

废水生物处理

原理和方法

谢冰 徐亚同 编著

feishui shengwu chuli yuanli he fangfa

污水的生物处理是以存在于污水中的各种有机污染物为营养物，在溶解氧存在的条件下，对混合微生物群体进行连续培养，并通过扩散、吸附、凝聚、氧化分解、沉淀等作用，以去除有机污染物的一种污水处理法。污水的生物处理主要分为活性污泥法和生物膜法。

活性污泥法可将污水中大部分有机物转化为更加稳定的无机物形式或细胞物质。在处理过程中，一组不同类型的微生物将不能沉降的存留在污水中的很多可溶性有机物和胶态有机物分解为二氧化碳和水，同时有一部分有机物被转化为可以通过重力沉淀而从污水中分离出来的细胞物质。

活性污泥是一个主要由细菌、真菌、原生动物、后生动物如轮虫构成的混合微生物群体。

污水中大部分有机物的同化作用是由细菌完成的。原生动物和轮虫的

主要作用是去除（捕食）分散的细菌，

否则这些分散的细菌会从出水中流走。

为了产生高质量的出水，在去除了污水中的有机物之后，必须将微生物体从液相中分离出来。分

离过程是在二次

沉淀池中完成的。



中国轻工业出版社

X703.1
3432

废水生物处理原理和方法

谢 冰 徐亚同 编著

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

废水生物处理原理和方法/谢冰, 徐亚同编著. —北京:
中国轻工业出版社, 2007. 4

ISBN 978-7-5019-5899-3

I. 废… II. ①谢…②徐… III. 废水处理-生物处理
IV. X703. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 030325 号

内 容 简 介

全书系统地介绍了废水的性质和危害; 废水生物处理的原理; 废水处理活性污泥法、生物膜法、生物脱氮除磷、厌氧生物处理等方法; 污泥的处理处置; 生物处理常用的设备; 生物处理系统的运行和管理; 生物处理工艺的初步设计; 废水生物处理中微生物的研究方法等废水生化处理的相关基础理论和实践知识, 并附有部分主要的实验。

本书内容全面, 其中介绍了许多废水生物处理方面的最新研究成果, 可供环境科学与工程, 生态工程及相关专业的科研人员、工程技术人员、大专院校师生以及废水生物处理厂管理操作人员参考。

责任编辑: 林 媛

策划编辑: 林 媛 王立平

责任终审: 滕炎福

封面设计: 邱亦刚

版式设计: 马金路

责任校对: 李 靖

责任监印: 胡 兵 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 利森达印务有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2007 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18.25

字 数: 467 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-5899-3/Q·039 定价: 36.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010-65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010-85119845 65128898 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

61397K4X101ZBW

前 言

水是一切生命赖以生存的宝贵物质和自然资源。由于人口的增长和工农业生产的发展，水污染日益严重，已经威胁到我国的生态环境和人民身体健康。水污染已成为我国面临的主要环境问题之一。为消除水污染，对废水进行治理和对水环境进行修复，是可持续发展的必由之路。

废水生物处理是利用自然环境中的生物，特别是微生物分解污染物的特点，通过人工强化的工程技术手段和方法，使得废水的污染物质降解转化，并最终实现无害化，达到资源再生利用的技术。废水生物处理是水污染控制的重要方法，对于消除水中污染物，改善水环境，起着重要的作用。

本书在我们多年废水生物处理研究和工程实践的基础上，吸收了国内外废水生化处理相关领域的新近研究成果和应用案例，从理论到实践应用等不同方面，全面介绍了废水生化处理的原理和方法。全书共分十章，分别介绍了全球和我国的水资源和水污染现状，水质指标以及水污染控制的途径和方法等；论述了废水生物处理的原理、废水生物处理的主要方法、废水生物处理中的主要微生物类群。同时，本书对污泥处理及综合利用，废水生物处理中的主要设备和材料，以及废水生物处理系统运行管理中的异常问题及对策，也进行了介绍。本书以较大的篇幅，重点、全面、系统地阐述了废水生物处理的各种工艺方法，包括最新的实验研究成果，并通过工程实例，详细介绍了废水生化处理的工艺特征及设计计算。为实践应用考虑，本书在第八章介绍了废水生物处理的设计初步。此外，本书还专门介绍了废水生物处理中微生物的研究方法，以及废水生物处理中的相关实验，为教学和科研、工程技术管理人员和大专院校师生提供借鉴参考。

本书由谢冰和徐亚同编著，在编写过程中参阅了部分国内外的相关文献，特向这些作者表示感谢，同时史家樑教授和上海市政工程设计研究院的陆家竑高级工程师提供了部分资料，徐孝明、米文秀、邵春利等同志进行了部分文字和图表的编辑，在此一并致谢。

由于我们的水平和能力有限，书中的缺点和错误在所难免，恳请有关专家和广大读者不吝指正，以使这本书在今后不断得到改进。

编者
2006年冬于上海

目 录

第一章 水资源与水污染	1
第一节 水资源与水循环	1
一、水资源	1
二、水循环	2
第二节 水污染及其分类	3
一、水污染现状	3
二、水污染的危害性	4
三、水污染的分类	5
第三节 控制水体污染的途径	7
一、采用清洁生产工艺, 减少或消除污水的排放	7
二、加强管理, 健全污染控制有关法规	7
三、增加治理投入, 妥善处理废水	7
四、合理利用水体的自净能力	8
第四节 水污染防治法和水污染物排放标准	8
一、水污染防治法	8
二、污水排放标准	10
第五节 废水处理的方法与系统	11
一、废水处理方法	11
二、废水处理工艺系统	12
第六节 废水的性质组成和水质指标	12
一、废水的分类和性质	12
二、废水的水质指标	14
第二章 废水生物处理的原理	20
第一节 污染水体的自净现象	20
一、水体自净现象	20
二、水体自净过程中氧的平衡	21
第二节 废水生物处理的反应动力学	23
一、废水生化处理特征	23
二、反应速度和反应级数	24
三、米氏 (Michaelis-Menten) 方程和莫氏 (Monod) 方程	26
四、劳伦斯—麦卡蒂模型	28
第三节 有机污染物的生物降解与转化	32
一、有机污染物生物降解的基本反应	33
二、有机污染物生物降解途径	34
第四节 有机污染物的生物降解性和测试方法	41
一、有机污染物的生物降解性	41
二、有机污染物生物降解性的测试方法	42

第五节 废水好氧和厌氧处理原理	44
一、废水好氧生物处理的原理	44
二、废水厌氧生物处理的原理	45
第六节 废水生化处理的主要影响因素	47
一、污泥负荷	47
二、温度	49
三、酸碱度	50
四、溶解氧	51
五、营养平衡	52
六、有毒物质	53
七、氧化还原电位	55
第三章 废水生化处理的主要微生物类群	57
第一节 活性污泥中的细菌和菌胶团	57
一、细菌	57
二、丝状细菌	61
第二节 活性污泥中的微型动物	65
一、微型动物对废水净化的影响	66
二、以微型动物为指示生物	66
第三节 活性污泥中的真菌和藻类	71
一、真菌	71
二、藻类	71
第四节 活性污泥中微生物生态演替规律	73
第四章 废水生物处理	75
第一节 普通活性污泥法概述	75
一、活性污泥的概念和基本工艺流程	75
二、活性污泥处理法的过程特征	76
第二节 普通活性污泥法工艺流程	77
一、阶段曝气法 (Step-feed activated sludge, SFAS)	77
二、渐减曝气法 (Tapered aeration)	78
三、吸附再生活性污泥法 (Contact stabilization activated sludge, CSAS)	78
四、完全混合活性污泥法 (Completely mixed activated sludge, CMAS)	79
五、批式活性污泥法 (Sequencing Batch Reactor, SBR)	79
六、生物吸附氧化法 (Adsorption Biodegradation, AB)	83
七、延时曝气活性污泥法 (Extended aeration activated sludge, EAAS)	84
八、氧化沟 (Oxidation ditch)	84
九、纯氧曝气工艺 (High purity oxygen activated sludge, HPOAS)	85
十、膜生物反应器 (Membrane Bioreactor, MBR)	85
十一、活性污泥法的其他几种运行方式	87
第三节 生物膜法	88
一、生物膜法概述	88
二、生物膜法的种类及工艺特点	89
三、生物膜生物处理系统的运行特点	101

第四节 生物脱氮除磷工艺	104
一、生物脱氮	104
二、生物除磷	115
第五节 厌氧生物处理法	121
一、厌氧生物法的工艺流程	122
二、厌氧生物法的特点	129
三、工业废水的厌氧生物降解性能	129
第六节 废水生化处理的其他方法	131
一、稳定塘处理法	131
二、土地处理法	133
三、人工湿地污水处理技术	136
第七节 废水生化处理工艺设计	142
一、普通活性污泥法设计的主要内容和参数	142
二、生物膜法的设计内容和主要设计参数	148
三、生物脱氮除磷工艺设计计算	149
四、生物处理法设计实例——SBR 工艺	152
第五章 污泥处理及综合利用	158
第一节 污泥问题概述	158
第二节 污泥的类型和性质	159
一、污泥类型	159
二、污泥性质	159
三、污泥的流动特征与输送	160
第三节 污泥的浓缩	161
一、污泥的重力浓缩	161
二、污泥的气浮浓缩	162
三、污泥的离心浓缩	162
第四节 污泥的调理	163
一、加药调理法	163
二、淘洗调理法	164
三、热处理调理法	164
四、冷冻调理法	165
第五节 污泥的干化与脱水	165
一、污泥的自然干化	165
二、污泥脱水	166
三、污泥的烘干	168
第六节 污泥的稳定	169
一、污泥的化学稳定	169
二、污泥的生物法稳定	170
第七节 污泥的资源化利用与最终处置	171
一、有机污泥的综合利用	171
二、污泥的建材利用	172
三、污泥的最终处置	173

第六章 废水生化处理中的主要设备和材料	174
第一节 泵	174
一、常用泵的分类	174
二、常用泵的性能参数	174
三、废水处理常用泵的分类、构造及性能	175
第二节 风机	179
一、风机分类	179
二、常用风机型号表示方法的表示方法	180
三、常用风机的构造及性能	181
第三节 管道与闸阀	182
一、管配件	182
二、阀门	183
第四节 曝气设备	185
一、曝气设备的分类	185
二、曝气设备性能指标	188
第五节 填料	189
一、半软性填料	189
二、软性填料	190
三、组合填料	190
四、弹性填料	191
五、悬浮填料	192
六、蜂窝填料	193
七、TB型自由摆动填料	193
八、SL新型复合填料	193
九、立体波纹塑料填料	194
第六节 环保设备的选择原则	194
一、定型设备的选择	194
二、非定型设备的设计	194
第七章 废水生化处理运行管理及异常问题对策	196
第一节 废水生化处理运行管理	196
一、维持曝气池合适的溶解氧——气	196
二、保持匀质匀量地进水及合适的营养——水	197
三、改善污泥的质量，维持系统中污泥合适的数量——泥	200
第二节 生化处理运行评价指标体系	201
一、巡视	201
二、污泥性状	202
三、活性污泥生物相的观察及其对运行状况的指标作用	205
四、水质的化学测定及其对运行的指导意义	207
第三节 废水生化处理系统的运行调节和控制	209
一、SV法	209
二、MLSS法	210
三、F/M法	210
四、MCRT法	211

五、调节回流污泥量	211
第四节 废水生化处理运行异常问题及解决对策	212
一、丝状细菌引发污泥膨胀和泡沫问题	212
二、非丝状菌污泥膨胀	216
三、活性污泥异常问题及解决对策	217
四、化学测定中异常现象及解决对策	218
五、工业废水处理中生产不正常时的运行对策	218
第八章 废水生化处理设计初步	220
第一节 废水生化处理工程设计原则和程序	220
一、废水生化处理工程设计原则	220
二、废水生化处理工程的程序	220
第二节 废水生化处理厂厂址选择	221
一、污水处理厂厂址选择原则	221
二、污水厂的用地要求	222
第三节 废水生物处理典型工艺及选择	222
一、工艺路线选择原则	222
二、废水生化处理典型工艺	223
三、废水处理工艺选择	224
四、废水生化处理工艺流程设计	226
第四节 废水处理厂的布置	227
一、废水处理厂的平面布置	227
二、废水处理厂的高程布置	229
第五节 废水生化处理设计实例	231
一、工程概况	231
二、设计规模及设计进出水水质	231
三、处理工艺方案的选择及特点	232
四、工程设计	232
五、主要设备	234
六、工程投资及成本计算	234
七、工程效益分析	235
第九章 活性污泥微生物的研究方法	236
第一节 活性污泥微生物的传统研究方法	236
一、形态学研究方法	236
二、常规分离纯化技术	238
三、细菌计数技术	240
四、细菌活性测定法	241
第二节 活性污泥微生物的现代生物学研究方法	242
一、概述	242
二、核酸分子杂交技术	243
三、基于 PCR 技术的分子研究方法	245
四、16S rRNA 基因同源分析方法	247
五、生物醞技术	249
六、环境微生物基因组分析	250

七、环境微生物蛋白质组学研究	252
第十章 废水生化处理相关实验	254
实验一 活性污泥或生物膜生物相的观察	254
一、活性污泥或生物膜微生物的显微镜观察及微型动物的计数	254
二、活性污泥中丝状微生物的鉴别	256
实验二 活性污泥耗氧速率及脱氢酶活性的测定	259
一、活性污泥耗氧速率的测定及废水可生化性的评价	259
二、活性污泥脱氢酶活性的测定	261
实验三 废水生化处理的模型试验	263
实验四 生化处理曝气设备充氧实验	264
实验五 活性污泥法中的细菌学检测	266
一、活性污泥中异养细菌总数的检测	266
二、生化处理出水中大肠菌群细菌的检测	267
三、硝化细菌的分离培养和计数	270
实验六 活性污泥微生物群落结构分析	272
一、PCR-DGGE 实验	272
二、荧光原位杂交 (FISH) 实验	274
参考文献	276

第一章 水资源与水污染

水是人类最宝贵的一种自然资源，地球上一切生命都在水中诞生，一切生物皆离不开水。水既是人体组成的基础物质，又是新陈代谢的主要介质。水同时孕育了人类文明，我们把黄河、长江认作中华民族的摇篮，埃及人把尼罗河尊称为母亲河，印度人则说恒河是从天上落下来的圣河，是与源自于黄河、长江、尼罗河、恒河、底格里斯河和幼发拉底河的中国、古埃及、古印度和古巴比伦四大文明密不可分的。水滋润着高山和大地，才有草木的茂盛，五谷的丰收，人类的生存。正如老子所说：“上善若水，水利万物而不争”。

第一节 水资源与水循环

一、水资源

1. 地球上的淡水资源

水是地球上分布最广的物质。大气圈、水圈、岩石圈和生物圈处处都有水的踪迹。水也是地球上最重要的资源之一。水资源主要是指与人类社会和生态环境保护密切相关而又能不断更新的淡水、地表水和地下水，其补给来源主要为大气降水。地球上水的总量很大，表面70%的面积被水覆盖，约为 $1.36 \times 10^9 \text{ km}^3$ ，但其中的97.5%为咸水，淡水仅占2.5%，总量为 $3.5 \times 10^7 \text{ km}^3$ 。在这些淡水中，南、北极的冰帽和冰川又占去了3/4，极少被利用，人类易于利用的淡水总计约为 $8.4 \times 10^6 \text{ km}^3$ 。而直接能取用的江、湖淡水仅占全部淡水的不到0.7%，约占全球总水量的0.01%，这些淡水主要分布在湖泊、河流、水库和浅层地下水源（表1-1）。打一个比方，如果用一个2L的瓶子能装下地球上所有水的话，那么能利用的淡水只有半勺，在这半勺的淡水中，河水只相当于一滴水，其余都是地下水。由此可见，能供人类直接利用而且易于取得的淡水资源是十分有限的。而且这些淡水资源在陆地上的分布很不均匀，世界约1/3人口生活在面临中度和严重水紧张的地区。

表 1-1 地球上水量的分布

分布类型	体积/ km^3	%	分布类型	体积/ km^3	%
地表水			地下水(深层)	4170000	0.31
淡水湖	125000	0.009	其他水		
咸水湖	104000	0.008	冰帽及冰川	29200000	2.15
河流	1250	0.0001	大气	13000	0.001
地表以下的水			海洋	1320000000	97.2
土壤及渗透水	67000	0.005	生物体内	6000	0.0005
地下水(地面至800m)	4170000	0.31	总计	1357856250	100

2. 我国的水资源及特点

我国年均降水总量约为6万亿 m^3 ，全国河川年均径流量约为2.6万亿 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2.8万亿 m^3 。与世界各国相比，我国河川年径流总量虽占第四位，但如按人口平均占有径流量计算，我国却是一个严重缺水的国家，人

均水量为 2231 m^3 ，仅为世界人均水平的 $1/3$ ，居世界第 88 位（1998 年）。随着人口的自然增长，当全国人口到达 16 亿时，人均淡水径流量每年仅 1600 m^3 。耕地每公顷平均水量 2767 m^3 ，约为世界的 $3/4$ 。按国际通用标准，人均拥有水资源量小于 2000 m^3 为轻度缺水地区，人均拥有水资源量小于 1000 m^3 为重度缺水地区。从长期趋势看，我国总体上属于严重缺水的国家。目前，我国水资源供需矛盾日益突出，600 多个大中城市中有 300 多个缺水或严重缺水，每年因缺水造成的直接经济损失达 2000 亿元，全国每年因缺水少产粮食 700~800 亿 kg，水资源供需面临非常严峻的形势，水资源的短缺将极大地制约着我国经济的发展。

由于我国地域辽阔，地形复杂，南北、东西气候差异大，水资源还存在时空分布不均衡性。在空间上，水资源分布与降水分布基本一致，呈东南多、西北少，由东南沿海地区向西北内陆递减，分布不均匀，造成西北地区极端缺水。我国北方人口占全国总人口的 $2/5$ ，但水资源占有量不足全国水资源总量的 $1/5$ 。在全国人均水量不足 1000 m^3 的 10 个省区中，北方即占了 8 个，而且主要集中在华北；在时间分布上，我国大部分地区的降雨量受季风气候影响，降水量在年内分配不均，冬春少雨，多春旱；夏秋多雨，多洪涝，全年降水年际变化很大，丰水年、枯水年降水量可相差 5~6 倍之多。汛期 4 个月（5~8 月）的降水量占全年的 $60\%\sim 80\%$ 。降水量和径流量在时间上的剧烈变化使一些地区（特别是华北平原和长江中下游平原）水旱灾害频繁，这些地区又是我国工农业生产最发达的地区，因此防洪任务非常繁重。

另外，我国水土资源组合不相适应，北方耕地面积占全国耕地面积的 $3/5$ ，而水资源量仅占全国的 $1/5$ 。东北、西北、黄淮河流域径流量只占全国总量的 17% ，但土地占全国的 65% ；长江以南江河径流量占全国的 81% ，土地仅占 36% 。淮河以北地区耕地面积占全国的 64% ，水资源仅占全国的 19% 。特别是西南地区，由雅鲁藏布江、怒江、澜沧江等组成的诸河流域，土地面积占全国的 10% ，人口和耕地分别只占全国的 1.5% 和 1.7% ，水资源却占全国的 21% ，而黄、淮、海、辽河流域，其耕地占全国的 42% ，水资源只占 9% ，形成了北方耕地多而水资源短缺的局面。

此外，由于自然条件的限制和长期以来人类活动的影响，我国的森林覆盖率很低，水土流失严重。水土流失造成许多河流含沙量增大、淤积严重。这不仅给水资源开发利用带来许多困难，而且导致生态平衡破坏、土壤贫瘠、山洪暴发、气候变化等一系列严重的环境问题。水的利用率低，给有限的水资源保护雪上加霜。以农业为例，我国生产 1t 粮食耗水约 1330 m^3 ，高出发达国家 $300\sim 400\text{ m}^3$ ，其他产品的单位耗水量甚至更高。各大城市工业用水的重复使用率只有 25% ，而日本和德国则高达 60% 以上。

二、水 循 环

地球上的水循环通过三条主要途径完成，即降水、蒸发和水蒸气输送。地球表面的水在太阳照射下，不断地被蒸发，并汽化为水蒸气，植物也可借助蒸腾作用进行这一过程。水蒸气上升到空中形成云，又在大气环流的作用下移动到各处，遇适当的条件时即成为雨或雪等而降落到海洋和陆地。由于陆地地形的关系，迎风坡等地面降水量大于其他地面，陆地地表降水量大于海洋洋面。这些降落下来的水分一部分渗入地下成为土壤水或地下水；一部分可顺着地表径流汇入江河、湖泊，并最终汇入海洋，因此在陆地表面存在着水向海洋的流动，在大气高空水蒸气从海洋上空向陆地运动。地表水经植物吸收后再经枝叶蒸腾进入大气层，地面洋面水又可经蒸发进入大气层。这种过程循环往复，永无止境，构成自然界中的水循环

(图 1-1)。据推算, 整个地球降水量大致每年 40 万 km^3 , 每年的自然循环水量仅占地球上总水量的万分之三, 这些循环水量有 1/4 降落于陆地, 降水到达地面后, 在多年平衡的情况下, 约有 56% 的水量为植物蒸腾、土壤和地面蒸发消耗, 34% 形成地面径流, 10% 通过下渗补给地下水, 形成地下水径流。

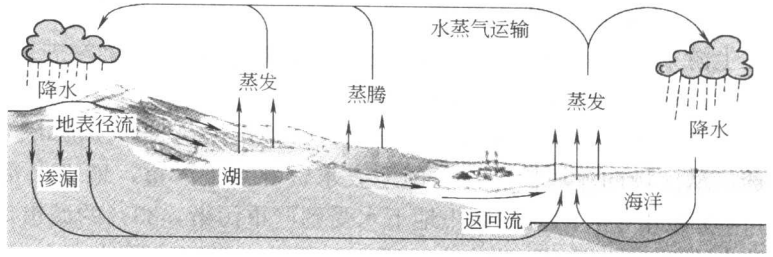


图 1-1 自然界中的水循环

人类对水的利用使得水有了功能, 使水成为可以被人类利用的资源。人是生态系统中的组成部分, 人类又有别于其他生物, 能够利用工具开发利用水资源, 影响和改变自然生态系统。人类对水的利用途径就是在水循环的过程中截取了部分水, 使这些原水不再参与最初的自然循环过程。人类截取水的过程就是对自然循环的改变。在生产力不发达时期, 人类行为影响自然生态系统的作用远远小于自然影响因素, 而在生产力发展的今天, 人对自然生态系统的影响就越来越明显。随着世界人口的增长和工农业的发展, 用水量日益增加, 用水量的增加必然使得废水量增加, 未经妥善处理的废水如果任意排入水体就会造成严重的污染, 使本来并不充裕的水资源更加紧张。

第二节 水污染及其分类

人类对水的使用主要是生活用水、工业用水及农业灌溉用水。其中除极少一部分被饮用、进入产品、锅炉蒸发、植物吸收、蒸腾以外, 大部分仅是用于地面冲刷、洗涤或简单地用于冷却, 在这过程中又混入了各类污染物等, 重新排入天然水体, 并造成污染。随着工农业生产的增长、人口的增长, 造成了环境危机。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或水质型缺水, 造成了“水荒”。水污染对人体健康、工农业生产和人类社会的持续发展带来了极大的危害。

一、水污染现状

1. 水污染日趋严重

水资源是量与质的高度统一, 当前我国面临着水量危机的同时, 还面临着因污染导致的水质危机。随着经济建设的发展, 人口的增加, 特别城市化进程加快, 人口急剧膨胀, 不仅用水量大幅度增加, 污水排放量也相应增加, 全国水环境总体上呈恶化趋势。

近年来, 我国水体污染日益严重, 全国每年排放污水高达 400 亿 t, 除 70% 的工业废水和不到 10% 的生活污水经处理排放外, 其余污水未经处理直接排入江河湖海, 致使水质严重恶化, 污水中化学需氧量、重金属、砷、氰化物、挥发酚等都呈上升趋势, 全国 9.5 万 km 河川有 20% 受到污染, 0.5 万 km 受到严重污染, 清江变浊, 浊水变臭, 鱼虾绝迹。据对全国七大江河和内陆河的 110 个重点河段的统计表明, 符合《地面水环境质量标准》I、II 类的河段仅占 32%, III 类的占 29%, IV、V 类的占 39%。86% 的城市河流受到了不同程度的污染。松花江、淮河、海河和辽河水系污染严重, 南方的黄浦江、滇池等水体也都被严

重污染。同时突发性污染事故数量增加，水体污染造成经济损失增大。如2005年11月松花江上游某石化公司双苯厂爆炸，硝基苯和苯等化学污染物进入松花江，水源水质被污染，导致重大环境污染事故，省城哈尔滨市停止供水数天。

从全国情况看，水体污染正从支流向干流延伸，从城市向农村蔓延，从地表向地下渗透，从区域向流域扩展。我国地表水资源污染严重，地下水资源污染也不容乐观。在全国118个城市中，64%的城市地下水受到严重污染，33%的城市地下水受到轻度污染，从地区分布来看，北方地区比南方地区更为严重。海河流域地下水资源量为271.6亿 m^3 ，受到污染的为171.5亿 m^3 ，占总量的63.2%。据统计我国2004年因水环境污染造成的经济损失高达2800亿元。虽然随着我国环境治理力度加大，水质恶化的势头有所控制，但从总体上来判断，“局部有所改善，整体仍在恶化”。我国江河水资源质量在下降，水环境污染总体呈加重趋势，湖泊水质富营养化严重，水质恶化的趋势不可避免，随着污染范围的扩大，如果不采取有利的措施，一些城市、地区或流域甚至全国可能发生水质污染。可见，水质污染严重和水环境质量恶化加剧了水资源危机，并将影响我国的经济的发展速度。因此，限制污水排放并使污水资源化，使水资源的利用走上良性循环已成为当务之急。

2. 水环境破坏

由于自然条件的限制和长期以来人类活动的结果，我国森林覆盖率很低，水土流失严重。水土流失造成许多河流含沙量增大，泥沙淤积严重，北方河流更为突出。全国平均每年进入河流的悬移质泥沙约35亿t，其中有20亿t淤积在外流区的水库、湖泊、中下游河道和灌区内。水库上游植被的破坏或开荒种地，泥沙淤积严重，水库库容也日趋减少。以山东为例，20世纪80年代平均每年因泥沙淤积损失约2亿 m^3 库容。水主要通过水环境提供。水环境不仅可以提供水资源、生物资源、旅游资源等，还有调洪、航运、排水等许多功能，另外，水环境不仅是流域污水、废水的直接接受者，也是人类活动一切废物的最终归宿，而现在许多水环境都污染得很严重，以致影响它的正常用途，因此保护好水环境对水资源充分利用具有重要作用。

3. 水资源过度开发

为了满足我国水资源需求，必将加大水资源开采力度，水资源过度开发，无疑会导致生态环境的进一步恶化。通常认为，当径流量利用率超过20%时就会对水环境产生很大影响，超过50%时则会产生严重影响，目前，我国水资源开发利用率已达19%，接近世界平均水平的3倍，个别地区更高。地下水的开发利用也达到相当程度。过度开采地下水会引起地面沉降、海水入侵、海水倒灌等一系列环境问题。在目前地下水资源开发条件下，全国已经出现区域性地下漏斗56个，总面积大于8.2万 km^2 ，地层沉陷的城市达50余个，其中北京的沉降面积达800 km^2 ，环渤海平原区由于海水倒灌影响面积已达1240 km^2 。

所以，我国水资源在地区分布上的不均匀性、污染加剧、生态环境恶化以及严重的水浪费现象等因素，使水资源的供需失衡问题更加严重，对水资源的可持续利用造成了极大的威胁，不得不引起人们的高度重视。

二、水污染的危害性

水体受污染后，对环境的生态系统会造成很大危害，严重时会使水体生态平衡破坏，物质循环中止，水生生物因急性或慢性中毒而死亡，并使经济严重受损。据报道，在1985—2000年间，我国水污染造成的损失达1万亿元以上。相关专家对黄河水污染的状况及危害

进行量化分析的结果表明，黄河流域污废水排放量比 20 世纪 80 年代多了一倍，达 $44 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，黄河干流近 40% 河段的水质为五类，基本丧失水体功能，日趋严重的黄河水污染，破坏了黄河生态系统，使黄河河道中近 1/3 的水生物绝迹。黄河流域每年因污染造成的经济损失高达 115 亿~156 亿元。由于食用被污染的食品而致伤，黄河流域内每年用于治病费用达 22 亿~27 亿元。

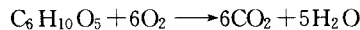
三、水污染的分类

水体污染可根据污染物的不同而主要分为化学性污染、物理性污染和生物性污染三大类。

(一) 化学性污染

1. 耗氧污染物

生活污水和某些工业废水中所含的糖类、淀粉、纤维素、蛋白质、脂肪和木质素等有机化合物可在微生物作用下最终分解为简单的无机物质，这些有机物在分解过程中要消耗大量的氧气，故被称为耗氧污染物。以淀粉、纤维素为例，其被微生物彻底氧化分解（矿化）时反应式如下：



所以这类化合物耗氧量比值为 $(32 \times 6) : (12 \times 6 + 10 \times 1 + 16 \times 5)$ ，即大致为 1.1 : 1。蛋白质、脂肪被氧化分解时耗氧量还要高些。

此外，某些还原性无机物在水体中也会耗氧，如 NH_3 、 H_2S 、亚硫酸盐等。其中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 在自养性硝化细菌作用下被氧化成 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ，同时耗去 4 个氧，按质量比为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量的 4.57 倍。

这些污染物进入水体后会耗去水中大量的溶解氧，甚至使水生动物大批死亡；污染严重时还会使溶解氧降至零，造成水体厌氧细菌活跃，有机物分解产生 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 H_2S 等，导致水体发黑发臭，迫使物质循环中止，水体自净作用功能几近丧失。

2. 植物营养物

所谓植物营养物主要是指氮、磷等元素，其他尚有钾、硫等。从农作物生长的角度看，植物营养物是宝贵的物质，但过多的营养物质进入天然水体，将使水质恶化，影响渔业的发展和危害人体健康。

水中营养物质的来源，主要来自化肥。施入农田的化肥只有一部分为农作物所吸收，其余绝大部分被农田排水和地表径流携带至地下水和河、湖中。其次，营养物来自人、畜、禽的粪便及含磷洗涤剂。此外，食品厂、印染厂、化肥厂、染料、洗毛、制革、炸药等废水中均含有大量氮、磷等营养元素。

水体中植物营养物质的存在，将导致水生藻类大量繁殖。藻类过度旺盛的生长繁殖会造成水中溶解氧急剧变化，藻类的夜间呼吸及死亡藻体的微生物分解作用又会使水体严重缺氧，因而造成鱼类大量死亡。某些藻类的蛋白类毒素，可富集在水产生物体内，并通过食物链使人中毒。藻类密度很高的水体 pH 可以上升到 9 以上。大量藻类遗体可使湖、河变浅，最终成为沼泽地。自来水原水的富营养化会使加氯量成倍增加，并生成卤代烃之类的有害物质；为了脱色、除臭、除味而使化学药剂投加量增加，滤池的反冲洗次数也增加，从而增加了给水处理的成本。化合态的氮对人及生物有毒害作用，如亚硝酸胺等有致癌、致畸作用，饮用水中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量高可引起高铁血红蛋白症等。

3. 有毒物质

污染的水体中含有多种对人及生物有毒的物质，轻则引起种种慢性和急性疾病，重则危及生命。例如汞、镉、铅、铬、砷（俗称为“五毒”）等重金属毒性较大，还有锌、铜、钴、锡等重金属也有一定的毒性，这些重金属污染物主要的特征是在水体中不能被微生物所降解，可因沉淀作用、吸附作用沉积于水体底泥中造成长期的危害，一定条件下重新释放进入上覆水体。有些重金属还可经微生物作用发生甲基化而变得毒性更大。此外，还可通过食物链的生物放大作用，被迁移和富集，并最终通过食物进入人体，危及人体健康。如闻名于世的水俣病就是因为受汞污染的水体，通过藻类、浮游生物、贝类、鱼类食物链不断放大，并最终进入人体，引起中毒；“骨痛病”也是因镉积累过多，骨中钙被镉取代所致；氟可引起软骨病；长期饮用含铬水会发生口角糜烂、腹泻和消化道机能紊乱等。

炼焦、煤气、冶金、石化、塑料等工业所排放的废水中含有酚，它是分布最广、影响最大的一类有机污染物。水体遭受酚污染后会影响到水产品的产量和质量，可使贝类减产、海带腐烂，可影响鱼类的洄游，用氯消毒含酚的水会产生具恶臭的氯酚。人体摄入酚量少时可引起呕吐、腹泻、头疼头晕、精神不安等慢性中毒症状，量多时会因急性中毒而死亡。

在电镀、化工、煤气、炼焦等工业废水中含有氰。氰化物是剧毒物质，一般人只要误服 0.1g 氰化物便立即死亡，当水中 CN^- 含量达 0.3~0.5 mg/L 时，鱼可死亡。氰进入生物体内可抑制细胞内呼吸酶系。

此外，在工业废水中还含有联苯胺、吡啶、硝基苯、多环芳烃等各种致癌、致畸有毒的物质，持久性污染物（POPs）和环境激素等。

4. 油类

目前，因人类活动而进入水体的石油每年多达 1000 万 t，约占全世界石油总产量的 0.3%~0.5%。其主要来自石油化工，炼油废水，油船的压舱水、洗舱水，石油在运输过程中的海损，触礁事故泄漏，海底油田开采时井喷等。石油进入水体后会沿水面扩散，使鱼、鱼卵、海鸟等死亡。这些油覆盖于水面不仅将严重影响水体复氧，而且在水中被微生物氧化分解会耗去大量溶解氧。海洋油污染还会破坏风景优美的海滨环境。

5. 酸碱及无机盐类

矿山排水中含硫化物经氧化可产生酸性废水，冶金和金属加工工业也有大量酸洗废水排放，雨水淋洗含 SO_2 烟气后形成酸雨。在碱法造纸、人造纤维、制碱、制革、纺织、煮炼等工业的废水中含碱。酸、碱废水彼此中和可产生各种盐类，此外合成洗涤剂、染料生产、环氧丙烷生产、肠衣加工等废水中也含有各种盐类，它们可腐蚀管道、增加水的硬度，若用以灌溉会引起土壤的盐碱化。

6. 恶臭

受污染的水体往往会散发出臭气或异味，与人体接触后，轻则使人感到不快，恶心、头疼，食欲不振，妨碍睡眠，嗅觉失调，情绪不振，爱发脾气及诱发哮喘；重则引起慢性病，如使视力下降，中枢神经障碍和病变并缩短寿命，甚至引发急性病造成死亡。

废水中臭气的主要成分可分为三大类：含硫的化合物（硫化氢、甲硫醇、甲硫醚等），含氮化合物（氨、二元胺、三甲胺、甲基吡啶），碳、氢、氧组成的化合物（低级醇、醛、脂肪酸等）。

（二）物理性污染

1. 悬浮物质污染

悬浮物质指水中含有的不溶性物质，包括固体和泡沫等，生活污水、工业污水或农田水

土流失都会产生悬浮物质污染。悬浮物质影响水体外观，妨碍水中植物的光合作用，减少氧气的溶入，对水生生物不利，如果悬浮物上吸附有毒有害物质，更加有害。

2. 热污染

水在工业或人类生活使用过程中温度往往升高，其中工业生产中的冷却水，尤其是核电厂、火力发电厂排放大量高温废水，进入水体后使水温升高、饱和溶解氧值下降、水中需氧污染物耗氧速率加快，导致水体溶氧量急剧下降，并危及水生生物生存，造成一系列危害。

3. 放射性污染

由于放射性矿产的开采，核试验和核电站的建立以及医学和科研上同位素的使用，造成放射性污染。

(三) 生物性污染

生物性污染主要是指病原性微生物造成的污染。如医院、生活、制革、屠宰、禽畜养殖等污水中含有的病原微生物，以及引起疾病的各种致病菌、病毒和寄生虫等，它们可引起疾病的传播，流行病的暴发，甚至人畜的死亡。

第三节 控制水体污染的途径

一、采用清洁生产工艺，减少或消除污水的排放

控制污染物排放量是控制水体污染的最关键问题。根据国内外经验，可有以下措施：

(1) 采用清洁生产工艺，尽量不用水或少用易产生污染的原料及生产工艺。如采用无氰电镀工艺代替有氰电镀工艺，可使废水中不含氰化物；采用无水印染工艺（转移染色）代替有水印染工艺，可从根本上消除印染废水的排放。

(2) 重复用水及循环用水，使废水排放量减至最少。重复用水，根据不同生产工艺对水质的不同要求，将甲工段排出的废水送往乙工段，将乙工段的废水排入丙工段，实现一水多用。如碱法造纸中，造纸机废水及炼焦厂的熄焦废水可循环使用。

(3) 有用物质回收和资源化综合利用。尽量使流失在废水中的原料或成品与水分离，既可减少生产成本或增加经济收益，又可降低废水中污染物质的浓度，或减轻污水处理的负担。例如制革废水回收油脂、造纸黑液回收碱、纺织退浆废水回收 PVA、电镀废水中回收重金属等。我们可用豆制品加工中排出的高浓度黄泔水来培养酵母，以获得饲料酵母作为畜禽的饲料添加剂。其他如味精废水、淀粉废水等多已有资源化应用的实例。

二、加强管理，健全污染控制有关法规

生产中的原料或成品，如加以充分利用是有效资源，如泄漏进入环境则造成极大的污染。应健全污染控制的有关法规，采用总量排污控制，加强生产中的管理，防止原材料及成品的跑冒滴漏，这不仅可减少废水处理费用，而且可降低原材料的单耗，必将产生巨大的环境效益和经济效益。

三、增加治理投入，妥善处理废水

经上述清洁生产工艺及通过管理减少排污后，仍会有一部分废水排放，这就需要我们根据废水的性质，采用合理的工艺，妥善加以处理。随着生产的发展，人民生活水平的提高，