

我国饮用水水质安全面临的问题及其保障技术

刘春婷¹, 龙腾锐¹, 孙建华¹, 欧春华²

(1. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 2. 中机国际工程设计研究院, 湖南 长沙 410007)

摘要 针对我国饮用水处理技术的落后现状及难以满足新的生活饮用水标准, 提出建立相应的饮用水安全保障技术, 包括加强水源保护, 实施突发性水污染事故应急措施。针对水源水质, 重点探讨改进常规处理工艺给水处理新技术 增加安全预处理技术, 增加强化常规处理工艺, 采用安全消毒技术, 增加深度处理技术, 加强管网水质安全输配, 防止满足标准的出厂水在管网中的二次污染。
关键词 饮用水水质安全 水源污染 水质标准 安全保障
中图分类号 :TU991 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2010)S1-0125-04

优质、安全的饮用水不仅是人类生存的基本需求, 也是建设健康社会并促进其经济发展的基础。然而, 我国饮用水水质安全形势却日益严峻。一方面, 随着我国城市化和工业化进程的加快, 我国面临着水资源短缺和水环境污染的双重威胁, 水源水量不足、水质显著恶化, 突发性水污染事故频发, 严重影响饮用水安全; 另一方面, GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》的发布执行, 标志着我国饮用水水质标准已与发达国家水质标准接轨, 而我国的给水处理工艺还处于初级阶段。饮用水水质标准的提高向我国现有相对落后的给水处理技术提出了挑战。饮用水水质安全问题已经成为政府、社会、公众关注的焦点。

1 饮用水水质安全面临的主要问题

目前我国城乡饮用水安全形势不容乐观, 有 2/3 的建制城市存在缺水问题, 且水质型缺水程度不断加剧, 而农村约有 2.5 亿人饮水不安全, 饮用水中毒性物质超标, 水型地方病发病率呈上升趋势。

1.1 水源污染严重

我国在淡水资源短缺的基础上, 饮用水水源污染越来越严重, 水资源供需矛盾突出。地表水水源主要受流域工业废水、生活污水污染及农业面源污染, 有机污染物、氨氮、重金属离子、致病微生物及藻类等超标。2008 年, 我国七大水系 I ~ III 类、IV ~ V 类、劣 V 类水质的监测断面比例分别为 55%、24.2% 和 20.8% ; 28 个国家重点监控湖库中, 水质

为 II 类、III 类、IV 类、V 类、劣 V 类的湖库分别为 4 个、2 个、6 个、5 个、11 个^[1]。地表水水源中真正符合 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》一级水源保护区(II 类)的水源很少, 大多数属于 III 类或以下。地下水水源污染主要来自地表工业废水、城市垃圾填埋场和农业污染等, 地下水资源的不合理开采导致的地面沉降、咸潮入侵等问题也严重影响水质。目前全国有 2/3 城市地下水水质普遍下降, 300 多个城市由于地下水污染造成供水紧张^[2]。而广大农村地区地下水氟砷超标、铁锰超标、苦咸水及浅层地下水污染已经成为影响农民群众身体健康的安全隐患。2006 年中国地下水资源质量评价的结果表明^[3], IV、V 类地下水的面积占总评价面积的 59.49%, 其中 IV、V 类地下水的面积松花江平原区达到 54%, 辽河平原(浅层地下水)达到 85%, 海河平原区(浅层地下水)达 76%, 太湖流域达到 91%。地下水 IV 类水源经适当处理后可以作为饮用水源, 而 V 类则不宜饮用。由此, 我国地下水源污染已不容小觑。

1.2 突发性水质污染事故频发

近年来, 我国进入突发性水质污染事故的高发期。据统计, 近几年全国至少每两三天就发生一起水污染事故。2005 年全国共发生突发性水污染事故 693 起, 占全部环境污染事故总量的 49.2% ; 2007 年, 全国共发生突发水污染事件 178 起, 占全部环境污染事故 38.5%^[4]。城市生活污水和工业废水的违规排放是污染事件发生的主要原因。污染类型可

分为有毒有害化学物质污染、微生物污染、重金属污染、油类污染、藻类污染等^[5]。例如,2005年中石油吉林石化分公司双苯厂发生爆炸,约100吨苯、硝基苯和苯胺进入松花江,导致哈尔滨市停水3天,引起了中俄两国政府的关注。陕西榆林师范学校水源受福氏痢疾杆菌污染而引起全校230名师生细菌性痢疾。2006年湖南省株洲市含镉废水流入湘江,导致数千人中毒,湘潭市19家排镉企业全部停产。2006年四川泸州电厂17t石油泄漏长江,致使两个取水点中断,污染物流入重庆江津县境内,造成跨省污染的重大污染事件。2007年,“三湖”(太湖、巢湖、滇池)暴发大面积蓝藻,水域遭严重污染,导致数百万人饮水困难。2009年,江苏省盐城市水源地遭酚类化合物污染,导致两家自来水厂关闭,30万市民饮水受到影响。由上可知,突发性水污染事件污染种类多样,危害大,波及范围广且不可预测,发生时大多采用停水处理,严重影响了人们的生产生活。

1.3 水质标准升级,而给水处理工艺相对落后

GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》已于2007年7月1日开始实施,并规定全部指标最迟于2012年7月1日实施。与GB 5749—1985的35项水质指标相比,GB 5749—2006水质指标增加至106项,增加了71项,修订了8项^[6]。

其中:①微生物指标由2项增至6项,增加了大肠埃希氏菌、耐热大肠菌群、贾第鞭毛虫和隐孢子虫项,修订了总大肠菌群项。饮用水消毒剂由1项增至4项,增加了一氯胺、臭氧、二氧化氯项。②毒理指标中无机化合物由10项增至21项,增加了溴酸盐、亚氯酸盐、氯酸盐、氯化氰、锑、钡等重金属项。修订了砷、镉、铅、硝酸盐项。有机化合物由5项增至53项,增加了三卤甲烷等卤化物,氯苯等苯系物及农药项。修订了四氯化碳项。③感官性状和一般理化指标由15项增至20项,增加了 COD_{Mn} ($< 3 \text{ mg/L}$)、 $\text{NH}_3\text{-N}$ ($< 0.5 \text{ mg/L}$)、硫化物、钠、铝项;修订了浑浊度 ($< 1 \text{ NTU}$)项。④放射性指标中修订了总 α 放射性。

目前我国95%的供水厂处理工艺是按旧的水质标准(GB 5749—1985)和当时水源评估结果而设计的,大多数地表水供水厂采用混凝-沉淀-过滤-消毒的常规处理工艺,地下水供水厂则是将原水加氯消毒后出厂。这些处理可以有效去除水中浊度和杀毒灭菌,但是难以有效去除新标准中增加的 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、两虫等致病微生物以及高达53项的有机物毒理指标,更难以有效应对突发性水污染事件。即使按照旧标准的35项指标衡量,城市自来水厂的出水合格率仍为90%左右,而大多数村镇供水厂处理工艺仅为简单处理或未经消毒直接供给使用^[7]。因

此我国给水处理工艺正面临着升级的需求,但由于水厂占地、运行成本及技术水平等限制因素,绝大部分水厂依然要最大限度地利用已有处理工艺应对水环境污染的加剧以及水质标准的提高。因此,如何针对水源水质,改进常规处理工艺成为当务之急。

2 我国饮用水水质安全保障技术

2.1 防治水源污染,加强水源地保护

a. 以防止水源污染和涵养水源为首要目标。按照《饮用水水源保护区污染防治管理规定》等相关法律法规的要求,根据水源类型划定保护区和准保护区。在保护区内,加强排污口的管理,防止点源污染,严格控制化肥、农药的使用,垃圾堆放或填埋,防止面源污染,发展有机农业或种植水源保护林,减少水土流失,涵养水源。

b. 强化水源地污染源头控制^[8]。完善区域水源地的污水排放体系,严格执行水污染总量控制、排污许可证、环境影响评价制度等,加快产业结构调整、产业布局的优化,从源头上节水和降低水环境污染负荷,减轻水源供给的压力。

c. 建立健全水源地水质监测体系。现有水源的水质监测体系一般采取定时定点采样,检测一些常规指标,难以及时、全面、客观的反映水质安全状况,应增加水质监测项目,完善监测设备,提高监测技术水平,实现自动检测和在线监测。通过对地表水、地下水水质和河流、湖库中的水生物的监测分析来评价水源水质安全状况。

2.2 针对水源水质,改进常规处理工艺

2.2.1 增加安全预处理技术

针对新标准中增加或改进的有机物、氨氮和藻类等指标,可在常规工艺前增加安全预处理工艺,即增加适当的物理、化学和生物的处理方法,主要有活性炭吸附、化学预氧化和生物预处理技术^[9]。

a. 活性炭吸附。活性炭是一种具有较大吸附能力的多孔性物质,主要用于有效吸附去除水中的溶解性有机物,色、嗅、味和部分重金属离子,对三卤甲烷有一定的吸附能力。粉末状活性炭对于季节性严重污染或突发性水污染的水源,可以做应急处理系统。而颗粒状活性炭主要适用于原水水质季节性变化不大的情况。例如2005年的松花江水污染事件,就是利用粉末活性炭吸附硝基苯的优良性能,对下游污染水体进行紧急处理,结果表明其具有优良的净水效果。

b. 化学预氧化。化学预氧化是一种用于提高混凝工艺效率的方法,适用于藻类含量较高,且含有微量有机物污染的原水。为控制预氯化带来的氯消

毒副产物,二氧化氯、臭氧、高锰酸钾等氧化剂成为研究热点。例如 2007 年无锡突发水污染事件的应急处理就是在取水口处投加高锰酸钾,利用其氧化作用达到除藻和除臭的目的。高锰酸钾还可以作为助凝剂去除铁、锰含量高的源水,效果良好且不需增建大型水处理构筑物,经济有效,简便易行^[10]。

c. 生物预处理。生物预处理对氨氮的去除最为有效,还可以有效去除水中的有机污染物、臭味、亚硝酸盐及铁、锰等无机污染物等,对于减轻后续处理工艺负担有着重要的实际意义。生物预处理主要是利用生物膜上微生物的降解作用去除水中氨氮及有机物,包括生物流化床法、生物滤池、生物接触氧化法等。陆少鸣等^[11]将高速给水曝气生物滤池用于南方地区微污染水的预处理,出水 SS、NH₃-N、COD_{Mn} 浓度低,且工艺占地面积小,运行成本低,对于老水厂的改造有一定的工艺优势。

2.2.2 增加强化常规处理工艺

强化常规水处理工艺包括强化混凝、强化沉淀/气浮、强化过滤,是指通过一定措施,确定某一常规处理工序的最佳条件,发挥其最佳效果。因为强化工艺可以利用水厂原处理工序,故技术水平要求不高,制水成本低,是改善出厂水水质最经济适用的方法。它着重去除水中浊度、微生物(隐性孢子虫等)、消毒副产物前驱物(腐殖酸、富里酸、藻类、多环芳烃类等)以及水中某些微污染有机物,从而减少了滤后水和出厂水中有机物和氯消毒副产物的含量^[12],并且适用于低温低浊水的处理。

a. 强化混凝和强化沉淀/气浮。强化混凝主要通过改善絮凝剂性能,包括新型高效混凝剂及助凝剂研发、改进吸附和絮凝设备等,确定最佳絮凝工况等实现。强化沉淀的主要实现途径包括优化配水方式及出水均匀性、优化斜板间距、优化沉淀区流态、采用自动排泥及泥渣循环等。强化气浮主要通过优化各区流态,改进溶气释放器,改善回流比、刮渣方式与周期等来实现,对油类、藻类污染物去除效果好。接触絮凝、拦截沉淀等机理在技术上也得以广泛应用。近些年出现的澄清池工艺是利用接触絮凝沉淀的原理,在沉淀区拦截絮凝颗粒,可以降低絮凝剂用量,实现了同步降低浊度和有机物,出水水质良好。其中的高密度澄清池又结合了斜管沉淀和泥渣循环,对低温低浊水处理效果特别好^[13]。

b. 强化过滤。强化过滤有助于进一步降低浊度,并去除水中致病微生物,是保证饮用水安全的重要措施。主要实现途径包括采用新型滤池、滤料改性,改善滤料表面结构和性能使其带正电或电中性,如改性石英砂能够显著提高混凝沉淀后含藻水的过

滤效果,对藻类的去除率大于 65%^[14];确定最佳滤速采用新型过滤材料或混合滤料(如陶粒、沸石等)改进滤池反冲洗工艺;采用新型过滤方式,如微絮凝直接过滤、生物强化过滤等。

2.2.3 采用安全消毒技术

消毒是保障饮用水微生物安全最关键的屏障。新标准中目前消毒所面临的问题:①隐孢子虫和贾第鞭毛虫等致病微生物的灭活;②消毒副产物的危害。液氯是我国目前最常用的消毒剂,能够保持一定浓度的余氯,持续杀菌,且容易监控,价格低廉;但是它在灭活隐孢子虫和某些病毒方面效果有限,且能导致氯化消毒副产物的形成,对人体健康具有潜在危害。因此,新标准中增加了氯胺、臭氧、二氧化氯消毒剂,此外还有臭氧消毒、高锰酸钾消毒、光催化消毒、电化学消毒以及联用消毒新技术等,可降低三卤甲烷等消毒副产物量。氯胺的氧化能力比游离氯弱得多,但它产生的消毒副产物却少得多^[15],并能保证管网末梢游离氯量。二氧化氯消毒能力高于氯,能灭活原虫和藻类,消毒效果不受 pH 值影响,持续时间长,但是其能够产生亚氯酸盐等无机副产物,且制备成本高,不宜大规模保存和运输,目前多用于小水厂。此外,臭氧消毒和紫外消毒也具有较好的发展前景。臭氧是一种强氧化剂,可直接灭活细菌、肠道病毒等,但当原水中含有溴离子时,能够产生溴酸盐致癌物(新国标规定其限量为 0.01 mg/L),所以臭氧一般不单独使用。紫外消毒是一种物理消毒,对细菌和原生动物的消毒效果较好,不产生有害副产物,接触时间短,耗电少,设备简单,但其对病毒的消毒效果不够理想。臭氧和紫外消毒,均无持续消毒作用,只能现用现配,可与其他消毒技术联用,适用于瓶装矿泉水、纯净水及管道饮用水的消毒。

2.2.4 增加深度处理技术工艺

深度处理工艺通常是设在常规处理工艺之后,用以去除常规处理工艺不能有效去除的微量有机物、氨氮和消毒副产物前驱物及用于特殊水处理等。目前应用比较广泛的有活性炭吸附及其优化组合工艺、膜分离技术,并出现了一些具有发展潜力的新技术。

a. 臭氧-生物活性炭技术。活性炭吸附技术是目前完善常规处理工艺以去除水中有机物,改善水质最成熟有效的方法之一,并在此基础上发展了优化组合工艺臭氧-生物活性炭技术。臭氧预氧化能灭活致病微生物,使大分子有机物分解为小分子状态,难生物降解的有机物变成可生物降解有机物,提高了有机物进入活性炭微孔内部的可能性,充分发挥了活性炭表面的吸附能力,此外还提高了水中溶

解氧含量,使活性炭床保持好氧状态。而活性炭不仅能高效吸附水中污染物,包括臭氧无法去除的三卤甲烷及其前驱物,还能作为生物载体,通过微生物对水中可生物降解有机物及氨氮进行生物分解。臭氧-生物活性炭深度处理工艺经济有效,是水厂升级改造的适用工艺,可以有效地保证水质达标。该技术在日、欧、美得到了广泛的应用,我国目前在一些大城市也开始应用,如上海周家渡水厂和杭州的南星水厂,应用后都收到了良好的效果^[16]。

b. 膜分离技术。膜分离技术是利用半透膜的微孔筛分作用,依靠一定的压力来分离水中的杂质,适用于从无机物到有机物,从病毒、细菌到微粒甚至特殊溶液体系的广泛分离^[17](如浊度、无机离子、天然有机物、味和嗅以及饮用水消毒副产物、农药等),可充分确保水质,且处理效果不受原水水质、运行条件的影响,对于高氟、砷水及苦咸水处理效果良好。膜分离技术主要包括离子交换法、微滤、超滤、纳滤、反渗透和电渗析技术等。根据微孔的大小,相应的各种膜均有明确的适用范围。膜分离过程属于物理过程,不需要添加化学药剂,不产生其他副产品,且运行可靠,装置简单,占地面积小,易于实现自动化生产与控制。膜分离技术与其他工艺的组合(如膜生物反应器 MBR)能够实现对水中多种污染物的强化去除,也受到越来越多的关注与应用。但由于膜污染、产量低及成本高等因素,在我国膜分离技术主要被应用于在直饮水工程、纯净水处理系统及特种水处理等领域。

随着新型材料、新工艺的研发,出现了一些具有广泛应用前景的深度处理技术。高效吸附及集成技术用于处理高氟水、高砷水,并能去除病原性微生物、微量有毒有害物质。催化氧化技术,包括光催化氧化(TiO_2 -UV 联合工艺)、臭氧催化氧化(O_3 - H_2O_2 联合工艺),对于天然有机物具有良好的去除能力,并能降解藻毒素及农药残留物。其中臭氧催化氧化在氧化有机物、杀灭病菌的同时又能控制溴酸盐的生成,解决了臭氧组合工艺中存在消毒副产物问题。对于已经有臭氧装置的水厂,只需再向水中投加 H_2O_2 ,即可改建为深度氧化处理水厂,改建简单,具有很好的应用前景^[18]。

2.3 突发性水质污染事件应急措施

在突发性水污染事件发生后,不能草率地采取停水措施,应当在采取必要应急监测措施的基础上,根据监测结果,采取相应措施和方法。

a. 建立健全的突发性水污染事故的水质预警预报和应急监测系统。对水体环境发生异常状况要做到及早发现和预警,开展水质在线自动监测和移

动监测,引进新型监测仪器设备,增加检测参数,在尽可能短的时间内对污染物的种类、浓度、污染范围及可能造成的危害做出判断,为污染事件的处理提供依据。

b. 控制污染水源,采取一定措施降低污染的危害程度和范围。目前国内外常用的方法包括^[19]: ①引水稀释,一般用于解决局部污染问题;②人工增氧,在污染较重的江口、河段安装增氧设备,辅助河流的自净能力;③筑坝拦截,疏浚河道,避免污染物重返水中,控制水体污染;④在污染区域抛洒化学药剂,减轻和净化污染水域。另外,水质水量在短时间内达不到供水标准时,可采用备用水源,例如地下水源、引调水源等。

c. 强化给水厂处理工艺系统的应急处理能力。这是保障应急情况下不中断供水,保证供水水质的关键点。目前我国在应对突发性水污染事故时最常用、最经济有效的措施是投加药剂^[20],如投加粉末活性炭等吸附剂,预氧化用二氧化氯、臭氧、高锰酸钾等氧化剂,强化混凝沉淀过滤用酸、碱等 pH 调节剂、各种混凝剂及助凝剂等。药剂投加设施启动迅速,只需要针对应急供水的要求在投加品种、投加量、投加位置等方面作出适当的调整,有广泛的适用性。

3 结 语

面对日益严峻的水质安全形势应采取有效的保障措施,从根本上解决饮用水安全问题,包括饮用水源的防治与保护,给水处理工艺系统的升级,突发性水污染事件的应急体系等。另外,还应加强管网水质安全输配,防止满足标准的出厂水在管网中的二次污染,保证从源头、水厂、管网到百姓自来水龙头整个过程的安全,建立完善的饮用水安全保障体系。

参考文献:

- [1] 中国城镇水网.“十一五”以来全国水环境质量逐步改善[EB/OL]. [2009-09-08]. <http://www.chinacitywater.org/rldz/jishuzhuanli/hbsyw/72876.shtml>.
- [2] 康亮.我国地下水污染严重[EB/OL]. [2005-04-21]. <http://www.cgp.gov.cn/ReadNews.asp?NewsID=2923>.
- [3] 唐克旺,吴玉成,侯杰.中国地下水资源质量评价(II):地下水水质现状和污染分析[J].水资源保护,2006,22(3):1.
- [4] 网易搜索.中国水污染逼近危险临界点[EB/OL]. [2009-07-18]. http://news.163.com/09/0718/09/5EGDF3RG000125LI_3.html.
- [5] 韩晓刚,黄廷林.我国突发性水污染事件统计分析[J].水资源保护,2010,26(1):84-86.

(下转第 151 页)

退,防旱能力薄弱。河道水量的减少,导致人均水资源量、人均可用水量、干旱指数等指标的分值降低。

2.4 对策措施

小曹娥镇水资源与社会经济协调程度评价结果表明,小曹娥镇水资源对该镇社会经济发展支撑能力低于余姚市平均水资源支撑能力,水资源将直接影响到经济社会的持续发展。因此,要以科学发展观为主线,对该镇水资源进行科学管理、合理开发、优化配置,促进水资源的可持续利用,进而保障经济社会的可持续发展。具体措施:①需要进一步加大水环境治理力度。通过四路并进,源头控制,筑闸并圩,流域灌排综合整治,配套建设等措施,达到既能控制污染源头,又能节制并抬高河网水位、稀释污水,增加蓄水总量、缓解旱情,美化水环境等目标。②开源节流,合理利用水资源。通过制定合理水价形成机制,建立节水型社会,提高用水效率;通过外调引水工程建设,增强水资源保障能力。③根据区域优势,进一步优化产业升级,使之在促进社会经济快速发展的同时,保护水资源,改善水环境。通过这些措施,以期实现水资源与社会经济发展相协调,促进经济社会的可持续发展。

3 结 语

a. 随着小曹娥镇经济社会的快速发展,人们对生活质量的要求逐步提高。科学合理开发利用水资源,使之和社会经济协调发展,是今后该镇水资源科学管理的主要目标。本文根据小曹娥镇的实际情 况,从协调发展的角度出发,综合考虑水资源及其开发利用状况、环境状况、社会经济发展状况等多方面的因素,研究提出了评价的指标体系及定量计算方法,按协调、基本协调、不协调、严重不协调的划分思路,对水资源与社会经济协调性发展进行综合评价研究,丰富了水资源评价理论,填补了乡镇一级评价研究的空白,具有一定的推广价值。

b. 通过研究表明,小曹娥镇水资源与社会经济协调程度还不是很 高,主要表现为随着经济社会的快速发展,出现了诸如河道水体受污、河床抬高、河道断流等生态环境问题。本研究成果能为小曹娥镇今后更好地制订社会经济发展暨水资源可持续利用规划以及水资源管理等工作提供重要的科学依据,对实现水资源与经济发 展的协调和谐,保障社会可持续发展具有重要的现实意义。

c. 水资源系统是一个复杂的系统,本文对乡镇级水资源与社会经济协调程度进行研究,尚处在探索阶段,还存在不少问题,这需要在以后的研究工作

中逐步得到改进和完善。

参考文献:

[1] 赵翔,陈吉江,毛洪翔.水资源与社会经济生态环境协调发展评价研究[J].中国农村水利水电,2009(9) 58-62.
[2] 李瑜,庄令波,宋秀英,等.山东水资源与环境社会经济协调发展综合评价[J].水文,2003,23(2) 37-41.
[3] 宁维亮.山西省水资源与经济社会可持续协调发展研究[J].水利经济,2005,23(4) 1-3.
[4] 王春泽,崔振才,田文苓.区域水资源与社会经济协调程度评价研究[J].水文,2004,24(3) 25-29.
[5] 崔振才,田文苓.区域水资源与社会经济协调发展评价指标体系研究[J].河北工程技术高等专科学校学报,2002(1) 2-6.

(收稿日期 2010-01-08 编辑 方宇彤)

+++++
(上接第 128 页)

[6] 中华人民共和国卫生部,国家标准化管理委员会. GB 5749-2006,生活饮用水卫生标准[S].
[7] 任金法.我国城乡饮水现状及重大饮用水污染状况分析[J].环境与公共卫生,2009,23(6) 80-81.
[8] 张文锦,唐德善.我国饮用水源地的保护与管理研究[J].人民黄河,2009,31(8) 55-56.
[9] 杨宏伟,吕淼.饮用水安全保障技术[J].食品研究与开发,2010,31(1) 187-189.
[10] 王菊,潘孝楼.高锰酸钾在水处理中的应用[J].科技资讯,2009(30) 115-117.
[11] 陆少鸣,杨立.高速给水曝气生物滤池预处理微污染原水[J].中国给水排水,2009,25(18) 65-70.
[12] 刘伟民.强化常规水处理工艺处理微污染水的措施[J].黑龙江水利科技,2008,36(1) 132-133.
[13] 石瑾,孔令勇.高密度澄清池的基本原理及其在净水厂中的应用[J].净水技术,2007,26(6) 58-61.
[14] 马军,盛力,王立宁.改性石英砂滤料强化过滤处理含藻水[J].中国给水排水,2002,18(10) 9-11.
[15] 赵建莉,王龙.饮用水消毒副产物的危害及去除途径[J].水科学与工程技术,2008(1) 51-53.
[16] 王占生,刘文君.我国给水深度处理应用状况与发展趋势[J].中国给水排水,2005,21(9) 35-37.
[17] 鄂学礼.饮用水深度净化与水质处理器[M].北京:化学工业出版社,2004:14.
[18] 赵金辉,陈卫,林涛.臭氧高级氧化技术在饮用水安全保障中的作用[J].给水排水,2007,33(6) 117-121.
[19] 孟伟.如何应对突发性水污染事故[J].世界环境,2009(2) 30-31.
[20] 崔福义.城市给水厂应对突发性水源水质污染技术措施的思考应急技术[J].给水排水,2006,32(7) 7-9.

(收稿日期 2010-06-10 编辑 高渭文)