

时频分析技术在层序旋回划分中的应用

李小梅, 俞娟丽

(中国石油化工股份有限公司 胜利油田有限公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要:首先阐述了时频旋回分析在理论上能够精细反映地质沉积粒序特征的优势,然后根据滤波器理论上的实用特性,优化设计频率递归的时频响应滤波器,再利用正演模拟方法得到理论构造地质旋回模型的地震响应,对该记录模型进行时频分析试验,最后通过解释对比其旋回特性给出实际应用效果分析。

关键词:层序旋回;滤波器;地震解释;时频分析

中图分类号:TE121.3⁺4

文献标识码:A

Application of time-frequency analysis to division of cyclical sequence

Li Xiaomei, Yu Juanli

(Geological Scientific Research Institute, SINOPEC Shengli Oilfield Company Ltd., Dongying, Shandong 257015, China)

Abstract: This paper expounds first on the advantages of Time-Frequency Analysis (TFA) technique in fine description of graded pattern of sedimentation. Then it specifies the optimization design of T-F filter with frequency recursion based on the practicability of T-F filter principles and performs T-F analysis of seismic responses generated by a theoretical cycle model of tectonic geology built through forward simulation method. It finally offers an evaluation of practical application through interpretation and comparison of the simulated and the real cyclicity.

Key words: sequence cycle; filter; seismic interpretation; time-frequency analysis

时频分析技术很好地实现了把频率域信息和时间域信息联系起来进行的信号分析。它以物理可实现的滤波器模拟单频 ω 滤波器,对固定测点 p 的地震记录进行滤波扫描,获取不同频率 ω 滤波器的实际输出,可近似地视为该频率 ω 的简谐分量。将不同频率 ω 滤波器的实际输出按频率 ω 由大到小排列,得到时间-频率分析剖面。剖面的纵坐标为记录的时间轴 t ,横坐标为频率轴 ω 。时频分析剖面在每个波到达时间位置上使地震记录按频率做了分解,获得了频率域信息。图1为一维信号时频分析概念简图,如果将一维单道信号修改为二维剖面信息 $x(cdp, time)$,则对应得到三维时频数据体 $x'(cdp, frequency, time)$ 。

用时频特征来刻画信号特征的研究由来已

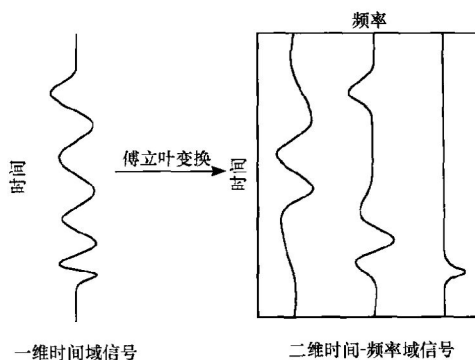


图1 时频分析概念简图

Fig. 1 Simplified diagram of time-frequency analysis

久。国外一些研究最先做了开创性的工作^[1],国内也有不少研究人员将时频分析技术应用于油藏

收稿日期:2007-05-17。

第一作者简介:李小梅(1969—),女,高级工程师,矿产与普查。

描述和储层的横向预测^[2-5]。目前在地震勘探领域它可以用来做沉积旋回划分、地震波的能量补偿、时变滤波去噪、检测地层变化特征、提高地震资料的分辨率、进行地震数据压缩等。但时频分析真正用于层序地层学,直接进行沉积旋回划分,还应追溯到俄罗斯勘探地球物理研究院穆森等学者在20世纪80年代初所推出的构造层序解释技术。在此基础上,时频分析技术有了大的发展,近些年来一直被地质学家和地球物理学家所青睐。

1 利用时频分析进行旋回划分的优势

在地震资料处理中,时频分析技术是把地震资料的频率特征与实际地质体相结合,利用地震资料的频率特征在空间上的变化规律来反映实际地质体的结构关系。其基本理论认为地质体是不同级别的层序体相互结合而成的,不同级别的层序体内部在沉积上具有旋回性,形成沉积旋回体,代表着载体岩性变化的韵律,引入频率参数的意义,则表现为频率有规律地变化。利用这种变化可以将地震剖面的频率特征详细划分为不同尺度的地震层序目标,研究地质体的层序厚度变化和岩性变化规律,进而可以进行地震旋回体解释。

利用时频技术进行地震层序旋回特征分析是一项十分直观和有效的地震资料特殊解释方法,它很好的结合了地质与地震知识的综合应用。利用此项技术可以将层序地震学上的沉积旋回体与地震资料的时频特征很好地联系起来,在地震剖面上形象地划分地震旋回特性、指出层理结构、恢复古地貌,并以此来分析沉积环境、推测物源方向,为开展精细的油藏描述提供可靠的手段。

在研究中发现,用于旋回划分的时频分析技术,其关键是时频滤波器的设计和扫描剖面的显示。好的时频滤波器可以使需要加强的频率段更加突出,而剖面显示技术是合理利用颜色配置来提高剖面的视觉效果。

2 时频扫描滤波器的设计

时频分析本质上是一种多道频率扫描^[6]。为

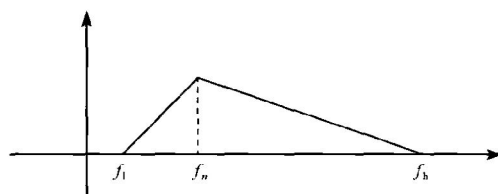


图2 三角形滤波器示意图

Fig. 2 Schematic diagram showing the triangle filter

了突出扫描区域的优势频率,同时兼顾频率特征的渐变性,实现时可采用三角形滤波器。如图2所示, f_n 为优势频率, f_l 和 f_h 分别为滤波器的低截频和高截频。 f_n 可以按一递归系列选取,即 $f_{n+1} = kf_n$,一般 k 可近似为1.0, f_0 为5~10 Hz。 n 的取值要确保其相应频率落在扫描范围之内,同时又小于奈奎斯特频率。滤波器的高截频和低截频根据倍频程决定, $f_h/m = f_n = mf_l$,一般 m 为1.2。

3 旋回模型时频分析

设计时间域单道旋回模型,时间长度为0~200 ms(图3a),其在时间上存在旋回性;利用40 Hz零相位雷克子波褶积反射系数模型做地震合成记录(图3b);将单道合成记录作为输入,对其进行时频分析,得到图3c结果。

从图3c可以直观清晰的看到结果的旋回性,也很容易利用时频剖面地质解释绘出其右边的层序旋回图,而得到的这种层序旋回性质很好地反映出了原始模型的系数分布状态。剖面从左到右频率递增,模型中层比较厚对应时频剖面低频成分丰富,相反,时频剖面上高频能量较强的位置正好对应模型中的薄层。

在上述模型时频分析计算过程中,我们取前后两个优势频率之间的关系为 $f_{n+1} = 1.1f_n$,滤波器的高低截频之间的关系为 $f_h/1.2 = 1.2f_l$,即前面提及的 m 取为1.2。图4给出了频率域所有滑动滤波器的形状,可以看到所有的滤波器都是小三角形。它们具有这样的特点:

1) 随着频率的提高,滤波器的频域延续度加长;

2) 优势频率的连线是一条近似抛物线(图4中的虚线);

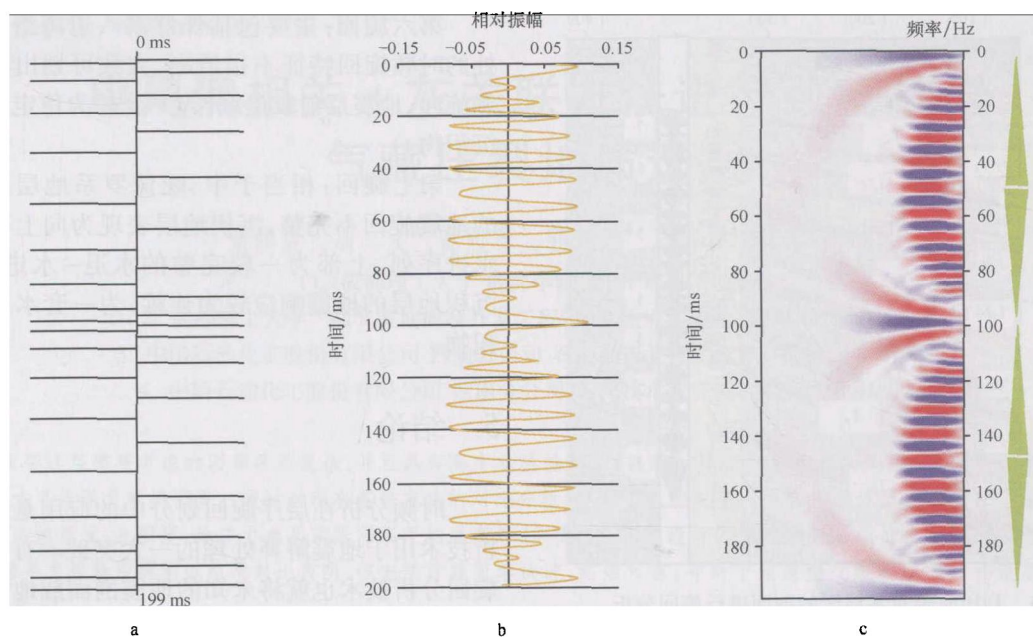


图3 利用时频方法进行模型旋回分析

Fig. 3 Model cycle analysis with the T-F method

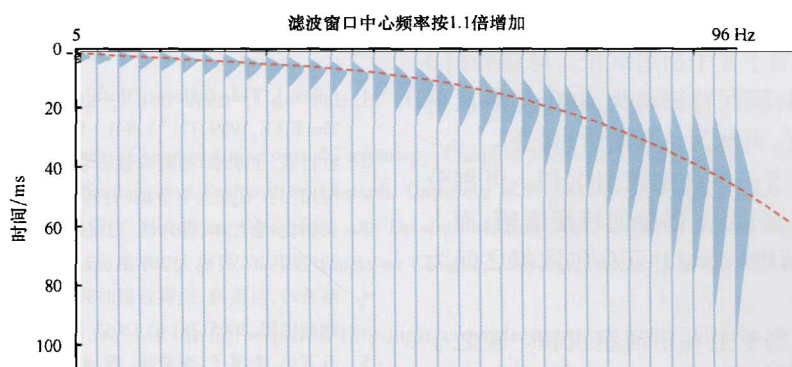


图4 频率域滤波窗口显示

Fig. 4 Filter windows in frequency domain

3) 滤波三角形不是以优势频率为中心严格对称,而是向高频端倾斜,且随着优势频率的增加,这种不对称性更加突出。

所有这些性质,都是为了突出优势频率,同时还有利于保护高频信息,更好的识别薄层。

4 时频旋回分析应用实例

在叠后资料的解释评价过程中,结合已有的解释层位信息、井资料合成记录信息可以很好的发挥时频分析的优势,它可以提供较为准确的频

率分布信息,而这在以往是不可求的。利用时频剖面,可以根据不同地区的特性进行合理的层序划分,这为目前的构造精细解释提供了帮助。图5是对一张实际地震剖面的一道进行时频层序旋回分析的结果。

能够得到这样的结论:从剖面反射特征及时频旋回来看,纵向上自下而上可以划分出7个地震旋回,每个旋回又可细分为多个次级小旋回。

第一旋回:相当于风城组沉积,大致可确立两个水退-水进旋回,但时频旋回特征不明显;反射特征显示,反射连续性差,见前积反射,指示有水

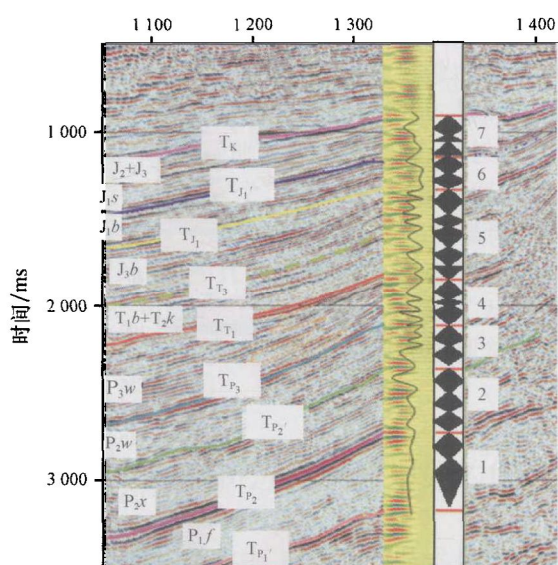


图5 利用时频对某地区的剖面进行旋回分析

Fig. 5 Cycle analysis of a profile in an area with time-frequency method

流携带物源的进积,可能为滨海浅湖内的三角洲沉积。

第二旋回:相当于夏子街组沉积。可划分出3个水退-水进旋回,旋回特征较为清晰,地震反射的连续性相对较好,可能为一套湖泊相沉积。

第三旋回:相当于下乌尔河组沉积。可划分出两个水退-水进旋回,下部旋回特征清晰;而上部旋回特征不很清晰,这与上下乌尔河组之间为不整合接触有关。

第四旋回:相当于上乌尔河组沉积。较之于下乌尔河组沉积,上乌尔河组沉积地层的连续性相对较好,反射层内部见有斜交的反射同相轴出现,可能为水下的扇体沉积,时频旋回上表现为3个水退-水进旋回。

第五旋回:主要包括三叠系地层。见多个水退-水进旋回,其中下部的 $T_1b + T_2k$ 沉积时稳定性较差,无明显的地震反射连续性,上部的 T_3b 较为连续,整体来看三叠系地层,水退-水进相对频繁上下部地层沉积条件较为动荡。

第六旋回:主要包括侏罗系八道湾组。测点处的时频旋回特征不很清晰,大致可划出两个地震旋回,地震反射较连续,为一套较为稳定的水下沉积物。

第七旋回:相当于中、晚侏罗系地层。下部的地震旋回不完整,沉积地层表现为向上变细的水进序列,上部为一较完整的水退-水进旋回。沉积地层的地震响应较为连续,为一套水下的沉积物。

5 结论

时频分析在层序旋回划分中的应用是时频分析技术用于地震解释处理的一大突破。有了时频旋回分析技术也就将未知的地震剖面或地震道在频率域形象地进行了旋回划分,达到了直观的效果。随着精细勘探的加深和地震地质的更加紧密结合,时频旋回分析技术一定会得到更多勘探开发人员的认可。

参考文献

- 1 Cohen L. Time-frequency distributions-a review[J]. Proceedings of The IEEE, 1989, 77(7): 941 ~ 981
- 2 杜世通,王永刚. 地震参数综合处理方法在储层横向预测中的应用[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1993, 17(1): 8 ~ 15
- 3 吴国忱,康仁华,印兴耀. 三维时频分析方法在地震层序分析中的应用[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(1): 81 ~ 84
- 4 蔡希玲,吕英梅. 地震数据时频分析与分频处理[J]. 勘探地球物理进展, 2005, 28(4): 266 ~ 270
- 5 石万忠,李举子,李梦溪,等. 时-频分析在高分辨率层序地层学中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 234 ~ 237
- 6 张军华,王永刚,杨国权,等. 地震旋回体的概念及应用[J]. 石油地球物理勘探, 2003, 38(3): 281 ~ 284
- 7 罗东明,谭学群,游瑜春,等. 沉积环境复杂地区地层划分对比方法——以鄂尔多斯盆地大牛地气田为例[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 38 ~ 44
- 8 刘敬强,田世澄,焦勇,等. 层序地层学与成藏动力学的耦合及在油气勘探中的意义[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 628 ~ 633

(编辑 高岩)