doi: 10.11720/wtyht.2017.3.19

毕俊凤.分时窗功率谱对比技术在河道砂体含油性预测中的应用[J].物探与化探,2017,41(3):527-534.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.3. 19

Bi J F.The application of comparing difference of power spectrum estimated from separated time window to predicting oil-bearing capability of channel sand [J].Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(3):527-534.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.3.19

# 分时窗功率谱对比技术在河道砂体 含油性预测中的应用

# 毕俊凤

(中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司勘探开发研究院,山东东营 257015)

摘要:基于地震信号频谱特征分析的吸收衰减类属性是当前叠后域含油性预测的主要依据。分析了常规频谱分析技术预测砂体含油性存在的问题,从分析手段及频谱估算方法两方面进行改进,提出了分时窗功率谱对比技术。即在油层集中发育段的上、下分别开时窗,采用 ARMA 谱估计方法估算地震信号功率谱,进而比较上、下两个时窗功率谱特征的差值,定性反映地层含流体的情况。介绍了分时窗功率谱对比技术的原理、计算步骤、分析方法及技术优势。通过模型试算及在埕北断裂带西翼明化镇组的实际应用表明,该技术灵敏度高,含油性预测效果好。 关键词:分时窗;功率谱;差值;河道砂体;含油性预测

入健局:方时固,为干泪,差值,时度应择,日间任烦肉

中图分类号: P631.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2017)03-0527-08

0 引言

叠后含油性检测快速易操作,是当前应用较为 广泛的技术方法,其中与频谱特征分析有关的吸收 衰减类属性应用较为普遍<sup>[1-8]</sup>。总体来说,这类技 术对气层检测效果较好。针对浅部层系中的油层和 水层来说,由于二者在反射振幅及频谱特征上的地 球物理响应差异非常小,常规的频谱分解算法由于 精度达不到而检测效果差。另外,从分析手段上来 看,频谱分析都需要设置时窗提取地震信号的频谱 进而分析频谱的特征。但是针对油层发育段设置单 一时窗的分析方法没有考虑上覆地层的吸收影响, 存在一定的不确定性。而且,砂体含油后与水砂的 频谱差异非常微弱,横向上很难比较出二者的绝对 大小及差异<sup>[9]</sup>,实际检测中灵敏度不高。

针对济阳坳陷滩浅海地区,由于地震地质条件 复杂多变,河流相砂岩的含油性预测成功率不高。 笔者以海上区块埕北断裂带西翼明化镇组河道砂体 为例,运用分时窗功率谱对比技术,在油层集中发育 段的上、下分别开时窗,采用现代谱估计方法—— ARMA 参数模型估算地震信号的功率谱,进而对比 两个时窗功率谱特征的差异,特别是高频端能量的 差异,计算比值或差值来定性表征地层含流体情况。 考虑到频陷信号的存在,笔者采用计算差值的方法 获得衰减谱,较比值法更加科学。由于地震波在地 层中的衰减包括地层衰减和吸收衰减两部分,上覆 地层的岩性及含流体特征在横向上是变化的.对地 震波频率成分的吸收作用是不同的。采用在油层 上、下分别开时窗提取功率谱的手段,如果地震波在 通过油层之后的下时窗频谱高频端能量有变化,就 可以近似认为是油层的吸收造成的,因而针对性更 强,同时可去除上覆地层的吸收影响。笔者采用先 纵向求取不同时窗频谱的能量差值,再横向比较差 值(变化量)的相对大小,同以往针对油层发育段设 置单一时窗提取频谱并直接对比油砂与水砂频谱特 征差异的方法,敏感性更高。

收稿日期: 2016-9-30;修回日期: 2017-2-25

基金项目:中国石化科技攻关项目"胜利滩海北西向构造带古近系油气成藏规律"(P13018)

作者简介:毕俊凤(1972-),女,博士,高级工程师,主要从事储层地球物理技术开发及应用工作。Email:bijunfeng.slyt@sinopec.com 万方数据

分时窗功率谱对比技术是基于频谱衰减反映油 气的原理,采用分时窗分析及对比的手段,分别提取 经过油层之前和之后不同时窗内地震信号的功率 谱,得到各自计算时窗内各个频带区间的能量分布, 进而对比两个时窗内频谱高频端能量的相对变化获 得衰减谱,定性分析地层含流体的特征,方法原理示 意如图 1。功率谱的提取采用现代谱估计方法,即 ARMA 参数模型谱估计法,可以准确描述信号功率 随频率的分布特点,用于精细分析不同频率下含流 体储层的频谱特征。



图1 分时窗功率谱对比技术示意

分时窗功率谱对比技术的实现过程为:① 对原 始地震数据做频谱分析,明确地震资料的主频及有 效频带范围;② 精细合成地震记录标定,在油层附 近选择连续性较好的地震反射同相轴进行全区追 踪,最好选择油层顶面进行追踪作为控制层,以便在 纵向上设置时窗将油层夹持在一个固定的时间范围 内;③ 沿控制层上、下开时窗,分别估算地震信号功 率谱;④ 对比上、下时窗功率谱特征,计算高频端能 量的差值,得到目的层含流体造成的衰减谱。技术 流程见图 2。

2 频谱估算方法

分时窗功率谱对比技术关键步骤包括地震信号 功率谱的估算及功率谱特征的对比与差值计算。

# 2.1 地震信号功率谱的估算

功率谱的分析与估计是十分重要的,它能给出 被分析对象能量随频率的分布情况,因此广泛应用 于雷达信号、声纳信号和生物医学工程当中的目标 识别,也是现代信号处理中一个及其重要的领 域<sup>[10-11]</sup>。文中估算地震信号功率谱的方法采用基 于滑动平<u>均息积</u>归模型(ARMA)的谱估计法,该方



图 2 分时窗功率谱对比技术实现流程

法可以在较短的时窗内有效估算信号的最大熵 谱<sup>[12]</sup>。方法假设地震信号是由一系列有限的不随 时间变化的参数决定的,且可以用线性差分方程来 进行描述,那么所有这个信号的统计特性(包括其 功率谱)就都可以用这些参数表示出来。ARMA 谱 估计法估算地震信号功率谱包括 3 个步骤:第1步, 将实际地震数据用 ARMA 模型参量表示为时间序 列;第2步,建立模型参数项的Z变换表达式;第3 步,将参数代入到模型的理论功率密度谱表达式中, 估算功率谱。

2.1.1 实际地震信号的 ARMA 表达式

滑动平均自回归模型(ARMA)的输入信号 *x* (*n*)可表示为:

$$x(n) = -\sum_{k=0}^{p} a(k)x(n-k) + \sum_{k=0}^{p} b(k)u(n-k)$$
(1)

式中,等式右边第1部分为自回归项(AR),第2部 分为滑动平均项(MA),其中,u(n)是一个独立的恒 等分布数列。

2.1.2 参数项的表示

自回归项 AR 可以用 Z 变换的形式表示:

$$A(z) = \sum_{k=0}^{p} a_{k} z^{-k}$$
(2)

其中, $a_0 = 1$ ;  $Az_0 = 0 \rightarrow |z_0| < 1_\circ$ 

同理,滑动平均项 MA 可用 Z 变换的形式表示:

$$B(z) = \sum_{k=0}^{p} b_{k} z^{-k} \, (3)$$

这里,B(z)被假设为零相位。

2.1.3 ARMA 功率谱估算

将参数代入到模型的理论功率谱密度表达式 中,则滑动平均自回归的功率谱可表示为:

$$P_{xx}(\omega) = \sigma^2 \frac{|B(z)|^2}{|A(z)|^2}, \qquad (4)$$

其中, $z=e^{i\omega}=e^{i2\pi f}$ ,f为频率, $\sigma^2$ 为激励噪声的方差。

# 2.2 频谱对比及差值计算

对比油层之上与之下两个时窗估算得到的功率 谱特征,采用求取差值的方法计算高频端对应频率 成分的能量差值:

 $P_{A} = |P_{up}(\omega)| - |P_{down}(\omega)|$ 。 (5) 该差值近似认为是目的层含流体后吸收衰减造成的 差异,从而使得检测结果更具针对性。

## 3 模型试算

针对河道砂体含油性预测的目的,设计了二维 地质模型(图 3a),采用衰减介质中的褶积公式(式 6~8),得到合成地震道:

$$s(t) = w(t) * r(t) + \left(\frac{t \cdot r(t)}{2Q(t)}\right) * J(t)$$
, (6)

$$J(t) = \int W(\omega) K(\omega) e^{i\omega t} d\omega , \qquad (7)$$

 $K(\omega) = - \operatorname{sgn}(\omega)\omega + \operatorname{isgn}(\omega)H(\omega)$ 。 (8) 万方数据 式中, $H(\omega)$ 表示 Hilbert 变换,Q 为介质的品质因 子, sgn 为取符号算子,  $W(\omega)$  为地震子波 w(t) 的傅 里叶变换, s(t) 为地震记录, r(t) 为反射系数序列。

对模型正演得到的地震道,运用分时窗功率谱 对比技术分析油砂与水砂频谱上的差异。图中,不 同岩性地层的厚度及砂体的速度设置根据实钻井数 据给定,油砂与水砂的厚度均在8m左右,油砂速度 为2200 m/s,水砂速度为2300 m/s,油砂的吸收因 子Q值为10,水砂的吸收因子Q为100。图3b为 采用25 Hz子波褶积后得到的合成地震道。可以看 到,油砂与水砂的反射振幅基本相当,油砂略高于水 砂,两套砂体叠置处同相轴有扭动现象。



图 3 储层地质模型(a)及合成地震记录(b)

下面采用分时窗功率谱对比技术估算衰减谱, 反映油砂与水砂含油气特征。首先,在砂体的顶、底 解释两个控制层,分别为红色实线和绿色实线层,如 图 4a 所示。油层之上时窗的选取原则是:将顶界控 制层向上漂移 27 ms 后,取时窗长度为 34 ms;油层 之下时窗的选取原则是:将底界控制层向上漂移 3 ms 后,取时窗长度为 40 ms。图 4b 为针对上时窗提 取的功率谱,图 4c 为针对下时窗提取的功率谱。对 比不难看出,上、下时窗提取的功率谱特征有一定的 变化,水砂处的功率谱(蓝色)在上时窗中频率较 低,而在下时窗中频率稍有增高;油砂处下时窗的功 率谱频宽变窄,主频较上时窗则稍有降低。最终,估 算上、下时窗功率谱的差值即衰减谱如图 4d 所示, 可见,油砂在衰减谱上有明显的吸收异常,水砂处则 没有出现频谱异常。



a-针对模型地震道时窗的设置;b-上时窗提取的功率谱;c-下时窗提取的功率谱;d-上、下时窗功率谱的差值(衰减谱)

4 实例应用

# 4.1 技术应用的地质条件

研究区位于埕北断裂带西翼的埕北断层下降 盘。目的层系明化镇组(Nm)地层横向厚度变化不 大,约为850m,纵向上发育4个短期沉积旋回,其中 4砂层组**是痰赘期**化镇组的主力含油层段。明化镇 组的沉积类型属于高弯度曲流河沉积,泛滥平原亚 相广泛发育,河道分布范围小,横向变化快,河道、点 坝和决口扇砂体纵向上间互叠置<sup>[13]</sup>。多口钻井揭 示的油层厚度在 5~12 m 之间,且纵向上分布的层 系相对集中,主要分布在 Nm<sup>2</sup> 砂组,如图 5 所示,具 备应用分时窗功率谱对比技术预测储层含油性所需 的地质条件。

图 4 分时窗功率谱对比技术估算衰减谱模型试算



图 5 过埕北 258—埕北 242 井明化镇组近东西向综合地质剖面

#### 4.2 时窗的设定

分时窗功率谱对比技术与油层厚度及振幅强弱 关系不大,但与时窗的设定有直接的关系。如果时 窗选择太大,地震信号频谱会受到地层、岩性、流体、 压实等诸多因素的影响,平均效应太大,导致计算的 功率谱和衰减谱都具有多解性。如果时窗太小,则 不能反应储层在横向上流体的变化特征,同样会造 成识别上的误差及假象。

研究中,首先从二维线出发,抽取过典型井的连 井地震剖面,经过反复测试,结合之前对油层所做的 岩石物理统计分析结果,选择在目的层(Nm<sup>2</sup><sub>4</sub>)之上 10 ms 处向上开 100 ms 为上时窗,选择在目的层 (Nm<sup>2</sup><sub>4</sub>)之下 20 ms 处向下开 120 ms 为下时窗(图 6a),分别估算两个时窗内地震信号的功率谱。通 过对比两个时窗功率谱特征并计算差值的绝对值, 得到二者所夹持的目的层的衰减谱(图 6b),通常认 为在高频端的衰减主要是由地层中的流体所引起 的。从图中可以看出,5 口油层井尽管在 Nm<sup>2</sup><sub>4</sub> 砂组 油层厚度上有差异(埕北 258 井油层厚度为 5.2 m, 埕北 260 井油层厚度为 11.4 m/2 层,埕北 256 井油



a—过埕北 258-埕北 241 井分时窗功率谱估算大时窗的设定;b—过埕北 258-埕北 241 井油层之上与之下大时窗功率谱及衰减谱;c—针对 油层单—时窗提取的吸收系数属性剖面

万方数据

图 6 过埕北 258—埕北 241 井分时窗功率谱处理结果

层厚度为 4.9 m, 埕北 43 井油层厚度为 13 m, 埕北 241 井油层厚度为 12.1 m), 通过下时窗和上时窗的频谱能量差异计算衰减谱后,除埕北 241 井外, 其他 几口井在衰减谱上都检测出异常, 剖面预测的吻合 率为 80%。针对油层所在层段设置固定时窗提取 的吸收系数属性图上, 埕北 43—埕北 241 井区效果 较好, 但埕北 260 井预测结果与实际不吻合, 且埕北 258~260 井区油层整体不发育, 与埕北 258—埕北 241 井区在该层段油层横向上连片发育的认识不一致。

在油层上、下设置的时窗位置及时窗长度不同, 该对比技术得到的衰减谱也会有所不同。同样以埕 北 258—埕北 241 这条剖面为例,如果在油层之上 与之下分别设置 30 ms 与 50 ms 的小时窗(图 7a), 则上、下时窗提取的功率谱有差别,计算差值后得到 的衰减谱和之前相比也有一定的变化(图 7b)。图 中埕北 258 和埕北 260 井两套薄油层在衰减谱上没 有任何反映,而埕北 241 井的油层在衰减谱上则呈 现较为明显的异常特征。可见,时窗的位置及时窗 的长度对衰减结果有很大的关系,也是分时窗功率 谱对比技术在应用过程中需重点注意的技术环节。 应用时建议经过反复试验,选取大多数井衰减谱上 效果较明显的时窗作为最终频谱估算的分析时窗。



a—过埕北 258-埕北 241 井分时窗功率谱估算小时窗的设定;b—过埕北 258-埕北 241 井油层之上与之下小时窗功率谱及衰减谱

图 7 油层上下设置的时窗位置及时窗长度试验

#### 4.3 平面属性的提取及分析

在剖面属性计算的基础上,设置合适的分析时 窗,对整个三维数据体进行了频谱估算。图 8a 和图 8b 分别为油层之上及之下时窗功率谱高频端能量 的分布图,图 8c 为上、下时窗功率谱高频端能量的 差值。分析方法如下:上时窗中红黄色高能量若在 下时窗属性图上减小为蓝色低能量,则代表可能由 于油气存在造成的衰减异常,而在两张图上均为红黄 色高能量或均为蓝色低能量的区域则代表非油气区。

#### 4.4 预测效果分析

针对埕北断裂带明化镇组的明4段来说,通过 与实钻井浴济数据情况分析对比,cb259和 cb257井 目的层段不含油气,在分时窗的频谱能量属性图上 均为高能量,在衰减属性图上为中低—低衰减特征; 含油气的 cb258、cb260、cb43、cb241、cb18、cb256 等 井在上时窗能量属性图上位于能量高值区,在通过 油层之后的下时窗属性图上位于低能量区,在衰减 属性图上位于高衰减区,表明这些井可能因含油气 发生了强的吸收衰减,这与实钻结果是吻合的,总体 吻合率为 76%,统计结果见表 1。而单一时窗能量 衰减属性图(图 8d)上,含气层的埕北 260、埕北 18 井均处于弱的能量衰减区,与实际情况不符,预测吻 合率仅在 67%左右。



图 8 N<sub>m4</sub><sup>2</sup> 砂组油层之上(a)、油层之下(b)高频端能量分布、上下时窗能量差值属性(c)及单一时窗能量衰减属性(d)

井名	目的层含油气情况	谱差值检测结果	吻合情况
cb258	5.2 m 油层	强高频衰减	吻合
cb260	2 层 11.4 m 油层含气	强高频衰减	吻合
cb43	13 m 油层含气	强高频衰减	吻合
cb259	不含油	弱高频衰减	吻合
cb257	不含油	强高频衰减	不吻合
cb18	9.8 m 油层含气	强高频衰减	吻合
cb256	3 层 4.9 m 油层	强高频衰减	吻合
cb241	5 m 油层	弱高频衰减	不吻合
cb246	不含油	弱高频衰减	吻合
cb243	7.8 m 油层	弱高频衰减	不吻合
shg1	不含油	弱高频衰减	吻合
cb247	9.7 m 油层	强高频衰减	吻合

#### 表1 分时窗功率谱对比技术预测吻合率统计表

# 5 结论

常规频谱分析方法检测油气是针对油层发育段 设置单一时窗来实现的,由于检测效果不佳,很难满 足浅部层系预测油水层的需求。而分时窗功率谱对 比技术采用分时窗估算频谱的手段,分别提取不同 时窗的 ARMA 功率谱,通过精细对比不同频率下含 流体储层的频谱特征,计算差值获得衰减谱定性反 映储层的含油性,具有针对性强、精度高、对油气更 敏感的特方方数据 通过模型试算与实例应用结果,分时窗功率谱 对比技术适用于地质条件相对简单的层系,即含油 层段集中发育、地层厚度及物性条件在横向上相对 稳定的地区,如济阳坳陷新近系的明化镇组及馆上 段1~3砂组。

#### 参考文献:

- [1] 马灵伟,顾汉明,李宗杰,等.应用正演模拟分析近地表黏弹性 对深层缝洞储层地震波衰减及成像的影响[J].石油地球物理 勘探,2014,49(4):694-701.
- [2] 孙万元,张会星,孙杨.地震波衰减和频散属性的提取及其在油
   气检测中的应用[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2013,43
   (10):83-87.
- [3] 苑书金,董宁,于常青.地震波衰减技术在鄂尔多斯盆地储层预测中的应用[J].石油物探,2006,45(2):182-183.
- [4] 付勋勋,张君学,陈阵,等.基于S变换求取地层的品质因子Q 值[J].物探与化探,2013,37(1):113-115.
- [5] 李传辉,张繁昌.地震信号可变分辨率匹配追踪频谱成像方法[J].石油物探,2012,51(3):213-218.
- [6] 马见青,李庆春,王美丁.广义S变换在地震勘探中的研究进展 [J].物探与化探,2011,35(2):265-269.
- [7] 毕俊凤,刘书会,陈学国,等.分频解释技术在桩 106 地区馆上
   段河道砂体描述中的应用[J].油气地质与采收率,2003,10
   (5):38-40.
- [8] 李金丽,李振春,管路平,等.地震波衰减及补偿方法[J].物探 与化探,2015,39(3):456-463.

- [9] 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):79-85.
- [10] 张贤达.现代信号处理[M].北京:清华大学出版社,2002:65-75.
- [11] 徐伯勋, 白旭滨, 傅孝毅. 信号处理中的数学变换和估计方法

[M].北京:清华大学出版社,2004:73-79.

- [12] 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.
- [13] 胡阳.埕岛地区明化镇组油气成藏规律[D].青岛:中国石油大学,2012.

# The application of comparing difference of power spectrum estimated from separated time window to predicting oil-bearing capability of channel sand

#### BI Jun-Feng

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Sinopec Shengli Oilfield Company, Dongying 257015, China)

Abstract: The absorption and attenuation attributes based on spectrum characteristic analysis are primary references in the poststack domain. Because there exist some problems in the process of detection using conventional spectrum analysis technique, improvements were done in the analytical method and spectrum estimation algorithm. The technique of comparing differences of power spectrum estimated from separated time window emerges as the times require. On the basis of setting up time window up and down concentrated development segment of the oil layer, power spectrum is obtained from seismic signal by ARMA model. Thus, the difference of spectrum subsequently is obtained to predict oil-bearing capability qualitatively by comparing the differences of power spectra in corresponding window. Also, this paper introduces the calculation procedure, analytical method and algorithm advantage. It is shown that the technique has a high sensitivity and satisfactory prediction effect of oil-bearing capability, as shown by model testing and actual application to Nm Formation in the west of Chengbei fault zone.

Key words: separated time window; power spectrum; difference; channel sand; oil prediction

(本文编辑:叶佩)