

李大鹏. 2009. 城市水社会循环中的水质安全保障 [J]. 环境科学学报, 29(1): 50- 53

Li D P. 2009. Water quality security ensuring during social cycle of urban water [J]. Acta Scientiae Circumstantiae 29(1): 50- 53

城市水社会循环中的水质安全保障

李大鹏

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部, 北京 100085

收稿日期: 2008-10-17 录用日期: 2008-11-11

摘要: 城市水循环及水质保障是水的社会循环中的重要组成部分, 也是影响城市生态系统和人体健康的关键要素之一. 城市水社会循环涉及到水的开发、传输、处理、使用、资源化、排放等多个过程, 涉及非均相环境体系中的多种微界面效应. 本文针对城市水社会循环中水质安全保障问题, 分析和探讨了饮用水水质安全保障、再生水风险控制和城市水体水质修复等科学和技术进展, 并对此进行了研究展望, 希望能够对本期的环境微界面专题有所补益.

关键词: 城市水; 社会循环; 水质; 安全保障

文章编号: 0253-2468(2009)01-50-04 中图分类号: X522 文献标识码: A

Water quality security ensuring during social cycle of urban water

Li D apeng

Department of Engineering & Material Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085

Received 17 October 2008

accepted 11 November 2008

Abstract Social cycle of urban water and quality ensuring is an important constituting part in water cycle, and is also a key factors influencing urban ecosystem and human healthy. It involves many processes such as development, transportation, treatment, usage, resource, discharge, etc. and a lot of micro-interface effects in heterogeneous systems. In this paper, development on sciences and technologies about security ensuring of drinking water, risks control of reclaimed water and rehabilitation of urban water were discussed. Research prospects were also expected finally.

Keywords urban water, social cycle, water quality, security ensuring

1 引言 (Introduction)

水是人类生存和社会经济发展不可缺少的基础性和战略性资源, 而水质则是保证这种不可替代资源安全和有效利用的核心要素. 作为探究水中物质、水的性态及其质量控制的一门科学, 水质科学与工程在水的社会循环中发挥着具有核心意义的作用. 在世界各国及相关国际组织所制订和建议的水质标准中, 都会将水质科学与技术的研究结果及水质对生态系统和人体健康的影响作为其重要依据, 并随着创新和认识水平的提升而不断地发展和完善. 同时, 这种最能反映科学认知与法律性约束有机结合的重要实践, 又毫无疑问地丰富了水质科学的内涵, 推动了水质工程科学的进步. 当然, 也使与水质科学相关的环境微界面问题研究和运用不断获得新的启示和挑战.

随着城市水资源的日益匮乏, 人们已经把研究

和工程方面的许多注意力放到城市污水的回用上, 以期获得最大的社会 and 经济效益. 然而, 在这一研究和实践中所不断发现的新问题, 如回用水中存在环境激素等对生态系统和人体健康具有影响的化学物质、存在可能导致接纳水体富营养化的生源要素等, 科学家、管理者和用户都不得不同时思考和研究水质的问题, 包括水质的生态环境效应、水质的转化机制、水质的净化方法和途径, 以及水质保障的工程与管理模式等重要问题. 同样, 这些水质科学与工程研究和应用的进步也离不开水质微界面及其过程所提供的原理和技术支持.

因此, 在社会发展的意义上, 水质问题是与水量相依存的, 是实现城市水良性社会循环的关键因素; 在经济的意义上, 它更是满足不同生产和生活需求的重要控制指标; 在生态系统和人体健康的意义上, 它是一种具有不可逆作用的决定性要素; 在科学研究的意义上, 它是涉及物理、化学、生物学、

作者简介: 李大鹏 (1965-), 男, 副教授 (工学博士); * 通讯作者 (责任作者)

Biography: Li D apeng (1965-), male, associate professor (Engineering Ph D.); * **Corresponding author**

材料科学、信息科学、表面科学、水力学等多学科交叉的重要领域,也是环境科学与技术研究的热点和难点,并逐渐形成了一些新的研究领域和方向,其中环境微界面理论与技术,正是涉及水质基础科学和工程技术的重要研究方向。

基于这种认识,本文将从饮用水、再生水和城市水体三个方面,对城市水社会循环中的水质保障问题作一简单的探讨,以期与本专栏所集中讨论的环境微界面问题有所补益。

2 饮用水水质安全保障 (Security ensuring of drinking water)

饮用水水质安全是当今世界普遍关注的主题之一。目前由于水源普遍受到污染,新的《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)的实施,以及城市供水厂处理工艺的落后,我国供水行业正面临着升级处理系统、改善和提高水质的需求。

目前,我国 93% 以上的城市供水厂是按照较早颁布的《生活饮用水卫生标准》(GB5749-85)进行设计的,通常采用混凝、沉淀、过滤和消毒等常规处理工艺,主要功能是可有效去除水中浊度和灭菌消毒等。实际生产运行表明,常规传统的给水处理工艺仅能去除那些与浊度成份结合或被其吸附的有机物,很难去除水中的溶解性有机物,特别是对微量有机污染物(全贵婵, 2000)、氯消毒副产物没有明显的去除效果(魏杰等, 2004)。国内连续突发的水源水质污染事故,使饮用水安全问题受到更多关注。

我国即将执行新的《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006),该标准已经逐步与欧美发达国家的饮用水水质标准接轨。与《生活饮用水卫生标准》(GB5749-85)相比较,水质指标由 35 项增加至 106 项,增加了 71 项,同时修订了 8 项。新的国家标准对于供水感官、微生物、消毒剂及其副产物、有毒有害物质等水质指标的规定更加严格。这给采用常规处理工艺的供水厂达到新标准中多达 53 项的有机物毒理指标造成了很大困难。目前,部分发达地区的城市根据当地水源水质变化情况采取了相应的强化措施,但能够进行供水深度处理的城市和水厂仍然很少。在此情况下,要求供水行业增加深度处理设施,由于占地、资金、运行成本及水厂自身技术水平等限制,在近期内也是不现实的。绝大部分水厂依然要利用原有的常规处理工艺应对水环境污染的加剧以及水质标准的提高,这对常规给水处理工艺系统提出了挑战。

因此,建立新型优质高效的饮用水处理系统是供水行业和科技工作者一直不懈追求的目标,研究方向主要集中在以下几个方面。

2.1 强化常规处理技术与工艺

新型高效的混凝剂是改善常规净水工艺出水水质的重要因素 (John *et al.*, 1990; 张灵燕等, 2008),与其相适应的高效絮凝反应器和自动投药控制系统构成了水厂高效絮凝技术集成系统(王毅力等, 2002);强化颗粒分离技术及其集成系统也不断完善和提高,如接触絮凝-拦截沉淀、改性滤料与新型过滤技术、微絮凝直接过滤、高效接触絮凝气浮分离等;为控制消毒副产物,饮用水安全消毒技术得以丰富和发展,除氯消毒外还有顺序氯胺消毒、二氧化氯及消毒技术、紫外消毒、臭氧消毒、光催化消毒、电化学消毒、新型材料杀菌消毒,以及联用消毒新技术等;预氧化技术在处理微污染原水、改善常规工艺出水水质方面发挥了重要作用。

在常规处理技术工艺的基础上开展新技术与集成创新研究,以较低的成本强化目前水厂普遍采用的处理工艺系统,保障出水水质,提高处理效率,是饮用水优质高效净化的重要研究方向。

2.2 新型深度处理技术及高效集成系统

随着饮用水水源污染问题的复杂化和饮用水标准的不断提高,针对水中有毒有害污染物去除的深度处理技术近年来发展迅速,臭氧-生物活性炭工艺、高级催化氧化、膜过滤、高效吸附等新材料、新技术和新工艺成为代表饮用水水质保障技术发展的水平和研究方向。从国内外饮用水水质标准的发展趋势看,感官性状指标、微生物学指标、有毒有害污染物指标等日益受到重视,新颁布的国家饮用水标准和不断提升的优质饮用水理念,在水中的微细杂质颗粒、有毒有害的污染物和水质改良等方面对安全饮用水水质提出了更高的水准和要求。活性炭吸附是饮用水深度处理的最常用技术,由此衍生的臭氧氧化+生物活性炭联用工艺可以弥补常规处理工艺出水有机污染物超标的缺憾(全贵婵, 2000);膜过滤是效果最好的固液分离技术,也是保障出水浊度实现优质直饮水的关键技术,随着膜材料和膜技术的不断发展,其在饮用水处理中的作用和地位正越来越受到普遍的关注 (Duke *et al.*, 2007);高效吸附是去除微量和低剂量有毒有害污染物保障水质安全的不可缺少的深度处理技术(龚兵丽等, 2008),水源污染的日趋复杂,如病原微生物

物、微污染有机物、持久性的 POPs 和 PTS、重金属、硝酸盐、氟, 以及水质改良等水质安全问题, 推动了新型高效吸附剂与吸附技术的发展. 因此, 膜分离、高效吸附及其与常规技术的高效集成系统将成为该领域具有应用前景的研究方向.

3 再生水水质风险控制 (Risks control of reclaimed water)

再生水是实现城市水良性循环的关键要素之一. 近几十年来, 国内外均将城市水的良性循环、安全再利用作为城市可持续发展和生态环境问题的重要途径, 有关城市污水深度处理技术的研究和应用也显示出其重要性. 目前的再生水利用已不再是家庭或楼宇简单的回用, 跨市区、城市甚至流域的再生水直接或间接回用才真正体现了水的良性社会循环, 较大空间和时间尺度的循环体系更有利于其保持稳定. 再生水的回用途径也越来越广泛, 已从原来的简单农业灌溉发展到工业生产、城市景观、生态用水、市政绿化、生活杂用、地下水回灌、补充地表水等 (皮运正等, 2000; 何星海等, 2004; 钱静, 2006; Farah *et al.*, 2008). 再生利用过程中, 安全保障是至关重要的, 涉及卫生安全、健康安全、生态安全、环境安全等诸多方面, 其中的关键是再生水的水质风险控制, 实现按用定质. 结合我国国情, 再生水回灌地下和回用城市水环境景观是极具挑战意义和实际意义的课题.

1972年以色列政府制定了“国家污水再利用工程”计划, 规定城市的污水至少应回收利用一次 (薛东辉, 2007). 目前, 以色列 100% 的生活污水和 72% 的城市污水得到了回用, 而污水处理后的出水 46% 直接用于灌溉, 其余 33.3% 和约 20% 分别灌于地下或排入河道. 美国洛杉矶市制定了 2010年和 2050年的城市污水回用计划, 届时污水回用量将分别占污水总量的 39% 和 69%, 相当于该市需水总量的 23.4% 和 41.2%.

我国到 2010年要求城市的污水处理率不低于 70%、缺水城市再生水利用率达到 20% 以上 (刘维城, 1999; 宋序彤, 2000); “十一五”期间新增城市污水日处理能力 4.5×10^7 t, 再生水日利用能力 6.8×10^6 t, 形成 COD 削减能力 3×10^6 t. 据报道, 2007年北京再生水使用已超过 4×10^8 m³, 广泛应用于工业生产、农业灌溉、城市绿化、河湖环境等方面, 根据北京市水务部门制定的目标, 2010年北京市再生水利用将达到 10^9 m³, 占每年总供水量的 25%.

对于这种水资源顺应时代的重大战略调整, 显然国内外的基础研究储备并不充分. 迄今为止, 对于一些与城市污水再生利用有关的基本理论与关键技术问题, 国内外尚不能给出清晰的描述. 如: 城市水良性循环的尺度、可控范围、生态风险、卫生安全评价等基本科学问题; 持久性有毒物质、水中低剂量、难降解有毒有害物质、生物体和纳米级颗粒物等在城市水良性循环过程中长期暴露过程、削减和阻断技术; 城市水循环过程中, 复合污染形成机制以及污染物在大气、水、土壤相间转移及交互污染的协同控制技术、对人体健康危害的识别和预警技术等. 我国再生水利用才刚刚起步, 还需要开展大量的工作. 丰富和发展再生水利用科学与技术, 因地制宜地建立可持续的再生水循环利用模式; 提高和细化再生水再生利用标准, 以满足不同用途的安全需求; 研发实用高效的污水三级处理和高级深度处理工艺系统, 以保障再生水的水质. 只有建立科学合理的再生水利用模式、严格适宜的水质标准和风险评估体系以及高效的再生水深度处理系统, 才能实现再生水水质风险控制、保障再生水安全可持续循环利用.

4 城市水体水质修复与控制 (Rehabilitation of urban water)

城市水体虽然仅占自然水体的一小部分, 但其受人类活动胁迫强烈, 对人的影响集中, 对社会经济发展起着十分重要的作用. 城市沟渠水体作为城市水系的重要组成部分发挥着景观、排涝和排污的功能. 随着城市化进程加剧和城市人口剧增, 长期以来沟渠水体已成为城市的排水沟和臭水塘, 严重影响着城市的市容市貌和环境卫生, 也造成了城市用水和排水的恶性循环. 近年来, 许多城市花大力气投入大量资金对沟渠水体进行改造, 如修整河道和堤岸、截污、清淤、引水等, 使整治后的沟渠水体环境景观有了较大改善. 但是, 由于沟渠水体水质复杂、水流缓慢、水温较高等水文水质特征容易使水质恶化, 经常会出现水体变暗、发臭、产生水华等现象. 可见, 对城市沟渠水体进行改造的同时, 加强水体修复与污染控制是必不可少的. 如将满足要求的再生水回用于城市沟渠水体, 通过水质控制与管理, 进而完善水体功能并通过水系实现水体更广泛的再利用, 在一定意义上可达到一定尺度的城市水社会循环. 因此, 针对我国城市沟渠水体的复合污染和水质恶化等热点难题, 开展水质改善与控制的方法及

原理的研究具有重要的科学意义和实际意义。

水体污染是影响城市用水水质与水环境生态功能的根本原因,而水体污染本质上又具有复合特征(曲久辉,2007)。因此,应从污染控制、水体修复和水质改善的目标出发,系统研究典型城市水体的变化规律,阐明复合污染物的来源、过程与机制;针对水体功能研究复合污染条件下的生态系统、生态效应、风险与安全评价方法;研究城市水体复合污染形成的自然与人为要素,揭示复合污染的控制途径;研究受污染水体修复的理论原则和技术基础,建立城市水体修复的关键技术和集成系统;研究城市水体复合污染过程及水质改善的多目标模拟,建立水质控制与管理的技术体系。



责任作者简介:李大鹏,工学博士,副教授。现任国家自然科学基金委员会工程与材料科学部环境工程项目主任,《环境科学学报》、《环境工程学报》、《供水技术》学术期刊编委,在国内外发表学术论文17篇,获授权发明专利2项,获

2004年国家科技进步二等奖1项,获“九五”国家重点科技攻关计划优秀科技成果奖1项。

参考文献 (References):

- Duke M C, Mee S, Diniz da Costa J C. 2007. Performance of porous inorganic membranes in non-osmotic desalination [J]. *Water Research*, 41: 3998-4004
- Farah Al Nasir, Mufeed I, Batarseh. 2008. Agricultural reuse of reclaimed water and uptake of organic compounds: pilot study at Mutah University wastewater treatment plant, Jordan [J]. *Chemosphere*, 72: 1203-1214
- 龚兵丽,邱宇平,程海燕,等. 2008. 碳质吸附剂吸附溶解性有机质的研究进展 [J]. *净水技术*, 27(1): 32-34
- Gong B J, Qiu Y P, Cheng H Y, et al. 2008. Research progress on the adsorption of dissolved organic matter by carbonaceous adsorbent [J]. *Water Purification Technology*, 27(1): 32-34 (in Chinese)
- 国家质量监督检验检疫总局. 2003. GB/T 18920-2002 城市污水再生利用 [S]. 北京: 中国标准出版社
- 何星海,马世豪. 2004. 再生水补充地下水水质指标及控制技术 [J]. *环境科学*, 25(5): 61-64
- He X H, Ma S H. 2004. Study on the guideline for groundwater recharge with reclaimed water [J]. *Environmental Science*, 25(5): 61-64 (in Chinese)

- John E Van Benschoten, James K Edzwald. 1990. Chemical aspects of coagulation using aluminum salts-II. Coagulation of fukic acid using alum and polyaluminum chloride [J]. *Water Research*, 24(12): 1527-1535
- 刘维城. 1999. 我国城市水污染控制技术经济政策 [J]. *给水排水*, 25(10): 1-4
- Liu W C. 1999. Techno-economical policy on urban water pollution control [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 25(10): 1-4 (in Chinese)
- 皮运正,吴天宝,叶裕才,等. 2000. 用于地下回灌的城市污水臭氧处理 [J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 40(6): 84-87
- Pi Y Z, Wu T B, Ye Y C, et al. 2000. Ozone treatment of municipal wastewater for groundwater recharge [J]. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 40(6): 84-87 (in Chinese)
- 钱静. 2006. 再生水景观利用研究 [J]. *中国资源综合利用*, 24(8): 20-22
- Qian J. 2006. A study of reuse of tertiary-treated effluent for scenic purposes [J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 24(8): 20-22 (in Chinese)
- 曲久辉. 2007. 饮用水质污染及健康影响 [J]. *科学中国人*, 6: 69-72
- 宋序彤. 2000. 中国城市供水排水发展特征及对策 [J]. *中国给水排水*, 16(1): 21-25
- 王毅力,李大鹏,郭瑾瑜,等. 2002. 高效凝聚-絮凝-DAF集成系统的初步研究 [J]. *环境科学*, 23(S1): 21-25
- Wang Y L, Li D P, Guo J L, et al. 2002. A preliminary study on the laboratory scale of the high effective coagulation/flocculation-DAF integrated system [J]. *Environmental Science*, 23(S1): 21-25 (in Chinese)
- 魏杰,胡洪营,宁大量,等. 2004. 污水氯化-脱氯消毒副产物的生物毒性 [J]. *中国给水排水*, 20(6): 5-8
- Wei J, Hu H Y, Ning D L, et al. 2004. Study on bio-toxicity of disinfection byproduct after chlorination/dechlorination in wastewater [J]. *China Water & Wastewater*, 20(6): 5-8 (in Chinese)
- 薛东辉. 2007. 以色列资源利用与环境保护一隅 [J]. *厦门科技*, 2: 9-12
- 张灵燕,吴波,张芮铭. 2008. 强化混凝于优化混凝在常规水处理中的运用 [J]. *环境科学导刊*, 27(1): 56-59
- Zhang L Y, Wu B, Zhang R M. 2008. Application of enhanced coagulation and optimized coagulation in conventional water treatment [J]. *Environmental Science Survey*, 27(1): 56-59 (in Chinese)
- 中华人民共和国卫生部. 2005. GB5749-2006 中华人民共和国生活饮用水卫生标准 [S]. 北京: 中国知识出版社
- 中华人民共和国卫生部. 1985. GB5749-85 中华人民共和国生活饮用水卫生标准 [S]. 北京: 中国知识出版社