

# 三峡库区重庆段汞污染现状分析\*

杨振宁

(重庆蓬威石化有限责任公司,重庆 408121)

**摘要** 通过分析三峡库区上游重庆段的汞污染现状及特点,表明三峡库区水域特别是重庆主城区水域中汞的污染已经较为严重,三峡水域水质基本为Ⅲ类水状态,部分江段处于Ⅳ类水,个别断面的超标因子就是汞含量。探讨了造成库区重庆段汞污染的主要原因,其污染主要来源有面源、城区点源、汞矿开采和固体废物等。面源主要是水土流失、库区燃煤;点源主要是主城区、长寿以及涪陵等沿江两岸工业、生活废水排污口;汞矿主要是乌江以及武陵地区,固体废弃物主要是沿江堆积的工业废物和生活垃圾。提出了防治汞污染的一系列技术、法规、政策措施,从源头控制汞污染,采取有效的汞污染治理方法,建立水库水质监管体系,健全机制及制定相关法规,为三峡水库的水质安全与保护提供参考。

**关键词** 汞;水污染;三峡库区;重庆

**中图分类号** X502;X522

**文献标识码** A

**文章编号** 1672-6693(2008)03-0013-04

长江重庆段处于三峡库尾回水影响区(如图1),三峡大坝蓄水之后,两江重庆段水文情势随之发生较大改变<sup>[1,2]</sup>。建坝前河水流速快,污染物得到稀释和冲刷,污染程度小;建坝后阻断河水流动、更新,河流污染物扩散能力明显下降,引起局部水域污染加重,泥沙沉积,岸边污染带加宽,近岸水域局部水环境容量减少。同时重庆直辖后工业发展迅速,人类活动加剧,也增大了污染程度。

汞是生物生长非必需元素,其毒性很强,又易于生物积累,进入环境造成很大危害。含汞废水排入水体,不但随水流而进行扩散,引起空间位置的变化,而且其存在形式也在变化。综合考虑三峡库区汞的污染和污染现状,分析三峡水域目前汞污染的原因,对三峡库区采取措施预防和治理汞污染具有重要意义。



图1 三峡库区重庆主城区水域图

## 1 三峡库区重庆段汞污染现状

汞在水相中主要以  $Hg^{2+}$ 、 $CH_3Hg^+$ 、 $CH_3Hg(OH)$ 、 $CH_3HgCl$ 、 $C_6H_5Hg^+$  为主要形态<sup>[3]</sup>。通常排放的汞化合物主要是  $Hg^0$ 、 $Hg^{2+}$  及烷基汞,他们进入水体之后,可立即与水中的各种物质发生相互作用,这些物质包括溶解在水中的各种离子、分子和络合物配位体,悬浮在水中的颗粒、水底沉积物以及水生生物。大部分汞被悬浮物吸附或沉积于底泥中。各种形态的汞在水体中都可能氧化为  $Hg^{2+}$ ,在微生物的作用下, $Hg^{2+}$  又被甲基化生成甲基汞<sup>[4]</sup>。甲基汞易溶于水,可被藻类、鱼类及其它生物富集。不同形态的汞其毒性也不同,其中以甲基汞毒性最大,排入水体中的汞要尽量避免其转化为甲基汞。

三峡库区水域,特别是重庆段水域中汞的污染已经较为严重。据长江三峡工程生态与环境监测公报<sup>[5]</sup>以及重庆市环境科学研究院历年监测数据<sup>[6]</sup>,三峡水域水质基本为Ⅲ类水状态,重庆江段污染比较严重,部分江段处于Ⅳ类水,个别断面超标因子就是汞含量;长江水干流中溶解态的汞平均含量为  $0.018 \sim 0.100 \mu g/L$ ,悬移质中汞含量高达  $0.21 \sim 0.78 mg/kg$ ,三峡水域重庆主城区段江岸边土壤汞污染严重( $0.08 \sim 0.20 mg/kg$ )是土壤汞背景值( $0.05 mg/kg$ )的  $1.6 \sim 40$  倍。

\* 收稿日期 2008-04-20

作者简介 杨振宁(1982-),男,工程师,硕士,研究方向为环境化学。

### 1.1 江水及悬浮物中汞的分布

三峡水域中总汞的背景浓度低于世界河流的平均值(0.07  $\mu\text{g/L}$ ),丰水期平均浓度为0.058  $\mu\text{g/L}$ ,在枯水期为0.019  $\mu\text{g/L}$ ,可溶态汞约占总汞的10%~20%,江水中总汞含量丰水期江水的汞浓度大于枯水期江水的浓度。可溶态汞枯水期大于丰水期,这在一定程度上说明,丰水期汞的污染主要来自长江干流的上游和嘉陵江的影响,在枯水期内不能忽视工业废水排入造成的污染影响,由于这时江水的稀释作用减小,城市点源污染的影响相对加强,对此应该引起足够重视。

三峡库区悬浮物中汞含量丰水期浓度较低,为0.21 mg/kg,枯水期浓度较高,达0.78 mg/kg,二者比值为3.7倍。在丰水期各江段悬移质的汞含量差异较小,这与泥沙输送的高峰出现在丰水期,且主要来自金沙江和嘉陵江有关<sup>[7]</sup>。但在枯水期,各江段悬移质的汞含量的沿程变化比较明显,重庆至涪陵江段汞含量普遍较高,这与重庆和长寿地区的城市点源污染以及乌江下游高汞背景区的影响密切相关。

### 1.2 沉积物中汞的分布

决定三峡库区江水中汞含量的变化的主要因素是悬移泥沙的含量<sup>[8]</sup>。重庆市地处长江上游,据卫星遥感调查,三峡库区的水土流失面积达到30 583  $\text{km}^2$ (占幅员面积的66.26%),其中,强度侵蚀占流失面积的20.96%,中度侵蚀占51.54%。库区年均土壤侵蚀总量为1.371亿t,直接进入江河的泥沙约1亿t,是库区沉积物的主要来源,给三峡库区带来巨大的压力。

不同粒径沉积物的汞含量也不同,其分布大体与重金属含量随粒径的减小而增大的趋势一致。三峡库区沉积物中汞含量分布见表1。库区内沉积物汞含量平均为0.125 mg/kg,高于洞庭湖、松花江及长江水系的沉积物汞背景含量<sup>[8]</sup>。城市点源汞污染也可导致局部江段沉积物汞含量的增加,如嘉陵江主城区磁器口江段的沉积物汞含量高于其他江段。受流域小金矿开采的污染影响,高岚河(香溪河的支流)的沉积物的汞含量(0.26 mg/kg)也明显比香溪河沉积物(0.042~0.078 mg/kg)高。

### 1.3 水生植物及鱼类中汞含量分布

三峡水域生长的水生植物(香根草、蓼草)以及各种鱼类均含有较高浓度的汞,比江水中汞浓度(0.019~0.058  $\mu\text{g/L}$ )高数个数量级以上,表明水

生生物对汞的富集作用相当强<sup>[9]</sup>。

表1 三峡水域不同粒径沉积物中总汞的含量 mg/kg

江段	I	II	III	IV	V	VI	VII
长江	0.038	0.046	0.065	0.105	0.181	0.127	0.223
嘉陵江	0.090	0.042	0.063	0.130	0.066	0.072	0.154

注:I  $\geq 0.3$  mg, II 0.3~0.25 mg, III 0.25~0.18 mg, IV 0.18~0.15 mg, V 0.15~0.125 mg, VI 0.125~0.05 mg, VII  $\leq 0.05$  mg。

在各种汞化合物中,甲基汞毒性最大,而鱼体对甲基汞的富集倍数比其他汞化合物要高得多。鱼体中汞含量与食物链长短明显相关,食物链越长,汞含量越高。鱼体肌肉中总汞、无机汞和甲基汞的含量均遵从这一规律。鱼体肌肉中有机汞和总汞绝大部分均以甲基汞形态存在,甲基汞含量分别占有机汞和总汞的72.7%~86.6%和61.5%~76.3%<sup>[10]</sup>。鱼体对总汞和甲基汞的富集能力均随食物链的增长而增加,并且甲基汞的富集能力比总汞高一个数量级以上。比较鱼体各组织器官中总汞的含量,可以看出肌肉中总汞、甲基汞和有机汞的含量一般总是最高,在肝、肾、脾中含量要低一些,其程度依鱼种而异。有机汞是亲脂性化合物,白鳍豚的脂肪中总汞含量分别是肌肉的5.2倍和4.9倍。根据徐小清<sup>[8]</sup>三峡水库蓄水后,鱼体汞积累的强度比蓄水前最少增加0.35倍,最高增加1.16倍。

## 2 库区汞污染源分析

三峡库区重庆段汞污染的主要来源有面源、城区点源、汞矿开采和固体废物等。面源主要是水土流失、库区燃煤;点源主要是主城区、长寿以及涪陵等沿江两岸工业、生活排污口,汞矿主要是乌江以及武陵地区,固体废弃物主要是沿江堆积的工业废物和生活垃圾。

### 2.1 面源污染的影响

水土流失等面源污染是影响库区水质的重要因素。水土流失将土壤中汞元素、农药、化肥及一些动植物腐败物质带入水体,使水体中悬浮物、沉积物等浓度增加,是河流、水库和湖泊沉积物汞的主要来源之一。三峡库区山高坡陡,土层浅薄,生态环境脆弱,土壤对侵蚀的承受能力低,加上重庆地区的土壤汞含量高于四川省土壤汞背景值(为背景值的1.38倍~67倍)。所以三峡大坝修建后,高汞土壤向库区的输送以及库区受淹没土壤中汞的浸出将是一个不容忽视的问题。

另外,库区土壤和燃煤汞含量也有着直接的影

响。燃煤汞排放是大气汞的重要来源。重庆和乌江下游的武隆、涪陵的煤汞含量较高,均在 $1\text{ mg/kg}$ 左右,重庆和涪陵人口众多,经济比较发达,年耗煤量大,如重庆市燃煤排放的汞使大气尘埃中汞含量高达 $3.5\text{ mg/kg}$ 。仅1990年通过燃煤向环境释放汞 $12.347\text{ t}$ 。三峡库区为我国酸雨发生最严重的地区,大气中 $\text{SO}_2$ 的年均浓度为 $0.34\text{ mg/m}^3$ ,为国家大气质量Ⅲ级标准(GB3095-82)的3.4倍。酸雨的频繁发生,对大气飘尘、土壤、沉积物、水体中汞的活化起促进作用,二者的叠加效应决不容忽视。

## 2.2 城区点源污染

主城区及长寿、涪陵等沿岸排污口的排污也是造成库区近岸汞污染的根本原因,虽然城区点源污染引起的汞的排放量为 $0.9\text{ t}$ ,仅占库区年输送汞总量( $153\text{ t}$ )的 $0.59\%$ ,但城市点源污染排放的汞多为活性比较高的形态,易于被水生生物吸收和富集,造成局部地区污染严重。重庆工业废水处理率、达标率都偏低,城市生活污水处理率不足 $7\%$ ,低于全国平均水平,这必须引起足够重视。

## 2.3 汞矿及小金矿开采的影响

地处乌江流域的扬子汞矿区,其探明储量占全国储量的 $75\%$ 以上。乌江下游正处于武陵汞矿成矿亚区的中心,东有秀山汞矿带和桐麻岭汞矿带,西有德江汞矿带和务川汞矿带,沿江两岸还有夹石汞矿化带。贵州较大的汞矿大都在乌江下游及洪渡河等支流的上游,排放的汞最终都将进入三峡库区。国营务川汞矿的汞储量占全国探明储量的 $22\%$ ,是今后较长时期内我国的一个后续产汞的重要基地。目前年生产汞约 $100\text{ t}$ ,即使采用较先进的电炉蒸馏冶炼技术(汞回收率达 $93\%$ ),该矿每年向环境排放的汞量仍有 $620\text{ kg}$ 。务川汞矿的下游是燕子河、洪渡河,最终汇入乌江水系。更为严重的是,自1984年以来,土法炼汞剧增,使更多的汞进入环境<sup>[10]</sup>。

# 3 防治措施

## 3.1 汞污染源控制

污染源控制是水资源和环境保护的根本。严格控制含汞污染的产生和排放,从源头上减少汞污染量,同时增加污染治理投资,大力发展污染物处理设施,主要是污水处理厂与固体废物处理厂,加强燃煤的清洁生产。

3.1.1 控制水土流失 库区地形起伏大,易风化岩层出露面积广,降雨多且强度大,水土流失极其严

重<sup>[11]</sup>。随着三峡水利工程的兴建,库区移民、城镇迁建、工矿企业搬迁等又造成新的人为水土流失,造成汞污染在内的各种潜在的环境问题。生态环境保护的重点是控制水土流失,减少入库泥沙量<sup>[12]</sup>。坡耕地应全部还林还草,建立岸边生态保护带,严禁在该区域进行任何有碍生态保护的活动。上游区采用工程措施(金沙江和嘉陵江流域为重点),使水土流失重点区域得到强制性保护。对库区和影响区内20多条污染严重的次级河流进行综合治理。

3.1.2 限制污染企业 加大工业污染防治力度,对造纸、制革、农药、染料、电镀、化工等汞污染严重企业要实现污染物全面达标排放,对其不符合国家规定规模的小工厂一律关闭。对汞矿、金矿企业要严加监督,严格执行有关污染防治的法律、法规,废水须达标排放。关闭所有小型采矿点。加强对燃煤的预处理,减少汞的排放。

3.1.3 强化固体垃圾废物的监管 三峡库区 $135\text{ m}$ 水位以下堆存的垃圾约 $286\text{ 万 t}$ ,工业固体废物历年堆存达 $3\text{ 000}$ 多万 $\text{t}$ 。若不能及时采取有效措施,这些垃圾将截留在库内,所以必须加强对固体垃圾废物的监管。

## 3.2 汞污染治理

汞是很难降解的重金属,而且有机汞易于生物积累,目前国内外汞污染的治理并没有很成熟的方法,主要是从源头对汞污染进行防治。

3.2.1 河流湖泊汞污染治理 河流湖泊汞污染的治理方法主要有<sup>[12-15]</sup>:1)清淤法。借助于物理的障碍物将污染的沉积物和水体分开,如挖掘出汞污染的沉积物,这适于局部水域较浅,污染面积小,含汞浓度大的河床。对主城区工业发达,人类活动频繁,产生污染物较多,水体环境容量有限,水体中污染物逐渐富集到底泥,可以干旱之际进行河道和湖库清淤及综合治理,以恢复河道及湖库的生态环境。2)借助化学方法把汞转变为甲基化速率低的硫化汞或者把汞凝固到二氧化硅中或与铁和锰的水合氧化物形成共沉淀,提高 $\text{pH}$ 值,尽可能使汞向易挥发的二甲基汞转化而减少一甲基汞生成。3)岸边种植对汞吸附能力强的水生植物,如香根草<sup>[16]</sup>。

3.2.2 土壤汞污染治理方法措施 土壤汞污染治理措施主要有:1)工程措施;2)生物措施;3)农业措施;4)改良措施4大类。由于土壤、污染物及地域的复杂性,其治理不仅见效慢、费用高,而且受到多种因素的制约。汞污染防治工作者曾在20世纪80年

代末<sup>[17]</sup>采用生物措施对汞污染土壤进行改良。在被汞污染的土壤上种植苕麻,利用该植物具有一定吸附汞的能力来降解土壤中汞浓度,并且避开了食物链的影响。经过研究,在土壤总汞浓度小于130 mg/kg时,苕麻的产量和产品质量不受影响。但是这种方式在10年中使土壤中的汞降解率仅为29%,推广较难。

### 3.3 建立水库水质监管体系

水质监测是为治理水污染、保护水环境提供科学依据的重要手段。目前三峡重庆段监测点较少,对汞的日常监测还不够,监测手段落后,个别区县监测站并没有配备检测汞的相关设备。三峡库区蓄水形成水库以后,更应建立健全、充实、统一的水质监测管理系统,监测研究水库水环境的动态变化,及时发现水质问题并采取改善措施。

### 3.4 健全机制及制定法规

目前流域水资源保护机构的职责权限与流域水资源保护工作的需要不相适应,水利部和国家环境保护部门对流域水资源保护机构的授权不明确<sup>[18,19]</sup>,因此,要求水资源保护形成一个完整有效的行政体系,健全机构。水资源保护管理体制是与水资源管理体制及中国行政管理体制相联系的。长期以来我国实行的是以行政区域管理为主的体制,在水资源管理上实行的是“统一管理、分部门管理相结合”。长江流域还没有按水资源的客观属性及水资源保护工作的实际需要形成“统一管理、流域管理和区域管理相结合”的水资源保护管理体制。

## 4 结语

三峡工程建成后在防洪、发电、航运等方面有着巨大的效益,但工程的兴建也对重庆段的水文环境产生巨大影响,在一定程度上也影响了重金属汞的迁移转化。本文通过对重庆段水域汞污染现状的分析,提出了防治措施,对保证水库蓄水后水质安全,防止水质污染具有积极意义。

### 参考文献:

[1] 钟成华. 三峡水库对重庆段水环境影响及其对策[M]. 重庆:西南师范大学出版社,2004. 18-25.  
 [2] 刁承泰,刘树人,穆桂春. 三峡水库建成后对长江河床演变的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2004,29(1):119-122.  
 [3] 廖自基. 环境中微量重金属元素的污染危害与迁移转

化[M]. 北京:科学出版社,1989. 32-63.

[4] 梁修慧,周云,吕平毓. 汞在河流中的迁移转化规律探讨[M]//黄真理编. 中国环境水力学. 北京:中国水利水电出版社,2002. 195-198.  
 [5] State Environmental Protection Administration. Three-Gorges Bulletin: Report on Eco-environmental Monitoring for Three-Gorges Project (2003)[R/OL]. (updated 2004-04-29)[cited 2007-01-20]. [http://english.sepa.gov.cn/ghjh/sxgc/sxgb1/200404/t20040429\\_49569.htm](http://english.sepa.gov.cn/ghjh/sxgc/sxgb1/200404/t20040429_49569.htm).  
 [6] 重庆市环境科学研究院. 长江、嘉陵江国控点水质监测数据[Z]. 重庆:重庆市环境科学研究院,2006.  
 [7] 幸梅,鲍雷. 三峡水库蓄水前后长江部分江段水质变化[J]. 环境与健康杂志,2004,21(5):308-310.  
 [8] 徐小清,邓冠强,惠嘉玉,等. 长江三峡库区江段沉积物的重金属污染特征[J]. 水生生物学报,1999,23(1):3-9.  
 [9] 曾艳,陈中兰,杨秀政,等. 南充境内嘉陵江水生态系统中五种重金属的分布[J]. 西华师范大学学报(自然科学版),2004,25(1):86-88.  
 [10] 虞孝感. 长江流域可持续发展研究[M]. 北京:科学出版社,2003. 4. 348-359.  
 [11] 李阳兵,邵景安,杨华,等. 重庆市土壤侵蚀空间格局研究[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2007,24(4):12-15.  
 [12] 《环境中重金属研究文集》编辑组. 环境中重金属研究文集编[M]. 北京:科学出版社,1998. 1-6.  
 [13] PACYNA E G, PACYNA J M, PIRRONE N. European Emissions of Atmospheric Mercury from Anthropogenic Sources in 1995[J]. Atmospheric Environment, 2001, 35: 2987-2996.  
 [14] MORENO-JIMENEZ E, GAMARRA R, CARPENA-RUIZ RO, et al. Mercury Bioaccumulation and Phytotoxicity in Two Wild Plant Species of Almaden Area[J]. Chemosphere, 2006, 63(11):1969-1973.  
 [15] ESTEBAN E, MORENO E, PENALOSA J, et al. Short and Long-term Uptake of Hg in White Lupin Plants: Kinetics and Stress Indicators[J]. Environmental and Experimental Botany, 2008, 62(3):316-322.  
 [16] 刘信安,柳志祥. 三峡库区消落带流域的生态重建技术分析[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2004,21(6):60-63.  
 [17] JACKSON A M, SWAIN E B, ANDREWS C A, et al. Minnesota's Mercury Contamination Reduction Initiative[J]. Fuel Processing Technology, 2000(65-66):79-99.  
 [18] 张绪进. 三峡水库回水变动区重庆河段泥沙淤积影响及对策措施研究[J]. 专家论坛,2006(3):24-26.  
 [19] 王金南,葛察忠,张勇,等. 中国水污染防治体制与对策[M]. 北京:中国环境科学出版社,2003. 137-169.

## Mercury Pollution in the Area of the Three Gorges Reservoir in Chongqing Territory

*YANG Zhen-ning*

( Chongqing Pengwei Petro-chemical Co. Ltd. , Fuling Chongqing 408121 , China )

**Abstract** :The Three Gorges Project is built to sustainably exploit the water resource of the Three Gorges Valley. Water pollution prevention is imperious. Analyzing the mercury pollution situation of the Three Gorges Reservoir area in Chongqing territory reveals that the point sources of mercury pollution are mainly the urban point sources from drainage and industrial waste in Chongqing and Changshou and the non-point sources are mainly from severe erosion of the mercury-rich lands in the lower reaches of the Wujiang River resulting in large amount of mercury-rich soil runoff into rivers. It is suggested that sloping fields in the Reservoir Region be forested , waste treatment facilities be updated , plants discharging excessive mercury be shut , contaminated sediment and waste be moved into containments at safe locations , and mercury pollutants be prevented from turning into the post poisonous methylmercury. In addition , the water quality monitoring system should be updated and completed to identify and fix up problems in time , an effective administrative mechanism should be established and environmental legislation should be reinforced to guarantee the well-ordered operation of the giant hydraulic works. Pro-environment practices to control the mercury pollution in Chongqing territory which is at the upper end of the Reservoir are essential to the safety of the Reservoir's water resources.

**Key words** mercury pollution ; Three Gorges Reservoir ; Chongqing territory

( 责任编辑 李若溪 )