

土壤及地下水 修复工程设计

Practical Design Calculations for
Groundwater and Soil Remediation

【美】杰夫·郭 (Jeff Kuo) 编著
北京建工环境修复有限责任公司翻译组 译



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

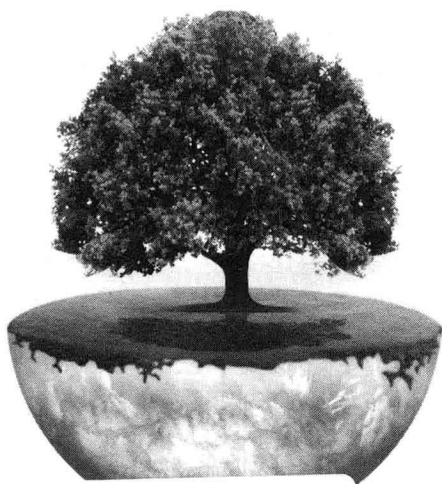


CRC Press
Taylor & Francis Group

土壤及地下水 修复工程设计

Practical Design Calculations for
Groundwater and Soil Remediation

【美】杰夫·郭 (Jeff Kuo) 编著
北京建工环境修复有限责任公司翻译组 译



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书内容丰富详实,涵盖了场地修复工程计算的多方面,包括场地调查、反应器设计、土壤和地下水修复等的计算,是一本具有指导意义的设计计算说明书籍。

场地修复工程涉及地质、水文、化学、土木、环境等学科,这使得具有单一学科背景的人员难以完成系统的场地修复设计计算。本书“烹饪书式”的写作手法解决了以上难题。本书从原理引出公式,再过渡到工程案例计算,循序渐进,使非相关学科背景的人员也能很快读懂,适合作为地下水和土壤修复领域的工程师们的工作手册使用,也可作为高年级大学生或环境修复方向的研究生们的补充教材或参考书使用。

Jeff Kuo: Practical Design Calculations for Groundwater and Soil Remediation, First Edition, ISBN 1-56670-238-0

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved;

Publishing House of Electronics Industry is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下 CRC 出版公司出版,并经其授权翻译出版。版权所有,侵权必究。本书中文简体翻译版版权由电子工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号:图字 01-2013-001
未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

土壤及地下水修复工程设计 / (美)郭(Kuo, J.) 编著;北京建工环境修复有限责任公司翻译组译. —北京:电子工业出版社, 2013.6

书名原文: Practical Design Calculations for Groundwater and Soil Remediation

ISBN 978-7-121-20416-6

I. ①土… II. ①郭…②北… III. ①土壤污染—污染防治 ②地下水污染—污染防治 IV. ①X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 099607 号

责任编辑:秦绪军

文字编辑:薄宇

印刷:

装订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本:720×1000 1/16 印张:17 字数:299.2 千字

印次:2013 年 6 月第 1 次印刷

定 价:49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zits@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

译者序

在我国工业化、城市化和农业集约化的快速发展过程中，大量人为排放的污染物进入土壤和地下水，造成的环境影响日益凸显。土壤和地下水污染已成为限制我国经济结构转型、威胁粮食和饮用水安全、危害人民群众身体健康、阻碍社会和经济可持续发展的重大隐患。在《国家环境保护“十二五”规划》中，土壤和地下水污染修复工作被列为“十二五”期间需要切实解决的突出环境问题之一，未来市场潜力巨大。

20 世纪 80 年代以来，欧美发达国家逐步推进污染场地修复工作，在土壤和地下水的治理方面积累了丰富的经验。我国的场地修复起步较晚，直至 2007 年，国内以北京宋家庄交通枢纽污染场地为代表的修复工程项目开始实施，我国场地修复正式进入大规模的工程化阶段。2007—2012 年，国内已完成各类场地修复项目近 40 个。但是，场地修复技术单一，工程化进展缓慢，设计与施工粗放等问题依然存在。译者认为，其中的原因包括但不限于以下两点：首先，在中文资源检索范围内，各类图书、论文等都对污染场地修复的现有或前沿知识理论体系有了比较详细、全面的介绍，奠定了修复行业发展的基础，但均难以指导实际工程应用。其次，污染场地修复工程涉及环境、土木、地质、水文、化学、生物、材料、机械等领域，若没有经过专门的综合培训，技术/设计人员很难独立完成一整套方案的设计或计算工作。

一方面，污染场地修复工作任重而道远；另一方面，修复工程设计不成熟，完成一份优秀的工程设计方案往往费时费力，走许多弯路。如何解决“供”、“需”矛盾，提高修复人员的设计水平，理论联系实际，确保设计质量、效率及可行性这是立志成为“环境修复领域的领跑者”的北京建工环境修复有限责任公司一直思考并致力于解决的问题。译者在杰夫·郭的《Practical Design Calculations for Groundwater and Soil Remediation》中找到了答案，并决定翻译此书，与行业同仁或学生共享。该书的特点与各章节主要内容已在内容简介和第一章中介绍，在此不再赘述。

2012年9月，北京建工环境修复有限责任公司组织工程经验丰富、专业英语功底扎实的同事成立翻译小组，正式开始本书的翻译工作。第1~3、4、5、6、7章的译者依次为杨乐巍/李书鹏、张秋子、于宏旭、徐海珍、王翔，为了确保翻译的准确性、专业性，他们做了许多探讨与修改，花费了许多时间与精力。李书鹏、马骏翻译做了大量细致的审阅与修订工作，确保了图书翻译的质量。郭丽莉、李静文承担了本书的前期排版与公式校对工作。

在此，对参与本书翻译与出版的同仁表示衷心的感谢！

如果本书对污染场地修复的业内同仁或有志于从事修复事业的学生有所帮助，译者将感到莫大的欣慰。由于翻译的水平和时间有限，文中难免存在错漏，恳请读者指正和原谅。

译者

2013年3月

作者序

近年来，人们对危险废弃物管理行业的关注已从诉讼、场地评价放眼至场地修复。场地修复阶段工作繁多，需要各方充分协调，通力合作。因此，修复专业人员的专业背景往往多种多样——地质学、水文学、化学、微生物学、气象学、毒理学和传染病学等科学学科，以及化学、机械、电力、土木、环境等工程学科。不尽相同的教育背景，使得他们进行或审核场地修复设计计算的能力差异很大。对他们中的一些人来说，做出精准的设计计算似乎是一个不可能完成的任务。

绝大多数的场地修复书籍仅给出了描述性的修复措施，在我看来，还没有一本书能提供具有指导意义的设计计算说明。应土壤和地下水修复领域同行们——受聘于工业行业、咨询公司、律师事务所和管理部门的现场工程师、科学家和法律专家，以及高校在校生的现实需要，特编此书。书中提供的实践参数及相关工作信息，均来自于前人著作研究以及我个人在咨询和教学工作中的亲身实践经验。我真挚地希望，该书能成为场地修复领域专家和学生的有用工具。如果您有什么意见或建议，欢迎来信至我的邮箱 jkuo@fullerton.edu。

最后，请允许我借此机会感谢洛杉矶郡卫生区的 Tom Hashman 和 Ziad El Jack，他们为原稿修订提出了许多宝贵意见。

作者简介

杰夫·郭 (Jeff Kuo) 于 1995 年受聘于加利福尼亚州立大学 (位于美国加州富勒顿) 土木与环境工程系, 在此之前, 他已在环境工程领域从业十余载。他在地下水科技股份有限公司 (现在的 Flour-GTI)、戴姆斯摩尔公司 (Dames & Moore)、詹姆斯·蒙哥马利咨询工程公司 (现在的 Montgomery-Watson)、南亚塑胶公司和洛杉矶郡卫生区的工作中积累了丰富的从业经验。杰夫·郭在环境工程领域的实践经验包括: 空气吹脱装置、活性炭吸附器、火焰/催化焚烧炉以及土壤和地下水修复生物系统的设计与安装; 场地评价和环境中有毒物质的归趋分析; 填埋场和超级基金场地的修复调查、可行性研究工作; 应对日趋严格的无组织排放要求的特殊设计; 污水处理系统的尾气排放; 污水处理。此外, 他还完成了多项研究: 卤代芳烃的超声波脱氯、粉剂/菌剂在多孔介质内的迁移、沥青的生物可降解性、复合矿物氧化物的表面特征、活性炭吸附动力学、污水过滤、离子交换树脂的三氯甲烷生成势和紫外消毒。

杰夫·郭 (Jeff Kuo) 在“国立”台湾大学取得化学工程学士学位, 在美国怀俄明州立大学取得化学工程硕士学位, 后在南加利福尼亚州立大学获得石油工程硕士学位以及环境工程的硕士及博士学位。杰夫·郭 (Jeff Kuo) 是加利福尼亚注册土木工程师、注册机械工程师、注册化学工程师。

单位换算表 (1/3)

| 1. 长度单位 | | | | | |
|---------------------|---------------------|----------|---------|-------|------------------------|
| [公制]米 | [公制]厘米 | [英制]英寸 | [英制]英尺 | [英制]码 | [英制]英里 |
| m | cm | in | ft | yd | mi |
| 1 | 100 | 39.37008 | 3.28084 | 1.094 | 6.214×10^{-4} |
| 0.01 | 1 | 0.3937 | 0.03281 | 0.011 | 6.214×10^{-6} |
| 0.0254 | 2.54 | 1 | 0.08333 | 0.028 | 1.578×10^{-5} |
| 0.3048 | 30.48 | 12 | 1 | 0.333 | 1.894×10^{-4} |
| 0.9144 | 91.44 | 36 | 3 | 1 | 5.682×10^{-4} |
| 1.609×10^3 | 1.609×10^5 | 63360 | 5280 | 1760 | 1 |

| 2. 体积单位 | | | | |
|------------------------|---------------------|-----------|------------------------|------------------------|
| [公制]立方米 | [公制]立方厘米 | [公制]升 | [美制]加仑 | [英制]立方英尺 |
| m^3 | cm^3 | L | gal | scf (ft^3) |
| 1 | 10^6 | 10^3 | 264.172 | 35.315 |
| 10^{-6} | 1 | 10^{-3} | 2.642×10^{-4} | 3.531×10^{-5} |
| 10^{-3} | 10^3 | 1 | 0.264 | 0.0353 |
| 3.785×10^{-3} | 3.785×10^3 | 3.785 | 1 | 0.134 |
| 0.0283 | 2.832×10^4 | 28.317 | 7.481 | 1 |

特别说明：本书中所用“加仑”均为“[美制]加仑”。

| 3. 时间单位 | | | | |
|------------------------|---------|--------|---------------------|---------------------|
| 年 | 天 | 小时 | 分 | 秒 |
| yr | d | hr | min | s |
| 1 | 365 | 8760 | 5.256×10^5 | 3.154×10^7 |
| 1/365 | 1 | 24 | 1440 | 86400 |
| 1/8760 | 1/24 | 1 | 60 | 3600 |
| 1.903×10^{-6} | 1/1440 | 1/60 | 1 | 60 |
| 3.171×10^{-8} | 1/86400 | 1/3600 | 1/60 | 1 |

单位换算表 (2/3)

| 4. 重量单位 | | | | |
|------------------------|------------------------|--------------|---------------------|------------------------|
| [英制]短吨 t | [公制]吨 t | [公制]千克 kg | [公制]克 g | [英制]磅 lb |
| 1 | 0.907 | 907.185 | 9.072×10^5 | 2000 |
| 1.102 | 1 | 1000 | 10^6 | 2204.623 |
| 1.102×10^{-3} | 10^{-3} | 1 | 1000 | 2.205 |
| 1.102×10^{-6} | 10^{-6} | 10^{-3} | 1 | 2.205×10^{-3} |
| 5.0×10^{-4} | 4.536×10^{-4} | 0.454 | 453.592 | 1 |

特别说明：本书中所用“吨”均为“短吨”。

| 5. 功/能/热量单位 | | |
|---------------------|------------------------|------------------------|
| [国际]焦耳 J | [公制]千瓦·时 kW·hr | [英制]热量单位 Btu |
| 1 | 2.778×10^{-7} | 9.478×10^{-4} |
| 3.600×10^6 | 1 | 3.412×10^3 |
| 1.055×10^3 | 2.931×10^{-4} | 1 |

| 6. 流量单位 | | | |
|--------------------------|---|----------------------------|-------------------------|
| [英制]升/分钟 L/min | [英制]英尺 ³ /分钟 cfm (ft ³ /min) | [美制]加仑/分钟 gpm (gal/min) | [美制]加仑/日 gpd (gal/d) |
| 1 | 0.035315 | 0.26417 | 380.40776 |
| 28.3168 | 1 | 7.48051 | 1.07712×10^4 |
| 3.78541 | 0.13368 | 1 | 1440 |
| 2.62874×10^{-3} | 9.28333×10^{-5} | 6.94444×10^{-4} | 1 |

特别说明：本书中的 scfm、acfm 分别代表“标准状态下的流量”、“实际状态下的流量”；从严格意义上讲，scfm、acfm 并不能算作计量单位；scfm 与 acfm 的转化关系见本书 7.2.1。

| 7. 压强单位 | | | | |
|------------------------|--------------|-------------------------------|---|------------------------|
| 标准大气压 atm | 毫米汞柱 mmHg | 帕斯卡 Pa (N/m ²) | [英制]磅/平方英寸 psi (lb/ft ²) | 英寸水柱 |
| 1 | 760 | 1.013×10^5 | 14.696 | 406.784 |
| 1.316×10^{-3} | 1 | 133.322 | 0.0193 | 0.394 |
| 9.869×10^{-6} | 0.00750 | 1 | 1.450×10^{-4} | 4.015×10^{-3} |
| 0.068 | 51.715 | 6.895×10^3 | 1 | 27.680 |
| 2.458×10^{-3} | 25.400 | 249.088 | 0.0361 | 1 |

特别说明：psi (磅/平方英寸) 又分为“绝对压力 psia”和“表面压力 psig”，从严格意义上讲，psia、psig 并不能算作计量单位，通常 1 psi=1 psia；1 psia=1psig+14.7。

单位换算表 (3/3)

| 8. 功率单位 | | |
|---------------------|--------------|------------------------|
| 瓦 (焦耳/秒) W (J/s) | [英制]马力 hp | [英制]热单位/秒 Btu/s |
| 1 | 0.00134 | 9.478×10^{-4} |
| 745.700 | 1 | 0.707 |
| 1055.056 | 1.415 | 1 |

| 9. 动力粘度单位 | | | |
|-----------------|-------------|---------------|-----------------|
| 泊 centipoise | 厘泊 poise | 帕斯卡·秒 Pa·s | 毫帕斯卡·秒 mPa·s |
| 1 | 100 | 0.1 | 100 |
| 0.01 | 1 | 0.001 | 1 |
| 10 | 1000 | 1 | 1000 |
| 0.01 | 1 | 0.001 | 1 |

| 10. 渗透率单位 | | |
|-------------|-----------------------|------------------------------------|
| 达西 Darcy | 毫达西 md | 厘米 ² cm ² |
| 1 | 1000 | 9.5268×10^{-4} |
| 0.001 | 1 | 9.5268×10^{-7} |
| 1049.67 | 1.04967×10^6 | 1 |

| 11. 温度换算 | | |
|--------------------|-------|--------|
| 1 华氏度=1 摄氏度×1.8+32 | | |
| 1 开尔文=1 摄氏度+273.13 | | |
| 摄氏度℃ | 华氏度°F | 开尔文 K |
| 0 | 32 | 273.13 |
| 20 | 68 | 293.13 |
| 25 | 77 | 298.13 |
| 100 | 212 | 373.13 |

目 录

| | |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 概述 | 1 |
| 1.1 背景和目标 | 1 |
| 1.2 结构 | 2 |
| 1.3 如何使用本书 | 3 |
| 第 2 章 场地特征描述及修复调查 | 4 |
| 2.1 污染程度的确定 | 6 |
| 2.1.1 质量和浓度关系 | 6 |
| 2.1.2 储罐移除或污染区域挖掘产生的土壤量 | 10 |
| 2.1.3 包气带中污染土壤的量 | 12 |
| 2.1.4 汽油中各组分的质量分数和摩尔分数 | 15 |
| 2.1.5 毛细区高度 | 18 |
| 2.1.6 计算自由漂浮相的质量和体积 | 19 |
| 2.1.7 确定污染范围——一个综合计算案例 | 21 |
| 2.2 土壤钻孔及地下水监测井 | 24 |
| 2.2.1 土壤钻孔的钻屑量 | 24 |
| 2.2.2 填料和膨润土密封材料 | 25 |
| 2.2.3 地下水采样的井体积 | 26 |
| 2.3 不同相态中污染物的质量 | 27 |
| 2.3.1 自由相与气相间的平衡 | 28 |

| | | |
|------------|-----------------------|-----------|
| 2.3.2 | 液-气平衡 | 31 |
| 2.3.3 | 固-液平衡 | 36 |
| 2.3.4 | 固-液-气平衡 | 39 |
| 2.3.5 | 污染物在不同相中的分配 | 40 |
| | 参考文献 | 47 |
| 第3章 | 污染羽在地下水和土壤中的迁移 | 48 |
| 3.1 | 地下水运动 | 49 |
| 3.1.1 | 达西定律 | 49 |
| 3.1.2 | 达西流速和渗流速度 | 50 |
| 3.1.3 | 固有渗透率与水力传导系数/渗透系数的比较 | 52 |
| 3.1.4 | 导水系数、给水度和释水系数 | 54 |
| 3.1.5 | 确定地下水径流的水力梯度和方向 | 56 |
| 3.2 | 地下水抽水 | 58 |
| 3.2.1 | 承压含水层的稳态流 | 58 |
| 3.2.2 | 非承压含水层的稳态流 | 61 |
| 3.3 | 含水层测试 | 64 |
| 3.3.1 | 泰斯 (Theis) 方程 | 65 |
| 3.3.2 | Cooper-Jacob 直线法 | 66 |
| 3.3.3 | 距离-降深方法 | 68 |
| 3.4 | 溶解羽的迁移速度 | 70 |
| 3.4.1 | 对流-弥散方程 | 71 |
| 3.4.2 | 扩散系数和弥散系数 | 71 |
| 3.4.3 | 地下水迁移的阻滞因子 | 76 |
| 3.4.4 | 溶解羽的迁移 | 78 |
| 3.5 | 包气带污染物的迁移 | 82 |
| 3.5.1 | 包气带中的液体运动 | 82 |
| 3.5.2 | 包气带中气体扩散 | 83 |
| 3.5.3 | 包气带中气相迁移的阻滞因子 | 86 |
| | 参考文献 | 88 |

| | |
|-------------------------|-----|
| 第 4 章 物质平衡概念和反应器设计 | 89 |
| 4.1 物质平衡概念 | 90 |
| 4.2 化学动力学 | 92 |
| 4.2.1 速率方程 | 92 |
| 4.2.2 半衰期 | 95 |
| 4.3 反应器类型 | 96 |
| 4.3.1 序批式反应器 | 97 |
| 4.3.2 连续流搅拌式反应器 (CFSTR) | 101 |
| 4.3.3 活塞流反应器 (PFR) | 103 |
| 4.4 确定反应器尺寸 | 105 |
| 4.5 反应器组合 | 108 |
| 4.5.1 串联反应器 | 108 |
| 4.5.2 并联反应器 | 114 |
| 第 5 章 包气带土壤修复 | 120 |
| 5.1 土壤气相抽提 | 120 |
| 5.1.1 引言 | 120 |
| 5.1.2 抽提气体浓度 | 121 |
| 5.1.3 影响半径和压强分布 | 128 |
| 5.1.4 气体流量 | 131 |
| 5.1.5 污染物去除速率 | 134 |
| 5.1.6 清理时间 | 137 |
| 5.1.7 温度对 SVE 的影响 | 142 |
| 5.1.8 气体抽提井的数量 | 143 |
| 5.1.9 真空泵 (风机) 的规格 | 144 |
| 5.2 土壤生物修复 | 145 |
| 5.2.1 土壤生物修复技术的介绍 | 145 |
| 5.2.2 水分需求量 | 146 |
| 5.2.3 营养物需求量 | 147 |
| 5.2.4 氧气需求量 | 149 |
| 5.3 土壤清洗/溶剂浸提/土壤冲洗 | 151 |
| 5.4 低温加热 (解吸) | 154 |

| | | |
|--------------|--------------------|------------|
| 5.4.1 | 低温加热（解吸）技术的介绍 | 154 |
| 5.4.2 | 低温加热（解吸）技术的设计 | 155 |
| | 参考文献 | 157 |
| 第 6 章 | 地下水修复 | 158 |
| 6.1 | 水力控制（抽取地下水） | 158 |
| 6.1.1 | 降落漏斗 | 159 |
| 6.1.2 | 捕获区分析 | 164 |
| 6.2 | 位于地上的地下水处理系统 | 171 |
| 6.2.1 | 活性炭吸附 | 171 |
| 6.2.2 | 空气吹脱 | 177 |
| 6.2.3 | 高级氧化工艺 | 182 |
| 6.2.4 | 金属的沉淀处理 | 183 |
| 6.2.5 | 生物处理 | 185 |
| 6.3 | 地下水原位修复 | 187 |
| 6.3.1 | 生物修复 | 187 |
| 6.3.2 | 空气注入修复 | 192 |
| | 参考文献 | 197 |
| 第 7 章 | VOCs 富集气体处置 | 198 |
| 7.1 | 活性炭吸附 | 198 |
| 7.1.1 | 吸附等温线与吸附量 | 199 |
| 7.1.2 | 活性炭吸附器的横截面积和高度 | 202 |
| 7.1.3 | 计算活性炭吸附器的污染物去除速率 | 203 |
| 7.1.4 | 更换（或再生）频率 | 205 |
| 7.1.5 | GAC 用量（现场再生） | 205 |
| 7.2 | 热氧化 | 206 |
| 7.2.1 | 气体流量与温度的关系 | 207 |
| 7.2.2 | 气流的热值 | 208 |
| 7.2.3 | 稀释气体 | 210 |
| 7.2.4 | 提供氧气的助燃空气 | 212 |
| 7.2.5 | 补充燃料用量 | 213 |

| | |
|----------------------|-----|
| 7.2.6 燃烧室体积 | 215 |
| 7.3 催化焚烧 | 216 |
| 7.3.1 稀释空气 | 216 |
| 7.3.2 补热需求 | 217 |
| 7.3.3 催化反应床的体积 | 218 |
| 7.4 内燃机焚烧 | 219 |
| 7.5 土壤生物过滤器 | 220 |
| 参考文献 | 222 |
| 案例索引 | 223 |
| 专业名词索引 | 228 |

概 述

1.1 背景和目标

从 20 世纪 80 年开始，随着公众的关注，美国颁布了一系列环境法规，危险废弃物管理业务得到了稳定的增长。在这个时期的大部分时间里，各方花费了大量的时间和经费研究污染场地，其中大部分用于确定财政责任方，然而近些年来关注的焦点从诉讼和场地评价转移到修复工程上来。场地修复通常需要多个阶段来实现，并需要多学科协同努力。因此，修复专业人员的专业背景往往多种多样——地质学、水文学、化学、微生物学、气象学、毒理学和传染病学等科学学科，以及化学、机械、电力、土木、环境等工程学科。不尽相同的教育背景，使得他们进行或审核场地修复设计计算的能力差异很大。对他们中的一些人来说，做出精准的设计计算似乎是一件不可能完成的任务。

随着修复技术的不断发展，受过正规训练的修复专业人员的短缺情况进一步加剧。例如，土壤通风和生物修复等修复技术现在已逐渐为环境专业人员接受，而就在前几年它们还是研究文章的主要内容。最新的设计信息在文献上零星出现过，但通常是纯理论性的，很少能提供实际应用的例证。大部分关于危险废弃物管理和场地修复的书籍，如果不是全部，仅提供对修复技术叙述性的描述。以作者的观点，没有一本书对阐述设计计算提供有帮助的指导。可以这样说，若没有适当的培训，环境专业人员只能努力地做无用的重复性工作，并在他们的设计计算中犯错。对于土壤和地下水修复领域内受雇于工业企业、咨询公司、律师事务所、监管机构的现场工程师、科学家以及法律专家，本书的编写满足了他们当

前的需求。

本书涵盖了土壤和地下水修复领域主要设计计算的重要方面，同时提供了来自文献和作者自己经验的实用的、有重大作用的工作信息。丰富的实际案例阐述了修复设计计算的应用。本书也可作为大学高年级和愿意对修复设计计算有个全面了解的研究生的补充教材或参考书。

1.2 结构

本书分为以下章节：

第2章 场地特征描述及修复调查。本章举例说明了在场地评价和修复调查过程中需要的工程计算。本章以简单的计算开始，计算污染土壤挖掘量、包气带中剩余受污染的土壤量及计算含水层中污染羽的尺寸。本章也通过必要的计算，以确定污染物在不同相态间的质量分配，这一点对修复设计至关重要。

第3章 污染羽在地下水和土壤中的迁移。本章举例说明了如何估算地下水运动和污染羽迁移的速率。读者也可学会如何解释含水土层测试数据和估计地下水污染羽的年代。

第4章 物质平衡概念和反应器设计。本章首先介绍了物质平衡概念，然后介绍了反应动力学以及反应器的类型、结构和尺寸。读者将学会如何为专门的应用实践确定速率常数、去除率、反应器的优化组合，需要的停留时间以及反应器尺寸。

第5章 包气带土壤修复。本章对于常用的原位或异位土壤修复技术，如土壤气相抽提、土壤清洗和土壤生物修复等，提供了重要的设计计算。以土壤通风为例，通过对影响半径、井距、空气流量、抽提污染物浓度、温度对气流的影响、净化时间以及真空风机规格的设计计算，为读者提供指导。

第6章 地下水修复。本章以捕获区和优化井距的设计计算开始，其余部分集中在常用的原位或异位地下水修复技术的设计计算，包括生物通风、空气注入和吹脱、高级氧化工艺以及活性炭吸附。

第7章 VOCs 富集气体处置。污染土壤和地下水修复常导致有机污染物迁移至空气相。开发和实施空气排放控制策略是整个修复计划的主要部分。本章举例说明了常用的尾气治理技术的设计计算，如活性炭吸附、直接焚烧、催化焚烧、内燃机焚烧以及生物过滤的设计计算。