



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

水污染控制工程

孙体昌 娄金生 ○ 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪高等教育环境工程系列规划教材

水污染控制工程

主 编 孙体昌 娄金生
副主编 章北平 胡锋平
参 编 丁忠浩 谢庆林 吴永强
 薛云波 程爱华
主 审 王建龙 何绪文



机械工业出版社

本书是根据全国高等学校环境工程专业教材编审委员会制定的教学基本要求,为适应环境工程专业本科生水污染控制工程的教学需要而编写的教材。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书按照“从宏观到微观”的编排方式,对常用废水处理方法的工艺过程、主要设施或设备的构造、理论基础、影响因素及应用实例进行了介绍,在内容选择上力求做到既反映废水处理的传统方法,又反映近些年出现的新技术。全书共5篇24章,第一篇:废水收集、输送和表征,包括废水收集与输送、废水性质表征;第二篇:废水的物理和物理化学处理,包括预处理、重力分离、过滤、气浮、吸附和离子交换、膜分离、其他物理和物理化学法;第三篇:废水化学处理,包括中和、化学沉淀、电解与氧化还原、高级氧化技术和消毒;第四篇:废水的生物处理,包括好氧悬浮生长生物法、好氧附着生长生物法、厌氧生物法、生物脱氮除磷、生物处理新技术及自然条件下生物处理;第五篇:废水的资源化及废水处理残余物的处理与处置,包括资源化技术和案例、污泥的处理与处置。

本书配有相应的电子课件,可免费向各位教师提供。课件下载地址:www.cmpedu.com。

本书可以作为环境工程专业的本科生水污染控制工程的教材,也可以供其他从事废水处理的技术和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水污染控制工程/孙体昌,娄金生主编. —北京:
机械工业出版社, 2009. 6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 21
世纪高等教育环境工程系列规划教材

ISBN 978-7-111-27072-0

I. 水… II. ①孙…②娄… III. 水污染—污染
控制—高等学校—教材 IV. X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 071681 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:马军平 版式设计:张世琴 责任校对:申春香

封面设计:王伟光 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 32.5 印张 · 803 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-27072-0

定价: 53.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379720

封面无防伪标均为盗版

前 言

水污染控制工程是环境工程专业的主干课程，对环境工程专业本科生的培养起着非常重要的作用。

本书的内容包括了常用废水处理方法的原理、工艺和主要设备或设施的原理和结构、主要工艺设计的步骤、内容和设计方法。在内容选择上力求做到既反映废水处理的传统方法，又反映近些年出现的新技术。在内容编排和编写方式上，本书对各种处理方法和工艺采取“从宏观到微观”的方法逐步深入介绍，首先使读者对处理方法有一个宏观全面的认识，然后逐步深入分析其中的微观机理和影响因素，这样安排更符合人们认识客观事物的规律，能使读者对每一种处理技术和处理工艺有深刻的认识和掌握，在语言上尽量做到通俗易懂，便于自学。本书在编写过程中对部分插图进行了重新绘制，有些图进行了完善。本书的重点在于使读者能够深入、全面地理解水污染控制工程中所涉及的工艺和技术的原理，所用设备、设施的工作原理和基本结构，对于工艺设计仅进行了简单介绍，因此把每一种工艺的设计放在每章的最后，仅列出了设计的步骤、内容和方法。为便于读者理解每一种工艺或设备、设施在实际中的应用情况，力求对每种处理工艺都附有典型的案例，特别是对废水资源化部分，列举了较多的案例，供读者参考。

本书共分六篇 24 章，编写分工如下：孙体昌 1、3、9、10、18 章，娄金生 2、20、21、22 章，章北平 17、19 章，胡锋平 8、24 章，丁忠浩 11、23 章，谢庆林 12、15 章，吴永强 6、7 章，薛云波 13、14、16 章，程爱华 4、5 章。全书由孙体昌负责统稿。

清华大学王建龙教授和中国矿业大学何绪文教授担任本书主审。两位主审对教材的初稿进行了逐字逐句的审阅，提出了许多建设性的意见，对本书的出版起了关键作用，在此对两位主审表示衷心感谢。

本书力求给读者提供认识水污染控制工程的另一种方式，但由于水污染控制工程所涉及的内容非常广泛，而教材的篇幅有限，难免有不妥之处，请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

| | | | |
|------------------|----|------------------|-----|
| 第1章 绪论 | 1 | 5.7 沉淀池的改进 | 78 |
| 1.1 世界与中国的水资源概况 | 1 | 5.8 隔油池的改进与强化 | 82 |
| 1.2 水循环及水污染 | 3 | 5.9 工程设计 | 83 |
| 1.3 废水及其分类 | 4 | 第6章 混凝 | 91 |
| 1.4 废水水质管理 | 5 | 6.1 混凝剂的配制和投加 | 92 |
| 第一篇 废水收集、输送和表征 | 11 | 6.2 对混合的要求及混合设备 | 94 |
| 第2章 废水的收集与输送 | 12 | 6.3 絮凝设备 | 95 |
| 2.1 排水系统的体制及其选择 | 12 | 6.4 常用混凝剂和助凝剂 | 103 |
| 2.2 废水的收集与输送系统 | 15 | 6.5 混凝机理 | 107 |
| 2.3 管道及管道系统上的构筑物 | 18 | 6.6 影响混凝效果的主要因素 | 111 |
| 2.4 管道系统设计简介 | 21 | 6.7 絮凝池的设计 | 113 |
| 第3章 废水性质表征 | 22 | 6.8 混凝的优缺点及应用实例 | 117 |
| 3.1 物理指标 | 22 | 第7章 过滤 | 119 |
| 3.2 无机化学组分 | 26 | 7.1 深层过滤的工艺流程 | 119 |
| 3.3 有机化学组分 | 31 | 7.2 普通快滤池的结构 | 121 |
| 3.4 生物组分 | 36 | 7.3 过滤机理 | 123 |
| 第二篇 废水的物理和物理化学处理 | 39 | 7.4 深层过滤水力学特性 | 125 |
| 第4章 预处理 | 40 | 7.5 影响过滤效果的主要因素 | 128 |
| 4.1 格栅 | 40 | 7.6 滤池反冲洗 | 131 |
| 4.2 筛网 | 45 | 7.7 其他形式的滤池 | 133 |
| 4.3 调节池的位置 | 46 | 7.8 滤池的主要设计指标 | 138 |
| 4.4 水量调节池 | 47 | 第8章 气浮 | 141 |
| 4.5 水质调节池 | 49 | 8.1 电解气浮法 | 141 |
| 4.6 水质水量调节池 | 53 | 8.2 散气气浮法 | 142 |
| 4.7 工程设计 | 55 | 8.3 溶气气浮法 | 144 |
| 第5章 重力分离 | 57 | 8.4 气浮池 | 146 |
| 5.1 沉砂池 | 57 | 8.5 气浮法的基本原理 | 148 |
| 5.2 沉淀池 | 62 | 8.6 气浮法在废水处理中的应用 | 150 |
| 5.3 隔油池 | 67 | 第9章 吸附和离子交换 | 153 |
| 5.4 沉降理论 | 68 | 9.1 吸附操作与设备 | 153 |
| 5.5 沉降试验和沉降曲线 | 71 | 9.2 吸附剂及其再生 | 158 |
| 5.6 理想沉淀池 | 75 | 9.3 吸附的基本理论 | 163 |
| | | 9.4 影响吸附过程的因素 | 165 |
| | | 9.5 离子交换操作与设备 | 168 |

| | | | | | |
|-------------|-------------------|------------|-------------|--------------------------|------------|
| 9.6 | 离子交换剂及再生 | 173 | 16.1 | 消毒方法和手段 | 277 |
| 9.7 | 影响离子交换效果的因素 | 178 | 16.2 | 消毒剂及作用机理 | 278 |
| 9.8 | 吸附和离子交换应用案例 | 179 | 16.3 | 影响消毒剂作用效果的因素 | 279 |
| 第10章 | 膜分离 | 184 | 16.4 | 氯消毒 | 280 |
| 10.1 | 渗析与电渗析 | 184 | 16.5 | 二氧化氯消毒 | 287 |
| 10.2 | 反渗透 | 190 | 16.6 | 消毒后水中余氯的去除 | 289 |
| 10.3 | 纳滤与超过滤 | 203 | 16.7 | 臭氧消毒 | 291 |
| 10.4 | 膜的污染及清洗 | 204 | 16.8 | 紫外光照射消毒 | 294 |
| 10.5 | 膜分离法的特点及应用实例 | 206 | 第四篇 | 废水的生物处理 | 299 |
| 第11章 | 其他物理和物理化学法 | 209 | 第17章 | 好氧悬浮生长生物法 | 300 |
| 11.1 | 吹脱与汽提 | 209 | 17.1 | 基本工艺与分类 | 301 |
| 11.2 | 热过程法 | 211 | 17.2 | 悬浮生长系统反应器 | 302 |
| 11.3 | 磁分离技术 | 217 | 17.3 | 悬浮生长生物法的基本原理 | 307 |
| 第三篇 | 废水化学处理 | 221 | 17.4 | 悬浮生长系统生物反应动力学 | 315 |
| 第12章 | 中和 | 222 | 17.5 | 曝气系统 | 320 |
| 12.1 | 酸性废水与碱性废水中和 | 223 | 17.6 | 氧转移基本原理 | 330 |
| 12.2 | 药剂中和 | 224 | 17.7 | 悬浮生长生物法工艺模式 | 334 |
| 12.3 | 过滤中和 | 229 | 17.8 | 悬浮生长法的工艺选择与设计 | 347 |
| 12.4 | 应用案例 | 232 | 17.9 | 工程案例 | 349 |
| 第13章 | 化学沉淀 | 234 | 第18章 | 好氧附着生长生物法 | 351 |
| 13.1 | 基本原理 | 234 | 18.1 | 附着生长生物反应器 | 351 |
| 13.2 | 氢氧化物沉淀法 | 235 | 18.2 | 附着生长法反应过程分析 | 366 |
| 13.3 | 硫化物沉淀法 | 237 | 18.3 | 附着生长法的运行管理 | 369 |
| 13.4 | 碳酸盐沉淀法 | 238 | 18.4 | 附着生长法工艺设计 | 371 |
| 13.5 | 铁氧体沉淀法 | 239 | 18.5 | 工程案例 | 374 |
| 13.6 | 钡盐沉淀法 | 240 | 第19章 | 厌氧生物法 | 376 |
| 13.7 | 卤化物沉淀法 | 240 | 19.1 | 厌氧生物处理工艺的分类与发展 | 376 |
| 13.8 | 应用案例 | 241 | 19.2 | 厌氧生物反应器 | 377 |
| 第14章 | 电解与氧化还原 | 242 | 19.3 | 厌氧生物法原理 | 387 |
| 14.1 | 电解 | 242 | 19.4 | 厌氧生化过程动力学 | 392 |
| 14.2 | 化学氧化法 | 246 | 19.5 | 厌氧过程影响因素与控制条件 | 394 |
| 14.3 | 化学还原法 | 258 | 19.6 | 厌氧法的特点 | 399 |
| 第15章 | 高级氧化技术 | 261 | 19.7 | 工程案例 | 399 |
| 15.1 | 湿式空气氧化法 | 261 | 第20章 | 生物脱氮除磷 | 402 |
| 15.2 | 催化湿式氧化法 | 264 | 20.1 | 生物脱氮 | 402 |
| 15.3 | 超临界水氧化法 | 267 | 20.2 | 生物除磷 | 405 |
| 15.4 | 光化学氧化法 | 269 | 20.3 | A ² /O 生物脱氮除磷 | 407 |
| 15.5 | 高级氧化技术的应用 | 274 | 20.4 | A-B 法生物脱氮除磷 | 409 |
| 第16章 | 消毒 | 277 | | | |

| | | | | | |
|---------------|--|------------|-------------------|--------------------------|------------|
| 20.5 | SBR 生物脱氮除磷 | 410 | 23.1 | 废水资源化政策法规与 对策措施 | 452 |
| 20.6 | 氧化沟生物脱氮除磷 | 412 | 23.2 | 废水资源化技术分类 | 457 |
| 20.7 | 工程案例 | 415 | 23.3 | 无机工业废水处理与利用 | 460 |
| 第 21 章 | 生物处理新技术 | 418 | 23.4 | 有机工业废水处理与利用 | 467 |
| 21.1 | A ² /O 生物脱氮除磷的改进工艺 .. | 418 | 23.5 | 小区生活污水的处理与利用 | 478 |
| 21.2 | SBR 脱氮除磷的改进工艺 | 421 | 23.6 | 洗浴废水处理与利用 | 482 |
| 21.3 | OCO 脱氮除磷工艺 | 429 | 第 24 章 | 污泥处理与处置 | 484 |
| 21.4 | 短程硝化-厌氧氨氧化组合 脱氮新工艺 | 431 | 24.1 | 污泥的分类、性质与产生量 | 484 |
| 21.5 | 膜生物反应器 | 435 | 24.2 | 污泥处理处置的基本方法 | 489 |
| 第 22 章 | 自然条件下生物处理 | 439 | 24.3 | 污泥的浓缩 | 490 |
| 22.1 | 稳定塘 | 439 | 24.4 | 污泥的稳定 | 495 |
| 22.2 | 土地处理 | 444 | 24.5 | 污泥的调理 | 498 |
| 22.3 | 工程案例 | 448 | 24.6 | 污泥的脱水 | 500 |
| 第五篇 | 废水的资源化及废水处理 残余物的处理与处置 | 451 | 24.7 | 污泥的干燥与焚烧 | 503 |
| 第 23 章 | 资源化技术与案例 | 452 | 24.8 | 污泥的最终处置与利用 | 507 |
| | | | 参考文献 | 510 | |

第 1 章

绪 论

水是一种宝贵的自然资源，工业生产、农业灌溉、交通运输和日常生活都需要水。水也是生命赖以生存的重要条件，没有水就没有生命。人和水是分不开的，成年人体内含水量占体重的 65%，人体血液中 80% 是水。如果人体减少水分 10% 便会引起疾病，减少 20%~22% 就要死亡。本章介绍世界和中国水资源的状况、水的循环、废水的分类及废水的水质管理问题。

1.1 世界与中国的水资源概况

1.1.1 世界的水资源及其特点

水是地球上最丰富的化合物，约占地球外层 5km 地壳质量的 50%，覆盖着地球 71% 的表面积，其平均深度达到 3.8km，总量约有 $13.6 \times 10^8 \text{ km}^3$ 。按上述条件，地球上是不应该缺水，人类也不应该为用水而担忧。但由于水在地球上的存在状态和分布不均匀，而且能被人类利用的水量很小，只占总水量的极少一部分。地球上水的分布大致如下：不能被直接利用的海水占总水量的 97.2%，陆地上的淡水又有大部分是以两极的冰川及高山顶上的冰盖的形式存在。因此，目前人类能够直接利用的只是河水、淡水湖及浅层地下水，三者储量之和约为总水量的 0.2%，约为 $3 \times 10^6 \text{ km}^3$ ，所以人类能够直接利用的淡水储量是极其有限的。地球上水资源存在状态及其存在状态分布见表 1-1。

表 1-1 地球上水资源及其存在状态分布

| 存在状态 | 体积/ km^3 | 体积分数(%) |
|--------------|-------------------|---------------|
| 地表水: | 230250 | 0.0174 |
| 其中:淡水湖 | 125000 | 0.0092 |
| 咸水湖 | 104000 | 0.0081 |
| 河流 | 1250 | 0.0001 |
| 地表以下的水: | 8407000 | 0.6191 |
| 其中:土壤及渗透水 | 67000 | 0.0049 |
| 地下水(800m 以内) | 4170000 | 0.3071 |
| 深层地下水 | 4170000 | 0.3071 |

(续)

| 存在状态 | 体积/km ³ | 体积分数(%) |
|----------|--------------------|----------------|
| 其他水: | 1349219000 | 99.3635 |
| 其中:冰帽及冰川 | 29200000 | 2.15 |
| 大气 | 13000 | 0.001 |
| 海洋 | 1320000000 | 97.212 |
| 生物体内 | 6000 | 0.0005 |
| 总计 | 1357856250 | 100.00 |

由于世界各地的水文、气象条件的差异,地区和季节的不同,水的分布也极不均衡。上述原因的综合结果,造成一些地区严重缺水。再者,地球上可用的水资源是基本不变的,而随着时代的前进、工农业生产的发展和人类生活水平的提高,全世界的用水量迅速增加。同时,许多水资源污染严重,致使水资源越来越紧张。据统计,世界上现有43个国家缺水。

1.1.2 我国的水资源及其特点

1. 我国水资源的特点

(1) 总量大,人均量少 我国年均降水总量约为 $6 \times 10^{12} \text{m}^3$,其中约有56%的水量为植物蒸腾或地表水分蒸发所消耗,只有44%形成径流。全国河川年均径流量约为 $2.6 \times 10^{12} \text{m}^3$,加上冰川融雪和地下水补给,初步估算全国水资源总量约为 $2.7 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。

与世界各国相比,我国河川年径流总量居第6位,但如按人口平均占有径流量计算,每人年平均约为 2400m^3 ,只相当于世界人均占有量的1/4,居世界第88位,因此,我国水资源并不丰富。目前全国600多个城市中,400多个缺水,其中100多个严重缺水,而北京、天津等大城市目前的供水已经到了非常严峻的时刻。与此同时,由于人口的增长,到2030年我国人均水资源占有量将从现在的 2200m^3 降至 $1700 \sim 1800 \text{m}^3$,需水量接近水资源可开发利用量,缺水问题将更加突出。

(2) 水量在地区上分布不平衡 我国地域辽阔,地形复杂,南北、东西气候差异大,因此水资源的分布特点与水量的分布和降水分布基本一致,呈东南多、西北少,由东南沿海地区向西北内陆递减,分布呈现不均匀的状态。

(3) 水量在时程上分配不均匀 由于受季风气候影响,降水量在年内分配不匀,年际变化很大。我国大部地区冬春少雨,多春旱;夏秋多雨,多洪涝。全年降水多集中在夏季。此外,年际变化也很大,丰水年与枯水年降水量可相差5~6倍之多。

(4) 水土资源组合不相适应 东北、西北、黄淮河流域径流量只占全国总量的17%,但土地面积却占全国的65%;长江以南江河径流量占全国的83%,土地面积仅占35%。此外,对水资源的开发利用各地也很不平衡,南方多水地区水的利用程度较低,北方少水地区地表水、浅层地下水开发利用程度较高。

2. 我国水污染现状

据国家环保总局环境公报数据显示,2004年我国废水排放总量为482.4亿t,其中工业废水排放量为221.1亿t,生活污水排放量为261.3亿t。化学需氧量排放量为1339.2万t,与2003年基本持平,其中工业排放量为509.7万t,生活排放量为829.5万t;氨氮排放量为133.0万t,比2003年略有增加,其中工业排放量为42.2万t,生活排放量为90.8万t。

2004年,近海大部分海域水质良好,但局部海域污染加重。远海海域水质保持良好状况。2004年七大水系的412个水质监测断面中,I~Ⅲ类、Ⅳ~Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的断面比例分别为:41.8%、30.3%和27.9%,七大水系总体水质与去年基本持平,珠江、长江水质较好,辽河、淮河、黄河、松花江水质较差,海河水质差,属重度污染,劣Ⅴ类水质的断面比例为56.7%,与2003相比水质无明显变化。主要污染指标为氨氮量、五日生化需氧量、高锰酸盐指数。水资源的不足,加上地表水、浅层地下水的污染又减少了可供利用水资源的数量,形成了所谓的污染性缺水,造成了水荒。水污染对人体健康及工农业生产的持续发展带来了很大的危害。

1.2 水循环及水污染

自然界的水不是静止不动的,而是在自然和人为作用下不断运动的,这种运动的过程称为水的循环。水循环包括自然循环和社会循环两种。

1.2.1 水的自然循环

地球表面上的水在太阳能和地球表面热能的作用下,不断被蒸发成为水汽而进入大气,水汽上升到高空形成云。在大气环流的作用下云在空中移动,在一定的条件下又凝聚成水,在重力的作用下以降水的形式落到地面或海洋中。降落在陆地上的水又分两路流动,一路在地面上汇成江河或溪流,称为地表径流;另一路渗入地下成为地下水,称为地下渗流。这两路水流又相互交叉转换,最后注入海洋。同时,也有一部分水经地面的蒸发和植物吸收后的蒸腾作用又进入大气,这个周而复始的不断进行的过程称为水的自然循环,如图1-1所示。水在地球上是不循环的,这种循环可以为地球表面调节气候,也有净化环境的作用。

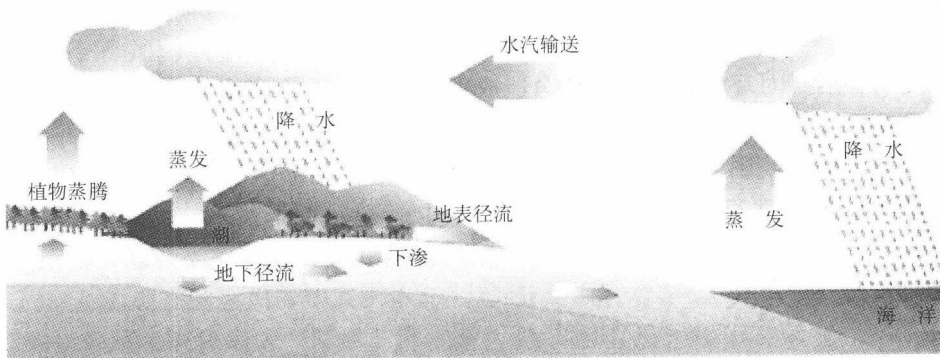


图1-1 水的自然循环示意图

形成水循环的内因是水在通常环境条件下易于在气态、液态和固态之间转化的特性;外因是太阳辐射和重力作用,它们提供了水的物理状态变化和运动所需的能量;地球上的水分分布广泛,储量巨大,是水循环的物质基础。由于地球上太阳辐射的强度不均匀,造成不同地区的水循环的情况也不相同。如在赤道地区太阳辐射强度大,降水量一般比中纬度地区多,尤其比高纬度地区多。影响水循环的因素包括自然因素和人为因素。自然因素主要是气象条件和地理条件,气象条件包括大气环流、风向、风速、温度、湿度等,地理条件包括地形、

地质、土壤、植被等。

1.2.2 水的社会循环及水污染

水的社会循环是指人类社会为了满足自身生活和生产需要,从各种天然水体中取用大量的水,这些水经过使用后大部分又排入自然水体的过程。水的社会循环不断改变着水的自然环境,越来越强烈地影响水循环的过程。人类构筑水库,开凿运河、渠道、河网,以及大量开发利用地下水等,改变了水原来的径流路线,引起水的分布和水的运动状况的变化。农业的发展,森林的破坏,引起蒸发、径流、下渗等过程的变化。城市和工矿区的大气污染和热岛效应也改变着本地区的水循环状况。环境中许多物质的交换和运动是依靠水循环来实现的。

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。这里需要区分水和水体,水是化学物质的名称,而水体不仅包括水,还包括其中的溶解物质、悬浮物、底泥、水生生物等,实际上是一个水生生态系统。或者说水体是江河湖海、地下水、冰川等的总称,也可以认为水体是被水覆盖的自然地段的自然综合体。水污染的原因分为自然和人为两种,自然原因产生的污染一般比较少,主要是人类活动所产生的污染。人类生产和消费活动排出的污染物通过不同的途径进入水循环。人类排放的工业废水和生活污水,使地表水或地下水受到污染,最终使海洋受到污染;矿物燃料燃烧产生并排入大气的二氧化硫和氮氧化物,进入水循环能形成酸雨,从而把大气污染转变为地面水污染和土壤污染;大气中的颗粒物也可通过降水等过程返回地面;土壤和固体废物受降水的冲洗、淋溶等作用,其中的有害物质通过径流、渗透等途径参加水循环而迁移扩散。

水在循环过程中,沿途挟带的各种有害物质,可通过水的稀释、扩散降低含量而实现无害化,这是水的自净作用。但也可能由于水的流动交换而迁移,造成其他地区或更大范围的污染。

水体受污染后,对环境和生态系统会造成很大的危害,严重时会使水体生态平衡遭到破坏,物质循环中止,水生动物因急性或慢性中毒而死亡,甚至危及人的生命,并使经济严重受损。据专家预测,我国每年由于水污染造成的直接经济损失约150亿元,1985—2000年水污染造成的损失达到2735亿元。

1.3 废水及其分类

水在社会循环中,由于种种原因丧失了使用价值而外排,这种废弃外排的水称为废水。导致水丧失使用价值的根本原因是水中混入了各种污染物。这里需要区分“废水”和“污水”。严格地讲,“废水”是指废弃外排的水,强调废弃的一面;“污水”是被污染物污染了的水,强调其污染物含量较高。实际上有相当数量的废水中污染物的含量并不很高,如冷却水。

废水的分类方法较多,从不同的角度有不同的分类方法。据废水来源可分为生活废水和工业废水两大类;据污染物的化学类别又可分为无机废水与有机废水;按工业部门或产生废水的生产工艺分类,可分为焦化废水、冶金废水、制药废水、食品废水、造纸废水、电镀废

水等。实际使用中应根据不同的条件使用不同的分类方法。

这里还需要区分水污染和废水污染。水污染是指水体受到废水、废气、固体废弃物中污染物的污染,此时水体是受害者,但造成水体污染的主要原因是废水。而废水污染是指废水对水体、大气、土壤或生物体的污染,废水是产生污染的原因。

1.4 废水水质管理

所谓废水水质管理是指采取一定的技术措施,使废水中污染物的含量降低到规定水平。基本目标有三种:①满足废水再用(循环再用或接续再用)对水质的要求;②满足有价值物质回收工艺对水质的要求;③满足废水排放对水质的要求。本节主要介绍废水的水质、控制废水污染的基本途径和常用的废水处理办法。

1.4.1 水质指标与水质标准

1. 水质指标

水质是指水和其中所含的污染物共同表现出来的物理、化学和生物学的综合特征。水质指标则具体表示出其中污染物的种类和数量,是判断水质的具体参数。由于废水中成分复杂,水质指标有多种,将在第3章中详细论述。

2. 水质标准

水质标准是针对水的不同用途所确定的水的相应的物理、化学和生物学的质量标准。目前中国颁布的水质标准包括水环境质量和污水排放标准两类。

水环境质量标准主要是针对某种特定的用途的水所规定的必须达到的水质指标,如《地表水环境质量标准》、《景观娱乐用水水质标准》、《海水水质标准》等,具体标准请参考有关书籍。GB 3838—2002《地面水环境质量标准》规定了地表水水域功能分类、水质要求、标准的实施和水质监测等,适用于我国江、河、湖泊、水库等具有使用功能的地面水水域。其中根据地面水水域使用目的和保护目标,按地表水功能的高低依次划分为五类:Ⅰ类主要适用于源头水、国家自然保护区;Ⅱ类主要适用于集中式生活饮用水水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、稚鱼幼鱼的索饵场等;Ⅲ类主要适用于集中式生活饮用水水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区;Ⅳ类主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区;Ⅴ类主要适用于农业用水区及一般景观要求水域。标准中对每一类水质都规定了具体的水质指标。比Ⅴ类水质还要差的水称为劣Ⅴ类,劣Ⅴ类就是已经失去自净功能,没有任何价值的水。

废水排放标准是指排入到环境中的废水必须达到的水质指标。我国于1973年颁布了第一个环境保护标准,GB J4—1973《工业“三废”排放标准》。该标准仅对19种污染物进行了规定,废水中控制的污染物有重金属、酚和氰等有害物质。1988年对上述标准进行修改,发布了GB 8978—1988《污水综合排放标准》,其中控制的污染物增加到40种,并从仅控制工业污染源扩大到含生活污水在内的所有污染源。1996年再次修订推出了GB 8978—1996《污水综合排放标准》,规定凡有国家行业水污染物排放标准的执行行业标准(如造纸工业、纺织染整业、肉类加工业等),其他一切污水排放均执行综合排放标准。该标准规定将污染物控制的项目总数增加到169项,其中包括增加25项难降解有机污染物和放射性物质,强

调对难降解有机污染物和致癌、致畸、致突变的“三致”物质等优先控制原则。

1.4.2 控制废水污染的途径

要想解决废水的污染问题，需要从多方面入手，不能仅仅依靠技术手段。应从以下几方面考虑：

1. 改革生产工艺，严格控制污染源

从工艺设备上进行改革，把污染消除在生产过程中，这是最根本的防治污染的方法。在确定生产工艺时，既要考虑技术上的先进性和实用性，还要考虑对环境的影响程度。尽量选用环境污染小的工艺和设备，以减少废水或废水中的污染物。如电镀采用无氰电镀，印染用无水印染等。这要考虑多方面的因素，视具体情况来决定，有时很难完全满足要求，且有时是互相矛盾的。这不仅取决于工艺本身，还与当地的环境容量有关系。决策时需要牺牲一些经济利益，来保证环境效益。要提高水的循环利用率，对于污染物含量较低的水应尽量再利用，也可以根据工艺中对水质的不同要求，尽量对水进行串级使用。

2. 加强废水处理技术的研究

尽管采用了低污染的工艺，但完全不排放废水的工艺是很少的，因此研究经济实用的废水处理技术也是减少污染的重要途径。理想的废水处理技术是可以回收废水中污染物的技术。污染物排入水体会造成污染，但如能回收，则变成一种资源。

3. 对不同的废水要分别处理，即要先处理后排放

虽然生活废水中的污染物的种类和含量与地区和时间有关，但总体说来，其成分相对固定。对工业废水，由于生产工艺的不同，其成分变化很大，不同污染物所采用的处理方法不同。如果把不同的工业废水混合起来，会增加处理的难度，有时由于污染物之间的相互作用，可能会使污染更加严重。所以最好是先经适当的处理再排放。当然，有时为了满足用生物法处理工业废水的需要，加入一定的生活废水也是必要的，所以要具体情况具体分析。

4. 加强有关法律法规的制定和实施

用法律的手段促进减少污水的排放是重要的手段之一。如制定各种排放标准、排污收费措施等。我国已建立起相对比较完备的有关环境保护的法律法规体系，但在执行过程中还存在一定的问题，应进一步加强法律法规的监督执行。

5. 加强宣传教育，提高全民的环境意识

这也是减少废水排放的重要方面。任何事情最终都要由人去做，因此提高人的素质是最重要的任务。如增加节水意识可在相当程度上减少废水的排放。

1.4.3 废水处理方法简介

废水处理是环境工程的分支，它包含了理论和实际工程中的基本原理，用来解决废水处理和回用过程中的问题。废水处理的最终目标就是保护公众健康，并使之与环境、经济、社会和政治相协调。为了做好废水处理应具备以下几方面的知识：①废水的组成和表征方法；②当废水在环境中扩散时，这些组分对环境造成的影响；③在处理过程中这些组分的转变以及最终形态；④用来去除或改变废水中污染物的处理方法和各自的特点；⑤废水处理过程所产生的残渣的处理与处置方法。以上内容在本书中各章都有较详细的论述。此处仅就废水处理方法的分类进行简述。

处理废水的方法很多，其分类方法也不同，常用的有两种。第一种是按污染物从废水中除去的方式分类，可分为三种：①分离处理，通过各种方法使污染物从废水中分离出来，一般不改变污染物的化学本性；②转化处理，通过化学或生物化学的方法，使废水中的污染物转化为无害的物质，或是转化为易于分离的物质然后再分离；③稀释处理，这种方法既不改变污染物的化学特性也不把污染物分离，而是通过稀释混合降低污染物的含量，但污染物的总量和性质不变，这是一种消极处理方法。

第二种分类方法是按废水处理的程度，或说按处理的阶段来分类。一般按处理的程度不同可把废水处理分为一级处理、二级处理和三级处理。一级处理也叫初级处理，该过程主要除去废水中的大颗粒悬浮物及漂浮物，很难达到排放标准。二级处理一般可以除去细小的或呈胶体态的悬浮物及有机物，有时也可以除去氮、磷等营养物质，一般能达到排放标准。三级处理也称高级处理，进一步除去废水中在二级处理后残留的胶体及溶解态污染物，达到回用的目的。各级处理可以去除的主要污染物见表 1-2。

表 1-2 废水处理的级别及主要去除的污染物

| 处理级别 | 去除的主要污染物 |
|------|---|
| 一级处理 | 去除废水中可能给处理过程及辅助系统带来维修及操作问题的布屑、棍棒、漂浮物、砂粒、悬浮物和浮油 |
| 二级处理 | 去除可生物降解的可溶性有机物、细小的悬浮固体，有时包括去除氮、磷等富营养物质。在常规的二级处理中一般还包括消毒 |
| 三级处理 | 去除二级处理之后的残余悬浮固体、难去除的有机物、可溶性无机物。消毒也是三级处理的一部分。正常生物处理后残余的溶解或悬浮物质 |

按第二种分类方法，废水处理常用的方法概述如下。

1. 废水的一级处理方法

1) 重力分离方法：依靠重力的作用，使污染物分离，又分为沉降分离和浮上分离。沉降法用于除去水中密度比水大的污染物，上浮法用于除去水中密度比水小的漂浮物。

2) 阻力截留法：利用筛网等与悬浮固体之间几何尺寸的差异截留固体悬浮物，包括格栅、筛网和粒状介质截留法。

3) 稀释法：用没有污染物的或污染物含量低的水与污染物含量高的水相互混合而降低污染物含量的方法。

4) 中和法：利用酸碱中和原理来消除废水中酸或碱污染物的方法。

废水的一级处理方法较简单，经一级处理的废水多数情况下达不到排放标准，需要进一步处理。

2. 废水的二级处理方法

1) 气浮法：利用废水中的污染物的疏水性，或是添加某种药剂使废水中的污染物变得疏水，然后向废水中通入气泡，疏水的污染物就会吸附到气泡上，而随气泡浮到水面上形成泡沫层，把泡沫层与水分离即可实现污染物与水的分离。

2) 混凝法：向废水中投加电解质或混凝剂或通过机械搅拌，使废水中呈胶体状态存在的污染物互相凝聚，形成大而重的絮凝体，然后再用重力沉降法分离。

3) 萃取法: 利用分配定律的原理, 用一种与水不互溶, 而对废水中某些污染物溶解度大的有机溶剂, 从废水中分离除去污染物。

4) 氧化还原法: 向废水中投加氧化剂或还原剂, 将有害的污染物氧化或还原为无害或危害较小的物质。

5) 电解法: 利用电化学基本原理, 使废水中的污染物通过电解过程在阴、阳极上分别发生还原或氧化反应转化为无害物质, 以实现废水净化。

6) 生物法: 利用水中的微生物来氧化分解污染物, 生物法又可分为好氧生物法和厌氧生物法。好氧生物法是在水中有溶解氧存在的条件下, 利用好氧微生物和兼性微生物降解污染物。厌氧生物法是在无溶解氧的条件下, 利用厌氧微生物和兼性微生物降解废水中污染物。生物法是目前应用较广的二级废水处理方法, 特别是城市废水, 几乎都是用生物法处理。

7) 吹脱法: 使空气与废水充分接触, 使溶解在废水中的气体或易挥发性污染物扩散到空气中而除去。

8) 汽提法: 利用蒸汽直接加热废水至沸腾, 挥发性污染物随水蒸气一起逸出而除去。当污染物含量高时, 可把蒸汽冷凝后回收污染物。

3. 废水的三级处理方法

(1) 吸附法 使废水与固体吸附剂接触, 分子或离子状态的污染物吸附于吸附剂上, 然后分离水与吸附剂即可实现污染物与水的分离。一般吸附剂再生后可以循环使用。

(2) 膜分离法 按作用原理的不同, 膜分离法可分为超过滤、电渗析和反渗透三种。超过滤也称为精密过滤, 它也是利用过滤介质除去废水中污染物的方法, 与一般过滤不同的是超过滤所用的介质孔径很小, 一般为 $1 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 。这种方法可以除去水中的胶体物质或大分子的污染物。电渗析是使废水通过由阴离子、阳离子交换膜交替排列组成的通道, 在直流电场的作用下, 离子有选择性地透过不同的膜, 某些通道中污染物被浓缩, 另一些通道中的废水则得到净化。反渗透法是在废水表面施加压力, 使水分子透过半透膜, 而污染物不能透过, 从而分离或浓缩污染物。

(3) 磁过滤法 依靠磁场的作用, 用高梯度磁过滤器截留磁性的污染物, 或投加磁种, 使非磁性的污染物吸附于磁种上, 然后再分离。

(4) 离子交换法 使废水与固体离子交换剂接触, 离子态污染物与离子交换剂上的同号离子互相交换, 从而分离出废水中的有害离子。

以上介绍的是废水处理的常用方法, 随着技术的进步, 仍有一些新的方法出现。另外, 以上分类也是相对的, 有些方法在不同的条件下可以用在不同的处理级别中。

废水处理中通常把用物理方法为主去除污染物的方法称为单元操作 (Unit Operations), 以化学或生物反应来去除污染物的处理方法称为单元过程 (Unit Processes)。在实际应用中, 多数情况下单独用一个单元操作或单元过程很难达到处理目的, 需要把不同的单元操作和单元过程按一定的顺序组合起来, 构成一个处理工艺才能达到处理的目的。

1.4.4 废水处理的典型流程

废水处理的典型工艺一般包括图 1-2 所示的几个主要处理单元。对于城市废水, 由于其性质变化相对较小, 所以不同城市所产生废水的主要处理单元相对固定, 但各处理单元所用

的具体方法不同。由于工业废水的性质非常复杂，不同废水所采用的处理工艺也变化较大，故需要根据具体废水的性质确定。

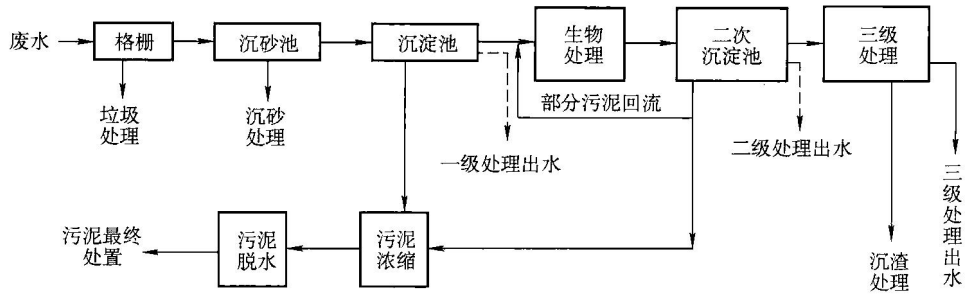


图 1-2 废水处理的典型工艺

