

# 第 1 章 给水处理技术的发展

## 1.1 我国给水事业的发展

### 1.1.1 中国古代的给水工程

中国的净水技术可追溯到久远的历史年代。中国很早就有掘井取水的记载,《吕氏春秋勿躬篇》中有“伯益作井”(公元前约 220 年),就是世界上最早的掘井记载。根据考古判断,我国早在新石器时代就有木构水井,距今有 5000 多年历史。唐代用渠道引水到长安等城市,形成给城市供水的供水网。

中国又是最早应用明矾净水的国家,正式的文字记载是宋应星写的《天工开物》(1687 年)上。在 1746 年出版的西班牙教士纳瓦雷物撰写的《中华帝国记游》中,详细记载了当时见到的普遍用明矾使黄河水变清的情景,并说这是自然的秘密(英国于 1839 年,美国于 1884 年开始用明矾作混凝剂)。

### 1.1.2 近代及现代的给水工程

1879 年(清光绪 5 年)清政府为渤海湾防务,在旅顺建龙引泉水源,开山凿洞,铺设 6.18km 铸铁管,引水至旅顺口,为 2 万多清兵和居民供水。至 1910 年(宣统 2 年)建有自来水的城市有上海、南京、天津等 13 个城市。至 1949 年前,全国有 72 个城镇建有自来水厂,供水管道总长为 6589km,供水能力为  $240 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,供水城市多在沿海地区,西南仅有少数水厂,西北则为空白。

现代自来水厂创建于 1882 年的上海杨树浦水厂,至今已经历了 120 年的时间,现在的技术水平与目前世界的先进技术基本接近。我国近、现代给水工程的整个发展历史大致可分为四个阶段。

(1) 近代净水技术的萌芽 从上海杨树浦水厂创建到新中国成立将近 70 年时间,我国有 58 个城市建有城市水厂,总供水能力仅有  $240.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,主要集中在大城市。这些水厂的净水技术落后,净化构筑物简陋,采用简单的沉淀池、慢滤池等工艺。后期逐步采用了絮凝、沉淀、快滤、消毒等净水技术。但没有全国统一的城市供水的水质标准。

(2) 建国初创时期 1949 年新中国成立,供水事业为了配合基础工业的建立,开始了大中城市的城市水厂和新工业基地供水工程的建设,初期国内还没有给排水专业设计单位,一些大型取水工程还是前苏联专家设计。从 1954 年开始才逐步建立起自己的设计队伍,在前苏联专家协助下,完成了如兰州、包头、洛阳等工业区的供水工程,以及北京水源三厂、天津凌庄水厂和沈阳大伙房水库等工程。这一阶段大致到 20 世纪 60 年代前期。建国初期,在经济比较困难的条件下,城市供水水源优先选择地下水。1958 年开始建设的  $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模的上海长桥水厂,采用了土堤平流沉淀池。1959 年建设的  $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模的天津凌庄水厂采用当时国内推广应用的双层滤料新技术,并针对天津原水低温低浊的特点,采用了投加聚硅酸作为助凝剂,还采用了氯胺消毒等新技术。兰州西固水厂采用了适应黄河高含砂量水源取水的斗槽式取水口和直径 100m 的辐流式沉淀池,处理高浊度的黄河水取得了良好的

效果。

20世纪50年代开始我国大专院校开设了给排水专业，培养自己的专业人才，并开始了我国最早的给水规范的编写工作，初步掌握了一般水质净化技术，除铁、除锰、除氟技术和高浊度水的处理技术。

(3) 创立我国给水工程建设体系时期 从20世纪60年代中期到80年代初是我国净水技术发展最活跃的阶段，将近20年时间我国给水事业取得了很大发展。城市供水在全国各个城市普及，一大批给水工程项目相继完成。“照抄照搬”前苏联技术的模式得到了改变，开始结合本国国情探索净水技术的发展，也注意吸收东、西方的先进技术。在学术理论、设计技术、规范制定、人才培养、设备供应等方面，逐步形成了我国自己的体系。

在此期间净水技术有较大的发展，重视了投药后的混合，逐渐采用静态管道混合器，突破了国外絮凝池设计的概念，推广应用了回流隔板絮凝、孔室旋流絮凝、机械搅拌絮凝等，缩短了絮凝时间，减少了水头损失，降低了药耗，大大提高了絮凝效果。引进了浅层沉淀理论，改进了平流沉淀池设计参数。完善了进出水布置，采用了行车式吸泥机，解决了平流沉淀池的排泥难题。针对平流沉淀池占地大的矛盾，妥善地解决了与清水池叠合建设的难点，使平流沉淀池再次成为大中型水厂的基本池型。在学习国外技术的基础上开发了机械搅拌澄清池和水力循环澄清池，普遍运用于中小水厂。斜管沉淀池的开发更具中国特色，材料选用五花八门，曾出现纸质、木质、玻璃、玻璃钢、石棉水泥瓦楞板，纸浆混凝土。最终还是因塑料工业的发展，基本定型为塑料。同向流斜板、气浮池也有成功的实例。滤池方面也陆续出现了多种池型，运用广泛的有双阀滤池、虹吸滤池和无阀滤池。更具特色的为移动罩滤池，有泵吸式的及虹吸式的，具有无管廊、无阀门、池身浅、可自动冲洗、管理方便、占地省、投资省等优点。滤池的排水系统除了大阻力，还出现了形形色色的小阻力系统和阻力系统。除铁、除锰技术得到更深入的研究，混凝剂品种多样化，除硫酸铝外还采用了三氯化铁、硫酸亚铁、聚合氯化铝，高分子絮凝剂也得到了研究和实践，高浊度水净化技术在深入研究的基础上，得到了系统的总结。

(4) 改革开放大发展时期 最近的20年是我国改革开放深入发展时期，我国的给水事业随之进入了新的大发展时期。通过对外开放，吸收外资，这阶段建设的水厂在吸收国外先进技术，提高自动化水平，引进国外先进设备方面大大向前迈进了一步。同时随着经济的发展带来了水源的污染，促使了微污染源处理技术的发展。

这阶段逐渐重视提高出水水质，常规水处理技术得到加强，通过使用先进的絮凝剂及自动投加设备，保证了正确的药剂投加。普遍重视了加药后的快速混合，除了静态管道混合器，还运用了快速混合搅拌机以完善絮凝沉淀系统，保证沉淀出水在5NTU以下（有的甚至到2NTU以下）。滤池较为广泛地采用气水反冲均质滤料滤池，大中型水厂一般出水浊度能达到0.5NTU以下。消毒剂还是以液氯为主，但已趋向多样化，包括氯胺、二氧化氯、臭氧、次氯酸钠等等，一些自来水公司已开始管网的水质自动监测。

面对环境污染不可能在短时间内恢复的严峻事实，微污染原水的生物预处理技术已用于生产实践。弹性填料接触氧化池和生物滤池推广的势头已在加剧，而以臭氧活性炭为主流的深度处理也在逐渐实施中，小型的膜处理设备广泛运用于高品质的饮用水处理系统之中。

1996年（建设部统计年报）666个城镇有自来水系统，大小水厂共有4000家，总供水

能力为  $1.9994 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$ ，城镇供水普及率为 94.99%，人均用水量为 208L/d。

## 1.2 国外给水事业的发展

国外给水事业的发展经历了中世纪、近代、现代三个阶段。中世纪的给水设施只有输配水系统近代的给水系统包括取水、净水厂、输配水系统。净水厂采用的地表水处理工艺至 20 世纪前叶基本成熟，即采用混凝、沉淀、过滤、氯消毒的处理工艺，由于应用普遍，称为常规处理工艺。现代的给水系统增加了生物预处理、臭氧、生物活性炭深度处理、膜处理、水厂排泥水处理以及取代氯消毒氧化的一些工艺。

### 1.2.1 欧美

欧洲最早的给水设施建设是伴随着农业灌溉而发展起来的。引水渠道的遗迹最古老的是亚西里在公元前 681 年用石头造的水渠，这条水渠引水距离为 80km，在穿越河流时建造了桥管。最早作为自来水建造的渠道是在古罗马，即公元前 312 年建成的阿匹亚渠道（西萨摩亚首都），全长 578km，专为古罗马市内的浴室、喷泉、公共设施和贵族的公馆供水。自来水管使用木管、陶土管、石管或以青铜和铅为原料的金属管。

当时的配水方式是将水由管道一次进入大清水池，再用铅管分送给其他蓄水池，然后配给喷泉、浴室、公共设施以及少数富户。因此，大多数市民必须把从喷泉、水池和公共场所取来的水，装入自己的水罐中。对个人实行定量供配水，每人每天约配给 200L 左右的水。

到中世纪，随着罗马帝国的灭亡，城市的规模比古代小了，给水管渠失修，就连设施的用途也忘记了。给水事业的发展就此停顿。新的发展开始于 12 世纪。

巴黎在 1183 年建成了使用铅管的给水管。伦敦在 1235 年利用铅管由郊外输水入城内。当时在墨西哥也进行了给水管建设，连续使用了两个世纪。德国在 1527 年初建成了用水泵抽水的给水管。1608 年巴黎安装了水泵。1619 年伦敦创立了新河公司，首次用泵抽取河水挨户供水。1631 年莫斯科克里姆林宫敷设了压力输水管，用水泵把水送上水塔，再用铅管分送到消费地点。

近代给水事业在 17—18 世纪发展缓慢，主要限于巴黎和伦敦。18 世纪蒸汽被利用在水泵上，出现了蒸汽泵，大大促进了给水事业的发展。最初在伦敦（1761 年），然后是巴黎（1761 年、1783 年），接着在伦敦又设计了第二种泵（1787 年）。1800 年以后，这两个城市的给水事业飞速发展，分别建造了 130km 和 173km 两条大渠，把河水输送到巴黎和伦敦各处，其中巴黎的水渠特别引人注目。

18 世纪工业革命以后，工业企业需要大量的生产用水，为大规模地发展给水事业提供了必要的条件。但是与此同时，大量的工业污水排入水体，严重污染水源，于是产生净水的问题。英国最早采用过滤技术，1839 年在伦敦开始用砂滤净水，同时采用明矾净水。美国人海脱在 1884 年用明矾作混凝剂获得专利。德国人柯赫发明细菌培养法后，消毒工艺开始用于净水处理。1897 年英国率先采用氯消毒，1902 年比利时也开始用氯消毒。伦敦从 1873 年开始长时间连续供水，采用砂作滤料的慢速过滤技术。

美国在 1652 年开始建设波士顿给水工程，用木管靠重力流输送地下水。费城于 1800 年开始使用蒸汽机带动的水泵和铸铁管。1884 年 Somerville, N. J 发明了快速过滤法，1900 年后开始使用砂滤和其他净水方法，城市供水普及率为 6.3%，1925 年增加到 49%。

## 1.2.2 日本

### 1.2.2.1 给水技术的发展及现状

日本最早的给水工程是神田给水设施的兴建（1590 年左右），由简单木管和暗渠组成输配水系统供灌溉和饮用水。近代的给水工程建设，开始是借助外国技术力量，如横滨水厂由英国人 H. S. Palmer（1887 年）设计建造。日本人最早建造的是函馆市的给水工程，由平井晴二郎设计。日本政府于 1890 年公布了水道条例，该条例保护扶持了给水事业，1957 年公布了修改后的新水道法，重点是政府由保护扶持，向建设、管理转变。1977 年进行修订，要点是：充分认识水是宝贵的资源，要制定区域性规划，水要合理利用，防止水源污染，给水事业和给水经营的标准化和合理化。

日本现在依然是利用受人为污染影响少的江河水和地下水做水源。但是，由于都市化和工业化，城市需水量增大，对应这种状况，一般是从水库和河流中下游取水。现在日本的水源以地表水占压倒优势，地下水占极少比例（水库和河流水占全部水源的 69.5%），地表水使用率高是日本自来水极大的特征。其中水库供应原水水量占全部水源的 36.3%，这部分水放流到下游供给原水水源。

日本有少数河流河水浊度变动大。因此在净化处理上，采用不作处理仅是消毒或者采用慢滤处理占的比例有限，而大部分都是采用快滤系统处理（快滤系统占 75.9%）。从安全角度出发，采用次氯酸钠消毒的水厂较多。

在日本，水道局和净水厂是重要的社会服务单位，它的任务首先是供应饮用水以及人们日常生活和社会活动的用水。纵使临时发生地震和缺水等状况，使自来水供水能力受到损害，也不能陷于混乱，并且要用户放心，仍要供应优质且安全的自来水。当前在日本，从易于受污染的河流下游取水已是一般情况，因此，净化处理的任务越来越重大。

最近为了去除异臭味和三卤甲烷，已采用活性炭处理、臭氧处理、生物处理等办法。这些深度处理目前都是大型水厂在应用。今后在日本，无论大型的或小型的自来水厂，只要是使用受污染影响的河流水源，就会考虑应用深度处理工艺。

另外，日本厚生省提出了膜利用型新净水系统开发研究（MAC21 计划）和膜利用型新高度净水技术开发研究（高度处理 MAC21），并于 1991~1996 年间进行了研究。基于研究成果，以去除浊度为目的，几个小规模自来水公司的净水厂引入微滤（MF）和超滤（UF）作为净水设施，并开始投入正式运转。

### 1.2.2.2 新净化技术的要求

（1）净化技术的评价指标 在净化技术里，最重要的是首先寻求对原水中各类污染物质的深度去除性能，并处理出有可信性和稳定性的自来水。自来水原水的水质条件由于水源关系经常变化，且有时候受到突发污染事故的影响。原水污染到一定程度，就要提出彻底的处理办法。现实情况是，自来水厂为寻求有效的技术措施，可同时采用几个处理办法，以达到去除要求。处理设施不但要简易、容易管理，且占地要少，当前这个要求很重要。另外还要对所处环境方面加以考虑。资源及能量消耗也是考虑的大事之一。把这些条件并合到一起，最后以设施造价来综合评估。

（2）污染物质及其去除技术 在净化处理上，作为去除对象的污染物质，基本是为达到自来水水质标准和优质水质项目、监测项目所要去除的污染物质，以及为达到水质标准所要去除的氯化处理副产物的前驱物质。水处理净化特征之一是要将原水中低含量的诸多污染物质同时有效地除去。实际上有大半污染物质没有超出污染标准要求，同时还有一些项目超出标准要

求。原水水质由于条件关系有很大变化，净化处理不容易起到绝对有效的去除作用。

例如，日本执行的自来水水质标准，是参照 WHO（世界卫生组织）饮用水水质准则而制定的。WHO 准则基本 10 年修订 1 次，其中年份可随时评议修正。目前日本基于新的毒理学情报，对亚硝酸氮、铀、多环芳香族、碳氢化合物、各种农药等正开始评议，以便进一步对日本标准加以修正。

1996 年 6 月埼玉县越生镇发生由隐孢子虫感染的集团事故，有关隐孢子虫等病原性病菌对人们健康的影响引起了重视。目前，正确评价隐孢子虫等病原性病菌起到多大风险尚很困难，而且没有适时的监测方法。因此在净化处理上，认为暂定滤出水浊度保持 0.1NTU 以下，可最大限度的保证安全。另外日本最近也特别注意研究水环境中的内分泌扰乱物质，认为这也是自来水应关心的一件大事。

表 1-1 所示为当前一般采用的自来水净化技术，其中膜过滤具有的优点有：

- 有效去除浊度、原生虫类、微胞藻属、大肠菌群等；
- 不需凝聚剂，或所用凝聚剂只是常规处理的 1/3；
- 处理设施占地比常规处理（凝聚、沉淀、砂滤）场合少；
- 维护管理容易，可以无人自动运转；
- 比常规处理方式建设时间短。

今后普及此种技术时，要在水处理技术上加以提高。例如，在配水过程中进行膜过滤，自来水系统会有重大变化的可能性。紫外线照射在日本还没有引入，在欧洲已经采用。除表 1-1 所列的处理技术外，开始出现的有应用光催化反应处理、电场处理、磁场处理等技术，通过今后技术开发的进展，它们以后会应用于自来水净化处理上。

表 1-1 净化技术分类

| 原 理                  | 净 化 技 术                  |
|----------------------|--------------------------|
| 物理方法和物理化学方法(相分离和相转换) | 沉淀、砂过滤、上浮分离、吸附、离子交换、膜过滤等 |
| 物理化学方法(添加药剂)         | 凝聚、氧化、还原、消毒、pH 调整等       |
| 其他物理化学方法             | 光催化反应、紫外线照射等             |
| 生物学方法和生物化学方法         | 氧化、还原等                   |

(3) 降低副产物 水净化处理中使用的氧化消毒剂和药剂中余留的杂质，会生成一些副产物。氯消毒处理产生三卤甲烷即为典型的一例。

一般使用净化药剂有：做絮凝剂的硫酸铝和聚合氯化铝，做氧化剂和消毒剂的氯气和次氯酸钠，做 pH 调整剂的 NaOH，做吸附剂的粉末活性炭等。少数使用的还有：做氧化剂的高锰酸钾，做 pH 调整剂的 Ca(OH)<sub>2</sub> 等。另外，最近在对待隐孢子虫方面，为了使絮凝剂更好地发挥作用，采用了 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 做 pH 值调整剂。这些净化药剂有不同品质规格规定，应使药剂合乎规格、使用合理，不出现杂质。日本净化处理都用铝化合物作为絮凝剂，铝盐有造成阿尔察默病的可能性应该引起注意。

特别是氯气和臭氧等强氧化剂，投加量过大会产生影响人体健康的有害物质，必须使用最小剂量的投加率。最近对使用 ClO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 等新的氧化剂和消毒剂进行了探讨，这些药剂已在美国应用。另外，利用以光催化反应的 TiO<sub>2</sub> 触媒进行氧化处理的技术，期待着能得到卓越的处理效果。多数水厂都有消毒副产物的问题，因此对其适用条件应明确限制范围。

从净化处理的过程上看，以往多用氯气等药剂，很明显这与原水水质恶化有密切关系。目前多数河道难以得到水质良好的原水，原水恶化到一定程度就不可避免地要依赖净水药剂

加以处理解决。但是，在这种情况下，要极力少用药剂，特别希望开发不用药剂就能解决的办法。在此意图下，膜过滤技术成为今后具体解决的一个途径。

(4) 监测、控制技术 净化处理一定要根据处理方式，对水质进行适宜的监测和控制，其中特别重要的仪器是计量设备和控制软件。大型净水厂采用这些设备在经济上没有问题，但由于该类设备复杂、价格高昂，小型净水厂在经济上不易做到。从这种情况看，对于中小型水厂来说，与其置备依赖性高的监测、控制设备，莫如广招人才来得重要，因此应充分考虑技术人才的开发。

通常水质监测项目，根据净化水厂规模大小，从现实要求而定。基本监测项目为水温、pH 值和浊度，特别是凝聚剂投入量控制、消毒和氯气处理的氯气投入量控制以及余氯含量监测等项目。前氯气处理的场合，要监测原水氨氮含量和氯气需求量。在臭氧处理的场合，要进行对臭氧投加量的控制和剩余臭氧含量的监测。在这些项目之外，水位和流量的监测和控制，当然也是例行的项目。

目前在监测和控制这一方面上，凝聚剂和氯气等药剂投加控制技术有所提高。如果絮凝剂和氯气简易自动控制可靠性高，净化技术会因此而改进。对于为量测隐孢子虫等原生虫类而使用的微粒子检测器，提高精密性的技术也是重要的课题。另外，如果更多的考虑采用膜过滤技术，膜的自动药剂冲洗技术和漏泄测定技术应注意开发。

(5) 排泥水处理技术 考虑净化处理之时，也要与净水厂排泥水处理合并考虑。净水厂排泥水的适当处理，不仅是从考虑影响四周环境的观点出发，而且从水资源有效利用和从防止原水二次污染对净化处理不良影响的观点来看也是重要的。从现实情况看，产水量达到一定规模的净水厂，一般将砂滤池的冲洗排水及沉淀池排泥的固液分离水的上层澄清水回收利用。因而排水处理与净水处理有着不可分离的关系。经过排水处理的水，进而再进行净化处理是有可能的，它们的作用相辅相成。

当前，有代表性的排泥水处理方法是，采用重力浓缩且连续机械处理或在干化场阳光曝晒方法进行脱水。但是重力浓缩效率不佳的居多。最近提出的新的膜分离浓缩技术引起给水界注意。采用的膜分离技术能够进行更彻底的固液分离，比重力浓缩能得到更清澈的分离水，这种分离水回送到原水进行净化处理的影响少。即使排水有隐孢子虫，经过膜分离后的水回送到原水，也几乎都被除掉。

今后在净化技术的发展上，净水厂排水处理要将固液分离的程度作为处理状况的标准。所观察到膜过滤的例子，就是由于通过净化处理，将原水中有害污染物质，于排水处理中以高浓度浓缩而完成。净化处理去除如果尽可能做到彻底，就是因为排水中浓缩作用彻底。从而，今后在有关排水处理上，不单单的只为将固体物浓缩、分离，而且也为了寻求将排水中有害的污染物质恰当处理而进行的技术开发。

对于自来水净化技术来说，当前还不能不考虑以造价为主要因素的各种条件的制约，这些制约条件限制了净化技术的发展。从新近出现的飞跃技术着眼，膜过滤就是一个很好的技术，它是自来水技术的一个突破，应积极考虑应用。

## 1.3 给水处理面临的主要问题

### 1.3.1 水源水质污染

目前我国水源水质污染严重。据监测部门报告，全国 532 条河流中 82% 受到不同程度

污染，流经全国 42 个大中城市的 44 条河流中 93% 被污染，其中严重污染的占 79%，全国 97% 的大中城市地下水受到严重污染，水库、湖泊由于富营养化导致藻类滋生严重。水源污染加重了水源选择和处理的困难，致使自来水感官性指标以及毒理性指标较差。

### 1.3.2 水质目标的提高

供水水质目标随着人民生活水平的提高而提高。2002 年国家卫生部颁布了新的《生活饮用水卫生规范》，提出了更高的水质目标，对净水技术提出了新的要求。例如：对耗氧量规定为 3mg/L，藻毒素 LR 1 $\mu$ g/L，微污染源必须采用深度处理才能达到标准。

### 1.3.3 氯的消毒副产物

20 世纪 70 年代后期，研究人员指出饮用氯气消毒处理后的水可能会提高患癌症的几率，潜在的致癌物质就是三卤甲烷 (THMs)。美国环保总署规定，饮用水中 THMs 的含量不得超过 0.1mg/L。通过对减少饮用水中三卤甲烷方法的探讨，环保总署在 1983 提出二氧化氯可以作为控制 THMs 有效的手段。

更多研究表明：地面水特别是当水中腐殖酸和灰黄霉酸的含量很高时，用氯气处理后三卤甲烷的含量会显著提高。过去由于检测手段的限制，无法对水中不同成分逐一检测，因此把它们作为三卤甲烷总量来测定。随着检测手段的提高，现在已经可以对不同的三卤甲烷进行检测。用氯气对饮用水进行消毒处理后，会在水中生成致癌物质，如氯仿、溴二氯甲烷以及其他消毒副产物 (Disinfection Byproducts, DBPs)。

最终的消毒剂及消毒副产物条例 (DBPR) 规定，饮用水中三卤甲烷总量的最大允许浓度 (MCL) 为 0.080mg/L，并且将此规定延伸至所有相似的水体。此外，最近规定卤代乙酸的最大允许浓度为 0.060mg/L，目前消毒副产物的 MCL 和 MCLG 见表 1-2。

表 1-2 消毒副产物的 MCL 和 MCLG

| 消毒副产物         | 最大允许浓度期望值<br>(MCLG)/(mg/L) | 最大允许浓度<br>(MCL)/(mg/L) | 消毒副产物 | 最大允许浓度期望值<br>(MCLG)/(mg/L) | 最大允许浓度<br>(MCL)/(mg/L) |
|---------------|----------------------------|------------------------|-------|----------------------------|------------------------|
| 三卤甲烷总量(TTHMs) | N/A                        | 0.080                  | 卤代乙酸  | N/A                        | 0.060                  |
| 氯仿            | 0                          | —                      | 二氯代乙酸 | 0                          | —                      |
| 溴二氯甲烷         | 0                          | —                      | 三氯代乙酸 | 0.3                        | —                      |
| 二溴氯甲烷         | 0.6                        | —                      | 溴酸盐   | 0                          | 0.010                  |
| 溴仿            | 0                          | —                      |       |                            |                        |

注：N/A 表示不适用。

### 1.3.4 微生物指标

美国环保局特别注意的贾第氏鞭毛虫、隐孢子虫、军团菌属菌、病毒等，作如下简单介绍。

#### 1.3.4.1 贾第氏鞭毛虫

贾第氏鞭毛虫 (Giardia lamblia) 是长有鞭毛的原生动物，长 9~20 $\mu$ m，宽 5~15 $\mu$ m，厚 2~4 $\mu$ m，在显微镜下观看，是具有猿脸外表的成虫。但如生活在不适合的环境下，为囊状体，成 8~14 $\mu$ m 的卵形。贾第氏鞭毛虫在人类、野生动物或家畜体内能引起伴有腹泻和发烧的贾第虫病，特别是小孩发病率高，但还没有因此病而死亡的病例。贾第氏鞭毛虫是约 300 年以前发现的，很难想象 20~30 年前它竟成为传染病的病源。根据最近美国的报告，此病儿童患病率是 4%~22%，成年人是 2%~15%。从 1971~1978 年间曾记录有 24 次集

体感染此病。不仅在美国，就是在东南亚诸国和欧洲，特别是在俄罗斯，也有不少人感染此病。贾第虫病俗称旅行者病，不仅限于国外旅行，在美国国内野营和钓鱼旅行等因饮用未经充分处理的水而发病的病例也很多。贾第氏鞭毛虫孢囊之所以在水处理方面成为问题，是因为它对氯杀菌的抵抗力强，在混凝沉淀不充分的情况下，在滤池内不能滤除所致。根据 Jarroll 等人的试验，杀菌时间为 10min 的场合，25℃ 水温下用 1.5mg/L 的游离剩余氯，在 pH 值为 6、7、8 的条件下能杀死；但水温在 15℃ 时，用 2.5mg/L 的剩余氯在 pH 值等于 6 时也能杀死；pH 值等于 7 和 8 时，即使给与 30min 的杀菌时间，还有少数的孢囊生存着。还有报告说，水温在 5℃ 时，用 1mg/L 的剩余氯，经过 60min 的杀菌，不管 pH 值是多少，也不能使孢囊全部死亡。另外，Rice 和 Hoff 的试验表明，孢囊对紫外线的抵抗力强，即使给与  $42000\mu\text{W} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$  的照射，其生存率仍达 73%~95%。

#### 1.3.4.2 隐孢子虫

与贾第氏鞭毛虫一样，隐孢子虫 (Cryptosporidium) 也是原生动物的一种，它不仅在人类，也在家畜、鸟类、鱼类、虫类等大部分动物体内寄生。它会引起人体泻肚，一般 2~3 天可恢复，但有报告说，5 岁以下的儿童和成人艾滋病患者等失去免疫力者也有致命的病例。数 10 年前人们就已知道这种原生动物，但直到现在才认识到它是隐孢子虫病的病原。

隐孢子虫以孢囊的形式从患病的动物体排出，以牛为例，历经 14d，每天都检出 100 亿之多的孢囊，人的病例也有与上述相似的数字发表。这种孢囊有非常强的抵抗力，它在湿地中能存活数月，在低浊度的水源地可存活 1 年。特别成问题的是它对清水中的游离余氯的抵抗力比贾第氏鞭毛虫还强，由于孢囊的体积更小 ( $4 \sim 6\mu\text{m}$ )，所以若不进行高效率的水处理，要想完全去除它是很困难的。另外，根据将滤池冲洗水的上清水送回配水池的英国某净水厂的记录，在 1ml 水中最多检出 10 万个隐孢子囊，这引起了人们对返还的清水进行杀菌的重视。集体感染隐孢子虫病的最早记录是 1986 年 7 月在美国得克萨斯州，患者 6000 人；其次是 1987 年 1 月在佐治亚州，患者 13000 人，1992 年在俄勒冈州，患者 100 人左右，1993 年 4 月在美国密尔沃基市，竟有 25 万人患病；在英国 1988 年 4 月和 1989 年 3 月也发生了集体感染，1989 年有报告称其病例合计有 9000 件。问题是不论在何种情况下，配水管内剩余氯都要保持 0.2mg/L。密尔沃基市的情况是由于混凝剂从硫酸铝更换成聚合氯化铝，滤水的 pH 值接近 8，氯杀菌的效果低下及滤后水的浊度屡屡超过 0.5NTU 造成的。有效的杀菌处理有臭氧消毒、二氧化氯消毒以及有高剩余氯的氯消毒等。

#### 1.3.4.3 军团细菌

军团细菌 (Legionellosis) 是细菌的一种，能引发类似肺炎的病，最近才确认。在美国每年有约 5 万~10 万人因此患此病，特别是老人、有慢性病的人、有严重烟瘾者和酒精中毒者等易患此病。军团细菌在地表水中多有存在，而在地下水中，其数是很少的。致病的途径主要是由于吸入了空气的烟雾中所含的细菌，从被污染的水传染的可能性也有。至今集体感染的病例多在旅馆或医院，由于不卫生的空调和热水系统致病。美国环保局对这种细菌虽进行了注意，但因为这种细菌检出困难，同时为检验这种菌需要大量的费用，以及这种细菌的传染途径与饮用水是否有关系还不太清楚等理由，尚未被列入作为杀菌对象的名单。

#### 1.3.4.4 病毒

病毒 (Virus) 是依存于其他动物的细胞而繁殖的微生物，其尺寸大小约为  $0.015\mu\text{m}$ 。病毒有数百种，给水工作者关心的是肠道病毒 (Enteric viruses)，也就是能在人体内繁殖并可能引起疾病的那些病毒，主要有 A 型肝炎病毒 (HAV)、轮状病毒、脊髓灰质炎病毒、

腺病毒伴随卫星病毒、肠道病毒、瘤病毒等。特别是 A 型肝炎病毒可引发肝炎，重症的情况下可以致命。轮状病毒可引起肠胃炎，儿童感染时有不少致命病例。脊髓灰质炎病毒能引起小儿麻痹症是众所周知的。腺病毒伴随卫星病毒、肠道病毒、瘤病毒是能给呼吸器官和肠道带来疾病的病毒，从被污染的地表水为水源的给水中也有发现，但是不是从给水的途径感染的尚不清楚。

有报告称，进行充分的混凝沉淀处理，这些病毒的去除率能达到 80%~95%，如果将滤池的去除率也包括在内，去除率达 99.5% 以上是可能的。在混凝剂方面，与硫酸矾土（粗制硫酸铝）相比，氯比铁的效率稍高一些，如果添加高分子混凝剂，只进行混凝沉淀处理病毒的去除率就可达到 96% 以上。

美国国家基本饮用水管理条例规定，饮用水的消毒处理必须确保至少 99.9% 的贾第氏鞭毛虫被去除或者灭活；而肠道病毒的去除率或者灭活率至少要达到 99.99%。只要具备必要的 CT 值，用二氧化氯灭活 99.9% 的贾第氏鞭毛虫和 99.99% 的肠道病毒是有保证的。此外，美国环保总署最近发布的第二阶段关于微生物和消毒副产物联邦顾问委员会的协议中指出，使用二氧化氯来控制隐孢子虫是一种可以接受的方案。

### 1.3.5 内分泌干扰物质

某些化学品不仅具有“三致”作用，还会严重干扰人类和动物的生殖功能，对于人类的生存和物种的繁衍构成巨大威胁，这类物质被称为“内分泌干扰物质”或“环境荷尔蒙”。

1998 年日本对水中内分泌干扰物质进行的调查表明，水中含有的内分泌干扰物主要有八类，包括邻苯二甲酸酯类（酞酸酯）、酚类（烷基酚、极性较高的双酚 A 和氯酚等）、雌激素、环氧氯丙烷、有机农药（如除草剂、杀虫剂）等。而且内分泌干扰物质进入人体的主要途径就是通过食品 and 水的直接摄入，所以研究其危害性并掌握内分泌干扰物质在原水、出厂水和管网水中的状况以及采取相应的控制对策是十分重要的。

#### 1.3.5.1 作用机理及危害

内分泌干扰物质的作用机理为：进入生物体的内分泌干扰物质与生物体本身的激素竞争细胞上的受体，因而产生干扰作用，进而影响内分泌系统与其他系统的互动作用。干扰作用会使：激素合成异常；激素储存和释放异常；激素的输送异常等。

内分泌干扰物质对生物体的危害有：

- (1) 其生殖与发育毒性可使生物体生殖机能下降或导致异常生理现象；
- (2) 其免疫毒性和致癌性可降低生物体免疫力并诱发肿瘤；
- (3) 其神经毒性可影响神经系统发育，损害神经系统，干扰神经内分泌功能。

#### 1.3.5.2 给水处理工艺对其的去除作用

(1) 常规处理工艺 研究表明传统给水处理工艺（絮凝、沉淀、过滤和氯消毒）可以去除 90% 以上的长链烷基酚，但对壬基酚（NP）的去除率只有 60% 左右，NP 的去除主要是通过混凝吸附和氯化两个途径。

(2) 生物预处理 采用生物预处理组合工艺与常规工艺（澄清、过滤、活性炭吸附和加氯消毒）进行对比试验表明，无论在控制水质有机物种类还是在减少水中的毒性物质方面，生物陶粒单元比其他单元更具有优越性。如在原水和常规处理出水中检出阿特拉津，但是在生物陶粒预处理出水中就没有检出，这说明微生物对这类物质具有一定的降解能力，但是生物预处理对酞酸酯类物质和烷基（苯）酚类物质的去除效果不明显。

(3) 氯消毒的影响 酵母双杂交试验结果表明，NP 的氯消毒副产物具有抑制雌激素的

作用，另外双酚 A 的氯消毒副产物的内分泌干扰作用远远大于双酚 A 本身。

### 1.3.6 水厂的排泥水处理

自来水厂产生的废水主要来自沉淀池或澄清池的排泥水和滤池的反冲洗水，这些废水如果不经处理直接排入水体，不但严重污染水体，而且浪费大量的水资源，造成淤积和污染。在当前水资源严重缺乏，水环境污染日益严重的情况下，作为受水源污染之害的自来水厂更不应该将排泥水直接排入水体，而使之成为污染源。自来水厂排泥水处理和污泥处置工作刻不容缓，人们对此要引起足够的重视。

国内石家庄市润石水厂、北京市第九水厂、上海市闵行水厂一车间和深圳市梅林水厂已建成投产或基本建成的水厂排泥水处理工程。它们分别采用了当今较有代表性的膜式板框压滤机、带式压滤机和离心脱水机进行污泥脱水，取得了一定的效果。各水厂排泥水处理的工艺流程有所不同，有待于实践中不断的逐步完善。而对于不同的水源、不同的水处理工艺所产生的排泥水中干泥的数量、性质和其适合的处理工艺、脱水方式，及在污泥预处理过程中如何选择合适的处理药剂等，目前在国内的研究几乎还是空白。

## 1.4 给水技术发展的趋势

面对以上的问题，发展以下几方面的净水技术将是当前的趋势。

### 1.4.1 强化常规处理

混合、絮凝、沉淀、过滤组成的常规处理工艺，虽以去除浊度为主要目的，但随着浊度的降低，吸附于胶体颗粒的有机物以及溶解度较低的微量有机物也可以相应降低，各种微生物和病毒也能随浊度的去除而减少。因此尽可能降低出水浊度实际上已超出了降低浊度本身的意义。

20 世纪 60—70 年代常规处理曾演变出多种处理构筑物形式，但近年来经各方面实践总结，逐步倾向于平流沉淀池和汽水反冲均质滤料滤池，应该说这是一种管理方便实用的工艺组合，但继续探索新的构筑物形式仍会是今后研究的方向。

强化常规处理包括强化混合、絮凝、沉淀、过滤各环节。

目前国内使用的混凝剂品种比较单一，而且以铝盐为主，助凝剂采用比较少，助滤剂更少，多种高效率、高品质的混凝剂与助凝剂的开发与采用，是提高出水水质的一个重要方面，包括混凝剂与助凝剂的合理投加是自来水厂高效、低耗的一个控制点。

整个工艺流程的瞬时水质监测也是今后不断完善提高的一个方面。面对日益复杂的水源环境，新的科学成果不断反映出水中某些微量有机物对人类的危害，如何快速准确、方便的检测它们的存在，也是今后一项艰巨的任务。

另一值得注意的是国内地面水水厂的出厂水。这种出厂水中水质基本稳定的只有 20% 左右，有腐蚀性倾向的约占 50%，有轻微结垢倾向的约占 30%。随着对生活饮用水水质要求的全面提高，水质稳定也是需要认真研究的净水技术。

### 1.4.2 改善氧化和消毒

液氯是最经济的消毒剂，自从 1974 年美国发现氯化生成三卤甲烷问题以来，这一问题引起了世界各国的极大关注，随之人们提出了用臭氧、二氧化氯、过氧化氢消毒来替代氯消毒。

由于技术和经济条件的限制，国内水厂大多数还是以液氯作为消毒剂，少数也有采用二

氧化氯或次氯酸钠作消毒剂。但面对复杂的原水水质，采用更安全的消毒措施，包括选择既经济又安全的新型消毒剂和寻找合理的加注方式都是研究的一个重要方面。

#### 1.4.3 采用生物预处理工艺

我国从 20 世纪 70 年代开始研究利用微生物酶催化氧化对有机物的分解作用，以去除原水中可生化降解物质和氨氮，现已取得很大进展，在生产实践中也得到了成功的应用。面对目前的水资源环境，如何利用生物的氧化分解作用，对各种不同的水源条件结合传统的处理工艺，无论其设计参数还是工艺布置都有待进一步研究，以在实用化的基础上不断提高其处理效果。

#### 1.4.4 推广臭氧-活性炭深度处理工艺

在常规处理的基础上，进一步采用加臭氧氧化、活性炭吸附的深度处理技术在国内外已有较多研究，在欧美得到了广泛使用，国内也有不少城市的水厂和工业企业的水厂采用。随着新的《生活饮用水卫生规范》的出台（2000 年），不少城市的原水即使通过加强常规处理，甚至增设生物预处理设施，也还不能达到上述规范的要求，因此广泛采用臭氧活性炭处理手段势在必行。一般该工艺的处理效果明显，但基建投资与运行费用相对都比较高，如何合理运用将还有许多研究工作要做。

#### 1.4.5 排泥水处理和污泥处置的普及

虽然水厂污泥中无机成分占绝大多数，而且主要来自水源本身，但由于泥水悬浮物浓度很高，如果直接排入河道将给环境造成不良影响。目前我国只有极少数水厂对污泥进行脱水处理，随着环境保护力度的加大，水厂的污泥经脱水后外运已被提到议事日程，但由于缺乏实践经验，各技术环节都有不少问题需要解决。

#### 1.4.6 膜处理技术的研究

过去膜处理在净水处理领域主要应用于工业上纯水、超纯水的制取，近年来随着膜工艺的发展，其成本有所降低，已逐步渗透到生活饮用水领域，在欧美已建成了日处理量达几万乃至十几万立方米规模的生活饮用水处理系统。国外有采用微滤膜处理取代常规水处理工艺和采用纳滤膜处理取代深度处理的趋势，国内在小范围的优质水供应系统及瓶装水处理系统中也已普遍采用了膜处理技术。

膜处理技术与常规水处理技术相比能去除水中尺度更小的物质，而且有较大的选择余地。通过膜处理还可以去除贾第氏鞭毛虫孢囊和病毒，减少常规消毒的副产物生成，而且可以不投药剂，避免了投加化学药剂产生的问题。

虽然目前城市水厂普遍采用膜处理的条件尚不成熟，但膜处理技术的发展前景十分光明，随着膜制造技术的发展和成本的降低，膜处理在今后的城市水厂中必将得到更为广泛的开发和应用。

#### 1.4.7 关于净水技术发展趋势的几点讨论

新的更高的水质要求为应用新技术提供了动力，技术进步为应用新技术提供了基础，精密的仪器和测试手段的应用为新技术提供了可能。

国内水行业资深专家对净水技术的发展趋势和如何在我国应用等问题，归纳了如下看法。

(1) 要因水、因地制宜确定净水工艺 制水工艺的任务是以最经济合理的方法把原水中所含污染物的含量和出厂水中所允许污染物的含量之间的差额去除掉。因为出厂水质的要求有所不同，尤其是原水中污染物的品种和含量相差很大，因此净水的任务差别很大，不宜机

械套用其他城市的成功经验。

欧美一般在设计净水厂前先做模型试验，比较几种工艺方案，从而选择优化的工艺和参数。如美国洛杉矶新水厂经模型试验比较，选择了直接过滤工艺，滤速为 32m/h，这个滤速是我国目前设计的 3~4 倍。如果未经试验比较，不可能选用这样优化工艺。

又如法国利安公司为推广气水反冲均质滤池，先在澳门采用。该公司在珠海的坦洲镇经营了一个供水区，水厂的滤池采用双阀滤池。该公司为悉尼设计的水厂采用气水反冲均质滤池直接过滤工艺，滤速为 24m/h。最近澳门又建了一个水厂叫大水塘水厂，共  $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，第一期为  $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，采用煤砂双层滤料滤池直接过滤，滤速为 10.8m/h。专家认为这是从实际出发，因地制宜选择工艺设备。

又如臭氧-活性炭净水工艺在欧美使用比较普遍，在美国则使用不多。重要的原因之一是两地水源特征有所不同。在欧洲，多瑙河等主要河流均为多国河流，河流流量并不大，沿河经过许多经济发达的城市，水体经过多次使用。虽然排放的污水均经过处理，生物可降解的有机物如氨氮的含量很低，但生物不可降解的有机物经多次使用则不断积累。这类水用臭氧活性炭工艺是有很有效的。在美国，很多水源中不可降解的有机物并不高，所以就不一定要用臭氧-活性炭工艺。

(2) 膜法和颗粒计数器的应用可能有较大发展 从技术上讲，微滤和超滤可以替代常规处理，纳滤和反渗透可以替代深度处理。过去由于价格原因尚不宜用于城市水厂。近几年来膜技术有很大进步，价格也有较大下降。在荷兰，近 5 年来每平方米超滤膜的价格下降到原来的 1/5，预计以后将降到 1/20。微滤和常规净水工艺的成本已相对接近。美国有的文献介绍，处理量在  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  以下的常规净水厂用膜法在技术经济上是合理的，有的文献则认为  $5000 \text{ m}^3/\text{d}$  以下是合理的。最近美国在建规模为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  的超滤水厂。世界上超滤水厂的能力已超过  $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，其中约 2/3 为 1998 年及 1999 年建设的。膜法的技术进步和价格下降的空间比常规净水工艺和深度处理更大，因此膜法替代常规处理或深度处理有相当可能。

另外，美国等经济发达国家，对隐孢子虫、贾第氏鞭毛虫等微生物指标感到很伤脑筋。解决这一问题的最可靠的办法一是烧开喝，二是用膜过滤，把浊度降低到 0.1NTU 以下，以提高其去除率。但浊度降到 0.1NTU 对于隐孢子虫来说不一定就是安全的。替代浊度标准的更正确的方法是用颗粒计数器测定一定大小的上述原生动物的颗粒数。美国宾州要求州内水厂每毫升出厂水中  $3 \sim 18 \mu\text{m}$  的颗粒小于 10 粒。但颗粒计数器不能判断这 10 粒是什么。隐孢子虫问题的困扰将推动膜法和颗粒计数器的应用。

(3) 臭氧消毒及臭氧-活性炭工艺将有发展 现在国际上的概念，把消毒分成两部分，一是工艺过程的氧化消毒，二是为保持管网余氯（或其他消毒剂）而加的消毒剂。就工艺过程的氧化消毒而言，臭氧有很多优点：氧化消毒能力最强；能灭活隐性孢子虫和贾第氏鞭毛虫；能把不能降解的有机物氧化为可降解的有机物；能去除部分致臭味的有机物。由于技术进步，生产臭氧的电耗和设备价格也有所降低。这些因素将推动臭氧使用的增加。使用臭氧后醛、酮等有机物大量增加，为细菌繁殖提供了丰富的营养，所以在臭氧后需要连接生物处理，通常用生物活性炭。欧洲较普遍的做法是再加个活性炭滤池，而美国一般用双层滤料滤池，上层为活性炭，下层为砂，生物处理和过滤一池二用。

(4) 关于消毒剂的选用 各种消毒剂都有其优缺点，都会产生一定的副产物。使用各种消毒剂都要求其副产物的含量不超过标准的允许值。以前对加氯引起氯仿等副产物强调得多

了些，引起了一些误解，以致拉丁美洲好多国家错误地削弱了消毒，导致霍乱大流行。为此1993年世界卫生组织强调完善的消毒，宁可把氯仿标准提高到  $200\mu\text{g}/\text{L}$ ，即使如此，细菌等的风险仍大于氯仿。

美国是最早发现氯消毒副产物的国家，而且对这方面研究也较深。据1991~1992年统计，美国1256个主要供水企业（服务人口为2.09亿人）的消毒剂使用情况见表1-3。

表 1-3 美国几种消毒剂使用情况 单位：%

| 统计方法   | 氯  | 氯 胺 | 二氧化氯 | 高锰酸钾 |
|--------|----|-----|------|------|
| 按水厂计   | 64 | 12  | 6    | 18   |
| 按服务人口计 | 46 | 25  | 6    | 21   |

欧洲的荷兰、德国等国及瑞士苏黎世等少数城市在出厂水中已不加消毒剂。近年有多篇论文讨论出厂水中要不要有余氯。国际水协于1998年分别在美国和欧洲组织了两次专题讨论会。会议的基本结论是：保持管网余氯有很多好处。经过水厂处理后的水，细菌学指标非常好；有机物很低，其中AOC（生物可同化有机碳）小于  $10\mu\text{g}/\text{L}$ ；管网很清洁；防止二次污染的措施很严密，这样才能保持细菌学指标的安全，又减少消毒副产物的危害和消毒剂对嗅味的影响。但这样做要非常谨慎，一般采用逐步降低的方法。

1987年美国自来水协会研究基金会（AWWARF）调查了727个水厂，其供水人口占水厂（服务人口大于1万人）总服务人口的67%，调查结果如下。

① 85%的以河流和湖泊为水源的水厂及80%的地下水厂用氯消毒。地面水厂的中值加氯量为  $2.2\sim 2.3\text{mg}/\text{L}$ ，地下水厂为  $1.2\text{mg}/\text{L}$ ，加氯量为  $0.1\sim 20\text{mg}/\text{L}$ 。

② 25%的以河流和大湖泊为水源的水厂及13%的以较小湖泊为水源的水厂用氯胺消毒，地下水厂很少用氯胺消毒。以河流为水源的水厂的典型的氯胺加注量为  $2.7\text{mg}/\text{L}$ ，以湖泊为水源的水厂为  $1.5\text{mg}/\text{L}$ 。

另外10%的以河流为水源的水厂及5%的以湖泊为水源的水厂采用二氧化氯消毒，主要用于服务人口在25000以上的供水系统。典型的加注幅度自以河流为水源的水厂的  $0.6\text{mg}/\text{L}$ 到以湖泊为水源的水厂的  $1.0\text{mg}/\text{L}$ ，地下水厂没有用二氧化氯的。

有三个供水厂采用臭氧进行消毒。

美国自来水协会消毒委员会于1978年调查服务人口大于1万人的供水系统，大部分（>85%）的地面水厂实行前加氯。1990年该委员会水质处再进行调查时，前加氯已明显降低，而沉淀后加氯明显增加，35%的供水系统仍实行前加氯。

美国自来水协会调查降低三卤甲烷总量采用的方法为：

改变前加氯（24%改变第一次加氯地点，23%停止前加氯，20%减少前加氯量）；

加氨（19%在自由氯化消毒一定时间后加氨，9%在加氯前加氨）；

改变前氧化剂（10%改为高锰酸钾，5%改为二氧化氯，5%改为臭氧）

相当多的供水企业反映，为降低三卤甲烷总量而改变加氯方式后在运行上出现了一些问题。目前对问题的具体情况及影响还未进行调查。消毒委员会认为多数问题为转变过程中的问题，进一步积累经验后可以缓和。

(5) 高分子混凝剂（聚合物）对净水有重要作用 高分子混凝剂一般用做助凝剂或助滤剂。用做助凝剂，混凝、沉淀效果有明显改善，过滤效果也有所提高。用做助滤剂，滤池去

除率将明显提高，即使滤速较高，出水浊度也可很低。上述洛杉矶市水厂采用直接过滤，滤速在 30m/h 以上，出水浊度仍为 0.1NTU，其中很重要的措施之一是采用高分子助滤剂。日本不许用有机高分子混凝剂而只允许用无机的，欧美则用得比较普遍。

(6) 使用二氧化氯控制 THMs 估计美国有 1200 万人的饮用水是用由亚氯酸钠制备的二氧化氯进行消毒的。二氧化氯不但能高度有效地控制饮用水中的水生病原体，而且很少生成卤化消毒副产物。二氧化氯是一种广谱杀菌剂，和氯气一样，能有效地灭杀病毒、细菌和真菌，二氧化氯对孢子寄生虫如贾第氏鞭毛虫和隐孢子虫的灭杀效果要比氯气好。另外，二氧化氯也能够有效地去除嗅、味、色、铁和锰。二氧化氯和氯气一样能够有效地阻止废水中大肠杆菌的繁殖，而且它对二级出水中病毒的灭杀效果比氯气好。

二氧化氯与 THMs 的前体腐殖质反应不会生成 THMs。在预处理阶段用二氧化氯氧化 THMs 的前体，然后氯气作为消毒剂在凝结、沉淀和过滤后加入。这样处理后的饮用水比常规氯气处理所产生的 THMs 少 50%~70%。

二氧化氯的浓度达到 1mg/L 时，就能够有效去除藻类和植物腐烂所产生的味和嗅。二氧化氯能够氧化低阈值的有异味的化合物，这些化合物包括：二甲萘烷醇，2,3,6-三氯茴香醚 (TCA)，2-甲基异冰片 (MIB) 以及吡嗪类化合物。二氧化氯还能有效去除产生异味的酚类化合物，在此处理过程中，很少产生氯酚。已有试验证明，对于硫醇和有机二硫化物这类有异味的物质，同样可以用二氧化氯来氧化去除。

## 参 考 文 献

- 1 许保玖著。给水处理理论。第一版。北京：中国建筑工业出版社，2000
- 2 王琳，王宝贞著。优质饮用水净化技术。北京：科学出版社，2000
- 3 严熙世，范瑾初主编。给水工程。第三版。北京：中国建筑工业出版社，1995
- 4 《中国市政工程设计通志》编委会编。中国市政工程设计通史。北京：中国建筑工业出版社，1997
- 5 汪光焘主编。城市供水行业 2000 年技术进步发展规划。北京：中国建筑工业出版社，1993
- 6 宋仁元。依靠技术进步改善供水水质。国际给水与废水处理。北京：会议论文集，1994
- 7 宋仁元自来水中微生物的风险可能大于合成有机物。城市公用事业。北京：中国建筑工业出版社，1997
- 8 张东署译。使用二氧化氯控制 THMs。首届上海二氧化氯及水处理技术国际研讨会。上海：2001，5
- 9 沈裘昌净水技术的发展与展望。2001 中日水处理技术国际交流会上海：2001，11
- 10 胡建英，杨敏。自来水及其水源中的内分泌干扰物质。净水技术，2001，20 (3)：3-6
- 11 卫生部卫生法制与监督局。生活饮用水卫生规范 (2001)。卫法监发 (2001) 161 号
- 12 周鸿，张晓健，王占生。水中内分泌干扰物在我国的研究进展。中国给水排水。2002，18 (9)：26~28
- 13 USEPA. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. EPA/815/R-99/014
- 14 National Primary Drinking Water Regulations. Code of Federal Regulations. 40 CFR 141. 70~75
- 15 Warf, C. C. Jr. Chlorine Dioxide and the Small Drinking Water System. In: Providing Safe Drinking Water in Small Drinking Water Systems. Lewis Publishers, 1998, 121~131
- 16 Lange A, Kawczynski E. Controlling Organics, the Contra Costa County Water District. JAWWA. 1978, 70, 653
- 17 Hubbs, S. A., Guers M, Siria J. Plant-scale Examination and Control of a  $\text{ClO}_2^-$  Chloramination Process at the Louisville Water Company. In: Jolley, R. L., et al., Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects. Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers, 1980
- 18 Andrews, R. et al. Chlorine Dioxide Trial as a Post Disinfectant in Warton, Ontario. In: Fourth Int. Symp. International Symposium on Chlorine Dioxide. Las Vegas, Nevada, 2001
- 19 Synan, J. F.. Chlorine Dioxide—An Effective Biocide for Recycled or Reused Water Systems. Trans. Citrus Eng.

Conf. , 1979, 25: 66

- 20 Rav-Acha, Ch. , Blits R. The Different Reaction Mechanisms by Which Chlorine and Chlorine Dioxide React with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in Water. *Water Research*, 1985, 19 (10): 1273
- 21 USEPA. Methods for the Determination of Inorganic Substances in Environmental Samples. EPA/600/R-93/100
- 22 USEPA. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography. EPA/600/R-98/118
- 23 王占生, 刘文君. 微污染源饮用水处理 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999
- 24 邵兵. 重庆流域嘉陵江河长江水环境中壬基酚污染状况调整. *环境科学学报*, 2002, 22 (1): 12~36

## 第 2 章 水质卫生标准

### 2.1 饮用水水质与人体健康

水参与人体的生理功能，体液占人体体重的 70% 左右，是维持正常生理机能所必需的物质。其功能为：参与食物的消化和吸收，输送营养；参与体内代谢及代谢产物的排泄；参与体温调节；保持器官、关节、韧带、肌鞘等的润滑。

水是生命的基础。但人体需要的不仅是化学概念的纯水，许多种化学元素还需要借助于水在人体和环境之间维持着动态平衡。据测定，目前地壳表层存在 90 多种元素，它们几乎都能在人体内找到；并且这些元素在人体内的含量与它们在自然界的含量分布的规律相一致。在组成人体的化学元素中，氧、氮、碳、氢四种元素共占 96%，钙、磷、钾、硫、钠、氯、镁等七种元素占 3.954%。这 11 种元素已经占了 99.95%，称为人体必需的常量元素，其余的 0.05% 称为微量元素（规定小于 0.01% 的元素为微量元素）。微量元素在人体内并非永远存在，而是随着人体的新陈代谢在不断地代谢。这些微量元素在人体中含量虽少，但在生理学上有特殊的意义。

#### 2.1.1 常量元素对健康的影响

常量元素是从食物中的蛋白质、脂肪、糖、无机盐、维生素以及饮用水中摄取的，它们可以满足人体新陈代谢的需要。饮用水中钙、镁、钾、钠的含量对人体健康有直接影响。

钙（Ca）是构成人体骨骼的主要元素之一。人体每日需补充钙 600~2000mg。缺钙就会影响骨骼发育，患骨质疏松等疾病，还易引发高血压、直肠癌等。但是，饮用钙浓度超过 1800mg/L 的水，就有致毒作用；饮用水中钙浓度为 100~150mg/L 时，可使肾炎、关节炎的发病率增高，影响心脏血液流通。饮用水中的推荐钙浓度为 30~75mg/L。

镁（Mg）是人体多种重要酶的激活剂，对蛋白质的中间代谢和神经、肌肉的应激活性起调节作用，并有防癌效果。缺镁会引起慢性呼吸障碍症、急性腹泻、慢性肾功能衰竭等。人体每日需补充镁 200~400mg，饮用水中镁浓度一般推荐为 30~50mg/L。

钠（Na）与钾（K）是维持人体体液渗透压的主要阳离子，对神经肌肉的兴奋起促进作用，过量吸收钠易引起高血压和脑血管疾病。饮用水中的钠离子浓度一般要求为 20~200mg/L。

钾含量过高或过低，都会导致人体内电解质的代谢紊乱。钾对心血管和心肌细胞有保护功能，血液中长期缺钾时，会出现心血管系统的病变，严重时会使入昏迷甚至死亡。1980 年欧共体（现已改称欧盟）规定水中钾浓度的最大值为 12mg/L，建议小于 10mg/L。

氯化物在水中浓度超过 250mg/L 时，人能感觉到咸味，但对人体无大的影响，一般规定饮用水中的氯化物浓度为 25~250mg/L。

#### 2.1.2 微量元素生理功能

水中存在的人体必需的生物微量元素有 14 种，它们是：铁（Fe），锌（Zn），铜（Cu），碘（I），锰（Mn），硒（Se），氟（F），钼（Mo），钴（Co），铬（Cr），镍（Ni），钒（V）。

锡 (Sn), 硅 (Si)。生物微量元素虽微少, 却是人体生命活动不可缺少的, 具有重要的生理功能。它们是一些酶的激活剂, 能维持细胞内外渗透压、维持体液的酸碱平衡, 是某些激素、维生素的组成成分。例如锌能增强创伤组织的再生能力, 加速溃疡、疮疮、外伤的愈合。Gastin 通过试验指出, 增加伤口周围组织的锌含量能使愈合期缩短一半。缺锌使血清维生素 A 减少从而降低其适应能力。缺锌还能导致食欲降低, 因为唾液蛋白中一个味觉素含两个锌离子, 缺锌能使味觉活性降低, 使黏膜增生、角化, 不完全阻塞味蕾小孔, 从而使味觉减退。缺锌还会造成胰腺细胞溶酶体膜和酶原外膜破裂等。

铁是哺乳动物的血液运输和交换氧所必需的。没有铁, 血红蛋白就不能被制造出来, 氧就不能运输, 从而导致缺铁性贫血。一个正常人每天从体内排出 0.8mg 的铁, 为了维持平衡, 食物中和水中的铁含量达到 16mg 才能满足铁的吸收需要。

人体对微量元素的要求主要从饮食中获得, 如果把水中的微量元素去除掉, 人体健康将会受到影响。美国的马丁·弗克斯博士在总结了健康饮用水能延长人的寿命的主要观点和研究成果后, 在其所著《健康的水》中指出: “赞成喝脱盐水的人称水中无机矿物质(如钙、镁、硒等)不能被新陈代谢, 因而不会导致健康问题, 这是不对的。”事实上, “水中的溶解性矿物质要比食物中的更容易和更好地被人体吸收。”矿物质新陈代谢理论权威 John Sorenson 博士认为, “饮用水的矿物质能很好地被吸收”, 参与新陈代谢的主要金属元素的比例受水中主要元素数量的重大影响, 如果所需主要元素得到满足, 而很少或没有非主要元素的吸收, 它就会被排泄掉。举例来说, 如果水中钙、镁含量低, 细胞就可能选择非主要元素铅。这也表明如果饮用不含钙、镁或含量甚微的脱盐水(如纯水), 这种饮水中任何有害物质的作用就会放大。脱盐水中少量的有害物质就会比硬水中同等量的有害物质对我们的健康产生更有害的作用。可见, 出于完全不同的原因, 喝被污染的水和脱盐水都会对我们的健康造成伤害。英国人 Sauer 分析了 92 座城市饮用水的 23 个特征, 发现人们喝含 TDS(总溶解固体)高的水, 死于心脏病、癌症和慢性病的几率比喝 TDS 低的水要少些。最早对饮水与心脏病进行研究的是 Schroeder, 他于 1960 年分析了美国 163 个大城市的水质, 化验出了 21 种成分, 并和心脏病相联系, 他总结到: “一定存在某种因素, 它或许在硬水中, 或许在软水中, 与较高的心血管病死亡率相联系”。1969~1973 年, Sauer 研究和分析了 253 座城镇, 发现了软水地区心血管死亡数比硬水地区高 10%~15%, 提出最理想的硬度大约是 170mg/L。同样是在英国的两个城镇 Scunthrope 和 Grimshy, 原来都饮用硬度为 444mg/L 的水, 心脏死亡率相同。Scunthrope 将该镇的水软化到 100mg/L, 几年后心血管发病率猛然上升, 而 Grimshy 则维持原有的死亡率。类似的情况也发生在意大利的 Grevalure、Mentegiorgio 以及 Abruzzo 地区。由此可见, 微量元素不仅是从水中吸收的, 而且水的硬度和心脏病死亡率有确定关系。TDS 和心脏病死亡率也有确定关系。TDS 越高, 心脏病发病率越低, 也说明含有适当硬度(170mg/L)和 TDS 的水是健康饮用水。

### 2.1.3 水中有害无机物质

水中微量元素和矿物质对人体健康有积极作用。但是, 水中还可能存在一些危害人体健康的有毒微量元素或化合物, 要对饮用水中它们的含量进行严格限定, 才能保证饮用安全。

#### 2.1.3.1 六大有毒物质

氟化物、砷、汞、镉、铅和六价铬称为六大毒物。

(1) 氟化物 有剧毒, 作用于呼吸酶, 首先影响呼吸中枢及血管舒张中枢, 最后使人窒