

# 江西德兴地区主要矿床类型、成矿地质特征及其成因关系

李晓峰<sup>1,2)</sup>, 胡瑞忠<sup>1)</sup>, 韦星林<sup>3)</sup>, 肖荣<sup>4)</sup>, 肖宁<sup>3)</sup>, 王翠云<sup>5)</sup>, 杨锋<sup>5)</sup>

1) 矿床地球化学国家重点实验室, 中国科学院地球化学研究所, 贵阳, 550002;

2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037; 3) 江西有色地质勘查局, 南昌, 330001;

4) 湖南省地质调查院, 长沙, 410116; 5) 桂林理工大学, 广西桂林, 541004

**内容提要:**江西德兴地区是中国重要的金属矿产资源聚集地, 主要矿床有德兴斑岩铜矿(包括朱砂红、铜厂和富家坞)、金山金矿、银山 Pb—Zn—Ag 多金属矿和蛤蟆金矿等。这些矿床可以划分为与剪切带有关的金矿和与岩浆热液成矿作用有关的铜金铅锌银矿床(如德兴斑岩 Cu—Mo—Au 矿床和银山 Pb—Zn—Ag—Cu—Au 矿床)。在控矿构造、成矿元素组合、成矿流体来源、矿床地球化学等方面这两类矿床都有明显的差异; 二者成矿年龄的差异显示它们是不同地质时期演化的结果。剪切带型金矿(如金山金矿)与斑岩铜矿(德兴铜矿)在成因上没有明显的直接关系, 它们非单一—岩浆系统的产物。

**关键词:** 剪切带金矿; 斑岩铜矿; 矿床成因; 矿床类型; 江西德兴

德兴地区是中国重要的 Cu—Mo—Au—Pb—Zn—Ag 矿产资源产地, 它聚集了中国大型的德兴斑岩铜矿、银山多金属矿床以及与韧—脆性剪切带有关的山金山金矿和蛤蟆石金矿。经过近 50 年的工作, 该地区无论是在科学研究或是矿产资源找矿勘查方面都取得了许多重要的科学研究成果和找矿效果, 大大提高了德兴地区斑岩型 Cu—Au—Mo 矿床(如德兴斑岩铜矿)和剪切带型 Au 矿床(如金山金矿)的矿床成因和成矿规律的研究水平。就目前来看, 对德兴地区区域成矿规律的认识还存在不同的见解, 其焦点在于: 斑岩型 Cu—Au—Mo 矿床与剪切带型 Au 矿之间的关系, 其核心问题也就是金山金矿的成矿时代问题。黄宏立和杨文思(1990)、朱恺军和范宏瑞(1991)、肖勇(2001)根据石英的氢氧同位素数据认为剪切带型金矿是斑岩型 Cu—Au—Mo 矿床的低温远端产物, 与斑岩型矿床有着密切的成因联系; 韦星林等(1995a, b; 1996)根据剪切带型金矿的地质特征及成矿年代学数据认为, 剪切带型 Au 矿与斑岩型 Cu—Au—Mo 矿床没有必然的成因联系; 剪切带型矿床是新元古代地体碰撞的产物, 而斑岩型 Cu—Au—Mo 矿床是早侏罗世太平洋板块向西

俯冲于欧亚大陆板块之下的产物。根据笔者等多年来在德兴地区的工作情况, 在野外地质调查和室内分析测试结果的基础上, 就该地区斑岩型 Cu—Au—Mo 矿床与剪切带型 Au 矿床之间的成因关系, 浅谈一下笔者等的拙见。

## 1 地质构造背景

德兴地区金属矿床主要产于赣东北深大断裂的北西侧(图 1)。赣东北深大断裂带是九岭地体与怀玉地体于新元古代时期的碰撞拼合带(舒良树等, 1995; 汪新和马瑞士, 1989; 朱训等, 1983), 其构造演化制约着德兴地区的地质构造特征及其矿产资源的形成。

德兴地区位于江南造山带的东段, 而江南造山带的大地构造属性、演化历史一直是人们争论的焦点问题。因此, 德兴地区的地质构造演化特征也受到大家的普遍关注。在新元古代九岭地体和怀玉地体的碰撞拼贴之后, 德兴地区所经历的主要是板内的构造活动(华仁民等, 2000)。古生代华南地体拼贴造山事件导致在该地区晚泥盆世发生区域性沉积角度不整合, 以及赣东北断裂带两侧古老构造单元

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号 40872065)、中国科学院“百人计划”项目、人事部留学人员科技活动项目择优资助基金的成果。

收稿日期: 2010-11-11; 改回日期: 2011-04-16; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 李晓峰, 男, 1971 年生。博士, 研究员。主要从事金属矿床地质地球化学研究工作。Email: x-f-li@hotmail.com。

内部先压后张,先升降后裂陷(舒良树等,1995),而赣东北“网结状”结构的变形构造可能形成于更晚的海西期末或印支早期(崔学军,1998)。自南华纪至二叠纪以来,该地区基本没有大规模的岩浆侵入—火山喷溢活动[除德兴铜矿附近见到很小规模的闪长岩(328Ma)和辉长岩(283Ma)岩株](舒良树等,1995),因此,该地区也不能完全排除二叠纪地质热事件的叠加(李晓峰等,2002)。由于受太平洋板块向西俯冲的影响,在侏罗纪该区发育了大规模的花岗质岩浆活动。笔者等认为赣东北地区自新元古代以来主要经历了晋宁期、加里东期、海西期和燕山期四个构造旋回和褶皱基底形成、陆陆造山和陆内发展三大阶段,是一个经历了多期造山作用的复合体。

随着不同时期地质构造的演化,德兴地区主要形成了两种类型的金属矿床:一是与新元古代怀玉地体与九岭地体碰撞有关的剪切带型金矿(如金山金矿和蛤蟆石金矿);另一类是与侏罗纪大规模岩浆作用有关的铜金钼铅锌银矿床(如德兴斑岩 Cu—Mo—Au 矿床和银山 Pb—Zn—Ag 矿床)(图 1)。至于该地区加里东期和海西期构造热事件与区域成矿作用的关系,尚待进一步深入研究(朱训等,1983;李晓峰等,2002)。

## 2 主要矿床类型及成矿地质特征

### 2.1 与新元古代地体碰撞有关的剪切带型金矿

该类型的剪切带金矿可以分为两种类型,一是与缓倾斜剪切带有关的金矿床,如金山金矿田;二是与陡倾斜剪切带有关的金矿床,如蛤蟆石金矿田。

金山金矿田主要包括金山、花桥和八十源等几个矿床,它们受近 EW 向金山剪切带的控制(图 1)。金山剪切带主要由数条近于平行的 EW 向韧—脆性剪切带组成(如:大山推覆剪切带、金山—朱林推覆剪切带、石碑—西蒋推覆剪切带和金山口推覆剪切带),这些剪切带规模大小悬殊,宽度由 0.1m 到 650m 不等,呈带状、扁豆状尖灭再现,倾向变化于北西向、南北向、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。矿田内宏观变形构造以推覆型剪切带的多层叠置为特征。金山金矿和花桥金矿分别赋存于金山—朱林剪切带和石碑—西蒋剪切带内。矿体产状与 C 面理一致,与主剪切面平行起伏变化。金矿体主要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—金矿化带中。从边缘向应变中心非对称式依序出现

糜棱岩化带、初糜棱岩带、糜棱岩和超糜棱岩带(韦星林,1995a, b;1996)。赋矿剪切带可出现多应变矿化中心,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。蛤蟆石金矿田主要包括蛤蟆石金矿、董家金矿和上洛金矿。它们主要受近 NNE 向的走滑型蛤蟆石剪切带控制。含金剪切带以北北东走向为主,南北向、北西向次之。金矿化带及金矿体均产于剪切带内或其附近,多期次构造作用的叠加也是蛤蟆石金矿的特点之一(胡天灵,1995;毛大华,1998)。矿体由蚀变、矿化的碎裂岩夹含金石英脉组成。矿体顺层产出,走向 NNE—NE,倾向 NW,倾角较陡,一般为  $50^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 。

在矿石类型上,金山金矿田和蛤蟆石金矿田也有差异。金山金矿田矿石类型以蚀变糜棱岩型为主,含有少量的石英细脉型矿石;而蛤蟆石金矿田矿石类型浅部以剪切透镜状含金石英大脉为主,深部以蚀变超糜棱岩为主。金山金矿田和蛤蟆石金矿田二者均属贫硫矿石。因此,胡天灵等(1995)认为二者金山金矿和蛤蟆石金矿可能是同一成矿系统类型在不同成矿深度的表现。

金山金矿和蛤蟆石金矿金的沉淀主要发生在石英—金属硫化物阶段,该阶段主要形成砂糖状的石英及粒状或者网脉状的黄铁矿及少量的方铅矿、闪锌矿、黄铜矿和毒砂。热液蚀变作用以铁白云石和黄铁矿为特征。相对来说,蛤蟆石金矿的研究程度和研究成果要远远少于金山金矿。金山金矿石英流体包裹体均一温度为  $225 \sim 190^{\circ}\text{C}$ (范宏瑞和李兆麟,1992),金山金矿的成矿流体属于  $\text{CO}_2\text{—H}_2\text{O}$  体系(范宏瑞和李兆麟,1992;张文淮等和谭铁龙,1998),有机质对于金的搬运和沉淀有一定的贡献(邹焕炎,1993;张文淮和谭铁龙,1998)。虽然有关成矿流体的来源还存在争论(黄立宏和杨文思,1990;范宏瑞和李兆麟,1992;季峻峰等,1994a, b;韦星林,1995;张文淮等和谭铁龙,1998;李晓峰等,2007,2009),但越来越多的岩石结构、氢、氧、硅同位素、稀有气体同位素证据显示,其成矿流体主要为变质流体(Li Xiaofeng et al., 2010),含有少量的地幔流体。李晓峰等测得金山金矿和蛤蟆石金矿含金石英脉纹层中热液蚀变绢云母 Ar—Ar 年龄均为新元古代,说明金山金矿和蛤蟆石金矿均形成于新元古代(李晓峰等,2011)。

### 2.2 与早—中侏罗世岩浆—热液作用有关的

Cu—Mo—Au—Pb—Zn—Ag 矿床

与早—中侏罗世岩浆—热液有关的 Cu—Mo—

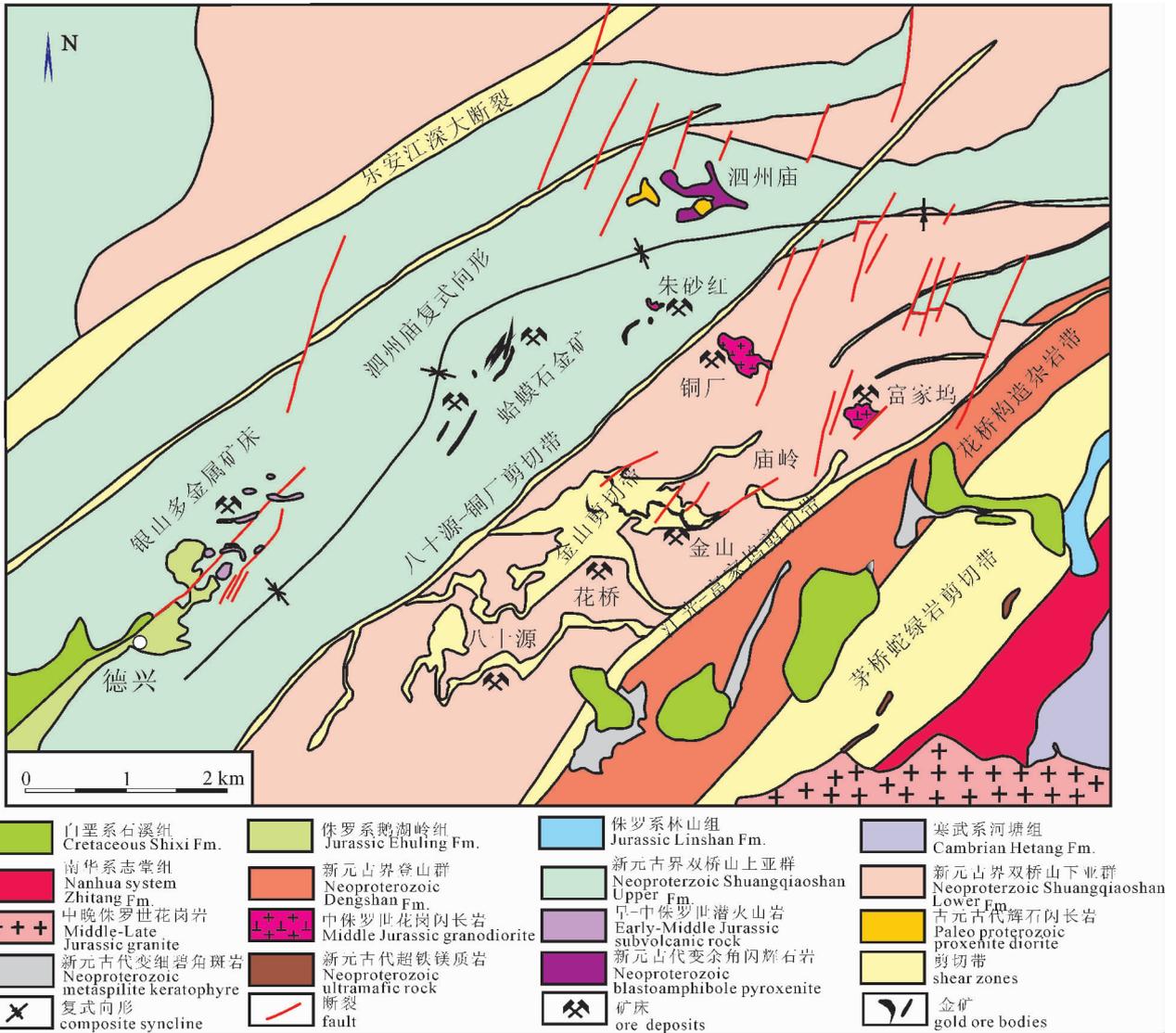


图1 江西德兴地区区域地质简图(据江西有色金属矿产资源地质勘察院第四队1996年资料)

Fig. 1 Geological sketch map of the Dexing area, Jiangxi (Modified after the data of Fourth Team, Jiangxi Institute of Geological Prospecting and Mineral Resource for Nonferrous Metals, 1996)

Au—Pb—Zn—Ag 矿床主要包括与中侏罗世花岗闪长斑岩有关的 Cu—Mo—Au 矿床(如德兴斑岩铜矿)和与早—中侏罗世火山—潜火山热液有关的 Pb—Zn—Ag 矿床和 Cu—Au 矿床(如银山多金属矿床)。

### 2.2.1 德兴斑岩铜矿

德兴斑岩铜矿主要由富家坞、朱砂红和铜厂三个含矿斑岩体组成(朱训等,1983)。三个成矿斑岩均呈小岩株状产出,它们沿 NWW 向呈串珠状分布,单个岩体呈岩筒状向 NW 倾伏。到目前为止,已有的研究工作多集中于铜厂斑岩体。铜厂含矿斑岩  $\varepsilon_{Nd}(t) = -1.14 \sim +1.80$ ;  $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]$ , =

0.7044 ~ 0.7047 (Wang Qiang et al., 2006), 其 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $171 \pm 3\text{Ma}$  (王强等, 2004)。岩体为复式侵入体,岩石类型主要为花岗闪长斑岩、闪长玢岩或石英闪长玢岩。与成矿有关的花岗闪长岩具有低  $\text{K}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 、富集大离子亲石元素、低高场强元素,轻稀土富集,重稀土亏损的特点。

Li Xiaofeng 等 (2007a) 把铜厂与成矿有关的热液蚀变及其有关的脉状系统可以分为4类: 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。这 4 类脉体系统代表了金属成矿作用的不同演化阶段。其中 D 脉中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。火成岩中黑云母和热液白云母的  $\delta D_{V-SMOW}$ 、 $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  同位素分别为 4.6‰ 和 -87‰, 7.1‰ ~ 8.9‰ 和 -71‰ ~ -73‰, 结果表明, 成矿流体为岩浆成因。E 脉热液方解石的  $\delta C_{V-SMOW}$ 、 $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  分别为 -4.8‰ ~ -6.2‰ 和 6.8‰ ~ -18.8‰。D 脉中黄铁矿的  $\delta^{34}S_{CDT}$  变化于 -0.1‰ ~ 3‰, 而 E 脉中黄铜矿的  $\delta^{34}S_{CDT}$  变化于 4‰ 和 5‰ 之间, 也说明了硫化物的岩浆成因。这说明即使在成矿作用的石英—白云母阶段, 铜厂斑岩铜矿的成矿流体也主要来自出溶的岩浆。

芮宗瑶等(2004)认为德兴斑岩铜矿岩浆主要来源上地幔或者下地壳。Wang Qiang 等(2006)认为其是下地壳拆沉的结果, 其成矿岩石是与 Adakite 类似的岩石(高铯、高钇)。Li Xiaofeng 等(2007a)认为德兴含矿斑岩是中侏罗世太平洋板块俯冲作用的结果。但是由于热液作用的叠加, 导致含矿斑岩具有某些 Adakite 岩石的特点。朱金初等(2002)也认为在成矿作用过程中, 有富 Sr 的流体加入到成矿作用过程中。辉钼矿 Re-Os 年龄(170.4 ± 1.8Ma, Lu Jianjun et al., 2005)显示钼的矿化稍晚于花岗闪长岩的侵位。热液蚀变黑云母 Ar-Ar 年龄为 168.4 ± 1.7 (李晓峰等, 另文发表), 揭示铜厂岩浆-热液系统具有快速冷却的特点。最近, 笔者等在铜厂、朱砂红和富家坞矿床的考察过程中, 发现铁镁质岩浆的底辟可能制约着德兴斑岩铜矿的形成。

### 2.2.2 银山多金属矿床

银山银铜铅锌矿床是一个与火山—潜火山热液有关的多金属矿床, 或者说是斑岩—浅成低温热液型矿床, 其成矿作用与早—中侏罗世火山岩—潜火山岩有着明显的时空和成因关系(华仁民等, 2000; 华仁民, 1987; 林德松和何国朝, 1990; 沈渭洲等, 1991; 刘家远, 1994)。

华仁民(1987)和华仁民等(1993)认为银山矿床主要有两期矿化作用, 分别与石英斑岩和英安斑岩的侵入有关。并在空间上各有成矿中心。与石英斑岩侵入有关的成矿作用主要以铅锌银矿化为主, 成矿温度在 130 ~ 310℃ 之间; 与英安斑岩侵入有关的成矿作用主要以铜金矿化为主, 成矿温度在 200 ~ 330℃ 之间(华仁民, 1987; 林德松和何国朝, 1990)。

在矿化形式上, 银山矿床以陡倾斜的裂隙充填

大脉为主; 其次是细脉型和细脉浸染型。铜金矿体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中, 呈细脉、网脉和浸染状铜矿化。主要矿石矿物为黄铁矿、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 EW 向, 倾向北或者南; 西山矿体的走向为 NE、NNE、近 NS、NNW; 银山区矿体走向 NW, 倾向 SW 或者 SE(叶庆同, 1987)。北山区、九龙上天区有较多的毒砂、硫砷铜矿、砷黝铜矿等矿物, 而南部区段这类矿物很少; 北部的闪锌矿含铁较高, 而南部则出现较低温的纤维锌矿。在九区地段是一个典型的斑岩—浅成低温热液成矿系统(江西银山铜铅锌金银矿床编写组, 1996)。

Li Xiaofeng 等(2007b)测得银山多金属矿床铜金成矿作用和铅锌银成矿作用的年龄分别为 178.2 ± 1.4Ma(白云母 Ar-Ar)和 175.4 ± 1.2Ma(白云母 Ar-Ar)。银山矿床成矿流体属于 H<sub>2</sub>O—NaCl 体系(Zhang et al., 2007), 流体包裹体主要有 3 种类型, 其中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, 并可见高盐度和中低盐度包裹体共存的现象。H、O、C、S、Pb 和 Sr 同位素表明, 其成矿流体和成矿物质主要来自于岩浆(沈渭洲等, 1991)。

## 3 问题的由来

鉴于金山金矿矿区尚未出露中酸性侵入体, 故大多数学者认为其成因与岩浆作用没有直接的关系, 因而提出了非岩浆成因的观点, 如, 沉积变质改造层控金矿(李兆麟和黄兰英, 1985); 火山沉积—变质受改造矿床(顾秀明, 1987); 沉积变质(热液)改造成因(张华, 1989); 断裂变质成因(黄世金, 1988); 动力变质热液型金矿床(肖勇, 1990); 层控变质热液(叠加)型金矿床(曾祥福, 1991)等, 但大多数人认为其主要与变质热液有关。20 世纪 90 年代前后, 一些学者根据含金石英脉和蚀变岩型矿石石英的氢、氧同位素、黄铁矿的 Co/Ni 比值以及绿泥石化蚀变糜棱岩中绿泥石的 Rb-Sr 年龄为 167Ma(张金春<sup>①</sup>), 认为其成因应该与岩浆作用相关, 金山金矿应是侏罗纪岩浆活动的产物, 是德兴斑岩铜矿的远端低温端元, 或是与隐伏岩体有成因联系的岩浆期后热液矿床(李治平等, 1989; 黄宏立, 1990)。从此, 这两种学术观点主导着金山金矿的成因机制和成矿规律研究, 众多的研究人员也从不同的侧面

分别来佐证这两种观点。美国学者 Goldfarb 等 (2007) 从整个江南造山带的地质构造特征、金矿分布规律等方面考虑, 也认为包括金山金矿在内的整个江南造山带中与韧—脆性剪切带有关的金矿 (如沃溪金矿、黄金洞金矿) 可能都是白垩纪地质事件的产物, 与太平洋板块的俯冲作用所产生的陆内走滑作用有关, 金山金矿应是德兴斑岩铜矿、银山多金属矿床同一构造—岩浆事件的产物。

然而, 从根本上来讲, 造成对金山金矿矿床成因争论的主要问题在于缺乏合理的、精确的成矿时代的测定、详细的野外地质调查以及对成矿地质基本特征的认识。虽然前人对金山金矿的成矿时代和同位素地球化学方面做了大量的工作, 但是由于无法选择合适的测年矿物和测试分析技术手段的局限以及地质认识的不清, 造成成矿年龄和同位素数据的混乱, 其有关成矿时代的研究成果一直没有得到大家的普遍认可。相对来说, 德兴斑岩铜矿和银山多金属矿床的成矿年龄得到了大家的首肯。再者, 由于金山金矿和德兴斑岩铜矿相距较近, 大约有 5km, 尤其是金山金矿区最北侧的一条剪切带在深度上可能已经延伸到斑岩铜矿中, 因此, 这也是有些学者把金山金矿作为德兴斑岩铜矿“卫星”矿床的一个佐证。另外, 从国外斑岩 Cu—Mo 矿床成矿模型的矿床分带中也可以看出, 斑岩 Cu—Mo 矿床的外围有可能发育 Pb—Zn—Ag 矿床、Au—As 矿床或者 Au—Ag 矿床, 与德兴地区矿床的分布有一定的类似性, 然而并不是所有斑岩 Cu—Mo 矿床外围发育的 Pb—Zn—Ag 矿床、Au—As 矿床或者 Au—Ag 矿床都是与 Cu—Mo 矿床有成因联系的; 而且现有的地质证据也表明, 德兴斑岩铜矿和银山多金属矿床的成因也有较大的差异性。

## 4 成矿基本地质特征对比

事实上, 对一个特定的地区矿床成因的研究, 必须先从该地区的地质构造演化着手。只有认清该地区的基本地质格架及其构造演化历史轨迹, 才能更好地认识该地区主要矿床类型及其成矿规律, 从而为下一步找矿提出正确的方向, 否则, 矿床成因的研究只能是片面的、局部的, 其结果只能类似于瞎子摸象。正确认识、解决和厘定矿产资源研究中的基本地质问题和成矿地质特征, 需要建立在详细的野外地质观察和现代化的分析测试技术的基础之上, 其中, 认真的、系统的野外地质观察是基础, 而现代化的分析测试技术是手段, 是对野外地质观察和地质

现象解释的补充和延伸。如果没有系统的、扎实的野外地质观察, 那么, 现代化的分析测试结果只能是空中楼阁、海市蜃楼。因此, 要正确认识金山金矿与斑岩铜矿的关系, 也必须从其成矿的基本地质特征着手。从金山金矿和德兴斑岩铜矿成矿的基本地质特征来看, 它们在控矿构造、成矿元素组合和成矿流体以及矿床地球化学等方面存在着明显的差异。

### 4.1 控矿构造

虽然金山金矿和德兴斑岩铜矿都赋存于新元古代双桥山群浅变质岩中, 但是从野外地质现象来看, 德兴斑岩铜矿和金山金矿分属两个不同时代的构造体系。金山金矿主要赋存于近 EW 向的缓倾斜的脆—韧性剪切带中, 矿化主要集中于剪切带的转折段、产状由缓变陡处、断层的阶步等构造部位。而德兴斑岩铜矿主要呈 NW 向展布, 成矿岩体主要侵位于 NW 向的断裂与 NE 向断裂的交汇部位。成矿斑岩侵位时, 其主应力场  $\sigma_1$  是近于直立的。金山金矿所表现出来的主要构造特点就是韧—脆性剪切、递进变形和构造置换等, 其主应力场  $\sigma_1$  明显不是近于直立的。除了蚀变岩型矿石外, 金山金矿的矿石类型在局部地段也表现为粗大的含金石英脉, 如金山阳山矿段。虽然在花桥金矿和八十源金矿主要以细小的石英脉为主, 但是其矿化类型均表现为贫硫的特点。

在矿区尺度上, 金山金矿田夹持于江光—富家坞韧性剪切带和铜厂—八十源韧性剪切带之间, 主要由几条近于平行的 EW 向含金剪切带组成。在矿床尺度上, 金山金矿主要位于构造的转折、走滑和推覆以及阶步等构造面上。在矿体尺度上, 矿体主要位于第二级或者三级帚状断层中。这些断层是低应力集中区, 热液流体的流量比较大。梁毓鏊 (2001) 认为韧—脆性剪切带控制着金山金矿的产出; 次级背斜和片理、裂隙的发育程度控制着金山金矿的产出; 构造演化控制了成矿的演化, 因此, 韧—脆性构造控制金的成矿作用是金山金矿田最大的特点。

在金山金矿, 矿体主要呈不连续或者石香肠状分布, 与围岩的叶理相协调, 主要以石英—黄铁矿脉和围岩的弱黄铁矿化为特征。金山金矿的成矿作用是同构造的, 成矿作用与递进变形作用密切相关, 矿脉侵位于韧—脆性环境 (Li Xiaofeng et al., 2010)。含金石英脉呈纹层状结构是成矿作用过程中, 压力发生波动的有力证据, 而且其内部结构表明, 成矿作用过程中发生了多次的破裂—愈合地震泵事件 (李晓峰等, 2007a, 2009)。

另外,在作为富矿体而开采的含金石英脉(大脉)内,笔者等发现厘米到微米尺度的韧性剪切带,这种显微韧性剪切带以强烈的石英动态重结晶、条带石英和拨丝状石英的发育为特征。剪切带大体上仍与主剪切带平行。它们的发育表明,一方面金山韧—脆性剪切带在上述组构置换过程中存在着一个过渡,另一方面在主成矿期过后仍然存在一定程度的韧性剪切变形(王春增等,2009)。两种不同组构的存在说明在金山韧—脆性剪切带发育过程中发生过重要的组构置换,也就是片理组构被“次级剪切面”构造系统所置换。

值得注意的是,虽然在德兴斑岩铜矿含矿岩石中(包括银山多金属矿床与英安斑岩有关的铜金矿化)黑云母矿物和近岩体的围岩也表现出塑性变形的特点(如黑云母的膝折等),但是这种塑性变形构造与金山金矿含矿剪切带的成因是明显不同的。金山金矿含矿剪切带是动力机械作用的结果,而德兴斑岩铜矿却是由于岩浆的热侵位而诱发的围岩的塑性变形,其分布是局部的。

#### 4.2 成矿元素组合及成矿流体

金山金矿的成矿元素组合为 Au—Ag—As,德兴斑岩铜矿的成矿元素组合为 Cu—Mo—Au—Pb—Zn—Fe,二者在成矿元素组合上有很大不同。另外,金山金矿的成矿元素组合也与与侵入体有关的金矿的成矿元素组合不同。另外,金山金矿的矿石是贫硫的,而不像德兴斑岩铜矿那样是明显富硫的。

一些学者(如刘英俊等,1993)从含金石英脉中石英流体包裹体的盐度( $>15\% \text{NaCl}_{\text{eq}}$ )认为金山金矿不同于国外典型的造山型金矿,因为国外造山型(中温脉状金矿)的成矿盐度一般为 $5\% \text{NaCl}_{\text{eq}}$ 。在随后的研究中发现,就单个矿床来讲,造山型矿床中成矿流体的盐度 $>15\% \text{NaCl}_{\text{eq}}$ 的比比皆是(McCuaig and Kerrich, 1998)。只不过是在研究该类型的矿床成矿流体的特点之前,要先进行详细地、系统的流体包裹体岩相学观察,区分到底那一类型的成矿流体与金的矿化有关,哪一类流体包裹体是后期叠加的。单个石英颗粒中,在石英生长过程中所捕获的原生的流体包裹体不一定是金的成矿流体,而一些假次生的流体包裹体却往往代表了与金的成矿作用有关的成矿流体。世界上大多数造山型金矿的成矿流体包裹体为 $\text{CO}_2\text{—H}_2\text{O}$ 流体,金山金矿也是如此。并且在成矿作用过程中发生了流体的不混溶作用。金山金矿的成矿流体主要由局部压溶作用产生的流体和外来的深部流体组成(Li Xiaofeng et al,

2010)。He、Ar、O、H、C 同位素结果显示外来深部流体主要为变质流体,虽然有少量地幔流体的加入(Li Xiaofeng et al., 2010)。而德兴斑岩铜矿的成矿流体包裹体特点却是高盐度、含子晶(或者金属矿物)的流体包裹体,是一种超临界流体,其成矿流体属于 $\text{NaCl—H}_2\text{O}$ 体系。如果说,金山金矿是德兴斑岩铜矿的远端产物,且为其提供了成矿所需的热能的话,那么金山金矿的流体来源只能以大气降水为主,而不是以变质流体为主,其成矿温度也应是低温的,而不是中温的。

#### 4.3 矿床的地球化学特点

从含矿岩石的微量元素比值来看,脉状金矿 K/Rb 和 K/Ba 比值与平均地壳的比值基本一致,而与岩浆来源有关的流体所形成的矿床,其 K/Rb 和 K/Ba 的比值分别低于或者高于地壳的平均值(McCuaig et al., 1998)。金山金矿岩石的 K/Rb、K/Ba 分别为 $110 \sim 350$ 和 $14 \sim 59$ ,与地壳 K/Rb、K/Ba 比值基本一致(地壳 K/Rb =  $130 \sim 430$ , 平均 $286$ ; K/Ba =  $34 \sim 97$ , 平均 $37$ ),但与德兴斑岩铜矿岩石的 K/Rb( $9 \sim 14$ )、K/Ba( $152 \sim 242$ )比值明显不同(李晓峰等,2009a),这也说明金山金矿成矿作用过程中,岩浆流体不占主导地位。金山金矿含金黄铁矿流体包裹体 He 同位素表明成矿流体主要来源于地壳,这与强烈的蚀变岩石的 Sr 同位素和黄铁矿的 Sr 同位素来源于地壳的结果是一致的(韦星林, 1996;毛光周,2008)。黄铁矿流体包裹体的氦同位素表明成矿流体中有少量低温的( $<200^\circ\text{C}$ )的流体参与成矿作用。另外,从金山金矿含金石英脉与德兴斑岩铜矿石英—硫化物脉的 SEM—CL 图像来看,二者具有不同的 SEM—CL 图像特点,显示了其成因机制的差异。

因此,从上述特点来看,金山金矿与德兴斑岩铜矿是不同热液体系的产物。金山金矿靠近铜厂的钻孔中剪切带依然稳定存在,金矿体没有消失,硫化物明显增加,热液蚀变增强(肖勇,2001),则可能反映了金山金矿在靠近德兴斑岩铜矿的地段受到了后期热液的叠加改造作用。

#### 4.4 成矿时代

德兴斑岩铜矿的成岩成矿时代已得到大家的普遍认可。如铜厂含矿花岗岩闪长斑岩锆石 SHRIMP U—Pb 年龄为 $171 \pm 3\text{Ma}$  ( $1\sigma$ )(王强等,2004),辉钼矿 Re—Os 年龄为 $170.4 \pm 1.8\text{Ma}$  ( $2\sigma$ )(Lu Jianjun et al., 2005)。富家坞和朱砂红含矿花岗岩闪长斑岩的年龄分别为 $172.0 \pm 2.1$  ( $2\sigma$ )和 $171.3 \pm 1.7$  ( $2\sigma$ )

(李晓峰等,未发表资料)。这些数据表明德兴斑岩铜矿形成于中侏罗世。但是,金山金矿的成矿年龄却是众说纷纭。关于金山递进韧性剪切带的年龄和成矿时代,许多地质工作者曾利用各种同位素测年方法和手段进行了大量分析和研究,并已发表大量有关年龄测试数据。但所有这些已发表的年龄数据相互之间差别很大。归纳起来,基本上可归纳分为4组年龄。

(1) 晋宁期的年龄(介于610~780 Ma)。如刘英俊等(1993)测得的矿石铅的模式年龄为610~775 Ma;朱恺军和范宏瑞(1991)测得的黄铁矿的铅同位素模式年龄为610~780 Ma;张金春<sup>①</sup>利用Rb-Sr法测得超糜棱岩和石英脉全岩Rb-Sr年龄为717±6 Ma;韦星林(1996)发表的剪切带糜棱岩和初糜棱岩的Rb-Sr同位素等时线年龄分别为732.1±61.9 Ma和714.5±60.5 Ma。

(2) 加里东期的年龄(介于406~516 Ma)。如黄宏立和杨文思(1990)根据Holms—Houtermans黄铁矿铅单阶段演化模式计算的年龄值在450~516 Ma;王秀璋等(1999)测得的石英脉型和剪切带矿石石英流体包裹体Rb-Sr等时线年龄为406±25 Ma。

(3) 海西期的年龄(介于269.9~379 Ma)。李晓峰等(2002)测得2个含金糜棱岩伊利石的K-Ar年龄分别为299.5±2.7 Ma和317.9±1.8 Ma,含金石英脉中伊利石的K-Ar年龄为269.9±1.7 Ma;毛光周等(2008)测得含金石英脉型矿石的石英流体包裹体Rb-Sr年龄为379±49 Ma。

(4) 燕山期的年龄(介于161~167.9 Ma)。如伍勤生等(1989)测得含金硅质糜棱岩中伊利石的Rb-Sr等时线年龄为167.9 Ma。张金春<sup>①</sup>测得绿泥石化千枚岩全岩Rb-Sr年龄为161±6 Ma。

从以上列举的前人测试所用的矿物以及所采用的方法来看,或多或少都存在一些问题。例如,在构造运动叠加强烈的地区,硫化物的Pb-Pb同位素的模式年龄可能不能代表确切的任何地质意义。从金山金矿的地质特征来看,由于金的矿化与剪切带密切相关,流体的渠化作用有可能造成矿物内部Rb-Sr同位素体系的不平衡;同样,由于后期构造叠加的影响,从而会造成矿物中不同期次的流体包裹体的叠加,致使流体包裹体中的Rb-Sr同位素体系扰动或者说不是不同源的Rb-Sr体系的叠加,从而影响Rb-Sr同位素的准确的定年。不同尺度的构造特征表明,金山金矿的成矿作用是同构造的。岩石的多

期变形变质作用制约了准确、精细的矿床形成年代学研究(李晓峰等,2002)。

关于金山剪切带的活动年龄,笔者等倾向于利用矿石铅和剪切带糜棱岩和初糜棱岩样品作出的同位素年龄,也就是所得出的新元古晚期晋宁期的年龄结果。金山剪切带是“晋宁期”构造活动的产物,剪切带的形成可能与江南古岛弧造山作用有关,是区域挤压构造运动的结果。金山剪切带金的成矿作用也至少是新元古“晋宁期”就开始的,但不能排除后来的脆性变形构造叠加和相应的活化成矿作用的存在。关于金山递进韧性剪切带从剪切带开始活动到最后结束的持续时间,目前还无法给出准确答案。但根据现有年龄测试资料可以作出一个粗略估算。首先糜棱岩的年龄虽然不能代表金山剪切带的最早活动年龄,但比较接近。已有的金山剪切带糜棱岩的年龄大体介于715 Ma与732 Ma之间。纹层状石英脉中剪切滑动面上热液蚀变绢云母的Ar-Ar年龄变化在560 Ma与660 Ma之间(李晓峰等,2011),可以基本代表金山韧性剪切后期成矿阶段年龄。

## 5 结论

德兴地区与剪切带有关的金矿(如金山金矿和蛤蟆石金矿)和与侏罗纪大规模岩浆作用有关的铜金钼铅锌银矿床(如德兴斑岩Cu—Mo—Au矿床和银山Pb—Zn—Ag—Cu—Au矿床)是不同地质历史时期的产物,而非单一同一成矿系统在不同部位的成矿响应。剪切带型金矿主要形成于新元古代,而斑岩型铜矿则形成于早一中侏罗世。

无论在控矿构造、成矿元素组合、成矿流体来源以及矿床地球化学等方面,德兴地区斑岩铜矿和金山金矿具有明显的差异,间接表明了它们之间没有明显的成因关系。但是后期构造热事件对剪切带型金矿的叠加改造作用的影响程度如何则需要进一步深入研究。

**致谢:**在野外工作过程中,得到了江西德兴铜矿陈乐晃总工程师、银山铅锌矿刘胜祥总工程师以及金山金矿张开平矿长的大力支持和帮助,在此一并志谢。

## 注 释 / Note

<sup>①</sup> 张金春. 1994. 江西金山韧性剪切带型金矿成矿地球化学研究 [硕士学位论文]. 南京: 南京大学, 1~78.

## 参 考 文 献 / References

崔学军. 1998. 赣东北地区“网结状”韧性变形带阵列构造的特征及

- 其构造意义浅析. 江西地质, 12(3): 213~217.
- 范宏瑞, 李兆麟. 1992. 金山金矿床地质特征成矿物理化学条件及成矿物质来源. 地质科学, (增刊 1): 147~160.
- 顾秀明. 1987. 江西金山金矿某些地质地球化学特征. 华东有色矿产地质, (2): 693~694.
- 胡天灵. 1995. 江西蛤蟆石金矿石英脉特征及其含矿标志. 江西地质, 9(2): 113~122.
- 华仁民, 陈克荣, 赵连泽. 1993. 江西银山外围地层中金的地球化学降低场及其成矿意义. 矿床地质, 12(4): 289~296.
- 华仁民, 李晓峰, 陆建军, 陈培荣, 邱德同, 王果. 2000. 德兴大型铜金矿集区的构造环境与成矿流体研究. 地球科学进展, 15(4): 525~533.
- 华仁民. 1987. 江西银山铅锌铜矿化机制的讨论. 矿床地质, 6(2): 90~96.
- 黄宏立, 杨文思. 1990. 赣东北金山金矿床的地质特征及矿床成因. 地质找矿论丛, 5(2): 29~39.
- 黄世金. 1988. 论断裂变质作用与金矿床的成因. 江西地质, (2): 1~6.
- 季俊峰, 刘英俊, 孙承轅, 邱德同. 1994a. 江西金山剪切带型金矿床两类矿石的地球化学特征——兼论两阶段成矿机制. 地球化学, (3): 226~232.
- 季俊峰, 孙承轅, 郑晴. 1994b. 江西金山剪切带型金矿床中含金石英脉的成矿特征. 地质论评, 40(4): 361~367.
- 《江西银山铜铅锌金银矿床》编写组. 1996. 江西银山铜铅锌金银矿床. 北京: 地质出版社, 1~380.
- 李晓峰, 华仁民, 杨凤根, 高剑峰. 2002. 金山金矿 K-Ar 年龄及其对赣东北构造演化的指示意义. 岩石矿物学杂志, 21(1): 49~54.
- 李晓峰, 王春增, 易先奎, 朱和平. 2007. 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. 地质论评, 53(6): 774~785.
- 李晓峰, 易先奎, 朱和平. 2009. 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. 矿床地质, 28(1): 42~52.
- 李晓峰, 华仁民, 韦星林, 易先奎, 冯佐海. 2011. 江西德兴金山金矿. 北京: 地质出版社, 1~165.
- 李兆麟, 黄兰英. 1985. 山东三山岛金矿床形成物理化学条件研究. 矿床地质, 4(4): 35~46.
- 李治平. 1989. 皖南岩浆作用及其与金矿化关系. 地质找矿论丛, 4(2): 42~53.
- 刘英俊, 孙承轅, 马东升. 1993. 江南金矿及其成矿地球化学背景. 南京: 南京大学出版社, 61~84.
- 梁毓璠. 2001. 江西金山金矿床构造控矿特征. 黄金, 22(11): 6~8.
- 林德松, 何国朝. 1990. 江西银山矿床矿物包裹体研究. 矿产与地质, 4(17): 50~58.
- 刘家远. 1994. 江西银山次火山岩浆作用与金铜多金属成矿. 桂林工学院学报, 14(3): 244~254.
- 毛大华. 1998. 江西蛤蟆石金矿床地质特征及成因初探. 江西地质, 12(2): 116~122.
- 毛光周, 华仁民, 龙光明, 陆慧娟. 2008. 江西金山金矿成矿时代探讨. 地质学报, 82(4): 532~539.
- 芮宗瑶, 张立生, 陈振宇. 2004. 斑岩铜矿的源岩或源区探讨. 岩石学报, 20(2): 229~238.
- 沈渭洲, 陈繁荣, 刘昌实. 1991. 江西银山多金属矿床的稳定同位素研究. 南京大学学报(地球科学版), (2): 186~194.
- 舒良树, 施央申, 郭令智, Charvet J, 孙岩. 1995. 江南中段板块—地体构造与碰撞造山运动学. 南京: 南京大学出版社.
- 汪新, 马瑞士. 1989. 怀玉山蛇绿混杂岩及古碰撞缝合线的确定. 南京大学学报(地球科学版), (1~2): 72~78.
- 王春增, 李晓峰, 易先奎. 2009. 江西金山金矿控矿韧性剪切带的递进变形成矿机理: 显微构造证据. 桂林工学院学报, 29(2): 169~182.
- 王强, 赵振华, 简平. 2004. 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. 岩石学报, 20(2): 315~324.
- 王秀璋, 单强, 梁华英, 程景平, 夏萍. 1999. 金山金矿床成矿时代及矿床成因. 地球化学, 28(1): 10~17.
- 韦星林. 1995a. 金山金矿田地质特征及成矿地质作用. 矿产与地质, 9(6): 471~480.
- 韦星林. 1995b. 金山金矿田发现过程及其找矿前景. 有色金属矿产与勘查, 4(5): 283~288.
- 韦星林. 1996. 江西金山韧性剪切带型金矿地质特征. 江西地质, 10(1): 52~64.
- 伍勤生. 1989. 金山金矿床年龄测定及矿床成因探讨. 第四届全国同位素会议论文集, 37.
- 肖勇. 1990. 江西省德兴县金山金矿床成矿地质特征及矿床成因探讨. 江西地质, 4(3): 247~261.
- 肖勇. 2001. 金山金矿田脆—韧性剪切带与成矿模式. 矿产与地质, 15(增刊): 424~430.
- 曾祥福. 1991. 江西金山金矿床成因探讨. 江西地质科技, 18(2): 63~71.
- 张华. 1989. 初论赣北前震旦系中金矿源岩系的特征及其演化. 江西地质, (2): 243~250.
- 张文淮, 谭铁龙. 1998. 江西省金山金矿有机流体与金矿的关系. 矿床地质, 17(1): 15~23.
- 朱金初, 金章东, 饶冰, 等. 2002. 德兴铜厂斑岩铜矿流体过程. 南京大学学报(自然科学版), 38(3): 418~434.
- 朱恺军, 范宏瑞. 1991. 金山金矿的地质特征和形成条件. 南京大学学报(地球科学), (2): 177~185.
- 朱训, 黄崇珂, 芮宗瑶. 1983. 德兴斑岩铜矿. 北京: 地质出版社, 1~336.
- 邹焕炎. 1993. 江西金山金矿韧性剪切带中有机质与金矿化的关系. 黄金科技动态, 3: 10~12.
- Goldfarb R J, Hart C, Davis G, Groves D. 2007. East Asia gold: deciphering the anomaly of Phanerozoic gold in Precambrian cratons. Economic Geology, 102: 341~345.
- Li Xiaofeng, Sasaki M. 2007a. The hydrothermal alteration and mineralization of Middle Jurassic Dexing porphyry Cu—Mo deposit, Southeast China. Resource Geology, 57(4): 409~426.
- Li Xiaofeng, Watanabe Y, Mao Jingwen. 2007b. SHRIMP II U-Pb zircon and <sup>39</sup>Ar-<sup>40</sup>Ar sericite ages from Yinshan Pb—Zn—Ag—Cu—Au deposit: implication for the volcanism and mineralization in the Northeast Jiangxi District, South China. Resource Geology, 57(3): 325~337.
- Li Xiaofeng, Wang Chunzeng, Hua Renmin, Wei Xinglin. 2010. Fluid origin and structural enhancement during mineralization of the Jinshan orogenic gold deposit, South China. Mineralium Deposita, 45: 583~597.
- Lu Jianjun, Hua Renmin, Yao Chunliang. 2005. Re-Os age for molybdenite from the Dexing porphyry Cu—Au deposit of Jiangxi Province, China. Geochim. Cosmochim. Acta, 69(Suppl. A): 882.
- McCuaig T C, Kerrich R. 1998. P—T—t—deformation—fluid characteristics of lode gold deposits: evidence from alteration systematics. Ore Geology Reviews, 2: 381~453.
- Mikucki E J, Ridley J R. 1993. The hydrothermal fluid of Archean lode

deposit at different metamorphic grades: compositional constraints from ore and wall rock alteration assemblages. *Mineralium Deposita*, 28: 469 ~ 481.

Wang Qiang, Xu Jifeng, Jian Ping, Bao Zhiwei, Zhao Zhenhuan, Li Chaofeng, Xiong Xiaolin, Ma Jinlong. 2006. Petrogenesis of Adakitic porphyries in an extensional tectonic setting, Dexing, South China: Implications for the genesis of porphyry copper

mineralization. *Journal of Petrology*, 47(1): 119 ~ 144.

Zhang Dehui, Xu Guojian, Zhang Wenhui, Golding S D. 2007. 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. *Ore Geology Review*, 31(4): 247 ~ 260.

## Mineral Deposits Types, Mineralization Features and Genesis Relationship between Jinshan Gold Deposit and Dexing Porphyry Copper Deposit, Northeastern Jiangxi Province, South China

LI Xiaofeng<sup>1,2)</sup>, HU Ruizhong<sup>1)</sup>, WEI Xinglin<sup>3)</sup>, XIAO Rong<sup>4)</sup>, XIAO Ning<sup>3)</sup>, WANG Cuiyun<sup>3)</sup>, YANG Feng<sup>3)</sup>

1) *State Key Laboratory Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang, 550002;*

2) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;*

3) *Jiangxi Institute of Geological Exploration for Mineral Resources of Nonferrous Metals, Nanchang, 330001;*

4) *Hunan Institute of Geological Survey, Changsha, 410116;*

5) *Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi, 541004*

**Abstract:** The Dexing area, north-eastern Jiangxi province, China, is an important Cu—Au—Pb—Zn—Ag metals concentrating area. In this area, there are large scale Dexing porphyry copper orefield ( includes Zhushahong, Tongchang and Fujiawu deposit etc. ), shear zone-related Jinshan gold deposit and subvolcanic-related Yinshan Pb—Zn—Ag polymetallic deposit. These deposits can be divided into two types: shear zone host deposits and the magmatic—hydrothermal related deposits. These two types of deposits have different characteristics on the ore-controlling structures, ore forming elements assemblages, and the origin of ore forming fluids as well as the deposit geochemistry. It is suggested that these two types of deposits have no clear relations on genesis. The difference in ages indicates that they are formed in different stages of geological evolution. The shear zone-hosted gold deposit was formed during the Neoproterozoic collision between Huaiyu terrane and Jiuling terrane, the matmatic—hydrothermal related deposits were the results of Jurassic subduction of Pacific plate. They are not the results of single magmatic—hydrothermal system.

**Key words:** porphyry copper deposit; ductile shear zone-related gold deposit; orogenic gold deposit; metallogenesis; Jinshan, Dexing, Jiangxi