

文章编号: 0253-9985(2011)01-0056-08

四川盆地东北部长兴组-飞仙关组 各沉积相带储层特征

王正和¹, 郭彤楼², 谭钦银¹, 王瑞华¹, 程锦翔¹

(1 国土资源部中国地质调查局 成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

2 中国石化 南方勘探开发分公司, 四川 成都 610041)

摘要: 四川盆地东北部晚二叠世长兴组与早三叠世飞仙关组具有较大的天然气勘探潜力, 储层主要发育在台地边缘礁滩相、局限台地相、开阔台地相及台缘斜坡-陆棚相中。利用测井解释资料以及样品实测资料, 对达县宣汉、通南巴及元坝 3 个区块中长兴组-飞仙关组不同沉积相带的岩石物性特征进行了归纳统计与对比研究。结果表明, 沉积相控制了沉积岩石类型, 而不同岩石类型因内部结构差异及原生孔隙差异又导致不同相带的储层物性差异, 沉积环境能量越高的相带越有利于优质储层的发育。台地边缘礁滩相储层岩石物性最好, 主要构成孔隙型的 II 类储层, 台地相储层岩石物性次之, 主要构成裂缝-孔隙复合型 III 类储层, 台地边缘斜坡-陆棚相储层岩石物性最差, 只能形成裂缝型储层。综合研究认为, 寻找优质储层, 依然是优先寻找有利于形成优质储层的台地边缘礁滩相带。

关键词: 岩石物性 储层特征 沉积相 长兴组 飞仙关组 四川盆地

中图分类号: TE121.3 文献标识码: A

Reservoir characteristics of different sedimentary facies in the Changxing and Feixianguan Formations, northeast of the Sichuan Basin

Wang Zhenghe¹, Guo Tonglu², Tan Qinyin¹, Wang Ruohua¹ and Cheng Jinxiang¹

(1. Chengdu Center of China Geological Survey, the Ministry of Land and Resources Chengdu, Sichuan 610081, China)

2. SINOPEC Exploration Southern Company, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract Previous exploration activities indicate that the Changxing Formation of the Late Permian and the Feixianguan Formation of the Early Triassic in northeast of Sichuan Basin have great potential of gas discoveries. The reservoirs are mostly developed in platform margin reef & bank facies, restricted platform facies, open platform facies and platform margin ramp-continental shelf facies. In order to deepen the understanding of the reservoir characteristics, we studied the petrophysical characteristics of rock samples from different sedimentary facies in the two formations from three blocks namely as Xuanhan, Tongnanba and Yuanba in Da County of Sichuan Province based on available log interpretations and sample test results. It turns out that the sedimentary facies controlled the rock types, which in turn result in varying reservoirs petrophysical characteristics due to differences in internal textures and primary porosity. It also points out that reservoirs are better developed in facies deposited in an environment with higher energy. Reservoirs in the platform margin reef & bank facies have the best petrophysical characteristics and are of porous types (type II). The platform facies contains complex reservoirs of fracture-porosity type (type III) with second best petrophysical characteristics. The reservoirs in the platform margin ramp-continental shelf facies have poor petrophysical characteristics and are of fracture type. We therefore suggest that the platform margin reef & bank facies be the focus of exploration activities.

Key words petrophysics, reservoir characteristic, sedimentary facies, Changxing Formation, Feixianguan Formation, Sichuan Basin

自 2004 年普光气田发现以来, 四川盆地东北部(图 1)的油气勘探进入了高潮。前人^[1-16]对该区晚二叠世长兴组与早三叠世飞仙关组的沉积、层序、成藏、成岩及储层等方面均做了深入与详细研究。且迄今的勘探与研究均表明该区晚二叠世长兴组与早三叠世飞仙关组具有巨大的油气勘探潜力。但对该区该层段不同沉积相带储层岩石物性特征的对比研究相对较少。因此, 综合利用样点实测及测井解释资料, 对该区长兴组-飞仙关组碳酸盐岩沉积区不同沉积相带的岩石物性特征进行总结与阐述, 希望对储层认识的深化以及本区及相似区域后续的勘探与开发有所帮助。

1 地质背景

四川盆地东北部位于米仓山-大巴山前缘(图 1), 地理上属于四川盆地东北部和部分渝北地区的中-高山区。大地构造位置属于上扬子地台的东北部, 挟持在印支晚期秦岭造山带盆缘推覆山系与四川前陆盆地之间的构造交接带部位, 现今构造格局主要受北西向的米仓山-大巴山构造山系逆冲推覆

作用控制, 于中、新生代经历了多期构造演化过程, 具有十分复杂的区域构造轮廓^[12]。

四川盆地东北部上二叠统长兴组-下三叠统飞仙关组为该重要勘探目的层, 总体为碳酸盐台地沉积, 受古断裂的控制, 宽广的台地被切割成台隆与台盆的沉积格局。受开江-梁平台盆的控制, 长兴晚期-飞仙关早期在其两侧发育了较为对称的类似于威尔逊相模式的碳酸盐岩沉积体系^[9]。

2 主要沉积相带岩石物性特征

在四川盆地东北部碳酸盐岩沉积区, 从长兴组到飞仙关组, 主要发育有台地蒸发岩相、局限台地相、开阔台地相、台地边缘生物礁相、台地边缘浅滩相、台地边缘斜坡相、陆棚相及盆地相。但从实际勘探成果出发, 本文仅按台地边缘礁滩相(包括台地边缘生物礁、生屑滩与台地边缘浅滩)、台地相(包括局限台地相与开阔台地相)以及台地边缘斜坡-陆棚相 3 部分进行岩石物性的归纳与总结。各相带的主要储层岩石类型及在地层中的分布特征见表 1。

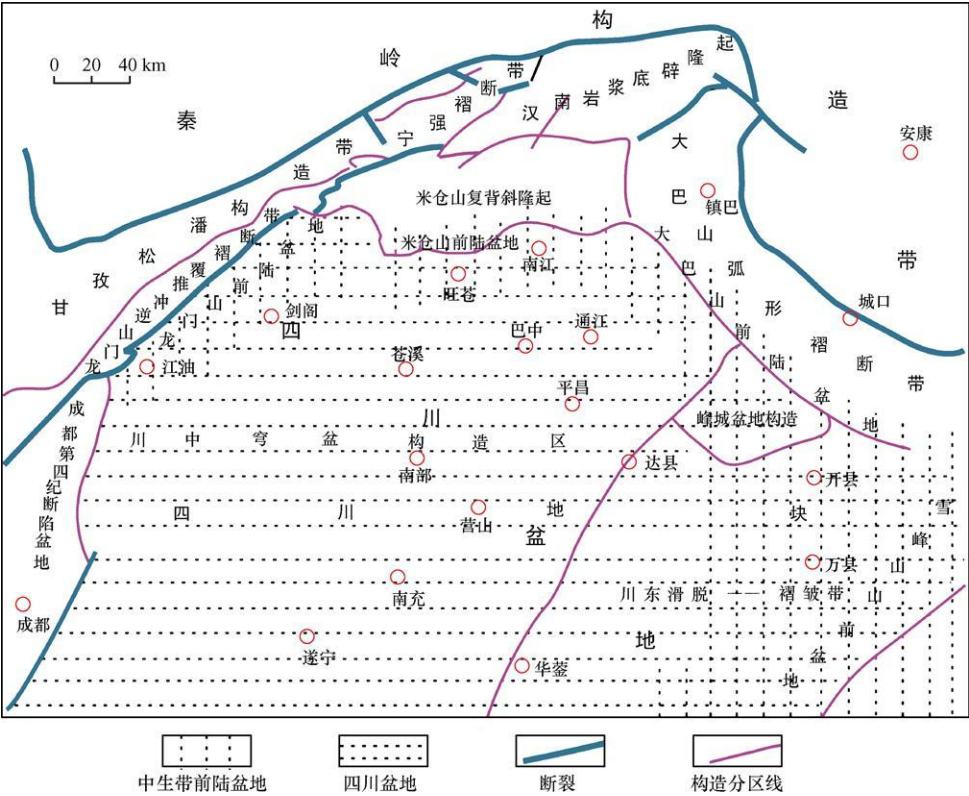


图 1 四川盆地东北部构造区划^[13]

Fig 1 Tectonic division of the northeast Sichuan Basin

表 1 四川盆地东北部长兴组- 飞仙关组不同沉积相带主要岩石类型与分布特征

Table 1 Main rock types and their distribution characteristics in different sedimentary facies of the Changxing and Feixianguan formations in the northeast Sichuan Basin

沉积相带	飞仙关组三段			飞仙关组一、二段			长兴组		
	主要区块	岩石类型	代表井	主要区块	岩石类型	代表井	主要区块	岩石类型	代表井
台地边缘礁滩	达县- 宣汉	基本上为鲕粒白云岩	普光 6 井 毛坝 6 井	达县- 宣汉	鲕粒白云岩为主, 有少量泥晶白云岩	普光 1- 普光 12 井 大湾 102 井	达县- 宣汉	礁白云岩为主, 其次是礁灰岩, 有少量生屑灰岩	普光 6 井 毛坝 3 井
	元坝	—		元坝	鲕粒灰岩为主, 其次是鲕粒白云岩, 有少量泥晶灰岩	元坝 2 井 元坝 9 井 元坝 11 井 元坝 12 井 元坝 27 井	元坝	礁灰岩为主, 有少量礁白云岩	元坝 11 井
	通南巴	—		通南巴	—		通南巴	—	
碳酸盐岩台地	达县- 宣汉	鲕粒白云岩为主, 泥晶白云岩、鲕粒灰岩及泥晶灰岩较少	普光 1- 普光 12 井 大湾 1 井 毛坝 2 井	达县- 宣汉	鲕粒白云岩为主, 其次是泥晶白云岩与泥晶灰岩	普光 2 井 普光 3 井 普光 4 井	达县- 宣汉	泥晶灰岩为主, 其次是生屑灰岩、礁灰岩及泥晶白云岩很少	普光 6 井
	元坝	—		元坝	—		元坝	—	
	通南巴	鲕粒灰岩为主, 泥晶灰岩较少	河坝 1 井 河坝 2 井 河坝 102 井	通南巴	—		通南巴	—	
台地边缘斜坡- 陆棚	达县- 宣汉	基本为泥晶灰岩		达县- 宣汉	基本为泥晶灰岩	大湾 3 井	达县- 宣汉	—	
	元坝	—		元坝	基本为泥晶灰岩	元坝 5 井	元坝	—	
	通南巴	—		通南巴	基本为泥晶灰岩	河坝 102 井	通南巴	基本为泥晶灰岩	马 2 井

注: “—”表示储层不发育。

2.1 台地边缘礁滩相储层物性特征

1) 基本物性特征

长兴组- 飞仙关组台地边缘礁滩相岩石物性特征见表 2 和表 3。

孔隙度、渗透率及密度的特征表明, 四川盆地东北部长兴组- 飞仙关组台地边缘礁滩相带岩石物性很好, 主要构成为 II 类储层, 其次是 I 类储层 (表 4)。

2) 孔隙度- 渗透率- 密度相关性

台地边缘礁滩相岩石孔、渗呈正相关关系 (图 2), 即随着孔隙度的增加, 渗透率也随之增大。局部渗透率高于正常值, 主要受裂缝影响。局部低于正常值, 一方面是孔隙之间的连通性较差, 另一方面是孔隙之间连通性较好, 但受沥青充填影响。

台地边缘礁滩相储层密度、孔隙度呈很好的负相关关系 (图 3), 即随着岩石密度逐渐增加, 孔隙度逐渐减少, 密度、渗透率之间也大致呈负相关。

表 2 四川盆地东北部长兴组-飞仙关组不同沉积相带岩石物性特征

Table 2 Petrophysical characteristics of different sedimentary facies of the Changxing and Feixianguan formations in the northeast Sichuan Basin

沉积相带		台地边缘 礁滩	碳酸盐台地	斜坡-陆棚
孔隙度, %	最大值	28.86	20.94	8.53
	最小值	0.59	0.30	0.84
	平均值	7.15	3.71	1.74
	样品数	2 140	740	82
渗透率 / (10 ⁻³ μm ²)	最大值	9 664.887	450.399	355.212
	最小值	0.002	0.000	0.001
	平均值	74.120	5.544	5.820
	样品数	1 992	660	82
岩石密度 / (g·cm ⁻³)	最大值	3.30	2.82	2.82
	最小值	2.03	2.23	2.52
	平均值	2.65	2.68	2.70
	样品数	2 121	696	82
岩石骨架密度 (g·cm ⁻³)	最大值	3.57	3.01	2.87
	最小值	2.64	2.45	2.67
	平均值	2.85	2.78	2.74
	样品数	2 115	696	82

物性特征分析表明, 四川盆地东北部台地边缘礁滩相储层以孔隙型储层为主。

2.2 碳酸盐岩台地相储层物性特征

1) 基本物性特征

长兴组-飞仙关组碳酸盐岩台地相岩石物性特征见表 2 和表 3。

孔隙度、渗透率及密度特征表明, 四川盆地东北部长兴组-飞仙关组碳酸盐岩台地相带岩石储集物性一般, 以 III 类储层为主, II 类优质储层较少, 非储层占有一定比例。

2) 孔隙度-渗透率-密度相关性

碳酸盐岩台地相岩石孔、渗呈较好的正相关关系(图 4), 即随着孔隙度的增加, 渗透率也随之增大。少数渗透率高于正常值, 主要受裂缝影响。该相带岩石孔-渗关系表明, 四川盆地东北部碳酸盐岩台地相岩石储集空间以裂缝-孔隙复合型为主。

碳酸盐岩台地相岩石密度、孔隙度关系较好, 两者总体呈负相关关系, 即随着岩石密度逐渐增

表 3 四川盆地东北部长兴组-飞仙关组不同沉积相带岩石物性特征对比

Table 3 Comparison of petrophysical characteristics in different sedimentary facies of the Changxing and Feixianguan formations in the northeast Sichuan Basin

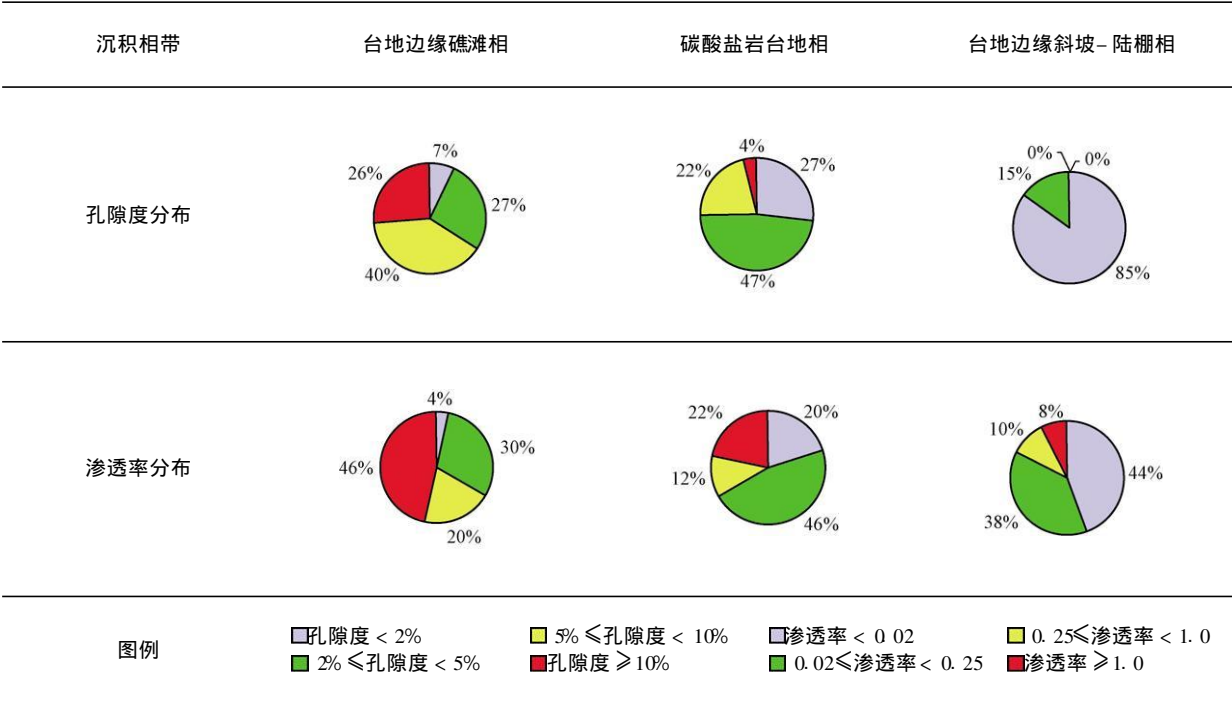


表 4 碳酸盐岩储层分类

Table 4 Classification of carbonate rock reservoirs

储层类别	I 类	II 类	III类
孔隙度, %	> 10%	5% ~ 10%	2% ~ 5%
渗透率 / ($10^{-3}\mu\text{m}^2$)	> 1.000	0.250 ~ 1.000	0.020 ~ 0.250

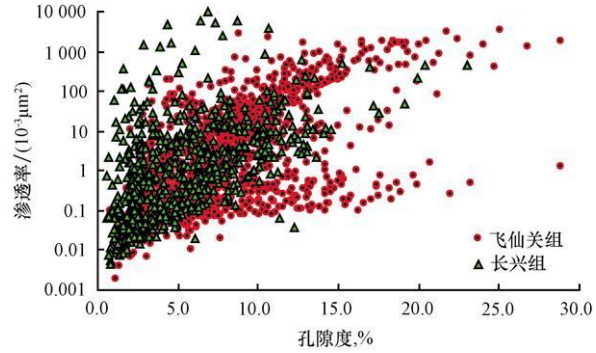


图 2 四川盆地东北部长兴组- 飞仙关组台地边缘礁滩相岩石孔隙度- 渗透率关系

Fig 2 Relationship between porosity and permeability of rocks in the platform margin reef and bank facies of the Changxing and Feixianguan formations in the northeast Sichuan Basin

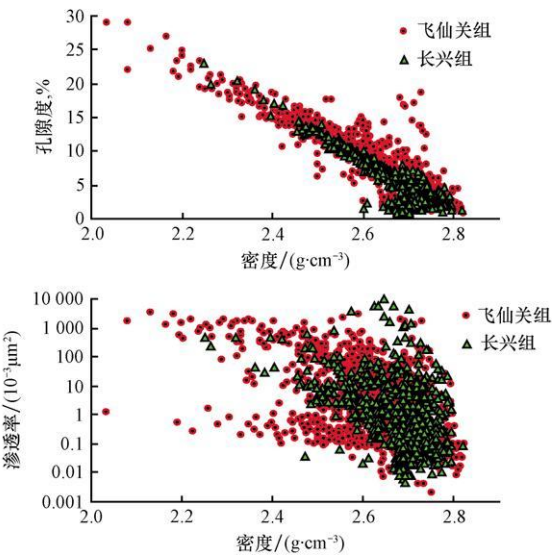


图 3 四川盆地东北部长兴组- 飞仙关组台地边缘礁滩相岩石密度- 孔隙度及密度- 渗透率关系

Fig 3 Density vs porosity and density vs permeability of rocks in the platform margin reef and bank facies of the Changxing and Feixianguan formations in the northeast Sichuan Basin

加, 孔隙度逐渐减少。密度、渗透率之间亦有大致的负相关关系, 但渗透率高于正常值的较多 (图

5)。密度- 孔隙度及密度- 渗透率相关性表明, 四川盆地东北部碳酸盐岩台地相岩石储集空间以裂缝- 孔隙复合型为主。

2.3 台地边缘斜坡- 陆棚相储层物性特征

1) 基本物性特征

长兴组- 飞仙关组台地边缘斜坡- 陆棚相岩石物性特征见表 2和表 3。

孔隙度、渗透率及密度特征表明, 该地区长兴组- 飞仙关组台地边缘斜坡- 陆棚相岩石孔隙度很差, 但渗透率却较好, 表现出渗透率与孔隙度特征不匹配, 即呈现为低孔隙度时却有高渗透率发育, 说明高渗透率是因裂缝发育所致。总体上, 该相带岩石储集性很差, 难以构成储层。

2) 孔隙度- 渗透率- 密度相关性

台地边缘斜坡- 陆棚相岩石孔、渗相关性较差, 投点分散零乱, 规律性不强 (图 6)。孔- 渗关系表明, 台地边缘斜坡- 陆棚相储层以裂缝型为主。

台地边缘斜坡- 陆棚相岩石密度、孔隙度总体呈负相关关系, 即随着岩石密度逐渐增加, 孔隙度逐渐减少。密度、渗透率相关性较差, 投点分散零乱 (图 7)。密度值变化范围较小, 这与台地边缘斜坡- 陆棚环境下所沉积的岩石类型比较单一, 且后期成岩改造较小有关。渗透率高于正常值的较多, 这与裂缝发育有关。

据密度- 孔隙度及密度- 渗透率相关性表明, 台地边缘斜坡- 陆棚相岩石很难形成有效储层, 只有在裂缝大量发育下, 才能形成以裂缝型为主的储层。

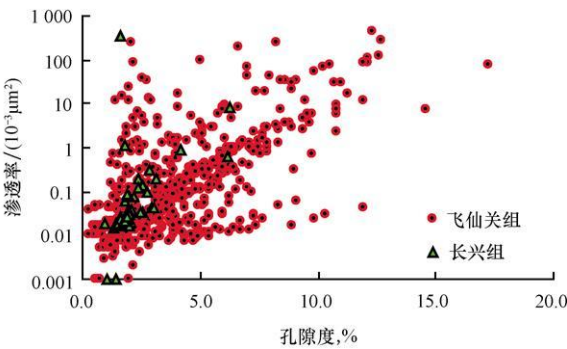


图 4 四川盆地东北部长兴组- 飞仙关组碳酸盐岩台地相岩石孔隙度- 渗透率关系

Fig. 4 Porosity vs permeability of rocks in the carbonate rock facies of the Changxing and Feixianguan formations in the northeast Sichuan Basin

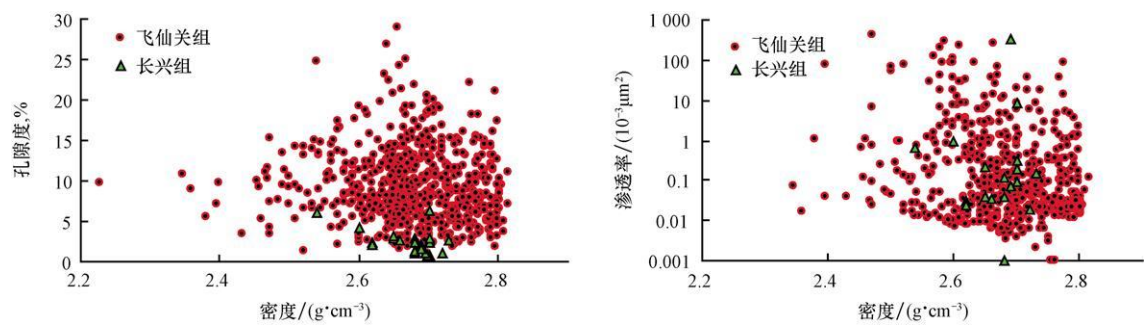


图 5 四川盆地东北部长兴组-飞仙关组碳酸盐岩台地相岩石密度-孔隙度及密度-渗透率关系

Fig 5 Density vs porosity and density vs permeability of rocks in the carbonate facies of the Changxing and Feixianguan formations in the northeast Sichuan Basin

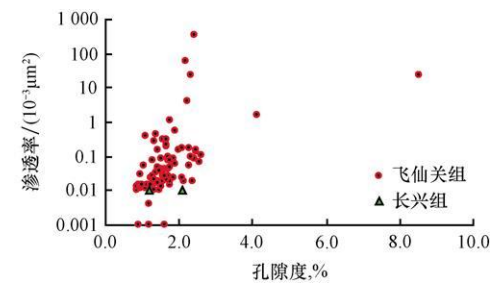


图 6 四川盆地东北部长兴组-飞仙关组台地边缘斜坡-陆棚相岩石孔隙度-渗透率关系

Fig 6 Porosity vs permeability of rocks in the platform margin ramp and continental shelf facies of the Changxing and Feixianguan formations in the northeast Sichuan Basin

2.4 不同相带储层物性特征总结

对不同沉积相带岩石物性的对比分析表明(表 2 表 3), 岩石物性与沉积相带有明显的联系。相对而言, 台地边缘礁滩相岩石孔隙度无论是最大值、最小值还是平均值都是最高的, 碳酸盐岩台地相岩石孔隙度居次, 台地边缘斜坡-陆棚相岩石孔隙度最差。而渗透率值的测定因为受孔隙度、

连通性、裂缝及孔喉类型等多种因素的影响, 故与沉积相带之间的规律性不如孔隙度明显。但是, 台地边缘礁滩相岩石渗透率值也明显高于另外两者。此外, 台地边缘礁滩相岩石密度最小, 碳酸盐岩台地相岩石密度值略大, 而台地边缘斜坡-陆棚相岩石密度最大, 总体上表现为与沉积相带-岩石孔隙度之间相反的规律。

2.5 不同相带储层物性差异原因

研究表明, 沉积环境对储层物性有着息息相关的影响。这是因为, 不同的沉积环境控制着不同类型岩石的沉积分异。而不同类型的岩石有着巨大的内部结构差异, 且受后续的成岩改造影响也不一样。这就决定了不同沉积相带中储层物性差异的存在。

从沉积环境来看, 台地边缘礁滩相始终处于水体相对较浅的高能环境, 且易暴露并受大气淡水淋滤作用, 因此, 台地边缘礁滩相中所沉积的碳酸盐岩灰泥含量较少, 颗粒结构比较发育, 原生粒间孔相对比较发育, 有利于后期流体渗入而发生建设性

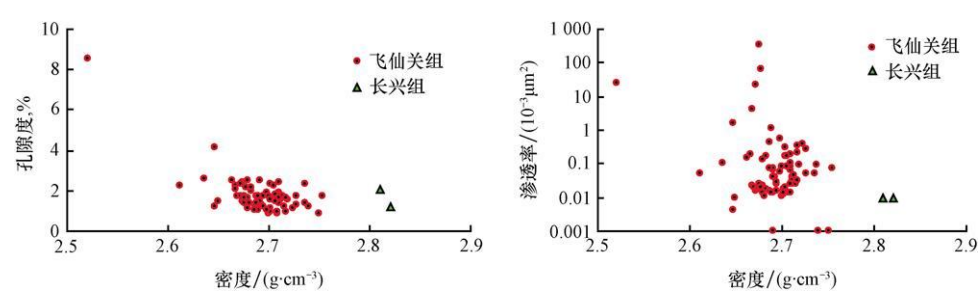


图 7 四川盆地东北部长兴组-飞仙关组台地边缘斜坡-陆棚相岩石密度-孔隙度及密度-渗透率关系

Fig 7 Density vs porosity and density vs permeability of rocks in the platform margin ramp and continental shelf facies of the Changxing and Feixianguan formations in the northeast Sichuan Basin

成岩改造,并形成以孔隙型为主的储集空间。台地相沉积水体相对较深,水动力相对较弱,沉积物灰泥含量相对较高。斜坡-陆棚相则基本处于弱-静水动力环境,主要以灰泥沉积为主。灰泥构成的泥晶灰岩较为致密,原生孔隙不发育,有碍流体的渗入改造,所以往往难进一步形成孔隙。因此,灰泥含量较高的岩石往往是靠裂缝贡献而形成储层。

总的说来,沉积相控制了沉积岩石类型,而不同岩石类型因内部结构差异及原生孔隙差异,导致受后期流体参与的成岩改造程度不一样,导致不同相带储层的物性差异。高能沉积环境下的碳酸盐岩原生孔隙较为发育,流体易于渗入而发生建设性成岩改造而低能环境下则相反。

3 结论

1) 在该地区长兴组-飞仙关组地层中,岩石储集物性最好的是台地边缘礁滩相,碳酸盐岩台地相次之,台地边缘斜坡-陆棚相最差。台地边缘礁滩相是最有利的储层发育区,其中 II 类储层最为发育 其次是 I 类储层与 II 类储层,在台地边缘礁滩相中,这两类储层所占比重相当。碳酸盐岩台地相是相对较差的储层发育区,且整体上以 II 类储层为主。而对于台地边缘斜坡-陆棚相而言,仅仅发育少量 III 类储层,且主要由裂缝形成有效储集空间与有效流体通道。因此,对该区该层位的天然气勘探,主要目标仍然应锁定台地边缘礁滩这种有利沉积相带。

2) 在平面上,台地边缘礁滩相在达县-宣汉区块从长兴组到飞仙关组均很发育,也即在该区块长兴组-飞仙关组中储层物性均较好,II 类储层很发育,I 类储层与 II 类储层次之。在元坝区块,台地边缘礁滩相则主要发育在长兴组与飞仙关组一、二段中,但相比之下发育程度不如达县-宣汉区块。在通南巴区块,台地边缘礁滩相不甚发育。碳酸盐岩台地相在达县-宣汉区块的飞仙关组一段至三段中以鲕粒白云岩为主,岩石物性较好,可构成良好储层。

3) 储层物性直接或间接受着沉积相带的控制。高能环境下沉积的碳酸盐岩储集物性较好 低能环境下沉积的碳酸盐岩储集物性较差,其储集空间主要是裂缝的贡献。

参 考 文 献

- [1] 吴熙纯,刘效曾,杨仲伦,等.川东上二叠统长兴组生物礁控储层的形成[J].石油与天然气地质,1990 11(3): 283-297
Wu Xichun, Liu Xiaozeng, Yang Zhonglun, et al. Formation of reef-bound reservoirs of Upper Permian Changxing Formation in East part of Sichuan basin[J]. Oil & Gas Geology, 1990 11(3): 283-297.
- [2] 王一刚,刘划一,文应初,等.川东北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, exploration method and prospective prediction of the oolitic beach reservoirs in Feixianguan Formation in northeast Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2002 22(suppl): 14-19
- [3] 马永生,蔡勋育,李国雄.四川盆地普光大型气藏基本特征及成藏富集规律[J].地质学报,2005,79(6): 861-865
Ma Yongsheng, Cai Xunyu, Li Guoxiong. Basic characteristics and concentration of the Pu-Guang Gas Field, in the Sichuan Basin [J]. Acta Geologica Sinica 2005, 79(6): 861-865
- [4] 马永生,傅强,郭彤楼,等.四川盆地东北部普光气田长兴-飞仙关气藏成藏模式与成藏过程[J].石油实验地质,2005 27(5): 455-461.
Ma Yongsheng, Fu Qiang, Guo Tonglou, et al. Pool forming pattern and process of the upper Permian lower Triassic the Pu-guang gas field northeast Sichuan Basin, China [J]. Petroleum Geology & Experiment 2005 27(5): 455-461
- [5] 马永生,牟传龙,郭彤楼,等.四川盆地东北部长兴组层序地层与储层分布[J].地学前缘,2005,25(4): 73-79.
Ma Yongsheng, Mu Chuanlong, Guo Tonglou, et al. Sequence stratigraphy and reservoir distribution of the Changxing Formation in northeastern Sichuan Basin [J]. Earth Science Frontiers 2005, 25(4): 73-79
- [6] 苏立萍,罗平,罗忠,等.川东北飞仙关组鲕粒滩储层特征研究[J].天然气工业,2005,25(6): 14-17
Su Liping, Luo Ping, Luo Zhong, et al. Characteristics of Feixianguan Formation Oolitic Shoal Reservoirs in Northeast Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2005 25(6): 14-17
- [7] 赵文智,汪泽成,王一刚.四川盆地东北部飞仙关组高效气藏形成机理[J].地质论评,2006,52(5): 708-718.
Zhao Wenzhi, Wang Zecheng, Wang Yigang. Formation mechanism of highly effective gas pools in the Feixianguan Formation in the NE Sichuan Basin [J]. Geological Review, 2006, 52(5): 708-718.
- [8] 马永生,蔡勋育.四川盆地川东北区二叠系-三叠系天然气勘探成果与前景展望[J].石油与天然气地质,2006 27(6): 741-750
Ma Yongsheng, Cai Xunyu. Exploration achievements and prospects of the Permian-Triassic natural gas in northeastern Sichuan basin [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 741-750
- [9] 倪新锋,陈洪德,田景春,等.四川盆地东北部长兴组-飞仙关组沉积格局及成藏控制意义[J].石油与天然气地质,

2007, 28(4): 458-465.

Ni Xinfeng, Chen Hongde, Tian Jingchun, et al. Sedimentary framework of Changxing-Feixianguan Formations and its control on reservoiring in northeastern Sichuan basin [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(4): 458-465

[10] 刘彬, 付孝悦, 刘国萍, 等. 川东北河坝地区储层预测与评价 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5): 690-696

Liu Bin, Fu Xiaoyue, Liu Guoping, et al. Prediction and Evaluation of Reservoirs in Heba Area, the Northeastern Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(5): 690-696

[11] 段金宝, 黄仁春, 程胜辉, 等. 川东北元坝地区长时期——飞仙关期碳酸盐岩台地沉积体系及演化 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(6): 663-668

Duan Jinbao, Huang Renchun, Cheng Xiaohui, et al. Depositional system and the evolution of carbonate rock platform of Changxing-Feixianguan period in Yuanba area of Northeast Sichuan [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Sci&Technol Ed, 2008, 35(6): 663-668

[12] 郑荣才, 罗平, 文其兵, 等. 四川盆地东北部飞仙关组层序-岩相古地理特征和鲕滩预测 [J]. 沉积学报, 2009, 27(1): 1-8

Zheng Rongcai, Luo Ping, Wen Qibin, et al. Characteristics of Sequence-based Lithofacies and Paleogeography and Prediction of Oolitic Shoal of the Feixianguan Formation in the Northeastern Sichuan [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(1): 1-8

[13] 魏国齐, 谢增业, 刘满仓, 等. 四川盆地长兴-飞仙关组的有效储集相带 [J]. 天然气工业, 2009, 29(9): 35-38.

Wei Guoqi, Xie Zengye, Liu Mancang, et al. Favorable reservoir facies tracts in the Changxing-Feixianguan Formations of Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(9): 35-38

[14] 陈洪德, 钟怡江, 侯明才, 等. 川东北地区长兴组-飞仙关组碳酸盐岩台地层序充填结构及成藏效应 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 539-547

Chen Hongde, Zhong Yijiang, Hou Mingcai, et al. Sequence styles and hydrocarbon accumulation effects of carbonate rock platform in the Changxing-Feixianguan Formations in the Northeastern Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 539-547

[15] 郭旭升, 郭彤楼, 黄仁春, 等. 普光-元坝大型气田储层发育性与预测技术 [J]. 中国工程科学, 2010, 12(10): 82-90

Guo Xusheng, Guo Tonglou, Huang Renchun, et al. Reservoir development characteristics and predication technologies of large Puguang-Yuanba Gas Field [J]. China Engineering Science, 2010, 12(10): 82-90

[16] 王恕一, 蒋小琼, 管宏林, 等. 川东北普光气田下三叠统飞仙关组储层成岩作用研究 [J]. 石油实验地质, 2010, 32(4): 366-372

Wang Shuyi, Jiang Xiaoqiong, Guan Honglin, et al. Diagenesis effects of lower triassic feixianguan formation reservoir in Puguang Gas Field, Northeast Sichuan [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(4): 366-372

(编辑 董立)

(上接第 55 页)

Zhao Xinyuan, Zhang Youyu. Clay minerals and clay minerals analysis [M]. Beijing: Ocean Press, 1990: 37-56.

[53] 刘林玉. 蒙皂石粘土矿物不正常转化的实例分析 [J]. 矿物分析, 1998, 18(23): 203-208

Liu Linyu. A case analysis of abnormal conversion of smectite clay mineral [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1998, 18(23): 203-208.

[54] 刘宝珺, 李伟, 付建奎, 等. 吐哈盆地台北凹陷粘土矿物纵向异常演化与成因分析 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(5): 504-508

Liu Baojun, Li Wei, Fu Jiankui, et al. Genesis of abnormal evolution of clay minerals at different diagenetic stages in Taipei Depression of Tuha Basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(5): 504-508.

[55] 王芙蓉, 何生, 杨智, 等. 蒙皂石粘土矿物不正常转化的研究——以准噶尔盆地为例 [J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(4): 25-27

Wang Furong, He Sheng, Yangzhi, et al. A study on abnormal transformation of smectite clay minerals—a case study of Jungar Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 13(4): 25-27

[56] 王宝清. 川西-川西北地区上三叠统碎屑储集岩成岩作用 [J]. 石油实验地质, 2008, 30(1): 73-78, 85

Wang Baoqing. Diagenesis of Upper Triassic reservoir detrital rocks in west and northwest of Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(1): 73-78, 85

(编辑 李军)