

# 电气石中过剩 $^{40}\text{Ar}$ 的赋存状态初探

邱华宁 戴撞谟

(中国科学院地球化学研究所广州分部, 广州 510640)

**关键词** 过剩  $^{40}\text{Ar}$ 、电气石、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  法

许多低(微)钾矿物,如绿柱石、堇青石、电气石和石英等,含有过剩  $^{40}\text{Ar}$ ( $^{40}\text{Ar}_E$ ),这一事实得到了公认。但是,对于  $^{40}\text{Ar}_E$  在矿物中的赋存状态却有争议,为多数人接受的观点是  $^{40}\text{Ar}_E$  赋存在 Z 轴方向的通道中<sup>[1-3]</sup>。至于  $^{40}\text{Ar}_E$  进入矿物的时间,也有两种观点:一种观点认为  $^{40}\text{Ar}_E$  是在矿物结晶时混入的(如 Damon 和 Kulp 等);另一种观点则认为  $^{40}\text{Ar}_E$  是在矿物结晶后的历史中扩散进入的(如 Schreyer、Yoder 和 Aldrich 等)。后一种观点主要基于矿物结晶早期高温阶段不能保存氩,只有温度降低到封闭温度时才开始保存氩<sup>[4]</sup>。

本文实验样品选自滇西泸水县钨锡矿床中白钨矿脉的黑电气石 S-17 TL 和共生的白云母 S-17 Ms,样品在原子核反应堆中照射,积分中子通量为  $4.047 \times 10^{18} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,采用  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  法进行阶段加热分析,氩同位素组成是在 MM-1200 质谱计上测定的。白云母的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄谱平坦,坪年龄为  $68.8 \pm 0.6 \text{Ma}$  (ISD),而电气石的年龄谱呈复马鞍形,开始年龄值为  $1124 \text{Ma}$ ,最后阶段为  $3014 \text{Ma}$ ,全熔年龄为  $355 \pm 14 \text{Ma}$  (图 1)。因此,电气石中含有过剩  $^{40}\text{Ar}$ 。

一般地说,黑电气石中含有一定的 Ca、K 等,它们大多位于硅氧四面体组成的六方环之上方,即 Z 轴方向的通道中。样品在核反应堆中经快中子照射后,发生下列基本的核反应: $^{37}\text{Ar}$  由  $^{40}\text{Ca}(n, \alpha)$  诱发产生,  $^{38}\text{Ar}$  来自  $^{37}\text{Cl}(n, \gamma, \beta)$ ,  $^{39}\text{Ar}$  来自  $^{39}\text{K}(n, p)$ 。因此,分析含过剩  $^{40}\text{Ar}$  电气石的中子活化样品氩同位素释出过程,可以判断过剩  $^{40}\text{Ar}$  赋存状态的重要信息。

本文样品 S-17 TL 电气石  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  法加热分析各阶段的氩同位素释出分数列于表 1,

表 1 电气石 S-17 TL 各阶段氩释出分数

阶 段	温度 $^{\circ}\text{C}$	$^{37}\text{Ar}(\text{Ca})$	$^{38}\text{Ar}(\text{Cl})$	$^{39}\text{Ar}(\text{K})$	$^{40}\text{Ar}^{**}$	$^{40}\text{Ar}_E$
1	500	0.24	6.04	0.37	0.69	0.76
2	600	1.25	10.66	1.10	4.37	5.08
3	700	4.83	8.92	3.19	1.94	1.66
4	750	4.98	8.34	6.85	1.18	0.06
5	800	4.58	6.75	9.13	1.04	-0.72 <sup>b)</sup>
6	850	6.88	5.51	8.84	1.19	-0.48 <sup>b)</sup>
7	900	16.98	6.42	11.30	2.91	1.08
8	950	38.73	16.83	29.76	11.95	8.06
9	1000	9.76	9.26	15.55	3.61	1.00
10	1100	7.56	8.76	10.53	4.06	2.65
11	1350	4.21	12.50	3.38	67.07	80.95

注: a)  $^{40}\text{Ar}^* = ^{40}\text{Ar}_m - 295.5 \cdot ^{36}\text{Ar}_m$ , m 表示测量值;

b) 负值表明此阶段表现年龄低于矿物实际年龄。

本文 1989 年 8 月 28 日收到。

表 2 电气石释出氩相关系数

	$^{37}\text{Ar}$			
$^{38}\text{Ar}$	0.6413	$^{38}\text{Ar}$		
$^{39}\text{Ar}$	0.9310	0.5563	$^{39}\text{Ar}$	
$^{40}\text{Ar}$	-0.0076	0.4800	0.0969	$^{40}\text{Ar}$
$^{40}\text{Ar}_E$	-0.0775	0.4333	-0.1711	0.9972

据此计算出它们的相关系数(表 2), 作出 Ar 同位素(包括过剩  $^{40}\text{Ar}$ ) 的释出分数-温度关系图(图 2), 由此可以得出下列结论:

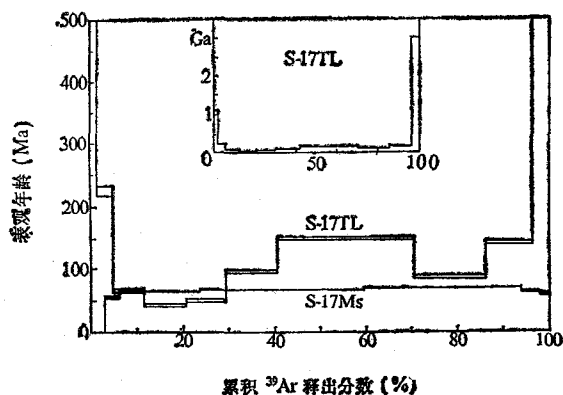


图 1  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄谱

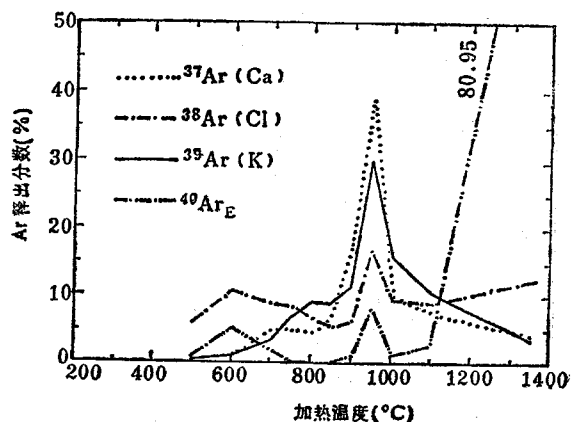


图 2 电气石氩释出分数-温度图

1.  $^{39}\text{Ar}(\text{K})$  和  $^{37}\text{Ar}(\text{Ca})$  的相关系数高达 0.9310, 其释放曲线极为相似, 因而它们的扩散过程一致, 这说明电气石 S-17 TL 的大部分 K 和 Ca 占据着等同的结构位置。

2. 在  $^{39}\text{Ar}$  和  $^{37}\text{Ar}$  大量释出阶段 ( $950^\circ\text{C}$ ),  $^{40}\text{Ar}_E$  仅释出 8%, 而 80% 的  $^{40}\text{Ar}_E$  是在此后再经过三个加热阶段(最后阶段, 样品熔化,  $1350^\circ\text{C}$ ), 才释放出来. 由于  $^{39}\text{Ar}$  和  $^{37}\text{Ar}$  大量释出时代代表了 Z 轴方向通道的气体释放, 由此推断, 电气石中的大部分  $^{40}\text{Ar}_E$  不是赋存于通道中, 是位于阴离子空缺中<sup>[5]</sup>. 与此类似, 石英<sup>[6]</sup>和透辉石\*的过剩  $^{40}\text{Ar}$  主要在高温阶段释出。

3. 前面推断, 大部分过剩  $^{40}\text{Ar}$  赋存于阴离子空缺中而直至样品熔化时才释放出来, 因此, 过剩  $^{40}\text{Ar}$  不可能是在矿物结晶后的历史中扩散进入的, 而是在矿物结晶时混入的。

致谢: 在实验过程中, 蒲志平工程师给予了热情的帮助。

### 参 考 文 献

- [1] Damon, P. E. and Kulp, J. L., *Amer. Min.*, 43(1957), 433.
- [2] Schreyer, W. et al., *Ann Rept. Geophys. Lab. Carnegie Inst. Washington, Year Book*, 59(1960), 91.
- [3] York, D. et al., *Earth Planet. Sci. Lett.*, 7(1969), 25.
- [4] York, D. and Farquhar, R. M., *The Earth's Age and Geochronology*, Pergamon Press, 1972, 53—56.
- [5] Zeitler, P. K. and Gerald, J. D. F., *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50(1986), 1185.
- [6] 邱华宁、戴植谟, 科学通报, 34(1989), 9:687.

\* 胡世玲等, 第三届全国同位素地球化学学术讨论会论文(摘要)汇编, 1986, 246.