

湘东北地区金矿成矿时代研究*

韩凤彬^{1,3}, 常亮², 蔡明海³, 刘孙泱², 张诗启³, 陈艳³, 彭振安³, 徐明³

(1 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2 湖南省有色地质勘查研究院, 湖南长沙 410007;
3 广西大学资源与冶金学院, 广西南宁 530004)

摘要 产于中元古界冷家溪群浅变质碎屑岩中的一系列金矿床是湘东北地区主要金矿床类型。早期研究者认为该类金矿床的成矿时代属加里东期或燕山期, 但均没有高质量的测年数据支持。笔者对湘东北地区黄金洞、万古、团山背3个典型金矿床开展了石英流体包裹体 Rb-Sr 同位素测年工作, 获得黄金洞、万古和团山背3个金矿床 Rb-Sr 等时线年龄, 分别为 $(462 \pm 18) \text{ Ma}$ (MSWD=1.6), $(425 \pm 33) \text{ Ma}$ (MSWD=0.14) 和 $(222.4 \pm 9.4) \text{ Ma}$ (MSWD=2.6), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值分别为 (0.7589 ± 0.0005) , (0.7517 ± 0.0004) 和 (0.7335 ± 0.0009) 。测年结果表明, 湘东北地区金成矿主要发生在加里东期, 并存在印支期金成矿作用。此外, 湘东北地区与湘西地区金矿床成矿时代具有一致性, 均集中于加里东期和印支期, 是江南古陆上金矿床成矿的两个主要时期。

关键词 地球化学; Rb-Sr 测年; 黄金洞金矿床; 万古金矿床; 团山背金矿床; 湘东北地区
中图分类号 : P618.51 **文献标志码** : A

Ore-forming epoch of gold deposits in northeastern Hunan

HAN FengBin^{1,3}, CHANG Liang², CAI MingHai³, LIU SunYang², ZHANG ShiQi³, CHEN Yan³,
PENG ZhenAn³ and XU Ming³

(1 Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100081, China; 2 Hunan Geological & Mining Institute for Non-Ferrous Metals, Changsha 410007, Hunan, China; 3 College of Resources and Metallurgy, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

Abstract

Gold deposits in northeastern Hunan are mainly hosted in epimetamorphic clastic rocks of Middle Proterozoic Lengjiaxi Group. It was thought by some earlier researchers that gold mineralization took place in Caledonian or Yanshanian epoch, which, however, was not supported by high-quality age data. In this paper, the Rb-Sr isochron of fluid inclusions trapped in quartz was used to date the ore-forming epochs of gold deposits. The Huangjindong, Wangu and Tuanshanbei gold deposits are dated at $(462 \pm 18) \text{ Ma}$ (MSWD=1.6), $(425 \pm 33) \text{ Ma}$ (MSWD=0.14) and $(222.4 \pm 9.4) \text{ Ma}$ (MSWD=2.6) respectively, with $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ being (0.7589 ± 0.0005) , (0.7517 ± 0.0004) and (0.7335 ± 0.0009) . Dating results show that gold mineralization in northeastern Hunan mainly occurred in Caledonian, with Indosinian probably being the other metallogenic epoch. In addition, gold ore-forming epochs of western Hunan and northeastern Hunan were likely concentrated in Caledonian and Indosinian, implying that Caledonian and Indosinian were the two main ore-forming epochs in Jiangnan

* 本文得到湖南省国土资源厅“湘东北地区成矿规律及靶区优选研究”项目(200703040)和全国危机矿山接替资源找矿项目(20089950)的联合资助

第一作者简介 韩凤彬,男,1981年生,博士研究生,主要从事矿床学和构造地质学研究。Email: hiclei@126.com

收稿日期 2009-10-29; 改回日期 2009-12-28。李德先编辑。

terrain.

Key words: geochemistry, Rb-Sr dating, Huangjindong gold deposit, Wangu gold deposit, Tuanshanbei gold deposit, northeastern Hunan Province

湘东北地区是湖南省重要的产金基地之一,区内金矿床主要产于中元古界冷家溪群(Pt_2ln)一套浅变质碎屑岩中,金矿床类型以石英脉型和破碎蚀变岩型为主,断裂构造及韧性剪切带为主要控矿因素。前人对区内金矿床地球化学特征及矿床成因等进行了比较详细的研究(刘荫椿,1989;罗献林,1988;1990;刘英俊等,1991a;1991b;马东升,1991;张乾等,1992;柳德荣等,1994),认为区内金成矿物质主要来源于冷家溪群,成矿与变质作用和构造作用密切相关。毛景文等(1997)、贺转利等(2004)和袁陵等(2008)研究提出,区内金成矿物质不仅来源于冷家溪群,也来自深部岩浆。刘荫椿(1989)、罗献林(1988;1989)、张景荣等(1989)、胡瑞英等(1995)、罗晓滨等^①、毛景文等(1997)和董国军等(2008)对区内金成矿时代进行了讨论,分别得出了雪峰-加里东期和燕山期成矿的不同认识。由于缺少更多的测年数据支撑,区内金成矿时代尚不明确,制约了对区内金成矿规律认识的深化及找矿方向的判断。为此,本文运用石英流体包裹体 Rb-Sr 法开展了湘东北地区黄金洞、万古、团山背等典型金矿床的成矿年代学研究。

1 区域地质背景

湘东北地区位于扬子板块东南缘江南古陆中段(图1)。受扬子板块与华夏板块相互作用及深部岩石圈作用影响,区内经历了多期次构造活动,形成了复杂的构造格局,并导致了大范围花岗岩侵位以及以金、铜为主的大规模多金属成矿作用。

区内地层从中元古界冷家溪群到第四系均有出露,但以冷家溪群和白垩系分布最广。其中,中元古界冷家溪群和新元古界板溪群两套浅变质岩系组成区内变质褶皱基底;震旦纪至中生代早期主要为海相沉积;中-新生代则以陆相沉积为主(湖南省地质矿产局,1988)。中元古界冷家溪群为区内金矿床主要赋矿层位。

区内褶皱和断裂构造发育,构造线方向以近EW向和NE向为主。近EW向构造是区内武陵-雪峰构造层和加里东构造层的主体构造,由一系列紧闭褶皱、倒转褶皱、断裂及韧性剪切带等组成。NE向构造是中新生代以来形成的盖层构造,由一系列断裂组成,形成了区内典型的盆岭构造(李鹏春,2006)。

湘东北地区岩浆岩发育,共有大小岩体360多个,占区内总面积的13%,活动期次多,尤以燕山期中酸性-酸性岩浆活动最为强烈,加里东期次之。基性-超基性侵入岩不发育,以辉绿岩脉为主。

2 典型金矿床地质特征

2.1 黄金洞金矿床

黄金洞金矿床位于研究区东北部,由金枚、金塘、杨山庄3个矿段组成(图2)。

矿区出露地层主要为中元古界冷家溪群第四岩组(Pt_2ln^4)第一段、第二段砂质板岩夹绢云母板岩,白垩系红色砂砾岩仅在西北角发育。矿区构造主要有近EW向褶皱和NWW-EW向、NE向断裂,其中NWW-EW向断裂为区内主要控矿构造。矿区内岩浆岩不发育,仅在东北部杨山庄矿段南约2 km处见规模极小的两条斜闪煌斑岩脉(罗献林,1988)。此外,矿区北约4 km处的团山咀一带有黑云母花岗岩小岩株出露(沈克富,2000)。

区内金矿脉产于EW-NWW断裂破碎带中,在空间上成群平行展布,由石英细脉和蚀变破碎板岩组成,产状与含矿破碎带一致,走向EW-NWW,大多数倾向北,倾角 $40\sim 75^\circ$,少数倾向南,倾角 $60\sim 75^\circ$ 。矿脉地表最大延长2 645 m(金塘3号脉),一般长十几米到300~400 m,倾向最大延深大于600 m(金塘1号脉)。矿体呈脉状、透镜状及不规则状,产状与断裂带一致,金平均品位 $4\sim 10\text{ g/t}$ 。

矿石以含金石英脉为主,局部地段含金蚀变破碎板岩具工业价值。黄铁矿、毒砂和石英是主要含

^① 罗晓滨,凌水成. 1996. 湘东(北)赣西有色金属贵金属成矿区带(湖南段)成矿背景、成矿规律和成矿预测研究报告. 湖南省有色地质勘查局.

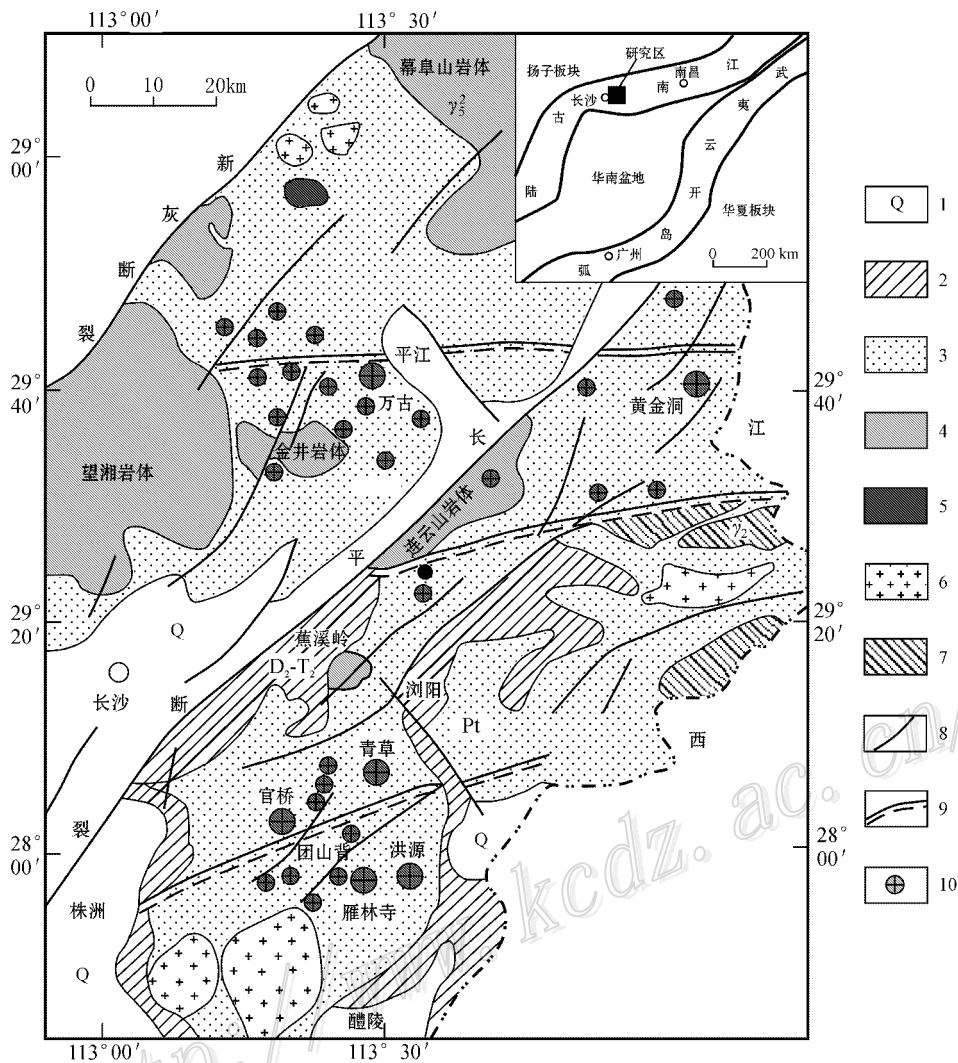


图 1 湘东北地区地质及金矿分布图(据罗晓滨等,1996^①修改)

1—第四系-白垩系;2—中泥盆统-中三叠统;3—元古界;4—燕山早期花岗岩;5—燕山晚期花岗岩;6—加里东期花岗岩;
7—元古代花岗岩;8—断裂;9—韧性剪切带;10—金矿

Fig. 1 Geological sketch map showing the distribution of gold deposits in northeastern Hunan(modified after Luo et al. , 1996)

1—Quaternary-Cretaceous ;2—Middle Devonian-Middle Triassic ;3—Proterozoic ;4—Early Yanshanian granite ;5—Late Yanshanian granite ;
6—Caledonian granite ;7—Proterozoic granite ;8—Fault ;9—Ductile shear zone ;10—Gold deposit

金矿物,另有少量自然金、黄铜矿,磁黄铁矿、辉锑矿、白钨矿、方铅矿和闪锌矿等。矿石含金稳定,为 Au-As 组合,局部地段含钨较高。脉石矿物以石英和绢云母为主,方解石、白云石、绿泥石次之。金以可见金(粒度>50 μm)和显微金(粒度<50 μm)等自然金形式存在。可见金呈粒状、片状、树枝状及薄膜状分布于石英间隙、裂隙及蚀变破碎板岩裂隙中;显微金分布于毒砂、黄铁矿及石英中。

围岩蚀变限于破碎带两侧,与围岩呈渐变过渡关系,向围岩方向逐渐减弱。蚀变类型有硅化、毒砂化、黄铁矿化、碳酸盐化和绿泥石化。其中,碳酸盐化和绿泥石化主要限于破碎带内,硅化、绢云母化和毒砂-黄铁矿化范围相对较广,与金矿化关系密切。

2.2 万古金矿床

万古金矿床位于研究区中偏北部,矿区出露地层简单,主要为冷家溪群第四岩组(P_{t2}ln⁴)第一段及

① 罗晓滨,凌水成. 1996. 湘东(北)赣西有色金属贵金属成矿区带(湖南段)成矿背景、成矿规律和成矿预测报告. 湖南省有色地质勘查局.

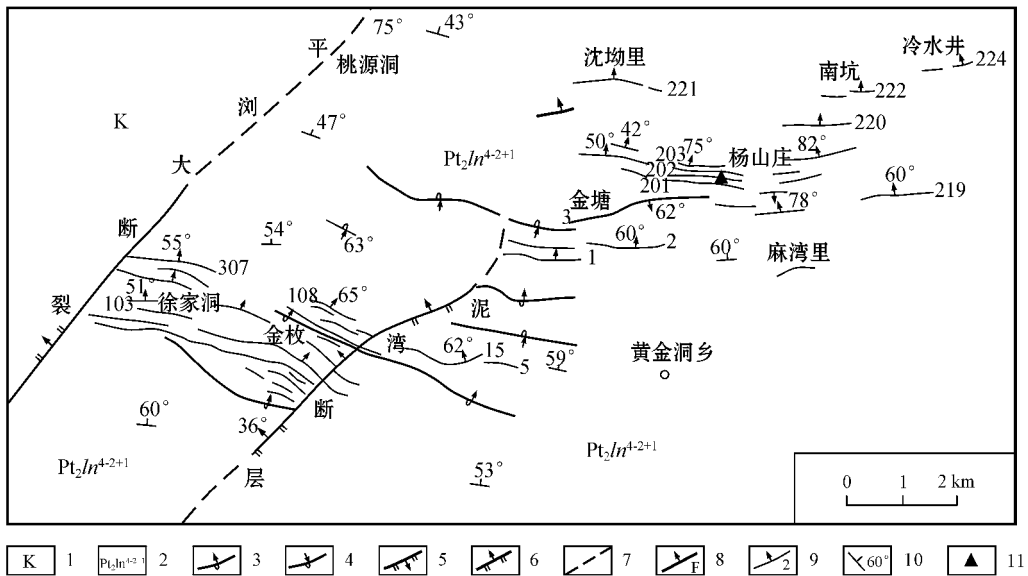


图 2 黄金洞金矿地质图(据罗献林,1988 修改)

1—白垩系砂砾岩;2—冷家溪群第四岩组第一、第二段板岩夹绢云母板岩;3—倒转背斜;4—倒转向斜;5—正断层;6—逆断层;
7—推测断层;8—性质不明断层;9—矿脉及其编号;10—岩层产状;11—Rb-Sr 测年采样位置

Fig. 2 Geological map of the Huangjindong gold deposit (modified after Luo, 1988)

1—Cretaceous sandstone and conglomerate; 2—1st and 2nd Member of 4th Formation of Lengjiaxi Group: sandy slate and sericite slate;
3—Overtum anticline; 4—Overtum syncline; 5—Normal fault; 6—Thrust fault; 7—Speculated fault; 8—Unknown nature fault;
9—Ore vein and its dip angle and its serial number; 10—Attitude of strata; 11—Rb-Sr sample location

第二段浅变质碎屑岩,岩性以砂质板岩和绢云母板岩为主。矿区内无岩浆岩产出(图3)。区内褶皱不发育,构造以断裂为主。断裂构造主要有 NWW 向和 NE 向 2 组,均具多期次活动特征,其中 NWW 向断裂发育较早,与矿化关系密切。NWW 向断裂总体走向与地层走向基本一致,倾向 NE,为区内主要控矿构造,严格控制了本区含金石英脉和含金蚀变破碎板岩的产出。NE 向断裂构造大致呈等距分布,分别于不同部位切割了 NWW 向断裂,对矿脉有一定的破坏作用,属成矿期后断裂构造。

万古金矿含金矿脉由含金石英脉和含金蚀变破碎板岩组成,切穿或平行地层产出,地表延长 350~1 420 m,倾斜最大延深 400 m 以上,走向 NWW、倾向 NE,倾角 25~82°。矿体多呈似层状、透镜状产出,走向长 30~400 m,厚 0.41~6.43 m,最大倾向延深 300 m。矿石平均金品位 w_{Au} 3~17.12 g/t。

万古金矿金属矿物主要有黄铁矿、毒砂、自然金、银金矿、赤铁矿、方铅矿、铁闪锌矿、黄铜矿等;非金属矿物主要为石英、绢云母、绿泥石等。区内矿石类型可分为破碎蚀变板岩型、石英脉型和构造角砾岩型 3 种,其中以石英脉型矿石为主。成矿元素在空间上分布为矿化中心处以 Au(As)为主,向外侧 Sb

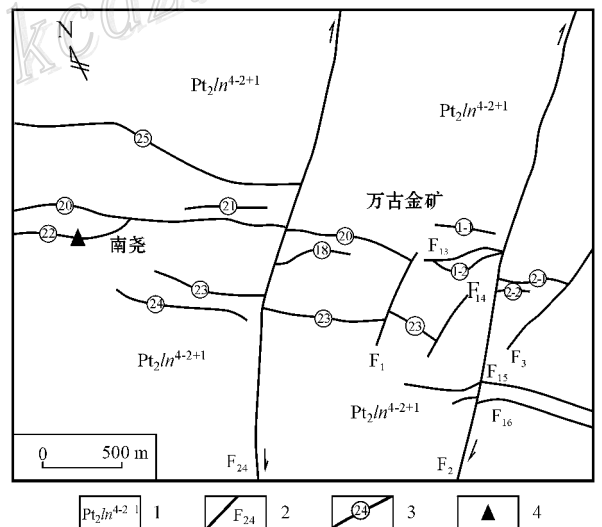


图 3 万古金矿地质图(据肖拥军等,2007 改编)

1—冷家溪群第四岩组第一、第二段;2—断裂;3—含金矿脉;
4—Rb-Sr 测年采样位置

Fig. 3 Geological map of the Wangu gold deposit (modified after Xiao et al., 2007)

1—1st and 2nd Member of 4th Formation of Lengjiaxi Group;
2—Fault; 3—Gold ore vein; 4—Rb-Sr sample location

为主要成矿元素,构成了从中心向外 Au→Au、Sb 矿化的分带性(毛景文等,1997)。

区内矿石结构主要有角砾状结构、破碎结构、镶

嵌结构和显微鳞片变晶结构。矿石构造主要为角砾状构造、块状构造、条带状构造,其次为网脉状构造、蜂窝状构造及晶洞构造等。

区内围岩蚀变仅限于含矿构造破碎带及其两侧,蚀变类型主要有硅化、褐铁矿化、黄铁矿化、毒砂化、绢云母化,部分围岩具褪色化现象。金矿化与硅化、黄铁矿化、毒砂化关系密切。

2.3 团山背金矿床

团山背金矿床位于研究区南部,矿区出露地层主要为中元古界冷家溪群第三岩组(Pt_2ln^3)岩性为砂质板岩、板岩和砂岩。区内断裂构造主要有EW向、NW向和NE向3组,其中NE向和EW向断裂以韧性剪切带为特征,NW向断裂在地表特征不明显,为隐伏构造,控制了中基性辉绿岩脉和花岗闪长岩体产出。区内岩浆活动频繁,花岗闪长岩枝及辉绿岩脉广泛出露,另见花岗斑岩小岩体。

韧性剪切带为区内重要的容矿构造,矿区半数

以上矿脉都产于韧性剪切带中(图4)。全区共圈定6条剪切带,其走向延长420~800 m,宽20~270 m,产状 $315\sim 15^\circ\angle 21\sim 85^\circ$ 。区内金矿体品位较富(平均 10.06 g/t),但规模不大(长100~210 m,厚1.12~3.76 m)。成矿元素组合为Au-As组合。

团山背矿区金矿石可分为蚀变岩型和石英脉型2种类型,以后者为主。蚀变岩型矿石由褪色蚀变的粉砂质板岩和绢英岩化的花岗闪长岩组成,夹少量的微细石英脉;石英脉型矿石以石英微细脉为主,夹少量的矿化蚀变围岩。矿石中有用组分为Au,主要以自然金形式存在,多产于石英、黄铁矿、毒砂晶隙间。主要金属矿物为黄铁矿、毒砂、自然金及少量的方铅矿、闪锌矿和黄铜矿等;非金属矿物有石英、绢云母、绿泥石、方解石等。矿石的结构主要为半自形-自形粒状结构、他形粒状结构、交代结构等,矿石的构造主要有浸染状、微层状和块状构造。

近矿围岩蚀变主要有硅化、褪色化及绢英岩化、

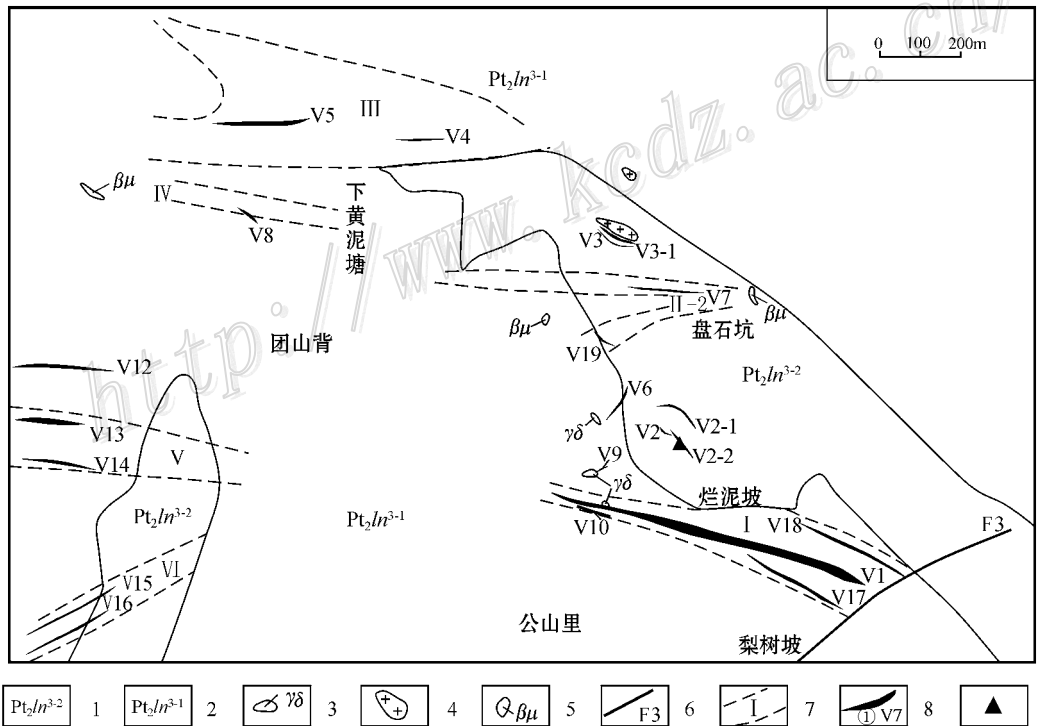


图 4 团山背金矿地质图(据罗晓滨等,1996^①改编)

1—冷家溪群第三岩组第二段;2—冷家溪群第三岩组第一段;3—花岗斑岩;4—花岗闪长岩;5—辉绿岩;6—断裂;7—剪切带;
8—含金矿脉及其编号;9—Rb-Sr 测年采样位置

Fig. 4 Geological map of the Tuanshanbei gold deposit(modified after Luo et al., 1996)

1—2nd Member of 3rd Formation of Lengjiaxi Group;2—1st Member of 3rd Formation of Lengjiaxi Group;3—Granite porphyry;
4—Granodiorite;5—Diabase;6—Fault;7—Shear zone and its number;8—Gold vein and its serial number;9—Rb-Sr sample location

① 罗晓滨,凌水成. 1996. 湘东(北)赣西有色金属贵金属成矿区带(湖南段)成矿背景、成矿规律和成矿预测报告. 湖南省有色地质勘查局.

青磐岩化、黄铁矿化、毒砂化、碳酸盐化等。花岗闪长岩枝和花岗斑岩体与金矿化有关。

3 Rb-Sr 测年

3.1 样品采集及分析过程

黄金洞金矿 Rb-Sr 测年样品采自杨山庄矿段 240 中段 202 号矿脉(图 2),样品为含金石英脉,黄铁矿化强烈,其他硫化物少见。万古金矿 Rb-Sr 测年样品取自该矿区南尧矿段民窿中(图 3),样品为含金石英脉,黄铁矿化、毒砂化强烈。团山背金矿 Rb-Sr 测年样品取自 LD0701 坑道 V2-2 矿脉(图 4)。V2-2 矿脉产于花岗闪长岩中,见硅化、黄铁矿化和碳酸盐化。

对野外采集的矿石样品,在矿物学研究的基础上,破碎至 40~80 目,在双目显微镜下从中挑选出纯净的石英(99%以上),取 5~10 g 作为 Rb-Sr 测年样品。

石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄测定方法采用李华芹等(1998)所报道的流程。同位素分析在中国地质调查局宜昌地质矿产研究所同位素实验室的 MA T2261 可调多接受固体质谱计上完成。分析过程中采用国际标准样品 NBS-987 监控仪器工作状态,用国家一级标准物质 GBW-04411 监控分析流程。上述标准物质的测定值分别为: NBS-987: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为

$0.71025 \pm 0.00006 (2\sigma)$; GB W0411: $\omega(\text{Rb})$ 为 249.08×10^{-6} , $\omega(\text{Sr})$ 为 158.39×10^{-6} , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 $0.76006 \pm 0.00015 (2\sigma)$ 。

全部化学操作过程均在净化实验室净化工作柜内进行,使用的器皿由氟塑料、石英或铂金制成。所用试剂为高纯试剂经亚沸蒸馏器蒸馏,其 Rb、Sr 空白为 $10^{-11} \sim 10^{-12}$ g/g。高纯水由 Mil-li-Q 水纯化系统纯化,其 Rb、Sr 空白为 10^{-12} g/g;与样品同时测定的全流程空白都在 0.3 ng 左右。当样品 Rb、Sr 含量低于 10^{-6} 时,均作了空白校正。

3.2 测试结果

黄金洞、万古和团山背金矿含金石英脉 Rb-Sr 测试结果见表 1。

等时线年龄计算采用 Ludwig 的 ISOPLOT (2008)软件, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 输入误差分别为 3%、0.02%, 获得黄金洞、万古和团山背 3 个金矿床 Rb-Sr 等时线年龄分别为 $(462 \pm 18) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 1.6$)、 $(425 \pm 33) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.14$) 和 $(222.4 \pm 9.4) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 2.6$), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值分别为 (0.75891 ± 0.00050) 、 (0.75169 ± 0.00044) 和 (0.73354 ± 0.00093) (图 5)。

石英矿物因其本身具有良好的机械强度、高的化学纯度、较好的热稳定性和后生变化微弱等特点,是 Rb-Sr 测年方法直接测定成矿作用时代的理想矿物(李华芹等,1993)。Rb、Sr 在石英矿物中主要赋存于

表 1 湘东北地区三个金矿床 Rb-Sr 同位素组成					
Table 1 Rb-Sr isotopic components of three gold deposit in northeastern Hunan					
矿床名称及样品号	样品名称	$\omega(\text{Rb})/10^{-6}$	$\omega(\text{Sr})/10^{-6}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}(\pm 2\sigma)$
黄金洞金矿床					
H1	石英	0.07441	1.14700	0.18800	0.75988 ± 0.00007
H3	石英	0.36370	0.75240	1.40200	0.76831 ± 0.00003
H5	石英	0.89350	1.08300	2.39500	0.77495 ± 0.00002
H3-1	石英	0.41720	0.75740	1.59800	0.76969 ± 0.00010
H5-1	石英	1.18500	1.12900	3.04800	0.77859 ± 0.00004
万古金矿床					
N4	石英	0.81980	0.97430	0.24370	0.75314 ± 0.00009
N7	石英	0.67720	1.30900	1.50000	0.76069 ± 0.00007
N3	石英	1.30100	3.13700	1.20200	0.75910 ± 0.00010
N4-1	石英	0.08865	0.97840	0.26240	0.75332 ± 0.00002
N5-1	石英	0.18350	0.71880	0.73940	0.75610 ± 0.00008
团山背金矿床					
T1	石英	1.20400	0.45350	7.69000	0.75774 ± 0.00004
T2	石英	1.42600	0.56960	7.25300	0.75630 ± 0.00007
T5	石英	0.55560	0.74650	2.15300	0.74008 ± 0.00002
T1-1	石英	1.45400	0.47680	8.83500	0.76128 ± 0.00020
T2-1	石英	2.00900	0.61530	9.46700	0.76392 ± 0.00004
T5-1	石英	0.55200	0.76490	2.08700	0.74053 ± 0.00003

测试单位:宜昌地质矿产研究所。

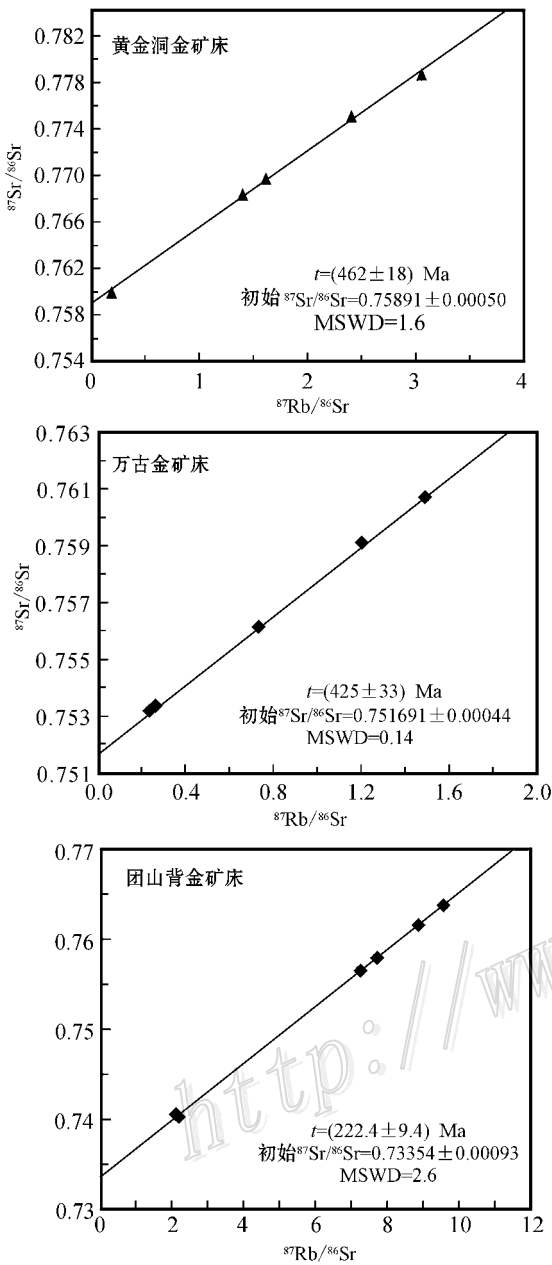


图 5 三个金矿床 Rb-Sr 等时线图

Fig. 5 Rb-Sr isochron diagram of three gold deposits

流体包裹体中。本次研究样品均为矿化阶段(主成矿阶段)形成的石英,显微镜下观察石英颗粒纯净,无解理、裂隙,具波状消光现象,表明样品没有受到后期构造-热事件的再改造,Rb、Sr 保持良好的封闭体系状态。在样品加工过程中首先将样品加热至 $120 \sim 180^\circ\text{C}$ 爆裂,去除次生包裹体及晚阶段包裹体的影响。因此,所测试的 Rb、Sr 值基本代表了主成矿阶段原生流体包裹体中 Rb、Sr 的含量。此外,测试结果也表明所研究样品的 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比

值有足够大的变化范围。上述特征说明本次所研究的样品能够满足 Rb-Sr 同位素地质测年的基本条件,所测的年龄值可以代表矿床的成矿年龄。

4 讨 论

对于湘东北地区金成矿时代,较早的研究主要是依据铅同位素模式年龄结合成矿地质特征、矿床地球化学特征推断其为雪峰-加里东期(罗献林,1988;刘荫椿,1989)。胡瑞英等(1995)应用含金石英裂变径迹法对平江-浏阳一带金矿床进行了测年研究,得到的年龄数据为 $115 \sim 160 \text{ Ma}$,但该方法所测的年龄数据代表了最后一期构造-热事件的作用时间,并不一定是金成矿年龄。毛景文等(1997)开展了万古金矿的 Rb-Sr 测年工作,获得的等时线年龄数据为 $(70.30 \pm 8.56) \text{ Ma}$,但只有 4 个样品,且成线性较差。因此,区内是否存在燕山期成矿并不明确。

本次获得黄金洞、万古和团山背 3 个典型金矿床石英包裹体 Rb-Sr 等时线年龄分别为 $(462 \pm 18) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 1.6$)、 $(425 \pm 33) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.14$) 和 $(222.4 \pm 9.4) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 2.6$),表明区内存在加里东期和印支期成矿。这一测年结果与同属江南古陆的雪峰山一带金矿床成矿时代一致(彭建堂等,1998,2000,2003a;李华芹等,2008),表明加里东期和印支期是江南古陆上金矿床成矿的 2 个主要成矿时期。湘东北地区处于扬子板块与华夏板块的交接部位,区内构造-岩浆-成矿活动更可能是两板块相互作用和深部岩石圈活动的共同结果。加里东期扬子板块与华夏两板块在湘东北地区实现拼贴,形成加里东褶皱带和区域浅变质作用;印支期两大板块的碰撞造山运动导致了湘东北地区地壳的加厚,主体盖层发生褶皱和韧-脆性剪切作用,形成了广布的逆冲推覆构造。区内金成矿流体主要来自变质热液和地下水的混合,成矿受韧-脆性剪切带构造控制,这些地质事实也表明了加里东期和印支期可能是区内金成矿的主要时期。燕山期湘东北发生了以伸展为主的构造-岩浆事件以及大规模的金属成矿作用(李鹏春,2006),董国军等(2008)采用石英流体包裹体 Rb-Sr 法获得黄金洞金矿等时线年龄为 $(152 \pm 13) \text{ Ma}$,紧邻万古金矿的大洞金矿等时线年龄为 $(70.0 \pm 1.3) \text{ Ma}$,这些数据暗示黄金洞金矿和万古金矿可能存在多期成矿。

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 是判断矿床成矿物质来源的重要指

标。一般认为 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0.710$ 是壳源, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 0.705$ 是幔源(侯明兰等,2006)。本次研究获得湘东北地区黄金洞、万古、团山背金矿床含金石英流体包裹体的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值分别为 (0.75891 ± 0.00050) 、 (0.75169 ± 0.00044) 、 (0.73354 ± 0.00093) ,显示成矿流体富集放射成因锶,且明显高于现代海水热液和古代海水的锶同位素组成,与湘西沃溪 Au-Sb-W 矿床成矿流体的锶同位素组成相似(彭建堂等,2003b;彭渤等,2006)。富放射成因 ^{87}Sr 的潜在来源为火成硅酸盐矿物或 Rb/Sr 比值较高的碎屑岩(彭建堂等,2003b)。结合本区内金矿床均产出于深大断裂和大型韧性剪切带的附近以及中元古代冷家溪群和新元古代板溪群两套浅变质岩系组成区内变质褶皱基底的地质事实,推测湘东北地区黄金洞、万古、团山背金矿床成矿流体中 ^{87}Sr 最有可能来自古老碎屑岩基底或深部陆壳。

5 结 论

(1) 湘东北地区黄金洞、万古和团山背 3 个金矿床石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄分别为 (462 ± 18) Ma、 (425 ± 33) Ma 和 (222.4 ± 9.4) Ma。测年结果表明,区内金成矿主要发生在加里东期和印支期,成矿主要受韧性剪切带构造控制。

(2) 湘东北地区金矿床成矿流体中 ^{87}Sr 最有可能来自古老碎屑岩基底或深部陆壳。

References

Dong G J, Xu D R, Wang L, Chen G H, He Z L, Fu G G, Wu J and Wang Z L. 2008. Determination of mineralizing ages on gold ore deposits in the eastern Hunan Province, south China and isotopic tracking on ore-forming fluids: Rediscussing gold ore deposit type [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 32(4): 482-491 (in Chinese with English abstract).

He Z L, Xu D R, Chen G H, Xia B, Li P C and Fu G G. 2004. Gold-polymetallic ore-forming geochemistry of Yanshanian intracontinental collision orogen, northeastern Hunan Province [J]. *Mineral Deposits*, 23(1): 39-51 (in Chinese with English abstract).

Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1988. Regional geology of Hunan Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-200 (in Chinese with English abstract).

Hou M L, Jiang S Y, Jiang Y H and Ling H F. 2006. S-Pb isotope geochemistry and Rb-Sr geochronology of the Penglai gold field in the eastern Shandong Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2525-2533 (in Chinese with English abstract).

Hu R Y, Cheng J P, Guo S L and Hao X H. 1995. Application of fission track technique to study of gold deposits [J]. *Geochimica*, 24(2): 188-192 (in Chinese with English abstract).

Li H Q, Liu J Q and W L. 1993. Study on chronology of hydrothermal ore fluid inclusions and geological application [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-27 (in Chinese).

Li H Q, Xie C F and Chang H L. 1998. Study on metallogenetic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in North Xinjiang, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 10-24 (in Chinese).

Li H Q, Wang D H, Chen F W, Mei Y P and Cai H. 2008. Study on chronology of the Chanziping and Daping gold deposit in Xuefeng Mountains, Hunan Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(7): 900-905 (in Chinese with English abstract).

Li P C. 2006. Magmatism of Phanerozoic granitoids in southeastern Hunan Province, China and its evolution regularity (dissertation for Doctor degree) [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences. 1-101 (in Chinese with English abstract).

Liu Y C. 1989. Geochemical signatures of the Huangjindong gold deposit [J]. *Geology and Prospecting*, 25(11): 43-48 (in Chinese with English abstract).

Liu D R, Wu Y Z and Liu S N. 1994. Geochemistry of Wangu gold deposit [J]. *Hunan Geology*, 13(2): 83-90 (in Chinese with English abstract).

Liu Y J, Ma D S and Ji J F. 1991a. Metallogenic geochemistry of Jiangnan-type gold deposit [J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 11(2): 130-138 (in Chinese with English abstract).

Liu Y J, Sun C Y, Ji J F and Cui W D. 1991b. Geological and geochemical characteristics of Huangjindong turbidite-hosted gold deposit, Hunan Province [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 6(1): 1-13 (in Chinese with English abstract).

Ludwig K R. 2008. A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 4 rev. 5-25.

Luo X L. 1988. On the genesis and metallogenic model of the Huangjindong gold deposit from Hunan [J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 8(8): 225-240 (in Chinese with English abstract).

Luo X L. 1989. On the epoch of the formation of precambrian gold deposits in Hunan Province [J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 9(1): 25-34 (in Chinese with English abstract).

Luo X L. 1990. On the source of ore-forming substances of precambrian gold deposits in Hunan Province [J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 10(1): 13-25 (in Chinese with English abstract).

Ma D S. 1991. Geochemistry and metallogenesis of the proterozoic stratabound gold deposits in the Jiangnan area, south China [J]. *Journal of Nanjing University*, 27(4): 753-764 (in Chinese with English abstract).

Mao J W, Li H Y, Xu J, Luo F T, Li Y S, Yi Z S and Gu J N. 1997. Geology and genesis of the Wangu gold deposit in Hunan Province, China [M]. Beijing: Atomic Energy Press (in Chinese with English abstract).

Peng B, Robert F and Tu X L. 2006. Nd-Sr-Pb isotopic geochemistry of scheelite from the Woxi W-Sb-Au deposit, western Hunan: Implications

- for sources and evolution of ore-forming Fluid[J]. Acta Geologica Sinica, 80(4): 561-570 (in Chinese with English abstract).
- Peng J T and Dai T G. 1998. On the mineralization epoch of the Xuefeng gold metallogenic province[J]. Geology and Prospecting, 34(4): 37-41 (in Chinese with English abstract).
- Peng J T and Hu R Z. 2000. Xuefeng terrain Caledonian gold mineralization[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 19(4): 246-247 (in Chinese).
- Peng J T, Hu R Z, Zhao J H, Fu Y Z and Lin Y X. 2003a. Scheelite Sm-Nd dating and quartz Ar-Ar dating of Woxi W-Sb-Au deposit, western Hunan[J]. Chinese Science Bulletin, 48(18): 1976-1981 (in Chinese).
- Peng J T, Hu R Z, Zhao J H and Fu Y Z. 2003b. The ore-forming fluid with a marked radiogenic (^{87}Sr) signature from the Woxi Au-Sb-W deposit and its significant implications[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 22(3): 193-195 (in Chinese with English abstract).
- Shen K F. 2000. The characteristics of gold mineralization and the prospecting vista in Huangjindong gold deposit in Pingjiang County, Hunan[J]. Hunan Geology, 19(4): 237-240 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Y J and Chen G H. 2007. Preliminary study on metallogenic structure features of gold deposit in Wangu area, northeastern Hunan Province[J]. Geology and Prospecting, 43(3): 42-45 (in Chinese with English abstract).
- Yuan L L and Ji W. 2008. Geochemistry and its genesis of Wangu gold deposit, Hunan[J]. Geology and Mineral Resources of South China, (3): 22-29 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J R and Luo X L. 1989. Metallogenic epoches of endogenic gold deposits in south China[J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 9(4): 369-379 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Cao Y B, Zhang B G and Pan J Y. 1992. REE and trace element geochemistry of the Huangjindong Au-deposit, Hunan Province: The evidence of ore genesis[J]. Geology and Prospecting, 28(11): 12-17 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献
- 董国军, 许德如, 王力, 陈广浩, 贺转利, 符巩固, 吴俊, 王智琳. 2008. 湘东地区金矿床矿化年龄的测定及含矿流体来源的示踪——兼论矿床成因类型[J]. 大地构造与成矿学, 32(4): 482-491.
- 贺转利, 许德如, 陈广浩, 夏斌, 李鹏春, 符巩固. 2004. 湘东北燕山期陆内碰撞造山带金多金属成矿地球化学[J]. 矿床地质, 23(1): 39-51.
- 湖南省地质矿产局. 1988. 湖南区域地质志[M]. 北京: 地质出版社. 1-200.
- 侯明兰, 蒋少涌, 姜耀辉, 凌宏飞. 2006. 胶东蓬莱金矿区的 S-Pb 同位素地球化学和 Rb-Sr 同位素年代学研究[J]. 岩石学报, 22(10): 2525-2533.
- 胡瑞英, 程景平, 郭士伦, 郝秀红. 1995. 裂变径迹法在金矿研究中的应用[J]. 地球化学, 24(2): 188-192.
- 李华芹, 刘家齐, 魏琳. 1993. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用[M]. 北京: 地质出版社. 1-27.
- 李华芹, 谢才富, 常海亮. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社. 10-24.
- 李华芹, 王登红, 陈富文, 梅玉萍, 蔡红. 2008. 湖南雪峰山地区铲子坪和大坪金矿成矿作用年代学研究[J]. 地质学报, 82(7): 900-905.
- 李鹏春. 2006. 湘东北地区显生宙花岗岩岩浆作用及其演化规律(博士学位论文)[D]. 中国科学院研究生院. 1-101.
- 刘荫椿. 1989. 黄金洞金矿床地球化学特征[J]. 地质与勘探, 25(11): 43-48.
- 柳德荣, 吴延之, 刘石年. 1994. 平江万古金矿床地球化学研究[J]. 湖南地质, 13(2): 83-90.
- 刘英俊, 马东升, 季峻峰. 1991a. 论江南型金矿床的成矿作用地球化学[J]. 桂林冶金地质学院学报, 11(2): 130-138.
- 刘英俊, 孙承轶, 季峻峰, 崔卫东. 1991b. 湖南黄金洞元古界浊积岩型金矿床的地质地球化学特征[J]. 地质找矿论丛, 6(1): 1-13.
- 罗献林. 1988. 论湖南黄金洞金矿床的成因及成矿模式[J]. 桂林冶金地质学院学报, 8(8): 225-240.
- 罗献林. 1989. 论湖南前寒武系金矿床的形成时代[J]. 桂林冶金地质学院学报, 9(1): 25-34.
- 罗献林. 1990. 论湖南前寒武系金矿床的成矿物质来源[J]. 桂林冶金地质学院学报, 10(1): 13-25.
- 马东升. 1991. 江南元古界层控金矿的地球化学和矿床成因[J]. 南京大学学报, 27(4): 753-764.
- 毛景文, 李红艳, 徐珏, 罗福廷, 李玉书, 易祖水, 顾江年. 1997. 湖南万古地区金矿地质与成因[M]. 北京: 原子能出版社.
- 彭渤, Robert F, 涂湘林. 2006. 湘西沃溪 W-Sb-Au 矿床白钨矿 Nd-Sr-Pb 同位素对成矿流体的示踪[J]. 地质学报, 80(4): 561-570.
- 彭建堂, 戴塔根. 1998. 雪峰地区金矿成矿时代问题的探讨[J]. 地质与勘探, 34(4): 37-41.
- 彭建堂, 胡瑞忠. 2000. 雪峰古陆加里东期金的成矿作用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 19(4): 246-247.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 赵军红, 符亚洲, 林源贤. 2003a. 湘西沃溪 Au-Sb-W 矿床中白钨矿 Sm-Nd 和石英 Ar-Ar 定年[J]. 科学通报, 48(18): 1976-1981.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 赵军红, 符亚洲. 2003b. 湘西沃溪 Au-Sb-W 矿床中富放射成因铀的成矿流体及其指示意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 22(3): 193-195.
- 沈克富. 2000. 平江黄金洞金矿田成矿特征及找矿前景[J]. 湖南地质, 19(4): 237-240.
- 肖拥军, 陈广浩. 2007. 湘东北万古地区金矿床成矿构造特征的初步研究[J]. 地质与勘探, 43(3): 42-45.
- 袁兰陵, 季玮. 2008. 湖南万古金矿地质地球化学特征及其成因探讨[J]. 华南地质与矿产, (3): 22-29.
- 张景荣, 罗献林. 1989. 论华南地区内生金矿床的形成时代[J]. 桂林冶金地质学院学报, 9(4): 369-379.
- 张乾, 曹裕波, 张宝贵, 潘家永. 1992. 湖南黄金洞金矿床的稀土与微量元素地球化学, 矿石成因证据[J]. 地质与勘探, 28(11): 12-17.