

# 阿伦德陨石中壳层球粒的仪器 及放射化学中子活化分析

袁玲

(中国原子能科学研究院, 北京)

林杨挺 欧阳自远

(中国科学院地球化学研究所)

本文中介绍了对阿伦德(Allende)陨石中4个壳层球粒的核部和壳部所做的仪器中子活化分析和放射化学中子活化分析工作,测定了8个(4对)样品的25个痕量元素。分析结果表明,元素在球粒核部和壳部具有不同的分布特征,这一结果为研究球粒的成因提供了进一步依据。

**关键词** 阿伦德陨石, 壳层球粒, 仪器及放射化学中子活化分析。

## 一、前言

阿伦德陨石属于C3V群碳质球粒陨石,其组份和构成被认为是代表了太阳系早期物质的组份和构成。Clarke等人<sup>[1]</sup>的研究指出,阿伦德陨石主要由三大部分组成,即基质(Matrix)57%,球粒(Condrules)34%和包体(Inclusions)9%。球粒的化学组成与基质相近而与包体有很大的区别。对球粒的研究程度还远不如包体详尽。不少作者倾向地认为球粒是由固态物质经熔融形成,也有一些作者认为球粒可能是太阳星云的直接凝聚产物。在各种类型的球粒中,有一部分球粒具有特殊的壳层状结构特征,该类球粒在矿物组成和结构上可分为核、壳二大部分。不少作者试图通过对这一特殊类型球粒的细致研究,了解球粒的形成过程和条件<sup>[2,3]</sup>。在本工作中,作者用仪器中子活化分析和放射化学中子活化分析为手段,对阿伦德陨石中4个壳层状球粒进行分层测定,共获得4对核、壳样品的25个元素含量。分析结果表明,元素在球粒核部和壳部具有不同的分布特征。

## 二、样品

4个壳层球粒被分成壳和核两部分,共8个样品。表1以AIZ-31样品为例列出其核、壳的主要组成的矿物和结构特征。

## 三、实验

本实验采用两种分析方法,即仪器中子活化分析(INAA)和放射化学中子活化分析

1987年6月30日收到。

(RNAA), INAA 又分为短照射和长照射。具体的照射时间、冷却时间及测定元素见表2。

表1 核、壳的主要组成矿物及结构特征

样 品	主 要 组 成 矿 物	结 构 特 征
AIZ-31-A (核部)	橄榄石、辉石、陨硫铁, 含不透明玻璃体和少量斜长石	粗粒, 陨硫铁具明显的熔蚀特征, 玻璃体有相连的趋势。
AIZ-31-B (壳部)	橄榄石、辉石、斜长石, 含少量陨硫铁和不透明玻璃体	细粒, 玻璃体含量少且细, 与陨硫铁和硅酸盐矿物呈堆积关系。壳层往往还可进一步细分几层

表2 照射、冷却时间及测定元素

方 法	照 射 时 间	冷 却 时 间	测 定 元 素
INAA	0.5—1min	5—10min	Al, Ca, Mg, Na, Mn, Ti, V
	5—10min	1.5—3.0h	Dy, Na, Mn
	72h	4d	Au, Co, Cr, Fe, Ir, Ni, Sc, La, Lu, Sm
RNAA	72h	6d	La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Ho, Yb, Lu

放射化学中子活化分析是在完成了仪器中子活化分析后进行的。用P<sub>507</sub>萃淋树脂(上海产)富集稀土元素。该萃淋树脂具有溶剂萃取和离子交换的双重特点。放化分离的具体操作过程如下。

### 1. 准备工作

(1) **树脂的准备** 将P<sub>507</sub>树脂放入6mol/l HCl溶液中浸泡4小时。在溶液流动的状态下将树脂装入直径为7mm的树脂柱中(树脂柱底部衬有泡沫塑料), 直到离柱颈10mm处止。树脂高度约12—15cm, 树脂顶部盖一块1—2mm的泡沫塑料。用6mol/l HCl 30ml洗涤树脂, 除去杂质。用去离子水洗至pH3左右。最后用20ml 10%氯乙酸平衡树脂柱, 备用。

(2) **淋洗液(去除杂质)的配制** 称取7.5g抗坏血酸, 7.5g磺基水杨酸, 7.5g硫氰酸铵, 三者混和后放入250ml容量瓶内, 用水稀释至刻度。取出150ml溶液, 用浓NH<sub>4</sub>OH调节酸度为pH=2.5, 备用。

(3) **缓冲溶液配制** 取25ml 0.2mol/l KCl和5.3ml 0.2mol/l HCl混合, 用NH<sub>4</sub>OH调节至pH=2.5。

(4) **抗坏血酸** 称取若干份抗坏血酸, 每份300mg。

### 2. 照射后样品的化学分离流程

(1) **样品的溶解** 将完成了仪器中子活化分析后的样品转入聚四氟乙烯坩埚内, 加少许去离子水浸润, 加入100μg稀土元素载体。再加入5ml浓HF, 加热, 煮沸15—20min。加入2:1的浓HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>溶液7ml, 继续加热至沸, 直至冒白烟5min后, 坩埚内溶液约剩0.5—

1ml。将此溶液转移到25ml烧杯内,用3ml热浓 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ 溶液洗坩埚三次,洗液合并于烧杯内,盖上表玻璃。加热烧杯至微沸,并控制在该状态下回流溶样4—6小时,直至溶液变清亮为止。开始出现白烟后取走表玻璃,继续加热至冒大量白烟,直到溶液刚刚干为止,冷却烧杯。

(2) **上柱溶液的制备** 将1.5ml 4mol/l HCl加到烧杯中,待残渣溶解后加入300mg抗坏血酸,再加入60%磺基水杨酸和60%硫氰酸铵各0.5ml,用 $\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液调至 $\text{pH}=2.5$ ,再加入0.5ml缓冲溶液。

(3) **分离操作** 打开树脂柱,调节流速为每8—10秒一滴,将样品溶液注入柱中。用7ml淋洗液过柱,除去杂质,流速同上。用7ml 10%氯乙酸淋洗树脂柱。用15ml 4mol/l HCl洗脱稀土元素。

#### 四、分析结果

分析结果列于表3。为检验方法的准确度,在样品进行INAA和RNAA分析流程中,同时对阿伦德陨石国际标准粉末进行了分析,其结果列于表4。表4中还列出了该标准粉末的推荐值。仪器中子活化分析仅测到了稀土元素中的La和Sm两个因素,其结果与放化分离中子活化分析结果吻合得较好。

#### 五、讨论

1、样品分析的准确度 从表4可看出对绝大多数元素而言,本工作的测定结果与推荐值有较好的一致性。此外,仪器中子活化分析所得到的La, Sm结果与放化分离结果吻合得很好。这在一定程度上说明了本工作测定结果的可靠性。放化分离中子活化分析所测定的稀土元素含量与推荐值相比有一定的偏差。作者认为偏差是由于样品量少(仅为3.4mg),稀土元素含量低,仅一次实验结果(由于样品来源的困难)等等原因所致。

2、亲铁元素在球粒核部、壳部的分配 比较表3所列出的同一球粒中亲铁元素在核、壳两部分的分配,可以明显看出亲铁元素Fe, Co, Ni, Ir, Au, Cu等相对富集于球粒的壳层部分。

3、球粒核、壳部分的稀土配分模式 将表3所列的稀土元素含量相对CI群碳质球粒陨石作标准化,可分别做出各球粒核、壳部分的稀土配分模式。图1, 2是其中二个球粒核、壳的稀土配分模式。从图中可看出,壳层样品具明显的Eu负异常特征,而核部样品基本上呈一平坦的稀土配分模式。壳层样品与核部样品在稀土配分模式上的差异,可能反映了该二部分是由不同的源物质形成。

4、球粒核、壳部分的元素贫化系数图 图3, 4分别为球粒AIZ-31核部与壳层样品的元素贫化系数图。图的纵座标表示元素贫化系数\*, 其值为样品中元素相对于Mg和CI群陨石双标准化的结果。元素贫化系数越大,表示该元素在样品中相对于CI群陨石越富集,反之则贫化。横座标为元素50%的凝聚温度(引自J. T. Wasson 1985年私人通信)。元素凝聚温度越低,表

\* 这是国际通用的术语,按图中贫化系数的数值来理解,贫化系数实质上是富集系数。

表3 Allende陨石中壳层球粒的核部与壳层放化和仪器中子活化分析结果。(ppm)

样品名称	重量, mg	TiO <sub>2</sub> , %	MgO, %	V	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	CaO, %	Mn	Na
AIZ-31-A	15.9	0.146±0.023	40.3±0.3	98.5±1.2	3.18±0.01	2.52±0.01	656±2	3827±12
AIZ-31-B	6.83	0.076±0.023	20.4±0.4	70.3±1.3	1.88±0.01	1.14±0.10	1037±50	1562±10
AIZ-2-A	1.48	0.16±0.05	55.0±1.2	131±3	1.65±0.02	1.37±0.21	569±3	2904±22
AIZ-2-B	2.38	0.11±0.04	23.3±0.7	88±3	2.83±0.01	2.16±0.30	2396±5	880±17
AIZ-3-A*	0.900	0.12±0.08	43.6±1.4	173±5	2.02±0.02	1.77±0.39	798±6	5425±49
AIZ-3-B	9.94	0.131±0.026	20.5±0.3	102±1	3.08±0.01	2.11±0.17	1087±4	4065±29
AIZ-1-A*	0.78		48.3±2.8	115±5	5.69±0.04		400±44	3500±1100
AIZ-1-B*	2.03		42.1±2.5	116±2	1.98±0.02		880±28	2350±350

样品	重量, mg	Ir	Cr	Sc	Fe, %	Co	Au, ppb
AIZ-31-A	15.9	0.35±0.03	3130±10	17.5±0.01	4.44±0.04	154±2	14.5±2.6
AIZ-31-B	6.83	1.36±0.04	4465±13	9.7±0.10	32.5±0.1	1260±4	75.2±4.1
AIZ-2-A	1.48	<0.51	1870±10	22.4±0.1	3.83±0.08	114±2	27.2±4.1
AIZ-2-B	2.38	1.43±0.05	6390±20	11.7±0.1	28.6±0.2	928±4	384±7
AIZ-3-A*	0.900	0.237±0.062	2210±20	17.7±0.2	7.77±0.14	139±3	14.6±6.8
AIZ-3-B	9.94	1.60±0.04	5190±30	12.2±0.1	24.7±0.1	970±4	124±5
AIZ-1-A*	0.78	0.0324±0.0071	2003±4	19.53±0.04	4.09±0.01	140.9±0.4	7.72±3.71
AIZ-1-B*	2.03	3.74±0.01	4010±12	9.55±0.05	17.82±0.04	638.6±1.3	51.0±3.0

样品	重量, mg	Ni, %	La	Ce	Nd	Sm	Sm**	Eu
AIZ-31-A	15.9	0.23±0.03	0.692±0.010	1.99±0.06	1.02±0.46	0.413±0.005	0.46±0.02	0.152±0.009
AIZ-31-B	6.83	2.29±0.06	0.274±0.036	0.54±0.12	<2.19	0.192±0.006	0.23±0.03	0.0128±0.0055
AIZ-2-A	1.48	0.15±0.05	0.267±0.016	0.345±0.073	0.50±0.33	0.162±0.005	0.20±0.03	0.0619±0.0099
AIZ-2-B	2.38	1.52±0.09	0.534±0.049	1.51±0.10	1.33±0.48	0.277±0.006	0.29±0.05	0.074±0.033
AIZ-3-A*	0.900	0.20±0.10	0.39±0.15				0.28±0.05	
AIZ-3-B	9.94	1.92±0.07	0.636±0.020	2.02±0.12		0.417±0.008	0.46±0.03	0.103±0.023
AIZ-1-A*	0.78	0.245±0.018	1.14±0.10	1.89			0.469±0.025	0.27±0.03
AIZ-1-B*	2.03	1.202±0.020	0.44±0.05	<1.8			0.22±0.02	0.10±0.03

样品	重量, mg	Gd	Tb	Dy**	Ho	Yb	Lu
AIZ-31-A	15.9	0.288±0.049	0.137±0.016	0.68±0.12	0.272±0.030	0.487±0.007	0.0796±0.0029
AIZ-31-B	6.83	0.159±0.032	0.059±0.025	0.87±0.16	0.054±0.019	0.151±0.021	0.0802±0.0080
AIZ-2-A	1.48	0.147±0.026	0.034±0.014	0.58±0.23	0.086±0.043	0.270±0.012	0.0481±0.0023
AIZ-2-B	2.38	1.11±0.33	0.140±0.042	<1.74	0.34±0.12	0.408±0.038	0.0597±0.0060
AIZ-3-A*	0.900			<1.85			
AIZ-3-B	9.94	0.388±0.049	0.042±0.020	<0.99	0.122±0.053	0.368±0.015	0.0533±0.0027
AIZ-1-A*	0.78		0.13			0.49±0.13	0.044±0.026
AIZ-1-B*	2.03		<0.12			0.11±0.10	

\*样品仅经仪器中子活化分析; \*\*仪器中子活化分析结果; 表中所列误差是计数统计误差1σ。

表4 阿伦德陨石国际标准粉末的中子活化分析结果(ppm)

元素	本工作	推荐值	元素	本工作	推荐值
TiO <sub>2</sub> , %	0.20±0.05	0.15	Fe, %	23.3±0.1	26.6
MgO, %	24.3±0.6	24.7	Co	667±3	610
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	3.06±0.01	3.29	Au	0.158±0.04	0.160
CaO, %	2.28±0.25	2.59	Ni, %	1.28±0.10	1.42
V	90.8±2.1	93.0	Ce	0.774±0.070*	1.25
Na, %	0.350±0.002	0.340	Nd	<1.18*	0.91
Mn	1352±4	1500	Eu	0.137±0.016*	0.107
Cr	3730±10	3600	Gd	0.259±0.052*	0.43
Sc	12.3±0.01	12.7	Tb	0.085±0.015*	0.074
Dy	0.31±0.29	0.42	Ho	0.243±0.051*	0.12
Sm	0.39±0.03, 0.343±0.004*	0.29	Yb	0.347±0.012*	0.32
La	0.54±0.07, 0.552±0.018*	0.44	Lu	0.0462±0.002*	0.058
Ir	1.28±0.04	0.81			

\*为贫化分析结果; 表中所列误差为计数统计误差1σ。

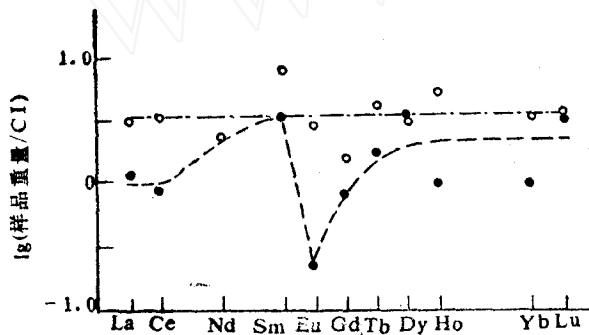


图1 Allende陨石壳层球粒(A1Z-31)的稀土配分模式

●——球粒壳层; ○——球粒核部。

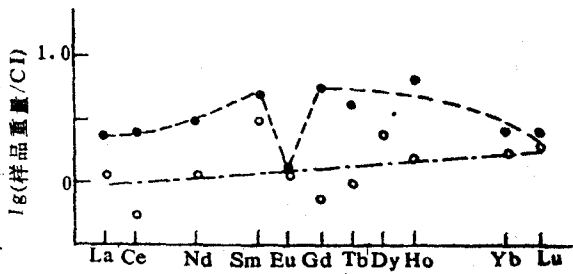


图2 Allende陨石壳层球粒(A1Z-2)的稀土配分模式

●——球粒壳层; ○——球粒核部。

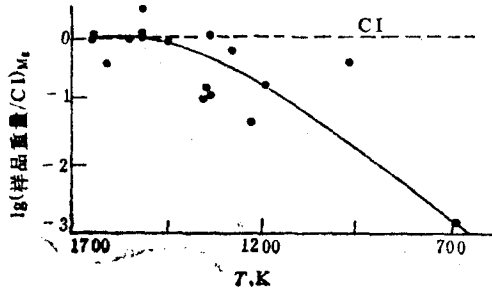


图3 Allende陨石壳层球粒中核部样品的元素贫化系数图

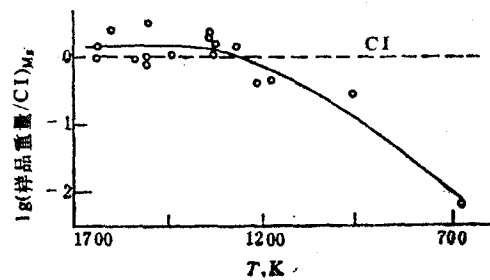


图4 Allende陨石壳层球粒中壳层样品的元素贫化图

示该元素越易挥发。图中的实线为各元素投影点之拟合曲线。由于分析手段的局限，图中较低温区的点数少了些，但这对总体趋势的影响并不大。从图中可看出，壳层样品拟合得较好，其元素贫化系数随元素凝聚温度的降低而逐渐减小。相反，核部样品的投影点则较多离散，其元素贫化系数与元素凝聚温度间并无明显的相关性。表3中其它三对样品的作图结果与上述特征相同。

壳层样品的元素贫化系数随元素凝聚温度的降低而逐渐减小的特征反映了其具有冷凝吸积成因，这与该类样品的堆积结构特征相一致。相反，核部样品的元素贫化系数图以及其熔融结构特征表明它是熔融成因。壳层样品与核部样品的稀土配分横式差异也更进一步地说明球粒的这二部分具有不同的成因。

### 参 考 文 献

- [1] Clarke, R.S. et al., The Allende, Mexico, Meteorite Shower. *Smithsonian Contributions to the Earth Sciences*, No.5 (1971) .  
 [2] Rubin, A.E. et al., *Meteoritics*, 20, 750(1985).  
 [3] Wilkening, L.L. et al., *Meteoritics*, 20, 785(1985).

## INSTRUMENTAL AND RADIOCHEMICAL NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS OF LAYERED CHONDRULES FROM ALLENDE METEORITE

YUAN LING

(*Institute of Atomic Energy, P.O. Box 275, Beijing*)

LIN YANGTING OUYANG ZIYUAN

(*Institute of Geochemistry, Academia Sinica*)

### ABSTRACT

Samples of layered chondrules from allende meteorite are analysed by instrumental and radiochemical neutron activation analysis for Al, Au, Ca, Ce, Co, Cr, Dy, Eu, Fe, Gd, Ho, Ir, La, Lu, Mg, Mn, Na, Nd, Ni, Sc, Sm, Tb, Ti, V and Yb. The distribution and relative position of these elements in the rims and core of layered chondrule can provide some evidence for studying chondrule formation.

**Key words** Allende meteorite, Layered chondrule, Instrumental and Radiochemical Neutron Activation Analysis,