

鄂尔多斯盆地南缘中寒武统张夏组鲕粒滩相 储层特征及主控因素

李维岭^{1,2}, 周进高^{1,2}, 吴兴宇^{1,2}, 吴东旭^{1,2}, 王少依^{1,2}, 丁振纯^{1,2}, 于洲^{1,2}

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

摘要 鄂尔多斯盆地寒武系深层具有良好的勘探潜力,中寒武统张夏组为寒武系勘探的重要目的层系。通过野外剖面详测和岩心、薄片观察及实验分析,对张夏组储层的特征、成因及主控因素进行了分析和研究,并预测了有利储层发育区。研究表明:①张夏组主要发育台缘鲕粒白云岩和台内鲕粒白云岩2类储层。②台缘带鲕粒滩累计厚度集中在50~300 m之间,鲕粒粒径平均为1.25 mm,鲕粒白云岩储集空间以溶蚀孔洞、粒间溶孔和晶间(溶)孔为主,平均测井孔隙度和渗透率分别为2.0%和 $0.038 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。③台内鲕粒滩厚度在50~120 m之间,鲕粒粒径平均为0.85 mm,鲕粒白云岩储集空间以溶蚀孔洞、粒间溶孔为主,平均测井孔隙度和渗透率分别为3.3%和 $2.787 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。④张夏组储层受鲕粒滩相、白云石化以及三级/四级层序界面控制,台缘规模有利储层发育在四级海退层序中上部的鲕粒白云岩地层中,台内规模有利储层发育在寒武系顶部不整合面之下的鲕粒白云岩地层中。预测台缘岐山—旬邑一带和台内陇东地区为两大规模有利储层发育区。

关键词 鲕粒白云岩; 储层特征; 主控因素; 张夏组; 寒武系; 鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.2 文献标识码:A

0 前言

鄂尔多斯盆地寒武系深层具有良好的成藏条件和勘探潜力。近年来,相继在盆地西南缘发现了多套富含有机质的规模有效烃源岩^[1-8],上覆的上古生界煤系烃源岩、奥陶系马家沟组烃源岩以及寒武系徐庄组、三道沟组烃源岩均可为其供烃;寒武系顶部不整合面之上的上古生界煤系地层、奥陶系马家沟组泥质碳酸盐岩可作为有效区域盖层;张夏组鲕粒滩、三山子组云坪可以作为良好的储层^[9-13]。然而长期以来,寒武系深层的油气勘探并未取得重大突破,主要原因是勘探程度较低,缺乏沉积、储层、成藏方面的系统研究。目前鄂尔多斯盆地钻遇寒武系的井较少,仅有103口,而且大多是兼探井,这种情况下依然有多口井见气,如陇17井、陇18井见到工业气流,因此鄂尔多斯盆地寒武系深层展现出良好的勘探前景。随着勘探力度的不断加大,寒武系深层碳酸盐岩储层也成为研究热点。

前人的研究表明,寒武系张夏组广泛发育鲕粒滩沉积^[14-21]。张夏组鲕粒滩能否发育规模有效储层,规模有效储层发育受哪些因素控制,是勘探生产亟待解决的地质问题。通过野外剖面详测和岩心、薄片观察及实验分析,对比分析了盆地南缘张夏组台缘、台内鲕粒滩储层的特征,结合测井、地震等资料,对储层主控因素开展研究,并预测出南缘两大规模储层发育区,以期为鄂尔多斯盆地寒武系深层勘探提供依据。

1 构造-沉积背景

鄂尔多斯盆地位于华北板块西缘^[22],其发育受控于周缘洋盆的扩张和消减^[23-24]。盆地东部与华北地区相连,受华北陆表海的影响,它的南部受秦岭洋控制,西南部受古祁连洋控制^[22, 25-32]。区域研究成果表明:前寒武纪冰期结束后,气候开始转暖,此时的华北板块处于Rodinia超大陆裂解所形成的拉张背景下,鄂尔多斯盆地西、南缘为被动大

收稿日期:2020-03-09; 改回日期:2020-10-30

本文受国家科技重大专项下课题“寒武系—中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)共同资助

第一作者: 李维岭, 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号中国石油杭州地质研究院; E-mail: liwl_hz@petrochina.com.cn

陆边缘^[33]。南部秦岭海、西部祁连海的海水由南向北、从西向东逐渐海侵,中寒武世徐庄期—张夏期海侵达到寒武纪的高峰,鄂尔多斯全区基本上为广阔的浅水海域覆盖,形成了大规模的鲕粒滩沉积。

张夏组沉积时期,鄂尔多斯盆地南缘被西部祁连海槽和南部秦岭海槽所环绕(图1),为古陆—地

台—海槽构造古地理格局。前人的研究表明,鄂尔多斯盆地长城系发育一系列大致北东向展布的裂谷^[34-36],平面上具有堑垒相间的构造格局^[20],早期裂谷对中寒武世张夏期海槽的分布范围也有一定的控制作用。徐庄期大面积海侵之后,张夏期开始缓慢海退,盆地地台区为水体较浅的地表海环境,出露镇原古陆。

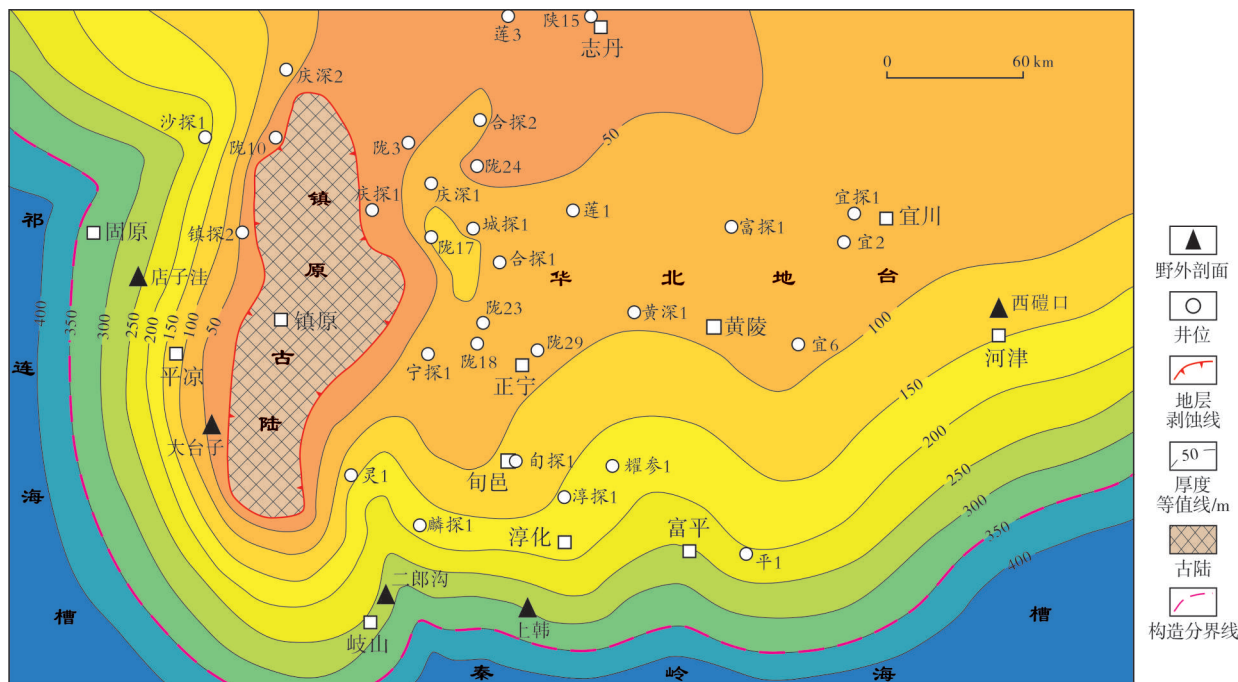


图1 鄂尔多斯盆地南缘张夏组构造-沉积背景与地层厚度等值线图

Fig. 1 Tectonic-sedimentary background and thickness contour of Zhangxia Formation in the southern margin of Ordos Basin

从南缘张夏组残余地层厚度图(图1)来看,盆地中东部地台区地层厚度薄,一般小于150 m;向西部、南部海槽方向地层厚度迅速加厚,一般超过200 m。地层厚度区可以代表海槽发育区域。

2 沉积相分布特征

近十年以来,前人针对鄂尔多斯盆地张夏组沉积相做了一些研究工作,对张夏组构造岩相古地理格局有了初步的认识:有的学者认为张夏期发育局限/开阔台地、台地边缘、斜坡/陆棚—盆地^[14-20],也有学者认为发育开阔台地、缓坡、海槽^[20]。但是,由于这些研究对近年来新的钻井资料、数据尚未采用,而且侧重于岩相古地理整体格局的刻画,对鲕粒滩的刻画以及鲕粒滩分布规律的研究十分薄弱,因此无法满足当前油气勘探的需求。笔者在系统梳理

前人已有成果认识的基础上,进一步通过露头、最新的钻井资料、测井岩性解释资料的研究,结合地层厚度、主要岩性百分比等单因素分析方法,来恢复鄂尔多斯盆地南缘寒武纪张夏期构造岩相古地理。

研究认为,盆地南缘寒武系张夏组主要发育剥蚀古陆、局限台地、台地边缘、斜坡、盆地相(图2)。西部发育镇原古陆,由前寒武纪变质白云岩、变质砂岩组成,寒武纪无沉积。局限台地相分布较为广泛,为中东部的主要沉积相类型,岩性主要以薄层粉晶白云岩、鲕粒白云岩为主,石灰岩很少分布;发育较多的台内鲕粒滩沉积,滩体沿古陆边缘近南北向或北东向展布,滩体厚度较薄,累计厚度一般小于100 m。台地边缘主要分布在盆地西缘固原东部至平凉一带的狭长地带,以及盆地南缘岐山—黄陵

南部一带和富平—河津一带,其中南缘岐山—黄陵南部一带的台缘鲕粒滩以深灰色厚层鲕粒白云岩夹粉—细晶白云岩为主,富平—河津一带的台缘鲕粒滩岩性以灰色厚层鲕粒灰岩为主,夹泥—粉晶灰岩。台缘带鲕粒白云岩/灰岩发育较厚,累计厚度一般超

过 150 m,鲕粒间多为亮晶胶结,反映较强的水动力条件。斜坡、盆地相主要分布在盆地西部及南部,沿固原—平凉西部—岐山南部—河津南部分布,岩性以深灰色泥晶灰岩、泥质灰岩夹灰质泥岩为主,其分布反映古祁连洋及古秦岭洋的海槽范围。

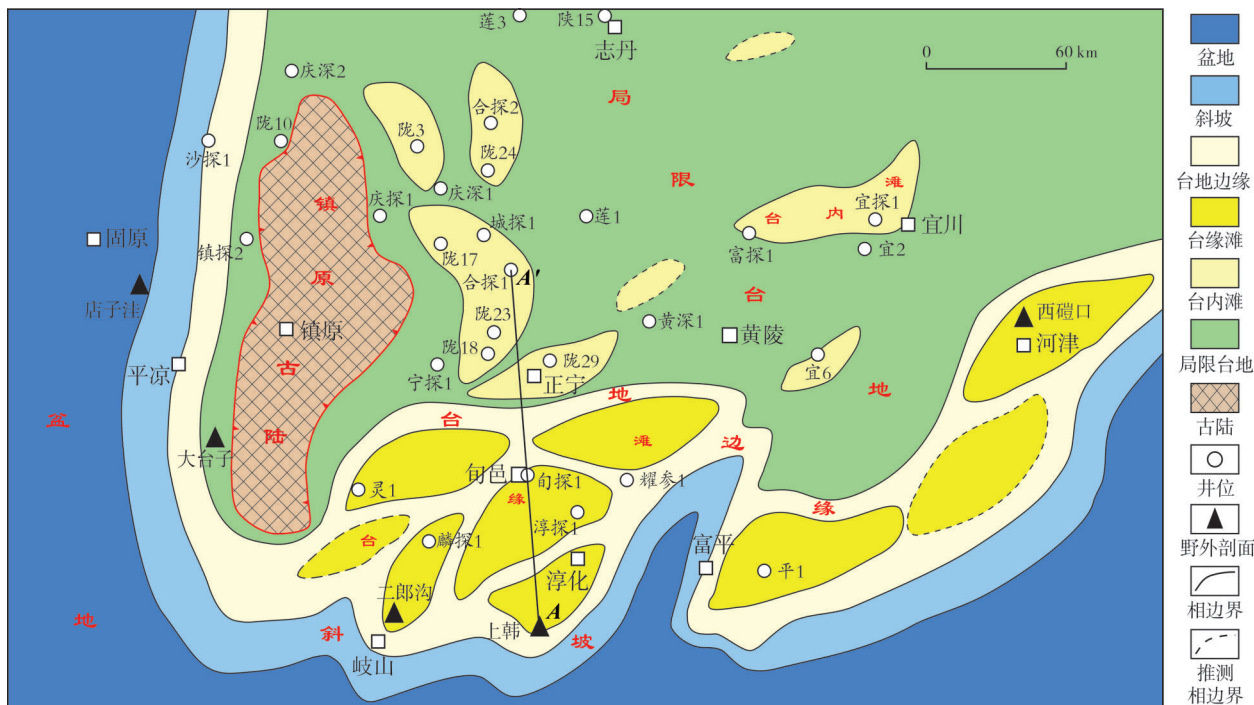


图2 鄂尔多斯盆地南缘张夏组沉积相图

Fig. 2 Sedimentary facies of Zhangxia Formation in the southern margin of Ordos Basin

3 鲕粒白云岩储层特征

纵向上,研究区张夏组发育1个三级层序,4个四级海退层序旋回,四级海退层序旋回中上部发育鲕粒滩沉积。以麟探1井为例(图3),该井位于鄂尔多斯盆地西南部,井深4 570 m,张夏组地层钻厚157.8 m,底部与徐庄组深灰色泥质灰岩、灰质泥岩整合接触,顶部与三山子组深灰色泥质白云岩整合接触。从沉积旋回看,麟探1井发育4个四级海退层序旋回。自下向上,第1个旋回由一段褐灰色白云质灰岩组成,为云灰质滩间海沉积,厚度约为41 m。第2个海退旋回底部为深灰色—灰黑色含泥白云岩、粉晶白云岩,为云灰质滩间海沉积,厚度约为16 m;顶部为2套深灰色—灰色厚层鲕粒白云岩夹同色灰质白云岩、泥质白云岩,总厚度约为20 m,为台缘鲕粒滩沉积。第3个海退旋回底部为深灰色—灰

黑色粉晶白云岩,厚度约为10 m,含泥纹层发育,为云灰质滩间海沉积;顶部发育深灰色厚层(残余)鲕粒白云岩,为台缘鲕粒滩沉积。第4个海退旋回底部为灰黑色粉晶白云岩夹泥质白云岩,厚度约为27 m,为滩间灰云坪沉积;顶部为深灰色—灰黑色鲕粒白云岩,夹少量含灰白云岩、粉晶白云岩,厚度约为22 m,为台缘鲕粒滩沉积。总体上,麟探1井处于华北地台陆缘附近,张夏组鲕粒滩累计厚度较大,早期以潮坪沉积为主,中后期鲕粒滩发育。这些厚层滩体,主要发育在第2至第4个海退旋回的顶部,通过准同生或后期溶蚀作用,形成优质储层。

野外露头、岩心、薄片观察与实验分析对比表明:盆地南缘张夏组发育台缘鲕粒白云岩、台内鲕粒白云岩两类有利储层,这两类储层在储层岩性、储集空间类型、物性、鲕粒滩厚度、白云石化程度等5个方面存在明显差异。

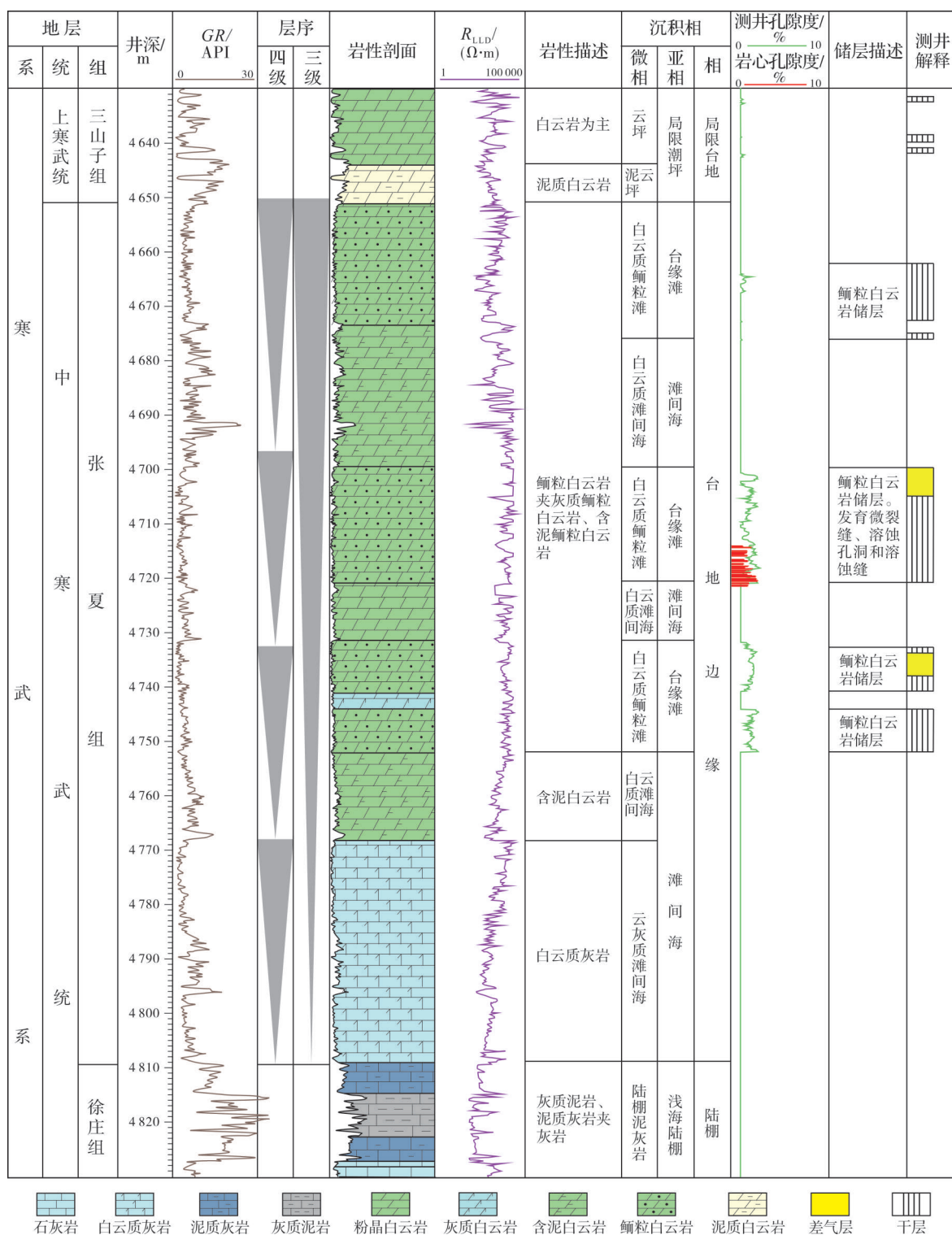


图3 鄂尔多斯盆地南缘麟探1井张夏组层序-沉积-储层综合柱状图
Fig. 3 Sequence-sedimentary-reservoir comprehensive column of Zhangxia Formation of Well LT1 in the southern margin of Ordos Basin

3.1 岩性特征

盆地南缘张夏组野外及钻井薄片资料统计显示,台缘、台内储层岩性均以(残余)鲕粒白云岩为

主,粉细晶白云岩、砂屑白云岩、生物碎屑白云岩中储层很少发育。台缘、台内发育的鲕粒白云岩比例相近,台缘白云岩中鲕粒白云岩占比为71.4%,台内白云岩中鲕粒白云岩占比为79.0%(图4)。

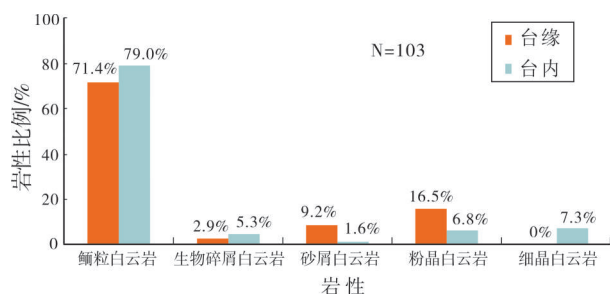


图4 鄂尔多斯盆地南缘张夏组各类白云岩比例

Fig. 4 Proportion of various types of dolomite of Zhangxia Formation in the southern margin of Ordos Basin

台缘鲕粒白云岩与台内鲕粒白云岩的岩石结构存在一定的差异。对野外样品、岩心及薄片中的鲕粒粒径进行统计,结果显示:台缘滩鲕粒粒径为0.03~2.25 mm,平均为1.25 mm;台内滩鲕粒粒径

为0.03~1.55 mm,平均为0.85 mm。台缘鲕粒粒径值分布范围较台内广,平均值较台内大,这说明台缘带鲕粒沉积期处于更为强烈和动荡的水体环境之中,而台内鲕粒沉积环境能量较台缘弱且相对稳定。

3.2 储集空间特征

盆地南缘张夏组台缘与台内鲕粒滩储层的储集空间均以次生溶孔为主,其中台缘鲕粒滩主要发育溶蚀孔洞、粒间溶孔、晶间(溶)孔(图5a—5c),台内鲕粒滩主要发育溶蚀孔洞、粒间溶孔(图5d—5f)。由于台缘带白云石化程度超过台内,因此台缘鲕粒滩白云石晶体结晶程度较高,储层中晶间(溶)孔相较台内更发育。

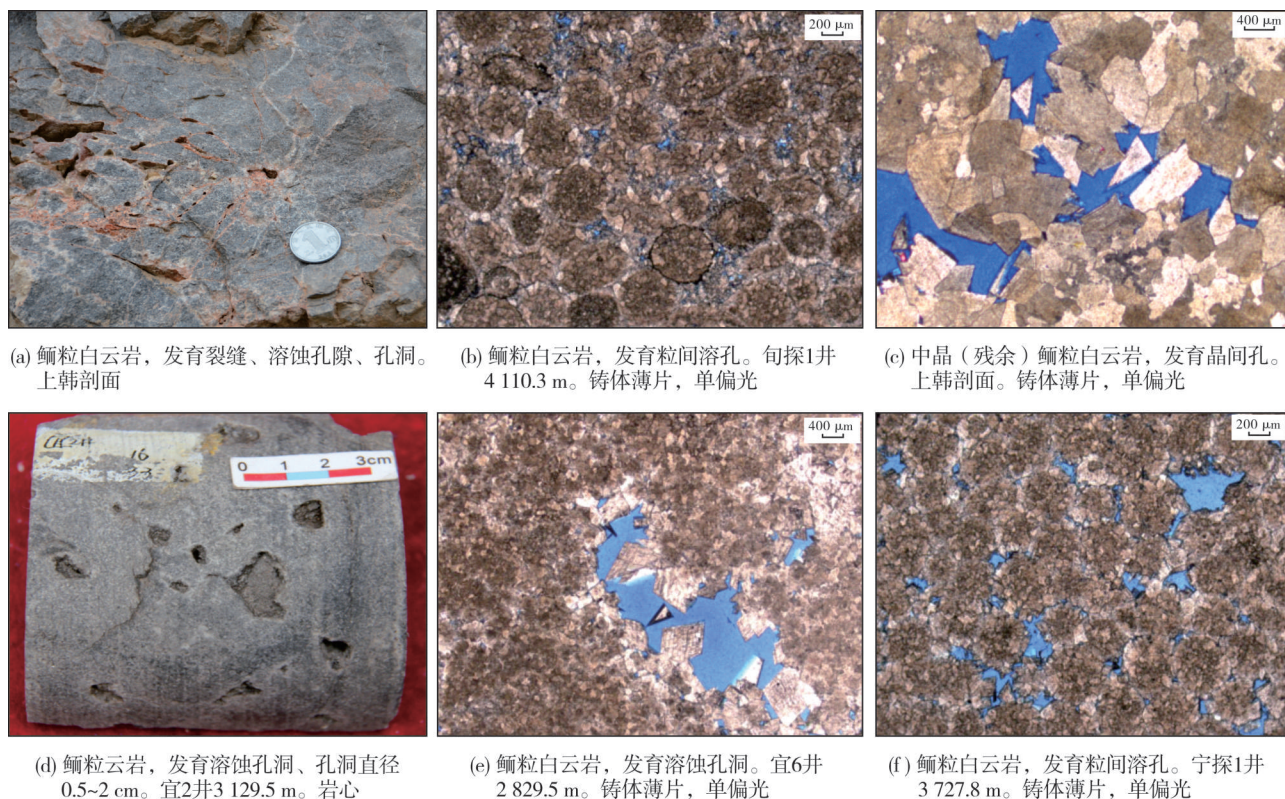


图5 鄂尔多斯盆地南缘张夏组鲕粒白云岩储层储集空间特征

Fig. 5 Reservoir space characteristics of oolitic dolomite of Zhangxia Formation in the southern margin of Ordos Basin

3.3 物性特征

对研究区台缘、台内测井孔隙度大于1%的储层段进行了统计(表1),结果表明:台缘鲕粒白云岩储层测井孔隙度介于1.0%~6.3%,平均为2.0%,渗透率介于 $(0.001\sim0.467)\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.038\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;台

内鲕粒白云岩储层测井孔隙度介于1.0%~18.6%,平均为3.3%,渗透率介于 $(0.002\sim25.853)\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $2.787\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。台缘和台内其他岩石的物性均较差,平均孔隙度小于1.4%,平均渗透率小于 $0.314\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。因此,鲕粒白云岩物性最好,张夏组储层主要发育于鲕粒白云岩之中。

表1 鄂尔多斯盆地南缘张夏组测井物性统计表(N=1 696)

Table 1 Logging physical property of Zhangxia Formation in the southern margin of Ordos Basin(N=1 696)

储层	测井孔隙度/%			测井渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
台缘鲕粒白云岩	6.3	1.0	2.0	0.467	0.001	0.038
台内鲕粒白云岩	18.6	1.0	3.3	25.853	0.002	2.787
台缘其他岩性	1.9	1.0	1.3	0.311	0.001	0.023
台内其他岩性	2.3	1.0	1.4	1.128	0.001	0.314

3.4 鲕粒滩厚度

利用岩性录井、野外实测等资料,统计了盆地南缘张夏组鲕粒滩厚度,结果显示:台缘带鲕粒滩累计厚度集中在50~300 m之间,台内鲕粒滩厚度在50~120 m之间。可见台缘带鲕粒滩厚度明显大于台内。

在单个四级层序旋回内,台缘带鲕粒滩厚度也大于台内。前期研究表明,张夏组发育1个三级层序、4个四级层序旋回,鲕粒滩发育在海退旋回的中上部(图3)。对比台缘带和台内单个四级层序旋回的厚度,台缘带为50~90 m,台内为30~60 m,台缘带厚

度较大(图6)。由于海退旋回的中上部鲕粒滩较为发育,因此推断在单个四级层序旋回内,台缘带鲕粒滩厚度大于台内。

3.5 白云石化程度

基于测井解释、野外露头实测等资料,采用单因素分析综合作图方法,绘制了鄂尔多斯盆地南缘张夏组白云岩厚度等值线图。结果显示,台缘带西段(耀参1井以西)白云岩厚度主要集中在50~200 m之间,台内白云岩厚度集中在0~100 m范围内,台缘带东段(耀参1井以东)基本未白云石化(图7)。

薄片资料统计显示:台缘带白云岩中,粉晶、细晶、中晶和粗晶白云石所占的比例分别为45.2%、37.7%、9.4%和7.8%;台内白云岩中,相应比例分别为60.0%、38.4%、1.6%和0%(图8)。台缘带白云石矿物中的中晶和粗晶的比例远大于台内,可见台缘带白云岩中白云石的结晶程度更高。

盆地南缘张夏组台缘带、台内储层在沉积、埋藏过程中,经历了不同的沉积环境、成岩环境和孔隙演化过程,因此台缘带、台内储层特征才会出现这5种较为明显的差异。这些特征差异,也反过来佐证了张夏组台缘带的存在。

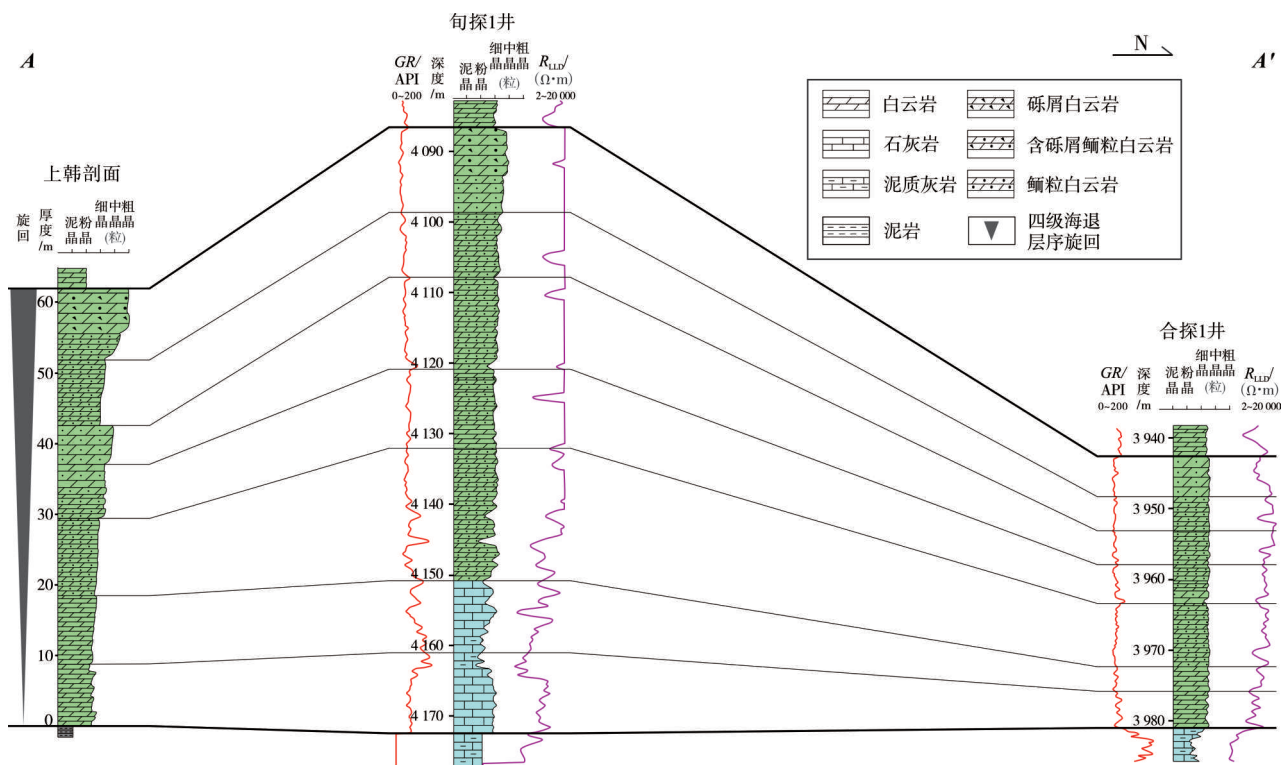


图6 鄂尔多斯盆地南缘张夏组四级海退层序旋回对比(剖面位置见图2)

Fig. 6 Comparison of fourth-order regressive sequence cycles of Zhangxia Formation in the southern margin of Ordos Basin (location is shown in Fig. 2)



图7 鄂尔多斯盆地南缘张夏组白云岩厚度等值线图

Fig. 7 Contour map of dolomite thickness of Zhangxia Formation in the southern margin of Ordos Basin

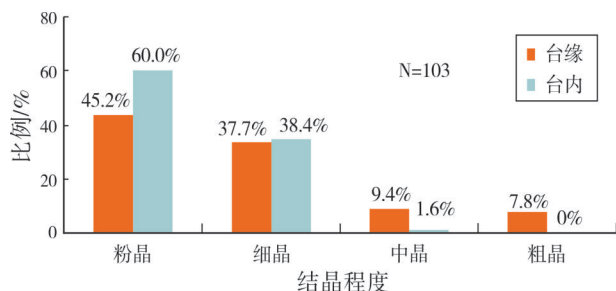


图8 鄂尔多斯盆地南缘张夏组不同结晶程度白云石矿物比例

Fig. 8 Proportion of dolomites with different crystallinity of Zhangxia Formation in the southern margin of Ordos Basin

4 储层发育主控因素

盆地南缘张夏组台缘鲕粒白云岩、台内鲕粒白云岩可以形成规模有效储层,规模有效储层的发育受鲕粒滩相、白云石化和层序界面的控制。

4.1 鲕粒滩相

鲕粒滩相是储层发育的有利相带。张夏组储层的主要岩性为鲕粒白云岩(图4),主体由浑圆、次圆形鲕粒构成的鲕粒滩沉积,具有良好的孔隙空间和渗透性,沉积期鲕粒滩良好的储集物性,为现今的鲕粒白云岩储层的形成奠定了良好的物质基础。对张夏组岩心、野外样品的统计显示,无论台缘带还是台内的有效储层,都发育在鲕粒白云岩中。

4.2 白云石化

白云石化作用是孔隙保存的关键因素。研究区张夏组台缘、台内鲕粒滩沉积时期,经历了渗透回流白云石化作用,形成的白云石具有抗压实作用的能力,为白云石化程度较高的台缘带西部鲕粒滩原生粒间孔隙的保存起到积极作用。从单井上看,在同一四级层序旋回的鲕粒滩中,白云石化程度越高,孔隙度越高,而石灰岩中孔渗层不发育(图3)。

4.3 层序界面

三级/四级层序界面控制储层发育位置。台缘鲕粒白云岩储层受四级层序界面控制,台内鲕粒白云岩储层受三级层序界面控制。

4.3.1 台缘鲕粒白云岩储层受四级层序界面控制

台缘鲕粒白云岩储层受四级层序界面控制,孔隙层发育在四级海退层序旋回的中上部(图3)。在四级海退旋回中上部,准同生溶蚀孔隙得到保存,发育溶蚀孔洞(图5a)、粒间溶孔(图5b)、晶间孔(图5c)。

碳、氧同位素分析表明:台内鲕粒白云岩 $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$ 值基本在同期海水的范围内;台缘鲕粒白云岩样品 $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$ 值受到大气淡水的影响,明显偏负(图9a)。锶同位素分析表明:台内鲕粒白云岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值分布在同期海水的范围内;台缘鲕粒白云岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值可能受到大气淡水锶的影响,大部分样品偏正(图9b)。

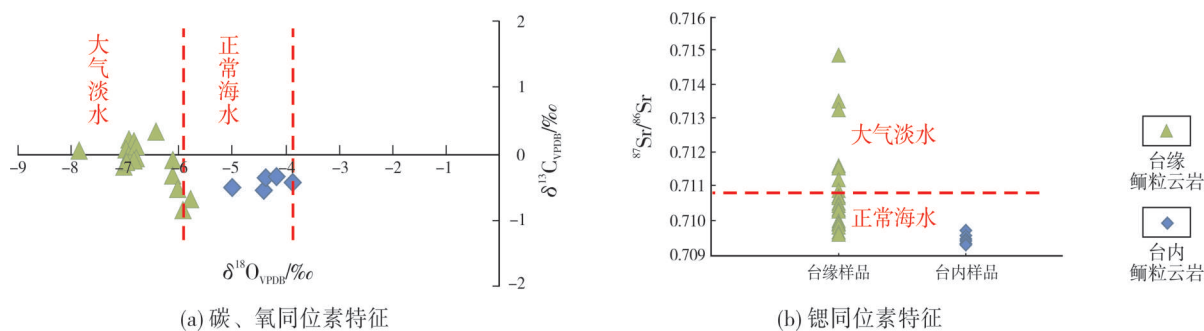


图9 鄂尔多斯盆地南缘张夏组鲕粒白云岩储层碳、氧和锶同位素特征

Fig. 9 Carbon, oxygen and strontium isotopic characteristics of oolitic dolomite reservoir of Zhangxia Formation in the southern margin of Ordos Basin

4.3.2 台内鲕粒白云岩储层受三级层序界面控制

台内鲕粒白云岩储层受三级层序界面控制,孔隙层发育在寒武系顶不整合面之下。准同生期,台内鲕粒滩间歇性暴露溶蚀,四级层序旋回顶部形成少量溶蚀孔隙。寒武纪末期,张夏组处于晚表生期,中央古隆起抬升剥蚀(图2),张夏组台内鲕粒白云岩大规模暴露溶蚀,构造裂缝的大量发育为晚表生期大气淡水溶蚀改造创造条件(图5d),不整合面之下发育溶缝伴生的溶蚀孔隙、孔洞(图5d,5e)。

台内鲕粒白云岩储层受不整合面的控制明显,平面上发育在不整合面剥蚀区域附近,纵向上发育在不整合面之下,发育与构造裂缝伴生的溶蚀孔

隙、孔洞。以镇原古陆东部,即陇东地区为例,寒武系顶部不整合面之下张夏组储层发育,陇17井获工业气流。

台缘鲕粒滩的发育程度和白云石化程度均高于台内,但由于台内镇原古陆及周缘处于古地貌高部位,受岩溶改造强烈,而处于盆地南缘的台缘处于古地貌低部位,溶蚀作用较弱,因此台内鲕粒白云岩储层的性质优于台缘鲕粒白云岩储层(表1)。

5 规模有利储层分布区

通过叠合鲕粒滩分布区(图2)、白云岩分布区(图7)与张夏组顶部不整合范围,预测出盆地南缘张夏组两大规模有利储层分布区(图10)。

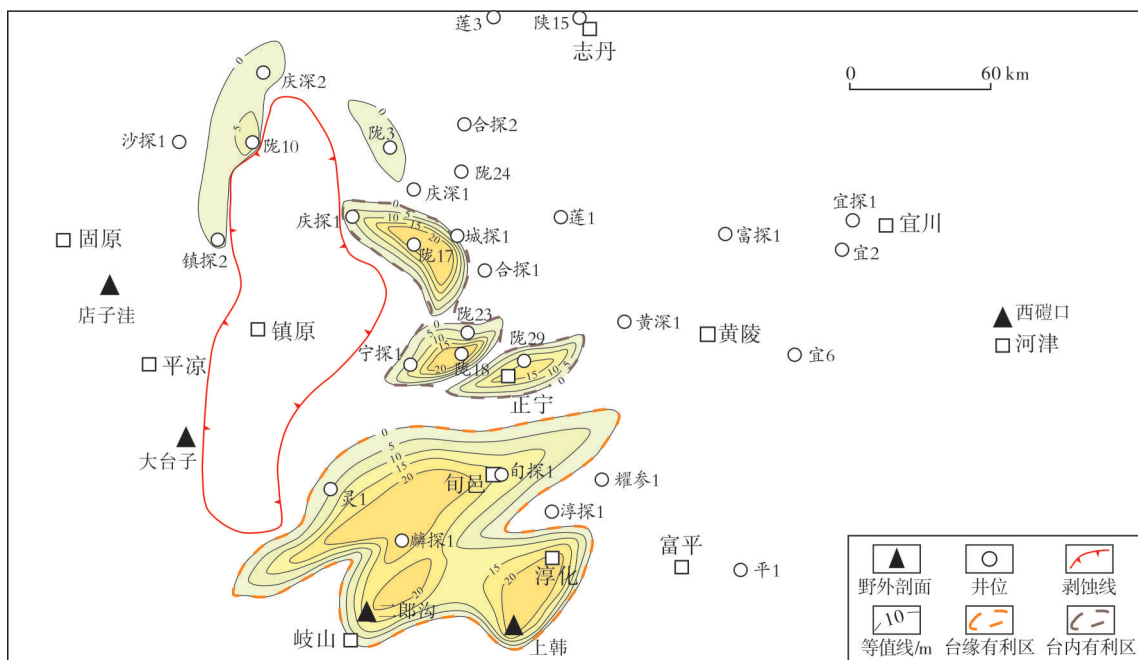


图10 鄂尔多斯盆地南缘张夏组储层厚度等值线图

Fig. 10 Contour map of reservoir thickness of Zhangxia Formation in the southern margin of Ordos Basin

台缘带有利储层分布在岐山—旬邑一带(图10下部桔黄色虚线范围),分布面积为9 332 km²;台内有利储层分布在陇东地区(图10上部褐色虚线范围),分布面积为3 205 km²。

6 结 论

(1)鄂尔多斯盆地南缘张夏组主要发育台缘鲕粒白云岩、台内鲕粒白云岩2类储层,这2类储层在岩性、储集空间、物性、鲕粒滩厚度、白云石化程度等5个方面具有明显差异,体现了台缘、台内鲕粒滩经历了不同的沉积环境、成岩环境和孔隙演化过程。

(2)台缘带、台内规模有效储层的发育受鲕粒滩相、白云石化和层序界面3大因素的控制。台缘规模有利储层发育在四级海退层序中上部的鲕粒白云岩地层中;台内规模有利储层受三级层序界面控制,发育在寒武系顶部不整合面之下的鲕粒白云岩地层中。

(3)台缘鲕粒滩的发育程度和白云石化程度均高于台内,但由于台内镇原古陆及周缘处于古地貌高部位,受岩溶改造强烈,而处于盆地南缘的台缘处于古地貌低部位,溶蚀作用较弱,因此台内鲕粒白云岩储层的性质优于台缘鲕粒白云岩储层。

(4)盆地南缘张夏组发育两大规模有利储层发育区:台缘带有利储层分布在岐山—旬邑一带,分布面积为9 332 km²;台内有利储层分布在陇东地区,分布面积为3 205 km²。

参 考 文 献

- [1] 戴金星,刘德良,曹高社.华北陆块南部下寒武统海相泥质烃源岩的发现对天然气勘探的意义[J].地质论评,2003,49(3):322-329.
- [2] 廖英泰,李风勋,杨玉玺,等.南华北南缘下寒武统优质海相烃源岩初探[J].石油地质与工程,2010,24(4):26-28.
- [3] 闫相宾,周小进,倪春华,等.华北—东北地区海相层系烃源特征与战略选区[J].石油与天然气地质,2011,32(3):448-460.
- [4] 倪春华,周小进,王果寿,等.鄂尔多斯盆地南缘平凉组烃源岩沉积环境与地球化学特征[J].石油与天然气地质,2011,32(1):38-46.
- [5] 朱建辉,吕剑虹,缪九军,等.鄂尔多斯西南缘下古生界烃源岩生烃潜力评价[J].石油实验地质,2011,33(6):662-670.
- [6] 陈启林,白云来,廖建波,等.鄂尔多斯盆地深层寒武系烃源岩展布特征及其勘探意义[J].天然气地球科学,2015,26(3):397-407.
- [7] 廖建波,陈启林,李智勇,等.鄂尔多斯南缘下寒武统烃源岩的发现与意义[J].中国矿业大学学报,2016,45(3):527-534.
- [8] 李伟,涂建琪,张静,等.鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组自源型天然气聚集与潜力分析[J].石油勘探与开发,2017,44(4):521-530.
- [9] 魏魁生,徐怀大,叶淑芬.鄂尔多斯盆地北部下古生界层序地层分析[J].石油与天然气地质,1997,18(2):48-55.
- [10] 段杰.鄂尔多斯盆地南缘下古生界碳酸盐岩储层特征研究[D].成都:成都理工大学,2009:10-11.
- [11] 郑浩夫.鄂尔多斯盆地东南部张夏组和三山子组储层特征研究[D].成都:成都理工大学,2015.
- [12] 郭江南.鄂尔多斯盆地南部三山子组白云岩储层特征研究[D].成都:成都理工大学,2016.
- [13] 郝哲敏.鄂尔多斯盆地寒武系张夏组和三山子组储层形成机理研究[D].成都:成都理工大学,2017.
- [14] 李文厚,陈强,李智超,等.鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理[J].古地理学报,2012,14(1):85-100.
- [15] 刘晓光,陈启林,白云来,等.鄂尔多斯盆地中寒武统张夏组沉积相特征及岩相古地理分析[J].天然气工业,2012,32(5):14-18.
- [16] 陈启林,白云来,黄勇,等.鄂尔多斯盆地寒武纪层序岩相古地理[J].石油学报,2012,33(增刊2):82-94.
- [17] 陈启林,白云来,马玉虎,等.再论鄂尔多斯盆地寒武纪岩相古地理及沉积构造演化[J].吉林大学学报(地球科学版),2013,43(6):1697-1715.
- [18] 陈洪德,钟怡江,许效松,等.中国西部三大盆地海相碳酸盐岩台地边缘类型及特征[J].岩石学报,2014,30(3):609-621.
- [19] 周进高,刘新社,沈安江,等.中国海相含油气盆地构造—岩相古地理特征[J].海相油气地质,2019,24(4):27-37.
- [20] 周进高,席胜利,邓红婴,等.鄂尔多斯盆地寒武系—奥陶系深层海相碳酸盐岩构造—岩相古地理特征[J].天然气工业,2020,40(2):41-53.
- [21] 张春林,张福东,朱秋影,等.鄂尔多斯克拉通盆地寒武纪古构造与岩相古地理再认识[J].石油与天然气地质,2017,38(2):281-291.
- [22] 付金华,郑聪斌.鄂尔多斯盆地奥陶纪华北海和祁连海演变及岩相古地理特征[J].古地理学报,2001,3(4):25-36.
- [23] 王鸿祯.中国古地理图集[M].北京:地图出版社,1985.
- [24] 王传远,段毅,杜建国,等.鄂尔多斯盆地三叠系延长组原油中性含氮化合物的分布特征及油气运移[J].油气地质与采收率,2009,16(3):7-10.
- [25] 王鸿祯,刘本培,李思田.中国及邻区大地构造分区和构造发展阶段[C]//王鸿祯,杨森楠,刘本培.中国及邻区构造古地理和生物古地理.武汉:中国地质大学出版社,1990:3-34.
- [26] 翟光明,宋建国,靳久强,等.板块构造演化与含油气盆地形成和评价[M].北京:石油工业出版社,2002.

- [27] 黄汲清,任纪舜,姜春发,等. 中国大地构造基本轮廓[J]. 地质学报,1977,51(2):117-135.
- [28] 金性春. 板块构造基础[M]. 上海:上海科学技术出版社,1984.
- [29] 黄汲清,任纪舜,姜春发,等. 中国大地构造及其演化:1:400万中国大地构造图简要说明[M]. 北京:科学出版社,1985.
- [30] 赵重远,刘池洋. 华北克拉通沉积盆地形成与演化及其油气赋存[M]. 西安:西北大学出版社,1990.
- [31] 贾承造. 中国中西部前陆盆地的地质特征及油气聚集[J]. 地学前缘,2005,12(3):3-13.
- [32] 白云来,王新民,刘化清,等. 鄂尔多斯盆地西部边界的确 定及其地球动力学背景[J]. 地质学报,2006,80(6):702-813.
- [33] 许效松,刘宝珺,牟传龙,等. 中国中西部海相盆地分析与 油气资源[M]. 北京:地质出版社,2004:168-175.
- [34] 陈友智,付金华,杨高印,等. 鄂尔多斯地块中元古代长城 纪盆地属性研究[J]. 岩石学报,2016,32(3):856-864.
- [35] 管树巍,吴林,任荣,等. 中国主要克拉通前寒武纪裂谷分 布与油气勘探前景[J]. 石油学报,2017,38(1):9-22.
- [36] 王坤,王铜山,汪泽成,等. 华北克拉通南缘长城系裂谷特 征与油气地质条件[J]. 石油学报,2018,39(5):504-517.

编辑:张润合

Characteristics of oolitic shoal reservoir and its main controlling factors of Zhangxia Formation in the southern margin of Ordos Basin

LI Weiling, ZHOU Jin'gao, WU Xingning, WU Dongxu, WANG Shaoyi,
DING Zhencun, YU Zhou

Abstract: The Middle Cambrian Zhangxia Formation is an important target strata for Cambrian oil and gas exploration. Through detailed field outcrop survey, core and petrographic thin section observation and experimental analysis, the characteristics, genesis and main controlling factors of reservoir of Zhangxia Formation are analyzed and studied, and favorable reservoir development areas are predicted. The results show that: (1) Zhangxia Formation mainly develops two types of reservoirs: platform margin oolitic shoal dolomite and intra-platform oolitic shoal dolomite. (2) The cumulative thickness of oolitic shoal in platform margin zone is concentrated in 50~300 m, and the average diameter of oolitic is 1.25 mm. The reservoir space of oolitic dolomite in platform margin is dominated by dissolution pores, intergranular dissolution pores and intergranular (dissolution) pores, and the average logging porosity and permeability are 2.0% and $0.038 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ respectively. (3) The thickness of intra-platform oolitic shoal ranges from 50 m to 120 m, and the average diameter of oolitic is 0.85 mm. The reservoir space of oolitic dolomite in the platform is dominated by dissolution pores and intergranular dissolution pores, and the average logging porosity and permeability are 3.3% and $2.787 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ respectively. (4) The reservoir of Zhangxia Formation is controlled by oolitic shoal facies, dolomitization and third / fourth-order sequence boundary. The favorable reservoir of platform margin is developed in the oolitic dolomite strata in the middle and upper part of fourth-order regressive sequence, and the favorable reservoir of platform interior is developed in the oolitic dolomite strata below the unconformity surface at the top of Cambrian. On this basis, two large-scale favorable reservoir development areas of Qishan-Xunyi area in platform margin and Longdong area in platform interior are predicted.

Key words: oolitic dolomite; reservoir characteristics; main controlling factors; Zhangxia Formation; Cambrian; Ordos Basin

LI Weiling, First author: MSc, Engineer, mainly engaged in sedimentary and reservoir geology of carbonate. Add: Petro-China Hangzhou Research Institute of Geology, No. 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang 310023, China