

# 水生物处理新技术

THE NEW TECHNOLOGY OF BIOLOGICAL  
WATER TREATMENT

毛玉红 / 编著

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

# 水生物处理新技术

毛玉红 编著

中国铁道出版社

2015·北京

## 内 容 简 介

本书全面系统地介绍了在国内外研究应用的水生物处理新技术。全书分3篇共10章:水处理基本知识、污水处理领域基本生物处理新技术、微污染水领域生物处理新技术。主要内容为:水处理基本知识概述、生物处理基本原理、生物处理化学计量学和动力学、活性污泥生物处理新技术、生物膜生物处理新技术、厌氧生物处理新技术、生物脱氮除磷新技术、膜生物反应器技术、生物强化处理技术、微污染水生物处理新技术。

本书从基础理论入手,通过更多的技术方法介绍,理论与实践并重,方便读者从更深层次理解与掌握水生物处理技术。本书可作为高等学校水科学相关专业教材,也可用作从事给水排水、环境保护领域教学及科技工程人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

水生物处理新技术 / 毛玉红编著. —北京: 中国铁道出版社, 2015. 4

ISBN 978-7-113-20063-3

I. ①水… II. ①毛… III. ①生物处理—研究  
IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 045527 号

书 名:水生物处理新技术  
作 者:毛玉红

策 划:曹艳芳

责任编辑:曹艳芳

编辑部电话:010-51873017

电子邮箱:chengcheng0322@163.com

封面设计:崔 欣

责任校对:王 杰

责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:中煤涿州制图印刷厂北京分厂

版 次:2015年4月第1版 2015年4月第1次印刷

开 本:710 mm×960 mm 1/16 印张:14 字数:264千

书 号:ISBN 978-7-113-20063-3

定 价:36.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

# 前 言

我国是一个缺水严重的国家,尽管我国淡水资源总量丰富,但人均水资源是世界上最贫乏的国家之一。有人预计,2030年,中国将进入世界中度缺水国家的行列。随着我国城市化、工业化进程的加快,我国的污水排放量与日剧增,水体污染严重。由于污水处理设施还存在缺口,很多水厂的处理效率及技术管理水平也不高,进一步加剧了我国水环境的污染。水环境污染所造成的水危机已经严重制约了我国国民经济的发展,影响了人们生活水平的提高。

水生物处理是水污染防治和水资源可持续发展的重要技术手段,在水环境保护和缓解水资源短缺中起到至关重要的作用。面对我国巨大的水环境市场,在选择污水处理技术时,生物处理无疑是一种非常经济有效的技术手段,也更符合我国国情。目前,以活性污泥为代表的生物污水处理技术相当成熟,已广泛应用于城市和工业污水处理中,在防治水体污染中发挥了巨大的作用。但由于废水排放量的急剧增加,传统工艺在多功能性、经济节能性及高效稳定性等方面已难以协调满足日益复杂的废水水质现状及不断提高的处理要求,研发和应用新型的污水生物处理新技术、新工艺,已成为水处理工作者的重要课题。

20世纪80年代以来,随着生物技术、材料科学和计算机科学的发展,水生物处理新技术、新工艺的研究、开发和应用得以迅速发展,在污水处理、回用水处理、微污染水净化等实际工程中得到良好的应用,显示出良好的应用发展前景。为更好地将基础性的科学原理与工艺设计和运行管理等工程应用结合起来,以适应不断提升的水质要求和提高对实际工艺管理水平,我们总结分析了大量文献资料,并结合多年来的教学实践经验,编写了此书。

全书共分3篇,即水处理基本知识、污水处理领域基本生物处理新技术、微污染水领域生物处理新技术。从反应电子迁移的角度阐述了污染物在各种生化降解过程中的定量化学计量关系,然后再介绍了目前国内研究和应用较多的各领域中的水生物处理新技术,将生化反应原理与工艺技术要点结合起来,方便读者从原理入手了解各种新技术。本书由兰州交通大学毛玉红主编、统稿。高军锋编写了第5章、第6章、第7章、第8章;常胜、高军锋编写了第4章;班云霄、高素霞、刘任泓(甘肃省建筑设计研究院)编写了第9章。研究生冯俊杰、王冬敏、王艳丽进行了前期的图表、文字整理,并参加了校对工作,大部分图表由冯俊杰协助完成。编写过程中还得到了李杰教授的帮助,参与前期文字整理工作的还有高亚亚、高静妮、庄智勤,在此一并感谢。本书的出版得到了国家自然科学基金项目(No. 51268025)的资助,作者谨此致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些疏漏及不妥之处,敬请读者予以批评指正。

毛玉红

2015年2月于兰州

# 目 录

第 1 篇 水处理基本知识	1
第 1 章 概 述	1
1.1 水体污染及控制	1
1.2 污水处理的目标和规划	3
1.3 污水资源化、再生利用及污水深度处理	4
1.4 水体富营养化及污染控制问题	7
1.5 水源微污染问题及水源突发污染应急处理方法	9
1.6 水生物处理技术的发展和前景	15
第 2 章 生物处理基本原理	19
2.1 水环境中的微生物	19
2.2 在生物处理中发挥作用的微生物类群	19
2.3 生物处理概述	23
2.4 水处理系统中的微生物	26
2.5 水处理指示性微生物	37
2.6 生物处理中的重要过程	38
第 3 章 生物处理化学计量学和动力学	50
3.1 反应计量方程式	50
3.2 反 应 速 率	53
3.3 各类生化反应方程	55
3.4 化学计量式简化及其应用	68
第 2 篇 污水处理领域基本生物处理新技术	71
第 4 章 活性污泥生物处理新技术	71
4.1 氧 化 沟	71
4.2 间歇式(序批式)活性污泥法(SBR)	76
4.3 投料活性污泥法	87
4.4 OCO 废水生物处理技术	96
4.5 BIOLAK 法废水生物处理技术	101

4.6	好氧颗粒污泥反应器 .....	104
第5章	生物膜生物处理新技术 .....	107
5.1	复合生物膜技术:活性污泥—生物膜技术 .....	107
5.2	曝气生物滤池 .....	108
5.3	生物接触氧化工艺 .....	121
第6章	厌氧生物处理新技术 .....	126
6.1	概 述 .....	126
6.2	厌氧生物滤池 .....	127
6.3	升流式厌氧污泥床(UASB) .....	132
6.4	膨胀颗粒污泥床(EGSB) .....	147
6.5	内循环IC厌氧反应器 .....	150
6.6	两相厌氧生物处理技术 .....	152
第7章	生物脱氮除磷新技术 .....	157
7.1	污水生物脱氮新技术 .....	157
7.2	污水生物脱氮除磷新技术 .....	164
第8章	膜生物反应器技术 .....	170
8.1	MBR工艺的研究进展及其发展应用 .....	170
8.2	MBR的工艺原理和分类 .....	173
8.3	MBR主要设计、运行参数的探讨与选择 .....	176
第9章	生物强化处理技术 .....	182
9.1	生物强化处理技术的作用机理 .....	182
9.2	高效菌及其添加技术 .....	183
9.3	微生物固定化技术 .....	185
9.4	低强度超声波强化污水生物处理技术 .....	187
第3篇	微污染水领域生物处理新技术 .....	197
第10章	微污染水生物处理新技术 .....	197
10.1	当前净水工艺的问题及主要对策 .....	197
10.2	微污染水生物处理基本原理 .....	198
10.3	生物预处理 .....	203
10.4	强化混凝生物化、强化过滤生物化 .....	204
10.5	深度处理生物化 .....	205
10.6	生物法组合工艺 .....	207
参考文献	.....	214

# 第 1 篇 水处理基本知识

## 第 1 章 概 述

### 1.1 水体污染及控制

#### 1.1.1 污染物来源、分类及水污染类型

受到各种复杂因素的影响,水体中通常不是纯净的,含有物理、化学和生物的成分。水中各种成分及含量不同,其感官性状(色、臭、味、浑浊度等),物理化学性能(温度、反应值、电导率、氧化还原电势、放射性等),化学成分(无机物和有机物),生物组成(种群、数量)甚至其底泥状况等指标均会反映出差异。人类在进行生产和生活等活动过程中,不可避免地会排出污染物,它们会通过不同途径进入水体使水体的物理化学性能和生物种群产生一系列变化,而使水体受到污染。表 1-1 中列出了水体中主要污染物的来源。根据污染物的具体类别,又可将水体污染分为感官性污染、热污染、放射性污染、无机污染、有机污染、有毒物质污染、富营养化污染、油污染、病原微生物污染等 9 种类型。

表 1-1 水体中主要污染物分类和来源

种类	名 称	主 要 来 源	
物理性污染源	热	热电站、核电站、冶金和石油化工等工厂的排水	
	放射性物质(如铀及其裂变,衰变产物)	核生产废物、核试验沉降物,核医疗和核研究单位的排水	
化学性污染源	无机物	铬	铬矿冶炼、镀铬、颜料等工厂的排水
		汞	汞的开采和冶炼、仪表、水银法电解以及化工等工厂的排水
		铅	冶金、铅蓄电池、颜料等工厂的排水
		镉	冶金、电镀和化工等工厂的排水
		砷	含砷矿石处理、制药、农药和化肥等工厂的排水
		氰化物	电镀、冶金、煤气洗涤、塑料、化学纤维等工厂的排水
		氮和磷	农田排水;生活污水;化肥、制革、食品、毛纺等工厂的排水
	酸、碱和盐	矿山排水;石油化工、化学纤维、化肥造纸、电镀、酸洗和给水处理等工厂的排水、酸雨	
	有机物	酚类化合物	炼油、焦化、煤气、树脂等化工厂的排水
苯类化合物		石油化工、焦化、农药、塑料、染料等化工厂的排水	



续上表

种类	名称		主要来源
化学性污染源	有机物	有机氯和有机磷	农田排水;树木利用和保存加工厂、农药化工厂的排水
		油类	采油、炼油、船舶以及机械、化工等工厂的排水
生物性污染源	病原体		生活污水;医院污水、屠宰、畜牧、制革、生物制品等工厂的排水;灌溉和雨水造成的径流
	霉素		制药、酿造、制革等工厂的排水

### 1.1.2 水污染造成的危害与防控措施

水是人类赖以生存的不可替代的宝贵资源,一旦水体遭受污染,其造成的损失将是不可估量的,随便列举几条,其带来的危害都是毁灭性的:

- 1) 水体污染使优质水源更加短缺,工业、农业、生活用水供需矛盾日益加剧。
- 2) 水体污染使人体中毒、免疫力下降、癌症等人类健康问题增多,导致疾病及死亡率增加。
- 3) 水体污染后,水体生态系统会遭到致命破坏,迫使渔业资源减少甚至物种灭亡。
- 4) 水体污染后,净水、供配水设施的负荷增加,运营费用加大、处理成本增加,直接提高了水的使用成本,会导致一系列的社会经济问题。
- 5) 水体污染会加速生态环境的破坏与退化,严重影响地下水水质,加剧水资源短缺危机。

所以必须对水体采取有效的、前瞻性的污染防控措施,利用现代的水处理新技术,采取分散或集中处理相结合的方式,将工业废水和城市污水处理到水体能承受的程度,在污水处理厂内最大限度地消减污染物,保护水体免受污染。我国水中优先控制污染物黑名单见表 1-2。

表 1-2 我国水中优先控制污染物黑名单

序号	类别	数量	优先控制污染物
1	挥发性卤代烃类	10	二氯甲烷;三氯甲烷;四氯化碳;1,2-二氯乙烷;1,1,1-三氯乙烷;1,1,2-三氯乙烷;1,1,2,2-四氯乙烷;三氯乙烯;四氯乙烯;三溴甲烷
2	苯系物	6	苯;甲苯;乙苯;邻二甲苯;间二甲苯;对二甲苯
3	氯代苯类	4	氯苯;邻二氯苯;对二氯苯;六氯苯
4	多氯联苯	1	氯化联苯,根据氯原子的取代位置和数量不同,共有 210 种化合物,统称为 PCBs
5	酚类	6	苯酚;间甲酚;2,4-二氯酚;2,4,6-三氯酚;对硝基酚

续上表

序号	类别	数量	优先控制污染物
6	硝基苯类	6	硝基苯;对硝基甲苯;2,4-二硝基甲苯;三硝基甲苯,对硝基氯苯;2,4-硝基氯苯
7	苯胺类	4	苯胺;二硝基苯胺;对硝基苯胺;2,6-二氯硝基苯胺
8	多环芳烃类	7	萘;荧蒽;苯并(b)荧蒽;苯并(k)荧蒽;苯并(a)芘; 苊并(1,2,3-c,d)芘;苯并(g,h,i)芘
9	酞酸酯类	3	酞酸二甲酯;酞酸二丁酯;酞酸二辛酯
10	农药	8	六六六,滴滴涕;敌敌畏;乐果;对硫磷;甲基对硫磷;除草醚;敌百早
11	丙烯腈	1	丙烯腈
12	亚硝胺类	2	N-亚硝基二乙胺;N-亚硝基二正丙胺
13	氰化物	1	氰化物
14	重金属及其化合物	9	砷及其化合物;铍及其化合物;镉及其化合物;铬及其化合物;汞及其化合物;镍及其化合物;铊及其化合物;铜及其化合物;铅及其化合物

### 1.1.3 水中优先控制污染物

随着工业技术发展,环境排放的污染物与日俱增,其中大多数是化学污染物。此外,世界上每年约有1 000多种新的化学品进入市场。以农药为例,全球使用量以12.4%的速度递增。科学研究表明,这类化学污染物,大多数是有毒有害的,然而,这些化学污染物,特别是有毒有机化学污染物在环境中的行为(光解、水解、微生物降解、挥发、生物富集、吸附、淋溶等)及其可能产生的潜在危害迄今尚无所知或知之甚微。科学研究进一步证明,有一些有毒污染物往往难于降解,并具有生物积累性和三致(致癌、致畸、致突变)作用或慢性毒性,有的通过迁移、转化、富集,浓度水平可提高数倍甚至上百倍,对环境和人体健康是一种潜在威胁,因而日益受到人们的关注。但是由于有毒物质品种繁多,不可能对每一种污染物都制定控制标准,因而提出在众多污染物中筛选出潜在危险大的作为优先研究和控制对象,称之为优先污染物(Priority pollutant)或称为优先控制污染物。美国环保局(USEPA)于1976年率先公布了129种优先污染物。我国在进行研究和参考国外经验的基础上也提出来首批14类共68种化学污染物列为优先污染物。这些污染物在水体中不易降解。难于被常规净水工艺去除,在环境中有一定的生物积累性,大部分本身具有毒性,部分具有“三致”作用,可构成对人类健康的潜在威胁。

## 1.2 污水处理的目标和规划

### 1.2.1 我国城市排水和污水处理

截至2013年底,我国城市污水处理率为89.21%。设市城市除西藏日喀则和海

南三沙外,均建成投运了污水处理厂,形成污水处理能力 1.24 亿  $\text{m}^3/\text{d}$ 。建成雨水管网 17.0 万 km、污水管网 19.1 万 km、雨污合流管网 10.3 万 km。建成污泥无害化处置能力 1 042 万 t/d。建成污水再生处理能力 1 752 万  $\text{m}^3/\text{d}$ 。

### 1.2.2 环境目标和处理目标

污水处理的最终目标与所在地区整体的环境目标密切相关。就目前的技术水平而言,可使污废水净化至所要求的任何程度,但净化要求每提高一步意味着可能要采取另一种昂贵得多的净化方法。因此这一环境目标必须同我们的经济能力相适应。技术管理人员在地区的环境整体目标确定后应制订为达到这一环境目标所要求的处理目标,同时寻找能达到该处理目标的适合于本地区实际情况(如占地、人力、财力等)、又是最为经济的治理工艺的方法,并加以实施。对新建项目,应对建设项目进行环境影响评价,并在报告书中提出该建设项目的环境目标和与之相应的处理目标。

随着地区条件的变化,如经济的不断发展,用于环保的经费相应增加以及人们对环境质量的要求进一步提高,还可不断调整或提高这一环境的总目标,并相应地提高治理目标。

### 1.2.3 发展规划

随着工农业生产的发展、城市人口的增加、生产工艺及生活方式的改变,被处理污水的水量、水质也不断在变化,技术管理人员必须对这一变化有一个清醒的估计,制订出污水处理的近期目标及长远的发展规划,例如确定现阶段的处理要求及目标,编制运行的预算(日常运行费用)、根据处理水量的增长及水质的变化制订基建计划并进行必要的准备。

## 1.3 污水资源化、再生利用及污水深度处理

### 1.3.1 污水再生利用的目的及意义

#### (1)再生利用的目的

近年来,世界上水资源短缺、缺水问题突出的国家,都将用水领域的总体战略目标进行了相似的调整,将单纯的水污染控制转变为全方位的水环境的可持续发展。随着经济发展和城市化进程的加快,我国大部分城市严重缺水,为应对水资源短缺的严峻形势,缓解水危机的最有效措施就是污水再生利用。国务院召开的全国节水会议指出:大力提倡城市污水再生利用等非传统水资源的开发利用,并纳入水资源的统一管理和调配。在国民经济和社会发展第十个五年计划纲要中也首次出现了“污水

处理回用”一词。纲要中明确规定:重视水资源的可持续利用,坚持开展人工降雨、污水处理回用、海水淡化。

城市污水其实也是一种资源,污水再生利用的目的就是回收淡水资源以及污水中的其他能源和有用的物质。“污水资源化”将污水作为第二水源是解决水危机的重要途径。从目前的情况看,污水再生利用的目的主要是以回收淡水资源为主。对于水资源的开发利用,科学合理的次序是地面水、地下水、城市再生水、雨水、长距离跨流域调水、淡化海水。由于地面水和地下水的短缺导致的水资源危机的出现,使城市再生水的开发利用受到了广泛的关注和重视。因此,大力开发城市再生水、提高循环利用率,进行污水再生利用已是当前缓解水资源危机的第一选择。

### (2)再生利用的意义

污水再生利用事实上也是对污水的一种回收和削减,而且污水中相当一部分污染物质只能在水再生利用的基础上才能得到回收。由污水再生利用所取得的环境效益、社会效益是很大的,其间接效益和长远效益更是难以估量。以污水为原水的再生水净水厂的制水成本甚至远远低于以天然水为原水的自来水厂,尤以远距离调水更为突出。这是因为省却了水资源费用、取水及远距离输水的能耗和建设费用等。再生利用工程的水量越大,其吨水投资越小,成本越低,经济效益越明显。国内外同类经验与预测均表明,对城市污水厂二级处理出水,采用混凝-沉淀-过滤-消毒技术处理,在管网适宜的条件下,回用水量在  $10\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$  以上的工程的吨水投资都应在 600 元左右,处理成本在 0.6 元以下。按城市自来水价  $4.2\ \text{元}/\text{m}^3$  计,回用每吨污水最少可节约资金 3.6 元。按现在国内外通行惯例,再生水价格一般为自来水价格的  $50\%\sim 70\%$ ,按  $60\%$  计,则再生水价格应为  $2.5\ \text{元}/\text{m}^3$ ,用户每吨水可节省 1.7 元,供水方吨水获利 1.9 元。供水方两年内可收回投资,供需双方经济效益都十分显著。所以污水资源化至少有如下几个方面的意义:①作为第二水源,可以缓解水资源的紧张问题。②污水再生利用大大降低了污水排放量,减轻江河、湖泊污染,保护水资源不受破坏。③节约社会成本,减少用水费用以及污水净化处理费用。

### 1.3.2 污水再生利用方式

地理、气候和经济等因素影响着世界各地水再生利用的方式与程度。在农业生产为主的地区,农业灌溉是水再生利用的主要方式;在干旱地区,如以色列、澳大利亚、美国的加利福尼亚和亚利桑那等州,农业灌溉和地表补充是水再生利用的主要方式;日本将再生水主要用作城市商业、工业、中水与环境景观用水。总的说来,污水再生利用方式主要有以下几种。

#### (1)农业灌溉

大约从 19 世纪 60 年代起,法国巴黎等世界上许多城市就一直将城市污水回用

于农业灌溉。污水再生利用应将农业灌溉推为首选对象。其理由主要有两点:①农业灌溉需要的水量很大,全球淡水总量中大约有 60%~80%用于农业,污水回用农业有广阔的天地;②污水灌溉对农业和污水处理都有好处,能够方便地将水和肥源同时供应到农田,又可通过土地处理改善水质。不过,要将污水安全地回用于农业,还需解决水质、利用时间和监督管理等方面的问题。

### (2) 工业生产

从大多数城市的用水量和排水量看,工业是用水大户。但是,面对淡水紧缺、水价渐涨的现实,工厂除了尽力将本厂废水循环利用,提高水的重复利用率外,对城市污水回用于工业也日渐重视。对于用水量较大且对处理要求不高的部门是最理想的回用场所,如间接冷却用水。间接冷却用水对水质的要求只有碱度、硬度、氯化物以及锰含量等,且其对水量要求很大,城市污水的二级处理出水就能满足要求。工艺用水中的冲灰、除尘等要求水质较低,污水简单处理后就可以回用。对于原料加工过程工艺用水、锅炉补给水等水质要求,对水质有不同要求,要进行相应的高级处理方能回用。

### (3) 城市生活用水

城市生活用水量比工业用水量小,但是生活杂用水的水质要求较高。世界上大多数地区对生活饮用水源控制严格,例如美国环保局认为,除非别无水源可用,尽可能不以再生污水作为饮用水源。如今,再生水用于城市生活一般限于两方面:①市政用水,即浇洒、绿化、景观、消防、补充河湖等用水;②杂用水,即冲洗汽车、建筑施工以及公共建筑和居民住宅的冲洗厕所用水等。

### (4) 回注地层

污水回注于地下有助于土地渗液的进一步回收利用。补充地下水应注意防地陷;防止地下水污染,防止海水倒灌等。

## 1.3.3 污水的深度处理技术

在二级处理水中,还含有相当数量的污染物。如  $BOD_5$  20~30 mg/L,  $COD$  60~100 mg/L,  $SS$  20~30 mg/L,  $NH_3-N$  15~25 mg/L,  $TP$  3~4 mg/L,此外,还可能含有细菌和重金属等有毒有害物质,若直接排放于水体,可导致水体富营养化。为了更好地去除上述污染物质,提高出水水质,进而达到再生回用要求,以实现污水资源化,需要对污水进行深度处理。

深度处理的对象与目标:①去除处理水中残存的悬浮物(包括活性污泥颗粒)、脱色、除臭,使水进一步澄清;②进一步降低  $BOD_5$ 、 $COD$ 、 $TOC$  等指标,使水进一步稳定;③脱氮、除磷,消除能够导致水体富营养化的因素;④消毒、杀菌,去除水中的有毒有害物质。深度处理的去除对象、处理方法、目的见表 1-3。

表 1-3 深度处理的去除对象、处理方法、目的

去除对象		相应指标	处理方法	目的
有机物	悬浮态	SS VSS 色度 臭味	混凝沉淀、过滤	排放水体 再生利用
	溶解态	BOD COD	混凝沉淀、活性炭吸附、臭氧氧化	
植物性 营养盐类	氮	TN KN NH <sub>3</sub> -N NO <sub>2</sub> -N NO <sub>3</sub> -N	吹脱、生物脱氮	防止富 营养化
	磷	TP PO <sub>4</sub> -P	混凝沉淀、生物除磷	
微量成分	溶解性无机物	电导度及 Ca Na Cl 离子	反渗透、电渗析、离子交换	再生利用
	微生物	细菌 病毒	臭氧氧化 消毒	

## 1.4 水体富营养化及污染控制问题

因受化肥与生活污水污染,地表水源水中氮磷普遍偏高,常规净水工艺较难达标。生物处理是去除原水中氮磷最有效的方法。我国有丰富的湖泊水和人工水库水资源,随着水源的污染,水体富营养化严重,导致藻类大量繁殖,水质恶化。含藻水处理工艺比较复杂,难度也较大,此类问题有一定的普遍性,本节重点讨论水体富营养化问题,以及相应的水质特征与处理技术。

### 1.4.1 富营养化及其污染来源

富营养化是指湖泊等水体接纳过多的氮、磷等营养物,使藻类及其他水生生物过量繁殖,水的透明度下降,溶解氧降低,造成湖泊水质恶化,从而使湖泊生态功能受到损害和破坏。湖泊、水库水体的水流滞缓,滞留时间又长,十分适于植物营养素的积聚和水生植物的生长繁殖。当水体中营养素积聚到了一定的水平,即会促使水生植物生长过于旺盛,形成富营养化污染。富营养化的湖泊、水库水体中,在阳光和水温达到藻类繁殖的季节,大片水面会被藻类覆盖,形成常见的“水华”,它不仅使水带有臭味,并会遮蔽阳光,隔绝氧溶解于水中。枯死的藻类沉积水底,又是新生的污染源,它们进行厌氧发酵,消耗溶解氧,并不断释放氮、磷,供水生植物作为营养物。由于氮、磷的循环积累,造成湖库水污染逐步加重。如2007年6月,太湖蓝藻大面积爆发,其直接原因是太湖水体水质富营养化。导致太湖富营养化的主要原因是入湖污染物总量显著增加。据江苏省环境监测中心提供的报告,仅2007年,江苏省入湖河流共向太湖输入约70 t磷和2 000 t氮。

近年来,我国湖泊时有蓝藻、绿藻等的季节性爆发现象,甚至水质较好的千岛湖、洱海也每年爆发水华。水质富营养化问题给生态环境造成严重危害,经济损失也十

分惨重。要控制水的富营养化,首先必须弄清所有能进入水体的氮、磷等营养素的污染源的污染负荷。

湖泊、水库水体营养物负荷通常有如下几种产生途径:沉积物释出(水体内部负荷),点、面污染源直接带入,大气中氮的干湿沉降、土地中氮磷通过降雨径流带入等。研究表明,大气中的氮干湿沉降对水体的氮污染也有重要贡献作用,但是过去常被人们所忽视。若考虑磷负荷时,应确定其背景值,即未受人类活动影响时的天然负荷。

#### 1.4.2 水体富营养化的危害

湖泊、水库的富营养化严重影响了其功能的发挥和有效作用,造成经济上、环境上的巨大损失。富营养化现象主要由藻类和有机物引起,是湖泊水库主要的环境问题,由富营养化带来的不利影响主要有以下几个方面:

1) 营养化导致水质恶化,如果作为城市集中饮用水源,会给饮用水处理增加困难。城市湖泊、水库作为城市集中饮用水源时,必须维持其优良水质,确保其经一般常规处理后就能达到饮用水水质标准。一旦由于藻类的大量繁殖引起水库、湖泊水源的水质恶化,会给饮用水的净化处理带来许多困难,进而严重影响饮用水水质。如藻类和水生微生物的大量孳生繁殖会堵塞滤池,甚至还会穿透滤池在配水系统中繁殖,造成滤网、闸门、水表等堵塞失效,使配水系统水流不畅或阻塞;其次,藻类分泌出的有机物不仅会妨碍絮凝作用,导致出水浑浊,还会分解生成难以降解的腐殖酸(即为三卤甲烷前驱物 THM),如用氯消毒即生成具有致癌、致畸和致突变作用的有害物如三卤甲烷(THMs),从而影响加氯消毒过程。另外,湖泊底部沉积物的厌氧发酵不但产生甲烷等气体,干扰水处理过程,还会使水中  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  浓度因还原作用而增加。

2) 富营养化湖泊、水库中溶解氧浓度因藻类覆盖水面而降低,湖库中鱼虾及水生生物常会缺氧窒息致死,导致水产养殖业减产甚至完全破坏。

3) 富营养化使湖泊、水库的水带霉臭味,因此丧失水体的游泳价值和观赏价值。

4) 富营养化使水体水质不能符合工业冷却水及工艺用水的水质要求,易造成冷却设施堵塞失效。

#### 1.4.3 富营养化水体的处理

在控制水体富营养化中引入生物处理起因于原水中的氮磷和异臭问题,不过作为去除硝酸氮的措施,可以考虑生物处理、离子交换以及电渗析、反渗透等膜技术。近年来,生物处理在防止水体产生富营养化中的应用日益增多,其对富营养化水体的净化作用也引起了越来越多的关注。我国在武汉东湖进行了生物预处理研究,在安徽巢湖、无锡太湖、绍兴青甸湖等地也进行过大量研究,此外,成都活水公园也是一

个利用生物处理去除水体中不同的藻类、臭味、悬浮物的典型实例。

## 1.5 水源微污染问题及水源突发污染应急处理方法

作为城市集中饮用的水源,必须维持其优良水质,确保其经一般常规处理后就能达到饮用水水质标准。一旦出现污染,会给饮用水的净化处理带来许多困难,进而严重影响饮用水水质。限于我国现阶段经济发展水平和污染控制的实力,水环境的恶化趋势在短期内很难扭转。随着水体污染加剧,水源水污染有恶化趋势。据统计,我国90%以上的城市水域严重污染,近50%的重点城镇水源不符合饮用水水源的标准。而绝大多数水厂采用常规处理工艺,使处理后饮用水水质的化学安全性得不到有效保证。

### 1.5.1 饮用水水质新标准

饮用水的安全性对人体健康至关重要。进入20世纪90年代以来,随着微量分析和生物检测技术的进步,以及流行病学数据的统计积累,人们对水中微生物的致病风险和致癌有机物、无机物对健康的危害的认识不断深化,世界卫生组织和世界各国相关机构纷纷修改原有的或制定新的水质标准。

目前,全世界有许多不同的饮用水水质标准,其中具有国际权威性、代表性的有三部:世界卫生组织(WHO)的《饮用水水质准则》、欧盟(EC)的《饮用水水质指令》以及美国环保局(USEPA)的《国家饮用水水质标准》,其他国家或地区的饮用水标准大都以这三种标准为基础或重要参考,来制定本国或地区的标准。东南亚的越南、泰国、马来西亚、印度尼西亚、菲律宾、中国香港,南美洲的巴西、阿根廷,还有匈牙利和捷克等国家和地区都是采用WHO的饮用水标准;法国、德国、英国等欧盟成员国和我国的澳门则均以EC指令为指导,澳大利亚、加拿大、俄罗斯、日本同时参考WHO、EC、USEPA标准。

我国于2006年由国家标准委和卫生部联合发布了《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)强制性国家标准。该标准自2007年7月1日起实施。规定指标由原标准的35项增至106项,增加了71项,修订了8项,包括42项常规指标和64项非常规指标,常规指标是各地统一要求必须检测的项目。而非常规指标及限值所规定指标的实施项目和日期由各省级人民政府根据实际情况确定,但必须报国家标准委、建设部和卫生部备案。具体修改内容如下:

①微生物指标由2项增至6项:增加了大肠埃希氏菌、耐热大肠菌群、贾第鞭毛虫和隐孢子虫,修订了总大肠菌群。

②饮用水消毒剂由1项增至4项:增加了一氯胺、臭氧、二氧化氯。



③毒理指标中无机化合物由 10 项增至 21 项:增加了溴酸盐、亚氯酸盐、氯酸盐、锑、钡、铍、硼、钼、镍、铊、氯化氰。并修订了砷、镉、铅硝酸盐。毒理指标中有机化合物由 5 项增至 53 项:增加了甲醛、三卤甲烷、二氯甲烷、1,2-二氯乙烷、1,1,1-三氯乙烷、三溴甲烷、一氯二溴甲烷、二氯一溴甲烷、环氧丙烷、氯乙烯、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯乙烯、三氯乙烯、四氯乙烯、六氯丁二烯、二氯乙酸、三氯乙酸、三氯乙醛、苯、甲苯、二甲苯、乙苯、苯乙烯、2,4,6-三氯酚、氯苯、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、三氯苯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、丙烯酰胺、微囊藻毒素-LR、灭草松、百菌清、溴氰菊酯、乐果、2,4-滴、七氯、六氯苯、林丹、马拉硫磷、对硫磷、甲基对硫磷、五氯酚、莠去津、呋喃丹、毒死蜱、敌敌畏、草甘膦;修订了四氯化碳。

④感官性状和一般化学指标由 15 项增至 20 项:增加了耗氧量、氨氮、硫化物、钠、铝;修订了浑浊度。

⑤放射性指标中修订了总  $\alpha$  放射性。

### 1.5.2 微污染源的特点

“微污染”是我国近 10 年来才出现的给水处理术语。当水源所含的污染物种类较多、性质较复杂,但浓度比较低微时,通常被称为微污染水。微污染源是指水的物理、化学和微生物指标已不能达到《地面水环境质量标准》中作为生活饮用水源水的水质要求。水体中污染物单项指标,如浑浊度、色度、臭味、硫化物、氮氧化物、有毒有害物质(如汞、镉、铬、铅、砷等)、病原微生物等有超标现象,但多数情况下是指受有机物微量污染的水源。

### 1.5.3 微污染水的主要危害

1) 有机物 微污染水中的有机物可分为天然有机物(NOM)和人工合成有机物(SOC)。天然有机物是指动植物在自然循环过程中经腐烂分解所产生的物质,也称为耗氧有机物;人工合成的有机物大多为有毒有机污染物。有机物在水中的存在使悬浮颗粒更稳定,增加混凝剂用量和活性炭吸附器的负荷。一些有毒有害的污染物不仅难于降解,而且具有生物富集性和“三致”(致癌、致畸、致突变)作用,对公众健康危害很大。另外,水体中的可溶性有机物(DOM)容易与饮用水净化过程中的各种氧化剂和消毒剂反应。最为常见的是与液氯反应,形成有害副产物三卤甲烷(THMs)、卤代乙酸(HAAs)以及其他卤代消毒副产物。

2) 氮 氮在水中以有机氮、氨、亚硝酸盐和硝酸盐形式存在,用金属铝盐作为混凝剂对氨氮的去除率很低。在水厂流程和配水系统中,氨氮浓度 0.25 mg/L 就足以使硝化菌生长,由硝化菌和氨释放的有机物会造成臭味问题。氨形成氯胺也要消耗大量的氯,降低消毒效率,而且可能生成氯化氰消毒副产物,影响水中有机物的氧化