

# 辽宁弓长岭太古宙斜长角闪岩中 微球粒之发现<sup>①</sup>

万渝生 伍家善 杨明明<sup>②</sup>

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

**主题词** 微球粒 斜长角闪岩 弓长岭铁矿床

**提要** 本文报道了辽宁弓长岭二矿区太古宙纹层状斜长角闪岩中微球粒之发现。微球粒一种呈暗色、不透明、有磁性; 另一种为浅乳黄—棕黄色、透明—半透明、无磁性或弱磁性。它们多为玻璃质, 强磁性者为磁铁矿。微球粒具气孔、瘤状、气泡塌陷、连体、凹坑等反映强塑性、高速运动、富挥发份、快速冷凝特征的多种表面和内部结构。其化学组成以  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TFe}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{CaO}$  为主。它们的形成可能与火山作用或陨石撞击作用有关。无论其成因如何, 均表明: 1) 纹层状斜长角闪岩的原岩为基性凝灰岩; 2) 本区变质温压条件存在微区不均匀性。

## 1 地质背景

弓长岭铁矿床位于辽宁省鞍山—本溪铁矿集中区。获得微球粒的样品采自弓长岭二矿区。该矿区含铁岩系呈北西—南东向, 以较大倾角向北东倾斜, 与晚太古代钾质花岗岩呈侵入交代接触。含铁岩系层序由下而上依次为: 下部浅粒岩组、角闪质岩石组、下部含铁岩组、中部黑云变粒岩组、上部含铁岩组、硅质岩石组、上部浅粒岩组。最大厚度达千余米。它们形成于陆壳基底之上, 遭受低角闪岩相变质作用。形成时代为 2.75—2.65 Ga<sup>③</sup>。

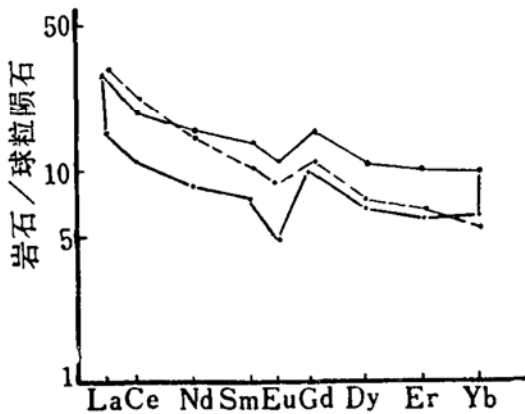


图 1 弓长岭二矿区下部斜长角闪岩的稀土模式

Fig. 1 Chondrite-normalized REE patterns of the lower plagioclase amphibolite in the Gongchangling No. 2 Mine

图中给出了其它斜长角闪岩的稀土模式范围(框中)和含微球粒的纹层状斜长角闪岩的稀土模式(虚线)

① 地质行业基金(89035)资助。  
② 中国地质科学院矿床地质研究所。  
③ 万渝生, 1992, 辽宁弓长岭含铁岩系的形成与演化, 博士论文。  
本文于1992年1月收到, 1992年5月改回。

发现微球粒的纹层状斜长角闪岩位于含铁岩系下部的斜长角闪岩组中。岩石呈细纹层，纹层主要由斜长石和闪石的含量差异引起的颜色变化而形成，部分纹层由角闪变粒岩或黑云角闪变粒岩组成。纹层连续而平整。岩石具相对高硅 ( $\text{SiO}_2$  为 54.04%) 低铁 (TFeO 为 8.20%) 的特征。稀土总量不高，TREE 为 53.1(ppm)，但轻重稀土有较强分离 (LREE/HREE 为 4.50)，出现一定负铕异常 ( $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  为 0.77)。与角闪质岩石组中其它同类岩石成分特征相似，但轻重稀土的分离更强 (图 1)，表现出存在外生作用的影响。

## 2 微球粒特征

从大约 30 kg 样品里只选得 200 颗左右的微球粒。除其含量低外，可能主要还与分选时的丢失有关。微球粒粒径从几个  $\mu$  到大于 100  $\mu$  不等。根据其特征可分为两类：一类约占 4/5，为暗色，不透明，有磁性。磁性强弱有较大变化。表面呈钢灰色、强反射者一般磁性更强；另一类约占 1/5，为透明一半透明，无磁性或弱磁性，颜色从浅黄色到棕黄色。

### 2.1 形态结构

两类球粒有同样的形态结构特征。除典型球状者 (照片 1) 外，还见有：

1) 纹饰结构，个别球粒表面呈一定的花纹式样 (图片 2)，由不到 0.5  $\mu$  的小突起组成。

2) 双壳结构，外壳很薄，内壳表面十分光滑 (照片 3)。

3) 裂纹结构，呈线状裂开 (照片 3 之左上部)，不同于气孔和擦痕结构。

4) 气孔结构，为球粒主要结构之一。气孔发育程度变化很大，从无气孔到炉渣状都有 (照片 1—4 及其它)。气孔壁平滑，气孔多垂直球面并可相互连接，形态各异。有些球粒表面无气孔，但内部存在气孔。

5) 瘤状结构，瘤状物一般光滑，多数只略有凸起，与大球粒表面平滑过渡 (照片 3，5)。部分凸起很高，似一个小球附在大球上 (照片 6)。

6) 气泡塌陷结构。部分瘤状物表面不光滑，存在放射状沟纹，中央塌陷下去，有气孔，形态与火山口相似 (照片 7)。

7) 连体结构。两个以上球粒相互粘结在一起 (照片 8)，球粒大小可有一定变化，部分与瘤状结构相近。

8) 凹坑结构。根据形态可进一步分为规则圆形和不规则两种 (照片 5、8)。前者很可能是小球脱落所致。后者为碰撞、溶蚀等多种作用的共同结果。

9) 锥状结构。球粒与锥状体和不规则体相连 (照片 9)。

10) 擦痕。球粒表面出现线状擦痕和撞击坑 (照片 5，10)。

11) 溶蚀结构。许多球粒都遭受不同程度的溶蚀，有的甚至整个球粒都被溶蚀。溶蚀形成的坑由于浅、内壁不光滑而区别于气孔。也常见溶蚀发生在气孔中。部分还有溶蚀再生现象。

### 2.2 光性特征

在砂薄片观察时，单偏透射光下，透明一半透明微球粒多表现出不同程度的透光性，同一颗粒内透光性亦可有一定变化。正交偏光下多为全消光，说明很可能是玻璃质。少部分有

微弱光性,与脱玻化作用有关。一些磁性很弱的暗色微球粒与透明一半透明者具相同的光性特征,只是透光性一般更差。多数磁性暗色球粒在砂薄片上不透光,但也不具金属矿物所具有的强反射。强磁性暗色球粒与磁铁矿光性相同,应为磁铁矿。

### 2.3 化学组成特征

从表1可见,微球粒主要由 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TFeO}$ 、 $\text{CaO}$ 组成。 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MnO}$ 含量与基性岩浆岩相近。低 $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 是所有微球粒的重要特征。电子探针和能谱分析表明,除个别样品外,微球粒普遍低 $\text{Cr}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Ni}$ 等元素。

化学组成变化大是微球粒的另一特征,变化最大者也正是 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TFeO}$ 、 $\text{CaO}$ 等高含量组分。这种变化一般存在于不同微球粒之间,但同一球粒内部个别元素的含量也可有较大变化。球粒的比重一般不大,发育程度不同的气孔结构还使其比重进一步下降。

微球粒的化学组成与其透明度、磁性强弱明显相关。一般, $\text{SiO}_2$ 含量高, $\text{TFeO}$ 含量低者为透明一半透明,无磁性。随着 $\text{SiO}_2$ 含量降低, $\text{TFeO}$ 含量增高,微球粒透明度降低而磁性增强。 $\text{TFeO}$ 含量最高者表面呈钢灰色,具有强反射和强磁性,但它们仍含有一定量的 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 杂质。

## 3 讨论

微球粒在月球土壤、深海沉积物、新老地层、南极冰盖、火山灰中都有发现,并有不同的成因认识<sup>[1-5]</sup>。下面根据本区微球粒的特征,对其成因作一些讨论。

微球粒的多种形态结构表明它们形成于强塑性条件下。可以设想,处于高温的强塑性微粒的高速运动所产生的离心力及本身具有的表面张力,对微球粒的形成起了重要作用。锥状结构可能反映了微球粒形成的中间状态。发育程度不同的气孔结构、瘤状结构、气泡塌陷结构等表明,球粒形成过程中其内部流体的含量和密度有较大的变化。部分瘤状结构可看成是流体向外逸但未逸出的结果,而气泡塌陷结构则是流体继续外逸,突然爆发所致。裂纹结构、双壳结构很可能形成于球粒的冷凝收缩。部分擦痕与球粒在空中运动时被更细微尘碰撞摩擦有关。连体结构说明微球粒在局部可达到较大密度。硅酸盐微球粒为玻璃质则表明它们是快速冷凝作用的产物。显然,高温、富挥发组份、快速冷凝、快速运动是这些微球粒形成的必要条件,排除了它们是沉积、成岩、生物成因的可能。

另一方面,以下几点在很大程度上也排除了它们为宇宙尘成因的可能。1) 宇宙尘可分为硅酸盐质、玻璃质和铁质三类。本区微球粒以高 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、低 $\text{MgO}$ 明显不同于硅酸盐质和玻璃质宇宙尘,以低的 $\text{Cr}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Ni}$ 而不同于铁质宇宙尘<sup>[5]</sup>。2) 本区微球粒在常量元素组成上与中国南方二叠—三叠界线处铁硅质微球粒十分一致(图2, 3)。周瑶琪<sup>①</sup>对后者作了中子活化分析,结果表明,在包括 $\text{Ir}$ 、 $\text{REE}$ 在内的相容和不相容元素的组成特征上,它们明显不同于宇宙尘成因的微球粒,而有壳内来源的成份特征。3) 这些微球粒不具宇宙尘所特有的网状格子、龟裂纹、规则全晶质、镶嵌、气印等结构。

微球粒很可能是由火山作用形成的。本区微球粒与Irazu等地的近代火山成因微球粒<sup>[3]</sup>

① 周瑶琪, 1989, 二叠—三叠界线事件研究, 中国科学院高能物理研究所(硕士论文)。

表 1 微球粒的探针分析

Table 1 Electron microprobe analyses of microspherules

编 号	样品号	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TFeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Total
1	W-1a*	51.9	15.1	3.9	1.5	26.3	0.1	0.4	0.6	0.0	0.1	0.0	99.9
2	W-1b	52.1	16.7	4.4	3.4	21.7	0.3	0.1	0.7	0.0	0.3	—	99.7
3	W-2a	51.6	24.9	3.0	2.3	15.2	0.1	0.1	1.6	0.2	0.2	0.0	99.2
4	W-2b	52.8	26.6	3.7	3.5	11.6	0.2	0.2	1.2	0.0	0.0	—	99.8
5	W-3	54.2	13.6	2.1	2.3	25.1	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	99.7
6	W-4	46.3	18.9	22.7	0.9	9.2	0.1	1.1	0.3	0.1	0.0	0.0	99.6
7	W-5	55.9	16.1	22.4	0.1	1.5	0.1	1.4	2.0	0.2	0.1	0.0	99.8
8	W-6	31.4	13.6	34.2	2.6	16.5	0.2	0.0	0.6	0.1	0.0	0.0	99.2
9	W-7	5.8	16.3	30.0	4.8	33.5	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	9.1	99.8
10	W-8	33.6	23.9	38.5	0.0	1.7	0.1	0.0	1.4	0.6	0.0	0.0	99.8
11	W-9	41.8	15.7	34.1	1.3	3.0	0.0	1.9	1.2	0.4	0.1	0.0	99.5
12	W-10	28.7	9.1	55.9	0.0	4.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	1.0	99.1
13	W-11	25.1	7.7	59.4	1.3	4.6	0.2	0.0	0.2	1.1	0.0	0.0	99.6
14	W-12	44.7	11.2	37.1	0.2	3.4	0.1	0.7	1.6	0.0	0.9	0.0	99.9
15	W-13	16.5	7.2	63.0	1.6	9.3	0.0	1.1	0.0	0.3	0.0	0.0	99.0
16	W-14a	25.1	7.5	58.4	1.9	3.9	0.4	0.0	0.5	1.0	0.0	1.0	99.7
17	W-14b	26.7	9.0	55.9	2.7	3.7	0.5	0.0	0.1	0.1	0.3	0.7	99.7
18	W-15a	4.5	1.7	92.6	0.0	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.6
19	W-15b	3.7	2.1	92.3	0.0	0.5	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	—	98.8
20	W-15c	2.7	2.4	92.5	0.1	0.6	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	—	98.5
21**	平均值	32.8	12.9	40.3	1.6	9.8	0.1	0.4	0.8	0.2			
	最小值	2.7	1.7	2.1	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0			
	最大值	55.9	23.9	92.6	4.8	33.5	0.5	1.9	2.4	1.1			
22	平均值	72.7	7.4	7.7	0.9	3.0	0.1	6.0	1.9	0.0			
	最小值	49.8	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0			
	最大值	96.3	14.3	13.7	2.3	8.2	0.7	13.3	2.9	0.2			
23	平均值	48.3	19.0	25.6		8.4		1.2	4.8	T			
	最小值	1.0	1.9	T***		T		T	T	T			
	最大值	92.4	57.0	83.2		42.0		12.0	40.0	5.8			

\* W-1a 和 W-1b 分别为样品 W-1 中的两个点的探针分析值，下同。

\*\* 21为本区的，22为 Etna 火山的（共10个分析值）<sup>(1)</sup>，23为 Irazu 等四个火山的（共95个）分析值<sup>(2)</sup>。

\*\*\* T 指微量。

的化学组成十分相似，都以  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TFeO}$ 、 $\text{CaO}$  为主，且有很大变化。本区微球粒又发现于变玄武质火山凝灰岩中，它们都有利于这一认识。火山作用成因也能解释微粒球所具有的各种结构特征。但是，在图 2 中，本区微球粒并不位于拉斑玄武岩浆不混熔熔体富铁、富硅端员位置，而是有很大的成份变化，具相互过渡的性质。所以，微球粒若为火山成因，也不是玄武质岩浆平衡条件下液态分离作用的产物，而是不平衡条件下分离作用的结果。取自玄武质火山作用(Etna 火山)火山灰中的微球粒具高硅特征(图 2)，也不是液态平衡分离的产物。原作者<sup>[4]</sup>认为岩浆飞溅、岩浆水蒸气冷凝、硫化反应等是它们的可能成因。值得注意的是，Etna 火山微球粒和本区微球粒在化学组成上构成了一连续的变化系列(图 2)。

微球粒化学组成有规律地变化在图 3 中也清楚可见。总体上，随  $\text{TFeO}$  含量的降低， $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量有不断的增高，暗示着它们具有成因上的联系，是同一作用过程的结果。本区微球粒与四川广元二叠—三叠界线处的微球粒具相同的组成特征(图 2、3)，表明类似的作用在地质发展不同时期曾重复发生过。按周瑶琪<sup>①</sup>的意见，陨石撞击也可能是微球粒的形成机制之一。

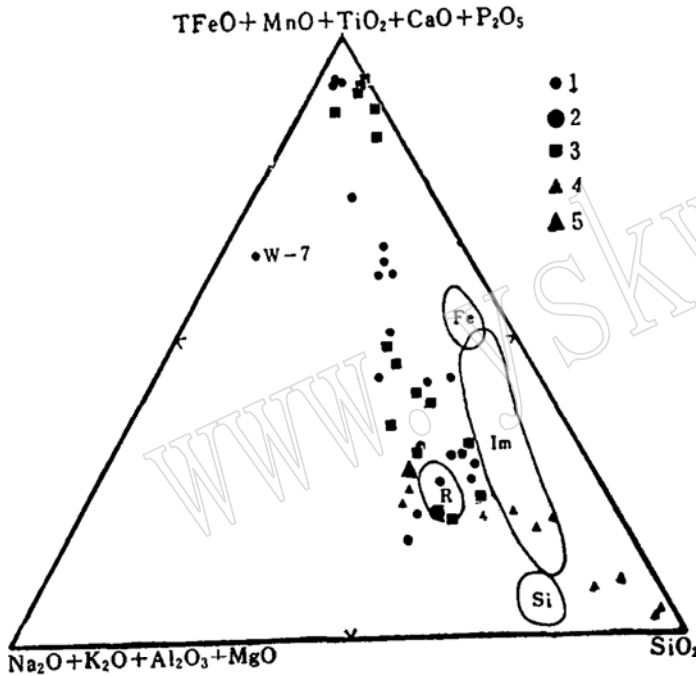


图 2 微球粒的  $(\text{TFeO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2 + \text{CaO} + \text{P}_2\text{O}_5) - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) - \text{SiO}_2$  图解  
(原图引自 Philipotts, 1982)

Fig. 2  $(\text{TFeO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2 + \text{CaO} + \text{P}_2\text{O}_5) - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) - \text{SiO}_2$  diagram of microspherules

Fe 和 Si 分别是 10 多个地区拉斑玄武岩不混熔熔体的富铁、富硅端员，也是铁橄榄石—白榴石—石英体系不混熔富铁、富硅端员；Im—不混熔区；R—玄武质母岩区；1—本区微球粒；2—本区斜长角闪岩；3—四川广元二叠—三叠界线处微球粒；4—Etna 火山微球粒；5—Etna 火山玄武岩岩浆

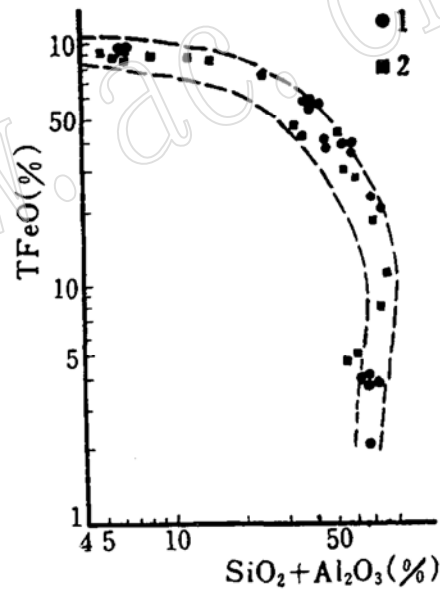


图 3 微球粒的  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) - \text{TFeO}$  图解  
(原图引自周瑶琪, 1989)

Fig. 3  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) - \text{TFeO}$  diagram of microspherules

1—本区微球粒；2—四川广元二叠—三叠界线处的微球粒

① 同第 110 页脚注。

根据微球粒的形态结构、组成特征,可较有把握地推测它们的形成条件及物质来源。但据现有资料还不足以作出进一步的成因判断。笔者倾向于火山成因的认识,并认为与岩浆不平衡条件下的分离作用有关,火山作用具爆发性质。但并不完全排除陨石撞击成因的可能。

在以往的研究中,多认为斜长角闪岩的原岩为玄武质熔岩。但是,微球粒的发现表明本区角闪质岩石组中广泛分布的纹层状斜长角闪岩的原岩为基性凝灰岩,并有搬运再沉积的特点。这一认识得到纹层状斜长角闪岩的野外地质特征、碎屑锆石的存在、地球化学特征等方面的证实。

本区微球粒除成份变化大外,还多与已知矿物的组成不能对比,这与它们为玻璃质有关。由于变质作用影响,部分微球粒已被改造而消失,但仍有微球粒呈玻璃质存在,并保持了局部微区的化学封闭性,充分表明变质温压条件存在微区不均匀性。成岩或低变质作用产物铁蛇纹石<sup>[7]</sup>在本区存在也说明了这点。伍家善等<sup>[8]</sup>发现在经历过角闪岩相变质的阜平群中仍残余有机质鲕粒。看来温压条件的微区不均匀性也是变质作用中的普遍现象之一。微球粒得以保留的另一原因,可能是其自身有一定的抗变质能力。

最后对样品 W-7 作些说明。该微球粒  $\text{SO}_3$  高达 9.1%,  $\text{CaO}$  高达 33.5%, 在图解中表现为异常的点。可能与后期地质作用叠加改造有关。

程裕淇、沈其韩先生指导了该项研究,深表谢意。

#### 参 考 文 献

- 1 Lefevre R et al. Silicate microspherules intercepted in the plume of Etna volcano. *Nature*, 1986, 322: 817—820.
- 2 Wright F W et al. Studies of particles for extraterrestrial origin, microscopic spherules from recent volcanic eruption. *Journal of Geophysical Research*, 1965, 70 (16): 3889—3898.
- 3 Heiken G H et al. Lunar deposits of possible pyroclastic origin. *Geochem. Cosmochem. Acta*, 1974, 38: 1703—1718.
- 4 Deuser W G et al. Fly-ash particles intercepted in the deep Sargasso Sea. *Nature*, 1983, 305: 216—218.
- 5 陈丽华等. 扫描电镜在地质上的应用. 北京: 科学出版社, 1986. 72—81.
- 6 Philipotts A R. Composition of immiscible liquid in volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1982, 80: 201—218.
- 7 陈光远等. 弓长岭铁矿成因矿物学专辑. 矿物岩石, 1984, 4 (2): 189—190.
- 8 伍家善等. 阜平群条带状铁建造中硅质鲕粒特征及其成因. 中国地质科学院院报, 1987, 16: 179—186.

## The Discovery of Microspherules in Archean Lamellar Plagioclase Amphibolite of Gongchangling Area, Liaoning Province

Wan Yusheng    Wu Jiashan

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

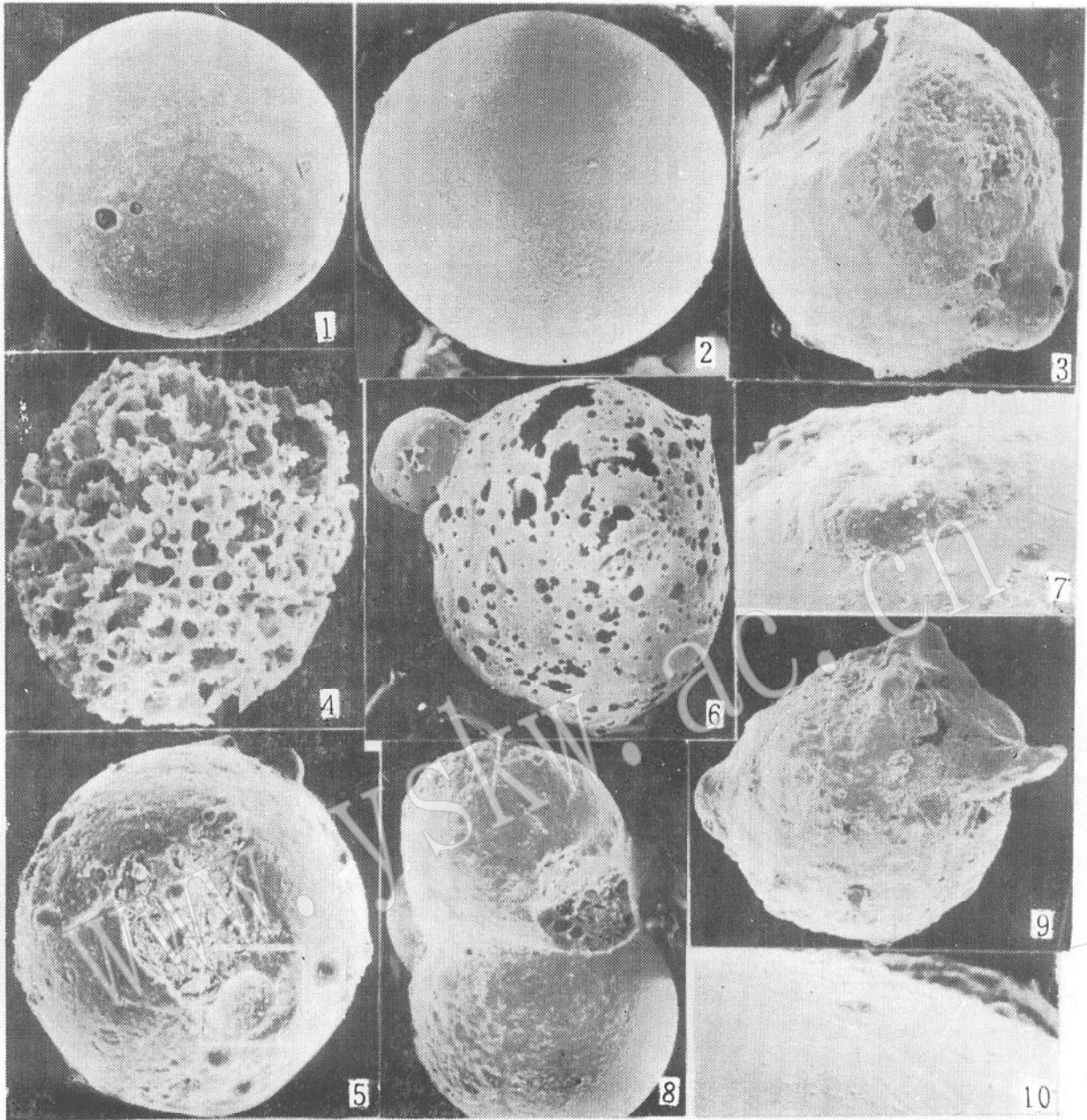
Yang Mingming

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences)

**Key words:** microspherules; plagioclase amphibolite; Gongchangling iron deposit

### Abstract

The microspherules reported here are discovered in lamellar plagioclase amphibolite of the Gongchangling No. 2 Mine. The microspherules can be divided into two kinds: one is black, opaque, and with magnetism; the other is canary-citrine, transparent-semitransparent, and with weak or no magnetism. Most of them are glassy, but those with strong magnetism have become magnetite. The microspherules have many kinds of surface and inner textures such as vesicle, tubercle, bubble breakdown and intergrowth, indicating that they were formed under such conditions as high temperature, abundance of volatile components, strong plasticity, and rapid movement and cooling. The microspherules are compositionally characterized by high contents and wide variation in  $\text{SiO}_2$  (2.7%—55.9%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1.7%—23.9%),  $\text{TFeO}$  (2.1%—92.6%) and  $\text{CaO}$  (0.5%—33.5%). Based on the present study, it is thought that their formation might have been related either to volcanism or to meteorite impact. whichever origin the microspherules are of, the following important information can be drawn: (1) the original rocks of the lamellar plagioclase amphibolites are basic tuffs formed by resedimentation; (2) metamorphic temperature-pressure conditions are somewhat inhomogenous in the study area.



1. 典型球状，表面圆滑， $\times 540$ ；2 表面呈某种花纹式样， $\times 390$ ；3. 左上角存在裂纹结构，另有双壳、气孔、瘤状和溶蚀结构， $\times 432$ ；4. 气孔结构极为发育，气孔形态多种多样，似有溶蚀， $\times 780$ ；5. 瘤状结构、规则和不规则凹坑结构、溶蚀结构， $\times 780$ ；6. 气孔结构和连体结构，两个球粒中都有气孔， $\times 360$ ；7. 气泡塌陷结构，凸起部分表面光滑，中央有气孔， $\times 900$ ；8. 连体结构，其中一个小球已脱落，可见内部有气孔，球粒表面有磨蚀和溶蚀现象， $\times 660$ ；9. 锥状结构， $\times 288$ ；10. 擦痕结构，长条痕似在塑性状态下形成， $\times 1800$ 。除 1、7 和 10 为透明、半透明外其余都为暗色，有磁性