

# 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

马东升

(南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京)

**提 要:** 华南中、低温成矿带主要由江南古陆的“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组成。其成矿时代有自东向西从燕山早期到中、晚期有变新的趋势; 矿种分布和成矿元素组合表现出对元古宇基底的继承性; 成矿流体的温度和盐度在大区域内从东到西和自南向北分别呈现降低和增高的趋势, 并且在古陆西、北侧的盆地中有盆地卤水混合的现象。研究表明, 华南中、低温成矿带的时空分布和成矿元素组合演化与华南燕山期花岗岩强烈活动的华南钨(锡)成矿域有密切的联系。这些大型矿集区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的高—中—低温热液矿床和油气矿藏的区域性矿化巨型分带。从而表现出大华南地区(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。

**关键词:** 燕山期 中、低温热液矿床 成矿流体 区域成矿规律 区域矿化分带 华南

华南大陆是我国热液金属矿床矿种最多、密度最大和有色金属产量最高的地区, 其分布密度和中国特色矿种的规模位居世界前列。华南热液矿床有较长的研究历史, 是我国金属矿床成因研究的重要野外基地和理论发源地。继 50~70 年代华南花岗岩及其有关矿床研究高潮之后, 自 70 年代后期兴起的层控矿床和金矿研究开始, 我国矿床学和地球化学工作者对华南控矿地层和低温成矿作用开展了大量的研究, 取得了丰硕的成果。西南低温成矿带和江南金矿成矿带的矿床和地球化学研究揭示, 不但华南大陆呈现以花岗岩及其有关的钨(锡)成矿域为中心, 向西—北方向延伸的高—中—低温热液矿床巨型区域分带现象, 而且它们在成矿元素组合和矿化类型上也有一定的过渡性<sup>[1]</sup>。已有的研究资料表明, 尽管华南不同成矿带和成矿域分布广大, 类型多样, 元素组合复杂, 但却显示出若干共同的成矿特征和一定的时空演化规律, 从而可能对其成因乃至华南大陆地壳演化和中国南北陆块划分的认识提供新的线索。其中最引人注目的是, 它们的成矿时代绝大多数都集中于燕山期。在如此大的区域内, 各种类型、不同矿种在成矿时代上的这种同步性和空间分布上的分带性在世界范围内也是罕见的。阐明这一现象不但具有明显的矿床成因意义, 其中也必然能揭示与该区地壳演化乃至壳、幔相互作用有关的重要信息。

\* 国家自然科学基金重点项目(批准号: 49733012)和国家“九五”攀登计划预选项目(95-预-39)资助  
作者简介: 马东升, 男, 1952年生, 教授, 博士生导师, 从事地球化学研究与教学工作。邮政编码: 210093

1999-05-17 收稿, 1999-08-11 修改回

在已往对单一矿床、矿种、成矿类型或成矿区带研究的基础上,对华南热液矿床成因进行综合认识和理论提高的条件已趋于成熟。本文根据作者近十多年来对华南中、低温热液矿床地球化学研究的认识和体会,从中择其若干问题,来讨论华南中、低温热液矿床区域成矿的一些现象、共性和规律,并探讨华南燕山期热液矿化高峰的成因,以期得到广大同行的真知灼见和批评指正。

## 1 华南中、低温热液成矿带及其空间分布

除了与花岗岩类有关的世界著名钨矿产区之外,以金、锑、汞矿化为代表的中、低温热液矿床在华南也具有重要的经济价值。它们均产于基本无岩浆活动或岩浆活动很弱的沉积岩和浅变质沉积岩系中。该区的锑矿,其大部分产于湖南,约占世界储量的一半,年产量约占全球总量的80%<sup>①</sup>;汞矿绝大多数分布于湘黔一带,其探明储量和年平均产量均占全国总量的80%以上;近20年来,华南金矿研究和找矿在赣、粤、黔、桂地区有重要进展,特别是西南大量微细浸染型(卡林型)金矿的发现,是我国金矿勘查的重大突破。上述矿床的分布主要构成4个成矿区带:位于江南古陆的“江南型”金-锑矿带<sup>[2]</sup>;分别位于其西北、西南及东南侧的湘黔汞矿带;位于西南的卡林型金矿区,位于湘中的锑矿带。它们横贯湘、黔、桂、赣、浙等省,围绕赣南、粤北和湘东南与花岗岩类有关的世界级钨(锡)成矿域西北侧

表1 华南金锑汞中、低温成矿带的分布和主要矿化特征<sup>①</sup>

Table 1. Distribution and characteristics of gold-antimony-mercury mesothermal-epithermal mineralized belts in South China

次级区带	江南型金(锑)矿带	湘黔汞矿带	湘中锑矿带	西南卡林型金矿区
地理分布	浙北—赣北—湘西北—黔东—桂北	湘西—黔东	湘中	黔西南—桂西北
构造背景	江南古陆(雪峰期造山带)	江南古陆西北侧台地边缘加里东褶皱断裂带	江南古陆南侧湘中印支凹陷盆地	江南古陆西侧黔桂印支凹陷盆地
主要含矿层位	中、上元古界浅变质陆源碎屑岩	中寒武统碳酸盐岩	中泥盆统碳酸盐岩	下二叠统一下三叠统碳酸盐岩及陆源细碎屑岩
矿床类型	中、低温热液型	低温热液型	低温热液型	低温热液型
主要成矿元素	Au, Sb, W	Hg, Sb, Au, As, Pb, Zn, Se	Sb	Au, Sb, Hg, As
热液成矿时代	加里东期—燕山期 $70 \times 10^6 \sim 476 \times 10^6 \text{ a}^{\text{②}}$	燕山期 <sup>②</sup>	燕山期 $156 \times 10^6 \text{ a}^{\text{②}}$	燕山期 $82 \times 10^6 \sim 114 \times 10^6 \text{ a}^{\text{②}}$
代表性矿床	沃溪、黄金洞、金山、璜山、渣滓溪等	万山、务川、茶田、丹寨等	锡矿山	戈塘、板其、紫木囱、烂泥沟、丫他、金牙等

① 矿床的其它主要共同特征及其变化规律参见正文;② 据已发表的同位素年龄数据,见正文

① Mineral Commodity Summaries, January 1998. <http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>

分布。其中, 湘黔汞矿带、西南卡林型金矿区、湘中锑矿带和江南古陆西段的部分矿床又构成一个大规模的低温热液矿床成矿域, 并产有铅-锌、雌黄-雄黄和重晶石等低温矿床(表1), 是目前世界上已知规模最大、多矿种分布最集中的 Au、Sb、Hg (Pb-Zn、As、Se、Tl 和重晶石等) 多元素低温热液矿集区。与分布在东南部的华南钨(锡)成矿域不同, 华南中、低温成矿带最显著的特征是在区域上与岩浆活动无关, 并且围绕华南花岗岩集中分布区呈带状分布。上述所有的热液矿床在整个“大华南”地区(包括东南、西南和中南), 依成矿温度自南向北西降低。它们与四川盆地东南缘的含油气区共同构成了一个大范围的巨型区域矿化分带<sup>[1]</sup>。

## 2 华南中、低温热液矿床对燕山期成矿大爆发的时代响应

燕山旋回在华南大约持续了  $100 \times 10^6$  a。它在华南已知的地质演化史中(暂且从中元古代算起)仅占不到十分之一的的时间, 但却在此期间形成了该区绝大多数热液矿床。华南热液矿床矿种多样, 类型丰富, 元素组合、成矿环境复杂, 但它们最显著而公认的共同特征是以突发的方式在燕山期成矿。中、低温矿床也不例外。

根据华南钨成矿域中 1 000 多个矿床(点)的同位素定年资料统计<sup>[3]</sup>, 有 75.3% 的钨矿床(点)和 86.5% 的储量形成于燕山早-中期, 绝大部分集中于  $183 \times 10^6 \sim 130 \times 10^6$  a 之间。然而, 由于缺乏合适的定年手段, 对那些与花岗岩类无关的中、低温热液矿床的成矿时代, 长期以来仅靠各种野外证据和有关成因理论间接确定。近年来, 对这类矿床研究的重大进展之一是发表了一曲重要矿床的同位素年龄数据。这些数据均揭示出燕山期成矿的普遍性。例如, 根据对锡矿山超大型锑矿 6 个方解石和 1 个辉锑矿样品的测定, 获得了 Sm-Nd 等时线年龄为  $(156.3 \pm 12) \times 10^6$  a (线性相关系数为 0.9978)<sup>[19]</sup>。这一成矿年龄基本上与已有的地质证据一致, 并和邻区重要的江南型金-锑矿床石英包裹体 Rb-Sr 等时线年龄相近(沃溪为  $(144.8 \pm 11.7) \times 10^6$  a; 龙山金-锑矿为  $(175 \pm 27) \times 10^6$  a (流体包裹体 Rb-Sr)<sup>[4]</sup>。

对于那些产于江南古陆的江南型金(锑)矿床, 包括上述的沃溪矿床, 由于以往缺乏同位素年龄资料, 仅依据地质证据推测其成矿时代较早。但 90 年代以来的研究表明, 尽管它们可能是多时代叠加改造成因的, 但其矿石、脉石或围岩蚀变同位素定年数据指示的主要成矿时代或热液改造时代均与燕山期有关。例如, 对赣东北金山金矿超糜棱岩、矿体蚀变围岩和石英脉的 Rb-Sr 同位素研究显示, 金山金矿的形成至少经历了 3 次流体作用, 即早期硅化(强硅化超糜棱岩和早期石英脉)为  $(717 \pm 16) \times 10^6$  a (与韧性剪切带同时形成); 晚期绿泥石化(矿体底板绿泥石化碳质千枚岩)为  $(161 \pm 6) \times 10^6$  a; 晚期或成矿期后碳酸盐化(矿体顶板强碳酸盐化变玄武岩)为  $(104.6 \pm 16) \times 10^6$  a<sup>①</sup>。结合<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 初始值和包裹体氢氧同位素资料, 以及邻区铜厂花岗闪长斑岩和闪长玢岩同位素年龄数据考虑认为, 燕山期岩浆活动触发的大气降水环流对金的后期叠加成矿可能起重要作用。此外, 对江南古陆西段湖南境内该类金锑矿成矿年龄的综合表明<sup>[5]</sup>, 有关矿床(沃溪、柳林叉、西安、龙山、万古等)的成矿时代跨度很大, 在  $(476 \sim 70) \times 10^6$  a 之间, 显示出从加里东, 经印支到燕山期

① 张金春, 1994, 江西韧性剪切型金矿成矿地球化学研究, 南京大学硕士研究生学位论文, 第 61 ~ 69 页

的多期成矿<sup>①</sup>。

有关西南卡林型金矿区,较早发表的戈塘金矿矿石5个样品的 Rb-Sr 等值线年龄为  $172 \times 10^6 \text{ a}$ <sup>[6]</sup>。新近的研究提出了贵州烂泥沟金矿流体包裹体 Rb-Sr 等值线年龄为  $105.6 \times 10^6 \text{ a}$ ,并综合以往有关研究成果认为我国卡林型金矿的成矿时代为  $(82 \sim 114) \times 10^6 \text{ a}$ <sup>[7]</sup>。

目前尚缺乏有关汞矿成矿时代的同位素年龄数据。但根据控矿断裂及区域地质发展史推断以及有关研究者的共识,该带的成矿时代主要为燕山期<sup>[8,9]</sup>。

根据已有的资料,华南中、低温成矿带的成矿时代有自西向东变新的趋势,即:江南古陆的江南型金(锑)矿床有多时代叠加成矿的特征,至少在大型矿床中,如沃溪、金山等,有燕山期成矿;湘中锑矿带已知的年龄为燕山早期;而西南卡林型金矿区则为燕山中—晚期。随着矿床同位素定年数据的积累,我们将对此会有更全面的了解。

### 3 华南中、低温热液矿床成矿元素组合的区域变化趋势及其对元古宇基底的继承性

中元古界是目前华南区域性大片出露的最老基底。根据已有的区域地质资料和地球物理资料,它作为区域性基底在华南地区普遍分布。已有大量该层位的微量元素区域分布数据揭示(图1),中元古界是一个普遍富集锑、砷、金的基底,其含量大多为上部大陆地壳的2倍或更高,并且成矿元素的富集倍率与区域矿化分布之间有很好的—致性关系。例如在江南古陆西段,冷家溪群中的锑和砷比上部大陆地壳平均值高出十多倍,与该地段及其盖层中的锑、砷强矿化相吻合;金在江西九岭群和桂北四堡群中含量较低(富集倍率分别为1.4、1.8和0.7),这些地区的金矿化也较弱;Pb-Zn和Ag分别只在江西和湘东北地区富集,而Hg则是在Pt<sub>2</sub>基底中高度贫化的元素。与此相对应的是,九岭群和四堡群及其相邻盖层中金矿化自江南古陆湖南地段以西,基本无银矿化;赣东北和湘东北是江南古陆中铅锌矿化较强的地段。类似的继承现象在华南钨矿成矿域中也有表现<sup>[10]</sup>。尽管不能排除成矿物质有更深未知来源的可能性,但就这种继承现象来看,中元古界含矿建造作为成矿元素的来源或作为更深来源的中继站,可能对中、低温热液矿床的形成起了重要的作用。

成矿元素对元古宇的继承性线索一直可以追索到江南古陆周边盆地盖层中的中、低温热液矿床之中。且不谈锡矿山超大型锑矿就产于被富锑元古宇基底环绕的湘中盆地。在华南中、低温成矿带中,另一个引人注目的现象是:中元古界基底内汞的普遍高度贫化(图1)和紧邻古陆西北侧寒武系中汞的局部超异常富集形成强烈反差。系统的地球化学研究揭示,这种由高度贫化到强烈富集的过程是通过汞在地层中自下而上的逐步富集而达到的。图2显示,汞在区域地层中的平均含量从中元古界冷家溪群的  $9 \times 10^{-9}$ ,向上不断增加,在寒武系中达到  $100 \times 10^{-9}$ 以上,增高幅度达一个数量级。同时,相同层位中、低温矿床的原生晕强

① 用不同方法测得的年龄相差较大。包裹体 Rb-Sr 法和石英裂变径迹法得到的年龄值均在  $(175 \sim 70) \times 10^6 \text{ a}$  之间,而所有大于  $280 \times 10^6 \text{ a}$  的年龄都是用 K-Ar 法测得的,在同一个矿床中也如此。例如用 K-Ar 法测定沃溪金矿蚀变围岩年龄为  $281 \times 10^6 \text{ a}$  (罗献林, 1989), 而用石英包裹体 Rb-Sr 法获得的年龄为  $(144.8 \pm 11.7) \times 10^6 \text{ a}$  (史明魁等, 1994)。因此,这是一个尚待继续深入研究的问题

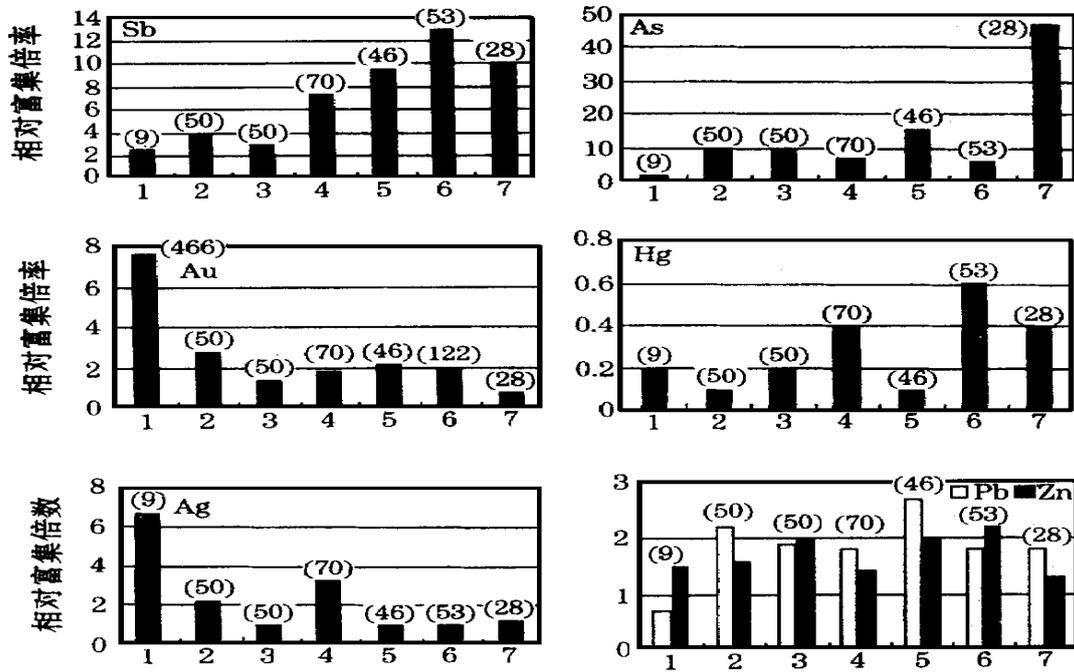


图 1 华南各地中元古界 (Pt<sub>2</sub>) 中成矿元素 Sb、As、Au、Hg、Ag、Pb 和 Zn 相对于上部地壳的富集倍率

(地层平均含量/上部大陆地壳平均含量<sup>[20]</sup>, 其中 Hg 的数据因缺少上部大陆地壳平均含量, 故按 Taylor 1964 年发表的地壳平均含量<sup>[21]</sup>计算)

图中括号中的数字为样品数; 横坐标分别表示: 1—浙北双溪坞群; 2—赣东北漆工群; 3—赣东北九岭群; 4—赣西北九岭群; 5—湘东北冷家溪群; 6—湘西北冷家溪群; 7—桂北四堡群

Fig 1. Concentration ratios of Sb, As, Au, Hg, Ag, Pb and Zn in Mesoproterozoic of South China relative to the upper continental crust.

1—Shuangxiwu Group in North Zhejiang; 2—Qigong Group in Northeast Jiangxi; 3—Jiuling Group in Northeast Jiangxi; 4—Jiuling Group in Northwest Jiangxi; 5—Lengjiaxi Group in Northeast Hunan; 6—Lengjiaxi Group in Northwest Hunan; 7—Sibao Group in North Guangxi.

度也相应增高。产于湘东北中元古界的黄金洞金锑矿床不发育汞异常, 其矿体围岩的平均汞含量与区域冷家溪群几乎一样; 在沃溪金锑钨矿床中开始出现汞的原生晕, 并随着层位升高强度加大; 在更高层位的中、低温热液矿床周围, 则可形成明显的汞晕。研究表明, 寒武系上覆地层的汞含量又明显降低。汞含量在地层柱中的这种分布趋势显示, 湘黔边界的寒武系作为基底之上的第一层厚碳酸盐岩层位 (可能也包括下寒武统的黑色页岩), 可能通过热水溶融、水-岩反应和吸附作用对大规模上升的含汞古流体起重要的聚集和沉淀作用。

目前, 许多研究者在积极探讨地幔柱和成矿物质来自幔源的可能性。就研究成矿物质来源而言, 目前的手段, 例如, 以硫同位素的零值塔式分布及用碳和惰性气体同位素数据直接与未知“幔源”的对比等, 可能还不足以解决问题。因为在古流体运移和沉淀中, 诸如氧化还原、流体混合等过程对矿化剂赋存状态的影响能造成矿物与成矿热液之间硫、碳同位素组

图2 江南古陆及邻区不同地层汞平均含量和相应层位金锑汞矿床围岩的汞含量变化

(自深部到浅部,汞从强烈亏损逐步变为强烈富集表明,汞曾经在流体和热作用下发生过自下而上的大规模迁移)  
横坐标:1—湘东北冷家溪群( $Pt_2$ );2—湘西北冷家溪群(上部 $Pt_2$ );3—湘西北板溪群马底驿组( $Pt_3^1$ );4—湘西北板溪群五强溪组( $Pt_3^2$ );5—湘中震旦系(Z);6—湘西北寒武系( $\epsilon$ )

Fig 2. Average mercury content of various strata in Jiangnan old land and neighboring areas as well as variation of mercury content in wallrocks of gold-antimony deposits occurring within these strata.

(Mercury was transported tremendously by fluids and heat from the depth to the shallow part).

1—Lengjiaxi Group in Northeast Hunan ( $Pt_2$ ); 2—Lengjiaxi Group in northwest Hunan (upper  $Pt_2$ ); 3—Madiyi Formation of Banxi Group ( $Pt_3^1$ ); 4—Wuqiangxi Formation of Banxi Group ( $Pt_3^2$ ); 5—Sinian in central Hunan (Z); 6—Cambrian in northwest Hunan ( $\epsilon$ ).

成的差异<sup>[1]</sup>;而惰性气体的强穿透性则主要反映了地幔的排气过程和历史。要识别成矿元素和成矿流体中的幔源成分,应进一步发展基于He、Sr、Hf、Os稳定同位素比值和不相容微量元素比值的地球化学示踪方法,并对有关地层、主要断裂和基性岩脉进行必要的区域地球化学研究。在这方面,国外有关地幔柱的研究方法和成果值得借鉴<sup>[2]</sup>。如作者曾指出的:华南热液矿床的大范围巨型区域分带性和集中形成于燕山期的同期性“是否表明这些著名矿带在成因上可能受燕山期大范围区域性地热场和有关热液体系配置的统一制约;燕山期华南地壳是否经历过一个巨型隐伏地幔柱上侵演化阶段。这些均为今后在有关华南区域构造演化与成矿作用关系研究方面需进一步探索的问题”<sup>[1]</sup>。

#### 4 华南中、低温热液矿床的成矿流体温度和盐度的区域变化趋势

在过去大约10年中,已经比较系统地积累了一大批华南中、低温热液矿床矿物流体包裹体的研究数据,从而使我们有对这类矿床的成矿流体性质有一个初步的、总体上的基本认识。其中一些数据,如压力、pH值和流体溶液的成分等,尽管由于受产出条件(如包裹体太小,不存在含 $CO_2$ ,或难以完全排除次生包裹体的影响等)和现有研究测试手段的限制而存在一定的不确定性,但毕竟对研究矿床形成的物理化学条件和流体性质有非常重要的意义。并且已有的这些资料已经显示,华南中、低温热液矿床的这些参数在大区域上的分布具有一定的规律性。限于篇幅,拟另文再述。相对而言,矿物包裹体的均一化温度和盐度数据有较好的可靠性和可对比性。因此,以下仅对这两类数据加以综合分析,以探讨其分布规律。

#### 4.1 温度

已有数据的表明, 华南中、低温热液矿床的石英包裹体均一化温度绝大多数在 100 ~ 300 °C 之间, 并且其温度分布在大区域上主要表现出二个规律性:

(1) 元古宇基底具有较高的成矿温度, 并且有向浅部降低的显著趋势。在含矿层位较多, 地层划分和矿床地球化学研究都比较详细的江南古陆湖南地段, 元古宇中的金、锑矿成矿温度明显呈现出依赋矿层位升高而逐步降低的趋势 (图 3)。除了江南古陆之外, 产于其南、北、西侧盆地中的金、锑、汞、铅-锌矿床主要矿化阶段的均一化温度大都在 200 °C 以下 (早期矿化可具有较高的温度, 例如西南卡林型金矿早期硅化、矿化的石英包裹体均一化温度多在 200 ~ 300 °C 之间)。

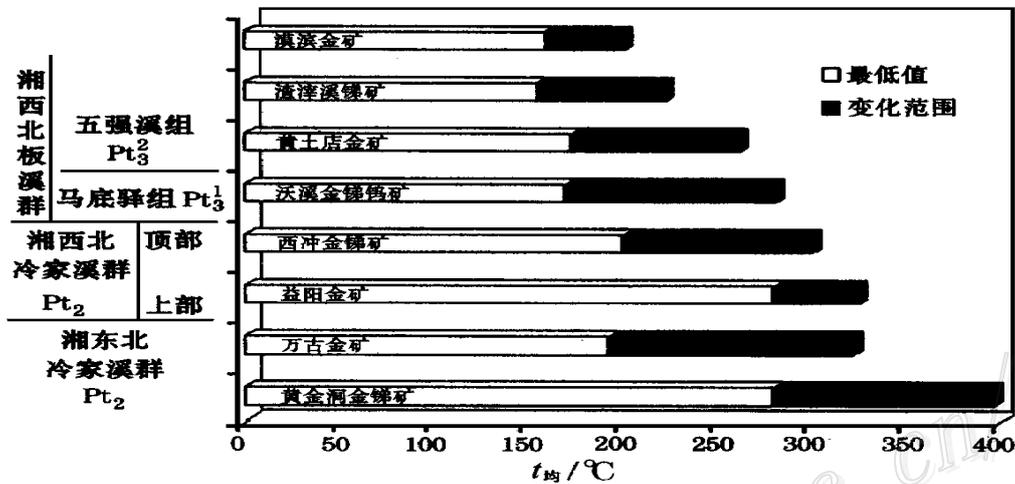


图 3 湘东北和湘西北金锑矿床的石英包裹体均一化温度依赋存层位升高而降低的趋势

(图中万古金矿的数据引自毛景文等, 1997)<sup>[15]</sup>

Fig 3. The decrease of homogenization temperatures of quartz inclusions with the elevation of the host horizons in gold-antimony deposits of northeast and northwest Hunan.

(2) 总体上看, 华南中、低温成矿带东部的成矿温度高于西部 (图 4)。例如位于江南古陆出露最西缘的贵州八蒙锑矿田, 虽然也产于元古宇中 (下江群平略组浅变质岩), 但其形成温度则较低, 由此呈现区域成矿温度自东向西降低的趋势。这也与图 3 所示的元古宇中的金、锑矿床成矿温度自下而上降低的规律相一致。

值得指出的是, 这些中、低温热液矿床的成矿温度与区域上有关煤系中 (P、T) 镜值组反射率测定的古地温数据十分吻合。例如, 对湖南涟源盆地龙潭煤系的镜值组反射率测定表明, 煤变质的最高古地温在 113 ~ 214 °C 之间, 测水煤系为 129 ~ 297 °C。其中产有锑矿床的新化—冷水江—涟源一带最高古地温达 227 ~ 297 °C, 盆地内部古地温变化范围为 129 ~ 280 °C<sup>[13]</sup>。根据测水组和龙潭组古地温及上覆岩层厚度, 计算得出的古地温梯度分别为 6.4 °C/100 m 和 12 °C/100 m<sup>[14]</sup>。在湘中地区, 已知的锑矿床和矿点均分布于和深变质煤相对应的高古地温区。我们对锡矿山周围一些煤矿的野外观察和取样表明, 含煤层位具有经历热

液蚀变的痕迹。有关样品正在研究中。类似的情况可能也存在于江南古陆西北侧的盆地中。例如,在1:100万“中国及其毗邻海区能源矿产资源图”<sup>[16]</sup>中清楚地显示,沿湘黔汞矿带和西南卡林型金矿区的西北缘,展布有恩施—长阳、川东、川南—黔北和六盘水4个含煤区。更有意思的是,在这些北东向延伸的含煤区中,也呈现高变质的无烟煤在东南侧,低变质的烟煤在北西侧的分带现象,与整个大华南(东南、中南和西南)的热液矿床巨型分带趋势相一致。

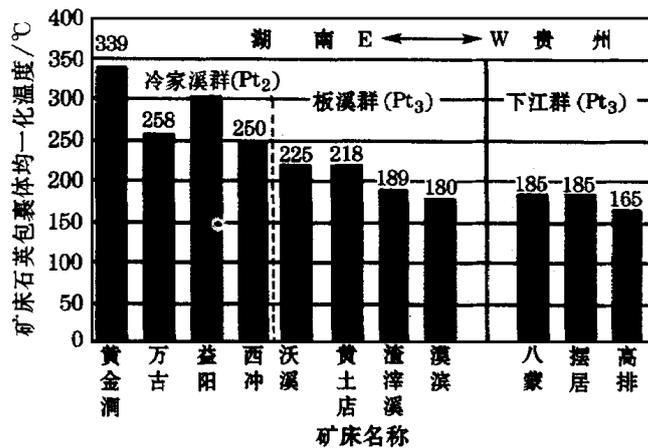


图4 江南古陆湘黔地区元古宇金、锑矿床成矿温度矿床石英包裹体均一化温度的中值自东向西降低  
(贵州八蒙等3个矿床的数据来自王书凤等<sup>[17]</sup>)  
Fig 4. The westward decrease of the mid-values of homogenization temperatures in Proterozoic gold and antimony deposits within Jiangnan old land of Hunan and Guizhou.

#### 4.2 盐度

盐度测定是包裹体研究中比较成熟的常规方法,也具有比较完善的理论基础。在正确区分包裹体类型和准确校正温标的前提下,能获得较可靠的数据。流体包裹体的盐度是判断成矿流体来源的重要依据之一。低盐度流体主要与大气降水和变质来源有关;高盐度则往往涉及盆地卤水,建造水,或与岩浆作用有关的沸腾过程。通过对图5的考察,我们可以对华南中、低温热液矿床的成矿流体盐度分布规律及其成矿意义得出以下认识:

(1) 流体的盐度对矿化类型有控制作用。我们对江南古陆浙、赣、湘、桂四省的元古宇中金、锑矿研究表明,除了曾在江西金山金矿获得  $S_{NaCl}$  (盐度) 为 15.3%~16.6% (后同) 的盐度之外,所有矿床包裹体流体的盐度均小于 10%。对八蒙锑矿田的研究表明,含  $NaCl$  子晶的包裹体仅发现于八蒙和摆居矿床深部,锑矿田形成时流体的盐度较低,八蒙、摆居和高排分别为 4.4%~5.0%、4.6%~0.6% 和 368%~0.3%<sup>[17]</sup>,与江南型矿床相似,甚至盐度更低。花垣铅-锌矿化则与高盐度流体有关 (14.9%~39.2%),而汞和砷矿化的盐度 (7%~26%) 居 Au-Sb 和 Hg-As 两者之间。汞、砷、铅-锌矿床均主要产于古陆周边的盆地中,显示出古流体盐度在造山带和盆地中的差别。

(2) 高盐度成矿流体应是盆地卤水演化的产物,极低盐度 (<1%) 和高盐度的共存可能反映了的低温成矿过程中的流体混合作用。图5中丫他金矿的盐度为 0.4%~23.1%,变化极大,甚至在同一晶体不同部位都有变化<sup>[18]</sup>。对茶田汞矿的研究表明,矿石中碳酸盐岩的盐度从深部 17.8% 在地表降低到 6.7%,并呈现从早阶段到晚阶段降低的趋势,可能经历了大气降水的稀释作用。从图5可见,除了湘中锑矿带之外,古陆周边盆地中的低温矿床的盐度变化多比较大,显示出盆地卤水混合的迹象。

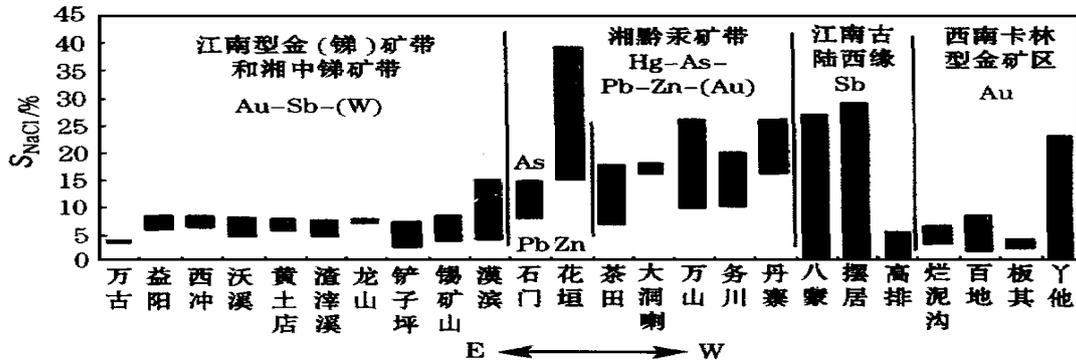


图 5 华南中、低温热液矿床流体包裹体的盐度与矿床成矿元素组合及其空间分布的关系

(数据来源：文献 2, 8, 15, 17, 18 等)

横坐标为矿床名称，并大致按矿床产地位置自东向西排列。图中的元素符号表示相应的矿种。图中显示：在矿种上，依 Au-Sb、As-Hg 和 Pb-Zn 的次序盐度增高；在空间上，除了湘中盆地之外，江南古陆周边盆地的低温矿床盐度变化很大，显示出盆地卤水混合的迹象；在大区域上，盐度有自东向西增高的趋势

Fig 5. Relationship between salinities of fluid inclusions and associations of ore-forming elements in mesothermal-epithermal deposits of South China.

From east to west, names of deposits are marked under the abscissa, with the economically important elements indicated in the diagram. The salinity increases from Au-Sb deposits through As-Hg deposits to Pb-Zn deposits. The salinity of the epithermal deposits in basins (except Central Hunan basin) around the Jiangnan old land shows remarkable variation, suggesting a brine mixing process. Regionally, the salinity of ore-forming fluids tends to increase from east to west.

(3) 成矿流体的盐度在大区域内呈现从东到西和自南向北增高，且混合现象增强的趋势。这种趋势与前述温度降低的趋势相一致（图 4—图 6）。

## 5 结 论

在以金、锑、汞矿化为特征的华南中、低温热液成矿带内，集中了我国绝大多数卡林型金矿和我国绝大部分的锑、汞储量。它们在区域上与岩浆活动无关，并且围绕华南花岗岩集中分布区呈带状分布，主要构成 4 个亚成矿区带，即：位于江南古陆的“江南型”金-锑矿带、位于西北、西南及东南侧的湘黔汞矿带、西南卡林型金矿区和湘中锑矿带。它们在成矿时代和物质组成具有以下的区域分别规律：

研究表明，华南中、低温成矿带的时空分布和成矿元素组合演化，与华南燕山期花岗岩强烈活动的华南钨（锡）成矿域有密切的联系。在成矿时代上，它们都集中形成于燕山期，并从东南到西南，由燕山早期向中、晚期推移；在空间分布上，中、低温热液成矿带围绕钨（锡）成矿域的北西侧分布，并与更西北部的四川油气田共同构成了一个自南东向北西的高—中—低温热液矿床和油气矿藏的区域性矿化巨型分带；在成矿元素组合上，相应于成矿温度的降低，从南东向北西依次呈现钨（锡、铌、钽）—金、锑（江南型）—汞、砷和卡林型金矿。矿种分布和成矿元素组合都不同程度地表现出对元古宇基底的继承性。

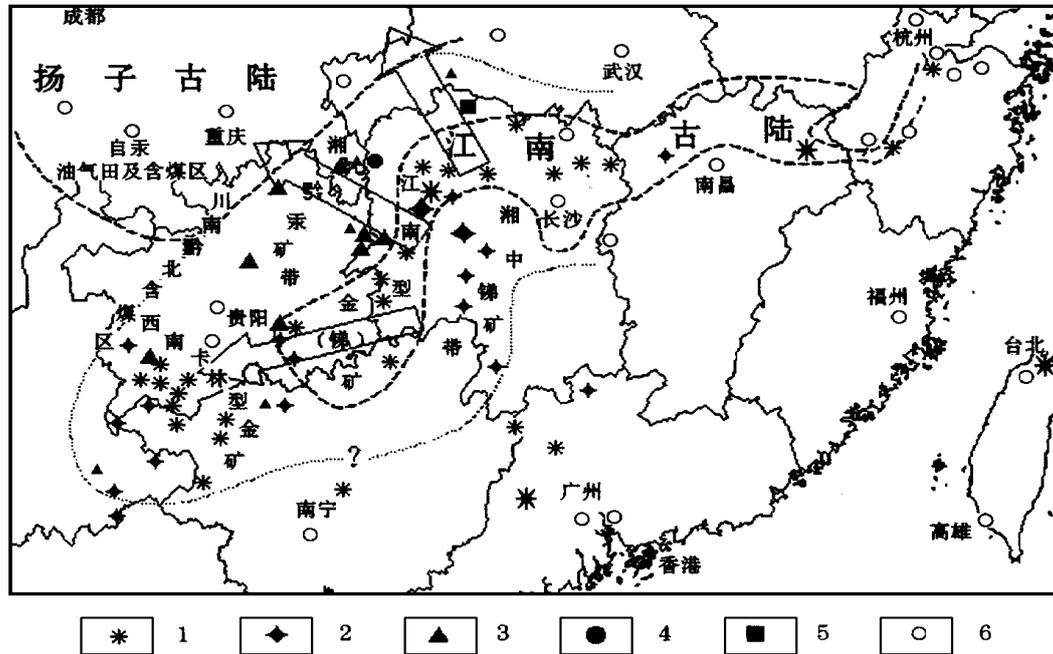


图6 江南型金锑矿带和围绕江南古陆(粗虚线)分布的3个低温成矿区带共同组成华南中、低温成矿带(细点线)示意图

图中的箭头表示矿床成矿流体温度降低和盐度增高的方向。图中也标出了围绕中、低温成矿带西北侧分布的油气和煤矿化区带。这些大型矿集区与东南部的华南钨、锡成矿域又共同组成了规模更大的巨型区域矿化分带

1—金或金-锑矿床; 2—锑矿床; 3—汞矿床; 4—低温铅-锌矿床; 5—砷(雌黄、雄黄)矿床; 6—主要城市

Fig 6. The South China mesothermal-epithermal metallogenic belt composed of Jiangnan type gold-antimony ore belt and three epithermal metallogenic belts distributed around the Jiangnan old land.

The arrows indicate the direction of decreasing temperature and increasing salinity of ore-forming fluids. Oil-gas and coal belts distributed on the north western side are also shown in the diagram. Together with the South China tungsten and tin metallogenic belt in the southeast, the above large-sized mineralized belts make up a huge regional mineralized zone.

1—Gold or gold-antimony deposit; 2—Antimony deposit; 3—Mercury deposit; 4—Epithermal lead-zinc deposit; 5—Arsenic (orpiment, realgar) deposit; 6—Major city.

### 参 考 文 献

- 1 马东升. 地壳中大规模流体运移的成矿现象和地球化学示踪. 南京大学学报(自然科学, 地质流体专辑), 1997, 33: 1~10.
- 2 马东升. 金矿床的成因演化、成矿模式和找矿方向. 见: 刘英俊等主编. 江南金矿及其成矿地球化学背景. 南京: 南京大学出版社, 1993, 235~239.
- 3 冶金部南岭钨矿专题组. 华南钨矿. 北京: 冶金工业出版社, 1985, 258~266.
- 4 史明魁, 傅必勤, 西祥等. 湘中锑矿. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1993, 55.
- 5 彭建堂. 湖南雪峰地区金矿床的成因研究. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 417~420.
- 6 刘东升, 耿文辉. 我国卡林型金矿矿物特征及成矿条件探讨. 地球化学, 1985, (3): 277~282.
- 7 苏文超, 杨科佑, 胡瑞忠等. 中国西南部卡林型金矿床流体包裹体年代学研究. 矿物学报, 1998, 18(3): 359~362.
- 8 花永丰等. 贵州万山汞矿. 北京: 地质出版社, 1995, 109~120.

- 9 何立贤, 曾若兰. 中国汞矿床. 见:《中国矿床》编委会编著.《中国矿床》上册.北京:地质出版社,1989,414~482.
- 10 刘英俊, 马东升. 钨的地球化学.北京:科学出版社,1987,134~152.
- 11 沈渭洲. 同位素地质学教程.北京:原子能出版社,1997,224~240.
- 12 王登红. 地幔柱及其成矿作用.北京:地震出版社,1998.
- 13 王文侠. 涟源凹陷煤反射率变化及其与深部断裂构造关系.煤田地质勘探,1991,(2):20~25.
- 14 王武, 徐志斌, 王文侠. 涟源凹陷古地温场特征及其与构造关系.湖南地质,1995,14(3):149~153.
- 15 毛景文, 李红艳等. 湖南万古地区金矿地质与成因.北京:原子能出版社,1997,78~87.
- 16 中国地质矿产信息研究院, 中国地质科学院矿床地质研究所编. 中国矿产资源图.北京:地质出版社,1992.
- 17 王书凤, 魏家秀, 张绮玲. 贵州省八蒙梯矿田的地质学和地球化学.北京:地质出版社,1994,50~62.
- 18 王秀章, 程景平, 张宝贵等. 中国改造型金矿地球化学.北京:科学出版社,1992,111~115.
- 19 Hu X, Pei R, Zhou S. Sm-Nd dating for antimony mineralization in the Xikuangshan Deposit, Hunan, China. Resource Geology, 1996, 46(4):277~231.
- 20 Taylor S R, McClelland S M. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell Scientific Publications, 1985, Table 3.5, 66~70.
- 21 Taylor S R. Trace element abundances and the chondritic earth model. Geochem. Cosmochim. Acta, 1964, 28:1989~1998.

## REGIONAL PATTERN OF ELEMENT COMPOSITION AND FLUID CHARACTER IN MEDIUM-LOW TEMPERATURE METALLOGENIC PROVINCE OF SOUTH CHINA

Ma Dongsheng

(State Key Laboratory for Research of Mineral Deposits, Nanjing University, Nanjing 210093)

**Key words:** South China, Yanshanian event, hydrothermal deposit of medium-low temperature, ore-forming fluid, regional metallogenic pattern, regional mineralization zoning

### Abstract

The medium-low temperature metallogenic province in South China is composed of the "Jiangnan-type" gold and antimony belt in Jiangnan old land, the Hunan-Guizhou mercury belt, the Southwest Carlin-type gold zone, and the Central Hunan antimony zone. It holds nearly 80% Sb ore reserves of the world and the same proportion of Hg in China. In the last twenty years, a series of important fine impregnation gold deposits, similar to the Carlin-type ones in the United States, have been discovered in the western belt of the province. Its metallogenic epoch is isotopically dated at  $180 \times 10^6$  a to  $80 \times 10^6$  a, mostly falling into Yanshanian and tending to become younger from the early Yanshanian in the southeastern to the middle and late Yanshanian in the northwestern. Similarity in composition and overlapping in space between the association of ore-forming elements in the Proterozoic basement and the economically important metallic paragenesis

in the deposits indicates their inheritance relationship. According to the data from nearly thirty important Au, Sb, Hg, As and Pb-Zn deposits in this belt, there is an obvious decreasing and increasing tendency respectively in temperature and salinity of the ore-forming fluids from the east to the west. Salinity of inclusion fluids has a large variation range, from 0.3 to higher than 25 NaCl eq. wt%, in the low temperature Au, Sb and Hg deposits in the western and northern basins around the Jiangnan old land, showing evidence for a strong brine mixing process during the formation of the ore deposits. The present paper suggests that there was a close relationship in origin between the medium-low temperature metallogenic province and the world-class tungsten (tin) province in the southeast during the Yanshanian event though the former hardly had any regional magmatic activity while the latter was always associated with granite. These two provinces make up a huge metallogenic super-province with a continent-scale mineralization zoning composed of pneumatolytic-hypothermal-mesothermal-epithermal-low temperature deposits from the southern to northwestern, together with oil-gas and coal fields in southeastern Sichuan. This shows that in Yanshanian the "Pan-South China region" (Southeast China, Central South China and Southwest China) experienced large-scale fluid migration and mineralization under the action of the unified thermal field.

<http://www.kcdz.ac.cn/>