

碳酸盐沉积和生物礁——国外研究现状^①

奚瑾秋

刘宝珺

(地矿部地质情报研究所)

(成都地质矿产研究所)

生物礁的分类

生物礁可以根据不同标志、特征来进行分类,最常见的为形态分类和成因分类。

形态分类 根据生物礁形态特征和古地理分布位置,一般可分为堤礁(Barrier reef);镶边礁或岸礁(gringing reef);呈分散、孤立状分布于泻湖内的点礁或斑块礁(Patch reef);环礁(atoll reef);马蹄形礁(horse shoe reef)。

成因分类 这主要依据岩性、古生态特征,并结合考虑形态标志。目前较有代表性的分类有海格尔(Heckel, 1974)、威尔逊(wilson, 1975)、特米(Toomey, 1981)、弗吕格(Flügel, 1982)、詹姆斯(James, 1983)等等。

海格尔对生物礁的分类 海格尔以是否具有抗浪标志为依据,把生物礁划分为两大类。抗浪标志主要为是否存在礁被波浪破碎后所形成的礁角砾堆积(talus)。如有这些礁角砾堆积,就称为骨架礁。骨架礁又可分为以下几类:

生物骨架礁;

非生物联结骨架礁;

叠层石礁;

灰泥格架礁。

如缺乏礁被破碎后形成的礁角砾堆积,海格尔把它们分为以下三类:

亮晶胶结的碎屑礁;

生物联结的骨屑礁;

深水礁。

威尔逊对碳酸盐台地边缘礁的分类 主要依据波浪、水流强度对生物礁的组分和生物种类的不同而划分为三种类型:

下斜坡灰泥堆积(灰泥丘);

圆丘礁;

造架礁。

根据生物在地史期间演化顺序和组合面貌的不同,特米(1981)重新厘定了丘(mound)和礁的含义。他强调指出,只有中三叠世以后,由六射珊瑚为造架生物所形成的

碳酸盐岩隆才能命名为礁；而对于由其他一切造架生物组成的岩隆则称为丘，因为这些生物还缺乏足够的力量建成坚固的抗浪构造。这里所指的丘完全不同于灰泥丘。

弗吕格(1982)把生物礁分为礁和泥丘两大类。詹姆斯把生物礁分为礁(reefs)和礁丘(reef mound)两大类，这里的礁丘相当于特米所厘定的丘的含义。

生物建隆的结构

在任何一个生物建隆内，处于生长状态下的群体生物或叠覆互生生物组成的骨架灰岩是主要岩石类型。这些骨架灰岩一般均由群体骨架生物的骨骸组成。群体生物包括苔藓虫、珊瑚、藻类等。相互叠覆生长的生物有厚壳蛤类、有孔虫——货币虫、龙介类、片状或包壳的 *Palaeoaplysina*、叠层石、红藻等。

形成一个抗浪的构造，骨架灰岩是必要组份，但并不是经常占优势，而且当它由简单的生物丘到复杂的礁体，其数量反而减少。

在乌克兰西南中新世上托尔顿礁内，骨架岩约占 90%，在克里米亚苔藓虫礁内，骨架岩的含量也接近此数。在近乌拉尔早二叠世 Шахтaй 生物礁内，骨架灰岩占 50%。在乌拉尔的早泥盆世生物礁内，骨架灰岩的含量在不同剖面内是有变化的，约占 20—30%，到 30—40%。

在现代海洋的大型生物礁内，以及古代礁组合内的礁本体只有 10—20%，真正群体生物组成的岩石含量不大。从这里我们可以看出在任何一个生物建隆内，在骨架灰岩内，生物骨骸也许只占该岩石很少的一部分，骨骸之间的空间或被灰泥所充填，或被亮晶所充填，甚至是孔洞。例如在 Шахтaй 礁块内，在管壳石骨架灰岩内，管壳石的总量约占 15—20%，有时甚至更低，只有 5—10%，一般不会超过 25—30%。在苔藓虫骨架灰岩内，苔藓虫的含量只有 5—20%。因此在这种情况下，要在薄片内或岩心中，确定骨架岩是极其困难的，有时几乎不可能。

在礁组合内，占主要优势的是各种生物碎屑灰岩，其含量可达 50% 以上，有时可达 60—80%，它的数量如此之大的主要原因是它经常处于波浪动荡带，遭受冲刷，同时受到鱼、蟹、海参等的破坏也可造成大量的生物碎屑。

粗大的角砾岩在数量上不占重要地位，但是它是礁相内特有的组份。这些角砾岩的碎屑由骨架灰岩及其伴生岩石组成，一般分布于礁前斜坡，特别是陡坡，其大小由砂级到砾级。砾块的直径由 20—30cm 大小，甚至可达 1—3m，这种情况见于乌拉尔山前拗陷。根据现代礁的资料，强烈的风浪可以形成量达 1 吨的产物。在美国得克萨斯州 Captian 礁前的盆地斜坡，发现巨砾直径可达 4.57m，并见厚达 12m，长达 274m，沿斜坡向下滑动的巨大岩块。这些砾块和砾石的形状、大小和圆度很不相同，总的趋势是沿斜坡往下，砾径减少，圆度增加，胶结以后，就成为角砾岩和砾岩。如经过重结晶作用，角砾和胶结物的界限就模糊不清，因此往往成为角砾灰岩。

除了粗大的砾石以外，还可见到砂级、粉砂级，甚至球粒。礁内碎屑在现代礁组合内指砂、粉砂和灰泥。在这些碎屑成分中，各种生物碎屑占优势，所以经常形成生物碎屑灰岩、生物粉屑灰岩。

礁内生物碎屑(包括砂级、粉砂级和球粒)灰岩的特点一般无层理，化学成分纯净，它

们都是由生活在该地的生物形成,有相当多泥晶,有时甚至还有结壳边。

生物骨骼高度粉碎,外缘尖,钻孔少,生长壳稀少,覆盖壳也稀少。这说明这些生物碎屑破碎后,未经过搬运而迅速地被埋葬保存下来。

在礁内洞穴或 Niche 内可以堆积泥晶灰岩的沉积物。许多生物骨骼的分解和那些弱钙化的藻类的分解都可以形成泥晶灰岩。

礁内和礁间的生物碎屑与礁前相比,其大小和圆度较低,此外胶结物成分也不同。礁内生物碎屑的胶结物都是碳酸盐物质,其化学成分和颜色与礁一样,因此一般呈浅色或灰色。而礁前碎屑的胶结物为碳酸盐和泥质,而且有机质含量高,这样往往形成浅色礁碎块分布于暗色胶结物中。

生物建隆的构造

生物建隆内有许多特有的构造特征,它们可以作为识别生物礁的重要标志。现分别叙述如下:

1. 块状构造。

它在生物丘和生物丘岩发育地带最为明显,这是因为在这些骨架生物灰岩内,起着主要作用的骨架生物、固着生长生物具有很高的生长速度和极大的抗浪能力,即使在水动力发生变化时,它们也能保持生长状态。在骨架生物之间,或生物丘之内的小拗陷,可以有生物碎屑堆积下来,但是这些地区面积小,而且经常发生迁移,所以在骨架之间或生物丘之间的小拗陷内所形成的沉积物,一般均缺失沉积层理。总的来说,礁核或生物丘部分往往显示块状面貌,这与礁后层状沉积,与礁前深水递变层理形成明显的对照。

但是也不能说生物丘始终没有层理,在生物丘内也可以出现礁层理或生物骸层理,它们是各个生物群落世代相互更替而产生的,或是生物活动所产生的堆积形态,例如兰绿藻使海水中的钙质发生沉淀而形成层状。

此外,沉积层理也可出现于生物碎屑灰岩夹层内。这些夹层或在剖面上,或在平面上隔开了骨架灰岩。沉积层理也可在砂屑和粉屑灰岩内表现出来。但是总的来说,这些层理极不清楚或非常不明显。

2. 斑点状和不均匀性也是礁岩特征

从大范围来看,由于骨架生物不均匀分布往往造成不均匀性,或因其自己成分和构造上的某些特殊而彼此分开,或是由于生物丘之间存在着略显层理的生物碎屑灰岩。

从小范围来看,斑点的产生是由于骨架灰岩和碎屑灰岩呈斑点状分布的缘故。此外,生物化石分布往往也无规律,不均匀分布,尤其是那些孔洞多半被碳酸盐物质所充填,这样就引起了在颜色上、结构上以及构造上的千变万化。

重结晶作用和白云岩化也可使礁岩呈斑点状和不均匀性。而这些作用出现的频繁和其强度在相当大的速度上取决于原始的不均匀性,例如骨架灰岩往往易于白云石化。

3. 骨架灰岩的构造还取决生物骨骼的生物形态和相互排列

群体的形态有以下几种:分枝状、树枝状、梳状、球状以及这些形态的结合体。根据生物化石的排列,可分出以下构造:均质(一种或几种形态的生物均匀排列)、斑点状(具有不同生长形态的生物呈斑点状排列)、带状(具有不同生长形态的生物有规律的更替)。分

带可以是垂直分带,系由于具有不同生长形态的骨架生物沿剖面自下而上更替造成。也可以为水平分带,即在平面上更替,一般是由围绕建隆中部的大的同心圆造成。

4. 结壳作用

结壳作用是骨架灰岩内最常见的特征标志,指沿着孔内的壁分布的、呈纤状的方解石胶结物。结壳往往呈多世代或带状,可以见到数个世代相继发生。有时在生物建隆内出现方解石结壳与白云石结壳交替的现象。

也可以在生物体腔孔洞内,在生物碎屑物填隙以前已经出现结壳。对这类结壳,有人称为同生结壳。这类结壳对于骨架而言,应当说是次生的,但对填隙物而言,则是原生的。

5. 孔洞内的粗晶方解石充填

在某些建隆内,原生孔洞被粗结晶方解石所充填。这些方解石并无显示分带状和晶体定向。充填孔洞的方解石一般呈镶嵌状、透明、无色、晶体从孔洞壁向内增大。孔洞壁刻蚀、明亮。

6. 孔隙性和多孔性

孔隙性和多孔性是骨架灰岩的重要标志。原生孔洞是指生物死亡后形成的生物骨骼内的孔隙和孔洞,以及那些生物骨骼之间没有被填隙物充填的孔洞。原生孔隙和孔洞决定于造架生物的类型和其生长形态。

次生孔隙决定于骨架和填隙物的淋滤和白云石化作用。

7. 层状孔洞构造

生物礁的矿物成分

组成生物礁的石灰岩,其矿物成分主要取决于造架生物的骨骼、原始组成。根据对佛罗里达沿岸、不列兹、澳大利亚、百慕大群岛、巴哈马群岛以及红海等地的现代珊瑚礁矿物成分大量鉴定,尽管这些类型不同的礁生长于不同的水域,但其碳酸盐矿物成分却具有共同特点,而且具有一定的特点。在生物礁中,文石和高镁方解石占绝对优势,一般含量为 20—30%,个别样品可达到 70—80%,而普通的低镁方解石的含量只有百分之几,偶而可达 10%。这主要取决于骨架生物的骨骼成分。如现代礁中的绿藻、六射珊瑚、某些水螅和八射珊瑚,双壳类、头足类,它们的骨骼成分为文石;而红藻(Lithothamnium 和 Lithophyllum)、八射珊瑚(柳珊瑚)、大部分底栖有孔虫、棘皮动物、钙质海绵则由高镁方解石组成骨骼;而许多苔藓虫和蠕虫则由文石和高镁方解石组成。

根据现代生物礁中矿物分布特征,现代礁中以文石和高镁方解石占优势,如澳大利亚东部的大堡礁,以文石和高镁方解石为主,而远离礁分布区,低镁方解石含量就增加;又如伯列兹、佛罗里达海湾沿岸沉积物,由于没有受到礁的影响,文石的含量不多,低镁方解石就增加。对于一个具体的礁,特别是小型的礁,如果造礁生物的组成和数量发生变化时,其矿物成分也随之发生变化,如百慕大和巴哈马群岛的许多礁,有孔虫含量增多,这样就使高镁方解石含量增多。红海的礁都为珊瑚礁,因此以文石为主。所以一个礁的矿物成分基本取决于组成该礁的生物骨骼的成分。

文石和高镁方解石是不稳定的矿物,文石可以直接转换为低镁方解石,而高镁方解石

则以镁的析出而转变为低镁方解石。析出的镁就促使碳酸盐沉积物白云岩化,形成许多白云石。因此古代生物建隆内的主要矿物为低镁方解石和白云石。组成岩石则有石灰岩、白云岩以及含白云石的灰岩。铁化、硫化或硅化作用的矿物占次要地位。

成岩作用

成岩作用似乎礁在海洋中生长期间就开始了。在礁的生长期间,礁的格架和内部沉积物就出现岩化。

在未蚀变礁体的不稳定的碳酸盐岩中,成岩作用发生得非常迅速,仅在几千年后就能发生强烈的淋滤或胶结作用。

礁岩隆中何部位为最有利的储油相带,众说纷纭。以往大多数文章认为礁格架是最有利的储油相带,例如,墨西哥湾 Smackover 组的礁,整个礁碎屑带具有储油性质的孔隙度,但礁格架的成岩作用最有利,成为仅有的目标。有吸引力的孔隙度(平均 15%)和渗透率(平均 20md)来自淡水淋滤、白云岩化或断裂作用的结果。

但是, M. W. 朗曼(1981)认为,与现有的教条相反,礁格架一般并不是复礁体中最好的储油相,因为:(1)现代礁的爆破和取芯表明,在现代礁格架上观察到的珊瑚之间的大洞穴很快就被骨屑、泥质以及海洋胶结物填满了,能保存下来的大的格架洞穴是微乎其微的;(2)礁格架相中很容易发生广泛的海洋胶结作用,这种作用甚至能堵塞骨屑内部的最小孔隙;(3)礁格架在一个成熟的复礁体的体积中仅占百分之几,复礁体的大部分是由礁前和礁后相的碎屑组成。一般说来,礁格架相只有在出露水面时期发生显著的淋滤、或者产生一些其他形式的次生孔隙(如由白云岩化或破裂作用产生),才能成为良好的储油层。礁前沉积层和礁后珊瑚藻砂相的储油潜力要大得多,因为它们的体积往往比礁格架大得多,而且往往不受早期海洋胶结作用的影响。如果不暴露到淡水中,原生孔隙在两个相里都能保存下来。当出露水面时,可以形成次生孔隙。两个相在两种情况下都可以成为良好的储油层,而胶结起来的礁的格架往往可做岩屑堆上倾方向的遮挡层。

在密西西比盐盆中也出现了礁碎屑比礁格架储集性能好的情况。盆地中,与盐构造伴生的礁一直是大量深探井的目标,一口打在密西西比 Wayne 县的探井遇到一个 24m 的礁,该礁表现出无孔隙性或渗透性,而在礁之上(21m)和之下(24m)被白云岩化的岩层是多孔隙渗透的。白云岩化岩层的残余结构指出其原始沉积是粒状灰岩,可能来源于礁本身。相对深水的环境、强烈的早期海洋胶结作用和造礁生物的结壳性质产生了礁复合体的非孔隙岩石,不易受到早期白云岩化作用。然而,与之伴生的多孔粒状灰岩可使白云岩化流体活跃地循环,使多孔粒状灰岩整个白云化,成为有利的储集相。

不但礁骨架与礁碎屑之间在成岩过程中存在很大差异,而且骨架礁与非骨架礁之间也有明显的不同。由于骨架礁比非骨架礁具有矿物均质性,在早期和中期成岩作用后,骨架礁更缺少有效的渗透率。

因此,在礁岩隆中何处为最有利的储油相带要视成岩作用的结果而定,一般,礁前沉积层和礁后砂相的成岩作用比礁骨架相的更有利,非骨架礁的成岩作用比骨架礁的更有利。

在礁的成岩作用研究方法上,国外采用礁碳酸盐岩岩相分析技术、平光折射显微技术、

阴极发光显微技术和紫外荧光显微技术。荧光显微技术可以用于观察痕量元素含量小的变化引起的碳酸盐岩中的生长带,可以用于相关成岩相的时空研究,还可以用于检测圈闭于成岩矿物中的液态烃。

生物礁发育过程和阶段

一个生物礁是怎样发育起来的,可以划分那几个阶段,这也是生物礁研究者普遍关心的问题。

詹姆斯 (James, 1983) 把生物礁的发育分为四个阶段: (1) 奠基期 (稳定期); (2) 定殖期; (3) 泛殖期; (4) 顶峰期。现将各期的特征归纳如下:

奠基期 (Pioneer stage)

该期主要由滩或生物碎屑堆积,常见为棘屑滩,或绿藻屑堆积。这些植物的根茎可起加固基底作用,从而使分枝状藻类、苔藓虫、珊瑚等迅速地繁殖。

定殖期 (Colonization stage)

代表造架生物开始繁殖,但这时生物品种单一,主要为枝状生物丛。在枝状生物之间往往生长着附着和包覆生物。

泛殖期 (Diversification stage)

代表生物礁发育繁盛阶段,这时生物礁已发育到海面,并形成不同相带。生物种类繁多,既有骨架生物,又有联结包覆生物,伴生的附礁生物也十分发育,因而产生了许多生物碎屑。

顶峰期 (Domination stage)

以包覆或层纹状生物为主,可能代表该礁已进入激浪带,从而形成粗砾岩 (Rudstone)。

詹姆斯提出的四个期,并不是在任何一个生物礁发育过程都可以具备,因此在分析每一个生物礁发育过程中必须具体分析,切忌套用。

造礁作用旋回性

生物礁的出现有旋回性,最繁盛的发育期见于震旦纪、泥盆纪、二叠纪、晚三叠世、晚侏罗世、中新世。在每一旋回开始和结束,生物礁的规模比较小,结构简单,呈孤立状产出。这种旋回性十分明显地反映于全世界,甚至在一个大区域内也可以表现出旋回性。至于每一旋回的繁盛期 (或称主要发育阶段) 未必位于旋回的中部,例如苏联乌拉尔地区,早古生代主要繁盛阶段位于旋回的开始,而晚古生代则位于旋回的结束期。

每一旋回的繁盛期也不相当于最大海侵和碳酸盐沉积分布最广泛时期。

由于海平面经常发生变化,因而在剖面内多次出现生物礁,这种现象称为礁的韵律性。这时形成的生物礁规模较小,但频率十分稳定,这样就产生了厚度较薄 (0.5—2m 或 3m) 的生物丘或生物层。生物丘或生物层之间夹有同样厚度的石灰岩层。礁的韵律层可达数十米,乃至数百米。

总的来说,在整个地质历史发展过程中,礁的繁盛期和衰落期有交替更换现象。

此外,造礁生物在地史期间有由简单到复杂的变化,即从震旦纪的叠层石→古杯类→层孔虫→苔鲜虫→珊瑚。藻类积极参加各时期造礁活动。

地层中礁的分布

礁在地质历史时期中分布的时间和空间具有一定的规律。在整个地质时期中,生物群发生了很大的变化。

在地质记录中,生物产生大型坚固的、分枝状、块状或板状骨架的能力不是连续的,可分成七个主要时期:

1. 中、晚奥陶世苔鲜-层孔虫-床板珊瑚礁。
2. 志留纪和泥盆纪层孔虫-床板珊瑚礁。
3. 晚二叠世海绵-钙藻礁。
4. 晚三叠世石珊瑚-层孔虫礁。
5. 晚侏罗世石珊瑚-层孔虫礁。
6. 晚白垩世厚壳蛤双壳类礁。
7. 第三纪—第四纪石珊瑚-红藻礁。

就广义上讲,所有各时期的礁与现代珊瑚藻灰岩显示出相似的相模式。

生物礁中的油气储量在较年轻的地层中有增加的趋势,在此背景上,明显地出现3个储量极大值层段,即中、上泥盆统;上石炭统一二叠系;白垩系和下第三系。在中、下侏罗统中未发现工业性油气,三叠系中礁的含油气性不大。

含油气的生物礁可见于不同的构造单元,但是油气储量主要集中在3种构造单元中:

1. 边缘台向斜和前寒武纪地台克拉通边缘的下降带,如加拿大西部、得克萨斯西部和阿尔及利亚—利比亚地区;
2. 后海西地台边缘盆地,如墨西哥湾;
3. 前寒武纪地台阿尔卑斯边缘拗陷,并且在其地槽边缘生物礁含油气最多,如美索不达米亚,印度河下游地区等。

在地槽区,虽然生物礁广泛发育,但它的含油气性不大,这可解释为在地槽中的油气的保存条件不利。山间盆地礁的含油气性不大,在于不利的古地理条件。在古地台活化区发现的含油气礁建造,是在构造活化前地台阶段形成的。

生物建隆分布的建造标志

为了成功地普查含矿生物建隆,不仅需要预测生物建隆可能分布的地带,而且需要预测这些地带内的生物建隆的类型。这是因为,生物建隆的容量特性和捕集特性在相当大的程度上取决于造岩生物群的组成、生物建隆生态系统的复杂程度及其在时间上的稳定性、生物建隆演化的总进程和一系列的原因,而这些因素都会表现在岩石学-生态学标志上。

某些生物建隆的产生取决于古地理情况和构造情况。在岩层中的生物建隆的类型和岩层的其他建造标志之间的关系密切到如此程度,以致可以把生物建隆的类型作为碳酸盐建造分类的主要标志之一。按所提出的分类方案,碳酸盐建造被认为是一个特殊类的建造,而

在该类中又可以划分出亚类、组、类型。生物建隆见于许多类型的碳酸盐建造,但并非所有类型的碳酸盐建造中都有生物建隆。许多建造都独具一定类型的生物建隆或其一定的组合。

在白云石建造中可以见到层孔虫生物层和微植物生物层、似核形石层。对于这些岩石来说,典型的情况是结构简单,往往为生物丘层理,岩石类型按层交替。苏联东西伯利亚寒武系的生物建隆就是如此。

在灰岩建造和白云石化灰岩建造中,生物建隆一般很少,常见于这些建造的边缘部位(在这里,往侧向转变为一些特殊的礁相建造)。在灰岩建造和白云石化灰岩建造本身可见由同样的生物群形成的生物丘和生物层。

对于层状灰岩建造来说,潜在的造礁生物层广泛发育是特征性的,而生物建隆只是在有剧烈块段分割条件下的地区出现这种建造。在这种情况下,在略为隆起的块段上沉积着层状灰岩建造,而块段的边缘则为造礁带所环绕。在这些条件下,生物建隆是多种多样的,由小型的生物丘到较大型的生物丘块体和礁块体。

可以清楚地划分出生物建隆和生物建隆破坏产物为其中的主要组成部分的建造。一般认为,只要划分出一种礁石建造(礁石成因建造)就足够了。但是,对不同时代的具体建造作相互比较,就可以得出存在整整一类礁石成因建造的结论。

礁石建造是一种几乎仅由生物丘灰岩及其破坏产物所组成的碳酸盐岩层。这种建造含有大小不同的礁块体,而这些块体有时是一些非常大的孤立岩体,而较多的时候是一些小型的岩体。真正的礁石建造通常分布在地槽中,但其含油气性尚未查明。有时,这些建造的边缘层次是由在边缘拗陷的近地槽带中发生的最晚的构造再造作用形成的。在这些地带,相应地或者可以发现经错动的沉积层中的各种构造圈闭。可以设想,相隔离的生物礁块体的孤立对于这些建造来说不是典型的。

生物丘块体的建造厚度的变化非常大。建造都呈带状或面状发育,并且都存在于地台大型边缘拗陷的斜坡上。岩体在建造内的分布通常都受一个区域的古地形和构造的控制。这种类型的典型含油气建造是伊什姆巴耶夫下二叠统建造。

浅滩-礁石建造为一些从明显方向性发育的碳酸盐岩层,由层状碎屑岩层,经浅滩生物层到礁石岩相的生物丘灰岩。建造通常呈带状发育,而建造被切割成岩体在多数情况下取决于侵蚀作用。礁石因素与侵蚀因素的结合通常导致岩体的容量特征的增强。墨西哥黄金带的岩体和一系列其他岩体大概就属于这一类型的含油气构造。

含分散性生物建隆的层状灰岩建造为含有仅仅散布在一定层位的大量小型生物丘和生物层的层状灰岩岩层。与生物丘块体建造不同,该类建造的特点是不存在大型岩体,岩层厚度在大量生物建隆带内外是相对稳定的。也就是说,生物建隆包括在岩层内,但它们对岩层的厚度没有根本的改变。与有时同样存在许多小型生物丘的礁石建造不同,该类建造的特点是碎屑的礁石物质数量不多,而正常层状岩石的数量则相当多。由于建造中的大多数生物建隆的规模很小,背斜褶皱往往就是烃类的圈闭,但岩石的容量特性取决于礁岩相的沉积层。少数情况下也会遇到一些含油气的和相隔离的小型生物丘块体。

除了碳酸盐建造外,在含盐建造的边缘层次中也有生物建隆。在这种建造中,尤其经常出现生物岩岩体以及由层孔虫或者生态上与其接近的群落组成的生物韵律层。生物建隆具有在一定程度上是模糊不清的形态,但它们的分布却明显地受沉积盆地的构造要素所控

制。需要强调指出的是,生物建隆一般来说常常可以和含盐构造一道圈定,但在大多数情况下,这种情况取决于含生物礁的建造被含盐建造覆盖的情况,而不是取决于生物建隆和盐类的同时堆积的情况。

在其他建造(陆源建造、火山建造、磨拉石建造)中,生物建隆也是可以见到的,但它们却很少含有石油和天然气积聚。

建造与生物建隆的关系不仅表现在许多类型的建造都具有自己的一套生物建隆上,而且表现在碳酸盐建造在时间上的总演化和形成礁石的旋回上。后一种情况大概是全球性的,但目前只在乌拉尔能清晰地查明。在乌拉尔,可以看到两个大的旋回——奥陶-杜内旋回和中维宪-二叠旋回,而礁石形成作用的强度在两个旋回内曾经历过增高和降低。此外,在旋回内的每一个一定的形成礁石时期内同样可以看到小型生物建隆为大型生物建隆更替,接着大型生物建隆又为小型生物建隆所更替。

生物建隆的划分标志

划分生物礁建隆是件复杂的任务,因为不论是丘状岩体,它是否存在层理,还是是否存在有造礁化石,都不能明确指出灰岩的礁相成因。

建隆是一种特殊的古生物-建造系,它的发育受一系列因素的控制。在这些因素中,有生物因素,也有非生物因素。其中每一种因素对古代生物建隆的出现、存在时间、形状和规模都有不同的影响。由于各种因素的综合影响和作用,在不同的构造-建造环境中发育了不同类型的生物建隆。

生物因素

生物建隆是由能够生成骨架结构的特殊生物群落形成的。这些有机物是蓝绿藻和细菌、原古杯(海绵)、三叶虫、腕足类、藻、*Renalcis* 以及珊瑚类、层孔虫、苔藓动物、水螅纲、海绵动物、管孔藻、石枝藻等等。这些生物的骨架和叶状体生长很快,它保证了礁体从水体底部向上长出稳定的骨架,而不怕海水的强烈扰动。骨架生物适应了这种环境,它们营造了最有利于其生存的洞穴。

生物群是碳酸盐物质的最初来源。碳酸盐物质在自然地理条件的影响下变为一定形状的地质体,它是礁相和非礁相地层的特殊标志。

非生物因素

非生物因素分为两类:古地理因素和构造因素。

古地理因素包括气候、盆地深度、海底地形、海水含盐度、陆源物质遭受剥蚀、海浪强度等等。只有在古生态-建造分析的基础上并采用将今论古的方法,才能恢复古地理条件对生物建隆发育的影响。

气候以及遍布全球的寒流和暖流是控制生物建隆地理分布的因素。现代礁体通常生活在不低于 20℃ 的温度下,这与其说是这种生物有喜温性,倒不如说是海水的碳酸盐饱和度发生了变化。与红色蒸发岩建造有关的被埋藏生物建隆的分布证明,生物建隆分布于热带和亚热带,它在地球表面上的这种分布是随时代而变化的。

水域的深度限制了生物建隆的分布。生物建隆最理想的分布深度在 30—50m 以内。

陆源物质遭受剥蚀是生物建隆分布的一个限制因素。当水中含有大量陆源悬浮物时,生

物建隆的生长便受抑制,甚至停止生长。

海底地形对有利于骨架生物生长的地段起了保障作用:足够的透光率、氧气充足,海水是循环的等等。不平坦的海底地形受到切割是生物建隆局部发育的一个原因,生物建隆的分布受地形隆起情况的控制。

底栖生物的理想发育和较高的初始生产量取决于水体中的供氧情况和来自大洋深部的营养物质的流入量。在波高浪大和水循环强烈的海区(紊流区)便存在上述条件,生物建隆在这里得到了极大的发育。在海底隆起地段的光亮带、水深急剧变浅的地带、大陆架和大陆坡的边界上,生物建隆得到了最强烈的发育。而在泻湖区发育有较小和较零散的生物建隆。

构造因素

生物建隆的构造因素表现在它更明显地产于地壳的特定大地构造单元。在地槽、地台、裂谷带和边缘拗陷内部都发现了生物建隆。构造环境控制了生物建隆的发育,沉积环境的形成和基底的垂向运动也决定着生物建隆的空间分布。

确定不同类型沉积层的成因,查明不同成因类型沉积物的相互关系和有机界的构成情况,这是古地理研究的基础。

可采用古生物学、岩石学和构造标志来查明沉积层的成因。

古生物标志

古生物标志包括划分出造礁生物和喜礁生物。

造礁生物组成了初始的坚硬钙质骨架,这是生成任何生物建隆的基础。B. И 马斯洛夫认为,当造礁生物死亡以后,其机体的钙质分泌物仍然继续增加,不会被分解,也不会被搬运。生前就聚集着相互长在一起的、一代又一代骨架生物骨骼化石形成了高耸于水体底部的坚硬构造。生物骨架上的天然蜂窝和孔洞往往被疏松泥质和岩屑所充填。在岩石的总积中,造礁生物和生物碎屑的数量值变化不定:30—90%。

总的来看,与碎屑灰岩不同,在骨架灰岩的形成中起主导作用的是生物过程。生物过程是在物理过程(分选、搬运、分解)的影响下并主要通过化学沉积过程形成的。可以说,如果生物建隆的生长速度相当于同时代沉积物的堆积速度,那么,在海底地形条件下就几乎不会生成生物建隆;而如果造骨架生物的生长速度超过了疏松沉积物的堆积速度,那么,生物建隆便会在海底上耸立而出,形成正地形。

分析造骨架生物在地球的地质历史上的发育过程,便可将含有不同造礁成分的生物建隆的形成划分为几个阶段。最主要的造礁成分是叠层灰岩(含有菌类的兰绿藻)、古松类、ХЛОТЧДЫ、红藻、管藻、板珊瑚、四射珊瑚、六射珊瑚、水螅类、钙质海绵、СКЛЕРАКТИЧНИИ、苔藓动物。在所有这些阶段中,各种藻类在骨架形成中起了主导作用。

许多研究人员认为,尽管活跃的造礁生物在生物建隆的形成中起很大作用,但离开了喜礁生物,这些造礁生物中的大多数便不复存在。

侏罗纪的喜礁生物有瓣鳃软体双壳动物、腕足类、腹足纲、介形类、海绵、海百合、海胆类、有孔虫类。这些生物自身并不能产生形成生物建隆的大量物质,但却影响着生物群落的扩大,它们是骨架物质的补充供给者,促进了生物沉积和生物碎屑沉积的形成。

在古生物标志中,一个重要的方面是古生态分析和化石埋藏分析。

进行古生态-化石埋藏研究是为了全面地分析造礁生物及其伴生生物的生活环境和生

活方式,进而可以弄清含有礁相地层的古盆地的沉积条件和古地理特点。古生态研究包括确定被埋藏生物的造岩作用、动植物群的分类及其定量统计,以及生物在建隆中的分布特点等等。

化石埋藏分析包括观察生物化石的埋藏类型、埋藏方向和保存程度、被埋藏前后化石的分选和改造情况。

古地理学中采用的是历史比较法,在地质学中称做将今论古法。这一方法的依据是,承认沉积物、生物的生命活动、地质过程等形成条件的相似性和一致性,承认现代和古代的相似性和一致性。生物进化和地质演化现象的本身就证明,自地球存在以来出现的生物系统变化是不可逆的。因此,现代生物和生物系统同古代的生物和生物系统不可能是真正类似的。不过,“物质的出现,消耗并分解成极简单的矿物化合物,都是极重要的生态过程。显然,这些重要的生态过程曾存在于地质历史上所有发展水平的生物(有机)和生态(生态系统)结构的组织。”这一条标志为我们提供了一种依据,以使用将今论古的方法来再造古环境和古代动植物的生活方式。

可见,古生物标志包含了对生物化石各个方面的观测。

岩石学标志

构成生物建隆的碳酸盐岩不同于任何其他成因的碳酸盐岩。这种碳酸盐岩是以白色或灰白色为主的块状灰岩(很少为白云岩)。最典型的是骨架灰岩,在这种灰岩的成分中,主要是埋藏于其生前层位中的骨骸。在它们之间被有机物所充填。

不具沉积层理的块状灰岩的特点是,原生和次生的孔隙度大,孔洞多。

生物建隆碳酸盐岩的化学成分纯净,陆源杂质很少(1—2%),这是生物堆积碳酸盐物质以及次生白云石化作用和重结晶作用的结果。生物的骨架部分最常发生重结晶作用,剩下的被充填部分没有变化。在骨架灰岩原生结构的变化中,碎粒化(重结晶作用,同时晶体粒度变小)所起的作用不大。充填原生洞穴的构造是骨架灰岩的最典型标志。

硅化主要见于礁裙的碎屑岩和小的生物建隆。

伴生岩石所起的作用次之,它充填于骨架灰岩之间,具有明显的沉积层理,或者呈巢状和小包裹体状出现。(未完待续)