

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

中太平洋西部海底沉积物中的宇宙尘研究

彭汉昌 赵奎宸 陈穗田

(国家海洋局第一海洋研究所)

一、导 言

1978—1979 年,我国海洋科学考察船在执行联合国组织的首次全球大气试验 (FGGE) 过程中,在西太平洋赤道海域进行了海底沉积物的表层取样与柱状取样。后来,我们在对取回的样品进行矿物学研究时,从中发现了一些微小球粒,通过各种研究确认它们为宇宙尘。

早在 1872—1876 年,英国海洋考察船(挑战者-VI 世号)在进行周游世界各大洋的考察中,首先从深海沉积中发现了一种光亮而带强磁性的黑色球粒,当时怀疑它不属于地球物质,但因分析技术所限,始终未能找到确凿的证据。到了近几十年间,美国、日本等国的海洋科学家们也先后从深海沉积中发现了这种球粒,并做了许多研究工作,找到了说明球粒起源于地球之外的可靠证据。除了继续从深海底获取样品外,他们还在南极的冰层中,远离大陆的孤岛上,正在远航的船甲板上,从空气中接收宇宙尘。此外,还利用人造卫星、火箭、U-2 型飞机以及高空气球自高空接收宇宙尘。这些方法都成功了。收集到的宇宙尘与深海宇宙尘完全相同。也有人从月球土壤中找到了同样的宇宙尘。这些都证明了宇宙尘随时都在向地球和其它星球表面降落。据推算每年降于地球表面的宇宙尘可达 10^4 — 10^6 吨^[1]。

除了陨石和月岩样品外,深海宇宙尘则是第三种重要的地球外源物质,它对于地质学、海洋学、物理学以及天文学的研究,都具有重要意义。

我们对样品除了进行显微特征研究之外,还作了电子探针、X 射线能谱、X 射线粉晶照相,以及扫描电子显微镜分析,从而获得了分析样品的显微特征、化学成分、矿物成分和微结构资料,用以判别试样的渊源及形成机制。

在研究工作中得到了刘敏厚先生的支持和热情指导,远洋考察组的同志热情地提供了研究样品。另外,石油勘探开发科学研究院于众、缪昕、陈丽华、中国科学院地质研究所李家驹、冶金部地质研究所庄世杰、中国科学院海洋研究所宋华中、毛兴元、地质部岩矿测试技术研究所李维华等同志和山东省地质局中心实验室光谱组都给予我们以热情的支持和帮助。笔者在此一并致谢。

二、调查区概况

调查海区分 I、II 两区(图 1)。

I 区 (4° — 10° S, 170° — 173° E) 位于埃利斯群岛以西的美拉尼西亚海盆的西侧,海

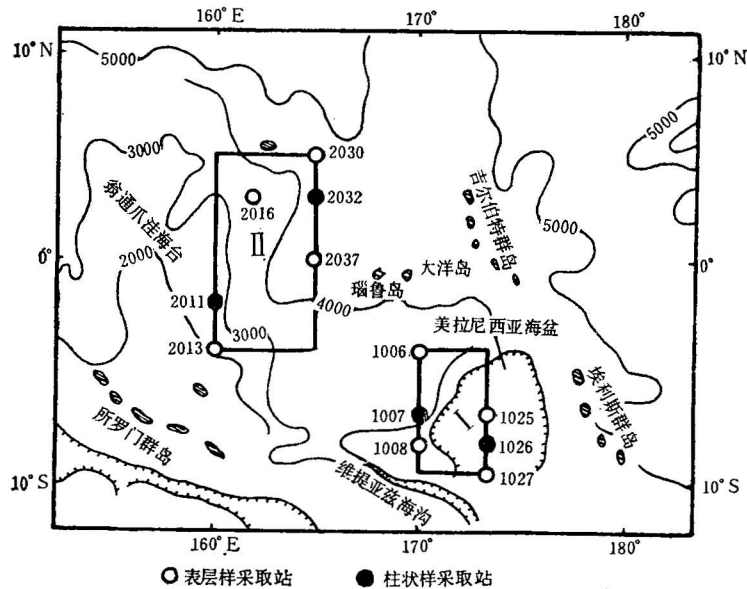


图 1 调查区位置及站位图

表 1 各站位的经纬度、水深和岩性表

海 区	站 号	站 位		水 深 (米)	岩 性
		经 度	纬 度		
I	1006	169°58'05''E	4°00'09''S	3475	钙质软泥
	1007	169°57'09''E	6°01'01''S	3437	钙质软泥
	1008	170°00'03''E	7°59'04''S	4934	硅钙质软泥
	1025	173°15'06''E	6°00'07''S	5443	红粘土
	1026	173°18'08''E	8°01'02''S	5375	红粘土
	1027	173°19'00''E	9°56'01''S	5061	红粘土
II	2016	161°43'04''E	2°59'00''N	3769	钙质软泥
	2011	159°59'09''E	2°59'05''S	4214	钙质软泥
	2013	160°00'00''E	3°59'09''S	2178	钙质软泥
	2030	165°00'09''E	5°00'01''N	4761	硅钙质软泥
	2032	164°55'05''E	2°59'05''N	4214	硅质软泥
	2037	165°00'07''E	0°00'08''S	4408	钙质软泥

底地形由西北向东南倾斜，采样点的水深一般为 3,000—5,000 米，最大水深为 5,443 米。II 区 (4°S—5°N, 160°—165°E) 位于库赛埃岛之南，瑙鲁岛之西，翁通爪哇海台东侧，海底地形由西南向东北缓缓倾斜，各采样点的水深一般为 2,000—4,500 米，最大水深为 4,761 米。

以上两区洋底广泛分布着钙质软泥、硅钙质软泥和红粘土(表 1)。各种沉积物中都含有大量的生物遗骸、火山喷发碎屑物和铁锰质结核。在表层及柱状(4—5 米)样品中都发现了宇宙尘，以红粘土中的含量为最高。这是因红粘土的沉积速率十分缓慢(每千年沉积厚度为 2 毫米左右)的缘故。

三、显微特征

宇宙尘是一些粒径不足一毫米的微小球粒,依据显微特征和物质成分,暂将其分为铁质、硅酸盐质和硅酸盐玻璃质宇宙尘三种。在实体显微镜下,可以清楚地看到铁质宇宙尘为黑色或褐黑色的滚圆球体,表面光亮耀眼,形如颗颗闪闪发亮的小钢球。它具有强磁性,所以国外研究者多称之为“磁球”(图版 I-1, 右上四粒)。硅酸盐质宇宙尘为褐绿色或灰白色的球状、椭球状颗粒,它也有磁性,但较铁质宇宙尘弱(图版 I-1, 左侧两粒)。硅酸盐玻璃质宇宙尘是无色透明或淡黄绿色半透明的球体,表面常见凹坑或棱状凸起,它完全没有磁性(图版 I-1, 右下角一粒)。

以上三种宇宙尘在沉积物中的含量,以铁质宇宙尘为最高,硅酸盐质宇宙尘次之,硅酸盐玻璃质宇宙尘仅见于个别柱状样的少数层位中。

宇宙尘粒径大小的分布可用图 2 表示。测定了其中 64 粒的大小,它们的粒径分布为: 20—100 μ 占 39%, 100—200 μ 占 42%, 200—300 μ 占 13%, 300—400 μ 占 5%, 大于 400 μ 占 1%。可以看出,它们的粒径多为 20—200 μ , 最大者达 420 μ 。

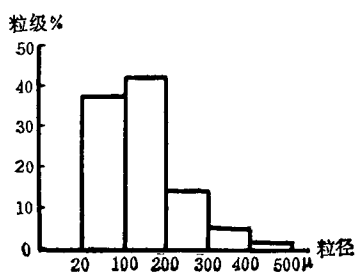


图 2 宇宙尘粒径分布图
(以 64 粒实测资料为例)

四、化学成分

对上述三种宇宙尘的不同颗粒分别作了电子探针分析和 X 射线能谱分析。

(一) 电子探针分析

电子探针分析结果列于表 2, 并附有各种球粒的 X 射线截面分布照片(图版 I-2、3、4、5)。

表 2 宇宙尘电子探针分析结果 (%)

氧化物 类型 \ 样品号		MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO*	MnO	Fe	Ni	备 注
铁质球	G ₁	—	—	—	—	—	—	—	—	—	61.37	37.89	核心(图版 I-2, 6)
	G ₁	—	—	—	—	—	—	—	—	—	71.19	0.30	外壳(图版 I-4, 6)
	G ₂	—	—	—	—	—	—	痕	—	0.10	71.23	0.82	外壳
硅酸盐球	G ₃	27.10	2.59	35.33	—	—	2.16	0.14	34.28	0.18	—	0.28	图版 I-3
	G ₄	26.81	2.32	35.53	—	—	2.18	0.09	34.09	0.10	—	0.70	
玻球	G ₅	3.01	15.89	66.06	0.08	2.93	2.70	0.95	6.11	0.09	—	—	图版 I-5

* FeO 由全铁换算而成。

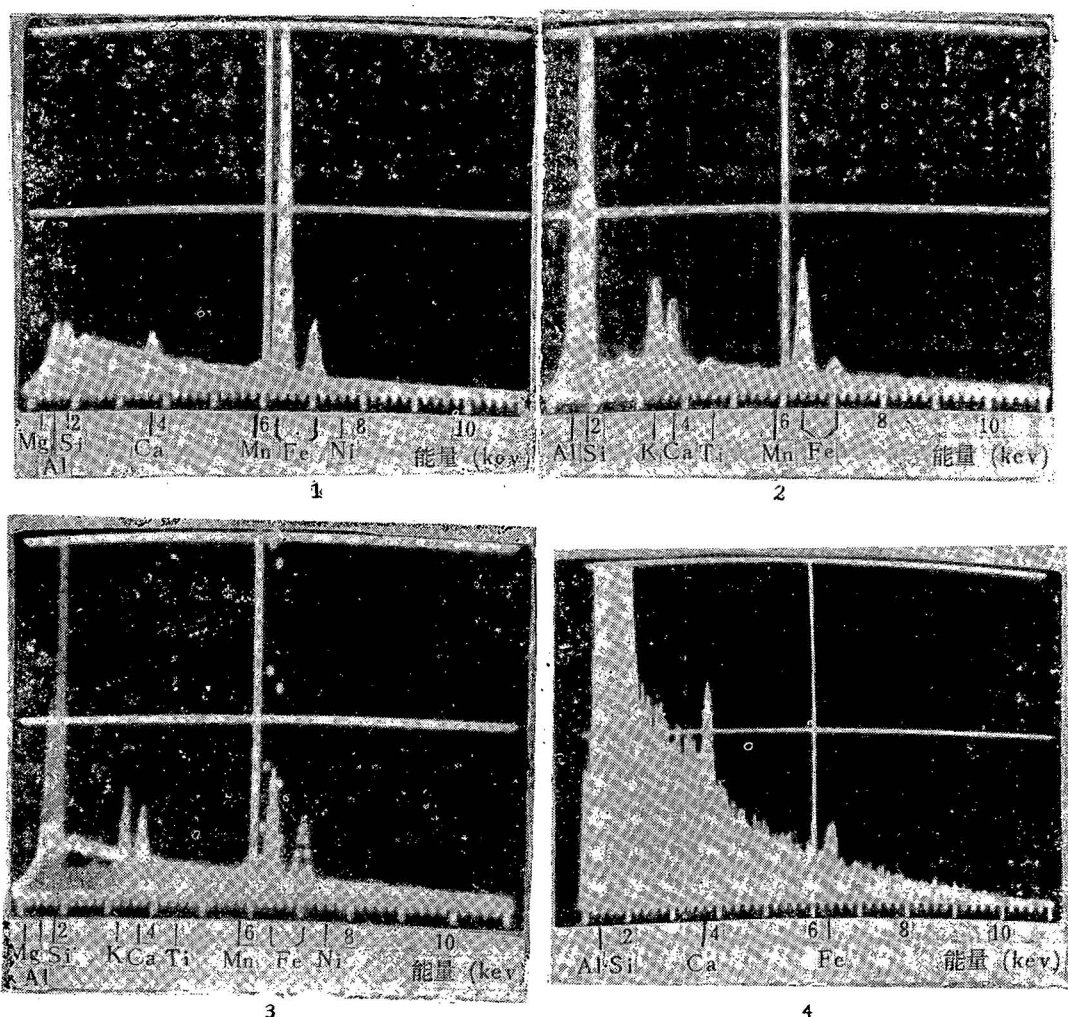
分析者: 冶金部地质研究所庄世杰。

其中除了 G₁ 号样品外, 其它样品都未磨出核心。由表及照片看出, 铁质宇宙尘的核

心部分(图版 I-6) 主要由 Fe 和 Ni 组成, 外壳部分(图版 I-6、8) 主要由 Fe 组成。硅酸盐球粒则是由 Si、Mg、Fe、Al、Ca 等元素的氧化物组成, 并含微量金属 Ni。硅酸盐玻璃质球粒除了上述各种氧化物外, 不含金属 Ni, 而且它的 SiO_2 含量特别高。这种化学成分特征与标准的玻璃陨石非常相似^[2]。

(二) X 射线能谱分析

利用英国剑桥 (Cambridge) 科学仪器公司 S₄₋₁₀ 扫描电子显微镜和英国林克 (Link) 公司 290 系统 X 射线能量色散谱仪对铁质和硅酸盐球粒作了 X 射线能谱分析。分析中用锂漂移硅 [Si(Li)] 半导体探测器作探头, 分辨率对 5,900 eV (电子伏特) 的 $\text{MnK}\alpha$ 射线为 152 eV, 可分析 $\text{Na}^{11}-\text{U}^{92}$ 的元素; 电子枪高压为 20 kV (千伏), X 射线计数率为 1,800—1,900/秒, 预置计数为 20,000; 谱线用高度计数、积分计数 (自动扣除背景值) 读出和拍照



照片 宇宙尘 X 射线能谱分析谱图

1——铁质球粒谱线; 2——硅酸盐球粒谱线; 3——铁质、硅酸盐球粒比较谱线。其中“点”状谱线为铁质球粒; “棒”状谱线为硅酸盐球粒; 4——硅酸盐球粒展开谱线, 除主要元素峰外, 可见诸微量元素小峰。

记录并进行谱线比较。

X 射线能谱分析结果列于表 3, 谱图示于照片-1、2、3。由表和照片清楚地看到, 两种不同球粒所含常见元素及其含量各不相同, 铁质球粒 (G_6) 中, Fe 的含量高达 93.67% (定性含量), 并含极少量的 Al、Si 和 Ca; 硅酸盐质球粒 (G_7) 中, 主要元素为 Si、Al、Fe、K 和 Ca。这一分析结果与上述电子探针分析结果基本相近。照片-4 为硅酸盐质球粒的 X 射线能谱分析展开谱图, 除了看出 Si、Ca 和 Fe 元素的强峰外, 还可以看出若干痕量元素的弱峰。分析结果表明, 两种球粒试样中含下列痕量元素: Ru、Pd、In、Cs、La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Re、Os、Ir 和 Pt。

表 3 宇宙尘主要元素 X 射线能谱分析结果

原子序数	元素谱线	能量 (keV)	G_6 (铁质球)		G_7 (硅酸盐质球)	
			积分值	定性含量*(%)	积分值	定性含量(%)
12	Mg K_{α}	1.254	56	0.05	—	—
13	Al K_{α}	1.487	2132	2.00	3891	6.85
14	Si K_{α}	1.740	2218	2.08	26973	47.50
19	K K_{α}	3.314	—	—	7058	12.44
20	Ca K_{α}	3.692	2281	2.14	4626	8.15
22	Ti K_{α}	4.510	—	—	110	0.19
25	Mn K_{α}	5.898	56	0.05	17	0.03
26	Fe K_{α}	6.403	87959	82.50	12764	22.48
	Fe K_{β}	7.057	11907	11.17	1339	2.36
28	Ni K_{α}	7.478	14	0.01	—	—

* 未作修正。

分析者: 石油勘探开发科学研究院廖昕。

五、矿物成分

利用 X 射线粉晶照相法对铁质球粒作了矿物成分分析。实验条件: FeK_{α} , 未滤波, 电压 35 千伏, 电流 10 毫安, 曝光 16 小时, 相机直径 57.3 毫米。将测得的结果列于表 4 中。

由表 4 看出, 分析试样中含主要矿物为磁铁矿 (Fe_3O_4 : $a_0 = 8.394 \pm 0.0008 \text{ \AA}$), 次要矿物为方铁矿 (FeO : $a_0 = 4.279 \pm 0.0018 \text{ \AA}$)。后者往往成为判定试样起源于地球之外的重要证据^[4]。表中还有未定出相的线条, 这要有更多资料, 分析多个样品, 或配合其它资料才能定下来。

因宇宙尘所含矿物较为复杂, 加之所含稀土元素的干扰, 致使某些衍射线缺失或其位置发生变化, 从而给矿物成分鉴定带来一定困难^[5]。从我们拍摄的德拜图来看, 也出现类似情况。

六、微结构构造

宇宙尘球粒表面及断面微结构构造成为判定其来源及形成机制的重要证据。

利用扫描电子显微镜对各种宇宙尘球粒表面及断面进行了详细观察, 并拍摄了二次电子象照片。仅举以下几种加以讨论。

表 4 铁质宇宙尘 X 射线粉晶分析数据

No	d_{α}	d_{β}	I/I_0	矿物代号	No	d_{α}	d_{β}	I/I_0	矿物代号
1	4.8470		3	Δ	18	1.6157		8	Δ
2	(3.2981) β	2.9904	1		19	1.5137		5	$\circ$
3	3.1465		1	$\times$	20	1.4813		4	Δ
4	2.9632		7	Δ	21	1.3301		4	Δ
5	(2.7880) β	2.5279	5		22	1.2808		9	$\Delta\circ$
6	2.6992		1	$\times$	23	1.2647		2	$\times$
7	2.5279		10	Δ	24	1.2345		1	$\circ$
8	2.4708		2	$\circ$	25	(1.2130) β	1.0934	2	
9	2.4213		2	Δ	26	(1.2059) β	1.0491	1	
10	(2.3109) β	2.0953	2		27	1.1571		4	$\times$
11	2.1386		4	$\circ$	28	1.1226		1	Δ
12	2.0990		6	Δ	29	1.0921		4	Δ
13	1.9742		4	$\times$	30	1.0688		3	$\circ$
14	1.9353		1	$\times$	31	1.0493 α_1		5	Δ
15	(1.7938) β	1.6264	2		32	1.0499 α_2		5	Δ
16	1.7152		4	Δ	33	0.9901		2	$\Delta\circ$
17	(1.6329) β	1.4805	3						

注：“ Δ ”——磁铁矿；“ $\circ$ ”——方铁矿；“ $\times$ ”——未知相矿物。

分析者：中国科学院地质研究所李家驹。

1. 蠕状构造：铁质球粒表面物质呈蠕状分布（图版 I-7）。这是宇宙尘组成物质由高温熔融状态骤然转变为低温凝固状态下产生的特殊构造。

2. 层壳结构：从铁质宇宙尘的断面图象中可以清楚地看出是由内核和外壳两部分组成，内核物质的流动痕迹清楚可见，薄层外壳形似骨节（图版 I-8）。在少数球粒断面上，还可以看到球粒是由核、幔和壳构成的三重结构，核往往是偏心的，而且当球粒破裂后容易脱落（图版 I-6）。电子探针分析结果表明，这类结构的球粒核心，镍成分很高，幔或壳部分的主要成分是铁（表 2）。

3. 气印构造：高速进入地球大气层尚未完全固化的宇宙尘球粒表面，因受气流阻碍而产生深浅不同的圆形凹坑，命为气印构造（图版 II-1）。这种构造在我国多次发现的陨石表面亦能见到^[5]，它的形成机理已为我国科学家在实验室里模拟成功^[6]。

4. 残余结构：即为球状、椭球状或不规则状硅酸盐质宇宙尘的特征结构，柱状或板状矿物呈层排列（图版 II-2）。它可能是最终形成的宇宙尘保留了原先母体物质（如陨石）的结构。

5. 熔蚀构造：椭球状硅酸盐质宇宙尘表面被烧蚀为坎坷不平的景象（图版 II-3）。

6. 流纹构造：硅酸盐质球粒的表面物质呈定向分布，类似流纹（图版 II-4）。这是宇宙尘组成物质在高温熔融状态下流动形成的构造。

7. 隐晶质结构：铁质球粒内部非晶质“棒状”物质呈定向排列，“棒”之端点甚圆滑，似乎为物质发生流动所造成的（图版 II-5）。

8. 晶洞构造：硅酸盐质球粒内部呈现晶洞，柱状或格架状矿物生成体自洞壁向空间方向生成（图版 II-6）。

9. 炉条状结构: 硅酸盐质球粒内部“箭状”矿物生长体平行排列, 形似“炉条”。生长体末端箭头表明矿物生长方向。在“炉条”间还有微小矿物结晶体(图版 II-7)。这种结构在我国吉林陨石中也能见到^[7]。

10. 叠瓦状结构: 硅酸盐质球粒内部板状矿物呈“叠瓦”状排列(图版 II-8)。

七、结 语

通过初步研究表明:

1. 根据分析试样的显微特征、化学成分、矿物成分和微结构构造可以认为, 这些采自深海沉积物中的微球粒不同于任何地球生成物, 它们是来源于地球以外的宇宙尘。

2. 通过对宇宙尘球粒的各种微结构构造分析, 可以看出它们曾经历了低温—高温—低温和相应出现的固态—熔融(或半熔融)态—固态的连续变化过程。

3. 硅酸盐玻璃质宇宙尘仅见于个别岩心中, 而且它的成分特征与其它种宇宙尘有显著不同, 与玻璃陨石的成分及结构非常相似。因此, 对于它的成因可以别论。

参 考 文 献

- [1] 島誠, 1972, 海洋堆積物中の宇宙物質。海洋科学(日), 第二期。
- [2] O'Keefe, J. A., 1978, The Tektite Problem. SCIENTIFIC AMERICAN, Vol. 239, No.2.
- [3] 田澤雄二, 1979, 深海底堆積物中の宇宙塵の矿物学的特徴。海洋科学(日), 通 116 号。
- [4] 小林和男, 1977, 海洋底地球科学。東京大学出版会。
- [5] 裴静娴等, 1980, 吉林陨石雨热发光的初步研究。科学通报, 第 1 期。
- [6] 林同驥等, 1981, 有序熔模转接。力学学报, 第 4 期。
- [7] 张培善等, 1978, 吉林陨石雨物质成分研究并讨论其对地球起源和演化问题的启示。地质科学, 第 2 期。

THE STUDY OF THE COSMIC DUST FROM WESTERN MID-PACIFIC SEA-FLOOR SEDIMENTS

Peng Hanchang, Zhao Kuihuan and Chen Suitian

(First Oceanographic Institute, State Bureau of Oceanography)

Abstract

In 1978—1979, China's oceanographic vessel collected a lot of sediment samples from the western mid-Pacific (10°S—5°N, 160°E—173°E) when taking part in the First GARP Global Experiment (FGGE). Mineralogical examination of these samples under the stereoscopic microscope has revealed many spherules of different colours and with a diameter less than 1 mm, some of which exhibit strong magnetism.

In addition to the study of the microscopic characteristics of the spherules, electron microprobe, X-ray energy spectrum, X-ray powder and scanning electron microscopic analyses have been made respectively. From a vast amount of data on their microscopic characters, chemical composition, mineral composition and microstructures, it may be ascertained that they are cosmic dust of extraterrestrial origin.

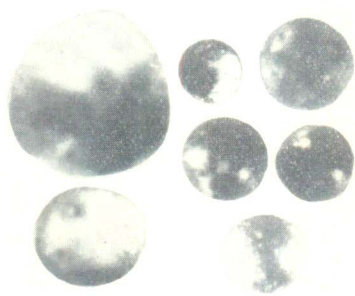
图 版 说 明

图 版 I

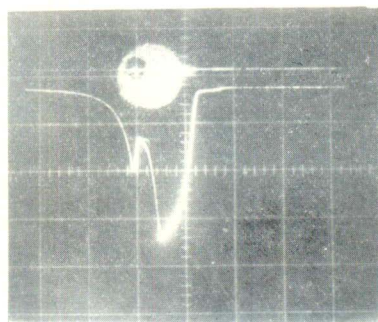
1——深海宇宙尘。左侧两粒为硅酸盐质宇宙尘,右侧上面四粒为铁质宇宙尘,右下角一粒为硅酸盐玻璃质宇宙尘。实体显微镜下,×68; 2——铁质宇宙尘(G_1 核心) $NiK\alpha$ X射线截面分布象,×150; 3——硅酸盐质宇宙尘(G_2) $FeK\alpha$ X射线截面分布象,×135; 4——铁质宇宙尘(G_1 外壳) $FeK\alpha$ X射线截面分布象,×150; 5——硅酸盐玻璃质宇宙尘(G_3) $FeK\alpha$ X射线截面分布象,×135; 6——铁质宇宙尘(G_1)截面三重结构:偏心铁镍核心、幔和外壳(二次电子象,×780); 7——铁质宇宙尘表面蠕状构造(二次电子象,×462); 8——铁质宇宙尘断面层壳结构(二次电子象,×2,400)。

图 版 II

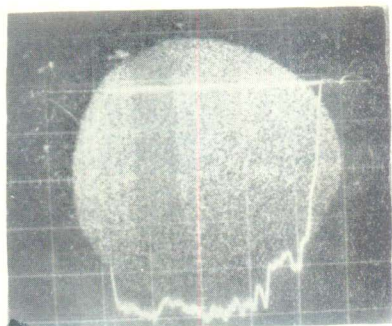
1——硅酸盐质宇宙尘表面气印构造(二次电子象,×240); 2——硅酸盐质宇宙尘内部残余结构(二次电子象,×1,260); 3——硅酸盐质宇宙尘表面熔蚀构造(二次电子象,×240); 4——硅酸盐质宇宙尘表面流纹构造(二次电子象,×960); 5——铁质宇宙尘内部隐晶质结构(二次电子象,×2,700); 6——硅酸盐质宇宙尘内部晶洞构造(二次电子象,×1,080); 7——硅酸盐质宇宙尘断面炉条状结构(二次电子象,×660); 8——硅酸盐质宇宙尘断面叠瓦状结构(二次电子象,×2,700)。



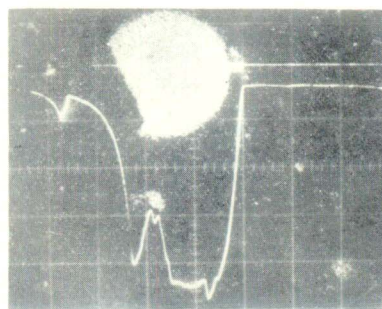
1



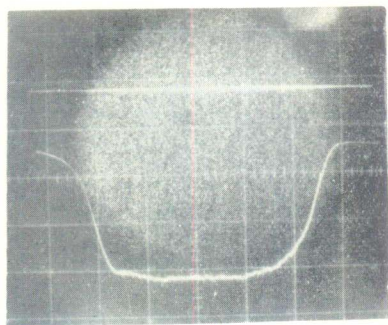
2



3



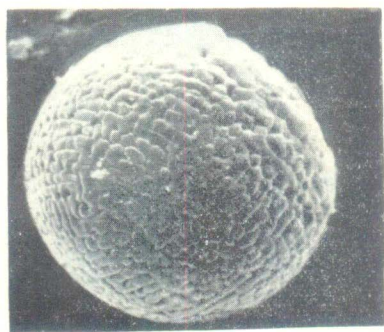
4



5



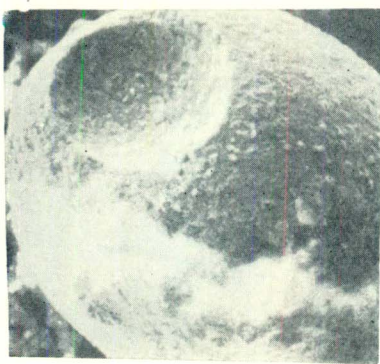
6



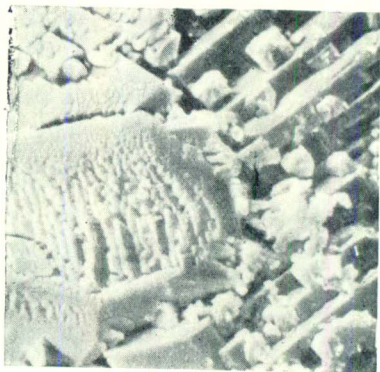
7



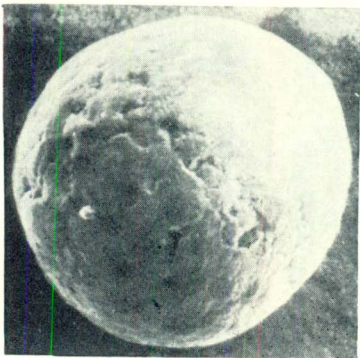
8



1



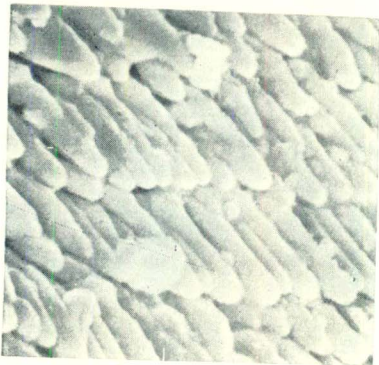
2



3



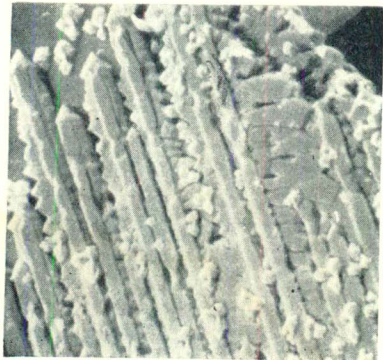
4



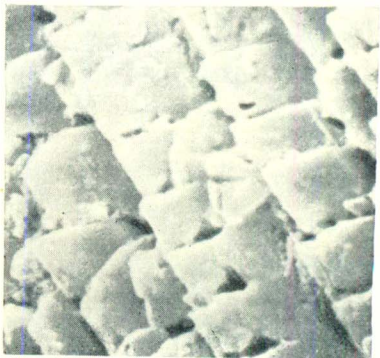
5



6



7



8