

文章编号: 0379-1726(2000)06-0571-07

黔西南 Au-As-Hg-Tl 矿化区毒害金属元素  
的水地球化学肖唐付<sup>1</sup>, 洪业汤<sup>1</sup>, 郑宝山<sup>1</sup>, 洪冰<sup>1</sup>, Dan Boyle<sup>2</sup>, Jayanta Guha<sup>3</sup>

(1. 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, 贵州 贵阳 550002; 2. Mineral Resources Division, Geological Survey of Canada, Ottawa, Canada, K1A 0E8; 3. Science de la Terre, Université du Québec à Chicoutimi, Québec, Canada, G7H 2B1)

**摘 要:** 研究了黔西南典型 Au-As-Hg-Tl 矿化区内毒害金属元素在采矿活动和自然状态影响下的水地球化学特征及其环境效应。结果表明, 已开采的 Hg-Tl 矿区地下水和地表水中均有很高的毒害金属元素, 煤采区地下水中亦表现出类似的特征, 而 Hg-Tl 矿区外围地下水中金属元素保持在较低的水平。Hg-Tl 矿区地表水中 As 和 Tl 的分布模式表明, 其含量的变化受矿区地下水排泄和尾矿淋滤作用的控制, 在尚未开采的金矿区, 浅层地下水中金属元素的含量没有明显的富集, 尚未构成环境问题。采矿活动扰动下的地下水及暴露于地表的尾矿及矿山废物是水中毒害金属元素的主要来源, 水环境研究对采矿活动造成的环境影响具有良好的指示效果。

**关键词:** 水地球化学; 毒害金属元素; 铊; 采矿活动; 贵州省

**中图分类号:** P592; P641.3 **文献标识码:** A

## 0 引 言

与矿产资源开发相伴随的环境地球化学问题是环境科学界研究的热点之一, 而元素的水地球化学研究对采矿活动诱发的毒害金属元素的环境效应具有重要的指示意义。水环境是毒害金属元素产生和释放的重要介质和途径, 而源于采矿过程和自然矿化过程中的水地球化学往往有着特征上的差异, 对二者的比较可以较好地反映采矿活动对环境的影响<sup>[1-3]</sup>。

黔西南是我国重要的 Au-As-Hg-Tl 和煤的成矿地区。据报道<sup>[4-7]</sup>, 区内卡林型金矿富含 As、Hg、Tl 和 Cd 等重金属元素, Hg-Tl 共生矿床中 As 和 Tl 的硫化物十分富集, 燃煤中 As 的含量也很高。涉及这些矿产资源的矿物学和矿床学研究很多, 但重金属元素的水地球化学却鲜有研究。毒害金属元素的环境效应的一个重要表现, 就是通过水环境系统对人体健康产生直接或间接的毒害作用<sup>[8]</sup>。水体中的金属元素进入土壤(如通过渗透作用或农田灌溉等)后滞留时间延长, 并可通过农作物吸收进入食物链; 金属元素通过饮用水还可直接进入人体。重金属元

素通过这些途径进入食物链后, 参与人体的新陈代谢, 并不同程度地对人体健康造成危害, 严重的还可形成局部或大范围的地方病。滥木厂 Hg-Tl 矿区在 20 世纪六七十年代发生了较严重的 Tl 中毒事件, 主要症状表现为患者全身疼痛、脱发、视力减弱甚至失明等, 主要是由于饮用水和蔬菜中 Tl 的含量严重超标所致<sup>[9]</sup>。黔西南是我国典型的岩溶地区, 岩溶特征十分明显。发育的岩溶环境对污染物具有较强的渗透作用, 物理净化作用较弱, 使得地表污染物极易随地下水快速迁移至更远的地方而没有得到良好的净化<sup>[10]</sup>。因而, 该地区的水地球化学研究具有重要的环境意义。研究区内除采矿业外, 无其他工业生产, 因而不存在工业污染源的重金属污染。本研究选取黔西南地区一个典型的 Au-As-Hg-Tl 矿化区作为研究对象, 旨在研究毒害金属元素在人类采矿活动和自然状态下的水地球化学特征及其环境效应。

## 1 研究区地质地貌特征

黔西南灰家堡成矿带是一个重要的 Au-As-Hg-Tl 矿化区, 呈近 EW 向, 长约 20 km, 宽约

收稿日期: 2000-01-02; 修订日期: 2000-07-27

基金项目: 加拿大国际开发署资助项目(CIDA01-282/19156)

作者简介: 肖唐付(1969-), 男, 助理研究员, 环境地球化学专业。

5 km (图 1)。以滥木厂断层为界分为东西两段,西段有紫木函金矿、太平铜金矿、大坝田汞矿;东段有滥木厂汞铊矿床和岩上金矿床。此外,还发育有众多 Au、Hg、As 矿化点以及小型煤矿化点。区内出露的岩石主要有长兴组(P<sub>2c</sub>)灰岩,大隆组(P<sub>2d</sub>)粘土岩,龙潭煤系(P<sub>2l</sub>)泥岩、灰岩、粉砂岩和煤层(线)以及夜郎组(T<sub>1y</sub>)灰岩、粘土岩、泥岩和粉砂岩。Au-As-Hg-Tl 矿化的容矿岩石为不纯碳酸盐岩、粉砂质粘土岩、细砂岩、强硅化灰岩等。研究区平均海拔 1 200~1 300 m,气候温和潮湿,年降水量 1 300~1 500 mm,平均气温 14 ℃。研究区具有喀斯特地貌特征,地下溶洞和地下暗河发育,岩溶泉水点出露众多,而地表水相对贫乏。

区内滥木厂汞铊矿是一个具有 300 多年汞矿开采历史的老矿山,近年来主要开采铊矿和煤矿,含有世界上最高含量的铊,是唯一探明的独立铊矿床<sup>[5, 6, 12]</sup>。

岩上金矿是由加拿大 Denstone 矿业公司 20 世纪 90 年代成功勘探出的又一大型卡林型金矿,矿石中有高含量的毒害金属元素<sup>[4]</sup>,迄今尚未进行开采。这两个矿区都被选为重点研究对象——前者作为受采矿活动(开采过程中和开采后两个阶段)影响的扰动环境,而后者作为未受采矿活动(开采前阶段)影响的自然环境——研究毒害金属元素在水环境系统中的地球化学分布特征及其环境效应。

## 2 样品采集及分析

地下水样品采集于地下泉水、溶洞水和矿山地

下水,地表水样品主要采集于滥木厂汞铊矿区附近的溪流水。所有水样在野外现场经过 0.45 μm Millipore 滤膜过滤后盛于 60 mL 高密度聚乙烯 Nalgene 瓶中,并加入 0.4% 超纯 HNO<sub>3</sub> 酸化至 pH < 2.0,用于测试除 Hg 以外的金属离子。用同样的方法另采集 60 mL 水样,加入了 1.5% BrCl 溶液 0.30 mL(可以使水样中游离汞氧化成较稳定的金属汞),用作 Hg 测定。所有 Nalgene 瓶均经在实验室用 1% 超纯 HCl 和脱离子水充分浸泡并清洗。将采集的水样编号后冷藏于 4 ℃ 左右的冷柜中。野外还现场测定水温度、pH 值、电导率和溶解氧等参数。所有水样空运至渥太华加拿大地质调查所,用等离子质谱(ICP-MS)直接测定 As、Sb、Cd、Tl、Fe、Mn、Cu、Pb 和 Zn,用氢化法 ICP-MS 测定 Hg。检测下限分别为:As 0.1 ng/g, Sb 0.01 ng/g, Cd 0.05 ng/g, Tl 0.005 ng/g, Fe 5 ng/g, Mn 0.1 ng/g, Cu 0.1 ng/g, Pb 0.01 ng/g, Zn 0.5 ng/g, Hg 0.003 ng/g。通过重复样、空白样和渥太华标样 OTT96 的质量控制测试,所有元素分析结果的误差在 95% 置信度水平上均控制在 ±(10%~15%) 内,空白样测试结果都低于检测限。标样测试结果与推荐值的误差为 ±10%。

## 3 结果与讨论

水样分析结果列于表 1 中。

滥木厂 Hg-Tl 矿区由于长期受采矿活动影响,地下水往往经采矿坑流出(在旱季可能干涸)或人工抽水排出地表,而进入地表溪流。矿区地下水中重

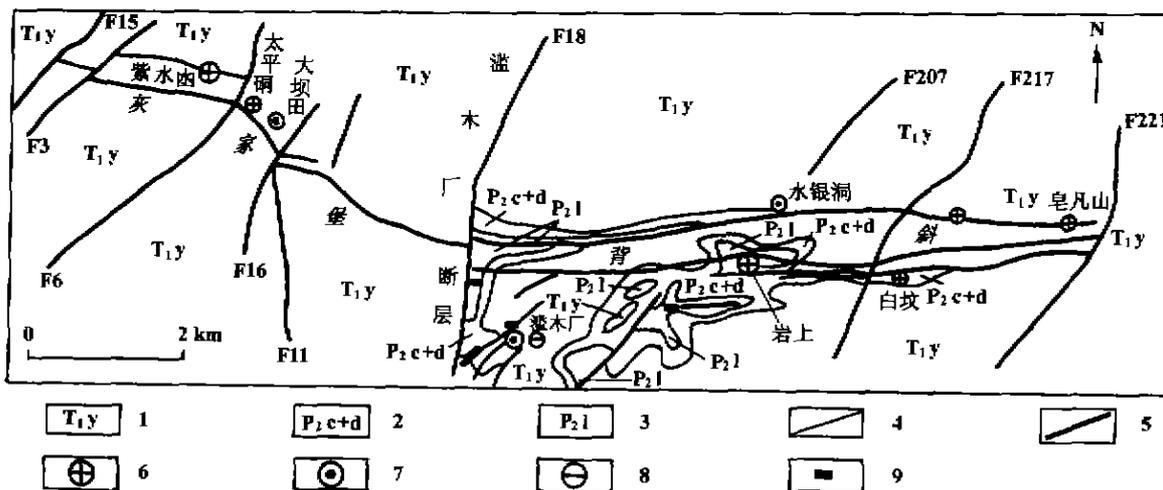


图 1 研究区地质简图(据王砚耕等<sup>[11]</sup>修改)

Fig. 1 Geological sketch map of the study area<sup>[11]</sup>

1. 夜郎组; 2. 长兴组和大隆组; 3. 龙潭煤系; 4. 地层界线; 5. 断层; 6. 金矿; 7. 汞矿; 8. 铊矿; 9. 煤矿。

表 1 金属元素在各种水体中平均含量分布( $\mu\text{g/L}$ )Table 1 Average levels of metal elements in different waters ( $\mu\text{g/L}$ )

元素	滥木厂 Hg-Tl 矿区 地下水(7)	滥木厂 Hg-Tl 矿外围区 地下水(8)	滥木厂 Hg-Tl 矿区 地表溪流水(11)	岩上金矿区 地下水(9)	煤采区地下水 (6)	区域背景值 (4)	世界背景值 河流	世界背景值 海洋
As	528.0	0.7	10.1	1.8	16.2	0.2	2	3
Cd	3.52	0.08	0.31	0.15	101.77	0.12	-	0.05
Tl	412.7	0.04	8.83	0.02	0.56	0.008	-	<0.01
Hg	0.51	0.46	0.19	0.55	0.24	0.15	0.07	0.03
Cu	145.0	0.5	0.9	0.5	358.9	0.3	7	0.5
Pb	0.25	0.13	0.12	0.23	1.02	0.18	1	0.03
Zn	3 491.4	3.0	13.6	7.0	644.8	7.5	30	2
Sb	0.58	0.18	0.42	0.16	0.35	0.03	1	0.3
Ba	12.1	30.8	50.3	42.3	18.2	22.3	50	10
Fe	259 218	5.3	196	5	188 367	3	40	2
Mn	2 816.2	7.2	137.3	23.1	3 366.6	9.5	8	0.2

注:括号内的数字为分析的样品数。世界背景值数据据文献[13]。

金属元素的含量很高,其中 As 和 Tl 的平均含量分别达到  $528.0 \mu\text{g/L}$  和  $412.7 \mu\text{g/L}$ , 分别是区域背景值的 2 640 倍和 51 587 倍,远远高出相应的世界河流和海洋背景值。As 和 Tl 在地表溪流水中分别为  $10.1 \mu\text{g/L}$  和  $8.83 \mu\text{g/L}$ , 是区域背景值的 50 倍和 1 103 倍,亦高出相应的世界河流和海洋背景值;而 Hg-Tl 矿外围区地下水由于不直接受 Hg-Tl 矿区 As 和 Tl 硫化物矿化及其采矿活动的影响,其 As 和 Tl 的含量仅为  $0.7 \mu\text{g/L}$  和  $0.04 \mu\text{g/L}$ , 仅为区域背景值的 4 倍和 5 倍。这种差异表明,地下水中高含量的 As 和 Tl 是 As 和 Tl 硫化物(如雄黄、雌黄、毒砂和红砷矿等)的风化以及地下水淋滤作用的结果。Cd、Cu 和 Zn 的含量除在 Hg-Tl 矿区地下水中明显富集外,在地表水和外围区地下水中含量明显降低,跟区域背景值相差无几。Hg 在矿区地下水中为  $0.51 \mu\text{g/L}$ , 在地表水和外围地下水中分别为  $0.19 \mu\text{g/L}$  和  $0.46 \mu\text{g/L}$ , 相对于区域背景值富集不明显,但相对于世界河流和海洋背景值明显地富集,矿区地下水 Hg 富集系数分别为 7 和 17。Pb 和 Sb 在矿区地下水中无明显富集,这与矿区中极少见到方铅矿和辉锑矿的矿化有关。而 Ba 在矿区地下水中的含量通常比在矿区外围地下水和地表水中的含量低 2~3 倍,亦低于区域背景值。滥木厂 Hg-Tl 矿区由于采矿活动的影响,硫化物易氧化为可溶性硫酸盐,使得地下水中  $\text{SO}_4^{2-}$  的含量升高,高出矿区外围地下水和矿区地表溪流水许多倍<sup>[14]</sup>。与  $\text{BaSO}_4$  的溶度积数据 ( $\lg K_{sp} = -9.97$ , 标准状态下)<sup>[1]</sup> 比较,矿区地下水中  $[\text{Ba}^{2+}]$  与  $[\text{SO}_4^{2-}]$  的溶度乘积  $\lg K'_{sp}$  为  $-8.30 \sim -9.48$ , 大于  $\lg K_{sp}$  值,这可能与

$\text{Ba}^{2+}$  在  $\text{SO}_4^{2-}$  含量高的矿区地下水中形成  $\text{BaSO}_4$  沉淀有关,但反应尚未达到平衡状态。在矿区外围地下水和地表溪流水中,  $\lg K'_{sp}$  的变化范围为  $-9 \sim -10.40$ , 接近  $\lg K_{sp}$  值,表明这些水体中  $[\text{Ba}^{2+}]$  与  $[\text{SO}_4^{2-}]$  已趋于溶解-沉淀平衡。

采集于尚未开采的岩上金矿区浅层地下水的样品,多数金属元素的含量偏低,Hg 的含量( $0.56 \mu\text{g/L}$ )与滥木厂 Hg-Tl 矿区地下水中的接近,而 Ba 略高( $42.3 \mu\text{g/L}$ )。这表明,在岩上金矿化区,浅层地下水中源于水岩相互作用的金属元素仅保持在较低的水平。这可能是由于岩上金矿区金矿主矿体埋藏深度较大( $100 \sim 300 \text{ m}$ )<sup>[1]</sup>, 低于浅层地下水的标高;但当深层地下水受采矿活动的外界扰动时,水岩反应速度会加剧(如黄铁矿等硫化物氧化后易生成可溶性硫酸盐等),可能导致深层地下水中金属元素的含量升高。岩上金矿区浅层地下水中金属元素含量较低的特点与研究区外围正在开采的紫木函金矿区有相似的地方。在紫木函金矿区,矿体(含氧化矿体)位于一封闭岩溶洼地中,深层地下水水位埋深  $10 \sim 50 \text{ m}$ , 而浅层地下水以泉水为主,泉水出露点高出采矿场,因而,浅层地下水中金属元素的含量相对偏低(如 As 仅为  $0.9 \mu\text{g/L}$ ), 而深层地下水中金属元素含量偏高(如 As 达到  $81.4 \mu\text{g/L}$ )<sup>[2]</sup>。因此,岩上金矿区将来开采后,深层地下水中金属元素的含量亦可能会急剧升高。

研究区内若干煤采区的地下水中, As、Cd、Cu、

1) Denstone Minerals Ltd, 个人通信, 1998。

2) 肖唐付、洪业汤、郑宝山,等,黔西南金矿区地下水中高砷的来源及其富集机制(未发表数据)。

Zn 等亦达到较高的水平, 其中 Cd 的高含量最为显著, 达到  $101.77 \mu\text{g/L}$ , 远远超出滥木厂 Hg-Tl 矿区地下水中的同类含量, Pb 亦比后者高; Tl 和 Hg 的含量分别为  $0.56 \mu\text{g/L}$  和  $0.24 \mu\text{g/L}$ , 均高出区域背景值。Sb 的富集不明显, 而 Ba 的含量 ( $18.2 \mu\text{g/g}$ ) 低于区域背景值 ( $22.3 \mu\text{g/g}$ ), 表现出与滥木厂 Hg-Tl 矿区地下水中 Ba 含量 ( $12.1 \mu\text{g/g}$ ) 相似的特征。

不管是滥木厂 Hg-Tl 矿区地下水和地表水还是煤矿化区地下水, 所含金属元素的量是与原生矿物的风化淋滤、水岩相互作用分不开的。其中, Au-As-Hg-Tl 成矿带中普遍发育的黄铁矿、毒砂、辰砂、雌(雄)黄和红铊矿等矿化富含 As、Hg 和 Tl 的硫化物, 这些硫化物在风化作用和水岩相互反应过程中, 会释放出大量 As、Hg 和 Tl 等重金属, 它们进入水环境后, 形成了水体中金属元素的高含量特征, 而采矿活动又加速了毒害金属元素向水环境释放的速度。相比较而言, Hg 的异常含量并不突出, 其变化范围仅为  $0.19 \sim 0.51 \mu\text{g/L}$ , 这可能与含汞的主要矿物辰砂的抗风化能力较强和水解能力较弱有关, 同时也可能与水体中汞易挥发有关, 但 Hg 含量仍然高出区域背景值。从区域背景值与世界河流背景值的比较看, 研究区仍显示出 Hg 的高背景值, 这与区域地质环境中辰砂是汞矿化的最主要硫化矿物是一致的。在岩上金矿区, 由于尚未受采矿活动的影响, 浅层地下水中金属元素含量普遍偏低, 多数接近区

域背景值。这表明, 在自然作用下, 金矿区地下水中金属元素保持在较低水平, 尚未对水环境构成污染。在已开采的汞铊矿区, 深层地下水受到外界扰动, 硫化物和次生矿物的风化或水解的能力增强, 从而使矿区地下水和地表溪流水中毒害金属元素的含量增高, 并伴随有高含量的铁和锰。这些水体中高含量的毒害金属元素与水体中 Fe、Mn 含量的关系密切, 表示水体中 Fe、Mn 氢氧化物对金属元素的富集可能有着积极的贡献, 这与前人的研究结果是一致的<sup>[1, 15, 16]</sup>。图 2 和图 3 显示了滥木厂 Hg-Tl 矿区地下水和地表水中 As 和 Tl 的含量与水体中 Fe 和 Mn 的含量具有较好的相关性。

在滥木厂 Hg-Tl 矿区, 流经矿区采场和尾矿堆积场附近及下游的地表溪流水亦显示出金属元素含量高的特征。清水河是流经矿区 and 居民生活区的唯一主要河流, 有 A、B、C 三条支流分别从矿区三个不同采场和尾矿堆积场汇入清水河的上游、中游和下游, 矿区外围另外两条支流 D、E 分别从上游和中游汇入清水河(图 4), 其中样点 W98、W99、W100 和 W102 采自上游; 样点 W103、W61 和 W16 采自中游; 样点 W35、W65、W70 和 W02 采自下游。样点 W45 采自支流 E(源头为岩溶泉)进入清水河的入口处。图 5 显示了 As、Tl 在清水河溪流水中的分布模式。该分布模式表明, 地表溪流水中的 As 和 Tl 在下游地段的富集较上游和中游明显, 这可能与近年来铊矿(伴生有大量砷矿物)的开采主要集中在小溪流

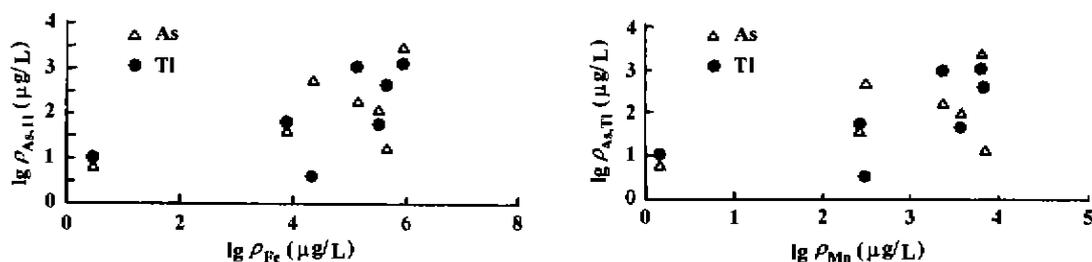


图 2 滥木厂 Hg-Tl 矿区地下水中 As、Tl 含量与 Fe、Mn 含量的关系

Fig. 2 Relationship between the As and Tl and the Fe and Mn levels in groundwater at the Lanmuchang Hg-Tl mineralised area

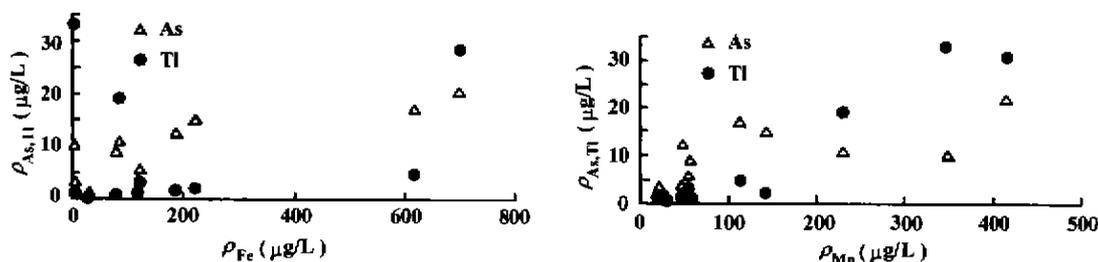


图 3 滥木厂 Hg-Tl 矿区地表溪流水 As、Tl 与 Fe、Mn 的关系

Fig. 3 Relationship between the As and Tl and the Fe and Mn levels in surface stream water at the Lanmuchang Hg-Tl mineralised area

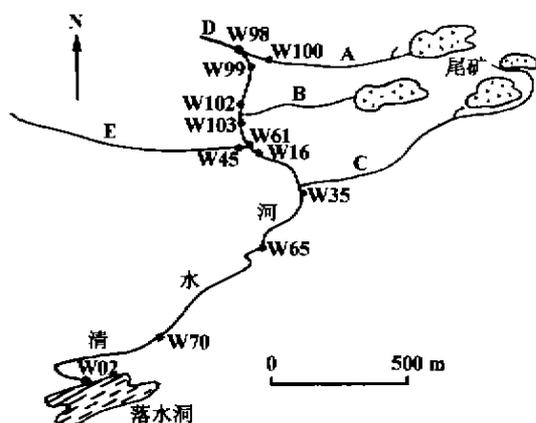


图 4 滥木厂 Hg-Tl 矿化区地表溪流采样点分布图

Fig. 4 Sampling sites of stream water at the Lanmuchiang Hg-Tl mineralised area

A、B、C、D、E 分别为 5 条支流, D 为清水河的源头, 详见正文。

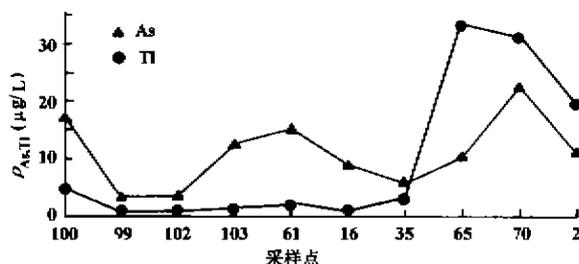


图 5 滥木厂 Hg-Tl 矿化区地表溪流水中 As 和 Tl 分布模式

Fig. 5 Distribution patterns of As and Tl in stream water at the Lanmuchiang Hg-Tl mineralised area

C 的上游有关, 但也不排除下游采样点 W65 附近有尚未探明的源于矿区的地下水的排泄点。As 和 Tl 在清水河上、中、下游三段内, 局部均有含量降低的趋势, 这与外来水体 D(岩溶泉) 和 E(岩溶泉) 的稀释作用及水系沉积物的吸附作用是分不开的。同时, As 和 Tl 在三段之间均有突变, 即 As、Tl 的含量由低急剧升高到一个新的水平。这种突变与上、中、下游三段均有一条来自矿区的小溪流(A、B 和 C)汇入清水河密切相关。这些小溪流均从矿区携带了高含量的金属 As 和 Tl 进入主流水体清水河, 从而增加了主流水体中 As 和 Tl 的含量。除上游小溪流 A 外, 中、下游两条溪流 B 和 C 均是季节性的, 在旱季往往干涸, 但在采矿时人工抽水排放出的矿山地下水或在雨季由于大气降水淋滤尾矿或从矿坑流出的地下水, 往往携带大量矿物颗粒进入地表水体, 所以, 它们对地表溪流水中金属元素富集的贡献亦是明显的。在中游, As 和 Tl 的最高含量在样点 W61 处, 这可能与中游穿过滥木厂居民集中居住区、水流

平缓、水系沉积物中堆积有大量生活垃圾而富含有机质有关, 从而该河段水系沉积物可能吸附滞留更多的金属元素, 使得水和沉积物界面间吸附/解吸的 As 和 Tl 的水平也就相对较高。在样点 W16 处, Tl 和 As 的含量降低, 这与来自支流的 E 的水体的稀释作用有关。Tl 和 As 的含量在样点 W45 处低于它们在清水河中的含量。在下游, As 和 Tl 的最高含量位于样点 W65, 而最低值位于样点 W35, 这可能是因为样点 W35 上游约 5 m 处, 河水有约 1.5 m 高的落差而在此形成一个小“瀑布”, 从上游和中游流下的溪流从“瀑布”跌落下来具有较大的流速和冲量, 水系沉积物不易在此沉积。在样点 W65 处, 水流趋于平缓, 水系沉积物发育, 并且水系沉积物表面覆盖有一层黄色物质(可能是铁锰氢氧化物)。在此采样点附近, 可能还有新的地下水排泄点使流自矿区的深层地下水流入清水河下游河床。尽管其流量可能小到在野外难以观察到, 但其对水体中金属元素含量增加的贡献是明显的。矿区水文地质表明<sup>[1]</sup>, 矿区地下水流向矿区西南部, 并且地下水位在矿区南部边缘高出清水河下游侵蚀基准面 0~20 m; 沿着溪流 C 至采样点 W65 和 W70 方向, 是矿区的一条较大断裂的延伸方向。这些便利的水文地质条件使矿区深层地下水在清水河下游河床渗出地表注入溪流成为可能, 从而增加了下游溪流水中金属元素的含量<sup>[14]</sup>。样点 W02 采自清水河下游距矿区的 3 km 处, 所有地表水在此处进入一个落水洞汇入地下, 其中 As 和 Tl 的含量分别为 11 μg/L 和 19.3 μg/L, 仍然保持较高的水平。

水体中高含量的金属元素除与采矿区地下水或大气降水淋滤尾矿有密切关系外, 还可能与水系沉积物密切相关。长期的采矿活动和雨水及溪流的冲击作用, 使地表溪流中堆积了大量源于矿区的、富含金属元素的水系沉积物。金属元素在水体中与水系沉积物界面之间可保持长时间的物质交换, 水系沉积物在不同的水动力学条件下, 既可能是金属元素的源, 又可能是它们的汇<sup>[17, 18]</sup>。滥木厂 Hg-Tl 矿化区地表溪流水中 As 和 Tl 的分布模式, 在一定程度上也反映出水系沉积物对 As 和 Tl 等重金属元素的富集起到了积极的作用。此外, 金属元素在水体中因氧化还原条件和 pH 值等物理化学因素的改变, 会表现出不同的价态特征, 其产生的环境效应也有较

1) 贵州省地质局黔西南地质大队, 兴仁滥木厂汞矿床最终储量报告, 1960, 24~31。

大的差别,如  $As^{3+}$  比  $As^{5+}$ 、 $Cr^{6+}$  比  $Cr^{3+}$ 、甲基汞比金属汞的毒性要强得多。因此,研究金属元素在水环境中不同的价态特征及其相互转化规律,将会进一步揭示毒害金属元素的水环境效应。在滥木厂 Hg-Tl 矿化区、流经矿化区的溪流水是唯一的农业灌溉用水,水体中的 As 和 Tl 等毒害金属元素会通过农业灌溉进入农田土壤。因此,正在进行中的水系沉积物和矿区土壤中毒害金属元素的含量和形态的分析,将会进一步揭示毒害金属元素在水环境中的地球化学特征及其环境效应。

#### 4 结 论

黔西南 Au-As-Hg-Tl 矿化区毒害金属元素的水地球化学研究表明,矿化区广泛存在的源于采矿活动而暴露于地表的尾矿和受人为扰动的矿区地下水是水环境中毒害金属元素的最主要来源。暴露于地表的尾矿及矿山废物在风化淋滤作用下释放出大量金属进入地表水体。矿区地下水(自然溢出或采矿抽水排出)排出地表,亦可直接增加地表水中金属的含量。在采矿开采前的金矿区,浅层地下水中的金属含量较低,尚未构成环境危害,可以用作将来矿业开采的环境评价和土地复垦的良好指标。研究区水体中所获得的高含量重金属数据对区内土地利用(如农田灌溉和土地改良等)和人体健康问题有着重要的指示价值。

谨感谢钱建洪先生在野外采样中给予的大力帮助。

#### 参考文献:

- [1] Langmuir D. Aqueous Environmental Geochemistry[M]. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, Inc, 1997. 1~600.
- [2] Crowder A A, Ripley E A, Redmen R E. Environmental Effect of

- Mining[M]. New York: Lucie Press, 1996. 1~360.
- [3] 王新明、盛国英、傅家谟,等. 广州珠江西航道,流溪河有机污染特征与感潮作用[J]. 地球化学, 1997, 26(3): 54~59.
- [4] 刘建中. 贵州省岩上金矿元素分布特征与卡林型金矿之比较[J]. 云南地质科技情报, 1997, (2): 7~11.
- [5] 陈代演. 红铊矿在中国的发现和研究的[J]. 矿物学报, 1989, 9(2): 141~147.
- [6] 李国柱. 兴仁滥木厂汞铊矿床矿石物质成分与铊的赋存状态初探[J]. 贵州地质, 1996, 13(1): 24~36.
- [7] 丁振华、郑宝山、张杰. 黔西南高碑煤中砷存在形式的初步研究[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(5): 421~425.
- [8] Forstner U, Wittmann C T W. Metal Pollution in the Aquatic Environment[M]. New York: Springer-Verlag, 1981. 1~486.
- [9] Zhou D X, Liu D N. Chronic thallium poisoning in a rural area of Guizhou Province, China[J]. J Environ Health, 1985, 48: 14~18.
- [10] Assaad F A, Jordan H. Karst terrains and environmental aspects [J]. Environ Geol, 1994, 23: 228~237.
- [11] 王砚耕,索书田,张明发,等. 黔西南构造与卡林型金矿[M]. 北京:地质出版社, 1994. 69~70.
- [12] 陈代演. 我国汞铊共生矿床中富集铊矿体的首次发现及其成因初步研究[J]. 贵州工学院学报, 1989, 18(2): 1~19.
- [13] Drever J I. The Geochemistry of Natural Water[M]. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, Inc. 1982. 1~388.
- [14] Xiao T, Boyle D, Guha J, et al. Groundwater-related thallium transfer processes and ecosystem: Southwest Guizhou Province, China[A]. Piggott A. Proceedings of the First Joint IAH-CNC and CGS Groundwater Specialty Conference, Montreal, Canada[C], Montreal: Groupe Geotechnique de Montreal, 2000. 25~31.
- [15] Pierce M L, Moore C B. Adsorption of arsenite and arsenate on amorphous iron hydroxide[J]. Water Res, 1982, 16: 1247~1253.
- [16] Gupta S, Chen K Y. Arsenic removal by adsorption[J]. J W P C F, 1978, 50: 493~506.
- [17] Holm N G. Arsenic regeneration from estuarine sediments of the Bothnian Bay, Sweden[J]. Chem Geol, 1988, 68: 275~297.
- [18] Saulnier I, Mueci A. Trace metal remobilization following the re-suspension of estuarine sediments: Saguenay Fjord, Canada[J]. Appl Geochem, 2000, 15: 191~210.

## Hydrogeochemistry of toxic metal elements in an Au-As-Hg-Tl mineralised area in Southwest Guizhou

XIAO Tang-fu<sup>1</sup>, HONG Ye-tang<sup>1</sup>, ZHENG Bao-shan<sup>1</sup>, HONG Bing<sup>1</sup>, Dan Boyle<sup>2</sup>, Jayanta Guha<sup>3</sup>

(1. *State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China*; 2. *Mineral Resources Division, Geological Survey of Canada, Ottawa, Canada, K1A 0E8*; 3. *Science de la Terre, Université du Québec à Chicoutimi, Québec, Canada, G7H 2B1*)

**Abstract:** Hydrogeochemistry and environmental effect of toxic metal elements have been studied related to both the mining activities and natural processes in a typical Au-As-Hg-Tl mineralized area in Southwest Guizhou Province. The results show high levels of toxic metal elements in both groundwater and surface stream water in the Lanmuchang Hg-Tl mineralised area and low concentrations in groundwater away from the mineralised area. High enrichment of metals was also detected in groundwater in the coal-mining areas. The dispersion of arsenic and thallium in surface stream water around the Hg-Tl mining area indicates that the concentration changes of As and Tl are controlled by the seepage of groundwater and the leaching of tailings from the mining area. On the contrary, no obvious enrichment of metals in shallow groundwater was found in the unmined Yanshang gold mineralised area. This may indicate that the natural process in the unmined area does not propose a hazard to the aquatic environment so far. It is demonstrated that the disturbed groundwater and the exposure of tailings related to mining activities are the main sources for the anomalous levels of toxic metal elements in the aquatic system, and that the hydrogeochemistry is a good approach for implicating the environmental impacts related to mining activities.

**Key words:** hydrogeochemistry; toxic metal elements; thallium; mining activity; Guizhou Province