

四川盆地寒武系洗象池组岩相古地理及储层特征

谷明峰^{1,2}, 李文正^{1,2}, 邹倩³, 周刚^{2,4}, 张建勇^{1,2},
吕学菊^{1,2}, 严威⁴, 李莛宇⁴, 罗静⁵

1 中国石油杭州地质研究院; 2 中国石油集团碳酸盐岩储层重点实验室; 3 中国石油勘探开发研究院;
4 中国石油西南油气田公司勘探开发研究院; 5 中国石油西南油气田公司川西北油气矿

摘要 在典型野外露头、岩心以及岩石薄片观察的基础上,结合实验分析数据,对四川盆地寒武系洗象池组岩相古地理、储层特征及其主控因素进行了研究。结果表明:①洗象池组沉积期为镶边碳酸盐台地沉积环境,盆地整体位于局限台地内部,在梁平—重庆台洼两侧发育高能滩相;②储层多发育在洗象池组中上段,岩性以颗粒白云岩、晶粒白云岩、藻白云岩为主,主要储集空间为溶蚀孔洞、粒间孔、晶间孔与裂缝,孔隙度集中分布在2%~5%之间,平均为3.46%;③储层的形成与分布受沉积相、准同生溶蚀作用与表生岩溶作用共同控制,储层主要发育在古地貌较高部位、海水向上变浅旋回的上部及奥陶系尖灭线附近。预测位于台洼两侧的合川—广安与南川—石柱一带古地貌高部位为有利滩相储层发育区,西充—广安—潼南地区为有利岩溶储层发育区;指出西充—广安一带为有利勘探靶区。

关键词 岩相古地理; 颗粒滩; 岩溶作用; 储层; 碳酸盐岩; 洗象池组; 四川盆地

中图分类号: TE122.3*1 文献标识码: A

0 前言

近年来,四川盆地震旦系—寒武系的油气勘探主要聚焦于震旦系灯影组、寒武系龙王庙组,并在川中古隆起的高石梯—磨溪地区获得天然气勘探的重大突破^[1-4]。中—上寒武统洗象池组作为重要的后备勘探领域和接替层系,自1966年威12井中途测试获得突破后,仅在威远地区获得天然气探明储量 $85.08 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。就整个四川盆地而言,洗象池组勘探程度相对较低。

前人对洗象池组层序地层、岩相古地理与储层特征进行了大量研究,认为四川盆地洗象池组沉积期发育碳酸盐台地,局部发育颗粒滩沉积,经沉积期及风化期岩溶作用可形成储层,但在层序划分方案^[5-7]、颗粒滩有利区的分布^[6-8]、储层主控因素^[8-9]等方面仍存在分歧,这制约了针对洗象池组的油气勘探部署。本文在观察野外露头、岩心和薄片的基础上,结合储

层地球化学特征,综合钻井、地震资料,对洗象池组沉积演化、储层成因开展了系统的研究,以期厘清古环境与储层发育的潜在联系,为评价与预测优质储层提供地质依据,为下一步勘探指明方向。

1 岩相古地理特征

四川盆地中—上寒武统洗象池组为一套海相碳酸盐沉积,岩性以浅灰色、灰色、灰黄色白云岩、泥质白云岩为主,局部含砂质,夹鲕粒白云岩及硅质条带或结核。洗象池组沉积期受加里东期古隆起及海平面早期快速海侵和晚期缓慢海退^[6]的影响,呈现西北高、东南低的沉积格局,地层厚度西北薄、东南厚^[10](图1),表现为填平补齐的特征,古地势低洼区沉积厚度远大于地势高区。洗象池组在川北南江、旺苍、广元及川西北龙门山前缘一带缺失,乐山、威远、自贡、龙女寺一带厚度介于100~300 m,邻水、永川一带厚约500 m,重庆地区的临7井—一座3井一带

收稿日期: 2020-01-07; 改回日期: 2020-03-12

本文受国家科技重大专项课题“寒武系—中新元古界碳酸盐岩规模储层形成与分布研究”(编号: 2016ZX05004-002)、“深层古老含油气系统成藏规律与目标评价”(编号: 2017ZX05008-005)及中国石油天然气股份有限公司重大科技课题“深层—超深层油气富集规律与区带目标评价”(编号: 2018A-0105)共同资助

第一作者: 谷明峰, 硕士, 工程师, 主要从事碳酸盐岩储层成因研究与地震预测工作。通信地址: 310023 浙江省杭州市西湖区西溪路920号; E-mail: gumf_hz@petrochina.com.cn

通信作者: 李文正, 硕士, 工程师, 主要从事碳酸盐岩沉积储层研究。通信地址: 310023 浙江省杭州市西湖区西溪路920号; E-mail: liwz_hz@petrochina.com.cn

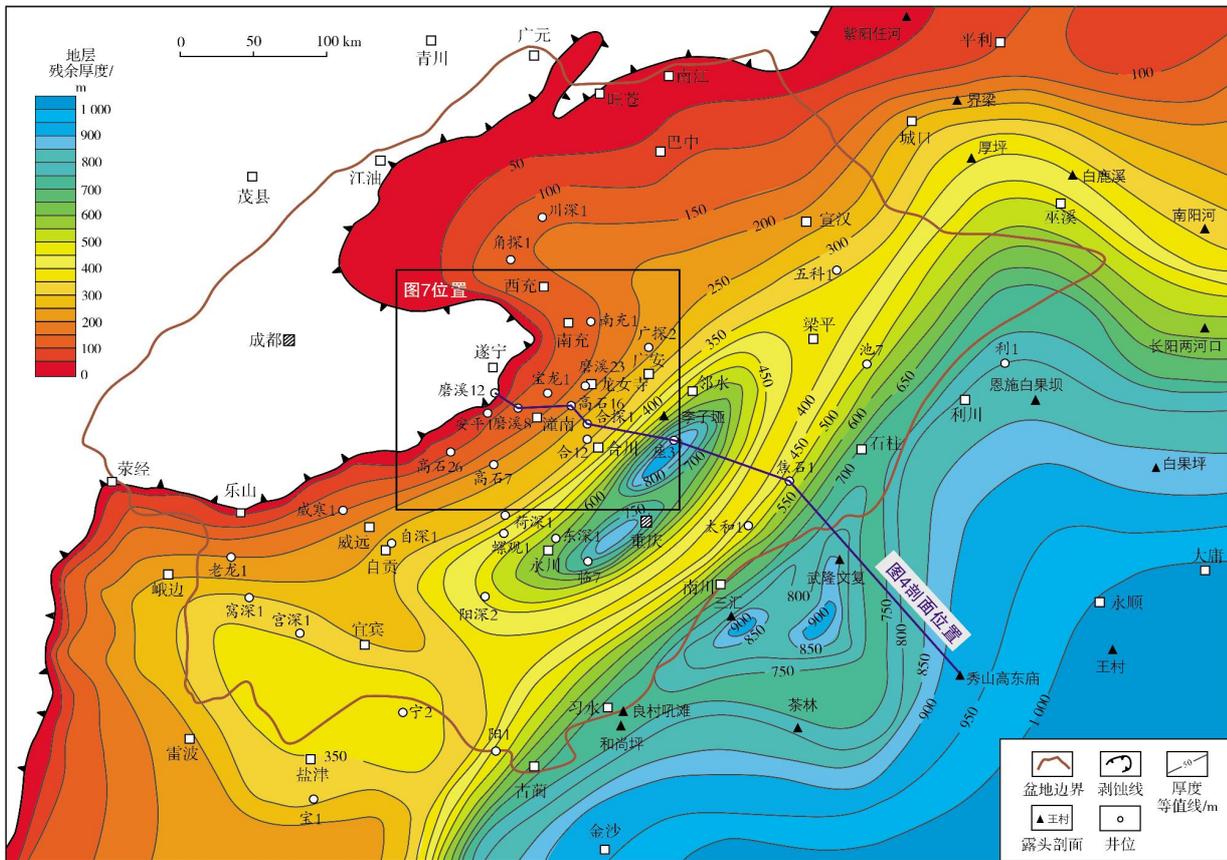


图1 四川盆地洗象池组地层残余厚度图

Fig. 1 Residual thickness map of Xixiangchi Formation in Sichuan Basin

为盆地内沉积中心,厚度可达800 m,至盆地东南边缘石柱、南川一带厚度为600~700 m,川东秀山—永顺地区甚至超过1000 m。

通过野外剖面、岩心与薄片观察及钻井资料分析,认为上扬子区洗象池组整体为镶边台地沉积,台地边缘在现今湖南与城口—鄂北地区。沉积环境横向变化较大,西部靠近古陆发育混积潮坪,向东逐渐过渡到清水碳酸盐台地,自西向东(由陆向海)依次发育混积潮坪、云坪、台地、台地边缘、斜坡—盆地(图2)。台缘带主要分布在大庸—永顺一带,发育巨厚颗粒滩相沉积;城口—鄂西断裂以北、永顺—大庸以东为斜坡相沉积,发育斜坡角砾灰岩(图3a),局部见膏质潟湖亚相(图3b)。四川盆地内部主要为碳酸盐台地相,可进一步划分为台内洼地、颗粒滩、云坪等亚相。合川—广安与南川—石柱地区发育2条台内颗粒滩带,重庆—梁平一带发育台内洼地,呈北东—南西向展布,洼地边缘发育颗粒滩。

潮坪相主要分布在川西北及川西南一隅,受加里东运动抬升剥蚀的影响,川中地区残存较少,呈窄条带状展布。潮坪相沉积处于局限台地向陆侧海岸带,为地形平坦,随潮汐涨落而周期性淹没、暴露的环境。岩性以粉砂质泥—粉晶白云岩、泥灰质粉砂岩、泥质泥晶白云岩为主,为陆源碎屑和清水碳酸盐的混合沉积,发育羽状层理(图3c)、交错层理(图3d)等典型相标志。

颗粒滩相主要分布在合川—广安与习水—石柱一带,发育于台洼边缘坡折带上的古地貌高地,沉积水体能量较高,受潮汐和波浪作用的持续影响,发育多种颗粒岩,如砂屑白云岩(图3e, 3f)、鲕粒白云岩(图3g, 3h)、砾屑白云岩(图3i)等。

滩间海位于局限台地内颗粒滩之间,水体环境相对闭塞、安静,以沉积细粒物质为主,沉积灰色—深灰色纹层状泥—粉晶白云岩夹少量颗粒白云岩,伽马曲线形态平直,略有起伏。

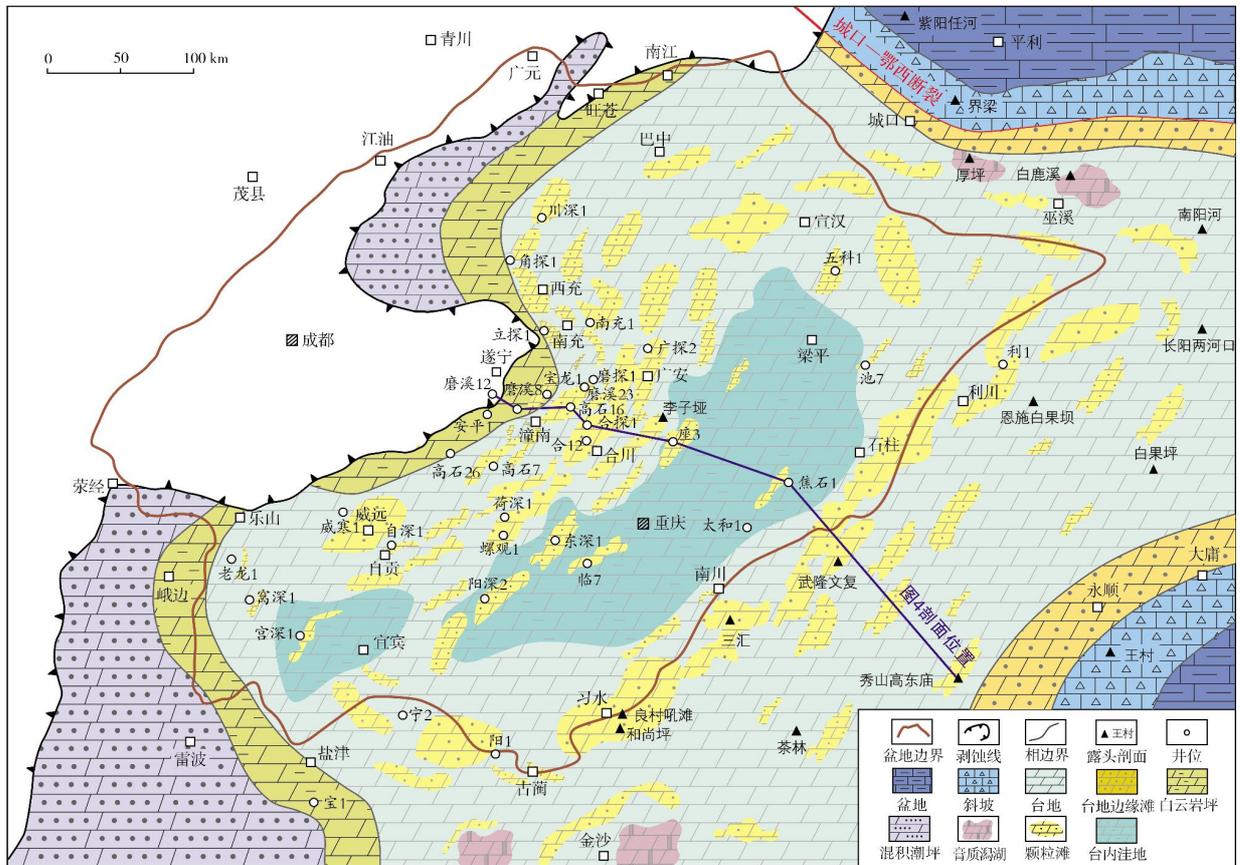


图2 四川盆地洗象池组岩相古地理图

Fig. 2 Lithofacies paleogeographic map of Xixiangchi Formation in Sichuan Basin

台内洼地沉积主要分布在重庆—梁平一带,水体环境半封闭,能量低,沉积厚度大,以纹层状泥质泥晶白云岩、粉晶白云岩为主,夹风暴作用形成的薄层砂屑白云岩。膏质泻湖相(图3b)主要分布在川东北巫溪及川南金沙地区(图2)。

川东北城口地区与川东南永顺—大庸地区发育台缘相沉积,主要为厚层颗粒岩,呈窄相带展布。斜坡相与其相邻,主要分布在城口—鄂西断裂以北、大庸—永顺以东,发育斜坡角砾灰岩,如界梁剖面(图3a)。

前人研究表明:四川盆地寒武纪为稳定克拉通盆地发育时期,整体呈西高东低的沉积格局^[11]。早寒武世龙王庙期为蒸发环境下的缓坡沉积模式,台地内部梁平—重庆地区发育蒸发盐盆^[1],表明发生了海退与海水咸化。中寒武世高台期盆地仍为西北高、东南低的沉积格局,海退继承性发展,古陆扩大,盆地中西部沉积物中陆源碎屑增多,为混积潮坪相;向东局限台地继承性发展,在永顺地区形成碳酸盐岩

障壁;台地内部梁平—重庆地区因海水变浅、进一步浓缩咸化,使得蒸发盐盆范围扩大(图4)。中晚寒武世洗象池期继承了西北高、东南低,并且盆地腹部发育蒸发盐盆的古地理格局,在其沉积早期发生了快速的大规模海侵,使得四川盆地被大范围分布的局限台地相所覆盖(图2),台地内蒸发浓缩的封闭环境演变为开放—半开放环境,梁平—重庆地区从蒸发膏盐盆,转变为台内洼地沉积(图4)。受古地貌控制,台洼两侧水体能量较高,发育高能颗粒滩带。

2 储层特征及主控因素

2.1 储层特征

基于野外露头、岩心及薄片观察,可将洗象池组储层的岩性划分为3类:颗粒白云岩(图5a—5c)、晶粒白云岩(图5d—5e)和藻白云岩(图5f)。洗象池组储层孔隙类型包括溶蚀孔洞、粒间孔、晶间孔和裂缝。

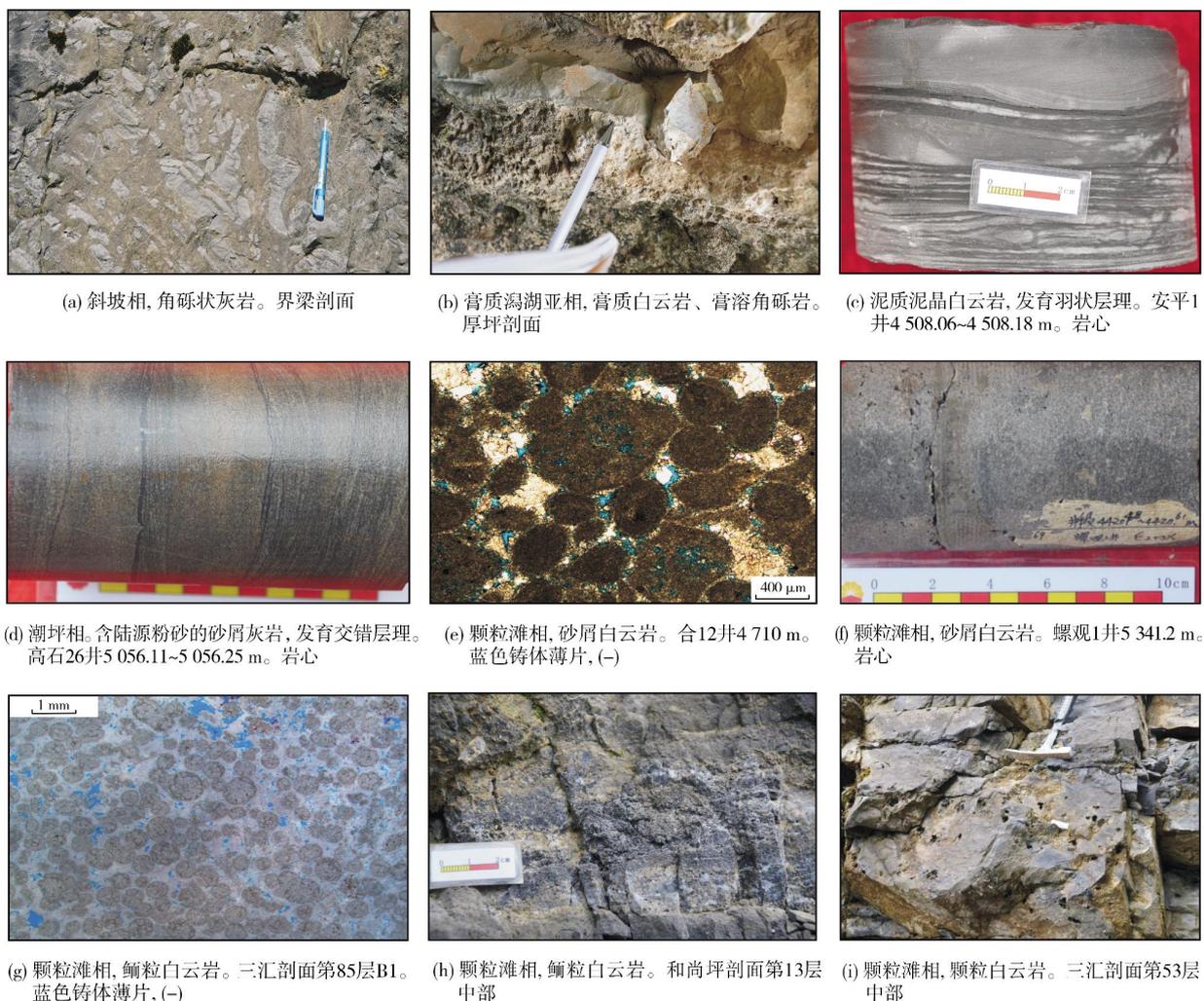


图3 四川盆地洗象池组沉积相标志的野外露头 and 镜下微观照片

Fig. 3 Field outcrop and microscopic photos showing sedimentary facies markers of Xixiangchi Formation in Sichuan Basin

溶蚀孔洞是洗象池组最主要的储集空间,在上述3种岩石中均较为发育。受准同生溶蚀、表生岩溶和埋藏溶蚀作用的多重影响,溶蚀孔洞的洞径一般在2 mm以上,最大可达12 mm。在野外剖面及岩心上,溶蚀孔洞常顺层或顺层理分布(图5c),亦可见渗流粉砂,裂缝中充填黄铁矿或巨晶白云石(图5d)。

粒间孔主要发育在颗粒白云岩中,其孔径大小与粒径密切相关,在岩心与露头上常呈针孔状。孔径大小为0.02~0.20 mm,镜下呈不规则多边形,多见残余粒间孔与扩溶孔,面孔率可达5%~8%(图5a, 5b)。

晶间孔主要指白云石晶体之间的孔隙,发育在晶粒白云岩中(图5e)。孔径大小介于0.001~0.01 mm,孔隙形态不规则,多呈三角形、多边形或溶蚀港湾状,杂乱分布,其中可见沥青充填。

裂缝类型包括因构造破裂作用与埋藏溶蚀而形成的构造缝、溶蚀缝。构造缝发育受构造部位和断层控制,多见溶蚀缝伴随酸性流体的溶蚀作用,可见裂缝相互交叉,并连接孔隙,这可提高先期孔洞的沟通能力,有利于储层物性的改造^[12]。

洗象池组白云岩储层物性不均,对四川盆地典型取心井及野外露头样品的物性统计如表1所示:1 554个柱塞样品的孔隙度小于19.18%,平均为3.46%,孔隙度集中分布在2%~5%之间;1 402个样品的渗透率分布在 $(0.000\ 001\sim 419.0)\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ 之间,平均为 $0.99\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ 。林怡等^[13]对全盆地样品孔渗关系的分析表明:洗象池组储层具有双重介质性质,孔渗关系总的相关性不好,具有明显的裂缝参与渗流的特征,其储层类型为裂缝-孔隙型。

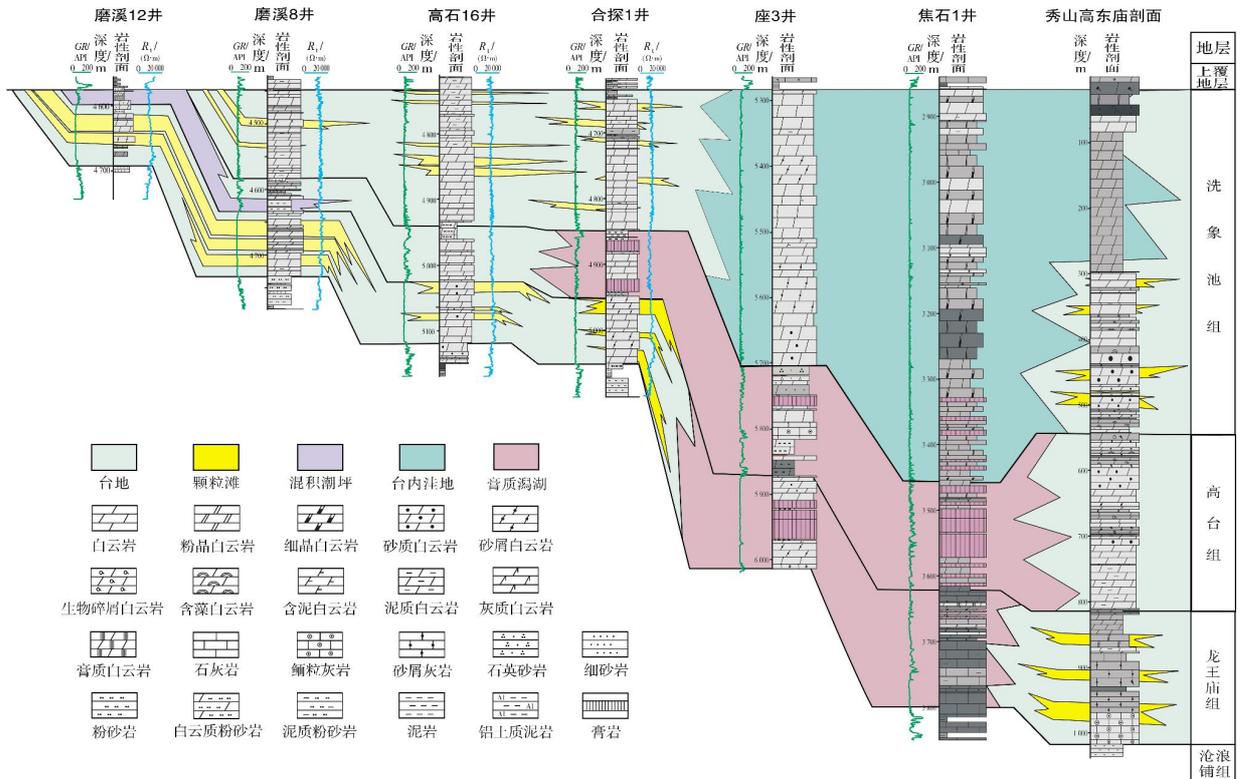


图4 四川盆地磨溪12—磨溪8—高石16—合探1—座3—焦石1—秀山高东庙寒武纪沉积演化剖面(剖面位置见图2)
 Fig. 4 Cambrian sedimentary evolution section of Moxi 12—Moxi 8—Gaoshi 16—Hetan 1—Zuo 3—Jiaoshi 1—Gaodongmiao in Sichuan Basin (section position is shown in Fig. 2)

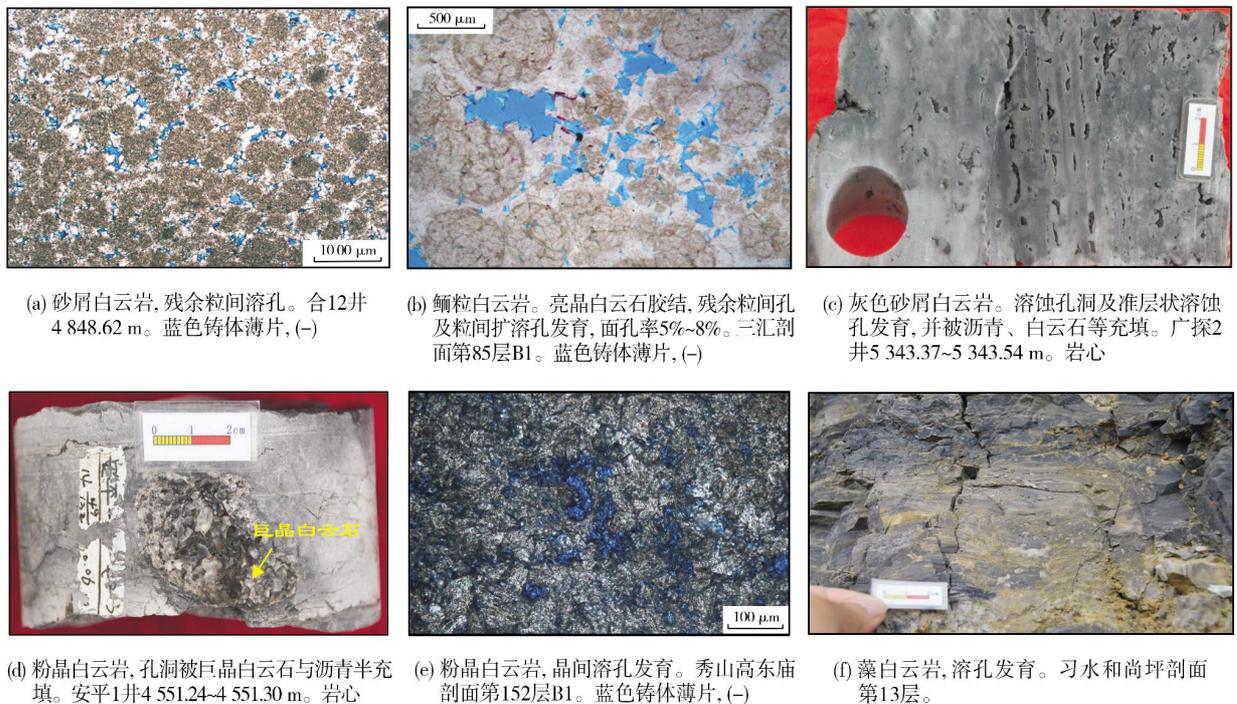


图5 四川盆地洗象池组储层岩性及储集空间特征
 Fig. 5 Reservoir lithology and spatial characteristics of Xixiangchi Formation in Sichuan Basin

表 1 四川盆地洗象池组岩心及露头样品物性统计
Table 1 Physical property statistics of core and outcrop samples of Xixiangchi Formation in Sichuan Basin

| 钻井/露头 | 孔隙度/ % | | | | 渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$ | | | |
|-----------------------|--------|------|-------|-------|------------------------------|-----------|---------|------|
| | 样品数 | 最小值 | 最大值 | 平均值 | 样品数 | 最小值 | 最大值 | 平均值 |
| 合 12 井 ^[7] | 297 | 0.11 | 7.13 | 1.27 | 282 | 0.000 032 | 145.0 | 1.45 |
| 临 7 井 ^[7] | 413 | 0.15 | 9.16 | 1.14 | 402 | <0.009 87 | 75.4 | 2.79 |
| 女深 5 井 ^[7] | 88 | 0.13 | 3.11 | 0.83 | 88 | 0.000 098 | 52.9 | 0.19 |
| 威寒 1 井 ^[8] | 566 | 0.16 | 5.64 | 1.07 | 460 | 0.000 05 | 419.0 | 1.28 |
| 威 4 井 ^[7] | 5 | 4.10 | 19.18 | 11.95 | | | | |
| 广探 2 井 ^[8] | 126 | | 11.24 | 2.93 | 126 | 0.000 001 | 28.1 | 0.30 |
| 三汇剖面 ^[8] | 9 | 2.51 | 12.50 | 5.60 | 9 | 0.014 7 | 6.6 | 0.80 |
| 立探 1 井 | 16 | 2.09 | 7.34 | 4.02 | | | | |
| 磨探 1 井 | 34 | 0.98 | 3.47 | 2.30 | 35 | 0.000 398 | 0.052 6 | 0.12 |

整体来说,洗象池组储层虽然与龙王庙组具有相似的岩石类型与储集空间,但是其物性总体表现为低孔低渗的特征,相比龙王庙组物性较差^[14]。

2.2 储层发育特征

研究表明,纵向上洗象池组储层一般发育在地层旋回的中上部。洗象池组颗粒白云岩储层纵向上具有 2 种叠加类型:一种是多期颗粒滩纵向的直接叠置,形成巨厚储层,岩性以颗粒白云岩为主,溶孔溶洞极其发育;另一种是单旋回颗粒滩的纵向叠加,储层厚度相对较薄,下部发育灰色中—厚层砂屑白云岩,厚 1~6 m,溶孔溶洞较发育,向上变为薄层泥质泥晶白云岩,顶部可见泥裂纹^[8]。

2.3 储层主控因素

2.3.1 颗粒滩是优质储层发育的物质基础

一般而言,高能沉积体(滩)发育在地貌高部位浅水沉积区,早期易受大气淡水影响,有利于孔隙的形成。也就是说,沉积相控制颗粒滩的展布,而颗粒滩是优质储层发育的物质基础。野外露头、钻井资料及测井解释结果表明,盆地内洗象池组储层主要发育在台内颗粒滩亚相。除出露不全的华蓥山李子垭剖面(储层厚 17.3 m)外,台内颗粒滩储层一般厚 43.75~136 m,岩性以颗粒白云岩、晶粒白云岩为主,发育溶蚀孔洞、粒间孔与晶间孔^[8]。

2.3.2 准同生溶蚀是形成溶蚀孔洞的关键因素

海平面下降引起的准同生大气淡水淋滤溶蚀作用是洗象池组颗粒滩形成大量溶蚀孔洞的关键因素,本文以重庆南川三汇剖面为例进行论述。

高频旋回是海平面变化最直观反映,而碳同位素组成与海平面变化具有关联性^[15-19],因此可利用碳同位素演化来刻画碳酸盐岩地层的高频旋回,进而寻找其与储层发育的关系。为了探讨碳同位素与储层发育的关系,本文针对三汇剖面旋回性较好的 15—17 小层进行了精细取样,并进行碳同位素分析,结果如图 6 所示:15—17 小层共发育 5 个向上变浅的高频旋回,每个旋回中的碳同位素值从底部向顶部逐渐减小;相应地,旋回底部为薄层深灰色泥晶白云岩,一般厚 5~30 cm,向上单层厚度逐渐增大,颜色变浅,逐渐变为粉晶白云岩及颗粒白云岩,含砂屑、藻屑等,顶部可见薄层砂质泥晶白云岩,厚 30 cm 左右,并发育暴露标志的干裂纹;另外,在旋回的下部,溶蚀孔洞少量发育,而在旋回的中上部,溶蚀孔洞则极其发育(图 6)。

洗象池组沉积期发生了多次海平面下降,导致碳同位素演化具有多旋回负漂的特征,由此造成了碳酸盐岩地层的多旋回特征,同时形成了纵向上的多套储层,而且储层多发育在旋回的上部^[20]。这是因为高位期海平面下降导致滩体暴露,处于古地貌高部位的滩体大面积、长时期暴露,形成大量溶蚀孔洞,因此储层物性较好。但是,位于古地貌低处的滩体或滩带翼部因短暂暴露或未暴露,溶蚀孔洞不发育,胶结作用强,储层物性较差。

2.3.3 表生岩溶作用有效改善了储集性能

加里东末期构造运动强烈,地层抬升并遭受剥蚀,致使川中—川西地区洗象池组部分缺失或直接出露,存在剥蚀天窗,与上覆地层之间发育显著的大型角度不整合,从而发育古风化壳,具有层间不平整

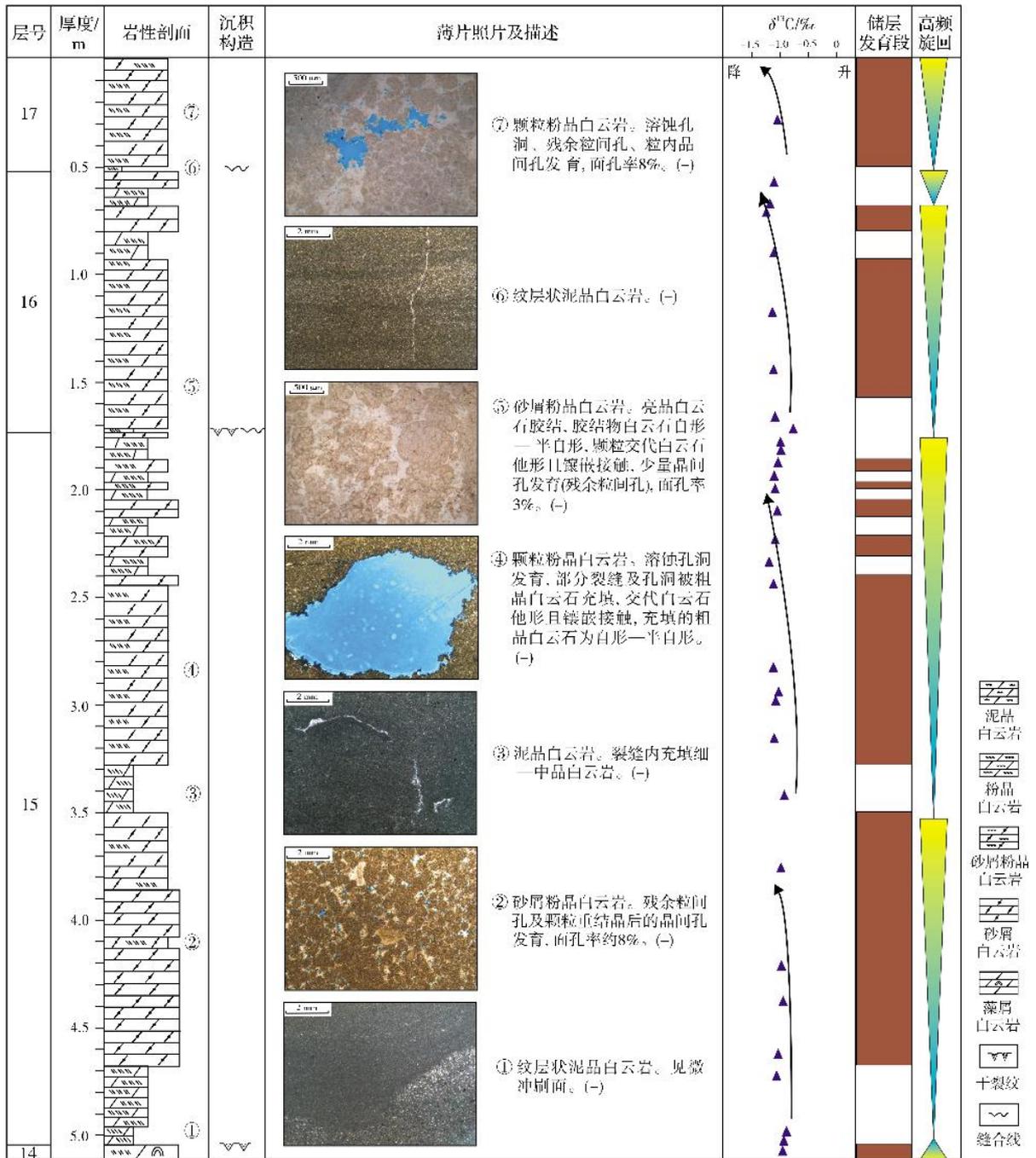


图6 重庆南川三汇剖面洗象池组15—17小层储层发育柱状图

Fig. 6 Column showing the reservoir development in No. 15-17 sublayers of Xixiangchi Formation in Sanhui outcrop of Nanchuan, Chongqing

的剥蚀或溶解面、溶解裂隙及与之连通的岩溶洞穴等古岩溶特征^[21]。表生期岩溶作用主要发生在乐山—龙女寺古隆起周围,该期岩溶作用的持续时间较长,可能一直持续到早二叠世,使得沿乐山—龙女寺古隆起剥蚀区及有断裂沟通地表的区域岩溶作用较

强,在古隆起核部及斜坡的局部地区形成大规模岩溶地貌,可形成孔隙型滩相岩溶储层,并见溶塌角砾岩、黄铁矿充填等,这些现象在安平1井、威寒1井、广探2井等钻井岩心中及磨溪23井成像测井中均可见到。

3 有利储层分布及区带评价

上述分析表明:颗粒滩的分布是控制储层发育的基础因素,它控制着储层发育的期次和平面展布;准同生溶蚀作用是形成主要储集空间的关键;表生岩溶作用可有效改善储层的物性。

洗象池组沉积时期继承了龙王庙组与高台组沉积期的古地理格局,发育梁平—重庆台洼,台洼两侧的合川—广安与南川—石柱一带古地貌高部位为有利滩相储层发育区。地震剖面上,洗象池组滩相储集体的反射特征为断续、中强波峰,因此利用二维地震和三维地震资料,结合已钻井及测井相,对川中地区洗象池组滩相储集体进行了刻画(图7),结果表明洗象池组滩相储集体主要分布在西充—广安—潼南地区,面积约为5 000 km²。西充—广安—潼南地区位于奥陶系尖灭线附近,岩溶作用强烈,可有效地改善洗象池组滩相储集体的物性,因此该区为滩相岩溶储层最有利区。多口钻井揭示洗象池组在剥蚀带附近含气性好,录井显示活跃,而且多口井测试获得工业气流,这表明该区具备良好的勘探潜力。

综合地质分析认为西充—广安地区洗象池组滩体规模大,岩溶作用强,毗邻筇竹寺组生烃中心,而且通源断裂发育,可有效沟通烃源岩,形成构造背景下的地层岩性气藏,可作为今后有利的勘探方向。

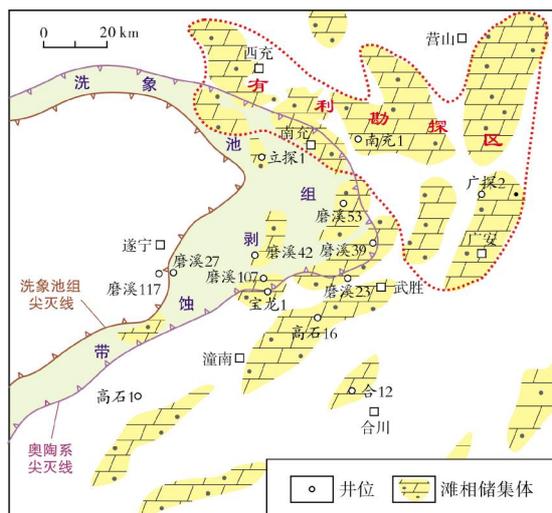


图7 四川盆地中部地区洗象池组有利储层分布及区带评价图

Fig. 7 Favorable reservoir distribution and zone evaluation map of Xixiangchi Formation in Central Sichuan Basin

4 结论与建议

洗象池组作为四川盆地重要的战略接替领域,目前研究程度较低,本次研究初步取得了4项认识:

(1)洗象池组沉积期为镶边碳酸盐台地沉积环境,自西向东(由陆向海)依次发育混积潮坪、台地、台地边缘、斜坡—盆地。四川盆地整体位于局限台地内部,发育梁平—重庆台洼,台洼两侧发育高能滩相。

(2)洗象池组储层主要发育在洗象池组的中上段,岩性以颗粒白云岩、晶粒白云岩、藻白云岩为主;储集空间主要有溶蚀孔洞、粒间孔、晶间孔与裂缝,孔隙度主要分布在2%~5%之间,平均为3.46%;台内颗粒滩储层厚度为43.75~136 m,平均约为87 m。

(3)储层的形成与分布受沉积相、准同生溶蚀作用与表生岩溶作用共同控制,颗粒滩是储层发育的基础,准同生溶蚀作用是形成主要储集空间的关键,岩溶作用可改善储集性能。

(4)预测台洼两侧合川—广安与南川—石柱一带古地貌高部位为有利滩相储层发育区,西充—广安—潼南地区为有利岩溶储层发育区;指出西充—广安一带为勘探靶区。

洗象池组作为新的勘探层系,研究之路才刚刚起步,今后仍有大量的工作需要开展,特别是川中—川北地区洗象池组岩溶古地貌的刻画,对于厘定加里东期岩溶作用、滩相岩溶储层的分布范围至关重要。

参考文献

- [1] 杜金虎,邹才能,徐春春,等.川中古隆起龙王庙组特大型气田战略发现与理论技术创新[J].石油勘探与开发,2014,41(3): 268-277.
- [2] 邹才能,杜金虎,徐春春,等.四川盆地震旦系—寒武系特大型气田形成分布、资源潜力及勘探发现[J].石油勘探与开发,2014,41(3): 278-293.
- [3] 徐春春,沈平,杨跃明,等.乐山—龙女寺古隆起震旦系—下寒武统龙王庙组天然气成藏条件与富集规律[J].天然气工业,2014,34(3): 1-7.
- [4] 周进高,姚根顺,杨光,等.四川盆地安岳大气田震旦系—寒武系储层的发育机制[J].天然气工业,2015,35(1): 1-9.
- [5] 杨威,谢武仁,魏国齐,等.四川盆地寒武纪—奥陶纪层序岩相古地理、有利储层展布与勘探区带[J].石油学报,2012,33(增刊2): 21-34.
- [6] 赵爱卫.四川盆地及周缘地区寒武系洗象池群岩相古地理研究[D].成都:西南石油大学,2015.
- [7] 李伟,樊茹,贾鹏,等.四川盆地及周缘地区中上寒武统洗象

- 池群层序地层与岩相古地理演化特征[J]. 石油勘探与开发, 2019, 46(2): 226-240.
- [8] 李文正, 周进高, 张建勇, 等. 四川盆地洗象池组储集层的主控因素与有利区分布[J]. 天然气工业, 2016, 36(1): 52-60.
- [9] 王素芬, 李伟, 张帆, 等. 乐山—龙女寺古隆起洗象池群有利储集层发育机制[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(2): 170-174.
- [10] 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国晚寒武世岩相古地理[J]. 古地理学报, 2002, 4(3): 1-10.
- [11] 李皎, 何登发. 四川盆地及邻区寒武纪古地理与构造—沉积环境演化[J]. 古地理学报, 2014, 16(4): 441-460.
- [12] 井攀, 徐芳良, 肖尧, 等. 川中南部地区上寒武统洗象池组沉积相及优质储层台内滩分布特征[J]. 东北石油大学学报, 2016, 40(1): 40-50.
- [13] 林怡, 陈聪, 山述娇, 等. 四川盆地寒武系洗象池组储层基本特征及主控因素研究[J]. 石油实验地质, 2017, 39(5): 610-617.
- [14] 张建勇, 罗文军, 周进高, 等. 四川盆地安岳特大型气田下寒武统龙王庙组优质储层形成的主控因素[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(11): 2063-2074.
- [15] 张秀莲. 碳酸盐岩中氧、碳稳定同位素与古盐度、古水温的关系[J]. 沉积学报, 1985, 3(4): 17-30.
- [16] 周传明, 张俊明, 李国祥. 云南永善肖滩早寒武世早期碳酸盐同位素记录[J]. 地质科学, 1997, 32(2): 201-211.
- [17] 杨捷, 曾佐勋, 蔡雄飞, 等. 贺兰山地区震旦系碳酸盐岩碳氧同位素分析[J]. 科学通报, 2014, 59(4/5): 355-365.
- [18] 曲长胜, 邱隆伟, 杨勇强, 等. 吉木萨尔凹陷芦草沟组碳酸盐岩碳氧同位素特征及其古湖泊学意义[J]. 地质学报, 2017, 91(3): 605-616.
- [19] 任影, 钟大康, 高崇龙, 等. 渝东地区寒武系龙王庙组高分辨率碳酸盐岩碳同位素记录及其古海洋学意义[J]. 地质学报, 2018, 92(2): 359-377.
- [20] 李文正, 张建勇, 郝毅, 等. 川东南地区洗象池组碳氧同位素特征、古海洋环境及其与储集层的关系[J]. 地质学报, 2019, 93(2): 487-500.
- [21] 程绪彬. 四川盆地乐山—龙女寺古隆起震旦、寒武、奥陶系沉积相及储层研究报告[R]. 成都: 四川石油管理局地质勘探开发研究院, 1994.

编辑: 黄革萍

Lithofacies palaeogeography and reservoir characteristics of the Cambrian Xixiangchi Formation in Sichuan Basin

GU Mingfeng, LI Wenzheng, ZOU Qian, ZHOU Gang,
ZHANG Jianyong, LÜ Xueju, YAN Wei, LI Kunyu, LUO Jing

Abstract: Based on the observation of typical outcrops, cores and petrographic thin sections, combined with the experimental analysis data, the lithofacies palaeogeography, reservoir characteristics and their main controlling factors of the Cambrian Xixiangchi Formation in Sichuan Basin were studied. The results show that: (1) The Xixiangchi Formation is developed in the rimmed carbonate platform, and the Sichuan Basin is located in the interior of the limited platform as a whole, with the high-energy shoal facies developing on both sides of the Liangping-Chongqing platform depression; (2) The effective reservoirs are mainly developed in the middle and upper part of Xixiangchi Formation, dominated by grain dolomite, crystalline dolomite and algae dolomite. The reservoir spaces are consisted of dissolution pore, intergranular pore, intercrystalline pore and fracture, with porosity mostly at the range of 2%~5% and the average of 3.46%. (3) The formation and distribution of reservoirs are controlled by sedimentary facies, penecontemporaneous dissolution and supergene karstification. Reservoirs are mainly developed in the higher part of paleogeomorphology, and in the upper part of upward-shallowing cycle of sea water, and near the pinchout line of Ordovician. It is predicted that the areas of Hechuan-Guang'an and Nanchuan-Shizhu, as the high parts of palaeogeomorphology at the both sides of Liangping-Chongqing platform depression, are the favorable shoal reservoir zones, and Xichong-Guang'an-Tongnan area is the favorable karst reservoir zone. It is concluded that the Xichong-Guang'an area is the main target zone of natural gas exploration in the future.

Key words: lithofacies palaeogeography; granular shoal; karstification; reservoir; carbonate rock; Xixiangchi Formation; Sichuan Basin

GU Mingfeng, First author: MSc, Engineer, mainly engaged in carbonate reservoir research and seismic prediction. Add: PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology, No. 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang 310023, China

LI Wenzheng, Corresponding author: MSc, Engineer, mainly engaged in the research of carbonate sedimentary and reservoir. Add: PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology, No. 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang 310023, China