

# 一个最古老的肾形藻泥丘 相的首次发现及其地质意义 ——以滇东北地区震旦系灯影组为例

朱同兴 罗安屏

(成都地质矿产研究所)

迄今为至，国内外对肾形藻的研究还很少，而且研究多集中在寒武纪泥丘相 (Pratt, 1984; James & Klappa, 1983; 王剑等, 1990) 和泥盆纪泥丘相 (Mountjoy & Jull, 1978; 高健, 1991) 中，还未涉及到前寒武纪。近年来，通过对滇东北地区震旦纪灯影期中大比例尺岩相古地理研究，作者首次发现表附-肾形藻不仅发育于古生代，而且更发育于震旦纪灯影期 (距今约为 650Ma)。这是全球范围内发现的最古老的肾形藻生长层位。灯影期肾形藻的发育程度，包括肾形藻的含量及其功能、空间展布和分布于相剖面上的纵向厚度等，均远超过古生代的任何一个时期。一种可能的解释就是震旦纪灯影期缺乏食藻类动物，从而使藻类生物得以生长和繁盛。

## 一、区域地质背景

研究区位于扬子地块西南缘，“康滇地轴”东侧之南段，小江深大断裂以东 (图 1)，包括云南省的昭通、东川、曲靖和昆明等地区。

滇东北地区震旦系沉积建造及其演化趋势表明，该区在早震旦世为近南北向分布的断续连接的陆内裂谷断陷盆地，堆积了含火山岩及火山碎屑岩的陆源磨拉石建造沉积。相序分析表明该盆地明显地经历了三个阶段的变化，即：早期拉张沉降，中期强烈拗陷和晚期萎缩回升。造成滇东北地区早震旦世断陷沉积盆地萎缩回升的直接原因是澄江运动。澄江组的最大沉积厚度大于 2000m。晚震旦世海侵加大，滇东盆地沉没于水下，而成为上扬子台地的一部分。上震旦统作为扬子地块的第一个广泛分布的沉积盖层，主要以白云岩和藻白云岩为主，标志着本区已进入稳定的台地发育阶段。造成盆地沉降的主要机制可能

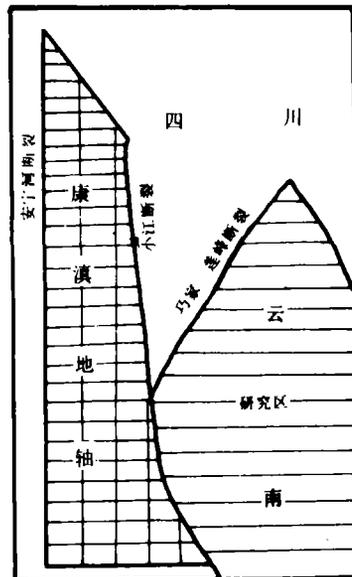


图 1 研究区大地构造位置图

Fig. 1 Geotectonic location of the study area

不是构造断陷作用而是沉积物的负荷作用。

灯影组白云岩在全区各地产出稳定。近年来通过对中国南方,尤其是上扬子地区,震旦系和灯影组的岩石地层、生物地层、年代地层、磁性地层和层序地层的综合研究,积累了丰富的资料。人们对灯影组的划分和对比也渐趋一致。以永善金沙厂地区为例,灯影组可划分出四个自然岩性段(图2),并且在区域上均可追踪对比:

组	段	岩性柱	厚度(m)	沉积相	层序	体系域	时限(Ma)	矿化特征	岩性	海面升降	
E <sub>1m</sub>	II		35	TF	第二层序	SB <sub>2</sub>	590	Pb, Zn 四层矿	小壳骨屑白云岩	海面升降 ↑ 上升 ↓ 下降	
	I	P		SR		HST		600	P		窗孔、层孔状粉晶白云岩
		P		CS		磷质白云岩					
Z <sub>0dn</sub>	IV		7	SS	第一层序	TST	Renalcis Pb, Zn 二层矿	硅质结核与条带状白云岩			
	III		10			TST		粉晶白云岩			
	II		>180	TF	SB <sub>2</sub>	层纹石		层纹石白云岩			
				ReM	肾形藻云岩						
				SS	HST	含藻白云岩					
	I		>90 未见底	SLa	CS	650		硅质结核与条带状泥质微晶白云岩			

图2 永善金沙厂震旦系灯影组沉积相及其层序分析

Fig. 2 Sedimentary facies and sequences in the Sinian Dengying Formation in Jinshachang, Yunnan

TF-潮坪相; SR-浅水缓坡相; SS-浅水潮下坪相; ReM-肾形藻泥丘相; SLa-浅水潮下潟湖相;  
SB<sub>2</sub>-第二类型层序界线; HST-高水位体系域; CS-凝缩层; TST-海侵体系域

## 二、灯影组沉积相带展布及其肾形藻泥丘相的发现

最新研究资料表明,滇东北地区震旦纪灯影期沉积环境为镶边型潮缘陆表海(图3、图4)。区内自西南至东北再转至东南,依次发育(1)潮坪相带(TF),分布范围较大,主要位于研究区的西侧或西南侧,包括昭通-巧家地区、武定-禄劝西北地区和禄丰以西地区。潮坪相带可进一步划分为朝上坪相、上下潮间坪相、潮坪潟湖相(TLa)和TLa内肾形藻泥丘相(ReM);(2)浅水潮下坪相带(SS),分布范围最大,包括昆明、东川、会泽、寻甸、永善和镇雄等广大地区,由低能浅水潮下坪相(SS)、表附-肾形藻泥丘相(ReM),较高能潮下浅滩相和浅水潮下潟湖相(SLa)等组成;(3)台地边缘浅滩相带(PES),分布于研究区东南侧的曲靖-陆良地区,可进一步分出高能台缘浅滩相和低能滩间洼地相;(4)台地边缘盆地相带(PEB)。

其中,潮坪潟湖相内的肾形藻泥丘相和浅水潮下坪相内的表附-肾形藻泥丘相是作者近年来在滇东北地区灯影期岩相古地理研究中的最新发现。肾形藻与其共生的表附藻一起组成的泥丘相(ReM)广泛分布于滇东北的永善金沙厂、会泽待补和大海以及巧家东坪、茂租

和白卡等地的灯影组，尤其是灯影组第二段中（图2，3）。

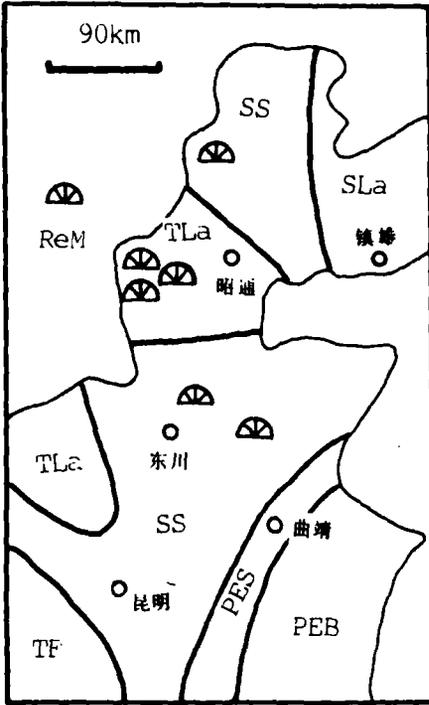


图3 滇东北地区灯影期岩相古地理及其肾形藻丘相的分布

Fig. 3 Dengyingian (Late Sinian) sedimentary facies and palaeogeography and the distribution of *Renalcis* mound facies in northeastern Yunnan

TLa-潮坪潟湖相; PES-台地边缘浅滩相; PEB-台缘盆地相

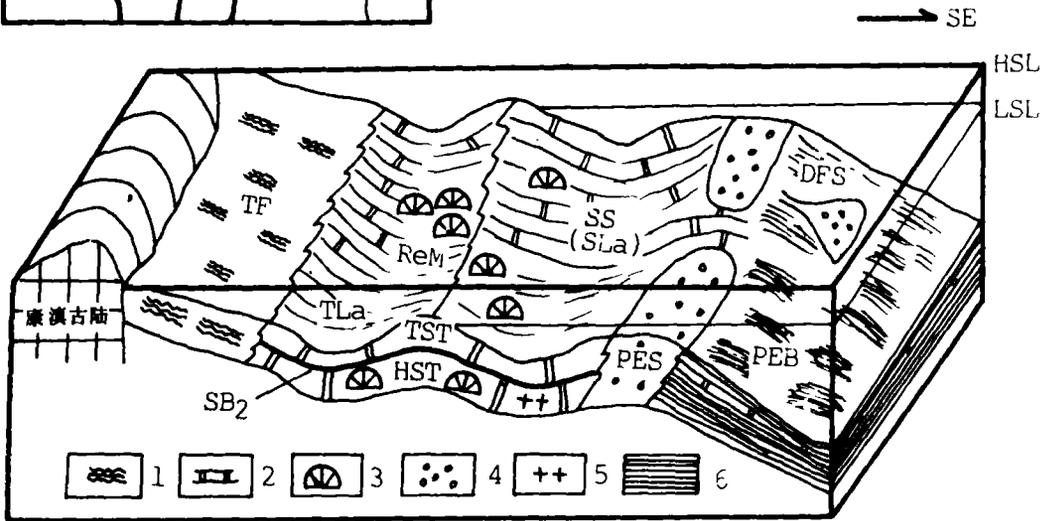


图4 滇东北地区震旦纪灯影期镶边型潮缘陆表海沉积模式

Fig. 4 Sedimentary model of a Dengyingian (Late Sinian) rimmed peritidal epicritic sea in northeastern Yunnan

1-层纹石白云岩; 2-白云岩; 3-肾形(表附)藻云岩; 4-颗粒白云岩; 5-盐质白云岩; 6-泥页岩夹泥云岩、粉砂岩; DFS-碎屑流沉积相

### 三、肾形藻泥丘相特征

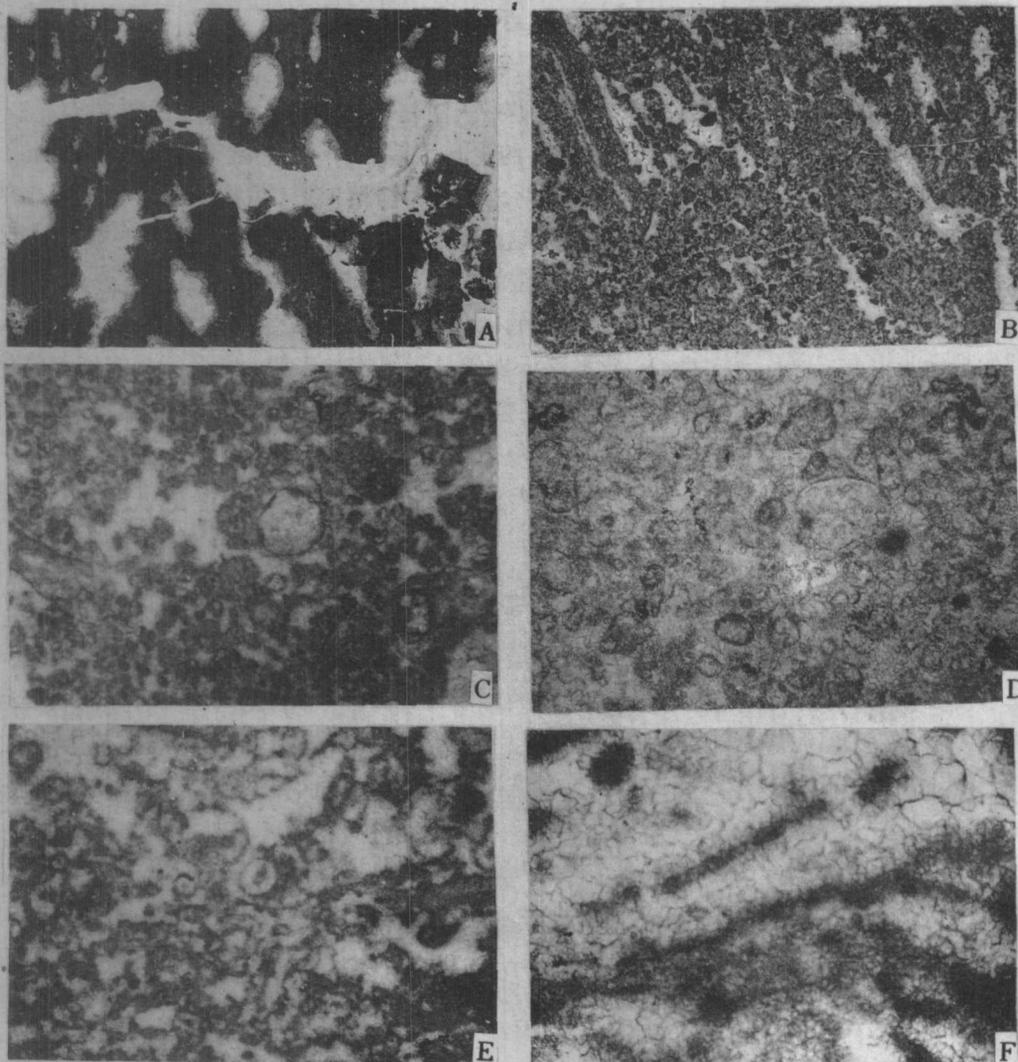
肾形藻 (*Renalcis*) 是一种与蓝绿藻有关的钙质藻类微体生物。它是古生代，尤其是寒武

纪和泥盆纪生物礁中常见的粘结生物组分之一。它在古生代礁体中主要对较大的造架生物体起粘结和结壳作用 (binding and encrusting), 很少独立造架。但在震旦纪的灯影期, 由于其他竞争生物的缺乏, 肾形藻常与其相关藻类—表附藻 (*Epiphyton*) 一起组成障积岩泥丘格架 (照片 1、2)。泥丘格架略呈丘形外貌, 长约十几米, 高 5—6m, 由于地层出露范围和条件的限制, 仅在金砂厂“202”联坑内和待补两地见及其格架外形。室内薄片鉴定结果表明, 格架岩内肾形藻或表附藻的含量变化较大。这除了与原始组分结构有关外, 还与强烈的成岩作用有关。含量变化范围为 10—60%, 通常为 25—40%。在新生变形或硅化作用强烈的残余肾形藻云岩中, 肾形藻含量则明显地降低, 并且其形态也发生明显的变化, 从而形成所谓的拟肾形藻化石 (*Renalcis-like*)。肾形藻云岩的显微组构也表明, 肾形藻具多细胞结构, 集合体形态多呈颗粒状, 葡萄状和星团状。单细胞纵切面呈管孔状 (照片 1F), 横切面呈圆形、次圆形或椭圆形 (照片 1C、1D、1E、2A、2B、2C), 大小为 0.2—2mm, 一般 0.5—1mm。单细胞具较厚的钙质壁, 壁厚 0.05—0.10mm。壁由暗色微晶白云石组成。细胞的中央腔则由干净明亮或较干净明亮的粉细晶白云石组成。这种粉细晶白云石明显地为成岩作用产物。与肾形藻云岩不同, 表附藻云岩的一个显著特点就是表附藻呈树枝状宏观形态 (照片 2D、2E), 根据其形成时的水动力环境和钙化程度的不同, 表附藻的生长规模和形态也相差较大, 但是, 表附藻体之间多为灰泥基质充填或新生变形假亮晶胶结。表附藻云岩的另一个明显特征是藻腐孔相当发育, 并且具明显的方向性, 即多顺藻丝生长方向排列。在藻腐孔内还发育藻屑、藻泥屑结构及示底构造 (照片 2F)。虽然示顶底方向与藻腐孔的排列方向不尽一致, 但是, 由于数个示底构造的指示方向均为一致, 所以, 仍能说明表附藻具有原地生长和原地埋藏特征。

识别潮缘沉积环境内肾形藻云岩及泥丘相的另一个重要标志是发育程度不同的鸟眼状 (birdseyes)、不规则窗孔状 (irregular fenestrae)、似层窗孔状 (laminoid fenestrae) 和层孔状 (stromatactis) 孔隙构造 (照片 1A、1B)。对这些孔隙构造的成因解释是多方面的, 包括沉积物的干裂收缩说、气泡成因说和有机质腐烂成因等。对一些规模较大而又发育规则的似层窗孔状和层孔状孔隙构造研究表明, 它们多与潮坪层理相关, 尤其是与微生物藻席有关。这些孔隙构造可以是平坦的, 也可以是弯曲的或是板状的平行于纹层, 通常长度小于 20mm, 宽 1—5mm。肾形藻泥丘相内泥晶灰泥基质的圈闭机制可能主要为有机质, 尤其是蓝绿藻细菌的粘结作用和泥丘格架的障积作用。

#### 四、肾形藻的原始矿物组成及其成岩作用

滇东北地区前寒武系灯影组肾形藻云岩, 由于经历了漫长的地质历史时期和遭受了多期构造运动以及区域热事件的影响, 其成岩作用非常强烈, 也非常复杂。肾形藻云岩的成岩作用大致经历了 4 个作用阶段, 即原始矿物的稳定化作用、白云岩化作用、硅化作用和进变新生变形作用 (重结晶作用)。据研究, 地史时期发育的肾形藻的原始矿物成分为高镁方解石 (B. R. Pratt, 1984) 或文石 (N. P. James & C. F. Klappa, 1983)。显微及超微研究进一步表明, 发育于滇东北地区灯影期的肾形藻 *Renalcis* 的外壳或钙质微晶白云石壁的原始矿物组成很可能是高镁方解石, 而其中腔内充填的晶粒状白云石的原始矿物成分则更可能是文石质。其主要证据为: (1) 原始矿物成分为高镁方解石的颗粒或组构经新生变

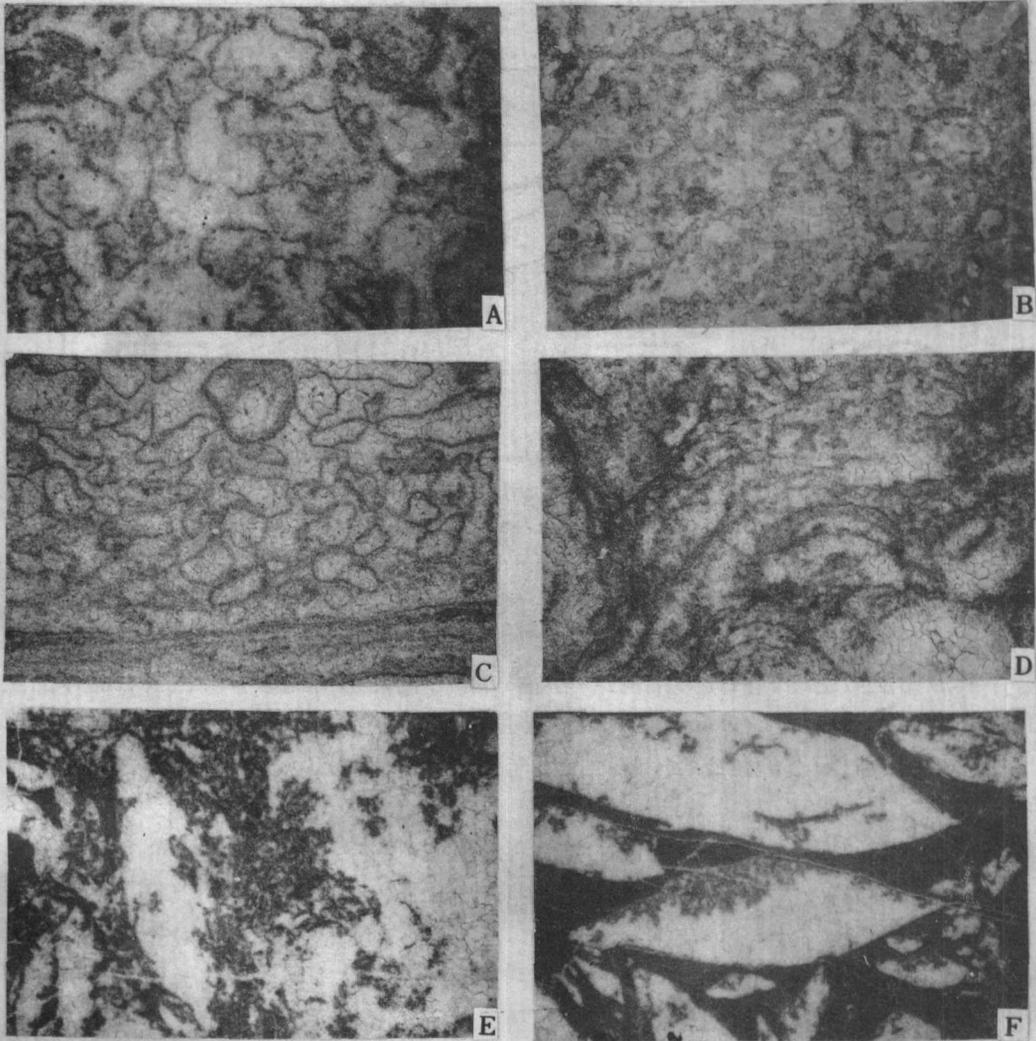


照片1 肾形藻云岩和泥丘相的显微结构特征

Photograph 1 Microfabrics of *Renalcis* dolostones and mound facies in the Dengying Formation in northeastern Yunnan

- A. 不规则窗孔构造, 窗孔内多为干净明亮的中粗晶白云石或热液白云石充填, 孔隙连通程度差,  $\times 2.5$ , 永善金沙厂灯二段
- B. 似层状、层孔状孔隙构造,  $\times 2.5$ , 产地和层位同 A
- C. 层孔状肾形藻云岩, 注意肾形藻细胞个体有差异,  $\times 6$  (—), 产地和层位同 A
- D. 重结晶肾形藻云岩, 肾形藻细胞个体有差异, 并且呈颗粒状分布于岩石中,  $\times 6$  (—), 巧家茂租, 灯影组第三段
- E. 肾形藻横切面形态,  $\times 6$  (—), 会泽待补, 灯二段
- F. 肾形藻纵切面形态, 呈丝状或管孔状,  $\times 24$  (—), 产地和层位同 E

形之后仍保存有残余结构, 而原始矿物成分为文石质的颗粒或组构在经过溶解-再沉淀作用之后则无任何残余结构; (2) 肾形藻单细胞中央腔内的晶粒状白云石多呈假六方形或正方形横断面, 这些断面都是原始文石的典型特征; (3) 肾形藻钙质壁多由微晶白云石组成, 白云石自形程度好或较好, 而中央腔则多由粉晶白云石组成, 白云石为他形结构, 自形



照片2 肾形-表附藻云岩和泥丘相的显微组构特征

Photograph 2 Microfabrics of *Renalcis* and *Epiphyton* dolostones and mound facies in the Dengying Formation in northeastern Yunnan

- A. 重结晶肾形藻云岩,  $\times 6$  (一), DR40, 会泽待补, 灯二段
- B. 微晶硅化肾形藻云岩,  $\times 6$  (一), DR34, 会泽待补, 灯二段
- C. 重结晶肾形藻云岩, 下部含叠层藻,  $\times 6$  (一), Dh-3, 会泽大海, 灯二段
- D. 与肾形藻共生的表附藻形态, 呈树枝状分布, 左右两侧均发育有藻腐孔,  $\times 6$  (一), DR36, 会泽待补, 灯二段
- E. 树枝状表附藻, 藻腐孔发育且呈定向排列,  $\times 6$  (一), Dh-17, 会泽大海, 灯二段
- F. 同E, 藻腐孔局部放大, 藻腐孔内具藻屑、藻泥屑结构和示预底构造,  $\times 24$  (一)

程度差。所有这些显微及超显微组构的差别均表明肾形藻的钙质壁和中央腔的原始矿物组成是有一定差异的。

随着沉积物的埋深增加, 由高镁方解石或文石组成的肾形藻是非常不稳定的。因此, 在埋藏成岩作用过程中, 它首先遭受的是脱镁作用和溶解-再沉淀作用, 后期又遭受各种成岩交代作用和进变新生变形作用, 最后形成现在所观察到的结晶白云岩。肾形藻的主要成岩

变化可总结成图 5。

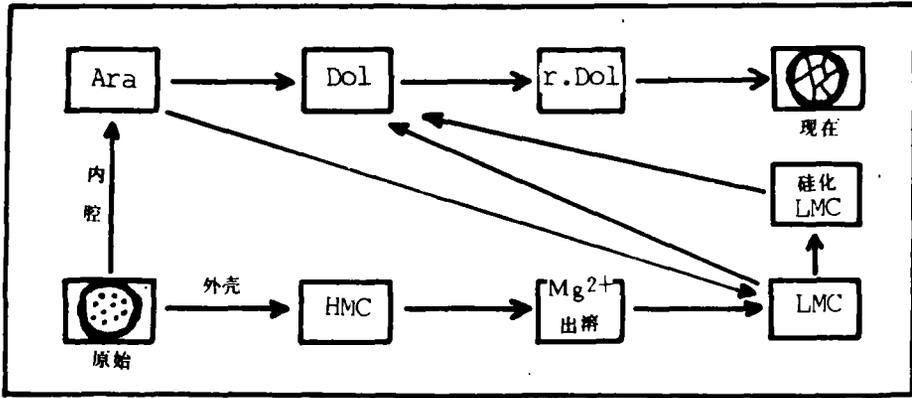


图 5 滇东北地区前寒武系灯影组肾形藻 (Renalcis) 的成岩作用

Fig. 5 The original mineral compositions and diagenesis of *Renalcis* in the Dengying Formation in northeastern Yunnan.

HMC-高镁方解石; LMC-低镁方解石; Ara-文石; Dol-白云石; r. Dol-重结晶白云岩

图 5 清楚地说明, 由高镁方解石 (HMC) 组成的肾形藻细胞外壳在白云石化之后仍然保存了其原始显微结构。因此, 推测这些高镁方解石的晶形可能为早期白云石晶体的生长提供了合适的模板或样板 (template, Bullen & Sibley, 1984)。这些白云石, 尤其是肾形藻细胞中央腔内的白云石, 在成岩中晚期由于受到热液流体的影响多已重结晶为具晶粒结构的白云岩。

鉴定肾形藻的原始矿物组成, 除了显微和超显微 (包括微量元素) 研究之外, 还要考虑到地质时期中海洋-大气圈体系是呈周期性演化的因素。震旦纪灯影期仅仅是整个地史演化过程中的一部分。在一个地史演化周期内, 沉积圈内的碳酸盐矿物都是先沉淀低镁方解石, 后沉淀高镁方解石和文石, 这种沉淀顺序也是由海洋-大气圈体系内流体性质的周期性变化所决定的。例如, 在海西旋回周期内, 从泥盆纪经石炭纪至二叠纪, 其沉淀的原始碳酸盐矿物为低镁方解石→混合矿物→高镁方解石和文石。Sandberg (1975) 在研究新生代沉积物时也提出了相类似的沉淀顺序。

原始矿物组成的演化归根结底是与某一地质时期海洋-大气圈中的二氧化碳分压 ( $P_{CO_2}$ ) 有关, 而  $P_{CO_2}$  又与全球构造活动和海平面升降有关, 如全球构造活动频繁时, 强烈的火山喷发作用必定会造成全球海洋-大气圈中的  $P_{CO_2}$  上升, 而洋底扩张和板块俯冲作用也会造成全球海平面的上升, 从而形成海洋环境中的低镁方解石广泛沉淀。反之, 在构造活动平稳时期, 如晚前寒武纪灯影期, 由于板块活动缓慢, 火山活动亦趋于停息, 所以海洋大气圈中的  $P_{CO_2}$  较低, 从而形成海洋环境的高镁方解石和文石沉淀。

### 五、理论及找矿意义

前人的研究成果表明, 肾形藻生长的最早时间为早寒武世晚期, 时限距今约为 550Ma (N. P. James & C. F. Klappa, 1983)。作者近年来通过对滇东北地区灯影期岩相古地理和精细沉积相的研究, 发现有丰富的肾形藻产于灯影组中部, 尤其是灯影组第二段藻云岩中

(时限约为 650Ma)。因此,这一发现使全球范围内肾形藻开始大量生长的时间提前了 100Ma,出现肾形藻泥丘相的层位也大大降低了。这是迄今为止发现的最古老的肾形藻及其泥丘相。它的发现对前寒武纪,尤其是晚前寒武纪生物的演化、区域地层对比和古沉积环境的恢复等都提供了可靠的生物学依据。

滇东北地区肾形藻云岩和泥丘相的发现也为全属硫化物矿产和油气资源的勘探和开发提供了新的思路。本区肾形藻云岩和泥丘相组合均呈现向上变浅的沉积序列。在泥丘相组合,尤其是丘顶相内,由生物腐烂或次生溶蚀形成的鸟眼状、不规则窗孔状,似层状和层孔状孔洞、孔隙构造非常发育,面孔率有时高达 5—8%,并充填有较多的有机质和沥青质,表明这种肾形藻泥丘相组合在地质时期曾经储存过石油。此外,肾形藻泥丘相组合内大量窗孔状和似层状、层状孔隙的存在也为铅锌成矿溶液的迁移和沉淀提供了有利的导矿和容矿空间。永善金沙厂铅锌矿区正在开采的“二层矿”矿体正是产于灯影组第二段肾形藻泥丘相组合中。相信随着灯影组肾形藻云岩和泥丘相的不断发现和研究,将会对寻找隐伏铅锌矿体和地层圈闭内的油气资源产生积极的影响。

## 六、主要结论

滇东北地区震旦系灯影组第二段是迄今为止发现肾形藻大量生长(岩性为肾形藻云岩,相类型为肾形藻泥丘相)的最古老的和最低的层位。其距今时限约为 650Ma。它比前人报道的肾形藻生长的时间(约 550Ma)整整地提前了 100Ma。

震旦纪灯影期肾形藻大量生长的主要环境为潮坪泻湖和低能浅水潮下坪。

灯影组肾形藻云岩和泥丘相内不规则窗孔状、似层窗孔状和层孔状孔隙构造发育。面孔率有时高达 5—8%。

肾形藻的原始矿物组成为高镁方解石(细胞壁)和文石(中央腔)。成岩作用主要为矿物的新生变形作用、白云石化作用,硅化作用和重结晶作用等。

肾形藻云岩和泥丘相与金属硫化物矿床及油气储集关系密切。因此,它的发现为寻找隐伏型金属矿产和油气资源也提供了新思路。

在研究工作中,得到了刘宝珺教授、阙梅英副研究员的热情关怀和指导,笔者在此表示衷心感谢。

## 参考文献

- 王剑等, 1990年, 湘西花垣地区下寒武统清虚洞组生物丘钙藻形态群与环境群带的划分及意义, 岩相古地理, 第3期。
- 高健, 1991年, 广西上泥盆统肾形藻泥丘的沉积模式和成岩模式, 中国地质科学院院报, 第23号。
- James, N. P. & Klappa, C. F., 1983. Petrogenesis of Early Cambrian reef limestone, Labrador, Canada. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 53, pp. 1051-1096.
- Mountjoy, E. W. & Jull, R. K., 1978. Fore-reef carbonate mud bioherms and associated reef margin, Upper Devonian, ancient wall reef complex, Alberta. *Can. J. Earth sci.* Vol. 15, pp. 1304-1325.
- Pratt, B. R., 1984. *Epiphyton* and *Renedavis*—Diagenetic microfossils from calcification of coccooid blue-green algae. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 54, No. 3, pp. 948-971.

# FIRST DISCOVERY OF AN OLDEST *RENALCIS* MOUND FACIES AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE—AN EXAMPLE FROM THE UPPER SINIAN DENGying FORMATION IN NORTHEASTERN YUNNAN

Zhu Tongxing Luo Anping

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources)

## Abstract

The Dengyingian (Late Sinian) sedimentary environment in northeastern Yunnan is a rimmed peritidal epeiric platform. From SW through NE to SE, four sedimentary facies belts have been distinguished, including tidal flat, shallow subtidal flat, platform-margin shoal and basin facies belts.

For several years, numerous studies have been conducted on the Dengyingian sedimentary facies and palaeogeography in the study area, and for the first time *Renalcis* and *Epiphyton*, some of which have developed into the mound facies, have been recognized in large amounts in the Dengying Formation, especially in the second member of the formation. So far, these *Renalcis* have been the oldest and their growth horizons are the lowest. The environments of *Renalcis* and *Epiphyton* consist mainly of tidal flat lagoon and low-energy shallow subtidal flat.

The original mineral compositions of *Renalcis* dolostones are high-Mg calcite (cell wall) aragonite (cell centre). These minerals have undergone a series of diagenesis, including neomorphism, dolomitization, silicification and recrystallization.

The irregular and stratoid fenestral and stromatolite structures are common in *Renalcis* dolostones and mound facies in the Dengying Formation, which are bound up with the Pb-Zn sulfide ore deposits and oil-gas reservoir traps. Therefore, the discovery of *Renalcis* dolostones and mound facies may provide one useful approach to prospecting for the concealed Pb-Zn deposits and oil-gas resources in the study area.