

都忠建, 倪子尧, 殷楠, 等. 川北古中坳陷飞仙关组鲕粒灰岩沉积分布模式及其油气地质意义[J]. 海洋地质前沿, 2025, 41(6): 68-77.

DU Zhongjian, NI Ziyao, YIN Nan, et al. Sedimentary distribution model and oil & gas geological significance of oolitic limestone in Feixian-guan Formation of the Paleo-Central Depression in Northern Sichuan[J]. Marine Geology Frontiers, 2025, 41(6): 68-77.

川北古中坳陷飞仙关组鲕粒灰岩沉积分布模式及其油气地质意义

都忠建¹, 倪子尧^{2*}, 殷楠³, 胡鳢茹¹, 赵彦舟⁴, 梁斌³, 吴伟²

(1 中国石油玉门油田分公司勘探事业部, 酒泉 735000; 2 中国石油集团测井有限公司地质研究院, 西安 710000;

3 中国石油玉门油田分公司老君庙采油厂, 酒泉 735000; 4 中国石油玉门油田分公司环庆采油厂, 庆阳 745000)

摘 要:四川盆地北部古中坳陷飞仙关组是天然气高产层位, 其中, 白云化鲕粒灰岩是优质储层, 其发育受沉积相的控制。深入研究鲕粒灰岩的沉积特征、分布模式有助于指导该区天然气的勘探与开发。为区分飞仙关组具体的沉积相带, 利用研究区 Q1 井岩石取芯资料, 通过偏光显微镜对岩石薄片进行观察。观察结果表明, 研究区包含 6 类鲕粒, 主要以表鲕、方解石变晶鲕为主, 其次为真鲕、负鲕、白云石变晶鲕以及少量的复鲕。各类鲕粒在不同深度段混杂沉积, 主要富集于泥晶鲕粒灰岩、泥晶含云鲕粒灰岩、亮晶鲕粒灰岩中。鲕粒的产出特征及其镜下特征分析结果认为, 鲕粒沉积于有障壁海岸的台地环境, 其沉积微相包含鲕粒滩、鲕滩生物礁、潮汐通道、生屑滩、潟湖泥和静水泥共 6 类, 其中, 鲕粒见于鲕粒滩、鲕滩生物礁和潮汐通道这 3 类微相中。根据沉积相划分结果, 白云石变晶鲕沉积在开阔台地相带内的浪基面附近, 多富集在泥晶含云鲕粒灰岩中。亮晶鲕粒灰岩包含所有鲕粒类型; 泥晶鲕粒灰岩仅含方解石变晶鲕和负鲕, 可以指示潮汐通道微相, 作为局限台地相的判断标志; 泥晶含云鲕粒灰岩中的变晶鲕均呈白云石变晶特征, 归属于开阔台地相。沉积相的确立有利于还原研究区的古地理环境, 进而判断优质储层的位置, 为测井解释评价和油气开采提供可靠依据。

关键词: 鲕粒灰岩; 台地相带; 古中坳陷; 飞仙关组; 沉积模式

中图分类号: TE122.2; P744.4

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2024.109

0 引言

随着油气勘探技术的不断提高, 近二十年来陆续在四川盆地下三叠统飞仙关组海相碳酸盐岩层系的渡口河、罗家寨、龙岗、普光、黄龙场等以鲕滩储层为主体的区块取得重大勘探突破, 对“川气东送”工程的顺利进行有极大的支撑作用^[1-3]。特别

是近年在四川盆地北部古中坳陷陆续发现了飞仙关组高产气田, 其孔隙型白云化鲕粒灰岩具有厚度大、连片性好、溶蚀孔洞发育等特点, 也证实了其天然气勘探开发潜力^[4]。云化作用可以提高岩石孔隙度且形成较多晶间孔, 是次生储集空间发育的必要条件^[5-6]。据前人对川北飞仙关组储层的研究, 其滩相沉积在横向上相对稳定^[7-8], 许多大型气藏基本都在台地边缘鲕滩区分布^[9-10]。

沉积相与储层有较好对应关系, 可以通过沉积研究预测优质储层的发育及展布规律^[11]。但目前对川北古中坳陷的沉积相研究尚为不足, 本文通过岩芯观察、偏光显微镜镜下薄片观察, 总结鲕粒特征并划分岩石类型, 根据岩石类型及其成因条件推断其所属沉积微相, 结合沉积相带确立区域鲕粒沉积分布模式。当测井资料不足、沉积相带难以区分

收稿日期: 2024-05-11

资助项目: 中国石油天然气股份有限公司项目“四川省四川盆地中部仪陇-营山地区油气勘查”(0200002030130)

第一作者: 都忠建(1991—), 男, 工程师, 从事油气田开发方面的研究工作。E-mail: 510782969@qq.com

* 通讯作者: 倪子尧(1994—), 女, 硕士, 工程师, 从事油藏解释评价方面的研究工作。E-mail: 467859481@qq.com

时, 提供从微观特征入手来还原大局环境的科研手段, 可精准预测鲕滩储层分布、快速推断邻井相带分布、评价油气资源勘探潜力。

1 地质概况

研究区位于四川盆地北部古中拗陷低缓带税家槽构造(图 1), 归为“川东褶皱剥蚀-侵蚀低山丘

陵岭谷区”地貌^[5]。区域岩层的褶皱变形主要受到来自 NE 向大巴山前缘向盆地内的侧压力和川中隆起区北缘的侧压力的挤压作用, 形成了 NW 向的背斜构造^[2], 同时, 受到来自 NE 向的川东南断褶带和 NW 向的苍溪拗陷的水平侧压力的相互作用^[12], 易于形成构造-岩性圈闭。飞仙关组中下部的溶孔鲕粒云岩、灰岩具有较好的孔渗性能, 是区域性的优质储集岩类^[7], 也是本区重要的勘探目的层。

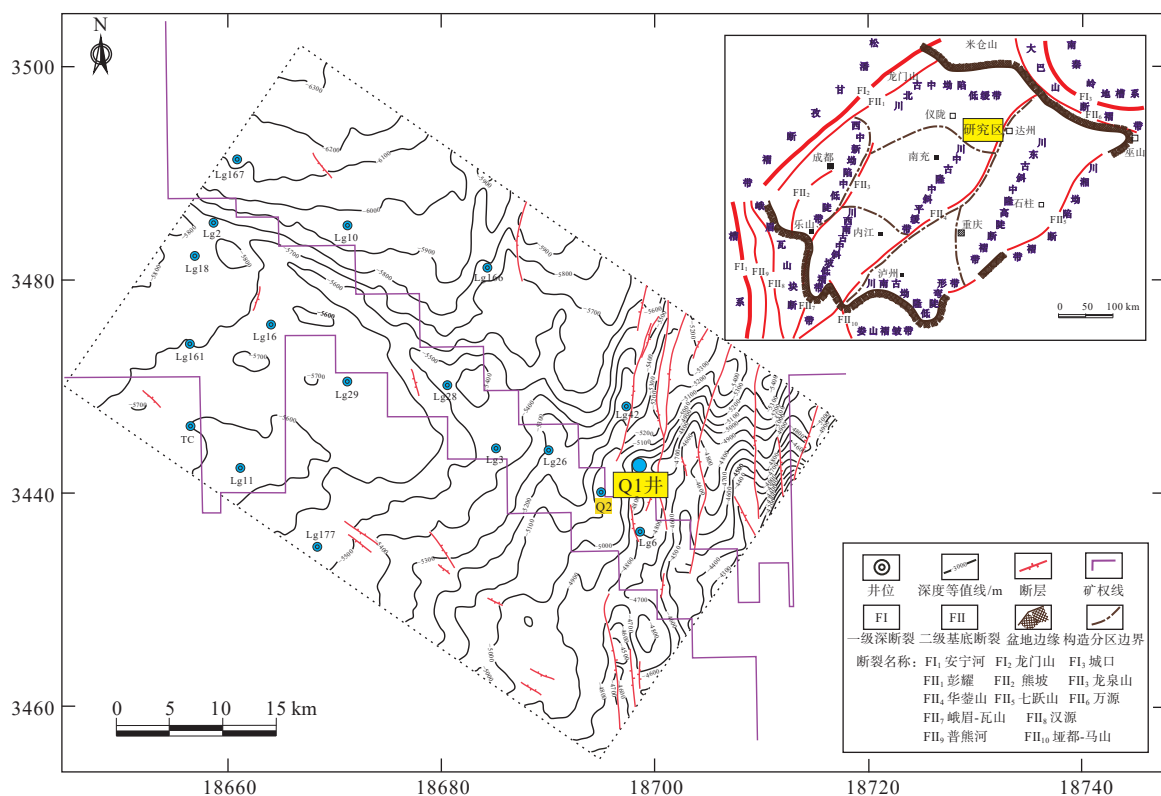


图 1 研究区构造位置及川东北飞仙关组底面构造

Fig.1 Tectono-structural framework of the study area and the bottom structure of the Lower Triassic Feixianguan Formation in the Northern Sichuan

本研究以工区内取芯资料丰富的 Q1 井为对象, 研究目的层位于下三叠系统飞仙关组。飞仙关组顶部飞四段自上而下主要为紫红色夹灰色泥质灰岩、钙质粉砂质泥岩。下部飞三段至飞一段在区内不易区分, 以灰色灰岩和紫灰色泥质灰岩为主。该井在飞三段至飞一段取芯, 岩芯可分为 3 段, 第 1 段深度为 4 935.79~4 944.59 m, 顶部为深灰色粉晶灰岩, 局部见颗粒结构(图 2a), 中上部为灰色泥晶鲕粒灰岩, 含薄层鲕粒, 可见大量生物碎屑, 生物扰动特征明显(图 2b), 到下部泥质含量增加, 为深灰色泥晶灰岩, 微裂隙较发育并被后期的泥质充填, 可见其成层性(图 2c); 第 2 段深度为 4 966.00~4 981.50 m, 顶底层理缝发育, 孔洞不明显, 中上部

为深灰色含云灰岩, 具泥晶结构块状构造, 可见星点状黄铁矿, 发育少量裂隙及缝合线(图 2d), 中下部为灰色泥晶含云鲕粒灰岩, 可见含泥质的裂缝(图 2e), 底部为深灰色含云灰岩, 岩石破碎度较高, 距顶 9.65~10.56 m 见 3 条缝合线, 多处见针孔状气泡, 岩石颜色较浅(图 2f); 第 3 段深度为 5 275.00~5 284.00 m, 以灰黑色泥晶灰岩为主, 具块状构造, 含生物碎屑(图 2g), 中部为深灰色泥晶灰岩夹灰黑色泥质灰岩, 泥质灰岩呈纹层状分布, 含泥较多可见层理构造(图 2h), 底部为灰黑色泥晶灰岩, 成层性明显, 可见微裂隙发育, 并被方解石充填(图 2i), 与下伏的上二叠统长兴组灰褐色生物碎屑灰岩分界明显。

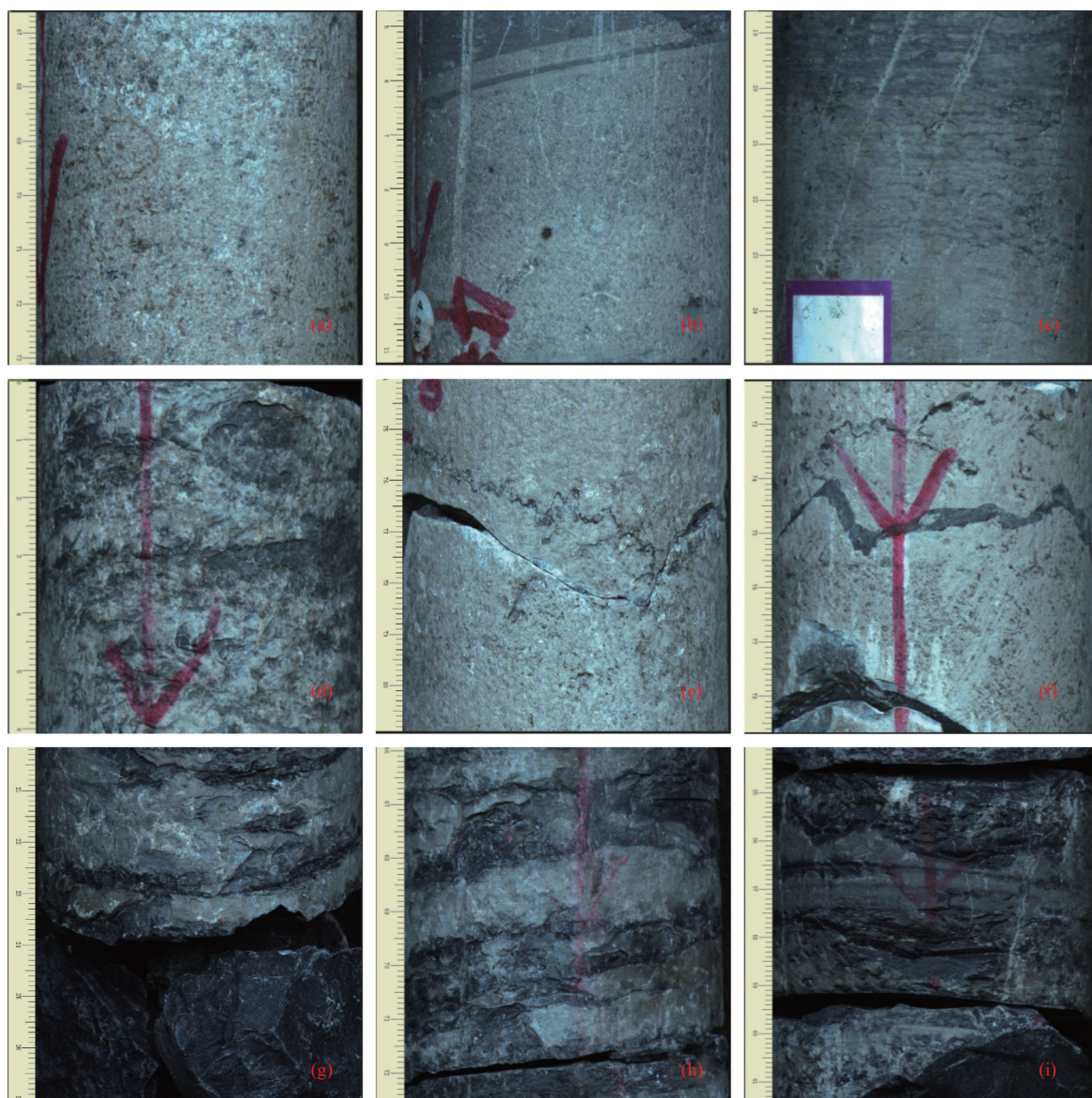


图2 钻井取芯岩石宏观图

Fig.2 Pictures of the drilling core

2 鲕粒灰岩类型特征

Q1 井飞仙关组岩芯采样共获得 48 件样品。通过显微镜下观察,根据鲕粒的形态、成分对其进行分类,结果表明,Q1 井所在区域包含 6 种类型的鲕粒,主要以表鲕、方解石变晶鲕为主,其次为真鲕、负鲕、白云石变晶鲕以及少量的复鲕。根据岩石中鲕粒类型和胶结方式,将 Q1 井飞仙关组鲕粒灰岩分为以下 3 种类型:

(1) 泥晶含云鲕粒灰岩 此类灰岩中鲕粒以白云石变晶鲕为主,含少量表鲕、真鲕和复鲕,具泥晶结构。颗粒间为钙质胶结混合泥质胶结(图 3a),含云化特征,云质含量约为 15%。部分层位含有表

鲕、真鲕和白云石变晶鲕,成层性明显,具泥质条带,颗粒间含砂屑和云化特征,具有典型水体高能带的风暴沉积构造(图 3b)。

(2) 泥晶鲕粒灰岩 此类灰岩中含大量方解石变晶鲕和少量负鲕,鲕粒纹层整体较薄,颗粒间为泥晶充填,见明显颗粒幻影(图 3c)。局部可见变晶表鲕和破碎鲕,破碎鲕可见泥晶进入鲕粒内部,与方解石同时充填鲕粒核心,岩石中见被泥质充填的裂缝(图 3d)。

(3) 亮晶鲕粒灰岩 此类灰岩中的鲕粒类型多样,含大量方解石变晶鲕、白云石变晶鲕、真鲕,部分表鲕、复鲕和少量负鲕,颗粒间为方解石亮晶胶结(图 4a)。有的表鲕以生物碎屑为核心,后期被方解石部分交代,含少量的泥(图 4b);有的核心为

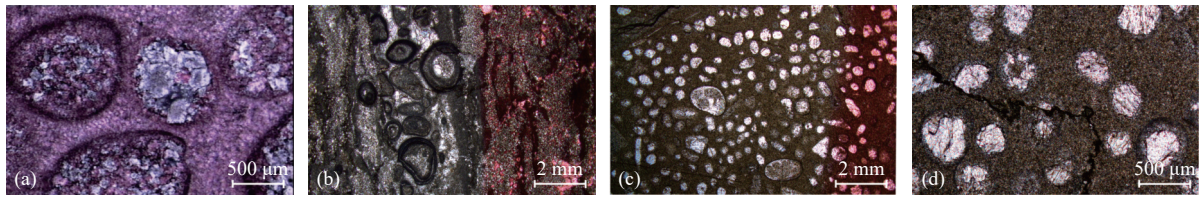


图3 鲕粒灰岩镜下岩石特征

Fig.3 Microscopic photos of the oolitic limestone

粉晶白云石团块,含大量白云石变晶鲕,少量复鲕、真鲕,部分生物碎屑体腔中含白云石晶体,可见大量砂屑(图4c)。偶尔可见大型鲕粒团块,团块内主要为方解石变晶鲕,团块内鲕粒间为钙质胶接和泥

质混合,颗粒间为亮晶胶结(图4d)。此处的鲕粒圈层厚度具有较大差异性,圈层厚的鲕粒与真鲕同时出现,则代表两者是经后期搬运导致的混杂沉积^[12-13]。

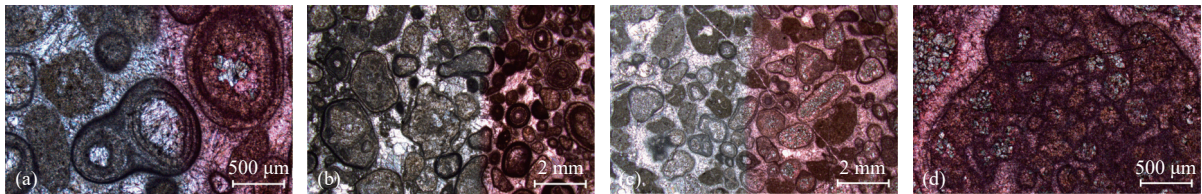


图4 亮晶鲕粒灰岩镜下岩石特征

Fig.4 Microscopic photos of the oolitic sparite

3 鲕粒沉积分布模式

3.1 微相类型识别

通过岩石中鲕粒的产出特征及其镜下特征分析,再结合区域地质特征,认为川北古中坳陷飞仙关组鲕粒沉积于有障壁海岸的台地环境,其沉积微相包含鲕粒滩、鲕滩生物礁、潮汐通道、生屑滩、潟湖泥和静水泥共6类,其中,鲕粒见于鲕粒滩、鲕滩生物礁和潮汐通道这3类微相中。

(1) 鲕粒滩 鲕粒滩是该地区飞三段—飞一段最常见的含鲕粒微相,鲕粒含量5%~60%不等,在各个深度段均可见,岩性表现为亮晶鲕粒灰岩和泥晶含云鲕粒灰岩,部分层位含有大量砂砾(图4a)。鲕粒类型多为方解石变晶鲕、白云石变晶鲕和真鲕,及少量复鲕和负鲕。生物碎屑含量偏低,有的成为鲕粒的核心(图4b)。由于变晶鲕多为表鲕,结合鲕粒类型可推断出其受后期搬运作用,一般在浪基面附近常见此种沉积特征。

(2) 鲕滩生物礁 该种沉积微相的灰岩中含有鲕粒和生物碎屑,且生物碎屑居多,如海百合茎碎片、双壳等,可见生物扰动痕迹存在。鲕粒含量为10%~25%,可见方解石变晶鲕、白云石变晶鲕、真鲕、复鲕和少量负鲕,生物碎屑含量最高可

达70%。岩性规律为靠海的方位常为亮晶鲕粒灰岩,在水体能量更低靠近大陆的位置则为泥晶含云鲕粒灰岩(图3a)。

(3) 潮汐通道 在潮汐通道微相中,鲕粒含量为10%~50%,鲕粒全部呈现出变晶特征。生物碎屑含量较低,见少量泥质条带和充填缝(图3d)。这种特征表明岩石结构或沉积环境经过了从高能转向低能的变化,推断其出现在局限台地水体动荡的潮汐通道相^[13]。

(4) 生屑滩 在生屑滩中岩性为泥晶生屑灰岩,含少量生物碎屑,灰质具泥晶或细粉晶结构,裂缝被泥质充填,不含鲕粒(图5a)。岩石中生物碎屑含量5%~20%,常见为大小不一的海百合茎碎片,大部分的生物碎屑具定向排列的特征。颗粒间为钙质胶接混合大量泥质,可见少量云质和充填缝存在,含泥质条带(图5b)。该微相受风暴作用的影响较大,风暴卷起生物碎屑和泥质,搬运至靠近海平面的位置逐层沉积。

(5) 潟湖泥 主要由泥晶灰岩和泥晶含云灰岩组成。灰质具泥晶结构,其中在部分深度可见少量泥质呈条带状分布。发育微裂缝,裂缝多为灰质亮晶充填。潟湖可能有时受风暴回流的影响,易形成风暴沉积构造^[14]。

(6) 静水泥 该微相中岩性包含泥质云岩和灰质云岩,其中,云岩常具细粉晶结构,多呈自形晶

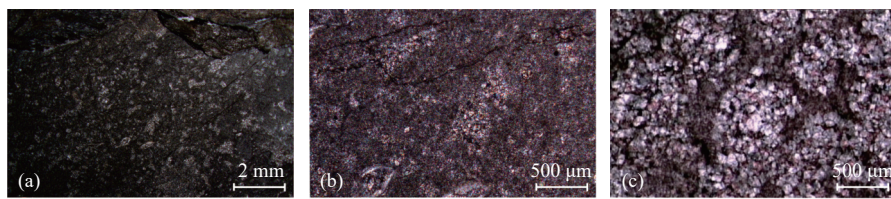


图 5 灰岩镜下岩石特征

Fig.5 Microscope photos of the limestone

形态,在该井中属云质含量最高的微相。颗粒间以泥质胶结为主,未见生物碎屑和鲕粒,仅在 30 号样品的灰质云岩中可见苔藓虫残余结构(图 5c)。

3.2 沉积相带确立

根据川北古中拗陷区 Q1 井飞仙关组的鲕粒灰岩类型,结合鲕粒在地层中的发育分布特征,确立了该地区有障壁海岸台地相带的沉积相划分(图 6)。包含台地边缘生物礁相、台地边缘浅滩相、开阔台地相、局限台地相 4 个相带。通过对研究区沉积相的确立来恢复古地貌,有利于确认台地边缘相等有利相带。

(1) 台地边缘生物礁相 样品 1, 5 401.7~5 280.9 m, 包含生屑滩微相。灰质具细粉晶结构,生物碎屑含量为 5%,岩石粒度较细,不含云质。此处面向广海,水体能量大不利于鲕粒的生成和沉积,同样也不利于云质的生成。

(2) 台地边缘浅滩相 样品 2—15, 5 280.9~4 975.2 m, 包含潟湖泥、生屑滩、鲕粒滩微相 3 种微相。从样品 2 中开始出现云质,从此处海平面降低直到样品 7,岩石中云质含量从 30%~10% 逐渐降低,灰岩中发育微裂缝和少量泥质条带,到接近海平面的位置时则有生物碎屑出现;样品 9—10 的云质含量从 10% 逐渐增加至 45%,表明地势增高,环境又转为干旱,为背斜构造;从样品 11 开始云质含量再次下降至 10%,海拔再次降低到海平面以下的位置有鲕粒和生物碎屑的出现,岩石中泥质含量随之增加。

(3) 开阔台地相 样品 16—40, 4 975.2~4 939.6 m, 包含鲕滩生物礁、鲕粒滩、生屑滩、静水泥 4 种微相。样品 16—22 为含鲕粒相带,包含鲕粒旋回一和二,岩石中砂屑含量和云质含量逐渐降低,生物碎屑含量在样品 19—21 明显增加。此处水体能量较大,整体看海拔逐渐降低向正常浪基面靠近;在样品 22 出现白云石变晶鲕和泥质条带后,样品 23—34 为潟湖泥夹一小段生屑滩微相,岩性为灰岩和云岩交替沉积,云质含量范围为 20%~

60%,在生屑滩附近可见砂泥质互层,生物碎屑成定向排列特征,含苔藓虫残余结构,表明此处受风暴影响而形成局部隆起^[15-16];样品 35—38 为鲕粒旋回三,鲕粒含量由 25% 降低为 10%,生物碎屑含量在亮晶鲕粒灰岩中呈上升趋势,在样品 39 处生物碎屑具定向排列特征,表明其受风浪影响较大,在正常浪基面附近;样品 38—40 属于鲕粒旋回四中,样品 40 仅有白云石变晶鲕,为原地沉积,颗粒间为钙质胶接混合泥质,表明其形成环境水体能量较弱,此种条件下鲕粒纹层很难增厚,仅仅形成表鲕^[17]。

(4) 局限台地相 样品 41—48, 4 939.6~4 865 m, 包含鲕粒滩、潮汐通道、潟湖泥 3 种微相,含完整的鲕粒旋回五。样品 45 指示鲕粒点滩,含方解石变晶鲕和真鲕,颗粒间为钙质胶接,均指示能量环境较强,此处属于背斜构造;在鲕粒滩两侧的样品 44、46—47 为泥晶鲕粒灰岩,颗粒间以泥质胶结为主,表明其沉积环境水体能量较低,但鲕粒却是在动荡水体中才易于生成的变晶鲕粒,表明其环境是从高能转为低能的过程,判定其为潮汐通道微相^[18-19];越靠近样品 48 的位置,灰岩中的砂屑含量增加,生物碎屑和鲕粒含量下降,到样品 48 时岩性变为泥晶灰岩。

此后飞四段均无鲕粒出现,表明从此处开始彻底进入海平面以上,不再有合适的水体环境供鲕粒生成^[20],结合区域地质概况和测井资料判定飞四段发育局限潟湖相。

3.3 鲕粒分布规律

通过沉积相带的确立,结合含鲕粒灰岩的类型,确立了川北古中拗陷飞仙关组飞一段至飞三段台地相鲕粒沉积分布模式(图 7)。根据鲕粒沉积分布模式,综合判定该地区鲕粒沉积具以下规律:

(1) 白云石变晶鲕多沉积在开阔台地相带的正常浪基面附近,可作为浪基面两侧不同相带划分的可靠依据。在浪基面以下的开阔台地相带,水体较深能量偏弱,盐度较高,有利于白云石的生成,属静水泥微相,此微相白云岩含量较高而鲕粒含量较低,

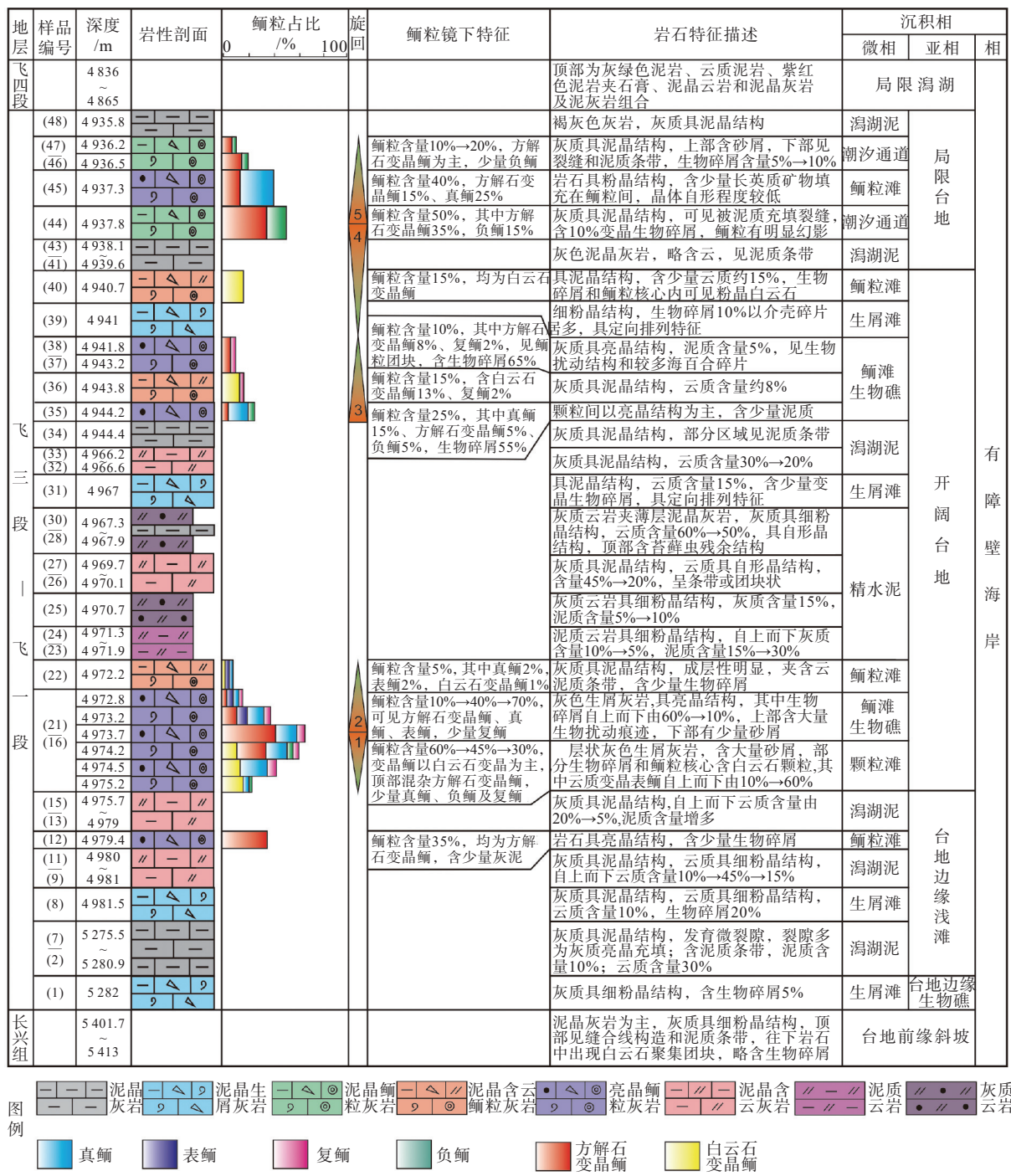


图 6 川北飞仙关组 Q1 井纵向沉积相

Fig.6 Longitudinal sedimentary facies map of Well Q1 in the Feixianguan Formation, Northern Sichuan

是油气储存的优势地带。

(2)亮晶鲕粒灰岩常出现在浪基面和海平面附近。较强的水动力可以带走颗粒间的泥质,同时携生物碎屑而来,与不同类型的鲕粒一起混杂沉积。在靠近台地边缘浅滩的一侧,由于受障积滩影响,岩石中常含较多的砂屑(样品 16—18)。由于生物礁和鲕粒滩相带的沉积物比非礁滩相沉积物具有固结程度高、抗压实能力强的特点,使对应古地貌常具有高地背斜特征,具备形成鲕滩储层的物质基础。

(3)泥晶鲕粒灰岩指示局限台地或潟湖的潮汐通道微相(样品 44、46—47)。岩石中以方解石变晶表鲕为主,部分受后期强变晶作用而成为负鲕,此种鲕粒常生成于水体较为动荡的区域;颗粒间为泥晶胶结,较多的泥质指示安静的沉积环境,表明其环境经历了一个从高能处形成转向低能处沉积的

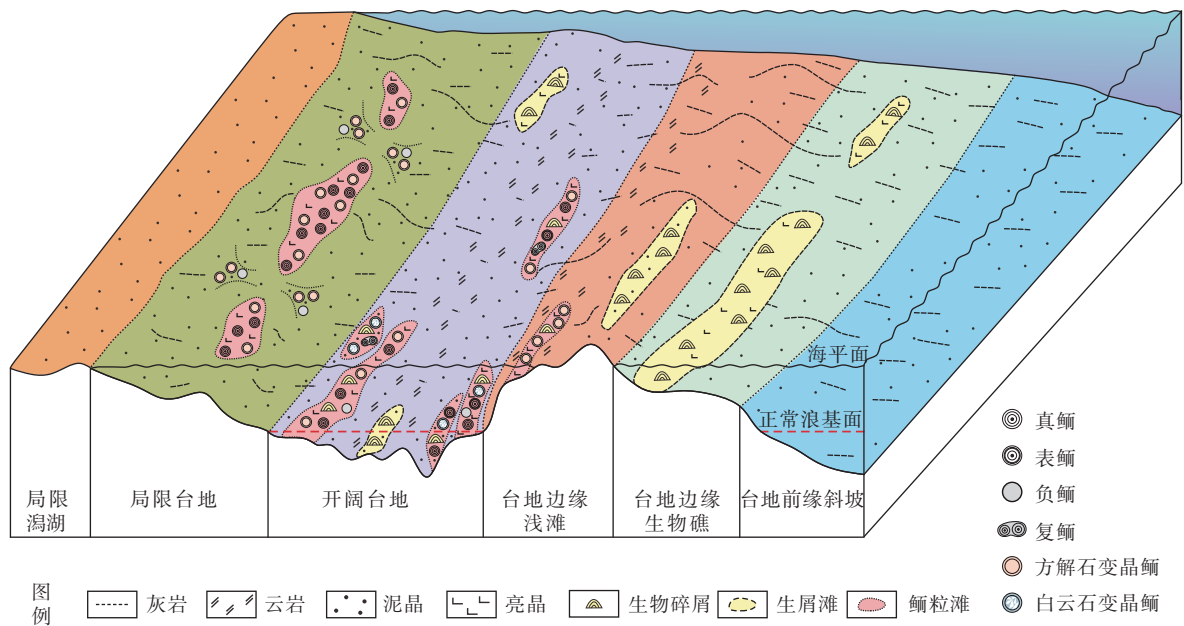


图 7 川北飞仙关组鲕粒沉积分布模式

Fig.7 Distribution pattern of oolites in the Feixianguan Formation in the Northern Sichuan

变化。在岩石中可见成层性沉积造成的泥质条带，也证实了以上观点。

4 油气地质意义

根据沉积相的特点和鲕粒的分布规律可知，白云石变晶鲕可作为正常浪基面的划分标志，即在两段白云石变晶鲕之间为开阔台地相，具有水体安静、云质含量高，颗粒间以泥质胶结为主的特点。在相内靠近海平面的斜坡带因风暴作用导致混杂沉积多种鲕粒，常伴有生物碎屑。而在台地中央则无鲕粒存在，岩石中云质含量 10%~60% 不等。在白云石变晶鲕之上的局限台地相中，由于有台地边缘浅滩的存在，整体水动能适中，泥质含量相对开阔台地相而言含量提高。此处存在大量方解石变晶鲕，方解石含量占岩石主导地位且泥质偏低时，水动能处于适中强度，既不像鲕粒滩一样由于在海平面附近而动力过强，也不像潟湖泥微相一般动力太弱导致泥质偏高。

综上所述，高白云质低泥质的开阔台地相下的

潟湖泥微相中灰质云岩和泥质云岩，以及富含方解石变晶鲕低泥质的局限台地相下潮汐通道微相中的泥晶鲕粒灰岩，为该区域的油气储存优势相带。

Q2 井位于四川盆地古中坳陷低缓带税家槽构造，与 Q1 井属于同一构造区带，利用 Q2 井的测井资料进行对比印证。根据岩屑描述记录，将泥晶灰岩、泥晶鲕粒灰岩、含云灰岩作为重点关注对象。对该井的录井数据进行分析，飞仙关组的气测结果(表 1)与重点关注的岩性有良好对应关系。其中，在 4 932~4 955.8 m 处显示为气侵，对应为泥晶灰岩，由于该岩性处于鲕状灰岩海拔(4 938.39 m)之上，结合区域认识判定此处为局限台地相内的潮汐通道微相，含白云灰岩的不含鲕粒区域(4 962.6~4 973.27 m)为开阔台地相内的潟湖泥微相。

根据上述分析结果，对该井在这 2 个区域内进行测井精细解释，优选出高白云石低泥质以及高方解石低泥质的层段，对应沉积微相和地区鲕粒的分布规律，判定 Q2 井在飞仙关组有 2 段差气层(表 2)。该井在 4 933.6~4 936.5 m 处解释为差气层，对应为局限台地下潮汐通道微相中的泥晶鲕粒

表 1 Q2 井飞仙关组气测显示记录

Table 1 Gas logging record of the Feixianguan Formation in Well Q2

序号	层位/m	井段	岩性	气测显示
1	4 932.00~4 935.79	飞三一飞一段	褐灰色灰岩	气侵
2	4 941.00~4 944.59	飞三一飞一段	灰色灰岩	气测异常
3	4 964.00~4 968.00	飞三一飞一段	褐灰色含云灰岩	气测异常
4	4 975.00~4 981.50	飞三一飞一段	褐灰色含云灰岩	气测异常

表 2 Q2 井飞仙关组测井综合解释成果

Table 2 Comprehensive log interpretation of the Feixianguan Formation in Well Q2

井段/m	厚度/m	孔隙度/%	含水饱和度/%	解释结论	岩性	微相	亚相	相
4933.6~4936.5	2.9	2.0~2.3	19~32	差气层	泥晶鲕粒灰岩	潮汐通道	局限台地	有障壁海岸
4960.0~4973.5	13.5	2.0~2.4	13~17	差气层	泥晶含云灰岩	潟湖泥	开阔台地	

灰岩;在 4 960.0~4 973.4 m 处解释为差气层,对应为开阔台地下潟湖泥微相中的泥晶含云灰岩、含云灰岩。测井解释结论与富油气沉积相对应效果较好,证实了本文利用鲕粒特征推断沉积微相并预测同区域油气优势储层的可行性。

5 结论

(1)川北古中坳陷飞仙关组鲕粒主要富集于泥晶鲕粒灰岩、泥晶含云鲕粒灰岩、亮晶鲕粒灰岩中,常与泥质云岩、灰质云岩、泥晶灰岩伴生。垂向上,鲕粒发育沉积于飞仙关组一段至三段,包含真鲕、表鲕、负鲕、复鲕、方解石变晶鲕和白云石变晶鲕 6 类,其中,以方解石变晶鲕居多。方解石变晶鲕在各沉积相均有分布,常与其他类型鲕粒呈混杂沉积特征;白云石变晶鲕发育沉积在开阔台地相带内的浪基面附近,多富集在泥晶含云鲕粒灰岩中。

(2)基于薄片资料镜下分析的鲕粒和岩性分类结果认为,亮晶鲕粒灰岩常出现在易受风暴影响的浪基面和海平面处,包含所有鲕粒类型;泥晶鲕粒灰岩仅含方解石变晶鲕和负鲕,指示潮汐通道微相,可以作为局限台地相的判断标志;泥晶含云鲕粒灰岩中的变晶鲕均呈白云石变晶特征,归属于开阔台地相。

(3)飞仙关组岩性以灰岩为主,云化程度较弱,组内岩相变化大,整体为薄层状构造。自下而上沉积环境上具有逐渐变浅、变局限的特征。通过相带划分恢复了该地区的古地理概况,对有利古地貌、沉积相带及高能滩发育有利区的预测,有助于提高钻探成功率。在测井解释评价中,基于邻井地质相带资料开展连井分析,为流体性质划分、探明重点层的油气走向和展布情况等勘探开发建议提供有力支持。

参考文献:

[1] 马永生. 四川盆地普光超大型气田的形成机制 [J]. 石油学报, 2007, 28(2): 9-14.
MA Y S. Generation mechanism of Puguang Gas Field in Sichuan Basin[J]. *Acta Petroleum Sinica*, 2007, 28(2): 9-14.

[2] 黄思静, 佟宏鹏, 刘丽红, 等. 川东北飞仙关组白云岩的主要类型、地球化学特征和白云化机制 [J]. 岩石学报, 2009, 25(10): 2363-2372.
HUANG S J, TONG H P, LIU L H, et al. Petrography, geochemical and dolomitization mechanisms of Feixianguan dolomites in Triassic, NE Sichuan, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(10): 2363-2372.

[3] 张新, 梁子锐, 汪建辉. 川东南涪陵地区上二叠统长兴组生物礁特征及分布规律 [J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(4): 23-29.
ZHANG X, LIANG Z R, WANG J H. Distribution of the organic reefs in the Upper Permian Changxing Formation in Fuling area of Sortheastern Sichuan[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2012, 28(4): 23-29.

[4] 张延充, 彭才, 杨雨, 等. 四川盆地飞仙关组高能鲕滩储层地震层序识别 [J]. 天然气工业, 2010, 30(3): 8-11, 125-126.
ZHANG Y C, PENG C, YANG Y, et al. Identification of seismic sequences of high-energy oolitic beach reservoirs in the Feixianguan Formation in the Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(3): 8-11, 125-126.

[5] 刘宝珺, 许效松, 徐强, 等. 东秦岭柞水-镇安地区泥盆纪沉积环境和沉积盆地演化 [J]. 沉积学报, 1990, 8(4): 3-12.
LIU B J, XU X S, XU Q, et al. Devonian sedimentary environment and basin evolution in Zhashui-Zhenan district eastern Qinling, China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1990, 8(4): 3-12.

[6] 吴斌, 肖世洪, 冯明友. 川北地区飞仙关组储层形成与演化分析 [J]. 重庆科技学院学报 (自然科学版), 2014, 16(4): 9-12.
WU B, XIAO S H, FENG M Y. A discussion of Feixianguan reservoir formation and evolution in North Sichuan[J]. *Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2014, 16(4): 9-12.

[7] 侯振学, 王兴志, 宋光建, 等. 川北地区下三叠统飞仙关组优质鲕滩储层成岩演化序列 [J]. 海相油气地质, 2012, 17(3): 18-24.
HOU Z X, WANG X Z, SONG G J, et al. Diagenetic evolution sequence of lower Triassic Feixianguan excellent oolitic beach reservoir in Northern Sichuan Basin[J]. *Marine origin petroleum geology*, 2012, 17(3): 18-24.

[8] SARG J F. The sequence stratigraphy, sedimentology, and economic importance of evaporite-carbonate transitions: a review [J]. *Sedimentary Geology*, 2001, 140(1): 9-34.

[9] 张新, 唐德海, 汪建辉. 古海相致密碳酸盐岩储层描述技术: 以川东南涪陵南部地区飞仙关组三段鲕粒灰岩为例 [J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(9): 60-65.
Reservoir description for marine carbonate rock: a case study of oolitic limestone in 3rd member of Feixianguan Formation in

- south Fuling area of southeast Sichuan[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2017, 33(9): 60-65.
- [10] BOLILA S, GALBRUN B, MILLER K G, et al. On the origin of Cenozoic and Mesozoic “third-order” eustatic sequences[J]. *Earth-Science Reviews*, 2011, 109(3/4): 94-112.
- [11] BAI OUMY H, OMRAN M, FABRITIUS T. Mineralogy, geochemistry and the origin of high-phosphorus oolitic iron ores of Aswan, Egypt[J]. *Ore Geology Reviews*, 2017, 80: 185-199.
- [12] 刘建强. 川东北地区飞仙关组鲕滩分布规律 [D]. 成都: 西南石油大学, 2012.
- Oolitic-shoal distribution pattern of Feixianguan Formation, northeastern Sichuan area[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2012.
- [13] 颜磊. 川北米仓山前缘二叠系—三叠系礁滩相储层特征及发育模式研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2009.
- YAN L. Study on characteristics and development model of Permian-Triassic reef-shallow reservoir in the front edge of Micang mountain, Northern Sichuan Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2009.
- [14] BORCHERT H. Genesis of marine sedimentary iron ores[J]. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, 1960, 69: 261-279.
- [15] KNOX R W O B. Chamosite ooliths from the Winter Gill ironstone(Jurassic)of Yorkshire, England[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1970, 40(4): 1216-1225.
- [16] 许光. 四川盆地东北缘三叠纪构造体制转换与多种能源矿产成藏(矿)特征研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2019.
- XU G. Research on transformation of tectonic framework in the northeast Sichuan Basin on Triassic and its control of multi minerals deposition[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2019.
- [17] LI F, YAN J X, CHEN Z Q, et al. Global oolite deposits across the Permian-Triassic boundary: a synthesis and implications for palaeoceanography immediately after the End-Permian biocrisis [J]. *Earth Science Reviews*, 2015, 149: 163-180.
- [18] 李朋威, 周川闽, 金廷福, 等. 太原西山七里沟剖面本溪组铁质鲕粒成因探讨 [J]. *沉积学报*, 2013, 31(3): 396-403.
- LI P W, ZHOU C M, JIN T F, et al. Origin of the ferriferrous ooids in the Benxi Formation at the Qiligou Section, Taiyuan Xishan[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2013, 31(3): 396-403.
- [19] 倪子尧. 龙门山区甘溪中泥盆统养马坝组铁质鲕粒沉积成因分析 [D]. 成都: 成都理工大学, 2020.
- NI Z Y. Genetic analysis of iron oolitic deposition in the Middle Devonian Yangmaba Formation in Ganxi prolife, Beichuan County, Longmenshan area[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2020.
- [20] 倪子尧, 徐绪东, 陈政安, 等. 龙门山地区北川石沟里泥盆系养马坝组铁质鲕粒沉积及其环境分析 [J]. *沉积学报*, 2019, 37(4): 702-712.
- NI Z Y, XU X D, CHENG Z A, et al. The iron oolitic deposits and environmental analysis of the Devonian Yangmaba Formation in Shigouli prolife, Beichuan county, Longmenshan area[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2019, 37(4): 702-712.

Sedimentary distribution model and oil & gas geological significance of oolitic limestone in Feixianguan Formation of the Paleo-Central Depression in Northern Sichuan

DU Zhongjian¹, NI Ziyao^{2*}, YIN Nan³, HU Xueru¹, ZHAO Yanzhou⁴, LIANG Bin³, WU wei²

(1 Exploration Division, PetroChina Yumen Oilfield Company, Jiuquan 735000, China; 2 Research Institute of Geology, CNPC Logging Ltd., Xi'an 710000, China; 3 Laojunmiao Oil Production Plant, PetroChina Yumen Oilfield Company, Jiuquan 735000, China; 4 Huanqing Oil Production Plant, PetroChina Yumen Oilfield Company, Qingyang 745000, China)

Abstract: The Feixianguan Formation in the Paleo-Central Depression of the Northern Sichuan Basin hosts high-yield quality natural gas reservoirs in the dolomitized oolitic limestone under the control of sedimentary facies. Understanding the sedimentary characteristics and distribution patterns of the oolitic limestone could help guide the exploration and development of natural gas in this area. Specific sedimentary facies zones of the Feixianguan Formation were distinguished using rock core from Well Q1 in the study area via microscopic thin-section observation. Results indicate that the study area contains 6 types of ooids, mainly surface ooids and calcitic-metacrystic ooids, followed by true ooids, “negative ooids” (or hollow ooids due to selective dissolution after oolite formation), dolomitic-metacrystic ooids, and some complex ooids. Various types of ooids were mixed and deposited at different depths, enriched in mainly micritic-oolitic limestone, micritic dolomitic-oolitic limestone, and oolitic sparite. The analysis on the occurrence and microscopic characteristics of ooids suggested that the ooids were deposited in a platform environment with barrier coasts, and their sedimentary microfacies include 6 types: ooid beach, oolitic biological reef, tidal channel, bioclastic beach, lagoon ooze, and stagnant water ooze. Ooids were found in 3 types of microfacies: ooid beach, oolitic biological reef, and tidal channel. Classification of sedimentary facies showed that metacrystic ooids were deposited near wave base in open platform, and enriched mostly in micritic dolomitic-oolitic limestone. The oolitic sparite contains all types of ooids, while the micritic dolomitic-oolitic limestone contains only calcitic-metacrystic oolites and “negative oolites”, indicating tidal channel microfacies and restricted platform facies. The metacrystic ooids in the dolomitic-oolitic limestone are characteristic of dolomitic metacrysts, representing open platform facies. The establishment of sedimentary facies is beneficial for paleogeographic reconstruction of the study area, thereby determining the location of quality productive reservoirs, and providing reliable basis for logging data interpretation and evaluation for effective oil and gas extraction.

Key words: oolitic limestone; platform facies; Paleo-Central Depression; Feixianguan Formation; sedimentary model