

云南哀牢山金矿带大坪韧性剪切带型 金矿⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年

孙晓明^{1,2)}, 熊德信^{1,3)}, 石贵勇¹⁾, 王生伟¹⁾, 翟伟¹⁾

1) 中山大学地球科学系, 广州, 510275; 2) 南京大学成矿作用国家重点实验室, 210093;

3) 广东省肇庆学院, 526061

内容提要: 云南大坪金矿是哀牢山金矿带中最重要的金矿之一, 主要赋存在受到强烈韧性剪切和水-岩反应的加里东期闪长岩中, 是典型的韧性剪切带控矿型金矿。本文对大坪金矿绢英岩化近矿围岩中的热液绢云母进行了⁴⁰Ar-³⁹Ar定年, 得到其坪年龄为 33.76 ± 0.65 Ma, 相应的反等时线和正等时线年龄分别为 33.55 ± 0.74 Ma 和 33.57 ± 0.74 Ma, 显示大坪属于喜马拉雅早期金矿。这些年龄数据与哀牢山金矿带中广泛出现的喜马拉雅期煌斑岩脉年龄(33~34 Ma)非常接近, 显示金矿与上地幔部分熔融形成的煌斑岩之间可能存在成因上的联系。喜马拉雅早期, 本区在地壳拉张和强烈韧性剪切条件下, Moho 面抬升, 地幔物质部分熔融并上涌, 形成大量煌斑岩等基性岩脉, 地幔排气形成的深源地幔流体和地下壳脱水形成的富CO₂流体混合, 沿韧性剪切带上升, 并与糜棱岩化的加里东期闪长岩围岩发生水-岩反应, 局部发生流体沸腾作用, 导致成矿流体物理化学条件的改变和矿石矿物的沉淀, 在剪切带脆性构造中形成含金石英脉。

关键词: ⁴⁰Ar-³⁹Ar定年; 韧性剪切带; 煌斑岩脉; 大坪金矿; 云南哀牢山金矿带

云南哀牢山金矿带是我国最重要的喜马拉雅期金成矿带, 其中赋存了老王寨、墨江、长安和大坪等多个大型金矿, 特别是处于金矿带最南端的大坪金矿以其较特殊的成矿地质条件而引人注目。许多学者对其成矿地质背景和成因进行了研究(金世昌等, 1994; 胡云中等, 1995; 毕献武等, 1996, 1999; 韩润生等, 1997; 应汉龙, 1998; Burnard et al., 1999; 熊德信等, 2006a, 2006b, 2006c; 孙晓明等, 2006a, 2006b, 2006c), 但对其成因和成矿物质来源等问题仍有不同意见。特别是关于其成矿时代, 毕献武等(1996)利用电子自旋共振(ESR)法估算了大坪金矿成矿年龄约为50 Ma, 但一直没有精确的同位素定年数据。本文对大坪金矿含金硫化物石英脉周围绢英岩化蚀变岩中的绢云母进行了⁴⁰Ar-³⁹Ar定年, 得出其成矿年代为 33.76 ± 0.65 Ma。

1 矿床地质概况

大坪金矿位于哀牢山金矿带的南部, 矿区约60%为桃家寨闪长岩体所占据(图1), 此外尚见较多煌斑岩和花岗斑岩等岩脉。Rb-Sr等时线法测得

闪长岩的成岩年龄为481 Ma左右, 属于加里东期侵入岩(金世昌等, 1994; 胡云中等, 1995)。闪长岩体总体上呈北西向展布, 长约17 km, 宽约4~5 km, 出露面积约76 km²。总体为块状构造, 但局部由于强烈的剪切和韧性变形而呈片状构造。主要矿物成分为30%~40%角闪石、约40%斜长石和约10%石英。镜下观察显示其中石英见明显波状消光和核幔构造; 多数斜长石见晶体破碎和弯曲, 大部分蚀变为绢云母和钠长石等, 而部分角闪石已被绿泥石等所取代, 显示该矿成矿过程中受到强烈韧性变形和糜棱岩化的影响。煌斑岩多呈数十厘米的脉体出现, 具明显的斑状构造, 镜下观察显示斑晶主要为金云母, 而基质主要组成矿物为金云母、钠长石和透辉石等。局部煌斑岩脉体也受到韧性变形影响而出现片理化, 其中矿物大多数蚀变为绿泥石和绢云母等。从区域上看, 这些煌斑岩脉属于哀牢山金矿带中普遍出现的新生代煌斑岩脉体群的一部分, 其形成时代多为30~34 Ma(Wang et al., 2001)。

矿床主要由数百条含金多金属石英矿脉组成, 它们绝大多数分布于桃家寨岩体内, 多数长约500

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号40673045、40173025)、国家重点基础研究发展规划“973”项目(编号2002CB412610)、国家教育部跨世纪优秀人才培养计划基金项目和南京大学成矿作用国家重点实验室开放基金资助的成果。

收稿日期: 2006-10-12; 改回日期: 2006-12-10; 责任编辑: 周健。

作者简介: 孙晓明, 男, 1963年生, 教授, 博士生导师, 主要从事矿床地球化学研究。Email: eessxm@mail.sysu.edu.cn。

~1000 m,宽多数十厘米。含金矿脉在矿物组成上具有较明显的分带性,由中心向边部由团块状含金多硫化物带→石英脉带→含金钨矿石英脉带变化。

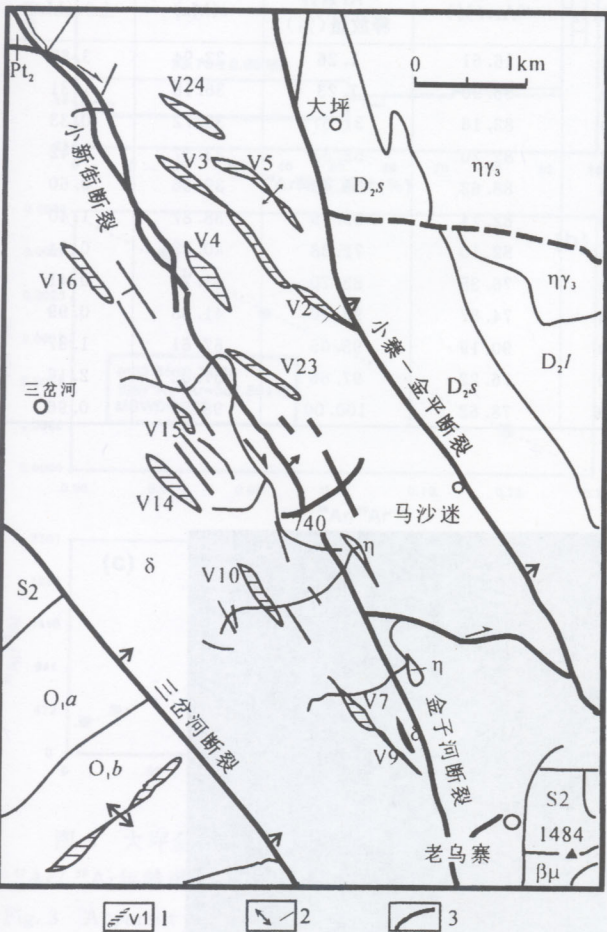


图 1 大坪金矿床地质简图(据应汉龙,1998 和中国人民武装警察部队黄金第十三支队^①改编)

Fig. 1 Geological sketch map of Daping gold deposits (modified after Ying,1998, and 13th Gold Detachment of the Chinese People's Armed Police Force^①)

D₂l—中泥盆统老阴寨组灰岩;D₂s—中泥盆统宋家寨组碳泥质页岩夹硅质页岩及灰岩;S₂—中志留统白云岩、白云质灰岩;O_{1a}—下奥陶统中组砂岩夹板岩;O_{1b}—下奥陶统下组;Pt₂—哀牢山群阿龙组片岩和片麻岩;ηγ₃—黑云二长花岗岩;η—二长岩、石英二长岩;δ—闪长岩、花岗闪长岩;βμ—煌斑岩;1—含金石英脉及其代号;2—背斜;3—向斜

D₂l—Limestone of Laojingzhai Fm. of Middle Devonian; D₂s—carbonaceous to argillaceous shale intercalated with siliceous shale and limestone of Songjiazhai Fm. of Middle Devonian; S₂—dolostone and dolomitic limestone of Middle Silurian; O_{1a}—sandstone intercalated with slate of Lower Ordovician; O_{1b}—lower formation of Lower Ordovician; Pt₂—gneiss and schist of Precambrian Ailaoshan Group; ηγ₃—biotite monzonitic granite; η—monzonite and quartz monzonite; δ—diorite and granodiorite; βμ—lamprophyre; 1—auriferous quartz veins and their number; 2—anticline; 3—syncline

矿石矿物由自然金、白钨矿和多种硫化物(黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、斑铜矿、闪锌矿等)组成,而脉石矿物主要为石英、方解石和白云石等。矿床详细地质特征参见胡云中等(1995)。

2 样品和分析方法

本次测定的样品为井下采集的大坪金矿 8 号矿脉近矿围岩,样号 04125。镜下可见其原岩为闪长岩,但经过了强烈的糜棱岩化和绢英岩化,石英出现明显的核幔构造等典型的韧性变形显微构造,而长石等绝大多数已蚀变为绢云母。其中主要组成矿物为石英(约 60%)、绢云母(约 30%)、碳酸盐矿物(约 5%)和黄铁矿等硫化物(约 5%)。绢云母多呈细粒鳞片状(图 2)。

将经破碎和手选纯度达 99% 以上的绢云母样品在北京原子能研究院反应堆 H8 通道内进行中子照射,中子通量检测标准样品为国际标样 85G003 (透长石),年龄 28.34 ± 0.28 Ma。照射后的绢云母样品在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素实验室 MM5400 惰性气体质谱仪上进行测试,测定结果经过系统空白、质量歧视校正、³⁷Ar 放射性衰变校正和 Ca、K 同位素反应校正。采用 CaF₂ 和 K₂SO₄ 确定 Ca、K 同位素反应的校正参数: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 2.609 \times 10^{-4} \pm 1.418 \times 10^{-5}$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 7.236 \times 10^{-4} \pm 2.814 \times 10^{-5}$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 2.648 \times 10^{-2} \pm 2.254 \times 10^{-4}$, 年龄计算中的衰变常数取 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ 。详细分析流程参见王非等(2005)。

3 测试结果和讨论

大坪金矿绢云母样品的⁴⁰Ar/³⁹Ar测定结果见表 1,表中所有误差置信区间为 2σ。绢云母样品经过 12 个阶段的分步加热,加热区间为 700~1450 ℃,其中 700~940 ℃ 的温度范围即第 1 至第 94 加热阶段内,样品的年龄谱形成较平坦的年龄坪,其累积³⁹Ar 占总释放量的 52.33%,所获得的坪年龄为 33.76 ± 0.65 Ma,权重均差(MSWD)为 4.91(图 3a)。在反等时线图上,截距年龄为 33.55 ± 0.74 Ma(图 3b),MSWD=4.68,正等时线图上截距年龄为 33.57 ± 0.74 Ma(图 3c),MSWD=4.66,与反等时线年龄非常接近,且等时线年龄和坪年龄非常一致。初始 Ar 同位素组成为 301.3 ± 12.0 ,在误差范围内与大气 Ar 比值(295.5 ± 0.5)基本一致,说明绢云母测试样

表 1 大坪剪切带型金矿绢英岩化蚀变围岩绢云母加热过程中⁴⁰Ar/³⁹Ar释放结果和表面年龄
Table 1 ⁴⁰Ar/³⁹Ar stepwise heating data and apparent ages of sericites from sericitized diorite around rocks
of gold deposit hosted in the Daping shear zone

θ(℃)	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(⁴⁰ Ar* / ³⁹ Ar) _k	⁴⁰ Ar _r (%)	³⁹ Ar累计 释放量(%)	t(Ma)	±2σ(Ma)
700	21.30930	0.00528	0.06032	3.50584	16.61	1.26	32.94	3.87
800	9.94738	0.01275	0.02130	3.85419	38.90	7.23	36.18	1.31
880	4.33116	0.00788	0.00295	3.58959	83.16	31.67	33.72	0.33
940	4.36484	0.00672	0.00304	3.57392	82.20	52.33	33.57	0.42
1000	4.85451	0.00053	0.00209	4.22888	88.62	55.43	39.66	0.60
1060	5.07875	0.00075	0.00315	4.14358	82.74	59.19	38.87	1.40
1120	5.27591	0.00029	0.00323	4.30624	82.10	72.38	40.38	0.34
1150	5.87893	0.00047	0.00477	4.45617	76.25	83.70	41.77	0.41
1180	6.00701	0.00060	0.00517	4.46798	74.87	93.10	41.88	0.99
1220	8.18527	0.00177	0.00314	7.26560	90.19	95.05	67.61	1.87
1300	8.11730	0.00182	0.00682	6.10930	76.22	97.66	57.02	2.16
1450	13.71513	0.00250	0.01027	10.68626	78.62	100.00	98.59	0.96

注:λ=5.543×10⁻¹⁰a⁻¹,J=0.005256。

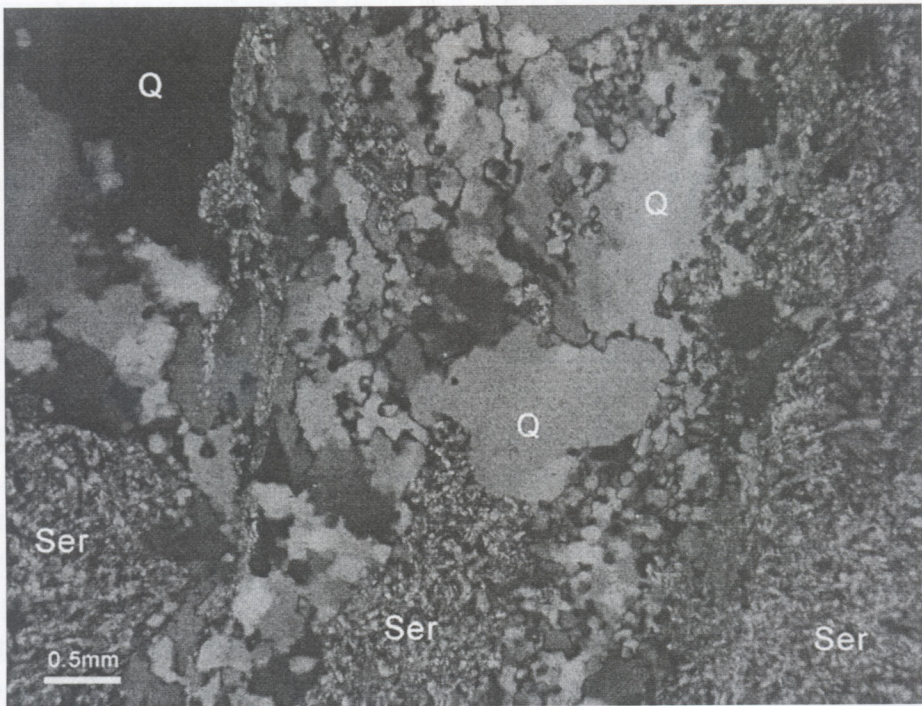


图 2 大坪金矿糜棱岩化和绢英岩化闪长岩围岩显微照片(样号:04125,正交偏光)
Fig. 2 Microphoto of mylonitized and sericitized diorite around rock in Daping gold deposit (sample number: 04125)

Q—石英;Ser—绢云母
Q—Quartz; Ser—sericite

品冷却生成时没有捕获过剩 Ar。

正如前文所述,作为哀牢山金矿带最重要金矿之一的大坪金矿长期以来缺少精确的成矿年龄数据。系统的矿床地球化学研究显示大坪金矿的成因与韧性剪切变形及其伴生的强烈水-岩反应有关,因此这是一个典型的韧性剪切带型金矿(孙晓明等,

2006c)。本次测定的热液绢云母直接来自最主要金矿脉的糜棱岩化和绢英岩化的围岩,因此其⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄完全可以代表金矿主要成矿期时代,即大坪金矿应主要是在约 33.76±0.65 Ma 形成的,属喜马拉雅早期金矿。

胥颐等(2003)等根据大量地球物理资料对红河

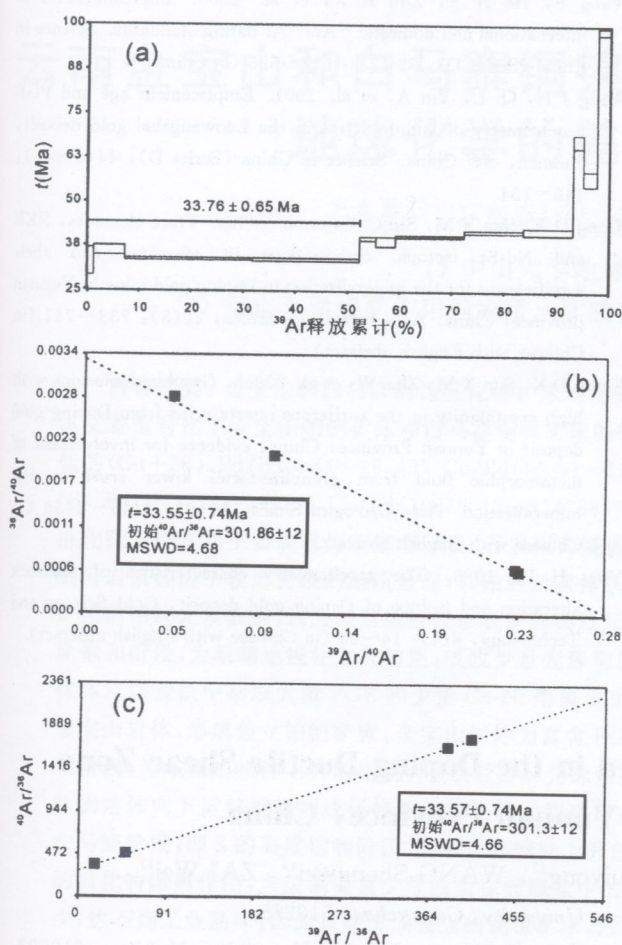


图3 大坪金矿绢英岩化蚀变岩中绢云母样品

 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱(a)、反等时线图(b)及正等时线图(c)

Fig. 3 Apparent age spectrum (a), inverse isochron (b) and normal isochron (c) for sericite from sericitized diorite around rocks of Daping gold deposit

一哀牢山断裂带及其邻区的地壳和上地幔的结构进行了较为精细的研究,发现红河—哀牢山一带地壳厚度为40 km左右,在Moho面附近出现明显的低速异常带,推测是本区下地壳在大规模韧性剪切作用下受到上地幔的热扰动引起的(胥颐等,2003)。沿着该断裂带的壳幔相互作用从第三纪以来一直存在,大量新生代煌斑岩脉的出现表明上地幔物质的上涌。这些煌斑岩脉多呈数十厘米的脉体出现,具明显的斑状构造,镜下观察显示斑晶主要为金云母,而基质主要组成矿物为金云母,钠长石和透辉石等。局部煌斑岩脉体也受到韧性变形影响而出现片理化,其中矿物大多数蚀变为绿泥石和绢云母等。从区域上看,这些煌斑岩脉属于哀牢山金矿带中普遍出现的新生代煌斑岩脉体群的一部分,其形成时代多为30~34 Ma(Wang et al., 2001)。因此,大坪金矿与

该区广泛出现的煌斑岩脉基本同时形成,其间可能存在成因上的联系:喜马拉雅早期,本区在地壳拉张和强烈韧性剪切条件下,Moho面上升,地幔物质部分熔融并上涌,形成大量煌斑岩等基性岩脉,同时发生强烈排气作用,对下地壳进行热烘烤,地幔排气形成的深源地幔流体和下地壳脱水形成的富 CO_2 流体混合,沿韧性剪切带上升,并与糜棱岩化的加里东期闪长岩围岩发生水-岩反应,局部发生流体沸腾作用,导致成矿流体物理化学条件的改变和矿石矿物的沉淀,最后在剪切带脆性构造中形成含金石英脉。因此,大坪金矿属于在强烈壳幔相互作用背景下的典型韧性剪切带控矿型金矿。

致谢: 本文野外采样和资料收集得到云南元阳大坪金矿地质科、云南省地质调查院、云南省地质矿产勘查开发局和武警黄金部队第十三支队的大力支持,样品分析得到中国科学院地质地球物理研究所王非博士的大力协助,谨致谢忱!

注 释

① 中国人民武装警察部队黄金第十三支队, 1990. 云南省元阳县大坪金矿区 $\text{V}_1\text{V}_2\text{V}_3\text{V}_4$ 号脉脉勘探地质报告。

参 考 文 献

- 毕献武, 胡瑞忠, 何明友, 1996. 哀牢山金矿带 ESR 年龄测定及其地质意义. 科学通报, 41(4): 1301~1303.
 毕献武, 胡瑞忠, 1999. 云南大坪金矿床矿化剂来源及其对金成矿的制约. 矿物学报, 19(1): 28~33.
 韩润生, 金世昌, 雷丽, 1997. 云南元阳大坪改造型金矿床的成矿热液系统地球化学. 矿物学报, 17(3): 337~344.
 胡云中, 唐尚鹁, 王海平, 等, 1995. 哀牢山金矿地质. 北京: 地质出版社, 106~250.
 金世昌, 韩润生, 1994. 改造型矿床的成矿热液系统的地球化学特征——以元阳金矿床为例. 云南地质, 13(1): 17~22.
 孙晓明, 熊德信, 石贵勇, 等, 2006a. 云南大坪金矿白钨矿惰性气体同位素组成特征及其成矿意义. 岩石学报, 22(3): 725~732.
 孙晓明, 熊德信, 王生伟, 等, 2006b. 壳幔相互作用及其对哀牢山金矿带金成矿的贡献: 以云南大坪金矿为例. 地质地球化学文集——庆贺王德滋院士 80 华诞. 北京: 科学出版社(出版中).
 孙晓明, 石贵勇, 熊德信, 等, 2006c. 云南哀牢山金矿带大坪金矿铂族元素(PGE)和 Re-Os 同位素地球化学及其矿床成因意义. 地质学报(待刊).
 王非, 贺怀宇, 朱日祥, 等, 2005. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学国际国内标样的对比标定. 中国科学(D 辑), 35(7): 617~626.
 熊德信, 孙晓明, 石贵勇, 等, 2006a. 云南大坪金矿白钨矿微量元素、稀土元素和 Sr-Nd 同位素组成特征及其意义. 岩石学报, 22(3): 733~741.
 熊德信, 孙晓明, 翟伟, 等, 2006b. 云南大坪金矿含金石英脉中高结晶度石墨包裹体: 下地壳麻粒岩相变质流体参与成矿的证据. 地质学报, 80(9): 1448~1456.
 熊德信, 孙晓明, 翟伟, 等, 2006c. 云南大坪韧性剪切带型金矿富 CO_2 流体包裹体及其成矿意义. 地质学报(待刊).

- 应汉龙. 1998. 云南大坪金矿床围岩蚀变和同位素地球化学特征. 黄金科学技术, 6(4): 14~23.
- Bi X W, Hu R Z, He M Y. 1996. ESR dating of Ailaoshan gold metallogenic belt and geologic significance. Chinese Science Bulletin, 41(18): 1546~1549.
- Bi X W, Hu R Z. 1999. Mineralizer source and its constraints on gold mineralization of the Daping gold deposit, Yunnan. Acta Mineralogica Sinica, 119(1): 28~33 (in Chinese with English abstract).
- Burnard P G, Hu R Z, Turner G, et al. 1999. Mantle, crustal and atmospheric noble gases in Ailaoshan gold deposits, Yunnan Province, China. Geochimica et Cosmochimica Acta, 63: 1595~1604.
- Han R S, Jin S C, Lei L. 1997. Geochemistry of ore-forming hydrothermal system of Daping reworked gold deposit, Yuanyang, Yunnan. Acta Mineralogica Sinica, 17(3): 337~344 (in Chinese with English abstract).
- Sun X M, Xiong D X, Wang S W, et al. 2006a. Noble gases isotopic composition of fluid inclusions in scheelites collected from Daping gold mine, Yunnan Province, China, and its metallogenic significance. Acta Petrologica Sinica, 22(3): 725~732 (in Chinese with English abstract).
- Wang F, He H Y, Zhu R X, et al. 2005. Intercalibration of international and domestic $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating standards. Science in China (Series D), 35(7): 617~626 (in Chinese).
- Wang J H, Qi L, Yin A, et al. 2001. Emplacement age and PGE geochemistry of lamprophyres in the Laowangzhai gold deposit, Yunnan, SW China. Science in China (Series D), 44(Supp.): 146~154.
- Xiong D X, Sun X M, Shi G Y, et al. 2006a. Trace elements, REE and Nd-Sr isotopic compositions in scheelites and their significances for the mineralization in Daping gold mine in Yunnan province, China. Acta Petrologica Sinica, 22(3): 733~741 (in Chinese with English abstract).
- Xiong D X, Sun X M, Zhai W, et al. 2006b. Graphite inclusions with high crystallinity in the auriferous quartz veins from Daping gold deposit in Yunnan Province, China: evidence for involvement of metamorphic fluid from granulite-facies lower crust in the mineralization. Acta Geologica Sinica, 80(9): 1448~1456 (in Chinese with English abstract).
- Ying H L. 1998. The geochemistry characteristics of wallrock alteration and isotope of Daping gold deposit. Gold Science and Technology, 6(4): 14~23 (in Chinese with English abstract).

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating of Gold Deposit Hosted in the Daping Ductile Shear Zone in the Ailaoshan Gold Belt, Yunnan Province, China

SUN Xiaoming^{1,2)}, XIONG Dexin^{1,3)}, SHI Guiyong¹⁾, WANG Shengwei¹⁾, ZAI Wei¹⁾

1) Department of Earth Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510275;

2) State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093;

3) Zhaoqing University, Zhaoqing, Guangdong, 526061

Abstract

Being one of the largest gold deposits in the Ailaoshan gold belt in Yunnan Province, the Daping gold mine occurred in a strongly mylonitized and sericitized Caledonian diorite batholith, and is a typical ductile shear zone-controlled gold deposit. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating was performed on hydrothermal sericite collected from mylonitized and sericitized diorite around rock of the Daping gold deposit, which yielded a set of age data, i. e., plateau age of 33.76 ± 0.65 Ma, inverse and normal isochronal ages of 33.55 ± 0.74 Ma and 33.57 ± 0.74 Ma, respectively. These age data are very similar to ages (33~34 Ma) of the lamprophyre dykes, which are extensively distributed in the Ailaoshan gold belt, suggesting that gold mineralization of the Daping mine was closely related to the Cenozoic lamprophyre dykes, which were generated by partial melting of the upper mantle. From early of the Cenozoic Era, upwelling of the Moho and partially melted upper mantle caused by crustal extension and strong ductile deformation resulted in formation and intrusion of large amounts of lamprophyre dykes. The mantle-derived fluids formed by the upper mantle degassing and the CO_2 -riching fluids from the lower crust released by dehydration and roasting triggered by the rising hot mantle magma's heat mixed and migrated up along micro-fractures in the shear zone, and reacted with the mylonitized and sericitized diorite around rock, and finally deposited the ore minerals in the brittle structures of the shear zone because of water-rock interaction and boiling.

Key words: ^{40}Ar - ^{39}Ar dating; ductile shear zone; lamprophyre dykes; Daping gold deposit; Ailaoshan gold belt; Yunnan