



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# 环境工程原理

(第三版)

胡洪营 张旭 黄霞 王伟 席劲瑛 合编

高等教育出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# 环境工程原理

Huanjing Gongcheng Yuanli

(第三版)

胡洪营 张旭 黄霞 王伟 席劲瑛 合编

高等教育出版社·北京

## 内容提要

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,是遵照教育部高等学校环境科学与工程类专业教学指导委员会制定的基本要求,为环境工程专业核心课程——“环境工程原理”编写的教材。

全书从理论上系统、深入地阐述了水处理工程、大气污染控制工程、固体废物处理与处置工程、物理性污染控制工程及生态修复工程等的基本原理、解决问题的思路和方法,是后续专业课程学习的理论基础。主要内容包括环境工程原理基础、分离过程原理和反应工程原理三大部分。环境工程原理基础部分主要讲述单位与量纲分析、质量与能量守恒原理、流体流动、传递过程等;分离过程原理部分主要讲述沉淀、过滤、吸收和吸附的基本原理;反应工程原理部分主要讲述化学和生物反应计量学、动力学、环境工程中常用的各类反应器及其解析理论等。

本书可作为高等学校环境工程、环境科学、给水排水及其他相关专业的本科生教材,也可供相关专业的研究生学习参考。

## 清华大学 985 名优教材立项资助

### 图书在版编目(CIP)数据

环境工程原理 / 胡洪营等编. --3 版. --北京:  
高等教育出版社, 2015.8  
ISBN 978-7-04-043364-7

I. ①环… II. ①胡… III. ①环境工程学-高等学校-教材 IV. ①X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 156413 号

策划编辑 陈文      责任编辑 陈文      封面设计 于文燕      版式设计 马敬茹  
插图绘制 杜晓丹      责任校对 张小镭      责任印制 赵义民

出版发行	高等教育出版社	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
邮政编码	100120	网上订购	<a href="http://www.landracom.com">http://www.landracom.com</a>
印 刷	北京天来印务有限公司		<a href="http://www.landracom.com.cn">http://www.landracom.com.cn</a>
开 本	850mm×1168mm 1/16	版 次	2005年 8 月第 1 版
印 张	31.75		2015年 8 月第 3 版
字 数	780 千字	印 次	2015年 8 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	55.00 元
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 43364-00

## 第三版前言

本书是在《环境工程原理》第二版的基础上修订的。《环境工程原理》第一版于2005年8月出版,第二版于2011年初出版,曾数次重印。

本次修订与第二版修订时的宗旨一样,力求反映环境污染控制领域取得的最新进展,围绕环境工程与设备的特点,结合基础理论在水处理工程、大气污染控制工程和固体废物处理与处置工程中的应用实例,进一步凸显了环境学科特色。本次修订的主要内容如下:

(1) 进一步梳理了“第一章 绪论”的内容,增加了污染治理的新原理和新技术。

(2) 将第二版中“第十四章 微生物反应器”分为两章,即“第十四章 微生物反应动力学基础”和“第十五章 微生物反应器”,增加了生物膜反应器的相关内容。

(3) 增加了物料衡算、强化传质、沉降分离设备、固相催化反应器等在环境工程中的应用案例。

(4) 对部分章节的思考题和习题进行了补充和调整。

与《环境工程原理》第二版相同,本教材对一些理论性强或拓展性的选修内容进行了标注(用\*表示)。建议使用者在满足教学指导委员会规定的教学基本要求的前提下,根据所在院校的特点及先修和后修课程安排,确定重点内容。

各章修订、编写人如下:胡洪营——第一章、第十一章、第十二章、第十三章、第十四章、第十五章和第十六章;张旭——第二章、第三章、第四章和第五章;黄霞——第六章、第七章、第八章和第十章;王伟——第九章;席劲瑛参与了第一章、第九章和第十五章的部分内容。清华大学“环境工程原理”课程助教博士生汤芳、庄林岚、许雪乔、黄南、罗希和王运宏等为教材的修订做了大量的文字编辑等工作。

本教材仍由清华大学教授郝吉明院士担任主审。山东理工大学马骁轩在清华大学环境学院访问交流期间,仔细审读了全书,提出了许多建设性意见。高等教育出版社的陈文编审和陈正雄副编审为本教材的出版付出了大量的心血。在此对他们表示诚挚的感谢。

教材在编写过程中参考了大量的文献和相关资料,文中难以一一注明,在此对这些著作的作者表示感谢。由于编者的知识水平有限,加之时间仓促,不妥和错误之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编者

2015年3月于清华园

## 第二版前言

普通高等教育“十五”国家级规划教材《环境工程原理》于2005年8月出版以后,开设“环境工程原理”课程和选用该教材的院校迅速增加,教材数次重印。该教材的出版对完善环境工程专业课程体系,不断总结、提炼环境工程学科形成的成熟的、具有共性的污染防治技术原理,构筑环境工程专业基础理论平台做出了一定贡献。为了更好地满足“环境工程原理”课程教学需要,我们对该教材进行了修订。

在修订过程中,力求反映环境污染控制领域以及分离工程、化学反应工程、生物反应工程等相关领域取得的最新进展,紧紧围绕环境工程与设备的特点,结合基础理论在水处理工程、大气污染控制工程和固体废物处理与处置工程中的应用实例,进一步凸显了环境学科特色。主要修订内容如下:

(1) 在“第一章 绪论”中,对提高污染治理工程效率的整体思路和环境工程原理的基本方法进行了梳理,以培养学生系统、宏观分析问题的能力。

(2) 根据大气污染控制、固体废物处理与处置等专业课教学的需要,在第三章中,增加了“流体在非圆形管道内流动的阻力损失”、“气体和泥浆流动的阻力损失计算”等内容。

(3) 将原书“第十一章 反应动力学的解析方法”中有关反应器解析的内容合并到“第十二章 均相化学反应器”,突出了反应器设计内容的系统性。

(4) 将原书“第十一章 反应动力学的解析方法”中有关动力学实验的内容调整到“第十五章 反应动力学的解析方法”。

(5) 各章增加了部分思考题和习题,书后增加了有关常用数据。

“环境工程原理”作为环境工程专业基础理论平台课程,涉及面宽、内容丰富。各院校的环境工程专业大多数是在原有的相关优势学科的基础上建设或分化而成的,其人才培养目标、教育模式和课程体系一般带有母体学科的色彩,各具特色,课程设置也具有一定的灵活性。因此,在教材中难以统一指定重点内容,本教材仅对一些理论性强或拓展性的选修内容进行了标注(用\*表示)。建议在教学过程中,在满足教学指导委员会规定的教学基本要求的前提下,根据所在院校的特点以及先修和后修课程安排,确定重点内容。

本书的出版是与教育部高等学校环境科学与工程教学指导委员会各位委员以及兄弟院校“环境工程原理”课程授课教师同仁的鼓励和支持分不开的。为了促进课程建设,提高教学质量,教育部高等学校环境科学与工程教学指导委员会和高等教育出版社一起,多次举办了“环境工程原理”课程建设与教学研讨会,累计参加代表350余人次,与会代表就课程内容体系、教学经验和教学方法等进行了深入交流,对本教材的修订提供了许多建设性意见。

《环境工程原理》(第二版)各章修订、编写人员如下:胡洪营——第一章、第十一章、第十二章、第十三章、第十四章和第十五章;张旭——第二章、第三章、第四章和第五章;黄霞——第六章、第七章、第八章和第十章;王伟——第九章。清华大学“环境工程原理”课程助教博士生吴乾

元、赵文涛、黄晶晶、黄璜、赵欣、莫颖慧等为教材的修订做了大量的文字编辑和例题、习题编写等工作。此外,清华大学环境科学与工程系 2004 级本科生戴宁、祁光霞和丁昶也参加了本书的文字编辑和例题、习题编写工作;2006 级本科生吴清茹、陈丰、米子龙、郑琦、谢淘、刘峰林、李明威和钱晨等同学参加了文字校正和习题解答校正等工作。

本教材仍由清华大学教授郝吉明院士担任主审。北京林业大学环境科学与工程学院院长孙德智教授对本书的内容体系提出了宝贵建议。高等教育出版社陈文副编审和陈海柳编辑为本教材的出版付出了大量的心血。在此对他们表示诚挚的感谢。

在编写过程中参考了大量的教材、专著和相关资料,在文中难以一一注明,在此对这些著作的作者表示感谢。由于编者的知识水平有限,加之时间仓促,不妥和错误之处在所难免,欢迎读者批评指正。

本教材的配套教辅有习题集和电子教案,并计划出版实验教材。另外,基于国家级精品课程建设的成果,清华大学于 2008 年建设了“环境工程原理”课程网站,以实现教学资源的共享。该网站可以免费下载电子课件、讲课视频、课程总结、试题与解答、补充习题与思考题以及教学研究论文等资料(网址:[http://166.111.92.13/apply/guest/2008\\_national.htm](http://166.111.92.13/apply/guest/2008_national.htm))。欢迎大家使用。

编 者

2011 年 1 月于清华园

# 第一版前言

“环境工程原理”是高等院校环境工程专业的一门重要的专业基础课。该课程自 2003 年秋季学期在清华大学开设以来,受到了积极的关注,教育部“高等学校环境工程教学指导委员会”于 2004 年 8 月在四川大学召开的会议上,将“环境工程原理”列为高等学校环境工程专业的核心课程,并组织编写了“环境工程原理”教学基本要求。

本书是针对环境工程专业的特点,为高等院校环境工程专业编写的一本教材。该教材系统分析和归纳总结了水处理工程、大气污染控制工程、固体废物处理与处置工程、污染环境净化与生态修复工程等所涉及的技术原理,提炼出具有共性的基本原理、现象和过程,进行系统、深入的阐述,具有较强的理论性和系统性,体现了环境工程专业的特色。该教材从环境工程的实际需求出发,通过与环境工程实践紧密结合的例题,对基本原理进行深入浅出的阐述,注重分析问题和解决问题能力的培养,能满足不同学科背景的环境工程专业学生的需求。其内容适应 80~100 学时教学需要,各院校可根据各自的特点,依据教育部“高等学校环境工程教学指导委员会”提出的“环境工程原理”教学基本要求,确定适宜的学时和教学内容重点。该教材也适用于环境科学、给水排水工程等相关专业本科生,还可供研究生和环境领域的科技人员学习参考。

近年来,环境污染问题日趋复杂,并表现出明显的复合化特征、时间特征及地域特征。环境问题的这些特点决定了环境工程专业技术人员应具有较强的解决复杂问题的综合能力和系统、整体优化的观念,而扎实、系统和宽厚的理论基础是具备这些能力的基石。

经过长期的探索和实践,环境科研和工程技术人员开发出种类繁多的环境净化与污染控制技术,形成了体系庞大的环境净化与污染控制技术体系。但是,从技术原理上看,这些种类繁多的环境污染控制技术可以分为“隔离技术”、“分离技术”和“转化技术”三大类。隔离技术是将污染物或污染介质隔离,从而切断污染物向周围环境的扩散途径,防止污染的进一步扩大;分离技术是利用污染物与污染介质或其他污染物在物理性质或化学性质上的差异使其与介质分离,从而达到污染物去除或回收利用的目的;转化技术是利用化学或生物反应,使污染物转化成无毒无害或易于分离的物质,从而使污染环境得到净化与处理。

将隔离、分离、转化等技术原理应用于具体的污染控制工程将涉及流体输送、物质传递、分离过程和反应工程等的基本原理,深入理解、掌握和正确利用这些原理对提高污染控制设施的效率有重要意义。

基于以上分析,本书主要内容包括环境工程原理基础、分离过程原理和反应工程原理三部分。环境工程原理基础部分主要讲述物料与能量衡算的基本理论和方法、流体流动以及热量和质量传递的基本理论;分离过程原理部分主要讲述沉淀、过滤、吸收、吸附、离子交换、萃取和膜分离的基本理论;反应工程原理部分主要讲述化学和微生物反应的计量学、动力学及其研究方法、环境工程中常用的各类化学和生物反应器及其解析理论等。

本书是在“环境工程原理”讲义的基础上编写的,该讲义已经在清华大学试用两年,在体系

和内容上得到了逐步完善。主要编写人员有胡洪营(第一章、第十一章、第十二章、第十三章、第十四章和第十五章)、张旭(第二章、第三章、第四章和第五章)、黄霞(第六章、第七章、第八章和第十章)、王伟(第九章)。此外,王丽莎参加了第一章和第十一章至第十五章的图表设计、文字编辑和例题、习题的编写;陆松柳参加了第二章至第五章的例题和习题的编写;刘春参加了第八章的编写和第六章至第十章的例题和习题的编写;吴乾元参加了第十一章至第十五章的文字编辑和例题、习题的编写;郭斌参加了第一章至第五章的文字编辑和例题、习题的编写;张薛参加了第六章、第七章、第八章和第十章的文字编辑。

本书由清华大学郝吉明教授担任主审。清华大学环境科学与工程系主任陈吉宁教授对“环境工程原理”课程的开设和教材的编写给予了大力支持。钱易院士、陈吉宁教授、施汉昌教授、张晓建教授、李广贺教授、左剑恶副教授等参加了教学大纲的前期讨论,并提出了宝贵的意见和建议。清华大学环境科学与工程系2001级和2002级本科生对本教材提出了许多建设性的意见和建议。在此对支持和关心本教材编写的老师、同学表示衷心的感谢。

教育部“高等学校环境工程专业教学指导分委员会”对本书的编写给予了大力的支持,并于2004年11月7日在北京组织召开了审稿会。审稿会由清华大学环境科学与工程系郝吉明教授主持,华东理工大学姚重华教授、北京工业大学金毓荃教授、西安交通大学陈杰蓉教授出席了会议,并提出了许多宝贵的意见。哈尔滨工业大学孙德智教授和北京航空航天大学朱天乐教授审阅了部分书稿。高等教育出版社陈文副编审和陈海柳编辑为本书的出版付出了大量心血。在此对他们表示诚挚的感谢。

本书编写过程中参考了大量的教材、专著和相关资料,在此对这些著作的作者表示感谢。

“环境工程原理”课程的开设和教材的编写是一个新的尝试,由于编者水平有限,不妥和错误之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

2005年2月于清华园



# 目 录

第一章 绪论 .....	1
思考题与习题 .....	14

## 第一篇 环境工程原理基础

第二章 质量衡算与能量衡算 .....	17
第一节 常用物理量 .....	17
第二节 质量衡算 .....	26
第三节 能量衡算 .....	35
思考题与习题 .....	42
本章主要符号说明 .....	43

第三章 流体流动 .....	45
第一节 管流系统的衡算方程 .....	45
第二节 流体流动的内摩擦力 .....	52
第三节 边界层理论 .....	58
第四节 流体流动的阻力损失 .....	63
第五节 管路计算 .....	82
第六节 流体测量 .....	89
思考题与习题 .....	96
本章主要符号说明 .....	99

第四章 热量传递 .....	101
第一节 热量传递的方式 .....	101
第二节 热传导 .....	102
第三节 对流传热 .....	110
第四节 换热器及间壁传热过程计算 .....	124
第五节 辐射传热 .....	142
思考题与习题 .....	152
本章主要符号说明 .....	153

第五章 质量传递 .....	155
第一节 环境工程中的传质过程 .....	155
第二节 质量传递的基本原理 .....	156
第三节 分子传质 .....	159
第四节 对流传质 .....	167
思考题与习题 .....	174
本章主要符号说明 .....	175

## 第二篇 分离过程原理

<b>第六章 沉降</b> .....	179
第一节 沉降分离的基本概念 .....	179
第二节 重力沉降 .....	183
第三节 离心沉降 .....	191
第四节 其他沉降 .....	199
思考题与习题 .....	201
本章主要符号说明 .....	203
<b>第七章 过滤</b> .....	204
第一节 过滤操作的基本概念 .....	204
第二节 表面过滤的基本理论 .....	206
第三节 深层过滤的基本理论 .....	214
思考题与习题 .....	222
本章主要符号说明 .....	223
<b>第八章 吸收</b> .....	225
第一节 吸收的基本概念 .....	225
第二节 物理吸收 .....	226
第三节 化学吸收 .....	236
第四节 吸收设备的主要工艺计算 .....	242
思考题与习题 .....	251
本章主要符号说明 .....	253
<b>第九章 吸附</b> .....	255
第一节 吸附分离操作的基本概念 .....	255
第二节 吸附剂 .....	256
第三节 吸附平衡 .....	259
第四节 吸附动力学 .....	269
第五节 吸附操作与吸附穿透曲线 .....	272
思考题与习题 .....	284
本章主要符号说明 .....	286
<b>第十章 其他分离过程</b> .....	287
第一节 离子交换 .....	287
第二节 萃取 .....	295
第三节 膜分离 .....	308
思考题与习题 .....	333
本章主要符号说明 .....	335

## 第三篇 化学与生物反应工程原理

<b>第十一章 反应动力学基础</b> .....	339
第一节 反应器和反应操作 .....	339
第二节 反应的计量关系 .....	344

第三节 反应动力学 .....	351
思考题与习题 .....	362
本章主要符号说明 .....	364
<b>第十二章 均相化学反应器 .....</b>	<b>365</b>
第一节 间歇与半间歇反应器 .....	365
第二节 完全混合流连续反应器 .....	370
第三节 平推流反应器 .....	377
思考题与习题 .....	385
本章主要符号说明 .....	387
<b>第十三章 非均相化学反应器 .....</b>	<b>388</b>
第一节 固相催化反应器 .....	388
第二节 气-液相反应器 .....	404
思考题与习题 .....	418
本章主要符号说明 .....	419
<b>第十四章 微生物反应动力学基础 .....</b>	<b>421</b>
第一节 微生物与微生物反应 .....	421
第二节 微生物反应的计量关系 .....	423
第三节 微生物反应动力学 .....	429
思考题与习题 .....	439
本章主要符号说明 .....	440
<b>第十五章 微生物反应器 .....</b>	<b>441</b>
第一节 悬浮微生物反应器 .....	441
第二节 生物膜反应器 .....	450
思考题与习题 .....	455
本章主要符号说明 .....	456
<b>第十六章 反应动力学的解析方法* .....</b>	<b>457</b>
第一节 动力学实验及实验数据的解析方法 .....	457
第二节 间歇反应器实验及解析方法 .....	458
第三节 连续反应器实验及解析方法 .....	462
思考题与习题 .....	466
本章主要符号说明 .....	468
<b>参考文献 .....</b>	<b>469</b>
<b>附录 .....</b>	<b>472</b>
附录 1 常用单位的换算 .....	472
附录 2 某些气体的重要物理性质 .....	475
附录 3 某些液体的重要物理性质 .....	476
附录 4 干空气的物理性质 .....	478
附录 5 水的物理性质 .....	480
附录 6 饱和水蒸气的物理性质 .....	481

附录 7 常用固体材料的密度和比定压热容	485
附录 8 某些气体和蒸气的导热系数	486
附录 9 某些液体的导热系数	487
附录 10 某些固体材料的导热系数	488
附录 11 壁面污垢热阻	490
附录 12 不同材料的辐射黑度	491
附录 13 列管换热器的传热系数	492
附录 14 管内流体常用流速范围	494
附录 15 扩散系数	494
附录 16 若干气体水溶液的亨利系数	495

# 第一章 绪 论

## 一、环境问题与环境学科的发展

“环境”是一个相对的概念,它是与某个中心事物相关的周围事物的总称。环境学科中涉及的环境,其中心事物从狭义上讲是人类,从广义上讲是地球上所有的生物。环境学科所研究的环境包括自然环境和人工环境两种。

自然环境是直接或间接影响到人类和生物的所有自然形成的物质、能量和自然现象的总体,是人类赖以生存、生活和生产所必需的自然条件及自然资源的总称,它包括阳光、空气、水、土壤、岩石、温度和气候等自然因素,也包括微生物、高等生物等。自然环境在人类出现之前就已存在,人类发展的历史是一个与自然环境相互影响和相互作用的历史。随着人类的出现,环境问题也伴随而生。狩猎、耕作、放牧、灌溉、森林砍伐等人类活动都在不同程度上对自然环境产生了影响,如灌溉导致的土地盐碱化、水土流失等,但这种影响的程度从人类出现到产业革命的漫长时期内并不十分突出。产业革命以后,人类的生产力获得了飞速发展,技术水平迅速提高,人口迅速增长,人类活动的强度和范围逐渐增强和扩展,人类与环境的矛盾以及由此带来的环境问题也日趋突出。

生态破坏和环境污染是目前人类面临的两大类环境问题,它们已经成为影响社会可持续发展、人类可持续生存的重大问题。

环境学科是随着环境问题的日趋突出而产生的一门新兴的综合性边缘学科。它经历了 20 世纪 60 年代的酝酿阶段,到 20 世纪 70 年代初期,从零星的环境保护的研究工作与实践逐渐发展成为一门独立的新兴学科。

环境学科是研究人类活动与其环境质量关系的科学,其主要任务是研究人类与环境的对立统一关系,认识两者之间的作用与反作用,掌握其发展规律,从而保护环境,并使其向对人类有利的方向演变。

环境学科是一门正在蓬勃发展的科学,其研究范围和内涵不断扩展,所涉及的学科非常广泛,而且各个学科间互相交叉和渗透,因此目前有关环境学科的分支学科还没有形成统一的划分方法。图 1.1 为环境学科的分科体系,从图中可以看出,环境工程学是环境学科的一个重要分支。

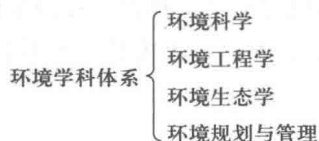


图 1.1 环境学科体系

## 二、环境工程学科体系与本课程的任务

### (一) 环境工程学的发展及其学科体系

环境污染是人类面临的主要环境问题之一,它主要是由于人为因素造成的环境质量恶化,从

而扰乱和破坏了生态系统、生物生存和人类生活条件的一种现象。狭义地讲环境污染是指由有害物质引起的大气、水体、土壤和生物污染。

环境工程学作为环境学科的一个重要分支,主要任务是利用环境学科以及工程学、管理学和社会学的基本方法,研究环境污染控制理论、技术、措施和政策,以改善环境质量,保证人类的身体健康和生存以及社会的可持续发展。

近年来,随着社会、经济的不断发展和环境伦理观的不断进步,环境污染防治无论在视野上还是在模式、技术和工程上都发生了显著的变化。

在污染治理的视野上,从常规尺度向微观和宏观尺度发展,越来越关注微量污染物对自然生态系统、生物和人体健康的影响以及区域和全球环境问题。

在污染治理模式上,从末端治理(end of pipe, 主要指“三废”治理)向清洁生产、循环经济和低碳社会发展,更加强调污染源头控制、全过程环境管理和生活方式的改变。特别是基于清洁生产理论和绿色技术的“零排放系统”在工业污染防治中受到高度关注,其中污废水再生利用技术、固体废物资源化技术将发挥重要的作用。

在技术上,从传统技术向高新技术、信息技术发展,现代生物技术、材料技术和现代信息技术在环境污染防治领域的应用显著提升了污染治理工程的工艺水平、设备水平和运行管理水平。

在工程目标上,从点源治理向面源污染治理、环境修复发展,同时越来越关注环境治理工程的环境协调性和景观性。生物/生态工程技术,如生物修复技术、植物修复和净化技术、人工湿地技术等受到重视。

随着环境污染防治的发展,环境工程学的内涵也不断丰富,其研究对象不仅包括水质净化与水污染控制技术、大气(包括室内空气)污染控制技术、固体废物处理处置与管理与资源化技术、物理性污染(热污染、辐射污染、噪声、振动)控制技术、自然资源的合理利用与保护、环境监测与环境质量评价等传统的内容,还包括生态修复与构建理论与技术、清洁生产理论与技术以及环境规划、管理与环境系统工程等。

环境工程学是在吸收土木工程、卫生工程、化学工程、机械工程等经典学科基础理论和技术方法的基础上,为了改善环境质量而逐步形成的一门新兴的学科,它脱胎于上述经典学科,但无论是学科任务还是研究对象都与这些学科有显著的区别,其学科内涵远远超出了这些学科。特别是近二十多年来,环境工程学的发展非常迅速,反应工程、应用微生物学、生态学、生物工程、计算机与信息工程以及社会学的各个学科都向其渗透,其学科理论体系日趋完善、学科分支日趋扩展,目前已经具有鲜明特色的、独立的学科体系。图 1.2 是环境工程学的学科体系。

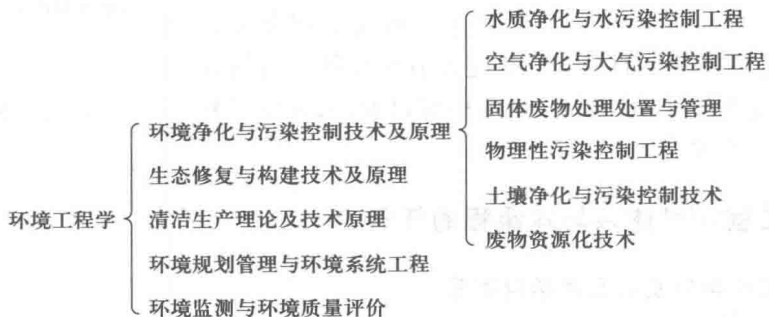


图 1.2 环境工程学的学科体系

## (二) “环境工程原理”课程的基本任务和定位

“环境工程原理”课程的主要任务是系统、深入阐述环境污染控制工程,即水质净化与水污染控制工程、大气(包括室内空气)污染控制工程、固体废物处理处置与管理与资源化工程、物理性污染(热污染、辐射污染、噪声、振动)控制工程、自然资源的合理利用与保护工程、生态修复与构建工程以及其他污染控制工程中涉及的具有共性的工程学基础、基本过程和现象,以及污染控制装置的基本原理,为相关的专业课程学习打下良好的理论基础。

该课程的主要目的是为提高环境净化与污染控制工程(污染物净化装置)的效率(污染物去除效率和资源、能源利用效率)提供理论支持,从理论上指导环境净化与污染控制技术的选择,阐述提高污染物去除效率的思路、手段和方法。

该课程是环境工程专业的核心课程,也是环境科学专业、给水排水工程专业以及其他相关专业的重要专业基础课。

## 三、环境净化与污染控制技术体系

环境污染的种类繁多,形态多样,来源复杂(图 1.3)。从污染物的性质上可以分为化学污染(重金属、无机化合物、有机物等)、生物污染(病原微生物、有害基因)和物理污染(噪声、热、辐射、振动)等。从污染物的形态或其赋存介质的形态可以分为液态污染物(污废水、废液)、气态污染物(废气)、固态污染物(固体废物、受污染土壤)和辐射污染。从污染产生源可以分为点源污染、面源污染和移动源污染。下面将扼要介绍不同类型污染的治理技术体系。

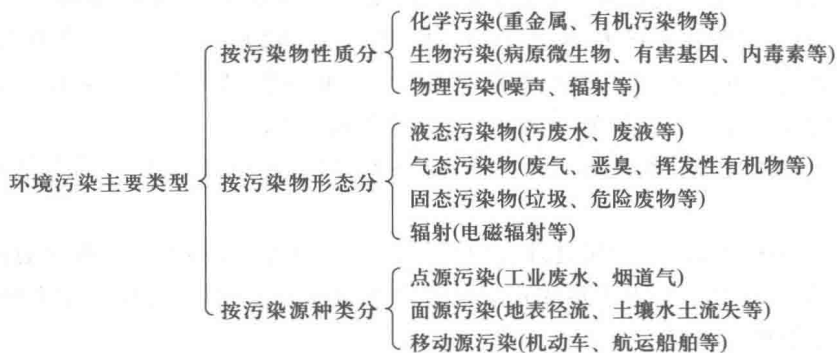


图 1.3 环境污染的主要类型

## (一) 水质净化与水污染控制技术

### 1. 水中的主要污染物及其危害

水污染根据污染物的不同可分为物理性污染、化学性污染和生物性污染三大类。污水中的物理性和化学性污染物种类多、成分复杂而多变、物理化学性质多样、可处理性差异大。为了便于理解污水处理的对象与原理,污水中的污染物常按图 1.4 进行分类。

水中无机污染物包括氮磷等植物性营养物质、非金属(如砷、氟等)、金属与重金属(如汞、镉、铬)以及主要因无机物的存在而形成的酸碱度。氮磷是导致湖泊、水库、海湾等封闭性水域富营养化的主要元素。许多重金属对人体和水生生物有直接的毒害作用。

污水中的可生物降解性有机污染物(多为天然化合物)排入水体以后,在微生物的作用下发

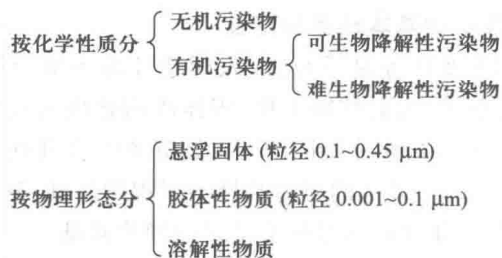


图 1.4 污水中的污染物分类

生降解,从而消耗水中的溶解氧,引起水体的缺氧和水生动物的死亡,破坏水体功能。在厌氧条件下有机物被微生物降解产生  $H_2S$ 、 $NH_3$ 、低级脂肪酸等有害或恶臭物质。另外, $H_2S$  会与铁等形成黑色沉淀,引起水体的“黑臭”现象。

难生物降解性污染物,如农药、卤代烃、芳香族化合物、多氯联苯等,一般具有毒性大、化学及生物学稳定性强、易于在生物体内富集等特点,排入环境以后长时间滞留,并通过生物链对人体健康造成危害。近年来,由持久性有机污染物(persistent organic pollutants, POPs)、内分泌干扰物(endocrine disrupting chemicals, EDCs)以及药品和个人护理用品(pharmaceuticals and personal care products, PPCPs)等新兴污染物(emerging contaminants)引起的环境问题备受人们的关注。

## 2. 水处理技术

水处理,包括自来水净化处理、城市污水处理、工业废水处理、污染水体修复、地下水污染治理等,其基本目的是利用各种技术,将水中的污染物分离去除或将其分解转化为无害物质,使水得到净化。水处理的方法种类繁多,归纳起来可以分为物理法、化学法和生物法三大类。各种水处理方法的原理与主要去除对象分别见表 1.1、表 1.2 和表 1.3。

物理法是利用物理作用分离水中污染物的一类方法,在处理过程中不改变污染物的化学性质。

化学法是利用化学反应的作用处理水中污染物的一类方法,在处理过程中通过改变污染物在水中的存在形式,使之从水中去除或者是使污染物彻底氧化分解、转化为无害物质,从而达到水质净化和污水处理的目的。

生物法是利用生物,特别是微生物的作用使水中的污染物分解、转化成无害或价值物质的一类方法。

表 1.1 水的物理处理法

处理方法	主要原理	主要去除对象
沉淀	重力沉降作用	相对密度大于 1 的颗粒
离心分离	离心沉降作用	相对密度大于 1 的颗粒
气浮	浮力作用	相对密度小于 1 的颗粒
过滤(砂滤等)	物理阻截作用	悬浮物
过滤(筛网过滤)	物理阻截作用	粗大颗粒、悬浮物
汽提法	污染物在不同相间的分配	有机污染物



续表

处理方法	主要原理	主要去除对象
吹脱法	污染物在不同相间的分配	有机污染物
萃取法	污染物在不同相间的分配	有机污染物
吸附法	界面吸附	可吸附性污染物
反渗透	渗透压	无机盐等
膜分离	物理截留等	较大分子污染物
电渗析法	离子迁移	无机盐
蒸发浓缩	水与污染物的挥发性差异	非挥发性污染物

表 1.2 水的化学处理法

处理方法	主要原理	主要去除对象
中和法	酸碱反应	酸性、碱性污染物
化学沉淀法	沉淀反应、固液分离	无机污染物
氧化法	氧化反应	还原性污染物、有害微生物(消毒)
还原法	还原反应	氧化性污染物
电解法	电解反应	氧化、还原性污染物
超临界分解法	热分解、氧化还原反应、游离基反应等	几乎所有的有机污染物
离子交换法	离子交换	离子性污染物
混凝法	电中和、吸附架桥作用	胶体性污染物、大分子污染物

表 1.3 水的生物处理法

处理方法	主要原理	主要去除对象	
好氧处理法	活性污泥法 生物膜法 流化床法	生物吸附、生物降解 生物吸附、生物降解 生物吸附、生物降解	可生物降解性有机污染物、还原性无机污染物( $\text{NH}_4^+$ 等)
生态技术	氧化塘 土地渗滤 湿地系统	生物吸附、生物降解 生物降解、土壤吸附 生物降解、土壤吸附、植物吸收	有机污染物、氮、磷、重金属
厌氧处理法	厌氧消化池 厌氧接触法 厌氧生物滤池 高效厌氧反应器(UASB等)	生物吸附、生物降解	可生物降解性有机污染物、氧化态无机污染物( $\text{NO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ )
厌氧-好氧联合工艺	生物吸附、生物降解、硝化-反硝化、生物摄取与排出	生物吸附、生物降解、硝化-反硝化、生物摄取与排出	有机污染物、氮(硝化-反硝化)、磷

注:UASB—upflow anaerobic sludge blanket(升流式厌氧污泥床反应器)。