

PETROLEUM AND PETROCHEMICAL  
WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGY  
AND ENGINEERING EXAMPLES

# 石油石化废水 处理技术及工程实例

赵杉林 主 编  
张金辉 副主编



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

X703  
212

# 石油石化废水 处理技术及工程实例

■ 赵杉林 主 编  
■ 张金辉 副主编



中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书系统介绍了废水处理技术的基本原理、石油石化行业不同类型生产废水的处理技术、典型工程实例等。全书由废水处理技术概论、石油工业废水处理及工程实例、石化工业废水处理及工程实例三部分组成。重点介绍油田采油废水、稠油废水、钻井废水、井下作业废水、石化行业含油废水、含硫废水、含酚废水、含环烷酸废水、含氰(腈)废水、含铬废水、含苯废水的特性、来源及国内外同类废水的污染防治对策和治理方法,并列举了大量的废水处理工程实例,最后介绍了石化行业中水回用方面的相关内容。

本书重视对石油石化行业不同类型生产废水处理技术的系统总结,注意吸收废水处理的新理论和新技术,同时力求理论联系实际,通过典型工程实例突出其实用性和可操作性。

本书可作为从事石油石化行业废水治理的科研、设计、规划及管理技术人员的技术用书,也适合供其他行业从事废水污染治理的人员以及高等院校相关专业的师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

石油石化废水处理技术及工程实例/赵杉林编.

—北京:中国石化出版社,2012.11

ISBN 978-7-5114-1797-8

I. ①石… II. ①赵… III. ①石油化工废水-工业废水处理-研究 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 248552 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

• 北京科信印刷有限公司印刷  
全国各地新华书店经销

\*

787×1092 毫米 16 开本 35 印张 886 千字

2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

定价:120.00 元

石油作为重要的能源，在世界能源构成中占有很大的比重，对整个社会经济结构具有深远的影响。随着对石油资源需求总量的不断增长，如何有效地控制和治理石油开采与炼制过程中造成的环境污染，已成为世界各国亟需解决的重要课题。从目前我国石油石化行业废水处理与中水回用技术研究现状以及技术成熟度与优劣性来看，有必要对这些技术及典型工程进行深层次总结、分析，并结合国外先进技术，进行综合与集成，以加速我国石油石化行业废水处理技术的提高和发展。

本书在对废水处理技术基本原理进行简要介绍的基础上，总结了国内外先进的石油石化行业不同类型生产废水的处理技术、废水资源化回用技术和节水减排技术，列举了各类废水处理技术的典型工程实例，突出其实用性和可操作性。全书由废水处理技术概论、石油工业废水处理及工程实例、石化工业废水处理及工程实例三部分组成。重点介绍油田采油废水、稠油废水、钻井废水、井下作业废水、石化行业含油废水、含硫废水、含酚废水、含环烷酸废水、含氰(腈)废水、含铬废水、含苯废水的特性、来源及国内外同类废水的污染防治对策和治理方法，并列举了大量的废水处理工程实例，最后介绍了循环冷却水处理和中水回用等方面的相关内容。

本书由辽宁石油化工大学赵杉林主编，张金辉副主编，参加编写人员有李长波、马会强、胡春玲、李萍及中国科学院青岛生物能源与过程研究所孔令照。全书由赵杉林教授统稿。

本书可作为从事石油石化行业废水治理以及其他行业从事废水污染治理的科研、设计、规划及管理技术人员的技术用书，也可供从事环境工程的其他人员以及大专院校相关专业的师生参考使用。

由于作者学术水平和工作经验有限，书中难免有不妥及错误之处，敬请专家和读者批评指正。

编 者





第一篇 废水处理技术概论

第一章 水体污染与处理 .....	( 3 )
第一节 水环境与水循环 .....	( 3 )
第二节 废水的来源与污染物 .....	( 5 )
第三节 水质指标与水质标准 .....	( 12 )
第四节 水污染对人类的危害 .....	( 14 )
第五节 水体的自净作用 .....	( 16 )
第六节 废水处理的基本途径与方法 .....	( 19 )
第二章 废水的收集及预处理 .....	( 22 )
第一节 废水的收集 .....	( 22 )
第二节 水量及水质调节 .....	( 24 )
第三节 废水的提升 .....	( 27 )
第三章 物理处理法 .....	( 31 )
第一节 均化法 .....	( 31 )
第二节 筛滤法 .....	( 33 )
第三节 重力法 .....	( 39 )
第四节 离心法 .....	( 45 )
第四章 化学处理法 .....	( 48 )
第一节 中和法 .....	( 48 )
第二节 混凝沉淀法 .....	( 51 )
第三节 氧化还原法 .....	( 57 )
第四节 吸附法 .....	( 66 )
第五节 化学沉淀法 .....	( 70 )
第六节 消毒 .....	( 75 )
第五章 物理化学法 .....	( 77 )
第一节 离子交换法 .....	( 77 )
第二节 膜分离技术 .....	( 86 )

第三节	萃取法	.....	( 89 )
第四节	吹脱法与汽提法	.....	( 93 )
第五节	气浮法	.....	( 97 )
第六节	蒸发法	.....	( 104 )
第七节	结晶法	.....	( 106 )
第八节	磁分离法	.....	( 107 )
第六章	生物处理法	.....	( 110 )
第一节	废水生化处理基础	.....	( 110 )
第二节	活性污泥法	.....	( 116 )
第三节	生物膜法	.....	( 128 )
第四节	厌氧生化处理	.....	( 137 )
第五节	自然净化处理	.....	( 155 )
第七章	污泥的处理与处置	.....	( 162 )
第一节	污泥的来源、特性及处理方法	.....	( 162 )
第二节	污泥的浓缩及预处理	.....	( 165 )
第三节	污泥脱水	.....	( 171 )
第四节	污泥的最终处置及综合利用	.....	( 177 )

## 第二篇 石油工业废水处理及工程实例

第八章	石油工业废水污染源及其污染物	.....	( 185 )
第一节	石油工业环境污染源的构成	.....	( 185 )
第二节	石油工业废水的主要来源及分类	.....	( 187 )
第三节	石油工业废水中的主要污染物	.....	( 190 )
第九章	油田含油废水处理技术	.....	( 195 )
第一节	油田含油废水的来源	.....	( 195 )
第二节	油田含油废水的处理方法	.....	( 198 )
第三节	油田含油废水处理的主要设备	.....	( 202 )
第四节	油田含油废水处理工艺流程	.....	( 216 )
第五节	油田废水回注及对水质的要求	.....	( 220 )
第六节	油田回注水处理工程实例	.....	( 227 )
第七节	油田废水处理站的运行维护	.....	( 232 )
第十章	稠油废水的水质特性与处理途径	.....	( 235 )
第一节	稠油废水 COD 的构成	.....	( 235 )

第二节	稠油废水水质特性及对处理工艺的影响 .....	(243)
第三节	稠油废水处理的途径 .....	(248)
第四节	稠油废水回用于热采锅炉工艺流程 .....	(253)
第五节	辽河油田稠油废水处理工程实例 .....	(258)
第十一章	海洋石油开发废水处理及溢油防治技术 .....	(271)
第一节	海洋石油开发废水污染与处理工艺 .....	(271)
第二节	海上油田注水及膜法水处理技术 .....	(277)
第三节	海洋溢油防除技术和治理方法分类 .....	(280)
第四节	海洋溢油物理机械回收法 .....	(283)
第五节	海洋溢油化学处理法 .....	(289)
第十二章	钻井废水的组成及处理技术 .....	(301)
第一节	废弃钻井液和钻井废水的来源及特性 .....	(301)
第二节	化学混凝法处理钻井废水 .....	(306)
第三节	钻井废水无害化处理技术工程应用实例 .....	(310)
第四节	钻井废水处理技术在磨 005 - X11 井的现场应用 .....	(318)
第五节	钻井废水处理技术在龙岗 10 井的现场应用 .....	(322)
第十三章	含硫气田废水的处理技术 .....	(326)
第一节	含硫气田废水的来源与综合治理 .....	(326)
第二节	吹脱法处理高含硫气田水工程实例 .....	(330)
第三节	氧化法处理含硫气田水工程实例 .....	(334)
第十四章	井下作业废水的处理 .....	(339)
第十五章	国外采油废水处理技术的进展 .....	(340)

### 第三篇 石化工业废水处理及工程实例

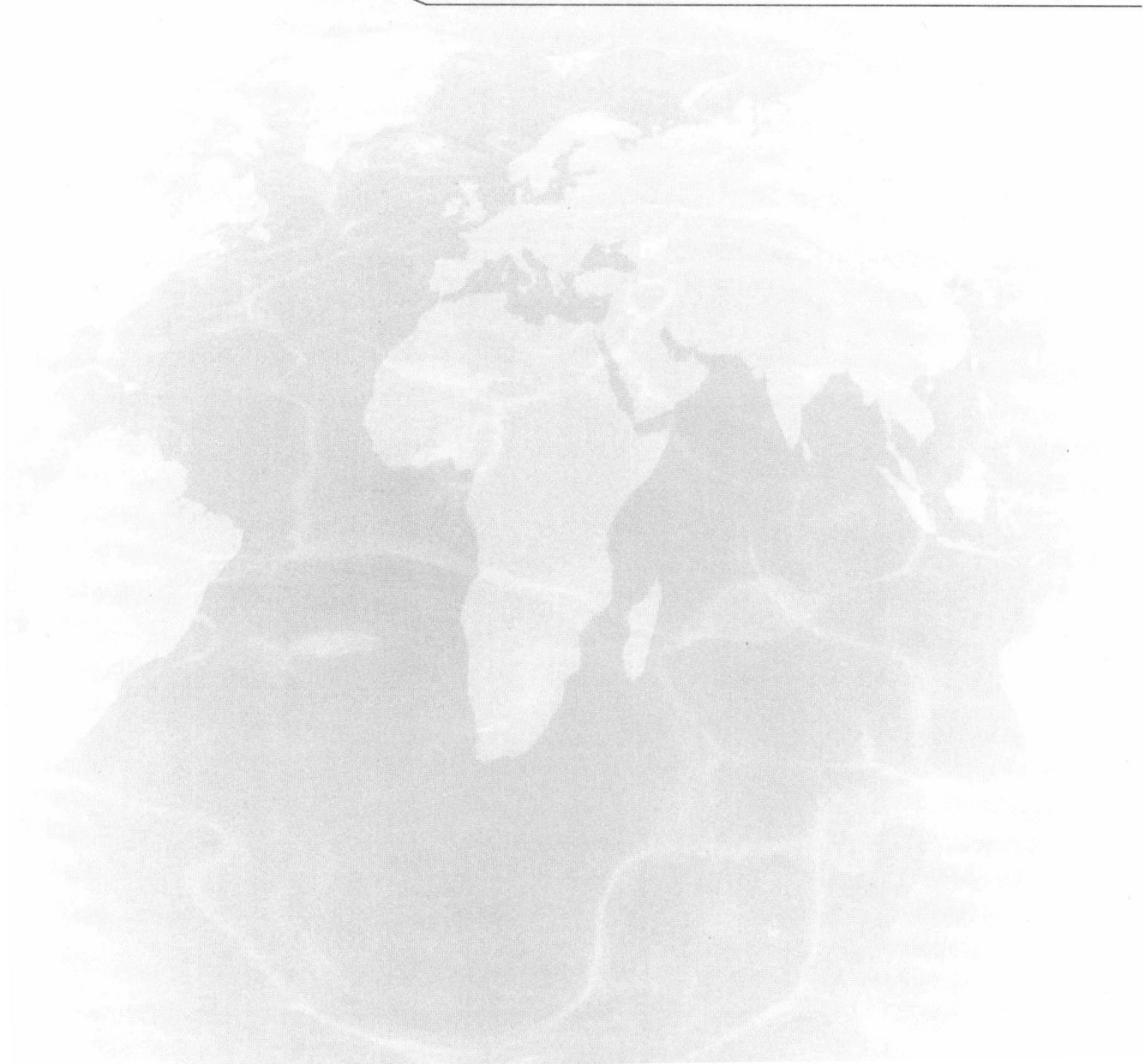
第十六章	石化工业生产过程主要污染源与污染物 .....	(345)
第一节	常减压蒸馏装置 .....	(345)
第二节	催化裂化装置 .....	(348)
第三节	催化重整装置 .....	(350)
第四节	延迟焦化装置 .....	(351)
第五节	加氢精制装置 .....	(353)
第六节	糠醛精制装置 .....	(354)
第七节	氧化沥青装置 .....	(356)
第八节	乙烯、丙烯装置 .....	(356)

第九节	丙烯腈装置 .....	( 358 )
第十节	聚丙烯腈装置 .....	( 359 )
第十七章	石化工业废水处理的一般方法和流程 .....	( 360 )
第一节	石油化工废水的分类及特点 .....	( 360 )
第二节	废水治理的依据和基本原则 .....	( 364 )
第三节	废水治理流程 .....	( 366 )
第四节	石油化工废水治理技术的发展趋势 .....	( 371 )
第十八章	含油废水的处理 .....	( 375 )
第一节	含油废水的来源及特性 .....	( 375 )
第二节	含油废水的处理方法 .....	( 375 )
第三节	含油废水的处理实例 .....	( 431 )
第十九章	含硫废水的处理 .....	( 435 )
第一节	含硫废水的来源及特性 .....	( 435 )
第二节	含硫废水的处理方法 .....	( 437 )
第三节	含硫废水处理实例 .....	( 447 )
第二十章	含酚废水的处理 .....	( 456 )
第一节	含酚废水的来源及特性 .....	( 456 )
第二节	含酚废水的处理方法 .....	( 457 )
第三节	含酚废水的应用实例 .....	( 462 )
第二十一章	含环烷酸废水的处理 .....	( 471 )
第一节	含环烷酸废水的来源及特性 .....	( 471 )
第二节	含环烷酸废水的处理方法 .....	( 472 )
第三节	含环烷酸废水的应用实例 .....	( 478 )
第二十二章	含氰(腈)废水的处理 .....	( 482 )
第一节	含氰(腈)废水的来源及特性 .....	( 482 )
第二节	含氰(腈)废水的处理方法 .....	( 482 )
第三节	含氰(腈)废水的应用实例 .....	( 490 )
第二十三章	其他石化废水的处理 .....	( 496 )
第二十四章	石化工业中水回用技术及工程实例 .....	( 513 )
第一节	污水回用概述 .....	( 513 )
第二节	炼化废水回用技术现状 .....	( 522 )
第三节	污水回用工程实例 .....	( 536 )
参 考 文 献	.....	( 552 )



# 第一篇

## 废水处理技术概论





# 第一章 水体污染与处理

## 第一节 水环境与水循环

### 一、水环境

地球表面上水的覆盖面积约占 3/4。水是宝贵的自然资源，是人类生活、动植物生长和工农业生产不可缺少的物质。水是一切生命机体的组成物质，是生命发生、发育和繁衍的源泉。水是生物体新陈代谢的一种介质，生物从外界环境中吸收养分，通过水将各种养分物质输送到机体的各个部分，又通过水将代谢产物排出机体之外，因此水是联系生物体营养过程和代谢过程的纽带，水参与了一系列的生理生化反应，维持着生命的活力。水还对生物体起着散发热量、调节体温的作用，是人体以及各种生物体中含量最多的一种物质，约占体重的 2/3。每人每天约需 5L 水，没有水就没有生命。

生产和生活用水，基本上都是淡水。地球上全部地面和地下的淡水量总和仅占总水量的 0.63%。随着社会发展和人们生活水平的提高，生产和生活用水量在不断提升。人类年用水量已接近  $4 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，全球有 60% 的陆地面积淡水供应不足，近 20 亿人饮用水出现短缺。联合国早在 1977 年就向全世界发出警告：水资源不久将成为继石油危机之后的另一个更为严重的全球性危机。近年来多种渠道的报道都在告诫人类面临着水源危机。据估计，全球对水的需求，每 20 年将增加一倍，但水的供应却不会以这种速度增加。目前拥有世界人口 40% 的约 80 多个国家正面临着水源不足，并使其农业、工业和人民的健康受到威胁。人类不但需水量大，而且随着工农业的迅速发展和人口增长，排放的废污水量也急剧增加，使许多江、河、湖、水库，甚至地下水等都遭受不同程度的污染，使水质下降。而水质的优劣直接关系到工农业生产能否正常进行，关系到水生生物的生长，更关系到人体的健康，因此，水质的优劣极为重要。

天然水可分为降水、地表水和地下水三大类。天然水体又是江、河、湖、海等水体的总称。所有的天然水体总是要和外界环境密切接触，它在运动过程中，将接触到的大气、土壤、岩石等所含的多种物质挟持或溶入，使自身成为极其复杂的体系。大多数天然水体的 pH 值为 3~9，其中河水 pH 值为 4~7，海水 pH 值为 7.7~8.3，天然水体中通常含有三大类物质，即悬浮物质、胶体物质和溶解物质，如表 1-1 所示。

表 1-1 天然水体的组成

分 类	主 要 物 质
悬浮物质	细菌，病毒，藻类及原生动物，泥沙，黏土等颗粒物
胶体物质	硅、铝、铁的水合氧化物胶体物质，黏土矿物胶体物质，腐殖质等有机高分子化合物
溶解物质	氧、二氧化碳、硫化氢、氮等溶解气体，钙、镁、钠、铁、锰等离子的卤化物，碳酸盐、硫酸盐等盐类，其他可溶性有机物

## 二、水的循环

水的循环分为自然循环与社会循环。

### 1. 自然循环

自然界中的水并不是静止不动的，在太阳能的作用下，通过海洋、湖泊、河流等广大水面以及土壤表面、植物茎叶的蒸发与蒸腾作用形成水汽，上升到空中凝结为云，在大气环流——风的作用下又以雨、雪、雹的形式降落到地面。这些降落下来的水分，在陆地上分为两路流动：一路在地面上汇成江河湖泊，称为地面径流；另一路渗入地下，形成地下水，称为地下渗流。这两路水有时相互交流转换，但最后都注入海洋。与此同时，一部分水经过地面与水面的蒸发以及植物吸收后叶面的蒸腾又进入大气团中，这种循环往复的过程称为自然界水的循环，如图 1-1 所示。

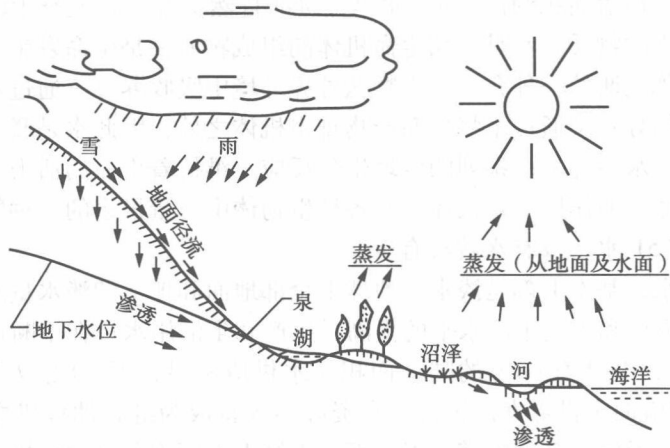


图 1-1 自然界水的循环

据推算，整个地球的降水量每年约  $4 \times 10^5 \text{ km}^3$ ，每年自然循环的水量约占地球上总水量 ( $14 \times 10^8 \text{ km}^3$ ) 的 0.03%，在这些循环水量中只有约 1/4 降落到陆地的表面，这些降水到达地面后，其中约有 56% 的水量为植物蒸腾、土壤与地面水体蒸发所消耗，34% 形成地面径流，10% 渗入地下补充地下水，形成地下径流。

### 2. 社会循环

人类为满足生产与生活需要，要从自然界摄取大量的水。这些水经使用后就成为生活污水和生产废水，排入自然水体。这样，水在人类社会又构成了一个局部的循环体系，即水的社会循环，如图 1-2 所示。

每人每天至少需要 5L 水，加上卫生方面的需要，全部生活用水量 40 ~ 50L/d。生活水准越高，用水量也越大。一般来说，发展中国家平均人均日用水量 40 ~ 60L，发达国家则达到 200 ~ 300L。当然，用水量的大小与不同地区的气候条件、生活习惯有关。

工业更是用水大户，据统计，工业用水一般要占城市用水的 70% ~ 80%。各种行业，如发电、冶金、石油、化工、纺织、印染、造纸都是用水大户。表 1-2 所列为各类产品的单位用水量。

农业则是另一用水大户，不少国家尽管工业用水量很大，但农业用水量仍大大超过工业用水量。即使发达国家如美国、日本，其农业用水量约为工业用水量的 2 ~ 3 倍。中国是一



个农业大国，农业是主要的用水与耗水部门。据统计，长江流域每亩水稻田的需水量约为  $50 \sim 500\text{m}^3$ ；北方地区的主要农作物为小麦、玉米和棉花，其需水量分别为  $200 \sim 300\text{m}^3/\text{hm}^2$ 、 $150 \sim 250\text{m}^3/\text{hm}^2$ 、 $80 \sim 150\text{m}^3/\text{hm}^2$  左右。

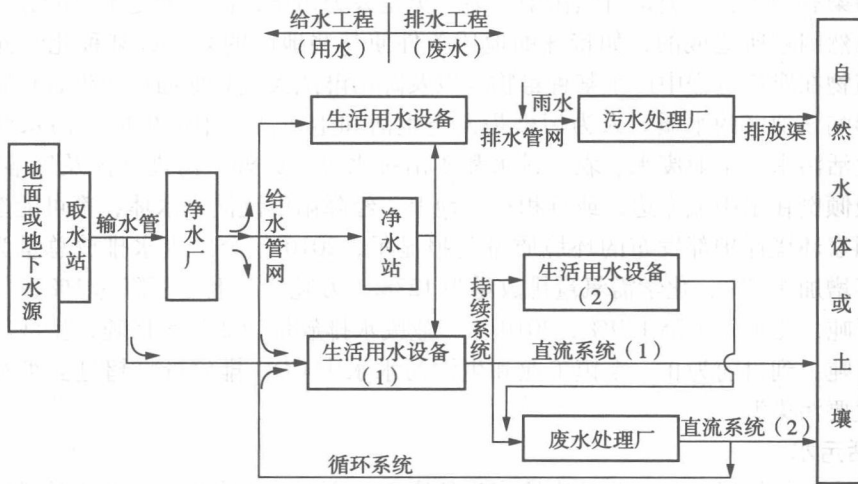


图 1-2 水循环系统

表 1-2 各类产品的单位用水量

$\text{m}^3/\text{t}$

产 品	用水量	产 品	用水量	产 品	用水量
苛性钠	100 ~ 150	纸浆	200 ~ 250	白铁皮	50
苏打	50	报纸	280	铝	160
90% 硫酸	30	毛织品	150 ~ 350	煤炭	1 ~ 5
硫酸铵	50 ~ 250	棉纱	200	石油	4
液氨	30	皮革	50 ~ 125	汽油	10 ~ 20
电石	60	人造丝浆料	660	水泥	1 ~ 4
丙酮	360	黏胶人造丝	2400	炸药	800
醋酸	400 ~ 1000	玻璃	70	合成橡胶	1250 ~ 2800
乙醇	200 ~ 500	甜菜糖	100 ~ 200	电力	$0.02\text{m}^3/\text{kW} \cdot \text{h}$
啤酒	20 ~ 80	钢铁	300	汽车	$40\text{m}^3/\text{辆}$
肉类加工业	8 ~ 35	钢板	70 ~ 75		

随着世界人口的增长与工业、农业的发展，用水量在日益增长。用水量增加的结果使废水的排放量也相应增加，这些废水如不经处理直接排入水体就会造成很严重的环境污染，使水资源更加紧张。因此，在合理开发利用水资源的同时要有效地控制水体的污染。

## 第二节 废水的来源与污染物

### 一、废水的来源与特性

水体污染主要指由于人类的各种活动排放的污染物进入河流、湖泊、海洋或地下水等水体中，使水和水体的物理、化学性质发生变化从而降低了水体的使用价值。水体污染

会严重危害人体健康，据世界卫生组织报道，全世界 75% 左右的疾病与水污染有关；常见的伤寒、霍乱、胃炎、痢疾和传染性肝炎等疾病的发生与传播都直接或间接与饮用污染水有关。

水体污染有两类：一类是自然污染，另一类是人为污染，而后者是主要的方面。自然污染主要是自然因素所造成的，如特殊的地质条件使某些地区的某些或某种化学元素大量富集，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，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污水对水体的污染，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或岸边，或堆积在土地上，经降雨淋洗流入水体，都可能造成污染。

根据国家环境保护部发布的环境质量公报显示，2010 年全国废水排放总量为 617.3 亿吨，比上年增加 4.7%；化学需氧量排放量为 1238.1 万吨，比上年下降 3.1%；氨氮排放量为 120.3 万吨，比上年下降 1.9%，2010 年工业废水排放量为 237.5 亿吨，生活废水排放量为 379.8 亿吨。到目前为止，乡镇工业和生活污水水中 COD 排放量将超过县级及县以上企业而成为主要污染源。

### 1. 生活污水

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、淋浴、洗衣等废水以及冲洗厕所等废水。废水的成分及其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的 3/5 ~ 2/3，主要是各种无机盐和可溶性的有机物质，悬浮固体占总量的 1/3 ~ 2/5，而其中有机成分几乎占 3/4 以上。此外，生活污水中还含有氮、磷等营养物质。表 1-3 所列为城市生活污水的典型组成。表 1-4 是中国一些城市生活污水的水质情况。

表 1-3 城市生活污水的典型组成

项 目					mg/L				
	无机的	有机的	总量	BOD <sub>5</sub>	项 目	无机的	有机的	总量	BOD <sub>5</sub>
可沉固体	40	100	140	55	总固体	275	380	655	160
不可沉固体	25	70	95	65	氮	15	20	35	
溶解固体	210	210	420	40	磷	5	3	8	

表 1-4 中国部分城市生活污水水质情况

水质指标	北京	上海	西安	武汉	哈尔滨
pH 值	7.0 ~ 7.7	7.0 ~ 7.5	7.3 ~ 7.9	7.1 ~ 7.6	6.9 ~ 7.9
SS/(mg/L)	100 ~ 320	300 ~ 350	—	60 ~ 330	110 ~ 450
BOD <sub>5</sub> /(mg/L)	90 ~ 180	350 ~ 370	—	320 ~ 340	80 ~ 250
NH <sub>3</sub> -N/(mg/L)	25 ~ 45	40 ~ 50	21.7 ~ 32.5	15 ~ 60	15 ~ 50
氯化物/(mg/L)	124 ~ 128	140 ~ 150	80 ~ 105	—	—
P/(mg/L)	30 ~ 35	—	—	—	5 ~ 10
K/(mg/L)	18 ~ 22	—	—	—	—

## 2. 工业废水

工业废水是指工业生产所排放的废水。由于工业类型、生产工艺及用水水质、管理水平的不同,使各类工业废水的成分与性质千差万别。工业废水中除冷却水较清洁外,其余都含有各种各样的污染物,有的含有大量的有机污染物质,有的含有毒有害物质,有的物理性状十分恶劣,成分十分复杂。这类工业废水必须经处理后方能排入水体或城市下水道系统。表 1-5 所列为化学工业所排放废水中重点污染物的来源。

表 1-5 化学工业废水中重点污染物的来源

重点污染物	来源
汞	聚氯乙烯(电石法)厂、汞试剂厂
镉	无机和有机镉生产厂、镉试剂厂
铅	颜料厂、铅盐生产厂
砷	硫酸生产厂、农药厂
铬	铬盐生产厂、铬黄颜料厂
酸类	硫酸、盐酸、硝酸、合成染料、农药、塑料生产厂
氨、铵盐	化肥(氮肥)厂、焦化厂
碱类	氯碱厂、纯碱厂
氟化物	硫酸厂、氟塑料生产厂、磷肥生产厂、制冷剂厂
酚类	合成苯酚生产、合成染料、酚醛树脂厂、农药厂、焦化厂
氰化物	焦化厂、煤气生产厂、氰化钠生产厂、氮肥厂、有机化工厂
硫化物	硫酸厂、焦化厂、染料厂、有机化工厂、无机盐厂
有机磷	农药厂、有机化工厂
有机氯	农药厂、有机化工厂
BOD、COD <sub>Cr</sub>	染料厂、塑料厂、农药厂、焦化厂、涂料厂、其他有机化工原料厂

## 3. 农业废水

随着农药与化肥的大量使用,农业径流排水已成为水体污染的主要原因之一。施用于农田的农药与化肥除了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中,造成水体的污染。表 1-6 为每种家畜废物排放量的人口当量数。

表 1-6 每种家畜废物排放量的人口当量数

家畜	BOD <sub>5</sub>	总固体
牛	6.0	18.4
马	3.0	13.0
猪	1.8	4.4
羊	0.6	3.0
鸡	0.1	0.3

## 二、污染物种类及水质指标

废水中的污染物种类大致可分为:固体污染物、需氧污染物、营养性污染物、碱污染

物、有毒污染物、油类污染物、生物污染物、感官性污染物、热污染等。水体中的污染物大致分类见表 1-7。

表 1-7 水体中的污染物

分 类	主要污染物
无机有害物	水溶性氯化物、硫酸盐、酸、碱等无机酸碱盐中无毒物质、硫化物
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
放射性污染	铀、镭、铯等
热污染	含热废水

为了表征废水水质，规定了许多水质指标。主要有：有毒物质、有机物质、悬浮物、细菌总数、pH 值、色度、温度等。一种水质指标可以包括几种污染物，而一种污染物又可以属于几种水质指标。

### 1. 固体污染物

固体污染物常用悬浮物和浊度两个指标来表示。悬浮物是一项重要的水质指标。它的存在不但使水质浑浊，而且易使管道设备堵塞、磨损，干扰废水处理及回收设备的工作。由于大多数废水中都有悬浮物，因此去除水中的悬浮物是废水处理的一项基本任务。

浊度是对水的光传导性能的一种测量，其值可表征废水中胶体和悬浮物的含量。主要是水体中含有泥沙、有机质胶体、微生物以及无机物质的悬浮物和胶体物，产生的浑浊现象，导致水的透明度降低，而影响感官甚至影响水生生物的活动。

固体污染物在水中以 3 种状态存在：溶解态（直径小于 1nm）、胶体态（直径 1~200nm）和悬浮态（直径大于 100nm）。水质分析中把固体物质分为两部分：能透过滤膜（孔径约 3~10 $\mu$ m）的称溶解固体（DS）；不能透过的称悬浮固体或悬浮物（SS），两者合称为总固体（TS）。在水质监测中悬浮物（SS）是一个比较重要的水质指标。

### 2. 耗氧有机物

水体污染物中有一类属于耗氧有机物，它们是来自于城市生活污水及食品、造纸、印染等工业废水中含有的大量的烃类的化合物、蛋白质、脂肪、纤维素等有机质，本身无毒性，但在分解时需消耗水中的溶解氧，故称为耗氧（或需氧）有机物。

耗氧有机物种类繁多，组成复杂，因而难以分别对其进行定量、定性分析。没有特殊要求，一般不对它们进行单项定量测定，而是利用其共性，间接地反映其总量或分类含量。在水质监测和工程实际中，常采用以下几个综合水质污染指标来描述。

#### （1）化学需氧量（COD）

化学需氧量是指在酸性条件下，用强的化学氧化剂将有机物氧化成  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  所消耗的氧化剂所含的氧量。以每升水消耗氧的毫克数表示（mg/L）。COD 值越高，表示水中有机污染物的污染越严重。目前常用的氧化剂主要是重铬酸钾和高锰酸钾。由于重铬酸钾氧化作用很强，所以能较完全地氧化水中大部分有机物和无机性还原性物质（但不包括硝化所需的氧量），此时化学需氧量用  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  表示，该指标主要适用于分析污染严重的水样，如生活污水和工业废水。如采用高锰酸钾作为氧化剂，则用  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  表示，该指标适用于测定一般地表



水,如海水、湖泊水等。目前,根据国际标准化组织(ISO)规定,化学需氧量指  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,而称  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  为高锰酸钾指数。

与  $\text{BOD}_5$  相比,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  能在较短时间内较为准确地测出废水中耗氧物质的含量,不受水质限制。缺点是不能表示出可被微生物氧化的有机物量,此外废水中的还原性无机物质也能消耗部分氧,会造成一定的误差。

### (2) 生化需氧量(BOD)

天然水体中溶解氧含量一般为  $5 \sim 10\text{mg/L}$ 。当大量耗氧有机物排入水体后,水中溶解氧会急剧降低,水体出现恶臭,破坏水生生态系统。这类物质对水体的污染程度,可间接地用单位体积水中耗氧有机物生化分解过程所消耗的氧量(以  $\text{mg/L}$  为单位),即生物化学需氧量(BOD)来表示。

废水中有机物的分解,一般可以分为两个阶段。第一阶段称碳化阶段;是有机物中的碳氧化为二氧化碳,氮氧化为氨的过程。碳化阶段消耗的氧量称为碳化需氧量,用  $L_c$  表示。第二阶段称为氮化阶段或硝化阶段。氨在硝化细菌的作用下,被氧化为亚硝酸根和硝酸根。硝化阶段的耗氧量称为硝化需氧量,用  $L_N$  表示。

有机物的耗氧过程与温度、时间有关。在一定范围内温度越高,微生物活力越强,消耗有机物就越快,需氧越多;时间越长,微生物降解有机物的数量和深度越大,需氧量越多。在实际测定生化需氧量时,温度规定为  $20^\circ\text{C}$ 。此时,一般有机物需 20 天左右才能基本完成第一阶段的氧化分解过程,其需氧量用  $\text{BOD}_{20}$  表示,它可视为完全生化需氧量  $L_c$ 。在实际测定时,20 天时间太长,目前国内外普遍采用在  $20^\circ\text{C}$  条件下培养 5 天的生物化学过程需要氧的量为指标,称为  $\text{BOD}_5$ ,简称 BOD。 $\text{BOD}_5$  只能相对反映出氧化有机物的数量,各种废水的水质差别很大,其  $\text{BOD}_{20}$  与  $\text{BOD}_5$  相差悬殊,但对某一种废水而言,此值相对固定,如生活污水的  $\text{BOD}_5$  约为  $\text{BOD}_{20}$  的 0.7 左右。但是,它在一定程度上亦反映了有机物在一定条件下进行生物氧化的难易程度和时间进程,具有很大的使用价值。

如果废水中各种成分相对稳定,那么 COD 与 BOD 之间应有一定的比例关系。一般来说,  $\text{COD} > \text{BOD}_{20} > \text{BOD}_5 > \text{COD}_{\text{Mn}}$ 。其中  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  比值可作为废水是否适宜生化法处理的一个衡量指标。比值越大,越容易被生物氧化。通常认为  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  大于 0.3 的废水才适宜采用生化处理。

### (3) 总需氧量(TOD)

有机物主要组成元素是 C、H、O、N、S 等。在高温下燃烧后,将分别产生  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$ ,所消耗的氧量称为总需氧量 TOD。TOD 的值一般大于 COD 的值。

TOD 的测定方法是:向氧含量已知的氧气流中注入定量的水样,并将其送入以铂为触媒的燃烧管中,在  $900^\circ\text{C}$  高温下燃烧,水样中的有机物即被氧化,消耗掉氧气流中的氧气,剩余氧量可用电极测定并自动记录。氧气流原有氧量减去剩余氧量即得总需氧量 TOD。TOD 的测定,仅需要几分钟。但 TOD 在水质监测中应用比较少。

### (4) 总有机碳(TOC)

总有机碳是近年来发展起来的一种水质快速测定方法,用于测定废水中的有机碳的总含量。总有机碳的测定方法是:向氧含量已知的氧气流中注入定量的水样,并将其送入特殊的燃烧器(管)中。以铂为催化剂,在  $900^\circ\text{C}$  高温下,使水样汽化燃烧,并用红外气体分析仪测定在燃烧过程中产生的  $\text{CO}_2$  量,再折算出其中的含碳量,其值就是总有机碳值。为排除无机碳酸盐的干扰,应先将水样酸化,再通过压缩空气吹脱水中的碳酸盐。TOC 的测定时间