

川东建南地区飞仙关组地震储层预测

秦军¹,葛兰^{1,2},陈玉明¹,康红¹,刘漪¹

(1 江汉油田勘探开发研究院海相所; 2 江汉油田采气厂)

摘要 利用三维地震资料,采用属性分析、波阻抗反演及厚度预测等技术对建南地区开展储层预测工作。建南地区下三叠统飞仙关组厚400~550m,划分为四个段,其中飞三段是主力产气层系,储层类型以孔隙型为主,局部发育孔隙-裂缝型,属于特低孔、(特)低渗储层。飞三段的沉积环境主要为开阔台地、台地边缘浅滩及台缘斜坡相带。研究区内普遍发育鲕滩,但是鲕滩不一定发育储层;岩性以泥晶灰岩、砂屑灰岩、鲕灰岩为主;储集岩类中,按白云岩、颗粒灰岩、泥(粉)晶灰岩的岩性序列,物性逐渐变差,孔隙度与白云石含量呈正相关关系。飞三段储层的双侧向电阻率为高电阻率背景下的相对低值,自然伽马为低值,与上下致密灰岩相比,具有声波时差大、密度小、中子孔隙度大等特征。储层的测井响应特征及地震响应特征分析表明,飞四段底部存在的低阻抗岩层是解决工区南、北鲕滩储层预测的关键。

关键词 碳酸盐岩储层;地震储层;储层预测;飞仙关组;建南地区

中图分类号:TE112.23;P631.445 文献标识码:A

三叠系飞仙关组的鲕粒滩是川东建南地区最有潜力的礁滩型油气储层。从上世纪90年代起,礁滩储层预测就已经引起了勘探工作者的重视,并提出了很多有意义的以地震资料为主的鲕粒滩储层识别预测方法^[1-6]。但局限于当时的技术条件,鲕粒滩的识别主要利用了二维地震剖面,且以“地震相面法”为基础。此外,由于本区储层的埋藏深度一般比较大(大于3500m),深层地震资料的分辨率低,鲕滩相储层又属复杂隐蔽性岩性储层,识别难度大。近年来,随着川东北长兴组—飞仙关组礁滩相气藏的勘探获得了重大突破,相继发现了普光、元坝等大气田,极大地增强了人们在长兴组—飞仙关组等碳酸盐岩层系中寻找更多礁滩相气藏的信心^[7-12]。然而,因地震分辨率的限制和地震多解性的存在,深层礁滩储层地震识别和预测技术仍然存在较多的问题,有待进一步提高。为进一步扩大建南气田储量规模,2007年中国石化勘探南方分公司在石柱复向斜部署了三维地震917km²。本文通过仔细剖析不同岩性组合下的地震响应特征,充分利用三维地震资料开展储层预测工作,采用属性分析、波阻抗反演及厚度

预测等技术,以期落实飞仙关组储层的分布。

1 研究区背景

1.1 构造背景

建南地区位于四川盆地东缘,构造上处于川东高陡褶皱带的中东部,研究范围自西向东横跨方斗山复背斜、石柱复向斜、齐岳山复背斜以及利川复向斜(跨出了盆地边界)等次级构造单元,总面积约10000km²(图1)。本区为典型的侏罗山式褶皱变形区,受应力条件和边界条件的控制,表现为复背斜带高陡、复向斜带宽缓,隆坳相间,呈“S”形展布的区域构造面貌,局部构造沿高陡背斜和复向斜成排成带分布^①。2007年在研究区部署的三维地震917km²(图1,三维工区),测网密度25m×25m,主体位于石柱复向斜,东西两侧分别跨入齐岳山复背斜和方斗山复背斜。

1.2 储层沉积相特征

已有的研究表明,飞仙关组三段(T₁f₃)是研究区

收稿日期:2010-11-08

秦军:1981生,工程师。2004年毕业于长江大学,2007年于长江大学地球物理与石油资源学院地球探测与信息技术专业硕士研究生毕业,现从事储层预测与地震解释工作。通讯地址:433124 湖北省潜江市;电话:(0728)6502636-816

① 林娟华,凡睿,付宜兴,等.建南及周缘地区地质综合评价(R).江汉油田勘探开发研究院,2002-2003:9-14.

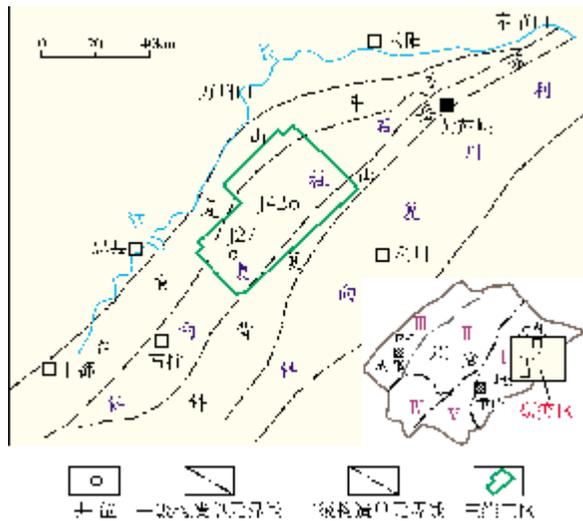


图1 建南地区构造及研究区位置

- I 川东高陡褶皱带; II 川中平缓褶皱带; III 川西低缓褶皱带;
- IV 川西南低缓褶皱带; V 川南低陡褶皱带

的主力产气层系^②。通过详细的沉积特征研究,飞三段的沉积环境沿西向东方向依次为开阔台地、台地边缘浅滩以及台缘斜坡,各相带可进一步细分出若干亚相(表1,图2)。

建南地区飞三段沉积时期为一持续的海退过程,但也有多次较小规模的海侵,沉积相带呈近南北向条带状展布,由早到晚自西向东迁移。该时期研究区主体为台地边缘浅滩环境和台缘斜坡环境(图2),其中的三维工区也主要处在台地边缘和台缘斜坡区。

2 储层基本地质特征

建南地区下三叠统飞仙关组厚400~550 m,可划分为四个段(图3),其中一、三段以灰白色—灰色中—厚层石灰岩为主,二、四段以紫红色中—薄层泥

表1 建南及周缘地区飞仙关组三段沉积相划分表

沉积相	亚相	代表岩性	沉积构造	代表剖面
开阔台地	台内滩	鲕粒灰岩、砂屑灰岩	大型双向交错层理、潮汐层理、改造波痕	宝3井
台地边缘浅滩	滩间海	生物屑灰岩、球粒泥晶灰岩	水平层理、虫孔	峰4井
	台缘滩坝	亮晶核形石灰岩、砂屑灰岩、鲕粒灰岩	大型交错层理、波痕	新(场)2井、J42井、J68X井
台缘斜坡	上斜坡	泥质灰岩、泥晶灰岩	水平层理、泥质条带	龙4井、J41井、J27井
	下斜坡	泥质灰岩、灰质泥(页)岩、角砾岩	滑塌、变形构造	太1井、核桃园

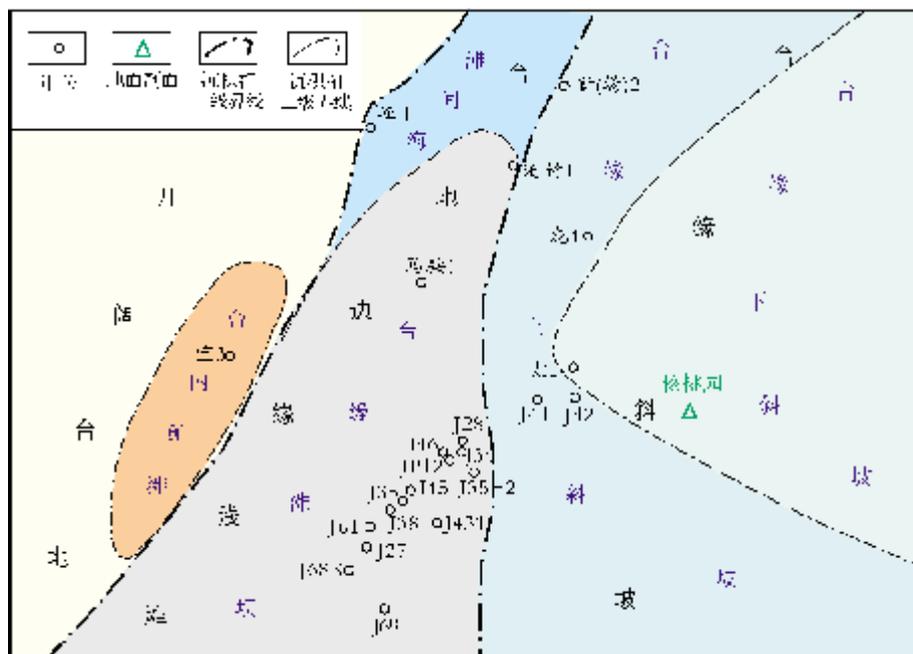


图2 建南及周缘地区飞仙关组三段沉积相图

② 郑有恒,严金泉,万云强,等. 建南地区天然气勘探目标优选(R). 江汉油田勘探开发研究院,2004:8-20.

灰岩、泥岩为主。飞仙关组三段是工区内主力产气层系,储层类型以孔隙型为主,局部发育孔隙-裂缝型储层^③。

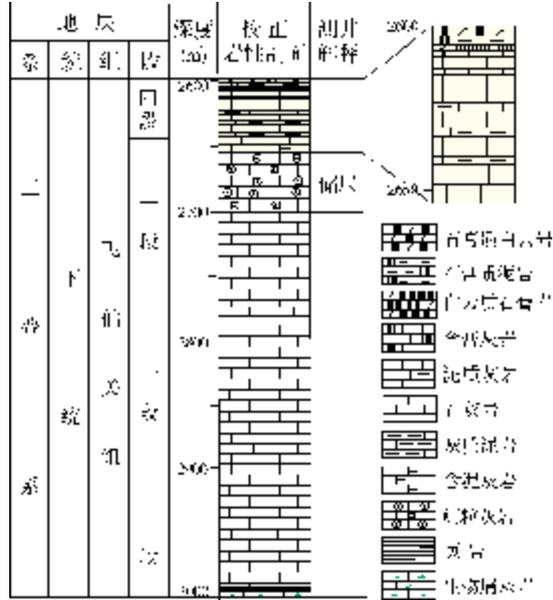


图3 建南地区 J42 井飞仙关组岩性柱状图

2.1 飞三段以特低孔、(特)低渗储层为主

飞仙关组三段以颗粒灰岩发育为特征,岩性以石灰岩、鲕粒灰岩为主,有少量核形石、藻灰岩及含泥灰岩,颗粒灰岩中普遍含生物碎屑。沉积构造较为发育,见水平平行层理、斜层理及交错层理。飞三段的区域厚度为 115~225 m,自东北向西南明显增厚。颗粒灰岩累计厚度 30~130 m,平均 75 m,一般占地层的 40%~60%,最高达 92%(J35 井),主要分布于飞三段中下部,但在新(场)2 井—茨竹 1 井一线以东地区(如 J42 井,图 2)则分布于飞三段中上部(图 3)。

根据 25 口井 2 606 块孔隙度岩心和 18 口井 1 038 块渗透率岩心分析资料,飞三段储层以特低孔、(特)低渗为主,主要有以下几个方面的特征。

建南地区飞三段孔隙度 0.003%~13.4%,平均 1.24%;渗透率 $(0.001\sim 853)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $1.46\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。从建南地区飞三段物性直方图(图 4)上可以看出,87.38%的样品为特低孔,72.74%的样品为特低渗,反映出建南地区飞三段物性较差,以特低孔、(特)低渗储层为主。

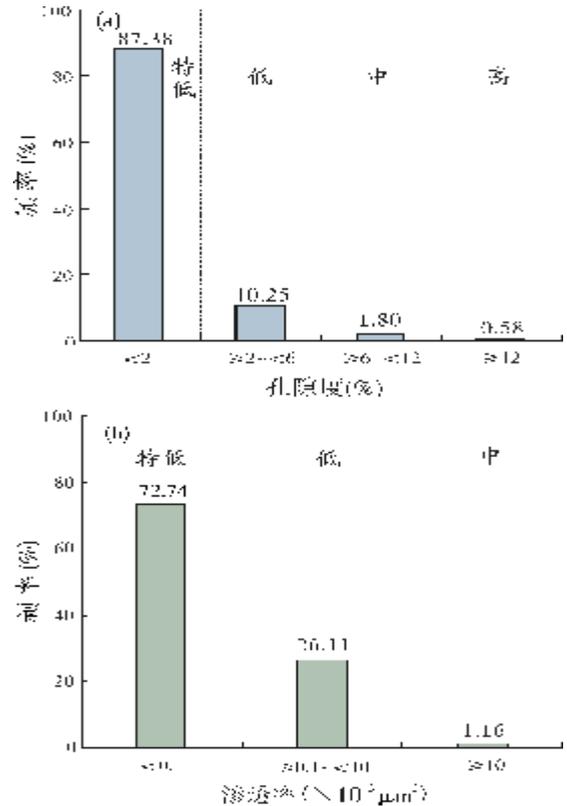


图4 建南地区飞仙关组三段储层物性直方图

2.2 飞三段储层以白云岩物性最好

飞三段储集岩类中,按白云岩→颗粒灰岩→泥(粉)晶灰岩的岩性序列,物性逐渐变差,以白云岩的物性最好且孔隙度与白云石含量呈正相关关系。白云岩的孔隙度为 3.28%~13.4%,平均高达 9.61%;渗透率为 $(0.06\sim 9.2)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均达 $2.63\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ (各岩类样品的平均值仅为 $0.98\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$)。颗粒灰岩次之,孔隙度一般在 1%~3%之间,平均 1.2%;渗透率一般小于 $1\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $0.2\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。泥(粉)晶灰岩物性最差,孔隙度一般小于 1%,平均 0.45%;渗透率一般小于 $1\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $0.11\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

3 储层地震特征

3.1 岩石物性

建南三维工区内的钻井主要集中在工区西南部(图 2),飞三段岩性主要有泥晶灰岩、鲕粒灰岩、砂屑灰岩、粒屑灰岩、白云岩及泥质灰岩,储集岩主要

③ 李世杰,张蓝,王兴志. 石柱区典型气藏特征研究(R). 江汉油田勘探开发研究院,2005:52-58.

为鲕粒灰岩、砂屑灰岩、粒屑灰岩及白云岩。飞三段储层的双侧向电阻率为高电阻率背景下的相对低值,自然伽马为低值,与上下致密灰岩相比,具有声波时差大、密度小、中子孔隙度大等特征。

通过对研究区多口井飞三段储层进行岩石物理分析,把各类灰岩储层按气层、含气层和干层进行分类统计(表2),结果显示,各类灰岩气层、含气层及干层在速度和波阻抗上可以较好区分,而密度和自然伽马则无法区分开来。干层和部分含气层速度较大、波阻抗较高,气层具有低速度、低阻抗的特点。

表2 储层岩石物性统计表

储层	速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	波阻抗 ($\times 10^7$ kg/m ³ ·m/s)	自然伽马 (API)
气层	5400~6200	2.65~2.74	1.45~1.66	5~15
含气层	5800~6500	2.65~2.76	1.55~1.73	5~20
干层	6200~6500	2.66~2.76	1.66~1.74	5~15

3.2 地震响应特征

通过地震合成记录(图5)发现,相位1对应飞四段底,相位3对应飞三段底,储层发育在相位3上部。测井资料(图6)显示,该区嘉一段低阻灰岩与飞四上段(3688~3717 m)致密层(与嘉一段对比其速度变化不大,密度明显变大)可形成相位1。在飞四

段下部3717~3730 m段,存在一套高自然伽马值的含云灰岩,其速度为5880 m/s,密度2.75 g/cm³,波阻抗为 1.61×10^7 kg/m³·m/s。而飞三段顶部有一套灰岩地层其速度为6450 m/s,密度2.7 g/cm³,波阻抗为 1.74×10^7 kg/m³·m/s。上下地层之间存在较大的波阻抗差异,因此,可形成相位2。飞三段内低速储层与飞三段内高速灰岩存在的速度差异,可形成相位3。

分析发现,在三维工区东北部,飞四段下部的这套低阻层不存在,故按此层的存在与否建立了两种正演模型。

根据建南地区J46井(图2)以南各井测井及钻井岩性资料统计得到的物性参数,设计了一个鲕粒灰岩储层楔状体地质模型(图7),其中飞四段底部存在低阻抗层。具体参数如下:嘉一段速度6400 m/s,密度2.68 g/cm³;飞四上段的速度6400 m/s,密度2.75 g/cm³;飞四下段速度5880 m/s,密度2.75 g/cm³;飞三段内部围岩速度6450 m/s、密度2.7 g/cm³,储层速度6000 m/s、密度2.7 g/cm³。楔状体(起始厚度60 m)反映了鲕粒灰岩储层发育的位置以及厚度变化情况。从正演模型的地震响应可以看出:当鲕粒灰岩储层发育在飞三段底部时,出现相位3;当储层厚度逐渐变薄且鲕粒滩向上迁移时,出现复波;最后储层厚度小于地震分辨率时,出现双强相位(仅出现相位1和相位2)。

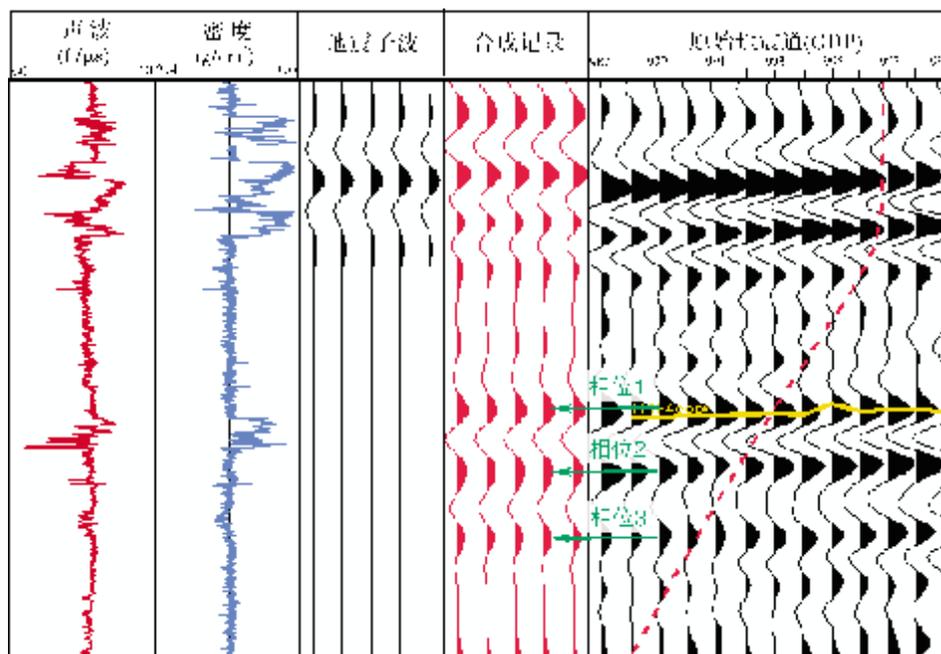


图5 建南地区J41井地震合成记录

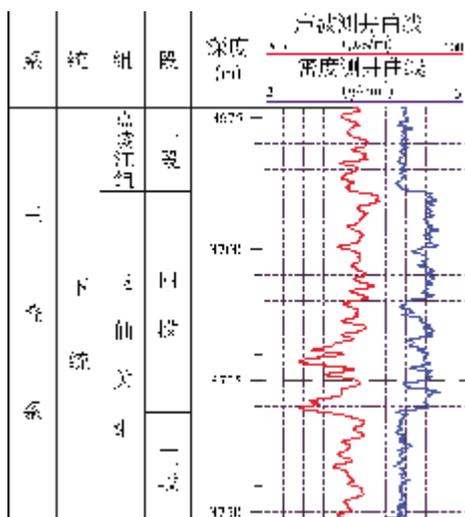


图6 建南地区 J431 井测井图

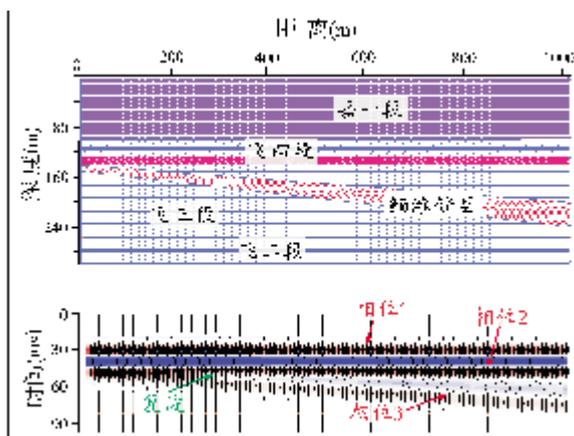


图7 建南地区飞仙关组四段底部低阻抗模型

根据 J46 井以北各井测井及钻井岩性资料统计得到的物性参数,笔者也设计了一个鲕粒灰岩储层楔状体地质模型(图 8),正演结果显示,此模型飞四段底部不存在低阻抗层。模拟飞三段鲕滩储层分别发育在上部和下部两种情况,从正演模型的地震响应可以看出:当储层发育在飞三段上部时,相位 1 和相位 2 之间的时差变大,且储层越厚时差越大;当储层发育在飞三段下部时,相位 1 与相位 2 之间出现一个弱波峰,储层厚度越大,两个相位之间的时差就越大,且相位 2 振幅也越强。那么根据相位 1 与相位 2 之间的时差大小可以选择合适的方式来进行储层预测。图 9 为相位 1 与相位 2 之间的时差厚度图,从中可以看出,J41 井东北部时差大,相位 2 的强振幅区代表储层发育区;J41 井西南部相位 1 与相位 2 时差小,储层发育表现为相位

3 强振幅区及复波发育区。储层不发育时一般表现为双强相位。

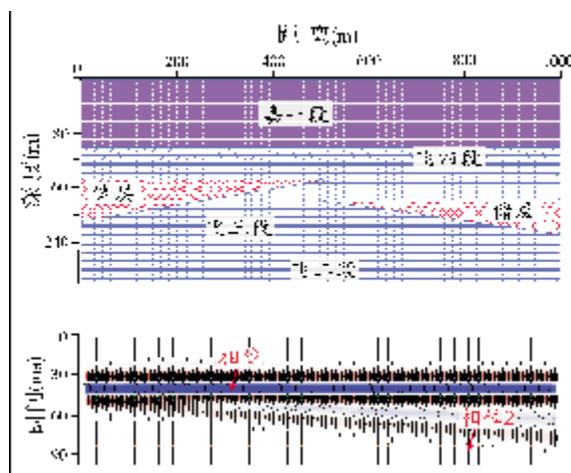


图8 建南地区飞仙关组四段底部高阻抗模型

3.3 地震属性分析

通过前面的分析可以看出,工区南部,相位 3 可以很好地反映储层的分布,而在工区北部,相位 2 可以很好地反映储层的分布。因此分别利用相位 2 和相位 3 沿层提取多种地震属性,它们可以反映储层厚度及物性的变化。

图 10 为相位 3 的振幅能量属性,太平镇断层以南红色区域表示预测储层分布区。预测结果与实际钻井情况基本一致,如 J15、J27 井飞三段储层均发育,储层呈现连片分布的特点;在 JP12 与 J36 井之间还有一块红色异常区,可能为储层发育区。

图 11 为相位 2 复波分布区(用绿色表示),储层以分散分布为主,鲕粒灰岩储层相对薄,物性相对差,如 J41、J431 井。

从图 12 频率衰减属性上也可以看出,工区内 J28 井西南部频率衰减要高于东北部,这也与工区西南部储层厚度比东北部要厚相对应,从此属性上分析,工区西南部含气性也要好于东北部。

3.4 波阻抗反演

前面基础资料分析表明,飞三段储层波阻抗低于围岩,波阻抗反演剖面上为低阻抗。图 13 为过 J61—J38—J35 井波阻抗反演剖面,通过钻遇储层标定,可以看出飞三段气层段的低阻抗特征明显,波阻抗变化反映了储层横向变化,尖灭点反映清晰。

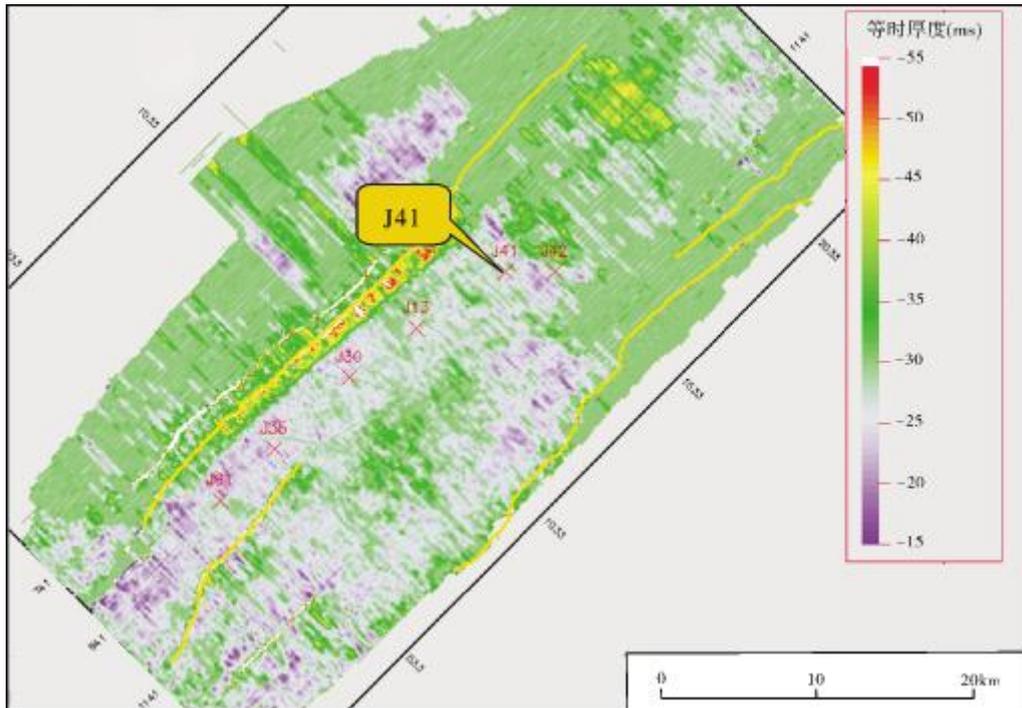


图9 建南地区飞仙关组三段相位1—相位2时差等厚图

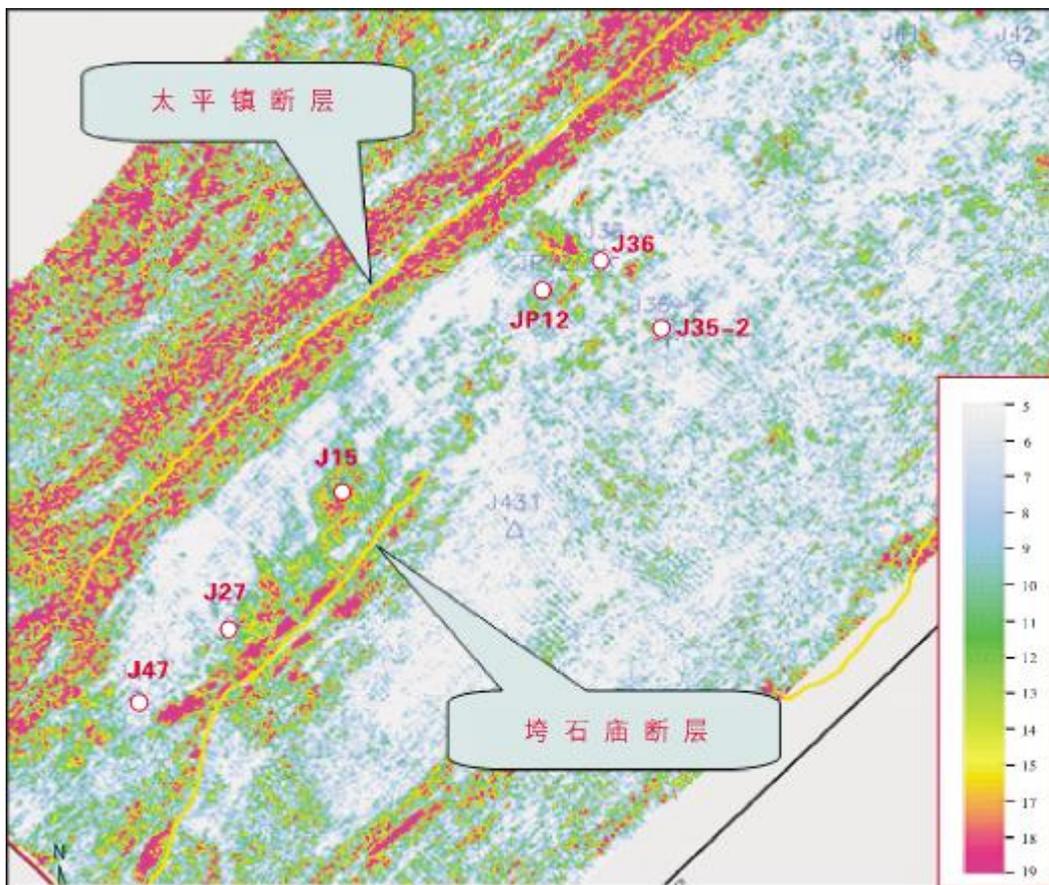


图10 建南地区飞仙关组三段相位3振幅能量属性图

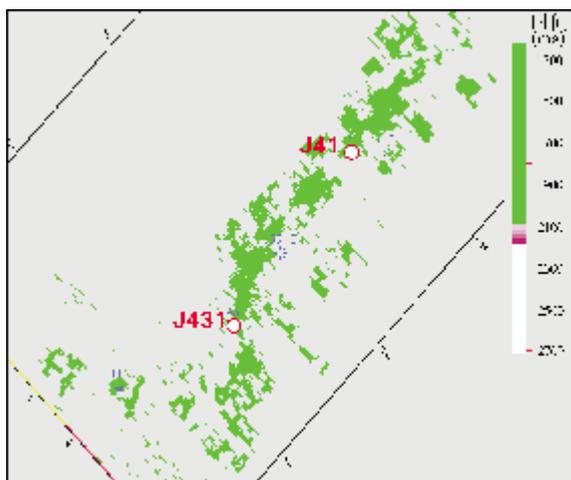


图 11 建南地区飞仙关组三段相位 2 复波分布范围图

利用这种低阻抗特征,通过波阻抗反演数据体的属性提取进行飞三段储层波阻抗属性分析。图 14 为飞三段平均波阻抗属性平面图,JP12 井西南部的波阻抗低于东北部,且是连片分布,说明工区内西南部储层较东北部发育,储层物性好,含气性好,这与实际地质钻井情况相吻合。

4 储层预测

利用波阻抗反演结果,编制了飞三段有利储层预测厚度图(图 15),可以看出,工区内 J30 井西南储层连片发育且厚度较大,平均厚度 30m,在工区西南部的 J35 井、J45 井、J61 井等多口井获得工业气流。储层的分布范围受沉积相的控制,当工区西南部

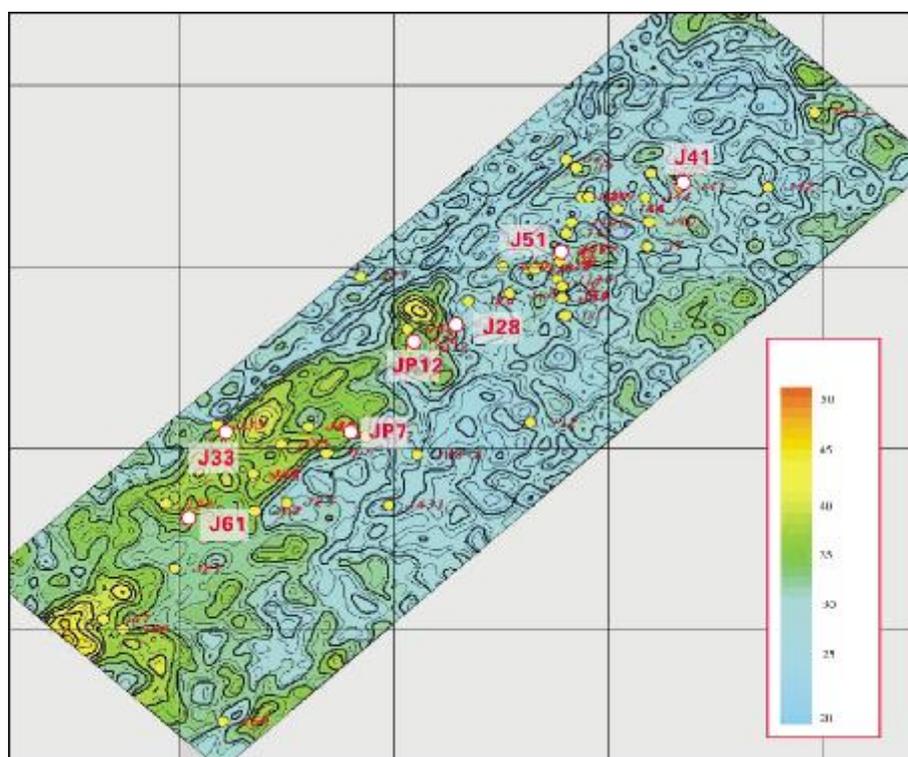


图 12 建南地区飞仙关组三段频率衰减属性平面图

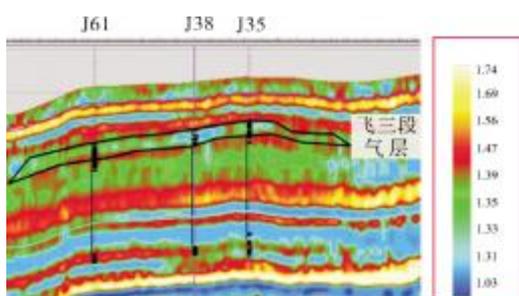


图 13 过 J61—J38—J35 井波阻抗反演剖面

鲕粒滩坝发育时,东北部则为台缘斜坡相;而工区东北部鲕粒滩坝发育时,西南部为台地相,发育厚度较薄、能量较弱的小型台内鲕滩。飞三段中上部的鲕粒滩体主体位于 J30 井东北,与预测情况基本一致,鲕粒灰岩厚度相对较薄,且较致密,不发育溶蚀孔洞,储集性能较差。但由于鲕粒滩坝向潮坪转化的暴露过程中,该区地理位置较高,蒸发潮坪白云石化和混合水白云石化作用较强烈,在鲕粒灰岩中形成储集性能较好的白云岩夹层,极大改善了鲕粒滩坝的储集

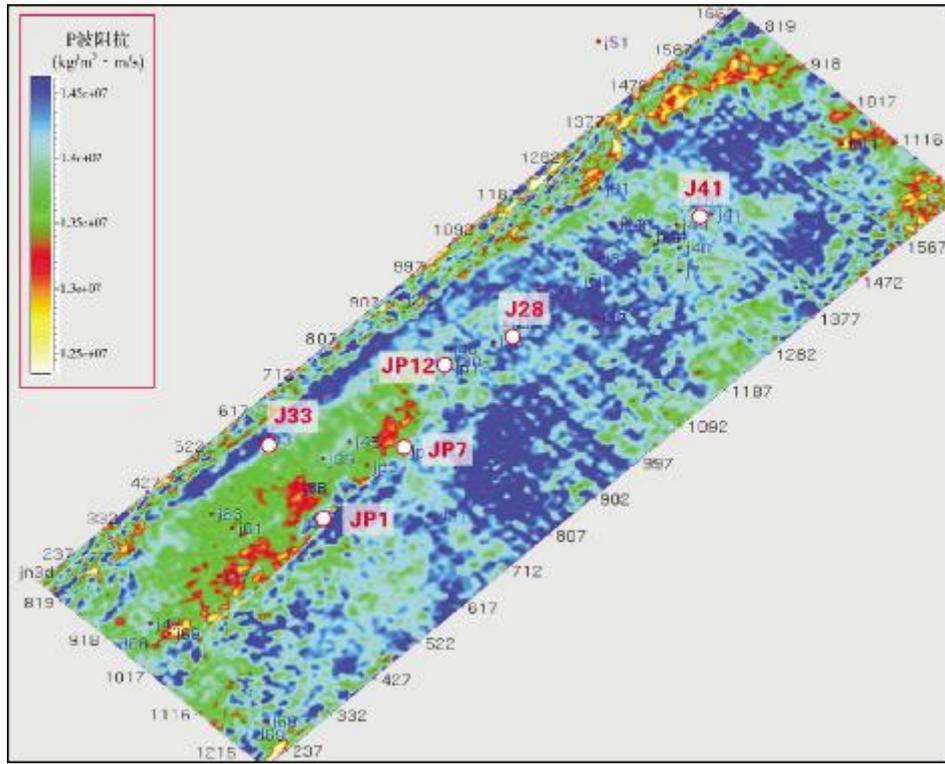


图 14 建南地区飞三段平均波阻抗属性平面图

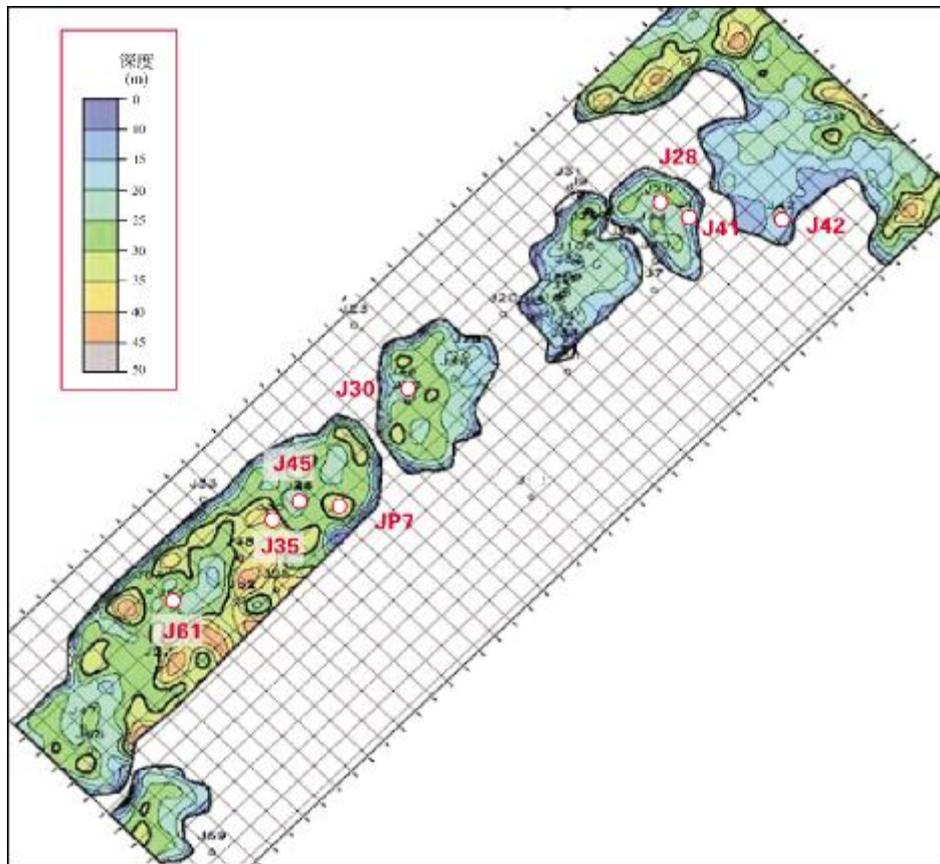


图 15 建南地区飞三段储层厚度预测图

性能。在工区东北部的 J28、J41 和 J42 等井飞仙关组鲕粒灰岩和白云岩互层状储集层中获得工业产能,只是白云岩呈透镜状,分布不连续,厚度突变,仅形成岩性圈闭气藏。

5 讨论

川东建南地区飞三段储层作为研究区内重要储层,勘探难度逐年增大。研究区内普遍发育鲕滩,但鲕滩不一定发育储层。本文通过深入分析储层的测井响应特征及地震响应特征,发现飞四段底部存在一套低阻抗岩层,它是解决工区南、北鲕滩储层预测的关键。通过正演模型发现工区西南部以相位 3 的存在代表储层的发育,且相位 3 振幅越强,储层厚度越大;工区东北部以宽的双强相位出现代表储层发育区,且下部相位 2 的振幅越强,储层厚度越大。在以上分析的基础上综合地震多属性分析及地震反演技术预测的储层发育有利区,可以作为对全区进行勘探部署的依据。

参考文献

- [1] 贺振华,蒲勇,熊晓军,等.川东北长兴—飞仙关组礁滩储层的三维地震识别[J].物探化探计算技术,2009,31(1):1-5.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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):14-18.
- [5] 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):31-36.
- [6] 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,1999:849-851.
- [7] 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.
- [8] 刘殊,甘其刚.碳酸盐岩沉积相分析在飞仙关组鲕滩储层预测中的应用[J].勘探地球物理进展,2003,26(3):190-195.
- [9] 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):52-55.
- [10] 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):199-203.
- [11] 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):282-286.
- [12] 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]//第五届全国油气储层学术研讨会论文集.成都:第五届全国油气储层学术研讨会组委会,2008:151-153.

编辑:吴厚松

Reservoir Prediction of Lower Triassic Feixianguan Formation in Jiannan Area, Sichuan Basin

Qin Jun, Ge Lan, Chen Yuming, Kang Hong, Liu Yi

Abstract: Lower Triassic Feixianguan Formation is 400-550m thick in Jiannan area. It can be divided into four members, among which the 3rd member (T_1f_3) is the main gas pay bed. The T_1f_3 reservoir is porous or porous-fractured locally but is the one with very low porosity and low permeability. The sedimentation environment of it commonly is the open platform and platform marginal shoal and slope facies. It is commonly composed of micritic limestone, calcarenite and oolite. The reservoir loggings shows low resistivity values of LLD and LLs corresponding to the background of high resistivity value, low values of GR, high values of AC, low values of DEN, and high value of CNL. Based on the analysis of reservoir logging response characteristics and seismic response characteristics, it is indicated that a set of low-impedance layers exists at the bottom of the 4th member (T_1f_4), which will be the key to solve the prediction of beach-facies oolite reservoir distributed in the south and north parts of this area.

Key words: Lower Triassic; Feixianguan Formation; Carbonate reservoir; Seismic reservoir; Seismic attribute; Reservoir prediction; Sichuan Basin

Qin Jun; male, Master, Engineer. Add: Exploration and Development Research institute, SINOPEC Jiangnan Oilfield Company, Qianjiang, Hubei, 433124 China