

水工艺处理 技术与设计

第二版

韩剑宏 主 编

李卫平 李玉梅 副主编



化学工业出版社

水工艺处理 技术与设计

第二版

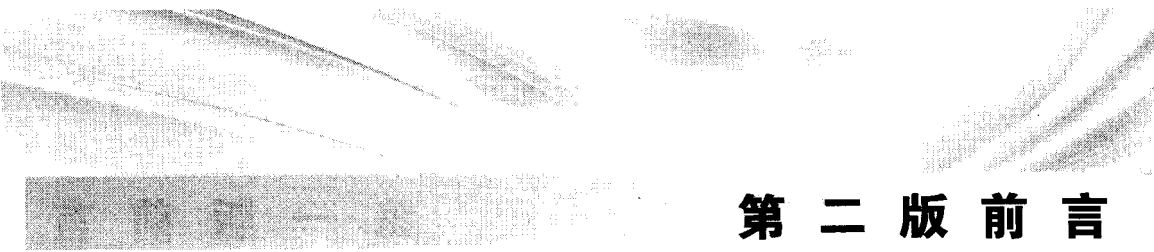
韩剑宏 主 编

李卫平 李玉梅 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·



第二版前言

本书的第一版出版后，在国内高校获得了较为广泛的应用。近年来，保护环境、可持续发展的理念已深入人心，污水处理与控制从理论和技术上都有了突飞猛进的发展，特别是“十一五”规划的结束与“十二五”规划的实施，国家对节能减排也有了更新的要求。本书重点论述了污水的处理方法及研究进展，增补了水处理工艺的新技术及目前的研究方向、发展趋势，增加了新型的物理处理方法与设计、生物处理技术与工艺，强化了低碳节能的污水处理手段与应用，强调国家对环境保护及污水处理达标排放的要求，处理工艺的选择、优化与节能减排的低碳生活密切相关，这些都在第二版书中得以体现。在第一版书中存在一些不足，给读者带来许多不便，因此，对原书做了较大的补充和完善，以克服上述缺点，并充分体现了目前的研究进展。

本书由内蒙古科技大学的韩剑宏（第四章、第七章、第八章）任主编，李卫平副教授（第六章）、李玉梅副教授（第三章）任副主编，张连科（第五章）、张铁军（第一章、第二章第二～五节）、华南理工大学的刘派（第二章第一节）等同志参与编写工作，刘派、马学玲和马莉担任了部分资料的收集与整理工作。

由于我们的水平有限，本书还可能有不妥和疏漏之处，热忱希望读者提出批评和意见。

编者
2011年10月



第一版前言

我国是世界上人均占有水资源较少的国家，而且水资源分布极不均匀，人均年占有量仅相当于世界平均值的 $1/4$ 。随着经济的发展，工农业及居民生活用水量的需求也在不断增大，污水量急剧增多，加剧了我国水资源紧张的局面。

污水处理及其资源化是解决水资源严重不足、环境污染的有效措施。本书结合我国水处理工艺的实际情况，在介绍基础理论和技术的基础上，总结和汇编了水工艺中新的处理手段，分章、节说明了水处理单元的原理、分类、适用范围和条件，阐明了新技术、新方法、新设备、技术发展方向及前沿研究。在介绍基础理论和技术的基础上，本书还总结和汇编了一些典型的新的处理工艺，文字深入浅出，内容丰富，具有很强的可操作性。

本书由内蒙古科技大学韩剑宏教授（第二篇第六章），济南大学于衍真教授、邱立平博士（第一篇），北京科技大学李天昕博士（第二篇第三章），内蒙古科技大学甄树聪（每章设计实例，第二篇第四章），内蒙古科技大学张凯（第三篇第八章）、李卫平（第二篇第五章、第七章），河北省环境科学研究院孙京敏博士（第三篇第九章），包头钢铁公司的林庚博士（第二篇第一章）编写。图表由胡彩霞、刘海亮、班娜完成，韩剑宏统编。内蒙古科技大学的陈义胜教授、刘中兴教授、延克军教授、于玲红博士、陈莉荣副教授、山东农业大学的赵星明教授对本书也提出了宝贵意见。

本书注重吸收同行新的研究成果，以使读者能够跟踪、运用水处理的先进技术及工程方法。遵循少而精的原则，力求层次分明、重点突出、概念清晰、注重实用。

因编写人员学术水平和经验有限，加之时间仓促，书中缺点和疏漏之处在所难免，敬请读者、同行批评指正。

编 者
2007 年 2 月 18 日

目 录

第一章 水环境的污染与防治

第一节	水资源	1
第二节	水污染	2
第三节	水体污染防治及污染物总量控制	3

第二章 水污染与自净

第一节	废水	5
第二节	污染物与污染指标	5
第三节	废水水质与控制标准	10
第四节	水体自净	11
第五节	废水处理系统	13

第三章 物理处理技术

第一节	格栅	15
第二节	沉砂池	18
第三节	沉淀	21

第四章 活性污泥法

第一节	活性污泥法基本原理	35
第二节	活性污泥净化反应影响因素与主要设计、运行参数	38
第三节	反应动力学基础	42
第四节	运行方式与工艺参数	44
第五节	氧化沟	47
第六节	厌氧好氧交替法	52
第七节	AB 法	62
第八节	间歇式活性污泥法 (SBR)	65
第九节	曝气的理论基础	75
第十节	曝气系统与空气扩散装置	77
第十一节	工艺设计	78
第十二节	系统的维护管理	82

第五章 生物膜法

第一节	概述	86
第二节	生物滤池	87
第三节	生物转盘	95
第四节	接触氧化法	98

第五节 生物流化床..... 100

第六章 厌氧处理技术

第一节 厌氧消化池..... 104

第二节 UASB 110

第三节 厌氧滤池..... 113

第四节 厌氧反应器的新发展..... 115

第五节 污泥处理..... 119

第七章 污水的生物脱氮除磷

第一节 概述..... 132

第二节 废水生物脱氮工艺流程..... 133

第三节 废水生物除磷技术特征..... 137

第四节 废水生物脱氮除磷工艺..... 140

第五节 废水生物脱氮新工艺..... 150

第八章 深度处理方法与回用

第一节 混凝沉淀..... 160

第二节 过滤..... 166

第三节 活性炭吸附..... 177

第四节 氧化处理..... 182

第五节 膜法..... 187

第六节 微波技术..... 201

第七节 消毒..... 204

参考文献

第一章 水环境的污染与防治

第一节 水资源

存在于地球上的气态、液态和固态的水，构成了自然地理环境的重要组成部分——水圈和水环境。

水是分布最广而又十分重要的自然资源。水资源是指可直接被人类利用、能不断更新的天然淡水，主要指陆地上的地表水和地下水的浅层部分。与人类生活和生产密切相关的生活用水、工业用水、农业用水不能大规模取用海洋咸水，只能取用淡水。

水圈（Watershed）包括水的自然圈（地下1000m，地上10km）和社会圈（人类活动范围）。地球上的水经常处于循环中，包括自然循环和社会循环。由自然力促成的循环，称为水的自然循环（Hydrological cycle），它是水的基本运动方式。海水蒸发为云，随气流迁移到内陆，遇冷气流凝为雨雪而降落，称为降水。一部分水沿地表流动，汇成江河湖泊，称为地表径流；另一部分降水渗入地下，形成地下径流。流动过程中，地表水和地下水相互补给，最终复归大海。这种海洋→内陆→海洋的循环，称为大循环。小的自然地理区域内的循环，称为小循环。生物体内的水，也进行着吸收→蒸发→吸收的内外循环。

地球上的水约为 $1.36 \times 10^{18} \text{m}^3$ ，覆盖着近 $3/4$ 的地球表面。评价水资源是否丰富，可以用径流量的利用率作为标准。径流量被利用的百分比越小，说明水资源越丰富，径流利用率不足10%的为淡水资源丰富；10%~20%间的为淡水资源不足；超过20%的为淡水资源严重不足。

同时，地球上的水也在不停地循环运动，进行着相互之间的补给。但水环境中的淡水资源却很少，仅占总水量的2.53%，而目前能供人类直接取用的淡水资源仅占0.22%，加之自然水源的季节变化和地区差异及自然水体遭到的普通污染，致使可供直接取用的优质水量日显短缺，难以满足人们生活和工农业生产日益增长的要求。

因此，水是十分短缺的自然资源，我国的淡水资源人均不过 2545m^3 ，不到世界人均值的 $1/4$ ，按国际上一般人口的标准，人均年拥有水量在 $2000 \sim 10000 \text{m}^3$ 时，将出现干旱季节的用水现象；人均年拥有水量在 $1000 \sim 2000 \text{m}^3$ 时，会出现缺水现象；少于 1000m^3 时，出现严重缺水的水荒局面。在300多个大中城市中有180个城市缺水，其中50多个城市严重缺水。水资源的地区分布不均匀，使我国的北方和西北地区出现了资源型缺水；水资源的时间分布不均匀，加剧了水资源格局的时续不均衡性。

但水资源是可以再生的（Renewable），但自然再生的周期很长，如海洋需要2500年，湖泊需要17年，常用的水仅需几个小时。水循环的特征表现为水量平衡，解决水资源短缺的主要途径之一就是人工再生。

由人的社会需要而促成的循环，称为水的社会循环。它是直接为生活和生产服务的。取之自然而直接供生活和生产（特别是工业生产）使用的水，称给水；使用后因丧失原有使用价值而废弃外排的水，称废水。为保证给水能满足用户的使用要求（水量、水质和水压）而采取的

整套工程设施，称给水工程。为保证废水（有时也包括部分雨水）能安全排放或再用而采取的整套工程设施，称排水工程。给水工程和排水工程构成了水的社会循环，完善的给水、排水系统是现代城市和工业区所必须具备的基础条件。图 1-1 反映了社会循环与自然循环的关系。

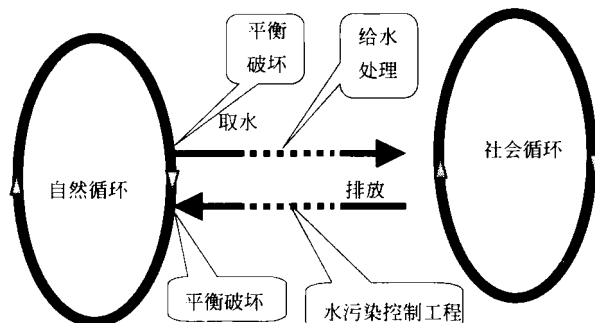


图 1-1 社会循环与自然循环的关系

第二节 水 污 染

水在自然循环中，由非污染环境进入水中的化学物质，称为自然杂质或本底杂质；由污染环境进入水中的化学物质，称为污染物。进入水体（地面径流和地下径流）中的污染物质超过了水体自净能力或纳污能力，而使水体丧失规定的使用价值时，称为水体污染或水污染。

污染分点源（point source pollution）和面源（nonpoint source pollution）污染，前者是自特定地点如管线或放流口排出的污染负荷；后者是在一相当大面积的污染源中有多个排放源。

主要污染源有以下几种。

- ① 向自然水体排放的各类废水。
- ② 向自然水体直接倾倒的固体污染物，垃圾堆放场所的渗出液和淋洗雨水。
- ③ 大气污染地区的酸雨及其他淋洗降水。
- ④ 大气中有害的沉降物及水溶性气体。
- ⑤ 淋洗植被后溶入了化肥和农药的（降水）径流。
- ⑥ 航道中船舶的漏油、废水及固体废物。

最普遍最重要的污染源仍为排放的各类废水。从一定意义上说，只要严格控制好排放废水的水质，水环境的污染就能得到基本的治理。

废水排放引起的水体污染的基本类型如下。

（1）需氧型污染 大多数有机物（及少数无机物）被水体中的微生物吸收利用时，要消耗水中的溶解氧（DO）。DO 降低到一定程度，水中的生物（如鱼类）就无法生活。DO 耗尽后，水质就腐败，发臭变黑，恶化环境。这种由于废水中的有机物而引起的水体污染，称为需氧型污染或有机型污染。我国绝大多数水的污染属于此类型。

（2）毒物型污染 废水中的有机毒物（如酚、农药等）、无机毒物（如汞、砷、氰等）及放射性物质等排入水体后，就会使水生物受害中毒，通过食物链危害人体。当饮用或接触此类污水，直接危害人体健康。这种因毒物排入而造成水体污染，称为毒物型污染。毒物型污染一般发生于排放口附近的水域。开展研究的主要内容如下。

① 区域环境铅健康危害的风险评价研究。研究铅从环境到人体的传输和暴露特征，探索铅中毒发生的环境条件和变化趋势，定量评铅污染的来源，特别注重各种差异的研究，

分析铅中毒剂量-效应的区域差异，为制定防治铅中毒的相关标准和法规提供科学依据。

② 环境铅污染致病机理研究。从分子和细胞水平探讨铅的致病机理，深入研究铅影响儿童智力发育的机制，直接观察铅引起的儿童脑结构和功能的变化及其与儿童血铅浓度的关系。

③ 高效驱铅新制剂的应用研究。模拟人体情况，研究驱铅新制剂对铅的吸附作用，探讨排铅机理；通过动物实验，探讨制剂对铅中毒大鼠的排毒作用及对身体的保护作用；进行毒理学研究和临床实验，开发出新型防治铅中毒的高效药物并推广应用。

铅中毒问题已经发展成为普遍关注的社会问题，必须靠多部门综合协调。相关研究问题紧密围绕国家需要和科学研究前沿，从环境-机体-细胞分子水平把环境因素与铅致病机理紧密联系，把环境健康风险研究、机理研究与防治铅中毒药物开发应用相结合，是跨学科的交叉和结合，应组织医学、环境科学、化学、生物学等多部门协作完成，从而更有效地推进预防儿童铅中毒的工作。

(3) 富营养型污染 含氮和磷多的废水一旦排入水环境，就会大量滋长藻类及水生植物。长期的富营养化过程会使一个水体衰老化，由杂草丛生演变为沼泽。富营养型污染已成为当今世界普遍关注的环境问题之一。

(4) 感官型污染 废水中的许多污染物能使人感到很不愉快，颜色、臭味、泡沫、浑浊就属于此类污染现象，它对旅游环境的影响十分严重。

(5) 其他 浮油、酸碱、病原体、热水等污染物能引起各具特色的水体污染，造成不同的污染危害。

第三节 水体污染防治及污染物总量控制

一、水体污染防治

为防治水污染，保护环境，我国于1984年11月1日起施行《水污染防治法》，通过一系列行政的、法律经济和工程配套措施，建立完善的监督管理系统和机构，制定水环境质量和污染物排放标准，规定法律责任。

防止地表水污染的主要措施有：禁止向水体排放油类、酸液、碱液及剧毒废液；禁止在水体清洗装贮过油类或毒物的车辆和容器；禁止将含有汞、镉、铬、铅等的可溶性剧毒废渣向水体排放或不作防渗层而直接埋入地下；禁止向水体倾倒垃圾或其他废弃物；不得向水体排放足以引起热污染的废水；不得向水体排放带有病原体而未经消毒的废水；使用农药要保证安全，不得污染水体；农灌水要符合有关规定；船舶的各类废水必须符合排放标准，不得向水体排泄油污。

防止地下水污染的主要措施为：禁止利用渗井、渗坑、裂隙和溶洞排放含毒废水和带菌废弃物；不得采用无防渗措施的沟渠、池塘输送含毒或带菌废水；开采地下水时，应防止已被污染的潜水渗入地下水，并防止水质差异很大的各层地下水相互渗透；兴建地下工程设施或进行地下勘探及采矿时，应采取防护措施，防止地下水污染；人工回灌补给地下水时，不得恶化地下水水质。

水环境区域性综合防治的工程技术措施如下。

① 严格控制污染源减少排污。采用生产工艺无害化、闭路化和工业用水循环等措施，可以做到少排污甚至不排污。对生产工艺落后致使耗水量较大或生产原料、中间产品选择不佳、污染较重的企业进行技术改造；因管理不当而造成严重污染的企业，则通过加强科学管理以减少污染物的排放量。

② 修建有效的废水处理设施。对于城市污水及与其性质相近的废水，在修建处理厂时，应向区域化、大型化发展。与中、小型废水处理厂相比，大型废水处理厂较经济，管理效率

高，处理效果好。

③ 充分利用水体自净能力。充分利用和增加河流的自净稀释能力是治理污染河流的较为经济有效的措施之一。不少国家通过修筑大坝水库、开辟贮水湖、增加枯水期流量、引水冲污、疏浚河道和河内人工增氧等途径来增加可利用的稀释水量和河水中的 DO，加强自净能力、增大水环境容量并减少治理费用。还可通过修建贮存调节塘，枯水期即其自净容量最小时贮存或调节废水量，减少向自然水体的排污量，使之保持较好的水质状态。

二、实施污染物总量控制的必要性

我国在水污染防治中多年来执行着浓度控制的政策，在一定的经济和技术条件下，实施总量控制，对水环境污染现状的改善确实起到了一定的作用。但没有考虑受纳水体的环境容量。随着废水排放量的增加，污染物总量相应增加，在超出水体自净能力的情况下，导致水体质量下降和水质恶化。而有些单位为满足排污的浓度要求，甚至采用清水稀释污水的做法，不仅增大了排污总量，也使生产成本提高。

实施污染物排放总量控制，宏观上可有效地控制污染，微观上能使企业增强参与意识，积极主动地削减污染物排放量。

三、实施总量控制的适用范围

凡属下列情况者，以实施总量控制路线为宜。

- ① 实行浓度控制，仍不能实现水环境目标时。
- ② 投资欲用于重点污染源治理时。
- ③ 重要水源保护区内存在无法关、停、并、转的老污染源时。
- ④ 流域或上、下游之间，而需要协调污染控制要求及保护标准时。
- ⑤ 开展行业或重点企业技术改造，确定出环境、技术和经济效益俱佳的优先治理方案时。

四、实施总量控制的条件

如具备下列条件，可认为有实施条件。

- ① 完成了排污申报登记，重要污染源的排污总量数据已经核定。
- ② 实施总量控制的目标明确，控制项目、区域、阶段要求清楚。
- ③ 污染源有切实可行的治理措施，有一定的投资金额。
- ④ 在浓度、总量控制的双轨制上已对排污收费和“三同时”政策进行了相应的调整。

五、总量控制最优治理方案的确定

实施总量控制的目的是有效地进行水污染的区域防治，必须建立在已掌握环境容量的基础上，因此，首先要调查研究区域内水体的污染现状和规律，计算出水体的自净容量，即水体对某一污染物在相应水质标准限值时的极限容纳量，进而确定各种污染物的容许排放总量，容许排放总量应小于水体的自净容量，然后对控制区域中的各个污染源，通过对不同治理方案的技术、经济比较，确定出最优排污分配与治理方案。

第二章 水污染与自净

第一节 废 水

在使用过程中由于丧失了使用价值而被废弃外排的水，称为废水。

根据污染物类别的不同，废水分有机废水和无机废水。前者主要含有机污染物，相当一部分具有生物降解性；后者含无机污染物，无生物降解性。

根据毒物的种类不同，还可把废水分为含酚废水、含汞废水等。应当指出，含汞废水仅表明其中的主要毒物是汞，并不意味着其中汞的含量最多，或者汞是唯一的污染物。

还可根据产生废水的工业部门或生产工艺来命名。例如，焦化厂废水和食品厂废水、电镀废水和冷却废水。

第二节 污染物与污染指标

污染物超过环境容量或本底含量就会对水体造成污染。但水体有一定的承受能力，由混合、稀释、扩散、物化、生物等过程分解，降低浓度，使其自净。根据对环境造成危害的不同，废水中的污染物可大致分为物理性污染、酸碱污染、需氧污染物、毒性污染物、营养污染物、生物污染物及其他污染物等，本书以此进行分类。

一、物理性污染物

(一) 固体污染物

固体污染物在常温下呈固态，它分无机物和有机物两大类。

固体物质在水中有三种分散状态：溶解态（直径小于1nm）、胶体态（直径介于1~100nm）、悬浮态（直径>1000nm）。在水处理技术中把胶体微粒的上限扩大到1000~2000nm。水质分析中把固体物质分为两部分：能透过滤膜或滤纸（孔径因材料不同而异，3~10μm）的叫溶解固体（DS）；不能透过者叫悬浮固体或悬浮物（SS），两者合称总固体（TS）。其分析见图2-1。

紊动的水流中，悬浮物能悬浮于水中，但悬浮是有条件的，并具有暂时性，一旦维持悬浮的条件（水的紊动）消失，它就从水中分离出来。相对密度>1的沉入水底，相对密度<1的浮于水面。把前者叫做沉降性悬浮物，后者叫做漂浮性悬浮物。沉降性悬浮物中能在技术操作（一般不大于2小时）内用标准沉降管沉降分离的，叫可沉物（其颗粒大体在10μm左右）；难以沉降分离的，叫难沉物。生活污水中各部分固体的组成见图2-1。

悬浮物是废水的一项重要水质指标。悬浮物的主要危害是造成管道和抽水设备的堵塞、淤积和磨损；造成接纳水体的淤积和土壤空隙的堵塞；降低光的穿透能力，有机悬浮物大量消耗DO，影响水生生物的生长，造成水生生物的呼吸困难；造成给水水源的浑浊；干扰废水处理设备的工作。溶解固体（DS）中的胶体是造成废水浑浊和色度的主要原因。少数废水含有很

高的溶质（主要为无机盐类），对农业和渔业有不良影响。

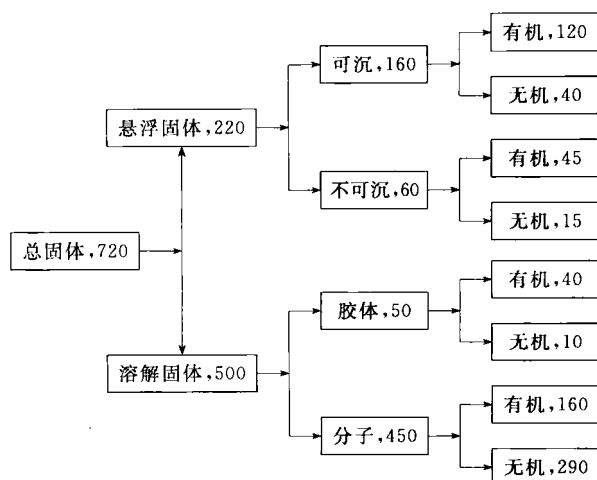


图 2-1 生活污水中各部分固体的组成（单位：mg/L）

由于绝大多数废水中都含有数量不同的悬浮物，因此去除悬浮物就成为废水处理的一项基本任务。

（二）感官污染物

废水中的异色、浑浊、泡沫、恶臭等现象能引起人们感官上的极度不快。对于供游览和文体活动的水体而言，其危害更为严重。各类水质标准中，对色度、臭味、浊度、漂浮物等水质指标做了相应的规定。

（1）温度 废水温度过高的危害，叫做热污染，热污染的危害如下。

- ① 水温增加，DO 减少，鱼类死亡，水体腐败。
- ② 水温增加，使水的物理化学性质发生变化（溶解度、黏度），破坏生物处理过程。
- ③ 水温增加，危害水生物和农作物；加速水体的富营养化过程，细菌、藻类繁殖加快。

（2）色度 生活污水是黑灰色（工业废水颜色差异很大），色度加大，影响透光率，影响光合作用。

（3）臭味 有机物厌氧腐败产生臭味，如氨、胺类、硫化氢等。

（三）酸碱污染物

酸碱污染主要是由无机酸和碱造成的，水质标准中以水质指标 pH 值反映其含量水平。酸性废水的危害主要是腐蚀金属及混凝土结构。碱性废水易产生泡沫，使土壤盐碱化。各种动植物及微生物都有各自适应的 pH 值范围，否则会抑制其生化反应，造成危害，严重时导致死亡。酸碱污染物会引起水质恶化，腐蚀管道，还会造成盐污染，使水无法饮用。

（四）硫酸盐和硫化物污染

大多来源于工业废水，少量来源于生活污水，其危害主要是在水中易形成 H_2S ，对生物有害，不利于污水处理；过多会引起腹泻，缺氧时发生厌氧消化，使水体有臭味。

二、化学性指标

（一）需氧污染物

能通过生物化学（个别情况下还有化学）的作用而消耗水中溶解氧的化学物质，统称为需氧污染物。

无机的需氧污染物为数不多，主要有 Fe 、 Fe^{2+} 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 S^{2-} 、 SO_3^{2-} 、 CN^- 等。

虽然绝大多数有机物为需氧物，但也有一部分有机物不是需氧的。前者称为可生化有机物，后者称为非生化有机物。可生化有机物被微生物分解利用的难易程度不同，因而又分为难降解有机物和易降解有机物。

需氧物对环境水体造成两方面的危害。好氧微生物和兼性微生物在吸收利用需氧物（主要为有机物）的生化过程中，要消耗溶解氧。当消耗量大于补充量时，溶解氧浓度降低。当浓度低于某一限值，水生动物的生活就受到影响。例如，鱼类要求溶解氧的限值是 4mg/L ，如果低则会导致鱼群大量死亡。当溶解氧消耗殆尽时，厌氧微生物和改变了代谢方式的兼性微生物在水中进行厌氧分解。代谢产物中的硫化氢对生物有制毒作用，硫化氢、硫醇和氨等还能散发出刺鼻的恶臭，形成的硫化铁使水色墨黑，还会发生底泥冒泡和泥片泛起，造成水质腐败，严重影响环境卫生和水的使用价值。

需氧物常用水质指标间接表示其含量多少。最常用的指标是生化需氧量（biological-chemical oxygen demand, BOD）、化学需氧量（chemical oxygen demand, COD）和高锰酸盐指数。

BOD 是利用有氧条件下有机物分解都要消耗溶解氧的特点借助微生物来体现的，在水温 20°C 条件下，由于微生物的生化活动，将有机物氧化为无机物所消耗的溶解氧来表示有机物的量，如 BOD_5 、 BOD_{20} 、 BOD_∞ 。指标意义在于可限制水中能被微生物分解的有机物量；可模拟污水在水体流动自净过程中的耗氧规律；判断处理程度。

必须指出，生化需氧的过程很长，具有明显的阶段性，见图 2-2。第一阶段首先把不含氮有机物转化为 CO_2 和 H_2O ，把含氮有机物转化为氨，称为氨化或无机化（CBOD）。参与分解的是异养型微生物。第二阶段，氨依次被转化为亚硝酸盐和硝酸盐，称为硝化（NBOD，图中虚线所示），参与转化的是化能自养型微生物（硝化菌）。生活污水在标准控制温度为 20°C 时的氨化过程历时 10 多天到 20 天。氨化的结果表明，有机物基本上无机化了。有机物在 20 天内消耗的 DO，叫 20 天生化需氧量，用 BOD_{20} 表示。显然，这个测定时间太长了，难以指导生产实践。一般均采用 5 天（ 20°C ）的测定时间，以 BOD_5 表示。各种废水的水质差异很大，其 BOD_{20} 或 BOD_5 值相差悬殊。就某一种废水而言，两者有一个稳定的比值。例如，生活污水的 $\text{BOD}_5 : \text{BOD}_{20} \approx 0.7$ 。

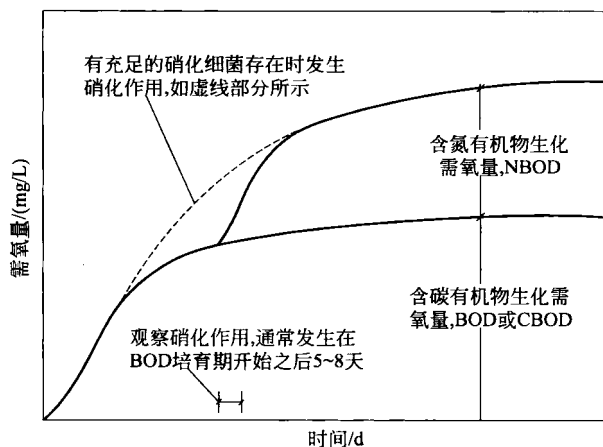


图 2-2 典型废水 BOD 曲线图

BOD 值的缺点表现为时间长，需要 5 天出结果；难降解有机物含量高时，误差较大；水中含有抑制物质或毒物时，影响测定结果。

COD 是在酸性条件下，利用强氧化剂将有机物氧化为 CO_2 和 H_2O 所消耗的氧的量，称为化学需氧量。将强氧化剂折合为氧的当量来表示有机物的量。COD 指标的意义是可氧化全部有机物；检测速度快；重现性好；不受外界干扰因素影响。用化学氧化剂 K_2CrO_7 或 KMnO_4 氧化分解有机物，用与消耗的氧化剂当量相等的氧量来间接表示需氧物的多少，分别称为 COD 和高锰酸盐指数，用 COD_{Cr} 和 COD_{Mn} 来表示。

对于同一水样， $\text{COD} > \text{BOD}_{20} > \text{BOD}_5 > \text{COD}_{\text{Mn}}$ ，见图 2-3。 BOD_5 和 COD 的比值是衡量废水可生化性的一项重要指标，比值愈高，可生化性愈好。一般认为： $\text{BOD}/\text{COD} \geq 45\%$ ，易生化；比值在 $35\% \sim 45\%$ ，可生化；比值在 $25\% \sim 35\%$ ，难生化； $< 25\%$ ，不可生化。

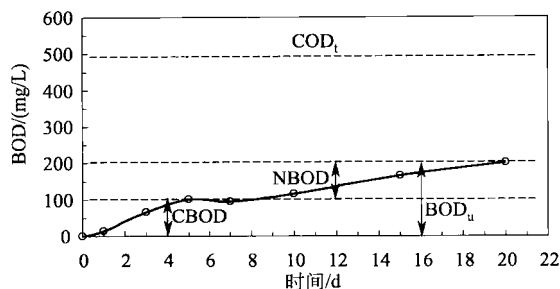


图 2-3 BOD 和 COD 的关系

总有机碳。对于同一污水，一般有 $TOD \geq COD \geq BOD_{20} \geq BOD_5 \geq TOC$ 。

(二) 毒性污染物

废水中能对生物引起毒性反应的化学物质，称毒性污染物。工业上使用的有毒化学物质已超过 10000 种，已成为人们最关注的污染物类别。

毒物对生物的效应有急性中毒和慢性中毒两种。急性中毒的初期效应十分明显，严重时可导致死亡。毒物对鱼类的急性中毒量，常以半数死亡浓度表示，即在 24h 或 48h 内使供试鱼类 50% 致死的毒物浓度。慢性中毒的初期效应很不明显，但长期积累可引起突变、致畸、致癌、致死，甚至引起遗传性畸变。目前，对微量毒物尚缺乏合理的判定标准。

大多数毒物的毒性与浓度和作用时间有关，浓度越大，作用时间越长，致毒后果愈严重。毒物反应与环境条件（温度、pH 值、溶解氧浓度等）和有机物的种类及健康状况有关。毒物是重要的水质指标，各类水质标准中对主要的毒物都规定了限值。

废水中的毒物有三大类：无机化学毒物、有机化学毒物、放射性物质。

1. 无机化学毒物

无机化学毒物分为金属和非金属两类。金属毒物主要为重金属（相对密度大于 4~5）。废水中的重金属主要是汞、铬、镉、铅、锌、镍、钴、锰、钛、钒、钼、锑等，特别是前几种危害更大。在轻金属中，铍是一种重要的毒物。

甲基汞能大量积累于大脑中，引起乏力、末梢麻木、动作失调、精神混乱、疯狂痉挛。 Cr^{6+} 中毒时能使鼻膈穿孔，皮肤及呼吸系统溃疡，引起脑膜炎和肺癌。铅中毒时引起贫血、肠胃绞痛、知觉异常、四肢麻痹。镉中毒时引起皮炎、头疼、呕吐、肺出血、虚脱、肺癌和鼻癌。锌中毒能损伤胃肠等内脏，抑制中枢神经，引起麻痹。铜中毒引起脑病、血尿和意识不清等。

重金属作为毒物具有以下特点：①其毒性以离子状态存在时最为严重；②不能被生物降解，有时还可被生物转化为更毒的物质（如无机汞被转化为烷基汞）；③能被生物富集于体内，带正电荷而与带负电荷胶体黏附，向下游迁移沉积，形成次生污染源而难处理，既危害生物，又能通过食物链危害人体。

重要的非金属毒物有砷、硒、氰、氟、硫（ S^{2-} ）、 NO_2^- 等。砷中毒时能引起中枢神经紊乱，诱发皮肤癌等。硒中毒时能引起皮炎、嗅觉失灵、婴儿畸变、肿瘤。氰中毒时能引起细胞窒息、组织缺氧、脑部受损等，最终可因呼吸中枢麻痹而导致死亡。氟中毒时能腐蚀牙齿，引起骨骼变脆或骨折。硫中毒时，引起呼吸麻痹和昏迷，最终导致死亡。 NO_2^- 能使幼儿产生变性血红蛋白，造成缺氧；与人体内的仲胺生成亚硝胺，具有强烈的致癌作用。

必须指出的是许多毒物元素往往是生物体所必需的微量元素，只是在超过规定标准后才会致毒。

2. 有机化学毒物

水质标准中规定的有机化学毒物有挥发酚、苯并[a]芘、DDT、六六六等。酚有蓄积作

用, 危害人和鱼类, 使蛋白质变性和沉淀, 刺激中枢神经系统, 降低血压和体温, 麻痹呼吸中枢。苯并[a]芘是致癌物。多氯联苯能引起面部肿瘤、骨节肿胀、全身性皮疹、肝损伤等, 并有致癌作用。有机农药分有机氯、有机磷和有机汞。有机氯 (DDT、六六六等) 的毒性大、稳定性高。DDT 能蓄积于鱼子中, 可高达 12500 倍, 使卵不能孵化。

3. 放射性物质

放射性是指原子裂变而释放射线的物质属性。对人体有危害的电离辐射有 X 射线、 α 射线、 β 射线、 γ 射线及质子束等, 射线通过物质时会产生离子。废水中的放射性物质一般浓度较低, 只要引起慢性辐射和后期效应, 如诱发癌症 (白血病), 对孕妇和胎儿产生损伤, 缩短寿命, 引起遗传性伤害等。放射性物质的危害强度与剂量、性质和身体状况有关。半衰期短的, 其作用在短期内衰退消失; 半衰期长的, 长期接触很蓄积作用, 危害甚大。

三、营养性污染物

氮和磷是植物和微生物的主要营养物质。氮和磷的浓度 0.2mg/L 和 0.02mg/L 时, 促使藻类大量繁殖, 在水面上聚集成大片的水华 (湖泊) 或赤潮 (海洋)。

1. 氮、磷的评价指标

总氮 (TN): 包括有机氮、氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮。

氨氮: NH_3 与 NH_4^+ , 属于污水中的碱性物质, 为微生物提供氮源。

凯氏氮 (KN): 有机氮 + 氨氮, 能为好氧微生物利用。

亚硝酸盐氮和硝酸盐氮 = 总氮 - 凯氏氮; 有机氮 = 凯氏氮 - 氨氮。

磷的化合物分为有机磷和无机磷, 一般测总磷 (TP)。

2. 含氮化合物在水体中的转化

有机氮转化为 NH_3 , 称氨化阶段; NH_3 先转化为 NO_2^- 再转化为 NO_3^- , 称硝化阶段; NO_3^- 转化为 N_2 称反硝化阶段。

3. 氮磷污染与水体的富营养化

营养化是水体演化的一种规律, 贫营养湖 → 富营养湖 → 沼泽地 → 陆地。由于 N、P 的存在导致富营养化问题, 促进了水生生物的活性而造成异常繁殖。原因在于: ①藻类多使鱼类空间减少, 死亡的藻类沉积在底部; ②藻类种类减少; ③DO 下降, 使水生生物缺氧造成死亡。此外, BOD、温度、维生素类物质也能触发和促进富营养性污染。

四、生物污染物

生物污染物主要是指废水中的致病性微生物及其他有害的有机物。废水中的绝大多数微生物是无害的, 但有时却含有各类致癌微生物。例如, 生活污水中可能含有能引起肝炎、伤寒、痢疾、脑炎的病毒和细菌以及蛔虫卵和钩虫卵等; 医院、疗养院和生物研究所排出的废水中含有种类繁多的致病体。生物污染物中, 病毒的个体甚小, 为 20~300nm。其他生物污染 (如细菌为 0.7~10 μm 、藻类和寄生虫卵等) 的个体均甚大, 它们在水中呈悬浮状态。

水质标准中的卫生学指标有细菌总数和总大肠菌群, 后者反映水体中受到动物粪便污染的状况。除致病外, 废水中若生长铁菌、硫菌、藻类、水草或贝壳类动物时, 会堵塞管道和用水设备等, 有时还腐蚀金属和损害木质, 也属于生物污染。生物指标主要有细菌总数和大肠菌群, 其中细菌菌数采用平板计数法 (HPC)。大肠菌群包括总大肠菌类 (total coliforms)、粪便大肠菌类 (fecal coliforms, FC, 在 44.5 $^{\circ}\text{C}$ 下培养, 可将乳糖发酵的大肠菌类) 及粪便链球菌属 (*fecal streptococci*, FS)。当 FC/FS > 4, 污染来自人类, 当 FC/FS < 0.7, 污染来自动物。

五、油类污染物

油类污染物包括矿物油 (石油) 和动植物油中的液体部分, 均难溶于水, 粒径较大的分散

油易聚集成片，漂浮于水面；粒径介于 100~10000nm 的油珠易被表面活性剂和疏水固体所包围，形成乳化油，稳定地悬浮于水中。

油类污染物常覆盖于水面，影响氧的溶入；它还能附着于土壤颗粒表面的动植物体表，影响养分的吸收和废物的排出。油类污染物的水质指标有“石油类”和“动植物油”，两者构成 COD。

第三节 废水水质与控制标准

一、废水水质

废水造成的污染危害以及应采取的防治措施都取决于废水的特性，即其中污染物的种类、性质和浓度。

生活污水的水质比较有规律，和生活水平、习惯等有关，可以查阅统计资料，其中最主要的两项污染指标是 SS 和 BOD₅，其浓度值分别为 100~350mg/L 和 110~400mg/L。多数工业废水的主要污染指标仍为 SS 和 BOD₅，但其浓度却相差悬殊，例如，造纸黑液 SS 在 2500~10000mg/L 之间，而人造纤维废水却在 50~200mg/L；造纸黑液 BOD₅ 为 9000~30000mg/L，而板纸废水在 50~200mg/L。此外，注意工业废水中是否有毒性污染物和酸碱污染物。

二、控制标准

控制废水水质有三个基本目的：①满足废水再用对水质的要求；②满足有价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。工艺废水其水质必须符合相应的水质标准。

各种生产过程对用水水质都提出了各自的水质标准。凡再用于原生产工艺或另一生产工艺的废水，其水质必须符合相应的水质标准。当废水再用于多种用水目的时，一般要求达到或接近生活用水的水质标准。同理，回收废水中的有价值物质时，一般要求先施行适当的预处理，以利于回收工序的有效进行。

为保护环境不受危害，排水必须符合国家颁布的《污水综合排放标准》（GB 18978—2002）。就其危害性质而言可分为两类。第一类污染物能在环境或动植物体内积蓄，对人类的健康产生不良影响。此废水一律在车间或车间处理设施排放口处取样分析，并要求其含量必须符合国家有关规定。第二类污染物的影响小于第一类污染物，规定的取样地点为排污单位的排放口，其最高允许排放浓度要按地面水使用功能的要求和污水排放去向，分别执行相应标准。

当废水用于灌溉农田时，应持积极慎重的态度，废水水质应符合《农田灌溉水质标准》（GB 5084—92）。废水排向渔业水或海洋时，应符合《渔业水质标准》及《海水水质标准》。

三、控制废水污染的基本途径

控制废水污染的基本途径是降低废水的污染强度，从两方面入手。

（1）减少污染因子的产生量 废水是生产工艺过程中的产物，解决污染问题首先要改革生产工艺和合理组织生产过程，尽量不产生或少产生污染。注意措施有：改变生产程序，变更生产原料、工作介质和产品类型，重复使用废水，加强生产管理等。

改变生产程序、变更生产原料可从开发干法生产工艺（如干法印染）、采用无毒工艺（如酶法制革）和无毒原料（如无氰电镀）、采用逆流漂洗等方面入手。

重复使用废水包括循环和循序。废水再用的必要条件是一般先进行适当的处理，如洗煤废水和轧钢废水，经澄清、冷却降温后，作为工业用水。重复使用是解决环境污染和水资源短缺的重要途径。我国规定了各行业废水循环率的指标。特别是在清洁生产和“十二五”规划中对用水大户、污染大户的用水及循环率都做了相应的规定。

(2) 减少污染因子的排放量 减少排放的方法之一是回收废水中的有价物质；方法之二是进行最终的水质处理，以达到排放标准。

第四节 水体自净

一、水体自净

污染物进入水体后，通过物理、化学、生物的作用，使其浓度降低或总量减少，将水体部分或全部恢复原状的现象叫做水体自净。

1. 物理净化作用

通过稀释、扩散、混合、沉淀等作用，只降低浓度，不减少总量。

(1) 稀释、扩散

① 稀释。污水进入水体后，逐渐和水体混合，浓度不断降低的过程。

② 扩散。污染物进入水体后，在水体中产生浓度梯度场，污染物由高浓度向低浓度迁移的过程。

a. 分子扩散：布朗运动引起的物质分子扩散，用于湖泊、水库等静水体。

b. 紊流扩散：水体紊流流态引起的污染物浓度降低，适用于河流等动水体。

c. 弥散：水体各层流速不同，引起的污染物浓度扩散，在有异重流的情况下出现。

(2) 混合 混合过程如图 2-4 所示。

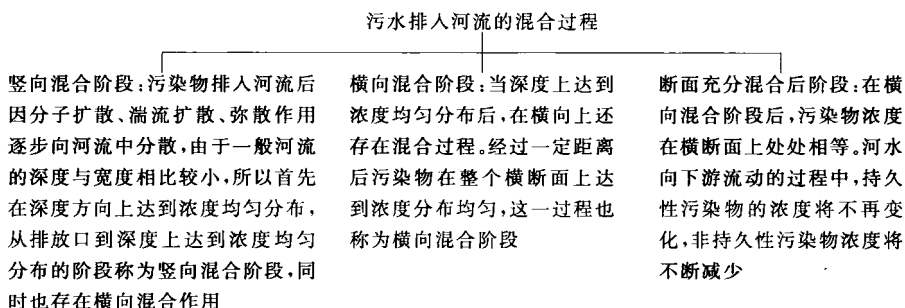


图 2-4 混合过程图示

① 混合效果用混合系数 (α) 来反映，混合系数 α 受河流形状、排污口形式、排水量影响。

$$\alpha = Q_{\text{混}} / Q_{\text{总}}$$

式中， $Q_{\text{总}}$ 为河水总流量； $Q_{\text{混}}$ 为与污水混合的河水流量。

② 特定断面混合系数 α 的计算：

$$\alpha = L_{\text{计算}} / L_{\text{全混}}$$

式中， $L_{\text{计算}}$ 为排污口到计算断面的距离； $L_{\text{全混}}$ 为排污口到混合断面的距离（可实测或查表）。

排入点的混合系数：岸边为 0，河心为 0.25~0.3，河心多出口，0.3~0.8；还与河流的水文条件、通航情况有关。

混合处的浓度见图 2-5。

(3) 沉淀 污染物沉于河底，河水中浓度降低，遇到扰动会产生二次污染。

2. 化学净化作用

通过化学反应使污染物的存在状态发生变化，使污染物浓度降低。