

国外名校名著

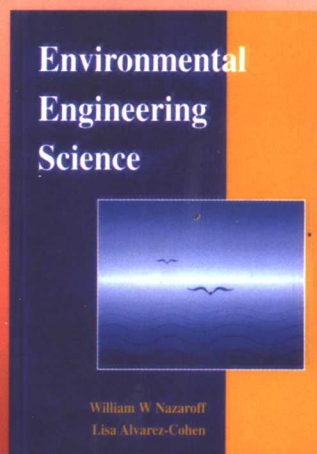


环境工程原理

Environmental Engineering Science

[美] 威廉 W. 纳扎洛夫 莉萨·阿尔瓦雷斯-科恩 著
William W Nazaroff Lisa Alvarez-Cohen

漆新华 刘春光 译
庄源益 审校



化学工业出版社

国外名校名著

环境工程原理

[美] 威廉 W. 纳扎洛夫 莉萨·阿尔瓦雷斯-科恩 著

漆新华 刘春光 译

庄源益 审校



化学工业出版社

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

环境工程原理/[美]纳扎洛夫(Nazaroff, W. W.), [美]阿尔瓦雷斯-科恩(Alvarez-Cohen, L.)著;漆新华,刘春光译. —北京:化学工业出版社, 2005.9

(国外名校名著)

书名原文: Environmental Engineering Science

ISBN 7-5025-7244-9

I. 环… II. ①纳…②阿…③漆…④刘… III. 环境工程学 IV. X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 113264 号

Environmental Engineering Science/by William W Nazaroff, Lisa Alvarez-Cohen

ISBN 0-471-14494-0

Copyright © 2001 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

AUTHORIZED TRANSLATION OF THE EDITION PUBLISHED BY JOHN WILEY & SONS, INC., New York, Chichester, Brisbane, Singapore AND Toronto. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of John Wiley & Sons, Inc.

本书中文简体字版由 John Wiley & Sons 出版公司授权化学工业出版社独家出版发行。
未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2002-6471

国外名校名著

环境工程原理

[美]威廉 W. 纳扎洛夫 莉萨·阿尔瓦雷斯-科恩 著

漆新华 刘春光 译

庄源益 审校

责任编辑:徐世锋 满悦芝

文字编辑:刘莉珺

责任校对:蒋宇

封面设计:郑小红

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010) 64982530

(010) 64918013

购书传真:(010) 64982630

<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

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 35½ 字数 882 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7244-9

定 价: 98.00 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

译者前言

本书译自 2001 年美国 John Wiley & Sons 出版公司出版的《环境工程原理》(Environmental Engineering Science)。该书由加利福尼亚大学(伯克利)土木与环境工程系的 William W Nazaroff 教授和 Lisa Alvarez-Cohen 教授编著。他们从 1989 年开始给加利福尼亚大学环境工程专业的高年级本科生和低年级的研究生开设这门课程,本书就是以该课程的讲义为蓝本,经过十几年的逐渐完善并加以系统化而完成的。

全书分为两大部分共 8 章。第 I 部分是环境工程的基本原理部分,分为 5 章,主要介绍了在环境工程学中涉及到的一些基本概念和基本原理。第 1 章为概述,主要概述了环境工程的背景知识和一些基本概念,以及三个重要的研究领域:水质工程、空气质量工程和危险废物管理。第 2 章阐述了两种最重要的环境流体(水和空气)及其中的一些与环境工程相关的重要杂质。第 3 章介绍了环境工程中应用到的一些重要转化过程,包括相变和分配、酸-碱反应和氧化-还原反应等。此外还介绍了化学计量学、化学平衡和动力学三个重要概念。第 4 章阐述了环境流体中发生的迁移现象,介绍了环境介质中物质发生迁移的几种不同机制、颗粒物在流体中的阻力和发生的重力沉降和布朗扩散、流体边界的传质作用、污染物在多孔介质中的迁移等。第 5 章介绍了几种环境工程中应用到的反应器模型,包括批次反应器、完全混合流动反应器、塞流式反应器以及超理想反应器(通用物质守恒模型)。第 II 部分阐述了第 I 部分的基本原理在环境工程实践中的应用,分为 3 章。第 6 章是水质工程,主要介绍了河流和溪流、湖泊和水库、地下水、海洋和河口存在的主要水质问题,另外还重点介绍了水质控制工程中常用的一些物理处理方法、化学和物理化学处理方法以及废水生物处理方法。第 7 章是空气质量工程,主要介绍了空气中的标准污染物、有害空气污染物、酸沉降、光化学烟雾、室内空气质量、全球气候变化,还介绍了空气中污染物的排放与控制、空气中污染物的处理技术以及空气质量模型的建立,重点介绍了高斯烟羽模型。第 8 章是危险废物管理,主要概述了危险废物相关的规章制度、危险废物的来源、危险废物问题的重要性等,还介绍了危险废物减量化、危险废物的处理和处置方法,以及危险废物环境污染场的现场表征和现场修复方法等。最后,本书的附录部分还附加了环境工程学中常用的一些基本数据、关于电离辐射的初步介绍、环境有机化合物的初步介绍、环境工程中的数学解答方法、美国水和空气的联邦法规等,这些内容对本书前 8 章是很好的补充。本书包含很多例子并且每章后面都留了一些习题。这些例子和习题能够使学生集中思考如何利用所学环境工程中的基本原理来分析环境系统并达到解决环境问题的目的。这些习题更强调的是对概念的掌握,其目的是使读者在实际的工程分析中对所学知识加以灵活应用。很多习题与实际生活紧密相关,使用的都是实际的数据,还有些习题非常有趣。

本书最大的特点是对内容的阐述形象而生动,将一些晦涩难懂的基本概念和基本原理融入现实生活中的例子中来,将抽象的概念和原理形象化。这样不仅更容易激发学生学习本课程的兴趣,也使读者能够更容易地理解和掌握这些概念和原理并应用于实践中。此外,与其他的《环境工程原理》教材相比,本书在第 I 部分花了较大篇幅介绍环境工程的基本原理,然后再在第 II 部分阐述环境工程中的水污染控制、空气污染控制以及危险废物的环境污

染修复实践，将理论与应用进行了很好的结合，使读者通过对本书的学习，不仅能够学习到实际应用方面的知识，而且能够掌握扎实的理论基础，从而更好地指导实践，并具备更高的职业适应性，克服过去那种普遍存在的工科学生“知其然，不知其所以然”的情况，对于完善学生的知识结构具有很大作用。

本书是一本很好的环境工程教材或相关课程的参考书，它既适合于用作大学环境科学、环境工程专业本科生的教学参考书，也可以用作从研究生阶段才开始进入环境工程领域学习、不具备很强环境工程基础的研究生的自学参考书。此外，它对在环境保护战线上工作的教师、科研、管理和技术人员以及在化工、土木和机械工程等行业从事与环境工程相关的工作的技术人员也具有重要的参考价值。

本书由漆新华主译，各章的具体分工为：前言、第1章、第2章、第3章、第5章、第6章、第7章和附录由漆新华翻译，第4章和第8章由刘春光翻译，最后由漆新华定稿，庄源益审校。南开大学环境科学与工程学院的金朝晖教授对本书的翻译出版给予了很大的支持和帮助；此外，南开大学环境科学与工程学院的乔瑞平、李楠、赵元、孙凌、钟远、韩哲楠、金晶、沈俊菊、任雷雷、徐敏、徐响、杨威、王中华、李巍巍、李贺和张冬梅，以及南开大学的外籍教师 Katherine Ling 等在相关资料的查阅、书稿的翻译、打印、校对等方面也都做了很多工作，在此一并表示感谢。

环境工程的基本原理和应用涉及面广泛，涉及化学、化工、生物、物理、数学等多个学科的知识，是一门综合性较强的新兴学科，限于译者的学术和文字水平，错误在所难免，敬请有关专家和读者批评指正。

译 者

2005年8月于南开大学

序

环境工程作为一门独特的学科是在近几十年才出现的。在很多大学里，环境工程是从土木工程的一个分支学科——水和废水处理的研究发展而来的。目前环境工程的范围已经扩展到了囊括更广泛的环境问题。现在大多数的环境工程计划除了水质工程以外，还包括空气质量工程和危险废物管理。

传统上，环境工程内的每一个主题都是基于独立发展的基本概念而作为独立的学科进行讲授的。即使是当多个不同的主题在某一课程中进行阐述时，它们也通常是以不同的方式被提出的。虽然如果知道了这些领域的历史发展情况，出现这种情况也是可以理解的，但是我们相信从教育的角度来看，是不希望看到这种情况的。

整个环境工程领域有一整套基本原理作为它们的基础。这些原理是基于化学、生物、物理和数学等科学原理的。但是，这些学科还不足以使学生清楚地理解环境工程实践的科学原理。我们认为研究环境工程的学生应该系统地以适合的方式重新学习其基本原理，以满足作为一个环境工程师的要求，并且不应过于束缚在某一个特定的应用上。具备这些基础知识后，学生们才能够更快地学习并更充分地理解环境工程中的主要主题。遵循这种方法，学生们才能够具备尽可能高的教育和职业适应性。

本书的编著主要针对三类读者。第一类读者是具有良好工程背景的本科生，本书可以作为他们学习环境工程的第一门课程。这一类的学生应该具备扎实的科学和数学基础，比如微积分、微分方程、物理和化学等。如果入门性地学习了流体力学和生物学等课程对本课程的学习也是非常有益的。对很多学生来说，这门课程也许是使他们逐步成为一名职业环境工程师所学的第一门课程。对其他一些人来说，这门课程可以为他们进行环境工程领域研究生阶段的学习打下一个基础。这本书还有一类重要的读者是那些进入环境工程领域研究生阶段学习，但是没有经过本科阶段该领域的学习，不具备很强的环境工程基础的研究生。有一些学生进入环境工程研究生阶段的学习，但是他们本科时所获得的学位是机械、化工、化学、生物、数学、环境科学或其他领域的学位。为了快速地进入研究生阶段的学习和研究，这些学生可以以本书为教程学习环境工程课程，也可以以本书作为自学的参考书。本书第三类主要的读者是从事其他工程学科学学习的学生，他们需要对环境工程基本原理和实践有一个大致的了解，以使们能够负责化工、土木和机械工程等行业与环境工程相关方面的工作。

在加利福尼亚大学伯克利分校，我们从1989年开始对环境工程专业的高年级本科生和低年级的研究生开设这门课程，讲授时间为一个学期（45个课时），具体的安排方法见表P.1。我们花费本课程1/2到2/3的时间来讲授环境工程中的基本原理。其他时间则用来讲授如何应用这些基本原理。根据教师的兴趣，对基本原理的应用可以选取水质工程、空气质量工程或危险废物的管理。

由于没有可供使用的课本，因此我们把讲稿的复印件作为他们的主要参考书。这些讲稿也正是本书的蓝本。本书占了我们讲稿中的60~75个小时的内容。我们对本书前半部分的章节进行了组织，使得从开始到最后的每一章中都出现一些比较高级的主题，并且使得即使略过其中的某些章节也不会影响本书的连贯性。此外，应用部分章节的组织也是很灵活的，

使得教师可以在一个学期或半学期时间内充分自由地选取特定的主题来进行讲授。典型的低年级的一个学期的课程可以包含本书第Ⅰ部分（第1~5章）的大部分内容和第Ⅱ部分（第6~8章）中选取的部分内容。表P.1中说明了我们利用本书讲授时间长度为一个学期的课程安排。首先讲授基本原理，然后讲授水质工程、空气质量工程或危险废物管理等应用。本书也可以用来在连续两个的半学期内进行讲授，先讲基本原理，然后在后半部分讲授应用，如表P.1所示。此外，本书的编排也使得可以灵活地选取特定的应用章节作为单独的课程进行讲授。我们可以选取本书中的部分内容来为高年级本科生讲授单独的应用课程，包括水质工程、空气质量工程和危险废物管理。

表 P.1 利用本书分别讲授时间为一个学期、两个的半学期或半个学期的课程的安排示例

时间	一学期	第1个半学期	第2个半学期	半学期	半学期	半学期
主题	环境工程	环境工程基本原理	环境工程的应用	水质工程	空气质量工程	危险废物管理
周数 1	1	1	6.1~6.3	1	1	1
2	2	2	6.4	2.1,2.3,3.1	2.2,2.3,3.1	2.1,2.3,3.1
3	3.1,3.2	3.1,3.2	6.5	3.2,3.3	3.2,3.3	3.2,3.3
4	3.3,3.4	3.3,3.4	7.1	3.4,4.1	3.4,4.1	3.4,4.1
5	4.1,4.2	复习和期中考试	复习和期中考试	复习和期中考试	复习和期中考试	复习和期中考试
6	复习和期中考试	4.1	7.2	4.2,4.3	4.2,4.3	4.2,4.3
7	4.3,4.4	4.2,4.3	7.3,7.4	5.1	5.1	5.1
8	5.1	4.4	8.1,8.2	6.1~6.3	7.1,7.2	8.1,8.2
9	6.1~6.3	5.1	8.3	6.4	7.3	8.3
10	6.4	5.2	8.4,8.5	6.5	7.4	8.4,8.5
11	6.5					
12	复习和期中考试					
13	7.1或8.1,8.2					
14	7.2或8.3					
15	7.3或8.4,8.5					

为了深入探讨本书中的主题，我们故意省略了在其他环境工程课本中能看到的其他一些主题。我们的重点集中于环境流体的质量上，我们认为这个主题是环境工程专业中的重点。其他的一些主题，比如固体废物的处置、噪声污染和人口增长等，虽然也很重要，但由于它们与本书所讲述的水质工程、空气质量工程和危险废物的管理这几个主题所包含的基本科学原理完全不具有共享性，因此在本书中并没有对它们进行讲述。

本书包含很多例子且每章后面都留了一些问题。提供这些例子和问题的主要目的是为了使学能集中思考如何利用基本原理来分析环境系统并达到解决环境问题的目的。这些问题更强调对概念的掌握，而不是生搬硬套地在工程分析中加以应用。很多问题使用的都是实际的数据，还有些问题很有趣。教师另外还配套有一本解题手册。

William W Nazaroff
 Lisa Alvarez-Cohen

致 谢

从萌发写这本书的想法开始一直到这本书的完成经历了很长的一个过程。我们的工作得到了很多人的帮助。在此，对他们表示感谢。

我们优秀的助教为我们提供了有用的反馈和每章后面一些习题的解法，他们是 John Little、Dianne Gates、Shelly Miller、Mark Hernandez、Tracy Thatcher、Mike Van Loy、Tom Kirchstetter、Rula Deeb、Ruth Richardson、Nikki Lark、Glenn Morrison、Mark Sippola、De-Ling Liu 和 Anna Steding。Jil Geller、Tracy Thatcher 和 Jim Hunt 使用了本书成书过程中不同时期的手稿版本来讲授这门课程。Summeet Singh、Anna Liu、Kathleen Vork、Matt Dundas 和 Ravi Arulanantham 也在图书馆文献的查阅、一些重要参考文献的标注以及书稿的校对方面给本书的出版以很大的帮助。Rose Nitzan 和 Karen Aczon 也给予了很大的支持。我们还要感谢那些匿名的审稿人，他们为本书的早期版本提供了一些发人深省的有用的反馈。本书的很大一部分内容是 William W Nazaroff 在以色列的海法（Haifa）休假时完成草稿的。他非常感谢 Technion 的支持，尤其是 Yaacov Mamane 教授给予的巨大帮助。本书的其他内容是 Lisa Alvarez-Cohen 在家休产假以及公假时完成的，她非常感谢她的孩子们那些长长的睡眠，才使得她有足够的时间完成本书的编写。

在过去的这些年里我们从我们的学生那里学到了很多的东西。我们非常有幸能够与这么多能干而又热情的人一块工作，谢谢大家！

目 录

I 基本原理

第 1 章 概述	1
1.1 什么是环境工程学?	1
1.2 环境工程的研究领域	3
1.2.1 水质工程	4
1.2.2 空气质量工程	6
1.2.3 危险废物管理	8
1.3 背景知识和概念.....	10
1.3.1 浓度和其他度量单位.....	10
1.3.2 物质守恒.....	12
1.3.3 控制污染物浓度的因素.....	14
1.3.4 工程分析.....	14
1.3.5 控制机会.....	15
1.3.6 环境法规.....	16
1.3.7 精密度和准确度.....	17
1.3.8 量值: 长度尺度和特征时间.....	18
参考文献	20
习题	21
第 2 章 水、空气及其中的杂质	25
2.1 水和水圈.....	25
2.2 空气和大气圈.....	29
2.3 环境介质中的杂质.....	32
2.3.1 溶解在水中的气体.....	33
2.3.2 空气中的水.....	33
2.3.3 酸、碱和氢离子.....	33
2.3.4 无机杂质.....	34
2.3.5 有机杂质.....	39
2.3.6 放射性核素.....	43
2.3.7 引起气味、味道和颜色的化合物.....	45
2.3.8 颗粒物.....	45
2.3.9 微生物.....	50
参考文献	53
习题	54
第 3 章 转化过程	59

3.1 重要概念	59
3.1.1 化学计量学	59
3.1.2 化学平衡	61
3.1.3 动力学	63
3.2 相变和分配	70
3.2.1 蒸气压	71
3.2.2 水中物质的溶解	72
3.2.3 吸附	76
3.3 酸-碱反应	81
3.3.1 酸-碱反应和氢离子	81
3.3.2 纯水的 pH 值	81
3.3.3 强酸和弱酸	82
3.3.4 碳酸盐系统	85
3.4 氧化-还原反应	90
3.4.1 氧化态	91
3.4.2 腐蚀	92
3.4.3 燃烧	94
3.4.4 大气氧化过程	97
3.4.5 微生物反应	100
参考文献	106
习题	107
第 4 章 迁移现象	121
4.1 基本概念和机制	121
4.1.1 污染物通量	121
4.1.2 平流	122
4.1.3 分子扩散	123
4.1.4 弥散作用	126
4.2 颗粒物的运动	131
4.2.1 颗粒物的阻力	131
4.2.2 重力沉降	133
4.2.3 布朗扩散	137
4.3 流体边界的传质作用	138
4.3.1 传质系数	139
4.3.2 空气-水界面的迁移	143
4.4 多孔介质中的迁移	146
4.4.1 多孔介质中的流体流动	147
4.4.2 多孔介质中的污染物迁移	150
参考文献	153
习题	153
第 5 章 迁移和转化模型	159

5.1 反应器模型 160

5.1.1 批次反应器 165

5.1.2 完全混合流动反应器 (CMFR) 169

5.1.3 塞流式反应器 (PFR) 173

5.1.4 一些复杂的例子 181

5.2 超理想反应器: 通用物质守恒模型 188

5.2.1 控制方程 188

5.2.2 解决环境迁移问题的方法 191

参考文献..... 201

习题..... 202

II 应 用

第 6 章 水质工程..... 215

6.1 水质问题的本质 215

6.1.1 河流和溪流 216

6.1.2 湖泊和水库 220

6.1.3 地下水 224

6.1.4 海洋和河口 226

6.2 水质法规和处理系统综述 229

6.2.1 重要的美国联邦水法规 230

6.2.2 工程化的水质系统 231

6.3 物理处理方法 234

6.3.1 沉淀 234

6.3.2 通过颗粒状介质过滤 238

6.3.3 膜分离过程 242

6.4 化学和物理化学处理方法 246

6.4.1 消毒 246

6.4.2 凝聚和絮凝 252

6.4.3 有机分子的吸附 256

6.4.4 化学沉淀和离子交换 260

6.5 废水生物处理 265

6.5.1 活性污泥法 266

6.5.2 滴滤池 273

6.5.3 废水污泥的厌氧消化 275

参考文献..... 279

习题..... 281

第 7 章 空气质量工程..... 301

7.1 空气污染问题的实质 301

7.1.1 标准污染物 302

7.1.2 有害空气污染物 306

7.1.3	酸沉降	307
7.1.4	光化学烟雾	309
7.1.5	室内空气质量	313
7.1.6	全球变化	318
7.2	空气污染物排放与控制	323
7.2.1	排放的表征	324
7.2.2	燃烧产生的污染物	329
7.2.3	汽车排放	337
7.3	处理技术	342
7.3.1	颗粒物的控制装置	343
7.3.2	吸附应用于气体污染物的控制	350
7.4	空气质量模型	351
7.4.1	建模方法概述	351
7.4.2	高斯烟羽扩散模型	353
	参考文献.....	363
	习题.....	365
第8章	危险废物管理	376
8.1	概述	376
8.1.1	历史和案例研究	376
8.1.2	危险废物的规章制度	379
8.1.3	危险废物问题的重要性	386
8.1.4	危险废物来源	387
8.2	危险废物减量化	388
8.2.1	什么是废物减量化	388
8.2.2	为什么要废物减量化?	389
8.2.3	废物减量化技术	389
8.2.4	废物减量化的管理工具	393
8.3	危险废物处理工艺	396
8.3.1	物理分离	396
8.3.2	化学处理	407
8.3.3	热处理	416
8.3.4	生物处理	425
8.4	危险废物处置	431
8.4.1	填埋	432
8.4.2	深井灌注	434
8.5	环境释放与修复	436
8.5.1	现场表征	438
8.5.2	定量风险分析	439
8.5.3	现场修复	443

参考文献.....	453
附加资料来源.....	455
习题.....	456

附 录

附录 A 环境工程学的基本数据.....	465
参考文献.....	468
附录 B 电离辐射初步介绍.....	469
参考文献.....	473
附录 C 环境有机化合物的初步介绍.....	474
C.1 纯的碳氢化合物.....	474
C.2 氧代有机化合物.....	476
C.3 卤代有机物.....	476
C.4 含硫或含氮的有机化合物.....	477
附录 D 环境工程中的数学解答方法.....	479
D.1 常微分方程.....	479
D.1.1 常系数一阶线性方程.....	479
D.1.2 耦合一阶常微分方程.....	482
D.1.3 常微分方程的数值解法初步介绍.....	483
D.2 迁移问题中出现的偏微分方程.....	484
D.3 解平衡问题：非线性代数方程的根.....	487
D.4 基于对数尺度的数据处理.....	490
D.5 线性回归.....	492
参考文献.....	493
附录 E 进一步探究转化过程.....	494
E.1 活度.....	494
E.2 吉布斯自由能和平衡常数.....	495
E.3 氧化还原反应的电极电位和自由能变化.....	497
E.4 活化能和温度与反应速率的相关性.....	499
参考文献.....	501
附录 F 美国水和空气质量的联邦法规.....	502
附录 G 一些重要的度量单位换算系数 (1.3.1、2.2).....	509

I 基本原理

第 1 章 概 述

1.1 什么是环境工程学？

在现代工业社会，人们很容易忽视人类生命对自然环境的依赖。然而只要稍加思考，我们就可以知道地球的元素和化学组成与来自于太阳的能量一起组成了支持我们生命的原材料。

在整个的科技时代，众多的工程学科都集中于如何利用地球资源上。采矿工程师致力于如何对矿物进行定位以及如何从矿物沉积物中提取和提炼原料。石油和化学工程师致力于从天然气和石油中开发出有用的产品。机械工程师和电力工程师致力于开发可以将天然资源转化为电等可利用能源的技术。农业工程师致力于开发利用太阳能，以肥料中的营养物和土壤作为原材料来优化生产食物的方法。土木工程师致力于设计获取、储存、处理及输送供人们使用的自来水系统。上述的以及其他一些工程学科同时也提供一些将由天然材料开发而来的商品或服务从生产者转移到消费者那儿去的基础设施。

这些工程计划主要强调的是对地球资源的提取、转化、供应和使用，而很少顾及到由于这些活动及其他活动产生并排放到环境中的污染物。然而，随着人类工业水平的发展，人们清楚地认识到只有对我们所排放的污染物及它们对环境质量的影响以真正的关注，现代社会才能够维持可持续发展。

环境工程是一门独特的技术学科，它所关注的主要焦点问题是环境污染物及其对环境的影响。虽然“环境工程”这个名称是最近才开始使用的，但是这个领域的实际应用却在很久以前就开始了。最早的环境工程应用于处理人类废物的历史，可以追溯到人类认识到废物会携带疾病这一性质之后。据介绍，早期人类历史上所出现的有关水质的文献记载大概出现在公元前 2000 年，是用煮沸和过滤的方法来净化水（Baker, 1981）。古罗马就已经开始注意进行水质管理的好处，当时建成的大量的用以给罗马帝国提供淡水的沟渠系统证明了这一点。罗马帝国的崩溃也为证明当时成熟的废水收集和传输系统提供了证据。在 19 世纪中叶，出现了卫生工程这一新的领域，它的主要任务是提供干净的饮用水以及收集、处理和合理地除去废水。

有关由于人类的技术活动而向大气中排放污染物的文献报道至少可以追溯到 17 世纪，伊夫琳（Evelyn）曾经这样描述过当时伦敦市区污浊的空气：

一个疲倦的旅行者在几英里以外，就闻到了他正要去的那座城市所散发出的气味。持久的烟雾玷污了整个城市，在地面上覆盖了一层乌黑的外壳，使光线看起来模糊不清，并玷污装饰品和家具，使盘子表面的银氧化。铁和石头也遭到空气中硫酸的腐蚀而发生溶解。这种

污染在一年内所造成的危害，超过了乡村干净的空气数百年的影响。

(John Evelyn, *Fumifugium*, 1661)

造成空气污染问题的原因是由于对用于轻工业、生活供热和烹饪所用的含硫煤炭等低级燃料的燃烧缺乏有效的控制措施。虽然人们很早就认识到了这个问题，但是真正的致力于城市空气污染的控制则仅仅开始于 20 世纪 50 年代。目前世界上还有相当一部分人口还在遭受着由低质燃料燃烧产生的排放物所引起严重的空气污染。然而，这仅仅是环境工程师要关注的诸多空气质量问题中的一个而已。

在美国和其他发达国家，20 世纪 70 年代标志着人们开始为改善环境质量做出巨大努力，公众环境意识的提高和对环境问题的重视在过去的几十年间也得到了极大的发展。在政治上主要表现为美国通过联邦立法建立了环境保护局（EPA），赋予了其对空气和水资源的修复和保护的委托代理权，并且对那些由于不正确的使用而造成污染的废物场的识别和修复给予了极大的关注。由这些立法所推动的科技活动对现代环境工程领域的发展起到了极大的推动作用。

总的来看，环境工程所关注的主要是环境资源的质量和可利用性，以及那些会对它们产生影响的废物流。环境资源包括生物生存的地球—大气系统中的所有自然物质。然而，环境工程关注更多的是两种主要的环境流体——水和空气，土壤也受到环境工程师的关注，但是与水和空气相比其受关注的程度要少一些。事实上，也有很多与土壤有关的环境问题，因为土壤往往在影响水质和空气质量中扮演重要角色。如果考虑到人类对环境污染物的暴露途径的话，我们就可以理解为什么会对环境流体如此重视了。通常情况下，暴露包括与环境流体接触。考虑一个人如何与有害物质相接触，通常有三种主要的潜在接触途径：①呼吸空气；②摄入水、其他流体和食物；③物质与皮肤直接接触。一般情况下，一个成年人一天吸入 10~20kg 的空气，摄入 1~3kg 的流体再加 1kg 的食物，而直接接触土壤的量则极少（只有几克或更少）。因此，简单地基于接触量来考虑，对空气和水的暴露可能性要大得多。

在本书中所使用的“环境”一词，同时包括了自然的和人工建造的环境。其中主要指的是生命存在的环境，即我们所知的“生物圈”。当我们提到水和空气等环境流体时，既包含了在城市配水系统中的水、污水处理厂的废水和建筑物中的空气，也包含了自然环境中的水和空气。

存在于环境流体中的化合物通常用组分、杂质、物种、致污物和污染物等不同的术语来表示。组分是最广泛的术语，它包括了存在于流体中的所有物质，包括基本的流体分子。我们将用杂质或物种来表示所有东西，而不是仅仅指占主导的本底流体。杂质可能是有害的，也可能是无害的。比如，溶解氧作为一种普遍存在于水中的物种，是无害的。另一方面， SO_2 是空气中的一种杂质，却会对人类健康产生不利影响。致污物和污染物这两个词或多或少可以相互交换，用来表示那些由于它们的存在而引起不良后果的组分。因此，所有的致污物和污染物都可以看作杂质，而所有的杂质也可以看作是环境流体的组分。

原始环境中环境流体的组成没有受到人类活动的显著影响。原始环境中并非没有污染物，环境工程的目标也并不是去创造一个原始的世界。例如，火山爆发向大气中喷出灰和酸性气体，会对当地环境产生破坏性影响。闪电会产生臭氧并引发森林大火，从而产生其他的空气污染物，比如黑烟、一氧化碳和氮氧化物等。即使我们的理想目标是建立一个原始环

境,但以目前人类所具有的人口规模,这是完全不可能实现的。

相反,环境工程的中心任务是利用科学知识来开发和应用科学技术,最大限度地减小环境介质中相关污染物所造成的不利影响。环境工程师做了一系列的工作以实现这个目标。他们对环境污染做出评价,设计并运行处理工艺和排放控制设施来满足环境质量标准的需要;他们设计出控制战略,决定应该减少哪种污染源、减少多大的量,以满足环境质量的目标。环境工程师也帮助起草环境标准。虽然建立环境标准是属于政治范畴的活动,但环境工程师的加入对于开发和制定出一套包含准确技术信息的环境标准是至关重要的。

环境工程师必须了解控制水、空气和其他介质中污染物浓度的基本原理。环境工程师还必须具备过去的和当前的环境工程实践的知识。要将自然发生的污染控制措施的模拟过程放大,就必须了解其基本原理。对当前和未来的环境问题的工程解决方案也需要进行创新。知识、理解力和灵感是进行创新的必备条件。

环境工程和环境科学是具有一些共同特征的不同学科。环境科学的主要目标是提高我们对自然过程的理解。环境工程师们则努力利用这种对自然过程的理解来开发技术并加以应用,从而更好地维持或改善环境质量。为了达到这个目的,工程师们需要对环境科学有一定的理解,这种理解是必需的,但不需要像环境科学家一样理解得那么深刻。

本书取名为“环境工程原理”,因为它同时涉及环境科学和环境工程在环境质量改善上的应用。本书中包括的主题是为实现环境质量的技术管理目标服务的。本书与以前出版的一些环境工程类图书的不同在于,本书尽可能地将环境工程实践知识建立在严格扎实的科学基础上。这本书的重点是两种最重要的环境流体——空气和水,以及影响它们的废物流。这些主题有着共同一套科学原理并且构成了环境工程的主要分支。

第I部分代表了本书的核心内容,主要阐述了控制自然和工程系统中空气和水体污染物浓度和归趋的基本过程。第1章概述了环境工程中的一些成果和未来的挑战,并介绍了一些主要概念。第2章描述了水和空气的主要特征以及环境工程中关注的一些物种。第3章阐述了污染物的转化过程,同时概要介绍了基本原理并讨论了环境工程中的一些特定工艺。第4章讨论了环境流体中污染物的迁移过程。第I部分以第5章为结尾,介绍了一些预测迁移和转化过程对污染物浓度影响的模型化方法。在整个的第I部分中,从水质工程、空气质量工程和危险废物管理中给出了相关的一些例子和问题。

在第II部分中更加系统地提出了环境质量问题的工程解决方案。这部分内容很多地方都用到了第I部分中阐述的原理。所有材料被组织成三章,分别是水质工程(第6章)、空气质量工程(第7章)和危险废物管理(第8章)。

在本书的最后,提供了几个附录。附录A中的表格中包含了环境工程分析中需要用到的一些有用的数据。附录B和附录C分别提供了一些关于电离辐射和有机化学主题的介绍性背景材料。附录D总结了一些在环境工程中需要用到的重要数学分析工具。附录E包括一些对第3章加以补充的关于转化过程的附加材料。附录F总结了一些重要的与环境质量相关的美国联邦法规。

1.2 环境工程的研究领域

本节内容简要叙述本书中涉及的环境工程领域的三个分支。目标是着重概述目前已取得的一些成果,并指出当前这一行业所面临的一些挑战。环境工程的这三个分支的内容将在第II部分中进行更具体的阐述。

1.2.1 水质工程

水质工程传统上分为两个子专业：给水处理和废水处理。在给水处理中，目标是把从水源取来的水经过必需的处理工艺后，使之满足特定的使用用途。所采用的处理工艺随水源的不同和应用目的的不同而有所变化。最重要的水源是地表水（包括河水、湖泊水）和地下水。经处理后的水的主要用途有城市供水（饮用水）、工业用水和农业灌溉水。一旦水被使用后就要进入废水处理。废水在被排放到环境之前，需要收集起来用物理、化学和生物的方法进行处理。需要使用何种特定的废水处理工艺取决于水的使用情况和处理后的废水排放到何处。在实践中，给水处理工程通常被看作是废水处理工程完全独立的一个学科，然而，大部分的基本原理却是相同的，并且它们之间的界限也越来越模糊。导致这种界限模糊的部分原因是因为人们对有限的可供利用的地表水所进行的无意识的或有目的的循环利用，以及水质工程领域的扩展，包括对自然水体更广泛的关注。水质工程现在涉及的问题包括污染物的归趋和迁移、水生生态、城市径流对江河海口环境的影响以及其他的一些超越传统的给水和废水处理系统边界的主题。

追溯其历史，给水和废水处理是环境工程中的主要方面，其主要领域是“卫生工程”和“公共卫生工程”。这些名称反映了 19 世纪中叶开始出现的水质、卫生和公共卫生的紧密结合。在这以前，极差的卫生条件导致了饮用水和食物被人和动物的废物污染。由于没有令人满意的方法用来处理城市中产生的人类废物，使城市供水受到了普遍污染，因此在欧洲的城市中，霍乱、伤寒和痢疾等流行病的爆发是司空见惯的。

19 世纪中叶发生的一些重要事件使卫生工程有了一个开端。艾德温·查德威克（Edwin Chadwick）爵士负责调查当时英国城市中不良健康状况的问题。他的报告认为糟糕的卫生状况是引起健康问题的主要原因，并建议要使城市具有良好的卫生状况，必须建立清洁的城市供水系统以及适当的排水系统以去除人类产生的废物。当然，这就是我们今天所使用的方法。然而，在那个时候，查德威克的建议并没有受到太大的关注。之后在 1854 年，伦敦爆发了新一轮的霍乱，最后导致了 10000 人死亡。有一个叫约翰·斯诺（John Snow）的医学博士，根据霍乱死亡者所在的地址绘制了一张地图，这张地图显示霍乱死亡者有很强的聚集性，基本都集中在 Broad 大街上一个城市水泵站的附近（见图 1.2.1）。斯诺最终使城市官员相信了霍乱与饮用水的相关性，并拆掉了水泵的把手，强迫人们从其他的地方取水。很快，在那个区域附近新增加的霍乱病例数量明显减少。这是一个表明水和疾病之间具有关联的引人注目的实证。后来，在 19 世纪 70 年代，罗伯特·科赫（Robert Koch）证明了流行病是由微生物引起的。到这个时候，查德威克的建议才开始在英国和其他一些城市以及北美得以实施。

防止疾病传播的两个重要的处理饮用水的工艺是过滤和化学消毒。过滤最早被引入作为城市供水处理工艺是在 1804 年苏格兰的佩斯利（Paisley）（Baker, 1981）。在那套系统中，水先通过粗砂砾床，然后经过细砂砾，经过这两步，水中的悬浮颗粒物被去除。在当时，水和疾病之间的联系还没有被认识到，因此此时过滤的主要目的仅仅是使得水更干净。快速砂滤这项目前还在使用的技术最早是美国于 19 世纪 80 年代引入到城市供水处理系统中的（Baker, 1981）。虽然某些细节部分已经发生了很大变化，但砂滤仍然是今天很重要的一种处理技术。

化学消毒包括加入一些可以杀灭微生物的化学氧化剂到水体中。氯化物是美国饮用水消毒中使用最为广泛的消毒剂。在欧洲和加拿大，臭氧被广泛用作化学消毒剂。首次大规模使