



注册环保工程师专业考试  
应试指导丛书

# 水污染防治工程 技术与实践

刘建勇 邹联沛 等编

- 紧扣考试大纲
- 复习应考必备
- 权威专家精心编写



化学工业出版社

本书是“注册环保工程师专业考试应试指导丛书”中的一本，旨在帮助考生系统地掌握水污染防治工程技术与实践，为参加注册环保工程师专业考试提供指导。本书可作为从事水污染防治工程技术人员的专业参考书，也可作为高等院校环境工程、给水排水工程、环境化学、环境微生物学等专业的教材。

注册环保工程师专业考试应试指导丛书

# 水污染防治工程技术与实践

刘建勇 邹联沛 等编



化学工业出版社

·北京·

本书按照注册环保工程师执业资格考试专业考试大纲要求编写,包括水污染防治工程技术、废水处理与再生利用工程实践两篇 17 章的内容,可帮助考生按考试要求有针对性复习,提高应试和解决实际问题的能力。

# 水污染防治工程技术与实践

刘建勇 邹联沛 等编

## 图书在版编目 (CIP) 数据

水污染防治工程技术与实践/刘建勇,邹联沛等编. —北京:化学工业出版社,2009.3  
(注册环保工程师专业考试应试指导丛书)  
ISBN 978-7-122-04527-0

I. 水… II. ①刘…②邹… III. 水污染-污染防治-工程技术-资格考核-自学参考资料 IV. X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 004751 号

责任编辑:徐娟  
责任校对:郑捷

装帧设计:王晓宇

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)

印刷:北京市振南印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 21¼ 字数 560 千字 2009 年 4 月北京第 1 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: 60.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

---

根据建设部、人事部和国家环保总局的决定，我国实行注册环保工程师执业资格制度，并进行注册环保工程师执业资格考试。为了帮助考生系统地做好考前准备工作，我们编写了《注册环保工程师专业考试应试指导丛书》中的《水污染防治工程技术与实践》。

本书以现行标准和规范为基础，严格按照全国勘察设计注册工程师环保专业管理委员会拟定的专业考试大纲的要求编写，在编写上力求全面而精炼。书中内容便于考生对知识点的理解与应用，利于指导复习。书中提供了多种污（废）水处理工艺的流程图，以使考生对污水处理工艺有全面把握。本书共分两篇，分别为水污染防治工程技术与实践、污水处理与再生利用工程实践。全书共 17 章，其中第 14 章和第 17 章由邹联沛编写，其余由刘建勇编写。

在本书的编写过程中得到了同济大学的杨殿海教授、柴晓利副教授的大力支持和帮助，研究生胡茂冬、赵国富、夏耀军、黄严华、杨芳芳等在资料搜集、图片整理、文字编辑方面做了很多工作，在此一并表示感谢。

本书可供参加注册环保工程师执业资格考试专业考试的人员复习备考，同时也可作为相关工程技术人员和高校师生的一本参考书。

鉴于时间紧迫，难免有不妥之处，敬请各位专家和读者提出宝贵意见。

编者

2009 年 1 月

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第1篇 水污染防治工程技术 .....        | 1  |
| 第1章 物理处理法 .....            | 1  |
| 1.1 沉淀与气浮 .....            | 2  |
| 1.1.1 沉淀 .....             | 2  |
| 1.1.2 气浮 .....             | 5  |
| 1.2 过滤 .....               | 10 |
| 1.2.1 过滤的类型 .....          | 10 |
| 1.2.2 过滤的原理 .....          | 11 |
| 1.2.3 过滤装置 .....           | 12 |
| 1.2.4 滤料 .....             | 13 |
| 第2章 物理化学处理法 .....          | 15 |
| 2.1 混凝 .....               | 15 |
| 2.1.1 胶体及其稳定性 .....        | 15 |
| 2.1.2 混凝原理 .....           | 16 |
| 2.1.3 混凝剂和助凝剂 .....        | 17 |
| 2.1.4 影响混凝效果的主要因素 .....    | 18 |
| 2.1.5 混凝沉淀法除磷 .....        | 19 |
| 2.2 吸附 .....               | 21 |
| 2.2.1 吸附的类型 .....          | 21 |
| 2.2.2 吸附剂 .....            | 21 |
| 2.2.3 吸附等温线 .....          | 22 |
| 2.2.4 吸附速率 .....           | 25 |
| 2.2.5 影响吸附的因素 .....        | 25 |
| 2.2.6 吸附工艺过程及设备 .....      | 26 |
| 2.3 离子交换 .....             | 26 |
| 2.3.1 原理 .....             | 26 |
| 2.3.2 离子交换剂 .....          | 27 |
| 2.3.3 离子交换工艺 .....         | 29 |
| 2.3.4 离子交换法在废水处理中的应用 ..... | 32 |
| 2.4 膜分离 .....              | 33 |
| 2.4.1 概述 .....             | 33 |
| 2.4.2 电渗析 .....            | 33 |
| 2.4.3 扩散渗析 .....           | 39 |
| 2.4.4 反渗透 .....            | 40 |
| 2.4.5 超滤 .....             | 45 |
| 2.4.6 膜清洗 .....            | 46 |
| 2.4.7 液膜分离技术 .....         | 46 |
| 2.4.8 膜生物反应器 .....         | 48 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 第3章 化学处理法 .....                                                   | 50 |
| 3.1 中和 .....                                                      | 50 |
| 3.1.1 基本原理 .....                                                  | 50 |
| 3.1.2 中和处理装置 .....                                                | 51 |
| 3.1.3 中和剂 .....                                                   | 51 |
| 3.2 化学沉淀 .....                                                    | 52 |
| 3.2.1 氢氧化物沉淀法 .....                                               | 53 |
| 3.2.2 硫化物沉淀法 .....                                                | 53 |
| 3.3 氧化还原 .....                                                    | 53 |
| 3.3.1 氧化还原反应与 Nernst 方程 .....                                     | 54 |
| 3.3.2 氧化还原反应速率 .....                                              | 54 |
| 3.3.3 药剂还原法 .....                                                 | 55 |
| 3.3.4 空气氧化法 .....                                                 | 56 |
| 3.3.5 臭氧氧化法 .....                                                 | 56 |
| 3.3.6 氯氧化法 .....                                                  | 57 |
| 3.3.7 UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 氧化 .....                   | 58 |
| 3.3.8 UV/O <sub>3</sub> 法 .....                                   | 59 |
| 3.3.9 UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub> 联合氧化 ..... | 60 |
| 3.3.10 化学消毒 .....                                                 | 60 |
| 3.4 萃取 .....                                                      | 63 |
| 3.4.1 溶剂萃取的基本原理 .....                                             | 64 |
| 3.4.2 萃取剂 .....                                                   | 64 |
| 3.4.3 萃取过程 .....                                                  | 64 |
| 3.4.4 萃取设备 .....                                                  | 65 |
| 3.4.5 萃取剂的选择与再生 .....                                             | 65 |
| 3.4.6 萃取工艺 .....                                                  | 65 |
| 3.4.7 萃取法处理含酚废水 .....                                             | 66 |
| 3.5 吹脱 .....                                                      | 66 |
| 3.5.1 吹脱法的基本原理 .....                                              | 67 |
| 3.5.2 吹脱设备 .....                                                  | 67 |
| 3.5.3 吹脱的影响因素 .....                                               | 67 |
| 3.5.4 吹脱尾气的最终处置 .....                                             | 67 |
| 3.5.5 吹脱法的应用 .....                                                | 68 |
| 3.6 汽提 .....                                                      | 68 |
| 3.6.1 汽提原理 .....                                                  | 68 |
| 3.6.2 汽提工艺 .....                                                  | 68 |
| 3.6.3 相间接触的方法 .....                                               | 69 |
| 3.6.4 汽提工艺的应用 .....                                               | 69 |
| 3.6.5 汽提法处理废水应用举例 .....                                           | 70 |
| 3.7 湿式氧化法 .....                                                   | 71 |
| 3.7.1 概述 .....                                                    | 71 |
| 3.7.2 湿式氧化法的原理 .....                                              | 71 |

|        |                  |     |
|--------|------------------|-----|
| 3.7.3  | 湿式氧化法的主要影响因素     | 72  |
| 3.7.4  | 湿式氧化工艺           | 72  |
| 3.7.5  | 湿式氧化法的应用         | 73  |
| 3.8    | 超临界水氧化技术         | 74  |
| 3.8.1  | 超临界流体            | 74  |
| 3.8.2  | 应用               | 76  |
| 3.8.3  | 超临界水氧化技术特点       | 77  |
| 第4章    | 废水生物处理           | 79  |
| 4.1    | 活性污泥法            | 79  |
| 4.1.1  | 活性污泥法分类          | 79  |
| 4.1.2  | 活性污泥法的基本原理       | 80  |
| 4.1.3  | 活性污泥微生物的作用       | 82  |
| 4.1.4  | 活性污泥法废水处理过程的控制指标 | 83  |
| 4.1.5  | 活性污泥动力学:活性污泥数学模式 | 85  |
| 4.1.6  | 活性污泥处理系统的运行方式    | 88  |
| 4.1.7  | 活性污泥法新工艺         | 91  |
| 4.1.8  | 曝气原理及曝气装置        | 99  |
| 4.1.9  | 活性污泥膨胀           | 102 |
| 4.2    | 生物膜法             | 103 |
| 4.2.1  | 生物膜法的基本原理        | 104 |
| 4.2.2  | 生物膜法废水处理技术的特征    | 107 |
| 4.2.3  | 生物滤池             | 108 |
| 4.2.4  | 生物转盘             | 115 |
| 4.2.5  | 生物接触氧化法          | 120 |
| 4.2.6  | 生物流化床            | 124 |
| 4.2.7  | 曝气生物滤池           | 128 |
| 4.3    | 废水生物脱氮除磷         | 131 |
| 4.3.1  | 生物脱氮             | 131 |
| 4.3.2  | 生物除磷             | 134 |
| 4.3.3  | 废水脱氮除磷处理工艺       | 136 |
| 4.3.4  | 新型生物脱氮工艺         | 140 |
| 4.4    | 厌氧生物处理           | 142 |
| 4.4.1  | 厌氧生物处理的分类        | 142 |
| 4.4.2  | 厌氧生物处理的基本原理      | 143 |
| 4.4.3  | 厌氧生物处理的影响因素      | 143 |
| 4.4.4  | 厌氧生物处理的优缺点及适用性   | 145 |
| 4.4.5  | 污泥的厌氧消化处理        | 145 |
| 4.4.6  | 厌氧生物滤池           | 147 |
| 4.4.7  | 厌氧生物转盘           | 148 |
| 4.4.8  | 厌氧接触法            | 148 |
| 4.4.9  | 上流式厌氧污泥床反应器      | 149 |
| 4.4.10 | 分段厌氧消化法          | 153 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第5章 废水自然净化处理 .....          | 155 |
| 5.1 生物塘 .....               | 155 |
| 5.1.1 概述 .....              | 155 |
| 5.1.2 生物塘分类 .....           | 155 |
| 5.1.3 生物塘的影响因素 .....        | 155 |
| 5.1.4 生物塘设计 .....           | 156 |
| 5.2 土地处理 .....              | 156 |
| 5.2.1 废水的土地处理概念及分类 .....    | 157 |
| 5.2.2 废水土地处理的净化机理 .....     | 157 |
| 5.2.3 废水土地处理系统的工艺类型 .....   | 157 |
| 5.2.4 污水灌溉的规划设计 .....       | 159 |
| 5.2.5 土地渗透系统 .....          | 160 |
| 第6章 污泥的处理与处置 .....          | 162 |
| 6.1 污泥的分类和性质 .....          | 162 |
| 6.1.1 污泥的分类 .....           | 162 |
| 6.1.2 污泥的性质指标 .....         | 162 |
| 6.2 污泥的处理 .....             | 163 |
| 6.2.1 污泥的输送 .....           | 164 |
| 6.2.2 污泥浓缩 .....            | 164 |
| 6.2.3 污泥的稳定 .....           | 166 |
| 6.2.4 污泥的脱水与干化 .....        | 167 |
| 6.2.5 污泥消毒 .....            | 168 |
| 6.2.6 污泥干燥与焚烧 .....         | 168 |
| 6.3 污泥的最终处置 .....           | 169 |
| 第7章 流域水污染防治 .....           | 171 |
| 7.1 流域水环境 .....             | 171 |
| 7.1.1 淡水环境 .....            | 171 |
| 7.1.2 海水环境 .....            | 171 |
| 7.1.3 污染物的排放 .....          | 172 |
| 7.2 水体污染物的主要来源 .....        | 172 |
| 7.3 污水及其特性 .....            | 173 |
| 7.3.1 污水的概念 .....           | 173 |
| 7.3.2 水质指标 .....            | 173 |
| 7.4 水体污染的危害 .....           | 177 |
| 7.5 水污染防治的基本原则和方法 .....     | 177 |
| 7.5.1 水污染防治的基本原则 .....      | 177 |
| 7.5.2 水污染防治的方法 .....        | 178 |
| 第8章 水环境区域性综合防治与水环境规划 .....  | 179 |
| 8.1 概述 .....                | 179 |
| 8.1.1 水环境区域性综合防治的工作内容 ..... | 179 |
| 8.1.2 水环境区域性综合防治的工作步骤 ..... | 179 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 8.2 污染物总量控制 .....              | 180        |
| 8.2.1 实施污染物总量控制的必要性 .....      | 180        |
| 8.2.2 实施污染物总量控制的适用范围 .....     | 180        |
| 8.2.3 实施总量控制的条件 .....          | 181        |
| 8.2.4 总量控制最优治理方案的确定 .....      | 181        |
| 8.3 行政经济原则及措施 .....            | 181        |
| 8.3.1 水污染区域性防治的管理 .....        | 181        |
| 8.3.2 水环境污染区域性综合防治的技术措施 .....  | 182        |
| 8.4 水环境规划 .....                | 182        |
| 8.5 污染水体的净化和生态修复的基本方法 .....    | 184        |
| 8.5.1 水体的自净 .....              | 184        |
| 8.5.2 水体水质基本模型 .....           | 184        |
| 8.5.3 河流氧垂曲线 .....             | 185        |
| 8.5.4 污染水体的修复 .....            | 186        |
| <b>第2篇 废水处理与再生利用工程实践 .....</b> | <b>190</b> |
| <b>第9章 废水的收集与提升 .....</b>      | <b>190</b> |
| 9.1 废水的收集 .....                | 190        |
| 9.1.1 排水系统的类型 .....            | 190        |
| 9.1.2 排水系统的组成 .....            | 191        |
| 9.1.3 排水系统的布置形式 .....          | 192        |
| 9.2 废水的提升 .....                | 193        |
| 9.2.1 废水泵站的特点及组成 .....         | 193        |
| 9.2.2 废水泵站设计的原则 .....          | 193        |
| 9.2.3 废水泵站的设计 .....            | 194        |
| <b>第10章 污水处理厂(站)总体设计 .....</b> | <b>197</b> |
| 10.1 污水处理厂(站)的设计内容及设计阶段 .....  | 197        |
| 10.1.1 设计的前期工作 .....           | 197        |
| 10.1.2 扩大初步设计 .....            | 199        |
| 10.1.3 施工图设计 .....             | 200        |
| 10.2 设计资料 .....                | 202        |
| 10.3 设计原则 .....                | 203        |
| 10.4 污水处理厂(站)址选择 .....         | 203        |
| 10.4.1 城市污水处理厂厂址的选择 .....      | 203        |
| 10.4.2 工业废水处理站站址的选择 .....      | 204        |
| 10.5 工艺设计 .....                | 205        |
| 10.5.1 污水处理厂(站)规模的确定 .....     | 205        |
| 10.5.2 污水处理厂(站)进出水水质的确定 .....  | 205        |
| 10.5.3 污水处理工艺流程的选择 .....       | 208        |
| 10.6 污水处理厂(站)总体布置 .....        | 210        |
| 10.6.1 污水处理厂的平面布置 .....        | 210        |
| 10.6.2 污水处理厂的高程布置 .....        | 211        |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第 11 章 污水、污泥处理与构(建)筑物设计 .....   | 213 |
| 11.1 污水预处理工艺 .....              | 213 |
| 11.1.1 预处理工艺单元的类型 .....         | 213 |
| 11.1.2 预处理工艺单元的功能 .....         | 213 |
| 11.1.3 预处理工艺单元的设计原则 .....       | 213 |
| 11.1.4 预处理工艺单元的计算方法 .....       | 214 |
| 11.2 一级处理工艺 .....               | 216 |
| 11.2.1 一级处理工艺单元的类型 .....        | 216 |
| 11.2.2 一级处理工艺单元的功能 .....        | 216 |
| 11.2.3 一级处理工艺单元的设计原则 .....      | 217 |
| 11.2.4 一级处理工艺单元的计算方法 .....      | 217 |
| 11.3 二级处理工艺 .....               | 220 |
| 11.3.1 二级处理工艺单元的类型 .....        | 220 |
| 11.3.2 二级处理工艺单元的功能 .....        | 220 |
| 11.3.3 二级处理工艺单元的设计原则 .....      | 220 |
| 11.3.4 传统活性污泥法的计算方法 .....       | 224 |
| 11.3.5 生物膜法的计算方法 .....          | 229 |
| 11.4 深度处理工艺 .....               | 233 |
| 11.4.1 深度处理工艺单元的类型及功能 .....     | 233 |
| 11.4.2 深度处理工艺单元的设计 .....        | 236 |
| 11.4.3 深度处理工艺单元的计算方法 .....      | 236 |
| 第 12 章 污水、污泥处理常用仪表与过程控制系统 ..... | 241 |
| 12.1 污水、污泥处理常用仪表 .....          | 241 |
| 12.1.1 仪表的基础知识 .....            | 241 |
| 12.1.2 污水处理运行工艺参数的在线测量 .....    | 243 |
| 12.1.3 仪表的日常维护与管理 .....         | 248 |
| 12.2 污水、污泥处理过程控制系统 .....        | 248 |
| 12.2.1 污水、污泥处理自动化基本知识 .....     | 248 |
| 12.2.2 自动调节系统 .....             | 250 |
| 12.2.3 自动控制系统的组成 .....          | 252 |
| 12.2.4 自动控制系统的分类 .....          | 253 |
| 12.2.5 自动控制系统的其他类型 .....        | 253 |
| 12.2.6 城市污水处理厂常用自控方案 .....      | 254 |
| 12.2.7 某城市污水处理厂自动控制方案 .....     | 256 |
| 第 13 章 废水、污泥处理常用设备 .....        | 263 |
| 13.1 概述 .....                   | 263 |
| 13.2 污水处理通用机械设备 .....           | 263 |
| 13.2.1 闸门与阀门 .....              | 263 |
| 13.2.2 离心泵 .....                | 266 |
| 13.2.3 螺旋泵 .....                | 268 |
| 13.2.4 罗茨式鼓风机 .....             | 268 |
| 13.2.5 离心式鼓风机 .....             | 269 |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 13.3 污水处理专用机械设备 .....            | 269        |
| 13.3.1 格栅除污机 .....               | 269        |
| 13.3.2 除砂与砂水分离设备 .....           | 271        |
| 13.3.3 水下推进器 .....               | 272        |
| 13.3.4 刮泥机 .....                 | 273        |
| 13.3.5 表面曝气设备与推流器 .....          | 276        |
| 13.3.6 吸泥机 .....                 | 278        |
| 13.3.7 滗水器 .....                 | 279        |
| 13.3.8 污泥浓缩设备 .....              | 279        |
| 13.3.9 螺旋输送机 .....               | 280        |
| 13.3.10 可调堰与套筒阀 .....            | 280        |
| 13.3.11 污泥脱水机房设备 .....           | 280        |
| <b>第14章 污水、污泥处理常用材料、药剂 .....</b> | <b>282</b> |
| 14.1 污水、污泥处理常用材料 .....           | 282        |
| 14.1.1 离子交换树脂 .....              | 282        |
| 14.1.2 滤料 .....                  | 282        |
| 14.1.3 活性炭 .....                 | 282        |
| 14.1.4 沸石 .....                  | 283        |
| 14.2 污水、污泥处理常用药剂 .....           | 285        |
| 14.2.1 絮凝剂 .....                 | 285        |
| 14.2.2 阻垢剂 .....                 | 287        |
| 14.2.3 缓蚀剂 .....                 | 289        |
| 14.2.4 杀菌灭藻剂 .....               | 289        |
| <b>第15章 工业废水处理工程 .....</b>       | <b>291</b> |
| 15.1 工业废水处理的技术 .....             | 291        |
| 15.2 主要工业废水处理的技术要点 .....         | 291        |
| 15.3 有机工业废水的处理工艺 .....           | 295        |
| 15.3.1 废水水量估算 .....              | 295        |
| 15.3.2 水质成分分析 .....              | 295        |
| 15.3.3 基本工艺系统 .....              | 295        |
| 15.4 含油重金属废水处理工艺 .....           | 297        |
| 15.5 含络合剂废水处理工艺 .....            | 298        |
| 15.6 含 Me-COD 废水处理工艺 .....       | 299        |
| <b>第16章 污水再生利用工程 .....</b>       | <b>300</b> |
| 16.1 污水再生利用途径 .....              | 300        |
| 16.2 污水再生利用的基本原则 .....           | 301        |
| 16.3 污水再生利用的工艺设计 .....           | 302        |
| 16.3.1 回用水水质指标概述 .....           | 302        |
| 16.3.2 回用水水质与水环境质量标准的关系 .....    | 303        |
| 16.3.3 各种用途回用水水质标准 .....         | 303        |
| 16.3.4 污水再生工艺流程 .....            | 304        |
| 16.3.5 城市污水再生处理工艺设计 .....        | 307        |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 16.4 循环冷却水处理的处理与回用 .....        | 309        |
| 16.4.1 冷却水系统分类 .....            | 309        |
| 16.4.2 冷却构筑物 .....              | 310        |
| 16.4.3 循环冷却水系统的阻垢 .....         | 310        |
| 16.4.4 循环冷却水系统的缓蚀 .....         | 311        |
| 16.4.5 循环冷却水的冷却处理 .....         | 312        |
| 16.4.6 循环水的水质稳定原理 .....         | 312        |
| <b>第17章 污水自然净化工程 .....</b>      | <b>315</b> |
| 17.1 人工湿地 .....                 | 315        |
| 17.1.1 湿地系统 .....               | 315        |
| 17.1.2 人工湿地概念 .....             | 315        |
| 17.1.3 人工湿地特点 .....             | 316        |
| 17.1.4 人工湿地分类 .....             | 316        |
| 17.1.5 人工湿地组成 .....             | 316        |
| 17.1.6 人工湿地去除污染物机理 .....        | 317        |
| 17.1.7 人工湿地处理工艺系统 .....         | 318        |
| 17.1.8 发展趋势 .....               | 319        |
| 17.1.9 人工湿地在应用中存在的问题及解决办法 ..... | 320        |
| 17.2 稳定塘 .....                  | 321        |
| 17.2.1 概述 .....                 | 321        |
| 17.2.2 特点 .....                 | 321        |
| 17.2.3 稳定塘的种类和功能 .....          | 321        |
| 17.2.4 稳定塘的应用 .....             | 323        |
| 17.2.5 稳定塘的规划设计 .....           | 323        |
| <b>参考文献 .....</b>               | <b>326</b> |

# 第1篇 水污染防治工程技术

城市污水与生产废水中的污染物是多种多样的，往往需要采用几种方法的组合，才能处理不同性质的污染物与污泥，达到净化的目的与排放标准，经济有效地完成处理任务。

根据处理任务的不同，可将废水处理系统分为三级处理。一级处理有时也叫机械处理，主要去除较大的悬浮物，采用的分离设备依次为格栅、沉砂池和沉淀池。截留于沉淀池的污泥可进行污泥消化或其他处理，条件许可时，出水可排放于水体或用于废水灌溉。二级处理也叫生化处理或生物处理，是在一级处理的基础上根据需要再进行生物化学处理。二级处理的对象是废水中的胶体态和溶解态有机物，采用的设备有生物曝气池（或生物滤池）和二次沉淀池，产生的污泥经浓缩后进行厌氧消化或其他处理，出水可排放或用于灌溉。三级处理的主要对象是残留的污染物和营养物质（氮和磷）及其他溶解物质，所采用的方法有化学絮凝、过滤等。三级处理为了回用（如用作工业用水）时，其去除对象还包括废水中的细小悬浮物、难生物降解的有机物、微生物等，可能采用的方法有吸附、离子交换、反渗透、消毒等。

各种工业废水的水质千差万别，其处理要求也极不一致，因此，很难形成一种像城市生活污水那样的典型处理系统或流程。生产废水的处理流程，随工业性质、原料、成品及生产工艺的不同而不同，具体处理方法与流程应根据水质与水量及处理的对象，经调查研究或者试验后决定。一般说来，工业废水处理系统具有以下几方面的特征：一般的处理程序是澄清和回收，毒物处理，再用或排放；往往形成循环用水系统或接续用水系统；在排水系统中，水质控制的要求依排放标准而定；在废水再用系统中，则依用水设备对水质的要求而定。

废水处理的基本方法就是采用各种技术和手段，将废水中所含的污染物质分离去除，回收利用，或将其转化为无害物质，使得水净化。现代水污染防治工程技术，按照原理可以分为物理处理法、物理化学处理法、化学处理法以及生物化学处理法等。

## 第1章 物理处理法

物理处理法就是利用物理作用除去废水的漂浮物、悬浮物和油污等，同时从废水中回收有用物质的一种简单水处理法。

物理处理法处理废水过程中，污染物的化学性质不发生变化。方法有如下几种。

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。

离心分离法，其本身是一种处理单元，使用设备有离心分离机、水旋分离器等。

筛滤截留法，有栅筛截留和过滤两种处理单元，栅筛截留使用格栅、筛网，过滤使用砂滤池、微孔滤机等。

此外，物理处理法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。

用物理处理法去除水中悬浮物（特别是细小的悬浮物）的工艺中常用到混凝法以使物理处理效率得以提高。

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。

下面重点介绍废水处理工艺中应用最为广泛的沉淀与气浮、过滤等几种物理处理法的原理和技术。

## 1.1 沉淀与气浮

固液分离过程从原理上讲，主要分为两大类：一是液体受限制，固体在某些力，如重力、离心力、浮力的作用下流动，造成两相分离；二是液体流动，固体受到某种限制，如筛网、滤料、膜等，造成两相分离。显然，前者取决于固体与液体之间的密度差，后者的前提是必须具有过滤介质。下面主要论述前一类固液分离过程。

废水中许多悬浮固体的密度比水大，因此，在水中它们可以自然地下沉，利用这一原理进行的废水固液分离过程称为沉淀。

废水的气浮固液分离是向废水中注入大量微气泡，使其与废水中固体物质黏附形成密度小于水的气浮体，在浮力作用下上浮至水面而达到固液分离。

### 1.1.1 沉淀

沉淀就是液体中的固体或悬浮物因自身质量和密度的关系沉积到容器底部，从液相中产生一个可分离的固相的过程，或是从过饱和溶液中析出难溶物质的过程。沉淀作用表示一个新的凝结相的形成过程，或由于加入沉淀剂使某些离子成为难溶化合物而沉积的过程。

废水中的悬浮物质可在重力的作用下沉淀去除。这种物理过程简便易行，效果良好，是废水处理的重要技术之一。

#### 1.1.1.1 沉淀类型

按照水中悬浮颗粒的浓度、性质及其絮凝性能的不同，沉淀可分为四种类型。

第一类为自由沉淀。当悬浮物质浓度不高时，在沉淀的过程中，颗粒之间互不碰撞，呈单颗粒状态，各自独立地完成沉淀过程。典型例子是砂粒在沉砂池中的沉淀以及悬浮物浓度较低的废水在初沉池中的沉淀过程。

第二类为絮凝沉淀。一般发生在水中悬浮颗粒的浓度不高，但在沉淀过程中各悬浮颗粒之间产生互相聚合作用，颗粒之间相互聚集增大，加快沉降，沉淀的轨迹呈曲线形状。在整个沉淀过程中，颗粒的密度与形状以及沉速也随之变化。经过化学混凝的水及生活污水在初沉池的后期、活性污泥法二沉池初期沉淀过程即属絮凝沉淀的典型形式。

第三类为区域沉淀（或称成层沉淀，拥挤沉淀）。当悬浮物质浓度大于  $500\text{mg/L}$  时，在沉淀过程中，相邻颗粒之间互相妨碍、干扰，沉速大的颗粒也无法超越沉速小的颗粒，各自保持相对位置不变，并在聚合力的作用下，颗粒群结合成一个整体向下沉淀，与澄清水之间形成清晰的液固界面。沉淀显示为界面下沉。典型例子是二沉池下部的沉淀过程及浓缩池开始阶段。

第四类为压缩沉淀。一般发生在高浓度的悬浮颗粒的沉降过程中，由于悬浮颗粒的浓度很高，颗粒相互之间已挤集成团块状结构，互相接触，互相支承，沉降过程只是这种团块状结构的进一步压缩，下层颗粒间的液体是由于受到上层呈团块状颗粒的重力作用下才被挤出界面，固体颗粒被浓缩。活性污泥在二沉池污泥斗中的浓缩过程以及在浓缩池中污泥的浓缩过程即属于这一类。

#### 1.1.1.2 自由沉淀现象

当固体颗粒静止处于静水中时，它受到两个力的作用：一是它本身的重力，方向向下；二是水对它的浮力，方向向上。如果固体颗粒的密度比水大，那么它所受的重力将比浮力大，由于这一富余重力的推动，颗粒就会自然地向下沉淀。开始沉淀时，颗粒呈加速度下沉，但颗粒一经开始运动，它就会受到与运动速度相反方向的阻力作用，该阻力由运动速度产生并与运动速度正相关，即速度增加，阻力增大。当颗粒下沉速度加速到某一值，使颗粒所受阻力与富余的重力相等时，颗粒便会以此时的下沉速度匀速下沉，直至完成整个沉淀

过程。

为求得颗粒在静水中的自由沉淀速度，需要做出下列假定：颗粒形状为球形；颗粒处在无限液体中，即其他颗粒和容器壁对其下沉不产生影响；自由沉淀速度是指匀速时的最终沉淀速度。

自由沉淀可用牛顿第二定律表述，推导可得下式，即斯托克斯公式。

$$u = \frac{\rho_g - \rho_y}{18\mu} g d^2 \quad (1-1)$$

式中， $u$  为颗粒沉降速度， $\text{m/s}$ ； $\rho_g$  为颗粒的密度， $\text{kg/m}^3$ ； $\rho_y$  为液体的密度， $\text{kg/m}^3$ ； $\mu$  为液体的黏滞度， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ； $g$  为重力加速度， $\text{m/s}^2$ ； $d$  为颗粒的直径， $\text{m}$ 。

从该式可知：颗粒沉速  $u$  的决定因素是  $\rho_g - \rho_y$ ，当  $\rho_g - \rho_y < 0$  时， $u$  呈负值，颗粒上浮； $\rho_g - \rho_y > 0$  时， $u$  为正值，颗粒下沉； $\rho_g - \rho_y = 0$  时，颗粒物在水中随机，不沉不浮。沉速  $u$  与颗粒的直径平方成正比，所以增大颗粒直径  $d$ ，可大大地提高沉淀（或上浮）效果。 $u$  与  $\mu$  成反比。

由于废水中颗粒非球形，故不能直接用于工艺计算，需要加非球形修正。

沉淀池是应用沉淀作用去除水中悬浮物的一种构筑物。沉淀池在废水处理中广为使用。

### 1.1.1.3 理想沉淀池

理想沉淀池（图 1-1）的三种假定是：（1）污水在池内呈推流式水平流动，沿水流方向任意横断面上任意一点的水流速度均等于  $v$ ；（2）入口断面  $AB$  处污水中悬浮颗粒的浓度和粒度分布均匀，悬浮颗粒的水平流速等于水流流速  $v$ ，悬浮颗粒处于自由沉淀状态，沉降速度  $u$  固定不变；悬浮颗粒沉到池底即认为被除去。

颗粒下沉运动轨迹为  $u$  和  $v$  的矢量和，即斜率为  $u/v$  的斜线。下沉速度为  $u$ ，颗粒水平速度  $v = \text{水速}$ 。由此可得去除率为： $u/v = h/H$ （相似三角形）。设池宽  $= B$ ，长  $= L$ ，高  $= H$ ，对沉速  $= u_0$  的颗粒，从  $o$  点进入沉淀区后，将沿着斜线  $ox'$  到达  $x'$  点而被除去；凡是具有沉速  $u \geq u_0$  的颗粒在未达到  $x'$  点之前都能沉于池底而被除去；凡是速度  $u < u_0$  的颗粒则不能一概而论：对于一部分靠近水面的颗粒将不能沉于池底，并被水流带出池外，一部分靠近池底的颗粒能沉于池底而被除去。由图 1-1： $o'x'$  以上具有  $u_0$  的颗粒随水流出池外； $o'x'$  以下具有  $u_0$  的颗粒则沉于池底。所以，对于水深为  $H$ ，宽为  $B$ ，沉降区池长  $L$ ，水平面积为  $A$ ，处理水量为  $Q$  的理想沉淀池，由图 1-1 中相似三角形得出： $u_0/u = H/L$ ， $h/H = u/v$ ，则：

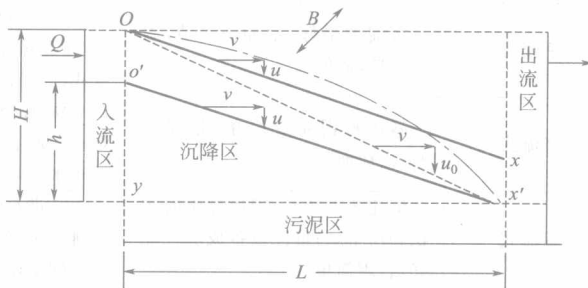


图 1-1 理想沉淀池颗粒沉降示意

$$u_0 = \frac{H}{L} u = \frac{HuB}{LB} = \frac{Q}{A}$$

即

$$u_0 = Q/A = q \quad (1-2)$$

式中， $q$  为表面负荷或过流率， $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ，是单位沉淀池面积在单位时间内所能处理的水量。表面负荷（过流率）在数值上等于可从废水中全部分离的最小颗粒的沉速  $u_0$ 。

$q$  越小，具有沉速  $u \geq u_0$  的颗粒占悬浮固体总量的百分数越大。即去除率越高。

沉降效率仅为沉淀池表面积的函数，而与水深无关。当沉淀池容积为定值时，池子越浅，则  $A$  值越大，沉淀效率越高，此即浅池沉淀原理。

由式(1-2)可求得池的面积，进而可求得沉淀池的尺寸。

实际沉淀过程不可能是理想状态的，水的流动一般处于紊流状态。雷诺数  $Re > 500$ ，所以  $q$  值要予修正： $q = (1/1.75 \sim 1/1.25)u_0$ ，沉淀时间  $t$  也相应延长， $t = (1.5 \sim 2.0) t_0$ 。

1.1.1.4 沉淀池类型

沉淀池有各种不同的用途，如在曝气池前设初沉池可以降低污水中悬浮物含量，减轻生物处理负荷；在曝气池后设二沉池可以截留活性污泥。此外，还有在二级处理后设置的化学沉淀池，即在沉淀池中投加混凝剂，用以提高难以生物降解的有机物、能被氧化的物质和产色物质等的去除效率。

沉淀池按工艺布置的不同，可分为初沉池和二沉池。初沉池是一级污水处理厂的主体处理构筑物，或作为二级污水处理厂的预处理构筑物设在生物处理构筑物的前面，处理的对象是悬浮物质（SS，约可去除 40%~55% 以上），同时可去除部分  $BOD_5$ （约占总  $BOD_5$  的 20%~30%，主要是悬浮性  $BOD_5$ ），可改善生物处理构筑物的运行条件并降低其  $BOD_5$  负荷。初沉池中沉淀的物质称为初次沉淀污泥；二沉池设在生物处理构筑物（活性污泥法或生物膜法）的后面，用于沉淀去除活性污泥或腐殖污泥（指生物膜法脱落的生物膜），它是生物处理系统的重要组成部分。初沉池、生物膜法及其后的二沉池 SS 总去除率为 60%~90%， $BOD_5$  总去除率为 65%~90%；初沉池、活性污泥法及其后的二沉池的 SS 和  $BOD_5$  总去除率分别为 70%~90% 和 65%~95%。

按水流形式划分，沉淀池可分为平流式沉淀池、竖流式沉淀池、辐流式沉淀池和斜流式沉淀池，它们的技术特征见表 1-1。

表 1-1 不同沉淀池的特点及适用条件

| 池型  | 优点                                | 缺点                                    | 适用条件                    |
|-----|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| 平流式 | 沉淀效果好；耐冲击负荷；施工容易；造价低              | 配水不易均匀；多斗式构造复杂，排泥操作不方便，造价高；链带式刮泥机维护困难 | 适用于地下水位高的大中小型污水处理厂      |
| 竖流式 | 静压排泥系统简单；排泥方便；占地面积小               | 池深池径比值大，施工较困难；耐冲击负荷能力差；池径大时布水不均匀      | 适用于地下水位低的小型污水处理厂        |
| 辐流式 | 沉淀效果较好；周边配水时容积利用率高；排泥设备成套性能好、管理简单 | 中心进水时配水不易均匀；机械排泥系统复杂、安装要求高；进出配水设施施工困难 | 适用于地下水位高、地质条件好的大中型污水处理厂 |
| 斜流式 | 沉淀效果效率好；停留时间短；占地面积小；维护方便          | 构造比较复杂；造价较高                           | 适用地下水位低的小型污水处理厂         |

(1) 平流式沉淀池。由进出水口、水流部分和污泥斗三个部分组成。池体平面为矩形，进口设在池长的一端，一般采用淹没进水孔，水由进水渠通过均匀分布的进水孔流入池体，进水孔后设有挡板，使水流均匀地分布在整個池宽的横断面。沉淀池的出口设在池长的另一端，多采用溢流堰，以保证沉淀后的澄清水可沿池宽均匀地流入出水渠。堰前设浮渣槽和挡板以截留水面浮渣。水流部分是池的主体。池宽和池深要保证水流沿池的过水断面布水均匀，依设计流速缓慢而稳定地流过。池的长宽比一般不小于 4，池的有效水深一般不超过 3m。污泥斗用来积聚沉淀下来的污泥，多设在池前部的池底以下，斗底有排泥管，定期排泥。平流式沉淀池多用混凝土筑造，也可用砖石圬工结构，或用砖石衬砌的土池。平流式沉淀池构造简单，沉淀效果好，工作性能稳定，使用广泛，但占地面积较大。若加设刮泥机或对密度较大的沉渣采用机械排除，可提高沉淀池工作效率。

(2) 竖流式沉淀池。池体平面为圆形或方形。废水由设在沉淀池中心的进水管自上而下排入池中，进水的出口下设伞形挡板，使废水在池中均匀分布，然后沿池的整个断面缓慢上升。悬浮物在重力作用下沉降入池底锥形污泥斗中，澄清水从池上端周围的溢流堰中排出。

溢流堰前也可设浮渣槽和挡板，保证出水水质。这种池占地面积小，但深度大，池底为锥形，施工较困难。

(3) 辐流式沉淀池。池体平面多为圆形，也有方形的。直径较大而深度较小，直径为20~100m，池中心水深不大于4m，周边水深不小于1.5m。废水自池中心进水管入池，沿半径方向向池周缓慢流动。悬浮物在流动中沉降，并沿池底坡度进入污泥斗，澄清水从池周溢流入出水渠。

(4) 斜板或斜管沉淀池。斜板、斜管沉淀池统称为浅池沉淀池，是建立在浅池沉淀原理基础上的，主要就是在池上加设斜板或斜管，可以大大提高沉淀效率，缩短沉淀时间，减小沉淀池体积。

设有一理想沉淀池，池容 $V$ ，表面积 $A$ ，池长 $L$ ，宽 $B$ ，高 $H$ ，处理水量 $Q$ ，停留时间 $t$ ，沉降速度 $u_0$ 。则 $V=Qt$ ， $H=u_0 t$ ， $Q=u_0 V/H=u_0 A$ 。

由浅池沉淀原理可知：沉淀效率仅为沉淀池表面积的函数，而与水深无关。当沉淀池容积为定值时，池子越浅则 $A$ 值越大，沉淀效率越高。所以，如果将沉淀池按高度分隔为 $n$ 层，即分隔为 $n$ 个高度为 $h=H/n$ 的浅层沉降单元，在 $Q$ 不变的条件下，颗粒的沉降深度由 $H$ 减小到 $H/n$ ，则沉淀池中可被完全除去的颗粒沉速范围由原来的 $u \geq u_0$ 扩大到 $u \geq u_0/n$ ，沉速 $u < u_0$ 的颗粒中能被除去的分率也由 $u/u_0$ 增大到 $nu/u_0$ ，从而使该沉淀池悬浮颗粒去除率比原来增大了 $n$ 倍。显然，分隔的浅层数越多，去除率也相应提高。根据这一原理可制成斜板或斜管沉淀池。

斜板或斜管沉淀池有斜板、斜管易结垢，长生物膜，产生浮渣，维修工作量大，管材、板材寿命低等缺点，如图1-2所示。

此外，近年来正在研究试验的还有周边进水沉淀池、回转配水沉淀池以及中途排水沉淀池等。

沉砂池是污水处理厂用于分离密度较大的无机颗粒（如泥沙、煤渣等，它们的相对密度约为2.65）的沉淀池，一般设于泵站、倒虹管前，以便减轻无机颗粒对水泵、管道的磨损；也可设于初沉池前，以减轻沉淀池负荷及改善污泥处理构筑物的处理条件。常用的沉砂池有平流沉砂池、曝气沉砂池、多尔沉砂池和钟式沉砂池等。

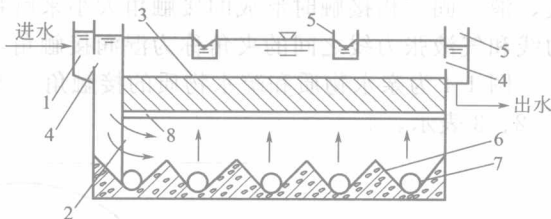


图 1-2 斜板、斜管沉淀池

1—配水槽；2—整流墙；3—斜板、斜管；4—淹没孔口；  
5—集水槽；6—污泥斗；7—穿孔排泥管；8—阻流板

## 1.1.2 气浮

气浮法是固液分离或液液分离的一种技术。利用高度分散的微小气泡作为载体黏附于废水中的悬浮污染物，使其浮力大于重力和阻力，从而使污染物上浮至水面，形成泡沫，然后用刮渣设备自水面刮除泡沫，实现固液或液液分离的过程称为气浮。气浮分离的对象是乳化油及疏水性悬浮物等颗粒性杂质固体，包括相对密度小于1的悬浮物、油类和脂肪，并用于污泥的浓缩。

### 1.1.2.1 表面张力与界面能

由图1-3可知，由于液体的表面分子所受的分子引力和内部分子所受的分子引力的不同，使液体的表面分子受到不均衡的力，要把表面分子拉向内部，力图缩小液体的表面积。

很明显液体表层分子比内部分子具有多余的能量称为表面能或界面能（ $W$ ），计算式如下：

$$W = \delta S \quad (1-3)$$