

# 水污染控制工程

主 编 苏会东 姜承志  
张丽芳

副主编 褚 润 王 奕  
周丽娜

普通高等院校环境科学与工程类系列规划教材

# 水污染控制工程

主 编 苏会东 姜承志 张丽芳

副主编 褚 润 王 奕 周丽娜

中国建材工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

水污染控制工程/苏会东,姜承志,张丽芳主编.

--北京:中国建材工业出版社,2017.5

普通高等院校环境科学与工程类系列规划教材

ISBN 978-7-5160-1838-5

I. ①水… II. ①苏… ②姜… ③张… III. ①水污染

—污染控制—高等学校—教材 IV. ①X520.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 084797 号

## 内 容 简 介

本书根据水中污染物的处理原理设章,针对水污染控制的基本理论、基本方法、工艺流程以及该技术的最新进展进行比较系统的阐述,注重基本概念和基本理论的严谨性,适当融入工程实例和最新成果,体现工程实践特色,以培养学生的基本专业素养、工程能力和创新意识。教材最后一章为废水处理相关实验,旨在使学生能掌握基本理论,具备解决实际问题的初步能力。

本书可作为普通高等院校环境工程专业教学用书,亦可作为其他相近专业的教材或教学参考书,同时也可供从事环境工程设计、管理及科研工作的人员参考使用。

水污染控制工程

主编 苏会东 姜承志 张丽芳

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市海淀区三里河路1号

邮 编:100044

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:21.75

字 数:530千字

版 次:2017年5月第1版

印 次:2017年5月第1次

定 价:58.80元

本社网址:www.jccbs.com 微信公众号:zgjcgychs

本书如出现印装质量问题,由我社市场营销部负责调换。联系电话:(010) 88386906

# 前言

水污染控制工程是解决人类目前面临的水污染问题的重要措施,水污染控制技术是环境工程技术人员必备的专业知识。根据国家教委高等工业学校环境工程专业教材委员会制定的“水污染控制工程教学基本要求”,为满足普通高等院校环境工程专业对水污染控制工程 60~80 学时的教学使用要求,特编写本书。本书是普通高等院校环境科学与工程类系列规划教材。

本书根据水中污染物的处理原理设章,针对水污染控制的基本理论、基本方法、工艺流程以及该技术的最新进展进行比较系统的阐述,注重基本概念和基本理论的严谨性,适当融入工程实例和最新成果,体现工程实践特色,以培养学生的基本专业素养、工程能力和创新意识。每章配有习题与思考题,教材最后一章为废水处理相关实验,旨在使学生掌握其基本理论,具备解决实际问题的初步能力。

本书由苏会东、姜承志、张丽芳任主编,褚润、王奕、周丽娜任副主编。本书编写分工如下:苏会东编写第 1、2、9 章,姜承志编写第 3 章及第 4 章 4.1、4.3~4.5 节,张丽芳编写第 5、7、10 章,褚润编写第 6、8 章及第 4 章 4.2 节,王奕编写第 11 章,周丽娜编写第 12 章,全书由苏会东负责统稿。

本书可作为普通高等院校环境科学与工程专业教学用书,亦可作为其他相近专业的教材或教学参考书,同时还可供从事环境工程设计、管理及科研工作的人员参考使用。

在本书编写过程中,吸收了以往相关教材的优点,参阅了近年来高校及设计部门的资料与相关文献,在此向所有文献作者表示感谢!中国建材工业出版社为本书的编写和出版做了大量的工作,在此一并表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和错误之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2017 年 5 月



**中国建材工业出版社**  
China Building Materials Press

我们提供

图书出版、广告宣传、企业/个人定向出版、  
图文设计、编辑印刷、创意写作、会议培训，  
其他文化宣传服务。



**发展出版传媒  
传播科技进步**

**服务经济建设  
满足社会需求**

**编辑部**

010-88385207

**出版咨询**

010-68343948

**市场销售**

010-68001605

**门市销售**

010-88386906

邮箱: [jccbs-zbs@163.com](mailto:jccbs-zbs@163.com)

网址: [www.jccbs.com](http://www.jccbs.com)

(版权专有, 盗版必究。未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。举报电话: 010-68343948)

此为试读, 需要完整PDF请访问: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第1章 绪论 .....           | 1  |
| 1.1 概述 .....           | 1  |
| 1.1.1 水污染的概念 .....     | 1  |
| 1.1.2 水污染物的来源 .....    | 1  |
| 1.2 污染物种类及水质指标 .....   | 2  |
| 1.2.1 污染物的种类 .....     | 2  |
| 1.2.2 水质指标 .....       | 3  |
| 1.3 废水处理的基本途径与方法 ..... | 3  |
| 1.3.1 按处理方法进行分类 .....  | 3  |
| 1.3.2 按处理程度进行分类 .....  | 4  |
| 习题与思考 .....            | 7  |
| 第2章 物理处理法 .....        | 8  |
| 2.1 格栅 .....           | 9  |
| 2.1.1 格栅的作用及种类 .....   | 9  |
| 2.1.2 格栅的设计与计算 .....   | 10 |
| 2.2 污水的均化 .....        | 12 |
| 2.2.1 水量调节 .....       | 12 |
| 2.2.2 水质调节 .....       | 13 |
| 2.3 过滤 .....           | 15 |
| 2.3.1 筛网过滤 .....       | 15 |
| 2.3.2 颗粒介质过滤 .....     | 16 |
| 2.4 重力分离理论 .....       | 18 |
| 2.4.1 沉淀 .....         | 18 |
| 2.4.2 沉淀池的工作原理 .....   | 19 |
| 2.5 沉砂池 .....          | 21 |
| 2.5.1 平流沉砂池 .....      | 21 |
| 2.5.2 曝气沉砂池 .....      | 22 |
| 2.5.3 钟式沉砂池 .....      | 24 |
| 2.6 沉淀池 .....          | 25 |
| 2.6.1 沉淀池设计的一般规定 ..... | 25 |
| 2.6.2 平流式沉淀池 .....     | 26 |
| 2.6.3 竖流式沉淀池 .....     | 28 |
| 2.6.4 辐流式沉淀池 .....     | 30 |

|       |                 |    |
|-------|-----------------|----|
| 2.6.5 | 斜板(管)沉淀池        | 31 |
| 2.6.6 | 隔油与破乳           | 33 |
| 2.7   | 离心分离法           | 35 |
| 2.7.1 | 离心分离原理          | 35 |
| 2.7.2 | 离心分离设备          | 35 |
| 2.8   | 气浮法             | 37 |
| 2.8.1 | 气浮的基本原理         | 38 |
| 2.8.2 | 气浮的方法           | 40 |
| 2.8.3 | 压力溶气气浮法系统的组成及设计 | 42 |
|       | 习题与思考           | 45 |
| 第3章   | 化学法             | 46 |
| 3.1   | 中和法             | 46 |
| 3.1.1 | 概述              | 46 |
| 3.1.2 | 酸性废水的中和处理       | 47 |
| 3.1.3 | 碱性废水的中和处理       | 53 |
| 3.2   | 化学混凝法           | 54 |
| 3.2.1 | 概述              | 54 |
| 3.2.2 | 混凝机理            | 54 |
| 3.2.3 | 混凝剂             | 56 |
| 3.2.4 | 影响混凝效果的主要因素     | 59 |
| 3.2.5 | 化学混凝的设备         | 60 |
| 3.3   | 化学沉淀法           | 62 |
| 3.3.1 | 概述              | 62 |
| 3.3.2 | 氢氧化物沉淀法         | 63 |
| 3.3.3 | 硫化物沉淀法          | 65 |
| 3.3.4 | 碳酸盐沉淀法          | 67 |
| 3.3.5 | 卤化物沉淀法          | 67 |
| 3.3.6 | 钡盐沉淀法           | 68 |
| 3.3.7 | 其他沉淀方法          | 69 |
| 3.4   | 氧化还原法           | 72 |
| 3.4.1 | 基本原理            | 73 |
| 3.4.2 | 化学氧化法           | 74 |
| 3.4.3 | 化学还原法           | 77 |
| 3.4.4 | 电化学法            | 78 |
| 3.4.5 | 高级氧化法           | 81 |
|       | 习题与思考           | 83 |
| 第4章   | 废水处理物理化学法       | 85 |
| 4.1   | 吸附法             | 85 |
| 4.1.1 | 基本原理            | 85 |
| 4.1.2 | 吸附剂             | 90 |

|                           |                |     |
|---------------------------|----------------|-----|
| 4.1.3                     | 吸附工艺过程及设备      | 91  |
| 4.1.4                     | 吸附剂的再生         | 96  |
| 4.1.5                     | 吸附法在废水处理中的应用   | 97  |
| 4.2                       | 离子交换法          | 98  |
| 4.2.1                     | 离子交换平衡         | 98  |
| 4.2.2                     | 离子交换剂          | 99  |
| 4.2.3                     | 离子交换动力学        | 102 |
| 4.2.4                     | 离子交换工艺过程及设备    | 102 |
| 4.2.5                     | 离子交换系统的设计      | 106 |
| 4.2.6                     | 离子交换法在废水处理中的应用 | 107 |
| 4.3                       | 萃取法            | 109 |
| 4.3.1                     | 概述             | 109 |
| 4.3.2                     | 萃取剂的选择和再生      | 110 |
| 4.3.3                     | 萃取工艺过程         | 110 |
| 4.3.4                     | 萃取设备及计算        | 111 |
| 4.3.5                     | 萃取法在废水处理中的应用实例 | 113 |
| 4.4                       | 膜法水处理          | 114 |
| 4.4.1                     | 概述             | 114 |
| 4.4.2                     | 扩散渗析法          | 115 |
| 4.4.3                     | 电渗析法           | 117 |
| 4.4.4                     | 反渗透法           | 119 |
| 4.4.5                     | 微滤             | 125 |
| 4.4.6                     | 超滤法            | 126 |
| 4.4.7                     | 液膜分离技术         | 128 |
| 4.5                       | 渗透汽化           | 130 |
| 4.5.1                     | 渗透汽化的基本原理      | 131 |
| 4.5.2                     | 渗透汽化膜          | 132 |
| 4.5.3                     | 渗透汽化膜的传递机理     | 133 |
| 4.5.4                     | 渗透汽化膜分离技术的应用   | 134 |
| 习题与思考                     |                | 136 |
| 第5章 污水生物处理的基本概念和生化反应动力学基础 |                | 137 |
| 5.1                       | 概述             | 137 |
| 5.1.1                     | 污水生物处理的概念      | 137 |
| 5.1.2                     | 污水生物处理中重要的微生物  | 138 |
| 5.1.3                     | 生物处理法在污水处理中的地位 | 138 |
| 5.2                       | 微生物的新陈代谢       | 139 |
| 5.2.1                     | 分解代谢           | 139 |
| 5.2.2                     | 合成代谢           | 140 |
| 5.3                       | 污水的生物处理        | 141 |

|       |                            |     |
|-------|----------------------------|-----|
| 5.3.1 | 好氧生物处理 .....               | 141 |
| 5.3.2 | 厌氧生物处理 .....               | 141 |
| 5.4   | 微生物生长的影响因素与生长规律 .....      | 142 |
| 5.4.1 | 微生物生长的影响因素 .....           | 142 |
| 5.4.2 | 微生物的生长规律 .....             | 144 |
| 5.5   | 反应速率和微生物生长动力学 .....        | 146 |
| 5.5.1 | 反应速率 .....                 | 146 |
| 5.5.2 | 微生物群体的增长速率 .....           | 147 |
| 5.5.3 | 底物利用速率 .....               | 147 |
| 5.5.4 | 微生物增长与有机底物降解 .....         | 149 |
| 5.6   | 污水可生化性的评价方法 .....          | 151 |
|       | 习题与思考 .....                | 153 |
| 第6章   | 活性污泥法 .....                | 154 |
| 6.1   | 活性污泥法的基本原理 .....           | 154 |
| 6.1.1 | 活性污泥的概念与处理法基本流程 .....      | 154 |
| 6.1.2 | 活性污泥处理废水中有机质的过程 .....      | 156 |
| 6.1.3 | 活性污泥的增长特点 .....            | 156 |
| 6.1.4 | 活性污泥指标 .....               | 157 |
| 6.1.5 | 活性污泥净化反应影响因素 .....         | 159 |
| 6.2   | 活性污泥处理系统的工艺类型 .....        | 160 |
| 6.3   | 活性污泥数学模型 .....             | 167 |
| 6.3.1 | 建立模型的假设 .....              | 167 |
| 6.3.2 | 劳伦斯-麦卡蒂模型 .....            | 168 |
| 6.4   | 曝气设备和曝气池 .....             | 170 |
| 6.4.1 | 活性污泥法基本要素 .....            | 170 |
| 6.4.2 | 曝气的原理 .....                | 170 |
| 6.4.3 | 曝气设备 .....                 | 174 |
| 6.4.4 | 曝气池池型 .....                | 177 |
| 6.5   | 活性污泥法系统设计和运行中的一些重要问题 ..... | 178 |
| 6.6   | 二次沉淀池 .....                | 185 |
| 6.6.1 | 二次沉淀池的沉淀过程 .....           | 185 |
| 6.6.2 | 二次沉淀池的构造和计算 .....          | 185 |
| 6.7   | 活性污泥法的设计 .....             | 188 |
| 6.7.1 | 设计内容和一般规定 .....            | 188 |
| 6.7.2 | 工艺流程的选择 .....              | 188 |
| 6.7.3 | 曝气时间与曝气池的设计计算 .....        | 189 |
| 6.8   | 脱氮除磷原理与工艺 .....            | 191 |
| 6.8.1 | 脱氮的原理与工艺 .....             | 191 |
| 6.8.2 | 除磷原理与工艺 .....              | 197 |
| 6.8.3 | 同步脱氮除磷工艺 .....             | 200 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 6.9 活性污泥处理系统的维护管理 .....     | 202        |
| 习题与思考 .....                 | 205        |
| <b>第7章 生物膜法</b> .....       | <b>206</b> |
| 7.1 概述 .....                | 206        |
| 7.1.1 生物膜 .....             | 206        |
| 7.1.2 生物膜处理工艺的主要特点 .....    | 209        |
| 7.1.3 生物膜法反应动力学介绍 .....     | 210        |
| 7.2 生物滤池 .....              | 213        |
| 7.2.1 影响生物滤池性能的主要因素 .....   | 213        |
| 7.2.2 普通生物滤池构造与设计 .....     | 215        |
| 7.2.3 高负荷生物滤池构造与设计 .....    | 217        |
| 7.2.4 塔式生物滤池 .....          | 221        |
| 7.2.5 生物滤池的运行 .....         | 222        |
| 7.3 生物转盘法 .....             | 223        |
| 7.3.1 生物转盘的净化机理与组成 .....    | 223        |
| 7.3.2 工艺流程 .....            | 224        |
| 7.3.3 生物转盘的设计计算 .....       | 225        |
| 7.3.4 生物转盘法的研究进展 .....      | 226        |
| 7.4 生物接触氧化法 .....           | 227        |
| 7.4.1 概述 .....              | 227        |
| 7.4.2 生物接触氧化池的构造 .....      | 228        |
| 7.4.3 生物接触氧化法的工艺流程 .....    | 228        |
| 7.4.4 生物接触氧化法的设计计算 .....    | 229        |
| 7.5 曝气生物滤池 .....            | 230        |
| 7.5.1 曝气生物滤池的构造、原理与工艺 ..... | 230        |
| 7.5.2 曝气生物滤池的主要工艺设计 .....   | 233        |
| 7.6 生物流化床 .....             | 235        |
| 7.6.1 生物流化床的构造 .....        | 235        |
| 7.6.2 流化床的类型 .....          | 235        |
| 7.6.3 生物流化床的优缺点 .....       | 236        |
| 7.7 生物膜法的进展 .....           | 236        |
| 习题与思考 .....                 | 237        |
| <b>第8章 污水自然处理</b> .....     | <b>238</b> |
| 8.1 稳定塘 .....               | 238        |
| 8.1.1 概述 .....              | 238        |
| 8.1.2 好氧塘 .....             | 239        |
| 8.1.3 兼性塘 .....             | 240        |
| 8.1.4 厌氧塘 .....             | 242        |
| 8.1.5 曝气塘 .....             | 243        |
| 8.1.6 稳定塘系统的工艺流程 .....      | 243        |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 8.2 土地处理系统 .....                    | 244 |
| 8.2.1 污水土地处理净化机理 .....              | 244 |
| 8.2.2 土地处理系统的类型 .....               | 246 |
| 习题与思考 .....                         | 250 |
| 第9章 污水的厌氧生物处理 .....                 | 251 |
| 9.1 污水厌氧生物处理的基本原理 .....             | 251 |
| 9.2 污水厌氧生物处理方法 .....                | 256 |
| 9.2.1 普通厌氧消化池 .....                 | 256 |
| 9.2.2 水解反应器 .....                   | 257 |
| 9.2.3 厌氧接触法 .....                   | 258 |
| 9.2.4 上流式厌氧污泥床反应器 .....             | 259 |
| 9.2.5 膨胀颗粒污泥床 (EGSB) 及 IC 反应器 ..... | 264 |
| 9.2.6 厌氧流化床 .....                   | 266 |
| 9.2.7 厌氧滤池 .....                    | 266 |
| 9.2.8 厌氧生物转盘和挡板反应器 .....            | 268 |
| 9.2.9 两相厌氧消化工艺 .....                | 268 |
| 9.3 厌氧生物反应器的运行与管理 .....             | 269 |
| 9.3.1 厌氧设备的启动 .....                 | 269 |
| 9.3.2 运行监测 .....                    | 270 |
| 9.3.3 运行管理中的安全要求 .....              | 270 |
| 习题与思考 .....                         | 271 |
| 第10章 污泥的处理与处置 .....                 | 272 |
| 10.1 污泥概述 .....                     | 272 |
| 10.1.1 污泥的来源与种类 .....               | 272 |
| 10.1.2 污泥的主要特性 .....                | 272 |
| 10.1.3 污泥量 .....                    | 274 |
| 10.1.4 污泥中的水分及分离方法 .....            | 274 |
| 10.1.5 污泥的处理与处置方式 .....             | 274 |
| 10.2 污泥处理工艺 .....                   | 275 |
| 10.3 污泥浓缩 .....                     | 276 |
| 10.3.1 重力浓缩 .....                   | 276 |
| 10.3.2 气浮浓缩 .....                   | 281 |
| 10.3.3 离心浓缩 .....                   | 282 |
| 10.4 污泥稳定 .....                     | 282 |
| 10.4.1 污泥的生物稳定 .....                | 282 |
| 10.4.2 污泥的化学稳定 .....                | 287 |
| 10.5 污泥调理与脱水 .....                  | 288 |
| 10.5.1 污泥调理 .....                   | 288 |
| 10.5.2 污泥脱水 .....                   | 289 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 10.6 污泥的最终处置 .....              | 295        |
| 10.6.1 污泥的综合利用 .....            | 295        |
| 10.6.2 湿式氧化 .....               | 296        |
| 10.6.3 污泥的焚烧 .....              | 296        |
| 习题与思考 .....                     | 297        |
| <b>第 11 章 污水处理厂设计 .....</b>     | <b>298</b> |
| 11.1 概述 .....                   | 298        |
| 11.1.1 主要设计资料 .....             | 298        |
| 11.1.2 设计原则 .....               | 299        |
| 11.1.3 设计步骤 .....               | 300        |
| 11.1.4 设计文件编制 .....             | 300        |
| 11.2 厂址选择 .....                 | 302        |
| 11.3 工艺流程选择确定 .....             | 303        |
| 11.4 平面布置与高程布置 .....            | 304        |
| 11.4.1 平面布置 .....               | 304        |
| 11.4.2 高程布置 .....               | 308        |
| 11.5 技术经济分析 .....               | 309        |
| 11.5.1 技术经济分析的主要内容 .....        | 309        |
| 11.5.2 建设投资与经营管理费用 .....        | 309        |
| 11.5.3 经济比较与分析方法 .....          | 311        |
| 11.5.4 社会与环境效益评估 .....          | 311        |
| 11.6 污水处理厂的运行 .....             | 312        |
| 11.6.1 工程验收和调试运行 .....          | 312        |
| 11.6.2 运行管理及水质监测 .....          | 312        |
| 习题与思考 .....                     | 313        |
| <b>第 12 章 水污染控制工程相关实验 .....</b> | <b>314</b> |
| 实验一 离子交换膜隔膜电解法实验 .....          | 314        |
| 实验二 活性炭吸附实验 .....               | 317        |
| 实验三 混凝实验 .....                  | 321        |
| 实验四 化学沉淀法实验 .....               | 326        |
| 实验五 紫外光催化处理实验 .....             | 328        |
| 实验六 污泥絮凝沉淀实验 .....              | 330        |
| <b>参考文献 .....</b>               | <b>333</b> |

# 第1章 绪 论

## 学 习 提 示

本章学习要点：掌握水污染的含义；了解水污染物的来源、种类；了解水质指标；掌握废水处理的基本途径与方法。

## 1.1 概 述

### 1.1.1 水污染的概念

《中华人民共和国水污染防治法》对“水污染”的定义为：水污染，是指水体因某种物质的介入，而导致其化学、物理、生物或者放射性等方面特性的改变，从而影响水的有效利用，危害人体健康或者破坏生态环境，造成水质恶化的现象。

一般可以认为，水体污染是指排入水体的污染物在数量上超过该物质在水体中的本底含量和水体的环境容量，从而导致水的物理、化学及微生物性质发生变化，使水体固有的生态系统和功能受到破坏。

### 1.1.2 水污染物的来源

水污染物，是指直接或者间接向水体排放的、能导致水体污染的物质。水污染物来源有自然污染和人为污染两种。自然污染主要是自然因素造成的，如特殊的地质条件使某些地区的某种或某些化学元素大量富集；天然植物在腐烂过程中产生某种毒物；以及降雨淋洗大气和地面后挟带各种物质流入水体等，都会影响该地区的水质。人为污染是人类生活和生产活动中产生的废水对水体的污染，包括生活污水、工业废水、农田排水和矿山排水等。此外，污染气体及气溶胶的沉降；废渣和垃圾倾倒入水中、岸边或堆积在土地上，经降雨淋洗流入水体，都能造成污染。当前对水体产生危害的主要原因是人为污染。

生活污水是指居民在日常生活中所产生的废水，主要包括生活废料和人的排泄物，包括厨房洗涤、沐浴、洗衣等废水，以及冲洗厕所等污水。废水的成分及变化取决于居民的生活状况、生活水平及生活习惯。污染物的浓度则与用水量有关。生活污水的水质特征是水质较稳定，但浑浊、色深且具有恶臭，呈微碱性，一般不含有毒物质。由于生活污水适于各种微生物的生长繁殖，所以往往含有大量的细菌、病毒和寄生虫卵。生活污水中所含固体物质约占总质量的0.1%~0.2%，其中溶解性固体约占固体总量 $\frac{3}{5}$ ~ $\frac{2}{3}$ ，主要是各种无机盐和可溶性的有机物质；悬浮固体占固体总量的 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{2}{5}$ ，有机成分几乎占 $\frac{2}{3}$ 以上。此外，

生活污水中还含有氮、磷等营养物质。表 1-1 所列为城市生活污水的典型组成。

表 1-1 城市生活污水的典型组成

| 项 目   | 无机成分 | 有机成分 | 总量  | BDO <sub>5</sub> |
|-------|------|------|-----|------------------|
| 可沉固体  | 40   | 100  | 140 | 55               |
| 不可沉固体 | 25   | 70   | 95  | 65               |
| 溶解固体  | 210  | 210  | 420 | 40               |
| 总固体   | 275  | 380  | 655 | 160              |
| 氮     | 15   | 20   | 35  | —                |
| 磷     | 5    | 3    | 8   | —                |

工业废水是各工业行业生产过程中排出的废水的统称，其中包括生产工艺排水、机器设备冷却水、烟气洗涤水、设备和场地清洗水等。工业废水的成分复杂、性质各异，它们所含有有机需氧物质，化学毒物，无机固体悬浮物，重金属离子，酸、碱、热、病原体、植物营养物等均可对环境造成污染。

工业废水通常可以按照下面三种方法分类：

第一种是按行业和产品加工对象分类，如冶金废水、炼焦煤气废水、纺织印染废水、金属酸洗废水、制革废水、农药废水、化学肥料废水等。

第二种是按工业废水中所含主要污染物的性质分类，以无机污染物为主的称无机废水，以有机污染物为主的称有机废水。这种分类方法比较简单，对考虑治理对策有利。如对无机废水一般采用物理化学的方式处理；有机废水一般采用生物法处理。不过在工业生产中，一种废水中一般既含有机成分又含无机成分，这样在考虑处理工艺时，必须有针对性地采用综合治理方法。

第三种是按废水中所含污染物的主要成分进行分类，如酸性废水、碱性废水、含氟废水、含酚废水、含镉废水、含铬废水、含有机磷废水、含放射性废水等。这种分类法的优点是突出了废水的主要污染成分。根据其中所含的主要成分，可以有针对性地考虑处理手段，或者进行有效地回收。

随着农药与化肥的大量使用，农业径流排水已成为水体的主要污染源之一。施用于农田的农药与化肥除一小部分被植物吸收外，大部分残留在土壤或漂浮于大气中，经降水洗淋、冲刷及农田灌溉排水，残留的农药与化肥最终会随降水及灌溉排水径流排入地面水体或渗入地下水中。此外，农业废弃物（包括农作物的秆、茎、叶以及牲畜粪便等）也会随各种途径带入水体，造成水体的污染。

## 1.2 污染物种类及水质指标

### 1.2.1 污染物的种类

废水中的污染物种类大致可分为：无机无毒物、无机有毒物、耗氧有机物、植物营养物、有机有毒物、病原微生物、放射污染物、热污染等。水体中的污染物大致分类见表 1-2。

表 1-2 水体中的污染物

| 分 类   | 主要污染物                            |
|-------|----------------------------------|
| 无机无毒物 | 水溶性氧化物、硫酸盐、酸、碱等无机酸、碱、盐中无毒物质      |
| 无机有毒物 | 铝、汞、砷、镉、铬、氟化物、氰化物等重金属元素及无机有毒化学物质 |
| 耗氧有机物 | 碳水化合物、蛋白质、油脂、氨基酸等                |
| 植物营养物 | 铵盐、磷酸盐和磷、钾等                      |
| 有机有毒物 | 酚类、有机磷农药、有机氯农药、多环芳烃、苯等           |
| 病原微生物 | 病菌、病毒、寄生虫等                       |
| 放射污染物 | 铀、镭、钍等                           |
| 热污染   | 含热废水                             |

1.2.2 水质指标

水质指标是指水和其中所含杂质共同表现出来的物理、化学和生物学的综合特性。各项水质指标表示水中杂质的种类、成分和数量，是判断水质的具体衡量指标。水质指标种类很多，有上百项。它们可以分为物理性、化学性和生物学三类。

1. 物理性水质指标

- (1) 感官物理性指标：温度、色度、嗅和味、浑浊度、透明度等。
- (2) 其他物理性水质指标：如总固体、悬浮固体、溶解固体、可沉固体、电导率等。

2. 化学性水质指标

- (1) 一般化学性水质指标：如 pH 值、碱度、硬度、各种阴（阳）离子、总含盐量等。
- (2) 有毒的化学性水质指标：如各种重金属、氰化物、多环芳烃、各种农药等。
- (3) 氧平衡指标：如溶解氧（DO）、生化需氧量（BOD）、化学需氧量（COD）、总有机碳（TOC）、总需氧量（TOD）等。

3. 生物学水质指标

包括细菌总数、总大肠菌群数、各种病原细菌、病毒等。

1.3 废水处理的基本途径与方法

废水中的污染物质是多种多样的，一般一种废水往往需要通过几个处理单元组成的系统处理后，才能够达到排放要求。采用哪些方法或哪几种方法联合使用需根据废水的水质和水量、排放标准、处理方法的特点、处理成本和回收经济价值等，通过调查、分析、比较后才能决定，必要时还要进行小试、中试等试验研究。

1.3.1 按处理方法进行分类

针对不同污染物质的特征，发展了各种不同的废水处理方法，这些处理方法可按其作用原理划分为四大类：物理处理法、化学处理法、物理化学法和生物化学处理法。

1. 物理处理法

废水物理处理法是通过物理作用分离和去除废水中不溶解的呈悬浮状态的污染物（包括

油膜、油珠)的方法。处理过程中,污染物的化学性质不发生变化。方法有:①重力分离法,其处理单元有沉淀、上浮(气浮)等,使用的处理设备是沉淀池、沉砂池、隔油池、气浮池及其附属装置等;②离心分离法,其本身是一种处理单元,使用的设备有离心分离机、水旋分离器等;③筛滤截留法,有栅筛截留和过滤两种处理单元,前者使用格栅、筛网,后者使用砂滤池、微孔滤机等。此外,还有废水蒸发处理法、废水气液交换处理法、废水高梯度磁分离处理法、废水吸附处理法等。物理处理法的优点是:设备大都较简单,操作方便,分离效果良好,故使用极为广泛。

## 2. 化学处理法

通过化学反应改变废水中污染物的化学性质或物理性质,使它或从溶解、胶体、悬浮状态转变为沉淀、漂浮状态,或从固态转变为气态,进而从水中除去的废水处理方法。废水化学处理法可分为:废水中和处理法、废水的混凝处理法、废水的化学沉淀处理法、废水氧化还原处理法、废水萃取处理法等。有时为了有效地处理含有多种不同性质污染物的废水,将上述两种以上处理法组合起来。如处理小流量和低浓度的含酚废水,就把化学混凝处理法(除悬浮物等)和化学氧化处理法(除酚)组合起来。

## 3. 物理化学法

利用物理化学作用去除废水中的污染物。物理化学法主要有吸附法、离子交换法、膜分离法、萃取法、气提法和吹脱法等。

## 4. 生物化学处理法

通过微生物的代谢作用,使废水中呈溶解、胶体以及微细悬浮状态的有机性污染物质转化为稳定、无害的物质的废水处理方法,可分为需氧生物处理法和厌氧生物处理法,前者主要有活性污泥法、生物膜法、氧化塘法、污水灌溉法等。

### 1.3.2 按处理程度进行分类

按处理程度,废水处理技术可分为一级处理、二级处理和三级处理。

#### 1. 一级处理

一级处理是去除废水中的漂浮物和部分悬浮状态的污染物质,调节废水 pH 值、减轻废水的腐化程度和后续处理工艺负荷的处理方法。城市污水一级处理的主要构筑物有格栅、沉砂池和初沉池。一级处理的工艺流程如图 1-1 所示。污水经一级处理后,SS 一般去除 40%~55%,BOD 一般可去除 30%左右,达不到排放标准。所以一般以一级处理为预处理,以二级处理为主体,必要时再进行三级处理(即深度处理),使污水达到排放标准或补充工业用水和城市供水。一级处理的常用方法有筛滤法、沉淀法、上浮法、预曝气法。

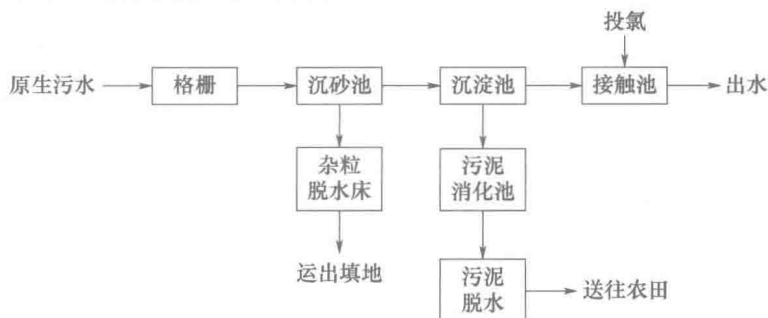


图 1-1 一级处理的工艺流程图

## 2. 二级处理

二级处理是污水通过一级处理后,再进行处理,用以除去污水中大量有机污染物,使污水进一步净化的工艺过程。二级处理的典型工艺流程如图 1-2 所示。目前,二级处理的主要工艺为生物处理,包括厌氧生物处理及好氧生物处理,其中好氧生物处理主要有活性污泥法及生物膜法。近年来,已有采用化学或物理化学处理法作为二级处理主体工艺,预期这些方法将随着化学药剂品种的不断增多、处理设备和工艺的不断改进而得到推广。污水二级处理可以去除污水中 90% 以上的 BOD 和大量的悬浮物,在较大程度上净化了污水,对保护环境起到了一定作用。但随着污水量的不断增加、水资源的日益紧张,需要获取更高质量的处理水,以供重复使用或补充水源,为此,在二级处理基础上,提出二级强化处理工艺,是指除有效去除碳源污染物外,还具备较强的除磷脱氮功能的污水处理工艺。

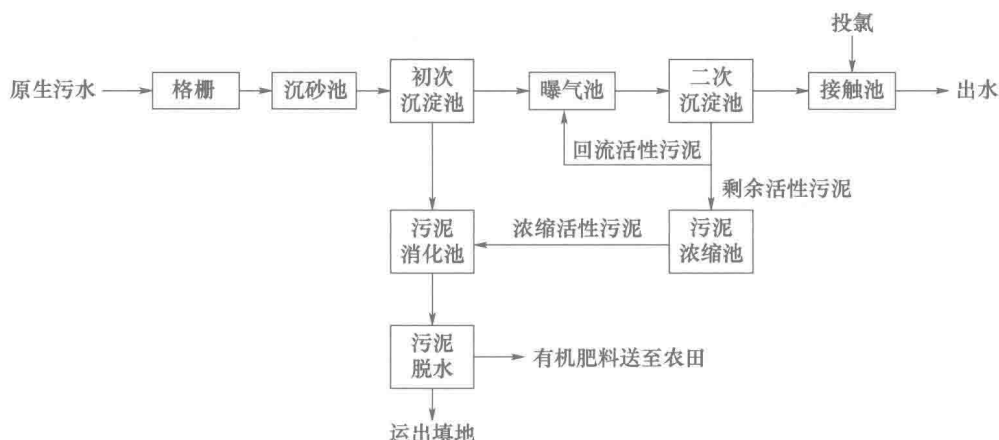


图 1-2 二级处理的工艺流程图

## 3. 三级处理

污水三级处理又称污水深度处理或高级处理。为进一步去除二级处理未能去除的污染物,其中包括微生物以及未能降解的有机物或磷、氮等可溶性无机物,特进行三级处理。三级处理是深度处理的同义词,但二者又不完全一致。三级处理是经二级处理后,为了从废水中去除某种特定的污染物质,如磷、氮等而补充增加的一项或几项处理单元;至于深度处理则往往是以废水回收、复用为目的,而在二级处理后所增设的处理单元或系统。三级处理耗资较大,管理也较复杂,但能充分利用水资源。如图 1-3 所示,完善的三级处理由除磷,脱氮,去除有机物(主要是难以生物降解的有机物)、病毒和病原菌、悬浮物和矿物质等单元过程组成。根据三级处理出水的具体去向,其处理流程和组成单元是不同的。如果为防止受纳水体富营养化,则采用除磷和除氮的三级处理;如果为保护下游引用水源或浴场不受污染,则应采用除磷、除氮、除毒物、除病菌和病原菌等三级处理,可直接作为城市饮用水以外的生活用水,如洗衣、清扫、冲洗厕所、喷洒街道和绿化地带等用水。

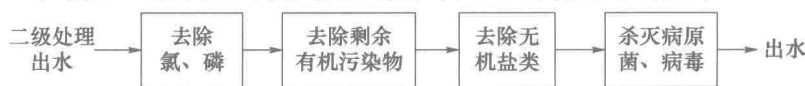


图 1-3 三级处理的工艺流程图

对于工业废水来说,由于工业废水种类复杂,所含有的污染物各不相同,因此可以采用的处理工艺也各不相同,应根据不同废水需要去除的主要污染物对象来选择合理的主处理单