

· 勘探技术 ·

武清凹陷大孟庄洼槽烃源岩 地震属性预测与评价

金强¹, 武爱俊¹, 金凤鸣², 赵贤正², 梁宏斌²

(1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266555;

2. 中国石油华北油田分公司, 河北 任丘 062500)

摘要: 在缺少钻井资料的低勘探程度地区进行烃源岩评价和油气前景预测的难度较大。由于烃源岩与非烃源岩之间在平均振幅、平均能量等地震属性上存在明显差别, 据此建立了一套利用层序地层学及地震地层学识别烃源岩, 根据地震速度谱信息去除烃源岩体中砂质含量, 由烃源岩体提取的地震属性与实测烃源岩有机碳含量等地化参数的对应关系, 定量预测烃源岩有机碳含量的方法。利用该方法预测和评价了武清凹陷大孟庄洼槽沙三段中、下亚段和沙四段上亚段3个层系的烃源岩, 其有机碳含量分布表现为西高东低、南高北低的特点, 进而确定研究区南部的京24井—务古1井为有利的油气聚集区。

关键词: 烃源岩 地震属性 定量预测 有机碳含量 武清凹陷

中图分类号: TE112.24

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2012)04-0034-04

烃源岩是油气藏形成的首要条件^[1]。早期的烃源岩评价主要根据岩心或岩屑的地球化学分析进行, 后期利用测井资料与地球化学资料相结合的方法进行^[2-3]。但在缺少钻井且勘探程度较低的地区, 常规烃源岩评价的难度非常大。如果将地震信息用于烃源岩评价, 则能够大范围、快速地预测和评价烃源岩特征, 预测油气聚集规模和方向, 从而指导油气勘探。

地震资料中包含丰富的地质信息, 一类是运动学信息, 包括反射波旅行时和速度信息等; 另一类是动力学信息, 包括地震波的振幅、频率、相位、波形、能量吸收衰减、极化特点、连续性、反射波的内部结构和外部几何形态等^[4]。前人已经从地震资料中提取多种动力学信息并结合地质和测井资料进行了储层的预测^[4-6], 形成了一系列行之有效且应用广泛的储层预测技术和方法。沿用这种思路, 结合层序地层学的研究成果, 进行湖侵体系域和高位体系域以及其他烃源岩可能发育层位和区域的烃源岩预测和评价, 以期达到油气预测和勘探的目的。目前已经有学者在这方面做了大量的研究和探索^[7-14], 笔者在此基础上, 针对武清凹陷大孟庄洼槽烃源岩的地震属性预测和评价开展了基础性的研究工作, 并取得了较好的效果。

1 地质概况

武清凹陷是位于冀中坳陷东北部的一个北断南超、西断东超的箕状次级凹陷, 总面积约为2 000 km²。由大孟庄洼槽、大口屯洼槽、孙校庄洼槽和杨村斜坡4个次级构造单元组成。受盆地构造演化的控制, 中、古生界主要分布于凹陷东南部的斜坡带, 古近系的沙河街组和东营组主要分布于凹陷西部和北部, 新近系及第四系分布于整个凹陷。经过50多年的勘探, 现已完钻各类探井33口, 仅武6井在沙二段获得低产油流, 苏50井在奥陶系获得低产气流^[15], 11口井有油气显示, 迄今尚未发现工业性油气藏^[16]。由于研究区取心井中烃源岩岩心较少, 没有开展有效的烃源岩评价工作, 因此沙河街组烃源岩分布和有机碳含量不明成为制约其油气勘探目标选择的主要问题。为此, 以武清凹陷主要烃源岩发育区的大孟庄洼槽为重点研究对象^[17], 利用地震属性信息对其烃源岩进行预测与评价。

2 研究思路和方法

烃源岩地震属性预测和评价是基于研究区地

收稿日期: 2012-05-10。

作者简介: 金强, 男, 教授, 博士生导师, 从事油气地质教学和科研工作。联系电话: (0532) 86983076, E-mail: jinqiang@upc.edu.cn。

基金项目: 国家自然科学基金项目“咸化湖盆优质烃源岩形成及其有机质与盐类物质相互作用研究”(405272084)。

震、钻井和测井等基础资料进行的综合性研究。通过在取心资料相对丰富的邻区进行实验,建立学习样板,而后再应用到资料比较缺乏但地质条件相似的地区,其研究思路和方法流程如图 1 所示。

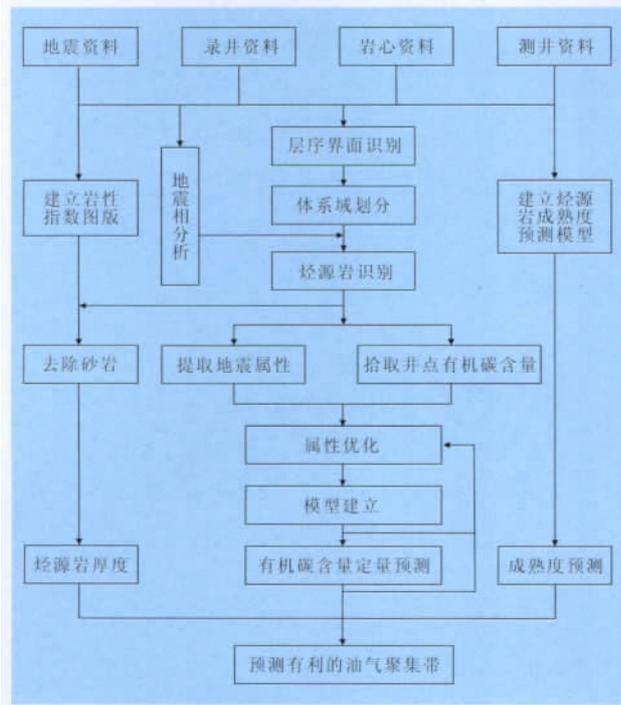


图 1 烃源岩地震属性预测与评价研究思路及方法流程

3 烃源岩预测与评价

3.1 烃源岩的识别

大孟庄洼槽沉降中心位于河西务断层下降盘,沙河街组是其主油层系。在地震剖面上,沙河街组和东营组可以识别出 9 个层序(图 2),其中 SB3—SB5 为烃源岩发育段,分别对应于沙四段上亚段、沙三段下亚段和中亚段,烃源岩主要发育在湖侵期和高水位期。通过地震相划分可以确定烃源岩体在每条地震剖面上的反射特征。并根据纵、横向地

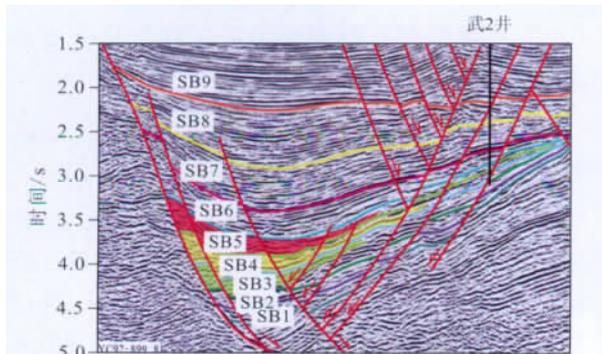


图 2 大孟庄洼槽烃源岩体地震解释剖面

震剖面的对比分析,进一步得到沙四段上亚段和沙三段中、下亚段烃源岩体的平面展布特征。

由于烃源岩体中含有大量的砂质沉积物,利用测井资料统计了烃源岩发育段砂岩和泥岩的声波时差,根据其差异作出速度—岩性图版。通过分析井旁地震道层速度与测井速度的对应关系,利用地震速度谱资料求取了烃源岩中的砂质含量,达到了从烃源岩内剔除砂岩的目的。

3.2 烃源岩地球物理特征与有机碳含量的计算

通过反复对比发现,烃源岩与非烃源岩以及不同层位烃源岩之间,在地震属性特征上存在明显差异,尤其是对岩性变化比较敏感的振幅类、频率类的地震属性(与烃源岩有机碳含量之间具有一定的相关性)。为了剔除不同时期地震资料的系统误差,首先对提取的地震属性进行归一化处理,然后对主测线上不同桩号的各地震属性相对值进行统计分析(图 3)。可以看出从洼槽深部到杨村斜坡,烃源岩体的几类地震属性相对值有逐渐降低的趋势,而瞬时频率则呈逐渐增大的趋势。就不同层位烃源岩体的地震属性分布而言,在平均能量、最大振幅、均方根振幅、弧长、能量半衰时和瞬时频率等 6 种属性中由高到低依次为沙三段中亚段、沙三段下亚段、沙四段上亚段。上述特征与资料相对丰富且地质条件相似的霸县洼槽烃源岩的地震属性的分析结果相吻合,由此得到了 3 套烃源岩有机碳含量的定量预测关系表达式分别为

$$TOC_1 = 1.770 - 0.43A_1 + 0.481A_2 + 0.162A_3 \quad (1)$$

$$TOC_2 = 2.207 + 1.144A_1 - 1.167A_2 - 0.514A_3 \quad (2)$$

$$TOC_3 = 1.770 - 0.43A_1 + 0.481A_2 + 0.162A_3 \quad (3)$$

式中: TOC_1 , TOC_2 和 TOC_3 分别为沙三段中亚段、沙三段下亚段和沙四段上亚段有机碳含量; A_1 为归一化的相对平均能量; A_2 为最大振幅; A_3 为均方根振幅。

计算分析表明,大孟庄洼槽从河西务断层向杨村斜坡方向,烃源岩有机碳含量逐渐降低;纵向有机碳含量由大到小依次为:沙三段下亚段、沙三段中亚段和沙四段上亚段。

3.3 烃源岩分布和成熟度特征

3.3.1 分布特征

将不同测线、不同层位提取的烃源岩地震属性

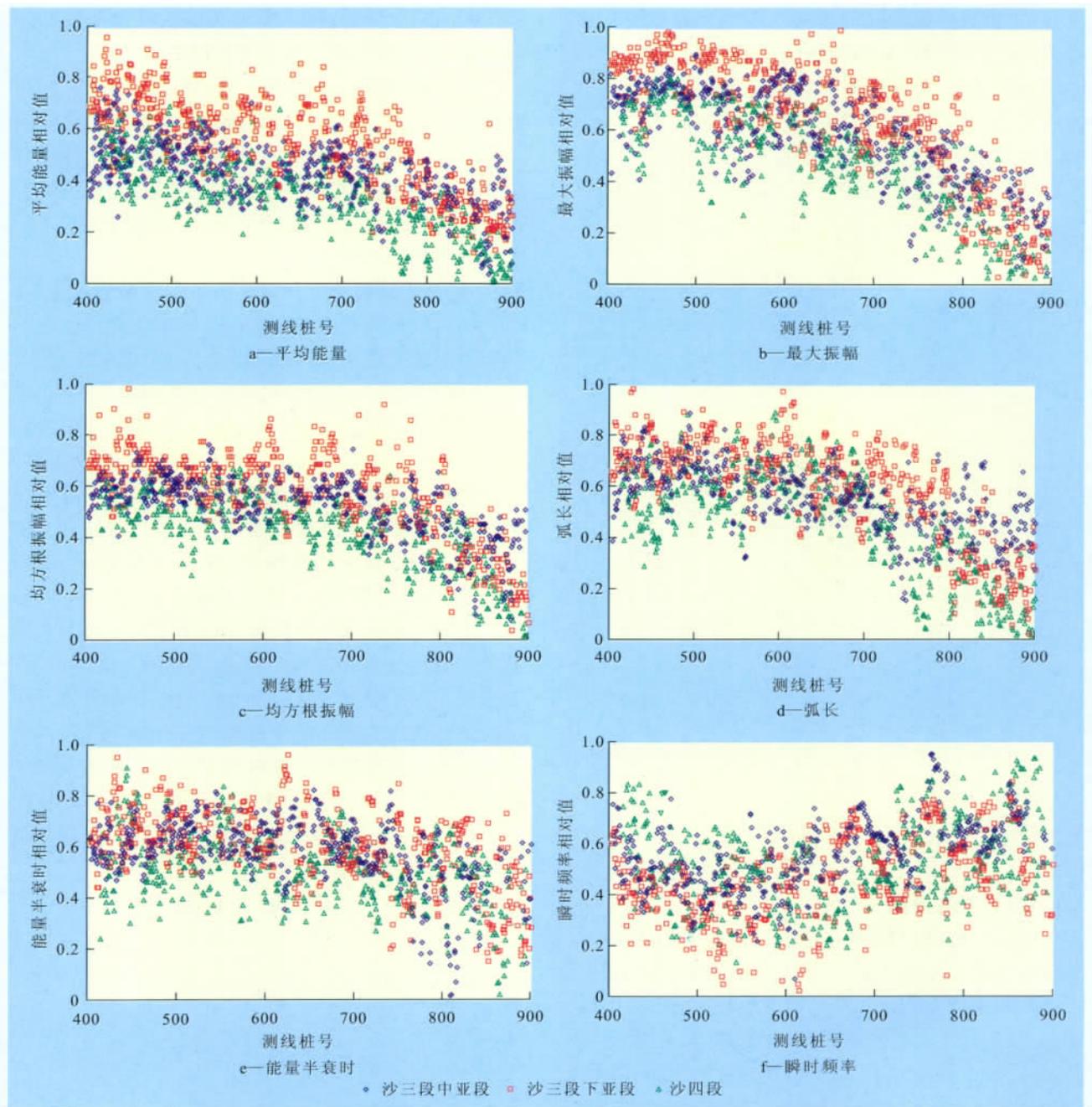


图 3 大孟庄洼槽中南部主测线方向烃源岩地震属性相对值对比

进行归一化处理,对每条测线利用式(1)一式(3)计算有机碳含量,经网格化后可得到沙三段中亚段、沙三段下亚段和沙四段上亚段有机碳含量等值线图。通过与京 24 井实测有机碳含量对比分析,认为预测结果准确可靠。大孟庄洼槽沙三段中亚段、沙三段下亚段烃源岩的有机碳含量分布具有南、北 2 个中心,沙四段上亚段只有南部 1 个中心,总体上具有西高东低、南高北低的特点。

3.3.2 成熟度特征

已知大孟庄洼槽不同层位烃源岩的平均深度,

可根据其与镜质组反射率的关系计算烃源岩成熟度,其表达式为

$$R_o = e^{\frac{D-4811.8}{2959.6}} \quad (4)$$

式中: R_o 为镜质组反射率,%; D 为深度, m 。

沙三段中亚段烃源岩除大孟庄南部和京 24 井附近不同层位的 R_o 值小于 0.7%,处于未成熟—低成熟阶段,大部分地区 R_o 值为 0.7% ~ 1.3%,都已进入成熟阶段。深洼区成熟度较高, R_o 值为 1.4% ~ 1.5%;沙三段下亚段烃源岩仅在大孟庄洼槽南部和

京 24 井附近地区处于低成熟阶段,在洼槽中南部和北部边缘达到成熟阶段,而洼槽中心已进入高成熟阶段;沙四段上亚段烃源岩在洼槽深部已进入高成熟阶段,其他地区也均处于成熟阶段。其中沙三段中、下亚段烃源岩在洼槽中南部处于成熟阶段的烃源岩面积较大,以生油为主,在洼槽北部处于高成熟阶段烃源岩面积较大,以生气为主;沙四段上亚段烃源岩大部分地区都已进入高成熟阶段,以生气为主。

3.4 有利区带预测

大孟庄洼槽发育的低成熟和成熟烃源岩两者体积约占烃源岩总量的 75% 以上,因此该区油气类型主要为低成熟—成熟油气。大孟庄洼槽南部京 24 井—务古 1 井属于生烃中心,与其对接的河西务断层上升盘的沙三段下亚段和沙四段砂岩发育,且其下伏地层为奥陶系潜山,圈闭条件好,是潜在的油气聚集区。其中京 60 井附近油源条件好、发育滚动背斜,如果储层发育,极有可能形成构造油气藏。而杨村斜坡发育多期超覆不整合,且在武 2、武 8 井附近沙三段发育辫状河三角洲沉积,具备形成地层或岩性等油气藏的条件;大孟庄北部的宝坻断层下降盘发育多期水下冲积扇,扇体与烃源岩直接接触,具有形成岩性油气藏的条件。此外,研究区还发育良官屯、王家屋等滚动背斜,沙三段烃源岩生成的油气可沿断层向上运移,在沙一段—馆陶组中聚集成藏。

4 结论

以地震地层学为基础,在地震剖面上识别出烃源岩体,并以地震层速度岩性解释技术去除烃源岩体中的砂岩含量,同时将地震属性分析结果与已有烃源岩地球化学和测井等资料综合分析,建立基于地震属性预测和评价的烃源岩定量方法,解决了低勘探程度地区的烃源岩预测和评价问题。研究结果表明,不同层系的烃源岩在平均能量、最大振幅、均方根振幅、弧长、能量半衰期和瞬时频率 6 种地震属性中存在差异,其中前 5 种地震属性与烃源岩有机碳含量成正比,而瞬时频率与烃源岩有机碳含量成反比,是利用地震信息、定量识别和评价烃源岩的理论基础;利用上述方法对武清凹陷大孟庄洼槽沙三段中、下亚段和沙四段上亚段 3 个层系的烃源岩发

育特征进行了综合评价与预测,并确定了洼槽南部的京 60 井区和北部的宝坻断层下降盘为该地区油气聚集的有利区带。

参考文献:

- [1] 金强. 有效烃源岩的重要性及其研究[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(1): 1-4.
- [2] 黄第藩, 李晋超. 陆相有机质演化和成烃机理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984: 7-11.
- [3] 金强, 查明. 柴达木盆地西部第三系盐湖相有效烃源岩的识别[J]. 沉积学报, 2001, 19(1): 125-129.
- [4] 王永刚, 谢东, 乐友喜. 地震属性分析技术在储层预测中的应用[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2003, 27(3): 13-23.
- [5] 王永刚. 地震资料综合解释方法[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2007: 132-160.
- [6] 王友净, 林承焰, 董春梅, 等. 大港滩海张东开发区沙河街组层序地层格架与储层预测[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(4): 23-25.
- [7] 刘震. 储层地震地层学[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 83-104.
- [8] Vernik L, Liu Xingzhou. Velocity anisotropy in shales: A petrophysical study[J]. Geophysics, 1997, 62(2): 521-532.
- [9] Vernik L, Nur A. Ultrasonic velocity and anisotropy of hydrocarbon source rocks[J]. Geophysics, 1992, 57(5): 727-735.
- [10] 于建国, 韩文功, 于正军. 济阳拗陷孔店组烃源岩的地震预测方法[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(3): 318-322.
- [11] 朱玲, 樊太亮. 密集段的识别标志及地质意义[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 161-164.
- [12] Klemme H D, Ulmshek G F. Effective petroleum source rocks of the world: stratigraphic distribution and controlling depositional factors[J]. AAPG Bulletin, 1991, 75(12): 1809-1851.
- [13] 朱光有, 金强, 张林晔. 用测井信息获取烃源岩的地球化学参数研究[J]. 测井技术, 2003, 27(2): 104-109.
- [14] Passey Q R, Creaney S, Kulla J B. A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(12): 1777-1794.
- [15] 蔡超, 朱炎铭, 秦勇. 冀中拗陷武清凹陷苏 50 井石炭—二叠纪煤系的成烃演化[J]. 地质科学, 2008, 43(1): 154-161.
- [16] 袁选俊, 靳久强, 孟庆仁. 冀中拗陷杨村斜坡结构成因及油气成藏模式[J]. 石油学报, 2004, 25(4): 19-22.
- [17] 张以明, 王余泉, 刘井旺. 冀中拗陷复杂断块油藏成藏模式研究[J]. 中国石油勘探, 2006, 11(2): 15-18.

编辑 裴磊

Key words: foreland basin; forebulge slope; reservoir occurrence rule; reservoir accumulation mode; Llanos basin
Zhang Jinwei, Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing City, 100083, China

Yang Yanmin, Ao Lide, Liu Jinhua et al. Study on characteristics of connate water in the first member of Dainan Formation, deep concave belt of Gaoyou sag. *PGRE*, 2012, 19(4): 27–30.

Abstract: In recent few years, in the research of the exploration and the exploitation of the oilfield, the research on the paleosalinity, paleoclimate and palaeobathymetry is very limited. In this research, we use the result of the tests, such as the clay mineral, microelement, palaeontology and palynomorph, to infer the information of the paleosalinity, paleoclimate and palaeobathymetry. The characteristic of palaeontology shows that the environment of the deep concave belt of Gaoyou sag in the first member of the Dainan Formation is freshwater lake of continental facies, and by the analysis of the microelement, the paleosalinity of the research area changed from the brackish water to freshwater. And, we use the color of the mud stone to analyze the palaeobathymetry, and in the well, the color of the mud stone changed from the deep grey to brown, grey, and to deep grey again, this shows that the palaeobathymetry is increased in the process.

Key words: paleosalinity; paleoclimate; palaeobathymetry; paleo-water; Gaoyou sag

Yang Yanmin, Geophysical Research Institute of SINOPEC Jiangsu Oilfield Company, Nanjing City, Jiangsu Province, 210046, China

Du Zhenjing. Analysis of hydrocarbon accumulation of buried hill in east Chengdao area. *PGRE*, 2012, 19(4): 31–33.

Abstract: In accordance with complicated geological framework and hydrocarbon accumulation rules and insufficient understanding for reservoir characteristic, comprehensive analysis of drilling, borehole logging, structure interpretation and testing data was put forward to study its structure and strata characteristics, petroleum distribution rules and master control factors for hydrocarbon accumulation. Result shows that the strata of research area are distributed irregularly as the result of multiphase tectonic movement and rollover. Strata in different structural zone or different place of the same structural zone have deviation. There is variable degree of petroleum enrichment in Archean, lower Paleozoic, upper Paleozoic, and Mesozoic along the vertical section. Lower Paleozoic has the most enrichment and petroleum mainly accumulates in high part of structure. Along the horizontal section, oil distribution horizon varies from older to newer and oil reservoir styles varies from fault block and residual hill to unconformity crossing the structural main part to the limb. Dissection of typical wells shows that the reservoir-cap relationship and lateral sealing condition are main control factors of hydrocarbon accumulation, and the hydrocarbon accumulation mode is herein constructed.

Key words: weathering crust; fault block and residual hill oil reservoir; oil distribution rule; main control factors of hydrocarbon accumulation; buried hill in east Chengdao area

Du Zhenjing, Department of Petroleum Exploration, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257000, China

Jin Qiang, Wu Aijun, Jin Fengming et al. Estimation of source rocks by seismic attributes in the Damengzhuang sag, Wuqing depression. *PGRE*, 2012, 19(4): 34–37.

Abstract: It is rather difficult to conduct source rock evaluation in low degree of exploration area for shortage of drill-well data. Based on differences in the average amplitudes and energies between the source rocks and non-source rocks, an estimating method for identification of the source rocks is established by research on the sequence and seismic stratigraphy on the seismic profiles, i. e. to remove sandy contents in the source rock interval by seismic velocity spectrum plot, to establish relationship between the seismic attributes and TOC contents measured from the source rocks, and to estimate the source rocks on the seismic profiles. Therefore, source rocks in the upper forth member, lower and middle third member of the Shahejie Formation are estimated by this method. The TOC contents are distributed in the studied area as “west high and east low, and south high and north low”, the belt in the southern studied area from well Jing-24 to well Wugu-1 is estimated as favorable place for oil and gas accumulation as high TOC contents in the source rocks.

Key words: source rocks; seismic attributes; quantitative estimate; seismic prediction; Wuqing depression

Jin Qiang, School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao City, Shandong Province, 266555, China

Sui Shuling, Tang Jun, Jiang Yubing et al. Technical characteristics and applicable conditions analysis on seismic inversion traditional methods. *PGRE*, 2012, 19(4): 38–41.

Abstract: Different seismic inversion methods have different technical characteristics and applicable conditions. Seismic inversion methods usually applied in petroleum occupation, such as geological based model inversion, constrained sparse spike inversion, reservoir characteristic attributes inversion, frequency-divided inversion and geological statistics inversion, are analyzed in basic principles, technical keys, advantages and disadvantages. Technical characteristics and applicable conditions of these methods are also analyzed combined with some applying cases in different blocks, series of strata, reservoir feature and reservoir types. Researching results indicate that, in view of complicated geological designation, only proper seismic inversion methods are defined by optimizing, and inversion results obtained are combined with attributes analysis, can enhance the precision of reservoir description, and attain the aim of resolving complicated geological problems.

Key words: seismic inversion; reflection coefficient; impedance; seismic attributes; variogram; acoustic time

Sui Shuling, Geoscience Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015,