东灵山土壤层中黑色磁性球粒的研究

张宝民　李容全　游长江　贾铁飞

（北京师范大学地理系，北京 100875）

关键词　黑色磁性球粒、微玻璃陨石、宇宙尘

东灵山是北京西山最高峰，山顶有厚 0.5 m 土、在温凉较湿润气候条件下由母岩风化分解及风成堆积形成的亚高山草甸土分布，基岩为侏罗纪安山岩．在其东侧鞍部(地面标高 2080 m)，人工挖掘一剖面，于地下 0.10—0.15 m 深处采集的土壤样品中，发现大量黑色磁性球粒(以下简称球粒)．应用多种分析测试手段，对从中选出的部分球粒进行了研究，证明其中可能有微玻璃陨石和彗星消融型宇宙尘．

一、形态和物理性质

在体视显微镜（SM）下观察，东灵山球粒的形态为单球体、连球体及少量碎片．筛分及显微测量的结果表明，其粒度值域为 600—100 μm．它们均为黑色、沥青光泽或玻璃光泽，不透明，性脆易碎，很容易吸附在钢针或磁铁上．选出 20 颗圆形球粒，在十万分之一精度的天平上称得总重为 1.1×10^{-3} g，并显微测量每个球粒的直径和求出各自的体积，然后以总重量除以总体积（1.2149×10^{-3} cm³）的方法求出其平均比重为 0.91 g/cm³．

二、微结构与微构造

对 35 颗球粒的扫描电镜（SEM）研究结果表明，其内部结构为显微显晶质，外部结构为显微隐晶质或玻璃质(图 1-1)．无残留结构．表面构造有流纹、网状格子和气孔(图 1-2，3)．未见搬运磨蚀、溶蚀及沉淀等后生构造．其断面具典型的壳、幔双层构造，外壳薄而致密，幔层厚而疏松似蜂房(图 1-4)．

三、化学成分与矿物组成

应用电子显微探针分析（EMPA），对 20 颗球粒的壳、幔做了化学成分测定(表 1)，并将各自的壳、幔平均氧化物含量投影在图 2 上．由表、图看出：它们分别以高 SiO_2（LD01、LZ02、LD07）、高 MgO（LD12、LD13、LZ04、LZ05、LX02、LD09、LD11、LZ03）、高 Al_2O_3（LD 13、LZ 04、LX03、LZ 05、LX02）、高 CaO（LZ 01、LD 04、LX 03、LD 03、LD 05、LD08～LD11、LZ03）、低 FeO（除 LX01 外），仅有两个球粒含 TiO_2 和均不含 Na_2O 明显区别于地球玄武岩及安山岩[1]．其 MnO、TiO_2 含量特征又与地球火山和工业污染所产生的球粒明显不同[2,3]．表中仅有 4 个球粒含 NiO，但含量比山西大同玄武岩（含 NiO 0.02—0.04%）高一到两个数量级．此外，它们又以高 Al_2O_3 和不含 Na_2O 明显区别于普通人造玻

本文 1991 年 8 月 3 日收到．1992 年 1 月 8 日收到修改稿．

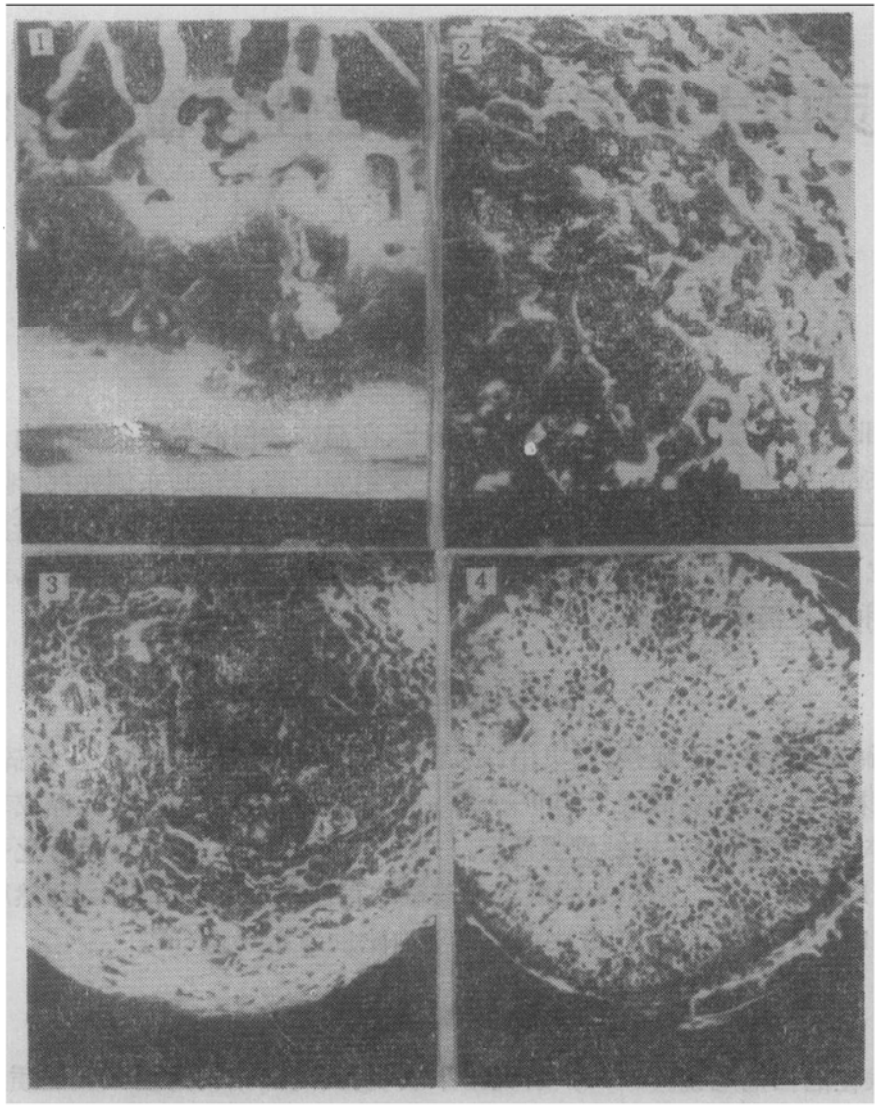

图 1

1.SEM ×2000 球粒内部为显微显晶质、外部为显微隐晶质或玻璃质结构； 2.SEM ×700 表面流纹和气孔构造； 3. SEM ×300 表面网状格子和气孔构造； 4.SEM ×200 由致密外壳和蜂房状馒层组成的断面双层构造

璃和草木燃烧所产生的球粒[4,5]。

从表 1、图 2 看出：LD01、LZ02、LD07 样品的化学成分及其投影点比较接近世界各地的微玻璃陨石[6]；LZ01、LD02、LD 04、LD 12 的化学成分及其投影点与 1908 年 6 月 30 日与原苏联西伯利亚通古斯上空彗星爆炸所产生的熔融残余物——土壤层中的硅质球粒相同或相近[7]；其余 13 个样品的化学成分则难以与包括碳质球粒陨石在内的所有石陨石群及深海宇宙尘对比[6,8]。

对 250 颗球粒的粉末 X 射线衍射分析（PXDA）结果表明，它们的结晶程度较低，均为微晶质，主要矿物为石英、钙长石和顽火辉石。

四、痕量元素类型与丰度

应用仪器中子活化分析（INAA），对一个由 12 颗球粒组成的混合样进行了痕量元素检

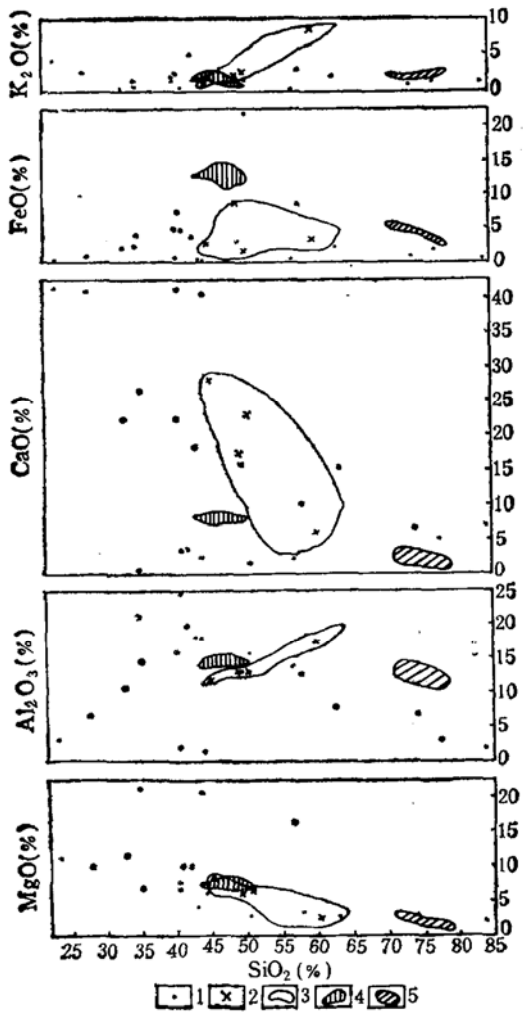

图 2　东灵山球粒 SiO_2 对 MgO、Al_2O_3、CaO、FeO、K_2O 图解

1.东灵山球粒；　2 和 3. 原苏联通古斯彗星消融型宇宙尘的平均值及值域（据 B.P. Glass., 1969）；
4.山西的近期玄武岩(据吴雅颂等，1978)；　5.亚-澳及北美等地的微玻璃陨石(据李斌，1982)

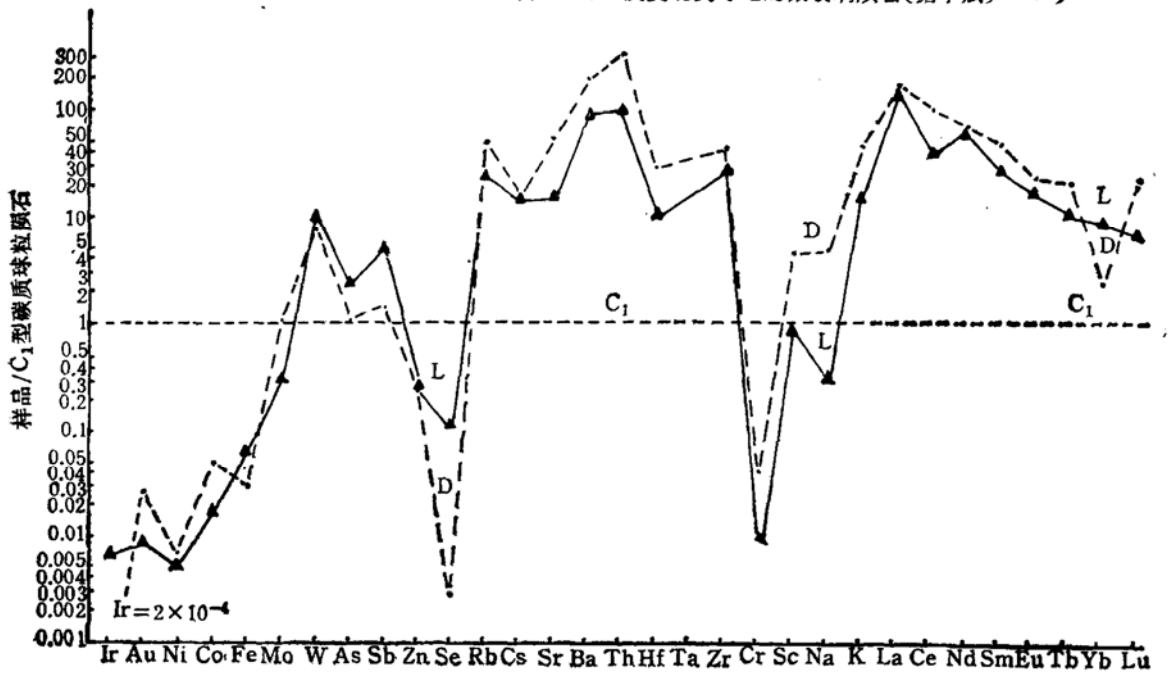

图 3　东灵山球粒痕量元素丰度对 C_1 型碳质球粒陨石（$C_1 = 1$）的富集与亏损因子

L. 东灵山球粒(检测的精度可信度为 90%)；C_1 · C_1 型碳质球粒陨石（据 B. Mason, 1979）；
D. 地壳（据 Taylor, 1964）

表 1　东灵山球粒的电子显微探针分析结果（wt%）*

样品 / 含量 / 成分	LD01		LZ02		LD07		LZ01		LD02		LD04		LD12		LD13		LZ04		LX03
	壳	幔	壳	幔	壳	幔	壳	幔	壳	幔	壳	幔	壳	幔	壳	幔	壳	幔	壳
SiO_2	62.64	91.15	78.50	89.02	95.12	52.49	47.45	51.47	44.33	71.28	51.07	74.91	47.28	66.13	32.76	54.78	35.17	48.63	44.65
MgO	—	—	3.09	1.18	—	6.39	6.17	7.03	5.62	1.23	4.86	0.16	19.35	13.06	24.69	16.75	6.45	13.39	1.64
Al_2O_3	5.93	—	2.79	0.98	—	12.91	15.88	10.69	23.78	1.67	15.30	—	16.91	10.76	21.49	14.76	15.06	24.55	29.54
CaO	6.41	3.49	8.20	5.93	0.09	12.70	18.42	13.38	1.74	18.46	15.80	14.74	3.08	1.38	2.78	2.10	7.41	—	0.59
FeO**	2.78	0.91	0.51	0.45	0.15	1.71	4.35	1.49	15.83	1.09	3.79	0.79	0.72	0.15	0.10	0.42	10.26	—	5.90
K_2O	1.83	0.60	1.02	1.16	0.90	0.67	1.75	—	4.55	1.15	3.11	0.98	0.12	—	—	—	0.67	—	9.40
TiO_2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.78
MnO	—	—	—	—	—	2.98	0.29	—	—	—	—	—	0.33	—	—	—	1.42	0.27	1.73
NiO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.68	—	0.30	0.49	1.45	—	3.44

样品 / 含量 / 成分	LX03	LZ05		LX01	LX02	LD06		LD05		LD08		LD09		LD10		LD11		LZ03	
	幔	壳	幔	幔	幔	壳	幔	壳	幔	壳	幔	壳	幔	壳	幔	壳	幔	壳	幔
SiO_2	41.27	31.44	38.59	50.51	41.10	30.71	57.87	38.01	43.25	33.66	47.27	18.75	37.44	27.79	42.79	5.75	41.16	13.67	52.37
MgO	6.33	21.27	21.16	2.73	9.96	9.50	2.45	8.21	5.47	11.61	3.83	13.55	6.74	9.37	4.00	16.29	6.72	11.85	11.41
Al_2O_3	7.13	20.00	22.61	15.84	24.40	2.34	—	3.29	—	24.50	7.39	9.47	3.48	17.00	11.96	3.74	3.27	15.94	5.36
CaO	35.86	1.07	—	1.72	3.53	48.88	32.10	42.06	40.35	13.04	31.62	43.74	38.45	27.31	25.55	49.22	34.05	38.53	6.12
FeO**	1.98	3.19	1.50	21.68	7.50	0.34	0.59	0.77	0.46	8.87	1.16	0.88	1.01	3.82	4.39	0.39	0.88	4.01	—
K_2O	0.50	0.62	—	1.72	2.40	2.12	1.52	1.56	2.13	1.88	0.67	2.71	2.70	1.14	1.35	5.10	2.67	0.20	—
TiO_2	—	—	—	0.87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MnO	0.47	—	—	3.64	1.37	0.45	0.18	0.36	0.10	—	0.81	—	—	3.67	2.88	0.73	0.23	—	—
NiO	1.26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* 未进行计数统计误差校正．因篇幅所限，表中未列 P、S、Cl．

** FeO 由全铁换算而成．

测(图 3)。由图 3 可见，亲铁亲硫元素除 W、As、Sb 外，均相对 C_1 型碳质球粒陨石[9]强烈亏损；亲石元素除 Cr、Na 外，均较 C_1 强烈富集；Sc 则接近于 C_1；REE 也表现出对 C_1 的强烈富集，从 La 到 Lu，除 Ce 存在负异常外，呈现递减趋势，显示富 LREE 的线性分异。

五、讨论与结论

1. 东灵山球粒的形态、物理性质、结构及表面构造与前人的宇宙尘研究报道有相似之处、但其比重小、无残留结构、幔层疏松似蜂房是以往研究文献少有报道的。

2. 表 1 中各球粒的壳、幔化学成分含量差异很大，半数以上球粒的 MgO、Al_2O_3、CaO、FeO、K_2O 等在壳层中富集，在幔层中相对亏损，可能表明其形成经历了消融作用。20 颗球粒的壳、幔平均 SiO_2、MgO、Al_2O_3、CaO、FeO、K_2O 含量变化范围大，其投影点离散度大，可能说明它们具多种成因。据目前研究程度，其中的 LD01、LZ02 和 LD07 可能属微玻璃陨石，LZ01、LD02、LD04 和 LD12 可能属彗星消融型宇宙尘，其余球粒的起源尚待进一步研究查明。

3. INAA 的分析结果表明，东灵山球粒中有地外起源的。因为，贵金属元素 Ir、Au 的存在及其丰度特征，往往为地外物质所固有[3]。W、As、Sb 的强烈富集，亲硫及其它亲铁元素的强烈贫化，REE 总量的增加，又是消融型宇宙尘的最重要判别标志[3]。其 REE 配分模式与 Parnallee 陨石的 A_3 和K球粒的[10]有相似之处。

致谢：扫描电镜照相和电子探针分析由我校测试中心周善元副教授完成，粉末 X 射线衍射分析由北京大学地质系王佩英副教授完成，中子活化分析由中国科学院高能物理研究所毛雪瑛副研究员完成，在此一并致以衷心的谢意。

参 考 文 献

[1] 黎彤等，地质学报，1963，3：271—280.
[2] 严泰林，世界地质，1986，4：57—69.
[3] 欧阳自远等，科学通报，32(1987)，4：281—286.
[4] Morey, G. W., *The Properties of Glass*, Reinhold, New York, 1960, 110—115.
[5] Baker, G., *Tektites, Memoirs of the National Museum of Victoria*, Melbourne, 1959, 189.
[6] 欧阳自远，天体化学，科学出版社，1988，190—214，289，294—295.
[7] Glass B. P., *Science*, 1969, 3879: 547—549.
[8] Blanchard, M. B. et al., *Earth and Planetary Science Letters*, 1980, 2: 178—190.
[9] Mason, B., *Data of Geochemistry*, 6th ed., Chapter B, Cosmochemistry, Part 1, Meteorites, U. S. Geol. Surv. Prof. Paper, 1979, 15, 105—106.
[10] Hamilton, P. J. et al., *Lunar Science*, 1979, 10: 494—496.