

# 磷块岩研究进展与磷块岩生物成矿说

东野脉兴

(化工部化学矿产地质研究院)

**提要** 近十年来,我国磷块岩的研究以沉积学的发展为先导,取得了长足进展。十年迈出两大步:第一步是由化学沉积说向物理富集成矿说的转变;第二步是生物成矿说的发展。业已在我国南方晚震旦—早寒武世各主要工业矿床的磷块岩中发现了大量多种形态的原核生物的细菌到真核生物的真菌等磷质微生物以及藻类和小壳动物化石(后者产于早寒武世磷矿中),它们是构成磷块岩的主要组分。磷块岩实际是一种特殊的生物岩。本文论述了磷块岩的生物成矿作用、生物聚磷机理,并从磷块岩岩石的生物特点、化学成分的生物特点、红外吸收光谱以及稀土元素组成的生物特点等方面,论述了磷块岩的生物成因。同时阐述了磷质生物繁衍的环境条件与磷块岩形成环境之间的内在联系,以及磷质生物的最佳繁衍场所与磷块岩成矿古地理单元的一致性,这种“生物繁衍场”与成磷古地理单元可称之为“陆缘坻”。

**关键词** 磷块岩 磷质微生物 生物成矿作用 陆缘坻 成矿规律

**作者简介** 东野脉兴 男 54 岁 高级工程师 矿床学沉积学

1992 年,是《沉积学报》创刊十周年。10 年来,我国沉积矿产研究以沉积学的发展为先导,取得了长足进步。其中尤以磷块岩的研究获得了突破性进展。为庆祝《沉积学报》创刊十周年,撰写此文,以展示该领域的最新成果。

## 一、磷块岩十年研究进展

70 年代后期,沉积学新理论特别是碳酸岩研究的成果被引入磷块岩研究,使磷块岩的研究跃进到沉积学新理论阶段。1981 年和 1982 年先后在昆明召开了“全国首届磷矿学术讨论会”和“第五届国际磷块岩讨论会”,这两个会议有力地推动了我国磷块岩的研究。10 年中,在一些主要的领域,如磷块岩沉积相和古地理、磷块岩沉积作用与沉积环境、磷块岩沉积序列与沉积作用演化、磷块岩成因等基本理论问题以及与这些理论相关的磷块岩区域成矿规律及成矿预测,都取得了显著的成果。

10 年来,磷块岩研究迈出两大步,第一步是由化学沉积说向物理富集成矿说的转变,第二步是生物成矿说的发展。第一步转变以物理富集成矿说为主线,在磷块岩沉积相、古地理、沉积环境、矿床成因等方面都贯穿了这条主线。80 年代中后期,物理富集成矿说发展到鼎盛时期,其标志是叶连俊等(1986)的“工业磷块岩物理富集成矿说”的发表和《中国磷块岩》一书的出版(1989)。叶连俊等在其著作中对磷块岩物理富集成矿作了精辟的论述:“中国的工业磷块岩均主要为具碎屑结构的层状磷块岩,它们是各种类型的矿源层经破碎、搬运、再沉积,多次冲刷簸选物理富集的产物”。磷块岩研究迈出的第二步是生物成矿说的发展。1989 年 11 月成都地质学院主持召开的“全国古生物、沉积、成矿作用学术讨论会”和 1990 年 3 月中国科学院资源环境局

和国家基金委员会地球科学部委托叶连俊教授主持召开的“生物成矿研究会”推动了我国生物成矿的研究,特别是生物成矿研讨会,通过了“生物成矿作用与成矿背景研究”立项意向性建议,争取列入“八·五”国家重大或重点科研项目,当年就有包括磷块岩在内的两项科学基金资助的项目开始了生物成矿研究。关于磷块岩的成因与生物的关系,叶连俊教授在他的许多著作里都强调过,在他的推动下,我国磷块岩生物成矿研究在 80 年代初就已起步,1981—1983 年,笔者在我国南方晚震旦与早寒武世磷块岩中发现了大量多种形态的磷质微生物,在叶连俊教授的鼓励和帮助下,进行了卓有成效的研究,认为磷质微生物建造了磷块岩,1983 年撰写的《微生物建造的磷块岩》得到了叶连俊教授的高度评价。该文 1985 年在《沉积学报》第 3 期发表后获部级科技进步奖。朱士兴等(1984)研究开阳磷矿认为,磷块岩的形成与藻类和古代微生物有密切关系。到 80 年末、90 年代初,磷块岩生物成矿获得进一步发展,沈丽娟、曾允孚(1989)研究滇东磷块岩,发现 5 大类 15 个种属的藻类化石,认为藻类对磷块岩的形成起主导作用;叶连俊等(1989)在《中国磷块岩》一书中把生物作为主要磷质来源之一,列述了细菌和显微藻类的遗迹等 7 种生物源的事实,并把“生物背景”作为磷块岩形成的重要背景之一;东野脉兴、郑文忠(1989, 1990, 1991)将微生物学、生物化学、医学等学科引入磷块岩的研究,认为原核生物的细菌到真核生物的真菌以及低等藻类和小壳动物等磷质生物汲取磷质作为自身的组分,死亡后直接堆积成矿<sup>①</sup>。进一步研究生物成矿作用、生物聚磷机理、成矿条件、成矿古地理和成矿规律,进而推出《磷块岩生物成矿论》。并在“中国地质学会七五重要地质成果交流会”(1991 年 3 月,北京)上宣读。

“过去,生物成矿作用的研究在长时期内进展缓慢,但是近年来开始受到国际科技界的广泛关注。在国际地学界最大的地质大会中,过去几届涉及生物成矿的内容相当零散,但在 1989 年第 28 届大会上不仅设立了生物成矿专题,而且在其它分组会议上也有大量的生物成矿为内容的报告;作为地球科学发展的前沿领域,生物成矿作用已引起了我国地学界的浓厚兴趣。但是总的说仍然处于薄弱甚至空白的状态,我们必须急起直追,迎头赶上”<sup>②</sup>。生物成矿研究已成为当前重要的发展趋势。

叶连俊教授倡导并主持召开的“生物成矿研讨会”,把我国生物成矿研究推向了一个新的阶段,可以预计,我国生物成矿研究必将取得丰硕的成果。

## 二、磷块岩生物成矿作用

笔者研究认为,我国南方晚震旦和早寒武世磷块岩主要是生物特别是磷质微生物建造的。这方面国内外报导很少。在印度西部 Gao 大陆架 70—150m 深处发现现代沉积物中磷酸盐富集于核形石外层,并见到纤维状真菌和类似细菌的磷酸盐壳粒结构(Rao, et.al, 1988);在澳大利亚东部大陆边缘磷块岩中发现非丝状体的细菌构造和 botuliform 杆菌,并在细菌构造内部发现碳氟磷灰石,研究者据此探讨了磷块岩成因与生物的联系(O'Brien, et.al, 1981)。国内刘志礼等(1991)进行了“藻类对磷酸盐形成和沉积作用影响的模拟实验”,认为由于藻的生命活动使介质 pH 值与 Eh 值发生变化,形成弱还原环境促进了磷酸盐的形成与沉淀。迄今仍然认为生物的生活改变了介质条件,创造了有利于磷酸盐沉积的环境。作者认为这仅是生物成矿作用的一个方

<sup>①</sup>东野脉兴、郑文忠, 1989, 磷质微生物及其成矿作用,“全国古生物、沉积、成矿作用学术讨论会”论文。

<sup>②</sup>叶连俊, 在“生物成矿研讨会”上的报告(1990 年 3 月,北京)。

面,更主要的是嗜磷生物汲取磷质作为自身的组分,死亡后堆积成矿,其聚磷机理和成矿作用是生物氧化磷酸化与生物钙化作用。

高等生物出现以前的晚震旦一早寒武世初期,是我国最主要的成磷期,也是微生物空前繁盛的时期,这个时期在我国南方有几百亿吨磷块岩沉积,笔者已在各工业磷矿床的矿石中发现了大量多种形态的磷质微生物化石,它们不仅生物特征明显,而且残留有氨基酸和核酸等生命组织的有机化合物(东野脉兴,1985)。这些磷质微生物与现代微生物的某些类群有许多相似之处,它们主要是原核生物的细菌到真核生物的真菌,即有细菌(Bacterium)、放线菌(Actinomyces)和霉菌(Molds)三个类群<sup>1</sup>。

磷质微生物是构成工业磷块岩的最主要组分,此外藻类和小壳动物化石也单独构成工业矿层,因此,磷块岩实际上是一种特殊的生物岩。

细菌的细胞壁、细胞膜、核质几乎都含磷,例如细胞壁主要由肽聚糖和磷壁酸构成,磷壁酸有两类,一是壁磷壁酸,二是膜磷壁酸(图1)。由图可以看到,细胞膜主要由磷脂组成,磷脂双层构成骨架。磷脂细胞膜的重要生理功能是进行体内外物质的交换,使营养物质逆着浓度梯度,由低由高转运,从而保证了从营养物质浓度较低的环境中继续吸收营养物质。细胞膜的另一重要生理功能是生物合成作用,菌体的多种成分,如肽聚糖、磷壁酸、磷脂等,都是在细胞膜上合成的。

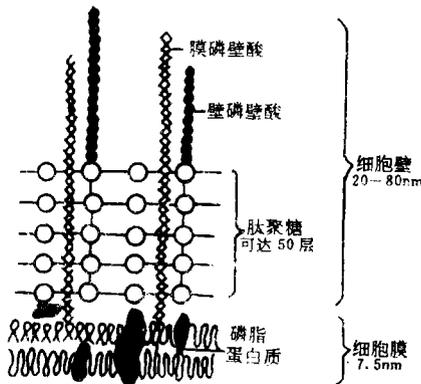


图1 细菌细胞膜和细胞壁  
结构构造示意图

Fig. 1 Sketch showing the structure and  
texture of cell wall and cell  
membrane of bacteria

一切生物必须经常获得能量才能维持生存,生物进行各种代谢,经氧化分解,转化为体内成分或成为代谢产物排出体外。物质在生物体内的氧化分解称为生物氧化。生物氧化还原反应所释放出的能量并不全部转化为热而散发,机体以高能磷酸化化合物的形式贮藏和利用,即有相当一部分使二磷酸腺苷(ADP)磷酸化,形成三磷酸腺苷(ATP)中的高能磷酸键储存起来,这种氧化时偶联磷酸化,称为生物磷酸化作用。这种磷酸化是细胞中由ADP生成ATP的磷酸化过程,或ATP在体内的沉积过程。

生物体内的无机盐主要有 $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Cl^-$ 、 $HPO_4^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ ,微量元素有Fe、Cu、Zn、Co、Mn、Cr、Mo、F、I、Se、Si等,它们主要构成骨、牙、鞘、细胞壁、细胞膜等组织。业已查明,动物骨骼主要由无机盐(骨盐)和有机质(骨胶)组成,无机盐主要由 $Ca(PO_4)_2$ 组成(占84%),其次为 $CaCO_3$ (占10%)等。骨组织的无机盐中,阳离子主要为 $Ca^{2+}$ ,此外有 $Mg^{2+}$ 、 $Na^+$ ,阴离子主要为 $PO_4^{3-}$ ,其次为 $CO_3^{2-}$ 、 $OH^-$ 及少量 $F^-$ 、 $Cl^-$ ,骨中的

<sup>1</sup> 东野脉兴,郑文忠,1990,磷质微生物及其成矿作用,“生物成矿研讨会”论文。

$\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{PO}_4^{3-}$ 有两种形式,即无定形的磷酸钙( $\text{Ca}_3\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )和高度结晶的羟基磷灰石 $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ 。羟磷灰石结晶有柱状、针状,结晶极小,1克骨盐有 $10^{16}$ 个结晶体(北京医学院,1978)。就是说动物的骨骼和牙齿主要是由钙和磷的化合物组成,而且以结晶的羟磷灰石和无定形的磷酸钙(胶磷矿)形式分布于有机质中,羟磷灰石较稳定,而无定形磷酸钙波动较大,它在新骨或幼小动物骨中含量高,亦即动物年龄越大,骨、牙中结晶磷灰石含量越高,微生物也是随菌龄增长含磷量增加,这都显示了生物聚磷的逐渐累积。骨和牙的生长过程,实质是有机质和骨盐不断沉积的过程,医学上称之为钙化作用。利用 $^{32}\text{P}$ 同位素试验观察到,牙在生长钙化未完成之前, $^{32}\text{P}$ 很快渗入正在生长的牙组织中,但已完成钙化后,新陈代谢就极为缓慢。海相磷块岩的无机化学组成与骨盐的物质组成有着惊人的相似性。小壳磷块岩正是由无定形磷酸钙和结晶磷灰石组成,是生物成磷的直接例证。组成磷块岩的磷细菌虽然没有骨骼和牙齿,但有细胞壁、细胞膜,其对磷有吸收、沉积和生物钙化作用可能与骨、牙近似,钙和磷在细菌中也是以极细的无定形磷酸钙和结晶磷灰石的形式存在,经计算,1克纯磷块岩中有 $3.9 \times 10^{13}$ — $2.5 \times 10^{15}$ 个球状磷细菌,这与1克骨盐有 $10^{16}$ 个磷灰石晶体近乎一致。有可能每一个球菌构成一个胶磷矿质点或磷灰石晶体。

### 三、磷块岩的生物岩石特点

#### 1. 磷块岩的生物岩石类型

(1) 微粒磷块岩 该类磷块岩主要由磷细菌构成,在普通显微镜下,呈均质结构,在扫描电镜下观察,呈粒径 $0.02$ — $0.5$ - $\mu\text{m}$ 的超微颗粒,它们大多是球菌、链球菌、杆菌等。

(2) 团粒磷块岩、藻菌粒磷块岩 该类磷块岩分别由磷质微生物菌落和群落构成。菌落(Colony)是由同一种微生物(主要是磷细菌)聚集在一起形成的集团,多呈椭圆状,粒径一般为粉砂到中砂级,这类菌落沉积形成的磷块岩就是团粒磷块岩。群落(Community)是由不同种类的微生物即细菌、放线菌、霉菌和藻类等宿营、粘结在一起形成的集团,其大小也在粉砂到中砂级范围;常具有同心层状、斑块状、发丝状等内部结构,这种群落形成藻菌粒磷块岩,有时形成不规则状凝块,构成凝块石磷块岩。菌落和群落常与单体细菌沉积在一起,形成从微粒到宏观颗粒共生的磷块岩,由于它们的组分一致,以及压实与成岩改造,团粒结构有不同程度的消失,团粒界线常模糊不清,显示了“似粒非粒”的结构特点。

(3) 壳粒磷块岩 生物磷质的转化、运移、富集构成一个生物氧化还原浸磷循环系统,系统中有机和无机磷都有非常高的活性,各种类型的颗粒(主要是团粒)沉降到该液相中时,其沉降速度变缓,甚至与液相保持一段时间的平衡,液相中的磷酸钙“无选择”地敷淀于这些颗粒的表面,形成垂直于颗粒表面的微晶磷灰石,同时霉菌以这些颗粒为基部生长,二者均可形成层纤状微晶磷灰石外壳,这种颗粒称为壳粒(Coated granule),其沉积后形成了壳粒磷块岩。

#### 2. 磷块岩化学成分的生物特点

笔者选择不同位不同地具代表性的高纯度磷块岩样品分析,普遍含有 $4$ — $6\text{r/g}$ 的氨基酸和痕量的核酸。氨基酸和核酸是生命组织的有机物,特别是核酸,尽管痕量,也充分证明生命物质的存在。

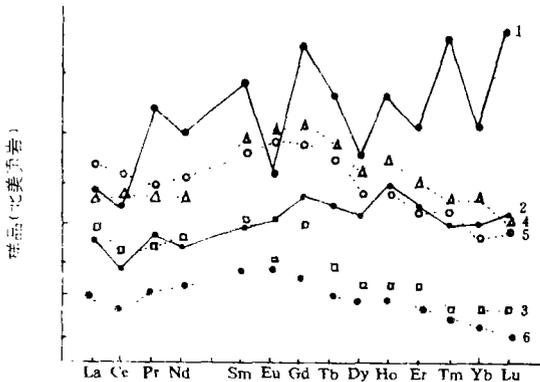
#### 3. 磷灰石红外吸收光谱的生物特点

对各类磷块岩的磷块石进行红外光谱分析表明,磷灰石中普遍见有机质的振动频率,如有机色素、甲基( $-\text{CH}_3$ )、次甲基( $-\text{CH}_2$ )、羰基( $-\text{C}=\text{O}$ )、羟基( $-\text{OH}$ ),而且与恐龙、乌龟、

软舌螺骨骼中的磷灰石的振动频率相近。

#### 4. 磷块岩稀土元素生物特点

生物磷块岩以明显的低稀土含量为特点，海洋生物中的稀土含量很低（王中刚等，1939），其总量一般仅几个 ppm，生物成因的碳酸岩也以低稀土含量为特征。各类磷块岩稀土元素标准化配分模式与现代及古生代以来典型的生物成因磷灰石配分模式接近（图 2）。



1. 古生代—中生代生物磷灰石 2. 马格达连湾北部陆架生物磷灰石 3. 叠层石磷块岩 4. 壳粒磷块岩 5. 胶状磷块岩 6. 团粒磷块岩 (3、4、5 含量×100)

图 2 生物成因的磷灰石稀土元素配分模式

Fig. 2 REE distributive model of biogenic apatite

## 四、磷质生物生活环境与磷块岩形成环境的关系

自然界的生物与其所处的环境关系极为密切，当环境条件适宜时，生物能进行正常的新陈代谢、生长繁殖，当环境改变或不适宜时，生物主要代谢机能便发生障碍，生长被抑制，甚至死亡，因此研究生物对周围环境的依赖关系，有助于掌握磷块岩的形成条件、古地理环境和分布规律。

影响微生物生长的物理化学因素很多，最主要的有以下几种：

**1. 温度** 温度是影响机体生长和繁殖的重要因素之一。微生物生长的温度范围很广，已知微生物在 $-10^{\circ}\text{C}$ — $95^{\circ}\text{C}$ 均可生物，但每种微生物只能在一定的温度范围内生物。可分为低温微生物（温度范围为 $-10$ — $20^{\circ}\text{C}$ ）、中温微生物（ $20$ — $40^{\circ}\text{C}$ ）和高温微生物（ $40$ — $95^{\circ}\text{C}$ ）三类。高纬度地区和深海中的微生物属于低温微生物，中低纬度区浅海水域的微生物属中低温微生物，其最适生长的温度在 $5^{\circ}\text{C}$ — $28^{\circ}\text{C}$ 之间，这可能是磷块岩多形成于中低纬度的浅海而不在深海和高纬度区的重要因素。

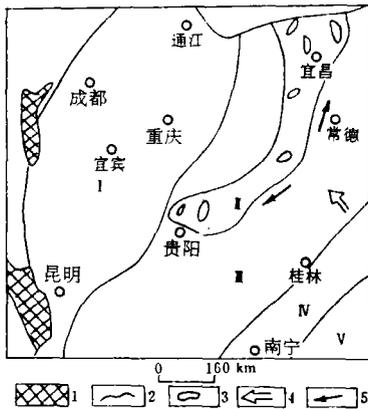
**2. 氧化还原电位** 氧化还原电位对微生物生长有较明显的影响。各种微生物生长所要求的氧化还原电位（Eh 值）不同，一般喜氧性微生物在  $\text{Eh} > 0.1\text{V}$  均可生长，厌氧性微生物只能在  $\text{Eh} < +0.1\text{V}$  生长。环境中的 Eh 值与氧分压有关，也受 pH 值影响。磷质微生物属于厌氧或兼性厌氧型微生物，其生长环境的 Eh 值较低，要求一种弱氧化到还原条件，陆缘坳（详见后述）、海湾等半封闭的环境多具备这种条件，因此是磷质微生物生长繁殖的最佳场所，也正是磷块岩形成的最有利的古地理单元。

**3.pH 值** 每种微生物都有其可以生长和最适生长的 pH 值范围, 大多数自然环境的 pH 值为 5—9, 许多微生物生长的 pH 值也在这个范围, 但绝大多数微生物最适生长的 pH 值为 7.2—7.6。各种微生物细胞内的 pH 值多接近于中性, 细胞中许多组分, 如 DNA、ATP 等对酸和碱不稳定, 细胞具有保持其内环境接近中性的能力, 强酸和强碱对微生物有杀伤力, 例如细菌和放线菌在中到偏碱环境下生长最好。微生物通过其活动可以改变环境的 pH 值, 如细菌利用氨基酸或其它含氮化合物, 由于脱氨作用产生酸而使介质 pH 值下降, 由于脱羧作用产生碱性胺而使介质 pH 值上升。磷质微生物生长的最适 pH 具有较为匹配的 Eh 值, 其 pH 值在 7—7.6 范围内, 这与磷块岩形成的 pH 值接近。

**4.光线** 对海洋微生物来说, 光线主要指日光, 日光有效的天然杀菌因素, 因此海水表面 5m 以上微生物很少, 而最繁盛的是 5—20m 的水深以及海底。可以推断, 磷块岩形成的深度当在 20m 以下。

### 五、磷块岩区域成矿规律

前已叙及, 陆缘坻 (The epicontinental subaqueous galley wall) 最磷质微生物的最佳繁衍场所, 也是磷块岩形成的最有利的古地理单元。“陆缘坻”是笔者提出的磷块岩成矿最有利的古地理单元, 其基本性质是: (1) 是大陆边缘的一个具有障壁作用的水下山脉、长垣或长条状高地, 高崇地带常出露水面; (2) 陆缘坻地形复杂, 沉积物的厚度与相变均较大, 甚至在 2km 范围内有上百米的地层缺失; (3) 是陆缘上构造相对活动的地带, 断裂构造较发育, 常造成抬升地段短期露出水面成为非沉积区; (4) 陆缘坻是上升洋流抵达陆缘坻后的第一道屏障, 是上升洋流携带的磷等营养物质大量滞留和贮藏的天然仓库, 极利于生物特别是磷质微生物的生长和繁殖, 可视为“生物繁衍场”, 因此是生物成磷作用最有利的地区, 自然是磷块岩成矿最有远景的地段。



1.古陆 2.相区界线 3.磷矿床  
4.海侵方向 5.分支海流方向  
I.台地相区 II.陆缘坻相区 III.浅海陆棚相区  
IV.浅海盆地相区 V.深海盆地相区

图3 扬子古板块晚震旦世陡山沱期岩相古地理及磷矿分布规律略图

Fig. 3 Lithofacies, palaeogeography and distributive law of phosphorus mine of Doushantuo Stage, Late Sinian, Yangtze Palaeoplate

上扬子区早寒武世初期磷块岩分布于川西—滇东陆缘坻, 早寒武世初期, 海侵来自扬子古板块以西的滇青藏大洋, 抵达川西—滇东陆缘坻后分成向北与向南的两支海流, 造成陆缘坻北部两个磷矿层中的上矿层向北迁移沉积, 在陆缘坻南部上层矿向南迁移沉积。晚震旦古陡山沱期磷矿带分布于扬子古板块大陆东缘的鄂西—黔中陆缘坻, 两个主要工业矿层在陆缘坻上的沉积迁移更为明显, 兹以陡山沱期磷矿为例说明这个规律。

图3中的陆缘坻 (沉积相区II), 北起鄂西, 经湘西到黔中, 延长近千公里宽约百公里, 呈

北东—南西向展布, 分布于陆棚内, 又可称鄂西—黔中陆棚坳, 其上有鄂西、东山峰、湘西、黔中四大聚磷区, 集中了陡山沱期 95% 以上的磷块岩储量。

晚震旦世陡山沱期有两个主要工业矿层, 下矿层称  $ph_1$ , 上矿层称  $ph_2$ , 分别构成各自的成磷旋回, 并顺着海侵和海流方向呈现有规律的迁移沉积。陡山沱期海侵来自东南方, 抵达向南东凸出的鄂西—黔中陆棚坳后, 同时分出向北和向南西方向的两支海流 (见图 3), 使上行层在陆棚坳北段向北迁移, 在南段向南西迁移。这个规律十分明显, 在各聚磷区和各矿区都看得到, 例如陆棚坳北段的鄂西聚磷区有三个特大磷矿, 其中荆襄磷矿, 在其南部的青龙寨矿区和朱堡埠矿区, 只有  $ph_1$ , 缺失  $ph_2$ , 到北部大峪口矿区和王集矿区, 出现  $ph_2$ ; 宜昌磷矿南部和中部各矿区  $ph_1$  为主矿层,  $ph_2$  一般不构成工业矿层, 到北部栗西矿区则  $ph_2$  为主要工业矿层,  $ph_1$  仅有层位意义或缺失; 兴神保磷矿南部  $ph_1$  为主矿层, 缺失  $ph_2$ , 中部  $ph_1$  和  $ph_2$  均构成工业矿层, 到北部  $ph_1$  为主矿层。陆棚坳南段的黔中聚磷区, 东北的瓮福磷矿  $ph_1$  (亦称 a 矿层) 和  $ph_2$  (亦称 b 矿层) 都发育, 到西南部的开阳磷矿则缺失  $ph_1$ , 只有  $ph_2$  富矿层。就瓮福磷矿本身而言, 也明显的由北向南迁移, 例如东北部的白岩矿区 a 与 b 两层矿都发育, 到南西部的高坪矿区, 则 a 层为非工业矿层, b 层为工业矿层。这个重要规律是由陆缘坳和上涌洋流的分支海流决定的。认识这个规律很重要, 可用于成矿预测和普查勘探。

### 参 考 文 献

- (1) 叶连俊, 陈其英, 刘魁梧, 1986, 工业磷矿岩物理富集成矿说, 沉积学报, 4卷, 3期, 1-29页。
- (2) 叶连俊, 陈其英, 区东旭等, 1989, 中国磷块岩, 科学出版社。
- (3) 朱士兴等, 1984, 中国开阳磷矿的形成与古代微生物的关系, 第五届国际磷块岩讨论会论文集2, 地质出版社。
- (4) 刘志礼等, 1991, 藻类对磷酸盐形成和沉积作用影响的模拟实验, 地质学报, 65卷, 2期。
- (5) 东野脉兴, 1985, 微生物建造的磷块岩, 沉积学报, 3卷, 3期, 1-6页。
- (6) 北京医学院主编, 1978, 生物化学, 人民教育出版社。
- (7) 王中刚等, 1989, 稀土元素地球化学, 科学出版社。
- (8) 武汉大学—夏目大学生物系微生物教研室编, 1979, 微生物学, 人民教育出版社。
- (9) V.P.Rao and R.R.Nair, 1988, Mar. Geol., V.84, p.105-110.
- (10) G.W.O'Brien, J.R.Harris, A.R.Milnes and H.H.Veeh, 1981, Nature., V.294, p.442-444

## Progress of the Phosphorite Research and Its Theory of Biomineralization

Dongye Maixing

(Geological Institute for Chemical Minerals Product, Ministry of Chemical Industry, Zhuozhou, Heibei)

### Abstract

The research of sedimentary minerals produced in China has achievably progressed for the recent decade on the basis of the sedimentary development, especially the phosphorite research has got a breakthrough progress. The phosphorite research has made two steps in a decade: the first is from the chemical sedimentary theory to the physical enrichmentary one and the second is the development of the

biomineralization theory.

Upper Sinian Epoch to the early period of Lower Cambrian Epoch is an unprecedented prosperous period of the phosphorus microorganism and it is also the most important phosphorus mineralization one in China, and tens of billion tons of phosphorus ore were formed. Many phosphorus microorganisms, such as alga and small shell fossils (the latter one is only produced in ore of Lower Cambrian) with various shapes have been found in phosphorites of every industrial mineral deposit and they are the main components of phosphorite. Among them the phosphorus microorganism is mainly from bacteria of prokaryotes to fungus of eucaryotes. Up till now, three communities have been found, i.e., bacteria, actinomyces and mould. The author adopted microbiology, biochemistry and medicine to the phosphorite research and discussed the phosphorite biomineralization, biological enrichment phosphorus mechanism about the oxidizing phosphoric acidification and biological calcification as well as expound the phosphorite biological cause on the basis of the phosphorite petro-biological characteristics. The biological characteristics of the chemical components and the infrared absorptive spectrum, and the rare-earth element compositions and so on are analysed. Phosphorite is actually a special biological rock and the phosphate composition ranges from ultramicros  $0.05\ \mu\text{m}$ – $0.5\ \mu\text{m}$  to macroscopic particles from silt to median sand. The phosphorite is consisted of single species bacteria and bacteria groups, which consists of the same species microorganism, and the microorganism communities, which consist of the different species microorganism (including alga), as well as the small fossil shells. The phosphorite petro-types can be subdivided as micro-phosphorite, cumularspherolith, coated granule, algal bacterium granule, stromatolitic, agglomerative, oncolites and small shell phosphorite. Organic chemical compound of life organization, such as remaining amino acid and nucleic acid etc., are commonly discovered by the analysis of organic chemical composition. On the basis of analysis of infrared spectrum there are organic pigments,  $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{CH}_2$ ,  $-\text{C}=\text{H}$ ,  $\text{OH}$  and the vibration frequency of phosphorite is similar to one of the bone apatite of dinosauria, tortoise and hyolith and so on. The rare-earth element standardization match model of the every phosphorite closes to the match model of apatite with the typical biological cause from Palaeozoic Era to modern times.

Microorganism is closely related to circumstance and the multiplying circumstance condition of microorganism relates internally to the sedimentary circumstance of phosphorite. There are a lot of physical and chemical conditions that influence the growing of microorganism, the important factors are temperature, Eh, pH and light. These most suitable conditions of the microorganism breeding and growing are closely related to the conditions of phosphorite forming.

The "biological breeding field" of the most suitable phosphorus biological growing and multiplying in ocean shows no different from the palaeogeographical unit of the phosphorite mineralization. We call the biological breeding field as "the epicontinental subaqueous galley wall" which is the most favourable minerogenetic belt of phosphorite. Our research has discovered the two main industrial mineral layers of Doushantuo period along the epicontinental subaqueous galley wall which distribute from the western Hubei to the middle Guizhou offer as the regular overlap migration sediment according to the ingress and sea current directions. This law may be an universal one, otherwise, the two industrial mineral layers in the eastern Yunnan during Lower Cambrian Epoch offer also as the regular migration sediment according to the ingress and sea current directions. This law can be used to survey and research for minerals.