

doi: 10.11720/wtyht.2020.1496

王永涛,杨战军,王学慧,等.时频电磁多属性图像融合预测油气技术及应用[J].物探与化探,2020,44(5):1221-1225. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1496>

Wang Y T, Yang Z J, Wang X H, et al. TFEM multi-attribute image fusion hydrocarbon prediction technique and its application[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(5): 1221-1225. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1496>

# 时频电磁多属性图像融合预测油气技术及应用

王永涛,杨战军,王学慧,石艳玲,贡智能

(东方地球物理勘探有限责任公司,河北涿州 072751)

**摘要:**时频电磁法是一种时间域和频率域联合电磁勘探方法,在油气勘探开发中应用广泛。时频电磁经过资料采集、处理可以得到多个属性参数信息,从不同侧面反映地下介质的结构特征和含油气性。为了提高时频电磁预测含油气性的准确性,提出采用RGB、HSL色彩模型,通过对时频电磁的几个主要属性参数进行融合处理和显示,可以使反映综合油气参数的“亮点”指示含油气最有利区,以提高解释结果的可靠性,形成了时频电磁多属性融合图像预测油气技术。经塔里木盆地某地区的实际应用,证明该技术实用、有效。

**关键词:**时频电磁法;油气勘探;图像融合;多属性;激发极化信息

**中图分类号:** P631      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2020)05-1221-05

## 0 引言

时频电磁法是建立在介质频散理论基础,利用大功率长导线源向地下发射不同频率方波信号,在地面上发射源的一侧或两侧的一定范围内接收垂直磁场分量( $db_z/dt$ )和水平电场分量( $E_x$ )信号,同时进行时间域测深和频率域激发极化观测,研究目标层电导、激发极化特征和电磁场时间—频率—剖面相关特性等,从而确定地下地质结构、预测目标层含油气性的一种电磁方法。该方法将频率域测深与时间域测深统一在一个系统中,可根据勘探目标的深度选择不同激发频率和不同类型的激发波形,通过对信号的分频处理,获得频率测深曲线;通过对不同周期的衰减信号的时域处理,获得多组时域衰减曲线<sup>[1]</sup>。东方地球物理公司在时频电磁采集阶段采用了大功率发射源进行信号发射,可以获得深部流体的有效激发极化信息<sup>[2]</sup>。在资料反演中引入极化效应的 Cole-Cole 模型,可以同时研究多个属性参数<sup>[3]</sup>,通过时间域和频率域资料联合处理可以获得比较准确的地电结构信息和含油气性有关的激发极化信息,进而预测油气分布。

近年来,图像融合技术被广泛地应用于目标自动识别、计算机视觉、遥感、机器人、医学图像处理以及军事应用等领域。其主要优势是通过对多幅图像间冗余数据的处理来提高图像的可靠性,通过对多幅图像间互补信息的处理来提高图像的清晰度<sup>[4]</sup>。时频电磁图像融合技术,就是在时频电磁属性参数中选取与油气关系最为密切的三种属性参数,形成属性图像,然后根据三种属性与油气分布的内在联系,进行图像融合处理,得到针对目标地质体的综合图像,以达到抑制单个属性参数解释引起的“非唯一性”,提高资料解释的客观性的目的。计算机图像融合技术为时频电磁预测油气分布提供了一种新的技术手段。

## 1 方法原理

### 1.1 时频电磁属性参数选择

时频电磁法属性参数包括视电阻率、电阻率、总纵电导、振幅异常等电阻率类属性参数,主要反映地下介质地电结构及含油气后电性特征变化信息;也包括极化率、时间常数、频率相关系数、双频相位等激发极化类属性参数,主要反映地质目标的含油气

收稿日期: 2019-10-26; 修回日期: 2020-05-06

基金项目: 国家重点研发计划项目“多学科地球物理联合解释与多元信息智能预测技术”(2018YFC0603605)

作者简介: 王永涛(1962-),男,毕业于同济大学应用地球物理专业,主要从事石油物探工作。Email: wangyongtao@cnpc.com.cn

性情况,这两类信息的组合研究能够进一步提高油气检测结果的可靠性。通过理论分析和试验对比,极化率、时间常数、频率相关系数是反映地下介质含油气性最为敏感的三个独立属性参数,这三个参数值越高则地下介质含油气的可能性越高,评价为含油气区的结果的可靠性越高。三个参数值可通过图像融合算法直观显示,简单易行地识别含油气最有利区。

## 1.2 多属性参数图像融合算法

图像融合是通过一个色彩模型把来自于同一目标、不同属性参数的多幅图像综合成一幅满足特定应用需求的图像的过程,它可以有效地把不同属性参数图像的优点结合起来,提高对图像信息分析和提取的能力。色彩模型有很多种,如 RGB、HSB、YUV、HSL、HSV、Ycc、XYZ、LAB、CMYK 等,本文主要采用 RGB 和 HSL 色彩模型融合算法。

### 1.2.1 RGB 模型

RGB 模型是一种可以由红(red)、绿(green)、蓝(blue)混合再生成其他色彩的模型,任何一种可见的色彩可以由这三种颜色各占一定百分比形成。RGB 模型是目前常用的一种彩色信息表达方式,它使用红、绿、蓝三原色的亮度来定量表示颜色。该模型也称为加色混色模型,是以 RGB 三色光互相叠加来实现混色的方法。RGB 颜色模型可以看作三维直角坐标颜色系统中的一个单位立方体,任何一种颜色在 RGB 颜色空间中都可以用三维空间中的一个点来表示。在 RGB 颜色空间上,当任何一个基色的亮度值为零,即在原点处时,就显示为黑色。当三种基色都达到最高亮度时,就表现为白色。当在 MATLAB 中使用 double 类型的图像格式图像显示时,认为数据在 $[0,1]$ 的范围,大于 1 的全部显示为白色。图形融合处理前,时频电磁属性参数需进行如下处理。

首先是数据网格化插值处理,即在同一平面或剖面上,按照同一网度、坐标范围作规范化处理。再是归一化处理,即对各属性参数值按比例规范到 $[0,1]$ 的范围,计算采用公式: $\rho' = (\rho - \rho_{\min}) / (\rho_{\max} - \rho_{\min})$ ,其中  $\rho'$  代表某个属性参数归一化处理后的结果, $\rho$  代表属性参数, $\rho_{\min}$  表示属性参数的最小值, $\rho_{\max}$  代表属性参数的最大值。经上述处理后的极化率(设为红色)、时间常数(设为绿色)、频率相关系数(设为蓝色)属性参数用 MATLAB 中的 imshow 或者 image 函数生成融合的彩色图形,图形中的暗色区域表示三种属性参数值都比较小;红色表示极化率值比较大,而时间常数及频率相关系数值比较小;

绿色表示时间常数值比较大,而极化率、频率相关系数值比较小;蓝色表示频率相关系数比较大,而极化率、时间常数值比较小;黄色表示极化率及时间常数值比较大,而频率相关系数值比较小;青色表示时间常数及频率相关系数值比较大,而极化率值比较低;洋红色表示极化率及频率相关系数值比较大,而时间常数比较低;白色“亮点”表示极化率、时间常数、频率相关系数值均较大,其直观地指示了油气分布的最有利分布区。

### 1.2.2 HSL 融合算法

HSL 色彩模型也是基于人眼可见的一种颜色模型,其中 H(hue)代表色相;S(saturation)代表饱和度;L(lightness)代表亮度。HSL 的 H(hue)分量代表的是人眼所能感知的颜色范围,这些颜色分布在一个平面的色相环上,取值范围是 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的圆心角,每个角度可以代表一种颜色。色相值的意义在于在不改变光感的情况下,通过旋转色相环来改变颜色。其中, $360^\circ/0^\circ$ 为红色、 $60^\circ$ 为黄色、 $120^\circ$ 为绿色、 $180^\circ$ 为青色、 $240^\circ$ 为蓝色、 $300^\circ$ 为洋红色,它们在色相环上按照  $60^\circ$  圆心角的间隔排列。HSL 的 S(saturation)分量,指的是色彩的饱和度,它用 0~100% 的值描述相同色相、亮度下色彩纯度的变化。数值越大,颜色中的灰色越少,颜色越鲜艳。HSL 的 L(lightness)分量指的是色彩的亮度,作用是控制色彩的亮暗变化。它同样使用了 0 至 100% 的取值范围。数值越小,色彩越暗,越接近于黑色;数值越大,色彩越亮,越接近于白色。

与 RGB 融合算法类似,待融合的三个属性参数也需要首先做数据网格化插值处理;再是归一化处理,将极化率按比例规范到 $[0^\circ, 360^\circ]$ 的范围,时间常数及频率相关系数值分别按比例规范到 $[0,1]$ 的范围。然后,三个异常信息就可以分别用色相、饱和度、明度代表通过融合形成彩色图形。图中的色相由红—黄—绿—青—蓝—洋红—红逐渐变化,表示极化率值由小到大变化,饱和度由灰色—纯色变化表示时间常数值由小到大的变化,亮度由黑色—白色的变化表示频率相关系数值由小到大的变化。与 RGB 融合算法类似,当极化率值、时间常数、频率相关系数均较大时,将在纯红色区域内出现白色的“亮点”,直观地指示了油气最有利分布区。

## 2 应用实例

塔里木盆地 N 区构造破碎、断块发育,成藏条件复杂,N1-N2 井区构造均具有良好的生储盖组合,

而 N1 井获工业油气流,相距 6 km 的 N2 井仅有良好油气显示,造成两井油气差异的原因不清。因此,在区内三维地震勘探完成后,为了落实该区的油气分布范围,综合评价区内有利勘探目标,为下一步勘探部署及圈闭评价提供依据,部署了时频电磁工作。经过时频电磁资料预处理、室内处理、正反演等工作,分别提取了振幅、相位、电阻率、极化率、时间常数、频率相关系数等信息。在综合解释和油气预测过程中使用了极化率、时间常数、频率相关系数三参数开展图像融合处理。

### 2.1 RGB 图像融合技术应用

过 N1、N2 井的时频电磁剖面良好地展示了应

用效果。图 1、2、3 分别为塔里木盆地某时频电磁 (TFEM) 测线极化率、时间常数、频率相关系数的单属性参数反演剖面,从图中可以看到,每个属性参数异常的强弱都比较好地反映了含油气情况。但是各属性参数反映的异常范围不完全一致,强弱也不一致,说明单个属性参数解释结果存在多解性。

分别用红色、绿色、蓝色代表极化率、时间常数、频率相关系数三个属性参数进行 RGB 三色融合处理,形成如图 4 所示的综合视觉图。N1 井区,剖面横坐标 14~16 km、海拔-2.5 km 左右处出现了较大范围的白色“亮点”的区域,说明三个属性参数的异常信息均比较强,是有利的含油气区域,与 N1

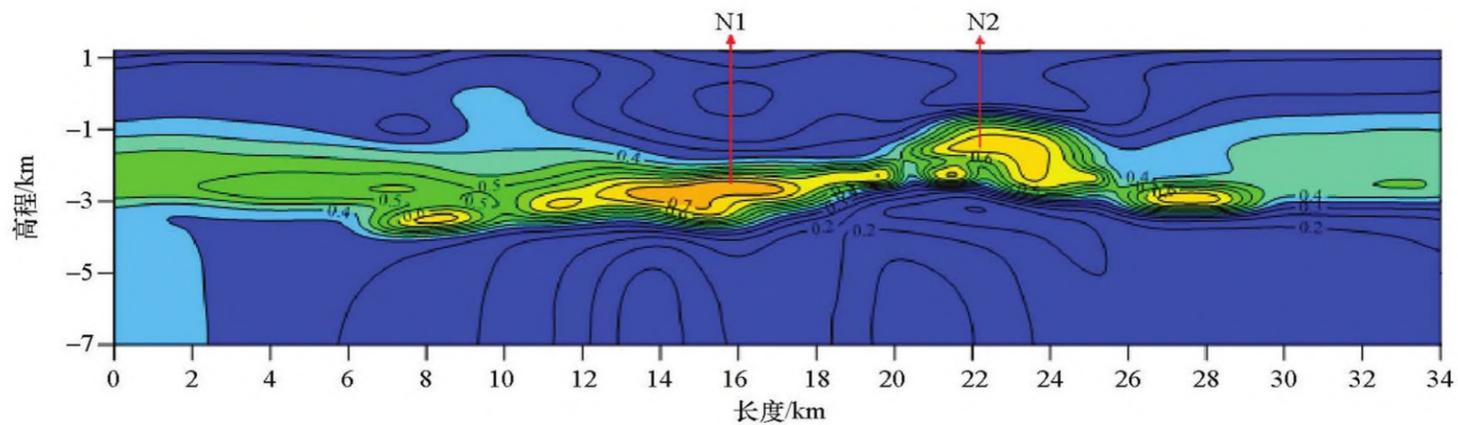


图 1 塔里木盆地某 TFEM 测线极化率剖面  
Fig. 1 A TFEM polarizability profile in Tarim basin

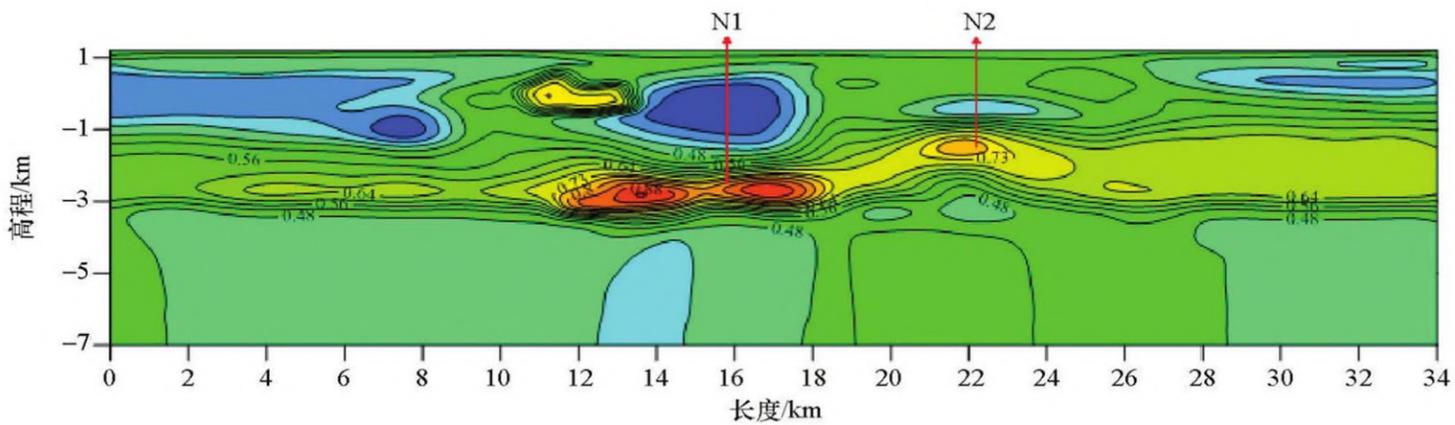


图 2 塔里木盆地某 TFEM 测线时间常数剖面  
Fig. 2 A TFEM time constant profile in Tarim basin

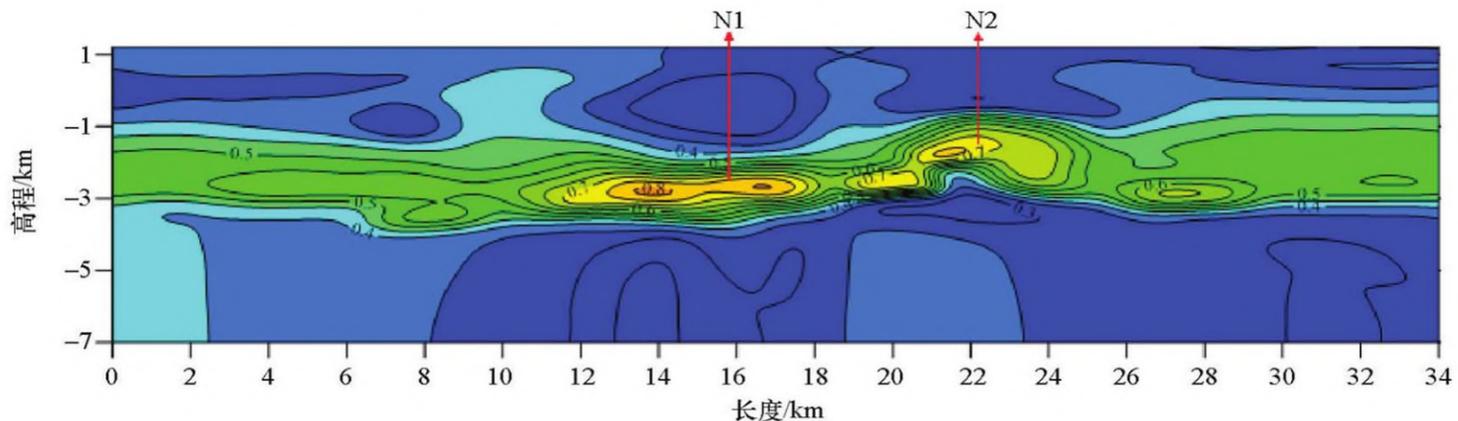


图 3 塔里木盆地某 TFEM 测线频率相关系数剖面  
Fig. 3 A TFEM frequency correlation coefficient profile in Tarim basin

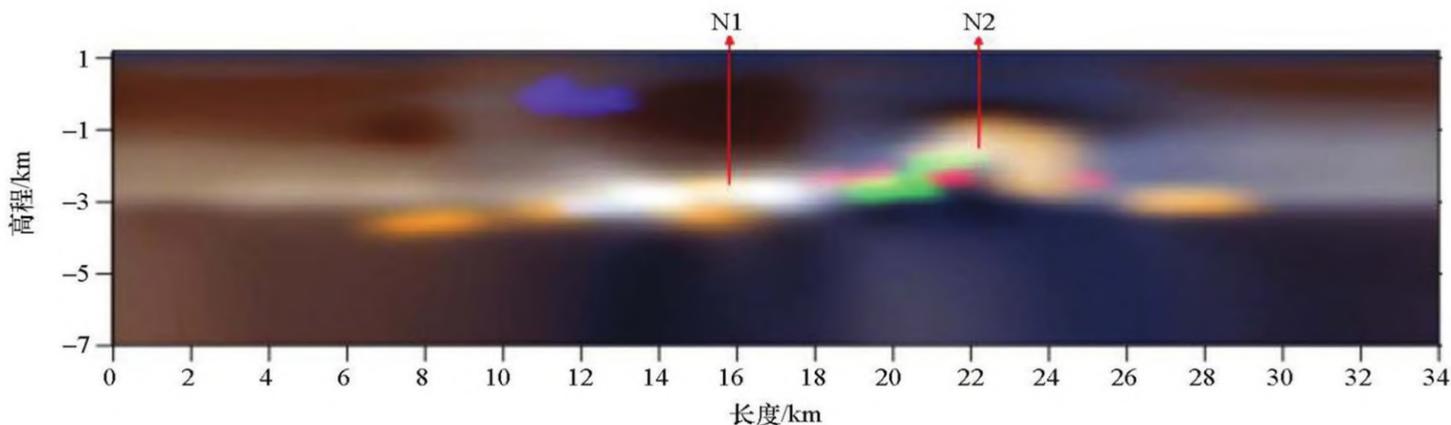


图4 塔里木盆地某 TFEM 测线 RGB 颜色融合图  
 Fig. 4 A TFEM RGB fusion diagram in Tarim basin

油井获工业油气流吻合。N2 井区,剖面横坐标 22~24 km、海拔-2 km 左右处出现的异常,局部的红色表示极化率异常信息比较强,局部的绿色表示时间常数的异常信息比较强,近褐色区域说明三个参数的异常信息比较强,但白色“亮点”不够突出,与 N2 井具有良好油气显示井相符合。极化率、时间常数、频率相关系数三个属性参数剖面图对应 N1 及 N2 井区有明显的异常显示,但异常区域不一致、发散,指示的范围比较广,表明了时频电磁方法具有一定的“多解性”。该融合图表明,使三种剖面图有效融合,通过一张图像上颜色的变化就能反映出三种属性参数值的大小,突出三种属性参数值的“共性”区域,抑制单个属性的“个性”区域,从而提高综合判断含油气有利区的准确性。

2.2 HSL 图像融合技术应用

在同一条剖面上,与 RGB 图像融合方法类似,分别用色相、饱和度、明度代表极化率、时间常数、频率相关系数三个属性参数,进行 HSL 三个要素融

合,形成如图 5 所示的综合视觉图。从图上看出, N1 井区,剖面横坐标 14~16 km、深度在 2.5 km 左右处的异常区,由异常的边缘到中心位置,从色相上看由蓝色—洋红—红色逐渐改变;从饱和度上看,由灰色—鲜艳逐渐变化;从亮度上看,由暗色—白色逐渐变化。异常中心区域出现了较大范围的白色“亮点”,表明异常中心区域极化率、时间常数、频率相关系数参数异常值都是最大的,与 N1 井获工业油气流吻合。同样, N2 井区,剖面横坐标 22~24 km、纵坐标 2 km 左右处的异常区域出现了较小的亮点,表明异常中心区域极化率、时间常数、频率相关系数参数异常值也比较大,但异常范围较小,与 N2 井区仅有良好的油气显示吻合。与 RGB 融合图形类似,通过一张图像上色相、饱和度、亮度的变化亦能反映出三种属性参数值的大小,而 HSL 融合图,有效抑制了三种属性剖面异常的“个性”,突出了三种属性参数剖面异常的“共性”,避免了三种属性剖面的多解性,提高了综合识别含油气有利区的能力。

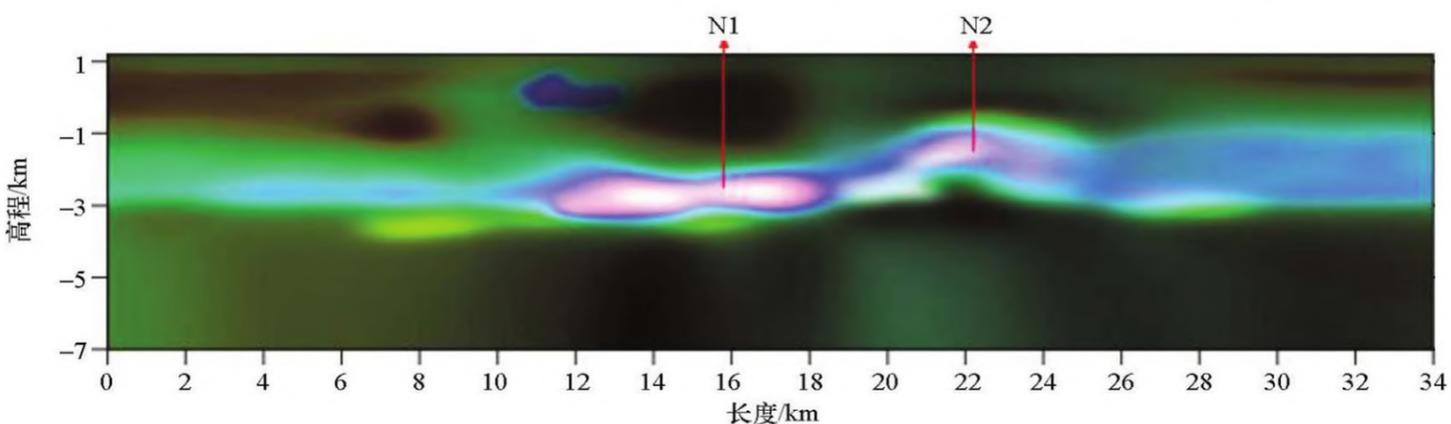


图5 塔里木盆地某 TFEM 测线 HSL 颜色融合图  
 Fig. 5 A TFEM HSL fusion diagram in Tarim basin

3 结论

RGB 融合算法和 HSL 融合算法可以实现反映油气分布的三个时频电磁参数的融合计算,融合图

像显示白色“亮点”可以很好地指示含油气有利区及含油气有利性,以三参数融合图像进行油气预测为时频电磁法进行油气预测提供了资料解释的直观的新手段,比常规的在多个不同参数图上反复对比分析的解释方法具有更大的便利性和可靠性。

塔里木盆地某地区的实际应用显示,采用多参数融合图像预测的油气有利性与已知钻井结果吻合性良好,是时频电磁方法预测油气分布的有效技术手段。

### 参考文献 (References):

- [1] 何展翔,王绪本. 油气藏电性异常模式与电磁法油气检测[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(1): 102-106.  
He Z X, Wang X B. Geo-electrical anomalous pattern of reservoir and oil/gas detection by electromagnetic survey[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(1): 102-106.
- [2] 何展翔,王永涛,孙卫斌. 综合物探技术新进展及应用[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(1): 108-112.  
He Z X, Wang Y T, Sun W B. New progress and application of integrative geophysical survey techniques [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(1): 108-112.
- [3] 赵邦六,何展翔. 非地震油气直接检测技术及其勘探实践[J]. 中国石油勘探, 2005, 6: 29-37.  
Zhao L B, He Z X. Non-seismic technique for direct oil-gas detection and its exploration practice[J]. China Petroleum Exploration, 2005, 6: 29-37.
- [4] 胡钢,刘哲,徐小平,等. 像素级图像融合技术的研究与进展[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(3): 650-655.  
Hu G, Liu Z, Xu X P, et al. Research and recent development of image fusion at pixel level[J]. Application Research of Computers, 2008, 25(3): 650-655.
- [5] 张鹏越,崔志伟,刘云祥,等. 时频电磁技术在吐哈盆地北部山前带勘探中的应用[C]//北京:中国地球科学联合学术年会, 2017: 1288-1290.  
Zhang P Y, Cui Z W, Liu Y X, et al. The application of TFEM in the Northern piedmont zone of Tuha basin[C]// Beijing: The abstracts of Annual Meeting of Chinese Geoscience Union, 2017: 1288-1290.
- [6] 王志刚,何展翔,覃荆城,等. 时频电磁技术的新进展及应用效果[J]. 石油地球物理勘探, 2016, 51(s): 144-151.  
Wang Z G, He Z X, Qin J C, et al. Advances of TFEM technique and its application [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2016, 51(s): 144-151.
- [7] Dong W B, Zhao X M, Liu F, et al. The time-frequency electromagnetic method and its application in western China [J]. Applied Geophysics, 2008, 5(2): 127-135.
- [8] 何展翔. 非地震勘探技术的进步与发展趋势[J]. 石油地球物理勘探, 2000, 35(3): 354-360.  
He Z X. Development tendency of non-seismic exploration techniques[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2000, 35(3): 354-360.

## TFEM multi-attribute image fusion hydrocarbon prediction technique and its application

WANG Yong-Tao, YANG Zhan-Jun, WANG Xue-Hui, SHI Yan-Ling, YUN Zhi-Neng  
(BGP, China National Petroleum Corporation, Zhuozhou 072751, China)

**Abstract:** The TFEM method has been widely applied to oil and gas exploration since it was introduced. Through comprehensive interpretation, the geological structure and hydrocarbon condition of subsurface can be well predicted using multi attribute information acquired from TFEM data. For the purpose of improving the accuracy and the reliability of prediction, the TFEM multi-attribute image fusion prediction technique has been developed, which uses "bright spot" from multi-attributes image fusion display based on RGB and HSL color model to indicate most potential oil and gas bearing area. This technique has been proved effective by application in several regions.

**Key words:** TFEM; oil and gas exploration; image fusion; multi-attribute; IP information

(本文编辑:沈效群)