

滨里海盆地 F 区块盐下深层碳酸盐岩相控储层预测*

周生友¹, 许杰¹, 马艳², 张奎科¹, 陈桂菊¹, 李长征¹

(1. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083;

2. 中国石化集团国际石油勘探开发有限公司, 北京 100029)

摘要: 滨里海盆地 F 区块石炭系杜内阶 C_{1t} 储层埋藏深, 受盐岩遮挡影响地震资料质量差, 地震资料分辨能力和成像品质低, 储层预测精度低, 地震属性分析存在多解性, 常规储层及含油气预测难度大, 制约着勘探的进展。应用相控储层预测技术, 通过地震相、测井相、岩相等综合分析, 确定了研究区发育 3 种沉积相(开阔台地相、台地边缘相和台盆相), 与地震属性分析建立联系并对其约束, 挑选出与研究目标关系最密切、反映最敏感的振幅属性进行储层预测, 预测出 2 个储层发育区。钻探实践表明, 相控基础上的储层预测结果与实钻吻合率 100%, 实现了对复杂地质体的准确预测和描述。

关键词: 相控; 分频; 储层预测; 含油气性预测

中图分类号: TE121.1 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579(2013)04-0138-05

Facies-Constrained Reservoir Prediction of Pre-Salt Carbonate Reservoir Deeply Buried in F-Block of the Caspian Basin

ZHOU Shengyou¹, XU Jie¹, MA Yan², ZHANG Xike¹, CHEN Guiju¹, LI Changzheng¹

(1. Petroleum Exploration and Production Institute, Sinopec, Beijing 100083, China;

2. SINOPEC International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing 100029, China)

Abstract: Carboniferous Tournaisian C_{1t} reservoir of F block in the Caspian Basin, deeply buried under gypsiferous rock, which seriously affects the quality of seismic data, is difficult to be predicted by conventional methods with unfavorable factors of low seismic resolution and imaging quality, restricting the progress of the exploration. By the application of facies-constrained reservoir prediction technology, 3 sedimentary facies were confirmed according to integrated analysis of seismic facies, logging facies and core data. Under the control of sedimentary facies, 2 favorable reservoir zones were predicted by amplitude which is the most sensitive attribute for reservoir prediction. Application in favorable reservoir zone shows that 100% of the facies-constrained reservoir prediction matches the real drilling results. Therefore, under the constraints of sedimentary microfacies and sedimentary characteristics, seismic attributes can be used to accurately predict and characterize complex reservoirs.

Key words: facies-constrained; frequency division; reservoir prediction; hydrocarbon prediction

哈萨克斯坦 F 区块位于滨里海盆地北部(如图 1), 区内广泛分布下二叠统孔谷阶盐丘构造, 以盐岩沉积为界, 划分为盐下层系、含盐层系和盐上层系。盐下层系为下古生界一下二叠世沉积地层组合, 包括巨厚的碎屑岩和碳酸盐岩沉积层序。

含油层系主要分布于盐下地层, 盐下石炭系杜内阶 C_{1t} 碳酸盐岩储层是重要的勘探领域。但 F 区块位于滨里海北部断阶带, 成藏受构造、储层等多种因素控制, 储层物性较差, 孔隙度 6% 左右, 空间分布横向变化大, 埋深大(4 350 m), 受上覆巨

* 收稿日期: 2012-11-28

基金项目: 国家专项“大型油气田及煤层气开发”基金资助项目(2008ZX05031-001)

作者简介: 周生友(1973 年出生), 男; E-mail: zhousy.syky@sinopec.com

厚盐岩（700 m）遮挡的影响，地震资料分辨能力和成像品质低，储层预测精度低，地震属性分析存在多解性，地震相转换沉积相结果与区域地质沉积规律存在矛盾，常规储层及含油气预测难度大，制约了勘探的进展。区块内完钻的 13 口探井，仅 U10 井在石炭系杜内阶 C_{1t} 获得油气发现。因此，在沉积相研究的框架下，开展相控模式下的储层预测变得十分必要。



图 1 滨里海盆地 F 区块位置图

Fig. 1 Location of F-block in the Caspian Basin

1 区域地质背景

滨里海盆地从里非代—早文德世开始，帕切尔夫马、新阿列克谢耶夫和萨尔宾拗拉谷初步形成，大量的陆源碎屑物质进入槽状的拗拉谷中；到早泥盆世，则形成了东欧地台东南部广阔的相对沉降带。从晚泥盆世开始，沉积的非补偿区在持续扩大，整个盆地陆棚碳酸盐岩分布范围很广。

早石炭世早期继续维持泥盆纪以来的海侵环境，盆地北部隆起带古陆棚区日益萎缩，在一些大型的平缓隆起上形成了生物灰岩，生物组合特征反映生物礁沉积出现在距海岸较远、水体较稳定的开阔浅海陆棚相环境^[1]；南部的阿斯特拉罕—恩巴被动大陆边缘演化成系列隆起，沉积环境由深水陆架相演变为浅水内陆相，发育各种生物礁相。中—晚石炭世基本维持了早石炭世的沉积环境，为浅海陆棚沉积，并发育有生物礁。晚石炭世开始，随着海西褶皱带的不断形成，滨里海盆地的区域构造发生了重大变化，全盆被不同程度地抬升并遭受剥蚀，下石炭统顶面普遍见到风化壳。

早二叠世早期为浅海陆棚、泻湖相沉积，主要沉积建造为浅海陆棚、泻湖相碳酸盐岩、白云岩。早二叠世晚期滨里海盆地沉积环境发生巨大改变，盆地整体抬升，气候变得干旱，海水变浅，水体处于闭塞干旱蒸发环境下，至孔谷期已相变为潮上蒸发岩，以盐岩、硬石膏和白云岩等岩石类型为主，成为盐下含油气沉积组合之上的区域性盖层，即全盆地广泛分布的膏岩和盐岩沉积（如图 2）。

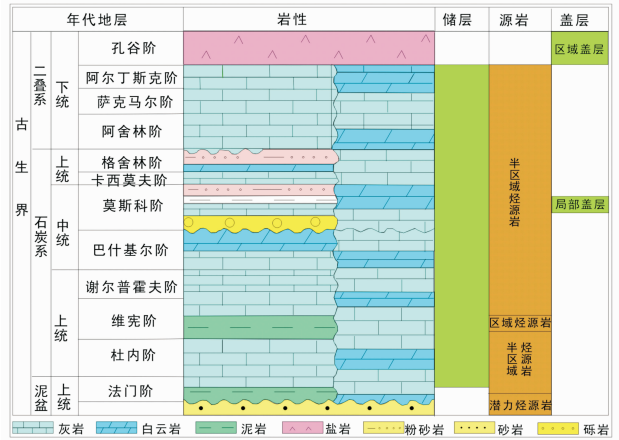


图 2 滨里海盆地 F 区块石炭系综合柱状图

Fig. 2 Synthetical stratum histogram for the Carboniferous in the northern part of the Pre-Caspian Basin

2 沉积相分析

沉积相决定了沉积地层的岩石类型和岩石组合，也决定了储层的发育和分布^[2]。相控储层预测技术通过对沉积相的认识与地震属性分析建立联系并对其约束，从而实现复杂地质体的准确预测和描述，提高储层预测的精度^[3]。

相控储层预测总的思路是以叠后提高分辨率的地震资料为基础，以研究层段的沉积模式、沉积相分析为前提，确保在相同沉积相带的范围内，应用分频反演、层序地层学以及地震属性等手段，预测储层的空间形态，从而通过综合评价落实有利钻探目标^[4]。

地震相是沉积相在地震剖面上表现的总和，是沉积相的地震响应^[5]。最能反映地层型式和沉积环境的是地震反射终止类型、外部形态和内部结构这些几何参数。地震波形分类属性分析是地震相研究的主要技术^[6]，地震波形的总体变化是地震波振幅、频率、相位的综合反应，地震波形分类技术充分利用地震资料信息丰富的特点，应用神经网络技术把地震道形状定量刻画出来，对地震道形状进

行分类, 细致刻画地震信号的横向变化及其分布规律与储层或岩石沉积微相之间的对应关系^[7]。为了反映石炭系杜内阶 C_{1t} 储层地震相特征, 沿 C_{1t} 之上 30 m 至储层之下 70 m 提取了波形分类属性, 根据波形分类图的特征, 将 F 区块分为 3 个地震相带 (图 3)。

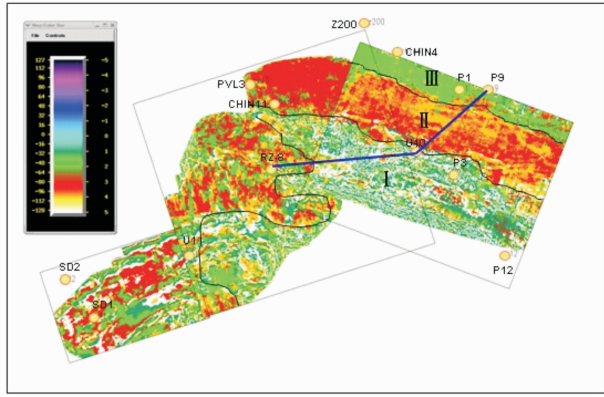


图 3 F 区块三维工区炭石炭系杜内阶 C_{1t} 储层波形分类
Fig. 3 Waveform classification of C_{1t} in F-block

分别在 3 个地震相变化区内选取代表井的测井曲线进行测井相分析, 并对石炭系杜内阶 C_{1t} 地层进行岩相分析, 结果表明井震具有较好的对应关

系。F 区块石炭系杜内阶 C_{1t} 地层为沉积海相环境综合模式 (据关世聪模式), 沉积相处于台棚相组的开阔台地相区、台地边缘滩相区和台盆 (台沟) 相区 (如图 4)。

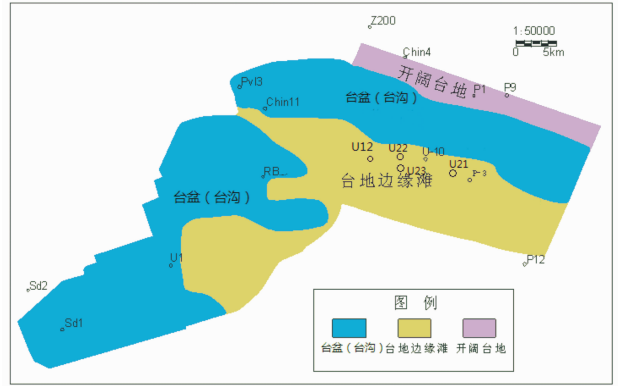


图 4 F 区块三维工区炭石炭系杜内阶 C_{1t} 沉积相展布
Fig. 4 Sedimentary facies map of C_{1t} in 3D work area of F-block

1) 台地边缘滩相: 位于地震波形分类图中的 I 地震相带内。以 U10 井为代表, 测井响应以高伽马高电阻 (图 5), 齿状, 呈三段式分布, 上部为箱型, 中部为钟形, 下部为漏斗形, 水动力条件

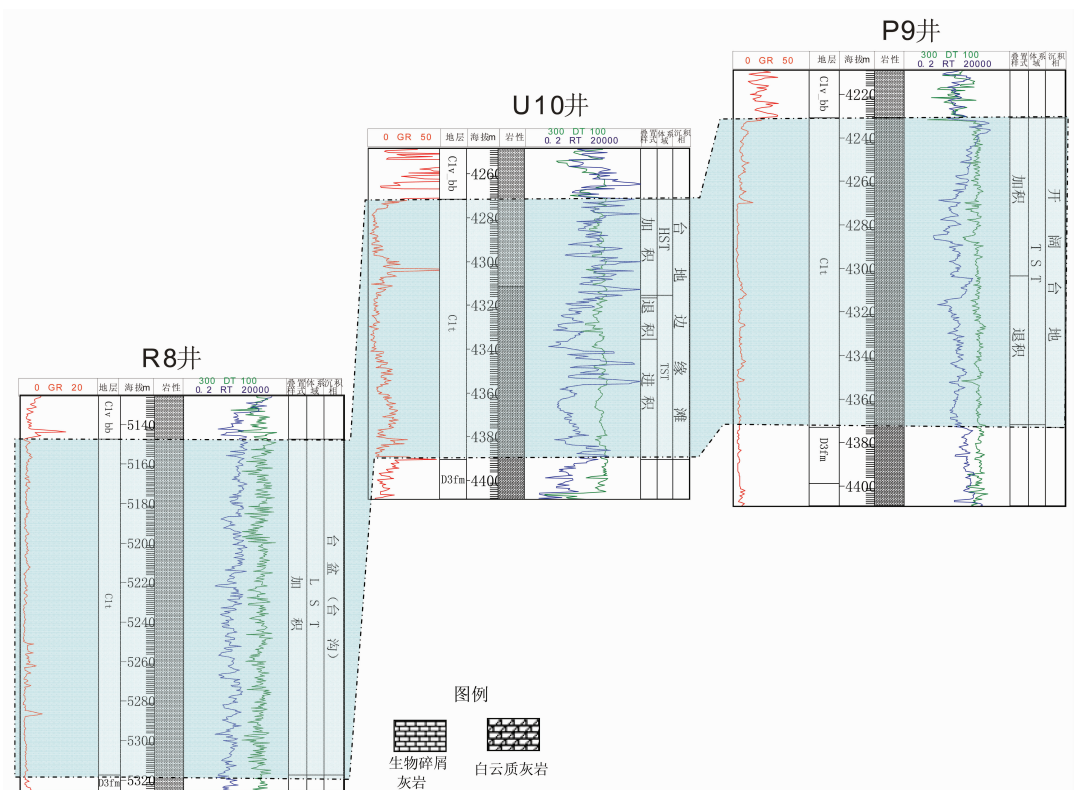


图 5 F 区块三维工区石炭系杜内阶 C_{1t} 地层测井响应及沉积相带变化特征

Fig. 5 The relationship of logging response and sedimentary facies of C_{1t} in 3D work area of F-block

强, 处于高能量区。整体处于海侵环境, 早期水体较浅, 中下部地层为暴露浅滩, 蒸发作用强, 盐度高, 广泛沉积灰岩和白云岩。中期海侵不断加强, 水体逐渐变深, 白云质含量减小。到杜内阶晚期, 上部地层持续被浅水覆盖, 为生物碎屑滩。岩性以浅灰色、灰色的泥粒灰岩、粒泥灰岩、球粒灰岩及生物碎屑灰岩沉积为主, 夹薄层白云岩, 含有孔虫类、腕足类、介形虫、藻类等生物化石。

2) 台盆(台沟)相: 位于地震波形分类图中的 II 地震相带内, 为灰质台盆。以 R8 井为代表, 测井响应以低伽马高电阻为特征, 呈微齿状线形。整个杜内阶整体处于海侵环境, 台盆(台沟)区得到海水的持续补充, 水体相对较深, 沉积环境稳定, 水动力条件相对较弱, 处于较低能量区, 岩性以泥质灰岩为主, 生物不活跃, 见孔虫类、腕足类、介形虫碎屑。

3) 开阔台地相: 地震波形分类图中的 III 地震相带内。以 P9 井为代表, 测井响应以低伽马高电阻, 微齿状, 呈两段式分布, 上部为漏斗形, 下部为钟型, 水动力条件相对较强, 受潮汐或海浪作用控制形成高能沉积, 主要由浅灰色中厚层状生物碎屑灰岩组成, 夹白云岩。杜内阶早期, 海侵较弱, 台地发育受限; 随着海侵的不断加强, 台地不断有水体淹没, 生物类型增多, 可见介形虫、软体动物、棘皮动物、三叶虫和腕足类生物碎屑等。层理以水平层理多见, 偶见斜层理, 水平虫孔及生物扰动构造常见。

3 储层预测

利用地震属性分析技术从地震资料中提取隐藏其间的多种有用信息, 为储层描述提供了实用的分析手段。然而, 从众多地震属性中挑选出与研究目标关系最密切、反映最敏感的属性, 是储层预测工作中常常要面临的问题^[8]。

振幅变化率能预测储层发育区带, 振幅变化率小, 储集层较为发育, 变化率大, 储集层欠发育或不发育^[9]。为了能充分反映石炭系杜内阶 C_{1t} 碳酸盐岩储层的发育特征, 沿 C_{1t} 之上 30 m 至 C_{1t} 之下 70 m 提取了均方根振幅、平均谷值振幅、最大绝对振幅、绝对振幅总量、平均能量、总能量、平均振幅变化率等多个地震属性。

从提取的地震属性图上(如图 6)可以明显看出, 研究区振幅变化亦分为三个不同的区带, 振幅属性平面图的变化规律与沉积相的分析结果一致, 揭示出工区内由西南部向东北方向发育 3 个不同的

沉积相带, 储层发育的好坏与构造、沉积密切相关。

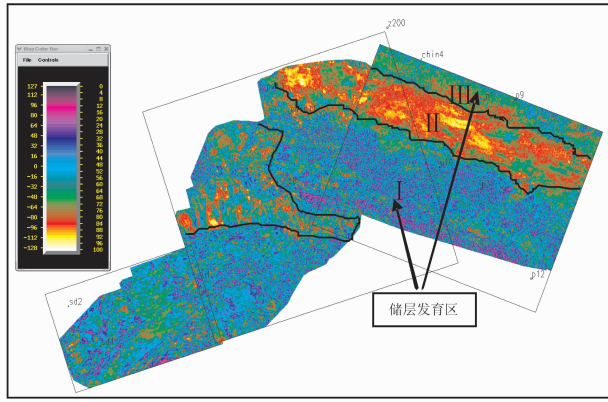
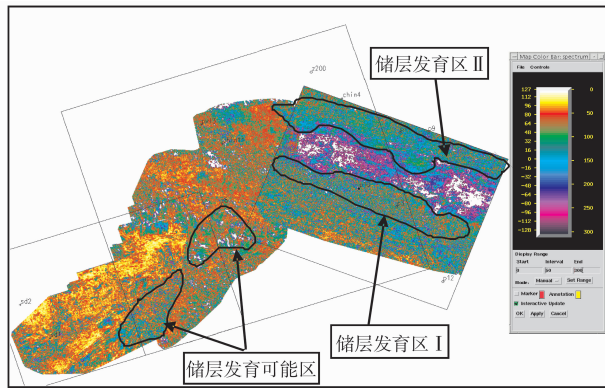
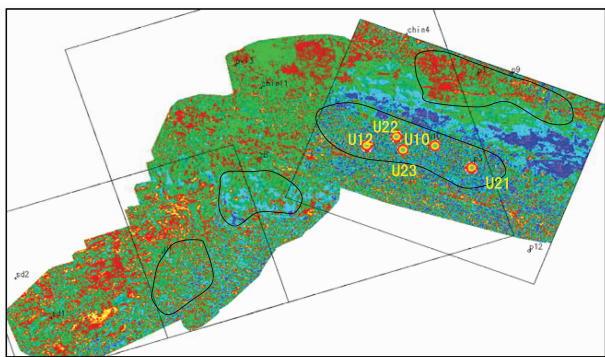
为了更进一步深入研究储层, 开展了分频解释。分频解释技术是一种全新的地震储层研究方法, 该方法在对三维地震资料时间厚度、地质不连续性成像和解释时, 可在频率域内对每一个频率所对应的振幅进行分析^[10]。该分析方法排除了时间域内不同频率成份的相互干扰, 从而可得到高于传统分辨率的解释结果。分频解释技术有别于地震反演等储层预测方法, 不需要建立假设的模型, 直接对地震波的频率和振幅进行观察和计算, 尊重原始地震数据, 减少了人为因素的干扰带来的假象^[11]。根据分频振幅特征, 在研究区台地边缘滩相带和开阔台地相带评价出储层发育区 2 个, 在台盆(台沟)相带评价出储层发育可能区 1 个(如图 7)。

4 含油气性预测

在储层预测的基础上, 进行地震分频振幅及吸收衰减分析, 进一步研究储层的含油气性。对地震道进行小波变换后, 在频率域对每个样点进行振幅能量衰减分析。将检测到的最大能量频率作为初始衰减频率, 分别计算 65% 和 85% 的地震波能量对应的频率, 在该频率范围内根据频率对应的能量值, 拟合出能量与频率的衰减梯度, 得到振幅衰减梯度因子。结合井点位置的吸收特性, 利用在高频域的吸收衰减异常, 建立解释目标地质体的预测模式, 有效地预测孔隙、裂隙介质的分布以及可能的油气储集体范围(如图 8)。

5 预测效果

通过三维地震波形分类、地震振幅属性和分频解释, 结合测井、岩心等资料分析, 开展相控储层预测, 基本确定了石炭系杜内阶 C_{1t} 碳酸盐岩储层的空间展布和发育特征, 预测出 2 个储层发育区和 2 个油气富集区。根据储层预测结果, 在钻探 U-10 井获得油气发现的基础上, 在储层发育区 I 和油气富集区 I 部署 U12 井、U21 井、U22 井、U23 井, 均在 C_{1t} 上部层段钻遇灰岩储层。U12 井 C_{1t} 层位上部生物碎屑滩层段酸化后, 8 mm 油嘴求产获日产油 205 万 m^3 , 日产气 15.3 万 m^3 。储层横向展布与相控储层预测结果一致, 岩性主要为生物碎屑-泥粒灰岩, 储层裂缝不发育, 孔洞型为主, 孔隙度 2.25% ~ 13.54%, 平均为 6.13%; 渗透率 0.002 ~ 14.538 mD, 平均 1.06 mD。

图 6 F 区块三维工区 C_{1t} 储层均方根振幅Fig. 6 Rms amplitude of C_{1t} in 3D work area of F-block图 7 F 区块三维工区 C_{1t} 地震分频振幅Fig. 7 The frequency division amplitude of C_{1t} in 3D work area of F-block图 8 F 区块三维工区 C_{1t} 吸收衰减平面图Fig. 8 Absorption & attenuation floor plan of C_{1t} in 3D work area of F-block

6 结 论

1) 准确的沉积相分析是储层预测的重要基础和依据。沉积相反映储层的沉积环境, 决定了储层的岩石类型和岩石组合, 也决定了储层的发育和分

布特征。相控基础上的储层预测有效避免了地震属性预测的多解性和干扰, 提高了 F 区块盐下杜内阶 C_{1t} 储层受盐岩遮挡地震成像分辨率低等复杂地质条件下储层预测的精度。

2) 研究区台地边缘滩相、开阔台地相及台盆(台沟)相在地震属性、测井曲线响应特征上有较好的对应关系, 起到了相互验证的作用。

3) 以沉积相、沉积特征约束地震属性预测, 挑选与研究目标关系最密切、反映最敏感的属性, 是储层预测效果的关键。杜内阶 C_{1t} 储层敏感性地震属性参数振幅平面变化特征与沉积相分布规律一致, 通过相关分析, 能够较好地预测出储层的有利聚集区。在台地边缘滩亚相储层发育区 4 口井的钻探结果与预测结果吻合率达 100%。

参考文献:

- [1] 刘洛夫, 朱毅秀, 熊正祥, 等. 滨里海盆地的岩相古地理特征及其演化[J]. 古地理学报, 2003, 5(3): 279-290.
- [2] 谯述蓉, 张虹, 赵爽. 川西 DY 地区须家河组致密砂岩储层预测技术及应用效果分析[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(6): 774-780.
- [3] 许杰, 何治亮, 董宁, 等. 鄂尔多斯大牛地气田盒 3 段河道砂岩相控储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 692-696.
- [4] 张恒, 孙海龙. 相控模式下的储层预测方法与应用[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(2): 59-63.
- [5] 赵军. 地震属性技术在沉积相研究中的应用[J]. 石油物探, 2004, S1: 67-69.
- [6] 江青春, 王海, 李丹. 地震波形分类技术应用条件及其在葡北地区沉积微相研究中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 135-140.
- [7] 邓传伟, 李莉华, 金银姬, 等. 波形分类技术在储层沉积微相预测中的应用[J]. 石油物探, 2010, 47(3): 262-265.
- [8] 罗红梅. 地震属性技术在现河地区滑塌浊积岩油藏勘探的应用[J]. 工程地球物理学报, 2005, 2(3): 224-227.
- [9] 曹健, 赵宪生, 施泽进. 振幅、频率与动态吸收系数在嘉一段储层预测中的应用[J]. 特种油气藏, 2010, 17(6): 35-37.
- [10] 徐胜峰, 刘春园, 季玉新, 等. 分频技术在塔河油田石炭系薄储层预测中的应用[J]. 石油天然气学报, 2011, 122(2): 65-69.
- [11] 杨立强, 邬长武, 王箭波, 等. 基于小波变换的分频技术在碳酸盐岩储层预测中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2012, 34(3): 253-257.