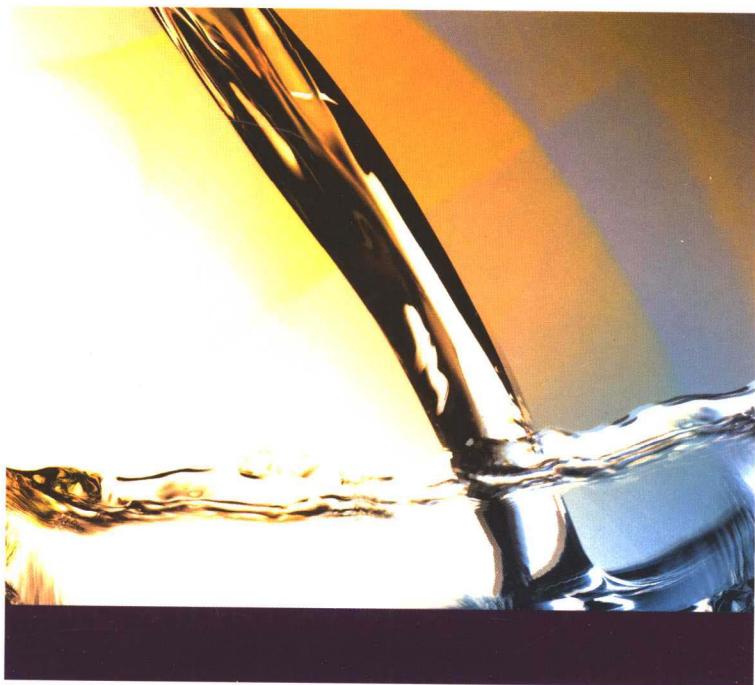


张莉平 习晋 编

特殊水质处理技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社
环境·能源出版中心

图书在版编目(CIP)数据

特殊水质处理技术/张莉平, 习晋编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 8

ISBN 7-5025-7537-5

I. 特… II. ①张…②习… III. 水处理-技术 IV. TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 094386 号

特殊水质处理技术

张莉平 习晋 编

责任编辑: 陈丽 徐娟

文字编辑: 刘莉珺

责任校对: 吴静

封面设计: 潘虹

*

化学工业出版社 出版发行
环境·能源出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

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

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 16¼ 字数 298 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7537-5

定 价: 38.00 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

近年来, 由于我国经济的持续发展, 尤其是有机化工、石油化工、医药、农药、杀虫剂及除草剂等生产工业的迅速增长, 有机化合物的产量和种类不断增加, 各种生产废水和生活污水未达到排放标准就直接进入水体, 对水源造成了极大的危害, 水源水质也因此急剧下降。由于受污染水体成分复杂, 特别是含有有机物、藻类等污染物, 采用常规处理工艺是不能去除的。为了使饮用水水质能满足《生活饮用水水质卫生规范》的需求, 对常规净水工艺往往还应增加预处理或深度处理工艺。本书就生物预处理技术、活性炭处理技术、臭氧-生物活性炭处理技术、膜处理技术等进行了较详细的介绍。藻类产生的臭味用常规净水工艺很难去除, 常使城市供水中出现不愉快气味, 这已成为世界各国给水处理中普遍存在的一个问题。对水体中藻类的去除主要介绍了化学药剂法除藻、微滤机除藻、气浮法除藻、直接过滤除藻、强化混凝沉淀除藻、生物处理除藻、预氧化强化除藻以及藻毒素的去除方法。

我国是地方性饮水氟中毒流行最广泛、危害最严重的国家之一。改用低氟水源是防治饮用水氟中毒的根本措施; 但是, 相当一部分高氟水地区往往无低氟水源可以就近饮用, 不得不采用饮水除氟技术。在书中主要介绍活性氧化铝吸附过滤、骨炭吸附过滤、铝盐混凝沉淀、羟基磷灰石 (HAP) 等除氟方法。而当地下水中所含铁、锰超标时, 需进行除铁、锰处理, 本书主要介绍曝气接触氧化法去除铁、锰。为了充分利用有限的淡水资源, 对水的冷却原理、冷却构筑物及循环冷却水的水质处理也进行了阐述。

本书理论与应用相结合, 着重从理论分析、设计计算、工艺流程及适用范围等方面进行了阐述, 既介绍了实践中的成功经验, 又介绍了一些新工艺、新技术, 每个章节均列举了相应的工程实例。

在整个编写过程中, 方晞教授给予了热情的支持, 张俭老师做了大量细致的工作, 在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限, 书中疏漏之处在所难免, 谨请专家和读者予以批评和斧正。

编者

2005年10月

目 录

| | |
|--|----|
| 第 1 章 微污染源水质处理技术 | 1 |
| 1.1 水环境污染状况 | 1 |
| 1.2 水源水中污染物 | 2 |
| 1.3 水质标准 | 3 |
| 1.3.1 国际水质标准的现状 | 3 |
| 1.3.2 三种主要标准的特点 | 6 |
| 1.3.3 水质标准与水系传染病 | 8 |
| 1.3.4 我国关于生活饮用水水质的卫生标准..... | 12 |
| 1.4 微污染源水质处理技术..... | 14 |
| 1.4.1 活性炭处理技术..... | 14 |
| 1.4.2 臭氧-生物活性炭处理技术 | 24 |
| 1.4.3 生物预处理技术..... | 26 |
| 1.4.4 膜处理技术..... | 28 |
| 1.5 微污染源水质处理技术实例..... | 42 |
| 1.5.1 周家渡水厂深度处理设计..... | 42 |
| 1.5.2 颗粒填料（陶粒滤料）生物接触氧化池的设计计算..... | 51 |
| 1.5.3 人工合成填料（YDT 填料）生物接触氧化池的设计计算 | 53 |
| 1.5.4 塔式生物滤池用于微污染源水处理的设计计算..... | 54 |
| 1.5.5 颗粒活性炭吸附法用于饮用水深度处理的设计计算..... | 56 |
| 1.5.6 臭氧-生物活性炭联用处理微污染源水的设计计算 | 58 |
| 1.5.7 采用反渗透装置以城市自来水制取纯净水机组的设计 计算..... | 61 |
| 参考文献 | 67 |
| 第 2 章 地面水除藻技术 | 69 |
| 2.1 水体中藻类与藻毒类..... | 69 |
| 2.1.1 蓝藻及毒素..... | 69 |
| 2.1.2 蓝藻毒素的危险评价与监测..... | 74 |
| 2.2 藻类对制水的影响..... | 76 |
| 2.3 藻类去除方法..... | 76 |
| 2.3.1 化学药剂法（加药灭藻法） | 77 |

| | | |
|-----------------|-------------------|-----|
| 2.3.2 | 微滤机除藻 | 79 |
| 2.3.3 | 气浮法除藻 | 79 |
| 2.3.4 | 直接过滤除藻 | 86 |
| 2.3.5 | 混凝除藻 | 88 |
| 2.3.6 | 沉淀或过滤除藻 | 89 |
| 2.3.7 | 生物处理除藻 | 90 |
| 2.3.8 | 藻毒素的去除方法 | 91 |
| 2.4 | 除藻技术实例 | 95 |
| 2.4.1 | 气浮法除藻 | 95 |
| 2.4.2 | 生物接触氧化法除藻 | 96 |
| 2.4.3 | 预氧化除藻 | 98 |
| 2.4.4 | 强化混凝沉淀除藻 | 99 |
| 2.4.5 | 水厂常规处理工艺去除藻毒素 | 100 |
| 2.4.6 | 高锰酸钾复合药剂除藻臭 | 102 |
| 2.4.7 | 投泥除藻 | 103 |
| | 参考文献 | 105 |
| 第3章 水的除氟 | | 106 |
| 3.1 | 概述 | 106 |
| 3.1.1 | 氟化物在环境中的存在及人群暴露水平 | 106 |
| 3.1.2 | 对人体健康的影响 | 107 |
| 3.1.3 | 在饮水中限值的确定 | 108 |
| 3.1.4 | 除氟方法 | 108 |
| 3.1.5 | 除氟作用机理 | 108 |
| 3.2 | 活性氧化铝吸附过滤 | 109 |
| 3.2.1 | 活性氧化铝除氟的原理 | 110 |
| 3.2.2 | 影响除氟效果的因素 | 110 |
| 3.2.3 | 再生工艺 | 112 |
| 3.2.4 | 活性氧化铝吸附过滤法除氟设计概述 | 112 |
| 3.3 | 骨炭吸附过滤 | 113 |
| 3.3.1 | 骨炭吸附过滤机理 | 113 |
| 3.3.2 | 影响除氟效果的因素 | 113 |
| 3.3.3 | 再生工艺 | 114 |
| 3.4 | 铝盐混凝沉淀 | 114 |
| 3.4.1 | 机理 | 114 |
| 3.4.2 | 影响除氟效果的因素 | 115 |

| | | |
|------------|-----------------------|------------|
| 3.4.3 | 铝盐混凝沉淀除氟设计概述 | 115 |
| 3.5 | 羟基磷灰石除氟 | 116 |
| 3.5.1 | 概述 | 116 |
| 3.5.2 | 羟基磷灰石合成方法与合成条件 | 116 |
| 3.5.3 | 羟基磷灰石除氟机理 | 117 |
| 3.5.4 | 影响除氟效果的因素 | 119 |
| 3.6 | 其他除氟方法 | 120 |
| 3.6.1 | 离子交换法 | 120 |
| 3.6.2 | 电凝聚法 | 120 |
| 3.6.3 | 电渗析法 | 120 |
| 3.7 | 除氟实例 | 121 |
| 3.7.1 | 活性氧化铝吸附过滤法除氟 | 121 |
| 3.7.2 | 活性氧化铝吸附过滤法除氟的计算 | 122 |
| 3.7.3 | 电凝聚除氟 | 124 |
| 3.7.4 | 混凝沉淀法除氟的计算 | 126 |
| 3.7.5 | 骨炭法除氟 | 127 |
| | 参考文献 | 127 |
| 第4章 | 地下水除铁除锰 | 129 |
| 4.1 | 概述 | 129 |
| 4.1.1 | 铁在地下水中的迁移转化 | 129 |
| 4.1.2 | 铁及其在饮用水中的限值 | 130 |
| 4.1.3 | 锰的循环 | 130 |
| 4.1.4 | 锰及其在饮用水中的限值 | 131 |
| 4.2 | 地下水中铁和锰的氧化速率 | 131 |
| 4.2.1 | 地下水中铁和锰的存在形式 | 131 |
| 4.2.2 | 铁的化学平衡和氧化速率 | 132 |
| 4.2.3 | 锰的氧化速率 | 135 |
| 4.3 | 地下水除铁方法 | 136 |
| 4.3.1 | 空气自然氧化除铁 | 136 |
| 4.3.2 | 接触催化氧化除铁 | 137 |
| 4.3.3 | 生物氧化除铁 | 137 |
| 4.4 | 地下水除锰方法 | 138 |
| 4.4.1 | 接触氧化除锰 | 138 |
| 4.4.2 | 生物氧化除锰 | 138 |
| 4.5 | 原水中铁锰共存的除铁除锰方法 | 139 |

| | | |
|------------|---------------------------|------------|
| 4.5.1 | 主要影响因素 | 139 |
| 4.5.2 | 原水中铁锰共存的除铁除锰方法 | 140 |
| 4.5.3 | 充氧回灌地层除铁除锰 | 140 |
| 4.6 | 地下水的曝气 | 141 |
| 4.6.1 | 气水比的选择 | 141 |
| 4.6.2 | 曝气装置的形式及适用条件 | 142 |
| 4.6.3 | 曝气装置 | 142 |
| 4.7 | 地下水除铁除锰实例 | 145 |
| 4.7.1 | 自然氧化法除铁的计算 | 145 |
| 4.7.2 | 接触氧化除铁除锰实例 | 149 |
| 4.7.3 | 空压机曝气压力式过滤除铁工艺设计实例 | 152 |
| 4.7.4 | 莲蓬头曝气重力式过滤除铁工艺设计 | 155 |
| 4.7.5 | 射流泵曝气无阀滤池过滤除铁工艺设计 | 159 |
| 4.7.6 | 表面曝气两级过滤除铁除锰工艺设计 | 161 |
| 4.7.7 | 生物接触法除铁除锰水厂的设计与运行实例 | 164 |
| | 参考文献 | 169 |
| 第5章 | 水的冷却 | 170 |
| 5.1 | 水的冷却原理 | 170 |
| 5.1.1 | 水的蒸发散热 | 170 |
| 5.1.2 | 水的接触散热 | 171 |
| 5.2 | 冷却塔热力计算基本方程 | 172 |
| 5.2.1 | 焓差理论 | 172 |
| 5.2.2 | 逆流式冷却塔热力计算基本方程式 | 172 |
| 5.2.3 | 冷却塔的性能 | 174 |
| 5.3 | 冷却塔的设计与计算 | 177 |
| 5.3.1 | 机械通风冷却塔的设计 | 177 |
| 5.3.2 | 逆流式冷却塔的热力计算及应用 | 181 |
| 5.3.3 | 逆流机械通风冷却塔设计实例 | 186 |
| 5.3.4 | 冷却塔运行中存在的几个问题及其对策 | 191 |
| 5.4 | 冷却构筑物类型 | 192 |
| 5.4.1 | 冷却池 | 192 |
| 5.4.2 | 湿式冷却塔 | 194 |
| 5.5 | 冷却塔的工艺构造 | 197 |
| 5.5.1 | 冷却塔的组成 | 197 |
| 5.5.2 | 通风筒 | 197 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| 5.5.3 | 配水系统 | 197 |
| 5.5.4 | 淋水填料 | 201 |
| 5.5.5 | 通风及空气分配装置 | 202 |
| 5.5.6 | 除水器 | 203 |
| 5.5.7 | 集水池 | 203 |
| | 参考文献 | 204 |
| 第 6 章 | 循环冷却水水质稳定处理 | 205 |
| 6.1 | 循环冷却水的水质特点和处理要求 | 205 |
| 6.1.1 | 敞开式循环冷却水系统的问题 | 205 |
| 6.1.2 | 循环冷却水的水质特点 | 209 |
| 6.1.3 | 循环冷却水的基本水质要求 | 212 |
| 6.1.4 | 循环冷却水结垢控制指标 | 213 |
| 6.2 | 循环冷却水处理 | 216 |
| 6.2.1 | 腐蚀控制 | 217 |
| 6.2.2 | 沉积物控制 | 218 |
| 6.2.3 | 微生物控制 | 226 |
| 6.3 | 循环冷却水的预处理 | 229 |
| 6.3.1 | 化学清洗 | 230 |
| 6.3.2 | 钝化 | 232 |
| 6.3.3 | 预膜 | 233 |
| | 参考文献 | 233 |
| 附录 1 | 美国现行饮用水水质标准 (2001 年) | 235 |
| 附录 2 | 《生活饮用水水质卫生规范》(Sanitary Standard for Drinking Water Quality) | 243 |
| 附录 3 | 农村实施《生活饮用水卫生标准》准则 | 249 |

第 1 章 微污染源水质处理技术

1.1 水环境污染状况

我国是水资源较丰富的国家之一，水资源总量为 $28124 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，位居世界第六，然而由于人口众多，我国人均占有水资源量仅 2340 m^3 ，约为世界人均占有水量的 $1/4$ 。又由于我国水资源主要来源于降水，降水遭受大气环流，海陆位置以及地形、地势等因素的影响，在地区分布上很不均匀，总格局是南方多，北方少，东南多，西北少。在时间分布方面更显不平衡，大多数降水集中于夏季 7、8、9 三月份。我国西北、华北以及沿海缺水地区受水资源匮乏的影响，使这些地区的国民经济发展受到严重的制约。

2004 年中国环境状况公报公布了水环境状况。2004 年，我国七大水系的 412 个水质监测断面中，I~Ⅲ类、IV~V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 41.8%、30.3% 和 27.9%，七大水系总体水质与去年基本持平，珠江、长江水质较好，辽河、淮河、黄河、松花江水质较差，海河水质差。主要污染指标为氨氮、五日生化需氧量、高锰酸盐指数和石油类污染物。

海河水系属重度污染，劣 V 类水质的断面比例为 56.7%，与 2003 年相比水质无明显变化。

辽河水系属中度污染，I~Ⅲ类、IV~V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为：32.4%、29.7% 和 37.9%，与上年相比总体水质好转。

淮河水系属中度污染，I~Ⅲ类、IV~V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 19.8%、47.6% 和 32.6%，部分支流污染仍严重，与上年相比水质无明显变化。

黄河水系属中度污染，I~Ⅲ类、IV~V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 36.4%、34.1% 和 29.5%，支流污染较重，与上年相比水质无明显变化。

松花江水系属中度污染，I~Ⅲ类、IV~V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 21.9%、53.7% 和 24.4%，与上年相比总体水质变差。

长江水系属轻度污染，I~Ⅲ类、IV~V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 72.1%、18.3% 和 9.6%，与上年相比水质无明显变化，长江省界断面水质保持良好。

珠江水系总体水质良好，I~Ⅲ类、IV~V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 78.8%、15.1% 和 6.1%，与上年相比水质基本持平。

2004 年度七大水系污染程度由重到轻依次为：海河、辽河、淮河、黄河、松花江、长江、珠江。

在 47 个重点城市中，饮用水源地水质达标率为 100%、99.9%~80%、79.9%~60%、59.9%~0.1%和 0 的城市分别为 25 个、8 个、3 个、10 个和 1 个，与上年相比，城市饮用水水源地水质达标率略有提高。2004 年，全国 187 个城市中，与上年相比，地下水污染减轻的有 39 个，污染加重的 52 个，水质稳定的 96 个。主要城市和地区的地下水水质受人为活动影响较大，硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、氯化物等组分的浓度普遍升高。2004 年全国 192 个主要城市中，与上年相比，地下水水位呈上升趋势（变化幅度大于 0.5m）的有 53 个城市，水位呈下降趋势的有 61 个城市，水位保持基本平衡的有 78 个城市。地下水水位升降幅度一般小于 3m，局部地区大于 5m，华东部分地区达到 10~40m。

2004 年监测的 27 个重点湖库中，Ⅱ类水质的湖库 2 个，Ⅲ类水质的湖库 5 个，Ⅳ类水质的湖库 4 个，Ⅴ类水质湖库 6 个，劣Ⅴ类水质的湖库 10 个。其中“三湖”（太湖、巢湖、滇池）水质因总氮和总磷浓度高而均为劣Ⅴ类。太湖水质与上年比有所改善，但仍处于中度富营养状况。滇池草海属重度富营养化，外海属中度富营养化，与上年相比，水质有改善。巢湖水质属中度富营养化，与上年相比，水质无明显变化。

这一年全国废水排放量为 482.4 亿吨，其中工业废水排放量为 221.1 亿吨，生活污水排放量为 261.3 亿吨。化学需氧量排放量为 1339.2 万吨，与去年基本持平，其中工业排放量为 509.7 万吨，生活排放量为 829.5 万吨；氨氮排放量为 133.0 万吨，比去年略有增加，其中工业排放量为 42.2 万吨，生活排放量为 90.8 万吨。

2004 年全海域共发现赤潮 96 次，较上年减少 23 次。赤潮累计发生面积 26630km²，较上年增加 83.0%，其中大面积赤潮集中在东海。

2004 年，全国 527 个市（县）降水的年均 pH 值范围为 3.05~8.20。出现酸雨的城市 298 个，占统计城市的 56.5%。降水年均 pH 值小于 5.6（酸雨）的城市 218 个，占统计城市的 41.4%。与上年相比，出现酸雨的城市比例增加了 2.1%；酸雨城市比例上升了 4%，其中 pH 值小于 4.5 的城市比例增加了 2%；酸雨频率超过 80%的城市比例上升了 1.6%，本年度酸雨污染较上年加重。

由于水污染的日趋严重，许多饮用水处理厂的水源也受到不同程度的污染，从而使饮用水水质变差，影响到居民饮水健康。

1.2 水源水中污染物

微污染源水中的污染物通常以有机污染物为主，其中大部分是较容易被微生物降解和利用的有机物，也有少量难以生物降解的天然或人工合成的有机

化合物（如腐殖质、苯酚和有机氯农药等）。在混凝处理时有机成分对胶体产生严重的保护作用，影响混凝效果，导致耗药量显著增加，水中铝的剩余浓度升高。受污染水源水中的有机物种类繁多，成分复杂，日常条件下不便、也无必要一一具体检测。日常用便于检测的高锰酸盐指数（ COD_{Mn} ）作为衡量水中有机物相对含量的综合性指标来表示饮用水受有机物污染的相对程度。除有机物污染外，在饮用水中还不断出现新的病原微生物，如贾第虫、隐孢子虫、军团菌

目前我国绝大多数城市自来水厂采用的是传统的常规给水处理工艺，其主要功能是除浊、除色和杀菌，对水中溶解性有机污染物的去除作用是有限的。

1.3 水质标准

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》（见附录 1），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，以及南美的巴西、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；欧洲的法国、德国、英国（英格兰和威尔士、苏格兰）等欧盟成员国和我国的澳门则均以 EC 指令为指导；而其他一些国家如澳大利亚、加拿大、俄罗斯、日本同时参考 WHO、EC、USEPA 标准。我国和我国的台湾省则有自行的饮用水标准。例如，我国台湾省规定有自己的饮用水水质标准，它并没有直接采用 WHO、EC 或 EPA 的水质标准。根据所了解到的资料，其最近修订时间为 1998 年，共有指标 54 项，其中大肠杆菌标准值很高，为 6CFU/mL 或 6MPN/100mL。台北市也有自己的《饮用水水质标准》（Drinking Water Regulations），共有 42 项，比台湾省标准少了农药指标 9 项和钡、铊、镍。

下面具体介绍世界各国水质标准的现状，并着重说明这三部重要标准的主要特点。

1.3.1 国际水质标准的现状

WHO 制定的《饮用水水质准则》作为世界性的权威水质标准，是各国制定水质标准的重要参考，是随着全球经济的迅猛增长和人类对健康的日益重视而发展起来的，同时也考虑到全球多个国家地方社会习俗、经济、文化、环境

的差异，因而水质指标较完整，但指标值并非是严格的限定标准，各国可根据本国实际情况进行适当调整。在 1993~1997 年期间，分三卷出版了《饮用水水质准则》(第 2 版)，其中包括：第一卷，建议书 (1993)；第二卷，健康标准及其他相关信息 (1996)；第三卷，公共供水的监控 (1997)。最近 WHO 在该准则中增加了微囊藻毒素指标，表明蓝藻产生的藻毒素对健康影响给予高度重视。

原欧共体理事会在 1980 年对各成员国提出《饮用水水质指令》(Council Directive 80/778/EC on the Quality of Water Intended for Human consumption)。80/778/EC 指令列出了 66 项水质参数，分成微生物、有毒物质、过量的有害物质、理化参数及感官参数和饮用软化水的最低浓度指标。其中，对多数参数给出了两种不同的标准值，即指导值 (guidelines) 和最大允许浓度 (maximum acceptable concentration)，指标比较完整，要求也比较高。该指令成为欧洲各国制定本国水质标准的主要框架。1991 年底，原欧共体成员国供水协会对该指令实施以来的情况做了总结，认为尽管该指令对 10 年来欧洲饮用水水质的改善起到重要的推动作用。但在执行过程中也暴露出一些缺点：未能提供合适的法律架构以应对原水水质的变化，以及生产、输送饮用水所遇到的技术困难；此外，该指令在 1975 年开始起草，其中的指导思想和水质参数在当时的情况下是适宜的，但没有将近年来水行业的科技进步纳入其中。基于上述修改意见，1995 年欧盟对 80/778/EC 指令进行了修正，1998 年 11 月通过了新指令 98/83/EC，指标参数由 66 项减少至 48 项 (瓶装水为 50 项)。新指令更加强调指标值的科学性，与 WHO 指导标准的一致性。

美国最早的水质标准颁布于 1914 年，规定每 100mL 水中不准超过 2 个大肠菌，并引入最大允许值 (maximum permissible)、安全限度 (safe limit) 等概念，确定了联邦、各州和供水企业的水质基准。以后每隔 10 年左右标准修订一次，内容逐步完善，形成包括细菌、理化、感官、有机物、放射性等指标，对采样频率和分析方法均有明确规定的完整体系。在这一进程中，具有划时代意义的是美国国会 1974 年通过的《安全饮用水法》及其 1986 年、1996 年的修正案。法案要求美国环保局对全国的公共供水系统制定可强制执行的污染物控制标准，即《国家一级饮用水规则和二级饮用水规则》(National Primary and Secondary Drinking Water Regulations)，统称为美国《国家饮用水水质标准》。该标准分一级规则和二级规则两部分。一级规则是强制性标准、通过规定最大污染物浓度或处理技术来执行。美国《国家饮用水水质标准》(2001 年 3 月颁布) 共列了 101 项 (包括计划实施的)，分为两部分：一级法规 (强制性标准) 共 86 项指标，其中无机物 16 项，有机物 35 项，农药 19 项，消毒剂及消毒副产物 7 项，微生物学指标 7 项，放射性指标 4 项；二级法

规（非强制性标准）用于控制水中对容貌（皮肤、牙齿变色），或对感官（如臭、味、色）有影响的污染物浓度，共 15 项（其中铜、氟化物在一级法规中也有），各州可有选择地采纳作为当地强制性标准。

英国是第一个对饮用水中的隐孢子虫提出量化标准的国家。英国政府在 1999 年颁布了新的水质规则，要求水源存在隐孢子虫风险的供水企业，应对出厂水进行隐孢子虫的连续监测，同时对饮用水中的隐孢子虫提出了强制性的限制标准，即出厂水中隐孢子虫卵囊要少于 1 个/10L。对于违反该限制的供水企业，即使没有造成水介疾病暴发的证据，也将予以起诉，并课以罚金。

法国现行的饮用水水质标准（95-368）主要参照 80/778/EC 指令而制定，它是在法国《生活饮用水水质标准》（89-6）的基础上，经过 1990 年、1991 年和 1995 年修订而成。大部分指标值采用的是 EC 标准的最大允许浓度值，有的指标要求高于 EC 的标准（如色度、浊度等），并增加了农药和氯化副产物等项目。特别是标准中微生物学指标较全面，分别为耐热大肠菌、粪型链球菌、亚硫酸盐还原梭菌、沙门菌、致病葡萄球菌、粪型噬菌体、肠道病毒，这七项指标并不包含在 EC 最新饮水指令中。标准（95-368）与（89-6）相比，增加了多环芳烃，细化了氟化物的规定，并分温度段来定其标准值。

德国现行饮用水水质标准共 43 项。该标准包含在饮用水及食品企业用水条例，并对在饮用水处理中可以使用的药剂也做了明确的规定，包括允许投加浓度、处理后的极限值等。此外，对各种指标的检验范围与频率也有明确的规定。

第六版加拿大《饮用水水质准则》(Guidelines for Canadian Drinking Water Quality) 为加拿大现行饮用水水质标准。该准则中包括微生物学指标、理化指标和放射性指标，共 139 项。其中最有特点的是该准则中规定的放射性指标有 29 项之多。上述指标值是基于危险管理概念制定的，并包括以下几个严格的步骤：确认、评价、定值、核准和标准的颁布和公布。在此过程中，很重要的一步是由加拿大卫生部对由饮用水中吸收的某种物质对人体所造成的健康危险进行科学评估，并推荐出适合的指标值。

在日本的新水质标准（1993）中，供水及环境处规定了 13 项快适性指标，这主要是作为水质管理的目标，以求饮用水舒适爽口，其中的要求比《水道法》规定的水质标准高得多。如浊度，水质标准规定小于 2NTU，快适性指标要求出厂水小于 0.1NTU，管网水小于 1NTU。又如耗氧量，水质标准规定小于 10mg/L，而快适性指标要求小于 3mg/L。而且快适水质项目中对臭做了严格的量化要求——嗅阈值定为 3TON。

澳大利亚现行饮用水水质标准是 1996 年制定的，综合了 WHO、EC 和 USEPA 三大权威标准，考虑较全面，指标制定完整。其中包括微生物指标、不

规则检测微生物项目指标、物理学指标、无机化学物质指标、有机消毒副产物指标、其他有机化合物指标、农药、饮用水中的放射性指标，总共 248 项。尽管并非所有项目都列出了指标值，但考虑的项目最为全面，特别是微生物学项目分为细菌、原生动物、病毒和毒藻几类，共有 22 项，农药也列出了多达 121 项。在确定指标值时，不仅考虑了所列项目可能对健康、设备管道的影响，还考虑到人们感官上的要求，分列了健康指标值和感官指标，感官值高于健康值。

东南亚国家和南美一些国家的饮用水标准从所定项目和指标值来看，是以 WHO 水质准则为基础制定的，指标分类选择较完整，指标值定得较为严格，代表一般发展中国家水平。如马来西亚于 1990 年 10 月修订的国家水质标准，分别列出了原水和饮用水水质标准及检测频率。其中原水的检测频率因水源而异分为三类，以便选择合适的处理工艺，使出厂水达到饮用水水质标准。该标准参考了 WHO 的《饮用水水质准则》(1963 年、1971 年及 1984 年)，某些指标值还参考了英国、加拿大和澳大利亚的标准，指标项目较为完整。巴西和阿根廷基本上是以 WHO《饮用水水质准则》(1984 年第 1 版)为参考，但其根据本国的国情，考虑气候、用水总量和水源等条件，做了一些调整。如在氟化物指标的规定上，并未采用 WHO 的标准，巴西是要求依据每日最高气温而推荐的氟化物值应该符合现行法规；阿根廷则专门列表，分六个温度段，分别列出了上下限值。

俄罗斯的水质标准独具特色，其现行标准（1996 年版）比以前（1982 年版）增加了数十项指标，指标值比 WHO 要求的更高（如汞，WHO 的指标值为 0.001mg/L，俄罗斯要求为 0.0005mg/L），而且在感官性参数中列出了 47 项，其中的砷、钡、铷、铍、过氧化氢、剩余臭氧等指标项目在其他国家的水质标准中未曾出现。

1.3.2 三种主要标准的特点

根据对世界各国水质标准现状的分析可见，WHO《饮用水水质准则》、EC《饮用水水质指令》以及 USEPA《国家饮用水水质标准》是各国制定标准的基础或参照，而这三部标准又各具特点。

1.3.2.1 WHO《饮用水水质准则》

WHO 在 1984~1985 年间，分三卷出版了《饮用水水质准则》(Guidelines for Drinking Water Quality) (第 1 版)，成为各国制定本国饮用水水质标准的依据，并为当时世界各国的饮用水水质的提高发挥了重要作用。在此基础上，从 1988 年起，历经 4 年，在 40 多个国家 200 多位专家的努力下，WHO 又提出了《饮用水水质准则》(第 2 版)。第 2 版新增了许多污染物项目，同时也对项目的指标值进行了修改。该准则指标比较完整全面，包括了与健康有关的水质指标 135 项，其中微生物学指标 2 项、化学物质指标 131 项（无机物 36 项、

有机物 31 项、农药 6 项、消毒剂及其副产物 28 项)、放射性 2 项,有些指标暂未提出指导值,有指导值的指标共 98 项,135 项指标中由于感官可能引发消费者不满的指标 31 项。1996 年、1998 年对第 2 版又进行了修订,增加了微囊藻毒素等关键指标。

WHO《饮用水水质准则》的指导思想如下。①控制微生物的污染是极端重要的。消毒副产物对健康有潜在的危险性,但较之消毒不完善对健康的风险要小得多。②短时间水质指标检测值超过指导值并不意味着此种饮用水不适宜饮用。③在制定化学物质指导值时,既要考虑直接饮用部分,也要考虑沐浴或淋浴时皮肤接触或易挥发性物质通过呼吸摄入的部分。

WHO《饮用水水质准则》的主要目标就是为各国建立本国的水质标准奠定基础,通过将水中有害成分消除或降低到最小,确保饮用水的安全。需要注意的是,该准则中的各项指导值并不是限制性标准,各国应该结合本国环境、社会、生态和文化条件,采用风险-效益分析方法(risk-benefit approach)确定本国水质标准的各项参数值。

1.3.2.2 欧盟《饮用水水质指令》

新指令 98/83/EC 在 80/778/EC 的基础上做了较大修订,新增了 19 项,删去了 36 项,项目指标值发生变化的有 17 项。二者的具体差异关键在以下几个方面。

①微生物方面,新指令用埃希大肠杆菌、肠道球菌 2 项取代 80/778/EC 中的总大肠杆菌群、粪型大肠杆菌等 5 项指标,并强调在用户水嘴处应达到 0 个/100mL 的指标值。

②感官参数如铝、铁、锰、色度、浊度、臭和味在 80/778/EC 中属于强制性指标,而 98/83/EC 取消了这些强制性限制,并把这些项目定义为指示参数,制定了铝、铁、锰的标准值,但对色度、浊度、臭和味只做了“用户可接受且无异常”的规定。

③总硬度和碱度这两项指标在 80/778/EC 中做了规定,但在新指令中被省略了。英国卫生部认为从心血管病营养学角度考虑,应在国家标准中保留这项指标,苏格兰也认为应保留总硬度的最低浓度限制,但碱度则没必要。

④80/778/EC 对钠做了强制规定——150mg/L,而新指令对其未做强制性规定,只定了指示指标值——200mg/L。英国从婴儿健康和建议人们减少钠盐的摄入考虑,要求将 200mg/L 作为强制性指标列入国家标准。

⑤指令中最重要的修改就是铅的指标值从 50 μ g/L 降至 10 μ g/L,并要求在 2013 年 12 月以前更换含铅配水管,这是根据 WHO 最新标准建议而确定的,目的是保护婴儿、儿童、孕妇不受神经毒害,以免造成智力发育不良。

⑥农药。单项农药和总农药值维持不变(0.1 μ g/L 和 0.5 μ g/L),但个别

种类农药的指标值更加严格 (0.03 $\mu\text{g}/\text{L}$)。

⑦ 铜。指标值从 3mg/L 降至 2mg/L。

⑧ 新标准增加的参数,如丙烯酰胺、苯、苯并[a]芘、溴酸盐、1,2-二氯乙烷、环氧氯丙烷、氟化物、三卤甲烷、三氯乙烯和四氯乙烯、氯乙烯等。

1.3.2.3 美国《国家饮用水水质标准》

美国《国家饮用水水质标准》主要有以下特点。

① 各项指标均有最大浓度值 (MCLs) 及最大浓度目标值 (MCLGs)。MCLGs 为非强制性目标值,侧重于考虑对人体健康的影响,并不涉及污染物的检出限和污水处理技术。因此供水系统常常达不到 MCLGs 的要求;具体执行时,采用的是 MCLs,这是供水系统供给用户的水中污染物的最大允许浓度。

② 对微生物的人体健康风险给予高度重视,微生物学标准共有 7 项之多,其中隐孢子虫、贾第虫、军团菌、病毒等指标在其他国家水质标准中并不常见,体现出美国对致病微生物的研究深入、细致。美国把浊度列入微生物学指标,对浊度数值的规定也从现在的 0.5NTU (95%合格率) 提高到 0.3NTU (2002 年执行),主要是从控制微生物风险来考虑,而不仅仅是感官性状。

③ 在一个完整的法律体系下制定、完善和执行。《安全饮用水法》及其修正案奠定了保证饮用水安全的法律框架,国家一级和二级规则确定了需要控制的水中污染物的详尽项目和指标。同时,还根据流行病学统计和水质分析技术的进步,针对某几项参数提出相关条例,及时强化或修正水质标准中的有关内容,如 1996 年的《消毒与消毒副产物条例》(Disinfectants/Disinfection By-products Rule) 和《强化地表水处理条例》(Enhanced Surface Water Treatment Rule) 等。

④ 对消毒副产物十分重视。美国早在 20 世纪 70 年代初,就率先开展了消毒副产物方面的研究,确认了加氯消毒产生有机卤代物的健康风险,并专门制定了《消毒与消毒副产物条例》。在 2001 年 3 月颁布水质标准中,要求自 2002 年 1 月起,饮用水中的总三卤甲烷浓度由 0.1mg/L 降为 0.08mg/L,并增加了卤乙酸的浓度不超过 0.06mg/L 的规定。

1.3.3 水质标准与水系传染病

1.3.3.1 水质标准中微生物指标的确定

水质标准中微生物指标非常关键,这是衡量水质是否安全的首要指标。WHO 认为控制微生物污染是极其重要的,因为致病微生物危害最大,它能够在同一时间使大量的饮用者染病。水系传染疾病的病原体大致分为三种:①致病细菌,如伤寒沙门菌、志贺菌、霍乱弧菌、军团菌等病菌;②致病病毒,如甲型肝炎病毒、脊髓灰质炎病毒、轮状病毒等;③致病原生动动物,如痢疾内变形虫、隐孢子虫 (*Cryptosporidium*)、贾第虫 (*Giardia*) 等致病原生动动物;

此外，还有藻类。

与化学污染不同，致病微生物具有以下明显特征：①在水中呈离散而非溶解状态；②常常附着在悬浮颗粒上，其水中平均浓度并不代表感染计量；③致病微生物造成的发病频度，与其感染能力、毒性和人的个体免疫力密切相关；④感染一旦发生，致病微生物就可以借助宿主迅速繁殖。

由于上述特征，对于致病微生物不存在“容忍下限”（tolerable lower limit），也就是说饮用水中不允许有任何致病微生物，这要求在水源选择、净水工艺、最后消毒和管网供水等环节上，必须保证消除水的微生物污染，建立防止水系疾病的多道屏障。世界三大饮用水水质标准中微生物指标的确定见表 1-1。

表 1-1 世界三大饮用水水质标准中微生物指标的确定

| 项目 | 指标值 (1998年修订) | 指标 | 指标值/(个/mL) (98/83/EC) | 污染物 | MCLG /(mg/L) | MCL TT /(mg/L) |
|----------------|--|--------------------|--------------------------|--|---------------------|---------------------------------------|
| | | | | | | |
| 所有用于饮用的水 | | 埃希 大肠杆菌群 | 0 | 隐孢子虫 | 0(2002-01-01 实施) | TT ^① (2002-01-01 实施) |
| 大肠杆菌或 耐热大肠菌 | 在任意 100mL 水样中检测不出 | 肠道球菌 | 0 | | | |
| 进入配水管网前的处理水 | | 以下指标用于 瓶装或桶装饮用水 | | 贾第虫 | 0 | TT ^① |
| 大肠杆菌或 耐热大肠菌 | 在任意 100mL 水样中检测不出 | 埃希 大肠杆菌 | 0 个/250mL | 异养菌 总数 (HPC) | 未定 (n/a) | TT ^① |
| 总大肠菌群 | 在任意 100mL 水样中检测不出 | 肠道球菌 | 0 个/250mL | | | |
| 配水管网中的处理水 | | 铜绿假单胞菌 | 0 个/250mL | 军团菌 | 0 | TT ^① |
| 大肠杆菌或 耐热大肠菌 | 在任意 100mL 水样中检测不出 | 细菌总数 (22℃) | 100 个/mL | 总大肠 杆菌(包 括粪型 大肠杆 菌和埃 希大肠 杆菌) | 0 | 5.0 % ^② |
| 总大肠菌群 | 在任意 100mL 水样中检测不出。对于供水量 大的情况,应检 测足够多次的水 样,在任意 12 个 月中 95% 水样 应合格 | 细菌总数 (37℃) | 20 个/mL | | | |
| | | | | 浊度 | 未定 (n/a) | TT ^① |
| | | | | 病毒 | 0 | TT ^① |

① 美国地表水处理规则要求采用地表水或受地表水直接影响的地下水的给水系统。a. 进行水消毒。b. 进行水过滤，以满足污染物能控制到下列浓度。隐性孢子虫（2002年1月1日实施）—99%去除或灭活。贾第虫—99.9%去除或灭活。病毒—99.99%去除或灭活。军团菌—未限定，但EPA认为，若贾第虫和病毒被去除或灭活，军团菌也能被控制。浊度—任何时候浊度不超过5NTU，采用过滤的供水系统确保浊度不大于1NTU（采用常规过滤或直接过滤则不大于0.5NTU），任何一个月中，每天的水样合格率至少大于95%。从2002年1月1日起，则要求任何时候浊度不超过1NTU，任何一个月中，95%的每日所取水样的浊度不超过0.3NTU。HPU—每毫升不大于500个细菌群。

② 每月总大肠杆菌阳性水样不超过5%，每月例行检测总大肠杆菌的样品少于40只的给水系统，总大肠杆菌阳性水样不得超过一个。含有总大肠杆菌的水样，要分析粪型大肠杆菌，粪型大肠杆菌和埃希大肠杆菌不允许存在。