

文章编号 :1000-0550(2001)02-0245-04

# 塔里木盆地高频波识别及其意义

范国章<sup>1</sup> 金之钧<sup>1</sup> 刘国臣<sup>1</sup> 张宝民<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>石油大学盆地与油藏研究中心 北京昌平 102200) (<sup>2</sup>石油勘探开发科学研究院 北京 100083)

**摘要** 以测井资料为纽带,把小波分析与米兰柯维奇旋回结合起来,实现了地层持续时间的精确确定,进而计算了研究层段的沉积速率。利用滑动窗口和小波分析的方法找到了控制和影响盆地沉积演化的两种高频波动过程,高频波的识别为波动过程与层序地层学、与储盖组合的结合奠定了基础,提高了与波动分析有关的各项研究的精度,为在生产实践中的应用开辟了道路。

**关键词** 年代地层框架 高频波 层序地层学 塔里木盆地

**第一作者简介** 范国章 男 1973 年出生 博士 石油地质学 应用地球物理学

**中图分类号** P539.2 TE121.3 **文献标识码** A

沉积盆地波动过程分析是指通过分析一些一般的(周期的、似周期的、非周期的)地质现象,用特殊的工作方法分解出有规律的波动过程,并建立波动方程,从而达到定量预测的一种方法<sup>[1]</sup>。该方法是由俄罗斯学者 B. И. 施比伊曼和 Г. И. 缪斯尼高娃于八十年代末创立的。九十年代初引入中国以来,该方法在我国黄骅拗陷、广东三水盆地、塔里木盆地进行了广泛的应用,取得了一些新的认识,并日趋完善,但由于受到研究区年代地层框架精度的限制,研究还仅限于低频波(周期大于 30 Ma)对盆地的研究仅限于宏观框架上,与层序的结合也仅限于层序与超层序范围内,也难以用来研究生储盖分布规律,大大限制了该方法在油气勘探中的应用及高频波的理论研究。

为此,选取塔里木盆地某地区志留系作为研究对象,应用测井数据将数学分析方法与米兰柯维奇旋回建立了联系,实现了地层的精细定年,为高频波的识别提供了可能。

## 1 精细年代地层框架的建立

建立精细年代地层框架是通过数学分析方法识别测井曲线中包含的具有年代地层意义的米兰柯维奇旋回实现的<sup>[2]</sup>。利用傅立叶分析识别米氏旋回已被李培廉和盛蔚<sup>①</sup>、张国栋<sup>②</sup>等多处应用,但由于受傅立叶分析方法本身的限制,其对于复杂地区的适应性差,难以与地质认识紧密结合。为此,本文利用小波分析的方法,它实现了“对给定时间内,把一个振动信号表示成每一个都同时拥有足够确定位置与频率的初等小波的叠加<sup>[3]</sup>”,从而优于傅立叶分析在该处的应用。

### 1.1 研究区及资料选取

为保证研究的精度和可靠性,选取塔里木盆地塔中地区 5 口井的志留系碎屑岩作为研究对象,该段地层为海相沉积,具有相对的稳定性。所用的测井资料为 GR 放射性数据,并参考了声波测井、电阻率测井数据。同时,考察了所用资料的测井质量,认为测井数据是可靠的,并对测井曲线进行了环境校正和井眼校正,以及归位处理等。

### 1.2 地层持续时间的确定

利用二进小波变换程序对所选数据进行了处理,得到其所包含的主要频率成分,这还是“深度域”的数据,要计算分析层段的持续时间,必须将其转换到“时间域”。在此,利用了米兰柯维奇旋回的三个周期之间的比率关系,因为米氏旋回为天文旋回,在地质历史时期具有相对的稳定性<sup>[4,5,8]</sup>,如果能够在地层所包含的各种旋回中找到与米氏周期比率相等的关系,我们就认为研究层段的各旋回对应于各米氏旋回,这样就可以将“深度域”的数据变换到“时间域”,计算层段内所包含米氏旋回的个数,就可以得到分析层段的持续时间<sup>[2]</sup>。应用上述方法,得到塔中地区志留系的精细年代地层框架如表 1 所示。

## 2 高频波的识别

得到了精细年代地层框架,通过经验公式恢复地层原始厚度,就可以用来计算沉积速率。由于年代地层框架精度的提高,使得沉积速率的精度也相应提高,为从中识别高频波提供了可能。高频波的提取利用了

① 李培廉,盛蔚. 高频旋回性分析基本原理. 内部交流

② 张国栋等. 国家“八五”塔里木科技攻关项目科研报告. 内部资料

表 1 塔里木盆地塔中地区下志留统年代地层框架  
Table 1 Chronostratigraphic framework of Lower Silurian in Tarim Basin

Table with 9 columns: 深度/m, 年代/Ma, 沉积速率/m·Ma⁻¹, 深度/m, 年代/Ma, 沉积速率/m·Ma⁻¹, 深度/m, 年代/Ma, 沉积速率/m·Ma⁻¹. It lists stratigraphic data for the Lower Silurian in the Tarim Basin.

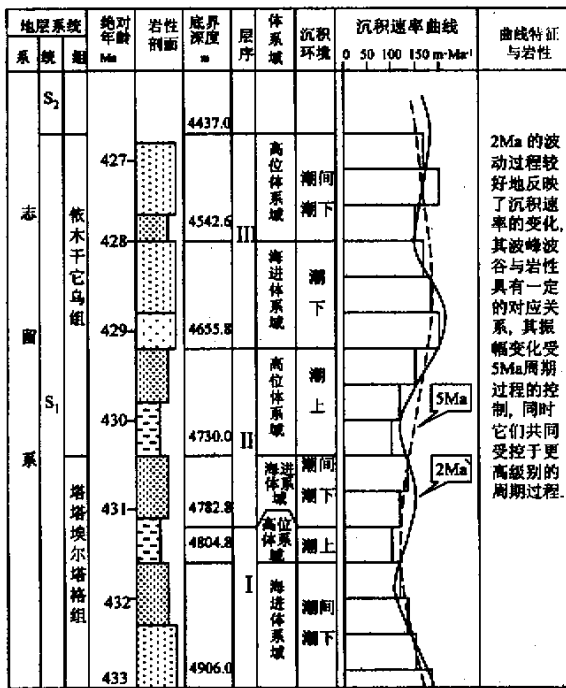


图 1 TZ\*\* 井高频波动过程综合分析图(5 Ma 与 2 Ma)

Fig.1 Comprehensive analysis of high-frequency wave on TZ\*\* about 5 Ma and 2 Ma

滑动窗口和小波分析的方法,这两种方法都可看作是一种带通滤波的过程,但小波分析更加简单易行。通过分析得到了控制与影响盆地演化的两种周期过程—

5 Ma 和 2 Ma 结合研究区地质认识,建立了波动过程综合分析图(图 1)。依据年代地层框架和频率分析的采样定理,认为不存在周期在 2~0.4 Ma 之间的周期过程,沉积速率所能表现的控制和影响盆地演化的高频周期过程的下限为 2 Ma。

5 Ma 和 2 Ma 周期过程在地质历史中是普遍存在的,已为广地质学家证实。我们在沉积速率的变化周期中也找到了这两个周期,但与其对应的天文因素还存在争议,一般认为与奥特星云的周期性变化和运动有关[6]。

### 3 高频波研究的意义

在“八五”、“九五”塔里木科技攻关期间,盆地沉积波动过程的研究工作取得了一些新的认识,识别出控制盆地演化的周期有 760 Ma、220 Ma、100 Ma 和 30 Ma,由于周期长、地层厚度大,对于研究生储盖分布规律及与三级层序的关系等方面受到了很大限制。本文高频波的识别可以有效地克服上述不足。

#### 3.1 沉积波动过程与地层层序

对地层层序的划分,不同学者提出了不同的划分方案,他们的划分原则主要有:构造运动在沉积记录中的反映,沉降速率的变化,褶皱、断层、岩浆及底辟作用,还有 Vail 等提出的全球海平面变化等。而从层序的持续时间上看,一级层序时限为 60 Ma~120 Ma,二级层序时限为 30 Ma~40 Ma,三级层序时限为 2 Ma~5 Ma,持续时间大于 120 Ma 的层序称为超层序,小于 2 Ma 的称为准层序。

根据对盆地演化的控制和影响作用的大小,盆地的波动过程可以分为三级:760 Ma 为第一级波动过程,它控制了盆地从生成到消亡的历史称为能量函数;220 Ma、100 Ma 和 30 Ma 为第二级波动过程,称为低频波,它们控制了盆地内的沉积与剥蚀过程,是控制盆地演化的重要周期,它们受第一级周期过程的控制;5 Ma 和 2 Ma 为第三级波动过程,称为高频波,相对于以上两级周期过程其作用是微弱的,它们在以上两级周期过程的控制下对于盆地的沉积有重要的影响作用。

从持续时间上看,盆地的波动过程与地层层序具有一定的对应关系。能量函数与超层序对应,反映了盆地的总体沉积水平;低频波与一级层序和二级层序对应,其基本上控制了盆地的沉积过程,对于盆地演化的研究具有重要的意义;高频波与三级层序对应,三级层序为层序地层学的基本单元,高频波则是盆地基本的波动过程,可以影响盆地的沉积剥蚀变化,准层序级别的旋回在沉积速率波动曲线上没有表现,反映了其在沉积演化中的作用是比较弱的。

### 3.2 高频波与三级层序

通过对塔里木盆地塔中地区的研究,我们建立高频波与三级层序的密切联系。在图 1 中,5 Ma 的周期过程在高级别周期波的调制下,控制了沉积速率的变化。而沉积速率高→低→高的变化趋势与海平面的海进→海退→海进具有非常好的对应关系,从而先后沉积了潮间、潮下砂岩→潮间、潮上砂泥岩互层→潮间、潮下砂岩。从 2 Ma 的波动过程看,在塔塔埃尔塔格组发育了一套沉积速率高→低→高的沉积物,刚好与海进体系域→高位体系域→海进体系域对应;在依木干它乌组发育了沉积速率低→高→低→高的一套沉积物,对应于高位体系域→海进体系域→高位体系域→海进体系域的早期。并且,2 Ma 波动过程是在 5 Ma 与更高级别周期过程的调制下发生的,引起海平面变化规模较小,未引起沉积速率的大幅度变化。

通过对多口井资料的分析与对比,认识到高频波、三级层序和海进海退旋回间具有非常好的对应关系,并且它们的表现特征受到更高级别周期过程的控制和影响。三级层序是层序划分的基本单元,从多种不同的角度来研究层序的发生、发展演化,对于层序成因的研究和认识具有重要意义。为明了起见,将层序与高频波的关系示意如图 2。

另外,对于反映全球海平面变化曲线的三级层序持续时间的下限问题众说纷纭,Vail 等确定为 0.5~3 Ma、Mithchum 和 Van Wagoner 则确定为 1 Ma 左右、Wang 等将三级层序时限定为 2~5 Ma、贾振远和蔡忠贤确定为 2 Ma<sup>[9]</sup>,那么,将其定为哪个值更合适呢?

在高频波动分析过程中,得到的最短周期为 2 Ma 左右,其所引起的沉积环境的变化在同一盆地的不同地区表现不同(塔塔埃尔塔格组的海进、海退层序,在塔中表现明显,在塔北隆起和柯坪、巴楚一带表现不明显),或者说其所引起的沉积环境变化是很微弱的,易于被破坏掉而无法追踪。因此,我认为将三级层序的下限定于 2 Ma 是合适的。

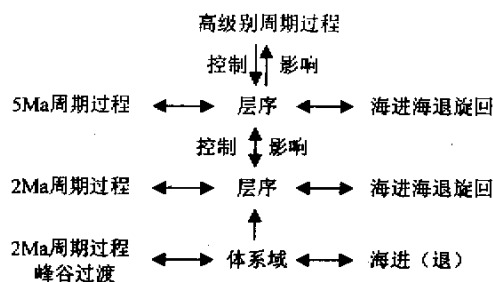


图 2 高频波与三级层序的关系示意图

Fig. 2 Relations among high-frequency waves, sequence and changes of sea level

### 3.3 高频波与储层和盖层

在图 1 中,高频波的峰谷值与岩性有一定的对应关系。将高频波和岩性的关系与高频波和层序地层学的关系结合起来进行综合分析,可以将波动过程与储层和盖层联系起来。在低频波的研究中,我们发现沉积加速度的变化与古水深度的变化控制着生储盖组合的分布。在沉积速度较大但加速度为零,即沉积由快变慢的过程中,在大陆斜坡或深水区往往发育有较好的生油岩;当沉积加速度为正值时沉积速率加快,有利于储层的形成,当沉积加速度为负值时有利于盖层的形成<sup>[1]</sup>。高频波的研究使准确地预测生、储、盖层成为可能。由于该区志留纪时为浅水沉积环境,基本不发育生油岩,暂不讨论。

以 TZ \* \* 井为例说明高频波与盖层和储层的关系。在 TZ \* \* 井单井综合分析图中,2 Ma 与 5 Ma 周期过程的波峰波谷与岩心描述的对应关系为:

4 542.36~4 549.16 m 以棕红色泥岩、棕红色泥质粉砂岩、棕色粉砂质泥岩、浅灰绿色泥质粉砂岩为主。说明在 5 Ma 与高级别周期过程的控制下,该段沉积速率较高,在 2 Ma 周期过程的波谷位置沉积了一套以泥质粉砂岩和粉砂岩为主的盖层,由于粉砂岩的存在使得盖层的封堵能力较差。

4 732.80~4 739.09 m 以浅灰色沥青质粉砂岩、褐灰色泥质粉砂岩、浅灰色细砂岩、浅灰色含砾细砂岩为主。该段为 2 Ma 周期过程波峰对应的沉积速率较高的粉砂岩—细砂岩沉积,虽然在高级别周期过程调制下,沉积速率显得有些低,其仍然沉积了一套中差储

层,在某些孔渗性较好的层中含有沥青质,也说明了这一点。

4 814.70~4 825.68 m 以褐灰色沥青质粉砂岩,灰色沥青质细砂岩,褐灰色沥青质细砂岩,浅灰绿色泥岩,白色灰质细砂岩为主。该段与 2 Ma 周期过程的波谷向波峰过渡段对应,沉积了一套中差的储层,在孔渗性好的层段含有沥青质。在该段下部 2 Ma 周期过程的波谷位置由于受其它周期过程的影响,并没有发育盖层沉积,但该段上部的与 5 Ma 周期过程波谷对应的层段则应该发育了一套盖层沉积,其对应较低的沉积速率,从上述岩心描述中含有多处沥青质的层段可以得到证明。

上述的高频波与储层和盖层的对应关系在其它井的岩心中也见到了相似的情形,在此不再一一罗列,仅将高频波与储层及盖层的关系示意如图 3。

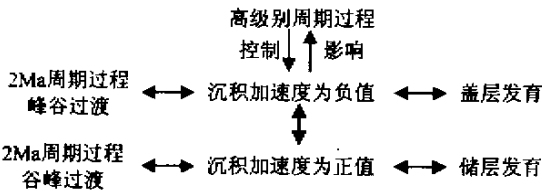


图 3 高频波与储层和盖层的关系示意图

Fig.3 Relations between high-frequency wave and reservoir & caprock

因此 2 Ma 周期过程中加速度为正值时可以发育作为储层的沉积体,而在加速度为负值时可以发育作为盖层的沉积体,说明高频波与储盖层的确具有一定的对应关系。同时,应该认识到这种对应关系的复杂

性,并且高频波对沉积过程的控制作用是有限的,其所控制的沉积体物性的好坏受到其它周期过程的控制和影响,在各种周期过程的相互作用中,哪一种周期过程占优势和起决定作用有待于进一步研究。由于沉积环境是多种多样的,沉积条件的变化是复杂的,只有综合对比研究了各种沉积环境的作用过程,建立了“模型库”,才能得出符合实际的结论。

### 4 结论

沉积盆地波动过程与地层层序可以建立紧密的、内在的联系。究其原因是沉积速率的变化是构造运动的反映,而构造运动控制和影响层序的发育,并且波动过程分析和层序地层学都认为地层中旋回的存在与天文因素有关。而它们之间关系的揭示将推动它们相互结合、共同发展,尤其对于扩大波动过程分析在盆地分析中的应用具有重要的意义。

### 参 考 文 献

- 1 金之钧,张一伟,刘国臣.沉积盆地物理分析—波动分析[J].地质论评,1996,42(增刊):170~180
- 2 金之钧,范国章,刘国臣.一种地层精细定年的新方法[J].地球科学—中国地质大学学报,1999,24(4):379~382
- 3 秦前清,杨宗凯.实用小波分析[M].西安:西安电子科技大学出版社,1995
- 4 吴智勇.米兰柯维奇韵律层及其年代地层意义[J].地层学杂志,1995,19(2):156~160
- 5 吴瑞棠,张守信.现代地层学[M].武汉:中国地质大学出版社,1991
- 6 中国科协天地生综合研究联络组编.天地生综合研究[C].北京:中国科学技术出版社,1989
- 7 贾振远,蔡忠贤.层序与旋回[J].地球科学—中国地质大学学报,1997,22(5):449~454
- 8 Schwarzscher W. Cyclostratigraphy and the Milankovitch Theory. Amsterdam, London, New York, Tokyo: Elsevier, 1993

## Identification and Significance of the High-frequency Waves in Tarim Basin

FAN Guo-zhang<sup>1</sup> JIN Zhi-jun<sup>1</sup> LIU Guo-chen<sup>1</sup> ZHANG Bao-min<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Basin and Reservoir Research Center, University of Petroleum, Changping Beijing 102249)

<sup>2</sup> Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083)

### Abstract

Combining wavelet analysis with Milankovitch cycle by logging data, we accurately determine the continuous age of strata, and chronostratigraphic framework of Lower Silurian in Tarim Basin is found, then sedimentary rate of research section is calculated.

Two high-frequency wave processing are performed by sliding window and wavelet analysis, which control

(Continued on page 270)

( Continued from page 248 )

and influence the sedimentary evolution of basin , and the identification of which provides the possibility to combining wave processing with sequence stratigraphy and with reservoir and cap rock , and improves the accuracy of each research relative to wave analysis .

On the basis of comparison and analysis of all data from wells , lithology and sequence , the figure of comprehensive analysis of high-frequency wave is discovered , which includes the information about curves of sedimentary rate , sedimentary circumstances , sequence and soon . Furthermore , we discovered the relations among high-frequency waves , sequence and changes of sea level , between high-frequency wave and reservoir as well as caprock .

**Key words** chronostratigraphic frame high-frequency wave sequence stratigraphy Tarim basin