地 质 学 报
1987 年 ACTA GEOLOGICA SINICA 第 1 期

贵州福泉晚震旦世磷质叠层石特征及成因探讨

夏文杰 殷继成 李秀华 张天刚
(成都地质学院) (四川石油管理局研究院，成都)

本文所研究的磷质叠层石属柱状叠层石，由柱体和柱间充填物两部分组成。柱体由具隐晶结构的暗层和具微晶结构的亮层交替组成；柱间充填物则由具粒屑结构的疏松层和具隐晶—微晶结构的致密层交替组成。在扫描电镜下可见：亮层主要为化学成因的柱状磷灰石和机械成因的碎屑磷灰石，暗层主要为菌藻生物成因的枝状—管状磷灰石；疏松层主要为各种类型的磷质粒屑，致密层则为菌藻生物成因的莓状—管状磷灰石和化学成因的柱状磷灰石。

叠层石中，未见交代现象，大量保持了原始向上结晶生长状态的柱状磷灰石，尤其是菌藻形态磷灰石的大量存在，表明属原生菌藻生物成因，而非交代成因。

磷质叠层石过去一般认为是交代碳酸盐叠层石而成的。近年来国内外不少学者经过深入研究，提出原生成因磷质叠层石的存在[1-5]，但多数是从宏观地质特征来论证的。我们对贵州福泉英坪晚震旦世陡山沱组磷质叠层石的宏观和微观特征进行综合研究后，认为原生磷质叠层石是存在的。本文侧重于从磷质叠层石的微观特征(显微和超微组构)来论证其原生成因;大量事实，尤其是扫描电镜下的观察表明，在磷质叠层石的形成过程中，菌藻类生物起着明显而重要的作用。

一、磷质叠层石的产状及一般特征

本区陡山沱组厚 27m，与下伏的南沱组冰碛岩呈假整合接触；与上覆的灯影组砾屑白云岩为整合接触。陡山沱组按岩性可分为两段:

下段：下部为粉砂质页岩及泥质白云岩，上部为富产叠层石的磷块岩，主要叠层石有 *Scopulimorpha f.*, *Linella f.* 等，总厚 14.5m。

上段：下部为砂、砾屑白云岩，上部主要为磷块岩，总厚 12.5m。

磷质叠层石呈藻礁大面积分布，主要为柱状叠层石。由于当时古环境的影响，柱体普遍有拉长现象。本文所研究的为小型到中型柱状叠层石，包括下列两种类型:

1. 墙状叠层石 (*Scopulimorpha*) 型：柱状叠层石。柱体以板状为主，高 5—10cm，宽 1—2cm，长 5—8cm，横断面呈拉长状，近平行排列。多数不分叉，偶见相邻柱体彼此相连，呈马蹄状。柱体间隔 1—1.5cm，柱体间有稀疏的连层。柱体向上有膨胀和收缩的现象。侧部有壁，边缘光滑，基本层为穹形。与围岩界限清楚 (图版 I-1)。

本文 1985 年 8 月收到，1986 年 2 月改回，沈晓毅编辑。

2. 林奈叠层石（*Linella*）型： 分叉柱状叠层石。柱体呈瘤状、次圆柱状。高 5—10cm。直径 0.8—3cm。横断面呈次圆形、椭圆形及不等边三角形等。柱体间隔 0.8—2cm，连层不发育。侧表面平整或具小肋状起伏，大都具壁，但不完整，有时具短檐。纵断面上可见母柱体向侧上方分出两个以上子柱体。有的子柱体基部微收缩，向上逐渐膨大；另一些子柱体很快变尖，停止生长，形成短而尖顶的芽状分枝。基本层呈缓穹状至箱状。

二、磷质叠层石的成分和显微组构特征

磷质叠层石由柱体和柱间充填物两部分组成。矿物成分主要为胶磷矿，其次是微晶磷灰石。两矿物的相对含量在柱体和柱间充填物中差异不大；但柱体和柱间充填物的显微组构则截然不同。

1. 柱体部分

柱体具清晰的叠层构造，由一系列向上凸起的具隐晶结构的暗层（富藻层）和具微晶结构的亮层（富屑层）两种基本层交替组成。每一基本层，一般中部最厚，向二侧变薄尖灭。两者厚度比约为 3:2（图版 I-2）。

暗层厚 0.3—2mm，在反射光下呈乳白色，透射光下呈暗灰色，呈污浊状。几乎全由胶磷矿组成，并含约 1% 的石英粉砂和磷质粉屑，以及极少量晶形良好的自生石英。偶见大小 1—2mm 的孔隙。

在有些暗层中，还可见到清晰的显微纹层构造，由次一级的暗层和亮层交替组成，或以暗层为主，夹有少量次级亮层（图版 I-3）。

亮层厚 0.1—1.5mm，透明度高，表面无污浊感。主要由微晶磷灰石组成，其次是胶磷矿，还含有 2—3% 的石英粉砂、磷质砂屑和粉屑，以及自生微晶石英。有时还夹有纤维状磷灰石组成的纹层。磷灰石纤维垂直纹层排列。孔隙较暗层发育。在较大的孔隙壁上，常沉淀有一层厚约 0.03mm 的纤维状磷灰石薄层。

少数亮层中富含磷质砂屑和粉屑（图版 I-3）。由于这些粒屑都由胶磷矿组成，因此在单偏光下色较深。

各个柱体的叠层构造发育情况不一，有的柱体边部基本层发育较好，厚度均匀稳定，向中心变得不明显；有的柱体则从边部到中心基本层都很清晰。

2. 柱间充填物部分

柱体间的充填物呈下凹状的反叠层构造（图版 I-1），在显微镜下则为具粒屑结构的疏松层与具隐晶—微晶结构的致密层的韵律交替（图版 I-4），两者的厚度比约 7:3。

疏松层一般厚 2—5mm，主要由磷质粒屑组成，呈颗粒支撑；粒屑类型有具叠层构造的藻屑（图版 I-5）、团块、球粒和凝块石等，粒屑大小以 0.5—1.5mm 为主，其次为小于 0.5mm 的粒屑，个别可达 3mm；粒屑的矿物成分主要为胶磷矿。粒屑间填隙物为纤维状磷灰石，呈等厚环边分布（图版 I-6），环边一般厚 0.02—0.05mm；多数只有一圈环边，少数有 2—3 圈。此外，还有 2—3% 的陆源石英砂和粉砂。粒间孔隙相当发育，部分孔隙被

胶磷矿或微晶磷灰石所充填，有的则为纤状褐铁矿所充填。

致密层厚 1—3mm，在反射光下呈乳白色，显不均匀的污浊状。一般把致密层视作柱体之间的连层，但实际上致密层与柱体相比较，有明显差别。致密层的结构均匀(隐晶一微晶结构)，不显层纹构造，更无暗层和亮层之分。矿物成分主要为胶磷矿和微晶磷灰石，并含有极少量磷质粉屑。在所研究的标本上，也未见有致密层与柱体相连的现象。因此把致密层视作连层是不合适的。

疏松层和致密层，中间厚，向两侧变薄尖灭，两者频繁交替构成下凹状的"反叠层构造"，但在成因上与柱体的暗层和亮层是不同的。根据显微组构特征，我们认为这种疏松层和致密层的韵律交替，代表了水介质由高能到低能的频繁变化过程(详后)。

3. 磷质叠层石的成分特征

根据薄片鉴定，叠层石的主要矿物成分为胶磷矿，其次为微晶磷灰石，两者量比约8:2。早在1912年，根据 X-射线分析，得知胶磷矿在偏光显微镜下，虽为光性均质体，但实际上并非非晶质体矿物，而是结晶的磷灰石。我们将叠层石中胶磷矿作了红外光谱分析，具磷灰石典型的吸收谱带特征(图1)，其吸收带分别为273、331、568、604、864、962、1044、1095、1426和 1452cm^{-1}，应属碳氟磷灰石。化学分析也证实有氟存在(表1)。同时还作了粉晶分析(表2)，所得结论也为碳氟磷灰石。

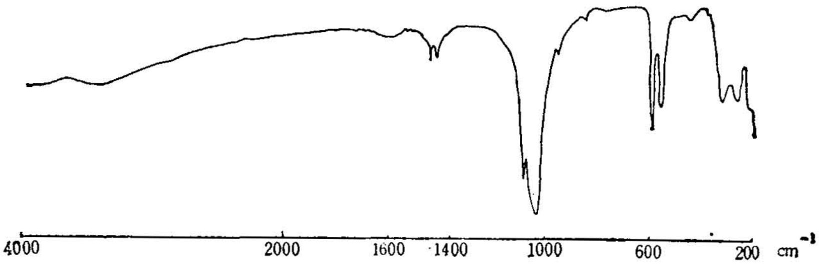


图1 叠层石中胶磷矿的红外吸收光谱
(分析者 成都地质学院矿物物理研究室李元芳)

Fig. 1 Infrared absorption spectrum of collophane in the stromatolite

表1 磷质叠层石的化学成分

Table 1 Chemical compositions of the phosphatic stromatolite

	P_2O_5	CaO	MgO	CO_2	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	Na_2O
柱 体	36.67	49.54	0.33	3.68	3.63	1.13	0.70	0.16	0.35
柱间物质	37.38	50.53	0.27	3.57	3.20	0.74	0.22	0.15	0.34
平 均	37.03	50.04	0.30	3.63	3.42	0.94	0.46	0.16	0.35

	K_2O	TiO_2	H_2O^+	SO_4^{2-}	F^-	Cl^-	I^-	As	有机质
柱 体	0.17	0.10	0.92	0.25	2.68	0.09	0.012	0.003	0.33
柱间物质	0.14	0.09	0.95	0.34	2.61	0.09	0.014	0.002	0.18
平 均	0.16	0.10	0.94	0.3	2.65	0.09	0.013	0.003	0.26

分析者：成都地质学院测试中心化学分析室。

表 2　叠层石中胶磷矿的粉晶分析数据

Table 2　Data of X-ray diffraction of collophane in the stromatolite

hkl	I	d	hkl	I	d
˙002	5	3.4328	222	4	1.9256
210	3	3.0575	132	1	1.8747
121	10	2.7815	140	2	1.7652
300	6	2.6919	004	3	1.7149
202	2	2.6197	232	1	1.6311
301	1	2.5048	502	2	1.4644
130	3	2.2345	233	1	1.4420
131	1	2.1263	151	2	1.4267

分析条件：Fe 靶，电压 35kV，电流 8mA，相机直径 57.3mm，曝光时间 8h。
分析者：成都地质学院X光室林锡锦。

组成叠层石的成分，以磷酸盐矿物占绝对优势。其它矿物只见少量陆源石英和自生石英。孔隙充填物中，偶见褐铁矿。由化学分析资料（表 1）亦可看出，P_2O_5 占 37.67—37.38%，换算成磷灰石矿物，则应占 87—89%；其中 Al_2O_3 含量很低，说明粘土矿物含量亦不高。将 CaO 换算成磷灰石所需量后，则所剩无几。MgO 量亦极低，即基本上不存在碳酸盐矿物，在薄片中亦未见有碳酸盐矿物。可见本区磷质叠层石，是成分相当纯的一种磷质岩。

三、磷质叠层石的超微组构特征

在扫描电镜下发现：叠层石中的胶磷矿实际上是超微磷灰石颗粒的集合体，证实了红外光谱分析和粉晶分析的结论。此外，柱体和柱间充填物的超微组构，虽有某些相似之处，但差别更显著，分别代表着不同的形成作用。

1. 柱体部分超微组构

当放大数千倍后，柱体部分可区分出 3 种超微基本层：

（1）柱状磷灰石层　　磷灰石都呈六方柱自形晶，直径 0.3—0.6μm，长 2—3μm；且大部分呈晶簇状，向上生长状态排列（图版 I-7），亦有呈平卧状或交叉状分布。超微孔隙非常发育。这种磷灰石晶体，显然属化学沉淀成因。在沉淀结晶时互不干扰，并有足够空间发育成良好自形晶。生长方向基本上一致向上。

（2）碎屑磷灰石层　　由小于 1μm 的破碎磷灰石颗粒堆积而成（图版 I-7），显然应属机械沉积成因。这是向上生长的柱状磷灰石（以及生物成因磷灰石）随着水介质动荡，原地破碎、倒伏堆积而成。水介质平静后，在破碎磷灰石层的基础上，又继续柱状磷灰石的结晶沉淀作用（或生物成因磷灰石的形成作用）。

（3）枝状—管状磷灰石层　　主要由分枝状和圆管状磷灰石组成（图版 II-1），超微孔隙发育。分枝状磷灰石则呈弯曲状或弧形管体缠绕在一起（图版 II-2），枝状体直径 0.3—0.6μm，长度 2—3.5μm，同一枝状体的直径也有变化。圆管状磷灰石呈平直的圆管体，向上生长排列（图版 II-1）或杂乱排列（图版 II-4），圆管直径 0.15—0.4μm，长

度一般为 1.5—2.5μm。这种特殊的分枝状和圆管状的形状，显然是保持了菌藻类生物的外形，故应属菌藻生物成因。

综合叠层石柱体的显微组构和超微组构特征来看，亮层主要由柱状磷灰石层和碎屑磷灰石层组成，是在菌藻休眠季节，主要由化学沉淀作用及机械破碎沉积作用形成；而暗层主要由枝状—管状磷灰石层组成，是在菌藻繁盛时期，由菌藻生物作用形成。

2. 柱间充填物部分超微组构

柱间充填物部分的疏松层和致密层的超微组构截然不同。

(1) 疏松层　主要由各种类型磷质粒屑组成。粒屑类型不同，其内部超微组构亦不同；磷质粒屑的超微组构不是本文研究的重点，故不赘述。粒屑表面的磷灰石等厚环边，在扫描电镜下，则为垂直粒屑表面，紧密排列的超微柱状磷灰石所组成（图版 II-5）。磷灰石柱体呈半自形，其直径 0.3—0.8μm，环边一般宽 20—50μm。在粒间孔隙中充填的磷灰石，都为六方柱状自形晶，垂直孔隙壁呈辐射晶簇状排列。柱体直径 1—2μm，柱长 5—7μm。

(2) 致密层　在扫描电镜下可见到致密层，主要由以下 4 种类型磷灰石组成。

1) 莓状磷灰石　磷灰石莓粒呈球形(图版 II-3)，莓粒大小为 0.1—0.4μm；若干莓粒又聚集成规则或不太规则的莓球状集合体，莓球体大小为 1—4μm. 莓状体中还混杂有少量圆管状磷灰石，其直径为 0.25—0.3μm，长 1.6μm 左右。这种莓状和管状磷灰石，无疑属菌藻生物成因，保留了菌藻的外形。

2) 管状磷灰石　呈半定向排列的规则或不太规则的直管状（图版 II-6）。同一管状体直径有变化，一般为 0.2—0.4μm，长 1.5—3μm。管状体表面还粘附有莓粒状磷灰石。这类磷灰石也无疑属菌藻生物成因。

3) 莓状—柱状磷灰石　主要为半自形晶的柱状磷灰石，呈平卧状杂乱排列(图版 II-7)，表面还粘附有莓粒状磷灰石。磷灰石柱体直径 0.3—1μm，长 4—10μm。这类磷灰石以化学或生物化学成因为主，伴随有菌藻的生物作用。

4) 莓状—管状—柱状磷灰石　主要为垂直向上紧密排列的半自形柱状磷灰石，间夹以直管状磷灰石，表面粘附有莓粒状磷灰石，而在柱状体顶端则丛生有莓粒状磷灰石（图版 II-8)。这类磷灰石看来是化学沉淀和生物共同作用的产物。

由此可见，致密层的形成，菌藻生物起着主导作用，其次是化学作用。

叠层石柱间充填物的显微组构和超微组构特征表明，疏松层和致密层的韵律交替，主要是受水介质能量所控制。在水介质动荡期，从异地搬运来或柱体破碎、或对下伏致密层的冲刷，而形成大量粒屑堆积；由于水介质过于动荡(高能)，不适合菌藻的生存，故在疏松层中，未见菌藻活动遗迹；随着水介质动荡程度减弱，粒屑沉积后，从孔隙水中沉淀出柱状磷灰石，围绕粒屑形成等厚环边。当水介质趋向于平静(低能)，就有大量菌藻繁殖。通过菌藻作用，使磷酸盐沉淀，在菌藻作用的同时，伴随有化学和生物化学沉淀作用；若处于菌藻休眠季节，则主要发生磷灰石的化学沉淀作用。

四、磷质叠层石的成因探讨

对叠层石的成因，曾流传较广的一种看法是：除了碳酸盐质叠层石属原生成因外，其它成分的叠层石，均属次生交代成因。交代碳酸盐质叠层石所形成的磷质叠层石确实存在，但无疑也有原生成因的磷质叠层石。本文所研究的磷质叠层石，就属典型的原生成因。

所研究的叠层石，在薄片中除了见到极少量陆源石英和自生石英外，几乎全为微晶磷灰石和胶磷矿。既无交代现象，又未见交代残余的碳酸盐矿物。

磷质叠层石属原生成因的最有力证据，还是显微镜下的暗、亮层交替特征以及超微组构。不论是柱体的暗层还是柱间的致密层中，都有大量形状奇特的磷灰石：莓状、管状、缠绕枝状等，无疑是保持了菌藻形态的磷灰石。这表明磷质叠层石是在菌藻参与下原生形成的。假若是交代成因，势必要破坏菌藻形态，磷灰石将以自形、半自形的六方柱体出现。

柱体亮层中的磷灰石都呈六方柱状，而且极大部分保持了向上结晶生长状态，这显然是原生化学沉淀作用形成，难以解释为次生交代作用形成。

叠层石的柱体和柱间充填物的显微和超微组构的差异，反映了它们的形成作用和控制因素的不同。柱体的形成过程中，生物沉积作用和化学沉积作用是主要的，机械沉积作用是次要的；生物和化学两种作用强度近于相等（3:2）。生物作用和化学作用的变换，与菌藻的繁盛期和休眠期的交替有关。据有些学者对叠层石的研究，认为繁盛期通过菌藻生物作用形成暗层，休眠期通过物理沉积作用形成亮层[6]；但本文所研究的磷质叠层石的亮层，主要是由化学沉淀作用形成的，物理沉积作用是次要的。至于水介质能量强度变化，对柱体的形成看来影响不大。这是由于，一方面柱体部位的介质能量一般不高，变化也不大；另一方面，在繁盛期，由菌藻生物组成的柱体具有一定抗浪能力，因而不易形成碎屑磷灰石堆积，只在休眠期介质能量的变化才有较大影响。

而在柱间充填物的形成中，机械沉积作用大大超过生物和化学沉积作用（7:3），显然是受介质能量的变化所控制。造成这种差异的原因是由于在叠层石形成过程中，柱间的沉积表面要低于柱体沉积表面，因此当水流流经柱体间时，因流水断面变小而流速大大增加，亦即在同一藻礁上流动的同一水流，在同一时间内，柱体间的水流能量要大大高于柱体部位的能量。这就说明为什么介质能量变化，对柱体沉积物的形成影响不大，而对柱间充填物的形成起着控制作用，这也就是柱间具粒屑结构的疏松层大量发育的原因所在。

五、磷质叠层石的超微组构与矿物成分的关系

粉晶分析、红外光谱分析和扫描电镜下磷质叠层石的磷酸盐成分均为磷灰石，但在偏光显微镜下，则主要成分为胶磷矿，其次为微晶磷灰石，这种现象如何解释呢？

假若对比一下叠层石的显微组构和超微组构，仔细分析一下扫描电镜下磷灰石超微颗粒的排列情况，不难得到解释。在薄片中见到的每一磷灰石微粒或纤维，以及每一胶磷矿微粒，在扫描电镜下，则是由若干颗磷灰石超微晶体所组成。当磷灰石超微晶体呈定向排列，晶体的同名光学主轴，就可相互平行，一系列超微晶体的光程差就相加，因此就可达到磷灰石应有的重折率，在正交偏光镜下，就可出现磷灰石的一级灰干涉色。如柱间疏

松层中，粒屑周围的等厚环边分布的纤状磷灰石、柱体亮层中的微晶磷灰石都是这种情况。它们是由定向排列的超微柱状磷灰石组成(图版 I-7, II-5)。

当超微晶体杂乱排列时，晶体的同名光学主轴势必斜交或互相垂直，引起光程差相减，甚至抵消，亦即所得重折率必然低于磷灰石正常重折率，若完全抵消，则重折率等于零。因而在正交偏光镜下呈现极低的干涉色，趋近于全消光，被鉴定为胶磷矿。如柱体暗层和柱间致密层中出现的大量胶磷矿，是由于保持有菌藻外形的磷灰石杂乱排列所致(图版 II-2—4)；柱体亮层中的胶磷矿，是由碎屑磷灰石杂乱堆积（图版 I-7）或柱状磷灰石杂乱排列所致。可见胶磷矿实际上不是一种独立的矿物，而是杂乱排列的超微粒状磷灰石集合体[7]。

六、结 语

1. 所研究的磷质叠层石属柱状叠层石，矿物成分主要为胶磷矿，其次是微晶磷灰石。

2. 显微和超微组构表明，柱体主要由菌藻生物作用和化学沉淀作用形成的暗层和亮层的交替组成，它们受菌藻繁盛期和休眠期的变换所控制。柱间充填物主要由机械沉积作用和化学-菌藻生物作用形成的疏松层和致密层的交替组成，它们是受介质能量的变动所控制。

3. 未见有交代现象，柱状磷灰石呈原始向上结晶生长状态，尤其是大量保持了菌藻形态（莓状、圆管状、分枝状）磷灰石的存在，说明本区磷质叠层石属原生菌藻生物成因。这与朱士兴等同志[3] 对该区磷质叠层石从古生物角度研究所得结论是一致的。

4. 超微组构表明胶磷矿实际上不是一种独立的矿物，而是杂乱排列的超微粒状磷灰石集合体。

蒙曾允孚教授审阅全文，工作中还得到了李元芳、林锡锦、程纪玉、杨卫东等同志以及地院化学分析室、照相室的帮助，在此一并致谢。

参 考 文 献

[1] 盛莘琪，1984，磷质叠层石的成因探讨。地质学报，第 58 卷，第 3 期。
[2] 朱士兴、王砚耕，1984，中国开阳磷矿中的磷质叠层石。第五届国际磷块岩讨论会论文集(1)，第 143—164 页，地质出版社。
[3] 朱士兴、王砚耕、张麟，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(1)，第 165—194 页，地质出版社。
[4] 刘魁梧，1984，贵州瓮安磷矿磷酸盐矿物与岩石学研究。第五届国际磷块岩讨论会论文集（1），第 319—334 页，地质出版社。
[5] Soudry, D. and Champetier, Y., 1983, Microtial processes in the Negev phosphorites (southern Israel). Sedimentology, Vol. 30, pp. 411—423.
[6] 瑞，J. L.，1977，钙藻(中译本)。第 75—81 页，地质出版社。
[7] 夏文杰、李秀华、张天刚，1984，胶磷矿光学性质的新认识。矿物岩石，第 4 卷，第 3 期，第 96—100 页。

AN APPROACH TO THE ORIGIN AND FEATURES OF LATE SINIAN PHOSPHATIC STROMATOLITES

Xia Wenjie,　Yin Jicheng,　Li Xiuhua

(Chengdu College of of Geology)

Zhang Tiangang

(Institute of Sichuan Petroleum Administration Chengdu)

Abstract

The phosphatic stromatolite discussed in this paper is a columnar type, comprised chiefly of collophane and subordinately of microcrystalline apatite. The column is composed of alternations of dark, cryptocrystalline laminae formed by the biological processes of algae and bacteria, and light, microcrystalline laminae formed by chemical precipitaion. The intercolumnar filler, showing a concave "anti-stromatolitic structure", is composed of alternations of loose laminae formed by mechanical deposition, and dense, crypto-, microcrystalline laminae formed by chemical precipitation and algal bacterial organic process.

Under the SEM, the column differs clearly from the intercolumnar filler in ultramicro fabric. The three basic types of ultramicro laminae that can be distinguished in the column are: prismatic apatite laminae of chemical origin, clastic apatite laminae of mechanical origin and branched-tubular apatite lasminae of algal-bacterial origin, of which the first and second categories constitute light laminae and the third, dark laminae. The dark and light laminae are formed during the alternation of prosperous and dormant periods of algae and bacteria.

Under the SEM, the clastic texture is obvious in the loose laminae of the intercolumnar filler. And four types of ultramicro-apatite assemblages can be distinguished in the dense laminae, i. e. the framboidal and the tubular apatite of algae-bacterial origin, the framboidal-prismatic and the framboidal-tubular-prismatic apatite of chemical organic origin. The alternation of the loose and the dense laminae depends upon the changes of the energy in the water.

In the stromatolite, no replaced phenomena have been found and there exists abundant prismatic aspatite keeping in the initial form of upward-crystallization, and especially, in the forms of algae and bacteria (framboidal, tubular and branched). All these undoubtedly indicate that the stromatolite was originally formed by algae and bacteria.

The features of ultramicro-fabric indicate thast the collophane is not a simple mineral, but a disorderly arranged aggregate of ultramicro-granular apatite.

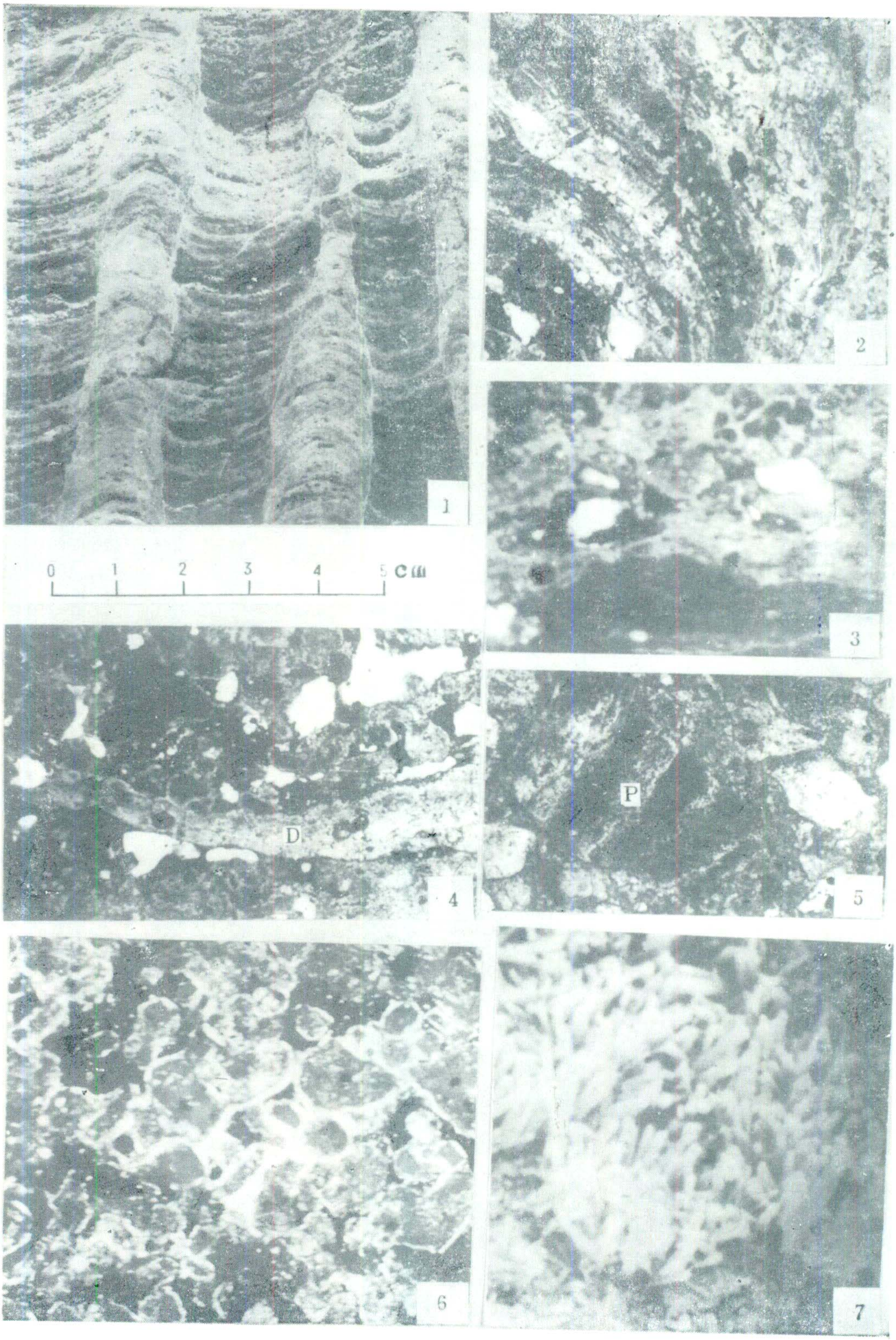
图 版 说 明

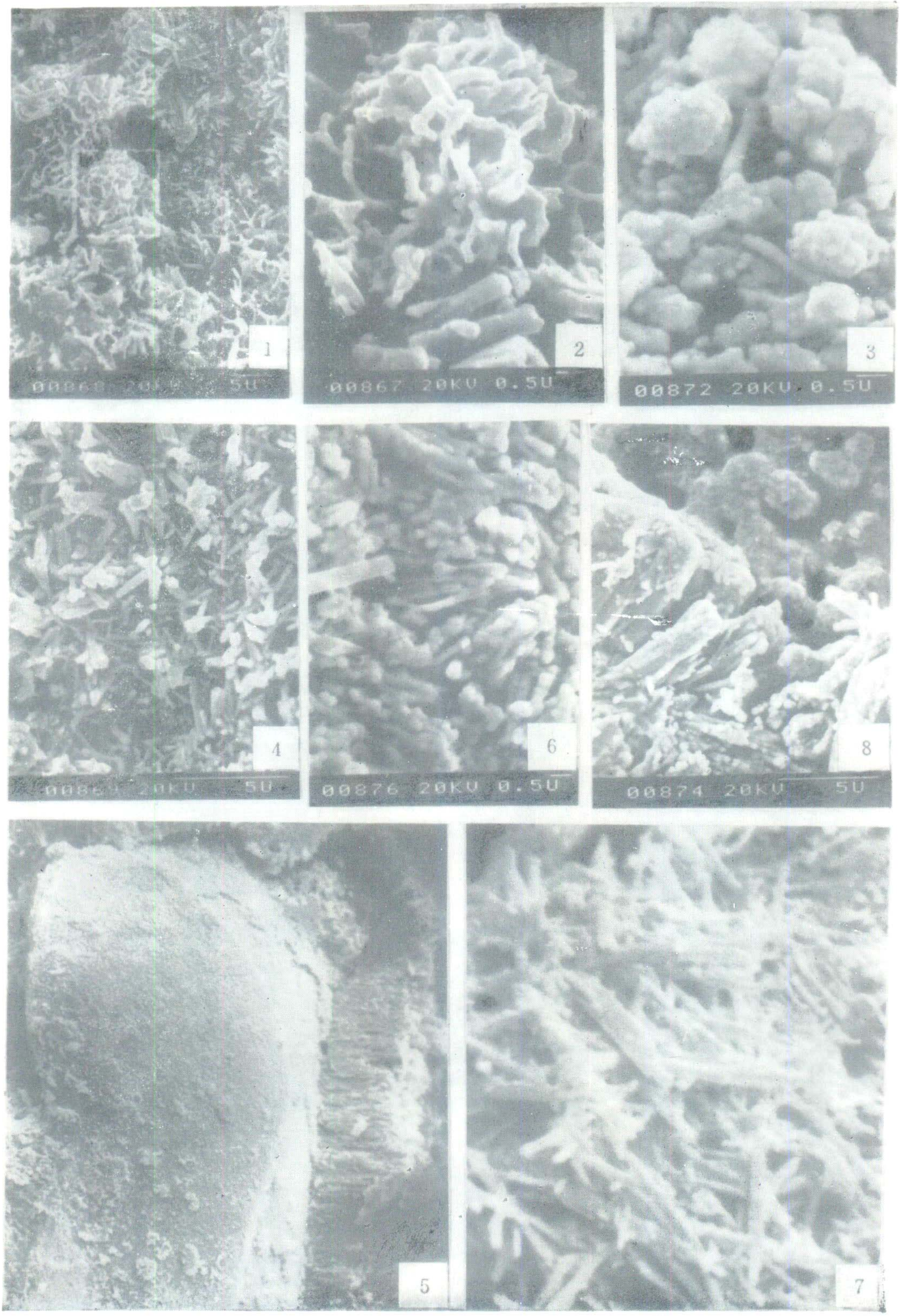
图 版 I

1. 墙状磷质叠层石，手标本。
2. 柱体中暗层与亮层的交替。单偏光，×5。
3. 下部为暗层，夹有少量次级亮层而显纹层构造。上部为亮层，含有磷质粒屑(黑色者)，孔隙发育(白色者)。单偏光，×8。
4. 中部为具微晶结构的致密层（D），上下为具粒屑结构的疏松层。单偏光，×5。
5. 疏松层中具叠层构造的藻屑（P)。单偏光，×15。
6. 疏松层中的粒屑结构，粒屑表面具纤状磷灰石等厚环边。正交偏光，×8。
7. 柱体亮层中的碎屑磷灰石层(下部)和柱状磷灰石层(上部)，柱体呈向上生长状态排列。扫描电镜，×4500。

图 版 II

1. 柱体暗层中的枝状一管状磷灰石，主要为圆管状磷灰石，一般呈向上生长状态排列，混杂有缠绕分枝状磷灰石。扫描电镜，×2500。
2. 缠绕分枝状磷灰石，为图版 II-1 中方框部分放大。扫描电镜，×10000。
3. 柱间致密层中的莓状磷灰石，混杂有圆管状磷灰石。扫描电镜，×15000。
4. 柱体暗层中杂乱排列的圆管状磷灰石，混杂以莓状磷灰石。扫描电镜，×6000
5. 柱间疏松层中磷质粒屑及其表面纤状磷灰石等厚环边。扫描电镜，×810。
6. 柱间致密层中的管状磷灰石，混杂有莓状磷灰石。扫描电镜，×10000。
7. 柱间致密层中的莓状一柱状磷灰石。扫描电镜，×3750。
8. 柱间致密层中的莓状一管状一柱状磷灰石。扫描电镜，×5000。


1
0 1 2 3 4 5 cm
2
3
D
4
P
5
6
7


1
2
00867 20KV 0.5U
3
00872 20KV 0.5U
4
6
00876 20KV 0.5U
8
00874 20KV 5U
5
7