

DOI: 10. 3969/J. ISSN. 1000-3754. 2010. 02. 007

川东北飞仙关组鲕滩储层空间演化及控制因素

万 云¹ 刘金库² 夏敏全¹ 陈 兰¹ 陈国民¹

(1. 重庆科技学院, 重庆 401331; 2. 中国石油渤海钻探工程公司技术研究院, 天津 300457)

摘要: 根据川东北地区野外露头、岩心的观察, 镜下薄片和扫描电镜等微观鉴定, 结合飞仙关组鲕滩储层孔隙的大小、形态、成因及与岩石结构的关系, 研究了川东北地区飞仙关组鲕滩储层各类储集空间的特征、演化模式及控制因素。研究表明, 储集空间类型可分为粒间残余孔、粒间溶孔、粒内溶孔、晶间孔、晶间溶孔和裂缝。储集空间演化模式归纳为 3 种类型: 滩相鲕粒灰岩型、滩相鲕粒白云岩型和非相控型。储集空间的形成受到沉积作用、成岩作用和构造作用等多种因素的共同控制。

关键词: 储集空间; 演化模式; 控制因素; 鲕滩储层; 飞仙关组; 四川盆地东北部

中图分类号: TE122. 2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3754 (2010) 02-0035-05

THE EVOLUTION MODE AND CONTROLLING FACTORS OF PORE SPACE OF OOLITIC SHOAL RESERVOIR IN FEIXIANGUAN FORMATION IN NORTHEAST SICHUAN BASIN

WAN Yun¹, LIU Jin-ku², XIA Min-quan¹, CHEN Lan¹, CHEN Guo-min¹

(1. Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China;

2. Engineering and Technology Institute of CNPC Bohai Drilling Company Ltd., Tianjing 300457, China)

Abstract: Based on outcrops and core observation in Northeast Sichuan, granite slices and scanning electron microscopic pictures, combined with the relationship between sizes, shapes, genesis and rock structure of oolitic reservoir in Feixianguan Formation, this paper makes a study on the characteristics, evolution mode and controlling factors of various types of pore space of oolitic reservoir in Feixianguan Formation in Northeast Sichuan area. The results indicate that pore types include residual intergranular pores, intergranular dissolution porosity, intragranular porosity, intergranular holes, intergranular porosity and fractures. The evolution mode of pore space can be divided into 3 types: oolitic limestone shoal type, oolitic dolomite shoal type and non-phase-controlled type. The formation of pore space is controlled by sedimentation, diagenesis and tectogenesis.

Key words: pore space; evolution mode; controlling factors; oolitic shoal reservoir; Feixianguan Formation; Northeast Sichuan area

收稿日期: 2010-01-08

基金项目: 重庆市自然科学基金 (CSTC2008BB6068) 及重庆市教委科技项目 (KJ081412) 资助。

作者简介: 万 云, 女, 1959 年生, 高级工程师, 从事石油地质综合研究与管理工作。

E-mail: wanyun@china.com

川东北地区位于四川盆地东北部,该区横跨川渝两地,是四川、重庆天然气的主要产区。目前,川东北地区的勘探面积约 4 000 km²,主要集中在北西向大巴山前缘褶皱带、北东东向的温泉井构造带以及北北东向的黄金口构造带之间,受几组构造相互叠加的影响,区内局部构造形态较为复杂。川东北地区飞仙关组鲕滩储层是近年新发现的一种特殊类型储层,地质、地震研究成果和川东北地区大量的钻探成果表明,下三叠统飞仙关组普遍存在滩相鲕粒灰岩(白云岩),该类储层已经成为在川东北地区寻找大中型气田的重要目标^[1]。该类储层由于受到沉积作用、成岩作用以及构造作用等多种因素的共同控制,形成的储集空间类型比较复杂,不同类型的储集空间物性差异较大,储集空间的演化模式也有所不同。笔者针对川东北地区飞仙关组鲕滩储层各类储集空间的特征,演化模式及控制因素等方面进行了详细研究。

1 储层储集空间类型及特征

根据野外露头、岩心宏观观察和镜下薄片、扫描电镜等微观鉴定,结合孔隙的大小、形态、成因及与岩石结构的关系,可将区内飞仙关组储层内孔隙划分为以下几种类型。

1.1 粒间残余孔

粒间残余孔主要出现于亮晶颗粒岩中,属于原生粒间孔被多期胶结后的残余部分^[2],孔径大小一般 0.1~0.5 mm,形态多为边部平直的多边形,常与粒间溶孔伴生,这类孔隙较少。

1.2 粒间溶孔

粒间溶孔属于颗粒间胶结物被溶蚀后形成的孔隙^[2],孔径大小 0.2~0.5 mm,形态多为边部不平直的多边形或不规则港湾状。有的孔隙有沥青充填,有的孔隙没有沥青充填,由此可见,这类孔隙可能为两期埋藏溶蚀作用形成。这类孔隙在鲕粒灰岩或鲕粒白云岩中大量分布,且连通性好,为主要的储集空间。

1.3 粒内溶孔

指颗粒内部被溶蚀后形成的孔隙^[2]。此类孔隙也分为有沥青充填和无沥青充填两种情况。粒内溶孔根据分布位置、大小、形态的不同又可分为以下几类。

1.3.1 普通粒内溶孔

颗粒被部分溶解后形成的孔隙,溶蚀的颗粒内仍有部分方解石或白云石未完全溶解,并以溶蚀残

余物的形态充填在颗粒内部,溶蚀孔隙呈不规则状,大小在 0.05~0.2 mm,这类孔隙在本区储层段的颗粒灰岩(云岩)中极为常见,是一种极其重要的储集空间。

1.3.2 铸模孔

颗粒全部被溶蚀后形成的孔隙,仅保留颗粒的外部形态^[2],孔隙多呈圆形,大小在 0.05~0.2 mm。铸模孔的形成有两种方式,一种是大气淡水溶蚀形成的铸模孔,这种孔隙在埋藏过程中又被单晶或多晶方解石充填,充填的方解石经过埋藏溶解作用后被完全溶蚀,铸模孔又得以重新恢复;另一种是颗粒在埋藏溶解作用下被直接溶蚀形成。这种孔隙是区内储层中重要的孔隙,主要分布于鲕粒灰岩(云岩)中。

1.3.3 粒内晶间溶孔

粒内晶间溶孔是在鲕粒、砂屑等颗粒内部沿白云石或方解石晶间孔隙溶蚀扩大形成的,孔隙形态不规则,多呈蜂窝状。

1.3.4 鲕粒圈层溶孔

沿鲕粒同心圈层溶蚀形成的孔隙。鲕粒生长圈层之间存在薄弱面(岩性或结构差异)^[3],沿这种薄弱面溶蚀可形成环形孔隙。

1.4 晶间孔及晶间溶孔

1.4.1 晶间孔

晶间孔为白云石晶粒之间的细小孔隙,孔隙边缘多平直,呈三角形或多边形,孔径一般小于 0.1 mm,面孔率一般在 1%。

1.4.2 晶间溶孔

晶间溶孔由早期晶间孔进一步溶蚀扩大而成^[3]。孔隙形态不规则,多呈港湾状,孔径一般 0.005~0.02 mm,部分溶孔充填沥青。这种孔隙广泛分布于粉晶白云岩中或残余鲕粒白云岩中,是主要储集空间之一。

1.5 裂缝

1.5.1 构造裂缝

此类裂缝因构造挤压造成岩石破裂形成^[4],是沟通各类孔隙空间的主要渗滤通道。

1.5.2 成岩缝

成岩缝是沉积物在成岩早期由于干缩、脱水而形成的裂缝^[4],多呈上宽下窄的“V”字形垂直层面分布,这种缝经常被方解石充填。

2 储层储集空间演化模式

川东北地区飞仙关组鲕滩储层由于经历了多期

成岩作用的改造^[5],储集空间类型非常复杂,不同类型储集空间的演化模式差别也很大。综合考虑储层的岩石学特征、沉积相特征及成岩作用特征等因素影响,将储层储集空间演化模式归纳为三种类型:滩相鲕粒灰岩型、滩相鲕粒白云岩型及非相控型。

2.1 滩相鲕粒灰岩储层储集空间的演化模式

滩相鲕粒灰岩储层主要发育于台内滩相带,由

于滩体暴露时间较短,接受大气淡水的淋滤作用时间较短,滩体未发生大规模的混合水白云石化作用,因而,滩体的岩性主要为鲕粒灰岩。此类岩石经过溶解作用(其中埋藏溶解作用贡献最大)后可形成大量的粒间溶孔、粒内溶孔,这类孔隙构成了储层的主要储集空间。储集空间的演化模式如下(图1)。

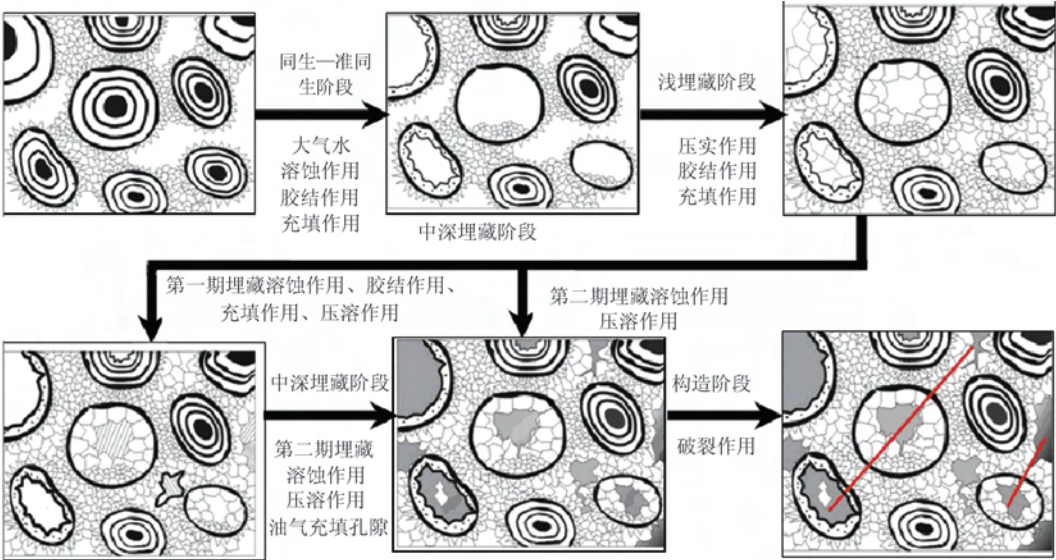


图1 滩相鲕粒灰岩储层储集空间的演化模式
Fig.1 Evolution mode of pore space of shoal oolitic limestone reservoir

- (1) 同生成岩阶段:沉积后的鲕粒、砂屑等颗粒基本固结成岩,并发生泥晶化作用和第一期胶结作用,原生粒间孔发育,孔隙度一般 20% ~40%。
- (2) 同生—准同生阶段:滩体暴露于地表,接受大气淡水的选择性溶解,形成大量的粒间溶孔、粒内溶孔,孔隙度可达 20% ~30%。
- (3) 浅埋藏阶段:该阶段发生强烈的压实作用、第二期粒状方解石胶结作用和单晶或多晶方解石充填作用,导致孔隙度急剧降低,一般小于 4%。
- (4) 液态烃形成阶段:该阶段储层埋深超过 2 000 m,温度大于 60℃^[6], 鲕滩沉积体进入中—深埋藏阶段,压实作用演化为压溶作用,与此同时,烃源岩经热演化开始形成液态烃,在此过程中形成的有机酸性水对鲕滩储层产生强烈的溶蚀作用^[6](该期溶蚀作用只发生在本区的局部地区^[6])并形成大量的粒间溶孔、粒内溶孔。溶蚀孔隙形成过程中伴有沥青侵位现象(部分溶蚀孔隙壁赋存沥青),形成的溶孔部分被第三期方解石胶结物充填,该阶段储层孔隙度一般在 3% ~6%。

- (5) 气态烃形成阶段:该阶段地层埋深在 4 500 m 以上,压溶作用发育;同时,液态烃或干酪根裂解产生的 CH₄ 与 SO₄²⁻ 反应生成大量的 H₂S,对岩石产生强烈的溶蚀作用^[6]。该阶段形成的溶蚀孔隙无沥青充填,是现今天然气藏的主要储渗空间,储层孔隙度一般在 5% ~8%。
- (6) 喜山期构造阶段:储层在构造作用下形成大量的裂缝,构成裂缝—孔隙型储层,由于裂缝的沟通作用,储层渗透率得到了很大提高。

2.2 滩相鲕粒白云岩储层储集空间演化模式

滩相鲕粒白云岩储层主要发育于台缘滩相带,该相带由于滩体暴露时间较长,发生了强烈的混合水白云石化作用,并形成了大规模的白云岩储层,这类储层在白云石化作用和溶蚀作用的影响下形成了大量的晶间孔和晶间溶孔,其储集空间的演化模式如下(图2)。

- (1) 同生成岩阶段:成岩作用以泥晶化作用和海底胶结作用为主,原生粒间孔发育,孔隙度一般在 20% ~40%。
- (2) 同生—准同生阶段:滩体首先在大气淡

水溶蚀作用下形成了大量的粒间溶孔、粒内溶孔，形成的溶孔部分被方解石充填；随后在淡水与海水混合带发生混合水白云石化作用，鲕粒和第一期方

解石胶结物被白云石交代形成粉细晶残余鲕粒白云岩，储层的晶间孔非常发育，孔隙度达到 20% ~ 30%。

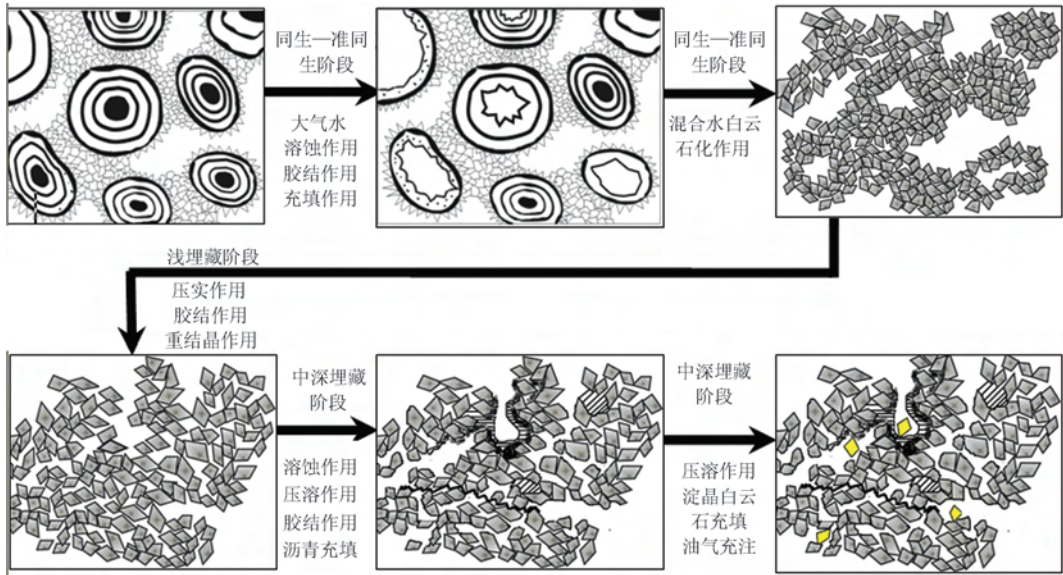


图2 滩相鲕粒白云岩储层储集空间演化模式

Fig.2 Evolution mode of pore space of shoal oolitic dolomite reservoir

(3) 浅埋藏阶段：该阶段发生强烈的压实作用粒状方解石胶结作用和重结晶作用，压实作用和胶结作用导致孔隙度急剧降低，但重结晶作用使白云石晶体变大，自形程度变好，晶间孔进一步发育，形成砂糖状白云岩，该阶段孔隙度可达 7% ~ 10%。

(4) 中深埋藏阶段：该阶段压实作用演化为压溶作用，储层首先遭受了液态烃期的埋藏溶蚀作用，晶间孔进一步被溶蚀扩大形成大量的晶间溶孔，形成的孔隙一部分被第三期连晶方解石胶结物或沥青质充填，另一部分保存下来；进入气态烃期后，又发生了第二期埋藏溶蚀作用，晶间溶孔进一步被溶蚀扩大，第三期方解石胶结物部分被溶蚀，形成大量晶间溶孔，有少部分孔隙又被后期的淀晶白云石充填，该阶段孔隙度可达 10% ~ 15%。

2.3 非相控型储层储集空间演化模式

该类储层主要发育于滩间海或滩体的前缘斜坡相带，岩性以微晶灰岩为主，该类岩石本身物性极差，无储集能力，但在构造破裂作用可形成构造缝，地层水及淡水沿裂缝进入地层，并沿裂缝溶蚀形成扩溶缝，使之具有一定的储集能力。此类储层的储集空间以裂缝为主，孔隙度低，可形成Ⅲ类储层。储集空间演化模式见图 3。

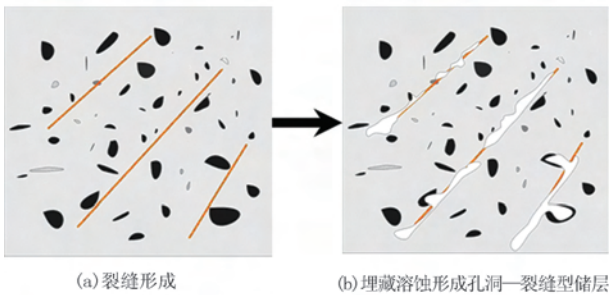


图3 非相控型储层储集空间演化模式

Fig.3 Evolution mode of pore space of non-phased reservoir

3 储层储集空间形成的控制因素

本区飞仙关组鲕滩储层储集空间的形成与演化受多种因素控制，主要控制因素为沉积相、成岩后生变化中的混合水白云石化作用和埋藏溶蚀作用以及构造破裂作用。

3.1 有利相带控制了鲕滩储层的分布

鲕粒灰岩（白云岩）是潮下高能带的产物，它的分布与沉积环境密切相关，由于飞仙关期沉积环境经历了一个不断发展演化的过程，造成了鲕粒滩分布在横向上的不断迁移^[7]。沉积相带的展布还对成岩作用有明显的控制，比如早期的溶蚀作用、白云石化作用都与滩体暴露有关，晚期的埋藏

溶解作用也与鲕粒滩的分布有关^[8]。多口井实钻资料表明溶蚀作用、白云石化作用发育的层段均对应于台缘滩或台内滩相带。这充分表明沉积相既控制了鲕粒灰岩的分布,也控制了成岩作用的演化。

3.2 混合水白云石化作用和埋藏溶蚀作用是储集体发育的关键

3.2.1 混合水白云石化作用

川东北地区飞仙关组白云岩存在3种成因类型^[9]:混合水白云石化、回流渗透白云石化和埋藏白云石化。其中,回流渗透白云石化作用只形成泥晶结构为主的白云石,孔隙不发育;埋藏白云石化作用不强烈,未能形成白云岩储层;混合水白云石化作用主要形成于台地边缘鲕粒滩中,云化非常强烈,可形成大规模的中—厚层状或大型透镜状的鲕粒白云岩。川东北地区飞仙关组气藏的勘探实践也表明云化的鲕滩与非云化的鲕滩储集物性差异较大,这是由于埋藏酸性流体进入储层时,流体在云化的鲕滩更易横向运移,对储层改造的规模增大;而在具有残余粒间孔的鲕粒灰岩储层,由于孔隙呈孤立状,缺乏流体横向运移通道,流体横向运移距离仅限于断裂—裂缝系统附近,对储层的影响相对较小。

3.2.2 埋藏溶蚀作用

溶蚀作用是飞仙关组储层内次生孔隙形成的重要因素^[6-13]。本区溶蚀作用分为大气水溶蚀作用、埋藏溶解作用。大气水溶蚀作用形成的孔隙基本被后期的方解石或白云石充填,对储层孔隙发育的贡献不大;埋藏溶解作用形成的孔隙大部分未充填,对储层孔隙发育的贡献最大,是储层孔隙形成的重要机制。本区埋藏溶蚀作用可分为两期:液态烃期和气态烃期溶蚀。液态烃期溶蚀作用是烃源岩在热演化过程中形成的有机酸性水对储层产生强烈的溶蚀作用,该期形成的溶蚀孔隙部分被充填;气态烃期的溶蚀作用是液态烃或干酪根裂解产生的 CH_4 与 SO_4^{2-} 反应生成大量的 H_2S ,对碳酸盐岩具有强烈的腐蚀作用。该阶段形成的溶蚀孔隙无沥青充填,是现今天然气藏的主要储集空间。

3.3 构造破裂作用提高了储层的储集性能

构造破裂作用形成的大量裂缝可以将储层中的孔洞沟通起来,使储集类型变为裂缝—孔隙型,增大了储集体的渗滤能力,从而形成优质有效的储集体。

4 结 论

(1) 本区飞仙关组储层的储集空间类型可分为粒间残余孔、粒间溶孔、粒内溶孔、晶间孔、晶间溶孔以及裂缝。

(2) 储集空间演化模式归纳为三种类型:滩相鲕粒灰岩型、滩相鲕粒白云岩型及非相控型。不同类型储集空间的演化模式差别较大。

(3) 储集空间的形成与演化受多种因素控制,其中,有利的相带控制了鲕滩储层的分布,混合水白云石化作用和埋藏溶蚀作用是储集体发育的关键,构造破裂作用提高了储层的储集性能。

参考文献:

- [1] 沈平,赵佐安,曾云贤,等.川东北部飞仙关组鲕滩气藏的发现及气藏特征[J].西南石油大学学报,2007,29(1):1-4.
- [2] 苏立萍,罗平,罗忠,等.川东北飞仙关组鲕滩储层特征研究[J].天然气工业,2005,25(6):14-17.
- [3] 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,2006,33(1):17-21.
- [4] 谢冰,文龙,李梅,等.川东北部飞仙关组裂缝发育状况分析[J].天然气勘探与开发,2007,30(1):38-44.
- [5] 杨威,魏国齐,金惠,等.川东北飞仙关组鲕滩储层成岩作用和孔隙演化[J].中国地质,2007,34(5):822-828.
- [6] 曾伟,黄先平,杨雨,等.川东北地区飞仙关组储层中的埋藏溶蚀作用[J].天然气工业,2006,26(11):4-6.
- [7] 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.
- [8] 王瑞华,牟传龙,谭钦银,等.达县—宣汉地区长兴组礁滩白云岩成岩过程中的孔隙演化[J].沉积与特提斯地质,2007,27(2):9-12.
- [9] 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(1):1-3.
- [10] 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.
- [11] 洪余刚,陈景山,代宗仰,等.古地貌恢复在风化壳岩溶型储层研究中的应用[J].大庆石油地质与开发,2007,26(1):1-5.
- [12] 董平川,雷均.缝洞型碳酸盐岩储层测井响应与储层识别[J].大庆石油地质与开发,2009,28(4):6-10.
- [13] 程倩,李阳,熊伟,等.缝洞型碳酸盐岩油藏介质理论[J].大庆石油地质与开发,2009,28(4):35-38.