

# 饮用水二氧化氯净化技术

张金松 主编

尤作亮 孙昕 惠如冰 等编



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

# (京) 新登字 039 号

## 图书在版编目 (CIP) 数据

饮用水二氧化氯净化技术/张金松主编; 尤作亮等编.  
北京: 化学工业出版社, 2002.12  
ISBN 7-5025-4205-1

I. 饮… II. ①张… ②尤… ③惠… III. 饮用水-水  
消毒 IV. TU991.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 083184 号

---

### 饮用水二氧化氯净化技术

张金松 主编

尤作亮 孙昕 惠如冰 等编

责任编辑: 管德存

文字编辑: 刘莉珺

责任校对: 凌亚男

封面设计: 潘 峰

\*

化学工业出版社 出版发行  
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销  
北京市管庄永胜印刷厂印刷  
三河市前程装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 10 $\frac{1}{4}$  字数 282 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4205-1/X·232

定 价: 28.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 前 言

水是人类生活的最基本要素之一，饮用水水质一直是社会关注的焦点。在传统净水流程中，一般采用液氯预氧化和消毒工艺。然而，自从发现了氯消毒能导致三卤甲烷、卤乙酸等“三致”化合物的产生以后，对氯和氯的衍生物消毒所产生的副产物及其危害已越来越引起人们的担忧。控制饮用水中的消毒副产物、积极寻找替代氯的更安全、更优越的消毒方法和消毒剂，已成为供水界的首要任务之一。

二氧化氯具有广谱杀菌能力，是一种较为优良的消毒剂，它对水中病原微生物的杀灭作用通常强于氯，且其消毒效果基本不受pH值的影响；同时，还可以去除水中的多种有害物质，如铁、锰、硫化物、氰化物和亚硝酸盐等。二氧化氯最大的优点是在净化饮用水的过程中基本不生成有害的卤代有机物，世界卫生组织将其安全性列为A I级，美国将其列为可替代氯的消毒剂。

在发达国家，二氧化氯在饮用水净化方面的应用已很普遍。目前，美国已经有1 000家左右的自来水厂使用二氧化氯，数量上成为美国在氯和氯胺之后排第三位的消毒剂。在欧洲，使用二氧化氯消毒则更为普遍，如在德国有70%以上的饮用水厂用二氧化氯作次级消毒处理。我国从20世纪90年代以后才开始在一些中、小型水厂中加以研究应用，但发展迅速。初步统计目前国内已经有数百家水厂进行了二氧化氯的试验和生产性应用。随着我国水源水质污染的加剧和人们对水质状况要求的提高，二氧化氯净化饮用水必将拥有更广泛的市场。有鉴于此，深圳市科技局设立了“二氧化氯净化微污染水源水应用技术研究”的科研项目，由深圳市水务局、深圳市水务（集团）有限公司、深圳市观澜自来水有限公司和深圳市萃杰环保科技有限公司联合承担，该项目已经于2001年12月通过

了深圳市科技局组织的专家验收，课题成果为此书奠定了良好的基础。

为了更全面地介绍二氧化氯在饮用水净化中的应用技术，将科研成果更好地服务于生产实际。深圳市水务（集团）有限公司组织该项目课题组主要人员，对饮用水二氧化氯处理技术的研究和实践进行了更深入、更广泛的总结和分析，比较全面地涵盖了目前二氧化氯在饮用水方面的应用技术，包括现有的二氧化氯发生与制备技术，饮用水净化中适用的二氧化氯分析测试方法，二氧化氯在预氧化除藻、铁、锰、嗅、味、色等技术，二氧化氯消毒和持续消毒的机理、方法与技术，二氧化氯净化过程中产生的副产物及其毒理安全性与去除技术，国内外有关二氧化氯净化饮用水的控制标准与规范，并分别选择了国内和国外各4个有代表性的工程应用实例进行了详细介绍与分析，以更清楚地说明二氧化氯在饮用水净化中各个方面的应用。希望本书的出版，能够丰富我国的饮用水净化技术，对改善饮用水水质发挥一定的作用。由于作者的知识水平和各方面条件的限制，书中错误和不足之处在所难免，恳请批评指正。

本书由张金松主编，梁相钦主审，尤作亮、孙昕、惠如冰等共同编写而成。在编写过程中得到有关各方的热情支持和帮助，深圳水务集团水技术研究所孙璐、刘茜、黄少杰、梁明、聂小保、王宇锋等同志参加了本书部分内容的编写工作；上海技源科技有限公司、深圳欧泰华环保技术有限公司、深圳保利马环保公司、青岛海晟环保技术有限公司等提供了相关的产品技术资料；特别是主持“二氧化氯净化微污染水源水应用技术研究”的段洪雷、姚玉珍、陆坤明等领导以及参加课题研究的黄晓平、李海波、雷晓铃、丁桐森、张瑞冬、曲志军、汪义强、卢益新、黄彩勃等同志，他们卓有成效的工作和默默的奉献，使课题研究取得了令人瞩目的成功，也成为我们编著此书的巨大动力，在此一并致以衷心的感谢。

编者

2002年6月

## 序

水是生命之源。

人类社会迈入 21 世纪，水环境的污染和水源的水质性短缺成为当前面临的重要挑战之一。饮用水水质受到了人们前所未有的广泛关注，可持续发展也对我国饮用水水质发出了同国际接轨的热切呼声。

这是我们水务工作者的强大动力，更意味着水行业难得的发展契机。

科技进步是实现可持续发展的动力和源泉。在饮用水处理中，传统的氯消毒剂会产生一系列有害副产物，因此，寻求一种替代氯的高效消毒剂，成为一段时期以来水务科技工作者的当务之急。二氧化氯由于具有较强的杀菌能力和杀菌持久性，且不产生氯消毒的副产物，受到了发达国家的青睐。我国应用二氧化氯进行饮用水处理起步较晚，同发达国家相比，在研究和应用方面仍存在较大差距，成为制约水处理预氧化和消毒技术发展的因素之一。

有鉴于此，深圳水务（集团）有限公司在研究、应用和实践的基础上，收集国内外大量有价值的资料，编写了《饮用水二氧化氯净化技术》一书。该书基本上覆盖了二氧化氯应用于水处理技术的主要内容，对国内外相关技术进行了系统的整理、充实和提高，具有较大的理论意义和使用价值。希望这本书能够对我国水处理技术的发展，以及促进整个行业的科技进步，起到积极的推动作用。

梁相钦

2002 年 6 月

# 目 录

<b>1 饮用水二氧化氯净化技术概况</b> .....	1
1.1 城市供水与饮用水水源 .....	1
1.2 饮用水的化学处理技术及其风险 .....	5
1.2.1 预氧化技术 .....	6
1.2.2 消毒技术 .....	7
1.2.3 化学处理技术对水质的影响 .....	9
1.3 二氧化氯的性质 .....	11
1.3.1 理化性质 .....	11
1.3.2 氧化与消毒特性 .....	12
1.4 饮用水二氧化氯净化技术研究与应用概况 .....	14
1.4.1 二氧化氯制备技术及发生器 .....	15
1.4.2 饮用水二氧化氯净化的研究进展 .....	17
1.4.3 饮用水二氧化氯净化的应用概况 .....	28
参考文献 .....	37
<b>2 二氧化氯制备技术</b> .....	39
2.1 二氧化氯制备工艺概述 .....	39
2.2 二氧化氯发生器设计基础及分类 .....	42
2.2.1 发生器结构材料、性能和影响因素 .....	42
2.2.2 发生器的分类 .....	44
2.3 二氧化氯制备技术及发生器 .....	45
2.3.1 氯酸钠法 .....	45
2.3.2 亚氯酸钠法 .....	53
2.3.3 氯酸法 .....	68
2.3.4 电解法 .....	68
2.3.5 稳定性二氧化氯溶液的制备 .....	72
2.3.6 固体二氧化氯的制备 .....	73
参考文献 .....	75

3 二氧化氯分析测定方法 .....	77
3.1 概述 .....	77
3.2 碘量法 .....	80
3.2.1 原理 .....	80
3.2.2 仪器与试剂 .....	80
3.2.3 分析操作步骤 .....	83
3.3 连续碘量法 .....	85
3.3.1 原理 .....	85
3.3.2 仪器与试剂 .....	86
3.3.3 分析操作步骤 .....	86
3.4 DPD 滴定法 .....	88
3.4.1 原理 .....	88
3.4.2 仪器与试剂 .....	90
3.4.3 分析操作步骤 .....	92
3.5 电流滴定法 I .....	94
3.5.1 原理 .....	94
3.5.2 仪器与试剂 .....	95
3.5.3 分析操作步骤 .....	96
3.6 电流滴定法 II .....	97
3.6.1 原理 .....	97
3.6.2 仪器与试剂 .....	98
3.6.3 分析操作步骤 .....	100
3.7 甲酚红分光光度法 .....	101
3.7.1 原理 .....	101
3.7.2 仪器与试剂 .....	104
3.7.3 分析测定步骤 .....	104
3.8 酸性靛蓝分光光度法 .....	105
3.8.1 原理 .....	105
3.8.2 仪器与试剂 .....	107
3.8.3 分析操作步骤 .....	107
3.9 DPD 分光光度法 .....	110
3.9.1 原理 .....	110
3.9.2 仪器与试剂 .....	111

3.9.3	分析操作步骤	111
3.9.4	标准曲线的线性	113
3.9.5	方法的重现性	113
3.9.6	加标回收试验	115
3.10	流动注射分析法	116
3.10.1	原理	116
3.10.2	仪器与试剂	118
3.10.3	分析操作步骤	120
3.10.4	氯、二氧化氯、氯胺的背景吸光度检验步骤	121
3.10.5	亚氯酸根离子的分析	122
3.10.6	氯酸根离子的分析	122
3.11	离子色谱法	123
3.11.1	原理	123
3.11.2	仪器与试剂	124
3.11.3	分析操作步骤	125
	参考文献	127
<b>4</b>	<b>二氧化氯预氧化技术</b>	<b>128</b>
4.1	饮用水化学预氧化技术	128
4.2	二氧化氯预氧化除藻	130
4.2.1	水源水藻类污染及除藻方法	130
4.2.2	二氧化氯预氧化的除藻机理与效果	132
4.2.3	二氧化氯的经济投加量	135
4.2.4	几种预氧化剂的除藻效果评析	135
4.3	二氧化氯预氧化除臭	137
4.3.1	水体异臭及除臭方法	137
4.3.2	二氧化氯去除酚臭	139
4.3.3	二氧化氯去除硫化物异臭	143
4.3.4	二氧化氯除臭的实际应用	145
4.4	二氧化氯预氧化除锰	146
4.4.1	锰的危害及二氧化氯除锰机理	146
4.4.2	体系 pH 值与二氧化氯除锰效果	147
4.4.3	二氧化氯投加量与除锰效果	149
4.4.4	二氧化氯投加点与除锰效果	151



4.4.5	不同氧化剂的除锰效能评析 .....	152
4.5	二氧化氯预氧化去除有机物 .....	154
4.5.1	预氧化去除有机物 .....	154
4.5.2	预氧化控制氯化消毒副产物 .....	155
4.6	二氧化氯预氧化去除色度 .....	157
4.7	二氧化氯预氧化去除其他污染物 .....	159
4.7.1	预氧化除铁 .....	160
4.7.2	预氧化除氰化物 .....	161
4.7.3	预氧化去除亚硝酸盐 .....	163
4.8	二氧化氯预氧化的实际投加量 .....	163
4.8.1	二氧化氯投加量的确定方法 .....	163
4.8.2	二氧化氯的衰减规律 .....	164
4.8.3	二氧化氯的实际投加量 .....	166
	参考文献 .....	167
5	二氧化氯消毒技术 .....	169
5.1	饮用水的安全消毒 .....	169
5.1.1	饮用水消毒与化学安全性 .....	169
5.1.2	饮用水消毒与微生物安全性 .....	171
5.1.3	饮用水的安全消毒 .....	174
5.2	二氧化氯的消毒机理及其特性 .....	177
5.2.1	二氧化氯的消毒机理 .....	177
5.2.2	二氧化氯的消毒特性 .....	178
5.3	二氧化氯的消毒效果及其影响因素 .....	181
5.3.1	二氧化氯消毒效果的影响因素 .....	181
5.3.2	二氧化氯的消毒效果 .....	184
5.3.3	二氧化氯的持续消毒能力 .....	188
5.4	自来水管网的二氧化氯残余量 .....	191
5.4.1	消毒剂残余量 .....	191
5.4.2	管网末梢水的二氧化氯残余量 .....	194
5.4.3	出厂水的二氧化氯残余量 .....	198
5.5	直饮水管网的二氧化氯残余量 .....	204
5.5.1	管网末梢水的二氧化氯残余量 .....	204
5.5.2	出厂水的二氧化氯残余量 .....	205

5.6	二氧化氯消毒的投加量	207
5.6.1	二氧化氯消耗量	207
5.6.2	二氧化氯投加量	210
5.7	二氧化氯消毒的经济性分析	211
5.7.1	国外使用二氧化氯的经济分析	211
5.7.2	我国使用二氧化氯的经济分析	213
	参考文献	219
<b>6</b>	<b>二氧化氯净化的安全性及其控制</b>	<b>222</b>
6.1	二氧化氯净化的安全性概述	222
6.2	二氧化氯净化副产物的类型及其形成	223
6.2.1	无机副产物及其形成	223
6.2.2	有机副产物及其形成	233
6.3	二氧化氯净化副产物的毒理安全性	238
6.3.1	二氧化氯、亚氯酸盐及氯酸盐的毒理安全性	238
6.3.2	有机副产物的毒理安全性	247
6.3.3	二氧化氯实际应用的毒理安全性	248
6.4	二氧化氯净化副产物的控制与去除技术	250
6.4.1	概述	250
6.4.2	$\text{SO}_2\text{-SO}_3^{2-}$ 还原法	252
6.4.3	活性炭吸附	253
6.4.4	亚铁还原法	256
6.4.5	氧化法	259
6.5	二氧化氯使用的控制标准及其发展趋势	260
6.5.1	二氧化氯发生的控制标准与规范	261
6.5.2	二氧化氯使用的控制标准与规范	264
6.5.3	二氧化氯使用控制标准的发展趋势	270
	参考文献	273
<b>7</b>	<b>饮用水二氧化氯净化工艺与工程应用实例</b>	<b>276</b>
7.1	二氧化氯应用的工艺设计	276
7.1.1	二氧化氯净化饮用水的主要优势与不足	276
7.1.2	二氧化氯应用的工艺设计	277
7.2	二氧化氯应用的工程实例	281
7.2.1	实例一 深圳观澜自来水公司茜坑水厂	281

7.2.2	实例二	辽宁抚顺市自来水公司河北水厂	284
7.2.3	实例三	安徽芜湖市供水总公司利民路水厂	287
7.2.4	实例四	深圳水务集团梅林一村管道直饮水	290
7.2.5	实例五	加拿大 Laval 市 Sainte-Rose 水厂	294
7.2.6	实例六	瑞士苏黎世 Lenng 水厂	297
7.2.7	实例七	法国巴黎 ORLY 水厂	301
7.2.8	实例八	美国得克萨斯州 Texarkana 水厂	304
	参考文献		306
附录 1	生活饮用水水质卫生规范 (检验项目及限值)		308
附录 2	稳定性二氧化氯溶液		310
附录 3	化学法二氧化氯消毒剂发生器		316
附录 4	重庆市地方标准: 二氧化氯消毒生活饮用水卫生标准 (DB 50/2—1997)		323

# 1 饮用水二氧化氯净化技术概况

## 1.1 城市供水与饮用水水源

水是人类生活的命脉，城市生活离不开城市供水。中国近代城市供水始于1879年（清光绪5年），旅顺龙眼引泉供水；1883年在上海建成第一个地面水源水厂——杨树浦水厂。但一直到1949年全国解放前，全国也只有72个城镇建有自来水厂，且多集中于沿海城市。供水管道总长6589 km，综合生产能力为 $240.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，供水人口只有962万。除个别较大的城市有少量工业用水外，绝大部分的供水设施是为达官富贵和外商服务的，平民百姓多直接取用井水、河水。

城市供水事业与城市建设同步发展。据1998年统计，我国现有660多个城市共建有2075个自来水厂，管道长度（ $DN75$ 以上） $13 \times 10^4 \text{ km}$ ，综合生产能力为 $11513.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，其中包括自备水源为 $20991.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。实现销售水量 $216.9 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，其中工业用水 $93.8 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，生活用水 $108.3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，自来水普及率95.9%，平均每人用水单耗208 L/d，有36座城市的最高供水量超过 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，13座城市的最高日供水量超过 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。到1999年供水能力大于 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的城市有52个，大于 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的有22个，大于 $200 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的有4个。

随着城市供水事业的蓬勃发展，供水技术水平也有了相应的提高。为适应供水事业的发展，有关部门进行了大量的科研工作，取得了不少的突破成果，供水水质和供水技术都取得了显著的发展。

但是，在我国城市供水取得巨大发展的同时，也还存在着许多问题。首先表现的问题是水资源短缺。2000年全国地表水资源量 $26562 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，地下水资源量 $8502 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，大部分与地表水

资源量重复，不重复的只有  $1\,139 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。将地表水资源量与地下水资源量中的不重复量相加，全国水资源总量为  $27\,701 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。我国水资源总量居世界第六，但由于人口众多，人均水量只有  $2\,300 \text{ m}^3$  左右，居世界第 88 位，约为世界平均水平的 1/4，图 1-1 可以形象地表示我国淡水资源在世界上的情况。另外，由于我国水资源主要来源于降水，全国产水总量占降水总量的 46%，而降水的时空分布十分不均，大多数降水集中在夏季的 7、8、9 月份，并呈现南多北少、东多西少的局面，因而导致水资源的时空分布也十分不均。在  $27\,701 \times 10^8 \text{ m}^3$  的水资源总量中，北方 17 个省（自治区、直辖市）的水资源总量只有  $5\,814 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，仅占总量的 21%；南方 14 个省（自治区、直辖市）的水资源总量则高达  $21\,887 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占总量的 79%。水资源的短缺和分布的不平衡，导致我国缺水现象较为严重。目前，按正常的需要和不超采地下水，全国年缺水总量约为  $300 \times 10^8 \text{ m}^3$  到  $400 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。据统计，全国已有 29% 的人正在饮用不良水，7 000 万人正在饮用高氟水。从地域上来看，西北、华北和沿海地区受水资源匮乏的影响较严重；从缺水点来看，主要是城市缺水现象十分严重。全国 333 座城

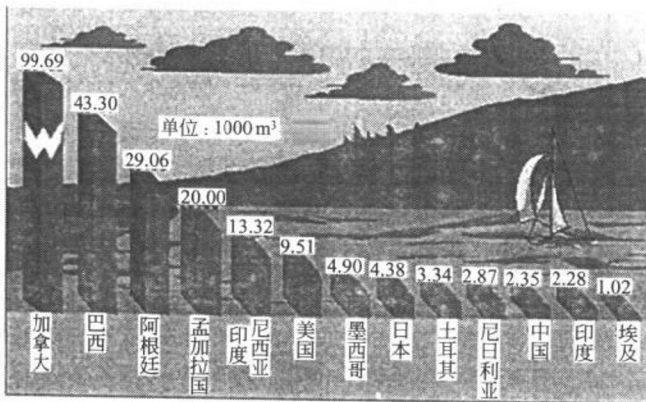


图 1-1 部分国家人均淡水资源量比示意图  
 (资料来源：英国《金融时报》)

市不同程度的缺水，108座城市严重缺水。预计2030年我国人口达到高峰，接近16亿，城市化水平达到52%，缺水现象将越来越严重。

解决水资源紧缺问题就需要科学合理地使用和保护水资源。而由于种种原因，我们十分有限的水资源却在使用中存在着严重的浪费现象。2000年全国总用水量 $5\,498 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中生活用水占总用水量的10.5%，城镇生活用水（包括全部建制市、建制镇以及具有集中供水设施的非建制镇的居民住宅用水和公共设施用水）占5.2%，农村生活用水（包括农村居民生活用水和牲畜用水）占5.3%；生产用水占总用水量的89.5%，其中，工业用水占20.7%，农田灌溉用水占63.0%，林牧渔用水占5.8%。我国农业用水的利用率一般在30%~40%，只有发达国家的一半左右；工业用水浪费也很严重，万元工业产值（当年价）用水量为 $78 \text{ m}^3$ ，万元工业增加值（当年价）用水量为 $288 \text{ m}^3$ ，与发达国家相比仍然有相当大的差距。如生产1 t钢的用水量 $25 \sim 30 \text{ m}^3$ ，而发达国家只需 $6 \text{ m}^3$ 。

在水资源浪费的同时，水源污染现象也比较严重。我国90%以上城市水源受到严重污染，地表水源普遍污染，特别是流经城市的河段有机污染较重；湖泊富营养化问题突出；地下水受到点状或面状污染，水位下降，加剧了水资源的供需矛盾。据国家环保局2000年环境状况公报，中国七大重点流域地表水有机污染普遍，各流域干流有57.7%的断面满足Ⅲ类水质要求，21.6%的断面为Ⅳ类水质，6.9%的断面属Ⅴ类水质，13.8%的断面属劣Ⅴ类水质。主要湖泊富营养化问题突出。水利部对全国各大河流近 $10 \times 10^4 \text{ km}$ 河长的检测结果表明，现有河流近1/2河长受到污染，1/10河长严重污染。全国城市90%水域受到污染，大河干流的13%、支流的55%被污染。黄河从1972年开始断流，1996年断流达136 d，1997年竟长达242 d，断流里程接近300 km。其流域干流7个水质监测断面中，Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ类水质的比例分别为28.6%、42.8%、14.3%和14.3%，两大支流渭河和汾河污染严重，主要

污染指标为氨氮、高锰酸盐指数 ( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ )、生化需氧量 ( $\text{BOD}_5$ ) 和石油类。淮河流域 82 个水质监测断面中, 54.8% 的断面达到 I ~ IV 类水质要求, 8.9% 的断面属 V 类水质, 36.3% 的断面属劣 V 类水质; 海河流域 56 个水质监测断面中, 达到 I ~ III 类水质要求的占 30.3%, 主要分布在水源地及其上游生态保护区内, V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 7.1% 和 60.7%, 主要分布在一般监管河流、跨省界河流及渤海湾入口处, 主要污染指标为  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{BOD}_5$  和氨氮。辽河水质最差, 其流域 16 个水质监测断面中, II、IV、V 类和劣 V 类水质比例分别为 6.3%、25.0%、6.3% 和 62.4%, 主要污染指标为  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和  $\text{BOD}_5$ 。而长江水质较好, 基本可以达到 II ~ III 类水质标准。

大型淡水湖泊中, 太湖、滇池、巢湖等湖泊基本都处于富营养化状态, 总氮、总磷超标严重, 太湖水质稍好, 而滇池、巢湖水质较差, 多处于 V 类或劣 V 类水质。白洋淀、达赉湖和南四湖污染严重, 均为劣 V 类水质。其他大型淡水湖泊洱海、兴凯湖和博斯腾湖水质良好, 湖水水质均达到 III 类水质标准; 洞庭湖、镜泊湖和洪泽湖水质达到 IV 类水质标准。

相对于湖泊, 大型水库的水质较好, 一般能够保持在 I ~ III 类水质, 是比较好的饮用水水源。

近年来地下水位不断下降, 全国多数城市地下水受到一定程度的点状或面状污染, 局部地区地下水部分水质指标超标, 主要有矿化度、总硬度、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、铁、锰、氯化物、硫酸盐、氟化物、pH 值等。在污染程度上, 北方城市重于南方城市, 尤以华北地区污染较突出。我国大部分地区地下水水质趋于稳定或略有改善, 但仍有部分城市和地区地下水污染加重。

水源污染的加剧严重影响了饮用水的净化, 甚至直接导致了水质的下降。我国的饮用水处理工艺和水质状况与欧美等发达国家相比还存在着比较大的差距。目前, 我国绝大多数水厂采用混凝、沉淀、过滤和加氯消毒的常规净水工艺。据全国 390 个水司的管网水质资料统计, 综合合格率、细菌总数合格率、大肠杆菌合格率、

余氯合格率和浊度合格率分别平均为 96.9%、97.9%、78.0%、93.4%和 97.5%，其中最高达 100%，最低仅 8.4%~9.0%，相差十分悬殊，COD<sub>Mn</sub>、亚硝酸盐等指标超标（卫生部《生活饮用水卫生规范》，2001）较多。上海、北京、武汉、哈尔滨等地报道了饮用水质突变试验的阳性结果，很多水厂的卤代烃含量居高不下，北京以地表水为水源的水厂出厂水中三氯甲烷含量达到 120 μg/L。根据卫生部中国预防医学科学院环境卫生监测所于 1985~1988 年对全国 2 074 个县进行的调查，COD<sub>Mn</sub>（3 mg/L 的卫生规范）超标率 13.3%，其中自来水完全处理的超标 12.3%，部分处理的超标 6.65%，人力提水的超标 16.7%。根据 35 个大城市从 1985~1994 年资料显示，供水的 COD<sub>Mn</sub>合格率只有 77%，即有 23%的 COD<sub>Mn</sub>不合格。由于近年来水源有机污染加重，供水 COD<sub>Mn</sub>的超标将有增无减。

## 1.2 饮用水的化学处理技术及其风险

供水处理的任务就是通过一定的工艺技术去除水中的杂质，供给人们符合标准的、满足多种用途的使用水。供水处理的工艺技术是根据水源水质和供水要求以及经济技术条件决定的。经过长期的饮用水净化技术的研究和应用实践，在 20 世纪初期逐步形成了混凝-沉淀-过滤-消毒的饮用水常规处理工艺，这是目前世界上大多数国家饮用水净化的基本工艺组成。

饮用水常规处理工艺的主要去除对象是水中的悬浮物、胶体杂质和病原微生物。可以说，在一个相当长的历史时期内，这个处理工艺能够保证人们对水质的要求，满足了人民的生产生活需要。但是，随着人民生活水平的提高，对饮用水水质的要求也越来越高，并逐渐从对水的生理需要转向对水的卫生健康营养方向发展，要求饮用水无害并对人们的身体健康有益，其直接表现就是饮用水标准逐渐提高。从指标数量来看，我国卫生部于 1959 年制定的《生活饮用水水质标准》中有 16 项指标，1976 年增加到 23 项，1985 年又增加到 35 项，最新的饮用水卫生规范中减少到 34 项，但对其中



的水质指标做了修改，同时规定了 62 项非常规检验项目及其限值，并规定了饮用水源水中有害物质的最高容许浓度；建设部 1993 年制订的《2000 年城市供水行业技术进步规划》中则对 1 类水司的水质考核指标要求 89 项，2 类水司 51 项，3 类和 4 类水司 35 项。从指标的要求严格程度来看，以浊度为例，我国 1979 年为 5 度（NTU，NTU 为散射浊度单位），1985 年则提高到 3 度，2001 年更进一步提高到 1 度；而美国自来水 1962 年为 10 度，1975 年 5 度，1977 年 1 度，1979 年后为 0.5 度，2002 年提高到 0.3 度。然而，与此相矛盾的是，现代工业的迅速发展导致的水源水质不断恶化，尤其是二次世界大战之后，工农业发展迅速，水源水质恶化更加严重，而常规处理工艺对于水中的天然或人工合成微量小分子有机物的去除是无能为力的，采用液氯消毒所产生的消毒副产物问题也越来越引起人们的担心。即常规处理工艺已经不能完全满足人们对饮用水水质的要求，这就直接引发了净水技术的相应革新和提高。如生物预氧化、化学氧化、活性炭吸附、膜处理技术等。近年来，二氧化氯预氧化技术和消毒技术成为净水工艺技术应用的一个热点，显示了二氧化氯在预氧化和消毒方面的巨大潜力，在此就这两方面的水处理技术现状做一简单的论述。

### 1.2.1 预氧化技术

采用常规处理工艺处理受污染水源水，虽能有效去除原水浊度、杀灭水中微生物、防止水介疾病的传染，但也存在一些局限性。大量的生产实践表明，常规处理工艺对水中有害微量污染物的去除能力有限，而水源水中日益增加的有机物和藻类对处理工艺的影响越来越严重，使采用常规处理工艺的净水厂出厂水质经常不能达标。对于含藻量高的原水，常常会产生嗅味问题，且沉淀水中的残余藻类会堵塞滤池，缩短滤池的工作周期，增加滤池反冲洗水量；对于受污染的饮用水水源，还常常存在高氨氮的问题，由于氮在水厂处理工艺过程中的转化，极大地消耗了消毒剂氯的用量，且常常导致消毒效果不够理想；对于含铁、锰较高的原水，由于常规工艺难以去除，致使这些物质在消毒工艺后被氧化而导致出厂水色