

南极格罗夫山陨石 GRV 020043—一个特殊的 E/H 过渡型球粒陨石

李世杰^{1,2)}, 王世杰¹⁾, 刘燊¹⁾, 李雄耀¹⁾, 唐红^{1,2)}, 李芄^{1,2)}

1) 中国科学院地球化学研究所, 贵阳, 550002; 2) 中国科学院研究生院, 北京, 100049

内容提要: 南极格罗夫山陨石 GRV 020043 是一块特殊的球粒陨石, 虽与普通球粒陨石有着相似的矿物组合, 但矿物成分超出普通球粒陨石范围。主要矿物组合及其模式含量(vol%)是: 斜方辉石 40、橄榄石 24、透辉石 8、斜长石 10、Fe-Ni 合金 14、陨硫铁 4 vol%、及少量铬铁矿和磷灰石。主要组成矿物成分均一, 如斜方辉石($Fs_{10.1\sim 11.6}$, 平均 $Fs_{10.9}$)、橄榄石($Fa_{10.4\sim 12.4}$, 平均 $Fa_{11.0}$)、透辉石($Wo_{46.1\sim 47.1}$ $En_{49.0\sim 49.6}$ $Fs_{3.8\sim 4.4}$, 平均 $Wo_{46.6}$ $En_{49.3}$ $Fs_{4.0}$)、斜长石($Ab_{55.7\sim 72.5}$ $Or_{2.1\sim 5.0}$ $An_{24.0\sim 42.1}$, 平均 $Ab_{67.6}$ $Or_{3.4}$ $An_{29.0}$)等。该陨石球粒轮廓清晰结构完整, 球粒丰度 37%(体积比), 基质具有中等重结晶, 岩石类型属于 4 型。根据矿物成分判断, GRV 020043 陨石的氧化程度和橄榄石含量介于 E 群和 H 群之间, 故将该陨石划分为 E/H 过渡型球粒陨石。

关键词: 南极; 格罗夫山; 南极陨石; 普通球粒陨石; E/H 过渡型球粒陨石

截止第 22 次中国南极科学考察结束, 我国在南极共收集 9834 块陨石(Lin, et al., 2006)。作为地球上最大的“陨石库”, 南极陨石除了占绝对数量的球粒陨石之外, 还出现了一些无球粒陨石、铁陨石和石铁陨石, 以及一些稀少的陨石类型, 如火星陨石和月球陨石。GRV 020043 是一块球粒陨石, 该陨石由中国第 19 次南极科考队员发现于格罗夫山中段二三号营地的蓝冰表面($72^{\circ}59'40''S, 75^{\circ}12'28''E$)。在结构上, 它与普通球粒陨石非常相似, 而且主要矿物具有均一的化学组成。其特殊之处在于: ①橄榄石的组成($Fa_{11.0}$)和辉石的组成($Fs_{10.9}$)均比普通球粒陨石的相应值低, 但高于顽火辉石球粒陨石的相应值, 在矿物组合和矿物成分上, 与斜方辉石-橄榄石原始无球粒陨石(acapulcoite) Y-74063 陨石十分相似(Yanai & Kojima, 1991, Yanai, 2001); ②该陨石橄榄石的模式含量(24%(体积比))比普通球粒陨石 H 群橄榄石模式含量(36.2%(体积比))低, 而斜方辉石模式含量(40%(体积比))比普通球粒陨石 H 群的模式含量(24.5%(体积比))高出很多(李春来等, 2005); ③其球粒丰度(37%(体积比))低于普通球粒陨石的球粒丰度(60%~80%(体积比))(王道德等, 2005); ④其球粒比 H 群球粒陨石的

球粒大, 它的平均直径约 0.6mm, 而普通球粒陨石 H 群的平均直径仅 0.3mm(Grossman et al., 1998)。

目前, 对于一些和普通球粒陨石有着相似化学成分和矿物组合, 而橄榄石 Fa 和斜方辉石 Fs 较 H 群低的球粒陨石, 存在三种可能的划分方案:

E/H 过渡型球粒陨石, 其划分依据是此类陨石具有较高的铁镍金属和陨硫铁含量, 橄榄石的 Fa 和斜方辉石的 Fs 介于 E 群和 H 群之间, 最典型的例子是 Y-74063 陨石(Yanai & Kojima, 1990; 王道德等, 1992), 但后来 Y-74063 陨石被划分到了 acapulcoite 无球粒陨石中。

低 FeO 普通球粒陨石, 该类型陨石的划分依据是陨石中的橄榄石和辉石具有低的 FeO 含量, 橄榄石的 $Fa_{12.8\sim 15.3}$ 低于普通球粒陨石 H 群的($Fa_{16.9\sim 20.4}$), 斜方辉石的组成介于 E 群和 H 群之间。其冲击程度和风化程度范围大, 岩石类型都在 3 型和 4 型之间, Fe-Ni 金属含量变化范围广, 与 H 群和 L 群有重叠, 硫化物含量和 CO 陨石相当, 球粒平均直径 0.4mm, 介于 H 群(0.3mm)和 L 群(0.6~0.8)之间。另外, 该类型陨石的氧同位素的 $\Delta^{17}O(0.32\text{‰}\sim 0.84\text{‰})$ 低于或者相当于 H 群的 $\Delta^{17}O(0.73\text{‰}\pm 0.09\text{‰})$, 球粒

注: 本文由中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号 kzcx2-yw-110)、国家自然科学基金项目(编号 40803019)和科技部国家科技基础平台建设项目(编号 2005DKA21406-1)资助的成果。

收稿日期: 2009-07-29; 改回日期: 2010-05-20; 责任编辑: 郝梓园。

作者简介: 李世杰, 男, 1978 年生。博士。天体化学专业。通讯作者: 王世杰。Email: wangshijie@vip.skleg.cn。

陨石 Cerros los Calvos 就属于此类陨石 (McCoy et al., 1994; Russell et al., 1998)。

普通球粒陨石异常型, 该类型陨石的划分依据是, 具有类似普通球粒陨石的矿物组合和化学组成, 但在某个方面和普通球粒陨石有一定的差别, 比如氧同位素、球粒丰度、矿物的化学组成等 (<http://tin.er.usgs.gov>)。对于这些类似于普通球粒陨石的陨石, 目前基本都划分为普通球粒陨石异常型。

本文主要阐述南极陨石 GRV 020043 的岩石结构、矿物组合、矿物化学成分等球粒陨石特征, 并进一步探讨了该陨石化学群和岩石类型的划分。



图 1 GRV 020043 陨石样品照片
(最小网格间距为 1mm)

Fig. 1 The picture of Antarctic meteorite GRV 020043
(the smallest grid width is 1mm)

1 样品和实验

GRV 020043 重 56.9g, 为 $5.5 \times 5 \times 4.5$ cm 不规则球状, 整个陨石几乎被一层黑色熔壳包裹, 黑色熔壳有不规则裂痕, 仅小部区域熔壳有脱落, 呈褐色 (图 1)。制成光薄片的样品切片编号为 GRV 020043-2, 为标准厚度, 面积约为 0.6×1.2 cm。岩石学研究主要借助日本产 OLYMPUS-BX51 型显微镜和日本电子 JSM-6460LV 低、高真空数字化扫描电子显微镜来完成的。矿物成分定量分析是利用中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室的 EPMA-1600 型电子探针完成, 加速电压为 15kV, 电子束流 20nA, 分析标准为硅酸盐矿物和氧化物, 分析结果的计算采用 ZAF 方法校正 (原

子序数效应、吸收效应和荧光效应校正)。

2 岩石学特征和主要矿物的化学组成

2.1 岩石学特征

GRV 020043 是一块典型的球粒陨石, 部分球粒轮廓清晰, 结构清楚, 球粒类型有偏心放射状辉石球粒和斑状橄榄石辉石球粒, 较大球粒中均有褐铁矿脉体分布 (图 2)。球粒模式丰度为约 37vol%, 球粒直径范围在 0.2~2.5mm 之间, 平均值为 0.6 mm。基质具有中等程度的重结晶, 颗粒粒径介于 20~40 μ m 之间。根据上述特征, 按照 Van Schmus

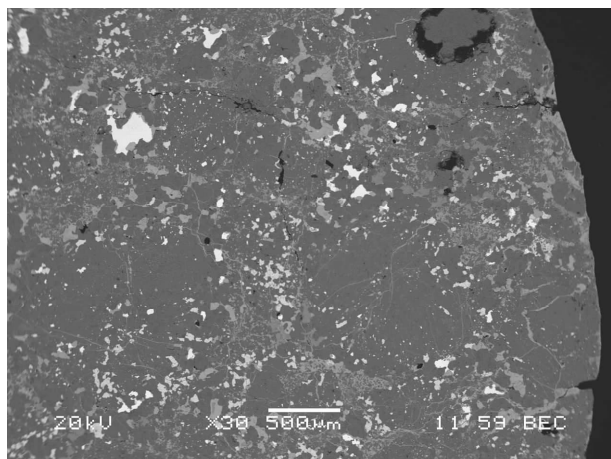


图 2 南极陨石 GRV020043 背散射电子图像 (BES)。暗灰色为硅酸盐矿物, 灰色为褐铁矿, 白色为 Fe-Ni 合金和硫化物。风化程度为 W3

Fig. 2 BES image of GRV 020043, the silicate minerals are dark grey, the limonite is light gray, and the Fe-Ni alloy and troilite are white. The weathering degree is W3

和 Wood (1967) 的普通球粒陨石岩石类型划分方案, 该陨石的岩石类型为 4 型。陨石的主要矿物为斜方辉石 (40 vol%), 其次为橄榄石 (24 vol%) 和透辉石 (8 vol%), 同时含有斜长石 (10 vol%) 和磷灰石, 不透明矿物有铁镍合金 (14vol%) (约 60% 已风化为褐铁矿)、陨硫铁 (4vol%) 和铬铁矿。铁镍金属和陨硫铁主要以细小颗粒分布在球粒周围的基质中, 且球粒边缘丰度较高, 另外球粒中也有细粒的铁镍金属和陨硫铁离散分布。较大颗粒的辉石中均有细小的不透明矿物包体, 而这些不透明矿物一般呈片状 (图 3), 这一现象和 Y-74063 陨石十分相似 (Yanai & Kojima, 1991)。褐铁矿主要由铁镍金属风化而来, 很多金属颗粒已经全部风化为褐铁矿, 且褐铁矿对基质的侵染作用非常显著, 在单偏光下整个基质为黄褐色, 但球粒内部褐铁矿影响很小。根

据 Wlotzka 等(1993)的球粒陨石风化类型划分标准,该陨石的风化类型为 W_3 。陨石薄片在偏光显微镜下可以观察到相当数量的橄榄石颗粒具有波状消光和面状裂隙,甚至可以观察到变形面状裂隙,依据 Stöffler 等(1991)的冲击程度等级划分原则,该陨石的冲击程度为 S_3 。

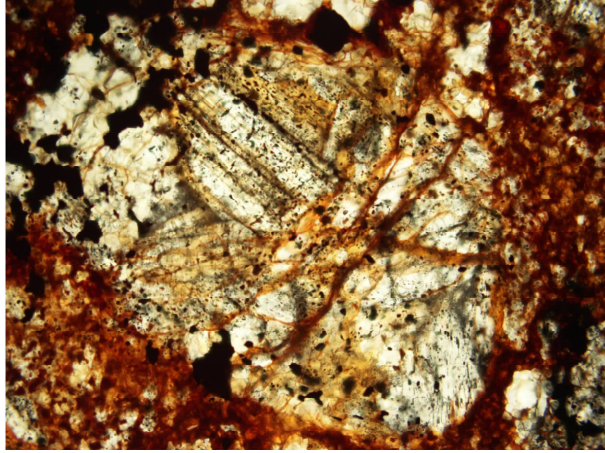


图 3 GRV 020043 陨石辉石颗粒中的不透明矿物,中间浅色部分为辉石斑状球粒(PP),周围黄褐色为基质(图片宽度为 1mm)(单偏光,200 倍)

Fig. 3 Distribution of Opaque minerals in pyroxene in Meteorite GRV 020043, the light color part in the middle is a PP chondrule, the brown area is matrix (width is 1mm)(PPL, 200 \times)

2.2 主要矿物的化学组成

对陨石 GRV 020043 的主要矿物橄榄石和斜方辉石分别随机选取 20 个和 21 个颗粒进行了电子探针分析,分析结果见表 1 和表 2。

单个橄榄石颗粒成分均一,不存在成分环带,但在颗粒间,橄榄石成分有一定变化,橄榄石中铁橄榄石(Fa)含量变化范围在 10.4~12.4mol%之间,整个陨石橄榄石平均 Fa 值为 11.0,相对标准偏差 PMD 为 2.7%。

斜方辉石成分均一,单个颗粒成分没有成分环带,但在颗粒之间,其成分存在一定变化,斜方辉石中铁辉石(Fs)含量颗粒间变化在 10.1~11.6 之间,整个陨石斜方辉石的平均 Fs 值为 10.9,其相对标准偏差 PMD 值是 2.2%。其中编号为 12 的颗粒总量仅为 95.2,这可能是由于测试点处不够平滑所致。

透辉石选择了 6 个颗粒进行了电子探针分析,颗粒间的成分基本均一,其平均组成为 $Wo_{46.6}En_{49.3}Fs_{4.0}$ (见表 3)。

根据 12 个颗粒成分,斜长石的组成并不均一,其 Ab 平均为 78.9(70.6~82.3),Or 平均为 4.0(2.7~4.7),An 平均为 17.1(13.6~26.7),但主要集中在 13~16 之间(表 3)。

表 1 南极陨石 GRV 020043 中橄榄石的电子探针成分分析结果(%)

Table 1 Electron microprobe analyses of olivines in Antarctic meteorite GRV 02004

颗粒编号	氧化物含量(%)										均 Fa	相对标准偏差(PMD%)
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Total	Fa		
1	41.4	0.02	0.02	0.02	10.1	0.59	47.6	0.02	99.8	10.7	11.0	2.7
2	39.0	b. d.	b. d.	0.01	11.7	0.59	46.4	0.33	98.0	12.4		
3	44.7	0.04	b. d.	0.03	9.7	0.61	44.3	0.08	99.5	11.0		
4	41.1	0.01	0.31	0.04	9.7	0.58	46.7	0.38	98.8	10.4		
5	40.5	b. d.	0.15	0.02	10.3	0.55	45.7	0.08	97.2	11.3		
6	39.3	0.05	b. d.	b. d.	10.9	0.52	46.9	0.01	97.6	11.5		
7	40.1	0.05	b. d.	b. d.	10.8	0.56	47.0	0.01	98.5	11.5		
8	41.0	b. d.	0.01	0.02	10.3	0.54	47.5	0.03	99.4	10.8		
9	40.6	0.02	0.01	b. d.	10.2	0.53	47.6	0.02	99.0	10.8		
10	40.3	b. d.	b. d.	0.04	10.4	0.51	46.8	0.05	98.0	11.1		
11	41.4	0.04	b. d.	0.01	10.6	0.56	47.8	0.05	100.4	11.0		
12	40.9	0.01	0.01	0.02	10.2	0.55	47.8	0.01	99.5	10.7		
13	42.0	b. d.	b. d.	b. d.	10.5	0.56	47.8	0.03	100.8	11.0		
14	41.8	0.04	b. d.	b. d.	10.6	0.53	47.6	0.01	100.5	11.1		
15	40.3	b. d.	0.01	0.01	10.4	0.62	46.6	0.04	97.9	11.1		
16	40.3	b. d.	0.05	b. d.	10.1	0.58	46.9	0.04	98.0	10.8		
17	41.3	b. d.	b. d.	b. d.	10.2	0.57	47.5	0.01	99.7	10.8		
18	40.6	0.01	b. d.	0.03	10.0	0.56	46.9	0.02	98.1	10.6		
19	41.7	0.03	b. d.	0.03	9.9	0.57	47.3	b. d.	99.6	10.5		
20	41.1	b. d.	b. d.	0.03	10.4	0.56	47.5	0.02	99.6	10.9		

注:b. d. 表示低于含量检测限。

表 2 南极陨石 GRV 020043 中斜方辉石的电子探针成分分析结果 (%)

Table 2 Electron microprobe analyses of low-Ca pyroxenes in Antarctic meteorite GRV 020043 (%)

颗粒编号	氧化物含量 (%)										均 Fa	相对标准偏差 (PMD%)
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Cr ₂ O ₃	Total	Fs		
1	57.0	0.15	0.51	6.6	0.59	32.3	0.58	0.11	97.7	11.6	10.9	2.2
2	51.4	0.17	0.04	8.2	0.62	39.0	0.52	0.07	100.0	10.9		
3	58.3	0.12	0.09	7.4	0.27	32.3	0.50	0.10	99.0	11.2		
4	56.6	0.12	0.03	7.1	0.59	33.1	0.48	0.12	98.1	10.8		
5	57.4	0.16	0.03	7.4	0.62	33.3	0.57	0.06	99.4	11.0		
6	53.8	0.09	0.05	8.1	0.61	37.0	0.37	0.09	100.1	10.3		
7	60.2	0.20	0.43	7.0	0.65	33.4	1.09	0.10	103.0	10.6		
8	58.5	0.17	0.06	7.3	0.65	33.3	0.75	0.14	100.8	11.3		
9	57.6	0.12	0.02	7.3	0.65	33.3	0.60	0.34	99.9	10.7		
10	58.8	0.16	0.09	7.2	0.58	33.0	0.59	0.09	100.5	11.0		
11	57.4	0.21	0.13	7.0	0.65	32.2	1.55	0.21	99.4	10.9		
12	55.5	0.21	0.31	6.3	0.59	31.8	0.47	0.06	95.2	10.5		
13	59.1	0.20	0.14	7.2	0.70	33.1	0.56	0.08	101.1	11.0		
14	56.8	0.12	0.15	7.4	0.60	33.6	0.59	0.06	99.3	11.0		
15	55.0	0.20	0.02	8.6	0.62	37.9	0.40	0.07	102.9	10.9		
16	59.9	0.13	0.18	7.2	0.60	32.7	0.64	0.13	101.4	10.8		
17	57.0	0.15	0.51	6.6	0.59	32.3	0.58	0.11	97.7	10.1		
18	51.4	0.17	0.04	8.2	0.62	39.0	0.52	0.07	100.0	10.8		
19	58.3	0.12	0.09	7.4	0.27	32.3	0.50	0.10	99.0	10.9		
20	56.6	0.12	0.03	7.1	0.59	33.1	0.48	0.12	98.1	11.3		
21	57.4	0.16	0.03	7.4	0.62	33.3	0.57	0.06	99.4	11.0		

表 3 南极陨石 GRV 020043 中斜长石和透辉石的电子探针成分分析结果 (%)

Table 3 Electron microprobe analyses of plagioclase and diopside in Antarctic meteorite GRV 020043 (%)

颗粒编号	氧化物含量 (%)											Ab	Or	An	
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total				
斜长石	1	64.2	b. d.	22.6	0.03	0.51	b. d.	0.02	4.2	8.1	0.46	100.2	75.5	2.8	21.7
	2	66.0	0.04	22.5	b. d.	0.47	b. d.	0.01	3.2	8.5	0.61	101.3	79.7	3.8	16.6
	3	66.6	0.03	22.9	b. d.	0.26	0.01	0.28	2.8	5.4	0.67	98.9	72.9	6.0	21.1
	4	65.9	0.02	21.5	b. d.	0.49	0.01	0.05	2.9	8.2	0.73	99.8	79.8	4.7	15.5
	5	64.8	0.01	21.4	0.01	0.32	b. d.	0.23	3.5	9.2	0.62	100.1	79.8	3.5	16.7
	6	66.0	0.08	21.7	0.02	0.41	0.01	0.02	2.9	9.1	0.73	101.0	70.6	2.7	26.7
	7	62.6	0.08	20.3	0.12	0.48	0.05	1.19	6.1	8.9	0.52	100.3	81.4	4.3	14.3
	8	66.2	0.07	21.7	0.03	0.45	0.03	0.16	3.2	9.3	0.70	101.8	80.7	4.0	15.2
	9	66.6	0.01	22.1	0.02	0.60	b. d.	0.01	2.8	9.3	0.70	102.1	82.3	4.1	13.6
	10	66.2	0.05	21.8	0.03	1.13	0.04	0.26	2.9	8.9	0.74	102.1	80.9	4.4	14.7
	11	65.6	0.09	22.5	0.04	0.49	0.01	0.0	2.9	9.4	0.63	101.8	82.2	3.6	14.1
	12	65.6	0.07	22.0	0.11	0.32	b. d.	0.02	2.9	9.2	0.70	101.0	81.4	4.1	14.5
平均值	65.5	0.05	21.9	0.03	0.49	0.01	0.19	3.4	8.6	0.65	100.8	78.9	4.0	17.1	
透辉石	1	57.0	0.44	0.58	0.59	2.3	0.31	17.0	22.6	—	—	100.8	47.1	49.2	3.8
	2	56.5	0.45	0.62	0.64	2.4	0.29	17.2	22.4	—	—	100.4	46.5	49.6	3.9
	3	56.7	0.57	0.56	0.63	2.5	0.33	17.1	22.3	—	—	100.6	46.5	49.5	4.0
	4	55.9	0.51	0.60	0.61	2.5	0.3	16.8	22.3	—	—	99.5	46.8	49.2	4.0
	5	57.3	0.41	0.73	0.62	2.6	0.25	16.8	21.7	—	—	100.4	46.1	49.6	4.4
	6	55.6	0.44	0.51	0.54	2.5	0.28	16.7	22.3	—	—	98.9	47.0	49.0	4.1
	平均值	56.5	0.47	0.60	0.61	2.5	0.29	16.9	22.2	—	—	100.1	46.6	49.3	4.0

注: b. d. 表示含量低于检测限, — 表示未测定。

从以上分析结果来看,该陨石中的辉石和橄榄石组成比较均一,根据前人对平衡型球粒陨石的分类依据(Van Schmus et al., 1967; 缪秉魁等, 2002), 该陨石属于平衡型陨石。

虽然和普通球粒陨石具有类似的矿物组合,但 GRV 020043 陨石的橄榄石和斜方辉石中的铁含量明显低于 H 群。另外,在矿物组合、橄榄石和斜方辉石模式含量上,该陨石与 acapulcoite 无球粒陨石一致(Yanai, 2001)。通过与 E 群、H 群、L 群以及

部分原始无球粒陨石 acapulcoites 的对比(表 4), 该陨石橄榄石和辉石成分与 acapulcoite 非常接近,并介于普通球粒陨石和顽辉石球粒陨石之间,而斜长石 An 值比 acapulcoite 的略高,与 H 群的斜长石 An 接近。将 GRV 020043 陨石的橄榄石和斜方辉石的组成在 Fa 对 Fs 二维坐标中投点,可以看出该陨石介于 H 群和 E 群之间,与 acapulcoite 无球粒陨石重叠(图 4)。而 acapulcoite 陨石是无球粒陨石,因此,GRV 020043 有可能是一种新的类型。

表 4 南极陨石 GRV 020043 和无球粒陨石 Acapulcoites、普通球粒陨石以及顽辉石球粒陨石的矿物组成对比
Table 4 The comparison of the mineral compositions of GRV 020043 with the Acapulcoites,
Ordinary chondrites and Enstatite chondrites

类别	陨石名称		矿物组成			数据来源
			OL Fa(%)	Opx Fs(%)	PI An(%)	
GRV 020043	GRV 020043		11.0	10.9	17.1±4	本次工作
Acapulcoites	未见球粒 残余	AcapulcoALH-77061	10.5	11.2	15~17	Yanai, 2001
		ALH-78230	10.7	10.3	12~14	Yanai, 2001
		Y-8307	10.3	9.8	13~15	Yanai, 2001
		Dho290	10.3	9.8	13.5	Yanai, 2001
		NWA725	11	11±1	18±1	Andrea Patzer et al., 2004
		NWA1058	7.3±0.3	5.9	13±1	Andrea Patzer et al., 2004
		TIL99002	7.8	6.2	13	Andrea Patzer et al., 2004
		NWA2775	9.9±0.2	10±1	16±1	Andrea Patzer et al., 2004
		14.5±0.2	13.3±0.2	17.4	Connolly et al., 2007	
	见球粒 残余	Y-74063	10.9	10.9	13.6	Yanai & Kojima, 1991
		ALH-77081	11	11	15	Mason, 1978
		GRA98028	7.7	9.3±0.6	15±1	Andrea Patzer et al., 2004
	普通球粒陨石	H	16~20	14.5~18.5	21	李春来, 2004
		L	21~26	19~22	18	
顽辉石球粒陨石	E	0.4	0.3		侯渭和谢鸿森, 2003	

3 讨论

GRV 020043 陨石中橄榄石和辉石中的铁含量比普通球粒 H 群的明显低,但是陨石中的铁镍合金模式含量比较高(14vol%),这些均表明该陨石形成一个比 H 群普通球粒陨石更为还原的星云环境。

在同一平衡型陨石中,一般来说橄榄石 Fa 的相对标准偏差 PMD 大于低钙钙辉石 Fs 的 PMD 值,因为橄榄石较之斜方辉石容易达到热平衡(缪秉魁等, 2002)。由表 1 和表 2 中可看出橄榄石 Fa 的 PMD 值为 2.7%,比斜方辉石 Fs 的 PMD 值 2.2% 大。这是由于 2 号橄榄石的铁含量较高造成的,该颗粒可能本身铁含量较高,也很可能是该颗粒受到褐铁矿浸染的缘故。如果舍弃该点则橄榄石的 Fa

和 PMD 值分别为:10.9(和 Fs 值相等)和 2.1%(小于 Fs 的 PMD 值 2.2%)。

单从橄榄石和斜方辉石的组成来划分 GRV 020043 陨石的化学群,显然它不属于 H 群。在矿物组合和岩石学特征上,该陨石和 H 群非常相似,要将其划为 H 群有如下不妥当之处:①该陨石中的橄榄石和斜方辉石中的 FeO 含量偏低;②球粒丰度(37%(体积比))低于普通球粒陨石(60%~80%(体积比));③橄榄石含量(24%(体积比))低于普通球粒陨石(36.2%(体积比)),斜方辉石的情况正好相反。④橄榄石的 Fa 值和斜方辉石的 Fs 值几乎相等,而普通球粒陨石一般 Fa 比 Fs 大。另外,该陨石的球粒平均直径为 0.63mm,比 H 群(0.3mm)大,和 L 群(0.6~0.8mm)相当,这可能和球粒在整

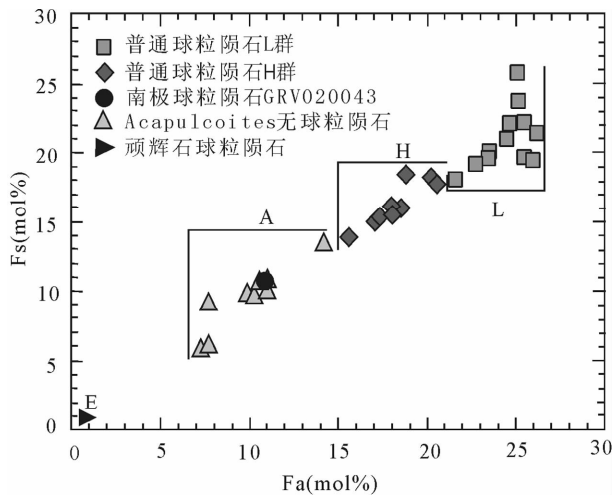


图4 陨石 GRV 020043 中的橄榄石和斜方辉石的组成和 E 群、H 群、L 群以及 Acapulcoites 陨石的比较 (Acapulcoites 陨石和顽辉石球粒陨石数据来源同表 4, H 群和 L 群数据来自繆秉魁等(2002)和梁英等(2006))
Fig. 4 Plot of fayalite (Fe_2SiO_4) content of olivine VS ferrosilite (FeSiO_3) content of low Ca pyroxene from GRV 020043, compared to E, H and L-group ordinary chondrites, Acapulcoites (Acapulcoites and enstatite chondrites data from table 4, H and L group data from Miao et al. (2001) and Liang et al. (2006))

个陨石中分布不均匀有关,因为薄片面积小($0.6 \times 1.2\text{cm}$),出现一个较大直径球粒就能影响平均直径。

和 E 群的矿物组成相比,该陨石中的橄榄石含量较高,斜方辉石中的 FeO 含量较高(王道德等, 2005),因此,要将其归为 E 群或 H 群球粒陨石均没有令人信服的证据。

GRV 020043 陨石除了岩石结构上和原始无球粒陨石 Acapulcoites 有明显的不同之外,在矿物组合和橄榄石和斜方辉石的化学组成上十分相近。部分 Acapulcoites 成员中橄榄石模式含量低于斜方辉石的,这和陨石 GRV 020043 比较相似。另外在无球粒陨石 Acapulcoites 的三个成员 Y-74063、ALH-77081 和 GRA98028 中有球粒残余存在(Yanai & Kojima, 1991), Yanai 和 Kojima (1990) 曾经将 Y-74063 划分为介于 E 群和 H 群的球粒陨石(E/H 过渡型球粒陨石)。但 GRV 020043 陨石的斜长石成分比 acapulcoite 的偏高,且 acapulcoite 陨石属于无球粒陨石。因此,该陨石不属于 acapulcoite。然而, GRV 020043 陨石和 Acapulcoites 的关系值得研究。

GRV 020043 陨石和 K 小群陨石也较为相似:

①基质丰度比较高(33~77 vol%);②金属丰度和 H 群相似;③硅酸盐中 FeO 含量低;④斜方辉石模式含量比橄榄石的高(Weisberg M K et al., 1996)。但 K 群陨石橄榄石的 Fa 为 2.2,斜方辉石的 Fs 为 4.4,这比 GRV 020043 明显富镁,另外 K 小群陨石全为 3 型。

GRV 020043 陨石和普通球粒陨石有很多相似之处,而差别也是显而易见的,因此认为其为一个块普通球粒陨石异常型是可以接受的。低 FeO 普通球粒陨石的概念就是基于硅酸盐矿物中低 FeO 含量而提出来的,但 McCoy 等(1994)认为该类型陨石母体可能与普通球粒陨石母体不同。从概念上来说 GRV 020043 也可以归为该球粒陨石。当然低 FeO 普通球粒陨石也属于普通球粒陨石异常型。

由于 GRV 020043 陨石橄榄石含量明显低于普通球粒陨石而高于顽辉石球粒陨石,这可能导致其化学组成和普通球粒陨石有一定的差异,主要可能会体现在 SiO_2 含量增加。另外如果将该陨石中的褐铁矿还原为铁镍金属和陨硫铁,它们的模式含量将达到整个陨石的 18% (体积比),其主要组成矿物斜方辉石和橄榄石中的铁含量低,这一特征显示该陨石的氧化态介于 E 群和 H 群之间。斜方辉石的平均 $\text{Fs}_{10.9}$ 介于顽辉石和古铜辉石之间。因此将该陨石归为 E/H 过渡型球粒陨石似乎更为合理。

当然,要准确的确定该陨石的类别,全岩化学成分、微量元素、惰性气体成分、氧同位素组成及同位素年龄等分析测试工作的进一步开展是必不可少的。

4 结论

GRV 020043 是一块典型的球粒陨石,岩石类型为 4 型,该陨石中橄榄石和斜方辉石中的铁含量比普通球粒陨石 H 群明显偏低,其金属含量和硫化物含量较高,斜方辉石模式含量高于普通球粒陨石,这些均表明该陨石形成于一个氧化还原条件介于 E 群和 H 群之间的星云环境。

岩石矿相学特征表明,GRV 020043 陨石类型应该介于 E 群和 H 群之间。根据 Yanai 和 Kojima (1990) 对 Y-74063 陨石的划分办法,我们将该陨石定为 E/H 过渡型球粒陨石。

致谢: 样品由国家海洋局中国极地研究中心提供,本文得到王道德研究员,林杨挺研究员,侯渭研究员,陈丰研究员,繆秉魁教授,张爱铨教授的指导和帮助。同时感谢中科院地球化学研究所电子探针室和扫描电镜室的周国富老师、刘世荣老师、郑文勤

老师和刘秀明老师的帮助。最后,感谢评审专家给予的建设性意见。

参 考 文 献

- 李春来, 欧阳自远等. 2005. 空间化学. 哈尔滨工业大学出版社, 267~268.
- 梁英, 王鹤年, 季峻峰. 2006. 南极格罗夫山普通球粒陨石的岩石学和矿物学特征及分类. 高校地质学报, 12(1): 53~61.
- 缪秉魁, 林杨挺, 欧阳自远, 周新华. 2002. 南极格罗夫山陨石岩石学特征 II: 平衡型普通球粒陨石. 极地研究, 14(4): 288~299.
- 王道德, 林杨挺. 1992. 南极陨石研究的启示 I: 早期太阳星云连续化学分馏作用的岩石化学证据. 极地研究, 4(3): 1~15.
- 王道德, 缪秉魁, 林杨挺. 2005. 陨石的矿物-岩石学特征及其分类. 极地研究, 17(1): 45~74.
- Patzer A, D H Hill, et al. 2004. Evolution and classification of acapulcoites and lodranites from a chemical point of view. Meteoritics & Planetary Science, 39(1): 61~85.
- Connolly H C, Zipfel J, Folco L, Smith C, Jones R H, Benedix G, Righter K, Yamaguchi A, Aoudjehane H C, Grossman J N. 2007. The Meteoritical Bulletin, No. 91, 2007 March. Meteoritics & Planetary Science, 42(3): 413~466.
- Grossman J N, Rubin A. 1998. Properties of chondrules. Univ. Arizona Press, 619~659. <http://tin.er.usgs.gov/meteor/metbullclass.php?sea=H4-an>
- Lin Yangting, Ju Yitai, Xu Xiabin, Pan Mingrong, Huang Feixin, Fang Aimin, Li Jinyan, Liu Xiaobo, Pen Wenjun, Hu Jianmin, and Cheng Xiao. 2006. Recovery of 5354 Meteorites in Grove Mountains, Antarctica, by the 22nd Chinese Antarctic Research Expedition. Meteoritics & Planetary Science, 41(8) (suppl.): A107.
- McCoy T J, Keill K, Scott E R D, Benedix G K, Ehlmann A J, Mayeda T K, Clayton R N. 1994. Low-FeO ordinary chondrites: a nebular origin and new chondrite parent body. LPSC XXV: 865~866.
- Russell S S, McCoy T J, Jarosewich E, Ash R D. 1998. The Burnwell, Kentucky, low-FeO chondrite fall: Description, classification and origin. Meteoritics & Planetary Science, 33, 853~856.
- Stöffler D, Keil K, Scott E R D. 1991. Shock metamorphism of ordinary chondrites. Geochimica et Cosmochimica acta, 55: 3845~3867.
- Van Schmus W R, Wood J A. 1967. A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites. Geochimica et Cosmochimica acta, 31(5): 747~765.
- Weisberg M K, Clayton R N, Mayeda T K, Grady M M, Franchi I, Pillinger C T, Prinz M. 1996. The K (kakangari) chondrite grouplet. Geochimica et Cosmochimica acta, 60(21): 4253~4263.
- Wlotzka F. 1993. A weathering scale for the ordinary chondrites. Meteoritics, 28(3): 460.
- Yanai K, Kojima H. 1990. Y-74063: Unique meteorite classified between E and H chondrite. Antarctic Meteorites XV: 95~96.
- Yanai K, Kojima H. 1991. Yamato-74063: Chondritic meteorite classified between E and H chondrite groups. Proceedings of the NIPR Symposium on Antarctic Meteorites, 4: 118~130.
- Yanai K. 2001. Lodranites and Their Subgroups Related with Some Acapulcoites. Lunar and Planetary Science XXXII: 166.

GRV 020043-A Special Transition Chondrite Between E and H Group

LI Shijie^{1,2)}, WANG Shijie¹⁾, LIU Shen¹⁾, LI Xiongyao¹⁾, TANG Hong^{1,2)}, LI Peng^{1,2)}

1) Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002;

2) Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049

Abstract

Grove Mountains (GRV) 020043 is a special chondrite, which has the same mineral assemblage as ordinary chondrite, but it has its own mineral compositions beyond those of the ordinary chondrites. The stone is composed of Low-Ca pyroxene (40 vol%), olivine (24 vol%), diopside (8 vol%), plagioclase (10 vol%), troilite (4 vol%), Fe-Ni alloy (14 vol%), and trace of chromite and apatite. The silicates have homogeneous compositions, e. g. olivine ($\text{Fa}_{10.4-12.4}$, average $\text{Fa}_{11.0}$) and Low-Ca pyroxene ($\text{Fs}_{10.1-11.6}$, average $\text{Fs}_{10.9}$), diopside ($\text{Wo}_{46.1-47.1}$ $\text{En}_{49.0-49.2}$ $\text{Fs}_{3.8-4.4}$, average $\text{Wo}_{46.6}$ $\text{En}_{49.3}$ $\text{Fs}_{4.0}$), plagioclase ($\text{Ab}_{55.7-72.5}$ $\text{Or}_{2.1-5.0}$ $\text{An}_{24.0-42.1}$, average $\text{Ab}_{67.6}$ $\text{Or}_{3.4}$ $\text{An}_{29.0}$). Some chondrules in this meteorite are well defined with sharp edges, with the chondrules abundance of 37 vol%. The matrix of the meteorite is moderately recrystallized. Its petrologic type is 4. Based on its mineral compositions, olivine model abundance and oxidation intensity of GRV 020043 are restricted between E and H groups. The chondrite is classified as a transition chondrite between E and H group.

Key words: Antarctica; the Grove Mountains; Antarctic meteorite; ordinary chondrite; E/H chondrite