



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高职高专规划教材

环境工程原理

第二版

张柏钦 王文选 主编



化学工业出版社



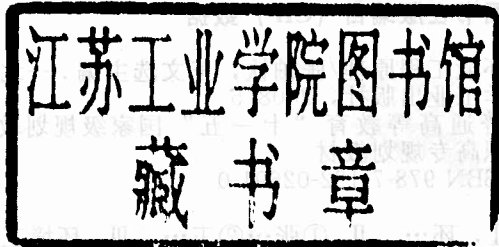
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高职高专规划教材

环境工程原理

第二版

张柏钦 王文选 主编



中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第092823号

责任编辑：王文选
封面设计：张柏钦

责任编辑：王文选
封面设计：张柏钦

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南路13号 邮编100011）

印 装：化学工业出版社印刷厂

787mm×1095mm 1/16 印张18.5 字数188千字 2008年1月北京第1次印刷

邮 政 发 行：010-61914433（传真）010-61914435



化学工业出版社

网 址：<http://www.cip.com.cn>

北京

定价：35.00元

定价：35.00元

本书以环境工程科学中所采用的单元操作过程为对象,系统阐述了其原理、基本概念、基本理论、典型设备、典型工艺及其在环境工程中的应用,主要内容包括流体流动、流体输送机械、沉降与过滤、吸收、吸附、液-液萃取、膜分离技术及其他传质分离方法。每章附有例题、思考题、习题及知识点小结,并于附录列出相关内容所涉及的物性参数、设备型号、管子规格等图表,便于读者使用。

本书自2003年出版以来先后重印三次,得到了广大读者的认可和好评。在此基础上,第二版适应新形势、新要求,本着必需、够用的原则,对相关内容进行了必要调整和修正。

本书为高职高专环境类专业教材,也可供相关科技、生产、管理人员参考。

环境工程原理

第二版

主编 王文选 刘琳琳

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, 2008.5
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高职高专规划教材
ISBN 978-7-122-02691-0

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(2008)第056923号

责任编辑:王文峡
责任校对:战河红

文字编辑:丁建华
装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张19¼ 字数468千字 2008年7月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

第一版前言

本书第一版作为高职高专规划教材于2003年8月出版，并先后印刷了三次。在使用中发现有些内容对高职高专的学生偏难，如多级萃取的计算；有些内容在环境工程中应用还不是很普遍，如气体膜分离技术；还有些内容较陈旧，如吸收一章吸收设备的介绍中有些设备已被新型设备所取代等。这次再版对本书的部分内容做了调整，删除了一些不必要的内容，并对有些欠妥乃至错误的地方进行了修正，以使本书更适合高职高专教学使用。

在本书的修订中，对参编人员作了调整。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；绪论由张柏钦编写；第五章、第六章由王壮坤编写；第四章、第七章由石钢编写；附录由王小宝、冷士良、王壮坤共同编写。全书由张柏钦统稿。

因编写人员水平和经验所限，书中不完善之处敬请专家和读者批评指正。

编者

2008年2月

查 录

2003年4月

第一版前言

第二版前言

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

目 录

| | |
|----------------------|----|
| 绪 论 | 1 |
| 一、人类与环境 | 1 |
| 二、环境科学与环境工程学 | 2 |
| 三、环境工程原理课程的性质、内容和任务 | 2 |
| 四、环境工程原理课程的特点 | 3 |
| 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——伯努利方程 | 20 |
| 五、伯努利方程的应用 | 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 |
| 第二章 | 流体输送机械 | 52 |
| | 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、离心泵的汽蚀现象与安装高度 | 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 |
| 第三章 | 沉降与过滤 | 88 |
| | 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 |

| | | |
|------|--------------------|-----|
| 841 | 二、重力沉降设备 | 94 |
| 901 | 第三节 离心沉降及设备 | 100 |
| 951 | 一、离心沉降速度 | 100 |
| 1021 | 二、离心沉降设备 | 101 |
| 1071 | 第四节 过滤 | 108 |
| 1121 | 一、过滤操作的基本概念 | 108 |
| 1201 | 二、过滤基本方程式 | 109 |
| 1281 | 三、恒压过滤 | 111 |
| 1331 | 四、过滤设备 | 114 |
| 1401 | 第五节 离心机 | 120 |
| 1451 | 一、基础知识 | 120 |
| 1501 | 二、离心机的类型 | 121 |
| 1571 | 第六节 气体的其他净制设备 | 123 |
| 1621 | 一、中心喷雾式旋风洗涤器 | 123 |
| 1671 | 二、文丘里洗涤器 | 123 |
| 1721 | 三、泡沫除尘器 | 124 |
| 1771 | 四、静电除尘器 | 124 |
| 1831 | 阅读材料 | 127 |
| | 本章小结 | 129 |
| 1911 | 复习与思考题 | 130 |
| 1971 | 习题 | 130 |
| 2011 | 符号说明 | 132 |
| 2071 | | |
| 2131 | 第四章 吸收 | 134 |
| 2171 | 学习目标 | 134 |
| 2211 | 第一节 概述 | 134 |
| 2271 | 一、工业吸收过程 | 134 |
| 2331 | 二、吸收的分类 | 135 |
| 2371 | 三、吸收在环境治理中的应用 | 136 |
| 2401 | 四、吸收设备的主要类型 | 136 |
| 2471 | 五、吸收操作的经济性 | 136 |
| 2531 | 第二节 吸收净化的基本原理 | 137 |
| 2571 | 一、吸收过程的气液相平衡 | 137 |
| 2621 | 二、相平衡与吸收过程的关系 | 139 |
| 2671 | 三、吸收传质机理 | 140 |
| 2711 | 第三节 吸收传质速率方程 | 142 |
| 2771 | 一、气膜和液膜吸收速率方程 | 142 |
| 2831 | 二、总吸收速率方程及对应的总吸收系数 | 143 |
| 2871 | 第四节 吸收计算 | 146 |
| 2911 | 一、吸收塔的物料衡算与操作线方程 | 146 |

| | | |
|-----|-------------------|-----|
| 40 | 二、吸收剂用量的确定 | 148 |
| 001 | 三、塔径的计算 | 149 |
| 001 | 四、吸收塔高的计算 | 150 |
| 101 | 五、吸收塔的操作与调节 | 155 |
| 801 | 第五节 解吸 | 156 |
| 801 | 一、解吸方法 | 156 |
| 901 | 二、气提解吸的计算 | 156 |
| 111 | 第六节 吸收设备 | 158 |
| 111 | 一、填料吸收塔 | 158 |
| 131 | 二、板式塔 | 160 |
| 031 | 第七节 吸收气体污染物的工艺配置 | 160 |
| 131 | 一、吸收剂的选择 | 160 |
| 131 | 二、吸收工艺流程中的配置 | 161 |
| 831 | 阅读材料 | 162 |
| 831 | 本章小结 | 165 |
| 841 | 复习与思考题 | 166 |
| 841 | 习题 | 166 |
| 731 | 符号说明 | 168 |
| 031 | | |
| 130 | 第五章 吸附 | 170 |
| 031 | 学习目标 | 170 |
| 131 | 第一节 概述 | 170 |
| 131 | 一、吸附与解吸 | 170 |
| 131 | 二、吸附剂的基本特征 | 173 |
| 131 | 三、常用的吸附剂 | 174 |
| 131 | 四、影响吸附的因素 | 176 |
| 131 | 第二节 吸附平衡与吸附速率 | 177 |
| 131 | 一、吸附平衡 | 177 |
| 131 | 二、吸附速率 | 179 |
| 130 | 第三节 吸附分离工艺简介 | 180 |
| 130 | 一、固定床吸附 | 181 |
| 131 | 二、模拟移动床吸附 | 183 |
| 131 | 三、变压吸附 | 184 |
| 131 | 四、其他吸附分离方法 | 186 |
| 140 | 第四节 吸附分离在环境工程中的应用 | 189 |
| 141 | 一、用于气态污染物的控制 | 189 |
| 141 | 二、用于污水处理 | 193 |
| 141 | 阅读材料 | 193 |
| 141 | 本章小结 | 195 |
| 141 | 复习与思考题 | 196 |

| | | |
|------------|------------------|------------|
| 288 | 符号说明 | 197 |
| 第六章 | 液-液萃取 | 198 |
| 288 | 学习目标 | 198 |
| 288 | 第一节 概述 | 198 |
| 288 | 一、液-液萃取过程 | 198 |
| 288 | 二、两相接触方式 | 200 |
| 288 | 三、萃取操作在环境工程中的应用 | 201 |
| 288 | 第二节 三元体系的液-液相平衡 | 202 |
| 288 | 一、三角形相图 | 202 |
| 288 | 二、部分互溶物系的相平衡 | 204 |
| 288 | 三、液-液相平衡与萃取操作的关系 | 206 |
| 288 | 四、萃取剂的选择 | 207 |
| 288 | 第三节 单级萃取过程计算 | 208 |
| 288 | 第四节 萃取设备 | 210 |
| 288 | 一、萃取设备的主要类型 | 210 |
| 288 | 二、萃取设备的选择 | 215 |
| 288 | 阅读材料 | 216 |
| 288 | 本章小结 | 219 |
| 288 | 复习与思考题 | 219 |
| 288 | 习题 | 220 |
| 288 | 符号说明 | 220 |
| 第七章 | 膜分离技术 | 221 |
| 288 | 学习目标 | 221 |
| 288 | 第一节 概述 | 221 |
| 288 | 一、膜和膜分离的分类 | 221 |
| 288 | 二、对膜的基本要求 | 223 |
| 288 | 三、膜分离技术在环境工程中的应用 | 223 |
| 288 | 四、膜分离设备 | 224 |
| 288 | 第二节 反渗透 | 228 |
| 288 | 一、反渗透原理 | 228 |
| 288 | 二、影响反渗透的因素——浓差极化 | 229 |
| 288 | 三、反渗透组件及其技术特征 | 230 |
| 288 | 四、反渗透过程工艺流程 | 230 |
| 288 | 五、反渗透技术的应用 | 231 |
| 288 | 第三节 超滤 | 234 |
| 288 | 一、超滤原理 | 234 |
| 288 | 二、超滤的浓差极化 | 234 |
| 288 | 三、超滤膜 | 234 |

| | | |
|------|---------------------|-----|
| 139F | 四、超滤过程的工艺流程 | 235 |
| | 五、超滤技术的应用 | 236 |
| 139E | 第四节 电渗析 | 239 |
| 139E | 一、电渗析原理及适用范围 | 239 |
| 139E | 二、电渗析的流程 | 241 |
| 139E | 三、电渗析技术的应用 | 242 |
| 139D | 第五节 微滤 | 244 |
| 139D | 一、微滤原理 | 244 |
| 139D | 二、影响微滤膜分离效果的因素 | 244 |
| 139D | 三、微滤的操作流程 | 245 |
| 139D | 四、微滤的应用 | 245 |
| 139D | 阅读材料 | 247 |
| 139D | 本章小结 | 250 |
| 139D | 复习与思考题 | 251 |
| 139D | 符号说明 | 251 |
| 139C | 第八章 其他传质分离方法 | 253 |
| 139C | 学习目标 | 253 |
| 139C | 第一节 离子交换分离 | 253 |
| 139C | 一、离子交换的基本原理 | 253 |
| 139C | 二、离子交换设备 | 256 |
| 139C | 三、离子交换技术的应用 | 256 |
| 139C | 第二节 气浮分离 | 257 |
| 139C | 一、气浮分离原理 | 257 |
| 139C | 二、气浮分离设备——气浮池 | 258 |
| 139C | 三、气浮分离在环境工程中的应用 | 259 |
| 139C | 第三节 电解分离技术 | 259 |
| 139C | 一、电解分离原理 | 259 |
| 139C | 二、电解设备——电解槽 | 260 |
| 139C | 三、电解分离在环境工程中的应用 | 260 |
| 139C | 第四节 生物处理技术 | 261 |
| 139C | 一、好氧生物处理 | 261 |
| 139C | 二、厌氧生物处理 | 266 |
| 139C | 三、生物处理技术在环境工程中的应用 | 268 |
| 139C | 阅读材料 | 269 |
| 139C | 本章小结 | 270 |
| 139C | 复习与思考题 | 272 |
| 139C | 符号说明 | 272 |
| 139B | 附录 | 273 |
| 139B | 附录一 法定计量单位及单位换算 | 273 |

| | | |
|------|--------------------------|-----|
| 附录二 | 某些气体的重要物理性质 | 275 |
| 附录三 | 某些液体的重要物理性质 | 275 |
| 附录四 | 空气的重要物理性质 | 277 |
| 附录五 | 水的重要物理性质 | 278 |
| 附录六 | 水在不同温度下的黏度 | 278 |
| 附录七 | 饱和水蒸气表 | 279 |
| 附录八 | 液体黏度共线图和密度 | 282 |
| 附录九 | 气体黏度共线图 | 283 |
| 附录十 | 管子规格 | 284 |
| 附录十一 | 常用离心泵规格 (摘录) | 285 |
| 附录十二 | 4-72-11 型离心式通风机的规格 | 291 |
| 参考文献 | | 292 |

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，2500 人死亡，20 多万人不同程度地中毒，其中 10 万人可能终身残废；1986 年前苏联切尔诺贝利核电站泄漏，致使 31 人当即死亡，因事故而直接或间接死亡的人数难以估算，直接损失 30 亿美元，专家预测，这次事故

的后果要经过 100 多年才能完全消除；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) 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、典型工艺以及和环境工程中的应用。为后续课程环境治理工程的学习打下坚实的基础。
- (3) 任务 环境工程原理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。

综上所述，环境工程原理课程具有工程性强、应用面广、综合性强等特点，是环境工程专业的核心课程之一。

学习目标

- 了解流体流动在工业生产及环境治理中的应用，牛顿黏性定律，流体阻力及其产生的原因；流体在圆管内流动时的速度分布，流动边界层概念；管路的构成及分类。
- 理解雷诺实验；稳定流动与不稳定流动的基本概念；影响摩擦系数的因素。
- 掌握流体的密度、黏度的定义、影响因素和求取方法；压力的表示方法及单位换算；静力学基本方程、连续性方程、伯努利方程及其应用；流体的流动形态及判定方法；管道内流体的流动阻力及计算；能熟练应用伯努利方程解决工程实际问题，树立工程观念。

流体具有流动性，包括液体和气体两大类。在工业生产和环境治理过程中所处理的物料，大多为流体。在处理这些物料的过程中，要涉及流体的输送，而流体输送过程进行的好坏、生产中的操作费用及设备投资等都与流体的流动状态有密切关系。因此，流体流动在工业生产和环境治理过程中占有重要的地位，同时也是学习本课程的基础。

本章主要讨论流体流动的基本原理及流体在管内的流动规律，并应用这些原理和规律解决流体输送过程中的一些问题，具体有以下几个方面：
(1) 流体的输送 在流体输送过程中，需要选择适宜的流动速度，以确定输送管路的直径；流体输送时常要用到输送机械，需要确定流体输送机械所需功率，为选用输送设备提供依据。

(2) 压强的测量 为了了解和控制生产过程，需要对设备和管道内的压强等一系列参数进行测定，以便合理地选用和安装测量仪表。

(3) 为强化设备提供适宜的操作条件 许多工业生产及环境治理过程是在流体流动的情况下进行的，设备的操作效率与流体流动状态有密切关系。因此，研究流体流动的规律对寻找设备的强化途径具有重要意义。

在研究流体流动规律时，通常把流体看成是由无数分子集团所组成的连续介质，把每个分子集团称为质点，其大小与容器和管路相比是微不足

道的。认为流体充满其占据的空间，这样就摆脱了复杂的分子运动，只研究流体在外力作用下的宏观机械运动。

第一节 流体的基本物理量

在研究流体的流动规律时，要涉及流体的许多基本物理量，以下介绍主要的几种。

一、流体的密度

单位体积流体所具有的质量称为流体的密度，其表达式为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——流体的密度， kg/m^3 ；

m ——流体的质量， kg ；

V ——流体的体积， m^3 。

单位质量流体所具有的体积，称为流体的比容，用 ν 表示，单位为 m^3/kg ，即

$$\nu = \frac{1}{\rho} \quad (1-2)$$

显然，比容与密度互为倒数。

在用仪器测量液体的密度时，或在很多检索密度数据的过程中，常常会遇到相对密度的概念。某液体的密度 ρ 与标准大气压下 4°C (277K) 时纯水密度 $\rho_{\text{水}}$ 的比值，称为相对密度，无量纲，以 s 表示，即

$$s = \frac{\rho}{\rho_{\text{水}}} \quad (1-3)$$

水在标准大气压下 4°C 时的密度为 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

流体的密度通常可以从《化学工程手册》或《物理化学手册》等文献查取，本书附录也列出了某些常见气体和液体的密度数值，供大家查用。

流体的密度与温度和压力有关。但压力对液体的密度影响很小，一般可以忽略，所以常称液体为不可压缩流体。温度对液体的密度有一定的影响，对大多数液体而言，温度升高，其密度下降。如纯水的密度在 4°C (277K) 时为 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ，而在 100°C (373K) 时则为 $958.4\text{kg}/\text{m}^3$ 。因此，在选用密度数据时，要注明该液体所处的温度。

对于液体混合物，当混合前后的体积变化不大时，工程计算中其密度可由下式计算，即

$$\frac{1}{\rho} = \frac{w_1}{\rho_1} + \frac{w_2}{\rho_2} + \dots + \frac{w_i}{\rho_i} + \dots + \frac{w_n}{\rho_n} = \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{\rho_i} \quad (1-4)$$

式中 ρ ——液体混合物的密度， kg/m^3 ；

ρ_i ——构成液体混合物的各组分密度， kg/m^3 ；

w_i ——混合物中各组分的质量分数。

气体是可压缩流体，其密度随压力和温度而变化，因此气体的密度必须标明其状态。从手册或附录中查得的气体密度往往是某一指定条件下的数值，使用时要将查得的密度值换算成操作条件下的密度。在工程计算中，当压力不太高、温度不太低时，可把气体（或气体混合物）按理想气体处理。

由理想气体状态方程式