



饮用水 净化技术

曹喆 钟琼 王金菊 主编



化学工业出版社

饮用水 净化技术



曹喆 钟琼 王金菊 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以目前国内外主流应用的饮用水净化技术为主要内容,系统地阐述了饮用水处理的基本理论,结合岗位能力需求重点介绍实用的饮用水净化技术。首先对于我国地表水、地下水污染现状进行了阐述,再介绍近年来国内外饮用水标准的发展趋势,指出了饮用水净化传统工艺的缺陷。之后针对我国饮用水源水微污染的现状,重点介绍国内外生产实践中使用的实用性较强的强化处理技术和新型技术,主要包括常规工艺的强化工艺、预处理工艺、深度处理工艺等,并对特殊水源水(含铁锰水源水、硬水、锅炉用水、有臭味水源水、含藻类水源水等)的净化、海水淡化技术以及目前行业热点的管道直饮分质供水、应急供水等内容进行了单独的论述,最后列举了典型的饮用水净化工程项目。

本书为高职高专给水排水工程技术、清洁生产与减排技术、环境工程技术、水环境监测与治理等相关专业的教材。同时可作为自来水企业人员的培训教材,也可供环境工程类、给水排水类、市政工程类专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

饮用水净化技术/曹喆,钟琼,王金菊主编. —北京:
化学工业出版社, 2018. 2

ISBN 978-7-122-31204-4

I. ①饮… II. ①曹…②钟…③王… III. ①饮用水-
净化 IV. ①TU991. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 309233 号

责任编辑: 王文峡

文字编辑: 林 媛

责任校对: 王 静

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 三河市航远印刷有限公司

装 订: 三河市瞰发装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13½ 字数 329 千字 2018 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

随着社会发展的需要,国内外饮用水的标准越来越完备,人们对水质的要求越来越高。与之矛盾的是社会经济的发展造成了环境的污染,水源水也难逃厄运,因此传统的给水处理技术已无法满足要求。为解决这个矛盾,各种强化处理技术和新型技术不断涌现。要系统地学习饮用水处理的技术,就必须学习包括传统净水工艺、强化工艺以及新型工艺的全部内容。而目前针对饮用水净化技术的专业书籍较少,仅有的少量相关专业书籍适用于专业研究人员,勉强可充当本科和研究生层次学生的教材,不适合高职学生或技术人员使用。在编者多年的高职教学过程中,关于饮用水净化方面的课程只能在有限的专业书籍中选择,在使用过程中,出现了教材内容理论过于深奥,学习者难以理解,实验室探索性研究内容过多,实用技术内容不够,部分内容不能贴近岗位所需的现象。

本书以目前国内外主流应用的饮用水净化技术为主要内容,系统地阐述了饮用水处理的基本理论,结合岗位能力需求重点介绍实用的饮用水净化技术。首先对于我国地表水、地下水污染现状进行了阐述,再介绍近年来国内外饮用水标准的发展趋势,指出了饮用水净化传统工艺的缺陷。之后针对我国饮用水源水微污染的现状,重点介绍国内外生产实践中使用的实用性较强的强化处理技术和新型技术,主要包括常规工艺的强化工艺、预处理工艺、深度处理工艺等,并对特殊水源水(含铁锰水源水、硬水、锅炉用水、有臭味水源水、含藻类水源水等)的净化、海水淡化技术以及目前行业热点的管道直饮分质供水、应急供水等内容进行了单独的论述,最后列举了典型的饮用水净化工程项目。

本书为高职高专给水排水工程技术、清洁生产与减排技术、环境工程技术、水环境监测与治理等相关专业的教材。同时可作为自来水企业人员的培训教材,也可供环境工程类、给水排水类、市政工程类专业人员参考。

本书由曹喆、钟琼、王金菊主编。参加本书编写工作的有曹喆(第一章)、朱邦辉(第二章)、方丽(第三章)、彭艳春(第四章)、陈冉妮(第五章)、钟琼(第六章、第九章)、王金菊(第七章和第八章)。全书由曹喆和刘维平统稿并最后定稿。

本书在编写过程中,参考了有关专家的著作和资料,在此对专家们卓著的工作表示钦佩和深切的谢意,这些文献资料对本书的编写工作起到了举足轻重的作用。由于篇幅容量所限,没有一一标注,编者恳请被引用者予以谅解,在此向所有被引用的参考文献作者致以诚挚的敬意!

本书编写过程中得到了化学工业出版社的大力支持和帮助,长沙环境保护职业技术学院的同仁亦对本书的编写提供了帮助和支持,在此一并向他们表示深切的谢意。

由于作者水平和能力有限,加之时间紧迫,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编者

2017年10月

第一章 绪论	1
第一节 水资源与饮用水源水概况	1
一、我国水资源概况	1
二、饮用水与微污染水源水	3
第二节 饮用水中的污染物	4
一、常规污染物	4
二、新兴污染物	5
第三节 饮用水源水污染的危害	9
一、水源环境微污染对常规净水工艺系统及水质的影响	10
二、饮用水源污染与健康	10
第四节 国际饮用水标准的现状与发展趋势	11
一、国际饮用水标准的现状	11
二、国际饮用水标准的发展趋势	14
第五节 我国饮用水标准的发展	15
一、我国饮用水标准的发展	15
二、《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)	17
第六节 饮用水源水质净化技术的发展	20
一、饮用水常规处理工艺及其局限性	20
二、强化常规处理工艺	20
三、预处理技术	23
四、深度处理技术	24
第二章 常规水处理工艺简介	28
第一节 混凝	28
一、混凝的基础理论	28
二、混凝剂	30
三、混凝的过程	33
四、影响混凝效果的因素与混凝剂的选择	34
第二节 沉淀和澄清	35
一、沉淀的基本理论	35
二、理想沉淀池理论	35
三、饮用水净化工艺常用沉淀池	37
四、澄清池	38
第三节 过滤	40

一、过滤的机理	40
二、普通快滤池	41
三、V 形滤池	43
四、重力式无阀滤池	45
五、其他滤池	46
六、各种滤池的性能比较	46
第四节 消毒	48
一、液氯消毒法	48
二、其他氯消毒法	49
第三章 常规水处理工艺的强化	51
第一节 强化混凝	51
一、基本概念	51
二、结合预处理手段的强化混凝去除水中天然有机物的主要方法	52
三、影响强化混凝效果的因素	53
四、强化混凝技术的局限性	54
第二节 强化沉淀	54
一、强化沉淀的理论	54
二、强化沉淀的设施	55
第三节 强化过滤	57
一、生物活性过滤	58
二、磁滤技术	62
第四节 强化消毒	63
一、ClO ₂ 消毒	63
二、臭氧消毒	65
三、紫外线消毒	66
四、膜法消毒效果的研究	68
五、其他工艺消毒	70
第五节 预处理技术	71
一、化学氧化预处理技术	71
二、吸附预处理技术	72
三、生物氧化预处理技术	73
第四章 深度处理技术	76
第一节 吸附技术	77
一、吸附的基本概念	77
二、活性炭吸附	80
三、生物活性炭技术	82
第二节 臭氧氧化技术	84

一、臭氧的性质	84
二、臭氧氧化反应机理	84
三、臭氧在水处理中的应用	85
四、臭氧组合工艺	87
第三节 膜处理技术	93
一、概述	93
二、饮用水净化常用膜处理技术	94
三、膜处理技术的基本性能及应用特点	100
第四节 光催化技术	102
一、反应机理及催化剂	103
二、光催化反应器	103
三、有机化合物的光催化降解	105
四、无机污染物光催化氧化还原	107
五、饮用水中微生物光催化降解	107
六、光催化氧化技术的影响因素	108
七、光催化氧化技术的发展方向	109
第五节 空气吹脱法	109
一、空气吹脱法的原理	109
二、空气吹脱法的应用	110
三、空气吹脱设备	110
四、污染防治	111
第五章 几种特殊水源水净化方法简介	113
第一节 地下水除铁除锰处理	113
一、地下水除铁	114
二、地下水除锰	115
三、接触氧化法除铁、除锰工艺	115
第二节 软化、除盐与锅炉水处理	116
一、水的软化、除盐概述	116
二、水的软化	117
三、水的除盐	119
四、锅炉水处理	121
第三节 水的除臭除味处理	122
一、化学氧化法	122
二、活性炭吸附法	122
三、生物活性炭法	123
第四节 水的除氟处理	123
一、活性氧化铝法	123
二、磷酸三钙法	124
三、骨炭过滤法	124

四、其他除氟法	124
第五节 水的除藻	125
一、化学药剂除藻	125
二、气浮除藻	125
三、过滤除藻	125
四、混凝除藻	126
五、生物处理除藻	126
六、超声波除藻	126
第六章 海水淡化	128
第一节 海水淡化概述	128
一、海水淡化的意义	128
二、海水淡化的可行性	129
第二节 海水淡化技术的发展概况	130
一、海水淡化的发展历史	130
二、国际海水淡化行业发展现状	131
三、我国海水淡化行业发展现状	131
四、海水淡化技术概述	132
第三节 蒸馏法	133
一、多效蒸馏法 (MED)	134
二、多级闪蒸法 (MSF)	135
三、压汽蒸馏法 (VC)	137
第四节 膜技术海水淡化	138
一、电渗析技术	138
二、反渗透	141
第五节 膜蒸馏技术	144
一、概述	144
二、膜蒸馏的原理	144
三、膜蒸馏的形式	144
四、膜蒸馏技术的特点	146
第六节 海水淡化的其他技术方法	146
一、冷冻法	146
二、水合物法	147
三、溶剂萃取法	147
四、离子交换法	147
五、增湿除湿法	147
第七节 太阳能海水淡化	148
一、概述	148
二、太阳能蒸馏系统	148

第七章 管道直饮分质供水	152
第一节 分质供水概况	153
一、分质供水产生的背景	153
二、分质供水国内外的发展及区别	153
三、分质供水的分类	154
第二节 管道直饮分质供水的特点及作用	154
一、管道直饮分质供水的定义及特点	154
二、管道直饮分质供水的作用	155
第三节 管道直饮分质供水建设规划与卫生管理	155
一、管道直饮分质供水建设规划	155
二、管道直饮分质供水相关规章、制度及标准、规范	156
三、管道直饮分质供水卫生管理	157
第四节 管道直饮分质供水的系统设备	159
一、管道直饮分质供水系统组成	159
二、管道直饮水净水处理工艺	160
三、管道直饮水供水系统及管网设计要点	160
四、管道直饮分质供水施工及验收要点	161
第八章 应急供水	163
第一节 应急供水的基本概念与范畴	165
一、基本概念	165
二、应急供水的基本范畴	165
三、供水事件分级	166
第二节 应急安全供水的工作原则与措施	167
一、应急安全供水的工作原则	167
二、应急安全供水的预防、预警与报警	168
三、应急安全供水的一般措施	168
第三节 应急安全供水系统与装置	171
一、应急安全供水系统结构特点与运行要求	171
二、野战及野外供水	172
三、水上供水装置	180
第九章 工程实例	184
第一节 珠三角某水厂给水处理技术工程实例	184
一、工程概况	184
二、一期工艺简介	184
三、二期工艺简介	185
四、现状平面布置	186
五、扩建工程新工艺	186

六、新老构筑物整合方案.....	187
第二节 星沙水厂水处理改造工程.....	188
一、工程概况.....	188
二、工艺选择.....	189
三、工艺流程方案.....	192
四、节能方案.....	193
第三节 嘉兴水厂水处理工艺.....	194
一、工程概况.....	194
二、工艺简介.....	194
第四节 深圳市笔架山水厂扩（改）建工程.....	197
一、工程概况.....	197
二、水源及水质情况.....	197
三、原工艺流程简介.....	198
四、扩建工艺流程.....	199
五、扩建工艺主要技术特点.....	199
六、主要工艺设计参数.....	202
第五节 嵎山 500m ³ /d 反渗透海水淡化示范工程	203
一、项目概述.....	203
二、总体设计及设备研制.....	203
三、海水预处理.....	204
四、反渗透海水淡化.....	204
五、运行情况.....	205
参考文献	206

第一章 绪 论



导 读

人们日常生活的饮用水来源于地球上的淡水资源。地球淡水资源的数量和质量，决定了饮用水的质量。社会经济发展带来的水污染，使得水体中出现了各种各样的污染物，这些污染物通过饮水对人类的健康造成了负面的影响。为了防止这些危害，世界各国和一些组织都设立了饮用水的标准，我国也不例外，在参考世界三大标准的基础上改进发布了新版标准。在饮用水源水微污染的现状下，饮用水的净化工艺也需要适时调整改进，需对传统工艺进行强化，或者是增加预处理、深度处理的设施。

第一节 水资源与饮用水源水概况

一、我国水资源概况

20 世纪 50 年代以后，全球人口急剧增加，工业迅速发展。一方面使得人类对水资源的需求迅速增长，另一方面人类活动造成的日益严重的水污染正蚕食着大量可供消费的水资源。据《2010 年联合国世界水资源开发报告》显示，全球用水量在 20 世纪增加了 6 倍，增速是人口增速的 2 倍，以《2015 年联合国世界水资源开发报告》数据估计，到 2050 年，全球对水资源的需求量将增加 55%。虽然目前地球上的淡水资源总体充足，但由于管理不善、环境变化及基础设施投入不足等原因，全球约 1/5 的人无法获得安全的饮用水。

我国虽然江河湖泊众多，水资源总量位居世界第四位，但是由于人口众多，人均占有水资源仅列世界第 121 位，约为世界人均占有水量的 1/4，是全球 13 个人均水资源最贫乏的



国家之一。根据水利部的资料显示,我国目前全国年缺水量为 500 多亿立方米,全国 660 多个城市中有 400 多个供水不足,其中比较严重缺水的有 110 个,城市缺水总量为 60 亿立方米。在 32 个百万人口以上的城市中,有 30 个长期受到缺水困扰。有些城市因地下水过度开采,造成地下水位下降,有的城市形成了几百平方公里的大漏斗,使海水倒灌数十公里。由于工业废水的肆意排放,导致 80% 以上的地表水、地下水被污染。农业方面,平均每年因旱减产粮食 280 多亿千克。预计我国将在 2030 年左右达到用水高峰,全国合理利用水量将接近实际可利用水资源量上限,水资源开发难度极大。

随着我国国民经济的迅速增长,水资源短缺对环境造成的压力也持续增加。根据《2016 年中国水资源公报》显示,目前我国水资源质量概况如下(下列《2016 年中国水资源公报》中涉及的全国性数据,均未包含香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾省)。

1. 河流水质

2016 年,对全国 23.5 万公里的河流水质状况进行了评价,Ⅰ~Ⅲ类水河长占 76.9%,劣Ⅴ类水河长占 9.8%,主要污染项目是氨氮、总磷、化学需氧量。

2. 湖泊水质

2016 年,对 118 个湖泊共 3.1 万平方公里水面进行了水质评价。全年总体水质为Ⅰ~Ⅲ类的湖泊有 28 个,Ⅳ~Ⅴ类湖泊 69 个,劣Ⅴ类湖泊 21 个,分别占评价湖泊总数的 23.7%、58.5%和 17.8%。主要污染项目是总磷、化学需氧量和氨氮。湖泊营养状况评价结果显示,中营养湖泊占 21.4%,富营养湖泊占 78.6%。在富营养湖泊中,轻度富营养湖泊占 62.0%,中度富营养湖泊占 38.0%。与 2015 年同比,Ⅰ~Ⅲ类水质湖泊的个数比例下降 0.9%,富营养湖泊比例持平。

3. 水库水质

2016 年,对全国 324 座大型水库、516 座中型水库及 103 座小型水库,共 943 座水库进行了水质评价。全年总体水质为Ⅰ~Ⅲ类的水库有 825 座,Ⅳ~Ⅴ类水库 88 座,劣Ⅴ类水库 30 座,分别占评价水库总数的 87.5%、9.3%和 3.2%。主要污染项目是总磷、高锰酸盐指数、氨氮等。其中大型水库Ⅰ~Ⅲ类及劣Ⅴ类的比例分别是 87.9%和 2.5%。水库营养状况评价结果显示,中营养水库占 71.2%,富营养水库占 28.8%。在富营养水库中,轻度富营养水库占 86.3%,中度富营养水库占 12.9%,重度富营养水库占 0.8%。与 2015 年同比,Ⅰ~Ⅲ类水质水库个数比例上升了 4.3%,富营养状态水库个数比例下降 4.8%。

4. 水功能区水质

2016 年,全国评价水功能区 6270 个,满足水域功能目标的 3682 个,占评价水功能区总数的 58.7%。其中,一级水功能区(不包括开发利用区)满足水域功能的占 64.8%;二级水功能区,满足水域功能的占 54.5%。评价全国重要江河湖泊水功能区 4028 个,达标率为 73.4%。其中,一级水功能区(不包括开发利用区)达标率为 76.9%,二级水功能区达标率为 70.5%。

5. 集中式饮用水水源地水质

2016 年,31 个省(直辖市、自治区)共监测评价 867 个集中式饮用水水源地。全年水质合格率在 80%及以上的水源地有 693 个,占评价总数的 80%。与 2015 年同比,全年水质合格率在 80%及以上的水源地比例上升 1.4%。

6. 浅层地下水水质

2016 年,流域地下水水质监测井主要分布于松辽平原、黄淮海平原、山西及西北地区

盆地和平原、江汉平原重点区域,基本涵盖了地下水开发利用程度较大、污染较严重的地区。监测对象以浅层地下水为主,易受地表或土壤水污染下渗影响,水质评价结果总体较差。2104个测站监测数据地下水质量综合评价结果显示:水质优良的测站比例为2.9%,良好的测站比例为21.1%,较差的测站比例为56.2%,极差的测站比例为19.8%。主要污染指标除总硬度、溶解性总固体、锰、铁和氟化物可能由于水文地质化学背景值偏高外,“三氮”污染情况较重,部分地区存在一定程度的重金属和有毒有机物污染。

日趋严重的水污染不仅降低了水体的使用功能,进一步加剧了水资源短缺的矛盾,而且还严重威胁到城市居民的饮水安全和健康。

二、饮用水与微污染水源水

1. 饮用水

人们日常生活中的饮用水主要是以地面水、地下水及降水为水源,将其贮存并处理后作为饮用水和生活用水。根据供水方式的不同,又可将饮用水分为集中式供水和分散式供水。

(1) 集中式供水 是指以地面水或地下水为水源,经集中取水,统一净化处理和消毒后,由输水管网送到用户的供水方式。所供水通常称为自来水。我国城市的供水主要为集中式供水,“十二五”规划完成后,农村集中式供水比例占80%以上。在保证供水的卫生安全方面,集中式供水有很多优点:由于采取了严格的水源选择和防护措施,水源水质较好;通过水处理设备进行了严格的净化和消毒,保证给水水质良好;严密的输水管道可防止水在运输中受到污染。因此,集中式供水的水质较好,使用方便。

生活饮用水集中式供水过程中,从水源选择和防护、净化和消毒、输送及贮存,任何环节出现问题,都可能使饮用水受到污染。由于集中式饮用水供应范围大,一旦水源及供水过程中受到各种化学物质及致病微生物污染,又未经有效净化、消毒处理时,可引起大范围急性和慢性中毒及传染病的流行。因此应加强集中式供水的卫生监督和管理,保证供水安全。集中式供水水质应满足一些基本要求。首先,生活饮用水中不得含有病原微生物,以防止介水传染病的发生和流行;其次,水中所含化学物质及放射性物质不得危害人体健康,应保证人们在终生饮用条件下不引起急性和慢性中毒及潜在的远期危害(致畸、致癌、致突变作用)。此外,应确保饮用水感官性状良好,为人们所乐于饮用。

(2) 分散式供水 指居民直接到水源处取水供生活饮用,取水方式主要包括从机井、水压泵井中取水和人力提水等。

机井利用电力提水,不仅节省劳力,而且可防止水桶对水井的污染,有利于水源保护。

手压泵井与大口井相比,有暴露少、污染轻、建造容易等优点。

分散式供水过程中一般未经净化消毒处理,因而水质较差。为确保分散式供水的卫生安全,有效防止介水传染病流行,应做好饮用水的净化消毒工作和水源的卫生管理工作,尤其是在肠道传染病流行季节和肠道传染病高发区,更应加强消毒措施。做好分散式供水的卫生防护和消毒,对降低传染病发病率、保护人民健康具有重要意义。

2. 微污染水源水

微污染水源水是指饮用水水源由于受到污染,部分物理、化学以及微生物指标已超过《地面水环境质量标准》中关于生活饮用水源水的水质要求。微污染水源水虽受到污染,但通过特殊工艺处理后仍可作为水源水使用。这类水中所含的污染物种类较多、性质复杂,但浓度较低,其污染物主要包括以下几类。

- (1) 感官性状污染物 如色度、浊度、臭和味及泡状物等。
- (2) 生物污染物 如病原微生物、蓝藻等。
- (3) 化学污染物 包括无机污染物和有机污染物。

化学污染物带来的水质安全问题尤为严重。美国环保署的调查发现，饮用水水源中含有多达数千种的微量化学物质。除了人工合成的化学物质以外，水中还存在通过各种化学和生物反应而生成的副产物。这些化学物质通过大气、水体、土壤、食物等途径进入人体，对健康造成损害。现已证明了几十种化学物质能诱发人类癌症，几百种能在动物身上诱发癌症，上千种能损害细胞中的 DNA。

目前，在几种污染物中，感官性状污染物与生物污染物在饮用水中已基本能得到控制，化学污染物上升为主要矛盾；而在化学污染物中，无机污染物基本得到控制，有机污染物上升为主要矛盾，成为危及人类健康及安全的主要因素。

第二节 饮用水中的污染物

一、常规污染物

· 饮用水中常规污染物主要包括感官性状污染物（如色度、浊度、臭和味及泡状物等），一般性化学污染物（如总硬度、阴离子、阳离子、重金属和天然有机物等）和常规生物污染物（如细菌、粪大肠杆菌和大肠杆菌等）。

1. 色度

水的色度是对天然水或处理后的各种水进行颜色定量测定时的指标。天然水经常显示出浅黄、浅褐或黄绿等不同的颜色，一般来源于自然生成的金属离子（铁、锰），腐殖质和泥炭产生的腐殖酸和富里酸，浮游生物，溶解的植物组分，铁细菌、硫细菌和工业废物。水中含有不同的矿物质、燃料、有机物时，呈现的颜色是不同的。

2. 浊度

浊度也称浑浊度，主要由胶体物质和悬浮物质（如黏土、泥沙、细小的有机物、无机物、浮游生物和其他微生物）产生，是用来反映水中悬浮物含量的一个水质替代参数。水中主要的悬浮物，一般也就是泥土。浊度这一概念既能反映水中悬浮物浓度，同时又是人的感官对水质的最直接的评价。高浊度水会增加消毒剂的需求，从而会降低消毒效率。

3. 臭和味

水中存在的某些物质，如有机物和致癌物会使水呈现臭和味，这是水质不佳的表现；水中某些无机离子和溶解总固体的浓度较高时，也会产生异味，影响水的可饮性。水中溶解的无机气体会产生臭味，水藻类以及其他的一些微生物常常引起水的异味。一种物质在无臭和无味的水中能够察觉出臭和味的最低浓度水平分别称为这种物质的臭阈值和味阈值。

4. 泡状物

许多污染物排入水中会产生泡沫，如洗涤剂等。漂浮于水面的泡沫，不仅影响观感，其孔隙中还可栖存细菌，造成生活用水污染。

5. 总硬度

总硬度指钙、镁离子浓度总和，通常用相应的碳酸钙（ CaCO_3 ）的量来表示。当

CaCO_3 当量低于 75mg/L 时,通常被认为是软水; CaCO_3 当量在 $75\sim 150\text{mg/L}$ 之间的水是中等硬水;当 CaCO_3 当量在 $150\sim 300\text{mg/L}$ 时是硬水; CaCO_3 当量高于 300mg/L 时是非常硬的水。

6. 硫酸盐及其他无机物

饮用水中的无机物可产生各种各样的健康问题。硫酸盐是一种天然的阴离子,饮用水中高浓度的硫酸盐会引起短时间的腹泻,高于 1000mg/L 会引起成年人的轻度腹泻,对于婴儿来说产生反应的浓度是 600mg/L 。

有些无机成分是已知的或可疑的致癌物质,如砷、铅和镉等,部分低剂量的无机盐是人体必需的,但高剂量的无机盐会对健康产生不利效应。这类无机盐包括铬、铜、锰、钼、镍、硒、锌、钠盐。如钠盐和钡盐均与高血压有关,水中铈盐可能与心血管病有联系,早老年性痴呆病及脑软化病则与铝元素有关,镁含量与心血管死亡率呈负相关关系,硅与冠心病有一定的联系。

7. 有机物

微污染水中的有机物可分为天然有机物 (natural organic matters, NOMs) 和人工合成有机物 (synthetic organic compounds, SOC)s)。

(1) 天然有机物 是来自于自然循环过程中动植物经腐烂分解所产生的低分子量的物质,主要包括腐殖质、微生物分泌物、溶解的动物组织及动物的废弃物等,也称作耗氧有机物或传统有机物。

(2) 人工合成有机物 种类十分复杂,大多为有毒有机污染物。有机物在水中的存在使颗粒稳定,从而会增加混凝剂用量和活性炭吸附器的负荷。而且水体中的可溶性有机物 (dissolved organic matter, DOM) 非常容易与饮用水净化过程中的各种氧化剂和消毒剂反应,生成新型污染物。

8. 细菌和总大肠菌群

细菌指的是没有明确的细胞核以二元裂变方式复制的单细胞微生物。总大肠菌群系指一群需氧及兼性厌氧的,在 37°C 生长时能使乳糖发酵,在 24h 内产酸产气的革兰阴性无芽孢杆菌。总大肠菌群包括枸橼酸菌属,肠杆菌属,克雷伯氏菌和大肠杆菌的大多数菌种。细菌总数和总大肠菌群数一般为自来水厂例行监测指标,用来间接反映水中病原微生物密度或致病的可能程度,是衡量水处理工艺的效果和配水系统完整性的指标。

二、新兴污染物

新兴污染物 (emerging contaminants) 指的是目前确已存在、但尚无环保法律法规予以规定或规定不完善、危害生活和生态环境的所有在生产建设或者其他活动中产生的污染物。这类污染物在环境中存在或者已经大量使用多年,但一直没有相应法律法规监管,在发现其具有潜在有害效应时,它们已经以各种途径进入到全球范围内的各种环境介质如土壤、水体、大气中。由于新兴污染物具有很高的稳定性,在环境中往往难以降解并易于在生态系统中富集,因而在全球范围内均普遍存在,对生态系统中包括人类在内的各类生物均具有潜在的危害。新兴污染物的环境污染和生态毒性效应已成为全球所面临的重大环境问题之一。新兴污染物主要包括消毒副产物、环境激素、环境纳米污染物、药品与个人护理用品、新型致病微生物以及藻类和藻毒素等。

1. 消毒副产物 (disinfection by-products, DBPs)

自 1974 年发现，饮用水加氯消毒可以产生三卤甲烷 (THMs) 后，已经有大量的文献报道了这些消毒副产物的成分。据文献报道，氯消毒除产生三卤甲烷外，还可以生成卤乙酸 (HAAs)、卤乙腈 (HANs)、卤代酮类 (HKs)、三氯乙醛/水合氯醛 (CH)、三氯硝基甲烷/氯化苦 (CP)、氯化腈、氯酚、甲醛、氯酸盐、亚氯酸盐、溴酸盐等。氯消毒后的主要副产物如表 1.1 所示。根据 WTO 的一些研究，到目前为止，DBPs 已被公认为对动物具有致癌作用。国内也有一些试验表明，这些物质可能具有生殖毒性和致癌性。

表 1.1 氯消毒后的主要 DBPs

种类	化 合 物
三卤甲烷 (THMs)	氯仿 (TCM)、溴仿 (TBM)、一溴二氯甲烷 (BDClM)、二溴一氯甲烷 (DBClM)
卤乙酸 (HAAs)	一氯乙酸 (MCAA)、二氯乙酸 (DCAA)、三氯乙酸 (TCAA)、一溴乙酸 (MBAA)、二溴乙酸 (DBAA)、三溴乙酸 (TBAA)、一溴代氯乙酸 (BCAA)、一溴二氯乙酸 (BDCAA)、二溴一氯乙酸 (DBCAA)
卤乙腈 (HANs)	氯乙腈 (CAN)、二氯乙腈 (DCAN)、三氯乙腈 (TCAN)、溴乙腈 (BAN)、二溴乙腈 (DBAN)、三溴乙腈 (TBAN)、溴氯乙腈 (BCAN)、一溴二氯乙腈 (BDCAN)、二溴一氯乙腈 (DBCAN)、碘乙腈 (IAN)
卤代酮类 (HKs)	二氯丙酮 (DCP)、三氯丙酮 (TCP)
卤乙醛	三氯乙醛/水合氯醛 (CH)
卤代羟基咪唑酮 (MX)	3-氯-4-二氯甲基-5-羟基-2(5 氢)-咪唑酮 (MX) 及其类似物
卤硝基甲烷	三氯硝基甲烷/氯化苦 (CP)

饮用水氯化消毒后的 DBPs 主要是 THMs 和 HAAs。这两类消毒副产物不但浓度远远超过其余消毒副产物，而且其致癌风险也不断得到毒理学和生物学的证实。它们在饮用水中的浓度是否具有足够的相关性，能否用其中一类消毒副产物的浓度来推断另一类消毒副产物的浓度，一直是研究者关心的问题。

为了减少饮用水氯化消毒过程中 THMs 和 HAAs 等副产物的生成，许多供水企业开始尝试使用多种新型消毒剂取代氯化消毒或作为附加消毒剂，如采用臭氧消毒、二氧化氯或氯胺消毒、臭氧和紫外光联用消毒等。尽管这些新的消毒方法减少了 THMs 和 HAAs 等副产物的生成，但却导致了饮用水中 DBPs 成分谱发生改变，产生了一些新的 DBPs，主要是溴化物和碘化物，其中最受关注的是溴硝基甲烷、溴化 MX、碘代三氯甲烷、碘酸以及亚硝基二甲胺 (NDMA) 等。不同的消毒剂产生的 DBPs 不同，主要如表 1.2 所示。研究表明溴化消毒副产物比其氯化同系物的细胞毒性、遗传毒性更强，而碘化消毒副产物比溴化同系物的毒性更强。流行病学调查结果也发现溴化消毒副产物暴露可能导致不同于氯化消毒副产物引起的生殖发育异常和癌变。除以上 DBPs 外，近两年受到关注的还有饮用水消毒剂与水中残留的药物、抗菌剂、杀虫剂等发生反应生成的新型污染物。水中残留的药物和农药通常具有活性芳环结构，容易与氧化剂氯和臭氧等发生反应，而生成的副产物可能比母体化合物具有更强的毒性效应。

表 1.2 不同消毒剂所产生的 DBPs

消毒剂	主要产生的 DBPs
氯	氯仿、卤乙酸、卤化腈
氯胺	卤乙酸、氯化腈、溴化腈
二氧化氯	亚氯酸盐、氯酸盐、有机副产物
臭氧	溴酸盐、碘化物、醛类物质、酮类物质、羧酸、二溴丙酮腈

2. 环境内分泌干扰物 (environmental endocrine disruptors, EEDs)

环境内分泌干扰物亦称环境激素 (environmental hormone), 是指可通过干扰生物或人体内保持自身平衡和调节发育过程天然激素的合成、分泌、运输、结合、反应和代谢等过程而对生物或人体的生殖、神经和免疫系统等的功能产生影响的外源性化学物质。该类物质具有种类多、数量大、暴露剂量小等特点。

越来越多的研究表明, 饮用水中检测到的许多化学物质都具有内分泌干扰作用, 这些化合物性质差异极大, 既有难降解的持久性有机污染物 (persistent organic pollutants, POPs) (如二噁英、多氯联苯、有机氯农药等), 又有可分解的有机除草剂、杀虫剂、洗涤剂的极性降解产物, 此外还包括动物及人类排泄的激素、天然植物激素、微生物毒素以及重金属等。

EEDs 可以直接进入细胞内作用于细胞核中的核酸或酶系统, 引发遗传变异。某些环境激素与激素有类似的化学构象, 可与激素受体结合而发挥直接作用, 或者与激素以外的生物大分子结合而发挥间接作用。某些具有较强神经或免疫毒性的化学物质, 可通过影响胚胎或生长发育期的神经或免疫系统而间接影响内分泌系统的发育; 同样, 内分泌功能的异常也必然会影响神经系统的发育及免疫系统的正常功能。另外, 环境激素还可作用于细胞信号传导道路。当两种活性较弱的环境激素同时作用机体时, 其激素作用可能会明显增加。

EEDs 具有亲脂性、不易降解、易挥发、残留期长等特点, 可通过生物富集和食物链的放大作用引起体内富集。环境内分泌干扰物在环境中能够像激素一样影响人体内分泌功能, 具有对人类雌激素、甲状腺素、儿茶酚胺和睾酮等显著的干扰效应, 破坏内分泌系统维持机体稳定和调控的作用。它们可以扰乱人体内分泌系统、神经系统和免疫系统的信息传递, 影响机体的调节功能和内环境的稳定, 而且会沿着上述三个系统相互作用的路线, 影响到整个生物体, 由此产生严重的后果。临床上经常表现为生殖障碍、出生缺陷、发育异常、代谢紊乱以及某些癌症。EEDs 的研究已被视为关系人类子孙后代能否正常延续下去的问题, 成为全球关注的热点。

3. 环境纳米污染物

纳米颗粒物指在纳米量级 (1~100nm) 尺寸范围内的颗粒。环境中的纳米颗粒物包括自然产生纳米颗粒物和人为合成纳米颗粒物两类。自然产生纳米颗粒物主要指森林大火、火山喷发等产生的纳米级颗粒物质。人为合成纳米颗粒物包括无意识合成纳米颗粒物 (即内燃机、发电厂等所产生的悬浮颗粒物) 与人工合成纳米颗粒物 (即纳米物质的生产, 如纳米金属等) 两类。纳米颗粒污染物即指制造或使用纳米材料过程中产生的有害物质的通称。纳米材料具有颗粒尺寸小、比表面积大、表面能高、表面原子所占比例大等特点, 以及其特有的三大效应: 表面效应、小尺寸效应和宏观量子隧道效应。

纳米颗粒体积小, 能飘浮在空中, 容易渗入动物和植物细胞, 具有改变生命机体内分子性质的能力。在一定条件下纳米颗粒可以穿透皮肤、血液或脑的屏障, 对皮肤、呼吸系统、循环系统以及脑等产生负面作用并在这些部位聚集积累。纳米材料甚小, 有可能进入人体中大颗粒材料所不能抵达的区域和健康细胞。吸入的纳米颗粒物可以穿透细胞壁, 进入人体组织, 深入到人体神经和血管中, 造成疾病。它们有可能直接干扰和伤害生理功能。随着纳米技术的发展和纳米材料的广泛应用, 纳米颗粒物可能引起的潜在环境问题已引起科学家的广泛关注。