

福建紫金山矿田中生代岩浆岩演化序列研究

于 波^{1, 5)}, 裴荣富¹⁾, 邱小平^{2, 3)*}, 陈景河⁴⁾,
黎敦朋³⁾, 张文慧³⁾, 刘文元³⁾

1)中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
2)中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;
3)福州大学紫金矿业学院, 福建福州 350108;
4)紫金矿业集团公司, 福建上杭 364200;
5)广东省地质建设工程集团公司, 广东广州 510080

摘要: 福建紫金山矿田中生代岩浆活动分为晚侏罗世和早白垩世二幕, 第一幕为晚侏罗世(154~149 Ma)挤压环境下的岩浆活动, 表现为壳源 S型花岗岩紫金山复式岩体与才溪岩体的侵位, 复式岩体具有 154 Ma、150 Ma 及 149 Ma 三次脉动; 才溪岩体侵位时代约 150 Ma。第二幕发生于早白垩世(125~93 Ma)构造拉张、地幔上涌的环境, 岩浆活动共 4 期, 形成一套 I型花岗岩及其源异相的火山岩、次火山岩, 为成矿提供了物源和热源。其中第 1 期为早白垩世火山喷发与岩浆超浅层就位, 形成石帽山群下段的英安岩及紫金山次火山岩(125~118 Ma); 第 2 期表现为石帽山群下段安山岩喷发与四方岩体的侵位以及英安玢岩的形成(109~103 Ma); 第 3 期表现为石帽山群下段英安岩的喷发和罗卜岭—紫金山似斑状花岗闪长(斑)岩的侵位以及龙江亭、二庙沟附近的石英闪长玢岩的形成(103~100 Ma); 第 4 期表现为晚期罗卜岭斑岩的侵位、石帽山群上段流纹岩的喷发和大岩里花岗斑岩岩脉、金铜矿的石英斑岩脉等成矿后期无矿脉岩的形成(100~93 Ma)。晚侏罗世、早白垩世两个岩浆系统各自形成共源岩浆异地异相分异演化的格局。

关键词: 紫金山矿田; 岩浆岩演化; 同位素年代学; 中生代

中图分类号: P597.3; P588.111 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2013.04.06

The Evolution Series of Mesozoic Magmatic Rocks in the Zijinshan Orefield, Fujian Province

YU Bo^{1, 5)}, PEI Rong-fu¹⁾, QIU Xiao-ping^{2, 3)*}, CHEN Jing-he⁴⁾,
LI Dun-peng³⁾, ZHANG Wen-hui³⁾, LIU Wen-yuan³⁾

1) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;
2) Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;
3) College of Zijin Mining, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108;
4) Zijin Mining Group, Shanghang, Fujian 364200;
5) Geological Construction Engineering Group of Guangdong Province, Guangzhou, Guangdong 510080

Abstract: The Mesozoic magmatic activities of the Zijinshan orefield included Late Jurassic and Early Cretaceous Episodes. The first episode of magmatic activity occurred in Late Jurassic(154~149 Ma)in a compression environment, characterized by the intrusion of Zijinshan composite granite body and Caixi pluton of S-type

本文由“十一五”国家科技支撑计划项目“东部铁铜铅锌重要矿集区深部资源勘查技术与示范”课题“浅成热液-斑岩型铜、金矿深部成矿模式与勘查技术示范研究”(编号: 2009BAB43B04)资助。

收稿日期: 2012-11-05; 改回日期: 2013-02-16。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 于波, 男, 1981 年生。工程师, 博士研究生。主要从事地质矿产勘查、矿业开发及大比例尺成矿预测工作。通讯地址: 510080, 广州市东风东路 739 号地质大厦 908。电话: 020-87660025。E-mail: bobby.yu@163.com。

*通讯作者: 邱小平, 男, 1959 年生。博士, 研究员, 博士生导师。长期从事矿田构造与成矿预测工作。E-mail: qiuxping@cags.ac.cn。

granite. The Zijinshan composite granite body has 3 pulsations, which occurred in 154 Ma, 150 Ma and 149 Ma. Caixi pluton intrusion occurred around 150 Ma. The magmatic activity of the second episode was composed of four stages during 125~93 Ma in Early Cretaceous in a tension and mantle upwelling environment, forming a series of I-type granites and their cogenetic heterophase volcanic rocks and subvolcanic rocks and providing metallogenic material and heat. The volcanic eruption and super-hypabyssal magmatic intrusion of the first stage finds expression in the formation of dacite of the Lower Member in Shimaoshan Group and the Zijinshan subvolcanic rocks (125~118 Ma). The volcanic eruption and intrusion of the second stage are characterized by the andesite eruption of Shimaoshan Group and Sifang pluton intrusion as well as the formation of dacite porphyrite(109~103 Ma). The volcanic eruption and intrusion of the third stage are characterized by the dacite eruption as well as the porphyaceous granodioritic porphyry intrusion in Luoboling-Zijinshan together with the formation of quartz dioritic porphyrite near Longjiangting and Ermiaogou(103~100 Ma). The volcanic eruption and intrusion of the fourth stage are characterized by the intrusion of Luoboling prophyry, the eruption of rhyolite in the upper member of Shimaoshan Group and the intrusion of barren vein rocks after the ore-forming period (e.g., Dayanli granite porphyry dykes, quartz porphyry dykes in Zijinshan gold-copper ore deposit)(100~93 Ma). The Late Jurassic and the Early Cretaceous co-magmas respectively differentiated and evolved into varied facies in different areas.

Key words: Zijinshan orefield; magmatic evolution; isotopic geochronology; Mesozoic

紫金山矿田位于福建省西南部，属于闽西南坳陷的范围，在中生代构造拉张、地幔上涌的环境下，造成大规模的构造-岩浆-成矿活动，矿化围绕着中酸性次火山岩-浅成斑岩体分布，并随着构造岩浆、成矿流体演化而形成不同的矿床类型，自南西向北东依次为低硫化浅成低温热液型悦洋银矿(简称低硫化型) 高硫化浅成低温热液型紫金山金铜矿(简称高硫化型) 斑岩型罗卜岭铜钼矿分带，大类型中及之间出现过渡类型的矿化(图 1)，形成了以紫金山特大型金铜矿床为核心的世界著名的矿集区，兼顾罗卜岭、悦洋、五子骑龙、大岩里(赤水)、二庙沟、龙江亭等与之有成因联系的一系列中、小型矿床(点)，具有特大型矿床与“姻袭成矿”的格局(裴荣富, 1997)。

矿田成矿作用与中生代岩浆岩演化密切相关，尤其是燕山晚期的花岗闪长质岩石与成矿关系尤为密切。前人对矿田 20 多年的勘查研究工作，积累了大量的岩石学、岩石地球化学、年代学成果(石礼炎等, 1989; 地质矿产部矿床地质研究所, 1994; 陈好寿, 1996; 周肃等, 1996; 张德全等, 1996, 2001a; 毛建仁等, 1998, 2002; 高天钧等, 1999), 对全面深入了解矿田构造-岩浆演化、成矿作用起了积极作用，然而由于矿田岩浆活动期次复杂、矿化蚀变强烈、早期测年技术方法的局限性和前期勘查程度低等原因，精确划分岩浆活动期次难度大。前人获得的全岩 Rb-Sr 等时线年龄和锆石 U-Pb 年龄数据可信度均不高，与近几年完成的测年结果不尽一致(赵希林等, 2007, 2008; 黄文婷等, 2011; 于波, 2012; 胡春杰等,

2012)，本文在总结前人测年成果的基础上，厘定了岩浆岩年龄，划分了岩浆岩演化期次。

1 矿田中生代岩浆岩概况

矿田内中生代酸性岩浆活动频繁，分为晚侏罗世花岗岩和早白垩世火山-侵入杂岩 2 个系统，约占基岩出露面积的 2/3(图 1)。晚侏罗世花岗岩包括紫金山复式岩体和才溪二长花岗岩体，早白垩世火山-侵入杂岩包括火山岩相石帽山群流纹岩、英安岩等，次火山岩相英安玢岩、隐爆角砾岩，侵入相的四方花岗闪长岩体、罗卜岭花岗闪长斑岩体、紫金山深部花岗闪长(斑)岩体等(张德全等, 2001a, 2005)。以上岩体分别是矿田矿床的赋矿围岩或成矿岩体，特别是花岗闪长质的四方岩体、罗卜岭岩体和紫金山深部岩体，与成矿关系尤为密切。

晚侏罗世紫金山复式岩体、才溪岩体均沿宣和复背斜核部侵入，紫金山复式岩体由迳美碎裂中粗粒花岗岩、五龙寺中细粒花岗岩、金龙桥细粒花岗岩三个岩体构成(张德全等, 2001a)。才溪岩体中心相为似斑状中-粗粒二长花岗岩，边缘相为中-细粒二长花岗岩。空间上紫金山岩体属于矿田核心位置，才溪岩体出露在矿田东北部，矿田范围内出露仅 2 km²。两个岩体均不成矿，但紫金山岩体全岩矿化蚀变，原岩的矿物成分、化学成分和结构、构造均发生重大变化，是矿田主要的赋矿岩体。才溪岩体远离矿化中心，具弱青磐岩化蚀变，未见任何矿化(张德全等, 2001a)。

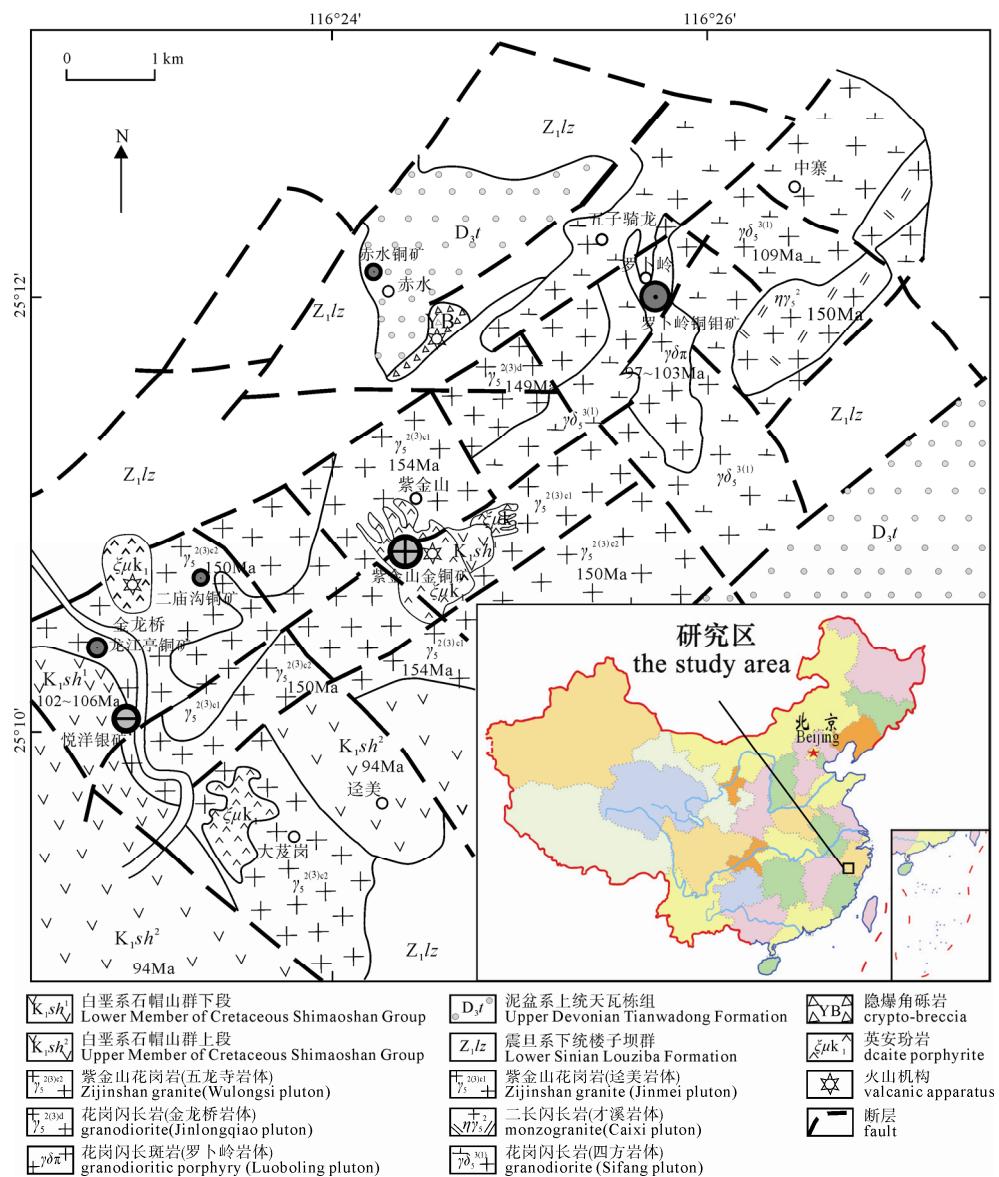


图1 紫金山矿田中生代岩浆岩及矿床分布图(据余学东等, 1995; 邱小平等, 2010 修改)
Fig. 1 Distribution of Mesozoic magmatic rocks and ore deposits in the Zijinshan orefield
(modified after YU et al., 1995; QIU et al., 2010)

早白垩世火山岩为白垩系下统石帽山群, 主要出露于矿田西南部的白垩纪断陷-火山盆地—上杭—碧田盆地, 矿田中部(金铜矿矿区—大箕岗之间)见少量残留体, 石帽山群分上、下两段, 上段上部主要为流纹质晶屑凝灰岩、火山角砾岩、流纹岩; 下段上部是流纹质火山岩夹凝灰岩、粉砂岩或泥岩, 中部和下部是安山岩、英安岩及晶屑凝灰熔岩, 在碧田一带相变为粗面岩和粗安岩; 矿田的次火山岩通常被火山岩包围, 与石帽山群、隐爆角砾岩或浅成侵入的斑岩构成火山机构(高天钧等, 1998), 矿田具代表性的次火山岩主要是英安玢岩(碧田矿区的次火山岩为粗安斑岩和粗面斑岩除外), 按形成时间的先后及岩石特征, 划分为早、晚两期, 早期英安玢

岩产在火山通道上部与溢出相相连(阮世坤等, 2009), 呈残余体小规模产于晚期英安玢岩中, 晚期英安玢岩分布于矿田火山机构及其邻近大箕岗、二庙沟地区, 呈筒状分布于火山通道中, 分布最广; 隐爆角砾岩与英安玢岩具有密切的成因和时空联系, 在火山机构中围绕英安玢岩颈形成筒状隐爆角砾岩筒, 岩筒的两侧沿北西向构造裂隙形成脉状隐爆角砾岩带(李子林, 1988); 四方花岗闪长岩体出露于矿田东北侧, 包裹罗卜岭岩体, 是矿田斑岩型铜钼矿床“控矿岩体”(毛建仁等, 2002); 罗卜岭岩体是矿田唯一出露地表的含铜(钼)斑岩体, 地表出露面积仅0.06 km², 但向深部迅速增大, 在100 m 标高上, 岩体面积达4.8 km²(张德全等, 2003); 紫金山铜矿东

南矿段，钻探揭露紫金山深部大面积发育花岗闪长(斑)岩。

2 矿田岩浆岩年代学研究进展

矿田岩浆岩的接触关系是石帽山群火山岩不整合覆盖于紫金山花岗岩，故石帽山群晚于紫金山岩体；罗卜岭岩体侵入四方岩体，故罗卜岭岩体晚于四方岩体；四方岩体侵入才溪岩体和紫金山岩体，故四方岩体既晚于才溪岩体，也晚于紫金山岩体；才溪岩体与紫金山复式岩体至目前仍未找到二者侵入接触关系；在紫金山复式岩体中逢美岩体最早，五龙寺岩体居中，金龙桥岩体最晚(张德全, 2001a)。

2.1 晚侏罗世花岗岩年代学特征

2.1.1 紫金山复式岩体

紫金山复式岩体的同位素定年结果如表 1 所示，逢美岩体 (157 ± 7.3) Ma(张德全, 2001a) 和 (145 ± 12) Ma(毛建仁等, 1998) 的 Rb-Sr 法年龄误差较大，最新的锆石 SHRIMP 测年结果为 (154 ± 2) Ma(地表花岗岩与深部强蚀变的黄铁绢云岩两个样品)(于波, 2012)，可以代表逢美岩体的形成年龄。五龙寺岩体最早的定年成果为 (157^{+18}_{-9}) Ma 的锆石 U-Pb 法年龄(石礼炎等, 1989)；周肃等(1996)也获得 (158.3 ± 17.8) Ma 锆石 U-Pb 年龄，两个数据基本一致。

微量锆石 U-Pb 法在复杂锆石的定年上误差较大，所以这两个数据可信度较低；(168 ± 4) Ma 的锆石 SHRIMP 年龄(赵希林等, 2008)与野外实际情况五龙寺岩体侵入逢美岩体，五龙寺岩体的年龄应该小于逢美岩体的地质事实不相符，尚需进一步研究。岩体受后期热液蚀变改造较大，(141 ± 6.7) Ma(张德全等, 2001a)、(110.8 ± 0.3) Ma(地质矿产部矿床地质研究所, 1994)的 Rb-Sr 法年龄误差较大；(149 ± 2) Ma 的 SHRIMP 年龄(于波, 2012)，与野外现象吻合，基本能够代表五龙寺岩体形成年龄。金龙桥岩体锆石 SHRIMP 年龄(149 ± 2) Ma(于波, 2012)，紫金山的钻孔中可以观察到金龙桥岩体侵入到五龙寺岩体中，所以金龙桥岩体年龄上小于五龙寺岩体，为表示形成先后关系，本文将五龙寺岩体定为 150 Ma 左右。

2.1.2 才溪岩体

才溪岩体的同位素定年结果如表 2 所示，20世纪 80 年代末，福建省地质八队在获得才溪岩体 (133 ± 12) Ma 的锆石 U-Pb 年龄(毛建仁等, 1998；张德全, 2001a)，所以才溪岩体被认为是晚侏罗世紫金山复式岩体侵位后，早白垩世火山-侵入杂岩侵入之前侵位的(张德全, 2001a, b)。近年来获得的才溪岩体的测年结果基本一致，有 (150 ± 2) Ma(于波, 2012)、(150 ± 3) Ma(赵希林等, 2007) 的 SHRIMP 年龄、

表 1 紫金山复式岩体同位素定年结果
Table 1 Isotopic dating data of the Zijinshan composite granite body

岩体	岩性	测定方法	测定对象	年龄/Ma	资料来源
五龙寺岩体	金龙桥岩体	SHRIMP	锆石	149 ± 2	于波, 2012
	蚀变细粒花岗岩	SHRIMP	锆石	149 ± 2	于波, 2012
	蚀变中细粒花岗岩	微量锆石 U-Pb	锆石	168 ± 4	赵希林等, 2008
		Rb-Sr 等时线	全岩	141 ± 6.7	张德全等, 2001a
		Rb-Sr 等时线	全岩	110.8 ± 0.3	地质矿产部矿床地质研究所, 1994
	中粒二长花岗岩	微量锆石 U-Pb	锆石	157^{+18}_{-9}	石礼炎等, 1989(引自 1:5 万才溪、芷溪幅区调报告)
逢美岩体	蚀变中粗粒花岗岩(地表)			154 ± 2	于波, 2012
	黄铁绢英岩(ZK1213 孔底 717.16~721.48 m)	SHRIMP	锆石	154 ± 2	于波, 2012
	中粗粒花岗闪长岩	Rb-Sr 等时线	全岩	145 ± 12	毛建仁等, 1998
	正长花岗岩	Rb-Sr 等时线	全岩	157 ± 7.3	张德全等, 2001a

表 2 才溪岩体同位素定年结果
Table 2 Isotopic dating data of the Caixi pluton

岩性	测定方法	测定对象	年龄/Ma	资料来源
二长花岗岩	SHRIMP	锆石	150 ± 2	于波, 2012
二长花岗岩	SHRIMP	锆石	150 ± 3	赵希林等, 2007
二长花岗岩	LA-ICP-MS UPb	锆石	146.4 ± 8.6	胡春杰等, 2012
二长花岗岩	微量锆石 U-Pb	锆石	133 ± 12	毛建仁等, 1998; 张德全, 2001a

(146.4 ± 8.6) Ma 的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄(胡春杰等, 2012), 这一系列 150 Ma 左右的年龄可以作为才溪岩体的形成年龄。才溪岩体与紫金山复式岩体侵位时间相近, 在晚侏罗世侵位。

2.2 早白垩世岩浆岩年代学特征

2.2.1 石帽山群火山岩

紫金山矿田火山岩年龄如表 3 所示, 石帽山群上段的流纹岩年龄有(94 ± 7.7) Ma 的数据(张德全等, 2001a, b)。紫金山金铜矿露天采场 880 平台附近的早期多斑多孔硅化的英安岩 SHRIMP 测年为(102 ± 1) Ma, 悅洋银矿新通风井口的安山岩 SHRIMP 测年为(106 ± 2) Ma(于波, 2012), 属于石帽山群下段火山岩; 前人对石帽山群下段测有(125 ± 9.8) 和 111 Ma 年龄(张德全等, 2001a, b; 高天钧等, 1999; 黄仁生, 2008)。

2.2.2 次火山岩

如表 4 所示, 紫金山次火山岩微量锆石 U-Pb 年龄(133 ± 6) Ma、(118 ± 4) Ma(周肃等, 1996), 采样位置不清, 地质意义不明确, 可能代表混合年龄, 需进一步研究。利用 ZK2401、ZK301 的 5 个英安玢岩样品进行 Rb-Sr 等时线测年, 获得(73 ± 6) Ma, 如仅用 ZK2401 孔内 4 个样品测年, 获得全岩 Rb-Sr 法年龄(76 ± 4) Ma(周肃等, 1996; 陈好寿, 1996), 可能是矿田后期热液蚀变年龄。英安玢岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年获得(105 ± 0.7) Ma(MSWD=0.83) 和(105 ± 2.2) Ma(MSWD=1.7) 的年龄数据(胡春杰等, 2011, 2012), 与二庙沟、龙江亭附近的石英闪长玢岩

(102.2 ± 9.2) Ma(石礼炎等, 1989) 年龄一致, 可作为矿田英安玢岩的年龄。紫金山金铜矿露天采场的无矿化后期石英斑岩脉、大岩里 480 巷道 8 线北穿脉的无矿化花岗斑岩脉锆石 SHRIMP 测年结果分别为(96 ± 2) Ma、(93 ± 2) Ma(于波, 2012)。

2.2.3 四方岩体

如表 5 所示, 四方岩体中细粒花岗闪长岩的锆石 SHRIMP 年龄为(109 ± 2) Ma(于波, 2012), 岩体锆石 U-Pb 法年龄(107.8 ± 1.2) Ma、角闪石、黑云母、钾长石 Ar-Ar 法坪年龄分别是: (104.8 ± 0.8) Ma、(109 ± 0.6) Ma 和(98.3 ± 0.7) Ma, 反等时线年龄分别是(104.5 ± 0.8)、(107.8 ± 0.8) 和(98.2 ± 0.9) Ma(毛建仁等, 2002), LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄(104.8 ± 1.7) Ma(胡春杰等, 2012), 本组年龄基本一致, 主要分布在 104~109 Ma。前人的 Rb-Sr 等时线法获得 128 和(128 ± 12) Ma(周肃等, 1996; 陈好寿, 1996; 张德全等, 1996) 误差大, 可信度低。(100±1) Ma 可作为蚀变年龄(周肃等, 1996)。109 Ma 左右可作为四方岩体的形成年龄。

2.2.4 罗卜岭岩体和紫金山深部花岗闪长(斑)岩体

如表 6 所示, 紫金山矿田罗卜岭岩体的年龄在(97.6 ± 2.1)~(105 ± 7.2) Ma 之间(周肃等, 1996; 地质矿产部矿床地质研究所, 1994; 张德全, 2001a; 黄文婷等, 2011; 于波, 2012), 主要集中在 100 Ma 左右。紫金山深部的花岗闪长斑岩锆石 SHRIMP 年龄为(102 ± 2)~(103 ± 2) Ma(于波, 2012)。

表 3 紫金山矿田火山岩同位素定年结果
Table 3 Isotopic dating data of volcanic rocks in the Zijinshan orefield

	岩性	测定方法	测定对象	年龄/Ma	资料来源
石帽山群上段	流纹岩	Rb-Sr	全岩	94 ± 7.7	张德全, 2001a, b
石帽山群下段	早期英安岩	SHRIMP	锆石	102 ± 1	于波, 2012
	安山岩			106 ± 2	
	英安岩	Rb-Sr	全岩	111	高天钧等, 1999
	英安岩	Rb-Sr	全岩	125 ± 9.8	张德全, 2001a, b

表 4 紫金山矿田次火山岩同位素定年结果
Table 4 Isotopic dating data of sub-volcanic rocks in the Zijinshan orefield

岩性	测定方法	测定对象	年龄/Ma	资料来源
紫金山次火山岩	微量锆石 U-Pb	锆石	133 ± 6 118 ± 4	周肃等, 1996
石英斑岩 花岗斑岩	SHRIMP	锆石	96 ± 2 93 ± 2	于波, 2012
石英闪长玢岩 英安玢岩	Rb-Sr 等时线	全岩	102.2 ± 9.2 73 ± 6	石礼炎等, 1989 周肃等, 1996; 陈好寿, 1996
英安玢岩 英安玢岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	锆石	105 ± 0.7 105 ± 2.2	胡春杰等, 2011, 2012

表 5 四方岩体同位素定年结果
Table 5 Isotopic dating data of Sifang pluton

岩性	测定方法	测定对象	年龄/Ma	资料来源
中细粒花岗闪长岩	SHRIMP	锆石	109±2	于波, 2012
中粒花岗闪长岩及包体	Rb-Sr	全岩	128±12	周肃等, 1996; 陈好寿, 1996
花岗闪长岩	Rb-Sr	全岩	128	张德全等, 1996
	LA-ICPMS U-Pb	锆石	104.8±1.7	胡春杰等, 2012
	微量锆石 U-Pb	锆石	107.8±1.2	
中细粒花岗闪长岩	Ar-Ar 坎年龄	角闪石	104.8±0.8	毛建仁等, 2002
		黑云母	109.0±0.6	
		钾长石	98.3±0.7	
蚀变花岗闪长岩	Rb-Sr	全岩	100±1	周肃等, 1996

3 矿田中生代岩浆岩演化时间序列的建立

紫金山矿田已经开展了一系列同位素年代学的分析研究, 获得了一批同位素年代学数据(表 1 至表 6)。前期主要的测年方法为 Rb-Sr 等时线法、微量锆石 U-Pb 法、单矿物的 Ar-Ar 测年, 由于矿田热液蚀变强烈, 对 Rb-Sr 法测年影响较大, 微量锆石 U-Pb 法测年又存在锆石成因不清的问题, Ar-Ar 测年存在同一岩体不同矿物的年龄不一致的问题, 因而其年龄数据存在歧义。近年进行了一系列 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb、锆石 SHRIMP U-Pb 等微区测年方法, 获得了可信度较高的年龄数据, 本文利用这些年龄数据, 引用前人的数据对比分析, 并结合矿田岩浆岩野外实际接触情况, 由新到老厘定了矿田岩浆岩年龄(见表 7、图 2), 建立紫金山金铜矿区的中生代岩浆演化时间序列(见表 8)。

紫金山矿田岩浆活动分为晚侏罗世和白垩纪两幕, 第一幕岩浆活动发生于晚侏罗世 154~149 Ma, 表现为紫金山复式岩体和才溪岩体的侵位, 其中紫金山岩体具有 3 次脉动, 分别是 154 Ma、150 Ma 及 149 Ma; 才溪岩体侵位时代约 150 Ma, 才溪岩体与紫金山岩体的五龙寺中细粒花岗岩几乎同时

侵位的。

第二幕岩浆活动发生于 125~93 Ma 左右, 分为第 1 期早白垩世早期(125~118 Ma)火山喷发与次火山岩浅层就位和早白垩世晚期(109~93 Ma)第 2 期、第 3 期和第 4 期火山喷发、次火山活动与侵入作用等 4 期岩浆活动(第 4 期岩浆活动时代上属于晚白垩世早期, 本文一并归为早白垩世晚期)。第 1 期岩浆活动需要进一步研究, 因为“石帽山群下段英安岩”(125±9.8) Ma(张德全, 2001a, b)及“紫金山次火山岩”(118±4) Ma(周肃等, 1996)采样位置不明确, Rb-Sr 法和微量锆石 U-Pb 法的测年结果误差较大, 故岩浆岩年龄地质意义不是非常明确, 亦未发现与之共源的侵入岩证据; 但假设没有这一期岩浆活动, 从晚侏罗世岩体形成近 40 Ma 时间内, 岩浆活动几近停止而紫金山蚀变成矿热事件的记录中, 120 Ma 左右是一个重要的蚀变期(地质矿产部矿床地质研究所, 1994; 周肃等, 1996; 陈好寿, 1996; 赵希林等, 2008; 于波, 2012), 深部岩浆活动或者岩浆期后的热液活动必然活跃, 故该期岩浆演化仍需新的定年数据佐证。第二幕第 2 期岩浆喷发与侵入作用表现为石帽山群下段中性火山喷发与四方岩体的侵位以及英安玢岩的形成(109~103 Ma), 第 3 期岩浆喷发与侵入

表 6 紫金山矿田罗卜岭—紫金山斑岩体同位素定年结果
Table 6 Isotopic dating data of granodiorite (porphyry) in Zijinshan and in Luoboling

岩性	测定方法	测定对象	年龄/Ma	资料来源
中粒花岗闪长岩	SHRIMP	锆石	100±2	于波, 2012
罗卜岭岩体	花岗闪长玢岩	Rb-Sr	105±1	周肃等, 1996; 地质矿产部矿床地质研究所, 1994
	花岗闪长斑岩		105±7.2	张德全, 2001a
	角闪黑云母花岗闪长斑岩	LA-ICP-MS	103±0.6	
	早期黑云母花岗闪长斑岩	锆石 U-Pb	102.9±0.9	黄文婷等, 2011
	晚期黑云母花岗闪长斑岩		97.6±2.1	
紫金山深部	花岗闪长岩	SHRIMP	102±2	于波, 2012
斑岩体	中细粒花岗闪长斑岩		103±2	

表 7 紫金山矿田中生代岩浆岩测年结果
Table 7 Precise and realistic dating data of the Zijinshan orefield

岩体	测定方法	测定对象	年龄/Ma	资料来源
大岩里花岗斑岩脉	SHRIMP	锆石	93±2	于波, 2012
石帽山群上段流纹岩	Rb-Sr	全岩	94±7.7*	张德全, 2001b
金铜矿露天采场石英斑岩脉	SHRIMP	锆石	96±2	于波, 2012
晚期罗卜岭花岗闪长斑岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	锆石	97.6±2.1	黄文婷等, 2011
罗卜岭深部花岗闪长岩基	SHRIMP	锆石	100±2	于波, 2012
石帽山群下段气孔状英安岩	SHRIMP	锆石	102±1	于波, 2012
紫金山深部花岗闪长岩	SHRIMP	锆石	102±2	于波, 2012
石英闪长玢岩	Rb-Sr 等时线	全岩	102.2±9.2*	石礼炎等, 1989
早期罗卜岭花岗闪长斑岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	锆石	102.9±0.9	黄文婷等, 2011
紫金山深部花岗闪长斑岩	SHRIMP	锆石	103±2	于波, 2012
金铜矿英安玢岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	锆石	105±0.7	胡春杰等, 2011, 2012
石帽山群下段安山岩	SHRIMP	锆石	106±2	于波, 2012
四方花岗闪长岩	SHRIMP	锆石	109±2	于波, 2012
	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	锆石	104.8±1.7	胡春杰等, 2012
紫金山次火山岩	微量锆石 U-Pb	锆石	118±4*	周肃等, 1996
石帽山群下段英安岩	Rb-Sr	全岩	125±9.8*	张德全, 2001a, b
金龙桥岩体细粒花岗岩	SHRIMP	锆石	149±2	于波, 2012
五龙寺岩体中细粒花岗岩	SHRIMP	锆石	149±2	于波, 2012
才溪岩体二长花岗岩	SHRIMP	锆石	150±2	于波, 2012
逢美岩体中粗粒花岗岩	SHRIMP	锆石	150±3	赵希林等, 2007
			154±2	于波, 2012

注: *表示, 白垩纪以来, 紫金山矿田的岩浆活动表现为火山喷发、浅部次火山岩的形成和深部花岗岩的侵位, 对无高精度年龄数据但具有岩浆活动代表性的岩体, 仍引用 Rb-Sr 年龄和微量锆石 U-Pb 年龄, 以保证同一期岩浆活动的完整性。

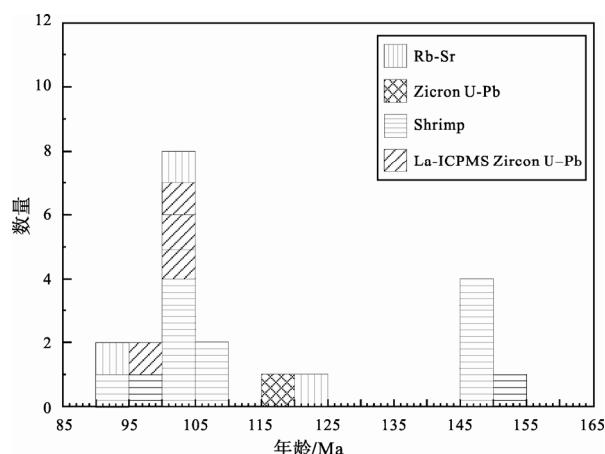


图 2 紫金山矿田岩浆岩年龄直方图
Fig. 2 Histograms of magmatic rock age in the Zijinshan orefield

作用表现为英安岩喷发和罗卜岭—紫金山似斑状花岗闪长(斑)岩的侵位以及龙江亭、二庙沟附近, 的石英闪长玢岩的形成(石礼炎等, 1989)(推测石英闪长玢岩可能为英安玢岩)(103~100 Ma), 第 4 期岩浆喷发与侵入作用表现为晚期罗卜岭斑岩的侵位、石帽山群上段流纹岩的喷发和成矿后期无矿脉岩的侵位(如大岩里花岗斑岩脉、金铜矿的石英斑岩脉等)(100~93 Ma)。

4 讨论与结论

在早中生代(>154 Ma), 矿田所在地区处在陆内挤压环境, 已受到古太平洋板块俯冲的影响, 主要表现为陆内板片俯冲-碰撞加厚造山, 造成地壳急剧加厚升温, 元古代基底发生重熔累积形成岩浆房。挤压应力造成上地壳褶皱变形, 宣和复式背斜开始活动, 岩浆选择在背斜轴的拉张位置, 从岩浆房分多次向上侵位, 先后形成逢美岩体(154±2) Ma—五龙寺岩体(149±2) Ma—金龙桥岩体(149±2) Ma, 组成紫金山复式岩体。随着陆缘造山的进行, 少量幔源物质的加入形成才溪岩体(150±2) Ma, 此时俯冲有所松弛(赵希林等, 2007), 150 Ma 左右紫金山矿田可能处于挤压向拉张过渡时期, 但壳幔作用尚未大规模发生。该期在江西赣南地区亦发生大规模花岗质岩浆侵入活动, 并产生巨量钨锡成矿作用(Feng et al., 2012), 在东南沿海的福建省境内也有发现(Feng et al., 2008)。

早白垩世早期, 矿田所在地区由挤压环境转变为拉张环境, 伴随着构造隆升, 紫金山复式岩体、才溪岩体隆升至地表浅处就位, 岩石圈地幔源物质上涌同时给下地壳带来充足的流体及热, 使下地

表 8 紫金山矿田中生代岩浆演化序列表
Table 8 Mesozoic magmatic evolution series of Zijinshan

时代	岩浆幕	期次	火山岩 (石帽山群)	次火山岩	侵入岩	年龄/Ma
白垩纪	第 2 幕	第 4 期	上段流纹岩	大岩里花岗斑岩脉	晚期罗卜岭斑岩	93~100
				金铜矿露采场石英斑岩脉		
		第 3 期			紫金山深部花岗闪长岩基	100~103
	第 2 幕	下段气孔状英安岩		石英闪长玢岩	罗卜岭深部岩基	100~103
		第 2 期	下段安山岩	金铜矿英安玢岩	早期罗卜岭斑岩	103~109
		第 1 期		紫金山次火山岩	紫金山深部花岗闪长斑岩	103~109
	侏罗纪	下段英安岩			四方岩体	118~125
		第 3 期			金龙桥岩体	149
		第 2 期			才溪岩体	150
	第 1 幕	第 1 期			五龙寺岩体	154
					迳美岩体	

壳再度发生部分熔融，并发生空前的岩浆活动，表现为石帽山群下段英安岩(125 ± 9.8) Ma、紫金山的次火山岩(118 ± 4) Ma。

早白垩世晚期，上杭—云霄大断裂先压后张，诱发深源含矿中酸性岩浆上升，侵入相定位于地壳上部，形成四方花岗闪长岩体(109 ± 2) Ma；喷出相直达地表，喷发(溢流)形成上杭盆地白垩统石帽山群中酸性火山岩(安山岩(106 ± 2) Ma)。火山活动晚期，残余岩浆就位于火山通道中形成次火山岩，形成第一次脉动英安玢岩((105 ± 0.7) Ma)，第一次脉动英安玢岩充填满紫金山火山管道的上部空间后，火山机构形成封闭系统。由于大规模的岩浆喷发、侵位，消耗了岩浆房大量岩浆，此时岩浆活动进入了间歇期。

经过约 3 Ma 的短暂休息，以及幔源物质的补充，大规模岩浆活动再度卷土重来。壳幔混源岩浆再次沿火山通道，以第二次脉动英安玢岩侵位时，在岩筒顶部、边部发生多次隐爆及在裂隙带中产生热液沸腾和热液角砾岩化，形成环绕岩筒的隐爆角砾岩和沿北西向裂隙带(受控于上杭—云霄断裂构造活动)分布的热液角砾岩脉。共源岩浆喷出相形成石帽山群下部气孔状英安岩(102 ± 1) Ma、次火山岩相石英闪长玢岩(102 ± 9.2) Ma。共源岩浆沿构造薄弱地带侵入，在紫金山火山通道英安玢岩体下部大面积定位形成花岗闪长斑岩(紫金山深部的花岗闪长(斑)岩(103 ± 2) Ma、(102 ± 2) Ma)，在罗卜岭形成早期罗卜岭闪长斑岩(102.9 ± 0.9) Ma、罗卜岭深部花岗闪长岩基(100 ± 2) Ma。

罗卜岭花岗闪长斑岩侵入的时间延续到(97.6 ± 2.1) Ma，随后火山再度喷发，形成石帽山群

流纹岩(94 ± 7.7) Ma，对应石英斑岩(96 ± 2) Ma、花岗斑岩(93 ± 2) Ma 等无矿次火山岩脉。随后幔源物质耗尽，岩浆活动结束。

晚侏罗世挤压环境下，形成才溪岩体与紫金山复式岩体一套壳源 S 型花岗岩(高天钧，1999)；早白垩世构造拉张、地幔上涌的环境下，形成四方岩体、罗卜岭岩体、紫金山深部花岗闪长岩体等一套 I 型花岗岩(高天钧，1999)，以及与之共源异相的石帽山群火山岩、英安玢岩次火山岩，早白垩世岩浆提供了成矿的物源和热源，与矿田成矿关系最为密切(王少怀等，2009；于波，2012)。晚侏罗世、早白垩世两个岩浆系统各自形成共源岩浆异地异相分异演化的格局(裴荣富，1995；高天钧等，1998；张达等，2006；黄仁生，2008；于波，2012)。

致谢：广东省地质建设工程集团公司潘伟助理工程师对论文图件制作做了大量工作，审稿人对论文提出了建设性意见，在此表示感谢！

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[J]. 大地构造与成矿学, 20(4): 348-360.
- 地质矿产部矿床地质研究所. 1994. “福建上杭紫金山地区潜火山(火山)-侵入岩系与成矿作用的关系”研究报告[R]. 北京: 地质矿产部矿床地质研究所.
- 高天钧, 黄仁生. 1998. 福建省上杭紫金山矿田铜金银矿床类型及对比[J]. 火山地质与矿产, 19(4): 283-294.
- 高天钧, 王振民, 吴克隆. 1999. 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.
- 高天钧. 1999. 福建紫金山铜金矿床类型与环太平洋浅成低温矿床的比较[J]. 福建地质, 18(4): 167-177.
- 胡春杰, 黄文婷, 包志伟, 梁华英, 王春龙. 2011. 闽西南紫金山

- 矿田英安玢岩同位素年代学、地球化学及其成矿意义[J]. 矿物学报, (S1): 588-589.
- 胡春杰, 黄文婷, 包志伟, 梁华英, 王春龙. 2012. 福建省紫金山矿田晚中生代英安玢岩形成时代及其成矿意义[J]. 大地构造与成矿学, 36(2): 284-292.
- 黄仁生. 2008. 福建紫金山矿田火成岩系列与浅成低温热液-斑岩铜金矿床成矿系统[J]. 地质力学学报, 14(1): 74-86.
- 黄文婷, 胡春杰, 李晶, 梁华英, 伍静, 王春龙, 包志伟, 陈衍景, 王秀璋. 2011. 福建紫金山矿田罗卜岭铜钼矿化斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及成矿岩浆特征[J]. 矿物学报, (S1): 592-593.
- 李子林. 1988. 福建上杭紫金山含金隐爆角砾岩[J]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 9(2): 131-135.
- 毛建仁, 陶奎元, 陈三元, 陈宏明, 陶于祥, 刘富祥, 陈云钊, 陈金水. 1998. 闽西南花岗质岩浆作用与成矿[J]. 火山地质与矿产, 19(4): 311-320.
- 毛建仁, 陶奎元, 李寄嶠, 谢方贵, 许乃政. 2002. 闽西南晚中生代四方岩体同位素年代学、地球化学及构造意义[J]. 岩石学报, 18(4): 449-458.
- 裴荣富. 1995. 共(源)岩浆补余分异作用与成矿[J]. 矿床地质, 14(4): 376-379.
- 裴荣富. 1997. 烟蒸成矿与特大型矿床[J]. 矿床地质, 16(1): 93-96.
- 邱小平, 蓝岳彰, 刘羽. 2010. 紫金山铜金矿床深部成矿作用研究和找矿前景评价的关键[J]. 地球学报, 31(2): 209-215.
- 阮世坤, 龚建生, 李文, 董艳霞. 2009. 紫金山矿田五子骑龙铜矿地质特征及成因探讨[J]. 有色金属(矿山部分), 61(6): 37-42.
- 石礼炎, 李子林. 1989. 福建上杭紫金山次火山热液铜金矿床地质特征初探[J]. 福建地质, 8(4): 286-299.
- 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[J]. 地质学报, 83(2): 145-157.
- 于波. 2012. 紫金山矿田中生代岩浆岩演化及成矿特征研究[D]. 北京: 中国地质科学院.
- 余学东, 邵跃, 李应桂. 1995. 福建紫金山铜金矿床地质地球化学找矿模型及应用[J]. 物探与化探, 19(5): 321-331.
- 张达, 高天钧, 吴淦国, 王绍雄. 2006. 武夷—台湾走廊带成矿作用、深部过程与资源潜力[M]. 北京: 地质出版社.
- 张德全, 丰成友, 李大新, 余宏全, 董英君. 2005. 紫金山地区斑岩-浅成热液成矿系统的成矿流体演化[J]. 地球学报, 26(2): 127-136.
- 张德全, 李大新, 丰成友, 董英君. 2001a. 紫金山地区中生代岩浆系统的时空结构及其地质意义[J]. 地球学报, 22(5): 403-408.
- 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[J]. 矿床地质, 15(2): 109-122.
- 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[J]. 地质学报, 77(2): 253-261.
- 张德全, 余宏全, 阎升好, 徐文艺. 2001b. 福建紫金山地区中生代造环境转换的岩浆岩地球化学证据[J]. 地质论评, 47(6): 608-616.
- 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[J]. 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[J]. 中国地质, 35(4): 590-597.
- 周肃, 陈好寿. 1996. 紫金山铜金矿同位素年代学及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 15(4): 216-219.
- References:**
- CHEN Hao-shou. 1996. The Research on the Mineralization Chronology and Isotopic Exploration Assessment for Zijinshan Copper-gold Deposit[J]. Geotectonica et Metallogenesis, 20(4): 348-360(in Chinese with English abstract).
- FENG Cheng-you, ZHANG De-quan, LI Da-xin, SHE Hong-quan, DONG Ying-jun. 2008. Isotopes and geochronology of the Meixian-type Pb-Zn-(Ag) deposits, Central Fujian Rift, South China: Implications for geological events[J]. Acta Geologica Sinica, 82(4): 826-837
- FENG Cheng-you, ZHANG De-quan, ZENG Zai-lin, WANG Song. 2012. Chronology of the tungsten deposits in southern Jiangxi Province, and episodes and zonation of the regional W-Sn mineralization-evidence from high-precision zircon U-Pb, molybdenite Re-Os and muscovite Ar-Ar ages[J]. Acta Geologica Sinica, 86(3): 555-567
- GAO Tian-jun, HUANG Ren-sheng. 1998. Comparison of Typical Characters of Zijinshan Copper Gold Silver Deposit Shanghang Fujian Province[J]. Volcanology & Mineral Resources, 19(4): 283-294(in Chinese with English abstract).
- GAO Tian-jun. 1999. Comparison of Zijinshan Copper-Gold Deposit and Circum-Pacific Epithermal Deposits[J]. Geology of Fujian, 18(4): 167-177(in Chinese with English abstract).
- GAO Tian-jun, WANG Zhen-min, WU Ke-long. 1999. Tectonic Magmatic Evolution and Mineralization in the Strait of Taiwan and Its Surrounding Areas[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- HU Chun-jie, HUANG Wen-ting, BAO Zhi-wei, LIANG Hua-ying, WANG Chun-long. 2011. Isotopic Geochronology, Geochemistry Chatacters and their Metallogenetic Implicationsof Dacite Porphyry in Zijinshan orefield[J]. Acta Mineralogica Sinica, (S1):588-589(in Chinese).
- HU Chun-jie, HUANG Wen-ting, BAO Zhi-wei, LIANG Hua-ying, WANG Chun-long. 2012. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Dacite Porphyry from Zijinshan Cu-Au Deposit and its Metallogenetic Implications[J]. Geotectonica et Metallogenesis, 36(2): 284-292(in Chinese with English abstract).
- HUANG Ren-sheng. 2008. Igneous Series and Epithermal Porphyry Cu-Au-Ag Mineralization System in the Zijinshan Orefield,

- Fujian Province[J]. Journal of Geomechanics, 14(1): 74-86(in Chinese with English abstract).
- HUANG Wen-ting, HU Chun-jie, LI Jing, LIANG Hua-ying, WU Jing, WANG Chun-long, BAO Zhi-wei, CHEN Yan-jing, WANG Xiu-zhang. 2011. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Luoboling Porphyry with mineralization of Cu & Mo and Character of Metallogenic Magma[J]. Acta Mineralogica Sinica, (S1): 592-593(in Chinese).
- Institute of Geology & Mineral Resources, Department of Geology and Mineral Resources. 1994. Subvolcanic (Volcanic)-intrusive rocks of Zijinshan in Shanghang Fujian and Their Relationship with Mineralization[R]. Beijing: Institute of Geology & Mineral Resources, Department of Geology and Mineral Resources(in Chinese).
- LI Zi-lin. 1988. Zijinshan Gold-bearing Crypto-explosion Breccia Shanghang Fujian Province[J]. Bulletin of the Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 9(2): 131-135(in Chinese with English abstract).
- MAO Jian-ren, TAO Kui-yuan, CHEN San-yuan, CHEN Hong-ming, TAO Yu-xiang, LIU Fu-xiang, CHEN Yun-zhao, CHEN Jin-shui. 1998. The Granitic Magmatism and Mineralization in Southwest Fujian [J]. Volcanology & Mineral Resources, 19(4): 311-320 (in Chinese with English abstract).
- MAO Jian-ren, TAO Kui-yuan, LI Ji-ju, XIE Fang-gui, XU Nai-zheng. 2002. Geochronology and Geochemical Characteristics in Late Mesozoic Sifang Pluton, Southwestern Fujian, and Their Significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 18(4): 449-458 (in Chinese with English abstract)
- PEI Rong-fu. 1995. Comagmatic Complementary Differentiation and Metallogeny[J]. Mineral Deposits, 14(4): 376-379(in Chinese).
- PEI Rong-fu. 1997. Affiliational Metallogeny and Giant Ore Deposits[J]. Mineral Deposits, 16(1): 93-96(in Chinese).
- QIU Xiao-ping, LAN Yue-zhang, LIU Yu. 2010. The Key to the Study of Deep Mineralization and the Evaluation of Ore-prospecting Potential in the Zijinshan Gold and Copper Deposit[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(2): 209-215(in Chinese with English abstract).
- RUAN Shi-Kun, GONG Jian-sheng, LI Wen, DONG Yan-xia. 2009. Geological Characteristics and Genesis of Wuziqilong Copper Deposits in Zijinshan Area[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 61(6): 37-42(in Chinese with English abstract).
- SHI Li-yan, LI Zi-lin. 1989. Discussion on Geological Characteristics of Subvolcanic Hydrothermal Copper-Gold Deposit in Zijinshan, Shanghang County, Fujian[J]. Geology of Fujian, 8(4): 286-299(in Chinese with English abstract).
- WANG Shao-huai, PEI Rong-fu, ZENG Xian-hui, QIU Xiao-ping, WEI Min. 2009. Metallogenic Series and Model of the Zijinshan Mining Field[J]. Acta Geologica Sinica, 83(2): 145-157(in Chinese with English abstract).
- YU Bo. 2012. Study on Evolution of Mesozoic Magmatic Rocks and Metallogenic feature of Zijinshan orefield[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese with English abstract).
- YU Xue-dong, SHAO Yue, LI Ying-gui. 1995. The Geological-geochemical Prospecting Model of the Zijinshan Copper-gold Deposit and Its Application[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 19(5): 321-331(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Da, GAO Tian-jun, WU Gan-guo, Wang Shao-xiong. 2006. The Mineralization, Deep Process and Resource Potential in Wuyi-Taiwan Corridor[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- ZHANG De-quan, LI Da-xin, ZHAO Yi-ming, Wang Wen-gui, Gu Guang-xian. 1996. The Wuziqilong Copper Deposit—the Reformed Upper Part of a Porphyry Copper Deposit[J]. Mineral Deposits, 15(2): 109-122(in Chinese with English abstract).
- ZHANG De-quan, LI Da-xin, FENG Cheng-you, DONG Ying-jun. 2001a. The Temporal and Spatial Framework of the Mesozoic Magmatic System in Zijinshan Area and Its Geological Significance[J]. Acta Geoscientia Sinica, 22(5): 403-408(in Chinese with English abstract).
- ZHANG De-quan, SHE Hong-quan, YAN Sheng-hao, XU Wen-yi. 2001b. Geochemistry of Mesozoic Magmatites in the Zijinshan Region and Implication on Regional tectonics Inversion[J]. Geological Review, 47(6): 608-616(in Chinese with English abstract).
- ZHANG De-quan, SHE Hong-quan, LI Da-xin, FENG Cheng-you. 2003. The porphyry-Epithermal Metallogenic System in the Zijinshan Region, Fujian Province[J]. Acta Geologica Sinica, 77(2): 253-261(in Chinese with English abstract).
- ZHANG De-quan, FENG Cheng-you, LI Da-xin, SHE Hong-quan, DONG Ying-jun. 2005. The Evolution of Ore-forming Fluids in the Porphyry-Epithermal Metallogenic System of Zijinshan Area[J]. Acta Geoscientia Sinica, 26(2): 127-136(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Xi-lin, MAO Jian-ren, CHEN Rong, XU Nai-zheng, ZENG Qing-tao, YE Hai-min. 2007. Zircon SHRIMP Age and Geochemical Characteristics of the Caixi Pluton in Southwestern Fujian Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 26(3): 223-231(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Xi-lin, MAO Jian-ren, CHEN Rong, XU Nai-zheng. 2008. SHRIMP Zircon Dating of the Zijinshan Pluton in Southwestern Fujian and its Implications[J]. Gology in China, 35(4): 590-597(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Su, CHEN Hao-shou. 1996. Geochronology and Geological Significance of the Zijinshan Copper-Gold Deposit[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 15(4): 216-219(in Chinese with English abstract).