

陈世忠, 陈刚, 马明, 等. 武夷山成矿带南段桃溪环形区成矿规律和找矿方向[J]. 中国地质, 2014, 41(5): 1522-1538.
Chen Shizhong, Chen Gang, Ma Ming, et al. Metallogenic regularity and ore-prospecting orientation of the Taoxi circular area[J]. Geology in China, 2014, 41(5):1522-1538(in Chinese with English abstract).

武夷山成矿带南段桃溪环形区成矿规律和找矿方向

陈世忠 陈刚 马明 朱筱婷 黄正清

(南京地质调查中心, 江苏南京 210016)

摘要:桃溪环形区是武夷山成矿带南段一个重要的矿集区, 目前已探明的主要矿床有紫金山铜金矿、岩背锡矿和红山铜矿等大型矿床, 它们是武夷山成矿带、乃至中国东部的典型矿床。本文从几个主要矿床的成矿物质来源、岩浆与成矿的关系、蚀变、矿床成因和成矿模式等方面, 总结了桃溪环形区中生代与火山相关的铜多金属矿的区域成矿规律, 并在综合分析前人地质找矿工作成果基础上, 提出火山拗陷区边部斑岩发育区或火山机构发育区为桃溪环形区铜多金属矿的找矿远景区。

关键词:桃溪环形区; 成矿规律; 找矿方向; 紫金山

中图分类号:P612 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)05-1522-17

1 引言

桃溪环形区位于武夷山隆起带南段, 东邻永(安)—梅(州)拗陷带, 西与赣南古生代被动陆缘相接, 其范围涵盖了江西东南部的瑞金、会昌、寻乌和福建西南部的长汀、武平、上杭以及广东平远等地。

桃溪环形区具有良好的成矿远景, 是武夷山成矿带南段一个重要的矿集区, 前往调研者不乏其人。江西和福建地矿部门均曾做过大量的调查研究工作, 取得了重要地质找矿成果^[1-3]。2005年后, 南京地质矿产研究所在前人工作基础上, 先后在该区进行了矿产地质远景调查和武夷山成矿带铜多金属矿选区评价, 获得了一批新的地质矿产信息。目前已探明的主要矿床有紫金山铜金矿、岩背锡矿和红山铜矿等, 它们是武夷山成矿带、乃至中国东部的典型矿床。

桃溪环形区是武夷山成矿带南段重要的矿集区, 区内铜多金属矿产、岩浆岩分布和物化探异常等均受

其制约。铜多金属矿主要分布在区内变质岩带附近, 其与燕山晚期岩浆活动关系密切。此外, 部分矿产分布在岩浆隐爆角砾岩中(如: 红山、紫金山、铜坑璋), 或与火山机构有密切关系(如: 岩背、中寮), 或与岩浆热液活动关系密切(如: 铜矿沟、古石背), 或与断裂构造有关, 但流体和成矿物质都有岩浆活动的痕迹(如: 悦洋、碧田、牛轱远、麻州)^[4]。

在综合分析前人地质调查和找矿工作成果基础上, 本文就桃溪环形区铜多金属矿的成矿规律和找矿方向综述如下。

2 地质背景

古生代以来, 欧亚板块东缘—中国东部经历了明显的陆壳岩石圈的拆沉。桃溪环形区发育桃溪岩组变质岩和新元古代—古生代地层、加里东期、印支期、燕山期侵入岩和火山岩。

桃溪岩组分布于长汀、会昌、武平一带, 被以中生代为主的复式岩体侵吞或被中生代沉积盆地所

收稿日期: 2013-08-01; 改回日期: 2014-04-29

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(1212010813065)资助。

作者简介: 陈世忠, 男, 1967年生, 研究员, 岩石学矿物学矿床学专业, 现从事矿产调查和成矿预测; E-mail: chenshizhong@gmail.com。

覆,大致呈半环状展布。桃溪岩组由变粒岩岩段和片岩岩段组成,变质程度均达角闪岩相,局部可见麻粒岩相。

新元古代-古生代地层由南华系、震旦系和寒武系组成,为一套砂泥质类复理石建造,岩石均发生过低绿片岩相区域动力变质作用和韧性剪切变形。

中生代地层呈弧形围绕展布,其底部与前期较老地层以脆性正断层接触,呈断陷沉积盆地,东西侧盆地相对于环内下降幅度较大,如环形区东侧连城黄坊白垩系一新近系地层厚1229 m,连城庙前第四系厚240 m;环形区西侧会昌周田盆地地层厚3700 m。南部由扭性、压扭性弧形断裂组成,北部亦由一系列断裂呈NW向弧形展布。

桃溪环形区与中国东南部一样,广泛出露白垩纪断陷盆地、A型花岗岩、碱性岩、基性岩脉及双峰式火山岩^[5],表明白垩纪中国东南部处于伸展拉张的构造环境;与早白垩世大陆裂解有关,大致在距今140 Ma左右,中国东南部全面进入岩石圈伸展拉张构造时期。进而桃溪环形区在晚中生代以来,太平洋板块俯冲和大规模岩石圈拆沉导致了拉张地区的地壳减薄和软流圈上涌,形成了大量的岩浆岩及其成矿作用,这些矿床成矿斑岩体的同位素年龄为94~140 Ma,表现为与壳幔混源型花岗岩密切。而100 Ma的岩浆岩以双峰式特点。区域成矿作用与燕山晚期构造岩浆作用密切相关,主要成矿年龄集中于125~90 Ma。蚀变矿化紧紧围绕次火山岩体分布,成岩与成矿是岩浆演化产物,即它们具有物源的一致性,Cu、Au主要由中酸性岩浆带入。矿床地质、地球化学和同位素等特征都表现为斑岩型、隐爆角砾岩型或岩浆热液型多金属矿^[4]。

3 矿床类型

桃溪环形区已发现铜、金、铅、锌、铁、锰矿床(点)100余处,其中特大型铜金矿床1处(紫金山)、锡矿1处(岩背)(图1)。大型矿床有悦洋和红山等。

桃溪环形区内矿床主要有金银矿、铜矿、锡矿、钨矿和铀矿等。金矿除了紫金山铜金矿和上杭铜矿沟铜金矿床外,还见于福建上杭滩下、金龙桥、碧田和长汀楼子坝、羊牯、店下等地,成因类型以次火山热液型为主。区内锡矿主要分布于江西会昌岩背、上长岭和长汀下东坑等地,围绕密坑山就分布

有岩背、上湾、凤凰寨、苦竹寨和增坑等锡矿床,都以火山-斑岩型锡矿为主。区内铜、铅、锌多金属矿产较丰富,主要见于江西会昌中村、石峰峡、大坑山、乌石垌,瑞金石门,寻乌剑溪、破冈、鸡笼嶂及福建上杭太山头、背斜等地。该区钨矿有江西于都铁山垄、隘上和会昌白鹅钨矿床3处,会昌鲜坑等钨矿点11处,矿床成因以气化-高温热液型为主,局部见隐爆角砾岩型等。该区铀矿有江西会昌和福建上杭矿床、矿点近二十处,矿床成因类型属火山热液型、岩浆热液型等,以火山热液型为主要成矿类型。据刘林清^[6]统计,已知铀矿床、矿点或矿化异常区片有97%以上分布在环形构造各层环及其边缘地区。

归纳起来,区内这些矿种主要矿床类型有高疏浅成低温热液型铜金矿床、斑岩型铜金矿床、中低温热液型铜金(银)矿床和矽卡岩型铁铜多金属矿床。而这些矿床类型主要与中生代岩浆活动关系密切。并且矿床具有成群分布的特点,最典型的矿化富集区为紫金山矿田,以紫金山超大型铜金矿床为中心,周边有铜矿沟、罗卜岭、中寮、五子骑龙、新屋下、二庙沟、龙江亭、悦洋、大岌岗等一系列中小型矿床和矿(化)点(图2),它们之间围绕该区火山机构分布,并存在密切的成因联系^[4]。

4 铜多金属矿成矿规律

主要从紫金山、红山和岩背矿田中矿床的成矿物质来源、岩浆与成矿的关系、成矿时代、与成矿有关的蚀变、矿床成因分析和成矿模式等方面说明桃溪环形区铜多金属矿的成矿规律。

4.1 成矿物质来源

紫金山铜金矿成矿斑岩(花岗岩类、英安斑岩、隐爆角砾岩)及蚀变矿物(绢云母、明矾石等)氢氧同位素都显示成矿介质水是由岩浆水和大气降水混合而成。从成矿作用的早阶段到晚阶段,成矿流体中大气水渗入成分有逐渐增多的演化趋势。紫金山铜金矿硫同位素组成具深源硫特征。

红山矿床矿石矿物硫同位素较接近下地壳物质部分熔融的均一体。黄铜矿和辉铜矿Pb比值较为稳定,均落在太平洋西岸岛弧铅范围内,沿零等时线两侧分布,反映铅源于中生代岛弧构造环境。

岩背矿床花岗斑岩和脉石矿物石英氧同位素

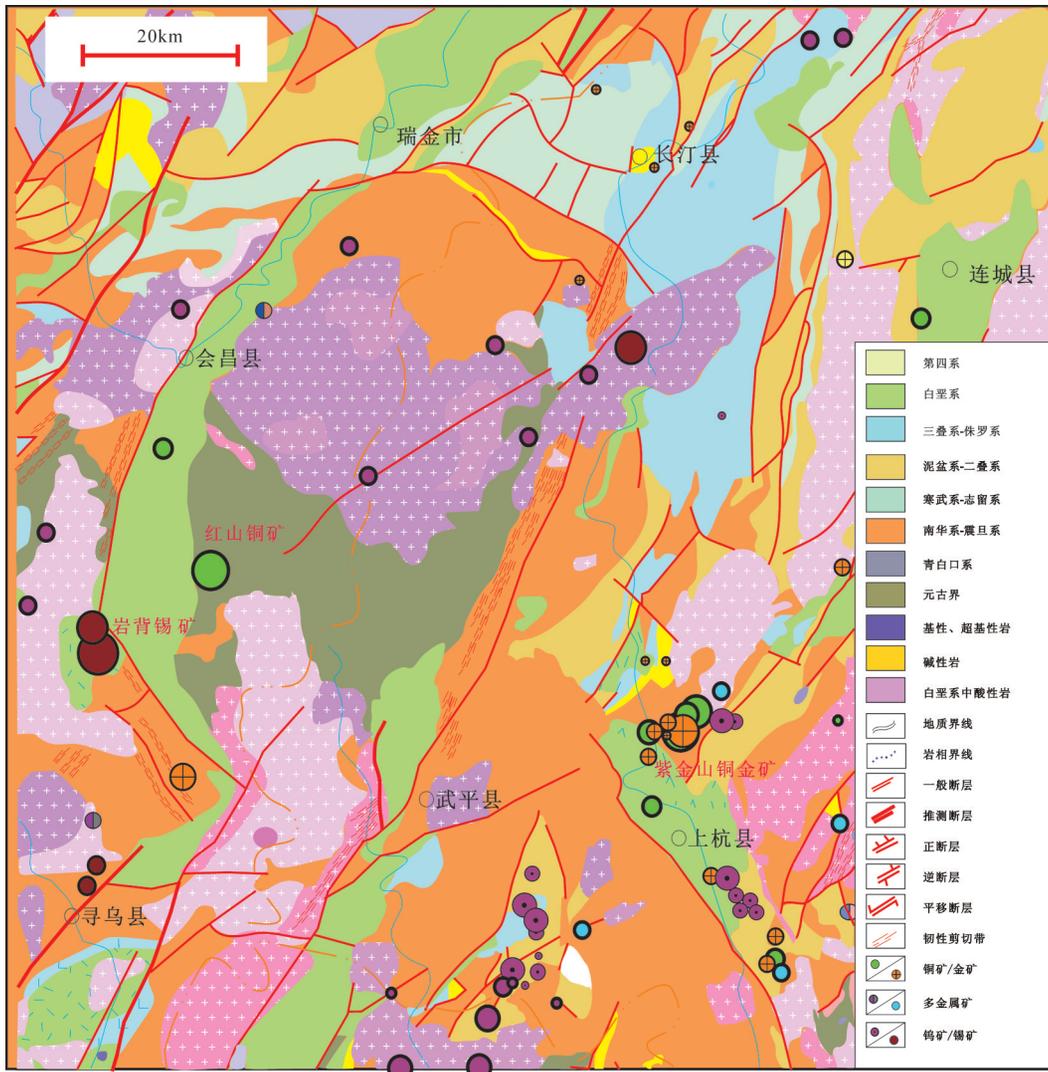


图1 桃溪环形区矿产地质图(据文献[13])

不同颜色代表不同构造期;没有十字的块体代表岩层;带十字代表岩体

Fig. 1 Sketch geological map of the Taoxi circular area showing distribution of mineral resources (after reference [13])

Different colors represent different tectonic stages; intrusions are represented by blocks with cross in them and strata is represented by blocks without cross

显示其与下地壳部分熔融岩浆有关;花岗斑岩和花岗闪长斑岩Nd同位素显示其来自大陆壳和亏损地幔源^[7]。

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

4.2 岩浆与成矿的关系

紫金山铜金矿床位于白垩纪陆相火山断陷盆

地东缘(图2)。区内大面积出露的主要为燕山期花岗侵入杂岩和燕山晚期的火山-次火山岩。燕山期的中细粒花岗岩为矿区分布最广的侵入体,也是最主要的赋矿围岩;燕山晚期次火山岩分布于矿区中部,呈筒状、脉状及不规则状产出,主要岩性包括英安斑岩、隐爆碎屑岩,并以斑岩为中心,构成多个规模不一的火山机构。铜、金矿化主要分布于次火山岩中心的顶部。英安斑岩深部过渡为花岗闪长斑

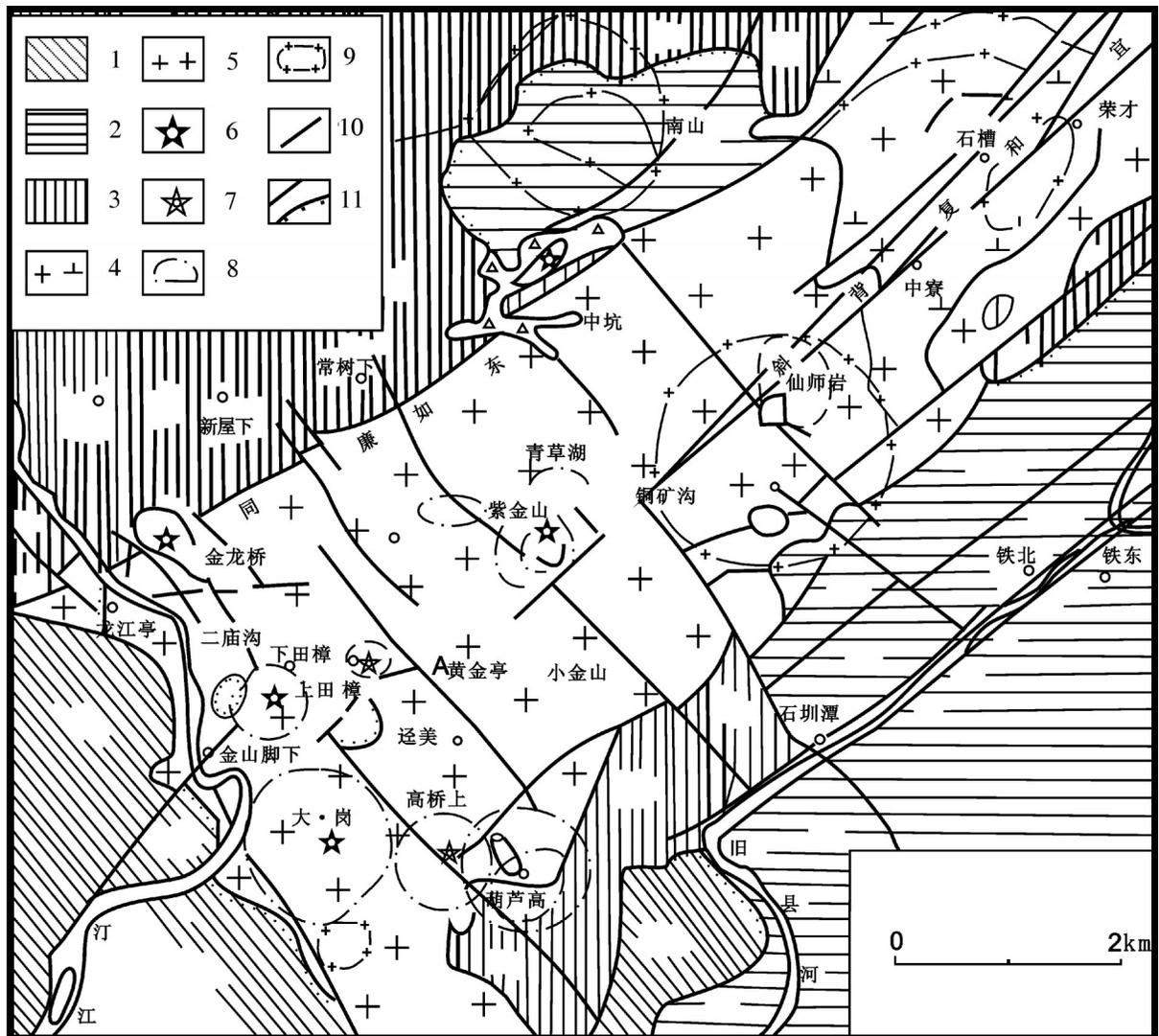


图2 紫金山矿田构造略图(据文献[1])

1—燕山期构造层; 2—华力西期构造层; 3—加里东期构造层; 4—燕山晚期花岗闪长岩; 5—燕山早期花岗岩; 6—古火山口; 7—推测古火山口; 8—火山活动成因环状构造; 9—岩浆侵入活动成因环形构造; 10—线性断裂; 11—整合、不整合地质界线

Fig.2 Sketch map of the Zijinshan orefield (after reference [1])

1—Yanshanian tectonic layer; 2— Variscan tectonic layer; 3—Caledonian tectonic layer; 4—Late Yanshanian granodiorite; 5—Early Yanshanian granite; 6—Ancient crater; 7—Inferred ancient crater; 8—Ring structure of volcanism; 9—Ring structure of intrusion; 10—Linear fracture; 11—Conformity or unconformity

岩,与斑岩型铜矿化关系密切。紫金山铜、金矿带围绕着斑岩筒分布,主要分布于NW外接触带。

红山铜矿矿区围岩主要为元古界桃溪岩组变粒岩、片麻岩、混合岩;其次为下白垩统版石组和上白垩统茅店组碎屑岩和火山岩。其中分布有次火山岩和劲松岭隐爆角砾岩。与成矿有关的主要为花岗斑岩、花岗闪长斑岩、石英斑岩和流纹斑岩等

(图3)。

红山含铜成矿岩体花岗(闪长)斑岩脉(瘤)分布在劲松岭隐爆角砾岩筒中及其外围,沿环状和放射状断裂分布。红山矿体主要分布在红山斑岩-隐爆角砾岩筒内的斑岩、隐爆角砾岩与桃溪岩组变质岩接触带和外围变质岩的断裂破碎带或热液圆砾岩脉中。以斑岩、隐爆角砾岩与围岩接触破碎带的

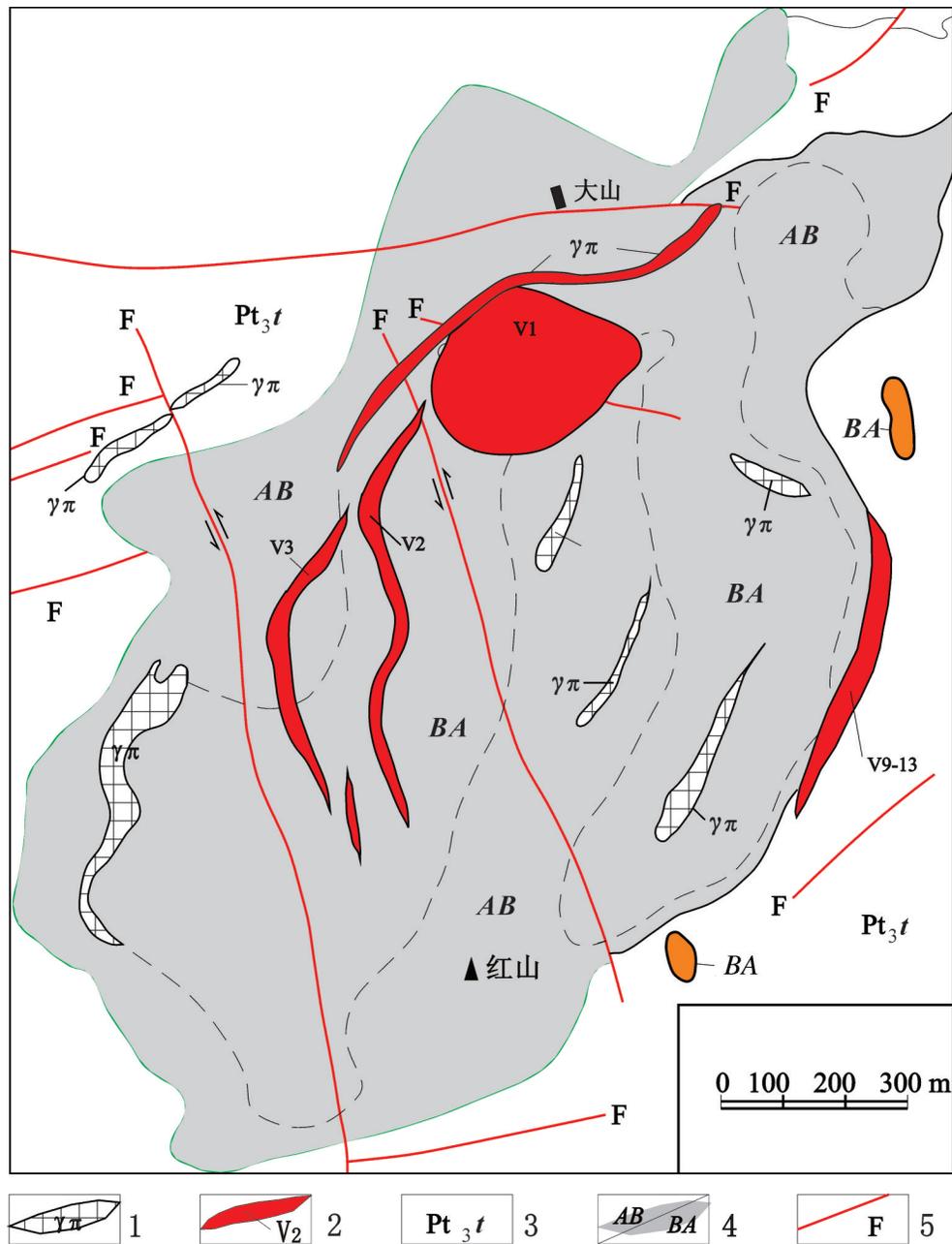


图3 红山铜矿地质图(据文献[19])

1— $\gamma\pi$, 晚燕山期花岗斑岩; 2—矿脉及编号; 3— Pt_3t , 新元古桃溪岩组; 4—A B, 隐爆集块或角砾岩, B A, 隐爆角砾或集块岩; 5—F, 断裂

Fig.3 Geological map of the Hongshan copper ore district (after reference [19])

1— $\gamma\pi$, Late Yanshanian granite porphyry; 2—ore vein and its number; 3— Pt_3t , Late Proterozoic Taoxi Formation; 4—A B, Cryptoexplosive agglomerate, B A, Cryptoexplosive breccia; 5—F, Fault

矿体规模最大。

会昌岩背锡矿床产于白垩纪陆相火山断陷盆地边缘的火山机构中。矿区出露地层为下白垩统鸡笼嶂组, 岩性以流纹质火山岩为主, 次为粗安岩

和英安岩; 侵入岩为似斑状粗粒黑云母正长花岗岩、花岗斑岩, 后者具较明显的隐爆角砾岩化特征。

岩背锡矿的围岩为密坑山岩体, 它是一破火山中央岩株侵入体。该岩体在地表表现为密坑山、岩

背和苦竹寨3个岩体,在深部连成一片,是同一岩浆分别沿火山口及环状或放射状断裂侵入而成。岩背、凤凰寨、淘锡坝、苦竹寨、矿背、上湾等一批大、中型锡多金属矿床或矿点分布在该岩体与流纹质凝灰熔岩的内外接触带。矿体赋存于燕山晚期花岗岩斑岩侵位凹部的内外接触带。斑岩体呈岩瘤状,侵入于粗粒黑云母花岗岩中,为主要成矿岩体。

桃溪环形区其他多金属矿床与典型矿床紫金山、岩背和红山等一样,成矿岩体与其边部白垩纪火山盆地鸡笼嶂组、莲花寨群、版石群和赣州群中火山岩,为同一岩浆演化的产物。成矿与岩浆活动关系密切。

4.3 成矿时代

紫金山铜金矿床与中酸性次火山岩有密切的时空关系,其成矿(表1)与成岩^[4]时间相近:紫金山罗卜岭成矿花岗闪长斑岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄(105±7.2) Ma^[8],紫金山铜金矿床蚀变黑云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄(104.54±1.7) Ma,紫金山矿床碧田金银矿石中共生的冰长石 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄(91.47±0.39) Ma^[9],表明紫金山成矿年龄在 105~91 Ma。

红山铜矿采场成矿花岗斑岩锆石年龄(102.5±1.2) Ma^[4],成矿与燕山晚期(第二期)的岩浆侵入和隐爆作用有关^[4]。

岩背锡矿,相对于含黄玉黑云母花岗岩而言,含黄玉花岗斑岩与锡成矿关系更密切^[15],成矿年龄在(114~126) Ma。岩背 Sn 矿成矿流体为岩背含黄玉花岗斑岩岩浆演化过程中分异出的岩浆热液。

紫金山铜金矿、岩背锡矿、红山铜矿等矿床研究表明,这些矿床的成矿时代和成矿斑岩的成岩时

代都在中生代晚期,与燕山晚期构造岩浆作用密切相关,主要成矿年龄集中于(126~91) Ma。

4.4 与成矿有关的蚀变

紫金山矿区蚀变强烈,所有岩体均已全岩蚀变。热液蚀变作用与燕山晚期钙碱性花岗闪长岩浆侵入一次火山作用有密切的成因和时空联系。岩浆侵入和次火山作用明显地控制了蚀变组合类型和分布。蚀变先后可分为4个阶段:(1)次火山作用前热液蚀变阶段;(2)隐爆蚀变阶段;(3)隐爆后热液蚀变阶段;(4)低温热液蚀变阶段。与次火山相英安斑岩和隐爆相角砾岩有关的为典型的次火山浅成低温热液蚀变,如硅化、明矾石化、地开石化等,它们是本区广泛蚀变范围内局限于一定部位的一种独特的蚀变类型。紫金山和铜矿沟的蚀变以钾化、硅化、绢云母化、绿泥石化(青盘岩化)为特点。

根据蚀变矿物组合类型的空间分布,紫金山宏观上可划分为:强硅化蚀变带、石英-绢(白)云母化蚀变带、石英-明矾石-地开石-绢云母蚀变带、石英-绢云母蚀变带等4个蚀变带。蚀变带的空间分布受火山机构控制,并以火山筒为中心(矿区西北部)的石英-地开石蚀变带向SE侧依次分布石英-绢云母化带、石英-明矾石-地开石-绢云母蚀变带、石英-绢云母化蚀变带。向南西侧依次分布强硅化带和石英-绢云母化带,向深部由石英-绢云母带逐渐过渡为钾化带。

红山铜矿蚀变类型有硅化、绢云母化或云英岩化、钾长石化、绿泥石化、高岭石-蒙脱石-伊利石化、白云母化、碳酸盐化和重晶石化等,而主要为前两者,其他仅具局部意义。

表1 紫金山铜金矿床岩/矿体同位素年龄

Table 1 Age of mineralized porphyry rocks and orebodies in the Zijinshan orefield

矿床名称	岩/矿体	成岩/矿年龄/Ma	同位素测年方法	测试样品	资料来源
紫金山	罗卜岭成矿花岗闪长斑岩	105±7.2	Rb-Sr 等时线	全岩	[8]
紫金山	铜金矿床	104.54±1.7	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	蚀变黑云母	[9]
紫金山	铜金矿床金矿石	100±3	流体包裹体 Rb-Sr 等时线	石英	[11]
紫金山	碧田金银矿石	91.47±0.39	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	与矿石矿物共生的冰长石	[10]
岩背	含锡石英脉	125.5±6.1	Rb-Sr 等时线	石英	[12]
岩背	锡矿(斑岩型)	120.2±5.3	Re-Os 模式年龄	辉钼矿	[7]
岩背	苦竹寨锡矿(破碎带型)	114.0±1.6	Re-Os 模式年龄	辉钼矿	[7]
红山	含矿花岗斑岩	102.5±1.2	SHRIMP U-Pb 法	锆石	[13]

围岩蚀变具线型和面(或体)型分带特征。①面型蚀变分带,由隐爆角砾岩筒中心向接触带及外带依次大致为:隐爆角砾岩筒中心以绢云母化、黄铁矿化为主,硅化、钾长石化、绿泥化、高岭石化为次→内外接触带以强硅化、绢云母化或强绢英岩化为主→外带则以弱硅化、绢云母化为主,绿泥石化、碳酸盐化为次。②线型蚀变分带,一般以断裂破碎带、斑岩脉和接触带为中心,向两侧呈对称或不对称分带。它们往往叠加在面型蚀变上呈线型增强,且宽度也无一定,最宽达50 m以上,窄者仅几十厘米。

红山铜矿围岩蚀变主要以硅化、绢云母化或绢英岩化最为普遍、广泛,蚀变强度与矿化成正相关。蚀变矿化紧紧围绕次火山岩体分布,成岩与成矿是岩浆演化产物,即它们具有物源的一致性,Cu、Au主要由中酸性岩浆带入。

会昌岩背锡(铜)矿床与矿化有关的蚀变可分为气热蚀变和热液蚀变,前者系与花岗斑岩有关的面型蚀变,其类型有黄玉-硅化、绢云母化、绿泥石化、高岭土化、碳酸盐化,锡矿化主要与绢云母化、绿泥石化关系密切,为浸染状矿化蚀变期;后者为裂隙型蚀变,有黄玉石英化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化,锡矿化与黄玉化、绿泥石化关系密切。矿石围岩蚀变在空间上具有较明显的分带现象,熊小林等将该矿床的蚀变划分为3个带:自花岗斑岩体向外依次为黄玉石英岩化带、绿泥石化带和绢云母化带(图2)^[16]。从蚀变带产出的空间部位可知,黄玉石英岩在内外接触带均有发育,绿泥石化黄玉石英岩和绢英岩则主要发育于外接触带钾长流纹斑岩中。

4.5 矿床成因分析

高天钧等(1998)认为紫金山矿床在时空上连续演化,属同源岩浆在同一成矿场中不同演化阶段的产物^[1]。华仁民等(2002)则将紫金山地区的紫金山矿床划入中国东部晚中生代斑岩-浅成热液金(铜)成矿体系^[17]。张德全等(2003)把紫金山地区的绢云母-冰长石型浅成热液Ag-Au矿床、酸性硫酸盐型浅成热液Cu-Au矿床和斑岩Cu(Mo)矿床归为以花岗闪长斑岩侵入体为中心的斑岩-浅成热液成矿系统之产物^[18]。这些认识基本一致,即紫金山矿床应属燕山晚期斑岩型-火山热液成因,其类型为高硫浅成低温热液铜(金)矿^[2,8]。该矿田罗卜岭和太山头铜矿为斑岩型矿床。

会昌红山铜矿床的形成是岩浆使岩体顶部、上覆围岩产生破裂和隐爆,形成裂隙网络和隐爆角砾岩筒;矿质在角砾、裂隙间沉淀,形成广泛蚀变和矿化,即面型蚀变和矿化;后期岩浆上侵、蚀变矿化叠加改造了早期成矿特征。红山铜矿床成因为斑岩-隐爆角砾岩型铜矿床^[14,19]。

会昌岩背锡(铜)矿床属花岗质岩浆发展演化到花岗斑岩阶段的大型斑岩锡矿床。矿床的形成经过了火山喷发阶段的初始富集、花岗质岩浆分异演化晚期斑岩侵位及其蚀变矿化,以及岩浆期后热液充填交代等多次成矿作用,但晚期斑岩侵位及其蚀变矿化是主要的成矿作用。

这些典型矿床的成因研究都表明,紫金山铜金矿、岩背锡矿和红山铜矿等矿床的成因争议较少,矿床的成因多与燕山晚期的岩浆活动有关,成矿构造是火山构造,与矿石最密切的岩石是次火山岩,包括侵入引起的隐爆角砾岩。桃溪环形区成矿作用与武夷山成矿带一样,主要以斑岩-隐爆角砾岩型铜多金属成矿作用为主。成矿时代主要为中生代晚期,与中国东南沿海一致,是中生代岩浆-成矿大爆发的一部分。

4.6 成矿模式

桃溪环形区主要成矿时代是燕山晚期,其具有特定的有利的成矿条件。最重要的是,该区在燕山晚期是地幔上侵的部位,既是壳幔物质交换频繁的地方,又是能量对流强烈的区域,并形成了多期岩浆活动的中心^[9]。地幔上隆,产生大量基性岩墙(体),相伴而来的金属元素成为成矿的物质基础。同时,伸展作用导致的高地热梯度和高热流构造环境有利于壳源花岗质岩浆在较浅处侵位,形成了大量重熔型花岗岩基。随着幔源物质的增加,形成了同熔型花岗(斑)岩体。岩浆热液活动、伸展隆起和构造剥蚀形成了高地热梯度和高热流环境,为成矿元素的活化、淬取、迁移、富集提供了良好条件。在这里,浅层大气水流和深层岩浆流体易发生交汇,在上盘氧化环境和下盘还原环境间容易形成有利于矿质沉淀的氧化-还原界面,大量断层和强烈破碎带为含矿溶液的运移、渗滤和成矿物质的沉淀、聚集提供了通道和空间等,这些因素也为矿床和矿体的定位起到了重要作用。

早白垩世,岩背矿田密坑山岩体、紫金山矿田

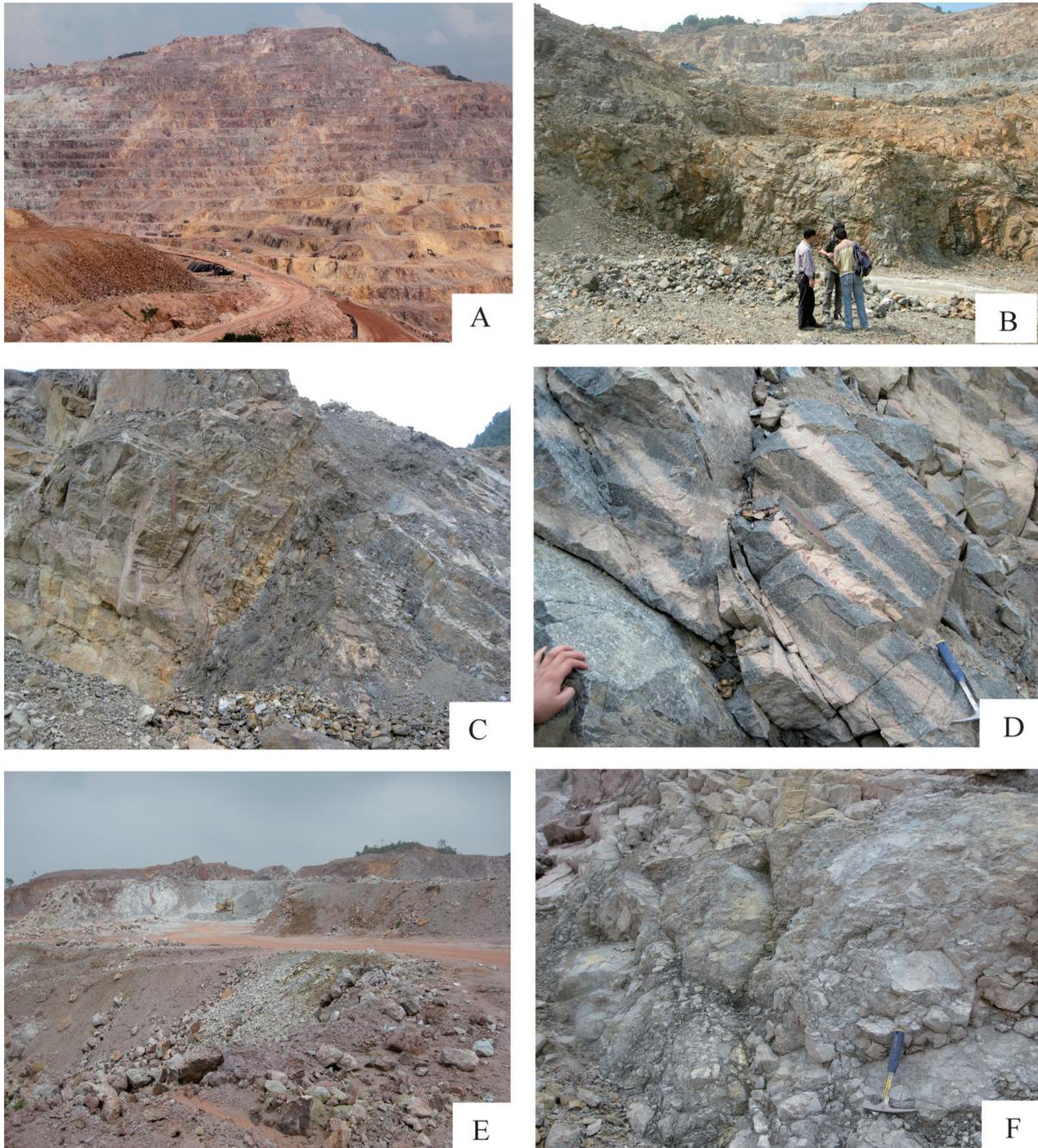


图4 桃溪环形区典型矿床野外照片

A—紫金山金矿采场; B—岩背锡矿采场; C—岩背锡矿细粒似斑状花岗岩; D—岩背锡矿花岗斑岩; E—红山铜矿采场; F—红山铜矿隐爆角砾岩

Fig.4 Field photos of the main deposits around the Taoxi circular area

A—Mining field of the Zijinshan gold deposit; B—Mining field of the Yanbei tin deposit; C—Fine grained porphyritic granite in the Yanbei tin deposit; D—Fine grained granite porphyry in the Yanbei tin deposit; E—Mining field of the Hongshan copper deposit; F—Cryptoexplosive breccia of the Hongshan copper deposit

罗卜岭岩体和红山岩体等随深源中酸性岩浆侵位于上部地壳,部分直达地表形成中酸性火山岩。火山作用晚期,小规模的中酸性岩浆沿火山通道、断裂构造被动侵位,形成次火山岩。在斑岩体侵位产生的热流体驱动下,下渗的大气降水发生对流循环,形成分布广泛的蚀变。中酸性岩浆再度沿火山通道、构造裂隙多次脉动侵位,并在岩筒顶部和边部发生隐爆及热液沸腾、热液角砾岩化,先后形成了多次斑岩和隐爆角砾岩、热液角砾岩,并诱发了多次蚀变及矿化作用的发生。

桃溪环形区红山铜矿、岩背锡矿、铜坑埠铜多金属矿与紫金山铜金矿具有相似的成矿模式,其不同点可以概括为:

从岩背、罗卜岭、红山、铜坑埠到铜矿沟、紫金山和碧田等,从近到远,矿体与斑岩体的关系为成矿内岩体和斑岩型为主,转变为热液裂隙充填型铜多金属矿床为主(图5)。同样,从中心往边部,铜多金属矿成矿类型从岩体→斑岩型→火山岩型→网

脉型→热液充填型等。

5 找矿标志与找矿方向

5.1 找矿标志

5.1.1 岩浆岩标志

(1) 特定时代的侵入体

石礼炎等对紫金山各期次侵入岩进行了系统划分,我们对各期岩体成矿作用进行了补充(表2)。燕山早期的中细粒花岗岩为矿区分布最广的侵入体,也是最主要的赋矿围岩,中粗粒碎裂花岗岩和细粒白云母花岗岩零星出露。燕山晚期火山一次火山岩分布于矿区中部,呈筒状、脉状及不规则状产出,主要岩性包括英安斑岩、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。近火山口为受英安斑岩及隐爆角砾岩控制的大型紫金山铜金矿床;矿田的NE端和SW端,有受远离火山口的英安斑岩控制的中低温热液型铜金矿床;在火山机构的外围,如碧田地区,还有受浅成侵入体控

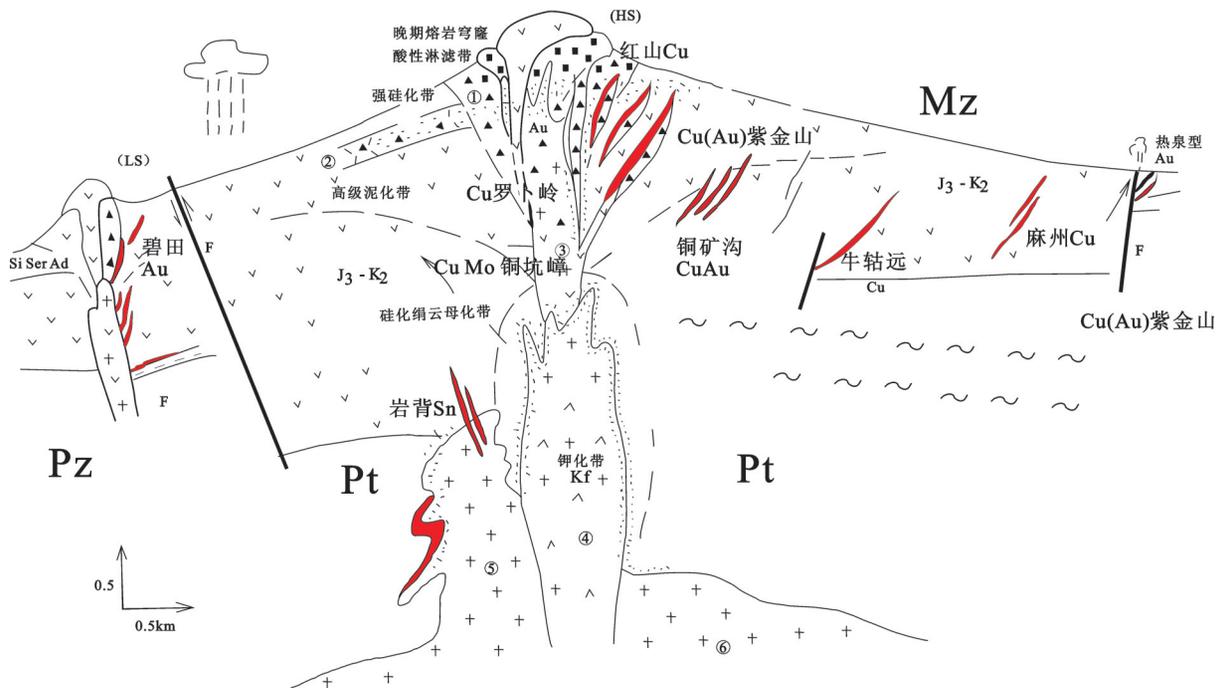


图5 桃溪环形区含矿斑岩体系的综合成矿模式图

Fig.5 Magmatism and mineralization model of the main deposits around the Taoxi circular area

1—Pt, 前寒武岩层; 2—Pz, 晚古生代沉积岩; 3—Mz, (晚)中生代火山(碎屑)岩; 4—Hs, 高硫热液; 5—Ls, 低硫热液
1—Precambrian rock layer; 2—Late Paleozoic sedimentary rocks; 3—Late Mesozoic volcanic (clastic) rock; 4—High sulfur hydrothermal fluid; 5—Low sulfur hydrothermal fluid

表2 紫金山各期次侵入体成矿特征(据文献[13]修改)

Table 2 Mineralization of various intrusions in the Zijinshan orefield (after reference [13])

复式岩体	阶段	岩体名称	年龄/Ma	矿产	数据来源
脉岩	$\gamma \delta \pi_5^3$ 、 $\sigma \delta \pi_5^3$	花岗闪长斑岩、英安斑岩、	102±9*	铜矿沟、碧田、紫金山 Au 矿	本文
		石英闪长玢岩、隐爆角砾岩	105±6		
			105±7.7		
罗卜岭	$\gamma \delta_5^{3(1)}$	花岗闪长岩	100±1	罗卜岭钼铜矿	[20]
四坊	$\gamma \delta_5^{3(1)}$	花岗闪长岩	105~108	太山头	[21]
五龙寺岩体	$\gamma_5^{3(1)}$	中细粒花岗岩	119±15	五子骑龙	[21]
紫金山	$\gamma_5^{2(3)c}$	中细粒白云母花岗岩		不含矿	
才溪	$\eta \gamma_5^{2(3)d}$	似斑状中粗粒黑云母二长花岗岩	150±3	不含矿	[22]
仙师岩	$\eta \gamma_5^{2(3)c}$	似斑状黑云母二长花岗岩		不含矿	
透美	$\eta \gamma_5^{2(3)c}$	粗粒-中粗粒花岗岩	168±4	不含矿	[23]

注:*英安斑岩单颗粒锆石U-Pb等时线。

制的银多金属矿化,包括受花岗斑岩控制的上杭古石背铀矿床。铜、金矿化主要分布于火山中心的顶部。英安斑岩深部过渡为花岗闪长斑岩,与斑岩型铜矿化关系密切。

燕山晚期中酸性次火山相英安斑岩、隐爆角砾岩(图6)、花岗闪长斑岩,沿紫金山火山通道侵入位于燕山早期的复式花岗岩体中,形成长1.5 km、宽0.5 km,长轴走向呈NE向的椭圆形复式岩筒;其顶部发育环状隐爆角砾岩带和震碎花岗岩带,两侧沿北西向裂隙带发育英安斑岩脉和热液角砾岩脉群。由它们组成的紫金山火山机构在平面上总体呈“蟹形”,是一个较完整的岩浆-气液活动体系。表明成岩与成矿是岩浆演化产物,即它们具有物源的一致性,Cu、Au主要由中酸性岩浆带入。

江西岩背早白垩世第2次主体侵入的细粒粗斑(或粗粒)花岗岩及补充侵入的微细粒-细粒似斑状花岗岩(图4-B~D),及其叠加上第3次侵入的细粒花岗岩而构成的成矿杂岩均有锡(铜)矿化,并以第2次补充侵入的微细粒-细粒似斑状花岗岩成矿作用的意义最大。岩背锡矿,成矿年龄在114~138 Ma,与李鸿莉等^[15]认识一致。

红山矿区内岩浆活动频繁,主要表现为一系列浅成-超浅成侵入的酸性-中酸性侵入体及部分基性岩脉,早期为中细粒斑状黑云二长花岗岩、中粒斑状黑云二长花岗岩等(中)酸性岩株侵入;晚期为花岗斑岩、花岗闪长斑岩以岩脉、岩瘤形式定位,还伴随多期岩浆热液隐爆发生,大量出露于隐爆角砾岩筒内的自碎花岗岩斑岩角砾岩是主要成矿岩体(图4-E、F);后期

石英闪长(玢)岩和辉绿岩以脉岩形式出露,另外还见酸性的细粒花岗岩(细晶岩)、花岗斑岩、石英斑岩脉。与成矿有关的是斑岩体,红山矿区多次侵入的斑岩体有花岗斑岩、花岗闪长斑岩、流纹斑岩和石英斑岩等,而与成矿有关的是前4种,尤其是第2期花岗斑岩、花岗闪长斑岩与成矿关系密切,其中与成矿最密切相关的是花岗闪长斑岩。

(2)岩性标志

隐爆角砾岩、震碎角砾岩是最有利的容矿岩石,如红山铜矿;浅成-超浅成花岗斑岩与钼、锡有关,如岩背锡矿和铜坑障铜钼矿等;英安玢(斑)岩、花岗闪长斑岩、石英闪长斑岩与铜、金成矿关系密切,并伴有银、铅锌等,如紫金山铜金矿、罗卜岭铜矿。

(3)岩相标志

火山岩相发育齐全,且具多次爆发、喷溢、侵入、次火山侵入特征,对矿产形成有利。对成矿最为有利的是近火口崩塌堆积相、隐爆相、火山通道相和次火山相,尤其是隐爆相与成矿关系更为密切,如红山铜矿和紫金山铜金矿床。

5.1.2 构造标志

环形区岩体、蚀变矿化受区域构造、次级断裂和火山构造共同控制。尤其是断裂复合部位往往形成大小岩体和岩脉,矿化叠加变富、矿体扩容加大。

5.1.3 蚀变标志

与成矿有密切关系的围岩蚀变有绿泥石化、硅化、绢云母化(绢英岩化)、黄铁矿化、钾长石化、绿泥石化、粘土化和碳酸盐化,其中斑岩型矿化蚀变与成矿最密切,其强度与矿化呈正相关。

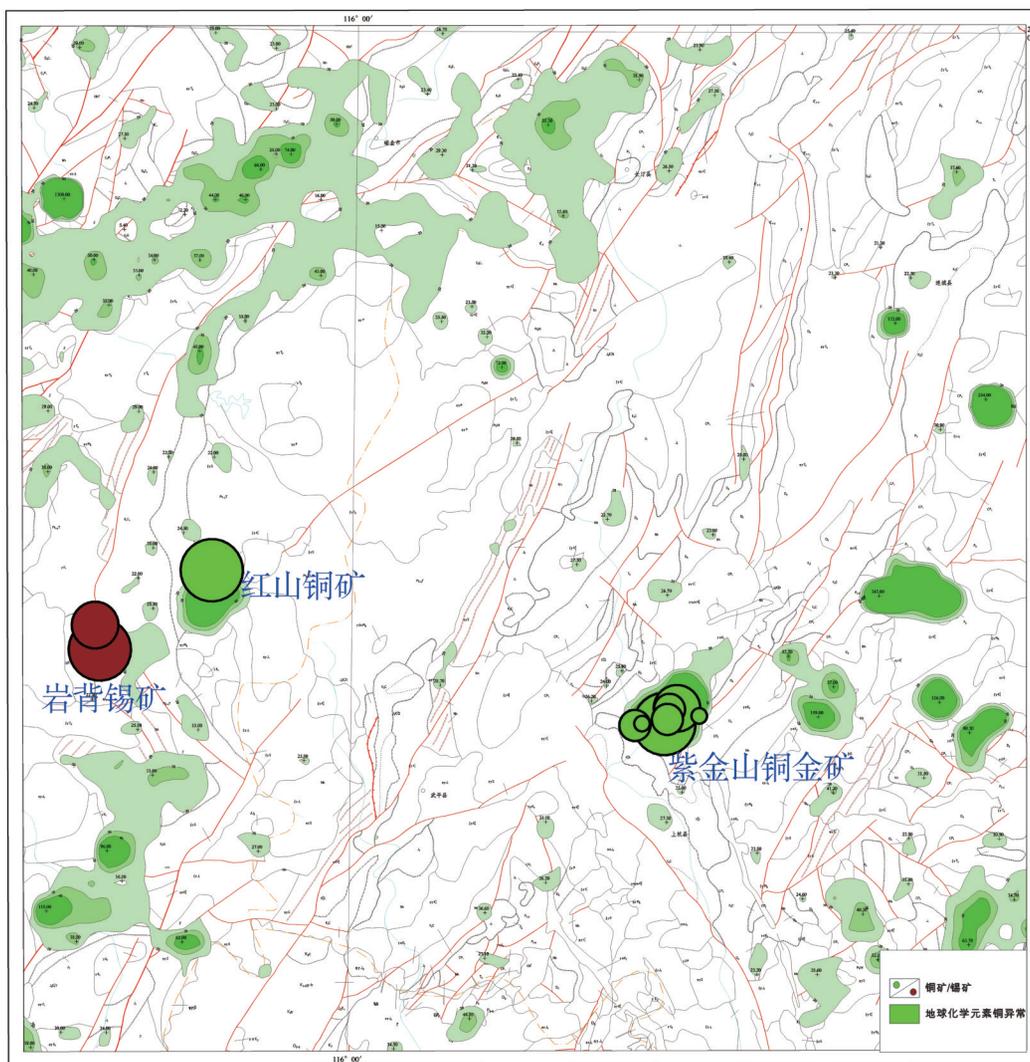


图6 桃溪环形区水系沉积物Cu异常简图

Fig.6 Copper anomaly map of stream sediments in the Taoxi circular area

表3 岩背各期次侵入体成矿特征

Table 3 Mineralization of various intrusions in the Yanbei orefield

岩性	年龄/Ma	分析方法	相关矿床	数据来源
细粒斑状黑云母花岗岩	137.6±1.5	锆石 SHRIMP	陶锡坝锡矿, 岩背矿区	本文
细粒(含斑)黑云母花岗岩	124.5±0.6	全岩 Rb-Sr 等时线	苦竹崇锡矿	[7]
花岗斑岩	114.1±0.6	全岩 Rb-Sr 等时线	岩背锡矿	[24]
	125.5±6.1	全岩 Rb-Sr 等时线		[12]

5.1.4 化探异常标志

水系沉积物异常,特别是Cu、Pb、Zn、Au、Ag等异常多与填图发现的矿(化)点吻合,部分异常直接分布在斑岩体与围岩接触带、外围破碎带。这都表

明了铜等水系沉积物异常可作为找矿标志(图6)。

5.1.5 物探异常标志

区域表现为弱的磁异常(图7),具有较强激电异常和自电异常,且它们多位于区域重力梯度带上

(图8)。已有资料表明,红山铜矿区地表高精度磁测 ΔT 低缓正异常与红山矿体一致。

结合前人对典型矿床的找矿经验,综合地物化遥资料(图7~8),总结紫金山、岩背和红山矿床预测要素见表4~6。

5.2 找矿方向

江西和福建地矿部门曾对桃溪环形区找矿方向进行了较系统的总结。江西地矿局认为瑞金—寻乌NNE向区域深断裂控制了区内部分斑岩和隐爆角砾岩,并强调了会昌环状断裂的西半环对岩背锡矿床和红山铜矿床的控制作用^[3]。江西岩背锡矿

由重砂等化探检查而发现,该矿床为火山岩区细脉浸染斑岩型锡矿,与岩体关系密切。梅勇文^[3]根据武夷山成矿带岩背、松岭、凤凰寨等大中型锡矿床的成矿地质条件、矿床特征等,概括出火山斑岩型锡矿床成矿的“三个前提”条件:(1)深断裂旁侧,横跨基底隆起之上的次级凹陷内,晶屑凝灰熔岩赋矿层位,以及火山爆破、泥化、角砾化地段是矿床形成的重要前提。(2)高位超浅成花岗斑岩是矿床形成的必要条件。(3)多组断裂复合构造是控制斑岩瘤及矿体产出的重要条件,复合构造所圈闭的“碗形凹谷”为斑岩隐蔽气热爆破和蚀变创造了有利条件。

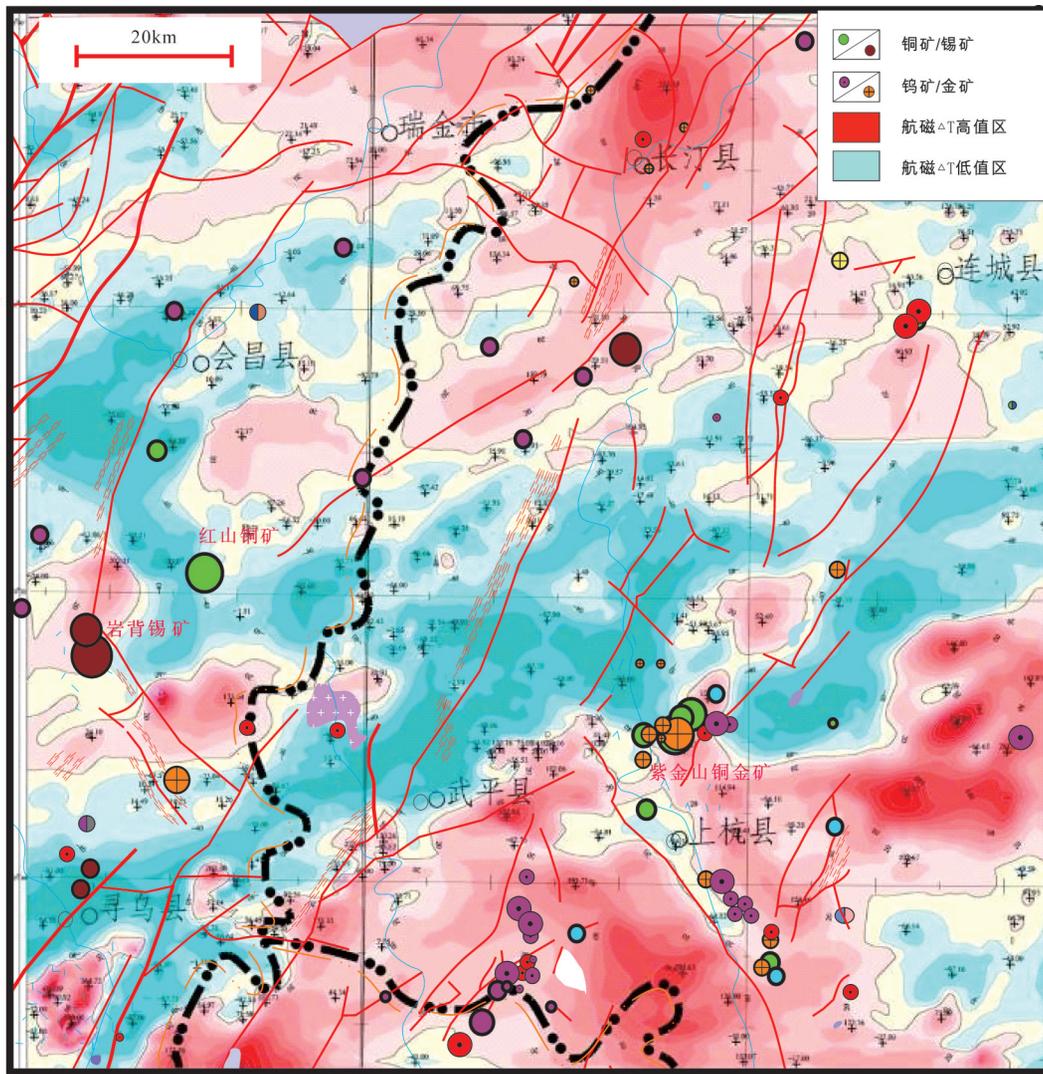


图7 桃溪环形区航磁等值线图

Fig.7 Contour diagram of aerial magnetic data in the Taoxi circular area

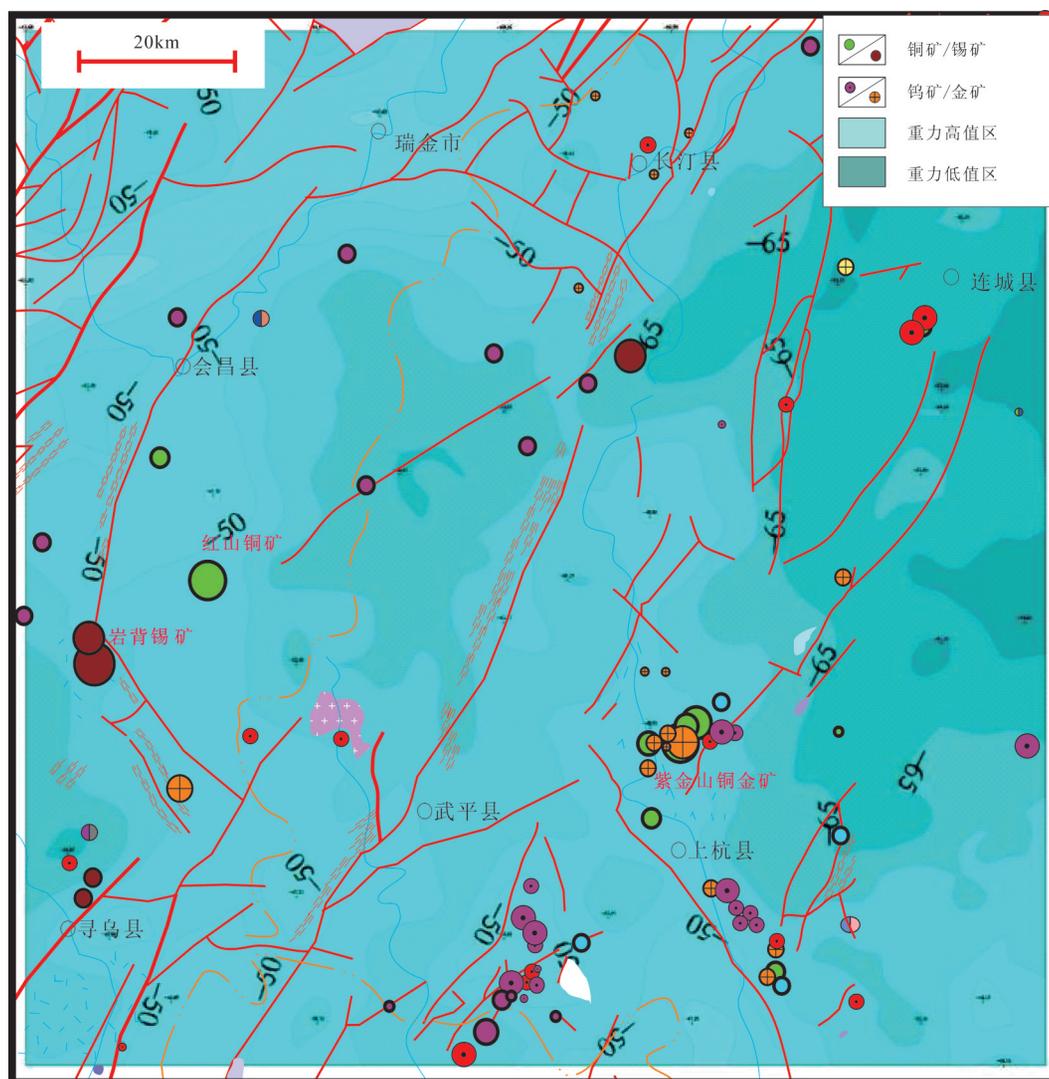


图8 桃溪环形区重力等值线图

Fig.8 Contour diagram of gravity data in the Taoxi circular area

部定向基金项目在红山地区开展研究后,周济元等认为其具有大型铜矿的成矿远景,尤其在隐爆角砾岩体的东南(上)接触带^[25],后经2001年地调项目验证,并取得了突破。

在探讨成矿地质背景时,有些专家强调老地层,认为武夷山成矿带中的矿床大多与前寒武系变质基底岩层关系密切,前寒武系结晶基底及前泥盆系变质褶皱基底地层被认为是区内主要的矿源层。如福建中元古代中晚期-新元古代早期的中浅变质岩系,如马面山岩群是铅、锌、铜、钴、金的重要矿源层,前人提出的浙西南-闽中新元古裂谷带,

更是在马面山岩群中形成了亚洲最大规模的铅锌矿。含矿层位在区域找矿中发挥了重要作用。但调查发现桃溪变质岩含金和含铜背景不高(图6),在区内变质岩发育地区找矿中没有明显的突破。

紫金山铜金矿的突破,给地质工作者以启迪:这些热液型矿床与斑岩和隐爆角砾岩关系十分密切,浅成低温热液型和斑岩型铜矿的相继发现,展示出金、铜矿的良好前景。找矿取得了突破,但关于成矿大地构造背景,地质学家一直存在争议。该矿田作为典型斑岩型铜矿床并没有在岛弧带上,而是见于弧后,显示为陆内造山后拉伸环境。部分专

表4 福建紫金山金矿床预测要素一览
Table 4 Predictive factors of the Zijinshan deposit

预测要素	描述内容	预测要素分类
成矿时代	燕山晚期	必要
大地构造背景	桃溪环形区 SE 部,上杭—云霄 NW 向深大断裂带、上杭 NW 向白垩纪陆相火山断陷盆地东缘	必要
大地构造演化阶段	燕山晚期造山后拉张阶段	重要
构造部位	中生代火山断陷盆地边部	重要
围岩蚀变	自接触带往外依次为石英-明矾石带→石英-明矾石-地开石带→绢云母-地开石带→石英-地开石-绢云母带;剖面上自上而下的垂直分带为石英-地开石带、硅化带→石英-明矾石-地开石带→石英-明矾石带→石英-明矾石-地开石-绢云母带→石英-地开石-绢云母带→石英-绢云母带	必要
找矿线索	(1)深断裂旁侧复式背斜倾伏端 NE、NW 向断裂构造复合部位的区域成岩成矿构造环境,白垩纪火山盆地边缘;(2)岩浆岩标志:燕山晚期亮幔混源型中酸性钙碱性岩系岩浆活动带,发育半隐伏次火山岩体和浅成斑岩体;(3)火山通道下部次火山岩体或次火山-浅成复式斑岩体接触带;隐爆角砾岩及热液角砾岩脉发育地段;花岗岩裂隙构造密集带	必要
物探资料	较强激电异常和自电异常	必要
重力资料	布格重力异常:在近 SN 向重力高的东侧,梯级带上出现等值线间距膨大畸变的部位,与矿区大致对应	重要
化探资料	原生晕 As、Sb、Au、Ag、Cu 组合异常,具 Hg、Pb→Sb、As、Ag、Au→Cu 的组分分带	必要
遥感资料	具火山喷发-侵入穹隆环形影像与线性影像交汇异常	必要
自然重砂异常	金和黄铜矿重砂异常	重要

表5 江西红山铜矿床预测要素一览
Table 5 Predictive factors of the Hongshan deposit

预测要素	描述内容	预测要素分类
成矿时代	燕山晚期	必要
大地构造背景	桃溪环形区西南部,瑞金—寻乌 NNE 向深断裂、云霄—上杭 NW 向构造带交接复合部位	必要
大地构造演化阶段	燕山晚期桃溪拉张环境	重要
围岩蚀变	黄铁矿化、硅化、绢云母化、钾长石化等	重要
找矿线索	(1)斑岩标志:花岗闪长斑岩或花岗斑岩等斑岩为直接找矿标志 (2)构造标志:构造是本区主要控矿因素,构造有利部位是矿液运移、沉淀的场所,如寨子脑区段的多组近 EW 向断裂;其他区段的小角砾岩筒及其配套之环状、放射状断裂是成矿有利部位; (3)蚀变标志:蚀变是与矿化直接相关的找矿标志,本区与铜矿化关系密切的蚀变主要为黄铁绢英岩化及绿泥石、绿帘石化。矿化越强,蚀变也越强; (4)物化探异常标志:区内以 Cu、Ag 为主的土壤异常较为直接地指示了 Cu 矿化部位。矿化与矿区内的激电异常中低阻高极化体吻合程度高,而高磁异常与隐伏斑岩体的吻合程度高,化探异常与已知矿体的吻合程度较好,这些都是具有良好的间接指示意义的找矿标志	必要
磁测资料	弱的航磁异常	次要
重力资料	区域重力坡度带上	重要
电法资料	激电异常	必要
化探资料	Cu 多金属水系沉积异常, Ag、Pb、Zn、Cu、Au 等原生晕异常	必要
遥感资料	环形构造明显	重要
自然重砂异常	黄铜矿重砂异常	重要

家把紫金山成矿归为上杭—云霄 NW 向断裂带产物,并开展了该断裂带和类似断裂带的成矿预测,如浦城—三都澳 NW 向断裂带,以及浙江等地 NW 向断裂带。这些断裂带深切岩石圈,发育了大量深

源岩浆岩,但找矿效果并不理想,第二个紫金山矿并没有找到。而从桃溪环形区来看,该区存在上述成矿规律和找矿标志,可以确定桃溪环形区铜多金属矿找矿方向是:确定桃溪环形区是重要成矿远景

表6 江西岩背锡矿床预测要素一览
Table 6 Predictive factors of the Yanbei deposit

预测要素	描述内容	预测要素分类
成矿时代	燕山晚期	必要
大地构造背景	桃溪环形区	重要
构造部位	中生代火山盆地边部	必要
成矿围岩蚀变特征	成矿杂岩体凹谷部位,并有高位超浅成花岗斑岩岩瘤存在 矿化蚀变强烈,从矿体中心往上、下两侧依次为黄玉石化-黄玉石化叠加绢云母绿泥石化-绢云母石英化、粘土化、碳酸盐化 (1)火山岩含锡丰度高于背景值4~10倍,并且角砾化或泥化特征显著;伴随有爆破角砾岩存在的地段,卫星照片具有小型色调环形影像,是矿床赋存有利部位; (2)矿床产于倾向相反及走向偏转的多组断裂所圈闭的地段,沿断裂带有矿化蚀变现象和花岗斑岩脉充填; (3)面型高岭土化、菱铁矿质碳酸盐化发育,其间有绢云母、绿泥石化或硅化、黄玉石化,它们之间略呈似环状分带; (4)微裂隙矿化蚀变线密集出现,并伴有断裂破碎带型锡石硫化物矿化存在	必要 重要 重要
磁测资料	航磁 ΔT 为60~120 nT低缓局部异常,呈似环形分布	必要
重力资料	重力 Δg 为NNE向梯级带等值线扭曲、拐突部位,重力垂向导显示为负异常,上延1000 m后异常仍存在,这是成矿花岗岩、花岗斑岩的反映,推断有隐伏岩体存在。矿区重力异常在地表或近地表圈定的锡矿化体上方,布格重力异常在平面和剖面上均显示为相对高异常,进入围岩后,重力异常强度逐渐减弱,与矿石和围岩存在较大的密度差有关。	必要
电法资料	较强的激电异常	必要
化探资料	地球化学:化探Cu、Pb异常强度大,分带明显,范围大,具有多元素土壤地球化学异常与多种矿物重砂异常叠加;其中元素衬值累乘参数 $Pb \times Be / Cu \times Bi \times Ag$ 为1~5, $Sn / Pb \times Be$ 为1~2, $Sn / Cu \times Bi \times Ag$ 为2~5,可作为矿体埋深80~100 m的土壤元素异常判别指标	重要
遥感资料	遥感影像为安远—寻乌环形构造的NE缘,其中的小型环对应破火山构造中的次火山岩和成矿斑岩体。区内线性构造和环形影像均较发育	必要
自然重砂异常	锡石重砂异常	必要

区;主攻矿种Cu、Au等多金属;主攻矿床类型为斑岩型-岩浆热液型;找矿方向为(火山)构造薄弱带,如寻乌—石城带和会昌—上杭带的斑岩体或火山机构发育区。

致谢:感谢石礼炎、叶允均、张生辉、陈仁义等专家指导和富有启发性的讨论;感谢陈鹤年和兰善先研究员审阅了文章。并借此文章对2013年12月8日逝世的导师陈鹤年研究员表示哀悼。

参考文献(reference):

- [1] 高天钧, 黄仁生. 福建上杭紫金山矿田铜银金矿床类型及对比[J]. 火山地质与矿产, 1998, 19(4): 283-294.
Gao Tianjun, Huang Rensheng. Comparison of typical characters of Zijinshan copper gold silver deposit, Shanghang, Fujian Province[J]. Volcanology and Mineral Resources, 1998, 19(4): 283-294(in Chinese with English abstract).
- [2] 陈景和. 紫金山铜金矿床成矿模式[J]. 黄金, 1999, 20(7): 6-11.
Chen Jinghe. The metallogenic mode of Zijinshan copper (gold) deposit[J]. Gold, 1999, 20(7): 6-11(in Chinese with English abstract).
- [3] 梅勇文. 上湾隐伏锡矿床的预测和发现[J]. 地质与勘探, 1992, 28(7): 1-7.
Mei Yongwen. The concealed Shangwan Sn deposit: Its prediction and discovery[J]. Geology and Preprospecting, 1992, 28(7): 1-7(in Chinese with English abstract).
- [4] 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, 2010, 35(6): 969-984.
Chen Shizhong, Ma Min, Chen Gang, et al. Taoxi uplift, its tectonics, magmatism and metallogeny, Wuyi metallogenic belt[J]. Earth Science, 2010, 35(6): 969-984 (in Chinese with English Abstract).
- [5] 章邦桐, 陈培荣, 孔兴功, 等. 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.
Zhang Bangtong, Chen Peirong, Kong Xingong, et al. Rb-Sr chronology of bimodal volcanic rocks of the Yutian Group in the Lingjiang basin, southern Jiangxi[J]. Geology in China, 2002, 29(4): 351-354 (in Chinese with English abstract).
- [6] 刘林清. 从遥感图像看桃溪环形构造及其对轴矿分布的控制[J].

- 江西地质, 1995, 10(1): 69-74.
- Liu Linqing. Taoxi annular structure and its controlling on the distribution of uranium deposit from the view of remote sensing image[J]. *Geology of Jiangxi*, 1995, 10(1): 69-74(in Chinese with English abstract).
- [7] 邱检生, McInnes B I A, 蒋少涌, 等. 江西会昌密坑山岩体的地球化学及其成因类型的新认识[J]. *地球化学*, 2005, 34(1): 20-32.
- Qiu Jiansheng, McInnes B I A, Jiang Shaoyong, et al. Geochemistry of the Mikengshan pluton in Huichang County, Jiangxi Province and new recognition about its genetic type[J]. *Geochimica*. 2005, 34(1): 20-32(in Chinese with English abstract).
- [8] 张德全, 李大兴, 丰成友, 等. 紫金山地区中生代岩浆系统的时空结构及其地质意义[J]. *地球学报*, 2001, 22(5): 403-408.
- Zhang Dequan, Li Daxing, Feng Chengyou, et al. The temporal and spacial framework of the Mesozoic magmatic system in the Zijinshan region and its geological significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2001, 22(5): 403-408(in Chinese with English abstract).
- [9] 张德全, 丰成友, 李大新, 等. 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*, 2005, 26(2): 127-136.
- Zhang Dequan, Feng Chengyou, Li Daxin, et al. The evolution of ore-forming fluids in the porphyry-epithermal metallogenic system of Zijinshan area[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2005, 22(5): 403-408(in Chinese with English abstract).
- [10] 刘晓东, 华仁民. 福建碧田金银铜矿床冰长石的⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄[J]. *地质论评*, 2005, 51(2): 151-155.
- Liu Xiaodong, Hua Renmin. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of Adularia from the Bitian gold-silver-copper deposit, Fujian Province[J]. *Geological Review*, 2005, 51(2): 151-155(in Chinese with English abstract).
- [11] 陈好寿. 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*, 1996, 20(4): 348-360.
- Chen Haoshou. The research on the mineralization and chronology and isotopic exploration assessment for Zijinshan copper-gold deposit[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1996, 20(4): 348-360(in Chinese with English abstract).
- [12] 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): 456-46.
- Mei Yuping, Li Huaqin, Wang Denghong, et al. Rock-forming and ore-forming ages of the Yanbei porphyry tin deposit in Jiangxi Province and their geological significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2007, 28(5): 456-46(in Chinese with English abstract).
- [13] 陈世忠, 黄正清, 朱筱婷, 等. 武夷山成矿带桃溪环形构造与紫金山铜金矿等矿床存在内在联系[J]. *中国地质*, 2013, 40(5): 1569-1582.
- Chen Shizhong, Huang Zhengqing, Zhu Xiaoting, et al. Magmatism and its mineralization of the main deposits in Taoxi circular structure in Wuyishan ore belt[J]. *Geology in China*, 2013, 40(5): 1569-1582 (in Chinese with English abstract).
- [14] 周济元, 崔炳芳, 陈世忠, 等. 江西会昌红山隐爆角砾岩筒及其成因和动力学[J]. *成都理工学院学报*, 1998, 25(2): 261-268.
- Zhou Jiyuan, Cui Bingfang, Chen Shizhong, et al. Cryptoexplosive breccia and its origin and dynamics in Hongshan, Huichang County, Jiangxi Province[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 1998, 25: 261-268(in Chinese with English abstract).
- [15] 李鸿莉, 毕献武, 涂光炽, 等. 岩背花岗岩黑云母矿物化学研究及其对成矿意义的指示[J]. *矿物岩石*, 2007, 27(3): 49-54.
- Li Hongli, Bi Xianwu, Tu Guangchi, et al. Mineral chemistry of biotite from Yanbei pluton: Implication for Sn metallogeny[J]. *J. Mineral Petrology*, 2007, 27(3): 49-54(in Chinese with English abstract).
- [16] 熊小林, 朱金初, 刘昌实, 等. 江西岩背斑岩锡矿蚀变分带及其主要蚀变岩的地球化学特征[J]. *矿床地质*, 1994, 13(1): 1-10.
- Xiong Xiaolin, Zhu Jinchu, Liu Changshi, et al. Alteration zoning of the Yanbei porphyry tin deposit in Jiangxi Province and geochemical characteristics of its main altered rocks[J]. *Mineral Deposits*, 1994, 13(1): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- [17] 华仁民, 陆建军, 陈培荣, 等. 中国东部晚中生代斑岩-浅成热液金(铜)体系及其成矿流体[J]. *自然科学进展*, 2002, 12(3): 240-244.
- Hua Renmin, Lu Jianjun, Chen Peirong, et al. The late Mesozoic porphyry-epithermal Au-Cu system in east China and their ore-forming fluids[J]. *Progress in Natural Sciences*, 2002, 12(3): 240-244(in Chinese).
- [18] 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): 160-168.
- Zhang Dequan, She Hongquan, Li Daxin, et al. The porphyry-epithermal metallogenic system in the Zijinshan region[J]. *Acta Geologica Sinica*. 2003, 77(2): 160-168(in Chinese with English abstract).
- [19] 陈世忠, 周济元, 崔炳芳. 江西红山隐爆角砾岩-斑岩型铜矿床的成因[J]. *火山地质与矿产*, 1998, 19(4): 338-346.
- Chen Shizhong, Zhou Jiyuan, Cui Bingfang. Characteristic fluid inclusions and geophysical-chemical ore-forming conditions of Hongshan cryptoexplosive breccia-porphyry copper deposit in Huichang, Jiangxi[J]. *Volcanology and Mineral Resources*, 1998a, 19: 205-213(in Chinese with English abstract).
- [20] 毛建仁, 许乃政, 胡青, 等. 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[J]. *岩石学报*, 2004, 20(2): 285-296.
- Mao Jianren, Xu Naizheng, Hu Qing, et al. The Mesozoic rock-forming and ore-forming processes and tectonic environment evolution from Shanghang-Datian region, Fujian, SE China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(2): 285-296(in Chinese with English abstract).
- [21] 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.
- Zhao Xilin, Mao Jianren, Chen Rong, et al. Zircon SHRIMP age and their implications of the Zijinshan pluton from southwestern

- Fujian Province[J]. *Geology in China*, 2008, 35(4): 590–597(in Chinese with English abstract).
- [22] 赵希林, 毛建仁, 陈荣, 等. 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*, 2007, 26(3): 223–231. Zhao Xilin, Mao Jianren, Chen Rong, et al. Zircon SHRIMP age and geochemical characteristics of the Caixi pluton in southwestern Fujian Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2007, 26(3): 223–231(in Chinese with English abstract).
- [23] 赵希林, 刘凯, 毛建仁, 等. 华南燕山早期晚阶段两类花岗岩体与成矿作用: 以赣南—闽西南地区为例[J]. *中国地质*, 2012, 39(4): 871–886. Zhao Xilin, Liu Kai, Mao Jianren, et al. Metallogeneses of two types of late Early Yanshanian granitoids in South China: Case studies of south Jiangxi and southwest Fujian[J]. *Geology in China*, 2012, 39(4): 871–886 (in Chinese with English abstract).
- [24] 王德滋, 沈渭洲, 刘昌实, 等. 江西岩背火山侵入杂岩的地球化学特征和成因[J]. *中国科学(B辑)*, 1994, 24(5): 531–538. Wang Dezi, Shen Weizhou, Liu Changshi, et al. Geochemical characteristics and origin of the Yanbei volcano–intrusive complex in Jiangxi Province[J]. *Science in China(B)*, 1994, 24(5): 531–538(in Chinese with English abstract).
- [25] Zhou Jiyuan, Cui Bingfang, Chen Shizhong. Geology, geochemistry and origin of the Hongshan porphyry–cryptoexplosive breccia type copper deposit in Huichang County, Jiangxi Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1999, 73(1): 19–29.

Metallogenic regularity and ore–prospecting orientation of the Taoxi circular area

CHEN Shi–zhong, CHEN Gang, MA Ming, ZHU Xiao–ting, HUANG Zheng–qing

(*Nanjing Geological Survey Center, Nanjing 210016, Jiangsu, China*)

Abstract: With more than 50 deposits and favorable ore–forming conditions, the Taoxi circular area is an ore concentration area for copper and polymetallic deposits. The deposits and geochemical anomaly as well as geophysical field show circular shape, and the main metallogenic and ore–controlling factors for the deposits in the area are a favorite assemblage of metallogenic and ore–controlling structures as well as the magmatic rocks of Mesozoic magmatic activity in the late Yanshanian period; all these phenomena are also the important prospecting criteria. The main kind of the deposits is porphyry or magmatic hydrothermal type. The circular places are the targets of further copper and polymetallic ore exploration, and particularly more attention should be paid to the volcanic craters or well–developed porphyry areas or ore spots situated in the volcanic depression.

Key words: Taoxi circular area; metallogenic regularity; further exploration; Zijinshan

About the first author: CHEN Shi–zhong, born in 1967, senior researcher, mainly engages in survey of mineral resources, study of mineral deposits and prognosis of mineral resources. E–mail: chenshizhong@gmail.com.