

# 岩溶洞穴叠层石

王福星 曹建华 江利登

黄俊发 黄基富

(地质矿产部岩溶地质研究所, 广西桂林 541004)

## 内 容 提 要

岩溶洞穴叠层石系藻类等生物在洞穴弱光带富含钙质的岩溶水中,通过粘结捕获或同化作用沉淀碳酸盐而形成。洞穴叠层石均显示双层叠置构造,即背光浅色层和向光深色层,并由细密纹层组成。向光深色层疏松多孔,表面粗糙可见生物体;背光浅色层致密,表面光滑。因生长微环境的变化,其形态可分为3类:倾斜型、直立型和坝型。

**关键词** 藻类 洞穴 叠层石 生物作用

## 一、引 言

叠层石是一种生物沉积构造,主要分布于海洋潮汐带。分布于湖泊、河流、沙漠等地带的叠层石也见有报道(Klappa, 1979; Whalter *et al.*, 1973; Krumbien *et al.*, 1979; 李容全等, 1992), 5 000—6 000m 深海处的铁锰结核实际上也是一种细菌成因的叠层石(阎葆瑞等, 1992)。本文系作者对广西阳朔县兴坪镇角田大岩西北洞口弱光带洞穴叠层石研究的成果。

在我国南方岩溶地区的洞穴弱光带,发育有一种曾命名为石鳞片的沉积构造体(杨汉奎等, 1990; 王福星等\*, 1991),由有机纹层和无机纹层叠置组成,有机纹层中发现有大量藻类等生物体。进一步研究表明石鳞片是一种洞穴叠层石。由于特殊的洞穴环境,其叠层石具有特殊的特征:

(1) 洞穴叠层石柱体分为向光深色层,结构疏松多孔,生物繁多;背光浅色层,结构致密,生物稀少。

(2) 根据受光角度和强度的不同,洞穴叠层石可发育成倾斜型、直立型和坝型。

(3) 洞穴叠层石的形成机理主要是通过藻类等生物的粘结、捕捉或同化作用沉淀碳酸盐形成。

## 二、洞穴叠层石的生长环境

角田大岩位于广西阳朔县兴坪镇 NNE 方向,约 10km 处,为一自东南向西北延伸的地

\* 王福星、曹建华、江利登、黄俊发, 1991: 生物成因洞穴石鳞片初探。中国地质学会洞穴研究会第一届年会论文集。

下河出口,洞口斜拱形,高约15m,宽20m,指向310°,发育于中泥盆统东岗岭组石灰岩中。洞穴叠层石发育地段距洞口约74m,该处洞宽约50m,高20—30m。洞顶发育有向光钟乳石,其向光一侧表面长有藻类等生物。洞底基岩上发育有厚约1m的钙华板,钙华板高出河面2—3m,在地下河两岸附近的钙华板之上发育有数个石笋,其向光表面发育了洞穴叠层石,在高0.6—3m的4个石笋上叠层石发育最好。洞穴叠层石发育的地段,气温24℃—25℃(1991年8月31日中午,洞外气温33℃),地下河水温23℃。洞内潮湿,空气流通,洞口处灌木植物繁盛。

### 三、洞穴叠层石的宏观形态

洞穴叠层石片体由石笋体向外延伸生长,悬于空气中而突出,表面光滑或皱纹状,并在其向光一侧表面生长有各种生物体。本文根据洞穴叠层石片体的形状、大小及产状等特征,将其划分为3类(插图1),依次叙述如下:

#### 1. 倾斜型洞穴叠层石

为上翘倾斜型叠层石片体(图版I,图1)。片体顶视呈半圆形,较长者呈舌形,圆弧顶相连于基部(石笋体),半圆形平直边向前向光。单片宽2—50mm,一般在10mm左右;片厚1—7mm,一般为2—5mm;片长3—30mm,一般5—15mm。有时几个片体横向上相连成组合,纵向上依次向后不规则一排一排呈阶梯状叠置,顶视如鱼鳞构造。单片间的纵向间距2—10mm。洞穴叠层石片体的产状在石笋向光正面是上翘生长,上翘的倾角为10°—40°,在石笋侧部或在石笋表面凸起的侧部,叠层石片体平行于石笋侧面而直立。单个片体横切面为向上凸的新月形,纵切面呈楔形,楔尖向前向上(向光),许多生物生长在楔形体下凹的腹面。

#### 2. 直立型洞穴叠层石

叠层石片体正面观为不规则的半圆形、扇形,几个片体相连成墙形(图版I,图2)。片顶凹凸不平,稍稍向前、向光弯曲。单片宽10—80mm,一般为40—60mm;片厚3—20mm(上小下大),一般为10mm;片高30—60mm;前后片体间的间距为1—25mm。一般片体下部紧靠,上部分离,其间具充填物。叠层石片体顶视如横向排列的陡山脊,纵向上呈几乎平行的一排叠一排组成。单片横切面呈向里(背光方向)凸出的长新月形,向光凹面长有生物;纵切面呈柱状体(上小下大),微呈“S”形弯曲。

#### 3. 坝型洞穴叠层石

叠层石片体呈坝形。其顶视为叠置鱼鳞状构造,侧视为坝形构造(图版I,图3)。片体为顶面水平、前侧内倾,由石笋侧部伸出的鱼鳞状排列的“平台”。片体长30—100mm,一般为60—70mm,片宽10—40mm,常为20mm,片厚2—10mm。片体间距(坝高)10—30mm。片体顶面有许多向光方向发育的平行脊条,脊条直而断续状,靠内侧为许多细小瘤突所代替。脊条宽约1mm,间距不等。坝前侧面向内倾约60°—90°,表面粗糙、凹凸不平,大部分疏并见有生物体。

### 四、洞穴叠层石的显微构造

3种类型的洞穴叠层石均显示双层叠置构造,即背光浅色层和向光深色层,并由细密纹

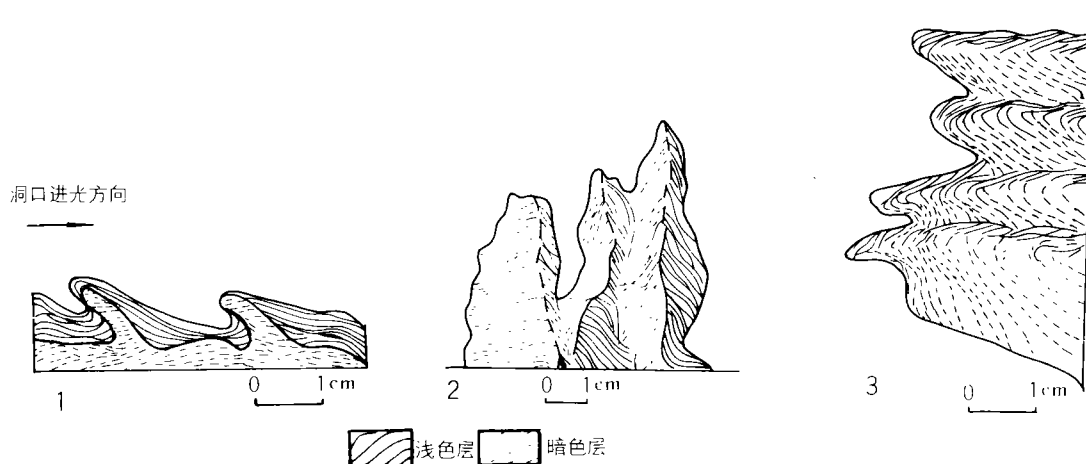


插图 1 3 种类型洞穴叠层石形态特征剖面素描图

Longitudinal section of three types of cave stromatolites

1. 倾斜型洞穴叠层石 2. 直立型洞穴叠层石 3. 坝型洞穴叠层石

层组成。向光表面疏松多孔、粗糙并见有生物体；背光表面致密、光滑。现分析如下：

### 1. 倾斜型洞穴叠层石

构造体由两大部分组成，基部层和叠层石（石鳞片）层（插图 2；图版 I，图 4）。基部层为石笋或钙华沉积物，与基岩之间尚有未胶结的疏松钙质沉积物。基部层厚 20—40mm，由层状叠层体组成。完整的基部层剖面最下部是平整状层，厚 5—7mm，纹层直或微波状，色浅，细纹层不易辨别；往上为波状层状体，厚 8—10mm，纹层为波状或箱形拱状，浅棕褐色，可见

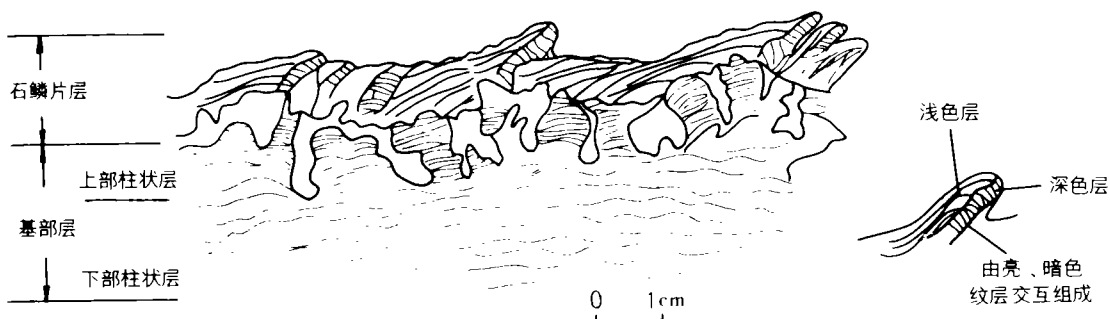


插图 2 倾斜型洞穴叠层石内部构造示意图

Inner structure of the incline type of stromatolites

明显的亮暗交替纹层。一般由多个细纹层组成一组亮纹层，厚 0.5—1.2mm；由 2—3 个细纹层组成暗纹层，两组明显交替。基部层最上部为分叉柱状叠层体层，纹层特征同平整状层，只是在有些部位纹层发育不好。形成的柱状体宽 4.5—12mm，有些柱状体合并成宽达 15mm

的合并柱体。柱体之间为疏松的钙质碎屑充填物,宽为几毫米。柱状体侧部平整或不平整,纹层在柱状体侧部自然尖灭,或稍向下延伸覆盖侧部,使柱状体侧部局部平滑。基部层与叠层石层之间有一明显的波状间断面。

叠层石层由一系列倾斜的叠层石片体纵向上叠置组成,厚3—8mm。叠层石片体由两个部分组成;下部为深色多孔疏松层,上部为浅色层,叠置在深色层之上(图版I,图5)。

(1)深色层厚2—4mm,一般为2.5mm;长5—20mm,一般在10mm左右。深色层一般与浅色层成对出现,部分暴露、部分包埋于叠层石片体中,也有的完全包埋于浅色层中,其顶部为浅色层所盖。深色层由暗、亮纹层交互组成。暗纹层由浅褐色—灰色方解石隐晶凝块和有机质组成,厚0.04—0.2mm。亮纹层由亮晶方解石组成,断续分布,厚度不一,最大可达0.1mm。深色层有些部位由不成纹层的暗色凝块成片组成。

(2)浅色层覆盖在深色层之上,并向后延伸于两个叠层石片体之间,覆盖于基部层之上,末端与后一个深色层相接。浅色层厚度变化较大,在前部(覆盖深色层部分)一般为1—5mm,大多为1.5mm;在后部(覆盖基部层部分)为4—7mm。浅色层比深色层长,前部加上后部长15—40mm,一般20mm左右。浅色层亦由暗、亮纹层交互组成。亮纹层由亮晶方解石组成,厚0.05—0.07mm或更大,横向上略呈波纹状。暗纹层很薄,厚小于0.01mm,由隐晶方解石与有机质组成。浅色层纹层细密均匀,继承性好。

洞穴叠层石片体中一对深、浅色层之间的界线明显,有的是凹凸不平的充填状;有的可见两层色调上变化的纹层相连;或明显由一层转折到另一层。

## 2. 直立型洞穴叠层石

也由基部层和叠层石层组成,基部层特征同上。叠层石层由许多直立的叠层石片体排列组成(图版I,图6),其间为钙质碎屑充填物和动物壳。叠层石片体分前深色层、后浅色层。深色层为多孔疏松层,浅色层为致密层。与倾斜型不同的是,多数深色层中细纹层发育明显,继承性好,且与浅色层纹层相连,延伸一致。在同一叠层石片体纵切面上,深、浅色层之间只有色调区别而无纹层的变化。片体中纹层呈拱形叠置。两层的纹层往往在片体中轴转折,转折处或钝或尖。也有在片体侧部纹层向下拐弯处发生深、浅色层的转折。总体上,纹层呈高拱形、尖拱形成箱形,在同一片体中可见几种形态的纹层拱。深、浅色层厚度在同一片体中自下而上变化较大,一般是深色层厚,浅色层薄,在片体的中下部两者各占一半,而在上部深色层往往比浅色层厚数倍,某些片体中,深色层可占片体的80%—100%。浅色层厚0—10mm,深色层厚2—23mm。纹层在片体内侧多向下延伸,有时几个纹层重叠,致使片体内侧表面光滑,而在片体向光外侧,纹层多为自然尖灭或向下延伸不长,且不重叠,致使外侧表面粗糙,凹凸不平。

浅色层由亮、暗纹层组成。亮纹层由亮晶方解石颗粒组成,厚0.07mm左右;暗纹层由云雾状隐晶方解石和有机质凝块条带组成,横向上稳定,纵向上亮、暗组合变化较明显。深色层亮纹层呈薄、断续条带状,厚0.03—0.10mm或更大;暗纹层由云雾状暗色隐晶方解石和有机质凝块、团块组成,厚0.08—0.10mm。亮、暗纹层常组成以暗纹层为主的纹层带(厚几毫米)与亮纹层为主的纹层带(厚0.3—0.6mm)。有时深色层由多孔、混乱纹层组成,亮、暗纹层特征同上,但弯曲、破碎不规则状,并具许多不规则的孔洞,有些是生物钻孔形成的(图版I,图7),并见有许多不规则形状的无纹层团粒分布区。深色层中还常见由方解石化了的

丝状藻丛体组成的透镜状区域(图版Ⅱ,图6)。

### 3. 坝型洞穴叠层石

构造体由后基部层、前叠层石层组成。基部层特征同前,叠层石层由上下垂向平行叠置的叠层石片体组成(图版Ⅱ,图1)。叠层石片体由上浅色层和下深色层组成,有时两者色调差别不显著:

(1)浅色层由雁形叠置的亮纹层为主组成的板状体(雁形排列倾斜约 $10^{\circ}$ — $20^{\circ}$ ),厚 $1.5\text{--}4\text{mm}$ ,长 $30\text{--}50\text{mm}$ 。在板状体底部显示阶梯状,每组中的亮、暗纹层显示韵律,韵律层厚 $0.5\text{--}2.5\text{mm}$ ,纹层继承性中等。暗纹层由黑色、褐色不规则凝块、团粒、颗粒延伸分布组成。颗粒直径 $0.02\text{--}0.05\text{mm}$ ,横向上断续延伸成纹层(厚 $0.03\text{mm}$ 左右)。由亮晶方解石组成的亮纹层介于暗纹层之间,厚 $0.02\text{--}0.06\text{mm}$ 。两者均匀交替。

(2)深色层由垂直或斜交板体的亮、暗纹层组成。靠前部稍具孔,层厚 $7\text{--}24\text{mm}$ ,一般为 $10\text{--}12\text{mm}$ ,长 $30\text{--}50\text{mm}$ 。深色层大部分由许多丝状、柱状方解石化藻丝体紧密生长堆积(图版Ⅱ,图2),丝、柱状体直径 $0.05\text{--}0.10\text{mm}$ ,呈向前(向光)方向放射状丛体,横截面呈不规则的圆形、椭圆形(图版Ⅱ,图3)。亮、暗纹层在向光方向拱凸,继承性好。暗纹层比亮纹层厚,由丝、柱状丛体组成的暗纹层厚达 $5\text{mm}$ 。两个叠层石片体之间为疏松多孔的碎屑充填物,宽 $2\text{--}4\text{mm}$ 。

## 五、与洞穴叠层石相关的生物

3种类型的洞穴叠层石深色层向光表面均长有许多藻类、苔藓等生物体,肉眼可辨。肉眼不可见的显微生物体呈现浅绿色、翠绿色生物皮壳。倾斜型洞穴叠层石在室内存放一段时间后,生物层呈现紫色。实体显微镜下观察到白色钙化(很脆)灌木丛状分叉丝状体、不分叉成束的细丝状体、粘结有方解石颗粒甚至结壳的根系(苔藓根?)。

扫描电镜下发现深色层中的生物类型有:

### 1. 丝状体类

不分叉丝状体有直径 $<1\mu\text{m}$ 、 $2\text{--}3\mu\text{m}$ 、 $4\text{--}5\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ (图版Ⅱ,图4)等类型,部分钙化。分叉丝状体有直径 $4\text{--}5\mu\text{m}$ ,钙化对分叉;直径 $1\text{--}2\mu\text{m}$ 和 $5\text{--}6\mu\text{m}$ Y状分叉;分节带状体(香肠状),直径 $10\text{--}20\mu\text{m}$ ,钙化。

### 2. 球形、椭球形体类

1)椭球形体,直径 $3\text{--}5\mu\text{m}$ ,长 $9\text{--}11.6\mu\text{m}$ (图版Ⅱ,图5);2)中凹椭球体(两头稍尖),直径 $5.6\mu\text{m}$ ,长 $12.5\mu\text{m}$ ;3)中凹舟形体,直径 $5\mu\text{m}$ ,长 $26\mu\text{m}$ ;4)中裂(双瓣状)椭球体,直径 $5\mu\text{m}$ ,长 $8\mu\text{m}$ ,中凹特征可能是生物降解初期萎缩造成;5)大型椭球体,直径 $37.5\mu\text{m}$ ,长 $63\mu\text{m}$ ;6)球状体,直径 $5\text{--}6\mu\text{m}$ 。

### 3. 其它

1)香蕉状体(弯曲舟形体),直径 $15.7\mu\text{m}$ ,长 $54\mu\text{m}$ ,个别成双出现;2)管状体,直径 $35\text{--}50\mu\text{m}$ ,钙化明显,表面似有环纹;3)类硅藻状(筒状,两头有纹饰),直径 $17.5\mu\text{m}$ ,长 $34.9\mu\text{m}$ 。

在岩石薄片中看到有新月形硅藻,呈产状排列的方解石化丝状体、矿化球状体、方解石化的色球藻科中的分子、不知名的球状群体和碳化管状藻丝体。

取出深色层含生物的表层样品,浸渍后制片或直接挑取生物制片,然后在高倍生物显微

镜下观察鉴定,发现主要生物有\*:几种苔藓植物体;蒴链藻属? (*Capsosira*?),真枝藻属 (*Stigonema*),双须藻属 (*Dichothrix*) (图版Ⅱ,图7),念球藻属 (*Nostoc*),鞘丝藻属 (*Lyngbya*),颤藻属 (*Oscillatoria*),微鞘藻属 (*Microcoles*),单歧藻属 (*Tolypothrix*),鼓藻属 (*Cosmarium*)和裸藻属 (*Euglena*)中的分子。此外还见有一些色球藻科 (*Chroococcaceae*)、绿球藻科 (*Chloococcaceae*)中的分子,以及见有较多的钙化分叉丝状体 (图版Ⅱ,图8)和可能的孢子。

## 六、洞穴叠层石形成机理初探

洞穴叠层石中的深色层始终朝向洞口,这使作者将其成因与生物作用联系起来。经研究表明洞穴叠层石确系生物作用与无机作用综合形成,依据如下:

(1)洞穴叠层石仅生长在石笋等钙华沉积物向洞口向光侧表面,或其受光侧表面,只在距洞口不远的有光地段才发育此类叠层石。

(2)洞穴叠层石深色层显示生物成因构造:疏松、多孔、表面粗糙、表面及内部均富含藻体及某些苔藓生物体。

(3)深色层表面及内部生物钙化强烈,有些生物体粘结了方解石颗粒,许多丝体的局部或全部为方解石结壳。

(4)洞穴叠层石深色层中常见一些由方解石化的丝状藻丝体组成的透镜体,并构成深色层中的重要组成部分。

(5)洞穴叠层石深、浅色层,特别是深色层的纹层显示凝块条带状生物纹层特征;纹层中方解石颗粒的结构及纹层的凹凸接触,均显示生物结构构造特征。

(6)洞穴叠层石虽然类型各异,但深、浅色层的分布始终使深色层处于有利于受光的部位,且深色层往往要厚于浅色层,显示生物沉积速率的优势。

(7)与深色层相比,洞穴叠层石浅色层也有一定的生物作用遗迹,其沉积作用发生在背光或极弱光条件下,其纹层结构构造与深色层不一,但在其中仍可见细菌丝体。

为此可以认为洞穴叠层石的形成过程如下:洞顶滴水,在洞底基岩或钙华板上逐步形成石笋。不断的滴水使多余水在石笋体上漫流,漫流水携带的碳酸钙不断地在石笋表面沉积,在石笋体平缓部位沉积物较厚,这时在石笋向洞口向光部位发育藻类、苔藓等生物,并不断地捕捉、粘结碳酸钙。生物沉积的速率快于无机沉积,为此,生物层(深色层)向上向光生长,并伴随有背光部的非生物层(浅色层)的生长,非生物层覆盖在生物层之上,形成叠层石片体。

同一洞穴叠层石片体中,虽然划分为深色、浅色层,但两层的纹层基本上是连续延伸,说明它们的生长时间相差不大。

海洋潮汐叠层石的生长主要受水动力、沉积物来源和生物类型的影响;而洞穴叠层石的生长主要受光源、生长部位、水源和生物类型的影响。

3种洞穴叠层石为什么如此不一样,可能与受光角度不同有关。在倾斜型洞穴叠层石生

\* 藻属由广西师范大学生物系邓春匡鉴定。

长点,在石笋的侧部或某些石笋表面发生变化部位,往往生长有近垂直的倾斜型洞穴叠层石,面向石笋,侧部受光。坝型洞穴叠层石发育点最高,距地下河水面约 10m,可能受光为平行光而形成平行生长的洞穴叠层石。而标高较低的倾斜型洞穴叠层石,受光为下斜折射光,因而形成上翘叠层石。

## 参 考 文 献

- 李容全、袁宝印,1992: 泥河湾地区更新世叠层石的发现。地质科学,(1):97—99。
- 杨汉奎、朱文孝,1990: 多滨洞系的形态与洞石特征。喀斯特地貌与洞穴研究,107—118 页。科学出版社。
- 赵文杰、武文孝,1989: 宁夏中上元古界的叠层石。古生物学报,28(3):391—401。
- 阎葆瑞、张 胜、胡大春,1992: 太平洋中部微生物与多金属结核的生成关系。地质学报,66(2):122—134。
- Klappa, C. F., 1979: Lichen Stromatolites: criterion for subaerial exposure and mechanism for the formation of laminar calcretes (Caliche). J. Sedimen. Petr., 49 (2): 387—400.
- Krumbien, W. E. and Giele, G., 1979: Calcification in a coccoid Cyanobacteria associated with the formation of dessent Stromatolites. Sedimentology, 26 (4): 593—604.
- Whalter, M. R., Golubic, S. and Preiss, W. V., 1973: Recent Stromatolites from hydromagnesite and aragonite depositing lakes near Coorong, South Australia. J. Sedimen. Petr., 43 (6): 1021—1030.

[1992 年 9 月收到, 1993 年 5 月修改]

## CAVE STROMATOLITES IN KARST AREA

Wang Fu-xing, Cao Jian-hua, Jiang Li-deng

Huang Jun-fa and Huang Ji-fu

(Institute of Karst Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources, Guilin 541004, Guangxi)

**Key words** algae, cave, stromatolites, biological action

## Summary

Here discussed are the distribution features, types and formation of the cave stromatolites in karst area near the cave entrance (in weak light condition), formed by algae and other microbes. The calcite carbonates were deposited through microbial binding and trapping or assimilation in cave water. These cave stromatolites are characterized by a double-layered structure. The light-backed light color layer is tight with smooth surface. The light-oriented dark color layer is relatively loose and porous with rough surface and many colonized microbes. Both light and dark color layers were composed of numerous laminations. According to the different micro-environments in which they developed, the cave stromatolites could be divided into the incline type, the erect type and the dam type.

图 版 说 明

所有标本均采自桂林兴坪镇角田大岩西北洞口弱光带，标本及岩石薄片保存于地质矿产部岩溶地质研究所岩溶馆。

图 版 I

- 1. 倾斜型洞穴叠层石， $\times 0.44$ 。
- 2. 直立型洞穴叠层石， $\times 0.40$ 。
- 3. 坝型洞穴叠层石， $\times 0.17$ 。
- 4. 倾斜型洞穴叠层石的显微构造， $\times 2$ 。
- 5. 图 4 之局部放大，示倾斜型洞穴叠层石双层结构， $\times 6$ 。
- 6. 直立型洞穴叠层石显微构造， $\times 2$ 。
- 7. 直立型洞穴叠层石深色层中的微生物钻孔， $\times 160$ 。

图 版 I

- 1. 坝型洞穴叠层石显微构造， $\times 1.7$ 。
- 2. 坝型洞穴叠层石深色层中丝、柱状方解石化藻丝体紧密排列， $\times 160$ 。
- 3. 坝型洞穴叠层石中丝、柱状体之截面， $\times 32$ 。
- 4. 洞穴叠层石深色层中钙化不分叉丝状体， $\times 250$ 。
- 5. 洞穴叠层石深色层中椭圆形生物体， $\times 610$ 。
- 6. 直立型洞穴叠层石深色层中方解石化丝状藻丛体， $\times 32$ 。
- 7. 洞穴叠层石深色层表层(面)的双须藻属(*Dichothrix*)分子， $\times 160$ 。
- 8. 洞穴叠层石深色层中浸渍所获钙化分叉丝体， $\times 160$ 。



