

云南泸水钨锡矿床微量钾矿物 ^{40}Ar - ^{39}Ar 马鞍形年龄谱的含义

邱华宁 戴樟谟 蒲志平

(中国科学院广州地球化学研究所, 广州)

提 要: 采用 ^{40}Ar - ^{39}Ar 计时方法测定滇西泸水钨锡矿床的白云母、石英、电气石和绿柱石等矿物的年龄, 其中微量 K 矿物(石英、电气石和绿柱石)均形成含过剩 ^{40}Ar 的马鞍形年龄谱。研究表明鞍形谱最小年龄的含义比较复杂, 有些样品的最小年龄接近于成矿年龄, 而有些样品的最小年龄大于甚至远大于成矿年龄。

主题词: ^{40}Ar - ^{39}Ar 法 马鞍形年龄谱 矿床年龄 云南

自 60 年代中叶 C M Merrihue 和 G Turner 建立了 ^{40}Ar - ^{39}Ar 计时方法^[19,20]以来, 这一方法得到了迅速发展。由于使样品中的 ^{39}K 经中子活化转化为 ^{39}Ar , 现代气体质谱计可以精确测定样品中微量 Ar, 根据 $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ 比值计算年龄, 因此, ^{40}Ar - ^{39}Ar 计时技术具有高精度的特点, 使微量钾矿物或流体包裹体定年成为可能。

成矿年龄是研究矿床成矿规律的重要指标之一。在许多金矿床, 由于无法选取到适合传统定年方法的矿物, 同位素地质年代学家和矿床学家把注意力转移到流体包裹体 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法定年上, 并取得了一些重要成果。然而, 研究工作中又遇到了另一大难题, 即许多热液矿床微量 K 矿物(如石英、黄铁矿、辉锑矿、黑钨矿等)中含有过剩 ^{40}Ar , 阶段加热分析形成马鞍形年龄谱, 那么, 这种马鞍形年龄谱的最低年龄值是否代表了成矿年龄? 本文试图就马鞍形年龄谱的形成机制、含义及流体包裹体 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年问题作一讨论。

1 地质简况

泸水钨锡矿床位于滇西三江地区, 距云龙锡矿约 15 km。矿床为石英脉型, 其容矿围岩为上寒武统核桃坪组砂质板岩、碳质板岩和变质砂岩。矿区西南部为石炭系生物灰岩和玄武岩, NW 向断裂使上寒武统与石炭纪地层呈断层接触; 矿区东部为片麻状花岗岩。上寒武统核桃坪组(ϵ_3h)砂质板岩发育 NW 向断层, 石英脉、浅色花岗岩脉、闪长岩脉和矿脉也呈 NW 向展布。矿床具有明显的分带性: 水平方向远离岩体(往西南方向)依次为 Sn(W)、W(Sn)、Be(W); 垂直方向锡矿在上, 往下钨矿增多。矿床由石缸河和五茶树两部分组成。

^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄测定结果表明该矿床是多期成矿作用形成的。片麻状花岗岩形成时间不晚

• 国家自然科学基金资助项目

邱华宁, 男, 1963 年生, 博士生, 助理研究员, 从事同位素年代学、同位素地球化学研究。邮政编码: 510640

1994-8-4 收稿, 1995-5-22 修改回

于 163×10^6 a, 五茶树钨矿年龄约为 69×10^6 a, 石缸河钨矿约为 39×10^6 a。

2 样品与实验技术

编号 S-17 样品采自五茶树, 其它样品采自石缸河。其中石英 S-90Qw 除了进行阶段加热分析外, 还进行了真空击碎分析, 以探讨流体包裹体 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年的可能性。

阶段加热分析实验流程同戴燧漠等^[1], 真空击碎分析采用特制的超高真空碎样装置替代加热坩埚释出流体包裹体(邱华宁等, 1989)^[4], 气体纯化和质谱分析步骤同阶段加热分析。

3 实验结果与讨论

3.1 S-90 共生矿物

在一块钨矿石中选出白云母 S-90Ms、乳白色石英 S-90Qw、透明石英 S-90Qt 和白钨矿 S-90Sc 进行 ^{40}Ar - ^{39}Ar 阶段加热分析, 其中乳白色石英还进行了真空击碎提取流体包裹体定年探讨。

白云母 S-90Ms 在第 5 阶段(1000 °C)以后形成了年龄坪, 第 5~8 阶段坪年龄为 $(38.8 \pm 0.6) \times 10^6$ a, 全部数据点等时线年龄为 $(38.6 \pm 0.8) \times 10^6$ a, 因此, 石缸河钨矿形成年龄约为 39×10^6 a^[4]。

石英含微量 K, 分析误差较大。乳白色石英 S-90Qw 阶段加热分析所得年龄谱为含过剩

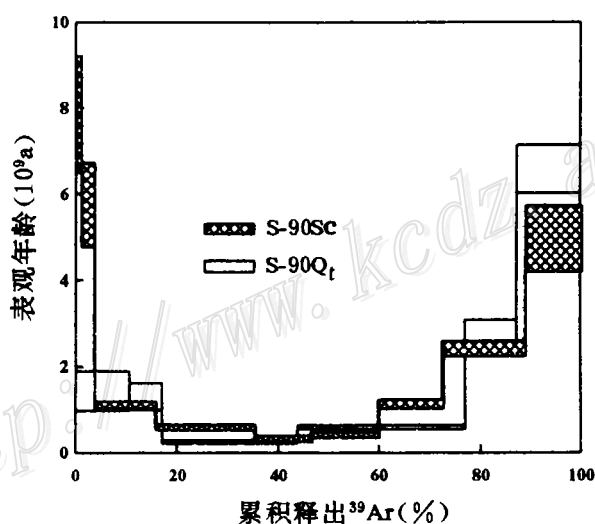


图 1 S-90 透明石英(Q_t)和白钨矿(Sc)年龄谱

这两个样品的最低年龄分别为 258×10^6 a 和 325×10^6 a, 均高于共生白云母 S-90Ms 的年龄(约 39×10^6 a), 无地质意义

Fig. 1. Age spectra of transparent quartz (Q_t) and scheelite (Sc).

Minimum ages of these two samples (258×10^6 a and 325×10^6 a respectively) are both older than the age of coexisting muscovite S-90 Ms (some 39×10^6 a).

⁴⁰Ar的马鞍形,中部温度第4~6阶段形成年龄坪,坪年龄为 $(31.4 \pm 14.6) \times 10^6$ a(对应释出³⁹Ar计为49.71%),其值与共生白云母年龄误差范围内一致^[4]。

乳白色石英 S-90Q_w 真空击碎分析的年龄谱呈单调下降的阶梯形,各阶段的表观年龄均偏高,⁴⁰Ar/³⁶Ar-³⁹Ar/³⁶Ar 等时线图却给出了有地质意义的等时线年龄 $(38.6 \pm 1.9) \times 10^6$ a,初始值 $(^{40}\text{Ar}-^{36}\text{Ar})_0 = 337.7$ 。此等时线年龄与共生白云母年龄和该石英阶段加热分析低坪年龄误差范围内一致^[4]。随后笔者继续采用真空击碎提取流体包裹体⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年方法测定了滇西上芒岗金矿床年龄^[7],并与李献华等合作测定了粤西高凤金矿床年龄^[3],这说明进行石英流体包裹体⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年是可行的。

透明石英 S-90Q_t 和白钨矿 S-90Sc 阶段加热分析均形成马鞍形年龄谱(图1),其最低年龄分别为 258×10^6 a 和 325×10^6 a,均高于共生白云母 S-90Ms 的年龄(约 39×10^6 a),故无地质意义。

3.2 S-17 共生矿物

白云母 S-17Ms 阶段加热分析形成平坦的年龄谱,第4~9阶段坪年龄为 68.8×10^6 a,等时线年龄为 68.6×10^6 a。重复测定这一样品,所得结果一致,等时线年龄为 68.1×10^6 a。因此,五茶树钨矿形成于 $(68 \sim 69) \times 10^6$ a^[5]。

电气石 S-17Tl 的年龄谱呈现双马鞍形,开始时表观年龄为 1124×10^6 a,后渐降至第5阶段(800℃) 44×10^6 a,随后转为渐升至第8阶段(950℃) 151×10^6 a,温度继续升高,表观年龄再次下降至第9阶段(1000℃) 89×10^6 a,然后再次上升,至末阶段样品熔化时表观年龄为

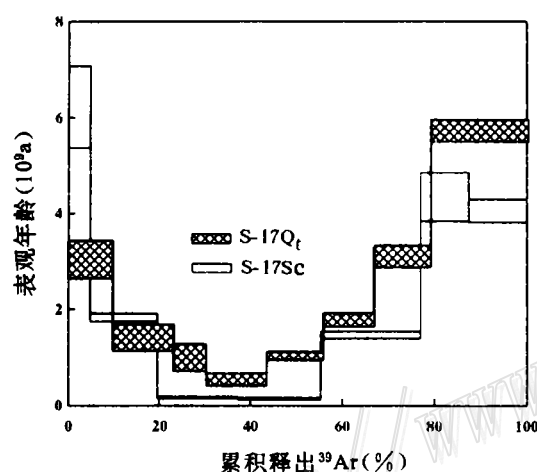


图2 S-17 透明石英(Q_t)和白钨矿(Sc)年龄谱
这两个样品的最低年龄分别为 534×10^6 a 和 146×10^6 a,均高于共生白云母 S-17Ms 的年龄(约 69×10^6 a),无地质意义

Fig. 2. Age spectra of transparent quartz (Q_t) and scheelite (Sc).

Minimum ages of these two samples (534×10^6 a and 146×10^6 a respectively) are both older than the age of the coexisting muscovite S-17 Ms (some 69×10^6 a).

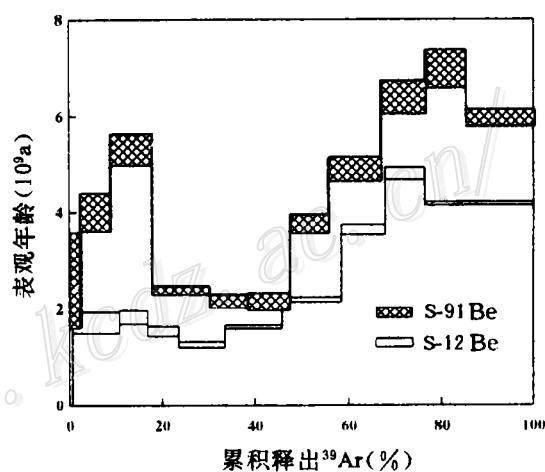


图3 绿柱石 S-12Be、S-91Be 年龄谱
这两个绿柱石的最小年龄分别为 1260×10^6 a 和 2159×10^6 a,都老于容矿围岩上寒武统核桃坪组的时代,无地质意义

Fig. 3. Age spectra of beryl S-12Be and S-91Be.

Minimum ages of these two samples (1260×10^6 a and 2159×10^6 a respectively) are older than the age of the host Upper Cambrian Taoping Formation.

3014×10^6 a, 总年龄为 $(355 \pm 14) \times 10^6$ a。因此, 电气石中含有过剩 ^{40}Ar ^[5]。

电气石在第 5、6 阶段分别得到 $(44.1 \pm 2.1) \times 10^6$ a 和 $(52.1 \pm 2.1) \times 10^6$ a 的低表观年龄值, 比共生的白云母年龄偏低。但第 4 阶段表观年龄 $(66.3 \pm 2.2) \times 10^6$ a 和第 4~7 阶段计算“坪年龄” $(67.3 \pm 2.2) \times 10^6$ a (累计 ^{39}Ar 占 36.12%)。造成这一现象的原因目前尚不清楚, 笔者推测可能是 Ar 同位素因原子半径差异而产生的扩散分馏作用(^{36}Ar 比 ^{40}Ar 半径小, 较易于释出)所致。即在第 4 阶段之前, 低温相的过剩 ^{40}Ar 绝大部分已释出, 第 4 阶段的过剩 ^{40}Ar 和 Ar 同位素扩散分馏效应相抵消, 故其表观年龄接近真实年龄; 第 5、6 阶段 Ar 同位素扩散分馏效应明显, 故其表观年龄偏低; 第 7 阶段则因 ^{36}Ar 先释出、 ^{40}Ar 积累相对偏高而使表观年龄偏高。第 8 阶段 Z 轴方向通道的过剩 ^{40}Ar 大量释出, 致使表观年龄偏高^[5]。

透明石英 S-17Q_i 和白钨矿 S-17Sc 阶段加热分析亦形成马鞍形年龄谱(图 2), 最小年龄值分别为 534×10^6 a 和 146×10^6 a, 高于与其共生的白云母 S-17Ms 年龄 (69×10^6 a), 也不具地质意义。

3.3 绿柱石 S-12Be 和 S-91Be

这两个绿柱石样品都形成了马鞍形年龄谱, 且最低表观年龄(分别为 1260×10^6 a 和 2159×10^6 a) 都大于容矿围岩——上寒武统核桃坪组的时代(图 3), 表明这两个绿柱石都含有明显的过剩 ^{40}Ar 。由此可见其最低表观年龄不能代表成矿年龄。

我们采用 ^{40}Ar - ^{39}Ar 阶段加热技术分析其它一些矿床的黄铁矿、黑钨矿、方铅矿和辉锑矿等微量 K 矿物, 也得到马鞍形年龄谱, 且最小年龄也高于成矿年龄。

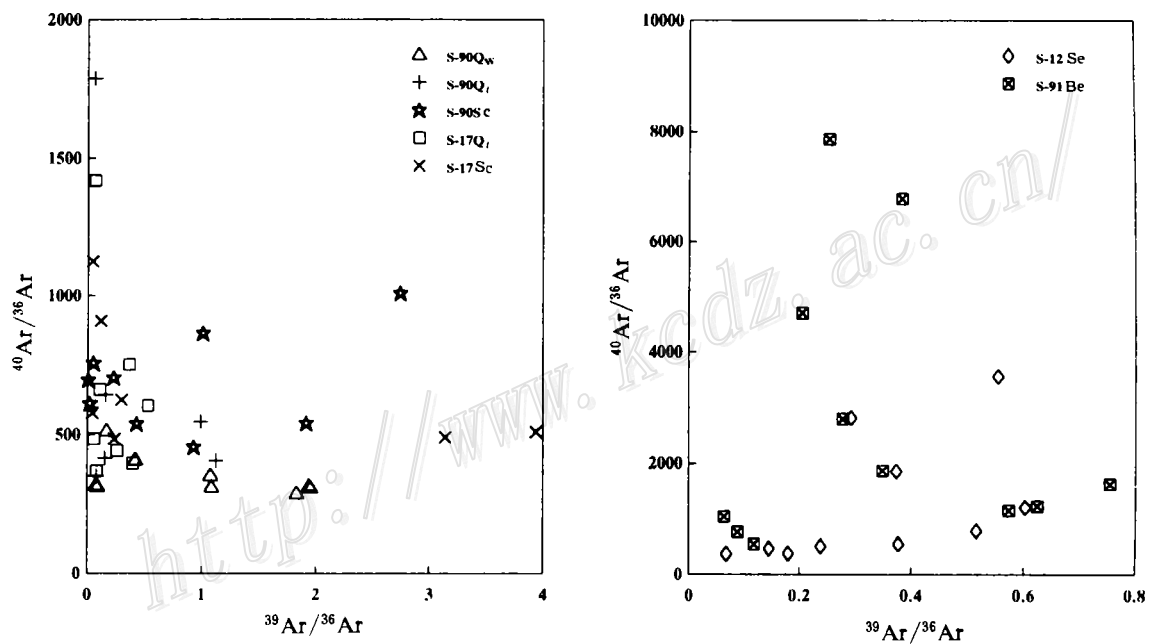


图 4 微量 K 矿物阶段加热分析 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 图解

微量 K 矿物石英、绿柱石、白钨矿等 ^{40}Ar - ^{39}Ar 阶段加热分析数据点在等时线图上呈分散状分布

Fig. 4. $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ versus $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ diagram for stage heating analysis of trace-potassium minerals.

Data points of ^{40}Ar - ^{39}Ar stage heating analysis of trace-potassium minerals quartz, beryl and scheelite are in scattered distribution in isochron diagram.

笔者注意到,上述微量K矿物 ^{40}Ar - ^{39}Ar 阶段加热分析数据点在 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 图上或 $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 图上呈分散状分布(图4),相关性差,不构成等时线(参见后文4.3)。

综上所述,本矿床微量K矿物均形成含过剩 ^{40}Ar 的马鞍形年龄谱,有些样品的最小年龄值接近于成矿年龄(如S-90Q₁、S-17T₁等),具有地质意义;而有些样品的最小年龄值却大于或远大于成矿年龄(如S-90Q₁、S-90Sc、S-17Q₁、S-17Sc、S-12Be和S-91Be等),这些最小年龄无实际地质意义。因此,不能简单地用鞍形谱最低年龄代表成矿年龄。

值得一提的是,笔者采用真空击碎技术研究滇西上芒岗金矿床石英流体包裹体 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄时,发现该石英样品形成了相对平坦的年龄谱^[7],流体包裹体中并不含过剩 ^{40}Ar 。采用现代大气氩比值 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}=295.5$ 来扣除大气Ar所得到的坪年龄比等时线年龄低,造成这一现象的原因可能与成矿条件和成矿环境有关。

4 ^{40}Ar - ^{39}Ar 马鞍形年龄谱

4.1 马鞍形年龄谱的解释

M A Lanphere 和 G B Dalrymple(1971)^[15]采用 ^{40}Ar - ^{39}Ar 计时技术研究了利比里亚已知为侏罗纪的侵位于前寒武基底的两个辉绿岩脉(它们具有异常老的K-Ar年龄)。发现它们的年龄谱极为相似,在提取温度的低温和高温阶段分别出现高年龄值,而中温阶段年龄值较低,即呈马鞍形。他们指出马鞍形年龄谱是样品含过剩 ^{40}Ar 的表现。1976年他们继续研究了从这两个岩脉挑出来的黑云母、辉石和长石的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄谱,发现它们也具有马鞍形的特征^[16]。在 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 图解上,实验数据点分散,等时线年龄也偏大,再次指出马鞍形年龄谱是火山岩和火成矿物含过剩 ^{40}Ar 的特征,马鞍形年龄谱最低年龄接近于但不能到达结晶年龄(即高于结晶年龄)。

此后,许多研究者也获得了马鞍形年龄谱,但对其含义的解释却不甚相同。

H J Lippolt (1986)^[17]研究了德国莱茵河中部和 Wetterau 区域的凝灰岩层,其中部分透长石的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄谱为马鞍形,他们认为年龄谱的低年龄值代表了火山岩的形成年龄,而高年龄值是因非火山成因钾长石污染产生的。

P K Zeitler 等(1986)^[2]研究了巴基斯坦喜马拉雅各种地质背景的钾长石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄谱,发现这些样品绝大多数为含过剩 ^{40}Ar 的马鞍形年龄谱,其低年龄值均与各自对应的共生锆石或磷灰石的裂变径迹冷却年龄一致,由此得出结论,认为马鞍形年龄谱中间温度对应的低年龄有地质意义,它记录了样品的“真实热时间信息”,而低温和高温阶段对应的高年龄没有实际地质意义,并且认为裂变径迹封闭温度与K-Ar封闭温度相近。

Ph Lo Bello 等(1987)^[9]从法国中央高原 Neschers 的第四纪浮石的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄谱研究中得出这样的结论: ^{40}Ar - ^{39}Ar 马鞍形年龄谱可因新老矿物相混合所致,而并不仅仅因单矿物内含过剩 ^{40}Ar 所致,阶段加热分析所测到的最低、最高和中间年龄取决于混合成分的年龄和两种矿物的相对比例两个因素,最低年龄值可能代表喷出年龄的上限。

因此,对马鞍形年龄谱的解释需特别慎重。只有结合样品特征、其它年代方法和地层年代学资料,以及具体的地质情况,才能作出合理的解释。

4.2 马鞍形年龄谱的形成机制

对于形成马鞍形年龄谱的原因,有多种多样的解释。Maluski(1978)和 Albarede 等(1978)^[18]认为,在某些情况下,变形作用和反冲作用导致产生马鞍形年龄谱;而 Harrison 和 McDougall(1982)^[13]认为钾长石的马鞍形年龄谱是过剩 ^{40}Ar 梯度扩散叠加到原先存在的 ^{40}Ar 丢失的矿物上形成的。

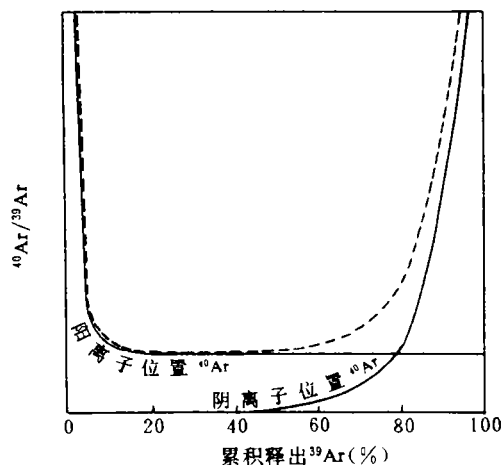


图 5 ^{40}Ar 释出图解

图示形成马鞍形年龄谱的钾长石 ^{40}Ar 成分之间的关系,在任何点上,年龄谱都是释出的“阳离子”位置 Ar 和阴离子位置 Ar 的总和。“阳离子”位置 Ar 包括放射成因 Ar 及进入颗粒边缘“阳离子”空缺的过剩 ^{40}Ar ;阴离子位置 Ar 代表进入颗粒边缘阴离子空缺的那一部分过剩 Ar ;最低年龄的意义取决于两源库(reservoir)过剩 ^{40}Ar 的数量及其释放与动力学机制

(据 Zeitler and Gerald, 1986)

Fig. 5. The release of ^{40}Ar .

The diagram illustrates the relations between ^{40}Ar components of K-feldspar that form saddle-shaped age spectra. At any point, age spectra are the sum of Ar released at the position of “cation” and that released at the position of anion.

关于马鞍形年龄谱一个令人困惑的问题,就是在实验提取低温和高温阶段过剩 ^{40}Ar 的释放。有些学者解释低温释气为 ^{40}Ar 在颗粒边缘附近的梯度变化;而高温阶段过剩 ^{40}Ar 的释出使得单相体积扩散的简单模式无力解释。近十多年来关于斜长石中 Ar 的分布的研究,使得这些矿物马鞍形谱的性质趋于明朗。Harrison 和 McDougall(1981)^[12]提出:①过剩 ^{40}Ar 和放射性成因 ^{40}Ar 所在位置不同;②斜长石出溶分为几个相。这两个因素结合起来就产生了马鞍形年龄谱。他们认为,在斜长石中大多数过剩 ^{40}Ar 混进阴离子空缺,这种假设得到了 Claesson 和 Roddick(1983)^[10]的支持,他们检测了斜长石中的 Br 和 Cl 诱导产生的同位素释出情况,发现这些阴离子的释出与过剩 ^{40}Ar 释出具有很强的相关性。

关于反冲问题,早在 60 年代末就有学者作过研究。 ^{40}K 衰变为 ^{40}Ar 放出 γ 射线,反冲能量为 28 eV。Mussett 和 Brereton 指出,虽然这个能量比产生 ^{39}Ar 伴随的反冲能量小 10 倍,但它足以使 ^{40}Ar 离开 K 所在位置。因此,尽管 ^{39}Ar 可能比 ^{40}Ar 离开得远一些,但它们仍然占据等同的位置。J C Hess 和 H J Lipolt(1986)^[14]的研究表明,在核反应堆照射过程中,样品确实释出了部分 Ar (包括 ^{39}Ar

和 ^{37}Ar), ^{39}Ar 的丢失量(相对量)与样品含钾量和粒度成反比关系,一般不超过 1%(海绿石的 ^{39}Ar 丢失较多,达 20%以上)。他们认为在中子活化过程中, Ar 的丢失也主要是扩散出来的,样品不但丢失中子诱发 Ar 同位素,而且丢失 ^{40}Ar 。

P K Zeitler 和 J D F Gerald(1986)^[21]研究钾长石马鞍形年龄谱时,采用 Ar 释气叠加图解来解释马鞍形年龄谱的形成(图 5)。实验时,放射成因 ^{40}Ar 将以体积扩散机制从样品中释放出来。“阳离子”位置(“cation”-sited)的过剩 ^{40}Ar 在低温阶段释出,产生低温阶段高表观年龄(Harrison 和 McDougall, 1980^[11]);随着温度上升,“阳离子”位置的过剩 ^{40}Ar 逐渐消耗,年龄值下降;温度进一步升高,“阴离子”位置(anion-sited)的过剩 ^{40}Ar 逐渐占优势,形成高温阶段的高

表观年龄。

通过研究电气石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 阶段加热分析Ar同位素释气特征,并对数据进行相关分析,笔者认为电气石中的过剩 ^{40}Ar 有多种赋存状态,即在流体包裹体、Z轴方向通道和矿物晶格中都存在过剩 ^{40}Ar ,但大部分过剩 ^{40}Ar 赋存于矿物晶格(推测为阴离子空缺)中^[5],且应是在矿物结晶时混入的。石英、黄铁矿、方铅矿、辉锑矿等微量K矿物的过剩 ^{40}Ar 可能也与此类似。

4.3 矿床微量K矿物 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年技术

对于含流体包裹体的微量K矿物的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年,可以采用阶段加热技术和真空击碎技术释出气体,笔者通过实践,认为真空击碎技术优于阶段加热技术:①真空击碎技术释出的气体比较单一——来自流体包裹体,而阶段加热技术释出的气体是多种赋存状态气体不同比例的混合物,既有来自流体包裹体,也有来自矿物晶格(阴离子空缺)。因此,真空击碎分析所得数据点能构成较好的等时线^[4,7],而阶段加热分析数据点分散,不能形成等时线。②阶段加热释气可能存在同位素扩散分馏作用,而真空击碎释气技术则避免了这一点。

5 结 论

(1)形成马鞍形年龄谱的原因比较复杂,对于不同的测试对象,其决定性因素可能不同。矿物中的过剩 ^{40}Ar 存在多种赋存状态,它们具有不同的释出温度,其叠加结果可以形成马鞍形年龄谱。

(2)某些微量K矿物 ^{40}Ar - ^{39}Ar 阶段加热分析所形成的马鞍形年龄谱的最小年龄接近成矿年龄;但在多数情况下马鞍形谱的最小年龄高于成矿年龄。因此需要结合其它资料进行综合分析,才能作出符合地质事实的解释。

(3)流体包裹体的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 真空击碎分析可以得到较好的等时线,可能为矿床定年提供有效的新途径。

参 考 文 献

- 1 戴檀谟,洪阿实. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 计时及西藏南部喜马拉雅期几个黑云母年龄的测定. 地球化学, 1982, (1): 48~65
- 2 戴檀谟,朱炳泉,张玉泉等. 从花岗闪长岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱分析探讨印度—巽他—欧亚板块碰撞与热动力史. 地球化学, 1986, (2): 97~102
- 3 李献华,桂训唐,程景平等. 广东高凤金矿形成时代的Rb-Sr、 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄测定. 矿床地质, 1992, 11(4): 367~373
- 4 邱华宁,戴檀谟. ^{40}Ar - ^{39}Ar 法测定矿物流体包裹体年龄. 科学通报, 1989, 34(9): 687~689
- 5 邱华宁,戴檀谟. 电气石中的过剩 ^{40}Ar 的赋存状态初探. 科学通报, 1990, 35(11): 848~849
- 6 邱华宁,戴檀谟,蒲志平. 滇西泸水钨锡矿床 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法成矿年龄研究. 地球化学, 1994, (增刊): 93~102
- 7 邱华宁,戴檀谟,李朝阳等. 滇西上芒岗金矿床石英流体包裹体 ^{40}Ar - ^{39}Ar 成矿年龄测定. 科学通报, 1994, 39(3): 257~260
- 8 Albarede F, Feraud G, Kaneoka I, Allegre C J. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating: the importance of K-feldspars on multimineral data of polyorogenic areas. J. Geol., 1978, 86: 581~598
- 9 Bello Ph. Lo, Feraud G, Hall C M et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ step-heating and laser fusion dating of a Quaternary pumice from Neschers, Massif Central, France: The defeat of xenocrystic contamination. Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.), 1987, 66: 66~71

- 10 Classon S, Roddick J C. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ data on the age and metamorphism of the Ottfjället dolerites, Sarv Nappe, Swedish Caledonides. *Lithos.*, 1983, 16: 61~73
- 11 Harrison T M, McDougall I. Investigations of an intrusive contact, northwest Nelson, New Zealand— I. Diffusion of radiogenic and excess ^{40}Ar in hornblende revealed by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrum analysis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1980, 44: 2005~2020
- 12 Harrison T M, McDougall I. Excess ^{40}Ar in metamorphic rocks from Broken Hill, New South Wales; implications for $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectra and the thermal history of the region. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1981, 55: 123~149
- 13 Harrison T M, McDougall I. The thermal significance of potassium feldspar K-Ar ages inferred from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrum results. *Geochim. cosmochim. Acta*, 1982, 46: 1811~1820
- 14 Hess J C, Lippolt H J. Kinetics of Ar isotopes during neutron irradiation; ^{39}Ar loss from minerals as a source of error in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 1986, 59: 223~236
- 15 Lanphere M, Dalrymple G B. A test of the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrum technique on some terrestrial materials. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1971, 12: 359~372
- 16 Lanphere M, Dalrymple G B. Identification of excess ^{40}Ar by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrum technique. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1976, 32: 141~148
- 17 Lippolt H J, Fuhrmann U, Hradetzky H. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age determination of sanidines of the Eifel volcanic field (Federal Republic of Germany); constraints on age duration of a Middle Pleistocene cold period. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 1986, 59: 187~204
- 18 Maluski H. Behaviour of biotites, amphiboles, plagioclases and K-feldspars in response to tectonics events with the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ radiometric method. Example of a Corsican granite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1978, 42: 1619~1633
- 19 Merrihue C M. Trace-element determinations and potassium-argon dating by mass spectroscopy of neutron-irradiated samples. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 1965, 46: 125
- 20 Merrihue C M, Turner G. Potassium-argon dating by activation with fast neutrons. *J. Geophys. Res.* 1966, 71: 2852~2857
- 21 Zeitler P K, Gerald J D F. Saddle-shaped $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectra from young, microstructurally complex potassium feldspars. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1986, 50: 1185~1199

THE IMPLICATIONS OF ^{40}Ar - ^{39}Ar SADDLE-SHAPED AGE SPECTRA OF TRACE K MINERALS FROM THE LUSHUI TUNGSTEN-TIN DEPOSIT, YUNNAN PROVINCE

Qiu Huaning, Dai Tongmo and Pu Zhiping

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guangzhou 510640)

Key words: ^{40}Ar - ^{39}Ar method, saddle-shaped age spectrum, age of ore deposit, Yunnan

Abstract

Ages of such minerals as muscovite, quartz, tourmaline and beryl from the Lushui tungsten-tin deposit in western Yunnan were determined by ^{40}Ar - ^{39}Ar method. The trace K minerals (quartz, tourmaline and beryl) all form saddle-shaped age spectra of excess ^{40}Ar . Studies show that implications of minimum ages of saddle-shaped spectra are rather complicated, with minimum ages of some samples close to metallogenic ages whereas those of other samples older than or even much older than metallogenic ages.