

生物礁成礁条件、成礁模式及与油气关系

谢启红,邵先杰,霍梦颖,张珉,乔雨朋,接敬涛,时培兵

(燕山大学石油工程系,河北秦皇岛066004)

摘要:基于大量文献资料探讨生物礁的成礁条件及与油气关系。研究发现成礁条件主要包括造礁生物、颗粒沉积有效速率、海平面升降、温度等作用;并从生物学的角度出发,提出一种新的成礁阶段划分方法,即依据造礁生物的生长速率特征划分为调整期、生长期、稳定期、衰亡期,并对各阶段的成礁过程进行详细分析;分析建议把台地边缘的堡礁作为油气勘探中的重点对象。

关键词:生物礁;成礁条件;成礁特点;成礁模式

中图分类号:P512.2

文献标识码:A

Conditions and model of biological reef and relations with oil and gas

XIE Qi-hong, SHAO Xian-jie, HUO Meng-ying, ZHANG Min, QIAO Yu-peng,

JIE Jing-tao, SHI Pei-bing

(Department of Petroleum Engineering, Yanshan University, Hebei Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: The biological reef reservoir as a kind of good oil and gas are concerned by more and more people. The forming conditions of reef were mainly controlled by reef-forming organisms, the effective sediment rate of particle, early cementation, palaeostructure, rise and fall of sea level, temperature, analyzed the reef conditions on a specific role of the characteristics of the reef, and the sea level rise plays a main role on the reef process. From a biological perspective, this paper proposes a new classification method of the reef, namely according to the growth rate of the feature of reef-forming organisms, which divided into adjustment period, growth period, stable period, decline phase, and analyzed the process of the reef in detail. The relationship between the biological reef and oil and gas was discussed and it is suggested that the barrier reef on the edge of the platform is the key object in the exploration of oil and gas.

Key words: biological reef; reef conditions; characteristics of the reef; reef model

近年来随着生物礁油气藏的勘探开发,生物礁作为一种储量大、储层物性好、产量高的油气藏已被列为重要的勘探对象。我国的生物礁研究起步较晚,通过几十年的不懈努力,在生物礁的内部组分与结构构建、种类划分、沉积模式与沉积相、地质识别与预测研究等方面取得重大进展^[1-6],研究方向也从单一的基础研究转向生物礁成油气体系多个学科综合研究^[7-8]。但是针对生物礁成礁条件方面详细的研究相对偏少,本文在总结前人研究成果的基础上,对成礁模式、成礁条件与油气关系方面进行探讨,对生物礁的研究进一步丰富和完善,为生物礁油气藏勘探开发提供参考。

1 成礁条件

以礁体为研究对象,成礁条件可以归纳为内部因素和外部因素。内部因素主要包括造礁生物(包含附礁生物),沉积颗粒的沉积有效速率,早期的胶结作用;外部因素主要包括古构造、海平面的升降、温度、盐度、养分补给、太阳光线、风浪剥蚀等作用。

1.1 造礁生物

造礁生物主要有珊瑚、千孔螅、各种藻类、苔藓动物、有孔虫类、软体动物等。造礁生物的种

收稿日期:2015-09-16

基金项目:国家科技重大专项基金资助项目(2011ZX05038-001)

作者简介:谢启红(1989-),男,河南濮阳人,硕士,主要研究方向为油藏描述与油藏工程。

类、生物体尺寸大小、生长速率、生命周期等对生物礁的建造过程起重要作用。不同种类的造礁生物在不同地质时期、不同地理环境下形成的生物礁种类和形态不同^[9],这取决于地理外部环境、造礁生物本身代谢和捕获碎屑物的能力。繁殖周期快、代谢活动和捕获碎屑物能力强的生物对生物礁建造过程贡献更大一些;同类型的造礁生物,壮年期往往比幼年期造礁能力强。其次,造礁生物的新陈代谢活动对成礁过程的影响比较复杂:一是建设作用,造礁生物通过对沉积物的捕捉和粘附能力,自身有效的新陈代谢活动来建设生物礁;二是破坏作用,造礁生物的钻孔、啃噬等活动破坏生物礁的稳定性。据资料表明,在法国南部深水的全新世珊瑚藻礁中,海绵和其他钻孔生物的侵蚀作用使得生物礁的体积减少了95%。

1.2 沉积颗粒的沉积有效速率

这里的沉积颗粒包括造礁生物自身的新陈代谢分解产物和外来碎屑沉积物,据 Goreau (1963) 统计发现在现代的生物礁中70%以上的礁体内部沉积物为细沙,主要来自于造礁生物的捕获与粘附。颗粒沉积有效速率是针对海平面的下降速率相对而言的,由上述的生物礁沉积模式可知:当水体较深的时候,由于造礁生物的生存环境较差,沉积颗粒的沉积速率较低,只能形成较薄的生物滩;随着海平面下降,环境向造礁生物适宜的最佳生存环境发展,造礁生物种类和数量增多,沉积速率增加,礁体厚度继续增大;当颗粒沉积速率大于海平面上升速率,根据体积分配原理,有效可容空间向靠近陆方向迁移,当礁体侧向加积和垂向加积到一定程度,水体必然会变得过浅而不适合礁体的生长,这时候礁体达到最大值;当颗粒沉积速率小于海平面上升速率时,环境向深水环境过渡,造礁生物逐渐死亡。综上,沉积颗粒的沉积速率对造礁过程的作用比较复杂,既有建设作用,也存在破坏作用。

1.3 早期的胶结作用

胶结作用主要受造礁生物新陈代谢活动和海水化学性质的影响,胶结物生成后可以覆盖在生物体内外表面,早期快速的胶结作用可以为生物礁的生长提供构造支撑和稳定性(Fagerstrom, 1987)。

1.4 外部环境因素

古构造格局,尤其是台地中古隆起控制了生

物礁的具体分布,生物礁一般常发育于处于浅水沉积环境的台地内部及边缘坡折带,尤其是台地外边缘带,坡折带越陡,台地相对抬升幅度越大,水体较浅,越有利于礁体的沉积发育^[10];海平面的升降速率决定造礁过程的开始与结束,与颗粒沉积有效速率相关联,影响生物礁的宏观分层性,田世存等人^[11]根据生物礁的纵向生长受海平面影响,将礁体纵向自下而上划分为成礁基、海侵礁、高位礁和横向生长礁;温度、盐度、养分补给、太阳光线主要通过影响造礁生物生命活动而间接影响成礁特点,中国科学院南海海洋研究所推算出珊瑚的最佳古海水温度为18℃~30℃,过高过低都不适宜造礁生物的新陈代谢活动;最佳古盐度为27°~31°,正常咸水条件下主要发育藻礁,超咸水条件下主要发育凝块石礁,而在盐度较低的外围则主要发育叠层石礁^[12];风浪剥蚀会改造成礁后的具体形态。

成礁条件对成礁特点的作用很复杂,不同地域的成礁特点需要根据地质背景条件,结合岩心地震等资料综合分析。

2 成礁模式

关于生物礁的成礁模式研究已经很多,传统的生物礁成礁模式划分都是从生物礁的角度出发,根据生物礁的“生成—发育—消亡”划分成礁阶段与成礁模式。其中,最具代表性的划分方法把成礁模式划分为四个阶段:生物礁奠基阶段、生物礁初期繁殖阶段、生物礁最大繁盛阶段和生物礁衰亡阶段^[13]。

生物礁油气藏是一个典型的圈闭型油气藏,生物礁作为一个相对独立的空间单元,在养分、生存空间一定的条件下,它正如微生物的一个“培养基”。造礁生物的新陈代谢活动符合培养基中微生物的生命活动规律;培养基中的温度、养分、pH值、有机质补给等生存条件相当于造礁生物的生存活动环境;生物礁的建造也恰类似于培养基中微生物的新陈代谢产物。基于以上二者的类似相关性,笔者从生物学的角度出发,提出了一种新的成礁阶段划分方法,即依据造礁生物的生长速率特征(见图1)划分为四个阶段:调整期、生长期、稳定期、衰亡期,作出了成礁阶段各时期的沉积模式示意图(图2)。

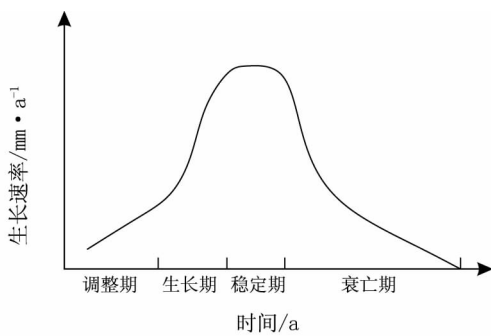


图1 造礁生物生长速率曲线

Fig.1 The growth rate curve of reef forming organisms

调整期:此时为水体较深的低能环境,造礁生物所需要的养分、温度、光线等生存条件较差,导致造礁生物种类和数量都较少,只能沉积厚度薄的生物滩基底,为生物礁的进一步发育铺垫,这个时期的沉积物颗粒较细。

生长期:该阶段是造礁生物初始繁殖时期,随着相对海平面的持续下降,光线、温度等生存条件适宜造礁生物大量繁殖,造礁生物捕获生物碎屑或泥质物,并在生物滩基底上固着生长。沉积速率较非礁相地区明显增高,地貌隆起。生长期时间较长,沉积地层厚度较大,只发育垂向加积。

稳定期:相对海平面继续下降,会存在一个造礁生物生存的最佳环境范围。在这个范围内,生长速率最大,造礁生物类型及数量最多,捕获碎屑的能力也最大,所以,成礁沉积速率也相应达到最大。当容纳空间的增长速率小于礁的沉积生长速率,根据体积分配原理,礁体会横向迁移以弥补容纳空间的不足所导致的水体变浅,礁体进一步发育增大。这个过程侧向加积和垂向加积都存在。

衰亡期:当生物礁体不能继续迁移或者造礁速率小于海平面上升速率,环境逐渐不能满足礁体生长而开始衰亡。随着浅水环境逐渐向深水区过渡,在生物礁的顶部会沉积以泥质为主的盖层。

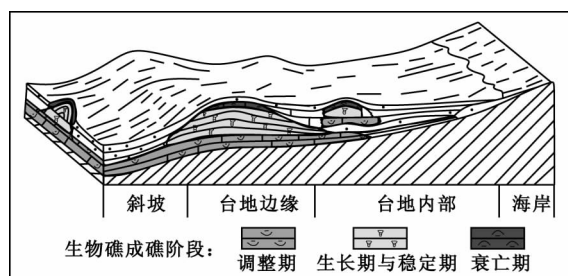


图2 生物礁的成礁阶段示意图

Fig.2 The phase diagram of reef

造礁生物生长活动各个时期的长短主要取决于外部环境和内部养分的供给,也最终影响着生物礁的形态分布和体积大小。

3 生物礁与油气关系

生物礁以其良好的储集性能在碳酸盐岩油气田中占有重要的地位,据不完全统计,目前世界上生物礁油气田总的可采储量达 45×10^8 t 以上,我国在南海也已经发现了 30 多个礁型油气田^[2]。

3.1 储层条件

生物礁成礁过程中先后经过了微生物活动、重结晶、胶结、压实、压溶与破裂、溶蚀等阶段,发育了大量原生孔隙、次生孔隙(晶间孔、粒间孔和溶蚀孔)和裂隙,导致生物礁具有高孔高渗的特性,为油气提供了良好的储集空间和运移通道。通过对不同地区不同类型生物礁储层物性分布特征数据统计(表1)研究发现:发育在台地边缘的堡礁孔隙性最好,浅水大陆斜坡的塔礁次之,开阔台地的点礁最差。因此,台地边缘的堡礁是油气勘探中的重点对象。

3.2 生物礁油气藏烃源

生物礁油藏的烃源主要来自于两个方面:原生生烃和次生生烃。原生生烃主要是在成礁过程中,生物礁本身内部的成礁生物新陈代谢活动会产生部分有机质;另外,捕获和粘着的碎屑物中也含有大量烃源。次生生烃是在生物礁形成后,下部地层中的有机质会通过油气二次运移在储层物性较好的生物礁圈闭内储存,如渝东地区长兴期礁气藏的气源就来自于下伏龙潭组灰黑色页岩、深灰色泥晶灰岩^[14]。

3.3 盖层条件

生物礁成礁之后,并不是所有的生物礁最终都会转化为具有商业开发价值的油气藏,必须具备相应的盖层条件,即发生二次的海侵或区域性的沉降事件。这样会在生物礁的顶部出现海相泥岩、页岩或碳酸盐岩盖层,为生物礁油气藏提供保存条件。

表1 不同类型生物礁的储层物性分布特征

Tab. 1 The distribution of different types of organic reef reservoir property

生物礁类型	发育位置	岩性	孔裂隙类型	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$
				分布范围	分布范围
点礁	开阔台地	藻灰岩	孔隙—裂缝型	1~18	0.1~189
塔礁	浅水大陆斜坡	泥粒灰岩	裂缝为主	3~20	30~500
堡礁	台地边缘	粘结灰岩	孔隙—溶洞型	20~28	120~5300

4 结论

1)成礁条件主要包括造礁生物(包含附礁生物)、沉积颗粒的沉积有效速率、早期的胶结作用、古构造、海平面的升降、温度、盐度、养分补给、太阳光线、风浪剥蚀等作用,其中,海平面的升降对成礁过程起主要作用。

2)从生物学的角度出发,提出了一种新的成礁阶段划分方法,即依据造礁生物的生长速率特征划分为四个成礁阶段:调整期、生长期、稳定期、衰亡期。

3)生物礁具有很好的生储盖条件,统计研究发现:发育在台地边缘的堡礁孔渗性最好,浅水大陆斜坡的塔礁次之,开阔台地的点礁最差。因此,建议把台地边缘的堡礁作为油气勘探中的重点对象。

参考文献:

- [1]钟建华,温志峰,李勇,等.生物礁的研究现状与发展趋势[J].地质评论,2005,5(3):288-300.
- [2]甘玉青,肖传桃,张斌.国内外生物礁油气勘探现状与我国南海生物礁油气勘探前景[J].海相油气地质,2009,14(1):16-20.
- [3]翟世奎,米立军,沈星,等.西沙石岛生物礁的矿物组成及其环境指示意义[J].地球科学:中国地质大学学报,2015,40(4):587-605.

[4]胡忠贵,胡明毅,廖军,等.鄂西建南地区长兴组沉积相及生物礁沉积演化模式[J].天然气地球科学,2014,25(7):980-990.

[5]田世存,王英民.琼东南盆地生物礁的识别和分布演化特征[J].特种油气藏,2012,19(6):40-44.

[6]郭建宇,马朋善,胡平忠,等.地震—地质方法识别生物礁[J].石油地球物理勘探,2006,41(5):587-591.

[7]陈国威.南海生物礁及礁油气藏形成的基本特征[J].海洋地质动态,2003,19(8):32-37.

[8]卫平生,刘全新,张景廉,等.再论生物礁与大油气田的关系[J].石油学报,2006,27(2):38-42.

[9]王建坡,邓小杰,王冠,等.中国奥陶纪生物礁的类型和造礁生物群的演替[J].科学通报,2012,57(11):924-932.

[10]张景廉.生物礁与油气田、金属矿床的相互关系讨论[J].海相油气地质,2001,6(1):53-59.

[11]田世存,王英民.琼东南盆地生物礁的识别和分布演化特征[J].特种油气藏,2012,19(6):40-44.

[12]温志峰,钟建华,张跃中,等.柴达木盆地西部生物礁储层的分布特征[J].石油学报,2005,26(6):30-35.

[13]胡明毅,魏欢,邱小松,等.鄂西利川见天坝长兴组生物礁内部构成及成礁模式[J].沉积学报,2012,30(1):33-42.

[14]陆亚秋,龚一鸣.海相油气区生物礁研究现状、问题与展望[J].地球科学:中国地质大学学报,2007,32(6):871-878.

(责任编辑 王利君)

(上接第93页)

[8]孙瑜,李宏俊,蔡鹏.四川省大瑞乡泥石流灾害特征及减灾对策[J].河北工程大学学报:自然科学版,2015,32(1):74-78.

[9]倪化勇,郑万模,唐业旗,等.汶川震区文家沟泥石流成灾机理与特征[J].工程地质学报,2011,19(2):262-270.

[10]许强.四川省8.13特大泥石流灾害特点、成因与启示[J].工程地质学报,2010,18(5):610-621.

[11]李泳,胡凯衡,苏凤环,等.流域演化与泥石流的系统性—以云南东川蒋家沟为例[J].山地学报,2009,27

(4):449-456.

[12]郭志学,曹叔尤,刘兴年,等.泥石流堵江影响因素试验研究[J].水利学报,2004,35(11):39-45.

[13]张金山,谢洪.岷江上游泥石流堵河可能性的经验公式判别[J].长江流域资源与环境,2008,17(4):651-655.

[14]崔鹏,庄建琦,陈兴长,等.汶川地震区震后泥石流活动特征与防治对策[J].四川大学学报:工程科学版,2010,42(5):10-19.

(责任编辑 王利君)