

海相油气区生物礁研究现状、问题与展望

陆亚秋^{1,2}, 龚一鸣^{1,3}

1. 中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国石化江汉油田分公司, 湖北潜江 433124

3. 河南理工大学资源环境学院, 生物遗迹与沉积矿产河南省重点实验室, 河南焦作 454003

摘要: 生物礁是良好的油气聚集场所。几十年来我国在生物礁及其含油气性研究、生物礁发育分布规律及其控制因素研究等方面均取得了丰硕的成果, 油气区隐伏生物礁的地球物理识别与预测方法也日趋成熟, 生物礁储层形成机理与预测研究进一步深入。油气区生物礁研究中仍存在问题: 一是生物礁基础研究综合程度不够; 二是生物礁成油系统研究薄弱; 三是生物礁分布规律与地质预测精细程度不够。油气区生物礁研究的发展趋势: 一是生物礁基础研究将向综合的生物礁生态—沉积体系研究以及生物礁地球生物学研究方向发展; 二是生物礁与油气成藏研究结合将更加紧密; 三是油气区生物礁的研究手段向多方法的交互验证与集成研究过渡; 四是生物礁储层预测与描述技术将得到进一步发展。

关键词: 生物礁; 地球生物学; 油气储层; 成油系统。

中图分类号: P744

文章编号: 1000-2383(2007)06-0871-08

收稿日期: 2007-08-25

On Reefs in Association with Marine Oilfields: Actuality, Problems and Prospects

LU Ya-qiu^{1,2}, GONG Yi-ming^{1,3}

1. Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Jianghan Oilfield Company of SINOPEC, Qianjiang 433124, China

3. Institute of Resources and Environment; Key Laboratory of Biogenic Traces & Sedimentary Minerals of Henan Province, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China

Abstract: Reefs were believed to be favorable rocks for hydrocarbon accumulation. Great progress was made in the past decades through the investigation of reefs in China; they include the distributions, the controlling factors and the oil-bearing properties of the reefs. The identification and the prediction of underlying reefs were widely carried out by geophysical techniques, and were more and more successful due to the enhanced understandings of both the geophysical features of the reefs and the mechanisms of the reef formation. Some issues related to the reef systems, however, need to be investigated and strengthened in the future. The comprehensive investigation of a reef awaits an integrated study on sedimentology, ecology, in particular geobiology. The deepgoing description and the elevated understanding of reef distributions help to enhance the prediction of reef reservoirs, and to acknowledge their relation with the petroleum-generation system. Multiple techniques and integrated methodology would be widely explored and cross-checked to enhance the prediction probability of underlying reefs in association with oil and gas.

Key words: reefs; geobiology; oil and gas reservoir; petroleum-generation system.

生物礁是油气等重要矿产资源的有利富集场所。生物礁孔隙与缝洞发育, 是良好的油气储集体。礁型油气藏具有产能高、采收率高及勘探开发成本低等特点而倍受人们重视。我国生物礁与油气研究

基金项目: 教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(No. 2004000127); 科技部重大基础研究前期研究专项(No. 2005CCA05000); 国家自然科学基金项目(No. 40472020); 中国石油化工股份有限公司海相油气勘探前瞻性项目(No. G0800-06-ZS-319)。

作者简介: 陆亚秋(1969-), 男, 博士生, 高级工程师, 主要从事地层沉积与石油地质评价研究。E-mail: jhlyq@sohu.com

表 1 我国地史时期生物礁的分布及含油气性

Table 1 Spatiotemporal distributions of organic reefs through geohistory in China and their relations to oil and gas

时代	分布地区	主要造礁生物	古地理背景	类型	含油气性	资料来源
古近纪至新近纪	山东、广东珠江口	菌藻类	近海湖盆	近海湖盆礁	石油(珠江口、山东东营)	范嘉松(1996)
侏罗纪	西藏	层孔虫、珊瑚	台地	点礁		罗建宁等(2004)
三叠纪	四川、贵州、云南、西藏	海绵、菌藻类	台地边缘	台缘礁	原油、沥青(川西龙门山、贵州)	曾鼎乾等(1988)
晚二叠世	广西、四川、湖北、湖南、贵州、云南、江苏	海绵、水螅、菌藻类、苔藓虫	台地边缘、斜坡、台地	台缘礁、台缘斜坡礁、点礁	天然气(川东鄂西) 沥青(贵州紫云)	曾鼎乾等(1988)
早二叠世	广西、贵州、云南、安徽、浙江等	海绵、菌藻类、苔藓虫	台地边缘、斜坡、台地	台缘、点礁	沥青、原油(广西宁明)	范嘉松(1996)
晚石炭世	北部湾	菌藻类	台内泻湖	点礁	石油(北部湾)	
早石炭世	广西	苔藓虫、珊瑚、	台地、台缘斜坡	点礁		
晚泥盆世早期	湖南、广西、云南、四川、江西	珊瑚、层孔虫	台地边缘	点礁		
中泥盆世	湖南、广西、四川、贵州、云南、西藏	层孔虫、珊瑚、菌藻类、海绵	台地边缘、台地、深水台盆	台缘礁、点礁、盆地礁	沥青(广西南丹、河池)	曾鼎乾等(1988)、范嘉松(1996)
早泥盆世	云南、广西、四川	珊瑚、层孔虫、菌藻类	台地、斜坡	台缘、台缘斜坡礁、点礁		
志留纪	陕西、贵州、四川	珊瑚、层孔虫、苔藓虫、海百合、菌藻类	浅海陆棚	台缘斜坡礁	原油、沥青(贵州石阡)	
中晚奥陶世	陕西、江西、浙江、江苏、四川、新疆	海绵、苔藓虫、菌藻类、珊瑚、层孔虫	台地边缘、台地	台缘礁、点礁	石油、天然气(新疆塔中)	
早奥陶世	湖北、贵州、安徽、江苏、云南	苔藓类、海绵、菌藻、瓶筐石	台地边缘	台缘礁、点礁		
中晚寒武世	河北、山东、辽宁	菌藻类		点礁、台缘礁		范嘉松(1996)
早寒武世	陕西、湖南、湖北、四川、辽宁	古杯类、菌藻类	台地、台地边缘	台缘礁	含沥青(湖南花垣)	
震旦纪	贵州、湖南、四川、云南、浙江	菌藻类	台内潮坪、泻湖、台地边缘	点礁、台缘礁	沥青(浙江余杭) 气藏(四川威远)	
青白口纪	陕西	菌藻类	台地潮坪	点礁		范嘉松(1996)

涉及各个地史时期,到目前为止,我国已发现的生物礁型油气田分布于中上奥陶统、上石炭统、上二叠统、古近系、新近系等多个层位,在大多数地史时期生物礁中均见古油藏或含油气显示(表 1)。

近年来由于各类地球物理勘探技术的飞速发展,油气区隐伏礁识别技术逐步成熟,对生物礁发育规律及其地质预测的研究也不断深入,生物礁型油气藏不断有新的发现。如 2003 年发现的普光超大型气田,主要含气层段之一即为上二叠统长兴组礁滩相白云岩;在塔里木盆地覆盖区,中上奥陶统礁滩体油气勘探也有重大突破。因此,深入开展地史时期生物礁发育特征、分布规律及与油气关系的研究,开展

隐伏区生物礁的识别与预测方法研究,对我国海相油气勘探具有重要意义。

1 油气区生物礁研究进展

生物礁的研究是多方面的,油气区生物礁研究的重点是生物礁的整体发育特征及其生长方式、生物礁的分布规律、生物礁型储层物性的变化、生物礁型油气藏的形成过程、覆盖区生物礁的识别与预测等。近年来,主要得益于高精度地震资料的采集、处理与解释技术、测井新技术等与生物礁的地质研究相结合,油气区生物礁基础研究、生物礁分布规律与

控制因素研究、潜伏礁的地球物理识别与预测技术以及生物礁储层研究等方面都取得了很大的进展。

1.1 地史时期造礁生物组成与演化研究

1.1.1 地史时期造礁生物的演化 生物礁的形成与造礁生物密切相关,造礁生物的种类和数量决定了生物礁的结构和成分特征(Riding, 2002)。我国各地史时期生物礁组成及主要造礁生物演化特征如下(刘春燕等, 2007):

在前寒武纪菌藻类阶段,造礁生物主要是大量的蓝细菌与红藻。早寒武世除菌藻类继续发育外,古杯类成为继菌藻类之后主要的造礁生物,如我国南方寒武纪的礁,绝大部分是古杯—菌藻礁。

奥陶纪除菌藻类外,层孔虫、床板珊瑚、苔藓虫、海绵等成为重要的造礁生物。中国南方奥陶纪主要造礁生物为层孔虫、床板珊瑚、四射珊瑚、菌藻类、海绵等。近年来,在塔里木盆地石油钻井岩芯及边缘露头区,发现了大量的奥陶纪生物礁。根据顾家裕等(2001)的研究,在塔里木盆地覆盖区,通过钻井资料研究表明中、上奥陶统的造礁生物主要有海绵、苔藓虫、层孔虫、珊瑚、托盘类、蓝细菌、管孔藻等。

从志留纪开始,珊瑚、层孔虫等骨架生物大规模地开始出现,规模大、地形起伏明显和具有抗浪特征的骨架礁广泛分布。泥盆纪是我国地史上极为重要的造礁期,其造礁生物主要是层孔虫、珊瑚和菌藻,层孔虫在骨架建造中扮演着极其重要的角色。石炭纪的造礁生物是珊瑚、苔藓虫和菌藻类,具有骨架建造的少,常常含有一些似丘状构造。二叠纪造礁生物主要是海绵、苔藓虫、水螅以及一些钙质红藻,菌藻和珊瑚起着辅助作用(如建南气田生物礁)。

中生代三叠纪—侏罗纪造礁生物主要是四射珊瑚和海绵,其次是苔藓虫。侏罗纪生物礁在藏北地区多有发现,白垩纪生物礁在我国至今未有发现。古近纪和新近纪礁的主要建设者是菌藻类和珊瑚,如南海地区和山东均有分布,礁体比较发育,并且常常构成大型油气田。

1.1.2 生物绝灭事件与生物礁发育的关系 地史时期造礁生物兴衰演化与生物礁发育密切相关(Kiessling, 2001; Wood, 2001; Copper, 2002; Webb, 2005)。震旦纪末、早寒武世、晚泥盆世、晚二叠世、白垩纪末造礁生物的演化出现重大变化(与公认的地史时期五次生物大绝灭事件不完全对应),生物礁的分布范围在早寒武世、晚泥盆世、二叠—三叠纪之交以及三叠—侏罗纪之间的生物绝灭事件后受

到了严格的限制。

1.2 生物礁发育的控制与影响因素研究

1.2.1 古地理格局与生物礁分布 研究地史时期生物礁分布与古地理格局的关系,是对生物礁分布进行地质预测的基本方法之一。礁滩体的发育与古地理格局及古地貌形态的关系密不可分。一方面,礁滩体的发育往往会在地貌上形成相对的隆起;另一方面,生物礁往往选择在古地貌高部位进行建造。

近年来古地理与生物礁发育分布规律研究方面取得了一些较为明显的进展:一是将层序地层的理论与方法引入到古地理与生物礁分布规律的研究工作中,以层序地层单元作为编图单位,在等时格架内编制包括生物礁体的岩相古地理图,能更准确地反映了生物礁的分布规律。如徐强等(2004)对四川盆地晚二叠世进行了生物礁层序地层岩相古地理编图试验,以优选的各层序地层的海退低点及海侵高点作为相对等时格架,编制了生物礁层序地层岩相古地理图,从而比较深入地分析了四川及邻区晚二叠世生物礁沉积特点,指出了潜伏生物礁的两个可能分布区,为油气勘探提供了新的背景资料和线索及潜在寻找对象。二是沉积坡折带(李振宏等, 2004)的识别与台缘礁的地理物理预测综合研究取得了较好的应用效果。台内及台缘坡折带内侧处于浅水沉积环境,是最为有利的礁滩相带发育,尤其是台缘外带。而且,坡折带越陡,台地的相对抬升幅度越大,水体越浅,越有利于礁滩沉积体发育。因此,坡折带可以作为礁滩沉积体的古地理环境识别标志之一。刘豪和王英民(2005)对塔里木盆地早古生代陆架坡折与生物礁分布规律进行了研究,指出早古生代既有传统意义上的陆架坡折,又有类似陆相盆地中反映古地貌格局的坡折带,并提出中晚奥陶世在塔中I号坡折带发育良好的生物礁滩沉积,在此基础上采用三维地震资料精细研究描述塔里木盆地塔中I号坡折带礁滩体发育规模和展布形态,这些研究成果为塔中I号坡折带奥陶系生物礁滩型油气藏的发现奠定了基础。

1.2.2 构造活动对生物礁发育的影响 从大地构造活动影响的角度来看,在海平面变化相对较稳定的情况下,大地构造沉降的范围及沉降幅度影响礁的生长,限定礁的形态与厚度,构造运动的形式对礁的发育也有影响。例如,在相对狭窄地带的高活动性及构造运动的剧烈性可能决定了沉降区礁的明显的锥形形态特征。在地台环境下,分布广泛的是较为平

缓的扁平状礁或者是底宽而幅度相对小的单体礁等。

构造活动间接影响礁的形成过程。这种间接影响主要是通过构造影响地形变化来实现的,即构造运动使礁赖以生存的地貌条件形成,如构造形成的局部隆起、大幅度的明显挠曲等。许多事实表明,基底断裂和基底褶皱对古代礁分布的控制是十分明显的,曾鼎乾等(1988)在总结礁群发育的控制因素时指出,与断裂相关的古构造隆起控制了礁的生长(如泥盆纪广西南丹大厂礁)。

从国外生物礁的勘探实例来看,台缘陡坡带的形成一般与正断层有关,在正断层上升盘发育生物礁,我国泥盆纪许多台缘礁的形成亦与裂谷盆地背景下的张性断层发育相关(范嘉松,1996)。但是由于我国大部盆地均为多旋回构造运动叠合盆地,后期或现今的构造形态大多表现为挤压形式,因此,与生物礁发育相关的断层经改造后现今多数表现为压性断层,且由于构造恢复的复杂性,断层发育史研究一般很难恢复到原始状态,可能造成很多的构造解释失真,这是一个要引起注意的问题。

1.2.3 相对海平面变化与生物礁发育特征研究

在相对海平面变化的条件下,礁系发育的特点、礁系的海侵或海退位移研究在预测礁的分布和礁发育规模时是非常重要的(Toscano and Lundberg, 1998)。Pomar(1991)研究了西班牙东部马略卡岛中新世晚期的生物礁,提出了按照相对海平面升降速率与礁生长速率的相互关系,将生物礁成因类型可划分为三大类,即退积礁、加积礁和进积礁。

在相对海平面变化控制下各种成因类型的礁均具有各自的时空迁移规律,各种礁体之间均具有成因联系,通过这种成因联系使我们可以更加准确地预测潜伏礁和有利的礁油气藏勘探目标。传统的岩相古地理法预测潜伏礁的立足点为礁体群是由一个个孤立的无成因联系的个体礁构成的,而相对海平面升降预测潜伏礁的立足点为礁体群,是由一个个有成因联系的个体礁构成的。显然,后者比前者具有更大的潜伏礁预测可信度(沈安江等,1999)。

1.3 生物礁与油气关系研究

1.3.1 生物礁储层研究 生物礁储层研究是礁滩型油气藏的研究重点之一(Doherty *et al.*, 2002)生物礁型储层的储集空间类型、成岩变化、孔渗分布特点与其他碳酸盐岩储集体均有较大的区别。生物礁原生孔隙大,且裂缝与溶洞也较其他碳酸盐类发育,

易于形成较好储层。如塔里木盆地塔中地区在中上奥陶统发育良好的镶边陆棚体系中形成的礁、滩组合,其储层可划分出 4 种类型,以裂缝—孔隙型和裂缝—孔隙型的储层质量最优。

礁的成岩作用与储层非均质性是生物礁储层研究主要内容之一。礁原生孔隙度大且连通性好,由于后期成岩作用等影响,现今生物礁相碳酸盐岩孔隙度较礁体原生孔隙明显降低。礁中各沉积相带和多种成岩环境在纵、横向上变化很大,因而造成礁内孔隙度和渗透率的变化都很大,表现出很高的各向异性,储渗性能的非均质性很强。

生物礁往往易于白云岩化形成次生孔隙与优质储层,因此白云岩化问题与生物礁储层研究密切相关,但礁的白云岩化问题至现今仍未有令人信服的解释,生物礁白云岩化的控制因素及白云岩化的优质储层的分布规律仍不清晰(Reinhold, 1998)。Wylie and Wood(2004)在研究密歇根州志留系生物礁储层时意识到,尽管有些生物礁已白云岩化,但其孔渗分布看来仍然受礁体原始孔隙与沉积结构的控制。对鄂西建南气区上二叠统长兴组储层研究的结果表明,长二段生物礁中,其孔隙度较小,最好的储层是与生物礁相关的白云岩,孔隙度最高达 14.6%。进一步的统计分析表明,白云岩化的程度与生物礁密切相关,礁相的白云岩化程度均高于非礁相,且在同一礁体中,礁核的白云岩化程度强于礁翼,储集条件相对较好。

1.3.2 生物礁油气藏的烃源 据认为,生物礁富含各类造礁生物,烃源来自生物礁自身,具有自生自储的特点。曾鼎乾等(1988)认为生物礁自身生油能力有限,生物礁油气藏的油源基本上是外源的,如渝东地区长兴期礁气藏的气源来自下伏龙潭组灰黑色页岩、深灰色泥晶灰岩,并非生物礁本身。

杨晓宁等(2002)对贵州紫云石头寨长兴期礁古油藏的油源进行了分析,从样品有机碳数据分析结果看,盆地斜坡相泥质灰岩(领好组)最佳,为主要的烃源岩。另外,通过古油藏储量计算可以说明礁灰岩不是主要的烃源岩:计算礁内古油藏原油的储量应该有 5473×10^4 t,至少算是个中量级古礁油藏,这样多的原油可以肯定不是在厚度仅约 130 m、长 6000 m、宽 800 m 的礁体内生成的,主要依靠盆地相泥质岩类烃源岩生油后运移而来。

塔里木盆地塔中地区上奥陶统礁滩复合体油藏的油气源主要来自于寒武—下奥陶统与上奥陶统两

套烃源岩。上奥陶统良里塔格组碳酸盐岩沉积常具有礁丘滩三位一体的沉积组合, 烃源层主要是台地边缘相或斜坡上的灰泥丘, 而不是作为储集层的台缘骨架礁与障积礁沉积。因此, 严格地讲, 生物礁不能成为主要的烃源岩。

2 油气区潜伏礁的识别与预测技术

2.1 潜伏区生物礁的钻井取芯观察与识别

潜伏区主要通过钻井取芯观察直接识别生物礁。礁灰岩可能由于孔隙发育而较为破碎, 且由于在复杂的礁相沉积中非礁岩仍然有一定的比例, 加上取芯井段的限制, 岩芯中也可能出现大量的非礁岩, 必须综合多口探井的取芯观察, 才能较好地对生物礁进行识别。在钻井取芯段上, 礁灰岩块一般为浅灰色、块状结构、不见层理, 但可看到由各种生物形成的结壳结构或缠绕构造。当遇到以造礁珊瑚为主的层段时, 可见到较完整的块状珊瑚, 并有向上生长结构, 岩石显得较粗糙, 含有丰富的造礁生物及其他生物碎屑。通过岩石薄片观察, 能够看到各类造礁生物及生态特征, 详细的地球生物学分析可细致地识别出造礁生物及附礁生物的种属及结构特征。

2.2 生物礁的地震识别与预测

在盆地或含油气区潜伏礁滩的识别与预测大部分是通过地震资料的处理与解释来实现的。利用常规地震剖面与特殊方法处理剖面(如振幅强度剖面、瞬时相位剖面等)结合地震反演等可识别与预测生物礁在平面上的分布。

在常规地震剖面上生物礁的反射特征是与礁体外部形态与内部结构密切相关的。吴亚生和范嘉松(1991)在对礁的定义中提出, 礁是一种主要由生物或生物作用所形成的, 显示古地貌隆起的碳酸盐岩体, 他强调礁首先是一种古地貌隆起, 这是礁首要的也是最直观的特征, 根据这一特征, 可以把那些其他方面与礁相似但不具地貌隆起的生物层与礁区别开来, 这也是地震方法识别生物礁的重要依据之一。当然不是所有的地貌隆起都可以称之为礁, 礁区别于这些地貌隆起的一个重要的或者首要的特征, 就是礁主要是原地生物的造架作用形成的, 因此地震与地质方法的有效结合才能准确完整地识别生物礁体的发育特征。

由于来自生物礁的各种地球物理参数诸如振幅、频率、波形、速度、连续性等都有可能与围岩不

同, 从而导致生物礁地震反射的特殊性。通常, 生物礁的地震反射特征可归纳为下述几个方面: 礁体外形上地震反射特征一般呈丘状或透镜状凸起; 内部反射特征表现为断续、杂乱或无反射(空白区)等特点; 礁的底部反射特征为形成上凸或下凹状, 如果礁体顶界面反射较强, 可造成对底界面的屏蔽, 从而使底界面反射变弱或反射不清晰; 礁的顶面具有较强反射特征, 在地震剖面上常表现为双强相位平行反射, 且连续、光滑度均较好, 反射频率也略高于围岩; 在生物礁的周缘可出现披覆、上超、绕射等地震反射特征(刘殊等, 2006; 徐国强等, 2006)。

2.3 生物礁的测井与非地震识别方法

在油气区通过测井资料识别井下礁滩的存在是一个常用的方法。测井资料识别生物礁是根据生物礁的形态及生物礁的岩石学特征的电性反映综合判定的(任兴国等, 2000)。自然伽马测井、声波测井及成像测井等测井系列常应用于生物礁的识别。近年一些新的测井技术如深部重力密度测井、组合式地震成像测井也被应用于生物礁预测。

生物礁的重力与地球化学方法识别预测。运用高精度的重力资料寻找潜伏礁有非常成功的例子。一般来讲, 在礁的上方出现重力正异常, 其原因主要是由于礁带岩石密度比礁外的大, 特别是礁上覆层为泥页岩或盐岩层时, 这种效应尤为明显。在礁区及礁的上方形成非构造成因的正向构造, 也是加强这种重力效应的因素之一。另外, 已有研究表明礁岩与非礁岩地球化学元素与明显的差别, 可利用用礁的微量元素地球化学特征来圈定生物礁。

3 油气区生物礁研究中存在问题讨论

油气区生物礁基础研究及生物礁含油性研究虽然取得了较大进展, 但仍然存在以下一些问题:

(1) 生物礁基础研究侧重于一般性观察描述, 综合性研究程度不够。包括造礁生物的组成、生物礁发育与生物大绝灭的相关性研究、造礁生物群落的演替与生物礁、生物礁形成与破坏作用等方面的研究尚显薄弱。

以生物礁的组成与发育特征及与生物大绝灭关系的研究为例, 从地球生物学的角度来看, 目前的研究过程中注重宏体造礁生物的多, 注重菌藻微生物研究的少, 不能从整体上认识生物礁发育与生物界演化的内在联系。菌藻类是早期生物礁的主要组成

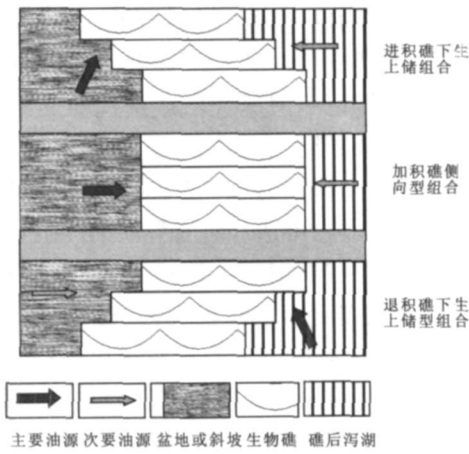


图 1 不同类型生物礁生储配置关系示意图

Fig. 1 Sketch showing the source-reservoir associations and matching of different organic reefs

成分,并且在晚古生代至中、新生代仍然是重要的造礁和附礁生物,但菌藻类发育也可能是造成某些时期生物礁灭绝的可能原因之一。如 F/F 界线的生物大绝灭研究,一些学者指出 F-F 之交生物集群绝灭的多期性、选择性、全球性和地质学意义上的同时性是菌藻微生物繁荣、中-低纬度浅水海洋生态环境不断恶化、积累的结果,菌藻类繁盛可能是晚泥盆世宏体生物大灭绝的疑凶之一,因此,菌藻类繁盛可能也是晚泥盆世 F-F 之交生物礁大衰减的影响因素之一(龚一鸣等, 2005; 徐冉等, 2006)。

(2) 从系统研究的角度来看,在生物礁及其含油气性的研究过程中,注重单纯的生物礁储层研究的多,将生物礁及相关沉积组合作为一个整体的油气成油体系研究的少。

与不同类型的生物礁沉积相关的生物礁型油气藏,其成藏要素及空间配置关系明显不同(图 1)。如加积型生物礁不发生侧向迁移,其烃源岩主要为盆地相沉积物,台地边缘礁为储集体,两者为侧向组合关系,盖层为第二次相对海平面升降旋回形成的沉积体;进积型礁以盆地相沉积物为烃源岩,台地边缘礁为储集体,礁后泻湖、潮坪相沉积或第二次相对海平面上升时形成的沉积体为盖层,属垂向生储盖组合;而退积型礁则以下部的泻湖沼泽相含煤沉积为烃源岩,台地边缘礁为储集体,披盖在礁体上的深水沉积物既是烃源岩又兼作盖层。因此,加强生物礁油气成藏整体研究,才能将生物礁与含油性研究引向深入。

一些学者在生物礁与油气研究过程中引入了含

油气系统的概念和研究方法,并提出了生物礁含油气系统的概念,但根据 Magoon(1992)的定义,含油气系统的划分与命名一般是以烃源岩为基础的,对生物礁沉积而言,已有的研究结果均已表明生物礁自身生油能力有限,礁型油气藏的油源一般是它源的,因此礁含油气系统概念的提出是否恰当还有待讨论。

(3) 在潜伏礁的预测研究方面,相对于各种地球物理手段的快速发展,对生物礁分布的控制因素与地质预测研究的精细程度不够,尚不能有效地指导生物礁油气勘探。如构造活动与生物礁分布规律的研究,仅仅局限在简单承认礁在空间分布上与大地构造或某种成因的具体构造有成因上的联系是不够的,精细的研究需要弄清这种联系的实质及其成因意义,以用于油气区潜伏礁的预测。

岩相古地理编图与生物礁预测研究的精度也有待提高。在以往的古地理编图研究工作中,物理单因素受到了充分的重视,相比之下,生物的和化学的单因素研究尚显薄弱,多因素、多方法、多方面集成研究的广度与深度尚显不够,不能从整体上全面把握古地理格局与生物礁发育的内在联系。大量的研究表明,生物的和化学的单因素在再造古环境、古地理等方面有物理单因素不可替代的重要作用。如遗迹组构类型和遗迹组构指数,能客观地指示古环境的水深、水动能、氧化还原条件和古生态(龚一鸣等, 2005)。

近期对南方海相泥盆系岩相古地理研究与生物礁预测研究中,我们提出根据南方泥盆纪的特色、综合岩相古地理研究以及油气预测的需要,选取地层厚度,碳酸盐岩厚度,粗碎屑岩厚度,暗色细组分沉积岩(粉砂岩、泥岩/页岩、泥灰岩)厚度,生物礁的分布,遗迹化石与遗迹组构类型与分布;具亮晶胶结物的颗粒含量,菌藻微生物含量, TOC 含量, $\delta^{13}\text{C}_{\text{kero-gen}}$ 或 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, 分子化石特征(如 Pr/Ph, OEP, 藿烷/甾烷, 噻吩系列分子化石的类型、含量等),反映地球化学相和生物产率的相关化学元素的含量或比值(如 Ba-Mo-V-Ni 的含量、V/Cr 等)多种因素进行集成综合编图,这些因素在岩相古地理图中的体现,将有助于从定量古地理研究的角度对南方泥盆纪生物礁分布规律、泥盆系生物礁型油气藏的成藏特征等进行更深入的研究和把握。

4 油气区生物礁研究展望

通过对油气区生物礁与含油气性研究历程的回顾以及近年来生物礁研究的新进展的综合分析,结合我国海相油气勘探的需要与发展趋势,对油气区生物礁研究展望如下:

(1) 生物礁形成与演化研究将从单纯的组成分类、沉积相研究,向生物礁生态—沉积体系研究以及综合的生物礁地球生物学研究方向发展(谢树成等, 2006)。(2) 生物礁与油气成藏研究的结合将更加紧密。适应于油气勘探的需要,生物礁将从单一的基础研究向生物礁生储盖系统综合研究或生物礁成油体系研究方向发展(钟建华等, 2005)。(3) 油气区生物礁的研究手段与方法,从单一的露头或岩芯或测井或地震剖面分析向多方法的交互验证与集成研究过渡。如生物礁的识别与预测研究,是一个涉及到地质与地球物理领域的多个分支学科的综合研究过程,采用地质研究与钻井、测井、地震相结合、以精细的地层对比与沉积学分析指导地震正反演的综合预测方法是提高潜伏区生物礁预测成功率的有效手段。(4) 生物礁储层预测研究将得到快速发展。随着对生物礁型油气藏勘探力度的进一步加大,精细的生物礁储层研究,综合利用地质、测井和地震进行生物礁储层的横向储层预测与描述技术将得到进一步发展。

References

Copper, P., 2002. Reef development at the Frasnian/Famennian mass extinction boundary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 181(1-3): 27-65.

Doherty, P. D., Soreghan, G. S., Castagna, J. P., 2002. Outcrop-based reservoir characterization: A composite phylloid-algal mound, western Orgrande basin (New Mexico). *AAPG Bulletin*, 86(5): 779-795.

Fan, J. S., 1996. The ancient organic reefs of China and their relations to oil and gas. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).

Gong, Y. M., Xu, R., Tang, Z. D., et al., 2005. Relationships between bacterial-algal proliferating and mass extinction in the Late Devonian Frasnian-Famennian transition: Enlightening from carbon isotopes and molecular fossils. *Science in China (Series D)*, 48(10): 1656-1665.

Kiessling, W., 2001. Paleoclimatic significance of Phanerozoic reefs. *Geology*, 29(8): 751-754.

Li, Z. H., Cui, Z. H., Li, L. T., 2004. Influence of fractured slope-break zone on sedimentary sequence: Cases of Ordovician marine carbonate rock in the western margin area of Ordos basin. *Marine Origin Petroleum Geology*, 9(1-2): 31-36 (in Chinese with English abstract).

Liu, C. Y., Lin, C. S., Wu, M. B., et al., 2007. Characteristics of spatiotemporal distributions of reefs in China and their geological significance. *Global Geology*, 26(1): 44-51 (in Chinese with English abstract).

Liu, H., Wang, Y. M., 2005. Early Paleozoic palaeogeomorphology—Characteristics of slope break zones and their control on stratigraphic-lithologic traps in Tarim basin. *Oil & Gas Geology*, 26(3): 297-304 (in Chinese with English abstract).

Liu, S., Guo, X. S., Ma, Z. J., et al., 2006. Seismic response characteristic and hydrocarbon exploration perspective of reef flat facies. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 45(5): 452-458 (in Chinese with English abstract).

Luo, J. N., Zhu, Z. F., Xie, Y., et al., 2004. The biohermites in the Qiangtang basin and their sedimentary model. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 24(2): 51-62 (in Chinese with English abstract).

Magoon, L. B., 1992. Identified petroleum systems within the United States. In: Magoon, L. B., ed., The petroleum system—status of research and methods. *USGS Bulletin*, 2007: 2-11.

Pomar, L., 1991. Reef geometries, erosion surfaces and high-frequency sea-level changes, Upper Miocene reef complex, Mallorca, Spain. *Sedimentology*, 38: 243-269.

Reinhold, C., 1998. Multiple episodes of dolomitization and dolomite recrystallization during shallow burial in Upper Jurassic shelf carbonates, Eastern Swabian Alb, southern Germany. *Sedimentary Geology*, 121(1-2): 71-95.

Ren, X. G., Luo, L., Yao, S. X., et al., 1999. Log responses to bio-reef in the east of Sichuan and its identification mode. *Well Logging Technology*, 23(3): 190-193 (in Chinese with English abstract).

Riding, R., 2002. Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: Concepts and categories. *Earth Science Reviews*, 58(1-2): 163-231.

Shen, A. J., Chen, Z. L., Shou, J. F., 1999. Permian reef oil and gas pool in southern China controlled by relative sea level changes. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(3): 367-373 (in Chinese with English abstract).

- Toscano, M. A., Lundberg, J., 1998. Early Holocene sea-level record from submerged fossil reefs on the southeast Florida margin. *Geology*, 26(3): 255–258.
- Webb, G. E., 2005. Quantitative analysis and paleoecology of earliest Mississippian microbial reefs, Gudman Formation, Queensland, Australia; Not just post-disaster phenomena. *Journal of Sedimentary Research*, 75(5): 877–896.
- Wood, R., 2001. Are reefs and mud mounds really so different? *Sedimentary Geology*, 145(3–4): 161–171.
- Wu, Y. S., Fan, J. S., 1991. Definition and classification of reefs. *Oil & Gas Geology*, 12(3): 346–349 (in Chinese with English abstract).
- Wylie, A. S., Wood, J. R., 2004. well-log tomography and 3-D imaging of core and log-curve amplitudes in a Niagaran reef, Belle River Mills field, St. Clair County, Michigan, United States. *AAPG Bulletin*, 89(4): 409–433.
- Xie, S. C., Gong, Y. M., Tong, J. N., et al., 2006. Transition from paleontology to geobiology. *Chinese Science Bulletin*, 51(19): 2327–2336 (in Chinese).
- Xu, G. Q., Wu, W. H., Wu, H. Z., et al., 2006. Seismic detection and distribution of reef-bank complex in Langlitage Formation of Upper Ordovician, Hetian River area, Tarim basin. *J. Mineral. Petrol.*, 26(2): 80–86 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Q., Liu, B. J., He, H. Y., et al., 2004. Sequence stratigraphy lithofacies and paleogeography mapping for the Late Permian reef in Sichuan basin. *Acta Petrolei Sinica*, 25(2): 47–50 (in Chinese with English abstract).
- Xu, R., Gong, Y. M., Tang, Z. D., 2006. Blooming of bacteria and algae; Possible killer of the Devonian Frasnian-Famennian mass extinction? *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(6): 787–797 (in Chinese with English abstract).
- Yang, X. N., Sheng, A. J., Chen, Z. L., et al., 2002. Genetic types for petroliferous System of organic reefs in the Permian system of South China. *Acta Petrolei Sinica*, 23(3): 6–10 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, D. Q., Liu, B. W., Huang, Y. M., 1988. Reefs through geological ages in China. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Zhong, J. H., Wen, Z. F., Li, Y., et al., 2005. Organic reefs study: Concept, classification, characteristics, history and development. *Geological Review*, 51(3): 288–300 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 范嘉松, 1996. 中国生物礁与油气. 北京: 石油工业出版社.
- 龚一鸣, 徐冉, 汤中道, 等, 2005. 晚泥盆世 F-F 之交菌藻微生物繁荣与集群绝灭的关系: 来自碳同位素和分子化石的启示. 中国科学 D 辑, 48(2): 140–148.
- 李振宏, 崔泽宏, 李林涛, 2004. 断裂坡折带对海相沉积层序的影响——以鄂尔多斯盆地西缘奥陶系海相碳酸盐岩为例. 海相油气地质, 9(1–2): 31–36.
- 刘春燕, 林畅松, 吴茂炳, 等, 2007. 中国生物礁时空分布特征及其地质意义. 世界地质, 26(1): 44–51.
- 刘豪, 王英民, 2005. 塔里木盆地早古生代古地貌——坡折带特征及对地层岩性圈闭的控制. 石油与天然气地质, 26(3): 297–304.
- 刘殊, 郭旭升, 马宗晋, 等, 2006. 礁滩相地震响应特征和油气勘探远景. 石油物探, 45(5): 452–458.
- 罗建宁, 朱忠发, 谢渊, 等, 2004. 羌塘盆地生物礁岩特征与沉积模式. 沉积与特提斯地质, 24(2): 51–62.
- 任兴国, 罗利, 姚声贤, 等, 2000. 川东地区生物礁测井预测方法研究. 石油勘探与开发, 27(1): 41–43.
- 沈安江, 陈子料, 寿建峰, 1999. 相对海平面升降与中国南方二叠纪生物礁油气藏. 沉积学报, 17(3): 367–373.
- 吴亚生, 范嘉松, 1991. 生物礁的定义和分类. 石油与天然气地质, 12(3): 346–349.
- 谢树成, 龚一鸣, 童金南, 等, 2006. 从古生物学到地球生物学的跨越. 科学通报, 51(19): 2327–2336.
- 徐国强, 吴伟航, 武恒志, 等, 2006. 塔里木盆地和田河地区上奥陶统礁滩沉积体地震识别及其发育分布规律. 矿物岩石, 26(2): 80–86.
- 徐强, 刘宝珺, 何汉漪, 等, 2004. 四川晚二叠世生物礁层序地层岩相古地理编图. 石油学报, 25(02): 47–50.
- 徐冉, 龚一鸣, 汤中道, 2006. 菌藻类繁盛: 晚泥盆世大灭绝的疑凶? 地球科学——中国地质大学学报, 31(6): 787–797.
- 杨晓宁, 沈安江, 陈子料, 等, 2002. 中国南方二叠纪生物礁油气系统成因类型. 石油学报, 23(3): 6–10.
- 曾鼎乾, 刘炳温, 黄蕴明, 1988. 中国各地质历史时期的生物礁. 北京: 石油工业出版社.
- 钟建华, 温志峰, 李勇, 等, 2005. 生物礁的研究现状与发展趋势. 地质论评, 51(3): 288–300.