

# 川东北飞仙关组鲕滩储层成岩作用和孔隙演化

杨 威 魏国齐 金 惠 张 林 沈珏红 吴世祥

(中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007)

**摘要:**川东北飞仙关组鲕滩储层是四川盆地重要的勘探目的层,受成岩作用的改造非常强烈。通过对岩心、普通薄片、铸体薄片、阴极发光、碳氧同位素、微量元素和流体包裹体等多种资料进行综合研究,详细阐述了主要成岩作用的类型、形成机理及其产物,分析了其对储层的影响。胶结作用和压实作用是原生孔隙和部分次生孔隙的主要破坏者;混合水白云石化作用、溶蚀(岩溶)作用、破裂作用是次生孔隙的主要建造者,其产生的溶孔、溶洞和裂缝是天然气的主要储集空间和运移通道。成岩作用是储层物性的主要控制者,控制了孔隙的演化过程。

**关键词:**飞仙关组;鲕滩;成岩作用;孔隙演化;川东北

**中图分类号:**P618.130.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)05-0822-07

近几年,川东北部下三叠统飞仙关组鲕滩天然气勘探取得了重大突破,探明天然气地质储量近  $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ ,已成为中国石油的重点勘探领域<sup>[1,2]</sup>,所发现的气田(藏)储层主要为残余鲕粒白云岩,储集空间主要为溶蚀孔洞(图版 I-a)、白云石晶间孔(图版 I-b)和白云石铸模孔等<sup>[3,4]</sup>。

飞仙关组是四川盆地早三叠世的沉积,其下伏地层为上二叠统长兴组(或大隆组),上覆地层为下三叠统嘉陵江组,主要由深灰色、灰色薄-中层状含泥质、泥质灰岩、鲕粒灰岩、鲕粒白云岩、藻纹层白云岩和石膏等组成;含 *Claraia wangi*、*Claraia stachei*、*Claraia aurita* 等化石组合,厚度为 400~750 m。

该区为典型的盆地(海槽)-台地沉积体系<sup>[5]</sup>,较符合威尔逊相模式。从开江—梁平海槽向东西两侧的延伸方向,沉积相的展布依次为盆地相-斜坡相-台缘鲕粒滩相→开阔台地相→局限台地相→蒸发台地相(图 1)。天然气储层主要为台缘鲕粒滩相沉积,白云石化作用为优质储层形成的基础条件之一。

碳酸盐岩储层受成岩作用的改造强烈<sup>[6-10]</sup>,溶蚀作用和白云石化作用是储层发育的主要控制因素,也是制约勘探的重要因素,因此,系统研究成岩作用及其对储层的影响,分析孔隙演化过程,对于勘探实践和成岩理论都有十分重要的意义。

## 1 主要成岩作用类型及特征

川东北地区下三叠统飞仙关组鲕滩沉积之后,经历了长期的埋藏作用和几次大的构造运动,成岩作用十分强烈,主

要成岩作用有白云石化作用、溶蚀作用、破裂作用和压溶作用等建设性成岩作用;以及压实、胶结、交代等破坏性成岩作用。虽然成岩作用有建设性和破坏性作用两种,但每一种成岩作用可能对储层的作用都有其双重性,如压溶作用产生的缝合线一般来说具有破坏性,它能使储层更加致密,而且压溶产生的物质可以渗滤进孔洞阻塞孔洞,但大量的薄片显示,压溶作用产生的缝合线能够作为油气和地下水运移的通道,可以沿缝合线发生溶蚀作用,也可见缝合线中充填沥青等有机质;同样硅化作用可充填孔隙,破坏储层,但其能加大了岩层的脆性,易于破裂产生裂缝。

### 1.1 胶结作用

#### 1.1.1 第一期胶结作用

发生于成岩早期,称为近地表胶结作用,主要有两种产物:①纤柱状方解石,呈纤维状,垂直颗粒壁生长,形成等厚环边;②等轴粒状方解石,较清洁,在充填孔洞时,从孔隙底部向中心颗粒变粗,形成晶簇状。

#### 1.1.2 第二期胶结作用

发生于成岩晚期浅埋藏阶段。一般为粒状方解石,最常见的是在栉壳状胶结物之外形成二世或更晚期镶嵌式胶结,在早期溶蚀原生孔洞中,下部先充填了渗流粉砂,上部的残余空间形成化学沉积也属于此期胶结物,形成示底构造。

#### 1.1.3 第三期胶结作用

发生于晚埋藏阶段,碳酸盐岩溶蚀作用和破裂作用形成的缝、洞被方解石、白云石、沥青等胶结物充填胶结。溶洞由

收稿日期:2006-12-12;改回日期:2007-02-15

基金项目:国家“十五”科技攻关项目(2001BA606A04)资助。

作者简介:杨威,男,1971年生,博士,高级工程师,主要从事油气储层综合研究;E-mail: yangw69@petrochina.com.cn。

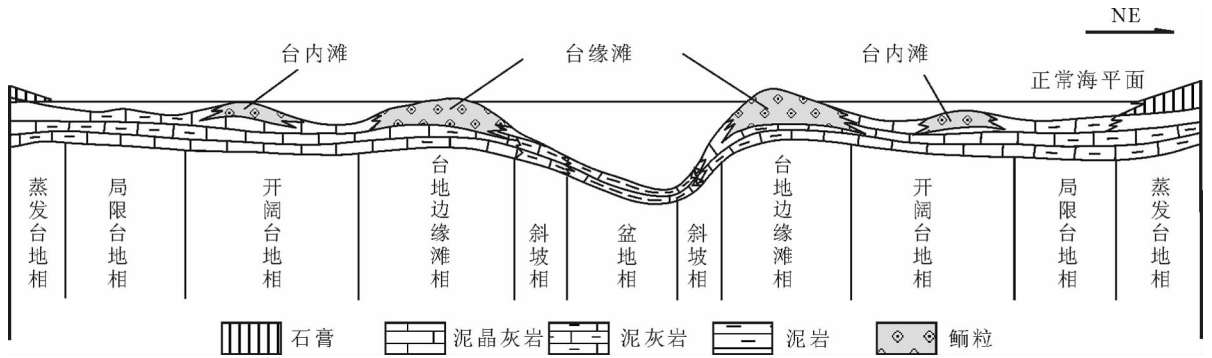


图 1 川东北飞仙关组沉积体系模式图

Fig.1 Sedimentary system model of the Feixianguan Formation in northeastern Sichuan

多世代呈皮壳状构造的方解石充填, 裂缝多由对生方解石(沿裂缝壁向对生长的马牙状方解石)充填。裂缝中常见第一期成藏在裂缝中都留下的大量沥青质胶结物。

3 期胶结作用的充填致使几乎所有原生孔隙和大部分次生孔隙难以保存, 特别是第三期胶结作用对大气淡水岩溶和构造裂缝的充填使次生孔隙损失巨大。胶结作用是最主要的孔隙破坏者。

1.2 压实压溶作用

压实作用随着埋深增加而加强, 而压实作用的最终结果是使岩石的总体积减小。其主要表现为颗粒紧密呈镶嵌接触、变形、破碎和位移等。随着埋深加大, 压实增强, 岩石总体积减小, 致密程度增加, 孔隙度减小。

压溶作用或者叫化学压实作用, 发生于晚成岩期深埋阶段。主要表现为碳酸盐岩颗粒或晶面弯曲呈镶嵌状, 形成缝合线。缝合线与岩石层理平行或近于平行, 常切过颗粒、胶结物和基质。缝合线峰柱垂直于层面, 缝宽为 1~2 mm, 多分枝, 呈齿状镶嵌, 峰柱起伏较大, 可达 2 cm; 多为灰绿色含有有机质丰富的泥质充填, 泥质充填物多被油质浸染, 也有沥青充填于缝合线中(表 1)。说明缝合线大部分已成为油气储集空间和运移通道。

1.3 白云石化作用

研究区内优质储层为残余鲕粒白云岩, 通过岩石学特征分析和微量元素、碳氧同位素、成岩温度、显微分析等特征研究, 认为残余鲕粒白云岩主要以混合水白云石化作用形成的。其证据主要有以下 4 个方面。

1.3.1 微量元素

研究区白云岩 Sr 的含量大部分很低(表 2), 所测的 10 个微量元素样品中有 8 个 Sr 含量在  $250 \times 10^{-6}$  以下, 说明这些样品在白云石化过程中, 有淡水的加入。也就是说, 大部分白云石形成时有淡水的加入。而研究区飞仙关组鲕滩白云岩 Na 的含量除 G5 井的第一个样品高达  $4300 \times 10^{-6}$  外, 其他白云岩样品的 Na 的含量都小于  $600 \times 10^{-6}$ , 说明大部分白云岩

表 1 川东北飞仙关组鲕滩储层部分铸体薄片缝合线统计  
Table 1 Statistics of suture lines in some thin sections of cast in the oolitic shoal reservoir of the Feixianguan Formation in northeastern Sichuan

井别	LJ2	D3	D4
薄片数	8	10	7
缝合线数	11	25	6
油质浸染数(或沥青充填)	9	21	4

的成岩环境不是蒸发环境, 而是在成岩过程中受到大气淡水稀释作用的结果。Na 含量低的白云岩比高的白云岩受到淡水的影响更大。

1.3.2 阴极发光

白云石的阴极发光特征相似, 以紫红色和蓝紫色为主, 部分为桔红色, 其周围的方解石呈暗红色和橙黄色, 说明白云石化作用不完全。白云石的雾心亮边(图版-c)是以紫色为核心、亮边由橙黄-桔黄-桔红等交替组成环带, 界线平直, 反映成岩孔隙流体随成岩环境及淡水混合程度的变化而变化, 说明白云石化过程中淡水是不断地混入的。同时, 紫红-蓝紫色的阴极发光也说明白云石成因与淡水有关。

1.3.3 碳氧同位素

鲕滩储层的  $\delta^{13}C$  主要分布于  $-4\text{‰} \sim 4\text{‰}$ ,  $\delta^{18}O$  主要分布于  $-2\text{‰} \sim 7\text{‰}$ 。在碳氧同位素关系图上, 可以明显地发现大部分样品分布在混合水白云石化作用的区间, 说明鲕滩储层的白云石化作用主要由混合水机理形成的。

许多学者<sup>[12]</sup>研究认为  $\delta^{18}O$  值与其形成温度有关, 并提出了许多应用  $\delta^{18}O$  与温度之间的关系式, 如公式 (1):  $T = 14.8 - 5.41 \times \delta^{18}O$  和公式 (2):  $\alpha T - 2 = (1000 \ln \alpha + 32.9) / 3.09 \times 10^{-6}$  (其中  $1000 \ln \alpha = \delta^{18}O_{\text{样品}} - \delta^{18}O_{\text{海水}}$ ,  $\delta^{18}O_{\text{海水}}$  取  $+4\text{‰}$  smow)。通过对研究区内鲕滩白云岩中碳氧同位素 70 个分析数据的研究, 运用公式 (1) 计算出白云岩形成温度平均值  $39.2^\circ C$ , 最大值  $58^\circ C$ , 最小值  $28^\circ C$ , 大部分白云岩的形成温度集中于  $45^\circ C$  以下, 属于低温白云石。如果当时海水温度为

表 2 川东北飞仙关组鲕滩储层微量元素分析  
Table 2 Trace element analysis of the oolitic shoal reservoir of the Feixianguan Formation in northeastern Sichuan

样号	Sr/10 <sup>-6</sup>	B/10 <sup>-6</sup>	K/10 <sup>-2</sup>	Mn/10 <sup>-6</sup>	Ca/10 <sup>-2</sup>	Mg/10 <sup>-2</sup>	Na/10 <sup>-2</sup>	Fe <sup>2+</sup> /10 <sup>-2</sup>	Fe <sup>3+</sup> /10 <sup>-2</sup>
P2-B27	99	4.2	0.03	36	24.93	10.69	0.03	0.07	0.00
P2-B3	165	4.8	0.03	36	25.66	10.24	0.03	0.06	0.02
P2-B33	230	16	0.32	65	22.85	10.44	0.04	0.10	0.53
D3-B11	85	4.8	0.13	21	24.90	11.16	0.03	0.06	0.02
D3-B08	99	3.8	0.01	14	25.19	11.22	0.02	0.09	0.00
D3-B01	150	5.1	0.03	28	24.86	10.89	0.02	0.06	0.02
LJ2-B02	92	6.8	0.04	78	23.09	11.68	0.03	0.07	0.05
LJ2-B10	61	3.1	0.01	36	23.51	11.80	0.02	0.10	0.00
G5-B01	690	31	0.73	492	29.32	1.23	0.43	0.72	0.65
P2-B6	1960	4.4	0.06	14	38.90	0.19	0.03	0.05	0.03

30~35℃,那鲕滩白云石化作用主要发育于埋深不到 300 m 的地层中。由此可见大部分白云石化作用不是由埋藏作用形成的。

#### 1.3.4 显微分析

通过大量的薄片分析,发现白云岩在薄片中有两种表现,一部分样品明显展示鲕粒为白云石,而胶结物为方解石;另一部分则鲕粒和胶结物全为白云石(图版 I -d)。产生这两种情况的原因可能是:鲕滩沉积到一定厚度,其上部没有被胶结,而下部已经被胶结,当海平面下降时,鲕滩可能暴露出地表,由于大气淡水的作用,鲕滩发育白云石化作用;其上部没有固结的鲕滩以鲕粒的形式发生白云石化作用,后埋藏由方解石起胶结作用,形成颗粒被白云石化而胶结物为方解石的现象;而其下部已经胶结成岩,所以发生均一化的白云石化作用。这说明鲕滩发生白云石化作用时,还有部分鲕粒没有固结,属于典型的混合水白云石化作用的产物。

### 1.4 溶蚀(或岩溶)作用

#### 1.4.1 溶蚀类型

(1)层间岩溶:发生于同生期,飞仙关组鲕滩是碳酸盐岩台地边缘的产物,由于海平面的变化,沉积不久的沉积物可能暴露于海平面之上,接受大气淡水和混合水的改造。其结果是在滩体上部形成小规模溶沟、溶洞及颗粒铸模孔,粒间孔下部被渗流粉砂半充填。这些溶蚀作用产生的次生孔隙在后期埋藏过程中几乎全被细粒碎屑物或亮晶方解石充填。层间岩溶发育于沉积初期,它选择性强,与古地形高有关,在埋藏期受到埋藏岩溶的改造,在埋藏岩溶作用下,充填的亮晶方解石可能再被溶解。由于被这些溶蚀孔隙在后期几乎全被充填,因此这类岩溶作用对现今储层的影响不大。

(2)埋藏岩溶:发育于埋藏期,在飞仙关组鲕滩储层中十分发育,是主要的储集空间产生的基础。埋藏岩溶主要特征有:①先期(包括早期和晚期)成岩产物被溶蚀;②溶蚀孔、洞、缝未充填或被粗粒方解石晶簇充填;③裂缝的溶蚀扩大及与此伴生的与裂缝产状近一致分布的溶孔和溶洞;④溶洞、溶缝内亮晶方解石充填物被溶解,形成被溶蚀边缘或呈港湾状;⑤沿缝合线及其周围的溶解作用,形成的孔洞分布

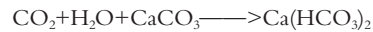
于缝合线附近或切穿缝合线;⑥溶解作用产生的碳酸盐岩又在合适的条件下重新沉淀,形成细-巨晶亮晶方解石。

#### 1.4.2 岩溶机理

根据飞仙关组鲕滩储层岩溶产物特征及其岩相古地理、岩石学等方面的特征,结合区域地质、构造背景综合分析,认为研究区岩溶作用主要有 3 种成因机理。

##### (1)大气淡水溶蚀作用

层间岩溶由大气淡水溶蚀作用产生的。碳酸盐岩暴露于地表,含有丰富 CO<sub>2</sub> 的大气淡水经碳酸盐岩,发生如下反应:



Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 的溶解度高于 CaCO<sub>3</sub> 许多,它可部分溶解于地下水和地表水被带走。在一定的温度和压力下, Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 可分解为 CaCO<sub>3</sub> 并沉淀下来。

##### (2)有机酸溶蚀作用

飞仙关组鲕滩储层埋藏溶蚀作用与有机酸作用有关。盆地演化到一定阶段,烃源岩经热演化达到成熟后,生成大量油气、CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> 与岩石中的碳酸盐岩反应可产生大量 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 有助于颗粒溶解,其溶蚀机理为:



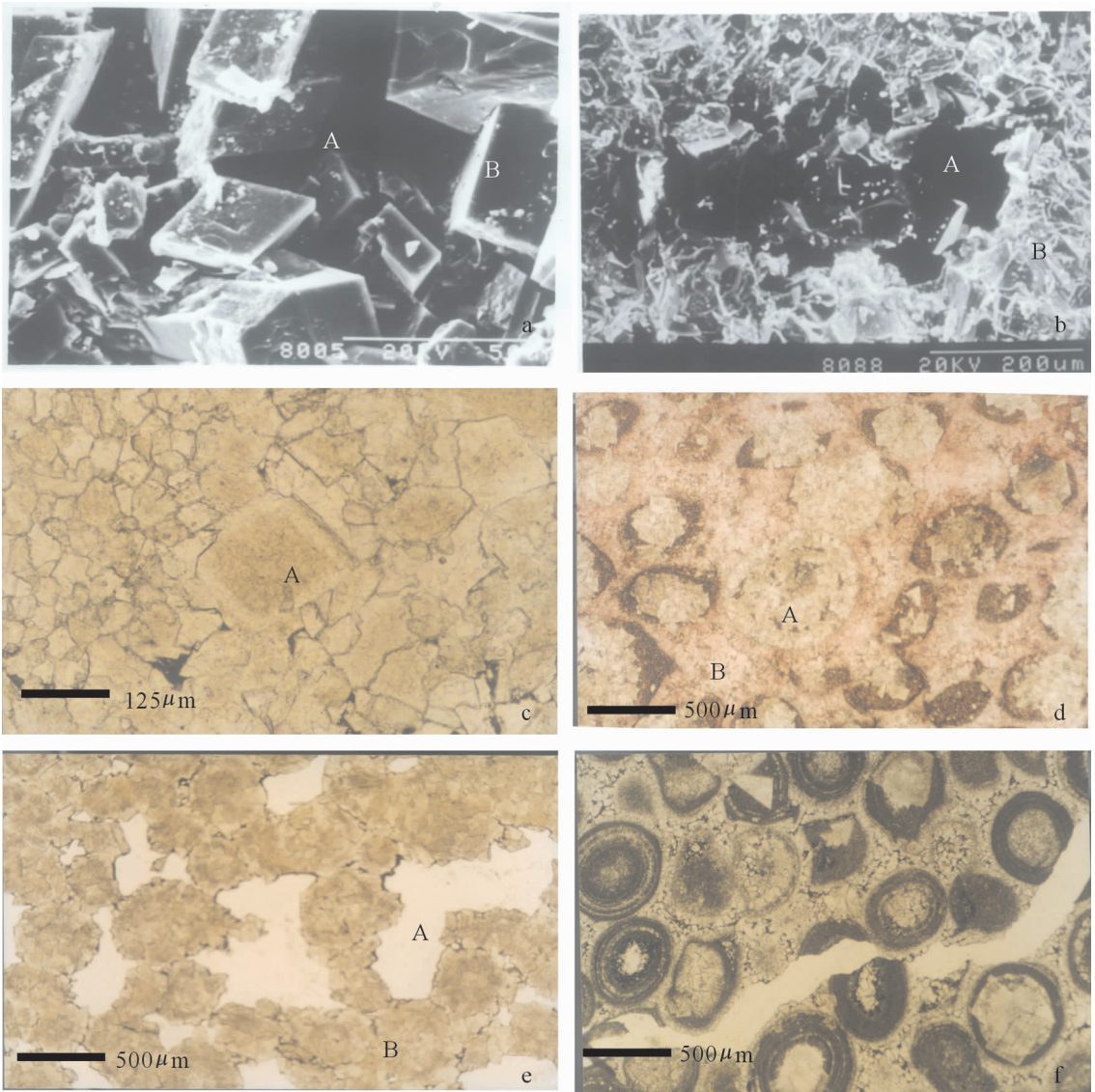
同时,有机质的成熟和烃类降解作用,能产生大量 CO<sub>2</sub> 以外的有机酸及各种气体混合到孔隙水中,这些有机酸都比碳酸强,都可能与碳酸盐岩发生化学反应,产生溶解度高的钙盐,随地下水被带到别的地方。由于深埋环境是一个封闭系统,地层水中高浓度的钙盐在合适的温度和压力下可变成碳酸钙沉淀。

##### (3)硫酸溶蚀作用

飞仙关组鲕滩储层埋藏溶蚀作用主要是由硫酸溶蚀产生的。以前,许多学者认为气藏的溶蚀孔洞是由大气淡水中的 CO<sub>2</sub> 溶解于水产生的碳酸起溶蚀作用的,溶蚀作用发生于鲕滩暴露出海平面发生白云石化作用的同时。这里认为硫酸可能在溶蚀中起一定的作用。第一,被溶蚀的物质主要为白云石,碳酸对灰岩的溶蚀能力比对白云石的要强得多,如果由碳酸起溶蚀作用,那一定应是主要溶蚀灰岩;第二,溶蚀孔



图版 I (Explanation of Plate I)



a-P2 井, 4034.72 m, 白云岩晶间孔(A 晶间孔, B 白云石);

well P2, 4034.72, intercrystal pore of dolomite (A-intercrystal pore; B-dolomite).

b-P2 井, 4047.24, 溶蚀孔隙(A 溶孔, B 白云石)

well P2, 4047.24 m, dissolution pore (A-dissolution pore; B-dolomite).

c-LJ6 井, 3298, 粗粉-细晶白云岩(A 白云石雾心亮边)

well LJ6, 3298 m, finely crystalline-coarsely megacrystalline dolomite (A-bright rim of dolomite fog core).

d-LJ6 井, 3594.8, 鲕粒灰岩(A 白云石, B 方解石)

well LJ6, 3594.8 m, oolitic limestone (A-dolomite; B-calcite).

e-D3 井, 4293, 溶蚀孔洞(A 溶孔, B 白云石)

well D3, 4293 m, dissolution pore (A-dissolution pore; B-dolomite).

f-LJ6 井, 3529.3, 完全开启裂缝

well LJ6, 3529.3 m, completely open fracture.

洞大(图版 I-e), 碳酸的酸性较弱, 而海平面变化频繁, 鲕滩暴露出海平面的时间有限, 在有限的时间范围内由弱的碳酸溶蚀出大的溶蚀孔洞是很困难的; 第三, 溶蚀孔隙保存完好, 后期未被方解石和沥青充填, 鲕滩暴露发生白云石化作用之后, 都经历过长期的埋藏过程, 在这个过程中, 几乎所有的孔洞都被方解石、白云石等物质充填, 要保持这样完好的、干净的孔洞系统几乎是不可能的。

### 1.5 破裂作用

#### 1.5.1 成岩缝

形成于成岩早期, 由岩石脱水收缩而成, 裂缝呈不规则网状, 宽度一般几微米, 方解石充填。此类裂缝主要分布于泥晶灰岩和泥质条带中, 是由于以灰泥基质为主的沉积物颗粒中含水饱和度高, 成岩过程中易脱水收缩, 形成成岩收缩缝。

#### 1.5.2 构造缝

通过对普通薄片、铸体薄片和岩心的观察, 根据裂缝的产状, 充填物的阴极发光、流体包裹体特征和互相间切割关系, 可将整个裂缝系统分为 3 期。

第一期裂缝发育较早, 可能是印支晚期构造运动的产物。呈网状或高角度状, 被细、粉晶方解石或沥青全充填, 阴极发光呈桔黄色, 被后期多组裂缝切割, 无储层意义。

第二期裂缝可能与燕山运动 III 有关。以高角度缝为主, 缝宽 1~10 mm, 最大可达 50 mm, 多为方解石充填或半充填, 阴极发光呈紫色。晶体明亮, 含黑色沥青和大量的气态烃两相包裹体。

第三期裂缝主要与喜山运动有关。其裂缝的产状不定, 缝宽一般小于 1mm, 未被充填, 切割前两期裂缝和缝合线, 也曾发生过溶蚀扩大, 具有明显的溶蚀边缘, 是碳酸盐岩储层的主要储集空间和渗滤通道(图版 I-f)。

第二、三期裂缝都存在未充填的空间, 这些空间可能是裂缝被溶蚀扩大未被充填, 也可以是方解石未全充填留下的空间, 方解石也存在晶间孔, 也有泥质充填物中的微空隙(第二期), 这些空间基本上都被沥青或残余的油质浸染, 说明这些空间已成为油气的储集空间和油气运移的通道。

## 2 孔隙演化

飞仙关鲕滩储层是高能环境形成的以鲕粒为主要组成的沉积物, 发育有大量的原生粒间孔, 孔隙度可高达 30%~50%。①在海底成岩环境, 发生固结成岩, 产生第一期胶结作用, 形成的以纤柱状、马牙状方解石为主的胶结物, 使孔隙度降至 20%~25%(据薄片中的胶结孔隙度统计); ②由于海平面的下降, 鲕滩暴露出海平面, 发生混合水白云石化作用, 由于白云石含有大量的晶间孔, 使储层孔隙度有所提高; 在此同时, 由于大气淡水的作用, 储层发生一定量的溶蚀作用, 也可使储层孔隙度有一定量的增加, 当储层被埋藏时, 储层孔隙度可达 30%左右; ③当海平面上升时, 又可能生长鲕滩, 随着上覆地层的增厚, 埋深的加大, 储层发生压实作用, 同时也有

二期、三期胶结作用的发生; 当埋深增加到一定深度时, 上覆嘉陵江组和雷口坡组沉积之后, 有压溶作用发生, 这个过程使孔隙度(包括原生粒间孔和大气淡水溶蚀作用形成的溶蚀孔隙)大量减少, 最终孔隙度达到 2%~3%; ④印支晚期, 由于构造运动, 裂缝开始形成, 第一期裂缝形成后, 由于晚三叠世烃源岩的成熟, 大量的烃类生成, 储层被烃类溶解产生的有机酸溶蚀, 产生一定量的次生孔隙, 同时也发生了进油事件, 使剩余的有效孔隙和第一期裂缝几乎都被第一次成藏产生的原油所充填, 储层孔隙度降致 2%以下; ⑤之后, 又发生了两次大的构造运动(燕山和喜山运动), 储层产生了两期裂缝, 由于烃源岩在早侏罗世达到过成熟, 加上原油的裂解, 开始有天然气产生, 天然气沿开启的裂缝向上运移, 到达飞四段的石膏层, 由于石膏层的封堵作用, 早期的天然气多聚集在石膏层之下, 加上有水的作用使石膏与天然气中的甲烷发生反应, 形成硫化氢, 而硫化氢与地层水中的氧反应形成硫酸, 硫酸与储层反应形成大量的孔洞系统, 使储层孔隙度大量增加, 可达到 10%~20%, 这个过程中也有少量的有机酸能起到溶蚀作用, 但由于有机酸的溶蚀能力有限, 对储层形成的作用不大; ⑥包裹体分析显示, 中侏罗世—晚侏罗世天然气开始大量生成。说明储层形成之后, 正好有大量的天然气开始生成, 充填了几乎所有有效孔洞, 使孔洞系统能保留至今(图 2)。

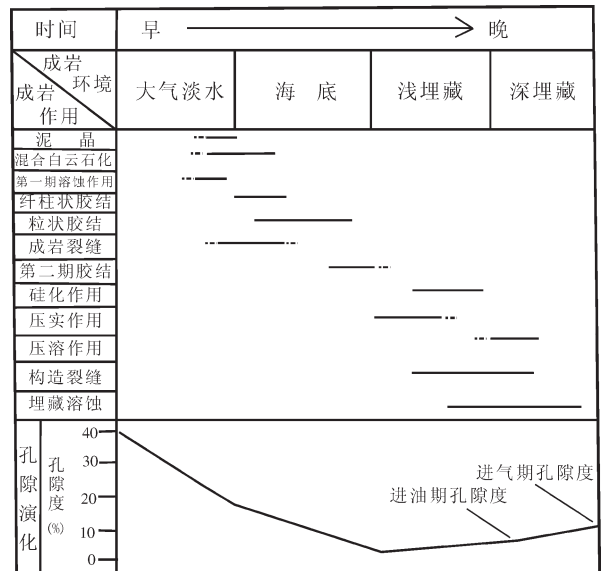


图 2 鲕滩成岩作用及孔隙演化

Fig.2 Diagenesis and porosity evolution of the oolitic shoal reservoir

## 3 结论

(1)成岩作用控制着飞仙关组鲕滩储层的物性及孔隙演化。破坏性成岩作用是胶结作用和压实作用, 其中以胶结作

用为主,其充填了几乎所有的原生孔隙和大部分次生孔隙;建设性成岩作用是岩溶作用、白云石化作用、压溶作用和破裂作用,其中以岩溶作用和白云石化作用为主,它们提供大部分天然气的储集空间,破裂作用也很重要,它形成的裂缝是天然气聚集的主要运移通道。

(2)成岩作用的选择性决定了储层非均质性强。系统研究碳酸盐岩的成岩作用对储层物性的影响,提高勘探开发效益。

#### 参考文献 (References):

- [1] 王一刚,刘划一,文应初,等.川东飞仙关组鲕滩储层分布规律勘探方法与远景预测[J].天然气工业,2002,22(增刊):14-19.  
Wang Yigang, Liu Huayi, Wen Yingchu, et al. Distribution law exploration method and prospective prediction of the oolitic beach reservoirs in Feixianguan Formation in northeast Sichuan basin [J]. Natural Gas Industry, 2002,22 (Supp.):14-19 (in Chinese with English abstract).
- [2] 杨雨,文应初.川东北开江-梁平海槽发育对 T1f 鲕粒岩分布的预测[J].天然气工业,2002,22(增刊):30-32.  
Yang Yu, Wen Yingchu. Control of Kai Jiang- LiangPing trough growing on T1f oolite distribution in north east SiChuan basin [J]. Natural Gas Industry, 2002, 22 (Supp.):30-32 (in Chinese with English abstract).
- [3] 魏国齐,杨威,吴世祥,等.川北飞仙关组鲕滩储层分布预测和有利勘探区带优选[J].中国石油勘探,2004,9(2):38-43.  
Wei Guoqi, Yang Wei, Wu Shixiang. The distribution prediction of oolitic beach reservoir and profitable exploration area for Feixianguan group in north Sichuan basin [J]. China Petroleum Exploration, 2004, 9(2):38-43(in Chinese with English abstract).
- [4] 魏国齐,陈更生,杨威,等.覆盖区碳酸盐岩层序界面的识别和应用[J].石油勘探与开发,2003,30(6):68-71.  
Wei Guoqi, Chen Gengsheng, Yang Wei. Distinguishing of sequence interface of carbonate rock in the covered field and its applying:example for Feixianguan Formation of Lower Triassic in Northern Sichuan Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(6):68-71(in Chinese with English abstract).
- [5] 魏国齐,陈更生,杨威,等.川北下三叠统飞仙关组“槽台”沉积体系及演化[J].沉积学报,2004,22(2):254-260.  
Wei Guoqi, Chen Gengsheng, Yang Wei, et al. Sedimentary system of platformal trough of Feixianguan Formation of Lower Triassic in Northern Sichuan Basin and its evolution [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(2):254-260(in Chinese with English abstract).
- [6] Edward G P, Dave W. Reservoir implications of modern karst topography[J]. AAPG, 1999, 83(11):1774-1794.
- [7] Qing Sun S, Mateu Esteban. Paleoclimatic controls on sedimentation, diagenesis, and reservoir quality:lessons from Miocene Carbonates[J]. AAPG, 1994, 78(4):519-543.
- [8] Kaveh Dehghani, Paul M.(Mitch) Harris, et al. Modeling a Vuggy carbonate reservoir, McElroy field, West Texas [J]. AAPG, 1999, 83 (1):19-42.
- [9] Stacy C.Atchley, Michael, et al. A predictive model for reservoir distribution in the Permian (Leonardian)Clear Fork and Glorieta Formations, Robertson Field Area, West Texas[J]. AAPG, 1999, 83 (7): 1031-1056.
- [10] Luis Plmar, Ward W C. Reservoir -scale heterogeneity in depositional packages and diagenetic patterns on a reef-rimmed Platform, Upper Miocene, Mallorca, Spain [J]. AAPG, 1999, 83 (11):1759-1773.
- [11] John C Hopkins. Characterization of reservoir lithologies within subunconformity pools:Pekisko Formation, Medicine River Field, Alberta, Canada[J]. AAPG, 1999, 83(11):1855-1870.
- [12] 刘宝珺,张锦泉.沉积成岩作用 [M].北京:科学出版社,1994:237-253.  
Liu Baojin, Zhang Jinqian. Sedimentary Diagenesis [M]. Beijing: Science Press, 1994:237-255(in Chinese with English abstract).

## Diagenesis and pore evolution of the oolitic shoal reservoir in the Feixianguan Formation in northeastern Sichuan

YANG Wei, WEI Guo—qi, JIN Hui, ZHANG Lin, SHEN Jue—hong, WU Shi—xiang

(Langfang Branch of the Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Langfang 065007, Hebei, China)

**Abstract:** The oolitic shoal reservoir in the Feixianguan Formation in the northeastern Sichuan basin, which has undergone strong diagenesis, is an important exploration target in the Sichuan basin. On the basis of an integrated analysis of all kinds of data, such as the core, common thin sections, mold thin sections, cathodoluminescence images, carbon and oxygen isotopes, trace elements and fluid inclusions, the paper deals with the main type, mechanism and product of diagenesis and analyzes the effects of diagenesis on the reservoir. Cementation and compaction were the leading destroyers of primary pores and part of secondary pores. Mixed—water dolomitization, corrosion (karstification) and rupturing were the leading builders of secondary pores and the solution pores, solution cavities and fractures produced by them are the dominant accumulation spaces and migration passageways for gas. The physical properties of the reservoir are mainly controlled by diagenesis, which controlled the evolution of pores.

**Key words:** Feixianguan Formation; oolitic shoal; diagenesis; pore evolution; northeastern Sichuan

---

**About the first author:** YANG Wei, male, born in 1971, Ph.D and senior engineer, mainly engages in the research on sedimentation and petroleum reservoir; E—mail: yangw69@petrochina.com.cn.