



“十二五”国家重点图书

水体污染控制与治理科技重大专项

饮用水深度处理技术

张金松 刘丽君 等编著

中国建筑工业出版社



“十二五”国家重点图书

水体污染控制与治理科技重大专项

饮用水深度处理技术

张金松 刘丽君 等编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

饮用水深度处理技术/张金松等编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 10

“十二五”国家重点图书, 水体污染控制与治理科技重大专项

ISBN 978-7-112-19529-9

I. ①饮… II. ①张… III. ①饮用水-给水处理

IV. ①TU991.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 139063 号

本书为“十二五”国家重点图书“水体污染控制与治理”科技重大专项研究成果之一。研究根据我国不同地区的特点, 选择长江流域、黄河流域、珠江流域开展饮用水深度处理应用技术研究, 重点针对臭氧-活性炭工艺的设计与运行管理、副产物控制、生物风险控制等问题开展研究, 形成了一批应用型成果, 并通过示范工程得到了推广和应用。本书对上述成果进行了总结和提炼, 具体包括臭氧-活性炭工艺设计与优化、臭氧-活性炭与其他工艺的组合、臭氧化副产物控制、臭氧-活性炭工艺生物风险控制等四个方面, 最后通过案例的形式, 对深度处理技术成果进行了具体展示, 对成果的推广应用情况进行了总结。本书可为城市供水厂采用臭氧-活性炭工艺进行建设或改造, 以及运行中深度处理水厂提供工艺选择的参考和技术改造的借鉴。

责任编辑: 俞辉群 石枫华

责任校对: 王宇枢 赵颖

“十二五”国家重点图书

水体污染控制与治理科技重大专项

饮用水深度处理技术

张金松 刘丽君 等编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24 $\frac{3}{4}$ 字数: 566 千字

2017 年 8 月第一版 2017 年 8 月第一次印刷

定价: 98.00 元

ISBN 978-7-112-19529-9

(28813)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)



丛书编委会

主 任：仇保兴

副 主 任：陈吉宁 陈宜明 邵益生

编 委：王秀朵 王洪臣 王晓昌 王峰青 孔彦鸿 孔祥娟
邓 彪 甘一萍 刘 翔 孙永利 孙贻超 孙德智
严以新 严建华 李广贺 杨 榕 杨殿海 吴志超
何 强 汪诚文 宋兰合 张 昱 张 智 张 勤
张仁泉 张 全 张 辰 张建频 张雅君 陈银广
范 彬 林雪梅 周 健 周 琪 郑兴灿 赵庆良
越景柱 施汉昌 洪天求 钱 静 徐宇斌 徐祖信
唐运平 唐建国 黄 霞 黄民生 彭党聪 董文艺
曾思育 廖日红 颜秀勤 戴星翼 戴晓虎

本书执笔主编：张金松

本书责任审核：刘文君

前 言

近年来,由于环境污染带来的水源水质的持续恶化是饮用水安全的最大隐患。目前,绝大部分集中式供水厂仍采用以去除浊度和微生物为目标的常规处理工艺,对受污染水源中溶解性有机物,特别是对加氯消毒后形成的“三致”物质及其前驱物,常规处理工艺没有明显的去除效果,相反还可能使出水氯化后的致突变活性提高,水质毒理学安全风险加大,对人体健康造成危害。因此对于受污染水源,常规工艺处理后的出水已不能充分满足水质净化的要求,在饮用水常规处理工艺基础上,选择针对污染水源水质特征的饮用水深度处理技术势在必行。

随着我国《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的全面实施,以及中央和各级地方政府对饮用水安全的高度重视,近十年来饮用水深度处理技术在水厂的应用发展迅速,与此同时,在深度处理技术应用中遇到一些新的问题亟待解决,为此,国家“十一五”水专项饮用水主题根据不同地区的特点,选择长江流域、黄河流域、珠江流域开展饮用水深度处理应用技术研究,特别是重点针对臭氧—活性炭工艺的设计与运行管理、副产物控制、生物风险控制等问题开展研究,形成了一批应用型成果,并通过示范工程进行推广和应用。本书对上述成果进行了总结和提炼,具体包括臭氧—活性炭工艺设计与优化、臭氧—活性炭与其他工艺的组合、臭氧化副产物控制、臭氧—活性炭工艺生物风险控制等四个方面,最后通过案例的形式对深度处理技术成果进行了具体展示,对成果的推广应用情况进行了总结。本书可为城市供水厂采用臭氧—活性炭工艺进行建设或改造提供工艺选择的参考和技术改造的借鉴。

本书的编写工作得到了住房和城乡建设部水专项管理办公室、水专项总体专家组和饮用水主题专家组的大力支持,水专项饮用水主题“珠江下游”、“长江下游”和“黄河下游”三个项目相关课题承担单位和示范工程单位提供了研究成果和示范工程资料。在此,谨表示衷心感谢!

全书由张金松、刘丽君负责组织编写和定稿,各章主要撰写人员为:第1章,张金松、刘文君、乔铁军;第2章,杨宏伟、李继、刘文君、陆少鸣、冯硕;第3章,马军、高乃云、乔铁军、杨宏伟、梁恒;第4章,董文艺、李继、陆少鸣;第5章,尤作亮、刘丽君,尹文超、刘文君、赵建树;第6章,张金松、张燕、高乃云、戎文磊、刘文军、马军、刘丽君、常颖、冯硕、乔铁军、范爱丽;第七章,刘文君。

本书主审刘文君。

由于书中涉及的内容广泛,有些成果仍有待于在应用中不断完善,书中难免有不妥和不足之处,敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 饮用水深度处理技术需求分析	1
1.1.1 我国水源水质的现状	1
1.1.2 我国供水设施的现状	4
1.1.3 饮用水水质标准的发展	6
1.1.4 深度处理技术的提出	11
1.1.5 饮用水深度处理技术优势	14
1.2 深度处理技术发展概况	18
1.2.1 深度处理原理	18
1.2.2 深度处理技术的发展	19
1.2.3 饮用水深度处理工艺的应用	40
第 2 章 臭氧与活性炭技术	47
2.1 臭氧对水中污染物的去除性能	47
2.1.1 臭氧及其高级氧化的性能对比	47
2.1.2 O_3/H_2O_2 工艺的效能及优化	55
2.2 臭氧接触池优化设计	57
2.2.1 传统臭氧接触池的优化设计	57
2.2.2 新型接触池的优化设计——准推流式臭氧接触池	68
2.3 生物活性炭工艺的运行效果与参数优化	74
2.3.1 生物活性炭工艺的运行效果	74
2.3.2 生物活性炭工艺运行参数优化	78
2.4 上/下向流生物活性炭滤池运行效果比较	89
2.4.1 上向流生物活性炭滤床膨胀率及影响因素	89
2.4.2 挂膜期间上向流/下向流生物活性炭的处理效果比较	97
2.4.3 相同滤速时上/下向流生物活性炭的处理效果比较	99
2.4.4 相同接触时间上/下向流生物活性炭的处理效果比较	102
2.4.5 上/下向流生物活性炭对异养菌的影响	106
2.5 炭砂滤池工艺	109
2.5.1 炭砂滤池构建及运行方式	109

2.5.2	对浊度和颗粒物的去除效果	113
2.5.3	对有机物的去除效果	115
2.5.4	对氨氮和亚硝酸盐氮的去除效果	117
2.5.5	提高氨氮去除能力的曝气炭砂滤池工艺	122
第3章	深度处理组合工艺	127
3.1	H_2O_2/O_3 /生物活性炭工艺	127
3.1.1	O_3/H_2O_2 联用去除污染物的机理	127
3.1.2	臭氧传质及过氧化氢浓度变化的影响因素	128
3.1.3	反应前后 pH 值的变化	131
3.1.4	对有机物的去除效果	132
3.1.5	对消毒副产物前体物的去除效果	137
3.2	臭氧催化氧化生物活性炭工艺	139
3.2.1	臭氧催化氧化机理与特点	139
3.2.2	对有机物的去除效果	143
3.2.3	对氯消毒副产物前体物的去除效果	146
3.2.4	对臭氧化有机副产物生成的抑制效果	148
3.2.5	对臭氧利用效率的提高作用	151
3.2.6	对溴酸盐生成的抑制作用	152
3.2.7	对遗传毒性的消减效果	153
3.2.8	应对突发性污染事件的效果	153
3.3	粉末活性炭—超滤组合工艺	155
3.3.1	粉末活性炭—超滤组合工艺的特点	155
3.3.2	工艺流程	156
3.3.3	处理效果分析	156
3.4	炭砂滤池组合工艺	163
3.4.1	炭砂滤池组合工艺的提出	163
3.4.2	强化混凝与炭砂滤池组合	164
3.4.3	粉末活性炭回流与炭砂滤池组合	166
3.4.4	高锰酸钾预氧化与炭砂滤池组合	167
3.5	炭砂—超滤复合工艺	169
3.5.1	工艺特点	169
3.5.2	对浊度的去除效果	169
3.5.3	对有机物的去除效果	169
3.5.4	对细菌的去除效果	170
3.5.5	无脊椎动物问题	171

第 4 章 臭氧—活性炭工艺副产物的控制与去除..... 172

4.1 臭氧化工艺中的副产物问题 172

4.2 溴酸盐的控制和去除技术 172

4.2.1 溴酸盐的生成原理..... 172

4.2.2 溴酸盐前体物的去除技术..... 174

4.2.3 溴酸盐的生成控制..... 177

4.2.4 溴酸盐的去除技术..... 190

4.2.5 溴酸盐控制方法选择体系..... 193

4.3 AOC 的控制和去除技术..... 194

4.3.1 可生化有机碳 AOC 的生成规律 194

4.3.2 高级氧化技术控制 AOC 生成 195

4.3.3 活性炭单元去除 AOC 197

4.4 酸副产物的控制 200

4.4.1 臭氧—活性炭工艺中 pH 变化分析..... 200

4.4.2 臭氧—活性炭工艺出水 pH 的控制方法..... 205

4.4.3 南洲水厂炭滤池 pH 调节技术..... 206

4.4.4 臭氧—活性炭工艺优化运行调控技术..... 208

第 5 章 深度处理工艺生物风险与控制 211

5.1 深度处理工艺中的生物问题 211

5.1.1 微生物问题..... 211

5.1.2 水生微型动物问题..... 212

5.2 生物活性炭中微生物风险识别 214

5.2.1 生物活性炭中微生物的分析方法..... 214

5.2.2 生物活性炭中微生物的群落结构..... 218

5.2.3 生物活性炭中微生物的数量变化特征..... 233

5.2.4 生物活性炭中微生物风险分析..... 235

5.2.5 生物活性炭滤池病原性微生物风险..... 240

5.3 微型动物群落结构及风险分析 244

5.3.1 生物活性炭中微型动物的群落结构..... 244

5.3.2 微型动物的生长繁殖特征..... 246

5.3.3 微型动物风险分析..... 248

5.4 微生物风险控制技术 257

5.4.1 病原菌灭活的消毒药剂及剂量控制..... 257

5.4.2 优化运行控制病原菌风险..... 266

5.5 微型动物风险控制技术 268

5.5.1	原水中常见微型动物的灭活方法	268
5.5.2	炭池中微型动物的灭活技术	270
5.5.3	微型动物风险的多级屏障控制措施	275
第6章	深度处理技术集成与工程案例	283
6.1	高氨氮、高有机物污染河网型原水深度处理技术与工程示范	283
6.1.1	水质特性	283
6.1.2	工艺选择	283
6.1.3	嘉兴市古横桥水厂三期示范工程	286
6.2	高藻、高有机物湖泊型原水深度处理技术与工程示范	289
6.2.1	水质特性及工艺选择	289
6.2.2	无锡市中桥水厂示范工程	290
6.3	高臭味、高溴离子引黄水库水深度处理技术与工程示范	293
6.3.1	水质特性	293
6.3.2	济南市鹊华水厂示范工程	294
6.3.3	小结	301
6.4	强化去除寒冷地区地表水中有机污染物的深度处理技术与工程示范	301
6.4.1	水质特性	301
6.4.2	工艺选择	302
6.4.3	依兰县依兰镇牡丹江水源给水深度处理一期示范工程	303
6.5	低温低浊、高氨氮、高有机物原水深度处理技术与工程示范	311
6.5.1	水源水质特征	311
6.5.2	工艺设计	312
6.5.3	淮南首创—水厂示范工程运行效果	313
6.6	深度处理工艺的生物安全性控制技术与工程示范	317
6.6.1	臭氧—生物活性炭工艺的生物安全性问题	317
6.6.2	深圳市梅林水厂示范工程	319
6.6.3	上海临江水厂紫外消毒工程	321
6.7	深度处理运行优化技术与工程示范	330
6.7.1	深度处理工艺现状问题	330
6.7.2	广州市南洲水厂示范工程	331
6.8	以活性炭砂滤池为核心的短流程深度处理技术与工程示范	340
6.8.1	短流程深度处理技术应用背景	340
6.8.2	东莞市第二水厂示范工程	340
6.8.3	深圳市沙头角水厂示范工程	347
6.9	国外的工程案例	354

6.9.1	瑞士苏黎世林格水厂.....	354
6.9.2	德国 Constance 湖水厂	356
6.9.3	荷兰阿姆斯特丹 PWN 水厂	358
6.9.4	美国洛杉矶水厂	360
6.9.5	法国巴黎梅里奥塞水厂.....	364
第 7 章 饮用水深度处理技术发展展望		370
参考文献		372

第1章 绪 论

1.1 饮用水深度处理技术需求分析

1.1.1 我国水源水质的现状

水体污染是指进入水体中的污染物在数量上超过该物质在水体中的本底含量和水体的环境容量,从而导致水的物理、化学及微生物性质发生变化,使水体固有的生态系统和功能受到破坏。当受污染的水体作为饮用水水源时,就会对人体健康产生危害。

近年来,我国工业废水和生活污水排放量逐年大幅度增加,导致河流、湖泊和水库等水质污染日益加剧,水体污染的形势十分严峻,有的甚至到了积重难返的地步。《全国城市饮用水水源环境保护规划(2008-2020年)》判断,“水源地面临的环境压力显著增大,饮用水水源水质总体呈下降趋势”。根据《中国绿色国民经济核算研究报告2004》公布的结果,2004年我国因环境污染造成的经济损失为5118亿元,其中水污染的环境成本高达2862.8亿元。

2012年上半年,全国地表水环境质量总体为轻度污染。长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河、辽河等七大水系、浙闽区河流、西南诸河、西北诸河以及太湖、巢湖、滇池等重点湖(库)等759个国控监测断面(点位)监测结果表明:I类~Ⅲ类水质断面比例为51.5%,劣Ⅴ类水质断面比例为15.5%。与上年同期相比,I类~Ⅲ类水质断面比例提高3.7个百分点,劣Ⅴ类水质断面比例降低0.6个百分点,主要污染指标为化学需氧量、总磷和氨氮。七大水系中,长江和珠江水质良好,淮河为轻度污染,黄河、松花江和辽河为中度污染,海河为重度污染。与2011年同期相比,七大水系总体水质状况无明显变化。

如图1-1所示,2011年,全国地表水水质总体为轻度污染,湖泊富营养化问题突出。长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河、辽河、浙闽片河流、西南诸河和内陆诸河等十大水系469个国控断面中,I类至Ⅲ类、Ⅳ至Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的断面比例分别为61%、25.3%和13.7%,主要污染指标为化学需氧量、五日生化需氧量和总磷。26个国控重点湖泊(水库)中,I类~Ⅲ类、Ⅳ类~Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的湖泊(水库)比例分别为42.3%、50.0%和7.7%。主要污染指标为总磷和化学需氧量。中营养状态、轻度富营养状态和重度富营养状态的湖泊(水库)比例分别为46.2%、46.1%和7.7%。

2010年,全国重点流域水环境质量总体为中度污染,I类~Ⅲ类水质比例为51.9%,

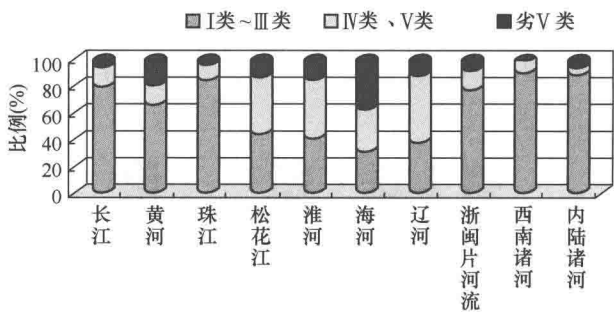


图 1-1 2011 年十大水系水质类别比例

IV类和V类为 27.3%，劣V类为 20.8%，如图 1-2 所示。全国地表水国控断面高锰酸盐指数平均浓度为 4.9mg/L，同比下降 3.9%，满足Ⅲ类水质标准要求；氨氮平均浓度为 1.38mg/L，同比下降 12.1%，但仍超过Ⅲ类水质标准。七大水系水质总体为轻度污染，I类~Ⅲ类水质比例为 59.6%，同比 2009 年上升 2.3 个百分点；劣V类水质比例为 16.4%，同比 2009 年下降 2.0 个百分点。“三湖一库”富营养化依然较严重，“水华”现象时有发生。太湖湖体水质基本为劣V类，水体以轻度富营养状态为主，水华频次比例为 80%；巢湖西半湖水质以劣V类为主，处于中度—重度富营养状态；东半湖水质以Ⅳ类为主，处于中营养—轻度富营养状态，水华频次比例为 76%；滇池外海水质为劣V类，水体处于中度—重度富营养状态，在 21 次蓝藻预警和应急监测中，滇池水域持续出现“区域性水华”。

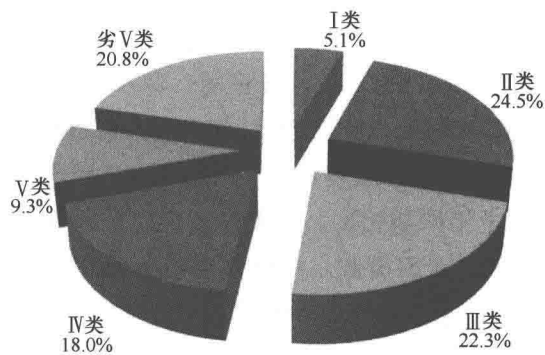


图 1-2 2010 年全国地表水水质类别

2009 年，全国地表水总体为中度污染，759 个地表水国控监测断面中，I类~Ⅲ类水质比例为 48.2%，较 2008 年提高了 0.5 个百分点；劣V类水质断面比例为 20.6%，较 2008 年下降了 2.5 个百分点，首次达到《国家环境保护“十一五”规划》目标（<22%）要求。七大水系水质好转，部分流域污染仍然严重。I类~Ⅲ类水质断面比例占 57.1%，较 2008 年提高了 2.1 个百分点，较 2005 年提高了

16.1 个百分点，达到《国家环境保护“十一五”规划》目标（>43%）要求。七大水系中，长江和珠江水系 I类~Ⅲ类水质比例在 80%以上，黄河水系为 68.2%，辽河、松花江、淮河和海河水系均在 40%左右。重点湖库未出现大面积“水华”和水体大面积黑臭，其中太湖、滇池和洪泽湖水体为重度污染，营养状态为轻度富营养；巢湖水体为中度污染，营养状态为轻度富营养；洞庭湖水体为中度污染，营养状态为中营养；鄱阳湖水体为轻度污染，营养状态为轻度富营养。

全国大部分水源均受到不同程度的污染，饮用水源地水质不符合饮用水源要求，有

机、有毒污染现象较为严重，短期内难以根本好转。2007 年环保部门对水源地进行了普查，结果表明：全国 4002 个饮用水水源地中，共有 1032 个地表水源和 411 个地下水源不符合作为饮用水水源的水质要求，涉及供水规模约 1.33 亿 m³/d。全部公共供水厂中，原水水质不符合饮用水水源要求的水厂 2566 个，涉及供水规模总计 1.47 亿 m³/d、用水人口 1.9 亿人。综上所述，原水不符合集中式生活饮用水水源水质要求的水厂供水规模超过总规模的 50%。水厂原水水质超标主要指标统计见表 1-1。

水厂原水水质超标统计 表 1-1

超标指标	水厂数量 (个)	供水规模 (亿 m ³ /日)
高锰酸盐指数和氨氮	155	0.17
高锰酸盐指数	276	0.25
氨氮	190	0.20
硝酸盐	75	0.02
铁、锰、氟化物、砷	477	0.09
总硬度、硫酸盐等其他指标	1393	0.74
合计	2566	1.47

2008 年，环保部门对全国城镇 4002 个集中式饮用水水源地进行了水质调查统计：2333 个饮用水地表水源地中，不符合水源水质标准的水源地达 1079 个，占地表水源地总数的 46.2%，主要污染物为氨氮、耗氧量、氟化物、挥发酚、硫酸盐、硫化物、铁、锰、石油类等。1669 个饮用水地下水源地中，未达到《地下水质量标准》(GB/T 14848—93)Ⅲ类水体水质标准的有 308 个，约占地下水源地总数的 18%。

2009 年，住房和城乡建设部又对全国设市城市和县城 4457 个公共供水厂取水口水质进行了调查：2714 个公共供水地表水厂中，水源水质不达标的有 1219 个，占地表水厂总数的 45%；供水能力 1.15 亿 m³/d，占地表水厂供水总能力的 59%。1743 个公共供水地下水厂中，水源水质不达标的有 640 个，占地下水厂总数的 37%；供水能力 0.122 亿 m³/d，占地下水厂供水总能力的 29%。原水水质超标主要指标是铁、锰、高锰酸盐指数、氨氮、氟化物、砷和硝酸盐。

住房和城乡建设部连续 8 年（2002 年~2009 年）对 35 个大中城市（除拉萨市外）的公共地表水厂约 12000 个取水口水源水样检测，结果表明：达到Ⅱ类水体标准的水样数量比例由 2002 年的 24.8%下降到 2009 年的 8.6%，主要超标项目为有机物和氨氮，石油类、耐热大肠菌群超标情况呈上升趋势。

2010 年《113 个环境保护重点城市集中式饮用水水源地水质月报》显示：84 个饮用水水源地不达标，占重点城市饮用水水源地的 22.8%。40 个城市水质存在安全隐患，占重点城市的 35.4%。该结果主要通过常规污染指标反映，若考虑到难以检测的微量有毒有害物质、三致物质以及环境激素类物质，则目前的饮用水水源水质污染状况更加严峻。

水源水质的持续恶化是饮用水安全的最大隐患，而与水源水质相适应的饮用水处理技术的发展相对滞后，常规处理工艺对受污染水源中溶解性有机物，特别是对加氯消毒后形

成的三致物质及其前驱物没有明显的去除效果，相反还可能使出水氯化后的致突变活性有所增加，水质毒理学安全性下降，对人体健康造成危害。常规工艺处理后的出水，已不能满足污染源水质净化的要求，不能有效解决水源中持续出现的氨氮、亚硝酸盐氮超标和水源高含量藻类及藻类代谢物引起的色、臭、味的问题，更不能满足人们对饮用水水质的要求。因而，在饮用水常规处理工艺基础上，选择针对污染源水质特征的饮用水深度处理技术显得势在必行。

1.1.2 我国供水设施的现状

我国在“十一五”期间城镇供水发展迅速，公共供水占主导地位，供水设施建设持续发展，供水设施改造稳步推进，期间设市城市和县城公共供水能力增加 0.33 亿 m³/d，管网长度增加 22.21 万 km，用水人口增加 0.96 亿人。根据 2009 年住房和城乡建设部水质专项调查统计结果，全国城市和县城共有公共供水厂 4457 个，供水能力 2.35 亿 m³/d，其中：设市城市供水厂 2201 个，供水能力 1.96 亿 m³/d；县城供水厂 2256 个，供水能力 0.39 亿 m³/d。地表水供水厂 2714 个，供水能力 1.94 亿 m³/d；地下水供水厂 1743 个，供水能力 0.41 亿 m³/d。现状设市城市和县城供水厂基本情况详见表 1-2。

现状设市城市和县城供水厂基本情况表 表 1-2

城镇类型	地表水厂		地下水厂		总计	
	数量（个）	供水能力 （亿 m ³ /d）	数量（个）	供水能力 （亿 m ³ /d）	数量（个）	供水能力 （亿 m ³ /d）
设市城市	1452	1.66	747	0.30	2201	1.96
县城	1262	0.28	996	0.11	2256	0.39
合计	2714	1.94	1743	0.41	4457	2.35

虽然城镇供水发展迅速，但相对于水源状况和新的《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2006）的实施，我国绝大多数水厂工艺落后。目前水源污染日趋严重，水中有毒有害物质的种类和含量不断增加，常规处理工艺难以净化处理，出厂水水质存在问题的水厂占有相当数量。

根据 2009 年住房和城乡建设部水质专项调查结果统计分析，全国 4457 个供水厂 2.35 亿 m³/日的供水能力中，深度处理的供水能力仅占 3.8%，常规处理占 65.1%，简易处理和未经处理、直接供给的占 29.5%，地下水厂经除铁、锰、氟化物、砷处理后供给的仅占 1.5%，详见表 1-3。

现状设市城市和县城供水厂处理工艺情况表 表 1-3

水厂类型	净水处理工艺类型	水厂数量（个）	供水能力（亿 m ³ /d）
地表水厂	深度处理	44	0.09
	常规处理	1988	1.53
	简易处理和未经处理	682	0.32
	小计	2714	1.94

续表

水厂类型	净水处理工艺类型	水厂数量（个）	供水能力（亿 m ³ /d）
地下水厂	除铁、锰、氟化物、砷	156	0.036
	直供	1587	0.374
	小计	1743	0.41
合计		4457	2.35

根据对全国设市城市和县城现有 4457 个公共水厂的普查，在 2714 个地表水厂中，常规处理工艺的占 98%，具有深度处理工艺的仅为 2%；在 1743 个地下水厂中，简单消毒和直接供水的占 91%。建制镇中公共水厂普遍是常规处理工艺。根据对 400 多个重点镇的调研及安徽、福建、内蒙古等 14 个省（区）的情况分析，建制镇多数水厂的工艺不完善，尤其是属于临时性质的简易供水设施多达 11000 多个。结合设市城市和县城的水质情况，其他建制镇出厂水超标的水厂约占 2/3，涉及供水能力合计约 3200 万 m³/d。

由于水源水质下降，供水厂净水处理工艺又相对落后，近年来，很多地方生活饮用水水质非但没有根本改善，反而有所下降，饮用水水质安全问题突出。根据 2009 年水质专项调查结果，现有 4457 个水厂中（其中，地表水厂 2714 个，地下水厂 1743 个），有 2367 个水厂出厂水不达标（其中，地表水厂 1163 个，地下水厂 1204 个），供水能力总计 0.86 亿 m³/d。出厂水水质超标主要指标为消毒剂余量、浑浊度、锰、氟化物、砷和硝酸盐。现状城镇供水厂出厂水水质情况详见表 1-4。

现状城镇供水厂出厂水水质总体情况表 表 1-4

城市类别		城市			水厂			主要超标指标
		总数 （个）	超标 （个）	超标 比例	总数 （个）	超标 （个）	超标 比例	
设 市 城 市	重点城市 （含市辖区）	35	24	69%	471	132	28%	氨氮、高锰酸盐指数（COD _{Mn} ）、 臭和味、氟化物
	地级市	260	179	69%	1071	459	43%	消毒剂余量、浑浊度、高锰酸盐指 数（COD _{Mn} ）、氟化物、硝酸盐、砷
	县级市	370	228	62%	659	328	50%	消毒剂余量、浑浊度、高锰酸盐指 数（COD _{Mn} ）、氟化物、砷
	合计	665	431	65%	2201	919	42%	消毒剂余量、浑浊度、高锰酸盐指 数（COD _{Mn} ）、氟化物、砷、硝酸盐
县城		1534	1093	71%	2256	1448	64%	消毒剂余量、浑浊度、锰、氟化 物、砷、硝酸盐
合计		2199	1524	69%	4457	2367	53%	消毒剂余量、浑浊度、锰、氟化 物、砷、硝酸盐

出厂水耗氧量和氨氮指标超标的，以大中城市 10 万 m³/d 以上大型水厂为主，主要分布在长江下游、黄河中下游和东北地区，超标的主要原因是水源污染；浑浊度指标超标

的,以小城市和县城 3 万 m^3/d 以下小型水厂为主,在全国各地普遍存在,超标的主要原因是处理工艺不能适应饮用水水质标准的提高;铁、锰、砷、氟化物、硝酸盐指标超标的,以北方地区县城 2 万 m^3/d 以下的小型水厂为主,超标的主要原因是地下水本底值超标。

根据原国家环境保护总局发布的《饮用水水源保护区划分技术规范》(HJ/T 338—2007),水厂取水口应设置在水源地一级保护区。对于地表水源地,取水口(一级保护区)水质应符合《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅱ类水体水质标准和补充项目的要求;对于地下水源地,取水口(一级保护区)水质应符合《地下水质量标准》(GB/T 14848—93)Ⅲ类水体水质标准的要求。按照《全国城市饮用水水源地环境保护规划(2008-2020)》,我国城市和县城集中式饮用水水源水质按照Ⅲ类水体进行目标控制,已污染水源未来 10 年仍难以达到水厂现状工艺对水源水质的要求。

常规处理工艺难以净化地表水Ⅲ类水体。对于混凝—沉淀—过滤—消毒的常规净水工艺,其对水中的颗粒物、微生物、大分子有机物(分子量 3000 以上)去除效果较强,但对原水中小分子有机物的去除效果较差。常规工艺对有机物(以耗氧量 COD 表示)的去除率约为 30%,当水源为Ⅱ类水体时(耗氧量 $\leq 4\text{mg/L}$),出厂水可以达标(水质标准为 $\leq 3\text{mg/L}$);当水源为Ⅲ类水体时(耗氧量 $\leq 6\text{mg/L}$),出厂水难以达标。很多建于 20 世纪 80 年代前的水厂,设计参数水平较低,常规工艺流程不完整,出厂水浑浊度、细菌总数等指标难以稳定达到新水质标准的要求。

对于水源受到污染的水厂,现有常规处理工艺和简易处理工艺难以保证水质稳定达标,城市供水水质安全问题十分突出,加上饮用水水质标准的提高,给供水设施也带来了严峻的挑战。因此,必须抓紧提高现有水厂工艺水平,采取新工艺、新手段,在现有常规处理工艺的基础上,增加饮用水深度处理工艺,全面提高水质,确保安全供水。

1.1.3 饮用水水质标准的发展

饮用水与人类健康密切相关,为有效地监测和控制饮用水的安全质量,国内外各级组织制定了各种饮用水水质标准,以保障饮用者的身体健康。

1. 美国饮用水水质标准发展

1914 年《公共卫生署饮用水水质标准》只有细菌学两个指标,是人类历史上第一部具有现代意义、以保障人类健康为目标的水质标准。1925 年对该标准进行了修订,增加了感官性状和无机物方面的几项指标,对细菌学指标要求严格;1942 年、1946 年修订后标准变化不大;1962 年修订后的标准明显反映了水体污染及其对健康影响的认识,首次提出了合成洗涤剂、重金属和放射性物质;1974 年受美国国会授权,美国环境保护局对全国的公共供水系统制定了可强制执行的污染物控制标准,对污染物最大允许浓度进行了研究;1975 年 3 月,美国环境保护局提出了强制性《国家饮用水暂行基本规则》;1977 年对标准限定的污染物提出了非强制性的“推荐最大污染物浓度”,水污染防治重点由常规污染物转为重金属和有机化合物;1979 年推出了非强制性的《饮用水二级标准》和《国

家饮用水暂行标准》，提出三卤甲烷指标，体现对氯消毒副产物的关注，把浊度归于微生物项目类中，这反映了认识上对浊度有关归属的改变；1986 年将《国家饮用水暂行标准》和《修正饮用水基本规则》合并为《国家饮用水基本规则》，对每一种被提出限定的污染物，要求提出最大污染物浓度 MCL，最大污染物浓度目标 MCLG 和最可行处理技术 BAT。美国环境保护局所制订的《美国饮用水水质标准》（2001 年）较完整，指标数为 101 项，2001 年 3 月颁布，2002 年 1 月 1 日起执行，有机物指标多达 60 项，体现了国际饮用水水质标准的发展趋势：加强饮用水中有机物的控制，特别是对消毒剂、消毒副产物和农药的限制。标准中各项指标提出了两个浓度值，即 MCL 和 MCLG，其中，MCL 是为保障人体健康而设立的强制性标准，MCLG 为非强制性标准。

2004 年美国环境保护局将《美国饮用水水质标准》修订为《2004 版饮用水标准及健康顾问》，总指标为 108 项。新标准将消毒剂及消毒副产物项目取消，其具体指标放入相应的有机物和无机物指标当中，即新标准分为有机物、无机物、微生物和放射性四项指标。其中有机物指标包括与 2002 版标注准中相同指标 53 项。消毒副产物 THMs、HAAs 不限制总量，而是具体限制到某一种消毒副产物（DBPs），增加一氯乙酸（0.06mg/L）、三氯乙酸（0.06mg/L）、氯仿（0.08mg/L）、一溴二氯甲烷（0.08mg/L）、二溴一氯甲烷（0.08mg/L）、溴仿（0.08mg/L）6 项指标，体现出对具体种类消毒副产物的重视。其余有机物并没有给出 MCL 强制性标准限值，只是给出了参考剂量、致癌风险等参考指标，对这些有机污染物需进行进一步的筛选和跟踪调查，以备修订标准之用。

新标准无机物指标中增加了硝酸盐氮和亚硝酸盐氮总量的限制（ $<10\text{mg/L}$ ），同时将砷的 MCL 指标从 0.05mg/L 严格限制到 0.01mg/L 。新标准将 2002 标准中的消毒剂和消毒副产物中溴酸盐、氯、氯胺、二氧化氯、亚氯酸盐 5 项指标并入无机物指标中。新标准放射性指标中增加了氡的标准（ $\text{MCL}=300\text{PCi/L}$ ， $\text{AMCL}=4000\text{PCi/L}$ ），对水中可能产生臭和味的 4 种物质（氨、甲基叔丁基醚（MtBE）、钠、硫酸盐）提出建议值，而对原标准中微生物指标和二级饮用水法规没有修改。

2. 世界卫生组织（WHO）水质标准发展

WHO《饮用水水质准则》由世界卫生组织于 1956 年起草、1958 年公布，并于 1963 年、1984 年、1986 年、1993 年、1997 年、2004 年、2011 年进行了多次修订补充，现行的水质标准为第四版。该标准提出了污染物的推荐值，说明了各卫生基准值确定的依据和资料来源，就社区供水的监督和控制进行了讨论，是国际上现行最重要的饮用水水质标准之一，成为许多国家和地区制定本国或地方标准的重要依据。WHO《饮用水水质准则》（第四版），指标体系完整且涵盖面广，这与它作为世界性的水质权威标准和世界各国的重要参考标准是相符合的。但同时可看出 WHO 所提出的大部分指标值较低，这体现了该标准制定的主要目的是为各国建立自己的水质标准奠定基础，通过将水中的有害成分消除或者降低到最少来确保饮水安全。

3. 欧盟（EU）水质标准发展

欧洲饮用水标准正式公布于 1963 年。在这个标准中设置了 7 种金属的最大允许浓度