

江西金山金矿含金黄铁矿的 Rb-Sr 年龄

毛光周^{1,2)} 华仁民²⁾ 高剑峰²⁾ 龙光明²⁾ 陆慧娟²⁾

1) 大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 陕西西安 710069;

2) 成矿作用研究国家重点实验室, 南京大学地球科学系, 江苏南京 210093

摘要 前人对江西金山金矿的成矿时代有许多不同的认识, 笔者通过对江西金山蚀变岩型矿石中的含金黄铁矿 Rb-Sr 年龄的测定得出, 含金黄铁矿的 Rb-Sr 等时线年龄为 $(838 \pm 110) \text{ Ma}$, $\text{initial } ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7045 \pm 0.0020$ 。由此可以推测晋宁期是蚀变岩型金矿体形成的主要时期。黄铁矿 Rb-Sr 所得的 Sr 同位素初始比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 小于陆源硅酸盐的值 (0.720), 而与玄武岩的值 (0.704) 接近, 结合前人有关的同位素及稀土、微量元素研究, 笔者认为金山金矿变质岩型矿体的成矿物质源于变质围岩, 成矿流体为来源于深部的变质水。

关键词 金矿; 成矿时代; Rb-Sr 定年; 物质来源; 江西金山

中图分类号: P597

文献标识码: A

文章编号: 1006-3021(2008)05-599-08

Rb-Sr Age of Gold-bearing Pyrite in the Jinshan Gold Deposit, Jiangxi Province

MAO Guangzhou^{1, 2)} HUA Renmin²⁾ GAO Jianfeng²⁾ LONG Guangming²⁾ LU Huijuan²⁾

1) State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069;

2) State Key Laboratory of Mineral Deposit Research, Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093

Abstract There are many different views concerning the metallogenic epoch of the Jinshan gold deposit. The authors tested the Rb-Sr age of the gold-bearing pyrite from the metamorphic ore bodies in the Jinshan gold deposit. The Rb-Sr isochron age of the Au-bearing pyrite is about $(838 \pm 110) \text{ Ma}$, and the initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ is equal to 0.7045 ± 0.0020 . It is thus held that the Jinning Period is the main time for the formation of the metamorphic gold deposit. The ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i value of the pyrite is lower than that of the terrigenous silicates (0.720) and close to that of the basalts (0.704). In combination with previous isotope, REE and trace element studies, the authors consider that the ore-forming material of the metamorphic ore bodies in the Jinshan gold deposit was derived from the metamorphic rock, and the ore-forming fluid originated from the deep metamorphic water.

Key words gold deposit; metallogenic epoch; Rb-Sr dating; material resource; Jinshan; Jiangxi Province

金山金矿位于江西省东北部, 是赣东北金铜矿集区的主要矿床之一, 为超大型金矿, 其又是中国韧性剪切带型金矿的代表性矿床之一, 因此具有巨大的经济价值和重要的科学研究价值。

自 20 世纪 80 年代以来, 国内地质工作者对金山金矿床作了大量的研究工作, 并取得了大量的成果。但是对于金山金矿的成矿时代却有许多不同的

认识, 这对于理解矿床的形成过程、确定矿床的成因以及对进一步找矿都造成了一定的影响, 所以很有必要对其成矿年龄做进一步的工作。

金山金矿有蚀变岩型和石英脉型两种类型, 蚀变岩型矿体为其主要的工业矿体, 主要的载金矿物为黄铁矿。因此, 可以通过对与金成矿关系密切的黄铁矿的年龄测定来探讨金山金矿的成矿时代。

本文由国家自然科学基金项目(编号:40373025)资助。

收稿日期:2007-12-07; 改回日期:2008-03-10。责任编辑:刘志强。

第一作者简介:毛光周,男,1978年生,博士研究生,矿产普查与勘探专业; E-mail:gzmao_nju@yahoo.com.cn。

通讯作者:华仁民; 通讯地址:210093, 江苏省南京市汉口路22号; 电话:025-83597224; E-mail: huarenmin@nju.edu.cn。

1 金山金矿床地质概况

金山金矿地质简图如图1所示,该金矿赋存于赣东北深大断裂带上盘的金山韧性剪切带内。地理坐标:117°44'04"~117°41'42"E,28°58'40"~28°59'35"N。区域出露的地层主要是中元古界双桥山群,矿区出露双桥山群第三岩组,同位素年龄为1.371 Ga(刘英俊等,1989),为一套浅变质火山碎屑沉积岩夹少量的基性火山熔岩,主要由板岩、千枚岩、含碳千枚岩、凝灰质千枚岩、变余凝灰质砂岩及中基性变余安山玄武岩等组成。

金山金矿主要受控于韧性剪切带内脆性层间裂隙系统和构造滑脱层(曾健年等,2002b)。矿体有蚀变岩型和石英脉型两种类型,蚀变构造岩矿石主要包括星散浸染状硅化、黄铁矿化、铁白云石化超糜棱岩—糜棱岩矿石、千枚岩矿石、碎裂岩—角砾岩矿石,矿体规模大,形态和品位相对较为稳定。含金石英脉多位于蚀变构造岩矿体上方,呈小扁豆状,品位较富,但变化大(韦星林,1995b)。

金山韧性剪切带在形成演化过程中,剪切带及其近侧围岩的各类岩石普遍遭受不同程度的蚀变。蚀变类型有硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化(铁白云石化、菱铁矿化、白云石化、方解石化)等,局部见毒砂化、重晶石化、斜黝帘石化等。其中硅化、黄铁矿化、铁白云石化与金矿化关系密切。矿床的主要成矿过程可划分为2期4阶段,其中,早期即内生热液成矿期包括:黄铁矿—石英阶段(I)、石英—金属硫化物—自然金阶段(II)、石英—碳酸盐阶段(III);晚期则为表生氧化富集阶段(IV)。综合研究表明II(I)阶段矿化的发育与否,关系到成矿与否,矿石品位高低及矿体规模大小,其是本类金矿成矿的充分条件(王燕等,1993)。

矿石矿物组成简单,自然金是矿石中唯一的金矿物。自然金富集于具半自形—他形粒状结构、超糜棱、糜棱结构、碎裂结构及浸染状构造和角砾状构造的矿石中。石英和黄铁矿为矿石中自然金的主要载体矿物。黄铁矿化分布广泛,但黄铁矿含量甚微,主要分布于超糜棱岩、糜棱岩带,按其产状可分为3个世代:第一世代的黄铁矿呈点状体,形态为立方体,一般粒度小于0.02 mm,稀疏浸染状分布于早期石英脉中;第二世代的黄铁矿是由五角十二面体与立方体组成的复晶,粒度在0.02~1.00 mm之间,多呈碎裂细粉末状,沿面理、裂隙呈浸染状或细脉状产出,含量约为2%,伴有铁白云石化、毒砂化等复

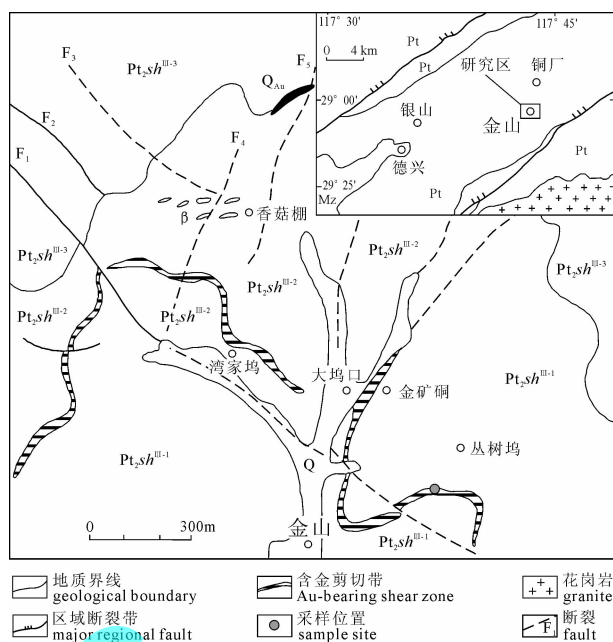


图1 江西金山金矿地质简图(据江西地科所金山矿床地质图;姚春亮等,2005修改)

Fig.1 Geological map of the Jinshan gold deposit (modified after Jinshan gold deposit geologic map by Institute of geology of Jiangxi; Yao et al., 2005)

Q-第四系;Pt₂sh^{III-3}-双桥山群第三岩性组第三岩性段;Pt₂sh^{III-2}-双桥山群第三岩性组第二岩性段;Pt₂sh^{III-1}-双桥山群第三岩性组第一岩性段;δ-变余辉石闪长岩;β-变余玄武岩;Q_{Au}-含金石英脉;Pt-新元古界地层;Mz-中生代火山盆地
Q-Quaternary; Pt₂sh^{III-3}-3rd Lithologic Member of 3rd Lithologic Formation of Shuangqiaoshan Group; Pt₂sh^{III-2}-2nd Lithologic Member of 3rd Lithologic Formation of Shuangqiaoshan Group; Pt₂sh^{III-1}-1st Lithologic Member of 3rd Lithologic Formation of Shuangqiaoshan Group; δ-Meta-gabbro-diorite; β-Meta-basalt; Q_{Au}-Au-bearing quartz veins; Pt-Neo-Proterozoic strata; Mz-Mesozoic volcanic basin

杂金属硫化物,本世代黄铁矿与黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、自然金基本同时生成,代表主要的金矿化阶段;第三代黄铁矿呈粗粒自形—半自形的立方体,粒度在0.5~2.0 mm之间,浸染状、脉状分布,金矿化弱。

自然金赋存于金属硫化物及脉石矿物中,粒度一般为0.08 mm×0.013 mm,主要赋存于细粒黄铁矿、碎裂黄铁矿和石英的裂隙中以及石英、黄铁矿的晶隙之间,少量金为超微包体金。在碎裂糜棱岩细脉浸染型金矿石中单体金占82.6%~90.5%,包体金占9.5%~17.4%。石英脉型中单体金占93.1%~97.2%,包体金占2.8%~6.9%。自然金成色很高,达949.80‰~999.88‰(梁毓鏊,1995)。

目前对金山金矿的形成时代有许多不同的认识,不同的研究者利用不同的方法得出不同的年龄数据,有些研究者将前人的年龄数据结合在一起,认为有多期成矿。这些成矿时代及持这种观点的研究者有以下几个:

(1)晋宁期:①矿石铅的模式年龄 610 ~ 775 Ma (刘英俊等,1989);②黄铁矿的铅同位素模式年龄值 610 ~ 780 Ma (朱恺军等,1991a,1991b);③剪切带千糜岩和初糜棱岩 Rb-Sr 同位素等时线年龄分别为(732.1 ± 61.9) Ma 和(714.5 ± 60.5) Ma (韦星林,1995b,1996);④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 (张金春,1994)。

(2)加里东期:①黄铁矿铅同位素组成特征:根据 Holms-Houtermans 铅单阶段演化模式计算的年龄值在 450 ~ 516 Ma (黄宏立等,1990);②两种矿石测得其石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为(406 ± 25) Ma,属于加里东期成矿(王秀璋等,1999)。

(3)海西期:①成矿年龄为 269.9 ~ 317.9 Ma (海西期):金山金矿两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 (李晓峰等,2002b);②含金石英脉型矿石的石英流体包裹体 Rb-Sr 年龄为 379 ± 49 Ma (毛光周等,2008)。

(4)燕山期:①伍勤生等所测含金硅质糜棱岩中伊利石的 Rb-Sr 等时线年龄值 167.9 Ma (伍勤生,1989;黄宏立等,1990;范宏瑞等,1992;梁湘辉,1997;谭铁龙等,1997;毛景文等,2000);②绿泥石化千枚岩全岩 Rb-Sr 年龄为(161 ± 6) Ma (张金春,1994)。

(5)晋宁期 + 加里东期 + 海西期 + 燕山期:据矿石中黄铁矿(5 件样品),铅同位素按单阶段模式年龄计算(王义文,1984),其模式年龄出现 3 组:分别为 742.5 ~ 748.6 Ma,592.9 ~ 614.7 Ma 和 355.1 Ma。第一组年龄 742.5 ~ 748.6 Ma 属晚元古代,是区域变质成矿期黄铁矿—石英阶段的矿化,是含金矿源层形成及金的初始富集阶段;第二组年龄值为 592.9 ~ 614.7 Ma,表征加里东运动对成矿的影响,是动力变质成矿期硫化物—铁镁碳酸盐阶段形成的超糜棱岩、糜棱岩和千糜岩型矿石,是金的活化和富集成矿阶段;第三组年龄值为 355.1 Ma,是海西期动力变质硫化物—石英阶段形成的含金石英脉。反映出矿床多期次叠加改造的成矿特点,这与矿床地

质特征是相吻合的(肖勇,1990;曾祥福,1991;李培铮等,1994;梁湘辉,1997;曾键年等,2002a,2002b)。

(6)其他:如晋宁期 + 燕山期(郭仕兴,个人通信);晋宁期 + 加里东期 + 海西期 + 印支期 + 燕山期(曾键年等,1998;肖勇,2001);晋宁期 + 加里东期 + 海西期:金山矿床两类矿石全岩铅同位素求得 H. H. 法模式年龄值为 366.9019 Ma,785.4928 Ma (王燕等,1995;王可勇等,1999)。

2 样品特征及分析方法

在金山金矿阳山-105 m 中段 V₁ 主矿体采集含浸染状细粒黄铁矿的糜棱岩(样号:DX-12,DX-14,DX-16,DX II-22;采样位置如图 1 所示)。其中的黄铁矿为上文中所述的第二世代黄铁矿,与金成矿关系密切,呈它形一半自形粒状集合体分布,颜色较深。

将样品清洗干净,粉碎到 60 ~ 80 目,通过人工重砂法从样品中分离出黄铁矿,再在双目镜下手工挑选与金成矿关系密切的单矿物黄铁矿,挑选出的黄铁矿单矿物经过详细的镜下检查,纯度大于 99%。在双目镜下挑选黄铁矿的过程中还发现黄铁矿晶面上连有自然金,说明所选黄铁矿与金成矿关系密切。

样品的实验室处理及测试工作在南京大学成矿作用研究国家重点实验室完成。将所选的黄铁矿样品用 Milli-Q 水超声清洗 30 min,低温烘干。称取 200 mg 样品,同时加入⁸⁵Rb-⁸⁴Sr 稀释剂,将样品溶解在 1 ml HNO₃ + 1 ml HCl 的混合酸中,120℃ 在电热板上溶解 1 ~ 2 d,完全溶解样品。分离、接收 Rb、Sr,上质谱测试,具体过程见文献(濮巍等,2004,2005)。质谱测试在 Finnigan MAT Triton Ti 型表面热电离质谱仪上完成。对 Sr 的长期测试结果表明,分析精度要好于 10⁻⁵。本实验长期测试的 NBS 987 Sr 标样测试结果为⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 0.710260 ± 10。

3 分析结果及讨论

因为黄铁矿等金属矿物的 Rb、Sr 含量较低,甚至低于 0.01 μg/g,为了确定进行 Rb-Sr 同位素定年的可行性,我们首先在南京大学成矿作用研究国家重点实验室的 ICP-MS 上对上面的 4 个黄铁矿样品进行了微量元素 Rb、Sr 的测试,然后根据测定结果计算了样品的 Rb/Sr 值(表 1),发现这组样品的 Rb、Sr 含量较高,Rb/Sr 值(0.098 ~ 0.923)变化明显,说明该组样品可以进行 Rb-Sr 等时线定年。

表1 金山金矿床黄铁矿样品 Rb/Sr 值结果

Table 1 Rb/Sr ratios of pyrite samples from the Jinshan gold deposit

	DX-12	DX-14	DX-16	DXII-22
Rb	10.391	2.737	9.779	1.105
Sr	11.263	22.893	12.165	11.276
Rb/Sr	0.923	0.120	0.804	0.098

注:由南京大学成矿作用研究国家重点实验室高剑峰测试,其中DX-16和DXII-22作了平行样分析(10^{-6})。

表2 金山金矿床黄铁矿 Rb、Sr 同位素分析结果

Table 2 Rb-Sr isotopic composition of pyrite from the Jaoshan deposit

样品 编号	Rb / $\times 10^{-6}$	Sr / $\times 10^{-6}$	1/Sr	$\frac{87}{86}\text{Rb}$ $\frac{86}{86}\text{Sr}$	$\frac{87}{86}\text{Sr}$ $\frac{86}{86}\text{Sr}$	error
DX-12	2.828	4.243	0.236	1.932	0.727424	3.00E-06
DX-14	1.148	9.497	0.105	0.350	0.709077	3.00E-06
DX-16	2.988	5.194	0.193	1.667	0.724780	1.70E-05
DX II-22	0.679	3.912	0.256	0.502	0.710056	3.00E-06

注:由南京大学成矿作用研究国家重点实验室濮巍测试。

3.1 分析结果

以黄铁矿 Rb/Sr 的测试结果为依据,对以上4个金山金矿含金黄铁矿进行了 Rb、Sr 同位素分析,结果见表2。年龄计算的数据拟合采用 Ludwig (2001) 编写的 ISOPLOT 软件。

4个含金黄铁矿样品(DX-12, DX-14, DX-16, DX II-22)的黄铁矿 Rb-Sr 年龄计算结果如图2所示。对金山金矿蚀变岩型矿石中含金黄铁矿的 Rb-Sr 定年给出的等时线年龄是 (838 ± 110) Ma, initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7045 \pm 0.0020$, MSWD 为 5.5。

3.2 成矿时代讨论

本文对蚀变岩型矿体的定年工作,结合前人的研究成果,从中看出晋宁期成矿在金山金矿形成过程中的重要作用(刘英俊等,1989;朱恺军等,1991a, 1991b;张金春,1994;韦星林,1995b, 1996;郭仕兴,私人通信)。在这些研究者的年龄数据中,有黄铁矿 Pb 同位素模式年龄,也有变质岩和石英脉全岩的 Rb-Sr 同位素年龄。

矿床全岩年龄的测定已经不能满足今天对矿床形成年龄精确测定的要求,受到了众多研究者的质疑,开始逐渐被抛弃,并被单矿物的同位素年龄所代替,单矿物 Rb-Sr 等时线定年成功的实例也较多(杨进辉等,2000;Yang et al., 2001;石玉若等,2005;吴珍汉等,2005)。黄铁矿 Pb 同位素模式年龄同样也被人们所质疑。矿床的直接定年就是直接对成矿流体或矿石矿物进行同位素定年,这样确定的年龄就

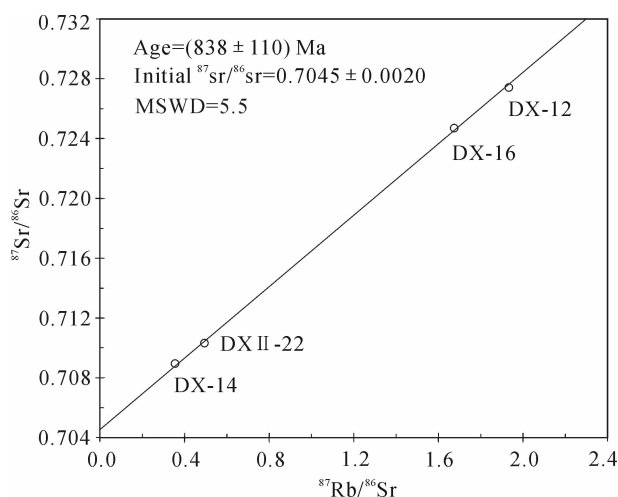


图2 金山金矿床含金黄铁矿 Rb-Sr 等时线图

Fig. 2 Rb-Sr isochron diagram of Au-bearing pyrite from the Jinshan deposit

直接代表了成矿年龄(赵葵东等,2004)。

本文所利用的黄铁矿 Rb-Sr 定年是直接将黄铁矿全溶,测其 Rb-Sr 同位素组成,来确定其形成年龄,也直接代表了成矿年龄。Rb-Sr 在硫化物中主要赋存在包裹体或者矿物晶格中,其 Rb、Sr 含量和 Rb/Sr 值会有变化,从而满足定年的条件。直接对黄铁矿等硫化物进行 Rb-Sr 同位素定年应是一种比较可靠的确定矿床形成年龄的方法。这一方法也有许多成功的实例(杨进辉等,2000; Yang et al., 2001; 姚军明等,2006; 韩以贵等,2007)。

实验样品采自蚀变岩型矿体的主矿体 V_1 矿体,其主要的载金矿物为黄铁矿,测试中所选的黄铁矿为第二世代,与金成矿近于同时形成。因此,该黄铁矿 Rb-Sr 定年基本可以反映金山金矿蚀变岩型矿体的形成年代。

本文年龄测定所得结果误差较大,究其原因,可能是在矿体就位后的动力变质过程中,矿物遭受蚀变,矿物的 Rb、Sr 含量发生了变化, Sr 同位素组成被改写,且样品的 Rb/Sr 及 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值变化范围较小。年龄测定精度与 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 变化范围成反比,小的 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 变化范围必定导致大的年龄误差(陈江峰等,2003)。即外来流体引起矿物蚀变,导致等时线质量下降,至少 Rb-Sr 等时线年龄可以代表后期热事件发生的时间。

因为金山金矿成矿的复杂性,多期叠加成矿的观点也就比较盛行,如前文所述。金山金矿晋宁期成矿的认识与江南古岛弧发生造山作用的年龄相近(徐备等,1989),这次构造热事件对金山金矿的成

矿具有决定性的作用。所以无论前人对金山金矿晋宁期成矿的具体年龄数据有多大不同,但晋宁期在金山金矿形成中无疑具有非常重要的作用。就目前的认识来看,晋宁期是金山金矿蚀变岩型矿体的主要形成时期,其他的年龄数据可能只代表了后期作用对金山金矿的叠加富集作用(如燕山期)或者其他类型矿体如含金石英脉型矿体的形成时期,就笔者所作的工作来看,含金石英脉型矿体主要是在海西期形成(毛光周等,2008)。

对于金山金矿这种赋存于韧性剪切带中的热液型金矿床,成矿作用的多期是最有可能的,每次大的构造运动都有可能影响到其成矿过程,所以笔者也认为金山金矿的成矿作用应该是多期次成矿,并且在各期内部还有可能是多次脉动式成矿,但晋宁期是金山金矿蚀变岩型金矿体形成的主要时期。

3.3 成矿物质来源讨论

从本文所做的定年工作获得了一些与成矿物质来源有关的信息,并能对认识该区的构造热事件有一定的意义。含金黄铁矿所得 Sr 同位素初始比($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 为 0.7045 ± 0.0020 , 小于陆源硅酸盐的值(0.720), 而与玄武岩的值(0.704) 接近(Faure, 1986), 说明蚀变岩型矿石成矿物质的深源性。

前人对金山金矿床的硫同位素研究(黄宏立等,1990;肖勇,1990;曾祥福,1991;朱恺军等,1991;韦星林,1995a;梁毓鏊,1995;梁湘辉,1997;潭铁龙等,1997;曾键年等,1998,2002a;王可勇等,1999;王秀璋等,1999;李晓峰等,2002a)表明,矿石与矿区外围双桥山群上亚群火山沉积建造中硫化物的硫同位素组成特征极为相似,同属深源硫,显示成矿过程中双桥山群含矿建造的矿源作用。

铅同位素工作(朱训等,1983;刘英俊,1989;肖勇,1989;黄宏立等,1990;曾祥福,1991;朱恺军等,1991b;季峻峰等,1994b;梁毓鏊,1995;韦星林,1995a;梁湘辉,1997;王秀璋等,1999;毛景文等,2000;彭建堂等,2000;曾键年等,2002a)表明,矿区的铅基本属正常铅,以深源铅为主,有上地壳铅的混染,成矿作用演化时间长,有多次构造热事件的叠加。黄铁矿矿石中的铅同位素组成与地幔及下地壳的铅同位素组成相近,具有深源的特点。Zartman 图解(Zartman et al., 1981) 和 $\Delta\gamma-\Delta\beta$ 图解(朱炳泉等,1998)表明,双桥山群是矿石铅的主要源区,成矿物质主要来自围岩。

碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)研究(曾祥福,1991;季峻峰等,1994a,1994b;李晓峰等,2002a)表明金山金矿成

矿物质最有可能是来自变质岩。硅同位素研究表明,超糜棱岩和含金石英脉中的石英为变质成因(华仁民等,2002)。

氢、氧同位素组成等研究表明成矿流体主要来自变质水,大气降水(晚期)也有重要贡献(黄宏立等,1990;曾祥福,1991;朱恺军等,1991b;范宏瑞等,1992;季峻峰等,1994b;梁毓鏊,1995;韦星林,1995a;张文淮等,1996;梁湘辉,1997;王可勇等,1999;华仁民等,2002)。有些学者认为成矿流体中也有岩浆热液的参与(黄宏立等,1990;张文淮等,1998)。

矿石与围岩的稀土元素研究表明它们具有相同的来源,成矿物质来源于围岩(曾祥福,1991;梁毓鏊,1995;韦星林,1995a;王可勇等,1999;王秀璋等,1999;华仁民等,2002;李晓峰等,2002a)。微量元素及其比值研究表明千枚岩、糜棱岩、超糜棱岩和含金石英脉的成矿物质主要来自于围岩(王可勇等,1999;华仁民等,2002)。从铂族元素地球化学特征来看,金山金矿成矿物质来源与碳质千枚岩有密切的关系(李晓峰等,2002a)。含金黄铁矿的稀土元素和微量元素研究表明,金山金矿的成矿物质来源于变质岩,成矿流体为来源于变质岩、Cl > F 的变质流体(毛光周等,2006)。

综上所述,金山金矿的成矿流体为来源于深部的变质水,成矿物质源于变质围岩。

4 结论

江西金山金矿蚀变岩型矿体含金黄铁矿的 Rb-Sr 定年给出的等时线年龄是 (838 ± 110) Ma, 初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7045 \pm 0.0020$, MSWD 为 5.5, 表明金山金矿蚀变岩型矿体形成是在晋宁期。

考虑到前人对金山金矿成矿年龄的工作及笔者对金山金矿含金石英脉型矿体的石英流体包裹体 Rb-Sr 定年工作认为,对于金山金矿这种赋存于韧性剪切带中的热液型金矿床,是多期形成演化并最终定位的,每次大的构造运动都有可能影响到其成矿过程,笔者也认为金山金矿的成矿作用应该是多期次成矿,并且在各期内部还有可能是多次脉动式成矿。但晋宁期是金山金矿蚀变岩型金矿体形成的主要时期,而海西期则是含金石英脉型矿体形成的主要时期。

就本文蚀变岩型矿体含金黄铁矿 Rb-Sr 等时线所得的 Sr 同位素初始比以及前人有关的同位素、稀土元素、微量元素研究结果表明,金山金矿的成矿流

体为来源于深部的变质水,成矿物质源于变质围岩。

致谢 野外工作中得到了江西有色四队、金山金矿、花桥金矿等单位的大力支持,年龄测试由南京大学地球科学系濮巍完成,成文过程中得到了南京大学地球科学系赵葵东、姚军明的有益指导,审稿人中肯的意见对本文的提高有很大帮助。对以上单位和个人表示诚挚的感谢!

参考文献

- 陈江峰,谢智,郑永飞,龚冰,陈文,周泰禧,张巽. 2003. 皖东侵入岩矿物 Rb-Sr 和 Ar-Ar 年代学及其氧同位素平衡之间的关系[J]. 高校地质学报, 9(2): 172 ~ 184.
- 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[J]. 地质科学, (增刊): 147 ~ 160.
- 韩以贵,李向辉,张世红,张元厚,陈福坤. 2007. 豫西祁雨沟金矿单颗粒和碎裂状黄铁矿 Rb-Sr 等时线定年[J]. 科学通报, 52(11): 1307 ~ 1311.
- 华仁民,李晓峰,张开平,邱德同,杨凤根. 2002. 江西金山金矿成矿过程流体作用地球化学特征[J]. 南京大学学报, 38(3): 408 ~ 417.
- 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[J]. 地质找矿论丛, 5(2): 29 ~ 39.
- 季峻峰,刘英俊,孙承轅,邱德同,郑晴. 1994b. 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[J]. 地球化学, 23(3): 226 ~ 234.
- 季峻峰,孙承轅,郑晴. 1994a. 江西金山韧性剪切带型金矿床中含金石英脉的成矿特征[J]. 地质论评, 40(4): 361 ~ 366.
- 李培铮,吴延之,刘继顺,徐霭君. 1994. 江西金山超大型金矿床成矿构造分析[J]. 矿床地质, 13(增刊): 47 ~ 48.
- 李晓峰,华仁民,毛景文. 2002a. 江西金山金矿成矿物质来源的铂族元素证据[J]. 地质与勘探, 38(6): 13 ~ 16.
- 李晓峰,华仁民,杨凤根,高剑峰. 2002b. 金山金矿 K-Ar 年龄及其对赣东北构造演化的指示意义[J]. 岩石矿物学杂志, 21(1): 49 ~ 54.
- 梁湘辉. 1997. 江西德兴金山金矿成矿机理探讨[J]. 有色金属矿产与勘查, 6(1): 16 ~ 23.
- 梁毓彦. 1995. 江西金山金矿床及成因探讨[J]. 14(1): 70 ~ 74.
- 刘英俊,沙鹏,朱恺军. 1989. 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, 9(2): 115 ~ 126.
- 毛光周,华仁民,高剑峰,赵葵东,龙光明,陆慧娟,姚军明. 2006. 江西金山金矿床含金黄铁矿的稀土元素和微量元素特征[J]. 矿床地质, 25(4): 412 ~ 426.
- 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——来自石英流体包裹体 Rb-Sr 年龄的证据[J]. 地质学报, 82(4): 532 ~ 539.
- 毛景文,王志良. 2000. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨[J]. 矿床地质, 19(4): 289 ~ 296.
- 彭建堂,胡瑞忠,苏文超. 2000. 扬子地块南缘锑矿床中矿石铅的组成及其地质意义[J]. 地质地球化学, 28(4): 43 ~ 47.
- 濮巍,高剑峰,赵葵东,凌洪飞,蒋少涌. 2005. 利用 DCTA 和 HIBA 快速有效分离 Rb-Sr, Sm-Nd 的方法[J]. 南京大学学报(自然科学), 41(4): 445 ~ 450.
- 濮巍,赵葵东,凌洪飞,蒋少涌. 2004. 新一代高精度高灵敏度的表面热电离质谱仪(Triton Ti)的 Nd 同位素测定[J]. 地球学报, 25(2): 271 ~ 274.
- 石玉若,张宗清,刘敦一,唐索寒,王进辉,刘涛. 2005. 湖北省随州杨家棚地区辉长岩 Rb-Sr 同位素年龄[J]. 地球学报, 26(6): 521 ~ 524.
- 谭铁龙,范永香,曾键年. 1997. 赣东北超大型金山金矿床的成矿地质条件和找矿远景分析[J]. 地质地球化学, 25(2): 1 ~ 8.
- 王可勇,梁毓彦,卢作祥. 1999. 江西金山金矿床地质特征及矿床成因探讨[J]. 地质与勘探, 35(2): 17 ~ 20.
- 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[J]. 地球化学, 28(1): 10 ~ 17.
- 王燕,曹新志,王可勇. 1993. 江西的一种新类型金矿——金山式剪切带型金矿床的成矿地质特征[J]. 黄金科学技术, 1(3): 20 ~ 26.
- 王燕,曹新志,王可勇. 1995. 江西金山式金矿床地质特征成矿控制因素及成矿模式探讨[J]. 广东有色金属地质, (1): 7 ~ 16.
- 王义文. 1984. 夹皮沟金矿床同位素地质学研究[J]. 地球科学, 9(4): 25 ~ 36.
- 韦星林. 1995a. 金山金矿田地质特征及成矿地质作用[J]. 矿产与地质, 9(6): 471 ~ 480.
- 韦星林. 1995b. 金山金矿田发现发展过程及其找矿前景[J]. 有色金属矿产与勘查, 4(5): 283 ~ 289.
- 韦星林. 1996. 江西金山韧性剪切带型金矿地质特征[J]. 江西地质, 10(1): 52 ~ 64.
- 吴珍汉,胡道功,刘琦胜,叶培盛,吴中海. 2005. 念青唐古拉花岗岩热演化历史和山脉隆升过程的热年代学分析[J]. 地球学报, 26(6): 505 ~ 512.
- 伍勤生,刘青莲. 1989. 金山成矿年龄测定及矿床成因探讨[G]. 第四届全国同位素地质年代和同位素地球化学讨论会论文(摘要)汇编.
- 肖勇. 1990. 江西德兴县金山矿床成矿地质特征及矿床成因探讨[J]. 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[J]. 矿产与地质, 15(增刊): 424 ~ 430.
- 徐备,乔广生. 1989. 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(地球科学), 25(3): 108 ~ 114.
- 杨进辉,周新华. 2000. 胶东地区玲珑金矿矿石和载金矿物 Rb-Sr 等时线年龄与成矿时代[J]. 科学通报, 45(14): 1547 ~ 1552.
- 姚春亮,陆建军,孙信牙,戴犹芳,钱鹏. 2005. 江西德兴斑岩铀矿两期石英脉的地球化学对比[J]. 地球化学, 34(4): 357 ~ 365.
- 姚军明,华仁民,林锦富. 2006. 湘南宝山矿床 REE、Pb-S 同位素地球化学及黄铁矿 Rb-Sr 同位素定年[J]. 地质学报, 80(7): 1045 ~ 1054.
- 曾键年,范永香,林卫兵. 2002a. 江西金山金矿床成矿物质来源的铅和硫同位素示踪[J]. 现代地质, 16(2): 170 ~ 176.
- 曾键年,范永香,谭铁龙. 1998. 江西金山金矿床构造控矿特征[J]. 地质与勘探, 34(1): 1 ~ 6.

- 曾键年,林卫兵,范永香. 2002b. 江西金山金矿床成矿地球化学特征[J]. 地质地球化学, 30(4): 26~33.
- 曾祥福. 1991. 德兴金山金矿床成因探讨[J]. 江西地质科技, 18(2): 63~71.
- 张金春. 1994. 江西金山韧性剪切带型金矿成矿地球化学研究[D]. 南京: 南京大学硕士论文.
- 张文淮, 张志坚, 伍刚. 1996. 成矿流体及成矿机制[J]. 地学前缘, (3): 245~252.
- 赵葵东, 蒋少涌. 2004. 金属矿床的同位素直接定年方法[J]. 地学前缘, 11(2): 425~434.
- 朱炳泉等. 1998. 地球科学中同位素体系理论与应用——兼论中国大陆壳幔演化[M]. 北京: 科学出版社.
- 朱恺军, 范宏瑞. 1991a. 金山金矿的地质特征和形成条件[J]. 地质找矿论丛, 6(2): 177~185.
- 朱恺军, 范宏瑞. 1991b. 江西金山金矿床层控成因的地质地球化学证据[J]. 地质找矿论丛, 6(4): 18~27.
- 朱训, 黄崇轲, 芮宗瑶, 周耀华, 朱贤甲, 胡宗声, 梅占魁. 1983. 德兴斑岩铜矿[M]. 北京: 地质出版社.

References

- CHEN Jiangfeng, XIE Zhi, ZHENG Yongfei, GONG Bing, CHEN Wen, ZHOU Taixi, ZHANG Xun. 2003. The relation between Rb-Sr, ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronometers and oxygen isotopic equilibrium of intrusions from eastern Anhui province, China[J]. Geol. J. China Univ., 9(2): 172~184 (in Chinese with English abstract).
- FAN Hongrui, LI Zhaolin. 1992. Geological characteristics, physico-chemical conditions and source materials for mineralization of the Jinshan gold deposit[J]. Scientia Geologica Sinica, (supp.): 147~160 (in Chinese with English abstract).
- FAURE G. 1986. Principles of Isotope Geology[M]. John Wiley & Sons (2nd edition), 183~199.
- HAN Yigui, LI Xianghui, ZHANG Shihong, ZHANG Yuanhou, CHEN Fukun. 2007. Single grain Rb-Sr dating of euhedral and cataclastic pyrite from the Qiyugou gold deposit in western Henan, central China[J]. Chinese Science Bulletin, 52(11): 1307~1311 (in Chinese).
- HUA Renmin, LI Xiaofeng, ZHANG Kaiping, QIU Detong, YANG Fenggen. 2002. Geochemical features of ore-forming fluid in the Jinshan gold deposit, Jiangxi[J]. Journal of Nanjing University, 38(3): 408~417 (in Chinese with English abstract).
- HUANG Hongli, YANG Wensi. 1990. Geological characteristics and genesis of Jinshan gold deposit in the northeastern Jiangxi province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 5(2): 29~39 (in Chinese).
- JI Junfeng, LIU Yingjun, SUN Chengyuan, QIU Detong, ZHENG Qing. 1994b. Geochemical characteristics of two types of ores from Jinshan shear zone-hosted gold deposit, Jiangxi—with discussion on genesis of two-stage mineralization[J]. Geochimica, 23(3): 226~234 (in Chinese with English abstract).
- JI Junfeng, SUN Chengyuan, ZHENG Qing. 1994a. The metallogenetic characteristics of auriferous quartz veins in the Jinshan shear zone type gold deposit, Jiangxi province[J]. Geological Review, 40(4): 361~367 (in Chinese with English abstract).
- LI Peizheng, WU Yanzhi, LIU Jishun, XU Aijun. 1994. On the Ore-forming Construct of Jinshan Superlarge Gold Deposit in Northeast Jiangxi, South China[J]. Mineral Deposits, 13(Supp.): 47~48 (in Chinese).
- LI Xiaofeng, HUA Renmin, MAO Jingwen. 2002. The platinum group elements evidence for origin of ore-forming mass in Jinshan gold deposit, Jiangxi province[J]. Geology and Prospecting, 38(6): 13~16 (in Chinese with English abstract).
- LI Xiaofeng, HUA Renmin, YANG Fenggen, GAO Jianfeng. 2002b. K-Ar age of illite in Jinshan gold deposit and its implication to the tectonic evolution of northeastern Jiangxi Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 21(1): 49~54 (in Chinese with English abstract).
- LIANG Xianghui. 1997. Metallogenic mechanism of the Jinshan gold deposit in the Dexing area, Jiangxi province[J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 6(1): 16~23 (in Chinese with English abstract).
- LIANG Yuliu. 1995. The characteristics of tectonic ore-control of Jinshan gold deposit, Jiangxi province[J]. Gold, 14(1): 70~74 (in Chinese with English abstract).
- LIU Yingjun, SHA Peng, ZHU Kaijun. 1989. The study on geochemistry of the gold-bearing formation of middle Proterozoic shuangqiaoshan group in Dexing district, Jiangxi[J]. Journal of Guilin College of Geology, 9(2): 115~126 (in Chinese with English abstract).
- LUDWING K R. 2001. ISOPLOT/Ex. Version 2.49. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley Geochronology Center, 1~20.
- MAO Guangzhou, HUA Renmin, GAO Jianfeng, ZHAO Kuidong, LONG Guangming, LU Huijuan, YAO Junming. 2006. REE composition and trace element features of gold-bearing pyrite in Jinshan gold deposit, Jiangxi Province[J]. Mineral Deposits, 25(4): 412~426 (in Chinese with English abstract).
- MAO Guangzhou, HUA Renmin, LONG Guangming, LU Huijuan. 2008. Discussion on the mineralogenetic epoch of the Jinshan gold deposit, Jiangxi province—based on the quartz fluids inclusion Rb-Sr dating[J]. Acta Geologica Sinica, 82(4): 532~539 (in Chinese with English abstract).
- MAO Jingwen, WANG Zhiliang. 2000. A preliminary study on time limits and geodynamic setting of large-scale metallogeny in east China[J]. Mineral Deposits, 19(4): 289~296 (in Chinese with English abstract).
- PENG Jiantang, HU Ruizhong, SU Wenchao. 2000. Lead isotopic composition of ores in the antimony deposits at the southern margin of the Yangtze massif and its geological implications[J]. Geology-Geochemistry, 28(4): 43~47 (in Chinese with English abstract).
- PU Wei, GAO Jianfeng, ZHAO Kuidong, LING Hongfei, JIANG Shaoyong. 2005. Separation Method of Rb-Sr, Sm-Nd Using DC-TA and HIBA[J]. Journal of Nanjing University, 41(4): 445~450 (in Chinese with English abstract).
- PU Wei, ZHAO Kuidong, LING Hongfei, JIANG Shaoyong. 2004. High Precision Nd Isotope Measurement by Triton TI Mass Spectrometry[J]. Acta Geoscientia Sinica, 25(2): 271~274 (in Chinese with English abstract).
- SHI Yuruo, ZHANG Zongqing, LIU Dunyi, TANG Suohan, WANG Jin-

- hui, LIU Tao. 2005. Rb-Sr isotope dating of gabbro from Yangjiapeng area in Suizhou, Hubei province[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 26(6): 521~524 (in Chinese with English abstract).
- TAN Tielong, FAN Yongxiang, ZENG Jiannian. 2007. An analysis of geological conditions of metallogenesis of and prospect for super-large gold deposit in Jinshan, NE Jiangxi, eastern China[J]. *Geology-Geochemistry*, 25(2): 1~8 (in Chinese with English abstract).
- WANG Keyong, LIANG Yuli, LU Zuoxiang. 1999b. Geology and origin of the Jinshan gold deposit in Jiangxi and discussion on its genesis[J]. *Geology and Prospecting*, 35(2): 17~20 (in Chinese with English abstract).
- WANG Xiuzhang, SHAN Qiang, LIANG Huaying, CHENG Jingping, XIA Ping. 1999. Metallogenic age and genesis of Jinshan gold deposit, Jiangxi Province, China[J]. *Geochimica*, 28(1): 10~17 (in Chinese with English abstract).
- WANG Yan, CAO Xinzh, WANG Keyong. 1993. A new type gold deposit in Jiangxi-geological characteristics of mineralization in Jinshan ductile shear zone-type gold deposit[J]. *Gold Science and Technology*, 1(3): 20~26 (in Chinese).
- WANG Yiwen. 1984. A study of isotopic geology of Jiapigou gold deposits[J]. *Earth Science*, 9(4): 25~36 (in Chinese with English abstract).
- WEI Xinglin. 1995a. The geological characteristics and geological metallogenesis of Jinshan gold fields[J]. *Mineral Resources and Geology*, 9(6): 471~480 (in Chinese).
- WEI Xinglin. 1995b. Exploration History and Potential Prospect of the Jinshan Gold Field[J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 4(5): 283~289 (in Chinese with English abstract).
- WEI Xinglin. 1996. The geological characteristics of Jinshan ductile shear zone-type gold deposit in Jiangxi[J]. *Geology of Jiangxi*, 10(1): 52~64 (in Chinese with English abstract).
- WU Qinsheng, LIU Qinglian. 1989. Metallogenic age determine and discussion on ore-deposit genesis of Jinshan gold deposit[C]. Article (abstract) corpus of the 4th national isotope geology ages and isotope geochemistry forum (in Chinese).
- WU Zhenhan, HU Daogong, LIU Qisheng, YE Peisheng, WU Zhonghai. 2005. Chronological analyses of the thermal evolution of granite and the uplift process of the Nyainqentanglha range in central Tibet[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 26(6): 505~512 (in Chinese with English abstract).
- XIAO Yong. 1990. A discussion on the geological-metallogenic and genesis of Jinshan gold deposit, Dexing county, Jiangxi province[J]. *Geology of Jiangxi*, 4(3): 247~261 (in Chinese with English abstract).
- XIAO Yong. 2001. Brittle-ductile shear zone in Jinshan gold field and its ore-forming model[J]. *Mineral Resources and Geology*, 15(supplement): 424~430 (in Chinese with English abstract).
- XU Bei, QIAO Guangsheng. 1989. The Sm-Nd isotope age and original tectonic environment of NE Jiangxi Neo-proterozoic ophiolite suite [J]. *J. Nanjing Univ.*, 25(3): 108~144 (in Chinese).
- YANG Jinhui, ZHOU Xinhua. 2000. Rb-Sr isochronic age and metallogenic age of ore minerals and pyrites of the Linglong gold deposits, Jiaodong area [J]. *Chinese Science Bulletin*, 45(14): 1547~1552 (in Chinese).
- YANG Jinhui, ZHOU Xinhua. 2001. Rb-Sr, Sm-Nd and Pb isotope system of pyrite: Implications for the age and genesis of lode gold deposits[J]. *Geology*, 29: 711~714.
- YAO Chunliang, LU Jianjun, SUN Xinya, DAI Youfang, QIAN Peng. 2005. Geochemical difference between quartz veins of two generations at the Tongchang Porphyry copper deposit, Jiangxi Province [J]. *Geochimica*, 34(4): 357~368 (in Chinese with English abstract).
- YAO Junming, HUA Renmin, LIN Jinfu. 2006. REE, Pb-S isotope geochemistry, and Rb-Sr isochron age of pyrites in the Baoshan deposit, south Hunan province, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(7): 1045~1054 (in Chinese with English abstract).
- ZARTMAN R E, DOE B R. 1981. Plumb tectonics-The model[J]. *Tectonophys*, 75: 135~162.
- ZENG Jiannian, FAN Yongxiang, LIN Weibing. 2002a. The Lead and Sulfur Isotopic Tracing of the Source of Ore-forming Material in Jinshan Gold Deposit in Jiangxi Province [J]. *Geoscience*, 16(2): 170~176 (in Chinese with English abstract).
- ZENG Jiannian, FAN Yongxiang, TAN Tielong. 1998. Structural ore-control characteristics of Jinshan gold deposit in Jiangxi province [J]. *Geology and Prospecting*, 34(1): 1~6 (in Chinese with English abstract).
- ZENG Jiannian, LIN Weibing, FAN Yongxiang. 2002b. A study of metallogeno-geochemical characteristics of Jinshan gold deposit, Jiangxi province [J]. *Geology-Geochemistry*, 30(4): 26~33 (in Chinese with English abstract).
- ZENG Xiangfu. 1991. Discussions on the genesis of Jinshan gold deposit, Dexing [J]. *Science and Technology of Jiangxi Geology*, 18(2): 63~71 (in Chinese).
- ZHANG Jinchun. 1994. Study on mineralization geochemistry of Jinshan ductile shear zone-type gold deposit in Jiangxi (dissertation for master degree) [D]. Supervisor: Sun C Y. Nanjin: Nanjing University (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Wenhui, ZHANG Zhijian, WU Gang. 1996. Ore-forming fluid and mineralization mechanism[J]. *Earth Science Frontiers*, 3(3-4): 245~252 (in Chinese with English abstract).
- ZHAO Kuidong, JIANG Shaoyong. 2004. Direct Isotope Dating for Metallic Ore Deposits[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(2): 425~434 (in Chinese with English abstract).
- ZHU Kaijun, FAN Hongrui. 1991a. Geological features and the conditions for formation of Jinshan gold deposit [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 6(2): 177~185 (in Chinese).
- ZHU Kaijun, FAN Hongrui. 1991b. Geological and geochemical evidences for stratabound genesis of Jinshan gold deposit in Jiangxi province [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 6(4): 18~27 (in Chinese with English abstract).
- ZHU Xun, HUANG Chongke, RUI Zongyao, ZHOU Yaohua, ZHU Xianjia, HU Zongsheng, MEI Zhankui. 1983. The geology of Dexing porphyry copper ore field [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English summary).