

华南重要金属矿床的成矿规律 ——时代爆发性、空间分带性、基底继承性和热隆起成矿

马东升

南京大学 地球科学与工程学院 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京 210093

摘要: 华南热液矿床形成的时代爆发性、空间分带性及其成矿元素对前寒武纪基底的继承性表明, 构成华南基底和含矿建造的前寒武纪地层(主要为元古界)是华南陆内热液成矿作用的主要成矿物质来源, 燕山期花岗岩类是热液成矿作用的主要成矿能量来源; 华南热液成矿的区域分布趋势、矿床形成过程和成矿岩体演化等, 均表现出与构造热隆起动态有关的成矿特征。多期花岗岩类侵入和迅速块断隆升造成地温梯度增高, 基底含矿建造提供成矿物质, 以及有利的热液通道和扩容空间是造成构造隆起带或盆地“凹中隆”成矿的重要条件。燕山期花岗岩成岩成矿与大陆地壳的多旋回熔融或再循环有密切的成因关系; 地震层析图像资料显示, 华南中生代软流圈上涌是造成华南陆壳热隆起的动力学因素。但其成因不同于地幔柱机制, 具有被动上涌特征, 可能与太平洋板块俯冲形成的大型冷幔柱下沉和地幔过渡带崩溃有关。

关键词: 金属矿床; 花岗岩; 矿床成因; 热隆起; 华南

中图分类号: P618.20 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2008)03-0209-09

Metallogenetic Characteristics of the Important Deposits in South China

MA Dong-sheng

*The State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Institute of Earth Sciences and Engineering,
Nanjing University, Nanjing 210093, China*

Abstract: The important hydrothermal deposits in South China are characterized by their exploding ore-formation process, continental-scale zoning in mineralization, and the ore-formation materials inherited from the Precambrian basement. These peculiarities should indicate that the source of ore-forming materials came from the Precambrian, mostly from the Proterozoic, as ore-forming formations in which the related metal elements were primitively enriched, and the source of ore-forming energy were derived from the Yanshanian granitic magma. A series of phenomena such as regional distribution, mineralizing process of the deposits, and evolution of the related granite shows that nearly all important hydrothermal deposits in South China were formed in a regionally hot-uplift tectonic setting. Increasing geothermal gradient caused by multiphase felsic magma inputs and rapid block-faulted uplift, supply for ore-bearing materials from the bear formations in basement, and favorable fluid channels and dilation sites are conditions to form the deposits in the tectonic hot-uplift zone and those domes in the Hercynian-Indosinian depression basin. The presented data suggest that both pttrogenesis and metallogenesis of the Yanshanian granite may have a close relationship with multiphase melting and recycled ore-forming materials from the Proterozoic basement. According to the data from seismic tomography, the mantle upwelling breaking through the aquiferous transitional zone appears to be the main dynamic factor controlling of the hot-uplift event in South China during the Mesozoic. It may be a passive mantle upwelling driven by sinking of a giant “cool plume” caused by Pacific plate subduction, rather than thermally driven active mantle upwelling like the mantle plume.

Key words: ore deposit; granite; metallogenesis; hot-uplift; South China

收稿日期: 2008-05-30 收到

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目 (1212010632100)

作者简介: 马东升 (1952—), 男, 教授, 博导, 专业方向: 地球化学。E-mail: dongisma@public1.ptt.js.cn.

尽管华南热液矿床的分布广,类型多样,组合复杂,却显示出许多公认的成矿特征和共同的分布规律。基于这些事实,结合新的研究资料和认识加以重新思考,可为华南热液矿床成因乃至华南大陆地壳演化的深入理解提供重要线索。

1 成矿时代的集中爆发性

华南热液矿床最显著的共同特征是以突发的方式在燕山期集中成矿。大量同位素成矿年龄揭示,除了少数产于江南古陆元古代基底中的热液矿床出现加里东期年龄(如沃溪、柳林叉、西安、龙山、万古等)和个别可信度不高的印支期年龄之外^[1,2],华南大多数热液矿床虽然矿种、类型、构造环境和其他成矿背景有很大差别,但均形成于燕山期。燕山旋回在华南大约只持续了 100 Ma,若从中元古代算起,它在华南已知的地质演化史中仅占不到十分之一的时期,但却形成了该区绝大多数热液矿床,成矿时代的集中性实属世界罕见。华南“燕山期成矿大爆发”现象及其与同期花岗岩的密切关系已成为我国矿床研究者的共识。

2 成矿作用的空间分带性

成矿温度、成矿元素、矿化类型及组合上的区域分带性是华南热液矿床的另一显著特点。翁文灏^[3]早在上世纪 20 年代就指出中国南部依序由高温—中温—低温产出锡—钨—钼带、铜—铅—锌带、锑带、汞带的现象。总体上看,以南岭燕山期花岗岩岩浆活动最强地区(赣南—粤北)为中心,从东南到西北方向,随成矿温度降低,依次出现钨(锡、铌、钼等)—金、锑(铅—锌等)—汞、砷和卡林型金矿,并与四川油气田构成了一个自南东向北西的高—中—低温热液矿床和油气藏的巨型区域性矿化分带。金属矿床成矿时代由燕山早期向晚期推移^[4]。在燕山早期花岗岩高强度侵入区周边的东、南和北方向的闽、粤、滇、赣和长江中下游地区,出现与火山—次火山岩有关的 Fe、Cu、U、Sn、Au、Ag、Zn 等浅层热液矿化。虽然这些地区因有较强的岩浆活动,成矿温度下降趋势不明显,但在成矿时代上仍以燕山晚期为主。这种有序分带趋势表明,华南热液矿床及有关的热液系统在成因上可能受燕山期岩浆侵入造成的统一区域性地热场的制约^[4,5]。

造成区域成矿分带的另一个重要因素可能与华南中—新生代岩浆活动的岩石化学“逆演化”分带趋

势有关,即印支期和燕山早期以 S 型花岗岩侵入为主,燕山晚期以 I 型火山—次火山岩为特征,到新生代则出现基性火山岩。燕山晚期 I 型火山—次火山岩受深大断裂控制,大致呈环带状围绕以 S 型花岗岩为主的燕山早期强活动中心,分布于浙、皖、赣、湘、滇、桂、粤、闽地区,并相应形成大量斑岩型、火山—次火山型、矽卡岩型和爆破角砾岩筒等类型的 Fe、Cu、Sn、W、Pb—Zn、Au、Ag 等多金属热液矿床。燕山期花岗岩类在区域上的“逆演化”现象在华南重要成矿区带和矿田中也有明显表现。例如,柿竹园矿田火成岩从早到晚的侵入顺序为:中粗粒黑云母—二长花岗岩,细粒斑状黑云母—二长花岗岩,细—中粒黑云母—二长花岗岩,花岗斑岩及石英斑岩和辉绿(玢)岩^[6]。这种从早到晚基性程度增高,同时侵位深度变浅的“逆演化”现象是不断增强的软流圈上涌至地表的岩浆构造响应,反映了华南燕山期热隆起的大地构造背景。

成矿时代的集中爆发现象和成矿作用的空间分带特征均表明,燕山期花岗岩的侵入直接或间接地(对盆地热流的贡献)为华南热液矿床的形成提供了成矿能量;而燕山期花岗岩本身的能量则应主要来源于该时代的软流圈的被动上涌^[7]。

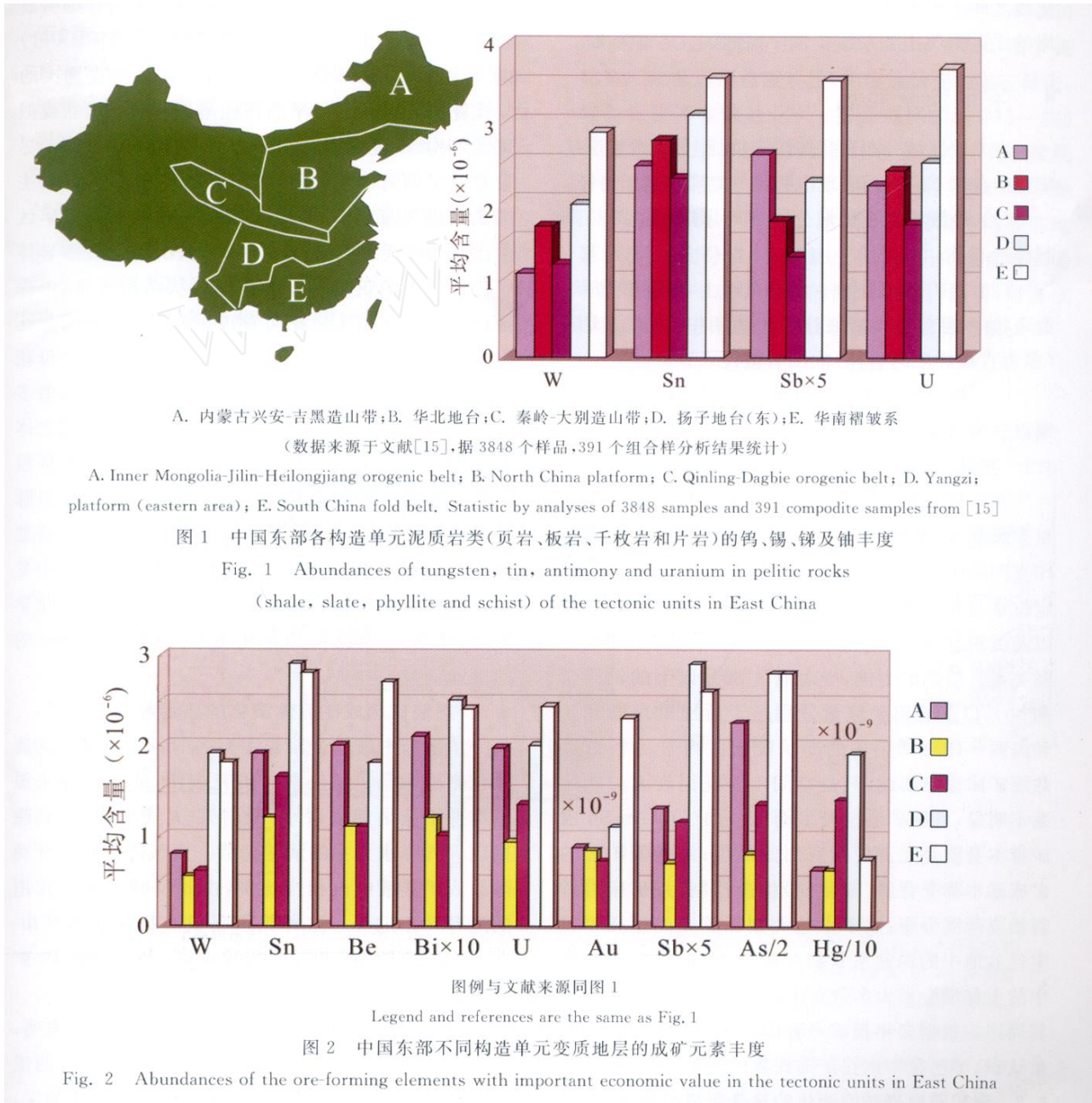
3 成矿元素的基底继承性

尽管同位素年龄数据表明华南基底应有晚太古代地层,但大片出露的最老地层为元古界。大量花岗岩 Nb 模式年龄和继承锆石 U—Pb 年龄分布表明^[8,9],元古宙(约 1.8 Ga 和约 1.4 Ga)是华南陆壳的主要增生期,元古界为华南的主要基底。

江南古陆广泛出露的中元古代地层普遍富集 W、Sn、Sb、As 和 Au 等成矿元素,含量大多为上陆壳的 2 倍或更高,且成矿元素的富集倍率与区域矿化之间有很好的—致性^[4]。华南基底 W、Au 和 Sn 等元素的基底含矿建造及其矿源层已有系统研究^[10~14]。其他大量区域地球化学研究进一步证实了成矿元素在地壳中,尤其是在前寒武纪基底中初步富集对成矿物质来源的重要性。例如,对我国东部泥质岩类(页岩、板岩、千枚岩和片岩)的元素分析表明^[15],相对于中国东部其他地区,华南具有最高的 W、Sn、Sb、U 等成矿元素丰度(图 1)。值得注意的是,对中国东部泥质岩的元素平均含量统计表明,在各类泥质岩石中,富铝和碳质泥质岩具有最高的 W、Sn、Be、Nb、Ta 和 REE 含量,完全与华南 S 型花

岗岩类的成矿专属性和富铝还原性岩浆特征相一致。与中国北方(内蒙古、东北、华北及大别山等地)的前寒武纪变质基底相比,华南褶皱带和扬子地台东部元古界基底中的 W、Sn、Be、Bi、U、Au、Sb、As、Hg 等区域代表性成矿元素的丰度均呈共同增高的趋势(图 2),表明华南前寒武纪基底中不但发育 W、Au、Sn 等元素的含矿建造,而且有其他多种元素含矿建造的迹象。此外,诸如 Li、Rb、Cs、F、Nb、Ta 和

REE 等典型花岗岩成矿元素在华南褶皱带基底地层中也具最高的平均含量。变质基底的这种高丰度元素组合不但与华南高温热液矿床和成矿花岗岩特征成矿元素组合相吻合,也与华南中-低温热液矿床的元素组合雷同,充分表现出热液成矿作用和花岗岩成岩作用在地球化学特征上对前寒武纪基底有系统的物质继承性,燕山期花岗岩成岩成矿与大陆地壳的多旋回熔融或再循环有密切的成因关系。



华南许多热液矿床中也常见矿床的成矿元素对基底有明显的继承性。例如,湘中锡矿山超大型锑矿床及盆地周边 Au-Sb 矿床成矿物质来源的多元

元素-同位素地球化学示踪研究表明,基底中 Sb、Au 等成矿元素丰度显著偏高,且发育 Au、Sb 成矿元素的区域性亏损带和矿体旁侧的金负异常;在不同实

验条件下,基底碎屑岩中铈和金的淋出率达 20 %~90 %;辉铈矿及其矿石具与基底相似的稀土分布特征^[16~18];锡矿山硅化灰岩及矿石的⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr 值为 0.7118~0.7272,明显高于泥盆系赋矿灰岩(0.7099~0.7120)和煌斑岩脉(<0.7113),而与元古界底板溪群碎屑岩(0.7131~0.7287)一致^[19];锡矿山铈矿和龙山 Au-Sb 矿的铅同位素分布也与震旦系、板溪群和冷家溪群一致,基本位于地幔铅和上地壳演化线之间。上述研究结果表明,锡矿山超大型铈矿床的成矿物质主要来源于湘中盆地的元古界基底。

4 华南热隆起成矿

在宏观区域分布和具体矿床特征上,华南热液矿床至少在以下三方面表现出明显的热隆起成矿特征:

(1) 热液矿床在区域分布和矿床定位上与热隆起构造有关;

(2) 在矿区(田)同一水平截面上,早阶段斑状似斑状中-粗粒花岗岩往往作为晚期中-细粒花岗岩(多为直接成矿的岩体)的围岩被侵入;

(3) 与中酸性火成岩有关的热液成矿流体在早期以岩浆水来源为主,晚期大气降水增多。

4.1 热液成矿与隆起构造的关系

在区域分布上,华南热液矿床主要集中在后加里东隆起区(主要为寒武系和元古代基底)和海西-印支凹陷中的岛状复背斜带(主要为泥盆系);具体定位常与花岗岩穹隆,前寒武纪基底中的块断隆起,以及沉积盆地中的局部隆起或背斜构造有密切的空间关系。以钨矿为例,华南地区 80 %以上的钨矿床和 90 %以上的钨矿储量分别产于后加里东隆起区和海西-印支凹陷中的岛状隆起区内^[6]。中-低温热液矿床也是如此,只是空间上与花岗岩无关或关系不明显,且赋矿层位较多而已。如江南 Au-Sb 成矿带本身就是元古代基底出露部位;湘黔汞矿带的矿床基本都受背斜(复背斜)构造控制,汞矿床沿背斜轴或两翼分布;锡矿山超大型铈矿床产于湘中古生代盆地中的泥盆系背斜穹隆中;西南中生代盆地中的卡林型金矿大多分布于古生界基底隆起部位及其周边。根据多年找矿经验提出的所谓“凹中隆”控矿认识,早已在华南找矿勘探界广为流行。

4.2 含矿花岗岩结构演化的热隆起成矿信息

根据大量的观察统计^[6],燕山早期(早、中侏罗世)花岗岩类以黑云母花岗岩为主,大多为中粗粒似斑状结构;燕山中期(晚侏罗世-早白垩世)花岗岩

类也主要为黑云母花岗岩,以中粗粒到中粒结构为主;燕山晚期(晚白垩世)主要为白云母或二云母二长花岗岩、黑云母花岗岩和花岗斑岩,呈中细粒、中细粒斑状和细粒结构。众所周知,火成岩的结构直接反映岩浆的侵入深度和冷却速度。岩石结构从燕山早期到晚期不断由粗到细的演化清楚地表明,继印支运动中国东部全面隆升之后,华南地壳由于燕山期花岗岩的强烈活动总体上处于持续隆起和不断剥蚀的成矿构造背景之中。这种热隆起特征也明显表现在华南与花岗岩有关的各主要钨、锡矿区(田)内。这些钨、锡矿区(田)大多有二期或更多期次的复式花岗岩侵入——早期往往呈较粗粒的斑状或似斑状结构,而晚期或补期多为中-细到细粒结构。尽管有时早期岩体也可能含矿,但在大多数情况下,主成矿阶段与晚期中、细粒岩体有关。这在许多矿区早已是司空见惯的事实。例如,铁山垅—黄沙岩体早阶段侵入的花岗岩以中粒似斑状结构为主,由深至浅从似斑状黑云母花岗岩转变为似斑状白云母花岗岩,且粒度变细。晚阶段侵入的中-细粒白云母花岗岩是黄沙钨矿的成矿岩体,石英和石榴子石增多且由深至浅粒度变细。尽管对西华山钨矿复式岩体侵入期次的划分有不同观点^[20~22],但均遵循从粗粒到细粒的结构演化趋势。此外,更晚的细晶岩脉穿插在早期岩体中也屡见不鲜。这一普遍现象清楚地向我们提示:成矿作用是在不断隆升的过程中发生的。前述柿竹园矿田火成岩从早到晚的岩石化学成分“逆演化”和结构细粒化现象,也提供了同样的热隆起信息。

4.3 热液矿床成矿流体演化的热隆起成矿特征

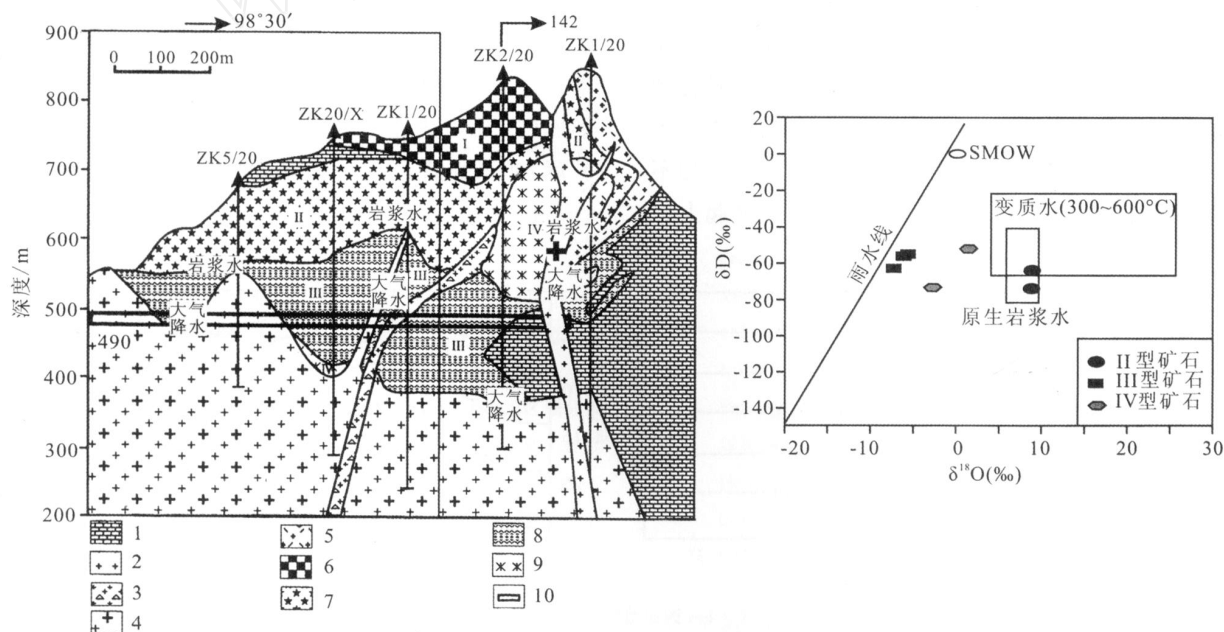
华南与中酸性岩浆作用有关的各类热液矿床流体包裹体和稳定同位素的研究表明,成矿流体来源基本遵循从早期岩浆水,经岩浆-大气水混合,到晚期以大气降水为主的演化趋势。大气降水往往在晚阶段成矿热液中占相当比例,由此反映出成矿作用的隆升动态过程。这种热隆起成矿特征在西华山-荡平 W-Sn-Be 矿和柿竹园矽卡岩 W-Sn-Mo-Bi 矿等著名超大型矿床中都有明显表现。

西华山 W-Sn-Be 矿床的稳定同位素研究表明,成矿作用早期,即 W、Sn 和 Be 主要成矿阶段的成矿流体为岩浆水,而晚期成矿流体以大气降水为主,形成晚期的梳状石英脉^[23]。与其相对应的是,主成矿期(黑钨矿-绿柱石石英脉)云英岩晶洞内一个巨大水晶的包裹体及其氧同位素研究揭示^[24,25],晶体

核心的流体为岩浆水,向晶体边部环带演变为大气降水。研究者由此认为,在成矿过程中因不断抬升或裂隙更加发育,导致大气降水在岩浆热能和岩浆热液密度差的驱动下循环加强。

柿竹园夕卡岩 W-Sn-Mo-Bi 矿床的石英、石榴子石、符山石、萤石及白钨矿中流体包裹体的系统研究显示^[26],块状矽卡岩 W-Bi 矿体形成于岩浆水,面状云英岩型 W-Sn-Mo-Bi 矿体为岩浆水-大气降水混合热液成因,而产于块状矽卡岩和面状云英岩之下的网脉状 W-Sn-Mo-Bi 矿体的成矿流体则主要来自大气降水(图 3)。值得注意的是,以大气降水为主要成矿流体来源的网脉状 W-Sn-Mo-Bi 矿体,反而位于块状矽卡岩矿体(岩浆水流体来源)和面状云英岩矿体(岩浆水-大气降水混合热液)之下(图 3)。这种“逆向分带”现象与不断隆升构造背景下成矿的认识是一致的。尽管多年来对华南与花岗岩有关的热液矿床是“正向分带”还是“逆向分带”一直有争议,但在华南许多钨-锡-多金属矿床中确实存在矿

物组合的逆向分带现象,如西华山、黄沙、盘古山等著名钨矿床深部,白钨矿、硫化物、碳酸盐和绿色立方体萤石等相对低温的矿物增多。一般来说,大多数矿床石英脉的均一化温度测定结果都是自下而上增高的正向分带。但在有些矿床中,特别是大型超大型矿床,则显示出复杂的情况。例如,柿竹园矿田的包裹体均一化温度测定表明,据柿竹园 W-Sn-Mo-Bi 矿段 735~385 m 五个中段中 415 个萤石流体包裹体均一化温度统计,具有最低温度($< 150^{\circ}\text{C}$)的样品主要分布在中下部(490 m 中段),属于硫化物矿化及后期热液阶段,相应地蚀变为绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化^[27];据野鸡尾矿段 755~660 m 三个中段中 245 个石英流体包裹体均一化温度统计,具有最低温度($< 150^{\circ}\text{C}$)的样品则主要出现在最下部的 660 m 中段^[28]。这两个矿段均不同程度地显示出“逆向分带”的迹象。不断隆升的成矿背景是可能造成这一成矿现象的原因之一。然而,对其成因尚需进一步根据实际成矿条件作具体分析。



1. 中泥盆统棋子桥组灰岩;2. 花岗斑岩(第Ⅳ期);3. 花岗岩(第Ⅲ期);4. 花岗岩(第Ⅱ期);5. 花岗岩(第Ⅰ期);6. I:大理岩中的锡细脉矿体;2. II:块状矽卡岩 W、Bi 矿体;8. III:网脉状 W、Sn、Mo、Bi 矿体;9. IV:面状 W、Sn、Mo、Bi 云英岩矿体;10. 490 m 巷道
1. limestone of the middle Devonian (Qiziqiao Formation); 2. granitic porphyry (IV stage intrusion); 3. granite (III stage intrusion); 4. granite (II stage intrusion); 5. granite (I stage intrusion); 6. I-type ore: cassiterite-bearing veinlet; 7. II-type ore: W-Bi massive skarn ore body; 8. III-type ore: W-Sn-Mo-Bi network ore body; 9. IV-type ore: W-Sn-Mo-Bi planar greisen ore body; 10. 490 m gallery

图 3 柿竹园矿区不同类型矿石的空间分布及其成矿流体的氢、氧同位素组成^[26]

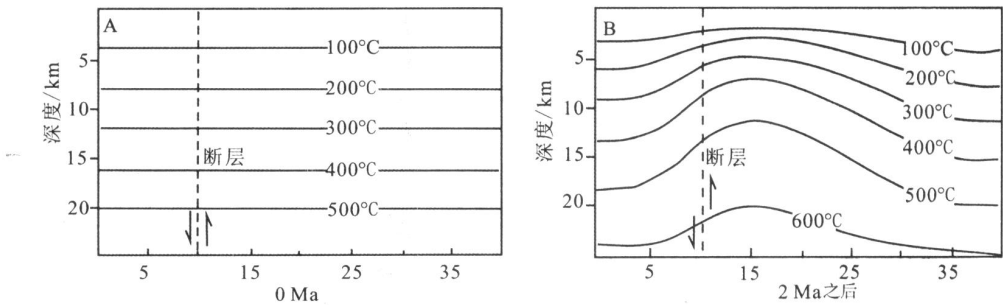
Fig. 3 Spatial distribution of various ore types and H and O isotopic compositions of their ore-forming fluid^[26]

4.4 热隆起成矿的岩浆-构造触发机制

地壳中的流体主要受三种机制驱动而产生运移,即重力驱动(高差或不透水层起伏)、应力驱动(构造应力和沉降压实)和浮力驱动(热对流和浓差对流)^[29]。由于隆起带的高势能,成矿流体不可能只靠重力驱动在隆起部位聚集。在应力挤压下,固然可以通过变形产生内应力释放而驱使流体向隆起带集中,但在应力松弛时流动也随之迅速停止,不能持续稳定地为成矿提供热液及矿质,也难以形成规模较大的矿床^[30]。但如果在隆起部位之下存在稳定的地热异常和/或深部流体具有较高的矿化度,隆起带就能持续地获得成矿物质。岩浆侵入或盆地热流以及深部存在隐伏含矿建造的地质背景能满足这些条件。因此,受流体温度和浓度变化制约的浮力驱动是造成隆起带成矿的主要因素。据此,已初步提出了用于描述隆起带成矿机制的双扩散对流模型^[31,32]。该模型表明,成矿元素在隆起部位富集的条件为:1)成矿元素在水/岩反应中应有较高的活动性;2)成矿元素在热液中的溶解度应与温度成正比;3)盆地深部基底应存在相应的含矿建造;4)深部应发育有利于含矿建造或矿源层成矿元素活化转移的多空隙构造或扩容构造,如断裂带、层间破碎带及不整合面等;5)应发育有利于成矿流体局部聚集的不透水顶盖和构造扩容空间。模拟显示,当隆起上方

伴随发育有垂直的高渗透性断裂带时,分别在断裂带上部和断裂带内部偏下位置出现两个元素富集场,且断裂带垂高越大,上部元素富集场的强度越高。此外,隆起上方断裂带的倾角变化对元素富集场定位位置和形态有明显影响^[32]。

此外,在岩浆活动较弱或无岩浆作用参与的情况下,地壳迅速块断隆起造成地温梯度的增高也能为热液矿床局部定位提供能量。如图4所示,设初始地温梯度为25℃/km(大致相当于正常地温梯度),地表温度和深部(25 km)温度保持不变,分别为25℃和625℃(图4A)。如果断块的隆升速度为10 mm/a(世界造山带的隆起速度估计为0.1~20 mm/a),根据热传导方程的计算结果^[33],由于隆起速度高于岩石热传导冷却速率,2.0 Ma后最大上升区5 km深处的温度将由原来的125℃上升到350℃以上(图4B)。约2.5 Ma后地温梯度基本达到稳定状态。由此可见,即使没有岩浆侵入,快速隆起造成的地温异常也可能在几千米深的部位产生强烈的地下热水环流,使地层中原来分散在空隙和含水层中无序分布的水,通过自组织产生有序化运动。这种过程对盆地背景的中—低温热液矿床的形成(如江南古陆及其周边盆地中的Au、Sb、Hg矿床)尤其重要。



A. 地温梯度为 25 °C/km 的初始状态;B. 2.0Ma 后的地温等值线
A. primary isotherms with a geothermal gradient of 25 °C/km; B. isotherms after 2 Ma

图4 块断快速隆升形成的地温高梯度带剖面^[33]

Fig. 4 Cross-section of geothermal gradient elevating zone by quick uplift^[33]

4.5 热隆起成矿的岩浆-构造及壳-幔作用机制

华南热液矿床的成矿时代与燕山期花岗岩强烈活动时代的一致性表明,软流圈上涌产生的玄武岩浆底侵和地壳伸展减压熔融^[8,34,35]是导致华南地壳区域性热隆起,进而触发大规模流体热对流的最

有效的驱动能量。此外,在岩浆活动不强或无岩浆作用参与的情况下,地壳迅速块断隆起造成的地温梯度增高也能为热液矿床局部定位提供能量。

根据相关地震层析图像资料^[7,36]的分析,华南中生代软流圈上涌的动力学机制不同于目前流行的

地幔柱热侵入模式,而主要与太平洋板块俯冲形成的含水地幔过渡带崩溃和大型冷幔柱下沉有关,软流圈物质具有被动上涌的性质。下地幔上涌对含水地幔过渡带的破坏和穿透,以及由此造成的地幔矿物相变脱水,可能是导致华南上地幔大规模部分熔融,进而启动玄武岩底侵,造成地壳部分熔融,以及形成燕山期大量花岗岩岩浆活动的重要因素^[7]。

参考文献 (References):

- [1] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 2004, 11 (1): 46 - 53.
Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, Zhang Changqing, Mei Yanxiong. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(1): 46 - 53. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张达, 吴淦国, 吴建设, 陈祥云. 闽西中甲锡多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质力学学报, 2003, 9 (3): 261 - 267.
Zhang Da, Wu Ganguo, Wu Jianshe, Chen Xiangyun. Re-Os ages of the Zhongjia tin polymetallic deposit, southwestern Fujian, and their geological significance [J]. Journal of Geomechanics, 2003, 9(3): 261 - 267. (in Chinese with English abstract)
- [3] 翁文灏. 金属矿床分布之规律[M]. 南开矿业学会纪要, 1926, 1: 1 - 10.
Weng Wenhao. Governing factors for distribution of ore deposits [M]. Nankai Mining Summary, 1926, 1: 1 - 10. (in Chinese)
- [4] 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 Dongsheng. Regional pattern of element composition and fluid character in medium-low temperature metallogenic province of South China [J]. Mineral Deposits, 1999, 18(4): 347 - 358. (in Chinese with English abstract)
- [5] 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[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1997, 33(地质流体专辑): 1 - 10.
Ma Dongsheng. Traces of large-scale movement of the fluid in the crust: A case of geochemical research on the Low-to-Moderate temperature hydrothermal ore deposits in the Jiangnan area, China [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences Edition), 1997, 33(Geofluid Issue): 1 - 10. (in Chinese with English abstract)
- [6] 冶金部南岭钨矿专题组. 华南钨矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1985.
Research Group Special for Nanling Tungsten Deposits of Minister of Metallurgical Industry, China. The tungsten deposits in South China [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1985. (in Chinese)
- [7] 马东升, 陈培荣. 华南中生代热隆起成矿与软流圈被动上涌 [A]. 陈骏. 地质与地球化学研究进展 [C]. 南京: 南京大学出版社, 2006: 224 - 235.
Ma Dongsheng, Chen Peirong. The Mesozoic thermal-uplift metallogenesis and passive up-welling of asthenosphere in South China [A]. Chen Jun. Progress in geological and geochemical researches [C]. Nanjing: Press of Nanjing University, 2006: 224 - 235. (in Chinese)
- [8] 王德滋, 周新民, 等. 中国东南部晚中生代花岗岩火山-侵入杂岩成因与地壳演化 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
Wang Dezi, Zhou Xinmin, et al. Genesis of the late Mesozoic volcanic-intrusive complexes and the crustal evolution in south-east China [M]. Beijing: Science Press, 2002. (in Chinese)
- [9] 王德滋, 沈渭洲. 中国东南部花岗岩成因与地壳演化 [J]. 地学前缘, 2003, 10 (3): 209 - 220.
Wang Dezi, Shen Weizhou. Genesis of granitoids and crustal evolution in Southeast China [J]. Earth Science Frontier, 2003, 10 (3): 209 - 220. (in Chinese with English abstract)
- [10] 刘英俊, 李兆麟, 马东升. 华南含钨建造的地球化学研究 [J]. 中国科学(B 辑), 1982(10): 939 - 950.
Liu Yingjun, Li Zhaolin, Ma Dongsheng. Studies on Geochemistry of tungsten-bearing formations in South China [J]. Science in China (series B), 1983, 26(4): 398 - 412.
- [11] 刘英俊, 马东升. 钨的地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.
Liu Yingjun, Ma Dongsheng. Geochemistry of tungsten [M]. Beijing: Science Press, 1987. (in Chinese)
- [12] 刘英俊, 马东升. 金的地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
Liu Yingjun, Ma Dongsheng. Geochemistry of gold [M]. Beijing: Science Press, 1999. (in Chinese)
- [13] 马东升, 刘英俊. 江南金成矿带层控金矿的地球化学特征和成因研究 [J]. 中国科学(B 辑), 1991, (4): 424 - 433.
Ma Dongsheng, Liu Yingjun. Geochemical characteristics and genesis of stratabound gold deposits in Jiangnan gold metallogenic belt [J]. Science in China (series B), 1992, 35(2): 240 - 256.
- [14] 陈俊, 王汝成, 周建平, 季峻峰. 锡的地球化学 [M]. 南京: 南京大学出版社, 2000.
Chen Jun, Wang Rucheng, Zhou Jianping, Ji Junfeng. Geochemistry of tin [M]. Nanjing: Press of Nanjing University, 2000. (in Chinese)
- [15] 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.
- Yan Mingcai, Chi Qinghua. Chemical composition of the crust and rocks in East China [M]. Beijing: Science Press, 1997. (in Chinese)
- [16] 马东升, 潘家永, 解庆林, 何江. 湘中铋(金)矿床成矿物质来源——I. 微量元素及其实验地球化学证据[J]. 矿床地质, 2002, 21(3): 366 - 376.
- Ma Dongsheng, Pan Jiayong, Xie Qinglin, He Jiang. Ore Source of Sb(Au) Deposits in Central Hunan: I. Evidences of trace elements and experimental geochemistry [J]. Mineral Deposits, 2002, 21(3): 366 - 376. (in Chinese with English abstract)
- [17] 马东升, 潘家永, 解庆林. 湘中铋(金)矿床成矿物质来源——II. 同位素地球化学证据[J]. 矿床地质, 2003, 22(1): 78 - 87.
- Ma Dongsheng, Pan Jiayong, Xie Qinglin. Ore source of Sb (Au) deposits in central Hunan: II. Evidence of isotopic geochemistry [J]. Mineral Deposits, 2003, 22(1): 78 - 87. (in Chinese with English abstract)
- [18] Ma D. Gold depletion in the Jiangnan Gold Metallogenic Belt in South China: Evidence for large scale fluid movement in the upper crust [A]. Kharaka Y K, Balkema A A. Water-Rock Interaction, Proceedings of 8th International Symposium on Water-Rock Interaction [C]. Vladivostok, Russia, Aug., 1995: 679.
- [19] 彭建堂, 胡瑞忠, 邓海琳, 苏文超. 湘中锡矿山铋矿床的铋同位素地球化学[J]. 地球化学, 2001, 30(3): 248 - 256.
- Peng Jiantang, Hu Ruizhong, Deng Hailin, Su Wenchao. Strontium isotope geochemistry of the Xikuangshan antimony deposit, central Hunan [J]. Geochemica, 2001, 30(3): 248 - 256. (in Chinese with English abstract)
- [20] 吴永乐, 梅勇文, 刘鹏程, 蔡常良, 卢同衍. 西华山钨矿地质 [M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- Wu Yongle, Mei Yongwen, Liu Pengcheng, Cai Changliang, Lu Tongyan. Geology of Xihuashan tungsten deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987. (in Chinese)
- [21] 穆治国, 黄福生, 陈成业, 郑淑蕙, 潘素兰, 刘大任. 漂塘-西华山石英脉型钨矿床碳、氢、氧同位素研究 [A]. 钨矿地质讨论会论文集 [C]. 北京: 地质出版社, 1984: 153 - 169.
- Mu Zhiguo, Huang Fusheng, Cheng Chengye, Zheng Shuhui, Pan Sulan, Liu Daren. Study on the C, H and O isotopes of Piaotang-Xihuashan quartz-vein wolframite deposits [A]. Proceeding for the Geology of Tungsten Deposits [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1984: 153 - 169. (in Chinese)
- [22] 刘家齐. 西华山花岗岩及其成矿作用[J]. 中国地质科学院院报, 1989, 19: 83 - 105.
- Liu Jiaqi. Xihuashan granite and metallogenesis [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological and Mineral Sciences, 1989, 19: 83 - 105. (in Chinese)
- [23] 刘家齐, 汪雄武, 曾贻善, 王晓地. 西华山花岗岩及钨锡铋矿田成矿流体演化[J]. 华南地质与矿产, 2002, (3): 91 - 96.
- Liu Jiaqi, Wang Xiongwu, Zeng Yishan, Wang Xiaodi. Xihuashan granite and evolution of ore-forming fluid of tungsten-tin-beryllium ore field [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2002, (3): 91 - 96. (in Chinese with English abstract)
- [24] 刘家齐, 曾贻善. 一个巨大水晶中流体包裹体温压地球化学特征[J]. 华南地质与矿产, 1999, (4): 37 - 43.
- Liu Jiaqi, Zeng Yishan. Fluid inclusion thermobarogeochemical features of a mega-quartz crystal [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 1999, (4): 37 - 43. (in Chinese with English abstract)
- [25] 刘家齐, 曾贻善. 一个巨大水晶中流体包裹体稳定同位素地球化学特征[J]. 华南地质与矿产, 2000, (2): 1 - 5.
- Liu Jiaqi, Zeng Yishan. The stable isotopic composition of fluid inclusions in a mega-quartz crystal [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2000, (2): 1 - 5. (in Chinese with English abstract)
- [26] 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮. 流体包裹体 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 326 - 331.
- Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, Ou Guangxi, Shen Kun, Zhang Wenhui. Fluid inclusions [M]. Beijing: Science Press, 2004: 326 - 331. (in Chinese)
- [27] 王昌烈, 罗仕徽, 胥友志, 孙一虹, 谢慈国, 张重铭, 徐文光, 任湘眉. 柿竹园钨多金属矿床地质 [M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- Wang Changlie, Luo Shihui, Xu Youzhi, Sun Yihong, Xie Ciguo, Zhang Zhongmin, Xu Wenguang, Ren Xiangmei. Geology of Shizhuyuan polymetallic ore deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987. (in Chinese)
- [28] 毛景文, 李红艳, 宋学信, 芮柏. 湖南柿竹园钨锡钼铋多金属矿床地质与地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- Mao Jingwen, Li Hongyan, Song Xuexin, Rui bo. Geology and geochemistry of Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi polymetallic ore deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998. (in Chinese)
- [29] 马东升. 地壳中流体的大规模流动系统及其成矿意义[J]. 高校地质学报, 1998, 4(3): 250 - 261.
- Ma Dongsheng. Large-scale fluid flow systems in the crust and their implications for metallogenesis of hydrothermal ore deposits [J]. Geological Journal of China Universities, 1998, 4(3): 250 - 261. (in Chinese with English abstract)
- [30] Garven G, Ge S, Person M A, Sverjensky D A. Genesis of stratabound ore deposits in the Midcontinent Basins of North America. 1. The role of regional groundwater flow [J]. A-

- merican Journal of Science, 1993, 293: 497 - 568.
- [31] 杨瑞琰,马东升,鲍征宇,潘家永,曹双林,夏菲. 双扩散对流与成矿元素富集的机制[J]. 自然科学进展,2004, 14(10): 1135 - 1141.
- Yang Ruiyan, Ma Dongsheng, Bao Zhengyu, Pan Jiayong, Cao Shuanglin, Xia Fei. Double-diffusive convection and its implications for mechanism of ore-forming element enrichment [J]. Progress in Natural Science, 2004, 14(10): 1135 - 1141. (in Chinese)
- [32] 杨瑞琰,马东升,鲍征宇. 沉积盆地的成矿元素富集与成矿机制研究——以湘中盆地锡矿山体矿床为例[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2005.
- Yang Ruiyan, Ma Dongsheng, Bao Zhengyu. The study of metallogenesis and concentration for ore-forming elements in the sedimentary basins: A case study from the Xikuangshan antimony deposits[M]. Wuhan: The press of the China University of Geosciences, 2005. (in Chinese)
- [33] Craw D, Koons P O. Tectonically induced gold mineralization adjacent to major fault zones[A]. Extended Abstracts Oral Programme, Geol. Soci. of Australian Inc., Abstracts No. 22[C]. Bicentennial Gold 88, Melbourne, 1988: 338 - 343.
- [34] 徐夕生,周新民,王德滋. 壳幔作用与花岗岩成因——以中国东南沿海为例[J]. 高校地质学报,1999, 5(3): 241 - 250.
- Xu Xisheng, Zhou Xinmin, Wang Dezi. Crust-mantle interaction and the genesis of granite: A case study of coastal area of southeastern China [J]. Geological Journal of China University, 1999, 5(3): 241 - 250. (in Chinese with English abstract)
- [35] 周新民. 南岭地区中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化[M]. 北京:科学出版社,2007.
- Zhou Xinmin. Genesis of the late Mesozoic granites and dynamic evolution of lithosphere in Nanling area[M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese)
- [36] Káason H and van der Hilst R D. Constraints on mantle convection from seismic tomography[A]. Richards M R, Gordon R, van der Hilst R D. The history and dynamics of global plate motion[M]. Washington, DC: American Geophysical Union, 2000, 121: 277 - 288.

·学会之声·

我会第七次全国会员代表大会拟于 2009 年 4 月在贵阳召开 同时召开第 12 届学术年会和举办我会建会 30 周年庆典活动

【本刊讯】 经第六届理事会常务理事会(扩大)会议讨论决定,并经中国科协学会学术部同意,我会第七次全国会员代表大会拟于 2009 年 4 月在贵阳召开,同时召开第 12 届学术年会和举办我会建会 30 周年庆典活动。

自 2003 年以来,在第六届理事会领导下,在中国科协指导下,我在开展学术交流与科普活动、加强学会组织和关注资源环境,更好地为创新国家建设服务诸方面都取得一定的成绩。按照会章的规定,应该适时进行换届选举;我会从 1978 年成立迄今,整整走过了 30 年的历程,需要“回头看”,总结一下经验和教训,改进我们的工作,以利再战;考虑到两届年会之间的时间间隔、换届工作和庆典活动的准备,遂决定三个会议(活动)同时举行,并从 2008 年推迟到 2009 年 4 月。

目前换届工作正在紧张准备之中,第 12 届学术年会的主题定为“矿物学、岩石学地球化学新进展”,内容涵盖了我会涉及的全部专业学科范围,以促进这些学科的发展,促进相关学科领域科学家的广泛合作,希望我会会员和相关专家积极与会。30 周年的庆典活动将依照“勤俭节约,讲求实效,总结经验,以利再战”的方针,欢庆学会而立之年的到来。

欢迎广大会员多提建设性建议,为民主办会、促进学术繁荣做出努力。