

文章编号:0258-7106(2004)02-0253-08

云南省墨江金矿床成矿时代探讨*

谢桂青^{1,2,3} 胡瑞忠¹ 毛景文² 方维萱¹ 李瑞玲¹

(1 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室, 贵州 贵阳 550002; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 3 南京大学地球科学系成矿作用国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

摘要 在系统研究墨江金矿床地质事件的基础上,以富金石英脉中的石英流体包裹体为测定对象,获得 Rb-Sr 等时线年龄为(135±3) Ma。上三叠统地层中含金石英脉旁侧发育的铬水云母脉 K-Ar 法年龄为(109.5±1.7) Ma。结合前人的研究资料,认为墨江金矿床经历了多期次成矿作用,其中构成本矿床的主体——富金石英脉的形成时代可能为 135~90 Ma,相当于燕山晚期。

关键词 地球化学 流体包裹体 成矿时代 含金石英脉 墨江 云南

中图分类号: P618.51;P597+.3

文献标识码: A

墨江金矿床是位于云南省哀牢山金矿带中部的一个大型金矿床,自1982年武警十三支队提交了墨江金矿床的详细勘探报告后^①,它就引起了国内外地质学者的极大关注。前人分别从墨江金矿床的矿床地质特征、物质来源、成矿流体、矿床与金厂岩体关系和成矿预测等方面进行了系统的研究(蒋志,1984;张志兰等,1987;李元等,1992;胡云中等,1995;毕献武等,1996;刘文龙等,1999;胡瑞忠等,1999;Burnard et al.,1999;蔡新平等,1999;方维萱等,2001a;2001b;Fang et al.,2001c;李光明等,2001;谢桂青等,2001a;2001b;2001c;2002;应汉龙,2002),形成了该矿床经历了多期次、多阶段成矿作用的认识。根据墨江矿区及其外围的勘查结果,该矿区外围尚有矿点10多处,深部钻探显示金矿体未尖灭,暗示矿区外围和深部均具有较大的增加储量的潜力。由于墨江金矿床形成的复杂性和多期性,加之测年方法及对象的局限性,使得前人对其成矿时代存在不同认识,因此出现了众多的成因观点。到目前为止,认为该矿床的成矿时代分别为海西期、燕山期和喜马拉雅期(蒋志,1984;张文兰等,1987;毕献武等,1996;李元等,1992;胡云中等,1995;涂光炽等,2000;Fang et al.,2001;应汉龙等,2002),其中

多数结论是根据间接地质事件推测得出的,仅少数是由富金石英脉的测年工作得出的。毕献武等(1996)和应汉龙等(2002)分别报道了3个含金石英脉的电子顺磁共振年龄(29.0~66.4) Ma 和一个富金石英脉的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄。一般认为矿床的成矿作用本来就应该多期的(裴荣富等,1999)。墨江金矿床主成矿期的成矿时代及其持续时间分别如何?在系统研究地质事件的基础上,本文以富金石英脉中的石英晶体内流体包裹体为测定对象,获得流体包裹体的 Rb-Sr 同位素等时线年龄,直接确定主成矿期的成矿时代;同时,利用上三叠统地层中含金石英脉两侧的铬水云母 K-Ar 法年龄来间接确定其成矿时代,两者相互验证。最后,结合前人的研究资料,认为墨江金矿床经历了多期次成矿作用,并初步地探讨了墨江金矿床主成矿期的形成时代。

1 地质概况

墨江金矿床处于哀牢山金矿带中段,是中国西南“三江”地区构造-岩浆-成矿带的重要组成部分,位于扬子地块西南缘(图1)。矿床产于哀牢山浅变质岩带内和九甲-安定断裂的东侧。九甲-安定断裂走

* 本文为中国科学院创新项目(编号:KZCX3-SW-125)、国家重点基础项目(编号:G1999043210)、国土资源大调查项目(编号:M0303)和南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室开放基金(编号:10-04-05)资助

第一作者简介 谢桂青,男,1975年生,助理研究员,博士,从事岩石学和成矿学研究。

收稿日期 2003-12-30;改回日期 2004-02-10。张绮玲编辑。

① 李前德,刘文龙.1982.云南省墨江县金厂矿区金矿详细地质勘探报告.武警黄金13支队.1~89.

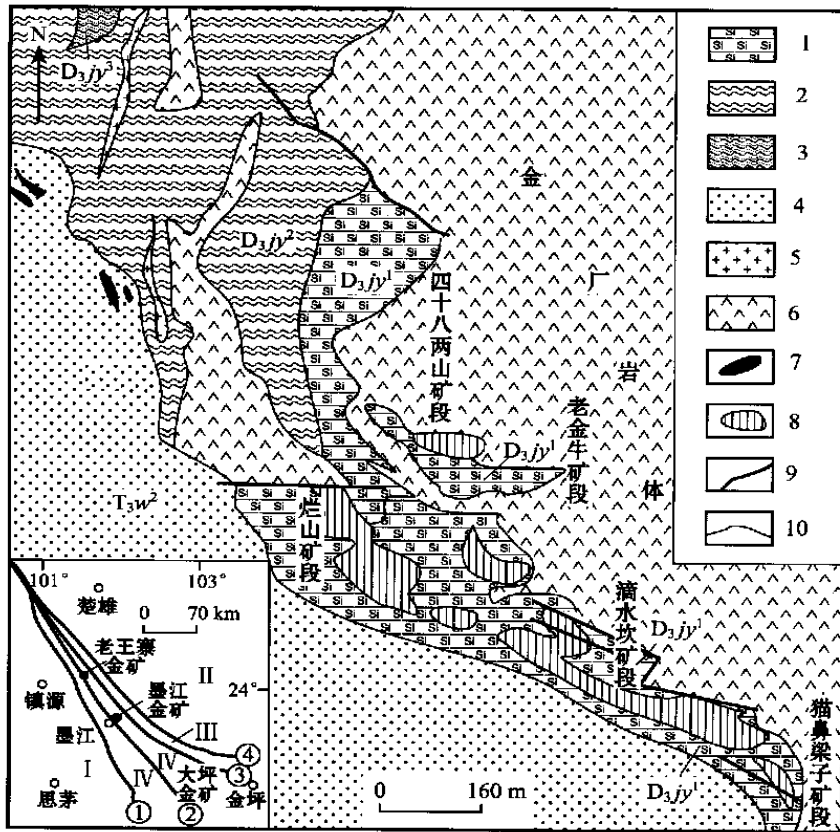


图1 云南墨江金矿床地质图(据武警黄金13支队,1982年图件修编)

1—金厂岩组烂山段($D_3 jyl$)硅质岩;2—金厂岩组四十八两山段($D_3 jyl$)硅质岩、炭质板岩;3—金厂岩组马乎洞段($D_3 jy^3$)粉砂岩;4—上三叠统歪古村组($T_3 w^2$)砂岩;5—花岗斑岩;6—辉石橄榄岩;7—煌斑岩;8—矿体;9—断层及深大断裂:①阿墨江深大断裂;②九甲-安定脆韧性剪切带;③哀牢山深大断裂;④红河深大断裂;10—地质界线;I—中甸地块;II—扬子地块;III—哀牢山深变质岩带;IV—哀牢山浅变质岩带

Fig.1 Geological map of the Mojiang gold deposit in Yunnan Province

1—Lanshan Member of Jinchang Formation ($D_3 jyl$): silicite; 2—Sishibaliangshan Member of Jinchang Formation ($D_3 jyl$): silicite, carbonaceous slate; 3—Mahudong Member of Jinchang Formation ($D_3 jy^3$): siltstone; 4—Upper Triassic Guacun Formation ($T_3 w^2$): sandstone; 5—Granite porphyry; 6—Pyroxene peridotite; 7—Lamprophyre; 8—Orebody; 9—Fault: ① Aojiang deep fault zone; ② Jiujia-Anding brittle-ductile shear zone; ③ Ailaoshan deep fault zone; ④ Honghe deep fault zone; 10—Geological boundary; I—Zhongdian block; II—Yangtze landmass; III—Ailaoshan hypometamorphic belt; IV—Ailaoshan epi metamorphic belt

向 NW,倾向 NE,沿断裂及其两侧发育有数百个超镁铁质岩体,其中矿区东侧的金厂岩体最大,金厂岩体以斜方辉石橄榄岩为主,单斜辉石辉橄岩次之,少量的纯橄岩,各类岩石均有不同程度的蛇纹石化(经钻探证实地表以下 500 m 未见未蚀变原岩),蛇纹岩的 Rb-Sr 年龄为 (302 ± 7.3) Ma, Sm-Nd 年龄为 (304 ± 16) Ma(方维萱等,2002),这表明金厂超基性岩体在早石炭世时就有岩浆侵入,是哀牢山蛇绿岩套的重要部分。后来该岩体“构造”侵位于上三叠统歪古村组($T_3 w$)紫红色石英砂岩和砂砾岩之上。另外,矿区及外围出露燕山期花岗岩和喜马拉雅期煌斑

岩,局部分布变质火山岩。出露地层为上泥盆统金厂岩组浅变质岩系和上三叠统歪古村组紫红色石英砂岩和砂砾岩,其中上泥盆统金厂岩组是笔者及课题组新厘定的构造岩石地层单位,通过详细的野外地质剖面和室内工作,确定金厂岩组深水沉积硅质岩的形成年龄为 (359 ± 21) Ma(Sm-Nd 法)、 (358.0 ± 0.3) Ma(Rb-Sr 法),相当于晚泥盆世(Fang et al.,2001),是苦杜木组的同期异相地层(方维萱等,2001b)。上泥盆统金厂岩组从下到上为:烂山段($D_3 jyl$),其下部为强粘土化蚀变基性和酸性火山岩,中部发育硅质岩;四十八两山段($D_3 jy^2$),其下部

为绿泥石片岩,中部有绢云母硅质岩、炭质硅质岩和炭质板岩,局部夹绿泥石片岩,上部以变余绢云母粉砂岩为主;马乎洞段($D_3 j_3^3$),其岩性基本与四十八两山段相同,但正常沉积作用增强,中上部夹钙质板岩,顺层产出酸性火山岩层。最近研究表明,金厂岩组中硅质岩的形成与热水沉积作用有关,四十八两山段硅质岩相对于烂山段硅质岩而言,可能含有更多陆源沉积组分,同时硅质岩并不是哀牢山蛇绿岩套“三位一体”的一部分,构造环境为扬子板块被动大陆边缘快速裂陷的深海槽(谢桂青等,2001c)。墨江金矿床的矿区构造比较复杂,研究区现今位于哀牢山造山带的前陆冲断褶皱带上,原地地层为上三叠统至古村组紫红色石英砂岩和砂砾岩,上泥盆统金厂岩组和金厂超基性岩体均属异地外来的构造岩块(方维萱等,2002),区域控矿构造是九甲-安定脆韧性剪切带,东部外围受到草坝-安定逆冲推覆型脆韧性剪切带的控制。墨江金矿区除了发育大型金矿床外,还发育中型镍矿床。

2 矿床地质特征

上泥盆统金厂岩组变余粉砂岩、砂板岩和硅质岩是墨江金矿床的主要赋矿岩石,底部与超基性岩体的接触部位,片理化强烈。墨江金矿床的矿石类型主要有蚀变岩型、石英脉型和两者共存的混合型,从北向南依次有四十八两山、老金牛、烂山、滴水坎和猫鼻梁子 5 个矿段(图 1)。自上向下大致存在氧化带、含金硅质岩的混合型矿石和含金石英脉矿石的分布规律;从矿区西部到东部依次为四十八两山矿段以含金蚀变硅质岩为主的混合型矿石,老金牛、烂山和滴水坎矿段含金蚀变硅质岩和含金石英脉型矿石,猫鼻梁子矿段以含金石英脉型为主的矿石。矿石类型在水平和垂直方向具有分带性。该矿区存在多期石英脉,根据宏观特征、矿物组合和穿插关系等方面,可将本区含金石英脉分为 3 期,即早期贫金石英脉、中期富金石英脉和晚期含“明金”石英脉。早期贫金石英脉多顺层或片理状产出,呈板状,石英脉矿物组成简单,仅含有极少量的石英颗粒,硅化重结晶程度较差,大多数为隐晶颗粒,以四十八两山矿段为代表,可能与金厂韧性剪切带的形成有关(蔡新平等,1999;方维萱等,2001a;2001b)。中期富金石

英脉是该矿区含金石英脉的主要组成部分,各矿段均有发育,一般与地层交角约 $40 \sim 60^\circ$,切穿早期贫金石英脉,多枝和复合现象常见,成群出露,平行排列,在平面上和剖面上还常呈雁行式、侧幕式斜列,受压扭性裂隙控制^①。石英脉的金品位变化大。石英脉主要由石英组成,金属矿物含量一般仅 $1\% \sim 2\%$,但类型较为复杂。晚期含“明金”石英脉分布于各矿段,但较为少见,石英结晶程度较好,粘土化蚀变比较发育。常发育有晶洞构造,晶洞中多充填有高岭石和迪开石等粘土矿物,偶见辉锑矿晶簇,大颗粒自然金与辉锑矿和粘土矿物共生。矿石的非金属矿物主要以石英和玉髓为主,金属矿物主要有黄铁矿、闪锌矿等。与金矿化关系密切的围岩蚀变主要有硅化、黄铁矿化、铬水云母化等。矿区中镍矿床的存在,使局部地段的金和镍矿化在空间上部分重合,但金、镍矿体常有间距,仅少数存在交叉、穿插、迭生关系。金矿和镍矿的成矿作用均与铬水云母的蚀变作用相关,因此本区的铬水云母化存在多期性。对矿区的探矿因素研究表明,墨江金矿体主要受地层和构造的控制(方维萱等,2001b)。与成矿密切相关的构造主要有热水喷溢构造和(逆冲推覆型)脆-韧剪切带(方维萱等,2001a;2001b;2002),其中热水喷溢构造在烂山段尤其发育,笔者及课题组新发现了烂山矿段 10 号矿体 51 线附近发育很典型的 2 个热水喷流同生沉积旋回,具有相似的热流沉积组构和层序,从下到上的层序特征如下:①块状黄铁矿硫化物岩,黄铁矿含量为 $80\% \sim 90\%$,厚 0.60 m ;②青灰色黄铁矿硅质角砾岩,厚 3.0 m ,硅质角砾呈次棱角状-棱角状,被不规则网脉状黄铁矿胶结,下部黄铁矿呈网脉状和条带状(含量为 $40\% \sim 60\%$),向上黄铁矿逐渐减少,是热水喷流通道的喷溢构造标志;③灰黑色条带条纹状黄铁矿硅质岩,厚 4.0 m ,由热水同生沉积作用形成;④含浑圆球状(草莓状)黄铁矿硅质岩,厚 0.4 m ;⑤含硅质角砾块状黄铁矿硫化物岩,厚 1.0 m ;⑥铬水云母黄铁矿岩(强烈破碎),厚 0.5 m 。6 层累计厚度 9.50 m 。在整个热水喷流沉积层序中,第②和⑤层为热水喷溢通道口附近的标志,硅质角砾大小混杂,大者有 $(10 \times 25) \text{ cm}^2$,棱角明显,小者为 $(1 \sim 2) \text{ cm} \times (2 \sim 4) \text{ cm}$,呈扁豆状,与条带条纹状黄铁矿方向一致(方维萱等,2001b;谢桂青等,2002)。

① 李前德,刘文龙. 1982. 云南省墨江县金厂矿区金矿详细地质勘探报告. 武警黄金 13 支队. 1~89.

3 分析方法与结果

3.1 流体包裹体特征

流体包裹体定年样品主要采集于猫鼻梁矿段的不同中段的石英脉,根据野外地质特征、含金量和矿物组合,确认它们主要是中期富金石英脉,选择代表性样品进行了流体包裹体测温和测年工作,采样具体位置见表1。用于间接确定成矿时代的铬水云母脉G51(表2)采集于去往马呼洞的公路边上三叠统歪古村组紫红色石英砂岩和砂砾岩中,其中可见约90 cm宽的石英脉,在石英脉与紫红色石英砂岩和砂砾岩两侧可见有10~20 cm宽的铬水云母脉,同时发育有黄铁矿化和细小石英脉,产状为 $25^\circ \angle 65^\circ$ 。显微镜下观察表明,石英中含有丰富的流体包裹体,但其类型较为单一,主要为液相包裹体和气液相包裹体,形态多为椭圆形和不规则状,个体较小,一般为1~15 μm ,多数为4~5 μm ,其中气液相包裹体中气相百分数相对较为稳定,一般为20%,液相多呈无色,气相多呈灰-灰黑色。包裹体的分布主要有3种形式:分散孤立状、不规则状和沿微裂隙呈线形分布,前两者占绝对多数,反映出本区包裹体以原生包裹体为主。研究表明,流体包裹体均一温度为122~306 $^\circ\text{C}$,盐度主要集中在3%~8%,成矿密度为0.80~0.95 g/cm^3 。成矿热液属于中低温、具相对还原性和中等含盐度的 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{SO}_4^{2-}$ 溶液(毕献武等,1997;谢桂青等,2001b)。

3.2 流体包裹体 Rb-Sr 同位素分析

富金石英脉含有较少硫化物等杂质,首先将含金石英脉样品用纯净水反复冲洗干净,碎成小块,在玛瑙钵中捣碎后,过筛至40~60目,再用1:1稀盐酸和稀硝酸浸泡10 h左右,除去石英表面混染的铁质和硫化物等杂质,用蒸馏水反复冲洗后晾干,再在

双目镜下挑选出纯净的单矿物样品,纯度达到99%以上。用于石英流体包裹体 Rb-Sr 法年龄测定的样品制备采用李华芹等(1993)所报道的流程,Rb和Sr同位素分析在中国地质科学院同位素研究与测试中心的MAT-261可调多接收质谱仪上完成,分析过程中采用国际标准样品NBS-987 监测仪器的工作状态,用NBS-607和Rb-Sr测年国家一级标准物质GBW0144 监测分析流程。标准物质的测定值分别为NBS-987($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.71026 \pm 0.00006$)、NBS-607($w_{\text{Rb}} = 523.22 \times 10^{-6}$, $w_{\text{Sr}} = 65.56 \times 10^{-6}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 1.20035 \pm 0.00009$)和GBW0144($w_{\text{Rb}} = 249.08 \times 10^{-6}$, $w_{\text{Sr}} = 158.39 \times 10^{-6}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.76006 \pm 0.00025$)。 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 测定精度分别优于1%~2%和0.008%~0.02%。所给出的等时线年龄是根据国际上通用的ISOPLOT程序进行计算得出的。计算年龄采用的衰变常数为 $\lambda_{\text{Rb}} = 1.42 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ 。

铬水云母脉样品用纯净水反复冲洗至干净,晾干后碎成小块,在玛瑙钵中捣碎后过筛成40~60目样品用于测试,K-Ar全岩年龄由中国地质科学院地质研究所K-Ar和 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 实验室陈文完成,利用国际标样ZBH-25 监测其分析结果。

表1为云南墨江金矿床富金石英脉流体包裹体Rb-Sr同位素测定结果,由表1可知,含金石英脉的 w_{Rb} 和 w_{Sr} 含量分别为 $3.876 \times 10^{-6} \sim 18.460 \times 10^{-6}$ 和 $5.091 \times 10^{-6} \sim 9.483 \times 10^{-6}$, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 为1.600~7.065; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 范围为0.71684~0.72744。在 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}-^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 等时线图(图2)构成一条较好的等时线,据等时线的斜率获得的年龄为 $(135 \pm 3) \text{Ma}$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ 为 (0.71388 ± 0.00014) ; $r = 0.999$; $\text{MSWD} = 1.64$ 。

根据野外穿插关系,上三叠统歪古村组紫红色

表1 云南墨江金矿床富金石英脉中石英流体包裹体 Rb-Sr 同位素数据

Table 1 Fluid inclusion Rb-Sr isotopic data of quartz from gold-bearing quartz veins, the Mojiang gold deposit in Yunnan Province

序号	样号	采样位置	$w_{\text{Rb}}/10^{-6}$	$w_{\text{Sr}}/10^{-6}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(\pm 1\sigma)$
1	MB-1	1720 中段	3.876	5.091	2.197	0.71819 ± 0.00003
2	MB-3	1738 中段	18.460	7.547	7.065	0.72744 ± 0.00002
3	MB-4	1738 中段	9.592	7.632	3.628	0.72088 ± 0.00001
4	MB-6	1753 中段	5.492	9.483	1.671	0.71684 ± 0.00009
5	G-39	1738 中段 Q3-1 号脉	5.583	8.109	1.987	0.71761 ± 0.00004
6	G-43	1753 中段 59 号脉	3.796	6.847	1.600	0.71719 ± 0.00003

表 2 云南墨江金矿床上三叠统歪古村组含金石英脉中铬水云母脉 K-Ar 法同位素数据

Table 2 K-Ar isotopic data of Cr-hydromuscovite veins from gold-bearing quartz veins in Upper Triassic Waigucun Formation, the Mojiang gold deposit

样号	样重/g	K/%	$^{40}\text{Ar}^*/(10^{-10}\text{ mol/g})$	$^{40}\text{Ar}^*/\%$	$^{40}\text{Ar}^*/^{40}\text{K}/(\times 10^{-3})$	t/Ma
G51	0.03625	2.37	0.2564	92.52	6.5611	109.5 ± 1.7

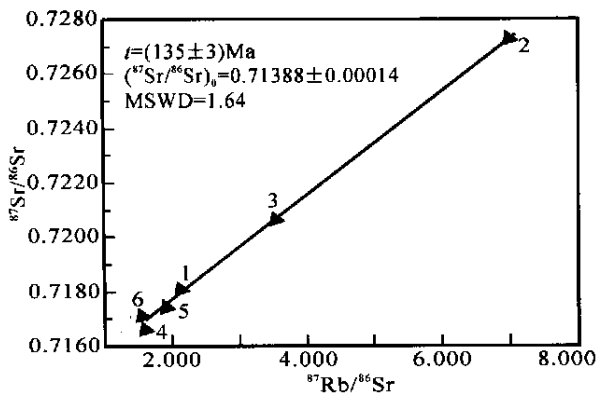


图 2 云南墨江金矿富金石英脉中石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线

Fig. 2 Rb-Sr isochron of fluid inclusions in gold-bearing quartz veins, the Mojiang gold deposit

石英砂岩和砂砾岩中石英脉两侧的铬水云母形成时代不应早于晚三叠世,再由表 2 可知,铬水云母的 K-Ar 年龄为 (109.5 ± 1.7) Ma,表明它形成于白垩纪。

4 成矿时代讨论

矿床是地壳演化过程中的产物,其定位时代对于矿床成因的确定和找矿方向具有十分重要的理论和实际意义。前人对墨江金矿的成矿时代研究较多,表明本区成矿经历了多源、多期次、多阶段的活化迁移和富集过程(张志兰等,1987;胡云中等,1995;蔡新平等,1999;方维萱等,2001b)。在野外地质基础上确定墨江金矿床的成矿时代有两种途径:①测定与矿化有关的蚀变矿物的时代来间接确定成矿时代;②测定含金石英脉的时代来直接确定成矿时代。但由于测试方法和对象的问题,一直没有合理的解决墨江金矿床的成矿时代。张志兰等(1987)通过对含金石英脉、石英岩及其蚀变矿物的铅同位素单阶段模式年龄研究,认为成矿时间为 304 ~ 114 Ma,且海西期(250 Ma)是主成矿期。对成矿有关的

蚀变矿物的测定所确定的墨江金矿成矿时代相差较大,如:产于猫鼻梁子矿段 1783 坑道、与金矿化密切相关的含铬云母 K-Ar 年龄为 114.64 Ma,矿区 38 号槽的铬水云母 K-Ar 年龄为 180.6 Ma(李元等,1992),与成矿有关的铬水云母 K-Ar 年龄为 61 Ma(胡云中等,1995)。由此可以看出,用赋矿地层中蚀变矿物铬水云母来间接确定墨江金矿床的成矿时代并不理想,主要原因可能在于:本区除了发育金矿床外,还存在中型规模的镍矿床,镍矿化主要与金厂超基性岩体有关,金矿和镍矿均发育有铬水云母化。笔者曾在烂山矿段 10 号矿体中观察到两期铬水云母脉的穿插关系,通过对本区铬水云母的 K-Ar 测年,表明它们的形成时代为 251 ~ 71 Ma^①,范围很宽,两者在野外并不容易区分。因此通过对与金矿密切相关的铬水云母测年来研究金矿的成矿时代存在采样方面的问题,有些学者甚至认为用铬水云母测年所确定的年龄,可能代表了该区热液成因的镍矿床的形成年龄,不能代表金成矿的年龄(毕献武等,1996)。

对墨江金矿富金石英脉的直接测年无疑是一种较好的方法,毕献武等(1996)测得含金石英脉中石英的 ESR 年龄为 66.4 ~ 29.0 Ma,但变化范围较大,另外,顺磁共振方法极易受到后期热事件的影响。从区域地质资料来看,哀牢山地区各矿床受到喜马拉雅期造山运动的影响(陈毓川等,2001)。另外,本区最后一期的含“明金”石英脉,碎裂化和泥化均比较发育。通过电镜、X 射线粉晶衍射和电子探针分析,表明部分含“明金”石英脉发育有溶蚀空洞,并被铬伊利石等高岭土(常含明金)充填,充填的铬伊利石呈层状集合体,多为放射状、菊花状,与铬伊利石共生的有晶面发育较好的 20 ~ 100 μm 五角十二面体黄铁矿(肉眼鉴定呈粉末状)和 100 ~ 500 μm 梳状石英,暗示着它们形成于张性构造环境。成矿流体中矿化剂组分与粘土矿物在低温低压条件下可组成胶体状流体(纳米级),这种流体对金有极强的吸

① 方维萱,胡瑞忠,谢桂青,等. 2000. 墨江金矿深部及外围成矿预测的地质地球化学研究总结报告. 1 ~ 80.

附和携带运移能力,随着粘土矿物的沉淀,金发生卸载、富集,形成大颗粒的自然金。因此,在矿区中大颗粒的自然金常与粘土矿物共生或被粘土矿物包裹,形成含有“明金”的石英脉(方维萱等,2001a)。笔者认为,伴随着喜马拉雅期煌斑岩的发育,本区处于高热流区,使前期含金石英脉的金进一步富集,形成了含“明金”石英脉。石英脉的ESR年龄可能代表一次重要的喜马拉雅期深源流体叠加事件(毕献武等,1996;胡瑞忠等,1999;方维萱等,2001a;2001b)。最近,应汉龙(2002)报道了墨江金矿猫鼻梁子1753矿段富金石英脉中的石英 ^{40}Ar - ^{39}Ar 快中子活化年龄,年龄谱为典型的马鞍型,坪年龄为(93±3) Ma,等时线年龄为(90±3) Ma,最小视年龄为(90±1 Ma)代表石英的形成时代。他还指出马鞍型的含钾矿物最低年龄是否代表矿物的结晶年龄还存在较大的争议(应汉龙,2002)。另外,考虑到①墨江金矿床富金石英脉可能存在由热液蚀变形成的粘土矿物,在挑选样品时无法将其完全剔除;②富金石英脉中,晚期形成的粘土矿物颗粒很细,铬伊利石单晶大小为1~5 μm,长10~20 μm(方维萱等,2001a),粘土矿物太小(<4 μm)可能造成 ^{39}Ar 丢失,造成测年结果偏小(张宗清,1997)。笔者认为富金石英脉的形成时代还需要进一步研究。

Rb-Sr 等时线年龄封闭温度相对较高(不低于650℃),不易受到后期热事件的影响。测定同一成矿期的石英流体包裹体的 Rb-Sr 等时线年龄是目前获得金矿床的成矿年龄比较理想的方法之一,已取得许多成功的例子(李华芹等,1993;2000)。由前述可知,云南墨江富金石英脉中石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为(135±3) Ma。基于以下3个理由:①用于流体包裹体 Rb-Sr 测年的样品均为富金石英脉中的石英;②测试结果在前人获得的矿石 Rb-Sr 等时线年龄和与金矿化有关的铬水云母 K-Ar 法年龄的结果范围内,张志兰等(1987)报道了矿石 Rb-Sr 法年龄范围为117~178 Ma,与成矿有关的铬水云母的 K-Ar 法年龄为61~180 Ma(李元等,1992;胡云中等,1995);③与据野外通过构造岩石地层和构造变形筛分得出的结论一致(方维萱等,2001b)。结合前面对含金石英脉的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法测年结果,笔者认为本区主要的富金石英脉的形成时代为135~90 Ma,相当于白垩纪(燕山晚期)。此结果可以从以下地质事实得到证明:①该区上三叠统歪古村组紫红色石英砂岩和砂砾岩中可见有少量的主成矿期的石

英脉分布,两侧的铬水云母受到镍矿化的影响较小,它的形成时代可以间接推断成矿时代。笔者测得穿插于上三叠统歪古村组紫红色石英砂岩和砂砾岩中石英脉与围岩接触处的铬水云母岩脉 K-Ar 年龄为(109.5±1.7) Ma(见表2);②侵入于上三叠统地层中的花岗斑岩中亦可见到含金石英脉,分析其金含量最高达10 g/t(毕献武1996),在一些地段蚀变的花岗斑岩具有较强的金矿化(胡云中等,1995),而矿区花岗斑岩主要形成于燕山早期(李光明等,2001),这表明富金石英脉的形成时代不早于燕山早期。

哀牢山地区受到喜马拉雅运动的影响较为强烈,喜马拉雅期内生成矿作用是此地区最后且最重要的一期成矿事件(陈毓川等,2001),但哀牢山地区是否存在早期的成矿事件,目前的研究相对较少。通过以上研究表明,墨江金矿床富金石英脉的形成时代为135~90 Ma,表明哀牢山地区可能存在燕山期成矿事件。

5 结 论

通过以上论述可得出如下结论:

(1) 墨江金矿床经历了多期次成矿作用,其中构成本矿床的主体——富金石英脉的形成时代为135~90 Ma,相当于燕山晚期。

(2) 哀牢山地区可能存在燕山期成矿事件,同时在墨江金矿床的外围和深部具有较好的找矿前景。

致谢 在野外工作得到墨江金矿地测科和元江镍金矿领导的大力支持和帮助,在数据处理过程中得到中国地质大学(北京)刘家军研究员的热心帮助,笔者谨致谢忱。

References

- Bi X W, Hu R Z and He M Y. 1996. ESR ages and their geological implications in Ailaoshan gold mineralization belt[J]. Chinese Science Bulletin, 41(14): 1301~1303 (in Chinese).
- Bi X W and Hu R Z. 1997. The mechanism for formation and evolution of ore fluids of the Mojiang gold deposit, Yunnan[J]. Geological Review, 43(4): 381~387 (in Chinese with English abstract).
- Burnard P G, Hu R and Turner G. 1999. Mantle, crustal and atmospheric noble gases in Ailaoshan gold deposits, Yunnan Province, China[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 63(10): 1595~1604.
- Cai X P, Xu X W, Zhang B L, et al. 1999. Time-space four-dimension-

- al framework of the Jingchang gold deposit in Mojiang County, West Yunnan[J]. *Mineral Deposits*, 18(1) : 55 ~ 62 (in Chinese with English abstract) .
- Chen Y C, Wang D H, eds. 2001. Study on Himalayan endogenetic mineralization event[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 138 (in Chinese with English abstract) .
- Fang W X, Hu R Z, Wang M Z, et al. 2001 a. Mineral geochemistry on microstructures in the Mojiang Au-bearing brittle-ductile zone in Yunnan[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4) : 602 ~ 608 (in Chinese with English abstract) .
- Fang W X, Hu R Z, Xie G Q, et al. 2001 b. Research and analysis on ore-controlling factors for Mojiang-Yuanjiang nickel-gold deposits in Yunnan, China [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(1) : 80 ~ 88 (in Chinese with English abstract) .
- Fang W X, Hu R Z, Xie G Q, et al. 2001 c. Diagenetic-metallogenic ages of pyretic cherts and their implications in Mojiang nickel gold deposit in Yunnan Province, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 46(21) : 1823 ~ 1827 .
- Fang W X, Hu R Z, Xie G Q, et al. 2002. Tectonolithostratigraphic units of the Ailaoshan area in Yunnan, China and their implications of tectonic evolution[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 26(1) : 28 ~ 36 (in Chinese with English abstract) .
- Hu R Z, Bi X W, Turner G, et al. 1999. He-Ar isotopic geochemistry of gold metallogenic fluid in Ailaoshan gold metallogenic belts [J]. *Science in China (Series D)*, 29(4) : 321 ~ 330 (in Chinese) .
- Hu Y Z, Tang S C, Wang H P, et al. 1995. Geology of gold deposits in Ailaoshan[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 273 (in Chinese with English abstract) .
- Jiang Y H, Chen G Y, Sun D S, et al. 2001. Classification of chromsericite mineral series from Jinchang gold deposit, Yunnan Province and its geological significance[J]. *Geology-Geochemistry*, 29(1) : 7 ~ 13 (in Chinese with English abstract) .
- Jiang Z. 1984. Geochemical process of Jinchang nickel-gold deposits formation[J]. *Geology and Prospecting*, 20(1) : 6 ~ 13 (in Chinese with English abstract) .
- Li G M, Liu T B, Zou W L, et al. 2001. Distribution pattern of orebodies, ore-controlling factors and prospecting potentiality in the depth of the Mojiang gold deposit, Yunnan Province[J]. *Geology and Prospecting*, 37(1) : 55 ~ 59 (in Chinese with English abstract) .
- Li H Q, Liu J Q and Wei L. 1993. Chronology of fluid inclusion on hydrothermal ore deposit and its geological application[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 10 ~ 25 (in Chinese with English abstract) .
- Li H Q, Chen F W and Cai H. 2000. Study on Rb-Sr isotopic ages of gold deposits in West Junggar Area, Xinjiang[J]. *Acta Geologica Sinica*, 74(2) : 181 ~ 192 (in Chinese with English abstract) .
- Li Y. 1992. Discussion on metallogenic material sources of Mojiang gold deposit [J]. *Yunnan Geology*, 11(2) : 130 ~ 143 (in Chinese with English abstract) .
- Liu W L, Chen J R, Chen G Y, et al. 1999. Geology of Jinchang ultrabasic rock gold deposits in Mojiang, Yunnan Province[M]. Beijing: Seismological Press. 1 ~ 50 (in Chinese with English abstract) .
- Pei R F, Xiong Q Y and Mei Y X. 1999. New advance of ore-forming chronology of metallogenic province—a case study of north margin of North China Platform[J]. *Earth Science Frontiers*, 6(2) : 325 ~ 334 (in Chinese with English abstract) .
- Tu G C, et al. 2000. Super-large ore deposits in China[M]. Beijing: Science Press. 584 p (in Chinese) .
- Xie G Q, Hu R Z, Fang W X, et al. 2001 a. Geochemical characteristics of chert in Mojiang gold deposits and its implication[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(1) : 95 ~ 101 (in Chinese with English abstract) .
- Xie G Q, Hu R Z, Fang W X, et al. 2001 b. Geochemical characteristics of fluid inclusions in gold-bearing quartz veins in the Mojiang gold deposits and their implications[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4) : 613 ~ 618 (in Chinese with English abstract) .
- Xie G Q, Hu R Z, Fang W X, et al. 2001 c. Geochemistry of depositional environment of siliceous rock from Mojiang gold deposits[J]. *Geochimica*, 30(5) : 491 ~ 497 (in Chinese with English abstract) .
- Xie G Q, Hu R Z, Fang W X, et al. 2002. Evidence for geology and geochemistry of hydrothermal exhalative genesis from Mojiang gold deposit, Yunnan[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 20(3) : 387 ~ 393 (in Chinese with English abstract) .
- Ying H L. 2002. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ fast neutron activation dating of gold-rich quartz vein from Mojiang nickel-gold deposit, Yunnan[J]. *Chinese Journal of Geology*, 37(1) : 107 ~ 109 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang Z L, Zhang S F, Yuan H H, et al. 1987. An isotope geology and origin study of the Jinchang gold deposit, Mojiang, Yunnan[J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 14(4) : 29 ~ 41 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang Z Q. 1997. The application and the limit of isotopic chronology methods [A]. In: Zhang B, Hong D, Wu Z, eds. *The modern method of lithosphere research* [C]. Beijing: Atomic Energy Press. 186 ~ 120 (in Chinese) .

附中文参考文献

- 毕献武, 胡瑞忠, 何明友. 1996. 哀牢山金矿带 ESR 年龄及其地质意义[J]. *科学通报*, 41(14) : 1301 ~ 1303 .
- 毕献武, 胡瑞忠. 1997. 墨江金矿床成矿流体的形成演化机制[J]. *地质论评*, 43(4) : 381 ~ 387 .
- 蔡新平, 徐兴旺, 张宝林, 等. 1999. 滇西墨江金厂金矿床时空四维结构模型[J]. *矿床地质*, 18(1) : 55 ~ 61 .
- 陈毓川, 王登红, 主编. 2001. 喜马拉雅期内生成矿作用研究[M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 138 .
- 方维萱, 胡瑞忠, 王明再, 等. 2001 a. 云南墨江含金脆-韧剪切构造带中显微构造的矿物地球化学研究[J]. *矿物学报*, 21(4) : 602 ~ 608 .
- 方维萱, 胡瑞忠, 谢桂青, 等. 2001 b. 云南墨江镍金矿床控矿因素分析与研究[J]. *矿物学报*, 21(1) : 80 ~ 88 .
- 方维萱, 胡瑞忠, 谢桂青, 等. 2002. 云南哀牢山地区构造岩石地层

- 单元及其构造演化[J]. 大地构造与成矿学, 26(1):28~36.
- 胡瑞忠, 毕献武, Turner G, 等. 1999. 哀牢山金矿带成矿流体 He 和 Ar 同位素地球化学[J]. 中国科学(D), 29(4):321~330.
- 胡云中, 唐尚鹑, 王海平, 等. 1995. 哀牢山金矿地质[M]. 北京:地质出版社. 1~273.
- 江永宏, 陈光远, 孙岱山, 等. 2001. 云南金厂金矿床铬绢云母系列分类与地质意义[J]. 地质地球化学, 29(1):7~13.
- 蒋志. 1984. 金厂金镍矿床形成的地球化学过程[J]. 地质与勘探, 20(1):6~13.
- 李光明, 刘铁兵, 邹为雷, 等. 2001. 墨江金矿矿体分布规律、控矿因素及深部找矿方向探讨[J]. 地质与勘探, 37(1):55~59.
- 李华芹, 刘家齐, 魏林. 1993. 热液矿床流体包裹体年代学及其地质应用[M]. 北京:地质出版社. 10~25.
- 李华芹, 陈富文, 蔡红. 2000. 新疆西准噶尔地区不同类型金矿床 Rb-Sr 同位素年代研究[J]. 地质学报, 74(2):181~192.
- 李元. 1992. 墨江金矿床的成矿物质来源探讨[J]. 云南地质, 11(2):130~143.
- 刘文龙, 陈锦荣, 陈光远, 等. 1999. 云南省墨江金厂超基性岩金矿地质[M]. 北京:地震出版社. 1~50.
- 裴荣富, 熊群尧, 梅燕雄. 1999. 金属成矿省成矿年代学研究的新进展——以华北地台北缘为例[J]. 地学前缘, 6(2):325~334.
- 涂光炽等著. 2000. 中国超大型矿床(I)[M]. 北京:科学出版社. 584页.
- 谢桂青, 胡瑞忠, 方维萱, 等. 2001a. 云南墨江金矿的硅质岩的地质地球化学特征及其意义[J]. 矿物学报, 21(1):95~101.
- 谢桂青, 胡瑞忠, 方维萱, 等. 2001b. 云南墨江金矿床含金石英脉中流体包裹体的地球化学特征及其意义[J]. 矿物学报, 21(4):613~618.
- 谢桂青, 胡瑞忠, 方维萱, 等. 2001c. 云南墨江金矿硅质岩沉积环境的地球化学探讨[J]. 地球化学, 30(5):491~497.
- 谢桂青, 胡瑞忠, 方维萱, 等. 2002. 云南墨江金矿热水喷流沉积成岩成矿的地质地球化学证据[J]. 沉积学报, 20(3):387~393.
- 应汉龙. 2002. 云南墨江镍金矿床富金石英脉的⁴⁰Ar/³⁹Ar快中子活化年龄[J]. 地质科学, 37(1):107~109.
- 张志兰, 张树发, 袁海华, 等. 1987. 云南墨江金厂金矿的同位素地质特征及成因探讨[J]. 成都地质学院学报, 14(4):29~41.
- 张宗清. 1997. 同位素年代方法的应用和限制[A]. 见:张炳熹, 洪大卫, 吴宣志, 主编. 岩石圈研究的现代方法[C]. 北京:原子能出版社. 186~200.

Discussion on Metallogenic Ages of Mojiang Gold Deposit in Yunnan Province

Xie Guiqing^{1,2,3}, Hu Ruizhong¹, Mao Jingwen², Fang Weixuan¹ and Li Ruiling¹

(1 Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

Abstract

The Mojiang gold deposit, one of the most important large gold deposits in the "Sanjiang" gold mineralization area of Yunnan Province, has great potential in increasing its gold reserves. Knowledge of its metallogenic age is very insufficient, which has restricted the study of its origin and the ore prognosis. Based on systematical analysis of geological events in this area, this paper deals with metallogenic ages of the Mojiang gold deposit. The samples studied were taken from quartz in gold-rich quartz veins at various levels, and the fluid inclusion Rb-Sr isochronal ages are (135 ± 3) Ma. The K-Ar isotopic age of Cr-hydromuscovite from gold-bearing quartz veins in Upper Triassic Waigucun Formation is (109.52 ± 1.69) Ma. According to regional geological characteristics and geochronological investigations, the authors consider that the Mojiang gold deposit has undergone repeated poly-metallic ore-forming activities, and that the main orebodies of the ore deposit, i.e., the gold-rich quartz veins, might have been formed at 135~90 Ma.

Key words: geochemistry, fluid inclusion, metallogenic age, gold-bearing quartz, Mojiang, Yunnan province