

[引著格式] 刘海涛, 何志勇, 肖伟, 等. “三步法反演”技术在钙屑砂砾岩储层预测中的应用 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (7+8): 19~23.

“三步法反演”技术在钙屑砂砾岩储层预测中的应用

——以元坝气田西部须家河组四段上亚段为例

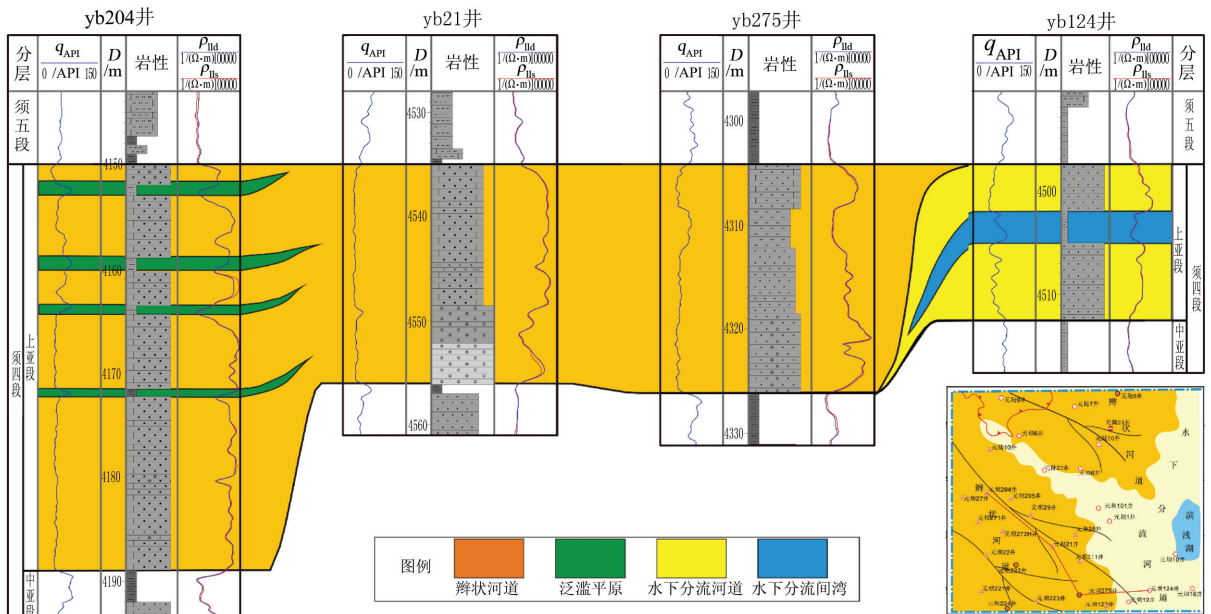
刘海涛, 何志勇, 肖伟, 林琳, 郝景宇 (中石化勘探分公司, 四川 成都 610041)

[摘要] 元坝气田西部在须家河组四段上亚段 ($T_3x_4^u$) 沉积时期发育辫状河三角洲平原-辫状河三角洲前缘亚相, 岩性以大套厚层钙屑砂砾岩、岩屑砂岩为主夹薄层泥岩, 储层主要发育在钙屑砂砾岩中, 为低孔、低渗的裂缝-孔隙性储层。在这种致密砂岩中如何实现“去泥找砂, 砂中找钙屑砂”是储层预测的关键问题。在综合分析储层的地质、地球物理特征的基础上, 探索了“三步法反演”储层预测技术, 首先应用自然伽马反演去除泥岩, 然后应用电阻率反演去除岩屑砂岩, 最后在孔隙度体的约束下提取有效储层厚度。研究表明, 该方法比常规波阻抗反演的精度和准确性均有所提高, 在钙屑砂砾岩发育区可以推广。

[关键词] “三步法反演”; 元坝气田; 须家河组四段上亚段; 钙屑砂砾岩; 储层预测

[中图分类号] P631.44 [文献标志码] A [文章编号] 1000-9752 (2015) 07+08-0019-05

晚三叠世须家河组四段 (T_3x_4) 沉积时期, 由于安县运动的影响, 四川盆地主要以冲积平原-辫状河三角洲平原-前缘沉积环境为主, 发育大套砂砾岩, 并在盆地北部边缘广泛发育冲积扇相^[1~4]。元坝气田西部须家河组四段上亚段 ($T_3x_4^u$) 沉积相由西北往东南, 从辫状河三角洲平原亚相逐步过渡为辫状河三角洲前缘亚相 (图 1)。



注: q_{API} 为自然伽马; D 为井深; ρ_{ud} 、 ρ_{ls} 分别为深、浅侧向电阻率。

图 1 元坝西部 $T_3x_4^u$ 连井沉积相图

[收稿日期] 2014-11-02

[基金项目] 国家科技重大专项 (2011ZX05002-004)。

[作者简介] 刘海涛 (1985-), 女, 硕士, 工程师, 现主要从事致密砂岩气藏勘探、地震资料解释、储层预测等相关工作, li-uh.t.ktnf@sinopec.com。

砂体横向上连通,纵向上多期叠置,沿物源方向砂体粒度减小,由砂砾岩过渡为岩屑砂岩。辫状河道微相区主要发育厚度大、粒度粗的钙屑砂砾岩、钙屑砂岩,水下分流河道微相区主要发育厚度小、粒度细的岩屑砂岩。前人研究认为, $T_3x_4^u$ 沉积物源来自西北部龙门山地区二叠系-三叠系碳酸盐岩发育区,且随着龙门山造山运动由北向南逐步推覆;研究区碳酸盐岩岩屑自西北向东南具有粒度变细、含量降低的特征^[5,6]。

1 储层特征

1.1 储层物性特征

元坝地区 T_3x_4 共有11口井取心,部分样品达到储层标准。根据 T_3x_4 岩心样品实测物性资料统计,砂砾岩孔隙度分布在 $0.81\% \sim 5.94\%$ 之间(平均为 3.3%);渗透率分布在 $0.004 \sim 0.796\text{mD}$ (几何平均数为 0.056mD)。通过孔隙度和渗透率交会(图2)分析,孔隙度与渗透率整体上呈较好的正相关关系,随着孔隙度的增大,渗透率呈上升的趋势,少数样点表现为裂缝的特征。总体上储层表现为特低孔、特低渗特征,储层类型表现为裂缝-孔隙型^[7,8]。

1.2 储层测井响应特征

通过统计 $T_3x_4^u$ 各单井岩性波阻抗可知,泥岩、岩屑砂岩和钙屑砂砾岩均有部分重叠,因此单纯依据波阻抗无法完全区分泥岩、岩屑砂岩和钙屑砂砾岩(图3(a))。分析表明,钙屑砂砾岩具有“低自然伽马、高电阻率、高波阻抗”的特征,通过统计井上不同岩性的自然伽马和电阻率可知,自然伽马能够较好地区分泥岩和砂岩,而电阻率能够较好地区分钙屑砂砾岩和岩屑砂岩(图3(b))。

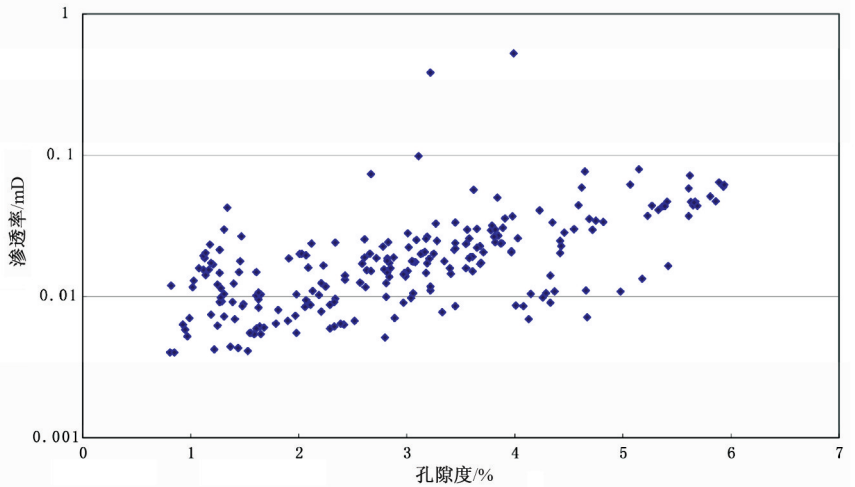


图2 元坝西部 $T_3x_4^u$ 孔隙关系图

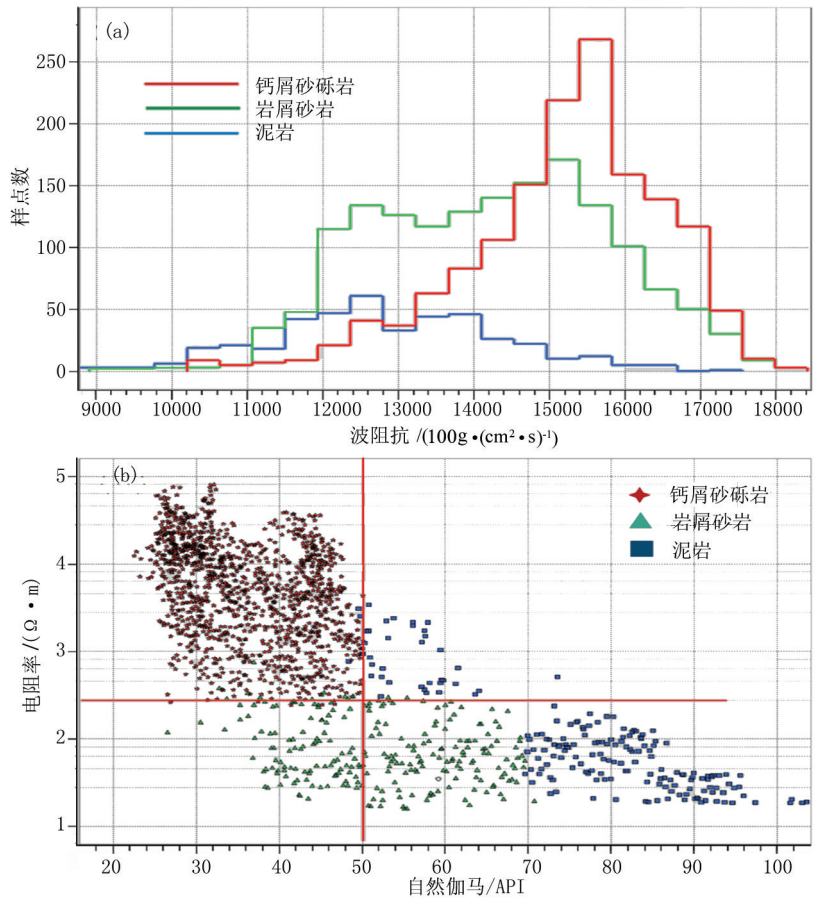


图3 $T_3x_4^u$ 波阻抗分布图 (a) 及自然伽马-电阻率交会图 (b)

通过统计井上不同岩性的自然伽马和电阻率可知,自然伽马能够较好地区分泥岩和砂岩,而电阻率能够较好地区分钙屑砂砾岩和岩屑砂岩(图3(b))。

2 储层预测思路

根据研究区 T_3x_4 沉积特征、储层物性及测井响应特征，提出了“三步法反演”储层预测思路：第 1 步，通过储层精细标定，在明确储层地震响应特征及地震识别模式的基础上，开展测井约束下的稀疏脉冲波阻抗反演。第 2 步，开展自然伽马反演，得到自然伽马反演数据体，利用泥岩的高自然伽马特征 (≥ 50 API)，对测井约束波阻抗反演数据体进行去泥，得到纯砂砾岩波阻抗数据体。第 3 步，开展电阻率反演，得到电阻率反演数据体，利用钙屑砂砾岩高电阻率特征 ($\geq 240\Omega \cdot m$)，对纯砂砾岩波阻抗数据体进行去岩屑砂，得到钙屑砂砾岩波阻抗数据体；在钙屑砂砾岩数据体中，按照储层相应的波阻抗特征、物性下限等参数，最终得到有效储层的展布。

2.1 波阻抗反演

井约束波阻抗反演是利用叠后地震资料进行反演的一种技术^[9]，根据反演方法的试验与反演效果比较，选择运用 Jason 软件稀疏脉冲反演模块开展高分辨率波阻抗反演。在对砂砾岩储层沉积特征、宏观展布以及构造精细解释的基础上，利用 T_3x_4 、须家河组四段上亚段底界 (T_3x_3)、须家河组五段 (T_3x_5) 等 3 个层位作为约束，采用协同建模的方法构建低频模型，充分利用已有的钻井、测井资料开展相控井约束稀疏脉冲反演，得到波阻抗数据体 (图 4 (a))。

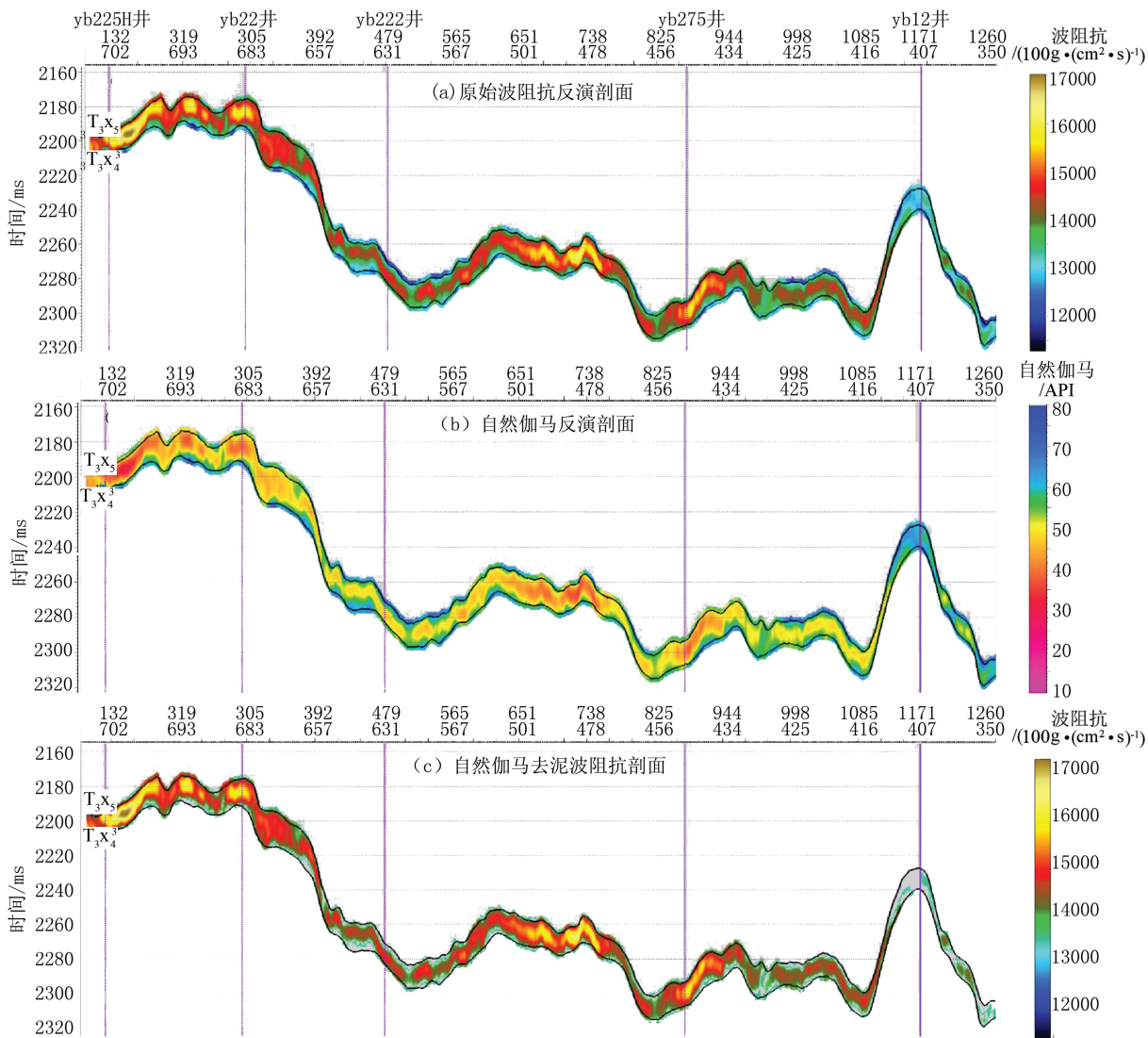


图 4 自然伽马反演前、后对比图

2.2 自然伽马反演

自然伽马反演通过地震多属性反演得到。地震多属性反演是建立井点处各种优势地震属性与目标参数(如密度、电阻率曲线)之间的函数关系,进而依据其关系反演得到目标参数数据体^[10,12]。具体步骤如下:①从原始地震剖面井旁道上提取地震属性(内部属性),并将波阻抗体作为外部属性输入;②通过多元逐步回归分析^[13]确定最优化的属性顺序,通过交互验证分析确定最优化的属性个数,优化选取最佳属性组合,并在此基础上应用神经网络分析^[14]进一步优化训练建立属性组合与目标参数的数学关系;③将所建立的函数关系运用到地震数据体中进行目标参数的反演。 $T_3x_4^i$ 发育钙屑砂砾岩储层,由于单纯应用波阻抗特征不能区分出钙屑砂砾岩,而通过统计井上各岩性自然伽马可知,自然伽马能够较好地地区分出泥岩和砂砾岩,因此有必要开展自然伽马反演去除 $T_3x_4^i$ 中的泥岩夹层。从自然伽马反演结果来看,泥岩具有明显的高自然伽马特征,砂砾岩中的泥岩夹层按照 50API 的自然伽马门槛值能够较好地进行剔除,得到的纯砂砾岩波阻抗数据体反演结果与井资料符合较好(图4)。

2.3 电阻率反演

研究区 $T_3x_4^i$ 单纯地应用自然伽马反演只能剔除泥岩,仍不能区分钙屑砂砾岩与岩屑砂岩。通过井上岩屑砂岩和钙屑砂砾岩电阻率统计分析认为,电阻率为 $240\Omega \cdot m$ 可以作为剔除岩屑砂岩的界限。电阻率反演仍然通过地震多属性反演得到。电阻率反演结果显示钙屑砂砾岩具有明显的高电阻率特征,按照 $240\Omega \cdot m$ 的电阻率门槛值去除岩屑砂岩,得到纯钙屑砂砾岩的数据体。从电阻率反演结果来看, $T_3x_4^i$ 中岩屑砂岩能够较好地进行剔除,与井资料符合较好(图5)。

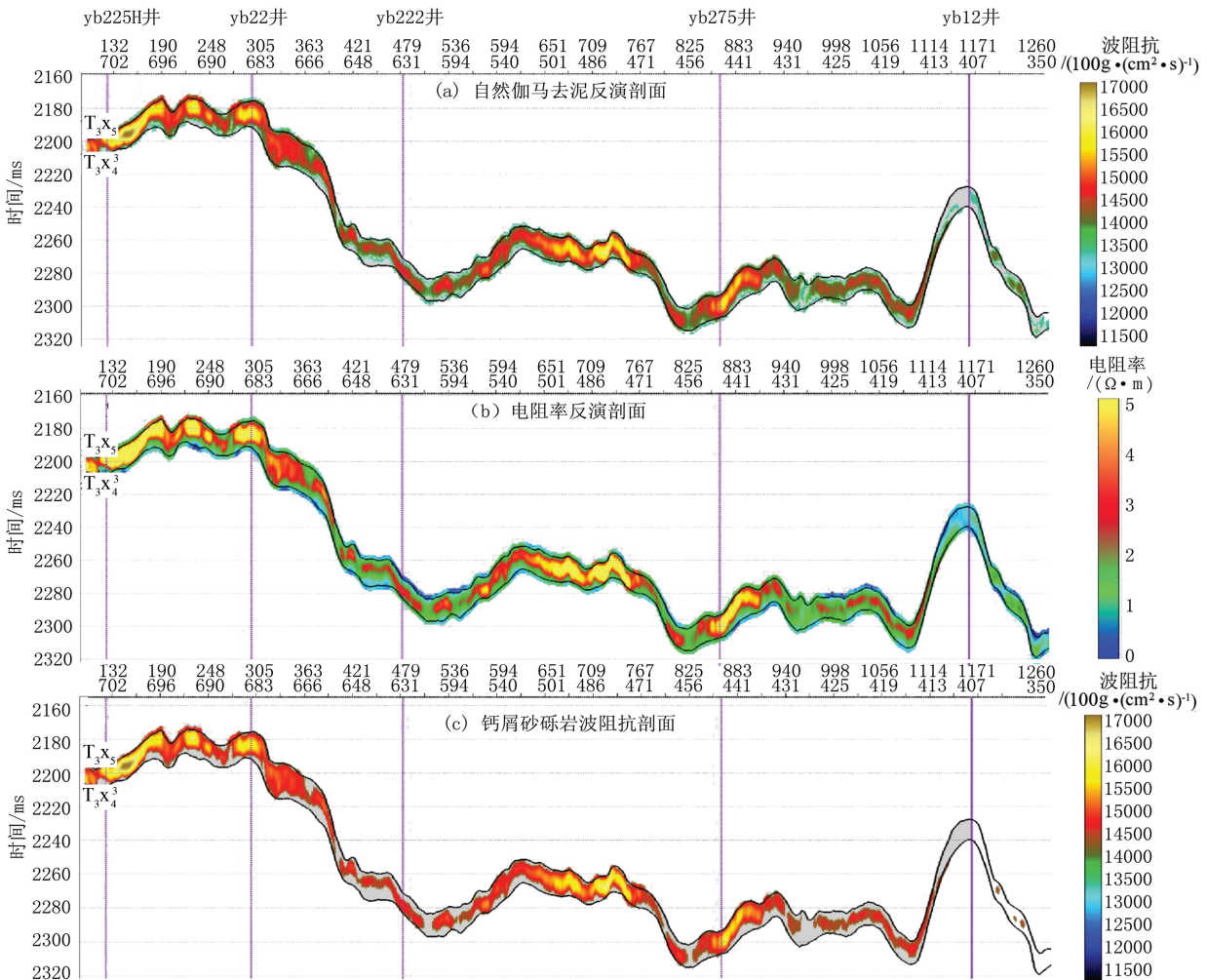


图5 电阻率反演前、后对比

2.4 有效储层预测

在波阻抗反演的基础上,利用自然伽马反演去泥、电阻率反演去岩屑砂岩得到纯钙屑砂砾岩波阻抗体。通过与原始波阻抗提取的 T_3x_4 波阻抗平面图对比(图 6)可知,由于泥岩和岩屑砂岩的影响,原始波阻抗并不能反映钙屑砂岩储层的展布,而钙屑砂砾岩波阻抗体由于去除了泥岩和岩屑砂岩的影响,能够较好地凸现钙屑砂砾岩储层的变化,边界也更加清晰。

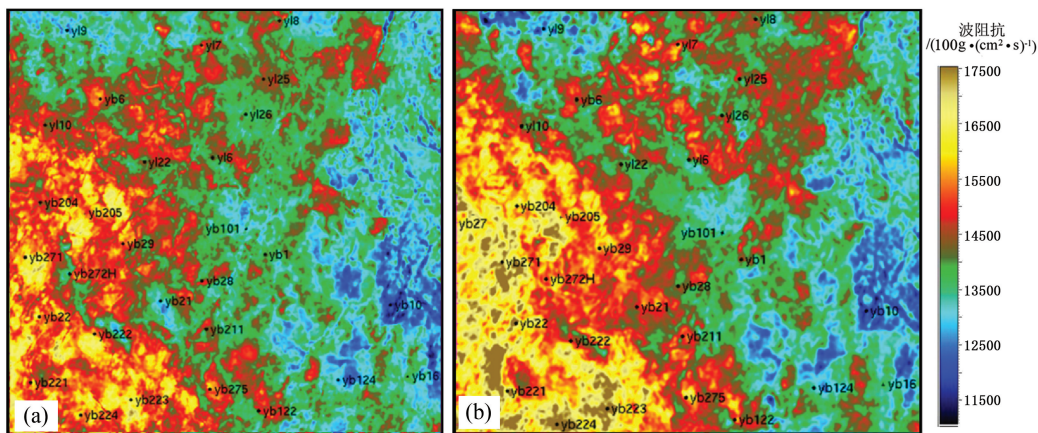


图 6 原始波阻抗平面 (a) 与钙屑砂砾岩波阻抗平面 (b) 对比图

再利用孔隙度反演,满足孔隙度大于 2.0%即为钙屑砂砾岩有效储层分布区。通过与实钻井对比, T_3x_4 储层厚度预测结果与井资料符合程度较高,储层整体上大面积展布,西南部较厚,向东逐渐减薄,工区北部地层由于九龙山背斜抬升影响,储层遭受剥蚀,储层厚度介于 0~18.8m 之间,南部地区 yb22 井、yb224 井区为储层厚度整体较大的区域,储层展布特征与平面沉积微相基本一致。

3 结论

- 1) 元坝气田西部 T_3x_4 沉积时期发育辫状河三角洲平原-前缘亚相,岩性以钙屑砂砾岩和岩屑砂砾岩为主,夹有薄层的泥岩,储层主要发育在钙屑砂砾岩中,为低孔、低渗的裂缝-孔隙型致密储层。
- 2) 钙屑砂砾岩具有“低自然伽马、高电阻率、高波阻抗”的测井响应特征。
- 3) 形成了“去泥找砂,砂中找钙屑砂”的钙屑砂砾岩储层有效预测方法。

[参考文献]

- [1] 郭彤楼. 四川盆地北部陆相大气田形成与高产主控因素 [J]. 石油勘探与开发, 2013, 40 (2): 139~149.
- [2] 盘昌林, 刘树根, 马永生, 等. 川东北须家河组储层特征及主控因素 [J]. 西南石油大学学报 (自然科学版), 2011, 33 (3): 27~34.
- [3] 淡永, 林彪彪, 钟怡江, 等. 米仓山-大巴山前缘上三叠统须家河组四段砾岩特征及其对物源的指示 [J]. 地质论评, 2013, 59 (1): 15~23.
- [4] 蒋裕强, 陶艳忠, 沈妍斐, 等. 对大川中地区上三叠统须家河组二、四、六段砂岩沉积相的再认识 [J]. 天然气工业, 2011, 31 (9): 39~50.
- [5] 郭正吾, 邓康龄, 韩永辉, 等. 四川盆地形成与演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [6] 淡永. 川东北须家河组物源分析与沉积体系研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2011.
- [7] 谢继容, 李国辉, 罗凤姿. 四川盆地上三叠统须家河组储集特征 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2009, 36 (1): 13~18.
- [8] 杨秋莲, 李爱琴, 孙燕妮, 等. 超低渗储层分类方法探讨 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19 (4): 51~56.
- [9] 彭娉姿, 彭俊, 陈燕辉, 等. 四川盆地元坝地区大安寨段页岩气“甜点”地震预测 [J]. 天然气工业, 2014, 34 (6): 42~47.
- [10] 林煜, 郁智, 徐樟有, 等. 应用地震多属性反演与随机模拟技术预测砂体展布——以川西丰谷构造须四段为例 [J]. 科技导报, 2011, 29 (10): 45~48.
- [11] 彭杰, 彭立才, 林年添, 等. 地震多属性反演在巴气田八道湾组储层预测中的应用 [J]. 石油地质与工程, 2013, 27 (7): 36~41.
- [12] 金吉能, 潘仁芳, 王鹏, 等. 地震多属性反演预测页岩总有机碳含量 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2012, 34 (11): 68~72.
- [13] 印兴耀, 韩文功, 李振春, 等. 地震技术新进展 (下) [M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2006.
- [14] 焦李成. 神经网络的理论和实践 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995.