

文章编号:1009-3850(2015)04-0052-08

重庆涪陵地区台内高能滩特征与天然气 富集高产主控因素

张矿明, 王良军, 段金宝, 唐德海

(中国石化勘探分公司勘探研究院, 四川 成都 610041)

摘要:四川盆地二叠-三叠系碳酸盐岩层系除发育台缘高能礁滩优质储层外,还广泛发育以二、三类储层为主的台内高能滩相储层。本文在对重庆涪陵地区长兴组、飞仙关组沉积背景认识的基础上,结合钻井、测录井、成像测井和地震资料的综合分析,通过与台内低能滩在微观镜下特征、电性特征和地震响应特征的精细对比研究,分析了涪陵地区海相地层台内高能滩的沉积特征和识别标志。长兴组台内高能滩的岩性识别标志以亮晶生屑灰岩为主,具有局部白云石化,发育溶蚀孔洞裂缝。电性标志为以低速低伽马为特征,其中 $V < 6100\text{m/s}$, $GR < 36\text{API}$ 。地震响应标志为储层顶部表现为低频、中弱振幅、微幅丘状反射特征,储层内部表现为杂乱反射。飞仙关组台内高能滩与低能滩鲕粒颗粒微观结构差别明显,鲕粒同心圈层多(>7 层),同心圈层形态规则(圆形),核心具有白云石化和暴露溶蚀的高能鲕粒滩标志。涪陵地区台内高能滩天然气富集高产主要受多期高能滩的叠置发育、成岩作用改造、裂缝的沟通及构造等因素的控制。

关键词:台内高能滩;控制因素;高产富集;涪陵

中图分类号:TE122.1⁺13

文献标识码:A

1 勘探概况

重庆涪陵地区台内高能滩储层主要发育在长兴组、飞仙关组和嘉陵江组,分别表现为长兴组内生屑滩、飞仙关组开阔台地鲕滩和嘉陵江组潮坪相粒屑滩。相对于台缘礁滩储层,台内浅滩储层一般具有密(物性相对致密)、薄(储层厚度薄)、广(展布面积较广)的特征^[1-6]。

目前,研究区多口钻井在台内高能滩勘探领域取得突破。继兴隆1井、福石1井于飞仙关组鲕滩储层取得突破后,泰来2井于长兴组台内浅滩储层测获40余万方天然气,取得了台内高能滩致密碳酸盐岩储层勘探的重大发现,进一步展现了研究区台内高能滩良好的勘探潜力。

然而,台内高能滩的研究与勘探中也存在一些问题,主要表现在:(1)泰来2井长兴组钻遇高产气

藏,取得了点上的突破,继而如何在面上展开?致密碳酸盐岩台内高能滩储层天然气高产富集规律不明确;(2)重庆涪陵地区飞仙关组鲕粒滩纵横向分布稳定,但其非均质性较强,对成岩作用的认识不够深入;(3)台内滩相储层单层厚度较薄,储层预测较复杂。针对以上问题,本研究重点对长兴组和飞仙关组的岩心、薄片、测录井、地震资料进行精细分析研究,深化对台内高能滩的特征、识别标志与油气高产富集主控因素的认识。

2 涪陵地区台内高能滩特征

2.1 长兴组台内高能生屑滩特征

涪陵地区北部在长期受开江-梁平陆棚控制,南部受蓬溪-武胜台内洼地影响,平面上具有“两礁一滩”沉积格局^[6-9]。北部兴隆场台地边缘生物礁滩目前已探明兴隆场气田;南部永兴场地区受长兴

收稿日期:2014-09-12; 改回日期:2015-09-28

作者简介:张矿明(1986-),男,硕士,石油地质专业。研究方向:地震地层学与沉积学。E-mail:Z6104126@126.com

晚期拉张作用,发育台内洼地相,呈北西向展布。环台内洼地发育台洼边缘生物礁滩,形成镶边台地沉积格局;中部泰来地区受南北两侧高能相带及微古地

貌影响,发育台内高能浅滩,储层岩性相对致密,近期泰来 2 井长二段测试获日产气 40 余万方(图 1)。

2.1.1 泰来地区长兴组台内高能滩岩性、电性特征

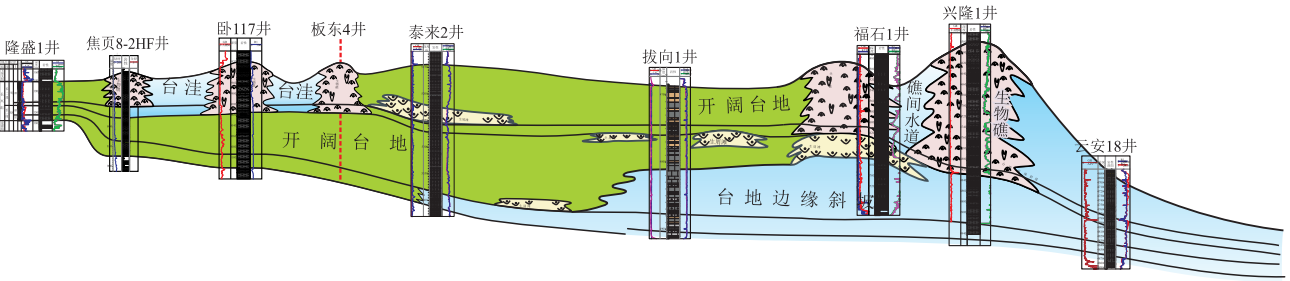


图1 涪陵地区长兴组层序格架图

Fig.1 Sequence stratigraphic framework of the Changxing Formation in the Fuling region, Chongqing

泰来 2 井长二段台内高能滩储层发育于长二段下旋回高水位体系域生屑灰岩中。镜下微观表现为以喇叭鲕、古鲕、有孔虫为主的化石颗粒支撑,亮晶方解石胶结。通过泰来 2 井岩心的物性分析,其孔隙度为 1.58% ~ 2.62%,平均值为 2.12%,渗透率为 $(0.0066 \sim 3215.9919) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。整体较为致密,储集空间主要为溶蚀孔洞、裂缝,为裂缝-孔隙型储层。局部大孔径的溶孔、溶洞集中发育,岩心中裂缝较为发育,裂缝互相交错、切割,具有网状特征。长兴组测井解释为二类气层 4.1m/1 层,三类气层 9.7m/2 层,裂缝气层 6.1m/3 层,含气层 8.8m/3 层(图 2、图 3)。

通过测录井分析,泰来 2 井产气层段(5235 ~ 5257m)具有明显的低伽玛、低速度的特征。通过涪陵地区长兴组测井解释不同含油气性储层 GR-V 交会分析,台内高能滩储层段电性的共同特征是 $V < 6100\text{m/s}$, $\text{GR} < 36\text{API}$ (图 2、图 4)。

2.1.2 泰来地区长兴组台内高能滩地震响应特征

以泰来 2 井井区为代表的长兴组台内高能滩发育区飞仙关组底部为中断或弱振幅特征,高能滩储层顶部表现为低频、中弱振幅、微幅丘状反射特征,储层内部表现为杂乱反射。滩间主要为泥晶灰岩及含燧石灰岩的低能沉积,地震响应表现为飞仙关组底部中弱振幅,长兴组内部为平行-亚平行反射(图 5)。

2.2 飞仙关组台内高能鲕滩特征

涪陵地区长兴组沉积晚期,鄂西-渝东地区区域上古地理面貌呈西高东低的陆棚-开阔台地沉积格局。至早三叠世飞仙关早期(飞一期),水体短暂地加深,但沉积格局变化不大;至飞二-飞三沉积期,随着上扬子板块抬升,海水开始退却,开江-梁平陆棚

逐渐被填充,台地边缘鲕滩及台内鲕滩相广泛发育;至飞四期,随着海水进一步变浅,区内均一化为局限台地-蒸发台地相沉积。涪陵地区飞仙关组发育多期鲕粒滩,厚度大,分布广泛,具有良好的勘探潜力。其中涪陵北部(飞二段)及涪陵南部(飞三段)为两个有利目标区^[10-13]。

涪陵北部地区多口井均钻获厚层鲕粒灰岩,具有规模增储前景,其中福石 1 井和兴隆 1 井在飞仙关组二段测获工业气流,取得了涪陵地区致密碳酸盐台内高能滩储层的突破。

通过涪陵地区钻井岩心室内研究,飞仙关组台内高能滩与低能滩镜下微观特征差别明显。以福石 1 井、兴隆 1 井飞仙关组鲕粒为代表的台内高能鲕滩微观特征以正常鲕粒为主,形态以近圆形为主,核心大多具有白云岩化现象;以兴隆 2 井、兴隆 3 井、金鸡 1 井为代表的台内低能鲕滩微观特征以薄皮鲕粒为主,呈椭圆形-不规则状。高能滩与低能滩的鲕粒特征有明显的对应关系(图 6)。

(1) 鲕粒核心的变化:涪陵地区飞二段发育高能鲕滩的兴隆 1 井、福石 1 井鲕粒核心表现为白云石化,而代表低能鲕滩发育的兴隆 3 井、兴隆 2 井,其鲕粒核心则主要由泥晶内碎屑组成。通过储层的发育与否和核心物质的不同,我们可以粗略地判断研究区储层发育的井所处沉积环境的水动力条件要强于储层不发育的井,鲕粒灰岩的白云石化作用对优质储层的发育至关重要。

(2) 鲕粒同心圈层的变化:研究区从飞二段发育低能滩的兴隆 2 井、兴隆 3 井到发育高能滩的兴隆 1 和福石 1 井,其鲕粒同心圈层表现为数量逐渐变多,鲕粒类型由表鲕演变为圈层较多的正常鲕。鲕粒圈层的形态也从不规则椭圆形逐渐演变为规则

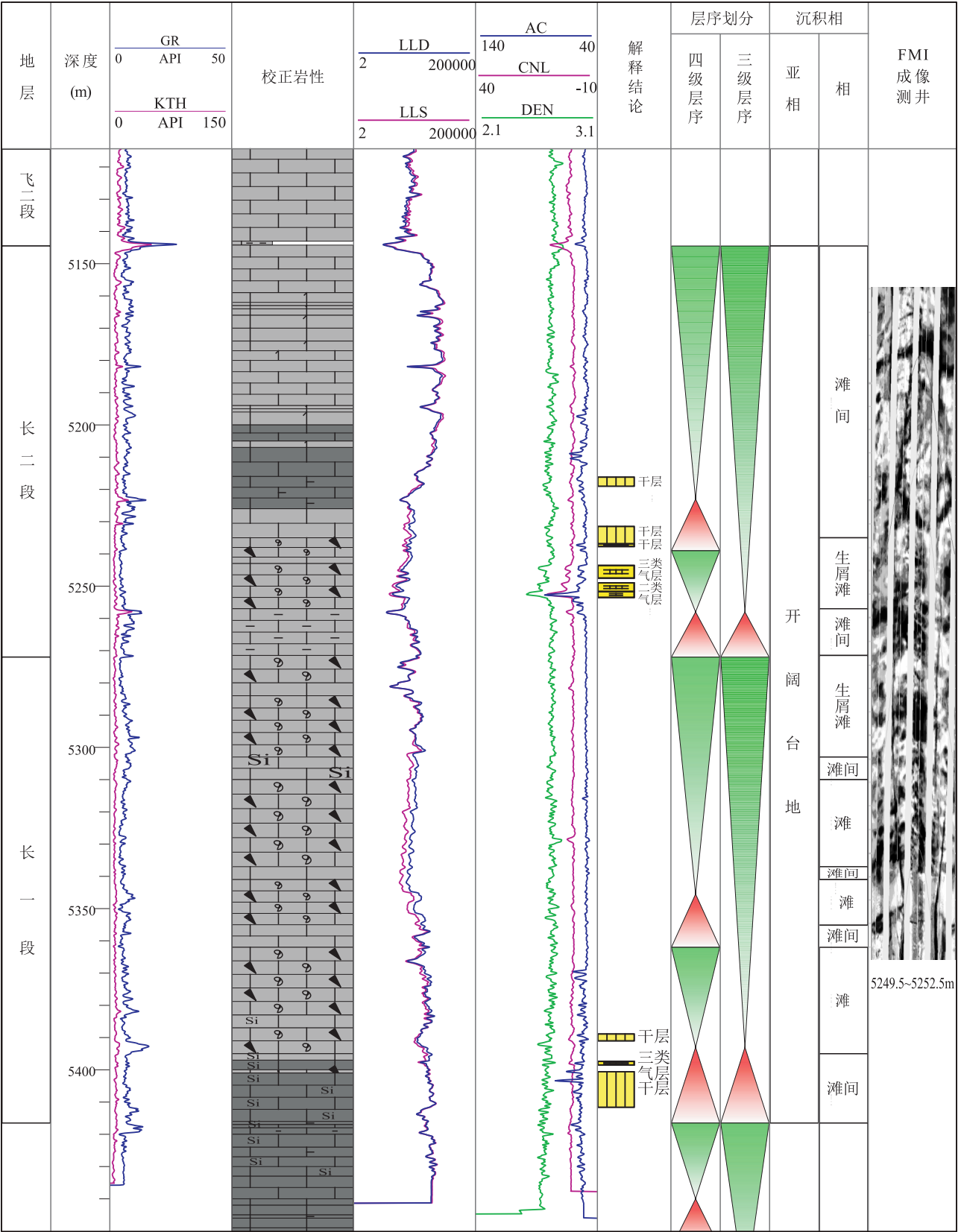


图 2 泰来 2 井长兴组层序与沉积相综合柱状图

Fig. 2 Generalized column of stratigraphic sequences and sedimentary facies in the Changxing Formation through the Tailai-2 well

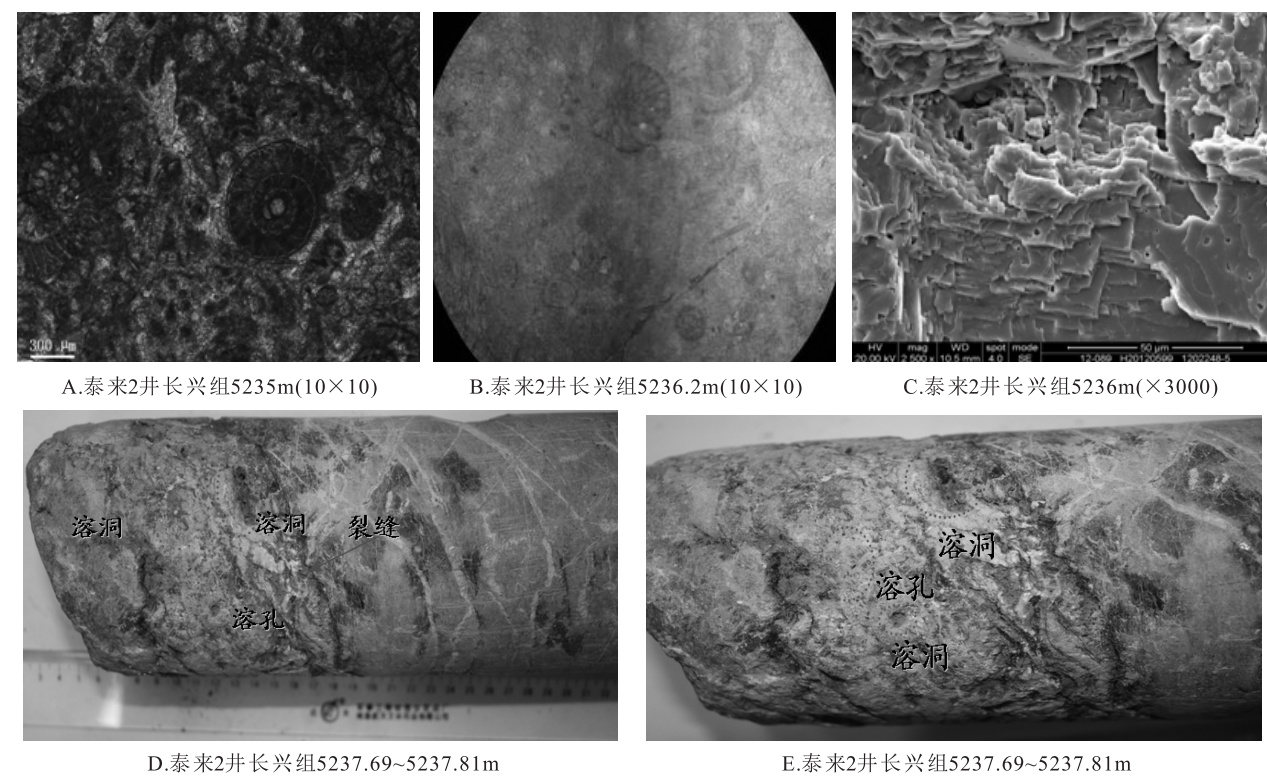


图3 泰来2井台内高能滩镜下和岩心照片

Fig. 3 Photomicrographs for the high-energy shoal reservoirs through the Tailai-2 well

A. 亮晶生屑灰岩,镜下鲕含量较多,可识别出大量长兴组的喇叭鲕等古鲕碎片及少量其他生屑碎片,颗粒被粒间亮晶方解石胶结,含极少量泥晶;B. 亮晶生屑灰岩,镜下颗粒以生物碎片为主,生物种类主要以有孔虫鲕类为主,生物碎片大部分破碎,极少颗粒保存完整结构。该薄片中部被裂缝切穿,岩石被亮晶方解石胶结;C. 亮晶生屑灰岩,电镜下呈现块状生屑灰岩,结构较为致密。方解石粉晶间残余溶蚀微孔隙,晶体表面常见孔洞,局部常见片状粘土矿物充填;D. 亮晶生屑灰岩,岩石局部较为疏松,溶蚀孔、洞和开启状的构造裂缝集中发育;E. 亮晶生屑灰岩,岩石局部较为疏松,溶蚀孔、洞集中发育

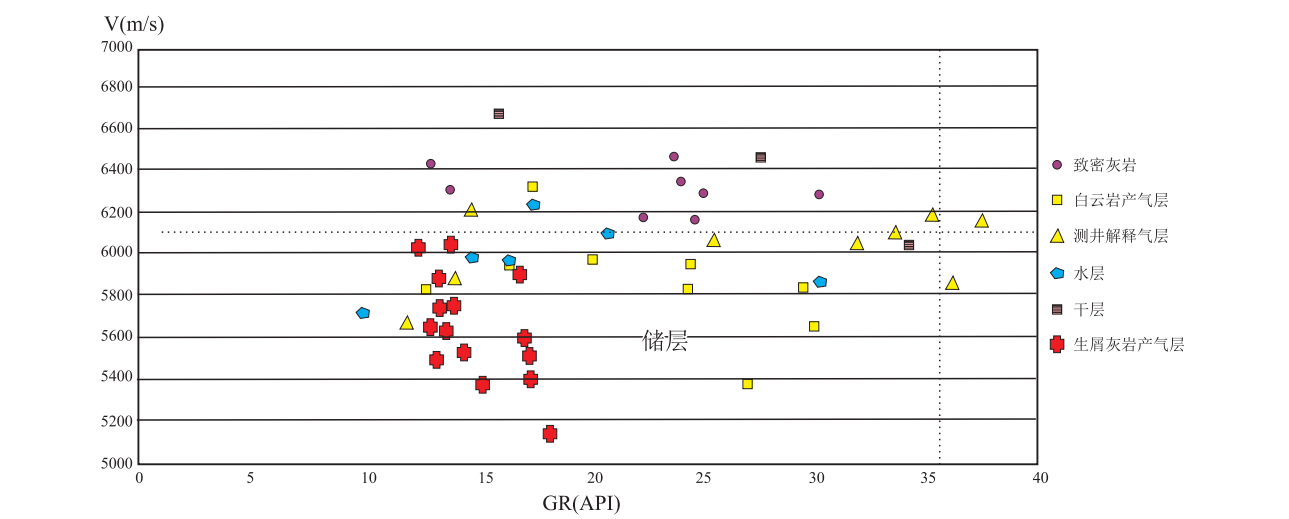


图4 涪陵地区长兴组不同含油气性储层 GR-V 交会图

Fig. 4 GR-V plot of the oil reservoirs from the Changxing Formation in the Fuling region, Chongqing

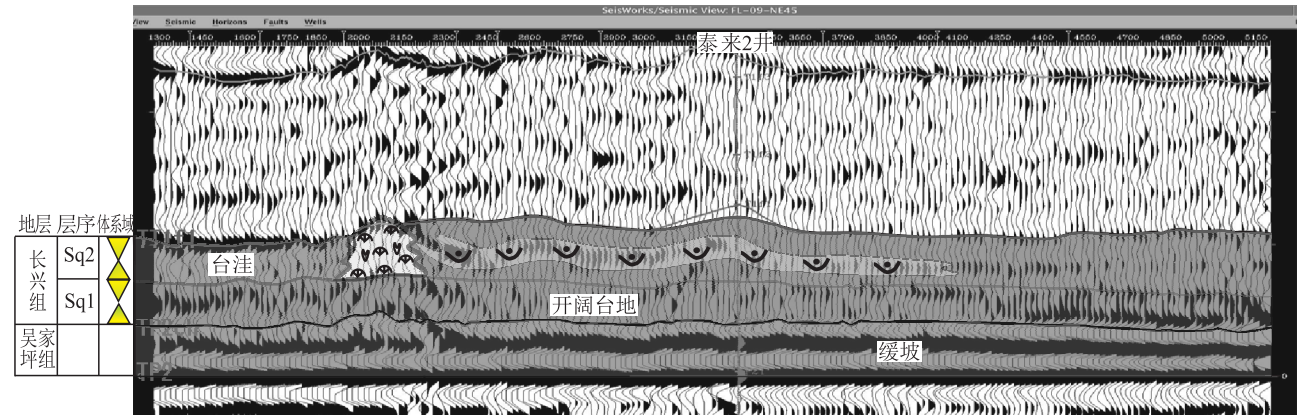


图 5 泰来地区长兴组台内滩地震沉积模式

Fig. 5 Seismic reflection profile for the intraplateform high-energy shoal reservoirs in the Changxing Formation through the Tailai-2 well

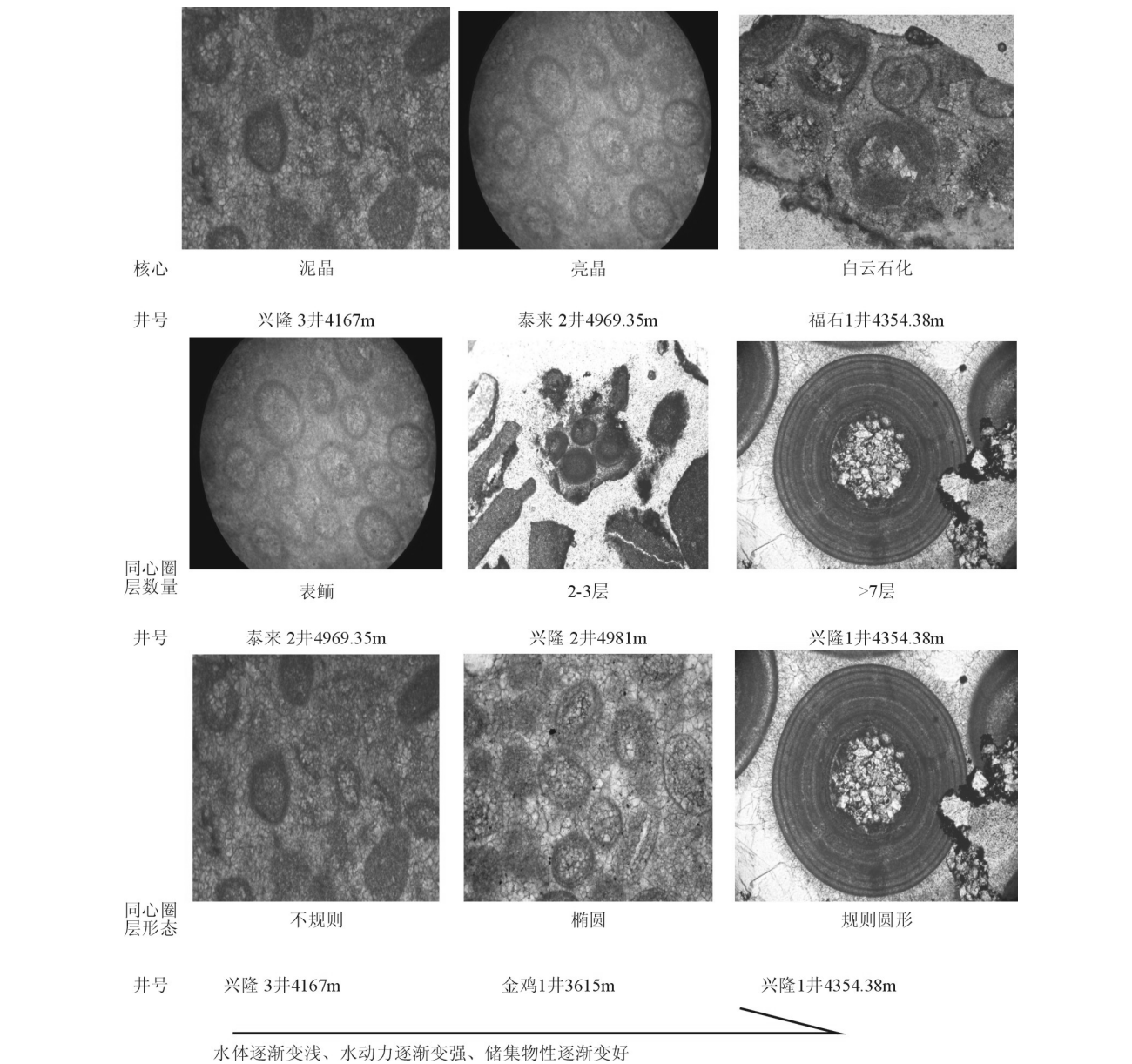


图 6 涪陵地区飞仙关组台内低能滩到高能滩鲕粒微观特征的变化

Fig. 6 Microscopic examination of the intraplateform shoal ooids from the Feixianguan Formation in the Fuling region, Chongqing

的圆形,表明高水动力的沉积环境有利于鲕滩储层的形成。

3 台内高能滩富集高产主控因素

3.1 多期高能滩的叠置发育

礁滩气藏都有“沉积控储、储层控藏”的规律。而台内浅滩相储层单层厚度大多为数米至十几米,横向变化快,对于这种类型的储层,多套高能滩储层段的叠置发育是形成高产富集的基础。根据测井成果,泰来 2 井长兴组产气层段 5235 ~ 5257m 为两个三类气层和 1 个二类气层的叠置累加,单层厚度为 4 ~ 5.7m(图 2);福石 1 井飞仙关组二段产气

层段 4260 ~ 4283m 为两个三类气层和 1 个一类气层的叠置累加,单层厚度为 1 ~ 3.5m(图 7)。

台内滩优质储层主要发育于水动力高能相带,台内滩储层随着海水升降变化、沉积相带的迁移而呈现叠置迁移的特征。较高的微古地貌和一定倾角的斜坡存在是颗粒能被波浪或潮汐频繁翻转搅动的必要条件,是优质台内滩储层发育的先决条件。如前所述,高能台内滩与低能台内滩在岩性、电性、地震响应特征、镜下微观特征等方面都有明显的差异,台内滩的勘探应该首先根据高能滩的各种识别标志和特征进行优选。

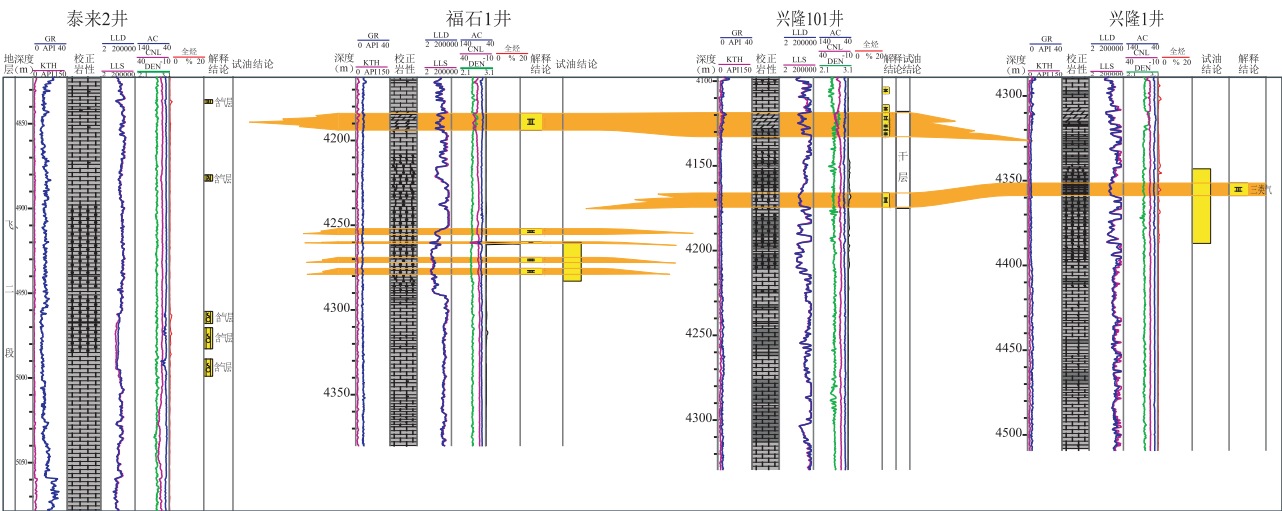


图 7 涪陵地区飞仙关组二段储层对比图

Fig. 7 Correlation of the reservoir rocks from the 2nd member of the Feixianguan Formation in the Fuling region, Chongqing

3.2 有利的成岩作用改造

涪陵地区长兴组-飞仙关组沉积后,经历了复杂的成岩作用改造,成岩作用类型多样,包括压实作用、压溶作用、胶结作用、白云石化作用、溶蚀作用、重结晶作用等。有利的成岩改造作用类型主要是白云石化作用和溶蚀作用。

3.2.1 白云石化作用

根据薄片鉴定,研究区内长兴组和飞仙关组白云石化作用多半进行得不彻底,主要形成含云质灰岩或仅含有少量白云石晶体的灰岩。白云石晶体多呈分散状分布于灰岩基质中,表现为局部白云石化-弱白云石化为特征(图 3、图 6)。涪陵地区飞二

段鲕粒的白云石化具有选择性,一般鲕核首先被 1 个或几个白云石晶体交代。白云石化作用的发生,为台内滩孔缝等储集空间的形成提供了条件。局部白云石化发育的岩石可能发育少量的孔隙,而较纯的灰岩在镜下几乎看不到明显的孔隙,纯灰岩与

较纯的白云岩在储集物性上差别明显(图 8)。研究区油气显示好的气层都有一定程度的白云石化作用。

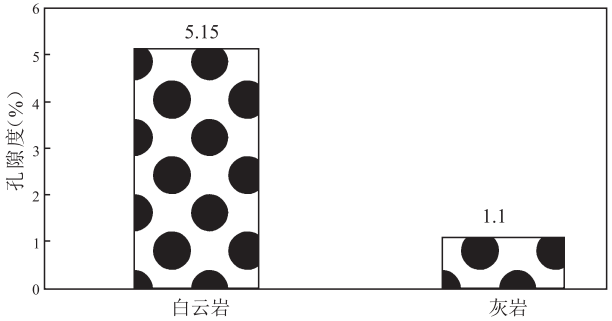


图 8 兴隆 1 井长兴组白云岩与灰岩孔隙度对比

Fig. 8 Comparison of the porosity of the dolostones and limestones in the Changxing Formation through the Xinglong-1 well

3.2.2 溶蚀作用

在白云石化作用整体较弱的情况下,溶蚀作用决定了台内滩储集物性的优劣。台内高能滩主要经受两种溶蚀作用:第一种溶蚀作用为暴露溶蚀作用,发生于同生期大气成岩环境中。在海退沉积序列中,伴随海平面暂时性相对下降,出露海面或处于淡水透镜体内,在潮湿多雨的气候下,受到富含CO₂的大气淡水的淋滤,发生选择性的溶蚀作用。飞仙关组高能鲕滩主要溶蚀作用是暴露溶蚀作用形成的粒内孔和少量的粒间孔;第二种溶蚀作用为埋藏溶蚀作用,埋藏溶蚀作用与液态烃成熟期伴生的富含有机质的酸性水活动有关^[11]。埋藏溶蚀过程中,烃类与SO₄²⁻反应产生的CO₂和H₂S引发对岩石的非选择性溶蚀。泰来地区埋藏溶蚀作用的特征主要为台内罕见的高硫化氢气藏(硫化氢含量达到13.61%)和大孔大洞的储集空间。

3.3 构造裂缝的发育

川东南飞仙关组储集体经历了印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动等多期构造运动,从而发育了多期次的构造裂缝。在致密台内滩中,裂缝的发育状况显得尤为重要,一方面裂缝本身可以作为储集空间;另一方面裂缝的沟通作用,增大了储层渗滤能力,裂缝的疏通还有效地增加溶蚀作用发生的可能性。在裂缝较为发育的台内滩储层中,具有形成一定规模的气藏的可能性,如泰来2井中的长兴组气藏,就是受到了裂缝的影响而形成的。通过成像测井资料及镜下薄片观察,泰来2井长兴组发育大量未充填裂缝,有效地提高了储渗性能(图2、图3)。

3.4 复向斜区构造控藏

晚期成藏的典型特征是构造控藏,气藏的规模与构造的规模紧密相关。构造气藏是台内滩气藏的普遍类型,构造辅以岩性圈闭是形成大气藏的重要方式。泰来2井长兴组台内高能滩的钻探则进一步证实了远离高陡构造带的复向斜区保存条件好,能够富集成藏。

4 结论

(1)泰来长兴组台内高能滩岩性以亮晶生屑灰岩为主,具有局部白云岩化,发育有溶蚀孔洞裂缝。电性标志表现为V<6100m/s,GR<36API,地震响应表现为储层顶部为低频、中弱振幅、微幅丘状反

射特征;储层内部为杂乱反射。

(2)飞仙关组台内高能与低能滩鲕粒颗粒微观结构差别明显,鲕粒同心圈层多(>7层),同心圈层形态规则(圆形),核心见白云石化和暴露溶蚀的为高能滩鲕粒颗粒的标志。

(3)多期高能滩的叠置发育是高产富集的基础。

(4)白云石化和溶蚀作用是优质储层形成的关键。

(5)构造裂缝发育是天然气高产富集的必要条件。

(6)气藏规模受构造规模控制,远离高陡构造带的复向斜区保存条件好,能够富集成藏。

参考文献:

[1] FLUGEL E. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application [M]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2004. 124-137.

[2] 福里格(德). 碳酸盐岩微相: 分析、解释及应用[M]. 马永生译. 北京: 地质出版社, 2006. 111-129.

[3] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 87-112.

[4] 何幼斌, 王广文. 沉积岩与沉积相[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007. 132-135.

[5] 马永生, 梅冥相, 陈小兵, 等. 碳酸盐岩储层沉积学[M]. 北京: 地质出版社, 1999. 2-4.

[6] 刘雁婷, 张文军, 熊治富, 等. 四川盆地东北部中二叠统层序地层特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2014, 34(2): 47-52.

[7] 邓剑, 王伟克, 唐德海, 等. 四川盆地东部涪陵地区台缘礁滩复合体储量计算[J]. 石油天然气学报, 2013, 35(2): 50-55.

[8] 曾婷婷, 唐德海, 郑公营. 川东南涪陵地区长兴组储层特征与形成主控因素[J]. 天然气勘探与开发, 2012, 35(4): 11-14.

[9] 李毕松. 川东南涪陵地区长兴组气藏成藏特点[J]. 天然气技术与经济, 2012, 6(5): 19-22.

[10] 郑荣才, 罗平, 文其兵, 等. 川东北地区飞仙关组层序-岩相古地理特征和鲕滩预测[J]. 沉积学报, 2009, 27(1): 1-8.

[11] 马永生, 牟传龙, 谭钦银, 等. 达县-宣汉地区长兴组-飞仙关组礁滩相特征及其对储层的制约[J]. 海洋地质前沿, 2011, 28(4): 23-29.

[12] 朱光有, 张水昌, 梁英波, 等. 川东北飞仙关组高含H₂S气藏特征与TSR对烃类的消耗作用[J]. 沉积学报, 2006, 24(2): 300-308.

[13] 沃玉进, 周雁, 肖开华. 中国南方海相层系埋藏史类型与生烃演化模式[J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(3): 94-100.

High-energy shoals and the controls of the gas enrichment in northern Fuling, Chongqing

ZHANG Kuang-ming, WANG Liang-jun, DUAN Jin-bao, TANG De-hai
(*Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Petroleum Exploration and Development Branch, SINOPEC, Chengdu 610041, Sichuan, China*)

Abstract: The intraplateform high-energy shoal reservoirs occur on a wide range of scales in the Permian to Triassic carbonate rocks in the Sichuan Basin. The present paper deals, in terms of well logs and seismic data for the Changxing and Feixianguan Formations, with the characteristics and criteria for the recognition of the intraplateform high-energy shoal reservoirs in the marine strata in the Fuling region, Chongqing. Lithologically, the intraplateform high-energy shoal reservoirs in the Changxing Formation are dominated by sparry bioclastic limestones with partial dolomitization and dissolution pores and fissures. The electrical measurements include $V < 6100\text{m/s}$ and $GR < 36\text{API}$. The seismic reponses are indicated by low-frequency, moderate to weak amplitudes and slightly hummocky seismic reflection configurations in the topmost part and chaotic seismic reflection configurations in the inner part of the reservoirs. In the Feixianguan Formation, Fuling region, multiple phases of oolitic shoals have greater thickness and widespread occurrence, and thus have excellent potential of oil and gas exploration. The main controlling factors include multiple stacking of high-energy shoal reservoirs, favourable diagenetic reworking such as dolomitization and dissolution, development of structural fissures/cracks.

Key words: intraplateform high-energy shoal; controlling factor; enrichment; Fuling