

宇宙尘埃的形成机制和运动规律*

刘正坤

(湖南有色金属研究所, 长沙)

于众

(石油勘探开发科学研究院, 北京)

彭汉昌

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛)

提要 通过对大量宇宙尘埃(或称球粒)进行扫描电镜微结构观察发现, 所呈现的球粒外部形态、表面构造和内部结构千姿百态, 形式多样, 显示了其不同的形成机制和运动规律。

在首次全球大气实验(FGGE)和多次大洋锰结核调查期间, 我们先后从赤道太平洋和北太平洋的广大海域中获取了大量样品, 并用各种方法作了分析研究。本文是在这些研究基础上, 总结了深海宇宙尘的各种特殊结构和构造的形貌特征, 并对各自的形成机制和运动规律进行了探讨。

一、样品制备与实验条件

太平洋深海宇宙尘可分为铁质、硅酸盐质、铁-硅酸盐混合质和玻璃质四种主要类型, 它们作为一种地外物质的判据已在有关文献中作了论述^[2-5]。对它们进行显微结构分析并配以电子探针成分分析是主要的研究方法之一, 据此可以探讨这种亚毫米级微陨石的形成机制和运动规律。

在进行扫描电镜分析前制样时, 为了保证样品的预定位置好, 和便于进行多方位观察及以后随时收取, 我们取直径 25mm, 高 10mm 的铜座进行电镜制样。首先将粘性极强的双面胶带粘于铜座上, 并进行分格编号。然后在双目实体显微镜下用自制的无磁性钢针将一粒粒干净的宇宙球粒依次摆放在胶带的方格内, 并轻轻压紧以防脱落, 还要注意记录下每颗球粒的样号。其后进行真空喷镀导电金膜或炭膜。镀膜机中的样品座平面倾斜要与蒸发源成 60° 夹角, 进行旋转喷镀, 达 300Å 左右的均匀厚度。

观察研究使用日本电子公司生产的“JSM-35C”型扫描电子显微镜与电子探针显微分析仪进行观察和分析。工作时, 加速电压为 25kV, 二次电子像工作束流为 1×10^{-9} — 10^{-10} A, 背射电子像工作束流为 $1-2 \times 10^{-9}$ A。

二、特殊结构构造分析

下面列举几种常见的结构和构造进行探索性分析。

* 本文系国家自然科学基金委员会资助课题。

收稿日期: 1987 年 12 月 30 日。

1. 铁质宇宙球粒的核-幔-壳结构

这是最近刚发现的十分有趣的结构类型。某些铁质球粒自然破裂后露出了包藏在内的金黄色 Ni-Fe 核心(在实体显微镜下)^[6], 扫描电镜和电子探针分析进一步揭示了如下特征:

(1) Ni-Fe 核心中的主要金属元素为 Ni, Fe, Co, 还含有少量的 Au, Cu, Cr 等, 其中 Ni 含量非常高, 并高度富集在核心之中。外壳中的主要成分是 FeO, 还含有少量的 CaO, MnO 等, 金属 Ni, Co 的含量相对较低。

(2) Ni-Fe 核心并不赋存在球心位置, 而是偏向球体内一侧(推测为球体形成时飞行方向的前部), 核心和幔之间有空隙。一般称之为“偏二重结构”。外壳很薄, 断面为骨节状(图版 1:1, 2)。

(3) 十分有趣的是它们的核-幔-壳厚度百分比位于一个比较稳定的范围之内。通过对五个类似球粒测定, 其各部分的厚度列入表 1。由表 1 可以看出, 每个球粒的核心半径 > 幔厚 > 壳厚, 它们之间的平均厚度百分比一般为 53.3:46.4:0.8。这个比值恰与地球的核-幔-壳厚度之间的百分比——54.7:45.2:0.5 相近^[1]。联想大部分宇宙球粒沿其椭圆形轨道不断运动的情况^[7](以黄道尘埃为例, 图 1), 它们两者具有相似结构及相近厚度百分比的可比特征, 不难理解, 这是一个值得深入探讨的有趣问题。

表 1 五个铁质宇宙球粒的核-幔-壳厚度同地球相应部分厚度的百分比对比

Tab. 1 Comparison of thickness percentage of core-mantle-crust of five iron cosmic spherules with the earth

样号	核心半径 (μm)	幔厚 (μm)	壳厚 (μm)	厚度百分比		
				核	幔	壳
M ₂₁₋₅	51.4	35.3		59	41	
M ₁₅₋₁₈	66.7	54.5		55	45	
M ₁₅₋₁₇	39.5	39.0	0.7	50.0	49.2	0.8
M ₂₁₋₃₂	11.4	10.1		53	47	
M ₁₁₋₈	核+幔	570.7	5	核+幔	99.2	0.8
地球①	3471km	2867km	33km	54.7	45.2	0.5

①地球各层厚度据 Г. В. Войткевич 综合资料^[1]。

2. 硅酸盐宇宙球粒的残余结构

据研究, 大部分宇宙球粒同碳质球粒陨石有着亲缘关系, 它们中往往残留着母体陨星的残余矿物微粒和结构^[7]。硅酸盐球粒中的残余结构表现在一些硅酸盐矿物(橄榄石、辉石)晶体呈定向排列, 构成如阶梯状、炉条状等结构形式(图版 1:3, 4)。这些结构也是一般球粒陨石的常见结构。我们推测, 各种硅酸盐矿物的熔点都比较高, 在冲向地球短暂的烧蚀、融蚀作用下, 由它们构成的各种结构都难以被破坏, 保留成为球粒的内部结构。

3. 铁质宇宙球粒的钮扣状构造

这是一种普遍的铁质宇宙球粒构造, 任何地球污染球粒(火山微粒、工业灰尘、核爆炸放射尘等)都不具有此种特殊构造。其特征是在球粒表面出现一规则或不规则同心圆, 叫

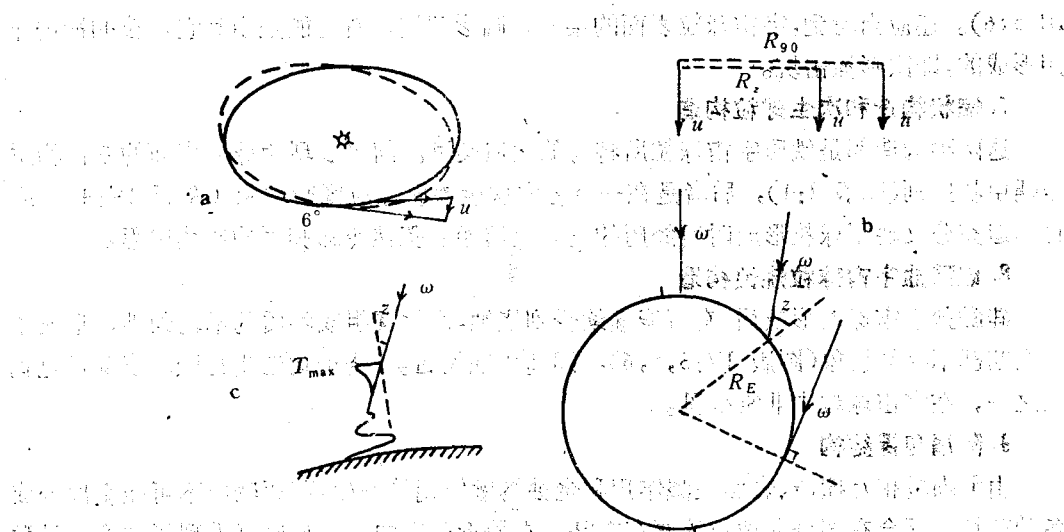
图 1 黄道尘埃粒子的运动轨迹示意^[11]

Fig. 1 Sketch map of motion locus of the zodiac dust

a. 呈椭圆形运动的黄道尘埃, 轨道速度为 30km/s , 所引起与黄道面成 6° 夹角的地心速度 $u = 3\text{km/s}$; b. 此种黄道尘埃又呈双曲线形并以轨道速度 $\omega = 11.5\text{km/s}$ 冲向地球大气层顶部, 因冲击角度不同产生了不同的矢速度 (u); c. 假设黄道尘埃幸存于高温大气层(最大高度 $T_{\max} \cong 90\text{km}$), 其后又以漂流形式经历数天后最终到达地面。

的中心凹下, 有的中心凸起, 有的中心还留有气孔, 很象一个“火山口”。具有这种结构的铁质球粒, 往往还包藏着一个 Ni-Fe 核心(图版 I: 1, 5, 6; 图版 II: 1, 5, 6 和图版 IV: 1, 2)。估计此种结构是在球粒形成时处于稳定飞行状态, 而且受到了迎面气流(或太阳风)的阻逆作用而形成的, 与此同时, 球粒内部的挥发组分往往由球粒前部的钮扣面中心逸出, 从而留下气孔。著名的玻璃陨石消融实验, 成功地制造出了人工达尔文玻璃, 而且同样产生出了钮扣状构造^[10]。

4. 凸缘构造

铁质球粒和硅酸盐球粒均可形成此种构造。象大多数陨石构造一样, 在一颗光滑和不规则宇宙微粒上, 往往存在一个尖而浑圆的凸起, 形似乳房状, 周围的矿物往往围绕着凸起呈环形排列。这种构造形成的原理同陨石一样, 它在高速飞行并处于半熔融状态下, 颗粒头部因空气消融作用被改造为浑圆的形态, 尾部往往较为钝圆(图版 II: 2, 3)。

5. 旋转构造

此种构造见于各种宇宙球粒中。球粒中出现波纹、平行沟槽、螺旋形沟槽等旋转形态(图版 II: 1—6; 图版 III: 1, 3, 4; 图版 IV: 1, 2)。形成球粒时, 由于不停地旋转运动, 形成了圆形凹坑、浑圆凸缘、平行沟槽、螺旋形沟槽、硅酸盐矿物环形排列等构造形态。

6. 气印构造

和陨石一样, 在形成球粒时, 由于受到气流阻逆, 在球粒表面形成一些大小不同的圆形浅坑, 有的形成密集的麻点。有的浅坑互相重叠。著名微玻璃陨石研究者 B. P. Glass 认为, 玻璃陨石表面的各种刻蚀构造是由于降下后受到海水或地下水的溶蚀作用产生的^[9]。我们认为, 它们是气流作用下形成的, 蜡烛风动实验结果也证实了此种解释(图版

III:5,6)。还应当看到,宇宙球粒表面的某一些圆形凹坑,有可能是由其它微粒的撞击作用形成的,即微形撞击坑。

7. 蠕状构造和次生球粒构造

这两种构造都是铁质宇宙球粒所特有的构造类型。前者表现为球粒表面的铁性物质呈蠕虫状排列(图版 I:1),后者是在一空腔内次生铁质球粒紧密堆积(图版 IV:4)。两种构造充分反映了球粒形成时所经历的先高温熔融后骤然冷却凝固的连续过程。

8. 硅酸盐宇宙球粒烧蚀构造

硅酸盐宇宙球粒形成后,有可能继续受到烧蚀,由于其组成物质的不均匀性,形成了一些凹凸不平的景象(图版 IV:3,5,6),即谓烧蚀构造。烧蚀构造也是陨石表面常见构造之一,在宇宙球粒中非常少见。

9. 陨屑包裸结构

由于陨星相互撞击、表面飞溅作用和烧蚀熔融作用的发生,碎屑物质不可能全部变成各种球粒,而会有部分非球粒碎屑存在^[1]。在最近研究中,我们同样发现了许多此种微粒,其中有的包裸着一颗或多颗小的铁质球粒(图版 III:2),或有的碎屑上粘连着一颗或多颗铁质球粒。在一次大的陨石事件之后,往往能收集到大量碎屑和球粒物质^[9]。

三、结 语

1. 铁质宇宙尘的核-幔-壳结构和它的类地球结构性质是一个值得深入探讨的问题,它所反映的本质问题应当是宇宙尘沿轨道运动特性和在短暂熔融状态下物质高度分异特性的综合。这对于解释地球起源和其核心形成机制或许有启示意义。

2. 钮扣形构造和含核心偏二重结构是区别宇宙球粒和污染球粒的重要标志。

3. 凸缘构造、旋转构造、气印构造等反映了宇宙球粒的运动规律和空气消融现象。在运动中,还可能产生飞行轨迹的变化,即旋转方向的变化。有的可能是逐渐改变的,有的则是急速改变的。由同心环的形状和方向不难看出球体旋转变化的方向、次数、强度和先后顺序。所以,在地质历史上地球磁场和自转轴的无数次变化也是不足为奇的。这或许就是整个宇宙动态平衡的必然结果。

4. 铁质宇宙球粒的磁性,正是宇宙球粒规则运动(自转和轨迹飞行)造成了磁性物质(包括矿物)极性规则排列的结果。宇宙球粒的磁场极性和它的旋转方向以及运动轨迹应是规律性分布的。由此看来,宇宙尘结构研究,也是宇宙物质“场”研究的一个重要组成部分。

参 考 文 献

- [1] 武汉地质学院地球化学教研室,1979。地球化学。地质出版社,第28页。
- [2] 柴之芳、毛雷瑛、马淑兰等,1986。深海宇宙尘的痕量元素丰度特征。中国科学(B辑) 10: 1089—1099。
- [3] 彭汉昌、赵奎襄、陈穗田,1981。深海宇宙尘的初步研究。科学通报 11: 682—685。
- [4] 彭汉昌、赵奎襄、陈穗田,1982。中太平洋西部海底沉积物中的宇宙尘研究。地质学报 1: 62—69。
- [5] 彭汉昌、庄世杰、于众,1985。海洋沉积物中的微玻璃陨石。地球物理学报 28(5): 497—501。
- [6] 彭汉昌、陆康、刘正坤等,1987。深海沉积物中含金黄色 Ni-Fe 核心铁质宇宙球粒的发现。海洋与湖沼 18(3): 249—252。
- [7] Blanchard, M. B., D. E. Brownlee, T. E. Bunch et al., 1980. Meteoroid ablation spheres from deep-sea

- sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.* 46: 178—190.
- [8] Glass, B. P., 1974. Microtektite surface sculpturing, *Geol. Soc. Am. Bull.* 85: 1305—1314.
- [9] Hodge, P. W. and R. Wilde, 1958. A search for airborne particles of meteoritic origin. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 14: 126—133.
- [10] O'Keefe, J. A., 1976. *Tektites and Their Origin*, Elsevier Scientific Publishing Company, pp. 66—67.
- [11] Parkin, D. W., R. A. L. Sullivan and J. N. Andrews, 1980. Further studies on cosmic spherules from deep-sea sediments. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.* 297: 497—498.

THE FORMATION MECHANISM AND MOTION REGULARITY OF COSMIC DUST

Liu Zhengkun

(Hunan Research Institute of Non-Ferrous Metals)

Yu Zhong

(The Scientific Research Academy for Petroleum Exploration and Development, Beijing)

and

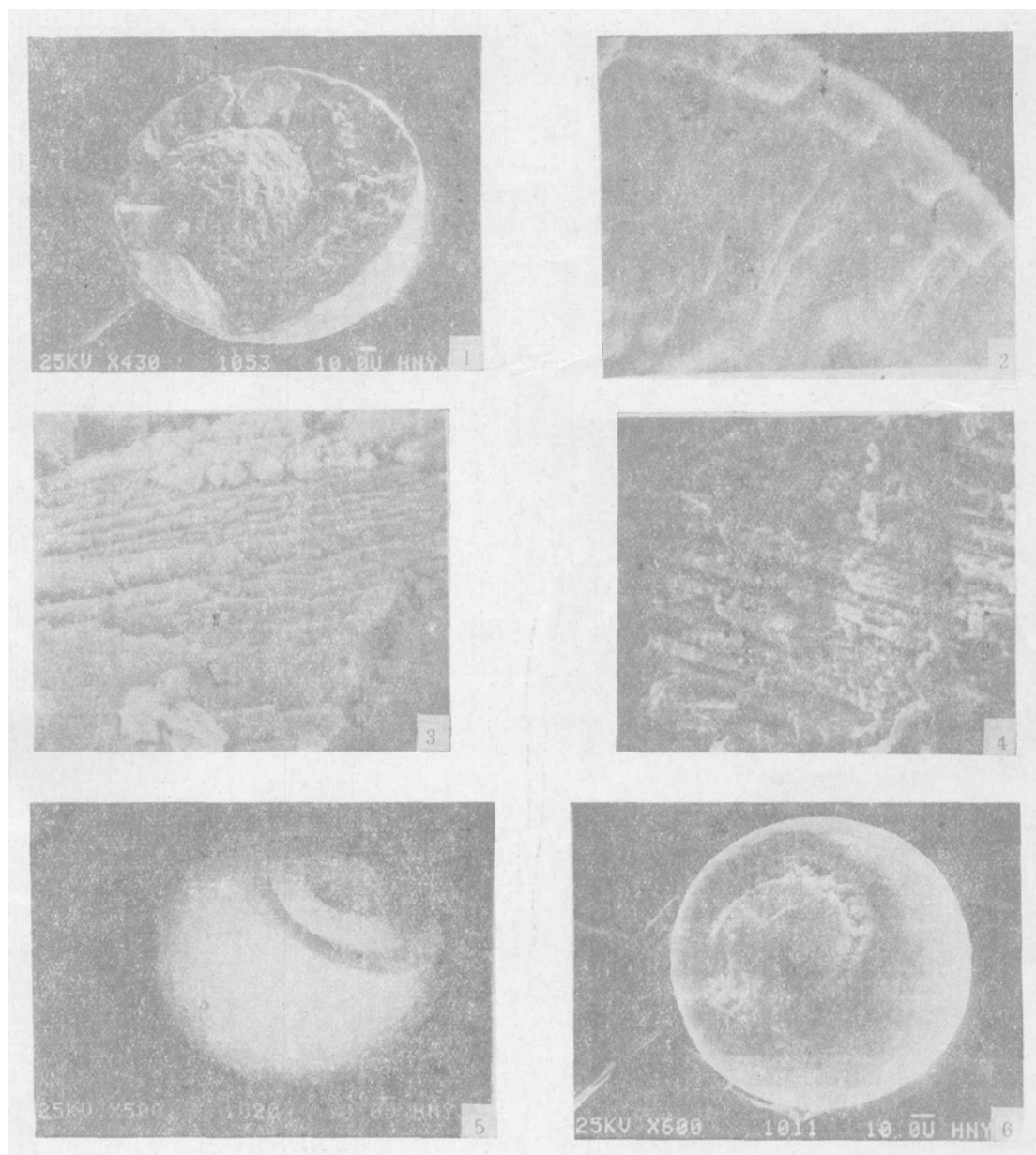
Peng Hanchang

(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao)

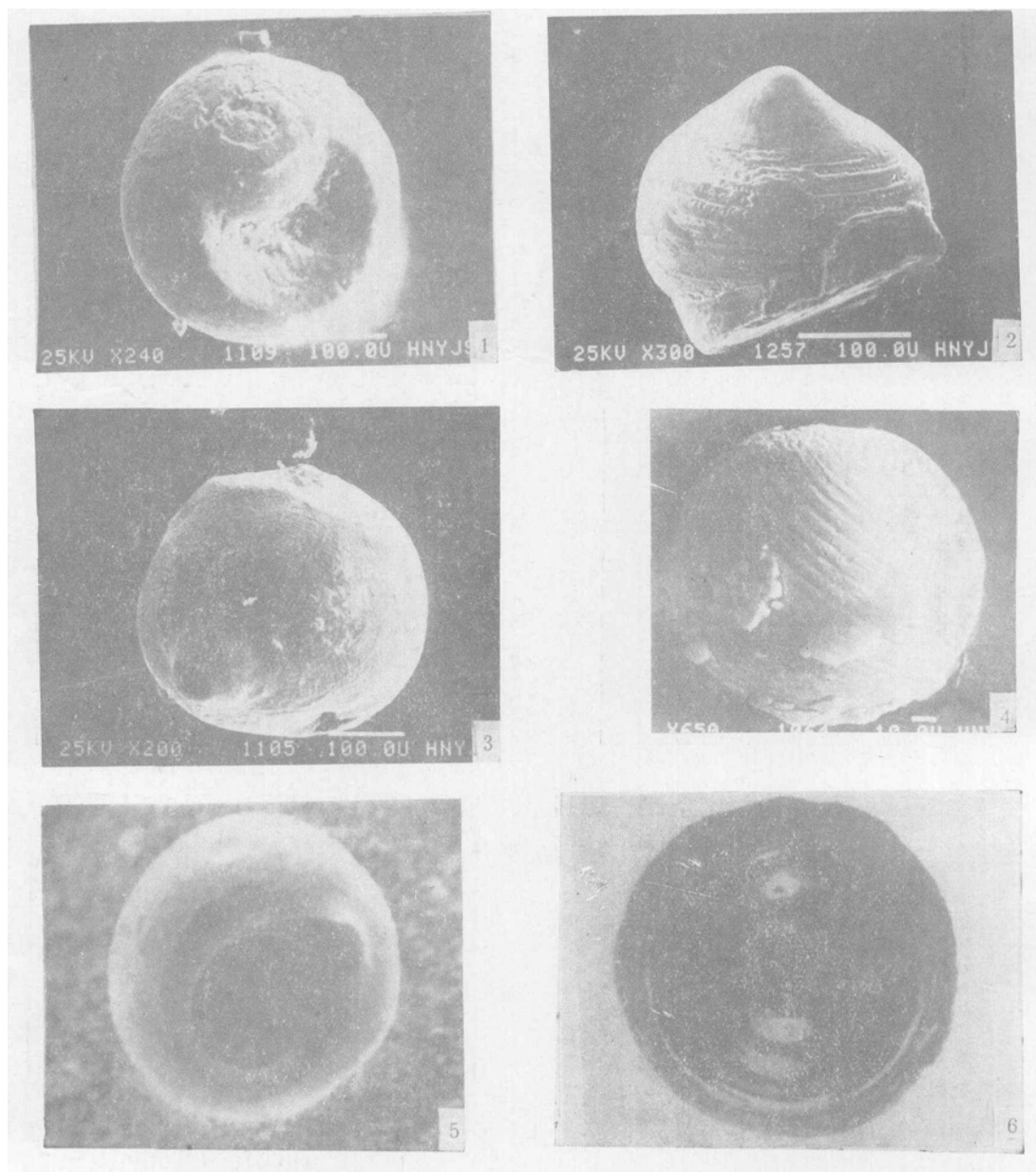
ABSTRACT

The structures of cosmic dust formed during the ablation, sudden cooling and motion process are varied, e.g. the core-mantle-crust, button-shaped, worm-shaped structures of iron cosmic dust and the relic, flanged, whirled, ablation structures of silicate cosmic dust, etc.

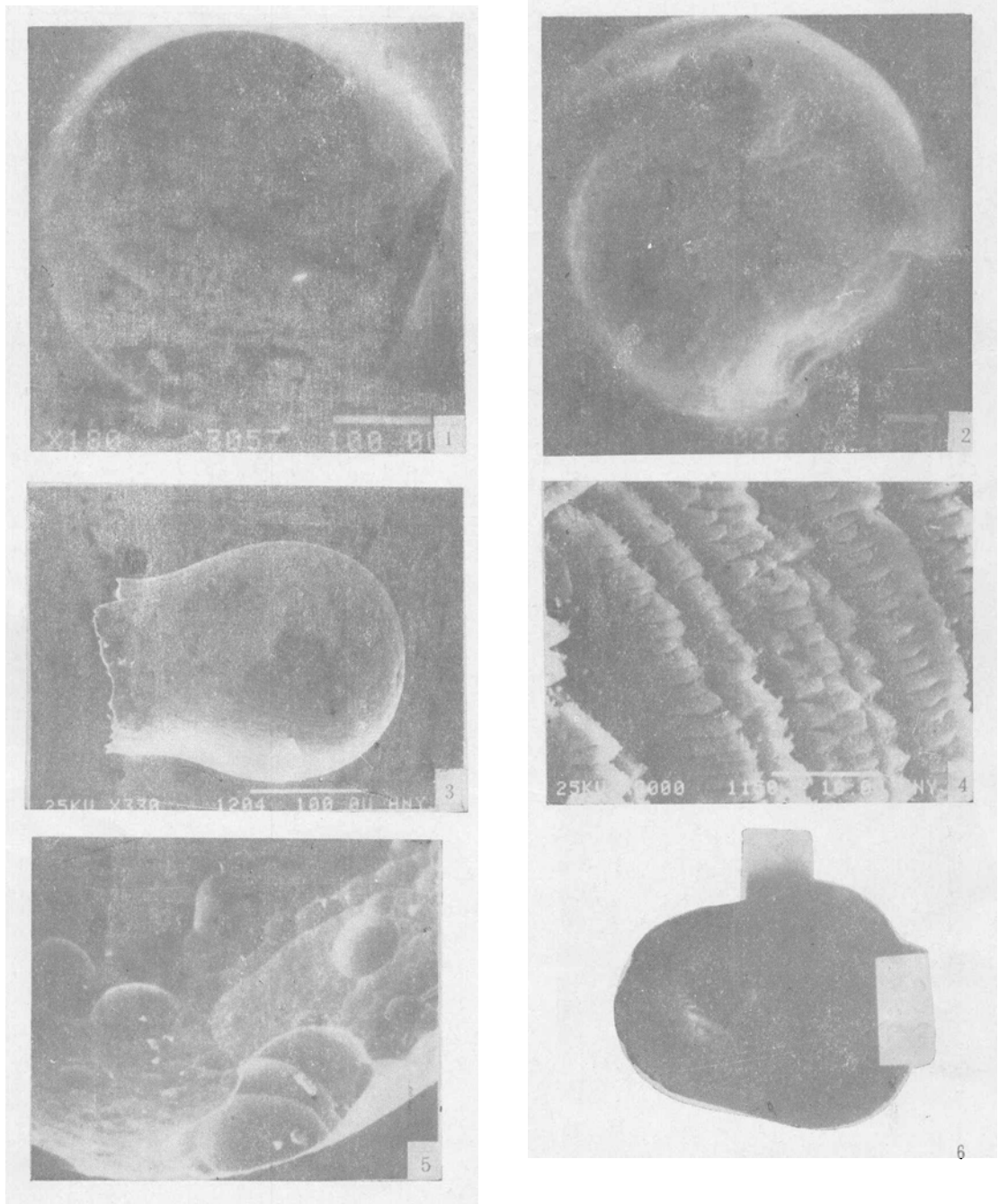
These special structures are important evidences for the physical and chemical variation of grains experienced after separated from their parent. For example, all extraterrestrial materials entering the Earth's atmosphere are heated by atmospheric friction could easily produce the ablation and the wormshaped structure; some of cosmic dust from comets and asteroids having the minerals and the structures of parent bodies produced the relict structures; the spherules colliding easily with each other during their formation and motion produced the impact structure, etc.



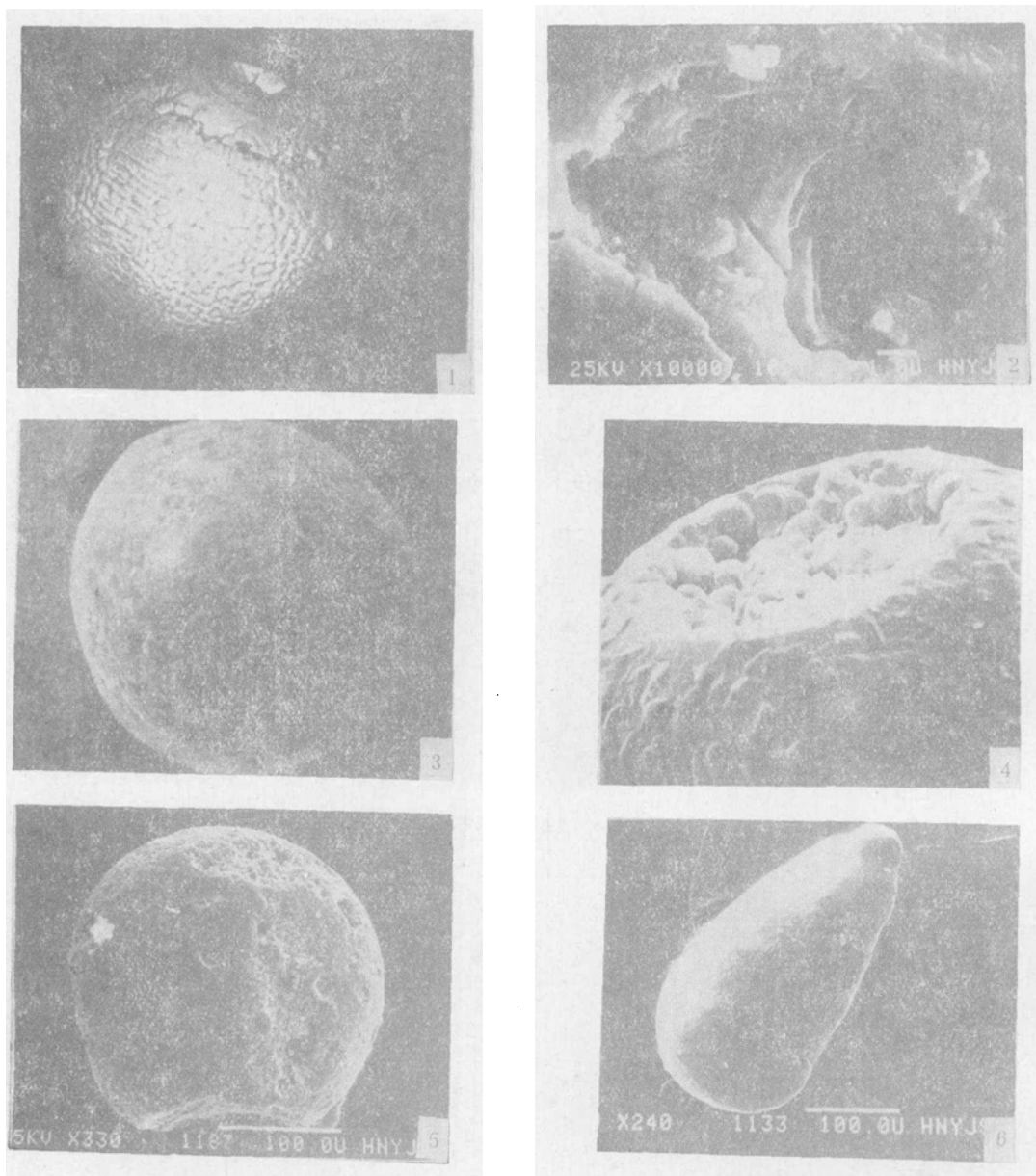
1. 铁质宇宙球粒偏二重结构, 自然破裂后的外壳断面参差不齐, Ni-Fe 核心表面粗糙不平; 2. 铁质宇宙球粒熔壳结构, 外壳呈骨节状, 是球粒骤然冷却形成的; 壳内的“幔”中, 流纹构造清楚可见, 表明球体形成时物质曾发生流动; 3. 硅酸盐质宇宙球粒的残余结构, 辉石晶体呈台阶状排列; 4. 硅酸盐质宇宙球粒的残余结构, 橄榄石晶体呈木垛状排列; 5. 铁质宇宙球粒的钮扣状构造, 凸起的钮扣表面又有圆形冲击坑构造; 6. 铁质宇宙球粒的钮扣状构造, 钮扣面平坦, 四周的沟槽中充填着其它物质。



1.铁质宇宙球粒的不规则钮扣状构造,标帜球体形成时发生旋转运动;2.硅酸盐质宇宙球粒的凸缘构造,硅酸盐矿物晶体呈环状排列,暗示球粒形成时曾发生旋转运动;3.硅酸盐质宇宙球粒的凸缘构造,隐约可见组成矿物呈辐射状和环状排列;4.硅酸盐宇宙球粒的 Ni-Fe-S 包体,表面的平行环形沟槽也暗示了球粒旋转运动;5.玻璃质宇宙球粒的旋转气印构造,标帜球粒在稳定飞行中也发生了旋转运动;6.达尔文玻璃的旋转及钮扣状构造,标帜球粒旋转运动。



1.玻璃质宇宙球粒的旋转孔构造,高速和旋转运动使得球体表面的孔洞显得分外圆滑;2.陨屑包裸结构,残余的包壳和壳内球体表面都很光滑;3.铁质宇宙微粒空腔结构,乳状微粒表面的组成矿物也成定向(沿飞行方向)排列,左端断面处为空腔出口;4.硅酸盐质宇宙球粒旋转构造,每个旋转环上的晶体矿物亦呈定向排列,且末端呈箭状;5.玻璃球表面的气印构造,大小不同的圆形气印互相重迭;6.蜡烛风动实验形成的凸缘和气印构造。



1. 铁质宇宙球粒蠕状和气孔构造, 暗示球粒形成时曾发生了骤冷和气体逸出; 2. 铁质宇宙球粒中 Ni-Fe 核心里的气孔构造, 暗示核心形成时也有气体逸出; 3. 硅酸盐宇宙球粒的烧蚀构造, 暗示球粒形成后在陨落过程中也曾发生了烧蚀和熔融作用; 4. 二重球粒构造, 在铁质宇宙球粒的孔洞中, 同样因冷却收缩作用而形成次一级的同质球粒; 5. 铁-硅宇宙球粒, 因组成物质熔点不同, 在黑色铁质斑块上产生气印, 内充八面体形磁铁矿; 6. 泪滴形铁质宇宙球粒, 因形成时微粒处于高速运动, 被拉成泪滴状。