

新疆铁陨石的物质组成和微量元素特征

陈永亨 王道德

(中国科学院地球化学研究所广州分部)

内容提要 本文运用 INAA, RNAA 和化学分析方法测定了新疆铁陨石不同部位样品中的微量元素含量, 并根据其结果论证了铁陨石的化学分类方法及适用性, 讨论了新疆铁陨石母体的元素分布规律、母体形成条件及其成因。

关键词 铁陨石 化学组成 微量元素丰度 陨石分类学 新疆

目前, 有关铁陨石的研究主要集中在多元素的丰度分布及其化学分类方面, 根据微量元素、结构构造和特殊矿物组成等参数将铁陨石分作不同母体来源的化学群^[1]。群与群之间由于经历的化学作用过程不同而表现出不同的形成成因。由岩浆作用形成的铁陨石, 群与群之间具有相似的化学和矿物学趋势, 微量元素丰度在群内变化较小。非岩浆作用形成的铁陨石表现出完全不同的化学、矿物学特征, 群内微量元素丰度变化较大, 并含有球粒陨石组成的硅酸盐, 母体具有冲击作用的特征^[2-5]。铁陨石的微量元素丰度记录了母体经历的宇宙历史信息, 对它们进行深入研究, 将为太阳系行星的形成和演化提供充足的资料和证据。

新疆铁陨石是我国第一大铁陨石, 居世界第3位, 重约28t。在前人研究的基础上, 对新疆铁陨石进行多样品的分析研究, 探讨大铁陨石表面物质分布的均匀性及丰度特征, 对于揭示其母体经历的岩浆作用和固化分异作用提供有力的证据, 这是非常有意义的。

1 实验方法

实验采用中子活化分析法(INAA)测定 Fe, Ni, Co, Cu, Cr, Mn, Ga, Ge, Ir, Au 和 As。同时选用原子吸收光谱法测定 Ni, 以对 INAA 的 Ni 数据进行控制对比。选用化学分析法测定 P 和 S。放射分离中子活化分析法(RNAA)测定 Ru, Pd, Os, Ir, Pt 和 Au 含量。实验条件和样品及标准制备参见文献[6, 7]。

由于 Mn 的半衰期短($T_{1/2} = 2.58\text{h}$)和污染来源多, 对 Mn 的分析应非常小心。首先对所有材料和标准样品进行空白试验, 排除污染因素, 然后对 GSD-2 标样进行分析, 数据列于表1。表2给出了 RNAA 对 Canyon Diablo 铁陨石的分析和文献值, 二者是一致的。

2 结果与讨论

2.1 物质组成

对新疆铁陨石表面不同部位的26块样品的 INAA, RNAA 和化学分析结果分别根据取样

部位在表 3—5 和表 6 中给出。INAA 对 Fe 的分析表明, 26 个样品 Fe 平均含量为 88.11%。由于铁陨石中 Fe 含量太高, 可能导致 10% 以上的误差, 所以表中没有给出 Fe 的数据, 对 Fe 不作讨论。

表 1 GSD-2 标样中 Mn 的分析数据对比

Table 1 The concentration of Mn in GSD-2 standard sample

实 验	标样重量(mg)	Mn($\mu\text{g/g}$)	
		本 文	推荐值
1	31.08	266	240
2	58.58	268	(210—270)

表 2 Canyon Diablo 铁陨石的贵金属含量($\mu\text{g/g}$)Table 2 The concentration of noble metal elements in Canyon Diablo iron meteorite ($\mu\text{g/g}$)

元 素	Au	Pt	Pd	Os	Ru	Ir
本 文	1.5	8.0	4.9	2.3	6.6	1.9
文 献	1.47 ^{①②}	8.0 ^① 7.4 ^③	3.6 ^③ 4.2 ^④	2.1 ^①	5.2 ^① 6.4 ^③	2.0 ^① 1.8 ^③

① Croket, 1972. ② Fouche and Smales, 1966.

③ Nichiporuk and Brown, 1965. ④ Mermelangas, Buchwald, Malvin and wasson, 1979.

表 3 新疆铁陨石母体前端部位样品的化学组成

Table 3 The chemical compositions of the forward position samples on Xinjiang iron meteorite

样品编号	Ni (%)	Co (%)	Cu ($\times 10^{-6}$)	Cr ($\times 10^{-6}$)	Mn ($\times 10^{-6}$)	Ga ($\times 10^{-6}$)	Ge ($\times 10^{-6}$)	Ir ($\times 10^{-6}$)	Au ($\times 10^{-6}$)	As ($\times 10^{-6}$)	S ($\times 10^{-6}$)	P ($\times 10^{-6}$)
L-1	9.96	0.479	108	38.1	0.43	15.5	24.4	0.11	1.70	11.2	24	210
L-2	10.1 10.0 ^①	0.481	110	42.6	0.48	16.9	22.2	0.11	1.80	14.1		540
L-3	10.8	0.504	114	32.4	8.2	19.8	23.8	0.13	1.85	15.5	61	340
L-5	10.4 10.0 ^①	0.481	104	45.9	0.59	17.2	38.7	0.12	1.61	14.7		680
L-6	10.2 10.0 ^①	0.486	137	31.8	0.58	20.1	25.1	0.15	1.80	18.2	140	380
L-7	10.2	0.486	113	44.6	0.87	16.6	35.8	0.16	1.82	14.5	61	270
L-8	10.0 9.76 ^①	0.470	93.4	60.7	0.52	16.3	25.0	0.19	1.69	13.1		310
L-9	9.56 9.51 ^①	0.464	93.3	57.8	0.48	16.5	27.5	0.19	1.68	14.0		250
L-11	10.3 9.90 ^①	0.472	112	—	0.81	17.8	34.6	0.15	1.75	14.6	30	330
L-13	8.55	0.419	97.1	22.9	0.49	15.3	15.4	0.14	1.50	12.1	63	430
L-14	9.30 9.16 ^①	0.476	96.9	—	0.53	16.8	28.6	0.13	1.76	14.1		250

① Ni 的原子吸收光谱数据。“—”代表低于检测限。

表4 新疆铁陨石母体侧端或尾端部位样品的化学组成

Table 4 The chemical compositions of the side and back position samples on Xinjiang iron meteorite

样品编号	Ni (%)	Co (%)	Cu ($\times 10^{-6}$)	Cr ($\times 10^{-6}$)	Mn ($\times 10^{-6}$)	Ga ($\times 10^{-6}$)	Ge ($\times 10^{-6}$)	Ir ($\times 10^{-6}$)	Au ($\times 10^{-6}$)	As ($\times 10^{-6}$)	S ($\times 10^{-6}$)	P ($\times 10^{-6}$)
L-10	9.77 9.96 ^①	0.449	99.3	39.0	0.48	16.9	32.4	0.11	1.61	14.0	42	220
L-12	9.86	0.523	76.5	—	0.52	17.2	23.7	0.19	1.71	15.1	61	240
L-15	9.35 9.28 ^①	0.436	96.7	21.7	0.56	15.2	32.6	0.11	1.50	12.5	27	570
L-16	9.27	0.436	112	25.8	0.60	16.4	19.0	0.11	1.60	13.0	70	340
L-24	9.92	0.426	104	13.4	0.47	18.2	22.4	0.33	1.58	14.5		290
L-26	8.84	0.493	97.5	31.0	0.51	18.2	19.1	0.13	1.66	14.6	31	390
L-27	9.58	0.477	106	33.1	0.57	19.1	17.9	0.16	1.72	15.5		240

① Ni 的原子吸收光谱数据;“—”表示低于检测限。

表5 新疆铁陨石前人取样区样品的化学组成

Table 5 The chemical compositions of specimens from former sampling positions on Xijiang iron meteorite

样品编号	Ni (%)	Co (%)	Cu ($\times 10^{-6}$)	Cr ($\times 10^{-6}$)	Mn ($\times 10^{-6}$)	Ga ($\times 10^{-6}$)	Ge ($\times 10^{-6}$)	Ir ($\times 10^{-6}$)	Au ($\times 10^{-6}$)	As ($\times 10^{-6}$)	S ($\times 10^{-6}$)	P ($\times 10^{-6}$)
L-17	9.56 9.62 ^①	0.456	103	53.7	0.46	17.1	32.2	0.11	1.74	15.5		910
L-18	9.16	0.470	104	69.3	0.98	17.3	27.6	0.16	1.74	14.7		890
L-19	8.27	0.480	96.4	—	0.45	15.9	25.0	0.14	1.58	14.5	26	310
L-20	9.92	0.474	117	—	0.55	18.7	18.8	0.14	1.85	13.4		290
L-21	9.47 9.82 ^①	0.457	111	—	0.49	17.7	26.7	0.13	1.78	15.5		187
L-22	9.70	0.477	106	18.3	0.63	17.0	22.7	0.14	1.76	11.0	58	380
L-23	9.50 9.68 ^①	0.439	103	32.7	0.45	15.0	29.8	0.10	1.53	12.8		190
L-28	9.65 9.87 ^①	0.477	107	32.9	0.61	18.0	17.9	0.15	1.64	13.8	207	580

① Ni 的原子吸收光谱数据。“—”表示低于检测限。

不同取样部位样品的元素平均含量比较(表7)表明,母体前端部位样品较其他部位样品更富 Ni。从表6和表7中各元素平均值的标准偏差可见,Ni,Co,Cu,Ga,Ge,Ir,Au,As,Ru,Pd,Os和Pt等元素在Fe-Ni基体中的分布一般没有明显的变化。Ir由于本身绝对含量低,单次测定造成的误差可能更大,⁷⁵Ge的 γ 射线特征峰处于低能部分,受到康普顿峰的干扰极大,灵敏度低,导致分析数据偏离较大。从与Ge密切相关的Ga的数据来看(铁陨石中Ga和Ge相关系数为0.94^[8]),Ge的变化在期望的误差范围内。Cr,Mn,S和P的变化远远超出实验本身的误差范围,它们在铁陨石中的组成分布是不均匀的,这与矿物学的研究结果^[9]一致。这些元素主要以氧化物、硫化物或磷化物包体存在于Fe-Ni金属中,制样过程不可能完全消除这种影响。而亲铁元素主要以单质形式均匀分布于Fe-Ni金属中,在固化过程中和Fe-Ni形成合金。

表 6 新疆铁陨石的贵金属元素含量

Table 6 The concentrations of noble metal elements on Xinjiang iron meteorite

样品编号	Au($\times 10^{-6}$)	Ru($\times 10^{-6}$)	Pd($\times 10^{-6}$)	Os($\times 10^{-6}$)	Ir($\times 10^{-6}$)	Pt($\times 10^{-6}$)
L-1	1.9	2.1	3.6	0.22	0.14	4.9
L-10	1.8	2.0	3.2	0.18	0.09	4.9
L-12	1.8	2.0	5.3	0.30	0.15	5.1
L-15	1.8	1.3	4.1	0.21	0.15	4.4
L-18	1.7	2.2	3.7	0.21	0.21	4.5
L-19	1.9	1.8	3.9	0.17	0.15	5.5
L-24	1.7	2.0	3.8	0.20	0.11	4.2
L-28	1.8	1.6	4.4	0.19	0.13	4.8
平均值	1.8 \pm 0.08	1.9 \pm 0.3	4.0 \pm 0.63	0.21 \pm 0.04	0.14 \pm 0.04	4.8 \pm 0.42

注: 为 RNAA 数据。

表 7 新疆铁陨石不同取样部位样品的平均化学组成对比

Table 7 The comparison of average chemical compositions between different sampling positions of the Xinjiang iron meteorite

样品编号	Ni (%)	Co (%)	Cu ($\times 10^{-6}$)	Cr ($\times 10^{-9}$)	Mn ($\times 10^{-9}$)	Ga ($\times 10^{-9}$)	Ge ($\times 10^{-9}$)	Ir ($\times 10^{-9}$)	Au ($\times 10^{-9}$)	As ($\times 10^{-9}$)	S ($\times 10^{-9}$)	P ($\times 10^{-9}$)
前端部位(11)	9.94	0.474	107	41.9(9)	0.58(10)	17.2	27.4	0.14	1.72	14.2	63	363
侧端尾端部位(7)	9.51	0.463	98.8	27.3(6)	0.53	17.3	23.9	0.13	1.63	14.2	46	327
前人取样区(8)	9.40	0.466	106	41.4(5)	0.58	17.1	25.1	0.16	1.70	13.9	97	467
平均值	9.66 ± 0.64	0.469 ± 0.022	104 ± 12	37.4(20) ± 14.7	0.56(25) ± 0.14	17.2 ± 1.3	25.7 ± 6.1	0.15 ± 0.05	1.69 ± 0.10	14.1 ± 1.50	64 ± 51	385 ± 198

注: 括号中数字为样品数。

根据 26 个样品中的 Ga, Ge, Ni 含量和铁陨石群划分参数, 相对于 III AB 群, 在同一 Ni 含量, 新疆铁陨石的 Ga 和 Ge 含量偏低; 铁纹石带宽较大; 富含陨碳铁镍矿^[9], 所以它的化学分类属 III E 群。但 Ni 含量较 III E 群的平均含量高 13.8%。

2.2 中等挥发性元素 Ge, Ga, Cu, As, Au 的演化特征

由于 Ge, Ga, Cu, As 和 Au 的挥发性, 其在太阳星云凝聚过程中曾经历过较大的凝聚分馏作用, 因此, 在铁陨石中具有较大的分布范围, 其最大含量/最小含量值与挥发性有着必然的联系(表 8)^[10]。除了 As 和 Cu 相反外, 其它元素在铁陨石中的分布范围随挥发性的增加而增加。但在单个化学群中, 除了 IAB 和 II CD 两个非岩浆群的最大值/最小值的比值 > 2 外, 其余群内均 < 2 , 表明具有较宽 Ga 和 Ge 含量范围的群保存了太阳星云分馏的证据, 它们没有经历岩浆分异作用。同时揭示决定铁陨石组成的作用过程还有岩浆分异作用和固化分离作用。

新疆铁陨石属 III E 群, 是岩浆作用的分异产物, 固化分馏对元素的影响可以用 Rayleigh 方程来处理, 即:

表8 中等挥发性元素的凝聚温度与铁陨石中的含量范围^[10]
 Table 8 The condensation temperature of moderately volatile elements
 and the concentration range in iron meteorites^[10]

元素	气相形式	凝聚形式(主相)	50%的平衡星云凝聚温度		铁陨石中 最大含量/最小含量
			10 ⁻⁴ 大气压	10 ⁻⁶ 大气压	
Au	Au(g)	Au(Fe-Ni)	1225	1074	11
As	As(g)	As(Fe-Ni)	1157	1012	55
Cu	Cu(g)	Cu(Fe-Ni)	1037	910	36
Ga	Ga(g)	Ga(Fe-Ni)	918	738	890
Ge	Ge(g)	Ge(Fe-Ni)	825	702	15400

$$X_x = \bar{X} \cdot K_x \cdot (1 - f)^{K_x - 1} \quad (1)$$

这里 X_x 是元素 x 在固相中的浓度, \bar{X} 是元素 x 在熔体中的浓度, f 是固相析出分数, K_x 为元素 x 在固液相之间的浓度比, 即分配系数

$$K_x = X_x / X_l \quad (2)$$

当固相刚刚开始析出时, $X_l = \bar{X}$ 。所以第一个形成的固相组成应为 $\bar{X} \cdot K_x$ 。当元素 x 和 y 同时在固相中析出时, 联立两个方程则可消去 f , 对元素浓度取对数, 则得到线性方程:

$$\log x = [(K_x - 1) / (K_y - 1)] \log y + \text{常数} \quad (3)$$

从(3)式可得到, 在两个元素浓度对数图上, 曲线的斜率仅为分配系数的函数。因此, 当确定了一个元素的 K_x 后, 通过 $\log x - \log y$ 图上曲线的斜率则可以计算得到 K_y 。许多作者对 K_{Ni} 值进行了研究和实验测定, K_{Ni} 不仅与母体组成有关, 而且与固化速率有关, 但一致的结果认为, 对 Fe-Ni 二元体系, Ni 的平衡分配系数 K_{Ni} 接近于 0.86, Willis^[11] 指出 III AB 铁陨石的 K_{Ni} 为 0.86。显然, 由于 K_{Ni} 值 < 1 , 在 \log 元素 - $\log Ni$ 图上, 不同元素将显示出不同的演化趋势。对 $K_x < 1$ 的元素, 在 \log 元素 - $\log Ni$ 图上将具有正的曲线斜率; 而 $K_x > 1$ 的元素, 则具有负的曲线斜率; 对 K_x 接近于 1 的元素, 它们在母体固化作用期间, 具有小的分馏作用。根据 III E 和 III AB 群具有相似的元素丰度并同属岩浆成因群, 取 $K_{Ni} = 0.86$, 计算获得新疆铁陨石的 K_{Ge} 0.80; K_{Ga} 0.92; K_{Cu} 0.91; K_{As} 0.94; K_{Au} 0.92。由此表明新疆铁陨石中中等挥发性元素在母体的固化结晶过程中, 没有经历过大的化学分馏作用, 它们的固液分配系数均 < 1 , 并接近 1, 因此在 5m² 的取样面积上, 其含量没有明显的变化。

将新疆铁陨石中等挥发性元素的分馏趋势与最大的岩浆群 III AB 和最大非岩浆群 I AB 的趋势对比(图 1)可以看出, 在 Ga-Ni 和 Ge-Ni 图上, IAB 群具有很宽范围的负斜率, 新疆铁陨石样品分布具有小范围的正斜率, 而 III AB 群不成线性关系。在 Cu-Ni 图上, 新疆铁陨石和 I AB 群具有正斜率, 但新疆铁陨石较 I AB 群的 Cu 含量低得多, 斜率较 I AB 更小, III AB 具有负斜率。在 As-Ni 和 Au-Ni 图上, 新疆铁陨石和 I AB 群变化较小, 具有很小的正斜率, 但新疆铁陨石具有较高的 As 和 Au 含量, III AB 群有较大的正斜率。新疆铁陨石的分馏趋势特征不同于 I AB 群, 也有异于 III AB 群, 其中等挥发性元素具有相近的分配系数, 且表现出低 Ga, Ge 和 Cu, 高 As 和 Au 含量特征。元素丰度特征与它们的挥发性趋势是一致的。由此表明新疆铁陨石母体具有较高的吸积温度或岩浆作用温度。

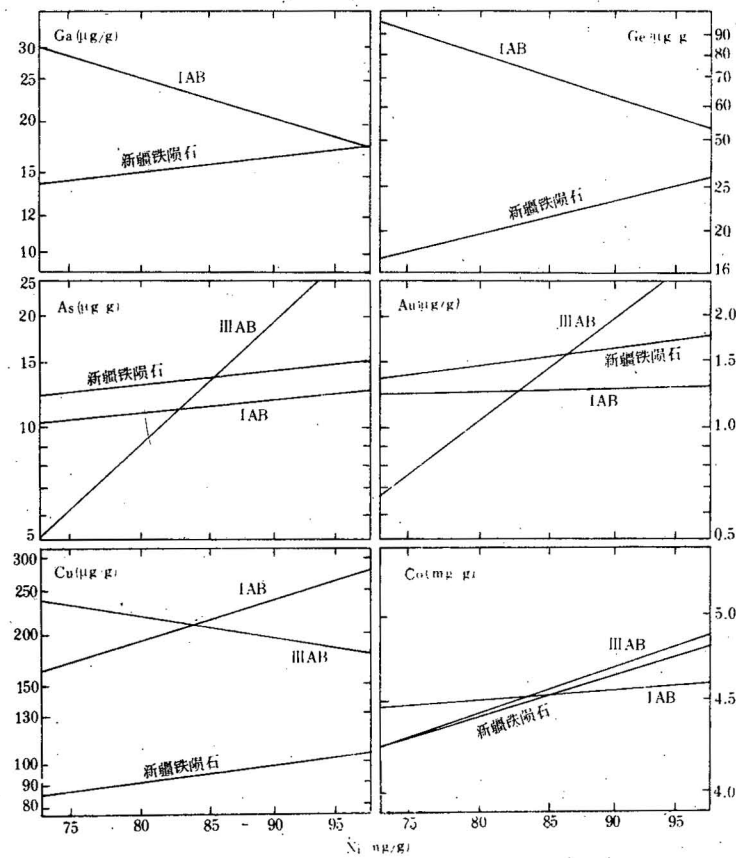


图 1 IAB, III AB 和新疆铁陨石的元素-Ni 关系

Fig. 1 Elements-Ni diagrams for Ga, Ge, As, Au, Cu and Co in groups IAB, III AB and Xinjiang iron meteorite

将新疆铁陨石的元素平均丰度和 III E 群一起与 III AB 群进行比较(图 2),很明显, III E 群的所有挥发性亲铁元素均较 III AB 群贫化,而且直观上可见这种贫化程度与元素的挥发性一致, $Ge > Ga > Cu > As > Au$ 。新疆铁陨石作为一个陨石成员,具有 III E 群一致的分馏趋势。III E 和 III AB 群有几乎平行的斜率,如果 III E 和 III AB 群有相同的母体或有相近的母体组成,那么它们之间的差异仅在于后期岩浆作用的条件不同而已。III E 群较 III AB 群可能经历了更高的岩浆作用温度,更强的去气作用,导致更多的挥发性元素丢失。新疆铁陨石作为 III E 群成员是这种剧烈岩浆作用引起的去气作用和充分分异的例子。它的 Ga, Ge 和 Cu 含量在 III E 群中最低,而 As 和 Au 含量在 III E 群中最高。导致这种分配可能有两种作用,一是高温去气引起挥发性元素的丢失;二是高温岩浆增大熔体中 P 含量, P 对元素固化分配系数的影响。前者在 Ga, Ge 和 Cu 的分配上占主导地位,后者在 As 和 Au 的分配上起着决定性作用。

2.3 非亲铁元素(Cr, Mn)的演化特征

根据元素的地球化学分类, Cr 和 Mn 属亲石元素。它们主要分布在硅酸盐相,在金属-硅酸盐分离过程中,以残留的矿物颗粒被圈闭在金属中。在铁陨石研究中,对它们讨论较少,尤其

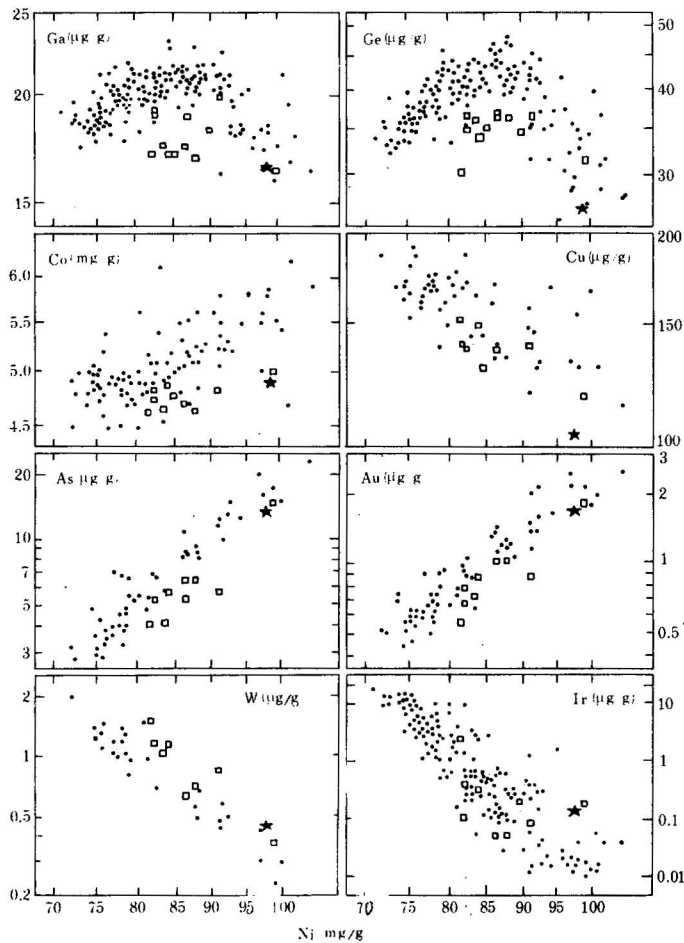


图2 III AB和III E群、新疆铁陨石的元素-Ni关系
 Fig. 2 Elements-Ni diagrams for 8 elements in group III AB and III E, Xinjiang iron meteorites
 □ III E group; ● III AB group; ★ Xinjiang iron meteorite

和 Os-Pd 的相关性较强, 相关系数分别为 0.78 和 0.70。

新疆铁陨石中 Co 和 Ir 平均含量在图 2 上表明和 III E 群的趋势是一致的。III E 群的 Co 含量低于对应的 III AB 群, 而 Ir 含量和 III AB 群分不开。联系到 III E 群更贫挥发性元素, 如果 III E 群母体较 III AB 群母体在较高温度区域或更早的时间序列凝聚和吸积, 那么为什么 III E 群较 III AB 群不富集 Ir 呢? 参考 2 个群的 W 数据^[14], III E 群却更富集 W。由此认为, 在核形成过程中, III E 群较 III AB 群有更高的岩浆作用温度和高温还原气氛。因为在星云凝聚过程中, 相当量的 W 以氧化物凝聚。球粒陨石金属相的研究表明, 从 H→L→LL 群普通球粒陨石中, Fe/W 值保持常数^[15], 显然在母体物质中, W 随 Fe 的氧化而氧化; 在热变质作用下随 Fe 的还原而进

是 Mn, 至今分析资料非常少。

根据最小二乘法拟合线性关系计算的 K_{Cr} 和 K_{Mn} 值分别为 0.37 和 0.42, 说明它们与 Ni 具有正相关关系, 但对比实验测得的文献值 ($K_{Cr} = 0.53$ ^[12] 和 0.89 ^[13]) 偏低, 表明新疆铁陨石母体在固化分异过程中非亲铁元素有更强的分馏作用。

2.4 普通亲铁元素和难熔亲铁元素 (Ni, Co, Ru, Pd, Os, Ir, Pt) 的演化特征

铁陨石中亲铁元素主要存在于金属相中, 其分布特征很好地揭示了铁陨石母体金属相经历的演化历史和作用过程。图 1 表明了新疆铁陨石和 2 个特征大群 IAB 和 III AB 铁陨石的 Co-Ni 相关关系, 它们都呈正相关, 且新疆铁陨石和 III AB 群具有相同的 Co-Ni 分馏趋势, 其斜率较 IAB 陡得多, 显示 Co 在岩浆作用中较非岩浆作用中的分馏更明显。

由于 RNAA 数据点较少, 难熔亲铁元素的线性拟合表明, 多数元素之间都没有明显的相关关系。Ir-Ni 的相关系数为 -0.43, $K_{Ir} = 1.25$, Pt-Au

入金属相^①。如果说 III E 群较 III AB 群富集 W 并非是更高的岩浆温度所致,那么与 W 具有相同热变质行为的 Ga 为什么在 III E 群中不富集,反而贫化呢?只有一个解释,就是高温岩浆作用富集了 W 而丢失了 Ga。

新疆铁陨石的 Ir 含量较期望值高约 15 倍,从图 2 元素分布趋势表明,对 III E 群 $K_x > 1$ 的元素,新疆铁陨石有群的低值端(Cu, W, Ir);对 $K_x < 1$ 的元素,新疆铁陨石有群的高值端(Co, As, Au),而 Ga 和 Ge 例外,它们均具有群的低值端。显然,在母体群中,新疆铁陨石是晚期结晶分离产物,岩浆作用中,高温导致了挥发性元素的丢失。

2.5 S 和 P 的作用

铁陨石的化学组成中,含有少量的 S, P 和 C,它们主要以金属矿物包体存在,在铁陨石的母体元素演化过程中,曾起着重要的作用。S 和 P 均影响微量元素在固相的分配系数,一般使亲铁元素的 K_x 值增加,使非亲铁元素(Cr)的 K_{Cr} 值降低^[16-19]。P 的作用影响到铁纹石的反应途径和平衡成核温度^[20],因此它们对铁陨石的元素丰度分配和结构构造具有重要的作用。

新疆铁陨石金属相的 S 和 P 平均含量分别为 $64\mu\text{g/g}$ 和 $385\mu\text{g/g}$ (表 7),P 的平均值较 III E 群平均值 0.28% ^[21] 低 6 倍。矿物学研究^[9]表明新疆铁陨石中广泛发育陨磷铁镍矿,而陨硫铁稀少,它们的平均值 $P:S=6:1$,矿物体积比为磷化物:硫化物 $>5-15$ 。显然新疆铁陨石的母体分异固化阶段,P 对 S 曾经有过明显的“盐析作用”(salting out)^[22]。P 对微量元素分配系数的影响起主导作用。

根据新疆铁陨石的 Ni 和 P 含量,母体中铁纹石的反应途径为 $\gamma + \text{ph} \rightarrow \alpha + \gamma + \text{ph}$,平衡成核温度大约为 670K,P 的作用降低了平衡成核温度 30K。

3 几点认识

通过对新疆铁陨石不同部位 26 个样品的化学组成和微量元素丰度特征研究,主要获得以下几点认识:

(1) 单个大铁陨石中亲铁元素具有均匀的面分布,中等挥发性元素在固化结晶过程中经历的化学分馏作用较小。因此铁陨石的化学分类方法对多样品分析仍然适用和有效。非亲铁元素呈非均匀分布,固化结晶过程中具有较大的分馏作用,不能作为铁陨石分类的指示元素。

(2) 新疆铁陨石属于 III E 化学群,具有下列特征:较 III AB 群低 Ga 和 Ge 含量;膨胀的铁陨石带和特征矿物陨碳铁镍矿。

(3) 新疆铁陨石及 III E 群铁陨石与 III AB 群铁陨石具有相同或相似组成的母体,但较 III AB 群经历了更高的岩浆作用温度和还原条件。在微量元素丰度上,具有低 Ga, Ge, Cu, As 和 Au; 高 W; 相同 Ir 含量特征。

(4) 新疆铁陨石母体中,影响微量元素丰度分布的主要因素是 P 的作用。

在该项研究中,林文祝和禰锐光提供了样品;孙用均、倪邦发、金立云等同志给予了技术上的帮助;欧阳自远研究员给予了大力支持和帮助,并审阅了手稿,在此致以衷心的感谢。

① 陈永亨. 中国科学院地球化学研究所硕士论文. 1986.

参 考 文 献

- 1 Malvin D J, Wang D, Wasson J T. Chemical classification of iron meteorites; X. Multielement studies of 43 irons, resolution of group III E from III AB, and evolution of Cu as a taxonomic parameter. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1984, 48:785—804.
- 2 Wasson J T, Willis J, Wai C M, Kracher A. Origin of iron meteorite groups IAB and III CD. *Z. Naturforsch.*, 1980, 35a: 781—795.
- 3 Scott E R D, Bild R W. Structure formation of the San Cristobal meteorite, other IB irons and group III CD. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1974, 38:1379—1391.
- 4 Rubin A E, Jerde E A, Zong P, Wasson J T, Westcott J W, Mayeda T K, Clayton R N. Properties of the Guin ungrouped iron meteorite: the origin of Guin and of group II E irons. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1986, 76:209—226.
- 5 Wasson J T, Wang J. A nonmagmatic origin of group—II E iron meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1986, 50:725—732.
- 6 陈永亨, 孙用均. 新疆铁陨石多样品的微量元素分布及其在地球化学中的意义. *地球化学* 1986, 3:271—277.
- 7 陈永亨, 王道德. 球粒陨石金属相在热变质及熔融条件下的组成变化. *地球化学* 1990, 2:153—158.
- 8 Crocket J H. Some aspects of the geochemistry of Ru, Os, Ir and Pt in iron meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1972. 36:517—535.
- 9 陈永亨, 王道德. 新疆铁陨石的矿物学特征及其母体形成条件. *矿物学报*, 1989, 9(2):119—125.
- 10 Wai C M, Wasson J T. Nebular condensation of Ga, Ge and Sb and the chemical classification of iron meteorites. *Nature*. 1979, 282:790—793.
- 11 Willis J. The mean compositions of iron meteorite parent bodies. Ph. D. thesis, University of California, Los Angeles, 1980. 208.
- 12 Bild R W, Drake M T. Experimental investigations of trace element fractionation in iron meteorites. I. Early results. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.*, 1978, 9th, 1407—1421.
- 13 Goldstein J T, Friel J T. Fractional crystallization of iron meteorites. an experimental study. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.* 1978, 9th, 1423—1435.
- 14 王道德, Malvin D J, Wasson J T. 35个铁陨石的化学组成研究及其在分类学中的应用. *地球化学*, 1985, 2:109—122.
- 15 Rambaldi E R, Cendales M. Tungsten in ordinary chondrites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1977. 36:372—380.
- 16 Drake M J, Jones J. Experimental trace element partitioning applied to iron meteorites. *Meteorities*, 1981, 16:309—310.
- 17 Jones J H, Drake M J. Experimental investigations of trace element fractionation in iron meteorites. I. The influence of sulfur. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1983. 47:1199—1209.
- 18 Narayan C, Goldstein J T. Experimental model for chemical fractionation of iron meteorites. *Meteorities*, 1980, 15:335—336.
- 19 Willis J, Goldstein J I. The effects of C, P, and S on trace element partitioning during solidification in Fe-Ni alloys. *proc. Lunar Planet. Sci. Conf.*, 1982, 13th, A435—A445.
- 20 陈永亨. 铁陨石形成的物理化学条件. *地质地球化学*, 1985, 10:48—60.
- 21 Buchwald V F. *Handbook of iron meteorites*. University of California Press, 1975. 1418.
- 22 Kracher A, Wasson J T. The role of S in the evolution of the parental cores of iron meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1982, 46:2419—2426.

CHEMICAL COMPOSITION AND TRACE ELEMENT ABUNDANCES OF THE XINJIANG IRON METEORITE

Chen Yongheng and Wang Daode

(Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong)

Abstract

The authors have studied trace element abundances in 26 different surface samples of the Xinjiang iron meteorite (Ⅲ) which is the third largest iron meteorite in the world and weighs about 28 t. The concentrations of Fe, Ni, Co, Cu, Cr, Mn, Ga, Ge, Ir, Au, As, Ru, Pd, Os, Pt, P and S were analyzed by INAA, RNAA and chemical method. The application and validity of the chemical classification of iron meteorites have been verified through multisample analyses. The distribution of siderophile elements shows homogeneity; on the contrary, non-siderophile elements are heterogeneously distributed in these samples. The abundances of trace elements indicate that the Xinjiang and IIIE iron meteorites formed at higher magmatic temperatures and in more reduced environment than IIIAB iron meteorites. The content of P in the Xinjiang iron meteorite is a principal factor that affects trace element distribution.

Key words: iron meteorite, chemical composition, trace element abundance, meteorite classification, Xinjiang

作者简介

陈永亨,男,生于1954年11月。1982年毕业于四川大学化学系放射化学专业,1986年获中国科学院地球化学研究所硕士学位,1990年获中国科学院地球化学研究所博士学位。现为中国科学院地球化学研究所广州分部助理研究员,从事陨石学及天体化学方面的研究。通讯处:广州市中国科学院地球化学研究所广州分部,邮政编码:510640。