

[引著格式] 王丽. 夏子街油田火山岩储层波阻抗反演预测 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (9+10): 26~31.

# 夏子街油田火山岩储层波阻抗反演预测

王丽 (中石油新疆油田分公司风城油田作业区油田地质研究所, 新疆 克拉玛依 834000)

**[摘要]** 火山岩储层是准噶尔盆地重要的油气产层之一。准噶尔盆地夏子街油田是我国西部较为典型的火山岩油气藏。由于埋深较大且储层非均质性较强, 导致该区储层分布特征不明。对新疆准噶尔盆地夏子街油田开展了三维地震资料精细解释, 应用地震属性提取和叠后波阻抗反演等技术, 对目的层二叠系风城组三段二亚段 ( $P_1f_3^2$ ) 进行了储层预测研究。结果表明: 研究区有利储层在夏 3 井、夏 1 井及夏 5 井沿线向东变薄或尖灭; 波阻抗反演得到的  $P_1f_3^2$  波阻抗由西向东逐渐变大, 有利储层分布呈北西向分布; 在夏 3 井以东方向变薄和尖灭, 与地震属性分析得到的储层分布范围相符; 反演预测研究区  $P_1f_3^2$  有利储层分布面积  $57.09\text{km}^2$ , 储层厚度预测率达到  $86\%$ 。

**[关键词]** 准噶尔盆地; 夏子街油田; 火山岩; 地震属性; 波阻抗反演

**[中图分类号]** P631.44      **[文献标志码]** A      **[文章编号]** 1000-9752 (2015) 09+10-0026-06

随着油气勘探的持续深入, 对于火山岩储层的研究已经成为了油气勘探的新领域<sup>[1,2]</sup>。目前, 国内众多学者, 已经在松辽盆地<sup>[3~9]</sup>、辽河盆地<sup>[10,11]</sup>、准噶尔盆地<sup>[12~15]</sup>发现了大量火山岩储层的油气藏, 对火山岩储层类型及控制因素和火山岩储层地球物理响应特征等方面的研究取得了一定进展<sup>[16~18]</sup>。特别是在准噶尔盆地, 经过 50 年的勘探, 目前已经在盆地西北缘相继发现了克拉玛依、夏子街、车排子、红山嘴等火山岩油藏。目前在全盆地已发现火山岩油气藏 38 个, 其中部分井已获得了高产油气流<sup>[1]</sup>。

夏子街油田位于准噶尔盆地西北缘乌夏断阶带下盘的斜坡带, 所在圈闭为夏 3 井背斜。该区块二叠系风城组 ( $P_1f$ ) 为火山岩油藏, 其埋深较大、构造认识不清、储层非均质性强、横向变化快、储层分布不明、油藏分布及油水关系不清, 严重制约了对研究区的深化认识, 导致  $P_1f$  难采储量未动用。为此, 笔者联合采用地震属性提取与叠后波阻抗反演技术, 对于夏子街油田开展三维地震资料精细解释, 进一步落实该区主力火山岩储层的空间分布特征, 以期火山岩储层的勘探开发提供参考。

## 1 区域地质特征

夏子街油田油藏顶界构造形态为一不规则背斜圈闭, 处于玛湖凹陷的北斜坡, 海拔  $-4393\text{m}$ ; 背斜圈闭面积  $11.28\text{km}^2$ , 闭合度  $120\text{m}$ , 溢出点海拔  $-4480\text{m}$ 。夏 2 井及夏 3 井位于该背斜次高点上, 夏 1 井构造位置最低, 位于背斜北翼平缓的斜坡上。

研究区地层发育较全, 自下而上发育石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系及白垩系。其中, 二叠系与三叠系、三叠系与侏罗系、侏罗系与白垩系为区域不整合接触。 $P_1f$  为研究区目的层, 地层厚度  $350\sim 400\text{m}$ , 储层岩性为流纹质熔结含角砾凝灰岩。根据地层成因机制的不同和各种岩石成分、含量及其电性、物性特征, 结合区域研究成果,  $P_1f$  地层由顶至底可划分为 3 段: 风城组一段 ( $P_1f_1$ )、风城组二段 ( $P_1f_2$ )、风城组三段 ( $P_1f_3$ )。其中,  $P_1f_3$  进一步划分为一亚段 ( $P_1f_3^1$ )、二亚段 ( $P_1f_3^2$ )、三亚段 ( $P_1f_3^3$ ) 共 3 个次级岩性段。

**[收稿日期]** 2015-04-17

**[作者简介]** 王丽 (1988-), 女, 助理工程师, 现主要从事油气田开发研究工作, 245830805@qq.com。

$P_1f_3$  主要为一套火山溢流相与火山喷发相地层, 是研究区主要的储集层集中发育段。该层段总体特征为: 高电阻率、高自然伽马、高孔隙度, 自然电位正差异, 具明显的“三高一正”电性特征。

## 2 火成岩储层平面分布特征

在精细三维地震解释的基础上, 采用地震属性提取技术对研究区  $P_1f_3$  储层发育特征开展平面研究, 提取均方根振幅、最大波峰振幅、最大波谷振幅、平均瞬时频率、平均瞬时相位、平均反射强度 (提取时窗为油层顶-15~25ms, 共 40ms) 6 种地震属性<sup>[19]</sup>。其中, 能较好地反映火山岩岩性特征的地震属性主要为振幅类属性。均方根振幅属性对振幅变化非常敏感, 用于波阻抗反演资料的分析时, 由于振幅值在平均之前先进行了平方计算, 所以该参数对于振幅的极值点即岩性的异常点十分敏感。均方根振幅是在给定时窗间隔内的振幅平方之和的平方根, 它可以显示孤立的或极值振幅异常。最大波峰振幅的算法是顺着正振幅的曲线和波峰振幅 2 个最大值点做一个抛物线计算, 并拾取最大值点。最大波峰振幅参数用于波阻抗反演资料的属性分析时, 可以较为有效地去除资料处理不当造成的方波现象<sup>[20,21]</sup>。经与研究区钻井储层发育特征对比, 证明地震振幅类属性可以很好地反映储层分布的大致范围。由图 1 可以看出, 有利储层在夏 1 井及夏 5 井沿线向东变薄或尖灭, 夏 4 井、夏 1 井周围及其向西、向北发育有利储层。

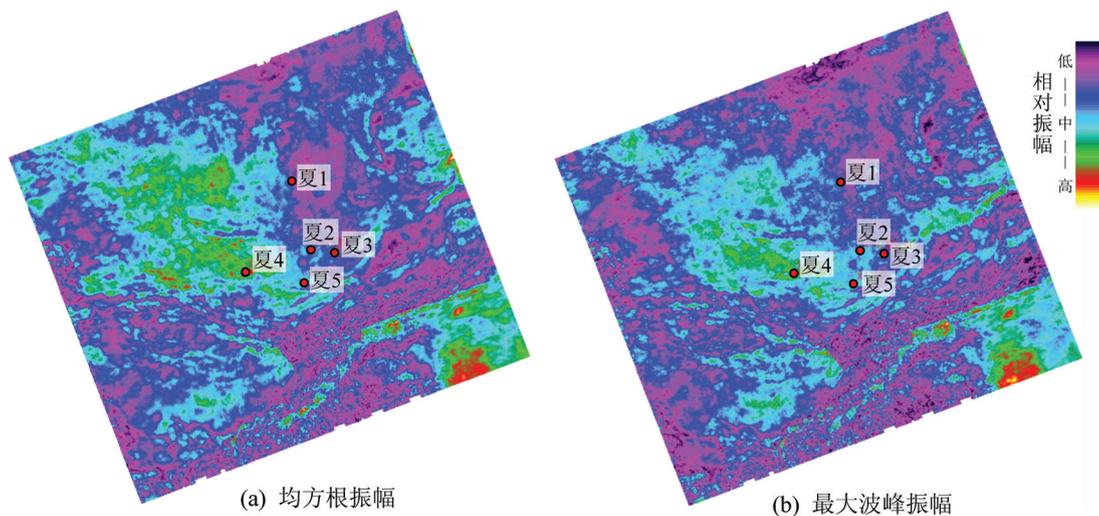


图 1  $P_1f_3$  振幅类地震属性与储层的分布耦合关系

## 3 叠后波阻抗反演

对研究区三维地震资料进行频谱分析, 目标层段的主频  $f=25\text{Hz}$  左右, 有效频宽为  $6\sim 37\text{Hz}$ 。地震分辨率取  $\lambda$  (波长) / 4, 按层速度  $v=3000\text{m/s}$  计算, 理论上能分辨的有效厚度  $v/4f=30\text{m}$ ; 若分辨率取  $\lambda/8$ , 能分辨的有效厚度  $v/8f=15\text{m}$  左右。

### 3.1 单井标定

单井标定是为了确定地震反射所对应的地质层位, 赋予地震反射的地质含义, 从而达到利用地震资料研究地层构造形态、岩性变化、储层分布及含油气性的目的。其过程是利用子波和井上测得的地层反射系数 (测井波阻抗计算结果) 制作合成地震记录, 通过比较合成地震记录与井旁道地震反射同相轴的相似性, 来确定地质层位与地震反射同相轴的对对应关系<sup>[22]</sup>。

由图 2 中可以看到, 经过合成记录标定, 夏 3 井制作的合成地震记录与地震井旁道匹配性较高, 波组特征一致, 标定准确可靠。其中  $P_1f_3$  是含油目的层, 标定结果为波峰反射, 与地震井旁道标定基本匹配。该次共制作 5 口井的合成地震记录, 为地震反演提供了可靠的井约束条件。

### 3.2 求取地震子波

反演就是利用地震子波与反射系数进行褶积，将地震资料丢失的信息恢复，将振幅界面回归到反射系数界面，以更好地刻画地层，提高分辨率。因此，子波在地震资料反演中扮演着重要的角色，不同的地震子波得到的结果截然不同，只有最接近实际的子波，才能反演出正确的结果。确定好各井层位标定关系后，提取5口井的平均子波。从平均子波频谱与地震资料频谱对比图(图3)上可以看出，二者基本一致，平均子波频谱分布与地震资料的分布基本相同。

### 3.3 建立初始模型

建立初始波阻抗模型的过程实际上就是把横向上连续变化的地震界面信息与高分辨的测井波阻抗信息相结合的过程，它是反演过程中相当重要的一步。建立尽可能接近实际地层情况的波阻抗模型，是减少其最终结果多解性的根本途径。测井资料在纵向上详细揭示了地层的波阻抗变化细节，地震资料则连续记录了波阻抗界面的横向变化，二者的结合，为精确建立空间波阻抗模型提供了必要条件<sup>[21]</sup>。

以地震解释成果做约束，利用标定后的井数据建立初始约束波阻抗模型如图4所示，可以看出，井上波阻抗值与初始模型波阻抗值符合度较高，且建立的模型层位合理，与地震同相轴相位对应关系较好，说明建立的模型可以用于波阻抗反演。

### 3.4 反演效果分析

此次研究主要应用测井约束稀疏脉冲反演技术从地震资料中获得相对波阻抗信息。因为相对波阻抗缺少低频信息，所以需要从地质模型中获得低频信息补充到反演结果中，使最终的结果具有实际的地质意义。补偿的低频成分为0~5.6Hz。通过井上计算得到的波阻抗曲线与反演预测的井旁波阻抗道进行比较，检验反演效果。研究区各井区反演波阻抗与测井波阻抗对比图如图5所示，可以看出，各井反演波阻抗与测井波阻抗趋势完全一样，具有较好的对应关系，目的层 $P_1f_3^2$ 火山岩储层有较好的反映。

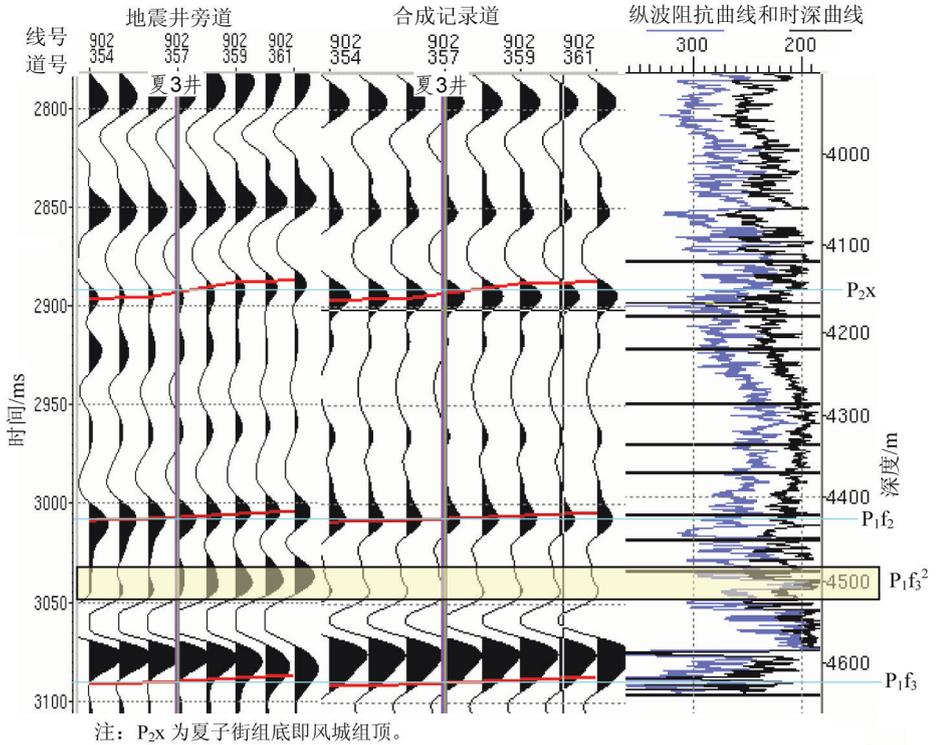


图2 夏3井井震结合标定图

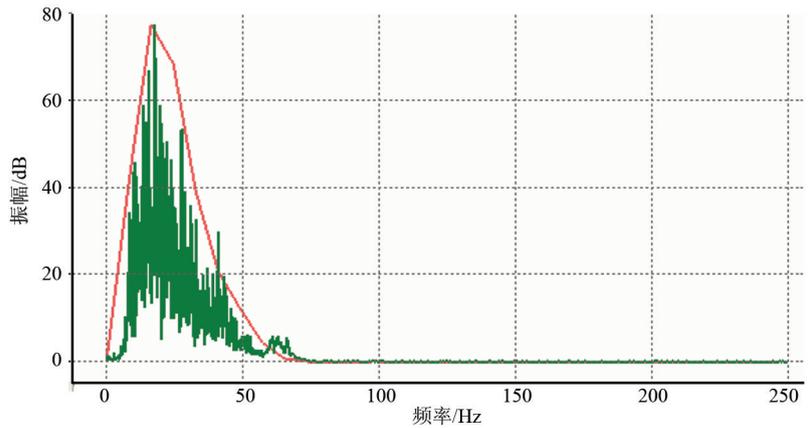


图3 平均子波与地震资料频谱分布对比图

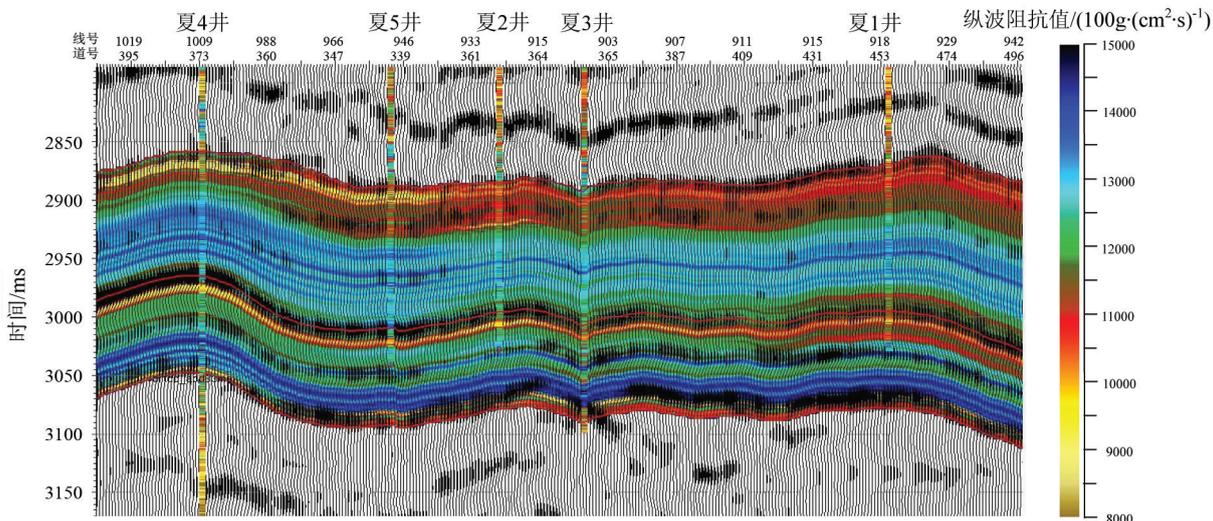


图 4 初始波阻抗模型与地震资料叠合图

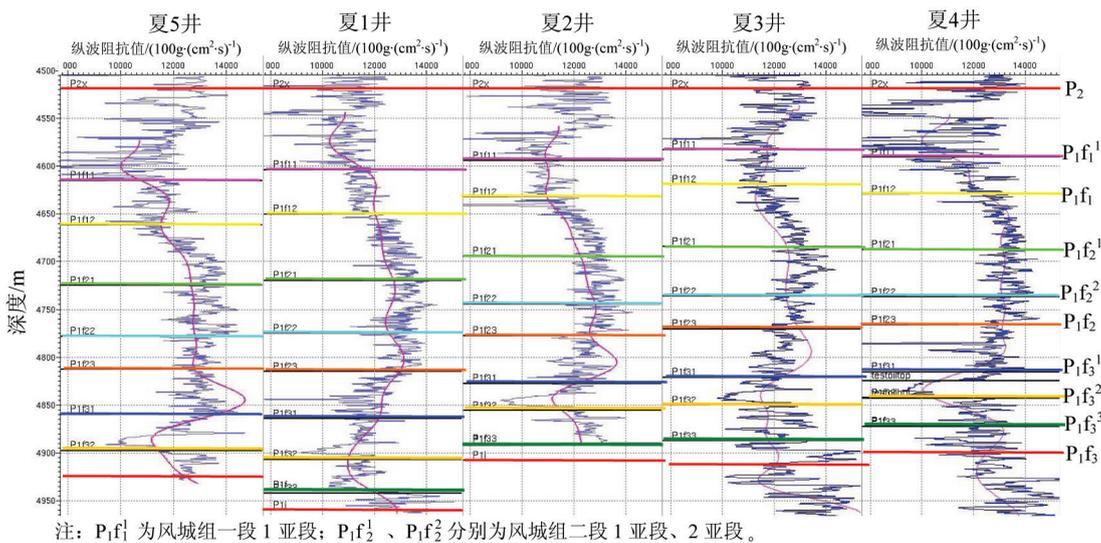


图 5 单井反演波阻抗与测井波阻抗曲线对比图

研究区  $P_1f_3^2$  波阻抗与密度交会图 (图 6) 表明, 波阻抗小于  $11600 \times 100g / (cm^2 \cdot s)$  为有利储层; 由反演波阻抗连井剖面 (图 7) 看, 反演结果与实际地震阻抗匹配较好。

### 3.5 波阻抗特征分析

研究区二叠系波阻抗主要具有以下特征:  $P_1f_1$  地层波阻抗总体表现为低值特征, 波阻抗在  $(9950 \sim 12800) \times 100g / (cm^2 \cdot s)$  之间;  $P_1f_2$  及  $P_1f_3$  波阻抗为高值特征, 波阻抗在  $(11800 \sim 15400) \times$

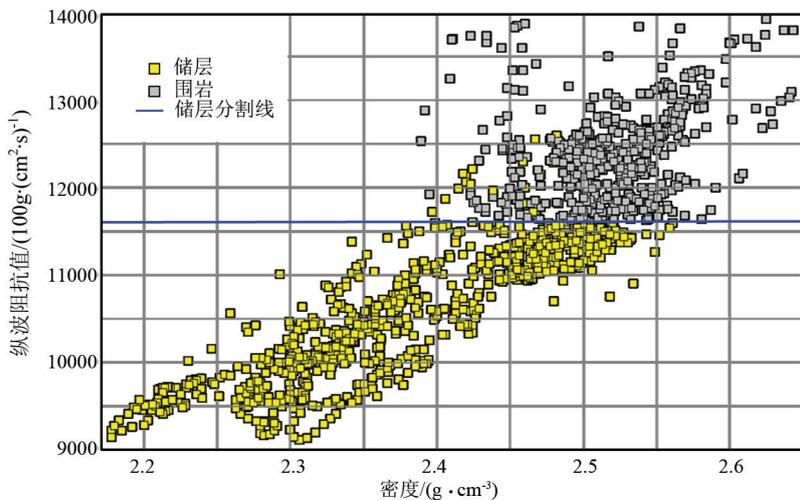


图 6 研究区  $P_1f_3^2$  波阻抗与密度交会图

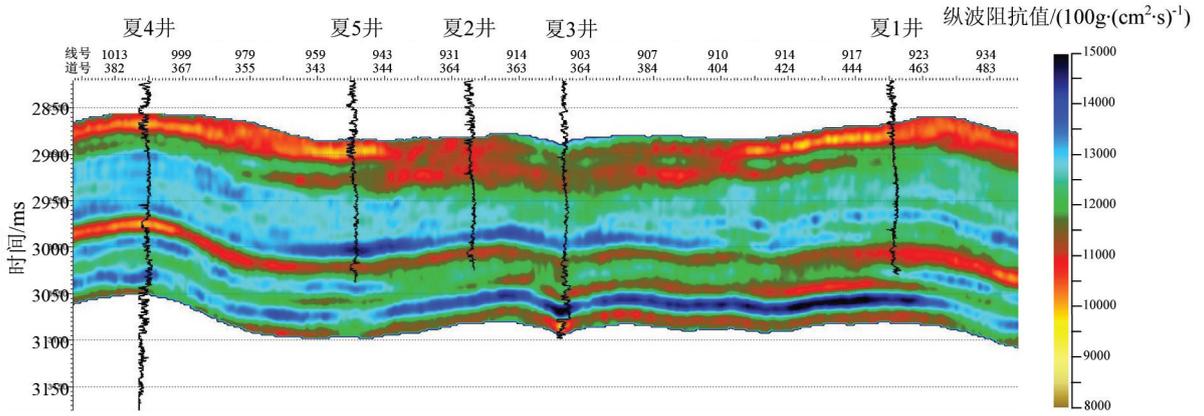


图7 过夏4井-夏5井-夏2井-夏3井-夏1井反演波阻抗连井剖面

100 g/(cm<sup>2</sup>·s) 之间; P<sub>1</sub>f<sub>3</sub> 波阻抗为低值特征, 波阻抗在 (9980 ~ 11760) × 100g/(cm<sup>2</sup>·s) 之间; P<sub>1</sub>f<sub>3</sub> 以下地层表现为高值特征。二叠系波阻抗特征表明, 目标层 P<sub>1</sub>f<sub>3</sub> 多孔状熔结角砾凝灰岩与上、下围岩区较好。

对研究区 P<sub>1</sub>f<sub>3</sub> 提取油层段 25ms 内最小波阻抗平面分布图 (图 8), 分析波阻抗在油层段的平面分布, 可以看出, 油层波阻抗由西向东逐渐变大, 有利储层分布在夏 4 井区及其以西范围, 呈北西向分布, 在夏 3 井以东方向变薄和尖灭, 与地震属性分析得到的储层分布范围相符。

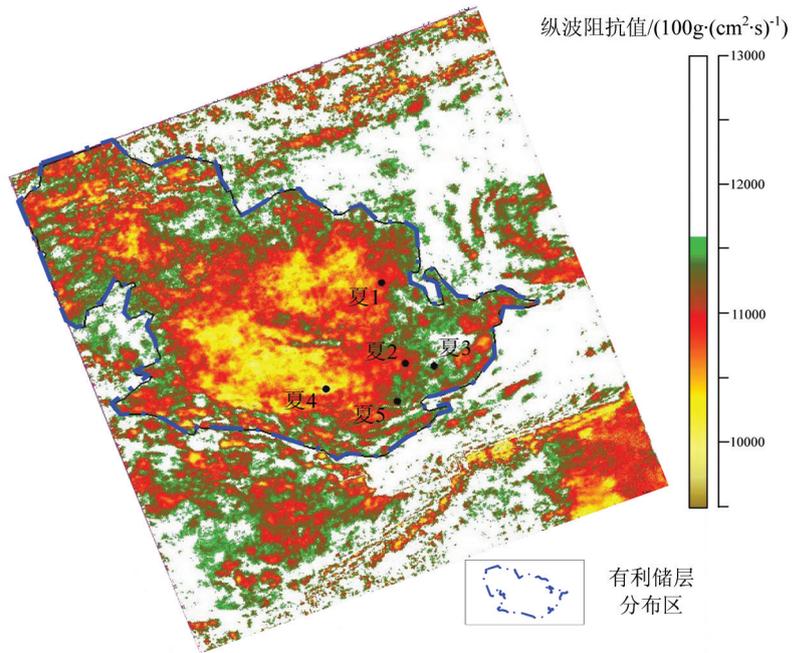


图8 研究区 P<sub>1</sub>f<sub>3</sub> 顶部向下 25ms 内最小波阻抗平面分布图

### 4 有利储层预测

研究区 P<sub>1</sub>f<sub>3</sub> 有利储层分布面积 57.09km<sup>2</sup>。利用波阻抗预测的有利储层厚度与测井厚度误差统计数据见表 1。

由表 1 看出, 夏 1 井预测厚度偏大, 分析认为, 夏 1 井 P<sub>1</sub>f<sub>3</sub> 是有利储层, 岩性为凝灰岩, 测井曲线表现为高声波时差、低密度、低波阻抗、高自然伽马、自然电位正异常, 该段被正确预测出。而 P<sub>1</sub>f<sub>3</sub> 岩性为凝灰质粉砂岩, 不是有利储层, 测井曲线表现为高声波时差、低密度、低波阻抗、低自然伽马, 由于该段表现为同样的低阻抗特征, 反演时被预测为有利储层, 因此造成了夏 1 井有利储

表 1 有利储层预测厚度同测井厚度误差统计表

井名	测井统计厚度/m	反演预测厚度/m	差值/m	误差/%
夏 5 井	10.375	9	-1.375	13.25
夏 1 井	8.625	19	10.375	120.28
夏 2 井	10.125	11.5	1.375	13.58
夏 3 井	11.25	12	0.75	6.67
夏 4 井	16.75	15	-1.75	10.45

层, 测井曲线表现为高声波时差、低密度、低波阻抗、高自然伽马、自然电位正异常, 该段被正确预测出。而 P<sub>1</sub>f<sub>3</sub> 岩性为凝灰质粉砂岩, 不是有利储层, 测井曲线表现为高声波时差、低密度、低波阻抗、低自然伽马, 由于该段表现为同样的低阻抗特征, 反演时被预测为有利储层, 因此造成了夏 1 井有利储

层包含了  $P_1f_3^2$  和  $P_1f_3^3$ , 预测结果较厚; 除夏 1 井外, 其余 4 口井预测厚度差值均小于 2m, 预测准确率为 86% 以上, 总储层预测符合率为 80%。

## 5 结论

1) 振幅类地震属性表明, 有利储层在夏 3 井、夏 1 井及夏 5 井沿线向东变薄或尖灭, 夏 4 井、夏 1 井周围及其向西、向北有利储层发育。

2) 波阻抗反演显示, 研究区波阻抗小于  $11600 \times 100 \text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$  代表有利储层。 $P_1f_3^2$  波阻抗为低值特征, 波阻抗在  $(9980 \sim 11760) \times 100 \text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$  之间, 而  $P_1f_2$ 、 $P_1f_3^1$  及  $P_1f_3^2$  以下地层波阻抗为高值特征, 表明目标层  $P_1f_3^2$  与上、下围岩区分较好。

3) 波阻抗反演得到油层波阻抗由西向东逐渐变大, 有利储层分布在夏子街油田西部, 呈北西向分布, 在夏 3 井以东方向变薄和尖灭, 与地震属性分析得到的储层分布范围相当。

4) 预测出夏子街油田  $P_1f_3^2$  有利储层分布面积  $57.09 \text{km}^2$ , 储层厚度预测准确率达到 86%。

### [参考文献]

- [1] 杨辉, 文百红, 张研, 等. 准噶尔盆地火山岩油气藏分布规律及区带目标优选——以陆东-五彩湾地区为例 [J]. 石油勘探与开发, 2009, 36 (4): 419~427.
- [2] 袁士义, 冉启全, 徐正顺, 等. 火山岩气藏高效开发策略研究 [J]. 石油学报, 2007, 28 (1): 73~77.
- [3] 池秋鄂, 徐怀大. 松辽盆地梨树-德惠凹陷火成岩初探及与油气关系 [J]. 石油学报, 1998, 19 (3): 16~20.
- [4] 刘正国, 王正允, 刘瑞林. 成像测井在松辽盆地徐家围子地区深层火山岩储层研究中的应用 [J]. 河南石油, 2004, 18 (3): 23~27.
- [5] 吴磊, 徐怀民, 季汉成, 等. 松辽盆地杏山地区深部火山岩有利储层的控制因素及分布预测 [J]. 现代地质, 2005, 19 (4): 585~595.
- [6] 杨辉, 宋吉杰, 文百红, 等. 火山岩岩性宏观预测方法——以松辽盆地北部徐家围子断陷为例 [J]. 石油勘探与开发, 2007, 34 (2): 150~155.
- [7] 刘为付, 王永生, 杜刚. 松辽盆地徐家围子断陷营成组火山岩储集层特征 [J]. 特种油气藏, 2008, 15 (3): 6~10.
- [8] 邹才能, 赵文智, 贾承造, 等. 中国沉积盆地火山岩气藏形成与分布 [J]. 石油勘探与开发, 2008, 35 (3): 257~271.
- [9] 张明学, 吴杰, 胡玉双. 松辽盆地丰乐地区营城组火山岩储层预测 [J]. 地球物理学进展, 2009, 24 (6): 2145~2150.
- [10] 赵澄林, 孟卫工, 金春爽, 等. 辽河盆地火山岩与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 45~64.
- [11] 蔡国钢, 张坤, 刘立, 等. 辽河盆地东部凹陷中部火山岩储层特征研究 [J]. 海洋石油, 2003, 23 (2): 32~37.
- [12] 余淳梅, 郑建平, 唐勇, 等. 准噶尔盆地五彩湾凹陷基底火山岩储集性能及影响因素 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29 (3): 303~308.
- [13] 匡立春, 薛新克, 邹才能, 等. 火山岩岩性地层油藏成藏条件与富集规律——以准噶尔盆地克百断裂带上盘石炭系为例 [J]. 石油勘探与开发, 2007, 34 (3): 285~290.
- [14] 王仁冲, 徐怀民, 邵雨, 等. 准噶尔盆地陆东地区石炭系火山岩储层特征 [J]. 石油学报, 2008, 29 (3): 350~355.
- [15] 陈永波, 潘建国, 许多年, 等. 准噶尔盆地西北缘火山岩储层的综合地球物理预测 [J]. 石油物探, 2010, 49 (4): 364~372.
- [16] 岑方, 罗明高, 姚鹏翔. 深埋藏火山岩高孔隙形成机制探讨 [J]. 西南石油学院学报, 2005, 27 (3): 8~10.
- [17] 李宁, 乔德新, 李庆峰, 等. 火山岩测井解释理论与应用 [J]. 石油勘探与开发, 2009, 36 (6): 683~692.
- [18] 杨少春, 郭智, 刘金华, 等. 商 741 火成岩区构造应力场模拟及裂缝预测 [J]. 断块油气田, 2011, 18 (3): 277~280.
- [19] 高林, 杨勤勇. 地震属性技术新进展 [J]. 石油物探, 2004, 43 (增刊): 11~16.
- [20] 凌云研究组. 基本地震属性在沉积环境解释中的应用研究 [J]. 石油地球物理勘探, 2003, 38 (6): 642~653.
- [21] 严又生. 地震属性及其分类 [J]. 国外油气勘探, 1997, 9 (4): 529~530.
- [22] 曹谊, 司娟娟. 叠前弹性波阻抗反演 (EI) 方法与应用 [J]. 油气地球物理, 2008, 6 (3): 50~55.