



全国高等院校环境科学与工程统编教材

# 环境工程原理

ELEMENTS OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

张 晖 主编  
吴春笃



华中科技大学出版社

<http://www.hustpas.com>



全国高等院校环境科学与工程统编教材

# 环境工程原理

Elements of Environmental Engineering

主 编 张 晖 吴春笃  
副主编 梁美生 鲁建江  
参 编 王 艳 李 潜 李维斌  
          闫豫君 李 宁

华中科技大学出版社  
中国·武汉

## 图书在版编目(CIP)数据

环境工程原理/张 晖 吴春笃 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2011.7

(全国高等院校环境科学与工程统编教材)

ISBN 978-7-5609-6262-7

I. 环… II. ①张… ②吴… III. 环境工程-高等学校-教材 IV. X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 095784 号

## 环境工程原理

张 晖 吴春笃 主编

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

地 址:武汉市武昌珞喻路 1037 号(邮编:430074)

出 版 人:阮海洪

责任编辑:孙淑婧

责任监印:张贵君

责任校对:刘 竣

装帧设计:张 璐

录 排:武汉楚海文化传播有限公司

印 刷:天津泰宇印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:20.5

字 数:413 千字

版 次:2011 年 7 月第 1 版 第 1 次印刷

定 价:39.80 元



投稿热线:(010)64155588-8000 hzjztg@163.com

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换

全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务

版权所有 侵权必究

## 内 容 简 介

本书是在化工原理和化学反应工程的基础上,结合环境工程的专业特点编写而成的,全书共分为 11 章。本书主要内容包括动量传递(流体流动)、热量传递、质量传递、吸收、吸附、沉降、过滤及其他分离过程,以及反应动力学与反应器等。通过对本书内容的学习,环境工程及相关专业的学生能够有效掌握环境工程中常用单元操作与单元过程的原理、方法及应用,为后续的水污染控制工程、大气污染控制工程等专业课程的学习打下良好的基础。

本书可作为高等院校环境工程、环境科学及其相关专业的本科教材,也可作为从事环境保护工作的专业技术人员和科研人员的参考用书。

# 全国高等院校环境科学与工程统编教材 编写指导委员会

(按姓氏拼音排序)

- 陈亮 东华大学教授,2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员  
韩宝平 中国矿业大学教授,2006—2010 环境科学类专业教学指导分委员会委员  
胡筱敏 东北大学教授,2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员  
李光浩 大连民族学院教授,2006—2010 环境科学类专业教学指导分委员会委员  
刘勇弟 华东理工大学教授,2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员  
刘云国 湖南大学教授,2006—2010 环境科学类专业教学指导分委员会委员  
陆晓华 华中科技大学教授,2001—2005 环境科学类专业教学指导分委员会委员  
吕锡武 东南大学教授,2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员  
王成端 西南科技大学教授,2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员  
夏北成 中山大学教授,2006—2010 环境科学类专业教学指导分委员会委员  
严重玲 厦门大学教授,2006—2010 环境科学类专业教学指导分委员会委员  
赵毅 华北电力大学教授,2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员  
郑西来 中国海洋大学教授,2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员  
周敬宣 华中科技大学教授,2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员

## 作者所在院校

- |            |        |          |          |
|------------|--------|----------|----------|
| 南开大学       | 中山大学   | 中国地质大学   | 东南大学     |
| 湖南大学       | 重庆大学   | 四川大学     | 东华大学     |
| 武汉大学       | 中国矿业大学 | 华东理工大学   | 中国人民大学   |
| 厦门大学       | 华中科技大学 | 中国海洋大学   | 北京交通大学   |
| 北京理工大学     | 大连民族学院 | 成都信息工程学院 | 河北理工大学   |
| 北京科技大学     | 东北大学   | 华东交通大学   | 华北电力大学   |
| 北京建筑工程学院   | 江苏大学   | 南昌大学     | 广西师范大学   |
| 天津工业大学     | 江苏工业大学 | 景德镇陶瓷学院  | 桂林电子科技大学 |
| 天津科技大学     | 扬州大学   | 长春工业大学   | 桂林工学院    |
| 天津理工大学     | 中南大学   | 东北农业大学   | 仲恺农业工程学院 |
| 西北工业大学     | 长沙理工大学 | 哈尔滨理工大学  | 华南师范大学   |
| 西北大学       | 南华大学   | 河南大学     | 嘉应学院     |
| 西安理工大学     | 华中师范大学 | 河南工业大学   | 茂名学院     |
| 西安工程大学     | 华中农业大学 | 河南理工大学   | 浙江工商大学   |
| 西安科技大学     | 武汉理工大学 | 河南农业大学   | 浙江林学院    |
| 长安大学       | 中南民族大学 | 湖南科技大学   | 太原理工大学   |
| 中国石油大学(华东) | 湖北大学   | 洛阳理工学院   | 兰州理工大学   |
| 山东师范大学     | 长江大学   | 河南城建学院   | 石河子大学    |
| 青岛农业大学     | 江汉大学   | 韶关学院     | 内蒙古大学    |
| 山东农业大学     | 福建师范大学 | 郑州大学     | 内蒙古科技大学  |
| 聊城大学       | 西南交通大学 | 郑州轻工业学院  | 内蒙古农业大学  |
| 泰山医学院      | 成都理工大学 | 河北大学     |          |

## 前 言

随着我国高等院校环境工程专业的迅猛发展,高等学校本科环境工程专业规范中《化工原理》与《环境工程原理》均可以作为核心基础课程的格局逐渐被打破,《环境工程原理》已经开始取代《化工原理》成为环境工程专业的一门重要的核心基础课程。本教材就是按照教育部高等学校环境工程专业教学指导分委员会发布的《环境工程原理》教学基本要求编写而成的。

全书以“三传一反”(动量传递、热量传递、质量传递及化学反应工程)为主线,并结合环境工程的特点,系统阐述了环境工程原理的基本概念与基本理论、并侧重介绍了其在环境工程中的应用。全书共分十一章,主要内容包括流体流动、热量传递、质量传递、沉降、过滤、吸收、吸附、萃取与膜分离等其他分离过程,以及反应动力学与反应器。本书可作为环境工程本科教材,也可供本学科及相关学科研究生和科研人员参考。

全书由武汉大学、江苏大学、太原理工大学和石河子大学等四所学校共同编写,其中“绪论”、“反应动力学”和“反应器”等章节由武汉大学参与编写(主要编写人员—王艳),“流体流动”、“沉降”、“过滤”和“其他分离过程”等章节由江苏大学参与编写(主要编写人员,“流体流动”与“沉降”—李维斌、李宁,“过滤”与“其他分离过程”—李潜、李宁,江苏大学的吴春笃和李宁对以上四章的内容进行了审阅,“质量传递”、“吸收”和“吸附”等章节由太原理工大学参与编写(主要编写人员—梁美生),“热量传递”一章由石河子大学参与编写(主要编写人员—鲁建江、闫豫君)。全书由武汉大学张晖负责修订、定稿,其中陈璐参加了第2章和第8章的修订工作、黄倩倩参加了第0章和第5章的修订工作、李茜参加了第3章和第6章的修订工作、王绎思参加了第4章和第8章的修订工作、谢未参加了第1章和第7章的修订工作、并由他们共同参与了第9章和第10章的修订工作,王艳和黄倩倩对所有修订内容进行了整理。

在本书编写过程中引用、借鉴了国内外相关教材、著作和论文,在此表示感谢。我们尽可能地将这些教材、著作和论文列入参考文献中,若有疏漏,敬请谅解并予以反馈!感谢华中科技大学出版社等专家对本书的审阅并提出了非常宝贵的意见和建议。本书的部分章节对武汉大学2007、2008级环境工程专业本科生和2009、2010级硕士生进行了讲授,他们对这些章节提出了意见和建议,在此一并致谢。

由于各种原因,本书并没有完全脱离《化工原理》等化工类教材的基本框架。本教材的编写又是四所学校的首次合作,我们对“环境工程原理”课程内容的认识还有一定的差异,加之编写时间有限,且囿于我们的知识背景与见识,对“环境工程原理”课程的理解还有待进一步的提高,因此书中难免有疏漏与不妥之处,恳请广大读者不吝赐教。

编 者

2010年9月

# 目 录

第 0 章 绪论	(1)
0.1 污染控制技术体系	(2)
0.1.1 水污染控制技术体系	(2)
0.1.2 大气污染控制技术体系	(6)
0.1.3 固体废物处理处置技术体系	(8)
0.2 污染控制技术原理的基本类型	(9)
0.3 环境工程原理的研究方法	(10)
0.3.1 实验研究方法	(10)
0.3.2 数学模型方法	(10)
0.4 常用物理量	(11)
0.4.1 常用物理量及单位换算	(11)
0.4.2 常用物理量及其表示方法	(13)
0.5 质量衡算	(15)
0.5.1 衡算系统的概念	(15)
0.5.2 总质量衡算方程	(16)
0.6 能量衡算	(19)
0.6.1 总能量衡算方程	(20)
0.6.2 热量衡算方程	(21)
思考与练习	(24)
第 1 章 流体流动	(26)
1.1 管流系统的衡算方程	(26)
1.1.1 质量衡算方程	(26)
1.1.2 能量衡算方程	(28)
1.1.3 实际流体的机械能衡算	(31)
1.2 流体流动的内摩擦力	(33)
1.2.1 流体的流动状态	(33)
1.2.2 流体流动的内摩擦力	(34)
1.3 边界层理论	(36)
1.3.1 边界层形成	(36)
1.3.2 边界层分离	(37)
1.4 流体流动的阻力损失	(38)
1.4.1 流体流动阻力损失的种类	(38)
1.4.2 圆直管内流体流动的沿程阻力损失	(38)
1.4.3 非圆形管道内流体流动的沿程阻力损失	(41)
1.4.4 管道内流体流动的局部阻力损失	(42)



---

1.5 管路计算	(44)
1.5.1 简单管路的计算	(44)
1.5.2 复杂管路的计算	(46)
1.6 流体测量	(49)
1.6.1 差压式流量计	(49)
1.6.2 转子流量计	(53)
思考与练习	(55)
<b>第2章 热量传递</b>	<b>(58)</b>
2.1 热量传递的方式	(58)
2.1.1 热传导	(58)
2.1.2 对流传热	(58)
2.1.3 辐射传热	(59)
2.1.4 传热速率与热通量	(59)
2.2 热传导	(59)
2.2.1 热传导的基本概念	(59)
2.2.2 傅立叶(Fourier)定律	(60)
2.2.3 平壁的稳态热传导	(61)
2.2.4 圆筒壁的稳态热传导	(65)
2.3 对流传热	(66)
2.3.1 对流传热概述	(67)
2.3.2 对流传热速率方程和对流传热系数	(68)
2.3.3 管路保温层的临界直径	(71)
2.3.4 间壁传热过程	(73)
2.4 辐射传热	(84)
2.4.1 辐射传热的基本概念	(84)
2.4.2 黑体和灰体的辐射能力	(84)
2.4.3 气体的热辐射	(86)
2.5 换热器	(87)
2.5.1 间壁式换热器的类型与结构	(87)
2.5.2 强化传热的途径	(90)
思考与练习	(91)
<b>第3章 质量传递</b>	<b>(93)</b>
3.1 质量传递的基本概念及机理	(93)
3.1.1 传质机理	(94)
3.1.2 分子扩散	(94)
3.2 分子传质	(97)
3.2.1 气相中稳定的分子扩散	(98)
3.2.2 液相中稳定的分子扩散	(102)
3.3 对流传质	(103)
3.3.1 对流传质过程机理	(103)

3.3.2 单相中的对流传质过程 .....	(104)
3.3.3 典型情况对流传质系数 .....	(105)
思考与练习 .....	(106)
<b>第4章 吸收</b> .....	(107)
4.1 吸收的定义及类型 .....	(107)
4.1.1 吸收的定义与应用 .....	(107)
4.1.2 吸收的类型 .....	(107)
4.2 物理吸收 .....	(108)
4.2.1 热力学基础 .....	(108)
4.2.2 动力学基础 .....	(112)
4.3 化学吸收 .....	(117)
4.3.1 化学吸收的特点 .....	(117)
4.3.2 化学吸收的平衡关系 .....	(118)
4.3.3 化学吸收的传质速率 .....	(119)
4.4 吸收设备的主要工艺和计算 .....	(120)
4.4.1 吸收设备工艺简述 .....	(120)
4.4.2 填料塔吸收过程的物料衡算与操作线方程 .....	(121)
4.4.3 吸收剂用量的计算 .....	(121)
4.4.4 塔径的计算 .....	(123)
4.4.5 填料层高度的基本计算 .....	(123)
4.4.6 吸收过程的计算类型 .....	(127)
思考与练习 .....	(128)
<b>第5章 吸附</b> .....	(130)
5.1 吸附分离操作的类型及应用 .....	(130)
5.1.1 吸附分离操作的类型 .....	(130)
5.1.2 吸附分离操作的应用 .....	(130)
5.2 吸附剂 .....	(131)
5.2.1 常用的吸附剂 .....	(131)
5.2.2 工业吸附剂必须具备的条件 .....	(132)
5.2.3 吸附剂选择的影响因素 .....	(132)
5.3 吸附平衡 .....	(134)
5.3.1 吸附平衡与平衡吸附量 .....	(134)
5.3.2 吸附等温线 .....	(135)
5.3.3 气体混合物吸附平衡 .....	(137)
5.4 吸附动力学 .....	(137)
5.4.1 吸附剂颗粒外表面扩散速率 .....	(137)
5.4.2 吸附剂颗粒内表面扩散速率 .....	(138)
5.4.3 总传质速率方程 .....	(138)
5.4.4 吸附扩散速率计算 .....	(138)
5.5 吸附过程与吸附穿透曲线 .....	(139)

5.5.1	吸附工艺 .....	(139)
5.5.2	吸附过程 .....	(140)
5.5.3	吸附器与穿透曲线 .....	(140)
	思考与练习 .....	(149)
<b>第6章</b>	<b>沉降</b> .....	(150)
6.1	沉降分离的基本概念 .....	(150)
6.1.1	沉降分离的一般原理和类型 .....	(150)
6.1.2	流体阻力与阻力系数 .....	(150)
6.2	重力沉降 .....	(152)
6.2.1	重力场中颗粒的沉降过程 .....	(152)
6.2.2	沉降速度的计算 .....	(154)
6.2.3	沉降分离设备 .....	(156)
6.3	离心沉降 .....	(158)
6.3.1	离心力场中颗粒的沉降分析 .....	(158)
6.3.2	旋流器工作原理 .....	(159)
6.3.3	离心沉降机工作原理 .....	(165)
6.4	其他沉降 .....	(167)
6.4.1	电沉降 .....	(167)
6.4.2	惯性沉降 .....	(168)
	思考与练习 .....	(169)
<b>第7章</b>	<b>过滤</b> .....	(171)
7.1	概述 .....	(171)
7.1.1	过滤过程 .....	(171)
7.1.2	过滤介质 .....	(171)
7.1.3	过滤的分类 .....	(172)
7.2	表面过滤的基本理论 .....	(173)
7.2.1	表面过滤的基本方程 .....	(173)
7.2.2	过滤过程的计算 .....	(176)
7.2.3	过滤常数的测定 .....	(179)
7.2.4	滤饼洗涤过程的计算 .....	(181)
7.2.5	过滤器生产能力的计算 .....	(182)
7.3	深层过滤的基本理论 .....	(184)
7.3.1	流体通过颗粒床层的流动 .....	(184)
7.3.2	深层过滤的机理 .....	(188)
7.3.3	深层过滤的水力学 .....	(189)
	思考与练习 .....	(191)
<b>第8章</b>	<b>其他分离过程</b> .....	(194)
8.1	萃取 .....	(194)
8.1.1	概述 .....	(194)
8.1.2	液-液相平衡原理 .....	(197)

8.1.3 萃取过程的计算 .....	(201)
8.2 膜分离 .....	(206)
8.2.1 概述 .....	(206)
8.2.2 膜分离过程传递理论基础 .....	(213)
8.2.3 微滤和超滤 .....	(216)
8.2.4 反渗透和纳滤 .....	(218)
8.2.5 电渗析 .....	(224)
思考与练习 .....	(232)
<b>第9章 反应动力学</b> .....	<b>(234)</b>
9.1 反应的计量关系 .....	(234)
9.1.1 反应式与计量方程 .....	(234)
9.1.2 反应的分类 .....	(235)
9.1.3 反应进度与转化率 .....	(236)
9.2 反应动力学计算 .....	(238)
9.2.1 反应速率方程 .....	(238)
9.2.2 均相反应动力学 .....	(247)
9.3 反应动力学解析方法 .....	(250)
9.3.1 微分法 .....	(250)
9.3.2 半衰期法 .....	(252)
9.3.3 积分法 .....	(252)
思考与练习 .....	(254)
<b>第10章 反应器</b> .....	<b>(256)</b>
10.1 反应器的分类 .....	(256)
10.1.1 常用分类方法 .....	(257)
10.1.2 理想反应器 .....	(257)
10.1.3 非理想反应器 .....	(258)
10.2 均相反应器 .....	(263)
10.2.1 间歇反应器 .....	(263)
10.2.2 完全混合流反应器 .....	(265)
10.2.3 平推流反应器 .....	(269)
10.3 非均相反应器 .....	(270)
10.3.1 气(液)-固相催化反应器 .....	(271)
10.3.2 气-液相反应器 .....	(282)
10.4 微生物反应器 .....	(290)
10.4.1 微生物反应特点 .....	(290)
10.4.2 微生物反应动力学 .....	(291)
10.4.3 微生物反应器的操作与设计 .....	(297)
思考与练习 .....	(302)
<b>附录</b> .....	<b>(304)</b>
附录1 常用单位的换算 .....	(304)

附录 2 水的物理性质 .....	(306)
附录 3 干空气的物理性质 .....	(308)
附录 4 饱和水蒸气的物理性质 .....	(309)
参考文献 .....	(313)

# 第 0 章 绪 论

我们当今所认识的科学和工程,开始于 18 世纪的繁荣期。环境工程作为一门学科,其建立与 19 世纪中各种土木工程学会的形成(例如美国土木工程师学会成立于 1852 年)相一致。因为根源于水的净化,在当时直至 20 世纪初期,环境工程被称为卫生工程。在 20 世纪 60 年代晚期至 70 年代早期才改名为环境工程。这一更名反映出环境工程研究领域的拓展不仅包括净化水,还包括空气污染、固体废物管理以及环境保护的许多方面。

“环境”这个词是相对于人类的存在而言的,指的是人类的环境。《中华人民共和国环境保护法》则从法学的角度对环境概念进行阐述:“本法所称环境,是指影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体,包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹,人文遗迹、风景名胜区、自然保护区、城市和乡村等。”人类活动对整个环境的影响是综合性的,而环境系统也综合性的从各个方面反作用于人类。人类与其他的生物不同,不仅仅以自己的生存为目的来影响环境,使自己的身体适应环境,而是为了提高生存质量,通过自己的劳动来改造环境,把自然环境转变为新的生存环境。这种新的生存环境有可能更适合人类生存,但也有可能恶化了人类的生存环境。在这一反复曲折的过程中,人类的生存环境已形成一个庞大的、结构复杂的、多层次、多组元相互交融的动态环境体系(Hierarchical System)。

当代社会的发展使人类与环境之间的作用和反作用不断加剧。现在,人力所及的范围上至太空,下至海底。人类的活动对环境的影响空前强化,环境污染和生态环境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。1972 年 6 月 5 日在瑞典首都斯德哥尔摩召开《联合国人类环境会议》,会议通过了《人类环境宣言》,世界各国政府第一次共同讨论当代环境问题的,许多国家都采取了不少措施和对策来防治污染和解决环境问题。各国科学技术工作者也集中精力进行研究和实践,从而促进了环境学科的兴起和发展。

环境科学与工程是研究人类生存的环境质量及其保护与改善的一门新兴的综合性科学。环境科学与工程所研究的社会环境是人类在自然环境的基础上,通过长期有意识的社会劳动所创造的人工环境,它是人类物质文明和精神文明发展的标志,并随着人类社会的发展不断丰富和演变。这里的自然环境是指大气、土地、水以及各种人工建筑环境。现代环境科学与工程已经应用于人工建筑环境中,或者更准确地说,应该是对人工建筑环境中排放物的处理。

环境科学与工程的研究领域在 20 世纪 50 至 60 年代侧重于自然科学和工程技术的方面。目前已扩大到社会学、经济学、法学等社会科学方面。在与有关学科相互渗透、交叉中形成了许多分支学科。属于自然科学方面的有环境地学、环境生物学、环境化学、环境物理学等;属于社会科学方面的有环境管理学、环境经济学、环境法学等。随着环境问题的发展和人类对它的进一步认识,环境科学与工程的分支学科也必将不断地充实、丰富与完善。

作为环境科学与工程的一个分支学科,环境工程是一门研究人类活动与环境的关系,及研究改善环境质量的途径及技术的学科。它是一门运用环境科学、工程学和其他有关学科的理论和方法,来解决环境卫生(Environmental Sanitation)的问题,主要包括:提供安全、可靠和充分的公共供水;适当处置和循环使用废水和固体废物;建立城市和农村符合卫生要求的排水系

统;控制水、土壤和空气污染,并消除这些问题对社会和环境所造成的影响。而且,环境工程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,使人们得以健康和舒适地生存。此外,它还涉及公共卫生领域的工程问题。例如,控制节肢动物传染的疾病,消除工业健康危害,为城市、农村和娱乐场所提供合适的卫生设施,评价技术进步对环境的影响等。

因此,环境工程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的环境因素对健康和安全的损害。

有一个古老的说法“科学家发现事物,工程师使它们有用”。与许多类似的古老格言一样,这种说法有一些道理,但也有些过时。从教育的观点来看,环境工程建立在环境科学的基础之上。环境科学,特别是定量环境科学,为环境工程师们解决环境问题提供基础理论。在许多情况下,环境科学家与环境工程师们的任务和使用工具是相同的。

## 0.1 污染控制技术体系

加强我们的环境意识是理解环境问题的第一步,也属于环境工程的范畴。研究自然界中化合物的影响、传递和去除是环境工程师们选择污染物的最佳预防、处理方法的依据。一方面,它能更好地帮助我们理解其潜在的影响,使我们能将注意力放在最严重的问题上;另一方面,它也能帮助我们更好地把握技术,使我们能进一步强化它们的作用,降低处理成本。

### 0.1.1 水污染控制技术体系

#### 1. 水污染物的分类

水体,一般指海洋、河流、湖泊、沼泽、水库、地下水的总称。环境学中的水体是指包括水中悬浮物、溶解物质、底泥和水生生物等的完整生态系统或自然综合体。水体按类型还可划分为海洋水体和陆地水体,陆地水体又分为地表水体和地下水体,地表水体包括河流、湖泊等。

生命起源于水,生物的生存离不开水。水是环境中最活跃的自然要素之一,也是地表的主要组成物质。水作为能源、生产资料和生活资源,影响着社会财富的创造和生活的质量。所以,为了确保国民经济持续发展和人民生活水平的不断提高,在开发利用水资源的同时,还必须有效地防治水体的污染。

水体污染是指一定量的污水、废水、各种废弃物等污染物质进入水域,超出了水体的自净和纳污能力,从而导致水体及其底泥的物理、化学性质和生物群落组成发生不良变化,破坏了水中固有的生态系统,破坏了水体的功能,从而降低水体使用价值的现象。造成水体污染的因素是多方面的:向水体排放未经过妥善处理的城镇生活污水和工业废水;施用的化肥、农药及城市地面的污染物,被雨水冲刷,随地面径流进入水体;随大气扩散的有毒物质通过重力沉降或降水过程而进入水体等。其中,第一项是水体污染的主要因素。随着工业生产的发展和社会经济的繁荣,大量的工业废水和城镇生活废水排入水体,水污染日益严重。在自然情况下,天然水的水质也常有一定的变化,但这种变化是一种自然现象,不能称其为水体污染。

水体污染可根据污染杂质的不同而主要分为化学性污染、物理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繁多,成分复杂多变,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和原理,污水中的污染物可按如图 0-1 所示进行分类。

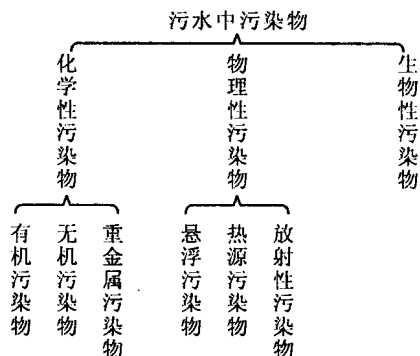


图 0-1 污水中污染物的分类

## 2. 污染物的来源及危害

### 1) 化学性污染物

#### (1) 有机污染物。

水体中的有机污染物有许多,如苯胺类化合物、氯苯类化合物及石油类等。以石油类为例,工业废水中石油类(各种烃类的混合物)主要来源有原油的开采、加工、运输以及各种炼制油的使用行业。石油类碳氢化合物的一部分漂浮于水面,并在水层表面结成一层薄膜,隔绝空气,影响空气与水体界面氧的交换;一部分分散于水中,吸附于悬浮微粒上或以乳化状态存在于水中,它们被微生物氧化分解,将消耗水中的溶解氧,使水质恶化,影响水生生物存活。

#### (2) 重金属污染物。

自然界的重金属包括金、银、铜、铅、锌、镍、钴、镉、铬和汞等,日常生活中重金属无处不在。例如,家具上的油漆含有铅,化妆品特别是美白祛斑系列的产品则大多数含有汞,电池含有锰、镉,汽车尾气含有铅、镉等。水体中重金属污染的主要来源为工业废水,包括采矿、选矿、冶金、电镀、化工、制革和造纸工业;其次,被农药污染的土壤渗滤液(含有铅等重金属)融入地下水也会给水体带来污染;此外,汽车尾气等通过大气沉降也会到达水体,从而加重对水体的重金属污染。重金属会在沉积物或土壤中积累,通过食物链危害人体与生物。随着工业的不断发展,环境中的重金属含量也越来越高。

#### (3) 无机污染物。

废水中酸、碱、盐类、硫化物和卤化物等都属于无机污染物。它们主要来自采矿、冶炼、机械制造、建筑材料、化工等工业生产排出的废水。含无机物的废水排入水体后,会使水的酸碱度发生变化,使水生物受到毒害甚至无法生存。酸度大或碱度大的废水对生产和生活也会带来不良影响,使之失去使用价值。某些无机物进入水体,也会使水中的溶解氧减少,产生类似有机物影响的有害作用。

### 2) 物理性污染物

#### (1) 悬浮物质。

悬浮物质是指水中含有的不溶性物质,包括固体物质和泡沫等。它们是由生活污水、垃圾以及采矿、建筑、食品、造纸等工业产生的废物泄入水中或农田的水土流失所引起的。悬浮物质影响水体外观,妨碍水中植物的光合作用,减少氧气的溶入,对水生生物不利;如果在悬浮颗粒上吸附一些有毒有害的物质,则危害更为严重。



## (2) 热污染物。

来自各种工业过程的冷却水,若不采取措施,直接排入水体,则经常形成热污染带。水温增高不仅影响鱼类的正常生长,而且会加速污染物质的反应,以致污染影响更为严重。排水导致的水温增加不应超过自然水温的 $2\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,否则会危及鱼类和水生生物的生长。

## (3) 放射性污染物。

由于原子能工业的发展,放射性矿藏的开采,核试验和核电站的建立,以及同位素在医学、工业、研究等领域的应用,使放射性废水、废物显著增加,造成一定的放射性污染。含放射性物质的废水进入水体,水体中的放射性同位素可以通过饮用水、动物、农作物多种途径进入人体,会对人体造成很大危害。用含放射性物质的水灌溉农田,粮食、水果、蔬菜中的放射性物质会累积增多,奶、肉中放射性物质增高,特别是水生生物体内的放射性物质甚至可比水中高出千倍以上,人们通过饮食都能摄入放射性物质。不过放射性物质对人的健康关系并不十分清楚。

## 3) 生物性污染物

废水中含有的病毒、细菌、霉菌等属于生物污染物,这些污染物主要来自医院、制革厂、屠宰场、酿造厂和生物制品厂排放的污水,有时候雨水灌溉造成的径流中也含有生物污染物。含有生物污染物的废水排入水体,不仅会使水体溶解氧降低从而影响渔业生产,而且可能直接影响人们的健康,引起伤寒、痢疾、肝炎、结核等传染病的流行。所以,在未处理之前,应严格限制此类废水往水体排放。

## 3. 水污染控制技术

污水处理的目的就是以某种方法将污水中的污染物分离出来,或者将其分解转化为无害稳定物质,从而使污水得到净化。一般要达到防止毒害和病菌的传染、避免有异臭和恶感的可见物的标准,以满足不同用途的要求。

污水处理相当复杂,处理方法的选择必须根据污水的水质和数量、排放到的接纳水体或水的用途来考虑。同时还要考虑水处理过程所产生的污泥、残渣的处理利用和可能产生的二次污染,以及絮凝剂的回收利用等问题。污水处理的主要原则,首先是从清洁生产角度出发,改革生产工艺和设备,减少污染物,防止污水外排,进行综合利用和回收;其次,针对必须外排的污水,其处理方法随水质和要求而异。现代污水处理技术,按处理程度划分可分为一级、二级和三级处理。

一级处理,主要去除污水中悬浮固体污染物质,分离水中的胶状物、浮油或重油等,可以采用水质水量调节、自然沉淀、上浮、隔油等方法。此外,许多化工污水还需要进行中和处理,如硅酸等化合物,无烟炸药、杀虫剂以及酸性除草剂等的生产废水。物理处理法大部分只能完成一级处理的要求。一级处理属于二级处理的预处理,经过一级处理的污水,BOD一般只能去除30%左右,达不到排放标准。

二级处理,是化工污水处理的主体部分,主要去除污水中呈胶体和溶解状态的有机污染物质(BOD、COD等物质),其去除率可达90%以上,有机污染物可达到排放标准。化学混凝和化学沉淀池是二级处理的方法,如含磷酸盐污水和含胶体物质的污水须用化学混凝法处理。

三级处理,进一步处理难降解的有机物、氮和磷等能够导致水体富营养化的可溶性无机物,主要方法有生物脱氮除磷法、混凝沉淀法、砂滤法、活性炭吸附法、离子交换法和电渗析法等。对于环境卫生标准要求高,而污水的色、臭、味污染严重,或BOD和COD比值甚小(小于0.2)的情况,须采用三级处理方法予以深度净化。对于含多元分子结构污染物