

闽西南地区大地构造演化和矿床时空分布规律*

张振杰^{1,2} 左仁广^{1**}ZHANG ZhenJie^{1,2} and ZUO RenGuang^{2**}

1. 地质过程与矿产资源国家重点实验室,中国地质大学,武汉 430074

2. 中国地质大学资源学院,武汉 430074

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Faculty of Earth Resource, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2014-01-01 收稿, 2014-10-07 改回.

Zhang ZJ and Zuo RG. 2015. Tectonic Evolution of southwestern Fujian Province and spatial-temporal distribution regularity of mineral deposits. *Acta Petrologica Sinica*, 31(1):217–229

Abstract Based on the previous researches, we discuss the main types and characteristics of deposits developed in southwestern Fujian Province and recognize these deposits in three episodes: Jinningian marine volcanism related Pb, Zn, Ag polymetallic VMS deposits; Hercynian-Indosinian intrusive rocks related Fe, Cu, Pb, Zn polymetallic deposits; and Yanshanian intermediate-acid intrusive rocks related Fe, Cu, Pb, Zn, Mo, W, Sn, Au, Ag, U polymetallic deposits. And the latter one could be subdivided into Early Jurassic I-type granitoids related Fe, Cu, Pb, Zn deposits; Late Jurassic S-type granitoids related W, Sn, Mo, Bi deposits; Lower Cretaceous intermediate-acid intrusive rocks related skarn-type Fe, Cu, Pb, Zn, Mo deposits; and Lower Cretaceous intermediate-acid intrusion-subvolcanism related Au, Ag, Cu, Mo, Pb, Zn, U deposits. After descriptions of the basic geological characteristics and spatial-temporal distribution of these deposits, it is suggested that Jinningian polymetallic VMS deposits were occurred in the Zhenghe-Dapu bimodal volcanic basin which were generated during the cracking process of South China continental block in Neoproterozoic, Hercynian-Indosinian magmatic-porphyry deposits were occurred in the intrusion process of intracontinental extension and extrusion, and Yanshanian deposits were generated in the intrusion-subvolcanism which were occurred in the alternate of intracontinental extension and extrusion in Pacific tectonic domain period.

Key words Minerogenetic series; Tectonic evolution; Ore deposits types; Spatial-temporal distribution; Southwestern Fujian

摘要 在充分吸收前人工作成果的基础上,讨论了闽西南地区的主要矿床类型及其特征,将闽西南地区的矿床划分为三个矿床成矿系列:晋宁期与海相火山作用有关的铅、锌、银多金属块状硫化物矿床成矿系列;海西-印支期与火成岩有关的铁、铜、铅、锌多金属矿床成矿系列;燕山期与中酸性火成岩有关的铁、铜、铅、锌、钼、钨、锡、金、银、铀等多金属矿床成矿系列。其中,与燕山期有关的矿床成矿系列可进一步划分为侏罗纪早期与壳幔混合源 I 型花岗岩长岩有关的铁、铜、铅、锌矿床成矿亚系列;侏罗纪晚期与壳源 S 型花岗质岩体有关的钨、锡、钼、铋多金属矿床成矿亚系列;早白垩世与壳源型中酸性侵入岩有关的层控矽卡岩型铁、铜、铅、锌、钼多金属矿床成矿亚系列;早白垩世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、铀等多金属矿床成矿亚系列。总结研究提出了各成矿(亚)系列的形成背景、时空分布规律,初步认为晋宁期 VMS 型多金属矿床形成于华南联合陆块拉张裂解形成的政和-大埔海底双峰式火山盆地环境,海西-印支期岩浆热液-斑岩型金属矿床形成于陆内伸展与挤压环境交替出现的岩浆侵入过程中,而燕山期成矿(亚)系列则形成于太平洋构造域时期的陆内伸展与挤压环境交替出现的岩浆侵入与火山喷发的过程中。

关键词 成矿系列;构造演化;地质特征;矿床类型;矿床时空分布;闽西南

中图法分类号 P612

* 本文受国家自然科学基金项目(41372007)和教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-13-1016)联合资助。

第一作者简介:张振杰,男,1988年生,博士生,矿床普查与勘探专业,E-mail: zzzj1117@126.com

** 通讯作者:左仁广,男,1981年生,博士,教授,博士生导师,主要从事矿产资源定量预测与评价的科研工作,E-mail: zrguang@cug.edu.cn

闽西南地区位于中国东南大陆边缘,是我国重要的铁铜多金属成矿带之一。该地区经历了复杂的构造演化与地质作用,形成了特有的矿床类型和成矿系列。毛建仁等(2001)对闽西南地区的成岩成矿作用与构造环境进行了研究,总结了本区3个成矿系列:与石炭纪-二叠纪特定层位(含火山活动)有关的铁、铜、锰、铅、锌矿床成矿系列;与燕山早期火山岩和黑云母花岗岩类有关的锡、钨、钼、铋、铜、铅、锌矿床成矿系列;以及与燕山期花岗岩长(斑)岩有关的铜、金、银、铅、锌矿床成矿系列。近几年,随着闽西南地区包括铁铜在内的找矿工作取得了重要进展,对元古代以来东南大陆的构造研究不断取得新的成果和矿床年代学数据不断积累,以及对地层、构造及岩浆岩等成矿地质要素的新认识,区内主要矿床的成因研究工作也有较大进展,亟需更新对本地区成矿规律的认识。本文在吸收前人的研究基础上,初步厘定了闽西南地区构造格局的演化及矿床类型,总结了本区矿床成矿系列类型及其与构造演化的时空规律。

1 成矿地质背景

1.1 闽西南区域地质特征

闽西南地区是指南平-宁化北东向构造岩浆带以南与政和-大埔北北东向断裂带以西的福建省的地区(图1)。

区内缺失新太古代、中元古代、志留纪及早泥盆世地层,发育有古元古代桃溪组为变质基底和其它时代地层(毛建仁等,2001;张庆龙等,2008)。毛建仁等(2001)根据地层的岩性、岩相、成岩环境差异等将闽西南地区主要地层分为三大岩系。其中,前泥盆纪基底岩系以中浅变质岩为主,主要出露在闽西南地区的西部武夷隆起和东北闽中裂谷地区;晚泥盆世-中三叠世盖层岩系为一套浅海、滨海相、海陆交互相及陆相沉积岩,局部夹火山岩,主要分布于闽西南晚古生代拗陷带内;中生代陆相碎屑及火山岩系主要由陆相碎屑物及火山喷发和火山沉积物组成,零星分布于区内(图1)。

闽西南地区侵入岩分布广泛,约占工作区总面积的40%(林东燕,2011)。侵入岩主要以酸性、中酸性花岗岩类为主,可划分加里东、海西-印支、燕山三个侵入期,其中燕山期的侵入岩体规模最大。不同时代的岩体均显示了受构造控制的带状分布特征。加里东期岩体主要分布在宁化-南平、三明-上杭等地,主体呈NEE-NE向展布。海西期侵入岩主要呈NE向分布于大田-龙岩陆表海盆地内,对应于陆表海盆地的内部及边缘裂隙;印支期侵入岩则分布于大田-龙岩陆表海盆地的东、西两侧,对应于陆内造山的产物。燕山早期,受太平洋板俯冲块影响,岩浆活动强烈,侵入岩广泛分布,总体方向为NNE向。燕山晚期岩浆侵入活动具明显的继承性,侵入岩体一般位于燕山早期岩体的周围。

闽西南地区构造变形明显,区域上主要受政和-大埔断裂带、宁化-南平构造岩浆带、上杭-云霄断裂带以及闽江口-永定断裂带的影响。此外,逆冲推覆构造和褶皱在闽西南地

区也广泛分布。

1.2 闽西南大地构造演化

对于闽西南地区的构造格局,目前主要存在两种不同观点:一是,认为闽西南地区存在中-新元古代和晚古生代到三叠纪的洋盆,两侧为不同基底岩系的陆块(许靖华等,1987;周祖翼,1989;张庆龙等,2008;王果胜等,2009);二是,一些学者认为中-新元古代和晚古生代闽西南地区总体上为华夏古陆内的局部拗陷构成的张性的较为封闭的浅海半深海沉积裂谷环境(张达,1999;毛建仁等,2001;吴淦国等,2004;林东燕,2011;舒良树,2012)。两种观点的分歧主要在于中-新元古代和晚古生代闽西南地区为海盆环境还是洋盆环境,即洋盆/海盆两侧是否为独立的陆体。虽然闽西南地区早二叠世文笔山组和童子岩组海相化石具有浓厚的特提斯域色彩,是特提斯海动物群的重要分子(王果胜等,2009),说明了闽西南至粤东北晚古生代至早三叠世海域可能与特提斯洋是相互连通的,但是闽西南地区并没有发现中-新元古代和晚古生代碰撞造山作用所应有的蛇绿混杂岩及强烈的造山带变形的样式,因此,闽西南地区在中-新元古代和晚古生代应当不存在洋盆环境。

不同学者根据闽西南的地层沉积、岩浆岩及变质特征差异,对闽西南地区的构造演化提出了不同看法(张达,1999;毛建仁等,2001;林东燕,2011;张承帅,2012)。但总的来说,本区构造发展归结为前泥盆系基底形成、海西-印支期沉积盖层形成、燕山期活动大陆边缘等三个阶段:

(1) 基底形成阶段

闽西南地区出露的最早的基底地层是古元古代桃溪岩组低角闪岩相的片岩、变粒岩等,晋宁运动使其发生低-高角闪石相中压型区域变质作用,形成了初步的稳定基底(张达,1999)。

新元古代早期(10~8.5亿年),古华南洋板块从东南向扬子块体俯冲,导致古华南洋闭合,华夏块体与扬子块体发生碰撞,形成陆壳增厚和过铝质花岗岩的大量喷发作用(舒良树,2012)。闽西南政和-大埔一带发育有具大陆裂谷性质的镁铁-超镁铁岩和双峰式火山岩系,并常与无根的蛇纹岩、辉石岩共存(Shu *et al.*, 2011; 舒良树, 2012)。其中SHRIMP 锆石 U-Pb 测定的辉长岩和辉绿岩年龄为 $847 \pm 8\text{Ma}$ 到 $795 \pm 7\text{Ma}$ (Shu *et al.*, 2006, 2008, 2011),长英质火山岩锆石 U-Pb 年龄为 $818 \pm 9\text{Ma}$ (Li *et al.*, 2005)。说明了在8.5亿年后,新聚合成的华南联合陆块发生陆内拉张-岩浆作用和裂谷作用(舒良树,2012)。由于拉张断裂可达软流圈,致使华夏块体沿南东缘政和-大埔断裂一带形成镁铁-超镁铁岩侵入和双峰式火山作用。华南联合陆块的裂解原因可能是受全球 Rodinia 超大陆裂解事件的影响(舒良树,2012)。

晋宁运动后(7亿年左右),华南地区转为壳内尺度的伸展作用,闽西南地区接受震旦纪-奥陶纪的沉积,形成砂泥质复理石、火山碎屑岩复理石及中酸性侵入岩建造,在加里东

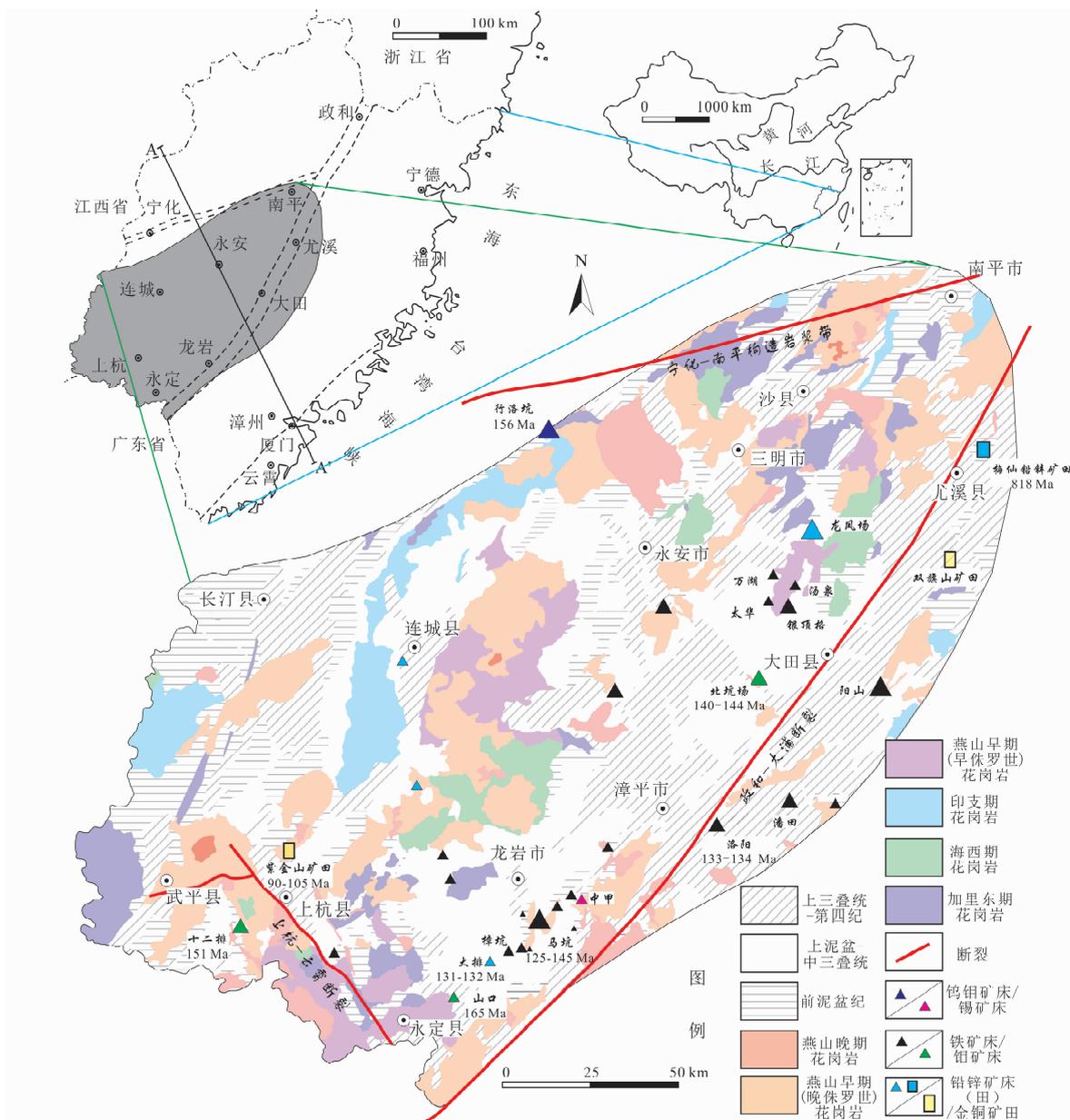


图1 闽西南地区地质与矿床分布图

地质图据林东燕(2011)和 Zhang *et al.* (2014) 修改;梅仙铅锌矿年龄据 Li *et al.* (2005);行洛坑钨(铜)矿成矿年龄据张家菁等(2008);马坑铁矿成矿年龄据张承帅等(2012a)和 Zhang *et al.* (2014);山口钼矿成矿年龄据罗锦昌等(2009);十二排钼矿成矿年龄据王少怀(2013);北坑钨矿成矿年龄据张达等(2010);洛阳铁矿成矿年龄据张达等(2012);紫金山矿田成矿年龄据黄文婷等(2013),Jiang *et al.* (2013),刘晓东和华仁民(2005);大排铅锌矿年龄据袁远等(2013)

Fig.1 Geological map and distribution of major ore deposits in southwestern Fujian

造山运动的强烈改造下,地层发生了强烈褶皱和区域变质作用,形成千枚岩型浅变质岩系加里东期变质褶皱基底(张达,1999)。至此,闽西南地区双层基底形成。

(2) 沉积盖层形成阶段

加里东期以后,主要以地壳升降运动为主,闽西北地区的隆起持续到中三叠世,而闽西南地区除了在志留纪和早、中泥盆世闽西南地区呈现隆起状态,晚泥盆世至早三叠世则形成张性较为封闭的浅海半深海沉积裂谷环境,接受大量的

陆源碎屑,形成巨厚的海相沉积(张达,1999)。

印支期运动后,闽西南地区海盆趋于闭合,闽西南晚古生代拗陷构造环境由拉张转变为挤压。

(3) 燕山期活动大陆边缘阶段

晚三叠世以后,受古太平洋板块向北西俯冲影响,中国东部大陆边缘逐渐成为活动大陆边缘(毛景文等,1999,2004,2005,2007,2008,2011;舒良树等,2006;王彬等,2006;董树文等,2007),造成沿海地区弧后拉张伸展、地壳减薄、地

表1 燕山期构造演化与岩浆岩特征

Table 1 The tectonic evolution and characteristics of magmatic rocks in Yanshanian

| 构造演化阶段 | 地质时代 | 构造变形特征 | 相应岩浆岩特征 | 代表性岩体 |
|--------|------------------------|---------|--|---------------|
| 印支期 | 中晚三叠世前(>195Ma) | 挤压造山作用 | 地壳增厚,典型壳源型花岗岩特征 | 宣和岩体 |
| 燕山早期 | 早侏罗世-中侏罗世早期(195~165Ma) | 挤压后伸展环境 | 具有壳幔混合特征,从西向东,由内陆向沿海,带内火山岩由碱性特征逐渐变为拉斑质的特征,花岗岩由S型-A型-I型逐渐过渡 | 汤泉岩体 |
| | 中晚侏罗世-晚侏罗世(165~145Ma) | 挤压环境 | 具有壳源型花岗岩的特点 | 才溪岩体 |
| 燕山晚期 | 早白垩世早中期(145~125Ma) | 伸展环境 | 少量地幔组分参与 | 大洋-莒岩岩体 |
| | 早白垩世晚期以后(125~100Ma) | 持续伸展环境 | 地幔组分逐渐增多,具典型的壳幔混源型花岗岩特征 | 四方岩体 罗卜岭岩体 |

幔上隆,地壳物质受到软流圈减压上升底侵作用而发生部分熔融,形成了大规模的花岗质岩浆,并由此引发了中国东南部地质历史上规模最大的火山-侵入活动,形成了大规模的花岗质侵入杂岩(周金城等,1994;董传万等,1997)。闽西南地区燕山期构造演化与岩浆特征如表1所示。

汤泉花岗闪长岩体(183~158Ma)与中国东南部元古代变质基性火山岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 和 t_{DM} 模式年龄大致相近(凌洪飞等,1999),为具壳幔混合特征的I型花岗岩(Mao *et al.*, 2003; 林东燕, 2011),推断是地幔起源的玄武岩浆侵位到加厚的陆壳底部导致下地壳基性岩石部分熔融形成的(毛建仁等,2004)。Mao *et al.* (2003)认为,汤泉花岗闪长岩体早期处于相对挤压构造环境,晚期处在伸展拉张环境,说明了自190Ma以来,闽西南地区已经开始岩石圈的伸展活动。谢昕等(2005)认为早侏罗世,古太平洋板块俯冲开始,在其俯冲挤压作用下,垂直向上的张力造成了印支期形成的近EW向断裂的重新活化、拉张,软流圈减压上涌产生的岩浆沿近东西向展布的裂解区域喷出地表形成了早-中侏罗世海陆交互相火山-沉积带(毛建仁等,2001;陈润生等,2008),从西向东,由内陆向沿海,带内火山岩由碱性特征逐渐变为拉斑质的特征,花岗岩由S型-A型-I型逐渐过渡,说明了古太平洋板块俯冲引起该带的拉张程度由内陆向沿海逐渐增大(谢昕等,2005;刘潜等,2011)。闽西南地区以带内双峰式火山岩、拉斑质玄武岩和同时代A型-I型花岗岩、橄辉辉岩为特征(舒良树等,2006)。而才溪二长花岗岩(150Ma)(赵希林等,2007,2013)具有壳源型花岗岩的特点,为岩石圈又一期挤压背景下的产物。广泛发育推覆构造,也说明了岩石圈此时处于相对挤压的背景,并因此出现了加厚特征(吕良冀,2014)。大洋-莒岩花岗岩体(145~125Ma)(Zhang *et al.*, 2014; 张承帅等, 2012b)Sr-Nd-Pb同位素的特征表明存在少量EM II型富集地幔组分参与大洋-莒岩岩体花岗岩的形成,说明145~125Ma左右北北东向政和大浦断裂重新活化拉张,闽西南地区再一次处于岩石圈伸展阶段。四方花岗闪长岩体(108Ma)(毛建仁等,2002)和罗卜岭岩体(111~102Ma)(张德全等, 2001; Jiang *et al.*, 2013)的Sr-Nd同位素特征表明在成岩过程中有较多的地幔组分加入而具壳幔混合特征,是典型的壳幔混源型花岗岩(毛建仁等,2004;赵希林等,

2013)。沿一系列北西向的断裂带和断陷盆地内的较大规模的陆相火山喷发和侵入作用,标志着100Ma左右闽西南地区已全面处于伸展构造环境(陈润生等,2008)。

针对华南地区燕山期以来大规模的中酸性岩浆侵入作用的成因,目前的主要观点有:(1)古太平洋板块的超低角度俯冲-裂解-折返作用(flat subduction-slab break-off and foundering-rollback)(Li *et al.*, 2007, 2014; Li and Li, 2007);(2)古太平洋板块俯冲角度的变化以及大规模的基性岩浆的底侵作用(Zhou and Li, 2000; 舒良树和周新民, 2002; 张岳桥等, 2009);(3)古太平洋板块俯冲速度的变化(王强等, 2005);(4)古太平洋板块俯冲方向的变化(毛景文等, 2004, 2007, 2008, 2009, 2011; Mao *et al.*, 2006, 2008, 2013)。

从古近纪开始,闽西南地区进入喜马拉雅旋回,主要形成了中基性侵入岩和碎屑岩-玄武岩建造(张承帅,2012)。

2 闽西南主要矿床类型和成矿系列

闽西南地区发生过新元古代和晚古生代多次地壳的垂直升降运动,并伴随着大量的海底火山作用,在晚三叠世-早侏罗世又由挤压隆升向拉张裂陷反转,并在中侏罗世-晚侏罗世全面进入大陆边缘活动阶段。因此,闽西南地区不仅具有新元古代和晚古生代VMS型铜、铅、锌、银矿床,而且还具有与中生代中酸性和酸性火成岩有关的金、银、铜、钼、铅、锌、铁等多金属矿床,后者构成了闽西南成矿带矿床的主体。

2.1 主要矿床类型

闽西南成矿带主要是一个Fe-Cu-Mo-Pb-Zn和Au-Ag-Cu-Mo多金属成矿带。按照矿床成因类型,闽西南成矿带主要矿床可以分为VMS型矿床(例如梅仙铅锌银矿)、斑岩型矿床(例如溪坪金铜矿、罗卜岭铜(钼)矿、行洛坑钨(钼)矿)、矽卡岩型矿床(例如汤泉铁矿、马坑铁钼矿、大排铁铅锌矿)、中高温热液型矿床(例如山口钼多金属矿)、浅成低温热液型矿床(例如紫金山铜金矿、碧田金银铜多金属矿、上杭风云头钼矿)。按照成矿时代可以划分为新元古代VMS型铜、铅、锌、银矿床,中-晚古生代海底火山热液型铜、铅、锌矿床,中侏罗世与(中)酸性岩浆活动有关的斑岩型-矽卡岩型-热液

脉状充填型钨、钼、锡多金属矿床,早白垩世层控矽卡岩型铁、铜、铅、锌、钼矿床,早白垩世与中酸性岩浆活动有关的矽卡岩型-岩浆热液型铜、铁、铅、锌矿床和早白垩世与陆相高钾钙碱性火山-次火山活动有关的斑岩型-浅成中低温热液型金、银、铜、钼矿床。

2.2 成矿系列研究

按照成矿系列学术思想(陈毓川,1994;陈毓川等,2006),闽西南成矿带可以划分为,晋宁期与海相火山作用有关的铅、锌、银多金属块状硫化物矿床成矿系列,海西-印支期与火成岩有关的铁、铜、铅、锌多金属矿床成矿系列和燕山期与中酸性火成岩有关的铁、铜、铅、锌、钼、钨、锡、金、银、铀等多金属矿床成矿系列。

2.2.1 晋宁期与海相火山作用有关的铅、锌、银多金属块状硫化物矿床成矿系列

典型矿床为梅仙铅锌银矿,赋矿主岩为马面山群东岩组绿片岩(原岩为拉斑玄武质火山沉积岩)。Li *et al.* (2005)对马面山群东岩组变质岩的 SHRIMP 定年结果,表明其形成于新元古代(818 ± 9Ma)。矿体主要呈层状、似层状、透镜状,与围岩产状基本一致,并与围岩同步褶皱,无明显穿层现象,严格受围岩控制(吴志强,2003)。矿石发育条带状、块状、半块状等典型同生沉积矿石组构。矿区主要蚀变类型包括绿泥石化、绢云母化、透辉石化、绿帘石化、硅化和碳酸盐化等,其中透辉石化、绿帘石化、硅化和碳酸盐化与铅锌成矿关系密切。

新元古代晚期,闽西南地区政和-大埔断裂一带的拉张裂谷中,发生海底基性-酸性火山喷发沉积,伴随海底火山的多次喷发,含矿热水发生喷流,矿质发生沉淀、堆积,形成块状硫化物型铅锌矿层或含锌、铅、铜、银等的矿源层。加里东期褶皱隆起和区域变质作用,导致部分矿质聚集或形成新的矿层。此外,燕山期岩浆活动对早期海底火山喷发沉积矿床产生强烈的热液叠加和改造作用,对矿质富集具有重要意义(丰成友等,2007)。

2.2.2 海西-印支期与火成岩有关的铁、铜、铅、锌多金属矿床成矿系列

典型矿床为溪坪岩浆热液-斑岩型金铜矿,位于政和-大埔断裂带的中段。矿区内岩浆岩主要是海西-印支期石英闪长岩-溪坪岩体,岩体全岩 K-Ar 同位素年龄为 263.3Ma(林东燕,2011)。金铜矿体主要分布于石英闪长岩体中的石英脉中(黄德理,2009)。矿体受岩体内断裂裂隙带的控制,呈平行侧列薄脉型近东西向的矿体群展布。围岩蚀变主要有硅化(石英脉)、绿泥石化、碳酸盐化等,其中硅化(石英脉)与矿化关系密切。

海西-印支期,整个华南地区处于壳内尺度的伸展状态(舒良树,2012),受构造影响较弱。因此,闽西南地区发生伸展背景下的中酸性岩浆侵入,伴随岩浆侵入产出一些岩浆热液-斑岩型铜、钼、铅、锌矿床,如溪坪金铜矿。

2.2.3 燕山期与中酸性火成岩有关的铁、铜、铅、锌、钼、钨、锡、金、银、铀等多金属矿床成矿系列

2.2.3.1 侏罗纪早期与壳幔混合源 I 型花岗闪长岩有关的铁、铜、铅、锌矿床成矿亚系列

(1) 产于岩体顶部的斑岩型矿床

典型矿床是马头山铜矿,矿体多呈细脉浸染状产出于汤泉岩体边缘花岗闪长斑岩内,与花岗闪长斑岩的产出关系密切。矿区主要的蚀变类型为钾化和绢英岩化。

(2) 产于岩体与地层接触带的矽卡岩型矿床

典型矿床为汤泉铁多金属矿,矿体赋存于汤泉花岗闪长岩体与栖霞组灰岩接触带矽卡岩中,产状与接触面产状基本一致。矿区蚀变作用强烈,主要见矽卡岩化、角岩化、硅化和绿帘-绿泥石化等。其中,矽卡岩化与铁矿关系密切,且蚀变分带明显,从内到外为钾化-石榴石矽卡岩化-透辉石矽卡岩化分带,而绿帘-绿泥石化等热液蚀变与铅锌多金属矿化有关(林东燕,2011)。

早侏罗世-中侏罗世早期,闽西南地区处于印支挤压造山后的伸展阶段,地幔起源的岩浆的底侵作用导致加厚的元古代下地壳基性火山岩部分熔融,产出壳幔混合源 I 型花岗闪长岩,此类岩体往往与铁、铜、铅、锌矿床的产出相关(毛建仁等,2004)。

2.2.3.2 侏罗纪晚期与壳源 S 型花岗质岩体有关的钨、锡、钼、铋多金属矿床成矿亚系列

(1) 产于岩体顶部的斑岩型钨、锡、钼、铋矿床

典型矿床为行洛坑超大型钨(钼)矿,行洛坑矿区出露两个花岗斑岩体,均侵入于震旦系罗峰溪群石英砂岩、粉砂岩及钙质砂岩透镜体等浅变质岩中。两个花岗斑岩体年龄分别为 155Ma 和 157Ma(张家菁等,2008)。花岗岩中辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 156.3 ± 4.8Ma,石英脉中流体包裹体的 Rb-Sr 等时线年龄为 147.5 ± 2.9Ma,表明成矿作用与岩浆岩的形成基本同步,并延续了大约 10Myr(张家菁等,2008)。矿化主要集中在两个花岗斑岩体内,岩体全岩呈浸染状钨矿化,密集分布含钨、钼的石英细脉,早期产出者以含白钨矿、辉钼矿为主,晚期石英脉以黑钨矿为主,亦见少量白钨矿(张玉学和刘义茂,1993)。矿区主要的蚀变类型有钾长石化、绿帘石化、绿泥石化、云英岩化和硅化等。

(2) 产于岩体外围地层中的中高温热液型钨、锡、钼、铋矿床

典型矿床为山口钼多金属矿,矿床位于上杭-云霄成矿带中部,东邻政和-大埔深大断裂带。罗锦昌等(2009)对矿石中辉钼矿 Re-Os 定年结果,显示其等时线年龄为 165.3Ma,表明其为侏罗纪晚期成矿。矿体主要为细脉状赋存于早侏罗世藩坑组细砂岩-粉砂岩中。常见围岩蚀变为绿泥石化、硅化、黄铁矿化、绢云母化、钾化等(卢俊胜,2008)。

中侏罗世晚期-晚侏罗世,古太平洋板块持续低角度向大陆板块俯冲挤压,导致了闽西南地区地壳增厚并产生大量逆冲推覆构造,伴随着过铝质超酸性高分异的壳源 S 型花岗

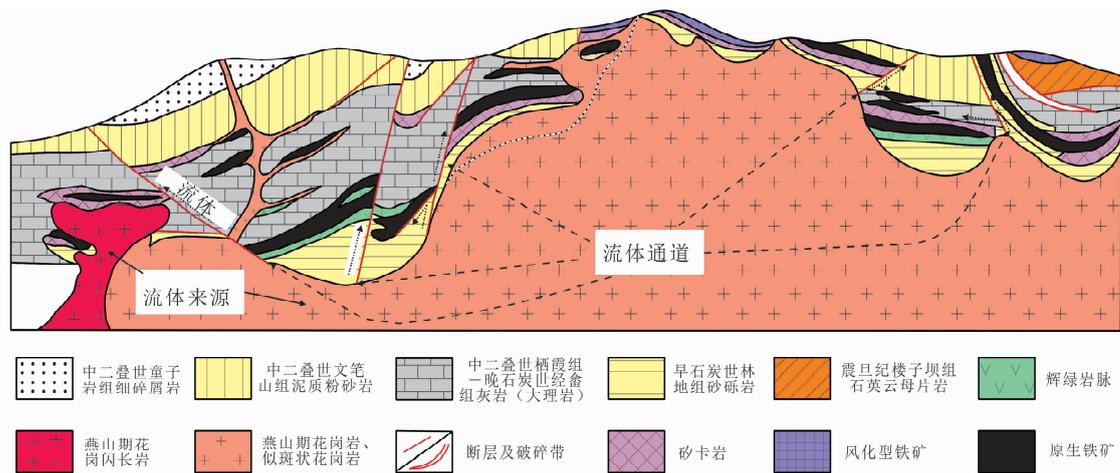


图2 闽西南马坑式层控砂卡岩型矿床成矿模式图(据福建省地质调查研究院,2010^①;Zuo *et al.*, 2014 修改)

Fig. 2 Metallogenic pattern of Makeng iron-molybdenum deposit (after Zuo *et al.*, 2014)

质岩体的侵入,此类岩体往往与钨、锡、钼、铋矿床关系密切(华仁民等,2003;毛建仁等,2010)。

2.2.3.3 早白垩世与壳源型中酸性侵入岩有关的层控砂卡岩型铁、铜、铅、锌、钼多金属矿床成矿亚系列

代表性矿床为马坑铁矿。矿区出露燕山期莒舟-大洋花岗岩体(145~125Ma)(Zhang *et al.*, 2014)。主矿体为一隐伏层状矿体,产于下石炭统林地组石英(杂)砂岩、似层状基性岩与经畲组-栖霞组灰岩的层间破碎带中。一些小的矿体则产出于其他地层的层间接触带中,例如,栖霞组与文笔山组。矿区主要的蚀变类型为砂卡岩化,其次为硅化、钾化和含氯角闪石化。矿化与透辉石砂卡岩化和石榴石砂卡岩化关系密切。

海西-印支时期,闽西南地区处于长期的海侵状态,接受晚古生代-三叠纪沉积。形成一套富含铁、铜、钼、铅、锌的沉积岩系,燕山期后,多期次的岩浆活动提供了热源、流体来源及铁质来源,流体沿着北东向断裂向上运移,在岩体与石炭-二叠系碳酸盐岩地层的接触面及石炭-二叠系地层内部发生了热液交代作用,形成了矿化及砂卡岩化、钾长石化、钠长石化、绿帘-绿泥石化等围岩蚀变。成矿作用主要发生在燕山期莒舟-大洋花岗岩体侵入期间(Zhang *et al.*, 2014)。铁主要来源于花岗岩岩浆,部分来自于海西期似层状基性岩及沉积地层(Zhang and Zuo, 2013, 2014)。岩体与石炭-二叠系碳酸盐岩地层的接触面及石炭-二叠系地层为矿床的形成提供了有利的场所(图2)。区内其他类似矿床还有樟坑、阳山、潘田、洛阳铁矿床及大排铁铅锌矿床。

2.2.3.4 早白垩世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、铀等多金属矿床成矿亚系列

闽西南地区与燕山晚期白垩纪中酸性侵入岩-次火山作

用有关的矿床主要产出在紫金山矿田附近。根据矿床的产出位置和成因类型,据王少怀等(2009)可以将此成矿系列的主要矿床分为以下4个类型:

(1) 斑岩型铜(钼)矿床

代表性矿床为闽西南成矿带西南部的萝卜岭铜(钼)矿。矿床位于宣和复背斜与上杭-云霄深断裂带的交汇部位(薛凯和阮诗昆,2008)。矿体主要赋存于燕山晚期(早白垩世,97.6~103.7Ma)黑云母花岗闪长斑岩及角闪黑云母花岗斑岩中(黄文婷等,2013)。区内主要的蚀变类型具有典型的斑岩型矿床分带特征,最早发育的是内核的钾化(主要为钾长石和次生黑云母)和外接触带的青磐岩化(绿帘石、绿泥石、钠长石等),其次是后期叠加的绢英岩化(绢云母、石英)等。其中,矿化与绿泥石化-绢云母化-硅化-黄铁矿化组合关系密切。同类矿床还有中寮矿床等(张德全等,1996)。

(2) 产于斑岩铜(钼)矿化上部的高硫型浅成低温热液铜(金)矿床

典型矿床为紫金山铜金矿,其中铜矿床位于中浅剥蚀的紫金山火山机构旁侧。现存的火山机构由复式斑岩筒(上部为英安玢岩、下部为花岗闪长斑岩)、隐爆角砾岩环和外侧的热液角砾岩脉组成。矿体主要赋存于早白垩英安斑岩体(111~102Ma, Jiang *et al.*, 2013)内部的NW向裂隙带中,早期二长花岗岩(165~157Ma, Jiang *et al.*, 2013)并非含矿岩体,仅有轻微的锡矿化(赵希林等,2008)。主要的蚀变类型有明矾石化、地开石化、重晶石化、氯黄晶化,并沿复式斑岩筒呈环带状分布。其中,铜矿化主要与石英-地开石-明矾石化关系密切,矿化发生在明矾石化之后。金矿床位于紫金山高硫型浅成低温热液铜矿床上部的强硅化带中,与其深部的铜矿带组成连续的矿带,成矿环境与高硫型铜矿相似(黄仁生,2008)。自然金主要赋存在石英和褐铁矿中,金矿化主

① 福建省地质调查研究院. 2010. 福建省铁矿资源潜力评价成果报告. 1-148

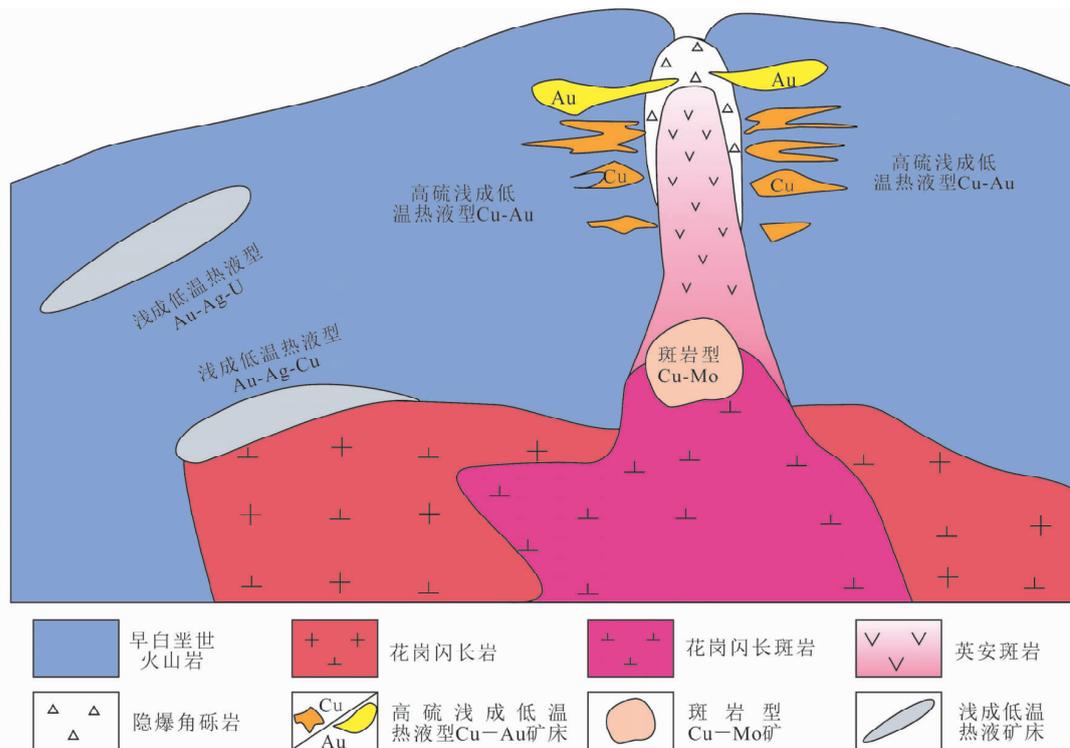


图3 紫金山矿田成矿模式图(据黄仁生,2008)

Fig.3 Metallogenic pattern of Zijinshan orefield (after Huang, 2008)

要发生在铜成矿之后的低温热液-热泉阶段,而表生阶段仅造成金的局部富集,形成沿断裂带分布的富金矿脉(黄仁生,2008)。

(3) 产于斑岩顶面之上、火山岩与基底接触带及其附近的浅成热液型金、银、铜矿床

代表性矿床是位于上杭-碧田早白垩世晚期火山盆地边部的碧田金银铜多金属矿床,产出年龄为 91.5Ma(刘晓东和华仁民,2005)。矿体多以脉状充填在晚侏罗世紫金山花岗岩基底与白垩纪火山岩之间的铲式断裂-裂隙带中(张德全等,2003),其中,Ag(Au)和 Au(Ag)矿体在粗安质火山岩和花岗岩的内外接触带中均有产出,而 Cu 矿体仅产于花岗岩中。主要的蚀变类型有硅化、冰长石化、绢英岩化、高岭石化、绿泥石化和碳酸盐化。其中,铜矿化与绢英岩化关系密切,而银金矿化与硅化和冰长石化关系密切。其他类似矿床还有五子骑龙铜矿床等。

(4) 以火山岩为容矿岩石的浅成热液型金、银、铀矿床

典型矿床有上杭风云头铀矿,矿床位于上杭-云霄深大断裂与北东向宣和复背斜及连城-上杭褶皱断裂带交汇处东南侧,中生代上杭火山-沉积盆地东南部。铀矿体主要贮存于白垩系下统石帽山群上组下段酸性流纹岩中。主要蚀变类型有硅化、水云母化、绿泥石化、赤铁矿化、黄铁矿化,少量碳酸盐化、高岭土化等,蚀变作用不强烈,仅分布于构造内或热液脉体两侧围岩中。

闽西南紫金山矿田发育早白垩世(105~90Ma)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、锌等多金属成矿系列,是全球已知在一个矿田内发育最完整的浅成低温热液-斑岩铜金银成矿系统之一(黄仁生,2008)。本区燕山晚期(早白垩纪晚期)岩浆作用主要是受北西向上杭-云霄陆内深断裂的控制,并不直接与活动板块边界有关。但深断裂连接了古俯冲带或/和古拼接带等板块边界构造,继承了早先形成的与俯冲或/和碰撞有关的含有较多幔源物质的特征的新生钙碱性花岗闪长岩-花岗闪长斑岩岩浆(陈江峰和江博明,1999)沿深断裂上升侵入,形成花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、英安玢岩、隐爆角砾岩等。在岩浆活动过程中,岩浆气液所携带的成矿物质沿次火山通道、构造带向浅部迁移,在接触带、角砾岩带、裂隙带等有利的位置沉淀成矿(图3)。

3 区域成矿时空演化规律及其动力学背景

闽西南地区成矿作用的时代与区域构造演化、岩浆作用、沉积作用及变质作用相关,不同类型的矿床的分布格局是该区长期构造岩浆成矿演化的结果。闽西南地区成矿作用贯穿于地质作用的全过程,但燕山期成矿作用占主导地位,晋宁期、加里东期及海西-印支期矿床也有分布。

新元古代早期(10~8.5亿年),发生古板块的俯冲、岛弧岩浆和块体碰撞,形成了华南联合陆块,导致陆壳增厚和过铝质花岗岩的大量喷发作用(舒良树,2012)。8.5亿年

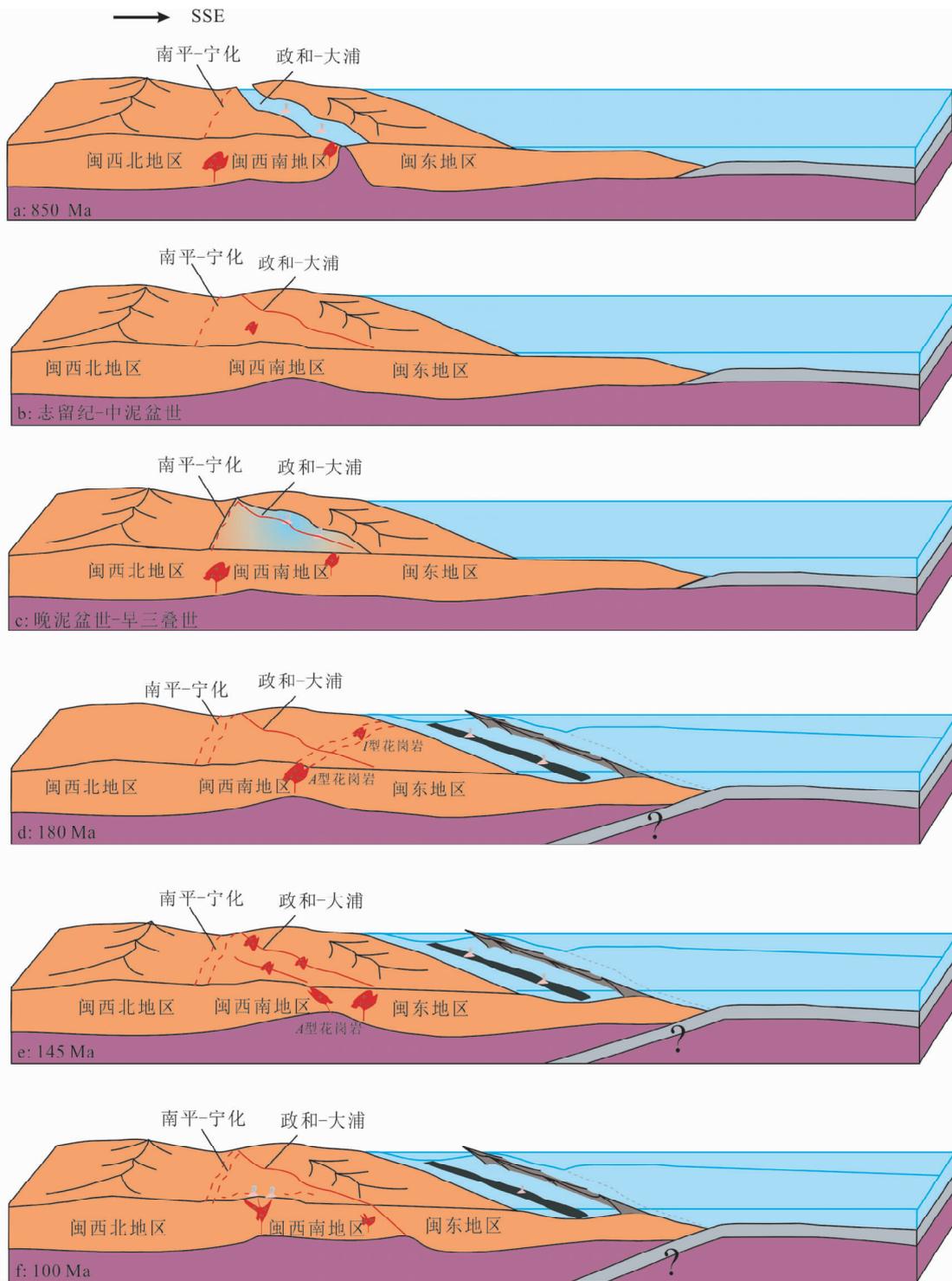


图4 闽西南地区构造演化图(位置见图1 A-A'剖面)

Fig. 4 The evolution diagram of structure in southwestern Fujian (location seen in profile A-A' in Fig. 1)

后,新聚合成的华南联合陆块发生陆内拉张-岩浆作用和裂谷作用(舒良树,2012),致使华夏块体沿政和-大埔断裂带形成裂谷盆地并伴随强烈基性-超基性岩侵入和海底火山喷发作用。含矿热水伴随火山喷发发生喷流,使矿质发生沉淀、堆积,形成VMS型铅锌铜银矿床(图4a),这一时期的矿床主

要有梅仙、丁家山、谢坑、峰岩、关兜、岩兜、下渡和坑头等矿床。

加里东时期,伴随着强烈的褶皱运动,南平-宁化一带重新活化,大量岩浆岩侵入,并活化和改造了早期韧性剪切带中Au,形成了与韧性剪切带相关的一系列金矿床,如双旗山

金矿田(肖坂、双旗山、官田和水门金矿等)(图4b)。加里东期花岗岩和混合岩的普遍发育(徐先兵等,2009)以及韧性剪切带中白云母 $385 \pm 5\text{Ma}$ 和 $322 \pm 6\text{Ma}$ 的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄(舒良树等,1999)也说明了加里东期的构造热事件的普遍存在,但由于受后期改造严重,并没有保存较好的矿床。

海西-印支时期,整个华南地区处于壳内尺度的伸展状态。闽西南地区发生伸展背景下的中酸性岩浆侵入,伴随岩浆侵入产出一些岩浆热液-斑岩型铜、钼、铅、锌矿床(如溪坪金铜矿)和伟晶岩型稀有金属矿床(如西坑铌钽矿床)。闽西南地区处于长期的海侵状态,接受晚古生代-三叠纪沉积,沿政和-大埔断裂带的陆块边缘一带海底活动强烈,形成一套富含铁、铜、钼、铅、锌的沉积岩系,为后期燕山期的富集成矿提供了良好的矿源层(图4c)。

燕山早期(侏罗纪),古太平洋板块超低角度/水平俯冲到华南地区超过 1300km ,随着俯冲板块的质量逐渐增加,俯冲板块逐渐发生裂解,柯树北 A 型花岗岩的出露 ($189 \pm 3\text{Ma}$) 被认为是俯冲板块裂解的开始(Li *et al.*, 2007, 2014; Li and Li, 2007)。随着发生在华南腹地的裂解程度的逐渐加深,大量俯冲板片断裂、下沉,华南地区进入运动构造的转换阶段,即由挤压隆升向拉张裂陷反转,致使软流圈减压上升并造成部分熔融,所产生的岩浆沿近东西向展布的裂解区域喷出地表形成了早侏罗世海陆交互火山-沉积带(图4d)(毛建仁等,2001;陈润生等,2008)。闽西南地区也进入了阶段性的伸展环境,导致了早期处于相对挤压构造环境、晚期处在伸展拉张环境的汤泉花岗岩体的侵入(Mao *et al.*, 2003)。具有壳源型花岗岩的特点的才溪二长花岗岩(150Ma)(赵希林等,2007,2013)侵入和广泛发育的逆冲推覆构造(吕良冀,2014)是未断裂的古太平洋板块继续水平/低角度向大陆板块俯冲挤压的产物,表明了闽西南地区又一次进入了相对挤压的环境。伴随着闽西南地区在燕山早期的挤压-伸展-挤压的相互转变,形成了规模宏大的北东向侏罗纪构造岩浆带,大量岩浆热液型矿床产出(图4e)。毛建仁等(2010)认为,产出于早侏罗世-中侏罗世早期的底侵伸展构造环境中的壳幔混合源 I 型花岗闪长岩与铁、铜、铅、锌矿床有关(马头山铜矿、汤泉铁矿等),而产出于逆冲推覆地壳增厚的环境中的过铝质超酸性高分异 S 型花岗质岩体与钨、锡、钼、铋矿床(行洛坑钨(钼)矿、山口钼多金属矿、十二排钼矿和北坑钨钼矿等)关系密切。

燕山晚期(白垩纪),古太平洋板块继续水平/低角度向大陆板块俯冲挤压,持续俯冲的板块可能再次发生裂解(Li *et al.*, 2014)。中国东南大陆边缘进入了持续伸展阶段,形成了一系列北西向的横张断裂和断陷盆地(图4f)。板块运动方向的改变(由原来的北西向俯冲转向几乎平行大陆边缘的运动)(毛景文等,2007; Mao *et al.*, 2013)、俯冲角度的变化(Zhou and Li, 2000; 舒良树和周新民,2002; 张岳桥等,2009)或者板块俯冲速度的变化(王强等,2005)等可能也是引起闽西南地区白垩纪大规模岩浆活动的原因。早白垩世

早期(135Ma),侵入的花岗岩含幔源物质较少以壳源型为主,多阶段侵入的花岗岩为成矿提供了充足的热源、流体来源及绝大部分的铁质来源,大量含矿流体进入早期沉积的富含铁、铜、钼、铅、锌的一套碎屑岩和碳酸盐岩之间的层间断裂,并发生了强烈的矽卡岩交代作用,形成层控矽卡岩型铁、铅、锌、钼矿床,如马坑、樟坑、阳山、潘田、洛阳铁矿床及大排铁铅锌矿等。而早白垩世晚期(100Ma),广泛分布的北西向基性岩脉说明了张性断裂与地幔已有一定程度的联通或者是断裂连接了古俯冲带或/和古拼接带等板块边界构造,继承了早先形成的与俯冲或/和碰撞有关的含有较多幔源物质的特征的新生岩浆沿深断裂上升侵入,形成在地球化学方面显示出幔源组分参与特征的岩石(陈江峰和江博明,1999)。具有典型幔源特征的钙碱性花岗闪长岩-花岗闪长斑岩岩浆沿拉张断裂带上升侵入,形成花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、英安玢岩、隐爆角砾岩等。此阶段的花岗岩主要与斑岩型铜金多金属矿床关系密切,如紫金山矿田系列矿床。在岩浆活动过程中,深部的成矿物质随热液沿次火山通道、构造带向浅部迁移,在接触带、角砾岩带、裂隙带等有利的位置沉淀成矿。

4 结论

闽西南成矿带可以初步划分为,晋宁期与海相火山作用有关的铅、锌、银多金属块状硫化物矿床成矿系列;海西-印支期与火成岩有关的铁、铜、铅、锌多金属矿床成矿系列;和燕山期与中酸性火成岩有关的铁、铜、铅、锌、钨、钼、锡、金、银、铀等多金属矿床成矿系列。其中后者可进一步划分为侏罗纪早期与壳幔混合源 I 型花岗闪长岩有关的铁、铜、铅、锌矿床成矿亚系列;侏罗纪晚期与壳源 S 型花岗质岩体有关的钨、锡、钼、铋多金属矿床成矿亚系列;早白垩世与壳源型中酸性侵入岩有关的层控矽卡岩型铁、铜、铅、锌、钼多金属矿床成矿亚系列;和早白垩世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、铀等多金属矿床成矿亚系列。

初步认为,晋宁期 VMS 型多金属矿床形成于华南联合陆块拉张裂解形成的政和-大埔海底双峰式火山盆地环境,海西-印支期岩浆热液-斑岩型金属矿床形成于陆内伸展与挤压环境交替出现的岩浆侵入过程中,而燕山期成矿系列则形成于太平洋构造域时期的陆内伸展与挤压环境交替出现的岩浆侵入与火山喷发的过程中。

致谢 中国地质大学(北京)张达老师对文章进行了多次修改;野外工作得到了福建马坑矿业股份有限公司王来峰、任浩、王金祥、刘武刚和付静静等人的帮助;在此一并表示衷心感谢。

References

- Chen JF and Jiang BM. 1999. Sr-Nd-Pb Isotopic tracing and the evolution of the continental crust in southeast China. In: Zheng YF (ed.). Chemical Geodynamics. Beijing: Science Press, 262 – 287 (in Chinese)
- Chen RS, Lin DY and Jiang JL. 2008. Dynamical mechanism and tectonics significance of Early Jurassic volcanism in Fujian Province. *Geology of Fujian*, 27(2): 156 – 165 (in Chinese with English abstract)
- Chen YC. 1994. Metallogenic Series of ore deposits. *Earth Science Frontiers*, 1(3–4): 90 – 94 (in Chinese with English abstract)
- Chen YC, Pei RF and Wang DH. 2006. On minerogenetic (metallogenetic) series: Third discussion. *Acta Geologica Sinica*, 80(10): 1501 – 1508 (in Chinese with English abstract)
- Dong CW, Zhou XM, Li HM *et al.* 1997. Late Mesozoic crust-mantle interaction in southeastern Fujian; Isotopic evidence from the Pingtan igneous complex. *Chinese Science Bulletin*, 42(9): 959 – 962 (in Chinese)
- Dong SW, Zhang YQ, Long CX, Yang ZY, Ji Q, Wang T, Hu JM and Chen XH. 2007. Jurassic tectonic revolution in China and new interpretation of the Yanshan Movement. *Acta Geologica Sinica*, 81(11): 1449 – 1461 (in Chinese with English abstract)
- Feng CY, Feng YD, Zhang DQ, She HQ, Li DX, Li JW and Dong YJ. 2007. Sulfur and lead isotope tracing for sources of ore-forming material and ore-forming age of the Meixian-style Pb-Zn (-Ag) deposits in the central Fujian rift, Southeast China. *Acta Geologica Sinica*, 81(7): 906 – 916 (in Chinese with English abstract)
- Hua RM, Chen PR, Zhang WL, Liu XD, Lu JJ, Lin JF, Yao JM, Qi HW, Zhang ZS and Gu CY. 2003. Metallogenic systems related to Mesozoic- and Cenozoic granitoids in South China. *Science in China (Series D)*, 33(4): 335 – 343 (in Chinese)
- Huang DL. 2009. Metallogenic regularity of Xiping Au-Cu deposit in Youxi, Fujian. *Energy and Environment*, (3): 20 – 21, 35 (in Chinese)
- Huang RS. 2008. Igneous series and epithermal porphyry Cu-Au-Ag mineralization system in the Zijinshan ore field, Fujian Province. *Journal of Geomechanics*, 14(1): 74 – 86 (in Chinese with English abstract)
- Huang WT, Li J, Liang HY, Wang CL, Lin SP and Wang XZ. 2013. Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages and highly oxidized features of magma associated with Luoboling porphyry Cu-Mo deposit in Zijinshan ore field, Fujian Province. *Acta Petrologica Sinica*, 29(1): 283 – 293 (in Chinese with English abstract)
- Jiang SH, Liang QL, Bagas L, Wang SH, Nie FJ and Liu YF. 2013. Geodynamic setting of the Zijinshan porphyry-epithermal Cu-Au-Mo-Ag ore system, SW Fujian Province, China; Constrains from the geochronology and geochemistry of the igneous rocks. *Ore Geology Reviews*, 53: 287 – 305
- Li WX, Li XH and Li ZX. 2005. Neoproterozoic bimodal magmatism in the Cathaysia Block of South China and its tectonic significance. *Precambrian Research*, 136(1): 51 – 66
- Li XH, Li ZX, Li WX, Liu Y, Yuan C, Wei GJ and Qi CS. 2007. 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? *Lithos*, 96: 186 – 204
- Li Z, Qiu JS and Yang XM. 2014. A review of the geochronology and geochemistry of Late Yanshanian (Cretaceous) plutons along the Fujian coastal area of southeastern China; Implications for magma evolution related to slab break-off and rollback in the Cretaceous. *Earth-Science Reviews*, 128: 232 – 248
- Li ZX and Li XH. 2007. Formation of the 1300-km-wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model. *Geology*, 35: 179 – 182
- Lin DY. 2011. Research on Late Paleozoic-Triassic tectonic evolution and metallogenetic regularities of iron-polymetallic deposits in the southwestern Fujian Province. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geosciences, 1 – 138 (in Chinese with English summary)
- Ling HF, Shen WZ and Huang XL. 1999. Nd and Sr isotopic Compositions of granitoids of Fujian and their significance. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 255 – 262 (in Chinese with English abstract)
- Liu Q, Yu JH, Su B, Wang Q, Tang HF, Xu H and Cui X. 2011. Discovery of the 187Ma granite in Jincheng area, Fujian Province: Constraint on Early Jurassic tectonic evolution of southeastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 27(12): 3575 – 3589 (in Chinese with English abstract)
- Liu XD and Hua RM. 2005. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of adularia from the Bitian gold-silver-copper deposit, Fujian Province. *Geological Review*, 51(2): 151 – 155 (in Chinese with English abstract)
- Lu JS. 2008. Geological characteristics and genesis of the Shankou Mo deposit in Yongding County, Fujian Province. *Resources Survey & Environment*, 29(4): 289 – 296 (in Chinese with English abstract)
- Luo JC, Chen ZH and Qu WJ. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Shankou molybdenum deposit in Yongding County of Fujian Province and its geological significance. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 254 – 258 (in Chinese with English abstract)
- Lü LJ. 2014. Discussions on features of Mesozoic thrust-fault belts and relationship between thrust-fault belts and magmatism in southwestern Fujian and adjacent regions. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geosciences, 1 – 168 (in Chinese with English summary)
- Mao JR, Tao KY, Xie FG, Xu NZ and Chen SY. 2001. Rock-forming and ore-forming processes and tectonic environments in Southwest Fujian. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3): 329 – 336 (in Chinese with English abstract)
- Mao JR, Tao KY, Lee CY, Xie FG and Xu NZ. 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 JR, Hu Q, Xu NZ, Xie FG and Tao KY. 2003. Geochronology and geochemical characteristics of the Early Mesozoic Tangquan pluton in southwestern Fujian and its tectonic implications. *Acta Geologica Sinica*, 77(3): 361 – 371
- Mao JR, Xu NZ, Hu Q, Xing GF and Yang ZL. 2004. The Mesozoic rock-forming and ore-forming processes and tectonic environment evolution in Shanghang-Datian region, Fujian. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 285 – 296 (in Chinese with English abstract)
- Mao JR, Ye HM, Zhao XL, Hu Q, Liu K and Yang F. 2010. The evolution of tectonic-magma-metallogenesis, Wuyishan metallogenic belt. *Mineral Deposits*, 29(Suppl.): 18 – 19 (in Chinese)
- Mao JW, Hua RM and Li XB. 1999. A preliminary study of large-scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits. *Mineral Deposits*, 18(4): 291 – 299 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Xie GQ, Li XF, Zhang CQ and Mei YX. 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 45 – 55 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Xie GQ, Zhang ZH, Li XF, Wang YT, Zhang CQ and Li YF. 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 169 – 188 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Wang YT, Lehmann B, Yu JJ, Du AD, Mei YX, Li YF, Zang WS, Stein HJ and Zhou TF. 2006. Molybdenite Re-Os and albite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of Cu-Au-Mo and magnetite porphyry systems in the Yangtze River valley and metallogenic implications. *Ore Geology Reviews*, 29(3–4): 307 – 324
- Mao JW, Xie GQ, Guo CL and Chen YC. 2007. Large-scale Tungsten-tin mineralization in the Nanling region, South China; Metallogenic ages and corresponding geodynamic processes. *Acta Petrologica*

- Sinica, 23(10): 2329 – 2338 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Xie GQ, Bierlein F, Qü WJ, Du AD, Ye HS, Pirajno F, Li HM, Guo BJ, Li YF and Yang ZQ. 2008. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72 (18): 4607 – 4626
- Mao JW, Xie GQ, Guo CL, Yuan SD, Cheng YB and Chen YC. 2008. Spatial-temporal distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their metallogenic settings. *Geological Journal of China Universities*, 2008, 14 (4): 510 – 526 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Xie GQ, Cheng YB and Chen YC. 2009. Mineral deposit models of Mesozoic ore deposits in South China. *Geological Review*, 55(3): 346 – 354 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Chen MH, Yuan SD and Guo CL. 2011. Geological characteristics of the Qinhang (or Shihang) metallogenic belt in South China and spatial-temporal distribution regularity of mineral deposits. *Acta Geologica Sinica*, 85 (5): 636 – 658 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Cheng YB, Chen MH and Pirajno F. 2013. Major types and time-space distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their geodynamic settings. *Miner. Deposita*, 48(3): 267 – 294
- Shu LS, Lu HF, Jia D, Charvet J and Faure M. 1999. Study of the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic age for the Early Paleozoic tectonothermal event in the Wuyishan region, South China. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 35(6): 668 – 674 (in Chinese with English abstract)
- Shu LS and Zhou XM. 2002. Late Mesozoic tectonism of Southeast China. *Geological Review*, 48(3): 249 – 260 (in Chinese with English Abstract)
- Shu LS, Faure M, Jiang SY, Yang Q and Wang YJ. 2006. SHRIMP zircon U-Pb age, litho- and biostratigraphic analyses of the Huaiyu domain in South China; Evidence for a Neoproterozoic orogen, not Late Paleozoic-Early Mesozoic collision. *Episodes*, 29(4): 244 – 252
- Shu LS, Zhou XM, Deng P and Yu XQ. 2006. Principal geological features of Nanling Tectonic Belt, South China. *Geological Review*, 52(2): 251 – 265 (in Chinese with English abstract)
- Shu LS, Faure M, Wang B, Zhou XM and Song B. 2008. Late Palaeozoic-Early Mesozoic geological features of south China: Response to the Indosinian collision event in Southeast Asia. *Comptes Rendus Geoscience*, 340(2–3): 151 – 165
- Shu LS, Faure M, Yu JH and Jahn BM. 2011. Geochronological and geochemical features of the Cathaysia block (South China): New evidence for the Neoproterozoic breakup of Rodinia. *Precambrian Research*, 187(3–4): 263 – 276
- Shu LS. 2012. An analysis of principal features of tectonic evolution in South China Block. *Geological Bulletin of China*, 31(7): 1035 – 1053 (in Chinese with English abstract)
- Wang B, Shu LS and Yang ZY. 2006. Study of the Early-Middle Jurassic tectono-stratigraphy in the Jiangxi-Fujian-Guangdong region, SE China. *Journal of Stratigraphy*, 30(1): 42 – 49 (in Chinese with English abstract)
- Wang GS, Ma WP and Zhu WP. 2009. The Late Paleozoic-Early Triassic sedimentary characteristics and its tectonic significance in southwestern Fujian, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 36(1): 87 – 91 (in Chinese with English abstract)
- Wang Q, Zhao ZH, Jian P, Xiong XL, Bao ZW, Dai TM, Xu JF and Ma JL. 2005. Geochronology of Cretaceous, A-type granitoids or alkaline intrusive rocks in the hinterland, South China; Constraints for late-Mesozoic tectonic evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 795 – 808 (in Chinese with English abstract)
- Wang SH, Pei RF, Zeng XH, Qiu XP and Wei M. 2009. Metallogenic series and model of the Zijinshan mining field. *Acta Geologica Sinica*, 83(2): 145 – 157 (in Chinese with English abstract)
- Wang SH. 2013. Re-Os isotopic dating of molybdenite from Shierpai molybdenum deposit in Wuping, Fujian, and its geological significance. *Geological Review*, 59(5): 885 – 892 (in Chinese with English abstract)
- Wu GG, Zhang D, Cheng BL and Wu JS. 2000. Post-Mesozoic transformation of tectonic domain in southeastern China and its geodynamic mechanism. *Earth Science*, 11(3): 288 – 292
- Wu GG, Zhang D, Peng RM, Wu JS, Gao TJ, Chen BL, Wang QF, Di YJ and Zhang XX. 2004. Study on the evolution regularity of mineralization ages in southeastern China. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 237 – 247 (in Chinese with English abstract)
- Wu ZQ. 2003. The geological characteristics and genetic model of Meixian lead-zinc-silver ore field in Fujian Province. *Mineral Resources and Geology*, 17(5): 606 – 609 (in Chinese with English abstract)
- Xie X, Xu XS, Zhou HB and Xing GF. 2005. Large-scale Late Mesozoic magmatism prelude in southeastern China: Basalt in J2. *Science in China (Series D)*, 35(7): 587 – 605 (in Chinese)
- Xu JH, Sun S and Li JL. 1987. Southern China orogenic belt instead of southern China platform. *Science in China (Series B)*, (10): 1107 – 1115 (in Chinese)
- Xu XB, Zhang YQ, Shu LS, Jia D, Wang RR and Xu HZ. 2009. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of the Weipu granitic pluton in southwest Fujian and the Changpu migmatite in south Jiangxi: Constrains to the timing of Caledonian Movement in Wuyi Mountains. *Geological Review*, 55(2): 277 – 285 (in Chinese with English abstract)
- Xue K and Ruan SK. 2008. Geological characteristics and genesis of the Luobuling copper (molybdenum) deposit in Zijinshan orefield, Fujian. *Resources Environment & Engineering*, 22(5): 491 – 496 (in Chinese with English abstract)
- Yuan Y, Feng HB, Zhang D, Di YJ, Wang CM and Ni JH. 2013. Geochronology of Dapai iron-polymetallic deposit in Yongding City, Fujian Province and its geological significance. *Acta Mineralogica Sinica (Suppl. 2)*: 73 – 75 (in Chinese)
- Zhang CS. 2012. Geology and geochemistry of Makeng Fe-Mo deposit, Fujian. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geosciences, 1 – 188 (in Chinese with English summary)
- Zhang CS, Mao JW, Xie GQ, Zhao CS, Yu M, Wang JX and Liu WG. 2012a. Geology and molybdenite Re-Os ages of Makeng skarn-type Fe-Mo deposit in Fujian Province. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42 (Suppl. 1): 224 – 236 (in Chinese with English abstract)
- Zhang CS, Su HM, Yu M and Hu ZG. 2012b. Zircon U-Pb age and Nd-Sr-Pb isotopic characteristics of Dayang-Juzhou granite in Longyan, Fujian Province and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 28(1): 225 – 242 (in Chinese with English abstract)
- Zhang D. 1999. Tectonic evolution and tin polymetal regional metallogenesis in southwestern Fujian Province. Ph. D. Dissertation. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English summary)
- Zhang D, Wu GG, Liu NZ, Di YJ, Lü LJ and Cao WR. 2010. Re-Os isotopic age of molybdenite from the Beikengchang molybdenite and polymetal deposit in Zhangping City, Fujian Province and its geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 84 (10): 1428 – 1437 (in Chinese with English abstract)
- Zhang D, Wu GG, Di YJ, Wang CM, Yao JM, Zhang YY, Lü LJ, Yuan Y and Shi JJ. 2012. Geochronology of diagenesis and mineralization of the Luoyang iron deposit in Zhangping City, Fujian Province and its geological significance. *Earth Science*, 37(6): 1217 – 1231 (in Chinese with English abstract)
- Zhang DQ, Li DX, Zhao YM, Wang WG and Gu GX. 1996. The Wuzhiqiong copper deposit: The reformed upper part of a porphyry copper deposit. *Mineral Deposits*, 15(2): 109 – 122 (in Chinese with English abstract)
- Zhang DQ, Li DX, Feng CY and Dong YJ. 2001. The temporal and spatial framework of the Mesozoic magmatic system in Zijinshan area and its geological significance. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(5): 403 – 408 (in Chinese with English abstract)
- Zhang DQ, She HQ, Li DX and Feng CY. 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 JJ, Chen ZH, Wang DH, Chen ZY, Liu SB and Wang CH. 2008. Geological characteristics and metallogenic epoch of the Xingluokeng tungsten deposit, Fujian Province. *Geotectonica et Metallogenia*, 32(1): 92 – 97 (in Chinese with English abstract)
- Zhang QL, Lin YY, Xu SY, Chen JS, Du JM and Ge RF. 2008. A new view on division of terranes and their tectonic evolution in Fujian Province. *Resources Survey & Environment*, 29(3): 168 – 176 (in Chinese with English abstract)
- Zhang YQ, Xu XB, Jia D and Shu LS. 2009. Deformation record of the change from Indosinian collision-related tectonic system to Yanshanian subduction-related tectonic system in South China during the Early Mesozoic. *Earth Science Frontiers*, 16(1): 234 – 247 (in Chinese with English abstract)
- Zhang YX and Liu YM. 1993. Geological-geochemical characteristics and origin of the Xingluokeng W deposit. *Geochimica*, 22(2): 187 – 196 (in Chinese with English abstract)
- Zhang ZJ and Zuo RG. 2013. Iron isotope systematics of magnetite: Implications for the genesis of Makeng iron deposit, southern China. *Acta Geologica Sinica*, 87(Suppl. 1): 840 – 843
- Zhang ZJ and Zuo RG. 2014. Sr-Nd-Pb isotope systematics of magnetite: Implications for the genesis of Makeng Fe deposit, southern China. *Ore Geology Reviews*, 57: 53 – 60
- Zhang ZJ, Zuo RG and Cheng QM. 2014. The mineralization age of the Makeng Fe deposit, South China: Implications from U-Pb and Sm-Nd geochronology. *International Journal of Earth Sciences*, doi: 10.1007/s00531-014-1096-4
- Zhao XL, Mao JR, Chen R, Xu NZ, Zeng QT and Ye HM. 2007. Zircon SHRIMP age and geochemical characteristics of the Caixi pluton in southwestern Fujian Province. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26(3): 223 – 231 (in Chinese with English abstract)
- Zhao XL, Mao JR, Chen R and Xu NZ. 2008. SHRIMP zircon dating of the Zijinshan pluton in southwestern Fujian and its implications. *Geology in China*, 35(4): 590 – 597 (in Chinese with English abstract)
- Zhao XL, Liu K, Mao JR and Ye HM. 2013. The differences of geochemical characteristics and relative with ore-forming processes of two types Early-Cretaceous granites in southwestern Fujian Province. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 32(1): 87 – 96 (in Chinese with English abstract)
- Zhou JC, Zhang HJ and Yu YW. 1994. Magma mixing in Early Cretaceous composite lava flows in Xinchang, Zhejiang. *Acta Petrologica Sinica*, 10(3): 236 – 247 (in Chinese with English abstract)
- Zhou XM and Li WX. 2000. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas. *Tectonophysics*, 326: 269 – 287
- Zhou ZY. 1989. The study on the basement of southeast China: A review. *Geology of Fujian*, 8(1): 46 – 53 (in Chinese with English abstract)
- Zuo R, Zhang ZJ, Zhang DJ, Carranza EJM and Wang HC. 2014. Evaluation of uncertainty in mineral prospectivity mapping due to missing evidence: A case study with skarn-type Fe deposits in southwestern Fujian Province, China. *Ore Geology Reviews*, doi: 10.1016/j.oregeorev.2014.09.024
- 报, 80(10): 1501 – 1508
- 董传万, 周新民, 李惠民等. 1997. 闽东南晚中生代的壳幔作用: 平潭火成杂岩的同位素证据. *科学通报*, 42(9): 959 – 962
- 董树文, 张岳桥, 龙长兴, 杨振宇, 季强, 王涛, 胡建民, 陈宣华. 2007. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释. *地质学报*, 81(11): 1449 – 1461
- 丰成友, 丰耀东, 张德全, 余宏全, 李大新, 李进文, 董英君. 2007. 闽中梅仙式铅锌银矿床矿质来源的硫、铅同位素示踪及成矿时代. *地质学报*, 81(7): 906 – 916
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 刘晓东, 陆建军, 林锦富, 姚军明, 戚华文, 张展适, 顾晟彦. 2003. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统. *中国科学(D辑)*, 33(4): 335 – 343
- 黄德理. 2009. 福建尤溪县溪坪矿区金、铜矿成矿规律分析. *能源与环境*, (3): 20 – 21, 35
- 黄仁生. 2008. 福建紫金山矿田火成岩系列与浅成低温热液-斑岩铜金银成矿系统. *地质力学学报*, 14(1): 74 – 86
- 黄文婷, 李晶, 梁华英, 王春龙, 林书平, 王秀璋. 2013. 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. *岩石学报*, 29(1): 283 – 293
- 林东燕. 2011. 闽西南地区晚古生代-三叠纪构造演化与铁多金属矿成矿规律研究. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学, 1 – 138
- 凌洪飞, 沈渭洲, 黄小龙. 1999. 福建省花岗岩类 Nd-Sr 同位素特征及其意义. *岩石学报*, 15(2): 255 – 262
- 刘潜, 于津海, 苏斌, 王勤, 唐红峰, 许海, 崔翔. 2011. 福建锦城 187Ma 花岗岩的发现——对华南沿海早侏罗世构造演化的制约. *岩石学报*, 27(12): 3575 – 3589
- 刘晓东, 华仁民. 2005. 福建碧田金银铜矿床冰长石的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄. *地质评论*, 51(2): 151 – 155
- 卢俊胜. 2008. 福建省永定山口钼矿区地质特征及成因. *资源调查与环境*, 29(4): 289 – 296
- 罗锦昌, 陈郑辉, 屈文俊. 2009. 福建省永定山口钼矿辉钼矿-铋同位素定年及其地质特征. *岩矿测试*, 28(3): 254 – 258
- 吕良冀. 2014. 闽西南及邻区中生代推覆构造特征及其与岩浆活动关系探讨. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学, 1 – 168
- 毛建仁, 陶奎元, 谢芳贵, 许乃政, 陈三元. 2001. 闽西南地区成岩成矿作用与构造环境. *岩石矿物学杂志*, 20(3): 329 – 336
- 毛建仁, 陶奎元, 李寄岬, 谢方贵, 许乃政. 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, 邢光福, 杨祝良. 2004. 福建省上杭-大田地区中生代成岩成矿作用与构造环境演化. *岩石学报*, 20(2): 285 – 296
- 毛建仁, 叶海敏, 赵希林, 胡青, 刘凯, 杨芳. 2010. 武夷山成矿带构造-岩浆-成矿作用与演化. *矿床地质*, 29(增刊): 18 – 19
- 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, 张长青, 梅燕雄. 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(1): 45 – 55
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景.

附中文参考文献

- 陈江峰, 江博明. 1999. 钽、铌、铅同位素示踪和中国东南大陆地壳演化. 见: 郑永飞主编. *化学地球动力学*. 北京: 科学出版社, 262 – 287
- 陈润生, 林东燕, 江剑丽. 2008. 福建早侏罗世火山作用的动力学机制及大地构造学意义探讨. *福建地质*, 27(2): 156 – 165
- 陈毓川. 1994. 矿床的成矿系列. *地学前缘*, 1(3–4): 90 – 94
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题. *地质学*

- 岩石学报, 21(1): 169-188
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 陈毓川. 2007. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及地球动力学背景. 岩石学报, 23(10): 2329-2338
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 袁顺达, 程彦博, 陈毓川. 2008. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境. 高校地质学报, 14(4): 510-526
- 毛景文, 谢桂青, 程彦博, 陈毓川. 2009. 华南地区中生代主要金属矿床模型. 地质论评, 55(3): 346-354
- 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 郭春丽. 2011. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律. 地质学报, 85(5): 636-658
- 舒良树, 卢华复, 贾东, 夏菲, 福赫. 1999. 华南武夷山早古生代构造事件的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄研究. 南京大学学报(自然科学版), 35(6): 668-674
- 舒良树, 周新民. 2002. 中国东南部晚中生代构造作用. 地质论评, 48(3): 249-260
- 舒良树, 周新民, 邓平, 余心起. 2006. 南岭构造带的基本地质特征. 地质论评, 52(2): 251-265
- 舒良树. 2012. 华南构造演化的基本特征. 地质通报, 31(7): 1035-1053
- 王彬, 舒良树, 杨振宇. 2006. 赣闽粤地区早、中侏罗世构造地层研究. 地层学杂志, 30(1): 42-49
- 王果胜, 马文璞, 朱卫平. 2009. 闽西南晚古生代早三叠世沉积特征及其大地构造意义. 成都理工大学学报(自然科学版), 36(1): 87-91
- 王强, 赵振华, 简平, 熊小林, 包志伟, 戴樟谟, 许继峰, 马金龙. 2005. 华南腹地白垩纪 A 型花岗岩类或碱性侵入岩年代学及其对华南晚中生代构造演化的制约. 岩石学报, 21(3): 795-808
- 王少怀, 裴荣富, 曾宪辉, 邱小平, 魏民. 2009. 再论紫金山矿田成矿系列与成矿模式. 地质学报, 83(2): 145-157
- 王少怀. 2013. 福建武平十二排钨矿床辉钨矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. 地质论评, 59(5): 885-892
- 吴淦国, 张达, 彭润民, 吴建设, 高天钧, 陈柏林, 汪群峰, 狄永军, 张祥信. 2004. 东南沿海成矿带矿床形成的时间演化规律研究. 地学前缘, 11(1): 237-247
- 吴志强. 2003. 福建省梅仙铅锌银矿田成矿地质特征和成因模式. 矿产与地质, 17(5): 606-609
- 谢昕, 徐夕生, 邹海波, 邢光福. 2005. 中国东南部晚中生代大规模岩浆作用序幕: J2 早期玄武岩. 中国科学(D 辑), 35(7): 587-605
- 许靖华, 孙枢, 李继亮. 1987. 是华南造山带而不是华南地台. 中国科学(B 辑), (10): 1107-1115
- 徐先兵, 张岳桥, 舒良树, 贾东, 王瑞瑞, 许怀智. 2009. 闽西南玮埔岩体和赣南菖蒲混合岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 年代学: 对武夷山加里东运动时代的制约. 地质论评, 55(2): 277-285
- 薛凯, 阮诗昆. 2008. 福建紫金山矿田罗卜岭铜(钼)矿床地质特征及成因探讨. 资源环境与工程, 22(5): 491-496
- 袁远, 冯海滨, 张达, 狄永军, 王长明, 倪建辉. 2013. 福建永定大排铁多金属矿床成矿年代学及其地质意义. 矿物学报, 33(增刊 2): 74-75
- 张承帅. 2012. 福建马坑铁矿床地质与地球化学. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学, 1-188
- 张承帅, 毛景文, 谢桂青, 赵财胜, 于森, 王金祥, 刘武刚. 2012a. 福建马坑矽卡岩型铁(钼)矿床地质特征及辉钨矿 Re-Os 同位素年龄. 吉林大学学报(地球科学版), 42(增刊 1): 224-236
- 张承帅, 苏慧敏, 于森, 胡兆国. 2012b. 福建龙岩大洋-莒舟花岗岩岩锆石 U-Pb 年龄和 Sr-Nd-Pb 同位素特征及其地质意义. 岩石学报, 28(1): 225-242
- 张达. 1999. 闽西南地区构造演化与锡多金属区域成矿作用. 博士学位论文. 北京: 中国地质科学院
- 张达, 吴淦国, 刘乃忠, 狄永军, 吕良冀, 曹文融. 2010. 福建漳平北坑场钨多金属矿床辉钨矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. 地质学报, 84(10): 1428-1437
- 张达, 吴淦国, 狄永军, 王长明, 姚继明, 张垚垚, 吕良冀, 袁远, 石建基. 2012. 福建漳平洛阳铁矿床成岩成矿年代学及其地质意义. 地球科学, 37(6): 1217-1231
- 张德全, 李大新, 赵一鸣, 王文桂, 顾光先. 1996. 五子骑龙矿床——被改造的斑岩铜矿上部带. 矿床地质, 15(2): 109-122
- 张德全, 李大新, 丰成友, 董英君. 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, 余宏全, 李大新, 丰成友. 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
- 张家菁, 陈郑辉, 王登红, 陈振宇, 刘善宝, 王成辉. 2008. 福建行洛坑大型钨矿的地质特征、成矿时代及其找矿意义. 大地构造与成矿学, 32(1): 92-97
- 张庆龙, 林奕源, 徐士银, 陈金水, 杜菊民, 葛荣峰. 2008. 福建省地体构造划分及构造演化. 资源调查与环境, 29(3): 168-176
- 张岳桥, 徐先兵, 贾东, 舒良树. 2009. 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. 地学前缘, 16(1): 234-247
- 张玉学, 刘义茂. 1993. 行洛坑钨矿地质地球化学特征及成因研究. 地球化学, 22(2): 187-196
- 赵希林, 毛建仁, 陈荣, 许乃政, 曾庆涛, 叶海敏. 2007. 闽西南地区才溪岩体锆石 SHRIMP 定年及其地球化学特征. 岩石矿物学杂志, 26(3): 223-231
- 赵希林, 毛建仁, 陈荣, 许乃政. 2008. 闽西南地区紫金山岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义. 中国地质, 35(4): 590-597
- 赵希林, 刘凯, 毛建仁, 叶海敏. 2013. 闽西南地区早白垩世两类花岗岩岩体地球化学异同及其与成矿作用关系. 矿物岩石地球化学通报, 32(1): 87-96
- 周金城, 张海进, 俞云文. 1994. 浙江新昌早白垩世复合岩流中的岩浆混合作用. 岩石学报, 10(3): 236-247
- 周祖翼. 1989. 东南沿海基底研究评述. 福建地质, 8(1): 46-53