

云南富宁者桑金矿床与基性岩年代测定 ——兼论滇黔桂地区卡林型金矿成矿构造背景*

皮桥辉^{1 2} 胡瑞忠^{2**} 彭科强² 吴建标¹ 韦朝文¹ 黄勇²

PI QiaoHui^{1 2}, HU RuiZhong^{2**}, PENG KeQiang², WU JianBiao¹, WEI ZhaoWen¹ and HUANG Yong²

1. 桂林理工大学, 有色及贵金属隐伏矿床勘查教育部工程研究中心, 桂林 541004

2. 中国科学院地球化学研究所, 矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550081

1. *Engineering Research Center of Exploration for Hidden Non-Ferrous and Precious Metal Ore Deposits, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China*

2. *State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China*

2016-05-11 收稿, 2016-08-30 改回.

Pi QH, Hu RZ, Peng KQ, Wu JB, Wei CW and Huang Y. 2016. Geochronology of the Zhesang gold deposit and mafic rock in Funing County of Yunnan Province, with special reference to the dynamic background of Carlin-type gold deposits in the Dian-Qian-Gui region. *Acta Petrologica Sinica*, 32(11): 3331–3342

Abstract The Dian-Qian-Gui region, commonly referred as the ‘Golden Triangle’ in SW China, hosts many Carlin-type gold deposits. Previously, the relationship between gold mineralization and magmatism has not been well constrained. This paper reports a geochronological study on the Zhesang Carlin-type gold deposit and mafic intrusion in the Funing County of Yunnan Province, China. Dating by ⁴⁰Ar/³⁹Ar of hydrothermal sericite grains collected from altered rocks near auriferous quartz veins at Zhesang gold deposit yielded a plateau age of 215.3 ± 1.9Ma, which is highly consistent with zircon U-Pb age (215 ± 5Ma) of the mafic rock in a nearby area. It is inferred that there might exist contemporaneous buried intrusions in the Zhesang deposit. The deep-seated magma, resulted from the post-collision of the Indochina Block with the South China Block, triggered fluids of possibly meteoric origin to circulate and leach out ore-forming elements from sedimentary rocks to form the Zhesang Carlin-type gold deposit.

Key words Zhesang Carlin-type gold deposit; Zircon U-Pb dating; Sericite Ar-Ar dating; Metallogenesis; Indosinian orogeny

摘要 素有“金三角”之称的右江盆地广泛发育卡林型金矿,其成因是否与岩浆活动有关颇有争议。本文以云南富宁地区的者桑卡林型金矿床和该区出露的基性岩为研究对象,分别确定了卡林型金矿床和基性岩的年龄。研究表明,矿床中与载金矿物黄铁矿和毒砂共生的热液蚀变成因绢云母的 Ar-Ar 坪年龄为 215.3 ± 1.9Ma,该区晚期基性岩中锆石的 U-Pb 年龄为 215 ± 5Ma,成岩成矿时代高度一致。在此基础上,本文提出了该矿床的成矿动力学模式:伴随古特提斯洋的闭合,在印支运动后碰撞伸展背景下,形成了富宁地区 215 ± 5Ma 的基性岩。者桑金矿床分布区的深部可能存在该时期的隐伏岩体,深部岩浆活动驱动主要为大气降水成因的流体浸出地层中的金、砷和锑等成矿元素形成了者桑金矿床。

关键词 者桑卡林型金矿床; 锆石 U-Pb 定年; 绢云母 Ar-Ar 定年; 成矿作用; 印支运动

中图法分类号 P588.124; P597.3; P618.51

* 本文受国家重点基础研究发展规划项目(2014CB440906)、国家自然科学基金项目(41230316、41563004)和有色及贵金属隐伏矿床勘查教育部工程研究中心委托项目(GCZX003)联合资助。

第一作者简介:皮桥辉,男,1973年生,副教授,从事成矿学和岩石学研究, E-mail: 2010059@glut.edu.cn

** 通讯作者:胡瑞忠,男,1958年生,博士,研究员,从事矿床学和地球化学研究, E-mail: huruizhong@vip.gyig.ac.cn

1 引言

卡林型金矿床是以沉积岩为主要容矿岩石的典型低温热液矿床。美国内华达州和我国扬子地块西缘滇黔桂地区为全球最大的两个卡林型金矿床密集区。美国内华达州卡林型金矿聚集区,已发现矿床超过 100 个(其中有 4 个矿床储量都超过 350 吨),总储量达 6000 余吨,为世界第二大金富集区(Cline *et al.*, 2005; Emsbo *et al.*, 2006)。我国滇黔桂地区的卡林型金矿与美国内华达州此类矿床的地质地球化学特点相似(Hu *et al.*, 2002; Cline *et al.*, 2005; Su *et al.*, 2008, 2009a, b, 2012),面积亦与内华达州卡林型金矿聚集区大致相当。然而,滇黔桂地区卡林型金矿的总储量和单个矿床的储量远不及内华达州。因此,正确理解我国滇黔桂地区卡林型金矿的成矿过程和成矿规律,对指导该区大型超大型矿床的进一步寻找和勘探具有重要的理论和

实际意义。

最新研究表明,美国内华达州卡林型金矿成矿作用与岩浆活动关系非常密切(Groff *et al.*, 1997; Hofstra *et al.*, 1999; Hall *et al.*, 2000; Tretbar *et al.*, 2000; Hutcherson, 2002; Chakurian *et al.*, 2003; Arehart *et al.*, 2003; Cline *et al.*, 2005; Muntean *et al.*, 2011)。国内外学者对滇黔桂“金三角”地区的卡林型金矿是否与岩浆活动有关的认识却有较大争议。一种观点认为,滇黔桂地区赋存卡林型金矿的右江盆地缺少岩浆活动记录,说明成矿过程与岩浆活动无关,金的来源为赋矿围岩或下伏基岩地层(庞保成和林畅松, 2001; Peters *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2015a);另一种观点认为,该区卡林型金矿的形成与深部地幔柱或岩浆活动有关,该区广泛发育的深大断裂为深部流体上涌提供了通道(贾大成和胡瑞忠, 2001);还有学者认为,该区金矿床的形成与峨眉山地幔柱活动有关(王国田, 1992; 范军和肖荣阁, 1997; 周余国等, 2009)。

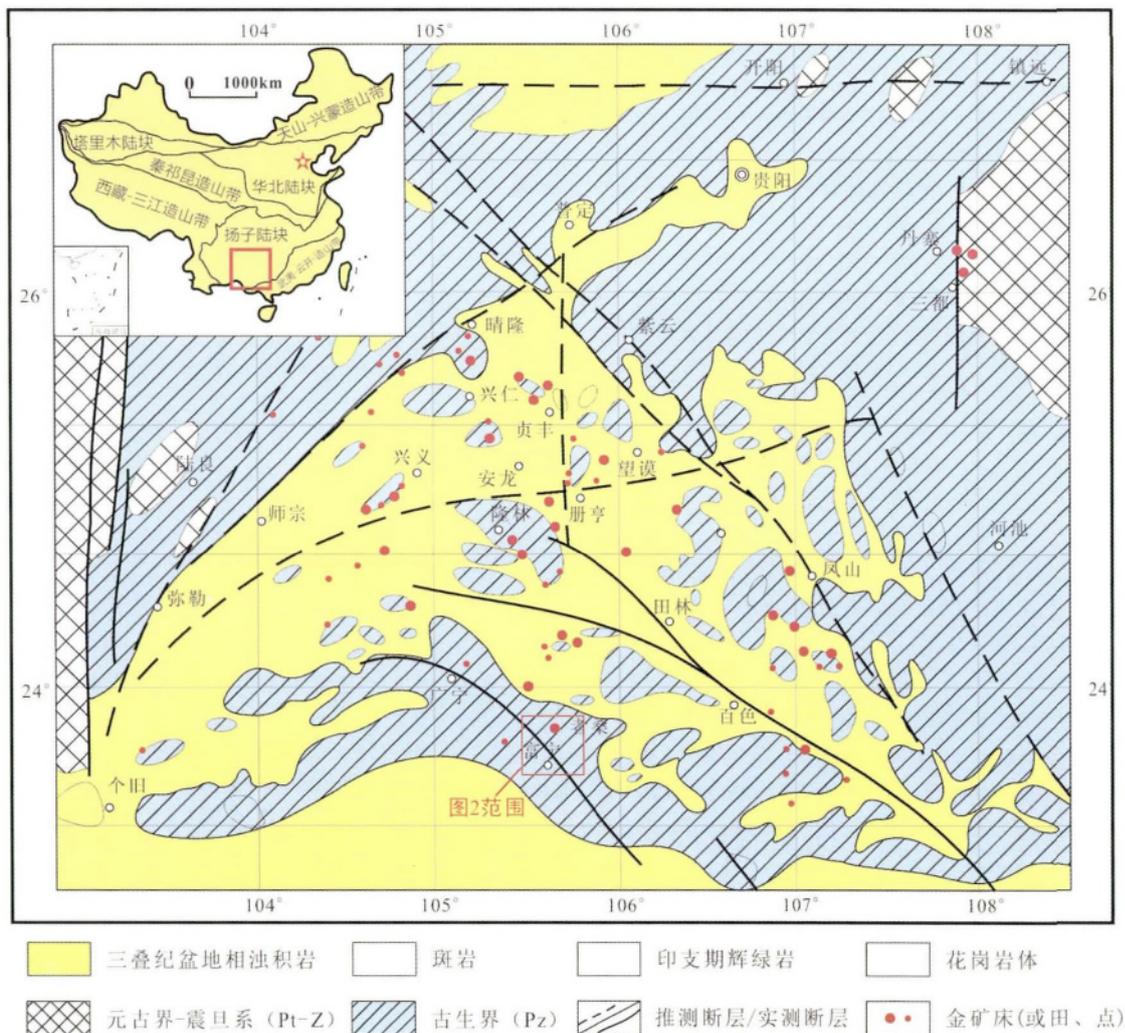


图1 滇黔桂“金三角”地区地质略图(据 Hu *et al.*, 2002 修改)

Fig. 1 Geological sketch map of Yunnan-Guizhou-Guangxi “golden triangle” area (modified after Hu *et al.*, 2002)

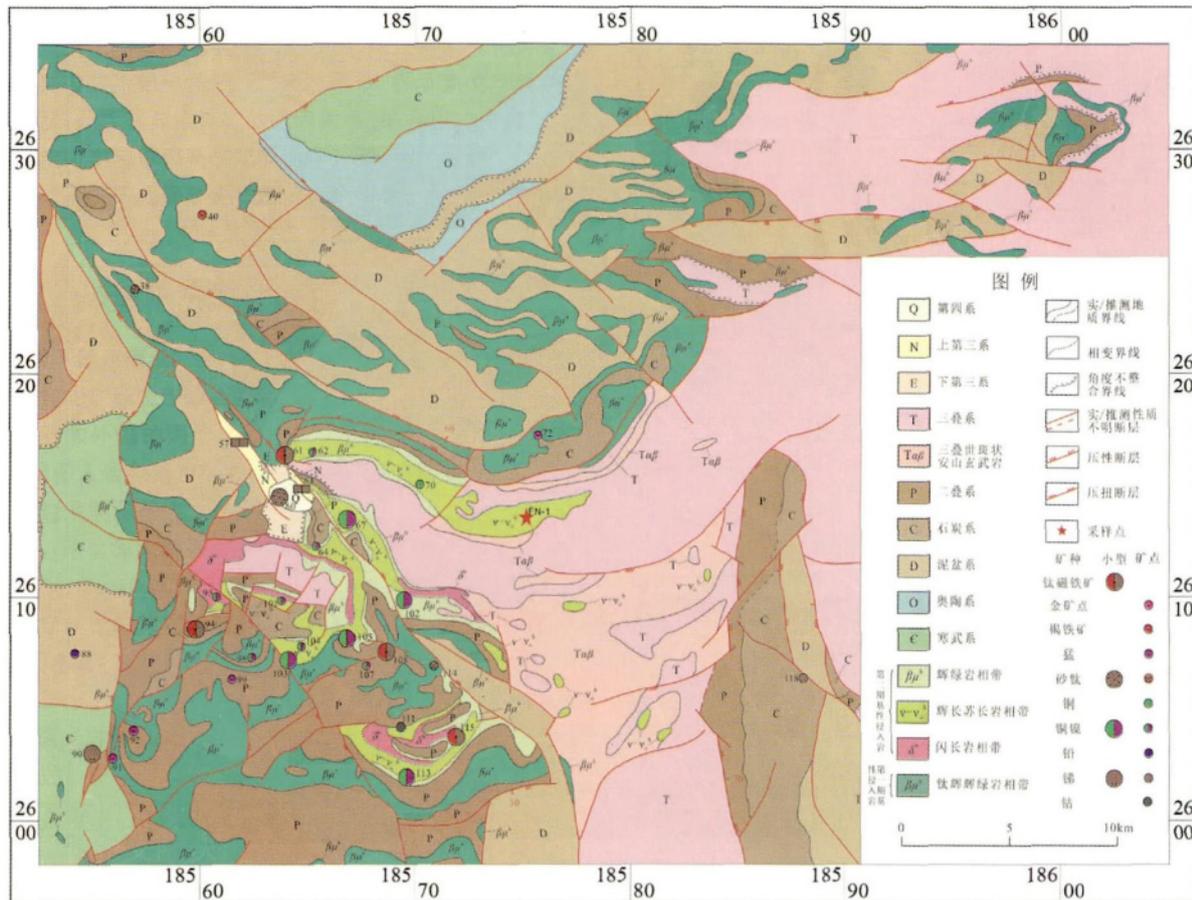


图2 云南富宁地区基性岩与矿产分布关系图(据邵有元等,1978b^①修改)

Fig.2 Sketch map of showing distribution of main deposits and mafic rocks of Funing area in Yunnan Province

云南富宁县位于滇-黔-桂“金三角”区的南部,广泛发育卡林型金矿和基性岩,是研究卡林型金矿与岩浆活动关系的理想场所。本文以富宁县的者桑卡林型金矿床为研究对象,分别测定了本矿床热液蚀变成因绢云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄和矿床附近基性岩中锆石的U-Pb年龄,以确定金成矿和基性岩的成岩年龄,揭示两者的时空关系和成矿构造背景。

2 地质背景

华南陆块大约在830Ma由扬子地块和华夏地块沿钦-杭带拼贴而形成(Zhao *et al.*, 2011)。三叠纪时期,由于印支运动的结果,在南部通过松马缝合带与印支地块连接,在北部沿秦岭-大别造山带与华北克拉通相邻接(Faure and Ishida, 1990; Zhou *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2007; 图1)。在扬子地块西南部发生了中生代大规模低温成矿作用,形成华南低温成矿域(胡瑞忠等, 2015)。

华南低温成矿域在滇-黔-桂接壤的所谓“金三角”区,形成了大量卡林型金矿床(涂光炽, 2002; Hu *et al.*, 2002; Hu and Zhou, 2012; 图1)。者桑金矿床地处“金三角”地区南部,位于邱北-广南褶皱束与文山-富宁褶皱束东端结合部位,受广南-富宁断裂控制(罗刚, 2010; 图1)。

矿区内出露地层为中、下泥盆统泥岩、粉砂质泥岩、硅质岩和灰岩,下二叠统灰岩和生物碎屑灰岩,上二叠统灰岩、泥质粉砂岩夹凝灰岩和硅质岩,中、下三叠统泥岩、粉砂岩、灰岩夹硅质岩和凝灰岩。区内构造线总体呈北东向,者桑背斜呈短轴状向东倾伏。此外,北西向和近东西向断裂发育。北东向断裂形成较早,近东西向和北西向断裂为后期断裂(代鸿章等, 2014)。

富宁县基性-超基性岩岩浆活动较为发育,主要分布于县城南北两侧。根据富宁幅区域地质调查报告(邵有元等, 1978a^②)富宁地区发育有两期基性岩,第一期碱性基性侵入岩在该区内分布较广,岩体长轴走向多为东西方向,分布

① 邵有元等, 1978b. 1 : 200000 矿产图

② 邵有元等, 1978a. 1 : 20 万富宁幅区域地质调查报告

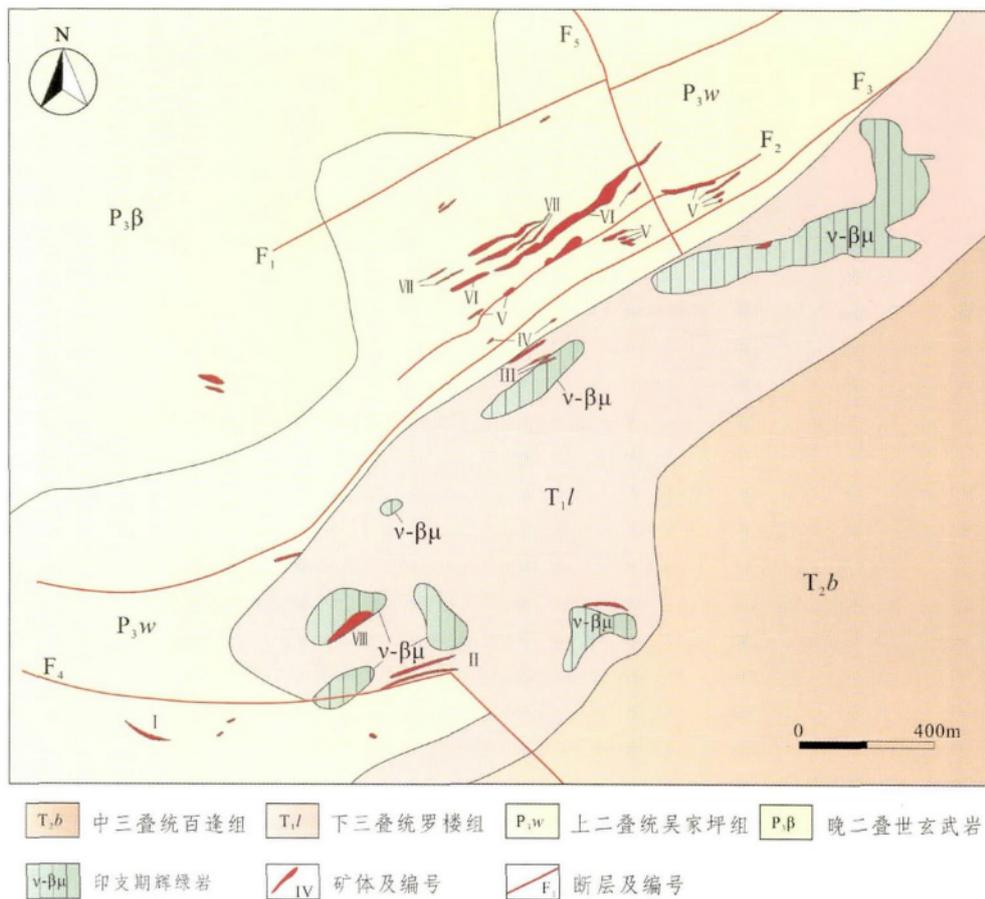


图3 者桑金矿床地质略图(据章永梅等,2013)

Fig.3 Geological map of the Zhesang gold deposit (after Zhang *et al.*, 2013)

于富宁县城南北。第二期基性岩规模较早期小,主要分布在富宁县城附近及其东南的安定、拉谢、玉林、牙牌等地,主要侵入于石炭纪、二叠纪及中、晚三叠世地层中(图2)。第二期基性岩是本次研究重点。

者桑金矿床出露的主要矿体有8个,分别为I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII号矿体,其中VI、VII号矿体规模最大(图3)。矿体呈北东向近平行排列,受一系列北东向、北东东向断裂构造控制。矿体多产于次级背斜和向斜的核部。III号矿体赋存于第一期辉长辉绿岩体与罗楼组细砂岩、吴家坪组粉砂岩的接触带中,受基性岩体和F₃断裂带控制。III号矿体呈透镜状产出,长约800m,厚10~20m,倾向南东,倾角45°~70°,Au品位约2g/t。

矿床的矿石矿物有黄铁矿、毒砂和微量黄铜矿、黝铜矿及闪锌矿。毒砂常与黄铁矿共生。脉石矿物主要为碳酸盐矿物及石英(以脉石英为主,含少量玉髓),另含少量绢云母、白云母、泥状及碎片状炭质物。围岩蚀变主要有硅化、碳酸盐化和绢云母化,金主要赋存在含砷黄铁矿中(章永梅等,2013;代鸿章等,2014)。

3 样品采集与分析

3.1 样品采集

用于⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素定年的绢云母样品(ZSH-33),采自者桑金矿床III号矿体的矿化辉绿岩中。野外观察发现,其中见大量网脉状石英脉。显微观测和电子探针分析表明,石英脉中和周围的黄铁矿、毒砂含金0~970×10⁻⁶不等(图4a和表1)。与载金黄铁矿、毒砂密切共生的绢云母保留斜长石矿物被热液交代的假象(图4b-e),是围岩中的斜长石受含金热液影响发生蚀变的产物。因此,可以通过绢云母Ar-Ar年代学研究,确定者桑金矿床的成矿时代。

对富宁县发育的两期基性侵入岩中的晚期岩石进行了采样分析。样品(FN-1)采自富宁县城南面第二期基性侵入岩(岩性为辉长苏长岩),采样位置如图3所示。由于基性岩中锆石含量较少,故本次采样重约30kg。

3.2 样品处理和分析方法

用于⁴⁰Ar/³⁹Ar定年的绢云母(纯度>99%)用超声波清

表1 样品 ZSH-33 中黄铁矿和毒砂电子探针成分分析结果 (wt%)

Table 1 EMPA analyses of pyrite and arsenopyrite from sample ZSH-33 (wt%)

测点号	Au	As	Se	Zn	Ni	S	Co	Fe	Total
ZSH-33-Apy-1	0.0970	40.26	0.00	0.00	0.01	21.60	0.00	34.16	96.12
ZSH-33-Apy-2	0.0260	35.58	0.00	0.12	0.03	24.96	0.00	35.53	96.25
ZSH-33-Apy-3	0.0570	41.33	0.00	0.00	0.06	21.49	0.00	33.99	96.92
ZSH-33-Apy-4	0.0000	41.28	0.00	0.09	0.05	21.97	0.00	34.09	97.47
ZSH-33-Apy-5	0.0000	37.90	0.00	0.08	0.00	22.99	0.00	35.03	96.00
ZSH-33-Py-1	0.0090	4.17	0.06	0.00	0.03	50.97	0.00	46.39	101.63
ZSH-33-Py-2	0.0000	4.30	0.00	0.00	0.32	50.41	0.07	45.78	100.89
ZSH-33-Py-3	0.0830	5.65	0.00	0.21	0.00	49.57	0.00	46.00	101.51
ZSH-33-Py-4	0.0000	2.22	0.00	0.00	0.00	52.13	0.00	47.04	101.38
ZSH-33-Py-5	0.0000	1.81	0.00	0.09	0.00	51.87	0.00	46.54	100.32

表2 样品 ZSH-33 中绢云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段升温测年数据Table 2 ⁴⁰Ar/³⁹Ar stepwise heating analytical data for sericite from the Zhesang gold deposit

T(°C)	$\left(\frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}\right)_m$	$\left(\frac{^{36}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}\right)_m$	$\left(\frac{^{37}\text{Ar}_0}{^{39}\text{Ar}}\right)_m$	$\left(\frac{^{38}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}\right)_m$	⁴⁰ Ar(%)	F	³⁹ Ar ($\times 10^{-14}$ mol)	³⁹ Ar (Cum.)(%)	Age (Ma)	$\pm 1\sigma$ (Ma)
600	60.1041	0.1495	0	0.0352	26.5	15.9287	0.01	0.17	84	23
700	42.0179	0.0076	0.026	0.0141	94.64	39.7648	1.27	18.71	202.1	1.9
760	43.6296	0.003	0	0.0131	97.94	42.7322	1.49	40.43	216.3	2
800	43.9373	0.0042	0.0307	0.0136	97.2	42.7085	1.15	57.26	216.2	2
840	43.653	0.0031	0.0064	0.0129	97.89	42.7318	1.27	75.79	216.3	2.1
880	43.223	0.0032	0.0173	0.0135	97.78	42.2639	0.84	87.99	214.1	2.1
920	43.2821	0.0044	0	0.0127	96.98	41.9771	0.41	93.91	212.7	2.3
970	45.387	0.0152	0.2288	0.0169	90.16	40.9288	0.17	96.43	207.7	2.6
1100	48.5265	0.0203	0.1021	0.0172	87.66	42.5438	0.18	99.05	215.4	3.1
1400	89.109	0.1739	0.1492	0.0473	42.35	37.7438	0.07	100	192.3	3.7

注: F = ⁴⁰Ar* / ³⁹Ar; 表中下标 m 代表样品中测定的同位素比值

洗。清洗后的样品被封进石英瓶中送核反应堆中接受中子照射。照射工作在中国原子能科学研究所的“游泳池堆”中进行,使用 B4 孔道,中子流密度约为 $2.65 \times 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ 。照射总时间为 1444min,积分中子通量为 $2.30 \times 10^{18} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$; 同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样: ZBH-25 黑云母标样,其标准年龄为 $132.7 \pm 1.2 \text{ Ma}$, K 含量为 7.6%。样品的阶段升温加热使用石墨炉,每一个阶段加热 10min,净化 20min。质谱分析在中国地质科学院 Ar-Ar 年代学实验室的多接收稀有气体质谱仪 Helix MC 上进行,每个峰值均采集 20 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K_2SO_4 和 CaF_2 来获得,其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.0002398$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。³⁷Ar 经过放射性衰变校正;⁴⁰K 衰变常数 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$; 用 ISOPLOT 程序计算坪年龄及正、反等时线。坪年龄误差以 1σ 给出。详细实验流程见陈文等(2006)和张彦等(2006)。

基性岩样品破碎和锆石挑选在廊坊市诚信地质服务有

限公司完成。制靶和锆石的阴极发光图像在北京锆年领航科技有限公司完成,将环氧树脂和乙二醇胺混合均匀,然后灌注在已经排好的锆石靶上,放至恒温箱(60°C)约 12h 固结成型。磨蚀和抛光树脂靶,直至锆石核心部位出露。阴极发光图像拍摄的仪器型号为日本电子 JSM6510,配有 Gantan 阴极荧光探头。结合透射光、反射光以了解锆石的内部结构,选出最理想的供分析的锆石颗粒。

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测试在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成。193nm ArF 准分子激光剥蚀系统型号为 GeoLasPro。电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)型号为 Agilent7700x。准分子激光发生器产生的深紫外光束经匀化光路聚焦于锆石表面,能量密度为 $10 \text{ J}/\text{cm}^2$,束斑直径为 $32 \mu\text{m}$,频率为 5Hz,共剥蚀 40s,剥蚀气溶胶由氦气送入 ICP-MS 完成测试。测试过程中以标准锆石 91500 为外标,校正仪器质量歧视与元素分馏;以标准锆石 GJ-1 与 Plesovice 为盲样,检验 U-Pb 定年数据质量;以 NIST SRM 610 为外标,以 Si 为内标标定锆石中的 Pb 元素含量,以 Zr 为内标标定锆石中其余微量元素含量(李杰等,2008)。原始的测试数据经过 ICPMSDataCal 软件离线处理完成。

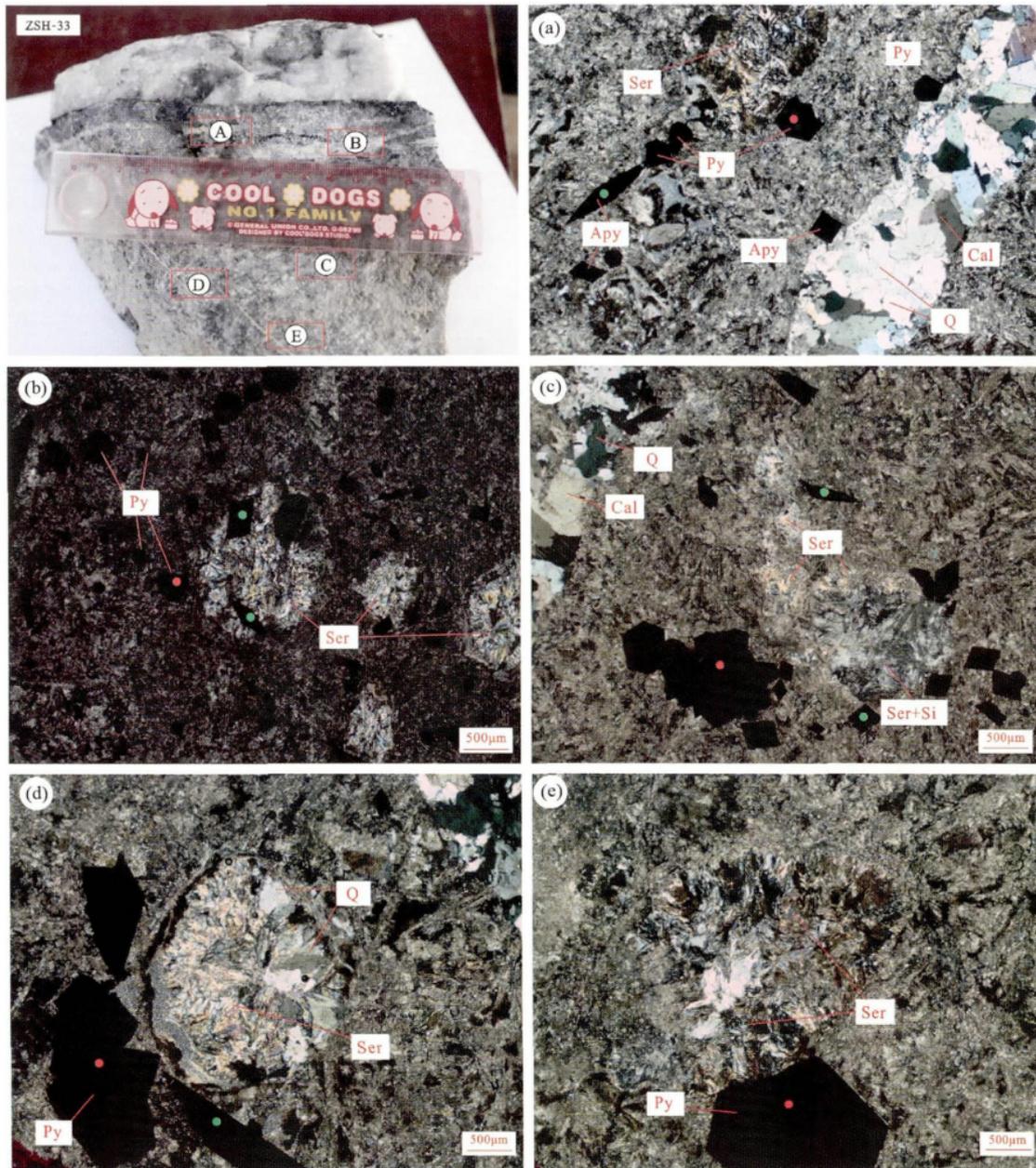


图4 绢云母在样品 ZSH-33 中的赋存状态

ZSH-33 为手标本矿石照片, 其它的为该样品不同区域显微镜下照片: (a) 热液蚀变产物绢云母分布于烟灰色石英脉边缘, 与黄铁矿和毒砂共生; (b-e) 与载金黄铁矿和毒砂共生绢云母保留被交代矿物斜长石的晶型。红色和绿色点分别为黄铁矿、毒砂电子探针检测含金分析点位

Fig. 4 Photographs showing the occurrences of sericite in the Sample ZSH-33

(a) sericite infill beside smoky quartz-carbonate vein coexisting with subhedral arsenopyrite and pyrite; (b-e) new-formed sericite with crystal form of previous mineral plagioclase. Red and green points stand for the location of EMPA for pyrite and arsenopyrite respectively. Abbreviations: Py-pyrite; Sp-sphalerite; Si-silicic; Ser-sericitic; Q-quartz

4 分析结果

4.1 绢云母 Ar-Ar 定年结果

ZSH-33 样品中的绢云母在 600 ~ 1400°C 温度范围内进行了 10 个阶段的加热⁴⁰Ar - ³⁹Ar 同位素分析, 结果列于表 2。

对数据进行分析后, 选取 760°C 至 920°C 阶段绘制相应的坪年龄图(图 5a)。选取 760°C、800°C、840°C 三个释热阶段, 绘制等时线年龄及反等时线年龄图(图 5b, c)。

如表 2 所示, 样品在低温释热阶段(600 ~ 700°C)的视年龄较小, 这可能是由于矿物低温晶格缺陷或矿物边部少量 Ar 丢失所致(邱华宁等, 1997), 而在高温释热阶段构成了很好

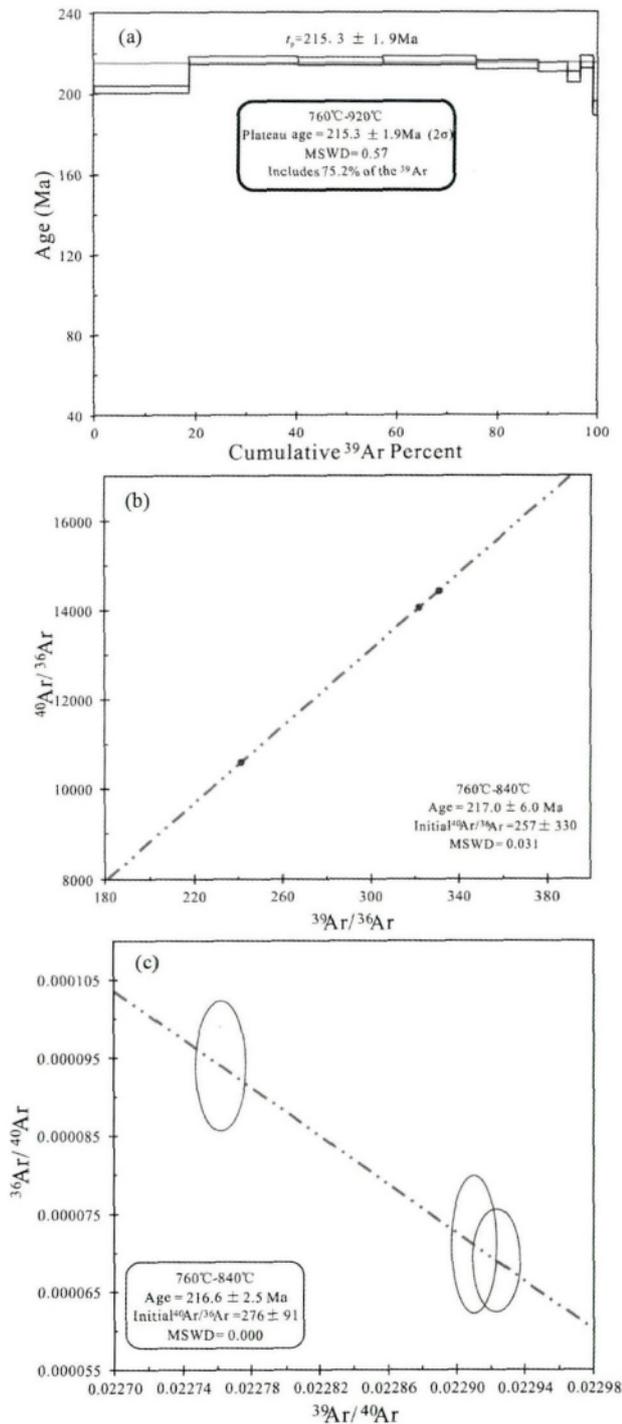


图5 者桑金矿床绢云母(样品 ZSH-33) ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年结果

(a) 坪年龄图; (b) ^{40}Ar - ^{39}Ar 等时线图; (c) ^{40}Ar - ^{39}Ar 反等时线图
Fig. 5 Ar-Ar stepwise heating data for sericite of Sample ZSH-33 from the Zhesang gold deposit

(a) Plateau age (b) Normal isochron age and (c) Inverse isochron age

的年龄坪。样品总气体年龄为 212.5 Ma, 在高温释热阶段 (760 ~ 920°C) 构成的坪年龄为 215.3 ± 1.9 Ma (图 5a), 对应

了 75.2% 的 ^{39}Ar 释放量。选取 760°C 至 840°C 阶段绘制相应的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线年龄为 217.0 ± 6 Ma (MSWD = 0.031), $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始值为 285.1 ± 330 (图 5b); $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 的反等时线年龄为 216.6 ± 2.5 Ma (MSWD = 0.000), $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始值为 276 ± 91 (图 5c)。

从分析结果可以看出, 样品的总气体年龄、坪年龄、相应的等时线年龄和反等时线年龄在误差范围内高度一致, 因而样品的坪年龄可以代表其结晶年龄。因此, 绢云母的 Ar-Ar 坪年龄 (215.3 ± 1.9 Ma) 可以代表者桑金矿床的形成年龄。

4.2 基性岩中锆石 U-Pb 定年结果

对基性岩的锆石颗粒测试获得了一批年龄数据, 结果如表 3。

样品 FN-1 锆石颗粒较小, 多数为短柱状, 长 50 ~ 150 μm, 柱状晶体长宽比为 1 : 1 ~ 2 : 1, 阴极发光 (CL) 图像中 (图 6) 个别发育环带和比较小的核, 颜色相对较暗, 表明其 U、Th 等放射性元素含量较高 (图 7)。对 28 个锆石颗粒进行了 U-Pb 同位素分析, Th/U 比值在 0.6 ~ 3.16 之间, 均显示了岩浆成因锆石特征 (岩浆成因锆石的 Th/U > 0.1)。此外, U-Pb 同位素组成在误差范围内和谐, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 215 ± 5 Ma (MSWD = 1.06, 95% 置信度), 代表了基性岩的形成年龄。根据定年的结果分析可知, 晚期基性岩样品 FN-1 锆石 U-Pb 年龄代表的侵位时代为印支晚期。

5 讨论

5.1 金成矿年龄与基性岩成岩年龄

前人曾尝试用各种方法测试我国滇黔桂“金三角”地区卡林型金矿的成矿年龄。张峰和杨科佑 (1992) 用石英裂变径迹法测得白地和烂泥沟金矿床的年龄为 82.9 ± 6.3 Ma ~ 87.6 ± 6.1 Ma; Su *et al.* (2009b) 用方解石 Sm-Nd 等时线法确定水银洞金矿床的年龄为 134 ± 3 Ma; 刘东升和耿文辉 (1985) 用矿石 Rb-Sr 等时线法测得戈塘金矿床的年龄为 176 ± 36 Ma; 陈懋弘等 (2007, 2009) 分别用含砷黄铁矿 Re-Os 等时线法和蚀变成因绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测得烂泥沟金矿床的年龄为 193 ± 13 Ma 和 195 ± 2 Ma; 胡瑞忠等 (1995) 用石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线法测得烂泥沟金矿床的年龄为 259 ± 27 Ma; 苏文超等 (1998) 用同样的方法测得该金矿的年龄为 106 Ma; 王国田 (1992) 分别运用含砷黄铁矿中的流体包裹体和热液蚀变绢云母进行 Rb-Sr 等时线定年, 确定金牙金矿的年龄分别为 267 ± 28 Ma 和 206 ± 12 Ma。可见, 以往确定的年龄存在较大范围的范围, 大致介于 85 ~ 265 Ma 之间。显而易见, 以往对滇黔桂地区卡林型金矿床的成矿时代, 并未得到准确确定。这可能是由于其中的某些定年方法和定年矿物本身就存在问题。

从矿石结构构造可以看出, 本次用于 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年的热液蚀变成因绢云母, 与载金硫化物 (黄铁矿和毒砂) 紧密共

表 3 富宁地区基性岩中锆石 U-Pb 定年结果
Table 3 U-Pb ages of zircons from mafic rocks in Funing area

测点号	Pb		Th		U		年龄 (Ma)													
	Th/U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁸ Pb/ ²³² Th		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁸ Pb/ ²³² Th			
	Ratio	1σ	Ratio	1σ	Ratio	1σ	Ratio	1σ	Ratio	1σ	Age	1σ	Age	1σ	Age	1σ	Age	1σ		
FN-1-01	203.1	7444	2495	2.98	0.055	0.002	0.247	0.012	0.032	0.001	0.010	0.000	458	100	224	10	202	6	208	8
FN-1-03	91.31	1745	1597	1.09	0.056	0.002	0.254	0.011	0.032	0.001	0.010	0.000	457	92	230	9	205	7	209	8
FN-1-04	179.1	5227	2696	1.94	0.053	0.002	0.222	0.008	0.030	0.001	0.010	0.000	350	119	203	7	190	6	197	7
FN-1-05	58.64	1573	998.8	1.58	0.054	0.002	0.220	0.009	0.029	0.001	0.009	0.000	317	91	201	7	186	6	180	7
FN-1-06	193.0	3841	3166	1.21	0.052	0.002	0.231	0.009	0.032	0.001	0.011	0.000	287	85	211	7	201	6	221	8
FN-1-07	128.4	3681	1907	1.93	0.077	0.009	0.300	0.018	0.032	0.001	0.010	0.000	1124	233	267	14	202	9	202	9
FN-1-08	367.3	11072	5174	2.14	0.053	0.002	0.237	0.009	0.032	0.001	0.010	0.000	322	117	216	7	203	6	208	8
FN-1-09	615.0	13390	8922	1.50	0.051	0.002	0.251	0.010	0.035	0.001	0.011	0.000	228	92	228	8	224	7	224	9
FN-1-10	105.0	2829	1566	1.81	0.052	0.002	0.243	0.010	0.033	0.001	0.010	0.000	295	86	221	8	210	7	204	8
FN-1-11	359.2	12078	3939	3.07	0.057	0.002	0.284	0.014	0.035	0.001	0.011	0.001	502	91	254	11	219	8	228	11
FN-1-12	74.34	2394	872.4	2.74	0.060	0.003	0.292	0.014	0.035	0.001	0.011	0.000	606	102	260	11	222	8	221	10
FN-1-13	480.5	12236	5969	2.05	0.070	0.003	0.388	0.015	0.042	0.002	0.015	0.001	939	85	333	11	265	11	294	15
FN-1-14	90.33	3267	1032	3.16	0.057	0.002	0.269	0.012	0.034	0.001	0.011	0.001	500	95	242	10	215	8	220	11
FN-1-15	176.4	5523	2351	2.35	0.053	0.002	0.251	0.010	0.034	0.001	0.011	0.001	320	118	227	8	215	8	229	13
FN-1-16	335.7	9087	4958	1.83	0.050	0.002	0.234	0.009	0.033	0.001	0.010	0.001	213	83	213	7	210	7	205	11
FN-1-17	352.4	14433	4680	3.08	0.076	0.006	0.328	0.023	0.032	0.001	0.010	0.001	1095	167	288	18	201	8	200	12
FN-1-18	606.2	18987	8231	2.31	0.054	0.002	0.262	0.010	0.035	0.001	0.011	0.001	369	83	236	8	219	7	214	11
FN-1-19	116.4	3840	1586	2.42	0.062	0.003	0.297	0.015	0.034	0.001	0.010	0.001	677	99	264	12	217	8	209	11
FN-1-20	292.8	8970	3792	2.37	0.050	0.002	0.248	0.011	0.036	0.001	0.011	0.001	183	119	225	9	226	9	223	11
FN-1-21	343.8	8859	5134	1.73	0.053	0.002	0.245	0.009	0.033	0.001	0.010	0.000	309	77	223	7	212	7	208	9
FN-1-22	56.73	1199	833.1	1.44	0.062	0.003	0.313	0.017	0.036	0.001	0.012	0.001	680	107	277	13	228	8	243	12
FN-1-23	57.25	1524	832.5	1.83	0.053	0.003	0.251	0.012	0.034	0.001	0.010	0.000	343	112	228	9	216	7	206	9
FN-1-25	142.2	4422	1548	2.86	0.053	0.002	0.277	0.012	0.037	0.001	0.012	0.000	332	91	248	9	234	8	248	10
FN-1-26	243.1	7973	3318	2.40	0.051	0.002	0.236	0.010	0.033	0.001	0.010	0.000	233	97	215	8	210	7	210	8
FN-1-27	89.81	2270	1330	1.71	0.055	0.003	0.279	0.016	0.036	0.001	0.012	0.001	433	111	250	13	225	9	243	11
FN-1-29	227.2	7706	2838	2.72	0.050	0.002	0.244	0.010	0.035	0.001	0.011	0.000	187	93	222	8	222	8	215	8
FN-1-30	96.75	2853	1311	2.18	0.048	0.002	0.236	0.010	0.035	0.001	0.010	0.000	109	98	215	8	220	7	207	8
FN-1-31	12.16	96.38	161.4	0.60	0.063	0.004	0.410	0.025	0.048	0.002	0.017	0.001	711	139	349	18	303	11	331	18

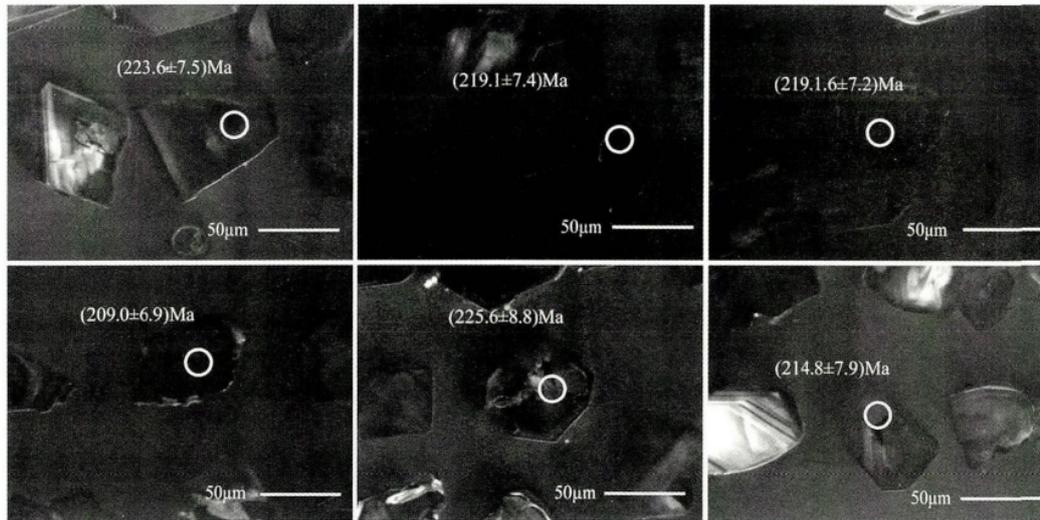


图6 富宁地区基性岩代表性锆石阴极发光影像

Fig. 6 Representative cathodoluminescence images of zircons from mafic intrusion in Funing

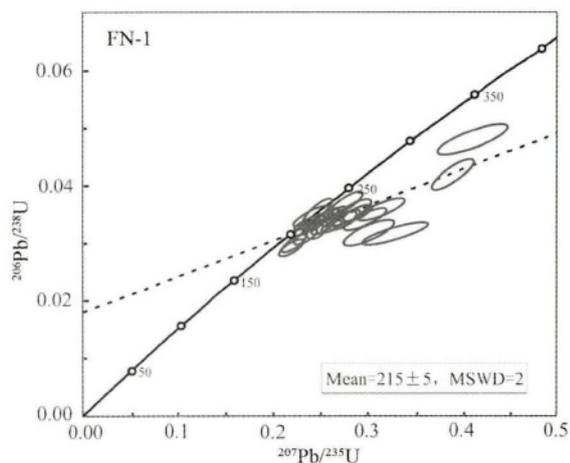


图7 富宁地区基性岩锆石年龄谐和图

Fig. 7 U-Pb age concordia plots of zircon grains from mafic rocks in Funing

生。这表明绢云母的形成与金矿是同时的(图4),绢云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄($215.3 \pm 1.9\text{Ma}$),可以代表卡林型金矿的形成年龄。本次获得的年龄与前人运用矿石中热液成因毒砂Re-Os法确定的年龄($204 \pm 19\text{Ma} \sim 235 \pm 33\text{Ma}$)相当(Chen *et al.*, 2015b),但年龄结果更为精确。

本次用基性岩中锆石U-Pb法确定富宁地区第二期基性岩的年龄为 $215 \pm 5\text{Ma}$,与者桑金矿床成矿年龄($215.3 \pm 1.9\text{Ma}$)在误差范围内完全一致。尽管者桑金矿床与该期基性岩在空间上有一定距离,但野外地质研究发现,富宁地区的有些梯、金矿床均与该期基性岩具有密切空间关系(图2)。这说明该区的晚期基性岩浆活动与金成矿可能具有某种成因关系。

从更大区域来看,者桑金矿床的形成年龄也与南岭地区

与花岗岩浆活动有关的钨锡多金属矿床的成矿时间高度吻合(蔡明海等, 2006)。距离者桑金矿床只有约100km的新寨和南秧田钨锡矿床多金属矿床的成矿年龄分别为 $211 \pm 2\text{Ma}$ 和 $216 \pm 2\text{Ma}$ (冯佳睿等, 2011)。

由此可见,者桑金矿床、富宁地区晚期基性岩和邻区与花岗岩有关的钨锡多金属矿床的成岩成矿年龄是一致的,它们很可能是同一构造体制下的产物。

5.2 区域构造演化与金成矿的关系

以往通常认为“金三角”内的卡林型金矿床的成矿与燕山运动有关,是太平洋板块西向俯冲的结果(胡瑞忠等, 2007; Mao *et al.*, 2013)。实际上,“金三角”所在的右江盆地紧邻特提斯构造域的松马缝合带分布。我们的定年结果表明,者桑金矿床的成矿与印支运动密切相关。

已有研究表明,印支期伴随古特提斯洋的闭合,印支地块沿松马缝合带与华南陆块的碰撞大致发生于 $254 \sim 242\text{Ma}$ (Carter *et al.*, 2001)。受印支运动影响,在华南的华夏地块和扬子地块东侧形成了年龄为 $252 \sim 205\text{Ma}$ 大量花岗岩(Zhou *et al.*, 2006)。Zhou *et al.* (2006)研究发现,早-中三叠世的花岗岩($254 \sim 242\text{Ma}$)形成于同碰撞期,而中-晚三叠世的花岗岩($230 \sim 205\text{Ma}$)形成于后碰撞期的伸展背景下。

右江盆地南部的富宁地区印支期深受印支运动的影响,该区 $215 \pm 5\text{Ma}$ 的基性岩和邻区与钨锡成矿有关,时代约 $211 \sim 216\text{Ma}$ 的花岗岩,都是中-晚三叠世印支运动后碰撞伸展背景下的产物。虽然者桑金矿床分布区并无这一时期的岩浆岩出露,基于者桑金矿床的成矿时代与其同时,我们推测该区深部可能存在该时期的隐伏岩体,这与地球物理研究揭示该区存在隐伏岩体(周永峰, 1993)的事实相一致,这是这些中-晚三叠世的深部岩浆活动驱动可能主要为大气降水

成因(Hu *et al.*, 2002)的流体循环并浸出地层中的成矿元素而形成了者桑金矿床。

6 结论

(1) 云南富宁者桑金矿床成矿年龄为 215.3 ± 1.9 Ma, 成矿与富宁地区晚期基性岩活动的时代(215 ± 5 Ma)一致, 并与邻区与花岗岩有关的钨锡多金属矿床的成矿时代相当。

(2) 伴随古特提斯洋的闭合, 在印支运动后碰撞(中-晚三叠世)伸展背景下, 形成了富宁地区 215 ± 5 Ma 的基性岩和邻区与钨锡成矿有关、时代约 211 ~ 216 Ma 的花岗岩。者桑金矿床分布区的深部可能存在该时期的隐伏岩体, 它们驱动主要为大气降水成因的流体浸出地层中的金、砷和锑等成矿元素形成了者桑金矿床。

致谢 桂林理工大学电子探针室陈宏毅老师为本次工作提供了方便。同位素定年得到中国地质科学院 Ar-Ar 年代学实验室和中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室激光等离子体质谱实验室的帮助。周新华研究员、苏文超研究员和谢桂青研究员对本文提出了宝贵的修改意见。在此一并表示感谢。

References

- Arehart GB, Chakurian AM and Tertbar DR. 2003. Evaluation of radioisotope dating of Carlin-type deposits in the Great Basin, Western North America, and implications for deposit genesis. *Economic Geology*, 98: 235 - 248
- Cai MH, Chen KX, Qu WJ, Liu GQ, Fu JM and Yin JP. 2006. Geological characteristics and Re-Os dating of molybdenites in Hehuaping tin-polymetallic deposit, southern Hunan Province. *Mineral Deposits*, 25: 263 - 268 (in Chinese with English abstract)
- Carter A, Roques D and Bristow C. 2001. Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia: Significance of Triassic thermo-tectonism (Indosinian orogeny) in Vietnam. *Geology*, 29: 211 - 214
- Chakurian AM, Arehart GB and Donelick RA. 2003. Timing constraints of gold mineralization along the Carlin trend utilizing apatite fission-track, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, and apatite (U-Th)/He methods. *Economic Geology*, 98: 1159 - 1171
- Chen MH, Mao JW, Qu WJ, Wu LL, Uttley PJ, Norman T, Zheng JM and Qin YZ. 2007. Re-Os dating of pyrites in Lannigou gold deposit, Guizhou Province, China and its geological significance. *Geological Review*, 53(3): 371 - 382 (in Chinese with English abstract)
- Chen MH, Huang QW and Hu Y. 2009. Genetic types of phyllosilicate (micas) and its $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ dating in Lannigou gold deposit, Guizhou Province, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 29: 353 - 362 (in Chinese with English abstract)
- Chen MH, Zhang Z and Santosh M. 2015a. The Carlin-type gold deposits of the "golden triangle" of SW China: Pb and S isotopic constraints for the ore genesis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 31: 115 - 128
- Chen MH, Mao JW, Li C, Zhang ZQ and Dang Y. 2015b. Re-Os isochron ages for arsenopyrite from Carlin-like gold deposits in the Yunnan-Guizhou-Guangxi "golden triangle", southwestern China. *Ore Geology Review*, 64: 316 - 327
- Chen W, Zhang Y, Zhang YQ, Jin GS and Wang QL. 2006. Ar-Ar thermochronologic evidence generation of the southeastern margin of the Tibetan Plateau in Late Cenozoic episodic uplifting. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 867 - 872 (in Chinese with English abstract)
- Cline JS, Hofstra AH and Muntean JL. 2005. Carlin-type gold deposit in Nevada: Critical geologic characteristics and viable model. *Economic Geology*, 100th Anniversary Volume: 451 - 484
- Dai HZ, Chen CH, Gu XX, Li BH, Dong SY and Cheng WB. 2014. Typomorphic characteristics of gold-bearing minerals in Zhesang gold deposit, Yunnan Province. *Mineral Deposits*, 33(1): 70 - 86 (in Chinese with English abstract)
- Emsbo P, Groves DI and Hofstra AH. 2006. The giant Carlin gold province: A protracted interplay of orogenic, basinal and hydrothermal processes above a lithospheric boundary. *Mineralium Deposita*, 41: 517 - 525
- Fan J and Xiao RG. 1997. Ore deposits and their assemblages are the markers of earth's evolution. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(4): 457 - 462 (in Chinese with English abstract)
- Faure M and Ishida K. 1990. The Mid-Upper Jurassic olistostrome of the West Philippines: A distinctive key marker for the North Palawan block. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 4: 61 - 67
- Feng JR, Mao JW, Pei RF and Li C. 2011. A tentative discussion on Indosinian ore-forming events in Laojunshan area of southeastern Yunnan: A case study of Xinzhai tin deposit and Nanyangtian tungsten deposit. *Mineral Deposits*, 30: 57 - 73 (in Chinese with English abstract)
- Groff JA, Heizler MT and McIntosh WC. 1997. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating and mineral paragenesis for Carlin-type gold deposits along the Getchell trend, Nevada: Evidence for Cretaceous and Tertiary gold mineralization. *Economic Geology*, 92: 601 - 622
- Hall CM, Kesler SE and Simon G. 2000. Overlapping Cretaceous and Eocene alteration, Twin Greeks Carlin-type deposits, Nevada. *Economic Geology*, 95: 1739 - 1752
- Hofstra AH, Snee LW and Rye RO. 1999. Age constraints on Jerritt Canyon and other Carlin-type gold deposits in the western United States: Relationship to Mid-Tertiary extension and magmatism. *Economic Geology*, 94: 769 - 802
- Hu RZ, Su WC, Bi XW and Li ZQ. 1995. A possible evolution way of ore-forming hydrothermal fluid for the Carlin-type gold deposits in the Yunnan-Guizhou-Guangxi triangle area. *Acta Mineralogica Sinica*, 15(2): 144 - 149 (in Chinese with English abstract)
- Hu RZ, Su WC, Bi XW, Tu GZ and Hofstra AH. 2002. Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China. *Mineralium Deposita*, 37(3-4): 378 - 392
- Hu RZ, Peng JT, Ma DS, Su WC, Shi CH, Bi XW and Tu GC. 2007. Epoch of large-scale low-temperature mineralizations in southwestern Yangtze massif. *Mineral Deposits*, 26(6): 583 - 596 (in Chinese with English abstract)
- Hu RZ and Zhou MF. 2012. Multiple Mesozoic mineralization events in South China: An introduction to the thematic issue. *Mineralium Deposita*, 47: 579 - 588
- Hu RZ, Mao JW, Hua RM and Fan WM. 2015. Intra-continental Mineralization of South China Craton. Beijing: Science Press, 1 - 903 (in Chinese)
- Hutcherson S. 2002. Geology and geochemistry of the Murray deposit, Jerritt Canyon mining district, Nevada. Master Degree Thesis. Reno. University of Nevada, 1 - 89
- Jia DC and Hu RZ. 2001. Analysis of genesis of Carlin-type gold deposits in Yunnan-Guizhou-Guangxi triangle area. *Mineral Deposits*, 20(4): 378 - 384 (in Chinese with English abstract)
- Li J, Xu JF, He B, Xu YG and Dong YH. 2008. Os-Sr-Nd isotope geochemistry of Permian picrites from Muli area, Southeast Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 24(2): 337 - 347 (in Chinese with English abstract)
- Liu DS and Geng WH. 1985. Study on mineral characteristics of gold deposit and metallogenic conditions of Carlin-type. *Geochemistry*, 14(3): 277 - 282 (in Chinese with English abstract)
- Luo G and Yang XF. 2010. Geological characteristics and metallogenic

- regularity of fine-disseminated gold deposits in the old walled Bay of Guangnan area, Yunnan. *Geological Bulletin of China*, 29(9): 1362–1370 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Chen YB, Chen MH and Pirajno F. 2013. Major types and time-space distribution of Mesozoic ore deposit in South China and their geodynamic setting. *Mineralium Deposita*, 48: 267–294
- Muntean JL, Cline JS and Simon AC. 2011. Magmatic-hydrothermal origin of Nevada's Carlin-type gold deposits. *Nature Geoscience*, doi: 10.1038/NNGEO1064
- Pang BC and Lin CS. 2001. Discussion on the genesis of fine-infection type gold deposits in Youjiang Basin. *Geology and Exploration*, 37(4): 9–13 (in Chinese with English abstract)
- Peters SG, Huang J and Li Z. 2007. Sedimentary rock-hosted Au deposits of the Dian-Qian-Gui area, Guizhou, and Yunnan provinces, and Guangxi District, China. *Ore Geology Reviews*, 31: 170–204
- Qiu HN, Sun DZ, Zhu BQ and Chang XY. 1997. Isotope geochemistry study of DongChuan copper deposits in Middle Yunnan Province SW China: II. dating the ages of mineralization's by Pb-Pb and ^{40}Ar - ^{39}Ar methods. *Geochemistry*, 26(3): 39–45 (in Chinese with English abstract)
- Su WC, Xia B, Zhang HT, Zhang XC and Hu RZ. 2008. Visible gold in arsenian pyrite at the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China: Implications for the environment and processes of ore formation. *Ore Geology Reviews*, 33: 667–679
- Su WC, Heinrich CA, Pettker T, Zhang XC, Hu RZ and Xia B. 2009a. Sediment-hosted gold deposits in Guizhou, China: Products of wall-rock sulfidation by deep crustal fluids. *Economic Geology*, 104: 73–93
- Su WC, Hu RZ, Xia B, Xia Y and Liu YP. 2009b. Calcite Sm-Nd isochron age of the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China. *Chemical Geology*, 258(3–4): 269–274
- Su WC, Zhang HT, Hu RZ, Ge X, Xia B, Chen YY and Zhu C. 2012. Mineralogy and geochemistry of gold-bearing arsenian pyrite from the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China: Implications for gold depositional processes. *Mineralium Deposita*, 47: 653–662
- Trethar DR, Arehart GB and Christensen JN. 2000. Dating gold deposition in a Carlin-type gold deposit using Rb/Sr methods on the mineral galkhaite. *Geology*, 28: 947–950
- Tu GC. 2002. Two unique mineralization areas in Southwest China. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 21(1): 1–2 (in Chinese with English abstract)
- Wang GT. 1992. Three Rb-Sr isochron age in Northwest Guangxi. *Geology of Guangxi*, 5(1): 29–35 (in Chinese)
- Wang YJ, Fan WM, Cawood PA, Ji SC, Peng TP and Chen XY. 2007. Indosinian high-strain deformation for the Yunkaidashan tectonic belt, South China: Kinematics and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological constraints. *Tectonics*, 26: doi: 10.1029/2007TC002099.
- Zhang F and Yang KY. 1992. Study on fission track metallogenic epoch of micrograined disseminated gold deposits in Southwest Guizhou. *Chinese Science Bulletin*, 37(7): 1593–1595 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Y, Chen W, Chen KL and Liu XY. 2006. Study on the Ar-Ar Age spectrum of diagenetic I/S and the mechanism of ^{39}Ar recoil loss. *Geological Review*, 52(4): 556–561 (in Chinese with English abstract)
- Zhang YM, Gu XX and Bai X. 2013. Sulfur and lead isotopic composition characteristics of the Zhangsang gold deposit in Funing County, Yunnan. *Earth Science Frontiers*, 20(1): 32–39 (in Chinese with English abstract)
- Zhao JH, Zhou MF, Yan DP, Zheng JP and Li JW. 2011. Reappraisal of the ages of Neoproterozoic strata in South China: No connection with the Grenvillian orogeny. *Geology*, 39: 299–302
- Zhou XM, Sun T, Shen W, Shu L and Niu Y. 2006. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China, a response to tectonic evolution. *Episodes*, 29: 26–33
- Zhou YG, Liu JS, Wang ZH, Ou RWF, Gao QZ, Liu DL and Huang YY. 2009. The sources of ore-forming substance of Carlin-type gold deposit: A discussion based on the characteristics of regional stratigraphic geochemical evolution in “Gold-Triangle” area of Yunnan, Guizhou, Guangxi provinces. *Earth Science Frontiers*, 2(16): 200–208 (in Chinese with English abstract)
- Zhou YF. 1993. The application of regional gravity to the deep geology and mineralization prognosis in Guangxi. *Geology of Guangxi*, 6: 15–24 (in Chinese)

附中文参考文献

- 蔡明海, 陈开旭, 屈文俊, 刘国庆, 付建明, 印建平. 2006. 湘南荷花坪锡多金属矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 测年. *矿床地质*, 25(3): 264–268
- 陈懋弘, 毛景文, 屈文俊, 吴六灵, Uttley PJ, Norman T, 郑建民, 秦运忠. 2007. 贵州贞丰烂泥沟卡林型金矿床含矿黄铁矿 Re-Os 同位素测年及地质意义. *地质论评*, 53: 371–382
- 陈懋弘, 黄庆文, 胡瑛, 陈振宇, 章伟. 2009. 贵州烂泥沟金矿层状硅酸盐矿物及其 ^{39}Ar - ^{40}Ar 研究. *矿物学报*, 29: 353–362
- 陈文, 张彦, 张岳桥, 金贵善, 王清利. 2006. 青藏高原东南缘晚新生代幕式抬升作用的 Ar-Ar 热年代学证据. *岩石学报*, 22(4): 867–872
- 代鸿章, 陈翠华, 顾雪祥, 李保华, 董树义, 程文斌. 2013. 云南者桑金矿床载金矿物标型特征研究. *矿床地质*, 33(1): 70–86
- 范军, 肖荣阁. 1997. 矿床及其组合是地壳演化的标志物——右江幔隆的发生、发展与滇黔桂卡林型金矿关系探讨. *矿物学报*, 17(4): 457–462
- 冯佳睿, 毛景文, 裴荣富, 李超. 2011. 滇东南老君山地区印支期成矿事件初探——以新寨锡矿床和南秧田钨矿床为例. *矿床地质*, 30(1): 58–73
- 胡瑞忠, 苏文超, 毕献武, 李泽琴. 1995. 滇黔桂三角区微细浸染型金矿床成矿热液一种可能的演化途径: 年代学证据. *矿物学报*, 15(2): 144–149
- 胡瑞忠, 彭建堂, 马东升, 苏文超, 施春华, 毕献武, 涂光炽. 2007. 扬子地块西南缘大面积低温成矿时代. *矿床地质*, 26(6): 583–596
- 胡瑞忠, 毛景文, 华仁民, 范蔚茗. 2015. 华南陆块陆内成矿作用, 北京: 科学出版社, 1–903
- 贾大成, 胡瑞忠. 2001. 滇黔桂地区卡林型金矿床成因探讨. *矿床地质*, 20(4): 378–384
- 李杰, 许继峰, 何斌, 徐义刚, 董彦辉. 2008. 青藏高原东南木里地区二叠纪苦橄岩的 Os-Sr-Nd 同位素地球化学研究. *岩石学报*, 24(2): 337–347
- 刘东升, 耿文辉. 1985. 我国卡林型金矿矿物特征及成矿条件探讨. *地球化学*, 14(3): 277–282
- 罗刚, 杨小峰. 2010. 云南广南地区老寨湾微细粒浸染型金矿床地质特征与成矿规律. *地质通报*, 29(9): 1362–1370
- 庞保成, 林畅松. 2001. 右江盆地微细浸染型金矿的成因探讨. *地质与勘探*, 37(4): 9–13
- 邱华宁, 孙大中, 朱炳泉, 常向阳. 1997. 东川铜矿床同位素地球化学研究: II. Pb-Pb、 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法成矿年龄测定. *地球化学*, 26(3): 39–45
- 苏文超, 杨科佑, 胡瑞忠, 陈丰. 1998. 中国西部卡林型金矿床流体包裹体年代学研究——以贵州烂泥沟大型卡林型金矿床为例.

- 矿物学报, 18(3): 359–362
- 涂光炽. 2002. 我国西南地区两个别具一格的成矿带(域). 矿物岩石地球化学通报, 21(1): 1–2
- 王国田. 1992. 桂西北地区三条铷-锶等时线年龄. 广西地质, 5(1): 29–35
- 张峰, 杨科佑. 1992. 黔西南微细浸染型金矿裂变径迹成矿时代研究. 科学通报, 37(7): 1593–1595
- 张彦, 陈文, 陈克龙, 刘新宇. 2006. 成岩混层(I/S) Ar-Ar 年龄谱型及³⁹Ar 核反冲丢失机理研究. 地质评论, 52(4): 556–561
- 章永梅, 顾雪祥, 摆祥, 刘瑞萍, 郑砾, 吴程赞, 彭义伟. 2013. 云南富宁者桑金矿床硫铅同位素地球化学特征与成矿物质来源. 地学前缘, 20(1): 32–39
- 周永峰. 1993. 区域重力资料研究在广西深部地质和成矿预测中的应用. 广西地质, 6(2): 15–24
- 周余国, 刘继顺, 王作华, 欧阳玉飞, 高启芝, 刘德利, 黄元有. 2009. 从滇黔桂“金三角”区域地层地球化学演化特征探讨卡林型金矿的物质来源. 地学前缘, 2(16): 200–208