

# A<sup>2</sup>/O法污水生物脱氮除磷 处理技术与应用

王晓莲 彭永臻 等/编著



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# A<sup>2</sup>/O 法污水生物脱氮除磷 处理技术与应用

王晓莲 彭永臻 等 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书从我国污水处理现状和水体富营养问题出发,提出加强当前城市污水处理厂广泛应用的 $A^2/O$ 同步生物脱氮除磷工艺科学管理和运行优化的必要性和重要性。首先,系统介绍了 $A^2/O$ 工艺的特点、影响因素、应用情况以及存在的问题。通过分析生物脱氮除磷新理论和新技术,提出开发 $A^2/O$ 生物脱氮除磷新技术的思想。其次,详细介绍了 $A^2/O$ 工艺系统性能及其运行优化的研究成果; $A^2/O$ 工艺的数学模型及其模拟; $A^2/O$ 工艺污水处理系统污泥的培养及调试、运行管理、常见故障处理、过程控制、在线仪表、工程设计,并列举了 $A^2/O$ 工艺典型工程实例。最后,还给出了 $A^2/O$ 变形工艺及其工程应用。

全书具有系统全面、内容新颖、实践性强的特点,可作为城市污水处理系统运行管理人员的指导用书,也可作为给水排水工程和环境工程专业的科研、设计人员及大专院校相关专业师生的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

$A^2/O$ 法污水生物脱氮除磷处理技术与应用 / 王晓莲,彭永臻等编著.  
—北京:科学出版社,2009  
ISBN 978-7-03-022911-3  
I. A… II. ①王…②彭… III.  $A^2/O$ 法-污水生物-研究 IV. TU973  
中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第149513号

责任编辑:朱 丽 / 责任校对:张怡君  
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2009年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009年1月第一次印刷 印张:25

印数:1—2 000 字数:548 000

定价:78.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

# 前 言

近年来,虽然我国污水处理率不断提高,但是由氮磷污染引起的水体富营养问题不仅没有解决,而且有日益严重的趋势,为了防止水体富营养化,在城镇污水处理厂污染物的排放标准中对氮磷的排放提出了更高的要求。因此,对污水生物脱氮除磷的机理、影响因素及工艺特点等方面的研究是我国当前污水处理的一个热点,与此同时还出现了一些新工艺。另外对于生物脱氮除磷工艺,今后的发展要求不仅仅局限于较高的氮磷去除率,而且也要求处理系统运行稳定、可靠、控制调节灵活、投资和运行费用低。

A<sup>2</sup>/O 工艺由于具有同时脱氮(N)和除磷(P)的功能,相对于其他同步脱氮除磷工艺具有构造简单、总水力停留时间短、运行费用低、控制复杂性小、不易产生污泥膨胀等优点,是传统活性污泥法污水处理厂改建为具有脱氮除磷功能的污水处理厂时最佳的备选工艺,目前 A<sup>2</sup>/O 生物脱氮除磷工艺在我国拥有 50% 以上的市场,是处理城市污水的主要工艺。

研究发现,生物脱氮除磷比较复杂,涉及硝化、反硝化以及释磷和吸磷等多个生化反应过程。上述每一个过程的目的不同,对微生物的组成、基质类型及环境条件的要求也各不相同。因此要在 A<sup>2</sup>/O 系统中同时完成脱氮和除磷过程,不可避免地产生各过程间的矛盾关系,如碳源、污泥龄、pH 和碱度、硝酸盐、硝化和反硝化容量、释磷和吸磷的容量等问题,这些问题使得传统的 A<sup>2</sup>/O 工艺在实际应用中其出水达到一级排放标准存在一定的难度和局限。

近年来我们一直在从事生物脱氮除磷方面的研究,其中包括 A<sup>2</sup>/O 工艺,并获得了一些研究成果和实际工程应用经验。基于 A<sup>2</sup>/O 工艺在我国城市污水处理中的广泛应用及其存在的问题,我们感觉很有必要出版一本这方面的书,和大家一起交流心得经验,希望对促进 A<sup>2</sup>/O 工艺系统在我国污水处理事业中发挥更大的作用,也对该工艺系统的不断改进与完善有一些帮助。

本书的主旨是向读者介绍关于 A<sup>2</sup>/O 工艺的特点、工程设计、运行、优化、管理、控制和实践应用等方面的知识。本书共分 6 章,第 1 章论述我国水环境和污水处理的现状、水体富营养化问题及其危害,A<sup>2</sup>/O 工艺的特点、影响因素、应用情况以及存在的问题。第 2 章介绍传统生物脱氮理论、生物脱氮新理论和新技术,传统生物除磷理论以及反硝化除磷脱氮新理论和新技术。第 3 章介绍 A<sup>2</sup>/O 工艺系统性能及其运行优化的研究,包括 A<sup>2</sup>/O 工艺的反硝化除磷性能以及如何强化反硝化除磷性能,过量曝气、进水 C/N 比和 C/P 比、MLSS、SRT、污泥回流比、内循环

回流比、缺氧区与好氧区容积比、分段进水等因素或变量对 A<sup>2</sup>/O 工艺性能的影响及其优化。分析 A<sup>2</sup>/O 系统内 DO、ORP 及 pH 的变化规律,二沉池内反硝化和磷释放以及微生物特性对系统性能和运行优化的影响。探讨生物脱氮除磷新理论和新技术如何在 A<sup>2</sup>/O 工艺中实现。第 4 章介绍 A<sup>2</sup>/O 工艺反硝化除磷代谢模型的建立、TUD 联合模型在 A<sup>2</sup>/O 工艺中的应用以及 benchmark 控制策略仿真平台。第 5 章系统地介绍 A<sup>2</sup>/O 污水处理系统调试及污泥的培养、运行管理、常见问题及其对策、过程控制及在线仪表、工程设计及在工业废水处理中的应用,最后列举了 A<sup>2</sup>/O 工艺几个典型的工程实例。第 6 章介绍 A<sup>2</sup>/O 的变形工艺及其工程应用,包括倒置 A<sup>2</sup>/O 工艺、UCT 工艺、改良式 A<sup>2</sup>/O 工艺、三环式 A<sup>2</sup>/O 工艺等。

本书第 1 章和第 2 章由彭永臻和王晓莲负责编写,第 3 章、第 6 章由王晓莲负责编写,第 4 章和第 5 章由王晓莲和马勇负责编写。在本书的编写和校对过程中,还得到曹雪梅等的帮助,在此一并表示衷心的感谢!

本书内容涉及的研究工作得到了国家自然科学基金——海外青年学者合作研究基金项目(50628808)和国家“十一五”科技重大专项——水体污染控制与治理项目的资助,在此一并表示感谢!

本书的部分内容参考了国内外学者或工程师的研究成果或实际运行经验,在此向有关作者表示衷心感谢。由于作者水平有限,在诸多问题的研究和认识上还欠深刻,所以书中难免存在缺点和不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者

2008 年 4 月

# 目 录

## 前言

第 1 章 绪论	1
1.1 我国水环境与城市污水处理状况	1
1.1.1 我国水环境现状	1
1.1.2 我国水污染特征及其对策	3
1.1.3 我国城市污水处理现状及存在的问题	7
1.2 水体富营养化问题及其危害	12
1.2.1 国内外水体富营养化状况	12
1.2.2 水体富营养化现象	14
1.2.3 水中氮磷的来源	15
1.2.4 水体富营养化的危害	16
1.2.5 水体富营养化的治理	19
1.2.6 我国控制氮磷污染的水环境标准	21
1.3 A <sup>2</sup> /O 生物脱氮除磷工艺	21
1.3.1 A <sup>2</sup> /O 工艺的发展	22
1.3.2 A <sup>2</sup> /O 工艺生物脱氮除磷的原理	24
1.3.3 A <sup>2</sup> /O 工艺的特点及影响因素	25
1.3.4 A <sup>2</sup> /O 工艺在国内外的应用现状	28
1.4 A <sup>2</sup> /O 工艺存在的问题及其对策	29
1.4.1 传统 A <sup>2</sup> /O 工艺存在的主要问题	30
1.4.2 A <sup>2</sup> /O 工艺的改进措施	33
参考文献	36
第 2 章 生物脱氮除磷的新理论与新技术	39
2.1 传统生物脱氮理论	39
2.1.1 硝化反应	39
2.1.2 反硝化反应	42
2.1.3 传统生物脱氮技术存在的问题	44
2.2 生物脱氮新理论和新技术	45
2.2.1 短程硝化反硝化生物脱氮技术	46
2.2.2 厌氧氨氧化生物脱氮技术	56

2.2.3	同步硝化反硝化生物脱氮技术	66
2.3	传统生物除磷理论及其影响因素	72
2.3.1	传统生物除磷的生化反应机理	72
2.3.2	传统生物除磷系统的主要影响因素	74
2.4	反硝化除磷脱氮新理论和新技术	78
2.4.1	反硝化除磷脱氮理论	78
2.4.2	反硝化除磷脱氮工艺	80
2.4.3	反硝化除磷工艺的影响因素	86
	参考文献	90
<b>第3章</b>	<b>A<sup>2</sup>/O 工艺系统性能及其运行优化的研究</b>	<b>99</b>
3.1	A <sup>2</sup> /O 工艺的反硝化除磷性能	99
3.1.1	试验方法及方案设计	99
3.1.2	A <sup>2</sup> /O 工艺的除磷性能	100
3.1.3	A <sup>2</sup> /O 工艺的脱氮性能	104
3.1.4	A <sup>2</sup> /O 工艺的 COD 去除性能	105
3.2	过量曝气对 A <sup>2</sup> /O 工艺生物脱氮除磷的影响	106
3.3	进水 C/N 比和 C/P 比对 A <sup>2</sup> /O 工艺生物脱氮除磷的影响	108
3.3.1	试验方案	109
3.3.2	进水 C/N 比对氮和磷的去除	110
3.3.3	进水 C/P 比对氮和磷去除的影响	115
3.4	几种控制变量对 A <sup>2</sup> /O 工艺性能的影响	120
3.4.1	MLSS 对 A <sup>2</sup> /O 工艺的影响	120
3.4.2	SRT 对 A <sup>2</sup> /O 工艺的影响	122
3.4.3	污泥回流比对 A <sup>2</sup> /O 工艺的影响	123
3.4.4	内循环回流比对 A <sup>2</sup> /O 工艺的影响	124
3.4.5	缺氧区与好氧区容积比对 A <sup>2</sup> /O 工艺的影响	128
3.5	分段进水对 A <sup>2</sup> /O 工艺脱氮除磷性能的影响	132
3.5.1	对氮去除的影响	133
3.5.2	对磷去除的影响	135
3.5.3	不同分段进水比时系统沿程方向各参数的变化规律	138
3.5.4	最优分段进水比的适用性	140
3.6	A <sup>2</sup> /O 工艺生物脱氮除磷性能优化及其运行	142
3.6.1	西班牙 Ciudad Real 污水处理厂营养物质去除优化	142
3.6.2	A <sup>2</sup> /O 工艺脱氮除磷系统的运行研究	147
3.7	强化 A <sup>2</sup> /O 工艺反硝化除磷性能的运行策略	154

3.7.1	内循环回流量的控制与优化 .....	156
3.7.2	厌氧/缺氧/好氧区体积比的优化 .....	159
3.7.3	分段进水的优化 .....	161
3.8	A <sup>2</sup> /O 系统内 DO、ORP 及 pH 的变化规律 .....	163
3.8.1	DO、ORP 及 pH 的沿程变化规律 .....	163
3.8.2	DO、ORP 及 pH 的沿程变化原因 .....	166
3.8.3	反硝化除磷过程中 ORP 在线信息的变化规律 .....	167
3.9	生物脱氮除磷新理论和新技术在 A <sup>2</sup> /O 工艺中的实现 .....	168
3.9.1	短程硝化反硝化的实现 .....	168
3.9.2	同步硝化反硝化和反硝化除磷的建立 .....	175
3.9.3	缺氧硝化现象在 A <sup>2</sup> /O 系统中的出现及其特征 .....	179
3.10	A <sup>2</sup> /O 工艺强化反硝化除磷体系中微生物特性分析 .....	181
3.10.1	聚磷颗粒染色的沿程特征变化 .....	182
3.10.2	胞内储存物 PHB 染色的沿程特征变化 .....	184
3.10.3	微生物电镜扫描分析的沿程特征变化 .....	185
	参考文献 .....	188
<b>第 4 章</b>	<b>A<sup>2</sup>/O 工艺的数学模型与模拟 .....</b>	<b>194</b>
4.1	A <sup>2</sup> /O 工艺反硝化除磷代谢模型 .....	194
4.1.1	反硝化除磷代谢模型 .....	195
4.1.2	反硝化除磷动力学 .....	196
4.1.3	A <sup>2</sup> /O 反硝化除磷工艺动力学模式 .....	199
4.2	TUD 联合模型在 A <sup>2</sup> /O 工艺的应用 .....	208
4.2.1	倒置 A <sup>2</sup> /O 工艺 TUD 模型的建立与模拟 .....	208
4.2.2	采用 TUD 模型动态模拟倒置 A <sup>2</sup> /O 工艺运行工况 .....	211
4.2.3	采用 TUD 联合模型对倒置 A <sup>2</sup> /O 工艺运行诊断与优化 .....	215
4.3	A <sup>2</sup> /O 工艺控制策略 benchmark 仿真平台 .....	218
4.3.1	平台的开发 .....	219
4.3.2	仿真平台的应用与模拟 .....	226
	参考文献 .....	231
<b>第 5 章</b>	<b>A<sup>2</sup>/O 污水处理系统的运行、管理、设计与应用 .....</b>	<b>235</b>
5.1	A <sup>2</sup> /O 污水处理系统污泥的培养及调试 .....	235
5.1.1	污泥的培养与驯化 .....	235
5.1.2	系统的运行调试 .....	237
5.1.3	运行调试实例 .....	240
5.2	A <sup>2</sup> /O 污水处理系统的运行管理 .....	248



5.2.1	A <sup>2</sup> /O 污水处理厂主要构筑物的运行管理	248
5.2.2	提高 A <sup>2</sup> /O 工艺整体处理效果的措施	262
5.2.3	保定市污水处理总厂 A <sup>2</sup> /O 工艺的运行管理	263
5.3	A <sup>2</sup> /O 污水处理工艺常见问题及其对策	267
5.3.1	污泥膨胀	267
5.3.2	污泥上浮	271
5.3.3	活性污泥泡沫	271
5.4	A <sup>2</sup> /O 污水处理工艺的过程控制	275
5.4.1	检测变量及常用在线仪表	275
5.4.2	A <sup>2</sup> /O 工艺的过程控制原则	280
5.4.3	A <sup>2</sup> /O 污水处理工艺的控制过程	282
5.4.4	A <sup>2</sup> /O 污水处理系统优化的方法或策略	285
5.4.5	无锡芦村 A <sup>2</sup> /O 污水处理厂自动控制系统	290
5.4.6	应用专家控制系统提高 A <sup>2</sup> /O 工艺的脱氮效率	296
5.5	A <sup>2</sup> /O 污水处理工程的设计	305
5.5.1	工程设计的依据与原则	305
5.5.2	A <sup>2</sup> /O 工艺设计实例 1	307
5.5.3	A <sup>2</sup> /O 工艺设计实例 2	315
5.6	A <sup>2</sup> /O 污水处理典型工程实例	321
5.6.1	青岛李村河污水处理厂	321
5.6.2	北京清河污水处理厂	327
5.6.3	广州大坦沙污水处理厂	331
5.6.4	成都第三污水处理厂	337
5.6.5	纪庄子污水处理厂	341
	参考文献	348
<b>第 6 章</b>	<b>A<sup>2</sup>/O 变形工艺及其工程应用</b>	<b>352</b>
6.1	倒置 A <sup>2</sup> /O 工艺	352
6.1.1	倒置 A <sup>2</sup> /O 工艺的提出	352
6.1.2	倒置 A <sup>2</sup> /O 工艺脱氮除磷原理与特点	353
6.1.3	倒置 A <sup>2</sup> /O 工艺在实际生产中的应用	357
6.2	UCT 工艺及其工程应用	365
6.2.1	UCT 及其变形工艺	365
6.2.2	UCT 工艺在污水处理工程中的应用	370
6.3	回流污泥反硝化 A <sup>2</sup> /O 工艺及其应用	375
6.3.1	回流污泥反硝化 A <sup>2</sup> /O 工艺	375

---

6.3.2 某改良型 A <sup>2</sup> /O 工艺的除磷脱氮运行效果 .....	379
6.4 其他 A <sup>2</sup> /O 变形工艺 .....	382
6.4.1 三环式 A <sup>2</sup> /O 工艺 .....	382
6.4.2 PASF 工艺 .....	384
参考文献 .....	385
符号说明 .....	386

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 我国水环境与城市污水处理状况

“水是生命之源。没有水,就没有未来”,在 2002 年 9 月召开的第二届联合国可持续发展首脑会议上,水问题成为最热门的话题。近年来,水资源的合理开发和利用问题,更受到了全球的极大关注。各国政府都在采取积极的措施和对策,促进水资源的合理开发和利用,治理水环境污染,解决水资源短缺、保证水资源的质量,以适应人类可持续发展的需要。然而随着我国经济和城市建设的不断发展,城市规模的不断扩大,城市的用水量和排水量都在不断增加,加剧了城市用水的紧张和水质的污染程度,水环境问题日益突出,由此造成的水危机已经成为我国社会发展的重要制约因素<sup>[1-9]</sup>。

### 1.1.1 我国水环境现状

我国是一个干旱缺水严重的国家。淡水资源总量为 28 000 亿  $\text{m}^3$ ,占全球水资源的 6%,仅次于巴西、俄罗斯和加拿大,居世界第四位,但人均只有 2300 $\text{m}^3$ ,仅为世界平均水平的 1/4、美国的 1/5,在世界上名列 121 位,是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。扣除难以利用的洪水径流和散布在偏远地区的地下水资源后,我国现实可利用的淡水资源量则更少,仅为 11 000 亿  $\text{m}^3$  左右,人均可利用水资源量约为 900 $\text{m}^3$ ,并且其分布极不均衡。据统计,2006 年我国 669 座城市中有 400 多个城市存在供水不足问题,其中比较严重的缺水城市达 110 个,全国城市缺水总量为 60 亿  $\text{m}^3$ 。水利部预测,2030 年中国人口将达到 16 亿,届时人均水资源量仅有 1750 $\text{m}^3$ 。在充分考虑节水情况下,预计用水总量为 7000 亿~8000 亿  $\text{m}^3$ ,要求供水能力比现在增长 1300 亿~2300 亿  $\text{m}^3$ ,全国实际可利用水资源量接近合理利用水量上限,水资源开发难度极大,已经达到了世界公认的缺水警戒线。另外我国水资源分布极其不均,我国水资源总量的 81% 集中分布于长江及其以南地区,其中 40% 以上又集中于西南五省区,就人均占有淡水资源而言,南方最高地区和北方最低地区相差数十倍,西部比东部甚至高出五、六百倍。

据监测,目前全国多数城市地下水受到一定程度的点源和面源污染,且有逐年加重的趋势。日趋严重的水污染不仅降低了水体的使用功能,而且进一步加剧了水资源短缺的问题,严重影响我国正在实施的可持续发展战略、严重威胁城市居民

的饮水安全和身体健康。

作为世界人口第一大国和最大的发展中国家,我们在水资源使用和管理上,面临着水资源短缺与水浪费并存、洪涝灾害与生态失衡并存、水环境污染与水管理不善并存的突出矛盾。我国七大江河水系普遍受到不同程度的污染,其中尤以海河和辽河流域污染为重。据 2002 年中国环境状况公报,2002 年,我国七大水系 741 个重点监测断面中,29.1% 的断面满足 I ~ III 类水质要求,30% 的断面属 IV、V 类水质,40.9% 的断面属劣 V 类水质。2002 年,全国工业和城镇生活废水排放总量为 439.5 亿 m<sup>3</sup>,比上年增加 1.5%。其中工业废水排放量 207.2 亿 m<sup>3</sup>,比上年增加 2.3%;城镇生活污水排放量 232.3 亿 m<sup>3</sup>,比上年增加 0.9%。由于 80% 以上的污水未经处理就直接排入水域,已造成 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标准,就连城市地下水都有 50% 受到严重污染。水中有毒有害的有机物问题已经越来越突出,一些城市饮用水中已有 20 多种致癌物。水资源不合理的开发利用,尤其是水污染的不断加重,引起了普遍缺水及其他严重的生态后果。

近 20 年来,虽然我国污水的处理率不断提高,但污水的年排放量仍在大幅度增加,COD 和氨氮的排放量也在增加。全国近年废水及主要污染物排放量见表 1-1。

表 1-1 全国近年废水及主要污染物排放量

	废水排放总量/亿 t			COD 排放量/万 t			氨氮排放量/万 t		
	合计	工业	生活	合计	工业	生活	合计	工业	生活
2001	432.9	202.6	230.3	1404.8	607.5	797.3	125.2	41.3	83.9
2002	439.5	207.2	232.3	1366.9	584.0	782.9	128.8	42.1	86.7
2003	460.0	212.4	247.6	1333.6	511.9	821.7	129.7	40.4	89.3
2004	482.4	221.1	261.3	1339.2	509.7	829.5	133.0	42.2	90.8
2005	524.5	243.1	281.4	1414.2	554.8	859.4	149.8	52.5	97.3
2006	527.0	239.5	297.5	1428.2			141.3	42.1	99.2

在我国,主要江、河、湖、库等水域已检测出数百种有机物,有些水域已经受到严重的有机物污染。全国水源污染呈发展趋势,有 90% 以上的城市水域污染严重,近 50% 的重点城镇水源水质不合标准。水污染正从东部向西部发展,从支流向干流延伸,从城市向农村蔓延,从地表向地下渗透,从区域向流域扩散。根据国家环境保护总局 2006 年的统计,我国河流主要污染物为有机物、氨氮和石油类物质等。辽河、海河污染严重,松花江、黄河、淮河中度污染,珠江、长江水质总体良好。对七大水系的 197 条河流 408 个监测断面分析表明, I ~ III 类、IV 类、V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 46%、28% 和 26%。据专家介绍,工业污染是黄河

水污染的主要原因,占废水排放总量的73%,但水污染又反过来给工业经济造成巨大损失。据测算,黄河流域每年因水污染导致工业用水成本增高、产品质量下降带来的损失约23亿~32亿元。农业是黄河上的用水大户,占黄河总用水量的90%,黄河水污染给农业造成的损失每年最高达33亿元。黄河水污染每年造成的经济损失约115亿~156亿元。我国的湖泊污染也很严重,多数湖泊水体富营养化。在几大湖泊中,尤以太湖、巢湖和滇池(简称“三湖”)污染最为严重。多年来,随着经济的迅速发展和人口数量的增加,由陆地非点源污染和工厂废水排入湖内的污染物质不断增多,致使“三湖”的水环境问题日益突出。除此以外,还有许多靠近城镇等人口密集区的湖泊已退化成为流域中的污水库,特别是农村水塘、溪沟污浊不堪,令人担忧。

水体污染的根源来自工业排放的污水、城镇生活污水以及农业化肥、农药流失等。大部分未经处理直接排入水体,增加了水体的污染负荷。在农业方面,化肥、农药的低效利用,使大量营养物质随地表径流进入水体,更加重了水体污染。目前全世界有20%左右的人群用不到安全的饮用水,其主要原因是饮用水污染。大量资料表明,水体中的有机物86%是由于人为的生产和生活活动产生的,只有14%的有机物来源于自然环境。在人为来源中,城市工业、矿业以及其他工业引起的有机物占57%,沉淀物中有毒化合物释放引起的有机物占16%,农业操作过程中的有机物流失占12%,其他为14%。

农村饮用水源大多受到污染。根据水利部农水司对饮水安全的调查,目前,全国农村有3亿多人口仍饮用不合格的水,其中约有1.9亿人的饮用水有害物质含量超标。河北涉嫌、河南沈丘县、天津北辰区、陕西华县、江苏阜宁县等地区出现的“癌症村”,无不和饮用水污染有关。

### 1.1.2 我国水污染特征及其对策

#### 1. 我国水污染特征

当前我国的水污染已经发展到非常严重的地步,呈现出复合性、流域性和长期性,并处在急剧的转型过程中,其主要转型特征包括以下六个方面<sup>[10]</sup>:

##### (1) 从单一污染向复合型污染转变

近年来,我国的水环境污染已从陆地蔓延到近海水域,从地表水延伸到地下水,从单一污染发展到复合性污染,从一般污染物扩展到有毒有害污染物质,已经形成点源与面源污染共存、生活污染和工业排放彼此叠加、各种新旧污染与二次污染形成复合污染的态势,在区域和流域范围(特别是长江、珠江三角洲以及环渤海地区)已出现大气、水体、土壤污染相互影响的格局,对食品安全、人体健康构成了日益严重的威胁。

同时,由于随着城乡生活垃圾的迅速增长,大部分没有得到妥善处置,垃圾围城和随意堆放现象严重,污水渗漏直接影响到城乡地下水。大量的、分散的养殖业废物排放倾倒,农村生活污水增加,以及面源污染的不断扩大,在东部沿海地区,面源污染已开始超越点源污染,成为主要的水污染源,导致中国各流域支流、河网以及地下水的水质持续快速恶化,复合型水环境污染程度不断加重。尽管当前受经济大环境的影响,乡镇企业增长速度放缓,但大量在城市难以生存的重污染行业和企业开始向农村地区转移,加上农村生活污染的比重也有一定幅度的攀升,这些因素导致了农村的水污染呈现出不断加剧的趋势。

#### (2) 从工业污染为主向生活污染为主转变

随着工业结构的不断调整和优化,政府管理部门加强了对工业污染的控制,使得工业废水的排放量和污染负荷呈现逐年下降的趋势。与此同时,随着城市人口的增加和生活质量的提高,生活污水的排放数量和污染负荷正以较快的速度上升。从1999年开始,生活污水的排放量和COD排放量一直超过工业废水排放量。从2001~2006年,生活污水的氨氮排放量明显超过工业废水氨氮排放量,并且比工业废水氨氮排放量多一倍左右。

#### (3) 地表水进入富营养化阶段

我国从20世纪80年代初开始,大力推广化肥的施用,化肥总消费量迅猛增长,与此同时,农作物播种面积没有明显变化,所以单位播种面积的化肥使用量呈现出快速增长的势头。目前,我国的化肥年使用总量已跃居世界之首。但是由于传统的施肥和灌水技术相当落后,致使化肥利用率偏低,氮肥的单季利用率仅为30%左右。由此造成大量的化肥通过不同的损失途径进入环境,不仅导致地表水富营养化和地下水硝酸盐富集,而且还造成巨大的经济损失。

除了化肥污染外,农药是农田水土面源污染的另一个污染源。一般来说,只有10%~20%的农药附着在农作物上,而80%~90%流失于土壤、水体和空气中。过量的化肥和农药在灌溉与降水的淋溶与迁移作用下,使得农田水土资源受到严重污染,农田生态环境日趋恶化。另外,生活中以表面活性剂为主要成分的洗涤用品的广泛使用、集约化养殖业快速发展带来的废物急剧增加以及管理的落后,也使得面源污染的范围和程度日趋升级,从而导致内陆湖泊和近海水域富营养化程度的进一步加重,给局部区域带来灾难性的后果。

#### (4) 流域性水污染问题严重

近年来,水污染的影响早已超越局部和“点源”的范围,发展成为流域性污染问题。2006年,长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河和辽河等七大水系的197条河流408个监测断面中,I~Ⅲ类、Ⅳ、Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的断面比例分别为46%、28%和26%。主要污染指标为高锰酸盐指数、石油类和氨氮。总体上看,我国流域污染状况是干流水质好于支流,一般河段强于城市河段,污染从下游地区逐步向

上游转移,湖泊水库富营养化严重。

#### (5) 水污染事故进入高发期

近几年频繁发生的水污染事故给地方的经济和居民健康构成了重大危害。据统计,近年来,我国水污染事故频繁发生,仅2001~2004年就发生水污染事故3988件。尤其是因企业违法排污和事故而引发的重大水污染事件也是接连发生。2005年底~2006年初不足3个月的时间,就发生了3起重大水污染事件。2005年11月,吉林石化公司双苯厂发生爆炸,造成松花江部分江段污染,导致沿江居民用水发生困难。2005年12月,广东一家企业超标排放含镉废水,导致下游10万人无法饮用北江水。2006年1月,湖南省株洲市霞港湾因水利工程施工不当,导致含镉废水流入湘江。国家环境保护总局<sup>①</sup>副局长潘岳2006年9月10日在“2006年中国企业高峰会”上指出,自2005年底松花江水污染事故以来,中国共发生130多起与水有关的污染事故,达到平均每两至三天一起。未来一个时期,随着我国经济快速发展,水污染治理旧账未还、又欠新账,水污染事故将进入一个高发期。

#### (6) 水污染导致水资源短缺进一步加剧,并引发一系列水生态和水灾害问题

由于水污染程度的加剧,导致区域水质性缺水,引发水资源短缺。同时,严重的水污染还会导致水体中和周围地区动植物大量死亡,使水域的生态物种退化、生物多样性减少,并产生一系列的水生态问题,导致严重的生态系统健康风险。另外,如果当地的水污染问题严重,而且治理难度较大或者成本太高,就可能转而超采地下水、采取调水或大规模建设水源地保护工程等措施。这一方面没有解决污染问题,另一方面,这些水利工程建设若处理不当,就会影响区域生态环境,如大坝、河闸等工程建设就可能影响河流的连续性,阻断回游性鱼类的通道;河流的渠化也会使水文条件均一化,各种生物丧失其所需的多样化水流,进而有可能引发其他的水生态灾害(如泥石流等),造成进一步的人员、财产和生态服务功能损失。

### 2. 水污染加剧的原因

造成我国水污染的最直接的原因是工业废水和城市生活污水的治理速度赶不上产生和排放速度。这其中包括工业点源污染仍没有得到很好地控制、城市生活污水处理率低和越来越严重的面源污染问题。从管理和预防的角度来看,造成水污染主要有以下四个方面原因:

#### (1) 快速的经济导致污染物产生量的增加,污染治理能力不足

对于一个发展中的经济而言,在发展过程中降低污染物的产生量是非常困难的,即使是产业的生态化改造或发展循环经济,对绝对排放量的削减还需要依赖于末端治理,况且转变也需要时间。

<sup>①</sup> 国家环境保护总局已于2008年升级为国家环境保护部。

### (2) 水污染防治存在有法不依, 执法不严

地方环境保护行政主管部门受制于地方发展经济目标的需要, 对水污染违法事件往往是大事化小, 小事化了。环保部门的制度安排和治理结构存在突出问题。

(3) 对水污染事件的估计和准备不足, 尚未建立和健全水污染事件应急机制和应急预案

目前, 很多具有严重潜在污染危害的工厂布局在河流两岸、城市区域内或者水源地附近的环境敏感区, 但却没有完善的污染处理设施和系统的应急预案, 形成巨大的风险和安全隐患, 一旦发生事件, 往往处理不当, 有可能进一步扩大事态和引起连锁效应。

### (4) 对水污染治理的严峻形势认识不足, 政府政策导向存在一定偏差

目前国家对环境监测等技术方面的硬件建设比较重视, 相比之下, 对相关的政策制定和制度安排重视不足, 特别是对现在污染的特征和规律缺乏认识, 不能从流域和系统的角度进行统筹安排、综合防治。各级政府的环境财政投资导向主要集中在城市, 对农村地区投资不足; 对流域下游投资较多, 上游投资明显不足; 对末端治理投资较多, 对源头预防重视不够; 对调水、水库等工程措施考虑较多, 对水污染治理问题关注不够, 从而无法做到标本兼治。

## 3. 解决水污染问题的政策建议

《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》(国发[2005]39号)提出, 到2010年, 全国设市城市污水处理率不低于70%。要完成这一规划目标, 城市污水处理率要从2005年的52%提高到2010年的70%以上。从目前我国经济发展态势和产业结构调整的进展来看, 要在“十一五”期间要完成城市污水处理率的规划目标, 困难很大, 为此提出以下四个方面政策建议:

### (1) 重新评估污染物减排目标, 采用适应性管理方法

实现“十一五”主要污染物排放总量减少10%的目标面临相当大的难度, 在一个快速的经济发展中设定这样的目标是对环境有益的, 但代价也是高昂的。建议对“10%”的污染物减排目标(特别是COD)进行重新评估, 提出适当的调整方案。一方面要论证完成该目标所需要的各项条件, 包括配套投资方案、污水处理费的调整、点源和面源污染控制政策等; 另一方面, 寻找更加科学的替代方案, 比如建立基于水体环境容量(或水体最大排放负荷)和流域基础上的总量控制指标。

有鉴于此, 在完成“10%”减排目标的相关条件并不具备或可能付出过高代价的情况下, 建议采取适应性管理的方法, 即利用动态的渐进的多目标的管理来实现污染综合防治。具体做法是: ①优先控制点源污染, 这是目前最实际的也最成熟的污染防治手段。②城市生活污水进行治理。③建立新的基于水体最大污染负荷(或环境容量)基础上的总量控制。在我国需从试点开始, 从基础数据收集和监测



人手,评估区域和过程层面的水体质量,寻找简单有效的模型进行污染负荷测算,积累经验后再行推广。

### (2) 加快污水处理企业改革的步伐

当前,我国传统的城镇排水、污水处理单位改制不彻底、不到位,难以适应市场经济发展的需要,必须加快体制改革和机制创新的力度,建立现代企业制度,改变企业长期依靠财政补贴的状况,降低企业运营成本,提高经营效率。今后,要进一步理清思路,明确目标,深入推进城市排水包括污水处理行业的改革,要从有利于企业和行业长远发展的大局出发,着重在政府水管理体制、企业制度改革及企业经营机制的转换上下工夫。我国城镇污水处理单位都要改制成为企业法人,实行政企分离,建立企业自我激励和自我约束的机制,提高企业的管理水平和服务水平。同时,鼓励企业规模化经营,支持企业跨区域投资运营,培育一批具有一定实力的大型企业集团。

### (3) 发挥价格杠杆作用

要充分利用价格这个经济杠杆的作用,建议尽快在全国城市全面征收污水处理费,逐步提高污水处理收费标准,以减少污水排放、促进节约用水及加快水污染的治理,同时吸引社会资本参与污水处理设施的建设和运营。要合理确定水资源费与城市供水价格和污水处理费及再生水价格之间的比价关系,推动水资源的保护和节约用水工作。

### (4) 建立多元化的投融资机制

未来一个时期,我国水业将处于快速发展时期,据估计至2010年整个中国水务市场年增长率将保持在15%左右。“十一五”期间,我国在供水、污水处理、中水回用和排水、水污染防治等方面的总投资将超过一万亿元人民币,这为全球水行业提供了很大的机遇和广阔的市场。应建立政府、企业、社会的多元化投入机制,拓宽融资渠道,以中央预算的基本建设资金、地方资金以及企业自筹资金为基础,积极争取国家政策性贷款、国际金融机构贷款、商业银行贷款和社会资金,鼓励国内大型企业集团(包括民间资本)介入水务产业,鼓励产权多元化和投资多元化。

发行市政债券投资城市环境基础设施建设是发达国家的通行做法。在美国的水务公共事业领域,每年建设性投资的85%来自市政债券;在日本,城市污水处理设施建设投资的20%~40%来自地方债券。鉴于未来我国水处理需要巨额资金支持,应考虑引入这一融资工具,根据相关国际经验和现实可行性,将发行市政债券作为新的融资渠道。当前,可以根据城市综合开发计划的需要,选择资信高、还贷能力强的城市水工业企业(或者政府建设行政部门)作为发债主体。

## 1.1.3 我国城市污水处理现状及存在的问题

城市污水是造成水体污染的重要污染源,对城市污水进行妥善收集、处理和排