

东南沿海成矿带矿床形成的时间演化规律研究

吴淦国¹, 张 达¹, 彭润民¹, 吴建设², 高天钧²,
陈柏林³, 汪群峰¹, 狄永军¹, 张祥信¹

(1. 中国地质大学“岩石圈构造、深部过程及探测技术”教育部重点实验室, 北京 100083;
2. 福建省地质调查研究院, 福建 福州 350003; 3. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081)

摘 要: 东南沿海成矿带成矿作用时代与华夏古陆的形成演化、特提斯向环太平洋构造矿域的转换及中生代中国东部大陆边缘构造活动关系密切。东南沿海成矿作用时代主要与该区中—新元古代古裂谷环境、晚古生代局部裂陷环境、中生代以来的伸展构造环境等拉张构造应力场相对应。中生代以来的成矿作用强度大、持续时间长, 在东南沿海成矿史占主导地位。根据同位素测年成果厘定出特提斯向环太平洋构造矿域转换的早期, 即早侏罗世也存在一期重要的锡、金成矿作用。福建中部地区存在早期成矿被晚中生代构造岩浆热液作用强烈叠加的特征。文中在此基础上归纳了东南沿海成矿区不同时代区域成矿系列演化特征, 为进一步找矿提供科学依据。

关键词: 东南沿海成矿带; 同位素年代; 成矿时代; 成矿系列; 构造域转换

中图分类号: P612 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-2321(2004)01-0237-11

东南沿海矿产丰富, 成矿富有特色, 矿床的时空分布与构造应力场的转换、多期次岩浆、沉积作用等多因素有关。成矿时间的分布规律从一个角度反映了该区构造运动的强度、岩浆活动的频率, 从而可以预测区域成矿的主要阶段及找寻矿床的主要方向。M. E. Barley 等依据古大陆聚散等大地构造背景, 提出地史上存在 3 个大陆成矿高峰期^[1]; 翟裕生对地史期成矿 7 个阶段的构造背景与矿产的关系进行了探讨^[2]。和构造演化的历史一样, 东南沿海经历了长期复杂的成矿演化史。东南沿海成矿带矿床形成时代的研究近年来取得了重要进展, 不同学者从不同的角度进行了大量的工作。这些工作主要集中于用不同同位素定年方法测定主要矿床及成矿围岩的年代, 厘定与成矿有关的岩浆岩时代、主要构造事件作用时代、和成矿有关的变质事件年代等。前人研究成果表明东南沿海大规模成矿主要集中在晚古生代及中生代中晚期^[3-5], 大部分矿床成矿物质来源老(元古宙基底岩系)^[6], 成矿时代具有明显的迁

移性, 自南向北逐渐变新^[3, 4]。本文在前人工作的基础上, 通过对近年来新发现的 3 个大中型矿床进行同位素年代学研究成果, 对东南沿海成矿带矿床时代分布规律进行探讨。

1 区域地质背景

东南沿海是从华夏古陆逐步演化而来的^[7-11], 历经华夏古陆的形成与裂解、扬子与华夏板块的碰撞拼合、太平洋板块与欧亚大陆板块的相互作用阶段。

东南沿海主体位于中国东部中生代巨型构造—岩浆岩带之上。该区历经自太古宙古陆核形成以来的地壳的多期次岩浆活动^[10], 其中尤以中生代岩浆活动最为宏伟壮观。岩石类型齐全, 从超基性—超酸性及碱性岩类均有, 以酸性岩类为主体。花岗岩成因类型多种多样, 包括陆壳改造型、同熔型、A 型及地幔分异型^[12]; 岩浆活动与构造运动关系密切, 不同时代、不同成因的岩浆岩分带性明显。由中部向西北、东南, 后期叠加的岩浆岩时代有变新的趋势, 幔源成分亦随之增高; 中生代中、晚期岩浆岩规模大, 侵入岩和火山岩紧密共生, 形成双峰式火山—侵入岩岩石组合^[13-15]。这些岩浆活动与中生代以

收稿日期: 2004-03-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40372050); 地质大调查项目(200310200064)

作者简介: 吴淦国(1946—), 男, 教授, 构造地质学专业, 主要从事区域构造与成矿、构造地球化学及矿田构造研究。

来特提斯构造域向古太平洋构造域转换有关, 历经印支造山运动末期晚三叠世—早侏罗世陆内拉张, 该阶段是特提斯向太平洋构造域转换的前奏^[15], 随后伴随着中侏罗世—晚侏罗世早期古太平洋板块向欧亚板块俯冲, 表现为大规模陆内挤压, 标志着构造域转换开始^[16], 晚侏罗世晚期—早白垩世古太平洋构造域伸展走滑和晚白垩世的扩张裂解标志东南沿海已全面进入太平洋构造域。

矿床的空间分布受三级构造单元的控制明显(图1)^[10]。铅、锌、银、铜、金、钼矿床主要分布在闽浙火山断陷带上, 锡、银、铜、钨则主要分布在粤东火

山断陷带上; 龙泉—建瓯隆起以金、铜、铅、锌为主; 永安—梅县拗陷带以铜、铅、锌、金、锡、钨、钼、稀土、铁矿为主, 武夷山隆起带以金、铜、银、铅、锌、锡、钨、钼、钽、稀土矿为主。

2 东南沿海主要矿床的同位素年代学特征

东南沿海成矿作用的年代与构造演化、岩浆作用、沉积作用及变质作用相关。成矿时代的时间分布格局是该区长期构造—岩浆—成矿演化的结果, 因

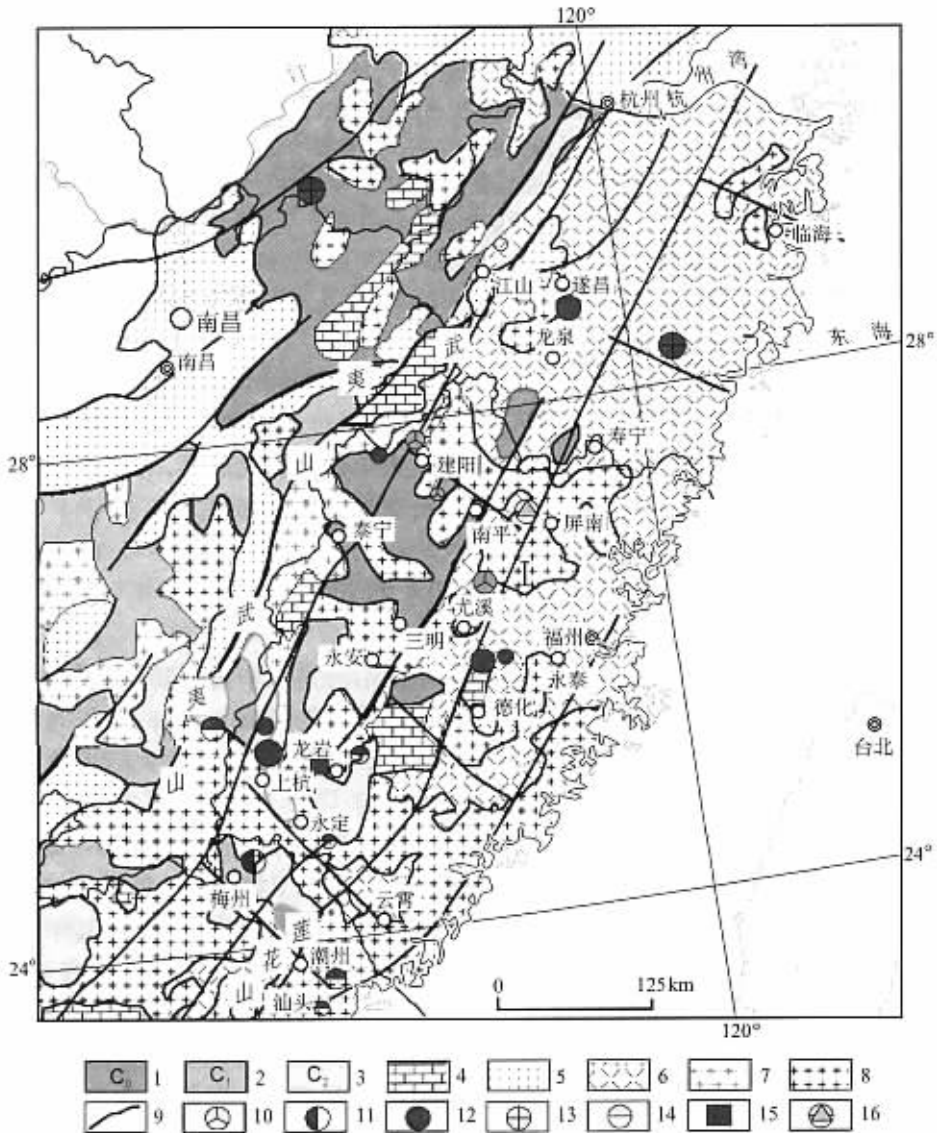


图1 东南沿海成矿区地质构造及主要矿产分布略图

Fig. 1 Sketch map showing geological tectonics and distribution of main mineral deposits in southeastern China

- 1—前震旦纪结晶基底地层 (P₁-Z); 2—前泥盆纪变质褶皱基底地层 (Z-S); 3—晚古生代盖层前泥盆纪变质褶皱基底地层 (D-T);
- 4—中生代盆地 (J-K₁); 5—新生代盆地 (K₂-N); 6—中生代酸性火山岩; 7—古生代花岗岩; 8—中生代花岗岩;
- 9—断裂; 10—铅锌矿床 (点); 11—铜矿床; 12—金矿床; 13—银矿床; 14—锡矿床; 15—铁矿床; 16—钨钼矿床

此成矿作用也贯穿于地质作用的全过程。总体上东南沿海中生代以来的成矿作用占主导地位, 但前寒武纪及古生代也有分布。根据该区主要矿床同位素测年成果及成矿时代的先后总结出如下特征。

东南沿海下一中元古界为复陆屑建造及火山复陆屑建造, 是一种次稳定型沉积速率较快的构造条件, 其沉积环境为陆壳内被动边缘盆地, 表现为陆壳内强烈活动形成的局部断陷边缘盆地构造背景^[17, 18]。新元古代早期是晋宁运动的高潮期, 本区域内发生了强烈的裂解拉伸作用^[19]。研究区的东北部即德化—尤溪一带的岩石组合反映了这一时期陆内裂谷性质。裂谷的拉伸强度较大, 属于一套非稳定型的火山硅质建造与大洋玄武岩沉积建造类型^[10]; 前寒武纪变质岩的原岩总体为一套深海—次深海—浅海相, 局部为滨浅海环境下形成的巨厚陆屑建造、火山复理式建造夹细碧角斑岩建造等。大规模的裂谷作用可能有利于大范围、长期、稳定的热卤水对流循环作用进行, 最终导致超大型矿床的形成。这一时期的矿床主要有梅仙式、水吉式、东岩式等海底火山喷发沉积块状硫化物型 Cu, Pb, Zn, Ag 矿床^[10]。其中建阳水吉铅锌矿 U-Th-Pb 同位素年龄为 974 ~ 1 041 Ma, 于新元古代成矿^[5]。

东南沿海所在的华夏古陆在早古生代末期发生褶皱隆升以及区域性的变质作用, 地壳经历了中浅层次韧塑性到脆性的变形发展过程。由于岩浆作用及混合岩化作用强烈, 局部地方形成伟晶岩型铌、钽、稀土、云母、长石矿床。主要矿床有南平西坑式伟晶岩型铌、钽、锡矿^[5], 伟晶岩 U-Th-Pb 同位素年龄为 422 ~ 424 Ma。同时由于华夏古陆经过强烈构造变形改造, 对金矿的初步富集具明显的控制作用。双旗山式金矿石英包裹体⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年龄 465.3 Ma, 表明虽然受到中生代构造岩浆作用的叠加, 该矿床在早古生代末仍有比较强的富集^[6]。位于闽北老变质岩基底地层上的大金山金矿含金黄铁矿石英脉凝灰岩(矿石)包裹体 Rb-Sr 等时线为(419 ±

6) Ma^[6], 同样表明早古生代末的加里东运动对金矿化具有明显的初步富集作用。

石炭纪东南沿海开始形成永梅拗陷带, 以加里东隆起后的伸展裂解为主。玉水铜多金属矿床产于永梅晚古生代拗陷中南段, 在早石炭世—中石炭世早期, 拗陷带中发生过较广泛的海底火山活动。矿化围岩为中—上泥盆统至下石炭统浅变质石英砂岩及中—上石炭统白云岩白云质灰岩。矿体主要赋存于下石炭统与中—上石炭统之间的不整合界面上及中—上石炭统碳酸盐岩中。矿床形成于拗陷带局部拉张的火山喷气环境, 与中生代火山作用无直接关系。铅同位素模式年龄在 290 ~ 320 Ma 之间, 属于早石炭世末期至石炭世末^[20]。在闽西南一带石炭纪裂谷间隙喷发的火山环境中的矿床有马坑铁矿 (Rb-Sr 法 325 ~ 355 Ma^[5])、潘田铁矿等。

早二叠世末期形成小型 Pb, Zn, Cu 矿床, 如永定大排, 在早三叠世末期拉张环境中有浅海火山碎屑—碳酸盐岩建造, 形成中小型 Zn, Pb, Cu, Ag 矿床, 如钟魏式铅锌矿, 矿床有上杭古石背、龙岩后田、珠地等^[10]。

晚三叠世—早侏罗世早期即印支运动末期—燕山运动早期早阶段的成矿作用鲜有报道, 这一阶段是东南大陆构造域转换的开端。位于永梅拗陷区东侧政和—大埔断裂带上的中甲锡多金属矿床是近年来在永梅拗陷区发现的规模较大的锡矿床之一。本次工作的重点之一是用 Re-Os 法对该矿床进行了同位素定年工作。

中甲锡多金属矿床受政和—大埔深大断裂带的分枝平行断裂 NNE 向漳平—下洋断裂、漳平—龙岩复式向斜、NW 向的中甲—珠地断裂及 SN 向和 EW 向的隐伏基底断裂的复合控制。矿床由 W, Sn, Mo 矿体以及少量的 Bi 矿化及黄铜矿化带。矿体赋存于罗峰溪群变质石英砂岩内, 少数矿体位于石英斑岩体、南部的花岗闪长岩体以及永福岩体内。矿床经历了 4 个大的成矿期, 主要矿体形成于锡石

表 1 中甲锡多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄一览表

Table 1 Re-Os isotope ages for Molybdenum from Zhongjia tin polymetal deposit

样号	样品质量/mg	$[u(\text{Re}) \pm 2\sigma]/(\text{ng} \cdot \text{g}^{-1})$	$[u(^{187}\text{Re}) \pm 2\sigma]/(\text{ng} \cdot \text{g}^{-1})$	$[u(^{187}\text{Os}) \pm 2\sigma]/(\text{ng} \cdot \text{g}^{-1})$	模式年龄/Ma	备注
Z11	8.072 2	791 ± 35	495 ± 22	1.57 ± 0.024	193 ± 10	本次
Z-8-9	10.538	794 ± 23	497 ± 14	1.55 ± 0.14	196 ± 18	工作
Z10	10.096	503 ± 45	340 ± 28	1.09 ± 0.013	195 ± 16	

注: 国家地质实验测试中心邹晓秋、温宏利分析, Re-Os 模式年龄通过公式 $t = 1/\lambda \ln(1 + \lambda(^{187}\text{Os})/\lambda(^{187}\text{Re}))$ 计算得到, 其中 λ 是 ¹⁸⁷Re 的衰变常数, $\lambda = 1.64 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ (Lindner 等, 1989)。

—硫化物期。锡矿床和辉钼矿床属同一成矿期,因此可用铷—锶同位素体系测定的辉钼矿矿化年龄,用以代表矿床形成时代。用碱熔法及 ICP-MS 测试技术测定了 3 个辉钼矿样品的 Re-Os 同位素年龄。经过样品的测试,得出每个样品中¹⁸⁷Re 和¹⁸⁷Os 的含量以及根据公式计算所得的模式年龄值。

样品的 Re-Os 模式年龄主要集中在 193 ~ 196 Ma 范围内,说明成矿作用发生于早侏罗世,是燕山早期早阶段的成矿产物。邢光福认为早侏罗世早期是中国东南大陆从特提斯构造域向环太平洋构造域转换的前奏期,标志着印支挤压造山结束之后的拉张环境,与南岭东段近 EW 向张性断裂活动有关^[15]。闽西南锡矿成矿形成于活动大陆边缘板内拉张环境^[21]。闽西南地区自早中生代以来存在多期次的岩石圈强烈伸展减薄作用,幔源岩浆与中下地壳物质部分熔融形成的花岗岩质岩浆的混合形成了闽西南钾质岩石^[22]。在这种大的构造背景下,该区形成一定规模的构造岩浆成矿作用条件是成熟的。因此,中甲锡多金属矿床在早侏罗世早期黑云母花岗岩侵位后,其岩浆期后的成矿热液经过迁移、富集,于 193 ~ 196 Ma 发生锡多金属矿化。

另一矿床为双旗山金矿区的肖坂金矿床。该矿床被认为其成矿物质来源与加里东构造变形改造有关,但该矿床主要形成于中生代。通过野外观察和室内镜下鉴定,确认与金矿化密切相关的蚀变矿物有黄铁矿、绿泥石、石英、绢云母、黄铜矿等,特别是在含硫化物交代硅质岩型矿石中,可见团块状绿泥石与黄铁矿、石英等载金矿物密切共生。结合矿物可选性和拟测同位素含量的考虑,选择绿泥石和绢云母作为测定对象,共选取 6 件绿泥石和 1 件绢云母样品进行 Rb-Sr 同位素测定,其结果见表 2。

根据表 2 拟合成的等时线如图 2 所示,其斜率为 $0.002\ 825\ 1 \pm 0.000\ 062\ 8$, 样品间相关系数为

$0.997\ 8$ 。样品分布较合理,取 $\lambda = 1.42 \times 10^{-11}\ a^{-1}$ 计算出等时线年龄为 $(198.67 \pm 4.42)\ Ma$, 并求得初始锶比值 $N_i(^{87}Sr)/N_i(^{86}Sr) = 0.714\ 6$ 。这个结果和安村金矿点与矿化密切相关的安村石英闪长岩年龄 $(187.3 \pm 21)\ Ma$ 非常接近,也与泰宁何宝山蚀变岩型金矿石中绢云母的 K-Ar 稀释法年龄 180 Ma 相近。当然,由于肖坂地区金矿化以交代蚀变为主,绿泥石等不是直接从热液中结晶出来的,仍难免有极少量变质岩中放射性锶的混入,因此,该年龄代表了成矿期的下限,即成矿要稍晚于 182 Ma。结合成矿流体来源与岩浆岩有较大关系、区域岩浆活动的时代,可以认为肖坂金矿主成矿期应是燕山早期。

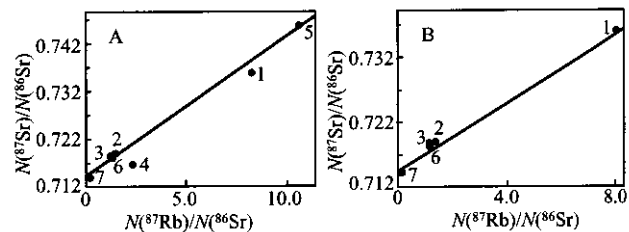


图 2 肖坂金矿床蚀变矿物 Rb-Sr 等时线图

Fig. 2 Rb-Sr Isochron age of alteration mineral from Xiaoban gold deposit

A—7 个样品拟合的等时线; B—石英脉矿石 5 个样品拟合的等时线

晚侏罗世古太平洋构造域伸展走滑期(150 ~ 125 Ma)成矿作用也比较强烈。发育 NE 向与 EW 向深大断裂的复合。闽粤火山断陷带火山岩主要为燕山期高钾钙碱性系列组合,与锡多金属矿成矿关系密切。厚婆坳锡银多金属矿床位于火山断陷带上,其成矿时代为 $(149.99 \pm 7.04)\ Ma$ (含锡硫化物矿石 Rb-Sr 等时线), $(145.8 \pm 1.43)\ Ma$ (矿石中绢云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄), $(145.44 \pm 1.88)\ Ma$ (矿石中绢云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄)^[34]。说明在中晚侏罗世古太平洋板块构造伸展期伴随着一期强烈的锡银多金属成矿。

表 2 肖坂金矿床矿石中蚀变矿物 Rb-Sr 同位素测试结果

Table 2 Isotopic data of Rb-Sr of alteration mineral from Xiaoban gold deposit

序号	样号	样品位置	矿石类型	矿物	$u(^{87}Rb)/$ ($ng \cdot g^{-1}$)	$u(Rb)/$ 10^{-6}	$u(^{86}Sr)/$ 10^{-6}	$u(Sr)/$ ($ng \cdot g^{-1}$)	$N(^{87}Rb)/$ $N(^{86}Sr)$	$N(^{87}Sr)/$ $N(^{86}Sr) \pm 2\sigma$
1	B01	肖坂 7Au	交代硅质岩型	绿泥石	468.7	143.8	573.6	51.11	8.169	0.736 124 ± 34
2	B02	肖坂 7Au	交代硅质岩型	绿泥石	122.8	37.68	86.37	76.82	1.412	0.719 135 ± 43
3	B03	肖坂 7Au	交代硅质岩型	绿泥石	185.3	56.86	155.8	138.6	1.189	0.718 955 ± 39
4	Y001	双旗山 13Au	蚀变岩型	绿泥石	181.3	55.64	76.80	68.29	2.360	0.716 883 ± 35
5	Y005	肖坂 5Au	蚀变岩型	绢云母	795.8	244.2	72.05	64.25	11.04	0.745 858 ± 18
6	97503	肖坂 7Au	交代硅质岩型	绿泥石	52.27	16.04	42.65	37.93	1.225	0.718 483 ± 33
7	97505	肖坂 7Au	交代硅质岩型	绿泥石	8.564	2.628	71.57	63.63	0.119 7	0.714 297 ± 27

表3 福建梅仙峰岩钾长石⁴⁰Ar/³⁹Ar快中子活化法地质测年数据表

Table 3 Isotopic data of ⁴⁰Ar/³⁹Ar neutron activation dating of K-feldspar in Meixian Fengyan, Fujian Province

$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$n(^{39}\text{Ar}_K)/(10^{-14}\text{ mol})$	F^*	$u(^{39}\text{Ar}_K)/\%$	t/Ma
FYK-4(钾长石) $m=98.23\text{ mg}$, $J=0.010\ 704$, $t_p=(89.3\pm 1.0)\text{ Ma}$ (1~9阶段)								
400	11.600 9	0.025 5	0.923 9	0.023 4	430.27	4.127 3	2.96	77.99±0.93
500	7.755 5	0.012 1	2.034 6	0.016 6	700.43	4.311	4.81	81.90±1.30
600	10.280 3	0.022	9.112 3	0.017 8	503.22	4.439 8	3.45	83.80±1.60
700	7.371	0.010 6	3.447 2	0.015 4	713.36	4.501	4.91	84.90±1.20
800	7.019 9	0.008	0.086 2	0.014 5	798.82	4.665 1	5.48	87.90±1.30
900	6.621 9	0.006 6	0.075	0.014 1	902.78	4.665 2	6.21	87.90±1.20
1 000	6.271 6	0.005 4	0.045 7	0.013 9	1 295.41	4.674 4	8.89	88.10±1.00
1 100	5.659 2	0.003 1	0.023 9	0.013 6	3 483.14	4.752 4	23.93	89.50±0.90
1 200	5.758 9	0.002 7	0.014 9	0.013 1	4 553.7	4.970 1	31.29	93.50±1.00
1 300	7.885 7	0.006 8	0.086 1	0.014 5	998.43	5.889 2	6.86	110.30±1.40
1 400	16.852 7	0.024	0.186 4	0.019 7	176.86	9.782 5	1.21	179.70±4.20
FYK-6(钾长石) $m=78.73\text{ mg}$, $J=0.010\ 700$, $t_p=(85.4\pm 8.9)\text{ Ma}$ (1~13阶段)								
400	8.744 3	0.014 2	0.017 3	0.018 9	570.1	4.539 3	2.49	85.60±1.50
500	9.126 5	0.016	0.143 8	0.018 7	500.56	4.418 7	2.19	83.40±1.80
600	9.947	0.018 9	0.192 2	0.018 5	387.58	4.365 8	1.69	82.40±2.10
700	10.214 7	0.019 7	0.052	0.017 9	323.23	4.405	1.41	83.10±1.90
800	10.160 3	0.019 1	0.024	0.017 5	318.42	4.516	1.4	85.20±1.70
900	9.268 6	0.016 2	0.013 9	0.017	363.44	4.485	1.58	84.60±1.60
1 000	7.338 6	0.009 3	0.011 1	0.015 1	808.83	4.58	3.54	86.30±1.20
1 100	6.208 1	0.005 8	0.004 5	0.013 7	1 536.33	4.498 7	6.71	84.80±1.00
1 200	5.500 7	0.003 3	0.001 3	0.013 2	5 021.3	4.532 7	21.94	85.47±0.86
1 300	5.584 4	0.003 4	0.001 8	0.013 1	6 920.77	4.575 4	30.25	86.25±0.88
1 400	5.830 1	0.004 1	0.003	0.013 3	4 143 024	4.607 8	18.1	86.90±1.70
1 450	6.278 4	0.005 9	0.008 3	0.013 8	1 507.95	4.517 7	6.59	85.20±1.10
1 500	8.131 1	0.011 9	0.024 9	0.015 5	482.55	4.615 5	2.11	87.00±2.20

梅建明^[23]测定遂昌冶岭头金矿床中的石英⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄为(139±18.6)Ma,为晚侏罗世晚期成矿,是伸展裂解体制下火山、次火山热液叠加作用使陈蔡群中的金矿化进一步富集而成。陈好寿^[24,25]、李长江^[26]等也得出了冶岭头金银矿床的成矿时代在135~145 Ma左右。周俊法^[27]指出冶岭头矿床的成矿作用是长期累进式演化、积累的结果。

白垩纪以来,东南沿海的成矿作用又达到高潮。紫金山矿田铜金成矿作用可作为代表。该矿田与燕山晚期多次中酸性岩浆活动有关的热液蚀变分布广,类型多,强度大。时间上蚀变发生在岩浆岩定位之后(蚀变矿物的K-Ar同位素年龄绢云母94.1 Ma,明矾石111.8 Ma,钾长石88.3 Ma,黑云母117.3 Ma),在空间上蚀变总是围绕着侵入体分布^[10]。通过对含铜金的硅化岩和含金石英及浅部金矿化岩石中石英Rb-Sr法等时线年龄分别为(122±4)Ma和(100±3)Ma^[28],代表铜金形成于早白垩世而金成矿年代为晚白垩世。紫金山矿田成岩成

矿时代特征表明,该区成岩成矿是早白垩世以来区域伸展作用体制下的产物,此阶段正是构造域转换的高潮阶段。可能也代表了晚中生代构造-岩浆作用由“挤压地壳增厚,陆壳重熔”向“拉张岩石圈减薄双峰式岩浆作用”机制的转变年龄^[29]。

早白垩世成矿在粤东主要有:莲花山钨矿床113.2~119.5 Ma(云英岩中白云母K-Ar)^[3]、西岭锡矿床(98.8±2.9)Ma(含锡绢云母K-Ar)^[3];在浙西南有毫石银矿床的成矿年龄为100 Ma左右(矿脉中蚀变绢云母的K-Ar法及石英流体包裹体的Rb-Sr法综合)^[30];浙东南大岭口银铅锌矿床为100 Ma(蚀变岩K-Ar法)^[3];北武夷冷水坑银铅锌矿床花岗岩的Rb-Sr同位素年龄为(131.0±5.1)Ma,火山岩的同位素年龄为(101.3±4.1)Ma。火山岩年龄较花岗岩低可能表明该年龄值代表了热蚀变作用即成矿的年龄,因此冷水坑银铅锌矿床可能形成于100 Ma左右^[31]。而武夷山南西段和岩背斑岩型锡矿成矿关系密切的花岗斑岩成岩时代为(114.1±0.6)

(全岩 Rb-Sr 法)^[32]以及 103.95 Ma^[33]。

晚白垩世成矿也是东南沿海一期重要的成矿作用。周新华、任胜利等指出浙江东部大型及超大型典型非金属矿床成矿过程开始于成岩作用的晚期^[34~36]。沸石岩和明矾石的矿石 K-Ar、Rb-Sr 及微区 Ar-Ar 同位素年龄分别集中在:沸石为 53~70 Ma,明矾石为 72~95 Ma。晚于其围岩年龄(沸石围岩 73~86 Ma,明矾石围岩 87~110 Ma)。浙东南火山岩区的后岸银矿床成矿时代为 74.9~84.7 Ma(含矿次生石英岩 K-Ar)^[4],粤东的西岭锡矿床 84.4 Ma^[4](锡矿石 K-Ar 法)。以上结果表明东南沿海晚白垩世金属及非金属成矿作用和晚中生代火山作用有直接的关系。

尤溪梅仙峰岩铅锌银矿床位于寿宁—华安火山基底隆起带的变质基底“天窗”内。矿床多呈层状、似层状、透镜状产于中元古界马面山群东岩组绿片岩和大理岩中。矿体与围岩产状整体一致,多与地层整合,具有鲜明的层控特点。矿石有条带状构造、脉状充填状构造、交代蚀变充填状构造、稠密浸染和稀疏浸染状构造、浸染状—斑杂状构造、斑杂状构造、块状构造、同生角砾状构造等。矿床的形成主要经历了三个大的阶段:①中、新元古代海底火山喷流沉积阶段形成顺层块状硫化物铅锌矿床;②晋宁晚期变质改造;③燕山晚期岩浆热液叠加改造阶段。

前面已述梅仙峰岩中—晚元古代绿片岩系成生于大陆内部的裂谷环境^[19]。和成矿关系密切的马面山群东岩组变火山岩具明显的双峰式火山岩特征^[37~39]。虽然火山喷流成矿阶段的年代还没有精确的同位素年龄数据,但中生代岩浆热液的叠加作用对早期矿床具有明显的改造作用,使矿床的类型、矿体形状、产状发生变化。热液叠加的一个重要表现是早期块状硫化物矿床的局部地段,矿石矿物如闪锌矿、方铅矿晶体颗粒变大,矿体加厚变富。伴生有强烈的钾长石化,只要有钾长石化出现,矿体就变富。表明早期块状硫化物矿床被后期岩浆热液叠加交代。野外和镜下观察表明,矿石矿物闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿、黄铁矿等与钾长石共生。因此为了确定后期叠加成矿的时代,拟选取钾长石化带中的钾长石进行⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年分析。将 2 件蚀变变质岩样品粉碎后挑选出 99% 纯度的钾长石单矿物,由中国地质科学院地质研究所 Ar-Ar 同位素实验室完成测试,所用实验方法和实验过程相关参数见有关文献^[40]。测试结果见表 3 及图 3。

样品 FYK-4 进行了 11 个阶段的分步加热,除了最后阶段出现较高的视年龄外,第 1~9 阶段³⁹Ar 析出量占 91.93%,坪年龄有效。该样品的坪年龄为(89.3 ± 1) Ma,等时线年龄为(91.31 ± 1.14) Ma。FYK-6 样品同样经过了 11 个阶段的分

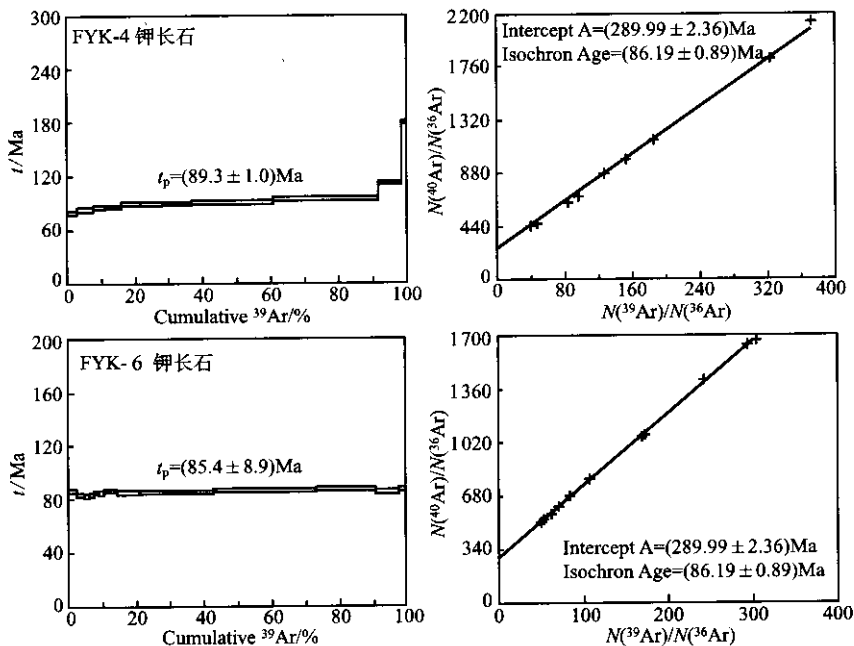


图 3 福建梅仙峰岩钾长石⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素坪年龄及等时线年龄

Fig. 3 ⁴⁰Ar/³⁹Ar T_p age and Isochron age of K feldspar of Meixian Fengyan, Fujian Province

步加热, 整个阶段视年龄非常一致。坪年龄为(85. 4 ± 8. 9) Ma, 等时线年龄为(86. 19 ± 0. 89) Ma。结果表明是晚白垩世的热液叠加, 与晚白垩世的扩张裂解时代吻合。

3 东南沿海矿床时间分布规律

从以上成矿时代特征可以总结出如下分布规律:

(1) 东南沿海主要矿床成矿时代阶段性集中分布特征非常明显。成矿时代主要在中—新元古代(1 000 Ma 左右)、志留纪(420 Ma 左右)、石炭纪(300 ~ 350 Ma)、侏罗纪(200 ~ 180 Ma、154 ~ 135 Ma)、白垩纪(125 ~ 96 Ma、92 ~ 70 Ma)。其中中生代以来成矿作用阶段多、延续时间长。

(2) 东南沿海区域构造经历了 7 个主要演化阶段: 华夏古陆形成、裂解、华夏古陆与江南古陆对接碰撞、加里东改造、准地台裂陷、中生代大陆边缘活动和新生代板边裂陷与碰撞造山阶段。成矿作用也是这些主要构造事件的产物, 因此, 成矿时代和构造运动的时代有较好的对应关系。华夏古陆形成阶段始自古元古代早期, 初期形成一套低成熟度的杂砂岩夹大陆拉斑玄武岩, 具有典型的板内和 MORB 特征^[41, 42], 此阶段还没有如此相对应的成矿记录; 华夏古陆的裂解发生在中—新元古代, 同位素年龄集中在 1 400 ~ 1 000 Ma 之间。龙泉群和马面山群及铁砂街群以及鹤溪群系古陆地壳拉张减薄过程中裂谷内的产物。裂谷带的下部是由双峰式的细碧-角斑质火山岩所构成, 其岩石化学属钙碱或钙碱拉斑过渡系列, 地球化学具陆内裂谷特征。由于海底火山喷流作用而形成梅仙式、水吉式、东岩式等 Cu, Pb, Zn, Ag 矿床; 华夏古陆的稳定发生在新元古代早期的青白口纪, 华夏古陆整体呈隆起状态, 只有一些零星的矿化而没有形成一定规模的矿床; 加里东运动发生在志留纪末, 主要表现为古地块的活化, 420 Ma 左右金元素的初步富集及伟晶岩型矿床的形成和加里东运动对应; 晚泥盆世在闽西南发育内陆断陷盆地, 早石炭世时裂陷范围扩大, 中石炭世—早二叠世裂陷和晚二叠世—早三叠世裂陷更显著。与此相应形成石炭纪末期的玉水铜多金属矿床、马坑铁矿、潘田铁矿等, 早二叠世末期的小型 Pb, Zn, Cu 矿床以及早三叠世末期钟魏式铅锌矿等; 中生代活动大陆边缘最先记录是由晚三叠世和早侏罗世的裂陷作用, 此时东南大陆从特提斯向环太平洋构造域转

换业已开始。主要矿床有中甲锡矿、肖坂金矿、泰宁何宝山金矿。之后经历了古太平洋板块与古亚洲大陆之间洋陆俯冲(中侏罗世), 这一期间成矿记录很少。晚侏罗纪后期开始, 东南大陆由挤压转变为拉张环境, 成矿分为两个阶段: 晚侏罗世(154 ~ 135 Ma), 主要矿床有厚婆坳锡银矿床、遂昌冶岭头金矿床, 早白垩世(135 ~ 96 Ma), 有紫金山铜金矿、莲花山钨矿床、西岭锡矿床、毫石银矿、大岭口银铅锌、冷水坑银铅锌矿床、岩背斑岩型锡矿。晚白垩世则表现为扩张裂解, 主要矿床有浙江东部大型及超大型典型非金属矿床、闽中地区晚白垩世的热液叠加作用等。

(3) 成矿作用时代和构造应力场特征也有密切的关系。东南沿海的主要成矿阶段几乎都和拉张构造应力场相对应。虽然加里东期的成矿形成于挤压构造应力场, 但不论从规模还是类型上都不占主导地位。中—新元古代古裂谷环境、晚古生代的裂陷环境及中生代早期及末期的伸展环境对应的成矿作用强度大、持续时间长, 是东南沿海主要成矿环境。

(4) 东南沿海金矿的形成经历了早古生代的初步富集、早侏罗世成矿、晚侏罗世及白垩世多阶段成矿, 铅锌矿的形成同样经历了几个大的阶段。说明不同的金属矿化时代都是构造岩浆演化的结果。

(5) 矿床时间分布和不同的构造单元有关。中—新元古代及早古生代成矿主要发生在浙闽前寒武隆起带上, 晚古生代成矿作用主要发生在永梅坳陷带上, 中生代成矿作用呈线状(NE、NW)分布在中生代断陷盆地边缘, 同时对早期成矿进行强烈的叠加改造。

4 不同时代区域成矿系列演化特征

东南沿海矿床形成时代具有的演化规律实质上是该区不同时代矿床成矿系列的体现。根据矿床同位素年代学特征及成矿时代分布规律, 结合成矿作用特征及矿床空间分布。从时代演化角度, 该区可分为如下成矿系列:

(1) 与中—新元古代华夏古陆裂谷内海相变基(中) 性火山作用有关的(钨、钼) 铅锌银成矿系列, 主要矿床类型有东岩式和水吉式。(2) 与加里东期区域变质、岩浆热液活动有关的金矿化及与花岗岩混合岩化有关的伟晶岩型铌钽成矿系列, 主要矿床类型有西坑式铌钽矿床及肖坂及何宝山式金矿的初步

富集。(3)与晚古生代拗陷盆地内局部裂谷火山喷气作用有关的块状铁、铜铅锌矿床,矿床类型有玉水式铜铅锌矿床、马坑式铁矿床、钟魏式铅锌矿。(4)与早侏罗世幔壳混源花岗岩岩浆有关的锡、钼、钨、金矿床成矿系列,主要矿床有中甲锡多金属矿、鹅子崇锡矿、肖坂—双旗山金矿、何宝山金矿、上村金矿、白仁岩金矿、小坑金矿、大丘埂金矿等^[6]。(5)与晚侏罗世中酸性花岗岩有关的锡、钼、钨、铅、锌、金矿床成矿系列,主要有厚婆坳式锡矿床、龙凤场式铅锌铜银矿、遂昌冶岭头金矿床。(6)与早白垩世中酸性斑岩—潜火山作用有关的铜、钼、金、银、铅、锌、锡成矿系列,矿床类型较为广泛,主要有紫金山式(硫酸盐型—高硫型)、冷水坑式、岩背式、悦洋式(冰长石、绢云母型—低硫型)、行洛坑式、罗卜岭式、赤路式、奇美式等。

与晚白垩世陆相火山作用及热液活动有关的金银铅锌硫铁成矿系列,主要分布在武夷山隆起带、永梅拗陷带与北西向陆相火山带叠加复合部位及沿海火山断陷带上。矿床类型和主要矿床有浙江东部大型及超大型典型非金属矿床、闽中地区热液叠加作用、岭头坪式金矿床、银坑式层状铅锌矿床、屏峰式层状硫铁铅锌矿床。

5 结语

东南沿海成矿带主要成矿作用时代与华夏古陆的形成演化、特提斯向环太平洋构造成矿域的转换及中生代中国东部大陆边缘构造活动关系密切。东南沿海成矿作用时代主要和该区中—新元古代古裂谷环境、晚古生代局部裂陷环境、中生代以来的伸展构造环境等拉张构造应力场相对应。中生代以来的成矿作用强度大、持续时间长,在东南沿海成矿史占主导地位。根据同位素测年成果厘定出特提斯向环太平洋构造成矿域转换的早期,即早侏罗世的也存在一期重要的锡、金成矿作用,确定了福建中部地区的早期成矿被晚中生代构造岩浆热液作用强烈叠加的特征。在此基础上归纳了东南沿海成矿区不同时代区域成矿系列演化特征,为进一步找矿提供了科学依据。

References [参考文献]:

[1] BARLEY M E, GROVES D I. Supercontinent cycles and the dis-

tribution of metal deposits through time [J]. *Geology*, 1992, 20: 291-294.

- [2] ZHAI Yusheng, DENG Jun, LI Xiaobo. *Regional Metallogeny* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999 (in Chinese). [翟裕生, 邓军, 李晓波. 区域成矿学 [M]. 北京: 地质出版社, 1999.]
- [3] XU Xiaochun, YUE Shucang, PAN Chengrong. Controlling factors of the metallogenetic time-space distribution of the ore deposits in southeastern China coast [J]. *Geology of Anhui*, 1999, 9 (1): 42-44 (in Chinese). [徐晓春, 岳书仓, 潘成荣. 中国东南沿海金属矿床时空分布的控制因素 [J]. 安徽地质, 1999, 9(1): 42-44.]
- [4] XU Xiaochun, YUE Shucang. Factors controlling the metallogenetic evolution and time-space distribution of the ore deposits in Zhejiang-Fujian-Guangdong coastal areas [J]. *Mineral Deposit*, 1999, 18(4): 372-377 (in Chinese). [徐晓春, 岳书仓. 浙闽粤滨海地区成矿演化及矿床时空分布的控制因素 [J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 372-377.]
- [5] LI Gengkun, LIN Hengcai. Isotopic ages and their regional tectonic significance in Fujian Province [J]. *Geology of Fujian*, 1988, 7(2): 80-118 (in Chinese). [李根坤, 林亨才. 福建省同位素年龄及其区域地质构造意义 [J]. 福建地质, 1988, 7(2): 80-118.]
- [6] YUE Laiqun, HUANG Chunpeng, ZHANG Keyao. Discussion on the metallogenic epoch of gold deposits in Fujian Province, southeast China [J]. *Geology and Prospecting*, 2002, 38(4): 17-21 (in Chinese). [岳来群, 黄春鹏, 张克尧. 福建省金矿床成矿时代特点 [J]. 地质与勘探, 2002, 38(4): 17-21.]
- [7] REN Jishun, CHEN Tingyu, NIU Baogui, et al. *Continental Lithospheric Tectonic Evolution and Mineralization in East China and Adjacent Area* [M]. Beijing: Science Press, 1990 (in Chinese). [任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 等. 中国东部及邻区大陆岩石圈构造演化与成矿 [M]. 北京: 科学出版社, 1990.]
- [8] SHUI Tao. *Metamorphic Basement of Zhejiang and Fujian Provinces in China* [M]. Beijing: Science Press, 1988 (in Chinese). [水涛. 中国浙闽变质基底 [M]. 北京: 科学出版社, 1988.]
- [9] SHUI Tao. Tectonic framework of continent basement in southeastern China [J]. *Science in China (Series B)*, 1987(4): 414-422 (in Chinese). [水涛. 中国东南大陆基底构造格局 [J]. 中国科学 (B 辑), 1987(4): 414-422.]
- [10] GAO Tianjun, WANG Zhenmin, WU Kelong, et al. *Tectonic and Magmatic Evolution and Mineralization of Taiwan Strait and Its Adjacent Region* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999 (in Chinese). [高天均, 王振民, 吴克隆, 等. 台湾海峡及其周边地区构造岩浆演化与成矿作用 [M]. 北京: 地质出版社, 1999.]
- [11] ZHAO Fengqing, SUN Dazhong, ZHANG Huimin. The tectonic setting and crustal evolution of Pre-Caledonian basements from Cathaysia block [J]. *Publication of Institute of Geology and Mineral Resources of Tianjin, CAGS*, 1996, 29: 101-109 (in Chi-

- nese). [赵凤清, 孙大中, 张惠民. 华夏地块前加里东期变质基底形成的构造环境及地壳演化[J]. 中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊, 1996, 29: 101-109. \]
- [12] WANG Dezi, ZHOU Jincheng, QIU Jiansheng, et al. Characteristics and petrogenesis of Late Mesozoic granitic volcanic-intrusive complexes in southeastern China[J]. *Geological Journal of China University*, 2000, 6(4): 487-498(in Chinese). [王德滋, 周金城, 邱检生, 等. 中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩特征与成因[J]. 高校地质学报, 2000, 6(4): 487-498.]
- [13] QIU Jiansheng, WANG Dezi, ZHOU Jingcheng. Geochemistry and petrogenesis of the late Mesozoic bimodal volcanic rocks at Yunshan Caldera, Yongtai County, Fujian Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1999, 18(2): 97-107(in Chinese). [邱检生, 王德滋, 周金城. 福建永泰云山晚中生代双峰式火山岩的地球化学及岩石成因[J]. 岩石矿物学杂志, 1999, 18(2): 97-107.]
- [14] MA Jingqing, HE Wenxing, FENG Zongzhi. Features and origin of Mesozoic bimodal volcanic rocks in Fujian Province[J]. *Regional Geology of China*, 1998, 17(3): 241-246(in Chinese). [马金清, 何文兴, 冯宗帜. 福建省中生代双峰式火山岩的特征及成因[J]. 中国区域地质, 1998, 17(3): 241-246.]
- [15] XIN Guangfu, YANG Zhuliang, MAO Jianren, et al. Characteristics of early Jurassic igneous rocks on the continental margin of southeastern China and their tectonic significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(7): 384-391(in Chinese). [邢光福, 杨祝良, 毛建仁, 等. 东南大陆边缘早侏罗世火成岩特征及其构造意义[J]. 地质通报, 2002, 21(7): 384-391.]
- [16] WU Ganguo, ZHANG Da, CHENG Bailin, et al. Post-Mesozoic transformation of tectonic domain in southeastern China and its geodynamic mechanism[J]. *Earth Science (English Edition)*, 2000, 11(3): 288-292.
- [17] XU Dazhong, XUE Zhenhua, RAO Minghui. *Metamorphic Basement and Tectonic Framework of Wuyishan Mountain and Its Adjacent Region*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995 (in Chinese). [徐达忠, 薛振华, 饶明辉. 武夷及其邻区变质基底与构造格局[M]. 北京: 地质出版社, 1995.]
- [18] DENG Jiarui, ZHANG Zhiping. Discussion on late Precambrian tectonic framework of Fujian, Zhengjiang and Jiangxi provinces[J]. *Geological Review*, 1998, 44(6): 561-567(in Chinese). [邓家瑞, 张志平. 闽、浙、赣晚前寒武纪构造格局探讨[J]. 地质论评, 1998, 44(6): 561-567.]
- [19] YE Shuiquan, TANG Ruilai, ZHANG Yimei. On the metallogenic system of central Fujian rift[J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 1999, 8(6): 400-403(in Chinese). [叶水泉, 唐瑞来, 张一梅. 论福建省闽中裂谷带成矿系统[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(6): 400-403.]
- [20] WANG Liming, YANG Mu, PENG Xinglin. On the genesis of the Yushui polymetallic deposit in Meixian County, Guangdong Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1999, 23(4): 345-352(in Chinese). [汪礼明, 杨牧, 彭省临. 广东梅县玉水多金属矿床成因探讨[J]. 大地构造与成矿学, 1999, 23(4): 345-352.]
- [21] MAO Jianren, TAO Kuiyuan, LI Jiuyu, et al. Isotopic chronology and geochemistry and tectonics significance of the Sifang pluton of late Mesozoic granodioritic rocks in southwestern Fujian Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18(4): 449-458(in Chinese). [毛建仁, 陶奎元, 李寄嶠, 等. 闽西南晚中生代四方岩体同位素年代学、地球化学及其构造意义[J]. 岩石学报, 2002, 18(4): 449-458.]
- [22] MAO Jianren, TAO Kuiyuan, LI Jiuyu, et al. Characteristics of Mesozoic granodioritic rocks in southwestern Fujian and their tectonic evolution[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2002, 21(2): 135-142(in Chinese). [毛建仁, 陶奎元, 李寄嶠, 等. 闽西南地区中生代花岗闪长质岩石的特征及其构造演化[J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21(2): 135-142.]
- [23] MEI Jianming. Typomorphic of quartz from Zhilingtou gold deposit, Suichang, Zhejiang Province[J]. *Geoscience*, 2001, 15(2): 222-225(in Chinese). [梅建明. 浙江遂昌治岭头金矿床的石英标型[J]. 现代地质, 2001, 15(2): 222-225.]
- [24] CHEN Haoshou, XU Butai. Mineralization ages of the main Au and Ag deposits, Zhejiang Province[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1996, 41(12): 1107-1110(in Chinese). [陈好寿, 徐步台. 浙江主要金银矿床的成矿时代[J]. 科学通报, 1996, 41(12): 1107-1110.]
- [25] CHEN Haoshou. Isotopic tracing and ore-searching evaluation of the main Au and Ag deposits, Zhejiang Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1997, 71(1): 54-64(in Chinese). [陈好寿. 浙江主要金、银矿同位素示踪与找矿评价研究[J]. 地质学报, 1997, 71(1): 54-64.]
- [26] LI Changjiang, XU Butai, HU Yonghe, et al. Discussion on some problems about Au-Ag-Pb-Zn regional mineralization in southeastern Zhejiang Province[J]. *Geology and Prospecting*, 1990, 26(6): 1-8(in Chinese). [李长江, 徐步台, 胡永和, 等. 浙东南金银铅锌区域成矿作用的若干问题探讨[J]. 地质与勘探, 1990, 26(6): 1-8.]
- [27] ZHOU Junfa, QIAN Jianmin. The metallogenetic epoch of Zhilingtou gold-silver deposit[J]. *Zhejiang Geology*, 1996, 12(1): 60-67(in Chinese). [周俊法, 钱建民. 治岭头金银矿床的成矿时代[J]. 浙江地质, 1996, 12(1): 60-67.]
- [28] ZHOU Su, CHEN Haoshou. Geochronology and geological significance of the Zijinshan copper-gold deposit[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 1996, 15(4): 216-219(in Chinese). [周肃, 陈好寿. 紫金山铜金矿同位素年代学及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1996, 15(4): 216-219.]
- [29] XU Xisheng, ZHOU Ximin, WANG Dezi. Crust-mantle interaction and the genesis of granite: A case study of coastal area of southeastern China[J]. *Geological Journal of China Universities*, 1999, 5(3): 241-250(in Chinese). [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.]

- [30] XU Butai, LI Changjiang, CHEN Haoshou. Mineral deposit, mineralization chronology and isotopic geochemistry of the Haoshi silver deposit in Zhejiang Province[J]. *Mineral Deposits*, 1994, 13(3) 271-281(in Chinese). [徐步台, 李长江, 陈好寿. 浙江毫石银矿床成矿年代学和同位素地球化学[J]. 矿床地质, 1994, 13(3) 271-281.]
- [31] XU Wenxin, XIAO Menghua, CHEN Minyang. A study of the isotope geochemistry of the Lengshuikeng Ag-Pb-Zn ore deposit, Jiangxi Province[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2001, 20(4) :370-372(in Chinese). [徐文新, 肖孟华, 陈民扬. 江西冷水坑银铅锌矿床同位素地球化学研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(4) 370-372.]
- [32] SHEN Weizhou, LING Hongfei. Isotopic geochemical characteristics and material sources of tin-bearing granite porphyry in Yanbei and Tashar[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1994(1-2) : 117-123(in Chinese). [沈渭洲, 凌洪飞. 岩背和塌山含锡花岗岩的同位素地球化学特征和物质来源[J]. 地球学报, 1994(1-2) :117-123.]
- [33] MEI Yongwen, YE Jingping, ZHU Yuanzao, et al. *Prognosis of Tin Polymetal Concealed Deposits in Southern Jiangxi Province* [M]. Beijing : Geological Publishing House, 1994(in Chinese). [梅勇文, 叶景平, 朱元早, 等. 赣南地区锡多金属隐伏矿床预测研究[M]. 北京 : 地质出版社, 1994.]
- [34] ZHOU Xinhua, REN Shengli, CHU Zhuyin, et al. Geochemistry and chronology of large-superlarge nonmetal deposits in eastern Zhejiang Province : A case study[J]. *Science in China(Series D)*, 1998, 28(Suppl) :15-23(in Chinese). [周新华, 任胜利, 储著银, 等. 浙江东部大型-超大型典型非金属矿床的地球化学特征及同位素年代学[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(增刊) :15-23.]
- [35] REN Shengli, ZHOU Xinhua, DAI Tongmo, et al. Determination of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isochron age of alum laser micro-area, Zhejiang Province[J]. *Bulletin of Science*, 1998, 43(13) :1443-1445(in Chinese). [任胜利, 周新华, 戴潼漠, 等. 浙江矾山明矾石矿石激光微区 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时年龄测定[J]. 科学通报, 1998, 43(13) :1443-1445.]
- [36] REN Shengli, ZHOU Xinhua. Geochemical and isotope chronological studies on volcanic type of super-large nonmetal deposits, eastern Zhejiang Province[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 1997, 16(1) 7-10(in Chinese). [任胜利, 周新华. 浙东与火山岩有关的非金属超大型矿床地球化学及同位素年代学研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1997, 16(1) 7-10.]
- [37] YE Shuiquan. Meixian-type massive sulfide deposits in Fujian Province[J]. *Mineral Deposits*, 1998, 17(Suppl) 636(in Chinese). [叶水泉. 福建省梅仙式块状硫化物矿床[J]. 矿床地质, 1998, 17(增刊) 636.]
- [38] YE Shuiquan, NI Daping, WU Zhiqiang. Meixian-type massive sulfide deposits in Fujian Province[J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 1999, 20(3) :172-180(in Chinese). [叶水泉, 倪大平, 吴志强. 福建省梅仙式块状硫化物矿床[J]. 火山地质与矿产, 1999, 20(3) :172-180.]
- [39] ZHOU Bing, GU Lianxing. Geological characteristics and formation environment of the Meixian massive sulfide deposit[J]. *Mineral Deposits*, 1999, 18(2) 99-109(in Chinese). [周兵, 顾连兴. 论梅仙块状硫化物矿床的特征及成矿地质环境[J]. 矿床地质, 1999, 18(2) 99-109.]
- [40] ZHANG Kaibi, JIE Yujin, LI Xuexie, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronological evidence of Mamienshan group-complex metamorphic and deformative era in Jiangle Huangtan of Fujian[J]. *Geology of Fujian*, 2003, 22(2) :78-82(in Chinese). [张开毕, 揭育金, 李学燮, 等. 福建将乐黄潭一带马面山岩群变质变形时代的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学证据[J]. 福建地质, 2003, 22(2) :78-82.]
- [41] LI Xianhua, LI Yu, LIU Ying, et al. Geochemistry characteristics of the Paleoproterozoic meta-volcanics in the Cathaysia block and its tectonic significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15(3) :364-371(in Chinese). [李献华, 李颀, 刘颖, 等. 华夏古陆古元古代变质火山岩的地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 1999, 15(3) :364-371.]
- [42] LI Xianhua, WANG Yixian, ZHAO Zhenhua, et al. SHRIMP U-Pb Zircon geochronology for amphibolite from the precambrian basement in SW Zhejiang and NW Fujian provinces[J]. *Geochimica*, 1998, 27(4) :327-334(in Chinese). [李献华, 王一先, 赵振华, 等. 闽浙古元古代斜长角闪岩的离子探针锆石 U-Pb 年代学[J]. 地球化学, 1998, 27(4) :327-334.]

STUDY ON THE EVOLUTION REGULARITY OF MINERALIZATION AGES IN SOUTHEASTERN CHINA

WU Gan-guo¹, ZHANG Da¹, PENG Run-min¹, WU Jian-she², GAO Tian-jun²
CHEN Bai-lin³, WANG Qun-feng¹, DI Yong-jun¹, ZHANG Xiang-xin¹
(1. *Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Lithrobing Technology, China University of Geosciences, Ministry of Education, Beijing 100083, China;*
2. *Institute of Geological Survey of Fujian Province, Fuzhou 350003, China;*
3. *Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100083, China*)

Abstract : The mineralization ages of coastal metallogenic belt of Southeastern China are closely related to those tectonic settings which are the formation and evolution of Cathaysia, the transformation from Tethyan domain to Circum Pacific domain and the tectonic movement of continental margin since the Mesozoic era in east China. The main mineralization ages of coastal metallogenic belt of Southeastern China were corresponding to the paleo-rift in the middle and late Proterozoic, the local depression in the late Paleozoic and the extension since the Mesozoic. The mineralization since the Mesozoic, which had high intensity and long lasting time, played a leading role in the mineralization history of coastal metallogenic belt of Southeastern China. According to the results of isotopic age determination, it is confirmed that in the early Jurassic epoch, at the early stage of the transformation from Tethyan domain to Circum Pacific domain, there existed a period of important Sn and Au mineralization. The earlier-stage mineralization was intensely superposed by the tectono-magmatic thermal fluid of the later Mesozoic in the middle part of the Fujian Province. On the basis of these studies, we have made a summary on the characteristics of the evolution of mineralization series in different epochs in the coastal metallogenic belt of Southeastern China, which will provide scientific basis for further ore prospecting.

Key words : coastal metallogenic belt of Southeastern China ; isotopic age ; mineralization age ; mineralization series ; transformation of tectonic domain