

马佳国,王建立,周建科,等. 利用分频 RGB 融合技术预测储层含油气性的可行性及应用效果[J].海洋地质前沿,2020,36(6):64-68.

利用分频 RGB 融合技术预测储层含油气性的可行性及应用效果

马佳国,王建立,周建科,刘 垒

(中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津 300452)

摘 要:地震分频技术广泛应用于厚储层研究,砂体边界刻画等领域。分频 RGB 融合切片技术是一种比较成熟,应用较广的技术。笔者在应用该技术做储层研究过程中,发现该属性对储层含油气具有较好的指示作用,并在开发实践中,对属性显示油气异常区布置调整井,取得较好的油气发现,增强该属性应用于油气检测的信心。地震资料的反射信号与储层含油气性间有诸多未解决的问题,不同学者提出过诸多理论致力于地震资料的直接烃检工作。笔者从波动方程推导出含油气储层高频能量衰减加快,因此可以利用分频振幅能量的差异性来放大油气异常信息。设计正演模型论证储层充填油、气、水时振幅能量差异性以及不同频率下不同流体储层的振幅能量差异,证实含油、气、水层在不同频率下能量特征存在差异,砂体厚度在 $\lambda/8 \sim \lambda/4$ 波长区间段,含油气储层的低频增强,高频衰减特征较为明显。基于此结论,利用低、中、高频体进行 RGB 融合,结合实钻井的油气信息可以预测含油气潜力区。利用该思路在实际油田生产中,设计 1 口评价井并取得 100 万 m^3 储量的突破。

关键词:油气预测;RGB 融合;分频技术

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.091

0 引言

利用地震资料直接进行油气预测一直是地球物理学的热点研究课题,20 世纪 70 年代提出的“亮点”技术系列方法,如泊松阻抗、AVO 技术、LMR 技术等^[1-3],90 年代基于含油气储层高频衰减、低频增强的现象,提出衰减分析法(EEA 技术)^[4]。本世纪初有学者提出利用频散属性进行油气检测,并取得一些成果^[5]。近年来王波等^[6]提出油气敏感频率段极值能量和因子方法,利用

含油气层段的能量累加效应放大含油气储层异常,并在渤海油田勘探开发中取得实际应用效果。这些方法都是利用储层含油气后引起异常信号,通过各种技术方法检测或放大这种异常信号,达到预测储层含油气性的目的。在该思路的指导下,笔者从波动方程出发推导出地震波吸收衰减系数与频率、岩石密度、流体粘度、地震波速的关系式,并认为该关系式很好的表达了地震频率与储层含油气性之间的联系,同时设计正演模型论证不同频率地震反射强度与油气是存在相关性的。以此为理论基础,对地震资料进行分频 RGB 融合,以突出油气异常信息。

1 振幅与油气的关系

从宏观角度,地震波的反射强度与储层含油

收稿日期:2019-04-12

资助项目:中海石油(中国)有限公司综合科研项目“渤海双高油田挖潜关键技术研究”(YXKY-2018-TJ-04)

作者简介:马佳国(1985—),男,硕士,高级工程师,主要从事地震储层刻画、烃检等方面的研究工作.E-mail:majg2@cnooc.com.cn

与含水的差异非常微小。从微观角度,地震波穿过地下介质过程中,与介质本身及所含流体发生作用,使地震波的能量发生显著衰减现象,这种现象的机理可以用介质热效应来解释。

即地震波穿过弹性介质时,发生反射、折射引起介质震动,都需要克服介质间摩擦力做功,从而引起传播能量发生衰减。由于地下储层压实程度、孔隙结构不同,其密度、速度均不相同,因此地震波在不同深度或不同类型的储层其衰减程度也存在差异。对于同一套目的储层而言,其沉积环境基本一致,沉积后所接受的压实和地质运动改造程度也基本一致,因此介质本身的骨架密度、孔隙度基本一致,因此,导致地震波衰减程度不同的主要原因是孔隙流体密度和黏滞系数。因此可以从地层黏弹性质出发,研究振幅强度与流体性质的关系。在黏弹性介质中,地震波场 P 满足波动方程:

$$\left[1 + \frac{4\eta}{3\rho v^2} \frac{\partial^2 P}{\partial z^2}\right] \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \quad (1)$$

式中: η 为黏滞系数;

ρ 、 v 分别为介质密度和速度。

该方程的解为:

$$P = P_0 e^{-ax} e^{i\omega\left(\frac{x}{v} - t\right) - ax} \quad (2)$$

式中: P_0 为初始振幅;

a 为吸收系数。

当地震波频率较低时,吸收系数 a 有如下关系:

$$\alpha \approx \frac{2\eta}{3\rho v^2} \omega^2 \quad (3)$$

从(3)式中看到, α 与频率的二次方 ω^2 成正比,即频率越高,衰减越大。同时 α 与 η 成正比,与 ρv^2 成反比。储层含油气后其速度、密度均会下降,其黏弹系数增加,因此反射振幅能量衰强度比含水储层大。

2 正演论证过程

为验证储层含油气后振幅能量衰减更强,设计 0~60 m 的楔形模型(如图 1),分别填充油、气、水 3 种流体,统计其在不同频率下上界面反射值的变化规律。

表 1 岩石物理参数

Table 1 Petrophysical parameters

	泥岩	含水砂岩	含油砂岩	含气砂岩	地面原油	地面气
速度/(m/s)	2 500	2 200	2 100	2 000	—	—
密度/(g/cm ³)	2.488	2.246	2.236	2.225	0.943	0.908

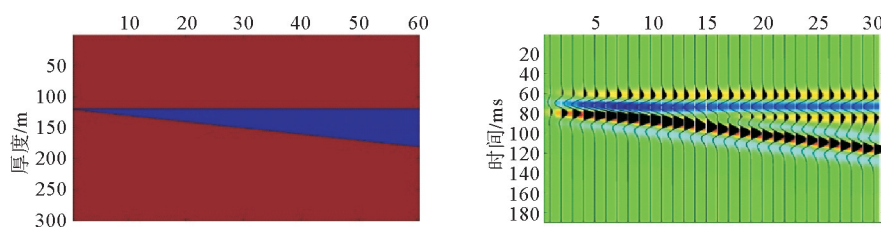


图 1 正演模型

Fig.1 Forward model

在正演模型中针对不同的流体储层,改变密度、速度等参数并统计反射轴上界面振幅最大值,得到含油、气、水储层振幅值随储层厚度变化关系(图 2)。总体趋势是含气储层振幅值大于含油储层的振幅值,含水储层振幅值最小,且储层含油气后,主频有向低频端移动的趋势。储层厚度在

0~ $\lambda/4$ 波长区间,振幅值与储层厚度呈正线性相关,而在 $\lambda/4 \sim \lambda/2$ 波长区间,振幅值与储层厚度呈负线性相关,在 $\lambda/2$ 之后,振幅值呈基本不变状态,这个规律也是“亮点”检测的基础。图 3 是模型分别充填油、气、水,且 20、35、60 Hz 下的反射值随厚度的变化规律。总体看 35 Hz 时振幅值最

大,60 Hz时振幅值最小,且均存在储层在 $\lambda/4$ 波长段内增大, $\lambda/4 \sim \lambda/2$ 波长段内下降,厚度大于 $\lambda/2$ 波长时,反射值趋于平稳。在20 Hz及35 Hz时,含油、气、水层振幅能量相对关系一致,即气层反射值大于油层反射值,水层反射值最小。在60 Hz下,气层反射值最小,水层反射值最大。以上正演模型得到以下结论:①反射值与储层厚度相关;②相同厚度、相同频率条件下,不同流体性影响反射值大小;③含油气储层存在低频能量增强,高频能量吸收衰减。

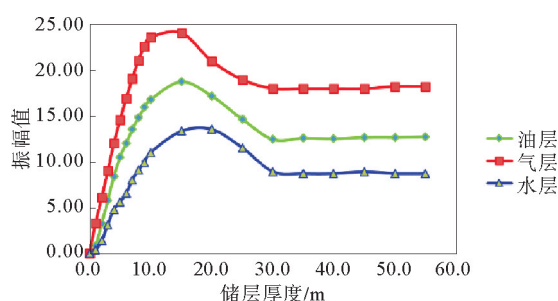


图2 油、气、水储层振幅-厚度关系图

Fig.2 Amplitude-thickness relationship of oil, gas and water reservoirs

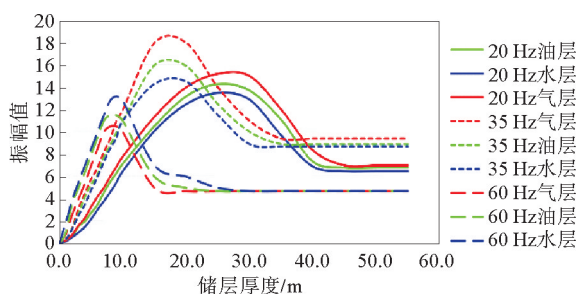


图3 含油储层与含水储层振幅能量图

Fig.3 Amplitude energy diagram of oil-bearing reservoir and water-bearing reservoir

3 RGB融合技术

RGB分频融合显示技术是建立在时频分析基础上的地层属性切片显示方法,由于平面属性图具备丰富的颜色信息,与常规属性相比具有明显优势。比如对河道叠置期次、沉积体边界、砂体内部局部连通性较单一属性具有更好的可视化效果,研究精度更高,因此RGB分频融合技术在油

田实际开发中应用较多。

3.1 分频技术

频谱分解技术是利用数学变换将地震信号从时间域转换到频率域,在频率域内对储层精细研究避免全频带数据对厚储层或薄储层的反射假象,对特定厚度储层采用相适应的调谐频率使储层刻画更准确^[7]。广义S变换以时间和频率为变量,建立一个联合函数来描述信号,能同时提高时间分辨率和频率分辨率,表达式为:

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \left\{ \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{f^2 (\tau - t)^2}{2} \right] \exp(-2\pi i f t) \right\} dt \quad (4)$$

式中: $h(t)$ 为地震信号;

f 为频率;

τ 为时窗函数的中心点。

对地震数据体进行频谱分解得到的单一离散频率体,根据地震波长与频率的关系式可以推导出不同调谐频率体对应的理论波长,即可得推导出对应的储层厚度。结合研究目标储层厚度,优选出合适的频率体或频率体组合进行研究。

3.2 RGB融合技术

RGB分频混色技术是指首先对地震数据提取不同频率的属性体,然后将其中3个属性体生成切片进行RGB混色显示,利用融合属性丰富的颜色信息突出对边界信息和异常信息的刻画。在对油气潜力区预测时,在兼顾砂体厚度范围的同时选取有效的低、中、高频率数据体进行切片融合显示^[8]。

具体实现步骤可以分为以下3步:①将选出低、中、高频数据体切片以能量强度均分成256个等级;②将三原色(红、绿、蓝)三基色划分成256个色调;③3个频率切片根据能量强度匹配相应的基色,融合得到彩色属性图。融合算法的数学模型为 $\{(R, G, B) | 0 \leq R \leq 255, 0 \leq G \leq 255, 0 \leq B \leq 255\}$ 共能定义出 $256 \times 256 \times 256 = 16\,777\,216$ 种颜色^[8]。将每一个数据体的值域范围分成256个等级,分别对应于256个基色,3个数据体分别赋予红、绿、蓝三元色对应的256个基色,通过融

合切片上颜色及亮度反应储层及流体信息。结合已钻井的流体信息及在融合属性平面颜色,即可根据颜色对无井区的储层含油气性进行预测。

4 油田应用效果

渤海 C 油田明上段 S 砂体为油田主力砂体,砂体为多条河道交织沉积,储层厚度为 5~15 m,构造幅度 30 m,典型低幅度低油柱边水油藏。目前生产井 15 口,分为纯油区天然能量开采和边水区注水开采。砂体生产 10 年,边水推进严重,水淹不同程度提高,生产井含水上升率不断上升,为了砂体稳产,寻找砂体内的剩余油富集“甜点”区成为重要挖潜方向。本次通过分频 RGB 融合方法对砂体进行研究。

砂体埋深较浅,垂向深度在 1 000 m 以内,地震反射轴成像清晰,砂体厚度在 $\lambda/4$ 地震波长区间,其振幅能量强度与砂体厚度呈正相关性,因此可以采用分频 RGB 的方法进行含油气性预测。应用频谱分解方法将地震数据体离散成单一频率体,根据地震波速与砂体厚度的关系,选取低(15 Hz)、中(35 Hz)、高(60 Hz)3 个单频体进行 RGB 融合,得到彩色融合属性(图 4)。图中白色圈为油田主体区,其中,A、D、E、F 初期状态为纯油区,B 井区含薄底水,C 井区为强底水(图 5)。从融合属性图上看,纯油区以黄色,红色、天蓝色为主;弱底水区为浅紫色,强底水区为蓝紫色。属性图展示的含油性与实钻井含油性一致,因此认为该属

性可以用于油气预测。从图中看到平台北部绿色圈内有一条河道沉积砂,其颜色与主体区纯油区颜色一致,含油可能性极大。由于其离平台较远,早期认为风险较大,评价成本高,评价工作一度搁浅。本次研究结论认为极可能为纯油层,初步估算储量在 100 万 m^3 以上,给评价工作带来极大信心,部署 M 井,获得 7 m 纯油层,证实该属性在油气预测上的可行性。

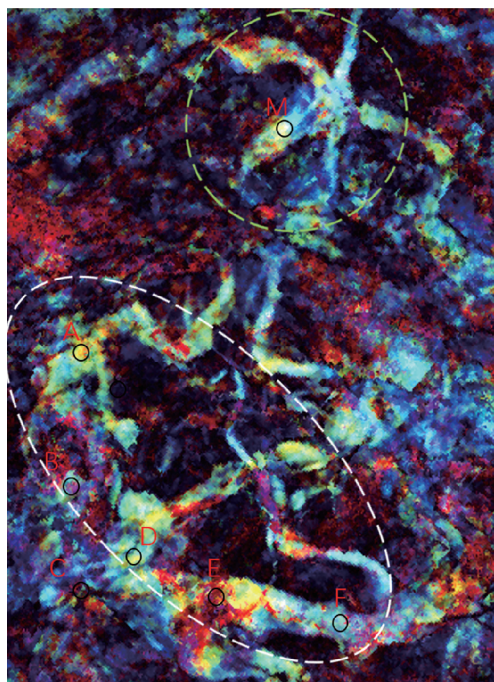


图 4 分频 RGB 融合属性

Fig.4 Fusion attributes of frequency divided RGB

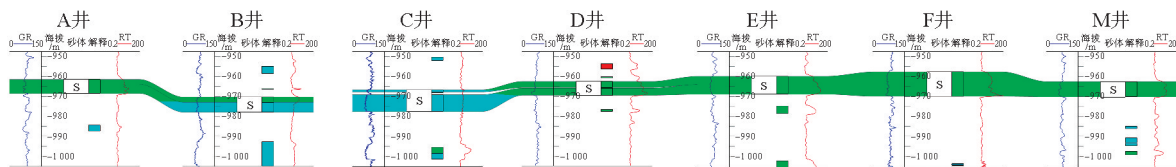


图 5 连井剖面

Fig.5 Well profiles correlation

5 结论

(1) 本文从地震波动方程推导出储层含油气后其高频端能量吸收作用加强,并利用正演模型论证储层内含不同流体后振幅强度的变化关系,

得出储层厚度在 $\lambda/4$ 波长段内,不同流体的振幅强度与流体性质具有相关性。

(2) 利用分频 RGB 融合属性在实际油田应用中,油气异常区与实钻井吻合较好,并成功预测含油气潜力区,指导评价井部署,取得较好效果。

(3) 该方法应用效果好,在类似地质条件的油

田中可以推广使用。利用该方法指示油气的前提是储层厚度在地震波长 $\lambda/4$ 内,且钻井证实砂体与预测砂体厚度相当,且同一沉积期次同一岩性砂体。

参考文献:

- [1] Ostander W J. Plane wave reflection coefficients for gas sands at nonnormal angles of incidence[C]//Expanded Abstracts of the 52nd Annual SEG Meeting, Society of Exploration Geophysicists, 1982.
- [2] Rutherford S R, Williams R H. Amplitude-versus-offset in gas sands[J]. Geophysics, 1989, 54: 680-688.
- [3] Castagna J P, Swan H W, Foster D J. Framework for AVO gradient and intercept interpretation [J]. Geophysicists, 1998, 63: 948-956.
- [4] Shuey R. A simplification of the Zoeppritz equations [J]. Geophysics, 1985, 50(4): 609-614.
- [5] Quakenbush M, Shang B, Tuttle C. Poisson impedance [J]. The Leading Edge, 2006, 25(2): 128-138.
- [6] 王波, 夏同星, 明君, 等. 油气敏感频率段极值能量和因子及在渤海油田油气检测中的应用 [J]. 物探与化探, 2008, 42(5): 1026-1032.
- [7] 张海义, 马佳国, 蒋志恒, 等. 频谱分解技术在储层刻画及流体识别中的应用 [J]. 复杂油气藏, 2017, 10(1): 111-114.
- [8] 陈珊, 于兴河, 刘力辉, 等. 基于匹配追踪的 RGB 融合技术及其在河道刻画中的应用 [J]. 地球学报, 2015, 36(1): 1-3.

PREDICTION OF OIL AND GAS POTENTIAL USING FREQUENCY DIVISION RGB FUSION TECHNOLOGY

MA Jianguo, WANG Jianli, ZHOU Jianke, LIU Lei

(Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300452, China)

Abstract: Frequency division RGB fusion method is very effective in describing the boundary of complex sand bodies and river courses. In the study, the authors found that this attribute can also indicate the potential oil and gas accumulation. One drilling well was done in the potential area using the attribute, and one oil reservoir was found with an additional proven reserve of 1 million tons. The success enhanced our confidence to make evaluation wells using this attribute. Starting with the analysis of wave equation and validation by forward modeling, this paper studies the amplitude intensity of different frequencies and demonstrates the feasibility of dividing frequency RGB fusion attributes to indicate oil and gas. Seismic reflection intensity is related to sand body thickness, porosity, oil and gas saturation and other factors, but there is no obvious change in physical parameters of sand body under the same sedimentary period. Therefore, it is considered that sand body thickness and fluid properties are the main factors affecting the amplitude. The forward model in this paper aims at sand body thickness and fluid properties. It concludes that the thickness of sand body is in the wavelength range of $\lambda/8 \sim \lambda/4$, and the amplitude intensity is positively correlated with oil and gas saturation. The amplitude of oil and gas reservoirs in low frequency band is obviously enhanced, and the amplitude in high frequency band is obviously attenuated. Therefore, the difference can be amplified by using RGB frequency division fusion attributes, which can be used for fluid prediction.

Key words: oil and gas prediction; RGB fusion; frequency division technology