



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

环境工程专业主干课程短学时系列教材

环境工程 原理

陈杰蓉 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

环境工程专业主干课程短学时系列教材

环境工程原理

Huanjing Gongcheng Yuanli

陈杰瑛 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

图书在版编目 (CIP) 数据

环境工程原理 / 陈杰榕主编. —北京: 高等教育出版社, 2011. 3

ISBN 978 - 7 - 04 - 024709 - 1

I. ①环… II. ①陈… 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 (2011) 第 007199 号

策划编辑	陈文	责任编辑	谭燕	封面设计	张楠
责任绘图	尹莉	版式设计	余杨	责任校对	美国萍
责任印制	刘思涵				

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 国防工业出版社印刷厂

网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787 × 960 1/16
印 张 30.25
字 数 570 000

版 次 2011 年 3 月第 1 版
印 次 2011 年 3 月第 1 次印刷
定 价 43.70 元

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 24709 - 00

序

高等学校环境工程专业主干课程短学时系列教材与本专业的“水污染控制工程”、“大气污染控制工程”、“固体废物处理与处置”、“环境影响评价”、“环境规划与管理”、“环境工程原理”、“环境监测”和“物理性污染控制”8门核心课程相对应,其内容在近年不断进行教学改革的基础上,已经历了10年以上的应用和教学实践,并根据我国高等学校本科环境工程专业相关课程的基本要求,受教育部高等学校环境科学与工程教学指导委员会环境工程专业教学指导分委员会的委托组织编写。各分册主编都具有非常丰富的教学经验,本系列教材各门课程的讲义在很多学校都进行了试用(见各分册材料),教学效果很好。

本系列教材是一套学时短、内容精的教材。教材的编写根据环境工程专业本科生培养目标,针对当前各高等学校学时缩短和教学改革的情况,适应目前学科发展和人才培养的需求,全面整合教学内容,突出本学科相关知识在实践中的应用,注重学生实际操作能力的培养,强调系列教材的整体性和系统性,尽可能避免课程间内容的重复。

本系列教材从体系结构到内容具有新颖、系统、全面、科学、实用和普及的特点,注意与相关课程的区别与联系。教材的取材和内容的深度都尽量充分考虑符合我国环境工程专业人才培养目标及课程教学的要求,能反映本学科研究和发展的先进成果,并完整地体现相应课程应有的知识,重点考虑如何有利于学生对环境污染控制与污染物的处理、处置原理和方法等的掌握与应用,以及对环境污染防治的发展战略、规划、建设项目及其他开发活动的实施行为进行分析、预测和评估,提出防治的对策与措施。

本系列教材也可用于环境工程领域工程技术人员的培养与培训,同时可作为工业企业环境保护与环境工程专业及管理的重要参考书。

本系列教材由重庆大学、四川大学、西安交通大学、西安建筑科技大学、昆明理工大学负责组织编写,重庆大学罗固源教授担任编写委员会主任委员。各教材的主编分别是:《水污染控制工程》:罗固源教授(重庆大学);《大气污染控制工程》:蒋文举教授(四川大学);《固体废物处理与处置》:宁平教授(昆明理工大学);《环境影响评价》:曾向东教授(昆明理工大学);《环境规划与管理》:张承中教授(西安建筑科技大学);《环境工程原理》:陈杰蓉教授(西安交通大学);《环境监测》:但德忠教授(四川大学);《物理性污染控制》:陈杰蓉教授(西安交通大学)。

教育部高等学校环境科学与工程教学指导委员会环境工程专业教学指导分

委员会组织了对本系列教材的编写审查。教育部高等学校环境科学与工程教学指导委员会主任委员、中国工程院院士、清华大学郝吉明教授担任本系列教材的主审,教育部高等学校环境科学与工程教学指导委员会环境工程专业教学指导分委员会副主任委员、同济大学周琪教授担任本系列教材的副主审。

罗固源

2006年4月20日

前 言

“环境工程原理”是高等学校环境工程专业的核心课程之一。本教材是高等学校环境工程专业主干课程短学时系列教材之一,是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本教材的编写注重与高等环境人才培养目标和社会需求相适应,与课程体系相配套,与学科发展前沿领域相协调,其内容符合环境工程人才培养目标及教育部高等学校环境科学与工程教学指导委员会建议的课程教学基本要求,能完整地表达本课程应有的知识,反映相关联系和规律,并能体现本学科研究的先进成果和技术进展。本教材具有以下鲜明特点,便于教学。

(1) 本教材具有承上启下的特点。“环境工程原理”课程涉及高等数学、物理学及化学等基础知识,注重综合运用先行课程的知识,阐述环境工程原理,为后续污染控制专业课程奠定基础。

(2) 本教材以传递过程和研究方法论为主线,以单元操作作为内容,采用实验研究方法和数学模型方法解决真实复杂的工程问题。教材述及的实验研究策略及其适用范围,以合理的简化方式建立物理和数学模型,是学习本课程和解决工程问题需要掌握的重点。

(3) 本教材定位准确,注意与基础理论课和专业课教材内容的关联与区别。流体力学、传热、传质的基本原理与“化工原理”相通,而单元操作则突出环境工程处理对象的特点。如第六章“吸收”针对环境工程所面对的大流量、低浓度、多组分的复杂流体体系,对物理吸收和化学吸收均作了详细的论述;第七章“吸附”着重介绍环境工程中常用的物理吸附,不涉及催化反应,对专业课中论述的吸附剂种类、性能指标不作介绍;在讨论单元操作的各章不论及工艺过程。

(4) 本教材适合48~60学时教学。教材内容符合课程教学的基本要求及全国注册环保工程师执业资格考试的需求,并注重培养学生分析问题和解决问题的能力。

本教材适用于高等学校环境工程及环境科学、市政工程等相关专业的本科生、专科生的教学,也可用于环境工程领域技术人员的培训,同时可作为企业环境保护与环境工程专业及管理人士的参考书,具有广泛的适用面。

本教材由陈杰蓉教授担任主编,参加编写的人员有西安交通大学陈杰蓉[前言,第一、二、三、八章,第七章第二节二(二)、三、第四节三,附录];四川大学魏文楹(第四章)、苏仕军(第五章)、刘勇军(第六章)、楚英豪[第七章第一节、第二节一、二(一)、第三节、第四节一、二];西北农林科技大学孟昭福(第九、十

章)。本教材由陈杰蓉教授修改统稿。

本教材由重庆大学罗固源教授担任主审,高等教育出版社陈文编辑负责本教材的出版工作,昆明理工大学宁平教授在本教材的编写过程中给予了积极的帮助。衷心感谢他们为本教材的编写提出的宝贵建议和所作的贡献。

本教材编写过程中参阅了大量国内外相关著作和文献资料,在此一并表示诚挚的感谢。

《环境工程原理》短学时教材的编写是全新的尝试和探索,编写中力求汲取国内已有相关教材之长,融入编者的教学心得,体现自身的风格。但是由于编者水平所限,教材中的不足之处在所难免,恳请读者不吝赐教,以便再版时订正。

编 者

2010年7月8日

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
一、环境工程学科	1
二、“环境工程原理”的课程地位	1
第二节 “环境工程原理”的主要内容	2
一、单元操作	2
二、基本概念	3
三、单位制和单位换算	6
第三节 “环境工程原理”的课程特点和研究方法	8
一、“环境工程原理”的课程特点	8
二、“环境工程原理”的研究方法	9
第二章 流体流动	11
第一节 概述	11
第二节 流体的性质	12
一、流体的密度	12
二、流体的黏度	13
第三节 流体静力学	14
一、流体的压力	15
二、流体静力学基本方程	15
第四节 流体流动的总物料衡算	17
一、流体的流量与流速	17
二、流体的稳定流动和不稳定流动	19
三、流体流动的总物料衡算	20
第五节 流体流动的总能量衡算	23
一、流体流动的总能量衡算	23
二、流体流动的机械能衡算式	26
三、伯努利方程的讨论	28
四、伯努利方程应用的注意点	30
第六节 流体流动的阻力损失	30

一、流体的流动类型	31
二、流体流动的阻力损失	33
三、摩擦系数	39
四、流体在圆管内流动时的速度分布	44
第七节 管路	45
一、简单管路	46
二、复杂管路	46
三、管路计算中常遇到的几类问题	48
第八节 流量测量	54
一、测速管	54
二、孔板流量计	55
三、文丘里流量计	58
四、转子流量计	58
第九节 非牛顿型流体的阻力计算	61
一、非牛顿型流体的定义和类型	61
二、非牛顿型流体的阻力损失计算	62
思考题与习题	65
本章主要符号说明	69
第三章 流体输送设备	72
第一节 概述	72
第二节 液体输送设备	73
一、离心泵	73
二、其他类型泵	80
第三节 气体输送设备	86
一、离心式通风机	86
二、离心式鼓风机和离心式压缩机	88
三、旋转式鼓风机和旋转式压缩机	88
四、往复式压缩机	90
五、真空泵	90
思考题与习题	91
本章主要符号说明	92
第四章 热量传递	94
第一节 概述	94

一、热量传递的基本方式	95
二、两种流体热交换的基本形式和典型设备	96
三、传热过程与传热速率	98
四、稳态传热与非稳态传热	99
第二节 热传导	100
一、温度场和温度梯度	100
二、热传导速率——傅里叶定律	101
三、导热系数	101
四、通过平壁的热传导	104
五、通过圆筒壁的热传导	107
第三节 对流传热	110
一、对流传热速率	110
二、对流传热系数	111
三、对流传热过程	118
四、传热过程计算	123
第四节 辐射传热	129
一、基本概念	129
二、基本定律	130
三、两固体间的辐射传热	132
四、高温设备的热损失	133
思考题与习题	135
本章主要符号说明	137
第五章 非均相物系的分离	139
第一节 非均相物系的性质	139
一、颗粒的粒径	140
二、颗粒形状系数	141
三、颗粒的密度	141
四、颗粒的比表面积	142
五、颗粒的润湿性	142
六、颗粒的荷电性与导电性	142
七、颗粒的黏附性	143
第二节 非均相物系分离的理论基础	143
一、流体对颗粒的阻力	143
二、阻力系数	144

三、流体阻力的影响因素与修正	146
四、从流体中分离颗粒的基本原理	146
第三节 重力沉降	147
一、重力场中颗粒的沉降过程	147
二、沉降速度的计算	150
三、重力沉降设备与计算	154
第四节 离心沉降	156
一、离心沉降速度	156
二、离心沉降的特征	158
三、离心沉降设备与计算	159
第五节 静电沉降	166
一、电晕放电	166
二、颗粒的荷电	169
三、荷电颗粒在电场中的运动	172
四、静电沉降速度计算	172
五、静电沉降设备简介	174
第六节 过滤	176
一、气体的过滤	176
二、液体的过滤	182
第七节 湿式洗涤	190
一、湿式洗涤机理	190
二、湿式洗涤设备简介	196
思考题与习题	199
本章主要符号说明	200
第六章 吸收	206
第一节 概述	206
一、吸收的定义与应用	206
二、吸收操作的分类	206
三、吸收设备及其气液接触方式	207
四、吸收剂的基本要求	208
第二节 吸收平衡	208
一、物理吸收平衡	208
二、化学吸收平衡	212
第三节 传质机理与吸收速率	215

一、分子扩散	216
二、涡流扩散与对流传质	221
三、相际传质的双膜理论	222
四、物理吸收速率	223
五、化学吸收速率	225
第四节 吸收计算	234
一、吸收塔的物料衡算与操作线方程	234
二、吸收剂用量的确定	236
三、填料层高度的计算	238
四、塔径的确定	243
第五节 解吸	244
一、气提解吸	244
二、其他解吸方法	246
思考题与习题	246
本章主要符号说明	248
第七章 吸附	249
第一节 概述	249
一、吸附操作	249
二、吸附过程分类	249
三、吸附剂	250
第二节 吸附平衡	251
一、吸附平衡原理	251
二、气体吸附平衡	252
三、液相吸附平衡	258
第三节 吸附速率	260
一、吸附传质过程	260
二、吸附传质速率方程	261
第四节 吸附操作及其计算	264
一、接触过滤式吸附	265
二、固定床吸附	269
三、超吸附	283
思考题与习题	291
本章主要符号说明	292

第八章 萃取	296
第一节 概述	296
一、萃取的基本概念	296
二、萃取在环境工程中的应用	297
第二节 萃取基本原理	298
一、三角形相图	298
二、分配曲线与分配系数	302
三、影响萃取操作的主要因素	303
四、萃取剂的类别及性能	305
第三节 萃取操作流程与计算	306
一、单级萃取流程与计算	306
二、多级错流萃取流程与计算	311
三、多级逆流萃取流程与计算	315
四、连续接触式逆流萃取计算	323
第四节 萃取设备	327
一、萃取设备的分类	327
二、混合-澄清槽	328
三、无机机械能输入的萃取塔	329
四、输入机械能的萃取塔	331
思考题与习题	337
本章主要符号说明	339
第九章 离子交换	341
第一节 概述	341
一、离子交换剂的分类、结构	341
二、离子交换树脂的性能	344
三、离子交换树脂的命名简介	347
第二节 离子交换的基本原理	348
一、离子交换平衡	348
二、离子交换速率	349
三、影响离子交换扩散速率的因素	350
第三节 离子交换系统与过程	350
一、离子交换系统	350
二、离子交换过程	354

第四节 离子交换设备及计算	359
一、离子交换设备	359
二、离子交换器的设计计算	363
思考题与习题	364
本章主要符号说明	365
第十章 膜分离	366
第一节 概述	366
一、膜的定义和分类	366
二、膜性能的评价	368
三、膜分离的概念、特点和分类	369
第二节 膜分离原理	371
一、反渗透	371
二、超滤和纳滤	374
三、电渗析	376
四、气体膜分离	380
第三节 膜分离过程	381
一、膜分离的流程	381
二、膜分离设备	387
第四节 膜分离计算	393
一、进水中溶质的去除率和水回收率	393
二、膜的透水率和透盐率	393
三、膜的压密系数	394
四、计算实例	395
思考题与习题	396
本章主要符号说明	396
附录	398
附录1 部分物理量的单位和量纲	398
附录2 法定计量单位及单位换算	399
一、常用单位	399
二、常用十进倍数单位及分数单位的词头	399
三、单位换算	399
附录3 水与蒸汽的物理性质	405
一、水的物理性质	405

二、水在不同温度下的黏度	406
三、水的饱和蒸气压(-20 ~ 100 ℃)	407
四、饱和蒸汽表(以温度为基准)	408
五、饱和蒸汽表(以压力为基准)	410
附录 4 干空气的物理性质($p = 101.33 \text{ kPa}$)	412
附录 5 液体及水溶液的物理性质	413
一、某些液体的重要物理性质	413
二、氢氧化钠水溶液相对密度(液体密度与 4 ℃ 水的密度之比)图	417
三、液体相对密度(液体密度与 4 ℃ 水的密度之比)共线图	418
四、液体的表面张力共线图	420
五、某些无机物水溶液的表面张力	422
六、液体黏度共线图	423
七、液体比热容共线图	425
八、某些液体的导热系数 λ	427
九、液体汽化潜热共线图	428
附录 6 气体的重要物理性质	430
一、某些气体的重要物理性质	430
二、气体黏度共线图(常压下)	432
三、定压下气体比热容共线图(常压下)	434
四、常用气体的导热系数图	436
附录 7 固体性质	437
一、常用固体材料的重要物理性质	437
二、某些固体材料的黑度	438
附录 8 管道规格	439
一、水煤气输送钢管	439
二、无缝钢管规格简表	440
三、换热器用拉制黄铜管	441
四、承插式铸铁管规格	443
附录 9 泵与风机	443
一、IS 型单级单吸离心泵性能表(摘录)	443
二、8-18、9-27 离心式通风机综合特性曲线图	450
附录 10 换热器基本参数	451
一、列管式换热器系列标准	451
二、列管式换热器型号的表示方法	457

附录 11 标准筛目	458
一、国内常用筛	458
二、各国筛系比较	459
参考文献	460

第一章

绪论

第一节 概述

▷▷ 一、环境工程学科

环境工程是研究运用环境科学、环境工程学及其相关学科的原理和方法,保护和合理利用自然资源,防治环境污染,以改善环境质量的工程技术学科。环境工程学科主要研究大气污染、水污染、固体废物污染和物理性污染的控制工程技术,以及环境污染综合防治方法和措施。这些研究不仅涉及物理、化学、生物的变化过程,而且还包括将混合物分离得到较纯净的不同组分,以及改变污染物的物理状态和性质的各种过程。例如,火力发电厂排放的烟气首先经过电除尘,使颗粒物(烟尘)在电场中分离,再根据环保的要求,采用吸收、吸附、催化转化等方法使烟气脱硫脱硝;又如城市污水处理厂对污水一级处理采用物理方法,即经格栅、沉砂池、沉淀池等分离去除水中的悬浮物和寄生虫卵,二级处理采用生物处理方法,通过微生物的代谢作用进行物质转化,使污水中各种复杂的有机物氧化降解,三级处理采用生物化学法或离子交换法除氮,用化学沉淀法除磷,用活性炭吸附或超滤法去除难降解有机物,用反渗透法去除盐类等。上述实例中的各项工序都属于环境工程污染控制技术的研究范畴。

▷▷ 二、“环境工程原理”的课程地位

国内外高等学校自环境工程学科设置以来,传统的课程设置大都是按照环