

文章编号: 0258-7106 (2006) 02-0135-12

四川巴塘夏塞花岗岩和银多金属矿床年龄及硫、铅同位素组成*

应汉龙¹, 王登红², 付小方³

(1 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
3 四川省地质矿产勘查开发局, 四川 成都 610081)

摘要 为了解四川西部夏塞银多金属矿区黑云母二长花岗岩形成和矿化发生的时代及成矿物质来源, 测定了该矿区绒依措和若洛隆花岗岩的 Rb-Sr 年龄和钾长石、黑云母及主要银矿化阶段石英的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及矿石的硫、铅同位素组成。花岗岩的结晶年龄约为 93 Ma, 银矿化年龄约为 75 Ma。矿石硫可能源于花岗岩, 但不能排除源于弱沉积围岩的可能性; 矿石、花岗岩和弱变质沉积围岩的铅同位素组成相似, 铅主要源于上地壳, 少量源于下地壳。

关键词 地球化学; 银多金属矿床; 年代学; 硫、铅同位素组成; 夏塞; 四川

中图分类号: P618.52

文献标识码: A

Timing and lead and sulfur isotope composition of Xiasai granite and silver polymetallic deposit in Batang, Sichuan Province

YING HanLong¹, WANG DengHong² and FU XiaoFang³

(1 Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 3 Bureau of Geology and Mineral Resources of Sichuan Province, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract

In this paper, the authors obtained Rb-Sr isochron ages of the Rongyicuo and Ruoluolong biotite monzonite batholiths and ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages of K-feldspar and biotite in the granite of the ore district, dated quartz from the main silver mineralization and determined sulfur and lead isotope compositions of the ore minerals so as to understand timing and origin of ore materials in the Xiasai silver polymetallic deposit of western Sichuan. The crystallization timing of the Rongyicuo and Ruoluorong granite batholiths are approximately 93 Ma. The timing of silver mineralization is about 75 Ma. Sulfur of the ore is likely from granite, but the possibility from the lower metamorphic sediments cannot be excluded. Ores, granite and lower metamorphic sediments are similar to each other in lead isotope composition, suggesting that lead was mostly derived from the upper crust and subordinately from the lower crust. It is considered that the silver polymetallic ores were deposited in the NW-trending faults in the outer contact zone of the granite batholith through the mixture of hydrothermal fluids fractionated by crystallizing granite magma and hydrothermal fluids circulating in the country rocks as a result of elevated geothermal grade during the intrusion of the granite. The silver-polymetallic mineralization has close genetic relationship with the granitic magmatism.

Key words: geochemistry, silver polymetallic deposits, geochronology, sulfur and lead isotope composition, Xiasai, Sichuan

* 本文得到国家重点基础研究项目(G1999043200)的资助
第一作者简介 应汉龙, 男, 1964年生, 副研究员, 主要从事矿床学研究。
收稿日期 2005-03-29; 改回日期 2006-01-04。李岩编辑。

夏塞银多金属矿床位于四川西部高原巴塘县,东经 99°33'38"~99°35'27",北纬 30°24'45"~30°27'27",矿体露头分布在海拔 4 200 m 以上。该矿床由四川省地质矿产局化探队在 1992 年对 1:20 万义敦幅综合化探异常 2 级查证时发现;由四川省地质矿产局 108 地质队勘查,共发现 16 个矿体,是继嘎村超大型银多金属矿床(火山成因块状硫化物矿床)发现和勘探之后,在义敦岛弧碰撞造山带发现和勘探的超大型岩浆期后热液脉型银多金属矿床。近年来,在夏塞地区又发现了砂西、脚跟玛和夏隆等大、中型银多金属矿床,该地区因此成为川西高原令人瞩目的银多金属矿床勘探开发区。

该类型矿床与花岗岩类侵入作用关系密切,矿体受断裂破碎带控制,是国内外重要的银资源来源(吴美德等,1991)。胡世华等^①、邹光富等(2002)和刘权(2003)通过对夏塞银多金属矿床地质特征、流体包裹体和硫、铅同位素组成等研究,认为该矿床属于“中低温热液充填交代脉型”矿床,硫来自花岗岩岩浆热液,成矿物质可能部分来源于花岗岩浆,部分来源于地层。刘秉光等(2000)认为夏塞银多金属矿床成矿具有多阶段性,在晚三叠世岛弧火山盆地中,水下喷流热水沉积成矿形成银铅锌主体;喜马拉雅期花岗岩侵位叠加形成矽卡岩型锡矿和银铅锌矿下部的黄铜矿、磁黄铁矿层。本文在前人研究的基础上,对夏塞矿区花岗岩岩体和银多金属矿体做了 Rb-Sr、Ar-Ar 年龄测定和矿石硫、铅同位素研究,以此讨论该矿区的成岩、成矿时代和成矿物质来源。

1 地质背景

义敦银、锡、铅、锌多金属矿集区位于义敦岛弧造山带中段的弧后冲断带内(侯立玮等,1994)。该造山带近 NS 向,略向 NE 弧形突出,长 800 km,宽 70~150 km,从东到西分为甘孜-理塘混杂岩带、义敦主岛弧带、弧后(弧间)冲断带和金沙江蛇绿混杂岩带(图 1,侯立玮等,1994),是在早古生代的“泛扬子陆块”上演化而来的晚三叠世岛弧造山带。在侏罗纪以后,义敦造山带进入碰撞后陆内会聚阶段,来自仰冲陆块由沟-弧-盆系统形成的大型推覆体继续向东推覆,碰撞带因推覆冲断叠置而加厚,引起地壳

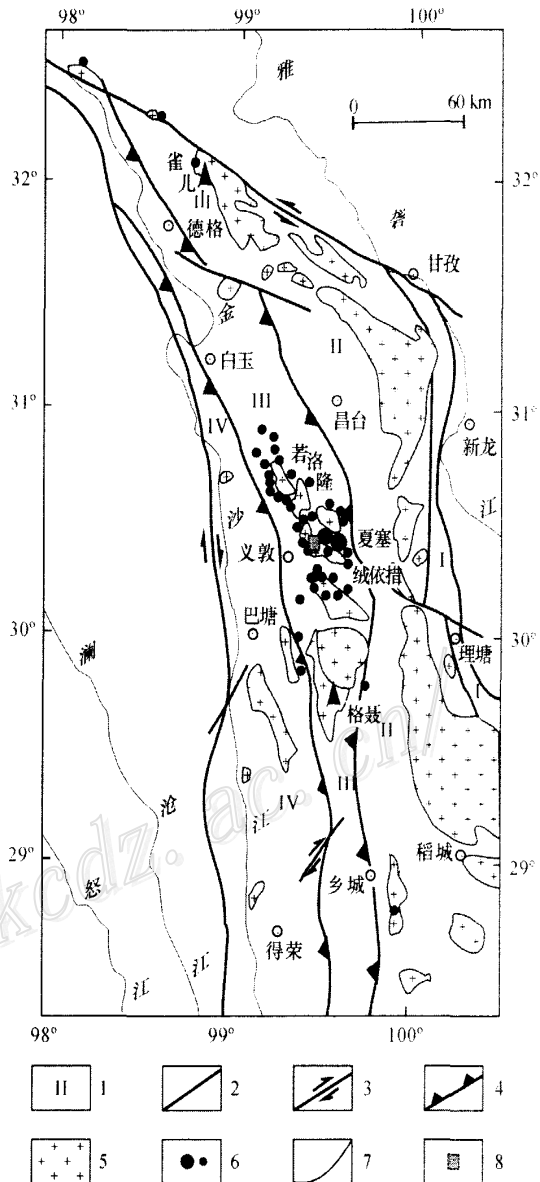


图 1 川西义敦碰撞造山带中新生代花岗岩体及银锡多金属矿床(点)分布图(据侯立玮等,1994 修编)
1—义敦碰撞造山带构造单元代号:1. 甘孜-理塘蛇绿混杂岩带, II. 义敦岛弧主弧带, III. 弧后(间)冲断带, IV. 金沙江蛇绿混杂岩带; 2—断裂带; 3—走滑断裂带; 4—推覆断裂带; 5—中、新生代花岗岩; 6—银-锡多金属矿床(点); 7—地质界线; 8—一定年样品采样位置

Fig. 1 Distribution of Mesozoic and Cenozoic granite intrusions and silver and tin polymetallic deposits (ore spots)
(Modified after Hou et al., 1994)
1—Tectonic units of Yidun collision orogenic belt: 1. Garze-Litang ophiolitic mélangé belt, II. Yidun main arc belt, III. Back-arc (interarc) thrusting fault belt, IV. Jinshajiang ophiolitic mélangé belt; 2—Fault belts; 3—Strike-slip fault belts; 4—Thrust fault belts; 5—Mesozoic and Cenozoic granite intrusions; 6—Silver-tin polymetallic deposits (ore spots); 7—Geological boundary; 8—Relative location of dated samples in the two granite intrusions

① 胡世华,等. 1996. 川西夏塞银多金属矿床及外围成矿特征、富集条件、找矿远景及靶区优选. 地质矿产部 1994 年定向科研项目(直科定 94-17)研究报告. 四川省地质勘查局科研所,四川省地质勘查局 108 地质队和成都理工学院. 73 页.

重熔作用,形成以“S”型花岗岩为主的由 20 余个岩体组成的雀儿山—格聂花岗岩带和相关的银、锡、铅-锌多金属矿床,主要分布于弧后冲断带的东缘,花岗岩带岩石的 K-Ar 表面年龄值、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄、U-Pb 和 Rb-Sr 年龄范围为 7~217 Ma,主要为 40~140 Ma,中南段格聂、茨林措等岩体侵入时间较晚(吕伯西等,1993;侯立纬等,1994)。银、锡、铅-锌多金属矿床主要分布于花岗质侵入岩的外围。新生代以后该构造单元作为青藏高原的组成部分,发生快速垂直向隆升、大规模的平移和逆冲推覆。

义敦岛弧碰撞带弧后冲断带分布晚三叠世弱变质的碎屑岩、板岩夹碳酸盐岩和少量火山岩,变形强烈,紧密褶皱、逆冲断裂和劈理十分发育。变质火山岩主要属于板内张裂型碱性玄武岩和近似洋脊的拉斑玄武岩组合(侯立纬等,1994)。区域构造主要呈 NNW 向,一系列近于平行的 NNW 向断裂和褶皱相间排列,断裂主要为压扭性逆冲剪切断裂,倾角一般为 50~60°;局部发育 NW 向或 NE 向的断裂。

2 矿床地质

夏塞矿区银多金属矿床含矿围岩为上三叠统图姆沟组弱变质长石石英砂岩、板岩和含流纹质火山碎屑的砂岩,矿体受 NNW 走向顺层逆断裂控制,产状与地层基本一致。矿区主要出露绒依措和若洛隆黑云母二长花岗岩体,两者具有相近的岩石特征;前者位于矿区南西 2 km,后者位于矿床的西侧,与夏塞银多金属矿床具有密切的空间关系(图 1 和 2)。绒依措黑云母二长花岗岩体向北倾伏,出露面积 122 m²,呈 NW 向展布(图 1),主体岩相为似斑状黑云母二长花岗岩,副矿物组合含锡石和方铅矿。岩石为高酸性、碱性和分异程度高的酸性岩,稀土元素含量和配分特征与“S”型花岗岩一致^①。Qu 等(2002)报道绒依措花岗岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 75.2 Ma。

在 2.5 km² 的勘探范围内,矿体以 500~700 m 距离平行排列(图 2),呈大脉状、细脉状和透镜状等,长 30~2 800 m。①号矿体长 2 200 m,厚度平均为 1.8 m,控制垂直深度 213 m,平均品位 Ag 为 343.85×10^{-6} ,Pb 2.87%,Zn 2.65%。②号矿体长 2 800 m,平均厚度 1.51 m,控制垂深 274 m,平均

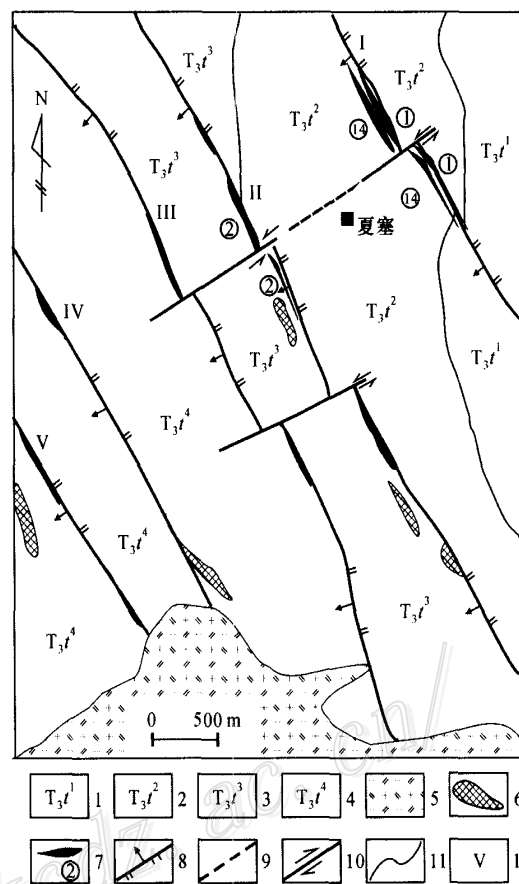


图 2 夏塞银多金属矿床地质简图(据邹光富等,2002)
1—上三叠统图姆沟组第一段;2—上三叠统图姆沟组第二段;3—上三叠统图姆沟组第三段;4—上三叠统图姆沟组第四段;5—绒依措黑云母二长花岗岩;6—砂卡岩体;7—银多金属矿体及编号;8—逆冲断层;9—推测断层;10—平移断层;11—地质界线;12—矿带编号

Fig. 2 Geological sketch map of the Xiasai silver-poly metallic deposit(after Zou et al., 2002)

1—1st member of Upper Triassic Tumugou Formation; 2—2nd Member of Triassic Tumugou Formation; 3—3rd Member of Upper Triassic Tumugou Formation; 4—4th Member of Upper Triassic Tumugou Formation; 5—Rongyicuo biotite monzonitic granite; 6—Skarn; 7—Silver poly metallic ore body and its serial number; 8—Reverse thrust; 9—Inferred fault; 10—Strike-slip fault; 11—Geological boundary; 12—Serial number of ore zone

品位 Ag 339.01×10^{-6} ,Pb 4.02%,Zn 1.23%。④号矿体长 2 200 m,平均厚 1.37 m,控制垂深 169 m,平均品位 Ag 465.57×10^{-6} ,Pb 6.58%,Zn 2.85%^①。矿体两侧围岩蚀变以帘石化、硅化和绢云母化为主。

矿化和围岩蚀变从近岩体到距岩体较远,具有

① 胡世华,等. 1996. 川西夏塞银多金属矿床及外围成矿特征、富集条件、找矿远景及靶区优选. 地质矿产部 1994 年定向科研项目(直科定 94-17)研究报告. 四川省地质勘查局科研所,四川省地质勘查局 108 地质队和成都理工学院. 73 页.

水平分带的现象。距绒依措岩体较近处(南西处),局部发育矽卡岩化,围岩蚀变以硅化、绢云母化和钠长石化为主,矿石含银较低,矿石矿物组合为复杂的锡石-硫化物;离岩体较远处(北东处),围岩蚀变以绢云母化、萤石化和硅化为主,矿石含银较高,矿石矿物组合为较多银矿物-硫化物,更远处为铅、锌、银矿化。矿体从中深至浅部,围岩蚀变由帘石化变为硅化和绢云母化,矿石的铜含量逐渐降低,银和铅的含量增高。

矿区主要有4种类型的矿石:富银铅锌矿石、银铅锌矿石、银多金属矿石和银锌矿石。主要原生金属矿物分为5类,含银矿物:深红银矿、辉铋银矿、银黝铜矿、银金矿;硫化物矿物:磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铋矿、辉铋矿、辉砷镍矿、毒砂等;硫酸盐矿物:柱辉铋铅矿、斜方辉铋铅矿、硫铋铅矿、黝铜矿、黄锡矿;自然元素类:自然铋、铋铋矿、自然铋;氧化物:锡石。

成矿作用过程包括3个成矿期:

矽卡岩期 在矿区主要为角岩化,沿断裂发育一些小型矽卡岩体,主要形成透闪石、钠长石、阳起石、绿帘石、石榴石、绿泥石等,局部形成锡石矿化。当矽卡岩受到后期成矿作用叠加时,形成银多金属矿体。

热液期 最重要的矿床形成时期,根据矿物组合、生成顺序和物理化学条件,可以划分4个阶段^①:

氧化物阶段:主要形成锡石、石英、金红石、锡石

以单晶形态出现,被后阶段形成的矿物穿插交代,具有交代残余结构。

早期硫化物阶段:主要形成毒砂-黄铁矿-石英矿物组合和柱辉铋铅矿-斜方辉铋铅矿矿物组合,毒砂-黄铁矿-石英组合形成较早。

晚硫化物-银阶段:形成众多的硫化物和硫酸盐,主要矿物组合为黄铜矿-磁黄铁矿-黄铁矿-方铅矿-闪锌矿,辉铋矿-深红银矿-辉铋银矿,银金矿-金银矿-自然银,硫铋铅矿-方铅矿-闪锌矿,自然铋-铋铋矿以及较多的(含银)黝铜矿族矿物等。

碳酸盐阶段:形成微细粒黄铁矿集合体穿插闪锌矿、方铅矿等的矿物裂隙。碳酸盐矿物也呈细脉状。

表生期 原生矿石在近地表环境中受表生氧化作用,形成针铁矿、纤铁矿、铅矾、铜蓝、孔雀石、菱锌矿、白铅矿等次生矿物,形成氧化矿石。

3 成岩和成矿年龄

3.1 花岗岩的 Rb-Sr 等时线年龄

绒依措和若洛隆岩体的 Rb-Sr 等时线年龄样品分别采自岩体的西部和东部(见图1),采样距离为2~6 m,样品全部为新鲜似斑状黑云母二长花岗岩,造岩矿物为钾长石、斜长石、黑云母和石英。样品粉碎到200目,溶样和测试由中国科学院地质与地球物理研究所同位素实验室完成。

绒依措和若洛隆岩体的 Rb-Sr 等时线年龄分别

表1 绒依措和若洛隆黑云母二长花岗岩全岩铷-锶同位素测定结果

Table 1 Whole rock Rb and Sr isotope composition of Rongyicuo and Ruoluolong biotite adamellite

岩体	样号	Rb/10 ⁻⁶	Sr/10 ⁻⁶	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	2σ
绒依措黑云母二长花岗岩	Y01	303.9	84.82	10.383	0.723342	0.000018
	Y02	325.7	64.81	14.572	0.728782	0.000025
	Y03	317.0	102.04	9.000	0.721710	0.000016
	Y03a	318.9	42.74	21.653	0.738361	0.00002
	Y04	257.9	184.98	4.036	0.714358	0.000019
	Y05	258.7	166.79	4.457	0.716161	0.00002
	Y06	292.1	131.43	6.437	0.717832	0.000015
	Y08	386.5	180.31	6.574	0.718533	0.00002
若洛隆黑云母二长花岗岩	R01	348.6	106.54	9.473	0.721666	0.000015
	R03	323.8	69.22	13.561	0.726801	0.000019
	R05	279.8	171.07	4.723	0.715557	0.000015
	R07	384.8	80.82	13.803	0.727710	0.000025
	R08	347.6	93.19	10.81	0.723689	0.000025
	R10	301.7	70.95	12.326	0.725932	0.000016

① 胡世华,等.1996.川西夏塞银多金属矿床及外围成矿特征、富集条件、找矿远景及靶区优选.地质矿产部1994年定向科研项目(直科定94-17)研究报告.四川省地质勘查局科研所,四川省地质勘查局108地质队和成都理工学院.73页.

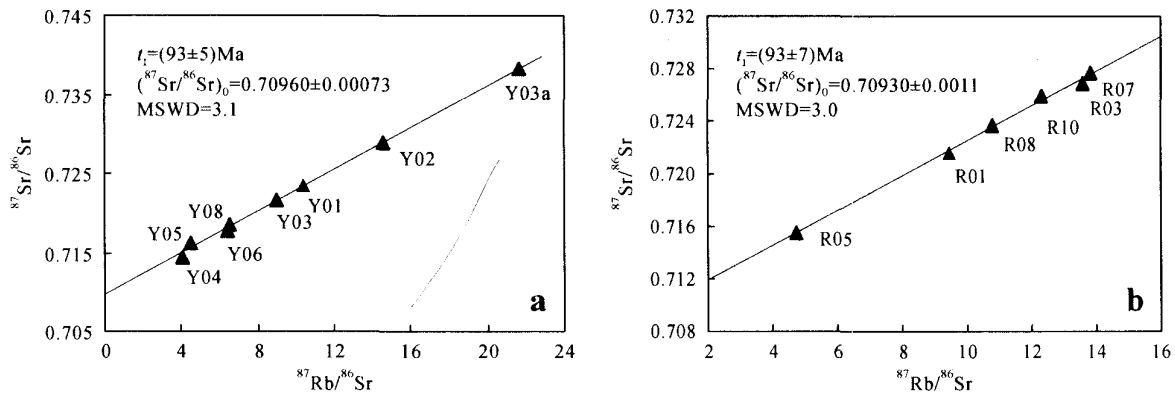


图 3 绒依措(a)和若洛隆(b)黑云母二长花岗岩的 Rb-Sr 等时线年龄(样品号同表 1)

Fig. 3 Rb-Sr isochron ages of Rongyicuo and Ruoluolong biotite monzonite intrusions (Serial number of samples as for Table 1)

为 $(93 \pm 5) \text{ Ma}$ 和 $(93 \pm 7) \text{ Ma}$ (表 1, 图 3)。因为铷、锶同位素的封闭温度接近花岗岩的结晶温度 (Harrison et al., 1979), 所以岩体的 Rb-Sr 等时线年龄基本上代表花岗岩的形成年龄 (李献华等, 1990)。绒依措和若洛隆岩体的结晶年龄约为 93 Ma , 大于岩石的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄 (Qu et al., 2002), 与岩石的铷、锶同位素的封闭温度较高和氩同位素封闭温度较低一致。绒依措和若洛隆花岗岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值分别为 (0.70960 ± 0.00073) 和 (0.70930 ± 0.0011) , 在“S”型花岗岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值范围内。

3.2 花岗岩和矿石石英的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄

测定 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄的样品被破碎到 40 ~ 80 目, 经过筛选和物理分选, 在双目镜下挑纯。样品在中国原子能科学研究院 42-9 反应堆照射, 参数见表 2。样品测试在中国科学院地质与地球物理研究所 Ar-Ar 实验室完成, 测试样品的重量见表 2。实验技术请参考桑海清等 (1994; 2001) 和桑海清 (2002)。

绒依措和若洛隆花岗岩钾长石的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄分别为 $(60.63 \pm 0.41) \text{ Ma}$ 和 $(60.19 \pm 0.26) \text{ Ma}$; 黑云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $(63.85 \pm 0.21) \text{ Ma}$ 和 $(63.57 \pm 0.23) \text{ Ma}$ (表 2, 图 4)。因为钾长石和黑云母的 Ar 封闭温度分别为 $\sim 160 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $(220 \pm 40) \text{ }^\circ\text{C}$ (Harrison et al., 1979), 因此, 黑云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄稍大于钾长石的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄是合理的, 测定的钾长石和石英的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄是可信的。两个岩体从开始结晶到冷却到 $160 \text{ }^\circ\text{C}$, 持续了近 30 Ma , 冷却速率为 $18 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Ma}$ 。

挑选代表银矿化时间的热液成矿期晚硫化物-银阶段形成的石英做 Ar-Ar 定年, 样品选自 ②号矿

脉的方铅矿石英脉。

石英中的过剩氩主要存在于流体包裹体中 (Kelley et al., 1986); 部分钾存在于石英的结构空隙和空缺中, 部分钾存在于流体包裹体和结构水中; 钙、氯等主要存在于石英内的流体包裹体中 (陈光远等, 1989)。测定的石英 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄谱为“马鞍”形 (表 2; 图 5), 表明石英中存在过剩氩。“马鞍”形年龄谱的成因主要是石英中次生流体包裹体和较大的原生及假次生流体包裹体在低温第一阶段开始爆裂, 析出较多过剩氩 (Kelley et al., 1986), 而放射成因氩和钾受照射形成的 Ar 析出量在第一阶段相对较小, 同时, 第一阶段析出的气体量大, 可能掩盖了 ^{39}Ar 的析出量 (邱华宁等, 1995), 因此, 第一阶段测到大量的过剩氩。在低(中)温 ($\leq 800 \text{ }^\circ\text{C}$) 阶段, 测到的 Ar 主要是较小的流体包裹体内的放射成因 Ar, K 受照射形成的 Ar 以及过剩 Ar, 可能还有相对较少的石英晶格中的 Ar, 过剩 Ar 相对减少 (桑海清等, 1994)。在高温阶段 ($> 800 \text{ }^\circ\text{C}$), 来自流体包裹体的 Ar 减少, 由于温度高, 石英晶体渐渐解体, 晶格中的过剩 Ar 越来越多地被释放出 (邱华宁等, 1995; 胡振铎, 1997), 而同时释放的气体太少, 可能影响了 ^{39}Ar 的测定, 形成大的视年龄。因此最低温(第一)阶段和高温阶段析出的气体给出的视年龄没有地质年代学意义。中部低(中)温阶段马鞍形年龄谱底部的几组年龄组成的坪年龄接近于石英中原生和假次生流体包裹体的年龄 (Lanphere et al., 1976; Lippolt et al., 1986; Zeitler et al., 1986; 桑海清等, 1994; 2001) (图 5), 由于原生和假次生流体包裹体与主矿物的形成时间一致, 其年龄可以代表主矿物石英的结晶年

表2 花岗岩钾长石、黑云母和矿石石英 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年数据
 Table 2 ^{40}Ar - ^{39}Ar Ar dating data of K-feldspar and biotite from granite intrusions and quartz from ores

加热阶段	$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{39}\text{Ar}/10^{-12}\text{mol}$	$(^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}) \pm 1\sigma$	$^{39}\text{Ar}\%$	$t \pm 1\sigma/\text{Ma}$
Y08 钾长石($m=0.0668\text{g}$,照射参数 $J=0.008326$)									
1	420	15.0280	0.0237	0.18123	0.0500	6.356	8.120 ± 0.018	1.29	124.97 ± 2.68
2	540	8.5623	0.0101	0.14494	0.0363	9.116	5.579 ± 0.006	1.86	86.79 ± 1.15
3	640	5.3790	0.0029	0.07725	0.0193	23.240	4.263 ± 0.002	4.74	62.92 ± 0.76
4	720	4.6527	0.0020	0.06490	0.0153	33.400	4.042 ± 0.001	6.82	59.72 ± 0.71
5	800	4.3750	0.0012	0.04560	0.0135	55.670	4.008 ± 0.001	11.30	59.22 ± 0.71
6	880	4.3888	0.0008	0.04250	0.0123	83.510	4.114 ± 0.001	17.00	61.20 ± 0.73
7	960	4.2419	0.0004	0.04000	0.0185	143.800	4.100 ± 0.001	29.30	60.57 ± 0.72
8	1040	4.2903	0.0009	0.04330	0.0125	71.910	4.006 ± 0.001	14.60	59.20 ± 0.70
9	1120	4.7027	0.0020	0.08380	0.0179	34.330	4.110 ± 0.001	7.01	60.72 ± 0.73
10	1200	5.7706	0.0053	0.16490	0.0310	12.940	4.201 ± 0.003	2.64	62.03 ± 0.76
11	1300	7.9669	0.0094	0.19335	0.0361	9.812	5.200 ± 0.005	2.00	76.47 ± 1.00
12	1400	12.8110	0.0236	0.27581	0.0613	5.404	5.891 ± 0.014	1.10	86.39 ± 1.57
R06 钾长石($m=0.0726\text{g}$,照射参数 $J=0.008243$)									
1	420	13.9900	0.0192	0.15237	0.0487	7.237	8.346 ± 0.016	1.32	120.04 ± 2.34
2	540	10.7010	0.0158	0.14219	0.0446	8.931	6.052 ± 0.009	1.63	87.83 ± 1.33
3	660	7.7910	0.0097	0.09890	0.0291	15.540	4.943 ± 0.005	2.83	72.06 ± 0.92
4	760	5.3333	0.0041	0.06483	0.0194	27.830	4.110 ± 0.002	5.08	60.12 ± 0.72
5	840	5.2027	0.0033	0.07000	0.0180	34.330	4.212 ± 0.002	6.26	61.58 ± 0.74
6	900	4.5970	0.0014	0.04080	0.0115	77.110	4.158 ± 0.001	14.10	60.80 ± 0.72
7	960	4.3589	0.0008	0.06770	0.0152	135.700	4.110 ± 0.001	24.70	60.11 ± 0.72
8	1020	4.4545	0.0011	0.04354	0.0144	102.000	4.121 ± 0.001	18.60	60.27 ± 0.72
9	1100	4.5964	0.0017	0.05660	0.0200	66.110	4.082 ± 0.001	12.00	59.72 ± 0.71
10	1200	5.0000	0.0027	0.06160	0.0238	41.570	4.186 ± 0.002	7.62	61.20 ± 0.74
11	1300	5.6666	0.0055	0.09760	0.0325	20.870	4.039 ± 0.003	3.81	59.09 ± 0.73
12	1400	7.5000	0.0119	0.14406	0.0557	9.743	4.010 ± 0.006	1.77	58.68 ± 0.79
Y08-2 黑云母($m=0.0696\text{g}$,照射参数 $J=0.008326$)									
1	420	13.4960	0.0206	0.18369	0.0473	6.170	7.429 ± 0.015	1.22	108.28 ± 2.02
2	540	9.3297	0.0134	0.15085	0.0386	8.652	5.398 ± 0.007	1.71	79.32 ± 1.10
3	640	7.5520	0.0096	0.11371	0.0283	14.490	4.735 ± 0.004	2.87	69.77 ± 0.89
4	720	5.6559	0.0043	0.08916	0.0211	21.570	4.395 ± 0.002	4.28	64.85 ± 0.78
5	800	5.0297	0.0023	0.05990	0.0164	38.970	4.331 ± 0.002	7.73	63.92 ± 0.77
6	960	4.9069	0.0018	0.05990	0.0174	49.870	4.362 ± 0.002	9.89	64.36 ± 0.77
7	1040	4.5801	0.0006	0.07030	0.0152	141.500	4.318 ± 0.001	28.00	63.73 ± 0.76
8	1120	4.6428	0.0009	0.08100	0.0181	97.430	4.367 ± 0.001	19.30	64.43 ± 0.77
9	1200	4.6551	0.0013	0.09800	0.0181	67.270	4.225 ± 0.001	13.30	62.81 ± 0.75
10	1300	5.1351	0.0027	0.10305	0.0170	34.330	4.345 ± 0.002	6.81	64.13 ± 0.77
11	1400	6.1094	0.0063	0.17392	0.0258	14.610	4.335 ± 0.003	2.89	63.97 ± 0.79
12	1450	7.2307	0.0102	0.24678	0.0366	9.046	4.232 ± 0.005	1.79	62.49 ± 0.80

续表 2

Table 2 (cont.)

加热阶段	$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{39}\text{Ar}/10^{-12}\text{mol}$	$(^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar})\pm 1\sigma$	$^{39}\text{Ar}_K/\%$	$t\pm 1\sigma/\text{Ma}$
R06-2 黑云母($m=0.0662\text{g}$, 照射参数 $J=0.008343$)									
1	420	13.3440	0.0206	0.17599	0.0475	6.727	7.273 ± 0.014	1.49	106.28 ± 1.96
2	540	9.4226	0.0138	0.14560	0.0381	10.040	5.357 ± 0.007	2.22	78.89 ± 1.10
3	660	7.5520	0.0042	0.09500	0.0238	21.620	4.322 ± 0.002	4.79	63.92 ± 0.77
4	760	5.6559	0.0026	0.06810	0.0186	35.260	4.202 ± 0.002	7.81	62.17 ± 0.75
5	840	5.0297	0.0016	0.05530	0.0160	54.720	4.333 ± 0.001	12.10	64.08 ± 0.77
6	920	4.9069	0.0009	0.06130	0.0147	93.720	4.265 ± 0.001	20.70	63.09 ± 0.75
7	1000	4.5801	0.0007	0.06589	0.0185	121.500	4.320 ± 0.001	26.90	63.89 ± 0.76
8	1100	4.6428	0.0015	0.06480	0.0179	61.240	4.329 ± 0.001	13.50	64.02 ± 0.77
9	1200	4.6551	0.0033	0.12009	0.0285	27.830	4.344 ± 0.002	6.16	64.23 ± 0.78
10	1300	5.1351	0.0083	0.22517	0.0572	11.130	4.234 ± 0.006	2.46	62.64 ± 0.83
11	1400	6.1094	0.0125	0.24863	0.0640	7.442	4.345 ± 0.007	1.64	64.24 ± 0.90
X20 石英($m=0.2081\text{g}$, 照射参数 $J=0.008352$)									
1	400	20.3680	0.0347	0.97130	0.1625	3.338	10.24 ± 0.022	15.70	148.16 ± 3.67
2	480	10.4100	0.0186	0.80984	0.1175	6.214	4.995 ± 0.011	29.30	73.74 ± 1.22
3	560	13.0980	0.0281	1.30190	0.1993	3.291	4.933 ± 0.020	15.30	72.84 ± 1.71
4	660	16.4770	0.0397	1.73550	0.2898	2.039	4.942 ± 0.030	9.63	72.98 ± 2.36
5	800	29.3570	0.0833	3.25360	0.5071	0.972	5.153 ± 0.061	4.59	76.02 ± 4.68
6	950	35.6120	0.1020	3.08410	0.5571	1.134	5.897 ± 0.075	5.36	86.74 ± 6.51
7	1100	48.3330	0.1359	4.24590	0.7359	0.902	8.779 ± 0.120	4.26	127.67 ± 14.84
8	1250	37.4180	0.0909	3.41990	0.5327	1.273	11.01 ± 0.077	6.01	158.78 ± 11.96
9	1400	49.1570	0.1316	4.44220	0.7237	0.879	10.89 ± 0.122	4.15	157.14 ± 18.39
10	1550	43.3330	0.0958	3.18180	0.6563	1.111	15.48 ± 0.100	5.25	219.41 ± 20.90
X05 石英($m=0.2043\text{g}$, 照射参数 $J=0.008352$)									
1	400	26.0000	0.0581	1.25080	0.2291	1.993	9.019 ± 0.0352	8.29	131.03 ± 4.70
2	480	8.6309	0.0119	1.38730	0.1122	7.784	5.248 ± 0.011	32.40	77.41 ± 1.23
3	560	9.9572	0.0170	0.99603	0.1175	5.425	5.017 ± 0.011	22.50	74.06 ± 1.22
4	660	14.8330	0.0333	1.73850	0.1875	2.780	5.183 ± 0.020	11.50	76.46 ± 1.76
5	800	23.3750	0.0625	2.64850	0.2859	1.482	5.228 ± 0.035	6.16	77.11 ± 2.86
6	950	40.4870	0.1171	3.14050	0.5049	0.949	6.350 ± 0.083	3.94	93.24 ± 7.63
7	1100	35.2830	0.0943	2.64470	0.5038	1.227	7.795 ± 0.017	5.10	113.80 ± 7.97
8	1250	55.0000	0.1563	4.12560	0.7719	0.740	9.454 ± 0.144	3.08	137.11 ± 19.13
9	1400	46.5870	0.1184	3.13100	0.6737	0.880	12.07 ± 0.111	3.66	173.33 ± 18.38
10	1550	55.6060	0.1424	2.76580	0.5364	0.764	13.99 ± 0.135	3.17	199.47 ± 25.62

龄和矿化年龄(邱华宁等,1995)。对低(中)温阶段构成坪年龄的相应加热阶段的数据进行 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线年龄计算(York,1969),结果分别是(73.16 ± 0.28) Ma、(76.87 ± 0.63) Ma,相关系数均在0.999以上; $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始值为(295.1 ± 2.1)和(291.9 ± 7.3),与尼尔值(295.5 ± 5)(Nier,1950)一致(图5),说明低(中)温阶段构成的坪年龄没有受

过剩氩的影响。因此,晚硫化物-银阶段矿化作用发生在75 Ma左右。

4 矿石的硫、铅同位素组成

夏塞银多金属矿床矿石及硫化物矿物的硫同位素组成见表3,本文数据由中国科学院地质与地球物

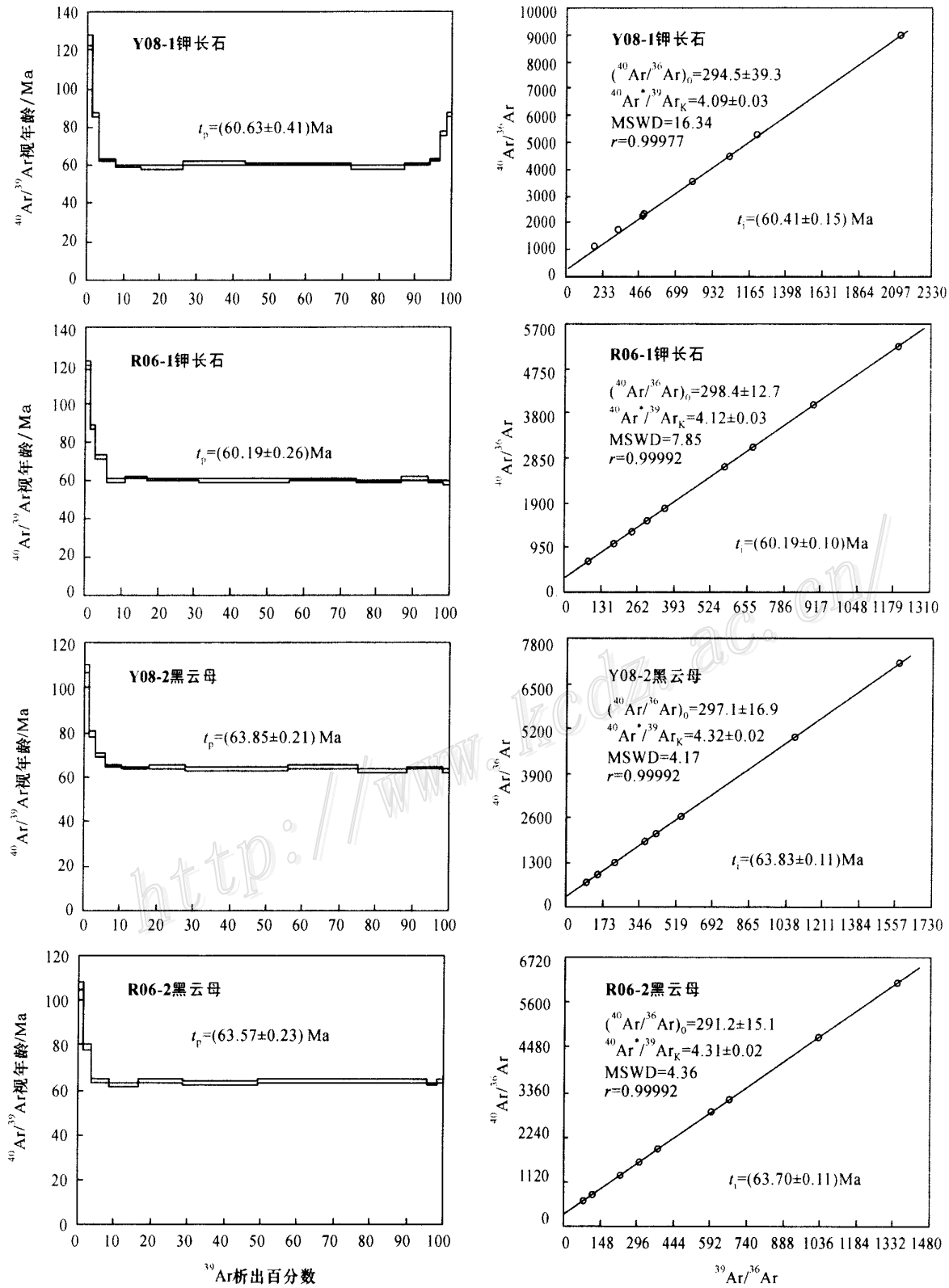


图 4 花岗岩钾长石和黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄谱(左列)和 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线(右列)(数据见表 2)

Fig. 4 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectra and $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ isochron lines of K feldspar and biotite from Rongyicuo and Ruoluolong granite intrusions

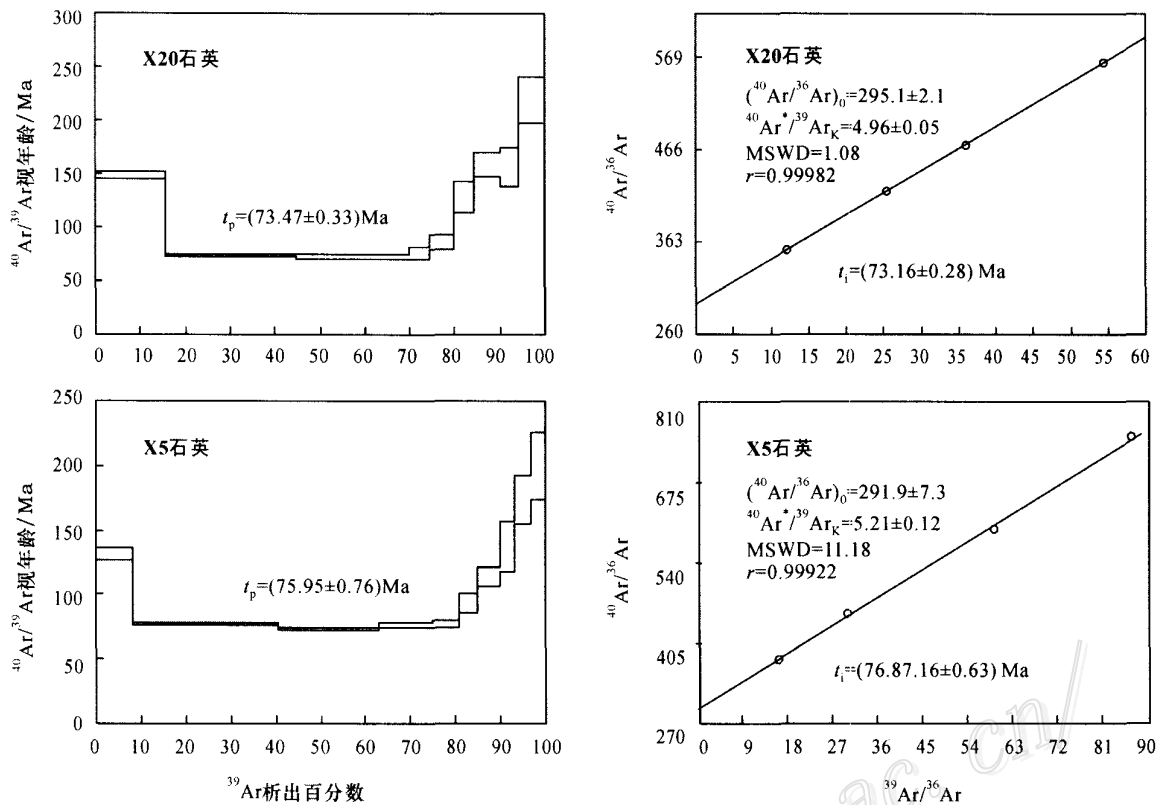


图 5 矿石石英的⁴⁰Ar-³⁹Ar 坪年龄谱(左列)和⁴⁰Ar/³⁶Ar-³⁹Ar/³⁶Ar 等时线(右列)(数据见表 2)

Fig. 5 ⁴⁰Ar-³⁹Ar age spectra and ⁴⁰Ar/³⁶Ar-³⁹Ar/³⁶Ar isochron line of quartz from the ore

表 3 矿石及硫化物矿物的硫同位素组成

Table 3 Sulfur isotope compositions of ores and sulfide minerals

序号	样号	样品名称	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	$\sigma/\text{‰}$	资料来源
1	X08-1	粗粒方铅矿	- 7.22	0.002	本文
2	X09-1	闪锌矿	- 5.94	0.004	本文
3	X10	磁黄铁矿	- 7.10	0.007	本文
4	X13-1	方铅矿	- 7.80	0.002	本文
5	X15-1	磁黄铁矿	- 6.88	0.006	本文
6	X16	方铅矿	- 7.39	0.002	本文
7	X19	方铅矿	- 7.60	0.008	本文
8	X19-1	闪锌矿	- 6.12	0.006	本文
9	X21	铅锌矿石	- 5.50	0.007	本文
10		含铜磁黄铁矿	- 6.54		刘秉光等, 2000
11		含铜磁黄铁矿	- 6.56		刘秉光等, 2000
12		方铅矿	- 6.50		刘秉光等, 2000
13		黄铁矿	- 5.20		胡世华等, 1996
14		方铅矿	- 4.90		胡世华等, 1996

理研究所同位素实验室测定。矿石及硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 - 4.9 ‰ ~ - 7.80 ‰(表 3), 平均(15 个样品)为 - 6.52 ‰, 在壳源重熔型花岗岩的硫同位素组成范围内(Sasaki et al., 1979), 也在沉积岩的硫同位素组成范围内。晚硫化物- 银成矿阶段硫化物矿物的 $\delta^{34}\text{S}$

值大小顺序为黄铁矿 > 闪锌矿 > 磁黄铁矿 > 方铅矿(刘权, 2003), 表明该阶段成矿作用过程中, 硫同位素分馏基本达到平衡, 是无机化学分馏的结果。根据该阶段矿物组合, 磁黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{P}_0}$ 值接近于成矿热液总硫的硫同位素组成, 即 $\delta^{34}\text{S}_{\text{P}_0} \cong \delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}$, 成矿热

液总硫的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{SS}}$ 值为 $-6.88\% \sim -7.10\%$ (Ohmoto et al., 1979)。如果硫在初始岩浆热液中以 H_2S 为主,则热液的 $\delta^{34}\text{S}$ 值等于热液中 H_2S 的 $\delta^{34}\text{S}$ 值 ($0 \pm 3\%$);当温度降低到 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 时,热液中 H_2S 的 $\delta^{34}\text{S}$ 值可以降低到 $-10\% \sim 0\%$ (Ohmoto et al., 1979)。因此晚硫化物-银成矿阶段成矿流体总硫的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{SS}}$ 值位于岩浆流体的 $\delta^{34}\text{S}$ 值范围内;由于缺少夏塞地区系统的沉积岩硫同位素组成资料,因此,不能排除硫来自沉积围岩的可能性。

矿石及硫化物矿物的铅同位素组成见表4,本文的数据由中国科学院地质与地球物理研究所同位素实验室测定。矿体围岩弱变质沉积岩的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.751 \sim 19.200$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.670 \sim 15.806$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 39.0032 \sim 39.062$ 。花岗岩的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.692 \sim 19.284$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.669 \sim 15.718$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 39.0032 \sim 39.492$ 。矿石硫化物的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.687 \sim 18.920$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.675 \sim 15.956$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.792 \sim 39.851$ 。一个变质沉积岩样品和一个硫化物矿物位于上地壳铅同位素平均演化曲线之上,其他样品位于上地壳铅同位素平均演化曲线附近,少数样品偏向造山带铅同位素平均演化曲线(图6),说明矿体围岩变质沉积岩、花岗岩和矿石铅来源主要为上地壳,可能有少量

下地壳铅加入。

5 讨论和结论

夏塞银多金属矿床是川西义敦银、锡、铅-锌多金属矿集区与黑云母二长花岗岩有关的典型矿床。矿区黑云母二长花岗岩和矿床的同位素年龄表明,花岗岩浆的侵入作用和银多金属矿床的成矿作用发生于中生代晚白垩世义敦晚三叠世岛弧造山带的陆内汇聚阶段,在该阶段,仰冲陆块继续向东推覆,碰撞带因推覆冲断叠置而加厚,引起地壳重熔作用,发生花岗岩浆侵入作用,形成以“S”型花岗岩为主的花岗岩带和相关的银、锡、铅-锌多金属矿床。银多金属矿床位于燕山晚期依措黑云母二长花岗岩体北东侧上三叠统图姆沟组弱变质长石石英砂岩、板岩和含流纹质火山碎屑的砂岩内的 NNW 走向断裂中。成矿流体硫同位素组成在岩浆热液和沉积岩的理论硫同位素组成范围内,矿石、花岗岩和弱变质围岩的铅同位素组成一致,为上地壳铅和少量下地壳铅的混合。根据石英过剩氩和氩来源的理论分析,以及近年来测定的大量石英 Ar-Ar 年龄,并根据地质情况推断的成矿时代一致的报道(桑海青等, 1994),夏塞银多金属矿床晚硫化物-银阶段矿化作

表4 矿石及硫化物矿物的铅同位素组成

Table 4 Lead isotope compositions of ores and sulfides

序号	样号	样品名称	采样位置	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2 σ / %	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2 σ / %	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2 σ / %	资料来源
1	X01	变质砂岩	铅锌矿体围岩	18.8030	0.014	15.8061	0.009	39.3904	0.024	本文
2	X03	未蚀变碳质板岩	铅锌矿体围岩	18.7508	0.021	15.6948	0.033	39.1350	0.033	本文
3	Y01	未蚀变花岗岩	距矿体约 2km	19.2001	0.014	15.7181	0.015	39.4485	0.016	本文
4	Y03a	未蚀变花岗岩	距矿体约 2km	19.2842	0.010	15.7135	0.011	39.4917	0.010	本文
5	Y04	未蚀变花岗岩	距矿体约 2km	19.0796	0.009	15.6685	0.009	39.3576	0.010	本文
6	Y08	未蚀变花岗岩	距矿体约 2km	18.9685	0.011	15.7017	0.011	39.2118	0.012	本文
7	X08	粗粒方铅矿		18.6916	0.015	15.6905	0.026	39.0026	0.017	本文
8	X09	闪锌矿		18.8182	0.019	15.8349	0.024	39.4786	0.027	本文
9	X13	方铅矿		18.7385	0.023	15.7297	0.026	39.1081	0.027	本文
10	X14	未蚀变碳质板岩	铅锌矿体围岩	18.7928	0.024	15.6703	0.026	39.0616	0.027	本文
11	X15-1	磁黄铁矿		18.7217	0.020	15.7097	0.021	39.0708	0.021	本文
12	X16	方铅矿		18.8133	0.042	15.8136	0.050	39.4065	0.058	本文
13	X19	方铅矿		18.7255	0.017	15.7162	0.019	39.0748	0.020	本文
14	X19-1	闪锌矿		18.9200	0.043	15.9560	0.050	39.8509	0.052	本文
15	X21	铅锌矿石		18.8594	0.068	15.9033	0.081	39.6681	0.107	本文
16	Y M4b4	块状矿石方铅矿		18.8740		15.9060		39.7370		胡世华等,1996
17	Y M4b5	块状矿石方铅矿		18.6870		15.6750		38.7920		胡世华等,1996
18	Y M4b6	块状矿石方铅矿		18.8600		15.9020		39.7250		胡世华等,1996

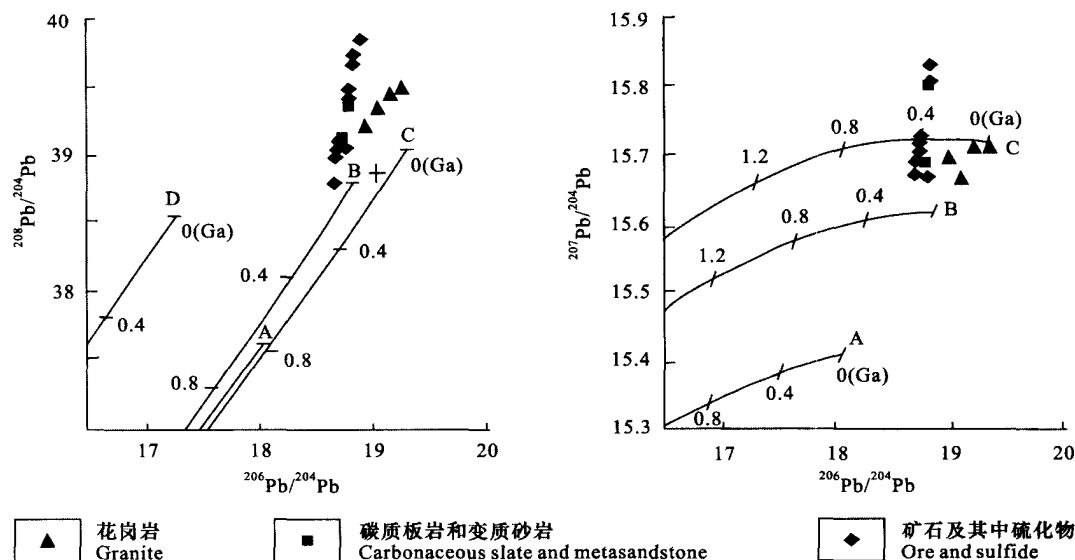


图 6 矿石及硫化物矿物的铅同位素组成图解(底图据 Doe et al., 1979)
 铅同位素平均演化曲线: A—地幔, B—造山带, C—上地壳, D—下地壳

Fig. 6 Lead isotope composition of ores and sulfide minerals(background chart from Doe et al., 1979)
 Pb isotopic evolution average trend: A—Mantle, B—Orogenic belt, C—Upper crust, D—Lower crust

用形成的石英⁴⁰Ar-³⁹Ar 坪年龄为75 Ma左右,以此作为银矿化的时代是可靠的。根据绒依措黑云母二长花岗岩的冷却速率,在晚硫化物-银多金属矿化阶段,花岗岩的温度为412℃左右,这意味着银多金属矿化作用是在花岗岩冷却过程中高于正长石和黑云母的氩同位素封闭温度时发生的。夏塞矿床流体包裹体均一温度为95~230℃(邹光富等,2002),低于同时的花岗岩体的温度,即成矿流体的温度低于花岗岩的温度。根据矿床的地质特征、花岗岩和矿脉石英的年龄以及矿石的硫、铅同位素组成,推断银多金属矿床的成因可能为:花岗岩侵入时,地热梯度增高,围岩中流体发生循环并和花岗岩浆侵入冷却结晶过程中分异出的流体混合形成成矿流体,在岩体外接触带的NNW走向的断裂中,由于物理化学条件变化,如温度、压力降低,在富硫(还原)的条件下,银矿物、硫化物矿物和硫盐结晶沉淀形成矿化,围岩发生硅化和绢云母化等蚀变。

本次研究得出以下结论:

(1) 花岗岩浆的侵入作用和银多金属矿床的成矿作用发生于中生代晚白垩世义敦晚三叠世岛弧造山带的陆内汇聚阶段。

(2) 夏塞银多金属矿区绒依措和若洛隆花岗岩体在93 Ma左右结晶,结晶以后的冷却速率约为

18℃/Ma,花岗岩为“S”型花岗岩。

(3) 夏塞银多金属矿床主要成矿作用阶段——晚硫化物-银成矿阶段形成的石英的⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄为75 Ma左右,可以代表银矿化的时间。

(4) 银多金属矿床矿石的硫可能来源于花岗岩和/或浅变质沉积围岩;矿石铅同位素组成与花岗岩和浅变质沉积围岩相似,铅主要来源于上地壳,少量来源于下地壳。银多金属成矿作用与花岗岩岩浆作用有密切的成因关系。

References

Chen G Y, Shao W and Sun D S. 1989. Genetic mineralogy of gold deposits in Jiaodong region with emphasis on gold prospecting[M]. Chongqing: Chongqing Pub. House. 425p(in Chinese with English abstract).
 Doe B R and Zartman Z E. 1979. Plumbotectonics, the Phanerozoic [A]. In: Barnes H L, ed. Geochemistry of hydrothermal ore deposits [M]. New York: Wiley. 22 ~ 70 .
 Harrison T M. 1979. Geochronology and thermal history of the coast plutonic complex near Prince Rupert, British Columbia [J]. Canada J. Earth Sci., 16: 400 ~ 410 .
 Hou L W, Dai B C, Yu R L, Fu D M, Hu S H, Li K Y, Luo Z W and Fu X F. 1994. Yidun collided island-arc orogenic belt and major metallogenic series in western Sichuan[M]. Beijing: Geol. Pub.

- House. 198p(in Chinese) .
- Hu Z D. 1997. K-Ar dating of quartz-vein in gold deposit [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 18 (Supp.): 266 ~ 268(in Chinese with English abstract) .
- Kelley S P, Turner G, Butterfield A W and Sheperd T J. 1986. The source and significance of argon in fluid inclusions from areas of mineralization[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 79: 303 ~ 318 .
- Lanphere M and Dalrymple G B. 1976. Identification of excess ^{40}Ar by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrum technique [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 32: 141 ~ 148 .
- Lippolt H J, Fuhrmann U and Hradetzky H. 1986. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age determination of sanidines of the Eifei volcanic field (Federal Republic of Germany): Constraints on age duration of a Middle Pleistocene cold period [J]. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 59: 187 ~ 204 .
- Liu B G, Hu, R Z, Bi X W, Ding K S and Wang D J. 2000. Chapter 18: Cu, Au, Ag, Ge and poly metal mineralization prospect region in Sanjiang region of western Yunnan and Sichuan[A]. In: Tu G Z, ed. *Superlarge deposits in China*[M]. Beijing: Science Press. 348 ~ 371(in Chinese) .
- Liu Q. 2003. Geological characteristics and genesis of Xiasai silver-poly-metallic deposit in western Sichuan Province [J]. *Mineral Deposits*, 23(2) : 121 ~ 128(in Chinese with English abstract) .
- Lv B X, Wang Z, Zhang N D, Duan J Z, Gao Z Y, Shen G F, Pan C Y and Yao P. 1993. Granitoids in the Sanjiang region and their metallogenic speculation [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 328p(in Chinese with English abstract) .
- Nier A O. 1950. A redetermination of the relative abundances of the isotope of carbon, nitrogen, oxygen, argon and potassium [J]. *Phys. Rev.*, 77: 789 ~ 793 .
- Ohmoto H and Rye H. 1979. Isotopes of sulfur and carbon[A]. In: Barnes H L, ed. *Geochemistry of hydrothermal deposits*, 2nd edition [C]. New York: John Wiley and Sons. 65 ~ 132 .
- Qiu H N, Dai T M and Pu Z P. 1995. The implications of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ saddle-shaped age spectra of trace minerals from the Lushui tungsten-tin deposit, Yunnan Province [J]. *Mineral Deposits*, 14(3) : 273 ~ 280 (in Chinese with English abstract) .
- Qu X M, Hou Z Q and Zhou S G. 2002. Geochemical and Nd, Sr isotopic study of the post-orogenic granites in the Yidun arc belt of northern Sanjiang region, southwestern China [J]. *Journal of the Society of Resource Geology*, 52: 163 ~ 172 .
- Sang H Q, Wang S S, Hu S L and Qiu J. 1994. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating method and Ar isotope mass spectrometry analysis of quartz [J]. *J. Chinese Mass Spectrometry Society*, 15(2) : 17 ~ 27 (in Chinese with English abstract) .
- Sang H Q, Qiu J and Wang Y L. 2001. Some improve ments on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ step-heating dating technique of quartz and its significance [J]. *Bull. Mineral. Petrol. & Geochem.*, 20(4) : 444 ~ 447 (in Chinese with English abstract) .
- Sang H Q. 2002. The application of K-Ar and Ar-Ar isotopic dating technique in modification of RGI0 mass spectrometer [J]. *J. Chinese Mass Spectrometry Society*, 23(4) : 241 ~ 247(in Chinese with English abstract) .
- Sasaki A and Ishihara S 1979. Sulfur isotope compositions of the magnetite-series and ilmenite-series granitoids in Japan [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 68, 107 ~ 115 .
- Wu M D, Lou Y E, Gu F and Hu T P. 1991. Foreign typical silver deposits[M]. Beijing: Chinese Institute of Information on Geology and Mineral Resources. 224 ~ 227(in Chinese) .
- York D. 1969. Least-squares fitting of a straight line with correlated errors[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 5: 320 ~ 324 .
- Zeitler P K and Gerald J D F. 1986. Saddle-shaped $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectra from young, microstructurally complex potassium feldspars [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50: 1185 ~ 1199 .
- Zou G F, Hu S H, Shuai D Q, Chen C J, Jiang H C and Liu Q. 2002. Geological features and origin of Xiasai silver-poly-metallic deposit, west Sichuan[J]. *Mineral Deposits*, 21(Supp.): 804 ~ 807(in Chinese) .

附中文参考文献

- 陈光远, 邵伟, 孙岱生. 1989. 胶东金矿成因矿物学与找矿[M]. 重庆: 重庆出版社. 425页.
- 侯立玮, 戴丙春, 俞如龙, 傅德明, 胡世华, 李开元, 罗再文, 傅小方. 1994. 四川西部义敦岛弧碰撞造山带与主要成矿系列[M]. 北京: 地质出版社. 198页.
- 胡振铎. 1997. 金矿石英脉 K-Ar 年龄测定[J]. *地球学报*, 18(增刊): 266 ~ 268 .
- 李献华, 桂训唐. 1990. 花岗岩的定年方法学初论[J]. *地球化学*, 4: 303 ~ 311 .
- 刘权. 2003. 四川夏塞银多金属矿床地质特征及成因[J]. *矿床地质*, 22(2) : 121 ~ 128 .
- 吕伯西, 王增, 张能德, 段建中, 高子英, 沈敢富, 潘长云, 姚鹏. 1993. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性[M]. 北京: 地质出版社. 328页.
- 邱华宁, 戴谟, 蒲志平. 1995. 云南泸水锡钨矿床微量钾矿物 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 马鞍形年龄谱的含义[J]. *矿床地质*, 14(3) : 273 ~ 280 .
- 桑海清, 王松山, 胡世玲, 裘冀. 1994. 石英的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法及 Ar 同位素质谱分析[J]. *质谱学报*, 15(2) : 17 ~ 27 .
- 桑海清, 裘冀, 王英兰. 2001. 石英 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段加热定年的实验技术改进及意义[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 20(4) : 444 ~ 447 .
- 桑海清. 2002. RGA10 质谱仪的改进及在 K-Ar、Ar-Ar 同位素定年中的应用[J]. *质谱学报*, 23(4) : 241 ~ 497 .
- 刘秉光, 胡瑞忠, 毕献武, 丁奎首, 汪道京. 2000. 第十八章: 川滇西三江地区 Cu, Au, Ag, Ge 及多金属成矿远景区[A]. 见: 涂光炽, 主编. *中国超大型矿床(I)*[M]. 北京: 科学出版社. 348 ~ 371 .
- 吴美德, 楼亚儿, 古方, 吴太平. 1991. 国外银矿及典型银矿床[M]. 北京: 中国地质矿产信息院. 224 ~ 227 .
- 邹光富, 胡世华, 帅德权, 陈才金, 蒋洪昌, 刘权. 2002. 川西义敦夏塞银多金属矿床地质特征及成因探讨[J]. *矿床地质*, 21(增刊): 804 ~ 807 .