

文章编号: 0253-9985(2007)02-0198-06

AVO 技术在普光气田鲕滩储层预测中的应用

郭旭升, 凡 睿

(中国石油化工股份有限公司 南方勘探开发分公司, 云南 昆明 650200)

摘要: 普光气田为长兴组—飞仙关组礁滩相白云岩储层为主的构造—岩性复合圈闭特大型气田, 储层综合预测技术为气田勘探关键之一。基于叠前时间偏移资料进行 AVO 属性处理, 较好地解决了 AVO 异常的归位问题, 使 AVO 响应更清晰, 提高了 AVO 资料的分析质量。在测井和地质资料综合分析的基础上, 通过正演模拟, 建立普光气田飞仙关组鲕滩储气层 AVO 异常的识别模式, 开展 AVO 属性分析, 取得了较好的应用效果, 为在四川盆地川东北区油气勘探找到一条有效途径。

关键词: AVO; 交会图; 叠前时间偏移; 鲕滩储层; 普光气田; 四川盆地

中图分类号: TE112 **文献标识码:** A

Application of AVO techniques to reservoirs prediction of oolitic beach facies in Puguang gas field

Guo Xusheng Fan Rui

(Southern E & P Company, SINOPEC, Kunming, Yunnan 650200 China)

Abstract For Puguang gas field, a giant structural-lithologic gas field with dolomite reservoirs of reef flat facies in Changxing-Feixianguan formations as the main zones of interest, the comprehensive reservoir prediction technology is considered one of the key solutions for gas exploration. Through AVO attribute processing of pre-stack time migration data, the problem of migration of AVO abnormality is well solved, the AVO responses are enhanced, and the quality of AVO data analysis is improved. Based on an integrated analysis of logging and geologic data, recognition patterns are established for the AVO abnormality of the Feixianguan Formation gas reservoirs of oolitic beach facies in Puguang gas field through forward modeling, and AVO attribute analysis is also performed. AVO techniques can be effectively applied to oil & gas exploration in northeastern Sichuan.

Key words AVO; cross plot; prestack time migration; oolitic beach reservoirs; Puguang gas field; Sichuan basin

AVO 分析技术^[1]是一项利用振幅信息研究岩性和检测油气的重要技术, 它是通过建立储层含流体性质与 AVO 的关系, 应用 AVO 的属性参数来对储层的含流体性质进行检测。

基于叠前时间偏移资料进行 AVO 属性处理, 较好地解决了 AVO 异常的归位问题, 同时叠前时间偏移使绕射能量归位, 减弱了随机噪音的干扰, 使 AVO 响应更清晰, 提高了 AVO 资料的分析质量。应用 AVO 分析技术在普光气田^[2]飞仙关组鲕滩储层油气预测中, 取得了较好的效果。

1 方法原理

1.1 AVO 基本原理

AVO 技术是基于 Zoeppritz 方程及经线性近似后的表达式, 常用的近似式有以下两种。

Aki 和 Richards 的近似方程:

$$R(\theta) = \frac{1}{2} \left[1 - 4 \frac{V_s^2}{V_p^2} \sin^2 \theta \right] \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\sec^2 \theta}{2} \cdot \frac{\Delta V_p}{V_p} - 4 \frac{V_s^2}{V_p^2} \sin^2 \theta \cdot \frac{\Delta V_s}{V_s} \quad (1)$$

式中: $R(\theta)$ 表示纵波反射系数, m/θ 表示入射角度; V_p 和 V_s 分别表示纵、横波速度, m/ρ 为密度, g/cm^3 。

Shuey 的近似方程:

$$R(\theta) = P + G \sin^2 \theta \tag{2}$$

式中: P 表示零入射角纵波反射系数 (截距); G 反映了振幅随入射角的变化 (梯度), 其中隐含着地层岩性变化的信息。

1.2 AVO 异常及分类

Rutherford 和 Williams^[3] 根据气层的波阻抗特征和泊松比特征, 将在气层中反射波的 AVO 作用分为 3 类, Castagna^[4] 根据 AVO 的属性——截距和梯度的位置将 Rutherford 的模型扩展为 4 类 (图 1)。第一类为高阻抗含气砂岩, 其 AVO 特征为: 零偏移距振幅强且为正极性, AVO 呈减少趋势, 当入射角足够大时可观察到极性反转。第二类为近

零阻抗差的含气砂岩, 其 AVO 特征为: 零偏移距振幅很小, 趋于零。因此, 在零偏移距附近不易检测。由近及远, 其 AVO 特征变化较大, 特别是不同岩性组合时更大。第三和第四类为低阻抗含气砂岩, 其 AVO 特征为: 零偏移距振幅很强, 呈负极性, AVO 呈增加趋势 (指振幅绝对值) 为第三类, AVO 呈减少趋势为第四类。

1.3 AVO 属性及物理意义

AVO 定量分析和烃类检测常采用 Shuey 反演和 AVO 属性^[5] 交会图, 用 P 和 G 的线性组合表示 AVO 的属性 W 有:

$$W = aP + bG \tag{3}$$

a, b 取不同的值, 赋予 W 不同的物理意义 (表 1), 比较 AVO 属性 P, G 和岩石背景趋势的差异有助于提高烃类识别能力。

2 普光气田应用

实际应用中, 基于叠前时间偏移资料。在振幅处理方面, 充分考虑补偿与偏移距有关的振幅衰减, 消除非岩性因素引起的振幅变化; 强调地表一致性处理, 包括地表一致性反褶积、振幅补偿和静校正; 同时 AVO 处理中还增加了一些与 AVO 信息提取、异常显示、检测和增强的特殊处理, 使 AVO 响应更清晰, 提高了 AVO 资料的分析质量。

2.1 AVO 正演模拟

正演模型研究是采用 AVO 方法进行烃类检测的基础, 正演模型研究的扩充应用则是通过对属性参数的变换处理, 寻求充分表现 AVO 属性参数与含气性相一致的表现形式, 以指导对 AVO 反演参数的解释, 或选择合适的参数指示储层的含气特征。

普光气田飞仙关组储集层有鲕粒白云岩、残余鲕粒白云岩、糖粒状残余鲕粒白云岩、含砾屑鲕

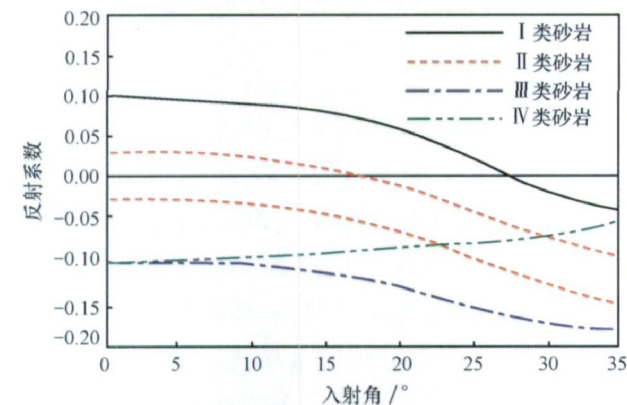


图 1 Rutherford 气层分类模型 (Castagna 1997)

Fig. 1 Classification model of Rutherford gas reservoirs

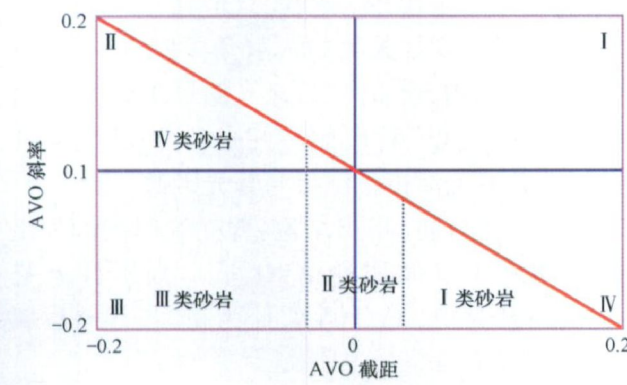


图 2 AVO 截距 P 和梯度 G 的交会图及气层分类 (Castagna 1997)

Fig. 2 Cross plot of AVO intercept P vs gradient G and gas reservoir classification

表 1 AVO 属性及物理意义

Table 1 AVO attributes and their physical significances			
a	b	W	意 义
1	0	P	垂直入射 P 波反射系数—截距
0	1	G	反射振幅随偏移距变化率—梯度
1/2	1/2	$(P + G) / 2$	纵横波差异
1/2	- 1/2	$(P - G) / 2$	横波垂直入射反射系数
G	0	$P \times G$	指示振幅随偏移距增加而增加

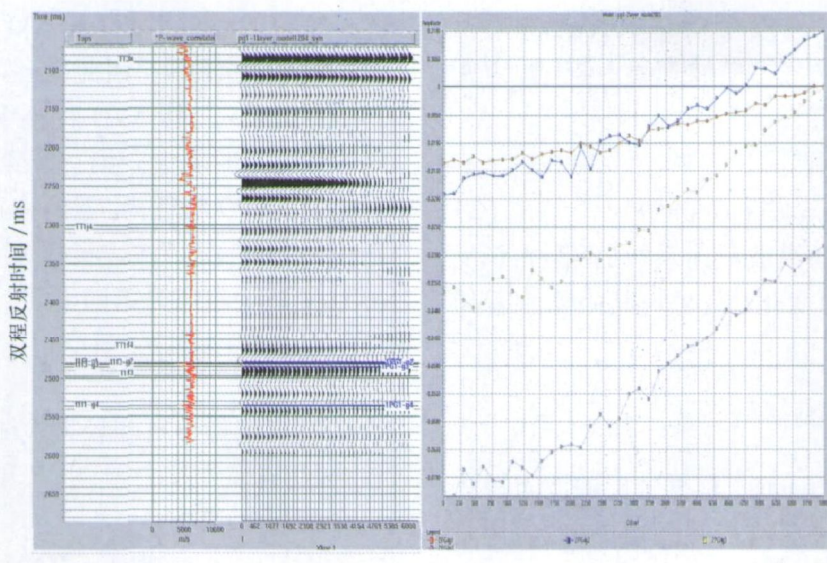


图 3 普光 1 井 AVO 正演模拟

Fig. 3 AVO forward modeling of Well Puguang-1

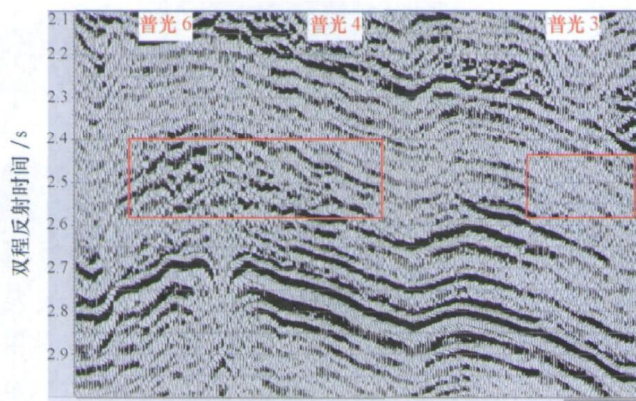


图 4 纵波速度变化率反射剖面

Fig. 4 Reflection profile of compressional velocity changing rate

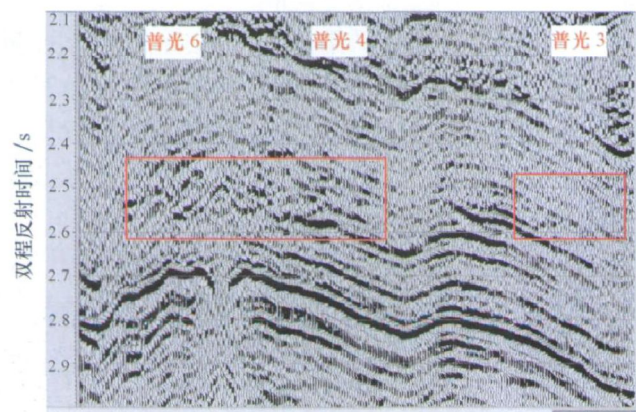


图 5 横波速度变化率反射剖面

Fig. 5 Reflection profile of wave velocity changing rate

粒白云岩、含砂屑泥晶白云岩和结晶白云岩等, 主要分布在飞仙关组飞一段至飞三段, 大套溶孔型鲕粒白云岩组合是主要的储集层^[6-8]。飞仙关组储集层孔隙度平均为 8.17%, 渗透率平均为

$94.4234 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 以中孔中渗、高孔高渗储集层为主, 储集性较好。纵向上, 飞仙头组飞一段至飞二段比飞三段好; 横向上, 普光构造为滩体中心部位, 物性最好。

选择普光气田普光 1 井、普光 2 井、普光 4 井和普光 6 井做了 AVO 正演模拟。图 3 是普光 1 井在用合成地震记录进行层位准确标定的基础上, AVO 正演模拟结果。模拟结果表明: 合成道集资料上, 含气储层顶部的反射振幅是随偏移距的增大而变化, 振幅的绝对值随偏移距的增大先减小越过零线后振幅的绝对值又增大的特征。如果引用在砂岩地层中的 AVO 分类方法, 它应属于第四类的含气储层。随着入射角的增加, 反射振幅的绝对值在减小。在中等角度入射角的情况下, 在叠加剖面上应该呈现“亮点”反射, 但在大入射角的时候, 却不一定出现“亮点”。但在现今的勘探条件下, 很难达到如此大的入射角。所以, 在一定的偏移距范围内, 普光 1 井含气储层的地震反射应该是具有“亮点”特征的。普光 2 井、普光 4 井和普光 6 井的正演模拟结果与普光 1 井一致。

根据上述分析, 得出结论: 普光气田飞仙关组孔隙型鲕滩含气储层的 AVO 基本判别标志是 AVO 截距 P 为负、AVO 斜率 G 为正, 含气储层属第 ④类 AVO 异常。

2.2 应用效果

AVO 处理输出的各类属性成果剖面对含气储层均有不同程度的反映^[9-12], 应用过程中, 结合地

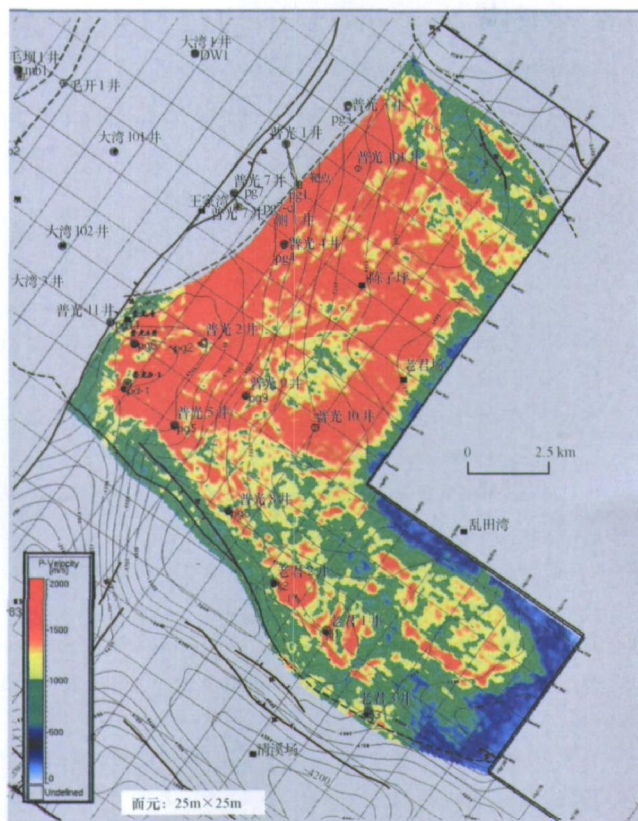


图 6a 飞仙关组一段二段纵波速度变化率平面图

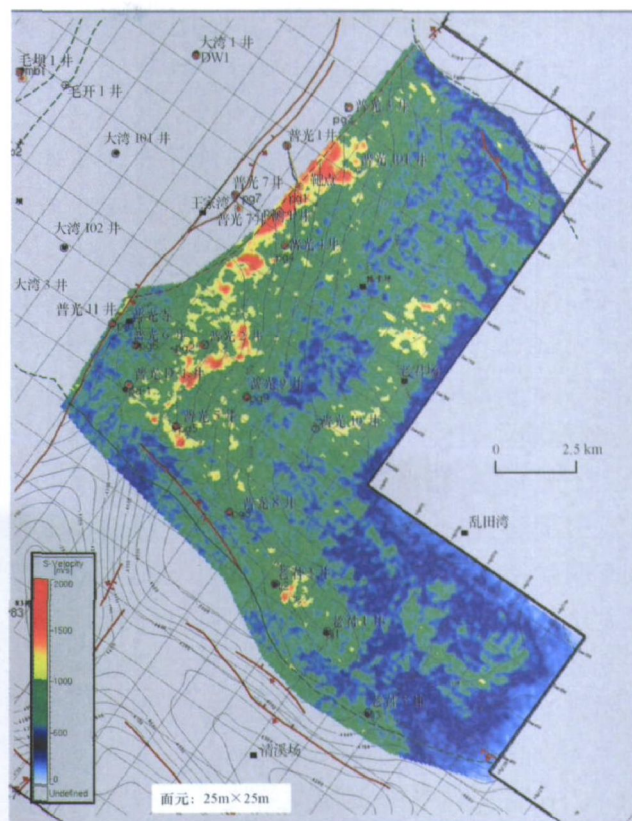
Fig. 6a Ichnography of change rate of P wave velocity in TT1f¹⁻²

图 6b 飞仙关组一段二段横波速度变化率平面图

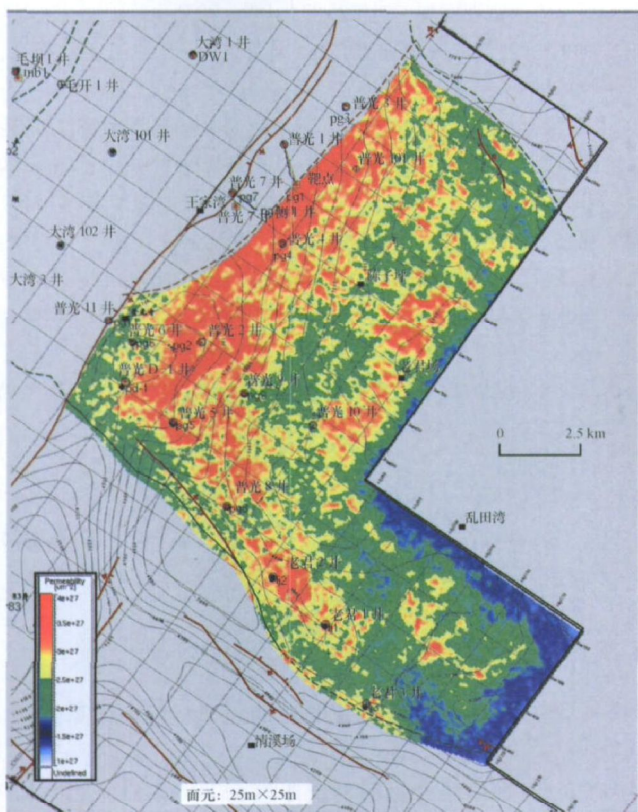
Fig. 6b Ichnography of change rate of S wave velocity in TT1f¹⁻²

图 7a 飞仙关组一段二段泊松比(P+G)反射属性平面图

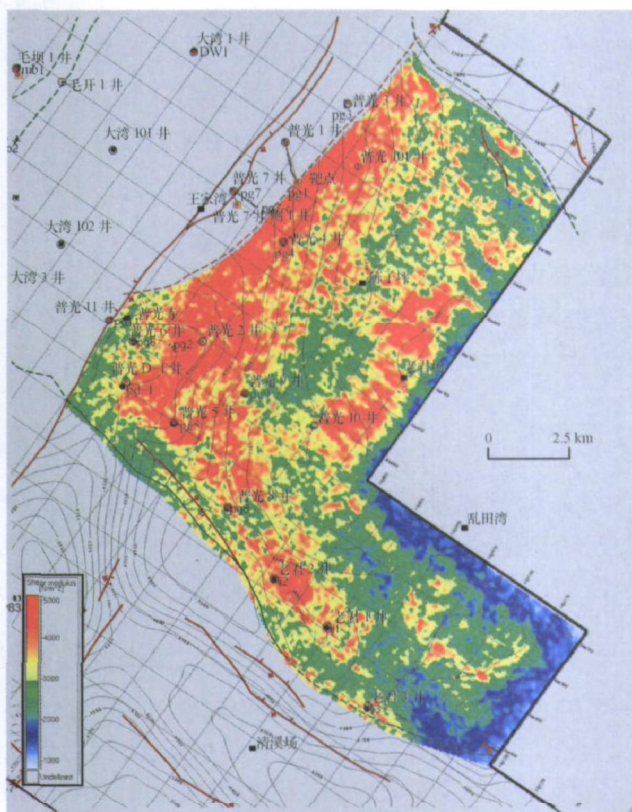
Fig. 7a Reflection attribute ichnography of Poisson ratio in TT1f¹⁻²

图 7b 飞仙关组一段二段碳氢检测(P×G)属性平面图

Fig. 7b Attribute ichnography of carbohydrate indication in TT1f¹⁻²

质、钻井、测井、测试等资料,在储层预测的基础上,对目标层段储层剖面和平面上的流体分布特征进行了预测。

纵波速度反射剖面即纵波速度相对变化率反射剖面,含气后纵波速度变化率增加。横波速度反射剖面即横波速度相对变化率反射剖面,含气后横波速度变化率无大变化。因此 P 波速度变化率反射剖面增强, S 波速度变化率反射剖面较弱,为气层异常显示,若 S 波速度变化率反射剖面较强,则反映了岩性的变化。图 4 图 5 分别是普光 6 井-普光 4 井-普光 3 井联井纵波、横波速度变化率反射剖面,在普光 6 井-普光 4 井区纵波速度变化率明显增强,而横波速度变化率则相对较弱,二者差值较大,这正是储层含气的 AVO 特征响应;反之在普光 3 井处,纵横波速度变化率差异较小,说明普光 3 井处储层含气性较差,与实际的钻探结果相吻合。

图 6 是普光气田飞仙关组飞一段-飞二段纵横波速度变化率平面图,图示纵波速度反射能量明显大于横波速度反射能量,差别较大,表明含气性较好。图 7 是普光气田飞仙关组飞一段-飞二段泊松比 ($P+G$) 反射和碳氢检测 ($P \times G$) 属性平面图,位于普光气田北东向轴线的普光 5 井-普光 2 井-普光 4 井-普光 1 井一线呈强能量显示,普光 5 井东南呈北西走向的普光 8-老君 2-老君 1 井一线呈现较强能量显示,均呈现出“亮点”反射特征;而老君 3 井区、普光构造东翼一带能量相对较弱,表明储层含气性比普光气田主体要差,均已被钻探所证实。普光 2 井区(包括普光 8、9 井)现已提交天然气探明地质储量 $3\,560.72 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

3 结束语

1) AVO 处理技术在油气勘探开发中起着十分重要的作用,基于叠前时间偏移资料进行 AVO 属性

处理,较好地解决了 AVO 异常的归位问题,使 AVO 响应更清晰,提高了 AVO 资料的分析质量。

2) AVO 属性剖面包含比常规地震剖面更为丰富的信息,在正演模拟的基础上开展 AVO 属性分析,有助于提高 AVO 油气预测精度。

参 考 文 献

- 1 殷八斤,曾灏,杨在若. AVO 技术的理论与实践 [M]. 北京:石油工业出版社,1995 337
- 2 马永生,郭旭升,郭彤楼,等. 四川盆地普光大型气田的发现与勘探启示 [J]. 地质论评,2005, 51(40): 477~480
- 3 Rutherford S R, William M W. Amplitude-versus-offset variation in gas sands [J]. Geophysics, 1989, (54): 680~688
- 4 Castagna J P, Swan H W. Principles of AVO crossplotting [J]. The Leading Edge, 1997, (4): 337~342
- 5 高云峰,潘仁芳, Castagna J P. 美国 Hartzog Draw 气田 Shannon 储层 AVO 异常地质属性分析 [J]. 天然气工业,2000, 20(4): 1~4
- 6 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, 2(4): 60~64
- 7 马永生,傅强,郭彤楼,等. 川东北地区普光气田长兴-飞仙关气藏成藏模式与成藏过程 [J]. 石油实验地质,2005, 27(5): 455~461
- 8 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
- 9 刘雯林. 油气田开发地震技术 [M]. 北京:石油工业出版社,1996
- 10 毕研斌,龙胜祥,郭彤楼,等. 应用频率衰减属性预测 TNB 地区储层含气性 [J]. 石油与天然气地质,2007, 28(1): 116~120
- 11 潘仁芳,徐怀大,陈梅,等. 油藏描述中的信息处理技术 [M]. 北京:石油工业出版社,1996
- 12 王者顺,王尚旭,唐文榜. 塔河碳酸盐岩溶洞油藏的地震响应及频率差异分析 [J]. 石油与天然气地质,2004, 25(1): 95~96
- 13 马永生,蔡勋育. 四川盆地川东北区二叠系-三叠系天然气勘探成果与前景展望 [J]. 石油与天然气地质,2006, 27(6): 741~750

(编辑 陈喜禄)

渤海湾地区发现 10 亿吨大油田

5 月 3 日,中国石油天然气集团公司宣布,该公司在渤海湾滩海地区发现储量达 10 亿吨的大油田——冀东南堡油田。这是 40 多年来我国在石油勘探方面一个最激动人心的发现。

冀东南堡油田是一个整装、优质、高效油田。储量规模大、油层厚度大,平均单井钻遇油层厚度为 80~100 米;单井产量高、储量丰度高,已试油的直井单井日产 80~100 吨,水平井单井日产 200~500 吨,油田储量丰度达 507 万吨/平方米;油层物性好、油品质量好、试采效果好,主要目的层埋深为 1 800~2 800 米。

(高 岩 供稿)