

文章编号:1004-8227(2001)01-0051-09

我国水资源污染与饮用水安全性研究^{*}

肖羽堂¹,张晶晶¹,吴 鸣¹,刘 辉²,张 东²,许建华²

(1. 中国科学院大连化学物理研究所废水工程室,大连 116023; 2. 同济大学环境科学与工程学院,上海 200092)

摘 要:对我国水资源状况和饮用水安全性进行了分析研究,结果表明:我国水资源贫乏,水资源环境污染日益严重。许多水厂不得不面临着使用更多的水质不符合要求的受污染水源原水作为生活饮用水水源。水污染主要是有机物和氨氮污染,常规净水工艺系统难以将这些污染物有效除去,降低了饮用水水质,对人体健康构成潜在威胁。随着人们生活水平的提高和健康安全意识的不断增强,对饮用水水质标准提出了更高要求。为从受污染的水源原水中除去对人体健康有害的污染物,提高饮用水的安全可靠性,强化传统工艺、替换传统的消毒剂、吸附、膜过滤和生物预处理等净水技术得到了国内外广泛重视和关注,尤其是经济、高效的生物除污染技术。

关键词:水资源;水污染;饮用水;安全;水处理

文献标识码:A

水资源与国民经济各部门、城乡人民生活息息相关。水资源状况如何,不仅关系到工农业的发展,而且关系到整个国民经济和社会的可持续性发展。近年来工农业的快速发展和人口的迅速增加,使得我国水资源日益短缺,水资源污染日益严重。我国饮用水面临着资源短缺和严重污染的双重挑战。如何有效地控制和扭转我国水资源环境继续恶化的局面、改善水环境质量,保护有限的水资源环境,防治资源环境污染和开发饮用水除污染新技术,提高饮用水安全性,是摆在我们眼前一个非常紧迫的任务。

1 水资源现状

1.1 水资源严重短缺

水是人类生活和生产活动中不可缺少的重要物质,又是不可替代的重要自然资源。随着经济发展、人口增长和人们物质文化生活水平的提高,世界各地对水的需求日益增长,一些国家和地区在 60 年代开始发生了水危机,水的问题引起了当代世界各国普遍关注^[1~3]。1972 年在联合国“人类环境会议”上,许多国家的报告都强调了城市缺水问题”。1977 年 3 月召开的联合国“水”会议曾向世界发出郑重警告:“水,不久将成为一个深刻的社会危机。石油危机之后的下一个危机就是水。”目前世界上有 80 个国家约 15 亿人口面临淡水不足,其中 26 个国家约 3 亿人完全生活在缺水状态,缺水问题将严重制约着下个世纪的经济和社会的发展,并可能

^{*} 收稿日期:2000-04-25;修回日期:2000-06-19
基金项目:国家“九五”重点科技攻关项目(96-03-01-02)部分内容
作者简介:肖羽堂(1966~),男,博士后

导致国家间的冲突。世界上约 300 条主要河流经过一些国家的边界,这里居住着 40% 的世界人口,曾经已有 140 个大小地区因水供应不足而出现紧张局势。如印度和孟加拉之间的恒河水之争;以色列和阿拉伯国家之间的中东战争^[4~5],均是为了争夺水资源。水资源的危机已威胁着人类社会的生存与发展。1999 年 10 月世界人口已达到 60 亿,据联合国人口与发展委员会第 32 次会议消息,到 2050 年世界人口将超过 90 亿。据近几年的数字统计得出,全世界淡水消耗量自本世纪初以来,增加了 6~7 倍,远远超过了人口增长的速度^[2,6]。

我国多年平均水资源总量为 2.8 万亿 m^3 ,居世界第 6 位,但人均占有水资源量只有 2 400 m^3 /人·年,约为世界人均水资源量的 1/4,是各国水资源量较低的国家之一。1998 年联合国已将中国列为全球 13 个最缺水的国家之一。据对 149 个国家和地区的最新统计,中国人均水资源量已退居世界第 110 位。目前在中国 666 座城市中,有 333 座城市缺水,其中严重缺水 108 座,日缺水量达 1 600 万 m^3 ,因缺水造成的年工业经济损失达 2 300 多亿元。全国有 7 000 万人和 6 000 万头牲畜饮水困难。到 21 世纪中期,全国总的用水量将从过去的 5 000 多亿 m^3 增加到 8 000 亿 m^3 左右,占我国可利用水资源总量的 28% 以上。按国际上经验,一个国家用水量超过其水资源可利用量的 20%,就很可能发生水危机^[6~7]。

1.2 水资源普遍受污染

我国不仅水资源贫缺,而且还伴随着日益严重的饮用水资源环境污染问题。目前,我国废水每年排放约 1 000 亿 m^3 ,80% 左右的废水未经处理就直接排入水体,造成水源、特别是地表水污染。全国 7 大江河和内陆河的 110 个重点河段统计表明^[8],符合《地面水环境质量标准》、类的仅占 32%,类的占 29%;属于、类的占 39%。即使长江和珠江,其水质为、类的江段已超过 20%;黄河、松花江、辽河属、类水质的江段已超过 60%;淮河枯水期的水质已达不到类,其大部分支流的水质,常年在类以上。据 1994 年对近 700 条河流,约 10 万 km 河长的水质进行评价^[9],结果表明,全国综合评价河长为 98 614 km ,其中水质为类的河长为 6 042 km ,占总评价河长的 6.1%;水质为类的河长为 25 773 km ,占总评价河长的 26.1%;水质为类的河长为 20 993 km ,占总评价河长的 21.3%;水质为类的河长为 27 171 km ,占总评价河长的 27.6%;水质为类的河长为 8 163 km ,占总评价河长的 8.3%;水质超过类的河长为 10 472 km ,占总评价河长的 10.6%。污染河长 45 806 km ,占总评价河长的 46.45%^[8~10]。

水质分类评价结果表明,全国以耗氧有机污染参数评价的 9.55 万 km 的河长中,被污染的河长为 3.23 万 km ,占评价河长的 33.8%,其中严重污染(超过类)河长 8 300 km ,占评价河长的 8.7%。据对全国 35 个江段合成有机物调查结果表明,水体中痕量有机物种类繁多,致癌、致畸、致突变的“三致”物超标倍数高。在 7 个流域 14 个典型江段中共检出 197 种有机化合物,其中,致癌化合物 25 种,属于美国环保局 EPA 的优先污染物 53 种。据对全国 50 个代表性湖泊综合评价结果表明,我国湖泊约有 75% 以上水域的水质受到不同程度的污染,其中超类水质的湖泊 15 个,占调查湖泊数量的 30%。据对全国 50 个代表性水库调查结果表明,类水质以上的水库数量为 17 个,占调查水库数量的 34.0%。据对 131 条流经城市河流的统计,严重污染的有 26 条,重度污染的 11 条,中度污染的 28 条,其中符合类水体标准的 9 条,符合类的 4 条,符合类的 46 条,属于、类的 72 条占 54.96%,部分河段污染尤为严重。我国城市地表水中有 85.7% 的河流水受污染,城市地下水有 50% 受污染。据调查,全

国 430 个城市有 90 % 以上的饮用水源受到不同程度的污染^[9,10]。

1.3 受污染水资源原水净化的意义

从目前的状况来看,水资源环境污染日益严重,受污染的水源范围日益扩大。近年来,虽然我国在水污染防治方面做了许多工作,但不少江河湖泊的水质仍在逐渐变差,并呈发展势头,工业发达地区水域的污染尤为严重。在这种情况下,随着人口的快速增长和工农业生产的迅速发展,要想使受到污染水源的水质在短期内恢复是不可能的。在我国淡水资源本来就十分紧缺的前提下,完全不使用受到污染的淡水水源越来越不可能。也就是说,我国自来水厂不得面临着使用更多的水质不符合要求的受污染原水作为生活饮用水和其它用途的水源。

2 水资源微污染及其危害

2.1 水资源有机物微污染及其危害

水源水中的污染物主要来自有机物,有机物大致可以分为二类:一类是天然有机物,包括腐殖质、微生物分泌物、溶解的植物组织和动物的废弃物;另一类是人工合成的有机物,包括农药、商业用途的合成物及一些工业废弃物。

天然有机物主要是指动、植物在自然循环过程中经腐烂分解所产生的大分子有机物,其中腐殖质在地面水源中含量最高,是水体色度的主要成分,占有机物总量的 60 % ~ 90 %,是饮用水处理中主要去除对象。腐殖质是一类含酚羟基、羧基、醇羟基等多种官能团的大分子有机物,分子量为 $10^2 \sim 10^6$,其中 50 % ~ 60 % 是碳水化合物及其关联物质,10 % ~ 30 % 是木质素及其衍生物,1 % ~ 3 % 是蛋白质及其衍生物。腐殖质分为腐殖酸、富里酸和胡敏酸三种,三种组分结构相似,但分子量和官能团相差较大。腐殖质在天然水体中带负电荷,扩散能力强,分布范围广。是饮用水中多种消毒副产物(DBPs)的前体物,是导致饮用水致突变活性增加的主要因素。此外,消毒副产物的前体中相当一部分是来自水中的非腐殖质部分的天然有机物。水中的非腐殖质部分的天然有机物是主要的可生物降解部分,具有较强的亲水性和较低的芳香度,可能由亲水酸、蛋白质、氨基酸、糖类等组成^[13]。

随着各国工业的发展,人工合成的有机物越来越多,目前已知的有机物种类约有 700 万种之多,其中人工合成的有机物种类达 10 万种以上,且以每年 2 000 种的速度递增。随着人们的各种活动,它们以各种不同途径进入水体。美国 EPA 水质调查发现供水系统中有机物污染物 2 110 种,饮用水中含 765 种,其中 190 种对人体有害,20 种为确认的致癌物,23 种为可疑致癌物,18 种为促癌物,56 种为致突变物^[14]。1997 年 USEPA 根据有机污染物的毒性、生物降解的可能性以及在水体中出现的机率等因素,从 7 万种有机物化合物中筛选出 65 类 129 种优先控制的污染物,其中有机化合物 114 种,占总数的 88 %,包括 21 种杀虫剂、26 种卤代脂肪烃、8 种多氯联苯、11 种酚、7 种亚硝酸及其它化合物。这些化合物本身有一定的生物积累性,有些本身有毒性,有些有“三致”作用^[15]。我国的研究分析结果也表明,水源水和自来水中的有机物种类和数量相当大,污染问题相当突出。上海黄浦江水中有机物种类至少在 500 ~ 700 种之间,GC/MS 定性检出的 218 种有机物中,属美国 EPA 的优先污染物达 39 种^[11]。

1989 年 4 月我国环保局通过的“水中优先控制污染物黑名单”中,包括 14 类 68 种有毒化学污染物,其中 58 种为有机毒物,含 25 种有机氯化物。这些污染物在水体中不易降解,难

以被常规净水工艺去除, 在环境中可生物积累, 大部分本身具有毒性, 部分具有“三致”作用, 构成了对人体的潜在威胁。

2.2 水资源氮微污染及其危害

氮是自然界广泛存在的基本元素之一, 动、植物生长以及人类的生存都离不开它。但是, 氮在水体中过多地存在会成为对动、植物以及人类有危害作用的污染因子。因此, 饮用水源要防止水体中的氮污染。

水体中的氮主要来源于生活污水和工业废水中的氮。城市生活污水中的氮主要来源于人类日常生活一些含氮的溶解或非溶解性的物质(如肉、粪便等)泄入下水中而形成的。其主要形式为有机氮和氨氮。一些工业废水也含有大量的氮, 主要是由生产过程中与水接触的含有氮的生产原料或废料流入排水所致, 除有机氮、氨氮外, 还常有亚硝酸氮和硝酸氮。

硝酸氮是所有结合氮的热力学最稳定的形式, 在充氧水体中, 结合氮都具有转化成硝酸氮的趋向。因此, 水体中所有结合氮都被看作为硝酸氮的潜在来源。结合氮在水体中的这种转化趋势(向)一般分二步进行: 第一步是含氮化合物, 如蛋白质、多肽、氨基酸和尿素等有机物, 转化为无机氮中的氨氮; 第二步是氨氮的亚硝化和硝化, 使无机氮进一步转化。

水体中的氮过量则成为污染因子。氨在 0.5 mg/L 时, 即能对水生生物, 尤其是鱼类造成毒害, 妨碍鱼腮的氧传递。硝化作用导致水体缺氧, 并引起水中硝酸氮浓度增高。当饮用水中的 NO_3^- 浓度超过 10 mg/L 时, 可能会诱发婴儿患高铁血红蛋白血症^[18]。此外, 如果饮用水中含有过量的硝酸氮, 它们会在人胃中还原为亚硝酸氮, 与人胃中的仲胺或酰胺作用形成亚硝酸胺致癌、致畸、致突变物^[20]。水体中过量氨氮等存在易使藻类大量繁殖、富集, 大量消耗水中的溶解氧, 引起水体发臭。给水水源中含有氨氮将会使消毒时投氯量加大。为了在“折点”后达到氯化而形成较有效的自由氯, 水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 每增加 1 mg/L 时, 就需多投加 8 ~ 10 mg/L 的氯。

3 水资源环境微污染对常规净水工艺系统及水质的影响

目前, 水源普遍存在着溶解性有机物增多、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度高、水体有异味、色度增高、藻类大量繁殖等问题。我们通常把这些受到污染、但通过特殊工艺处理后尚可使用的原水称为微污染原水。我国目前六大水系中有 80% 的水域受到污染, 39% 的水源已不能满足地面水环境质量 Ⅲ类标准, 属微污染水源。由于水厂水源受到污染, 许多出厂水水质已不能达到国家生活饮用水水质标准, 并出现了一些新情况: 投加的化学混凝剂量大量增加, 过滤出水浊度不能达标, 出水有较明显的嗅味等问题。另外, 氯耗增加, 出厂水余氯过低, 难以保证出厂水余氯达最低限制值, 并且随着氯耗的增加, 出厂水有机卤化物含量升高, 不利于饮水安全。研究证实, 各自来水厂处理后的出厂水水质, 其致突变阳性率均高于未经处理的原水水质。可见, 常规净水工艺不但不能去除原水致突变物, 如 THMs、MX 等, 而且加氯处理后, 其出厂水的致突变阳性经常高于未经处理的原水。

常规净水工艺系统只适用于一般较清洁原水的处理, 如果水源水被污染, 则处理效果将很不理想。主要集中在三个方面: 水中有机污染物大多是带负电荷的化合物, 它们的存在使水的 Zeta 电位升高, 要保证一定的出水水质, 需要投加过量的混凝剂和氯, 从而增加了水处

理成本。而且,常规净水工艺无法去除某些有机污染物; 现有的常规净水系统对有机物的去除率一般为 20%~50%,对氨氮的去除率为 15%左右,出水中有机物含量仍然很高,并且其中某些有机物具有致癌性; 有机污染物在输水管网中被管壁上附着的微生物所利用,它们在氯化消毒之后,仍然存活,比起一般的微生物来有更大的危害,在出水管网中形成非生物稳定的水,具有“三致”特性^[13,14]。常规净水工艺系统主要由混凝、澄清、过滤和消毒等组成。混凝、澄清工艺主要去除水中悬浮物和胶体物质,该过程对水中难溶物和胶态有机物等去除率很高,但对溶解性有机物去除率却很低,难以有效地降低水中有机物污染^[22]。

4 饮用水污染与健康

由于饮用水源污染日益严重,常规净水工艺系统不能有效地去除污染,导致饮用水水质不断恶化。据联合国有关统计数字^[23],目前全球有 17 亿人喝不到干净的饮用水,每天约有 2.5 万人因水质低劣而死亡。目前,在发展中国家已出现了由于供水不足和环境卫生恶劣而造成的令人不安的征兆: 在发展中国家,80%的疾病和 30%的死亡是由于不洁饮用水造成的; 每年有 1.2 亿人因不洁饮用水和恶劣的环境卫生条件而生病; 每年有 400 万以上的儿童死于由水传染的疾病; 15%的儿童在 5 岁前由于腹泻而夭折——如果有合理的供水和相应的卫生条件,这种死亡是可以避免的。世界卫生组织和国际癌症机构从大量的材料中得出结论,现有的癌症约 50%是饮食不当造成的,特别是饮用水的水质与癌症的发生关系很大。我国有关研究得出^[16],癌症发病率与水源水的污染程度呈正相关关系。受污染的水还会传播肠道疾病,如伤寒、痢疾等。统计表明,我国不足 11%的人能饮到符合卫生标准的水,有 65.4%的人口在饮用混浊、苦咸、受工业污染或能传播疾病的水,约 7 亿人饮用大肠杆菌超标的水,1.7 亿人在饮用受有机物污染的水,其中近 4 千万人的饮用水污染尤其严重,主要分布在长江沿岸及人口稠密的地区。

5 水污染与饮用水水质标准

供水水质关系到广大人民的身体健康,因此各国均把提高供水水质作为供水服务的首要内容。供水水质指标归纳起来可以分为三类:细菌学指标,有毒有害物质指标及感官性指标。细菌指标是极端重要的,因为它能在同一时间造成大片人群发病或死亡;有毒有害物指标是防止长期积累导致慢性疾病或癌症的指标,确定的原则是人终身摄入而无觉察的健康风险;感官性水质不良,可能为水质污染的反映,虽然不一定危害健康,但会导致消费者对供水水质安全性发生怀疑,甚至产生厌恶。

饮用水水质指标的发展经历了一个由人的感观和生活经验的感性认识到科学方法严格测定、并量化的历程,随着科学技术的发展,人民生活质量的要求越来越高,水源水质的不断恶化,迫使人们不断地修订规范和水质标准,并将所关注的重点水质指标转移。我国五十年代着重考虑浊度、色度、嗅和味等感观性指标;六、七十年代开始重视金属等毒理学指标;八十年代以来,随着分析手段的提高,开始关注有机污染物指标。

世界卫生组织 1984 年制订的《饮用水水质准则》提出的水质指标只有 61 项,1993 年修改

后的准则列出的指标为 135 项。1986 年美国《国家饮用水基本规则》关于水中有机物的控制指标有 15 项,为进一步控制污染,1991 年 USEPA 颁布了 35 种有机污染物的最大浓度允许标准,并重新提出了另外 5 项污染物的标准,使控制饮用水中的污染物总数达 60 多种。到 1993 年,饮用水中的有机物标准已达到 83 项。我国目前执行的生活饮用水水质标准(GB 5749-85)共 35 项,是根据我国现实国情于 1985 年提出的,规定的有机物指标仅有 6 项:挥发酚(以苯酚计)(0.002 mg/L)、氯仿(0.06 mg/L)、四氯化碳($3 \mu\text{g/L}$)、苯并(a)芘($0.01 \mu\text{g/L}$)、DDT($1 \mu\text{g/L}$)、六六六($5 \mu\text{g/L}$)。通过对比,我国的饮用水标准检测项目少,标准低,所缺乏的是对有毒物质的控制,其中有些可能是“三致”物质。为此,1993 年中国城镇供水协会制定了《城市供水行业 2000 年技术进步发展规划》,对一类水司的水质指标调整为 88 项,其中有机物指标增加到 38 项;二类水司的水质指标为 51 项,有机物指标增加到 19 项。

饮用水水质一般值得考虑提高的是浊度和细菌学指标,一般情况主要风险尚在这些指标上。浊度和细菌学指标,某些有毒物质的去除以及对消毒效果有密切的关系。《饮用水水质准则》要求浊度不超过 5 NTU。美国水质标准任何时候不得超过 5 NTU,平均值小于 1 NTU。其中 95%以上水样浊度小于 0.1 NTU。管网水浊度小于 1 NTU,审美水指标则要求浊度小于 0.1 NTU。我国细菌学指标有细菌、大肠菌和粪型大肠菌,美国标准还包括贾第氏虫、军团菌、隐性孢子虫、病毒。考虑到贾第氏虫、军团菌、病毒检验较困难,当前可考虑最大限度提高细菌、大肠菌和粪型大肠菌的合格率。其中细菌为指示水处理、控制微生物的运行性指标,宜把指标订得更低。

从现有的水平来看,我国在有机物种类设定的水质标准上与西方发达国家还有较大的差距,可以预见,随着仪器分析的不断发展和有毒有害有机物的不断检出,新的水质标准所规定的有机物种类和含量必将越来越严格。从美国的饮用水水质标准来看,每一次水质标准的变化,都将要求水处理控制技术和水质分析技术全面革新。

6 水污染与净水技术研究

随着水体污染的普遍和严重,许多水源的原水水质日益恶化;随着人们生活水平的不断提高,对饮用水水质标准提出了更加严格的要求。因此,传统的常规净水工艺系统很难适应从污染的原水中除去有害人体健康的污染物,不能给人们提供安全、可靠的饮用水。迫切需要研究开发高效、经济及方便可行的除污染新工艺。为此,国内外净水技术工作者做了大量研究工作,并取得了丰硕的成果。这些研究和应用成果主要包括吹脱、生物预处理、物理和化学氧化、光化学处理、吸附法等^[16]。其中,生物预处理由于运转费用低、运行管理方便、去除效果好等一系列优点,引起了国内外的广泛重视和关注。

6.1 强化传统工艺

改变投药方式、投药条件和采用新型混凝剂等强化混凝效果,降低浊度是目前控制水厂除水中有机物最经济、最有效的手段。采用高效的斜板沉淀工艺是强化沉淀效果的有利措施,气浮工艺的开发与应用给系统沉淀工艺改造提供了一个新的思路。采用双层或多层过滤,以及新型滤料如硅藻土材料等也是降低滤池出水浊度的有效途径。强化加氯点的选择与加氯量的控制能改变 TTHMs 的生成,有效控制出厂水的 TTHMs,提高饮用水的安全性。

6.2 替换传统的消毒剂^[17~20]

传统的消毒剂为氯气、次氯酸钠和次氯酸钙。水源污染后,氯消毒具有与有机污染物生成具有有害作用的副产物。因此,必须开发和使用其他替代消毒方法,以满足人们对饮用水安全性要求。目前,研究较多的有 O_3 、 ClO_2 、 H_2O_2 -UV 以及 UV- TiO_2 等联合工艺。 O_3 作为消毒剂和控制水的色度或嗅味有着明显的优势, O_3 与后续活性炭工艺联用通常能取得比较满意的结果。但它是一种极不稳定的气体,易分解,在输水管网中起不到防止二次污染的作用,而且消毒成本比氯高,并且当水中有卤素如 Br^- 时,会形成溴酸根离子和卤代有机副产物,具有致癌性。 ClO_2 作为消毒剂具有较强的消毒效果,不与水中有机污染物反应生成副产物,而且消毒成本比 O_3 低,因而近年来颇受净水处理工作者欢迎。 H_2O_2 既可作为氧化剂,又可作为消毒剂,通常与其它消毒剂联合来用,具有协同作用。如 H_2O_2 -UV, H_2O_2 - O_3 是比较理想的消毒方式^[17,18],不但可以有效阻止消毒副产物生成,而且可以阻止微生物在水中再繁殖。

6.3 吸附工艺^[21]

活性炭原材料来源丰富,比表面积大,对色、嗅、味、农药和氯化物等其它有机物具有良好的去除作用,而被广泛重视。主要用于饮用水的深度处理,能够有效地去除水中的致突变物质,使 Ames 试验阳性的水变为阴性水,活性炭是控制合成有机物、三卤甲烷和卤化乙酸的有效方法。树脂吸附法是近年来发展起来的一种新技术,采用高分子合成的树脂空隙多,细孔分布窄,比表面积大,溶胀性好,过流条件优,再生方便等优点,对水中色、嗅、味以及各种微量污染物去除效率高,具有广阔的应用前景。

6.4 膜过滤^[23]

膜过滤技术用于给水处理消毒副产物前体物质的去除,是近年来的新发展。它可以有效地去除水中的嗅味、色度、消毒副产物前体及其它有机物和微生物。反渗透技术主要用于脱盐和苦咸水淡化,纳滤主要是用于水的软化;超滤用于截流分子量在 1 000 ~ 50 000 道尔顿的有机物,微滤常用于去除颗粒和细菌。膜过滤是控制消毒副产物最佳的处理工艺之一。随着膜科学与技术的不断开发和应用,膜分离技术作为给水除有机物和微生物的新工艺,将具有广阔的应用前景,将给我国水处理行业产生重大影响。目前主要用于纯水制备、海水淡化和特种行业供水等。

6.5 生物预处理技术

水中有机污染物又分为可生物降解性有机物和难生物降解性有机物。对于可生物降解有机物,可以利用微生物将其分解成稳定的无机物,从而达到削减消毒物副产物前体物的目的。

70 年代初,日本小岛贞男博士首先采用“管式接触氧化”装置,在日本的玉川水厂用于富营养化水源水预处理,使水厂出厂水水质得到明显改善。此后,饮用水生物处理技术在欧洲得到普遍应用。在日本、前苏联、美国也都进行了许多的生物处理受污染原水的应用研究。包括生物活性炭、生物塔滤、生物接触氧化、生物流化床、生物转盘等几种形式^[23,24]。我国自 80 年代初也开始了这方面的应用研究。研究表明,生物净水方法有着很好的去除原水中有有机物、氨氮等污染物的效果^[25,26]。

受污染原水生物处理,是借助于微生物的新陈代谢活动,将水中的有机污染物、氨氮、亚硝酸氮以及铁、锰等有效除去,并明显改善饮用水中的色、嗅、味。生物处理单元可作为预处理,能够有效地改善水的混凝沉淀性能,并显著减少混凝剂和液氯用量;对于富营养化湖泊水,可

以完全替代预氯化工艺,并且避免了预氯化引起的卤代有机物的生成,有利于降低水的致突变活性和控制三卤甲烷物质的生成。生物处理工艺设在沉淀工艺之后,可以降低后续处理的负荷,延长过滤或活性炭吸附等物化处理工艺的使用周期,最大可能地发挥水处理工艺的整体作用,降低水处理费用。

参考文献:

- [1] 李青山. 中国水资源保护问题及其对策措施[J]. 水资源保护, 1999, **56**(2): 28 ~ 30.
- [2] 丁南湖. 增强水的危机感, 提高节水自觉性[J]. 净水技术, 1999, **68**(2): 2 ~ 4.
- [3] 宁振东. 水污染 水资源 对策[J]. 环境科学进展, 1995, **3**(6): 24 ~ 27.
- [4] 王建华, 江 东译. 水: 21 世纪的石油? [J]. 世界科学, 1999, (5): 29.
- [5] 江 东, 王建华译. 城市用水: 21 世纪的挑战[J]. 世界科学, 1999, (5): 28.
- [6] 黄仲杰. 我国城市供水现状、问题与对策[J]. 给水排水, 1998, **24**(2): 18 ~ 20.
- [7] 肖羽堂, 许建华, 张 东, 等. 我国水资源与水工业的可持续发展[J]. 长江流域资源与环境, 1999, **8**(1): 50 ~ 52.
- [8] 万本太. 中国水资源的问题与对策[J]. 环境保护, 1999, (7): 30.
- [9] 陈昌杰. 全国生活饮用水水质与卫生疾病调查[J]. 中国公共卫生学报, 1990, (1).
- [10] 崔玉川, 傅 涛. 我国水污染及饮用水源中有机污染物的危害[J]. 城市环境与城市生态, 1998, **11**(3): 23.
- [11] 吴启洲. 饮用水中有机污染物的危害及对策[J]. 水处理技术, 1997, (4): 67.
- [12] 郑 平, 冯考善. 饮用水的生物脱氮[J]. 环境污染与防治, 1997, **19**(1): 32.
- [13] Bourbigot M M, Dodin A, Lneritier R. Limiting Bacterial Aftergrowth in Distribution Systems by Removing Biodegradable Organics[A]. In: Proc. AWWA[C]. Ann. Conf. , Miami, Fla, 1982.
- [14] Characklis W G. Bacterial Regrowth in Distribution Systems[A]. In: Proc. AWWA[C]. , Denver, Colo, 1988.
- [15] 朱惠刚. 水体有机化学污染物对人体影响评价[J]. 中国环境科学, 1987, **7**(4): 57.
- [16] 张绍园, 姜兆春, 王菊思. 饮用水消毒副产物控制技术研究现状与发展[J]. 水处理技术, 1998, **24**(1): 8 ~ 10.
- [17] 丁恒如. 给水处理中去除有机物的研究现状. 水处理技术, 1995, **21**(5): 282 ~ 284.
- [18] 李 田, 严煦世. 固定膜光催化氧化反应器深度净化自来水研究[J]. 中国给水排水, 1996, **12**(3): 7.
- [19] K V Ellis, et al. Iodine Disinfection of Poor Quality Water[J]. Water Research, 1993, **27**(3): 369 ~ 375.
- [20] Mohhamed S Siddiqui, et al. Factors Affecting DBP Formation during Pzone Bromide Reactions[J]. AWWA, 1993, (12): 63 ~ 72.
- [21] R Scott Summers, et al. Bench-Scale Evaluation of GAC for NOM Control[J]. AWWA, 1995, **88**: 69 ~ 80.
- [22] 陆在宏, 康兰英. 应用反渗透法-RO 组合净化器深度处理自来水有害物质效果研究[J]. 给水排水, 1995, **21**(3): 37 ~ 39.
- [23] Jiand Chang et al. Membrane Bioprocesses for the Denitrification of Drinking Water Supplies[J]. Journal of Membrane Science, 1993, **80**: 233 ~ 239.
- [24] 邓志光. 生物预处理在给水处理中的应用[J]. 中国给水排水, 1991, **7**(5): 41 ~ 43.
- [25] Hozalski R M, Goal S, Bouwer E J. TOC Removal in Biological Filters[J]. J. AWWA, 1995, **88**: 40 ~ 47.
- [26] 黄晓东, 于正丰, 王占生, 等. 受污染珠江水源水的生物预处理试验研究. 给水排水, 1998, **24**(7): 35 ~ 37.

POLLUTION OF WATER RESOURCE AND THE SAFETY OF DRINKING WATER

XIAO Yu-tang¹, ZHANG Jing-jing¹, WU Ming¹, LIU Hui², ZHANG Dong², XU Jianhua²

(1. Wastewater Treatment Engineering Group, Dalian Institute of Chemical Physics, The Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023, China; 2. School of Environmental Engineering of Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract : The water resource have been relatively poor in China, while the problem of water pollution has been serious. Some polluted water may have been used as the sources for drinking water. Organics and $\text{NH}_4^+ \text{N}$ are the main pollutants in water sources, but it is very difficult for the traditional water treatment system to effectively remove these pollutants. The drinking water quality may have decreased and been the latent menace to human health with the increase of the living standard and the health safety level in China. In order to remove pollutants harmful to human health from the polluted raw water in the water sources and improve the safety properties of the drinking water, it is widely emphasized all over the world to strengthen traditional water purification process, to replace traditional disinfectants, to improve adsorption process, and to introduce membrane filtration and biological pretreatment, etc, especially the economic and high efficient biological processes in removing pollutants from the drinking water.

Key words : water resource; water pollution; drinking water; health safety; water treatment