

Mackenzie L. Davis David A. Cornwell

王建龙 译

Introduction to
Environmental Engineering

(Fourth Edition)

环境工程导论
(第4版)



清华大学出版社

大 学 环 境 教 育 丛 书

(翻 译 版)

Mackenzie L. Davis David A. Cornwell

王建龙 译

**Introduction to
Environmental Engineering**

环境工程导论

(第4版)

清华大学出版社
北 京

Mackenzie L. Davis, David A. Cornwell
Introduction to Environmental Engineering, Fourth Edition
ISBN: 978-0-07-242411-9

Copyright © 2008 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) and Tsinghua University Press Limited. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2010 by McGraw-Hill Education (Asia), a division of the Singapore Branch of The McGraw-Hill Companies, Inc. and Tsinghua University Press Limited.

版权所有。未经出版人事先书面许可,对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播,包括但不限于复印、录制、录音,或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司和清华大学出版社有限公司合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内(不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾)销售。

版权© 2010 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与清华大学出版社有限公司所有。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2007-2426

版权所有,侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

环境工程导论: 第4版/(美)戴维斯(Davis, M. L.), (美)康韦尔(Cornwell, D. A.)著; 王建龙译. —北京: 清华大学出版社, 2010. 3

(大学环境教育丛书: 翻译版)

书名原文: Introduction to Environmental Engineering, Fourth Edition

ISBN 978-7-302-20763-4

I. 环… II. ①戴… ②康… ③王… III. 环境工程—高等学校—教材 IV. X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 151235 号

责任编辑: 柳 萍

责任校对: 刘玉霞

责任印制: 王秀菊

出版发行: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 清华大学印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×230 印 张: 56 字 数: 1219 千字

版 次: 2010 年 3 月第 1 版 印 次: 2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 95.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770177 转 3103 产品编号: 024896-01

出版前言

在 21 世纪之初,面临各种环境问题,人类清醒地认识到要走可持续发展之路。而发展环境教育是解决环境问题和实施可持续发展战略的根本。高等学校的环境教育,是提高新世纪建设者的环境意识,并向社会输送环境保护专门人才的重要途径。为了反映国外环境类教材的最新内容和编写风格,同时也为了提高学生阅读专业文献和获取信息的能力,我们精选了国外一些优秀的环境类教材,加以影印或翻译,组成大学环境教育丛书。所选教材均在国外被广泛采用,多数已再版,书中不仅介绍了有关概念、原理及技术方法,给出了丰富的数据,也反映了作者不同的学术观点。

我们希望这套丛书的出版能对高等院校师生和广大科技人员有所帮助,并为我国的环境教育事业作出贡献。

清华大学出版社

2010 年 1 月

前 言

《环境工程导论》(第4版)与前一版的风格和内容相似,主要面向环境工程专业大学二年级学生,其内容深度也适合更高级的课程学习使用。本书涵盖了基本的、传统的课程内容,介绍了环境科学与工程的基本原理,这些内容是学习更高级课程的基础。我们已讲授该书内容60多次。该书也适合生物学、化学、资源开发、渔业和野生动植物学、微生物学和土壤科学等专业的大学生学习,其内容对这些专业的学生没有困难。

使用本书的学生需学习过化学、物理和生物学,他们还应当具备足够的数学知识,理解微分和积分的基本概念。在该书每章的开头部分介绍了相关的化学和环境化学的基本概念,这种安排使化学基础知识与其环境应用有机地结合起来,为学生提供了分析与理解环境工程问题的工具。此外,还介绍了相关的基础化学知识。本书有100多道与化学相关的习题。同样,在废水处理一章中介绍了微生物学的重要基本概念。在数学公式方面,仅给出了一些简单的推导。根据我们的经验,严格的数学公式推导对工程专业的学生益处不大,有时甚至会引起困惑。

在该书的编写过程中始终贯穿两个主题。一是引入物质与能量平衡的概念,并将其作为理解环境过程及解决环境问题的工具。这个概念在全新并独立的一章中引入,并应用于水文学中的质量守恒系统(水文循环、公式推导、水库设计)。该主题在第4章中扩展到污泥的质量平衡,在第5章中扩展到溶解氧的氧垂曲线。在第6章,推导出完全混合式活性污泥系统的设计方程。在第7章,质量平衡被用于解释煤燃烧过程中二氧化硫的产生量以及吸收塔设计方程的推导。在第10章,质量平衡方法被用于废物审计。该书有100多道涉及物质与能量平衡内容的习题。

该书的第二个主题是可持续性的概念。在第1章首先引入了废物量化的方法,在后续章节的相关主题中进行了讨论,如节约用水、水处理过程中的污泥小量化、废水的土地处理、臭氧层保护、全球变暖、资源保护及固体废物回收、危险废物管理以及放射性废物的减容等。

该书的每章都包括本章复习、习题及问题讨论。本章复习按照 Accreditation Board for

Engineering and Technology (ABET)的“客观”形式编写,授课教师会发现这特别有助于指导学生进行复习考试、教学质量的连续改进以及为 ABET 课程复习做准备。我们发现问题讨论对检查学生掌握基本概念的情况非常有用。

第4版增加了222道新的习题,全书总习题达650道,其中66道设计为应用计算程序解题。以下为第4版的主要修改内容:

- 第1章中加入了可持续性以及法律法规制定过程的讨论,环境伦理学方面的讨论也有所扩展。
- 增加了物质与能量平衡新的独立的一章。
- 重新组织了水文学一章,并进行了大量删节。
- 修订了水处理一章,包括亨利定律新的形式、关于水媒病和砷的内容、更新的水质标准、更新的混合系统设计技术、对膜处理技术的讨论,对紫外消毒方面的内容进行了扩充和修改,并增加了2道新例题。
- 扩充了水质管理一章,包括内分泌干扰物(EDCs)、总的最大日负荷(TMDL)、河口水质管理、地下水水质(包括污染物的非控制排放以及海水侵入到含水层)等方面的讨论。
- 在废水处理一章中增加了新的引言、加入了处理标准和膜处理等内容,此外,对该章内容还做了重新安排,将微生物学内容放到离活性污泥处理微生物应用更近之处。
- 在空气污染一章,更新了空气污染标准,增加了关于汞、铅和 $PM_{2.5}$ 方面的内容。此外,还更新了空气污染物的来源与归宿、室内空气、酸雨、臭氧层消耗、全球变暖及机动车排放等内容。增加了关于催化燃烧、粉尘收集袋、汞控制等方面的讨论。增加了关于催化燃烧和粉尘收集袋设计方面的2道例题。
- 在噪声污染一章中,修改了概述部分,包括听力损伤对人的影响,噪声污染对市政工程项目和商业方面的经济影响。增加了关于 L_{dn} 概念的讨论,完全修订了空气传输的计算方法以反映ISO的计算程序。
- 在固体废物管理一章中,更新了概述及收集方法的讨论。删减并更新了关于产生者需求、运输法规、地下水储灌等方面的讨论。增加了关于非控制释放污染物的阻滞及抽取-处理方面的内容和习题。
- 按照SI单位制修订了电离辐射一章。增加了3道新例题,更新了关于放射性废物的讨论。

按照密歇根州立大学的课程安排,该书可供环境工程专业高年级的学生使用。该书部分章节的基础部分(水文学、物质和能量平衡、水处理、水质、废水处理、空气污染、噪声污染和固体废物)包括在导论课程中。更高级的内容,包括大部分设计概念涵盖在后续的相关课程中(水文学、水与废水处理厂设计、固体与危险废物管理)。部分内容(环境立法、电离辐射)可以留给学生自己选择学习。

教师手册、PPT 课件等材料经申请授权后可从网上在线获得。进入密码可通过联系

McGraw-Hill 经销代理得到。教师手册包括讲课大纲、附有答案的试卷样本以及每章后习题的详细解答。此外,还有关于利用教学辅助材料的建议。

密歇根州立大学的许多校友认为,对于复习和准备职业工程师考试,本书也是一本优秀的教材。对于自学来说,该书可读性强;对于复习考试来说,该书提供了足够的例题和资料。许多人将其作为准备考试的重要参考资料,并且一直在使用它。

我们衷心感谢您的意见、建议、更正,这些将用于未来的修订。

Mackenzie L. Davis

David Cornwell

致 谢

与编写其他教材一样,我们不可能将对本书做出贡献的所有人员的名字一一列出,但这里仍然要冒着挂一漏万的风险,对以下各位表示特别的感谢。

在本书 4 个版本的编写和修订的许多年里,以下同学帮助解答习题、校对文稿、准备教案、提出难题,以确保其他学生能够基本理解该书的内容。他们分别是: Shelley Agarwal, Stephanie Albert, Deb Allen, Mark Bishop, Aimee Bolen, Kristen Brandt, Jeff Brown, Amber Buhl, Nicole Chernoby, Rebecca Cline, Linda Clowater, Shauna Cohen, John Cooley, Ted Coyer, Marcia Curran, Talia Dodak, Kimberly Doherty, Bobbie Dougherty, Lisa Egleston, Karen Ellis, Craig Fricke, Elizabeth Fry, Beverly Hinds, Edith Hooten, Brad Hoos, Kathy Hulley, Geneva Hulslander, Lisa Huntington, Angela Ilieff, Alison Leach, Gary Lefko, Lynelle Marolf, Lisa McClanahan, Tim McNamara, Becky Mursch, Cheryl Oliver, Kyle Paulson, Marisa Patterson, Lynnette Payne, Jim Peters, Kristie Piner, Christine Pomeroy, Susan Quiring, Erica Rayner, Bob Reynolds, Laurene Rhyne, Sandra Risley, Carlos Sanlley, Lee Sawatzki, Stephanie Smith, Mary Stewart, Rick Wirsing, Ya-yun Wu。在此,对他们表示衷心的感谢!

作者也感谢以下评阅人,他们对该教材的前 3 版提出了许多有益的意见和建议。他们分别是: Wayne Chudyk, Tufts University; John Cleasby, Iowa State University; Michael J. Humenick, University of Wyoming; Tim C. Keener, University of Cincinnati; Paul King, Northeastern University; Susan Masten, Michigan State University; R. J. Murphy, University of South Florida; Thomas G. Sanders, Colorado State University; Ron Wukasch, Purdue University。以下人员对本书第 4 版提出了许多有益的意见和建议。他们分别是: Myron Erickson, P. E., Clean Water Plant, City of Wyoming, MI; Thomas Overcamp, Clemson University; James E. Alleman, Iowa State University; Janet Baldwin, Roger Williams University; Ernest R. Blatchley, III, Purdue University; Amy B. Chan Hilton, Florida A&M University-Florida State University; Tim Ellis, Iowa State

University; Selma E. Guigard, University of Alberta; Nancy J. Hayden, University of Vermont; Jin Li, University of Wisconsin-Milwaukee; Ming-ming Lu, University of Cincinnati; Taha F. Marhaba, New Jersey Institute of Technology; Alexander P. Mathews, Kansas State University; William F. McTernan, Oklahoma State University; Eberhard Morgenroth, University of Illinois at Urbana-Champaign; Richard J. Schuhmann, The Pennsylvania State University; Michael S. Switzenbaum, Marquette University; Derek G. Williamson, University of Alabama.

我们要衷心感谢 John Eastman, 他是我们值得尊敬的朋友和前同事, 感谢他对该教材第 1 版中第 5 章所做的贡献, 感谢他提出的建设性批评及对部分材料的“独立”试验。Kristin Erickson, 密歇根州立大学辐射、化学和生物安全办公室的辐射安全官员, 对该教材第 3 版中第 11 章的修订做出了贡献, 我们表示由衷的感谢!

最后, 感谢我们的家人, 他们对该书编写给予了特别的宽容和支持。

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 什么是环境工程	2
1.1.1 专业的、学术性的及其他的	2
1.1.2 什么是工程	3
1.1.3 关于环境工程	3
1.2 环境工程引论	4
1.2.1 本书的主题	4
1.2.2 本书内容提要	4
1.3 环境系统概论	5
1.3.1 系统	5
1.3.2 水资源管理系统	5
1.3.3 空气资源管理系统	9
1.3.4 固体废物管理	11
1.3.5 多介质系统	11
1.3.6 可持续性	11
1.4 环境立法与法规	12
1.4.1 法规、法律和条例	12
1.4.2 水质管理	14
1.4.3 空气质量管理	21
1.4.4 噪声污染控制	29
1.4.5 固体废物	30
1.4.6 危险废物	31
1.4.7 原子能与辐射	33
1.5 环境伦理	34

1.6	本章复习	36
1.7	习题	36
1.8	问题讨论	37
1.9	参考文献	39
第2章	物质与能量平衡	41
2.1	引言	42
2.2	物质与能量守恒理论	42
2.2.1	物质守恒	42
2.2.2	能量守恒	42
2.2.3	物质和能量守恒	42
2.3	物质平衡	43
2.3.1	基本原理	43
2.3.2	时间因素	45
2.3.3	更复杂的系统	46
2.3.4	效率	48
2.3.5	混合状态	51
2.3.6	包含反应	54
2.3.7	反应器	58
2.3.8	反应器分析	60
2.4	能量平衡	68
2.4.1	热力学第一定律	68
2.4.2	基本原理	68
2.4.3	热力学第二定律	76
2.5	本章复习	78
2.6	习题	78
2.7	问题讨论	86
2.8	参考文献	87
第3章	水文学	88
3.1	基础理论	89
3.1.1	水文循环	89
3.1.2	地表水水文学	89
3.1.3	地下水水文学	91
3.1.4	水文质量平衡	93

3.2	降雨分析	97
3.3	径流分析	102
3.3.1	地表径流量的估算	103
3.3.2	到达时间的估算	114
3.3.3	发生概率的估算	116
3.4	水库储存量	117
3.4.1	水库的分类	117
3.4.2	水库的容量	117
3.5	地下水与水井	121
3.5.1	水井的构造	122
3.5.2	降落漏斗	124
3.5.3	术语	125
3.5.4	水井水力学	129
3.5.5	地下水污染	141
3.6	废水减量与节约用水的可持续性	142
3.7	本章复习	142
3.8	习题	143
3.9	问题讨论	163
3.10	参考文献	164
第4章	水处理	166
4.1	引言	167
4.1.1	水化学	170
4.1.2	反应动力学	184
4.1.3	水质	189
4.1.4	物理性质	190
4.1.5	化学性质	190
4.1.6	微生物学性质	192
4.1.7	放射性	192
4.1.8	水质标准	192
4.1.9	水的分类与处理系统	204
4.2	混凝	206
4.2.1	胶体稳定性	207
4.2.2	胶体脱稳	207
4.2.3	混凝	207

4.3	软化	212
4.3.1	石灰-苏打软化	216
4.3.2	石灰-苏打软化的高级概念	223
4.3.3	离子交换软化	229
4.4	混合和絮凝	231
4.4.1	快混	232
4.4.2	絮凝	234
4.4.3	动力要求	235
4.5	沉淀	239
4.5.1	概述	239
4.5.2	沉淀原理	243
4.5.3	v_s 的确定方法	246
4.5.4	v_0 的确定方法	247
4.6	过滤	253
4.6.1	滤料粒径特性	257
4.6.2	过滤水力学	259
4.7	消毒	264
4.7.1	消毒动力学	264
4.7.2	水中加氯反应	264
4.7.3	氯消毒	265
4.7.4	氯-氨反应	267
4.7.5	水氯化的实践应用	268
4.7.6	二氧化氯	270
4.7.7	臭氧	270
4.7.8	紫外光照射	271
4.7.9	高级氧化工艺	274
4.8	吸附	274
4.9	膜工艺	275
4.10	水厂废物管理	277
4.10.1	污泥产生量和特性	278
4.10.2	污泥产生量最小化的可持续性	281
4.10.3	污泥处理	281
4.10.4	最终处置	290
4.11	本章复习	290
4.12	习题	292

4.13	问题讨论	311
4.14	参考文献	311
第5章	水质管理	314
5.1	引言	315
5.2	水中污染物及其来源	315
5.3	河流水质管理	319
5.3.1	总最大日负荷	320
5.3.2	耗氧物质对河流的影响	320
5.3.3	生化需氧量	321
5.3.4	BOD 常数图解法	325
5.3.5	BOD 的实验室测量	327
5.3.6	关于 BOD 的其他说明	329
5.3.7	氮的氧化	330
5.3.8	氧垂曲线	331
5.3.9	营养物质对河流水质的影响	345
5.4	湖泊水质管理	345
5.4.1	分层作用与翻腾	346
5.4.2	生物层	347
5.4.3	湖泊生产力	348
5.4.4	富营养化	348
5.4.5	藻类生长需求	349
5.4.6	限制性营养物质	350
5.4.7	湖泊中磷的控制	350
5.4.8	湖泊酸化	351
5.5	河口水质管理	353
5.6	地下水水质管理	354
5.6.1	不受控制的排放	354
5.6.2	海水入侵	355
5.7	本章复习	358
5.8	习题	359
5.9	问题讨论	365
5.10	参考文献	366

第6章 废水处理	368
6.1 概述	369
6.2 废水的特性	370
6.2.1 生活污水的物理特性.....	370
6.2.2 生活污水的化学特性.....	370
6.2.3 工业废水的特性.....	371
6.3 废水处理标准	372
6.4 现场处置系统	375
6.4.1 带水的现场处理和处置系统.....	375
6.4.2 不利场所条件的现场处理和处置系统.....	380
6.4.3 其他现场处理和处置选择.....	382
6.4.4 不带水的现场处理和处置系统.....	382
6.5 城市废水处理系统	384
6.6 预处理单元操作	385
6.6.1 格栅.....	385
6.6.2 沉砂池.....	386
6.6.3 破碎机.....	387
6.6.4 调节池.....	388
6.7 一级处理	391
6.8 二级处理单元过程	393
6.8.1 总论.....	393
6.8.2 废水处理中的微生物.....	394
6.8.3 活性污泥法.....	403
6.8.4 滴滤池法.....	422
6.8.5 氧化塘.....	428
6.8.6 生物转盘.....	430
6.9 消毒	431
6.10 废水三级处理.....	432
6.10.1 过滤.....	432
6.10.2 活性炭吸附.....	433
6.10.3 除磷.....	433
6.10.4 脱氮.....	434
6.11 土地处理.....	435

6.11.1	慢速率·····	436
6.11.2	地表水流·····	437
6.11.3	快速渗人·····	437
6.12	污泥处理·····	437
6.12.1	污泥来源与特性·····	438
6.12.2	污泥固体含量的计算·····	439
6.12.3	污泥浓缩·····	445
6.12.4	污泥稳定·····	450
6.12.5	污泥调理·····	453
6.12.6	污泥脱水·····	455
6.12.7	污泥减量·····	456
6.13	污泥处置·····	456
6.13.1	最终处置·····	456
6.13.2	可持续的地面散布·····	457
6.13.3	填埋·····	457
6.13.4	专用场地处置·····	457
6.13.5	利用·····	457
6.13.6	污泥处置法规·····	457
6.14	本章复习·····	459
6.15	习题·····	461
6.16	问题讨论·····	473
6.17	参考文献·····	474
第7章	空气污染·····	477
7.1	空气污染概述·····	478
7.2	物理和化学原理·····	479
7.2.1	理想气体定律·····	479
7.2.2	道尔顿分压定律·····	479
7.2.3	绝热膨胀和压缩·····	480
7.2.4	测量单位·····	480
7.3	空气污染标准·····	483
7.4	空气污染物的影响·····	484
7.4.1	对材料的影响·····	484
7.4.2	对植物的影响·····	485
7.4.3	对健康的影响·····	487

7.5	空气污染物的来源和归宿	492
7.5.1	一氧化碳	492
7.5.2	有害空气污染物	492
7.5.3	铅	493
7.5.4	二氧化氮	493
7.5.5	光化学氧化物	494
7.5.6	硫氧化物	494
7.5.7	颗粒物	496
7.6	微观和宏观空气污染	496
7.6.1	室内空气污染	496
7.6.2	酸雨	501
7.6.3	臭氧消耗	502
7.6.4	全球变暖	504
7.7	空气污染气象学	507
7.7.1	大气发动机	507
7.7.2	湍流	508
7.7.3	稳定度	509
7.7.4	地形影响	511
7.8	大气扩散作用	515
7.8.1	影响空气污染物扩散的因素	515
7.8.2	扩散模型	516
7.9	室内空气质量模型	523
7.10	固定源的空气污染控制	525
7.10.1	气态污染物	525
7.10.2	烟气脱硫	536
7.10.3	氮氧化物控制技术	537
7.10.4	颗粒污染物	538
7.10.5	汞的污染控制	548
7.11	移动源的空气污染控制	548
7.11.1	发动机原理	548
7.11.2	机动车排放量的控制	553
7.12	废物减量化	554
7.13	本章复习	555
7.14	习题	556
7.15	问题讨论	564