

地球上首次发现尖晶橄榄石*

王尔康 万玉秋 孔佑华¹⁾ 邵玉英 张文兰

(南京大学地球科学系, 南京 210008, ¹⁾ 浙江省地质矿产研究所, 杭州 310007)

关键词 尖晶橄榄石、地外微球粒、宇宙尘、花岗岩

在人类已知的 3000 多种矿物中有为数极少的几种, 它们具有重大标型意义而其发现又历经曲折, 尖晶橄榄石就是其中最突出的例子。

早在 1931 年, Goldschmidt 就指出 Mg_2GeO_4 的矿物结构可以表现为橄榄石与尖晶石两种多型, 在此基础上 1936 年 Bernal 大胆设想地幔中地震波速的迅速增大就是由橄榄石转变为密度较大的尖晶石型结构所造成^[1]。1956 年 Ringwood 根据对热动力平衡体系的研究计算出 1500℃ 时, 相当于地幔中 500km 深度的压力下橄榄石可转变为尖晶石型结构^[2]。1966 年他本人终于完成了举世闻名的实验在 $175 \times 10^8 \text{ Pa}$ 与 900℃ 条件下实现了橄榄石—尖晶石结构间的转变^[3]。不久后 Binns (1969) 就在 Tenham 球粒陨石中发现了天然产出的具有尖晶石结构的橄榄石, 为纪念 Ringwood 的研究将其命名为 Ringwoodite, 即尖晶橄榄石^[4]。后来在 Coorara 与 Catherwood 球粒陨石中又相继发现该矿物。1979 年有两位研究者以冲击波产生尖晶石相的实验失败后宣称尖晶橄榄石不是一种独立的矿物而是几种矿物的集合体。为此 Putnis 重新对 Tenham 陨石进行研究, 在透射电镜下放大 14 万倍获得尖晶橄榄石单晶图象^[5]。这样, 历经半个世纪之久, 该矿物终于作为典型的陨石矿物(仅产于陨石而不产于地球)得到公认。

1 微球粒的形貌和化学特征

近年来笔者致力于苏州西部 A 型花岗岩中微球粒成因的探索, 反复考察多次采样, 对新鲜花岗岩样品以鄂式破碎机破碎, 但不转入球磨机或棒磨机即过筛淘洗, 然后以摇床分离后进行磁选与电磁选, 对磁性部分再经实体镜下挑选, 选出了许多铁质与石质的微球粒。研究表明二者均为地外成因^[6,7]。本文报道其中石质微球粒的部分成果。

样品中共选出石质微球粒 1000 多颗, 颜色呈黑色, 褐色, 深棕, 浅棕色, 以黑色与棕色为主, 粒径 100—200 μm , 表面光滑, 性脆, 压碎后即呈贝壳状断口。将球粒制成标准厚度的切片在正交偏光下均为全消光, 是非晶质的微玻璃球。形态以球形和椭球型为主, 亦有液滴状, 拖曳状, 纺锤状及连体球。82 个球粒的扫描电镜照片显示, 表面结构与深海沉积物和极地冰中的消融型宇宙尘相似(图 1)。

从上述微玻璃球中按不同的形貌特征选出 12 颗球粒, 对单颗球粒进行电子探针分析, 结果表明常量元素的含量为: SiO_2 (22.7—47.4%), Al_2O_3 (16.5—39.6%), CaO (2.79—18.8%),

1993-01-08 收稿, 1993-03-26 收修改稿。

* 国家自然科学基金资助项目。

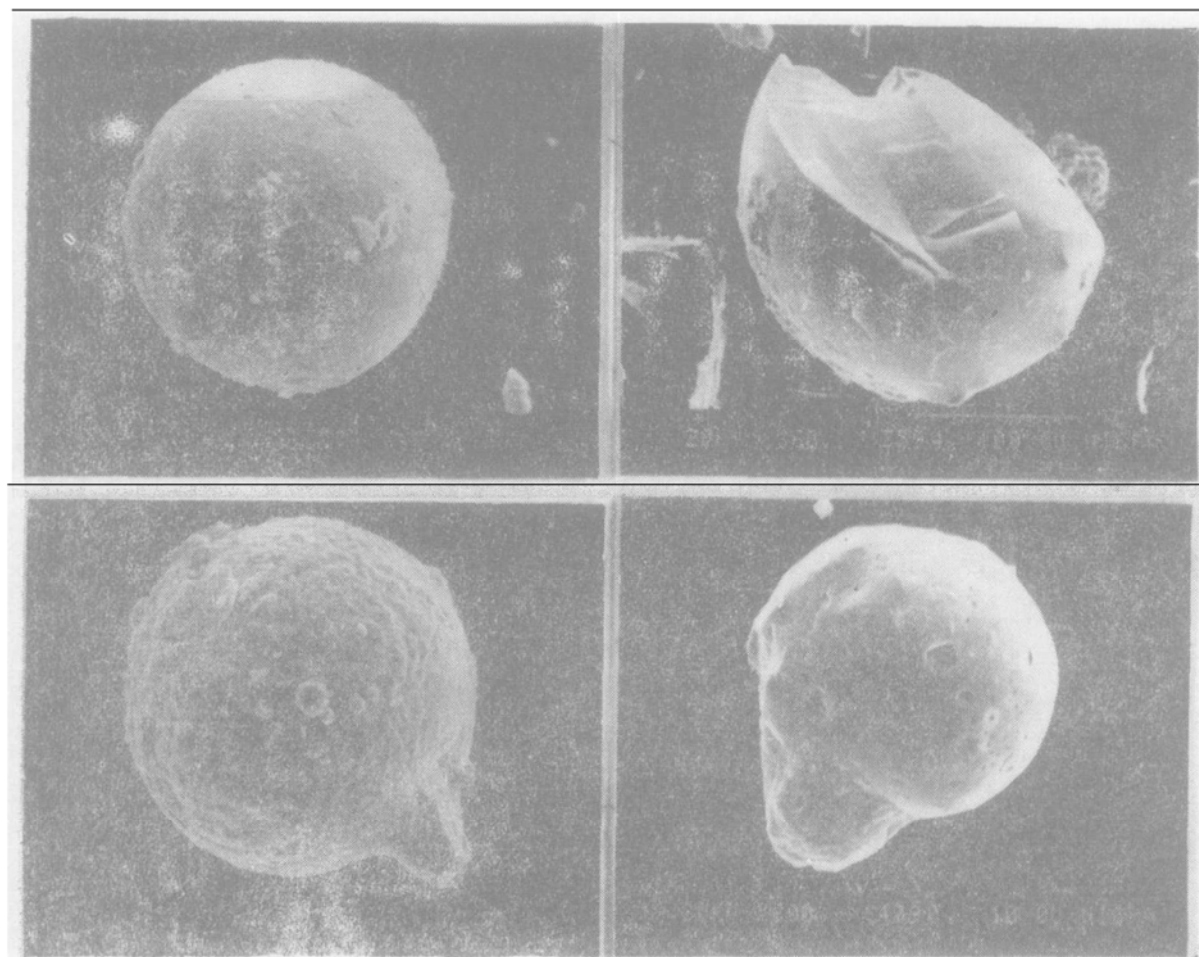


图 1

左上: SEM 3637 球形微玻璃球, 表面有一个小孔洞通向内部, $\times 400$;

左下: SEM 3594 半个微玻璃球, 断面呈贝壳状断口, $\times 300$;

右上: SEM 3615 表面具流动构造的玻璃球, 右下部突起为附生其上的花岗岩造岩矿物长石, $\times 550$;

右下: SEM 4396 由大小两球拼结而成的合成球, 大球表面呈现气印构造和许多气孔, $\times 600$

MgO (0.05~12.3%), TiO_2 (1.0~3.25%), FeO (25.1~70.5%), 再从中选出 5 个代表性颗粒进行中子活化分析, 单颗球粒的中子活化分析的结果表明, 它们除富含 Ca, Al, Ti 外, 亲石难熔痕量元素 Sc, Hf, W, Th, U 和 REE 均有极大的富集, REE 具有球粒陨石型的分配模式, 这些特征均与地外物质的可靠判据相符^[8-10]。

2 尖晶橄榄石的厘定

为了探索这些微球粒中是否含有达到检出限的矿物晶出, 我们用 X 射线粉末照相测定了 30 多粒微球粒, 但未获结果。国外对深海沉积物, 格林兰、南极冰中消融型宇宙尘所作的大量研究表明, 微玻璃球的矿物成分是整个研究领域中最薄弱的环节。这固然是因为玻璃球粒冷却太快使矿物来不及结晶; 但玻璃球粒本身数量太少也确实为研究增加了难度。我们自花岗岩中所分选出的千余粒微玻璃球均采自同一采样点, 这表明它们是同一事件的产物, 如果说前述常量与痕量元素的含量与分配反映了这些球粒母体 (Parent) 的特征, 那么其中所含矿物 (如果该矿物具有显著标型性又能被厘定的话) 则是该事件的温压条件最可靠的定量化标尺, 因此我们利用了这一得天独厚的条件将千余颗球粒全部粉碎制成一个样品进行 X 射线粉末照

相,终于获得了结果,微玻璃球中所含的矿物竟是尖晶橄榄石。实验条件: Fe 靶,滤波片 Mn,管电压 40kV,管电流 20mA,曝光时间 4h,相机直径 57.3mm。Binns 的研究揭示 Tenham 陨石中尖晶橄榄石以两种形式产出,一种呈粒径 $100\mu\text{m}$ 的紫色球粒,另一种产于冲击脉体中以细分散状存在于硅酸盐玻璃中^[4]。本文所报道的尖晶橄榄石在微玻璃球中的产出即与后者相似。需要说明,由于微玻璃球是用机械破碎方法自花岗岩中分离出,剥落下的球粒表面纯净不一,其中有的附生着花岗岩的造岩矿物,石英的附生力又强于长石。由于玻璃球性脆,如再进一步剥离势必损耗宝贵的样品,因此未作进一步的表面处理。数据列于表 1。

花岗岩中发现尖晶橄榄石似乎是不可思议的事,但如果考虑到花岗岩成岩作用的 P, T 条件(苏州 A 型花岗岩的成岩温度以熔融包裹体测得为 810°C , 根据矿物包裹体气液变化测得成岩压力为 $2.5 \times 10^8 \text{Pa}$ ^[11]) 均低于尖晶橄榄石形成的 P, T 条件,而花岗岩浆作为一种硅酸盐熔体又无法对高温下淬火的微玻璃球进行交代,那么微玻璃球在某一事件后散落埋藏,被侵位的花岗岩浆所捕获,其中的尖晶橄榄石得以保存也就可以理解了。

表 1 苏州花岗岩中微玻璃球和 Tenham 陨石中尖晶橄榄石的 X-射线粉晶数据

线 号	苏州花岗岩 ^{a)} No. 8 微玻璃球		Tenham 陨石 ^{b)} 脉体		Tenham 陨石 ^{b)} 球粒	
	d	I	d	I	d	I
1	3.35 ⁺	8				
2	2.85	2	2.872*	20	2.871	20
3	2.46	8	2.447	100	2.451	100
4	2.10	2				
5	2.04	1	2.028	40	2.031	40
6	1.92	1				
7	1.81	1				
8			1.656*	1		
9	1.54	2	1.56	20	1.563	20
10	1.486	2				
11	1.442	2	1.434	60	1.437	60
12	1.335	1				
13			1.237	2	1.240	2
14	1.195	3	1.172	1	1.173	1
15	1.120	2				
16			1.0559	10	1.0563	10
17			1.0137	5	1.0158	5
18			0.9348	2	0.9388	2
19			0.9067	1	0.9104	1
20			0.8498	1		
21			0.8283	10	0.8294	10
α_0	8.108		8.113		8.127	

a) 孔佑华测试, + 受附生于球粒表面的石英强线影响。 b) 据 R. A. Binns, * Binns 原注: 可能受混入的石榴石强线影响。

3 结 论 和 讨 论

1. 典型的陨石矿物尖晶橄榄石在典型的地球岩石花岗岩中被发现, 无疑是一项重要的突

破。表明天体物质参与地球演化的深度和广度,对于天-地关系的研究和重大天文地质事件的判明都将起到重要作用。

2. 高压下橄榄石向尖晶石型结构的转变对地幔动力学具有根本性的意义,前人已进行过大量实验。Tenham 陨石的研究表明尖晶橄榄石的成核作用在一个相对快的淬火过程中已经发生^[5]。本文所报道的微玻璃球粒中尖晶橄榄石的形成机制与之相似,只是淬火速度更快,因此载体为全玻璃质,而其形成所需的特定压力值则可作为一种宇宙压力计。

3. Smith (1970) 在 Tenham 陨石同一母体的 Coorara 陨石中发现了具石榴石结构的辉石——镁铁榴石,其成因与尖晶橄榄石相同^[12]。因此我们推断该陨石矿物也可以在地球岩石中被发现。

致谢 我们的工作受到罗谷风教授在地球上发现 $P2_1Ca$ 斜方辉石的启示并得到他的一贯支持,徐祖东、朱立华同志大力支持了野外取样,扫描电镜和电子探针由钢铁研究院包容夫同志完成,中子活化分析由原子能研究院倪邦发同志完成。在此一并致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Bernal, J. D., *Observatory*, 1936, 59: 268.
- [2] Ringwood, A. E., *Nature*, 1956, 187: 1303.
- [3] Ringwood, A. E., *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 1966, (1): 241—245.
- [4] Binns, R. A. *et al.*, *Nature*, 1969, 221: 943.
- [5] Putnis, A. *et al.*, *Nature*, 1979, 280: 217.
- [6] Wang Er-kang *et al.*, 15th General Meeting of the International Mineralogical Association, Abstracts, Beijing, China, 1990, 2: 670—671.
- [7] Wang Er-kang *et al.*, 126th IAU Colloquium, Origin and Evolution of Interplanetary Dust, Abstracts, Kyoto, Japan, 1990, 124.
- [8] Ganapathy, R., Brownlee, D. E., Hodge, P. W., *Science*, 1978, 201: 1119—1121.
- [9] Blanchard, M. B., Brownlee, D. E. *et al.*, *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 1980, 46: 178—190.
- [10] Koeberl, C., Hagen, E. H., *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1989, 53: 937—944.
- [11] Zhang, X. L. *et al.*, *Geochemistry*, 1988, 7(1): 29—45.
- [12] Smith, J. V., Mason, B., *Science*, 1970, 166: 832—833.