

doi: 10.11720/wtyht.2020.0152

王东辉, 吴晓川. 频谱差异烃类检测新方法在东胜气田的应用[J]. 物探与化探, 2020, 44(4): 709-718. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.0152>

Wang D H, Wu X C. A new method of spectrum difference hydrocarbon detection and its application to the Dongsheng gas field[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(4): 709-718. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.0152>

频谱差异烃类检测新方法在东胜气田的应用

王东辉¹, 吴晓川²

(1. 中石化华北油气分公司 勘探开发研究院, 河南 郑州 450006; 2. 中国科学院南海海洋研究所 边缘海与大洋地质重点实验室, 广东 广州 510301)

摘 要: 查明含烃区与不含烃区的频谱差异是利用频谱属性开展地震烃类检测工作的重要前提。为了直观地确定出含烃区与不含烃区的频谱差异, 提出基于频谱差异的烃类检测方法, 结合实际油气试采数据和研究需要, 将已知井分为含烃井与不含烃井, 通过比较分类对象射孔段的瞬时振幅谱(点谱)来找出含烃相关的频谱差异, 并利用多种频谱属性交会的方式得到地震含烃区。本文通过目的层盒 1 段下伏煤层有无的正演模型确定了最大波谷振幅属性为预测储层信息的有利属性, 但更深入分析认为频谱差异属性比常规的最大波谷属性更能表征含烃与不含烃的差异。通过设置属性阈值的方式来量化含烃区与不含烃区在频谱属性上的差异, 并将 10 Hz 单频振幅、25 Hz 积分振幅、低频衰减梯度、高频衰减梯度等 4 种含烃门限值内的频谱属性进行交会, 继而确定出潜在的含烃区, 通过水平井验证检测结果, 表明该方法具有一定的有效性。

关键词: 频谱差异; 频谱属性; 属性交会; 烃类检测

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2020)04-0709-10

0 引言

地震烃类检测是油气勘探人员长期关注的研究领域。从早期提出的亮点、暗点和平点技术等直接烃类指示技术到 AVO 技术, 再到谱分解技术^[1-3], 这一系列技术的相继提出反映了地震烃类响应的多样性和复杂性以及研究人员思路的开阔性。谱分解衍生的频谱属性作为地震属性的一种, 它被定义为从地震子波振幅谱或功率谱所衍生出来的属性, 任何可用谱函数表征的参数均可称之为频谱属性^[4], 例如振幅谱的峰值频率、峰值振幅、积分振幅属性等。频谱属性在 1970 年提出之时被用于上地幔的研究^[5], 90 年代以后被应用于地震油气勘探中^[6-10]。频谱属性后期被广泛用于烃类检测, 依据含烃前后频谱形态的变化(高频衰减低频增强、主频降低)发展出多种烃类检测方法: 面积差值法^[11]、衰减梯度法^[12]、谱比法^[13]、频谱衰减法^[14]、流体活

动因子法等^[15]。应用这些方法进行烃类检测虽然取得了一定的效果, 但它们倚重于地震资料频谱属性的计算, 在存在一定数量的探井且勘探程度相对较高的油气田内, 直接运用上述方法就显得与实际的油气试采资料结合得不够密切。此外, 在一些报道中地层含烃后的变化与常规的认识出入较大, 如低频衰减高频增强、主频升高等^[9, 16-17], 直接使用上述方法也存在一定的不确定性。

本文首先介绍了地层含烃后频谱差异的一般性与特殊性, 然后概述了频谱差异表征方式的多样性。为使地层含烃后的频谱响应更为直观而不拘泥于常规衰减方式的使用, 同时为让地震资料和油气试采数据紧密结合, 让二者在烃类检测上发挥最大功效, 有效地将多类型的烃类检测属性融入频谱差异含气性检测中, 在郭见乐、李宗杰等^[18-19]提出的瞬时频谱特征差异基础上, 提出了新的基于频谱差异的地震烃类检测方法。该方法在有油气试采数据的前提下, 利用多个频谱属性表征井点射孔位置处含烃反

收稿日期: 2020-03-30; 修回日期: 2020-05-28

基金项目: 国家科技重大专项“低丰度致密低渗油气藏开发关键技术”(2016ZX05048)

作者简介: 王东辉(1982-), 男, 2010年毕业于长江大学矿产普查与勘探专业, 主要从事地质、地震解释与管理工作。Email: swordwang516@163.com

射波与不含烃反射波之间的频谱差异,然后通过表征频谱差异的多属性交会来降低烃类检测的不确定性。

通过对鄂尔多斯盆地东胜气田盒 1 段有无下伏煤层的正演模型确定了最大波谷振幅属性为表征盒 1 段储层信息的相对有利属性。根据试气结果将 17 口探井分为含烃井(11 口)与不含烃井(6 口),盒 1 射孔段频谱分析表明含烃井 10~25 Hz 内的单频振幅和积分振幅普遍比不含烃井的单频振幅和积分振幅要高出许多。提取并优选出 10 Hz 单频振幅和 25 Hz 积分振幅来表征盒 1 段含烃区与不含烃区的频谱差异,此外,低频衰减梯度与高频衰减梯度属性亦能较好地表征这种差异。对比发现优选出的频谱属性比受煤系反射影响较弱的最大波谷振幅属性更能体现含烃与不含烃的差异,因此舍弃了常规属性的使用。通过设置属性阈值的方式来量化含烃区与不含烃区在频谱属性上的差异,并将上述 4 种含烃阈值内的频谱属性进行交会,继而确定出潜在的含烃区。利用水平井的钻遇情况来验证检测结果,表明该方法具有一定的有效性。

1 频谱差异烃类检测方法背景

面积差值法、衰减梯度法、谱比法和频谱衰减

法、流体活动因子法的实质都是在探寻含烃频谱和不含烃频谱的差异(图 1),它们的提出主要依赖于地层含烃源后高频快衰减、主频降低、低频增加、频带宽度变窄等^[20]。然而,地层含烃后产生的频谱差异并不总是完全符合这些规律。在四川盆地须家河组致密气藏的地震烃类检测过程中,有学者发现一些气井射孔段的峰值频率和峰值振幅往往比非气井的要大^[16]。当地震波穿透含气层段地层后,主频往高频方向移动,在区分产气井和不产气井方面频带宽度属性也未能起到效果^[16]。邓继新等通过楔状模型顶底反射波的谱比论述了砂岩储层含气后主频的移动方向,就厚层砂岩处于低速围岩背景而言,地震波途经含气砂岩比途经含水砂岩产生更明显的降频效应;若砂岩与其上覆和下伏地层在垂向上组成反射系数增大的结构时,砂岩含气后主频反而会升高^[21]。此外,对于厚度小于半波长的储层而言,地震波传播时间短而不能造成强烈的吸收衰减,不能形成明显的低频阴影,甚至会因气层顶底的干涉效应而产生高频增强的反射,这已被实际的油藏地震资料所揭示并证实^[9,17]。因此,地层含烃后造成的频谱差异具有多样性,如何识别含烃区与不含烃区的频谱差异是烃类检测的关键环节。

除以上的方法外,在不同的地质条件下其他频谱属性也被用于地震烃类检测。例如,碳酸盐岩储

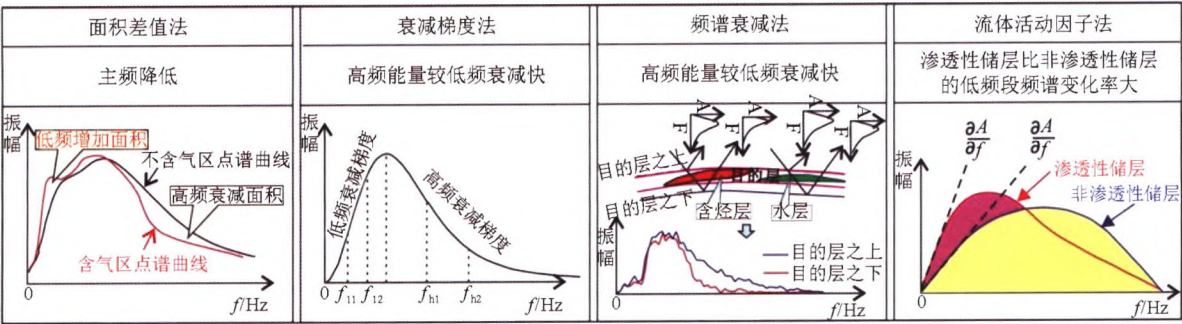


图 1 面积差值法、衰减梯度法、频谱衰减法、流体活动因子法的图示及主要依据

Fig.1 The basic for the area difference method,attenuated gradient method,spectral attenuated method and fluid flow method

层薄且地震资料主频低的情况下,常规属性难以达到令人满意的预测效果,而频谱的积分振幅属性可以预测出碳酸盐岩中的高孔渗区^[22]。又如,气层与非气层的波阻抗值较为接近的时候,频谱离散段的积分能量与整个频带内的能量比值可以帮助勘探人员完成烃类检测^[23]。再如,有的学者通过识别含气性储层和不含气性储层的能量系数值(归一化的峰值振幅)的差异来进行烃类检测^[24]。因此,除衰减梯度等较为常见的频谱属性外,其他频谱属性在不同的地质条件下同样起着重要的作用。

2 频谱差异烃类检测方法的思路

应用频谱属性进行地震烃类检测更多的是基于高频快衰减低频慢衰减的原理,但真实的情况比这更为复杂,主频既能往低频方向移动,也能往高频方向移动。储层含烃后无论表现为常规的衰减形式还是非常规的衰减形式,都表明含气区与不含气区的频谱差异是客观真实存在的,因而运用频谱属性进行烃类检测就是要探寻并表征这种差异。所以,对

于一个存在油气井、水井和干井的勘探开发区块,研究人员可采取分类统计的方法划分出含烃井与不含烃井(井数量多的条件下,可根据油气产量进行更细的划分),拾取它们射孔段上的瞬时振幅谱(点谱),以实际观察到的频谱差异作为烃类检测的依据,这样既保证了地层含烃后形成的特殊频谱差异,同时也融入了油气试采数据的约束,使得烃类检测的实际意义更为突出。

地震可检测分辨率^[25]认为地质体形成的地震波,其属性可以从其背景属性中鉴别出来时,对应的地质体就可以用地震的方法识别出,积分振幅属性、峰值振幅属性在烃类检测中也取得了较好的效果,因此,烃类检测就可推广到更为广阔的频谱属性的提取与使用上。频谱属性(时频属性)的综合使用一般通过 3 种方式来完成,属性融合^[26]、属性构建^[27]和属性交会等^[28]。属性融合是为了多方位显

示储层的特征,属性构建为了突出储层某一方面的特征,而属性交会能降低多解性,所以表征差异的多个频谱属性可采取属性交会的方式来完成含气性预测。在油气井、水井、干井数量较多的情况下,该技术就具有很好的地质统计学意义。

3 频谱差异烃类检测方法应用实例

鄂尔多斯盆地伊盟隆起东胜气田某三维区内有 22 口钻井(图 2a 和 2b),并均在下石盒子组盒 1 段进行了试气,其中探井 17 口,水平井 5 口。试气结果表明探井中存在 6 口(J76、J122、J74、J121、J16、J06)不含气井(图 2b),其余 11 口探井均不同程度的含气。因此,可将探井分为含气井和不含气井两大类,并把水平井作为验证井。然而,泊尔江海子断裂以南的地区,下伏煤层反射干扰了盒 1 段的储层反射^[27]。

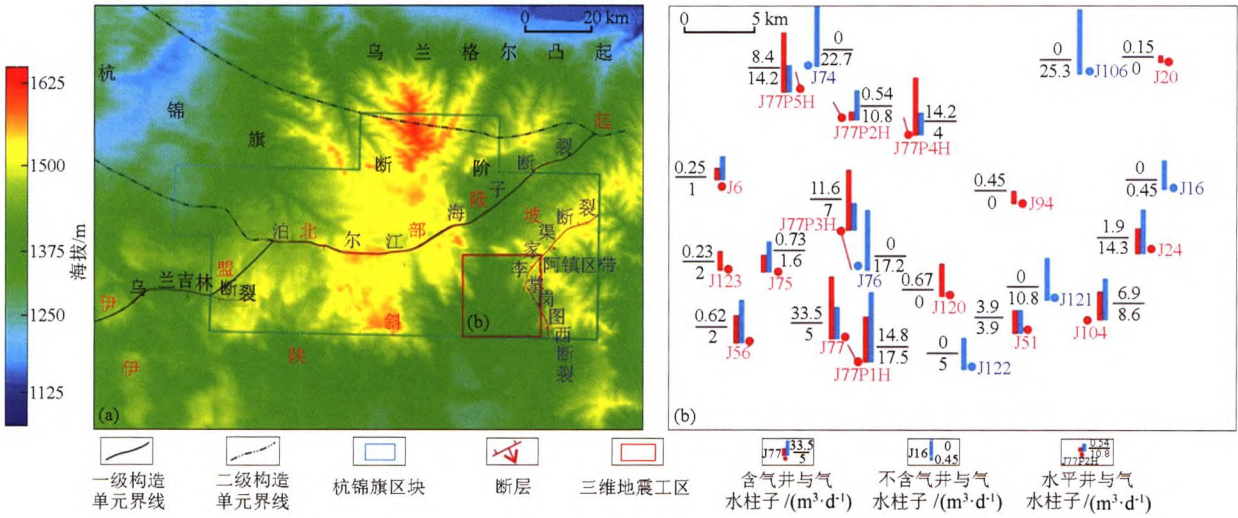


图 2 东胜气田三维区位置(a)和三维区内井位分布及盒 1 段气水柱状(b)图

Fig.2 The regional map of 3D seismic area in Dongsheng gas field(a) and the distribution of well locations and gas-water column diagram of the H1 member in 3D survey(b)

3.1 盒 1 段有效反射信息及频谱敏感属性分析

盒 1 段与下伏煤层的距离不超过 90 m(图 3)^[29],盒 1 段被标定在 T_0d 波峰向上 40 ms 的时窗内(图 4)。此次拟通过正演模型的对比分析来查明煤层对上覆盒 1 段反射的具体影响(图 5),正演模型是根据前人在该区对下伏煤层反射分叉与合并的研究替换而来。当盒 1 段之下不存在煤层时,盒 1 段含气层的地震响应较为明显,表现为波峰和波谷的强反射(图 5a)。当盒 1 段下伏区域存在煤层时,煤层反射会淹没含气层产生的强波峰反射,此时的波峰反射已不能见到含气与不含气造成的差异。值得注意的是,盒 1 段波谷反射还保留了一些含气层的异常地震响应(图 5b),如强波谷反射和波谷较宽

等,所以盒 1 段的真实信息集中在波谷反射上。

为了证实盒 1 段波谷属性在揭示储层信息方面的有效性,我们将盒 1 段的均方根振幅属性与最大波谷属性进行了平面上和井点上的对比(图 6a 和 6b)。盒 1 段的均方根振幅属性的分布样式与下伏煤系地层厚度的大小变化是趋于一致的,表明下伏煤层反射严重影响了盒 1 段的均方根属性,而最大波谷属性的展布特征不同于均方根属性的分布样式(图 6a 和 6b),这表明煤层反射对最大波谷属性的影响相对较小。井点处均方根振幅属性与最大波谷振幅属性的统计对比又进一步证明了上述的推断,对盒 1 段含气井位和不含气井位而言,它们的均方根振幅属性在数值上具有较大的重叠范围(图 7a)。

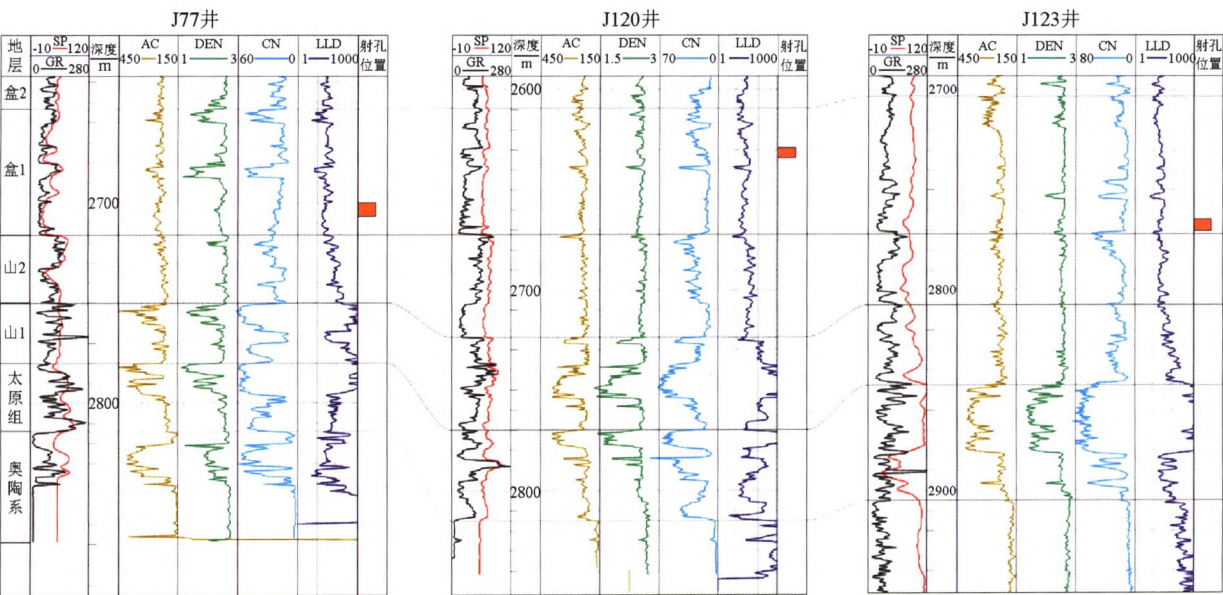


图 3 盒 1 段过 J77、J120、J123 井连井剖面及盒 1 段射孔位置

Fig.3 The well section profile of the H1 member, including well J77, well J120 and well J123, showing the location of the payzones of the H1 member

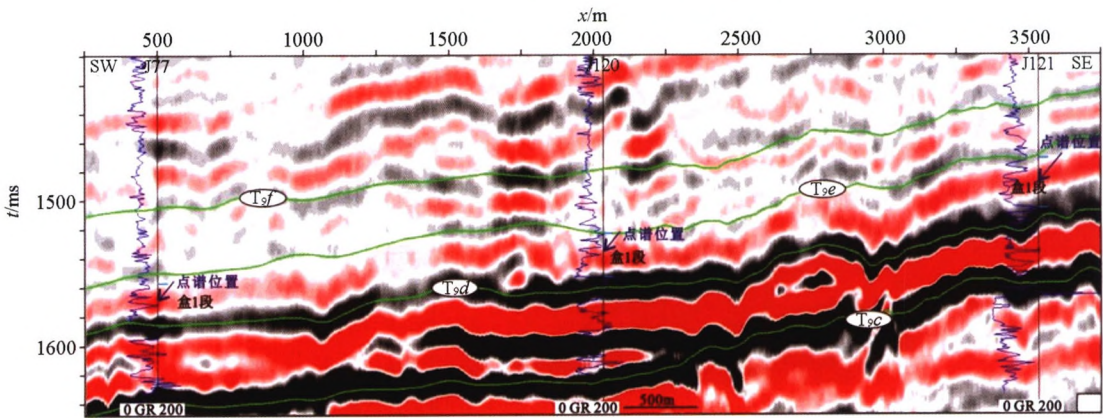


图 4 过 J77、J120、J121 井地震剖面与层位标定

Fig.4 The seismic section crossing well J77, well J120 and J121, marked with horizons

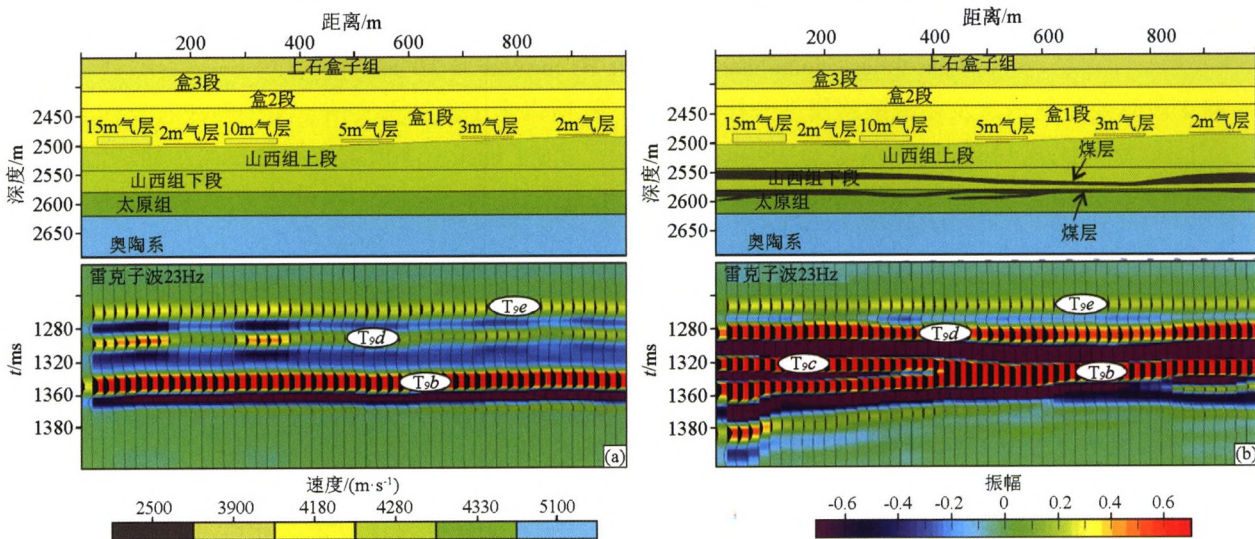


图 5 无煤层 (a) 和有煤层 (b) 情况下的正演模拟

Fig.5 Forward model with coal seams (a) and without coal seams (b)

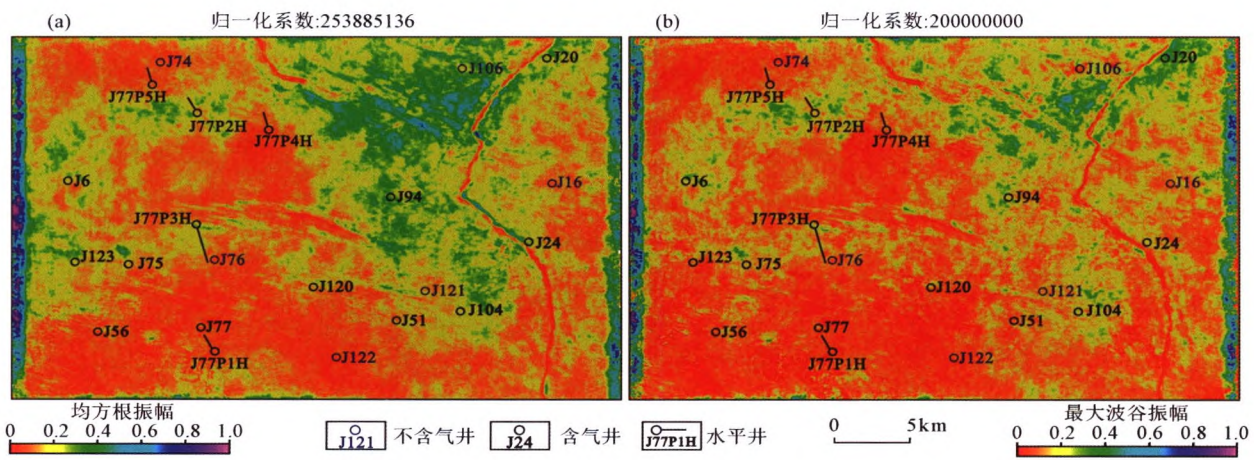


图 6 盒 1 段均方根振幅 (a) 和 T_9d 波峰之上波谷的最大绝对值振幅 (b)

Fig.6 The RMS of the H1 member (a) and the maximum absolute value amplitude of the trough above the T_9d peak (b)

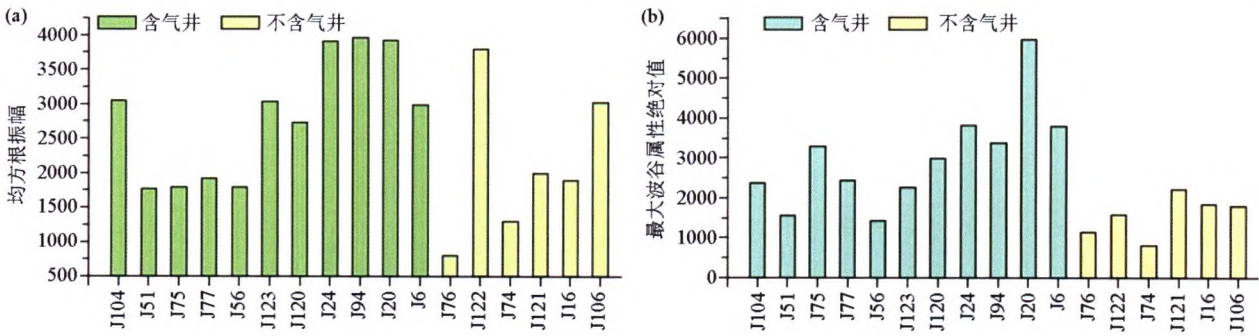


图 7 盒 1 段井点均方根振幅 (a) 和 T_9d 波峰之上最大波谷振幅 (b) 统计直方图

Fig.7 Histogram of the RMS attribute at the well location corresponding to the H1 member (a) and histogram of the maximum absolute value amplitude at the well location corresponding to the trough above the T_9d peak (b)

相反,含气井位处的最大波谷属性值比不含气井位处的最大波谷属性值要高出许多,二者的重叠范围较小(图 7b),数值上区分明显。综合上述的分析可知,盒 1 段的最大波谷属性比盒 1 段的均方根振幅属性更适用于含气检测。

3.2 盒 1 段频谱差异相关属性的优选

根据井上盒 1 段储层的空间分布位置和时间域与 T_9d 波组的关系,分别提取含气探井与不含气探井射孔段上的瞬时振幅谱和积分振幅谱(采用广义 S 变换)。从图 8a 可以看出,同不含气井相比,含气井的频带范围更宽,振幅值也相对较大。峰值振幅方面,除不含气井 J106 外,含气井普遍高于非含气井。同样地,在 10~25 Hz 区间段,含气井的振幅更强,超过 25 Hz 后,含气井与不含气井的频谱曲线混交织在一块,差异不明显(图 8b)。从图 8b 可以看出,10 Hz 以下,含气井与不含气井的积分振幅差异不明显。在 10~25 Hz 区间内,这两者之间的差异逐渐显现,含气井的积分振幅显著增大,不含气井中仅有 J56 和 J104 的积分振幅值高于含气井的积分振幅值,其余不含气井的积分振幅值均小于含气井

的积分振幅值。超过 25 Hz 后,含气井 J94 与 J51 就同不含气井的积分振幅属性值曲线发生交叉与重叠,甚至小于不含气井的积分振幅值(图 8b)。

为表征整个盒 1 段平面上的含气位置与不含气位置的频谱属性差异,提取出整个盒 1 段的频谱属性(T_9d -40 ms),分别提取了 10、15、20、25 Hz 的单频属性和积分振幅属性。低频梯度以 10 Hz 和 15 Hz 为控制点,计算该区间内的能量线性变化率。高频衰减梯度以占时窗总能量的 85% 处的能量值和频率值,以及占总时窗能量的 65% 处的能量值和频率值为控制点,计算这两点之间的斜率^[12]。对 4 种频谱属性的井位处数值进行了统计,以找出含气与不含气之间的属性差异(图 9,图 10 和图 11)。

通过对 5、10、15、25 Hz 的单频振幅属性和积分振幅属性进行优选,优选的依据是在含气井与不含气井的属性值重叠区间内,不含气井的个数要越少越好。含气井的属性值要具有向高值集中的趋势,以保证含气井与不含气井的属性值差异最大化。从预测期望上来看,希望含气井属性值和产气量都要大。因此,本次优选出了 10 Hz 单频振幅和 25 Hz 的

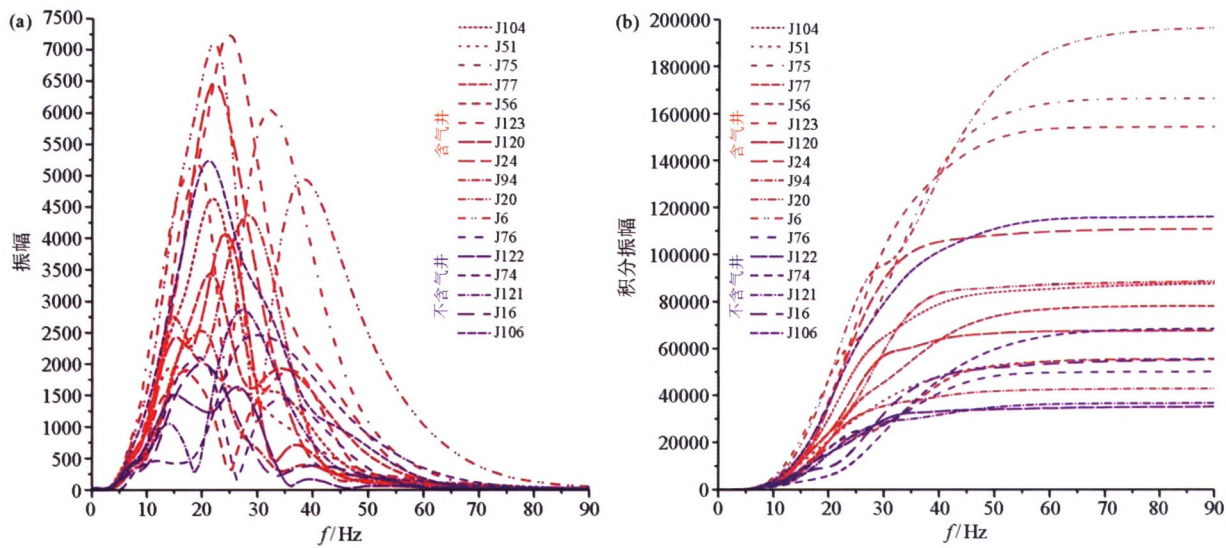


图 8 含气井与不含气井盒 1 射孔段的瞬时振幅谱图 (a) 和积分振幅谱图 (b)
Fig.8 Instantaneous amplitude spectrum (a) and integrated amplitude spectrum (b) of the H1 member corresponding to gas-bearing wells and non-gas-bearing wells

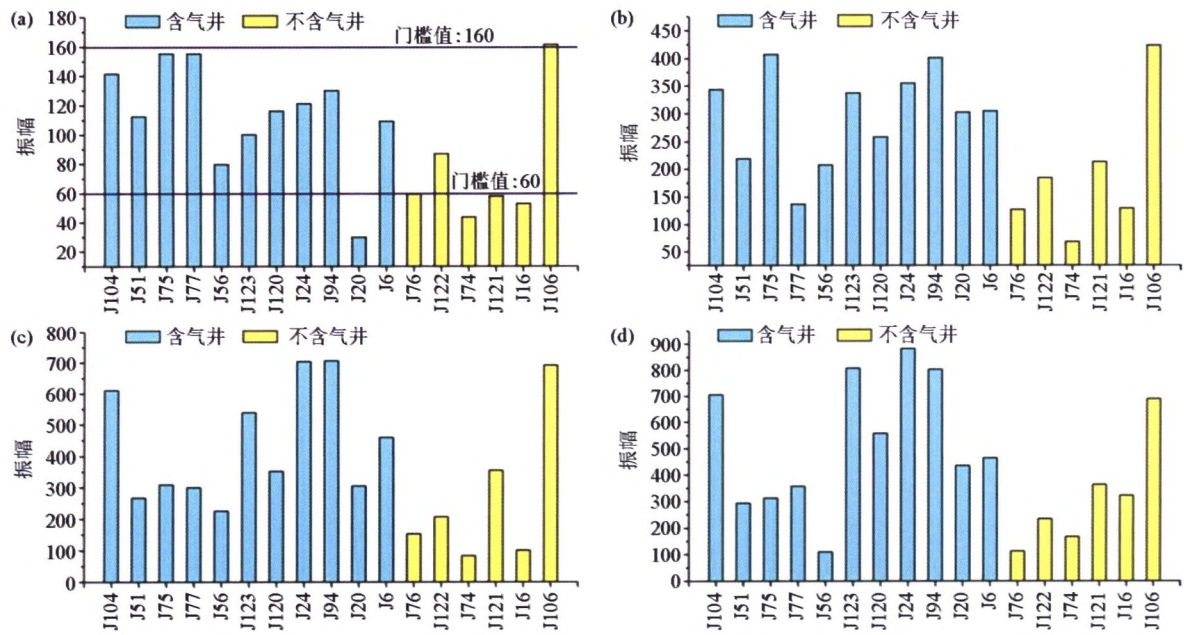


图 9 盒 1 段含气井与不含气井井位处 10 Hz(a)、15 Hz(b)、20 Hz(c)、25 Hz(d) 单频振幅属性值直方图
Fig.9 Histogram of the isolated amplitude at the well locations of the H1 member, corresponding to 10 Hz (a), 15 Hz (b), 20 Hz (c), 25 Hz (d), respectively

积分振幅作为表征频谱差异的最佳属性。

3.3 频谱属性与最大波谷振幅属性的对比

在受煤层反射干扰下,前面的研究可知,最大波谷振幅属性反映储层信息比均方根振幅属性更为有效。通过研究区频谱属性之间的优选表明,10 Hz 振幅属性、25 Hz 积分振幅属性、低频和高频衰减梯度属性在区分含气井与不含气井方面也较为有效。根据优选的对比结果来看,尽管最大波谷振幅属性和

频谱属性在区分含气井与不含气井方面均有一定的重叠范围,但频谱属性重叠范围内的不含气井的个数较少,仅 2 口(图 9a,图 10d,图 11a 和图 11b),最大波谷振幅属性重叠范围内不含气井的个数较多,高达 4 口(图 7b)。因此,时频属性比受煤系反射影响较弱的最大波谷振幅属性在烃类检测效果方面效果更好。

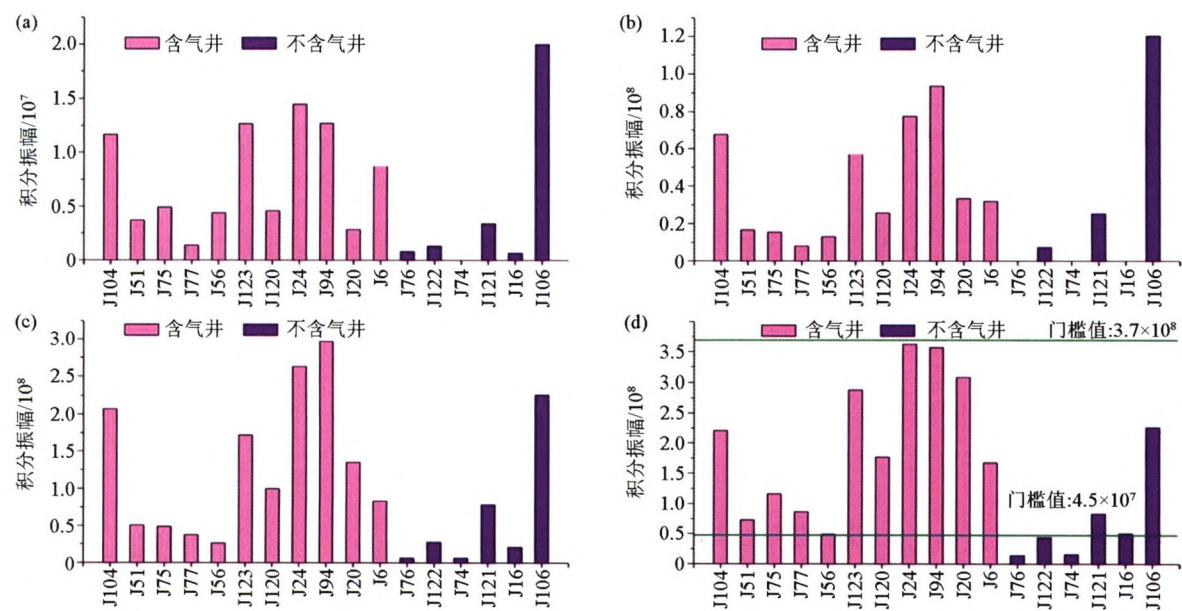


图 10 盒 1 段含气井与不含气井井位处 10 Hz (a)、15 Hz (b)、20 Hz (c)、25 Hz (d) 积分振幅属性直方图
Fig.10 Histogram of the integrated amplitude at the well locations of the H1 member, corresponding to 10 Hz (a), 15 Hz (b), 20 Hz (c), 25 Hz (d), respectively

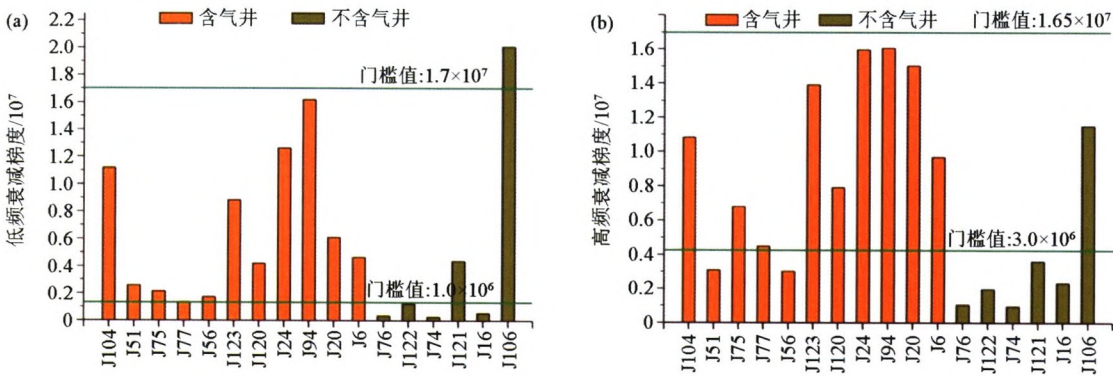


图 11 盒 1 段含气井与不含气井井位处低频衰减梯度直方图 (a) 与高频衰减梯度属性直方图 (b)
Fig.11 Histogram of the low frequency attenuated gradient (a) and high frequency attenuated gradient (b) at the well locations of the H1 member

3.4 盒 1 段频谱差异区的平面表征

按照上述优选出来的属性,合理设立属性阈值,以此来量化含气井与不含气井的差异。针对盒一段的频谱差异进行阈值值的确定和最终的交会分析。井点处 10 Hz 的振幅属性统计直方图上可见 J20 井比其他不含气井的振幅值要小很多,且其产气量仅有 $0.145\times10^3\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$,远小于其他含气井的产量(图 2b)。因此,在确定 10 Hz 振幅属性阈值时,若将阈值值的下限设定在 30 以下包括 J20 井,则包含了许多不含气井,故将 J20 井视为不含气井,以便减少阈值范围内不含气井的个数。因而将 10 Hz 振幅中区分含气井与不含气井的阈值区间设定在 60~160(图 9a),此阈值范围内仅有 1 口不含气井(J122)。同样地,25 Hz 积分振幅中区分含气井与不含气井的阈值区间设定在 $4.5\times10^7\sim$

3.7×10^8 (图 10d),该范围内存在 3 口不含气井(J121、J16 和 J106);低频梯度属性中区分含气井与不含气井的阈值区间设定在 $1.0\times10^6\sim1.7\times10^7$ (图 11a),在这范围内仅存在 1 口不含气井(J121);高频梯度属性中区分含气井与不含气井的阈值区间设定在 $3.0\times10^6\sim1.65\times10^7$ (图 11b),该区间内存在 2 口不含气井(J121 和 J106)。把这些介于阈值区间内的频谱属性进行交会(图 12),就可得到阈值区间内的交会属性分布图(图 13)。图 13 为下石盒子组盒 1 段气水柱子与频谱差异交会分析平面叠合图,白色区为不含气区,彩色区为阈值范围内的地震含烃区域。从图 13 分析,J77P1H 井不在本次交会出的区域中,J77P2H、J77P3H、J77P4H、J77P5H 井均落在了交会区域,这表明,该研究方法和思路具有一定的可靠性。

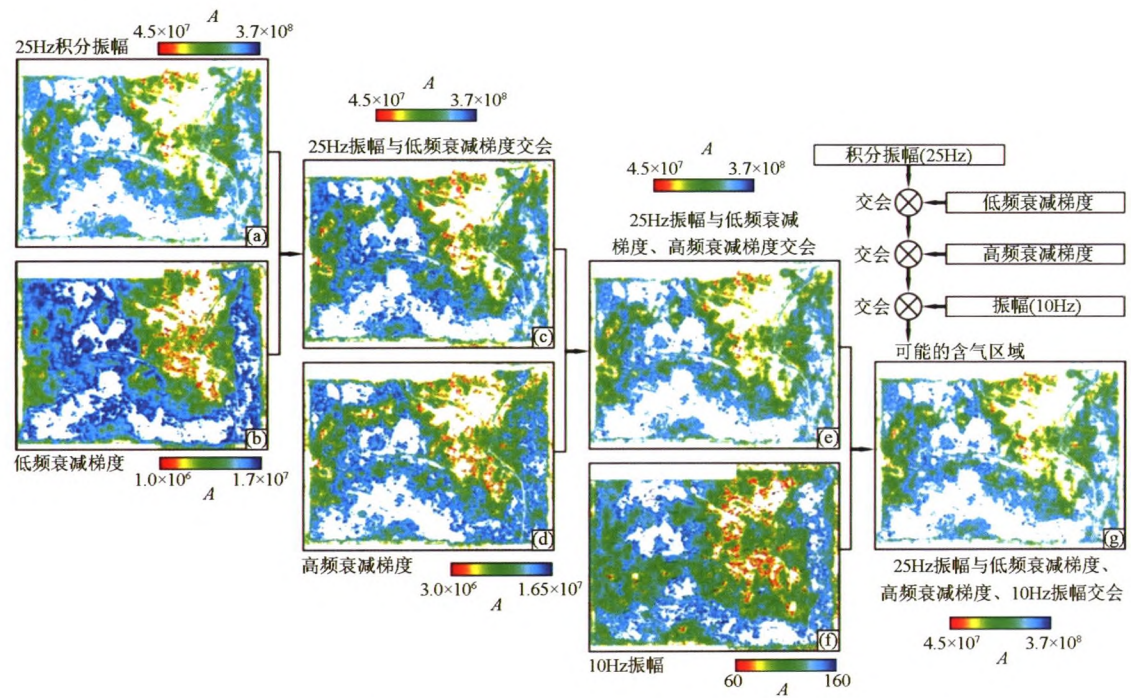


图 12 阈值内 25 Hz 积分振幅、低频衰减梯度、高频衰减梯度和 10 Hz 的单频振幅属性交会流程

Fig.12 The crossplotting flow diagram of the attributes within the threshold value, including integrated amplitude of 25 Hz, the low frequency attenuated gradient attribute, the high frequency attenuated attributed and the 10 Hz isolated amplitude

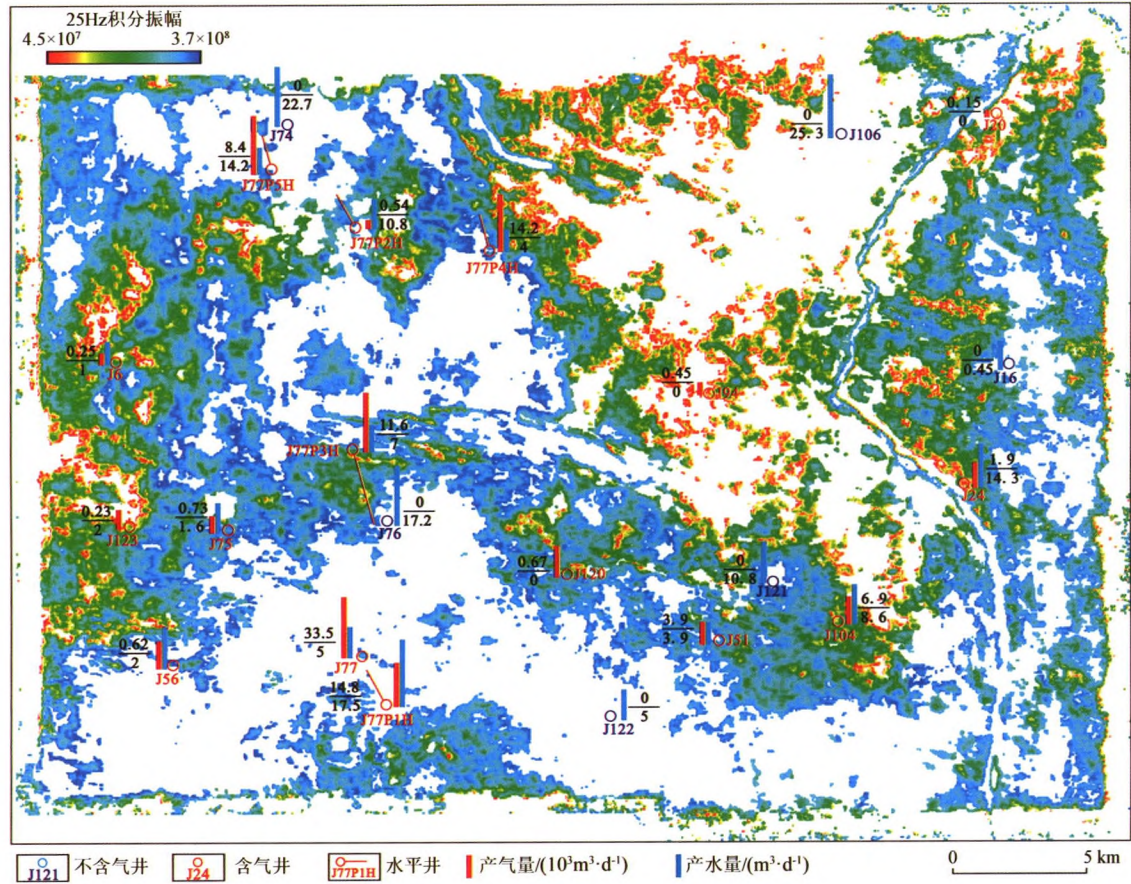


图 13 盒 1 段气水柱子与频谱差异交会分析平面叠合图

Fig.13 The superimposed map of the gas-water column of the H1 member and spectral difference area, white area indicating the non-gas-bearing area while colorful area indicating the potential gas-bearing area revealed by seismic data

4 结论

直接使用衰减面积、衰减梯度、谱比属性等方法进行烃类检测具有一定的风险且缺乏实际油气试采数据的约束。在有油气试采数据的前提下, 针对已知井的射孔段, 分析频谱特征差异与含油气性的关系, 建立含油气性识别预测模式。在井少的情况下可作为参考依据, 井多的条件下则更具有地质统计意义。

1) 鄂尔多斯盆地东胜气田下石盒子组盒 1 段受下伏煤系反射影响严重, 盒 1 段地震烃类检测研究表明, 在有无煤层正演模型和井点属性值的统计分析认为, 最大波谷振幅属性受煤系地层地震反射影响弱, 比盒 1 段均方根振幅属性更有效, 但不如优选出来的盒 1 段频谱属性更能反映含油气的特征。

2) 鄂尔多斯盆地东胜气田下石盒子组盒 1 段区分含气井与不含气井的优势频谱属性为 10 Hz 单频振幅、25 Hz 积分振幅、低频和高频衰减梯度属性。由这 4 种所选门槛值范围之内的频谱属性交会出该区盒一段地层潜在含气分布范围, 其中, 在 5 口水平井中有 4 口水平井落在了交会的含气区域, 表明检测结果具有一定的可信度。

3) 对储集层或目的层从采用频谱聚类的方法, 如使用无监督频谱聚类, 对比已知井的关系来检测油气, 也可利用已知井点建立样本, 开展有监督频谱聚类以检测烃类分布。

参考文献 (References):

- [1] Fatti J L, Smith G C, Vail P J, et al. Detection of gas in sandstone reservoirs using AVO analysis: A 3-D seismic case history using the Geostack technique [J]. *Geophysics*, 1994, 59(9): 1362 - 1376.
- [2] White R S. Seismic bright spots in the Gulf of Oman [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1977, 37(1): 29 - 37.
- [3] Odebeatu E, Zhang J, Chapman M, et al. Application of spectral decomposition to detection of dispersion anomalies associated with gas saturation [J]. *The Leading Edge*, 2006, 25(2): 206 - 210.
- [4] Båth, Markus. *Spectral analysis in geophysics* [M]. New York: Elsevier, 1974.
- [5] Al-Sadi H N. Dependence of the P-wave amplitude spectrum on focal depth [J]. *Pure and Applied Geophysics*, 1973, 104(1): 439 - 452.
- [6] Partyka G, Gridley J, Lopez J. Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization [J]. *The Leading Edge*, 1999, 18(3): 353 - 360.
- [7] Marfurt K J, Kirlin R L. Narrow-band spectral analysis and thin-bed tuning [J]. *Geophysics*, 2001, 66(4): 1274 - 1283.
- [8] Valle-García R D, Ramírez-Cruz L. Spectral attributes for attenuation analysis in a fractured carbonate reservoir [J]. *The Leading Edge*, 2002, 21(10): 1038 - 1041.
- [9] Burnett M D, Castagna J P, Méndez-Hernández E, et al. Application of spectral decomposition to gas basins in Mexico [J]. *The Leading Edge*, 2003, 22(11): 1130 - 1134.
- [10] Castagna J P, Sun S, Siegfried R W. Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons [J]. *The Leading Edge*, 2003, 22(2): 120 - 127.
- [11] 刁瑞, 李振春, 韩文功, 等. 基于广义 S 变换的吸收衰减分析技术在油气识别中的应用 [J]. *石油物探*, 2011, 50(3): 260 - 265.
- [12] Mitchell J T, Derzhi N, Lichman E, et al. Energy absorption analysis: A case study [C]//SEG Technical Program Expanded Abstracts 1996, 1996: 1785 - 1788.
- [13] 赵力民, 彭苏萍, 康洪全, 等. 利用地震频谱比进行河道砂体预测 [J]. *中国石油勘探*, 2003, 8(4): 60 - 62.
- [14] Zhao L M, Peng S P, Kang H Q, et al. Application of seismic ratio method to predict channel sandbody [J]. *China Petroleum Exploration*, 2003, 8(4): 60 - 62.
- [15] 边树涛, 董艳蕾, 郑浚茂. 地震波频谱衰减检测天然气技术应用研究 [J]. *石油地球物理勘探*, 2007, 42(3): 296 - 300.
- [16] Bian S T, Dong Y L, Zhen J M. Study on application of seismic frequency spectrum attenuation to detect natural gas [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2007, 42(3): 296 - 300.
- [17] Goloshubin G M, Korneev V A. Seismic low - frequency effects from fluid - saturated reservoir [C]//SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2000: 1671 - 1674.
- [18] Wu X Y, Liu T Y. Seismic spectral decomposition and analysis based on Wigner-Ville distribution for sandstone reservoir characterization in West Sichuan depression [J]. *Journal of Geophysics and Engineering*, 2010, 7(2): 126 - 134.
- [19] Li Y, Zheng X, Zhang Y. High-frequency anomalies in carbonate reservoir characterization using spectral decomposition [J]. *Geophysics*, 2011, 76(3): V47 - V57.
- [20] 郭见乐, 唐文榜, 李宗杰, 等. 薄储层 (体) 含油气性识别的 HFC 技术及其应用研究 [J]. *石油物探*, 2013, 52(1): 79 - 88.
- [21] Guo J L, Tang W B, Li Z J, et al. The harmonic frequencies characteristics (HFC) analysis for identifying and predicting hydrocarbon in thin reservoir strata (bodies) [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2013, 52(1): 79 - 88.
- [22] 李宗杰, 刘群, 李海英, 等. 塔河油田缝洞储集体油水识别的谱频特征分析技术应用研究 [J]. *石油物探*, 2013, 53(4): 484 - 490.
- [23] Li Z J, Liu Q, Li H Y, et al. Application of HFC technique for hydrocarbon identification in fracture-cave reservoirs of Lower-Ordovician carbonate in Tahe Oilfield [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2013, 53(4): 484 - 490.
- [24] 张在金, 张军华, 张宏, 等. 基于时变子波谱模拟的面积差值法吸收衰减属性研究与应用 [C]//SPG/SEG 北京 2016 国际地球物理会议, 2016: 115 - 118.

- Zhang Z J, Zhang J H, Zhang H, et al. The research and application of absorption attenuation attribute of area difference method based on time-varying wavelet spectrum simulation property [C]//SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2016: 115 - 118.
- [21] 邓继新, Dehua Han, 王尚旭. 基于正演模型的储层谱分解响应特征分析[J]. 石油学报, 2008, 29(4): 539 - 543.
- Deng J X, Han D H, Wang S X. Analysis on spectral decomposition response of reservoir based on forward modeling[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(4): 539 - 543.
- [22] 代双和, 于京波, 袁云超, 等. 利用频谱积分属性评价碳酸盐岩储层[J]. 石油地球物理勘探, 2011, 46(s1): 121 - 127.
- Dai S H, Yu J B, Yuan Y C, et al. Evaluation of carbonate reservoirs by frequency spectrum integration attributes[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2011, 46(s1): 121 - 127.
- [23] 李宏伟, 王九拴, 邵林海, 等. 油气检测技术在三湖浅层生物气勘探中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(5): 770 - 775.
- Li H W, Wang J S, Shao L H, et al. Hydrocarbon detection in biogas exploration in Sanhu Shallow [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2013, 48(5): 770 - 775.
- [24] 徐秋枫, 陈建文, 姚泉, 等. 频谱分解技术在泥页岩储层含气性预测中的应用——以柴达木盆地鱼卡凹陷为例[J]. 地质通报, 2016, 35(2-3): 348 - 355.
- Xu Q F, Chen J W, Yao Q, et al. Application of spectral decomposition technology to the shale reservoir prediction: A case study of Yuqia sag in Qaidam Basin [J]. Geological Bulletin of China, 2016, 35(2/3): 348 - 355.
- [25] 唐文榜, 刘来祥, 樊佳方, 等. 地震可检测性分辨率研究[J]. 石油物探, 2012, 51(2): 107 - 118.
- Tang W B, Liu L X, Fan J F, et al. Research on seismic detectable resolution [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2012, 51(2): 107 - 118.
- [26] Zeng H. Thickness imaging for high-resolution stratigraphic interpretation by linear combination and color blending of multiple-frequency panels [J]. Interpretation, 2017, 5(3): T411 - T422.
- [27] Krehbiel S C. Trivariate attribute displays [J]. The Leading Edge, 1999, 18(11): 1248 - 1257.
- [28] Ren H, Goloshubin G. Spectra crossplot [C]//SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2007, 26(1): 1562 - 156.
- [29] Wu X C, Pu R H, Wang D H, et al. Three-dimensional seismic analysis of Late Paleozoic coal-bearing series reflections in the Hangjinqi, North Ordos Basin, China [J]. Interpretation, 2019, 7(1): T67 - T82.

A new method of spectrum difference hydrocarbon detection and its application to the Dongsheng gas field

WANG Dong-Hui¹, WU Xiao-Chuan²

(1. SINOPEC North China Company, Exploration and Development Research Institute, Zhengzhou 450006, China; 2. CAS Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

Abstract: The crucial precondition of using spectral attributes to conduct hydrocarbon detection is to investigate the spectral differences between gas-bearing and none-gas bearing area. In order to determine the spectrum difference between hydrocarbon bearing and none-hydrocarbon bearing areas intuitively and incorporate the constraints of oil and gas production testing data, this paper proposes a hydrocarbon detection technology based on spectrum difference, which divides known wells into hydrocarbon-bearing wells and non-hydrocarbon bearing wells according to the actual oil and gas production testing data and research needs. By comparing the instantaneous amplitude spectral of pay zones of classified objects, researchers can recognize spectral differences related to hydrocarbons and use the intersection of multiple spectrum attributes to characterize the differences so as to obtain the seismic hydrocarbon-bearing areas that could be identified. The maximum trough amplitude was determined as the relative advantage attribute to recognize the reservoir information of the H1 member according to the forward modeling contrast between presence and absence of underlying coal seams. More in-depth analysis shows that the spectrum difference can better forecast hydrocarbon-bearing and hydrocarbon-absent zones than the maximum trough amplitude. The differences of spectral attributes between hydrocarbon-bearing areas and non-hydrocarbon bearing areas was quantified by setting attributed threshold value, and the spectral attributes in individual thresholds of the four spectral attributes were crossplotted to identify the potential hydrocarbon bearing areas. The hydrocarbon dictation results are supported by horizontal wells, which indicates the method is reliable.

Key words: spectrum differences; spectral attribute; attribute crossplots; hydrocarbon detection

(本文编辑:叶佩)