

# 海南岛小东海全新世—现代 礁岩的成岩作用

沙庆安 潘正莆

(中国科学院地质研究所)

礁岩,或称生物礁岩,是生物礁在岩石学研究范畴里的统称,它是碳酸盐岩中重要的一类。礁岩的主要格架组分决定于造礁生物的门类,它在各地质历史时期随着生物演化而不同,如晚前寒武纪为叠层石礁(藻礁)、寒武纪—奥陶纪早期多为古杯礁和海绵礁、奥陶纪中期—泥盆纪多为苔藓虫礁、层孔虫礁和(床板)珊瑚礁、石炭纪—二叠纪多为石灰藻礁和(四射)珊瑚礁、三叠纪—白垩纪多为石灰藻礁和(六射)珊瑚礁、第三纪—现代则为(六射)珊瑚礁和石灰藻礁。实际上,生物礁的构成是生物与非生物诸因素,如生物作用、沉积作用、机械破坏作用和胶结作用等建造与改造互相作用的过程。所以,礁岩的构造、结构、组分、成岩作用变化等,比起其它类型碳酸盐岩要复杂得多。对礁岩成岩作用的研究会对生物礁的形成发展获得更细致的认识,对分析认识古代生物礁和礁岩的形成、环境变化、相带划分及岩石学特征等方面也会有所启示。

## 一 小东海珊瑚分带及礁岩结构组分特征

海南岛周围沿岸多处发育珊瑚礁,它们多属岸礁。黄金森等<sup>[1]</sup>对它们曾做过详细介绍。研究地区——鹿回头小东海海湾的西南与东北沿岸发育了两块岸礁(图1),其礁坪最大宽度约400米,最大厚度约3—5米,构成一个大的楔形体。最近,测得小东海礁坪上滨珊瑚样品 $C^{14}$ 年龄为距今 $5260 \pm 85$ 年,岸边上升礁体早期发育地带的滨珊瑚样品 $C^{14}$ 年龄为距今 $8235 \pm 105$ 年。可以推断,此地区珊瑚礁最早建造可能始于距今8200年前后。赵希涛曾报道鹿回头三亚湾珊瑚礁形成于5200—4900年( $C^{14}$ 年龄)<sup>[1]</sup>,估计这可能不是最老的珊瑚礁部位的年龄数据。

对珊瑚礁体可根据各种因素、特点,将其划分成若干个带。国内外对礁体的划分和名称很多。实际上各个礁体的发育状况,在不同的条件和不同的发育阶段(或时期)是不同的。根据小东海岸礁发育到现阶段,以其礁坪相对的地形地貌特征大体上可以分为三个带(图2)。由海向陆,它们是(1)礁坪前缘斜坡带;(2)礁坪凸起带;(3)礁坪后部坪地带。礁坪不同地带的水深和水动力条件不同,造礁生物与喜礁生物的组合和生态各异,沉积物和礁岩结构组分也不相同。有关海南岛及研究地区造礁珊瑚的发育分布及种属等生物学方面的情况,邹仁林等<sup>[2]</sup>、黄金森等曾有详细报道。王国忠等对三亚

1) 黄金森、汪国栋、黄树仁、朱远智、聂宝符、许祖康, 1975, 海南岛珊瑚礁海岸调查报告, 南海海岸地貌学论文集, 第二集。

湾及小东海岸礁的“相带”、沉积物等做过较详细的报告<sup>[8]</sup>。

如前所述,由于珊瑚礁及礁岩的独特形成条件,所以礁岩的结构组分也较复杂。一般说来,其结构组分大致包括:造礁珊瑚骨架、喜礁生物骨壳、大小不等的礁岩砾块、各种生物骨壳砂泥以及胶结物等。这些复杂组分的组合情况是一般碳酸盐所没有的。下面按礁坪各带简要叙述。

礁坪前缘斜坡带:在低潮面之下(图版I—1),由礁坪凸起带向海方向坡度逐渐增大,至礁坪前缘急剧变陡。此带前缘活珊瑚大量生长,其间发育海蚀槽

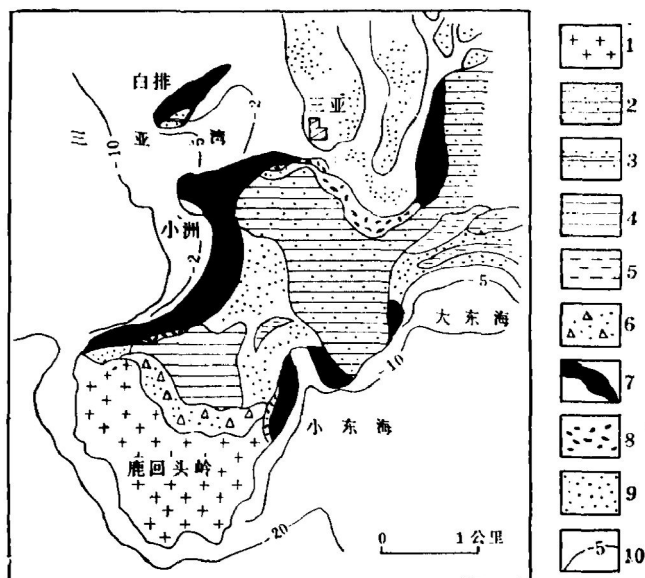


图1 鹿回头地区珊瑚礁地貌图(引自黄金森等)

1.花岗岩 2.泥盆纪砂岩 3.变质岩 4.上升礁 5.泻湖 6.残坡积 7.原生礁 8.珊瑚碎屑岩 9.沙质堆积体 10.海底等高线

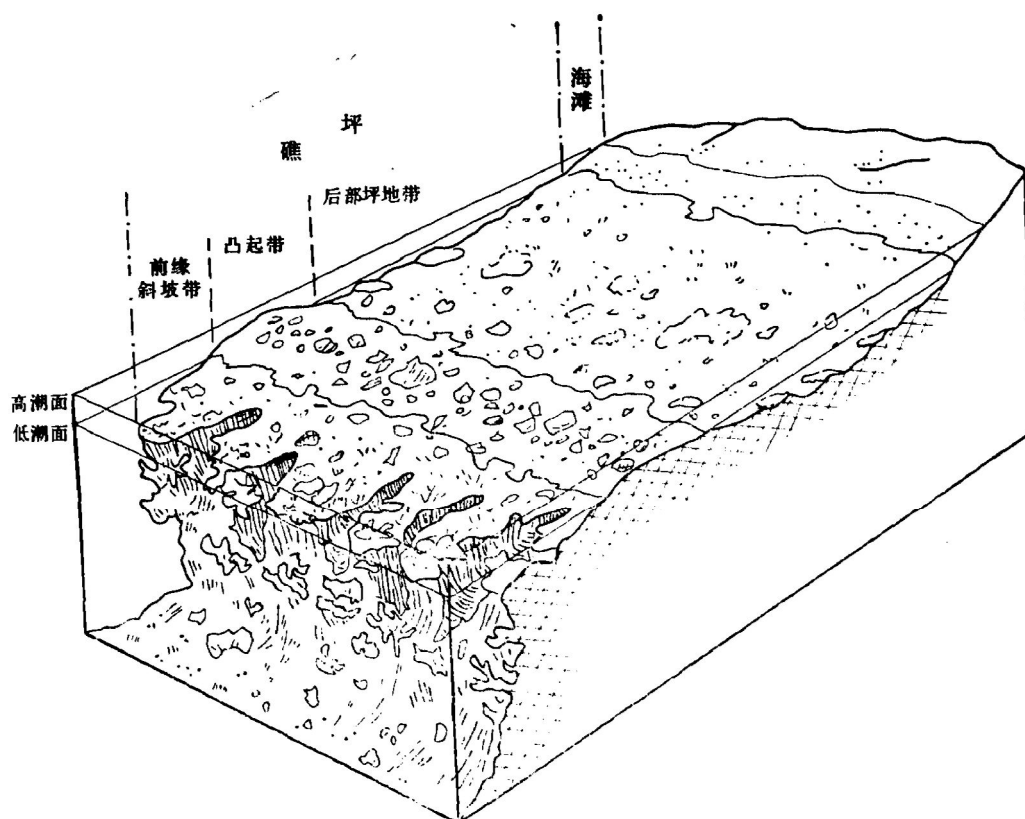


图2 海南岛小东海礁坪分带及沉积特征示意图

沟和凹坑，它们大致垂直礁坪边缘展布（图2），可称珊瑚林带。在小东海礁中常见的珊瑚有鹿角珊瑚（*Acropora*）、滨珊瑚（*Porites*）、扁脑珊瑚（*Platygyra*）、杯形珊瑚（*Pocillopora*）、菊花珊瑚（*Goniastrea*）、蔷薇珊瑚（*Montipora*）、蜂巢珊瑚（*Favia*）等，另有多孔螅（*Millepora*）、八射珊瑚（海鸡冠类 *Alcyonacea*）、海胆等。在沟槽凹坑内有生物（主要是珊瑚）砂屑及鹿角珊瑚断枝沉落。此带后部缓坡处珊瑚种类减少，枝体细小，由于水浅不适生长，许多滨珊瑚只好侧向生长（图版I—4），这里开始出现较大的珊瑚碎块，主要是匍匐鹿角珊瑚碎块（图版I—6），珊瑚藻增多，极少生物砂泥物质。

礁坪凸起带：一般在退潮时露出水面，沿礁坪构成一道低岗，高出低潮面约数十厘米。此带活珊瑚无法生长，但珊瑚藻及其它藻类繁盛，它们在礁体和砾块上形成一层包壳。这里堆积了大量礁岩砾块，大者直径达2米余（图版I—7），这些砾块显然是由巨风海浪把珊瑚礁前缘打碎而推上来，并展布如堤（图版I—2）。在这些礁岩砾块上，牡蛎和藤壶非常发育，这显然属另一种“共生组合”情况。由于这里的砾块多为某些抗浪性差的匍匐鹿角珊瑚枝体，故呈扁平状，似铺路石（图版I—8）。此带除了为藻类所捕集的少量泥砂外，几乎无生物砂泥沉积物。

礁坪后部坪地带：低潮时大部仍为水淹没（图版I—3），一般水深20—30厘米，由于退潮后与海暂时隔绝，故水温稍暖。这里地形较平坦，时有高出的礁块，犹如盘状。此带近凸起带处尚有少许活珊瑚，但不能长大，向岸地带活珊瑚几乎全无，但喜礁生物门类数量增多，如蛇尾纲、瓣鳃类、海绵、蟹、腹足类等，以及大量海龟草和藻类（图版I—5）。除了由大的风浪搬运少量礁岩砾块外，由于海浪能量的减弱，大量生物砂、泥被搬动沉积在这里，最厚约20厘米。正是这些砂泥窒息了珊瑚的生活，很多海生植物的生长则又“捕集”了大量砂泥。在靠近陆上基岩处则多为基岩的大小滚石，早期发育的珊瑚附着其上生长，将它们包裹在里面（图版I—9）。岸边的低平地带则为生物砂砾构成的海滩，局部已发生胶结而形成海滩岩。

## 二 礁岩形成中的生物粘附作用

生物的粘结或附着生长是珊瑚礁成长发育过程中的重要作用，礁岩的重要特点，也是生态上的重要现象。众所周知，珊瑚礁的构成主要是由造礁珊瑚分泌钙质骨骼而支撑起来的。但是在珊瑚的生长发育过程中，经常因环境发生变化而死亡，而当恢复到有利于生活的环境时，珊瑚虫可以再附着粘结在原先的珊瑚基底上再生，先期和后期的珊瑚或是同一种属，或是不同种属，甚至不同的门类的生物相互更叠附着生长。当剖开或大或小的珊瑚体时，一般都能发现这种粘附生长现象。它们以其分泌的钙质骨骼与先期的珊瑚等骨骼或壳体牢固地较合起来。这种现象在礁岩中是屡见不鲜的，如扁脑珊瑚在滨珊瑚上生长（图版II—1、2），或滨珊瑚在滨珊瑚上生长（图版II—5、6），滨珊瑚生长在蜂巢珊瑚上（图版II—1），以及其它珊瑚的附生现象（图版II—3、4）。曾见直径达3米的滨珊瑚礁块中至少有7—8次的死亡与“再生”过程，还有多属种珊瑚粘结附着生长在一起的复杂共生现象。这些生态现象正好反映了造礁环境的稳定与变化程

度。另外,许多喜礁生物也常可附着在活的或死亡的珊瑚上生活,常见有双壳类、海绵等(图版Ⅰ—5),也常有各种蠕虫穿孔生活在珊瑚中,有的分泌钙质壳体寄生在里面(图版Ⅰ—8)。无疑,这些各式各样的生态现象对判断和解释生物礁发育过程的环境变迁是很好的证据。

总之,生物礁或礁岩的石化固结过程首先是生物本身的粘附作用在起主要作用,胶结作用只是在其后发生,这是礁岩成岩过程的独特之处。

### 三 礁岩形成中珊瑚藻和有孔虫的包壳作用

包壳作用是生物礁或礁岩成岩作用的又一特点和生态现象。新生代以来珊瑚礁的生物中珊瑚藻占相当重要的数量,它甚至形成藻礁或藻脊。从小东海礁坪的调查看,它在大部分地带都有发育,特别是在礁坪凸起带及其两侧的浅水地带,那里没有或是很少活珊瑚生长,因而大量珊瑚藻附着生长在死珊瑚(图版Ⅰ—5—8;Ⅰ—3、4)或其它生物上,以及珊瑚砾块上。它们包覆附着物而形成薄壳,故称包壳作用。包壳作用同样起了固结礁岩的作用。

常见的包壳珊瑚藻有石叶藻(*Lithophyllum*)、石枝藻(*Lithothamnium*)、石孔藻(*Lithoporella*)、孔石藻(*Porolithon*)等。它们一般形成1—2毫米厚的薄壳。如前所述,当不利于珊瑚生存的环境产生(主要是海水变浅)而使珊瑚死亡时,则正适于珊瑚藻生活,而当适于珊瑚生活的环境恢复时,则珊瑚又附着在珊瑚藻上面生长。故可通过珊瑚藻薄壳识别珊瑚或其它生物生长之间的界限(图版Ⅰ—1, Ⅰ—2)。它们也包裹各种砾块(主要是珊瑚碎块)生长,但很少能包覆砂泥,因为适于砂泥沉积的地带,不仅对珊瑚生活不利,对珊瑚藻同样不利。

在礁岩中参与包壳的除了珊瑚藻外,常见的还有包壳有孔虫——红扁圆虫(*Planorbulina rubra*),并常与珊瑚藻共生(图版Ⅰ—6、7)。不过,它的数量要少得多了。

包壳作用与前述粘附作用是礁岩的成岩作用特点,故生物礁岩又被称为“粘结岩”。

### 四 礁岩形成中的砂泥充填作用

生物礁是礁体内及礁体外周围地带生物砂泥的供应者;近岸若有基岩出露,则常有其它陆源砂泥混入。小东海属这种情况,但礁坪上的砂泥中,生物组分占绝对优势,因此这些砂泥多是文石质的和镁方解石质的。由于颗粒细小,其结构形态只能在扫描电镜下观察辨认方可以判断出,它们多为生物碎屑,很可能尚无直接沉淀矿物。这些砂泥一方面窒息活珊瑚,一方面充填于珊瑚或其生物孔隙中起着一定的固化作用(图版Ⅰ—9、10)。通过同样的但不同石化程度的样品(鹿角珊瑚)的显微观察发现,其石化程度正是由于生物泥屑充填的不同程度造成的。

## 五 礁岩的胶结作用和矿物的转化作用

由已采到的礁岩观察,除上述的各种成岩作用现象,尚未发生胶结作用,生物骨壳的文石(如珊瑚、瓣鳃类、腹足类等)和镁方解石(如四射珊瑚骨针、海胆、藤壶等)也未发生转化。这就是说,距今7000—8000年来,小东海地区的礁岩,因其沉积—成岩环境无很大变化或变化较晚,故矿物组分还没有发生转化。但其西侧三亚湾水尾岭次生礁(生物碎屑灰岩)中的高镁方解石骨壳已变成方解石,许多文石质骨壳已开始向粒状方解石转化<sup>[4]</sup>,而其C<sup>14</sup>年龄才距今3630—4345年<sup>[1]</sup>。同样,小东海礁岩未发生胶结作用,而比其年轻的水尾岭次生礁和附近的海滩岩则先行发生了胶结作用。有关后者的情况,沙庆安、赵希涛、黄金森等<sup>[4,5,6]</sup>曾做过详细介绍。

## 六 小 结

生物礁和礁岩与其它碳酸盐岩明显不同,它有着独特的组成和构造结构特点,也有着它独特的成岩作用特点。这主要是由于生物作用占了主导地位。礁岩的结构组分包括造礁生物骨架、非造礁生物骨壳、生物骨架砾块以及生物砂泥。它们有规律地分布在礁体的一定部位。礁体的早期成岩特点是生物的粘附作用与包壳作用起了重要作用。它们在礁岩中的发育情况反映了沉积环境的不同与环境变化的程度。有关这方面,在小东海礁岩的观察中,其岩石学结构现象可归纳为六种(图3): (1)后期珊瑚直接附着生长于先期珊瑚之上(可以是相同种属或不同种属); (2)先期珊瑚外为珊瑚藻包壳; (3)先

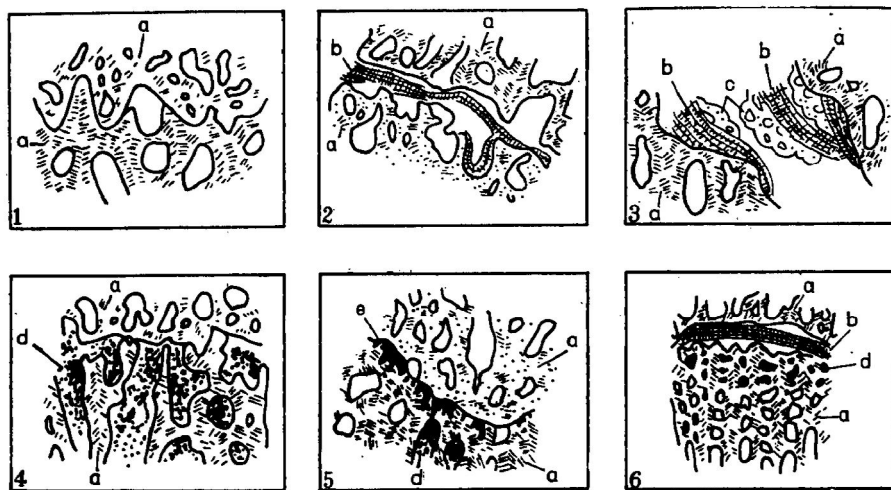


图3 礁岩中珊瑚等生物粘附作用和包壳作用

- (1) 珊瑚(a)/珊瑚(a), 标本293。
- (2) 珊瑚(a)/珊瑚藻(b)/珊瑚(a), 标本288。
- (3) 珊瑚(a)/珊瑚藻(b)一有孔虫(c)/珊瑚(a), 标本280。
- (4) 珊瑚(a)/碳酸盐泥砂(d)/珊瑚(a), 标本251。
- (5) 珊瑚(a)/生物钻孔(e)/珊瑚(a), 标本291。
- (6) 珊瑚(a)/碳酸盐泥砂(d)/珊瑚藻(b)/珊瑚(a), 标本294。

期珊瑚外为珊瑚藻和有孔虫包壳；(4)先期珊瑚表面的孔隙为碳酸盐泥砂充填；(5)先期珊瑚表面受到某些生物(如藻、菌类)钻孔；(6)先期珊瑚孔隙被碳酸盐泥砂充填，又为珊瑚藻或有孔虫包壳。类似的这些现象在古代的礁岩或潮坪沉积中也是常可见到的。因而它们可作为分析沉积相和沉积环境的良好标志。

显而易见，生物礁或礁岩中的原生孔隙，如生物孔隙、颗粒间孔隙远比其它碳酸盐岩要多得多，如果成岩晚期的充填和胶结不完全的话，这就成为石油、天然气或其它固体矿产良好的富集场所。因之，对生物礁或礁岩成岩作用的研究是相当重要的课题之一。

工作中在生物鉴定方面得到中国科学院海洋研究所郑守仪、张德瑞和周锦华同志的帮助，标本照片由桂文立和张亚光同志摄制，在此一并致谢。

(收稿日期 1981年1月26日)

### 参 考 文 献

- [1] 赵希涛, 1979, 海南岛鹿回头珊瑚礁的形成年代及其对海岸线变迁的反映. 科学通报, 第21期.
- [2] 邹仁林、宋善文、马江虎, 1975, 海南岛浅水造礁石珊瑚. 科学出版社.
- [3] 王国忠、周福根、吕炳金、全松青、闵秋宝, 1979, 海南岛鹿回头珊瑚岸礁的沉积相带. 同济大学学报, 第2期.
- [4] 沙庆安, 1977, 海南岛南部一地全新世生物屑灰岩的成岩作用. 地质科学, 第2期.
- [5] 赵希涛、沙庆安、冯文科, 1978, 海南岛全新世海滩岩. 地质科学, 第2期.
- [6] 黄金森、朱远智、沙庆安, 1978, 西沙群岛现代海滩岩岩石学初见. 地质科学, 第4期.

## DIAGENESIS OF RECENT HOLOCENE REEF ROCKS OF XIAODONGHAI, HAINAN ISLAND

Sha Qingan Pan Zhengpu

(Institute of Geology, Academia Sinica)

### Abstract

Xiaodonghai coral reef situated in the south part of Hainan Island is a fringe reef.  $\delta C^{14}$ -dating shows that it developed about 8000 years ago. The texture constituents in reef rocks include reef-building organic framework which consists mainly corals, reef-philic organic skeleton fragments, boulders of organic framework, and bioskeleton mud and silt. They are regularly distributed in the certain part of reef flat.

Diagenesis of reef rocks has its specific features which is dominated by the process of organism in which adhesion and encrust acted a principle role. These diagenetic process reflected different sedimentary environments and their changes.

In this paper the authors intend to describe and discuss the adhesion and encrust of coral, coralline algae and foraminifera, and the fill of bioskeleton mud and silt, etc. These process usually were occurred together, and they are controlled by sedimentation-diagenesis environments.

The similar diagenetic process are quite common in ancient reef or reef rocks. They are good keys to recognize ancient sedimentary facies and environments.

## 评介《压实与流体运移》一书

西北大学 陈荷立

《压实与流体运移》一书, 1978年由埃尔色维尔(Elsevier)科学出版社在阿姆斯特丹—牛津—纽约出版。作者为美国得克萨斯科技大学储集层研究所副所长真柄钦次(K. Magara)。本书中文版最近由石油工业出版社出版。

真柄钦次早在十多年前即开始在日本、加拿大等地利用测井曲线分析, 进行细粒碎屑岩的压实研究。他最初只是利用这种研究恢复地层厚度, 以进一步解释古构造和油气运移方向。以后逐渐与异常孔隙压力相联系, 并在流体运移定量研究方面进行了一些探索。近年来又试用这方面的研究解释某些构造现象。从而取得了不断的进展。

本书不仅是有关这方面近代研究成果的系统介绍, 而且也是作者多年来实际工作经验的总结。全书共有15章, 其主要内容可分为如下几方面:

### 1. 地下泥岩异常压力生成的原因

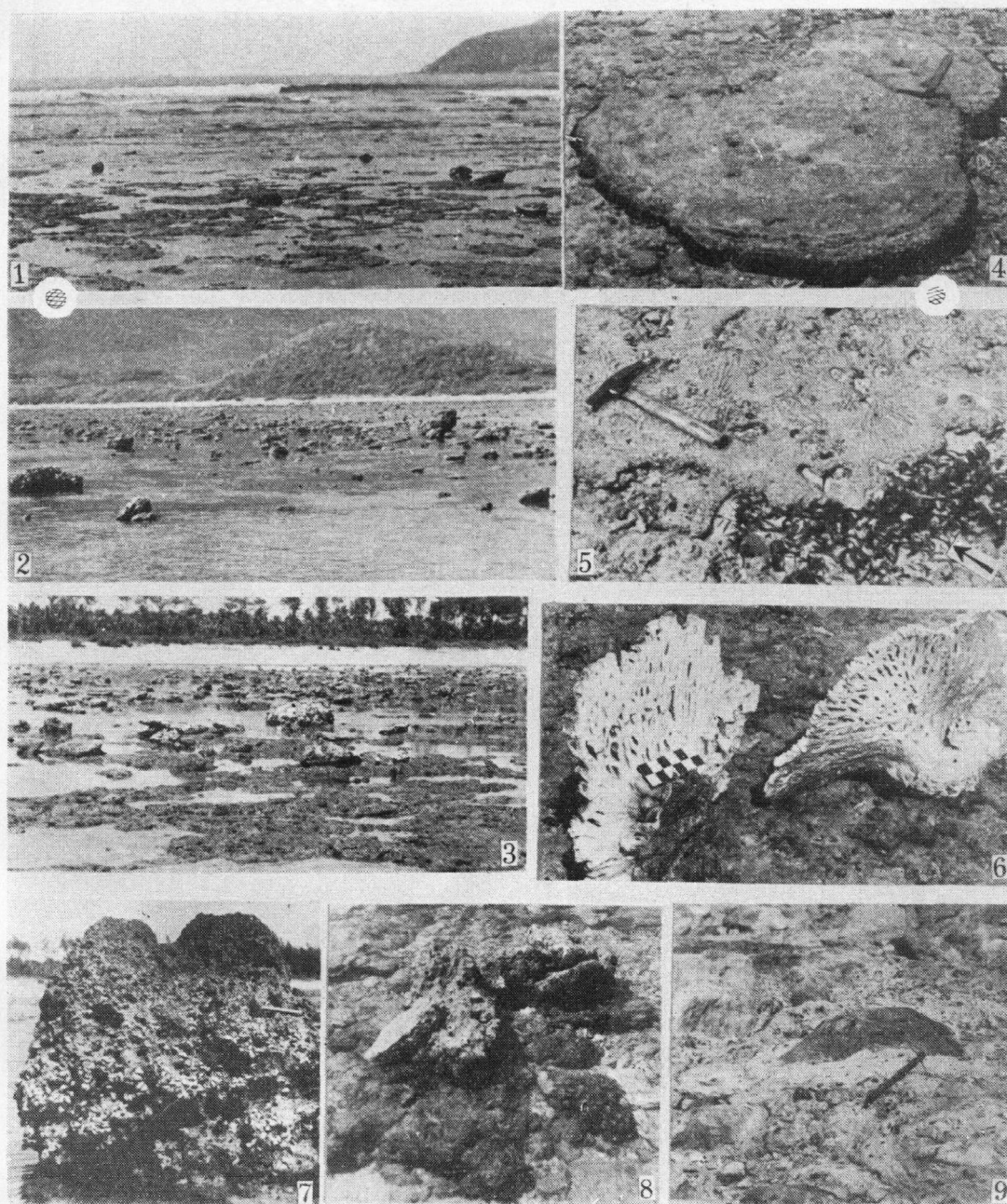
作者着重介绍了几个主要原因, 如压实过程中压实与排水的不平衡, 随着地层下沉温度升高引起的地层水的水热效应(热膨胀), 粘土成分中蒙脱石的脱水作用。此外, 还提到了承压条件、烃类聚集、渗析、古压力、构造、胶结、烃类生成及高压水层的注入等作用, 也都是可以引起异常高压的一些次要原因。

### 2. 利用压实资料研究流体运移问题

这部分内容为本书的重点。作者提出, 页岩孔隙度和压力主要受排水条件控制, 当排水条件好时, 页岩剖面在该方向上的孔隙度和压力将很快降低。故根据页岩剖面孔隙度和压力变化, 或反映这种变化的声波时差、电导率、电阻率变化, 即可推测其排水条件和主要排水方向。若结合生油层有机地化资料及储集层位置考虑, 还可判断油气初次运移的方向, 以及储集层接受烃类机遇的大小。

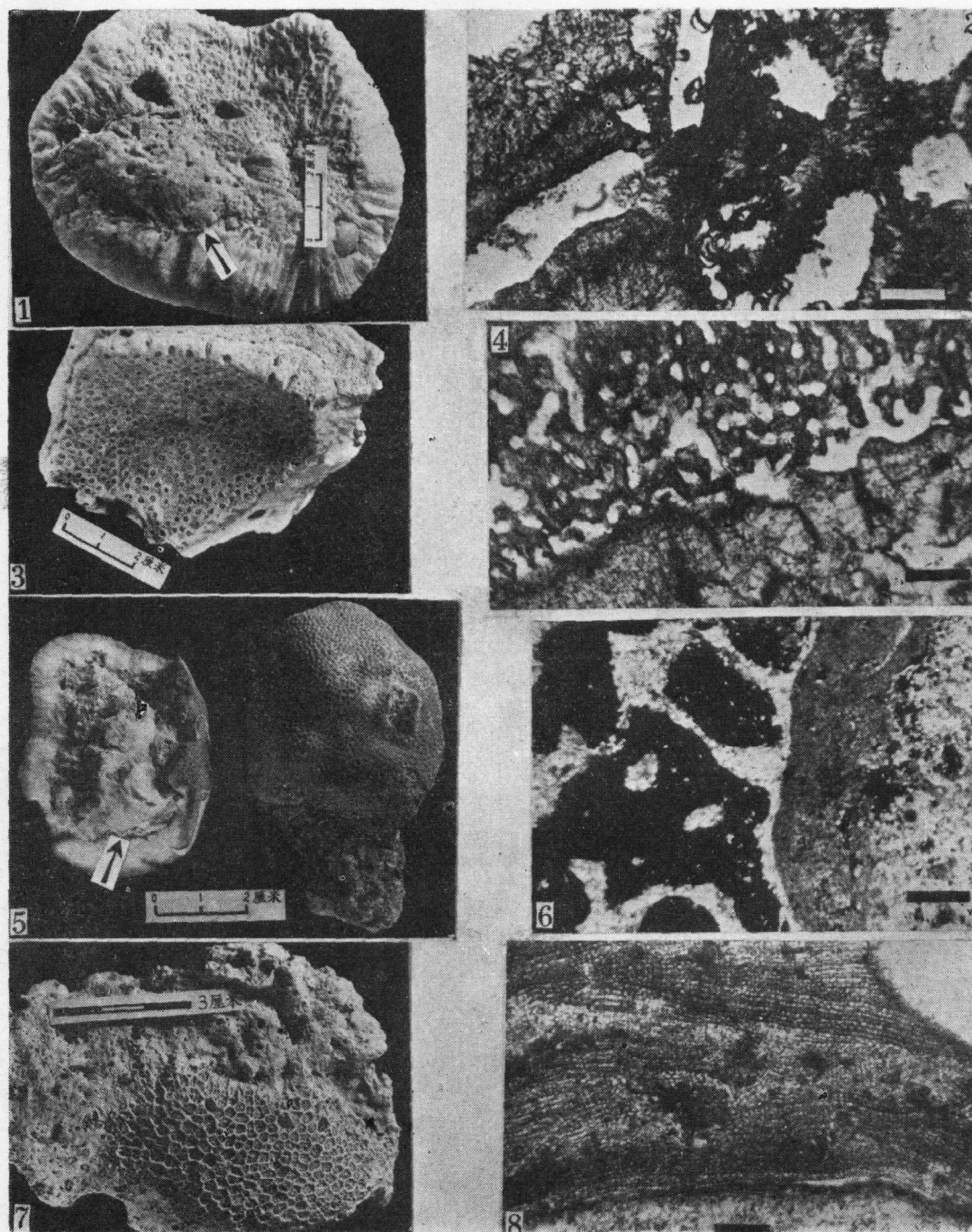
流体损失量是作者着重探讨的另一问题。假定页岩压实只是由于流体的排出, 且在压实过程中页岩基质的矿物成分没有发生变化。则页岩在压实时孔隙度的降低即等于排出的流体量, 根据这一关系, 作者认为不仅可计算某一页岩自沉积时起的流体总损失量, 而且在已知有机质成熟深度时, 还可计算其在成熟前、后的流体损失量, 以及在连续地质时期中不同阶段的流体损失量。以为评价油气初次运移量提供参考。

此外, 作者还对现在具静水压力的层段, 进行了过去流体运移的三维空间定量尝试。他认为这样的层段并不意味着那里过去就没有发生过流动。原来流体运移的方向可藉负荷压力梯度和该层密度来



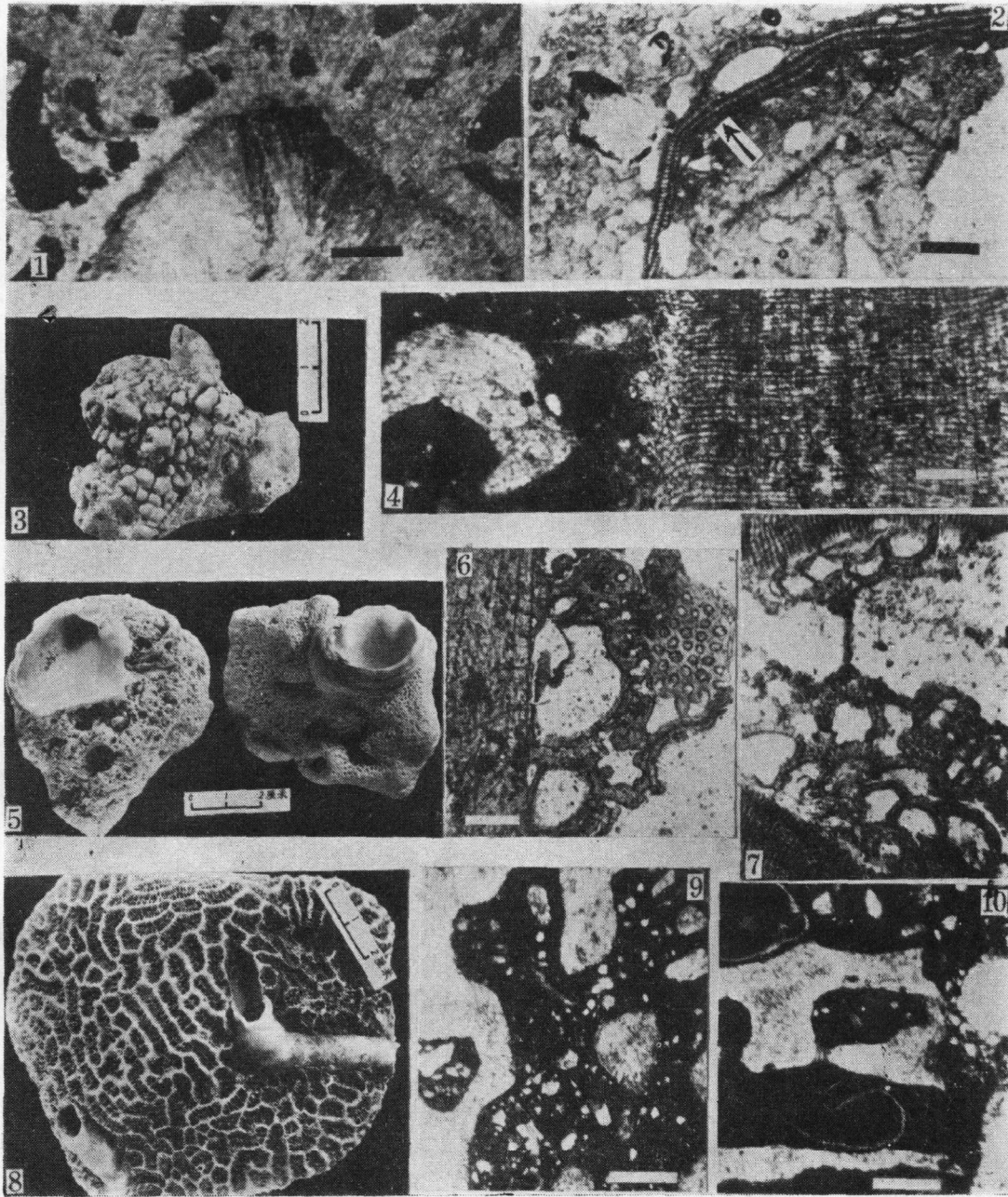
### 说 明

1. 小东海南部岸礁礁坪前缘斜坡带，远处破浪带位于礁坪最前端。
2. 小东海南部岸礁礁坪凸起带上的礁岩砾石“堤”。
3. 小东海南部岸礁礁坪后部坪地带。
4. 礁坪凸起带附近的圆桌状滨珊瑚体向旁侧生长（暗色带），于水下15厘米左右（铁锤柄长35厘米）。
5. 礁坪后部坪地带中的死珊瑚体，上有生物屑砂泥，多处有喜礁生物寄生及穴居生物钻孔，其旁侧为海龟草（箭头指处），于水下20厘米左右（铁锤柄长35厘米）。
6. 礁坪前缘斜坡带上被海浪击碎的活的鹿角珊瑚块体。标尺长12厘米。
7. 礁坪凸起带上的巨大滨珊瑚砾块，直径约2米余。
8. 礁坪凸起带附近的礁岩砾块，多呈扁平状，图中部堆起几块，表皮均为珊瑚藻包壳。
9. 礁坪近岸边地带的基岩砾石，珊瑚曾包裹其生长（图中部，铅笔长15厘米）。



### 说 明

1. 礁岩砾块，中为滨珊瑚，周围为扁脑珊瑚，两者间或局部有珊瑚藻包壳（箭头指处）。
2. 照片1的薄片显微照片，右侧为滨珊瑚，左侧为扁脑珊瑚。标尺=0.2毫米。
3. 礁岩砾块，下为滨珊瑚（？），上为陀螺珊瑚（？）。
4. 照片3的薄片显微照片，下为滨珊瑚，上为陀螺珊瑚。标尺=0.2毫米。
5. 活的圆球状滨珊瑚（右）及其断面（左），明显地二次附着粘结生长，箭头示二者界限。
6. 照片5珊瑚“根部”的薄片显微照片（正交），左为滨珊瑚，中为珊瑚藻壳。标尺=0.2毫米。
7. 礁岩砾块，蜂巢珊瑚（？）外被珊瑚藻包壳。
8. 照片7的薄片显微照片，下为珊瑚，上为石枝藻（*Lithothamnium*？）。标尺=0.1毫米。



## 说 明

1. 下为蜂巢珊瑚，上为滨珊瑚。薄片显微照片（正交）。标尺=0.2毫米。
2. 右为珊瑚，左为多孔虫（?），二者间为石孔藻（*Lithoporella*）。箭头示包壳之珊瑚藻。标尺=0.2毫米。
3. 礁岩砾块，鹿角珊瑚外包珊瑚藻壳。
4. 照片3的薄片显微照片，左为珊瑚及充填的碳酸盐泥（暗色者），右为石枝藻（*Lithothamnium*）。标尺=0.1毫米。
5. 礁岩砾块，壳类生物寄生于珊瑚上。
6. 照片5右的薄片显微照片，在贝壳（下）表皮包有有孔虫——红扁圆虫（*Planorbulina rubra*）壳。标尺=0.1毫米。
7. 一蜂巢珊瑚“根部”的薄片显微照片，珊瑚外的包壳由珊瑚藻及有孔虫（红扁圆虫）构成。标尺=0.1毫米。
8. 礁岩砾块。扁脑珊瑚中有蠕虫（具钙质虫管）钻孔寄生。
9. 滨珊瑚砾块表层薄片显微照片，孔腔已被生物屑砂及碳酸盐泥充填石化。标尺=0.2毫米。
10. 珊瑚砾块，外部孔腔已被碳酸盐泥充填石化。标尺=0.2毫米。