

广东清远—高要金矿的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年

富云莲

叶伯丹

(地质矿产部地质研究所)

(地质矿产部宜昌地质矿产研究所)

主题词: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年; 广东金矿; 绢云母; 白云母

提 要: 广东新州至高要一带是广东主要的金矿带, 那里有著名的河台金矿以及新州金矿和一些有远景的矿点。各地的金矿类型是不同的, 关于金矿化时期是根据以往一些间接的地质资料推断的, 没有直接的年代学资料。用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年法测定了该地区主要矿床(点)中与金共生的绢(白)云母年龄, 根据测年资料将区域金矿化分为四期, 其时序是: 早侏罗世184—171Ma, 晚侏罗世141±6Ma, 早白垩世133±2Ma和晚白垩世99±1Ma。

一、样品产状

1. GA_1 样品

GA_1 样品采于新州金矿床1号矿带东段, 零勘探线坑道, 赋矿地层为震旦系下段, 岩性为二云长英片岩和黑云石英片岩。矿化类型为破碎带硅化-石英脉型。矿石为硫化物硅化-石英脉型, 石英被碎裂化并具明显波状消光。矿石中金属矿物主要是毒砂、黄铁矿和自然金, 偶而伴生闪锌矿、方铅矿和黄铜矿等, 脉石矿物主要是石英, 其次含少量绢(白)云母和绿泥石。绢(白)云母在矿石中呈分散的集合体状或沿裂隙分布, 晶体很小, 约0.2mm左右。将含绢(白)云母的矿石用手轻轻敲碎, 直接从中选取绢(白)云母作试样。

2. GA_2 样品

GA_2 样品采于1号矿带西段风门坳, 地层为震旦系上段, 岩性以黑云石英片岩为主, 夹二云长英片岩、钠长绿泥石英片岩和大理岩。矿化类型和矿石组成与 GA_1 基本相同。所不同的是绢(白)云母晶体较大, 为0.2—0.5mm。

3. GA_{4-1} 样品

GA_{4-1} 样品采自新州南冲金矿混染花岗岩, 该岩体侵入震旦纪浅变质泥砂质岩石, 并使之角岩化和金矿化, 金的含量高达30克/吨, 为主要金矿石。混染花岗岩具中粒结构, 石英35%左右, 黑云母10—30%, 钾长石15—20%, 更钠长石10—15%, 黄铁矿3%左右, 并呈浸染状分布。岩石中金含量一般在4克/吨左右。从岩石中选出黑云母作为年龄样品。

4. GA_{4-3} 样品

GA_{4-3} 样品采于 GA_{4-1} 花岗岩外接触带的云英岩。该云英岩被认为是热液交代了石英砂岩而形成的, 称为热液云英岩。岩石具细粒结构, 主要矿物是石英(70%左右)和白云母(30%左右), 微量矿物有黄铁矿等硫化物, 岩石中也有金矿化现象。年龄样品选自岩石中的白云母。

5. $\text{GA}_{4,9}$ 样品

GA₄样品采自高要县双保6号矿体,矿体的围岩为震旦纪混合岩。混合岩受动力作用和热液作用形成破碎蚀变岩,矿体为其中的绢英岩,绢英岩本身即矿石。其中石英为30—80%,绢云母10—60%,其他组分有钾长石、绿泥石、黄铁矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、金红石、锆石等,年龄试样取自岩石中的绢云母。

6. GA₄₇样品

GA₄₇样品采自河台高村金矿区11号矿体,赋矿地层为震旦系C组,主要岩石类型是石英云母片岩,片状二云母石英岩和黑云母变粒岩,该组岩石局部被混合岩化,11号矿体为千糜岩型金矿,千糜岩也是最主要的矿石类型。脉石矿物为石英、绢云母和少量长石,金属矿物主要为黄铁矿,其它有黄铜矿、闪锌矿、方铅矿和自然金等,绢云母年龄样品选自含24克/吨的千糜岩型矿石[●]。

二、实验方法

用铝箔将样品包成小包,并将样品装入铝箔筒中。数十支铝箔筒竖直地排列在密封的玻璃瓶中,瓶外包一层0.5mm厚的镭皮,以屏蔽热中子。样品在中国原子能科学研究所的49-2反应堆的H₄孔边中部照射。样品分二批照射,第一次照射62小时45分。第二次照射85小时32分。快中子累积通量约 $1 \times 10^{18} \text{ n/cm}^2$ 。用优级纯K₂SO₄与光谱纯CaF₂同样品一起在反应堆中照射,实验测定干扰元素的校正因子为:

$$C_2 = ({}^{40}\text{Ar}/{}^{37}\text{Ar})_{\text{c}} = 2.4 \times 10^{-4}; C_4 = ({}^{39}\text{Ar}/{}^{37}\text{Ar})_{\text{c}} = 7.57 \times 10^{-4};$$

$$C_3 = ({}^{40}\text{Ar}/{}^{39}\text{Ar})_{\text{x}} = 4.78 \times 10^{-3}$$

用北京房山ZBH-25黑云母标样做为“通量监测器”,实验证明:照射参数J值随样品在反应堆中位置的不同变化显著,其横向变化不容忽视,因而必须修正位置对J值的影响,否则将对⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄测定带来较大的误差⁽²⁾。在同一横向位置J值随纵向距离(30mm内)近似呈线性变化,且不同横向位置的J值的纵向变化率b近似相等。实验测定b。在每支装有待测样品的铝箔筒中,至少装一包标样,设其纵向距离为l₀,测定的照射参数J值为J₀,则同一横向位置纵向距离l处的样品,照射参数为:

$$J = J_0 + b(l - l_0)$$

用这种方法计算样品所在位置的J值,其相对误差约±1%⁽²⁾。

全部阶段升温实验在MM-1200质谱计的超高真空析氦系统进行,在电子轰击炉中自动控制炉温熔样,每个阶段温度保持45分—1小时。析氦系统与质谱计相联,经净化的气体通入质谱计,由计算机控制自动峰跳测量。发射电流选择为100μA。由计算机处理数据并绘制年龄谱等时线等图。采用常数 $\lambda_{40\text{x}} = 5.543 \times 10^{-10}$ 年来计算年龄,并按1σ给出年龄误差。

三、实验结果与地质解释

1. GA₁和GA₂两个绢(白)云母样品采于同一矿带的不同地段。GA₁绢(白)云母阶段

● 所有样品的地质背景和矿床特征参考了广东省地质矿产局706和719地质队有关资料。

升温结果列入表1, 图1为其⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄谱, 图2为其等时线。

表 1 GA₁ 绢 (白) 云母阶段升温数据表
(重量=201.2mg J=0.012659)

Table 1 Data of incremental heating for GA₁ sericite(muscovite)
(weight=201.2mg J=0.012659)

温 度 (°C)	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	⁴⁰ Ar*/ ³⁹ Ar	³⁹ Ar(mol) ×10 ⁻¹⁴	视年龄(Ma)	³⁹ Ar累积百分数(%)
460	10.4119	0.0111	0.2665	7.1384	79.06	156.07 ± 6.53	3.64
568	8.7969	0.0029	0.0988	7.9478	135.27	172.94 ± 3.13	9.88
670	8.6983	0.0018	0.0987	8.1815	244.50	177.78 ± 2.89	21.15
750	8.5915	0.0012	0.0649	8.2391	335.14	178.98 ± 2.06	36.59
830	8.6179	0.0006	0.0320	8.4516	576.38	183.36 ± 1.98	63.16
960	8.6158	0.0004	0.0311	8.4871	444.50	184.10 ± 2.09	83.64
1000	8.8725	0.0015	0.0496	8.4280	286.47	182.88 ± 2.02	96.85
1420	10.1291	0.0050	0.0530	8.6657	173.73	187.78 ± 4.20	100.00

⁴⁰Ar*表示放射性成因的⁴⁰Ar, 下同

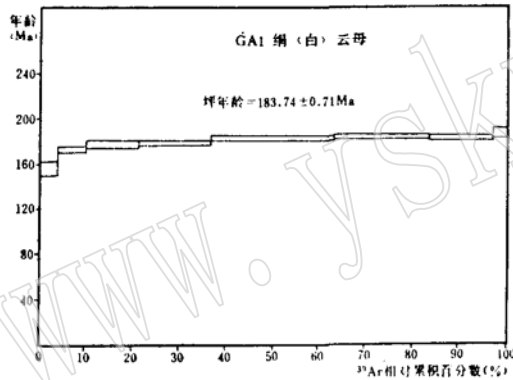


图 1 GA₁ 绢 (白) 云母⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄谱
Fig. 1 ⁴⁰Ar/³⁹Ar age spectrum for
GA₁ sericite(muscovite)

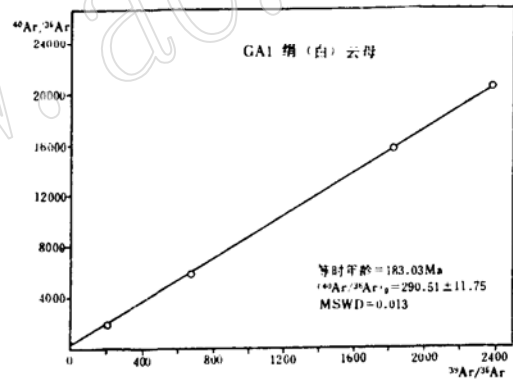


图 2 GA₁ 绢 (白) 云母⁴⁰Ar/³⁹Ar等时线
Fig. 2 ⁴⁰Ar/³⁹Ar isochron diagram for
GA₁ sericite(muscovite)

GA₁ 绢 (白) 云母的坪年龄为183.74 ± 0.71Ma, 等时年龄为 183.03 ± 1.81Ma, 两者在误差范围内一致, 初始比 (⁴⁰Ar/³⁹Ar)₀ = 290.5, 接近295.5, 因而排除了过剩氩存在的可能性。

183.74 ± 0.71Ma为GA₁ 绢 (白) 云母的形成时代。

表2给出了GA₂ 绢 (白) 云母阶段升温的数据, 图3为其⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄谱, 图4为其⁴⁰Ar/³⁹Ar等时线。

由图3可见, 中高温阶段给出较平坦的近乎直线的年龄谱, 坪年龄为170.63 ± 0.19Ma, 等时年龄为: 169.79 ± 1.47Ma, 两者在误差范围内一致, 且初始比 (⁴⁰Ar/³⁹Ar)₀ = 286.2, 接近295.5, 因而排除了在中高温阶段过剩氩存在的可能性。170.63 ± 0.19Ma为GA₂ 绢 (白) 云母的形成时代。

绢 (白) 云母与自然金矿虽属同期成矿热液, 但绢 (白) 云母形成较早些。因此绢 (白) 云母的年龄近似地代表金矿的形成年龄。据此, 新州金矿1号矿带是由两个成矿阶段组成的: 183.76 ± 0.71Ma和170.63 ± 0.19Ma, 统属于早侏罗世。

表 2 GA₂ 绢(白)云母阶段升温数据表
(重量=163mg J=0.01222)

Table 2 Data of incremental heating for GA₂ sericite(muscovite)
(weight=163mg J=0.01222)

温度 (°C)	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	⁴⁰ Ar ^a / ³⁹ Ar	³⁹ Ar(mol) ×10 ⁻¹⁶	视年龄(Ma)	³⁹ Ar累积百分数(%)
570	8.0277	0.0079	1.6486	5.8062	134.42	123.66 ± 7.48	5.03
670	5.2636	0.0092	3.9332	2.8353	267.12	61.23 ± 2.44	15.01
750	7.8045	0.0005	0.6734	7.7104	146.43	162.44 ± 2.79	20.49
830	8.2590	0.0019	0.6454	7.7395	193.67	163.02 ± 2.41	27.73
960	8.2711	0.0005	0.0315	8.1277	984.23	170.82 ± 1.73	64.53
1025	8.2495	0.0004	0.0051	8.1191	773.79	170.65 ± 1.78	93.47
1140	9.2003	0.0038	0.2357	8.0879	110.23	170.03 ± 2.97	97.59
1420	12.7029	0.0160	0.4067	7.9991	67.46	168.24 ± 5.03	100.00

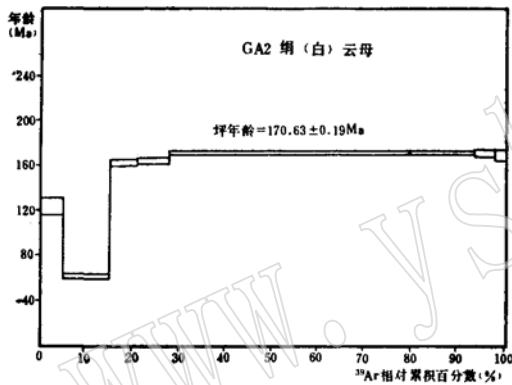


图 3 GA₂绢(白)云母⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄谱
Fig. 3 ⁴⁰Ar/³⁹Ar age spectrum for
GA₂ sericite(muscovite)

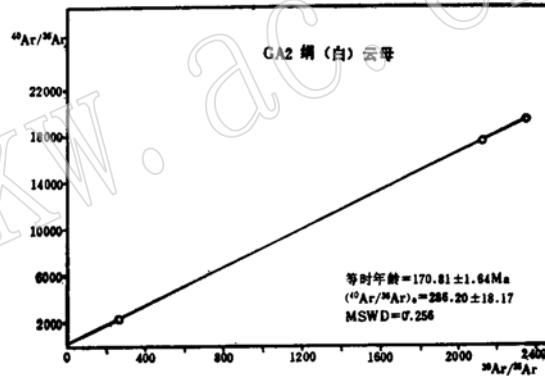


图 4 GA₂绢(白)云母等时线
Fig. 4 ⁴⁰Ar/³⁹Ar isochron diagram for
GA₂ sericite(muscovite)

2. GA₄₋₁黑云母和GA₄₋₃白云母样品采于混染花岗岩的内外接触带, 两者相隔约 15m, 为同一矿体的不同部位和不同矿石类型。

GA₄₋₁黑云母阶段升温数据列入表3, 图5为其年龄谱, 图6为其等时线。

表 3 GA₄₋₁黑云母阶段升温数据表
(重量=209.6mg J=0.012248)

Table 3 Data of incremental heating for GA₄₋₁ biotite
(weight=209.6mg J=0.012248)

温度 (°C)	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	⁴⁰ Ar ^a / ³⁹ Ar	³⁹ Ar(mol) ×10 ⁻¹⁵	视年龄(M.a)	³⁹ Ar累积百分数(%)
670	45.2870	0.1360	2.2261	5.2261	25.09	111.93 ± 33.88	0.54
750	120.1333	0.3919	3.7248	4.5966	13.23	96.81 ± 27.89	0.62
905	6.8288	0.0074	0.0695	4.6283	295.38	99.47 ± 1.92	7.18
1000	4.9214	0.0009	0.0271	4.6494	1053.65	99.91 ± 1.21	29.87
1100	4.7915	0.0004	0.0171	4.6832	1213.05	100.62 ± 1.08	55.98
1200	4.9487	0.0009	0.0762	4.6930	310.98	100.82 ± 1.46	62.68
1420	4.8234	0.0006	0.0324	4.6300	1733.76	99.51 ± 1.04	100.00

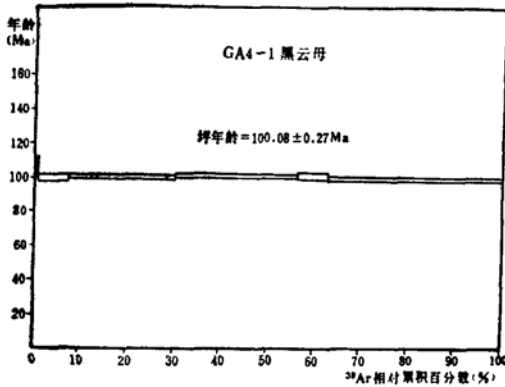


图5 GA₄₋₁ 黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄谱
Fig. 5 ⁴⁰Ar/³⁹Ar age spectrum for GA₄₋₁ biotite

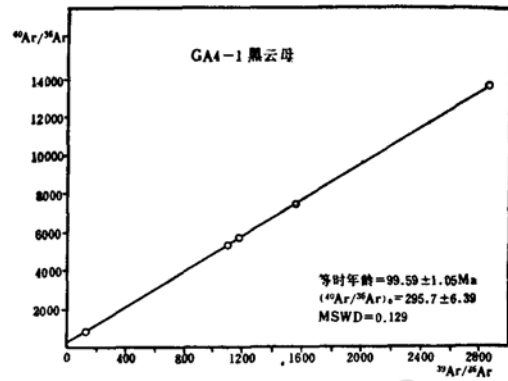


图6 GA₄₋₁黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar等时线
Fig. 6 ⁴⁰Ar/³⁹Ar isochron diagram for GA₄₋₁ biotite

由图5可见, GA₄₋₁黑云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄谱, 近似于一条直线, 是一个典型的封闭体系的年龄谱, 其坪年龄为100.08 ± 0.27, 等时年龄为99.59 ± 1.05, 在误差范围内两者一致。坪年龄为GA₄₋₁黑云母的形成时代。

GA₄₋₃白云母阶段升温数据列在表4, 图7为其年龄谱, 图8为其等时线。

GA₄₋₃白云母的年龄谱高温1416℃阶段, 由于气量少, 仪器的热本底的贡献相对增大, 给出较高年龄, 无地质意义。中高温区给出近于直线的坪, 其坪年龄为98.41 ± 0.11Ma, 等时年龄为98.25 ± 1.05Ma。两者在误差范围内一致, 且初始比(⁴⁰Ar/³⁹Ar)₀ = 288.1, 接近295.5, 因而排除了过剩氩存在的可能性。98.41 ± 0.11Ma为GA₄₋₃白云母的形成时代。

自然金总是与硫化物同时晶出。黑云母和白云母常常是略早于硫化物晶出, 它们之间有相距很短的世代时差。所以黑云母和白云母的形成时间接近于自然金的形成时间, 故可代表金成矿时期。这样南冲金矿的成矿期为: 99 ± 1Ma, 相当于晚白垩早期。

3. GA₄绢云母共做了8个阶段升温, 在1075℃以上的高温阶段, 因气量太少, 没得到结果。阶段升温的数据列在表5中。其年龄谱为图9。该年龄谱与上述相比较复杂。第一个阶段因核反冲影响年龄无地质意义。790℃—860℃阶段析出的⁴⁰Ar^{*}约占总析出量的80%, 860℃

表4 GA₄₋₃白云母阶段升温数据表
(重量=199.7mg J=0.012256)

Table 4 Data of incremental heating for GA₄₋₃ muscovite
(weight=199.7mg J=0.012256)

温度 (°C)	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _n	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _n	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _n	⁴⁰ Ar [*] / ³⁹ Ar	³⁹ Ar(mol) ×10 ⁻¹⁴	视年龄(Ma)	³⁹ Ar累积百分数(%)
588	10.2659	0.0219	0.9418	3.8647	56.67	83.49 ± 6.48	1.65
670	5.4915	0.0048	0.3290	4.0814	167.41	88.06 ± 3.35	6.54
750	5.1126	0.0037	1.1844	4.0991	530.86	88.43 ± 2.72	22.03
830	5.7627	0.0050	2.2121	4.4435	435.49	95.66 ± 4.13	34.74
905	4.8481	0.0009	0.0767	4.5799	691.60	98.52 ± 1.22	54.92
963	4.8365	0.0009	0.0503	4.5784	816.05	98.49 ± 1.76	78.73
1050	4.7463	0.0006	0.0481	4.5767	701.75	98.17 ± 1.52	99.21
1416	11.9731	0.0137	0.9439	7.9844	26.96	168.42 ± 9.85	100.00

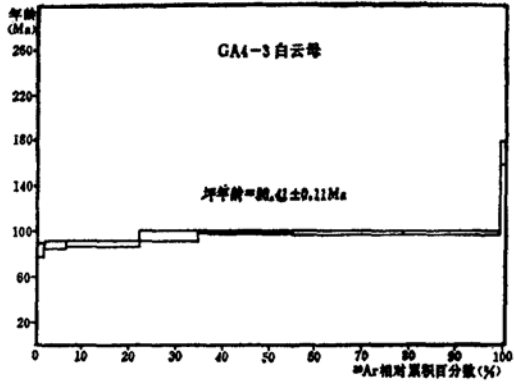


图 7 GA₄₋₃白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄谱
Fig. 7 ⁴⁰Ar/³⁹Ar age spectrum for GA₄₋₃ muscovite

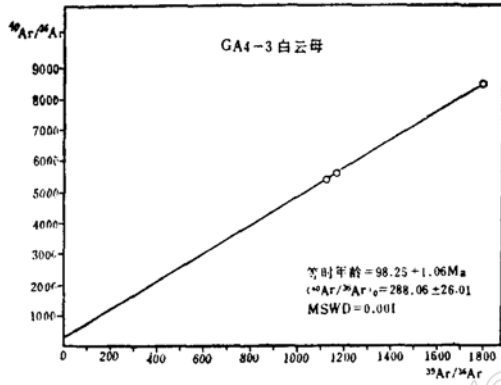


图 8 GA₄₋₃白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar等时线
Fig. 8 ⁴⁰Ar/³⁹Ar isochron diagram for GA₄₋₃ muscovite

表 5 GA₄ 绢云母阶段升温数据表
(重量=152.9mg J=0.017088)

Table 5 Data of incremental heating for GA₄ sericite
(weight=152.9mg J=0.017088)

温度 (°C)	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _n	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _n	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _n	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	³⁶ Ar(mol) × 10 ⁻¹⁴	视年龄 (Ma)	³⁶ Ar累积百分数 (%)
460	3.7766	0.0060	3.3123	2.2281	303.02	67.41 ± 4.54	7.47
710	2.9699	0.0044	4.5842	1.9978	770.68	60.56 ± 1.62	26.47
790	4.4480	0.0012	0.7898	4.1356	1331.25	123.19 ± 1.59	59.28
860	4.6351	0.0007	0.3094	4.4609	1029.01	132.53 ± 1.63	84.65
963	6.2260	0.0008	1.1805	3.8278	430.01	114.30 ± 2.62	95.24
1075	4.5892	0.0069	1.9174	2.6718	192.91	80.54 ± 4.25	100.00

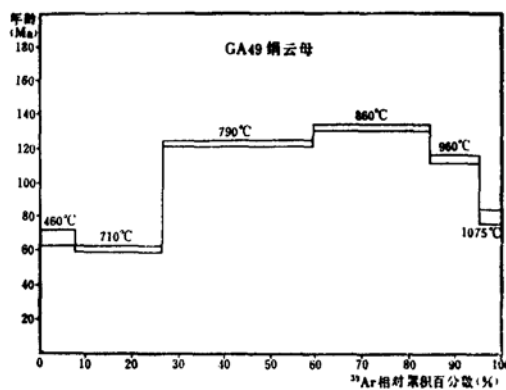


图 9 GA₄₉绢云母⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄谱
Fig. 9 ⁴⁰Ar/³⁹Ar age spectrum for GA₄₉ sericite

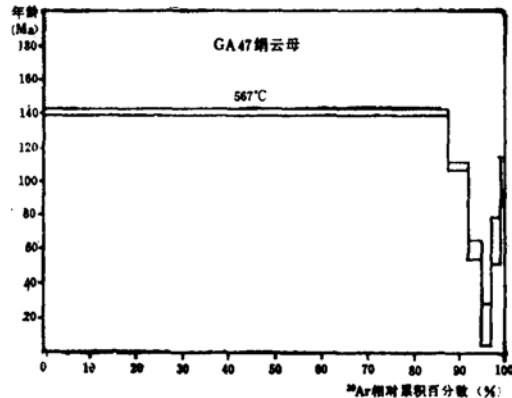


图 10 GA₄₇绢云母⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄谱
Fig. 10 ⁴⁰Ar/³⁹Ar age spectrum for GA₄₇ sericite

阶段³⁶Ar析出量约占25%，该阶段的视年龄132.53 ± 1.63Ma，应视为绢云母的形成年代。这样，双保金矿化年龄为132.5 ± 2Ma，相当于早白垩世。

4. GA₄₇绢云母阶段升温数据列在表6中，图10为其⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄谱。670°C以上各阶段

表6 GA_{47} 绢云母阶段升温数据表
(重量=133.1mg $J=0.016785$)

Table 6 Data of incremental heating for sample GA_{47} , sericite
(weight=133.1mg $J=0.016785$)

温度 (°C)	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}(\text{mol}) \times 10^{-14}$	视年龄(Ma)	^{39}Ar 累积百分数(%)
567	5.3543	0.0018	0.2525	4.8248	1799.37	140.48 ± 1.77	87.45
670	4.2419	0.0019	0.7060	3.7223	88.59	109.33 ± 2.19	91.75
790	4.1866	0.0076	1.2698	2.0162	64.13	60.04 ± 5.39	94.87
905	3.9333	0.0124	3.8431	0.5383	41.93	16.23 ± 12.30	96.91
1030	6.6845	0.0169	6.8405	2.1823	44.97	64.90 ± 13.69	99.10
1420	10.1016	0.0244	3.0181	3.1211	18.62	92.11 ± 22.54	100.00

析出的氩量很少,通常 ^{39}Ar 析出量的百分数低于4%时,给出的年龄很难确定其地质意义⁽²⁾。大部分氩集中在567°C阶段析出,该阶段的视年龄为 $140.48 \pm 1.77\text{Ma}$,该样品的全熔融年龄为 $140.94 \pm 5.91\text{Ma}$,两者在误差范围内完全一致。由于低于567°C的阶段升温没有做,尚不能确定低于567°C是否有在热力事件,故阶段升温给出该绢云母的年龄至少为 $140.48 \pm 1.77\text{Ma}$ 。考虑到绢云母系金矿化同期新生热液矿物,这样绢云母的年龄代表金矿化时代,把 $141 \pm 6\text{Ma}$ 做为11号矿体千糜岩型金矿化的年龄,相当于晚侏罗世。

四、结论

测定了广东主要的大型(河台)、中型(新州)金矿床和正在进行地质普查工作的有远景矿点(南冲、双保)中与金共生的绢(白)云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄,结果表明,清远—高要地区的区域金矿化是多期的,按中国同位素地质年表⁽¹⁾可分为四期:早侏罗世 184Ma — 171Ma ,晚侏罗世 $141 \pm 6\text{Ma}$,早白垩世 $133 \pm 2\text{Ma}$ 和晚白垩世 $99 \pm 1\text{Ma}$ 。同时也显示了同一成矿期有多阶段金矿化特征。

参考文献

- (1) 叶伯丹等, 1987, 中国同位素年表, 地质出版社。
- (2) Fu Yunlian, 1989, The calculating method of J -value for $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating. Proc. 3rd Beijing Conf. and Exhib. on instrum. Analysis. B103.
- (3) Dalrymple G.B. and Lanphere M.A., 1974, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ spectra of some undisturbed terrestrial samples. Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol. 38, 715—736.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Isotopic Dating of the Gold Deposits in Guangdong

Fu Yunlian

(Institute of Geology, CAGS)

Ye Bodan

(Yichang Institute of Geology and
Mineral Resources)

Key words: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating; gold deposit in Guangdong; sericite; muscovite

Abstract

The Xinzhou—Hetai area is a chief gold belt in Guangdong, where there are the famous Hetai and Xinzhou gold deposits as well as some prospective gold occurrences of different types. There was no immediate geochronologic information on gold mineralizations before our work and their ages were determined only by inference based on geological data. We have got isotopic ages of the sericites (and muscovites) associated with gold in the main gold deposits and occurrences using $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method. All the samples were irradiated in the core of the facility H₄ of 49-2 reactor. Incremental heating experiments were performed on a mass spectrometer MM-1200. The standard biotite ZBH-25 was used as 'flux monitor'. When J-value is corrected for the position of the sample in the reactor, the relative variance can be about $\pm 1\%$.

According to the dating values obtained, there are four stages of gold mineralization, early Jurassic (184-171Ma), late Jurassic (141 \pm 6Ma), early Cretaceous (132 \pm 2Ma) and late Cretaceous (99 \pm 1Ma).