

https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.609



钦—杭成矿带南段庞西垌断裂带热年代学证据

丁汝鑫^{1,2,3}, 虞鹏鹏^{1,2}, 胡光明⁴, 邹和平^{1,2}, 曾长育^{1,2}, 周永章^{1,2}

1. 中山大学地球科学与工程学院, 广东广州 510275

2. 广东省地质过程与矿产资源探查重点实验室, 广东广州 510275

3. Low-T 实验室, 上海 201101

4. 长江大学地球科学学院, 湖北武汉 430100

摘要: 庞西垌断裂带是钦—杭成矿带南段众多 NE 向韧性剪切带的其中一条, 控制着一系列韧性剪切带型银金矿床的分布。对其进行热年代学研究有助于了解钦—杭成矿带南段 NE 向韧性剪切带的构造演化及其对伴生矿床的控制作用。获得的庞西垌断裂带内糜棱岩中两件白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 总气体年龄分别为 221.98±1.16 Ma 和 223.77±1.16 Ma。据此认为庞西垌断裂带在印支期发生韧性剪切活动, 为伴生矿床的形成提供了有利空间; 在同一糜棱岩样品中获得的磷灰石、锆石裂变径迹年龄分别为 64.83±4.13 Ma 和 75.69±2.88 Ma, 结合热史模拟结果可以得出, 庞西垌断裂带在 75~60 Ma 期间发生了快速冷却作用 (6.2 °C/Ma), 与区域整体缓慢冷却过程 (1.5 °C/Ma) 差别显著, 据此推测庞西垌断裂带可能在约 75~60 Ma 期间再次发生活动, 而庞西垌银金矿床可能形成于晚白垩世。

关键词: 钦—杭成矿带; 庞西垌断裂带; ⁴⁰Ar/³⁹Ar 测年; 裂变径迹; 石油地质。

中图分类号: P548

文章编号: 1000-2383(2018)06-1830-09

收稿日期: 2018-01-24

Thermochronology of Pangxidong Fault Zone in Southern Section of Qin-Hang Metallogenic Belt

Ding Ruxin^{1,2,3}, Yu Pengpeng^{1,2}, Hu Guangming⁴, Zou Heping^{1,2}, Zeng Changyu^{1,2}, Zhou Yongzhang^{1,2}

1. School of Earth Science and Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

2. Guangdong Provincial Key Lab of Geological Processes and Mineral Resource Survey, Guangzhou 510275, China

3. Low-T Lab, Shanghai 201101, China

4. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China

Abstract: The Pangxidong fault zone is one of many NE-strength ductile shear zones in the southern section of the Qin-Hang metallogenic belt and controls the distribution of a series of ductile shear zones related Ag-Au deposits. Study on its thermochronology is helpful to understand the tectonic evolution of the NE-trending ductile shear zone in the southern part of the Qin-Hang metallogenic belt and its effect on the associated mineral deposits. A set of muscovite ⁴⁰Ar/³⁹Ar and fission track analysis were carried out in this paper. Two muscovite samples from the mylonite yielded ⁴⁰Ar/³⁹Ar isotopic total gas ages of 221.98±1.16 Ma and 223.77±1.16 Ma, respectively. It is interpreted that the ductile shearing happened in Pangxidong fault zone during the Indosinian period, which is believed to have provided favorable space for the formation of associated mineral deposits. Apatite and zircon fission track ages from the same mylonite sample yield 64.83±4.13 Ma and 75.69±2.88 Ma, respectively. Combined with the thermal history modeling results, it is shown that the fault zone had experienced a rapid cooling process during ~75~60 Ma (6.2 °C/Ma), which is much different from the slow cooling process of the Yunkai region (1.5 °C/Ma). The re-

基金项目: 国家自然科学基金基金项目 (Nos. 41102131, 41472097); 广东省自然科学基金项目 (No. 2015A030313193); 国家留学基金项目 (No. 201206385013); 中国地质调查局 (No. 12120113067600)。

作者简介: 丁汝鑫 (1978-), 男, 副教授, 博士, 主要从事构造地质学研究。ORCID: 0000-0002-1174-5193. E-mail: dingrux@mail.sysu.edu.cn

引用格式: 丁汝鑫, 虞鹏鹏, 胡光明, 等, 2018. 钦—杭成矿带南段庞西垌断裂带热年代学证据. 地球科学, 43(6): 1830-1838.

sults suggest that the Pangxidong fault zone was active again during ~75–60 Ma and the Pangxidong Ag–Au deposits possibly formed in the Late Cretaceous.

Key words: Qin-Hang metallogenic belt; Pangxidong fault zone; ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating; fission track analysis; petroleum geology.

0 引言

韧性剪切带中往往伴生大量带状分布的剪切带型金矿床(Mapani and Wilson, 1994; 王义天等, 2004; 蔡晓荻等, 2008), 因为韧性剪切带可以为金矿床的形成提供通道和储存空间. 钦-杭成矿带南段发育一系列 NE 向韧性剪切带(周永章等, 2012, 2015; 丁汝鑫等, 2015; Zheng *et al.*, 2016), 相应地产出一些与之相关的大、中型韧性剪切带型金矿床, 如已发现的河台金矿(王成辉等, 2012; Zheng *et al.*, 2016)、庞西垌银金矿(王鹤年等, 1992; 王祖伟和周永章, 2002)、福平包金矿(莫江平等, 2009)等.

庞西垌断裂带是钦-杭成矿带南段上的一条 NE 向韧性剪切带, 平行于凭祥-南宁、防城-灵山、博白-岑溪、吴川-四会等剪切带(图 1a). 庞西垌断裂带从 SW 向往 NE 向经庞西垌、金山、樟木塘、中苏和竹根坡, 最后延伸到茶子窝岩体. 它控制着庞西垌银金矿、金山银金矿、樟木塘银金矿及中苏银金矿等矿床的空间分布, 其中储量最大的为庞西垌银金矿. 因此, 选取该断裂带及与之伴生的韧性剪切带型金矿床作相关研究, 对整个钦-杭成矿带南

段 NE 向韧性剪切构造及对韧性剪切带型金矿床的控制作用研究具有启示及借鉴意义.

本文从庞西垌断裂带热演化历史角度出发, 通过对断裂带内糜棱岩进行白云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年, 进行磷灰石和锆石裂变径迹测试, 探讨庞西垌断裂带演化过程及对庞西垌银金矿控制的地质意义.

1 区域地质背景及矿床地质特征

庞西垌断裂带位于钦-杭结合带南段的云开地区. 区内出露的地层主要为前寒武系云开群以及古生界-新生界地层, 其中云开群主要为石英云母片岩、云母石英岩、绢云石英千枚岩、大理岩类组成的浅变质岩系(韩坤英等, 2017). 云开地区地层受多期次岩浆侵入和变形-变质作用影响. 加里东期构造-岩浆作用导致本区发生高级变质作用, 主要形成了条带状-眼球状花岗片麻岩、条带状混合岩和片麻状花岗岩等; 印支期、燕山期都发生了花岗岩的大面积侵入(杨振等, 2014). 区域上断裂带发育, 主要以 NE 向断裂为主, 区域性的大断裂包括博白-岑溪断裂带、黎村-文地断裂带、信宜-廉江断裂

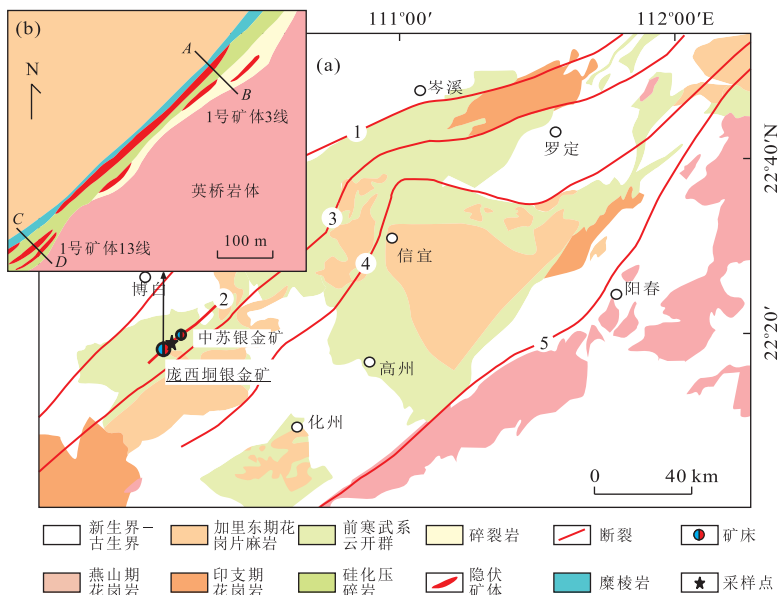


图 1 云开地区及庞西垌银金矿地质图

Fig.1 Tectonic background of Yunkai area and Pangxidong Ag–Au ore deposit

断裂名称: 1.博白-梧州断裂; 2.庞西垌断裂; 3.黎村-文地断裂; 4.廉江-信宜断裂; 5.吴川-四会断裂; 据 Wang *et al.* (2013) 修改

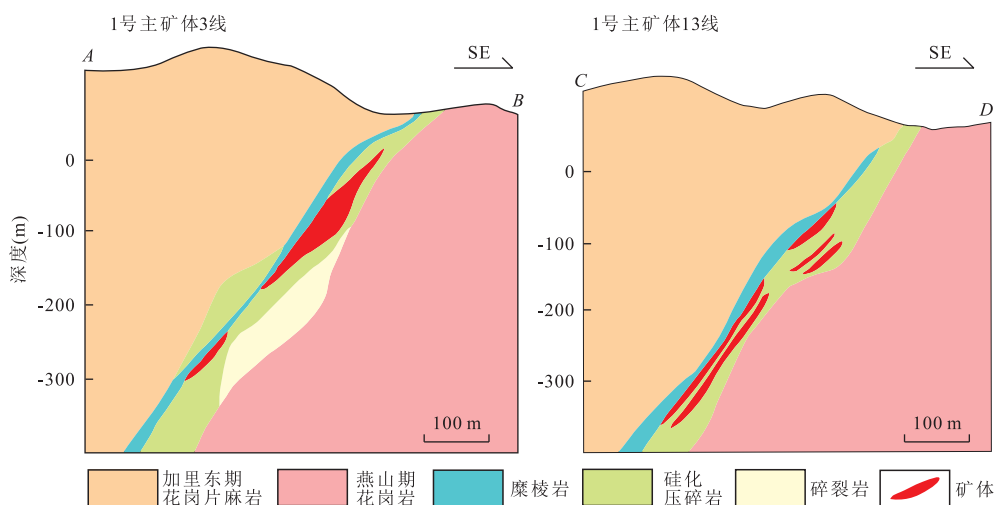


图 2 庞西垆银金矿 1 号矿体 3、13 线剖面

Fig.2 Geological profiles of No.3, 13 for 1[#] ore body, Pangxidong Ag-Au ore deposit

带、吴川—四会断裂带(丁汝鑫等, 2015; 周永章等, 2015)。

庞西垆断裂带长度在 20 km 以上, 走向介于 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$, 倾向北西, 倾角介于 $55^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。该断裂从中心往两侧发育糜棱岩和碎裂岩, 破碎带宽度介于 10~100 m 以及 100 m 以上(图 1b)。

庞西垆银金矿矿体产于断裂带的中心, 并紧贴糜棱岩带产出, 呈脉状、透镜状或者扁豆状(如图 2), 长度介于 100~1 600 m, 走向范围为 $45^{\circ}\sim 48^{\circ}$, 倾向北西, 倾角范围介于 $58^{\circ}\sim 62^{\circ}$ 。目前, 共圈定 50 多个矿体, 主要矿体为 1 号矿体, Ag 平均品位为 116×10^{-6} , Au 平均品位为 0.59×10^{-6} , 并伴生 Pb 和 Zn。Ag、Au、Pb 和 Zn 分布基本重叠。庞西垆银金矿发现于 20 世纪 60 年代—20 世纪 70 年代, 属大中型银金矿。金矿类型主要为石英脉型和蚀变岩型, 是典型的韧性剪切期后金矿床, 前人资料反映其成矿时代为英桥岩体形成后不久(王鹤年等, 1992; 王正云等, 1998; 王祖伟等, 1998)。

矿石矿物主要有自然银、银金矿、螺状硫银矿、辉银矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿和黄铜矿等; 脉石矿物主要有石英、绢云母、斜长石、钾长石、绿泥石和角闪石等。矿石结构主要有粒状结构、粒状变晶结构、交代溶蚀结构和碎裂结构等; 矿石构造主要有块状构造、角砾状构造、浸染状构造和细脉状构造等。矿石具交代溶蚀结构和细脉状构造表明, 矿床经历过强烈的热液交代作用。围岩蚀变主要包括绢云母化、硅化、黄铁矿化、黄铜矿化、钾化和绿泥石化等。

2 庞西垆断裂带热年代学研究

2.1 样品特征及测试方法

本次测试样品岩性为糜棱岩, 采自博白县英桥镇樟木塘村, 庞西垆断裂带内与矿体相邻的糜棱岩体中。糜棱岩呈浅绿色, 主要由钾长石碎斑以及石英、云母基质组成, 透镜状钾长石呈 σ 旋转碎斑, 石英定向拉长。显微照片(图 3)反映了岩石中石英具定向拉长和波状消光, 云母定向明显, 长石蚀变较强烈, 云母也已较明显蚀变。

本次研究对同一个糜棱岩样品进行了白云母、磷灰石和锆石颗粒的分选。分选在河北区域地质矿产调查研究所实验室完成, 经过粉碎、淘洗、重液分离、磁选或者超声波洗涤等步骤, 选出足够数量的符

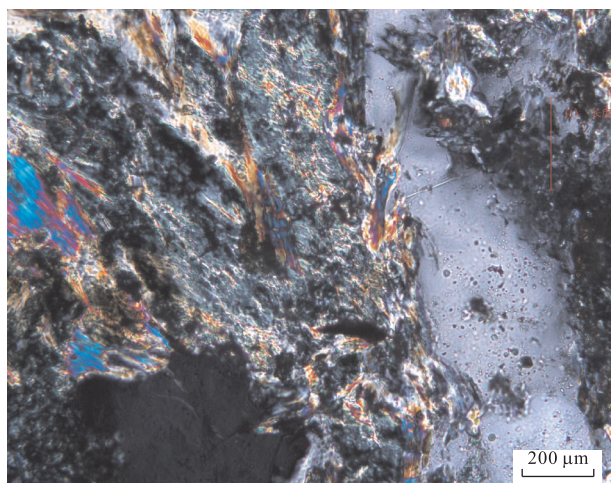


图 3 庞西垆断裂带内的糜棱岩显微照片

Fig.3 Microphotograph of mylonite in Pangxidong fault zone

合实验测试要求的白云母、磷灰石及锆石颗粒, 分别进行⁴⁰Ar/³⁹Ar 及裂变径迹研究.

2.2 白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年

白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素分析在美国密歇根大学 Ar 同位素地质年代学实验室采用连续激光阶段加热分析方法完成. 实验过程中使用的中子通量监测的标准样品为普通角闪石 MMhb-1, 其年龄为 520.4 Ma (Samson and Alexander Jr, 1987). 用于⁴⁰Ar/³⁹Ar 中子活化测定年龄的样品, 用铝箔包裹后, 与标样 MMhb-1 一起封入石英玻璃瓶中, 白云母矿物样品包裹在纯铝箔中, 在加拿大艾大略省麦克马斯特大学的麦克马斯特核反应堆中用 90 mW · h 激光照射. 样品用 Coherent Innova 5W 连续氩离子激光器逐渐加热直至样品完全熔融. 在每个脱气阶段, 系统依次为每个颗粒加热 60 s, Ar 同位素测试在 VG1200S 质谱仪中进行. K、Ca 和 Cl 的核反应干扰,³⁷Ar 和³⁹Ar 的衰变以及由³⁶Cl 衰变而来的³⁶Ar 均得到了校正. 实验参数和流程见 Hall and Farrell(1995).

⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段激光分析结果和相应的表面年龄谱见图 4 和表 1. 测试样品的两个白云母(ZMT-B1/B2)的年龄谱呈低缓阶梯状, 年龄值从低温到高温缓慢单调递升, 总气体年龄分别为 221.98 ± 1.16 Ma, 223.77 ± 1.16 Ma. 白云母的年龄谱虽然未

给出坪年龄, 但大部分呈非常低缓的台阶状, 大致代表了⁴⁰Ar* (放射成因氩) 因体积扩散从矿物颗粒内释放出来的内部分布情况.

ZMT-B1 白云母年龄测试过程中, 激光起始功率为 100 mW, 在加热至 700 mW 的过程中,³⁹Ar 累计释放率从 0.19% 逐渐升至 10.69%, 年龄值也从 136.83 Ma 逐渐升至 211.44 Ma. 从 800 mW 加热至 3 200 mW 的过程中,³⁹Ar 释放率从 19.48% 升至 99.64%, 此时年龄图谱保持一个较为稳定的状态, 年龄值基本保持在 219.04 ~ 228.88 Ma, 最大值为 234.42 Ma. ZMT-B2 白云母年龄图谱与 ZMT-B1 类似, 激光起始功率为 100 mW, 在加热至 700 mW 的过程中,³⁹Ar 释放率从 0.15% 逐渐升至 7.70%, 年龄值也从 133.58 Ma 逐渐升至 213.98 Ma. 从 800 mW 加热至 4 000 mW 的过程中,³⁹Ar 释放率从 12.87% 升至 100%, 年龄图谱保持一个较为稳定的状态, 年龄值基本保持在 220.07 ~ 229.07 Ma.

2.3 磷灰石、锆石裂变径迹测试

首先对磷灰石、锆石颗粒进行环氧树脂制靶、抛光, 然后将磷灰石放于恒温 25 °C 的 6.6% HNO₃ 溶液中蚀刻 30 s, 将锆石放于恒温 220 °C 的 6% 的 8 g NaOH 和 11.5 g KOH 溶液中蚀刻 33 h, 再贴上白云母外探测器送反应堆辐照, 辐照结束后将白云母

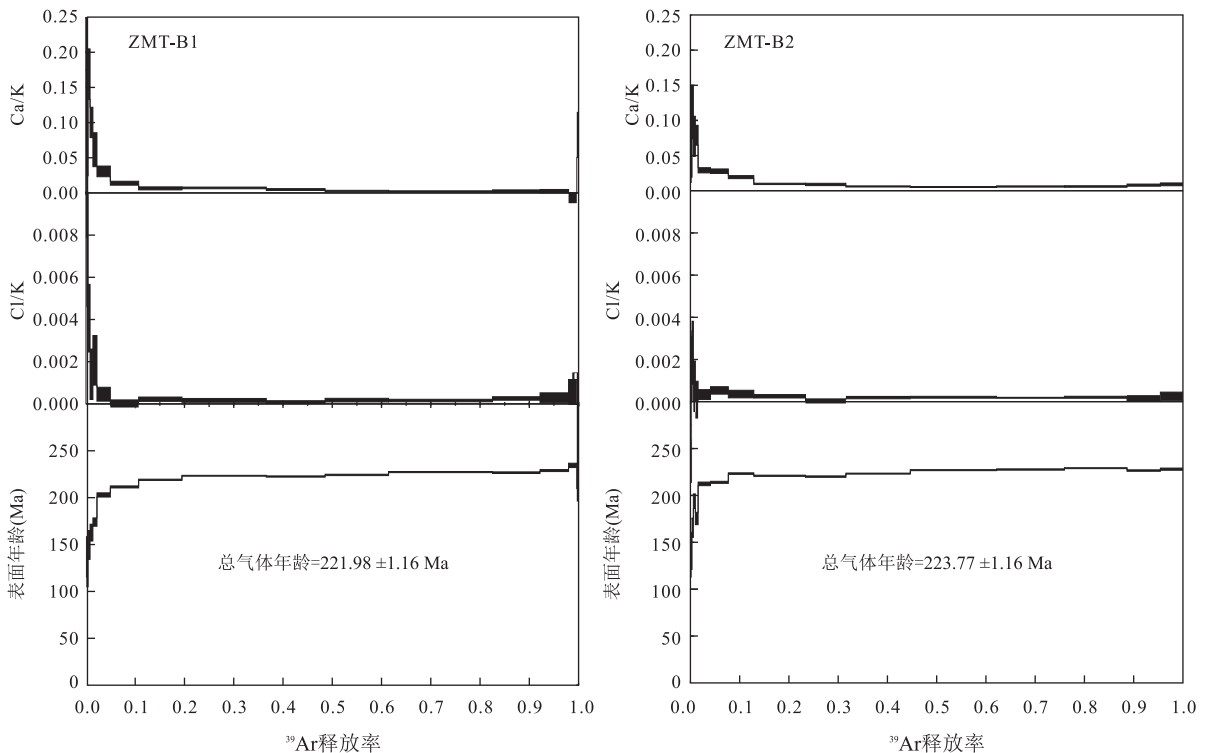


图 4 白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段激光剥蚀年龄谱

Fig.4 ⁴⁰Ar/³⁹Ar age spectra of muscovite obtained by stepwise laser heating

表 1 糜棱岩白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 测年结果
Table 1 ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating results of muscovite from mylonite

阶段	累积 ³⁹ Ar 释放率	激光功率 (mW)	气体体积(10 ⁻¹³ mL)					t (Ma)	年龄误差 (Ma)
			³⁶ Ar	³⁷ Ar	³⁸ Ar	³⁹ Ar	⁴⁰ Ar		
ZMT-B1 白云母, J = 0.002 2 ± 0.000 011 9									
1	0.002	100	0.41	0.33	0.29	3.74	255.79	136.83	21.51
2	0.004	150	0.41	0.21	0.25	4.76	274.05	122.18	17.29
3	0.008	200	0.37	0.70	0.22	7.63	409.18	149.56	15.37
4	0.014	250	0.39	0.61	0.15	11.20	595.69	162.72	8.98
5	0.022	300	0.33	0.53	0.22	15.93	832.43	173.96	4.44
6	0.050	400	0.68	0.88	0.24	52.54	3 049.22	202.90	2.24
7	0.107	500	1.20	0.84	0.23	111.22	6 651.19	211.44	1.08
8	0.195	600	1.34	0.60	0.43	170.14	10 397.04	219.04	0.68
9	0.366	800	2.41	1.28	0.71	331.37	20 598.97	223.36	0.46
10	0.485	1 000	1.82	0.61	0.43	231.08	14 354.32	222.56	0.66
11	0.614	1 200	1.78	0.36	0.55	249.29	15 552.21	224.27	0.73
12	0.825	1 600	2.06	0.48	0.69	408.41	25 578.92	227.29	0.60
13	0.922	2 000	0.73	0.26	0.37	186.66	11 594.56	226.64	0.86
14	0.980	2 600	0.37	0.15	0.22	112.12	7 016.10	228.89	1.06
15	0.996	3 200	-0.10	-0.13	0.07	32.33	2 012.24	234.42	2.32
16	1.000	4 000	0.07	0.32	-0.04	7.01	441.99	223.00	13.35
ZMT-B2 白云母, J = 0.002 2 ± 0.000 011 9									
1	0.001	100	0.42	0.18	0.09	4.04	264.75	133.58	20.75
2	0.003	150	0.44	0.22	0.07	5.07	317.02	140.87	19.79
3	0.006	200	0.38	0.45	0.15	7.40	436.80	165.57	10.32
4	0.010	250	0.18	0.47	0.07	11.09	624.53	193.81	7.83
5	0.016	300	0.56	0.66	0.11	15.41	881.59	175.38	6.59
6	0.041	400	1.24	1.10	0.34	69.36	4 310.23	212.34	1.92
7	0.077	500	1.29	1.51	0.49	99.68	6 096.28	213.98	1.10
8	0.129	600	1.87	1.50	0.59	142.56	9 104.64	223.29	0.81
9	0.234	800	2.95	1.54	0.90	289.20	18 030.43	220.97	0.65
10	0.316	1 000	2.48	1.10	0.49	225.96	14 081.27	220.07	0.76
11	0.447	1 200	2.76	1.20	0.87	360.45	22 440.23	223.26	0.52
12	0.622	1 600	4.23	1.39	1.24	482.38	30 697.55	226.96	0.55
13	0.759	2 000	3.15	1.25	0.94	379.72	24 185.75	227.64	0.68
14	0.887	2 600	2.47	1.15	0.79	350.14	22 317.35	229.07	0.50
15	0.954	3 200	1.23	0.81	0.37	186.50	11 726.24	226.53	0.78
16	1.000	4 000	0.58	0.63	0.26	126.18	7 911.37	228.01	1.16

表 2 糜棱岩磷灰石、锆石裂变径迹测试数据

Table 2 Fission track analysis results of apatite and zircon from mylonite

矿物	颗粒数	自发径迹		诱发径迹		P(χ ²)	标准玻璃		总体年 龄 t (Ma)	1σ (Ma)	平均年龄 t (Ma)	1σ (Ma)	平均径迹长度 L	
		ρ _s (径迹数) (cm ⁻²)	N _s	ρ _i (径迹数) (cm ⁻²)	N _i		ρ _d (径迹数) (cm ⁻²)	N _d					径迹数量	L ± σ(μm)
磷灰石	70	0.39 × 10 ⁶	3 073	1.60 × 10 ⁶	12 592	0.92	12.84 × 10 ⁵	7 312	64.83	4.13	62.68	1.73	124	12.33 ± 1.85
锆石	56	7.22 × 10 ⁶	6 589	8.98 × 10 ⁶	8 203	0.51	20.10 × 10 ⁵	10 330	75.69	2.88	75.67	1.20	—	—

注: N_s 表示自发径迹数; N_i 表示诱发径迹数; N_d 表示铀标准玻璃的诱发径迹数。

外探测器取下,置于 25 °C 的 HF 溶液中蚀刻 35 min,最后进行镜下观测.实验在中国地质大学(北京)裂变径迹实验室完成,详细实验参数和流程见袁万明等(2000).年龄测试结果如表 2,其中磷灰石裂变径迹平均围限径迹长度为 12.33 ± 1.85 μm,

呈单峰分布(图 5),平均年龄为 62.68 ± 1.73 Ma;锆石裂变径迹平均年龄为 75.69 ± 2.88 Ma.磷灰石及锆石颗粒的裂变径迹年龄分布相对集中(图 5),说明以平均颗粒年龄作为样品年龄是比较可信的.裂变径迹热史模拟结果如图 6a,其中热史模拟使用

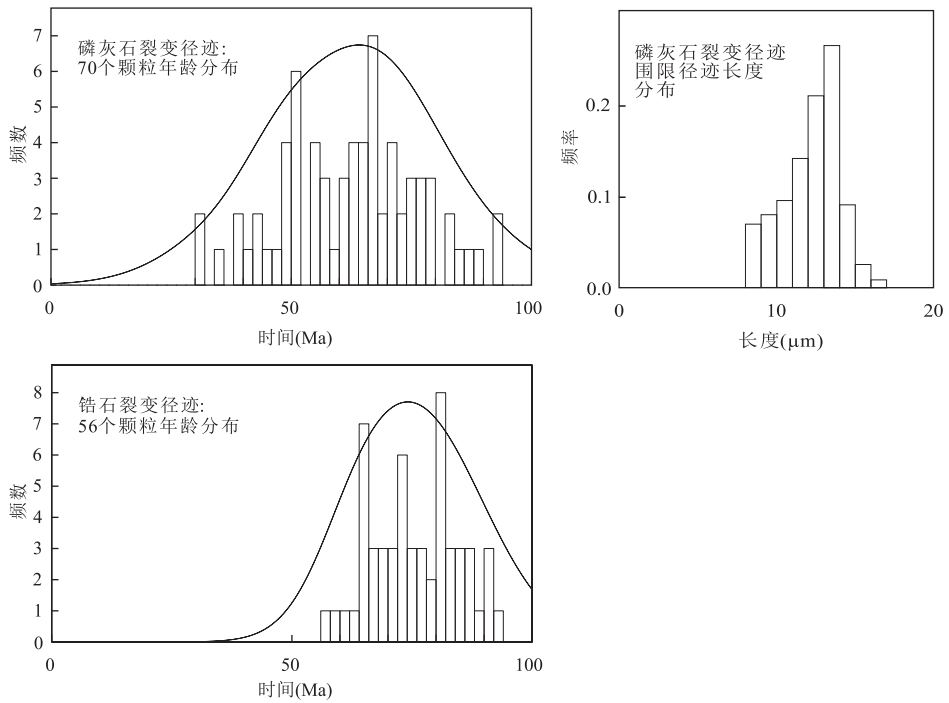


图 5 磷灰石、锆石颗粒裂变径迹年龄分布及磷灰石裂变径迹围限径迹长度分布

Fig.5 The apatite and zircon fission track grain ages and apatite confined track length distribution

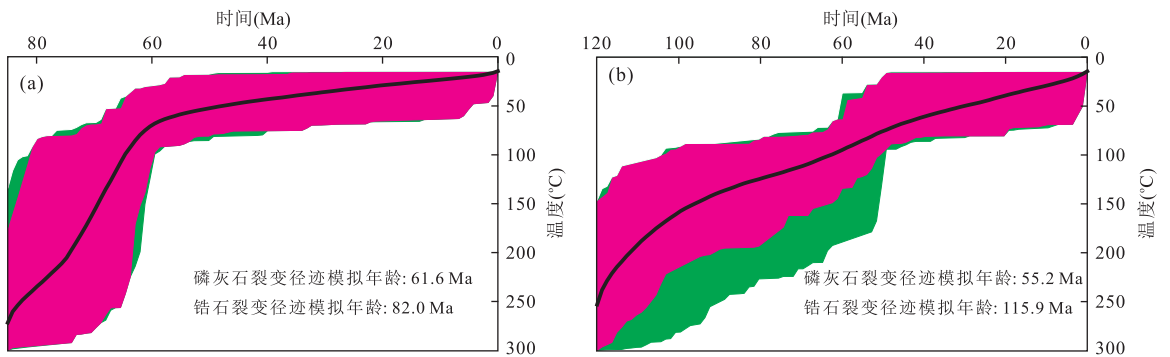


图 6 裂变径迹热史模拟

Fig.6 Thermal history modeling of fission track

图 6a、6b 中分别搜索了 100 000 和 10 000 条热史曲线。绿色模拟区域代表可以接受的模拟结果 (拟合优度 >0.05), 紫色模拟区域代表良好的模拟结果 (拟合优度 >0.5), 黑色粗实线代表最终的结果。a. 庞西垌断裂带糜棱岩样品裂变径迹热史模拟结果, 数据为磷灰石、锆石颗粒裂变径迹年龄 (62.68 ± 1.73 Ma, 75.69 ± 2.88 Ma); b. 云开地区裂变径迹热史模拟结果, 数据为区域上前人所有样品 (李小明等, 2005) 的平均磷灰石、锆石裂变径迹年龄 (54.56 ± 2.83 Ma, 114.91 ± 6.86 Ma)

Low-T Thermo v1.0 完成。磷灰石与锆石退火模型分别选择 Ketcham *et al.* (2007)、Guenther *et al.* (2013) 提出的模型。模拟时, 采用单调冷却模型。

3 讨论

庞西垌断裂带中糜棱岩的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测试结果显示如下。

(1) 总气体年龄分别为 221.98 ± 1.16 Ma、

223.77 ± 1.16 Ma。虽然未给出坪年龄, 但年龄谱大部分阶段呈低缓阶梯状, 接近坪年龄, 有助于约束断裂带发生韧性剪切变形活动的时间范围, 可以认为断裂带在印支期发生韧性剪切变形活动。

前人在钦-杭带南段其中 NE 向韧性断裂带中曾测得 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄 (197 ~ 213 Ma; Zhang and Cai, 2009; 丁汝鑫等, 2015), 这表明庞西垌断裂带与博白-岑溪断裂带、防城-灵山断裂带先后记录了印支期的断裂活动, 而这期韧性剪切活动可以为庞西

桐银金矿床及同期矿床的形成提供有利的空间。

(2)升温年龄谱显示,样品中白云母在 133.58~136.83 Ma 范围受到热扰动,发生 $^{40}\text{Ar}^*$ (放射成因氩)丢失,代表正发生热事件或处于热事件末期,可以解释为庞西垌韧性断裂带在印支期活动之后,燕山期又发生热事件,其具体时代可能晚于或近似于 133.58~136.83 Ma。区内并无该时期断裂活动的报道,但该时期存在岩浆侵入,如英桥岩体(LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄 95.7 ± 1.2 Ma;另文发表)。因此,136 Ma 左右以后的热事件可能源于岩浆侵入。

庞西垌断裂带糜棱岩中磷灰石裂变径迹年龄与区域上的代表抬升/剥露的磷灰石裂变径迹年龄分布(43~68 Ma;李小明等,2005)是一致的,而锆石裂变径迹年龄却明显小于区域上的代表抬升/剥露的锆石裂变径迹年龄分布(85~133 Ma;李小明等,2005)。这表明从锆石裂变径迹封闭温度至磷灰石裂变径迹封闭温度之间,发生了一次比区域上整体冷却更为快速的冷却过程。

为了与前人在云开地区的数据对比,我们分别使用庞西垌断裂带糜棱岩中裂变径迹年龄及区域上的代表抬升/剥露的所有样品的年龄平均值进行热史模拟(图 6)。庞西垌断裂带中糜棱岩热史模拟结果(图 6a)显示,在 75~60 Ma 发生了一次快速的冷却,随后进入了缓慢冷却阶段,而依据区域平均年龄的热史模拟结果(图 6b)显示,75 Ma 以来一直处于缓慢冷却阶段。因此我们认为 75~60 Ma 的这次快速冷却可能是断裂脆性活动造成的,而约 60 Ma 以后的较为缓慢的冷却则是区域整体剥露造成的。

前人测得庞西垌银金矿的流体包裹体温度范围介于 150~330 °C,主成矿温度大致为 270 °C(王鹤年等,1992;王正云等,1998;王祖伟和周永章,2002),接近于锆石裂变径迹封闭温度。另外,通过糜棱岩磷灰石、锆石裂变径迹热史模拟(图 6a)可以发现,庞西垌银金矿流体包裹体温度范围与 75~60 Ma 快速冷却的温度范围有很大重叠。这说明庞西垌银金矿床可能形成于 95.7 Ma(英桥岩体锆石 U-Pb 年龄)之后,不会晚于 75~60 Ma 时间段。当然由于本文提供样品数据有限,断裂活动及成矿时代的研究还需要更多采样及测试的进一步证实,这里只起到抛砖引玉的作用。

4 结论

(1)获得糜棱岩中两件白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 总气体

年龄分别为 221.98 ± 1.16 Ma 和 223.77 ± 1.16 Ma,代表庞西垌断裂带在印支期发生韧性剪切带活动,为伴生矿床的形成提供了有利空间。

(2)获得糜棱岩中磷灰石、锆石裂变径迹年龄(分别为 64.83 ± 4.13 Ma 和 75.69 ± 2.88 Ma)及热史模拟结果,推测庞西垌断裂带可能在 75~60 Ma 期间再次发生活动,而庞西垌银金矿床可能形成于晚白垩世,即 95.7 Ma 之后,不会晚于 75~60 Ma 时间段。

致谢:本研究 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 测试由美国密歇根大学 Ar 同位素地质年代学实验室 Chris Hall 完成,锆石、磷灰石裂变径迹测试由中国地质大学(北京)袁万明团队完成,论文完成过程中与中山大学林振文博士进行了探讨并深受启发,在此表示感谢!

References

- Cai, X.D., Zhang, Y.H., Han, Y.G., 2008. Advances in Ductile Shear Zones and Their Gold Mineralization Significance. *China Mining Magazine*, 17(6): 62-65, 69 (in Chinese with English abstract).
- Ding, R.X., Zou, H.P., Lao, M.J., et al., 2015. Indosinian Activity Records of Ductile Shear Zones in Southern Segment of Qin-Hang Combined Belt: A Case Study of Fangcheng-Lingshan Fault Zone. *Earth Science Frontiers*, 22(2): 79-85 (in Chinese with English abstract).
- Guenther, W.R., Reiners, P.W., Ketcham, R.A., et al., 2013. Helium Diffusion in Natural Zircon: Radiation Damage, Anisotropy, and the Interpretation of Zircon (U-Th)/He Thermochronology. *American Journal of Science*, 313(3): 145-198. <https://doi.org/10.2475/03.2013.01>
- Hall, C.M., Farrell, J.W., 1995. Laser $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ages of Tephra from Indian Ocean Deep-Sea Sediments: Tie Points for the Astronomical and Geomagnetic Polarity Time Scales. *Earth and Planetary Science Letters*, 133(3-4): 327-338. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(95\)00087-s](https://doi.org/10.1016/0012-821x(95)00087-s)
- Han, K.Y., Xu, K.J., Gao, L.Z., et al., 2017. U-Pb Age and Lu-Hf Isotope of Detrital Zircons from the Meta-Sedimentary Rocks in the Yunkai Region and Their Geological Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 33(9): 2939-2956 (in Chinese with English abstract).
- Ketcham, R.A., Carter, A., Donelick, R.A., et al., 2007. Improved Modeling of Fission-Track Annealing in Apatite. *American Mineralogist*, 92(5-6): 799-810. <https://doi.org/10.2138/am.2007.2281>
- Li, X.M., Wang, Y.J., Tan, K.X., et al., 2005. Meso-Cenozoic Uplifting and Exhumation on Yunkaidashan: Evidence from Fission Track Thermochronology. *Chinese Science*

Bulletin, 50(6):577—583(in Chinese).

Mapani, B. S. E., Wilson, C. J. L., 1994. Structural Evolution and Gold Mineralization in the Scotchmans Fault Zone, Magdala Gold Mine, Stawell, Western Victoria, Australia. *Economic Geology*, 89(3): 566—583. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.89.3.566>

Mo, J. P., Huang, J., Feng, G. Y., 2009. Mineralization Mechanism Research of Shear Zone Gold Deposits in Northern Guangxi Province. *Geology and Exploration*, 45(6): 655—660(in Chinese with English abstract).

Samson, S. D., Alexander Jr, E. C., 1987. Calibration of the Interlaboratory $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating Standard, MMhb-1. *Chemical Geology: Isotope Geoscience Section*, 66(1—2): 27—34. [https://doi.org/10.1016/0168-9622\(87\)90025-x](https://doi.org/10.1016/0168-9622(87)90025-x)

Wang, C. H., Zhang, C. Q., Wang, Y. L., et al., 2012. Chronological Research of the Hetai Gold Mine in Gaoyao County, Guangdong Province. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(3): 427—433(in Chinese with English abstract).

Wang, H. N., Yang, J. W., Chen, H. Q., 1992. Geochemical Studies of the Pangxidong Silver Deposit in Guangdong Province. *Mineral Deposits*, 11(2): 179—187(in Chinese with English abstract).

Wang, Y. J., Zhang, A. M., Cawood, P. A., et al., 2013. Geochronological, Geochemical and Nd-Hf-Os Isotopic Fingerprinting of an Early Neoproterozoic Arc-Back-Arc System in South China and Its Accretionary Assembly along the Margin of Rodinia. *Precambrian Research*, 231: 343—371. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2013.03.020>

Wang, Y. T., Mao, J. W., Li, X. F., et al., 2004. Gold Mineralization Related to the Shear Zone. *Earth Science Frontiers*, 11(2): 393—400(in Chinese with English abstract).

Wang, Z. W., Zhou, Y. Z., 2002. Geological Characteristics and Genesis of the Pangxidong-Jinshan Ag-Au Deposit in Yunkai Terrain, South China. *Geotectonica et Metallogenia*, 26(2): 193—198(in Chinese with English abstract).

Wang, Z. W., Zhou, Y. Z., Zhang, H. H., et al., 1998. The Relationship between Late Yanshanian Magmatism and Association of Ore-Forming Elements in Pangxidong-Jinshan Silver-Gold Metallogenic Belt, West Guangdong. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 17(2): 97—103(in Chinese with English abstract).

Wang, Z. Y., Wang, J. C., Yin, Y. Q., et al., 1998. Ore-Forming Law and Prospecting Area of Types of Au-Ag Deposits in Southeastern Guangxi. *Guangxi Geology*, 11(3): 27—33(in Chinese with English abstract).

Yang, Z., Liu, R., Wang, X. Y., et al., 2014. Petrogenesis and

Tectonic Significance of Late Yanshanian Granites in Yunkai Area, Southeast China: Evidence from Zircon U-Pb Ages and Hf Isotopes. *Earth Science*, 39(9): 1258—1276(in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2014.108>

Yuan, W. M., Wang, S. C., Wang, L. F., 2000. Metallogenic Thermal History of the Wulonggou Gold Deposits in East Kunlun Mountains in the Light of Fission Track Thermochronology. *Acta Geoscientia Sinica*, 21(4): 389—395(in Chinese with English abstract).

Zhang, K. J., Cai, J. X., 2009. NE-SW-Trending Hepu-Hetai Dextral Shear Zone in Southern China: Penetration of the Yunkai Promontory of South China into Indochina. *Journal of Structural Geology*, 31(7): 737—748. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2009.04.012>

Zheng, Y., Zhou, Y. Z., Wang, Y. J., et al., 2016. A Fluid Inclusion Study of the Hetai Goldfield in the Qinzhou Bay-Hangzhou Bay Metallogenic Belt, South China. *Ore Geology Reviews*, 73: 346—353. <https://doi.org/10.13039/501100004613>

Zhou, Y. Z., Zeng, C. Y., Li, H. Z., et al., 2012. Geological Evolution and Ore-Prospecting Targets in Southern Segment of Qinzhou Bay-Hangzhou Bay Junctionure Orogenic Belt, Southern China. *Geological Bulletin of China*, 31(2): 486—491(in Chinese with English abstract).

Zhou, Y. Z., Zheng, Y., Zeng, C. Y., et al., 2015. On the Understanding of Qinzhou Bay-Hangzhou Bay Metallogenic Belt, South China. *Earth Science Frontiers*, 22(2): 1—6(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

蔡晓获, 张元厚, 韩以贵, 2008. 含金剪切带型金矿床研究进展. *中国矿业*, 17(6): 62—65, 69.

丁汝鑫, 邹和平, 劳妙姬, 等, 2015. 钦-杭结合带南段韧性剪切带印支期活动记录: 以防城-灵山断裂带为例. *地学前缘*, 22(2): 79—85.

韩坤英, 许可娟, 高林志, 等, 2017. 云开地区变质沉积岩碎屑锆石 U-Pb 年龄、Lu-Hf 同位素特征及其地质意义. *岩石学报*, 33(9): 2939—2956.

李小明, 王岳军, 谭凯旋, 等, 2005. 云开地块中新生代隆升剥露作用的裂变径迹研究. *科学通报*, 50(6): 577—583.

莫江平, 黄杰, 冯国玉, 2009. 桂北地区剪切带型金矿成矿机理研究. *地质与勘探*, 45(6): 655—660.

王成辉, 张长青, 王永磊, 等, 2012. 广东高要河台金矿同位素年代学研究. *大地构造与成矿学*, 36(3): 427—433.

王鹤年, 杨建文, 陈辉琪, 1992. 广东庞西洞银矿床的地球化学研究. *矿床地质*, 11(2): 179—187.

王义天, 毛景文, 李晓峰, 等, 2004. 与剪切带相关的金成矿作

用.地学前缘,11(2):393-400.

王正云,汪劲草,尹意求,等,1998.桂东南金银矿床类型成矿规律和找矿方向.广西地质,11(3):27-33.

王祖伟,周永章,2002.粤桂边境庞西垌-金山银金矿床特征与成因.大地构造与成矿学,26(2):193-198.

王祖伟,周永章,张海华,等,1998.粤西庞西垌-桂东南金山银金成矿带晚燕山期花岗岩的性质与成矿作用.岩石矿物学杂志,17(2):97-103.

杨振,刘锐,王新宇,等,2014.云开地区燕山晚期花岗岩的岩石成因及构造意义:锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素证据.

地球科学,39(9):1258-1276. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2014.108>

袁万明,王世成,王兰芬,2000.东昆仑五龙沟金矿床成矿热历史的裂变径迹热年代学证据.地球学报,21(4):389-395.

周永章,曾长育,李红中,等,2012.钦州湾-杭州湾构造结合带(南段)地质演化和找矿方向.地质通报,31(2):486-491.

周永章,郑义,曾长育,等,2015.关于钦-杭成矿带的若干认识.地学前缘,22(2):1-6.

* * * * *

“青藏高原碰撞造山成矿系统深部结构与成矿过程” 中文专辑征稿通知

“青藏高原碰撞造山成矿系统深部结构与成矿过程”深地项目各位同仁:

项目自 2016 年启动以来,已近两年,今年 10 月即将迎来中评估,为集中展示项目研究成果,促进各课题之间的了解、交流及进一步合作,经与《地球科学》(中文版)编辑部(<http://www.earth-science.net/index.aspx>)磋商,计划于 2019 年上半年(第一或二期,视稿件评审及修改进展而定)出版一期“青藏高原碰撞造山成矿系统深部结构与成矿过程”研究进展专辑,现向各课题征稿,请大家予以支持,要求如下:

1. 征稿内容:近年来针对青藏高原碰撞造山成矿系统深部结构与成矿过程研究中取得的新资料、新认识、新成果.

2. 专辑主题:

- (1) 青藏高原岩石圈结构、深部过程及成岩成矿实验约束;
- (2) 青藏高原碰撞造山过程、岩浆作用及成矿地质背景;
- (3) 青藏高原壳幔过程及碰撞造山成矿作用;
- (4) 青藏高原大陆碰撞 Pb-Zn-斑岩 Cu-Mo-Au 成矿系统结构与形成机制;
- (5) 青藏高原大陆碰撞造山型 Au 成矿系统结构与形成机制;
- (6) 青藏高原典型矿集区透明化与矿体定位预测.

3. 征集时间及方式:投稿截止日期为 2018 年 8 月 31 日;所有论文均通过《地球科学》编辑部投稿系统(<http://mc03.manuscriptcentral.com/es>)进行,投稿过程中在“专辑”里选择“青藏高原碰撞造山成矿系统深部结构与成矿过程专辑”.

4. 征集数量:由于期刊版面有限,每位第一作者限 1 篇.

5. 论文撰写格式请严格按照最新的《地球科学》投稿要求执行,详细要求请参考投稿指南(http://www.earth-science.net/RMBase/attached/file/20180309/20180309154503_9531.pdf).

6. 本专辑为正刊出版发行,所有稿件编辑部严格按程序执行,不符合送审要求的稿件将在初审时退回.接收后的文章会优先在线出版.

7. 专辑联系人:

侯增谦,研究员,国家自然科学基金委员会/中国地质科学院地质研究所.

杨志明,研究员,中国地质科学院地质研究所, zm.yang@hotmail.com