

文章编号: 1000-0550(2009) 03-0404-06

# 蜀南地区飞仙关组鲕滩储层成因机制分析<sup>1</sup>

罗冰<sup>1</sup> 谭秀成<sup>1</sup> 刘宏<sup>1</sup> 李凌<sup>1</sup> 夏吉文<sup>2</sup> 邹娟<sup>3</sup> 海涛<sup>4</sup>

(1. 西南石油大学资源与环境学院 成都 610500 2 西南油气田分公司蜀南气矿 四川泸州 646001;  
3 西南油气田分公司川西北气矿 四川江油 621700; 4 中国石油化工集团西北局采油二厂 新疆轮台 841604)

**摘要** 对蜀南地区飞仙关组鲕滩储层的深入研究表明,飞仙关组鲕滩储层储集空间以大气淡水选择性溶蚀形成的铸模孔和粒内溶孔为主,储层发育在滩体中上部,具有明显的层位性。结合沉积期古地貌、海平面升降变化、古气候及成岩演化等储层控制因素分析认为,该区鲕滩储层为早期岩溶成因,早期大气淡水淋溶是针孔鲕粒灰岩储层形成的关键。海底古地貌高地鲕粒滩为储层的形成和发育提供了物质基础,决定了早期孔、渗层的时空分布规律;沉积期古地貌、海平面变化及古气候决定了早期岩溶的强度,控制了储层发育程度。埋藏溶蚀和构造破裂对储层具有一定的优化改造作用,但作用有限。

**关键词** 成因机制 储层 鲕粒滩 飞仙关组 蜀南地区

**第一作者简介** 罗冰 男 1982 年出生 博士研究生 储层沉积学 E-mail: swpilb2001@yahoo.com.cn

**通讯作者** 谭秀成 E-mail: tanxiucheng70@163.com

**中图分类号** P588.2 TE122.2 **文献标识码** A

下三叠系飞仙关组鲕滩气藏是近年来四川盆地碳酸盐岩天然气勘探取得重大突破的领域,已发现罗家寨、渡口河、铁山坡、普光、龙岗等大中型气藏<sup>[1]</sup>。目前飞仙关组已成为四川盆地油气勘探的主要接替层之一<sup>[2]</sup>。飞仙关组天然气勘探的核心是寻找优质鲕滩储层,而储层形成机制研究对储层分布预测和成藏模式研究意义非凡,有助于指导飞仙关组鲕滩气藏勘探,已成为近年来研究的焦点。目前国内外学者对川东北飞仙关组台缘鲕滩相储层的研究取得了重要进展<sup>[3-6]</sup>,对鲕滩储层成因提出了多种认识,其中普遍认为白云石化和埋藏溶蚀成因;而对蜀南地区台内鲕滩储层的研究相对滞后,对储层成因的认识存在较大的分歧,讨论的焦点是埋藏溶蚀和同生期大气淡水溶蚀成因谁为蜀南地区飞仙关组储层形成的关键<sup>[3-5]</sup>,主张埋藏溶蚀成因的观点明显占主导地位,然而,埋藏溶蚀成因的解释是否适合于蜀南地区还有待商榷。因此,本文希望通过对蜀南地区飞仙关组鲕滩储层主控因素和成因机制的研究,能为区内后期的油气勘探及开发提供有益的地质资料。

## 1 概况

蜀南地区位于四川盆地南部,大地构造位置包

括:川东南中隆高陡构造群南部,川南中隆低陡穹形带以及川中古隆中斜平缓构造带南部(图 1),面积约  $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。包括威远、资阳构造及其以东的 50 多个地面及地腹构造。

早三叠世飞仙关期,四川盆地基本继承了晚二叠世的沉积特征,飞仙关组自西向东依次为陆相碎屑岩、海陆过渡相的泥质岩和灰岩间互层、浅海碳酸盐岩。蜀南地区处于海陆过渡相区,飞仙关组地层厚度一般 350~600 m,飞一段和飞三段以碳酸盐岩沉积为主,飞二段和飞四段以泥质岩沉积为主,鲕滩相的鲕粒灰岩主要发育在飞一段和飞三段的中上部(图 1)。

## 2 储层特征

### 2.1 岩石学特征

蜀南地区飞仙关组储层主要发育在碳酸盐岩中,包括鲕粒灰岩、砂屑灰岩、生屑灰岩、泥晶灰岩等,以形成于台内浅水高能滩相沉积环境中的溶孔鲕粒灰岩为主,鲕粒的粒径一般在 0.2~1.0 mm 之间,以单鲕为主,鲕粒间常常被 2 至 3 期方解石胶结(图 2a)。亮晶鲕粒灰岩中各类溶蚀孔洞发育。

<sup>1</sup> 中国石油天然气集团公司 2006 年度石油科技中青年创新基金项目(06E1018)“碳酸盐岩同生岩溶型储层发育规律及预测模型研究”和“四川省重点学科建设项目(SZD0414)”资助。

收稿日期: 2008-08-19 收修稿日期: 2008-09-26

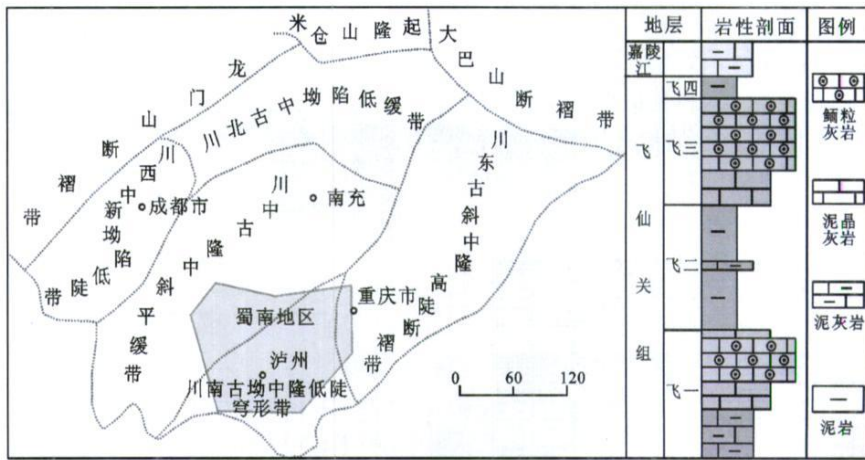
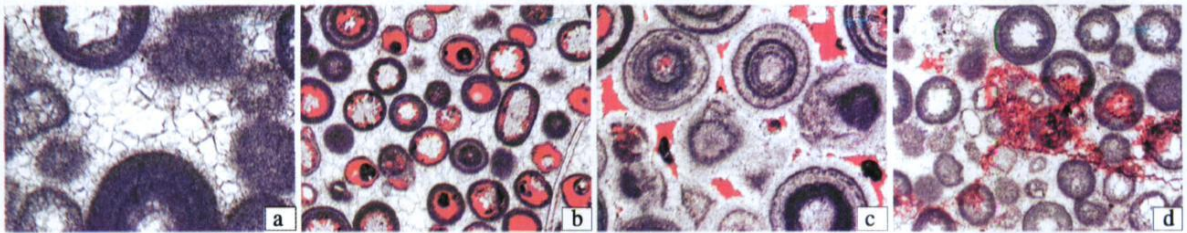


图 1 研究区构造位置及飞仙关组地层剖面图

Fig. 1 Study area and strata section of Feixianguan Formation



注:a. 亮晶鲕粒灰岩,三期方解石胶结,飞一段,坛7井;b. 亮晶鲕粒灰岩,铸模孔、粒内溶孔,飞一段,界22井,铸体薄片;c. 亮晶鲕粒灰岩,残余粒间孔,飞一段,重庆中梁山剖面,铸体薄片;d. 亮晶鲕粒灰岩,埋藏溶蚀缝,飞一段,坛7井,铸体薄片。

图 2 飞仙关组储集岩及储集空间类型

Fig. 2 Reservoir rocks and reservoir space of Feixianguan Formation

### 2 2 储层储集空间类型

储集空间类型主要有:铸模孔、粒内溶孔(图 2 b)、(溶扩)残余粒间孔(图 2 c)、少量生物体腔孔、裂缝和溶缝(图 2 d)。以铸模孔、粒内溶孔为主,其次为粒间孔和粒间溶孔,各种裂缝稍有发育(图 3)。

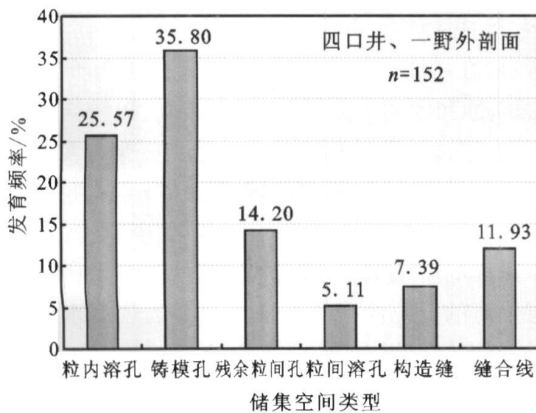


图 3 飞仙关组储集空间发育频率直方图

Fig 3 Histogram frequency distribution diagram of reservoir space of Feixianguan Formation

铸模孔及粒内溶孔 粒内溶孔是颗粒内部溶蚀形成的孔隙。当颗粒被完全溶解,仅保留颗粒外部轮廓时称为铸模孔。这类孔隙主要发育在鲕粒灰岩中(图 2 b),分布于鲕滩单滩体中上部,为蜀南地区飞仙关组最主要的储集空间类型。

残余粒间孔及粒间溶孔 原生粒间孔的喉道或多或少被胶结物堵塞,阻止了孔隙的进一步胶结,保留了一定的残余粒间孔(图 2 c)。由于酸性流体或大气淡水淋滤的影响,粒间胶结物可被部分或全部溶蚀形成粒间溶孔。这种孔隙发育在亮晶鲕粒灰岩中,是飞仙关组次要的储集空间类型。

### 2 3 储层孔、渗特征

对 16 口井 1 200 多个岩心样品的孔、渗数据进行分析处理,发现飞仙关组储层总体上反映低孔、低渗特征。孔隙度平均值仅为 1.13%,最小值小于 0.1%,最大值为 22.62%;渗透率平均值为  $0.27 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,最小值为  $0.001 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,最大值也仅为  $5.92 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。飞仙关组岩心样品的孔、渗数据点

具有明显的分区分布特征,既有“低孔中渗”的带有裂缝渗流特征的样品点分布(图 4A),随孔隙度增加,渗透率迅速增大;也有相对“高孔低渗”的孤立孔隙型储层特征,渗透率随孔隙度的增加而缓慢增大(图 4B)。这表明飞仙关组储层孔隙结构复杂,储层的形成可能存在多种成因。

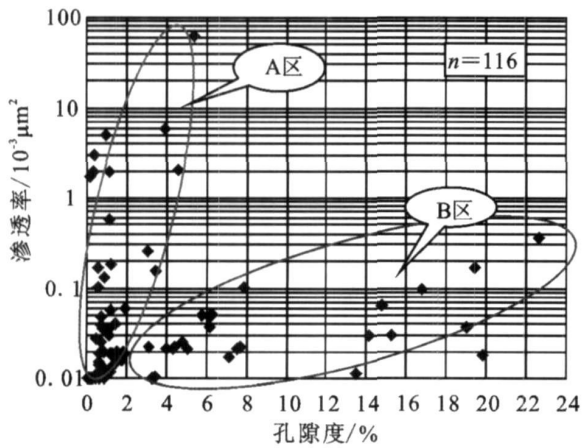


图 4 飞仙关组鲕粒灰岩孔渗散点图

Fig. 4 Porosity characteristics of oolitic beach rocks of Feixianguan Formation in the Shunan Area

### 3 储层发育的主控因素分析

结合沉积期古地貌、海平面升降变化、古气候及成岩演化等储层控制因素分析,认为沉积、成岩和构造演化等多种作用过程的叠加和改造是蜀南地区飞仙关组鲕滩储层发育的主要控制因素。

#### 3.1 海底古地貌高地

飞仙关储层岩性以浅水滩相鲕粒灰岩为主,集中在泸州古隆起核部。通过对累计储层厚度和鲕粒灰岩厚度的相关性分析,发现滩相储层发育程度与颗粒滩厚度具正相关关系(图 5),颗粒滩规模越大,储层越发育。这表明鲕粒滩是储层形成和发育的物质基础,而早三叠世初期泸州古隆起雏形的形成,使得水下高地的鲕滩在海平面相对下降或滩体的垂向加积的影响下极易暴露接受大气淡水淋溶,形成优质储层,并决定了早期孔、渗层的时空分布(图 6),因此,海底古地貌高地鲕粒滩为储层的形成和发育提供了物质基础,决定了早期孔、渗层的时空分布规律。

#### 3.2 早期大气淡水淋溶作用

在鲕滩沉积之后不久的海平面相对下降阶段,鲕粒还主要由文石和高镁方解石组成,它们在海底环境

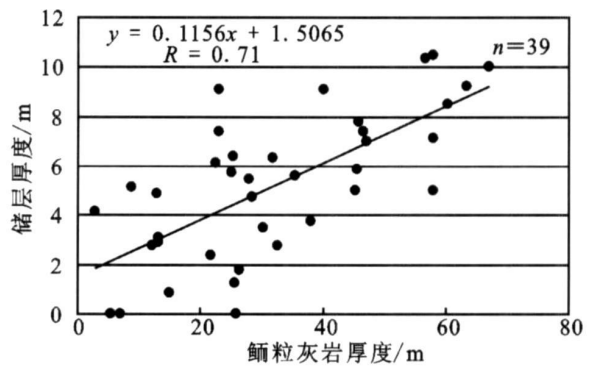


图 5 鲕粒灰岩厚度与储层厚度关系图

Fig. 5 Relationship of oolitic beach thickness with reservoir thickness of Feixianguan Formation

中是稳定矿物,但在大气环境中是不稳定矿物,大气水极易对这些不稳定矿物发生选择性溶蚀而形成粒内溶孔和铸模孔。因此,铸模孔和粒内溶孔是早期大气淡水选择性溶蚀的判别标志之一,而埋藏溶蚀往往为非选择性溶蚀,多沿裂缝或微裂缝发育,形成非选择性溶蚀孔缝。储层配套分析表明飞仙关组滩相储层的储渗空间以铸模孔和粒内溶孔为主(图 2b),溶蚀孔隙部分被粘土、渗流粉砂和方解石充填,早期淡水溶蚀特征明显;非选择性溶孔仅少量发育(图 2d),多为沿裂缝、微裂缝发育,溶蚀作用常常切割鲕粒、胶结物等组构,为埋藏期溶蚀特征,这说明仅用埋藏溶蚀作用似乎不可能正确解释本区飞仙关组储层的成因,而早期大气淡水的选择性溶蚀应该是本区飞仙关组针孔鲕粒灰岩储层形成的主要控制因素。

飞仙关期研究区处于浅水台地内部,发育向上变浅序列为特征(图 7),由于垂向加积及等效海退的影响,向上变浅序列和滩体上部极易暴露接受大气淡水淋溶,形成 15% ~ 23% 的铸模孔、粒内溶孔、粒间溶孔等;而在滩体下部由于成岩流体中  $\text{HCO}_3^-$  的消耗以及  $\text{Ca}^{2+}$  饱和度的增大,溶蚀作用减弱,以胶结作用为主,早期形成的孔隙逐步被大气水潜流带等粒状亮晶方解石胶结物充填,从而决定了飞仙关组储层发育具有明显的纵向层位性,即飞仙关组鲕滩储层主要发育在单滩体的中上部,下部储层欠发育。这种滩体内部储层发育的层位性再次佐证了早期大气淡水溶蚀作用是飞仙关组储层成因最主要的控制因素。

沉积期古地貌、海平面变化及古气候决定了鲕滩暴露的时间和频率;决定了鲕滩接受大气淡水淋溶的强度;控制了早期储层发育程度。

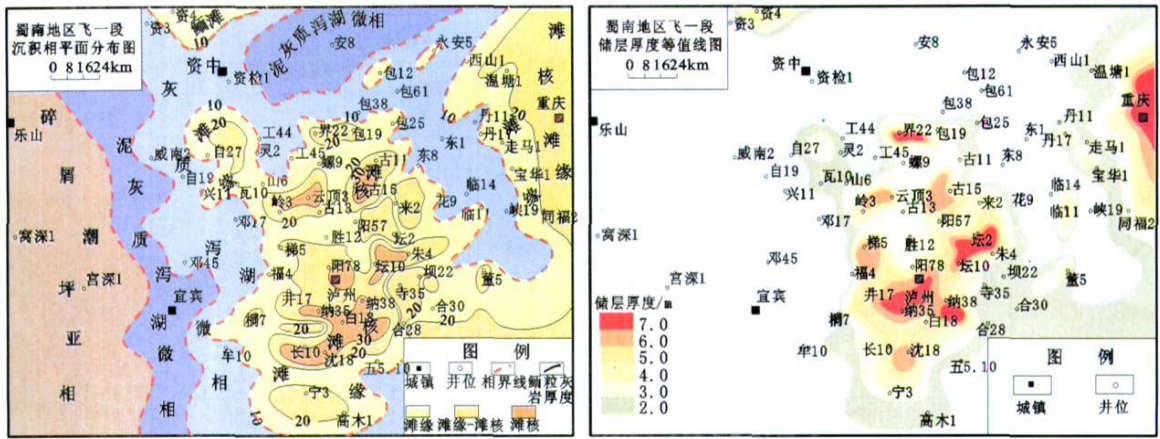


图 6 蜀南地区飞仙关组鲕滩与储层分布图

Fig. 6 Pattern of oolitic beach and reservoir of Feixianguan Formation in the Shunan Area

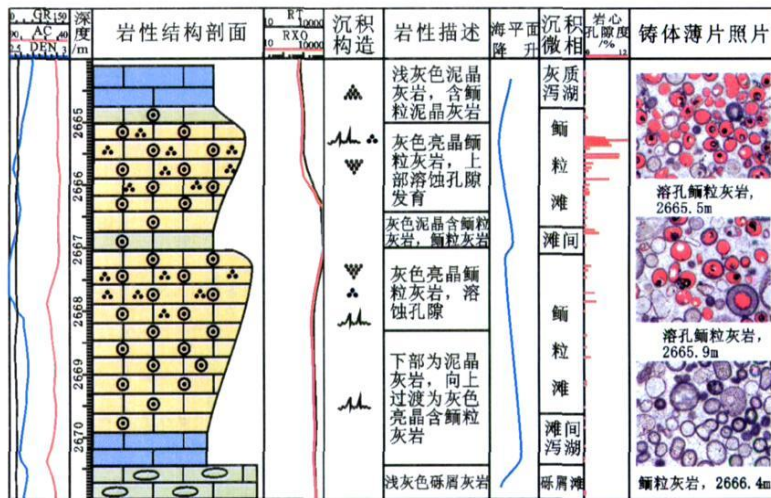


图 7 界 22 井飞仙关组飞一段向上变浅序列

Fig. 7 Shallowing-upward sequence of Fei 1 member, Well J22

### 3.3 构造断裂和埋藏溶蚀对鲕滩储层具有优化改造作用

蜀南地区飞仙关组沉积后经历了印支期后期浅埋藏和燕山期、喜山期深埋藏阶段(图 8)。浅埋藏阶段, 储层成岩作用以胶结和压实作用为主, 对储层起破坏作用, 储层孔隙度急剧减低, 孔隙逐步孤立; 深埋藏阶段, 燕山期为溶蚀—胶结平衡期, 这一期的构造断裂和埋藏溶蚀对以孤立储集空间为主的储层影响不大; 喜山期构造运动使本区地层褶皱抬升, 在构造应力的作用下, 颗粒岩储层发生破裂, 伴随气态烃的进入, 酸性地层水侵入, 发生以埋藏溶蚀作用为特征的成岩变化。但是这种成岩变化仅仅是对先期孔隙层的调整, 发育一些沿着裂缝的扩溶, 形成裂缝型溶洞和溶扩粒间孔, 孔隙度一般增加 1% ~ 3% 左右, 相

对于保存下来的 5% ~ 20% 以粒内溶孔和铸模孔为主的早期溶蚀孔隙, 构造断裂和埋藏溶蚀未能影响储层储集空间的先期面貌, 对储层的渗透性具有较好的改造。

从滩相储层的发育、演化史可以看出, 影响储层面貌的主要是先期孔隙层的特征, 而构造断裂—埋藏溶蚀仅能优化改造储层, 而未能根本改变先期的储集面貌。

## 4 对埋藏溶蚀成因论的质疑暨储层成因机制探讨

鲕粒滩最终发育成为有效的储集层, 与沉积—成岩过程中多种地质因素是否叠加在一起有很密切的

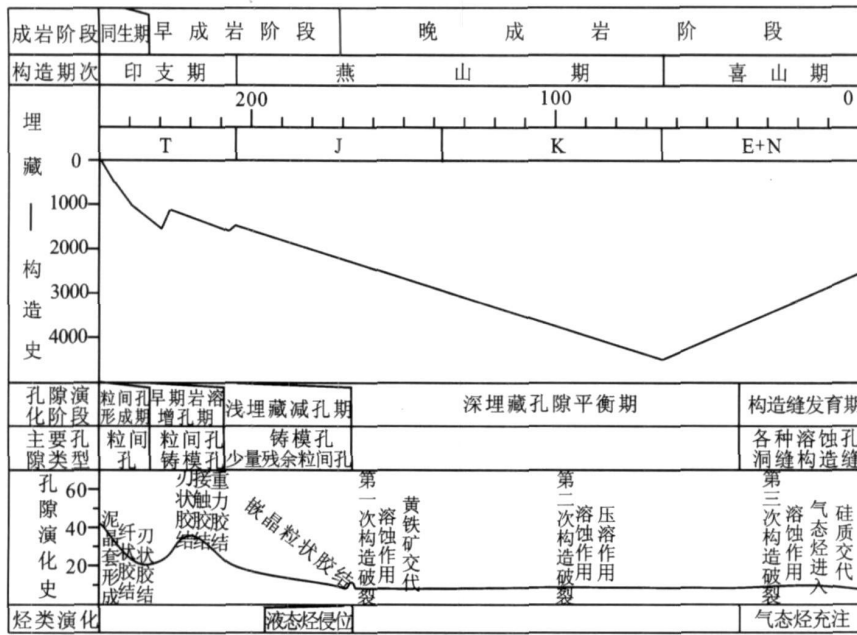


图 8 蜀南地区飞仙关组储层成岩及孔隙演化模式图

Fig 8 Modal shape of diagenetic and reservoir evolution of Feixianguan Formation in the Shunan Area

联系<sup>[7]</sup>。储层的形成往往是地质历史时期多因素叠加改造的结果,片面的强调某一单因素往往会造成认识上的偏差,甚至是错误。通过对蜀南地区飞仙关组鲕滩储层基本特征及发育分布规律研究,发现埋藏溶蚀成因并不能很好的解释储层发育的一些特征。主要依据为:①飞仙关组鲕滩储层受古构造和海平面的影响强烈,古隆起高地是储层发育的有利区,储层分布不受断裂系统的控制。而埋藏溶蚀往往受断裂和深部流体控制<sup>[4,7,8]</sup>,因而埋藏溶蚀成因难以圆满地解释蜀南地区飞仙关组鲕滩储层的这种发育分布特征;④储层储集空间以早期大气淡水选择性溶蚀形成的铸模孔和粒内溶孔为主,而埋藏溶蚀往往形成与裂缝和微裂缝相关的非选择性溶蚀孔隙,在本区为次要储集空间;④储层发育与向上变浅的沉积序列有关,具有纵向上的层位性,主要发育在单滩体的中上部,滩体下部储层欠发育。对于非选择性的埋藏溶蚀不太可能形成仅在向上变浅序列顶部发育的层位选择性孔隙。

蜀南地区飞仙关组鲕滩储层的上述特征表明其成因机制与川东北鲕滩储层成因存在差异,川东北鲕滩储层埋藏溶蚀成因似乎对蜀南地区鲕滩储层成因解释并不适用。然而,同一盆地内部飞仙关组鲕滩储层成因在蜀南地区和川东北因何存在巨大差异呢?其主要原因或许在于沉积环境和成岩演化序列的不

同。四川盆地飞仙关组为典型的盆地(海槽)一坳地沉积体系<sup>[4]</sup>,蜀南地区处于半局限坳地相区,飞仙关组以鲕粒灰岩、泥晶灰岩等灰岩沉积为主;川东北地区发育台地边缘和蒸发台地相,白云石化作用强烈,鲕粒云岩、泥晶云岩较为发育,并伴有膏岩的沉积,这种沉积一成岩环境的差异使得同盆地内部东西两地鲕滩储层成岩序列和强度迥异,决定了储层成因的差异。

蜀南地区飞仙关组鲕滩为台内滩,单滩体厚度薄,海底胶结往往使粒间孔剧减甚至消失,而同生期大气淡水选择性溶蚀形成的粒内溶孔和铸模孔相对孤立,埋藏期的成岩流体缺少流通通道,难以对先期孔隙层进行大规模的优化改造;川东北飞仙关组鲕滩为台地边缘滩,滩体厚度大,海底胶结作用对滩体内部影响较小,大量原生粒间孔得以保存,加上白云石化作用形成的晶间孔隙的叠加,使得鲕滩具有足够多的通道供埋藏期酸性流体运移,并对鲕滩进行优化改造。另外,古油藏在埋藏热演化阶段形成的CH<sub>4</sub>气体与蒸发泻湖相中的石膏发生热溶作用,形成Ca<sup>2+</sup>与SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,生成H<sub>2</sub>S气体,其反应式为:CH<sub>4</sub> + Ca<sup>2+</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> → H<sub>2</sub>S + CaCO<sub>3</sub> + CO<sub>2</sub>。H<sub>2</sub>S气体溶于水后形成的亚硫酸为川东北飞仙关组鲕滩储层埋藏溶蚀提供了充足的酸性流体,H<sub>2</sub>S气体在鲕滩靠近泻湖一侧相对富足是很好的佐证。比较而言,在不具备产生足够酸性溶蚀流体和酸性流体大规模运移溶蚀通道的情

况下,蜀南地区埋藏溶蚀欠发育是不难想象的。

结合前节沉积期古地貌、海平面升降变化、古气候及成岩演化等储层控制因素分析,认为蜀南地区飞仙关组鲕滩储层的形成是多种成岩作用过程的叠加和改造的结果,埋藏溶蚀并非储层形成的主要因素,早期大气淡水淋溶才是储层形成的主要动力,飞仙关组鲕滩储层为早期淡水溶蚀成因,储层受后期构造破裂和埋藏溶蚀的有限优化和改造。

## 5 结论

(1) 蜀南地区飞仙关组鲕滩储层为早期岩溶成因,早期大气淡水淋溶是针孔鲕粒灰岩储层形成的关键。

(2) 海底古地貌高地鲕粒滩为储层的形成和发育提供了物质基础,决定了早期孔、渗层的时空分布规律。

(3) 沉积期古地貌、海平面变化及古气候决定了早期岩溶的强度,控制了储层发育程度。

(4) 埋藏溶蚀和构造破裂对储层具有一定的优化改造作用,但作用有限。

### 参考文献 (References)

- 1 杨晓萍,赵文智,曹宏,等.川东北三叠系飞仙关组鲕滩气藏有利储集层的形成与分布[J].石油勘探与开发[J].2006,33(1):17-21 [Yang Xiaoping Zhao Wenzhi Cao Hong *et al*. Formation and distribution of Triassic Feixianguan oolitic bank favorable reservoir in the NE Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development 2006, 33(1): 17-21]
- 2 陈宗清.论四川盆地三叠统飞仙关组天然气勘探[J].石油学报,2007,28(5):13-26[Chen Zongqing Discussion on gas exploration of Feixianguan Formation in the Lower Triassic of Sichuan Basin [J]. Acta

- Petrolei Sinica 1997, 28(5): 13-26]
- 3 徐世琦,洪海涛,张光荣,等.四川盆地三叠统飞仙关组鲕粒储层发育的主要控制因素分析[J].天然气勘探与开发,2004,27(2):1-3[Xu Shiqi Hong Haitao Zhang Guangrong *et al* Main controlling factor analysis on oolitic development of Lower Triassic Feixianguan Formation in Sichuan Basin[J]. Natural Gas Exploration & Development 2004, 27(2): 1-3]
- 4 杨威,魏国齐,金惠,等.川东北飞仙关组鲕滩储层发育的主控因素和成因模式[J].天然气地球科学,2007,18(2):192-196[Yang Wei Wei Guoqi Jin Hui *et al* Main controlling factors and genetic mode of oolitic shoal reservoir development in Feixianguan Formation in the NE Sichuan Basin[J]. Natural Gas Geoscience 2007, 18(2): 192-196]
- 5 王一刚,文应初,洪海涛,等.四川盆地三叠系飞仙关组气藏储层成岩作用研究拾零[J].沉积学报,2007,25(6):831-839[Wang Yigang Wen Yingchu Hong Haitao *et al* Diagenesis of Triassic Feixianguan Formation in Sichuan Basin, Southwest China[J]. Acta Sedimentologica Sinica 2007, 25(6): 831-839]
- 6 王兴志,张帆,蒋志斌,等.四川盆地东北部飞仙关组储层研究[J].地学前缘,2008,15(1):117-122[Wang Xingzhi Zhang Fan Jiang Zhibin *et al* A study of Feixianguan reservoir in NE Sichuan basin[J]. Earth Science Frontiers 2008, 15(1): 117-122]
- 7 何莹,郭旭升,张克银,等.川东北飞仙关组优质储层形成研究[J].天然气工业,2007,27(1):12-16[He Ying Guo Xusheng Zhang Keyin *et al* Diagenesis of excellent reservoirs in Feixianguan Formation in the NE Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(1): 12-16]
- 8 钱一雄,Conxita Taberner 邹森林,等.碳酸盐岩表生岩溶与埋藏溶蚀比较——以塔北和塔中地区为例[J].海相油气地质,2007,12(2):1-7[Qian Yixiong Conxita Taberner Zou Senlin *et al* Diagenesis comparison between Epigenetic karstification and burial dissolution in carbonate reservoirs A case of Ordovician carbonate reservoirs in Tabei and Tazhong Regions Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology 2007, 12(2): 1-7]

## Genetic Mechanism Analysis on Oolitic Reservoir of Lower Triassic Feixianguan Formation in the Shunan Area, Sichuan Basin

LUO Bing<sup>1</sup> TAN Xir-cheng<sup>1</sup> LIU Hong<sup>1</sup> LI Ling<sup>1</sup> XIA Ji-wen<sup>2</sup> ZOU Juan<sup>3</sup> HAITAO<sup>4</sup>

(1 Southwest Petroleum University Chengdu 610500; 2 Shunan Gas Field of Southwest Petroleum Company Luzhou Sichuan 646000;

3 Northwest Sichuan Gas Field of Southwest Petroleum Company Jiangyou Sichuan 621700;

4 No. 2 Oil Recovery Factory of Sinopec Northwest Company, Luntai Xinjiang 841604)

**Abstract** Through research on the oolitic reservoir of Feixianguan Formation in the Shunan Area, Sichuan Basin, it is indicated that the main reservoir spaces of oolitic reservoir are moldic pore and intragranular dissolved pore, which is formed by meteoric water leaching. The reservoir development in the upper part of Oolitic Beach with obvious characteristics of separated layer stimulation. Combining the study of palaeogeomorphology, eustatic sea level change, palaeoclimate and diagenetic evolution, it is calculated that the mode of origin of oolitic reservoir is syngenetic karst. Reservoir is formed by meteoric water leaching. Oolitic beach at the chapada of palaeogeomorphology provided material basis for the reservoir formation and evolution, and controlled the distribution of reservoir. Palaeogeomorphology, eustatic sea level change and palaeoclimate determined the intensity of syngenetic karst and dominated reservoir quality. Subjacent karst and tectonic disruption play a role in improving reservoir performance, but is limited in effect.

**Key words** genetic mechanism, reservoir, oolitic beach, Feixianguan Formation, Shunan Area