

# 斑岩铜矿-浅成低温热液银铅锌-远接触带热液 金矿矿床模型: 一个新的矿床模型 ——以德兴地区为例

毛景文, 张建东, 郭春丽

(中国地质科学院矿产资源研究所 成矿作用与资源评价国土资源部重点实验室, 北京 100037)

**摘要:** 在前人研究的基础上, 通过系统的野外考察, 论证了位于赣东北德兴地区德乐中生代火山盆地中的德兴铜矿、银山银铜铅锌矿和金山金矿及蛤蟆石金矿属于同一成矿系统。德兴铜矿是典型的斑岩铜矿, 成矿流体和金属元素主要来自岩浆; 银山银铜铅锌矿是一个下部为斑岩铜矿、上部为浅成低温热液型银铅锌矿, 成矿流体早期以岩浆为主, 晚期有较多的大气降水参与, 成矿物质主要来自岩浆; 金山和蛤蟆石金矿是远接触带热液矿床, 成矿流体为岩浆热液与大气降水的混合产物, 金主要来自围岩——双桥山群浅变质岩。这 3 套矿床以中酸性花岗斑岩或石英斑岩(高钾钙碱质花岗岩)为核心具有明显的分带性, 自中心向外或深部向浅部为: 斑岩铜金矿、浅成低温热液型银铅锌矿和远接触带热液型金矿。这种矿床组合关系不同于已知的经典斑岩铜矿模型和斑岩铜矿-浅成低温热液金矿床模型, 因而, 有必要提出一个新的模型: 斑岩铜矿-浅成低温热液银铅锌矿-远接触带热液金矿模型。这套矿床形成于中侏罗世, 抑或是古太平洋俯冲板片局部重熔或撕裂重熔的产物, 抑或是在活动大陆边缘岩浆弧后伸展带由地幔底侵的结果。

**关键词:** 成矿流体; 铜矿; 银铅锌矿; 金矿; 德兴

中图分类号: P612 文献标志码: A 文章编号: 1672-6561(2010)01-0001-14

## Porphyry Cu, Epithermal Ag-Pb-Zn, Distal Hydrothermal Au Deposits: a New Model of Mineral Deposit ——Taking the Dexing Area as an Example

MAO Jing-wen, ZHANG Jian-dong, GUO Chun-li

(Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment of Ministry of Land and Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract** Based on the previous studies and detailed field investigations in the Dexing porphyry Cu deposit, the Yinshan Ag-Pb-Zn deposit and the Jinshan shear zone-hosted Au deposit in the Dele Jurassic volcanic basin in the northeastern Jiangxi Province, East China are proposed to be same metallogenic system in this paper. The Dexing is a typical porphyry Cu-Au-Mo deposit in which both ore-forming fluid and elements are derived from the granite porphyry. The Yinshan consists of porphyry Cu ore at the copular of quartz porphyry in the lower part and the vein type Ag-Pb-Zn ore in the upper part. The hydrothermal fluid was mainly derived from the magma in the early stage and was incorporated with more meteoric water in the late stage. Its ore-forming elements are mainly from the magma. The both Jinshan and the Hamashi, a quartz vein type gold deposit hosted by brittle fractures, are distal hydrothermal deposits, which were formed by mixed fluids of magmatic and meteoric water whereas the Au is mainly leached from the country rocks of Middle Proterozoic schists of the Shuangqiaoshan Group. These deposits spatially show a distinct zoning of porphyry Cu, epithermal Ag-Pb-Zn and distal Au from the granite

收稿日期: 2010-01-15

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2007CB411405; 2007CB411407); 国家自然科学基金青年基金项目(40803008); 中国地质调查局项目(1212010634001)

作者简介: 毛景文(1956-), 男, 山西运城人, 研究员, 博士研究生导师, 从事矿床学研究。E-mail: jingwenmao@263.net

porphyry of quartz porphyry outside. In this case we suggest a new model entitled in porphyry-epithermal-distal system model for the group of mineral deposits with genetic relationship.

**Key words:** ore-forming fluid; Cu; Ag-Pb-Zn; Au; Dexing

## 0 引言

Emmons<sup>[1]</sup>将中酸性岩体隆起部位(Cupola)的细脉浸染状铜矿命名为斑岩铜矿,通常是以大吨位和低品位为特点。20 世纪初期,斑岩铜矿由于品位低仅是一种呆矿,直到 20 世纪 30 年代 Jacque 提出大吨位露天快速开采的新理念,导致该矿逐渐成为全球最重要的铜矿床类型,尤其是 Lowell 等<sup>[2]</sup>提出经典的斑岩铜矿矿化蚀变模型后,推动了全球寻找斑岩铜矿不断取得新突破。20 世纪 90 年代,在西南太平洋岛弧发现了以 Grasbeg 为代表的新矿床类型,其深部为斑岩铜矿,浅部逐渐过渡为浅成低温热液型金银矿(包括近接触带的高硫型金矿和远接触带低硫型金银矿或银矿),因而提出了一种新的矿床模型,即斑岩铜矿-浅成低温热液金银矿模型<sup>[3]</sup>,这一模型又推动了全球不仅找到了诸多斑岩铜矿床,而且还发现了一批浅成低温热液型金银矿床。

在中国赣东北德兴地区的德乐中生代火山盆地,发育有德兴大型斑岩铜矿(大于 6 000 000 t 铜金属储量)、银山银铜铅锌矿(其中银储量大于 10 000 t)和金山金矿(金储量 300 t),构成了中国单位面积成矿强度最大的地区之一。这些不同类型矿床之间是否存在成因联系,是大家关心的科学问题,也是潜在的一个新矿床模型。芮宗瑶等<sup>[4]</sup>曾经提出这 3 个类型矿床可能为一个体系(详见文献[5]),但由于缺少证据,没有引起重视。笔者基于前人研究基础,通过多次野外调查和研究,尝试进行论述。

## 1 区域地质背景

华南包括扬子地块与华夏地块,两个地块在新元古代沿江绍深大断裂或构造缝合带碰撞拼接<sup>[6-8]</sup>,包括德兴斑岩铜矿、银山银铜铅锌矿和金山金矿的德兴矿集区位于接合部位扬子地块一侧的江南古陆。沿江南古陆(从浙江经过江西和湖南,抵达桂北)发育有华南地区一条北东东向的重要金矿成矿带<sup>[9-10]</sup>,但目前对于其成矿时代尚有较大争论。在古陆南部沿江绍断裂带发育侏罗纪的裂谷带,属于十杭或杭十裂谷带<sup>[11]</sup>的东段部分,其内发育有大量的英安质一流纹质火山岩,在白垩纪期间

继续断陷,发育有红层沉积。

在德兴地区出露地层有中元古界双桥山群、新元古界登山群、南华系志堂组、下寒武统荷塘组、下侏罗统林山组和鹅湖岭组以及白垩系石溪组(图 1,据文献[12]略有修改)。中元古界双桥山群出露面积广泛,约占全区面积的 70%。双桥山群由一套浅变质的火山碎屑沉积岩夹变质火山熔岩组成,又进一步分为上、下亚群。下亚群以深海相泥砂质及火山碎屑复理石建造为主,属于稳定的大陆边缘沉积岩系(1 515 Ma)<sup>[9,13]</sup>,而上亚群则为一强烈活动的板块边缘沉积岩系(1 371 Ma)<sup>[14]</sup>,以灰绿色变质浊积岩与火山熔岩为特征。位于德兴地区东南部的新元古界登山群为近海湖盆陆相火山—碎屑岩建造;南华系志堂组主要为近海湖盆碎屑岩建造;下寒武统荷塘组为碳酸盐岩建造。下侏罗统林山组为河漫滩相—湖泊沼泽相碎屑岩建造;而侏罗纪鹅湖岭组为陆相火山岩建造,其底部为千枚质砾岩,中部为流纹质集块角砾岩和角闪流纹熔岩,上部为英安质集块岩和英安质熔岩。白垩系石溪组主要为陆相红色碎屑建造。

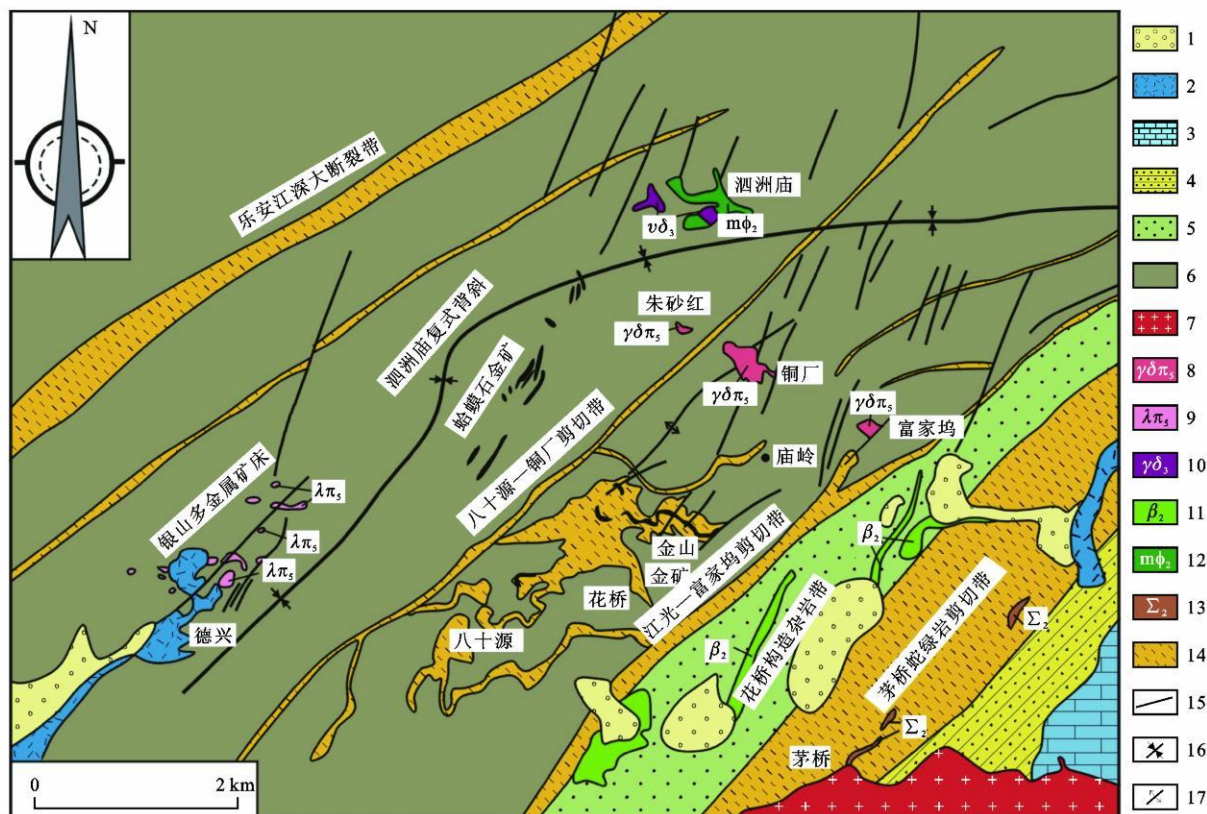
赣东北深大断裂带、乐安江深大断裂带以及泗洲庙复式背斜三者构成本区基本构造格架(图 1)。在赣东北深大断裂和乐安江断裂之间发育着次一级的北北东向的八十源—铜厂韧性剪切带和江光—富家坞韧性剪切带。而金山剪切带主要由几组近于平行的近东西向韧—脆性剪切带组成,夹持于八十源—铜厂韧—脆性剪切带和江光—富家坞韧—脆性剪切带之间。

本区区域岩浆活动频繁,最主要有新元古代早期的海相安山质火山碎屑岩、基性火山熔岩和蛇绿岩,其时代为 929 ~ 1 160 Ma<sup>[15-17]</sup>和中侏罗世陆相安山质一流纹质火山岩及其相关的次火山岩,包括英斑岩、英安斑岩(183 Ma)<sup>[18]</sup>和花岗闪长斑岩(171 Ma)<sup>[19]</sup>。

## 2 典型矿床地质和地球化学

### 2.1 德兴斑岩铜矿

德兴斑岩铜矿位于矿集区的北东侧,主要由富家坞、朱砂红和铜厂 3 个含矿斑岩体组成<sup>[20]</sup>。3 个



1—白垩系石溪组红层; 2—下侏罗统鹅湖岭组火山岩; 3—寒武系荷塘组白云质灰岩; 4—震旦系碎屑岩; 5—新元古界登山群砂板岩; 6—中元古界双桥山群千枚岩; 7—中侏罗世花岩岩; 8—中侏罗世花岗闪长斑岩; 9—中侏罗世石英斑岩; 10—加里东期辉石闪长岩; 11—新元古代变细碧—角闪岩; 12—新元古代变角闪辉石岩; 13—新元古代超镁铁质岩; 14—剪切带; 15—断层; 16—背斜; 17—向斜

图1 德兴地区铜银金多金属矿床分布

Fig. 1 Distribution of Cu-Ag-Au Polymetallic Deposit in Dexing Area

成矿斑岩均呈小岩株状产出, 沿北西西向呈串珠状分布, 单个岩体呈岩筒状向北西倾伏(图2<sup>[20]</sup>), 矿化发育于岩体的内外接触带, 主要矿体(大约2/3矿体)赋存于外接触带的围岩中。

#### 2.1.1 主要控矿构造

本区区域上深断裂带构造线方向为北东向, 矿田为北西西向(图1), 由富家坞、铜厂和朱砂红3个矿床组成。矿田内北西向、北东向和东西向3组构造都比较发育, 北东向和北西西向断裂控制了3个花岗闪长斑岩体的分布, 3个花岗闪长斑岩体内外接触带的微细裂隙控制了矿化。

#### 2.1.2 与矿化有关的花岗闪长斑岩特征

铜厂花岗闪长斑岩岩体出露面积最大, 为0.7 km<sup>2</sup>, 呈三角形; 富家坞花岗闪长斑岩岩体出露中等, 为0.2 km<sup>2</sup>, 呈梯形; 朱砂红花岗闪长斑岩岩体出露面积最小, 呈岩枝和岩脉群, 其中2个最大的岩枝面积之和为0.06 km<sup>2</sup>。据朱训等<sup>[20]</sup>的资料, 锶同位素初始值为0.7043, 其SHRIMP锆石

U-Pb年龄为(171±3) Ma<sup>[19]</sup>。该岩体为复式, 共有5次侵位, 其中3次为花岗闪长斑岩, 2次为闪长玢岩或石英闪长玢岩, 岩石呈隐晶至全晶质斑状、似斑状结构, 块状构造。该成矿主要与花岗闪长岩有关, 闪长玢岩矿化较弱或不含矿化, 呈岩墙穿入其中。花岗闪长斑岩的 $w(\text{SiO}_2)$ 为62%~63%,  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为15%,  $w(\text{K}_2\text{O})$ 为1.94%~2.07%、低 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ (0.33~0.84), 富集大离子亲石元素、低场强元素, 轻稀土富集, 重稀土亏损,  $w(\Sigma\text{REE})$ 为(24.87~216.20)×10<sup>-6</sup>,  $w(\Sigma\text{REE})$ 为(22.15~206.25)×10<sup>-6</sup>,  $w(\Sigma\text{HREE})$ 为(2.72~17.01)×10<sup>-6</sup>,  $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$ 为8~44。

#### 2.1.3 赋矿围岩特征

赋矿围岩为中元古界灰绿色、深灰色凝灰质板岩、凝灰质千枚岩夹千枚岩和变质凝灰岩, 局部地段见含碳板岩和变质中性-中酸性熔岩。双桥山下亚群以深海相泥砂质及火山碎屑复理石建造为主, 属于稳定的大陆边缘沉积岩系(1515 Ma)<sup>[9,13]</sup>; 而

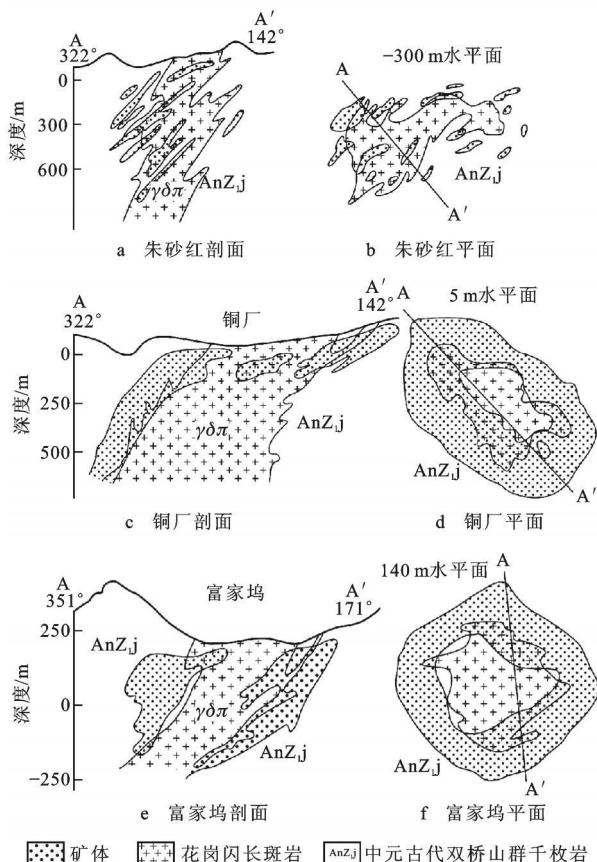


图 2 德兴斑岩铜矿田朱砂红、铜厂和富家坞矿床平面和剖面

Fig. 2 Horizons and Profile of Zhushahong Tongchang and Fujiawu Deposits in Porphyry Cu Ore Fields of Dexing Area

上亚群为一套强烈活动的板块边缘沉积岩系(1371 Ma)<sup>[14]</sup>,以灰绿色变质火山浊积岩夹火山熔岩为特征。

#### 2.1.4 矿体与矿石

3个矿床中的矿体均为以岩体为核心的筒状,主体矿体分布于围岩中(图2),明显受岩浆结晶过程形成的网状裂隙系统控制,形成细脉浸染状矿石。矿石中金属硫化物以黄铁矿和黄铜矿为主,辉钼矿次之,再次为砷黝铜矿和斑铜矿,此外还有少量辉铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铋矿、蓝辉铜矿、方黄铜矿、磁黄铁矿、毒砂、针硫铋铅矿、硫铜钴矿、硫钴镍矿、硫铁镍矿、针镍矿、辉砷镍矿、硫砷铅铜矿和硫银铋矿等。脉石矿物以石英、水白云母(伊利石)、绿泥石等为主。除Cu为工业利用的元素外,其他可供综合利用的有益元素有Mo、Au、Ag、Re、S、Se、Te、Co等。

矿石结构主要为他形粒状结构、半自形粒状结

构、包含结构、粒间充填交代结构、裂隙充填交代结构和交代残余结构等;矿石构造主要为浸染状构造、细脉状构造、细脉状-浸染状构造、团块状构造、条带状构造和角砾状构造等。

#### 2.1.5 矿化蚀变作用

与成矿有关的围岩蚀变及其脉状系统可以分为4类<sup>[21]</sup>:①钾长石蚀变及其有关的A脉;②伊利石、绿泥石蚀变及其有关的B脉;③石英、白云母化及其有关的D脉;④晚期的碳酸盐、硫酸盐蚀变及其有关的E脉。其中,D脉的石英流体包裹体主要由富液相、富气相和含子晶的流体包裹体组成。D脉的形成流体压力为 $(20 \sim 400) \times 10^5$  Pa。火成岩中黑云母和热液白云母的氢氧同位素分别为 $4.6 \times 10^{-3}$ 和 $-87 \times 10^{-3}$ 、 $(7.1 \sim 8.9) \times 10^{-3}$ 和 $(-71 \sim -73) \times 10^{-3}$ 。稳定同位素结果表明,成矿流体为岩浆来源。E脉热液方解石碳氧同位素分别为 $(-4.8 \sim -6.2) \times 10^{-3}$ 和 $(6.8 \sim -18.8) \times 10^{-3}$ 。D脉中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $(-0.1 \sim 3) \times 10^{-3}$ ,而E脉中黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $(4 \sim 5) \times 10^{-3}$ ,也说明了硫化物的岩浆成因。因此,德兴斑岩铜矿的成矿流体来自于出溶的岩浆流体。金章东等<sup>[22]</sup>对不同蚀变程度的岩石进行了氧、锶、钕同位素分析,结果表明,虽然与德兴斑岩铜矿成矿过程有关的热液流体至少有3种,包括高温岩浆流体、来自深部围岩的非岩浆流体和大气降水,但是起主导作用的是岩浆流体。钕、锶同位素在空间上的变化表明,在成矿流体形成及演化过程中锶同位素值由斑岩体内部向围岩接触带有规律地升高(从0.705到0.711),指示出矿床是由热液流体将成矿元素从岩体内部迁移到接触带附近富集而成的。

辉钼矿 Re-Os 年龄为 $(170.4 \pm 1.8) \text{ Ma}$ <sup>[23]</sup>,与花岗闪长岩的成岩年龄 $(171 \pm 3) \text{ Ma}$ <sup>[19]</sup>相吻合,显示成矿时代为中侏罗世。

#### 2.2 银山银铜铅锌矿床

银山银铜铅锌矿床是一个与火山-次火山热液有关的矿床或斑岩-浅成低温热液型矿床,成矿作用与侏罗纪火山-次火山岩(石英斑岩)有着明显的时空和成因关系。

##### 2.2.1 赋矿围岩

赋矿围岩主要矿体分布在侏罗纪鹅湖岭组火山-次火山岩(或斑岩)和双桥山群千枚岩和凝灰质千枚岩中。在银山矿区,火山活动可分为有明显间断的3个喷发旋回,分别为偏酸性、中酸性和偏中



性,其中以第1、2旋回为主要火山活动期,均以火山碎屑喷发开始,继之以熔岩喷溢,最后有次火山岩侵入。第1旋回火山活动为偏酸性的流纹英安质-流纹质,分布在矿区北东侧和东侧,其活动形式明显为裂隙式喷发,主要沿近东西向构造和北东向构造的交汇部位发生。稍后的次火山岩(石英斑岩)则分布在偏北部的九龙上天一北山一带,呈近东西向的不规则岩脉(如4、5、13号岩体)侵入于盆地边缘的双桥山群之中。第2旋回火山活动为英安质,其次是次火山岩(英安斑岩),SH RIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $(181 \pm 3) \text{ Ma}^{[24]}$ ,主要分布在西山及其周围(如1、3号岩体)。该阶段的火山喷发活动从裂隙式逐渐转为中心式,西山的中心式火山机构保留得较为完整。第3旋回火山活动仅有少量安山质熔岩喷溢,且局限于西山火山机构内(11号岩体) $^{[29]}$ 。除了侏罗纪火山岩外,中元古代双桥山群也是重要的成矿围岩。

### 2.2.2 主要控矿构造

北东向的银山倾伏背斜—断裂带纵贯全区,控制了本区火成岩的侵入、喷发、隐伏爆破及成矿。区内断裂构造以北北东、北东东和北北西向为主,次为北东、北西和北西西向,再次为南北向。与成矿密切相关的石英斑岩体,受北东东向断裂及近东西向构造的控制,呈北东东向近等距右型侧现于轴部构造北西侧上盘,北东东端宽大,南西西端窄小,向深部在轴部构造附近收敛,显示出由北东东向南西西向被动侵位的趋势 $^{[29]}$ 。

### 2.2.3 矿体和矿石

银山矿床共分为5个矿段,从南往北有:南山区、银山区、九龙上天区(简称“九区”)、西山区和北山区,一共有12个矿带(图3 $^{[24]}$ )。矿化主要表现为脉状,在深部可见斑岩铜矿。主要矿带有南山区的7、8号,银山区的2~5号,西山区的12号,九区的9、11号,北山区的10号,每个矿带都有10余条至几十条矿脉组成 $^{[25]}$ 。银山矿床的矿化形式以陡倾斜的裂隙充填大脉为主,脉宽一般在5 cm以上;其次是细脉型和细脉浸染型。铜金矿体产于九区和西山,以英安斑岩体为中心,发育于蚀变斑岩体内及其南北接触带和爆破角砾岩,大量出现细脉、网脉和浸染状铜矿化。矿体规模大,为形态完整的板状、厚板状,其产状与英安斑岩体一致,常出现分支复合现象。矿体的走向或倾向均与英安斑岩体一致,随岩体产状的变化而变化。主要矿石矿物

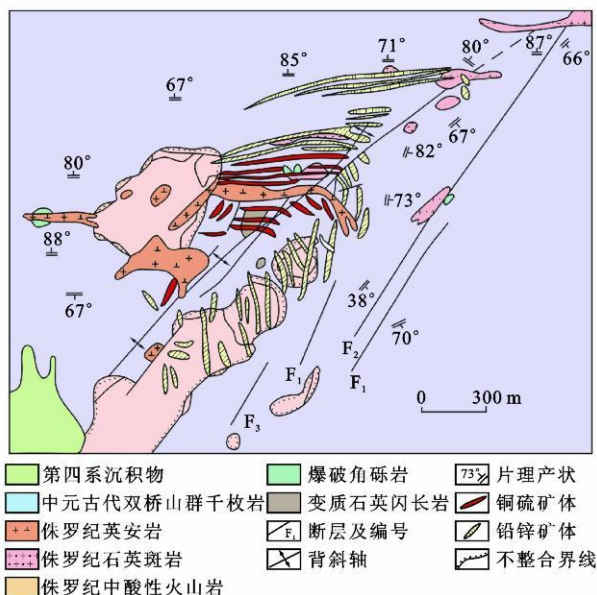
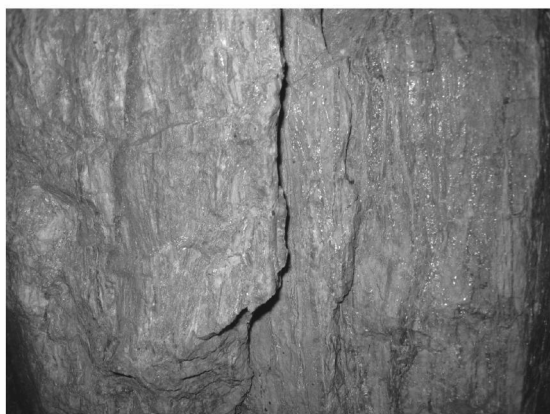


图3 银山银多金属矿床平面

Fig. 3 Distribution of Ag Polymetallic Deposit in Yinshan

为黄铁矿、黄铜矿、砷黝铜矿、硫砷铜矿、黝铜矿、方铅矿、闪锌矿等;脉石矿物为主要石英、绢云母、绿泥石及方解石和高岭石。最近,危机矿山项目在深部找矿过程中于九区深部探明20多万吨铜储量。这些铜矿石明显沿剪切带交代沉淀成矿,黄铜矿和黄铁矿等金属矿物沿片理发育,呈定向排列(图4)。脉状铅锌银矿体主要分布于北山、九区和银山,前两者的矿体走向近东西向,倾向北或者南;西山矿体的走向为北东、北北东、近北南、北北西;银山区矿体走向北西,倾向南西或者南东。矿脉长度一般为300~600 m,最长达1 050 m,一般厚1~5 m(图5 $^{[27]}$ )。银铅锌矿主要成脉状,矿石组成主要为



斑岩铜矿石明显沿剪切带发育

图4 银山矿区深部斑岩铜矿矿石

Fig. 4 Porphyry Cu Ore in the Depth of Deposit of Yinshan

方铅矿、闪锌矿、菱铁矿,少量黄铁矿和毒砂以及微量深红银矿、淡银矿、自然银和硫-铅-锑-银的硫盐矿物类;脉石矿物有绢云母、绿泥石、石英、迪开石、高岭石、伊利石、重晶石、萤石、白云石和玉髓<sup>[25]</sup>。

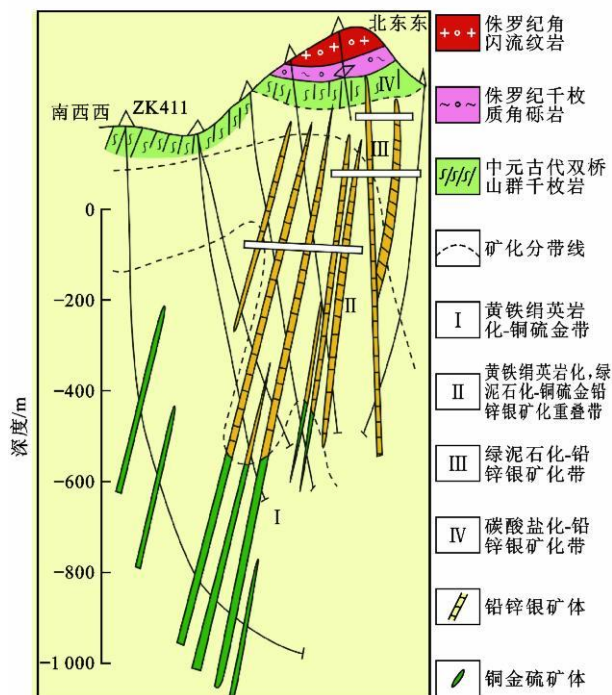


图 5 银山银多金属矿床剖面

Fig. 5 Profile of Ag Polymetallic Deposit in Yinshan

## 2.2.4 矿化和蚀变

叶庆同<sup>[25]</sup>划分出早期铜-黄铁矿阶段和晚期铅锌银成矿阶段, Li 等<sup>[24]</sup>测得 2 个阶段的年龄分别为 $(178.2 \pm 1.4) \text{ Ma}$ (白云母 Ar-Ar)和 $(175.4 \pm 1.2) \text{ Ma}$ (白云母 Ar-Ar)。Zhang 等<sup>[28]</sup>也划分出早期的 Cu-Au 和晚期的 Pb-Zn-Ag 2 次先后叠加的成矿作用,并进一步鉴定出从早到晚 4 个矿化蚀变阶段,分别是无矿石英脉、黄铁石英脉、黄铁矿-黄铜矿石英脉和黄铁矿-闪锌矿土方铅矿石英脉。

叶庆同<sup>[25]</sup>最早注意到在银山矿区以英安斑岩为核心,具有明显的矿化蚀变分带性。金属元素分带为 Cu、Cu-Pb-Zn、Pb-Zn、Pb; 蚀变分带为: 绢英云母化、绢英云母化-碳酸盐化、绿泥石化-碳酸盐化。杨斌等<sup>[29]</sup>也提出了类似的分带,即从英安斑岩体内部向外水平方向依次为(弱)绢云母化英安斑岩带、黄铁绢英岩化英安斑岩和千枚岩带、黄铁绢英岩化绿泥石化(碳酸盐化)千枚岩带、绿泥石化碳酸盐化千枚岩带、碳酸盐化绿泥石化火山碎屑岩带。原生矿化分带也以英安斑岩体为中心向外依次为铜矿化带、铜铅锌矿化带、铅锌矿化带、铅(银)

矿化带。这种矿化分带特点与斑岩铜矿十分类似,因此,银山银铜铅锌矿床基本上属于斑岩-浅成低温热液型矿床。

Zhang 等<sup>[28]</sup>在银山矿区开展了比较系统的流体包裹体研究,认为成矿流体属于  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$  体系,共鉴别出 3 类流体包裹体,以气液流体包裹体为主(占 90%以上),还有富气体包裹体和含子矿物的高盐度包裹体,并广泛出现斑岩铜矿中通常见到的沸腾现象。成矿早期由于压力相对低,出溶的低盐度富气体包裹体,所以这种流体主要出现第一阶段无矿石英脉和第二阶段黄铁矿-石英脉中。随着持续结晶作用,含盐流体不断从岩浆出溶。在过高压状态下(大于 900 Pa),高盐度流体被捕获。进而随着大气降水的加入,过高压体系解体,代之出现以中低盐度为特点的气液包裹体。所以,后两个成矿阶段多以气液包裹体为主,在局部可见由于沸腾作用而出现高盐度和中低盐度包裹体共存的现象。Zhang 等<sup>[30]</sup>获得银山矿区成矿流体的  $\delta^{18}\text{O}$  为  $(6.6 \sim 9.5) \times 10^{-3}$  和  $\delta\text{D}$  为  $(-48 \sim -34) \times 10^{-3}$  (基于温度  $270 \sim 390^\circ\text{C}$  计算)。Zhang 等<sup>[31]</sup>对成矿晚期与方铅矿和方解石有关的流体的同位素特点 ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 0.5 \times 10^{-3}$  和  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -70 \times 10^{-3}$ ) 显示出大气降水的特征。由此可见,银山矿区的流体特点是比较典型的斑岩铜多金属矿床的成矿系统。

## 2.3 金山金矿田

金山金矿田包括金山、花桥和八十源等矿床及矿点,位于德兴斑岩铜矿南西 3~4 km,是一个与韧-脆性剪切带为赋矿构造的金矿床,主要受近东西向金山剪切带的控制(图 1)。

### 2.3.1 赋矿围岩

赋矿围岩与德兴铜矿的围岩相同,同属于中元古代一套浅变质岩系。

### 2.3.2 主要控矿构造

该矿田内宏观变形构造以推覆型剪切带的多层叠置为特征。金山剪切带主要由数条近于平行的韧-脆性剪切带组成,规模大小悬殊,宽度由 0.1 m 到 650 m 不等,呈带状、扁豆状尖灭再现,倾向变化于北西向、北向、北东向之间,倾角为  $5^\circ \sim 35^\circ$ ,呈舒缓波状起伏,沿倾向呈舒缓台阶状延深,与矿田边缘区域性北东向走滑型剪切带低角度渐变交接(图 1)。

### 2.3.3 矿体和矿石

该矿体受剪切带控制,金矿体赋存在位于剪切



带应变中心部位的石英-黄铁矿-铁白云石化带中。赋矿剪切带可出现多应变矿化中心,而每一条矿化中心往往有多条矿体叠置产出。矿体形态以似层状为主,板柱状、透镜状次之,产状与主剪切面(平行C面理)平行起伏(图6<sup>[12]</sup>)。一般厚度为1.2~6.0 m,平均3.5 m左右,最大可达16.28 m。矿石品位变化比较大,一般为 $6 \times 10^{-6}$ 左右,单样最高品位达 $1.687 \times 10^{-6}$ 。矿石类型有蚀变岩型(硅化、黄铁矿化、铁白云石化)和含金石英脉型两大类。矿石矿物组合简单,主要有黄铁矿,其次是磁铁矿、赤

铁矿、毒砂、闪锌矿、黄铜矿和方铅矿等;脉石矿物主要有石英,其次为绢云母、钠长石、铁白云石和绿泥石等。黄铁矿是最主要的金属矿物和载金矿物,质量分数为1.17%~1.28%。自然金是唯一的金矿物和有用组分,成色高(953.6~969.4),以细粒单体金(占85.1%~91.21%)为主。金主要以不规则状、它形粒状、脉状、片状成群嵌布于黄铁矿及石英的粒间和显微裂隙中。黄铜矿、方铅矿、黝铜矿等富金硫化物的出现是明金和高品位金的宏观指示标志。

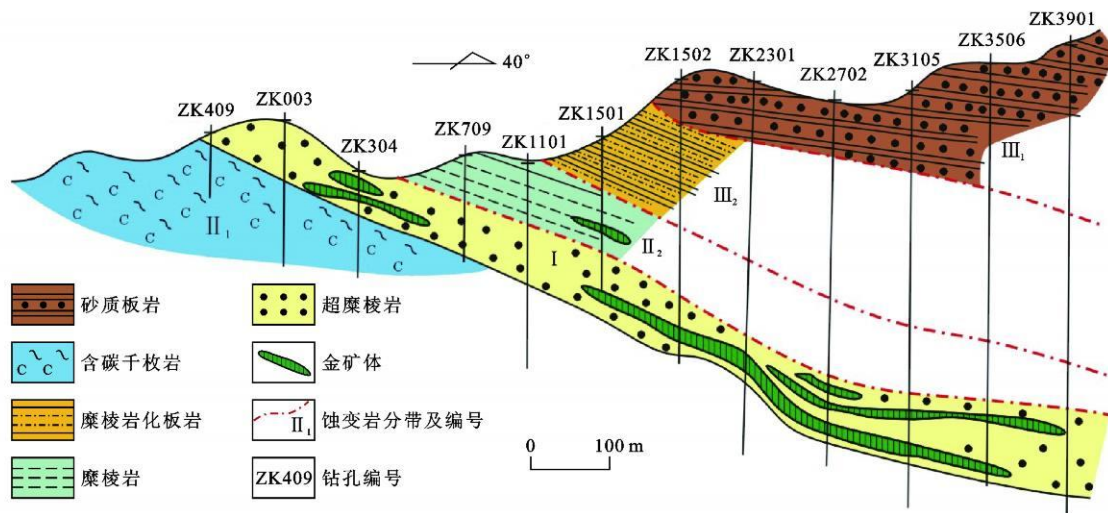


图6 金山金矿剖面

Fig. 6 Profile of Au Deposit in Jinshan

#### 2.3.4 矿化和蚀变

该围岩蚀变主要有硅化、钠长石化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化。其中,硅化和黄铁矿化与金矿化的关系密切。韦星林<sup>[32]</sup>提出在金山矿区沿剪切带构造蚀变分带清楚,从边缘向应变中心非对称式依次出现糜棱岩化带、初糜棱岩带、糜棱岩和超糜棱岩带;相应的蚀变为绿泥石-方解石带、石英-绢云母-白云石带、石英-黄铁矿-铁白云石带。Li等<sup>[33]</sup>通过进一步深入研究,根据岩石的变形变质作用、矿物的共生组合关系,提出由剪切带内向外可以分为3个带:①石英-钠长石-铁白云石-黄铁矿带,该蚀变组合产于应变最强烈的主剪切面附近,垂向厚度从数米到数十米不等,一般不超过50 m,特征矿物为钠长石和铁白云石,该蚀变带金矿化较强;②石英-绢云母-铁白云石化带,此蚀变组合产于石英-钠长石-铁白云石-黄铁矿带的两侧,垂向厚度近百米,特征矿物为绢云母和铁白云石;③绿泥石-方解石-绢云母化带,该组合产

于变形带的最外带,范围广,但不超出剪切带的范围,特征矿物为绿泥石和方解石。

范宏瑞等<sup>[34]</sup>将金山成矿作用划分为3个阶段,并开展了系统的流体包裹体测定:①石英-黄铁矿阶段,石英流体包裹体的捕获温度为250~215℃;②石英-金属硫化物阶段,均一温度为225~190℃;③碳酸盐阶段,流体包裹体的均一温度为190~160℃,盐度中等偏高, $w(\text{NaCl})$ 为12.3%~14.5%,属于中低温热液成矿系统。正如范宏瑞等<sup>[34]</sup>所描述金山矿区流体包裹体数量多,但体积小,以液相和纯液相包裹体为主。张文淮等<sup>[35]</sup>研究指出金山金矿流体包裹体有:①气-液两相盐水溶液包裹体,占包裹体总量的80%~85%;②纯有机烃类包裹体,占包裹体总量的10%~15%;③含盐类子矿物多相包裹体,占包裹体总量的1%左右;④纯 $\text{CO}_2$ 包裹体(含液态 $\text{CO}_2$ 三相包裹体),占包裹体总量的1%以下。张文淮等<sup>[35]</sup>、邹焕炎<sup>[36]</sup>先后提出成矿流体中高含量的有机质对于金的搬运

和沉淀具有重要意义。范宏瑞等<sup>[34]</sup>、张文淮等<sup>[35]</sup>根据流体包裹体特点,建议成矿作用与深部隐伏的岩体有成因关系。李晓峰等<sup>[12]</sup>通过 He/Ar 同位素测定,认为成矿流体主要以地壳端元流体为主,有很少量的地幔流体参与。目前对于成矿流体的来源有多种认识,主要依据流体的氢氧同位素值推测为岩浆水与大气降水混合<sup>[34-35]</sup>、岩浆水与变质水混合<sup>[37-38]</sup>、变质水<sup>[12, 32, 39]</sup>、变质水与大气降水混合<sup>[40]</sup>和岩浆水、变质水和大气降水的混合<sup>[41]</sup>。

除了上述 3 个大矿床外,还有蛤蟆石石英脉型金矿,该金矿位于银山之东北和朱砂红斑岩铜矿之南西,呈北东东向带状展布(图 1)。金矿化受陡立的走滑型脆-韧性剪切带控制,矿石类型为含金石英脉,属贫硫矿石。蚀变岩型矿石品位较低,主要见于含金石英脉两侧及其尖灭处,从南往北依次为蛤蟆石、董家、上洛、奈坑等矿床(点)组成,主要围岩蚀变有硅化、毒砂化、黄铁矿化等。

李晓峰等<sup>[12]</sup>将蛤蟆石金矿的成矿作用分为 3 个阶段:①石英-黄铁矿阶段:主要形成石英、少量黄铁矿及自然金;②金属硫化物阶段:以出现大量硫化物(黄铁矿、毒砂、黄铜矿和少量方铅矿和闪锌矿)为特征;③碳酸盐-硫化物及硫酸盐-硫化物阶段:大量发育方解石、菱铁矿、铁白云石等。金属矿物主要为自然金、黄铁矿、毒砂,少量方铅矿、闪锌矿等;非金属矿物主要为石英、方解石和绢云母等。

## 3 讨论

### 3.1 斑岩铜矿-浅成低温热液银铅锌矿-远接触带热液金矿矿床模型

国际上将斑岩铜矿通常分为斑岩铜金矿床和斑岩铜钼矿床,而中国很少有斑岩铜金矿床的报道,绝大多数为斑岩铜钼和铜钼金矿床。这种成矿类型的差异性在很大程度上与斑岩矿床所发育的构造环境有关,由于铜主要来自地幔(包括俯冲板片的重熔和大陆上地幔底侵成矿),而钼则主要来自下地壳。在西南太平洋岛弧带,主要发育斑岩铜金矿床,而且通常有浅成低温热液型金矿或金银矿与之伴生,而在南美新生代和中生代的斑岩矿床以及美国西南部至墨西哥西北部的斑岩矿床主要以铜钼为主<sup>[42]</sup>,最近在美国阿拉斯加西南部新探明了超大型 Pebble 斑岩铜金钼矿床<sup>[43-44]</sup>。后者与德兴矿化元素组合类似,表现为铜金钼共生。与斑岩铜矿有关的火成岩通常为钙碱质花岗岩类,与斑岩

铜金矿有关的主要为低钾、中钾和高钾钙碱性花岗岩类,而与斑岩铜钼有关的是富碱花岗岩类<sup>[43]</sup>。在剥蚀程度比较浅的成矿带,通常可以看到斑岩铜矿与火山机构共存,斑岩矿床发育于火山口的下部,与之有关的火山岩通常为安山岩至英安岩类<sup>[45]</sup>。目前在中国广泛流行埃达克岩,将这些钙碱性花岗岩类几乎全部论证为埃达克岩<sup>[46]</sup>。无论称之为埃达克岩,还是过去的磁铁矿系列花岗岩<sup>[47]</sup>和同熔型花岗岩<sup>[48]</sup>,都表明为一种深来源、高侵位、高氧化度的岩石。与这类岩石有关不仅有斑岩铜矿,而且还有浅成低温热液型金银矿床,甚至一些矽卡岩型和脉状 Ag-Pb-Zn 矿床。过去论述浅成低温热液型矿床时,通常仅指金银矿床<sup>[49-50]</sup>,最近几年,鉴于墨西哥广泛出现的浅成低温热液型银铅锌矿床,这样以来把浅成低温热液型矿床扩展为金银、银金和银铅锌<sup>[51]</sup>。赣东北地区与火山-次火山有关的银山和冷水坑银多金属矿当属于浅成低温热液型矿床。

德兴是一个典型的斑岩铜金钼矿床,其形成过程正如 Rui 等<sup>[52]</sup>总结指出,当在上侵定位的岩浆房内岩浆结晶出 35%~60%的斑晶时,开始发生岩浆二次沸腾,分馏出来的独立流体相,处于临界-超临界状态,富碱质、富硅富挥发组分(即富 H<sub>2</sub>O、HCl、HF、SO<sub>2</sub> 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 等)和矿质,温度为 650~750 °C, w(NaCleq)为 0.1%~55%。这种热流体具有 2 个显著特征:①与冷凝的顶部斑岩和邻近的围岩发生交代作用,产生碱质硅酸盐交代岩(斑点角岩和黑云母化、钾长石化等);②使顶部岩石内能增大,最终导致网状破裂,有利于岩浆水与大气降水对流循环。事实上,来自岩浆的流体随着降温、降压、矿物沉淀,卤水与气体的不混溶和水岩反应以及大气降水的混入而不断进行调整和改变,以至于形成明显的矿化蚀变分带。尽管在德兴铜矿区没有见到侏罗纪鹅湖岭组安山质火山岩,但银山矿区可能就相当于其上部,在剖面深部或平面上的中心部位(九区和西山区)发育斑岩铜矿,向上和向外出现铜铅锌和银铅锌矿,矿化形式也逐渐从细脉浸染状变成以脉状矿体为主,成矿流体也由岩浆水为主,逐渐变成以大气降水为主。对于德兴与银山成矿的统一性,最早由叶庆同<sup>[25]</sup>提出,在后来的工作中不断得到提升<sup>[5, 53]</sup>。

金山金矿是否是德兴斑岩-银山斑岩-脉状铜银金钼矿床体系的组成部分,成为建模的焦点问题。由于缺乏可以精确测年的矿物,尽管过去已经



进行了大量的尝试,但获得了各种不同时代的数据。例如,伍勤生等<sup>[54]</sup>获得含金硅质糜棱岩中伊利石的 Rb-Sr 等时线年龄值为  $167.9 \text{ Ma}$ ; 张金春<sup>[55]</sup>测得绿泥石化千枚岩的全岩 Rb-Sr 年龄为  $(161 \pm 6) \text{ Ma}$ , 他还利用 Rb-Sr 法测得超糜棱岩和石英脉全岩, 获得的年龄数据为  $(717 \pm 6) \text{ Ma}$ , 而李晓峰等<sup>[39]</sup>得到 2 个含金糜棱岩伊利石的 K/Ar 年龄分别为  $(299.5 \pm 2.7)$ 、 $(317.9 \pm 1.8) \text{ Ma}$ , 含金石英脉中伊利石的 K/Ar 年龄为  $(269.9 \pm 1.7) \text{ Ma}$ ; 王秀璋等<sup>[56]</sup>运用石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线方法获得石英脉型和剪切带矿石的年龄为  $(406 \pm 25) \text{ Ma}$ ; 毛光周等<sup>[57]</sup>利用同样方法却获得含金石英脉型矿体的形成年龄为  $(379 \pm 49) \text{ Ma}$ 。由于受到测试矿物和测试方法的限制, 很难判断这些数据的可靠性, 但幸运的是, 大部分数据可以与华南地区发生的重大事件比较好地吻合, 例如,  $(717 \pm 6) \text{ Ma}$  与扬子和华夏陆块拼接时间基本吻合, 也可能反映出走滑断裂的最早形成时代;  $(406 \pm 25) \text{ Ma}$  与华夏地块隆升相对应;  $(317.9 \pm 1.8) \sim (269.9 \pm 1.7) \text{ Ma}$  的年龄范围较大, 也基本上与华北与华南板块相互作用相对应;  $167.9 \sim (161 \pm 6) \text{ Ma}$  又与德兴和银山花岗质岩浆侵位和成矿事件较好地吻合。尽管前述对于金山金矿的成矿流体来源有 4 种认识, 但最主要的差异在于是新元古代变质成矿还是与中侏罗世花岗质岩浆侵位有关。李晓峰等<sup>[39]</sup>指出金山金矿的形成应以元古代变质流体成矿为主, 可能有燕山期叠加。通过野外考察和有关资料的研读, 可以认为, 沿着德兴地区 5 条北东向走滑剪切带多次发生活动是一个基本事实, 也不排除在扬子与华夏陆块拼接期间最早出现这套走滑断裂并同时或稍晚发育金山式造山型金矿化。但迄今更多资料指向中晚侏罗世的成矿作用: ①德兴地区构造与华南地区中晚侏罗世构造事件可以有机地配套: 自从  $180 \text{ Ma}$  左右 Izanagi 板块开始向欧亚大陆发生俯冲<sup>[58-60]</sup>, 来自南东方向的挤压, 在德兴地区沿北东向的乐安江、四洲庙、八十源—铜厂、江光—富家坞和茅桥 5 条大断裂发生挤压走滑, 而与之几乎垂直的金山剪切带出现伸展, 因此, 李晓峰等<sup>[39]</sup>在金山矿区鉴别出 3 种类型矿体: 与断裂充填有关的脉体、伸展脉体、网脉状脉体, 三者表明均为沿伸展构造由热液充填交代沉淀的产物; ②成矿流体系统排斥造山型金矿: 造山型金矿的最大特点是“成矿流体富  $\text{CO}_2$  和  $^{18}\text{O}$ , 低到中盐度, 显生宙至中元古

代的成矿温度为  $250 \sim 350^\circ\text{C}$ <sup>[61]</sup>, 而金山金矿的特点是流体包裹体数量多, 但体积小, 以液相和纯液相包裹体为主, 成矿温度明显偏低, 盐度中等偏高, 而且显著贫  $\text{CO}_2$ <sup>[34-35]</sup>; ③稳定同位素资料显示出岩浆流体参与了成矿过程: 金山矿区黄铁矿的硫同位素组成  $\delta^{34}\text{S}$  值为  $(2.1 \sim 6.7) \times 10^{-3}$ <sup>[34]</sup>, 蛤蟆石金矿黄铁矿的硫同位素值为  $(2.76 \sim 3.4) \times 10^{-3}$ , 均与德兴铜矿  $(-2.8 \sim -3.1) \times 10^{-3}$ <sup>[20]</sup> 相近, 但可能与地层中的硫发生同位素交换而出现向  $w$  ( $^{34}\text{S}$ ) 增高方向漂移, 与江南古陆其他金矿同位素特点基本相同<sup>[10]</sup>, 所有氢氧同位素资料都显示, 流体的氢和氧同位素值变化较窄, 与变化较宽的变质流体不同, 而且在成矿过程表现出从以岩浆水为主到大气降水为主, 总之显示出岩浆水与大气降水的混合作用; ④剪切带不仅控制金矿的形成, 在银山矿山的九区和西区也见到剪切带沿露天采场中心通过, 是控岩和控矿构造, 下部斑岩铜矿化呈浸染状沿剪切带定向排列(图 4), 上部出现脉状银铅锌矿脉; ⑤无论是华北克拉通还是华南地块, 前寒武纪地层与金矿具有密切的关系<sup>[9-10, 62-66]</sup>, 这可能与这些变质岩中含有较高可活化金有关。正是由于这一特点, 一旦遭受后期构造-岩浆-热事件, 在这些前寒武纪地层必然产生金的活化及被搬运和成矿。可能有人要提出花岗斑岩及其成矿系统是否能够引致局部地区比较长时间保持在一个高能量场, Seedorff 等<sup>[45]</sup>总结提出斑岩成矿系统活动期可以达到  $(0.5 \sim 5) \text{ Ma}$ , 如果有多期岩浆先后复合侵位, 还可以持续几个百万年。因此, 在德兴地区的中晚侏罗世期间, 来自深源高氧化度的钙碱质花岗岩侵位, 不仅形成了斑岩铜金钼矿-浅成低温热液型银多金属矿床系统, 而且引致整个地区温度提升, 导致形成了一系列对流循环系统, 将金从围岩中活化出来; 同时, 携带金的岩浆流体从岩浆房由高势能向低势能沿古断裂或剪切带运移, 不断与对流循环的大气降水混合, 并融合成统一系统, 然后在引张部位卸载成矿。蛤蟆石脉状金矿与金山金矿基本雷同, 由于赋矿构造性质更加偏向于脆性断裂, 因而表现为以含金石英脉为主的矿化特点。总而言之, 不同于典型传统的斑岩铜矿, 也有别于斑岩铜矿-浅成低温热液型金银矿, 德兴斑岩铜矿、银山斑岩-浅成低温热液银多金属矿和金山-蛤蟆石远接触带热液型金矿具有特殊性, 构筑出一个新的矿床模型或成矿模式(图 7)。

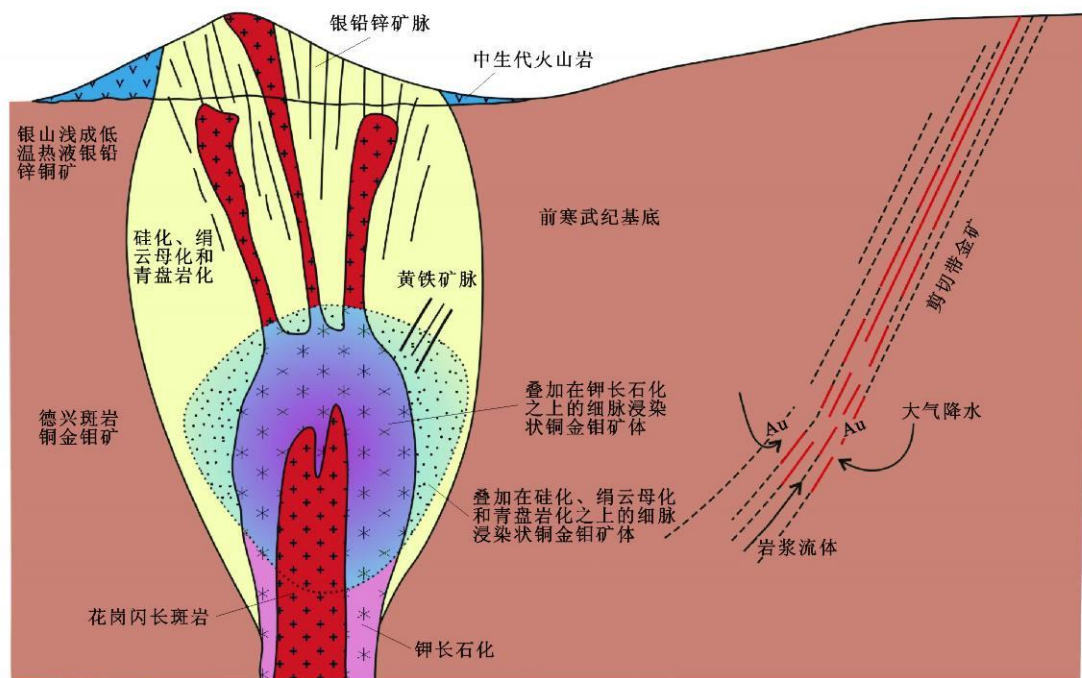


图 7 德兴地区斑岩铜矿-浅成低温热液银铅锌矿-远接触带热液金矿矿床模型

Fig. 7 Model of Porphyry Cu Epithermal Ag Pb Zn Distal Hydrothermal Au Deposits in Dexing Area

### 3.2 矿床成矿地质环境

在过去的 15 年中,对华南地区的成矿背景研究取得了重要进展,舒良树等<sup>[67-68]</sup>提出华南地块在中侏罗世以前受特提斯域和印支期造山的影响,断裂和褶皱走向以东西向为主,中侏罗世以来主要受古太平洋板块俯冲—弧后伸展和陆内深部构造的联合制约,形成了北东向断裂系统以及陆相盆地与花岗质火山岩—侵入岩相间的盆山体系。Gilder 等<sup>[11]</sup>通过锶和钕同位素研究,发现从广西的十万大山,经过桂东北、湘南、赣中部到杭州,为一个低  $T_{DM}$  和高  $\epsilon_{Nd}(t)$  带,并推断为一个中生代裂谷带。Chen 等<sup>[69]</sup>和 Hong 等<sup>[70]</sup>进一步工作指出,在十杭带的东侧也存在几条低  $T_{DM}$  和高  $\epsilon_{Nd}(t)$  带,认为是岩石圈伸展和壳幔之间强烈相互作用的证据。事实上,华南地区侏罗纪矿床都是沿北东向断裂分布,而且特别应该指出的是沿十杭带矿产资源不仅数量多,而且形成一系列大型—超大型矿床。例如,在湖南段有柿竹园钨锡钼铋多金属矿、金船塘锡铋矿、新田岭钨矿、芙蓉锡矿、香花岭锡矿、瑶岗仙钨矿、白云仙钨矿、黄沙坪铅锌锡钼矿和锡田锡矿,其成矿时代集中在 160 ~ 150 Ma。毛景文等<sup>[58-59]</sup>研究表明,从十杭断裂带往东的南岭及其北东邻区构成了华南侏罗纪大规模钨锡集中区,并推测与中晚侏罗世板片窗事件有关。由于软流圈地

幔上涌到上地壳底部,导致上地壳重熔形成花岗岩并有地幔物质加入,后经过高分异演化,形成钨锡多金属矿床。Li 等<sup>[71]</sup>提出在华南地区 250 ~ 190 Ma 期间出现了一个 1 300 km 宽的水平板片俯冲事件,180 ~ 155 Ma 俯冲板片折断,引发岩浆作用。从湘南宁远—新田、湘东南宜章、赣南龙南—寻岗到闽西南永定发育一条长约 500 km、形成时间为 178 ~ 173 Ma 的火山岩带<sup>[72-79]</sup>,岩性包括碱性玄武岩和拉斑玄武岩,在赣南和闽西南伴生有流纹岩和少量安山岩,总体上显示为双峰式火山岩,被认为是板片折断的开始。接着,出现大面积与钨锡矿有关的花岗岩侵位, Li 等<sup>[18]</sup>认为是高分异的 I 型花岗岩类。

相比之下,对于德兴地区斑岩铜矿-浅成低温热液银多金属矿-远接触带热液金矿的成矿背景研究相对较少,尽管朱训等<sup>[20]</sup>推测为陆内成矿,毛景文等<sup>[80]</sup>和侯增谦等<sup>[81]</sup>推断为华北与华南板块后碰撞伸展带的产物,但是都缺少证据。Wang 等<sup>[82]</sup>研究认为,与德兴斑岩铜矿有关的花岗斑岩为埃达克岩,其形成环境并非大陆弧而是在陆内沿十杭裂谷带或伸展带由拆沉下地壳重熔的产物。德兴斑岩铜矿位于十杭伸展带北 50 km<sup>[82]</sup>,在裂谷带之南 30 km 还发育有永平中晚侏罗世砂卡岩型铜矿。毛景文等<sup>[58-59, 80]</sup>注意到在华南地区区域上发育有

江西德兴斑岩铜矿、银山斑岩-浅成低温热液型银多金属矿、冷水坑浅成低温热液型银铅锌矿、永平矽卡岩型铜矿、东乡热液型铜矿、焦里矽卡岩型铅锌矿、湖南七宝山斑岩铜矿、宝山斑岩铜矿、水口山热液脉状铅锌矿、铜山岭斑岩铜矿和粤北大宝山矽卡岩铜矿,构成了一个长达 1 000 km 以上的铜铅锌多金属矿带,这个矿带的显著特征是位于华南地区东部大陆边缘内侧,与深源花岗质岩浆有着密切的时空和成因联系。其成矿时代为中晚侏罗世 (180 ~ 165 Ma)<sup>[24, 59, 80]</sup>,与成矿有关的花岗质岩石为一套高侵位的花岗闪长岩或花岗岩类,属于氧化度相对较高的磁铁矿型花岗岩系列<sup>[47]</sup>或同熔型花岗岩<sup>[48]</sup>。最近,郭春丽等<sup>[83]</sup>对与这套矿床有关的岩石初步进行了岩石学和地球化学研究,总结其特点为:①在空间分布上,这些花岗闪长质岩石的磁铁矿物以角闪石为主,斜长石多具有环带构造,而钾长石多为微斜长石,钛铁矿含量大于磁铁矿;②  $w(\text{SiO}_2)$  为 56.24% ~ 68.8%,  $w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  为 4.02% ~ 10.55%,  $w(\text{K}_2\text{O}) > w(\text{Na}_2\text{O})$ ,  $w(\text{A})/w(\text{CNK})$  为 0.79 ~ 1.57,为准铝-弱过铝质高钾钙碱性系列岩石;③稀土元素分布型式总体上呈向右倾斜的平滑曲线,  $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$  为 4.43 ~ 29.07,具有弱的负铕异常,  $\alpha(\text{Eu})$  为 0.62 ~ 1.36,以富集 LILE 和亏损 Nb-Ta、Ba、Sr、Ti、P (德兴除外) 为特征;④初始  $(N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr}))_i$  为 0.705 028 ~ 0.722 376,  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  为 -12.30 ~ -1.80,属高  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 、低  $T_{\text{DM}}$  的高钾钙碱性系列岩石;⑤在成矿元素组成上,以 Cu、Mo、Fe 及亲铜、亲铁和亲硫元素含量较高,并伴生有 Cu、Ag、Pb、Zn、Mo、Au 矿化。这套花岗闪长岩可能是地幔岩石熔融后经分异结晶而成,或壳幔混染源区熔融作用而成<sup>[77, 84, 85]</sup>。根据孔华等<sup>[86]</sup>、Sen 等<sup>[87]</sup>、Rapp 等<sup>[88]</sup>研究,单纯的麻粒岩深熔生成的岩浆具有常具富集 Eu 异常、低  $w(\text{K}_2\text{O})$  高  $w(\text{Na}_2\text{O})$  ( $> 4.3\%$ )、 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  为 -6.0 ~ -5.8 的特征,暗示了这些花岗闪长质岩体不可能单独由麻粒岩相下地壳深熔作用形成。在  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  对  $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$  图解中,这套岩石落入地幔与华南下地壳的演化线上,其中德兴花岗斑岩主要来自地幔,其他岩体都显示出不同程度地壳物质的混染,从成矿元素组合也可以看到这种趋势。随着地壳物质加入到岩浆体系的程度不同,成矿元素组合的变化规律为: Cu-Au (在该带缺失) → Cu-Au-Mo → Cu-Ag-Pb-Zn → Ag-Pb-Zn。

这套铜多金属矿产及其岩浆岩沿北东走向,与古太平洋板块俯冲方向几乎垂直,与此同时在华南有大量同时代的挤压和推复构造 (例如在德兴地区、冷水坑矿田和大宝山矿区均可以见到),表明为挤压环境。因此,推测这条岩浆带可能为古太平洋俯冲板块局部重熔或撕裂重熔的产物。该岩浆直接上升到浅表,则形成斑岩铜矿,与地壳大量混染或混熔后形成的岩浆则伴生铅锌银矿及钨多金属矿产。事实上,正是由于古太平洋板块俯冲导致这条北东向挤压环境的花岗岩带与湘西南道县-赣东南寻乌东西向伸展体制的花岗岩带成对产出。

## 4 结语

通过以上叙述和讨论,可以认为德兴地区的斑岩铜矿、银山斑岩铜矿和浅成低温热液银铅锌复合型矿床与金山和蛤蟆石远接触带热液金矿是同一构造-岩浆-热事件的产物,成矿时间具有一致性,成矿空间具有明显的分带性:即从岩体内外接触带向外或向上有斑岩铜矿、浅成低温热液银铅锌矿,到远接触带热液金矿,构成一个矿床组合模型。在这个模型中,不同类型矿床互为找矿标志。在岩浆活动中心的外围断裂系统包括古剪切带,是寻找远接触带热液型金矿的重要部位。

与低角度俯冲的大洋板块局部撕裂有关,与成矿相关的花岗质岩体来自俯冲板片的局部重熔,抑或直接上侵定位,形成斑岩铜矿,抑或与地壳发生一定程度的混染作用,上侵定位后形成银铅锌矿床或铜银铅锌矿床;与斑岩铜矿有关的岩石为高钾钙碱质花岗岩类,与铅锌银矿有关的岩石为钙碱性花岗岩类;控岩控矿断裂主要为北东向,局部为北西西向。在中国东部地区应关注在中侏罗世火山盆地中或北东向线性断陷盆地,开展此类型矿床组合的找矿评价。

在野外地质调查期间,江西省地质矿产勘查开发局陈祥云和黄水保教授级高级工程师给予大量支持,江西铜业集团同行给予大力支持和协助,在成文过程中与李晓峰和芮宗瑶研究员进行过深入讨论,特别是李晓峰研究员还提供了不少资料,在此一并表示诚挚的谢意。

## 参考文献:

- [1] Emmons W H. Principle of Economic Geology [M]. New York: McGraw-Hill, 1918.

- [ 2 ] Lowell J D, Guilbert J M. Lateral and Vertical Alteration-mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits[ J ]. *Economic Geology*, 1970, 65(4): 373-408.
- [ 3 ] White N C, Hedenquist J W. Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration[ J ]. *SEG Newsletter*, 1995, 23: 9-13.
- [ 4 ] 芮宗瑶, 黄崇珂, 齐国明 等. 中国斑岩铜(钼)矿床[ M ]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [ 5 ] 裴荣富. 中国特大型矿床成矿偏在性与异常成矿构造聚敛场[ M ]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [ 6 ] Zhou X M, Zhu Y H. Late Proterozoic Collisional Orogen and Geosuture in Southeastern China: Petrological Evidence[ J ]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 1993, 12(3): 239-251.
- [ 7 ] Li X H, Zhao J X, McCulloch M T, et al. Geochemical and Sm-Nd Isotopic Study of Neoproterozoic Ophiolites from Southeastern China: Petrogenesis and Tectonic Implications[ J ]. *Precambrian Research*, 1997, 81(1/2): 129-144.
- [ 8 ] Li Z X, Li X H, Zhou H W, et al. Grenvillian Continental Collision in South China: New SHRIMP U-Pb Zircon Results and Implications for the Configuration of Rodinia[ J ]. *Geology*, 2002, 30(2): 163-166.
- [ 9 ] 刘英俊, 孙承轅, 马东升. 江南金矿及其成矿地球化学背景[ M ]. 南京: 南京大学出版社, 1993.
- [ 10 ] 毛景文, 李红艳. 江南古陆某些金矿床成因讨论[ J ]. *地球化学*, 1997, 26(5): 71-81.
- [ 11 ] Gilder S A, Gill J, Coe R S, et al. Isotopic and Paleomagnetic Constraints on the Mesozoic Tectonic Evolution of South China[ J ]. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101(B7): 16137-16154.
- [ 12 ] 李晓峰, 易先奎, 朱和平. 德兴金山金矿床成矿流体来源: 小尺度构造和同位素地球化学证据[ J ]. *矿床地质*, 2009, 28(1): 42-52.
- [ 13 ] 刘英俊, 沙鹏, 朱凯军. 江西德兴地区中元古界双桥山群含金建造的地球化学研究[ J ]. *桂林冶金地质学院学报*, 1989, 9(2): 115-126.
- [ 14 ] 江西省地质矿产局. 江西省区域地质志[ M ]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [ 15 ] 徐备, 乔广生. 赣东北晚元古代蛇绿岩套的 Sm-Nd 同位素年龄及原始构造环境[ J ]. *南京大学学报: 自然科学版*, 1989, 25(3): 108-114.
- [ 16 ] 周国庆, 赵建新. 华南扬子克拉通东南缘赣东北蛇绿岩的 Sm-Nd 同位素研究[ J ]. *科学通报*, 1991, 36(2): 129-132.
- [ 17 ] 李献华, 周国庆, 赵建新, 等. 赣东北蛇绿岩的离子探针锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[ J ]. *地球化学*, 1994, 23(2): 125-131.
- [ 18 ] Li X H, Li Z X, Li W X, et al. U-Pb Zircon, Geochemical and Sr-Nd-Hf Isotopic Constraints on Age and Origin of Jurassic I- and A-type Granites from Central Guangdong, SE China: a Major Igneous Event in Response to Foundering of a Subducted Flat-slab? [ J ]. *Lithos*, 2007, 96(1/2): 186-204.
- [ 19 ] 王强, 赵振华, 简平, 等. 德兴花岗闪长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学和 Nd-Sr 同位素地球化学[ J ]. *岩石学报*, 2004, 20(2): 315-324.
- [ 20 ] 朱训, 黄崇珂, 芮宗瑶, 等. 德兴斑岩铜矿[ M ]. 北京: 地质出版社, 1983.
- [ 21 ] Li X F, Sasaki M. Hydrothermal Alteration and Mineralization of Middle Jurassic Dexing Porphyry Cu-Mo Deposit, Southeast China [ J ]. *Resource Geology*, 2007, 57(4): 409-426.
- [ 22 ] 金章东, 朱金初, 李福春. 德兴斑岩铜矿成矿过程的氧、锶、钕同位素证据[ J ]. *矿床地质*, 2002, 21(4): 341-349.
- [ 23 ] Lu J J, Hua R M, Yao C L. Re-Os Age for Molybdenite from the Dexing Porphyry Cu-Au Deposit in Jiangxi Province, China [ J ]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2005, 69(S1): A882.
- [ 24 ] Li X F, Watanabe Y, Mao J W, et al. Sensitive High-resolution Ion Microprobe U-Pb Zircon and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  Muscovite Ages of the Yinshan Deposit in the Northeast Jiangxi Province, South China [ J ]. *Resource Geology*, 2007, 57(3): 325-337.
- [ 25 ] 叶庆同. 赣东北铅锌矿床成矿系列和成矿机理[ M ]. 北京: 北京科学技术出版社, 1987.
- [ 26 ] 李传明. 江西银山铜铅锌矿床成矿特征[ J ]. *地质与勘探*, 1986(6): 3-8.
- [ 27 ] 倪培. 闽浙赣相邻区铜金属矿床成矿规律总结研究报告[ R ]. 南京: 南京大学, 2009.
- [ 28 ] Zhang D H, Xu G J, Zhang W H, et al. High Salinity Fluid Inclusions in the Yinshan Polymetallic Deposit from the Le-De Metallogenic Belt in Jiangxi Province, China: Their Origin and Implications for Ore Genesis[ J ]. *Ore Geology Reviews*, 2007, 31(1/4): 247-260.
- [ 29 ] 杨斌, 彭省临, 杨牧, 等. 江西银山铜铅锌矿床热液对流与蚀变矿化分带机制[ J ]. *桂林工学院学报*, 2004, 24(4): 395-401.
- [ 30 ] Zhang D H, Yu C W, Bao Z Y, et al. Ore Zoning and the Dynamics of Ore-forming Processes in the Yinshan Polymetallic Deposit in Dexing, Jiangxi [ J ]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 1997, 16(2): 123-132.
- [ 31 ] Zhang L G, Liu J X, Yu G X, et al. Hydrogen and Oxygen Isotopes Study on the Water-rock Interaction of the Yinshan (Cu)-Pb-Zn-Ag Ore Deposit, Jiangxi Province [ J ]. *Acta Geologica Sinica; English Edition*, 1996, 9(3): 274-289.
- [ 32 ] 韦星林. 金山金矿田地质特征及成矿地质作用[ J ]. *矿产与地质*, 1995, 9(6): 471-480.
- [ 33 ] Li X F, Wang C Z, Hua R M, et al. Fluid Origin and Structural Enhancement During Progressively Localized Mineralization of the Jinshan Orogenic Gold Deposit, South China [ J ]. *Mineralium Deposita*, 2010(in press).
- [ 34 ] 范宏瑞, 李兆麟. 金山金矿床地质特征成矿物理化学条件及成矿物质来源[ J ]. *地质科学*, 1992(增刊): 147-160.
- [ 35 ] 张文淮, 谭铁龙. 江西省金山金矿有机流体与金矿关系[ J ]. *矿床地质*, 1998, 17(1): 15-24.
- [ 36 ] 邹焕炎. 江西金山金矿韧性剪切带中有机质与金矿化的关系



- [J]. 黄金科技动态, 1993(3): 10-12.
- [37] 黄宏立, 杨文思. 赣东北金山金矿床的地质特征及矿床成因[J]. 地质找矿论丛, 1990, 5(2): 29-39.
- [38] 杨卫明, 李昌存, 韩秀丽. 金山金矿床流体包裹体研究[J]. 黄金, 2000, 21(6): 9-11.
- [39] 李晓峰, 王春增, 易先奎, 等. 德兴金山金矿田不同尺度构造特征及其与成矿作用的关系[J]. 地质论评, 2007, 53(6): 774-782.
- [40] 季峻峰, 孙承轅, 郑晴. 江西金山剪切带型金矿床中含金石英脉的成矿特征[J]. 地质论评, 1994, 40(4): 361-367.
- [41] 刘志远, 金成洙, 王荣湖, 等. 江西金山金矿床成矿流体地球化学及矿床成因讨论[J]. 地质找矿论丛, 2005, 20(2): 93-99.
- [42] Cooke D, Hollings P, Holliday J. Circum-Pacific Porphyry Copper, Gold and Molybdenum Deposits[C] //Committee of 2008 Pacific Rim Congress. The Pacific Rim: Mineral Endowment, Discovery and Exploration Frontiers. Carlton South; Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2008: 7-14.
- [43] Rebagliati C M, Payne J G. Summary Report on the Pebble Porphyry Copper-gold Project[R]. Vancouver: Northern Dynasty Minerals Limited, 2005.
- [44] Lang J R, Rebagliati C M, Roberts K, et al. The Pebble Copper-gold-molybdenum Porphyry Deposit, Southwest Alaska, USA[C] //Committee of 2008 Pacific Rim Congress. The Pacific Rim: Mineral Endowment, Discovery and Exploration Frontiers. Carlton South; Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2008: 27-32.
- [45] Seedorff E, Dilles J H, Proffett J J M, et al. Porphyry Deposits: Characteristics and Origin of Hypogene Features[C] //Hedenquist J W, Thompson J F H, Goldfarb R J, et al. Economic Geology, One Hundred Anniversary Volume 1905-2005. Washington: Society of Economic Geologists, 2005: 251-298.
- [46] 张旗, 王焰, 钱青, 等. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[J]. 岩石学报, 2001, 17(2): 236-244.
- [47] Ishihara S. The Magnetite-series and Ilmenite-series Granitic Rocks[J]. Mining Geology, 1977, 27: 293-305.
- [48] 徐克勤, 胡受奚, 孙明志, 等. 华南两个成因系列花岗岩及其成矿特征[J]. 矿床地质, 1982, 1(2): 1-14.
- [49] Heald P, Foley N K, Hayba D O. Comparative Anatomy of Volcanic-hosted Epithermal Deposits: Acid-sulfate and Adularia-sericite Types[J]. Economic Geology, 1987, 82(1): 1-26.
- [50] Hedenquist J W, Arribas A J, Gonzales-Urrien E. Exploration for Epithermal Gold Deposits[J]. Reviews in Economic Geology, 2000, 13: 245-277.
- [51] Simmons S, White N C, John N C. Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits[C] //Hedenquist J W, Thompson J F H, Goldfarb R J, et al. Economic Geology, One Hundred Anniversary Volume 1905-2005. Washington: Society of Economic Geologists, 2005: 485-522.
- [52] Rui Z Y, Wang L S, Wu C Y, et al. Dexing Porphyry Copper Deposits in Jiangxi, China[C] //Porter T M. Super Porphyry Copper and Gold Deposits: a Global Prospective. Adelaide: PGC Publishing, 2005: 409-421.
- [53] 陈毓川, 裴荣富, 张宏良, 等. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [54] 伍勤生, 刘青莲. 金山成矿年龄测定及矿床成因探讨[C] //中国地质学会同位素地质专业委员会. 第四届全国同位素地质年代学、同位素地球化学学术讨论会论文(摘要)汇编. 杭州: 中国地质学会同位素地质专业委员会, 1989: 20-25.
- [55] 张金春. 江西金山韧性剪切型金矿成矿地球化学研究[D]. 南京: 南京大学, 1994.
- [56] 王秀璋, 梁华英, 单强, 等. 金山金矿成矿年龄测定及华南加里东成金期的讨论[J]. 地质论评, 1999, 45(1): 19-25.
- [57] 毛光周, 华仁民, 龙光明, 等. 江西金山金矿成矿时代探讨——来自石英流体包裹体 Rb-Sr 年龄的证据[J]. 地质学报, 2008, 82(4): 532-539.
- [58] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 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[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2329-2338.
- [59] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[J]. 高校地质学报, 2008, 14(4): 510-526.
- [60] 董树文, 张岳桥, 龙长兴, 等. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释[J]. 地质学报, 2007, 81(11): 1449-1461.
- [61] Goldfarb R J, Baker T D, Groves D I, et al. Distribution, Character of Gold Deposits in Metamorphic Terranes[C] //Hedenquist J W, Thompson J F H, Goldfarb R J, et al. Economic Geology, One Hundred Anniversary Volume 1905-2005. Washington: Society of Economic Geologists, 2005: 407-450.
- [62] Zhou T H, Goldfarb R J, Phillips G N. Tectonics and Distribution of Gold Deposits in China: an Overview[J]. Mineralium Deposita, 2002, 37(3/4): 249-282.
- [63] Mao J W, Qiu Y M, Goldfarb R J, et al. Geology, Distribution, and Classification of Gold Deposits in the Western Qinling Belt, Central China[J]. Mineralium Deposita, 2002, 37(3/4): 352-377.
- [64] Mao J W, Goldfarb R J, Zhang Z W, et al. Gold Deposits in the Xiaolinling-Xionger'shan Region, Qinling Mountains, Central China[J]. Mineralium Deposita, 2002, 37(3/4): 306-325.
- [65] Hart C J R, Goldfarb R J, Qiu Y M, et al. Gold Deposits of the Northern Margin of the North China Craton: Multiple Late Paleozoic-Mesozoic Mineralizing Events[J]. Mineralium Deposita, 2002, 37(3/4): 326-351.
- [66] Nie F J, Jiang S H, Liu Y. Intrusion-related Gold Deposits of North China Craton, People's Republic of China[J]. Resource Geology, 2003, 54(3): 299-324.
- [67] 舒良树, 周新民, 邓平, 等. 中国东南部中-新生代盆地特征与构造演化[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 876-884.

- [68] 舒良树, 王德滋. 北美西部与中国东南部盆岭构造对比研究 [J]. 高校地质学报, 2006, 12(1): 1-13.
- [69] Chen J F, Jahn B M. Crustal Evolution of Southeastern China: Nd and Sr Isotopic Evidence [J]. Tectonophysics, 1998, 284(1/2): 101-133.
- [70] Hong D W, Xie X L, Zhang J S. Isotope Geochemistry of Granitoids in South China and Their Metallogeny [J]. Resource Geology, 1998, 48(4): 251-263.
- [71] Li Z X, Li X H. Formation of the 1 300 km-wide Intracontinental Orogen and Postorogenic Magmatic Province in Mesozoic South China: a Flat-slab Subduction Model [J]. Geology, 2007, 35(2): 179-182.
- [72] 许美辉. 福建省永定地区早侏罗世双峰式火山岩及其构造环境 [J]. 福建地质, 1992, 11(2): 115-125.
- [73] 赵振华, 包志伟, 张伯友. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征 [J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(增刊): 7-14.
- [74] 陶奎元, 毛建仁, 杨祝良, 等. 中国东南部中生代岩石构造组合和复合动力学过程的记录 [J]. 地学前缘, 1998, 5(4): 183-191.
- [75] 陈培荣, 孔兴功, 王银喜, 等. 赣南燕山早期双峰式火山-侵入杂岩的 Rb-Sr 同位素定年及意义 [J]. 高校地质学报, 1999, 5(4): 378-383.
- [76] 陈培荣, 华仁民, 章邦桐, 等. 南岭燕山早期后造山花岗岩类: 岩石学制约和地球动力学背景 [J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(4): 279-289.
- [77] Wang Y J, Fan W M, Guo F, et al. Geochemistry of Mesozoic Mafic Rocks Adjacent to the Chenzhou-Linwu Fault, South China: Implications for the Lithospheric Boundary Between the Yangtze and Cathaysia Blocks [J]. International Geological Review, 2003, 45(3): 263-286.
- [78] Li X H, Chen Z G, Liu D Y, et al. Jurassic Grabbro-Granite-Syenite Suites from Southern Jiangxi Province, SE China: Age, Origin, and Tectonic Significance [J]. International Geology Review, 2003, 45(10): 898-921.
- [79] Zhou X M, Sun T, Shen W Z, et al. Petrogenesis of Mesozoic Granitoids and Volcanic Rocks in South China: a Response to Tectonic Evolution [J]. Episodes, 2006, 29(1): 26-33.
- [80] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展 [J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 45-55.
- [81] 侯增谦, 潘小菲, 杨志明, 等. 初论大陆环境斑岩铜矿 [J]. 现代地质, 2007, 21(2): 332-351.
- [82] Wang Q, Xu J F, Jian P, et al. Petrogenesis of Adakitic Porphyries in an Extensional Tectonic Setting, Dexing, South China: Implications for the Genesis of Porphyry Copper Mineralization [J]. Journal of Petrology, 2006, 47(1): 119-144.
- [83] 郭春丽, 毛景文, 陈毓川. 十棱带对南岭地区中侏罗世成岩成矿作用的制约——对与铜金银铅锌矿有关花岗闪长质岩体地球化学特征的总结 [J]. 岩石学报, 2010, 26(3)(in press).
- [84] Arnaud N O, Vidal P, Tapponnier P, et al. The High K<sub>2</sub>O Volcanism of Northwestern Tibet: Geochemistry and Tectonic Implications [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1992, 111(2/4): 351-367.
- [85] Thompson A B. Fertility of Crustal Rocks During Anatexis [J]. GSA Special Papers, 1996, 315: 1-10.
- [86] 孔 华, 金振民, 林源贤. 道县玄武岩中麻粒岩包体的岩石学及年代学 [J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(2): 115-119.
- [87] Sen C, Dunn T. Dehydration Melting of a Basaltic Composition Amphibolite at 1.5 and 2.0 GPa: Implications for the Origin of Adakites [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1994, 117(4): 394-409.
- [88] Rapp R P, Watson E B. Dehydration Melting of Metabasalt at 8 ~ 32 kbar: Implications for Continental Growth and Crust-mantle Recycling [J]. Journal of Petrology, 1995, 36(4): 891-931.

## 《地球科学与环境学报》在地学界影响力明显提升

据中国高校自然科学学报研究会对外联络委员会消息,《地球科学与环境学报》已于 2009 年 11 月中旬被英国《动物学记录》、波兰《哥白尼索引》收录。截止目前,本刊已先后被美国《化学文摘》、《石油文摘》、《剑桥科学文摘: 自然科学》、《地质学题录与索引》、《乌利希国际期刊指南》以及俄罗斯《文摘杂志》、英国《动物学记录》、波兰《哥白尼索引》等国际权威检索系统收录。这些都表明《地球科学与环境学报》在地学界影响力正在不断扩大,也是广大作者、审稿专家与本刊编辑部共同努力的结果。