

文章编号: 1001-6112(2008)04-0408-06

地震信息多参数综合分析 with 岩性圈闭评价

焦志峰^{1,2}, 杨占龙^{3,4}

(1. 中国石油大学, 北京 102249; 2. 中国石化集团 国际石油勘探开发有限公司, 北京 100083;

3. 清华大学 工程力学系, 北京 100084; 4. 中国石油勘探开发研究院 西北分院, 兰州 730020)

摘要: 针对岩性圈闭边界条件复杂、形态不规则、赋存状态隐蔽等特点, 采用层序地层和“三相”联合解释技术为基础的地震信息多参数综合分析方法进行岩性圈闭识别、优选、描述与评价。该方法包括地震相分析、地震反演与储层预测、地震属性分析、流体势分析与含油气检测、三维可视化等。通过在江汉盆地蚌湖地区和吐哈盆地胜北地区的应用, 初步证实了该方法在岩性圈闭识别、优选、描述与评价方面的针对性和实用性。应用表明, 该方法在地震资料品质较好、构造相对简单的中等勘探程度以上地区的岩性油气藏勘探方面具有良好适用性。其中地震数据体选择、分析时窗大小的确定、顶底约束层位解释、不同频段相关属性参数优选等是该方法应用的关键。

关键词: 地震信息多参数; 地震相; 地震属性; 含油气检测; 岩性圈闭; 江汉盆地; 吐哈盆地

中图分类号: P631.2

文献标识码: A

SEISMIC MULTI-PARAMETERS ANALYSIS AND EVALUATION OF LITHOLOGIC TRAPS

Jiao Zhifeng^{1,2}, Yang Zhanlong^{3,4}

(1. China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. International Petroleum Exploration and

Production Corporation, SINOPEC, Beijing 100083, China; 3. Department of Engineering Mechanics,

Tsinghua University, Beijing 100084, China; 4. Northwest Branch, Research Institute of

Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: In view of the complexity in boundary condition, irregularity in shape and subtle in occurrence of lithologic traps, a practical approach of identification, preference, description and evaluation of lithologic traps is put forward in this paper, which is the multi-parameter analysis of seismic data based on sequence stratigraphy and “three facies” integrated interpretation. This method mainly includes seismic facies analysis, seismic inversion and reservoir prediction, seismic attributes analysis, fluid potential analysis and hydrocarbon detection, 3-dimensional visualization etc. The applications in Banghu area of the Jiangnan Basin and Shengbei area of Turpan-Harney Basin preliminary show the effectiveness and practicability of this approach in identification, preference, description and evaluation of lithologic traps. The practical shows that this approach is suit for lithologic reservoir exploration of the area with good quality of seismic data, simplicity in structure and medium or matured exploration area. And the selection of seismic data, definition of the size of time-windows for analysis, interpretation of top and bottom constraint horizon, optimization of seismic attributes in different frequency band are the key points for this approach.

Key words: seismic multi-parameters; seismic facies; seismic attributes; hydrocarbon detection; lithologic traps; the Jiangnan Basin; the Turpan-Harney Basin

由于岩性圈闭边界条件复杂、形态不规则、赋存状态隐蔽、岩性油气藏运聚类型多样、成藏条件复杂等特点^[1~5], 本文提出采用在层序地层和“三相”(测井相、地震相、沉积相)联合解释技术^[6~9]基

础上的地震信息多参数综合分析方法进行岩性圈闭的识别、优选、描述与评价。该方法主要包括 5 个方面的内容: 1) 开展针对目的层小时窗以波形分类为基础的地震相分析, 快速逼近有利目标区; 2)

收稿日期: 2008-03-31; 修订日期: 2008-06-12。

作者简介: 焦志峰(1969—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事油气勘探开发研究与管理工。E-mail: jiaozf21@sina.com。

地震反演和储层预测确定目标体的岩性和物性;3)地震属性分析验证储层预测的可靠性,并初步预测目标的含油气性;4)流体势模拟分析目标体所处的流体势位置,判断目标是否处于流体运移路径或者流体运移的优势指向区,含油气检测用来分析待评价目标所包含的流体性质^[10];5)三维可视化加深理解地质体在三维空间的赋存特点,协助确定钻井井位和优化钻井轨迹。

本文以江汉盆地蚌湖向斜严河油田东侧^[11,12]和吐哈盆地胜北地区胜北3号喀拉扎组凝析气藏西侧为例,展示了该方法的应用过程,并指出了该方法应用的关键点。

1 综合分析方法应用的基础

利用地震信息多参数综合分析方法识别、优选、描述与评价岩性圈闭的前提条件是首先明确研究区有利于岩性圈闭发育的纵向层系和平面位置,而层序地层和“三相”联合解释技术的综合应用无疑是优选有利勘探层系和评价有利勘探位置的有效方法。层序地层学分析构成岩性油气藏勘探的两项核心技术之一,而层序地层研究的核心是建立不同级别的等时地层格架,明确不同级别地质体在空间的分布形态和位置,从而来判断有利于岩性圈闭发育的纵向层系。

以岩心观察、单井测井资料分析为基础的测井相研究是“三相”联合解释技术的基础,它可有效确定在平面上“离散”分布的各个钻井点目的层所属的沉积相(或沉积微相)类型及纵向沉积微相组合模式;地震相特别是以三维地震资料为基础以体系域为最大分析单元的平面地震相研究从等时的角度系统揭示了各个目的层地震相平面变化格局;沉积相是在物源方向等分析的基础上,根据“今”沉积微相平面组合模式和纵向演化规律,结合测井相和地震相研究得到沉积相(沉积微相)平面变化格局和纵向演化过程。通过“三相”联合解释,明确不同时期的沉积微相格局和纵向沉积演化规律,为不同层系有利于岩性圈闭发育的平面位置筛选奠定基础。

通过层序地层和“三相”联合解释技术的综合分析,从宏观上可以确定不同层系有利于岩性圈闭发育的部位,为后续利用地震信息多参数综合分析方法识别、优选、描述与评价岩性圈闭确定了宏观靶区,也增强了后续工作的针对性。

2 岩性圈闭识别

地震相分类分析包括由粗到细的纯波数据基

础上单纯波形、测井标定和多属性叠合地震相分类。以层序为边界、在等时地层格架控制下针对研究目的层进行小时窗地震相分类,同时结合研究区沉积微相研究结果、已知钻井沉积微相类型的标定从面上可以快速逼近有利勘探目标,从宏观上明确后续勘探工作进行目标评价的重点。

潜江组三段 E_{q3}^4 层是江汉盆地新农地区的主要勘探目的层,工区东北部经钻井证实存在一个典型的扇三角洲前缘水下分流河道沉积体(深蓝色,图1A),通过小时窗地震相分类研究,可快速查明工区中部断层下盘同样发育一个典型的水下分流河道沉积异常体。

就吐哈盆地胜北地区而言^[13],上侏罗统喀拉扎组(J_3k)在层序上被划归为SQ11,其下伏的SQ10为区域性发育的洪泛平原相紫红色泥岩,是一套广泛分布的良好盖层,而喀拉扎组中上部为局部发育的洪泛平原紫红色泥岩,同样具备良好的封盖条件,上述两套泥岩为喀拉扎组低位体系域发育的砂体成藏提供了良好的顶底板条件。喀拉扎组因埋藏较浅且属于冲积扇沉积相类型,因而储层物性较好。胜北3、4号南北向走滑断裂是经钻井证实的油源断裂。上述条件保证了喀拉扎组低位体系域砂体在空间上处于有利的成藏位置,识别、落实、评价岩性圈闭是近期该区勘探的首要任务。 J_3k 是吐哈盆地胜北地区浅层次生油气藏的主要勘探目的层,在工区北部构造高部位的一个冲积扇中辫流河道沉积体(图1B,黄色)中已经发现了浅层次生凝析气藏,通过小时窗地震相分类研究,可快速查明工区南部同样存在一个规模更大的冲积扇中辫流河道沉积异常体。

3 岩性圈闭优选

在精细层位标定的基础上,以层序为边界建立地质模型进行波阻抗反演、测井参数反演等,同时结合非常规储层预测技术(地震振幅与储集体厚度关系研究、波形分析、波形分类、子波反褶积和道积分等)系统进行储层预测^[9,14,15],明确上述已经确定目标的岩性和物性(图2)。在岩性解释过程中,可以将波阻抗剖面与地震波形进行叠合,一方面检验反演结果是否正确,另一方面通过反演得到的地质信息,可提高对波形横向变化的认识程度,两者结合可深化地质认识。在遇到特殊地质情况时,可以应用正演模拟,验证解释结果的正确性。在利用储层预测技术得到砂体平面图以后,与构造图叠合,确定岩性圈闭的闭合范围,落实岩性圈闭的具

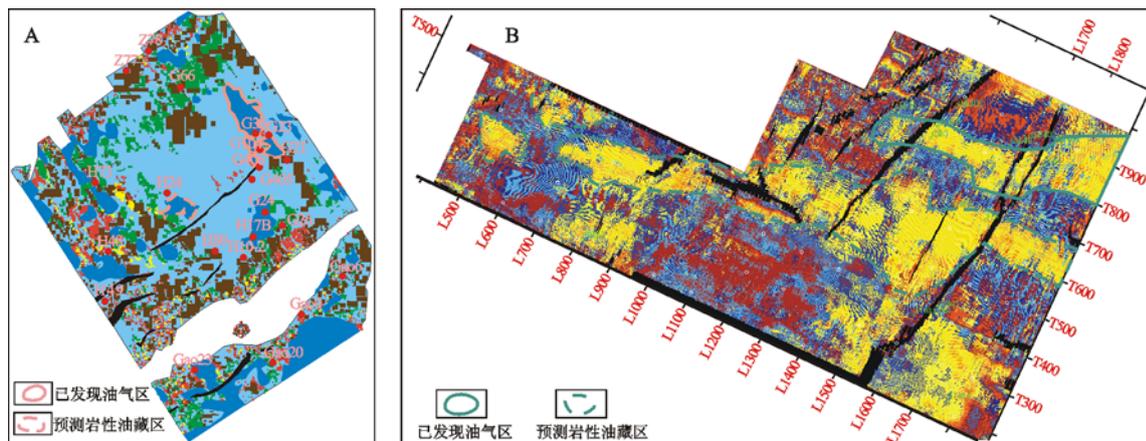


图1 地震相分类展布

A. 江汉盆地新农地区 E_{q3}¹ 层; B. 吐哈盆地胜北地区 J_{3k}

Fig. 1 Distribution map of seismic facies

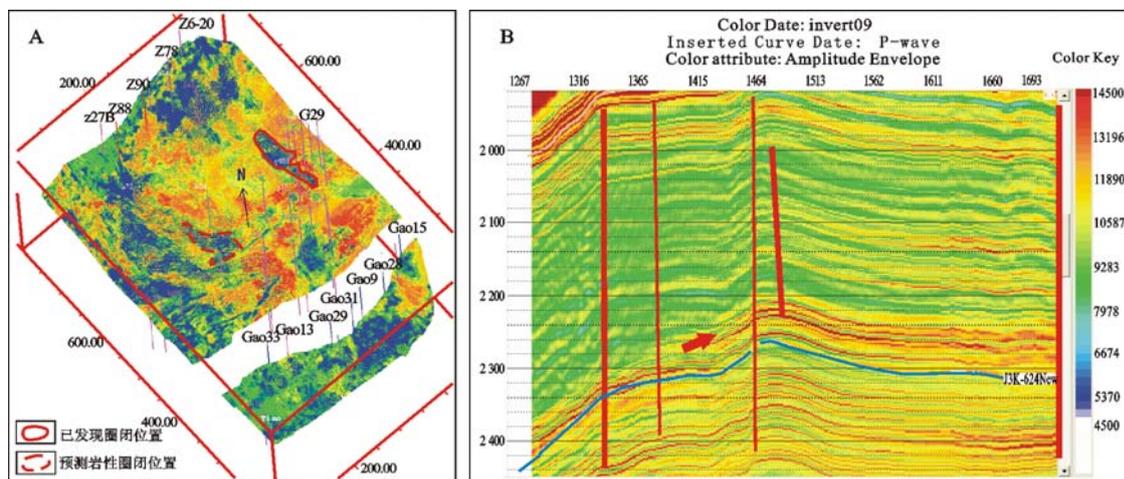


图2 储层预测剖面

A. 江汉盆地新农地区 E_{q3}¹ 层; B. 箭头示吐哈盆地胜北地区 J_{3k} 气层

Fig. 2 Section map of reservoir production

体位置。

波阻抗反演、测井参数反演并结合非常规储层预测技术研究,证实了新农地区中部断层下盘水下分流河道和胜北地区南部冲积扇扇中辫流河道砂体的存在,确定该部位为有利目标,增强了后续目标评价工作的针对性。

4 岩性圈闭描述

精确的层位标定和三维自动追踪解释是提取地震属性的基础工作。属性分析首先研究各种属性与已知油田的关系,分析各种属性与砂体分布及砂体含油气的响应特征。一方面检验波阻抗反演预测砂体的可靠性,另一方面判断岩性圈闭的含油气性(图3)。另外有些地震属性可反映沉积现象,与钻井结合,有助于刻画井间微相变化。

在本次研究中,针对目的层在小时窗范围内共提取了40多种地震属性,共分8大类:1)振幅统计类有均方根振幅、平均绝对振幅、最大波峰振幅、平均波峰振幅、最大波谷振幅、平均波谷振幅、最大绝对振幅、总绝对振幅、总振幅、平均能量、总能量、平均振幅、振幅变差、振幅偏斜度和振幅峰态等;2)复数道统计类有平均反射强度、平均瞬时频率、平均瞬时相位、反射强度梯度和瞬时频率梯度;3)频谱统计类有有效带宽、波形弧长、平均过零频度、优势频率、峰谱频率和频谱峰值梯度;4)层序统计类有过门槛百分比、欠门槛百分比、能量过半时长、能量半时长梯度、正负样数比、波峰数和波谷数;5)相关统计类有相邻道协方差、相邻道相关时移、平均信噪比、相关长度、相关分量和卡拉信号复杂度;6)吸收系数类;7)波形相干相似类;8)构造变形类。以

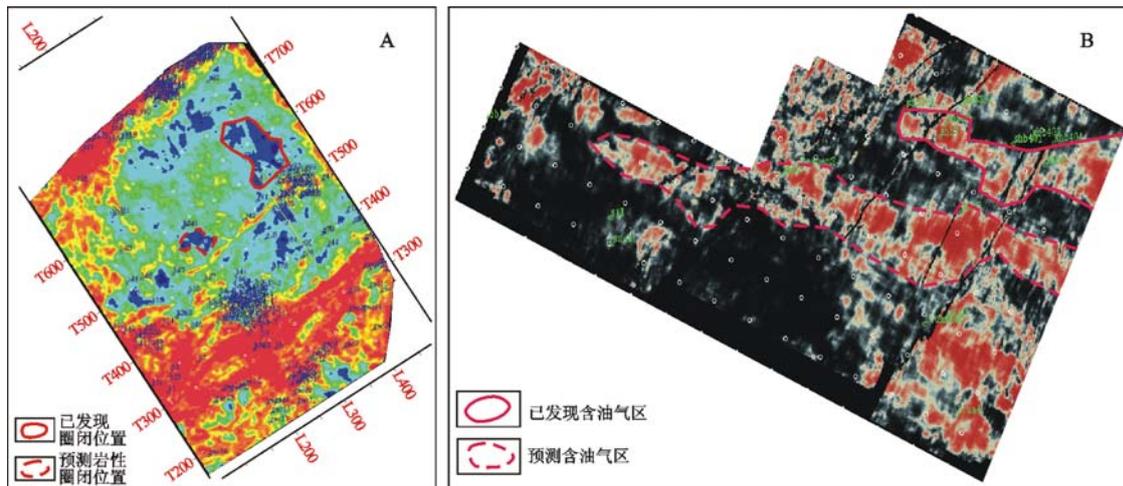


图 3 地震属性平面

A. 江汉盆地新农地区 E_{q3}^4 波形相似度; B. 吐哈盆地胜北地区 J_{3k} 最大波峰振幅

Fig. 3 Plane map of seismic attributes

上部分属性参数可以反映砂岩的分布,间接验证通过波阻抗资料预测得到的砂体分布的可靠程度;有些属性,如有效带宽、均方根振幅、平均瞬时频率等也可以反映砂岩的分布,这样就可以从不同的方面预测砂岩的分布,其结果较为可靠。利用反演预测的砂体等厚图,以及在井上建立的标准微相划分柱状图,可以在钻井资料较少的地区进行沉积微相划分。在进行沉积微相划分时,还可以参考一些反映沉积现象的地震属性信息,如能量过半时长和反射能量的梯度可以反映沉积旋回,平均频率可以反映地层的薄厚变化,波形相似度可以反映不同的沉积环境等。

地震属性分析结果一方面很好地验证了波阻

抗反演预测砂体结果的可靠性,同时通过与已知油气区地震属性特征的类比,在一定程度上确定上述预测地区为勘探的有利地区。

5 岩性圈闭评价

5.1 流体势分析评价圈闭

流体势分析可以从平面的角度了解当前流体势运移特点,明确所预测目标所处的流体势位置,判别预测目标接受流体的能力,评价目标是否处于有利于接受地下流体的位置^[10]。本次在流体势分析中主要采用了构造图、砂体厚度图、孔隙度平面分布图、渗透率平面分布图和生烃强度图作为约束条件来系统分析平面流体势变化特点(图 4)。

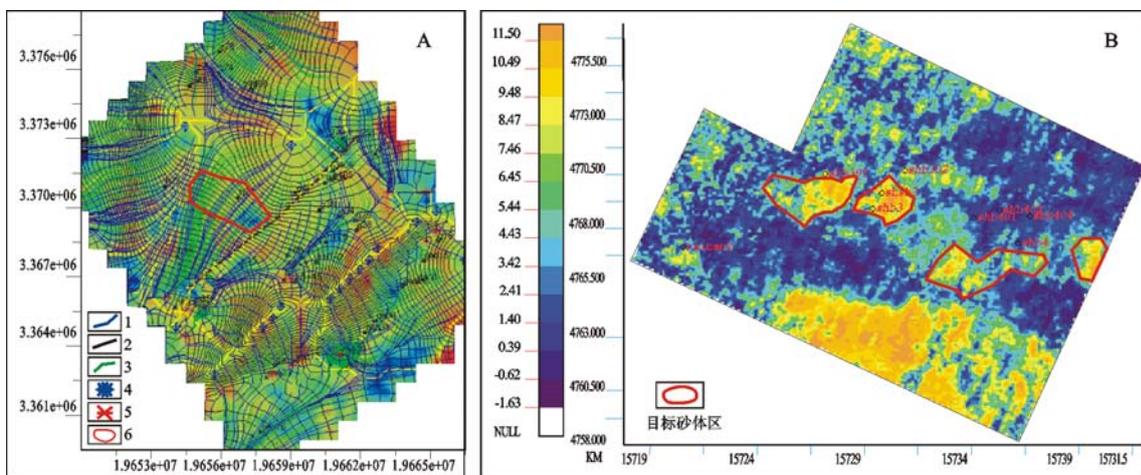


图 4 流体势分析与含油气检测平面

A. 江汉盆地新农地区 E_{q3}^4 ; B. 吐哈盆地胜北地区 J_{3k}

1. 流体运移轨迹; 2. 古构造等值线; 3. 次级流体运移轨迹; 4. 低部位; 5. 高部位; 6. 有利区

Fig. 4 Plane map of fluid potential and hydrocarbon detection

5.2 含油气检测技术评价圈闭

地震信息分解基础上的含油气检测技术是目前相对比较成熟的利用地震资料直接进行含油气检测的技术方法。它主要是在已知区(含油层、含水层、干层)地震响应特点分析基础上,来外推预测目标是否具有与含油区相同或相类似的地震响应特点。通过分析,若预测目标与已知含油气区地震响应特征类似,则所预测目标含油气的可能性较高。通过以上的研究基本可以圈定岩性圈闭的范围(图 4)。但是,有时许多厚的砂层中往往储存着水,并不聚集油气,这就需要进一步研究岩性圈闭的含油气性。这一难题在石油地质研究中至今没有很好的方法来解决,作者在实际工作过程中专门进行了以下尝试性工作。

有些地震信息对砂层中的含油气性比较敏感,但并不是所有属性都是这样。为此首先对所有地震属性进行特征参数压缩处理,其目的是将有些相关的、多余的信息压缩,降低样本特征参数的维数。在信息压缩过程中要取保熵性、保能量性、去相关性和能量集中性,这样优选出部分敏感参数,再通过已知油田区进行分析,判断哪些信息在已知油田区可以较好地反映油气的存在。建立井上含油厚度和含油丰度与所优选参数组合的映射关系,最终将这些参数信息定量地转化为含油厚度和含油丰度平面预测图,根据预测图即可对岩性圈闭的含油气性进行定量预测。

除了用以上方法进行油气检测之外,还可以采用其它方法,如地震波形聚类分析,吸收系数分析以及在已知地震模型的控制之下的特殊地震属性

分析,如反射能量梯度、频率谱梯度等。

本次用流体势分析结果来明确预测目标所处的流体势位置,判别预测目标接受流体的能力,评价目标是否处于有利于接受流体的位置(图 4A)。地震信息分解基础上的含油气检测技术通过与已知目标的类比来预测待勘探目标所包含的流体性质(图 4B)。

6 以三维可视化为基础进行井位部署

三维可视化可直观了解预测目标在空间的分布位置和范围,加深对地下地质体三维空间分布形态的全面认识,协助确定钻井位置和钻井轨迹。综合所有研究结果,即已知油区油气成藏条件分析结果、构造研究结果、沉积相研究结果、地层岩性油气水对比结果、储层预测的平面及纵向展布、油气检测结果,提出最佳井位建议(图 5)。

三维可视化一方面通过对地下地质体的直观描述来加深对目标的地质认识,同时可直观了解预测目标在空间的分布位置和范围,协助确定钻井位置和钻井轨迹。上述 2 个目标钻探后均取得了良好的勘探效果。

7 结论

地震信息多参数综合分析方法是目前进行岩性圈闭识别、优选、描述与评价的有效方法之一,通过实践检验也初步证实了该方法的针对性、实用性和有效性。

该方法所包含的关键环节有:以层序为边界、在等时地层格架下针对目的层进行小时窗地震相

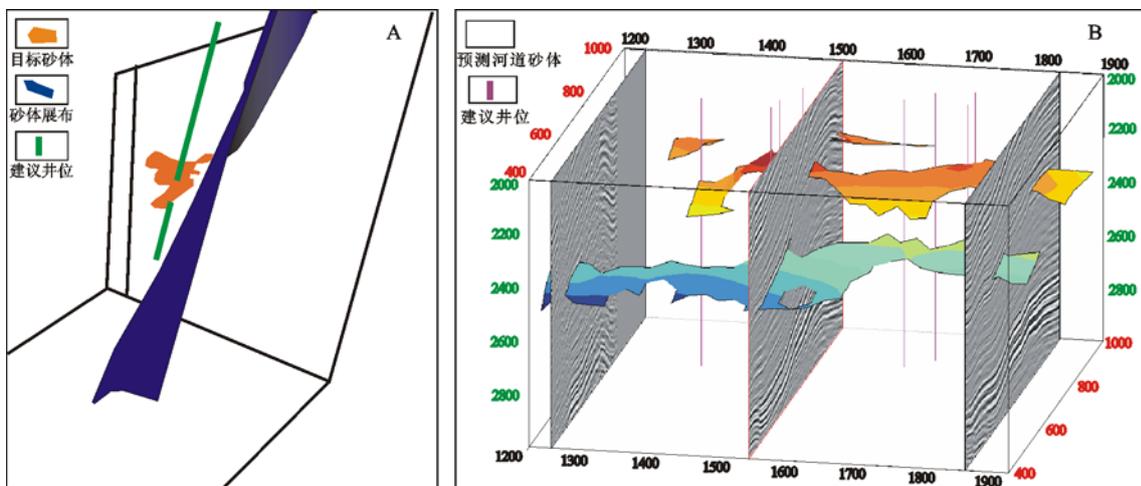


图 5 目标体三维可视化分布
A. 江汉盆地新农地区 E_{q3}^1 地质体; B. 吐哈盆地胜北地区 J_3k 地质体
Fig. 5 Target distribution map of three-dimensional visualization

分类,使得所划分的地震相更为精确,同时结合已知钻井地震相类型的标定,使所划分的地震相类型地质含义更加明确,对实际的勘探生产具有指导意义;鉴于目前储层预测的多解性,有必要在波阻抗和测井参数反演的基础上,再结合非常规储层预测技术,使得储层预测结果更加可靠;地震属性分析也是要以层序为边界,在等时地层格架下针对小时窗来进行,同时结合已知钻井的标定,使所提取的地震属性地质含义更加明确,进一步增强地震属性的地质含义分析,地震属性地质含义的标定是地震属性应用的关键。同时在地震资料品质较好的地区尽量开展三维自动追踪解释,这样才可以保证所提取的地震属性不会因人为的解释而出现不必要的误差,也可以增加所提取地震属性值的准确性;地震信息分解基础上的含油气检测技术是目前相对有效的油气检测技术,三维可视化是直观分析勘探目标的有效手段,与虚拟现实的高成本及对场地的高要求相比,动态三维可视化因其低廉的价格更便于推广和普及,是近期三维可视化的发展趋势。

参考文献:

- 李小梅. 东营凹陷岩性油气藏含油性定量评价预测[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(3): 50~53
- 庞雄奇. 地质过程定量模拟[M]. 北京: 石油工业出版社,

2003. 300~301
- 向树安,姜在兴,卢圣祥. 盐系地层岩性油气藏预测方法[J]. 石油物探, 2006, 45(5): 476~481
- 卓勤功,银燕,向立宏等. 东营凹陷岩性圈闭含油性定量预测[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(1): 55~58
- 杨飞,张宏艳,陈俊生. 岩性油气藏勘探方法研究[J]. 石油实验地质, 2007, 29(1): 95~98
- 杨占龙,陈启林. 岩性圈闭与陆相盆地岩性油气藏勘探[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(5): 616~621
- 贾承造,赵文智,邹才能等. 岩性地层油气藏勘探研究的两项核心技术[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 3~9
- 杨占龙,郭精义,陈启林等. 地震信息多参数综合分析 with 岩性油气藏勘探: 以 JH 盆地 XN 地区为例[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(6): 628~632
- 王西文,刘全新,吕焕通等. 储集层预测技术在岩性油气藏勘探开发中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(2): 189~193
- 杨占龙,陈启林,郭精义等. 流体势分析技术在岩性油气藏勘探中的应用[J]. 石油实验地质, 2007, 29(6): 623~627
- 王雪玲,刘中戎. 江汉盆地西南缘油气运移和成藏期次[J]. 石油实验地质, 2006, 26(1): 142~146
- 刘琼,何生. 江汉盆地西南缘油气运移和成藏模式[J]. 石油实验地质, 2007, 29(5): 466~471
- 李延钧,陈义才,张艳云. 吐哈盆地胜北凹陷浅层油气源与成藏研究[J]. 石油实验地质, 2007(4): 405~410
- 程浪洪. 塔里木盆地轮古西地区多地震属性储层综合预测[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(3): 78~80
- 苏朝光,闫昭岷,张营革等. 应用井约束正演模型技术解决地层圈闭描述中的几个难题[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(1): 58~61

(编辑 徐文明)

~~~~~

(上接第 407 页)

2)容易产生较大误差的是内标物的加入过程,此外产生误差的原因还可能是低含量生物标志化合物质量色谱面积积分。因此在实际样品分析过程中,要求同一批样品由一名操作者同时进行分析,以确保所有样品在最接近的条件下进行分析。

3)随着模拟温度的增高,生物标志化合物含量逐渐降低,但在 350 °C 后基本稳定;  $T_s/(T_s+T_m)$  值随着模拟温度的增加而提高。

#### 参考文献:

- 彼得斯 K E, 莫尔多万 J M. 生物标记化合物指南[M]. 北京: 石油工业出版社, 1955. 178~187

- 马安来,金之钧,张水昌等. 塔里木盆地寒武—奥陶系烃源岩的分子地球化学特征[J]. 地球化学, 2006, 35(6): 593~601
- 陈建平,秦建中,张吉光. 海拉尔盆地舒 1 井低蜡稠油成因及其意义[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 61~64
- 包建平,张功成,朱俊章等. 渤中凹陷原油生物标志物特征与成因类型划分[J]. 中国海上油气(地质), 2002, 16(1): 12~19
- 张渠,宋晓莹,张志荣. 原油中甾烷的生物降解模拟实验研究[J]. 石油实验地质, 2007, 29(1): 99~102
- 包建平,朱翠山,马安来等. 生物降解原油中生物标志物组成的定量研究[J]. 江汉石油学院学报, 2002, 24(2): 22~26
- 陈建平,邓春萍,宋孚庆等. 用生物标志物定量计算混合原油油源的数学模型[J]. 地球化学, 2007, 36(2): 205~214
- 秦建中,刘宝泉. 海相不同类型烃源岩生排烃模式研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 74~80

(编辑 李凤丽)