

沉积相古地理学

(下)

武汉地质学院

化)

第七章

生物礁——珊瑚礁

P58/11.2

一、生物礁的概念和特征：

生物礁 (Organic Reef) 是指由造礁生物形成的一种具有坚固骨架构造，能抵抗波浪作用的块状生物岩体。

造礁生物是指那些生长能力强，繁殖快而茂盛，并能形成坚固骨架构造的群体生物。它们不但有不断向上生长形成生物能力骨架，而且还能包裹、粘结、捕获其它碎屑沉积物，并且分泌碳酸钙，或使海水中碳酸钙发生沉淀，造成胶结或结壳，从而形成能抵抗波浪作用的礁体。

38048

常见的造礁生物有藻类、古杯海绵、苔藓虫、层孔虫、珊瑚等，其中以珊瑚类形成的礁体，由于其生活特征而显得特别重要。此外如一些厚壳的腕足类、瓣鳃类、腹足类、海百合及海胆等均参与造礁。不同的地质历史阶段，造礁生物是不同的，参看表VII——1。

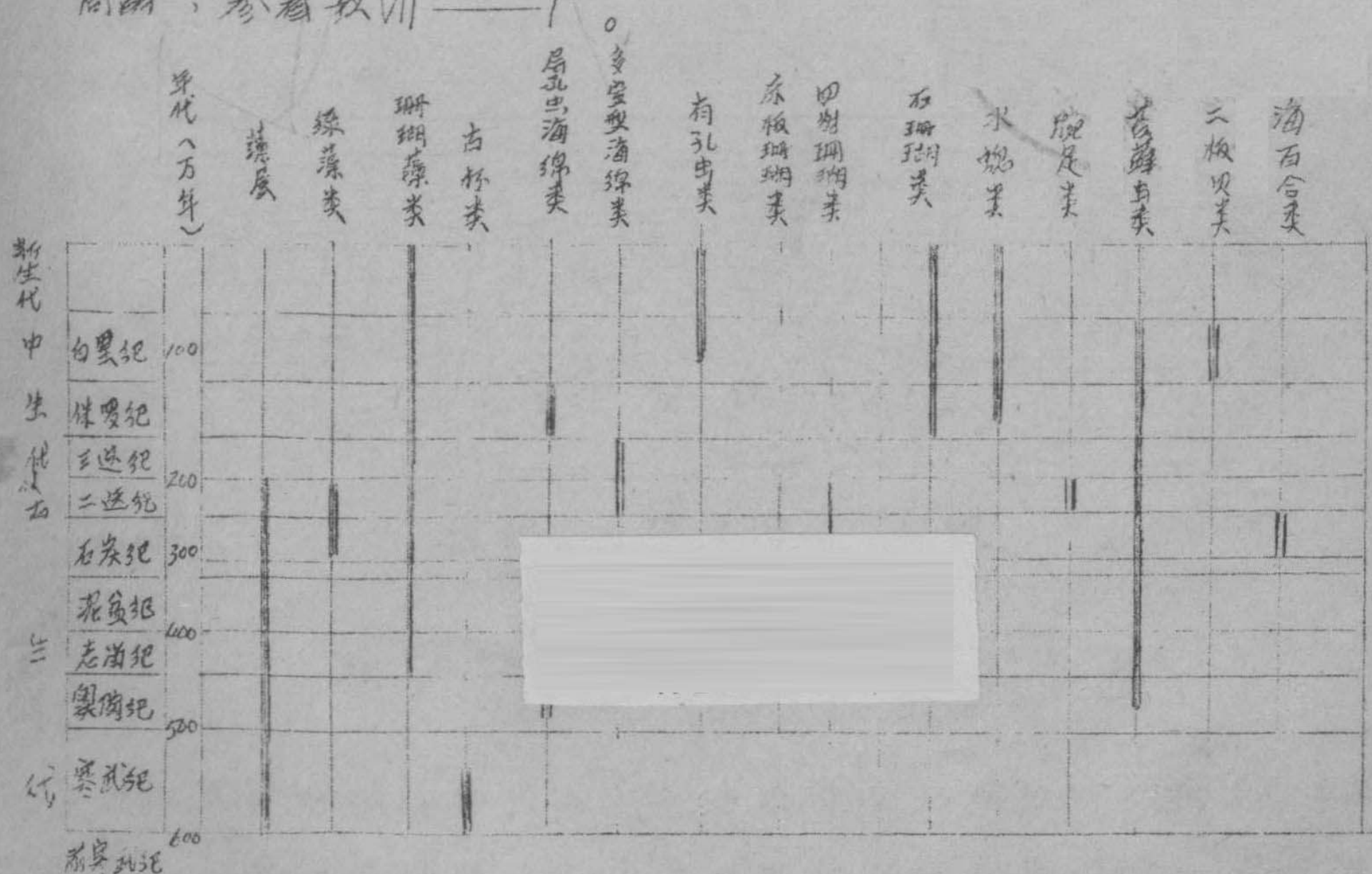
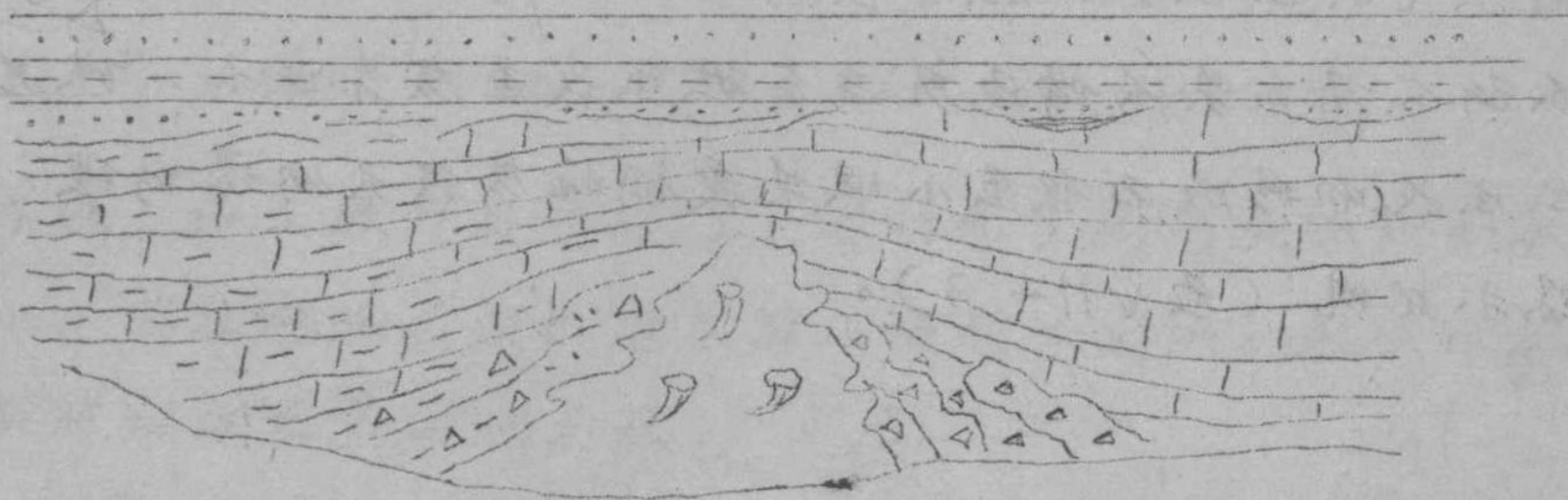


表 VII-1 造礁生物在地质历史中的变迁

(据 Newell, 1971, 简化)

生物礁特征为：①礁体由完整的生物及胶结物组成 ②不含陆源碎屑 ③不含燧石 ④成分纯 ⑤颗粒度 ⑥结构，构造和生物化石的分布都是不均一的 ⑦无层理 ⑧在礁体呈块状，架出于周围同期沉积物之上，与周围岩层呈尖角接触，礁体内生物骨架间，生物颗粒之间的孔隙，洞穴很发育，在孔隙边缘还常见放射状的针状方解石晶序层形成的棒壳构造。

礁体中心部分主要由造礁生物骨架组成部位称为礁的主棒（或礁核）礁体在剖面上略成三角形，基底较大，向上缩小，不对称（见图 VII-2）向海洋一侧由于波浪的强烈冲刷坡度较陡，称为前礁，与海底地相相邻。向陆一侧，坡度较缓，称为后礁，由于有礁体阻挡，后礁与陆地之间，常形成较安静的潟湖；沉积灰泥，石灰岩，白云岩，砂岩，虽可能有蒸发岩类沉积，所以后礁的礁屑堆积物中也掺有灰泥物质，分选性不如前礁。以礁体空间而言，礁主棒和前礁较好，后礁较差。



后礁 礁主棒 前礁

图 VII-2 礁体剖面示意图

研究生物礁体的目的，一方面可以根据礁体的形态，分布特点，及其内部结构，古生态及沉积相分布规律进行古环境的分析。而更重要的是由于礁体内各种孔隙和洞穴发育，为石油良好之聚集空间，离油源近，盖层也好，在世界上许多高产油田

都分布在这个相内，具有低产大，产量高，采收率高的三大优点，在世界上几个主要油田的总可采储量达 15.75^亿吨，八口万吨井中之四口即属于礁块油田，如著名的墨西哥坎塔拉油田，（见卷 VI-7）美国二迭纪盆地的油田等。

二、礁体的分类和命名原则：

礁体的分类和命名原则，目前尚不统一。有的以单个礁体的形态命名；有的以礁体分布的地理位置（与陆地或岛屿的关系）命名；有的以礁群的形态和分布命名。有的则根据构造运动划分。

1. 以单个礁体形态命名的有以下几种：

桌礁（台礁，珊瑚浅滩）：在 P 或局 P 沉没在水里的孤立小礁体，通常分布在开泻的海底，有时顶 P 较平坦，桌礁并设有环，绕着一片珊瑚，但其边缘经常是隆起的。（但未露出水面）。

塔礁（尖柱礁）：礁体呈高而窄塔形，尖锐，狭长。是在海底不断下沉，其下沉速度适合礁体生长速度条件下，礁迅速续地向上生长而形成面积虽小但其垂向幅度较大的塔形礁，多见于较深水地况（见 VII-3）。

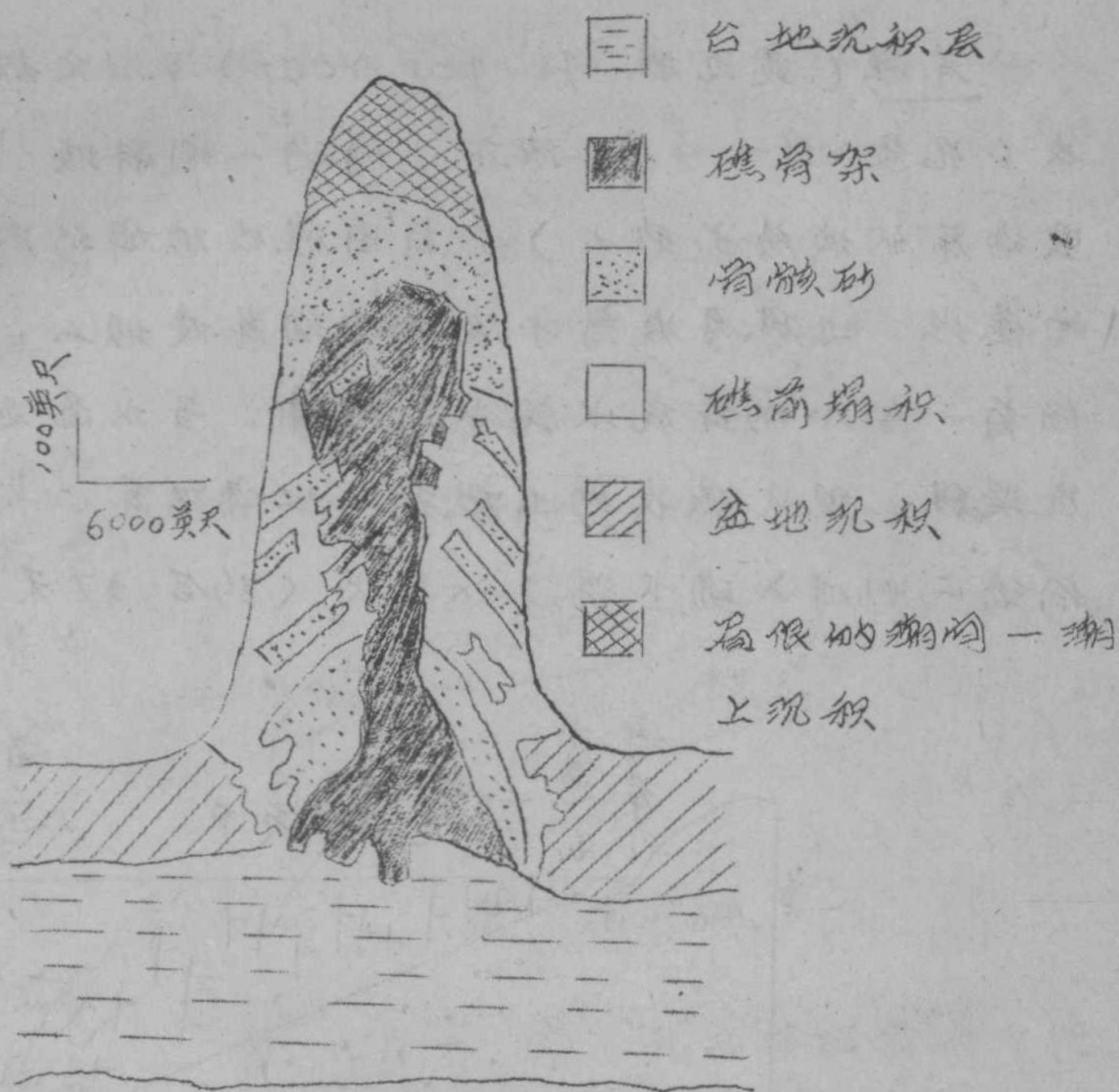


图 VII-3 加勒比海P雨虹 (Rain Bow) —
扎马 (Zama) 地区塔状礁 (pinnacle reef)
(据 Klován 1974) (微相的分布)

桌礁 (桌状礁或补丁礁)：礁体略呈圆形或不规则状，体积较小，常在珊瑚或溪外海底较小隆起上形成的孤立小礁体。有时亦被珊瑚丘或珊瑚尖核。

此外据外形还可区分戒指状礁或礁帽 (faros reef)，如我国西沙群岛之北礁即一小礁帽。马蹄形或新月形礁，长形礁，尖头礁及席礁等也。多为向海风一侧礁体发育，背风一侧礁体不发育而形成向风突出的马蹄形、……等种种形态。有时亦可形成分布面积较大成层状 (席状或透镜状) 的礁体可称为生物层 (biostrome)。

2. 根据其分布地理位置可分为；

岸礁 (或边礁 Fringer reef): 又称裙礁。紧靠海岸生长 (见图 VII-4) 倾向, 向海一侧斜坡 ' 常很陡, (一般这里海岸的坡度亦较大)。有由礁体破碎形成的砾屑堆积而形成的崖礁, 边礁多发育于陡峭的海岸陡坡上, 有时在边礁与岸之间有一个小海湾底水底水道相隔, 当水道逐渐加宽, 便可发育成堤礁, 现代最长的边礁是在红海沿岸, 长约 2700 公里以上, 向海一侧伸入海下深 120 英尺 (约合 37 米)

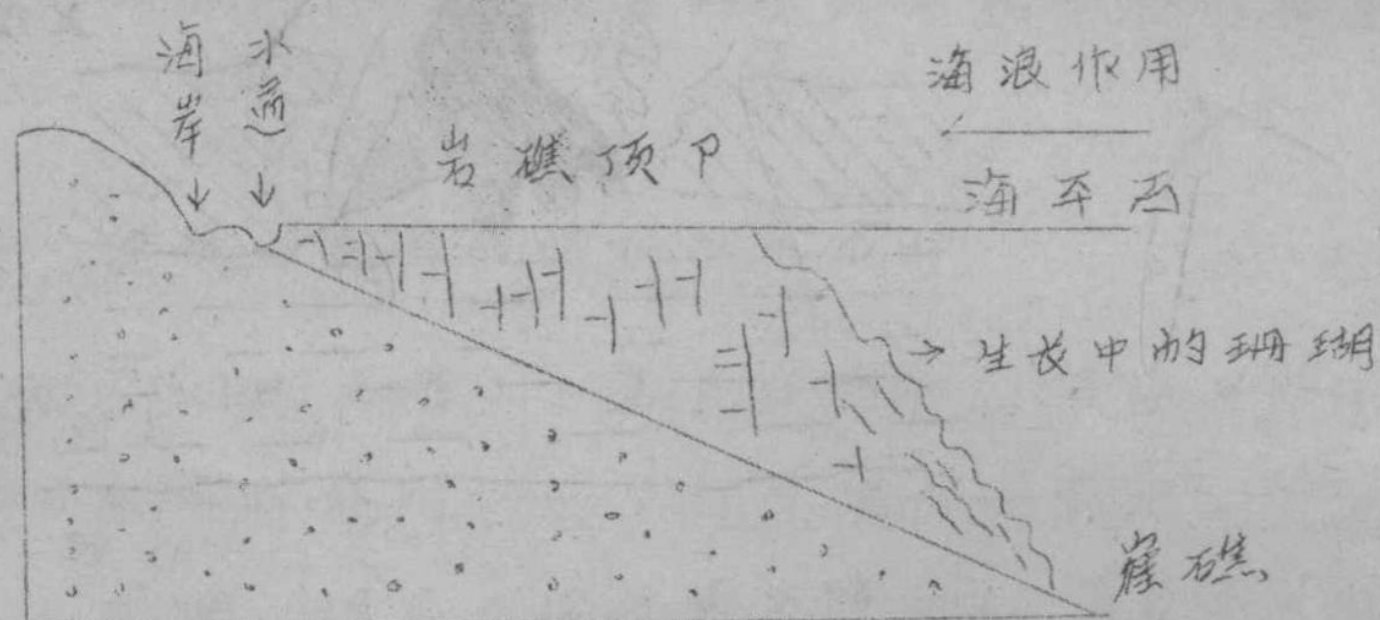


图 VII-4 边礁剖面示意图

堤礁 (堡礁或堤岛礁 Barrier reef): 多在平缓的海岸生长, 距海岸有一定距离 (有时为数公里至数十公里), 呈长条形, 平行海岸形成堤, 与陆地 (或岛屿) 之间有潟湖隔开, 有时也可环绕着一个岛屿分布。 (如太平洋, 大西洋火山岛周围), 现代世界上最大的堤礁是澳大利亚东北岸的 "大堤礁" 长达 1200 英里, 向岸外延伸达 30 ~ 90 英里。当代已知最大堤礁是美国新墨西哥州东南部和德克萨斯州西部的二迭纪盆地的船长礁, 长达 1200 英尺 (370 米) 以上, 长达 400 英里以上, 埋藏地下部分已找到油气。

环礁: (Atoll reef): 礁体常呈卵形, 围绕看海底较大隆起的边缘生长, 连接成环状, 中央常凹下形成潟湖, 现代太平洋和印度洋中环礁很多。我国南海的西沙群岛和南沙群岛中有

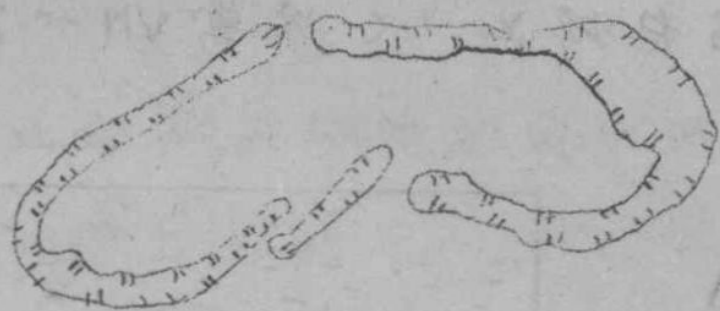
不少环礁。如华光礁和浪花礁是南沙群岛典型的大环礁。(见图 VII-5) 所示。

3. 根据礁群的形态和分布来看可分为;

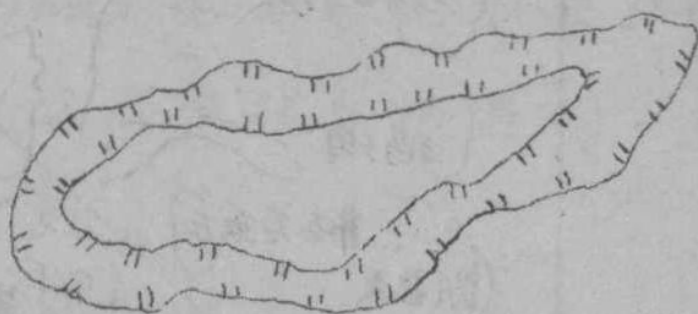
(1) 线形礁群: 如加罗林西P泥盆纪中弗兰斯所里姆次——梅多布罗克礁链 (Mid-Fran-nian Rimbey-Meadbrook chain),

长200英里, 位于泥盆盆地中央, 由许多长条状单片礁体组成, 单片礁体的延伸方向与礁群

总的延伸方向是一致的。新呈东北——西南向 (见图 VII-6)。



华光礁 1:5万



浪花礁

图 VII-5 我南沙群岛两个典型环礁, 华光礁有与外海通道



图 VII-6 加罗林大南伯尔伯达省弗兰斯在线型礁 (K/ovan 1974)

(2) 宽纳尔状礁群：如加得大泥盆纪早弗兰斯阶的天鹅丘礁群和志留特阶的雨虹——北岛礁群。天鹅丘礁群发育于宽纳碳酸盐岩台地上，（见图 VII-7）是由少数大礁块形成的，也

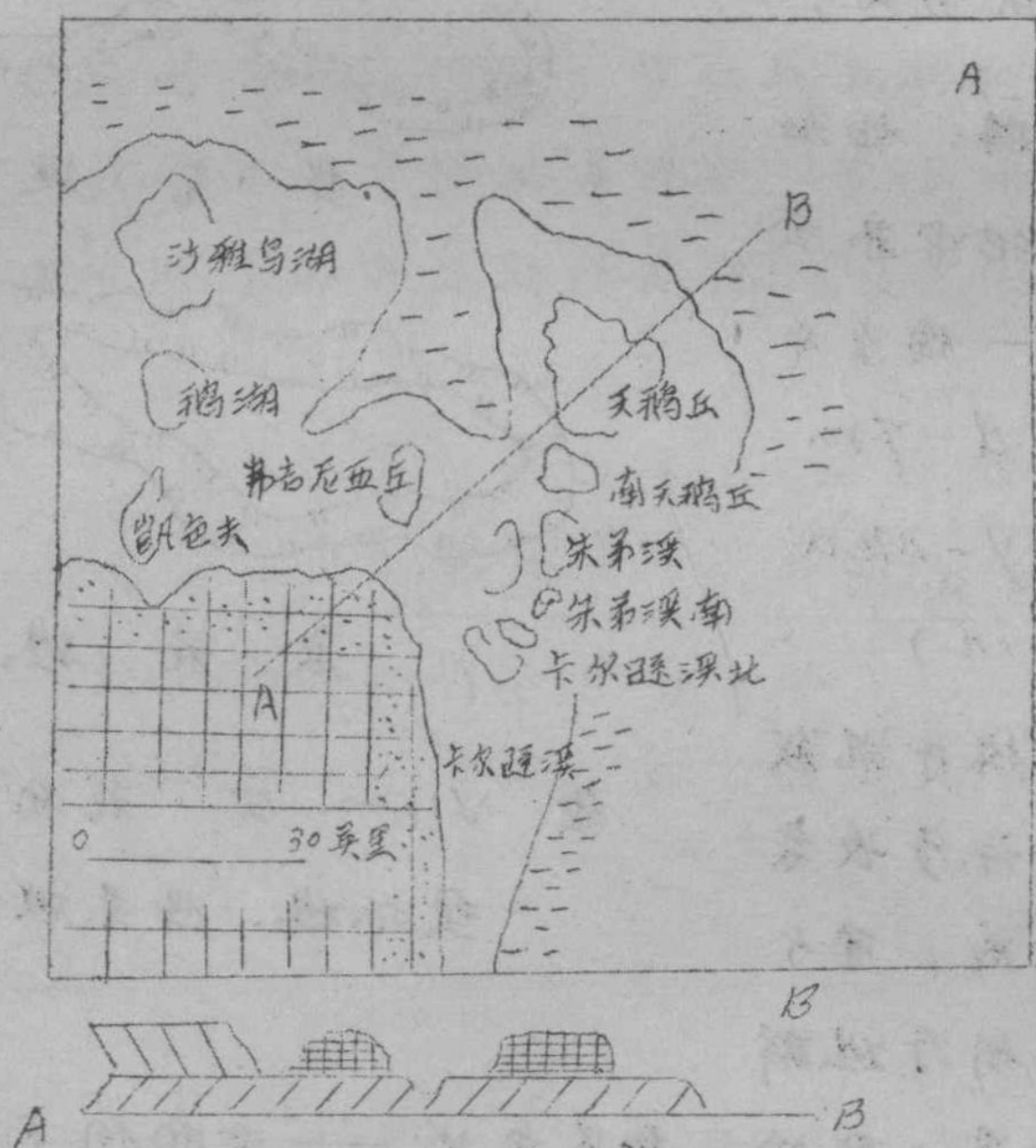


图 VII-7 A. 台地，生物礁，大陆架的地理分布

B. 通过礁区的示意剖面图

呈长条状分布，但构造活动对礁的位置的控制不明显。雨虹——北岛礁群由几十个小塔礁和环礁组成，也发育在宽纳碳酸盐台地上，礁的位置与台地上海有石灰泥丘有关，石灰泥丘呈局中隆起，后来发育的礁的位置与原先石灰泥丘的位置相符（参看后面图）

(3) 孤立台地礁：如加得大泥盆纪晚弗兰斯阶的红水礁群，发育于宽纳碳酸盐台地上的浅滩上，这种礁的特殊是礁中突起形成泻湖而成为大环礁。

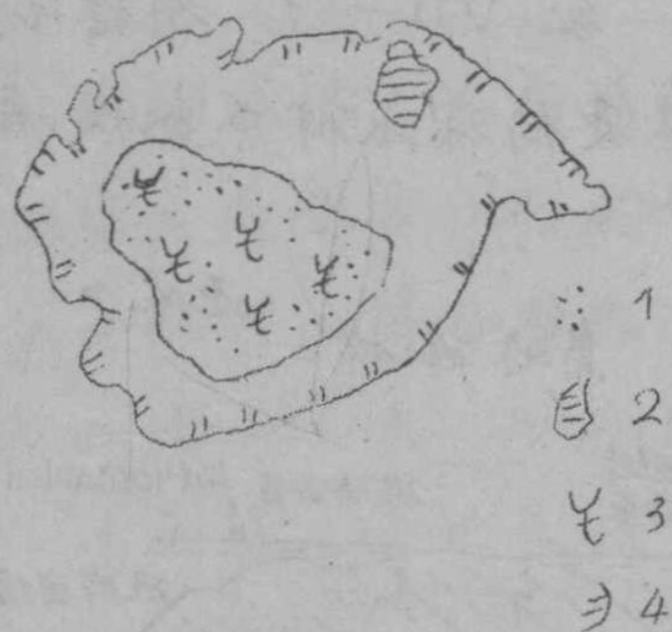
总的来看，生物礁体很少单个存在，总是成群分布。礁群

的形态和分布常与单个礁体的分布有一致性。另外礁群的分布位置往往与古海岸平行。因此当在露头或钻井中发现一个礁体时，应考虑寻找它礁体。

有的人还根据礁体与构造运动的关系将礁体分为上升礁和沉没礁；

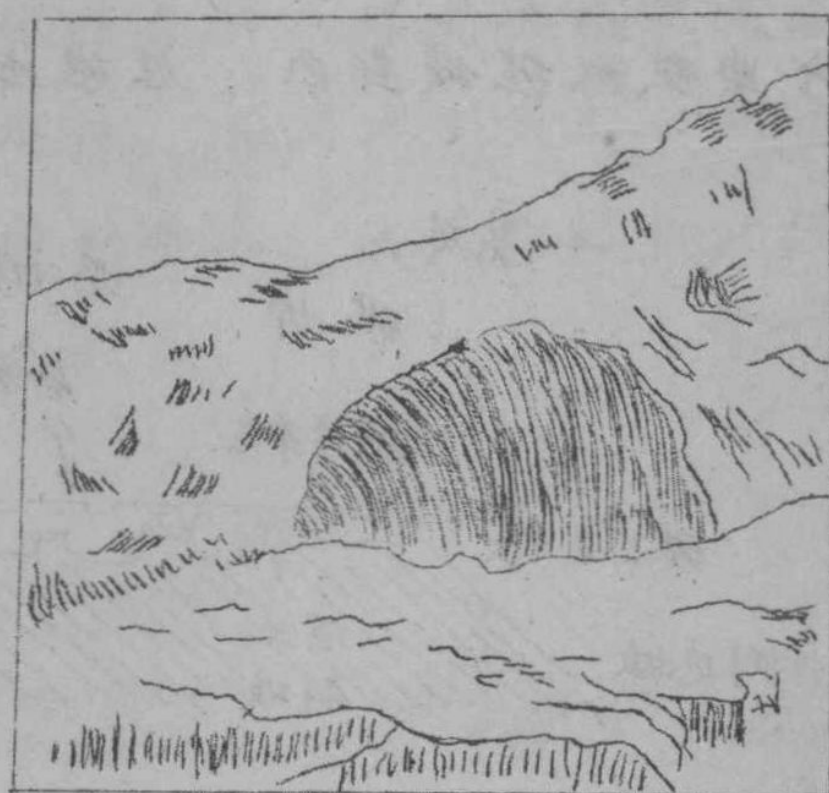
上升礁：高出海面十米至数十米，有时具有平坦的顶部和所地。有时像海看已干涸的湖和环形礁的遗迹，形似碗碟，露出水面之上，或者岛屿中央尚有残余的湖，其水深不过数米，表明环礁系后抬升形成。

如我国南沙群岛中，西线岛环礁群的石岛与东岛（又名和五岛）都属于上升礁。石岛在永兴岛东北约十千米距离处，二者位于同一礁坪上（图VII-8A），低潮时可徒步而过。石



- 1 砂岛 2 礁岩
3 海蚀崖 4 礁坪边缘

A 我国南沙之永兴岛与石岛



B. 石岛西北岸的海蚀洞



C. 石岛北岸的海蚀沟

图VII-8 A, B, C

(B, C. 根据中国科学院南海海洋研究所照片素描 1975)

岛是西沙群岛最高的岛屿，它现具有不同高度的两级阶地，在该岛周围，海蚀现象保存很好，有海蚀崖，海蚀洞，海蚀沟（见 VII-8 B. c）海蚀柱等。

东岛（和五岛），岛屿四周高，中间低，中间有一度为泻湖，由于礁的抬升珊瑚已干涸。

沉没礁：又称溺礁，礁可以下沉至较深的 P 位，但珊瑚礁不能继续生长，其中的泻湖深度更大。溺礁包括一些较深的平顶海山，这些海山平台的周围往往是隆起坡，如我国南海，中沙海域的礁滩，其被淹没的边缘深 13~25 米，中央 P 位平均深达 75 米，比一般的典型环礁泻湖要深，推断它可能是一个沉没的环礁。

附：环礁的典型横断面：

环礁的组成结构还是比较复杂的，见 VII-9 描绘了一个典型环礁横断面；在礁坪边缘，外缘是向深水伸展的陡峭的

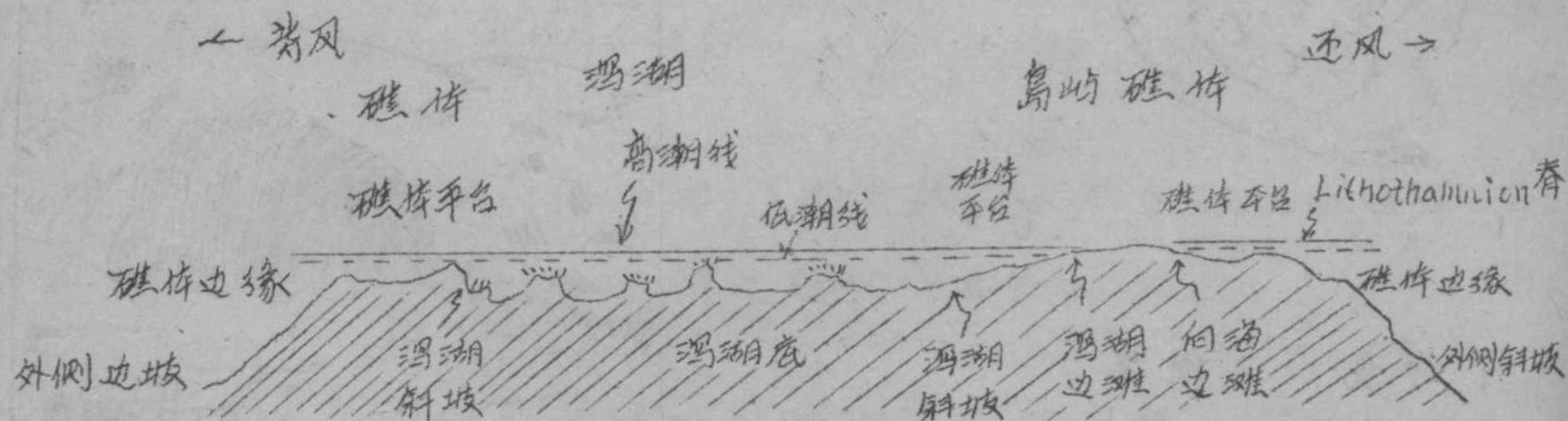


图 VII-9 一个典型环礁的横断面

边坡，在东风一侧正生长着珊瑚礁坪的外缘，常为一条海藻脊（称为 Lithothamnion 脊）高出海面之上，这种钙质藻形成大壳结构，它比珊瑚更能抵御风浪的侵袭，在该海藻脊的外侧至一定水深处以生长茂盛的活礁，为大量的鹿角珊瑚（Acropora）海藻脊向内侧则是礁坪（P 分为死珊瑚礁壳），礁坪位于低潮面附近，表面较平坦，其上散布着一些砂和岩屑。礁坪是珊

珊瑚在低潮面附近横同成层（它不能再向上生长），并经波浪磨蚀及钙质胶结而逐渐形成，我国南海诸岛礁坪是极为发育的。

礁坪内侧接着为一条活礁带，该带近海处有珊瑚（porites）特别发育，活礁带内侧是一钙质砂砾滩，该带系位于一低矮岛屿的边缘，岛屿主要由礁体碎块和砂砾组成，但在有些地方有略微抬升的古老礁体，岛屿面向内在海湖一侧，另外又有一礁坪，一方具有活礁的斜坡，一方浅水的台阶，再下降到有沉积物的海湖底部，在背风一侧又出现礁体或岛屿。

在礁区，常发育有不同水深的水下台地，这种水下台地的形成，主要是由礁体的生长，岩礁之积或者受波浪侵蚀造成。

三、珊瑚礁生长发育的环境：

珊瑚礁的生长有其特定的自然地理条件，环境因素控制着礁体发育程度，形态特征和分布规律，因此为了寻找古礁体的分布规律，保存特点及其与古环境的联系，必须查明现代礁体与环境的联系，以指导对古礁体的识别。

下面分几方面来谈：

1. 温度、盐度、和冰缘：

现代最普遍的造礁生物是珊瑚虫和与之共生的藻类（如虫藻类），它们需要生活在海水年平均温度不低于摄氏20度的热带或亚热带中，因而它们的分布大多限于热带区域，或伸展到热带稍北或稍南条件适宜的地方生长。在珊瑚礁区，冬季水温很少低于 18°C ，如印度，礁体十分发育，水温多在 $27^{\circ}\sim 28^{\circ}\text{C}$ ，水温低于 13°C 或高于 35°C 都不利于珊瑚礁的生长。我国南海群岛海域全年气温较高，表面温度也在 24°C 以上，所以珊瑚礁发育。（谢帕德 Shepard）

目前珊瑚礁群集于三大洋的西部，这主要是由于在赤道南北各有一般自东向西流动的赤道暖流，使得在大洋西部水体聚集起来成为暖流区，有利于珊瑚礁体的发育。

从珊瑚礁成长率看，不同地质时期是不一样的，中新世——上新世约为 0.03 毫米/年，第四纪为 0.38 毫米/年，近 500 年来为 3 毫米/年，表明时代越新，珊瑚礁的成长率越快。现已知道，赤道地带珊瑚礁的成长率为 2.5~4 厘米/年，海南岛大致为 1 厘米/年，这正反映出越热的海域，珊瑚礁成长率越快的事实。换句话说，纬度地带性差异，在珊瑚礁成长率方面也得到证实。

由于珊瑚虫所需的氧气要靠与之共生的藻类进行光合作用来提供，所以还要明亮的光线，通常水深超过 40~60 米的地方，珊瑚虫就不能生活。这种条件的限制，使造礁珊瑚分布范围，局限于南北纬 30° 之间的热带浅海中。一般在海面以下几米的地方，对珊瑚生长最有利。

造礁珊瑚也依赖于适当的盐度条件，其生活的盐度大体在 $27-40\%$ 之间。如我国西沙群岛海域表层盐度亦在 30% 以上。当盐度降低或者盐度增加都会导致珊瑚的大量死亡，如在大河河口入海处即是。

在地质年代里，还有苔藓虫，藻类组成的礁体，这种礁体与现代珊瑚不同，它不受气候水湿的限制，它可以生长在热带、寒带、或极地海中。其生长的深度也有更大的范围，从几米到 100—150 米之间。这类礁体也不依赖于盐度，可以出现在半咸水，甚至淡水和苦咸水湖泊中（纳里夫兹 1956）。但是藻类是植物，只能生长在透光的地方，在清水中阳光能透入的深度是 50 呎（1 呎 = 1.83 米），因此藻类最繁盛的地方是海面下 100 英尺（1 英尺 = 0.3048 米）。

2. 风与海流：

通常认为盛行风的方向制约着珊瑚礁的形状，由于在迎风

海水体流动较好，富有食料和氧的供给，并能带走代谢的废物，珊瑚礁体多数在迎风面繁殖，结果礁体呈新月形或马蹄形，其突面通常风吹来的方向，如科科斯群岛一环礁，突面迎风侧（东南方），有时礁体垂直于主要风向延伸。我国西沙群岛中宣德群岛之东沙洲和南沙洲形态只明显受季风影响，夏季括西南风新月形开口指向东北，砂洲向东北迁移，而冬季为东北风，新月形开口又指向西南砂洲向西南移动。

海流一般与风共同起作用，特别在开阔海区，海流常与盛行风方向一致。

关于珊瑚礁在迎风面只容易生长的这种流行观点，尚有不同看法，谢帕德曾指出，从礁体外围到泻湖，有不同变型的珊瑚和藻类大致呈平行条带延伸，在堡礁内侧泻湖内食料丰富处，岸礁生长活跃，并填充泻湖，致使整个礁体演进纳入岸礁范围之内。环礁内泻湖有时具有珊瑚所需的营养物质，其不亚于礁体外围迎风处。据调查作为珊瑚一种重要食物的桡脚类在泻湖内远比礁体边缘丰富，这可能是泻湖内有珊瑚繁殖的原因之一。据我南海海洋研究所的报导，在西沙群岛的晋卿岛对各种无脊椎动物生态的观察也发现，在礁平台（即礁坪）上分布的礁池（依礁平台上低潮线附近的较大范围，较深深的海水池），形成了一种特殊环境，动植物生长茂盛，比在该岛西南侧的岸边动植物生长势还好。

3. 海区地形

珊瑚礁生长的海底地形，影响礁的生长和发育，如果礁前为一平坦开阔的海底斜坡，风浪需要经过长距离的与海底摩擦，其能量消耗殆尽，故不能达到礁缘，结果使珊瑚需要的氧和食料将比较缺乏，不利于礁的生长，礁体则往往远离海岸分布。而发育成堡礁（堡礁）如果坡岸陡峻，波浪可直达海岸，则往往发育成岸礁。如果海底有洲堤存在，成为风浪的屏障时，其

后侧安静的环境条件下发育成圆形岛礁。

4. 沉积作用

一般认为陆流碎屑沉积作用不利于珊瑚礁的发育，一方面使海底淤积增高，一方面粉砂及岩屑的掩复作用，从而妨碍了珊瑚的生长。（当然也包括该区域盐度的降低）。因而大河口附近不利于出礁。当沿岸地带沉积作用加强将迫使礁体向深海方向发展。

当沉积作用缓慢时，珊瑚常呈带状连续发育，沉积作用加剧时礁体则成为不规则的枝状或塔状，呈孤立散布。

但是沉积作用有时亦不起决定性作用，如赖德和霍夫格斯特早就注意到斐济群岛雪瓦河外。虽有大块粉砂渗入，礁体仍茂盛生长。看来有几种珊瑚具有能够消除沉积在其身上的泥沙的功能。

5. 生长基底

珊瑚礁的生长，须有合适的基底，其中原始的海底起伏十分重要，一个比较坚实的接近海面的突起，使之成为珊瑚依附生长的场所。对墨西哥尤卡坦陆架及其它区域珊瑚礁的研究表明。礁体常沿水下线状高地，水下台地边缘。陆架边缘延伸发育，这种礁体的线状轮廓不一定是与断裂构造有关，而是受海底起伏控制，在浅海陆架地区，海蚀阶地（或古岸线）、石灰岩台地、生物滩、泥丘、陆架边缘及其它古地貌凸出部位，均可能成为礁体的生长基底。这样，海底古地貌在某种程度上控制了礁体的生长位置分布。克洛尼（Klohn 1974）十分强调这种控制作用，他甚至认为短暂海退时的侵蚀作用或生物构筑地貌所造成的海底轻微起伏，都可能是决定礁体生长位置的根本原因。

在深海大洋区，珊瑚礁几乎都以火山岛特别是海底火山为

生长基底，这种海底火山在下沉前常为波浪侵蚀所削平，当条件适宜时珊瑚礁在沉陷海山上生长，而且随着海山的下沉，有的珊瑚礁能在长时期内造逐上升。保持其适宜的生活环境。

海底地形还可影响礁的形态和大小。一般说原始基底大，可发育成大的环礁或马蹄形，新月形礁，而在小泥丘上则只能造成小型头柱礁。

基底的底质的性质亦对礁的发育有影响，坚实的基底对珊瑚最初附着生长比较有利，还可进一步附着在珊瑚碎块和碎屑上不断生长。松软的泥质基底不利于珊瑚的附着生长。而谢帕德等则认为珊瑚礁可以发育于很不相同的底质上，在太平洋西萨摩亚的钻孔中，发现珊瑚礁复盖在泥质沉积物之上。因此并不是绝对的。

6. 基底构造

很多研究者认为，珊瑚礁的分布受基底构造的控制，例如在著名的意大利至大堡礁区（依昆士兰大陆架上），海底的构造盆地形成于中生代晚期，后来一直趋于沉降过程中，其两缘均有隆起，大陆与岸线平行延伸，珊瑚礁就生长在这两个隆起及北海岸隆起上（马克斯威尔 1970）在大堡礁南区的西边缘陆架，有一些台礁，长形台礁，珊瑚台礁（台礁中心衰亡而成），分布于垂直于陆架边缘的两个近乎平行的隆起（麦克列姆 Mai-Klehl 1968）。在英属洪都拉斯大陆架上，有许多断层控制的构造隆起平行海岸延伸，珊瑚礁十分发育。

古底礁体的研究也表明构造与礁的布局有密切关系，乌斯密斯不娅（1972）指出，大型礁多分布在岩相和厚度的突变带上，一般与活动带不同的古构造单元的边界一致，往往相当于陆棚坡和沉陷带的边缘，以及沉陷带中的局部隆起上，其中堡礁往往沿巨大基底断裂发育，大多表现为盆地和隆起的边缘所

梯状断块（构造阶地）或挂底潜山的边缘位置，基底断裂在沉积层中则呈现为单斜挠曲形式。环礁和孤礁多见于拗陷内P的隆起上，一般处于不同走向断裂系的交汇处，据认为这些分布规律已为墨西哥、加拿大、美国及苏联的一些古生代（部分为中生代）礁体的勘察所证实。

7. 地壳运动或海面升降

当地壳发生区域性沉降，海面相对上升，其沉降速度与珊瑚礁生长速度相互适应，珊瑚礁可以追随海面上升而不断向上生长，这对礁体的发育有利。许多礁区的钻探已揭露了巨厚的礁层，这与区域性的地壳沉降有关。如果海底继续下沉或沉降速度远小于礁体的生长速度，将迫使礁体横向发展范围广阔而垂直幅度小。造成泉礁的沉降速度据认为要比尖柱礁慢一些，可见下沉速度控制了一个礁体的三维空间形态及其最终的生成。

当然如果海底下沉剧烈或者地壳上升强烈都会使珊瑚造成大量的死亡，隆起于海面之上的礁体，最终将遭受海表的破坏改造而削平，这种削平的礁体再下沉后，多形成平顶海山。

据认为更新世冰期间冰期的海面升降对珊瑚礁的发育亦有一定影响。冰期海面下降，使得礁体露出水面遭到侵蚀溶解作用。在马绍尔群岛钻探的上P岩芯中，发现在礁体风化坑上为新法珊瑚所复。可见它曾暴露于海面之上。

还可设想，间冰期的高海面，可使环礁外环生长露出现在的面位置，由此可以看到珊瑚礁的生长繁盛或行歇破坏是与地体的升降或海水的升降有密切关系，反之珊瑚礁可以做为分析地壳运动（或海面升降）的良好标据。

8. 溶蚀作用

珊瑚礁的发育成长属于一种建设性地貌，但是海水的溶蚀作用（破坏性作用）也是非常强烈的，礁体的发育成长可以认

为是与海水溶蚀作用长期斗争的结果。当珊瑚繁生，活跃成长时，特别是礁体正处于发育时期，这种破坏作用往往退居次要位置（参看图 VII-10）。但一旦珊瑚礁趋向退化，衰亡时，则溶蚀作用

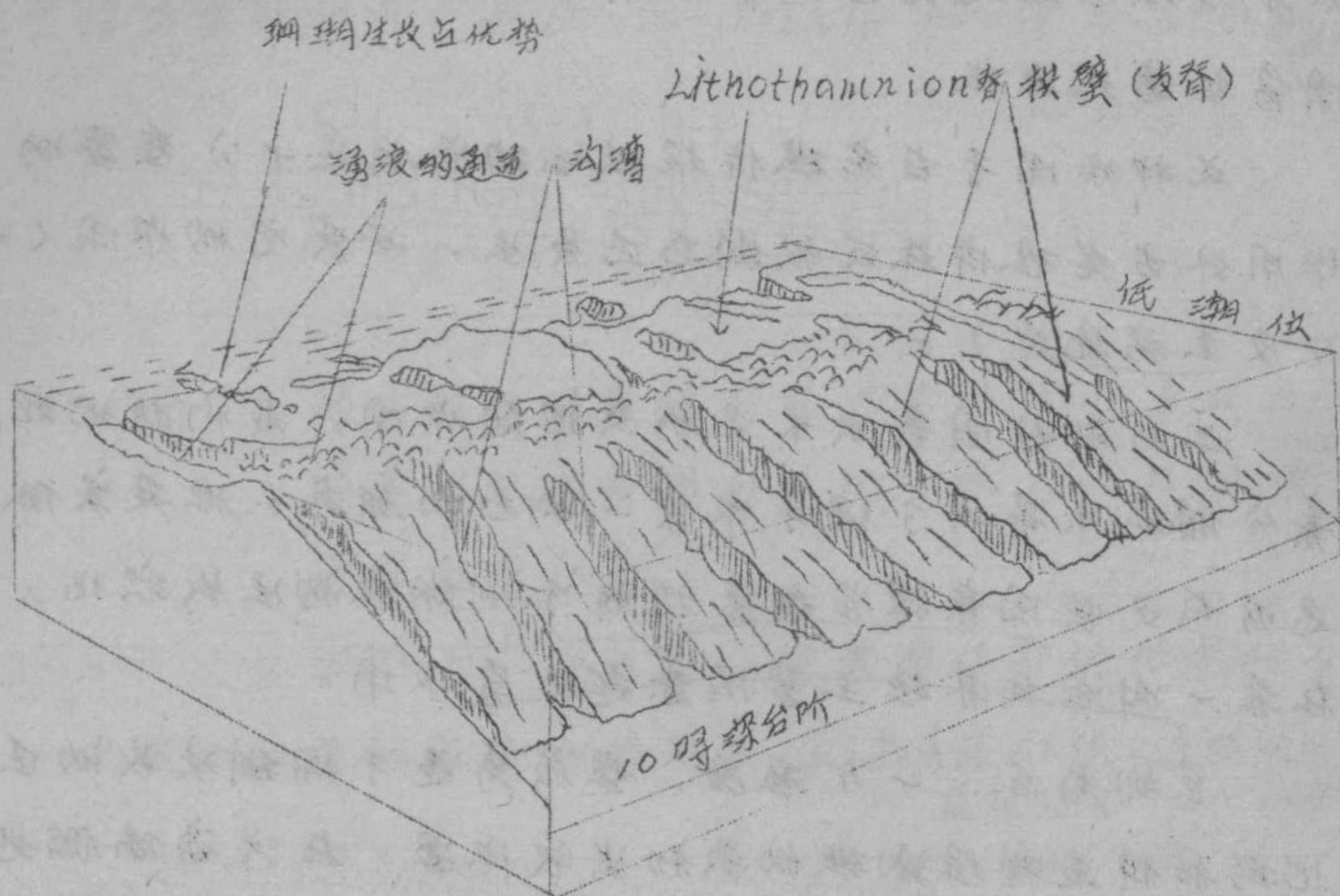


图 VII-10 礁体边缘典型的生长和侵蚀形态

(Lithothamnion 脊是为一条海藻脊，但这并不是一个确切的科学名称)

开始活跃起来，首先在礁体边缘蚀成众多的凹槽港湾，并将礁体破坏的千疮百孔，最后变成孤立的小溶蚀礁。海水上升，礁体处于较深水域不能生长时即遭溶蚀作用的影响。当礁体被抬升高出海面成为礁岛时，海浪，潮汐和降雨都将冲刷溶蚀礁体，在潮间带附近可以蚀成内壁粗糙不平的洞穴，或使上升的礁体变成孔穴密布的块体。这些现象在我国南沙群岛的很多礁岛上可找到。

即使礁体被掩埋，也会受到溶蚀作用，当地^壳持续下沉，珊瑚礁追随海面不断生长时，原先形成的礁体逐渐被掩埋，礁体中的孔隙和空隙（可占 25~50%）将被沉积物所充填，当