



教育部高职高专规划教材

# 环境工程原理

▶ 张柏钦 王文选 主编



化学工业出版社  
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

# 环境工程原理

张柏钦 王文选 主编

化学工业出版社

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环境工程原理/张柏钦, 王文选主编. —北京: 化学工业出版社, 2003. 7  
教育部高职高专规划教材  
ISBN 7-5025-4579-4

I. 环… II. ①张…②王… III. 环境工程学-高等学校: 技术学院-教材 IV. X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 063412 号

---

教育部高职高专规划教材

**环境工程原理**

张柏钦 王文选 主编

责任编辑: 王文峡

文字编辑: 丁建华

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 于 兵

\*

化学工业出版社 出版发行  
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

http://www.cip.com.cn

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 20<sup>1</sup>/<sub>4</sub> 字数 493 千字

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7 5025-4579-4/G · 1248

定 价: 32.00 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

# 高职高专环境教材 编审委员会

顾问  
主任委员  
副主任委员  
委员

刘大银

沈永祥

李居参 许 宁 王文选 王红云

(按姓氏汉语拼音排序)

白京生	陈 宏	冯素琴	付梅琦	付 伟
顾 玲	郭 正	何际泽	何 洁	扈 畅
胡伟光	蒋 辉	金万祥	冷士良	李党生
李东升	李广超	李 弘	李洪涛	李居参
李旭辉	李耀中	李志富	牟晓红	司 颐
宋鸿筠	苏 炜	孙乃有	田子贵	王爱民
王春莲	王红云	王金梅	王文选	王小宝
王小平	王英健	魏振枢	吴国旭	徐忠娟
许 宁	薛叙明	杨保华	杨永红	杨永杰
尤 峥	于淑萍	于宗保	袁秋生	岳钦艳
张柏钦	张洪流	张慧利	张云新	赵连俊
智恒平	周凤霞	朱慧斌	朱延美	庄伟强

## 出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来，在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下，各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看，具有高职高专教育特色的教材极其匮乏，不少院校尚在借用本科或中专教材，教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此，1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》（以下简称《基本要求》）和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》（以下简称《培养规格》），通过推荐、招标及遴选，组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师，成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍，并在有关出版社的积极配合下，推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种，用5年左右时间完成。这500种教材中，专门课（专业基础课、专业理论与专业能力课）教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求，在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上，充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位，调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础，突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下，专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间，在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上，充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验，解决新形势下高职高专教育教材的有无问题；然后再用2~3年的时间，在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上，通过研究、改革和建设，推出一大批教育部高职高专规划教材，从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材，并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作，不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

# 前 言

人类社会的发展，特别是近百年来工业的发展和科学技术的突飞猛进，在给人类社会创造物质和精神财富的同时，也给人类的生存环境带来了严重的威胁和灾难。保护人类生存环境已引起了全世界的普遍关注。特别是自1992年联合国环境与发展会议之后，中国政府重视自己承担的国际义务，出台了《中国21世纪议程——中国21世纪人口、环境与发展白皮书》把实现可持续发展作为一项“基本国策”，并在全民中进行环境意识教育。

本书结合环境工程的特点，比较系统、完整地介绍了环境治理工程中所应用的一些单元操作，为环境专业高职学生的入门教材。全书共分八章，重点阐述了“三废”污染控制技术所涉及的基本理论、典型设备、工艺流程及应用。并以阅读材料的形式向读者介绍了与本课程相关的知识：环境治理中的新工艺、绿色生产及可持续发展等新内容。

本书着眼于环境专业生产、服务、管理一线高级技术应用性人才的培养，力求做到章节层次分明、内容重点突出、应用实例丰富，贴近生产实际。并为环保专业学生学习后续课程打下坚实的基础。同时也可作为其他相关专业（化工、石油、生物工程、制药、冶金、食品等）的教材或参考书，也可供有关部门的科研及生产一线技术人员阅读参考。

本书由张柏钦、王文选主编。第一章由王小宝编写；第二章由冷士良编写；第三章、第八章由王文选编写；绪论、第四章、第七章由张柏钦编写；第五章、第六章由王壮坤编写；附录由王小宝、冷士良、王壮坤共同编写。全书由张柏钦统稿，周立雪主审。参加本书审定工作的还有张洪流教授，在此致以诚挚的谢意。

因编写人员水平、时间及经验所限，书中不完善之处敬请专家和读者批评指正。

编 者

2003年4月

## 内 容 提 要

全书除绪论外，正文共八章；第一章流体流动；第二章流体输送机械；第三章沉降与过滤；第四章吸收；第五章吸附；第六章液-液萃取；第七章膜分离技术；第八章其他传质分离方法。附录列出书中内容所涉及的物性参数、设备型号、管子规格等相关的图表。

本书为高职高专环境类专业的教材，也可供相关科技、生产管理等有关人员参考。

# 目 录

绪 论	1
第一章	
流体流动	4
学习目标	4
第一节 流体的基本物理量	5
一、流体的密度	5
二、流体的压强	7
三、流体的流量与流速	8
四、流体的黏度	9
第二节 流体静力学	11
一、流体静力学基本方程式	11
二、流体静力学基本方程式的应用	12
第三节 稳定流动系统的能量衡算	17
一、稳定流动与不稳定流动	17
二、稳定流动系统的物料衡算——连续性方程	18
三、流动系统的能量	19
四、稳定系统的能量衡算式——柏努利方程	20
五、柏努利方程的应用	22
第四节 流体在管内流动时的摩擦阻力	25
一、流动阻力产生的原因——内摩擦	25
二、流体的流动类型	25
三、圆管中的速度分布与流动边界层概念	27
第五节 管路	29
一、管路的分类	30
二、管路的基本构成	30
三、管路的布置与安装	33
第六节 流体在管内流动时的能量损失	35
一、流体在直管中的流动阻力	35
二、摩擦系数	35
三、局部阻力	38
四、系统的总能量损失	40
阅读材料	44
本章小结	45
复习与思考题	46



	习题 .....	46
	符号说明 .....	50
<b>第二章</b>	<b>流体输送机械 .....</b>	<b>52</b>
	学习目标 .....	52
	第一节 概述 .....	52
	第二节 离心泵 .....	53
	一、离心泵的主要部件及工作原理 .....	53
	二、离心泵的主要性能参数与特性曲线 .....	56
	三、影响离心泵性能的主要因素 .....	58
	四、离心泵的气蚀现象与安装高度 .....	59
	五、离心泵的工作点与流量调节 .....	62
	六、离心泵的型号与选用 .....	66
	七、离心泵的安装与操作 .....	70
	第三节 其他类型泵 .....	71
	一、往复泵 .....	71
	二、齿轮泵 .....	73
	三、旋涡泵 .....	73
	第四节 气体输送机械 .....	75
	一、通风机 .....	75
	二、鼓风机 .....	78
	三、压缩机 .....	79
	四、真空泵 .....	82
	阅读材料 .....	83
	本章小结 .....	84
	复习与思考题 .....	84
	习题 .....	85
	符号说明 .....	86
<b>第三章</b>	<b>沉降与过滤 .....</b>	<b>88</b>
	学习目标 .....	88
	第一节 概述 .....	88
	一、机械分离 .....	88
	二、机械分离方法在工业生产中的应用 .....	89
	第二节 重力沉降及设备 .....	89
	一、重力沉降速度 .....	89
	二、重力沉降设备 .....	94
	第三节 离心沉降及设备 .....	100
	一、离心沉降速度 .....	100
	二、离心沉降设备 .....	101

第四节 过滤	108
一、过滤操作的基本概念	108
二、过滤基本方程式	109
三、恒压过滤	111
四、过滤设备	114
第五节 离心机	120
一、基础知识	120
二、离心机的类型	121
第六节 气体的其他净制设备	123
一、中心喷雾式旋风洗涤器	123
二、文丘里洗涤器	123
三、泡沫除尘器	124
四、静电除尘器	124
阅读材料	127
本章小结	129
复习与思考题	130
习题	131
符号说明	132

<b>第四章 吸收</b>	134
学习目标	134
第一节 概述	134
一、工业吸收过程	134
二、吸收的分类	135
三、吸收在环境治理中的应用	136
四、吸收设备的主要类型	136
五、吸收操作的经济性	136
第二节 吸收净化的基本原理	137
一、吸收过程的气液相平衡	137
二、相平衡与吸收过程的关系	139
三、吸收传质机理	140
第三节 吸收传质速率方程	142
一、气膜和液膜吸收速率方程	142
二、总吸收速率方程及对应的总吸收系数	143
第四节 吸收计算	146
一、吸收塔的物料衡算与操作线方程	146
二、吸收剂用量的确定	148
三、塔径的计算	149
四、吸收塔高的计算	150
五、吸收塔的操作与调节	155

第五节 解吸	156
一、解吸方法	156
二、气提解吸的计算	156
第六节 吸收设备	158
一、水平液面的表面吸收器	158
二、液膜吸收器	159
三、填料吸收塔	160
四、湍球塔	162
五、板式塔	163
六、喷洒式吸收器	163
七、文丘里吸收器	164
第七节 吸收气体污染物的工艺配置	164
一、吸收剂的选择	164
二、吸收工艺流程中的配置	165
阅读材料	166
本章小结	169
复习与思考题	170
习题	171
符号说明	172
<b>第五章 吸附</b>	<b>175</b>
学习目标	175
第一节 概述	175
一、吸附与解吸	175
二、吸附剂的基本特征	178
三、常用的吸附剂	179
四、影响吸附的因素	181
第二节 吸附平衡与吸附速率	182
一、吸附平衡	182
二、吸附速率	184
第三节 吸附分离工艺简介	185
一、固定床吸附	186
二、模拟移动床吸附	188
三、变压吸附	189
四、其他吸附分离方法	191
第四节 吸附分离在环境工程中的应用	194
一、用于气态污染物的控制	194
二、用于污水处理	198
阅读材料	198
本章小结	200

	复习与思考题	201
	符号说明	202
<b>第六章</b>	<b>液-液萃取</b>	203
	学习目标	203
	第一节 概述	203
	一、液-液萃取过程	203
	二、两相接触方式	205
	三、萃取操作在环境工程中的应用	206
	第二节 三元体系的液-液相平衡	207
	一、三角形相图	207
	二、部分互溶物系的相平衡	209
	三、液-液相平衡与萃取操作的关系	211
	四、萃取剂的选择	212
	第三节 萃取过程计算	213
	一、单级萃取的计算	213
	二、多级错流萃取的计算	215
	三、多级逆流萃取的计算	217
	第四节 萃取设备	220
	一、萃取设备的主要类型	220
	二、萃取设备的选择	225
	阅读材料	226
	本章小结	229
	复习与思考题	230
	习题	230
	符号说明	231
<b>第七章</b>	<b>膜分离技术</b>	233
	学习目标	233
	第一节 概述	233
	一、膜和膜分离的分类	233
	二、对膜的基本要求	235
	三、膜分离技术在环境工程中的应用	235
	四、膜分离设备	236
	第二节 反渗透	240
	一、反渗透原理	240
	二、影响反渗透因素——浓差极化	241
	三、反渗透组件及其技术特征	242
	四、反渗透过程工艺流程	242
	五、反渗透技术的应用	243

第三节	超滤	246
一、	超滤原理	246
二、	超滤的浓差极化	246
三、	超滤膜	246
四、	超滤过程的工艺流程	247
五、	超滤技术的应用	248
第四节	电渗析	251
一、	电渗析原理及适用范围	251
二、	电渗析的流程	253
三、	电渗析技术的应用	254
第五节	气体膜分离	256
一、	基本原理	256
二、	影响气体分离效果的因素	257
三、	气体膜分离流程	257
四、	气体膜分离技术应用	258
第六节	微滤	260
一、	微滤原理	260
二、	影响微滤膜分离效果的因素	261
三、	微滤的操作流程	261
四、	微滤的应用	262
	阅读材料	263
	本章小结	266
	复习与思考题	267
	符号说明	268
<b>第八章</b>	<b>其他传质分离方法</b>	<b>269</b>
	学习目标	269
第一节	离子交换分离	269
一、	离子交换的基本原理	269
二、	离子交换设备	272
三、	离子交换技术的应用	272
第二节	气浮分离	273
一、	气浮分离原理	273
二、	气浮分离设备——气浮池	274
三、	气浮分离在环保工业中的应用	275
第三节	电解分离技术	275
一、	电解分离原理	275
二、	电解设备——电解槽	276
三、	电解分离在环境工程中的应用	276
第四节	生物处理技术	277

一、好氧生物处理·····	277
二、厌氧生物处理·····	282
三、生物处理技术在环保中的应用·····	284
阅读材料·····	285
本章小结·····	286
复习与思考题·····	288
符号说明·····	288
<b>附录</b> ·····	289
附录一 法定计量单位及单位换算·····	289
附录二 某些气体的重要物理性质·····	291
附录三 某些液体的重要物理性质·····	291
附录四 空气的重要物理性质·····	293
附录五 水的重要物理性质·····	294
附录六 水在不同温度下的黏度·····	294
附录七 饱和水蒸气表·····	295
附录八 液体黏度共线图和密度·····	298
附录九 气体黏度共线图·····	299
附录十 管子规格·····	300
附录十一 常用离心泵规格(摘录)·····	301
附录十二 4-72-11型离心式通风机的规格·····	307
<b>参考文献</b> ·····	308

# 绪 论

## 一、人类与环境

人类社会是在同环境的斗争中发展起来的。人类在出现以后很长的岁月里，只是自然食物的采集者和捕食者，对环境的影响与动物区别不大。生产对于自然环境的依赖性十分突出，而很少有意识改变环境。如果说那时也发生环境问题的话，那主要是因为人口的自然增长和像动物那样无知，乱采乱捕，滥用资源，从而造成生活资料缺乏引起的饥荒。为了解除这一环境威胁，人类曾被迫学吃一切可以吃的东西，或是被迫扩大自己的生活领域，学会适应在新的环境中生活的本领，逐步认识到发展生产力、改革生产方式、提高生产率的必要，开始有意识地改造环境，以创造更加丰富的物质财富。

几千年来，人类为了追求更加美好的生活，不断地改造自然，从而大大地改变了世界。进入 20 世纪以来，随着人口、工农业生产和科学技术的飞速发展，特别是近半个世纪以来，人类改造自然的规模空前扩大，从自然界获取的资源也越来越多，随之排放的废弃物也越来越多。对环境的污染与破坏不仅限于某些工业发达的国家，已发展成为全球性环境问题。诸如土地荒漠化、森林资源过度砍伐、水资源的短缺、物种的消失、酸雨危害、臭氧层破坏、温室效应引起的全球气候变暖等。人与自然的矛盾显著激化，这不仅表现为地球上人口过多，资源短缺，生产成本提高，经济发展受阻，还表现为各种突发性环境灾难频繁发生，危害人类的安全和生产生活。更为可怕的是各种有害物质随着空气、土壤、水体和食物链源源不断地进入人体，日积月累，损害着人类的体质和机能。

在西方发达国家，环境问题的警钟鸣响了半个世纪。第三世界国家的环境问题虽出现略晚，但是来势十分凶猛，惨痛的环境教训不断出现。1985 年英国威尔士饮用水污染，200 万居民的饮水遭到污染，44% 的人中毒；1984 年印度中央邦博帕尔农药厂泄漏，1408 人死亡，2 万人严重中毒，15 万人接受治疗；1986 年前苏联切尔诺贝利核电站泄漏，31 人死亡，13 万人疏散，直接损失 30 亿美元；1986 年瑞士巴塞尔市化学公司仓库起火，剧毒物流入河中，造成莱茵河污染，事故发生段生

物绝迹，480公里内的水不能饮用……。这些全球性大范围的环境问题严重威胁人类的生存和发展，不论是广大公众还是政府官员，也不论是发达国家还是发展中国家，都普遍对此表示不安。

环境安全是人类最基本的安全，保护环境是人类文明的重要内容。目前部分发达国家及科技界对资源与环境的态度，已从盲目开发利用逐步转变为保护和协调；资源与环境问题已上升为资源与环境安全；环境科学研究的重点，已从理论研究发展为制定行动措施上来；研究方法由静态发展为动态过程，并从自然过程和人为过程的结合上探讨重大环境问题的时空耦合过程。环境问题已成为举世瞩目的问题。

## 二、环境科学与环境工程学

环境这个词是相对于人类的存在而言的，是人类进行生产和生活的场所，是人类生存和发展的基础。人类与环境之间是一个有着相互作用、相互影响、相互依存关系的对立统一体。人类的生产和生活活动作用于环境，会对环境产生影响，引起环境质量的变化；反过来，污染了的环境也会对人类的身心健康和经济发展等造成不利的影响。

当代社会的发展使人与环境之间的作用与反作用不断加剧。现在人类所及的范围，上至太空，下至海底。人类活动对环境的影响空前强化，环境污染和生态环境的破坏已达到危险的程度，环境和环境问题已向人们提出了挑战。

环境科学是在现代社会经济和科学发展过程中逐步形成的一门新兴的综合性学科。它的主要任务是研究在人类活动的影响下，环境质量变化规律和环境变化对人类生存的影响，以及保护和改善环境质量的理论、技术和方法。

环境科学所涉及的内容非常之广，包括自然科学和社会科学的诸多方面，因而形成了与有关学科之间相互渗透、相互交叉的许多分支学科，如环境地学、环境生物学、环境化学、环境物理学、环境医学、环境工程学、环境管理学、环境法学等。这些分支学科虽然各有特点，但又相互关联、相互依存。它们是环境科学这个整体不可分割的组成部分。

环境工程学是在人类保护和改善生存环境并同环境污染做斗争的过程中逐步形成的，是一门既有悠久历史又正在新兴发展的工程技术学科，是环境科学的一个分支，又是工程学的一个重要组成部分。它运用环境科学、工程学和其他有关学科的理论和方法，研究保护和合理利用自然资源，控制和防治环境污染，以改善环境质量，使人类得以健康和舒适地生存，使经济得以可持续发展。

因此，环境工程学有着两个方面的任务：既要保护环境，使其免受和消除人类活动对它的有害影响；又要保护人类免受不利环境因素对健康和安全的损害。

## 三、环境工程原理课程的性质、内容和任务

(1) 性质 环境工程原理是建立在数学、物理、物理化学、制图和计算机技术等学科基础上的一门技术基础课。

2 (2) 内容 环境工程原理课程以环境工程学中所采用的一些物理过程（也称单元操作）为研究对象，研究这些物理过程的原理、基本概念、基本理论、典型设备、典型工艺以及在环境工程中的应用。为后续课程环境治理工程的学习打下坚实的基础。

(3) 任务 本课程的主要任务是使学生获得单元操作过程的基本原理、基本理论和应用能力。



① 能正确理解单元操作的基本原理、了解典型设备的构造、性能和操作方法，根据各单元操作在技术和经济上的特点进行“过程和设备”的选择，以经济有效地满足特定生产过程的要求。

② 熟悉各单元操作过程及设备的计算方法，能正确使用各种常用的工程计算图表、工具书和资料。

③ 掌握各个单元操作的基本规律，并正确运用于环境工程中。

④ 能根据生产的不同要求进行操作和调整，对操作中发生的故障，能够作出正确的判断。有选择适宜操作条件、探索强化过程的途径和提高设备效能的初步能力。有用工程观念分析解决单元操作中的一般问题的能力。

⑤ 了解环境工程学中所用单元操作的新发展、新技术、新工艺及相关学科的新发展。

#### 四、环境工程原理课程的特点

本课程是一门理论与实践联系非常密切的学科，不仅广泛应用于环境治理工程中，而且还广泛应用于化工、冶金、电子、医药、轻工、航空等行业和部门，其内容是从上述行业中许多具体的生产过程中抽象概括出来的。本课程的目的是应用这些一般性的基本原理、基本概念和知识，针对不同场合和不同生产对象具体解决某个特定的实际过程所涉及的单元操作、流程、设备的选择。这些问题具有很强的工程性。

(1) 过程影响因素多 对于每一个单元操作其影响因素可分为以下三类。

① 物性因素 同一类分离设备可用于不同的物系，物料的物理性质和化学性质必然对过程发生影响。

② 操作因素 设备的各种操作条件，如温度、压力、流量、流速、物料组成等，在工业实际过程中，它们经常发生变化并影响过程的结果。

③ 结构因素 设备内部与物料接触的各种构件的形状、尺寸和相对位置等因素，它们影响并改变物料的流动状态，直接或间接地影响过程的结果。

(2) 过程制约条件多 在工业上要实现一个具体的生产过程，客观上存在许多制约条件，如原料的来源、设备的结构、材料的质量和规格等。同时设备在流程中的位置也制约了设备的进出口条件。

(3) 安全因素要考虑 生产过程是否安全，设备安装、维修是否方便等也对过程提出要求。

(4) 效益是评价工程合理性的最终判据 进行工业过程的目的是为了最大限度地取得经济效益和社会效益，这是合理地组织一个工业过程的出发点，也是评价过程是否成功的标志。

(5) 理论分析、工业性实验与经验数据并重 由于工业过程的复杂性，许多情况下单纯依靠理论分析有时只能给出定性的判断，往往要结合工业性实验，或采用经验数据才能得出定量的结果。

因此，要应用环境工程原理去解决工程实际问题，需了解工程实际问题的特点，从工程实际出发，全方位考虑问题，这也是本课程学习的一项重要任务。