

滇西上芒岗金矿床石英流体包裹体 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 成矿年龄测定*

邱华宁 戴撞谟 李朝阳^① 蒲志平 陈晓钟^①

(中国科学院地质新技术研究所, 广州 510640; ^①中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

关键词 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 定年、成矿年龄、流体包裹体、金矿床、云南

许多矿床由于不能选出可以代表成矿时代的含 K 矿物或含 U 矿物, 传统 K-Ar 法、Rb-Sr 法和 U-Pb 法等定年方法对这类矿床定年就非常困难, 甚至不可能。而解决成矿年龄, 对于进行矿床的对比研究、总结成矿规律和进一步指导找矿是非常重要的。那么, 如何解决成矿年龄测定问题呢? 最近十多年来, 地质年代学家把注意力转向流体包裹体的同位素年龄测定, 为研究矿床的成矿年龄开辟了新途径^[1-3]。特别是高精度的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 计时技术, 能够在一份样品上同时获得 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄谱和等时线图解, 近几年来倍受重视, Turner 和王松山利用该技术, 研究了山西淳沱群微晶石英和燧石的年龄^[4]。本研究采取 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 真空击碎技术, 选择许多矿床中普遍存在的矿物——石英作为测定对象, 对滇西上芒岗金矿进行了 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄测定。

1 地质简况、样品特征与预处理

本矿床为石英脉型金矿, 研究程度较低。中侏罗统柳湾组(J₂l)为主要含矿层位, 矿石大部分为硅化黄铁矿化的粉砂岩、细砂岩和粉砂质泥岩。近矿围岩有明显蚀变现象: 硅化、黄铁矿化、粘土化和退色作用。矿体产于上芒岗地垒两侧的柳湾组粉砂岩中。该地垒沿 N50°E 延伸, 核部为下二叠统沙子坡组(P₁s)灰岩, 两侧的北东向正断层使柳湾组与沙子坡组呈断层接触。

实验样品采自 0 号探槽含 Au 石英脉。石英样品特征: 为灰黑色石英, 透明性差, 含细粒不透明矿物, 镜下未见波状消光现象, 说明样品未曾受过强烈的变质作用影响。样品含有丰富的包裹体, 绝大部分为原生包裹体, 次生包裹体甚少。原生包裹体形状为椭圆形-圆形, 包裹体细小, 一般小于 5 μm , 多数在 2 μm 以下。

考虑到次生包裹体沿矿物微裂隙分布的特点, 为了降低次生包裹体的影响, 对样品进行了预处理: (1) 活化样品用 8% 左右的 HF 在超声波清洗器中振荡清洗半小时, 再用蒸馏水清洗, 最后用分析纯丙酮脱水, 烘干。(2) 样品装入碎样管中, 在机械泵和油扩散泵抽气的同时, 用温度达 220°C 的加热带烘烤去气 15h 以上, 使次生包裹体破裂或沿裂隙扩散出来抽掉。

1993-04-15 收稿, 1993-09-15 收修改稿。

· 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室资助课题。

2 ^{40}Ar - ^{39}Ar 实验结果与讨论

2.1 年龄谱图与等时线图解

样品(SMG-8Qz)为含灰黑色石英脉,采自上芒岗0号探槽,其 ^{40}Ar - ^{39}Ar 真空阶段击碎分析数据列于表1.

表1 石英SMG-8Qz ^{40}Ar - ^{39}Ar 真空击碎分析结果^{a)}

阶段次数	^{36}Ar (10^{-15}M)	$^{36}\text{Ar}_{\text{Cl}}$ (10^{-15}M)	$^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$ (10^{-15}M)	^{40}Ar (10^{-15}M)	$\frac{^{40}\text{Ar}}{^{36}\text{Ar}}$	$\frac{^{39}\text{Ar}_{\text{K}}}{^{36}\text{Ar}}$	$\frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{39}\text{Ar}_{\text{K}}}$	$\frac{^{40}\text{Ar}_{\text{R}}}{^{36}\text{Ar}_{\text{K}}}$	表观年龄(Ma, 1SD)	
									A	B
1 8	2.3	9.2	21.1	620	271.8	9.25				
2 20	4.0	18.2	48.1	1112	275.7	11.92				
3 35	4.2	26.6	79.4	1315	310.6	18.79	0.80	1.14	64.3±38.2	107.4±36.4
4 50	7.8	50.2	157.7	2447	315.3	20.32	0.97	1.29	77.8±18.6	117.4±17.7
5 50	5.1	38.5	127.7	1779	352.7	25.32	2.26	2.51	175.5±25.1	205.6±24.0
6 70	5.7	42.6	154.6	1979	350.0	27.33	1.99	2.23	155.8±19.6	184.0±18.8
7 100	6.8	48.6	197.0	2304	336.4	28.77	1.42	1.64	112.4±14.8	139.9±14.2
8 130	10.4	74.6	292.6	3520	339.9	28.25	1.57	1.80	123.8±12.7	151.6±12.2
9 180	12.3	95.0	399.9	4236	344.6	32.53	1.51	1.71	119.0±9.7	143.3±9.3
10 240	10.8	101.3	494.8	4030	372.4	45.72	1.68	1.82	132.2±6.3	149.4±6.0
11 300	11.2	113.0	601.3	4239	377.6	53.56	1.53	1.65	120.9±4.6	135.6±4.4
12 380	14.0	148.6	783.1	5379	383.2	55.78	1.57	1.69	123.8±5.0	138.0±4.8
13 470	16.3	197.0	1058.2	6887	422.2	64.86	1.95	2.05	152.7±4.1	164.7±3.9
14 550	10.5	118.0	792.6	4287	407.9	75.42	1.49	1.58	117.7±3.9	128.2±3.8
15 700	10.5	130.2	999.4	4739	451.6	95.24	1.64	1.71	129.0±3.0	137.3±2.9
16 700	9.6	121.1	1083.1	4633	484.3	113.23	1.67	1.72	131.1±2.7	138.1±2.6
17 700	9.5	137.1	1307.3	5312	557.2	137.13	1.91	1.96	149.3±2.2	155.0±2.2
18 700	8.9	121.0	1243.0	5173	581.1	139.63	2.05	2.09	159.6±2.9	165.1±2.8
19 700	6.7	100.7	1174.4	4192	622.7	174.44	1.88	1.91	146.9±2.9	151.3±2.5
20 700	5.8	86.1	943.0	3364	582.8	163.37	1.76	1.80	138.0±4.0	142.8±3.9
21 900	5.7	94.9	1139.3	3884	679.8	199.39	1.93	1.96	150.7±2.6	154.7±2.5
22 1200	7.1	106.8	1296.6	4274	598.5	181.58	1.67	1.70	131.2±2.7	135.6±2.6
23 1200	6.4	104.4	1280.9	4128	640.9	198.89	1.74	1.77	136.4±2.7	140.3±2.6
24 1200	6.4	106.9	1057.1	3578	555.6	164.14	1.58	1.62	124.8±2.3	129.7±2.2
25 1200	5.0	87.4	754.7	2592	520.8	151.66	1.49	1.53	117.3±3.9	122.5±3.7

SMG-8Qz 真空击碎分析 重量=1.372g, $J=0.045214$.
 总年龄 $T_{1A}=135.2\pm 17.5\text{Ma}$ (2SD), 坪年龄 $T_{pA}(6-25)=136.3\pm 13.2\text{Ma}$ (图1A),
 $T_{1B}=144.0\pm 16.6\text{Ma}$, $T_{pB}(7-25)=144.2\pm 12.0\text{Ma}$ (图1B).
 等时线年龄 $T_i(3-25)=143.2\pm 5.1\text{Ma}$ (图2)

- a) (1) 氩同位素浓度为测量值,未作干扰同位素校正,浓度单位为 mol/g;
 (2) 因活化样品出堆后放置时间较长(425天), ^{37}Ar 已几乎衰变完毕(半衰期为35.1天),故未列出 ^{37}Ar 浓度;
 (3) A为根据现代大气氩比值计算结果,即 $^{40}\text{Ar}^*=^{40}\text{Ar}_m-295.5\times ^{36}\text{Ar}_m$;
 B为根据等时线初始值计算结果,即 $^{40}\text{Ar}_R=^{40}\text{Ar}_m-285.1\times ^{36}\text{Ar}_m$.

该样品分25个阶段进行测定,累计提起铁棒敲击样品达12483次之多,尽管如此,在末阶段仍有较多的 ^{39}Ar 释出,说明该石英样品含有许多非常微小的流体包裹体(在 $0.1\mu\text{m}$ 以下),这与镜下包裹体特征相符.

SMG-8Qz的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 真空击碎分析形成表观年龄相对平坦的年龄谱(图1),总年龄为 $135.2\pm 17.5\text{Ma}$ (2SD),除前五个阶段外(^{39}Ar 仅占2.47%),各阶段的表观年龄均在一个小范围内起落变化,形成年龄坪,坪年龄 $T_{pA}(6-25)=136.3\pm 13.2\text{Ma}$ (^{39}Ar 占97.53%),那么,这个坪年龄是否代表了样品的真实年龄呢?

在 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线图解上(图2),全部数据点得到等时线年龄 $T_i=144.8\pm 5.2\text{Ma}$,初始值 $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_0=283.0\pm 4.9$,相关系数 $R=0.9872$;因前面两个阶段释气量少(特别是 $^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$),分析误差较大,舍弃这两点,由3—25阶段数据点得到:等时线年龄 $T_i=143.2\pm 5.1\text{Ma}$,初始值 $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_0=285.1\pm 4.9$,相关系数 $R=0.9873$.

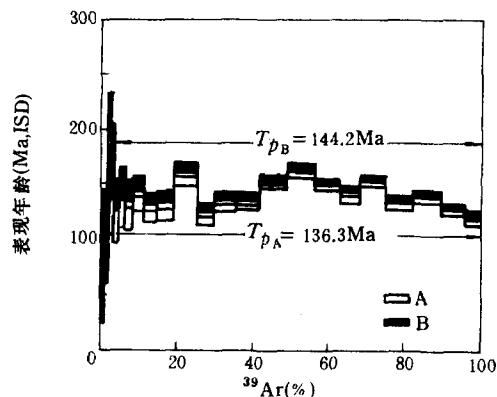


图1 SMG-8Qz ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄谱图
 □A 为根据 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}=295.5$ 计算结果,
 ■B 为根据 $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_0=285.1$ 计算结果

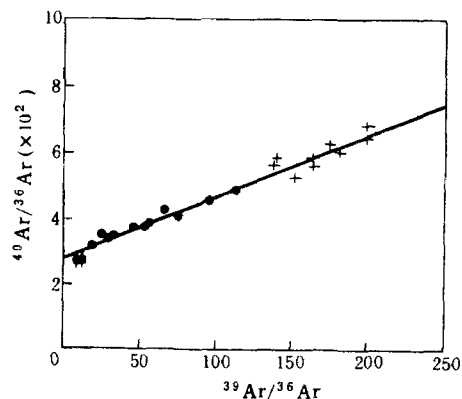


图2 SMG-8Qz ^{40}Ar - ^{39}Ar 等时线图
 1—25点: $T_i=144.8\pm 5.2\text{Ma}$, $R=0.9872$,
 $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_0=283.0\pm 4.9$;
 3—25点: $T_i=143.2\pm 5.1\text{Ma}$, $R=0.9873$,
 $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_0=285.1\pm 4.9$

由于等时线所得 $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_0$ 比现代大气氩比值低,故采用 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}=295.5$ 来扣除样品的非放射成因 ^{40}Ar ,将会导致表现年龄低于真实年龄.如果采取 $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_0=285.1$ 来扣除样品的非放射成因 ^{40}Ar ,所得结果见表1之B:样品总年龄 $T_B=144.0\pm 16.6\text{Ma}$,坪年龄 $T_{pB}(7-25)=144.2\pm 12.0\text{Ma}$ (图1中B).

由此可见,等时线年龄与坪年龄(T_{pB})在误差范围内是一致的,并且与野外地质观察的地层学估计年龄相符.这说明该矿床在距今约144Ma前形成.作者采用真空击碎技术所测试的滇西泸水钨锡矿床^[3]、粤西高凤金矿床^[6]和黔西南某些矿床的石英,均含有明显的过剩 ^{40}Ar ,采用阶段加热技术测定的有关热液矿床硫化物(如黄铁矿、辉锑矿、方铅矿等)和黑钨矿等微量钾矿物,也发现有过剩 ^{40}Ar ;Kelley等也报道了英国两个矿床石英流体包裹体中含过剩 ^{40}Ar ^[2].这些微量钾矿物含过剩 ^{40}Ar 的原因可能有:1.成矿流体从深部携带上来的溶于流体的、深部含钾物质衰变产生积聚的 ^{40}Ar ;2.成矿流体上升过程中捕获所经过围岩的放射成因 ^{40}Ar .成矿物质结晶时,这些“无源” ^{40}Ar 被保留在矿物中就形成了过剩 ^{40}Ar .

然而,本矿床却不同,其初始值($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$)₀比现代大气氩比值低,造成这一现象的原因可能有:1.流体处于相对开放的环境,使成矿流体原来可能捕获积聚的 ^{40}Ar 逃逸到大气中.在这种情况下,如流体中的气体与古大气交换达到平衡,初始值($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$)₀=285.1就接近于当时的古大气氩比值.2.流体在其产生、上升迁移过程中,产生同位素分馏作用,使形成该石英脉的流体相对富集 ^{36}Ar ¹⁾.在成矿作用过程中这种氩分馏作用存在的可能性需进一步研究.

2.2 氩同位素相关性分析

为进一步了解流体包裹体中有关元素(K,Cl和Ar等)的关系,特别是K与 ^{40}Ar 的关系,探讨 ^{40}Ar 的来源,阐述真空击碎技术进行流体包裹体 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年的可行性,下面对该石英流体包裹体中的氩同位素进行相关分析.

我们知道,样品在核反应堆进行快中子活化过程中,发生与 ^{40}Ar - ^{39}Ar 计时有关的主要核反应是: $^{39}\text{K}\rightarrow^{39}\text{Ar}(n,p)$, $^{37}\text{Cl}\rightarrow^{38}\text{Ar}(n,\gamma,\beta)$ 和 $^{40}\text{Ca}\rightarrow^{37}\text{Ar}(n,\alpha)$.对于石英样品,其它干扰氩同

1) 中国石油总公司胜利石油管理局、中国科学院地质研究所,草桥地区土壤中He-Ar组分在油气化探应用中的试验研究.

位素可以忽略。因此,本文用 ^{39}Ar 代表K, ^{38}Ar 代表Cl(据 ^{36}Ar 扣除大气 ^{38}Ar),并根据前述等时线方法获得的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始值285.1来扣除各阶段的非放射性成因 ^{40}Ar ,即放射成因 $^{40}\text{Ar}_R = ^{40}\text{Ar}_m - 285.1 \times ^{36}\text{Ar}_m$ 。相关系数列于表2。

表2 SMG-8Qz 包裹体氩同位素相关系数

相关系数	^{36}Ar		
$^{38}\text{Ar}_{\text{Cl}}$	0.7537	$^{38}\text{Ar}_{\text{Cl}}$	
$^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$	0.1450	0.7263	$^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$
$^{40}\text{Ar}_{\text{R}}$	0.1764	0.7339	0.9846

由表2可见,K与放射成因 $^{40}\text{Ar}_R$ 具有良好正相关性,相关系数达0.9846,即K含量高的流体包裹体中,其 $^{40}\text{Ar}_R$ 浓度也随之呈比例增高,这说明了根据公式 $^{40}\text{Ar}_R = ^{40}\text{Ar}_m - 285.1 \times ^{36}\text{Ar}_m$ 所获得的 $^{40}\text{Ar}_R$ 是K就地衰变产生的(in site decay),同时也说明了石

英 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 真空击碎技术测定流体包裹体年龄的依据所在。

$^{40}\text{Ar}_R$ 与 ^{39}Ar (K)相关分析回归直线斜率——即 $^{40}\text{Ar}_R/^{39}\text{Ar}$ 比值为1.881286,据此比值计算所得年龄为 $147.3 \pm 4.6\text{Ma}$,这一年龄值也与上述各种方法得到的等时线年龄和坪年龄一致。

从表1可以看出,随实验阶段增加, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值和 ^{39}Ar 有明显的增高趋势,其相关系数为0.8992,这说明较小的流体包裹体中含有较高浓度的钾。另外,流体包裹体中Cl与K也具有一定的正相关性,相关系数0.7263;而 $^{40}\text{Ar}_R/^{39}\text{Ar}$ 与K的相关差($R=0.3634$),因为各阶段的年龄并不会与K(^{39}Ar)的释出量呈线性变化。

3 结 论

(1) 滇西上芒岗金矿含金石英脉石英流体包裹体 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 定年结果表明,该矿的成矿年龄为141—145Ma,结果与地质事实相符。

(2) 石英流体包裹体 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 定年方法,对于解决金属矿床成矿时代具有广泛的应用前景,但仍存在一些实验技术问题需进一步探讨,特别是如何消除次生包裹体对定年的影响。

(3) 等时线方法是获得样品真实年龄的有效的数据处理方法。由于矿物结晶时成矿流体可能含有过剩 ^{40}Ar (即初始值($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$)₀大于295.5),如滇西泸水钨锡矿床^[3]和粤西高金矿^[6];也可能不含过剩 ^{40}Ar (比如气体沿断裂逸出到大气中去),上芒岗金矿即属此类。因此,采用现代大气氩比值来扣除非放射成因 ^{40}Ar 而获得的表观年龄,前者偏高,后者偏低。此时可以采取等时线方法获得样品的真实年龄。

(4) 根据等时线方法获得的初始值($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$)₀,可能隐含着反映成矿环境条件或成矿物质来源的信息。

致谢 本文工作过程中,张修银和卢承祖工程师给予了大力帮助与支持,朱炳泉研究员提出了宝贵意见,在此一并致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Shepherd, T. J. et al., *Nature*, 1981, **290**:578—579.
- [2] Kelley, S. et al., *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1986, **79**:303—318.
- [3] 邱华宁、戴檀漠, *科学通报*, 1989, **34**(7):687—689.
- [4] Turner, G., Wang Songshan, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1992, **110**:193—211.
- [5] 邱华宁、戴檀漠、蒲志平, *地球化学*(待刊).
- [6] 李献华等, *矿床地质*, 1992, **113**:677—373.