

东南沿海燕山期火山活动旋回划分及其成矿规律

余明刚, 洪文涛, 杨祝良, 段政, 褚平利, 陈荣, 曹明轩

YU Minggang, HONG Wentao, YANG Zhuliang, DUAN Zheng, CHU Pingli, CHEN Rong,
CAO Mingxuan

中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016

Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China

摘要:中国东南部中生代受古太平洋板块俯冲的影响,火山作用强烈,在东南沿海地区形成巨型火山-侵入杂岩带。根据火山岩组合特征、火山岩时空分布规律、区域不整合、构造背景及其成矿作用类型,分为4个旋回:第Ⅰ旋回(200~165 Ma),为一套近EW向的拉斑玄武岩-流纹质火山岩构成的双峰式火山岩,其中的玄武岩主要起源于软流圈地幔,形成于印支造山后板内伸展环境,该时期成矿作用较微弱。第Ⅱ旋回(165~145 Ma),处于陆缘弧由俯冲挤压高峰期向挤压后的伸展过渡时期,零星分布钙碱性系列英安质-安山质岩石组合,伴生浅成低温热液型金矿和叶腊石等非金属矿产。第Ⅲ旋回(145~115 Ma),华南进入古太平洋板块俯冲挤压后的伸展阶段,发生遍及全区的强烈火山活动,形成诸多大型火山机构和面积高钾钙碱性系列流纹质-安山质火山岩组合,是中生代活动最强、影响范围最大的一期火山活动,伴生有丰富的金属、非金属、稀土矿产,矿床类型以浅成低温热液型为主。第Ⅳ旋回(115~85 Ma),火山活动相对微弱,并向东迁移至沿海地区,与A型花岗岩带共生,为一套后造山环境下的双峰式火山岩、过碱性流纹岩,晚期往往伴随大规模碎斑熔岩侵入,此阶段形成丰富的金属和明矾石、叶腊石等非金属矿产,以浅成低温热液型为主,斑岩型次之。

关键词:火山活动旋回;成矿作用;燕山期;东南沿海

中图分类号:P534.5;P588.14 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2021)06-0845-19

Yu M G, Hong W T, Yang Z L, Duan Z, Chu P L, Chen R, Cao M X. Classification of Yanshanian volcanic cycle and the related mineralization in the coast area of southeastern China. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(6): 845-863

Abstract: Subduction of the Paleo-Pacific plate in Late Mesozoic resulted in intense volcanism and the formation of giant volcano-intrusive complex in the coastal area of southeastern China. Based on the rock association, time-space distribution, regional unconformity, tectonic background and mineralization type, the volcanic activities can be classified into four cycles. The first cycle (200~165 Ma) is represented by a set of nearly EW-trending bimodal volcanic rocks consisting of tholeiitic basalt and rhyolite. The basalt was mainly originated from asthenospheric mantle under the Indosinian post-tectonic plate extensional environment. During this period, the mineralization was weak. The second cycle (165~145 Ma) is the transition from peak compression to extension of epicontinental arc because of subduction, represented by the scattered calc-alkaline series andesitic dacite with association of low-temperature hydrothermal gold deposits and other non-metallic deposits, such as pyrophyllite. The third cycle (145~115 Ma) reflects extension stage of South China after subduction of paleo-Pacific plate, in which large areas of volcanic rocks consisting of high potassium calc-alkaline series rhyolite and dacite were formed in Mesozoic due to intensive volcanism. It was associated with abundant metallic, nonmetallic and rare earth minerals, dominated by hydrothermal type. In the fourth cycle (115~85 Ma), volcanism weakened and migrated toward east to the

收稿日期:2020-03-01;修订日期:2020-05-29

资助项目:中国地质调查局项目《全国陆域及海区地质图件更新与共享》(编号:DD20190373)、《中国大地构造演化和国际亚洲大地构造图编制》(编号:DD20190361)和《国家地质数据库建设与整合》(编号:DD20179384)

作者简介:余明刚(1978-),高级工程师,从事华南火山岩和区域大地构造研究。E-mail:402610622@qq.com

coastal area, dominated by the central eruption accompanied by A-type granite. It is a set of bimodal volcanic rocks with peralkaline rhyolite in the post-orogenic environment and developed porphyroclastic lava in the late period. In this stage, abundant metals and non-metallic minerals such as alunite and phyllite were formed, and the epithermal hydrothermal type was dominant, followed by porphyry type.

Key words: volcanic cycle; mineralization; Yanshanian; the coast area of southeastern China

中国东南沿海地区中生代岩浆活动强烈,形成大规模的晚中生代火山-侵入杂岩带(图1),是环太平洋火山-侵入岩带的重要组成部分。该带大致以赣江断裂为界,以西主要出露花岗岩,以东火山岩遍布苏、浙、闽、赣、粤、琼诸省,构成长约1200 km、宽约500 km的中生代火山岩带,以酸性火山岩占绝对优势(约85%),中-基性火山岩含量很少(约15%)^[1-5]。火山活动时代具有自南(南西)向北(北东)和自西(大陆内侧)向东(沿海)变年轻的迁移规律;下扬子区主要为橄榄玄粗岩系^[6];闽浙地区主要为酸性岩类流纹岩系^[7-8],而在南岭地区主要为英安岩-流纹岩系^[9]。

另外,东南沿海地区矿产资源丰富,是中国探明金属矿产资源最丰富的地区之一,燕山期火山岩浆活动形成了大量的铜、金、银、铅、锌、锡、铀等金属矿产和高岭土、沸石、萤石、膨润土、叶腊石、珍珠岩、凹凸棒石等非金属矿产,以及镓、铍、锂、钨、稀土等关键矿产,这些矿产与燕山期火山活动密切相关,因此被称为“中国东部晚中生代火山岩浆-成矿大爆发”^[10-13]。研究区中生代以来的大地构造演化得到了广泛的研究,但仍存在较大争议,如左旋走滑断层和大陆裂谷模式^[14]、岩石圈伸展与软流圈地幔上涌^[15]、中生代开始的整个中国东海岸裂谷^[16]、中生代地幔柱上升^[17-18]、阿尔卑斯型大陆碰撞模式^[19]、古太平洋俯冲板块对亚欧板块的俯冲消减^[20-25]等。目前,大多数学者认可古太平洋板块对欧亚板块的俯冲作用才是中国东南部晚中生代大规模岩浆活动的根本动力学机制,但对不同阶段火山活动与成矿作用特征及其构造背景的研究还有待加强。

1 火山活动旋回划分及其依据

本文在前人研究的基础上,根据火山活动旋回划分的基本准则,并结合近年最新研究成果,根据不同时期火山岩年龄、岩石类型与组合、构造属性、区域不整合面、成矿规律等的差异,将东南沿海火山岩划分为4期。通过东南沿海中生代火山活动旋回划分与对比研究(图1;表1),揭示东南沿海燕山期不同阶段火山岩成因演化、构造背景与成矿的差

异,并对燕山期成矿火山活动与成矿作用的规律及其形成的构造背景进行了探讨。本文讨论时选用近年发表的高精度、可靠的年龄数据,主要采用TIMS、SHRIMP、ICP-MS 锆石 U-Pb、Ar-Ar、K-Ar、Re-Os 法等获得,且数据主要来源于层型剖面、岩体或矿体,主要依据区域不整合面、岩石构造背景组合,结合年龄数据,将火山活动旋回划分为4期,划分依据如下。

华南早中生代火山岩带的空间展布受近EW向构造控制,而晚中生代以后火山岩带受NE—NNE向构造控制,明显反映出中生代发生过构造体制大转折。同时,华南大范围缺失中—晚侏罗世沉积地层(表1),并伴随着强烈挤压隆升作用,产生了广泛的区域不整合面、变质变形、推覆构造等,这与华北燕山运动表现可以对比^[26]。因此,早侏罗世EW向展布的火山岩因岩石组合类型、构造背景不同于NE—NEE向火山岩,归入第I火山活动旋回。

中—晚侏罗世(J_{2-3} , 165~145 Ma),是华南中生代火山活动微弱的时期,属于陆缘弧由俯冲挤压高峰期向挤压后的伸展阶段过渡时期,火山岩仅局部出现,主要沿余姚—丽水—政和—大埔、钦州—杭州等大断裂带分布,为安山岩—英安岩—流纹岩组合,与晚中生代大面积分布的双峰式火山岩不同,为分属不同区域、不同构造阶段的产物^[26-27],将此归为第II火山活动旋回。

晚中生代(145~85 Ma)以来,华南大面积出露火山—沉积地层,可划分为上、下火山岩系,其中下火山岩系出露最广,形成于区域隆升的古构造地理背景,与下伏前中生代或中侏罗世地层呈角度不整合接触(即兰江运动)^[28-29];上、下火山岩系之间也存在区域性不整合面^[1-3],代表了区域上一次重要的构造事件,即李四光先生命名的“闽浙运动”^[30]。因而本文将上、下火山岩系对应的旋回划分为第III、第IV火山活动旋回(表1)。

2 第I火山活动旋回(200~170 Ma)

2.1 岩石构造组合特征及时序

第I火山旋回时中国东南部进入古特提斯构

表 1 东南沿海中生代火山-沉积地层对比

Table 1 Comparison of Mesozoic volcanic-sedimentary strata in southeastern coastal area

火山旋回	地层区 (一级)	东 南 地 层 区																	
	地层区 (二级)	下扬子分区			江 南 分 区			湘桂赣分区			武 夷 — 沿 海 地 层 分 区								
	地质年代 (三级)	赣东北			皖南			浙西北			赣中、南			闽 西	闽 中	闽 东	浙 东	粤 中	
IV	白	65.5 Ma																	
		晚																	
	垩	99.6 Ma	龟峰组	莲荷组 塘边组 河口组	小岩组	衢江组	衢县群 金华组 中戴组	龟峰组	莲荷组 塘边组 河口组	崇安组 沙县组 均口组	石牛山组	小雄组	叶塘组 南雄组 优胜组						
		115 Ma	赣州群	周口组 茅店组	齐云山组 徽州组	永康群	壳山组 方岩组 朝川组 馆头组	赣州群	周口组 茅店组	石帽山组	石帽山群	黄坑组	永康群	壳山组 方岩组 朝川组 馆头组	含水组 官草湖组				
III	纪	早	火把山群	冷水坞组 石溪组	岩塘组	建德群	横山组 寿昌组	火把山群	冷水坞组 石溪组	吉山组 坂头组 下渡组	小溪组	九里坪组 茶湾组 西山头组 高坞组	高基坪群	南山村组 水底山组 热水?组					
		145.5 Ma	武夷群	鹅湖岭组 打鼓顶组	石岭组 炳丘组		黄尖组 劳村组	鸡笼峰组	南园组	南园组	南园组	大爽组							
	侏罗	晚								长林组	长林组								
		161.2 Ma		冷水坑 火山岩															
II	中																		
		175.6 Ma																	
I	早		漳平组	洪琴组	渔山涧组	罗垵组	漳平组	漳平组	漳平组	漳平组	漳平组	漳平组	漳平组						
	199.6 Ma		水北组 多江组	月潭组	马涧组 王沙溪组	菖蒲组 龙潭坑组	藩坑组 下村组	梨山组	毛弄组 枫坪组	桥源组 嵩灵组									

福建藩坑组类似,江西赣南菖蒲组(余田群下部)火山岩亦主要为一套由拉斑玄武岩和斜长流纹岩组成的双峰式火山岩组合,主要分布于赣南龙南、寻邬、东坑等盆地,其中,寻邬盆地中菖蒲组玄武岩时代为 176~172.7 Ma^[45-47]。龙南地区东坑盆地余田群最下部玄武岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 194.4±2 Ma,菖蒲盆地余田群最上部玄武岩的年龄为 191.9±2.2 Ma^[48]。另外,赣中地区安塘组橄榄玄武岩⁴⁰Ar-³⁹Ar 法测得年龄为 168 Ma^[49];在福建政和铁山地区也测得流纹质熔结凝灰岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 173.6±0.8 Ma^[50],属中侏罗世火山活动的产物。值得注意的是,福建藩坑组和赣南菖蒲组均分布在闽西—赣南 EW 向盆地群中,认为该带属大陆内部裂谷带^[14, 36]。

2.2 火山活动与成矿作用

早侏罗世火山-成矿作用最典型的为广东梅州兴宁与层状基性超基性杂岩体相关的结晶分异型钒钛磁铁矿矿床,霞岗杂岩体辉长岩全岩+单矿物

(辉石+斜长石) Rb-Sr 等时线年龄为 178.7±3.9 Ma^[31],其他学者测得矿体围岩辉长岩和花岗岩锆石 SHRIMP 年龄分别为 195~194 Ma、196~195 Ma^[37, 51],表明该矿体的成矿时代为早侏罗世。

藩坑组也是锡、钨、钼、铜矿的赋矿层位,永定县遥子崇锡矿即产于藩坑组火山岩中。永定山口钼铜金属矿属于早侏罗世火山喷发-沉积型的中高温热液型矿床,产于岩体外围,矿体主要以细脉状赋存于早侏罗世藩坑组火山岩及火山碎屑沉积岩中^[52],其矿石中辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 165.3±3.5 Ma^[53]。与双峰式火山岩有关的铌钽矿有福建永定大坪铌钽矿和上下湖铌钽多金属矿,其中大坪钽矿中钽为特大型规模,铌为中型矿床规模,钨为超大型规模,它们的赋矿岩石均为早侏罗世潜火山岩相碱长花岗斑岩,成矿时代为早侏罗世^[54-55],具有斑岩型矿床的基本特点^[56]。

江西德兴银山铅锌铜矿属于火山-次火山热液矿床,与铅锌银矿化、铜金矿化有关的流纹质石英

表 2 东南沿海中生代火山活动特征与成矿规律
Table 2 Mesozoic volcanic activity and the related mineralization in southeastern coastal area

地层	岩性	测试方法	年龄/Ma	地点	参考文献
毛弄组	英安质晶屑凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	180±4	浙江松阳	[40]
	英安质晶屑凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	177.4±1	浙江松阳	[41]
	流纹英安岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	176.0±1.2	浙江庆元	[42]
	流纹质弱熔结凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	169.1±3.3	浙江庆元	[42]
藩坑组	玄武岩	全岩 Rb-Sr	177	福建永定	[32]
	玄武岩	Re-Os	175±3	福建永定	[43]
	玄武岩	锆石 U-Pb	170±0.8	福建永定	[44]
菖蒲组	玄武岩	全岩 Rb-Sr	178±7.2	江西龙南	[46]
	玄武岩	全岩 Rb-Sr	173.7±2.5	江西龙南	[45]
	玄武岩	K-Ar	172.7±3.3	江西寻邬	[47]
	流纹岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	195.2±2.8	菖蒲盆地	[38]
	玄武岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	191.9±2.2	菖蒲盆地	[48]
	玄武岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	194.4±2.0	龙南盆地	[48]
	流纹岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	191.0±1.7	龙南盆地	[38]
	流纹岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	183.2~188.3	龙南盆地	[39]
	上部流纹岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	190.9±2.4	东坑盆地	[39]
	中部流纹岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	188.4±2.0	东坑盆地	[39]
	中部凝灰质粉砂岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	193±54	东坑盆地	[39]
	流纹质晶屑凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	173.6±0.8	福建政和	[50]
安塘组	橄榄玄武岩	全岩 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	168±0.3	江西吉安	[49]
梅州霞岚	花岗岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	196±2	粤北梅州	[37]
钒钛磁铁矿	辉长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	195±1	粤北梅州	[37]
	辉长岩	Rb-Sr 等时线法	178.71±3.9	粤北梅州	[32]
永定山口钨矿	辉钨矿	Re-Os 等时线法	165.3±3.5	福建省永定	[53]
德兴银山	流纹质石英斑岩锆石	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	181.3±2.1	江西德兴	[57]
铅锌铜矿	英安斑岩和石英斑岩	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	180~175	江西德兴	[58]

斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 181.3±2.1 Ma^[57], 蚀变英安斑岩和石英斑岩绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 法测得年龄分别为 179.6~178.2 Ma 和 176.6~175.4 Ma, 表明银山多金属矿床铜金矿化的成矿时代为 180~175 Ma^[58]。

总体看, 矿床基本产在早侏罗世藩坑组玄武岩(安山岩)-流纹岩组合的岩石中。双峰式组合中微量元素 W、Sn、Mo、Cu、Pb、Zn 等含量较高, 对应已发现的钨、铜、钼、铌钽等矿床, 如永定大坪钨铌矿、永定上下湖铌钽矿、永定山口钨铜金属矿等, 表明该时期双峰式火山活动与铜、钼、钨、锡/铌钽等成

矿关系密切。此外, 霞岚钒钛磁铁矿也是该时期的重要矿床之一, 与双峰式火山活动关系微弱, 属于岩浆晚期结晶分异型矿床。

3 第Ⅱ火山活动旋回(165~145 Ma)

3.1 岩石构造组合特征及时序

第Ⅱ火山旋回时东南沿海总体进入古太平洋构造域演化阶段, 属于陆缘弧由俯冲挤压高峰期向挤压后的伸展阶段过渡时期^[26, 59-60]。该时期是东南部中生代火山活动微弱的时期, 火山岩仅局部出现, 时代集中在 165~145 Ma(表 3), 为高钾钙碱性

表 3 第 II 火山活动旋回成岩、成矿同位素年龄

Table 3 Rock-forming and Ore-forming ages in the second volcanic activity cycle

地层	岩性	测试方法	年龄/Ma	地点	参考文献
南园组	安山岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	162.3±3.7	福建福安社口	[26]
	流纹质晶屑凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	149.8±4.5	福建福安社口	[26]
	碎斑熔岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	148~150.7	福建镇前地区	[61]
	安山岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	150.9±1.1	浙西寿昌周村	[62]
	流纹质熔结凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	154.9±5.5	浙江丽水地区	[63]
	流纹质熔结凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	152.0±7.0	浙江丽水地区	[63]
	流纹岩	锆石 U-Pb 法	158±0.2	江西相山	[64]
	火山-侵入杂岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	165~146	香港地区	[69]
兜岭群	英安岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	145~168	广东丰顺盆地	[68]
江西冷水坑 银铅锌矿	流纹质熔结凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	160.8±1.9	天华山盆地	[65]
	流纹质熔结凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	146.6±2.2	天华山盆地	[65]
	晶屑凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	157.8±1.6	天华山盆地	[66]
	晶屑凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	157.2±1.5	天华山盆地	[66]
	晶屑凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	158.2±1.8	天华山盆地	[66]
	矿体底板晶屑凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	161.3±1.3	天华山盆地	[27]
	矿体顶板晶屑凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	160.58±0.9	天华山盆地	[27]
	含矿花岗斑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	162.0±2.0	天华山盆地	[67]
	含矿花岗斑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	162±2	天华山盆地	[74]
	含矿花岗斑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	162±2	天华山盆地	[74]
	闪锌矿	Rb-Sr 同位素	126.9±7.1	天华山盆地	[73]
	花岗斑岩	绢云母 Ar-Ar 法	162.8±1.6	天华山盆地	[70]
福建东洋 金矿	流纹斑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	160.1±1.6	福建德化东洋	[81]
	黄铁矿	Rb-Sr 法	164.2±9.9	福建德化东洋	[81]
粤东鸿沟山金矿	含矿流纹斑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	169.1±1.5	粤东鸿沟山	[83]

系列安山岩-英安岩-流纹岩组合,同时代侵入活动强烈,以出现南岭地区过铝质花岗岩为特色。

该期火山岩主要沿政和-大埔、钦杭深大断裂带及其沿线展布,火山岩分布面积小,但近年来各省陆续均有发现,主要出露于福建福安社口、广东丰顺盆地、江西冷水坑等地。福安市社口剖面下部火山岩主要为安山岩和英安岩,利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法测得其底部时代为 162.3±3.7 Ma,顶部流纹质晶屑凝灰岩时代为 149.8±4.5 Ma^[26,60];福建政和县镇前地区火山岩锆石 U-Pb 年龄为 150~148 Ma^[61];在浙江也发现晚侏罗世火山岩,如浙西地区寿昌盆地存在时代为 151 Ma 的凝灰熔岩,浙东南巍山镇获得火山岩时代为 155 Ma^[62];浙江丽水流纹质晶屑凝灰岩的

SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 154.9±5.5 Ma, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 152±7 Ma^[63]。江西相山地区也报道流纹岩时代为 158 Ma^[64],江西冷水坑与成矿有关的晶屑凝灰岩形成时代为 157~161 Ma^[65-67]。此外,广东丰顺盆地兜岭群火山岩的锆石 U-Pb 年龄为 168~145 Ma^[68],香港火山-侵入杂岩的年龄为 165~146 Ma^[69]。上述年龄数据均表明,晚侏罗世的火山活动较弱,火山活动产物零星分布,它们形成时代集中于 160~145 Ma,邢光福等^[26]认为,它们与大规模喷发的第 III 旋回火山活动形成于不同的构造背景,应属不同旋回,两者时代间隔(149.8~142.3 Ma)即为特提斯构造体制最终结束的时限,从此华南进入太平洋构造域体制。

3.2 火山活动与成矿作用

第Ⅱ旋回火山活动微弱,但在东南沿海该期成矿作用却比较显著,代表性的有江西冷水坑银铅锌矿田中大型-超大型矿床。以往认为是典型的斑岩型矿床^[70],但近年随着“晶屑凝灰岩+陆相湖泊沉积碳酸盐”含矿建造发现^[71-72],表明冷水坑矿田既有斑岩型矿床,也有火山沉积-热液改造型矿床^[73]。冷水坑与成矿有关的火山岩形成时代为161~157 Ma,含矿花岗斑岩形成时代为168~155 Ma^[74],花岗斑岩中绢云母的 Ar-Ar 年龄为 162.8 ± 1.6 Ma^[70],与冷水坑火山岩和含矿斑岩活动时间一致,闪锌矿 Rb-Sr 同位素年龄为 127 Ma^[73],代表了冷水坑矿田晚期阶段的矿化,表明冷水坑有多期矿化。

与该旋回火山活动有关的陆相火山-次火山岩型金银矿主要集中分布于被誉为福建“金三角”的尤溪-德化-永泰金矿成矿远景区,矿体产于长林组砂岩或南园组火山碎屑岩中,以永泰岭头坪金矿、德化邱村金矿、德化东洋金矿为典型矿床,尤溪寨头、永泰长潭、安村、青云山、石头坂、淳湖、前洋、仙公寨、漂头、下坂等为小型矿床(矿点)^[75-77]。

晚侏罗世火山-沉积地层是金、银、铅、锌、铜、铁及钨矿的赋矿层位,如德化扶枫林金矿和德化青云山铜金矿,矿体均赋存于晚侏罗世长林组砂岩中,属于中低温热液型^[78-79]。德化东洋金矿矿体主要赋存于流纹斑岩,属于大型浅成低温热液型金矿,流纹斑岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 160 Ma,黄铁矿 Rb-Sr 年龄为 164 Ma^[80-81]。另外,在粤东鸿沟山,金等多金属矿属于热液充填交代为主的脉状矿床,是极具找寻金矿潜力的矿床之一,矿体主要赋存于流纹斑岩,其流纹斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 169.1 ± 1.5 Ma^[82-83]。

与晚侏罗世火山岩有关的代表性银矿有福清下溪底银矿床、乌寨尖银矿、闽北香炉坪银金矿和岭头坪铅锌金银矿。福清下溪底银矿床的主要含矿围岩为钾纹质熔结凝灰岩^[84-85],乌寨尖银矿含矿层位为流纹质火山碎屑岩^[85];闽北香炉坪银金矿达中型规模,矿体产在流纹质凝灰岩中^[86];岭头坪铅锌金银多金属矿产于中酸-酸性火山碎屑岩的夹层中^[87]。它们主要成矿物质均来源于火山热液及火山期后热液,属于中低温火山热液矿床。

火山热液型铅锌矿床代表性矿床有福建大岭

口银铅锌矿、莆田泗洋铅锌矿,矿体赋存于南园组火山岩、火山碎屑岩中^[88-89]。莆田泗洋铅锌矿矿体产于中酸-酸性火山碎屑岩中,矿体呈透镜状、脉状,受断裂构造、火山环状构造控制,成矿与中生代岩浆侵入及火山活动紧密相关,为中低温岩浆-火山热液型矿床^[89]。代表性的钼矿有松溪大林坑钼多金属矿床,矿体产于大林坑破火山中的南园组火山岩的裂隙和放射状断裂中,成矿作用与隐伏中酸性(偏碱性)斑岩关系密切,属于火山热液-斑岩型矿床成因类型^[90]。

此外,与第Ⅱ旋回火山活动相关的还有叶腊石、萤石、明矾石等非金属矿产,如建瓯井后、福州寿山、峨眉、寿宁叶腊石矿床,福建将乐县常口萤石矿等。建瓯井后叶腊石属特大型矿床,为目前中国探明的最大叶腊石矿床,具有火山期后热液对火山碎屑岩选择性交代的层位控矿特征,矿体主要赋存于南园组第二、四段中^[91]。

上述事实表明,第Ⅱ旋回火山岩分布局限且活动微弱,但成矿活动强烈,有巨大的成矿潜力。总体看,该期火山活动时代集中在 165~145 Ma,矿床形成时代集中于 160~150 Ma,形成浅成低温热液型金、银(铜、铅、锌)多金属矿床及叶腊石等非金属矿床,代表性矿床有闽中德化邱村金矿、江西冷水坑银铅锌矿、建瓯井后叶腊石矿等。

4 第Ⅲ火山活动旋回(145~115 Ma)

4.1 火山活动时空分布规律

第Ⅲ火山旋回时东南沿海地区进入古太平洋板块俯冲挤压后的伸展阶段,发生遍及全区的强烈火山活动,时代集中在 145~115 Ma(表4),形成数以百计的大型火山机构,岩性构造组合为活动陆缘碰撞后 NE 向区域伸展型高钾钙碱性系列玄武岩-流纹质火山岩构成的双峰式岩石组合、大面积高钾钙碱性英安质-流纹质-高硅流纹质岩石组合,其中玄武岩主要起源于岩石圈地幔^[62, 92-93]。第Ⅲ旋回火山活动的产物在浙东地区称为磨石山群,浙西地区称为建德群,福建为长林组、南园组和小溪组(表1),广东为高基坪群^[28-29, 94]。

浙东磨石山群由下至上分别为大爽组、高坞组、西山头组、茶湾组和九里坪组,其中,大爽组以火山碎屑岩为主,夹中、酸性熔岩和火山碎屑沉积岩;高坞组主要为一套厚层块状的中酸性熔结凝灰

表 4 第Ⅲ火山活动旋回成岩、成矿同位素年龄统计表
Table 4 Rock-forming and Ore-forming ages of in the third volcanic activity cycle

地层	岩性	测试方法	年龄/Ma	地点	参考文献
建德群	火山碎屑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	140~115	浙西寿昌	[62]
磨石山群	火山碎屑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	143.1~126.2	浙江庆元	[95]
	火山碎屑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	140~120	浙江天台	[41]
	火山碎屑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	139.5~126.2	浙江天台	[41]
南园组	双峰式火山岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	142.3~130.1	仙游园庄	[60]
	玄武岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	143~130	德化石牛山	[68]
	熔结凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	145~139	德化、闽清	[41]
	流纹质熔结凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	143.1±0.8	福建寿宁	[95]
	流纹质熔结凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	140.1±1.0	福建周宁	[95]
	流纹质熔结凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	126.2±1.7	福建寿宁	[95]
小溪组	流纹岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	130~127	柘荣, 福建	[41]
打鼓顶组	安山岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	136.04±0.7	贵溪蔡家桥	[98]
	安山岩、凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	144~142	天华山盆地	[97]
鹅湖岭组	熔结凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	140~137	天华山盆地	[97]
	流纹岩、安山岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	142.2~139.9	天华山盆地	[96]
	凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	136.6~129	天华山盆地	[96]
	流纹质英安斑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	136.6~134.8	相山盆地	[102]
	碎斑熔岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	135.3~132.4	相山盆地	[103]
	粗面岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	137.0±0.9	石溪盆地	[104]
	流纹质熔结凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	138.0±2.4	仙霞岭盆地	[105]
	凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	142.5±1.3	版石盆地	[106]
鸡笼嶂组	流纹岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	131.4±1.3	版石盆地	[106]
	流纹岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	130.8±0.7	蔡坊盆地	[107]
	粗面岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	137.0±0.94	石溪盆地	[108]
	粗面岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	141.6±0.6	三百山盆地	[108]
	粗面岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	135.4±1.5	大长沙盆地	[108]
	凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	140±4	安远县	[26]
	流纹英安岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	135.1±1.7	相山盆地	[100]
相山矿田	流纹英安斑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	134.8±1.1	相山盆地	[100]
	碎斑流纹岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	134.6±1.0	相山盆地	[115]
	流纹质英安斑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	134.1±1.0	相山盆地	[115]
	闪锌矿	Rb-Sr 等时线	121.0±3.5	相山盆地	[121]
岩背锡矿	全岩	Rb-Sr 等时线	128.1±3.3	江西岩背	[131]
	石英矿物	Rb-Sr 等时线	125.5±6.1	江西岩背	[131]

岩;西山头组为一套中酸性火山岩(少量玄武岩)夹火山碎屑沉积岩组合;茶湾组主要为一套火山碎屑沉积岩夹少量火山岩。浙西建德群出露于若干个

小盆地中,由下而上分为劳村组、黄尖组和寿昌组,其中,劳村组主要为一套凝灰质砂岩夹火山岩,黄尖组主要为一套流纹质熔结凝灰岩,寿昌组主要为

一套流纹质晶屑凝灰岩夹火山碎屑沉积岩。浙西建德群时代为 $140 \sim 115 \text{ Ma}^{[62]}$, 浙东南磨石山群火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $143 \sim 120 \text{ Ma}^{[41]}$, 其中浙闽交界区为 $143.1 \sim 126.2 \text{ Ma}^{[95]}$, 浙江丽水地区为 $139.5 \sim 128.6 \text{ Ma}^{[63]}$, 天台地区为 $140 \sim 120 \text{ Ma}^{[41]}$ 。

该时期在福建境内形成长达 175 km 的 NE 向南园组碎斑熔岩带和大量高分异高硅流纹岩类, 自下而上分为南园组和小溪组, 南园组是福建省分布最广的晚中生代火山地层, 大面积出露于德化、寿宁、周宁、福鼎、福安、政和等地, 岩性为中酸性-酸性熔结凝灰岩夹中酸性熔岩类, 部分地区见玄武岩夹层。仙游县园庄南园组剖面双峰式火山岩年龄分别为 $142.3 \pm 7.2 \text{ Ma}$ 和 $130.1 \pm 3.6 \text{ Ma}^{[60]}$, 仙游园庄、赤水和梅湖南园组形成时代为 $143 \sim 130 \text{ Ma}^{[68]}$, 德化、闽清等地南园组时代集中在 $145 \sim 139 \text{ Ma}$ 之间^[41], 寿宁和周宁地区南园组时代分别为 143 Ma 和 $140 \text{ Ma}^{[95]}$ 。小溪组为一套杂色陆相砂岩与火山碎屑岩, 寿宁小溪组锆石年龄为 $135 \sim 126 \text{ Ma}^{[61, 95]}$, 而柘荣地区小溪组时代集中在 $130 \sim 127 \text{ Ma}$ 之间^[41]。

江西地区第Ⅲ旋回火山岩地层为打鼓顶组、鹅湖岭组和鸡笼嶂组, 主要分布在赣东北信江盆地两侧、玉华山—相山地区及赣南全南—寻乌一带。打鼓顶组为酸性-中性的一套火山岩序列, 由流纹质熔结凝灰岩-流纹岩-安山岩组成; 鹅湖岭组以流纹质熔结凝灰岩为主, 偶夹流纹岩; 鸡笼嶂组以流纹质熔结凝灰岩为主。

打鼓顶组时代在 $144 \sim 136 \text{ Ma}$ 之间, 如天华山盆地安山岩、凝灰岩年龄为 $144 \sim 142 \text{ Ma}^{[96]}$, 贵溪蔡家桥安山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $136 \text{ Ma}^{[97]}$ 。鹅湖岭组时代集中在 $142 \sim 129 \text{ Ma}$, 如天华山盆地流纹质熔结凝灰岩、沉凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石年龄分别为 $140 \pm 1 \text{ Ma}$ 和 $137 \pm 1 \text{ Ma}^{[96]}$, 流纹岩、安山岩年龄分别为 139.9 ± 0.9 、 $142.2 \pm 0.8 \text{ Ma}$, 凝灰岩时代为 $136.6 \sim 129 \text{ Ma}^{[98]}$ 。相山地区鹅湖岭组年龄集中在 $136 \sim 132 \text{ Ma}$, 如英安岩年龄为 $135.1 \sim 134.8 \text{ Ma}^{[99-101]}$, 流纹质英安斑岩锆石年龄为 $136.6 \sim 134.6 \text{ Ma}^{[102]}$, 碎斑熔岩年龄为 $135.3 \sim 132.4 \text{ Ma}^{[103]}$ 。此外, 石溪盆地粗面岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $137 \pm 0.9 \text{ Ma}^{[104]}$ 。除江西外, 浙江仙霞岭盆地徐家墩鹅湖岭组流纹质熔结凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb

年龄为 $138 \pm 2.4 \text{ Ma}^{[105]}$ 。鸡笼嶂组时代集中在 $130 \sim 142 \text{ Ma}$, 主要分布在赣南一系列盆地中, 如版石盆地凝灰岩、流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 142.5 ± 1.3 、 $131.4 \pm 1.3 \text{ Ma}^{[106]}$, 蔡坊盆地流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $130.8 \pm 0.7 \text{ Ma}^{[107]}$, 三百山盆地和长沙盆地粗面岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 141.6 Ma 和 $135.4 \pm 1.5 \text{ Ma}^{[108]}$ 。此外, 安远县鸡笼嶂组底部火山岩锆石 SHRIMP 年龄为 $140 \pm 4 \text{ Ma}^{[26]}$ 。

此外, 香港大屿山火山岩群、浅水湾火山岩群和涠洲火山岩群层位与南山村组相当, 它们的锆石 U-Pb 年龄为 141.1 Ma 和 146.6 Ma , 其中最晚期粮船湾组碎斑熔岩为 138.7 Ma 和 $140.9 \text{ Ma}^{[109-112]}$ 。

4.2 火山活动与成矿作用

与第Ⅲ旋回火山活动相关的成矿作用在江西主要为铀、锡、铅锌等成矿, 且为铀矿的主要成矿期。铀矿主要沿赣杭带分布^[10], 其中, 江西的相山、盛源矿田和浙江的大洲、新路矿田是最重要的 4 个矿田。此外, 还有鹅公山矿田、芙蓉山矿田等^[113]。这些矿床均属于火山热液型矿床, 其矿体主要赋存于酸性火山岩及次火山岩中。

江西相山铀矿田是中国最大的火山岩型铀矿田, 矿体主要赋存于鹅湖岭组上段碎斑流纹岩和打鼓顶组上段流纹英安岩中, 其中流纹英安岩和流纹英安斑岩 SHRIMP、LA-ICP-MS 测定的年龄分别为 135.1 Ma 和 $134.8 \text{ Ma}^{[114]}$ 。鹅湖岭组碎斑流纹岩和流纹质英安斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 134.1 Ma 和 $137.4 \text{ Ma}^{[115]}$ 。前人研究表明, 相山铀矿属于热液型矿床, 对于铀矿的成矿时代, 有学者认为有 2 期矿化作用, 年代分别为 120 Ma 和 $98 \text{ Ma}^{[116-117]}$, 另一些学者认为矿化作用连续, 时间跨度为 $145 \sim 85 \text{ Ma}$, 相对集中在 $135 \sim 120 \text{ Ma}$ 、 $110 \sim 90 \text{ Ma}$ 两个时间段^[113, 118-120]。近年来, 又有学者在相山西部深部发现铅锌矿床, 测得闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄为 $121.0 \pm 3.5 \text{ Ma}^{[121]}$, 表明相山铀矿深部铅锌多金属矿化发生于早白垩世。

浙江新路铀矿田赋存于黄尖组火山-侵入杂岩中^[122], LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法获得花岗斑岩的年龄为 $138 \sim 125 \text{ Ma}$, 火山碎屑岩的年龄为 $135 \sim 128 \text{ Ma}^{[123]}$; SHRIMP 锆石 U-Pb 法测得花岗岩年龄为 $137.8 \sim 134.9 \text{ Ma}$, 凝灰岩年龄为 $137 \text{ Ma}^{[124]}$ 。有 2 期成矿, 分别为 $118 \sim 109 \text{ Ma}$ 和 $75 \text{ Ma}^{[124-126]}$ 。大洲

铀矿田属于低温火山热液型矿床^[127-128],磨石山群熔岩及流纹岩是重要的赋矿岩石,其中流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $127.3 \pm 1.7 \text{ Ma}$ ^[122, 129],成矿时代为 $109.3 \pm 2.7 \text{ Ma}$ ^[130]。

该旋回火山活动与锡矿成矿关系亦较密切,形成斑岩型和高-中温热液交代-充填型锡矿,分别以会昌岩背锡矿和会昌淘锡坝锡矿为典型代表。岩背锡矿矿体主要赋存于鸡笼嶂组花岗斑岩和流纹斑岩的内外接触带,其中含矿花岗斑岩的锆石 U-Pb 年龄为 138 Ma ^[131],全岩和石英矿物 Rb-Sr 等时线年龄分别为 $128.1 \pm 3.3 \text{ Ma}$ 和 $125.5 \pm 6.1 \text{ Ma}$ ^[132],淘锡坝锡矿矿体赋存于燕山晚期黑云母花岗岩和鸡笼嶂组流纹质火山碎屑岩接触带^[133]。另外,福建平和和包围山钼矿矿体主要赋存于白垩纪石帽山群中,属于层控-热液叠加改造型钼矿床^[134],广东长坑-富湾金多金属矿床属于浅成低温热液型矿床^[135],成矿时代均为早白垩世。

该旋回是东南沿海非金属矿的主要成矿时期,形成萤石、叶腊石、高岭石、地开石、伊利石、硅藻土、沸石、田黄石、珍珠石等非金属矿产,中国四大名石之中的寿山石、鸡血石、青田石均产于此。小溪组是福建省最重要的叶蜡石、明矾石矿含矿层位,不仅储量丰富,且矿石类型多。除已探明的福州市峨眉、寿山、寿宁县湖潭 3 处大、中型叶蜡石矿床外,近年还发现众多的小型叶蜡石矿床、矿点,绝大多数火山盆地的小溪组中均发现叶蜡石矿床、矿点。小溪组已探明叶蜡石矿储量 $772.4 \times 10^4 \text{ t}$,占福建省总储量的 86.55%,占全国总储量的 44.53%。

总体看,成矿年代集中在 $130 \sim 120 \text{ Ma}$,发育丰富的金属和非金属矿产。金属矿产主要为铀、铅、锌、金、锡,非金属主要为明矾石、叶腊石,矿床类型以浅成低温热液型为主。代表性矿床有江西相山铀矿、会昌岩背锡矿、广东长坑-富湾金多金属矿、福建寿山叶蜡石矿等。

5 第Ⅳ火山活动旋回($115 \sim 85 \text{ Ma}$)

5.1 岩石构造组合特征及时序

第Ⅳ旋回时,东南沿海进入后造山伸展环境,火山活动相对微弱,时代集中于 $115 \sim 85 \text{ Ma}$ (表 5),以中心式喷发的活动陆缘 NE 向后造山型钙碱性系列双峰式火山岩组合和大规模碎斑熔岩岩穹为特色,伴随后造山 A₁型流纹质-碱性流纹质火山岩组

合^[136-137]和 A₁型晶洞花岗岩带^[138]。

第Ⅳ旋回火山岩分布面积较小,主要分布于浙闽北东向断陷盆地中。火山岩岩石地层在浙江称为永康群、衢江群和天台群,在福建被称为石帽山群。

永康群由下而上可分为馆头组、朝川组和方岩组。馆头组以河湖相沉积岩为主,局部出现玄武岩-流纹岩双峰式火山岩,时代为 $110 \sim 102 \text{ Ma}$ ^[139-140];朝川组为紫红色陆相沉积岩夹酸性火山碎屑岩,小平田组相当于馆头组和朝川组,雁荡山地区小平田组火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $105.6 \sim 97.2 \text{ Ma}$ ^[136];以奉化玄坛地、永嘉镜架山和新昌镜岭为代表的火山岩中玄武岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $103 \pm 2 \text{ Ma}$ ^[141],浙闽交界地区火山岩锆石年龄为 $114.9 \sim 111.2 \text{ Ma}$ ^[96]。

衢江群由下而上可分为中戴组、金华组和衢县组,主要分布于金衢盆地,为一套河湖相红色碎屑岩,局部地区中戴组可见夹不稳定的玄武岩,江山中戴组玄武岩 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $98.84 \pm 1.02 \text{ Ma}$ ^[142]。

天台群主要分布于天台盆地,时代为 $111 \sim 92 \text{ Ma}$,底部塘上组主要为一套紫红色陆相沉积岩夹酸性火山碎屑岩;其上两头塘组主要为一套紫红色酸性火山碎屑岩夹陆相沉积岩系。其火山岩锆石 U-Pb 年龄为 111 Ma ^[41],赤城山组陆相红层中晶屑凝灰岩夹层 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $92 \pm 1 \text{ Ma}$ ^[143]。

福建石帽山群由下而上分为黄坑组、寨下组和石牛山组,其中,黄坑组为紫红色砂泥岩类夹火山岩,火山岩为双峰式火山岩组合,可与浙江永康群对比。黄坑组玄武岩全岩 K-Ar 年龄为 113 Ma ^[144],锆石 U-Pb 年龄为 107 Ma ^[145],上杭紫金山铜金矿区黄坑组年龄为 $113 \sim 110 \text{ Ma}$ ^[146]。寨下组玄武岩和流纹岩的时代分别为 107 Ma 和 108 Ma ^[144]。石牛山组火山岩时代为 $91 \sim 88 \text{ Ma}$ ^[139, 144],代表东南沿海白垩纪火山活动的结束。石帽山群在闽东德化石牛山地区 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $104 \sim 94 \text{ Ma}$,在闽北福清、闽侯等地区时代为 $111 \sim 105 \text{ Ma}$ ^[95],两者有先后之分。

该旋回火山岩地层在广东为官草湖组、优胜组、南雄组等。粤东北优胜组高钾流纹岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $88 \pm 2.1 \text{ Ma}$ ^[147],粤东三水盆地优胜组粗面质凝灰岩和流纹英安岩为 $105 \sim 90 \text{ Ma}$ ^[148-149],长塘盆地和仁居盆地优胜组流纹岩锆石 U-Pb 年龄分

表 5 第 IV 火山活动旋回成岩和成矿同位素年龄

Table 5 Rock-forming and ore-forming ages in the fourth volcanic activity cycle

地层	岩性	测试方法	年龄/Ma	地点	参考文献
永康群	火山碎屑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	114.9~111.2	浙江庆元	[95]
	玄武岩	黑云母 K-Ar	109.6~102.9	新昌镜岭	[139]
馆头组	玄武岩	全岩 Rb-Sr	104	永嘉镜架山	[140]
	玄武岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	109~102	奉化、新昌镜岭	[141]
朝川组	玄武岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	104	鄞县, 浙江	[141]
小平田组	火山碎屑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	99.3~105.6	浙江雁荡山	[136]
泰顺组	流纹质凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	112.7~111.2	浙江泰顺	[95]
石牛山组	碎斑熔岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	93.8±1.3	福建德化	[137]
	正长斑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	87.9±1.2	浙江小雄	[137]
小雄组	流纹质凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	93.8±0.6	浙江小雄	[41]
中戴组	玄武岩	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法	98.84±1.02	浙江江山	[142]
赤城山组	晶屑凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	92±1	浙江天台	[143]
两头塘组	晶屑凝灰岩	单颗粒锆石 U-Pb	114.3	浙江天台	[143]
塘上组	流纹质凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	111±1	浙江天台	[41]
石牛山组	碎斑熔岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	93.8±1.3	福建德化	[137]
	玄武岩	全岩 K-Ar	106.8	福建永泰	[144]
寨下组	流纹岩	全岩 K-Ar	107.9	福建永泰	[144]
	玄武岩	全岩 K-Ar	113.2	福建永泰	[144]
黄坑组	玄武岩	锆石 U-Pb	107	福建永泰	[145]
	流纹岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	104~95	德化石牛山地	[68]
石帽山群	流纹岩、凝灰岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	111~105	福建福清	[41]
	流纹岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	96.8±1.4	长塘盆地	[152]
优胜组	流纹岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	95.5±1.3	仁居盆地	[152]
	流纹岩	Rb-Sr 等时线	88±2.1	粤东北大坪	[147]
	玄武岩	锆石 U-Pb	96±1	南雄盆地	[148]
南雄组	透长石	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	96.2±1.7	长塘盆地	[151]
	花岗岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	119±15	紫金山岩体	[162]
	花岗闪长斑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	103.7~97.6		[163]
紫金山矿床	辉钼矿	Re-Os	104.9±1.6	紫金山萝卜岭斑岩铜钼矿床	[164]
	冰长石	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	94.69±2.25		[165]
	花岗闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	101.8 1	碧田金银矿	[166]
	角闪石	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	102.2~100		[166]
	钾长石	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	98.5~96	紫金山矿田深部	[166]
政和马仑头金矿	火山熔岩	锆石 U-Pb	100~96	政和马仑头金矿	[168]
	石英脉	Rb-Sr 等时线	100±1	政和马仑头金矿	[168]
福安赤路钼矿	辉钼矿	Re-Os	106~105	福安赤路钼矿	[171]
武夷山坪地钼矿	辉钼矿	Re-Os	107.4±3.3	武夷山坪地钼矿	[172]
霞浦大湾钼矿	碱长花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	93.0±0.6	霞浦大湾钼矿	[173]
	辉钼矿	Re-Os	92.2±1.3	霞浦大湾钼矿	[173]

别为 96.8 Ma 和 95.5 Ma^[150]。南雄盆地玄武岩锆石 U-Pb 年龄为 96 ± 1 Ma^[151], 长塘盆地南雄组透长石 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 92.8~90.6 Ma^[152]。此外, 在海南海岛也出露玄武岩(玄武安山岩)-流纹质双峰式火山岩组合, 锆石 U-Pb 年龄为 102 ± 1 Ma^[153]。

在内陆地区, 沿区域性断裂带发育的断陷盆地中也有零星出露的火山岩夹层, 已获得的锆石 U-Pb 年龄有: 福建泰宁盆地崇安组流纹质熔结凝灰岩为 98.5 ± 1 Ma^[154]; 赣杭构造带沿线赣州群茅田组玄武安山岩-流纹岩双峰式组合为 105 ± 5 Ma^[155], 广丰盆地和玉山盆地橄榄玄粗岩为 93 ± 1 Ma^[156]。

上述年代学资料表明, 东南沿海不同地区的白垩纪断陷盆地发育时间均不长, 且不同盆地之间火山活动的时间也不同。值得注意的是, 在第Ⅳ旋回火山岩顶部还发育一套高钾高硅的偏碱性石英粗面岩-英安岩-流纹岩组合, 具有典型 A₂ 型花岗岩的地球化学特征, 与晶洞花岗岩共同构成东南沿海晚白垩世 A₂ 型火山-侵入岩带, 为东南沿海最晚期火山活动的产物, 代表了区域火山活动结束时间^[137]。代表性地层为浙江小雄组和福建石牛山组。小雄组主要分布于浙东沿海三门-宁海地区的小雄盆地和宁海盆地, 主要为紫红色流纹质晶屑凝灰岩与湖相沉积岩互层, 锆石 U-Pb 年代学研究表明, 小雄盆地小雄组流纹质熔结凝灰岩为 93.8 Ma, 侵入其中的正长斑岩为 87.9 Ma; 石牛山组主要分布于云山盆地石牛山破火山, 其中侵入相正长花岗岩为 93.8 Ma^[41, 137]。此外, 在福建沿海还广泛发育 96~87 Ma 的基性-中基性岩墙群^[157]。

东南沿海晚白垩世后造山火山岩浆活动结束于约 85 Ma, 这也是燕山造山过程结束的时代标志。同时区域缺失晚白垩世晚期地层, 表明晚白垩世东南沿海岩石圈进一步强烈伸展并导致区域发生大规模隆升。

5.2 火山活动与成矿作用

该旋回火山活动过程中, 基性玄武岩、岩浆混杂岩及后造山 A 型花岗岩的出现, 表明壳幔作用更加明显, 形成与壳幔混合源型中酸性侵入岩-次火山作用有关的金、银、铜、钼、铅、锌、铀等多金属矿床。

福建上杭紫金山矿田是典型的斑岩-浅成低温热液型多金属成矿系统, 该矿床深部和边部相继发现了罗卜岭-中寮斑岩型铜(钼)矿、中低温热液型

铜矿和悦洋低硫型浅成低温热液型银金铜矿床、碧田火山岩型金银铀矿床、高温热液型钨锡矿异常等^[158-160]。矿区中部发育燕山晚期火山-次火山岩, 次火山岩中心的顶部是主要的铜金矿化区, 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^[161]。紫金山花岗岩锆石 SHRIMP 年龄为 119 ± 15 Ma, 代表了本区大规模、长时期、多期次的岩浆热液作用的序幕^[162]。紫金山罗卜岭斑岩铜钼矿床赋矿斑岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 103.7~97.6 Ma^[163], 辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 104.9 ± 1.6 Ma^[164]; 碧田金银矿的共生冰长石的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 94.69 ± 2.25 Ma^[165]; 碧田深部与成矿作用有关的主期似斑状花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 和角闪石、钾长石 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄分别为 101.8 Ma、102.2~100 Ma、98.5~96 Ma, 分别代表了成矿岩体年龄和成矿年龄^[166], 表明紫金山矿床成矿时代在 105~91 Ma 之间, 与成岩时代基本相当。武平悦洋银多金属矿属于浅成低温热液型矿床, 矿体赋存于石帽山群及沙县组双峰式火山岩中^[165, 167]。政和马仑头金矿火山熔岩结晶年龄为 100~96 Ma, 矿区内含石英脉中流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 100 ± 1 Ma, 属于火山-次火山热液型金矿床^[168]。

浙江中生代火山岩区浅成低温热液型金、银矿床的赋矿地层主要为西山头组和朝川组, 矿化年龄为 100~70 Ma^[169]。遂昌冶岭头大型金银矿床的成矿年龄为 164~82.5 Ma, 中-酸性岩的成岩年龄为 167.5~88 Ma, 表明成矿作用与火山侵入活动的时间一致^[170]。

钼、铍等关键性矿产与该旋回火山活动密切相关, 如福建福安赤路钼矿辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 106~105 Ma^[171], 福建武夷山坪地钼矿辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 107.4 ± 3.3 Ma^[172], 福建霞浦大湾钼铍矿属于高温热液充填-交代型钼铍矿床, 碱长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 93.0 ± 0.6 Ma, 辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 92.2 ± 1.3 Ma^[173]。

萤石、叶腊石、高岭石、地开石、伊利石、明矾石等非金属矿产成矿明显。浙江萤石探明总储量占全国探明总储量 19.01%^[174], 集中分布于浙东南白垩纪火山盆地, 44% 的萤石矿床均产于西山头组, 晚期的馆头组、朝川组和方岩组中也有萤石矿产出,

萤石矿成矿年龄一般为 80 Ma^[175],属低温火山热液型^[176]。浙江苍南矾山明矾石矿为火山喷发-沉积矿床,矿床主要产于矾山破火山口馆头组沉集块岩、沉火山角砾岩和凝灰质砂岩中^[177]。浦城梨树坪萤石矿为受断裂构造控制的岩浆期后中低温热液充填型矿床,主要成矿期为晚白垩世^[178]。

总体看,成矿作用主要发生在双峰式火山组合中,形成丰富的金属和明矾石、萤石等非金属矿产,以浅成低温热液型为主,斑岩型次之,如福建上杭紫金山铜金矿、建瓯八外洋铅锌矿、福建福安赤路钼矿、浙江苍南矾山明矾石矿床等。在福建紫金山和浙江矾山的明矾石矿中均有镓富集现象,表明东南沿海地区晚白垩世成矿作用强烈,有巨大的找矿潜力。

6 燕山期火山活动-成矿作用的构造背景

印支期开始,冈瓦纳裂解,整个太平洋构造域进入现代洋陆体系^[179]。燕山期是整个太平洋构造域岩浆活动的峰期,形成环太平洋规模宏大的火山-侵入岩带,尤以华南地区为特色,王德滋等^[180]称之为酸性岩浆岩省。早-中侏罗世 EW 向火山岩带零星分布在闽西南永梅拗陷及近 EW 向的南岭地区,沿该岩带由西向东,火山岩的规模逐渐增大,玄武岩由单独产出过渡到与大量酸性岩类共生,岩性由 OIB 碱性玄武岩变化为拉斑质玄武岩,呈明显的规律性变化,表明 EW 向早中生代火山岩带,沿内陆向沿海方向,表现出不同程度的壳幔作用,玄武岩在成岩过程中有少量的陆壳加入,形成于板内拉张的构造环境^[181-182]。侵入岩以 I 型花岗岩及埃达克质岩石为主,主要分布在钦杭结合带东段及武夷山成矿带的闽西南拗陷区内^[13, 35]。早-中侏罗世岩浆作用均形成于太平洋板块初始俯冲阶段由挤压应力所诱发的局部拉张背景,这种局部伸展构造往往受 EW 向断裂重新活化控制。

早侏罗世火山岩的形成与南岭东段近 EW 向张性断裂活动有关,标志着印支挤压造山的结束;之后东南大陆进入晚中生代 NE 向活动大陆边缘俯冲造山阶段,经历了挤压造山-剪切拉张过程,并在晚白垩世末期进入新一轮后造山拉张裂解阶段,其中早侏罗世的区域拉张作用是特提斯构造域向古太平洋构造域转换的前奏,构造域转换可能始于 165 Ma^[32]。在这次短暂的岩浆活动期后,华南内陆经历了一次明显的应力方向改变,并从此开始了遍

布全区的大规模岩浆事件。在雪峰山脉、南岭地区及云开山脉,应力场由 NE-SW 向的垂向挤压调整为 NW-SE 向的挤压,并产生一系列向 NW 突出的弧形褶皱带、推覆构造等^[183]。这表明,整个华南地区从早-中侏罗世(200~170 Ma)开始,就已经处于俯冲的古太平洋板块之上,该时期形成一系列斑岩型及矽卡岩型铜铅锌银多金属矿床和钼钨矿。

华南在中-晚侏罗世时(165~145 Ma)受到古太平洋板块的俯冲挤压作用,造成东南沿海大范围中-晚侏罗世地层的缺失,表明东南沿海在中侏罗世主要受古太平洋板块俯冲挤压作用控制,晚侏罗世其构造背景由挤压向俯冲后伸展转变。该期火山岩分布面积小,仅分布在福建福安社口、粤闽交界丰顺等地区,为高钾钙碱性系列安山岩-英安岩-流纹岩组合,伴随着 S 型花岗岩,主要分布于南岭成矿带,另有少量非埃达克质 I 型花岗岩^[13]。该时期整个华南迎来了规模最大的一次成矿大爆发^[178, 184],成矿活动持续到早白垩世初期,伴随着大规模的中酸性岩浆侵入活动,全区范围内广泛发育钨-钼-锡、银-钼、铜-铁-铅-锌-金等多金属矿床和叶腊石等非金属矿产,是整个华南最重要的一期成矿时期。

从白垩纪开始,整个太平洋构造域开始了大面积的火山-侵入活动,是燕山期岩浆活动最强的一期,火山岩出露面积最广,华南进入古太平洋板块俯冲挤压后的伸展阶段^[185-187]。该时段的岩浆活动在靠近沿海地区以火山岩为主,向内陆侵入岩增多,这种变化可能与新生代以来地层的剥蚀程度有关。

早白垩世(145~115 Ma),发生遍及全区的强烈火山活动,岩性组合为高钾钙碱性英岩质-流纹质火山岩组合,局部出现双峰式火山岩,其中玄武岩主要起源于岩石圈地幔。侵入岩主要分布于内陆地区,以 I 型花岗岩为主,闪长岩-辉长岩较少,代表性的有福建同安角闪辉长岩(130 Ma)、平潭岛角闪辉长岩-花岗岩复合岩体(125~115 Ma)等^[188-189]。该阶段伴生有丰富的金属和非金属、稀土矿产,矿床类型以浅成低温热液型为主。

晚白垩世(115~85 Ma)的火山活动及成矿作用是早阶段的延续,在空间上主要分布在武夷山脉东侧至沿海地区,以双峰式火山岩组合和大规模碎斑熔岩岩穹为特色,同时还有少量的过碱性流纹岩。同时期侵入岩出露较多,时代集中在 110~90

Ma,以高钾钙碱性 I 型花岗岩体(如梁弄、小将、龙皇堂、福州、漳州等岩体)、晶洞花岗岩、过碱性 A 型花岗岩(如桃花岛、瑶坑、魁歧等岩体)及基性岩墙群为特征^[138, 190-195]。此阶段形成丰富的金属矿和明矾石、叶腊石等非金属矿产,以浅成低温热液型为主,斑岩型次之。

早、晚白垩世 2 期火山岩具有不同的岩石组合和地球化学特征^[1, 93]。早白垩世火山岩岩石组合以高钾钙碱性系列的英安岩-流纹岩组合为主,Sr-Nd-Hf 同位素组成呈富集的特征,通常认为与岩浆起源于与俯冲作用有关的交代富集地幔楔有关;晚白垩世火山岩岩石组合以大量流纹岩和少量玄武岩构成的双峰式火山岩为特征,岩石系列以钙碱性为主,少量碱性系列,流纹岩可与同时代的 A 型花岗岩类比,Sr-Nd-Hf 同位素组成明显较早白垩世火山岩亏损,表明晚阶段火山岩的岩浆中应混入了来自亏损的软流圈地幔组分^[41, 92-93, 141]。因此,华南晚白垩世岩浆活动的地幔源区经历了从早阶段俯冲交代富集到晚阶段软流圈地幔参与而趋于亏损的过程。因此,早、晚白垩世 2 期火山岩在岩石类型、岩石组合、幔源岩石的地幔源区性质等方面都存在明显不同,暗示了白垩纪早、晚两阶段岩浆活动的构造背景和动力学机制不同,表明华南由早白垩世古太平洋板块俯冲挤压后的伸展阶段,转换为晚白垩世古太平洋板块俯冲后撤导致的后造山阶段。

白垩纪末期—新生代,古太平洋逐渐消失,华南由古太平洋构造域进入现今太平洋构造域,构造背景再次发生变化,现代太平洋板块开始与欧亚大陆接触,洋脊的俯冲作用,导致整个区域处于伸展、抬升背景下,在大陆内部形成一系列断陷盆地,整个区域进入构造调整阶段,普遍缺失古近纪地层。

7 结 论

通过对东南沿海燕山期火山活动特征、形成的构造背景及成矿作用分析,提出燕山期火山活动划分为 4 个旋回。

(1)第 I 旋回: J_1 (200~170 Ma),为印支造山后 EW 向板内伸展型拉斑系列玄武岩-流纹质火山岩构成的双峰式岩石组合,其中玄武岩主要起源于软流圈地幔。成矿作用微弱,矿床类型有钒钛磁铁矿床、铌钽矿、中高温热液型钨金矿等,如粤北霞关大型钒钛磁铁矿床、福建永定大坪铌钽矿、上下湖铌

钽多金属矿等。

(2)第 II 旋回: J_{2-3} (165~145 Ma),活动陆缘早期 NE 向碰撞早期钙碱性系列英安质-安山质岩石组合;矿床类型以浅成低温热液型金矿、叶腊石等非金属矿为主,如闽中德化金矿集区、建瓯井后叶腊石矿等。

(3)第 III 旋回: K_1 (145~115 Ma),活动陆缘碰撞后 NE 向区域伸展型高钾钙碱性系列玄武岩-流纹质火山岩构成的双峰式岩石组合、大面积高钾钙碱性英安质-流纹质-高硅流纹质岩石组合,其中玄武岩主要起源于岩石圈地幔;伴生有丰富的金属和非金属、稀土矿产,矿床类型以浅成低温热液型为主,如江西相山铀矿、岩背锡矿,浙江大岭口银铅锌矿等。

(4)第 IV 旋回: K_{1-2} (110~85 Ma),活动陆缘 NE 向后造山型钙碱性系列 A 型流纹质-碱性流纹质火山岩组合,伴生后造山 A 型花岗岩/碱性花岗岩。此阶段形成丰富的铜金矿和明矾石、叶腊石等非金属矿产,以浅成低温热液型为主,斑岩型次之,如福建紫金山矿田、霞浦大湾钼铍矿、浙江萤石矿、矾山明矾石矿等。

参考文献

- [1] 谢家莹,陶奎元,尹家衡,等.中国东南大陆中生代火山地质及火山-侵入杂岩[M].北京:地质出版社,1996:1-277.
- [2] 陆志刚,陶奎元,谢家莹,等.中国东南大陆火山地质及矿产[M].地质出版社,1997:1-431.
- [3] 陶奎元,高天钧,陆志刚,等.东南沿海火山岩基底构造及火山-侵入作用与成矿关系[M].北京:地质出版社,1998:1-371.
- [4] 周新民,李武显.中国东南部晚中生代火成岩成因:岩石圈消减和玄武岩底侵相结合的模式[J].自然科学进展,2000,10(3):240-247.
- [5] 王德滋,周金城.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.
- [6] 薛怀民,马芳,曹光跃.长江中下游地区晚中生代橄榄玄粗岩系列火山岩:年代学格架,地球化学特征及成因讨论[J].地质学报,2015,89(8):1380-1401.
- [7] 陈润生,林东燕.福建早中生代火山作用研究进展[J].福建地质,2006,25(4):4-14.
- [8] 俞文文,姜禹,卢成忠.浙江白垩纪火山岩的地层划分及铍同位素特征[J].地层学杂志,2008,32(1):69-78.
- [9] 舒良树,周新民,邓平,等.中国东南部中、新生代盆地特征与构造演化[J].地质通报,2004,23(9/10):876-884.
- [10] 毛景文,谢桂青,程彦博,等.华南地区中生代主要金属矿床模型[J].地质论评,2009,55(3):347-354.
- [11] 陈毓川,王登红.华南地区中生代岩浆成矿作用的四大问题[J].大地构造与成矿学,2012,36(3):315-321.

- [12] 刘皓,王婵,缪秉魁,等.华南地区 Nb、Ta 稀有金属矿床演化过程浅析[J].矿物学报,2015,35(S1): 316.
- [13] 邢光福,洪文涛,张雪辉,等.华东地区燕山期花岗质岩浆与成矿作用关系研究[J].岩石学报,2017,33(5): 1571-1590.
- [14] 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: Solid Earth, 1996, 101(B7): 16137-16154.
- [15] Li X H. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in Southeast China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2000, 18(3): 293-305.
- [16] Li X H, Chung S L, Zhou H W, et al. Jurassic intraplate magmatism in southern Hunan-eastern Guangxi: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, geochemistry, Sr-Nd isotopes and implications for the tectonic evolution of SE China[J]. Geological Society London Special Publications, 2004, 226(1): 193-215.
- [17] 谢桂青,胡瑞忠,赵军红,等.中国东南部地幔柱及其与中生代大规模成矿关系初探[J].大地构造与成矿学,2001,25(2): 179-186.
- [18] Deng J F, Mo X X, Zhao H L, et al. A new model for the dynamic evolution of Chinese lithosphere: 'continental roots-plume tectonics' [J]. Earth-Science Reviews, 2004, 65(3/4): 223-275.
- [19] Hsü K J, Shu S, Li J L, et al. Mesozoic overthrust tectonics in south China[J]. Geology, 1988, 16: 418-421.
- [20] John B M, Zhou X H, Li J L. Formation and tectonic evolution of Southeastern China and Taiwan: Isotopic and geochemical constraints[J]. Tectonophysics, 1990, 183(1/4): 145-160.
- [21] Lapiere H, Jahn B M, Charvet J, et al. Mesozoic felsic arc magmatism and continental olivine tholeiites in Zhejiang Province and their relationship with the tectonic activity in southeastern China [J]. Tectonophysics, 1997, 274(4): 321-338.
- [22] Zhou X M, Sun T, Shen W Z, et al. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution[J]. Episodes, 2006, 29(1): 26-33.
- [23] Liang L, Hu R Z, Hong Z, et al. New constraints on the Cretaceous geodynamics of paleo-Pacific plate subduction: Insights from the Xiaojiang-Beizhang granitoids, Zhejiang Province, Southeast China [J]. Lithos, 2018, 314/315: 382-399.
- [24] Wang G C, Jiang Y H, Liu Z, et al. Multiple origins for the Middle Jurassic to Early Cretaceous high-K calc-alkaline I-type granites in northwestern Fujian province, SE China and tectonic implications[J]. Lithos, 2016, 246/247: 197-211.
- [25] Yang Y L, Ni P, Yan J, et al. Early to late Yanshanian I-type granites in Fujian Province, SE China: Implications for the tectonic setting and Mo mineralization[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2017, 137: 194-219.
- [26] 邢光福,卢清地,陈荣,等.华南晚中生代构造体制转折结束时限研究——兼与华北燕山地区对比[J].地质学报,2008,82(4): 451-463.
- [27] 余明刚,赵希林,钱迈平,等.江西冷水坑火山-侵入杂岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J].岩矿测试,2015,34(1): 138-149.
- [28] 浙江省地质矿产局.浙江省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1996: 1-236.
- [29] 福建省地质矿产局.福建省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997: 1-216.
- [30] 顾知微.论闽浙运动[J].地层学杂志,2005,29(1): 1-6.
- [31] 邢光福,杨祝良,孙强辉,等.广东梅州早侏罗世层状基性-超基性岩体研究[J].矿物岩石地球化学通报,2001,20(3): 172-175.
- [32] 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.
- [33] 孙强辉,杨祝良,陈荣,等.广东省兴宁市霞岚-永和钨钛磁铁矿带成矿地质特征[J].资源调查与环境,2002,23(4): 266-271.
- [34] 陈培荣,周新民,张文兰,等.南岭东段燕山早期正长岩-花岗岩杂岩的成因和意义[J].中国科学 D 辑: 地球科学,2004,34(6): 493-503.
- [35] Xie X, Xu X S, Zou H B, et al. Early J_2 basalts in SE China: Incipience of large-scale late Mesozoic magmatism [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2006, 49(8): 796-815.
- [36] Li X H, Li Z X, Li W X, et al. U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic I- and A-type granites from central Guangdong, SE China: a Major igneous event in response to foundering of a subducted flat-slab? [J]. Lithos, 2007, 96(1/2): 186-204.
- [37] Yu X Q, Di Y J, Wu G G, et al. The Early Jurassic Magmatism in northern Guangdong Province, southeastern China: Constraints from SHRIMP zircon U-Pb dating of Xialan complex [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2009, 52(4): 471-483.
- [38] 冀春雨,巫建华.江西南部余田群长英质火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].东华理工大学学报(自然科学版), 2010, 33(2): 131-138.
- [39] 李武显,赵希林,邢光福,等.南岭东段早侏罗世沉积岩碎屑锆石 U-Pb 定年及其地质意义——以东坑盆地为例[J].大地构造与成矿学,2013,37(1): 78-86.
- [40] 陈荣,邢光福,杨祝良,等.浙东南英安质火山岩早侏罗世锆石 SHRIMP 年龄的首获及其地质意义[J].地质评论,2007,53(1): 31-35.
- [41] Liu L, Xu X, Zou H. Episodic eruptions of the Late Mesozoic volcanic sequences in southeastern Zhejiang, SE China: petrogenesis and implications for the geodynamics of paleo-Pacific subduction[J]. Lithos, 2012, 154: 166-180.
- [42] 邢新龙,邢光福,陈世忠,等.浙江庆元地区早-中侏罗世火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质特征[J].地质通报,2017, 36(9): 1583-1590.
- [43] Zhou J, Jiang S, Wang X, et al. Re-Os isochron age of Fankeng basalts from Fujian of SE China and its geological significance [J]. Geochemical Journal, 2005, 39(6): 497-502.
- [44] 邓平,舒良树,余心起,等.闽西-赣南早-中侏罗世盆地及其火成岩特征[J].岩石学报,2004,20(3): 521-532.
- [45] 章邦桐,陈培荣,孔兴功.赣南临江盆地余田群双峰式火山岩的 Rb-Sr 年代学研究[J].中国地质,2002,29(4): 351-354.
- [46] 陈培荣,王银喜.赣南燕山早期双峰式火山-侵入杂岩的 Rb-Sr 同位素定年及意义[J].高校地质学报,1999,5(4): 378-383.
- [47] Wang Y, Fan W, Peng T, et al. Elemental and Sr-Nd isotopic systematics of the early Mesozoic volcanic sequence in southern Jiangxi Province, South China: petrogenesis and tectonic implications[J]. International Journal of Earth Sciences, 2005, 94(1): 53-65.
- [48] 项媛馨,巫建华.赣南龙南地区余田群玄武岩 SHRIMP 锆石 U-Pb

- 年龄及其地质意义[J].地质通报,2012,31(5): 716-725.
- [49] 王岳军,廖超林,范蔚茗,等.赣中地区早中生代 OIB 碱性玄武岩的厘定及构造意义[J].地球化学,2004,33(2): 109-117.
- [50] 李亚楠,邢光福,邢新龙,等.闽北地区中侏罗世火山岩的发现及其地质意义[J].地质通报,2015,34(12): 2227-2235.
- [51] Zhu W G, Zhong H, Li X H, et al. The early Jurassic mafic-ultramafic intrusion and A-type granite from northeastern Guangdong, SE China: age, origin, and tectonic significance[J]. Lithos, 2010, 119(3-4): 313-329.
- [52] 张振杰,左仁广.闽西南地区大地构造演化和矿床时空分布规律[J].岩石学报,2015,31(1): 217-229.
- [53] 罗锦昌,陈郑辉,屈文俊.福建省永定山口钨矿辉钨矿铼-钨同位素定年及其地质特征[J].岩矿测试,2009,28(3): 254-258.
- [54] 江善元,郭腾飞,范张华.闽中裂谷带稀有金属矿床主要类型特征及找矿前景展望[J].矿床地质,2014,33(S1): 1169-1170.
- [55] 江善元.福建永定大坪钨钼矿地质特征及找矿前景[J].有色金属(矿山部分),2019,71(4): 71-75,87.
- [56] 刘永超,李建康,邹天人,等.福建永定大坪钨钼矿化花岗岩斑岩体的流体演化对钨钼富集的制约[J].地质学报,2017,91(5): 1052-1065.
- [57] 杨昔林,曹殿华,李以科,等.江西德兴孔家-银山火山盆地的时代归属: 锆石 U-Pb 年代学证据[J].中国地质,2011,38(1): 86-93.
- [58] 李晓峰,陈文,毛景文,等.江西银山多金属矿床蚀变绢云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地质意义[J].矿床地质,2006,25(1): 17-26.
- [59] 余心起,吴淦国,张达,等.中国东南部中生代构造体制转换作用研究进展[J].自然科学进展,2005,15(10): 1167-1174.
- [60] Li L M, Sun M, Xing G F, et al. Two late Mesozoic volcanic events in Fujian Province: constraints on the tectonic evolution of southeastern China[J]. International Geology Review, 2009, 51(3): 216-251.
- [61] 林敏.福建镇前地区晚中生代火山作用[D].中国地质大学(北京)硕士学位论文,2013: 1-108.
- [62] 李祥辉,陈斯盾,罗家洪,等.浙江西部建德群锆石 LA-ICP-MS 之 U-Pb 同位素年龄及其地质学意义[J].地质论评,2011,57(6): 825-836.
- [63] 王加恩,刘远栋,汪建国,等.浙江丽水地区磨石山群火山岩时代归属[J].华东地质,2016,37(3): 157-165.
- [64] Gan Y D. Prospecting ideas for Mesozoic granite-type, volcanics-type and exocontact-type uranium deposits in South China (I)[J]. Uranium Geology, 2001, 17(5): 257-265.
- [65] 邱骏挺,余心起,吴淦国,等.江西冷水坑矿区构造-岩浆活动的年代学约束[J].岩石学报,2013,29(3): 812-826.
- [66] 孟祥金,徐文艺,杨竹森,等.江西冷水坑矿田火山-岩浆活动时限: SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄证据[J].矿床地质,2012,31(4): 831-838.
- [67] 龚雪婧,曾建辉,曹殿华.江西冷水坑矿床含矿花岗岩斑岩的 Sr-Nd 及锆石 Hf-O 同位素研究[J].中国地质,2019,46(4): 818-831.
- [68] Guo F, Fan W, Li C, et al. Multi-stage crust-mantle interaction in SE China: temporal, thermal and compositional constraints from the Mesozoic felsic volcanic rocks in eastern Guangdong-Fujian provinces[J]. Lithos, 2012, 150: 62-84.
- [69] Sewell R J, Campbell S. Geochemistry of coeval Mesozoic plutonic and volcanic suites in HongKong[J]. Journal of the Geological Society, 1997, 154(6): 1053-1066.
- [70] 孟祥金,侯增谦,董光裕,等.江西冷水坑斑岩型铅锌银矿床地质特征,热液蚀变与成矿时限[J].地质学报,2009,83(12): 1951-1967.
- [71] 孙建东,骆学全,张雪辉,等.江西省冷水坑银铅锌矿床铁锰碳酸盐角砾岩成因研究[J].中国地质,2014,41(2): 484-496.
- [72] 钱迈平,张宗言,余明刚,等.江西贵溪冷水坑晚侏罗世铁锰白云岩地层年龄及沉积环境[J].地层学杂志,2015,39(4): 380-394.
- [73] 徐贻赣,吴淦国,王长明,等.江西冷水坑银铅锌矿田闪锌矿-锗测年及地质意义[J].地质学报,2013,87(5): 621-633.
- [74] 左力艳,侯增谦,孟祥金,等.冷水坑斑岩型银铅锌矿床含矿岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究[J].中国地质,2010,37(5): 1450-1456.
- [75] 陈其府.福建邱村金矿床地质特征[J].江西有色金属,2007,21(4): 8-11.
- [76] 袁慧香,陈辉.福建德化地区找矿进展及金矿成矿特征[J].矿物学报,2015, (S1): 1055.
- [77] 李海立,肖惠良,谢文清,等.福建德化北部陆相火山岩地区金矿含矿建造特征及其找矿方向[J].矿床地质,2014, (S1): 415-416.
- [78] 林泽铃.福建德化扶林矿区金矿地质特征及成因探讨[J].福建地质,2019,38(3): 57-64.
- [79] 陈龙照.福建德化青山山铜金矿地质物化探特征[J].福建地质,2011,30(4): 293-300.
- [80] 雷凤至,孙景贵,徐智涛,等.福建德化地区东洋浅成热液金矿床成矿作用与成因研究[J].世界地质,2019, (2): 339-353.
- [81] 徐楠.福建东洋金矿成矿系统及其成因研究[D].中国地质大学(北京)博士学位论文,2017: 1-157.
- [82] 高凤颖.粤东鸿沟山金矿区地质特征,矿床成因及电气石对金富集成矿的贡献[J].矿产与地质,2018, (2): 257-262.
- [83] 范飞鹏,肖惠良,陈乐柱,等.粤东鸿沟山金矿区流纹斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年、Lu-Hf 同位素组成及其地质意义[J].地质论评,2018,64(1): 213-226.
- [84] 刘昭平,吴建章.福清下溪底银矿田矿床成因[J].福建地质,1995, 14(2): 75-84.
- [85] 邹清泉.福建省莆田市乌寨尖银矿地质特征及成因探讨[J].企业技术开发,2012,31(1): 62-64.
- [86] 方芳.闽北香炉坪银金矿床地质特征及成因探讨[J].福建地质,2005,24(1): 12-18.
- [87] 沈中兴.福建岭头坪铅锌金银多金属矿地质特征及远景分析[J].福建地质,2005,24(3): 147-153.
- [88] 徐晓春,岳书仓.浙江天台大岭口银(金)铅锌矿床的成矿物质来源[J].合肥工业大学学报(自然科学版),1997,20(2): 12-18.
- [89] 梁乐辉.福建莆田泗洋铅锌矿地质特征及成因探讨[J].福建地质,2008, (3): 4-11.
- [90] 刘诗光.福建松溪大林坑钨多金属矿床地质特征及成因初探[J].福建地质,2005,24(3): 13-19.
- [91] 卢林.福建省建瓯市井后叶腊石矿火山岩地层控矿特征分析[J].江西建材,2017,0(6): 231-233.
- [92] 谢昕,徐夕生,邢光福,等.浙东早白垩世火山岩组合的地球化学及其成因研究[J].岩石学报,2003,19(3): 385-398.
- [93] Chen C H, Lee C Y, Shinjo R. Was there Jurassic paleo-Pacific subduction in South China?: Constraints from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating,

- elemental and Sr-Nd-Pb isotopic geochemistry of the Mesozoic basalts[J]. *Lithos*, 2008, 106(1-2): 83-92.
- [94] 广东省地质矿产局. 广东省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 1-260.
- [95] 段政, 邢光福, 余明刚, 等. 浙闽边界区晚中生代火山作用时序与过程分析[J]. *地质论评*, 2013, 59(3): 454-469.
- [96] Su H M, Mao J W, He X R, et al. Timing of the formation of the Tianhuashan Basin in northern Wuyi as constrained by geochronology of volcanic and plutonic rocks [J]. *Science China*, 2013, 56(6): 940-955.
- [97] 苏慧敏, 毛景文, 何细荣, 等. 北武夷天华山盆地形成时限的约束: 来自火山岩-侵入岩的年代学证据[J]. *中国科学: 地球科学*, 2013, 43(5): 745-769.
- [98] 唐春花, 张福神, 张旭, 等. 江西广丰岭底早白垩世破火山口地质和地球化学特征及其构造意义[J]. *华东地质*, 2013, 34(2): 80-88.
- [99] Li X H, Chung S L, Zhou H, et al. Jurassic intraplate magmatism in southern Hunan-eastern Guangxi: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, geochemistry, Sr-Nd isotopes and implications for the tectonic evolution of SE China[J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 2004, 226(1): 193-215.
- [100] Yang S Y, Jiang S Y, Jiang Y H, et al. Zircon U-Pb geochronology, Hf isotopic composition and geological implications of the rhyodacite and rhyodacitic porphyry in the Xiangshan uranium ore field, Jiangxi Province, China [J]. *Science China Earth Sciences*, 2010, 53(10): 1411-1426.
- [101] Yang S Y, Jiang S Y J, Zhao K D, et al. Timing and geological implications of volcanic rocks from the Ruyiting section, Xiangshan uranium ore field, Jiangxi Province, SE China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(12): 4362-4372.
- [102] 何观生, 戴民主, 李建峰, 等. 相山流纹英安斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2009, 33(2): 299-303.
- [103] 杨水源, 蒋少涌, 姜耀辉, 等. 江西相山火山侵入杂岩的锆石 U-Pb 精确定年及其地质意义[J]. *矿物学报*, 2009, 29(S1): 341-342.
- [104] 刘飞宇, 巫建华, 刘帅. 赣杭带早白垩世粗面岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义[J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 2009, 32(4): 330-335.
- [105] 张家菁, 施光海, 童贵生, 等. 浙江徐家墩鹅湖岭组含铜多金属矿火山岩的地球化学与年代学[J]. *地质学报*, 2009, 83(6): 791-799.
- [106] 王保峰, 巫建华. 江西南部版石盆地火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 2011, 34(1): 18-24.
- [107] 徐勋胜, 巫建华. 江西南部蔡坊盆地火山岩系层序与地质时代[J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 2010, 33(3): 211-218.
- [108] 巫建华, 刘飞宇, 刘帅. 峡江-广丰和三南-寻乌火山岩带晚中生代粗面岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. *地质论评*, 2011, 57(1): 125-132.
- [109] Davis D W, Sewell R J, Campbell S D G. U-Pb dating of Mesozoic igneous rocks from Hong Kong [J]. *Journal of the Geological Society*, 1997, 154(6): 1067-1076.
- [110] Sewell R J, Campbell S D G, Fletcher G J N, et al. The pre-Quaternary geology of Hong Kong [C]//Civil Engineering Department, the Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2000: 181.
- [111] Li Y, Zhou M F, Lai K W, et al. Geochemical and geochronological constraints on Late Jurassic volcanic rocks at Tuen Mun, Hong Kong, with implications for the Palaeo-Pacific subduction [J]. *International Geology Review*, 2014, 56(4): 408-429.
- [112] 邢光福, 吴振扬, 陶奎元, 等. 香港国家地质公园粮船湾组火山岩岩石学研究[J]. *中国地质*, 2011, 38(4): 1079-1093.
- [113] 张杰伟. 赣杭成矿带铀矿床成矿系列研究新进展和存在问题[J]. *科技经济导刊*, 2017, 0(14): 134-135.
- [114] 杨水源, 蒋少涌, 姜耀辉, 等. 江西相山流纹英安岩和流纹英安斑岩锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素组成及其地质意义[J]. *中国科学: 地球科学*, 2010, 4(8): 935-969.
- [115] 陈正乐, 王永, 周永贵, 等. 江西相山火山——侵入杂岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. *中国地质*, 2013, 40(1): 217-231.
- [116] 胡志华, 林锦荣, 姚亦军, 等. 相山铀矿田成矿构造系统及找矿方向探讨[J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 2018, 142(2): 27-36.
- [117] 李建峰, 周万蓬, 张德志. 江西相山铀矿田成矿有利因素分析[J]. *广东化工*, 2014, 41(3): 77-79.
- [118] 张万良. 相山铀矿田成矿后隆升剥露的磷灰石裂变径迹分析[J]. *地质找矿论丛*, 2012, 27(1): 23-28.
- [119] 邵飞, 范衡, 夏菲, 等. 相山矿田斑岩型铀矿床地球化学特征及成矿机制探讨[J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 2011, 34(4): 308-314.
- [120] 刘军港, 李子颖, 聂江涛, 等. 相山深部铅锌多金属矿化 S 同位素特征及其地质意义[J]. *地质论评*, 2017, 63(S1): 253-254.
- [121] 刘军港, 李子颖, 聂江涛, 等. 相山铀矿田西部地区深部多金属矿化成矿年代与成矿流体演化: Rb-Sr 同位素体系的制约[J]. *岩石学报*, 2019, 35(9): 2787-2800.
- [122] 韩效忠, 刘蓉蓉, 等. 浙江省衢州地区新路火山岩盆地西段铀成矿模式[J]. *矿床地质*, 2010, 29(2): 332-342.
- [123] 王洪作, 吴俊奇, 陈培荣, 等. 大桥坞产铀火山-侵入杂岩的岩浆混合作用及其对赣杭构造带铀成矿潜力的指示意义[J]. *高校地质学报*, 2016, 22(1): 30-42.
- [124] 韩效忠, 吴兆剑, 刘蓉蓉, 等. 浙江新路盆地九华山火山-侵入杂岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. *地球科学*, 2018, 43(S1): 192-208.
- [125] 林祥铨. 赣杭构造带若干铀矿床的同位素年龄研究及铀源初探[J]. *铀矿地质*, 1990, 6(5): 257-264.
- [126] 周家志. 670 铀矿床地质特征及其成因[J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 1992, 15(1): 31-44.
- [127] 朱三牛, 张万良, 胡茂梅. 浙江省大洲铀矿田控矿因素及成矿模式[J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 2016, 39(3): 229-238.
- [128] 毛孟才. 浙江火山岩型铀成矿特征及找矿前景[J]. *地质找矿论丛*, 2004, 19(1): 8-12.
- [129] 张万良. 华南铀矿类型、特点及其空间分布[J]. *矿产与地质*, 2011, 25(4): 265-272.
- [130] 田建吉, 胡瑞忠, 苏文超, 等. 赣杭构造带东段 661 铀矿床成因机制探讨[J]. *矿物学报*, 2015, 35(S1): 379-380.

- [131] 梅玉萍,李华芹,王登红,等.江西岩背斑岩锡矿的成岩成矿时代及其地质意义[J].地球学报,2007,28(5): 456-461.
- [132] 梁鹤.华南白垩纪岩背斑岩锡矿成矿斑岩的成因及其成矿意义[D].中国科学院大学(中国科学院广州地球化学研究所)硕士学位论文,2017: 1-98.
- [133] 徐敏林,张国培,漆富勇,等.江西省会昌县淘锡坝大型锡矿床构造控矿机制探讨[J].资源调查与环境,2011,32(4): 26-36.
- [134] 王献忠,宋贵斌,公维国,等.黑龙江塔河宝兴沟金矿床地质特征及流体包裹体研究[J].黄金,2014,35(4): 19-25.
- [135] 毛晓冬,黄思静.广东长坑—富湾金银矿床微量元素及稀土元素地球化学[J].成都理工大学学报(自然科学版),2002,29(4): 410-417.
- [136] 余明刚,邢光福,沈加林,等.雁荡山世界地质公园火山岩年代学研究[J].地质学报,2006,80(11): 1683-1690.
- [137] 邢光福,陈荣,杨祝良,等.东南沿海晚白垩世火山岩岩浆活动特征及其构造背景[J].岩石学报,2009,25(1): 77-91.
- [138] 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,2000,64(4): 487-498.
- [139] 李坤英,沈加林,王小平.中国浙闽赣地区中生代陆相火山岩同位素年代学[J].地层学杂志,1989,13(1): 1-13.
- [140] 俞云文.浙江早白垩世晚期火山活动与火山—沉积岩系地层划分[J].浙江地质,1994,10(2): 13-24.
- [141] 崔玉荣,谢智,陈江峰,等.浙东晚中生代玄武岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义[J].高校地质学报,2010,16(2): 198-212.
- [142] 秦社彩.浙闽白垩纪镁铁质火山岩地球化学特征及其深部动力学意义[D].中国科学院研究生院(广州地球化学研究所)博士学位论文,2007: 1-110.
- [143] 姜杨,钱迈平,邢光福,等.浙江天台盆地含恐龙骨骼及蛋化石地层的锆石 U-Pb 年代学[J].地层学杂志,2016,40(3): 272-277.
- [144] 冯宗帜,亓润章,黄水兴,等.福建永泰—德化地区火山地质及火山岩含矿性[J].南京地质矿产研究所所刊,1991,9(S1): 1-100.
- [145] 谢昕,邹海波.中国东南沿海中—新生代玄武岩微量元素和 Nd-Sr-Pb 同位素研究[J].岩石学报,2001,17(4): 617-628.
- [146] 肖爱芳,黎敦朋.福建省紫金山复式花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年[J].东华理工大学学报: 自然科学版,2013,35(4): 343-351.
- [147] 陈忠权,郭良,李文辉.粤东北大坪地区白垩纪火山岩的特征研究[J].广东地质,2003,18(3): 1-8.
- [148] 舒良树,邓平,王彬,等.南雄—诸广地区晚中生代盆地演化的岩石化学、运动学与年代学制约[J].中国科学: 地球科学,2004,34(1): 1-13.
- [149] Geng H, Xu X, O' Reilly S Y, et al. Cretaceous volcanic — intrusivemagmatism in western Guangdong and its geological significance[J].Science in China Series D,2006,49(7): 696-713.
- [150] 梁华英,孙卫东,莫济海,等.粤中三水盆地构造—岩浆事件与矿集区形成[J].中国地质,2008,35(6): 1121-1128.
- [151] 李坤英,沈加林,王小平,等.东南沿海火山、侵入杂岩同位素年代学[J].中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊,1990,11(4): 45-57.
- [152] 巫建华,徐勋胜,刘帅.赣南—粤北地区晚白垩世早期长英质火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质通报,2012,31(8): 1296-1305.
- [153] 周云.海南岛早古生代火山—沉积记录及其大地构造意义[D].中国科学院广州地球化学研究所博士学位论文,2014: 1-95.
- [154] 邢光福,郑剑波,沈加林,等.福建泰宁世界地质公园丹霞红层研究[J].地层学杂志,2013,37(1): 18-24.
- [155] 谢昕,徐夕生,邹海波,等.中国东南部晚中生代大规模岩浆作用序幕: J₂ 早期玄武岩[J].中国科学: 地球科学,2005,35(7): 587-605.
- [156] 巫建华,项媛馨,钟志菲.江西广丰、玉山盆地橄榄玄粗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年和 Sr-Nd-Pb-O 元素同位素特征[J].岩石矿物学杂志,2014,33(4): 645-656.
- [157] 杨永峰,董传万,闫强,等.浙闽沿海晚中生代伸展构造作用: 来自福建沿海中—基性岩墙群的证据[J].矿物岩石,2010,30(2): 87-94.
- [158] 高天钧,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: 8-20.
- [159] 王少怀,裴荣富,曾宪辉,等.再论紫金山矿田成矿系列与成矿模式[J].地质学报,2009,83(2): 145-157.
- [160] 潘天望,袁远,吕勇,等.福建紫金山矿田早白垩世以来构造演化和成岩成矿时空格架[J].地质力学学报,2019,25(1): 61-76.
- [161] 陈世忠,马明,陈刚,等.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[J].地球科学(中国地质大学学报),2010,35(6): 83-98.
- [162] 赵希林,毛建仁,陈荣,等.闽西南地区紫金山岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J].中国地质,2008,35(4): 590-597.
- [163] 黄文婷,李晶,梁华英,等.福建紫金山矿田罗卜岭铜钼矿化斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及成矿岩浆高氧化特征研究[J].矿物学报,2011,29(1): 592-593.
- [164] 梁清玲,江思宏,王少怀,等.福建紫金山矿田罗卜岭斑岩型铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 定年及地质意义[J].地质学报,2012,86(7): 1113-1118.
- [165] 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.
- [166] 黎敦朋,邱小平,张文慧,等.福建紫金山矿田深部似斑状花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 和单矿物⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及其地质意义[J].大地构造与成矿学,2016,40(4): 783-797.
- [167] 林全胜.福建武平悦洋银多金属矿床特征及成因探讨[J].福建地质,2006,25(2): 82-85.
- [168] 刘乃忠.福建政和马仑头金矿成矿物理化学条件及成因分析[J].福建地质,2017,36(4): 239-250.
- [169] 胡永和,徐步台,李长江,等.浙江中生代火山岩区“浅成热液”型金、银矿床的成因特征与成矿模式[J].矿产与地质,1991,5(22): 176-182.
- [170] 钱建民,钟增球,楼新涛,等.浙江治岭头矿田地球化学特征的研究[J].金属矿山,2008,0(6): 87-89,98.
- [171] 张克尧,王建平,杜安道,等.福建福安赤路钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J].中国地质,2009,36(1): 151-159.
- [172] 王翠芝,李超.福建武夷山坪地钼矿辉钼矿铼—钨同位素定年及其地质意义[J].岩矿测试,2012,31(4): 189-196.
- [173] 赵芝,陈郑辉,王成辉,等.闽东大湾钼铍矿的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄——兼论福建省钼矿时空分布及构造背景[J].大地构造与成矿学,2012,36(3): 399-405.
- [174] 张永山.浙江省找矿前景分析及需要研究解决的几个重要地质问题[J].火山地质与矿产,2000,21(3): 166-171.

- [175] 叶锡芳. 浙江萤石矿床成矿规律与成矿模式[J]. 西北地质, 2014, 47(1): 208-220.
- [176] 徐少康, 夏学惠, 闫飞, 等. 浙江八面山新型萤石矿床成矿期次及成矿作用[J]. 化工矿产地志, 2011, 33(4): 215-222.
- [177] 汤元龙. 浙江苍南矾山破火山口与明矾石矿床成因机制研究[J]. 化工地质, 1992, 14(3): 8-16.
- [178] 尤阳正. 福建浦城黎处萤石矿地质特征及成因探讨[J]. 福建地质, 2018, 37(3): 220-226.
- [179] 任纪舜. 新一代中国大地构造图——中国及邻区大地构造图(1:5000000)附简要说明: 从全球看中国大地构造[J]. 地球学报, 2003, 24(1): 1-2.
- [180] 王德滋, 周金城. 大火成岩省研究新进展[J]. 高校地质学报, 2005, 11(1): 1-8.
- [181] 徐夕生, 谢昕. 中国中南部晚中生代—新生代玄武岩与壳幔作用[J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 318-334.
- [182] 周金城, 蒋少涌, 王孝磊, 等. 华南中侏罗世玄武岩的岩石地球化学研究[J]. 中国科学(D 辑), 2005, 35(10): 927-936.
- [183] 张岳桥, 徐先兵, 贾东, 等. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录[J]. 地学前缘, 2009, 16(1): 234-247.
- [184] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 2005, 24(2): 99-107.
- [185] Zhou X M, Li W X. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas[J]. Tectonophysics, 2000, 326(3): 269-287.
- [186] Shu L S, Zhou X M, Deng P, et al. Mesozoic tectonic evolution of the Southeast China Block: New insights from basin analysis [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 34(3): 376-391.
- [187] Li Z X, Li X H. Formation of the 1300-km-wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model[J]. Geology, 2007, 35(2): 179-182.
- [188] 周金城, 蒋少涌, 王孝磊, 等. 东南沿海晚中生代镁铁质岩的 Re-Os 同位素组成[J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 407-413.
- [189] 董传万, 张登荣, 徐夕生, 等. 福建晋江中-基性岩墙群的锆石 SHRIMP U-Pb 定年和岩石地球化学[J], 2006, 22(6): 1696-1702.
- [190] 邱检生, 王德滋, 彭亚鸣, 等. 浙江舟山桃花岛碱性花岗岩的岩石学和地球化学特征及成因探讨[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1996, 32(1): 80-89.
- [191] 邱检生, 王德滋, 周金城, 等. 福建永泰云山碱性流纹岩的厘定及其地质意义[J]. 地质论评, 2000, 46(5): 520-529.
- [192] 邱检生, 蟹泽 聪史, 王德滋. 浙江苍南瑶坑碱性花岗岩的地球化学及其成因类型[J]. 岩石矿物学杂志, 2000, 19(2): 97-105.
- [193] 董传万, 闫强, 张登荣, 等. 浙闽沿海晚中生代伸展构造的岩石学标志: 东极岛镁铁质岩墙群[J]. 岩石学报, 2010, 26(4): 1195-1203.
- [194] 谢磊, 王汝成, 王德滋, 等. 浙江桃花岛碱性和普陀山铝质 A 型花岗岩副矿物对比研究[J]. 2005, 11(3): 390-403.
- [195] 单强, 曾乔松, 李建康, 等. 福建魁岐晶洞花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其地球化学研究[J]. 岩石学报, 2014, 30(4): 1155-1167.