

河北宣龙地区铁质包壳粒及其形成的微生物作用^①

刘 敏¹ 叶连俊² 陈志明² 陈其英²

1(华东师范大学资源与环境学院地理系 上海 200062) 2(中国科学院地质研究所 北京 100029)

提 要 通过对宣龙地区“鲕状矿石”的详细镜下切片观察,与叠层石结构、形态和成分的对比,以及稳定同位素和有机地球化学特征分析研究,提出“鲕状矿石”实际上均为微生物成因的铁质包壳粒,并按其形态分为核形石、微生物鲕石、微生物豆石三种类型。对铁质包壳粒的微生物矿化作用也作了初步探讨。

关键词 铁质包壳粒 微生物作用 宣龙地区

第一作者简介 刘敏 男 32岁 博士后 副教授 沉积地球化学

河北省宣化—龙关—赤城一带,俗称“宣龙地区”,总面积近 4 000 km²,区域内是著名的“宣龙式铁矿”赋存和分布的典型地区。从区域构造来看,本区处于华北准地台燕山台褶带西北部的宣龙拗陷内。其北界为尚交—赤城大断裂与内蒙地轴南缘相邻;西南侧在怀安马市口—右所堡一带与山西台隆相接,向南至涿鹿—塔院到怀来杏林堡一带;东南侧为怀来官厅到赤城的断裂带与军都山岩浆岩相接,呈向南凸出,两翼残缺的月牙形。区内出露的地层主要有太古界桑干群,中元古界长城系、蓟县系,上元古界青白口系及中、新生代地层。侵入岩以燕山期酸性岩为主。区内断裂构造发育,含矿层严格受断裂控制,分布在上述断裂的交汇区内。地层褶皱形态简单,为宽缓式复向斜。宣化向斜为主体,轴向近东西,轴线位于庞家堡至龙关一线。向斜的北翼经剥蚀,含矿地层出露地表且完整齐全;南翼多被中新世的地层覆盖,仅局部见矿层出露。

铁质包壳粒主要赋存于中元古界长城系串岭沟组,是宣龙铁矿的主要组成部分。串岭沟组一段为含矿岩系,厚 0.6~6 m,由赤铁矿、菱铁矿、含铁砂岩、粉砂质页岩等组成。主要由三层或四层微生物铁岩(铁质叠层石和铁质包壳粒)与含铁石英砂岩、灰绿色伊利石石英砂岩和黑色炭质粉砂岩交替互层组成。

1 分类特征及划分依据

宣龙铁矿中广泛存在着“鲕粒、豆粒”两种矿石

类型,长期以来一直将其作为典型的胶体化学成因。80年代初,朱世兴^[1]首次将“鲕状矿”归入特殊的球状叠层石(核形石)之后,又有一些学者相继将其作为“核形石”^[2,3]或“藻鲕”^[2]来进行论述。但由于缺乏直接的微生物存在的证据以及人们对核形石和鲕粒的分类认识存在的分歧,导致长期发生争论。文献中,鲕及核形石是两种包壳粒^[4],通常把鲕粒(石)看成是无机成因^[5],核形石则为典型生物成因^[6]。但到目前为止,人们已发现鲕实际上也有生物成因^[7~10]。本次工作,笔者通过对近 100 块薄片的观察和分析,初步搞清了它们的分布特点和类型,在前人有关鲕、核形石含义的对比基础上,发现宣龙铁矿中原称的“鲕状矿及豆状矿”几乎都是生物作用下形成的包壳粒。但其形态及内部纹层结构又确实存在差别,因此有必要对其作进一步的分类和厘定。分类的主要依据是它们具有特殊明、暗纹层,并且均发现有微化石顺同心纹层分布等^[11~13]。现在分类中的鲕是指直径小于 2 mm,具同心且连续的明、暗纹层的球状颗粒;豆粒是指直径大于 2 mm,为明、暗同心规则纹层的球状(或椭球状)颗粒;而核形石则主要为大于 2 mm 的明、暗纹层不连续,且不规则的圆或椭圆形颗粒(表 1,图版 I-1~4)。上述分类是建立在生物成因的基础上,而完全不受形态的影响,形态及大小仅作为命名的依据,但此处所谓的鲕、豆粒由于具有生物成因,故采用“微生物鲕石、微生物豆石”为宜,作者认为上述这种分类,可能更符合目前宣龙铁矿的研究程度和客观存在的事实,但由于研究资料,

① 国家自然科学基金资助(编号 49132050)

② 孟范富,1991,宣龙地区常州沟组、串岭沟组的沉积环境及宣龙铁矿的成因,硕士论文

收稿日期:1997-05-26 收修改稿日期:1997-07-24

手段的局限性,以及矿石成岩作用强烈,作者也不排除存在无机成因鲕、豆粒的可能。

表 1 宣龙铁矿包壳粒的成因分类

Table 1 Genetic classification of coated grains from the Xuanlong iron deposit

特 征	< 2mm		2~ 10 mm	
	大	小	大	小
形态	规则圆状或椭圆状	不规则圆状	规则圆状或椭圆状	不规则圆状
纹层	连续规则的同心纹层	不连续同心纹层	连续同心纹层	不连续同心纹层
生物成因单体	微生物鲕粒	微核形粒	微生物豆粒	核形粒
生物成因群体	微生物鲕石	(微)核形石	微生物豆石	核形石

注:若颗粒超过 10 mm,可在各类前加“大”一词

2 产出状况

铁矿层中的铁质核形石、微生物鲕及豆粒分布广泛,层位基本稳定,根据钻孔资料及野外详细观察,它们均以透镜状产出,并与铁质叠层石显示密切的相依或过渡关系。从垂直剖面来看,它们一般位于含矿层上部,有时也产于叠层石矿层的底部或顶部。在龙关等地我们还发现由微生物豆粒(核形石)和微生物鲕粒形成的粒序层和斜层理构造,可能反映了它们形成后发生过进一步的物理富集作用。

3 基本结构的组成特点

不论是铁质核形石或铁质微生物鲕、豆粒,均由核心和同心纹层组成(图版 I -1~ 4)。

3.1 核心

核心是组成核形石、微生物鲕(豆)的基本元素之一,它的组成特征可以反映核形石生长前的古环境条件。从核心的数量来看,有单核心和复合核心两种,以前者占优势,复合核心是指两个或两个以上碎屑颗粒胶结在一起组成的新核心。从矿物成分上看,核心多为碎屑石英、微晶菱铁矿、赤铁矿,先成鲕以及菱铁矿和胶磷矿胶结的复合核心,也有部分无核心。

3.2 纹层

在手标本或显微镜下,核形石(微生物鲕、豆粒)的同心纹层同样有亮暗之分,这也是将其划分为生物成因构造的主要依据之一。亮层主要是由石英碎

屑、泥晶菱铁矿或鲕绿泥石,极少量赤铁矿组成,暗层则主要为赤铁矿、菱铁矿及有机质残余等组成。根据对不同类型的显微镜下观察,一般微生物鲕、微生物豆粒具有明显规则的同心纹层,而核形石则具有不规则凝结纹层。

3.2.1 规则同心纹层

明显区分的亮暗基本纹层相间出现,反复交替(图版 I -2, 4)。亮层主要由非晶质二氧化硅、菱铁矿、赤铁矿、鲕绿泥石、少量的粘土矿物组成;暗层主要由赤铁矿、少量菱铁矿和有机质残余组成。亮暗层厚度差别不大,一般在 0.005~ 0.01 mm,薄者仅 0.002 mm,厚者可达 0.02 mm,同心纹层层数也不一样,一般十几层,多者几十层,少者仅 1~ 2层,最多有 150层。纹层呈同心状包裹,可连续追踪。这种纹层,一般是在反复搅动的高能水动力作用下形成的^[14, 15]。

3.2.2 凝结纹层

纹层稀疏、模糊、断断续续,若隐若现,亮暗层界线不甚清晰,但纹层轮廓仍可见(图版 I -1)。若将暗层放大至 100~ 400倍,可见暗层赤铁矿呈断续的条纹状或凝块状,这种结构蒙蒂(Monty^[16])曾在巴哈马安德罗斯岛叠层状藻席中发现过,并认为这种特征是由于单细胞或群体藻类方解石化的产物。沃尔福(Wolf^[17])也注意到石枝藻围绕骨屑生长,但在颗粒缩小过程中,可以使藻痕迹消失,变为微晶和亮晶方解石斑块,构成凝结结构。贺自爱^[14]在研究贵州中三叠世生物礁时,发现由藻液液粘结捕获碳酸盐质点及有孔虫微体生物,可以看到被粘结的球粒,内碎屑等局部集中,导致纹层厚度极不均匀,伴以不规则的亮晶方解石斑块或条带,呈凝块结构。因此,上述结构是与藻类或微生物有关的一种生物结构,此种纹层的形成,显然是在生长核心呈静止状态,在有利于藻类或微生物繁殖生长条件下,呈不均匀同心包裹,并有选择地向某一方向快速发展,或此时在某一侧发育,彼时又向另一侧发育,从而造成紊乱的泡沫状。

在超薄片下,我们可以看到在暗层中有许多链状或球状化石,它们已全部铁矿化^[11~ 13]。电镜扫描结果显示,核形石亮层主要为板状、粒状泥晶赤铁矿及碎屑石英等,这些板状赤铁矿多垂直于核形石的同心纹层。而暗层主要为一些菌藻成因的枝状、管状赤铁矿(或铁矿化生物体)夹有一些片状或粒状泥晶赤铁矿,这些显微结构特征在叠层石中也是显而

易见的。核形石的上述结构构造特点,一方面说明它与铁质叠层石形成时的差异,但另一方面更多的显示出这两者均由生物或生物化学作用下形成的,生物在铁矿的形成中起了重要的作用

4 基本纹层结构的化学成分特点

亮层和暗层这两个基本纹层构成了核形石、微

生物鲕、豆粒的基本结构单元——微生物体,因为微生物体主要为藻类,故又可称为藻体。为了更好地了解它们之间的成因联系,我们又对它们作了亮层和暗层化学成分分析,并与铁质叠层石作了对比(表 2,表 3),从表中可以看出:(1)在藻体中 Fe_2O_3 含量要高于充填物,核形粒(包括微生物鲕)中 Fe_2O_3 含量平均为 71.18%,充填物则为 69.23%;而叠层石

表 2 铁质包壳粒与铁质叠层石藻体和充填物化学成分(%)

Table 2 Chemical compositions of algal bodies and cements in iron coated grains and iron stromatolites

样 品	成 分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	TiO ₂
Sty-1	柱体	12.74	2.59	1.76	0.43	0.51	0.44	78.84	0.56	1.01	0.15
Stc-1	充填物	32.55	2.17	0.85	0.40	0.86	0.29	61.29	0.48	0.02	0.09
Sty-2	柱体	35.64	1.92	0.60	0.38	0.80	0.23	58.97	0.36	0.02	0.08
Stc-2	充填物	41.14	2.08	1.10	0.37	1.00	0.36	52.38	0.46	0.02	0.09
Sty-3	柱体	16.55	2.55	1.93	0.36	0.77	0.48	75.91	0.31	0.02	0.14
Stc-3	充填物	35.76	2.15	1.06	0.40	0.83	0.31	57.85	0.54	0.02	0.09
Oz-1	微生物鲕粒	22.95	3.09	1.45	0.71	0.59	0.49	69.13	0.47	0.03	0.11
Oc-1	充填物	26.45	3.08	0.71	0.70	0.30	0.26	66.39	0.58	0.41	0.12
Oz-2	核形粒	14.25	3.53	2.33	0.73	0.82	0.66	75.97	0.57	0.02	0.14
Oc-2	充填物	22.62	3.24	1.70	0.72	0.86	0.56	69.33	0.51	0.33	0.13

表 3 铁质包壳粒与铁质叠层石明暗纹层化学成分电子探针分析数据对比表(%)

Table 3 Comparison of electron probe analysis data of chemical compositions of light and dark laminae between coated grains and iron stromatolites(%)

名 样 称 号	纹层	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	FeO	MnO	TiO ₂	NiO	Cr ₂ O ₃	P
TA1 (叠层石)	暗层	2.18	0.76	0.68	0.09	0.28	0.59	78.69	0.48	0.01	0.00	0.09	0.37
	亮层	6.66	1.69	0.27	0.44	0.00	0.14	78.03	0.00	0.07	0.11	0.25	0.10
	暗层	1.95	0.71	0.57	0.11	0.24	0.38	78.87	0.16	0.14	0.00	0.11	0.23
	亮层	10.04	4.56	0.59	1.24	0.03	0.59	72.56	0.27	0.05	0.09	0.09	0.00
	暗层	2.58	0.99	0.56	0.02	0.38	0.87	76.09	0.39	0.00	0.00	0.00	0.44
	亮层	1.94	1.80	0.37	0.08	0.00	0.13	81.58	0.00	0.10	0.00	0.12	0.65
TA2 (核形石)	亮层	3.96	2.04	0.34	0.00	0.38	0.03	77.55	0.30	0.00	0.00	0.00	0.35
	暗层	2.63	1.62	0.41	0.28	0.09	0.05	84.51	0.00	0.17	0.20	0.00	0.00
	亮层	3.00	1.09	0.58	0.15	0.34	0.08	80.28	0.17	0.03	0.07	0.02	0.43
	暗层	1.84	0.93	0.45	0.09	0.15	0.10	82.26	0.01	0.19	0.23	0.13	0.00
32 (微生物鲕)	亮层	2.54						77.56					
	暗层	1.24						79.41					
	亮层	3.67						72.03					
	暗层	1.16						74.29					
	亮层	1.82						75.99					
	暗层	1.12						77.42					
	亮层	5.99						62.76					
	暗层	1.74						76.78					

柱体中 Fe_2O_3 含量平均为 69.04%, 柱间充填物则为 59.37%; 这表明 Fe_2O_3 主要集中在藻体部位, 而充填物则较少。(2) 不管是核形石(微生物鲕、豆粒)或叠层石, FeO 主要富集在暗层(富藻层)中, 暗层含 FeO 量远大于亮层。(3) 代表碎屑成分的 SiO_2 、 Al_2O_3 等主要集中在亮层中, 而 CaO 、 MnO 、 MgO 则相对集中在暗层中, 其一部分为成岩作用的产物。

5 形成阶段及微生物(有机质)作用

根据宣龙地区铁质包壳粒产出特征、分布规律, 我们可以将它们的形成分为以下几个阶段:

5.1 沉积阶段

主要包括生物-化学沉淀地球化学及物理再富集作用的地球化学过程。

5.1.1 生物-化学沉淀地球化学过程

(1) 成核阶段 海水将海底岩石中的铁冲刷、溶解出来, 使颗粒铁变为二价铁。一些碎屑颗粒由于广布的藻席存在, 它们首先受到菌藻微生物的附着并发生穿孔, 由于潮汐水流的作用, 菌藻围绕整个颗粒分布, 形成包壳粒雏形。

(2) 基本纹层的形成阶段——包壳阶段 在潮下浅水中, 蓝绿藻围绕各种颗粒核心呈同心状包裹生长, 由于昼夜或季节性变化, 从而形成明暗相间的同心纹层。

5.1.2 物理再富集作用过程

当海平面变化或水动力条件改变时, 包壳粒被水流冲刷, 甚至破碎, 经不断筛选, 而发生近地沉积, 如铁矿中广泛发育的包壳粒以及叠层石破碎现象, 分选粒序层理。

5.2 成岩阶段

沉积阶段形成的包壳粒, 其主要成分为氧化环境下的赤铁矿, 由于微生物藻席的广泛分布, 进入早期成岩阶段, 丰富的有机质参与, 使原生赤铁矿发生菱铁矿化作用, 在镜下我们可见到, 菱铁矿交代赤铁矿现象非常普遍(图版 I-1~4), 包壳粒中菱铁矿在基质或沿同心纹层、核心发生交代, 在镜下可见到基质(胶结物)菱铁矿呈微晶-显晶结构, 个别晶体结晶程度高, 呈镶嵌或环带状; 核心由不规则的细微晶菱铁矿组成, 并保存赤铁矿残留体; 同心纹层有的交代不彻底, 菱铁矿沿同心纹层方向上呈斑团块或细纹状断续分布, 有的穿切或截断同心纹层, 有的同心纹层及核心部位几乎全被菱铁矿所替代, 赤铁矿仅残留极薄的外壳, 个别还见有沿各种裂纹充填的菱铁

矿。

5.3 微生物及有机质作用

在铁质包壳粒中含有较丰富的微生物化石是铁质包壳粒微生物矿化的重要证据。目前, 我们已相继发现了可靠的菌藻微生物化石^[1-13], 它们都已赤铁矿化, 说明当时微生物活动很旺盛, 从微化石在包壳粒暗色纹层中的赋存状态及其特征, 表明它们是建造包壳粒的菌藻微生物。

有机质参与包壳粒中铁的矿化主要表现在有机质对先成赤铁矿的还原作用, 最后导致菱铁矿的形成。包壳粒中的菱铁矿是我们研究成岩有机作用的主要矿物, 对包壳粒中菱铁矿的碳和氧同位素组成分析结果也表明, 菱铁矿的 $\delta^{13}\text{C}$ 值 (PDB) 为 $-9.0\text{‰} \sim -11.74\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 值 (SMOW) 为 $18.62\text{‰} \sim 22.7\text{‰}$ ^[18], $\delta^{13}\text{C}$ 为较大的负值推断菱铁矿矿石中重要的碳源主要来自沉积有机质的降解(产生富¹²C的成矿溶液), 可视为生物成因的标志。

另外, 我们已在包壳粒中分离出难降解干酪根, 其 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -28.35‰ , 这一特征一方面说明其母质来自菌藻类, 另一方面也表明微生物及有机质在包壳粒赤铁矿和菱铁矿形成中的主导作用。

综合上述, 宣龙地区铁质包壳粒微生物矿化过程如下表所示:

矿化阶段	形成过程	主要特征矿物	结构构造
沉积阶段	生物-化学沉淀	赤铁矿	各种同心纹层生物构造及丝状、球状生物结构
	物理再富集作用	赤铁矿	粒序层理
成岩阶段	有机成岩(矿)作用	菱铁矿、鲕绿泥石	充填、交代、重结晶结构

致谢: 在论文撰写过程中, 中国科学院地质研究所李任伟研究员, 沙庆安研究员, 范德廉研究员, 戴永定研究员, 朱井泉副研究员及华东师范大学许世远教授给予许多帮助和指导。在此, 一并致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 朱世兴. 河北宣龙区的铁质叠层石及其意义. 中国地质科学院院报, 天津地质矿产研究所分刊, 1980, 1(1): 70~90
- 2 杜汝霖, 李培菊. 燕山西段震旦界. 中国震旦界. 天津: 天津科技出版社, 1980. 341~350
- 3 张录易, 南呈祥. 河北宣龙铁矿与叠层石关系的探讨. 造山带与

- 盆地(八),晚前寒下纪叠层石及相关矿产.西安:西北大学出版社,1991.118-128
- 4 Peryt, T M. Coated grains, Berlin, Spinger, 1983. 312
- 5 Thallophyta, Pia J. In Hirnel, M ed., Handbuch der Palaeobotanik, 1927, 1: 31-136
- 6 Heim A. Monographie der Churfursten-Mattstock Gruppe, 3 Teil, Lithogenese. Beitr, Geol. Karte Schweiz, N F 20, Basel, 1976, 369-662
- 7 Kalkowsky E. Oolith and stromatolith im norddeutschen Buntsandstein. Z Dtsch Geol Ges, 1908, 60(1): 68-125
- 8 Logan B W. Classification and environmental significance of algal stromatolites. J Geol, 1964, 72: 68-83
- 9 McMaster R L, et al. Recent algal stromatolites from the Canary Inland. J Geol, 1966, 74: 647-652
- 10 Dahanayake K, Krumbein W E. Microbial structures in oolitic iron formations. Mineral Deposit, 1986, 21(1): 85-94
- 11 杜汝霖,李风臣,李培菊等.冀西北长城纪宣龙式铁矿层中微体植物化石的发现及其意义.地质评论,1992,38(2): 184-188
- 12 刘敏,叶连俊,陈其英等.宣龙铁矿地质地球化学特征及成因探讨.沉积学及岩相古地理学新进展.北京:石油工业出版社,1995.644-646
- 13 Liu Min, Chen Qiying, Chen Zhiming. Evidence for the biogeochemical origin of the Xuanlong iron ores in Northwestern Hebei, China. Scientia Geologica Sinica, 1996, 5(3): 369-379
- 14 贺自爱.藻灰结核分类及其成因.石油与天然气地质,1982,3(1): 23-29
- 15 王英华,张秀莲,杨承运.华北地台早古生代碳酸盐岩岩石学.北京:地质出版社,1990.215
- 16 Monty, C L V. Distribution and structure of recent stromatolitic algal mats, Eastern Andros Island, Bahamas. Ann. Soc. Belg. Bull. Geol, 1967. 9055-1000
- 17 Wolf K H. Gradational Sedimentary products of calcareous algae. Sedimentology, 1965, 12(5): 1-38
- 18 刘敏.宣龙铁矿稳定同位素地球化学特征.见:叶连俊等著.生物成矿作用研究.北京:海洋出版社,1993.150-157

Iron Coated Grains and Microorganic Process in Their Formation from the Xuanlong Area, Hebei Province

Liu Min¹ Ye Lianjun² Chen Zhiming² Chen Qiying²

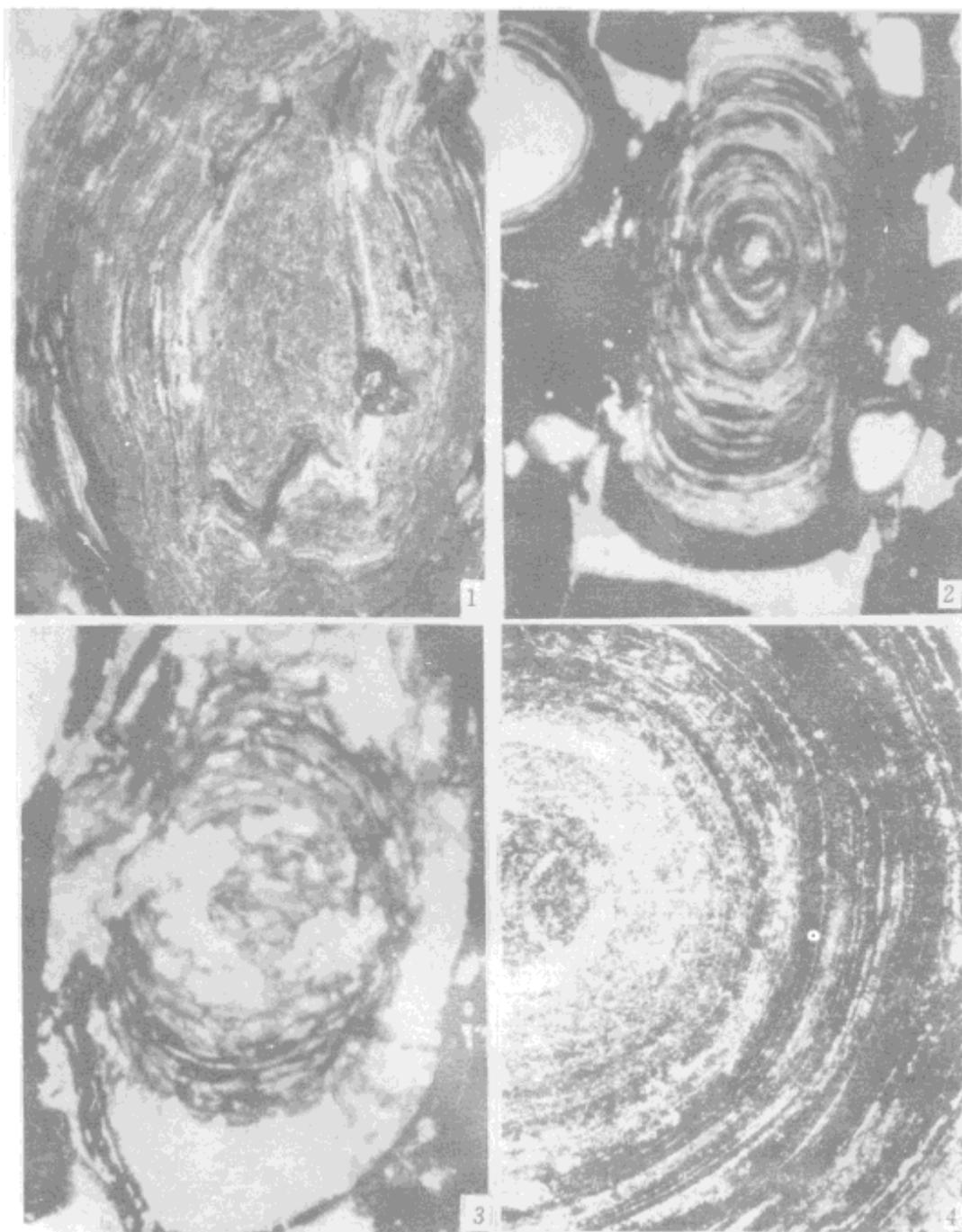
1(Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062)

2(Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract

Based on the detailed determination under microscope, the comparison with the texture, shape and composition of iron stromatolites, as well as on the analyses and studies of stable isotopes and organic geochemistry of oolitic ores from the Xuanlong area, the paper proposed preliminarily that oolitic ores actually are coated grains by the formation of microorganisms. They can be divided into oncolites, microorganic oolites and pisolites in the terms of shape. Moreover, the paper discussed the microorganic mineralization of iron coated grains.

Key Words iron coated grains microorganic function Xuanlong area



1. 铁质核形石,具不规则同心纹层,个别形成凝块结构,可见菱铁矿沿纹层发生微弱交代,单偏光 $\times 4$,Py12,河北宣龙地区庞家堡; 2. 微生物豆粒,具规则的同轴纹层,可见菱铁矿沿同心纹层交代赤铁矿,或沿裂隙充填,单偏光 $\times 4$,Py12,河北宣龙地区庞家堡; 3. 铁质核形石,具不规则的同轴纹层,可见外层同心纹层中发生菱铁矿交代赤铁矿纹层,部分可见切穿赤铁矿纹层现象,单偏光 $\times 4$,Py12; 4. 微生物鲕粒,具规则的同轴纹层,显示菱铁矿沿同心纹层交代赤铁矿,基本上不破坏同心纹层,单偏光 $\times 10$,Py7.