

文章编号:0253-9985(2010)04-0442-07

川西地区中二叠统栖霞组沉积体系

魏国齐¹,杨威¹,朱永刚²,金惠¹,李跃纲²,施振生¹,沈珏红¹

(1. 中国石油天然气股份有限公司 勘探开发研究院 廊坊分院,河北 廊坊 065007;

2. 中国石油天然气股份有限公司 西南油气田分公司 川西北气矿,四川 江油 621700)

摘要:通过对川西地区中二叠统栖霞组大量露头和岩心的观察分析及样品的分析化验,认为栖霞组主要发育生物(屑)石灰岩、砂屑石灰岩、泥晶石灰岩和豹斑石灰岩;主要发育3种生物组合,即腕足类-藻类-有孔虫类组合、珊瑚组合和薄壳腕足类组合,它们分别是台地、斜坡和斜坡-盆地环境的产物。从大地构造背景、台地边缘滩特征、斜坡-盆地相特征及斜坡相与台地边缘相带的关系等方面分析,认为川西地区栖霞组为碳酸盐镶边台地沉积体系,主要的沉积相为斜坡相、台地边缘滩相和开阔台地相;其中,台地边缘滩相是栖霞组重要的储层,分布范围广。

关键词:台地边缘滩相;镶边台地;沉积体系;栖霞组;中二叠统;川西地区

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Depositional system of the Middle Permian Qixia Formation
in the western Sichuan BasinWei Guoqi¹, Yang Wei¹, Zhu Yonggang², Jin Hui¹, Li Yuegang², Shi Zhensheng¹ and Shen Yuhong¹

(1. Langfang Branch of PetroChina Petroleum Exploration and Development Research Institute, Langfang, Hebei 065007, China;

2. Northwest Sichuan Gas Mine of PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company, Jiangyou, Sichuan 621700, China)

Abstract: Observation and analysis of numerous outcrops and cores as well as laboratory tests of samples from the Qixia Formation in western Sichuan Basin reveal that the formation mainly consists of bioclastic limestone, calcarenite, micrite, and leopard limestone. There are mainly three fossil assemblages, including brachiopods-algae-foraminifera, corals and thin shell brachiopods. They were formed in platform, slope and slope-basin environments respectively. Judging from geotectonic settings, bank features of platform edge and slope-basin facies, and the relationship between slope facies and platform edge facies etc, we conclude that the Qixia Formation in western Sichuan Basin is the carbonate-fringed platform depositional system with slope, platform edge bank and open platform as the main facies, of which the platform edge bank facies is widely distributed and the most favorable for hydrocarbon accumulations.

Keywords: platform edge bank facies, fringed platform, depositional system, Qixia Formation, Middle Permian, western Sichuan Basin

1 概述

栖霞组原称“栖霞石灰岩”,是李希霍芬在南京东郊的栖霞山所建,后经李四光和黄汲清分析,弄清了其时代及地质意义。盛金章认为,栖霞组

在四川盆地是指碎屑岩之上和茅口组之下的灰岩段^[1]。该套地层在川西地区厚70~130 m,按岩性可分为栖霞(组)一段和栖霞二段,下部栖霞一段以暗色细粒石灰岩为主,上部栖霞二段为浅色的白云岩、白云质“豹斑”灰岩和较粗粒的生物屑石灰岩。关于栖霞组的沉积体系,在华南地区的研究比较

收稿日期:2009-07-02;修订日期:2010-06-23。

第一作者简介:魏国齐(1964—),男,教授,天然气地质。

基金项目:国家“十一五”油气重大专项(2008ZX05007-002)。

多^[2-4],主要认为是碳酸盐岩斜坡沉积体系和缺氧的沉积环境。关于川西地区栖霞组的沉积体系研究得较少^[5,6],总的认为是一个碳酸盐岩缓坡沉积环境^[7]。但对于石油勘探来说,这个粗略的认识是不够的。特别是在龙门山矿山梁构造带上发现优质白云岩储层后,对于栖霞组沉积体系的系统研究更加迫切。本文在露头、岩心资料研究的基础上,结合区域背景,系统地分析了栖霞组主要的沉积相类型及特征,总结了其沉积体系。研究成果对于栖霞组的油气勘探^[8-10]和川西地区二叠系的认识具有重要的理论意义和实践意义。

2 地层特征

川西地区栖霞组分布广泛,以石灰岩为主,厚90~130 m,由北向南增厚,根据岩性不同可分为

栖霞一段和栖霞二段。栖霞一段主要沉积黑灰、深灰色中、厚层状细粉晶藻屑、生物屑灰岩夹泥质灰岩和薄层黑色页岩,有机质、泥质含量较高;栖霞二段主要为台地沉积(开阔台地和台地边缘),为灰、浅灰色厚层、块状生物(屑)灰岩及细晶白云岩、豹斑灰岩。生物碎屑有藻类、有孔虫、介形虫、腕足、棘皮、海绵等,产蛭 *Nankinella orbicularia*、珊瑚 *Hayasakaia elegantula* 和 *Michelina* sp. 等(图1)。

3 岩石学特征

川西地区栖霞组几乎全部由碳酸盐岩组成,仅局部含少量泥质纹层和条带,据其结构组分和某些特殊沉积构造,可进一步划分为生物(屑)石灰岩、砂屑石灰岩、含生屑泥晶石灰岩、泥晶石灰岩、中-粗晶白云岩和白云质石灰岩等。

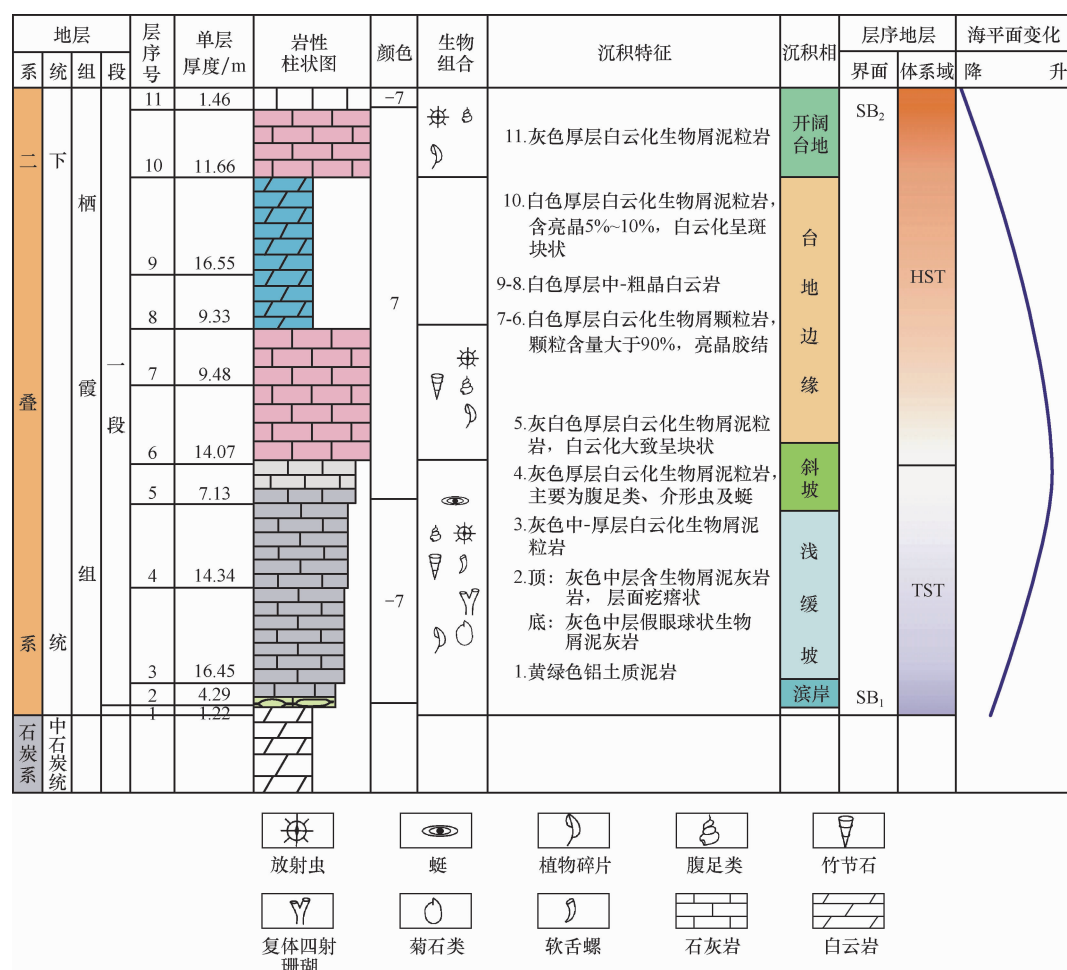


图1 四川广元长江沟栖霞组地层综合剖面

Fig. 1 Composite section of the Qixia Formation in Changjianggou of Guangyuan, Sichuan province

3.1 生物(屑)石灰岩

栖霞组栖霞二段分布广泛,是构成栖霞组生物滩的主要岩石类型。生物(屑)石灰岩中的生物(屑)含量一般为50%~70%,以有孔虫(古串珠虫、串珠虫、节房虫、厚壁虫、梯状虫、筛串虫、小球旋虫、砂盘虫、球瓣虫、叶状虫、格涅茨虫和蜓类等)最为常见,其次是绿藻(以假蠕孔藻、蠕孔藻、始角藻为主)、腕足和棘屑等,介形虫、红藻和腹足等较少。生物主要以碎片形态赋存,仅部分有孔虫和蜓类基本保持完整;分选和磨圆都较差,胶结物以亮晶为主。

栖霞组下部还见有少量主要由珊瑚组成的小型生物丘(礁)。其中的造礁生物主要是丛状复体珊瑚,含量在40%~60%,以卫根珊瑚和泡沫珊瑚常见,呈原始生长状态保存,个体为圆柱状,直径为0.5~1 cm,群体大小宽8~20 cm,高10~15 cm。造礁生物之间由腕足类、腹足类和海百合等附礁生物和灰泥充填,生物个体较大,大多完整,生物之间充填的是灰泥。

3.2 砂屑石灰岩

砂屑石灰岩主要分布于栖霞组上部,范围较小,颗粒(主要为砂屑和生物屑)含量为50%~60%,分选、磨圆度较好,粒间多为两期方解石胶结。

3.3 生屑泥晶石灰岩

生屑泥晶石灰岩是颗粒以生物(屑)为主、颗粒含量在10%~50%、灰泥基质含量在50%~90%的石灰岩。生屑泥晶石灰岩形成于低能的环境中,弱的水动力条件不利于颗粒的堆积和灰泥的带出,因而沉积物中生物体腔孔和粒间孔少,经过压实压溶和胶结作用后几乎全部消失,后期建设性成岩作用基本未在其中进行,现今储集性能极差,宏观上未见到有孔隙的存在,孔隙度一般小于1%,一般为非储集岩类。

3.4 泥晶石灰岩

泥晶石灰岩主要发育于栖霞组下部,一般是较深水低能环境(斜坡)下的产物,多为深灰、灰色,泥晶方解石含量大于90%,中-薄层状,水平

层理发育。深水低能环境中形成的暗色泥晶石灰岩具有一定的生油能力。

3.5 白云质“豹斑”石灰岩

白云质“豹斑”石灰岩在龙门山山前带栖霞组上部-顶部,分布较为稳定,可长距离追踪对比,一般厚5~40 m(最厚在天井山李家坝剖面,厚达60 m),常与上覆茅口组深色钙质泥岩、“眼球状”石灰岩呈突变接触,与下伏厚层块状白云岩渐变过渡。

3.6 白云岩

白云岩主要为灰白色,较纯,晶形较粗,达到细晶-中晶级,粒径为100~500 μm ,最大可达1000 μm ,半自形和它形;白云石紧密排列,厚约10~90 m(松盖坝剖面);发育溶孔、溶洞和裂缝,储集空间主要为白云石晶间孔和晶间溶孔。这类储层为栖霞组好储层,应是勘探的重点层系。

4 生物组合

4.1 腕足类-藻类-有孔虫类组合

这类组合在栖霞组生物(屑)石灰岩、砂屑石灰岩、白云质“豹斑”石灰岩和白云岩中分布广泛。藻类和孔虫类含量较多,一般分布于20%~50%;腕足相对较少,一般小于15%。组合以绿藻、有孔虫和腕足类为主,少量红藻、棘屑、介形虫和腹足等。绿藻有假蠕孔藻、蠕孔藻、海松藻、米齐藻、炭孔藻和始角藻等;红藻仅见裸松藻、二叠钙藻和翁格达藻;有孔虫主要有节房虫、厚壁虫、梯状虫、筛孔虫、球旋虫、小球旋虫、砂盘虫、球瓣虫、叶状虫、达马尔虫、假橡果虫、古串珠虫、新内卷虫和格涅茨虫等;常见的腕足为直房贝和瘤褶长身贝。此类生物组合中,有孔虫大多完整,藻类、腕足多破碎,生物分异度中等-较低。伴生的岩石颜色多为灰色、浅灰色,粒间充填物以亮晶为主。这表明,该类生物组合的沉积环境应为能量变化较大的浅水环境。生物破碎明显、以亮晶充填为主的岩石组合形成于浅水高能带,如台地边缘,典型层段为天井山-广元车家坝一线的栖霞二段下部。

4.2 珊瑚组合

珊瑚组合主要以含造礁珊瑚为特征,含量一般为40%~60%。与此伴生的附礁生物较多,常见的为棘屑、腕足、有孔虫和介形虫等,蜓类较少。该组合在南江桥亭等剖面的栖霞一段下部发育。

珊瑚以树丛状生长的似文采尔珊瑚、早板珊瑚、米氏珊瑚、梁山拟犬齿珊瑚常见,基本为原地生长,保存完整,少量为碎片状。珊瑚间含少量棘屑、有孔虫、介形虫和大量灰泥基质。

这类生物组合的生物分异度较低。与之伴生的岩性以深灰、灰黑色含生物泥晶石灰岩和泥灰岩为主,含有少量暗色泥岩。这表明,珊瑚组合形成于水体较深、能量低的环境之中,如斜坡环境。

4.3 薄壳腕足类组合

薄壳腕足类组合主要分布于川西北部(朝天剖面明显)栖霞一段下部的暗色灰质泥岩、泥质石灰岩中,主要由腕足组成,含量分布于20%~45%,生物个体完整,平行-近平行于层面分布。其腕足大多壳薄、个体小,一般光滑无饰,内部构造简单,适合浮游和游泳生活。与之伴生的岩石颜色极

深,富含有机质,水平层理发育。该生物组合反映属于深度大、水体循环较差的低能斜坡-盆地环境。

5 沉积体系

关于川西地区栖霞组沉积体系前人有些研究,主要认为是碳酸盐岩缓坡体系。根据水动力特征和沉积特征,该区主要发育内缓坡、浅缓坡、深缓坡、盆地等4个相区。这里通过研究栖霞组主要岩石类型、生物组合和栖霞期的大地构造背景,认为其可能为碳酸盐镶边台地沉积体系^[11](图2),且在研究区内发育有开阔台地、台地边缘和斜坡3个相区。证据有以下4个方面。

5.1 具备形成碳酸盐镶边台地沉积体系的大地构造背景

中二叠世早期,上扬子地台西侧边缘为被动大陆边缘,海水由西向东侵入。龙门山古断裂开始形成,断层面构成斜坡,上升盘位于现今龙门山的前山带,在正常浪击面附近,水体能量大,阳光和氧料充足,生物生长迅速,大量的生物碎片快速堆集,形成台地边缘带滩相沉积。

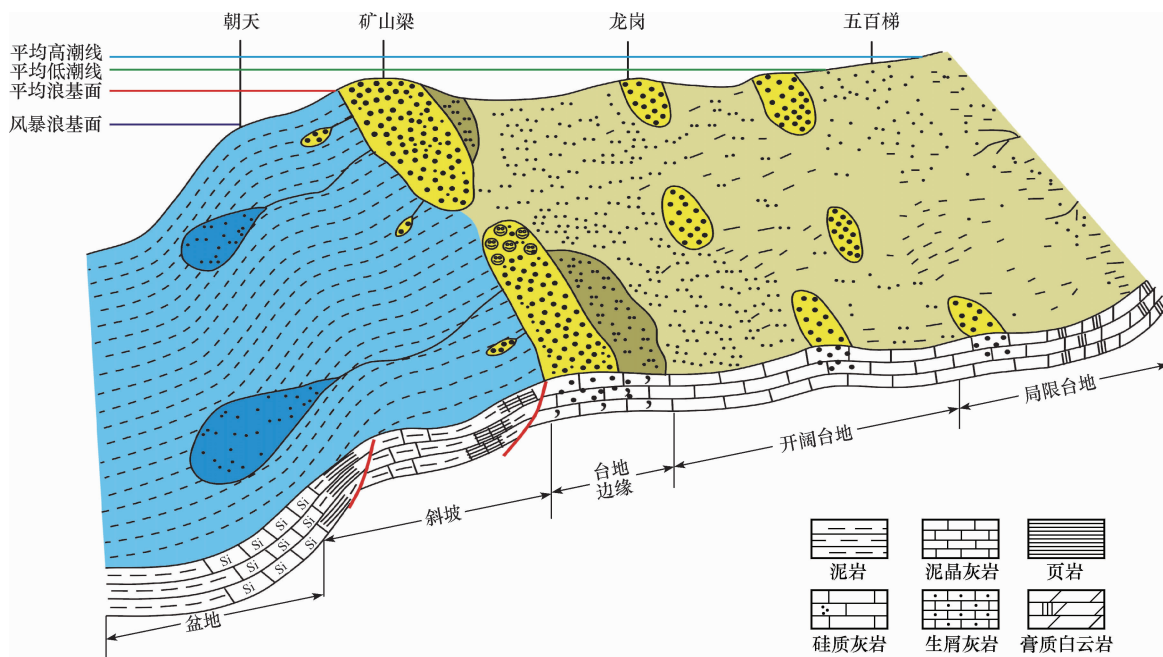


图2 川西地区栖霞组碳酸盐镶边台地沉积体系沉积模式

Fig. 2 Depositional model of the carbonate-fringed platform in the Qixia Formation of the western Sichuan Basin



图3 川西地区栖霞组岩石学特征

Fig. 3 Petrological characteristics of the Qixia Formation in the western Sichuan Basin

- a. 栖霞组底部黑色泥岩夹泥灰岩,朝天剖面;b. 栖霞组底部黑色泥灰岩及完整生物壳体,朝天剖面;
c. 栖霞组白云岩,杨家岩剖面;d. 栖霞组晶粒白云岩,吴家1井

5.2 斜坡-盆地沉积明显

川西地区北部(朝天剖面)的栖霞组底部发育一套厚约5 m的黑色泥岩夹泥灰岩(图3a),富含有机质,水平层理发育。泥岩中夹有含大量生物壳体的薄层泥灰岩,主要是薄壳腕足类组合(图3b),由腕足组成,含量分布于20%~45%,生物个体完整,平行-近平行于层面分布。腕足大多壳薄、个体小,一般光滑无饰,内部构造简单,适合浮游和游泳生活,反映属于深度大、水体循环较差的低能斜坡-盆地环境。

5.3 台缘滩规模大,白云石化作用强烈

川西地区栖霞组台地边缘滩规模较大(图3c)。垂向上,台缘滩厚度可达100多米,发生强烈白云石化作用的厚度最大达90多米(松盖坝剖面);平面上,台缘滩的宽度较大,从露头 and 井下滩体的对比发现最大连续宽度达100多千米,仅从矿2井到长江沟剖面就可达10多千米。可见,台缘滩的规模大、分布范围广,不是缓坡型滩体能达到的规模。

5.4 钻遇斜坡相与台地边缘相呈指状穿插

米仓山山前带吴家1井钻遇栖霞组台地边缘相带的白云岩与斜坡相带的泥灰岩呈指状穿插接触,分界明显(图3d),说明吴家1井位于台地边缘相带与斜坡相带的交接部位,岩性和沉积相带是突变的,不是缓坡体系表现出的特征。

6 沉积相特征及展布

6.1 台地边缘滩相

台地边缘滩主要发育于栖霞晚期(栖霞二时期)龙门山山前带和米仓山山前带(图4),分布范围较广。由于正常浪基面附近水体能量大、海水通畅、阳光和氧料充足,有利于生物大量生长繁殖;强的波浪作用又将这些生物打碎,在斜坡部位大量堆集,形成生物滩。生物颗粒含量可达60%~70%,种类繁多,主要以绿藻、棘屑、有孔虫和介形虫等为主,有少量砂屑、鲕粒等内碎屑,颗粒分选、磨圆中等-较好,以亮晶胶结物为主。生物组合主

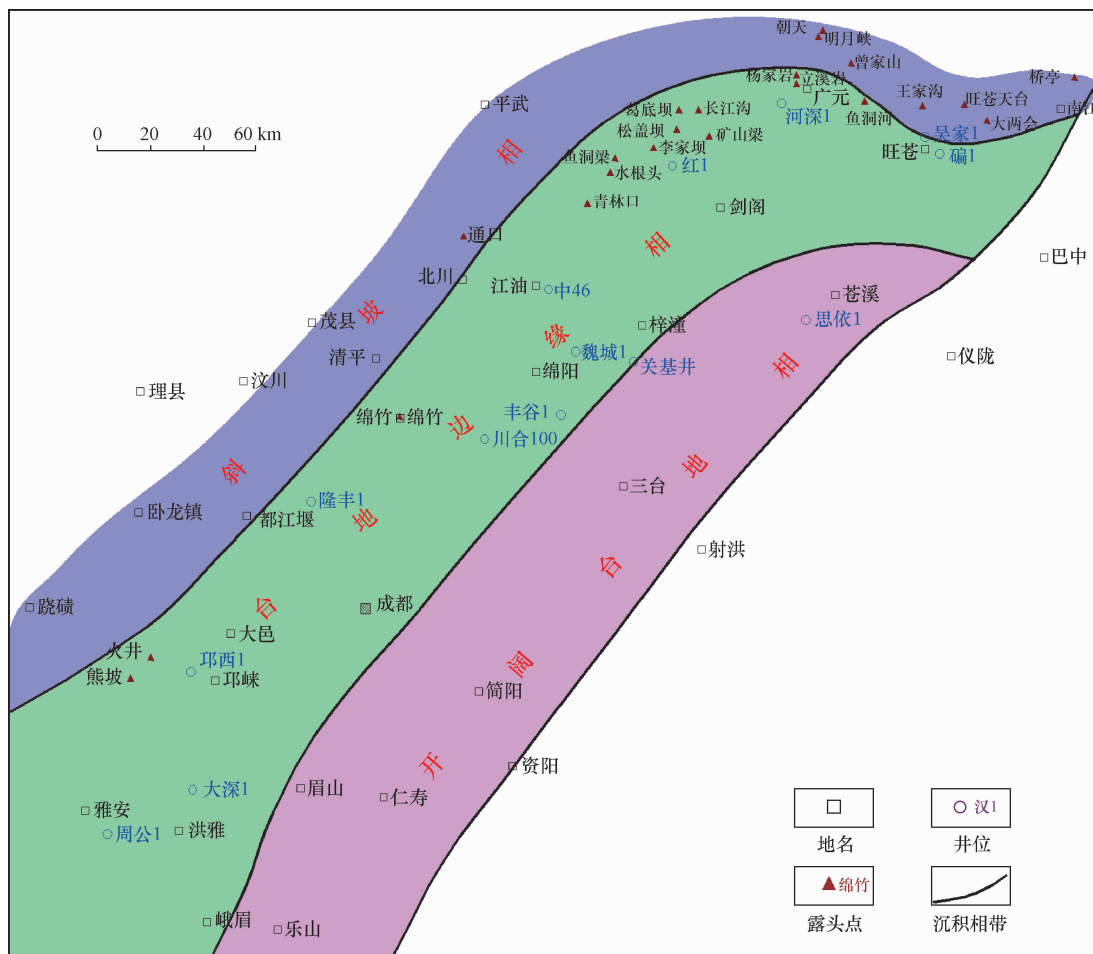


图4 川西地区栖霞组沉积相平面展布

Fig. 4 Planar distribution of sedimentary facies in the Qixia Formation of the western Sichuan Basin

要是腕足类-藻类-有孔虫类组合。该相带是川西地区栖霞组中最有利的沉积储集相带。

生物滩体的下伏地层(栖一段)多由灰黑、深灰色生物(屑)质泥晶石灰岩、含生物(屑)泥晶石灰岩组成,其中水平、丘状、洼状层理常见,代表浪基面以下的斜坡低能沉积产物。滩体由厚层块状灰、浅灰、褐灰色中-粗晶白云岩和少量生屑白云岩构成,晶粒白云岩中常见有孔虫、棘屑和藻屑等颗粒残余结构,在阴极射线下可恢复较多生物屑的残余外形,表明这些白云岩是后期交代的产物,原岩是亮晶生物(屑)石灰岩,其中平行和块状层理常见;滩体上部为厚层块状云质“豹斑”石灰岩,褐灰色“豹斑”呈长条状垂直或近于垂直层面分布,由粉-中晶白云岩组成,见少量灰质生物(屑)和围岩的灰质岩溶角砾,表明云质“豹斑”石灰岩也是交代作用的产物;云质“豹斑”的围岩多由亮晶生物(屑)石灰岩构成,顶部层面上可见较多的

干裂构造。这表明,台地边缘滩是在斜坡低能环境基础上发育起来的滩体,水体浅、能量高,后期成岩改造明显。

台地边缘生物滩沉积时,强大的水动力条件将灰泥基质带到滩后水体能量较小的地区沉积,从而使生物滩主要以生物屑颗粒沉积为主,可形成大量粒间孔隙和生物体腔孔。这些孔隙虽在后期成岩作用中有所胶结,未能大量保留,但为后期白云岩化作用和溶蚀作用奠定了基础。而且,生物滩沉积在海平面附近,受海平面升降频繁的影响下经常暴露于水面之上,易发生混合水白云岩化作用和大气淡水溶蚀作用,从而将滩体中上部的亮晶生物(屑)石灰岩改造成厚层块状的云质“豹斑”石灰岩和中-粗晶白云岩,形成大量的晶间孔、晶间溶孔和溶洞等,平均孔隙度3.5%,平均渗透率 $0.15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。台地边缘生物滩是栖霞组最好的油气储层。

6.2 开阔台地相

栖霞晚期,龙门山以东的四川盆地大部分地区基本处于正常浪基面之下的开阔台地环境之中,发育滩间海和台内滩两个亚相。

6.2.1 滩间海亚相

该相带位于正常浪基面之下的低能海底,向海一侧由于受到较连续台地边缘生物滩的遮挡作用,波浪和潮汐作用对其影响不大,水能较低。主要堆积是细粒灰泥沉积,但当其与广海连通性较好时,可有较多的底栖和游泳生物的生长,这些生物死亡后可完整堆积于原地,在受到较大波浪和风暴浪作用后部分破碎,局部夹厚度不大的小型低能型生物滩沉积。

滩间海亚相沉积主要由灰色、深灰色的中-薄层状泥晶石灰岩、生物(屑)质泥晶石灰岩和含生物(屑)泥晶石灰岩组成,局部夹透镜状生物(屑)石灰岩和粉-砂屑石灰岩。生物碎屑主要有藻类、介形虫、有孔虫、腕足和海百合茎等,含量为10%~15%,分选、磨圆较差。

6.2.2 台内滩亚相

开阔台地相内的局部地貌高地由于与广海连通性好、盐度正常、氧料丰富,适合于多种生物的生长,这些生物死亡后与低能灰泥一起原地或近原地堆积,在地貌相对高地间歇性受到较强波浪的改造,形成以泥晶生物(屑)石灰岩为主的生物滩沉积。这种类型的生物滩与台地边缘生物滩相比,前者的厚度明显较薄,单个滩体规模小、分布范围狭窄。

6.3 斜坡相

斜坡相沉积主要在栖霞组一段下部发育,由深灰、褐灰色中-薄层状的生物(屑)质泥晶石灰岩、含生物(屑)泥晶石灰岩、泥晶石灰岩、似“眼球”状石灰岩、泥质泥晶石灰岩和泥灰岩组成。其中,生物化石含量较少,一般为5%~10%,个体完整,破碎较少;生物组合以薄壳腕足类为主,少量珊瑚类组合。斜坡相主要分布于龙门山断裂以西(龙门山后山带)和米仓山山前带以北的广大地区

(图4)。

7 结论

1) 川西地区栖霞组主要发育生物(屑)石灰岩、砂屑石灰岩、含生屑泥晶石灰岩、泥晶石灰岩、白云岩和“豹斑”状石灰岩,反应其沉积相带变化较大。

2) 栖霞组主要发育3种生物组合:腕足类-藻类-有孔虫类组合、珊瑚组合和薄壳腕足类组合。它们分别是台地、斜坡和斜坡-盆地环境的产物。

3) 从大地构造背景、台地边缘滩特征、斜坡-盆地相特征及斜坡相与台地边缘相带的关系等方面可以说明,栖霞组为碳酸盐镶边台地沉积体系。

4) 川西地区栖霞组主要的沉积相为斜坡相、台地边缘滩相和开阔台地相。其中,台地边缘滩相是栖霞组重要的储层,分布范围广。

参 考 文 献

- 1 辜学达,刘啸虎. 四川省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997. 142~143
- 2 何海清. 浙江省栖霞组沉积微相、韵律、沉积旋回及层序地层分析[J]. 石油实验地质,1997,19(2):127~130
- 3 颜佳新,陈北岳,李思田,等. 鄂湘桂地区栖霞组古氧相分析与层序地层和海平面变化[J]. 地质论评,1997,43(2):193~199
- 4 颜佳新,方念乔. 湖北省栖霞组沉积环境、沉积旋回及层序地层划分[J]. 地科学,1994,19(5):620~626
- 5 徐世琦,周建文,曾庆,等. 龙门山北段二叠系栖霞组二段白云岩储层特征[J]. 天然气工业,25(增刊A):59~61
- 6 石新,王兴志,张帆. 川西北地区栖霞组白云岩储集层研究[J]. 西南石油学院学报,2005,27(2):13~16
- 7 四川油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志卷十:四川油气区[M]. 北京:石油工业出版社,1989. 50~58
- 8 周新科,许化政. 海相碳酸盐岩的形成环境与有机质特征[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3):337~341
- 9 刘树根,汪华,孙玮. 四川盆地海相领域油气地质条件专属性问题分析[J]. 石油与天然气地质,2008,29(6):782~792
- 10 张抗. 中国海相油气演化成藏特点研究[J]. 石油与天然气地质,2007,28(6):713~720
- 11 Wilson J L. Characteristics of carbonate platform margins[J]. AAPG Bulletin,1974, 58:810~824

(编辑 李 军)