

贵州玉屏彰寨奥陶纪 红花园期障积岩隆礁

梅冥相

陆龙池

(中国地质大学, 北京)

(贵州工学院地质系)

提要 该障积岩隆礁的造礁生物主要为海绵和藻, 岩石类型有海绵灰岩、藻席岩、核形石凝块石灰岩、生物屑灰岩等。本文系统介绍其造礁生物的生态特征、岩石组合并分析其沉积相和礁的生长发育阶段, 最后运用马尔柯夫概型分析研究期旋回沉积发育较好的礁核相地层的学术特征。

关键词 障积岩隆礁 奥陶纪 贵州 玉屏 彰寨

第一作者简介 梅冥相 男 26岁 博士研究生 沉积学及岩相古地理学、区域地层及数学地质

生物礁是碳酸盐分布区由各种生物组成的一种特殊的碳酸盐构造。奥陶纪生物礁的发现在国内尚属首例, 该礁体属障积岩隆礁类型(范嘉松等, 1985)。

一、造礁生物的古生态特征

构成该障积岩隆礁的生物主要是海绵, 其次为藻和海百合。附礁生物主要是腕足类、三叶虫、头足类等。

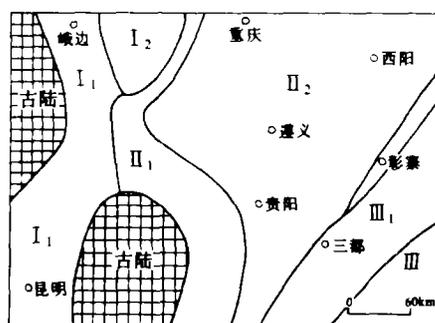
海绵有“*Calathium*” sp., *Archeoscyphia chihliense*, A.sp.等。野外观察到的海绵是呈角锥状的单体钙质海绵, 少数呈原地生长状态, 大多数被水流作用改造而呈非原地生长状态。前人研究表明, 与碳酸盐沉积有关的钙质海绵一般均生长在水深水于106m的正常浅海, 尤其在水深100m左右。因此, 在该生物礁中分布密集的钙质海绵, 表示其生活环境是处于动

虽然未见到实体化石, 但其生命活动所形成的结构由于藻类生物在生命活动过程中沉淀并粘结灰泥而主要为海绵和藻的生物礁, 乃因由海绵形成原地堆腹足类等成堆生长, 造成由生物产生的碳酸盐堆较好的水流循环, 有利于生物取得丰富的食物、补植; 并由藻席的包覆作用, 使单体海绵连结起来,

二、生物礁的岩石组合特征

该礁体的岩石类型多样, 主要有以下类型:

(1) **海绵灰岩** 由海绵生物个体紧密分布组成 (图版 I, 9、10)。在个体间由藻席包裹及泥晶充填, 另具少数生物屑、核形石及凝块石等。是在动荡清澈的浅海环境中, 由于海绵对灰泥和异化粒的障积作用和藻的粘结作用对灰泥和异化粒的捕获、吸附、阻挡而形成。分布广, 是主要的造礁岩石。



I₁.近岸相 I₂.离岸相 II₁.开阔海台地相 II₂.台地生物及异化粒滩相
II₃.台地边缘礁相 III₁.陆棚相 III.盆地相

图 1 贵州及邻区红花园期岩相古地理图 (据梅冥相, 1989)

Fig. 1 Map showing Ordovician Honghuayuanian sedimentary facies and paleogeography in Guizhou and its adjacent area

(2) **淀晶核形石凝块石灰岩 (图版 I, 1、2、7)** 颗粒含量 70%至 85%, 主要为核形石、凝块石及少量生物碎屑, 胶结物为淀晶。核形石为一种非固定生长的结核体, 呈球形或椭圆形, 内部见同心状及放射状藻丝结构, 它是由藻体本身及其分泌物形成的小型封闭同心层状结构物。凝块石是一种不具同心纹构造、形状大小不同的由泥晶碳酸盐组成的凝块或团块, 它通常是藻类生物在生命活动过程中沉淀并粘结灰泥构成, 大小为 0.1—0.25mm, 具有一定的磨圆性, 为动荡浅水的产物, 主要分布于礁核相及礁后相。礁底相的核形石凝块石其粒径要小。

(3) **藻球粒及团粒灰岩 (图版 I, 3、5、8)** 颗粒粒径为 0.03—0.1mm, 形状为圆滑的椭圆形和卵形。由泥晶方解石的集合体组成, 不具内部构造。含量 65%左右。多分布于海绵个体间构成充填物; 另外在礁前相及礁底相岩石中较发育。

(4) **淀晶生物碎屑灰岩 (图版 I, 4)** 生物屑主要为棘屑、三叶虫及腕足类碎屑, 淀晶胶结, 含量 80%左右, 为动荡水体之产物, 主要分布于礁核及礁后相。

(5) **塌积角砾岩** 主要由碳酸盐砾石构成, 其粒径大小不一, 为数毫米至数厘米, 形态不规则, 多为棱角状, 呈透镜体产出, 分布无方向性。乃因礁核隆起垮塌而形成于礁前环境的代表性岩石。

(6) 泥晶白云石化灰岩 (图版 I, 6) 几乎全由 0.001—0.004mm 的灰泥组成, 含少量异化粒 (<10%)。常形成于低能环境中。主要分布于礁前相。

综上所述, 组成该岩隆礁的岩石类型主要为粘结岩 (如藻席灰岩、藻团粒灰岩、核形石凝块石灰岩) 和障积岩 (如海绵灰岩、生物屑灰岩) 两大类型。其礁底、礁顶的岩石多呈中厚层状 (<1m), 而礁核为巨厚层状 (72.5m)。礁核相地层总厚近 200m, 礁前及礁后一般为 50—100m。从宏观上看具典型的地貌隆起。

三、沉积相特征

根据古生物组合及岩石组合的纵横分布特征可以把该障积岩隆礁分为以下三个相及四个生长发育阶段。

(一) 各沉积相带的特征 (图 2)

1. 礁后相 其岩石组合由海绵灰岩、淀晶生物屑灰岩及核形石凝块石灰岩构成。生物除海绵外还发育其他壳相生物如头足类、腕足类、三叶虫、海百合等。它以礁、滩相岩石为特征, 但厚度较小 (50 至 100m)、横向延伸很远, 不具典型的地貌隆起, 确切地讲应属碳酸盐台地生物层或台地生物及异化粒滩相。

2. 礁核相 由于具典型的地貌隆起而有别于礁后相。其地层总厚度为 150—200m, 单层厚度 > 2.5m, 有的甚至达 10m。除海绵及其他壳相生物外还发育大量藻类生物。表明它处于一个更利于生物生长及沉积速度较快的水体环境。

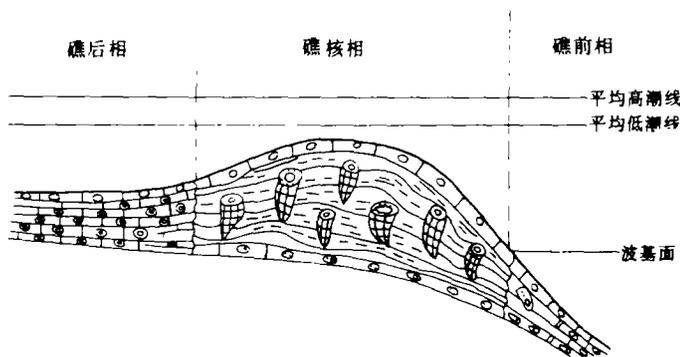


图 2 红花园期障积岩隆礁沉积剖面图

Fig. 2 The depositional section of baffling buildup reef of the Honghuayuanian Age in Ordovician.

3. 礁前相 以中厚层泥晶灰岩、白云石化泥晶灰岩、球粒泥晶灰岩、生物碎屑灰岩及塌积型角砾岩为特征。该相岩石节理裂隙发育, 有机质沥青浸染并充填于节理裂隙中呈透镜体产出。它属靠近广海且海水较深 (波基面以下) 的较宁静水体之产物, 由于礁核隆起受到海浪冲击而垮塌故发育透镜状产出的角砾岩。

(二) 礁的生长发育阶段 (图 3)

从图 3 可知, 该礁体发育在桐梓期的由藻球粒及团粒灰岩 (图版 I, 8) 及淀晶粉砂状凝块石核形石灰岩组成的台地边缘滩上 (梅冥相, 1989)。这种台地边缘滩相沉积物组成的一个稳定的沉积基底, 不管是水动力条件还是其它地质条件均有利于成礁。也就是说该礁体在定殖阶段是以异化粒滩相为特征。在拓殖及泛殖阶段, 随着造礁生物——海绵和藻以及其他附礁生物的逐渐发育, 构成礁体的初步规模, 在拓殖阶段以层状、似层状分布的海绵与定殖阶段相区别; 泛殖阶段各种造礁生物及附礁生物达到发育繁殖的顶峰, 沉积速率也显著增大, 沉积单层厚度 (主要是海绵灰岩及藻席灰岩) 大于 2.5m, 有的甚至达 15m, 这个阶段构成了礁体的大部分, 也是礁体朝海面往上增长的最显著时期, 主要造礁生物的数量和数目明显增加, 附礁生物的多样化程度也大大提高。

在统殖阶段, 由于陆源沉积物的增加, 造礁生物明显减少, 生物种属及数量与拓殖及泛殖两个阶段相比均显著减少。



	阶段	灰岩类型	生物种	生物形态
	统殖	生物碎屑灰岩含海绵 灰岩顶部夹薄层泥岩	多	分枝状 结壳状
	泛殖	块状海绵灰岩藻草席岩 生物碎屑灰岩核形石 块石灰岩	很多	块状 分枝状 结壳状
	拓殖	核形石、凝块石灰岩海 绵灰岩生物碎屑灰岩	少	分枝状 结壳状
	定殖	藻团粒、凝块石灰岩	少	团块状

图 3 礁的四个生长发育阶段示意图

Fig. 3 The four evolutionary periods of baffling buildup reef of the Honghuayuanian.

四、马尔柯夫概型分析在研究障积岩隆礁中的应用

为了进一步研究礁体的沉积相特征, 笔者在其沉积旋回发育较好的礁核相地层进行了马尔柯夫概型分析。

(一) 岩石类型的确定及地方动态模式的建立

选择礁核相地层的一条剖面, 确定其由以下四种岩石状态组成:

A 为藻席岩, B 为海绵灰岩, C 为淀晶生物碎屑灰岩, D 为淀晶核形石凝块石灰岩。从下面上其基本岩层层序为:

顶——DCDCDCDABADCDCBDBCDBABDCABACBABDBDCBDCBC—底

其中 A 有 7 层, B 有 11 层, C 有 11 层, D 有 12 层, 共 41 层。

1. 计算各基本岩层相互上覆的可能概率值, 得代表理论推测模式的矩阵 E:

$$E = \begin{array}{c} \begin{array}{c} \text{A} \\ \text{B} \\ \text{C} \\ \text{D} \end{array} \begin{bmatrix} \text{A} & \text{B} & \text{C} & \text{D} \\ 0.00 & 0.33 & 0.33 & 0.35 \\ 0.23 & 0.00 & 0.37 & 0.40 \\ 0.23 & 0.37 & 0.00 & 0.40 \\ 0.24 & 0.38 & 0.38 & 0.40 \end{bmatrix} \end{array}$$

2. 统计各基本岩层在剖面中的彼此实际上覆接触关系的次数, 得转移频数矩阵 N:

$$N = \begin{array}{c} \begin{array}{c} \text{A} \\ \text{B} \\ \text{C} \\ \text{D} \end{array} \begin{bmatrix} \text{A} & \text{B} & \text{C} & \text{D} \\ 0 & 5 & 1 & 1 \\ 4 & 0 & 2 & 5 \\ 1 & 4 & 0 & 5 \\ 2 & 2 & 8 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

3. 由行上和去除各自对应行的元素, 得向上转移概率矩阵 P:

$$P = \begin{array}{c} \begin{array}{c} \text{A} \\ \text{B} \\ \text{C} \\ \text{D} \end{array} \begin{bmatrix} \text{A} & \text{B} & \text{C} & \text{D} \\ 0.00 & 0.72 & 0.14 & 0.14 \\ 0.36 & 0.00 & 0.18 & 0.45 \\ 0.10 & 0.40 & 0.00 & 0.50 \\ 0.17 & 0.17 & 0.67 & 0.00 \end{bmatrix} \end{array}$$

4. 由矩阵 P 减去矩阵 E 得差值数值矩阵:

$$P - E = \begin{array}{c} \begin{array}{c} \text{A} \\ \text{B} \\ \text{C} \\ \text{D} \end{array} \begin{bmatrix} \text{A} & \text{B} & \text{C} & \text{D} \\ 0.00 & 0.39 & -0.19 & -0.21 \\ 0.13 & 0.00 & -0.19 & 0.05 \\ -0.13 & 0.03 & 0.00 & 0.10 \\ -0.07 & -0.19 & 0.29 & 0.00 \end{bmatrix} \begin{array}{c} 1.00 \\ 0.99 \\ 1.00 \\ 1.01 \end{array} \end{array}$$

5. 取差值数值矩阵中的正数值, 构成一个“马尔柯夫链式”结构图示并由此而作出简化的沉积模式图 (图 4)。

从沉积动态模式中可以看出, 每一沉积旋回由 A、B 互层和 C、D 互层所构成。表明藻类生命活动形成的藻席岩 (A) 与海绵灰岩 (B) 互层构成抗浪实体, 它们具障积作用并使凝块石、核形石和生物碎屑等富集而成礁。也就是说 A 与 B 互层构成的抗浪实体有利于 C 与 D 的沉积, 只不过生物屑的聚集与附礁生物如海百合、腕足类等有关, 而核形石、凝块

石与造礁生物（主要是藻类）有关，二者一般不同时发育，故互层产出。

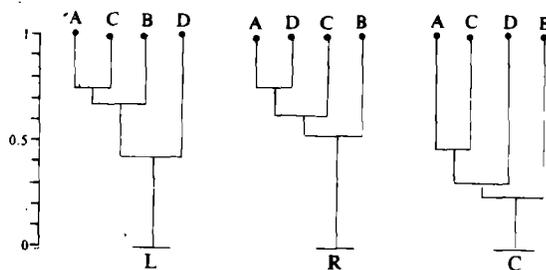


图 4 运用马尔柯夫链分析研究出的动态沉积模式

Fig. 4 The depositional dynamic model in term of the markov chain analysis

(二) 马尔柯夫链综合分析

马尔柯夫链综合分析的方法很多，这里只作可置换性分析和熵分析。

1. 可置换性分析

第一步，根据转移频数矩阵 N，用其行上和除各自对应行的元素得向上转移概率矩阵 P，用其列上和除各自对应元素得向下转移概率矩阵 Q，即：

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C & D \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.00 & 0.72 & 0.14 & 0.14 \\ 0.36 & 0.00 & 0.18 & 0.45 \\ 0.10 & 0.40 & 0.00 & 0.50 \\ 0.17 & 0.17 & 0.67 & 0.00 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad Q = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C & D \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.00 & 0.45 & 0.09 & 0.09 \\ 0.57 & 0.00 & 0.18 & 0.45 \\ 0.14 & 0.36 & 0.00 & 0.45 \\ 0.29 & 0.18 & 0.73 & 0.00 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

第二步：应用公式：

$$L_{rs} = \sum_{i=1}^m P_{ri} P_{si} / \sqrt{\sum_{i=1}^m P_{ri}^2 \sum_{i=1}^m P_{si}^2}$$

对矩阵 P 进行计算， L_{rs} 表示状态间的左置换性的相似性系数，它等于两个行向量的夹角余弦。由此得左置换性矩阵 L：

$$L = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.20 & 0.74 & 0.41 \\ 0.20 & 1.00 & 0.67 & 0.42 \\ 0.74 & 0.67 & 1.00 & 0.18 \\ 0.41 & 0.42 & 0.18 & 1.00 \end{bmatrix}$$

第三步：应用公式：

$$R_{rs} = \sum_{j=1}^m q_{jr} q_{js} / \sqrt{\sum_{j=1}^m q_{jr}^2 \sum_{j=1}^m q_{js}^2}$$

对矩阵 Q 进行计算， R_{rs} 表示状态间右置换性的相似性系数，它等于两个列向量的夹角余

弦。由此得右置换性系数矩阵 R:

$$R = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.26 & 0.63 & 0.76 \\ 0.26 & 1.00 & 0.38 & 0.52 \\ 0.63 & 0.38 & 1.00 & 0.19 \\ 0.76 & 0.52 & 0.19 & 1.00 \end{bmatrix}$$

第四步, 把矩阵 L 及矩阵 Q 各对应元素相乘得互置换性系数矩阵 C:

$$C = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.05 & 0.47 & 0.31 \\ 0.05 & 1.00 & 0.25 & 0.22 \\ 0.47 & 0.25 & 1.00 & 0.03 \\ 0.31 & 0.22 & 0.03 & 1.00 \end{bmatrix}$$

第五步: 用矩阵 L、R、C 中的数值作出各状态的谱系关系图 (图 5)。

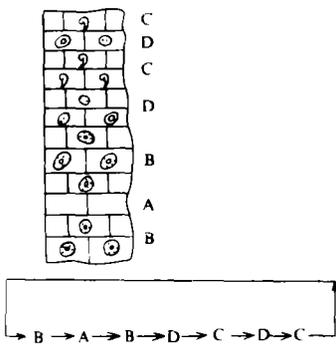


图 5 岩石状态谱系图
Fig. 5 The lineage charting of every rock category.

从谱系图中可看出, L、R、C 谱系图不具一致性, 即 A、B、C、D 四种岩石的居前和继后状态具相当大的不确定性, 说明它们的产出水体环境基本相近, 也就是说在这个有利于成礁的动荡环境中其海水能量变化不大, 正是这种连续动荡的环境才有利于成礁。而岩石类型的变化是造礁生物 (海绵、藻类) 及附礁生物 (三叶虫、海百合、腕足类等) 呈不规则周期性发育的结果。

2. 熵分析

熵概念是以随机实验为基础的, 它作为一种不确定性程度的度量而出现。

根据矩阵 P, 其向上转移熵组的定义为:

$$H_i^{(post)} = - \sum_{j=1}^m P_{ij} \log P_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, m)$$

结合马尔柯夫链的实际含义, $H_i^{(post)}$ 的含义是: 如等于 0 就表示状态 i 要为一确定的状态继承其后边; 它越大表示状态 i 的记忆力是暧昧不清的, 即有较多的状态可以继承其后边, 反之亦然。

根据矩阵 Q, 其熵组的定义 (向下转移熵组) 为:

$$H_i^{(pre)} = - \sum_{j=1}^m q_{ij} \log q_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, m)$$

$H_i^{(pre)}$ 的含义是: 如为零则表示状态 i 要为一确定的状态从下边所代替; 若 $H_i^{(pre)}$ 较大, 表明状态 i 的出现是较多地独立于 (或不受控制于) 它的居前岩性若 $H_i^{(pre)}$ 较小, 表示状态 i 的出现较少地独立于 (或受控制于它前边的岩性)。

综合考虑 $H_i^{(post)}$ 和 $H_i^{(pre)}$ 有两种情况: 如 $H_i^{(pre)} > H_i^{(post)}$ 表示状态 i 的继后岩性地居前岩性的出现有更多的确定性; 若 $H_i^{(pre)} < H_i^{(post)}$ 则表示状态 i 对它的居前岩性的依赖性比对继后岩性的影响为强。

表 1 熵组表

Table 1 The table of the entropy grope.

$H^{(pre)}$	状态	$H^{(post)}$
1.377	A	1.145
1.494	B	1.494
1.089	C	1.361
1.349	D	1.256

从熵组表 (表 1) 中可以看出, 海绵灰岩 (B) 的 $H^{(pre)}$ 和 $H^{(post)}$ 均为最大且相等, 说明海绵灰岩的产出是最随机的, 其继后岩性相对于居前岩性有较大的确定性, 即 B 的继后岩性从前面所述可知要就是 A (藻席岩) 或者是 D (核形石、凝块石灰岩), 这可能是起粘结作用的藻与起障积作用的海绵共同发育形成抗浪实体所致。C 的 $H^{(pre)}$ 小于 $H^{(post)}$, 表明它对居前岩性有一定的依赖性, 即当藻席灰岩 (A) 和海绵灰岩 (B) 形成抗浪实体后, 有利于生物屑灰岩 (C) 的形成。另外, A 和 D 的 $H^{(pre)}$ 均大于 $H^{(post)}$, 说明它们的继后岩性比它们的居前岩性具有较大的确定性, 从转移概率 $P_{A \rightarrow B}$ (0.72) 比 $Q_{A \rightarrow B}$ (0.45) 大也说明了这一点。对于 D 这种特征更明显, 从差值数值矩阵 P-E 中可知, D 的后继岩性主要是 C, 居前岩性除 C 之外还有 B 等。从上述可知, 由于礁生物海绵和藻的相互制约关系, 以及其他附礁生物 (壳相生物) 对它们的依赖性, 就存在上述有规律的居前和继后岩性状态之间的关系。

收稿日期: 1989 年 7 月 20 日

参 考 文 献

- (1) 梅冥相、曾羽, 1989, 岩相古地理, 5期, 15—25页。
- (2) 梅冥相, 1989, 贵州地质, 3期, 217—226页。
- (3) 傅锬、梅冥相, 1990, 贵州地质, 1期, 27—34页。
- (4) 阿格尔著, 王仪城译, 1981, 古生态学原理, 科学出版社。
- (5) 景毅等著, 1986, 马尔柯夫过程在地质学中的应用, 地质出版社。
- (6) Richard A. Davis, Jr., 1983, Depositional system, Prentice-hall, inc, Englewood cliffs, New Jersey 07632, p.485—p528.

The Baffling Buildup Reef of Honghuayuanian Age, Ordovician in Zhangzhai of Yuping County, Guizhou

Mei Mingxiang Lu Longchi

(Department of Geology, Guizhou Institute of Polytechology)

Abstract

The reef of the Honghuayuanian Age in Zhangzhai of Yuping County, Guizhou Province is a baffling buildup reef, which scatters in marginal platform facies. The association of fossils is characterized by sponge such as "calathium" sp., *Anchaoscyphia chiliense*, *A.* sp. and algae. The others are *Crinoid*, *Trilobite*, *Brachiopoda* etc. The sedimentary rocks, therefore, are divided mainly into four types as algal limestone, sponge limestone, bioclastic limestone, oncolites and clotted limestone.

In the reef core facies, there are algal limestone (A), sponge limestone (B), bioclastic limestone (C), and oncolites and clotted limestone (D). These types of rocks make up a practical sequence of stratum that consists of 41 layers:

Top—DCDCDCDABAD \overline{C} DCBDBCDCDABABDC ABACBABDBDCBDCBD—bottom

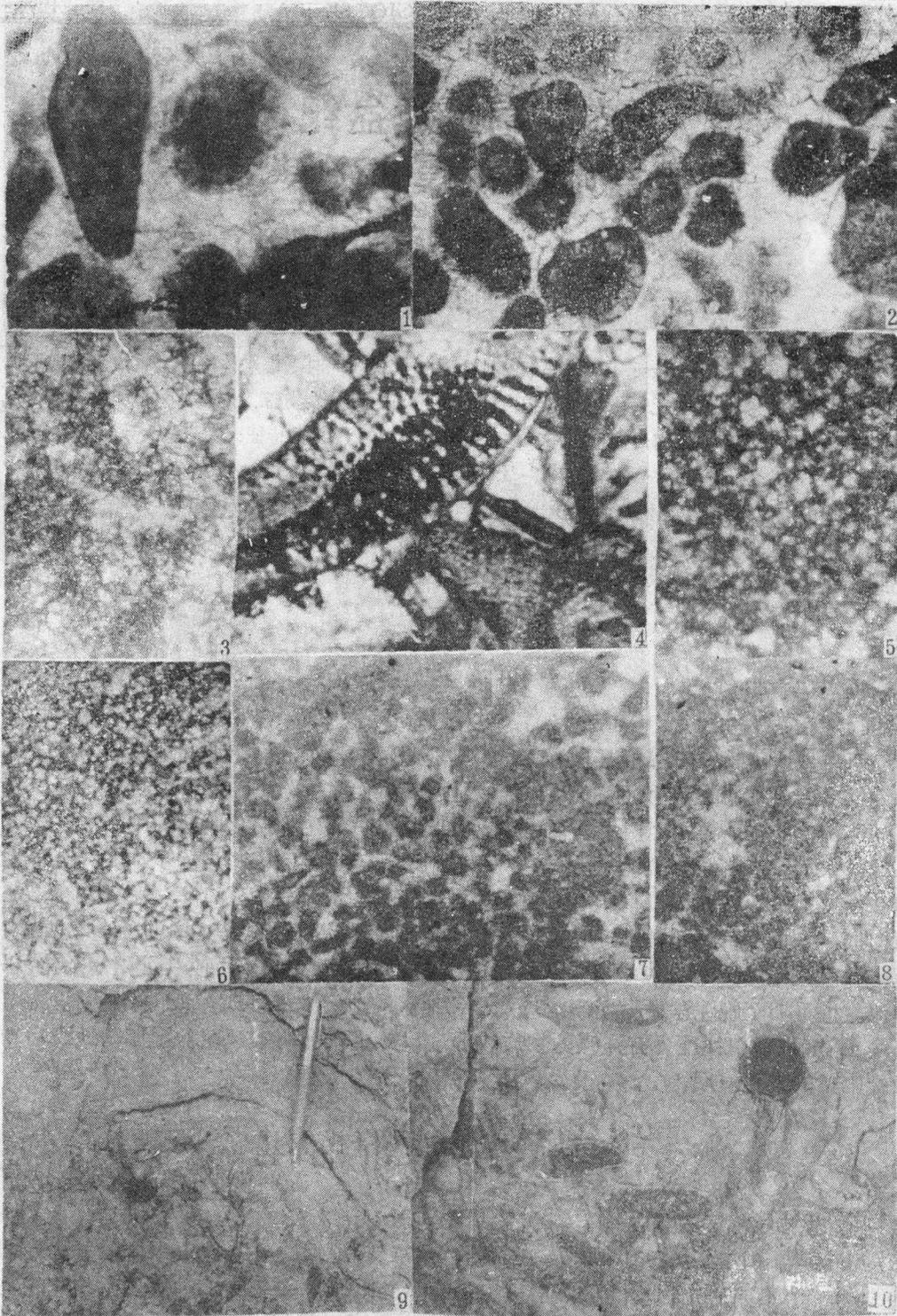
In which there are 7 As, 11 Bs, 11 Cs and 12 Ds. In term of the Markov chain analysis, it was found that the depositional sequence of each cycle is composed of: $\rightarrow B \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow$

Fore reef facies is characterized by micrite, pelmicrite and bioclastic limestone. These rocks are dolomitized locally. Joints are very developed, bitumens contaminated and stuffed in the joints as lenticulars. There are much collapse breccia. This facies belong to the quiet environment which is much deep lower than the wave base. The buildup of reef core is washed by wave and collapsed, the breccia then is formed.

The association of fossils and rocks in back reef facies, are similar to that of the reef core, but different in their thickness. This facies, actually, belongs to the carbonate platform biostrom facies.

The base of reef are stratum of Tongzian Age which is composed of sparry pellet limestone and oncolites — clotted limestone, this stratum belongs to the carbonate platform marginal allochem bank facies. The algal and other crust organisms are very developed. Similar to the strata of the same ages, this stratum form a buildup too.

The depositional materials of this platform marginal facies formed a solid sedimentary base where is favour for reef forming.



1. 淀晶核形石凝块石交岩 (礁核相) 5×10 自然光; 2. 淀晶核形石凝块石灰岩 (礁核相) 5×10 自然光; 3. 含球粒泥晶灰岩 (礁核相) 5×10 自然光; 4. 淀晶生物碎屑灰岩 (礁核相) 5×10 自然光; 5. 球粒泥晶灰岩 (礁前相) 5×10 自然光; 6. 泥晶白云石化灰岩 (礁前相) 5×10 自然光; 7. 淀晶粉砂状凝块石灰岩 (礁底) 5×10 自然光; 8. 淀晶球粒团粒灰岩 (礁底) 5×10 自然光; 9. 块状海绵生物灰岩及藻席岩 (礁核相, 野外露头); 10. 块状海绵生物灰岩 (礁核相, 野外露头)