约、执行特定功能的元素组成的有机整体。

（2）系统应具备以下特征：

整体性：组成系统的各个元素必须服从总体最优这个最高目标，以实现把系统的输入变为最优输出。

相关性：系统内部各元素之间存在着有机的联系，表现为各元素间的互相依赖和互相制约。

目的性：人工系统和复合系统都有其特定的目的，通常一个系统具有多个目的，一个目的可以用一个或多个目标来表示。

阶层性：构成系统的各个元素在系统中的地位和作用是不同的，层次结构是一切系统的共同特征。

环境适应性：系统总是存在于一个更大的系统（即环境）之中，只有不断适应环境的变化，系统才有生命力，才能生存和发展。

2. 系统的各个特征在最优化模型中各起着什么作用？

〔参考答案〕整体性特征是构造系统模型的出发点，只有那些与系统有关的元素及其变量才能进入模型；相关性特征是识别模型内部各元素之间的关系，是构成系统模型的基础；目的性特征则是建立系统目标和目标体系的指导和依据；阶层性特征表明模型中各个变量的层次关系，是辨别变量重要性的依据；环境适应性则为建立系统外部约束条件提供了基础。

3. 简述系统分析的研究对象与研究内容。

〔参考答案〕系统分析的研究对象是复杂的大系统，这种大系统往往存在着许多相互矛盾的和不确定的因素。系统分析的研究内容是系统的模型化和最优化，为此，它除了要研究系统中各个元素的具体特征，解决各元素的具体问题外，还着重研究和揭示各个元素之间的联系，协调各元素之间的关系，以达到系统

总目标最优的目的。

4. 简述系统分析的基本原理和方法。

〔参考答案〕 系统分析是针对所研究的问题的整体，对组成系统的各个要素及其外部条件进行全面的、互相联系的和发展的研究，以找出解决问题的最佳方案或替代方案。为此，系统分析过程必须遵循整体性原理、最优性原理、阶层性原理、动态性原理和环境适应性原理。

整体性原理是指，构成系统的各个元素是以系统最优为总目标结合在一起的，各个元素的状态及状态之间的联系都必须服从这一总目标。整体性原理是系统分析最主要最基本的原理。最优性原理是指系统分析的结果应力求系统的最优解，通过调整各元素之间的相互关系来寻求系统的最佳结构。阶层性原理是指任何一个系统都存在着层次结构，这种结构形成了系统内部各元素的主次和重要性程度，是形成有序系统的重要依据。动态性原理是指一个系统总是处在不断运动发展之中，必须用发展的观点来探寻系统的最优解。环境适应性原理是指一个系统总是处在外部环境的约束之中，只有适应环境才能生存和发展，环境适应性是建立系统约束的重要依据。

系统分析的基本方法是分解和综合，也就是模型化和最优化。分解、综合就是根据各个元素和元素之间的关系建立数学模型，然后运用各种最优化方法实行系统的最优化。

5. 分解和综合的含义是什么？它们在系统分析中的作用是什么？

〔参考答案〕 分解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；综合是研究各要素之间的联系和有机组合，达到系统的总目标最优。

分解和综合是系统分析的基本方法，也是系统分析的两个主要环节，通过分解和综合的多次反复的协调，达到系统的最优化。

6. 系统分析在系统工程的全部过程中占有什么地位？它们之间的关系是什么？

〔参考答案〕 作为解决问题与研究问题的思想方法，系统工程和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，系统分析可以看成是这一过程中的一个步骤，在系统分析阶段，主要工作是寻求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。

作为一个阶段，系统分析一般处于整个系统工程的开始，对整个工程的执行具有决定性的作用。

4.7. 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？

〔参考答案〕 数学模型是系统分析的工具和手段，这具体表现在三个方面：

抽象化：运用数学方法对现实世界进行抽象，通过数学符号及各种表达形式建立研究客体的内部规律及其与外部的联系，从而可以运用数学规律来解决实际问题。

量化：用数学模型表达系统各元素之间的定性和定量的关系，为系统设计和实施提供依据。

最优化：通过最优化数学模型，对系统各元素之间的关系求得最优组合。

作为一种思想方法的应用，系统分析不一定要应用数学模型。但作为量化的分析，以求得问题的最优解，就必须应用数学模型。随着系统科学的发展和计算机应用的日益普及，数学模型的应用将会越来越广泛。

8. 对于解决一些复杂的问题，应用系统分析方法会取得哪些成效？

〔参考答案〕 系统分析方法强调对事物进行全面的、相互联系的和发展的研究问题，因此系统分析的结果在空间上和时间

上都力求最优。在这样一个结果中，各个元素的状态都服从于总体最优这个目的。

在系统分析中广泛应用数学模型和数学方法，可以进行多因素和各种条件下的模拟和仿真，这是物理模型不能比拟的；同时采用数学模型可以大大加快研究进度和节省研究费用。

9. 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。

〔参考答案〕 略

10. 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。

〔参考答案〕 环境系统的目标通常是通过对决策者的调查分析确定的。由于环境保护的效益存在明显的外在性，所以在高层次的环境系统中包括环境目标、社会目标和经济目标，而每一个目标又可以包含若干个指标，从而构成环境系统的目标体系。目标体系的建立要经过决策者和分析者的反复协调才能完成。

例如在大气污染控制系统中最基本的目标有两个：环境质量目标和经济目标。前者又可能分为不同时间和不同地点的若干个环境质量指标，如 SO_2 浓度、TSP浓度等；后者又可以分为基本建设费用和运行费用等。

11. 在一个多要素的系统中，如何理解系统最优化的概念？

〔参考答案〕 系统分析的最终目标就是追求系统整体目标的最优，系统中各个要素的状态以及各要素之间的联系都要服从这一最终目标。在一个多要素的系统中，每一个要素的最优的集合并不一定等于系统总目标的最优，反之亦然。

12. 对于一个系统分析人员的基本理论和实践经验有什么要求？为什么说一个好的系统分析人员既是工程师，又是战略家？

〔参考答案〕 对于一个系统分析人员，其必要的理论基础主要包括两个方面：专业理论知识和系统论的知识。把系统论和专业理论有机地结合，是对一个好的系统分析员的基本要求。

系统分析员所要解决的问题可能要涉及自然科学、社会科学的各个领域，只有掌握丰富的知识和社会经验才能成为一个好的系统分析员。在系统分析过程中会遇到大量不确定的、非结构化的问题，没有成熟、定常的处理方法。这时，洞察力和判断力是完全必要的，而洞察力和判断力的获得，不仅有赖于理论水平的提高，丰富的阅历和经验也是不可缺少的。

系统分析的着眼点，与传统学科不同的是，既注意对组成系统的各个元素的特征的研究，还致力于研究各个元素之间的联系，以形成最佳的系统结构。系统分析者能够从总体上和战略上研究问题和解决问题，从而实现系统的总体最优。因此，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。

第二章 数学模型概述

〔内容提要〕

一、定义和分类

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。

数学模型可以从不同的角度进行分类：

按照变量和时间的关系，可以分为动态模型和稳态模型；

按照变量之间的关系，可以分为线性模型和非线性模型；

按照变量的变化规律，可以分为确定性模型和随机模型；

按照模型中参数的特征，可以分为集中参数模型和分布参数模型。

二、模型的建立

一切应用于实际的模型，都必须满足下述要求：要有足够的精度；模型的形式要力求简单实用；模型的依据要充分；模型中应具有可控变量。

一个模型的建立，大体要经历以下步骤：

1. 数据收集和分析

数据收集可以通过两个途径：利用已有数据和现场监测采样。要尽可能多地占有与研究对象有关的数据和资料，包括与研究对象直接相关的数据（如大气环境质量数据、污染源数据等）和间接相关的数据（如气象数据、社会经济发展规划数据等）。

对所收集的数据进行整理分析，通常要绘制成变量的时间过程线、空间变化曲线或各种表格，以分析事物的发展变化规律。

要保证数据的可靠性。

2. 模型结构的选择

模型的结构大致可分为白箱、灰箱和黑箱三种。白箱模型即机理模型，它是以客观事物的变化规律为基础建立起来的。灰箱模型又称半机理模型，若仅知道各因素之间质的关系，并不确切明了量的关系，还需用一个或多个经验系数来加以定量化。经验系数要借助观测数据或试验数据确定。黑箱模型又称输入—输出模型。它是根据系统的输入、输出数据建立各个变量之间的关系，而完全不追究其内在机理的纯经验模型。

3. 参数估计

一个灰箱模型中存在着至少一个待定参数，这些参数的值要根据实际观测数据或实验数据加以确定。

4. 模型的检验和修正

用实测的输入—输出数据和已确定了参数的模型计算的输出数据进行比较，以确定模型是否满足精度要求。若模型计算误差超过了预定的界限，则可通过修正参数或调整模型结构加以改进，并需重新估计参数和模型验证。

三、模型参数估计方法

对数学模型进行参数估值通常可用经验公式法、图解法、最小二乘法和最优化方法等技术。

1. 图解法

凡给定的公式可以直接描述一条直线，或经适当处理后能转换为直线时，可将自变量和因变量的各对应点绘于直角坐标系中，用直尺连成尽可能靠近各个点的直线。若直线表达为

$$y = b + mx$$

则上述直线的斜率就是式中的 m ， y 轴上的截距即为式中的 b 。

2. 一元线性回归分析

线性回归分析有两个假设：（1）所有自变量的值均不存在误差，因变量的值则含有测量误差；（2）与各测量点拟合最好的直线为能使各点到直线的竖向偏差（因变量偏差）的平方和最小的直线。若模型形式为 $y = b + mx$ ，则可得下式：

$$\text{Min} Z = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n \left[y_i - (b + mx_i) \right]^2$$

满足于上式的最佳 m 和 b , 其估计值为

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i - n \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

3. 多元线性回归分析

多元线性回归分析与一元线性回归分析原理相同。可建立起类似一元线性回归分析中的目标函数来估计未知参数。

4. 最优化方法

若给定模型结构为 $y = f(\vec{x}, \vec{\theta})$, 式中 $\vec{x}$ 为 n 维自变量向量, $\vec{\theta}$ 为 m 维未知参数向量。则可根据一组观测数据样本 $\{(x_i, y_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ 建立起以相对应的模型计算值与观测值总误差所组成的目标函数 J :

$$J = \sum_{i=1}^n \left[f_{i+1}(\vec{x}, \vec{\theta}) - x_{iQ} \right]^2$$

则将参数估计问题转化为求目标函数极小时的 $\vec{\theta}$ 问题。该目标函数求极值问题可用最优化方法 (如梯度法, 复合形法等) 解决。

5. 网格法

设有几个待定参数, 其中 θ_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 的搜索区间为

$[a_i, b_i]$ 。如果把区间分成 m_i 等分, 分点为 $\theta_i^{(k)}$ ($k=0, 1, 2, \dots, m$), 其中 $\theta_i^{(0)} = a_i$, $\theta_i^{(m)} = b_i$ 。则参数空间 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ 被划分成 $m_1, m_2, \dots, m_n$ 个网格。计算所有网格上的目标函数值, 选取其中最小值所对应的参数值作为最优参数估计值。

6. 经验公式计算法

利用经验公式计算一些使用频率高的参数, 如复氧速度常数, 大气扩散方程中的标准偏差等经常采用经验公式估计。

四、模型验证及误差分析方法

1. 图形表示法

将观测值和模型计算值点绘于以计算值为纵坐标, 观测值为横坐标所组成的直角坐标系中, 根据所有点在经原点 45° 斜线附近分布状况来评价模型的精度。

2. 相关系数法

以相关系数 r 来度量计算值与观测值的拟合程度。如以 y_i 和 y'_i ($i=1, 2, \dots, n$) 表示一组观测值和计算值, r 可按下式计算:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(y'_i - \bar{y}')}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y'_i - \bar{y}')^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

式中: $\bar{y}$ 和 $\bar{y}'$ 分别为观测值和计算值的平均值。

r 是处于 0 和 1 之间的数, r 值越大, 表示两者的相关关系越好。

3. 相对误差法

(1) 相对误差

相对误差定义为

$$e_i = \frac{|y_i - y'_i|}{y_i}$$

式中: e_i 为第 i 个观测值与计算值间的相对误差。