

滇池地区沉积磷块岩中胶磷矿 矿物学特征及其研究意义

夏学惠 黄青山

(化工部地质研究院)

关键词: 沉积磷块岩; 胶磷矿矿物学; 演化; 云南

摘要: 本文从物理性质、化学成分及其成因结构等方面,对云南滇池地区胶磷矿进行了矿物学特征研究。提出该区胶磷矿主要以三种形式赋存在磷块岩中。对不同矿石类型中胶磷矿做扫描电镜研究,得知胶磷矿主要由超微晶低碳氟磷灰石集合体、磷酸盐显微莓群以及纤维放射状磷灰石等构成。经化学分析、红外、晶胞参数测定,不同胶磷矿有一定差异,特别是碳和磷,经矿物学对比发现,反映随变质作用的加深,胶磷矿有向晶质氟磷灰石演化的趋势,脱碳作用表现明显。本区胶磷矿稀土元素含量不高,钇族较富,铈族较贫。球粒陨石标准化后为铈亏损型模式。

滇池地区磷矿资源丰富,已探明储量几十亿吨,是我国最大的磷矿基地之一。目前已发现沉积磷矿床几十处,磷矿的时空分布具有一定规律性,即受早寒武世梅树村期扬子海盆的次一级盆地沉积环境及古地理展布的控制。沉积磷块岩主要发育在陆缘一侧的浅水地带及浅海台地、海湾泻湖相内^[1]。本文从对比角度出发,讨论了该区磷块岩中胶磷矿的矿物学及演化和稀土元素地球化学特征。

一、胶磷矿的产状及赋存状态

胶磷矿(collophane)是组成海相磷块岩的主要成分。根据磷块岩的沉积成岩环境及其结构成因特点,可把滇池地区胶磷矿划分为以下几种主要产出形式:

1. 胶磷矿以胶状物(凝胶型)赋存在块状磷块岩中。块状胶磷块岩主要由致密的磷酸盐胶体物质构成。偏光显微镜下,胶磷矿可见裂纹(照片1),个别呈凝块状,不规则状等。此类磷块岩 P_2O_5 含量一般较高(P_2O_5 35—40%)。

2. 胶磷矿以内碎屑形式产出在磷块岩中。胶磷矿内碎屑由砂屑或砾屑及球粒构成。它们都是由以磷酸盐成分为主的胶状沉积物经盆内破碎—波选—搬运—堆积而成。根据磷块岩中

基质(内碎屑胶磷矿)和胶结物的特点,碎屑磷块岩又可分为硅质胶结的硅质碎屑磷块岩(照片2);碳酸盐胶结的白云质碎屑磷块岩(照片3);磷质胶结的纤维状晶壳碎屑磷块岩(照片4),此系胶磷矿内碎屑在堆积成岩过程中,磷质孔隙水作用将胶磷矿碎屑胶结的产物。

3. 胶磷矿以藻类及生物屑形式产出在磷块岩中。磷块岩主要由叠层石、藻鲕、生物屑与胶结物两部分组成,形成藻鲕磷块岩(照片5)和生物碎屑磷块岩。胶结物主要由泥质、碳酸盐等构成。

滇池地区胶磷矿主要以上述几种形式赋存在不同沉积成岩环境形成的六大类磷块岩中(见表1)。每种类型的磷块岩都具有一定的层位及不同的沉积成矿特点,而这一特点为研究胶磷矿沉积、演化、成矿作用提供了直接微观依据,具有重要意义。

二、胶磷矿的物性及光性特征

本区胶磷矿主要为黑色、暗灰色,以胶状、凝块状、内碎屑(砾屑、砂屑、球粒)、藻类、生物屑、纤维状等形态产出。不同矿石类型中的胶磷矿特征见表1。由于沉积成岩成矿作用的差异,造成胶磷矿颗粒大小不一,从0.05—0.2mm都有,外部形态多样,内部保留了原始沉积的特点。镜下淡棕黄色,浅褐色。成岩作用形成的胶磷矿具有纤维状结晶包壳。胶磷矿颗粒内部包裹有微量石英、水云母及有机质等机械混入物。正交偏光镜下显均质性,经重结晶作用,有向显微晶质演化之趋势,部分可见十字消光。经扫描电镜观测,胶磷矿均由磷酸盐超微菌群、低碳氟磷灰石超微晶集合体(照片6)等组成。由于磷灰石非常微小,排列无序,加之有机质的混入,故胶磷矿在正交偏光镜下显示为均质性。

表1 不同类型胶磷矿的物理性质及光学性质

Table 1 Physical and optical characteristics of different types of collophane

矿石类型	形态	粒径(mm)	折光率(N)
1—块状胶磷块岩	胶状、凝胶、凝块状	微晶集合体	1.590
2—硅质碎屑磷块岩	次棱角、浑圆、椭圆状	0.1—0.2	1.590—1.593
3—白云质碎屑磷块岩	球粒、不规则状	0.05—0.1	1.590
4—纤维晶壳磷块岩	纤维放射状、晶壳状	0.1—0.2	1.610—1.616
5—藻磷块岩	同心环状、藻鲕状	0.01—0.5	1.595—1.597
6—生物碎屑磷块岩	生物骨屑	0.2—0.3	1.593—1.598

从不同矿石中胶磷矿的特点看,由胶状—内碎屑状—纤维状反映了胶磷矿成矿作用的演化史。为进一步了解本区胶磷矿特征,我们采用多种手段进行胶磷矿分离提纯,经偏光显微镜下检查,胶磷矿纯度一般可达96—98% (不包括胶磷矿内部包裹的混入物)。对提纯后的胶磷矿分别作了红外光谱、X射线衍射、化学分析和稀土元素分析等。

三、胶磷矿红外吸收光谱特征

在同一条件下,经PE-783型红外光度计分析不同时代、产状的胶磷矿反映出磷灰石特征峰明显(见图1)。 $[\text{PO}_4]^{3-}$ 基团对称的四个基频振动吸收带分别在 $\nu_1 965\text{cm}^{-1}$ 出现一个较弱

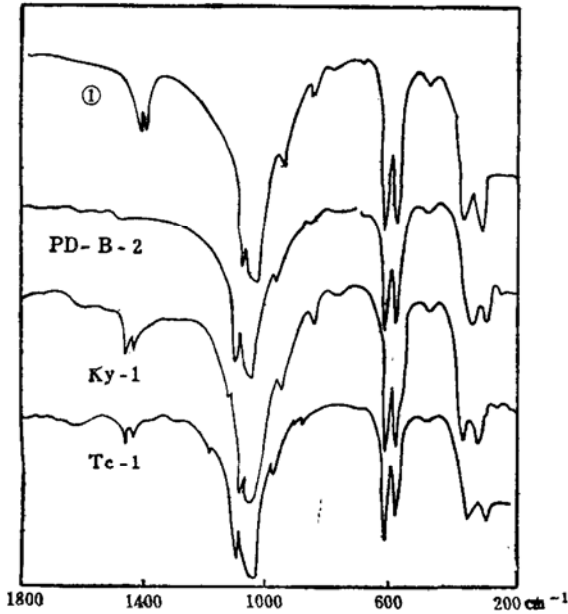


图1 胶磷矿与碳氟磷灰石红外吸收光谱

Fig.1 Infrared spectra of collophane and carbonate-fluorapatite

注:①—碳氟磷灰石^[2]; PD-B-2—陡山沱期胶磷矿(保康); Ky-1—晶壳型胶磷矿(昆阳); Tc-1—碎屑型胶磷矿(晋宁)
由本院李平测定

吸收带, ν_2 在 330cm^{-1} 与 276cm^{-1} 出现两个较宽缓的吸收带, ν_3 在 1045cm^{-1} 和 1095cm^{-1} 分裂为很清楚的两个很强的吸收带, ν_4 在 605 、 573cm^{-1} 分裂成很锐的两个吸收峰。除 $[\text{PO}_4]^{3-}$ 吸收带外, 本区早寒武世胶磷矿(Ky-1、Tc-1), 还出现了 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 的振动吸收带, 这个带与碳酸盐中 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 吸收带明显不同。 $[\text{CO}_3]^{2-}\nu_3$ 分裂为 1430 、 1454cm^{-1} , 一对锐的双峰 ν_2 在 865cm^{-1} 出现弱带, ν_4 则消失。根据红外吸收峰的特点证明 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 已进入磷灰石晶格。并被研究证明^{[2][3]}, $[\text{CO}_3]^{2-}$ 的吸收峰是取代 $[\text{PO}_4]^{3-}$ 后 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 的 ν_3 振动吸收带。将本区早寒武世胶磷矿与保康震旦纪胶磷矿进行对比(图1), 可见本区不同类型的胶磷矿红外光谱差异不大, 均与碳氟磷灰石接近。而与震旦纪胶磷矿明显不同。后者由于产生一定的变质重结晶, 则 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 吸收峰基本消失(PD-B-2), 而接近于晶质氟磷灰石。胶磷矿红外光谱特征反映随变质作用加强, 胶磷矿有由碳氟磷灰石向氟磷灰石演化的趋势, 脱碳作用表现明显。

四、胶磷矿X射线衍射特征及对比

将提纯后的胶磷矿做X射线粉晶分析, 结果见表2。从X射线分析可见不同类的胶磷矿均为结晶物质, 磷灰石特征峰明显。与标准卡片^[4]对比, 本区不同胶磷矿差别不大, 近于氟磷灰石与碳磷灰石间。但晶壳状胶磷矿(Ky-1), 主要衍射线接近氟磷灰石。为了对比胶磷矿X射线特征, 将震旦纪胶磷矿(PD-B-2)衍射值列入表2, 可见(PD-B-2)与标准氟磷灰石接近, 这一特征与前述红外光谱结论是一致的。

从不同成因类型磷灰石晶胞参数对比分析, (表3), 可以看出本区不同矿石类型中的胶磷矿晶胞参数变化不大。经不同变质程度磷灰石晶胞参数对比, 本区胶磷矿晶胞参数较震旦纪陡山沱期的小。反映不同时代的沉积磷灰石晶胞参数变化有一定差异, 时代从新到老随变质程度的加深胶磷矿晶胞参数有增大之趋势。晶胞参数增大的原因, 可能与胶磷矿变质重结晶脱碳作用有关。对于碳氟磷灰石的研究表明, 缺 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 的磷灰石晶胞参数接近于氟磷灰石($a = 9.370 \text{ \AA}$)^[5]。从上述对比可以推论, 胶磷矿X衍射线及晶胞参数的变化, 反映了磷灰石的结晶程度, 即由胶磷矿(低碳氟磷灰石超微晶集合体)向晶质氟磷灰石演化的结果。

五、胶磷矿化学组份特征

将挑纯的胶磷矿进行化学分析, 其结果见表4, 本区胶磷矿化学分析结果反映胶磷矿中主要组份 CaO 、 CO_2 偏高, P_2O_5 则偏低。尚有一定量的杂质元素Si、Fe、Al的混入。 SiO_2 、

表2 胶磷矿X射线衍射数据
Table 2 X-ray diffraction data of collophane

标准氟磷灰石		Tc-1		M-1		Ky-1		PD-B-2		标准碳磷灰石 ^[4]	
<i>l/l₀</i>	<i>d</i>	<i>l/l₀</i>	<i>d</i>	<i>l/l₀</i>	<i>d</i>	<i>l/l₀</i>	<i>d</i>	<i>l/l₀</i>	<i>d</i>	<i>l/l₀</i>	<i>d</i>
18	3.067	15	3.056	17	3.040	15	3.071	18	3.069	10	3.06
100	2.800	100	2.792	100	2.799	100	2.801	100	2.801	80	2.811
55	2.772	63	2.778	48	2.772	46	2.779	44	2.772	25	2.774
60	2.702	53	2.696	56	2.707	55	2.707	56	2.701	100	2.717
30	2.624	28	2.620	26	2.626	27	2.624	28	2.629	12	2.627
6	2.517	5	2.513	7	2.517	9	2.519	7	2.517	4	2.526
8	2.289	9	2.285	8	2.288	10	2.290	7	2.290	6	2.293
20	2.250	22	2.247	24	2.247	24	2.251	24	2.249	35	2.261
4	2.218	4	2.215	5	2.210	7	2.218	4	2.210	—	—
6	2.140	6	2.130	8	2.139	—	—	6	2.141	6	2.149
4	2.128	—	—	10	2.129	6	2.128	8	2.133	—	—
6	2.061	7	2.056	5	2.061	7	2.064	6	2.061	—	—
2	2.028	40	2.030	—	—	5	2.029	6	2.027	—	—
4	1.997	5	1.996	4	1.997	5	1.996	6	1.997	—	—
25	1.937	25	1.935	24	1.936	24	1.937	24	1.936	16	1.941
14	1.884	13	1.881	15	1.884	13	1.884	15	1.882	8	1.889
4	1.864	5	1.858	4	1.857	3	1.861	4	1.861	12	1.841
30	1.837	32	1.841	31	1.867	30	1.841	31	1.837	—	—
16	1.797	16	1.794	15	1.795	14	1.798	17	1.794	16	1.805
14	1.771	15	1.769	13	1.767	13	1.771	14	1.769	12	1.781
14	1.748	13	1.744	14	1.747	14	1.749	11	1.743	8	1.757
16	1.722	14	1.724	16	1.724	17	1.725	14	1.722	4	1.720
6	1.637	9	1.636	8	1.639	7	1.639	9	1.636	—	—
4	1.607	5	1.604	4	1.604	4	1.607	4	1.606	—	—

注：由本院十一室黄祖超、孙振东测试，样号同表3；工作条件：40kV，35mA，Cu靶，仪器：PHILIPS APD-10衍射仪。

表3 磷灰石（胶磷矿）晶胞参数对比
Table 3 Cell parameters of apatite (collophane)

产地	样号	矿石类型	时代	<i>a₀</i> (Å)	<i>c₀</i> (Å)	CO ₂ %
晋宁	Tc-1	硅质磷块岩	早寒武	9.3225	6.8620	1.49
鸣矣河	M-1	白云质磷块岩	早寒武	9.3586	6.8866	1.21
昆阳	Ky-1	纤维晶壳磷块岩	早寒武	9.3496	6.8830	
白塔村	Bp-9	生物屑磷块岩	早寒武	9.3761	6.894	
保康	PD-B-2	硅质磷块岩	晚震旦	9.3717	6.8902	0.42
保康	PD-B-1	白云质磷块岩	晚震旦	9.3789	6.8943	

注：晶胞参数由本院X衍射室黄祖超、孙振东测定，Bp-9据王素敏资料。

CaO含量偏高且变化大,这可能与胶磷矿内包裹的超微粒白云石、石英有关,并已被X衍射分析所证实。 CO_2 含量偏高之原因,除与混入物白云石有关外,其主要由于 CO_2 以 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 形式取代 $[\text{PO}_4]^{3-}$ 四面体位置,进入晶格。这种置换已被(Gulbrandsen等)⁽⁶⁾研究所证实,并在前述红外光谱中进一步得到验证。由于 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 呈二价态,当其置换三价的 $[\text{PO}_4]^{3-}$ 时,则产生了电价如何平衡的问题,据(Gulbrandsen, 1966⁽⁶⁾; Y. Nathan, 1984⁽⁷⁾)研究认为, $[\text{CO}_3]^{2-}$ 是与 F^- 、 OH^- 结合在一起以离子团形式进入晶格的。但超过化学计量的 F^- 也平衡不了 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 取代 $[\text{PO}_4]^{3-}$ 产生的缺位。当一个 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 取代一个 $[\text{PO}_4]^{3-}$ 时只有0.4的 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 与 F 结合⁽⁸⁾。为了达到电价平衡,根据Ca无序缺位的存在,则还有Na、Mg进入以求得电价平衡。依据上述分析,扣除杂质计算磷酸盐矿物化学式:

1. Tc-1 $(\text{Ca}_{4.85}\text{Na}_{0.23})_{5.08}[(\text{P}_{2.78}\text{C}_{0.19})_{2.97}\text{O}_{12}](\text{F}_{0.87}\text{OH}_{0.56})_{1.43}$
2. M-1 $(\text{Ca}_{4.81}\text{Na}_{0.07})_{4.88}[(\text{P}_{2.90}\text{C}_{0.16})_{3.06}\text{O}_{12}](\text{F}_{1.12}\text{OH}_{0.12})_{1.24}$
3. PB-11 $(\text{Ca}_{4.87}\text{Na}_{0.06})_{4.93}[(\text{P}_{2.95}\text{C}_{0.03})_{2.98}\text{O}_{12}](\text{F}_{0.90}\text{OH}_{0.45})_{1.35}$
4. PD-B-2 $(\text{Ca}_{5.02}\text{Na}_{0.14})_{5.16}[(\text{P}_{2.92}\text{C}_{0.05})_{2.97}\text{O}_{12}](\text{F}_{0.85}\text{OH}_{0.19})_{1.04}$

从不同时代和类型的胶磷矿化学成分、化学式计算对比可以看出,钙和磷在本区早寒武世

表4 胶磷矿的化学成分(wt%)

Table 4 Chemical composition of colophane(wt%)

样号	1. Tc-1	2. M-1	3. PB-11	4. PD-B 2
时代、矿石类型	€ 硅质磷块岩	€ 白云质磷块岩	€ 晶壳磷块岩*	Z ₂ 硅质磷块岩
CaO	48.97	46.87	51.34	52.28
P ₂ O ₅	35.53	35.59	39.50	38.43
CO ₂	1.49	1.21	0.24	0.43
F	2.99	3.71	3.24	2.98
H ₂ O ⁺	0.90	0.19	0.76	0.32
H ₂ O ⁻	0.52	0.45	0.12	0.12
Fe ₂ O ₃	0.16	—	0.74	0.09
FeO	0.30	—	0.40	0.19
Al ₂ O ₃	0.53	0.80	0.48	0.72
MgO	0.14	0.49	—	0.23
K ₂ O	0.39	1.55	0.37	0.20
Na ₂ O	1.28	0.37	0.37	0.82
SiO ₂	7.92	8.49	2.65	3.60
MnO	—	—	—	—
S	0.26	0.77	—	0.36
-2F = 0	1.26	1.55	1.29	1.26
合计	100.11	98.94	98.92	99.56

注:化学分析由中国科学院地质研究所刘加林等完成。*据王素敏资料。

硅质与白云质磷块岩的胶磷矿内(Tc-1, M-1)含量相对较低, CaO 46.87—48.97%。而晶壳状磷块岩(PB-11)与震旦纪胶磷矿(PD-B-2), Ca和P含量相对较高, CaO 51.34—52.28%, P₂O₅ 38.43—39.50%。尤其是C在胶磷矿中变化更为明显,随着胶磷矿的沉积—成岩—变质重结晶作用环境的变化,由原沉积的胶磷矿(低碳氟磷灰石集合体), CO₂ 1.21—1.49%, 演化到成岩期晶壳磷块岩和震旦纪变质重结晶的胶磷矿 CO₂ 0.24—0.43%, 脱碳作

用明显,更接近于氟磷灰石。这与(Lehr, 1968), (Gulbrandsen, 1970、1984)^{[9][10]}研究认为温度差异和变质作用是导致CO₂释放的原因,去[CO₃]²⁻作用导致碳氟磷灰石退火和重结晶的结论是一致的。

六、胶磷矿稀土元素地球化学特征

该区胶磷矿稀土元素分析结果见表5,重稀土元素富集,轻、重稀土元素分馏不明显,ΣCe/ΣY = 0.998。钇族稀土元素含量大于铈族稀土元素含量。稀土元素浓度比值 Eu/Sm =

表5 胶磷矿的稀土元素含量(ppm)
Table 5 REE contents of collophane (in ppm)

样号	矿石类型	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
Tc-1	硅质磷块岩	30	25.75	7	24	3.37	1.25	7	0.83	7	1.35
BP-11	晶壳磷块岩	8.25	4.25	8.5	4.25	9.5	2.1	9.5	1.25	8.5	1.75
样号	矿石类型	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	ΣCe	ΣY	Eu/Sm	(L/H) _N
Tc-1	硅质磷块岩	4.5	0.45	2.5	0.38	67.5	182.88	91.37	91.51	0.37	0.118
BP-11	晶壳磷块岩	5.25	0.75	3.5	0.65	150	218.04	36.89	181.15	0.23	0.70

注:由中国科学院地质研究所马桂芝测定。

0.23—0.37。(L/H)_N = 0.118—0.701, 为亏损型分配型式。球粒陨石标准化稀土模式见图2,为铈亏损型。与海水、现代海洋沉积物铈亏损型是一致的^[11]。

胶磷矿稀土元素模型无铈负异常,表明其形成于f_{o2}较高环境。胶磷矿稀土元素特征反映了其为沉积作用形成的。根据稀土元素迁移条件分析及本区胶磷矿稀土组份特点,反映了进入沉积盆地的物源来自风化作用产物,经搬运迁移在海盆地沉淀。

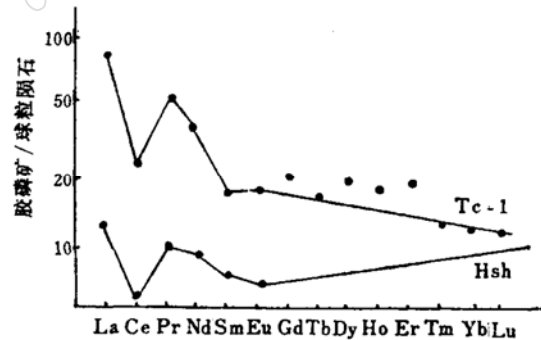


图2 胶磷矿球粒陨石标准化稀土模式(球粒陨石据Hermann, 1971)

Fig.2 Chondrite-normalized REE patterns of collophane

Tc-1—本区胶磷矿; Hsh—海水^[11]

七、主要结论及研究意义

通过对滇池地区几个矿床内不同类型磷块岩中胶磷矿的研究,本区胶磷矿主要有三种形式存在:①胶状(凝块状);②内碎屑型;③生物碎屑型。三种不同形式的胶磷矿经研究分析均为低碳氟磷灰石(超微晶集合体)。根据这三种磷酸盐基本组份与胶结物和成矿作用的关系^①,把本区磷块岩分为六大类型(见表1)。

经由不同成因类型及时代胶磷矿对比分析,反映胶磷矿从原始沉积的胶状一盆内破碎、波

① 夏学惠,康滇古陆东缘早寒武世磷块岩形成环境及其影响磷沉积的因素。

选、堆积的内碎屑状—成岩孔隙水作用的纤维晶亮状—变质重结晶的氟磷灰石，形成一个胶磷矿演化序列。这一演化过程从胶磷矿矿物学特征上反映较为明显。

随着成岩和变质作用的加深，胶磷矿脱碳作用明显，有从低碳氟磷灰石向晶质氟磷灰石转化的趋势。红外光谱、X射线衍射、晶胞参数测定、化学组份均反映出这种变化过程。这种变化提高了胶磷矿的结晶程度， P_2O_5 含量随之增高。使磷矿进一步富集，提高了磷矿的可选性。

胶磷矿稀土元素特征，反映钇族稀土元素大于铈族稀土元素。稀土模式为铈亏损型，与海水稀土模式类似。稀土元素地球化学特点，反映胶磷矿形成 f_{O_2} 相对较高，磷质来源主要为古陆风化的产物。

参 考 文 献

- 〔1〕 东野、周宜忍、黄守英、夏学惠，1984，扬子地磷块岩岩石学及磷块岩序列，第五届国际磷块岩讨论会文集，地质出版社，第283—302页。
- 〔2〕 韩秀伶，1980，碳氟磷灰石的红外光谱，地质科学，第2期，第156—165页。
- 〔3〕 彭文世、刘高魁，1980，某些磷灰石矿物的红外光谱，矿物学报，第6卷，第1期，第26—34页。
- 〔4〕 JCPDS, 1974. Selected Powder diffraction data for minerals. Search Manual. JCPDS.
- 〔5〕 叶大年、金成伟，1984，X射线粉末法及其在岩石学中的应用。科学出版社，第306—307页。
- 〔6〕 Gulbrandsen, R. A., 1966. Chemical composition of phosphorites of the Phosphoria Formation. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, vol. 30, no. 8, pp. 769—778.
- 〔7〕 Nalhan, Y., 1984. The mineralogy and geochemistry of phosphorites in Nriagu. *Phosphate Minerals*, El. Scien. Pub, Springer-Verlag.
- 〔8〕 Mc Clellan, G. H., Lehr, J. K., 1969. Crystal chemical investigation of natural apatites. *Amer. Min.*, vol. 54, pp. 1374—1391.
- 〔9〕 Gulbrandsen, R. A., 1970. Relation of carbon dioxide content of apatite of the Phosphoria formation to regional facies. *Geol. Survey*, no. 700-B, pp. 9—13.
- 〔10〕 Gulbrandsen, R. A., et al., 1984. Time and the crystallization of apatite in sea water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 48, no. 1, pp. 213—218.
- 〔11〕 赵振华，1982，稀土元素地球化学研究方法，地质地球化学，第1期，pp. 26—33。

Collophane from Phosphorites in Dianchi Area, Yunnan Province, A Mineralogical Study

Xia Xuehui Huang Qingshan

(Geological Institute, Ministry of Chemical Industry)

Key words: Sedimentary phosphorite; mineralogy of collophane; evolution; Yunnan

Abstract

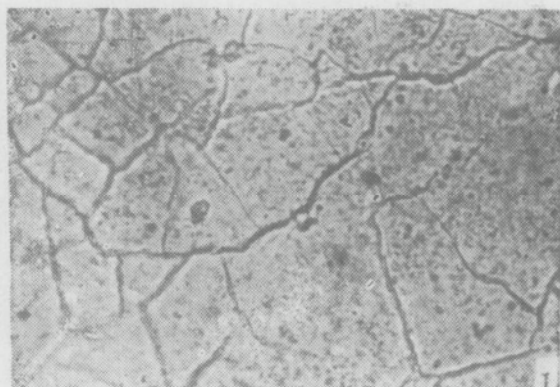
The present paper deals mineralogically with the collophane collected from phosphorites in Dianchi area, Yunnan province in respect to its physi-

cal properties, chemical composition and genetic mechanism. On such a basis, it holds that collophane occurs mainly in three forms in phosphorite: gelatinous, intraclastic and bioclastic. SEM studies of all the three types demonstrate that this colloidal mineral is made up primarily of supermicroscopic low-carbonate fluorapatite aggregates, phosphate microframboids, and radiated fibrous apatite.

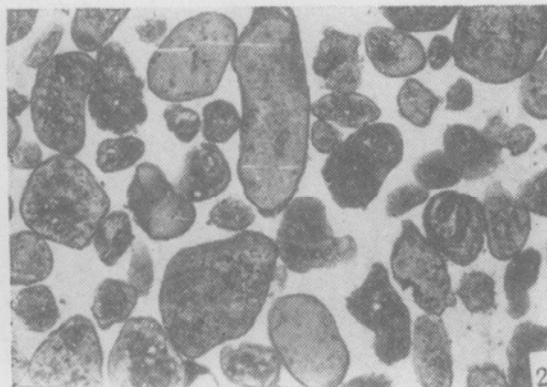
Chemical and infrared analysis, together with the measurement of cell parameters, clearly shows that different types of collophane differ more or less from each other, especially in contents of CO_2 and P_2O_5 . A comparison of mineralogic characteristics indicates that, with the advance in diagenesis and metamorphism, collophane tends to evolve into crystalline fluorapatite and exhibits obvious decarbonization.

REE geochemistry of the collophane typifies a high abundance of yttrium group elements, showing a cerium-deficient pattern after chondrite-normalization. All this suggests that the collophane has a close genetic linkage with, among others, a higher f_{O_2} prevailing over the geochemical barrier.

夏学惠、黄青山：滇池地区沉积磷块岩中胶磷矿矿物学特征及其研究意义



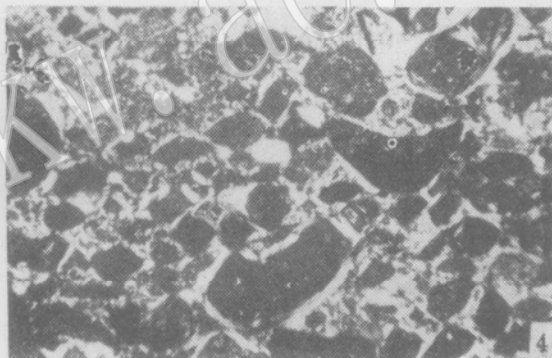
照片1. 胶状磷块岩，胶磷矿呈胶状，可见收缩裂纹，单偏光 $\times 60$



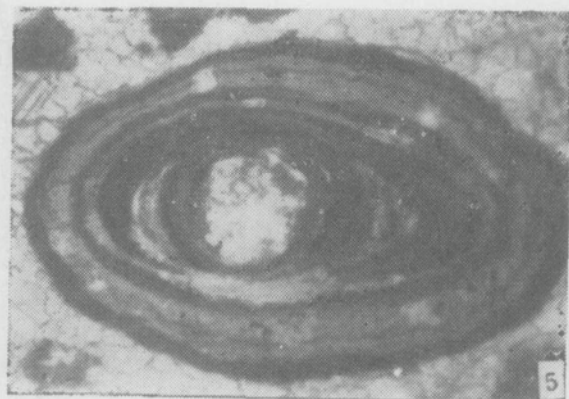
照片2. 硅质碎屑磷块岩，胶磷矿（黑色）颗粒呈浑圆状被硅质（白色）胶结，正交偏光 $\times 60$



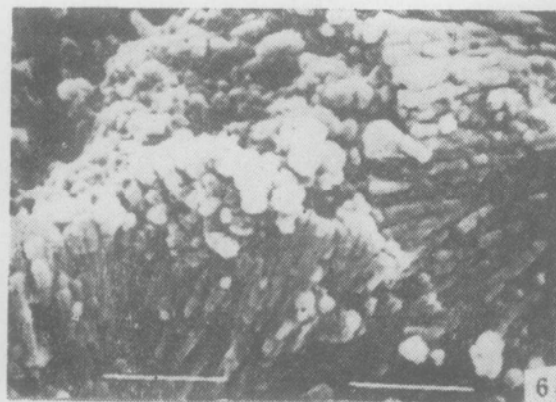
照片3. 白云质碎屑磷块岩，胶磷矿（黑色）被碳酸盐（白色）胶结，胶磷矿不规则状，正交偏光 $\times 45$



照片4. 晶壳状碎屑磷块岩，胶磷矿（黑色）被纤维状磷灰石包裹，形成晶质包壳（白色），正交偏光 $\times 60$



照片5. 藻鲕磷块岩，胶磷矿由藻体构成，单偏光 $\times 110$



照片6. 低碳氟磷灰石超微晶集合体，胶磷矿，扫描电镜图象 $\times 20000$