

中国饮用水的污染及其控制

王占生

(清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 我国水环境污染形势严峻, 主要污染指标为有机物和氨氮, 对人体健康存在着直接和潜在的危害。生活饮用水水质标准的修订应增加有机物综合性指标, 结合我国国情, 该指标以高锰酸盐指数(COD_{Mn})为宜。新标准的提出对于我国的给水工作者是机遇与挑战并存, 在技术上的对策包括预处理、深度处理、常规工艺的强化等, 最经济可行的是后者中的强化混凝和强化过滤。

关键词: 饮用水; 水质; 耗氧量; 强化混凝; 强化过滤

中图分类号: R 123.1; TU 991.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-8992(2001)01-0021-04

Pollution of Drinking Water and Its Control in China

WANG Zhan-sheng

(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Nowadays China has encountered serious water environmental pollution with organic matter and ammonia as its prior pollutants, which may lead to direct and potential injuries to human health. A comprehensive indicator for organic matter should be introduced into the amendment of the standard of the drinking water quality, and the index of permanganate(COD_{Mn}) is superior to others when the operability of the methods and the availability of the apparatus are considered. The presentation of the new standard will give both challenges and opportunities to Chinese scientists and engineers. The technical countermeasures should include the biological pretreatment, the physicochemical advanced treatment and the enhanced conventional treatment, to which the strongly recommended enhanced coagulation and enhanced filtration are subordinate.

Key words: drinking water; water quality; oxygen demand; enhanced coagulation; enhanced filtration

1 我国河流湖泊的污染状况

我国 1999 年环境状况公报在总结一年中取得的成绩后指出:“据环境监测结果统计, 全国环境形势仍然严峻, 各项污染排放总量很大, 污染程度仍处于相当高的水平, 一些地区的环境质量仍在恶化, 相当多的城市水、气、声、土壤环境污染仍较严重。”关于水环境状况列出:“中国主要河流有机污染普遍, 面源污染日益突出, 辽河、海河污染严重, 淮河水水质较差, 黄河水质不容乐观, 松花江水质尚可, 珠江、长

江水质总体良好。主要湖泊富营养化严重。……流经城市的河段普遍受到污染。”

公报指出:黄河、珠江、松花江、淮河、辽河主要污染指标为高锰酸盐指数、氨氮、生化需氧量等。城市河段普遍受到污染。各城市典型水域仍以氨氮和有机污染为主。大型淡水湖泊太湖、滇池、巢湖等主要污染指标为总磷、总氮、高锰酸盐指数。

从公报可以看出, 我国水环境污染以有机污染为主, 主要污染指标为高锰酸盐指数、氨氮等。

2 饮用水中有机物污染及对人体健康的影响

根据卫生部中国预防医学科学院环境卫生监测

收稿日期: 2000-12-21

作者简介: 王占生, (1933-), 男, 教授, 博士生导师, 全国给水深度处理委员会主任委员。

所于 1985~1988 年对全国 2 074 个县进行的调查(统计时以耗氧量,即高锰酸盐指数,作为有机物综合性指标,以 3 mg/L 作为卫生标准)耗氧量超标率为 13.3%;(其中自来水完全处理的超标 12.3%;部分处理的超标 6.65%;人力提水超标 16.7%)。根据 35 个大城市 1985—1994 年的资料,供水的耗氧量合格率为 77%,即有 23% 不合格。近年来水污染加重,耗氧量超标将有增无减。统计分析结果表明,消化道疾病(包括肝癌)与耗氧量明显成正相关。

饮用水中耗氧量高说明有机物量较多。在水净化过程中,加氯消毒后的消毒副产物增多使水的致突变活性增强,有机物增多,对人体健康产生长期的影响。有机物对人体的危害,往往是滞后的,一般发现得病,要在 20~30 年后。现在没发现的,不等于今后就不会发病。因此要重视研究有机物对人体健康的影响。

3 生活饮用水水质标准的修订与有机物综合性指标的选择

3.1 设立生活饮用水水源保护区

水污染防治法第 20 条中规定省级以上人民政府可以依法划定生活饮用水地表水源保护区。生活饮用水地表水源保护区分为一级保护区和其他等级保护区。在生活饮用水地表水源取水口附近可以划定一定的水域和陆域为一级保护区。在生活饮用水地表水源一级保护区外可以划定一定的水域和陆域作为其他等级保护区。各级保护区应当有明确的地理界线。

3.2 规定生活饮用水水源保护区的水质

2000 年 3 月 20 日国务院发布了“中华人民共和国水污染防治法实施细则”。细则第 21 条对防止地表水污染明确规定:生活饮用水地表水源一级保护区内的水质适用国家“地表水环境质量标准”Ⅱ类标准,二级保护区内的水质适用国家“地表水环境质量标准”Ⅲ类标准。

3.3 生活饮用水中有机污染指标的选择

由国家环境保护总局发布的 2000 年 1 月 1 日实施的修订后的“地表水环境质量标准”中Ⅱ类水域水质中有关有机物综合性指标标准值有:化学需氧量(COD_{Cr})15 mg/L;生化需氧量(BOD_5)3 mg/L 与高锰酸盐指数 4 mg/L。这三项指标中(COD_{Cr})值在小于 100 mg/L 时测定较困难,不易准确;对于(BOD_5),一般自来水部门不进行测定,而且数值小时也不易测准;惟有耗氧量(COD_{Mn})(即高锰酸指数)容易测定,可操作性强,且给水部门已经公认用

作水源水质的判别。

虽然耗氧量作为生活饮用水水质的一个检验项目,但它不是一种具体的物质,也没有对人体健康危害的具体数据,而发达国家可以测出水中有毒有害有机物的含量,因此他们不采用耗氧量作水质指标。有的国家用 TOC(总有机碳)作水质指标,但无具体数值,只规定 TOC 不得有大的变动。

作为有机物的综合性指标,普遍认为 TOC 是最好的指标,但 TOC 值需用 TOC 仪测定。TOC 仪价格昂贵,并非各大城市都有,制水部门就更少。将(COD_{Mn})作为暂时性的水质指标,因其测定所用设备简单,分析测定方便,不需复杂的技术,一般水厂分析人员就可测定,所以最为适宜。

4 生活饮用水中有机物综合性指标耗氧量的限值

按照国家水污染防治法规定:集中供水取水口处水域的水质应为地表水环境质量Ⅱ类,也即耗氧量为 4 mg/L。水源水的耗氧量为 4 mg/L,经过给水常规处理工艺(混凝沉淀—过滤—消毒),COD 可以有 20%~30% 去除率,因此生活饮用水的耗氧量定为 3 mg/L(报批稿)。考虑到有些城市水源受污染较严重而又无新的好水源,标准中留有余地,即“特殊情况下不超过 5 mg/L,”注明特殊情况包括水源限制等。

修订的生活饮用水水质标准中增加耗氧量作为水质指标是结合我国国情,全面提高市政供水水质、改善居民饮用水质量的一个重要措施,是这次水质标准修改的重要进展。在规定的常规检验项目中还增加了铝(0.2 mg/L)、粪大肠菌群(每 100 mL 水样中不得检出)。另一个重要修改是将浊度由 3 NTU 改成 1 NTU。标准中也留有余地,即特殊情况下不超过 5 NTU。还有将镉由 0.01 mg/L 改成 0.005 mg/L、铅由 0.05 mg/L 改为 0.01 mg/L、四氯化碳由 0.03 mg/L 改为 0.002 mg/L。在非常规检验项目中增加了有关农药、除草剂、微囊藻毒素-LR,消毒副产物(三卤甲烷、卤乙酸、亚氯酸盐、一氯胺)等和其它有毒有害有机物。在水源选择时还要对常规与非常规检验项目外 32 项有害物质进行测定。修改后的水质标准较之 1985 年颁布的老标准有很大提高,为与国际水质标准接轨迈出了一大步。

对于给水工作者,要全面达到生活饮用水水质标准,最主要的是控制浊度与耗氧量两个指标。浊度要达到 1 NTU 要比 3 NTU 困难得多。即使出厂水在 1 NTU 以下,进了管网后也有可能受管中腐

蚀、沉积的锈垢影响而超过1NTU。耗氧量按3 mg/L来控制出厂水、管网水,只要水源水质正常,是能达到的。但若水源水质达不到4 mg/L,要通过常规净化工艺去除30%~40%是困难的,可按特殊情况不超过5 mg/L对待。Ⅲ类水域水质耗氧量现已放宽到8 mg/L,若要通过常规工艺处理到5 mg/L,也较为困难,可以采取一些强化措施(如强化混凝、强化过滤)争取去除40%,这样也可达到5 mg/L。总之增加耗氧量指标、提高浊度标准,虽然将给水行业带来压力,但能满足居民需求,因为控制了耗氧量和水中有机物总量,感官性指标色、臭、味将有较大改善。

5 生活饮用水水质标准的修订与给水工作者的责任

对于给水界,由于提高了水质标准的要求,无疑增加了负担,加重了责任,但也应看到水质标准的提高给给水界同行提供了为改善水质而采用先进净水技术的大好机遇。

5.1 修订水质标准,逐步与国际接轨

对一些水网地区(江苏、浙江、珠江三角洲地区),水源受污染较严重,市政供水要达到耗氧量3 mg/L标准确有难度。水质标准的制定是要使居民饮用和生活用水的水质确保终身饮用安全。修订标准应该向前看并逐步与国际接轨。当然,水质标准的修订也应根据国情,分步推进,要考虑实施的可能性。目前矛盾较大的地区也是经济发展较快的地区。这些地区的居民为当地的经济的发展做出了贡献,地方政府应该而且也能够拿出一些资金来改善居民生活饮用水的水质。

水源受较重污染的水厂要达到新订的水质标准就必须突破现有的净化工艺。常规工艺,即传统工艺,已使用了100多年。现在的水源水质与当时的水源水质相比,相差太远。过去只需要控制感官性指标浊度与微生物指标、余氯等就可供饮用。而社会发展到今天,水中人工合成有机物日益增多,原有的净化工艺已不适应发展了的现状。迄今为止,我们仍采用常规工艺处理日益恶化了的水源水质,而自来水却又能达到国家生活饮用水水质标准,这不能不归于现有的国家水质标准的落后。1985年修订水质标准,15年来未作改变,而国民经济翻了两番,水源水质已经后退了一类或者两类。我国水环境的主要污染是有机污染,可现行标准中正好缺少有机物综合性指标。中国预防医学科学院徐凤丹教授进行的上海黄浦江原水毒理学Ames致突活性的

测定,结果显示,随黄浦江而下(由上游至下游)致突活性逐步增强并且与消化道癌症成正相关。

根据建设部测定浊度、余氯、细菌总数、总大肠菌群4项(主要是微生物指标)合格率超过98%时,可保证居民不发生水致传染病,但却回避了有机物污染问题。水中有机物多了必然引起色、臭、味感官性能方面的问题,口感变差。如果一再强调自来水水质是达标的,而居民却认为自来水水质不好,那么就应该修订陈旧的水质标准,提高水质,以适应居民的要求。

5.2 提高水质,调整水价

利用常规工艺是难以达到高要求的水质的,必须要增加深度处理,采用活性炭技术来吸附有机物。若采用活性炭技术,水价有所提高。经过估算,只需增加0.15元/m³元;如采用臭氧-活性炭技术,则需增加0.2元/m³。居民每月多花2~10元,饮用上好水,不仅乐于接受,而且也是可以承受的。

水价必须按市场经济原则,优质优价,放开水价。水价政策不落实,很难调动制水行业的积极性。

提高水质,就要调整水价。对一些与生活饮用水水质相同的企业如饮料、食品等行业,也愿意多花一些钱使用好水。水价调整到一些工业企业认为承受不了时,那么企业节水才有希望,才能认真的搞好节水,使水尽其用,避免浪费。不能以低廉的水价去适应工业对水的浪费,而应让工业企业通过节水来适应提高后的水价。

6 常规净水工艺的改造方法

净水厂的改造有以下几种方法:增加深度处理构筑物,如活性炭吸附技术;增加预处理构筑物,如生物预处理(接触氧化池或生物滤池);不增加常规工艺前、后的净化构筑物,在现有工艺上改造,如强化混凝、强化过滤、优化消毒;综合采用前面的几种技术。

活性炭吸附技术能够有效地去除水中的有机物,并且可使致突活性从阳性转为阴性,将是今后净水厂应首先考虑采用的深度处理技术。这是今后发展的方向。基建每1 m³/d的投资将在80~100元,运转费将增加0.15元/m³左右。从目前来看,有些地区还难以实现。生物预处理技术对氨氮、亚硝酸盐氮有很好的去除(80%~95%)作用,对铁、锰有相当好的效果;对有机物(15%~20%)及对色、味也有一定效果,还能减少药剂投加量。运转费便宜,需增加0.09元/m³,但基建面积较大,投资高,单位水量在100~120元左右。

经济可行的方法是在现有工艺基础上进行改造。采取强化混凝与强化过滤的办法,不用增加构筑物,因此改造单位水量(m^3/d)费用投资较少,只需20~25元,运转费用需要增加0.03~0.05元/ m^3 。氨氮及亚硝酸盐氮的去除效率约为80%,对有机物COD则为15%~20%。

6.1 强化混凝

强化混凝有以下几种方法:

(1) 多投加混凝剂使有机物的水化壳压缩,水解的阳离子与有机物阴离子发生电中和,以消除有机物对无机胶体的影响,从而使无机胶体脱稳。

(2) 投加絮凝剂,增加吸附、架桥作用,使有机物易被絮体粘附而下沉。

(3) 投加氧化剂,使有机物氧化。

(4) 调整混合与絮凝反应的时间,使药剂充分发挥作用,即从水力条件上加以改进。

(5) 调整pH。一般有机物多时,pH值为5~6时效果良好。

(6) 根据试验研究,投加絮凝剂与改善水力条件共同进行时能够取得良好的效果,而且经济可行。

6.2 强化过滤

滤池主要功能是发挥滤料与脱稳颗粒的接触凝聚作用而去除浊度、细菌。如果滤料洗涤不干净,滤料表面就会积泥,预加氯时抑制了滤料中生物的生长,因此滤料层没有或较少生物降解作用。如果不预加氯,滤料层中就会有生物作用,滤池出水中氨氮

量有所降低,而亚硝酸盐氮增加,就是具有亚硝酸盐菌的结果。

强化过滤就是让滤料既能去浊,又能降解有机物,降解氨氮、亚硝酸盐氮。这样,就需要在滤料中培养生物膜,既要有亚硝酸盐菌,又需有硝酸盐菌,以使氨氮、亚硝酸盐氮都得到有效去除。技术上的难点是:

(1) 选择滤料(有利于细菌生长);

(2) 控制反冲洗强度,既能冲去积泥,又能保持一定生物膜;

(3) 要保证出水浊度小于1.0 NTU;

(4) 要使滤池的微环境有利于生物膜成长;

(5) 其他技术问题,如冲洗水的强度、膨胀率等。

净水厂改造费用见表1。依据是1993年12月中国建筑工业出版社出版的《给水排水工程概预算与经济评价手册》中给水工程构筑物技术经济指标,选取气水反冲V型滤池作为生物陶粒池、双阀滤池作为活性炭滤池投资(直接费)计算,间接费以直接费的50%计,再乘以价差调整系数2进行投资估算。估算中生物陶粒滤速采用6 m/h,活性炭滤池采用10 m/h,臭氧发生装置以产1 kgO₃/h投资37.5万元计算,生产1 kgO₃,耗电35 kWh,每kWh以0.8元计,折旧以15年回收计算。运转管理人工费以每月1000元计。

表1 净水厂改造费用

序号	工艺	作用机理	功能	去除效果 %						增加费用	
				有机物 (COD Mn)	氨氮	亚硝酸盐	色嗅味	AOC	Ames 致突活性	基建 (元·m ⁻³ ·d ⁻¹)	运转 (元·m ⁻³ ·d ⁻¹)
1	常规工艺	混凝、接触凝聚	除浊、消毒	20	10~20	负增长	一定	少量	负增长		
2	活性炭吸附	物理吸附、部分生物降解	去除有机物	20~50	少量	少量	很有效	部分	很有效	80~100	0.12~0.15
3	臭氧-活性炭	化学氧化、物理吸附、生物降解	去除有机物	20~50	80~90	80~90	很有效	很有效	很有效	O ₃ 35~40	O ₃ 0.05
4	生物预处理	生物降解、吸附、絮凝	去除氨氮、亚硝酸盐氮、有机物	10~25	85~90	90	部分	有效	不明显	100~120	0.10
5	强化混凝	创造良好水力条件、吸附架桥	充分发挥混凝作用	增加8~10	基本无	基本无	少量	少量	不明显	5	0.02~0.03
6	强化过滤	生物降解、絮凝吸附	去除氨氮、亚硝酸盐氮、部分有机物	10~15	70~80	80~90	少量	部分	少量	15~20	0.01~0.02