

礁地质学及礁的含油气性

〔苏〕B.Γ. 库兹涅佐夫 著

石油工业出版社

礁地质学及礁的含油气性

〔苏〕 B.Г. 库兹涅佐夫 著

李 建 温 译

石 油 工 业 出 版 社

目 录

引言	(1)
第一章 有机建造和礁	(5)
有机建造	(5)
礁的生物地理群落	(9)
礁的分类	(16)
第二章 大地构造在礁的生成和发育中的作用	(24)
礁产生的基本条件及大地构造对礁位置的限定和发展的影响	(24)
礁对下伏层和上覆层构造形成的影响	(38)
第三章 礁组合的岩石特性	(45)
礁建造物的矿物和化学成分	(45)
礁岩的主要结构类型	(50)
礁的构造特征	(52)
礁组合的岩性和岩相分带	(55)
礁块的重结晶和白云岩化	(59)
礁组合的岩石学特征及其与围岩层的相关系	(66)
第四章 礁组合的地球化学特征	(70)
奥伦堡区多内昔沉积层的岩石-地球化学特征	(70)
洼地沉积的地球化学以及微量元素在其中聚集的可能原因	(71)
浅水沉积中微量元素的分布特征及其形成因素	(77)
根据地球化学数据圈定礁	(80)
应用地球化学数据圈定礁	(82)
第五章 礁在海平面变化条件下的发育情况及充填层的形成	(84)
海平面变化对礁发育的影响	(84)
礁地形的充填层	(97)
第六章 礁块中的矿产	(108)
石油和天然气	(108)
油气在礁及其伴生相中生成的可能性	(109)
礁储集层及其特点	(111)
与礁有关的圈闭和油气藏基本类型	(114)
金属矿床	(119)
铝土矿床	(119)
锰矿床	(121)
多金属矿床	(122)
非金属矿床及地下水	(123)
磷酸盐原料	(123)

礁碳酸盐岩	(126)
其它固体矿产	(127)
礁的含水性 and 礁储水层的工业利用	(128)
第七章 潜伏礁的研究方法	(129)
潜伏礁研究的特点	(129)
礁建造物和围岩层理	(132)
礁块形态的研究	(144)
矿场地球物理资料在研究岩性特征上的应用	(146)
礁相的研究	(151)
礁区构造和古构造再造	(153)
礁建造物高度的确定	(157)
第八章 寻找潜伏礁和勘探与潜伏礁有关油气藏的原则	(162)
预测和普查潜伏礁的地质原则	(162)
地球物理方法的应用	(164)
油气藏勘探	(171)
参考文献	(173)

引 言

在地质学研究中，人们对礁建造有着广泛的兴趣，这是因为这种极特殊的生成物有很大的实际意义和实用价值。在地质学中的一些相距甚远的分支著作中，都对它进行了论述。

礁往往是一些与海底地形有明显区别的巨大建造物。由于它们由坚固岩石构成，许多突起于地面的石化古礁形成现代正向地形形体，表现为平缓或陡峭的山和残丘(图1)。因此，礁、更硬切地说由礁造成的地形，可以用地貌学来进行研究。古代礁，不管是出露的还是潜伏的，虽被较年青的沉积物所覆盖，但仍然可以反映古地形，从而成为古地貌研究的对象。

礁上栖居着多得惊人的、特有的生物群落，因此生物学者深入研究现代礁，古生物学者深入研究古代礁，就是很自然的事了。古生物学者研究的是植物化石群和动物化石群的组合、它们的分类组成(常遇到大量特有形态)、生态学和古生态学、生物的相互关系等。礁具有各式各样的生态小生境，存在不寻常的或较稀有的生物群居场所——硬岩底、海底洞穴、小生境等。在礁相中，可以看到某些生物的超前出现，还可以看到礁相对个别生物类群的自生和形成的决定性影响。

礁的研究可以帮助岩石学者弄清一条碳酸盐形成的途径。在现代海洋中，而且还不仅限于礁体本身所处的地带，典型丘状动物群落的生存活动可以形成最大的礁，是制造碳酸钙最大的一种“容器”；这里形成的碎屑状产物，向礁麓滑动，构成深海碳酸盐岩的重要部分。叠层石建造在里费(рифей)群和寒武系碳酸盐岩地层的构成中，特别在东西伯利亚地区有巨大的意义。还必须指出，礁上碳酸盐岩产量大，聚集速度也极快。礁是一种极为独特的岩石类型——具有生物丘和粗碎屑构造，特别的结构(没有沉积层理，而有“礁”层理，五光十色的岩石等)，经常有很明显的次生变化(强烈的重结晶作用，被壳作用，白云化作用等)。礁对研究沉积物的相环境和复原久远地质时代的古地理环境，有巨大的意义。应该指出，礁在海底不但对其周围区域同期沉积物沉积的性质有巨大的影响，而且通过礁造成的地形对上覆层的岩性-岩相组成也有巨大的影响。

构造地质学者研究礁在地壳上不同地带的分布特点、礁与个别类型的构造的联系。他们还用礁作为反映大地构造运动情况的标志，进行古构造制图，而且礁还是非常灵敏的指示物，因为再造时得到的详细情况和精确程度用其它方法是达不到的。礁对披盖、压实和沉陷构造作用成因的构造带的形成起着决定性作用，因而影响上覆层、往往也影响下伏层形成的构造状况。

对地质普查人员来说，必须善于研究有机建造和礁，把它们搞清楚并制出图件。因为在层状地层中，对块状碳酸盐岩的成因意义常常不了解，而对这些岩石的本身又未进行制图。

礁在人类历史上也起了一定的作用。在拔地而起并由致密岩石组成的礁上，曾出现过天然的城堡建筑，上面用礁岩作建筑材料，在许多时候还建筑过军事工程——堡垒、守望塔等。例如，东克里木苏达克区热那亚堡垒就是这种情形。

礁的实际意义非常大。大量油田和气田与礁有关，也与披盖和压实构造有关。已查明地槽中的铝土矿，许多锰矿，有色金属矿，磷灰石矿，光学和研磨材料矿，均产自礁建造上。礁是开采建筑石料的对象，是水泥工业、化学工业、印刷工业、玻璃工业、食品工业的原



图1 由珊瑚-海藻和水螅灰岩组成的礁块(东克里木索科耳山卡洛统——牛津统)

料。高孔隙性和洞穴型礁块, 含大量的高质淡水资源。

“礁”一词, 荷兰航海者作rif, 英国航海者作reef。它有两个含义, 既指缩帆部(用于减小帆面的设施), 又指海中一系列悬崖、峭壁、浅滩。它们分布于水面, 或略高出水面而形成防波堤, 从而妨碍航行(深度不到10~11米者)。在澳大利亚、北美和南非共和国, 人们把金属矿脉, 主要是含金矿脉和板状金属矿体, 以及把呈卵形隆起环绕含金钢石软角砾岩的无矿致密岩称为礁。有些指令上说, 该术语是由海员——找金者引进金属地质学中, 因为他们对突出地面的任何物体, 都会在海洋地理意义上联想到礁。

海洋礁的科学研究始于地质学成为科学的时期(十八世纪后半叶)。如果说从航海一开始就知道海洋中有礁的存在, 那末对礁作系统研究则开始于十八世纪~十九世纪初的专门科学考察时期。在这个时期以前, 对许多世界海洋的礁只是发现、填图、开始研究其形状、上面生活的生物等。英国航海家詹姆斯·库克(Джеймс Кук)的考察和他的同伴德国学者赖因戈尔特·福斯特(Рейнгольд Форстер)的研究, 具有很大的意义。在他们的航行中发现了现代最雄伟的礁系——澳大利亚东缘大堤礁^①, 其它岛屿附近许多环礁和单礁, 并对珊瑚建造作了初次的科学描述。必须指出, 在研究澳大利亚大堤礁时, 把分泌石灰的生物营造起来的山脊认为是“礁”, 这就把有机礁的概念引了进来, 而这一概念在地质学中获得了极为广泛的传播。为了更加明确起见, 曾多次试图用“珊瑚”, “动物”, “有机”, “生物”等词作礁的定语, 但任何一个都行不通。长达一个世纪的经验表明, “礁”这个术语作为有机建造, 可以包罗万象, 广泛通用, 并且清楚明了。

礁研究的一个最重要的新阶段, 开始于十九世纪前半叶, 正值地质学中的“英雄期”。1831年, Ф.Ф. 贝林斯高津(Беллинсгаузен)证实了珊瑚岛的有机生成, 并发表了珊瑚岛与水下隆起有联系的见解。Ч. 达尔文(Дарвин)在“贝格尔”号船上旅行时所作的观察和得出的结论, 具有突出的意义。他在1837年第一次报导了珊瑚礁的成因, 于1842年出书。Ч. 达尔文思想对他同时代人和以后许多代地质学者的地质概念都给予了深刻的影响。

从各种不同的观点研究现代礁, 从十九世纪末广泛活跃起来。在大量的学术著作中, 可

^①大堤礁(Большой Барьерный Риф), 又译作大堡礁。——译者

以列举的有澳大利亚大堤礁研究委员会会刊, И. 乌姆勃格罗夫 (Умбгров), Р. 费尔布里奇 (Фэйрбридж), У. 马克斯韦尔 (Максвелл), Ф. 谢泼德 (Шепард), Ф. 奎年 (Кюнен), Х. 文斯 (Винс) 等人的著作。在苏联的著作中可以提出来的有太平洋西南部环礁地理方面的著作 («География……», 1973)。

Ч. 达尔文还指出过, 在现代礁上钻井有很大的意义。1881年, 他在给 А. 阿加西斯 (Агассиц) 的信中写道: “我真想有那么一个百万富翁头子想在太平洋某些环礁上进行钻探, 从 500~600 英尺的深度取出岩芯 (达尔文, 1936, 第 256 页)。最早两口井, 1896~1898 年钻于富纳富提 (Фунафути) 环礁上 (埃利斯群岛), 钻达深度为 21 和 334 米。以后, 在澳大利亚大堤礁 (井深达 180 和 219 米)、北大东群岛、瓦胡岛 (夏威夷群岛)、百慕大和巴哈马群岛上 (在安德罗斯岛上, 井深 4862 米进入下白垩统), 以及在比基尼、埃尼威托克、中途岛、木鲁罗厄环礁上都钻了井。

因为其中许多井不但钻到了第四系, 而且钻到更老的地层 (直到白垩系), 所以这些井就可以用来研究长期形成的礁的剖面, 即在时间上研究礁的发育情况, 对了解石化礁和潜伏礁的地质情况提供了许多很宝贵的资料。这些井大体上证实了 Ч. 达尔文关于礁生成条件的观点。对海洋礁的矿产, 特别是对磷钙石也进行了专门的研究。

在研究现代海洋礁的同时, 也研究了石化礁, 其中包括潜伏礁。大概最早被定为石化礁的, 是果特兰岛志留系的一些块状灰岩, 其被定为礁岩的理由, Р. 默奇森 (Мурчисон) 在 Ч. 达尔文著作的影响下发表于 1847 年。И. 沃尔特 (Вальтер) 和 Н. И. 安德鲁索夫 (Андрусов) 于十九世纪末开始对古代礁作系统研究, 一些重要的结论收集在 А. 格雷博 (Грэбо) 的著作中。

二十世纪中叶, 对礁的兴趣大为高涨, 这与发现了礁作为重要矿产储集场所的经济作用有关。写出有关礁的最重要的著作者, 在美国应该提到的有 Ф. 金 (Кинг)、Н. Д. 纽厄尔 (Ньюэл) 及其合著者、Х. 洛温斯坦姆 (Ловенштам); 加拿大应该提到的有 Д. 莱耶尔 (Лейер)、Дж. 安德里丘克 (Андричук)、Х. 贝利 (Белие)、М. 赫里斯克维奇 (Хрискевич)、Л. 伊林 (Иллинг)、Р. 马丁 (Мартин)、Т. 林克 (Линк)、Д. 巴斯 (Бафсс); 墨西哥应该提到的有 Е. 古茨曼 (Гуцман)、Ф. 维涅格尔 (Винегр)、К. 卡斯季尔-捷德热罗 (Кастильо-Теджеро) 等人, 近东应该提到的有 Ф. 亨森 (Хенсон)、王贝伦 (Ван-Беллен) 等人。

在苏联, 对研究出露礁起很大作用的有 Р. Ф. 格克尔 (Геккеа, 1968) 的著作以及在他领导下进行的第三届和第四届古生态-岩石学现场会议 (近乌拉尔, 克里木, 摩尔达维亚), 还有 Д. Ф. 沙莫夫 (Шамов)、И. К. 科罗柳克 (Королюк)、В. П. 马斯洛夫 (Маслов)、В. Д. 纳利夫金 (Наливкин)、Д. М. 拉乌泽尔-切尔诺乌索娃 (Раузер-Черноусова)、И. Т. 茹拉弗列娃 (Журавлева)、Е. В. 克拉斯诺夫 (Краснов)、И. Н. 克雷洛夫 (Крылов) 等人的著作。对潜伏的含油气礁成功地作了研究的有乌发科学研究所 (Д. Ф. 沙莫夫 (Шамов), М. А. 尤努索夫 (Юнусов) 等人)、国外地质研究试验室 (Р. Б. 赛富尔-穆柳科夫 (Сейфуль-Мулюков)), М. М. 格拉切夫斯基 (Грачевский), Ю. М. 别尔林 (Берлин), И. Т. 杜鲍夫斯科伊 (Дубовской), Г. Ф. 乌勒米舍克 (Ульмишек)、矿物燃料、地质和开发研究所 (М. Ф. 密尔钦克 (Мирчинк), Р. О. 哈恰特梁 (Хачатрян), О. М. 姆克尔特昌 (Мкртчян), А. А. 特罗霍娃 (Трохова) 等人)、全苏石油地质勘探研究所 (И. Д. 伊勒英 (Ильин), Г. А. 卡列达 (Каледа), М. В. 米哈伊洛娃 (Михайлова) 等人)、油气田地质勘探研究所 (М. Х. 阿里弗贾扎诺夫 (Арифджанов))。对礁中铝土矿含量的一些重要问题作了分析研究的有 Ю. К. 戈列茨基 (Горещким)、А. С. 卡卢金 (Калугин) 对磷酸盐聚集与礁的关系作了研究的有 Э. А. 叶加诺夫 (Еганов)、В. И. 福明斯基

(Фоминским), 对多金属与礁的关系作了研究的有И. Л. 瓦西列夫(Васильев)。在礁的含油气性、礁的分布规律、普查和勘探与礁有关的油气藏的原理方面发表了重要论点的有А. А. 巴基罗夫(Бакиров)、Э. А. 巴基罗夫(Бакиров)、М. И. 瓦连佐夫(Варенцов)、Г. П. 奥瓦涅索夫(Ованесов)、Г. Е. 里亚布欣(Рябухин)、А. А. 特拉费穆克(Трофимук)、Н. Ю. 乌斯宾斯卡雅(Успенская)等人。

关于有机建造和礁及其研究方法方面的最完整的现代资料都收集在一部集体撰写的专题著作中(«Ископаемые...», 1975), 但该著作主要谈到的是出露礁的研究。综合整理潜伏礁的资料, 对广泛开展在礁中寻找油气田、寻找铝土矿、磷钙石的工作是很有益处的。按照А. В. 西多连科(Сидоренко)院士正确的意见, “进一步发展石油和天然气工业的后备基地, 要求进行新的工作, 研究……礁块形成的规律”(西多连科, 1972, 第61页)。

作者撰写本书的依据主要是他在乌拉尔-伏尔加区, 伏尔加河下游一带, 近乌拉尔一带, 滨里海盆地等区域对礁地质学及礁的含油气性所作的多年研究, 以及在苏联其它许多地区(立陶宛, 摩尔达维亚, 克里木, 乌拉尔)对一系列出露礁和潜伏礁作研究中所获得的材料。此外, 书中还应用了广泛的资料, 其中包括国外资料。这完全是很自然的事, 因为在苏联水域中没有现代礁, 而苏联学者直到最近才开始研究现代礁。至于潜伏礁, 自从在乌拉尔山前边缘拗陷带的礁中发现了第一批较小的油田以后, 对礁油田的兴趣大大下降了, 到六十年代, 只有在乌拉尔-伏尔加区的卡马-基涅耳盆地发现油田以后, 才对寻找这种类型的油田重新感到兴趣。这个时期在别的国家, 特别在美国、加拿大、墨西哥、利比亚、许多近东国家, 大力进行含油礁的普查和研究。

在许多情况下, 为了说明书中所阐述的原理, 应用的不是作者独出心裁的研究例子, 而是苏联和国外在大量钻井工作基础上较细致较详尽地作过研究的实例。

本书的任务, 不仅要反映出关于礁的现代知识, 而且还要涉及未解决的和争论的问题。作者还将认为, 在许多情况下一些传统意见和比较简单的解释, 并非经常都是正确的, 而要求作比较深入的研究。

第一章 有机建造和礁

有机建造

有机建造，即植物和动物(主要是群体)的有机体相互叠生而造成的地质体，它是一切礁建造物的基础(«Решения»..., », 1968; «Четвертая...», 1968)。

在海底，在海底某一地段，生物(藻类、珊瑚、层孔虫、苔藓虫、灰质海绵、原古杯、厚壳蛤、龙介虫、相互重叠生长的有孔虫等)繁茂生长，形成海底丛生地。有一些生物，例如珊瑚、有孔虫、苔藓虫，本身具有坚硬的骨骼，另有一些生物能使海水大量沉淀碳酸钙，例如造成叠层石建造的蓝绿藻。最后，还有一些生物，例如高级藻类，没有硬质分泌物，但可以阻止波浪，不使海水混浊，以此可以固定海泥，并拘留未固着生物的骨骼分泌物。渐渐地一些生物死亡，在其遗骸上又产生和发育另一些生物，就这样在许多世代交替以后，形成有机建造，其特征是固着于海底的生物遗骸保留着生前原状，即存在岩石的生物丘结构。在海底没有丛生地的相邻地段，则堆积另一些岩类——碎屑岩，泥灰岩，粒屑灰岩等。如果有有机建造生长速度与其周围沉积物堆积速度大致相等，那末有机建造在海底地形上就显示不出来。它的古地理形状就是藻类或群体生物丛生地覆盖下较平坦的海底。在地质剖面中，这种类型的石化有机建造，就显示为与同期沉积围岩厚度大致相同的地层、层系或扁平的透镜体，与围岩相比较，其不同之点是存在生物丘结构。这种石化的有机建造取名层状礁(биостром)。

如果有有机建造的生长比周围同期沉积物的堆积快，那末在海底地形上便形成山丘、孤滩、水下高地。这种呈石化状态的建造，首先因为厚度比同期地层的大而形成凸起的透镜体，其次因为具有生物丘结构而显示出来。凡山丘状石化有机建造，未冒出防波堤面、即未被海浪破坏者，取名为生物丘(биогерм)。如果有有机建造向海面上升，也就是说水下或水上岩石在海浪作用下迅速受到破坏，那末这种有机建造就变为礁(риф)。因此，礁乃是群体生物或叠生生物(生长于近水面并具有相当的抗浪能力)营生活动产生的一种复杂的地质生成物。它是一种碳酸盐块体，起码局部是由生物遗骸及其破碎物所组成，在其生长时期从海底高高升起并形成防波堤；礁生长的速度超过周围沉积物的沉积速度，因此它的厚度比同期沉积物的厚度要大。

山丘和岩块，既是生物丘也是礁的一种古地理形状，然而若属礁，它们便形成防波堤，即上升到海面或分布在略低于海面但又高出波浪作用面的地方。造礁生物尽管抗浪作用很大，其碎屑的存在就可以表明，当时的深度很小，而且岩块上升到了波浪作用面以上。这就引起剧烈的质的变化。И.Т.茹拉弗列娃(1966)作的结论完全正确，她说“……石化礁不可能是许多层状礁和生物丘简单的派生物”(第65页)。石化礁是比石化有机建造更为复杂的一种生成物，因为石化礁是由石化有机建造及其破坏后的产物(粒屑灰岩、碎屑、岩块)共同构成的；此外，在许多情况下，礁上有产生化学沉积物、生物化学沉积物的条件。因此，作为地质体的石化礁，既是地貌上独特的建造物，也是组成其岩类的有规律的组合体(礁组合)，既

主要由生物丘组成的礁核和在成因上与生物丘有关的相(表现为各种各样岩石类型的泻湖相、前礁相和后礁相)的总和(Henson, 1950; Равикович, 1969; Кузнецов, 1971а, б; Журавлева等人, 1966)。

因此, 研究的主要的分类单位可表示为以下的归属关系:

层状礁——有机建造	} 有机礁
生物丘——伴生的有机碎屑灰岩和化学灰岩	

为了弄清有机建造和礁的基本类型, 应该扼要地提一下现代建造物与石化建造物(层状礁、生物丘和礁)的区别以及研究这两种建造物的方法特点。在现代建造物中记载着建造物发展的某一个阶段, 并且原则上并不难确定其地貌形态(平面形态, 从海底上升的高度, 相对海平面的位置), 上面栖居的各种造礁生物和喜礁生物的组合, 生物的生态学和生物的相互关系, 以及生物在不同地貌带根据深度、透明度、波浪、含氧和食物的新鲜水的流动的不同而分布的特征。现代建造物的内部组构, 实际上不清楚, 因为上面的钻井数量不多, 还因为从这些井中取出的岩芯已不代表现代建造的特点, 而代表石化建造的特点, 尽管建造是非常年青的。石化建造是一种历史上的客体, 因而代表各个具体发展阶段的总和。在研究石化建造物中首要的是探明内部组构——组成礁的岩石成分、结构、构造, 各种类型的岩石和生物化石在块体平面上和剖面上的分布特征。在石化建造物中研究的已经不是活的生物, 而是生物化石, 而且许多造礁生物和喜礁生物实际上从来不能保留为化石, 因此在研究古生态和古生物关系时, 同时分析生物化石及其围岩的岩性, 具有极其重要的作用。这样分析的结果, 特别是确定了一定的岩性-生态带以后, 就可以用来确定出有机建造的类型, 并进行必要的古地形再造。

建造物在平面和剖面上的形态特征, 可用厚度分布来说明, 然而如果各条等厚线的形状总的表现为建造物各个具体形成阶段的平面轮廓, 那末建造物的厚度一般来说就不能反映沉积高度; 沉积高度只能根据与同期沉积层厚度的对比关系来确定。由此可知, 地质形体通常与古地理形状不相符合, 这一点在研究石化礁时应当准确分辨并加以考虑的。

对主要术语的上述观点, 在苏联极为通用, 特别还写进了第三次和第四次关于研究石化礁生成物的古生态-岩石学会议的决议中(«Решения...», 1968), 本书也以这种意义加以使用。国外大多数地质学者对礁的理解也与此类同(Е. Клауд, Дж. Клован, Х. Ловенштам, У. Вильсон)。但是赋予“层状礁”, 特别是“生物丘”的含意却极不相同。美国学者 E. P. 卡明斯和 P. 施洛克(Cumings, Shrock, 1928; Cumings, 1930, 1932)曾把这些概念写入文献中。把“主要由固着生物营造和组成、并未形成丘状形体和透镜状形体的一类纯粹的层状生成物, 如介壳层、海百合层、珊瑚层等”定义为层状礁(Cumings, 1932, 第333页)。大多数现代研究者根据该定义把层状礁视为一种地质体, 产状为层、层系或厚度与同期沉积物大致相同的扁平透镜体, 因此地质体在其生长时期根本未从水盆底部升起。至于营造起层状礁的生物组成, 研究者的意见各有不同。根据 E. 卡明斯的意见, 既可能是群体建架生物, 也可能是软体动物或腕足类类型的单体固着形态。持这类观点的有 Ф. Дж. 佩蒂约翰, Т. 林克, И. Т. 茹拉夫列娃。以后又出现了一些更广泛的见解, 把由任何生物化石, 直到浮游生物(有孔虫、硅藻类、放射虫)化石组成的地层当作层状礁(Рейман, 1964, 第114页); 甚至还建议把煤层(其中包括移积煤层?——作者)也列为层状礁。对这类概念这样大量赘述下去实无必要, 也不值得去认真讨论。П. Е. 克劳德(Cloud, 1952)则相反, 他把这一概念缩小了, 把“层状礁”这一术语只用于介壳层。苏联地质学者与此不同, 认为层状礁是由群体和迭生生物形成的

(《Решения...》, 1968; Ископаемые...》, 1975)。鉴于后一种意见, 可建议把“滩”这个术语用于主要由介壳物质原地组成的层状沉积。众所周知, 在新生代地层中, 有牡蛎、贻贝和其它生物滩, 在古生代地层中, 有腕足类(长身贝、五房贝等)滩。这些生物也具有一定的抗浪能力(牡蛎的厚实而堆叠的介壳能够牢实地胶结在硬本体或其它个体上, 腕足类的纹饰等), 但不足以造成极显著的丘状建造。群体和叠生生物具有较大的稳定性, 析出碳酸盐物质的速度也可能较大, 其聚集起来的层状、而非丘状的形体, 决定于地质构造和古地貌条件, 这将在下一章再进行讨论。

因为“礁”一词用于不同的知识领域, 并且远不能符合地质人员对它的狭义理解, 所以E.卡明斯和P.施洛克把“生物丘”一词引用来表示珊瑚礁, 即狭义的礁(Cumings, Shrock, 1928, 第599页)。以后E.卡明斯给生物丘下的定义为“……凡有机成因、嵌入另一种岩性岩石中的类礁状、丘状、透镜状或受其它方式限制的生成物”(Cumings, 1932, 第333页)。接着又写道:“……该定义既包括积极礁, 又包括其它类似的有机建造物”(同上, 第333~334页)。根据后一种说法可以认为, 上升到海面的生成物, 即防波生成物和未达到海面的生成物, 都包括在“生物丘”概念之内。

因为这种说法相当笼统, 所以在具体使用上含义就不单纯了。“生物丘”一词至少有三种理解, 并且没有一种不在基本意义上与原始定义相矛盾的。许多国外地质学者(Ф.Хенсон, Т.Линк, У.Твенхофел)认为“有机礁”与“生物丘”两个术语是同义词。Л.В.纳利夫金院士也坚持这种意见, 他认为运用术语没有好处。“问题在于E.卡明斯所理解的生物丘, 以内容和规模而论则与一般地质人员所谓的礁相吻合。把早已采用并广为流传的术语换成与其相符合的新术语, 就等于制造混乱”(Наливкин, 1956, 第419页)。另一些地质学者, Ф.佩蒂庄, Ф.麦克尼尔(Мак-Нейл)等人从比较一般的概念出发, 把生物丘看作是碳酸盐岩厚有机块体。按照他们的意见, 礁只是生物丘达到海面时的个别情况。最后还有一种意见认为, 生物丘是“地道”的丘状建造, 即达到海面的建造物, 因而不存在与礁-防波堤相伴生的沉积物, 这一点已反映在上面提到的古生态-岩石学会议的决议里了。

应该指出, 遗憾的是“层状礁”和“生物丘”两个术语因其能“朗朗上口”而使用得过分, 而且组合得也出人意料, 如象“层状礁及其塌积相”, “层状礁形状的礁”等。更有甚者, 这一类组合还竟然给塞进了一些教科书中。例如, 在作为地质专业高等院校教材的构造地质学与地质制图学教程中, 礁被定义为致密灰岩块(?)——作者), 再往下把“礁的块状形体”叫作生物丘, 而把“层状礁生成物”叫作层状礁(Сократов, 1972, 第45页)。

近年来, “生物丘块”这一术语有了一定的普及, 但人们对它的认识极其不同。一批研究者把它看成是生物丘在形态上联合起来的形体, 未赋予它严格的成因意义, 不是把它当成单一的均质体, 而是当成一批在时间和空间上接近的生物丘, 它们在有些地方堆积起来几乎汇聚在一起, 在有些地方间杂有其它岩石——陆源灰岩, 板状灰岩以及镶嵌灰岩(《Раннекембрийские...》, 1973)。

另一些研究者(И.К.Королюк, М.В.Михайлова)把“……单一的碳酸盐体, 即空间上一批孤立的生物丘及其附属的伴生岩”(Михайлова, 1974, 第225页)认为是生物丘块。把“……特殊的碳酸盐体, 即不仅包括生物丘本身各个部分, 而且还包括其伴生物(礁相)的总和, 除了生物丘相(必具相)外, 还必须有塌积相、泻湖相、礁滩斜坡相”, 认为是石化礁建造(同上, 第225页)。显然, 它们的区别仅仅在于在生物丘块中有“伴生岩”, 而在石化礁建造中, 把“伴生物”作了进一步解释。

这些概念的从属关系同样极不清楚。一方面，“生物丘块”是一个最一般的概念，特别是可以把礁块包括进去。从一些具体的记述可以得出这一结论。举例来说，在生物丘块附近可以看到“……由带有灰质砂岩透镜体的典型礁角砾岩组成”的塌积岩（Михайлова，1965，第29页），而且“在某些生物丘块中由碎屑物质组成的塌积岩，其厚度有时大大超过生物丘本身”（Михайлова，1968，第204页）。但是这一结论与礁块的定义相矛盾，礁块的定义是“……空间上独立的碳酸盐体，它不但包括生物丘及其中所包含的伴生沉积（按上面定义，与生物丘块相符合——作者），而且还包括着典型礁相的总和：防波堤，泻湖，塌积（Королюк，Михайлова，1970，第231页）。按这种定义看，礁成了规模更大的一个等级，因为它包括生物丘块，也包括典型的礁相。

这些概念的相互关系也极不肯定，以致可以把石化礁建造称为礁块或者称为生物丘块（Михайлова，1968，第197页）。

上述对具体“生物丘块”所下的定义和所作的描述表明，这一术语与其作者们（Е. 卡明斯和Р. 施洛克）对“生物丘”这一术语所下的原始定义，即上升到波浪基准面之上，或未达到波浪作用面的丘状有机建造物，实际上意义相同。因此，出现的新术语，就其实质而论，是现有术语的同义语。如果说原术语没有必要的话，那么引进一个新的来代替它，也未必有这个必要。

引入这一术语对于把有机礁与其它意义的“礁”一词区别开来，并没有充分理由。有许多这样的例子，在不同的知识领域为了表达不同的现象而使用同义词。例如，熔流（эскол）的变质和岩浆相与河流（гресля）的沉积相的原始概念毫无共同之处。但是为了把较简单的、尚未成为防波堤的有机建造物分出来，“重新”使用一个术语是合理的，甚至是必要的，而且大多数地质人员开始把这种建造物叫作生物丘。由于一般认识的发展而使概念范围的改变，不可能作为取消一个术语本身的依据。举例来说，虽然“原子”（атом）的原始意义为“不可分”（Н-едемый），它与现代知识水平怎样也吻合不起来，但不能提出改换这一术语的问题。引入广义术语“生物丘块”的原因，首先可能在于创造“生物丘块”术语的人，对礁概念赋予一种过分窄狭的意义。石化礁这一术语要求完全符合现代最大的而且具有礁脊、礁台（滩）、泻湖等分异了的建造物。只要缺少其中任一组成部分，哪怕证实建造物具有抗波性，其礁的属性也要遭到否定，而且还要引入一个新术语。这种做法未必正确。首先，远非所有的现代礁都具有细微的形态分异和生态-岩石的分异现象，大量的还是较为简单的建造物。其次，还应该考虑地球总的地质演化必然会反映在成礁过程中。最后，也可能是最重要的一点，研究石化礁块，特别是潜伏礁块客观上存在着困难（保存不完全，出露差，井网稀，取芯量少等），在大多数情况下不可能把古代建造物描述到象对现代生成物所可能作到的那样详细程度。在研究规模较大的礁（包括石化礁）时，要根据分异的程度和研究的详度把所研究的礁划分成更小的类别，例如，无泻湖的穹隆礁，有泻湖的环形礁等，这样才可能更加合理。

常常给人以这样一种印象，“生物丘块”仅仅是在研究过程中的一个阶段，因为在进一步较全面较详细的研究之后可以确定出“礁相”的存在，再改为“礁块”，例如，起初把斯帖尔利塔马克（Стерлитамак）尖顶山当作生物丘块（Королюк，Кириллова，1973；《下二叠世……》，1970），后来又开始把它称为礁，或干脆就称为有机块（《Ископаемые……》，1975）。

用基本术语——层状礁、生物丘、礁（礁组合）所表示的对象，大体上可依其发育的规模 and 时间的长短区别开来。层状礁和生物丘的厚度，通常为数米，偶尔也达数十米（如果是数十米，则属于上述的生物丘块，往往都是礁），可是礁的厚度有数十米，常常达到数百米（当

然,也见有厚度不大的礁,但与层状礁和生物丘相比,礁厚度增大的总趋势是肯定不移的)。生物丘和礁在面积上的大小,也反映出类似情况。生成层状礁和生物丘的时间间隔,通常也很短(这里可能要把那些长期发育而沉积厚度较小的礁除外),而礁组合的形成却要延续几个期、几个世和几个纪,有时会延续更长的时期[乌拉尔礁(赫尔辛灰岩)包括从晚罗德洛世到整个艾斐尔世的整个时间间隔,在阿赖山脉中,礁也从晚罗德洛世开始发育到早石炭世结束]。这一特点是完全可以理解的,因为生物具有很快沉淀碳酸盐物质的能力,在很短时期营造起的建造很快就能达到海面,即由生物丘转变为礁。建造长期保留生物丘的性质,只有在构造拗陷作用比生物丘碳酸盐堆积速度更快的情况下才有可能,这种情况大概是极罕见的。在一般情况下,想遇到又高又大,而又没有上升到波浪作用面以上的建造即生物丘而不是礁,是困难的,想在研究的早期阶段即尚未确定是否存在防波堤或其它“礁”相时,就遇到大概可以称之为礁的那种建造物,也是困难的。在研究露头的过程中,实际上只有在整个建造或其大部分都已看得出来并可直接研究,与围岩的接触面可以观察得到而且可以作极详细的调查时,层状礁和生物丘(加上生物丘块)才能区别开来并加以分类。在研究潜伏建造物时,通常只能把相当大型的物体划分出来,而生物丘、特别是层状礁实际上是无法确定的,因此下面着重探讨礁建造物。

礁的生物地理群落

活礁是一个清楚表现出来的生物地理群落,即活生物和矿物,其中包括有机生成物相互制约的组合。石化礁作为一个地质体,是一定古生物地理群落的总和。既然有机建造和礁的生成首先取决于生物的发育,那么下文就应该更详细地叙述这些生物的组成,生物在生态系统中的相互关系,以及这类生物群在生成建造中所起的作用及其意义。

必须指出,礁的生物群落极其多样、复杂,并且产能很高。现代建造物的研究者们一致指出,礁无论在生物群落的原生产量和次生产量方面,还是在新陈代谢的旺盛程度方面,都是海洋中最高产的生物群落之一(Сорокин, 1972; Одум, 1975及其它著作)。例如,在辽阔的太平洋中,礁“……象是沙漠中的绿洲。礁区的高产情况,使得礁与热带广海生物稀少的海域迥然不同”(«Тихий...», 1970, 第83页)。举例来说,在马绍尔群岛和夏威夷群岛礁区中,每年的原始生物产量累计达 $1500\sim 3500$ 克/米²有机碳,可是在临区海域只有 $20\sim 37$ 克/米²。在研究濒临南佛罗里达的海域中的*Peniculus*藻时,获得了有价值的资料(Stockman, Gingsburg, Shinn, 1967)。在佛罗里达湾浅海非礁生物群居地,生物群居极不均匀,平均密度每平方米为2个个体,而在礁带其平均密度增至每平方米8个种数,有时每平方米达100个个体。每个个体的文石平均质量也有增加,由0.17增到0.52克。所有这些,使碳酸盐藻物质的年产量由海湾的3.23克/米²增加到礁带的25克/米²。

高速度的从海水中分离碳酸钙,从而加速生物和礁的生长速度,这与有机物质的原始产量高有关。现代造礁珊瑚每年的增长速度达 $2.5\sim 4$ 厘米,有时达 $10\sim 14$ 厘米。在冰川后的一段时期(大约11000年)中,太平洋礁的平均生长速度每年为 $0.91\sim 1.33$ 毫米,最大达到 $10\sim 14$ 毫米。在个别地段甚至增长速度每年有达30厘米的。太平洋不同类型的深水沉积物堆积的速度,在 $0.0003\sim 0.060$ 毫米/年的范围变动(«Тихий...», 1970, 第229页)。礁的生长速度与浅水碳酸盐沉积物增长的速度差别虽小,但能完全看得出来。举例来说,这两种速度在佛罗里达湾为0.3厘米/1000年,在礁带上为2.3厘米/1000年(Stockman, Gingsburg, Chinn,

1967)。总之，礁上碳酸盐物质的实际年产量，即礁系中现有的数量，估计为 10^3 克/米² (Chave, Smith, Roy, 1972)。要精确查明生物群落及其多样性，查明古沉积中产量的大小与堆积速度的差别，是不可能的，但总的情景是保存下来了。有大量资料说明礁上的生物化石比同时代沉积中的种类要多得多，数量也大得多，因此Ф. 佩蒂庄把石化礁称为“生物高度活跃的小岛”。礁比同时代的非礁沉积有更大的厚度，这就证明了礁上碳酸盐物质堆积的速度是比较大的。

生物在成礁中的功能和作用极为不同，因而可分为两大类——造礁生物和喜礁生物 (Равиковиг, 1954; «Решения...», 1968)。造礁生物构筑骨架并“积极”营造建造物，喜礁生物则生成额外的碳酸盐物质，“消极”营造建造物。以后这些概念的含义又有一些改变，划分出积极造礁生物和消极造礁生物 (Кузнецов, 1971; Краснов, 1972及其它著作)。

凡提供碳酸盐物质用于构筑建造物的生物，以及没有硬质分泌物、不能保留为化石，但对形成建造有促进作用的生物，都可以认为是造礁生物，因为这些生物可以固定海泥和其它碳酸盐的沉淀物，例如非钙质海藻。积极造礁生物就是那些生成升出海面的建造物所必不可少的生物。消极造礁生物，只补充提供骨骼化石形式的碳酸盐物质，或者促使碳酸盐物质发生生物化学沉淀。无论是积极造礁生物还是消极造礁生物，在绝大多数情况下都能在礁外栖居。它们以后是否会造出有机建造来，这要取决于一系列因素的配合，即大地构造、地貌、生态等因素。喜礁生物与礁的这种特殊的生态体系有关。这些生物在礁的生物地理群落中，在有机建造物外貌的形成中，在一定类型的沉积物的形成中，都起着重要的作用，但对建造体并不提供碳酸盐物质。

现在我们分门别类地、较详细地来研究礁的生物群落。在积极造礁生物中，最富盛名的是能生出一定硬骨架的生物(“建架生物”)。这首先是群体生物——各种珊瑚、层孔虫、树枝状苔藓虫、钙质海绵、群体古杯海绵、树枝状海藻(灌丛藻，管壳石等类型)。建架生物这一类群，可以包括那些具有叠生能力和建造块状抗浪“骨架”体能力的硬骨骼单体生物——厚壳蛤，一定量的蛇螺，固定的有孔虫(云状类型)，生活在钙质管中的蠕虫(龙介虫，砂蚕)等。这些生物对成礁的作用早有定论，而且研究得已很充分，不需要在此专门讨论。

特别应该指出的是，形成蔓延、被壳、表壳形态的另一类群的生物，它们或形成稳定的建造，或附生在其它生物化石上，促使其固定、胶结并造成坚固的结构。如果这些生物在成礁中的意义很早就为人所熟知，那么对形成有机建造和各类型岩石的独特机制只是在不久以前才弄明白的。目前还没有一个公认的术语来表达这一类群的生物。И. К. 科罗柳克推荐的“胶结生物”一词，可以认为是恰当的 («Ископаемые...», 1975)。在这一类群的生物中起主要作用的是各种藻类(蓝绿藻，红藻)，起次要作用的是板状海绵、苔藓虫及古海兔等。总的来说，对附生生物在构成有机建造和礁(只有叠层石例外)时所起的作用，特别与群体建架生物比较，显然是估计不足的。各式各样的生物在硬本体上附生，是极广泛的现象。在现代水体中，已知有2000种左右这样的生物，而且如果说在软基底上每平方米的生物量很少超过数百克，而常常是数十克的话，那么附生的生物量常为数公斤，有时超过100公斤/米² (Зевина, 1972)。当然，有一部分生物供给额外的碳酸盐物质，而且远非一切附生生物都可能是积极的造礁生物，但是它们的数量却是相当大的。

附生形态在现代水体中的大量繁殖和高产能力，以及它们在营造现代礁和石化建造中所起作用的具体资料，都能说明这种形态具有重要意义。首先应该指出，在大型分异的礁中，“礁”(生物丘)岩石本身，是属于礁组合的一小部分，这一点从现代建造物和石化建造物中都

能看得出来。在现代海洋礁中，珊瑚虫活群体的典型“礁”结构，共占整个礁体的10~15%，而且这种结构只是在礁的边缘地带才有(Петелин, 1973)。K. 丹巴尔(Данбар)和Дж. 罗杰斯(Роджерс, 1962)列出这种结构在石化礁中接近10%。这样少量的建架生物不可能造就出一个具有牢实而坚固格架的礁建造物，这就必须另外找出一种能在极活跃的风浪作用下固结碳酸盐物质的特殊机制。Дж. 加德纳(Гардинер)以及他以后的许多研究者都指出，红藻在现代礁的礁体中，特别是在礁体的抗浪外缘上，是主要的胶结生物，“……因为藻类能更好地抵抗波浪的破坏作用”(Одум, 1975, 第448页)。这些地方，在最强烈的风浪活动条件下，藻类可以形成相当致密的覆盖珊瑚及其碎屑的表壳生成物，以此造成抗波浪的结构——钙藻长垣。因此，坚硬的防波脊的存在，不但取决于珊瑚(虽然在这些地方珊瑚群体的形态因适应风浪环境变成了扁平状、皮壳状)，而且还取决于钙藻进一步加固这些珊瑚。

这一些现象在石化礁中也是屡见不鲜的。在刻赤半岛苔藓礁的外缘上，见有覆盖藻壳。第一个研究这些礁的H. И. 安德鲁索夫(1961, 第420页, 等)写道，在这些礁的外部表面，苔藓虫群体的外貌发生变化，呈扁平状，这些扁平的群体相互叠生，形成外部表面致密的膜孔苔虫壳或螺旋虫-膜孔苔虫壳。下面还要列举另一些例子，阐明群体生物形态随动力情况而发生变化，从而使建架生物变为胶结生物，因而使有机建造形成的方式也发生变化。И. К. 科罗柳克(1952, 第96页)曾指出过，在乌克兰西南部上托尔顿礁中，带状灰岩在石灰藻灰岩和石灰藻-蛇螺灰岩中占绝对优势，这取决于石灰藻生长的基本覆盖形态——结壳形态、表壳形态。表壳石灰藻是摩尔达维亚托尔顿礁的基本造礁生物(Янакевич, 1971)。因此，这些中新世的礁可能主要不是骨架建造，而是表壳建造的例证。结壳胶结生物的存在有可能促使某些底栖生物向积极造礁生物“转变”。例如，在苏联南部中新统中，云状小有孔虫在积极造礁生物中占重要地位，可是许多底栖有孔虫并不属于造礁生物。云状小有孔虫相互叠生的能力，大概未得到充分的解释。要知道，相互叠生和相互固结的牡蛎不能形成生物丘建造，更不用说形成礁建造了。问题可能在于在所有云状小有孔虫生物丘上都有红藻，它们由于胶结有孔虫的介壳而使形态上明显的建造得以形成并保存下来。根据B. C. 萨亚诺夫(Саянов, 1968)的描述来看，是云状小有孔虫-藻的生成物迅速向上生长，而纯粹的云状小有孔虫生成物则形成蔓延状、板状薄层。

此类关系，在古生代礁中基本上可以看到，不过其形态可能不够明显。在B. П. 舒伊斯基(Шуйский, 1973; Шуйский, Мухина, 1968, 等)研究的乌拉尔下-中泥盆纪礁中，藻类在礁核构成中起着决定性的作用，它们整个地组成礁脊部分，并在斜坡近脊部分的生物骸-生物粒屑灰岩和有机碎屑灰岩组成中也占一定比例。这里除管状藻以外，还广泛发育附着叠生和附生的胶结形态，它们在这些礁的生成中起主导作用。

我们在乌拉尔山前边缘拗陷的西缘和滨里海盆地的北缘所描述的非对称礁系中，以藻类的附生表壳形态居多数(«Новые...», 1973)。

近乌拉尔一带在下二叠世沙赫陶(Шахтау)块体中，建架生物——苔藓虫、珊瑚等通常形成相距甚远的个别孤立小群体，这就是说它们构筑坚硬格架起抗浪的作用不大。根据И. К. 科罗柳克和И. А. 基丽洛娃(Кириллова)的资料来看(1973)，管壳石灰岩是该块体最广布的生物丘岩类之一。既然管壳石的薄(直径0.5~1毫米)而且脆的管子共占岩石的15~20%，只能在静水中保存下来，那么与其它岩类相比，这类岩石在最深水中生成的结论就完全正确了。结果自然是这样的生物只能构成生物丘，而不能构成抵抗波浪的礁。与这一类岩石接近的另一类岩石——海藻-管壳石生物丘灰岩，情况就稍有不同，它们“虽然较少，但在构成块

体的生物丘核中却是极为重要的岩类”(Королюк, Кириллова, 1973, 第77页)。在这些岩石中,管壳石的管子附生有有孔虫、石灰藻、海藻、葛万藻、叠层石、有时还有苔藓虫和管藻类。所有这一切首先使管子增厚到2~5毫米,从而使其强度提高^①,其次造丘生物的表壳形态把管子胶结了起来。И.К.科罗柳克和И.А.基丽洛娃(1973,第78页)列举出令人信服的证据说明这些岩石已在浪蚀带生成。最后,古海兔是一种重要的造丘生物。这些具有片状形态的水螅类造成稳固的建造,显然不是由于形成向上突起的骨架,而是由于生物化石和粒屑的覆盖。换句话说,这些生物的形态特征决定了自己在固结特性上与表壳胶结生物相接近。

已知有许多生物——层孔虫、苔藓虫等,作为积极造礁生物有双重作用:在礁核,这些生物形成树枝群体和分蘖群体,也就是说普通的建架生物。在礁缘,这些生物群体获得板状蔓延形态,并依照碳酸盐物质固结的性质可以归入胶结生物中。这类情况在中志留统戴尖(Дэй-пойнт)岩系中(Bitcher, 1971),在加拿大泥盆系礁中(Муррей, 1968; Langton, Chin, 1968)和其它地区,都有记述。

因此,除了建架生物之外,表壳状被壳胶结生物是最重要的一类积极造礁生物,这类生物不但可以增加骨架建造的抗浪能力,而且其本身可以营造厚度大、绵延长的礁岩。

各种底栖生物形态,只要具有坚硬骨骼而不形成块状稳定生成物者(消极造礁生物),就能为建造体提供大量碳酸盐物质。其中应该提出的有有孔虫,各种软体动物(例如,巨大的砗磲,现代礁的代表生物),腕足类,海百合^②,某些藻类(藻灰结核型)等。在许多情况下,这些生物在礁体中形成一个一个的透镜形层状体,即由各种介壳、有孔虫、腕足类、牡蛎等生物组成的滩。在消极造礁生物中有一些既可以生活在礁上又可以生活在礁外的形态,但是也有一些特殊的形态,栖居在专门的生态小生境上,对礁有特别的或主要的代表意义。例如,在现代礁的一些隐蔽地方,即在珊瑚群体的下表面,在洞穴中,小隙中以及生态小生境中,有大量的“礁腕足类”——*Argyrotheca*, *Thecidellina*, *Lacezella*, *Pantellaria*, *Crakia*等。可以认为,出现这类群落是因为在隐蔽的栖居地相反地没有大量的普通居礁生物来竞争,因而迁进了新的、在生态上独特的生物组合。既然有机建造物是海底的一种异常稀少的变种——致密坚硬的生成物,它们就可作为附生生物的迁居地。如上所述,部分附生生物是积极的造礁生物-胶结生物,而大部分则由于群居场所的特殊性而成为当地相当特别的消极造礁生物。

无论从地形、栖居地的多样性和基底的性质来看,还是从食物资源和食物连锁特征来看,礁都是一种特别的体系,因此在礁上和礁的附近栖居着大量而且往往是极特殊的喜礁生物。在构筑建造物中,这些生物所产生的碳酸盐物质是微不足道的,但它们在生物群落中以及在形成一定的结构与构造,即形成岩石外貌中(这一点在地质上特别重要),它的作用是不可置疑的。和造礁生物一样,好些这类生物既在礁上生存,也在礁外生存(海胆、海参、钻孔虫、食泥虫),但相当大一部分是礁所独有的(例如,珊瑚鱼)。

在现代喜礁生物中,各种鱼类具有极重大的意义,也可能是头等的意义。当然,鱼在实

^①在现代礁上可看到某种类似情况。例如,在巴巴多斯和牙买加岛附近的礁上,*Thalassia*藻波一些遗存固有种——去钙藻(мелобеззевые, водоросли)、有孔虫和苔藓虫所覆盖,它们在1平方米的面积上每年生产2800克石灰(Patriquin, 1972)。

^②在多数情况下,海百合只对礁体提供碳酸盐物质,因为它们死后就解体成各别的叶片。但是众所周知,类似志留系 *Crotalocrinites* 的海百合,由于其根系生成物极为发育,因而可促使加固母体并使之叠生(Геккер, 1963, 第23页)。

实际上未保留为化石，有可能在古礁中，特别是如果珊瑚未参加构筑古礁时，没有鱼的作用或者鱼的作用很小。但是鱼在现代、新生代、也许还有许多晚中生代礁中的地质意义，是勿容置疑的。从Ч.达尔文开始，礁的研究者都曾指出，居礁鱼的数量大而且种类多。根据Р.Е.克劳德的资料，在塞班群岛(马利亚纳群岛)以西的泻湖中，鱼的密度平均每平方公里有38600~58000尾(《Тихий...》，1971，第91页)。在马尔代夫群岛(印度洋)礁周围的一个窄狭水域中，在50米深度以上捕捉到400(1)种以上的硬骨鱼，足见其数量之大(Эйбль-Эйбесфельдт, 1973)。这些鱼有许多是完全依存于珊瑚的，因为在这里可以找到栖身之所和食物(珊瑚鱼)，没有珊瑚它们就不可能生存；另一些鱼则更喜欢水下礁岩和岩块。这些鱼的一个共同点，就是它们都在近礁的地方栖居，因此可以把它们统称为礁鱼。鱼和礁的关系是极其多样的。一些鱼直接以珊瑚虫和以覆盖在珊瑚上的皮壳状藻类为食(鹦嘴鱼，某些球体鱼，飞碟鱼，鳞鲀，鲀类，少女鱼)。另一些鱼则吃珊瑚上的海藻(刺尾鱼，家兔鱼等)。最后，还有许多鱼隐藏在珊瑚丛中，它们藏身避敌(海燕)，或者相反，伺机捕食(须鲨，腔棘鱼类)。在礁的缝隙中有一些在任何地方都找不到的“定居鱼”——海鳐，岩鲈鱼等。正是在礁的生物群中保留了腔棘鱼类矛尾鱼*Latimeria Chalumnae*——“活化石”，不久前还以为它就是大约5000~7000万年前死去的鲔鱼。到目前为止，矛尾鱼是一种最大、最活跃的凶猛鱼，完全适应在礁生物群落中生活。大体说来，近礁栖居的鱼，从其身体或身体各部分的许多形态特征、游泳和捕食方法来看，与广海生活的鱼有所区别。以珊瑚为食的鱼，将活的物质连同钙质分泌物(экстременты)一起消化后又分泌出雪白的珊瑚沙。例如，一尾鹦嘴鱼每年可以制造出5吨沙。在鱼的胃中，通常可以发现有几个厘米大的珊瑚碎屑。对珊瑚鱼的研究表明，珊瑚鱼在1公顷礁面积上可产出由2~3到4~5吨的沙砾，这一数量占整个碎屑体积的 $\frac{1}{6}$ ~ $\frac{1}{3}$ 。碎屑堆积的速度达到0.2~0.3毫米/年(Bardach, 1961; 《Тихий...》，1970，第91页)。所有这些就使得扎克-伊夫·库斯托(Жак-ив Кусто)有理由把环礁叫作磨珊瑚的磨坊，即制沙厂。

在积极破坏珊瑚建造的其它喜礁生物中，除鱼外大概就要算棘皮动物和节肢动物了。大家都知道，许多海胆和海蟹(例如*Xariffidae*)啃食珊瑚，在珊瑚上造成坑凹。海参让珊瑚碎屑通过自己体内而使其粉碎，并且部分溶解。海参个体一年溶解碳酸钙达414克。在阿瓦(Ауа)礁上，就地栖居的海参(大约290000个体)吞食104吨碳酸盐沙，并且总起来每年可使整个礁降低大约0.2毫米(《Диагенед...》，1971，第189页)。在肢节动物中，有一些实际上只适应在礁上生活的形态。有许多生物既吃珊瑚虫，又不破坏矿物钙质建造。但是，这在礁生长的整个过程中同样不会不留痕迹。如果没有活珊瑚虫，生长首先就会中止，从而改变建造物的形状，其次就会加速机械破坏。在这些生物中，近年来“荆冠”，即海星*Acanthaster planci*是尽人皆知的了。长棘海星(Акантастер)伸出自己的胃，接收一部分珊瑚，并分泌出一种烈性消化液，然后吸进制成的粥液。待这一切做完以后，剩下的就是纯净、洁白、完整无缺的骨骼。这类海星在六十年代末到七十年代的骤然大量发展，使关岛、塞班岛、帕劳岛、罗塔岛、马利亚纳群岛、加罗林群岛、马绍尔群岛、所罗门群岛、菲吉群岛、斐济群岛、夏威夷等群岛附近以及澳大利亚大提礁等处的活珊瑚体濒于灭绝(Nisbett, 1973)。

在礁建造的粒屑沉积物中，广泛分布有各式各样的食土虫。这些食土虫实际上毫不选择地吞食上层沉积物，因此上层沉积物在很大程度上是由食土虫的粪便构成的(Сорокин, 1972)。在石化礁中，也常常见有凝块灰岩和粪化石灰岩(乌菲姆斯科耶高原下二叠统礁(В.П.马斯洛夫的著作)，奥伦堡一带多内昔礁(我们自己的资料)，等)。此外，沉积物与生物强烈