

松辽盆地白垩纪青山口组叠层石的环境意义*

曹瑞骥

(中国科学院南京地质古生物研究所)

前言

松辽盆地白垩纪青山口组是良好的含油地层,其中产有介形类、瓣鳃类、腹足类、鱼、轮藻、大植物和叠层石等多种化石。该组多数门类化石已进行过较详细描述和研究,并发表过多篇论著。但至今尚未开展叠层石的专题研究。

叠层石是晚前寒武纪地层划分和对比的主要依据之一。尽管显生宙后,叠层石在生物地层学上的价值是有限的,但它们仍然具有重要的生态环境意义。本文着重从生物学和沉积学角度讨论松辽盆地青山口组叠层石的古生态和形成环境。

本文研究的叠层石标本发现于黑龙江省泰康县杜402井,属于白垩纪青山口组的岩芯中。根据资料(叶得泉、张营,1981)推测,叠层石(藻类灰岩)产出的层位可能位于青山口组高台子油层下部。关于叠层石在区域上的分布情况,目前尚不清楚。

由于我们掌握的实际材料有限,加之对白垩纪地层了解肤浅,文中一些结论和认识是初步的。

本文研究的标本是大庆油田赠送的。在研究工作中,薛耀松给予热情帮助,李懋协助开展电镜扫描研究,王子玉、陈光仲、程安进等分别承担无机化学、有机化学和光谱分析工作,宋之耀为标本照相。笔者在此表示衷心的感谢。

标本描述

将标本垂直层理方向剖开,在纵断面上可以观察到两种形态的叠层石相互共生。标本下

部为波浪形的层叠层石(即组成叠层石的纹层对在同一平面上分布),向上逐步过渡到层一柱叠层石,其中柱体短,宽1—3.5 cm,高仅0.5—3 cm。所有叠层石均由薄薄的白色纹层对组成,纹层对厚0.5—1 mm,但有时几个纹层对合并在一起,相互界线不清。在标本纵断面上,还可以见到一些黑色带状层,厚1.5—11 mm,分布在叠层体中间。它们通常与叠层石的纹层组(大约由5—10个纹层对组成)交替分布,形成周期性韵律沉积(插图1;图版I,图1、2)。黑色带状层主要由棕黑色碳酸盐泥、核形石、动物外壳和碳酸盐岩碎屑组成(图版III,图2)。在组分、厚度和结构上,它们区别于纹层对,明显不是叠层石的组成部分,而是叠层石生长间歇时期的堆积物。

在标本上部的短柱叠层石之间,可见宽、窄不等的沟道,宽的达10 mm,窄的仅1 mm。有时沟道上部窄,向下明显扩大,形成不规则形态的洞穴。有时在洞穴边缘可以见到溶蚀的痕迹。在沟道和洞穴中,充填了核形石、动物外壳和碳酸盐砂屑(图版III,图3)。这些充填物杂乱堆积,在组分上与黑色带状层相近。

将纵向切制的薄片放大至10—30倍,叠层石纹层对的轮廓变模糊,甚至难于区分。只观察到大量不规则形态的暗色凝块,它们或杂乱堆积在一起(图版II,图1),或构成灌木状形态。在凝块之间,孔隙和鸟眼状孔洞发育,其中充填浅色微晶碳酸盐。通过电镜扫描研究,在凝块中发现少量蓝绿藻的管状衣鞘化石(图版

* 中国科学院科学基金资助的课题

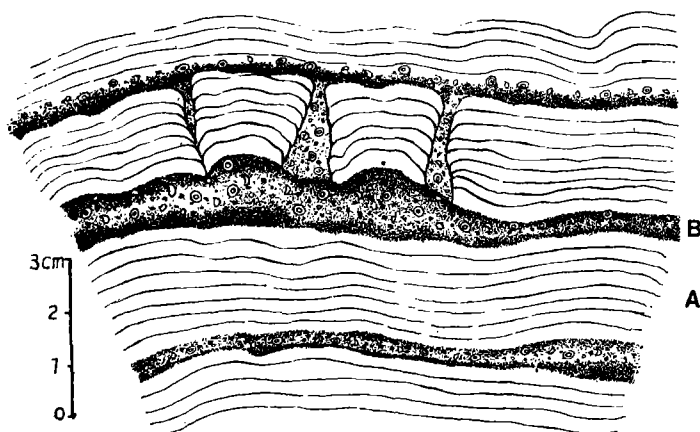


插图1 松辽盆地白垩纪青山口组叠层石纵断面示意图
Illustration of vertical section of stromatolite from
Cretaceous Qingshankou Formation in the Songliao Basin

A. 叠层石; B. 黑色带状层
A. Stromatolite; B. black band-like layer

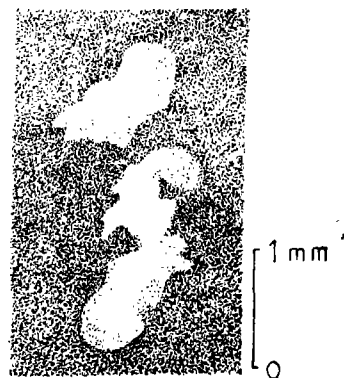


插图2 鸟眼孔洞中的渗流示底沉积
The geotropic sediments of vadose
silt in a birdseye pore space

II, 图2—4), 因而可以认为这些凝块至少部分代表原始蓝绿藻的群集体。管状衣鞘中空, 直或微弯曲, 不分叉(?), 衣鞘直径3—8 μm , 鞘壁厚1 μm 。根据特征推测, 这些衣鞘是碳酸盐围绕单列蓝绿藻丝体壁沉淀形成的, 似乎可以与现代鞘丝藻 (*Lyngbya*) 属丝体的衣鞘进行对比。总的说来, 在当前标本中发现的微化石在种类和数量上均甚少, 估计多数微化石钙化差, 难于保存。

在薄片上, 还可以观察到黑色带状层是由三部分(即底部、中部和顶部)组成(图版 III, 图1)。(1)底部主要堆积棕黑色和灰色碳酸盐泥, 大小不等的鸟眼状孔洞分布其中。碳酸盐泥与叠层石凝块层呈过渡关系, 两者之间无明显的分界线。底部层的表面轮廓清晰, 起伏不平;(2)中部成分复杂, 主要为核形石、动物外壳和碳酸盐碎屑混杂堆积。其中核形石占较大比重, 它们个体小, 长径1 mm 左右, 呈谷粒状, 表面光滑, 结构简单(图版 II, 图5, 6)。核心为细的砂屑或动物碎片, 外部包裹3—4层暗色含有有机质的泥晶碳酸盐纹理, 纹理宽度不等。通过电镜扫描研究, 在其中未发现微化石痕迹;(3)顶部为黑色或灰色碳酸盐泥, 在物质组分上与

底部相似。顶部表面起伏, 新的叠层石纹层对着生其上。新生长纹层对的形态在一定程度上受到顶部表层起伏面形态的影响。有时黑色带状层缺失顶部, 新的纹层对直接在中部核形石或碳酸盐岩屑之上发育。

在叠层石和黑色带状层的鸟眼状孔洞中, 有时可见渗流碳酸盐泥示底沉积(插图2), 这是叠层石成岩前后经受渗流作用所致。

有机化学分析表明, 叠层石和黑色带状层中有机碳含量均比较低, 前者为0.19%, 后者为0.13%。这显然与它们的形成环境和后期保存条件有关。光谱半定量分析暗示, 黑色带状层中的碳酸盐泥之所以呈棕黑色或深灰色, 主要由于含有锰质。

不同相叠层石的 Sr/Ca 值比较

松辽盆地白垩纪地层为湖相沉积。自从在盆地的嫩江组中发现海相瓣鳃类和鱼化石以后, 一些学者怀疑在白垩纪沉积期间的某个阶段, 松辽盆地和海水之间可能存在一定联系(顾知微等, 1976; 顾知微, 1982; 张弥曼等, 1977)。

叠层石可以生活在海相环境, 也可以生活在非海相的淡水环境。但由于研究程度所限,

目前仅根据叠层石形态和结构特征,尚不能直接判断它们的相。但是,生物成因的(如藻类生活活动形成的)碳酸盐 Sr/Ca 值在一定程度上可以作为相的指示器。

根据对 Sr 的生物地球化学沉积的研究,ODum (1957) 认为,淡水相和海相环境下的钙藻和软体动物碳酸盐的 Sr/Ca 值明显不同,他测定的平均 Sr/Ca 值如下:

表 I 淡水和海相环境的钙藻、软体动物碳酸盐 Sr/Ca 平均值(根据 ODum, 1957)

Mean Sr/Ca ratios for fresh water and marine environment calcite algae and aragonite mollusks (ODum, 1957)

相 区 数值 生物	潮湿淡水区		海 相 环 境		
	实例数	$\text{Sr}/\text{Ca} (\times 10^3)$ 平均值	实例数	$\text{Sr}/\text{Ca} (\times 10^3)$ 平均值	$\text{Sr}/\text{Ca} (\times 10^3)$ 最低值
钙藻	3	0.58	9	3.96	3.60
文石腹足类	33	0.75	14	2.34	1.70
文石瓣鳃类	38	0.87	8	2.51	1.70

Turekian (1964) 指出,海水中 Sr/Ca 值在显生宙期间是比较稳定的。Veizer 和 Demovic (1974) 测定了喀尔巴阡山脉中段和西段中生代一般碳酸岩中的 Sr 含量,也发现 Sr 的分布明显受相控制,高 Sr 集中分布在潟湖相和深海相碳酸盐岩沉积区,低 Sr 集中在海的沿岸相、浅海和半深海相碳酸盐岩沉积区。

考虑到以下两方面的原因:(1) 叠层石主要是由蓝绿藻参与形成的生物-沉积建造体,它们的主体部分是由生物成因的碳酸盐组成的;(2) 与海水有联系的叠层石纹层常粘捕文石晶粒,而文石成分的多寡又直接影响 Sr/Ca 值的高低。因此,从理论上说,碳酸盐叠层石中的 Sr/Ca 值,在指示相上可能更为敏感。松辽盆地青山口组叠层石为碳酸盐叠层石,其中 CaO 含量为 42.58(%), MgO 含量为 7.94(%)。我们选择了不同部位的叠层石样品进行 Sr 、 Ca 成分的测定。为了进行比较研究,我们另选择了其它不同地区的碳酸盐叠层石进行了同样成分的测定,其中包括中美洲巴哈马安德罗斯岛的现代叠层石、广东南雄盆地第三纪叠层石、山东平邑盆地第三纪叠层石和西澳大利亚沙克湾的现代叠层石。因为这些叠层石的相是已知的。但由于国内其它地区白垩纪地层中尚未发现叠层石,故无法用同时代叠层石进行比较。此外,我

们挑选了西藏班戈多巴区郎山含海相瓣鳃类化石的白垩纪石灰岩进行测定,除了解白垩纪一般海相灰岩的 Sr 、 Ca 成分外,并可与前人测定数据进行比较,间接验证我们测定工作的可靠性。

样品测定工作由中国科学院南京地质古生物研究所六室无机化学分析组承担。考虑到 Sr/Ca 值的指标是对碳酸盐而言,故对所有样品采用酸溶法测定了标本中酸溶部分的 Sr 、 Ca 成分,而没有采用全岩法测定。在试测中,取用我国地质部地球化学标准参考样 GSA-6 进行验证。原样全岩法测定的标准数据为 CaO 35.69(%), Sr 900 (ppm),我们采用酸溶法测定结果为 CaO 35.78(%), Sr 650 (ppm) (表 II)。

从表 II 中可以看出,在测定的样品中西澳大利亚沙克湾叠层石的 $\text{Sr}/\text{Ca} (\times 10^3)$ 值特别高,达 16。据调查,这里的叠层石生活在一个超盐度的海湾环境,海水中的盐度通常高出正常海水的两倍。这种特殊的超盐度环境显然有利于 Sr 的沉积,同时叠层石中 CaO 含量相对较低。这些可能是叠层石中 Sr/Ca 值偏高的主要原因。

广东南雄盆地和山东平邑盆地早第三纪叠层石因与大量淡水化石共生,是典型淡水湖相叠层石。经测定, $\text{Sr}/\text{Ca} (\times 10^3)$ 值均较低,分别

表 II 松辽盆地白垩纪青山口组叠层石与已知相叠层石和石灰岩 Sr/Ca 值的比较

Sr/Caratios for known facies stromatolites and limestone as compared with stromatolites from Cretaceous Qingshankou Formation in the Songliao Basin, NE China

标本号	标本名称	产 地	时代	CaO(%)	Sr(ppm)	Sr/Ca × 10 ³	环 境
D-1	叠层石	松辽盆地 (Songhuajiang-Liaohe Basin, NE China)	白垩纪 (K)	43.19	2100	6.8	湖 盆
D-2	叠层石	松辽盆地 (Songhuajiang-Liaohe Basin, NE China)	白垩纪 (K)	43.56	2200	7.1	湖 盆
D-3	叠层石	松辽盆地 (Songhuajiang-Liaohe Basin, NE China)	白垩纪 (K)	42.70	2200	7.2	湖 盆
B-1	叠层石	巴哈马安德罗斯岛 (Andros Island, Bahamas)	现代 (R)	42.75	2000	6.5	淡-微咸水沼泽, 大潮或风暴期有 海水侵入
N-1	叠层石	广东南雄盆地 (Nanxiong Basin, Guangdong)	早第三纪 (E)	47.24	288	0.85	淡水湖盆
P-1	叠层石	山东平邑盆地 (Pingyi Basin, Shandong)	早第三纪 (E)	54.97	183	0.47	淡水湖盆
WA-1	叠层石	西澳大利亚沙克湾 (Shark Bay, W. Australia)	现代 (R)	21.30	2500	16	超盐度海湾
T-1	石灰岩	西藏班戈多巴区郎山 (Langshan, Bangeduoba area, Xizang)	白垩纪 (K)	54.85	145	0.37	浅 海

为 0.85 和 0.47, 接近潮湿区淡水钙藻的平均值 (见表 I)。表明它们的测定结果与实际情况是吻合的。

西藏班戈多巴区郎山白垩纪石灰岩, 因产海相瓣鳃类化石, 证明为浅海相石灰岩, 测定的 Sr/Ca (× 10³) 值为 0.37。一般说来, 石灰岩中的 Sr/Ca 值与叠层石中的 Sr/Ca 值无法进行比较研究。根据文献, 当前石灰岩 Sr/Ca (× 10³) 值稍高于喀尔巴阡山脉中西段中生代海相近岸区石灰岩, 稍低于陆架区石灰岩的 Sr/Ca (× 10³) 值 (Veizer 和 Demovic, 1974, 104 页)。这与现有的实际资料接近。

松辽盆地青山口组叠层石的 Sr/Ca (× 10³) 值相当高, 为 6.8—7.2, 达到现代海相钙藻 Sr/Ca (× 10³) 平均值的两倍, 与巴哈马安德罗斯岛现代叠层石 Sr/Ca (× 10³) 值相近, 后者为 6.5。看来, 详细了解巴哈马安德罗斯岛现代叠层石的生长环境, 对于探讨青山口组叠层石是有帮助的。

巴哈马安德罗斯岛地处热带, 气候温和, 具长时间暖热多雨的夏天和温和干燥的冬天。当

前用于对比研究的现代叠层石标本产于岛屿西北潮上带的沼泽中。这里地势比较低洼, 常年积蓄雨水 (淡水), 但在大潮或风暴时期, 经常有海水侵入, 使沼泽中的淡水变成微咸水。沉积物中常带进少量海相有孔虫和团粒沉积。通过电镜扫描研究, 巴哈马叠层石显示出高镁方解石为主的纹层与文石为主的纹层交替的性质, 同时在叠层石纹层表面常粘结文石晶粒 (曹瑞骥、薛耀松, 1986)。尽管巴哈马安德罗斯岛叠层石产于潮上带淡水沼泽环境下, 但与海相沉积有着密切联系, 这是巴哈马安德罗斯岛叠层石中 Sr 含量偏高的主要原因。

根据对以上不同相叠层石 Sr/Ca 值比较研究, 表明青山口组叠层石虽然生活在湖盆环境, 但其中 Sr 含量超过正常淡水湖相叠层石的 8—10 余倍 (与第三纪南雄盆地和平邑盆地叠层石相比较)。这种不正常的现象可以解释为: 在叠层石形成期间的某阶段, 古湖盆与海水有着某种联系, 或与古海洋之间存在通道, 或短期接受海浸。

此外, 我们将青山口组标本中黑色带状层

的核形石从叠层石中分离出来,单独进行分析,结果表明核形石中 Sr 含量与叠层石接近。这暗示不仅在叠层石,而且在核形石形成期间,均有 Sr 富集。

但是必须看到, Sr 在湖相沉积物中富集,并不绝对意味着湖盆与海水之间必然存在联系。例如, G. Muller (1968) 报道了中欧 Constance 湖中淡水核形石和软体动物贝壳中的 Sr 高度集中。其中 Sr 并不来源于海水,而来自盆地以东原海相沉积物中。但通过对松辽盆地周围古地质背景分析, Sr 来自周围地质体的可能性甚小。

环 境 分 析

在松辽盆地青山口组叠层石中,黑色带状层与纹层组交替分布,形成周期性韵律层。这一现象记录了叠层石形成期间的两种不同沉积环境的更替,即适宜叠层石生长的环境和妨碍叠层石生长的环境周期性地相互变更。

关于叠层石的生长环境 半个多世纪以来,不少学者研究了新生代湖相叠层石,积累了较多的资料 (Bradley, 1928; Link *et al.*, 1978; Osborne *et al.*, 1982; ...等)。资料表明,湖盆中的叠层石或产出在受波浪冲击的外滨带(如美国加利福尼亚 Ridge 盆地上新统叠层石),或沿湖滨线分布(如美国内华达 Walker 湖现代叠层石)。几乎没有产于离湖滨线较远的湖心区的实例。

但是,当前的叠层石是否也产出在古湖盆的湖滨线附近? 如果肯定的话,我们进一步调查这些叠层石的区域分布情况,并根据这些资料可以精确地勾画出当时古滨岸线的位置。

在松辽盆地青山口叠层石凝块层中,可以见到少量具厚胶鞘的管体(衣鞘)化石,其中胶鞘的厚度较大,约占整个管体厚度的 $1/4-1/2$ (图版 II, 图 2)。

现代蓝绿藻胶鞘厚薄和生态环境有密切的联系。胶鞘很薄的蓝绿藻生活在各种水体中,而具较厚胶鞘的蓝绿藻通常生活在亚气生环境

下。刘志礼(1982, 132 页)认为,通过对现代蓝绿藻培养试验,也可证实环境影响蓝绿藻胶鞘的厚薄和强弱。例如 *Anabaena* 和 *Nostoc* 的分子在亚气生环境下具有明显的胶鞘,特别是 *Nostoc*, 其胶鞘厚而坚实。但当同一藻类的种置于液体培养基中培养若干时间后,胶鞘就明显变得稀薄以致逐渐消失,完全成了一条孤立的藻丝。如果现代生物学研究资料也实用于古生态分析的话,我们有理由认为,由具厚胶鞘的管状衣鞘的藻类构成的叠层石很少生长在深水区,通常出现在靠近滨岸线的、经常暴露的浅水环境下。

在当前的叠层石中,除出现少量层一柱叠层石外,仍以层叠层石为主体。Awramik (1982, p. 4) 指出:“前显生宙和显生宙的层叠层石(纹层在同一平面上)通常形成在周期性暴露的环境”。他的认识和我们实际材料的分析是一致的。

在当前叠层石之间的沟道和洞穴边缘,我们可以观察到溶蚀痕迹。鸟眼状孔洞在叠层石凝块层中普遍发育,同时在鸟眼孔洞中常见填充渗流碳酸盐泥示底沉积。这些现象表明,在成岩前后,叠层石经常短期暴露,接受溶蚀和渗流作用的改造。这些资料暗示,松辽盆地青山口组叠层石与其它地区新生代湖相叠层石相似,产出在易于暴露的古湖滨线附近。

关于黑色带状层的沉积环境 如前所述,带状层分为底部、中部和顶部。底部由棕黑色和灰色碳酸盐泥组成,厚 0.5—2 mm, 紧密覆盖在叠层石凝块层之上。底部的深色碳酸盐泥,含 1.5—2% 的锰,可能原为湖盆较深处的沉积,后经水动力作用,被带至湖滨线附近而快速沉积在叠层石凝块层之上。其沉积速度显然快于微生物群集增长速度,由于它们的沉积而导致叠层石停止生长。由于叠层石凝块层与底层呈渐变关系(相互过渡),彼此无明显的分界线,从而推测碳酸盐泥沉积速度是逐步增快的。中部混杂堆积核形石、介形类和软体动物外壳,碳酸盐岩碎屑等,厚约 5—10 mm, 成分极其复杂,

分选性很差,它们可能代表风暴或洪水堆积。由于流速快,水体可携带大量核形石、动物外壳及碳酸盐岩碎屑。在水流能量消耗过程中,这些来自不同供给区的物质,可以混杂堆积在叠层体之上。类似成分的物质被带到叠层体之间的沟道和洞穴之中,形成洞穴堆积。顶部厚 2mm (或缺失),沉积特征与底部相似,代表风暴和洪水过去后,接着堆积的碳酸盐泥层。以上三部分,特别是下部和中部关系密切。它们相互演替,序列清楚。

从以上分析可以看出,黑色带状层实际上记录了一次灾难性的风暴或洪水堆积,包括风暴或洪水高潮到来前湖盆较深处的碳酸盐泥被带到叠层石表面,并被快速沉积;紧接着为风暴或洪水高潮期间的混杂堆积,这些堆积物无分选性;继之为高潮过去后,水体流速趋向缓和,又一次碳酸盐泥的堆积。

当灾难性的风暴或洪水过去后,湖盆恢复平静(回到原先叠层石生长的环境),新的叠层石层可以在黑色带状层顶部(或中部)之上再次生长、发育。

在图版 III, 图 1 中很清楚地显示出一个以上叙述的韵律演替: 叠层石凝块层 (I) → 黑色带状层下部碳酸盐泥层 (II-1) → 黑色带状层中部混杂堆积层 (II-2) → 黑色带状层顶部碳酸盐泥层 (II-3) → 叠层石凝块层 (III)…。这种小的周期性韵律可以简单解释为叠层石在湖盆中稳定生长 (I), 灾难性风暴或洪水来临, 阻止微生物群集继续发育, 叠层石停止生长 (II), 灾难过去后, 湖盆平静, 新的叠层石再次生长 (III), 如此循环演替。

在标本上可以粗略地统计出, 每连续堆积 5—10 个纹层对, 就出现一个黑色带状层(图版 I, 图 1、2)。如果按通常理解, 纹层对代表季节性层理, 即每个纹层对代表一个年周期的堆积。那么我们可以作出这样一个假设, 即在青山口组叠层石形成期间, 每隔 5—10 年, 松辽古湖盆就出现一次风暴或洪水事件。但是, 造成这一

周期性事件的原因, 目前还难于推测。

结 论

在松辽盆地湖相叠层石中, Sr 的成分异常高, $Sr/Ca (\times 10^3)$ 值从 6.8 至 7.2。这可以解释为: 在叠层石形成期间的某个阶段, 古湖盆或与古海洋之间存在通道, 或短时间接受海浸。根据生态特征分析, 叠层石形成在经常暴露的接近湖滨线的浅水区。在叠层石形成期间, 松辽古湖盆出现周期性风暴或洪水事件。

参 考 文 献

- 刘志礼, 1982: 河北蓟县雾迷山组微体藻类化石群及其地质意义。南京大学学报(藻类专辑), 121—166 页。
- 叶得泉、张营, 1981: 大庆油田介形类化石在油层对比中的应用。古生物学报, 20(1)。
- 顾知微, 1982: 浅说我国非海相中生界研究的海相层检验法。古生物学报, 21(1)。
- 顾知微等, 1976: 中国的瓣鳃类化石。科学出版社。
- 曹瑞骥、薛耀松, 1985: 巴哈马现代叠层石生物学及岩石学特征。地质学报, 59(3)。
- 张弥曼、周家健、刘智成, 1977: 东北白垩纪鱼化石地层的时代和沉积环境。古脊椎动物与古人类, 15(3)。
- Awramik, S. M., 1984: Ancient stromatolites and microbial mats. Alan R. Liss, Inc., 150 Fifth Avenue, New York, Ny 10011.
- Bradley, W. H., 1928: Algal reefs and Oolites of the Green River Formation. U. S. Geol. Surv., Prof. pap., 154-G:203—223.
- Link, M. H., Osborne, R. H. and Awramik, S. M., 1978: Lacustrine stromatolites and associated sediments of the Pliocene Ridge Route Formation, Ridge Basin, California. -J. Sediment Petrol., 48.
- Muller, G., 1968: Exceptionally high strontium concentrations in fresh water onkolites and mollusk shells of Lake Constance. (Recent developments in Carbonate sedimentology in Central Europe), Springer-Verlag Berlin. Heidelberg. New York.
- O'Dum, H. T., 1957: Biogeochemical deposition of strontium. Inst. Marine Sci. IV.
- Osborne, R. H., Licari, G. R., and Link, M. H., 1982: Modern lacustrine stromatolites, Walker Lake, Nevada. Sedimentary Geology, 32.
- Turekian, K. K., 1964: The marine geochemistry of strontium, geochem.-Cosmochim. Acta, V. 28.
- Veizer, J. and Demovic, R., 1974: Strontium as a tool in facies analysis. -Journal of Sedimentary Petrology, 44 (1).

[1986 年 9 月 3 日收到]

ENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE OF STROMATOLITES FROM CRETACEOUS QINGSHANKOU FORMATION IN SONGLIAO BASIN, NE CHINA*

Cao Rui-ji

(*Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica*)

Summary

From the Cretaceous Qingshankou Formation in the Songliao Basin, an important oil-bearing deposit, various kinds of fossils were discovered, including ostracods, bivalves, gastropods, fishes, charophytes, mega-fossil plants and stromatolites, an overwhelming majority of which have been successively reported except the last one.

The present stromatolites were collected from the cores belonging to the Cretaceous Qingshankou Formation in Taikang County, Heilongjiang, all representing wavy-laminated stratiform and stromatolitic varieties.

The black band-like layers within stromatolitic bodies alternate with groups formed by 5—10 stromatolitic laminae. These layers consist of carbonate mud, oncolites and ostracod shells, 1.5—11 mm in thickness.

A few calcified tubular sheaths in the stromatolitic clots were observed under SEM.

The Sr/Ca ratio has been measured in the present fossil stromatolites and the related specimens, with the results given in Table II.

The stromatolites under study show unusually high Sr/Ca (10^3) ratios ranging from 6.8 to 7.2, which are far higher than those in Tertiary stromatolites of fresh water facies from Nanxiong and Pingyi Basins, China and approach those in mo-

dern stromatolites from the Andros Island, Bahamas. These high Sr/Ca ratios in the stromatolites can be explained by the water of the Songliao Basin related with sea water in certain conditions.

The black band-like layers can be subdivided into 3 parts: (1) lower part, representing the quick deposit of Mn-bearing carbonate mud from deep lakes, with the rate of sedimentation so great that colonization by micro-organisms was prevented; (2) middle part, representing a hurricane or flood mixed deposit; (3) upper part, like the lower part, representing the deposit of carbonate mud.

A rhythmic succession is clearly shown in Plate III, as follows: Stromatolitic clot layer (I)—carbonate mud deposit of lower part (II-1)—mixed deposit of middle part (II-2)—carbonate mud deposit of upper part (II-3)—stromatolitic clot layer (III). This micro-cycle is based on 5—10 years' growth of stromatolites followed by a catastrophic hurricane or flood deposit and then by the growth of new stromatolites.

The study of palaeoecology shows that the present stromatolites were formed in shallow-water with its settings exposed from time to time.

* This research was supported by the Science Foundation of the Chinese Academy of Sciences.

图 版 说 明

标本保存在中国科学院南京地质古生物研究所,所有照片未加润饰。标本均产自黑龙江省泰康县杜 402# 岩芯,白垩纪青山口组。

图 版 I

1,2.手标本纵断面(光面)照片,原大,标本下部为波浪形的层叠层石,向上逐步过渡到层一柱叠层石。

A——白色纹层对;B——黑色带状层;C——柱体间的沟道或洞穴。

横断面;

- 3.示衣鞘表面沉淀碳酸盐;
- 4.示管状衣鞘化石外部形态;
- 5.示谷粒状核形石断面形态;
- 6.图 5 局部放大。

图 版 II

1—6.全部为电镜扫描照片。

- 1.示不规则形态的暗色凝块,杂乱堆积在一起;
- 2.示具厚胶鞘的管状衣鞘化石,箭头所指为管状衣鞘

图 版 III

- 1.示叠层石与黑色带状层组成周期性韵律沉积,薄片,×10。
I、III 为叠层石凝块层;
II、IV 为黑色带状层。
- 2.示黑色带状层中部的风暴或洪水堆积,薄片,×10。
- 3.示短柱叠层石之间的洞穴堆积物,薄片,×10。

