

# 武夷山成矿带桃溪隆起、岩浆侵入和区域铜多金属矿成矿作用

陈世忠, 马明, 陈刚, 周延, 朱筱婷, 邱金亮, 毛建仁

中国地调局南京地质调查中心, 江苏南京 210016

**摘要:** 武夷山成矿带内矿区的最大特征就是分布有老地层和岩浆岩。老地层集中分布区——桃溪隆起区是武夷山隆起的一部分, 表现为变质核杂岩的特征。其中分布着大中型铜多金属矿床和大量的多金属矿点, 如紫金山铜金矿、岩背锡矿和红山铜矿, 它们是武夷山成矿带乃至中国东部的典型特征。主要矿床的成矿年龄集中于130~90 Ma, 属燕山晚期; 成矿特征表现为斑岩型—岩浆热液型铜多金属矿。成矿斑岩体成岩时代90~140 Ma, 多为燕山期复式杂岩体的中晚期, 桃溪隆起区这种时空一致性是由于中生代晚期岩石圈拆沉的产物。桃溪隆起区在中生代晚期经历了岩石圈加厚期后的拆沉、软流圈物质侵入、岩浆作用及其伴随的成矿作用。这些认识对该区找矿部署具有重要的意义。

**关键词:** 桃溪隆起区; 变质核杂岩; 紫金山; 燕山晚期; 矿床; 成矿作用。

中图分类号: P611.1

文章编号: 1000-2383(2010)06-0969-16

收稿日期: 2010-07-05

## Taoxi Uplift of Wuyi Metallogenic Belt, Its Tectonics, Magmatism and Metallogeny

CHEN Shi-zhong, MA Ming, CHEN Gang, ZHOU Yan, ZHU Xiao-ting, QIU Jin-liang, MAO Jian-ren

Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Nanjing 210016, China

**Abstract:** Taoxi uplift is a part of Wuyishan uplift and occurs as metamorphic core complexes. There are abundant medium to large scale copper and polymetallic ore deposits distributed in the uplift, such as the super large scale Zijinshan copper-gold deposit, super large Yanbei tin deposit, and large scale Hongshan copper deposit. This area is representative of a rich segment of Wuyi metallogenic belt. The main geochronology dating of mineralization concentrates in the range of 130–90 Ma, the late Yanshan period. The ore deposits, as well as most copper-gold ore deposits located in Taoxi uplift are of porphyry-magmatic hydrothermal type. Geochronology dating of ore bearing porphyry stocks is 94–140 Ma, the middle to late period derivatives of Yanshan magmatic complex resulted from interaction of crust with mantle and the lithosphere delamination in the Late Mesozoic. Taoxi Uplift is characterized by lithosphere thickening and delamination, intrusion of the asthenosphere matter and magmatism, and accompanied mineralization.

**Key words:** Taoxi uplift region; metamorphic core complex; Zijinshan; Late Yanshan; ore deposit; metallogeny.

古生代以来, 欧亚板块东缘——中国东部经历了明显的陆壳岩石圈拆沉 (Menzies *et al.*, 1993; Griffin *et al.*, 1998)。Xu *et al.* (2000)、Gao *et al.* (2003) 和 Wu *et al.* (2005) 指出奥陶纪到第三纪之间, 陆壳岩石圈经历了广泛的拉张减薄; 在晚中生代, 古老岩石圈曾被年轻的物质交代, 并喷发了大规模的火山岩。Wu *et al.* (2005) 在研究中国东北辽东花岗岩时发现, 火山岩、变质核杂岩、A型花岗岩和

基性岩墙群具有密切的时空联系, 进而提出早白垩世大陆裂解、太平洋板块俯冲和大规模岩石圈拆沉直接导致了地幔坍塌、软流圈上涌和拉张地区的地壳减薄。

造山带成矿作用经常发育在碰撞带晚期的拉张环境中 (Mitchell and Carlile, 1994; Mitchell, 1996), 地幔的隆升对多金属成矿起了重要作用 (Sillitoe, 1997)。如今越来越一致的认识是, 碰撞后

上升的地幔对矿物质的迁移,尤其对铜、金和锡的成矿具有重要意义(Kerrich and Wyman, 1994).

武夷山成矿带内生矿床大多与前寒武系变质基底岩层关系紧密,前震旦系结晶基底及前泥盆系变质褶皱基底地层被认为是区内主要的矿源层,得到了广泛的关注(赵凤清等,1995; Zhao and Cawood, 1999; Li *et al.*, 2002; 于津海等, 2002, 2003a, 2005, 2006, 2007a; Yu *et al.*, 2007b; Wang *et al.*, 2005; 舒良树, 2006; Wan *et al.*, 2007).

近年来调查和研究发现,桃溪核杂岩直至晚中生代,乃至第三纪还在活动.我们在武夷山成矿带南段从事矿产调查过程中也发现桃溪隆起区作为核杂岩分布区,控制了区域岩浆岩和铜多金属矿的分布(图 1).金属矿床多分布在老变质岩附近,并表现出与燕山晚期岩浆活动密切相关的特点.部分矿体分布在岩浆隐爆角砾岩中(如红山、紫金山、铜坑嶂),部分与火山机构关系密切(如岩背、中寮),部分与岩浆热液活动关系密切(如紫金山、铜矿沟、古石背).部分矿体受断裂控制,但流体和成矿物质都有岩浆活动的痕迹(如牛轭远、麻州).

桃溪隆起与矿床的密切关系,吸引着相关地区有关专家从各个方面寻找其中成矿规律.马金清(2002)从变质核杂岩的角度,认为查明桃溪印支期—燕山期的变质核杂岩对认识华南地壳演化和指导

永梅会地区成矿规律总结意义重大.桃溪隆起区分布了大量的金属矿床,深入研究该区成矿背景、总结成矿规律,对该区找矿部署具有重要意义.本文就是想通过全面介绍武夷山成矿带南段桃溪隆起区核杂岩的分布,结合典型矿床的成矿特征和矿床成因,来论述桃溪隆起区成矿大地构造背景,并用岩石圈动力学过程来分析桃溪隆起与矿产聚集的关系.

## 1 地质背景

武夷山成矿带位于中国东南浙赣闽粤四省交界地带,与武夷山脉的范围大致相近,北部包括部分仙霞岭、怀玉山,东部与戴云山相邻,南部与莲花山、九连山相接,最西止于赣江.武夷山南段桃溪隆起区位于江西瑞金、会昌、寻乌,福建长汀、武平、上杭,广东平远等地,地质构造上位于武夷山隆起带南段,与南岭东西向印支隆起带重叠,东邻永(安)—梅(州)坳陷带,西邻赣南古生代被动陆缘.

该区地处华南板块的东部,属于西太平洋活动陆缘带(郭令智等,1983).中生代后期,该区发展、演化为板内岩浆活动带(王德滋和周金城,1999).该地区长期以来构造活动强烈,经历了加里东、海西、印支和燕山期构造事件.尤其是燕山晚期岩浆活动和成矿作用强烈,被称为“岩浆大爆发”(陶奎元等,1999)或“中生代岩浆—成矿大爆发”(华仁民和毛景文,1999).

## 2 典型金属矿床特征

武夷山成矿带已发现 110 多种矿产,探明储量者 60 多种,其中大型矿床 58 处,中型矿床 130 处.桃溪隆起区已发现铜、金、铅、锌、铁和锰矿床(点)50 余处,其中特大型铜金矿床 1 处(紫金山)、锡矿 1 处(岩背)(图 2).

区内铜金矿主要矿床类型有高硫浅成低温热液型铜金矿床、斑岩型铜金矿床、中低温热液型铜金(银)矿床和矽卡岩型铁铜多金属矿床.矿床具有成群分布的特点,最典型的矿化富集区为紫金山矿田,以紫金山超大型铜金矿床为中心,周边有铜矿沟、萝卜岭、中寮、五子骑龙、新屋下、二庙沟、龙江亭、悦洋、大炭岗等一系列中小型矿床和矿(化)点,它们之间存在密切的成因联系.

桃溪隆起区内金矿除了紫金山铜金矿和上杭铜

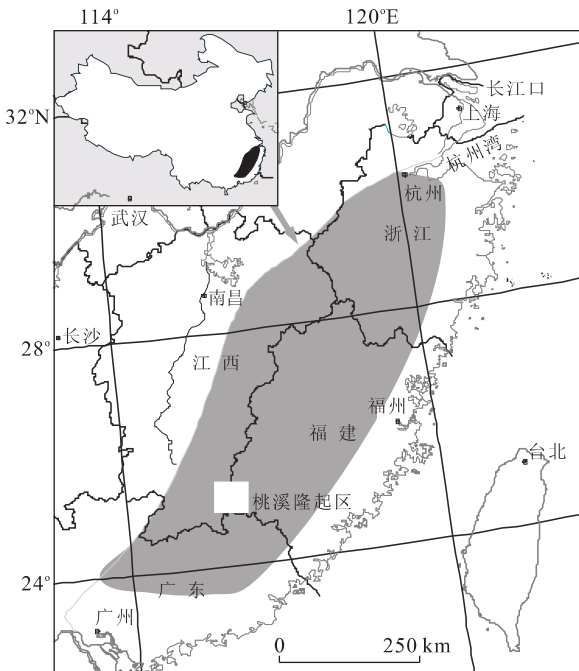


图 1 桃溪隆起区位置示意

Fig. 1 Location of Taoxi Uplift

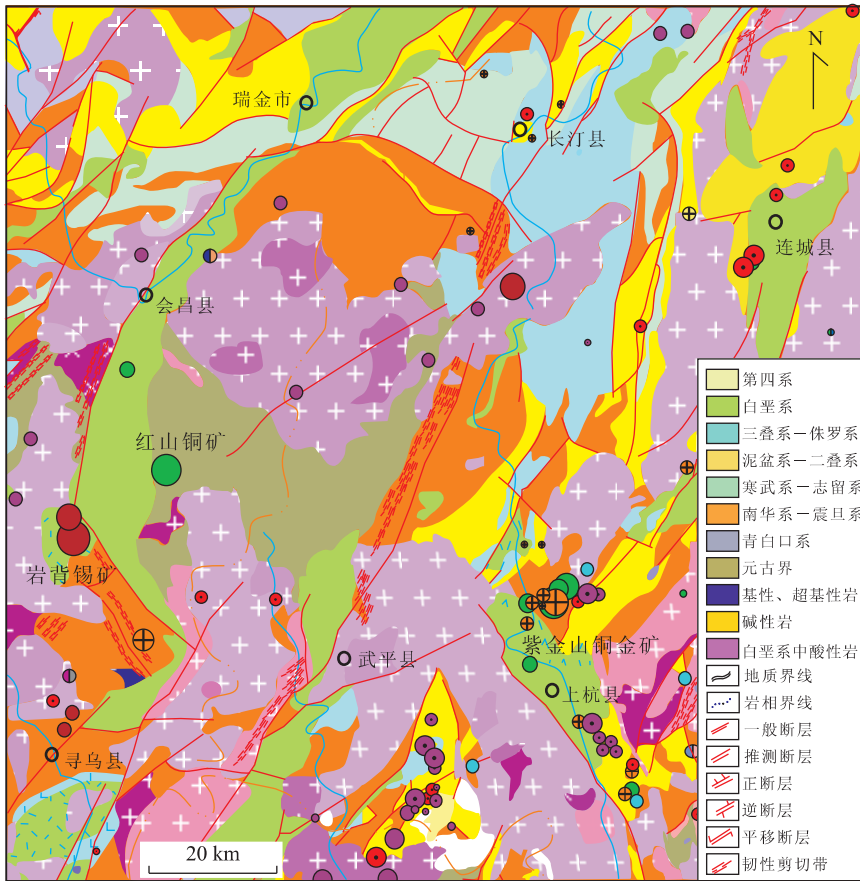


图 2 桃溪隆起区地质矿产简图

Fig. 2 Sketch map of geology and mineral resources on Taoxi uplift

矿沟铜金矿床外,还见于福建上杭滩下、金龙桥、碧田和长汀楼子坝、羊牯、店下等地,成因类型以潜火山热液型为主。区内锡矿主要分布于江西会昌岩背、上长岭和长汀下东坑等地,围绕密坑山就分布有岩背、上湾、凤凰岫、苦竹岫和增坑等锡矿床,都以火山一斑岩型锡矿为主。区内铜、铅、锌多金属矿产较丰富,主要见于江西会昌中村、石峰峡、大坑山、乌石垌、瑞金石门和寻乌剑溪、破冈、鸡笼嶂及福建上杭太山头、背斜等地。该区钨矿有江西于都铁山垄、隘上和会昌白鹤钨矿床 3 处,会昌鲜坑等钨矿点 11 处,矿床成因以气化—高温热液型为主,局部见隐爆角砾岩型等。该区铀矿有江西会昌和福建上杭矿床和矿点近 20 处,矿床成因类型属火山热液型、岩浆热液型等,以火山热液型为主要成矿类型。据刘林清(1995)统计,已知铀矿床、矿点或矿化异常区有 97% 以上分布在环形构造各层环及其边缘地区。

很多人对该隆起区内紫金山铜金矿床进行过较多的成因研究(张德全等, 2001, 2003, 2005; Ren *et al.*, 1996; So *et al.*, 1998; Zhou, 1999; Piraj-

no and Bagas, 2002; Khin *et al.*, 2007; Singer *et al.*, 2008)。岩背锡矿也被多人进行过研究(朱正书, 1990; 刘昌实等, 1994; 王德滋等, 1994; 熊小林等, 1994; 沈渭洲等, 1996; Liu *et al.*, 1999; Wu *et al.*, 1999; 陈郑辉等, 2006; 梅玉萍等, 2007)。红山铜矿也有少量的研究工作(周济元等, 1998a; 陈世忠等, 1998a, 1998b; Chen *et al.*, 2007)。

## 2.1 上杭紫金山铜金矿床

该铜金矿床位于桃溪隆起东侧、上杭县城北 34 km 处,上杭北西向白垩纪陆相火山断陷盆地东缘。区内大面积出露的主要为燕山期花岗侵入杂岩和燕山晚期的火山一次火山岩。燕山期中细粒花岗岩为矿区分布最广的侵入体,也是最主要的赋矿围岩;燕山晚期次火山岩分布于矿区中部,呈筒状、脉状及不规则状产出,主要岩性为英安斑岩、隐爆碎屑岩,并以斑岩为中心构成多个规模不一的火山机构。铜、金矿化主要分布于次火山岩中心的顶部。英安斑岩在深部过渡为花岗闪长斑岩,与斑岩型铜矿化关系密切。

紫金山铜、金矿带围绕着斑岩筒分布,矿带主要分布于北西外接触带。铜矿体成群成带沿北西向构造带产出,由一组在平面上近于平行排列、剖面上右行侧列、间距 5~15 m 的矿体组成,构成平行于斑岩筒长轴展布的长约 2 000 m、宽约 1 000 m 的铜矿带。矿体由一系列主要沿北西向裂隙充填的含铜硫化物细脉组成,脉幅一般 0.2~3.0 cm,长几米至几十米不等。金矿体呈透镜状,长 100~300 m 之间,厚 1~6 m,产状与铜矿体近于一致。

矿石矿物以蓝辉铜矿、铜蓝、硫砷铜矿为主,含少量黄铜矿、斑铜矿、黝铜矿和辉铜矿等;脉石矿物主要有石英、明矾石、地开石、绢云母和黄铁矿等。金矿石的金矿物为自然金,脉石矿物主要为石英,其次是褐铁矿。铜矿石结构主要为半自形—他形晶结构,交代残余、交代环边等多种交代结构。铜矿石构造以细脉状、网脉状构造为主,次为细脉浸染状、斑点—斑杂状构造。金矿石构造有胶状、蜂窝状和角砾状等,自然金呈包体金、裂隙金存在于石英和褐铁矿中。

根据成矿地质作用的不同,矿床成矿期可划分为潜火山热液成矿期和表生期。潜火山热液成矿期始于花岗闪长岩侵位之后,次火山岩—英安斑岩、花岗闪长斑岩侵位期间,是铜的主要成矿期。

矿床石英+绢云母带中石英流体包裹体的均一温度为 380~220 °C,石英+地开石带中石英流体包裹体均一温度为 280~200 °C,石英+明矾石带中石英流体包裹体均一温度为 300~160 °C,硅化带石英流体包裹体均一温度为 140~120 °C。矿床形成温度为中—低温(360~100 °C)。紫金山矿床应属燕山晚期次火山热液成因,其类型为高硫浅成低温热液铜(金)矿(陈景和,1999;张德全等,2001)。

## 2.2 会昌红山铜矿

该铜矿位于武夷山桃溪隆起西南部,会昌东南约 40 km,桃溪隆起带西南南端。矿区围岩主要为元古界桃溪组岩变粒岩、片麻岩、混合岩;其次为下白垩统版石组和上白垩统茅店组碎屑岩和火山岩。其中分布有次火山岩和劲松岭隐爆角砾岩。与成矿有关的主要为花岗斑岩、花岗闪长斑岩、石英斑岩和流纹斑岩等。

矿体主要分布在红山斑岩—隐爆角砾岩筒内的斑岩、隐爆角砾岩与桃溪岩组变质岩接触带和外围变质岩的断裂破碎带或热液园砾岩脉中。以斑岩、隐爆角砾岩与围岩接触破碎带的矿体规模最大。围岩蚀变主要以硅化、绢云母化或绢英岩化最为普遍、广泛,蚀变强度与矿化成正相关。

矿石中石英包裹体均一温度测定结果为 152~

424 °C,平均为 307.36 °C。矿区成矿压力为  $243.59 \times 10^5 \sim 420.5 \times 10^5$  Pa,深度为 0.812~1.930 km,均具近地表、浅成超浅成铜矿床特点。红山铜矿床成因为斑岩—隐爆角砾岩型铜矿床(周济元等,1998a;陈世忠等,1998a,1998b)。

## 2.3 会昌岩背锡矿床

该矿床位于桃溪隆起西南缘,会昌县城南偏西约 50 km 处,产于晚中生代火山盆地内岩背破火山构造中。矿区裸露地层为下白垩统鸡笼嶂组,岩性以流纹质火山岩为主,次为粗安岩和英安岩;侵入岩为似斑状粗粒黑云母正长花岗岩、花岗斑岩,后者具较明显的隐爆角砾岩化特征。矿床产于白垩纪陆相火山断陷盆地边缘的火山机构中。矿体赋存于燕山晚期次火山岩花岗斑岩侵位凹部的内外接触带。斑岩体呈岩瘤状,侵入于粗粒黑云母花岗岩中,为主要成矿岩体;岩石为全晶质微细粒斑状结构,边部发育隐爆构造,具超酸富碱特点。矿石矿物以锡石、黄铜矿、黄铁矿为主,次为闪锌矿、方铅矿、黑钨矿等。脉石矿物主要有石英、黄玉、绿泥石和绢云母等。

热液矿化分为三期五阶段。气成高中温热液期为浸染状锡石硫化物阶段、脉状辉钼矿阶段;中温热液期为脉状锡石硫化物阶段、脉状闪锌矿黄铁矿阶段;低温热液期为菱铁矿阶段。成矿阶段石英包裹体的均一温度虽变化较大(537~129 °C),但主要集中于 339~324 °C、280~228 °C 和 180~129 °C 三个区间内,显示多峰分布特征。成矿早期的高温流体是高盐度的。成矿压力为自  $2.7 \times 10^7$  Pa→ $(3.0 \sim 5.0) \times 10^7$  Pa→ $3.0 \times 10^7$  Pa。矿田火山活动稍后,花岗岩呈多次侵入,成矿花岗岩属火山期后第三次浅成侵入体。矿床成因为次火山斑岩型锡矿床(熊小林等,1994)。

这些典型矿床的成因研究都表明,紫金山铜金矿、岩背锡矿和红山铜矿等矿床的成因争议较少,矿床的成因多与燕山晚期的岩浆活动有关,成矿构造是火山构造,与矿石最密切的岩石是次火山岩,包括侵入引起的隐爆角砾岩。

## 3 成矿年龄

典型矿床矿石或脉石形成年龄与构造、岩浆事件年龄的对比是理解矿床成因的重要方面。紫金山铜金矿床与中酸性次火山岩有密切的时空关系,其成矿(表 1)与成岩(表 2)时间相近。紫金山罗卜岭成矿花岗闪长斑岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄 105 ±

表 1 几种矿床同位素年龄

Table 1 Isotope ages of several mineral deposits

矿床名称	成矿年龄(Ma)	同位素测年方法	测试样品	资料来源
紫金山萝卜岭成矿花岗岩闪长斑岩	105±7.2	Rb-Sr 等时线	全岩	张德全等,2001
紫金山铜金矿床	104.54±1.7	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	蚀变黑云母	张德全等,2005
紫金山铜金矿床金矿石	100±3	流体包裹体 Rb-Sr 等时线	石英	陈好寿,1996
紫金山矿床碧田金银矿石	91.47±0.39	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	与矿石矿物共生的冰长石	刘晓东和华仁民,2005
岩背含锡石英脉	125.5±6.1	Rb-Sr 等时线	石英	梅玉萍等,2007
岩背锡矿	120.2±5.3	Re-Os 模式年龄	辉钼矿	邱检生等,2005
岩背苦竹崇锡矿	114.0±1.6	Re-Os 模式年龄	辉钼矿	邱检生等,2005
红山铜矿大山含铜石英脉	98.8±1.5	K-Ar 法	石英	周济元等,1998a
红山铜矿牛牯远含铜石英脉	97.1±1.9	K-Ar 法	石英	周济元等,1998a

表 2 几种矿床成矿岩体同位素年龄

Table 2 Isotope ages of ore-forming porphyry in several mineral deposits

岩体名称	成岩年龄(Ma)	同位素测年方法	测试样品	资料来源
紫金山次火山侵入体	133±6	微量锆石 U-Pb 法	锆石	陈好寿,1996
紫金山次火山侵入体	118±4	微量锆石 U-Pb 法	锆石	陈好寿,1996
四坊石英闪长玢岩	102±9	Rb-Sr	全岩	陈好寿,1996
四坊花岗岩长岩	107.8±1.2	U-Pb 法	单颗粒锆石	毛建仁等,2004
四坊花岗岩长岩	103.1±0.6	Ar-Ar 法	角闪石	毛建仁等,2004
四坊花岗岩长岩	99.4±0.5	Ar-Ar 法	钾长石	毛建仁等,2004
萝卜岭花岗岩闪长岩	100±1	Rb-Sr	全岩	陈好寿,1996
紫金山铜金矿床流纹岩	94±7.7	Rb-Sr 等时线	全岩	张德全等,2001
岩背流纹质火山岩	123.3±1.3	Rb-Sr 等时线	全岩	刘昌实等,1994
岩背含黄玉花岗岩斑岩	114.1±0.7	Rb-Sr 等时线	全岩	刘昌实等,1994
岩背含黄玉花岗岩斑岩	128.1±3.3	Rb-Sr 等时线	全岩	梅玉萍等,2007
岩背花岗岩斑岩	114.1±0.6	Rb-Sr 等时线	全岩	沈渭洲和凌洪飞,1994
塌山花岗岩斑岩	117.5±5.6	Rb-Sr 等时线	全岩	沈渭洲和凌洪飞,1994
岩背火山岩	138±1	K-Ar 法	矿化蚀变绢英岩	黄常立等,1997
岩背清溪花岗岩	134±2	K-Ar 法	矿化蚀变绢英岩	黄常立等,1997
岩背花岗岩	128±1	K-Ar 法	矿化蚀变绢英岩	黄常立等,1997
岩背矿化蚀变绢英岩	118	K-Ar 法	矿化蚀变绢英岩	黄常立等,1997
岩背密坑山花岗岩	124.5±0.7	Rb-Sr 等时线	全岩	邱检生等,2005
岩背密坑山花岗岩斑岩	114.1±0.6	Rb-Sr 等时线	全岩	王德滋等,1994

7.2 Ma(张德全等,2001);紫金山铜金矿床蚀变黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄 104.54±1.70 Ma(张德全等,2005);紫金山矿床碧田金银矿石中共生的冰长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法年龄(刘晓东和华仁民,2005),表明紫金山成矿年龄在 105~91 Ma 间。

我们对红山铜矿主成矿期两个成矿阶段含铜石英脉的石英包裹体进行了 K-Ar 同位素年龄测定,其成矿年龄为 97.1~98.8 Ma,成矿与早、晚白垩世之间、燕山晚期(第二期)的岩浆侵入和隐爆作用有关(周济元等,1998b)。

岩背锡矿,相对于含黄玉黑云母花岗岩而言,含黄玉花岗岩斑岩与锡成矿关系更密切(李鸿莉等,2007),成矿年龄在 114~126 Ma 之间。岩背 Sn 矿成矿流体为岩背含黄玉花岗岩斑岩岩浆演化过程分异

出的岩浆热液。

#### 4 成矿物质和流体来源

除了矿床成矿年龄外,成矿物质和流体来源也是矿床成因研究的基本方面。放射性同位素(Nd、Sr 和 Pb 等)和稳定同位素(H、O 和 S 等)(表 3)都是研究成矿物质来源的重要手段。紫金山铜金矿成矿斑岩(花岗岩类、英安玢岩、隐爆角砾岩)及蚀变矿物(绢云母、明矾石等)氢氧同位素都显示成矿介质水是由岩浆水和大气降水混合而成。从成矿作用的早阶段到晚阶段,成矿流体中大气水渗入成分有逐渐增多的演化趋势。紫金山铜金矿硫同位素组成具深源硫特征。红山矿床矿石矿物硫同位素较接近下地

表 3 3 个矿床稳定同位素和放射性同位素特征

Table 3 Isotope ratios of Zijinshan, Hongshan and Yanbei deposits

矿床	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}, \text{SMOW})$	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$	其他同位素特征	资料来源
紫金 山铜 金矿	11.05~12.25(花岗岩类), 9.57~10.61(英安玢岩), 11.20(隐爆角砾岩), 10.80(蚀变矿物绢云母), 11.57(明矾石), 10.17~14.77(英安玢岩中石英斑晶)	-9.25~-5.1(金属硫化物), 25.9(明矾石)		张德全等, 1991, 2001, 2005
红山 铜矿		+1.03~3.6(黄铁矿和辉铜矿)	黄铜矿和辉铜矿的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值分别为 17.986~18.197, 15.506~15.697 和 38.244~38.711	陈世忠等, 1998a, 1998b
岩背 锡矿	+9.00(成矿花岗岩斑岩), 6.0~11.9(石英)	-0.3~-1.5(锡石)	( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) $i$ : 0.7128~0.7130(花岗岩斑岩) 0.7093(花岗闪长斑岩), $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ : -3.61~+1.27(花岗岩斑岩), +1.09(花岗闪长斑岩)	邱检生等, 2005, Liu <i>et al.</i> , 1999

壳物质部分熔融的均一体。黄铜矿和辉铜矿 Pb 比值较为稳定, 均落在太平洋西岸岛弧铅范围内, 沿零等时线两侧分布, 反映铅源于中生代岛弧构造环境。岩背矿床花岗岩斑岩和脉石矿物石英氧同位素显示其与下地壳部分熔融岩浆有关; 花岗岩斑岩和花岗闪长斑岩 Nd 同位素显示其来自大陆壳和亏损地幔源(邱检生等, 2005)。

上述资料都指示成矿热液及成矿物质主要来自岩浆体系, 铜、金和锡成矿与次火山岩浆作用具密切的成因联系。

## 5 桃溪隆起区特征

### 5.1 桃溪隆起

张顺金等(2000)将武夷山成矿带南段桃溪隆起区划为“桃溪旋卷构造”、“桃溪穹隆”和“会昌环形构造”, 认为桃溪隆起为变质核杂岩构造, 并进行了详细的论述。该隆起区基底岩层主要由元古界桃溪岩组变质岩和中—新元古代、加里东期、印支期、燕山期侵入岩组成。

桃溪岩组分布于长汀、会昌、武平一带, 被以中生代为主的复式岩体侵吞或被中生代沉积盆地所覆, 大致呈半环状展布。桃溪岩组由变粒岩岩段和片岩岩段组成, 变质程度均达角闪岩相, 局部可见麻粒岩相(于津海等, 2006)。在武平东留北部片岩和片麻岩片理中分布着大量的晚中生代花岗岩斑岩和石英斑岩等(图 3), 说明这些斑岩是在基底岩层拉张过程中侵位的。盖层分为下部盖层和上部盖层, 其间发育脆韧性滑脱断层。下部盖层分布于长汀和寻乌一带, 由南华系、震旦系和寒武系地层组成, 为一套砂泥质



图 3 武平东留桃溪岩组岩层片理中发育的斑岩脉  
Fig. 3 Porphyry veins developed in rock schistosity of Taoxiyan Formation in Dongliu, Wuping

类复理石建造, 岩石均发生过低绿片岩相区域动力变质作用和韧性剪切变形。上部盖层见于会昌、瑞金、长汀、上杭等地, 空间展布大致呈弧形, 断续环绕内核展布, 主要由卷入其中的古生界和中生界组成。盖层的变形以主要发育脆韧—脆性顺层滑脱断层系为主要特征。总体走向均呈弧状弯曲环绕内核分布, 断层面均背向变质核倾斜, 倾角陡缓不一( $35^{\circ}\sim 75^{\circ}$ )。岩石具破碎、硅化、黄铁化、绿泥石化等, 主要由构造角砾岩、硅化碎裂岩、碎粒岩等组成。

桃溪隆起区由元古界变质岩、中生代强过铝花岗岩、大型拆离构造带和南北两侧盆地构造所组成, 发育在华南加里东期的褶皱变质基底之上。下拆离盘韧性变形岩石的几何学和运动学特征与上拆离盘弱变形岩石、盆地中脆性变形岩石的几何学、运动学特征完全一致, 是一个典型的从岩体核部朝山外倾斜滑移的穹隆伸展构造(图 4)。

此外, 该隆起区中发育大量晚燕山期的双峰式侵入岩和喷出岩(周济元等, 1998b)。这些都说明晚

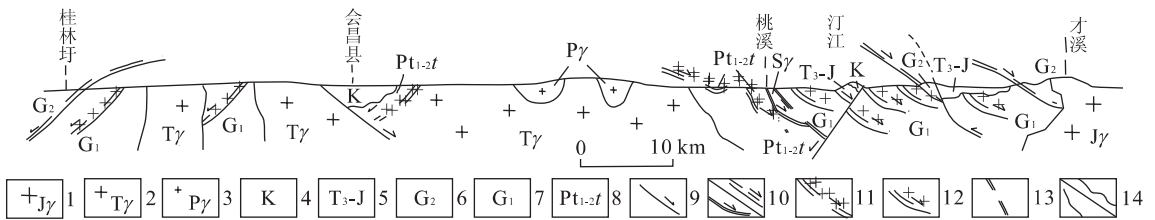


图 4 桃溪变质核杂岩构造剖面略图

Fig. 4 Sketch tectonic section of Taoxi metamorphic core complex

1. 侏罗纪侵入岩; 2. 三叠纪侵入岩; 3. 二叠纪侵入岩; 4. 白垩系; 5. 上三叠统一白垩统; 6. 上部盖层(上古生界); 7. 下部盖层(下古生界); 8. 桃溪岩组; 9. 脆性断层; 10. 剥离断层面上、下盖层间滑脱断层; 11. 韧性剪切断层; 12. 韧脆性滑脱断层; 13. 走滑型韧性剪切带; 14. 侵入界线、角度不整合界线

燕山期是桃溪隆起、岩浆侵入的重要时期。

在基底岩层边部,部分下、上白垩统地层呈弧形围绕展布,其底部与前期较老地层呈脆性正断层接触;其内部也发育规模不一、背向变质内核倾斜的脆性正断层,破碎带由构造角砾岩、硅化碎裂岩、压碎岩、断层泥等组成,岩石硅化、黄铁矿化、叶蜡化等构造蚀变强烈。这表明,燕山期仍是桃溪隆起带重要的活动期。隆起区东西两侧由中生代断陷沉积盆地组成。这些盆地相对于环内下降幅度较大,如连城黄坊白垩系一新近系地层厚 1 229 m;连城庙前第四系厚 240 m;会昌周田盆地地层厚 3 700 m。南部由扭性、压扭性弧形断裂组成,北部亦由一系列断裂呈北西向弧形展布。组成外环边界的构造对现代河流具有明显的控制作用,使主要河道绕环分布。沿弧形断裂还见有数个温泉出露。同时,据地震资料,环形构造周围地区,特别是沿环体西部边缘的环形断裂带弱震比较频繁(刘林清,1995)。由此可见,桃溪环形构造在近期仍有明显的活动性。

### 5.2 桃溪隆起区典型矿床成矿岩岩岩

从上面的分析可知,桃溪隆起区成矿作用与武夷山成矿带一样,主要以斑岩—隐爆角砾岩型铜多金属成矿作用为主。成矿时代主要为中生代晚期,与中国东南沿海一致,被称为中生代岩浆—成矿大爆发。

高天钧和黄仁生(1998)认为紫金山矿床在时空上连续演化,属同源岩浆在同一成矿场中不同演化阶段的产物;华仁民等(2002)则将紫金山地区的紫金山矿床划入中国东部晚中生代斑岩—浅成热液金(铜)成矿体系。张德全等(2003)把紫金山地区的绢云母—冰长石型浅成热液 Ag—Au 矿床、酸性硫酸盐型浅成热液 Cu—Au 矿床和斑岩 Cu(Mo)矿床归为以花岗闪长斑岩侵入体为中心的斑岩—浅成热液成矿系统之产物。这些认识基本一致,即紫金山晚中生代花岗岩与铜、金矿化有关,火山—侵入杂岩与大规

模的铜金成矿作用有关的认识。

紫金山铜金矿的围岩是四坊复式岩体。四坊复式岩体第一脉动为中—中细粒花岗闪长岩;第二脉动为花岗闪长斑岩(罗卜岭岩体),它侵入于蚀变细粒花岗闪长岩中。

四方花岗闪长岩岩石稀土元素总量为 124.65~136.71 μg/g 之间, LREE/HREE 比值为 9.95~8.96,属轻稀土元素富集型,反映稀土元素分馏程度的(La/Yb)<sub>n</sub> 比值较高,为 12.49~9.83,与 LREE/HREE 比值高是一致的;δEu 为 0.80~0.85。花岗闪长岩和花岗闪长斑岩的稀土元素分布曲线都呈略向右倾的平滑型,曲线几乎重合而显示同源特征。花岗闪长岩类富集 Rb、Th、U、K,贫 Ti、Nb、Ta、Ba、Sr、P,显示活动大陆边缘钙碱性岩系的特征,地球化学数据表明是幔源组分和中下地壳物质部分熔融形成的花岗质岩浆混合的结果,岩石中有较多幔源组分的参与(毛建仁等,2002)。

岩背锡矿的围岩为密坑山岩体,它是一破火山中央岩株侵入体。该岩体在地表表现为密坑山、岩背和苦竹寨 3 个岩体,在深部连成一片,它们是同一岩浆分别沿火山口及环状或放射状断裂侵入而成。岩背、凤凰寨、淘锡坝、苦竹寨、矿背和上湾等一批大、中型锡多金属矿床或矿点分布在该岩体与流纹质凝灰熔岩的内外接触带,表明这一岩体对成矿具有重要的制约作用。邱检生等(2005)的研究表明,密坑山岩体主体岩性为钾长花岗岩,Rb—Sr 全岩等时年龄为 124.5±0.6 Ma;补充侵入阶段花岗斑岩的 Rb—Sr 全岩等时年龄为 114.1±0.6 Ma(王德滋等,1994),表明它们均为早白垩世岩浆活动的产物。该岩体具有富硅、偏碱性、富钾、铝弱过饱和、Rb/Sr 及 Rb/Ba 比值高、钫负异常显著、富 Ga、Ga/Al 比值大、富高场强元素(如 Nb、Zr)等特点,都说明了该岩体不是典型的 S 型花岗岩,而应属铝质 A 型花岗岩。同时,

密坑山岩体偏高的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  及偏低的 TDM 值均指示其在成岩过程中有较多幔源组分的参与。

红山矿区内岩浆活动频繁, 主要表现为一系列浅成—超浅成侵入的酸性—中酸性侵入体及部分基性岩脉, 早期为中细粒斑状黑云二长花岗岩、中粒斑

状黑云二长花岗岩等(中)酸性岩株侵入; 晚期为花岗斑岩、花岗闪长斑岩以岩脉、岩瘤形式定位, 还伴随多期岩浆热液隐爆发生, 大量出露于隐爆角砾岩筒内的自碎花岗岩斑岩角砾岩, 是主要成矿岩体; 后期石英闪长(玢)岩和辉绿岩以脉岩形式出露; 另外还见酸性

表 4 红山铜矿成矿岩体主要微量元素的含量

Table 4 Main trace elements content of ore-forming porphyry in Hongshan deposits

序号	样品号	Rb	Ba	Th	Ta	Nb	La	Ce	Sr	Nd
1	NHR-1	17.97	11.02	0.68	8.09	238.23	54.36	115.96	192.28	52.08
2	NHR-2	18.24	7.27	0.48	7.67	225.68	51.56	107.60	197.08	48.63
3	NHR-3	16.69	5.01	0.19	7.51	212.81	56.77	117.72	103.62	53.97
4	NHR-4	20.49	2.56	0.20	9.17	274.90	53.24	114.08	51.17	51.67
5	NHR-5	15.21	3.69	2.35	8.12	237.31	52.22	109.65	145.78	50.37
6	NHR-6	17.87	6.46	0.50	7.10	217.64	48.75	101.20	221.50	46.78
7	NHR-7	19.81	5.17	0.23	6.04	184.15	47.24	98.41	167.72	45.46
8	NHR-8	17.77	3.52	0.61	7.42	224.20	44.38	92.22	112.70	42.28
9	NHR-9	18.59	1.97	0.11	8.23	249.17	50.92	108.61	34.82	48.64
10	NHR-10	18.77	11.63	0.25	6.99	212.39	45.33	94.12	209.25	42.37
11	HSR-1	221.75	634.88	11.01	1.26	10.44	20.28	40.98	841.08	16.88
12	HSR-2	228.37	466.79	11.57	1.49	12.18	18.83	39.98	294.26	18.22
13	HSR-3	234.54	486.88	14.76	1.31	11.51	27.97	55.79	573.61	24.10
14	HSR-4	257.46	367.79	13.82	1.33	11.00	20.42	43.27	713.31	19.35
15	HSR-5	256.68	515.60	13.56	1.38	11.93	24.50	48.86	617.53	21.30
16	HSR-6	221.76	369.43	13.17	1.34	11.23	22.31	43.36	206.87	18.56
17	HSR-7	230.49	438.52	13.41	1.33	10.97	22.31	44.65	585.02	18.82
18	HSR-8	248.55	708.75	14.78	1.44	12.37	25.24	50.56	636.99	21.70
19	HSR-9	247.36	556.03	14.79	1.37	12.56	24.23	49.59	300.65	21.44
20	HSR-10	186.99	435.83	9.81	1.01	10.81	23.31	47.90	679.35	23.66
序号	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sm	Zr	Hf	Eu	TiO <sub>2</sub>	Tb	Y	Yb	Lu
1	0.12	9.38	56.19	0.99	1.32	0.49	1.62	43.70	6.79	0.99
2	0.11	8.91	37.66	0.67	1.24	0.43	1.28	94.96	4.53	0.67
3	0.13	9.46	45.93	0.84	1.28	0.45	1.52	53.31	5.34	0.84
4	0.13	10.18	63.56	1.06	1.30	0.54	1.81	48.85	6.91	1.06
5	0.11	9.15	53.12	0.91	1.20	0.43	1.57	65.19	6.16	0.91
6	0.12	8.50	44.40	0.79	1.18	0.42	1.31	97.65	5.23	0.79
7	0.13	8.39	45.48	0.85	1.20	0.46	1.44	84.46	5.58	0.85
8	0.09	7.78	41.96	0.76	1.28	0.44	1.34	49.82	5.07	0.76
9	0.11	8.57	50.89	0.92	1.28	0.49	1.58	57.09	6.05	0.92
10	0.11	7.69	41.02	0.74	1.27	0.44	1.34	95.90	4.85	0.74
11	0.34	2.31	101.57	3.11	0.70	0.35	0.31	13.66	1.51	0.25
12	0.40	2.87	109.80	3.32	0.71	0.37	0.33	13.36	1.64	0.28
13	0.57	3.40	106.85	3.22	1.03	0.38	0.44	13.77	1.60	0.26
14	0.23	2.74	98.69	3.14	0.75	0.36	0.34	12.60	1.51	0.26
15	0.57	3.23	109.96	3.55	0.84	0.37	0.47	17.45	2.00	0.32
16	0.40	2.45	124.35	3.70	0.77	0.37	0.40	13.53	1.56	0.28
17	0.28	2.69	125.58	3.68	0.73	0.37	0.36	12.89	1.56	0.27
18	0.22	3.25	158.98	4.49	0.91	0.38	0.42	14.97	1.81	0.31
19	0.31	3.29	125.05	3.60	0.88	0.40	0.47	16.86	1.99	0.32
20	0.29	3.51	127.78	3.68	0.79	0.48	0.33	9.17	1.24	0.21

注: 主量元素由国土资源部华东矿产资源监督检测中心检测, 微量元素和稀土元素由中国科学院地质与地球物理研究所检测; NHR-1-10 为花岗岩, HSR-1-10 为花岗闪长斑岩; 氧化物单位为%, 其他单位为  $10^{-6}$ 。



的细粒花岗岩(细晶岩)、花岗斑岩、石英斑岩脉。

含铜成矿岩体花岗(闪长)斑岩脉(瘤)分布在红山隐爆角砾岩筒中和外围,沿环状和放射状断裂分布。对其进行了岩石化学和地球化学测定,岩石表现为高硅、高钾和过铝的特点。岩石地球化学特征显示亏损 Sr、Ba、Nb、P、Ti 和 Y 等元素,富集 Rb、Th 等元素,Rb/Sr 及 Rb/Ba 比值高。微量元素和稀土元素显示岩石具有壳幔混合的特征(表 4)。

同时,桃溪隆起区紫金山、岩背和红山等典型成矿岩体与其边部白垩纪火山盆地鸡笼嶂组、莲花寨群、版石群和赣州群中火山岩一致,为同一岩浆演化的产物。如会昌中村橄榄粗玄岩系列的岩石,其 Rb-Sr 等时线年龄值为 108 Ma,橄榄粗玄岩系列的形成代表着早白垩世末期拉张体系的形成和壳幔物质的交换。徐夕生等(1999)通过 Sm-Nd 同位素定年显示,中国东南大陆边缘底侵作用物质在地壳底部的结晶年龄约为  $112.3 \pm 17.8$  Ma,属晚中生代时期。这种底侵作用促成了地壳物质的部分熔融,部分辉长岩浆则穿透了下地壳,直接参与了壳源岩浆的形成和演化,壳-幔两种岩浆相互作用形成了现今出露的 100~120 Ma 左右的玄武岩-流纹岩复合岩流,以及辉长岩-花岗岩杂岩体。徐夕生等(2000)认为,华南元古代华夏地块与华北太古代地块一样,其下方的太古代/元古代岩石圈地幔已被年轻的、较饱满的地幔物质所替代。

燕山晚期,中国东南部由板内环境转变为活动大陆边缘环境,岩石圈伸展走滑,形成了早白垩纪高钾钙碱性英安质-流纹质火山-侵入岩带;至晚白垩纪,区域广泛分布低钛双峰式玄武岩-英安岩-流纹岩及其浅成岩带,并形成 A 型晶洞花岗岩和基性岩脉群等(毛建仁等,2002, 2009)。

桃溪隆起区与中国东南部一样,广泛出露白垩纪断陷盆地、A 型花岗岩、碱性岩、基性岩脉及双峰式火山岩(马金清等,1998),表明白垩纪中国东南部处于伸展拉张的构造环境;大致在距今 140 Ma 左右,中国东南部全面进入岩石圈伸展拉张构造时期(李献华等,1997)。

有关岩石圈减薄机制及中生代火成岩成因的研究,很多学者相继提出一些构造岩浆演化的复合动力学模式,如左行走滑断裂+同期裂解(Gilder *et al.*, 1996)、大洋俯冲+岩石圈拆沉+陆内俯冲+岩浆底侵(邓晋福等,1999)、大洋俯冲+岩石圈拆沉(吴福元等,2000)、岩石圈消减+玄武岩浆底侵+地壳深熔(Zhou and Li, 2000)等。张旗等(2001)认为,

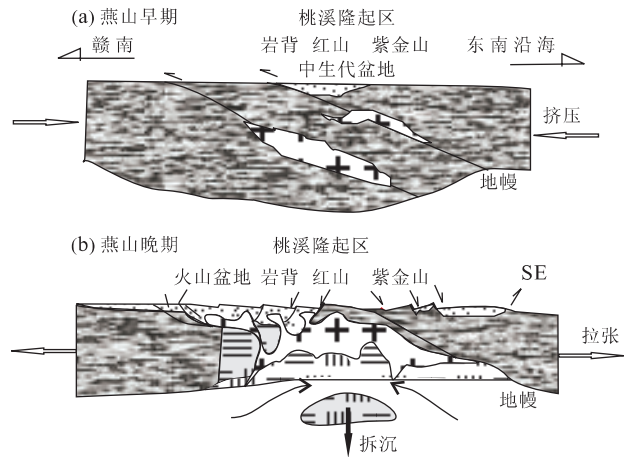


图 5 桃溪隆起区构造、岩浆和成矿综合模式

Fig. 5 Delamination model of Taoxi Uplift

中国东南部的岩石圈减薄为拆沉作用所致,与大洋板块俯冲作用无关,为大陆内部构造演化事件;汪洋等(2003)认为,燕山期深部动力事件为玄武质岩浆底侵+地壳弱化+地壳加厚+后造山崩塌。变质核杂岩的形成是伸展作用的结果(Lister and Davis, 1989),上盘的伸展、剥离,引起地壳变薄,由于均衡作用而使地幔上隆及下盘上拱形成变质核杂岩。同时,变质核杂岩等隆升是局部的热隆作用,而非均一热事件的产物(Crittenden *et al.*, 1980)。

桃溪隆起部位是深成岩浆活动区和深部热柱的活动部位,伴随有基性及碱性岩浆活动。燕山晚期岩浆岩以非造山期岩浆岩为特点,出现 A 型花岗岩及碱性、亚碱性花岗岩。桃溪隆起区铜多金属矿以 90~130 Ma 为主要成矿期,这与区内两次岩浆活动相吻合。120~130 Ma 的岩浆岩以碱性、亚碱性花岗岩为特点;100 Ma 的岩浆岩以双峰式为特点。岩浆活动是岩石圈拆沉和地壳深层次拆离作用的结果(图 5)。

岩石圈地幔的破坏、软流圈地幔的侵入,导致了地壳重熔,形成了一系列岩浆岩,以双峰式岩浆岩为峰期标志。与深部地球化学有密切关系,伴随岩浆活动而来的成矿元素为成矿提供了必要的物质来源。盆岭构造、陆内裂谷和变质核杂岩等均是伸展体制的表现形式(Corti *et al.*, 2002)。桃溪隆起区、燕山晚期侵入岩、红盆、倾斜盆地等均受地壳深层次伸展构造控制。

## 6 成矿模式

武夷山成矿带南段桃溪隆起区主要成矿时代是燕山晚期。该期岩浆岩代表了中国东部中生代一次

重大的地质事件—岩浆成矿大爆发,岩石圈从大增厚到大减薄(邓晋福等,1999,董树文等,2000),惊天动地的构造岩浆喷发和侵入(陶奎元等,1999),伴随有大规模成矿作用(毛景文等,1999;华仁民和毛景文,1999;裴荣富等,1999)。主要成矿期与区域伸展体制一致。

通过对华南中生代成矿作用与岩石圈伸展的耦合关系研究,毛景文等(2004)认为中生代大规模的成矿作用与岩石圈伸展、地壳拉张期次基本是一致的,并认为华南钨矿的形成是壳幔相互作用的结果。胡瑞忠等(2004)认为铀矿与壳幔关系密切。岩浆活动所带来的热能和岩浆流体使成矿物质富集成为可能,地壳拉张运动使浅层断裂与地幔沟通,携带大量成矿物质的热液流体得以在地壳内发育的裂隙中运输,到达合适的位置沉淀成矿(岩石圈减薄、地壳拉张使地壳中的物理化学条件变得复杂,对成矿有利的地球化学障容易形成)。

由地壳重熔形成的花岗岩浆经过多期次和多阶段分异演化,抑或在最晚阶段富集成矿,抑或在主要阶段均伴随有矿化,还可能岩体仅作为能源加热,形成热液对流循环系统,从下部及周围岩石萃取矿质,最后于上部有利空间卸载成矿。

桃溪隆起区具有特定的有利的成矿条件,传统认为这是由于拆离断层下盘的韧性剪切过程中带出了大量的成矿元素,如 Fe、Ca、Mg、Au 和 Ag 等及部分 Mn 和 CO<sub>2</sub>,而带入了 Si、K 和 Na 等元素的结果。通过上面的分析,我们认为,最重要的是该隆起区在燕山晚期是地幔上侵的部位,既是壳幔物质交换频繁的地方,又是能量对流强烈的区域,并形成了多期岩浆活动的中心。地幔上隆,产生大量基性岩墙(体),相伴而来的金属元素成为成矿的物质基础。同时,伸展作用导致的高地热梯度和高热流构造环境有利于减小岩石重熔或混合岩化的深度,使壳源花岗岩浆得以在较浅处侵位,形成了大量重熔型花岗岩基,并为成矿元素的活化迁移提供了良好的物理化学条件。随着幔源物质的增加,形成了同熔型花岗(斑)岩体。岩浆热液活动、伸展隆起和构造剥蚀形成了高地热梯度和高热流环境,为成矿元素的活化、萃取、迁移、富集提供了良好条件。在这里,浅层大气水流和深层岩浆流体易发生交汇;在上盘氧化环境和下盘还原环境间容易形成有利于矿质沉淀的氧化—还原界面;大量断层和强烈破碎带为含矿溶液的运移、渗滤和成矿物质的沉淀、聚集提供了通道和空间,也为矿床和矿体的定位起到了重要作用。

早白垩世,上杭紫金山地区深源中酸性岩浆侵位于上部地壳,形成花岗闪长岩,部分直达地表形成中酸性火山岩。火山作用晚期,小规模的中酸性岩浆沿火山通道、断裂构造被动侵位,形成次火山岩英安斑岩。在花岗闪长岩和次火山岩侵位产生的热流体驱动下,下渗的大气降水发生对流循环,形成分布广泛的“基底式”蚀变石英绢云母化。中酸性岩浆再度沿火山通道、构造裂隙多次脉动侵位,并在岩筒顶部和边部发生隐爆及热液沸腾,热液角砾岩化,先后形成了第二脉动英安斑岩、花岗闪长斑岩和环状隐爆角砾岩、热液角砾岩,并诱发了第二轮蚀变及矿化作用。

会昌岩背锡(铜)矿床,属花岗质岩浆发展演化到花岗斑岩阶段的大型斑岩锡矿床。其成矿物质主要来自花岗质岩浆,部分则来自早白垩世鸡笼嶂组火山岩。矿床的形成经过了火山喷发阶段的初始富集、花岗质岩浆分异演化晚期斑岩侵位及其蚀变矿化,以及岩浆期后热液充填交代等多次成矿作用,但晚期斑岩侵位及其蚀变矿化是其主要的成矿作用。

桃溪西南侧的会昌红山铜矿床的形成首先是由于燕山晚期强烈的构造岩浆作用,部分熔融岩浆聚集成岩浆房,上侵,经岩浆结晶分异,在硅酸盐熔体顶部富集,具有强大机械能,使岩体顶部、上覆围岩产生破裂和隐爆,形成裂隙网络和隐爆角砾岩筒。随后温压下降,气相变为液相,矿质在角砾、裂隙间沉淀,形成广泛蚀变和矿化,即面型蚀变和矿化。后期岩浆上侵、蚀变矿化叠加改造了早期成矿特征。

## 7 结论

(1)武夷山成矿带南段发育桃溪隆起区,隆起区发育元古界中深变质岩基底和南华系至古生界的盖层,具有变质核杂岩的特征。其边部分布大量的铜、金、锡、钨、铅、锌和铀等多金属矿床,出现了特大型紫金山铜金矿、岩背锡矿、大型的悦洋银矿和红山铜矿等,表现为核杂岩控制矿床的特点。

(2)紫金山铜金矿、岩背锡矿、红山铜矿等矿床研究表明,这些矿床的成矿时代和成矿斑岩的成岩时代都在中生代晚期,与燕山晚期构造岩浆作用密切相关,主要成矿年龄集中于 125~90 Ma,蚀变矿化紧紧围绕次火山岩体分布,成岩与成矿是岩浆演化产物,即它们具有物源的一致性,Cu、Au 主要由中酸性岩浆带入。矿床地质、地球化学和同位素等特征都表现为斑岩型、隐爆角砾岩型或岩浆热液型多

## 金属矿.

(3) 这些矿床成矿斑岩体的同位素年龄为 94~140 Ma, 表现为与 I 型或铝质 A 型花岗岩密切相关, 属壳幔混源型。

(4) 桃溪隆起与壳幔混源花岗岩存在成因联系, 与晚中生代以来这一地区软流圈上涌、岩石圈减薄和地壳伸展作用密切相关。地壳伸展和岩浆顶托造成了桃溪基底岩石的快速隆升, 相容含矿元素铜金等地幔物质参与了中下地壳的重熔。地幔物质的参与程度、地壳熔融区的成矿元素含量、岩浆结晶分异程度和流体存在的地球化学环境(流体组合和流体逸度), 以及定位深度等指标是决定成矿类型和矿种的关键因素。

(5) 这种大陆动力学的成因认识的意义是, 桃溪隆起区与成矿关系密切不是由于其提供了元古界矿源层, 而是桃溪隆起区在燕山晚期壳幔岩浆作用中快速隆升, 并在其中演绎了岩浆作用和成矿作用。

致谢: 张传林和王涛参与了野外工作, 感谢张传林研究员富有启发性的讨论。

## References

Chen, H. S., 1996. The research on the mineralization chronology and isotopic exploration assessment for Zijinshan copper-gold deposit. *Geotectonica at Metallogenia*, 20(4): 348—360 (in Chinese with English abstract).

Chen, J. H., 1999. The metallogenic mode of Zijinshan copper (gold) deposit. *Gold*, 20(7): 6—11 (in Chinese with English abstract).

Chen, S. Z., Zhou, J. Y., Cui, B. F., 1998a. Characteristic fluid inclusions and geophysical-chemical ore-forming conditions of Hongshan crytoexplosive breccia-porphry copper deposit in Huichang, Jiangxi. *Volcanology and Mineral Resources*, 19(3): 205—213 (in Chinese with English abstract).

Chen, S. Z., Zhou, J. Y., Cui, B. F., 1998b. Study of the origin of Hongshan brecciated copper deposit in Huichang County, Jiangxi. *Volcanology and Mineral Resources*, 19(4): 338—346 (in Chinese with English abstract).

Chen, S. Z., Zhou, J. Y., Cui, B. F., et al., 2007. Study on the origin of the Hongshan brecciated copper deposit in Huichang County, Jiangxi Province, China. *Chinese Journal of Geochemistry*, 26(2): 192—200. doi: 10.1007/s11631-007-0192-6

Chen, Z. H., Wang, D. H., Qu, W. J., et al., 2006. Geological characteristics and mineralization age of the Taoxikeng tungsten deposit in Chongyi County, southern Jiangxi

Province, China. *Geological Bulletin of China*, 25(4): 496—501 (in Chinese with English abstract).

Corti, G., Bonini, M., Mazzarini, F., et al., 2002. Magma-induced strain localization in centrifuge models of transfer zones. *Tectonophysics*, 348(4): 205—218. doi: 10.1016/S0040-1951(02)00063-X

Crittenden, M. D., Jr., Coney, P. J., et al., 1980. Cordilleran metamorphic core complexes. *Geological Society of America Memoir*, 153: 490.

Deng, J. F., Mo, X. X., Zhao, H. L., et al., 1999. The Yanshanian lithosphere-asthenosphere catastrophe and metallogenic environment in East China. *Mineral Deposits*, 18(4): 309—315 (in Chinese with English abstract).

Dong, S. W., Wu, X. H., Wu, Z. H., et al., 2000. On tectonic seesawing of the East Asia continent—global implication of the Yanshanian movement. *Geological Review*, 46(1): 8—13 (in Chinese with English abstract).

Gao, S., Rudnick, R. L., Carlson, R. W., et al., 2003. Re-Os evidence for replacement of ancient mantle lithosphere beneath the North China craton. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 198(3—4): 307—322. doi: 10.1016/S0012-821X(02)00489-2

Gao, T. J., Huang, R. S., 1998. Comparison of typical characters of Zijinshan copper gold silver deposit Shanghang Fujian Province. *Volcanology and Mineral Resources*, 19(4): 283—294 (in Chinese with English abstract).

Gilder, S. A., Gill, J., Coe, R. S., et al., 1996. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of South China. *J. Geophys. Res.*, 101: 16137—16154.

Griffin, W. L., Zhang, A. D., O'Reilly, S. Y., et al., 1998. Phanerozoic evolution of the lithosphere beneath the Sino-Korean craton. In: Flower, M. F. J., Chung, S. L., Lo, C. H., eds., *Mantle dynamics and plate interactions in East Asia. Am. Geophys. Union, Washington, D. C., Geodyn. Ser.*, 100: 107—126.

Guo, L. Z., Shi, Y. S., Ma, R. S., et al., 1983. On the formation and evolution of the Mesozoic-Cenozoic active continental margin and island arc tectonics of the western pacific ocean. *Acta Geologica Sinica*, 1: 11—21 (in Chinese with English abstract).

Hu, R. Z., Bi, X. W., Su, W. C., et al., 2004. The relationship between uranium metallogenesis and crustal extension during the Cretaceous—Tertiary in South China. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 153—160 (in Chinese with English abstract).

Hua, R. M., Lu, J. J., Chen, P. R., et al., 2002. Late Mesozoic porphyry-epithermal Au-Cu metallogenic system

- and its ore fluid in East China. *Advances in Natural Sciences*, 12(3): 240–244 (in Chinese).
- Hua, R. M., Mao, J. W., 1999. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in East China. *Mineral Deposits*, 18(4): 300–307 (in Chinese with English abstract).
- Huang, C. L., Tang, W. X., Gui, Y. N., et al., 1997. Huichang Yanbei-type porphyry tin deposit. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1–95 (in Chinese).
- Kerrick, R., Wyman, D. A., 1994. The mesothermal gold-lamprophyre association: significance for an accretionary geodynamic setting, supercontinent cycles, and metallogenic processes. *Mineral. Petrol.*, 51(2–4): 147–172. doi: 10. 1007/BF01159725
- Khin, Z., Peters, S. G., Cromie, P., et al., 2007. Nature, diversity of deposit types and metallogenic relations of South China. *Ore Geology Reviews*, 31(1–4): 3–47. doi: 10. 1016/j. oregeorev. 2005. 10. 006
- Li, H. L., Bi, X. W., Tu, G. C., et al., 2007. Mineral chemistry of biotite from Yanbei pluton: implication for Sn-metallogeny. *J. Mineral. Petrol.*, 27(3): 49–54 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. H., Hu, R. Z., Rao, B., 1997. Geochronology and geochemistry of Cretaceous mafic dikes from northern Guangdong, SE China. *Geochimica*, 26(2): 14–31.
- Li, Z. X., Li, X. H., Zhou, H. W., et al., 2002. Grenvillian continental collision in South China: new SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia. *Geology*, 30(2): 163–166. doi: 10. 1130/0091-7613(2002)
- Lister, G. S., Davis, G. A., 1989. The origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during Tertiary continental extension in the northern Colorado River region, U. S. A. *J. Struct. Geol.*, 11(1–2): 65–94. doi: 10. 1016/0191-8141(89)90036-9
- Liu, C. S., Ling, H. F., Xiong, X. L., et al., 1999. An F-rich, Sn-bearing volcanic-intrusive complex in Yanbei, South China. *Economic Geology*, 94(3): 325–341. doi: 10. 2113/gsecongeo. 94. 3. 325
- Liu, C. S., Shen, W. Z., Xiong, X. L., et al., 1994. Typomorphic characteristics of main rock-forming minerals in tin-bearing porphyries, Yanbei in Jiangxi. *Acta Mineralogica Sinica*, 14(1): 7–14 (in Chinese with English abstract).
- Liu, L. Q., 1995. Taoxi annular structure and its controlling on the distribution of uranium deposit from the view of remote sensing image. *Geology of Jiangxi*, 10(1): 69–74 (in Chinese with English abstract).
- Liu, X. D., Hua, R. M., 2005. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating of adularia from the Bitian gold-silver-copper deposit, Fujian Province. *Geological Review*, 51(2): 151–155 (in Chinese with English abstract).
- Ma, J. Q., 2002. Discussion on some fundamental geology problems and their studying orientation, Fujian Province. *Geology of Fujian*, 21(4): 200–205 (in Chinese with English abstract).
- Ma, J. Q., He, W. X., Feng, Z. Z., 1998. Features and origin of mesozoic bimodal volcanic rocks in Fujian Province. *Regional Geology of China*, 17(3): 241–246 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. R., Gao, Q. H., Li, Z. L., et al., 2009. Correlation of Meso-Cenozoic tectono-magmatism between SE China and Japan. *Geological Bulletin of China*, 28(7): 844–856 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. R., Tao, K. Y., Li, J. Y., et al., 2002. Geochronology and geochemical characteristics in Late Mesozoic Sifang pluton, southwestern Fujian, and their significance. *Acta Petrologica Sinica*, 18(4): 449–458 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. R., Xu, N. Z., Hu, Q., et al., 2004. The Mesozoic rock-forming and ore-forming process and tectonic environment evolution in Shanghang-Datian region, Fujian. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 285–296 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. W., Hua, R. M., Li, X. B., 1999. A preliminary study of large-scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits. *Mineral Deposit*, 18(4): 291–299 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. W., Xie, G. Q., Li, X. F., et al., 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China. *Earth Science Frontiers*, 11: 45–55 (in Chinese with English abstract).
- Mei, Y. P., Li, H. Q., Wang, D. H., et al., 2007. Rock-forming and ore-forming ages of the Yanbei porphyry tin deposit in Jiangxi Province and their geological significance. *J. China Uni. Geosci.*, 28(5): 456–461 (in Chinese with English abstract).
- Menzies, M. A., Fan, W. M., Zhang, M., 1993. Palaeozoic and Cenozoic lithoprobes and the loss of >120 km of Archaean lithosphere, Sino-Korean craton, China. *Publ. Geol. Soc. Lond.*, 76: 71–81. doi: 10. 1144/GSL. SP. 1993. 076. 01. 04
- Mitchell, A. H. G., 1996. Distribution and genesis of some epizonal Zn-Pb and Au provinces in the Carpathian-Balkan region. *Trans. Inst. Min. Metall.*, B105: 127–

- 138.
- Mitchell, A. H. G., Carlisle, J. C., 1994. Mineralization, anti-forms and crustal extension in andesitic arcs. *Geological Magazine*, 131: 231—242. doi: 10. 1017/S001675680001075X
- Pei, R. F., Qiu, X. P., Yin, B. C., et al., 1999. The explosive anomaly of ore-forming processes and superaccumulation of metals. *Mineral Deposits*, 18(4): 333—340 (in Chinese with English abstract).
- Pirajno, F., Bagas, L., 2002. Gold and silver metallogeny of the South China fold belt; a consequence of multiple mineralizing events? *Ore Geology Reviews*, 20(3—4): 109—126. doi: 10. 1016/S0169—1368(02)00067—7
- Qiu, J. S., McInnes, B. I. A., Jiang, S. Y., et al., 2005. Geochemistry of the Mikengshan pluton in Huichang County, Jiangxi Province and new recognition about its genetic type. *Geochimica*, 34(1): 20—32 (in Chinese with English abstract).
- Ren, Q. J., Hua, R. M., Qiu, J. S., 1996. Copper-gold deposits related to syntaxis type of volcanic rocks. In: Wang, D. Z., Ren, Q. J., et al., eds., *The Mesozoic volcanic-intrusive complexes and their metallogenic relations in East China*. Science Press, Beijing, 127—150.
- Shen, W. Z., Ling, H. F., 1994. Isotopic geochemical characteristics and material sources of tin-bearing granite porphyry in Yanbei and Tashan. *Acta Geoscientia Sinica*, (1—2): 117—123 (in Chinese with English abstract).
- Shen, W. Z., Wang, D. Z., Liu, C. S., et al., 1996. Characteristics and origin of the Yanbei porphyry tin deposit. *Geological Journal of Universities*, 2(1): 85—91 (in Chinese with English abstract).
- Shu, L. S., 2006. Predevonian tectonic evolution of South China; from Cathaysian block to Caledonian period folded orogenic belt. *Geol. J. China Univ.*, 12(4): 418—431 (in Chinese with English abstract).
- Sillitoe, R. H., 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region. *Aust. J. Earth Sci*, 44(3): 373—388. doi: 10. 1080/08120099708728318
- Singer, D. A., Berger, V. I., Moring, B. C., 2008. Porphyry copper deposits of the world: database and grade and tonnage models, 2008. US Geological Survey Open-File Report, 2008—1155.
- So, C. S., Zhang, D. Q., Yun, S. T., et al., 1998. Alteration-mineralization zoning and fluid inclusions of the high-sulfidation epithermal Cu-Au mineralization at Zijinshan, Fujian Province, China. *Economic Geology*, 93(7): 961—980. doi: 10. 2113/gsecongeo. 93. 7. 961
- Tao, K. Y., Mao, J. R., Xing, G. F., et al., 1999. Strong Yanshanian volcanic-magmatic explosion in East China. *Mineral Deposits*, 18(4): 316—322 (in Chinese with English abstract).
- Wan, Y. S., Liu, D. Y., Xu, M. H., et al., 2007. SHRIMP U-Pb zircon geochronology and geochemistry of metavolcanic and metasedimentary rocks in northwestern Fujian, Cathaysia block, China: tectonic implications and the need to redefine lithostratigraphic units. *Gondwana Research*, 12(1—2): 166—183. doi: 10. 1016/j. gr. 2006. 10. 016
- Wang, D. Z., Shen, W. Z., Liu, C. S., et al., 1994. Geochemical characteristics and origin of the Yanbei volcano-intrusive complex in Jiangxi Province. *Science in China (B)*, 24(5): 531—538 (in Chinese).
- Wang, D. Z., Zhou, J. C., 1999. Look back and look forward to granite research. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 161—169 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Q., Li, J. W., Jian, P., et al., 2005. Alkaline syenites in eastern Cathaysia (South China): link to Permian—Triassic transtension. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 230: 339—354. doi: 10. 1016/j. epsl. 2004. 11. 023
- Wang, Y., Ji, G. Y., Deng, J. F., 2003. Jurassic-Early Cretaceous magmatism in the Yanshan orogen: characteristics and relations with Orogenic Evolution. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 22(4): 344—349 (in Chinese with English abstract).
- Wu, F. Y., Lin, J. Q., Simon, A. W., et al., 2005. Nature and significance of the Early Cretaceous giant igneous event in eastern China. *Earth and Planetary Science Letters*, 233(1—2): 103—119. doi: 10. 1016/j. epsl. 2005. 02. 019
- Wu, F. Y., Sun, D. Y., Zhang, G. L., et al., 2000. Deep geodynamics of Yanshan movement. *Geological Journal of China Universities*, 6(3): 379—388 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G. G., Zhang, D., Chen, B. L., 1999. Relationship between crustal structure and tin mineralization in South China. *Journal of China University of Geosciences*, 10(1): 38—42.
- Xiong, X. L., Zhu, J. C., Liu, C. S., et al., 1994. Alteration zoning of the Yanbei porphyry tin deposit in Jiangxi Province and geochemical characteristics of its main altered rocks. *Mineral Deposits*, 13(1): 1—10 (in Chinese with English abstract).
- Xu, X. S., Cai, Y. F., Zhou, X. M., 2000. Studies of the Cenozoic lithospheric mantle beneath Southeast China. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 36(6): 773—779 (in Chinese with English abstract).

- Xu, X. S., O'Reilly, S. Y., Griffin, W. L., et al., 2000. Genesis of young lithospheric mantle in southeastern China; an LAM-ICPMS trace element study. *J. Petrol.*, 41 (1): 111–148. doi: 10. 1093/petrology/41. 1. 111
- Xu, X. S., O'Reilly, S. Y., Zhou, X. M., et al., 1999. Exploration for the lower crustal materials and granite genesis in Southeast China *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 217–223 (in Chinese with English abstract).
- Yu, J. H., O'Reilly, S. Y., Wang, L. J., et al., 2007a. Finding of ancient materials in Cathaysia and implication for the formation of Precambrian crust, *China Sci. Bull.*, 52 (1): 13–22 (in Chinese with English abstract).
- Yu, J. H., O'Reilly, S. Y., Zhao, L., et al., 2007b. Origin and evolution of topaz-bearing granites from the Nanling Range, South China; a geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic study. *Mineral. Petrol.*, 90(3–4): 271–300. doi: 10. 1007/s00710–006–0180–2
- Yu, J. H., Wang, L. J., Zhou, X. M., et al., 2006. Compositions and formation history of the basement metamorphic rocks in northeastern Guangdong Province. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(1): 38–48 (in Chinese with English abstract).
- Yu, J. H., Zhou, X., O'Reilly, S. Y., et al., 2005. Formation history and protolith characteristics of granulite facies metamorphic rock in Central Cathaysia deduced from U-Pb and Lu-Hf isotopic studies of single zircon grains. *Chin. Sci. Bull.*, 50(18): 2080–2089.
- Yu, J. H., Zhou, X. M., Zhao, L., et al., 2003a. Discovery and implications of granulite facies metamorphic rocks in the eastern Nanling, China. *Acta Petrol. Sinica*, 19 (3): 461–467 (in Chinese with English abstract).
- Yu, J. H., Xu, X. S., Zhou, X. M., 2003b. Late Mesozoic crust-mantle interaction and lower crust components in South China; a geochemical study of mafic granulite xenoliths from Cenozoic basalts. *Science in China*, 46 (5): 447–460.
- Zhang, D., Li, D., Zhao, Y., et al., 1991. The Zijinshan deposit; the first example of quartz-alunite type epithermal deposit in the continent of China. *Geological Review*, 37 (6): 481–491 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, D. Q., Feng, C. Y., Li, D. X., et al., 2005. The evolution of ore-forming fluids in the porphyry-epithermal metallogenic system of Zijinshan area. *Acta Geoscientia Sinica*, 26(2): 127–136 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, D. Q., Li, D. X., Feng, C. Y., et al., 2001. The temperal and spatial framework of the Mesozoic magmatic system in the Zijinshan area and its geological significance. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(5): 403–408 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, D. Q., She, H. Q., Li, D. X., et al., 2003. The porphyry-epithermal metallogenic system in the Zijinshan region, Fujian Province. *Acta Geologica Sinica*, 77 (2): 253–261 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Zhao, T. P., Wang, Y., et al., 2001. A Discussion on the Yanshanian magmatism in eastern China. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3): 273–292 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. J., Huang, C. Q., Chen, Z. L., 2000. Discussion on main features and formation mechanism of the convolutional structures of Taoxi metamorphic core complex in Wuyi mountains, South China. *Geology of Fujian*, 4: 188–196 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, G. C., Cawood, P. A., 1999. Tectonothermal evolution of the Mayuan assemblage in the Cathaysia block; implications for Neoproterozoic collision-related assembly of the South China craton. *Am. J. Sci.*, 299: 309–339. doi: 10. 2475/ajs. 299. 4. 309
- Zhao, F. Q., Jin, W. S., Gan, X. C., et al., 1995. Discussions on the characteristics of the deep crust and pre-Caledonian metamorphic basement in the Cathaysia block, southeastern China. *Acta Geoscientia Sinica*, 3: 235–245 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, J. Y., Cui, B. F., Chen, S. Z., et al., 1998a. Cryoexplosive breccia and its origin and dynamics in Hongshan, Huichang County, Jiangxi Province. *Journal of Chengdu University of Technology*, 25(2): 261–268 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, J. Y., Cui, B. F., Fang, W. B., et al., 1998b. The Bimodal volcanic rock and its tectonic setting in the eastern Zhoutian basin in Huichang, Jiangxi Province. *Volcanology & Mineral Resources*, 9(1): 12–23 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, X. M., Li, W. X., 2000. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in southeastern China; implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas. *Tectonophysics*, 326(3–4): 269–287. doi: 10. 1016/S0040–1951(00)00120–7
- Zhou, T., 1999. Tectonics and gold mineralization in East China. In: Weber, G., ed., PACRIM'99, Proceedings of International Congress on Earth Science, Exploration and Mining around the Pacific Rim. *The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Publication Series no. 99*(4): 341–345.
- Zhu, Z. S., 1990. Geological features and metallogenic type of the Yanbei tin deposit in Huichang County, Jiangxi

Province. *Mineral Deposit*, 9(4): 325—330 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 陈好寿, 1996. 紫金山铜金矿床成矿年代及同位素找矿评价研究. *大地构造与成矿学*, 20(4): 348—360.
- 陈景河, 1999. 紫金山铜金矿床成矿模式. *黄金*, 20(7): 6—11.
- 陈世忠, 周济元, 崔炳芳, 1998a. 江西红山隐爆角砾岩—斑岩型铜矿床气液包体特征及成矿物理化学条件. *火山地质与矿产*, 19(3): 205—213.
- 陈世忠, 周济元, 崔炳芳, 1998b. 江西红山隐爆角砾岩—斑岩型铜矿床的成因. *火山地质与矿产*, 19(4): 338—346.
- 陈郑辉, 王登红, 屈文俊, 等, 2006. 赣南崇义地区淘锡坑钨矿的地质特征与成矿时代. *地质通报*, 25(4): 496—501.
- 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等, 1999. 中国东部燕山期岩石圈—软流圈系统大灾变与成矿环境. *矿床地质*, 18(4): 309—315.
- 董树文, 吴锡浩, 吴珍汉, 等, 2000. 论东亚大陆的构造翘变——燕山运动的全球意义. *地质论评*, 46(1): 8—13.
- 高天钧, 黄仁生, 1998. 福建上杭紫金山矿田铜银金矿床类型及对比. *火山地质与矿产*, 19(4): 283—294.
- 郭令智, 施央申, 马瑞士, 等, 1983. 西太平洋中、新生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化. *地质学报*, 1: 11—21.
- 胡瑞忠, 毕献武, 苏文超, 等, 2004. 华南白垩—第三纪地壳拉伸与铀成矿的关系. *地学前缘*, 11(1): 153—160.
- 华仁民, 陆建军, 陈培荣, 等, 2002. 中国东部晚中生代斑岩—浅成热液金(铜)体系及其成矿流体. *自然科学进展*, 12(3): 240—244.
- 华仁民, 毛景文, 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发. *矿床地质*, 18(4): 300—307.
- 黄常立, 唐维新, 桂永年, 等, 1997. 会昌岩背式斑岩锡矿. 武汉: 中国地质大学出版社, 1—95.
- 李鸿莉, 毕献武, 涂光炽, 等, 2007. 岩背花岗岩黑云母矿物化学研究及其对成矿意义的指示. *矿物岩石*, 27(3): 49—54.
- 李献华, 胡瑞忠, 饶冰, 1997. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学. *地球化学*, 26(2): 14—31.
- 刘昌实, 沈渭洲, 熊小林, 等, 1994. 江西岩背含锡斑岩主要造岩矿物标型特征. *矿物学报*, 14(1): 7—14.
- 刘林清, 1995. 从遥感图像看桃溪环形构造及其对铀矿分布的控制. *江西地质*, 10(1): 69—74.
- 刘晓东, 华仁民, 2005. 福建碧田金银铜矿床冰长石的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄. *地质论评*, 51(2): 151—155.
- 马金清, 2002. 福建若干基础地质问题及研究方向探讨. *福建地质*, 21(4): 200—205.
- 马金清, 何文兴, 冯宗帜, 1998. 福建省中生代双峰式火山岩

的特征及成因. *中国区域地质*, 17(3): 241—246.

- 毛建仁, 高桥浩, 厉子龙, 等, 2009. 中国东南部与日本中新世代构造—岩浆作用对比研究. *地质通报*, 28(7): 844—856.
- 毛建仁, 陶奎元, 李寄嶕, 等, 2002. 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. *岩石学报*, 18(4): 449—458.
- 毛建仁, 许乃政, 胡青, 等, 2004. 福建省上杭—大田地区中与构造环境演化. *岩石学报*, 20(2): 285—296.
- 毛景文, 华仁民, 李晓波, 1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区. *矿床地质*, 18(4): 291—299.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等, 2004. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展. *地学前缘*, 11: 45—55.
- 梅玉萍, 李华芹, 王登红, 等, 2007. 江西岩背斑岩锡矿的成矿时代及其地质意义. *地球学报*, 28(5): 456—461.
- 裴荣富, 邱小平, 尹冰川, 等, 1999. 成矿作用爆发异常及巨量金属堆积. *矿床地质*, 18(4): 333—340.
- 邱检生, McInnes, B. I. A., 蒋少涌, 等, 2005. 江西会昌密坑山岩体的地球化学及其成因类型的新认识. *地球化学*, 34(1): 20—32.
- 沈渭洲, 凌洪飞, 1994. 岩背和塌山含锡花岗岩斑岩的同位素地球化学特征和物质来源. *地球学报*, (1—2): 117—123.
- 沈渭洲, 王德滋, 刘昌实, 等, 1996. 岩背斑岩锡矿特征和成因. *高校地质学报*, 2(1): 85—91.
- 舒良树, 2006. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带. *高校地质学报*, 12(4): 418—431.
- 陶奎元, 毛建仁, 邢光福, 等, 1999. 中国东部燕山期火山—岩浆大爆发. *矿产地质*, 18(4): 316—322.
- 王德滋, 沈渭洲, 刘昌实, 等, 1994. 江西岩背火山侵入杂岩的地球化学特征和成因. *中国科学(B辑)*, 24(5): 531—538.
- 王德滋, 周金城, 1999. 我国花岗岩研究的回顾与展望. *岩石学报*, 15(2): 161—169.
- 汪洋, 姬广义, 邓晋福, 2003. 燕山地区侏罗纪—白垩纪岩浆活动特征及其与造山演化的关系. *矿物岩石地球化学通报*, 22(4): 344—349.
- 吴福元, 孙德有, 张广良, 等, 2000. 论燕山运动的深部地球动力学本质. *高校地质学报*, 6(3): 379—388.
- 熊小林, 朱金初, 刘昌实, 等, 1994. 江西岩背斑岩锡矿蚀变分带及其主要蚀变岩的地球化学特征. *矿床地质*, 13(1): 1—10.
- 徐夕生, 蔡元峰, 周新民, 等, 2000. 中国东南部新生代岩石圈地幔研究. *南京大学学报(自然科学)*, 36(6): 773—779.
- 徐夕生, O'Reilly, S. Y., 周新民, 等, 1999. 中国东南部下地壳物质与花岗岩成因探索. *岩石学报*, 15(2): 217—223.
- 于津海, 徐夕生, 周新民, 2002. 华南沿海基性麻粒岩捕虏体

的地球化学研究和下地壳组成. 中国科学, 32(5): 383—393.

于津海, 周新民, 赵蕾, 等, 2003a. 南岭东段麻粒岩相变质岩的发现及其地质意义. 岩石学报, 19(3): 461—467.

于津海, 周新民, O'Reilly, S. Y., 等, 2005. 南岭东段基底麻粒岩相变质岩的形成时代和原岩性质——锆石的 U-Pb-Hf 同位素研究. 科学通报, 50(16): 1758—1767.

于津海, 王丽娟, 周新民, 等, 2006. 粤东北基底变质岩的组成和形成时代. 地球科学——中国地质大学学报, 31(1): 38—48.

于津海, O'Reilly, S. Y., 王丽娟, 等, 2007a. 华夏地块古老物质的发现和前寒武纪地壳的形成. 科学通报, 52(1): 11—18.

张德全, 丰成友, 李大新, 等, 2005. 紫金山地区斑岩—浅成热液成矿系统的成矿流体演化. 地球学报, 26(2): 127—136.

张德全, 李大新, 丰成友, 等, 2001. 紫金山地区中生代岩浆系统的时空结构及其地质意义. 地球学报, 22(5): 403—408.

张德全, 李大新, 赵一鸣, 等, 1991. 福建紫金山矿床——我国

首例石英—明矾石型浅成低温热液铜—金矿床. 地质论评, 37(6): 481—491.

张德全, 余宏全, 李大新, 等, 2003. 紫金山地区的斑岩—浅成热液成矿系统. 地质学报, 77(2): 253—261.

张旗, 赵太平, 王焰, 等, 2001. 中国东部燕山期岩浆活动的几个问题. 岩石矿物学杂志, 20(3): 273—292.

张顺金, 黄昌旗, 陈泽霖, 等, 2000. 华南武夷山区桃溪旋卷变质核杂岩构造的基本特征及形成机制探讨. 福建地质, 19(4): 188—196.

赵凤清, 金文山, 甘晓春, 等, 1995. 华夏地块前加里东期变质基底的特征以及深部地壳性质. 地球学报, 3: 235—245.

周济元, 崔炳芳, 陈世忠, 等, 1998a. 江西会昌红山隐爆角砾岩筒及其成因和动力学. 成都理工学院学报, 25(2): 261—268.

周济元, 崔炳芳, 方文碧, 等, 1998b. 江西会昌周田盆地东侧双峰式火山岩及其构造环境. 火山地质与矿产, 9(1): 12—23.

朱正书, 1990. 江西会昌岩背锡矿床地质特征及矿床类型的划分. 矿床地质, 9(4): 325—330.

\*\*\*\*\*

## 《地球科学——中国地质大学学报》

### 2011 年 第 36 卷 第 1 期 要目预告

四川盆地东部黄龙组碳酸盐岩储层沉积—成岩系统 .....	文华国等
鄂尔多斯盆地延长组火山灰沉积物岩石地球化学特征 .....	邱欣卫等
近临界特性的地层水及其对烃源岩生排烃过程的影响 .....	郑伦举等
汶川震区映秀镇“8·14”特大泥石流灾害调查 .....	唐川等
长期低温模拟实验下松柏萜类化合物的早期演化特征 .....	秦身钧等
影响油包裹体均一温度的主要控制因素及其地质涵义 .....	平宏伟等
琼东南盆地深水构造格局和幕式演化过程 .....	雷超等
准噶尔盆地腹部断裂控油的物理模拟实验及其成藏意义 .....	丁文龙等
咸水湖泊沉积物中正构烷烃及其氢同位素组成与成因 .....	段毅等