

Dolomite Reservoir Prediction Technical and Research Direction of the Fourth Member of Leikoupo Formation in Western Sichuan

Xia Feng, Ke Long, Suhua Li, Zuohua Cai, Lan Zhu, Weinan Ding, Congling Zhang

Exploration and Development Research Institute of Sinopec Southwest Oil and Gas Company,
Chengdu Sichuan

Email: 303447296@qq.com

Received: May 25th, 2018; accepted: Jun. 12th, 2018; published: Jun. 19th, 2018

Abstract

In recent years, we obtained a series of oil and gas discoveries in the dolomite field of the fourth member of Leikoupo Formation tidal-flat facies in Western Sichuan. Researches show that, the reservoir has the characteristics of "strata control", "facies control" and "heterogeneity" and so on. For the genesis mechanism and the characteristic of the reservoir, through practice, this paper summarized a set of prediction techniques, which is applicable to such reservoirs in Western Sichuan. Using step-by-step prediction and overall evaluation method, the technology is carried on reservoir prediction, and the results supported the marine exploration in Western Sichuan powerfully. The technology specifically includes: predicting strata distribution, dolomite distribution, thin reservoir, reservoir effectiveness by seismic facies analysis techniques, high resolution seismic analysis techniques, high-resolution processing combined with inversion, forward simulation combined with multiple attributes respectively. If we can achieve breakthroughs in joint processing, high-fidelity, resolution-enhancing technologies and pre-stack elastic parameter inversion techniques, the accuracy of reservoir prediction will be improved greatly. Of course, they are the key research fields for the reservoir prediction technology in the future.

Keywords

Dolomite, Reservoir Prediction, The Key Research Field, The Fourth Member of Leikoupo Formation, Chuanxi Area

川西地区雷四段潮坪相白云岩储层预测技术与攻关方向

冯霞, 隆轲, 李素华, 蔡左花, 朱兰, 丁蔚楠, 张聪玲

文章引用: 冯霞, 隆轲, 李素华, 蔡左花, 朱兰, 丁蔚楠, 张聪玲. 川西地区雷四段潮坪相白云岩储层预测技术与攻关方向[J]. 地球科学前沿, 2018, 8(3): 555-563. DOI: 10.12677/ag.2018.83059

中国石化西南油气分公司 勘探开发研究院, 四川 成都
Email: 303447296@qq.com

收稿日期: 2018年5月25日; 录用日期: 2018年6月12日; 发布日期: 2018年6月19日

摘要

近年来, 川西在雷四段潮坪相白云岩领域取得一系列油气发现。研究表明, 该储层具有“层控”、“相控”、“非均质性”等特征。针对川西雷四段潮坪相白云岩储层成因机制与特征, 通过生产实践, 总结了一套适用于川西该类储层的预测技术, 该技术采用分步预测, 总体评价的思路展开, 预测结果有力支撑了川西海相勘探。该技术具体包括: 应用地震相分析技术预测雷四³亚段地层展布, 应用高分辨地震地层分析技术预测白云岩展布, 应用高分辨率处理与反演相结合识别薄储层, 应用正演模拟与多属性相结合判别储层多解性的方法技术系列。同时认为, 如果能在连片、高保真及提高分辨率处理技术与叠前弹性参数反演技术这两方面取得突破, 将大大提高储层预测的精度, 这也是本区下一步储层预测技术研究的攻关方向。

关键词

白云岩, 储层预测, 攻关, 雷四段, 川西地区

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

研究区位于四川盆地西部, 2006年以来, 中国石化加大了本区海相的勘探力度, 相继在彭州、新场雷四段发现气藏, 展现了川西雷四段潮坪相白云岩领域良好的勘探前景。关于川西雷四段潮坪相白云岩储层预测技术前人有一些研究, 李素华等人提出利用谱分解与多属性相结合的方式预测储层展布[1]; 杜浩坤提出了基于EMD的SOM波形聚类的地震沉积学方法为雷口坡组沉积微相划分提供参考和依据[2]; 甯濛等利用雷口坡组所具有的断层相特征, 依据地质力学原理, 预测地层、沉积与储层分布[3]。前人运用这些特殊的方法技术针对川西雷口坡组储层预测方面做了较好的尝试, 但总体上适用性不高。与此同时, 蔡左花等人提出了应用“波形分类、地震属性、波阻抗反演、相干体分析”的方法技术能有效预测川西新场地区雷四段储层[4]; 张劲超提出应用相干分析技术、曲率属性分析、蚂蚁体追踪技术、频谱分解技术、井相控的高分辨率叠后反演以及多种常用振幅类属性进行叠后联合预测[5]; 阮韵淇提出以地震相、裂缝预测为基础, 结合古地貌、属性分析及反演结果, 实现多地震方法对目标储层的刻画[6]。这些结论看似全面, 但并未从储层成因机理出发, 作针对性的预测。为适应勘探工作的需要, 有必要总结出一套适用于川西雷四段潮坪相白云岩储层预测的方法技术体系: 即以沉积相、储层特征为基础, 围绕储层主控因素, 提出相应的预测手段, 按照分步预测, 总体评价的思路展开预测与评价。旨在为本区储层预测提供参考意见, 提高勘探成效。

2. 储层特征及主控因素

川西雷口坡组潮坪相白云岩储层主要分布于雷四³亚段, 受印支早期运动影响, 雷口坡组整体抬升

遭受剥蚀，雷四³亚段由西向东减薄逐渐尖灭。储层岩性以白云岩类为主，而白云石化作用受潮坪沉积环境的影响，这得益于中三叠世最后一次海侵运动[7]。据统计，储层累厚约60~110 m，纵向上，储层在进入雷顶后出现，最深在距雷顶130 m内可见。分为上、下两套：上储层，活跃，岩性复杂，为CK1井主要产气层段；下储层累厚26.2~69.4 m，单层厚度2~10 m，横向上分布较稳定，油气显示较活跃，为龙门山前构造带产气层段[8]。储集空间以晶间溶孔和不规则溶孔为主，储层物性好，平均孔隙度>4%，优质层段>10%，为孔隙型储层[8]；总体上储层具有“展布广、分布稳定、非均质性强”等特征。

3. 储层预测技术及适用性

紧密围绕川西雷口坡组潮坪相白云岩储层所具有的“层控”、“相控”、“非均质性强”、“薄层”等特征，优选相应预测技术进行预测。

3.1. 应用地震相分析技术预测雷四³亚段地层展布

地震相就是地下不同沉积相或地质体的地震响应特征的总和，波形分类技术就是充分利用了丰富多变的地震响应信息，应用神经网络技术将地震道波形变化定量刻画出来，然后对某一层位的波形变化进行逐道的对比分类，继而得到能够准确刻画地震波形横向变化的地震相平面图[9]。川西雷四³亚段地震相研究主要分三步：

- 1) 在已钻井基础上，开展地层对比分析，确定雷四³亚段各层段及上下地层横向展布特征；
- 2) 统计雷四³亚段及相邻层段岩石地球物理特征，建立地质模型正演模拟，再利用已钻井合成记录进行验证，最后确定雷四³亚段地层尖灭的地震相响应模式；
- 3) 地震相响应模式的基础上，利用波形分类技术开展雷四³亚段地震相分析。

根据分析结果，研究区内雷顶附近主要发育两大类波形，第一类波形：T6反射层连续稳定，T6之下出现较为稳定的中强振幅第二相位，向东逐渐变薄直至尖灭，平面上分布于川西探区西部；第二类波形：T6反射层常出现振幅能量及相位宽窄的变化，以单一相位为主，局部区域在T6反射层下方出现断续状第二相位，平面上分布于川西探区东部(见图1)。结合地层对比分析，锁定了引起这种变化的主要原因，即雷四³亚段地层厚度的变化，由此，利用地震相来判别雷四³亚段沉积范围，为雷四³亚段地层尖灭线定位。运用地震相分析技术有效的预测了川西雷四³亚段地层展布(见图2)。

3.2. 应用高分辨地震地层分析技术预测白云岩展布

地震层序分析是一种划分、对比和分析沉积岩系的新方法。Opendtect系统在强化细微地震信息的基础上，通过分析不同沉积体地震信息三维空间分布特征，识别沉积韵律，进行小层对比与自动追踪，并将沉积旋回韵律体对比追踪时深域结果转换到Wheeler域，进一步分析局部区域等时的进积、加积、退积层序组识别以及盆地沉积充填演化等层序地层学研究[10] [11]，通过沿沉积体内部小层面提取地震属性，实现了等时地层切片的提取，减少了地震属性多解性，提高了预测精度。川西雷四³亚段地震层序分析分为以下三步：

- 1) 选用过钻井的海相地震大剖面，运用OpendTect系统，完成雷口坡组沉积韵律的识别，转换到Wheeler域，开展层序体系域划分；
- 2) 利用已钻井层序地层分析结果完善地震层序分析结果，实现地震体系域的解释，明确其地质含义；
- 3) 对层序内部对应小层开展地震预测，分析有利体系域的平面特征，从而落实有利沉积相带的展布范围。

值得重视的是，地震层序分析对地震资料品质要求较高，分析资料最好为同批次处理，同时尽可能避开断裂发育的破碎带。

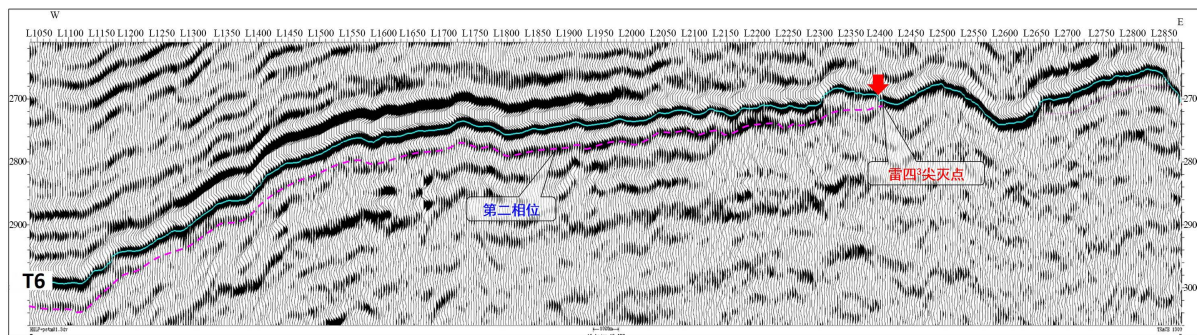


Figure 1. Wiggled character of the T214³ in Western Sichuan
图 1. 川西雷四³段亚段波形特征

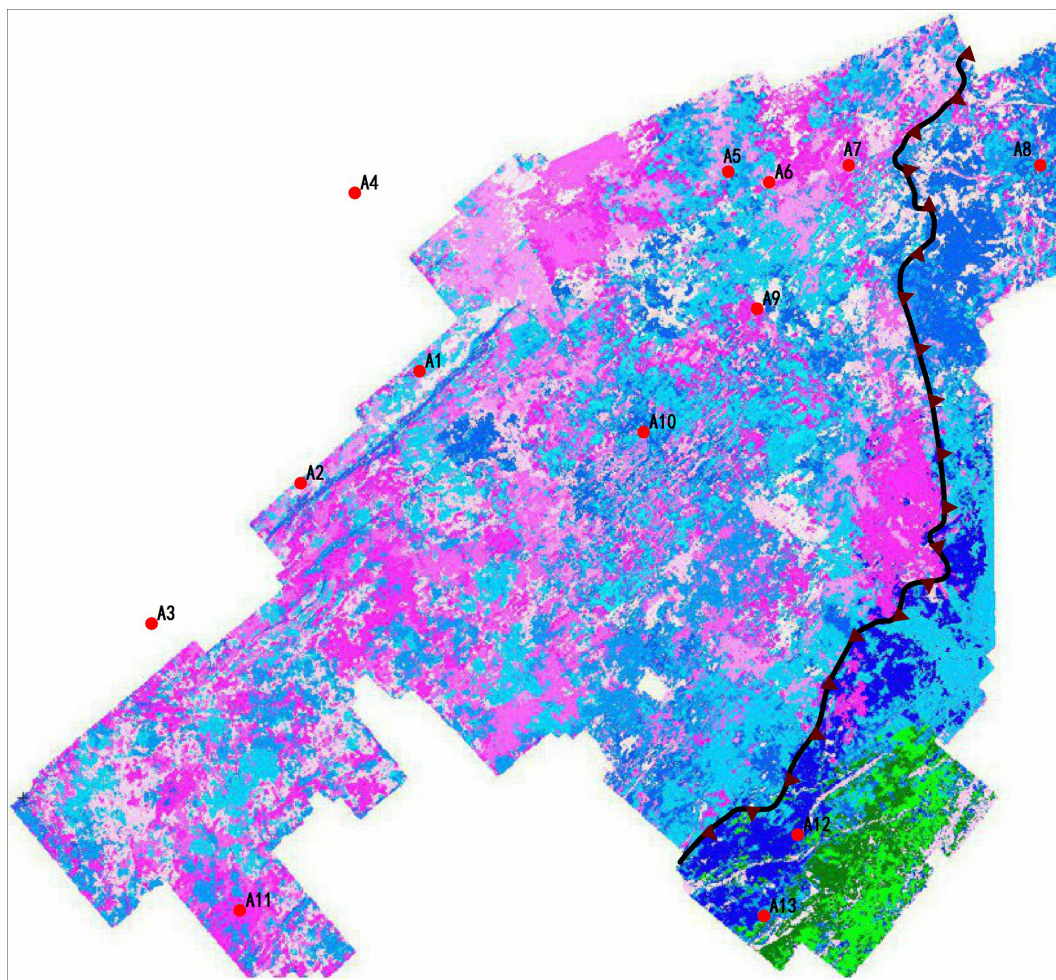


Figure 2. Seismic facies analysis diagram of the T214³ in Western Sichuan
图 2. 川西雷四³段亚段地震相分析平面图

根据分析，区内雷四³亚段对应雷口坡期末海退过程中的一次短暂海侵，在层序结构中对应的是一套四级海侵-海退旋回(见图 3)，正是这次海侵过程沉积一套潮坪相白云岩。利用这一个四级海侵-海退旋回来分析海水的进退范围，区域上分析了雷四³亚段白云岩的展布。预测结果与实钻吻合，符合地质规律。

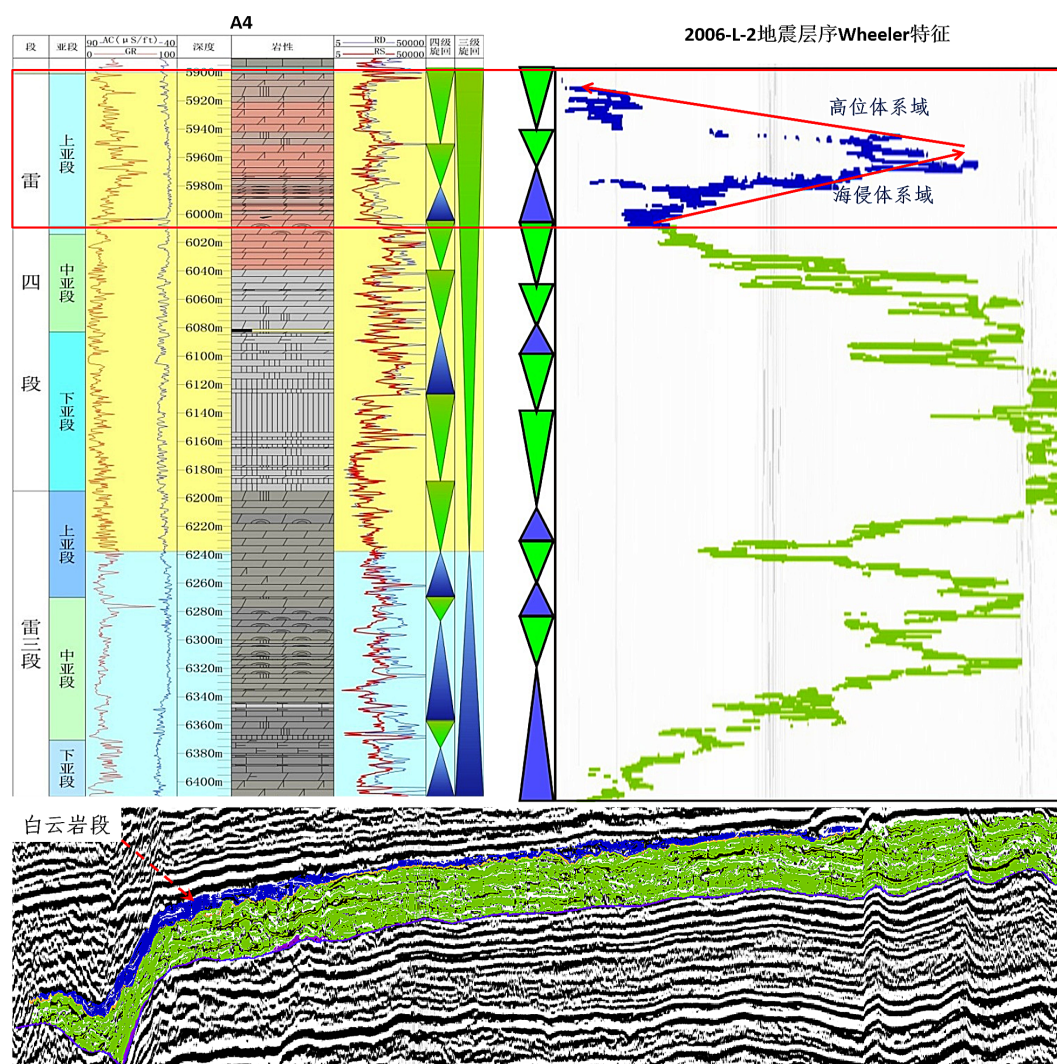


Figure 3. Wheeler characters of seismic sequences of the T214³ in Western Sichuan
图 3. 川西雷四³亚段地震层序 Wheeler 特征

3.3. 应用高分辨率处理与反演相结合识别薄层储层

围绕川西海相地震资料所具有的“区块多、参数杂、施工早、埋深大”等特征，结合川西雷口坡组潮坪相白云岩储层“单层厚度薄”及“非均质性强”的特点，采用了针对雷口坡组的连片高精细保幅叠前时间偏移处理，在连片、高保真、提高分辨率的思路指导下，最终实现主要目的层组特征清楚，信噪比高，分辨率高，地质异常突出[12]；结合反演技术，定量识别薄层储层。主要分三步：

1) 根据不同区块资料特点，在连片处理思路的指导下，采用 Geovation1.0 处理系统中网格重定义、时差调整、数据规则化的针对性技术，实现不同区块间的无缝拼接；采用频率相依噪音衰减技术、自适应面波衰减技术、拉冬变换线性噪音衰减技术及其组合，分块多域衰减各种噪音；在保护低频处理思路的指导下，采用串联反褶积、道集谱白化技术，逐步提高分辨率；采用球面扩散补偿、地表一致性振幅补偿、道集剩余振幅补偿等技术，结合道集校平技术，提高目的层成像质量，突出目的层异常响应特征；采用克希霍夫叠前时间偏移技术，使偏移成果归位准确、断面清晰、断点干脆；最终得到主要目的层组特征清楚，信噪比高的一手资料；

2) 在连片资料基础上, 采用叠后提高分辨率处理技术, 在保持信噪比、振幅与相位真实可靠的前提下, 适当提高主频和频带宽度, 突出目标地层构造、断裂、储层等地质信息, 最终实现主要目的层波组特征清楚, 信噪比高, 分辨率高, 地质异常突出;

3) 在高分辨处理资料基础上, 结合已钻井储层与围岩岩石物理特征, 应用反演技术, 实现储层埋深、厚度、岩性、物性、渗透性等关键参数的定量预测。

区内目前对已取得油气突破的新场、彭州地区开展过大连片叠后提高分辨处理, 处理结果同相轴连续, 剖面信噪比高, 与原始资料形态差异较小(图 4)。

在高分辨处理数据的基础上, 结合波阻抗反演技术进一步预测储层。因为川西目前钻井较少, 且分布较为分散, 反演方法上选择了对地质模型的依赖性小, 其结果的信噪比、分辨率以及可信度主要依赖于地震资料本身的品质的稀疏脉冲反演[13]。采用这种组合方式有效的预测了川西龙门山前雷四³亚段上、下两套储层的展布与厚度, 并得到钻井验证(图 5)。同时, 该项反演技术已作为储层定量预测的核心技术被广泛应用于川西雷四³亚段储层展布与厚度预测。

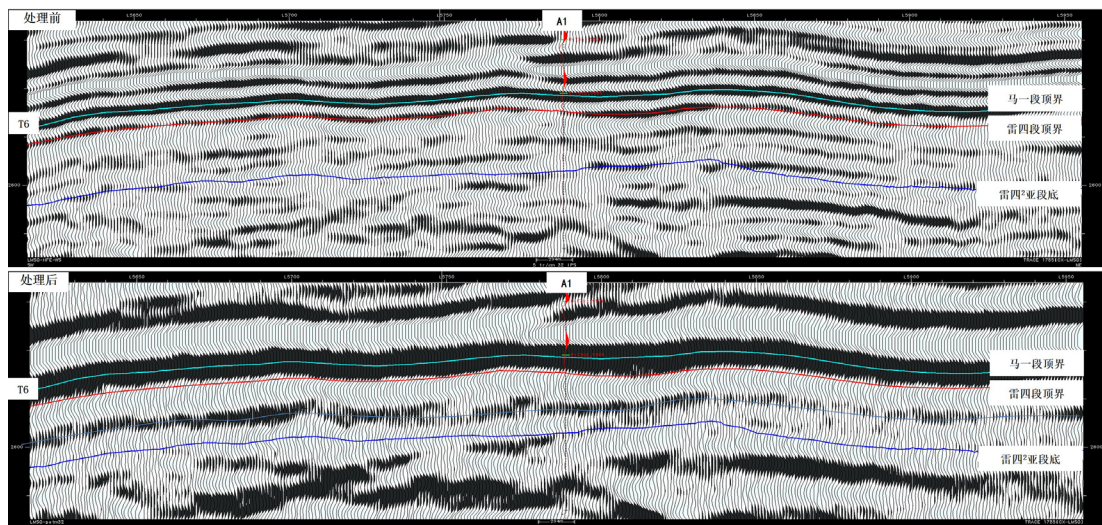


Figure 4. Data comparison between before and after high-resolution processing
图 4. 高分辨处理前后资料对比

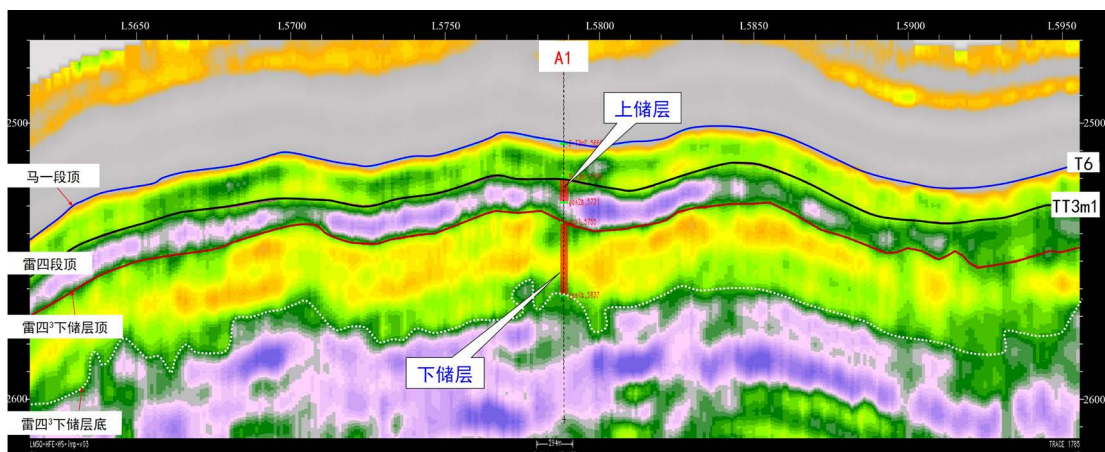


Figure 5. Effect of high-resolution inversion
图 5. 高分辨反演效果

3.4. 应用正演模拟与多属性相结合判别储层多解性

模型正演技术是地震解释过程中识别特殊地震异常现象的一种手段，是通过设计理想的地质模型，在地震理论指导下进行模拟地震，实现正演地质体地震响应。通过地震正演技术可以间接厘定特殊地震反射的地质属性以及造成地震异常反射的原因[14]。

由于川西地区地域广、钻井少，为了尽可能准确预测储层，采用地质模型正演模拟来拟合因储层厚度变化与分布位置不同所引起的地震响应特征的差异。分四步：

- 1) 统计已钻井雷四³亚段储层与围岩速度、密度、厚度，分析实际地震资料子波主频；
- 2) 运用 Tesseral 正演模拟软件，在充分考虑储层发育位置与厚度变化，以及地层厚度变化特征基础上，建立合理的地质模型；选用 Ricker 子波，道间距 25 m，主频为 25 Hz 进行模拟；
- 3) 以已钻井储层精细标定结果作为正演模拟结果的验证点，不断完善参数，尽可能完善储层段地震响应特征的认识，提高预测精度；
- 4) 根据正演模拟结果，指示储层在相位、振幅、频率等属性上的变化规律，解释不同地震反射特征的地质含义。

根据正演分析认为(图 6)：① 雷四³亚段储层位于 T6 反射层之下负相位，受马一灰岩厚度影响，负相位存在宽窄变化，具西厚东薄特征(彭州位于 T6 向下 14~60 ms，新场位于 T6 向下 5~35 ms)；② 几何外形上，雷四³亚段储层发育段呈上强下弱双相位；③ 振幅能量上，储层底均伴生中强第二相位；④ 储层具有相对低阻抗特征。

结合储层所具有的几何外形特征，应用波形分类技术预测地震相变化；结合储层所具有的“第二相位”特征，应用振幅属性定性预测储层；结合储层所具有的“低阻抗”特征，应用波阻抗反演预测储层；围绕裂缝，应用相干与曲率属性开展预测。

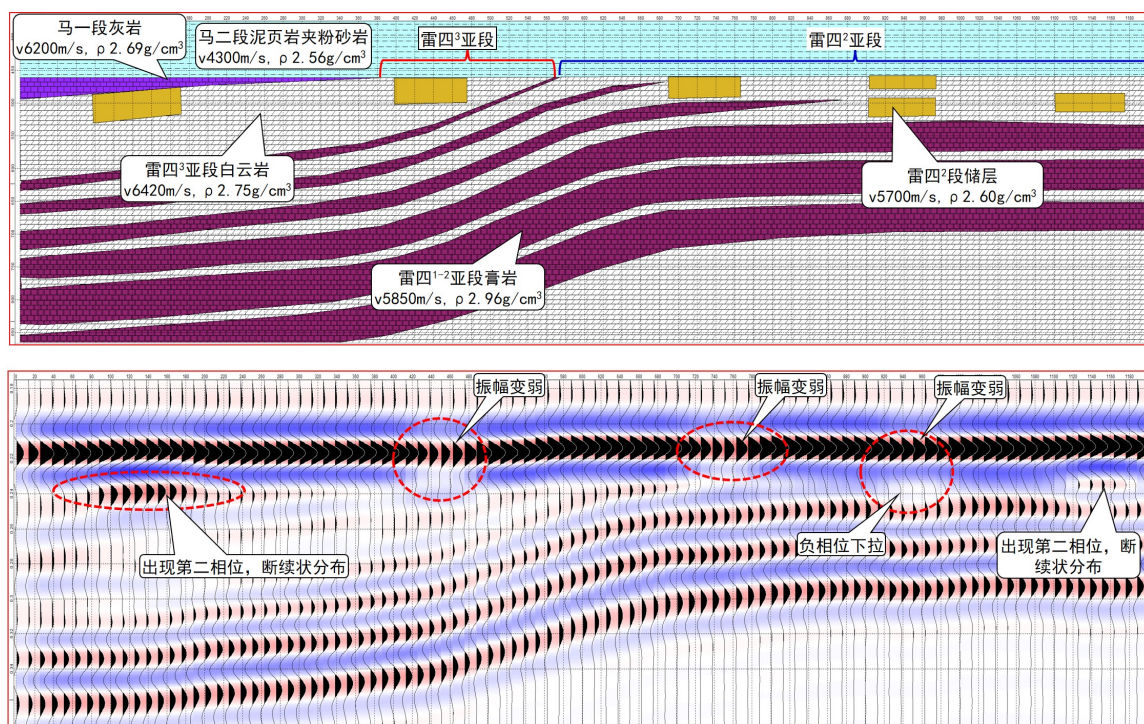


Figure 6. Forward model of the T214³ of Xinchang area in Western Sichuan

图 6. 川西新场地区雷四³亚段模型正演

4. 储层预测关键技术的攻关方向探讨

目前针对川西雷四段潮坪相白云岩储层, 已形成了一套适用的储层预测方法技术系列, 并在勘探中取得了良好的勘探成效。但对于一些方法技术的完善仍是有必要的, 根据现阶段的认识, 建议在连片、高保真及提高分辨率处理技术与叠前弹性参数反演技术方面进一步加强研究, 以提高储层精度。

4.1. 连片、高保真及提高分辨率处理技术的攻关完善

由于研究区三维地震资料具有“区块多、参数杂、施工早”等特征, 虽然现阶段已在龙门山前开展的连片与高分辨处理取得了良好的成效, 但对斜坡区, 随着雷四³亚段地层、储层厚度等地质特征的变化, 仍然存在诸多技术问题亟待研究。

4.2. 叠前弹性参数反演技术的攻关完善

叠前弹性参数反演技术将是今后油气藏精细描述与评价的重要研究手段, 但目前争对雷口坡组储层预测中, 这一技术的应用仍处于试验阶段, 随着气藏开发进度的加快, 对储层精细刻画精度、含油性气检测等方面的要求越来越高, 叠前弹性参数反演技术也将更好的发挥其先天优势, 为气藏勘探开发提供支撑。

5. 结论

- 1) 以地层、沉积相为基础, 储层主控因素为导向, 分步预测, 总体评价的思路开展预测;
- 2) 采用地震相分析技术预测雷四³亚段地层展布, 高分辨地震地层分析技术预测白云岩展布, 高分辨率处理与反演相结合识别薄储层, 正演模拟与多属性相结合判别储层多解性的方法技术是有效的;
- 3) 连片、高保真及提高分辨率处理技术、叠前弹性参数反演技术有待进一步攻关完善。

参考文献

- [1] 李素华, 卢齐军, 许国明, 刘诗荣. 川西 XC 地区雷口坡组顶不整合面储层预测方法[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(5): 793-798, 674, 854.
- [2] 杜浩坤. 川西孝泉 - 新场构造中三叠统雷口坡组地震沉积学研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- [3] 甯濛, 刘殊, 龚文平. 川西坳陷三叠系雷口坡组顶部白云岩储层分布预测[J]. 中国石油勘探, 2015, 20(3): 30-37.
- [4] 蔡左花, 冯霞, 刘诗荣, 宋晓波, 王琼仙, 隆轲, 庞河清. 川西坳陷 XC 构造带雷口坡组顶部风化壳储层预测[J]. 海相油气地质, 2014, 19(4): 50-56.
- [5] 张劲超. 龙门山前陆盆地海相碳酸盐岩储层地震预测[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2013.
- [6] 阮韵淇. 川西龙门山前金马 - 鸭子河地区雷口坡组白云岩储层地震刻画[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2017.
- [7] 王琼仙, 宋晓波, 王东, 隆轲. 川西龙门山前雷口坡组四段储层特征及形成机理[J]. 石油实验地质, 2017, 39(4): 491-497.
- [8] 宋晓波. 川西地区雷口坡组四段储层特征研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2017.
- [9] 闫安菊, 阎建国, 全紫荆, 高雪, 牛立群, 张薇. 地震相不同分类方式的作用及在储层预测中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2013, 35(3): 258-265, 247.
- [10] 陈迎宾, 张寿庭, 付群, 高原. OpendTect 系统在层序地层研究中的应用[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(5): 1768-1775.
- [11] 赵丽娅, 傅群, 潘海滨. OpendTect 软件倾角控制模块在地震解释中的应用[J]. 海洋地质动态, 2008(4): 33-37.
- [12] 周俊, 张涛, 曾华会, 桂志先. 塔北油田三维地震资料连片处理技术研究[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(6): 241-243.

-
- [13] 贾凌霄, 王彦春, 菅笑飞, 吕鹏, 田黔宁, 谢玮. 叠后地震反演面临的问题与进展[J]. 地球物理学进展, 2016, 31(5): 2108-2115.
- [14] Ben F Mclean, 戴金星, 罗平, 等. 地震正演模型应用(I): 用叠后地震正演模拟方法精确解释东河砂岩尖灭点析[J]. 石油勘探与开发(综合勘探开发技术), 2005, 32(5): 1.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org