第12卷 第1期 空间科学学报 Vol. 12, No. 1
1992 年 1 月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Jan., 1992

宁强碳质球粒陨石基质及暗色边化学成份研究

方 虹 冯锡璋 柴之芳
(中国科学院高能物理研究所，北京)

摘 要

采用仪器中子活化方法分析了宁强碳质球粒陨石基质及暗色边化学成份．结果表明，宁强陨石的基质比全岩富集轻稀土和亲硫元素，并大致具有与 Allende 陨石基质相似的稀土特征．暗色边与陨石基质的差别在于：前者富 FeO 而贫难熔元素．推测陨石基质与暗色边物质来源于太阳星云不同区域．与形成暗色边有关的突发性事件可能曾多次在太阳星云的不同区域中发生．

关键词 宁强碳质球粒陨石基质，暗色边，化学成份

一、引 言

基质是球粒陨石主要组成物质之一．它是一种色暗、粒细和富铁的物质[1]．有人将球粒间的充填物统称为基质[2]，也有人只将粒度小于 100μm 的充填物称为基质[3]．后一种表述与本文讨论的基质概念相同．

宁强陨石是目前我国收集到的唯一一块碳质球粒陨石，于 1983 年降落在陕西省宁强县．已有工作确认此陨石属 CV3 氧化型碳质球粒陨石，与著名的墨西哥 Allende 陨石岩石学类别相同．王道德等[4]、Rubin 等[5]、林扬挺*曾采用电子探针技术对宁强陨石基质主量元素进行过考察，但尚未有人对其微量元素成份进行研究．

本文报道了采用仪器中子活化方法对宁强陨石几种不同产状的基质物质化学成份的分析结果，并将这些结果分别与宁强全岩以及 Allende 陨石基质的化学成份进行了比较．此外，文章还对特殊产状的基质物质——暗色边的形成环境及过程进行了探讨．

二、取样方法及样品性质

下面先对不同产状基质样品的取样方法及样品性质分别加以介绍．

(1) 平均基质样品 NQ-J-2

本文于 1991 年 1 月 25 日收到．

* 林扬挺，球粒陨石各组分的实验研究及太阳星云凝聚过程的理论计算，硕士论文，1986．

由于基质的化学组成在陨石各部位的变化较大*，因而获取可以代表陨石基质平均成份的样品比较困难。Tanaka 等[6]曾分析过 Allende 陨石基质的稀土元素丰度，他们的取样方法是：将磨细至约 200 目（<74μm）的全岩样品置于密度为 3.32g/cm³ 的碘化钾稀中离心分选，取密度大于碘化钾稀的分离物作为相对贫化球粒等物质的基质样品。我们的采样方法如下：利用宁强陨石质地疏松易碎的特点，将粗碎全岩时自然震碎的粉末不经研磨直接过筛，取小于 300 目（<56μm）的筛选物作为平均基质样品（NQ-J-2）。由于这样取得的样品来自于陨石各不同部位，并尽可能地避免了球粒等陨石组成物碎块对样品的混入，而且不曾接触化学试剂，因而我们认为较之前一种取样法，用此法获得的样品在成份上应更加接近于真实的陨石基质。为了检验 NQ-J-2 对基质的代表性，我们将 NQ-J-2 进行了短照仪器活化分析，将结果与电子探针对宁强基质多点分析的平均值[5]进行比较（见表 1）。可以看到，除个别元素外（如 NiO），两种分析结果有较好的一致性，从而表明 NQ-J-2 对宁强基质平均成份具有较好的代表性，也就保证了对 NQ-J-2 分析得到的痕量元素成份具有较好的代表性。

表 1 宁强碳质球粒陨石基质化学成份（wt.%）

样 名	NQ-J-2	2
Na_2O	0.52	1.2±1.3
MgO	16.87	14.8±1.7
FeO	36.16	36.3±4.2
Cr_2O_3	0.54	0.39±0.17
Al_2O_3	3.60	4.1±1.1
MnO	0.14	0.24±0.04
NiO	1.39	0.23±0.21
分析方法	中子活化	电子探针[5]（24 点平均）

（2）局部微区样品

选取距陨石熔壳＞ 3cm 的内部样品，在双目镜下用不锈钢针在某一小区域中（约几个毫米范围）小心挖出基质，由此得到样品 NQ-J-3、S4-8-2(J_1)、I-2-J_1 和 I-2-J_2。其中 S4-8-2(J_1) 和 I-2-J_1 取自紧靠难熔包体边缘的基质，I-2-J_2 取自 I-2-J_1 外围的基质。

相对于各类基质样品，作为暗色边样品，I-2-J_1 有一些特殊性质需作一些说明。一些作者注意到在许多球粒陨石中存在一种特殊的基质物质，这种物质以一种薄层的产状包裹于某些包体、球粒的外围，各层圈厚度在几十到几百微米不等，[7,8] 由于层圈相对于寄主陨石基质颜色更深，故常被称之为暗色边。现在在 CV、CO、CM 及普通球粒陨石中均已观察到此类物质。各种陨石中的暗色边具有一些共同的特征，如组成物质粒度比寄主陨石基质更细；圈围轮廓形状与被裹物形状无关，普遍为浑圆状；其成份也与被裹物成份无关；比基质富 FeO。目前已对暗色边进行过多方面的研究[1,2,9-12]，但尚未见到对其微量元

* 林扬挺，球粒陨石各组分的实验研究及太阳星云凝聚过程的理论计算．硕士论文，1986

素的研究报道．样品 I-2-J_1 即具有这种暗色边的典型特征．其层厚约 500μm，外形浑圆，与样品 I-2-J_2 极易剥离，被包裹的包体 I-2 主要矿物组成为钙铝黄长石、镁尖晶石．目前在宁强陨石中只发现这一个暗色边样品．

三、分析方法及结果

选好的样品在干燥器中自然干燥几天后，用微量电子天平称重(感量 1μg)．用于短照活化分析的样品，采用称量纸包样，长照活化分析的样品采用高纯铝箔包样．短照在中国原子能科学院国产微堆中完成．中子通量为 5×10^{11}—1×10^{12}neutron/cm^2/s，照射时间 300—600s，测量在 S-80 型 Ge(Li)γ 谱仪上进行，经冷却时间、死时间及中子通量等校正后，得到分析结果(表 1)．长照在重水反应堆中完成．中子通量 8.3×10^{1} neutron/cm^2/s，测量装置为 SCORPIO-3000 程控γ谱仪，所用的 Ge(Li) 探测器的分辨率相对于 ^{60}Co 的 1332.5keV 能峰为 1.8—2.0keV．死时间控制在 10—30%．分析数据质量用标准参考物 (SD-N-1/2) 控制．结果列于表 2．

表 2　宁强陨石基质仪器活化分析结果*(ppm 或 wt.%)

性质 / 样名 / 元素	平均基质	局部基质			
	NQ-J-2	NQ-J-3	S4-8-2-J_1	I-2-J_1	I-2-J_2
Ir	0.566±0.019	0.567±0.009	0.618±0.121	0.628±0.063	0.489±0.029
La	0.98±0.18	<0.54	<1.07	<0.60	0.33±0.15
Sm	0.61±0.04	0.18±0.04	0.87±0.13	0.20±0.07	0.24±0.03
Eu	<0.21	<0.78	0.97±0.40	0.45±0.17	0.35±0.07
Yb	0.73±0.32	<0.18	<2.38	<1.40	1.44±0.58
Lu	<0.20	—	<0.43	<0.26	<0.15
Sc	11.1±0.12	6.0±0.1	12.1±0.4	6.1±0.02	7.0±0.12
Au	0.130±0.005	0.132±0.011	0.102±0.024	0.125±0.015	0.526±0.027
Fe(%)	28.1±0.2	38.0±0.6	27.7±0.5	31.7±0.4	26.8±0.2
Co	646±3.6	745±3.0	536±8.5	701±6.7	1550±8.5
Ni(%)	1.09±0.09	1.43±0.02	1.42±0.42	1.18±0.27	1.12±0.15
Cr	3670±20	3430±98	2880±56	3140±342	4020±244
As	1.31±0.26	<0.74	<1.53	2.70±0.64	1.82±0.31
Zn	83.1±34.4	251±15	<163	<325	133±60

* 误差为 1σ 标准偏差．

四、讨　论

(1) 平均基质 NQ-J-2

图 1 给出宁强平均基质NQ-J-2、全岩(数据取自文献[6])以及Allende 陨石基质(数据取自文献[12])某些元素相对于 CI 的丰度．可以看出，宁强基质中 La、Sm 比全岩略为

丰富，而亲铁元素 Ir、Au、Co、Ni 比全岩略匮乏，亲硫元素 As、Zn 比全岩明显富集，Fe、Sc、Cr 的丰度则与全岩非常相近或相同。

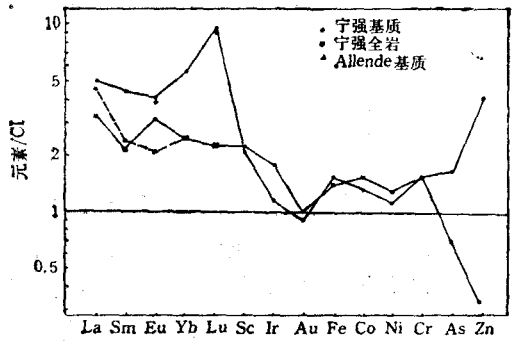

图 1 宁强，Allende 陨石基质及宁强陨石全岩相对于 CI 陨石元素丰度

Fig.1 The element abundances of the Ningqiang and Allende matrix, the Ningqiang whole rock to CI meteorite.

与 Allende 陨石基质相比，宁强基质中的稀土元素略为富集或具有富集的趋势，如 Yb、Lu。

Tanaka 等的研究结果[6]表明，Allende 陨石基质具有比全岩富轻稀土的特征，这与得自宁强陨石的结果相同，但图 2 表明，宁强陨石基质轻稀土相对于全岩的富集比 Allende 陨石（数据取自文献[6]）更显著。

在宁强基质 NQ-J-2 中，Sm/Eu < 2.9，而 Allende 基质中为 2.9[6]，由于 Allende 基质稀土模式中 Eu 为负异常，因而宁强基质的稀土模式可能也具有 Eu 负异常的特征。

上述结果表明，宁强与 Allende 基质的稀土特征基本相似，这有利于两种物质产于相似星云环境的认识。

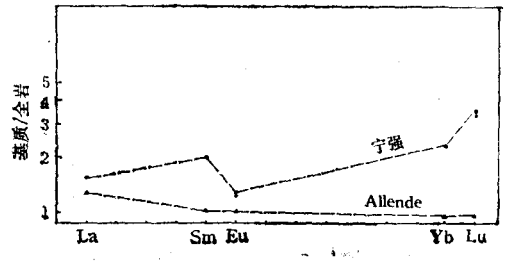

图 2 宁强与 Allende 陨石基质/全岩的稀土元素比值变化图

Fig. 2 The REE ratioes of the matrix to the whole rock of the Ningqiang and Allende meteorite respectively

(2) 局部基质样品

将局部基质样品 NQ-J-3 与平均基质样品 NQ-J-2 比较可看出，前者极富铁，含量高达 38%wt，但难熔亲岩元素如稀土和 Sc 则较 NQ-J-2 贫化，然而它的难熔亲铁元素 Ir 的丰度却与 NQ-J-2 很相似，表现出两类难熔元素在 NQ-J-3 中存在一定的分馏。前面已提到宁强陨石不同部位主量元素的丰度变化较大*，这里的结果则进一步表明微量元素同样具有分布不均匀性。

样品 S4-8-2(J_1) 的成份与平均基质 NQ-J-2 相似，这表明难熔包体 S4-8 对其周

* 林扬挺，球粒陨石各组分的实验研究及太阳星云凝聚过程的理论计算，硕士论文，1986.

围物质的成份没有影响.

样品 I-2-J_1 与平均基质样品差别较大,而与上述 NQ-J-3 的成份非常相似,即都具有相对于 NQ-J-2 富铁、贫难熔亲岩元素的特征，只是其铁含量 (31.7%) 低于 NQ-J-3(38.0%).

样品 I-2-J_2 紧挨着 I-2-J_1，但成份有显著变化，最明显的是其铁含量减少(为26.8%)，接近于 NQ-J-2(28.1%)，金、钴的含量增加.

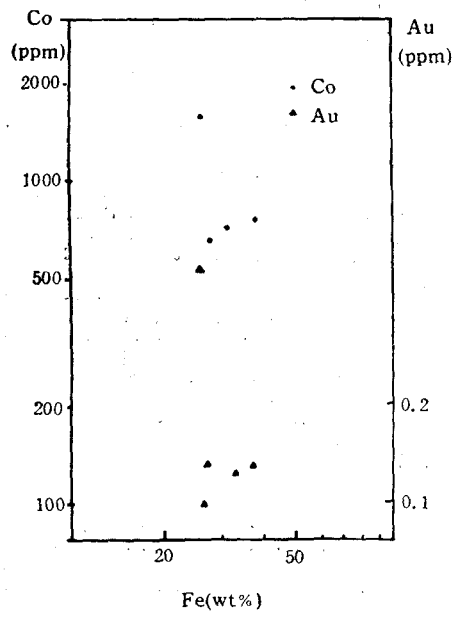

图 3　宁强基质 Co、Au 与 Fe 的相关关系图

Fig. 3　Correlation between Co、Au and Fe in the Ningqiang Matrix

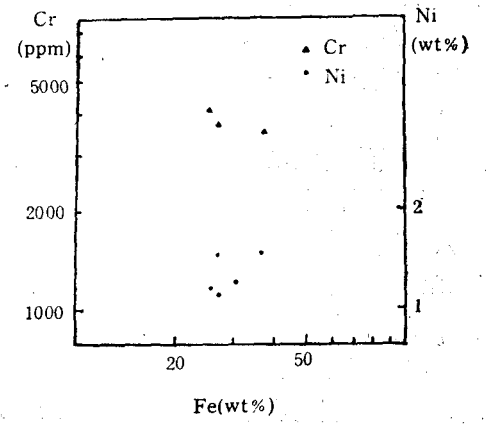

图 4　宁强基质 Cr、Ni 与 Fe 的相关关系图

Fig. 4　Correlation between Cr、Ni and Fe in the Ningqiang Matrix

图 3、图 4 给出了表 2 中各基质样品的 Co、Au、Cr、Ni 等相对于 Fe 的相关关系，可以看到 Co、Au、Cr 与 Fe 之间均无明显的相关性. 由于陨石中 Co、Ni、Au 的载体主要是铁镍金属相，因而这种不相关性应表明，铁含量的变化并非样品中铁镍金属相或铬铁矿等富铁矿物含量变化所致，因而铁可能主要以铁的氧化物形式存在，这也就是说暗色边是一种富氧化铁的物质，这与前人的结果相似[2,13].

目前关于暗色边的成因尚不清楚，但倾向性的看法是：暗色边不是被裹物在陨石母体内与其周围基质反应的结果，它是在进入陨石母体之前，在星云中通过吸积过程形成的[7]. 从我们的工作中，对于这一问题我们有如下认识：

(1) 形成暗色边的星云区域特征

① 暗色边与陨石基质成份的差别表明，二者应来自于不同的星云物质源区，前面提到的暗色边与陨石基质组成物质粒度上的差别也支持这一认识.

② 暗色边相对于陨石基质富 FeO、极贫难熔元素的成份表明，形成暗色边物质的星云区域比陨石基质形成区在环境总体特征上更加低温氧化.

③ 宁强陨石中暗色边数目较少这一情况表明，不仅暗色边与陨石基质物质源区不同，而且陨石的吸积也不会在形成暗色边的星云区域中完成，否则不易解释为何不是陨石

所有组份都具有暗色边.

(2) 暗色边的形成过程

根据以前的工作,对于暗色边的形成过程,我们的考虑如下:

如果上述"陨石形成区与暗色边形成区位于不同星云区域"的认识符合客观实际,那么被暗色边包裹的物质(如球粒等)必定曾侵入过暗色边形成区星云,我们可以想到这种侵入可能通过两种方式完成:其一,被裹物侵入此区停留一段时间后,再在某种作用影响下离开这一区域;其二,被裹物在某作用影响下,穿过此区而未曾驻留.而这两种方式的差别就在于,对前者,被裹物进入与离开暗色边形成区,不是在同一作用影响下完成的.而后者则是在同一作用影响之下完成的.对这两种方式,我们倾向于后者.理由是:

① 暗色边组成物质中无球粒、包体等高温过程产物,表明暗色边形成区内罕有形成这些物质的高温过程,例如漂浮在星云中的尘埃彼此多次碰撞重熔冷凝形成球粒的过程[14-16],此外,根据暗色边组成物质粒度比陨石基质更为细小的特征可以推测,其形成区星云物质颗粒间的相互作用力较弱,至使最终形成的尘埃粒子的粒度细小.因此可以想见,暗色边形成区的基本特征是既暗冷又平静,而这种环境不太可能为已形成暗色边的被裹物提供使其离开的影响力.

② 目前的研究已知,各个陨石中每个暗色边圈层的厚度相似 (<1mm),这似乎表明,这些被裹物在暗色边形成区星云中无论是穿过还是驻留,应该经历了大致相等的时间,这就意味着要求形成于极为广大星云空间的各小天体经历极为相同的天体力学过程,也即受到相同作用的影响,而这一点目前尚缺乏证据.

以上所述表明,不论是受到来自于暗色边形成区内部还是其外部作用的影响,致使被裹物进入暗色边形成区,再停留一段时间后离开的过程是不太可能出现的,因而暗色边是经被裹物穿过某一冷而安宁的星云区域的过程中,外表吸附细小尘埃粒子而形成的.考虑到暗色边厚度极薄的特点,还可推测,其形成区域在空间上的范围可能较为有限,更确切地说此区相对于陨石形成区是一片狭小的星云区域.

(3) 形成暗色边的天文机制

暗色边外围轮廓普遍为浑圆状,而其内部结构又显示出非火成成因特征,这表明被裹物对暗色边形成区的穿越,并非一种简单的机械运移,而应是被裹物在高速旋转的状态下穿过暗色边形成区而形成的,而这样一种运动状态本身意味着,被裹物的运移可能与星云中的某种突发性作用相联系,也就是说,暗色边本身暗示着太阳星云中曾经存在某种突发性事件,至于这种事件与被裹物如球粒、包体等的起源有无关联,则有待进一步探讨.由于已在许多球粒陨石中都发现有暗色边,因而一个自然的推测是,这种突发性事件可能在太阳星云的不同空间区域中曾多次发生过.

五、结 论

本工作得到的主要认识如下:

(1) 宁强陨石基质比全岩富集轻稀土和亲硫元素.

(2) 宁强与 Allende 陨石基质的稀土特征大致相似(如富轻稀土、Eu 具负异常特

征），但宁强基质的轻稀土丰度相对于全岩的富集程度略高于 Allende 陨石的相应值。

（3）宁强陨石基质在陨石不同部位的化学成份分布不均匀。

（4）暗色边物质与平均陨石基质成份差别明显，前者更富 FeO 而贫难熔元素，推测二者来自于太阳星云不同区域，暗色边形成区相对更为低温氧化。

（5）暗色边可能经由如下过程形成：星云中的微小天体物质如球粒、包体等，由于受到某种突发性事件的影响，穿越了星云某一暗冷狭小的区域，星云尘埃吸积在小天体表面形成暗色边。与此过程有关的突发性事件可能曾多次在太阳星云的不同区域中发生。

参　考　文　献

[1] Scott, E. R. D. et al., *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. **48**, p. 1741, 1984.

[2] Allen, J. S. et al., *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. **44**, p. 1161, 1980.

[3] Dodd, R. T., Meteorites: A Petrologic-Chemical Synthesis, Cambridge Univ. Press, p. 120, 1981.

[4] 王道德等，地球化学，第 4 期，第289页，1988。

[5] Rubin, A. E. et al., *Meteoritics*, Vol. **23**, p. 13, 1988.

[6] Tanaka, T. et al., *Icarus*, Vol. **19**, p. 523, 1973.

[7] Metzler, K. et al., Lunar Planet. Sci. Conf. XIX, p. 772, 1988.

[8] Frank, W., Chondrules and Their Origins (Ed. by E. A. King), Lunar and Planetary Institute, p. 301, 1983.

[9] King, T. V. V. et al., *Icarus*, Vol. **48**, p. 460, 1981.

[10] Grossman, L. et al., *Rev. Geophys. Space Phys.*, Vol. **12**, p. 71, 1974.

[11] Matsunami, S., 9th Proc. Symp. Ant. Met., p. 126, 1984.

[12] 柴之芳等，科学通报，第30卷，第1240页，1985。

[13] Taylor, G. J. et al., Chondrules and Their Origins (Ed. by E. A. King), Lunar and Planetary Institute, p. 267, 1983.

[14] Wipple, F. L., On Certain Aerodynamic Processes for Asteriods and Comets from Plasma to Plane (Ed. by A. Elvius), W. John and Sons, p. 211, 1972.

[15] Wasson, J. T., *Rev. Geophys. Space Phys.*, Vol. **10**, p. 711, 1972.

[16] Kieffer, S. W., *Science*, Vol. **189**, p. 333, 1975.

THE STUDY OF THE CHEMICAL COMPOSITIONS OF THE NINGQIANG CARBONACEOUS CHONDRITE MATRIX AND DARK RIM

Fang Hong Feng Xi-zhang Chai Zhi-fang

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing)

Abstract

The chemical compositions of the Ningqiang carbonaceous chondrite matrix and a dark rim are analysed with instrumental neutron activation method. The results indicate that there are more abundant light REE and chalcophile elements in the matrix of Ningqiang than in the whole rock sample of Ningqiang, and it roughly exhibits a similarity of REE model between the Ningqiang and Allende matrices. The difference between the dark rim and Ningqiang matrix is that the former has richer FeO and poorer refractory elements. It is deduced that the meteorite matrix and the dark rim came from different source material regions of the solar nebula. The event related to the formation of the dark rim might ever have taken place many times in the different regions of the solar nebula.

Key words Ningqiang carbonaceous chondrite matrix, Dark rim, Chemical compositions