

文章编号: 1000-0550 (2005) 04-0639-07

基于测井数据小波变换的层序地层对比 ——以鲁西和济阳地区石炭、二叠系含煤地层为例

李江涛 李增学 余继峰 郭建斌 刘晓丽 柳汉丰

(山东科技大学 山东青岛 266510)

摘要 测井数据蕴藏着非常丰富的地质信息,是迄今为止能够获得的分辨率最高、连续性最好的地质数据之一。测井信号的时频分析将一维的测井信号变换到二维的时频域,进而使其内部的能量聚集与分布得以清晰展示,利用测井信号沿时间方向上的差异性可以获取地层的旋回性等地质信息。通过连续小波变换对测井信号进行高质量的时频分析,运用小波变换的多尺度、多分辨率的特性进行层序、准层序的划分。同时通过小波时频分析寻找不同类型的体系域与小波时频特征之间的对应关系,分析层序内部的沉积特征及内部精细结构,建立了海侵体系域、高水位体系域和海退体系域的小波变换能谱地质模型,方便、快捷的实现了体系域的划分。最后在测井信号小波变换的基础上对鲁西和济阳凹陷的含煤地层进行了层序对比和分析,基本建立了山东地区晚古生代主要含煤地层的层序地层格架。

关键词 测井数据 小波变换 能谱分析 体系域 层序对比

第一作者简介 李江涛 男 1981年出生 硕士研究生 层序地层学

通讯作者 李增学 山东科技大学地球科学学院教授 博士生导师

中图分类号 P539.2 文献标识码 A

测井数据蕴藏着非常丰富的地质信息,是迄今为止所能获得的分辨率最高、连续性最好的地质数据之一。在地质事件中,由于沉积构造运动具有周期性,海(湖)平面会出现有规律的升降,表现为地层沉积在时间方向的旋回性^[1]。这种地质上的旋回性,使得测井数据的频谱沿时间方向上表现出一定的差异,从而使得对测井信号时频分析成为可能。小波变换时频分析是研究二维时频域研究信号的频谱随时间的变化规律,它将一维时间域测井信号变换到二维时频域,从而获得许多常规测井数据所不能体现的信息。利用它可以很方便的从测井资料中提取测井的时频特征变化规律,从而获得有关沉积层序的旋回性等地质信息,进而研究它的沉积环境和沉积相模式。传统的层序划分、对比及沉积旋回的检测方法主要是根据测井曲线的形态定性划分的,其研究范围局限性较大,横向上的对比分析显得过于主观。

在山东地区,石炭、二叠系为主要的含煤地层,主要赋存于鲁西隆起区的一些断块拗陷区和济阳拗陷区。鲁西断陷块区煤层埋深较浅,煤层开采也不复杂,因而其研究较为深入,对比也较清楚;济阳拗陷区

的石炭、二叠系埋藏较深,并且含煤地层赋存于中新世含油气地层之下,在目前开采技术条件下尚不利于开采,故没有进行系统的研究,在地层划分和对比等方面存在很多问题^[2]。本文的主要目的就是利用测井数据的小波变换来寻求层序边界、不同类型的沉积旋回与小波时频能量特征之间的对应关系,从而为研究层序、沉积旋回及对比提供一条新的途径,并为从直观定性的分析向量化综合解释的方向发展奠定基础。

1 小波理论简介

小波和小波变换的数学定义:若存在函数 $f(t)$

$L^2(R)$,即

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)|^2 dt < \infty$$

并且满足条件

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |f(\omega)|^2 / |\omega|^{-1} d\omega < \infty$$

其中 $\hat{f}(\omega)$ 是 $f(t)$ 的 Fourier(傅立叶)频谱。

称函数 $\psi(t)$ 为一个基本小波或小波母函数,对

小波母函数进行伸缩平移变换,得到一小波函数簇:

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), a, b \in \mathbb{R}, a > 0$$

其中 a 为尺度参数, b 为时间平移参数。一维连续信号(函数) $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ 的小波变换定义为:

$$C_f(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

通过定义可以看出,小波变换的基本思想是用一族函数去表示或者逼近某一信号或函数,这一簇函数称为小波函数系。它是通过一个基本小波函数的不同尺度的伸缩和平移构成的。由上述的定义可知,信号的小波变换 $C_f(a, b)$ 反映了信号含有的特定小波分量 $\psi_{a,b}$ 的大小, $|C_f(a, b)|^2$ 就是信号在 a, b 时的小波频谱能量^[3]。小波函数 $\psi_{a,b}(t)$ 随尺度参数 a 、时间位移参数 b 的变换对应不同的频段和不同的时间区间^[4],也就是说小波变换在时间域和频率域上同时具有良好的时频域局部化性质。它克服了传统傅立叶变换时频局部性差、分辨率固定的缺点,实现了对信号更精确地进行局部化分析。

小波变换的意义在于将一维的时间函数展布成为一个二维参数空间 (a, b) ,从而形成一种能在时间(或空间)坐标位置 b 和尺度(时间周期或空间范围) a 上具有变化的相对振幅的一种度量。小波系数的数值大小揭示了小波函数与时间函数的相似程度,它实质上可理解为要分析的函数与小波的协方差^[5]。现今在连续小波变换中用的最广泛的、效果最好的是 Morlet 小波和墨西哥帽小波^[6]。

2 小波变换划分层序的依据

2.1 划分依据

具有成因联系的地层测井序列是一定时间序列内各种沉积事件的物质记录,它能够敏感、连续地反映所测地层的旋回性、周期性等沉积特征。同时,测井曲线作为一系列深度域的高频振动信号序列的组合,通过小波变换这种对高频信号具有较高的时间分辨率的特性,正好满足了对具有多尺度特征的信号利用小波变换进行分析定位的要求。

测井信号经过小波变换处理后使其中的频率结构暴露无疑,并可探测到各个频率段之间的突变点或突变区域,反映在地质问题上就是其形成环境的突变。余继峰等探讨了测井数据小波变换的地质意义,认为测井数据经小波变换后所得的小波系数周期性震荡的位置代表了各级的突变点和突变区域,是一种

界面的响应^[7]。研究表明,测井数据经过小波变换之后,通过考察多种伸缩尺度下表现出的明显周期性震荡特征,可与各级层序分界面建立一定对应关系,作为测井层序分析的依据。

2.2 划分结果

本文是基于 Morlet 小波对鲁西 (W-1) 和济阳凹陷 (W-2) 地区的典型钻井的自然伽马测井参数进行了连续小波变换,据此对该地区石炭、二叠系的主要含煤层段太原组和山西组进行了层序划分。由于钻孔的限制,本溪组的资料不足,因而层序 1 的划分未作为本文的研究内容,层序 1 顶界面的确定参照李增学等的研究成果^[10]。

图 1(a) 代表测井参数 GR 数值,横坐标代表深度,自左至右深度增加,坐标值为采样点序号,间距为 0.125m;纵坐标为 GR 测井信号;图 1(b) 为经 Morlet 小波变换后得到的小波变换系数的时频色谱平面图,颜色由浅到深代表由低值到高值,横轴代表时间(深度)位移轴 b ,此处为采样点序号,可换算为深度值 (m),纵轴为伸缩尺度轴 a ,其数值为该尺度所包含的采样点的个数,也可类似地换算为长度值 (m),本文在进行小波变换时,起始值和步长参数均选为 2,所以此处 $a=2$ 代表 $2 \times 0.125 = 0.25$ (m) 的长度值;(c) 代表在不同伸缩尺度 a 下的小波系数变换曲线。

对小波变换之后的该井的 GR 参数进行分析,从图 1 可以看到小波系数变换曲线存在一个明显的界限,在横轴采样点序号 1578 (2 331.75 m) 处,可以将整个分析层段明显的分成两大部分,这两处在原始的 GR 信号和尺度 $a=130$ 的小波变换曲线上均表现为明显的异常震荡。因此按照这个界限将其划为 2 个层序 (1, 2),即在采样点之间划分出 2 个层序,分别是层序 3,从采样点 1 (2 134.5 m) ~ 1578 (2 331.75 m);层序 2,采样点 1578 (2 331.75 m) ~ 层序 1 界面 (2 446.91 m)。

通过对尺度参数 a 的缩放,可以运用类似的方法对层序内部进行次级的准层序的识别^[8],限于篇幅本文并没有给出次级准层序的划分结果。需要说明的是小波变换所选用的尺度 a 的范围以及变换步长 b ,取决于划分的精度和测井参数的变化,需要通过反复的试验来摸索。

3 体系域分析

3.1 体系域频谱模型的建立

根据沉积学的研究,在单一的层系体一旋回内,

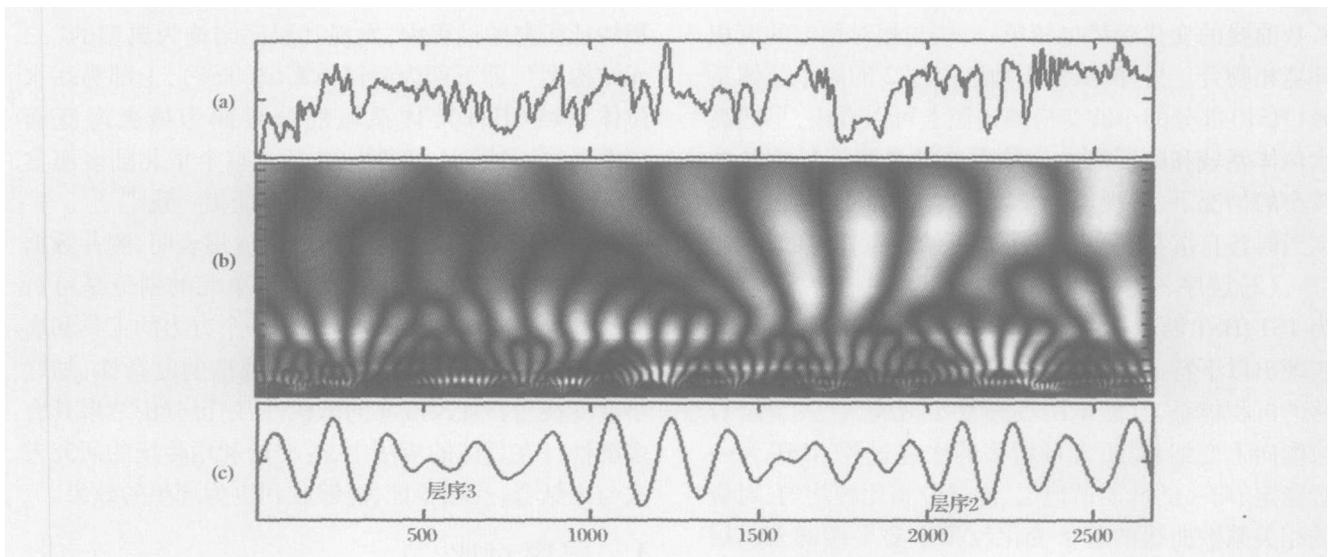


图 1 小波变换及层序划分示意图

Fig 1 The result of wavelet transform and division of sequences

沉积岩物性和物质的变化具有方向性和连续性,各种级次和规模的旋回都具有这种方向性^[9]。根据小波变换的意义,这些旋回性和连续性体现在测井信号上就是能量的旋回性和连续性。运用小波分析的结果,就能从经过小波变换的测井信号中获得有关沉积地层的旋回性、水进水退的沉积模式,并可阐明各级沉积层序内部的精细结构。为了便于运用小波变换的时频分析方法进行层序内部各体系域的分析,首先要构建各体系域和与之响应的测井信号经小波变换后在时频域上的模型。

海侵体系域 (TST):海平面上升时期的产物,沉积物粒度向上变细,代表了退积型的沉积环境。在小波变换时频分析图上,TST为一套向浅部频谱能量团向大尺度迁移的地层,也就是说随尺度增大,信号的局部能量由浅部向深部转移,响应了岩石粒度向上变细,泥质含量增多的水进沉积,如图 2(a)所示。随着海平面上升,发育一系列连续的似台阶状的后退叠置的向陆地方向的沉积,与之对应的是经小波变换后的测井信号的小尺度能量团向浅部的阶梯状迁移。随着尺度的增大,信号的局部能量由深部向浅部移动,表明旋回顶部富含高频成分、底部富含低频成分。

早期高水位体系域 (HST):为层序最上部的体系域,是海平面高位期的沉积。此阶段海平面的上升非常缓慢,直至上升到最高水位,以加积小层序为特色,沉积环境相对处于稳定状态,因而在测井信号的小波变换时频能量谱上表现为一套比较稳定的能量团,图

2(b)。

晚期高水位体系域 (RST):属于高水位体系域的晚期,此时海平面缓慢下降,沉积特征与 TST 的情况相反,反映水动力条件由弱到强,沉积物粒度由细到粗,泥质含量减少砂质增多的进积性的沉积环境。通常在岩性上由砂泥岩单层厚度随埋深增加而递减的不等厚互层组成。在小波变换时频能量谱上,随尺度的增大,信号的局部能量由深部向浅部减弱,其表明旋回顶部富含低频成分、底部富含高频成分,并且随埋深的增大,信号的小尺度高能团由浅部向深部逐渐变小,图 2(c)。

3.2 分析实例

运用上述方法建立体系域的频谱模型便可以对济阳凹陷地区某钻井(W-2)和鲁西地区某钻井(W-1)的层序 2、层序 3 的内部精细单元结构——体系域进行详细划分,下面就以该区为例来说明具体划分的结果(见图 3):

(1)层序 2 为一套厚度中等的地层,分为海侵体系域(TST)和高水位体系域(HST)两个旋回,两者的界线清晰、明确。体现在测井信号小波变换的频谱图上,TST 部分的能量值相对较大(在图上表现为暗色调和明色调相间,但以亮色调为主),并且变化规律与图 2 中的(a)一致。与之对应的尺度相关系数曲线波状起伏明显,代表了沉积环境多变、复杂且粒度向上变细,泥质含量增多的水进沉积。层序顶部的 HST 部分,能量相对稳定,颜色明亮、分布均匀,相关

系数曲线的变化趋势也较单一,这与相对稳定的沉积环境相吻合。另外,从济阳地区层序 2 的高水位体系域 (HST) 部分的小波变换频谱图上可以看出,早期高水位体系域和晚期高水位体系域的界线在尺度参数较小的情况下,表现出图 2 中所示的特征,说明该地区当时各自沉积环境及与之响应的能量变化的差别。

(2) 层序 3 为一套厚度相对较大的地层,也划分为 TST、HST 两个体系域。时频能量谱特征由下向上表现出以下特征: TST 为一套频谱高能量团向浅部迁移的沉积体系,且能量团逐渐变小减弱,代表了岩石粒度向上变细,泥质含量增多的水进过程; HST 为一套稳定、均一的低能谱地层,能量分布比较均匀,对应的相关系数曲线的起伏变化较 TST 要平缓的多。层序 3 的 HST 部分,早期和晚期高水位体系域的界限非常明显,从图 3 中可以清楚的辨别:在 HST 的下部,测井信号经小波变换后,表现为弱能量但均匀、稳定,反映沉积环境相对稳定的早期高水位体系域;在 HST 的上部,其小尺度上高能团出现图 2 (c) 所建立的向浅部迁移的特点,规律非常明显,反映了晚期高水位体系域的海退过程。

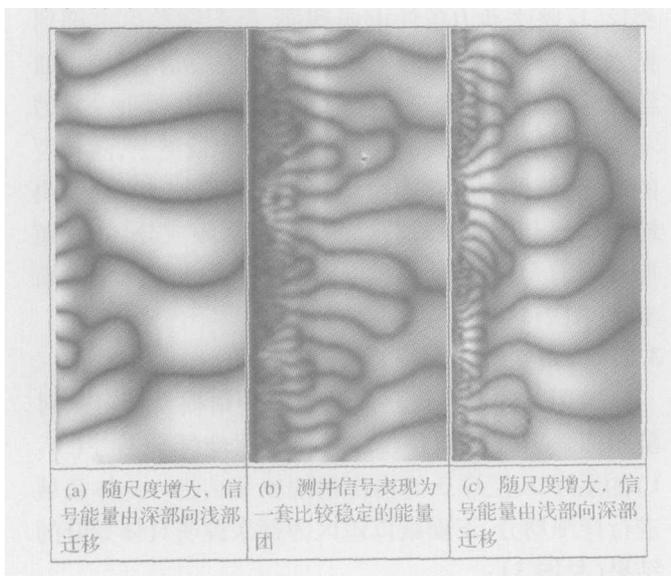


图 2 体系域小波分析时频分析模型

(a) TST—海侵体系域; (b) HST—早期高水位体系域;
(c) HST—晚期高水位体系域

说明:横轴代表尺度,纵轴代表深度,左上角为原点

Fig 2 Models of system tract for wavelet analysis of time-sequence

对鲁西地区某钻井 W-1 的层序及内部体系域分析,可以发现相同的规律,最终的划分结果均呈现在图 3 中。在对鲁西和济阳拗陷石炭、二叠系陆表海沉

积特征研究的过程中,发现其层序结构为典型的“二元结构型”,即下部为海侵体系域 (TST),上部为高水位体系域 (HST),体系域的分界面为最大海泛面 (mfs),这一特征与鲁西地区乃至整个华北陆表海盆地含煤地层的三级层序的结构特征相一致^[10~13]。

上述理论模型和实际资料的应用表明,测井数据的小波变换用于层序及内部精细单元的划分是可行的,为层序地层学的研究提供了一个有力的工具和崭新的思路。但是,由于实际测井数据的复杂性,加之小波变换对特征尺度 a 的依赖性,使得分析结果具有多解性。在具体的应用中,应充分利用传统的研究方法与之结合,互相验证,能够收到更为理想的效果。

4 层序对比

通过对鲁西 (W-1) 和济阳地区 (W-2 钻井) 典型钻井测井数据的小波变换,最终依据测井信号的频谱特征将这两个地区石炭、二叠系的主要含煤地层—太原组和山西组划分为 2 个层序 (三级层序),并依据测井信号的小波变换所反映出来的内部能量的聚敛和迁移组合规律在各层序内部进行了海侵体系域 (TST) 和高水位体系域 (HST) 的划分。加之通过对鲁西和济阳地区两个不同构造单元大量钻井的多种测井参数分析,结合大量钻井岩芯以及露头的详细研究,基本确定了两地区的层序地层格架,并进行层序地层的对比。

层序 2 的底界面为层序 1 的顶界面,位于太原组的下部,在该界面以上出现海侵沉积,其典型特征是在界面之上出现含有正常海洋生物的沉积^[11~14]。层序 2 的顶界面为华北陆表海盆地充填沉积中的第二个最大海退事件面,位于太原组的中上部,为层序 2 形成的一个三级海平面周期中最大海退时形成的界面,该面的影响范围较大,向南可以追踪到两淮地区^[11]。层序 2 是比较典型的陆表海海陆交替型含煤沉积,薄层煤、薄层海相层和深色泥岩、页岩,夹杂各种粒度的砂岩,呈现出多旋回的特征。并且由于地壳震荡运动的不均衡性,使得海侵、海退频繁发生,沉积环境不断变化,造成灰岩层数、发育程度以及含煤性各地较大的差异。这一点通过鲁西和济阳地区典型钻孔的岩性柱状图可以清楚的发现,在测井信号的小波变换时频能量图上也能看出——不同尺度下的高能团和低能团频繁交替出现,反映了频繁的海平面变动以及这两个地区的古沉积环境的差异。层序 3 是陆表海盆地充填的上部沉积,包括太原组的上部和山

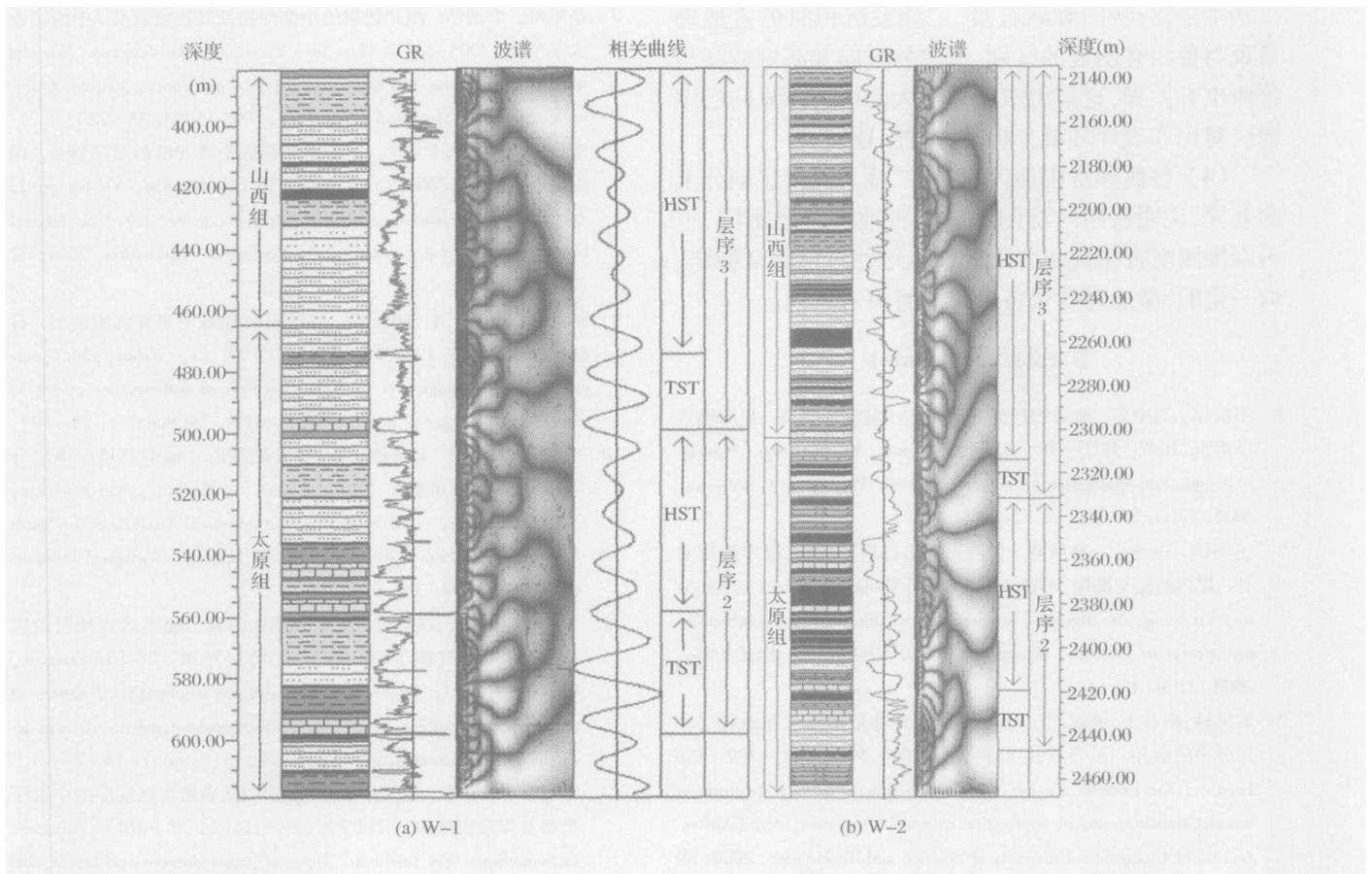


图 3 鲁西和济阳地区小波变换时频综合分析图

Fig 3 The comprehensive maps of wavelet transform analysis of time - frequency in Luxi and Jiyang area

西组的中下部,滨海三角洲体系比较发育,海侵体积已经明显减少。山西组和太原组为连续沉积,局部可以发现冲刷痕迹,该段为山东最重要的含煤地层,煤层厚度较大,分布面积广,层位稳定,通过地层对比发现从鲁西向济阳凹陷的由南向北方向上煤层厚度变薄。层序 3 底界面以上有海侵的沉积标志;其顶界面为区域性海退事件界面,代表整个陆表海盆地发生大规模海退,致使海水基本退出聚煤盆地,这次海退是区域性的,影响整个华北地区,海水南退至华北以南地区。层序 3 沉积结束后,陆表海充填沉积结束。由于盆地构造应力场的转换,北升速度加快,原来基本为板内稳定的聚煤盆地逐渐变的不太稳定,盆地南北地形差异变的较为明显。也就是说,陆表海盆地与大型陆相盆地间的分界面实际上是一种构造应力场转换面,构造应力场的转换是造成海水大规模南退的构造动力原因。

5 结论

(1) 基于测井信号小波变换来进行层序及其内部单元的划分和对比是有效可行的。通过不同的尺度参数的“缩放”操作,即小波变换的多分辨率探测出不同尺度下的旋回性结构(如层序、准层序及体系域等沉积单元),而且直观性强,结果也较准确、可靠,是对传统研究方法的有效补充。

(2) 小波变换作为新的时频分析工具,具有时频局部变化特征。地球物理测井小波波谱分析将一维测井资料在波数域拓展为二维的小波波谱,使其内部的能量聚集与分布得以清晰展示,可用于细致分析沉积单元的局部特征以及任意点附近的振荡行为,因而是处理和解释测井资料、进行测井层序及其内部精细单元分析的有效手段。

(3) 通过济阳拗陷与鲁西地区石炭、二叠系层序地层对比,整个山东地区晚古生代的层序地层格架可

以基本建立, 济阳拗陷石炭、二叠系沉积时的古地理景观与鲁西有明显的区别, 海侵的方向和海域特征与鲁西也有差异, 这是山东两个较大的构造单元间层序地层对比和成煤环境分析的关键问题。

(4) 鲁西和济阳地区石炭、二叠系在层序划分上的差异, 说明鲁西与济阳地区的古地理环境不同, 也可以推测晚古生代华北陆表海盆地并不是非常稳定、均一化的, 微地理背景各地可能有显著不同。

参考文献 (References)

- 李庆谋, 刘少华. 地球物理测井序列的小波波谱方法. 地球物理学进展, 2002, 17 : 78 ~ 83 [Li Qingmou, Liu Shaohua. Wavelet scalogram and application for geophysical well. Progress in Geophysics, 2002, 17 : 78 ~ 83]
- 王明镇, 李增学, 余继峰. 鲁西—济阳石炭、二叠系层序地层对比. 煤田地质与勘探, 2003, 31 : 1 ~ 4 [Wang Mingzhen, Li Zengxue, Yu Jifeng. Stratigraphic sequence correlation of Permian-carboniferous system in Luxi and Jiyang area. Coal Geology and Exploration, 2003, 31 : 1 ~ 4]
- 崔凤林, 谢春来, 付雷, 等. 小波变换时频能量谱技术在震层序划分中的应用. 长春科技大学学报, 2000, 30 : 397 ~ 399 [Cui Fenglin, Xie Chunlai, Fu Lei, et al. The time-frequency spectrum of wavelet transform and its application in seismic sequence identification. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2000, 30 : 397 ~ 399]
- 李定龙, 周治安, 汪才会, 等. 小波分析在地质分形科学中的应用前景. 地质科技管理, 1997, 4: 48 ~ 51 [Li Dinglong, Zhou Zhi'an, Wang Caihui, et al. The application prospect of wavelet analysis in fractal science of geology. Management on Geological Science and Technology, 1997, 4: 48 ~ 51]
- 陈桂明, 张明照, 戚红雨. 应用 Matlab 语言处理数字信号与数字图象. 北京: 科学出版社, 2000 [Chen Guiming, Zhang Mingzhao, Qi Hongyu. The Deposition of Digital Signals and Pictures with Matlab. Beijing: Science Press, 2000]
- 邓自旺, 林振山, 周小兰. 西安市近 50 年来气候变化多时间尺度分析. 高原气象, 1997, 16 : 81 ~ 93 [Deng Zi'wang, Lin Zhenshan, Zhou Xiaolan. Multiple time scales analysis of Xi'an climate change for last 50 years. Plateau Meteorology, 1997, 16 : 81 ~ 93]
- 余继峰, 李增学. 测井数据的小波变换及其地质意义. 中国矿业大学学报, 2003, 32 : 34 ~ 38 [Yu Jifeng, Li Zengxue. Wavelet transform of logging data and its geological significance. Journal of China University of Mining and Technology, 2003, 32 : 34 ~ 38]
- 李江涛, 余继峰, 李增学. 基于测井数据小波变换的层序划分. 煤田地质与勘探, 2004, 32 (2): 48 ~ 50 [Li Jiangtao, Yu Jifeng, Li Zengxue. The demarcating of stratigraphic sequence based on wavelet transform of well-logging data. Coal Geology & Exploration, 2004, 32 (2): 48 ~ 50]
- 雷克辉, 朱广生, 毛宁波, 等. 在小波时频域中研究沉积旋回. 石油地球物理勘探, 1998, 33 (增刊): 72 ~ 79. [Lei Kehui, Zhu Guangsheng, Mao Ningbo, et al. The research of sedimentary cycles in wavelet time-frequency domain. OGP, 1998, 33 (Suppl): 72 ~ 79]
- 李增学, 魏久传, 王明镇, 等. 华北陆表海盆地南部层序地层分析. 北京: 地质出版社, 1998. 35 ~ 63 [Li Zengxue, Wei Jiuchuan, Wang Mingzhen, et al. Sequence Stratigraphical Analysis of the South Part of North China Epicontinental Basin. Beijing: Geological Publishing House, 1998. 35 ~ 63]
- 李增学, 魏久传, 李守春. 山东及临区石炭—二叠系含煤地层的层序地层式样. 沉积学报, 1995, 13 (增刊): 18 ~ 26 [Li Zengxue, Wei Jiuchuan, Li Shouchun. The sequence stratigraphical pattern of the Permian-carboniferous coal measure in Shandong and its adjacent area. Acta Sedimentologica Sinica, 1995, 13 (Suppl): 18 ~ 26]
- 李增学, 李守春, 魏久传. 鲁西煤田内陆表海含煤层序的小层序类型及煤聚积规律. 沉积学报, 1996, 14 (3): 38 ~ 46 [Li Zengxue, Li Shouchun, Wei Jiuchuan. Types of parasequences and law of coal accumulation of coal-bearing sequence in the Paleozoic epicontinental sea basin of western Shandong coalfield. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14 (3): 38 ~ 46]
- 李增学, 余继峰, 郭建斌, 等. 陆表海盆地海侵事件成煤作用机制分析. 沉积学报, 2003, 21 (2): 288 ~ 297 [Li Zengxue, Yu Jifeng, Guo Jianbin, et al. Analysis on coal formation under transgression events and its mechanism in epicontinental sea basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21 (2): 288 ~ 297]
- 曹忠祥, 刘华, 王玉林. 济阳拗陷石炭—二叠系沉积与层序地层分析. 山东科技大学学报 (自然科学版), 2004, 21 : 68 ~ 71 [Cao Zhongxiang, Liu Hua, Wang Yulin. Sedimentation and stratigraphic sequence analysis of Permian-carboniferous system in Jiyang Depression. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2004, 21 : 68 ~ 71]

Stratigraphic Sequence Correlation Based on Wavelet Transform of Well-logging Data: Taking the coal-bearing strata of Permian-carboniferous system in Luxi and Jiyang Area as an example

LI Jiang-tao LI Zeng-xue YU Ji-feng GUO Jian-bin LU Xiao-li LU Han-feng
(Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510)

Abstract The well logging data contains plenty of geological information and is one of geological data obtained by now with the highest resolution and best continuity. The time-frequency analysis transforms the one-dimension well signals into the two-dimension domain of time-frequency, which makes the collection and distribution of its inner energy clearly revealed. Then the geological information such as the cycle of stratigraphy can be obtained utilizing the otherness of logging signals in the axis of time. According to continuous wavelet transform, the high quality time-frequency analysis is performed. With the characteristics of wavelet transform such as multi-scale, multi-resolution the sequence and parasequence are clarified. Synchronously with wavelet analysis searching the corresponding relation between various system tracts and the features of time-frequency, analyzing the sedimentary features of sequence and inner elaborate structure, the geological models of wavelet transform spectrum about TST, HST and RST are built up, which can realize the clarification of system tracts quickly and conveniently. At last, based on the wavelet transform of logging signals, the stratigraphic sequence correlation and analysis of the coalbearing strata of Permian-Carboniferous in Luxi and Jiyang area have been done. The stratigraphic sequence framework of main coal-bearing strata formed in Neopaleozoic in Shandong area is established.

Key words logging data, wavelet transform, spectrum analysis, system tract, stratigraphic sequence correlation