

文章编号:1672-9854(2010)-02-0030-06

四川盆地东北部飞仙关组优质储层特征

毕海龙¹,李斌^{2,3},彭军²,张良华⁴,陈波⁵

(1 成都理工大学能源学院; 2 西南石油大学资源与环境学院)

(3 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室)

(4 中国石油重庆气矿重庆抢险维修中心; 5 中国石油重庆气矿万州作业区)



毕海龙

摘要 对四川盆地东北部下三叠统飞仙关组地质、测井和地震数据的分析表明,该区优质储层多由残余鲕粒白云岩构成,储集空间以裂缝-孔隙型为主,属于中等孔隙度高渗透率性质的储层。优质储层测井曲线多具有低伽马、低速度、低密度和高中子孔隙度的“三低一高”特征,地震反射响应特征为中—强反射振幅并和地层顶底面反射形成典型的“亮点”,可利用约束稀疏脉冲反演表征储层的纵横向分布。认为地质与地震相结合是预测飞仙关组优质储层的有效方法。

关键词 飞仙关组;白云岩;储集层特征;储层预测;四川盆地

中图分类号: TE112.23 **文献标识码**: A

毕海龙 1976年生,工程师,成都理工大学油气田开发地质专业在读博士研究生。主要从事油气田勘探与开发地质研究。通讯地址: 610059 四川省成都市成华区二仙桥东三路1号

随着四川盆地钻井、测井、地震勘探技术的整体进步,盆地东北部下三叠统飞仙关组礁滩相气藏的勘探获得了重大突破,相继发现有工业价值的高效气藏罗家寨、普光、龙岗等大气田^[1-3]。前人对飞仙关组气藏开展了大量研究,但因飞仙关组气藏埋藏深,储层主要以低孔隙度、低渗透率为主,所以在低孔隙低渗透率背景上如何寻找相对好的优质储层就成了勘探家特别关注的研究课题^[4-9]。由于飞仙关组储层非均质性强及地震多解性的存在^[10-14],加上对飞仙关组优质储层的特征及预测方法等关系气藏勘探开发的基础问题尚未解决,这些都成了制约目前飞仙关组气藏研究的瓶颈。本文从川东北地区飞仙关组优质储层特征表征以及地震剖面的反射特征角度进行阐述,以期进一步提高鲕滩气藏预测的成功率,降低钻探风险。

1 储层岩石学特征

四川盆地所发现的下三叠统飞仙关组高效气藏多为裂缝-孔隙型储层,储层岩性主要有鲕粒灰岩和

白云岩两大类^[15]。其中,白云岩又可分为残余鲕粒白云岩和晶粒白云岩两类。

残余鲕粒白云岩,指鲕粒灰岩白云石化后尚保留了残余鲕粒结构或具鲕粒幻影的岩类,主要分布于台地边缘的飞仙关组一段和二段中。鲕粒含量一般大于60%,常由他形—半自形粉晶白云石组成,部分为泥晶和细粉晶白云石组成。鲕粒白云岩中槽状、板状交错层理发育,冲刷面和侵蚀面常见,表明该类白云岩最初形成于水动力条件较强的沉积环境之中,如台地边缘和台内滩等环境,是飞仙关组中最好的一类储集岩。

晶粒白云岩,指颗粒灰岩白云石化后鲕粒结构已消失殆尽,多成为粉—细晶白云岩,以自形—半自形为主,部分白云岩的晶粒具雾心亮边结构(或称砂糖状白云岩),储集性能较好。

2 储层成岩作用特征

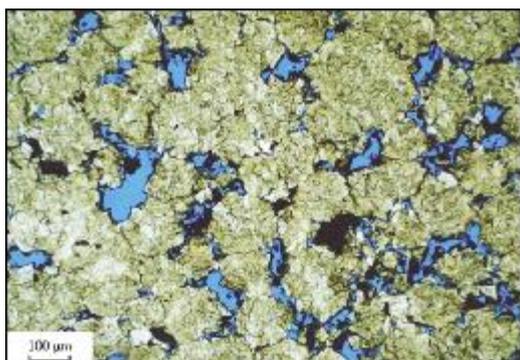
飞仙关组储层成岩变化复杂,主要有泥晶化、胶

收稿日期:2009-11-08;改回日期:2010-03-26

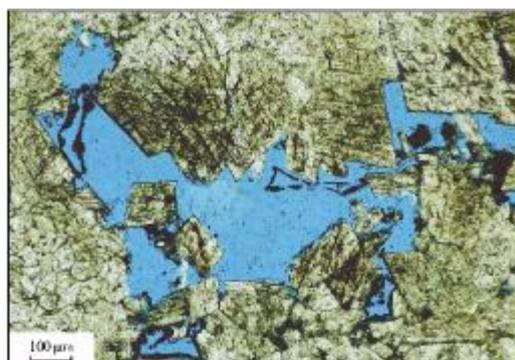
基金项目:四川省教育厅自然科学基金(08ZD-004)、四川省应用基础研究计划项目(2009JY0058)和国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室开放基金项目(MRE200902)联合资助

结、压实压溶、重结晶、白云石化、溶蚀和破裂等成岩作用。研究表明,飞仙关组重要优质储层溶孔白云岩的形成与复杂的成岩后生变化关系密切。其中,建设性成岩作用——白云石化与溶蚀作用对飞仙关组优质储层的形成意义重大^[16]。在有利滩相鲕粒岩沉积

的基础上,多期溶蚀是储集性控制的关键因素。川东北地区飞仙关组鲕滩储层沉积后至少经历过三期溶蚀作用。其中,第一期发生在准同生—早期成岩作用阶段(图 1a),第二、三期发生在埋藏期(图 1b)。研究表明,飞仙关组白云石溶蚀作用与破裂作用有关^[14]。



(a) 准同生—早期成岩作用阶段。溶孔发育,沥青环边。LJZ430井, 5874m



(b) 埋藏成岩期。大溶孔内的沥青环。LJZ430井, 5874m

图 1 四川盆地东北部飞仙关组储层成岩特征

储层成岩及孔隙演化中,破裂作用对优质储层孔隙形成也至关重要。统计发现,破裂作用形成的裂缝型储层增加孔隙度约 2%。其次,裂缝为烃类及液体进入圈闭的通道,裂缝附近溶孔密集,远离裂缝处则溶孔稀少,表明裂缝对溶蚀作用起了很好的辅助作用。

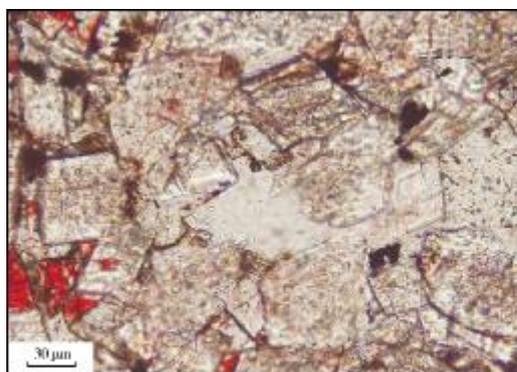
3 储层孔隙特征

下三叠统飞仙关组鲕滩储层是目前四川盆地内发现的物性条件最好的一套储层。储层储集空间有裂缝-孔隙型^[15]和孔隙型两种主要类型,孔隙组合类型以溶孔型、溶孔-裂缝型为主。孔隙主要包括两

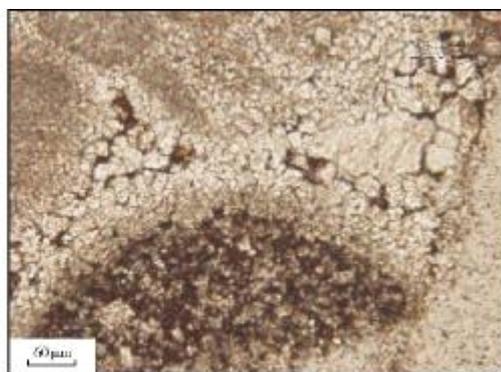
种类型,一种为与溶蚀有关的孔隙,如溶孔、溶洞、溶缝等;另一种为与溶蚀无关的孔隙,如晶间孔及极少量的原生粒间孔。飞仙关组储层中,以溶蚀孔(洞)占绝对优势,含量达 80%以上,次为晶间孔,含量 10%~15%;溶孔中又以晶间溶孔和晶间溶蚀扩大孔为主,占总溶孔的 75%左右,次为 20%的鲕模孔、粒内溶孔。原生粒间孔基本消失或多数经过后期溶蚀改造后而不易识别(图 2)。

4 储层物性特征

储层物性是影响气藏高产和稳产的重要因素。



(a) 细晶白云岩中的晶间溶孔,晶间孔中可见沥青充填。LG2井, 5984m。单偏光



(b) 鲕粒,粒间世代胶结物,晶间孔充填沥青。LG2井, 5985m。单偏光

图 2 四川盆地东北部飞仙关组储层孔隙特征

飞仙关组储层孔渗性变化较大(图 3),孔隙度在 0.91%~28.86%之间,主要分布于 6%~12%,平均值为 7.88%;渗透率变化更大,最小值为 $0.0093 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大值可达 $3354.70 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。飞仙关组储层物性以中—高孔隙度和中—高渗透率为主,储集性较好。如 LG2 井飞仙关组六段储层(图 4),有效储层厚 42.4m,其平均孔隙度为 9.16%,储层日产天然气 $100.8 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

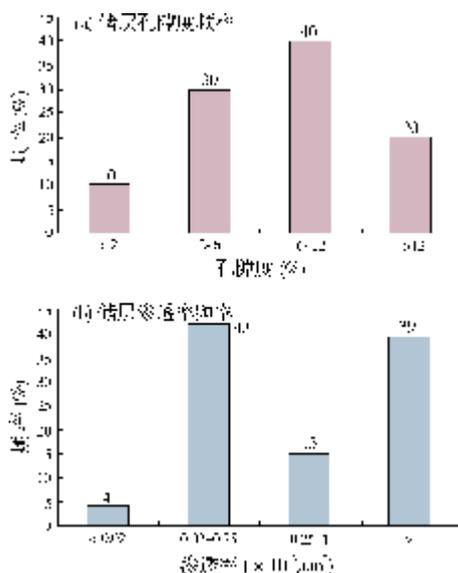


图 3 四川盆地东北部飞仙关组白云岩储层孔隙度和渗透率频率分布图

研究发现,飞仙关组储层物性与岩性密切相关。在岩性上,残余鲕粒白云岩平均孔隙度值为 8.47%,平均渗透率值为 $252.13 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。鲕粒白云岩平均孔隙度值为 8.47%,渗透率值平均为 $31.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。糖粒状残余鲕粒白云岩孔隙度平均值为 13.39%;渗透率较高,以大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 为主,最大值可达 $3354.70 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。含砾屑鲕粒白云岩孔隙度平均值为 10.56%,而渗透率相对较低,以小于 $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的占绝对优势,主要分布于 $(0.02 \sim 0.25) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。由此可以看出,糖粒状残余鲕粒白云岩储集性最好,鲕粒白云岩优质储层即使在埋藏很深的条件下仍能保持良好物性,如普光气田、铁山坡气田等。近年完钻的七里北 1 井,在 5 700~5 900 m 井段仍具有高达 15%~20% 的孔隙度,其渗透率平均值达 $23 171 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,且孔隙度与渗透率之间具有良好的相关性。新近发现的龙岗地区飞仙关组普遍发育滩相白云岩储层,具高孔高渗性,横向连续性较好。

5 储层地球物理特征

5.1 岩石物理学特征

四川盆地东北部飞仙关组储层与围岩之间的岩石地球物理性质具有显著的差异(表 1),通过测井曲线(图 4)的分析,飞仙关组储层多具有低伽马、低

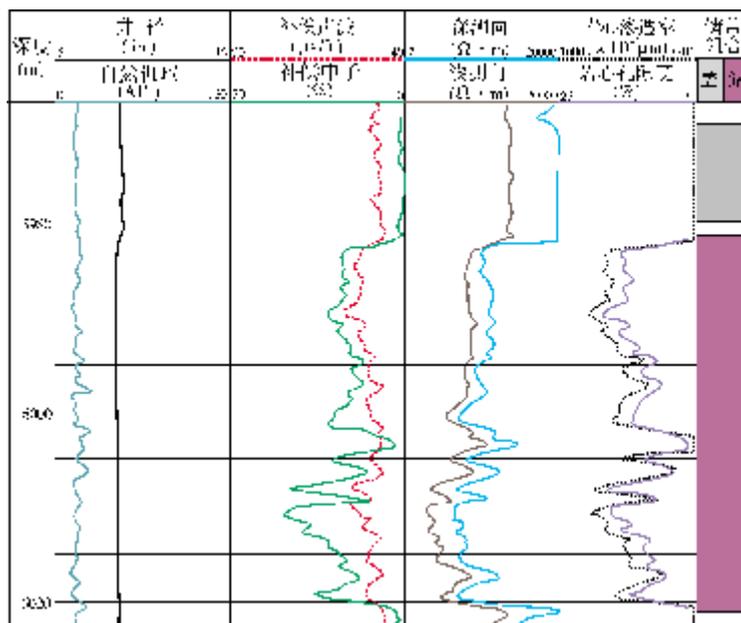


图 4 四川盆地东北部 LG2 井飞仙关组六段储层测井解释

密度、低电阻率、高中子孔隙度的“三低一高”电性特征,电测解释的孔隙度和渗透率较高^[5]。研究区各井的合成记录也明显反映出储层(鲕滩)与围岩所形成的强波阻抗界面(图 5)一般具有多个相位的反射特征,剖面上低波阻抗特征十分明显。

表 1 飞仙关组储层不同岩类声波速度变化情况表

| 岩石种类 | 声波时差 (μs/ft) | 换算 声波速度 (m/s) | 备注 |
|---------|--------------|---------------|-----------|
| 鲕粒溶孔白云岩 | 65 | 4689 | 鲕滩储层孔隙发育段 |
| 溶孔鲕粒白云岩 | 60 | 5080 | 鲕滩储层孔隙发育段 |
| 有效储层平均 | 55 | 5540 | 鲕滩储层孔隙发育段 |
| 鲕粒灰岩 | 49 | 6200 | 非储层段 |
| 泥粉晶灰岩 | 48 | 6350 | 飞仙关组围岩段 |
| 灰岩骨架 | 47.5 | 6417 | 灰岩骨架 |

5.2 岩相物理特征

飞仙关组储层一般成层性好,典型优质储层往往会与对应的顶、底反射呈较强的波谷和波峰,形成丘状外形(图 6),又可称为“亮点”。亮点模式是预

测鲕粒滩分布的有效手段。如渡口河地区飞仙关组储层(鲕粒滩)波阻抗值较低,鲕粒滩灰岩经过白云石化后储层物性变好,孔隙度值大幅度升高,速度和密度值降低 10%以上,在致密的微晶灰岩中形成低波阻抗的夹层,从而形成亮点反射。

6 优质储层预测

研究表明,利用地质与地震相结合的手段是四川盆地东北部飞仙关组鲕滩储层预测的有效方法,它能有效提高相控型鲕滩储层的预测精度^[17-18]。各种预测方法都有其优缺点及特定的适用范围,所以任何单一地震预测方法对于非均质性极强的滩相碳酸盐岩储层都难以做到精确预测,因而需要结合鲕滩储层沉积特征进行多方法的综合预测研究。

目前,利用地震反演方法可以有效地提取多种地震信息,特别是与气层有关的地震信息,经过试验对比发现,采用井约束稀疏脉冲反演能准确地反映飞仙关组储层的纵横向变化^[17-18]。如从过 D3 井测线波阻抗反演结果(图 7)看,飞仙关组三段鲕滩储层反

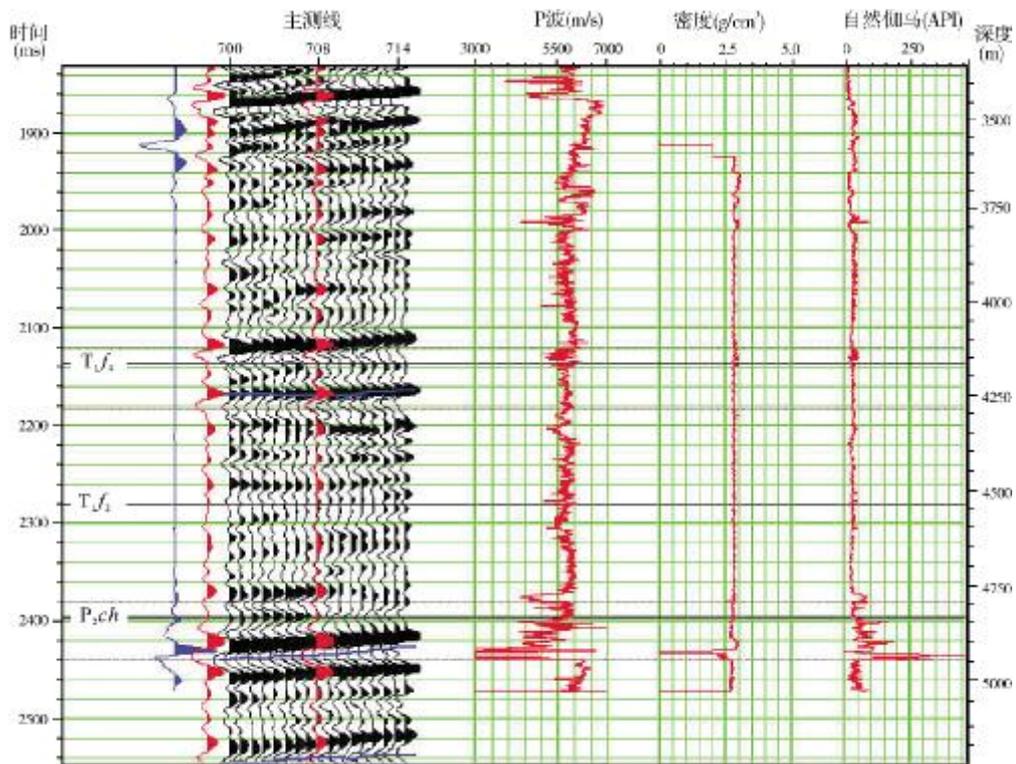


图 5 四川盆地东北部过 F85 井 NW-00-57 线地震合成记录(据川庆钻探地球物理勘探公司)
T_{1f} 飞仙关组; P_{2ch} 长兴组

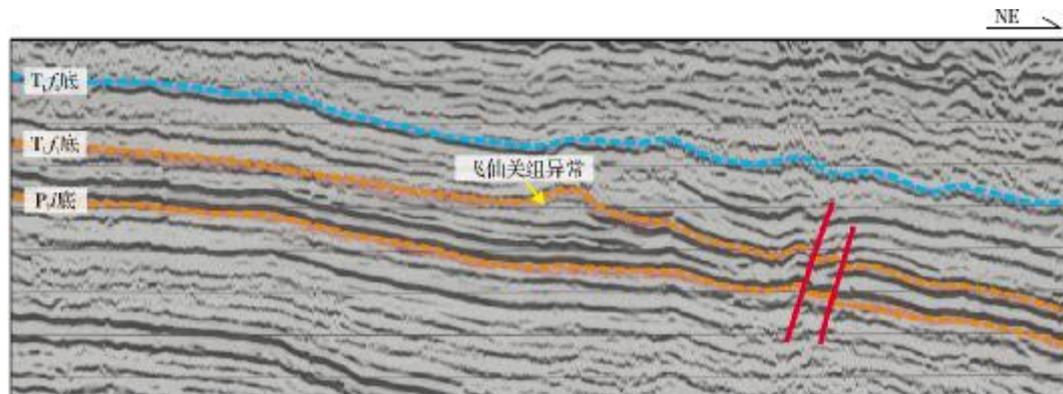


图6 四川盆地开江地区地震主测线 in-line-2180 反射特征(据川庆钻探地球物理勘探公司)
T_{1f} 飞仙关组; P_{2l} 龙潭组

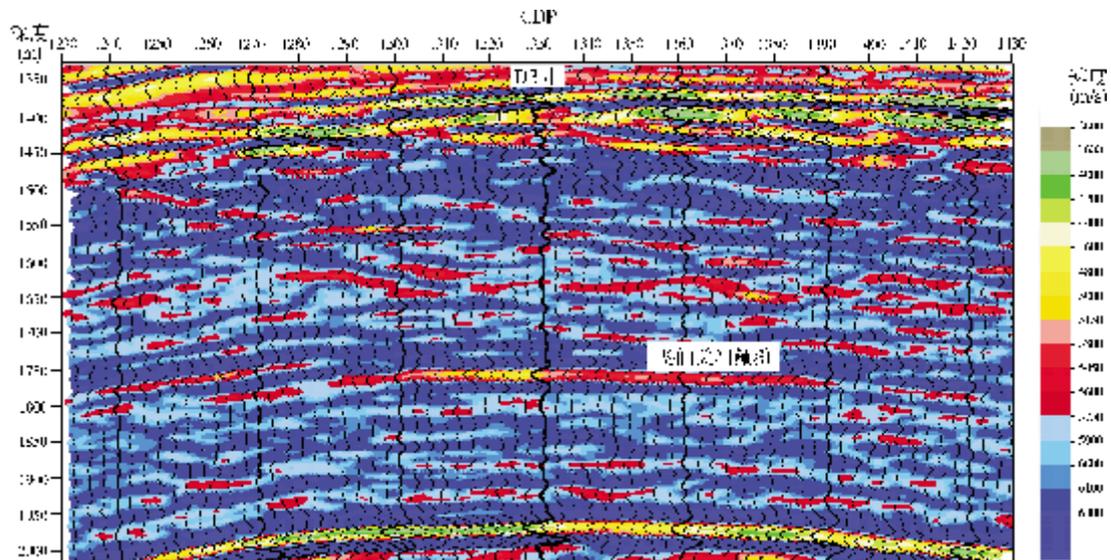


图7 四川盆地东北部过 D3 井测线速度反演剖面(据川庆钻探地球物理勘探公司)

映为低阻抗特征,在横向上呈条带状展布,横向连续性较差,非均质性较强,反演结果符合飞仙关组地质特征,这为储层预测确定了可靠的预测方法。它能清楚地反映出气层、水层及膏岩等主要岩性段的差异,提供常规地震记录无法识别的依据,具有较高的分辨薄互储层的能力,为优质储层的评价和预测提供直接依据。

7 结论

飞仙关组鲕滩优质储层多为残余鲕粒白云岩,储层经历的白云石化作用、溶蚀作用以及破裂作用对储层孔隙具有控制作用,储集空间以裂缝-孔隙

型为主,孔隙度平均值为 8.12%,渗透率变化较大,属于低孔高渗储层。优质储层在测井曲线上具有典型的“三低一高”电性特征,并具有独特的地震响应特征:(1)成层性好,典型储层具有丘状外形,能够直接将它们与层状或薄互层区分开;(2)与围岩相比,飞仙关组优质储层具有低速度、低密度、低波阻抗和中—强反射振幅的“三低一高”地震反射特征;(3)利用约束稀疏脉冲反演能清晰勾勒出储层的纵横向分布,这是一种适合鲕滩储层的预测方法。

研究表明,利用地质与地震相结合的手段进行综合预测是四川盆地东北部飞仙关组鲕滩优质储层预测的有效方法。

参考文献

- [1] 陈宗清. 论四川盆地下三叠统飞仙关组天然气勘探[J]. 石油学报, 2007, 28 (5):12-19.
- [2] 张水昌, 朱光有. 四川盆地海相天然气富集成藏特征与勘探潜力[J]. 石油学报, 2006, 27(5):1-8.
- [3] 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): 708-716.
- [4] 王罗兴, 谢芳. 川东北飞仙关组鲕滩气藏地震响应特征及勘探展望[J]. 天然气工业, 2000, 20(5): 26-30.
- [5] 谢芳, 李志荣, 肖富森, 等. 四川盆地东北部飞仙关组鲕滩储层地震预测技术[J]. 天然气工业, 2004, 24(1):34-36.
- [6] 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、勘探方法及远景预测[J]. 天然气工业, 2002, 22 (增刊):14-21.
- [7] 马永生, 郭旭升, 凡睿. 川东北普光气田飞仙关组鲕滩储集层预测[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32 (4):60-65.
- [8] 马永生, 梅冥相, 陈小兵, 等. 碳酸盐岩储层沉积学[M]. 北京:地质出版社, 1999.
- [9] 蒲勇. 地震属性技术在碳酸盐岩鲕滩储层预测中的应用[J]. 石油物探, 2004, 43 (增刊): 63-67.
- [10] 刘殊, 甘其刚. 碳酸盐岩沉积相分析在飞仙关鲕滩储层预测中的应用[J]. 勘探地球物理进展, 2003, 26 (3):190-198.
- [11] 刘殊, 范菊芬, 曲国胜, 等. 气烟囱效应-礁滩相岩性气藏的典型地震响应特征[J]. 天然气工业, 2006, 26 (11): 52-57.
- [12] 凡睿, 高林, 何莉, 等. 川东北飞仙关组鲕滩储层地震预测[J]. 勘探地球物理进展, 2003, 26(3):199-204.
- [13] 汪晴川, 李瑞, 蒲平文, 等. 川东长兴组生物礁分布地震识别技术研究[J]. 物探化探计算技术, 2008, 30(4):282-289.
- [14] 贺振华, 高林, 蒲勇. 川东北长兴—飞仙关组礁滩储层的地震响应特征和预测方法[C]. 成都:第五届全国油气储层学术研讨会, 2008.
- [15] 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): 12-19.
- [16] Zenger D H, Dunham J B, Ethington R L. Concepts and models of dolomitization[G]. SEPM Special Publication, 1980, 28:320.
- [17] 刘宏, 谭秀成, 周彦, 等. 川东北黄龙场气田飞仙关组台缘滩型碳酸盐岩储层预测[J]. 石油学报, 2009, 30(2): 219-225.
- [18] 敬朋贵. 川东北地区礁滩相储层预测技术与应用[J]. 石油物探, 2007, 46(4): 341-363.

编辑:赵国宪

Characteristics of Feixianguan Excellent Reservoir in Northeast Sichuan Basin

Bi Hailong, Li Bin, Peng Jun, Zhang Lianghua, Chen Bo

Abstract: The comprehensive analysis of geological, well logging and seismic data have shown that Feixianguan Formation in Northeast Sichuan Basin is a medium-porosity and high-permeability excellent Reservoir, which is comprised of relic-oolith dolostone with reservoir space of fractures and pores. The logging curves of this reservoir are characterized of low values of gamma, speed and density and a high value of neutron porosity. The response of seismic reflection demonstrates the low wave impedance and medium-strong reflection amplitude, which is always characteristic of "bright spot". The vertical and horizontal distributions of the reservoir can be clearly outlined by the restrained sparse pulse inversion. It is indicated that the research combination of geology with seismic facies is an effective method to predict the Feixianguan excellent reservoir.

Key words: male, Geologist. Doctor degree in progress at Energy College, Chengdu University of Technology. Add: 1 Dongsan Rd., Erxianqiao, Chengdu, 610059 China