

微生物建造的磷块岩

东野脉兴

(化学工业部化学矿产地质研究院)

根据我国南方震旦—寒武纪磷块岩的结构成因类型和形成阶段,将磷块岩划分为微粒磷块岩、颗粒磷块岩和壳粒磷块岩三大基本类型¹⁾。其中壳粒磷块岩的最主要的结构组分是由微生物建造的磷酸盐壳粒组成的。笔者对壳粒磷块岩进行了深入地研究,在壳粒中发现六种形态的磷质微生物(化石):(1)管状微生物;(2)杆状微生物;(3)纤维状微生物;(4)球状微生物;(5)灌丛状微生物;(6)四射状微生物。

一、磷质微生物的简要特征

1. 管状微生物

管状微生物的单体呈空心喇叭管状(图版 I, 1),长4—5微米,喇叭口直径0.8—1.2微米,管壁厚0.1—0.2微米,管内壁有辐射状沟纹(图版 I, 2)。管状群体以磷酸盐颗粒或质点为基部(核心)辐射生长,其外形呈丘状或球状,表面多被磷酸盐粒子或晶粒覆盖。

2. 杆状微生物

可能属杆菌,菌体很直,两端平齐,长0.4—1微米,直径0.1—0.2微米,多定向排列,成链杆状或栅状(图版 I, 3)。

3. 纤维状微生物

微生物化石由纤维状微晶磷灰石构成,可能属菌藻类化石,多围绕磷酸盐颗粒或质点(也有少量碳酸盐、硅质颗粒或质点)辐射生长,形成一层至几层层纤状结构的同心层,构成壳粒中的一种类型,可称之为菌藻核形石,如果以长条形物质或某一层面为基部生长,则呈梳状或针毡状,可称之为菌藻席。菌丝(纤维状微晶磷灰石)长一般3—5微米,最长达10余微米(图版 I, 4)。

4. 球状微生物

球状微生物为单细胞细菌,直径0.2微米,多个细胞群体常常形成菌团(图版 I, 1)、菌链、菌凝块、菌层等不同形态菌落。这些大小不同、形态各异的菌落构成磷酸盐颗粒或质点。球状微生物按其形态、大小及菌落特征等,可能属细菌类微生物——球菌。

5. 灌丛状微生物

1)东野脉兴等,1982,扬子盆地磷块岩岩石学与磷块岩序列,“第五届国际磷块岩讨论会”论文。

形态似灌木丛(图版 I, 2、3), 丝体由基部丛生, 其长0.4—0.9微米, 直径0.08—0.2微米, 丝体有缢缩(Constrictions)与横隔。灌丛状微生物多生长在菌藻核形石各同心层之层面上。

6. 四射状微生物

四射状微生物可能属真菌类, 有三个分叉的菌丝(图版 I, 4), 其长度不等, 短者3—4微米, 长者7—8微米, 三个分叉菌丝间的三个夹角中, 一个角约 140° , 另两个角相等, 约为 110° , 菌丝端部似有分生孢子梗, 其上生有分生孢子, 分生孢子直径0.2—1微米。

在发现以上六种形态的磷质微生物化石之后, 选择四个具代表性的样品进行了有机分析, 分析结果为: 含氨基酸4—6 r/g, 核酸均为痕迹。氨基酸是组成蛋白质基本单位, 核酸是由不同的核甙酸组成的, 是生物遗传物质。

为什么是微生物? 从其形态结构上看具有明显的生物特征, 并残留有氨基酸及核酸等生命组织的有机化合物; 从其大小(0.08—8微米)方面看属微生物范畴, 因此可以认为它们不是无机构造或次生变化的特殊构造, 而是细菌、真菌或菌藻类微生物。特别是发现有的还保有原始的生长状态(图版 I, 2, II, 2、3), 这对于揭示陡山沱期微生物的特征、生态以及对微生物鉴定等都是十分有价值的。

在相距几百公里的若干磷矿区的坚硬磷矿石内部, 相继发现了具明显生物特征而又含有有机质的微生物化石, 由此我们可以得出结论: 在可以参与磷块岩形成的各种因素中, 磷质微生物的作用(生物作用和生物化学作用), 无疑具有普遍意义。

笔者在研究这些微生物的过程中, 曾请教过有关专家, 多认为是古老的微生物, 但都没有告诉我它们是什么微生物, 笔者查阅了有关教科书及一些文献, 初步确定它们可能是原核生物的细菌(磷细菌)到真核生物的真菌类或菌藻类。致于它们的确切属种的鉴定, 有待古生物专家或微生物专家去做。

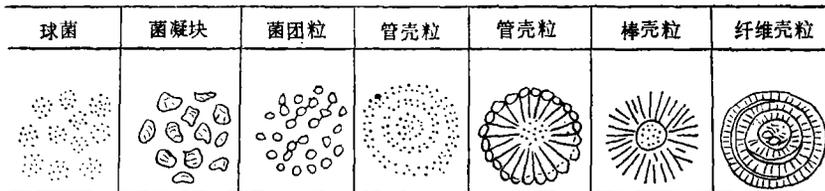


图1 细菌菌落和真菌或菌藻类群体结构特征

Fig. 1 Characteristics of collective structure of bacteria colony and funque or thallophyta

球菌菌落、菌凝块、菌团粒、菌胶团主要由球状微生物、灌丛状微生物和四射状微生物的孢子形成的, 管壳粒、棒壳粒和纤维壳粒之壳层主要由管状微生物、杆状微生物和纤维状微生物形成。微生物建造的磷酸盐颗粒常常保留有上述细菌菌落与真菌或菌藻类群体的特征。这些不同结构和不同粒级的磷酸盐颗粒, 可以被水流搬运, 或被水流、风浪打碎形成内碎屑, 在适宜的条件下沉积下来进而形成壳粒磷块岩——微生物建造的磷块岩。

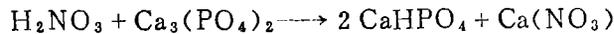
二、微生物在壳粒磷块岩形成过程中的作用

最古老的似细菌化石发现于三十二亿年前的南非无花果树组的 *Eobacterium isolatum*^[3]。我国最古老的细菌化石发现于太古代鞍山群^[4]。本文所讨论的微生物化石属于震旦纪与寒武纪，湖南白垩系砂岩铜矿中发现有介于细菌与真菌中间的放线菌属化石 *Actinomyces*。可见，在许多时代的地层或矿石中均发现过不少种类的微生物化石，很多矿产例如 Cu、Fe、Mn、Zn、P、S 等的形成与微生物作用有密切关系^[15,16]。在现代磷块岩结核及其周围的软泥中，也发现有大量显微和超微的细菌和病毒类型的有机形成物^[17]。因此研究微生物化石，对矿床成因以及地层划分对比、生命起源的探讨都有重要意义。

微生物在沉积磷矿形成中的作用，叶连俊教授的著作^[1, 2]中曾反复强调。他对笔者在磷块岩中发现的微生物十分感兴趣，正是在他的鼓励和指导下载成了这篇短文。

磷是微生物的营养元素，所有研究过的微生物，它们的生长都需要磷，这与磷在细胞中的重要作用有关。磷是微生物细胞合成核酸、磷脂和其他含磷化合物的重要元素，也是许多辅酶和各种磷酸腺甙（ADP和ATP）的组成成分。关于细菌对磷酸盐的固定作用和沉淀作用的模拟实验确定，活细菌细胞从液相中汲取19%的溶解的无机磷，而死细菌细胞则从液相中汲取8%的溶解的无机磷，通过扩散作用，把汲取的磷渗入到细菌的细胞质内，大部分（70%）进入核酸组分，少部分进入磷脂和磷蛋白质组分^[17]。

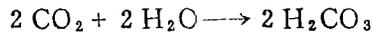
分散于海洋中的磷的存在形式有离子态（ H_2PO_4^- 、 HPO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} ）、无机盐类〔 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 、 $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ 、 FePO_4 、 AlPO_4 〕、有机化合物（生物体内的磷蛋白、磷脂、核酸等）及矿物态（各种磷灰石、胶磷矿等）等形式。无论是无机的还是有机的形式的不溶性磷，都可以在各种微生物的作用下不同程度地转化为可溶性磷，例如消化细菌产生的硝酸与非溶性磷酸盐化合产生可溶性磷酸盐：



硫化细菌和硫磺细菌产生硫酸，可溶解不溶性的磷酸盐：



微生物吐出 CO_2 溶解不溶性磷酸盐：



通过微生物的代谢活动（产酸）不仅可以将不溶性的钙、铁、锰等的磷酸盐变成可溶性的磷酸盐，而且微生物的作用还可将有机化合物（如核酸）降解释放出磷酸盐。由于微生物的作用产生酸性物质，海水溶解度增高，还可以使海水中溶解的磷酸盐的含量相当高。

微生物对地球上磷的循环起着十分重要的作用。而海洋中磷的富集成矿乃是微生物在磷循环中的一个重要环节。微生物在磷块岩形成中的作用，是微生物本身吸收和聚集磷酸盐以及通过生物化学作用聚集磷酸盐。Ennever(1963)指出，把一种叫 *Bacterionema matruchottii* 细菌的细胞置于含0.55克/升磷酸钠的盐溶液中，经过十天，有羟磷

灰石析出。在未经消毒的天然海水中,当有机质被细菌分解时,在多数情况下有磷酸盐的沉淀^[17]。因此,微生物作为磷的累积者和浓缩者,对磷在海洋中的运移和富集起着重要作用。

微生物还具有酶的作用,微生物细胞能分泌氧化还原酶于细胞内外。微生物代谢过程中的同化作用(合成)与异化作用(分解)都是生物化学反应,而各种生物化学反应都需要酶。酶是一种催化剂,它的催化本领比有机和无机催化剂的本领高1亿到十几亿倍^[4],因此酶在磷酸钙的溶解、运移、富集、沉积成岩中的作用也是不可勿视的。巴图林^[17]认为,在生物化学作用过程中,酶和激素对磷酸钙的沉积起着主导作用。天然介质中存在的酶、激素以及起相反作用的一些抑制剂,对磷酸盐沉积的影响程度比物理-化学影响程度大得多。

一个重要的事实是,海洋细菌多沾附于固体颗粒上,这可能是由于细菌生活在一种固定的位置上而少受水分子的冲击,能比较有效地吸收水溶性化合物。作为大量沾附的细菌生长所必须的颗粒,其沉积作用具有沉降并带下大量细菌到海泥中去的趋势(Renn, 1937),致使海底沉积物中微生物的含量最高,每克沉积物(湿重)中含有高达 10^8 个细菌^[7]。在海泥与海水接触面的地方,由于沉积的分选作用能使同样大小的颗粒分离,因此就有一种趋势使自由漂浮的细菌沾附在同胶体一样大小的颗粒上,小的颗粒比大的颗粒提供较多的表面面积,因而固体表面增加细菌的繁殖与存活(Zobell, 1943)。为什么磷块岩结构细微,成分复杂,总含有小至胶体粒级大到砾级的碳酸盐、粘土、硅质颗粒?原因可能就在于这些颗粒提供了微生物沾附的场所,而正是这些微生物的作用富集了磷酸盐。真菌类和菌藻类微生物则更须依附在一定的物质上才能存活、发育,那么上述已聚集的磷酸盐颗粒以及非磷质颗粒,自然为其提供了生长所必须的基础条件,进而形成由真菌类等构成的壳层。这就为微生物建造的壳粒磷块岩的形成准备了基础材料。

微生物在沉积矿产形成中的作用,不仅为地质学家所重视,也引起微生物学家及生物工程学家的广泛兴趣。近年来关于液晶材料的研究成果可能支持了莫立施(Molisch, 1910, 1925)的观点,莫立施研究铁细菌认为,生活细胞可以使胶质膜维持一定的物理-化学状态,从而能使膜可以吸收积累铁的化合物^[5]。但他没有指出胶质膜处于一种什么样的物理-化学状态。液晶的研究从一开始就是和生命现象联系在一起的(液晶材料一般都属于有机化学范畴),目前生物体内液晶态的研究已经成为液晶研究的一个重要课题。研究认为,生物体内不少组织和细胞的正常结构、功能与其处于液晶态有密切关系。液晶态生物膜的模拟研究表明,海洋生物(如海藻类)能选择地吸收 K^+ 、 I^+ 离子,有人在有机液态膜中加入抗生素作载体,也像海洋生物一样能把溶液中的某种特定离子从低浓度的一方输送到高浓度的一方^[6]。我们自然地会想到,微生物富集与运移磷酸盐物质,是它的重要生理功能,这一功能可能与微生物细胞和组织处于液晶态有关。

微生物与磷块岩的成因关系,国内外不少专家发表了很好的见解,至今生物成磷说仍占有重要地位。笔者围绕所发现的微生物及其与磷块岩的成因关系作些研究,其目的在于介绍晚前寒武—寒武纪磷块岩中的微生物,以提起大家研究时的注意。笔者对微生物学缺少研究,谬误之处在所难免,读者幸不吝教。

笔者在研究前述微生物的过程中，曾先后请教过卢衍豪、杨遵仪、叶连俊、朱浩然、林昌善、饶钦止、孙祥钟、简浩然教授等，得到他们很好的指导和帮助，成文后呈叶连俊、李悦言先生审阅了全文，并提出宝贵意见，本院电镜与照像室的同志为之拍洗照片，中国科学院微生物研究所协助作有机分析，在此一并致谢。

(收稿日期1984年4月7日)

参 考 文 献

- [1]叶连俊, 1963, 外生矿床陆源汲取成矿论, 地质科学, 第2期。
- [2]叶连俊, 1959, 中国磷块岩矿床的若干特点及找矿远景《中国磷块岩的形成特点矿石类型及远景评价》科学出版社。
- [3]南京大学地质系古生物地史教研室, 1980, 古生物学(下册), 地质出版社。
- [4]朱为庆, 1978, 最古老的铁细菌, 科学通报, 第6期。
- [5]H·Г·霍洛得尼, 1953, 铁细菌, 1957中译本, 科学出版社。
- [6]蔡浩然, 1978, 液晶态生物膜, 科学通报, 第4期。
- [7]武汉大学、复旦大学生物系微生物教研室, 1979, 微生物学, 人民教育出版社。
- [8]薛廷耀编译, 1962, 海洋细菌学, 科学出版社。
- [9]Cietrich Demus, 1981. 液晶的性质、理论与分子结构。《液晶的性质和应用》, 上海科技出版社。
- [10]С·И·库兹涅佐夫等, 1966, 地质微生物学引论(中译本)。地质出版社。
- [11]方宗熙、江乃萼, 1981, 生物学基础知识, 中国青年出版社。
- [12]原田 鑿(日), 1978, 生命起源的化学基础(中译本), 上海科技出版社。
- [13]徐文玉、丁朝玉, 1982, 奥妙的物质循环。吉林人民出版社。
- [14]D·J·琼斯, 微体化石概论(1959年中译本), 科学出版社。
- [15]W·E·Krumbein, 1978, Environmental biogeochemistry and geomicrobiology, V·1 P.65~82, P.323~326, V·3 P.879~886, P.897~910。
- [16]E·D·Weinberg, 1977, Microorganisms and minerals, EXXON Research and Engineering company, A New York.
- [17]Г·Н·Батурик, 1978, Фосфориты на гне океанов, изд Наука, Москва 22~32。

PHOSPHORITES FORMED BY THE ACTION OF MICROORGANISM

Dong Ye

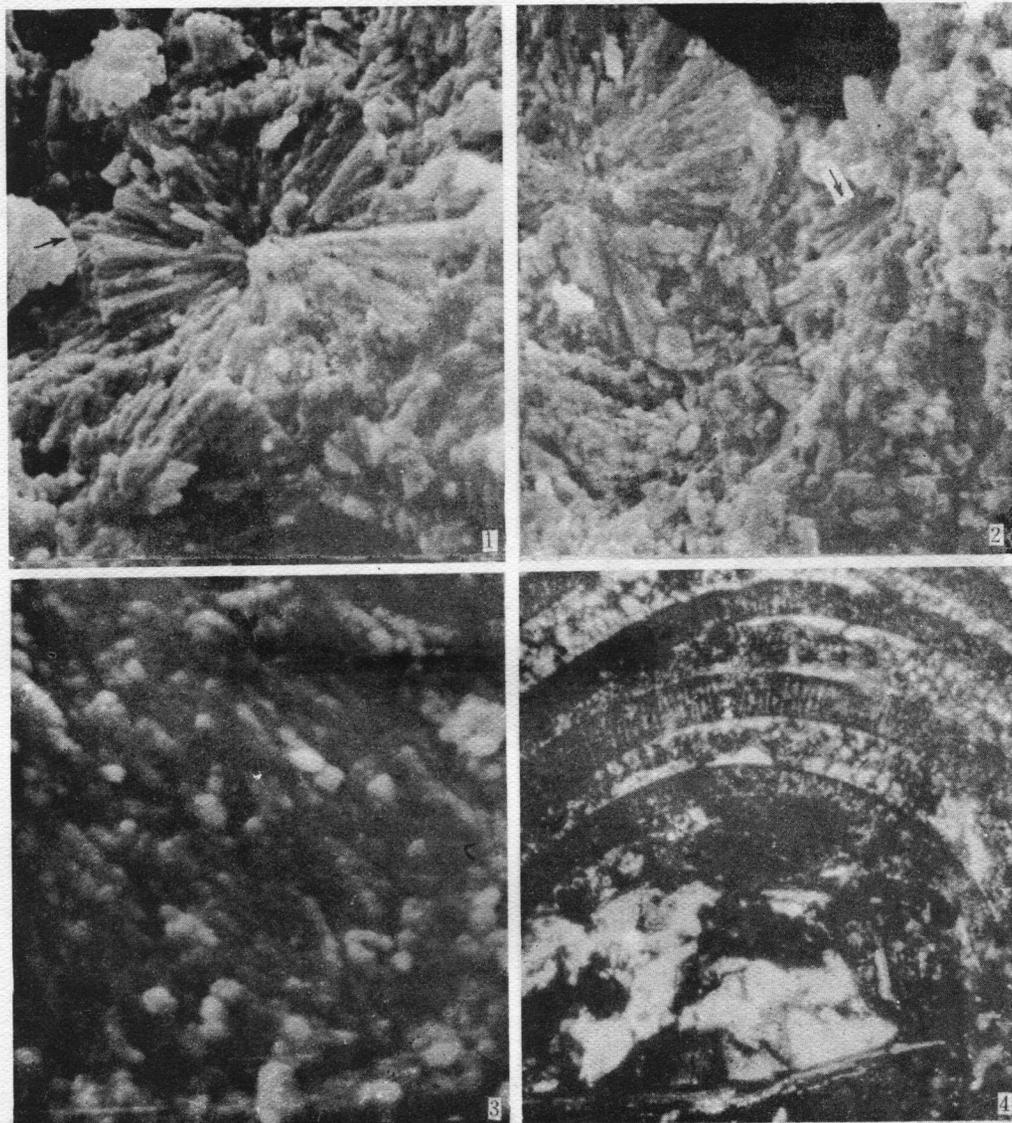
(Geological Institute of Chemical Resource, Ministry of Chemical Industry)

Abstract

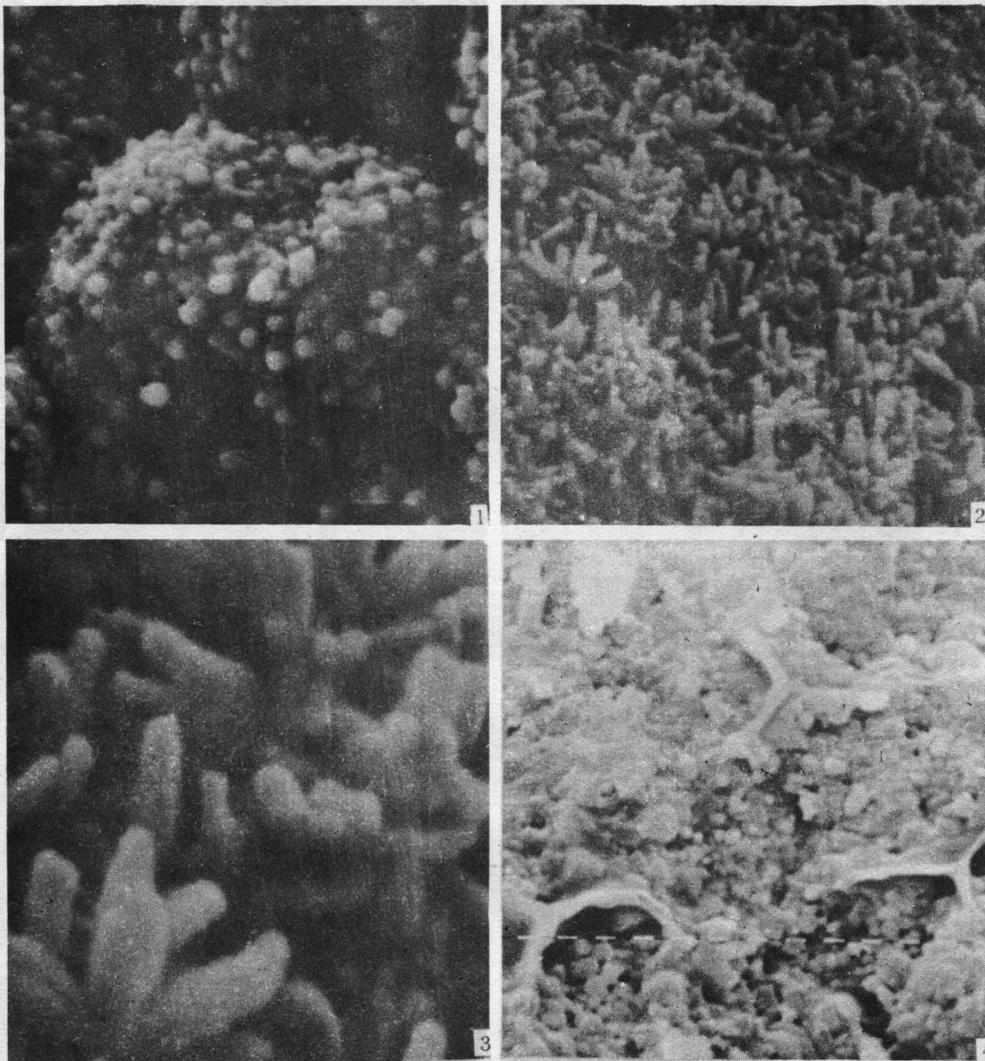
According to their fabric features, Sinian-Cambrian Phosphorites in South China can be classified into three major basic types: micrograined, grained and crust-grained phosphorites, among which the textural component of the crust-grained phosphorite is predominately made up of phosphate crust-grains formed by microorganism. There are six forms of phosphate microorganism found in the phosphate crust-grains: (1) tube-shaped, (2) rod-shaped, (3) fibrous, (4) microglobal, (5) clumping, (6) tricuspid. All of them not only have distinct form features of microorganism, but also remain important organic components—amino acid and nucleic acid—of organic tissues in their fossils.

It is known that phosphorus, as a basic nutrient, is so necessary for the growth of all microorganism that none of them would not depend on it. Phosphorus is a structural element of enzymes, adenosine triphosphate, ribonucleic acid, desoxyribonucleic acid, nucleic acid and phospholipids, from which cell membranes are made. Microorganism plays a very important role in the circle of phosphorus on the earth. It is the microorganism action that is an important link in the circle of phosphorus in the ocean for the concentration of phosphorus to form ore deposits.

Recent year studies on liquid crystal materials have convinced the author that considerable physiological behaviors of phosphorus-thirsty microorganism, i. e. the preferential extraction, accumulation and transportation of phosphates, may be attributed to the liquid crystal form of the tissues and cells of phosphorus-thirsty microorganism.



1. 管状微生物，单体呈喇叭管状，喇叭口与外界连通（箭头所指），照片内短线=1微米。扫描电镜。震旦系陡山沱组，湖北宜昌 2. 管状微生物，注意照片右侧一“喇叭管”劈开并断掉一部分，内壁沟纹清晰可见。同上 3. 杆状微生物，排列成链杆状或栅状，照片内短线=1微米，扫描电镜照片，震旦系陡山沱组，贵州福泉 4. 菌藻核形石，其核心为硅质（浅色）与磷质（深色）构成的颗粒，壳层中深色层为富藻层，由菌藻类微生物构成，浅色层为贫藻层，由硅质与碳酸盐构成，照片面示 1.59×1.15 毫米，正交偏光，寒武系麦地坪组，四川汉源



1. 球菌，示球菌菌落特点，照片内短线 = 1 微米，扫描电镜，寒武系渔户村组，云南晋宁（王素玢提供照片）
2. 灌丛状微生物， $\times 10000$ ，扫描电镜，震旦系陡山沱组，贵州瓮安 3. 为 I, 2 局部放大， $\times 40000$ 4. 四射状微生物，
照片内短线 = 1 微米，扫描电镜，震旦系陡山沱组，贵州开阳