

# 世界汞矿地区汞污染研究进展

杨海<sup>1</sup>, 李平<sup>2</sup>, 仇广乐<sup>2</sup>, 冯新斌<sup>2</sup>

(1. 贵州省金沙县环境监测站, 金沙 551800; 2. 中国科学院地球化学研究所环境  
地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002)

**摘要:** 汞是一种人体非必需的有毒重金属元素。近年来, 随着全球环境的不断恶化以及人们对汞的毒性的深入认识, 世界上不同国家和地区的大型汞矿陆续停产、闭坑。但是, 长期的汞矿山开采和冶炼活动, 改变和破坏了矿区地表生态系统, 对矿区的生态环境造成了严重的汞污染。本文综述了世界范围的汞矿分布和开采冶炼历史以及汞矿开采冶炼的环境影响, 主要表现为固体废弃物的排放、水体汞污染、大气汞污染及汞矿活动的大气汞排放、土壤汞污染和食物汞污染。

**关键词:** 汞矿地区; 汞污染; 研究进展

**中图分类号:** X501 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9250(2009)01-0080-06

汞是一种人体非必需的有毒重金属元素, 由于其毒性的持久性、生物累积性和神经毒性, 已经被很多国际机构列为优先污染物。上世纪以来, 全球范围内爆发的一系列汞中毒事件, 如 1956 年日本熊本县水俣湾爆发的水俣病事件、1972 年伊拉克发生的食用甲基汞杀菌剂拌种后的种子造成的中毒事件等, 给人类和生态环境带来了深重灾难。汞是一种全球性污染物, 可以通过大气进行长距离传输<sup>[1]</sup>。如今, 有关汞的生物地球化学循环的研究越来越受到科学界的广泛关注。

## 1 世界汞矿分布及开采利用

全球范围沿板块边缘, 分布着 3 个大型汞矿化带: 环太平洋汞矿化带、地中海-中亚汞矿化带和大西洋中脊汞矿化带。世界上大型或超大型汞矿床, 例如: 西班牙 Almadén 汞矿、斯洛文尼亚 Idrija 汞矿、意大利 Monte Amiata 汞矿、菲律宾 Palawan 汞矿、美国 New Almadén 汞矿以及我国贵州万山汞矿等, 均分布在上述汞矿化带中(图 1)。

全球历史时期生产的汞的总量达到 922 812 吨<sup>[3]</sup>(图 2)。世界上最大的汞矿, 西班牙 Almadén 汞矿, 贡献了世界约三分之一的产量, 其具有 2000 年的开采历史。斯洛文尼亚境内的 Idrija 汞矿是世

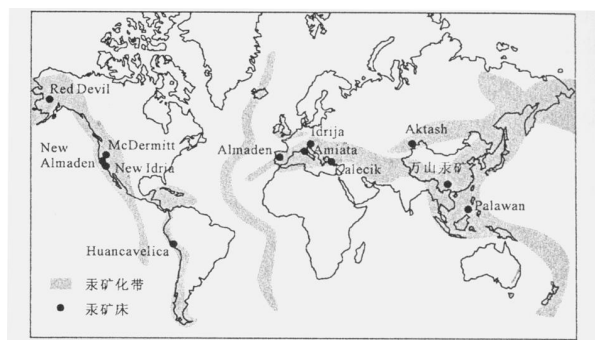


图 1 全球汞矿化带与汞矿床分布示意图(据<sup>[2]</sup>)

Fig. 1 Map showing the distribution of mercuriferous belts and mercury deposits throughout the world

界第二大汞矿, 最近 500 年内其累计的汞产量约为 7628 吨<sup>[3]</sup>。

我国汞矿资源较丰富, 现已探明有储量的矿区 103 处, 分布于 12 个省区。累计探明金属汞储量 14.38 万吨, 排名居世界第 3 位<sup>[4]</sup>。著名汞矿有贵州万山汞矿、务川汞矿、丹寨汞矿、铜仁汞矿以及湖南的新晃汞矿等。从目前各省汞矿床产出的数量来看, 贵州省居全国之首。

## 2 汞资源开发过程中的环境问题

随着全球环境的不断恶化以及人们对汞的毒性

收稿日期: 2008-09-17; 改回日期: 2008-11-25

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-443)

第一作者简介: 杨海(1979—), 男, 助理工程师, 理学学士, 研究方向为环境分析化学。E-mail: freecrane-yh@mail.china.com

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

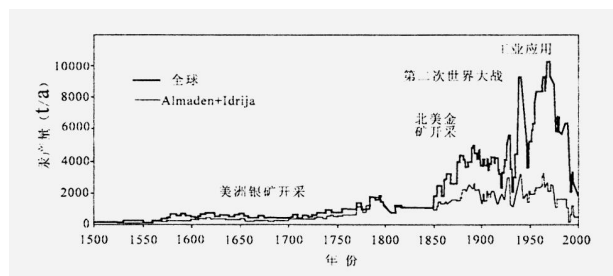


图 2 全球历史时期生产汞的总量 (据<sup>[3]</sup>)

Fig. 2 Global historic yield of mercury and the total contribution from the Almadén and Idrija mercury deposits

的深入认识,世界上不同国家和地区的大型汞矿陆续停产、闭坑。汞矿闭坑后,一方面,矿区内的巨大冶炼废渣及矿山废水,依然会持续不断地向周围环境中排放大量的汞;另一方面,不同价态的无机汞在进入环境后,在自然条件下通过微生物活动,会转化为毒性、生物有效性更强的甲基汞,并通过食物链富集放大,最终对矿区居民的身体健康构成一定的威胁。因此,废弃汞矿山环境中的汞污染问题已经越来越受到人们的关注和重视。

### 2.1 固体废弃物

汞矿山活动会产生大量的固体废弃物,主要包括采矿废石和冶炼废渣。世界范围内的汞矿山,由于矿区交通和经济条件等原因,大量固体废弃物未得到妥善处理而被直接排放于矿坑口或堆放在附近河谷及河流两岸,侵占了河床和附近大片土地、农田。

汞矿冶炼废渣中含有高含量的汞(表 1),研究表明西班牙 Almadén 汞矿冶炼废渣总汞含量高达 34 000  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[5]</sup>,万山汞矿冶炼废渣总汞含量也高达 4400  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[9]</sup>,这说明冶炼过程是不完全和不充分的<sup>[5,7]</sup>。而且更为重要的是,冶炼废渣中含有大量的可溶性汞,贵州铜仁土法炼汞地区的冶炼废渣淋滤液中可溶性汞含量达到 130  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[8]</sup>。因为冶炼废渣是辰砂矿石高温焙烧的产物,受冶炼工艺和高温作用的影响,废渣中含有大量的高温条件下形成的富汞次生矿物,例如:黑辰砂、含汞多形硫化物、含汞氯化物、氧化汞、含汞硫酸盐以及单质汞等<sup>[9-11]</sup>。这些含汞次生矿物粒度极细(微米或纳米级),极易附着于细小颗粒物的表面;同时它们的物理化学性质活泼,更易于溶于水或以悬浮颗粒物的形式进入地表径流。

大量的固体废弃物尤其是冶炼废渣,在地表径流、风力传送及雨水淋滤等自然地质作用下,大量富汞物质不断向环境中渗透扩散,给环境造成了严重

表 1 世界不同汞矿地区废渣总汞含量的对比

Table 1. The comparison of total mercury concentrations in the mine waste from different mercury mining areas throughout the world

研究地点	废渣总汞( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	文献
贵州万山汞矿区	5.7 ~ 4400	[6]
美国 Nevada 汞矿区	1.9 ~ 2000	[12]
西班牙 Almadén 汞矿区	160 ~ 34 000	[5]
斯洛文尼亚 Idrija 汞矿区	42.6 ~ 1640	[9]
菲律宾 Palawan 汞矿区	28 ~ 660	[13]
美国加利福尼亚汞矿区	78 ~ 7240	[11]
美国德克萨斯州汞矿区	4.1 ~ 480	[14]
贵州务川汞矿区	3 ~ 809	[15]
贵州铜仁土法炼汞地区	1.8 ~ 900	[8]

污染;其中大量的易溶富汞次生矿物,向环境中释放大量活性汞,导致炉渣及周围环境介质成为汞甲基化的最有利的场所<sup>[14,16]</sup>。

### 2.2 水体汞污染

矿山废水是矿区重金属元素迁移扩散的重要载体。汞矿的地下开采,极易产生坑道废水,它们在矿山闭坑后仍会不断向周围环境排放;而暴露于地表的固体废弃物,受地表外力地质作用的影响,同样会产生废水。受冶炼废渣等的影响,废水中含有大量的汞(表 2),例如:美国加利福尼亚 Coast Range 汞矿区,废水中的总汞含量达 450  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[17]</sup>;菲律宾 Palawan 汞矿流经尾矿渣堆的水体总汞含量高达 18—31  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[13]</sup>。我国的贵州万山汞矿地区<sup>[6,18,19]</sup>、务川汞矿地区<sup>[15]</sup>、滥木厂汞矿地区<sup>[20]</sup>、铜仁土法炼汞地区<sup>[8]</sup>、美国 Nevada 汞矿地区<sup>[12,13]</sup>、美国 Alaska 汞矿地区<sup>[21]</sup>和西班牙 Almadén 汞矿地区<sup>[5]</sup>,因长期受矿山废水的影响,矿区河流已经严重汞污染。

表 2 世界不同汞矿地区地表水体汞含量的对比

Table 2. The comparison of mercury concentrations in the surface water from different mercury mining areas throughout the world

研究地点	总汞		文献
	( $\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$ )	( $\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$ )	
贵州万山汞矿区	17.3 ~ 10 580	0.012 ~ 0.766	[6, 18, 19]
贵州务川汞矿区	22 ~ 360	0.21 ~ 5.7	[15]
贵州滥木厂汞矿地区	25 ~ 7020		[20]
贵州铜仁土法炼汞区	92 ~ 2300	2.6 ~ 7.9	[8]
美国 Nevada 汞矿区	4.28 ~ 2107	0.400 ~ 7.2	[22]
西班牙 Almadén 汞矿区	7.6 ~ 13 000	0.41 ~ 30	[5]
斯洛文尼亚 Idrija 汞矿区	2.8 ~ 322	0.01 ~ 0.6	[23]
菲律宾 Palawan 汞矿区	8 ~ 31000	< 0.02 ~ 3.1	[13]
美国加利福尼亚汞矿区	2 ~ 450 000	0.003 ~ 47	[24, 25]
美国阿拉斯加州汞矿区	1.0 ~ 2500	0.01 ~ 1.2	[21]

汞矿区污染水体中颗粒态汞占总汞的绝大部分比例, 矿区污染水体中颗粒态汞含量与水体颗粒悬浮物含量之间具有明显的正相关关系<sup>[15, 18, 20]</sup>, 表明汞矿区水体汞的迁移是以水中悬浮物为载体。高含量汞的矿山废水不断汇入矿区地表径流, 造成汞污染物不断向矿区周围环境及下游地区迁移, 污染范围不断扩大。更为严重的是, 矿区汞污染水体中硫酸盐浓度急剧升高, 硫酸盐还原菌活动大大增强, 从而显著提高了水体中汞的甲基化能力<sup>[26]</sup>。美国加利福尼亚 Coast Range 汞矿区, 污染水体甲基汞含量可达  $47 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[24, 25]</sup>; 西班牙 Almadén 汞矿区, 水体总甲基汞含量达到  $30 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[5]</sup>。因此, 汞矿区受废水影响的汞污染水体, 还会成为下游湿地、湖泊和水库生态系统中新的汞污染源和甲基汞的来源, 对水生生态系统构成甲基汞污染, 最终对人体健康造成威胁。

### 2.3 大气汞污染及汞矿活动的大气汞排放

汞矿活动过程中, 可以产生高汞含量的废气, 造成汞矿区大气的严重汞污染。西班牙 Almadén 汞矿区冶炼时期, 大气汞含量最高值达到  $20 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ <sup>[27]</sup>; 务川汞矿区土法炼汞土灶附近大气汞含量为  $17.8 \sim 1101.8 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ , 最高值达到  $12222 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ <sup>[28]</sup>。

汞矿活动停止后, 矿区内仍有不同的释汞源持续向大气中排放气态汞, 使大气遭受一定的汞污染。如, 万山汞矿区大气汞含量为  $17.8 \sim 101.8 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ <sup>[29]</sup>, 斯洛文尼亚 Idrija 汞矿区大气汞含量为  $25 \sim 2000 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ <sup>[30]</sup>, 远远高于全球大气汞含量的背景值  $1 \sim 2 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ <sup>[31]</sup>。

首先, 汞污染土壤的去气作用, 是矿区大气汞的一个重要来源<sup>[27, 32]</sup>。调查表明, 我国贵州滥木厂汞矿区 20 世纪 90 年代停止生产活动至今 10 年后, 汞矿区土壤向大气汞释放通量仍高达  $10\ 500 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ <sup>[33]</sup>。其次, 汞矿山活动产生的冶炼废渣是矿区大气中汞的另一个重要来源。数据显示, 汞矿区大气汞总量的 10% 是来自矿区内堆积的废渣<sup>[34]</sup>。第三, 早期已废弃的汞矿冶炼场所, 也是大气汞的重要来源之一。研究发现, 汞矿冶炼活动停止 35 年后, 废弃冶炼厂附近大气汞的浓度依然高达  $3000 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ <sup>[30]</sup>。

汞是一种全球性污染物, 汞矿开采冶炼活动是大气汞的一个重要的释放源。对西班牙 Almadén 汞矿区的测量研究发现, 其开采冶炼时期每年生产

汞约 1500 t, 而约有 10 t 汞被排放至大气中<sup>[27]</sup>。斯洛文尼亚 Idrija 汞矿, 1960 至 1995 年期间, 共产汞 9777 t, 而大约 60 t 的汞通过废气排放至大气中<sup>[30]</sup>。贵州省 1983 年五个主要汞矿共产汞 828 t, 而大约 11 t 的汞通过废气排放至大气中<sup>[35]</sup>。贵州务川汞矿区土法炼汞的释汞因子为 6.9% ~ 32.1%, 土法炼汞的年释汞量为  $3.7 \sim 9.6 \text{ t}$ <sup>[36]</sup>。中国汞矿开采的释汞因子为 4.5%, 1999 年中国汞矿开采的汞排放量为  $8.78 \text{ t}$ <sup>[37]</sup>。运用 Ferrara 等的释汞因子<sup>[27]</sup>, 近年来全世界汞矿开采的大气汞释放大约为每年 10 ~ 30 t, 而历史时期所有的排放量总和约为 10000 t<sup>[3]</sup>。这仅仅只包括释放到大气中的汞, 并且是应用现今的工业技术, 而旧时期汞矿开采的释汞因子可能远远高于 1%。

### 2.4 土壤汞污染

土壤污染具有隐蔽性与滞后性、累积性与地域性、治理难而周期长等特点, 因此, 土壤环境污染对人类的危害性极大。土壤汞污染也是比较严重的, 因其进入土壤后不能被生物降解, 而是进入食物链并最终在生物体内积累, 危及矿区居民的身体健康。

大量研究表明, 汞矿区土壤遭受严重的汞污染(表 3)。例如: 贵州万山汞矿区土壤总汞含量为  $5.1 \sim 790 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 务川汞矿区土壤总汞含量为  $0.33 \sim 320 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 滥木厂汞矿区土壤总汞含量为  $8.4 \sim 850 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[6, 15, 20]</sup>; 西班牙 Almadén 汞矿区土壤总汞含量为  $6 \sim 9000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 斯洛文尼亚 Idrija 汞矿区土壤总汞含量为  $0.39 \sim 2759 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[38, 39]</sup>。

表 3 世界不同汞矿地区土壤总汞含量的对比

Table 3. The comparison of total mercury concentrations in the soils from different mercury mining areas throughout the world

研究地点	总汞( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	文献
贵州万山汞矿区	5.1 ~ 790	[6, 18]
贵州务川汞矿区	1.3 ~ 360	[15]
贵州滥木厂汞矿区	8.4 ~ 950	[20]
贵州铜仁土法炼汞区	0.18 ~ 47.5	[8]
西班牙 Almadén 汞矿区	1.7 ~ 8889	[5]
斯洛文尼亚 Idrija 汞矿区	0.39 ~ 2759	[39]
美国阿拉斯加州汞矿区	0.05 ~ 5326	[40]
菲律宾 Palawan 汞矿区	0.012 ~ 566.8	[41]

汞矿区高含量汞的土壤, 汞的最主要存在形态是  $\text{HgS}$ , 来源于附近的人为汞矿活动产生的冶炼废渣<sup>[32, 38]</sup>。污染源附近土壤剖面汞含量的垂向递减表

明, 大气汞的沉降也是土壤汞的重要来源之一<sup>[8, 15]</sup>。

## 2.5 食物汞污染

一般认为, 鱼肉等水产品的食用是人类甲基汞暴露的主要途径<sup>[42, 43]</sup>。汞矿区冶炼废渣中大量的汞进入河流、湖泊水体以后, 会在湖水、湖泊沉积物和生物体的内部及各介质间发生一系列的迁移转化, 其中最重要的是可以将水中含量较低、毒性较低的无机汞转化为甲基汞, 并通过水生食物链高度富集在鱼类—特别是那些大型肉食鱼类或以捕食鱼类为生的动物体内。汞矿地区的鱼肉呈现较高的汞含量, 菲律宾 Palawan 汞矿地区鱼肉总汞含量达到  $1.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[44]</sup>, 美国阿拉斯加州西南部汞矿地区鱼体总汞含量达到  $1.3 \text{ mg}/\text{kg}$ <sup>[21]</sup>, 远远超过了世界卫生组织建议的食用水产品汞含量标准  $0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

汞矿区污染土壤种植生产的粮食和蔬菜等农作物中的总汞含量显著偏高。贵州万山、务川和滥木厂汞矿区不同蔬菜样品测定结果显示, 总汞含量  $120-18000 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 超出国家蔬菜卫生限量标准  $\leq 10 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  达  $12-1800$  倍; 稻米可食部分(大米)总汞含量  $40-1280 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 超出国家粮食卫生限量标准  $\leq 20 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  达  $2-64$  倍<sup>[6, 15, 18, 21, 45]</sup>。

更值得关注的是, 汞矿区稻米具有明显富集甲基汞的特征(表 4), 其占总汞含量的比率可达  $90\%$  以上, 显著高出了矿区其它农作物中可食部分甲基汞的含量。该现象充分说明, 汞矿区稻米具有很强的富集甲基汞的能力。由于贵州省汞矿区居民的传统饮食习惯均以大米为主食, 水产品的摄入很少, 因此, 矿区居民暴露甲基汞的最主要的途径是进食稻

米, 而不是水产品<sup>[45]</sup>。

表 4 不同汞矿地区大米汞含量的对比

Table 4. The comparison of mercury concentrations in the rice from different mercury mining areas

地 点	总汞 ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	甲基汞 ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	甲基汞比例 (%)	文献
万山汞矿区	11.1~69	8.03~144	5.46~72.6	[18]
务川汞矿区	8.8~550	1.2~18	2~66	[15]
务川汞矿区	6.0~113.0	3.1~13.4	6.0~83.6	[8]
万山汞矿区	4.9~214.7	1.9~27.6	2.4~88.3	[45]
万山汞矿区	10.3~1120	1.61~174	1.4~93	[46]

## 3 结语

综上所述, 长期的汞矿开采冶炼活动对矿区生态环境造成了严重的汞污染。作为汞矿活动的遗留产物, 冶炼废渣不仅含有高含量的汞, 而且含有大量的可溶性汞, 是矿区环境的汞的主要污染源; 矿山废水是汞迁移扩散的重要载体, 水体汞以悬浮物为主要迁移方式; 矿区大气汞污染受矿山活动影响显著, 汞矿开采冶炼活动是大气汞的一个重要的释放源; 汞矿区土壤和食物也遭受严重的汞污染, 可能对当地居民的身体健康构成一定的威胁。

汞矿区生态系统中汞的迁移转化特别是甲基汞在食物链的富集传递以及对人体健康的影响, 是值得广泛关注的问题。如何解决世界范围内的汞矿区环境汞污染问题, 尤其汞污染土壤的修复问题, 是目前面临的、急需解决的问题。

## References:

- [1] Lindqvist O. Special issue of first international on mercury as a global pollutant [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1991, 56: 1.
- [2] Gustin M S, Lindberg S E, Marsik F, *et al.* Nevada STORMS project: Measurement of mercury emissions from naturally enriched surfaces [J]. Journal of Geophysical Research-Atmosphere, 1999, 104: 21831-21844.
- [3] Hylander L, Meili M. 500 years of mercury production: global annual inventory by region until 2000 and associated emissions [J]. Science of the Total Environment, 2003, 304: 13-27.
- [4] 中国矿业网. 中国矿产资源—汞矿[EB/OL]. [http://www.chinamining.com.cn/report/default.asp?V\\_DOC\\_ID=1141/2003](http://www.chinamining.com.cn/report/default.asp?V_DOC_ID=1141/2003).
- [5] Gray J E, Hines M E, Higuera P L, *et al.* Mercury speciation and microbial transformations in mine wastes, stream sediments, and surface waters at the Almadén mining district, Spain [J]. Environmental Science & Technology, 2004, 38: 4285-4292.
- [6] Qiu G, Feng X, Wang S, Shang L. Mercury and methylmercury in riparian soil, sediments, mine-waste calcines, and moss from abandoned Hg mines in east Guizhou province, southwestern China [J]. Applied Geochemistry, 2005, 20: 627-638.
- [7] Rytuba J J. Mercury from mineral deposits and potential environmental impact [J]. Environmental Geology, 2003, 43:

326—338.

- [ 8 ] Li P, Feng X, Shang L, Qiu G, *et al.* Mercury pollution from artisanal mercury mining in Tongren, Guizhou, China [ J ]. *Applied Geochemistry*, 2008, 23: 2055—2064.
- [ 9 ] Biester H, Gosar M, Muller G. Mercury speciation in tailings of the Idrija mercury mine [ J ]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1999, 65: 195—204.
- [ 10 ] Kim C S, Jr G, Rytuba J J. Characterization and speciation of mercury-bearing mine waste using X-ray adsorption spectroscopy [ J ]. *Science of the Total Environment*, 2000, 261: 157—168.
- [ 11 ] Kim C S, Rytuba J, Brown Jr G. Geological and anthropogenic factors influencing mercury speciation in mine wastes: an EXAFS spectroscopy study [ J ]. *Applied Geochemistry*, 2004, 19: 379—393.
- [ 12 ] Gray J E, Crock J G, Fey D L. Environmental geochemistry of abandoned mercury mines in West-Central Nevada, USA [ J ]. *Applied Geochemistry*, 2002, 17: 1069—1079.
- [ 13 ] Gray J E, Greaves I A, Bustos D M, *et al.* Mercury and methylmercury contents in mine-waste calcine, water, and sediment collected from the Palawan Quicksilver Mine, Philippines [ J ]. *Environmental Geology*, 2003, 43: 298—307.
- [ 14 ] Gray J E, Hines M, Biester H. Mercury methylation influenced by areas of past mercury mining in the Terlingua district, Southwest Texas, USA [ J ]. *Applied Geochemistry*, 2006, 21: 1940—1954.
- [ 15 ] Qiu G, Feng X, Wang S, *et al.* Environmental contamination of mercury from Hg-mining areas in Wuchuan, northeastern Guizhou, China [ J ]. *Environmental Pollution*, 2006, 142: 549—558.
- [ 16 ] Hines M E, Bailey E A, Gray J E, *et al.* Transformations of mercury in soils near mercury contaminated sites in the USA [ M ]. 5th International Conference on Mercury as a Global Pollutant, Proceedings, Vol. 1, CETEM, Rio de Janeiro, 1999. 471.
- [ 17 ] Rytuba J J. Mercury mine drainage and processes that control its environmental impact [ J ]. *Science of the Total Environment*, 2000, 260: 57—71.
- [ 18 ] Horvat M, Nolde N, Fajon V, *et al.* Total mercury, methylmercury and selenium in mercury polluted areas in the province Guizhou, China [ J ]. *Science of the Total Environment*, 2003, 304: 231—256.
- [ 19 ] Feng X, Qiu G, Wang S, *et al.* Distribution and speciation of mercury in surface waters in mercury mining areas in Wanshan, Southwestern China [ J ]. *Journal de Physique IV*, 2003, 107: 455—458.
- [ 20 ] Qiu G, Feng X, Wang S, *et al.* Mercury contaminations from historic mining to water, soil and vegetation in Lanmchang, Guizhou, southwestern China [ J ]. *Science of the Total Environment*, 2006, 368: 56—68.
- [ 21 ] Gray J E, Peter U, Theodorakos M, *et al.* Distribution, speciation, and transport of mercury in stream-sediment, streamwater, and fish collected near abandoned mercury mines in southwestern Alaska, USA [ J ]. *Science of the Total Environment*, 2000, 260: 21—33.
- [ 22 ] Bonzongo J C, Heim K J, Warwick J J, *et al.* Mercury levels in surface waters of the Carson River-Lahontan Reservoir system, Nevada: influence of historic mining activities [ J ]. *Environmental Pollution*, 1996, 92: 193—201.
- [ 23 ] Hines M E, Horvat M, Faganeli J, *et al.* Mercury biogeochemistry in the Idrija river, Slovenia from above the mine into the Gulf of Trieste [ J ]. *Environmental Research*, 2000, 83: 129—139.
- [ 24 ] Ganguli P M, Mason R P, Abu-Saba K E, *et al.* Mercury speciation in drainage from the New Idria mercury mine, California [ J ]. *Environmental Science & Technology*, 2000, 34: 4773—4779.
- [ 25 ] Thomas M A, Conaway C H, Steding D J, *et al.* Mercury contamination from historic mining in water and sediment, Guadalupe River and San Francisco Bay, California [ J ]. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 2002, 2: 1—7.
- [ 26 ] Rytuba J J, Enderlin D A. Geology and environmental geochemistry of mercury and gold deposits in the northern part of the California Coast Range mercury mineral belt [ J ]. *California Division of Mines and Geology Special Publication*, 1999, 119: 214—234.
- [ 27 ] Ferrara R, Maserti B E, Andersson M, *et al.* Atmospheric mercury concentrations and fluxes in the Almadén district (Spain) [ J ]. *Atmospheric Environment*, 1998, 22: 3897—3904.
- [ 28 ] Wang S, Feng X, Qiu G, *et al.* Mercury concentrations and air/soil fluxes in Wuchuan mercury mining district, Guizhou province, China [ J ]. *Atmospheric Environment*, 2007, 41: 5984—5993.
- [ 29 ] Wang S, Feng X, Qiu G, *et al.* Characteristics of mercury exchange flux between soil and air in the heavily air-polluted area, eastern Guizhou, China [ J ]. *Atmospheric Environment*, 2007, 41: 5584—5594.

- [ 30 ] Kotnik J, Horvat M, Dizdarevic T. Current and past mercury distribution in air over the Idrija Hg mine region, Slovenia [ J ]. *Atmospheric Environment*, 2005, 39: 7570—7579.
- [ 31 ] Lamborg CH, Fitzgerald WF, Torgersen T. A non-steady-state compartmental model of global-scale mercury biogeochemistry with interhemispheric atmospheric gradients [ J ]. *Geochim Cosmochim Acta*, 2002, 66: 1105—1118.
- [ 32 ] 冯新斌, 陈业材, 朱卫国. 土壤中汞存在形态的研究[ J ]. *矿物学报*, 1996, 2: 218—222.
- [ 33 ] 王少峰, 冯新斌, 仇广乐. 贵州滥木厂汞矿区土壤汞的释放通量及影响因素研究[ J ]. *地球化学*, 2004, 33: 405—413.
- [ 34 ] Gustin M S, Taylor G E, Leonard T L, *et al.* Atmospheric mercury concentrations associated with geologically and anthropogenically enriched sites in central western Nevada [ J ]. *Environmental Science & Technology*, 1996, 30: 2572—2579.
- [ 35 ] Tan H, He J, Lindqvist O, *et al.* Mercury Emission from its production in Guizhou Province, China [ J ]. *Guizhou Science*, 1997, 2: 112—117.
- [ 36 ] 李平, 冯新斌, 仇广乐, 等. 贵州省务川汞矿区土法炼汞过程中汞释放量的估算[ J ]. *环境科学*, 2006, 5(27): 837—840.
- [ 37 ] Streets D, Hao J, Wu Y, *et al.* Anthropogenic mercury emissions in China [ J ]. *Atmospheric Environment*, 2005, 39: 7789—7806.
- [ 38 ] Higuera P, Oyarzun R, Biester H, *et al.* A first insight into mercury distribution and speciation in soils from the Almadén mining district, Spain [ J ]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2003, 80: 95—104.
- [ 39 ] Gnamus A, Byrne A R, Horvat M. Mercury in the Soil-Plant-Deer-Predator food chain of a temperate forest in Slovenia [ J ]. *Environmental Science & Technology*, 2000, 34: 3337—3345.
- [ 40 ] Bailey E A, Gray J E, Theodorakos P M. Mercury in vegetation and soils at abandoned mercury mines in southwestern Alaska, USA [ J ]. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 2002, 2: 275—285.
- [ 41 ] Maramba N, Reyes J, Francisco-Rivera A, *et al.* Environmental and human exposure assessment monitoring of communities near an abandoned mercury mine in the Philippines: A toxic legacy [ J ]. *Journal of Environmental Management*, 2006, 81: 135—145.
- [ 42 ] Grandjean P, Weihe P, Jorgensen P J, *et al.* Impact of maternal seafood diet on fetal exposure to mercury, selenium, and lead [ J ]. *Archives of Environmental Health*, 1992, 47: 185—195.
- [ 43 ] Clarkson T W. Mercury—major issues in environmental health [ J ]. *Environmental Health and Perspective*, 1993, 100: 31—38.
- [ 44 ] Williams T M, Weeks J M, Apostol Jr A N, *et al.* Assessment of mercury contamination and human exposure associated with coastal disposal of waste from a cinnabar mining operation, Palawan, Philippines [ J ]. *Environmental Geology*, 1999, 39 (1): 51—60.
- [ 45 ] Feng X, Li P, Qiu G, *et al.* Human exposure to methylmercury through rice intake in Wanshan mercury mining areas, Guizhou Province, China [ J ]. *Environmental Science & Technology*, 2008, 42: 326—332.
- [ 46 ] Qiu G, Feng X, Li P, *et al.* Methylmercury accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) grown at abandoned mercury mines in Guizhou, China [ J ]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 7: 2465—2468.

## Mercury Pollution in Mercury Mining Areas Throughout the World : An Overview

YANG Hai<sup>1</sup>, LI Ping<sup>2</sup>, QIU Guang-le<sup>2</sup>, FENG Xin-bin<sup>2</sup>

(1. Environmental Monitoring Station of Jinsha County, Guizhou Province, Jinsha 551800 China; 2. The State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002 China)

**Abstract** Mercury is known as a toxic and non-indispensable element for human beings. A number of large-sized mercury mines in the world have been abandoned recently, because of extensive attention to the toxicity of mercury and increased environmental concern. Serious mercury contamination of the local environment in the mercury mining areas throughout the world has resulted from a long history of large-scale mining and smelting activities. This paper was designed to overview the distribution of mercury mines, mercury production in the world and related environmental effects, which are represented by mine-waste discharge, mercury pollution of water, air, soil and food in the mercury mining areas.

**Key words** mercury mining area; mercury pollution; research progress