

中国某些球粒陨石中主量元素的 14 MeV 中子活化分析

胡国辉 钟红海 许汉卿 凌育远

(广东省测试分析研究所, 广州)

易惟熙 王道德

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)

本工作采用中子发生器, 通过 $T(d, n)^4\text{He}$ 反应产生的 14MeV 中子, 对中国某些球粒陨石以及它们的熔壳、磁性和非磁性组成部分中的氧、硅、铝、镁、铁等主量元素进行了测定, 并讨论了陨石中某些主量元素组成的特点。

一、原 理

FNAA 是用 14MeV 中子辐照样品, 使待测元素产生核反应, 通过测量生成核的 γ 射线的能量和放射性强度, 进而确定元素的含量。 γ 射线强度和元素含量之间的关系为

$$R = \frac{W\eta\Theta N_0\sigma\epsilon}{M} \cdot \phi SDC, \quad (1)$$

式中 R 为探测到的放射线强度; W 为元素重量; η 为仪器的探测效率; Θ 为同位素丰度; N_0 为阿佛加德罗常数; σ 为同位素的活化截面; ϵ 为 γ 射线分支比; M 为元素的原子量; ϕ 为中子通量; $S = 1 - e^{-\lambda t_i}$, 饱和因子, t_i 为辐照时间; λ 为衰变常数; $D = e^{-\lambda t_d}$, 衰变因子, t_d 为冷却时间; $C = \frac{1}{\lambda t_m} (1 - e^{-\lambda t_m})$, 在测量时间 t_m 内, 由于核衰变引起的测量修正因子。

所以, 根据方程(1)原则上可采用绝对法作定量分析, 但在实际应用中, 相对法和单一比较器法较为方便。

在相对法中, 待测元素的含量可按方程(2)求得:

$$W_x = \frac{R_x}{R_s} \cdot W_s, \quad (2)$$

其中字母脚码 x, s 分别表示待测样品和标准样品。

在多元同时分析时, 引入了单一比较器法。在单一比较器法中, 标准元素和待测元素并非同一种元素, 其待测元素的含量, 按方程(3)求得

$$W_x = K \frac{R_x^*}{R_s^*} W_s, \quad (3)$$

式中

$$R^* = \frac{R}{SDC},$$

本文 1983 年 9 月 8 日收到。

$$K = \frac{\sigma_s}{\sigma_x} \cdot \frac{\Theta_s}{\Theta_x} \cdot \frac{\eta_s}{\eta_x} \cdot \frac{\epsilon_s}{\epsilon_x} \cdot \frac{M_x}{M_s} \quad (4)$$

本工作采用相对法和单一比较器法。实验表明,单一比较器法和相对法有同样的可靠性^[1]。

二、实 验

FNAA 的实验装置如图 1 所示。

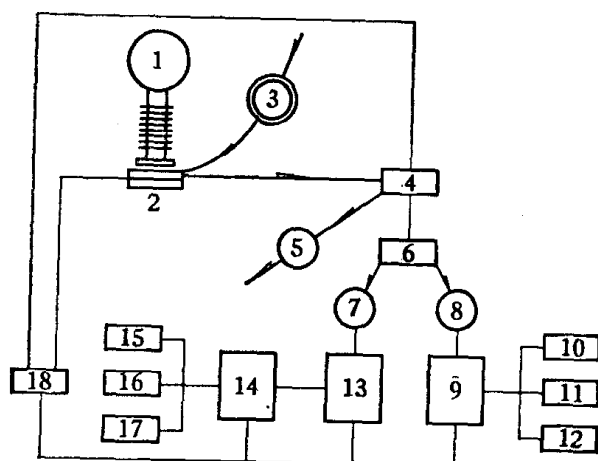


图 1 14MeV 中子活化分析主要实验装置

1. 中子发生器; 2. 辐照仓; 3. 进样仓; 4. 冷却站; 5. 排样仓; 6. 转换器; 7. Ge(Li) 探测器; 8. NaI(Tl) 晶体探测器; 9. SA41 型 400 道分析器; 10. 描图器; 11. 磁带中间计算器; 12. 快速打印机; 13. 8180 型 4096 道分析器; 14. PDP11/04 计算机; 15. 磁盘机; 16. 电传打字机; 17. 宽行打字机; 18. 自动程序控制器

1. 加速器: KR—400 “T” 型, 中子产额约为 10^{10} 中子/秒。

2. 样品输送系统: 样品的传输是通过程序控制的双管道“跑免”装置, 准确地控制样品辐照和测量的空间位置以及样品的辐照时间、冷却时间和测量时间。

3. 测量分析系统: 用灵敏体积为 100 厘米³ Ge(Li) 探测器和 CANBERRA 8180 型 4096 多道分析器组成的 γ 能谱仪测量 γ 能谱; 并用 3 英寸 $\times$ 3 英寸 NaI(Tl) 闪烁探测器联结 SA41 型 400 道分析器, 采用多定标方式测量 ^{16}N 的强度。两种探测器均放在壁厚为 5 厘米的大铅室内, 以降低本底计数。所得的 γ 能谱, 通过磁带和微型计算机进行数据处理。

实验所用的样品和标样均为粉末样品, 在温度为 120℃ 的真空干燥箱内烘 4 小时, 然后将其密封在特制的聚乙烯塑料容器内。

整个实验程序如表 1 所示。

三、结果和讨论

为了说明方法的准确可靠, 以国际上常用的标准参考物 G-2 作为标准, 分析了阿仑德陨石和月岩 (阿波罗-70017-291) 中主量元素的含量, 并与文献值进行了比较。某些中国球粒陨石主量元素的分析结果如表 2 所示。

由表 2 可以看出, 按 E、H、L、LL 的次序, 全岩氧含量有逐渐增高的趋势, 反映了各类球粒陨石在太阳星云中形成部位的差异 (即逐渐远离太阳)。E 型球粒陨石的形成环境处于较强

表 1 实验流程

实 验 时 间 程 序		探测器	待测元素	方 法 和 标 准
辐照时间	30 秒	NaI(Tl), 多定标方式	氧	相对法,采用光谱纯 SiO_2 和 国际标准花岗岩 G-2
冷却时间	2 秒			
测量时间	30 秒			
辐照时间	1 分	Ge(Li)	硅	相对法,采用光谱纯 SiO_2 和 G-2
冷却时间	1 分			
测量时间	100 秒			
辐照时间	4 分	Ge(Li)	铝	相对法: G-2 作标准;单一比较器法: 用 Si 作单一比较器
冷却时间	3 分			
测量时间	200 秒			
辐照时间	1 时	Ge(Li)	铁, 镁	相对法: G-2 作标准;单一比较器法: 用 Mg 作单一比较器测量 Fe
冷却时间	1 时			
测量时间	10000 秒			

表 2 某些中国球粒陨石 ^{14}MeV 中子活化分析结果

类型	样品名称	部 位	氧(%)	硅(%)	铝(%)	镁(%)	铁(%)
E	清镇	全岩	28.22 ± 0.56	16.62 ± 0.42	1.00	10.49	30.88
H ₁	吉林	全岩	33.87 ± 0.61	17.04 ± 0.48	1.31	13.20	27.97
H ₂	信阳	全岩	28.54 ± 1.20	16.94 ± 0.75	0.99	12.20	27.96
H ₃	安龙	全岩	28.46 ± 0.60	17.01 ± 0.27	0.79	14.05	30.24
H ₄	阳江	全岩	30.90 ± 1.61	16.18 ± 0.62	0.83	12.37	28.45
平 均 值			30.44	16.79	0.98	12.96	28.66
L ₆	溧水	全岩	42.41 ± 0.60	18.70 ± 0.54	1.07	15.85	17.03
L ₁	西乌	全岩	40.33 ± 0.67	20.45 ± 0.96	1.11	16.24	21.56
L ₄	亳县	全岩	33.54 ± 1.01	17.20 ± 0.45	1.56	15.26	26.92
平 均 值			38.76	18.78	1.25	15.78	21.84
LL	东台	全岩	38.20 ± 0.76	19.65 ± 0.43	0.83	15.26	19.97
	信阳	熔壳	29.91 ± 1.16	15.61 ± 0.75	0.85	13.56	36.53
	安龙	熔壳	29.27 ± 1.18	15.36 ± 0.43	0.71	11.21	31.75
	江苏如皋	非磁性	41.73 ± 0.86	18.68 ± 0.17	1.14	16.89	14.97
		磁性	24.56 ± 0.07	9.44 ± 0.09	0.59	9.08	51.47
	云南路南	非磁性	34.31 ± 0.02	19.44 ± 0.33	1.62	21.09	16.66
		磁性	11.88 ± 0.77	5.89 ± 0.25	1.28	4.53	72.02
	山东广饶	非磁性	37.39 ± 0.76	19.71 ± 0.04	1.23	19.55	18.37
		磁性	10.41 ± 0.35	5.58 ± 0.40	0.23	4.54	75.33
	常德	非磁性	48.31 ± 0.44	19.87 ± 0.33	1.51	14.73	11.59
		磁性	16.35 ± 0.42	7.45 ± 0.61	2.61	4.43	65.73
	涠池	非磁性	40.13 ± 0.62	20.25 ± 0.72	1.25	18.78	13.24
		磁性	9.67 ± 0.22	4.50 ± 0.34	0.34	4.30	80.78

的还原条件下,按 $E \rightarrow H \rightarrow L \rightarrow LL$ 的次序,氧化条件逐渐加强。

同样,按上述次序,全岩硅含量和全岩镁含量也有增加趋势,而总铁有减少趋势。对于 H、L、LL 群普通球粒陨石, H 与 L 群之间,金属 Fe 及 FeO 的含量有明显的差别, H 群总 Fe 含量

比 L 群要高, 相应的 H 群的 FeO 含量则比 L 群要低, 氧的含量和 MgO 的含量亦比 L 群要低, 这和 H 及 L 群球粒陨石中的橄榄石的含量 (H 群橄榄石含量平均为 36.2%, L 群为 47.0%) 差异是一致的。在 L 群和 LL 群之间, L 群的 Fe 含量通常比 LL 群要高, 但有时两者也出现重迭的现象或两者之间 Fe、Mg 及 O 含量的变化不甚明显。

由表 2 还可看出, 安龙陨石熔壳和信阳陨石熔壳的氧、铁元素含量比基体略高; 硅、铝元素含量比基体略低, 这是由于熔壳形成过程中氧分压较高, 形成大量磁铁矿, 而硅铝酸盐比其它组分有所气化烧蚀的缘故。

如皋等五种陨石的磁性和非磁性部份, 主量元素组成有很大差异。在磁性部份, 铁明显富集, 其他元素则相对减少。若由磁性和非磁性样品元素含量数值按比例平均求和计算全岩元素含量, 结果与其他方法的数值一致。

参 考 文 献

- [1] 胡国辉等, 地球化学, 3(1980), 248.