

中国汞的地球化学空间分布特征

文雪琴^{1,2*}, 迟清华²

(1. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所 应用地球化学开放实验室, 河北 廊坊 065000)

摘要: 20世纪80年代以来中国积累了岩石、土壤和水系沉积物中的大量可靠的汞分析数据和图件, 为分析汞的地球化学空间分布特征提供了依据。从空间分布上看, 从中国北部到南部, 从西部到东部, 土壤和水系沉积物中汞的含量背景值逐渐增高, 汞在以干旱荒漠区、半干旱荒漠区、黄土地区和高寒山区为主的西部和北部呈低背景, 在东部森林沼泽区和半湿润低山丘陵区为中等背景, 在南部的湿润低山丘陵区、热带雨林区和高山峡谷区为高背景, 尤其在以云南东南部、贵州、广西西部、湖南西部岩溶区为中心的低温成矿域内, 无论岩石、土壤还是水系沉积物, 汞含量背景值达到最高。一般情况下, 岩石、土壤和水系沉积物之间的汞含量具有继承性, 在地理空间分布上呈明显的对应关系, 并且土壤和水系沉积物之间的汞含量具有相近性, 土壤和水系沉积物较岩石更为富集汞。

关键词: 汞; 背景值; 元素空间分布; 岩石; 土壤; 沉积物; 中国

中图分类号: P595

文献标识码: A

文章编号: 0379-1726(2007)06-0621-07

Geochemical spatial distribution of mercury in China

WEN Xue-qin^{1,2*} and CHI Qing-hua²

1. College of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Applied Geochemistry Research Center, Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China

Abstract: Abundant reliable analyzed data and maps of mercury in rocks and loose sediments have been cumulated from 1980s, which offers evidence to analyze geochemical spatial characteristics of Hg. As viewed from spatial distribution, background value of Hg in soil and sediment rises gradually from northern China to southern China, and from western China to eastern China. Value of Hg shows low background in western and northern China where is mainly arid desert or semi-arid desert, loess, high cold mountainous areas. And the value of Hg is high in eastern and southern China, especially in low-temperature mineralized area in the karst areas of southeastern Yunnan, western Guangxi, Guizhou, western Hunan, and value of Hg gets to peak whether in rocks, soils or sediments. Generally, mercury contents between rocks, soils and sediments have inheritance, which show corresponding relationship in spatial distribution, and mercury contents between soils and stream sediments are close. Meanwhile stream sediments and soils can enrich more Hg than rocks.

Key words: mercury; background value; element spatial distribution; rock; soil; sediment; China

0 引言

汞作为一种成矿元素和有毒有害金属元素, 在地球化学尤其是地球化学勘查、生态与环境地球化

学评价和研究中具有非常重要的地位。

1998年, 任天祥等根据中国区域化探全国扫面计划(覆盖450余万km²国土面积)获得的44422个1:2.5万图幅包括汞在内的39种元素水系沉积物平均含量数据, 计算了中国不同景观区元素的平均

收稿日期(Received): 2007-07-12; 改回日期(Revised): 2007-11-01; 接受日期(Accepted): 2007-11-05

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(G1999043215); 原地质矿产部重点基础地质研究项目(8502212)

作者简介: 文雪琴(1974-), 女, 博士研究生, 现从事地球化学勘查、区域地球化学研究工作。

* 通讯作者(Corresponding author): WEN Xue-qin, E-mail: shana393@126.com, Tel: +86-316-2267628

含量^[1]; 1986~1990 年国家重点科技攻关项目“全国土壤环境背景值研究”获得了 4095 个典型土壤剖面约 11500 件样品汞的实测分析数据, 分别于 1990 年发表了“中国不同类型土壤包括汞在内的 61 种元素的含量背景值”^[2]和 1994 年编制了“中华人民共和国土壤环境汞元素背景值图”^[3]; 1992~1995 年原地质矿产部重要基础地质项目“中国东部区域上地壳元素丰度研究”^[4]及“全国环境地球化学监控网络与全国动态地球化学图”^[5]分别分析了 2718 件岩石组合分析样品(28253 件岩石样品)和 529 件泛滥平原沉积物包括汞在内的 76 种和 63 种元素的含量数据, 获得了汞在不同大地构造单元不同类型岩石、地层、沉积盖层、结晶基底和不同类型疏松沉积物中的平均含量; 2002~2003 年国家科技部科技基础性工作和社会公益研究专项“中国地球化学元素丰度图集编制与研究”利用“中国东部地壳与岩石的化学组成”的数据, 编制了包括汞在内的 60 种元素的中国东部岩石地球化学图^[6-7]; 2002~2005 年国家科技部科技基础性工作和社会公益研究专项“中国土壤生态地球化学基准值及数据库研究”在中国东部三江平原、松嫩平原、辽河平原、华北平原、长江中下游平原以及南阳盆地和珠江三角洲平原面积约 85 万 km² 范围内系统采集和分析了 517 件平原深部(采样深度为 150~175 cm)土壤组合样品^[8], 获得了包括汞在内的 70 余种元素的基准值。1994 年, 赵一阳等^[9]选取分析了 286 件有代表性的中国浅海沉积物样品和 26 件冲绳海槽的沉积物样品, 获得了中国不同海域包括汞在内的 63 种元素的平均含量。与 20 世纪 70 年代前对汞含量的高检出限不同的是, 上述计划和研究规定汞的分析检出限只有 2~5 ng/g; 足以保证这些数据和资料的可靠性, 使得我们可以根据这些数据和资料从宏观角度研究汞含量在中国的地球化学空间分布特征。本文试图通过现有的这些数据和资料, 对汞在中国水系沉积物、土壤、岩石中的空间分布规律进行对比和研究,

找出它们之间的联系和差异, 这对汞的理论地球化学、勘查地球化学、生态和环境地球化学评价都具有重要的意义, 同时为与汞有关的成矿域和大地构造等方面的研究提供一些重要的线索和依据。

1 汞在中国沉积物中的空间分布

作为有毒有害的污染元素, 汞在水系沉积物中的含量分布一直是区域地球化学、生态地球化学和环境地球化学评价与研究的重点。自 20 世纪 80 年代以来, 一些研究者^[1, 9]陆续发表了中国大陆、浅海和河流沉积物中汞的含量(表 1)。

中国水系沉积物中汞的背景值为 69 ng/g, 西北的干旱荒漠区、西南的高寒山区、华北的半干旱荒漠区的汞背景值低于全国水平, 分别为 14 ng/g、

表 1 中国不同类型沉积物中汞的平均含量(ng/g)

Table 1 Average contents (ng/g) of mercury in different types of sediments in China

资料来源	沉积物类型	样品数	AM	GM	M
文献[1]	中国水系沉积物	44422	69	36	36
文献[1]	干旱荒漠区(西北)	3114		14	
文献[1]	高寒山区(西南)	9347		16	
文献[1]	森林沼泽区(东北)	2134		36	
文献[1]	半干旱荒漠区(华北)	1610		12	
文献[1]	半湿润低山丘陵区(华北、东北)	6418		29	
文献[1]	湿润低山丘陵区(华东、华南)	12048		62	
文献[1]	岩溶区(西南)	2995		142	
文献[1]	热带雨林区(西南)	1190		46	
文献[1]	高山峡谷区(西南)	1183		45	
文献[9]	中国浅海沉积物	286	25	25	24
文献[9]	渤海沉积物	44	36	35	36
文献[9]	黄海沉积物	63	24	24	26
文献[9]	东海沉积物	83	25	21	19
文献[9]	南海沉积物	93	27	23	22
文献[9]	冲绳海槽沉积物	26	130	107	131
文献[9]	黄河沉积物		15		
文献[9]	长江沉积物		80		
文献[9]	珠江沉积物		93		
文献[10]	中国泛滥平原沉积物	529	72	42	40
文献[10]	表层沉积物	529	76	47	44
文献[10]	深层沉积物	529	50	32	31
文献[10]	青藏高原泛滥平原沉积物	251	21	17	16
文献[10]	新疆东天山干旱荒漠区沉积物(15 万 km ²)	1666	9	8	7
文献[10]	甘肃黄土冲积物(3 万 km ²)	300	10	8	7

注: AM 和 GM 分别为原始数据经平均值与 2 倍标准离差之和一次剔除后的算术平均值和几何平均值, M 为原始数据的中位值; 中国及其不同景观区水系沉积物中的每一个样品数为一个 1:25000 图幅(20 余个数据)的含量平均值; 中国泛滥平原沉积物的值为表层和深层沉积物的平均值。

16 ng/g 和 12 ng/g。中国西南的汞含量平均值较高, 热带雨林区为 46 ng/g, 高山峡谷区为 45 ng/g, 特别是岩溶区全国最高, 达 142 ng/g。华东和华南的湿润低山丘陵区含量为 62 ng/g。

中国水系沉积物汞的地球化学图表明, 汞的背景含量分布总体表现出由西向东、由北向南逐渐升高的趋势。特别在云南东南部、广西西部、贵州和湖南西部地区出现一个面积约 50 万 km² 的汞含量大于 80 ng/g 的地球化学域, 位于该地球化学域中心的贵州和广西西部汞含量可高达 7600 ng/g。此外, 在秦岭造山带和扬子地台结合带的秦岭 - 大巴山、华南板块和滇藏板块结合带的澜沧江沿线以及印度板块和滇藏板块结合带的雅鲁藏布江沿线, 尽管高背景的汞含量呈串珠状展布, 但总体上汞含量也表现出高背景。

新疆、青海、甘肃、内蒙古为干旱、半干旱荒漠区, 地表径流少, 降雨量小, 蒸发量大, 而西藏则为高寒山区和高寒湖沼区, 年平均气温低, 它们都属于以物理风化作用为主的地球化学景观, 致使沉积物中沙土较多, 不利于汞的聚集, 因而汞的背景含量非常低, 在中国这些地区为汞的低背景值区。而华南的湿润低山丘陵区、热带雨林区和岩溶区年平均气温高, 降雨量大, 化学风化作用强, 致使沉积物中粘土较多, 容易富集汞, 而成为中国汞的高背景值区。

青藏高原泛滥平原沉积物的汞平均含量仅为 21 ng/g^[10], 而中国表层和深层泛滥平原沉积物的汞平均含量分别达 76 和 50 ng/g^[10], 说明随着地表径流, 汞趋向于在下游富集。从黄河到长江再到珠江, 沉积物的汞平均含量逐渐升高, 分别为 15 ng/g、80 ng/g 和 93 ng/g^[9]。中国浅海沉积物中, 除渤海沉积物的汞平均含量稍高外, 其他海域沉积物的汞平均含量则表现出较为一致的趋势^[9]。而具有明显热液活动的冲绳海槽沉积物的汞平均含量高达 130 ng/g^[9]。

2 汞在中国土壤中的空间分布

中国土壤环境汞含量背景值 (表 2 中 A 层土壤算术平均值)^[2] 和中国土壤环境汞含量背景值图^[3] 表明, 中国西北的青海、新疆、甘肃、陕西北部、西南的西藏、华北北部的内蒙古中西部汞的含量较低, 如西北的棕漠土中为 13 ng/g、灰棕漠土 18 ng/g, 西南的莎嘎土中为 19 ng/g, 华北的栗钙土中汞含量为 27 ng/g; 而华中、东北、华北南部的汞含量接近全国平均水平 65 ng/g, 如东北的暗棕壤汞含量为 49 ng/g, 东北、华北的棕壤汞含量为 53 ng/g, 华中黄棕壤中汞含量为 71 ng/g, 华北平原区的潮土中汞含量为 47 ng/g。而在西南 - 华南地区汞含量却非常高, 如华南 - 西南的黄壤和红壤分别为 102 ng/g 和 78 ng/g, 特别在华东、华南平原区的水稻土中汞的平均含量最高可达到 183 ng/g^[2]。

表 2 中国不同类型土壤中汞的平均含量 (ng/g)

Table 2 Average contents (ng/g) of mercury in different types of soil in China

资料来源	土壤类型	样品数	AM (C 层/A 层)	GM (C 层/A 层)	M (C 层/A 层)
文献[2]	中国土壤背景值	~12000	44/65	26/40	25/38
文献[2]	棕漠土(西北)		10/13	6/10	6/9
文献[2]	灰棕漠土(西北)		14/18	9/14	9/12
文献[2]	莎嘎土(西南)		21/19	18/17	19/17
文献[2]	暗棕壤(东北)		40/49	33/42	30/39
文献[2]	棕壤(华北、东北)		55/53	36/28	37/39
文献[2]	栗钙土(华北)		24/27	15/21	14/20
文献[2]	褐土(华北)		33/40	22/28	21/26
文献[2]	潮土(华北平原区)		26/47	19/32	20/33
文献[2]	黄棕壤(华中)		48/71	33/39	31/44
文献[2]	黄壤(华南、西南)		99/102	76/90	76/86
文献[2]	红壤(华南、西南)		62/78	44/66	44/69
文献[2]	赤红壤(华南、西南)		55/56	38/47	35/44
文献[2]	水稻土(华东、华南平原区)		71/183	51/127	51/128
文献[8]	中国东部平原土壤基准值	517	25		
文献[8]	三江平原	33	35		
文献[8]	松辽平原	138	15		
文献[8]	黄淮海平原	219	20		
文献[8]	南阳盆地	12	25		
文献[8]	长江三角洲	57	29		
文献[8]	江汉平原	38	48		
文献[8]	鄱阳湖平原	10	75		
文献[8]	珠江三角洲	10	87		

注: AM 和 GM 分别为原始数据经平均值与 2 倍标准离差之和一次剔除后的算术平均值和几何平均值, M 为原始数据的中位值; 中国泛滥平原沉积物的值为表层和深层沉积物的平均值。中国东部平原土壤基准值为原始数据的平均值, 未经任何剔除。A 层土壤采样深度为 0~20 cm, C 层土壤采样深度为 100 cm 以下。

总体上,中国土壤环境汞含量背景值的分布特征是:从西北向东南呈逐渐增高的趋势;新疆、甘肃、内蒙古中西部、西藏西部等属低背景值区;松辽平原和华北平原接近全国平均水平;云南、湖北、江西、浙江、福建、广东、尤其湖南、广西、贵州等省区,属高背景值区。

中国东部平原土壤汞基准值^[8]研究表明,除三江平原外,平原区从北到南土壤中汞的基准值逐步增高。

总体上,土壤粒度越细,与汞结合的能力就越强,汞含量也就越高,如西北的具有明显砾质化特征的棕漠土和灰棕漠土,其汞含量只有 13 ng/g 和 18 ng/g,而华南、西南粘粒含量高的黄壤和红壤,汞含量高达 78 ~ 102 ng/g。

此外,含有机质和腐殖质越丰富的土壤与汞结合的能力越强,汞含量也越高。如华东、华南的水稻土中汞含量最高为 183 ng/g。

同时也表明,在降雨量越丰富的地区土壤汞的含量就越高,因为大气中的汞又通过降雨沉降到雨水充沛的地区,如珠江三角洲(87 ng/g)、鄱阳湖平原(75 ng/g)等土壤汞含量比西北所有类型土壤中的汞含量值(13 ~ 19 ng/g)要高得多。

所以,水热条件在土壤发育过程中具有重要作用,它主要通过对土壤矿物质发生作用来影响土壤内部的元素迁移和转化。温度越高,水份越大,土壤矿物质风化就越彻底,土壤颗粒就越细小,土壤质地就越粘重,从而阻止了汞元素的淋失,对汞元

素起到了一种富集作用。

3 汞在岩石中的分布

鄢明才等^[4]在中国东部五个大地构造单元 330 万 km² 范围内采集了 28253 件岩石样品,组合成 2718 件样品,采用高灵敏度、低检出限的原子荧光分析方法,以多种高质量的国家一级地球化学标准物质进行质量监控,获得了高质量的汞含量数据,系统提出了中国东部不同类型岩石、不同一级大地构造单元结晶基底、沉积盖层、不同二级大地构造单元地层中汞的平均含量,并以不同大地构造单元疏松沉积物外所有岩石或地质体元素含量按出露面积的加权平均值得到了出露岩石地壳丰度(表 3)。其中不同地质体的面积是依 1 : 50 万地质图算得的,地层中不同岩性的权由标准剖面的综合平均值求得。

杜佩轩等^[11]、张耀华等^[12]、姚俭等^[13]、向茂木^[14]分别根据新疆 5236 件、辽宁 3360 件、浙江 2145 件、贵州 6040 件岩石样品分析数据,得到了新疆及其各大地构造单元、辽宁省、浙江省和贵州省汞元素背景平均值(表 3)。为便于对比,表 3 中同时列出了中国东部^[15]、新疆及其不同大地构造单元^[11]、辽宁^[16]、浙江^[13]和贵州^[17]水系沉积物和土壤^[2]汞的含量数据。

表 3 数据表明,汞主要分布于沉积盖层,尤其以秦岭 - 大别山造山带和扬子地台最为显著,而结晶基底中汞含量较低。中国东部不同大地构造单元中无论沉积盖层、结晶基底还是出露岩石地壳汞的丰

表 3 中国出露岩石地壳、水系沉积物和土壤的汞丰度 (ng/g)

Table 3 Abundance (ng/g) of mercury in the exposed rock crust, stream sediments and soils in China

资料来源	大地构造单元	出露岩石地壳丰度	岩石背景值	沉积盖层	结晶基底	水系沉积物	土壤 (C 层/A 层)
文献[7, 12]	中国东部	13		15	9.4	52	
文献[7, 12]	内蒙兴安 - 吉黑造山带	12		9.9	11	32	
文献[7, 12]	华北地台	8.9		13	6.5	27	
文献[7, 12]	秦岭 - 大别造山带	27		40	12	39	
文献[7, 12]	扬子地台(东部)	20		23	14	71	
文献[7, 12]	华南褶皱带	6.6		9.6	6.2	90	
文献[11, 2]	新疆		11.7			15.4	14/17
文献[11]	西伯利亚板块		13.2			15.1	
文献[11]	准噶尔板块		12.0			14.4	
文献[11]	塔里木板块		14.5			14.9	
文献[12, 16, 2]	辽宁		14			35	27/37
文献[13, 2]	浙江		30			80	59/86
文献[14, 17, 2]	贵州		96*			123	188/110

注:带“*”的数据是根据文献[14]提供的贵州全省不同岩石类型的样品数和平均含量加权平均得到的。

度均相差较大,其中以秦岭-大别山带和扬子地台(东)汞丰度最高,表现出两个大地构造单元活动性较强的特点。中国东部、辽宁、浙江、贵州水系沉积物和土壤汞含量远高于出露岩石地壳丰度或岩石背景值,而新疆水系沉积物汞含量则稍高于岩石背景平均值。

迟清华^[7]根据中国东部不同二级大地构造单元地层和岩石的化学元素平均含量制作的中国东部岩石汞元素地球化学图表明,中国东部秦岭-大别造山带的南秦岭造山带、西秦岭造山带具有汞含量高背景,表现出了活动造山带的地球化学特征;扬子地台(东)的下扬子台褶带和江南台隆也为汞含量高背景,表明两者具有“活动”地台的地球化学特征,而其他大地构造单元则表现为汞含量的平均背景和低背景。

向茂木^[14]编制的贵州基岩汞背景地球化学图表明,贵州东南部基岩汞背景值较低($< 10 \text{ ng/g}$),分布面积约1万 km^2 ;而发育中型-大型汞矿床的贵阳东北部-铜仁一带的基岩汞含量较高($> 100 \text{ ng/g}$),分布面积约3万 km^2 ;而贵州其他地区基岩的汞含量在 $10 \sim 100 \text{ ng/g}$ 之间,分布面积约13万 km^2 。贵州省基岩汞背景值约为 96 ng/g ,为中国东部出露岩石地壳汞丰度的7倍,因而具有高背景。同时,贵州省基岩、水系沉积物和土壤汞均为高背景值。

与贵州相连的云南东南部、广西西部和湖南西部与贵州同属于华南燕山期形成的中低温成矿域^[18],所以其水系沉积物和土壤中汞的高背景也可推断是由基岩的高背景引起的。

此外,沿扬子地台东南缘即南京-南昌-长沙-贵阳一线岩石中的汞含量也表现出高背景值。主要是由于在新元古代、震旦纪、寒武纪和二叠纪在华南沿扬子地台东南缘沉积的一套以泥质岩、碳质页岩和硅质岩为主的黑色岩系中,由于这些岩石含有较高的汞,导致该区域岩石具有汞的高背景。其分布范围西起滇、黔、川,东至苏、浙、皖,总面积超过50000 km^2 ^[19-20]。

4 分析与讨论

4.1 岩石、土壤、水系沉积物之间汞含量分布关系

汞在中国岩石、土壤和水系沉积物中的分布表明,在不同自然地理景观条件下三者之间存在明显的继承关系。尽管岩石中汞含量的高低直接决定了

土壤和水系沉积物中汞含量的高低,但在年平均降雨量大的中国东部尤其中国南部汞由于在表生条件下表现为具有强烈富集的特征,致使土壤和水系沉积物的汞含量远高于岩石,而在年平均降雨量小的中国西部和北部,汞在表生条件下表现为弱富集的特征,致使土壤和水系沉积物的汞含量稍高于岩石。无论在哪种景观条件下,土壤和水系沉积物汞含量之间存在着较为明显的一致性。

中国不同景观区的水系沉积物与其相对应土壤的汞含量较为一致并有自北向南、从西向东增高的趋势。如西北干旱荒漠景观区的水系沉积物与棕漠土和灰棕漠土、西南高寒山区的水系沉积物与莎嘎土、东北森林沼泽景观区的水系沉积物与暗棕壤、西南岩溶景观区的水系沉积物与黄壤、华东南湿润低山丘陵景观区的水系沉积物与黄棕壤、红壤和赤红壤等。

岩石和疏松沉积物之间的汞含量具有继承性。一般来讲,从岩石、C层土壤、水系沉积物到A层土壤,汞含量逐渐增高。如云南东南部-广西西部-贵州-湖南西部基岩中汞具高背景,在水系沉积物和土壤中也表现为高背景,而在西部地区以新疆为代表的岩石中汞具低背景,在水系沉积物和土壤中也表现为低背景。

但这种继承性又不能放之四海而皆准,如新疆岩石的汞含量(11.7 ng/g)高于华北地台(8.9 ng/g)和华南褶皱带(6.6 ng/g),但新疆土壤和水系沉积物中的汞背景值却最低(14 ng/g)。这主要是因为以干旱半干旱荒漠区为代表的西部地区气温高,地表径流少,降雨量也小,不利于汞的聚集,导致岩石、土壤和水系沉积物中的汞含量基本保持平衡,而来自地壳深部过量的汞蒸发到大气中,然后汞随大气环流、降雨和河流迁移到潮湿多雨的中国长江中下游和华南地区土壤和沉积物中强烈聚集。

因此,在生态地球化学和环境地球化学研究与土壤环境质量评价时,一定要针对某一景观区或某一流域地质介质中的元素含量分布情况制定相应的环境质量评价标准进行合理的推断解释。既要充分考虑不同区域形成土壤、水系沉积物的母岩中微量元素含量情况,又要充分考虑不同气候条件下不同景观区土壤、水系沉积物微量元素的含量变化情况。

中国出露岩石地壳、水系沉积物和土壤的汞丰度(表3)表明,汞强烈富集在土壤和沉积物中。土壤和水系沉积物中汞的平均含量约为地壳和岩石的9

倍和 5 倍, 汞含量从原生岩石到表生介质迅速增高表明汞具有强烈的次生富集作用及陆地疏松沉积物对汞有强烈的吸附作用^[10]。

另外, 通过以前在贵州万山汞矿区附近的研究发现, 在同一基岩露头上, 汞在风化土中的品位总是高于半风化基岩的品位, 半风化基岩的品位又总是高于基岩的品位。汞的沉积物含量与岩石含量的比值都大于 1, 而且汞在沉积物中的含量也是原岩的数倍。汞可以形成更高程度的富集^[21]。

4.2 滇桂黔湘渝交界处汞高背景分布区的成因

云南东南部、贵州大部、广西西部、湖南西部和重庆东南部, 无论是岩石、土壤还是水系沉积物, 不仅具有汞的高背景, 而且还具有砷、锑、硒、镉、氟等元素的高背景, 与这里分布的中国最大的低温成矿域相吻合。

该低温成矿域大致呈北东向分布, 发育着江南古陆的“江南型”金-锑矿带、湘黔汞矿带、西南卡林型金矿区和湘中锑矿带, 有中国乃至世界著名的贵州万山大型汞矿、湖南锡矿山超大型锑矿产出, 此外还产有雌黄-雄黄和重晶石等低温矿床, 是目前世界上已知规模最大、多矿种分布最集中的金、砷、锑、汞、硒、铀和重晶石等多元素低温热液成矿域。其成矿时代主要为燕山期, 成矿温度在大区域内从东到西、自北向南呈降低趋势, 这与汞背景值从东南到西北逐渐增高相一致。研究表明, 滇桂黔湘渝低温成矿域的时空分布和成矿元素组合演化与燕山期花岗岩强烈活动的华南钨、锡高温成矿域有密切的联系。两者都集中形成于燕山期, 并与川东南油气田一起, 共同构成了一个自南东向北西由高温、中温到低温热液矿床和油气矿藏组成的区域性矿化巨型分带, 从而表现出中国“大华南”地区(东南、中南和西南)在燕山期曾经历过统一热场作用下的大范围流体运动和大规模成矿作用^[18]。

5 结 论

中国岩石和土壤、水系沉积物中汞背景含量的地球化学空间分布表明, 汞在岩石、土壤和水系沉积物之间具有继承性, 并呈明显的对应关系, 土壤和水系沉积物较岩石更为富集汞。

汞在中国不同地理景观条件下富集程度有所不同。在中国降雨量极小的西部和北部的干旱荒漠戈壁区、半干旱草原区、黄土地区和高寒山区, 无论岩

石、土壤还是水系沉积物均表现为汞的低背景(~ 10 ng/g); 在中国降雨量中等的东部和降雨量较大的南部大部分地区, 尽管岩石中的汞含量为低背景, 但土壤和水系沉积物中的汞含量达到中等背景(~ 30 ng/g); 而在中国云南东南部、贵州大部、广西西部、湖南西部和重庆东南部, 无论是岩石、土壤还是水系沉积物中的汞含量均具有高背景(> 60 ng/g), 并与这里分布的中国最大的低温成矿域相吻合。

这些研究对于生态环境与农业地球化学调查和质量评价以及地球化学勘查具有重要意义。

参考文献(References):

- [1] 任天祥, 伍宗华, 羌荣生. 区域化探异常筛选与查证的方法技术[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 16-17.
Ren Tian-xiang, Wu Zong-hua, Qiang Rong-sheng. Methods and Techniques of Screening and Follow-up for Anomalies in Regional Geochemical Exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 16-17 (in Chinese).
- [2] 中国土壤环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 1-501.
China National Environmental Monitoring Center. Soil Environmental Background Value in China [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990: 1-501 (in Chinese).
- [3] 中国土壤环境监测总站. 中华人民共和国土壤环境汞元素背景值图集[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994: 1-196.
China National Environmental Monitoring Center. The Atlas of Soil Environmental Background Value in the People's Republic of China [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1994: 1-196 (in Chinese).
- [4] 鄯明才, 迟清华. 中国东部地壳与岩石的化学组成 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 11-155.
Yan Ming-cai, Chi Qing-hua. The Chemical Compositions of Crust and Rocks in the Eastern Part of China [M]. Beijing: Science Press, 1997: 11-155 (in Chinese with English preface).
- [5] Xie Xue-jin, Cheng Hang-xin. The suitability of floodplain sediment as global sampling medium: Evidence from China[J]. J Geochem Explor, 1997, 58(1): 51-62.
- [6] 迟清华, 鄯明才. 中国东部岩石地球化学图[J]. 地球化学, 2005, 34(2): 97-108.
Chi Qing-hua, Yan Ming-cai. Lithogeochemical map in the eastern part of China[J]. Geochimica, 2005, 34(2): 97-108 (in Chinese with English abstract).
- [7] 迟清华. 中国东部大陆岩石地球化学图揭示的信息[J]. 地质通报, 2005, 24(10): 897-905.
Chi Qing-hua. Information revealed by lithogeochemical maps in the continent of eastern China[J]. Geol Bull China, 2005, 24(10): 897-905 (in Chinese with English abstract).
- [8] 朱立新, 马生明, 王之峰. 中国东部平原土壤生态地球化学基准值[J]. 中国地质, 2006, 33(6): 1400-1405.
Zhu Li-xin, Ma Sheng-ming, Wang Zhi-feng. Soil eco-geochemical

- baseline in alluvial plains of eastern China [J]. *Geol China*, 2006, 33(6): 1400–1405 (in Chinese with English abstract).
- [9] 赵一阳, 鄢明才. 中国浅海沉积物地球化学分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 175–176.
- Zhao Yi-yang, Yan Ming-cai. *Geochemistry of Sediments of the China Shelf Sea* [M]. Beijing: Science Press, 1994: 175–176 (in Chinese).
- [10] 迟清华. 汞在地壳、岩石和疏松沉积物中的分布 [J]. *地球化学*, 2004, 33(6): 641–649.
- Chi Qing-hua. Abundance of mercury in crust, rocks and loose sediments [J]. *Geochimica*, 2004, 33(6): 641–649 (in Chinese with English abstract).
- [11] 杜佩轩, 田素荣. 新疆岩石、岩屑、水系沉积物元素背景平均值 [J]. *物探与化探*, 2001, 25(2): 117–122.
- Du Pei-xuan, Tian Su-rong. Average background values of elements in rocks, debris and stream sediments of Xinjiang region [J]. *Geophys Geochem Explor*, 2001, 25(2): 117–122 (in Chinese with English abstract).
- [12] 张耀华, 高新国, 宋昌锦, 李星云. 辽宁省岩石地球化学研究新进展 [J]. *辽宁地质*, 1990 (3): 279–288.
- Zhang Yao-hua, Gao Xin-guo, Song Chang-jin, Li Xing-yun. The new progress of studying litho-geochemistry in Liaoning [J]. *Liaoning Geology*, 1990 (3): 279–287 (in Chinese with English abstract).
- [13] 姚俭, 方正康. 浙江省表层岩石及水系沉积物地球化学元素丰度研究 [J]. *浙江地质*, 2002, 18(1): 9–20.
- Yao Jian, Fang Zheng-kang. Geochemical element abundance research about rock and water system deposit in surface layer of Zhejiang province [J]. *Zhejiang Geol*, 2002, 18(1): 9–20 (in Chinese with English abstract).
- [14] 向茂木. 贵州省基岩汞元素地球化学特征 [M] // 严钧平. 贵州汞矿地质. 北京: 地质出版社, 1989: 324–343.
- Xiang Mao-mu. *Geochemistry of mercury in bedrocks of Guizhou province* [M] // Yan Jun-ping. *Geology of Mercury Deposits of Guizhou Province*. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 324–343 (in Chinese).
- [15] 刘大文, 向运川, 连长云, 严光生, 谢学锦. 水系沉积物中的金属元素在中国东部不同构造单元分布特征 [J]. *地质与勘探*, 2002, 38(增刊): 156–163.
- Liu Da-wen, Xiang Yun-chuan, Lian Chang-yun, Yan Guang-sheng, Xie Xue-jing. The distribution of metals in stream sediment in different tectonic zones, eastern China [J]. *Geol Prospect*, 2002, 38(suppl): 156–163 (in Chinese with English abstract).
- [16] 孙振永. 辽宁水系沉积物元素丰度及典型矿区地球化学特征 [J]. *辽宁地质*, 1992 (2): 97–107.
- Sun Zhen-yong. Abundance of elements in stream sediment and geochemical features of typical mining areas in Liaoning [J]. *Liaoning Geol*, 1992 (2): 97–107 (in Chinese with English abstract).
- [17] 何郡麟. 贵州表生沉积物地球化学背景特征 [J]. *贵州地质*, 1998, 15(2): 149–156.
- He Shao-lin. Geochemical background of supergene sediments in Guizhou [J]. *Guizhou Geol*, 1998, 15(2): 149–156 (in Chinese with English abstract).
- [18] 马东升. 华南中、低温成矿带元素组合和流体性质的区域分布规律——兼论华南燕山期热液矿床的巨型分带现象和大规模成矿作用 [J]. *矿床地质*, 1999, 18(4): 347–358.
- Ma Dong-sheng. Regional pattern of element composition and fluid character in medium-low temperature metallogenic province of south China [J]. *Mineral Deposit*, 1999, 18(4): 347–358 (in Chinese with English abstract).
- [19] Fan Delian, Yang Ruiying, Huang Zhongxiang. The Lower Cambrian black shale series and iridium anomaly in South China [C] // *Developments in Geosciences, Contribution to 27th IGC*. Beijing: Sciences Press, 1984: 215–224.
- [20] Steiner M, Wallis E, Erdtmann B D, Zhao Yuanlong, Yang Ruidong. Submarine-hydrothermal exhalative ore layers in black shales from South China and associated fossils: Insights into a Lower Cambrian facies and bio-evolution [J]. *Palaeogeogr Palaeoclimatol, Palaeoecol*, 2001, 169(3/4): 165–191.
- [21] 花永丰. 万山地区风化环境中汞的活动行为探讨 [J]. *地球化学*, 1985, 14(1): 1–9.
- Hua Yong-feng. A study on the behavior of mercury in weathering environment in Wanshan district [J]. *Geochimica*, 1985, 14(1): 1–9 (in Chinese with English abstract).