

环保与安全

水污染问题与净水技术

陆 柱

(华东理工大学资源与环境学院, 上海 200237)

摘要:阐述了 21 世纪饮用水面临的水质污染问题,包括无机化合物污染、合成有机化合物污染、微生物污染和环境激素污染。在此基础上分析讨论了新世纪的净水技术,重点介绍臭氧-活性炭联用技术、微生物处理技术、POU(使用点)水处理技术以及膜分离技术等。建议加强对不同地区水质污染的调查,加强对环境激素污染等新污染问题的调研,加强净水技术的综合集成研究,重视膜分离技术在水处理中的应用研究等。

关键词:水污染;净水技术;环境激素;膜分离

中图分类号:X52;TQ085.41

文献标识码:A

Water pollution and water treatment technology

LU Zhu

(Resources and Environmental Engineering Institute, East China University of Science and Technology,
Shanghai 200237, China)

Abstract: It is described that the drinking water in the 21st century will be faced with the problem of water pollution, including the pollution of inorganic and organic compounds, microbes and endocrine disruptors. It is discussed that the water purification technologies in the new century, which mainly introduce ozone-activated carbon combined technology, microbial treatment, POU(point of users) water treatment, membrane separation technology and so on. Suggestions such as: to strengthen the investigation of pollution of water quality in various areas, to research new problems of pollution such as endocrine disruptor pollution, to strengthen the integrated study of water purification technology, are proposed. And to pay more attention to the application research of membrane separation technology for water treatment also are pointed out.

Key words: water pollution; water purification technology; endocrine disruptor; membrane separation

1 新世纪面临的水污染问题

在当今环境问题中,水环境污染的问题相当难避免,尤其是近期全球科技和工农业生产的发展还带来了一些无法预料的新污染物质如农药、增塑剂、洗涤剂。目前全球使用的化学品超过 60 000 种,其中 70 %可能对健康有害,如美国已有 700 种确认存在于饮用水中,可能引起癌症、不孕症、神经系统和免疫系统失调等。因此,我们必须进一步了解饮用水中各种污染物的来源和特性。

1.1 无机化合物污染

无机化合物污染(IOC_s)主要由微量的有毒有害金属与矿物质组成,无机化合物存在于水中主要是工业和农业活动造成的结果。要引起注意的有毒有

害金属及矿物质主要有铝、氟、砷、铅、石棉、汞、银、硝酸盐、镉、亚硝酸盐和铬等。

铅是饮用水中最危险的元素之一,即使是微量($< 50 \times 10^{-3} \text{ mg/L}$)也能伤害儿童的智力和神经系统,长时间铅中毒会损坏肾脏、红血球细胞及其再生功能。铅的主要来源是输送到家家户户的水管,如镀锌管以及水龙头等,这是自来水厂无法控制的。美国环保局(EPA)估计超过 4 000 万美国人饮用水中的铅超标,并正式宣布安全饮用水中不应含有铅。

氟是无机化学污染物中另一个有毒有害的元素,但有一些争议。英国科学家最近发现,氟与神经系统失调有密切关系。但有人主张在饮用水中加氟以降低儿童的蛀牙,故有的牙膏还专门制成加氟牙膏。反对加氟的学者和人士则认为加氟对健康的影

收稿日期:2001-07-10

作者简介:陆柱,男,1936 年生,教授,博士生导师,华东理工大学防腐蚀中心主任,长期从事水处理技术与防腐蚀技术研究。

响弊大于利,可能导致骨骼破坏、降低免疫能力、增加致癌危险。

1.2 合成有机化合物污染

合成有机化合物(SOC)包括挥发性有机化学品(VOCs)、非挥发性有机化学品(NVOCs)、消毒副产物(DBPs)和多环芳烃(PAHs)等。SOC 包括 6 万种以上人工合成有机化合物,大部分有毒,其中 VOCs 更为危险,因为与含有 VOCs 的水接触可以由人体皮肤吸收,故在淋浴时吸入对身体危害很大。

在美国,列入最高污染限制名单中的 SOC 主要致癌物有: 三卤代甲烷(THM),经水中余氯与有机物反应而成,要求其含量不超过 0.1 mg/L; 四氯化碳,存在于工业去油剂、冷媒、烘烤业和化学生产,要求其含量不超过 0.005 mg/L; 苯,存在于清洗剂和有机溶剂,要求其含量不超过 0.05 mg/L; 三氯乙烯,存在于溶剂、去油剂、杀虫剂等,要求其含量不超过 0.002 mg/L; 氯乙烯,用于制造塑料橡胶过程中,要求其含量不超过 0.002 mg/L; 二溴乙烯(EDB),用于汽油添加剂、杀虫剂等,要求其含量不超过 0.005 mg/L; 二溴氯丙烷(DBCP),用于农业,可引起不孕症及癌症等,要求其含量不超过 < 0.002 mg/L。

1.3 微生物污染

据世界卫生组织(WHO)资料显示,水生性疾病的威胁在第三世界发展中国家仍然存在,每天可断送 25 000 人的生命,这种微生物污染源包括多种有害的细菌、病毒、寄生虫,可造成伤寒、霍乱、肝炎、小儿麻痹症、痢疾、感冒等疾病。

虽然很多场合加氯及其他消毒剂可有效控制这类疾病的蔓延,但有些病毒及寄生虫有时却无法全部消灭,例如存活的病毒可导致感冒伤风等传染性疾病。此外一些原生型动物胞囊在美国等地引发过严重的肠胃道疾病。

还有许多水体由于人为活动影响,使氮、磷含量增加造成藻类大量繁殖,即发生了富营养化,有些藻类的代谢物会使水有霉味或鱼腥味,有些藻类如兰绿藻则更有可能产生藻毒素。

1.4 环境激素污染^[1~5]

当过去人们普遍对上述 3 类污染即无机化合物、合成有机化合物和微生物污染引起注意的时候,最近一个时期另一种新的污染——环境激素污染(endocrine disrupters,EDs)已悄悄向人们走来。

什么是环境激素呢? 环境激素又称环境荷尔蒙即内分泌干扰素,系指外因性干扰生物体内的化学

物质,即指外来或人造化学物质进入生物体内影响内分泌系统,造成类似荷尔蒙的作用,或破坏干扰原有内分泌系统平衡及功能,进而可能对生物的成长、发育、生殖等产生不良影响的物质,目前已初步发现 70 多种物质。其代表性物质及其作用如表 1 所示。

表 1 环境激素代表性物质及其作用

种类	化合物	来源	主要作用
天然物质			
雌激素	雌(甾)二醇	动物体内合成	
植物激素	7-羟基,4-氧异黄酮	牧草的五叶草	抑制激素分泌
人工合成物质			
有机氯化物	二噁英类	垃圾焚烧副产物等	阻碍甲状腺激素作用等
	多氯联苯(PCB)	电器产品	阻碍甲状腺激素作用等
	滴滴涕(DDT)	农药、杀虫剂	抑制雄性激素作用
有机锡化物	三丁基锡	防污剂	引起贝类雌雄同体
农药		除草剂、杀虫剂	阻碍激素代谢等
烷基酚乙烯化合物	壬基苯酚乙烯化合物	非离子表面活性剂	类似激素作用
烷基酚	壬基苯酚	塑胶原料、洗涤剂	类似激素作用
酚甲烷化合物	双酚 A	塑料聚碳酸酯成分	类似激素作用

环境荷尔蒙具有如下特点: 延迟性,生物在胚胎幼年时所造成影响可能到成年或晚年才显露出来; 时间性,不同生长阶段对生物个体会造成不同方式的影响与后果; 复杂性,不同剂量不同暴露方式对不同器官可能造成不同影响,其毒性有时有协同或拮抗作用。另外 EDs 去除较为困难,这是因为它在环境中不易分解,可通过食物链蓄积放大,通常具有脂溶性,进入生物体后不易排除。

EDs 可能造成的影响及其暴露的途径为:直接暴露,通过日常生活中接触的生活用品如清洗剂、塑胶制品、药品、化妆品中所含的 EDs;间接暴露,人造化学物质排放到水体或大气后,经过不同食物链生物积累,使生物体内所含的浓度常比在水中高出数百万倍,即生物放大现象。

由于环境中各种污染物质最后常常都排放到水中,水生物吸收了这些物质并积蓄在体内,经生物浓缩作用而影响整个生态系统,使水生生物繁殖异常,对人类生活和经济也产生很大影响。

根据资料报道,目前对人体产生和可能产生的影响主要是:影响人类生殖功能;免疫系统失调,癌症发病率上升,尤其是乳腺癌和前列腺癌;通过母乳将化学污染传给下一代,使儿童发生多动症、学习障碍等。

那么如何防范环境激素呢?

重视和加强宣传环境激素对人类子孙后代繁衍的影响,美国 EPA 从 1995 年开始对几万种化学品进行筛选评定,我们也要加强这方面的工作:建立和开发 EDs 的分析检测技术,调查 EDs 污染现状;加强 EDs 在生物体内作用机理的研究和对生物影响的评估;研究不同 EDs 的控制和处理方法如二噁英防范,要少建垃圾焚烧炉,而三丁基氧化锡(TBT)的防范,则要限制小型船舶(< 20 G)使用防海生物污染的涂料等。

2 新世纪净水技术的展望

2.1 臭氧活性炭联用处理技术

自 1970 年后加氯副产物如 THM 问题的突现,臭氧的使用逐渐受到重视,尤其是一些欧洲国家如法国、德国、荷兰等国使用臭氧作为消毒剂增加很快或用以脱色,去除水中的铁和锰,此外对去除水中藻类的效果也优于氯,因氯虽有杀死藻类的功能,但氯却无法完全氧化藻体被破坏释放出的有机物,故可能生成氯化有机物,而臭氧因有极强的氧化能力可将其完全氧化。

此外臭氧对脱臭和脱味也有很好效果,特别是藻类或放线菌以及代谢或死亡之后释放的不饱和化合物可立即被氧化。

但使用臭氧时也应注意其可能产生的副作用:如原水中含 Br^- ,则可被氧化生成毒性较大的溴酸盐,目前 WHO 饮水标准极限含量为 $25 \mu\text{g/L}$,美国 EPA 规定为 $10 \mu\text{g/L}$;臭氧发生场合的臭氧含量应控制在 0.1 mg/L 以下,并与暴露时间有关。

臭氧处理后常可与活性炭相结合,有时也可称生物活性炭,原水中如有某些臭氧无法降解的惰性有机物如某些农药,则可经活性炭作用加以去除,以保证水质的安全性,因此臭氧活性炭联用技术在欧洲和日本均有较多的应用。如德国大多数城市自来水厂均采用臭氧-活性炭联用技术,日本大阪地区以富营养化的琵琶湖为水源的自来水厂、东京都以江户川为水源的全町净水厂为了去除藻类所产生的异臭味均采用了臭氧活性炭技术以提高原有传统净水技术的效果。这一趋势仍将继续,当然活性炭技术

也有局限性,那就是要防止细菌的滋生。

2.2 微生物处理技术

当饮用水水源受到生活污水和农业污水如禽畜废水污染时,常含有高浓度的氨氮和溶解性有机物,氨氮会引起沉淀池、砂滤池表面藻类生长,而且因硝化作用导致滤床底部厌氧现象,致使铁再溶解发生“红水”问题。

过去水厂常以预加氯法来氧化氨氮,但自从 THM 问题呈现后,预加氯不仅增加氯与有机物接触机会,而且因预加氯可将有机物氧化成极性和溶解性较高的有机物而降低它在传统处理方法中的去除率,同时因整个流程中都会有余氯,故处理系统中生物作用被削弱,而且生物氧化原先是对溶解性有机物很有效的一种处理技术。因此目前国际上逐渐取得共识,那就是:加氯可保留作为消毒剂,但并非作为氧化剂,故应设法取消预加氯,以促进整个流程中各单元的生物活性。利用生物硝化方式以去除氨氮,如氨氮浓度过高时,可考虑在传统处理前另设一生物反应器专为硝化用。

这种生物处理方式取代预加氯来氧化氨氮还有一个优点,即可以增加清水水质的生物稳定性。

基于管网内余氯会与有机物质继续反应生成消毒副产物,而且余氯高对水的味道带来负面影响,因此欧洲一些国家并不以在管网内维持余氯的方式来保障输水过程中的水质安全,而是降低清水中微生物可利用的基质,例如荷兰要求可同化有机碳(assimilable organic carbon, AOC)的质量浓度 $< 10 \mu\text{g/L}$ 。

总之,因预加氯会将水中有有机物氧化成小分子因而会降低水质的生物稳定性,而生物处理则是降低水中生物可利用有机物质的有效方法之一。因而人们倾向于采用微生物处理的方法。

当然在生物处理过程中,微生物是否会释放出某些对人体有害的物质,也是研究人员和公众关心的问题之一,这有待进一步研究。

2.3 使用点水处理技术

在使用水的场所,直接处理所需饮用的水,应是最符合处理效率高且成本低的解决饮用水污染的一个方向。这种使用点的处理技术称为 POU(point of users)技术,以区别于原先的进入点(point of entrance, POE)处理技术。因为一般家庭中只有不到 10% 的水真正用于饮用和烹调,因此只处理这部分水有它的合理性。除非有严重的微生物污染或 VOCs 污染源,那么才需考虑处理全部用水即 POE

处理。

在选择 POU 处理时要注意：

(1) 首先找出水源的污染源。如铅、氟、石棉、铝、病毒或硝酸盐和农药等,尽可能取得供水单位的水质全面分析报告以发现已测出的污染源。一般说在人口密集区、农业区和工业中心附近的地面水,是污染较严重的水,尤其在环保政策和措施不够落实以及对各种污染源缺乏足够的高效处理技术时,往往形成对人们健康的威胁。

(2) 在了解面临的污染源后按需要寻找有效的去除方法和技术。可供选择的有活性炭吸附、膜分离技术、臭氧或紫外线等。有时还需要将几种结合起来,其中活性炭在 POU 处理中应用较为广泛,因为它同时可以改善水的口味。

2.4 膜分离技术^[6~9]

应用于饮用水处理的膜分离技术可分成电渗析(ED)、反渗透(RO)、纳滤(NF)、超滤(UF)和微滤(MF)等 5 类,见表 2 所示。

表 2 各种分离膜的特性

作用原理	分离直径/mm	病菌	分离与作用	
			有机物	无机物
ED 电荷作用	10 ⁻⁴	无效	无效	有效
RO 截流扩散	10 ⁻⁴	包囊、细菌、病毒	消毒副产物 合成有机化合物	有效
NF 截流扩散	10 ⁻³	包囊、细菌、病毒	消毒副产物 合成有机化合物	有效
UF 截流扩散	10 ⁻³	包囊、细菌、病毒	无效	无效
MF 截流扩散	10 ⁻³	包囊、细菌、病毒	无效	无效

由表 2 知,除 ED 以电位差为驱动力进行分离外,其余几类则以压力差为驱动力,其中 MF 及 UF 因孔径较大以去除水中一些悬浮固体及胶体物为主,NF 和 RO 因孔径小则以去除水中溶解物包括盐类、硬度、溶解性有机物为主,有的膜材料因对细菌、原虫孢子等均有截流能力,故同时具有消毒功能。

设计良好的 RO 具有下列优点： 净化效果好,可完全去除或大量减少水中的杂质如悬浮物、胶体物质、微生物、溶解无机物、金属离子、天然及合成有机物,出水水质相对稳定； 占地小,过程相对简单,操作容易,也便于自动化； 处理成本较低,目前国际上已有低于 0.03 美元/L 的处理成本,这在大多数情况下是可以接受的。而且随着高分子化学不断取得进展,膜材料本身还在不断改进,因而有可能成为未来水处理的主流之一,可以预计在 21 世纪会有更大的发展。

3 结束语

随着人们对生活质量要求日益提高,人们对饮用水水质的要求也日益提高,但随着水污染的加剧,良好的水源更难寻求,为此对水处理工作者提出了更大的挑战。由于不同地区、不同水源面临的水污染问题有所差异,而水质不同应采取不同的净水技术,因此加强对水质污染的调查研究极为重要,如有可能应制作我国不同地区的水质分布图,作为今后制订净水治污方案的参考。

建议加强对近几年国内外突现的新污染问题的调查研究。如环境激素污染的调查和评估,有条件的地方还应开展这方面的流行病学和毒理学研究,以及在这些工作基础上制订防范对策。

过去水处理工作者比较重视单一净水技术的研究和应用,而今后应加强净水技术的综合集成研究。即运用现有的各种相关水处理技术并加以优化组合,这就需加强与水处理有关的不同专业、不同学科之间的合作。例如与毒理学协作,以确认水中某些微量物质是否造成对健康的影响;又如与微生物学合作,建立新的微生物指数以监控水质等。

重视膜分离技术在水处理中应用的研究,开发分离性能更好、能源消耗更低、不易被污垢堵塞的膜分离材料以及高效价廉的膜分离组件和装置,以推动我国水处理事业的发展。

参考文献

1 香山不二雄.环境激素问题研究现状[J].世界环境,1999(2):34~35
2 李卫华,吴向东,顾祖维等.环境内分泌干扰物毒理研究的现状及展望[J].卫生毒理学杂志,2000,14(1):13~15
3 陆柱.水体中过量环境激素及其对人体健康的影响[A].上海市环境科学学会第九届年会论文集[C].上海,1999.190
4 Thomas M C,et al. Environmental Endocrine Disruption:An Effects Assessment and Analysis[J]. Environ Health Perspectives,1998(Supplement 1):106
5 Meiko Wakabayashi. A Thought to the Problem of EDs Chemical[J]. Journal of Japan Society of Water Environment,1999,22(8):618~623
6 郑领英.我国反渗透、超滤和微孔膜技术现状[J].水处理技术,1995,21(1):1
7 陆柱.膜技术在海水淡化与水处理应用的现状和前景[A].上海市化学化工学会膜技术及应用专业委员会年会论文集[C].上海,1998.1~6
8 Robert Skelton. Water Treatment Using Membrane Systems[J]. Water 21, 1999(11/12):27~28
9 Warren T Johnson. Membranes:The Future of Filtration Technology[A]. World of Water 2000[C].London:IWA,1999.142~146 ■