

辽宁金县寒武纪早期生物矿化迹象

宋天锐 乔秀夫

(中国地质科学院地质研究所, 北京)

摘要: 从地质背景、沉积环境模式、矿化部位的宏观特征、显微特征研究, 扫描电镜描述、电子探针分析和X-光衍射分析等数据, 总结了生物矿化及其演化过程。

关键词: 生物矿化 寒武纪 沉积环境模式 黄铁矿 方铅矿

“近一、二十年来, 在若干金属和非金属矿床如铁、锰、磷、铝、铀、铜、铅、锌、硫、蒸发盐类等矿床中已发现了大量生物成矿作用的证据, 人们开始越来越认识到生物成矿作用的重要性。生物及其衍生物对表生带成矿元素的析离、搬运和富集起着不可缺少的作用”(叶连俊: 1991)^①。硫化矿的生物矿化可概分为三个阶段: 矿质准备阶段(半封闭环境)、矿化阶段(封闭环境)和蒸发岩覆盖保护阶段。因此, 硫化矿的形成也具有“生”、“储”、“盖”三个阶段, 这正如石油-天然气矿藏的形成需要有这三个阶段一样(宋天锐等, 1987)^[1]。

1 生物矿化的地质背景

辽宁金县金石滩地区发育震旦系上部的地层, 在震旦系兴民村组之上, 沉积了一套由中、细粒石英砂岩为主并间夹有粉砂岩、页岩的碎屑岩地层, 被定名为葛家屯组(G_{1g})。以前曾将葛家屯组划归震旦系上部, 后来根据同位素地质年代学的研究资料划归寒武系下部^[2]。本文所论述的生物矿化现象是在葛家屯组下部发现的(图1)。

葛家屯组形成的沉积环境模式是建立在震旦纪沉积顶部准平原化基础之上的(图2A)。在金县地区的震旦系顶部广泛发育浅滩形成的碳酸盐岩角砾堆积, 逐渐由灰色薄层状石灰岩转变为红色内碎屑泥灰岩韵律间层状, 反映了震旦纪末期海退形成的准平原化趋势。

葛家屯组沉积环境的发展是建立在海岸沉积层序基础之上的, 在海岸带震旦系风化壳基底之上形成分支河道沉积、近海沼泽、泻湖和近岸砂坝等, 随着区域海退产生的海平面变化, 前滨海滩砂沉积逐渐和砂坝连成一体, 于是组成了滨滩砂层夹泻湖泥岩层的岩石组合(图2B I—V)。由于总的层序属于海退沉积序列, 必然出现低层位沼泽化现象, 生物矿化的含铅

宋天锐, 男, 61岁, 研究员, 长期从事沉积岩石学研究。邮政编码: 100037

1991-05-15 收稿, 1992-02-20 修改回

● 叶连俊, 生物成矿研究通讯, 中国科学院地质研究所生物成矿研究中心(不定期内部刊物), 1991年创刊

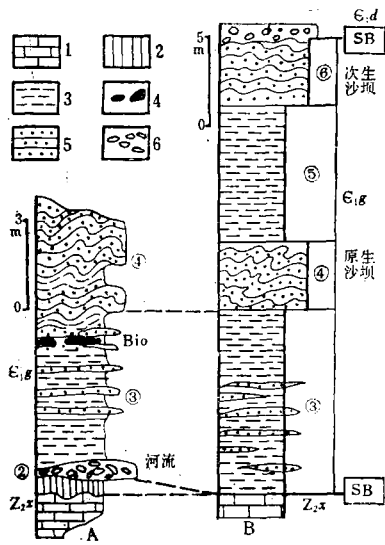


图 1 辽宁金县寒武纪早期葛家屯组地层柱状图
A—金石滩仙人洞剖面; B—金石滩鳌滩剖面; SB—海平面变化面; Z_{2x}—震旦系兴民村组; E_{1g}—寒武系葛家屯组; E_{1d}—寒武系大林子组; 1—石灰岩; 2—风化残积层; 3—粉砂岩—页岩; 4—生物矿化部位 (Bio); 5—石英砂岩; 6—砾岩层位; ②③④⑤⑥为地层分层编号; ①层缺失

Fig. 1. Stratigraphic columns of the Early Cambrian Gejiatun Formation, Jinxian County, Liaoning Province.

A—Section of Xianrendong, Jinshitan; B—Section of Aotan, Jinshitan; SB—Surface of sea-level change; Z_{2x}—Sinian Xingmincun Formation; E_{1g}—Cambrian Gejiatun Formation; E_{1d}—Cambrian Dalinzi Formation; 1—Limestone; 2—Weathering residual bed; 3—Siltstone-shale; 4—Biominalization; 5—Quartz sandstone; 6—Conglomerate bed; ②—⑥—Serial number of stratigraphic subdivisions. Layer ① is absent.

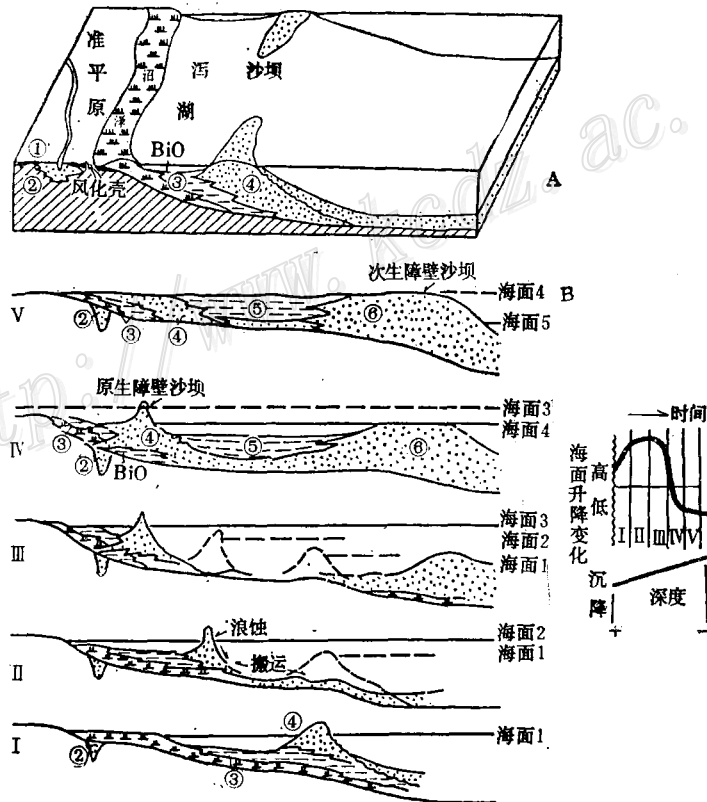


图 2 葛家屯组沉积环境模式和演化过程

A—滨岸沉积环境模式; B—演化过程中的五个发展阶段 (I→V); 其他同图 1

Fig. 2. Sedimentary environmental model and evolutionary process of Gejiatun Formation.

A—Sedimentary environmental model of shoal; B—Five stages in the environmental evolutionary process. Other symbols as for Fig. 1.

黄铁矿结核正是产生于这一有利环境中。

葛家屯组生物矿化模式是代表近海湖沼及滨滩沼泽化成矿的一般模式,反映出海平面升降变化对生物成矿作用的控制条件。其中一个重要的因素是在这一演化过程中聚集了必要数量的微生物,这些微生物可能来自于藻类或其它低等生物的降解,也可以由高等生物或动物的腐烂降解产生,例如在新疆拜城第三系底部的砾-壳灰岩中发现方铅矿(宋天锐等,1987)^[5],即是明显的例证。葛家屯组则是在大量壳体生物出现以前的地质时期形成的,因此,其造矿微生物应是蓝、绿藻类低等生物降解的结果。

2 生物矿化部分的宏观特征

生物矿化部分出现在葛家屯组下部第三段的顶部层位,岩性为中粒石英砂岩,岩石中由于黄铁矿化形成不连续状的椭圆状结核,较大的结核为30 cm × 15 cm。由于石英砂岩上下均为碳质粉砂页岩,因此在地表出露部分成为“煤核状”宏观特征。金县地区震旦系—寒武系受到强烈的褶曲,生物矿化的黄铁矿结核及其围岩周围由一圈黑色碳质粉砂页岩包裹,这种现象与一般所见的成岩结核切穿岩层层理生长极为不同。矿化结核的手标本新鲜断面上,可以见到分散在石英砂岩中的黄铁矿,其宏观形态可分为两类:一类呈立方体和五角十二面体单晶粒状,色泽金黄;另一类为无形球粒状和斑点状的聚集体,大小直径为3~8 mm左右,色泽灰暗。本文认为后者是由于藻类等低级植物降解作用的矿化产物。

3 生物矿化部分的显微特征

生物矿化部分的显微特征包括,围岩结构特征、藻团矿化特征和石膏假像特征三部分。

3.1 围岩结构特征

围岩为中粒石英砂岩,其中石英砂粒达95%以上,在碎屑矿物中锆英石、独居石等重副矿物较多(可达1%以上);石英砂粒的磨圆度极好(照片4),经薄片粒度分析统计,平均粒度为3 mm,标准偏差(分选性)中等,偏态和峰态都不大。这种结构特点说明了后滨环境的特征,与图1和图2所表述的相序及沉积模式是一致的。

3.2 藻团矿化特征

藻团分三种显微形态:

(1) 莓状藻团(照片1、2,图3中心):莓状藻团的大小一般为10 μm,中心为黑色硫化物,周边一圈放射状玉髓。莓状藻团可连成一片不规则团块。

(2) 圆圈状藻团(照片3):圆圈由众多黑色硫化物小点组成,其中见有亮黄反光色的黄铁矿小晶粒,圆圈分内层和外层,内层直径0.5 mm,外层直径达1 mm。

(3) 枝杆状藻团(照片4):由结晶良好的亮黄色反光黄铁矿组成枝杆状,可切穿石英碎屑颗粒或包裹石英(照片5)。

3.3 石膏假像特征:

石膏假像(照片1)成规则条状,宽0.2~0.5 mm,长度可达1~2 mm;石膏假像内部充填微晶玉髓状雏晶(图3,左下)。

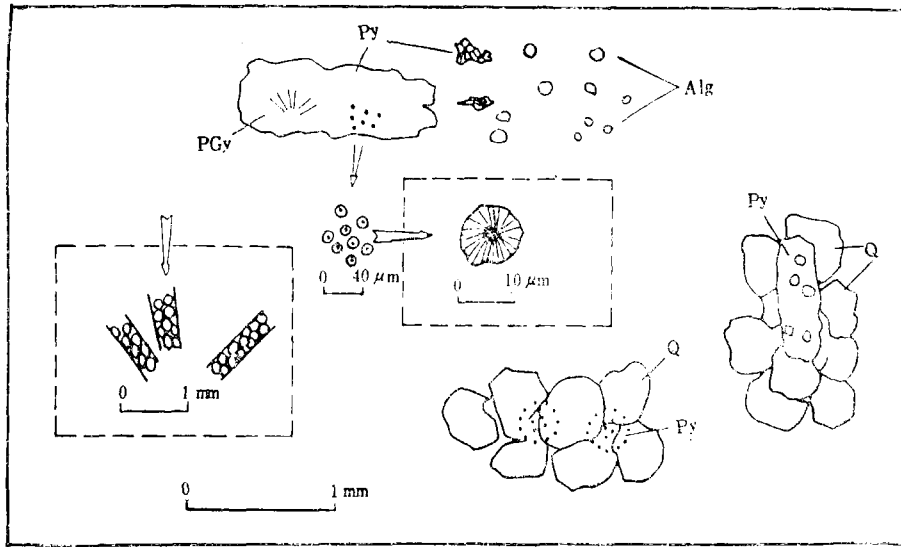


图 3 生物矿化的显微特征

Alg—菌藻状团块；Py—黄铁矿；PGy—石膏假像；Q—石英碎屑颗粒

Fig. 3. Microscopic features of biomineralization.

Alg—Bacterial-algal lumps; Py—Pyrite; PGy—Pseudomorphs of gypsum; Q—quartz detritus.

4 生物矿化部分的超微特征

扫描电镜和电子探针分析结果反映出黄铁矿和微晶硅质的关系、方铅矿形成以及石膏和矾类矿物形成等。

4.1 黄铁矿和微晶硅质

黄铁矿在藻团降解作用参与下的形成过程中，可以将石英碎屑颗粒溶解并以微晶硅质状态运移，这就是莓状、圆圈状和枝杆状黄铁矿聚集部分切穿石英和包裹石英的原因；在扫描电镜下可观察到石英颗粒分裂的现象（照片6）。

4.2 方铅矿的形成

方铅矿一般都出现在莓状及圆圈藻团黄铁矿中，在自形晶和枝杆状黄铁矿中未见方铅矿形成。方铅矿往往沿微晶硅质在黄铁矿裂隙中形成（照片6），反映了方铅矿形成时期晚于黄铁矿，二次电子倍散射的铅元素集中处与方铅矿出现部位一致（照片7）。

4.3 石膏及矾类矿物的形成

原生的石膏均已被次生的玉髓状微晶硅质交代，但是在裂隙中仍可见到次生充填的石膏纤柱状晶体（照片9）。

钠铁矾是黄铁矿受潮解形成的次生硫酸盐矿物，可能是受到海水影响下形成含钠的矾类。肉眼观察呈白色粉末状，附着在生物矿化结核表层或充填于缝隙中，电镜扫描的超微观形态为美丽的菊花瓣状（照片8）。由细小的六方板状鳞片体聚集而成。

5 生物矿化部分的元素成分特征

由岩石和矿物鉴定可知,生物矿化部分的主要矿物组成包括,原生碎屑矿物(石英、锆石、独居石、粘土矿物)、早期成岩矿物(粘土矿物再结晶、原生石膏纤晶、莓状黄铁矿)、晚期成岩矿物(黄铁矿立方体自形晶、细小无形粒状黄铁矿及其聚集体、方铅矿、玉髓)及表生次生矿物(石膏脉状充填物、钠铁矾)。藻团和藻类聚集体应该是与原生的碎屑矿物同时形成的,生物降解矿化后成为黄铁矿、方铅矿。因此,生物矿化部分经等离子光谱分析、电子探针分析和X-光衍射分析以后,反映出这些矿化部分的元素和矿物特征。

5.1 等离子光谱分析

生物矿化部分经等离子光谱分析后,可明显地看出其中除Fe元素含量高代表黄铁矿的主要成分外,其余元素的相对含量只有Pb、Cu、Ni、Zn、Co五种元素(相对克拉克值)较多(表1),但是具有系列性^[3,4]。

表1 生物矿化样品的等离子光谱分析数据(10^{-6})
Table 1. Plasm spectral analyses of biomineralization samples(10^{-6})

元素	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	Ti	Mn	P	Ba	Be	Co	Ce
含量	0.13	14.15	0.29	0.97	<0.20	<0.05	889.60	58.81	<60 ⁻	22.45	7.88	37.37	12.88
元素	Cu	Ga	Li	Ni	Pb	Sr	Th	V	Zn	La	Ce	Nd	Sm
含量	50.85	<5	2.79	64.32	193.50	9.43	6.11	12.83	32.97	21.90	15.24	10.53	2.50
元素	Gd	Dy	Y	Yb	Sc	Bi	Cd	Mo	Nb	Ta	Zr		
含量	<3.00	2.16	10.26	1.12	2.93	<10 ⁻	1.80	4.35	<12 ⁻	<10 ⁻	93.66		

除了等离子光谱分析提供的37种元素的含量,运用定量分析检测了四种元素: Au 0.0015×10^{-6} , Te 0.1×10^{-6} , Se 0.9×10^{-6} , U 0.3×10^{-6} 。

此外,分析了含生物矿化的黑页岩的有机碳为0.95%,而不含生物矿化的砂岩为0.058%,说明生物矿化与有机碳含量有关。

5.2 电子探针分析

电子探针分析主要测试了黄铁矿中包裹的方铅矿(%): S 27.04, Pb 51.10, Ti 1.38, Fe 20.48 (以硫化物计算的百分含量),含稀土元素的重副矿物(独居石?): P 14.64, La 8.48, Ca 26.14, Nd 18.04, Sm 4.18 (以氧化物计算的百分含量,其中O应为28.51)。

由于这些矿物非常细小,测定的含量难免受到周围杂质影响。

5.3 X-光衍射分析

X-光粉末衍射分析主要是为了检测生物矿化部分表生形成的白色粉末状矿物,这种矿物的电镜扫描图像呈菊花瓣状(照片8),很像钠铁矾,经X-光衍射分析证实了这一点,(表2,图4)。

由表2数据对比可看出：生物矿化部分的表生白色粉末与标准的钠铁矾X-光衍射数据是符合的，其中所含杂质成分主要是石英和黄铁矿（图4）。

表2 含钠铁矾石英和黄铁矿混合样
X-光衍射数据

Table 2. X-ray diffraction data of
mixed natrojarosite-quartz-pyrite
samples

混合样		黄铁矾(标准)		钠铁矾(标准)	
$d/\text{Å}$	I/I_0	$d/\text{Å}$	I/I_0	$d/\text{Å}$	I/I_0
5.9418				5.94	40
5.5703	(混合样			5.57	50
5.0703	的强度由			5.06	100
3.6576	于石英杂			3.67	20
3.1212	质干扰,	3.128	43		
3.0684	未统计)			3.06	80
2.9763				2.96	20
2.7832				2.78	20
2.7106		2.709	100	2.53	40
2.5324					
2.4241		2.432	58		
2.2394				2.24	60
2.2132		2.212	43		
				2.13	20
				1.98	60
1.9165		1.9155	42	1.91	5
				1.83	50
				1.74	5
				1.72	5
1.6355		1.6336	74		
1.5659		1.5640	11	1.57	20
				1.54	20
1.5036					
				1.48	20

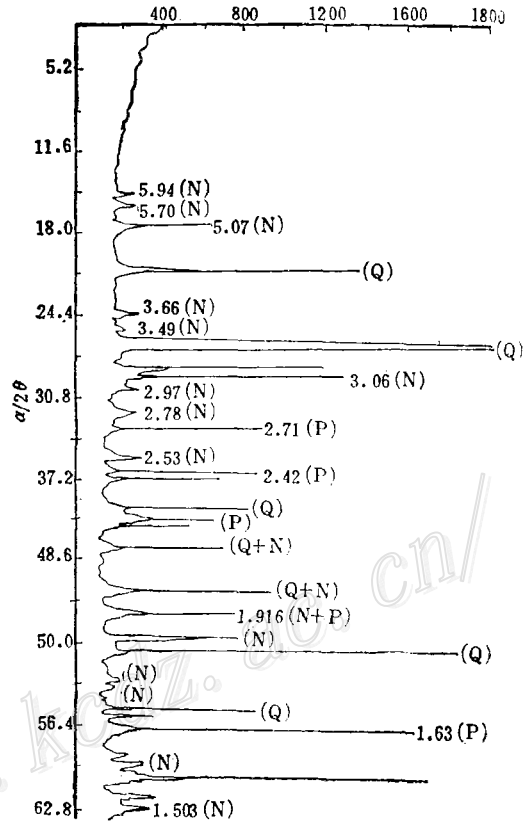


图4 含钠铁矾、石英和黄铁矿混合样X-光粉末衍射曲线图

Fig. 4. X-ray powder diffraction pattern of the mixed natrojarosite-pyrite-quartz sample.

N—Natrojarosite; P—Pyrite; Q—Quartz.

6 结 论

新疆拜城第三纪砾-壳灰岩中发现方铅矿是壳类动物有机质降解产生的生物矿化迹象；辽宁金县寒武纪碎屑岩中发现方铅矿—黄铁矿是藻类植物降解产生的生物矿化迹象；这两个例子都是未受到火山活动和热液影响的生物成矿实例，可作为生物成矿的典型加以研究，并进一步探求在相当层位中是否有形成具工业品位的金属矿床之可能性。

参 考 文 献

- 1 宋天锐, 张丽彦. 新疆第三纪砾-壳灰岩中发现方铅矿及其在矿化方面的意义. 地球化学, 1987, (2): 161~166

- 2 洪作民等, 辽南震旦系兴民村组类水母化石, 地质学报, 1988, 62(3): 200~209
- 3 程裕洪等, 再论矿床的成矿系列问题, 中国地质科学院院报, 1983, (总9): 1~64
- 4 宋天锐, 关于“沉积成矿系列”的若干理论问题, 中国地质科学院院报, 1987, (总16): 83~93
- 5 Song Tianrui, Zhang Liyun. Discovery of galena in Tertiary pebbly coquina and its implication in mineralization. Chinese Journal of Geochemistry, 1988, 7(3): 252~258

图 版 说 明

- 照片 1 生物矿化部分残留的石膏假像(白色条状), 已被玉髓状微晶硅质交代充填, 黑色为黄铁矿包裹有方铅矿 采样位置 金县金石滩仙人洞, 葛家屯组下部 比例尺 20 μ m;
- 照片 2 暗色莓状含方铅矿、黄铁矿, 周围包有放射状玉髓纤维晶镶边 比例尺 40 μ m
- 照片 3 被黄铁矿交代残留的圆圈状藻类遗迹, 分内层和外层两圈 比例尺 0.4 mm
- 照片 4 中粒石英砂岩的石英颗粒磨圆度极好, 但分选性中等, 其中枝杆状藻类聚集体被黄铁矿交代 比例尺 0.4 mm
- 照片 5 黄铁矿交代的枝杆状藻类聚集体中, 见有石英砂粒细碎残留颗粒 比例尺 0.2 mm
- 照片 6 黄铁矿(灰)中包含玉髓状微晶硅质细脉充填于裂隙中(黑), 方铅矿在硅质脉中晶出(白), 结晶次序分明 比例尺 10 μ m
- 照片 7 照片6的二次背反射图, 亮点为元素铅(Pb)的散射点 比例尺 10 μ m
- 照片 8 黄铁矿表生带潮解形成的菊花瓣状矿钠铁矾 比例尺 5 μ m
- 照片 9 生物矿化部分出现次生的石膏脉状充填物成晶簇状 比例尺 50 μ m

A TRACE OF BIOMINERALIZATION IN THE EARLY CAMBRIAN OF JINXIANG COUNTY, LIAONING PROVINCE

Song Tianrui and Qiao Xiufu

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

Abstract

In Jinxiang County, Liaoning Province, the Early Cambrian sedimentary sequence was deposited on the erosion surface of the Sinian carbonate bed, forming two sets of regressive beds, i. e. the Gejiatun Formation of the lower part composed of shoal-lagoonal facies and the Dalinzi Formation of the upper part composed of sabkha-intertidal facies. The galena-pyrite biomineralization discussed in this paper is seen in the lower part of Gejiatun Formation. The authors have summarized the evolution of biomineralization based on geological setting, model of sedimentary environment, macroscopic features of biomineralization positions, scanning-electron microscopic description, electron microprobe analyses and X-ray diffraction determinations.

The authors hold that two typical examples in China should be further studied, i. e. the biomineralization of galena in Tertiary pebbly coquina of Xinjiang formed by organic degradation of animal and the biomineralization of galena-pyrite in Cambrian of Liaoning formed by algal degradation.

