

阳澄湖地区水体重金属锑的总量控制

闵志华

(重庆水利电力职业技术学院,重庆 402160)

摘要: 为确保阳澄湖饮用水源地锑浓度稳定达标,基于阳澄湖地区的水环境现状监测数据及污染源调查结果,计算了阳澄湖中锑的水环境容量,并提出了研究区域内锑的总量控制方案。结果表明:研究区域现状锑排放量约 12.38 kg/d,为达到集中式生活饮用水源地特定项目标准中锑的标准限值 0.005 mg/L,需削减 9.38 kg/d,削减率为 75.8%;纺织印染直排企业及接纳含锑废水的集中式污水处理厂尾水中锑的排放质量浓度限值为 20 $\mu\text{g/L}$ 。

关键词: 重金属;锑;水环境容量;总量控制;阳澄湖

中图分类号:X524

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2018)04-0035-03

Total amount control of heavy metal antimony in water in Yangcheng Lake area//MIN Zhihua (Chongqing Water Resources and Electric Engineering College, Chongqing 402160, China)

Abstract: To ensure a stable standard of antimony concentration in the drinking water source in Yangcheng Lake area, the water environmental capacity of antimony was calculated on the basis of the monitoring data of water environment status and the survey of pollution sources. The total quantity control scheme of antimony is also proposed. The results show that the emission rate of antimony in the study area is 12.38 kg/d, of which 9.38 kg/d should be reduced with a reduction rate of 75.8% to achieve the standard limit of 0.005 mg/L in the specific project standards for centralized drinking water sources. The limiting value of the emission concentration of antimony is 20 $\mu\text{g/L}$ in the waste water of textile, printing and dyeing enterprises and in the tail water of centralized sewage treatment plants.

Key words: heavy metal; antimony; water environmental capacity; total amount control; Yangcheng Lake

锑(Sb)是一种广泛分布于自然界的非生物体必需的两性稀有重金属元素,与砷同属第 V 主族,两者在化学性质上有一定的相似之处^[1-2]。在自然界中,锑主要以-3、0、+3、+5 这 4 种价态存在,其价态与其毒性大小密切相关,其毒性由大到小依次为 Sb、Sb³⁺、Sb⁵⁺、有机 Sb。天然水体中,锑以 Sb³⁺、Sb⁵⁺ 及有机 Sb(包括一甲基次锑酸和二甲基次锑酸)的形式存在^[2]。锑及其化合物有广泛的用途,主要用于生产陶瓷、玻璃、电池、油漆、烟火材料、阻燃剂、刹车片及纺丝聚合时的催化剂,还用于生产半导体、红外线检测仪、两极真空管及用做驱虫剂等^[2-5]。随着锑及其化合物在工业上的大量使用,导致了环境中锑的含量急剧增加,已成为一种全球性的新污染物^[6-7]。锑及其化合物因其毒性和致癌性已被美国环境保护署(USEPA)和欧盟(EU)列为优先控制的污染物^[1-3]。近年来,国内外学者对环境中的锑开展了研究,刘飞等^[8]揭示了不同形态锑在水-沉积物体

系中的迁移转化机理;张亚平等^[9]从水、土环境中锑污染的现状出发,对锑在环境中的存在形态与化学行为以及污染控制方法与技术手段的相关研究进行了综述;黄艳超等^[10]总结了目前各国水环境中锑污染现状和主要修复方法的研究进展。然而关于水体锑总量控制方面的研究尚不多见。2014 年 8 月至 2015 年 5 月,阳澄湖水源地锑浓度多次超标,严重威胁饮用水源安全。为此,本文对阳澄湖地区水体锑的总量控制进行研究,以期为阳澄湖地区锑污染防治提供科学依据和技术支持,也为类似地区锑的总量控制提供借鉴。

1 研究区概况

阳澄湖位于苏州市区的东北部,跨苏州市区、苏州工业园区及昆山市,是太湖流域重要的淡水湖泊之一^[11]。阳澄湖作为苏州“四角山水”的重要组成部分,是苏州重要的战略备用水源,其水质变化关系

表 1 含锑废水排放情况

地区	类型	数量	含锑废水排放量/ (t·d ⁻¹)
相城区	直排印染企业	2	470
	集中式污水处理厂	9	50905
常熟市	直排印染企业	27	36953
	集中式污水处理厂	22	78121

2015年4月21日和5月13日对研究区域内接纳纺织印染企业废水的主要集中式污水处理厂等污染源中锑的质量浓度进行检测,平均值为79.30 μg/L,具体结果见表2。经统计计算得锑的现状排放量为12.38 kg/d。

表 2 主要集中式污水处理厂尾水中锑的质量浓度

污染源	采样日期	质量浓度/ (μg·L ⁻¹)
阳澄湖镇澄阳污水处理有限公司	4月21日	22.4
	5月13日	18.1
渭塘综合污水处理厂	4月21日	28.5
	5月13日	118.5
渭塘镇渭西污水集中处理厂	4月21日	15.9
	5月13日	118.5
苏州市庄基污水处理有限公司	4月21日	73.5
	5月13日	172.0
苏州灵峰污水处理厂	4月21日	14.6
	5月13日	78.7
常熟市沪联印染有限公司	4月21日	33.1
	5月13日	200.0
常熟市芦荡针织染整有限公司	4月21日	9.2
	5月13日	92.3
凯发新泉水务(常熟)有限公司	4月21日	120.0
	5月13日	137.0
常熟南湖污水处理厂	5月13日	135.0

到湖区周边近百万居民的饮用水供给安全,它同时还承担着养殖、旅游、航运和维持生态平衡的作用。阳澄湖东西宽约11 km,南北长约17 km,总面积约119 km²,分为东湖、中湖、西湖3个湖区,其中东湖最大,3湖之间有河道相通^[12]。3湖平均水深分别为1.70 m、1.80 m和2.65 m,最大水深5 m,湖内常水位2.90 m左右,容积1.7亿m³。阳澄湖有出入湖河道63条,其中西面和北面以入湖为主,东面和南面以出湖为主。本次研究区域为:西至望虞河和西塘河,北至长江,东至盐铁塘和常熟市县界,南至娄江,以及两条引水通道七浦塘和杨林塘沿岸纵深1 km范围,涉及苏州市相城区、苏州工业园区、常熟市、昆山市和太仓市,面积约1700 km²。研究区域内相城区涉及渭塘镇、阳澄湖镇、黄埭镇、太平街道、元和街道、北桥街道、黄桥街道;常熟市涉及梅李镇、古里镇、沙家浜镇、支塘镇、董浜镇、碧溪新区,以及海虞镇、虞山镇、尚湖镇、辛庄镇的望虞河东侧区域。

2 污染源调查

2.1 含锑废水来源

通过对研究区域内工业废水的调查发现,阳澄湖湖体中的锑污染主要源于纺织印染企业排放的废水。纺织印染企业在化纤丝的聚合过程中以乙二醇锑或三氧化二锑作为催化剂,以化纤丝和化纤布为原料的印染、纺织、纤维纺丝工艺均有锑析出,纺织和纤维纺丝工艺一般析出的锑较少,进入城镇污水处理厂稀释后基本可达标;印染的前处理工艺(退浆和碱减量)需要高温高压,锑的析出量较大,一般在1000 μg/L以上,是废水中锑的主要来源。

基于现场调研和资料收集,相城区涉及纺织印染企业共94家,其中2家企业的印染废水直排入河道,92家企业的印染废水均接入相应的集中式污水处理厂,尾水主要排入界泾、渭泾塘、元和塘、冶长泾、十字港等河流,主要通过阳澄湖西线河流入湖。常熟市涉及纺织印染企业117家,其中接管企业共88家,直排企业29家,尾水主要接纳河流为常浒河、白茆塘、张家港等,含锑废水主要通过阳澄湖北线河流入湖。

2.2 污染负荷计算

基于对直排企业和污水处理厂含锑废水的统计结果,相城区含锑废水排放合计为51375 t/d,常熟市含锑废水排放合计为115074 t/d。直排企业和污水处理厂含锑废水排放情况见表1。

由于常熟市望虞河以西的10家企业废水(约10365 t/d)最终排入四新河和锡北运河,不进入阳澄湖,因此研究区域内含锑废水排放量约为156084 t/d。

3 水环境容量计算

3.1 计算方法

锑为难降解的重金属污染物,为考虑不利情况,保证环境容量计算结果的安全性,只考虑其稀释容量,不考虑其降解容量,计算方法^[13]为

$$W = (Q_0 + Q_1)\rho_s - Q_0\rho_0 \quad (1)$$

式中:W为锑的水环境容量;Q₀为来水稀释流量;Q₁为含锑废水排放流量;ρ_s为目标质量浓度;ρ₀为来水中锑的质量浓度本底值。

3.2 计算参数

a. 水体水质目标。阳澄湖作为战略备用水源地,其锑的含量应满足GB3838—2002《地表水环境质量标准》中集中式生活饮用水源地特定项目标准,锑的质量浓度标准限值为0.005 mg/L,即ρ_s = 0.005 mg/L = 5 μg/L。

b. 来水稀释流量。来水流量主要包括西线望虞河的补充水以及北线常浒河和白茆塘的引长江水及常熟第三水厂补充水。望虞河来水有3种情景:一是平水年平均流量42.8 m³/s;二是枯水年平均流量

17.3 m³/s;三是极端最枯流量 8.9 m³/s。2011—2014 年常浒河和白茆塘的平均引水量分别为 1.17 m³/s 和 1.61 m³/s。

c. 含锑废水排放量。研究区域内含锑废水排放量为 156 084 t/d,故 $Q_1 = 156\ 084\ \text{m}^3/\text{d}$ 。

d. 来水锑质量浓度本底值。在研究区域上游的望虞河龙墩桥和长江常熟第三水厂取水口进行采样检测,锑的质量浓度本底值分别为 3.26 μg/L 和 1.34 μg/L。

3.3 计算结果

按照望虞河来水的平水年平均流量、枯水年平均流量、极端最枯流量 3 种流量条件对研究区域的水环境容量进行计算,计算结果见表 3。

表 3 锑的水环境容量计算结果

流量条件	望虞河来水流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	锑的水环境容量/ (kg·d ⁻¹)
极端最枯流量	8.9	3.00
枯水年平均流量	17.3	4.26
平水年平均流量	42.8	8.09

计算结果表明:来水稀释流量越小,锑的水环境容量越小。在最不利条件即极端最枯流量 8.9 m³/s 的情况下,阳澄湖地区锑的水环境容量为 3.0 kg/d。为保证饮用水安全,并确保在各种情景下区域内锑排放量均不超出环境容量,研究区域内锑的水环境容量取 3.0 kg/d。

4 总量控制研究

4.1 锑排放质量浓度限值

根据锑的水环境容量计算结果,采用下式计算区域内各污染源锑排放浓度限值 $\rho_{\text{限}}$:

$$\rho_{\text{限}} = \frac{W}{Q_1} \quad (2)$$

根据式(2)可计算得研究区域内含锑废水中锑的允许排放质量浓度仅为 19.22 μg/L。由于考虑的最不利条件是理论情况下的,因此,建议各直排点源及集中式污水处理厂的出水锑质量浓度标准限值为 20 μg/L。

4.2 总量削减方案

根据最不利条件确定的锑的水环境容量为 3.00 kg/d,而现状锑的排放量约为 12.38 kg/d,因此锑排放量需削减 9.38 kg/d,削减率为 75.8%。

根据主要集中式污水处理厂排放的尾水中锑的质量浓度,计算其削减率,结果见表 4。对于其他直排纺织印染企业,若尾水锑浓度不能达到 20 μg/L 的限值,建议对其停产整改,直至满足尾水锑质量浓度在 20 μg/L 以下之后方可恢复生产。

表 4 集中污水处理厂尾水锑削减率

污水处理厂	现状锑质量浓度/ (μg·L ⁻¹)	削减率/%
阳澄湖镇澄阳污水处理有限厂	20.23	1.1
渭塘综合污水处理厂	28.50	29.8
渭塘镇渭西污水集中处理厂	67.20	70.2
苏州市庄基污水处理有限公司	122.75	83.7
苏州灵峰污水处理厂	46.65	57.1
常熟市沪联印染有限公司	116.55	82.8
常熟市芦苇针织染整有限公司	50.75	60.6
凯发新泉水务(常熟)有限公司	128.50	84.4
常熟南湖污水处理厂	135.00	85.2

5 结 语

本文调查了阳澄湖地区含锑废水污染源,计算了研究区域内锑的水环境容量,在此基础上建议纺织印染直排企业及接纳含锑废水的集中式污水处理厂尾水中锑的排放质量浓度限值为 20 μg/L,制订出阳澄湖周边主要纺织印染直排企业及接纳含锑废水的集中式污水处理厂尾水中锑削减方案,为阳澄湖地区水体锑的总量控制提供了理论依据,同时为类似湖泊的重金属总量控制提供了借鉴。本文锑的污染负荷计算结果精确度可进一步提高,对涉及锑企业的含锑废水均应统计水量和检测锑质量浓度;锑是持久性污染物,可加强底泥中锑的释放和沉积的机理研究。

参考文献:

- [1] 万智勇. 我国锑环境污染问题现状[J]. 资源节约与环保, 2014(8):150-150. (WAN Zhiyong. Current situation of antimony environmental pollution in China [J]. Resource Conservation and Environmental Protection, 2014(8):150-150. (in Chinese))
- [2] 刘飞,王馨,祝鹏飞. 淮北矿区塌陷湖水体中锑分布和环境评价分析[J]. 中国科学技术大学学报, 2012, 42(1):29-33. (LIU Fei, WANG Xi, ZHU Pengfei. Analysis of distribution and environmental assessment of antimony in collapse lake waters of Huaibei mining areas [J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2012, 42(1):29-33. (in Chinese))
- [3] 张道勇,潘响亮,穆桂金. 水、土壤中的锑(Sb)污染及其对植物和微生物的生态毒理效应研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(6): 891-894. (ZHANG Daoyong, PAN Xiangliang, MU Guijin. Antimony pollution in water and soil and its ecotoxicological effects on plants and microorganisms [J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2010, 16(6): 891-894. (in Chinese))

(下转第 56 页)

- [15] 王彦君,王随继,苏腾. 降水和人类活动对松花江径流量变化的贡献率[J]. 自然资源学报,2015,30(2):304-314. (WANG Yanjun, WANG Suiji, SU Teng. Contributions of precipitation and human activities to runoff change in the Songhua River Basin[J]. Journal of Natural Resources,2015,30(2):304-314. (in Chinese))
- [16] 李春晖,郑小康,杨志峰,等. 黄河天然径流量变化趋势及其影响分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2009,45(1):80-85. (LI Chunhui, ZHENG Xiaokang, YANG Zhifeng, et al. Trends of annual natural runoff in the Yellow River Basin [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2009, 45 (1): 80-85. (in Chinese))
- [17] RAN L, WANG S, FAN X. Channel change at Toudaoguai Station and its responses to the operation of upstream reservoirs in the upper Yellow River [J]. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(2): 231-247.
- [18] 刘惠英,程冬兵,张平仓,等. 三峡库区龙河流域降雨和人类活动对水沙关系变化贡献率分析[J]. 长江科学院院报,2015,32(3):20-26. (LIU Huiying, CHENG Dongbing, ZHANG Pingcang, et al. Contributions of precipitation and human activities to the runoff and sediment variation in Longhe River Watershed of Three Gorges Reservoir Area [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2015, 32 (3): 20-26. (in Chinese))
- [19] 李洋洋,白洁芳,周维博,等. 50年来灞河流域水沙变化特征分析[J]. 泥沙研究,2017,42(3):20-25. (LI Yangyang, BAI Jiefang, ZHOU Weibo, et al. Characteristics of flow and sediment of Bahe Basin in recent 50 years [J]. Journal of Sediment Research, 2017, 42(3): 20-25. (in Chinese))

(收稿日期:2017-07-14 编辑:郑孝宇)

(上接第37页)

- [4] 朱静,郭建阳,王立英,等. 铋的环境地球化学研究进展概述[J]. 地球与环境,2010,38(1):109-116. (ZHU Jing, GUO Jianyang, WANG Liying, et al. Advances in environmental geochemistry of antimony [J]. Earth and Environment, 2010, 38(1): 109-116. (in Chinese))
- [5] 黄懿,胡军,李倦生,等. 铋工业中铋污染物排放调查及防治对策探讨[J]. 环境科学与技术,2010,33(6E):252-255. (HUANG Yi, HU Jun, LI Juansheng, et al. Emission status survey and control measure discussion on antimony pollutant of antimony industrial [J]. Environmental Science & Technology, 2010, 33(6E): 252-255. (in Chinese))
- [6] SMICHOWSKI P. Antimony in the environment as a global pollutant; a review on analytical methodologies for its determination in atmospheric aerosols [J]. Talanta, 2008, 75: 2-14.
- [7] MAHER W A. Antimony in the environment: the new global puzzle [J]. Environ Chem, 2009(6): 93-94.
- [8] 刘飞,邓道贵,祝鹏飞,等. 水环境中不同形态铋的迁移转化及影响因素研究进展[J]. 安全与环境学报,2014,14(2):219-224. (LIU Fei, DENG Daogui, ZHU Pengfei, et al. Advances in studies on migration and transformation of different forms of antimony in water environment and its influencing factors [J]. Journal of Safety and Environment, 2014, 14(2): 219-224. (in Chinese))
- [9] 张亚平,张婷,陈锦芳,等. 水、土环境中铋污染与控制研究进展[J]. 生态环境学报,2011,20(8/9):1373-1378. (ZHANG Yaping, ZHANG Ting, CHEN Jinfang, et al. Advances in antimony pollution and control in water and soil environment [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2011, 20(8/9): 1373-1378. (in Chinese))
- [10] 黄艳超,武雪芳,周羽化,等. 水环境中铋污染及其修复技术研究进展[J]. 南京师范大学学报(自然科学版),2015,38(4):122-128. (HUANG Yanchao, WU Xuefang, ZHOU Yuhua, et al. Research progress of antimony contamination in water environment and remediation techniques [J]. Journal of Nanjing Normal University (Engineering and Technology Edition), 2015, 38 (4): 122-128. (in Chinese))
- [11] 魏代春,苏婧,陈学民,等. 阳澄湖和滬湖微囊藻毒素分布及其与富营养化因子的关系[J]. 环境工程学报,2014,8(6):2322-2327. (WEI Daichun, SU Jing, CHEN Xuemin, et al. Distribution of microcystins and its relationship with eutrophication factors in Yangcheng Lake and Gehu Lake [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2014, 8(6): 2322-2327. (in Chinese))
- [12] 金建平,于鑫,包云轩,等. 阳澄湖东湖蓝藻密度与前期环境因子的关系[J]. 中国农业气象,2013,34(3):324-331. (JIN Jianping, YU Xin, BAO Yunxuan, et al. Study on the relationship between the cyanobacteria density and the previous environmental factors in the east part of the Yangcheng Lake [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2013, 34(3): 324-331. (in Chinese))
- [13] 于雷,吴舜泽,范丽丽,等. 河流环境容量一维计算方法[J]. 水资源保护,2008,24(1):39-41. (YU Lei, WU Shunze, FAN Lili, et al. One-dimensional calculation method for river water environmental capacity [J]. Water Resources Protection, 2008, 24(1): 39-41. (in Chinese))

(收稿日期:2017-07-09 编辑:郑孝宇)