

文章编号: 1009-3850(2004)02-0051-12

羌塘盆地生物礁岩特征与沉积模式

罗建宁¹, 朱忠发¹, 谢渊¹, 冯心涛¹

叶和飞², 李永铁², 沈启明², 童箴言²

(1. 成都地质矿产研究所, 四川成都 610082; 2. 中国石油天然气总公司北京石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:在三叠纪—白垩纪, 特提斯海域内发育有大量的生物礁岩, 羌塘盆地内亦广泛发育。生物礁沉积序列可划分为4类: (1) 浅滩相生屑灰岩、核形石灰岩→生物礁岩→开阔台地相泥晶灰岩→斜坡相角砾岩; (2) 开阔台地相灰岩→生物礁岩→局限台地相白云质灰岩; (3) 浅滩相生屑灰岩→滨岸相碎屑岩; (4) 潮坪相粉砂岩、泥灰岩→潮坪砂坝生屑灰岩→生物礁岩→潮坪砂坝生屑灰岩→潮坪相泥灰岩。生物礁岩可分为骨架岩、障积岩与粘结岩3种成因类型。成岩作用有重结晶、胶结、压实、压溶与破裂、溶蚀作用等。主要孔隙类型包括原生孔隙、裂隙与溶蚀孔、缝三类。晚三叠世造礁生物主要为珊瑚和藻类; 中晚侏罗世以珊瑚礁与海绵礁为主。生物礁岩以海进体系为主, 高位体系域也有发育, 低位体系域中少见。可分为珊瑚礁、海绵礁、藻礁和层孔虫礁。南羌塘拗陷西部以珊瑚礁为主, 东部以海绵礁为主; 北羌塘拗陷西部为藻类珊瑚礁、层孔虫礁, 台地内部有珊瑚礁、海绵礁。按古地理位置可分为台地边缘礁和台地内部礁, 前者分布规模大, 在地震剖面上也有明显的反映, 有可能成为重要的油气储层。生物礁的发育状况受全球海平面升降所控制。

关键词:羌塘盆地; 生物礁岩; 沉积模式

中图分类号: P512.2 文献标识码: A

1 前言

生物礁是碳酸盐沉积中一种重要的含油气类型, 在国外已发现众多的生物礁油气田。在国内也已相继发现川东、鄂西二叠纪、山东和珠江口盆地古、新近纪生物礁油气藏与北部湾石炭纪高产油气藏, 展示着广阔的油气勘探前景与巨大的资源潜力^[1]。

生物礁是由原地的造礁生物所营造的具有抗浪格架、呈凸镜状或丘状外部形态并突出于四周同期沉积物的地质体, 它是碳酸盐沉积中的一种重要类型。从现代生物礁的分布来看, 通常生长在北纬

30°—南纬25°的海域内, 主要分布在碳酸盐台地边缘, 少数分布在碳酸盐台地内部。由于造礁生物适合在浅海中定居, 礁生长需要光照充足的食物和清洁的海水, 因此, 生物礁向着阳光生长, 发育于台地迎风面, 喜欢生长于25~29℃气温和约20m水深海域内^[1,2]。

生物礁岩是古代生物礁沉积作用的产物, 由一些大骨骼的造礁生物和后生生物、栖礁与粘结礁生物相互联结生长在一起, 形成一个繁盛的生物群落, 再相互粘结形成坚硬的具生物格架的块状碳酸盐岩体。

在三叠纪—白垩纪的特提斯海域内, 发育有大

收稿日期: 2004-04-27

第一作者简介: 罗建宁, 1941年生, 研究员, 主要从事沉积地质、石油地质研究。

量的生物礁岩。晚三叠世生物礁主要分布于特提斯北与西部边缘,于古北纬 30° 线附近。从澳大利亚北侧向西到非洲北、秘鲁南、智利北,再到欧洲南部、阿拉伯、伊朗、伊拉克、中国西南,到东南亚、日本等地体中均有生物礁的分布(图1)^[3]。

侏罗纪时期,特提斯海域内也有较发育的生物礁分布,但在早侏罗世,生物礁在丰度、地理分布和礁的大小方面均相对变少和变小。到中侏罗世,生物礁的生物类型与结构方面从晚三叠世到早侏罗世里亚斯期间的珊瑚/钙海绵礁型转变为普通海绵/珊瑚礁型占优势,并在晚侏罗世有广泛的分布。

晚侏罗世特提斯生物礁同样分布于当时的北纬 30° 线附近,主要分布于非洲北缘、欧洲南缘、北美西缘,以及阿拉伯、土耳其、伊朗到中国西南、日本、东南亚等地体内(图2)。由于微生物的重要贡献和矽质海绵作为主要骨架,在晚侏罗世,海绵/藻礁型成为在生物礁演化史上具有独特的特征。在晚侏罗世晚期,又逐渐转变为以珊瑚作为主要骨架的礁体,并持续到早白垩世^[3]。

羌塘盆地内生物礁的产出层位自下而上有泥盆系、石炭系、二叠系、上三叠统和侏罗系等,以上三叠统和侏罗系的生物礁岩最为重要。盆地内生物礁岩

的分布状况见图3^[3]。

羌塘盆地三叠纪—侏罗纪生物礁岩的骨架生物一般占60%以上。造礁生物主要有六射珊瑚,次为海绵、藻和层孔虫等;附礁生物主要有双壳类、腹足类、腕足类及棘皮动物等。礁岩以珊瑚礁岩、藻礁岩为主,还有一些海绵礁岩和层孔虫礁岩等。另一个特点是区内礁岩与滩岩并存,在时空展布上相互紧邻,并有一定的成因联系。需强调的是,区内生物礁岩往往发育在以海侵为主的层序中,发育于层序地层的海进体系域和高位体系域中,珊瑚礁岩常构成完善的地层圈闭型式。

生物礁岩主要分布在南羌塘台地边缘和北羌塘台内盆地中,其分布的主要层位是上侏罗统索瓦组、中侏罗统布曲组和上三叠统肖茶卡组。据研究,晚三叠世羌塘盆地肖茶卡一带位于北纬 24.3° ,中侏罗世那底岗日位于北纬 26.6° ,晚侏罗世那底岗日位于北纬 23.3° (朱同兴等,1996,羌塘盆地西区综合地质工程)。显然,羌塘盆地在侏罗纪时位于北纬 $23^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 之间,处于适合生物礁生长的海域与环境中。

2 沉积序列与相分析

盆地内生物礁岩直接发育于早期低能浅滩相生

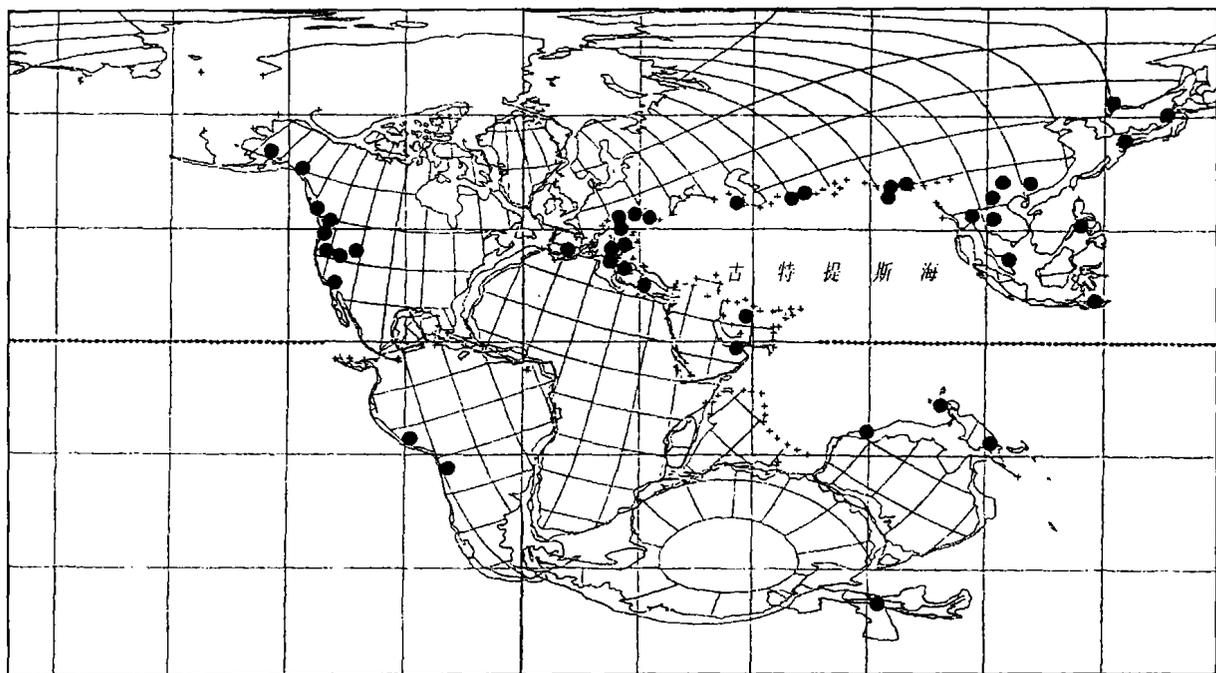


图1 晚三叠世全球暨特提斯生物礁分布图(据 Smith 等, 1981; 转引自文献^[3])

● 生物礁

Fig. 1 Distribution of the global and Tethyan organic reefs during the Late Triassic (after Smith et al., 1981)

● Organic reefs

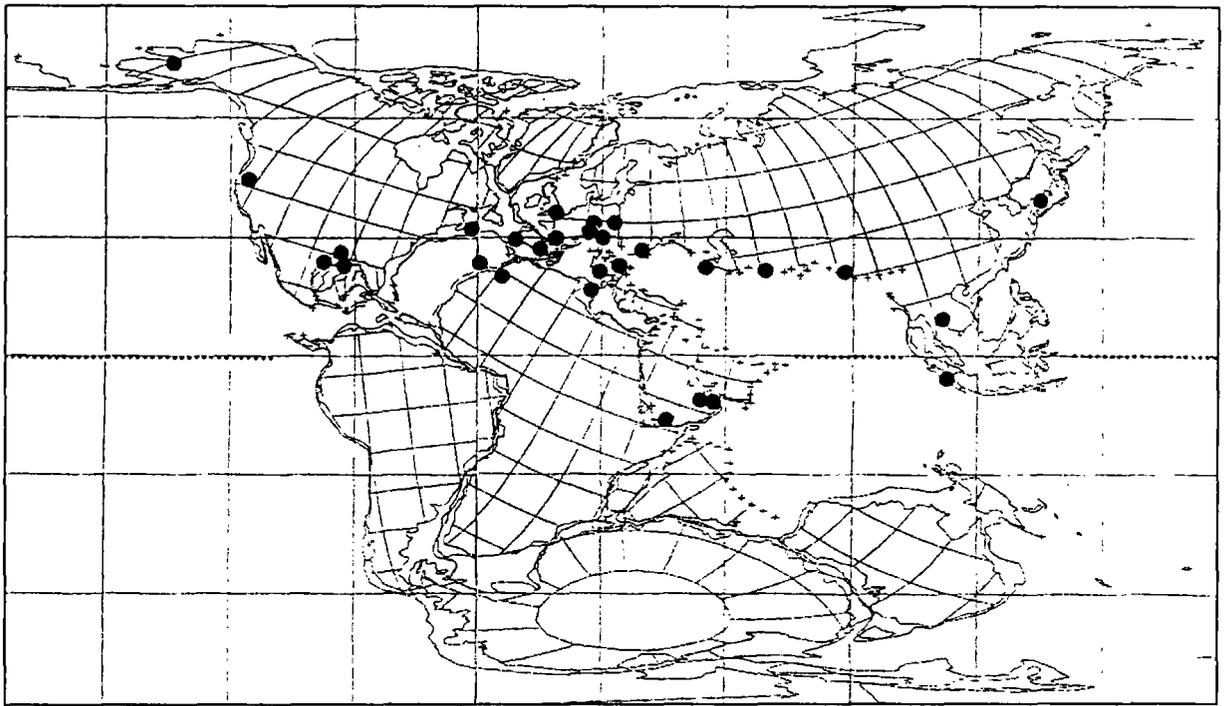


图 2 晚侏罗世全球暨特提斯生物礁分布图(据 Smith 等, 1981; 转引自文献^[3])

● 生物礁

Fig. 2 Distribution of the global and Tethyan organic reefs during the Late Jurassic (after Smith et al., 1981)

● Organic reefs

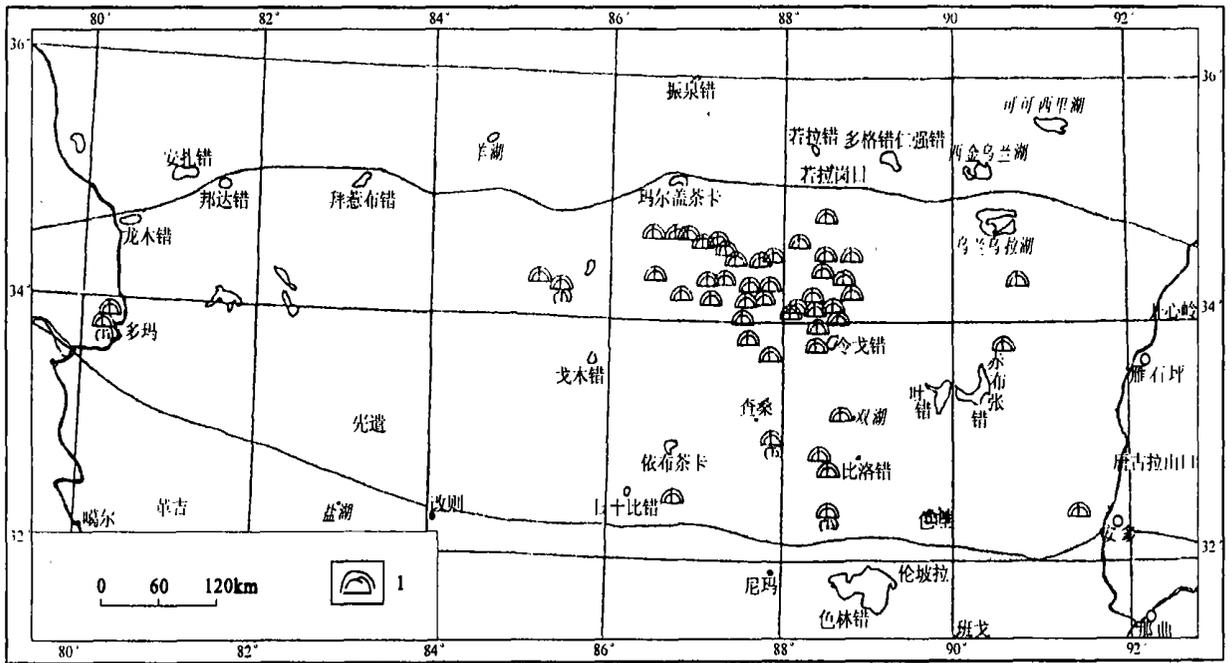


图 3 羌塘盆地上三叠统一侏罗系生物礁岩分布图

1. 生物礁

Fig. 3 Distribution of the Upper Triassic-Jurassic biohermites in the Qiangtang Basin

1= organic reefs

屑灰岩与核形石灰岩之上的开阔台地相中,而在台地内部的局限台地和潮坪、潮汐砂坝相中也可见到。

含礁地层在层序序列中出现的位置有两种类型。

一种是位于海进体系域中,礁体发育好、规模大,生长类型以追补为主,兼有并进类型,沉积方式兼有退积、中止和加积3种方式。生物礁形成的环境有位于台地边缘,也有靠斜坡一侧(水较深),也有靠陆架一侧(水较浅),因而岩性组合变化较大,而在台地内部的生物礁岩性组合变化更大,沉积序列更复杂。

另一种位于高位体系域中,礁体规模较小,生长类型早期以追补为主,晚期以并进为主,沉积方式早期以退积为主,晚期以进积和混积为主,形成环境以台地边缘向陆架一侧为主,次为台地潮坪相。由于沉积环境不同,岩性组合迥异,沉积序列也有差异,主要可划分为4种类型^[4~6]。

(1) 类型 I: 为浅滩相生屑灰岩、核形石灰岩-生物礁岩-开阔台地相泥晶灰岩-斜坡相角砾岩沉积序列(图 4a)。以董杯桑中侏罗统布曲组生物礁岩剖面为例,礁基为核形石灰岩和角砾状灰岩,礁间和礁盖为泥晶灰岩,礁核位于海侵序列中,沉积层系厚 302m,生物礁岩厚 26~34m,通常由数个含生物礁层沉积序列重叠发育组成。生物礁岩结构复杂,常常一个礁层的沉积序列由几个厚约数米的次级序列组成。以北雷错索瓦组生物礁岩为例,韵律层厚约 8m,具有骨架结构的礁核厚仅 2~3m。

该类型生物礁的沉积序列,礁基由生屑灰岩和核形石灰岩组成,礁盖或礁间灰岩为开阔台地相,但很快就过渡到斜坡相角砾岩,表明属海进体系域层序类型,海侵速度快,生物礁生长以追补为主,从生态学上看,多数处于拓植阶段便中止生长发育,为退积型沉积方式,沉积环境为台地边缘较深水部位。

(2) 类型 II: 为开阔台地相灰岩-生物礁岩-局限台地相白云质灰岩沉积序列(图 4b)。以日土多玛吉普上三叠统肖茶卡组生物礁岩为例,礁基为生物丘含珊瑚灰岩和叠层石灰岩,礁核厚度大,估算厚度为 500~600m,礁盖为白云质灰岩,厚达 400m 以上。由于研究程度差,生物礁内部结构不详。无论是从南羌塘坳陷肖茶卡组地层碎屑岩-碳酸盐岩-碎屑岩层序,或是从生物礁岩沉积序列分析,其层序地层主要位于高位体系域内。由于礁核如此厚大,表明生

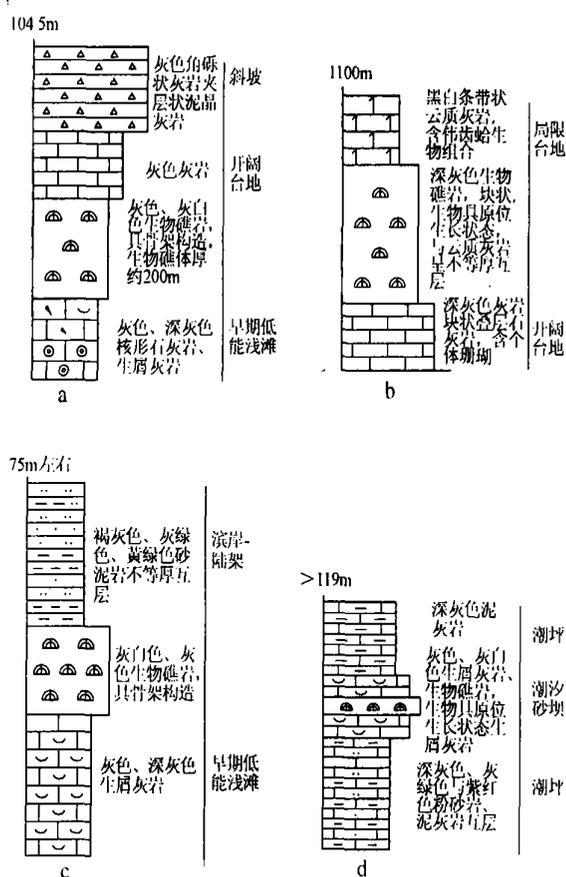


图 4 生物礁沉积序列

Fig. 4 Vertical depositional sequences of organic reefs

长类型以并进为主,沉积方式以进积和加积为主。从礁盖岩石类型与生物礁岩所在的古地理位置看,沉积环境为台地边缘,可以认为,是区内规模最为壮观的一种类型。它可能与希腊海德拉上三叠统潘托克拉托灰岩中生物礁沉积序列相似,其下部为开阔台地相纹层状燧石灰岩,向上依次为生物屑泥晶灰岩、厚大的生物礁灰岩,礁盖为浅水乃至暴露的湖-潮坪鸟眼灰岩,其上覆为另一沉积序列的深水菊石灰岩。

(3) 类型 III: 为浅滩相生屑灰岩-生物礁岩-滨岸相碎屑岩沉积序列(图 4c)。以日土多玛中侏罗统布曲组生物礁岩剖面为例,礁基为生屑灰岩和介壳灰岩,礁盖和礁间主要为碎屑岩,或为生物扰动似角砾状灰岩与灰泥岩互层;礁核总体位于缓慢海退序列之中。沉积序列厚度为 54~88m,生物礁岩厚 24~72m。该类生物礁沉积序列下伏为开阔台地相泥灰岩,向上变浅并过渡到滨岸相碎屑岩,它属高位体系域沉积。生物礁早期以追补生长为主,晚期以并

进生长类型为主; 沉积方式早期以加积为主, 晚期以进积或混积为主, 其古地理位置仍位于台地边缘, 但是靠近碎屑岩型滨岸带, 它是在总体海退背景条件下的进积型沉积类型。

(4) 类型 IV: 为潮坪相粉砂岩-潮汐砂坝生屑灰岩-生物礁岩-潮汐砂坝生屑灰岩-潮坪相泥灰岩沉积序列(图 4d)。以东湖上侏罗统索瓦组生物礁岩剖面为例, 礁基和礁盖均为厚度很薄的生屑灰岩, 其间的礁核很薄, 且横向连续性很差, 是在快速海侵条件下以追补为主的生长类型, 沉积方式以加积为主。沉积层系厚 57m, 礁核厚仅数米至 21m, 而且礁层内部旋回性很发育, 故具骨架结构的礁灰岩很薄。这种沉积序列发育于潮坪海侵条件下的开阔台地相或局限台地相碳酸盐岩中, 礁生长条件极不稳定, 以孤立、分散点礁产出为特点。

3 微相特征与划分

无论是类型 I 布曲组生物礁或是类型 IV 索瓦组的生物礁层序, 其旋回性都十分发育。特提斯海域的其它地区, 如南阿尔卑斯、西喀尔巴阡山法特里克生物礁也见到类似的礁旋回。实际上, 礁灰岩层由很多微相构成(图 5)。以类型 I 董杯桑剖面为例, 微相由下部生屑灰岩与上部珊瑚礁灰岩组成, 韵律层厚度约 8m。北雷错剖面微相自下而上为生屑灰岩至藻灰岩, 藻灰岩厚 5m。东湖剖面微相自下而上是含核形石微晶灰岩—生屑灰岩—珊瑚灰岩—牡蛎介壳灰岩, 韵律层厚度只有 4m。可见具骨架结构的礁灰岩厚度很薄。以河湾山南索瓦组第 22 层生物礁为例, 礁灰岩甚至比上下生屑灰岩厚度还薄且不稳定。这一点在西喀尔巴阡山兹迪亚斯卡、佛德拉等

地的法特拉组生物礁剖面上反映得很清晰, 由于海域不稳定, 海侵次数多而快, 生物礁基本上多处于定植阶段, 只有少数进入拓植和泛植阶段, 很少见到顶盛阶段, 而且时间大多很短, 故生物礁发育不好。另一种生物礁相以日土多玛吉普肖茶卡组 and 日土多玛答波布曲组生物礁为代表, 礁旋回不发育, 特提斯海域的希腊海德拉生物礁也属此类。

这种礁灰岩的微相划分则要通过点计法分析微晶方解石(亮晶方解石)与颗粒比值以及不同类型颗粒数量总和为基础, 根据特殊生物组合和生物结壳作用来加以区分。

4 岩石学与生物组合

4.1 岩石成因类型

根据生物及其碎屑的生态结构、构造, 把生物礁岩分成 3 种岩石成因类型。

1. 骨架岩

骨架岩为原地的块状群体生物构成的坚固骨架, 在骨架间充填灰泥基质、生物碎屑及胶结物, 具有抗浪能力。根据野外和室内统计, 造礁骨架生物多为 30%~85% 左右, 其中主要为珊瑚, 次为藻类、海绵和层孔虫。造礁珊瑚为四射珊瑚, 直径为 0.6~162cm, 以群体为主, 呈树枝状; 亦见有单体珊瑚, 个体小, 直径为 0.2~0.8cm。藻类在该区是一种重要的造礁生物, 可单独成礁, 也可与珊瑚共同成礁。主要为蓝绿藻, 少量红藻, 前者多呈丛状、管孔状及不规则状。藻丝体为暗色斑点状群体, 主要起粘结作用。藻类多已重结晶。造礁生物中海绵也是种重要的造礁生物, 可单独形成礁灰岩, 根据特提斯海域其它地区的资料, 造礁海绵主要为紧缚海绵、横板海绵

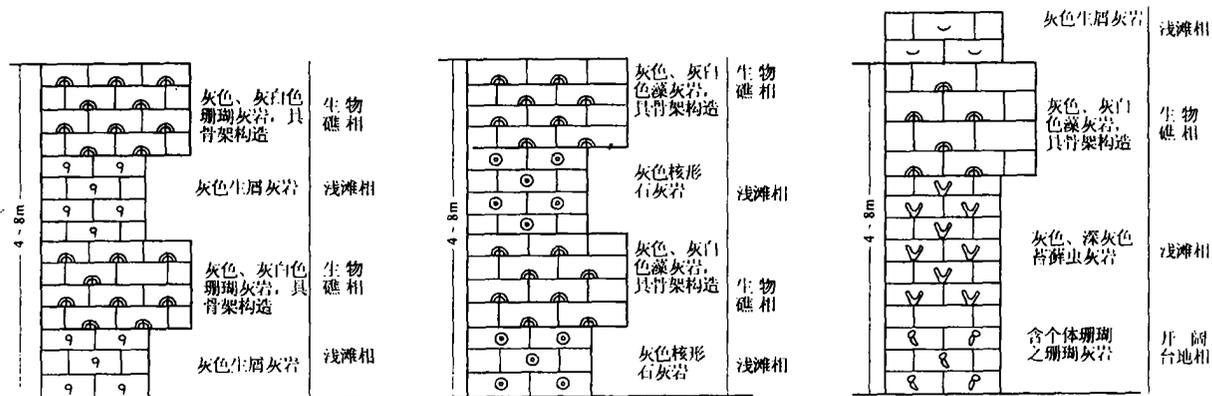


图 5 生物礁主要微相类型

Fig. 5 Microfacies types of organic reefs

和钙质海绵。另一种造礁生物为层孔虫。它是一类营群体生活的底栖生物,与珊瑚、藻类大量聚积在一起而形成生物礁,虽然在生物学上的亲缘关系和分类位置迄今尚未解决,但它是一种重要的造礁生物。

附礁生物种类较多,以瓣鳃类、腕足类、苔藓虫和有孔虫为主,多呈碎屑,含量一般不超过20%,填集于生物格架之间,格架间填积物以灰泥为主,含量普遍高于附礁生物,变化于30%~64%之间。粘礁生物以藻类为主。

2. 障积岩

障积岩由丰富的茎状或树枝状生物(如珊瑚、海绵、海百合茎等)遗体组成,对灰泥基质起障积或捕俘作用,因而在数量上基质是主要的,但通常分选不好,成为抗浪能力差的生物丘或灰泥丘。如日阿莎肖茶卡组的珊瑚灰岩,有的含群体珊瑚达60%以上,珊瑚碎屑一般达70%。笔者认为它是一种障积岩。台地内部生物礁的生物骨架一般不足30%,且以灰泥基质为主。

3. 粘结岩

粘结岩为板状一片状的生物(如层孔虫、苔藓虫、藻类等)粘结和包裹着大量灰泥基质,而无自生的生物组构。常构成礁顶或礁基的包壳粘结岩,是一种层状礁或地层礁。照沙山肖茶卡组层孔虫礁及部分藻礁等是该类代表。

4.2 成岩作用

1. 重结晶作用

重结晶作用分布广泛,表现为各类造礁生物内部的普遍重结晶,原始结构被破坏。灰泥填隙物亦多重结晶成微—粉晶。由于重结晶的强弱程度有差异,有时可形成斑状结构。

2. 胶结作用

充填胶结作用在成岩作用中是导致孔隙空间被破坏的一种作用。该区礁灰岩中主要表现在原生生物骨架内、生物块体间孔隙和藻粘结窗状孔中的亮晶方解石充填和裂缝、缝合线、不规则溶孔、溶蚀扩大缝内的充填。充填物主要为亮晶粒状方解石,大部分为一世代胶结,仅在个别宽大裂缝成少量局部生物骨架间孔隙中见有局部的二世代亮晶方解石。在一些互相切割的不同期裂缝组内,见有不同期的方解石充填,部分缝合线、溶蚀扩大缝段和少量不规则溶孔中见有机质、泥质及少量自生硅质充填,个别还见有白云石充填现象,白云石多为自形一半自形粉粒状产出,量少。

3. 压实、压溶及破裂作用

礁体相对于其它碳酸盐岩而言,是一个刚性的、

具抗压性结构的地质体,在压实作用中所表现的失水、流动及塑性变形等特征均不明显,而在埋藏过程中,化学压溶作用和破裂作用则较为明显,主要表现为缝合线构造发育,以及由于岩石受压破裂形成较多的裂缝。缝合线可按宽度分为粗缝合线(0.5~2mm)和微缝合线(<0.5mm),其常见有机质、碳质、泥质等充填,少见有原生剩余的缝隙存在。

4. 溶蚀作用

溶蚀作用主要见有两期。一期为早期的海水溶解作用,发生在沉积之后,表现为生物格架内生物块体间的早期溶蚀扩大,如藻类的遮蔽孔、藻粘结窗状孔、生物骨架内、骨架间及生物块体间原生孔隙的溶蚀扩大等,这些溶蚀孔隙大多数被后来的方解石所充填。另一期为表生期的淋溶作用,即地壳抬升岩石暴露地表后大气淡水的淋滤溶解作用,主要沿裂缝、缝合线及早期溶孔溶蚀形成的不规则溶孔、溶蚀扩大缝等,此类孔隙虽也多被后来的方解石、泥质等充填,但仍见有未充填剩余孔和缝隙。

4.3 孔隙特征

生物礁岩中见有少量孔、缝发育,孔隙率约为1%~3%。主要孔隙类型包括原生孔隙、裂隙和溶蚀孔、缝三大类。

(1) 原生孔隙:指沉积阶段形成的孔隙。该区生物礁岩的原生孔隙有生物体腔孔、生物格架内生物块体间孔隙、藻类遮蔽孔、藻粘结窗状孔、附礁生物碎屑和灰泥填隙物间微孔等。该类孔隙几乎均被亮晶方解石充填,仅余少量藻遮蔽孔和藻粘结窗状孔,但连通性很差。

(2) 缝隙:包括成岩缝、构造微裂缝和压溶形成的缝合线。这些缝隙在一定的地质历史阶段起到了储集和沟通邻近孔隙的作用。但以上各类缝隙目前多已被亮晶方解石充填,缝合线及小部分微裂缝中有沥青和泥质充填,说明它们曾起着渗滤通道作用。

(3) 溶蚀孔缝和孔隙:表生淋滤作用的结果使原有的孔、缝扩大溶蚀形成溶蚀孔和溶蚀扩大缝,溶蚀孔、缝内常常未充填完全,仍保留可连通的孔隙。该类孔缝和孔隙构成了该区地表露头岩石中有效孔缝的主体。

据沈启明等(2001)研究,礁灰岩储层孔渗率较低,排驱压力及中值压力大,喉道细小,属小孔微或超微喉道^[7]。董杯桑布曲组礁灰岩图像分析结果表明,孔径平均值为2.052 μ m,属中等大小孔径,其孔径主要分布于10.0~20.0 μ m,排驱压力为(0.01~0.03) $\times 10^6$ Pa,具有较好的储集性能。总体而言,

生物礁孔喉组合以大、中孔喉型为主。

4.4 生物组合

晚三叠世造礁生物为珊瑚和藻类⁸。栖礁生物主要为双壳类 *Triadomegalodon ladakhensis*, *Krumbeckia* cf. *tambangensis*, *Diderocadium* sp., 次为刺毛虫 *Blastochactetes* sp.。粘礁生物为藻类, 礁盖云质灰岩含伟齿蛤 (*Megacodon*)。特提斯海域的希腊海德拉晚三叠世生物礁之生物群落研究比较详细, 可作为参考。它具有极不均匀的礁体动植物群落, 在垂直方向上造礁生物群落存在很大区别。下部为珊瑚-海绵礁, 生物为树枝状珊瑚(各种)类型的厚壁珊瑚, 单体珊瑚 (*Montlivalita*, *Graspedophollia*, *Procycolites*) 和板状互通珊瑚、紧缚海绵 (*Cystothalamia*, *Vesicocaulis*); 粘礁生物为 *Uvanella inozoans*, 水螅类、刺毛珊瑚、管孔藻 (*Parachaetes*), *Tubiphytes obscurus* 及结壳孔层藻等。中部为海绵-珊瑚礁灰岩, 生物群落主要为紧缚海绵 *Zardinia*, 板状互通珊瑚、刺毛珊瑚, 不同种的 *Solenopota* 以及结壳孔层藻等。上部为珊瑚礁, 造礁生物主要为树枝状厚壁珊瑚、块状珊瑚 (*Isastraca*)、管孔藻 (*Parachaetes*, *Sdenopora styriaca*) 以及分枝状管孔藻等。礁盖为鸟眼灰岩、含伟齿蛤及层孔藻等, 与该区日土多玛吉普含伟齿蛤的云质灰岩有一定的类似。

据目前不完全研究^{1,4}, 侏罗系布曲组珊瑚礁造礁生物主要有 *Thecosmilia somænsis* Equis, *Montlivaltia caryophyllata*, *Patepismilia amdoensis* Liao et Lec, *Grandifavia bendukidzeae* Babaev, *Thamuasteria* sp., *T.* cf. *blauensis* Koby, *Cyrtaphora* cf. *bangoiensis* Liao et Xin, *Heliocoenia* cf. *zaglica* Babaev, *Pseudocoenia* ? sp., *Dungulia* sp., *Epistreptophyllum giganteum* Roniewicz, *Donacosmilia coraliua*, *Ovacastrea* sp., *Astraraca doumarensis* He et Xiao 等, 其中 *Montlivaltia caryophyllata* 等见于法国、瑞士和阿富汗中侏罗统内, *Donacosmilia coralina* 是欧洲中侏罗统常见化石。栖礁生物有刺毛虫 *Bauneia* sp.。

索瓦组造礁生物有珊瑚、藻类等。其中珊瑚有 *Stylina paruivamosa*, *Montlivaltia* sp., *M. minor*, *M. caryophyllata*, *Pachytheopora pachtheca*, *Donacosmilia coralina*; 栖礁生物主要为双壳类和腹足类, 粘礁生物为藻类。海绵礁主要为钙质海绵、横板海绵。层孔虫生物礁之造礁层孔虫没有作系统鉴定, 但邻区安多县东巧附近、双湖地区和上侏

罗统一下白垩统东巧组和蛤蟆山组均发现中生代层孔虫, 喀喇昆仑中生代层孔虫可能是它们的构成分子, 主要属种有 *Stromatopora*, *Parastromatopora*, *Astrorhizopora*, *Cladocoropsis*, *Milleporella*, *Milleporidium*, *Xizangstromatopora*, *Dongqiaostroma*, *Dongqiaostromaria*, *Brunandia*, *Atelostroma*, *Axiotubulina*, *Epistromatopora*, *Tosastroma*, *Astroporina*, *Actinostromaria*, *Actostroma*, *Paratubliella*, *Coenostella*, *Actinostromina* 等。

总之, 造礁生物在纵向上的更替是迅速的, 例如北雷错索瓦组生物礁由生屑灰岩—藻灰岩韵律层或核形石灰岩—藻灰岩韵律层, 东湖白龙冰河组的珊瑚灰岩—苔藓虫灰岩—藻灰岩韵律层等(厚约 4~8m)。造礁生物组合在横向分布上有变化, 大致在南羌塘日阿莎以西为藻类-珊瑚造礁组合, 东部扎加藏布为海绵组合, 北羌塘坳陷西部边缘为藻类-珊瑚造礁组合、层孔虫造礁组合。台地内部造礁生物组合复杂多样, 以珊瑚或海绵为主。例如东湖索瓦组造礁生物主要为珊瑚和藻类和藻类, 珊瑚有陀枝珊瑚、二歧珊瑚, 藻类已重结晶, 属种分不出来(大庆石油学院, 1995, 西藏地区羌塘盆地若拉错-金戈错-纳江错石油天然气路线地质调查工程研究报告)。障积生物碎屑有棘皮类、腹足类、双壳类、苔藓虫、腕足类和介形虫类。

造礁生物丰度变化较大, 高者 60%~90%, 低者 20%~52%, 一般而论, 点礁以低丰度为主, 障积灰泥基质含量高、差别大。

5 沉积模式

5.1 成因类型

该区生物礁岩以海进体系域沉积为主, 高位体系域也有发育, 低位体系域仅偶见, 且规模小。

海进体系域生物礁有较深水礁和浅水礁之分。较深水礁有董杯桑布曲组生物礁、日土多玛加木卡巴索瓦组生物礁, 它们的礁基是浅水砾屑滩、核形石滩, 但是海侵速度快、相变快, 相序向上变深, 礁间和礁盖为较深水的开阔台地相, 并上覆斜坡相石灰质角砾岩。生物礁生长为追补类型, 海水过深生物礁生长中止, 可看到生物礁呈退积型侧向迁移。地理位置上为台地濒临斜坡边缘。浅水礁以日土多玛吉普肖茶卡组生物礁、北雷错索瓦组生物礁为例, 礁基为浅水砾屑滩, 海侵速度较慢, 相序向上先变深后变浅, 礁盖为生屑滩或为云质灰岩。生物礁生长为加

积类型,厚度巨大,礁中止于暴露水面之时。野外仅见生物礁在一个地方稳定生长,侧向迁移不明显,古地理位置为台地边缘靠滩一侧,古生物显示为极浅水组合,尤以礁盖云质灰岩,其中以常见叠层石、鸟眼构造及结核状孔层藻等为特征。特提斯海域其他地区也有这种类型。

高位体系域生物礁以日土多玛答波热维尔组生物礁、东湖索瓦组生物礁为代表。礁基为靠近滨岸的生屑滩或是潮坪的潮汐砂坝。生物礁是在总体快速海退条件下次级周期的海进体系域中生成的,因此沉积序列总体向上变浅,由开阔台地相碳酸盐岩相变为陆架碎屑岩沉积体系,或由开阔台地相灰岩相变为潮坪相泥灰岩夹碎屑岩。生物礁在沉积方式上,早期以加积为主,晚期则以进积和混积为主,古地理位置在台地边缘靠近古陆一侧,在台地内部者则靠近滨岸。

5.2 古地理

按照造礁生物分类,该区可分成珊瑚礁、海绵礁、藻礁和层孔虫礁,南羌塘拗陷日阿莎以西为珊瑚礁,以东扎加藏布等地为海绵礁,北羌塘拗陷西部为藻类-珊瑚礁、层孔虫礁,台地内部既有珊瑚礁,又有海绵礁,其分布规律相对较差。

按照生物礁形态分类,可以分为点礁、堤礁或链状礁。按照古地理位置来划分,可分为台地边缘礁(图6,图7,图8)和台地内部点礁(图9)(包括少量链状礁)。

在南羌塘拗陷属于台缘礁的有:晚三叠世日土多玛吉普、日阿莎生物礁,侏罗纪布曲期的日土多玛答波、董杯桑生物礁,索瓦期的日土多玛加木卡巴、北雷错、扎加藏布生物礁。在北羌塘拗陷属于台缘礁的有晚三叠世照沙山生物礁。台地内部的点礁很多,主要有侏罗纪布曲期的野牛沟、弯弯梁,索瓦期的错尼北、台南石山、半岛湖东南、东湖、方湖、那底岗日、茈茈岭、梁西湖南、半岛湖北、万安湖等数十个生物礁点,沿横向穿切羌塘盆地的拉雄错—令戈错开阔台地的南北两侧及其滨岸带分布(图4)。其中半岛湖东南、东湖、方湖、弯弯梁、错尼北及台南石山生物礁延伸数百至上千米,类似台缘生物礁的规模。分布于南北滨岸带上的那底岗日、茈茈岭、梁西湖南、半岛湖北、万安湖和东湖西等礁体较小,延伸仅数十米至近百米,形态为丘状、塔状等。此外,肖茶卡期的肖日山、肖茶卡西湖,侏罗纪布曲期的马料山南、祖尔肯乌拉山等地,在碎屑岩滨岸带也分布有生物礁。需要指出的是,日阿莎肖茶卡期礁坪沉积,含

珊瑚遗体及碎屑60%~80%,可能部分为障积岩,而原位生长的骨架礁可能还在其南。台缘礁位于台地边缘浅滩相向盆地一侧,濒临斜坡相带分布,其中较深水礁特点是规模较小,容易中止礁的生长;浅水礁规模较大,有利于维持礁的稳定发育。在形态上多为堤状礁,厚度大,延伸数公里以上。

台内礁多分布在台地内部的开阔台地、局限台地边缘,紧邻它们的碎屑岩滨岸相中还有较多礁的发育,虽然有人怀疑它们的存在,认为多属风暴潮沉积,但是原位生长的骨架生物结构却是存在的,其形态特征和在剖面中的结构组合与卡博尼来的卡西安组补丁礁(图10)相似。

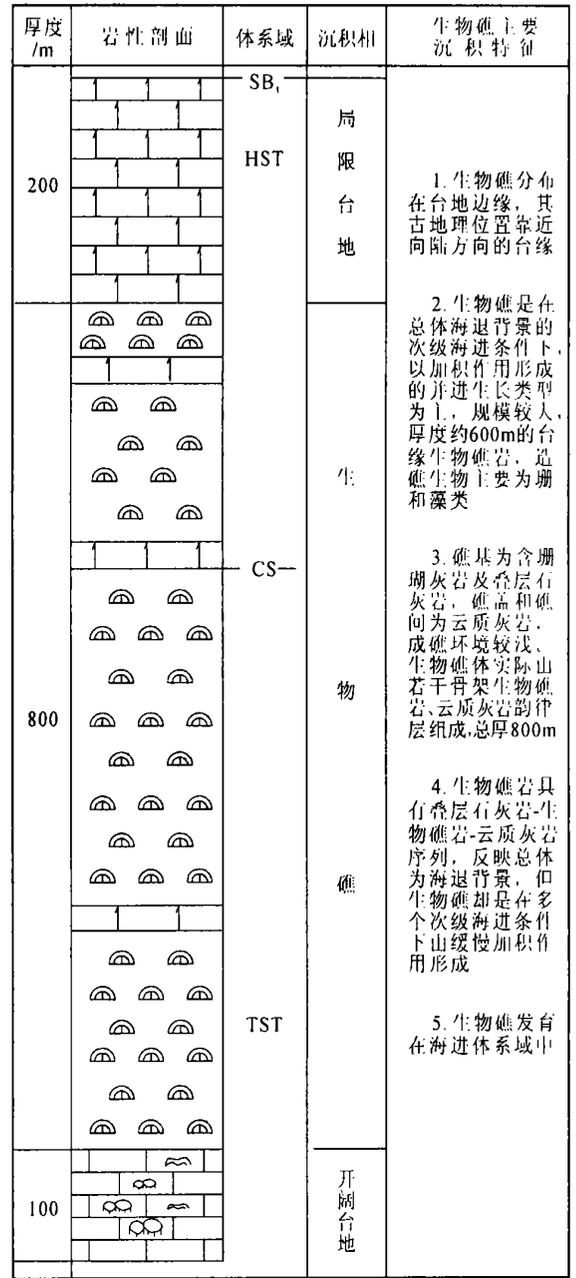
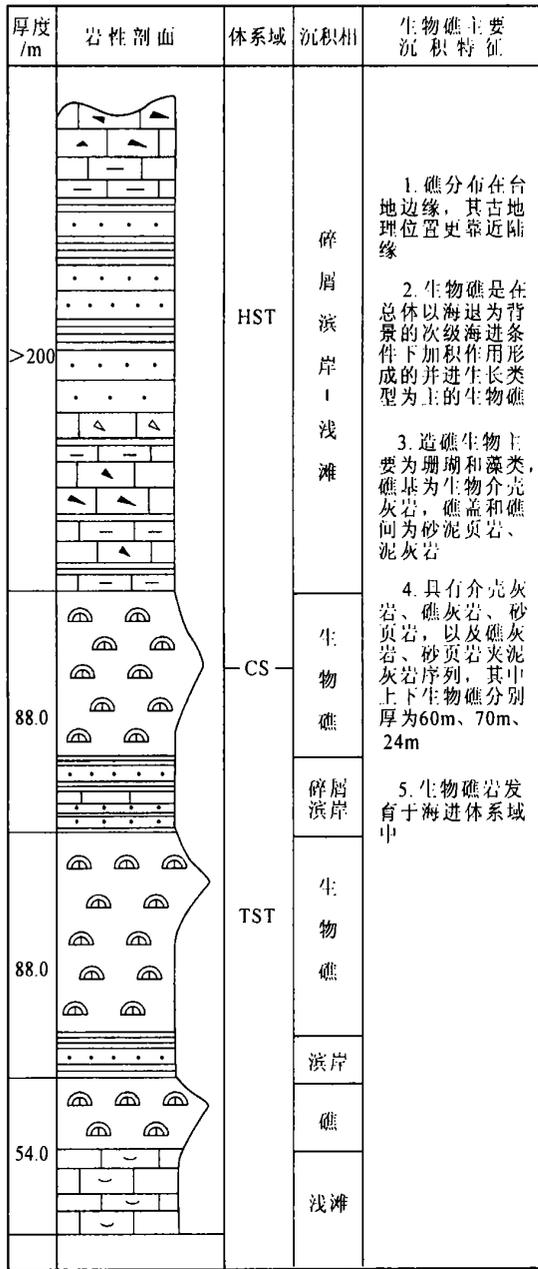
据地震剖面解释,在万安湖和达卓玛北识别出两个规模巨大的生物礁体,其中万安湖南生物礁在地震剖面上反映特征最为典型,具丘状外形,向南北两侧尖灭,呈北北西走向,宽约7km,厚600m(图11),为油气储集提供有利的空间^[9]。

5.3 沉积模式

一个相对稳定持续的成礁过程,实际包含若干个短暂中断的成礁韵律层,说明生物礁的生长严格受到海平面上升和下降的控制。礁韵律层间沉积有的为开阔台地相灰岩,有的与礁基一样为早期低能浅滩相生屑灰岩,有的为碎屑岩滨岸相砂页岩。它们与海平面的升降有直接关系:当礁的生长速度过快,超过海平面上升速度,礁的生长就会受到遏制;当海平面下降速度过快,陆源沉积物就会进积在生物礁体之上,同样使生物礁失去发育的基本条件,最后可被滨岸碎屑岩所掩埋。经过统计表明,生物礁发育于海进体系域者,成礁过程相对较长;生物礁发育于高位体系域,成礁过程相对较短。说明生物礁发育受全球海平面升降变化控制^[5,6]。根据上述特征,总结出该区台缘礁成礁模式(图12)。

6 小结

综上所述,该区上三叠统和侏罗系生物礁岩可与特提斯海域内其他地区的生物礁对比,以珊瑚礁岩、藻礁岩为主,海绵礁、层孔虫礁岩等次之。按地理位置礁岩分为台缘礁和台内礁两种类型,其特点是礁岩与滩岩并存,位置紧邻。台缘礁厚度大,连续性好,多成堤状分布,台内礁厚度小,孤立分散,但数量大、星罗棋布。根据生物礁岩与海平面变化关系,可分为海进体系生物礁和海退体系生物礁两类,从相分析入手,前者具有开阔台地相—早期低能浅滩相—生物礁岩相—开阔台地相—斜坡相的沉积序



1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5

图6 在总体海退条件下陆缘生物礁沉积特征(以多玛答波中侏罗统布曲组生物礁为例)(据文献^[8])

1. 灰岩; 2. 泥灰岩; 3. 介壳灰岩; 4. 砾屑灰岩; 5. 砂岩; 6. 页岩; 7. 生物礁

Fig. 6 The deposition of the epicontinental organic reefs during the overall regressions; an example from the organic reefs in the Middle Jurassic Biqu Formation in Dabo, Doima (after Guo Tieying et al., 1986)

1=limestone; 2=marl; 3=coquina; 4= calcirudite; 5=sandstone; 6=shale; 7=organic reefs

图7 在总体海退条件下台缘生物礁沉积特征(以多玛吉普上三叠统一下侏罗统吉普村组生物礁为例)(据文献^[8])

1. 灰岩; 2. 云质灰岩; 3. 叠层石灰岩; 4. 含珊瑚灰岩; 5. 生物礁

Fig. 7 The deposition of the platform-margin organic reefs during the overall regressions; an example from the organic reefs in the Upper Triassic - Lower Jurassic Gyipugcun Formation in Gyipug, Doima (after Guo Tieying et al., 1986)

1=limestone; 2=dolomitic limestone; 3=stromatolitic limestone; 4=coral limestone; 5=organic reefs

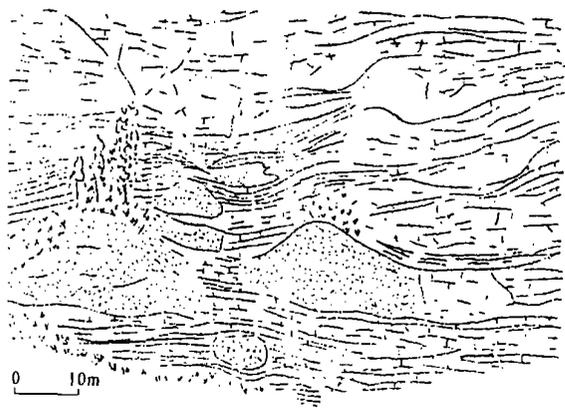


图 10 靠近卡博尼亚处卡西安组最上部的补丁礁夹层(带点者)紧挨上覆的礁核^[7]
 Fig. 10 The patch reefs interbeds (dotted) close to the overlying reef cores at the uppermost part of the Karxi'an Formation near Karbonia

列,后者具有开阔台地相—早期低能浅滩相—生物礁岩相—局限台地相(碎屑岩滨岸相)沉积序列。但是按层序分析,生物礁岩却主要发育在海进体系域中,少数发育在高位体系域准层序的海进体系域里。生物礁生长类型呈追补、并进和中止 3 种类型,并以退积和加积两种方式沉积。

由于成礁海域不稳定,海侵次数多而快,生物礁基本处于定殖阶段,只少数进入拓殖阶段和泛殖阶段,达到顶盛阶段者甚少,因而具骨架结构的生物礁

体发育不好。生物礁旋回性十分发育,实际上礁灰岩层多由很多微相构成。

生物礁岩可分成骨架岩、障积岩和粘结岩 3 种岩石类型,礁岩孔隙特征具较好的储集性能。据地震剖面解释,可见规模巨大的生物礁体,有可能成为重要的油气储层。

在成文过程中得到雍永源、贾保江、朱同兴、庄忠海、秦建华等研究员的大力帮助,特此衷心感谢。

参考文献:

- [1] 曾鼎乾,刘炳温,冀蕴明.中国各地质历史时期生物礁[M].北京:石油工业出版社,1988.44—61.
- [2] 范嘉松.中国生物礁与油气[M].北京:海洋出版社,1996.152—330.
- [3] ERIK F, Erentraud Fütügel-questions and data base [J]. Facies, 1992, 26: 167—278.
- [4] 李永铁,罗建宁,等.青藏高原地层[M].北京:科学出版社,2001.
- [5] 刘宝,曾允孚,等.岩相古地理基础和工作方法[M].北京:地质出版社,1985.
- [6] 刘宝,李文汉.层序地层研究与应用[M].成都:四川科学技术出版社,1994.
- [7] 沈启明,纪有亮,郭祖军.青藏高原中生界沉积相与油气储盖层特征[M].北京:科学出版社,2001.180—202.
- [8] 郭铁鹰,梁定益,等.西藏阿里地质[M].武汉:中国地质大学出版社,1986.149—106.
- [9] 赵政璋,李永铁,叶和飞,等.青藏高原羌塘盆地石油地质[M].北京:科学出版社,2001.246—344.

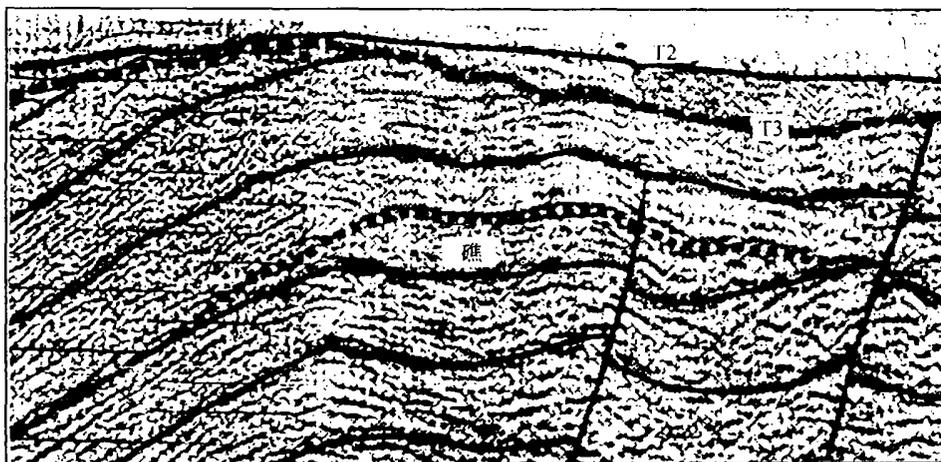


图 11 万安湖南生物礁地震剖面图(据文献^[9])

Fig. 11 Seismic profile through the organic reefs south of the Wan'an Lake (after Zhao Zhengzhang et al., 2001)

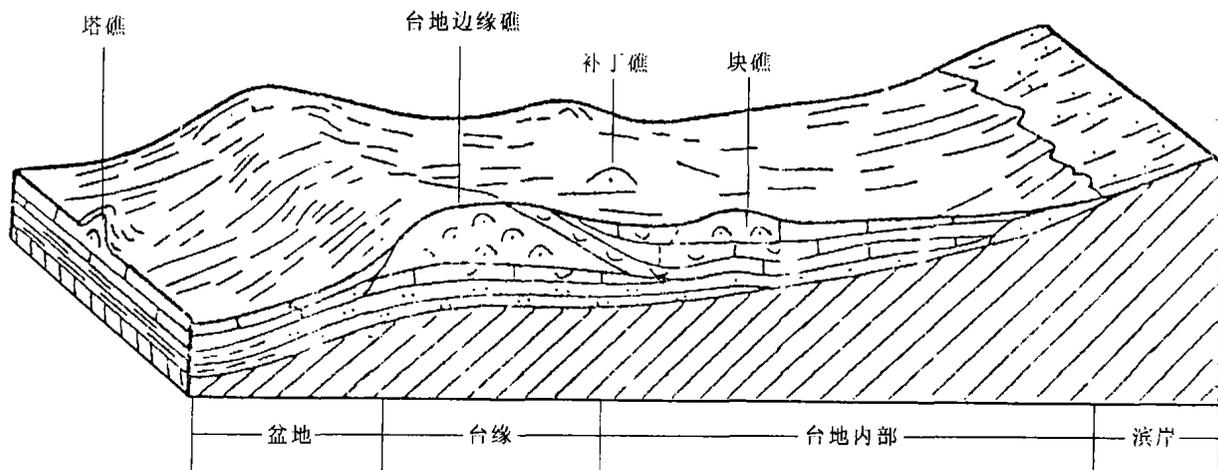


图 12 台缘礁、台内礁沉积模式

Fig. 12 Sedimentary model for the platform-margin and intraplatform reefs

The biohermites in the Qiangtang Basin and their sedimentary model

LUO Jian-ning¹, ZHU Zhong-fa¹, XIE Yuan¹, FENG Xin-tao¹, YE He-fei², LI Yong-tie², SHEN Qi-ming², TONG Zhen-yan²

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China; 2. Beijing Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083, China)

Abstract: The biohermites were widespread within the Tethys Sea, and also in the Qiangtang Basin, during the Triassic to the Cretaceous. The depositional sequences of the biohermites may be classified into following categories: (1) shoal bioclastic limestone and oncolitic limestone → biohermite → open platform micritic limestone → slope breccias; (2) open platform limestone → biohermite → restricted platform dolomitic limestone; (3) shoal bioclastic limestone → littoral clastic rocks, and (4) tidal-flat siltstone and marl → tidal-flat bar bioclastic limestone → biohermite → tidal-flat bar bioclastic limestone → tidal-flat marl. The biohermites may be subdivided into three genetic types: framestone, bafflestone and bindstone. The diagenesis comprises recrystallization, cementation, compression, pressure solution, fragmentation and dissolution. The porosity types consist of primary, fractured, solution openings and fissures. The Late Triassic reef-building organisms are dominated by corals and algae, whereas the Middle and Upper Jurassic ones by coral reefs and sponge reefs. The biohermites occur mostly in the transgressive systems tract, occasionally in the highstand systems tract and rarely in the lowstand systems tract, and consist of coral reefs, sponge reefs, algal reefs and *Stromatopora* reefs. The coral reefs are observed in the western part of southern Qiangtang, the sponge reefs in eastern Qiangtang, the algal reefs and *Stromatopora* reefs in the western part of northern Qiangtang, and coral reefs and sponge reefs within the platform. The above-mentioned organic reefs may be discriminated, according to the palaeogeographic settings, into platform-margin and intraplatform reefs. The former occur on a wide range of scale, and may be noticed in seismic profiles. All the organic reefs outlined above are controlled by the global sea-level changes.

Key words: Qiangtang Basin; biohermite; sedimentary model