

# 华南地区中生代大规模成矿作用与 岩石圈多阶段伸展

毛景文<sup>1,2</sup>, 谢桂青<sup>2</sup>, 李晓峰<sup>2</sup>, 张长青<sup>1</sup>, 梅燕雄<sup>2</sup>

(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. 中国地质科学院矿床地质研究所, 北京 100037)

**摘要:** 华南是中国最主要的钨、锡、铋、铜、银、锑、汞、稀有、重稀土、金和铅锌多金属成矿省,文中初步论述了华南地区中生代大规模成矿作用的基本特点。大规模成矿作用主要发生在 170~150 Ma, 140~125 Ma 和 110~80 Ma 3 个时间段,前一阶段以铜铅锌和钨矿化为主,后一阶段主要是锡金银铋矿化。尽管 140~125 Ma 也是一个成矿相对集中的时间段,但主要表现为第一个阶段的继续,同时,也是前一个阶段向后一个阶段的过渡,以钨锡矿化为主。这几个阶段的大规模成矿与华南和华北地块后碰撞及太平洋板块俯冲引起弧后多阶段岩石圈伸展有关。

**关键词:** 成矿作用;多金属矿床;中生代;伸展作用;华南地区

**中图分类号:** P611;P541 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-2321(2004)01-0045-11

华南地处欧亚大陆东南缘,濒邻西太平洋,由华夏和扬子古陆组成,也就是水涛等<sup>[1]</sup>所总结的两陆夹一洋(消失的古华南洋)。华南地区曾经历过 Columbia 超大陆, Gondwana 超大陆, Pangean 超大陆及欧亚大陆形成与演化的多期构造运动。晚古生代以来,华南又受太平洋构造域和特提斯构造域的影响,特别是早中生代以来的构造变形-岩浆与沉积作用响应在全球中生代构造中独具特色<sup>[2]</sup>。

本文从成矿角度将华南地区限定为华夏古陆(或华南加里东褶皱带)和扬子古陆南缘。位于扬子古陆或扬子克拉通北缘的长江中下游 Cu-Au-Mo-Fe 多金属成矿带的大规模成矿时限和相应的地球动力学背景与华北克拉通相一致,作者已进行过探讨<sup>[3,4]</sup>。华南是我国已探明多金属矿产最丰富的地区,其中钨、锡、铋、铜、银、锑、汞、稀有和重稀土金属储量名列第一,金和铅锌储量也名列前茅,而且这些矿产的成矿时代大多数出现于中生代。但是,不像华北克拉通及其邻区,华南地区金属矿床的区带

性时空分布特征不那么十分明显,而是密集交织分布。在 20 世纪 70~80 年代,对于华南地区金属矿床曾进行过大量的成矿物质来源研究和成矿时代研究,基本弄清了矿床类型和某些分布特点。但由于受测试技术的限制,获得的矿床和有关岩石时代数据误差比较大。直到本世纪伊始,越来越多的高精度或比较高精度放射性同位素测试矿石和相关岩石数据出现,使华南地区成矿特点和相应的地球动力学背景初步显现出比较清楚的轮廓。本文基于目前所获得的资料及本科研集体对于区域成矿作用的认识,进行初步总结。

## 1 金属矿床的空间分布特征

在华南地区,中生代金属矿床分布的基本格局是东部金属矿床组合都明显显示出与岩浆活动的亲缘关系,而西部大多数矿床则为卡林型金矿、密西西比型铅锌矿和似密西西比型锑汞矿(图 1)。后者也被定义为低温矿床组合<sup>[5]</sup>。在东部金属矿床有一种大致的分带现象,即在北部以铜矿为主,尽管也有锡、稀有和金矿出现,在中部的南岭地区以钨锡和稀土、稀有为主,南部的东南沿海地区以锡矿和金银矿为主(图 1)。东部与西部的矿床组合都是形成于中

收稿日期 2003-02-24; 修订日期 2004-03-01

基金项目:国家重点基础规划发展项目(G1999043211, G1999043216),中国地质调查局大地调项目(K1.4)

作者简介:毛景文(1956—),男,教授,长期从事金属矿床学研究。

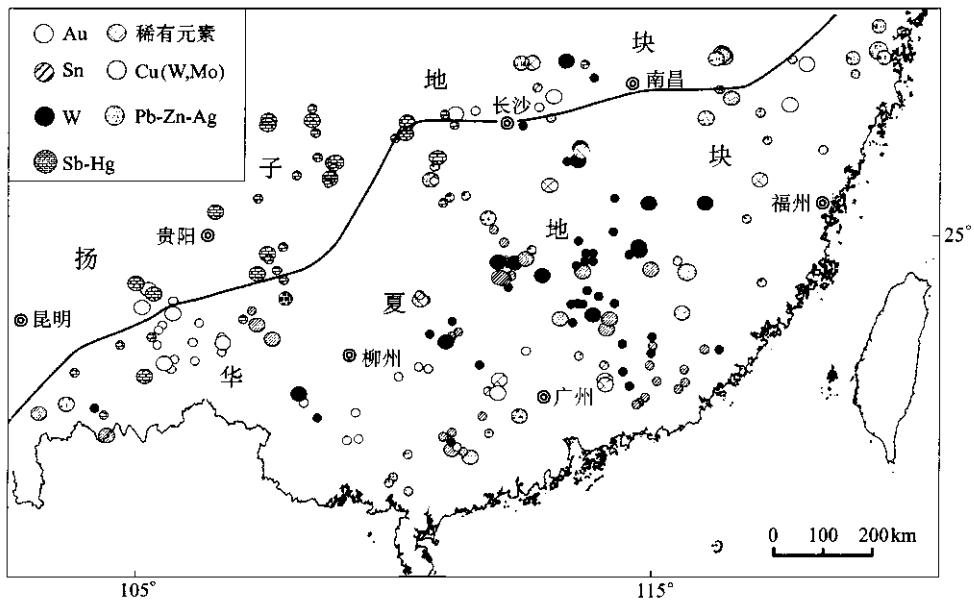


图1 华南地区中生代金属矿床分布示意图

Fig. 1 Sketch map of distribution of Mesozoic metallic ore deposit from South China

中生代,但两者是否是统一背景下的产物尚是一个谜。在中生代华南地区同时受到太平洋板块和古特提斯洋板块的作用<sup>[6]</sup>,华南东西两侧受到不同应力的制约,可能会形成不同特色成矿时空组合。

在华南地区,以南岭中部(赣南湘南粤北)为中心,在空间上存在着一个巨型金属矿床分带<sup>[7,8]</sup>,即从中心向外有:钨锡钼铋钨带、铜锡铅锌带和金锑汞带。这一分带在图1中也可以看出,虽然缺少截然的分带界限。近几年工作积累的结果表明这一巨型分带现象可能是空间上的巧合,由于在钨锡钼铋钨带中矿床与壳源型花岗岩关系密切;在铜锡铅锌带中矿床中部分矿床,例如:铜矿和铅锌矿与壳幔同熔形成的花岗岩有关,另一部分矿床,例如:锡矿和锡铅锌锑汞矿则与地壳重熔型花岗岩有关;在金锑汞带中,很少见到花岗质岩浆活动。从下一节还可以发现,这些矿床并非同一成矿阶段的产物,而是多阶段成矿叠合在一起。

## 2 金属矿床的成矿时代

过去在华南地区对很多矿床进行了放射性同位素的测年,但获得的成矿时代变化范围较大,即使同一个矿床也有明显的差别。因此,本文主要挑选我们最近在执行国家重点基础研究项目(G1999043200)期间获得的比较高精度数据,主要测年方法为<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar, Re-Os, U-Pb法,流体包裹体 Rb-Sr 和 Sm-Nd 等

时线。同时,也引用了20世纪90年代已发表的一些较高精度的数据。兹将这些矿石或矿石中矿物和与成矿有关岩石的年龄数据列于表1。从表中可以看出,金属矿床成矿作用主要出现在两个时期,170~126 Ma 和 110~80 Ma。将这些数据制成直方图,两个时期成矿的特点更加明显(图2)。随着进一步全面和精细测年,相信可能在每一个时期分出几个阶段。另外,福建中甲锡矿的 Re-Os 同位素模式年龄为(193 ± 10) Ma (195 ± 16) Ma 和(196 ± 16) Ma<sup>[9]</sup>,但是其误差明显偏大,可信度较低。

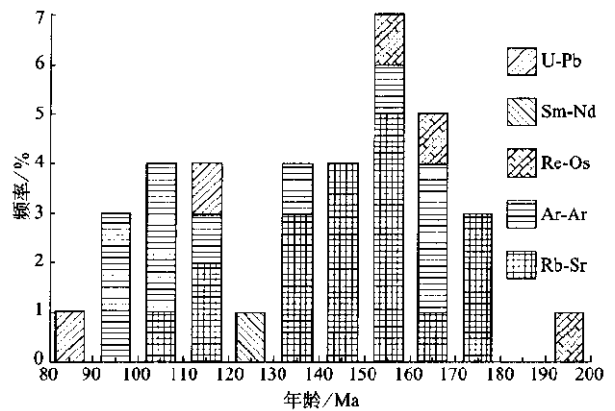


图2 华南中生代金属矿床年龄分布直方图

Fig. 2 Histogram of isotopic chronology of Mesozoic metallic ore deposits from South China

### 2.1 铜-铅锌矿床

在华南地区,几条 NEE 向斑岩型或夕卡岩型铜矿和铅锌矿带平行分布,包括出现于扬子古陆南缘

和弋阳线形盆地北侧, 代表性矿床有江西德兴、永平、东乡和湖南七宝山、粤西大宝山夕卡岩铜矿及其外围、扬子克拉通北缘长江中下游 Cu-Au-Mo-Fe 矿带和湘南宝山—黄沙坪铅锌矿带。前 3 个矿带通常也被论证为海底喷气作用形成的块状硫化物矿床<sup>[10]</sup>。由于华南地区广泛发育泥盆纪、石炭纪和二叠纪碳酸盐岩, 通常与斑岩和/或夕卡岩型矿化伴生有沿层交代的块状矿床硫化物矿层(美洲地质学家称之为 Manto 矿), 但这些块状硫化物矿层在中国往往成为成因争论的焦点。

前文已述及, 长江中下游成矿带的成矿时限与地球动力学背景与华北克拉通相同, 其 Re-Os 同位素年龄为 134 ~ 143 Ma<sup>[4]</sup>。在其他几个带中, 成矿年龄比较早, 其中德兴斑岩铜矿的测年数据为 (166.6 ± 6) Ma (陈毓川等, 2002)<sup>①</sup>, 这与朱训等 (1988) 所获得的 K-Ar 法同位素年龄基本吻合, 后者为 162 Ma。位于德兴矿田南部的永平夕卡岩型铜矿的年龄为 (154 ± 2) Ma (陈毓川等, 2002)<sup>①</sup>。最近, 凌洪飞等 (2003)<sup>②</sup> 测得块状矿石 Pb-Pb 等时线年龄为 (159 ± 26) Ma。虽然一个数据误差比较大, 但很好地验证了前一个测试结果。最近, 我们对广东大宝山铜矿床层状矿体中辉钼矿进行了 Re-Os 同位素模式年龄测定, 得到 (164.7 ± 3) Ma (毛景文, 2003)<sup>③</sup>。到目前为止, 黄沙坪和宝山铅锌矿尚缺少可靠的年龄数据, 但测定宝山铅锌矿中的花岗斑岩的年龄为 (161 ± 8.7) Ma (陈毓川等, 2002)<sup>①</sup>。总体来看, 这几个带中的铜矿和铅锌矿是华南地区中生代成矿最早的一组矿床。对于凡口、泗顶和北山这样典型的密西西比型铅锌矿是否与上述的铜铅锌矿同时形成, 仍然需要精确的测年。

## 2.2 钨锡稀有矿床

以南岭为中心的华南是全球最大和最具特色的钨锡稀有矿成矿省, 其成矿时代持续时间也比较长, 至少可能在 170 ~ 92 Ma 之间 (表 1)。位于桂东的栗木钨钼钨锡矿被认为是印支期形成<sup>[11]</sup>, 这与前述的福建中甲锡矿雷同, 成矿年龄数据可靠程度比较低。除此之外, 其余的钨锡稀有矿床的成矿时代可以分为 (170 ~ 150) Ma (140 ~ 126) Ma 和 (113 ~ 90) Ma 3 个阶段。(170 ~ 150) Ma 是华南地区一个成矿的高峰期, 南岭中部几个大型钨锡矿都是在这一时期形成。对骑田岭花岗质岩体南部芙蓉锡矿田中三门和淘洗窝云英岩锡矿石中白云母和岩体北部接触带的新田岭钨矿床中夕卡岩退化蚀变岩的铁云

母进行了 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 测年, 获得坪年龄分别为 (156.1 ± 0.4) Ma (160.1 ± 0.9) Ma (156.1 ± 0.4) Ma, 与岩体中黑云母 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 坪年龄 (157.5 ± 0.3) Ma 相吻合<sup>[12]</sup>。李红艳等 (1997)<sup>[13]</sup> 对柿竹园夕卡岩型矿石中的辉钼矿进行了 Re-Os 同位素测年, 获得 (151.1 ± 3.5) Ma 数据。这与毛景文等测定的千里山岩体第一期花岗岩的成岩时代 (152 ± 9) Ma 相吻合, 早于第二期花岗岩 (137 ± 7) ~ (136 ± 6) Ma<sup>[14]</sup>。最近对柿竹园矿区的云英岩矿脉进行了云母的 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 测年, 获得 (153.4 ± 0.2) Ma 和 (134.0 ± 1.6) Ma 数据 (表 1)。赣南几个黑钨矿(锡石)石英脉型矿床, 例如, 漂塘钨锡矿床的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 (150.2 ± 1.4) Ma, 大吉山钨矿的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 (150.4 ± 8) Ma<sup>[15]</sup>。虽然李华芹等<sup>[15]</sup> 测定西华山钨矿的成矿时代不大于 140 Ma, 但 le Bell 等<sup>[16]</sup> 测得与成矿有关花岗岩的成岩时代为 152 Ma<sup>[16]</sup>, 因此也不排除有这一时期的成矿作用的存在。赣西宜春钨钼矿, 我国最大的稀有矿床的成矿年龄厘定为 (148.6 ± 2.9) Ma (陈毓川等, 2002)<sup>①</sup>, 也基本上属于这个时期的产物。

在 140 ~ 126 Ma 成矿期, 不仅有柿竹园第二阶段矿石 (134.0 ± 1.6) Ma, 西华山钨矿两个成矿阶段分别为 (139.8 ± 4.5) Ma 和 (137.4 ± 3) Ma<sup>[15]</sup>。此外, 江西岩背锡矿的年龄为 (128 ± 4.2) Ma<sup>[17]</sup>。赣北葛源钨钼矿的成矿时代为 (128 ± 11) Ma (陈毓川等, 2002)<sup>①</sup>。虽然尚未得到香炉山钨矿的成矿年龄, 但与其有关花岗岩的年龄测定为 (126 ± 6.2) Ma (陈毓川等, 2002)<sup>①</sup>。

在南岭地区, 113 ~ 90 Ma 是一个重要的金属成矿时期, 此时成矿金属元素主要为锡, 钨和稀有金属元素较少或没有。以大厂超大型锡多金属矿床为代表的丹池成矿带的成矿时代为 100 ~ 90 Ma<sup>[18]</sup>。最近再一次对 100 号矿体、铜坑和拉么分别进行同位素测年, 获得 (91.4 ± 2.9) ~ (105 ± 2) Ma 数据 (陈毓川等, 2002)<sup>①</sup>。广西珊瑚钨锡矿成矿时代为 (113.2 ± 4.7) Ma<sup>[15]</sup>。江西北部的曾家垄锡矿和粤西的银岩锡矿也都是此时形成, 后者的 Rb-Sr 等时

① 陈毓川等. 国家重点基础规划发展研究项目(G1999043200)课题汇报材料。

② 凌洪飞等. 国家重点基础规划发展研究项目(G1999043200)课题汇报材料。

③ 毛景文, 2003. 未发表资料。

表1 华南地区金属矿床及其有关岩石的放射性同位素年龄数据

Table 1 Radio-isotope data of the ore deposits and related rocks in South China

矿床名称	Re-Os 模式 年龄/Ma	Re-Os 等时 线年龄/Ma	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar 坪年龄/Ma	Sm-Nd 等时 线年龄/Ma	Rb-Sr 等时 线年龄/Ma	测试矿物或岩石	参考文献
中甲锡矿	193 ± 10, 195 ± 16, 196 ± 16					辉钼矿	张达等, 2003
170 ~ 125 Ma 成矿事件							
宝山铅锌矿					161 ± 8.7	花岗岩	陈毓川等, 2002
德兴铜矿					166.6 ± 6	矿石	陈毓川等, 2002
黄沙钨矿					170 ± 5	石英	陈毓川等, 2002
大宝山铜钨矿	164.7 ± 3					辉钼矿	毛景文, 2003
龙山金锑矿					175 ± 27	石英流体包裹体	史明魁, 1992
浒坑钨矿					151 ± 2	石英	陈毓川等, 2002
宜春铌钽矿					148.6 ± 2.9	矿石	陈毓川等, 2002
淘洗窝锡矿			160.13 ± 0.9			白云母	毛景文等, 2004
大吉山钨矿					150.4 ± 8	石英	陈毓川等, 2002
西华山钨矿					139.8 ± 4.5 137.4 ± 3	石英流体包裹体	李华芹等, 1993
漂塘钨锡矿					150.2 ± 1.4	石英流体包裹体	李华芹等, 1993
沃溪金锑矿					144.8 ± 11.7	石英流体包裹体	史明魁, 1992
三门锡矿			156.14 ± 0.43			白云母	毛景文等, 2004
骑田岭花岗岩			157.46 ± 0.29			黑云母	毛景文等, 2004
新田岭钨矿			157.06 ± 0.2			退化蚀变岩中黑云母	毛景文等, 2004
柿竹园钨矿		151.0 ± 3.5	153.44 ± 0.23 134.0 ± 1.6			辉钼矿, 黑云母	李红艳等, 1997; 毛景文等, 2004
新田岭钨矿			157.06 ± 0.2			退化蚀变岩中黑云母	毛景文等, 2004
千里山花岗岩		(150.3 ± 3.6)~ (152.9 ± 4.1)				锆石	陈毓川等, 2002
新坊银金矿					141 ± 2	石英流体包裹体	陈毓川等, 2002
永平铜矿					154 ± 2	石英流体包裹体	陈毓川等, 2002
岩背锡矿					128 ± 4.2	黄玉绢英岩	黄常立等, 1997
岩背锡矿					128 ± 1, 128 ± 3.3	花岗斑岩	黄常立等, 1997; 陈毓川等, 2002
香炉山钨矿					126 ± 6.2	花岗岩	陈毓川等, 2002
葛源铌钽矿					128 ± 11	含矿伟晶岩	陈毓川等, 2002
锡矿山锑矿				124 ± 4		方解石	胡瑞忠等, 2003
110 ~ 80 Ma 成矿事件							
广东长坑金矿			(109.9 ± 1.4)~ (110.1 ± 1.3)			粘土矿物	孙晓明等, 2003
珊瑚钨锡矿					113.2 ± 4.7		陈毓川等, 2002
紫金山铜金矿					100 ± 3	石英流体包裹体	陈好寿, 1996
中寮铜钼矿			104.5 ± 1.7			黑云母	张德全等, 2003
五子龙骑铜金矿			102.5 ± 1.7			绢云母	张德全等, 2003
碧田金银矿			(102.9 ± 1.9)~ (94.7 ± 2.3)			绢云母, 冰长石	张德全等, 2003
紫金山花岗岩闪长岩					105.0 ± 7.2	全岩	张德全等, 2001
烂泥沟金矿					105.6 ± 4	石英和方解石流体包裹体	苏文超等, 1998
罗甸辉绿岩墙				100 ± 5	97 ± 2	全岩	胡瑞忠, 2003
贞丰偏碱性超基性岩体				101 ± 1	106 ± 7	全岩	胡瑞忠, 2003
大厂100号锡矿体			91.4 ± 2.9			透长石	陈毓川等, 2002
大厂100号锡矿体			94.56 ± 0.45			石英	陈毓川等, 2002
铜坑锡矿			94.52 ± 0.33			石英	陈毓川等, 2002
拉么铜锌锡矿			105 ± 2			石英	陈毓川等, 2002
银岩锡矿					86.9 ± 6	花岗斑岩	胡祥昭, 1989
下庄铀矿	81.2 ± 7.7 (U-Pb)					沥青铀矿	邓平等, 2003
相山铀矿	102 ± 20 (U-Pb)					沥青铀矿	凌洪飞等, 2003

注: 陈毓川等, 2002; 胡瑞忠等, 2003; 凌洪飞等, 2003; 毛景文, 2003 均为国家重点基础规划发展研究项目(G1999043200)课题汇报材料中的未发表资料, 详细数据将陆续在有关刊物刊出。

线年龄为 $(86.9 \pm 6) \text{ Ma}^{[19]}$ 。位于华南最西部的个旧锡矿可能也在这一阶段形成, 虽然缺乏成矿年龄, 与锡成矿有关的花岗岩形成岩时代为 $(90 \sim 81) \text{ Ma}^{[20]}$ 。

### 2.3 金银和铀矿

华南地区的金银矿主要为滇黔桂金三角卡林型金矿, 粤西长坑—富湾、广西东南部龙头山和闽西紫金山浅成低温热液矿床。总体来看, 东部为与岩浆活动有关的浅成低温热液型, 西部为远离岩体或未见出露岩体的卡林型, 主要沿南岭呈东西向分布。虽然这些金矿的成因类型不同, 矿集区之间距离也比较远, 但是它们形成的时代却十分相近, 在 $110 \sim 80 \text{ Ma}$ 之间。其中福建紫金山金矿田内中寮的斑岩铜钼金矿的年龄为 $(104.5 \pm 1.7) \text{ Ma}$ , 五子龙骑斑岩铜金矿为 $(102.5 \pm 1.7) \text{ Ma}$ , 紫金山高硫型浅成低温热液型金矿为 $(100 \pm 3) \text{ Ma}$ , 碧田低硫型浅成低温热液型金矿银矿为 $(102.9 \pm 1.9) \sim (94.7 \pm 2.3) \text{ Ma}^{[21, 22]}$ 。粤西金银矿集区中坑金矿的年龄为 $(109.9 \pm 1.4) \sim (110.1 \pm 1.3) \text{ Ma}^{[23]}$ 。滇黔桂金三角中的卡林型金矿测年难度大, 目前不易得到可靠数据, 苏文超等 $^{[24]}$ 测定矿脉中石英和方解石流体包裹体的年龄为 $(105.6 \pm 4) \text{ Ma}$ , 与区内出现的辉绿岩墙和偏碱性超基性岩体的成岩时代 $(100 \pm 55) \sim (97 \pm 2) \text{ Ma}$ 和 $(106 \pm 7) \sim (101 \pm 1) \text{ Ma}$ (胡瑞忠, 2003) $^{[1]}$ 相吻合, 可能表明了两者的成因联系。

华南地区的铀矿长期是我国铀资源的供给地, 尽管近几年在西北地区找砂岩型铀矿取得了突破。这里的铀矿毫不例外地都产出在花岗岩及其花岗岩—火山岩组合中。赋矿的花岗岩可以是不同时代, 从元古宙、加里东期、海西期、印支期到燕山期, 但铀矿的形成时代却都是白垩纪。过去这一时代的确定主要依据地质体和地质事件之间关系来判别, 最近两个数据也证明了这一推断, 即下庄铀矿的年龄为 $(81.2 \pm 7.7) \text{ Ma}^{[25]}$ , 相山铀矿的年龄 $(102 \pm 20) \text{ Ma}$ (凌洪飞等, 2003) $^{[2]}$ 。近几年, 陈培荣等(2003) $^{[3]}$ 研究指出, 印支期过铝花岗岩是富含可浸出性铀的矿源岩, 这些铀离子在白垩纪热事件中被浸出, 形成铀矿。

除此之外, 华南地区还发育有大量锑汞矿。由于缺少可测年矿物, 对于其成矿时代仍然难以准确确定。胡瑞忠等(2003) $^{[1]}$ 报道了锡矿山的年龄为 $(124 \pm 4) \text{ Ma}$ , 但胡雄伟等测得成矿时代为 $152 \text{ Ma}^{[37]}$ 。对于沃溪锑金矿, 史明魁 $^{[26]}$ 测得成矿时代

为 $(144.8 \pm 11.7) \text{ Ma}$ , 但最近彭建堂等 $^{[27]}$ 使用 Sm-Nd 和 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  方法测得成矿年龄为 $(402 \pm 6) \text{ Ma}$ 和 $(420 \pm 20) \sim (414 \pm 19) \text{ Ma}$  数据。因此, 有必要利用可信度高的测试技术进一步厘定成矿时代。

由以上叙述可以清楚看出, 华南地区大规模成矿作用主要发生在 $170 \sim 150 \text{ Ma}$ ,  $140 \sim 125 \text{ Ma}$  和 $110 \sim 80 \text{ Ma}$  3 个时间段, 前一阶段以铜铅锌和钨矿化为主, 后一阶段主要是锡金银铀矿化。尽管 $140 \sim 125 \text{ Ma}$  也是一个成矿相对集中时间段, 但主要表现为第一个阶段的继续, 例如柿竹园钨多金属矿的第二次矿化。同时, 也是前一个阶段向后一个阶段的过渡, 以钨锡矿化为主。

## 3 成矿的地球动力学背景的探讨

### 3.1 华南与华北地块地球动力学事件的对比

中生代在中国东部发生了多幕次强烈构造活动, 伴随有广泛的岩浆活动和大规模成矿作用 $^{[28-30]}$ 。换一句话说, 大规模成矿作用是一定强烈构造—岩浆热事件背景下的产物。自中生代以来, 中国东部发生了一系列重大的地质事件, 即华北和华南地块的碰撞对接, 地球动力学方向大调整和岩石圈大减薄, 区内的火山活动、岩浆侵位, 甚至生物演变, 无不受其制约, 成矿作用也不例外。关于印支期华北与华南地块在 $240 \sim 220 \text{ Ma}$  期间碰撞对接连成一体, 已经取得共识。对于由南北向主应力场向近东西向主应力场转变这一事实, 大家有目共睹, 但是, 什么时候开始发生地球动力学调整和什么时候完成, 尚有不同的认识。任纪舜等 $^{[6]}$ 在冀北和内蒙古南部编图发现 EW 向中晚侏罗世髻髻山组(或海方沟组)火山岩和土城子组(或后城组)红色地层被 NE—NNE 向分布的张家口组火山岩和义县组火山岩覆盖, 表明侏罗纪和白垩纪之间为地球动力学调整的时间段。由于在东北和北山地区的一些 EW 向剪切带和核变质杂岩中绢云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  测年数据表明为 $(175 \sim 166) \text{ Ma}^{[31, 32]}$ , 同时, 牛宝贵等 $^{[33]}$ 测定侏罗纪髻髻山组火山岩顶部 SHRIMP 锆石年龄为

① 胡瑞忠等. 国家重点基础规划发展研究项目(G1999043200)课题汇报材料. 2003.

② 凌洪飞等. 国家重点基础规划发展研究项目(G1999043200)课题汇报材料. 2003.

③ 陈培荣等. 国家重点基础规划发展研究项目(G1999043200)课题汇报材料. 2003.

( $163.2 \pm 5.9$ ) Ma, 因此, 地球动力学开始转换的时间应晚于 163 Ma。牛宝贵等<sup>[33]</sup>对张家口组底部流纹岩中锆石 SHRIMP 测年, 获得( $135.8 \pm 3.1$ ) Ma 和( $136.3 \pm 3.4$ ) Ma, 可能代表了地球动力学调整完成的时间上限。最近, 陈培荣<sup>①</sup>对华南地区东南部的系统编图也发现侏罗纪花岗岩和火山盆地呈东西向分布, 而北东向白垩纪的花岗岩和火山盆地叠加于其上, 同样表明在华南地区侏罗纪与白垩纪交界曾是地球动力学调整的时间段, 整个中国东部具有相同的地球动力场。中生代岩石圈减薄通常以研究华北地区为目标, 可能开始于 145 Ma, 130 ~ 110 Ma 是快速减薄的时期<sup>[3, 34, 35]</sup>。正如吴福元等<sup>[36]</sup>所指出由于岩石圈减薄的概念来源于华北地区的研究, 致使学者们怀疑东北和华南是否经历过同样的过程, 尤其是后两者未发现金伯利岩等以证明曾经有过巨厚岩石圈的存在。不过, 自从 20 世纪 90 年代以来不少研究<sup>[38 ~ 48]</sup>已经表明华南地区在白垩纪以来同样存在岩石圈减薄事件。Gilder 等<sup>[39]</sup>、Chen 等<sup>[49]</sup>和 Hong 等<sup>[50]</sup>测定华南地块存在几条低  $t_{DM}$  和高  $\epsilon(Nd)$  带, 这种低  $t_{DM}$  和高  $\epsilon(Nd)$  带被认为是岩石圈伸展和壳幔之间强烈相互作用的证据。陈培荣等<sup>[51]</sup>在赣南—闽西地区发现燕山早期的 A 型花岗岩(176 ~ 178 Ma)和双峰式火山岩(158 ~ 179 Ma), 表明为后碰撞的岩石圈伸展。李献华<sup>[43]</sup>总结出华南白垩纪花岗岩浆活动与岩石圈伸展的密切联系, 并划分出 164 ~ 153 Ma, 146 ~ 136 Ma, 129 ~ 122 Ma, 109 ~ 101 Ma 和 97 ~ 87 Ma 5 次花岗岩侵位事件, 说明华南岩石圈出现过多期次的伸展作用。通过对比可以看出, 不像华北地区在 130 ~ 110 Ma 之间出现了一个快速岩石圈减薄的重大事件, 但是, 从侏罗纪以来多阶段岩石圈减薄、地壳伸展和岩浆活动是华南地块标志性地球动力学事件。

### 3.2 华南大规模成矿事件与岩石圈伸展

最近几年, 不少研究从基性岩脉和碱性岩着手探讨中生代以来华南地块的裂解作用<sup>[41, 42, 45, 52 ~ 54]</sup>。虽然所研究的大多数基性岩脉并不是指示大陆裂解事件的基性岩墙群, 而是与花岗岩活动有关的岩石组合的一部分, 这种花岗岩组合本身也是地壳伸展环境的产物。因此, 它们可以比较清楚地反映出伸展环境岩浆—热事件的时空分布特点。谢桂青等<sup>[45]</sup>提出华南地区的岩石圈伸展出现于 6 个阶段, 但主要可以归并为 180 ~ 155 Ma, 145 ~ 125 Ma 和 110 ~ 75 Ma 3 个阶段(图 3)。这 3 个阶段的大量基性岩

脉形成与成矿作用发生的 170 ~ 150 Ma, 140 ~ 125 Ma 和 110 ~ 80 Ma 3 个时间段基本吻合, 说明两者是同一地球动力学演化过程的产物<sup>①</sup>。

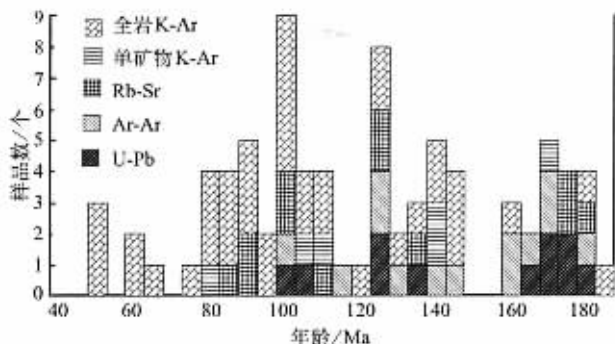


图 3 中国东南部中生代基性岩脉(体)和富碱侵入岩类同位素年龄直方图

Fig. 3 Histogram of isotopic chronology of the mafic dikes (bodies) and alkali-rich intrusive rock suits in Southeast China

华南地区中生代成矿作用的最大特点是几乎绝大多数矿床的形成与花岗岩岩浆活动关系密切, 花岗岩或提供物质和能量或仅仅提供能量。从成矿物质考虑, 矿床可以分为壳幔混源和壳源两大类型, 前者对应于华仁民等(2003)<sup>[55]</sup>提出的与碱性火山—侵入(花岗质)岩浆活动有关的斑岩—浅成低温热液成矿系统和与富碱花岗岩类有关的铜多金属成矿系统, 后者对应于与陆壳花岗岩类有关的钨锡铋钼稀有金属成矿系统。虽然, 在南岭地区发现了辉长岩—A 型花岗岩—正长岩—碱性玄武岩/拉斑玄武岩组合<sup>[51, 53]</sup>, 但是尚未见有关的矿化, 仅表明为一个与缝合带平行的后碰撞大陆伸展带, 其成岩时代为赣南的辉长岩—A 型花岗岩—正长岩 172 ~ 165 Ma 和湘南—桂东南的碱性玄武岩和正长岩 175 ~ 160 Ma<sup>[53]</sup>(图 4a)。随之, 在 170 ~ 150 Ma 期间, 在沿江山—绍兴断裂、湘南和粤西还出现了几个相互平行走向近东西的伸展带, 壳幔强烈作用形成一系列 I 型花岗岩和富碱花岗斑岩类。其中部分经过强烈分异演化的花岗质岩体伴随有斑岩铜矿化和铜铅锌多金属矿化(图 4b)。南岭中脊是壳幔作用最强烈的地带, 也可能是稍早的后碰撞大陆伸展带的进一步发育的结果, 软流圈物质大量涌入上地壳, 出现大面

① 陈培荣. 国家重点基础规划发展研究项目(G1999043200)课题汇报材料, 2003.

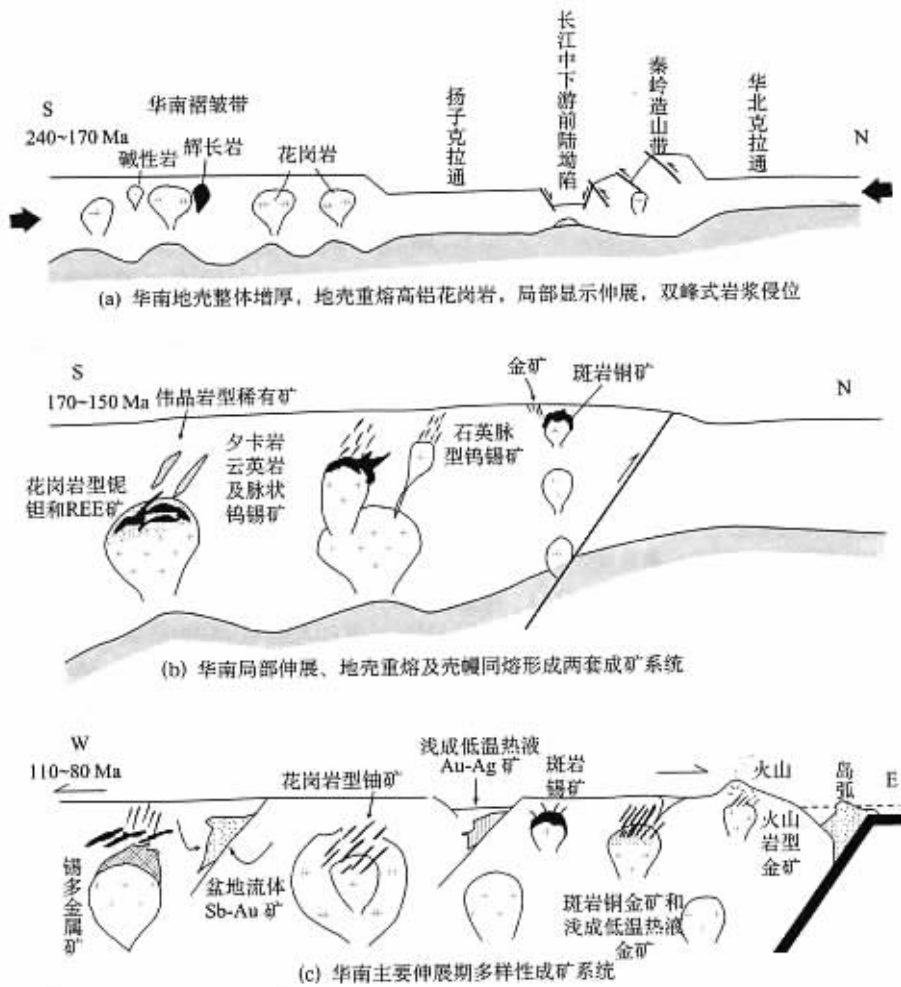


图4 华南中生代金属矿床的成矿地球动力学模型示意图

Fig. 4 Sketch map of mineralization geodynamic model of Mesozoic metallic ore deposits from South China

积的壳源花岗岩类和有关的钨锡多金属矿化(图4b)。虽然钨锡通常具有相似的地球化学学习性,但钨相对亲合地幔,而锡更亲合地壳。由此可以认为,从铜铅锌为主的矿化到以钨为主的矿化是壳幔相互作用连续过程的结果。中国东部主应力场转换是一次重大地球动力学事件,在华北及其邻区具有强烈的成矿响应<sup>[3]</sup>,虽然在华南地区有不少基性岩墙出现<sup>[45]</sup>,但是成矿响应较弱,仅仅是西华山钨矿、岩背锡矿和葛源稀有矿等中小型矿床,而且似乎仍然显示出为前一阶段矿化的持续,正如柿竹园地区再一次有钨多金属成矿作用的发生。110~80 Ma是华南一次大规模伸展阶段,这一次伸展影响全区,因此成矿具有大面积和多样性。不仅发现与岩浆活动有关的锡多金属矿床、稀有矿床和钨矿床,还有白垩纪火山盆地中的斑岩-浅成低温金铜热液矿床和浅成低温型银铅锌矿床及卡林型金矿,以花岗岩-火山岩

为围岩和以大气降水为主,通过流体对流循环,从早期岩石萃取物质形成的铀矿床(图4c)。总体来看,除了大陆边缘的紫金山矿田的成矿系统中有较多地幔物质参与成矿外,绝大多数矿化都是地壳物质再造的结果。

#### References[参考文献]:

- [1] SHUI T, XU B T, LIANG R H, et al. *Metamorphic Basement in Zhejiang-Fujian of China* [M]. Beijing: Science Press, 1998 (in Chinese). [水涛, 徐步台, 梁如华, 等. 中国浙闽变质基底地质 [M]. 北京: 科学出版社, 1988.]
- [2] FAN W M, WANG Y J, GUO F, et al. Mesozoic mafic magmatism in Hunan-Jiangxi provinces and the lithospheric extension [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(3): 159-169 (in Chinese). [范蔚茗, 王岳军, 郭锋, 等. 湘赣地区中生代镁铁质岩浆作用与岩石圈伸展 [J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 159-169.]

- [ 3 ] MAO J W, ZHANG Z H, YU J J, et al. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in the North China and adjacent areas: Implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits[ J ]. *Science in China ( Series D )*, 2003, 33( 4 ) 289-300( in Chinese ). [ 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 华北中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示[ J ]. 中国科学( D ), 2003, 33( 4 ): 289-300. ]
- [ 4 ] MAO J W, STEIN H, DU A D, et al. Re-Os dating of Cu, Au ( Mo ) deposit and its implications for mineralization in Middle-low branch of Yangtze River[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 2004a, 78( 1 ) :121-131( in Chinese ). [ 毛景文, STEIN H, 杜安道, 等. 长江中下游地区铜金矿 Re-Os 年龄精测及其对成矿作用的指示[ J ]. 地质学报, 2004a, 78( 1 ) :121-131. ]
- [ 5 ] TU G C, et al. *Super-large ore Deposits in China*[ M ]. Beijing: Science Press, 2000. 1-584 ( in Chinese ). [ 涂光炽, 等. 中国超大型矿床 I [ M ]. 北京: 科学出版社, 2000. 1-584. ]
- [ 6 ] REN J S, NIU B G, HE Z J, et al. Tectonic framework and geodynamics evolution of eastern China[ A ]. REN J S, YANG W Y. *Composition, Structure, Evolution and Environment of Continental Lithosphere of China*[ C ]. Beijing: Atomic Energy Press, 1998. 1-12( in Chinese ). [ 任纪舜, 牛宝贵, 和政军, 等. 中国东部的构造格局和动力演化[ A ]. 任纪舜, 杨巍然. 中国东部岩石圈结构与构造岩浆演化[ C ]. 北京: 原子能出版社, 1998. 1-12. ]
- [ 7 ] TONG Q M, WU R H, PENG J L, et al. *Metallogenic Research on W-Sn-Pb-Zn-Au-Ag Deposit in Chen-Gui Area*[ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1995. 1-98( in Chinese ). [ 童潜明, 伍仁和, 彭奇来, 等. 郴桂地区钨锡铅锌金银矿床成矿规律[ M ]. 北京: 地质出版社, 1995. 1-98. ]
- [ 8 ] MAO J W, LI H Y, WANG D H, et al. Ore-forming of Mesozoic polymetallic deposits in south China and its relationship with mantle plume[ J ]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 1998, 17( 2 ) :130-132( in Chinese ). [ 毛景文, 李红艳, 王登红, 等. 华南地区中生代多金属矿床形成与地幔柱关系[ J ]. 矿物岩石地球化学通报, 1998, 17( 2 ) :130-132. ]
- [ 9 ] ZHANG D, WU G G, WU J S, et al. Re-Os ages of the Zhongjia tin polymetallic deposit, Southeastern Fujian and their geological significance[ J ]. *Journal of Geomechanics*, 2003, 9( 3 ) 261-267 ( in Chinese ). [ 张达, 吴淦国, 吴建设, 等. 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. ]
- [ 10 ] GU L X, HU W X, NI P, et al. New discussion on the south China-type massive sulphide deposits formed on continental crust [ J ]. *Geological Journal of China Universities*, 2003, 9( 4 ) 592-608( in Chinese ). [ 顾连兴, 胡文瑛, 倪培, 等. 再论大陆地壳断裂拗陷带中的华南型块状硫化物矿床[ J ]. 高校地质学报, 2003, 9( 4 ) 592-608. ]
- [ 11 ] CHEN Y C, PEI R F, ZHANG H L, et al. *The Geology of Non-ferrous and Rare Metal Deposits Related to Mesozoic Granitoids in Nanling Regions*[ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1989. 1-506( in Chinese ). [ 陈毓川, 裴荣富, 张宏良, 等. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质[ M ]. 北京: 地质出版社, 1989. 1-506. ]
- [ 12 ] MAO J W, LI X F, LEHMANN B, et al.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating of tin ores and related granite and its geodynamic significance for rock and ore formation[ J ]. *Mineral Deposits*, 2004b, 22( 2 ) ( in Chinese ). [ 毛景文, 李晓峰, LEHMANN B, 等. 湖南芙蓉锡矿地质特征、锡矿石和有关花岗岩的 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 测年及其成矿的地球动力学意义[ J ]. 矿床地质, 2004b, 22( 2 ). ]
- [ 13 ] LI H Y, MAO J W, SUN Y L, et al. Re-Os isotopic chronology of molybdenites in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit [ J ]. *Geological Review*, 1996, 42( 3 ) 261-267( in Chinese ). [ 李红艳, 毛景文, 孙亚利, 等. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究[ J ]. 地质论评, 1996, 42( 3 ): 261-267. ]
- [ 14 ] MAO J W, LI H Y, SONG X X, et al. *Geology and Geochemistry of the Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi polymetallic deposit Hunan, China*[ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1998. 1-215 ( in Chinese ). [ 毛景文, 李红艳, 宋学信, 等. 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. 1-215. ]
- [ 15 ] LI H Q, LIU J Q, WEI L. *Chronology of Fluid Inclusion on Hydrothermal Ore Deposit and Its Geological Application*[ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 28-75( in Chinese ). [ 李华芹, 刘家齐, 魏林. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用[ M ]. 北京: 地质出版社, 1993. 28-75. ]
- [ 16 ] le BELL L Y D, SHENG J F. Granitic evolution of the Xihuashan-Dangping ( Jiangxi, China ) tungsten-bearing system[ J ]. *TMTPTschermarks Min Oetro Miff*, 1984, 33 :149-167.
- [ 17 ] HUANG C L, TANG W X, GUI Y P, et al. *Yanbei Porphyry Tin Deposit in Huichang*[ M ]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997. 1-132( in Chinese ). [ 黄常立, 唐维新, 桂永平, 等. 会昌岩背斑岩锡矿[ M ]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. 1-132. ]
- [ 18 ] CHEN Y C, HUANG M Z. *The Geology of Dachang Tin Deposit* [ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 102-181( in Chinese ). [ 陈毓川, 黄民智. 大厂锡矿地质[ M ]. 北京: 地质出版社, 1993. 102-181. ]
- [ 19 ] HU X Z. The origin and petrology of the Yinyan tin-bearing granite porphyry[ J ]. *Geochimica*, 1989( 3 ) 251-263( in Chinese ). [ 胡祥昭. 银岩含锡花岗岩斑岩的岩石学特征及成因研究[ J ]. 地球化学, 1989( 3 ) 251-263. ]
- [ 20 ] WU Q S, XU J Z, YANG Z, et al. Sr isotopes characteristics of Gejiu Sn-bearing granites and study of ore search indicator[ J ]. *Geochimica*, 1984( 4 ) 293-302( in Chinese ). [ 伍勤生, 许俊珍, 杨志, 等. 个旧含 Sn 花岗岩 Sr 同位素特征及找矿标志的研究[ J ]. 地球化学, 1984( 4 ) 293-302. ]
- [ 21 ] ZHANG D Q, LI D X, FENG C Y, et al. The temporal and spatial framework of the Mesozoic magmatic system in the Zijinshan region and its geological significance[ J ]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001, 22( 5 ) :403-408( in Chinese ). [ 张德全, 李大

- 新, 丰成友, 等. 紫金山地区中生代岩浆系统的时空结构及其地质意义[ J ]. 地球学报, 2001, 22( 5 ) : 403-408. ]
- [ 22 ] ZHANG D Q, SHE H Q, LI D X, et al. The porphyry-epithermal metallogenic system in the Zijinshan region Fujian province[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 2003, 77( 2 ) : 253-261( in Chinese ). [ 张德全, 余宏全, 李大新, 等. 紫金山地区的斑岩-浅成热液成矿系统[ J ]. 地质学报, 2003, 77( 2 ) : 253-261. ]
- [ 23 ] SUN X M, CHEN W, WANG M, et al. Dating of sediment-hosted disseminated-type gold deposit by using  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  laser probe: A case study of Changkeng large-scale gold deposit, China[ J ]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48( 12 ) : 1355-1358( in Chinese ). [ 孙晓明, 陈文, 王敏, 等. 微细粒浸染型金矿微区 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄测定: 以长坑大型金矿为例[ J ]. 科学通报, 2003, 48( 12 ) : 1355-1358. ]
- [ 24 ] SUN W C, YANG K Y, HU R Z, et al. Fluid inclusion chronological study of the Carline-type gold deposits in southwestern China: As exemplified by the Lannigou gold deposit, Guizhou Province[ J ]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1998, 28 : 259-362. [ 苏文超, 杨科佑, 胡瑞忠, 等. 中国西南部卡林型金矿流体包裹体年代学研究——以贵州烂泥沟大型卡林型金矿矿床为例[ J ]. 矿物学报, 1998, 28 : 359-362. ]
- [ 25 ] DENG P, SHEN W Z, LING H F, et al. Uranium mineralization related to mantle fluid: A case of study of the Xianshi deposit in the Xiazhuang uranium ore-field[ J ]. *Geochimica*, 2003, 32( 6 ) : 520-528( in Chinese ). [ 邓平, 沈渭渊, 凌洪飞, 等. 地幔流体与铀矿成矿作用: 以下庄矿田仙石铀矿床为例[ J ]. 地球化学, 2003, 32( 6 ) : 520-528. ]
- [ 26 ] SHI M K, FU B Q, JIN X X, et al. *Antimony Metallogeny in the Central Part of Hunan Province*[ M ]. Changsha: Hunan Press of Science and Technology, 1993. 1-110( in Chinese ). [ 史明魁, 傅必勤, 靳西祥, 等. 湘中锑矿[ M ]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1993. 1-110. ]
- [ 27 ] PENG J T, HU R Z, ZHAO H J, et al. Scheelite Sm-Nd dating and quartz Ar-Ar dating for Woxi Au-Sb-W deposit, western Hunan[ J ]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48( 18 ) : 1976-1981( in Chinese ). [ 彭建堂, 胡瑞忠, 赵红军, 等. 湘西沃溪 Au-Sb-W 矿床中白钨矿 Sm-Nd 和石英 Ar-Ar 定年[ J ]. 科学通报, 2003, 48( 18 ) : 1976-1981. ]
- [ 28 ] MAO J W, WANG Z L. A preliminary study on time limits and geodynamic setting of large-scale metallogeny in east China[ J ]. *Mineral Deposits*, 2000, 19( 4 ) : 289-296( in Chinese ). [ 毛景文, 王志良. 中国东部大规模成矿作用时限及其地球动力学背景的初步探讨[ J ]. 矿床地质, 2000, 19( 4 ) : 289-296. ]
- [ 29 ] MAO J W, HUA R M, LI X B. A preliminary study of large-scale metallogenic and large clusters of mineral deposits[ J ]. *Mineral Deposits*, 1999, 18 : 291-299( in Chinese ). [ 毛景文, 华仁民, 李晓波. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区预测[ J ]. 矿床地质, 1999, 18 : 291-299. ]
- [ 30 ] HUA R M, MAO J W. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in East China[ J ]. *Mineral Deposits*, 1999, 18( 4 ) : 300-308( in Chinese ). [ 华仁民, 毛景文, 试论中国东部中生代成矿大爆发[ J ]. 矿床地质, 1999, 18( 4 ) : 300-308. ]
- [ 31 ] ZHANG Y, ZHANG Q, WANG Y. Great Jurassic thrust sheets in Beishan ( North Mountains )-Gobi areas of China and southern Mongolia[ J ]. *Journal of Structural Geology*, 1996, 18( 9 ) : 1111-1126.
- [ 32 ] LI J Y, NIU B G, SONG B, et al. *Crustal Formation and Evolution of Northern Changbai Mountains*[ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1999. 62-64( in Chinese ). [ 李锦轶, 牛宝贵, 宋彪, 等. 长白山北段地壳形成与演化[ M ]. 北京: 地质出版社, 1999. 62-64. ]
- [ 33 ] NIU B G, HE Z J, SONG B, et al. SHRIMP dating of Zhangjiakou Formation volcanic rock and its important significance[ J ]. *Geological Bulletin of China*, 2003, 22( 2 ) : 140-141( in Chinese ). [ 牛宝贵, 和政军, 宋彪, 等. 张家口群火山岩 SHRIMP 定年及其重大意义[ J ]. 地质通报, 2003, 22( 2 ) : 140-141. ]
- [ 34 ] WU F Y, SUN D Y. The Mesozoic magmatism and lithospheric thinning in eastern China[ J ]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 1999, 29( 4 ) : 313-318( in Chinese ). [ 吴福元, 孙德有. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄[ J ]. 长春科技大学学报, 1999, 29( 4 ) : 313-318. ]
- [ 35 ] WU F Y, SUN D Y, ZHANG G L, et al. Deep geodynamics of Yanshan movement[ J ]. *Geological Journal of China Universities*, 2000, 6 : 379-388( in Chinese ). [ 吴福元, 孙德有, 张广良, 等. 论燕山运动的深部地球动力学本质[ J ]. 高校地质学报, 2000, 6 : 379-388. ]
- [ 36 ] WU F Y, GE W C, SUN D Y, et al. Discussion on the lithospheric thinning in eastern China[ J ]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10( 3 ) : 51-60( in Chinese ). [ 吴福元, 葛文春, 孙德有, 等. 中国东部岩石圈减薄研究的几个问题[ J ]. 地学前缘, 2003, 10( 3 ) : 51-60. ]
- [ 37 ] HU X, PEI R, SU Z. Sm-Nd dating of antimony mineralization in the Xikuangshan deposit, Hunan, China[ J ]. *Resource Geology*, 1996, 46( 4 ) : 227-231.
- [ 38 ] CHUNG S L, HAI C, JAHN B M, et al. Major and trace element, and Sr-Nd isotope constraints on the origin of Paleocene volcanism in South China prior to the South China Sea opening [ J ]. *Lithos*, 1997, 40 : 203-220.
- [ 39 ] GILDER S A, GILL J, COE R S, et al. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of South China[ J ]. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101( B7 ) : 13137-16154.
- [ 40 ] GILDER S A, KELLER G R, LUO M, et al. Timing and spatial distribution of rifting in China[ J ]. *Tectonophysics*, 1991, 198 : 225-243.
- [ 41 ] JIA D C. *Geochemistry of the Mesozoic Mafic Rocks and the Lithosphere Evolution in the Eastern Hunan and Guangxi Provinces, China*[ R ]. Guiyang: Institute Geochemistry, Chinese Academy Sciences 2003. 1-100( in Chinese ). [ 贾大成. 湘桂东地区中生代基性岩地球化学与岩石圈演化[ R ]. 贵阳: 中国科学院

- 院地球化学研究所 2003. 1-100. ]
- [ 42 ] LI X H, HU R Z, RAO B. Geochronology and geochemistry of Cretaceous mafic dikes from northern Guangdong, SE China[ J ]. *Geochimica*, 1997, 26( 2 ):14-31( in Chinese ). [ 李献华, 胡瑞忠, 饶冰. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学[ J ]. 地球化学, 1997, 26( 2 ):14-31. ]
- [ 43 ] LI X H. Cretaceous magmatism and lithosphere extension in South China: The geochronology and geochemistry constraints [ A ]. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. *Resource Environment and Sustaining Development*[ C ]. Beijing: Science Press, 1999. 264-275( in Chinese ). [ 李献华. 华南白垩纪岩浆活动与岩石圈伸展——地质年代学与地球化学限制[ A ]. 中国科学院地球化学研究所. 资源环境与可持续发展[ C ]. 北京: 科学出版社, 1999. 264-275. ]
- [ 44 ] SUN T, ZHOU X M. Petrological symbol of late Mesozoic extension in southeast China[ J ]. *Journal of Nanjing University( Natural Sciences )*, 2002, 38: 737-746( in Chinese ). [ 孙涛, 周新民. 中国东南部中生代伸展应力体制的岩石学标志[ J ]. 南京大学( 自然科学版 ), 2002, 38: 737-746. ]
- [ 45 ] XIE G Q. *Late Mesozoic Mafic Dikes ( Body ) from Southeastern China: Geological and Geochemical Characteristics and Its Geodynamics—A Case of Jiangxi Province*[ D ]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2003. 1-128( in Chinese ). [ 谢桂青. 中国东南部晚中生代以来的基性岩脉( 体 ) 的地质地球化学特征及其地球动力学意义初探——以江西省为例[ D ]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2003. 1-128. ]
- [ 46 ] XU X S, OREILLY S Y, GRIFFIN W L, et al. Genesis of young lithospheric mantle in southeastern China. A LAM-ICPMS trace element study[ J ]. *Journal of Petrology*, 2000, 41: 111-148.
- [ 47 ] XU Y G, SUN M, YAN W, et al. Xenolith evidence for polybaric melting and stratification of the upper mantle beneath south China[ J ]. *Journal of Asian Earth Science*, 2002, 20: 937-954.
- [ 48 ] ZOU H P. Continental marginal rifting along the Northern South China Sea: The crustal response of the lower lithosphere delimitation[ J ]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2001, 21: 39-44( in Chinese ). [ 邹和平. 南海北部陆源扩张——岩石圈拆沉的地壳响应[ J ]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21: 39-44. ]
- [ 49 ] CHEN J F, JAHN B M. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence[ J ]. *Tectonophysics*, 1998, 284: 101-133.
- [ 50 ] HONG D W, XIE X L, ZHANG J S. Isotope geochemistry of granitoids in South China and their metallogeny[ J ]. *Resource Geology*, 1998, 48: 251-264.
- [ 51 ] CHEN P R, HUA R M, ZHANG B T, et al. Early Yanshanian post-orogenic granitoids in the Nanling region-petrological constraints and geodynamic settings[ J ]. *Science in China ( Series D )*, 2002, 32: 279-289( in Chinese ). [ 陈培荣, 华仁民, 章邦桐, 等. 南岭燕山早期后造山花岗岩类: 岩石学制约和地球动力学背景[ J ]. 中国科学( D ), 2002, 32: 279-289. ]
- [ 52 ] ZHAO Z H, BAO Z W, ZHANG B Y. The geochemistry characteristics of Mesozoic basalts in the south of Hunan Province[ J ]. *Science in China ( Series D )*, 1998, 28( Suppl ): 7-14( in Chinese ). [ 赵振华, 包志伟, 张伯友. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征[ J ]. 中国科学( D ), 1998, 28( 增刊 ): 7-14. ]
- [ 53 ] LI X H, CHEN Z G, LIU D Y, et al. Jurassic gabbro-syenite suites from southern Jiangxi Province, SE China: Age, origin, and tectonic significance[ J ]. *International Geology Review*, 2003, 45: 898-921.
- [ 54 ] WANG Q, ZHAO Z H, JIAN P, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Yangfang aegirite-augite syenite in Wuyi mountains of south China and its tectonic implications[ J ]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48: 1582-1588( in Chinese ). [ 王强, 赵振华, 简平, 等. 武夷山洋坊霓辉石正长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造意义[ J ]. 科学通报, 2003, 48: 1582-1588. ]
- [ 55 ] HUA R M, CHEN P R, ZHANG W L, et al. Metallogenic systems related to Mesozoic and Cenozoic granitoids in South China [ J ]. *Science in China ( Series D )*, 2003, 33: 335-343( in Chinese ). [ 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统[ J ]. 中国科学( D ), 2003, 33: 335-343. ]

## MESOZOIC LARGE SCALE MINERALIZATION AND MULTIPLE LITHOSPHERIC EXTENSION IN SOUTH CHINA

MAO Jing-wen<sup>1,2</sup>, XIE Gui-qing<sup>2</sup>, LI Xiao-feng<sup>2</sup>, ZHANG Chang-qing<sup>1</sup>, MEI Yan-xiong<sup>2</sup>

( 1. Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Lithoprobng Technology,  
China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China )

**Abstract** : South China is one of the most important metallogenic provinces in China, which comprises plenty of W, Sn, Bi, Cu, Ag, Hg, Sb, REE, Au and Zn-Pb polymetallic ore deposits. In the present paper, we preliminarily describe the basic characteristics of large scale mineralization in South China. According to the available high precision geochronological data, it is proposed that there are three pulses of mineralization in south China, i. e. 170 ~ 150 Ma, 140 ~ 125 Ma and 110 ~ 80 Ma, respectively. The first one is mainly characterized by porphyry copper system and hydrothermal vein Pb-Zn system genetically associated with diorite and granodiorite, and leucogranite-related quartz wolframite vein system and skarn-greisen system W-Sn-Mo-Bi-Be ore deposits, while the third one mainly formed Sn-Au-Ag-U ore deposits. The polymetallic tin deposits are also related to leucogranite whereas uranium deposits hosted in the granitic intrusions or stocks in various ages from Proterozoic to Cretaceous and gold deposits of various types comprising Carlin, shear zone and epithermal systems were formed by convective heated hydrothermal solution which leached the ore substances from the host rocks. The pulse of 140 ~ 125 Ma which is weaker than the other two, and is likely a transitional event from the first mineralization pulse to the third, is mainly recorded by leucogranite-related both W and Sn ore deposits. The three pulses of large scale mineralization are related to the multistaged lithospheric extension of the back arc of the southeastern margin of Eurasian continent caused by the tectonics of post-collision between Yangtze China craton and North China craton, and the Pacific plate subduction.

**Key words** : mineralization ; ploymetallic ore deposits ; Mesozoic ; extension ; South China

---

---

## 《地学前缘》荣获“百种中国杰出学术期刊”称号

中国科学技术信息研究所 2003 年 12 月 9 日发布新闻, 根据最新中国科技论文与引文数据库统计结果, 《地学前缘》荣获“百种中国杰出学术期刊”称号。在《地学前缘》上刊登文章 2002 年被引频次最高的作者依次为於崇文、李思田、翟裕生、王鸿祯、宋鸿林、郝芳、洪大卫、刘和甫、林畅松、路凤香、卢华复、张长厚等。