

铀铅法测定安徽亳县球粒陨石的年龄

彭子成

(中国科学技术大学地球和空间科学系,合肥)

从星际空间坠落入地球表面的陨石是研究原始太阳星云的形成和演化的难得样品。在近20年内发展迅速的陨石学已成为探索宇宙空间的有力武器。

本文介绍用铀铅法测定安徽亳县陨石*的形成年龄,其结果表明它与地球的年龄一样。

一、实验方法

取安徽亳县陨石样品,经表面净化处理,再破碎并分选出全岩和球粒样品二部分,最后研磨成400目的粉末。

准确称取粉末样品0.1克,用HF+HClO₄加热溶解。溶液经AG1×8氯型(200—400目)树脂分离得到纯铅样品。而用AG1×8硝酸型(100—200目)树脂分离得到纯铀样品。上述两种纯样品供质谱分析之用。

铅同位素比值是用NBS-12"型质谱计测定,而铅和铀的含量是用同位素稀释法来测定。铀同位素比值的测量是在NBS-6"型质谱计上进行。

表1 安徽亳县球粒陨石和部分国外陨石数据

序号	样品名称	类型	浓度 (ng)			经分馏和空白校正后的比值(原子比)			铀和铅比值(原子比)		模式年龄(×10 ⁹ 年)		
			U	Th	Pb	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²³⁸ U/ ²⁰⁴ Pb	²³⁵ U/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U
No. 1	安徽亳县	LL4											
	全岩 (M-07)		16.8	70.6	266	13.96	13.19	33.97	3.484	0.02529	4.57	5.47	4.83
	球粒 (M-08)		10.8	32.3	167	13.31	12.77	33.31	3.526	0.02559	4.55	4.89	4.65
No. 2 ⁺	Brudererim III	L6	15		64.3	32.75	24.69	50.67					
No. 3 ⁺⁺	Modoc	L6	19	58.5	79.0	41.308	29.788	57.273					
No. 4 ⁺⁺	Canyon Diablo 陨硫铁	Og	<0.1	<0.1	6860	9.307	10.294	29476					

+引自文献[1]; ++引自文献[2]; $\lambda_{238} = 0.155125 \times 10^{-9}$ 年⁻¹; $\lambda_{235} = 0.98485 \times 10^{-9}$ 年⁻¹; $^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 137.88$;

* 引自公式(4),(5); **引自公式(3)。

本文1984年11月7日收到。

* 该陨石在1977年10月20日坠落入安徽亳县张沃公社境内。

为了避免在地球环境下陨石铅的污染,实验过程要用自制的高纯试剂以及在有净化空气的操作室内进行。我们是借助美国地质调查所丹佛同位素实验室的条件完成了这项分析工作。实验结果如表1中 No. 1 所示。

二、结果和讨论

1. 陨石年龄的计算公式 人们已知铅有四种同位素,其中 ^{206}Pb 和 ^{207}Pb 分别是 ^{238}U 和 ^{235}U 衰变而来。根据放射性衰变的规律可以导出下列方程^[3]:

$$(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_P = (^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0 + (^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb})_P(e^{\lambda_{238}T} - 1) \quad (\text{原子比}), \quad (1)$$

$$(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_P = (^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0 + (^{235}\text{U}/^{204}\text{Pb})_P(e^{\lambda_{235}T} - 1) \quad (\text{原子比}). \quad (2)$$

由(1)和(2)式可得到:

$$[^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}]^{**} = \frac{(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_P - (^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0}{(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_P - (^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0} = \frac{1}{137.88} \cdot \frac{e^{\lambda_{235}T} - 1}{e^{\lambda_{238}T} - 1}, \quad (3)$$

式中 P 代表现代同位素比值(即测量值), 0 代表陨石形成时的原始同位素比值。目前公认 $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0 = 9.307$, $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0 = 10.294$ (表1中 No. 4); λ_{238} 和 λ_{235} 分别为 ^{238}U 和 ^{235}U 的衰变常数,其值为 $1.55125 \times 10^{-10} \text{年}^{-1}$ 和 $9.8485 \times 10^{-10} \text{年}^{-1}$; $(^{235}\text{U}/^{238}\text{U})_0 = 1/137.88$; T 为陨石形成的年龄。

由式(1)、(2)可以看出:陨石的现代铅同位素比值是由形成时的原始铅比值和铀同位素衰变生成的铅比值组成,这些关系只是在一个封闭体系内才成立。人们把上述公式所描述的变化规律称为单阶段演化模式。我们根据公式(1)、(2)、(3)以及表1的数据,则可以求得安徽亳县陨石的模式年龄。

2. 陨石的铅-铅模式年龄 根据公式(3),我们把表1中全岩和球粒的有关数据代入,即由查表法求得 T 分别为 45.7 和 45.5 亿年。这个仅由铅同位素比值代入公式求得的年龄称为铅-铅模式年龄。

3. 陨石的铅-铅等时年龄 现假定有一组陨石样品,其形成的年龄 T 相同。那么根据公式(3),以 $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_P$ 为纵坐标,而 $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_P$ 为横坐标,则可得到一条拟合的直线,该直线的斜率为: $R = (1/137.88)(e^{\lambda_{235}T} - 1)/(e^{\lambda_{238}T} - 1)$ 。另外,直线的斜率 R 还可以由数据的回归处理得到,当代入上式时, T 即为可求。我们用安徽亳县陨石的全岩和球粒,以及另外2个球粒陨石(Bruderheim^[1] 和 Modoc^[2])的数据一并作图(图1),即得到一条拟合得很好的直线(相关系数 $> 99\%$),该直线并通过 Canyon Diablo 陨硫铁的原始铅点。数据经回归计算,求得斜率为 0.6095 ± 0.0095 ,相应的年龄为 45.3 ± 0.2 亿年。这表明安徽亳县陨石和另外二个陨石是同时形成的,并都从太阳星云中具有相同原始铅比值的物质中演化而来。

4. 陨石的铀-铅模式年龄 根据表1列出的 $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{P,0}$, $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{P,0}$, $(^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb})_P$ 和 $(^{235}\text{U}/^{204}\text{Pb})_P$ 的值,分别代入(1)和(2)式,即求得全岩和球粒由 ^{238}U 衰变至 ^{206}Pb 系列的模式年龄为 54.7 和 48.9 亿年,而 ^{235}U 衰变至 ^{207}Pb 系列的模式年龄为 48.3 和 46.5 亿年。这些年龄值明显地大于正常陨石的形成年龄 45.5 ± 0.7 ^[2] 亿年。这表明安徽亳县陨石自形成并演化至今,它的铀-铅体系不是封闭的,经历了得铅或丢铀的过程。至使 U/Pb 值减少,而计算得到的年龄值增大。

5. 陨石的铀-铅一致曲线图解年龄 变换方程(1)和(2),分别得到:

$$[^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}]^* = e^{\lambda_{238}T} - 1, \quad (4)$$

$$[^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}]^* = e^{1.25T} - 1. \quad (5)$$

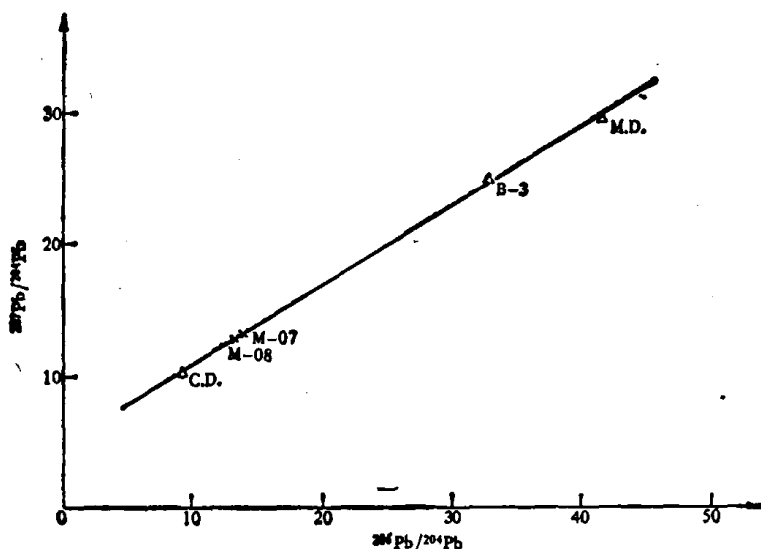


图1 安徽亳县球粒陨石和其它陨石的铅-铅等时线

斜率 R : 0.6095 ± 0.0095 ; 年龄 T : 45.3 ± 0.2 亿年。

M-07: 安徽亳县陨石, 全岩; M-08: 安徽亳县陨石, 球粒; M.D.: Modoc 陨石, 全岩; B-3: Bruderherim-III, 全岩; C.D.: Canyon Diablo 陨硫铁

从(4)和(5)式看出, 在一个封闭的铀-铅衰变体系中, 如以 $[^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}]^*$ 为纵坐标, $[^{207}\text{Pb}/$

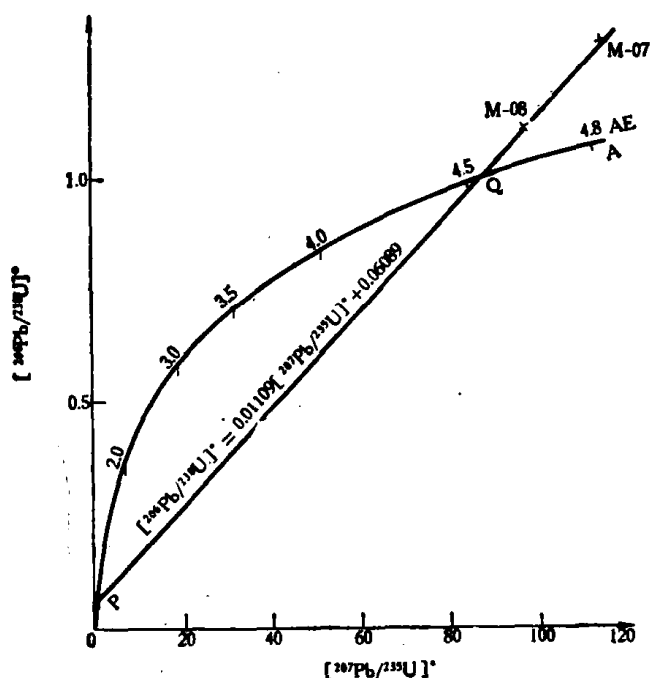


图2 安徽亳县球粒陨石一致曲线图解

Q: 45.4 ± 0.2 亿年; P: 400 百万年

$^{235}\text{U}]^*$ 为横坐标作图, 即可得到如图2所示的一致曲线A。然后我们把安徽亳县陨石的全岩和球粒数据点在图上, 并拟合一直线。此直线与一致曲线有二个交点: 上交点(Q)的年龄值为 45.4 ± 0.2 亿年, 此值与铅-铅模式年龄和铅-铅等时年龄一致; 下交点(P)的年龄值为400百万年, 此值表明陨石在近期内经历过热事件。从实验点M-07和M-08位于一致曲线的外侧, 也证实了这种热事件与铀-铅体系得铅或丢铀的过程有关。

三、结 语

从实验测得安徽亳县陨石的全岩和球粒的铀、铅含量以及铅同位素比值, 从而计算以及图解得到该陨石形成的铅-铅模式年龄为 $45.5 - 45.7$ 亿年, 铅-铅等时年龄

为 45.3 ± 0.2 亿年, 铀-铅一致曲线图解年龄为 45.4 ± 0.2 亿年。这三组年龄都十分一致, 并与地球形成的年龄 $45.5 \pm 0.5^{[4]}$ 亿年相同。而陨石的铀-铅模式年龄为 $46.5 - 54.7$ 亿年, 明显地

大于上述的各组年龄。这说明安徽亳县陨石在形成至今的 45.5 亿年内经受了得铅和丢铀的热事件干扰,该事件可能发生在 400 百万年以前。

综上所述可以看出:用铀铅法测定陨石的年龄,可以同时获得较多的信息,以利相互比较,从而得出更多有益的看法。这是铀铅法应用的独特优点。

致谢:作者衷心地感谢 R. E. Zartman 博士和 K. Kwan 女士给予的热情支持和帮助;王奎仁老师提供了宝贵的陨石样品;王俊新老师辛勤地从陨石中分离出球粒样品。

参 考 文 献

- [1] Tilton, G. R., *Earth and Planetary Science Letter*, 19(1973), 321—329.
- [2] Tatsumoto, M. and Knight, R. J., *Science*, 180 (1973), 1279—1283.
- [3] Faure, G., *Principles of Isotope Geology*, 1977, 207—208.
- [4] 欧阳自远,地质地球化学,1974, 4: 1—7.