文章编号:1673-5005(2008)03-0001-06

准噶尔盆地乌-夏地区二叠系夏子街组层序格架

杨怀宇1,陈世悦1,刘继山2,杨俊生1

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院,山东 东营 257061; 2. 新疆油田分公司 勘探开发研究院,新疆 克拉玛依 834000)

摘要: 准噶尔盆地乌-夏地区巨厚的夏子街组为隐蔽性圈闭,其地震反射特征在地震资料上表现不明显,层序界面识 别起来较困难。应用经典的层序地层学原理和方法,综合运用乌 - 夏地区地震、钻井和测井资料,借助地震时频分 析技术和测井小波旋回理论来确定层序界面的位置,在各层序井-震联合标定的基础上,分析研究了夏子街组不同 层序的展布特征和体系域构成,从而建立了夏子街组层序地层格架。研究表明:地震时频分析和测井连续小波变换 技术用来进行层序旋回划分较为可靠,应用此技术确定出准噶尔盆地乌-夏地区二叠系夏子街组共发育有4个具有 等时意义的层序界面,并将其划分为3个三级层序;应用地震时频分析手段来分析地层中的信息,会大大提高沉积旋 回研究的定量化水平;小波变化具有尺度可大可小的优点,这对于提取单井的沉积旋回、识别同一套沉积体具有重 要作用,它的放大显微功能有助于识别不同级别的层序体。

关键词:准噶尔盆地; 夏子街组; 时频分析; 连续小波变换; 层序格架 中图分类号: P 539.2 文献标识码: A

Sequence framework in Xiazijie formation of Permian in Wu-xia area of Junggar Basin

YANG Huai-yu¹, CHEN Shi-yue¹, LIU Ji-shan², YANG Jun-sheng¹

(1. Faculty of Geo-Resource and Information in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development of Xinjiang Oilfeild, Karamay 834000, Xinjiang, China)

Abstract: Thick Xiazijie formation is characterized by concealed trap in Wu-xia area of Junggar Basin. The seismic reflection characteristic of seismic data shows indistinctly, and identification of sequence boundary is difficult. By using the principle and the method of classic sequence stratigraphy and the data of seismic, drilling and well logging, sequence boundary was confirmed in virtue of seismic time-frequency analysis and logging continuous wavelet cycle theory. On the basis of log and seismic combined calibration, spreading feature and system tract composition of different sequences were analyzed, and the sequence framework in Xiazijie formation of Permian in Wu-xia area of Junggar Basin was established. The results show that seismic time-frequency analysis and logging continuous wavelet transformation are relatively credible to division of sequence cycle. Xiazijie formation in Permian develops four isochronous sequence boundaries and is divided into three third class sequences by the technology. Analyzing the information in stratum by the instrument of seismic time-frequency analysis can improve the quantificational level of sedimentary cycle. Wavelet transformation has the virtue of transformable scale, which has the important function of distilling well's sedimentary cycle and identifing the same sediment, and its function of magnifying and dwindling lends itself to identify different class sequence body.

Key words: Junggar Basin; Xiazijie formation; time-frequency analysis; continuous wavelet transformation; sequence framework

层序地层学研究已经被公认为各大油区寻找隐 蔽圈闭的一种有效方法,准噶尔盆地层序地层学方 面的研究主要集中于全盆地或局部的侏罗系、三叠 系地层^[14],针对二叠系的研究工作则较少^[56]。乌

基金项目:新疆油田公司项目"准噶尔盆地西北缘滚动精细勘探"

收稿日期:2007-07-04

作者简介:杨怀宇(1982-),男(汉族),安徽铜陵人,博士研究生,从事沉积盆地分析研究。

-夏地区夏子街组地层的各种地震反射特征(如削 截、上超等)都不明显,没有充分的证据证明其内部 发育其他的层序界面。按照 Vail 理论,三级层序沉 积持续时间约为1~10 Ma来看^[7],位于夏子街组上 覆的下乌尔禾组地层沉积时间持续了3.9 Ma,平均 地层厚度为400 m 左右,地震资料上可以清晰地识 别出3个三级层序,而夏子街组地层的沉积时间大 约为10 Ma,平均地层厚度为450 m 左右,因此对夏 子街组内部地层进行细致层序划分是有必要的。笔 者采用经典的层序地层学原理和方法,借助地震时 频分析技术和测井连续小波变换技术对准噶尔盆地 乌-夏地区二叠系夏子街组进行层序界面划分和层 序地层格架建立研究。

1 区域地质概况

准噶尔盆地西北缘乌-夏地区,西连百口泉油 田,东至红旗坝,北以哈山为界,南与艾里克湖毗连, 包括乌尔禾、风城、夏子街和红旗坝地区。东西长 70 km、南北宽约30 km,面积约2000 km²(图1)。



图1 准噶尔盆地乌-夏地区位置图

乌-夏地区的地层在石炭系基底上,依次发育了 二叠系、三叠系、侏罗系和白垩系等地层。二叠系向 上依次发育了佳木河组、风城组、夏子街组和下乌尔 禾组和上乌尔禾组。夏子街组与下覆风城组呈不整 合接触,与上覆下乌尔禾组呈整合接触。在二叠纪, 乌-夏地区古老的石炭系地层沿断层逆冲向上形成断 裂带上盘,上盘基本缺失了三叠系和少量侏罗系,而 断裂下盘地层发育较全。乌-夏断裂带下盘平均地层 厚度在7000 m 以上,其中二叠系的平均厚度为4500 m 左右,夏子街组平均厚达450 m,在玛湖凹陷地区个 别探井中发育的夏子街组甚至能超过1200 m。.

2 层序界面的识别

- 2.1 时频分析技术
- 2.1.1 基本原理

时频分析技术是把地震资料的频特性与实际地 质体相结合的一项技术。地震资料的频成分能够反 映沉积岩石体的厚度和沉积岩颗粒的粗细。它的基 本原理是通过地震道记录进行频率扫描,找出主频 随时间的变化特征。沉积物颗粒由粗到细的变化, 反映地层层理由厚变薄;相反,沉积物粒度由细到粗 的变化,反映地层层理厚度变化趋势是由薄变厚。 层理结构中的尺度变化及变化的方向性,决定了它 们的地震响应频率成分不同^[9]。根据旋回性质可 以分为正向旋回、反向旋回和混合型旋回(图 2),对 应着湖进型旋回、湖退型旋回和湖进-湖退或湖退-湖进型旋回。

一般,时频剖面上的沉积旋回的纵向分布特征 可以用于层序界面的识别和追踪,实际上正反沉积 旋回的界面与不同级别的沉积间断及层序界面相对 应。根据经典层序理论,一般层序界面发育于进积-退积型分界处,当然也可以出现在退积-退积组合或 进积-进积型组合之中。

2.1.2 层序识别

通过对百75单井以及过夏40的连井剖面等进 行时频分析研究(如图2),可以认为两段高频部分 之间的最低低频面为层序界面,此处岩性一般较粗, 基本为岩性突变面。图2中可以清楚地看出,夏子 街组发育4层三级层序界面,分别命名为PSB8, PSB9,PSB10和PSB11,这4层界面确定了夏子街组 发育了PSQ8,PSQ9和PSQ10这3个层序。

以图2(b)为例,经VSP(垂直地震记录)标定后 的夏40 井夏子街组地震剖面,经过时频分析变换得 到的井边地震道时间-频率能谱图,它是一条沿主测 线方向的地震剖面。由图可以看出,PSQ8 和 PSQ10 层序发育较完整。一般来说,在时频分析技术应用 中,通常遵循低频成分对应于粗粒度、厚的岩层,而 高频段对应细粒、相对薄的岩层,并在垂向上频率呈 有规律的变化(如果地层有规律性)^[10]。PSQ9 比起 前面两个层序厚度较薄,发育低位体系域和水进体 系域,缺少高位体系域。



图 2 地震层序时频分析图



2.2 连续小波变换及层序划分

2.2.1 基本原理和划分依据

连续小波变换是将原始测井数据进行变换,其 结果是一维深度域转换为二维深度——尺度域,使 信号能同时在深度位置 b 和尺度空间 a 上进行描 述。小波变换系数(a,b)是尺度因子与位移因子的 函数,小波系数揭示了小波函数与测井信号的相似 程度,可理解为要分析的是测井信号与小波协方 $\dot{z}^{[11]}$ 。小波系数越大,两者越相似。由于各尺度 a的小波函数具有不同的频带范围,并有一个频率中 心,因此小波系数还反映了信号在这一频率中心周 围的频率成分的多少,小波系数越大,测井信号在这 一频率中心周围的频率成分就越多。

测井信号经过小波变换处理后使其中的频率结 构暴露无遗,并可探测到各个频率段之间的突变点 或突变区域,这反映了地质上形成环境的突变。研 究表明,由多个不同周期沉积旋回叠加的测井曲线, 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 测井层序地层分析的依据^[12-13]。

2.2.2 层序划分

传统的信号频率域分析方法不能反映信号的位 置信息,而小波变换具有很强的空间分辨能力,不仅 能够给出信号的频率信息,还可以给出信号的位置 信息。对自然伽马和声波测井资料进行了单井的连 续小波变换分析,其中夏子街组地层基本上都能识 别出3层旋回体,这3层旋回体的上下分界处分别 对应了4个三级层序界面,分别为 PSB8, PSB9, PSB10 和 PSB11。配合做过地震时频层序划分,其 结果见图3和图4。

图 3(a)代表测井参数自然伽马 GR 值,横坐标 代表深度,自左至右深度增加,坐标值为采样点序 数,间距为 0.125 m, 纵坐标为 GR(已做归一化处 理)测井信号;图 3(b)为经 Morlet 小波变换得到的 变换系数的时频色谱平面图,颜色由深到浅代表低 值到高值,横轴代表时间(深度)位移轴b,此处代表 采样点数,可换算成深度(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(m),本文中在进行小波变换时,起 始值和步长均洗为1,最大尺度为550,所以此处 a =1 代表1×0.125=0.125(m)的长度;图3(c)代 表在不同伸缩尺度 a 下的小波系数变换曲线。



图 3 夏 40 井小波变换(GR)及层序划分示意图

从图 3 和图 4 中均可以看出,夏子街组从深度 3800 m 开始向下的地层中小波系数变换曲线存在 两个明显的界限,即在横轴采样点序数3720(4265 m)和1992(4049 m)处,它们将整个分析层段明显 地分成3大部分。在原始 GR 曲线形态上,这两个 界限均表现为明显的异常振荡。因此,按照这两个 界限将其划分为3个层序,分别为:PSQ8 层序,从采 样点5864(4533 m)-采样点3720(4265 m); PSQ9 层序,从采样点3720(4265 m)一采样点1992(4049 m); PSQ10 层序, 从采样点 1992(4049 m) 一采样点 880(3910m)

运用小波变换理论,最终划分出3个层序,这种

	地层		V./mV	내 네 채 ㅋㅋ	$\frac{R_{\rm LLD}}{0.1} / (\Omega \cdot m)$	· · · ·	相分析			层 序		体	小波变换及层序划分		
系	统	组	-120 -60 -2	右性前面	$R_{\rm LLS}/(\Omega \cdot m)$	沉积构造	相	亚相	微相	级	二级	三级	系域	∆t变换	GR变换
		下乌尔禾组	Monny	3 850	pray the view for				水下流道 河口坝			PSQ11	HST		
			in h	3 900	h. m.				河道间				TST		
			M.M.	3 950	M.W.M.		1		水下流道		 57		HST		
=	中	夏	hu.J.h.s	4 000	RLLS RLLD		扇	前	河道间			PSQ10	TST		
			2	4 050	Nin		Ξ		河口奥 水下				LST		San
		2	MM	4 100	nm hair	砾岩,砾石分选 差,颗粒支撑,	角		分演道河道间				TST		
		子	L.M.	4 150	1. Mar	4 266.9 m	34								
츞			1 Am	4 200 - · · ·	man prive	and a	相	缘	水下分流	PZS1	PSS3	PSQ9	LST		
		街	Am	4250 - · · ·	Annal .				河道						
	统		N.N.	4 300	Lynnersen				河道间 水分河道				HST		
系		组	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	4 350 - · · ·	Alexandra La				河口坝		6		TST		
			くくろくろ	4 400	Sor hour have	沖刷面及反 粒序, 4461.1 m	扇三角洲	平原	分流河道阿分河			PSQ8	LST		
	下统	风城组	Numur		Mason young		火山沉积	火山洼地	- g All		PSS2	PSQ7	HST		The second se

结果在多口井中基本一致,通过井-震结合,与地震时频分析结果和界限基本一致。说明利用小波变换

划分三级层序比较可靠,可作为夏子街组地层层序 细分的有力证据。

图4 夏40井层序综合柱状图

2.3 钻井层序识别标志

从西北缘乌-夏地区钻穿夏子街组的50余口井 (集中于风城地区)的钻井资料上看,钻井层序界面 识别起来较明显,主要表现在相变层序边界的岩性 突变面。乌-夏地区在夏子街时期主要发育扇三角 洲平原、扇三角洲前缘以及浅湖亚相等,岩性主要为 红褐色、灰绿色、杂色等砾岩、含砾砂岩、泥质粉砂 岩、泥岩等,可以找到较为可靠的钻井层序界面。

从钻井资料上看, PSB8 界面与夏子街组底界重 合,下部的风城组呈现一套灰绿色、深灰色火山碎屑 岩、白云质泥岩以及粉砂质泥岩等细粒沉积,上部 PSQ8 层序为一套砾岩、含砾砂岩、粉砂质泥岩和泥 岩等岩石类型,因此 PSB8 界面在钻井上容易识别。 PSQ8 层序在风城地区主要为扇三角洲平原的红褐 色、杂色及部分浅灰色的含砾砂岩、砾岩以及河道间 的粉砂质泥岩等岩性。PSB9 界面以上的 PSQ9 层 序主要也是扇三角洲平原沉积,岩石颜色主要为杂 色、浅灰色、深灰色,红褐色、橙色等颜色较少出现, 且 PSQ9 层序比 PSQ8 层序的泥砂比值稍高一些(图 5)。PSB10 界面上部以一套杂色砾岩与下部 PSQ9 层序的细粒泥岩、粉砂质泥岩等沉积物分开,整体上 看 PSQ10 层序表现为一套扇三角洲前缘沉积,沉积 物颜色较深,较少出现似红色砂砾岩等扇三角洲平 原的沉积物(图 5)。

3 层序格架与体系域构成特征

借助钻井层序分析、地震属性的时频分析技术 和测井资料的连续小波变换的结果,乌-夏地区夏子 街组在地震和钻井上可以识别出4个具有等时意义 的层序界面(其中层序界面 PSB8 和 PSB11 为区域 不整合面,PSB9 和 PSB10 为沉积作用转换面),从 而将其划分为3 个三级层序,自下而上分别为 PSQ8,PSQ9 和 PSQ10 层序,其中 PSQ8 与 PSQ10 体 系域发育完整,PSQ9 缺少高位域沉积,由此建立了 研究区夏子街组的层序地层格架。

通过乌尔禾、风城和夏子街等地区的合成记录 对区域二维和三维地震剖面进行了标定,实现了夏 子街组地震层序和钻(测)并层序地层统一划分标 准,见图6。



5 乌-夏地区风9井(左)、风15井(右)钻井层序界面特征





城等地区地层偏薄,反映了此时陆内前陆盆地时期 所独有的沉积中心与沉降中心不一致及靠近物源地 区地层偏厚的特征,因而西边的扎伊尔山和东边的 哈拉阿拉特山都呈现出大量沉积物就近堆积的特 点。

PSQ8 层序,其底界面 PSB8 即二叠系中统和上统的分界线,该界面在地震剖面上表现为上超、下超或削截等反射特征,在盆地范围内可进行对比,而图6中看不出明显的地震反射特征。PSQ8 层序具有明显的靠近盆缘地层稍厚的特点,反映此时前陆时期物源充足。PSQ8 层序体系域构成完整,低位域、水进域和高位域地层厚度均匀,从下至上地层整体上呈先退积后进积的叠加样式,水体逐渐变深,对应的沉积相由扇三角洲平原或前缘交替的河道及河道间沉积,变为以扇三角洲前缘为主的水下河道及河道间沉积,在地震剖面上是几个可区域性追踪的、连续的强反射同相轴特征。

PSQ9 层序,其底界面 PSB9 是由湖平面变化以 及与之伴生的沉积物供给速率变化造成的,地震剖 面上偶见上超或顶超,削截现象较少见,图 6 中 PSB9 界面发现明显的上超点,结合时频剖面、测井 小波变换和钻井层序标志,PSQ9 层序缺少高位域沉 积,反映水进之后停滞时间非常短,没有形成高位域 的进积、加积沉积体,缺少典型的顶超反射特征等。 PSQ9 层序与 PSQ8 层序稍有不同,表现在靠近盆地 边缘方向的地层向盆地中心方向并没有减薄的趋 势,可能反映了此时断裂带上盘逆冲作用减弱,造山 作用缓慢,山盆海拔落差小,水体不是很深,由下而 上沉积相主要由低位时期的扇三角洲前缘河道沉积 转为水进时期的扇三角洲前缘河道间细粒沉积。

PSQ10 层序,其底界面 PSB10 在地震剖面上偶见上超或顶超,地震层序识别起来比较困难,主要技术手段还是依靠地震属性时频分析技术以及钻井、测井资料帮助建立三级层序。从图 6 可看出, PSQ10 层序与 PSQ9 层序差不多,没有明显的前陆盆地地层发育特征。PSQ10 层序内部体系域构成完整,低位和水进时期,由下至上地层呈退积叠加样式,沉积相由少量的扇三角洲前缘沉积迅速转为扇三角洲前缘水下分流河道间的较深水沉积;高位域时期,水体又开始变浅,地层又呈进积样式,沉积相转为浅水的扇三角洲前缘沉积。

4 结 论

(1)利用地震时频分析技术、钻井及测井资料

连续小波分析等方法,确定出准噶尔盆地乌一夏地区 夏子街组共发育3个三级层序,分别为 PSQ8,PSQ9 和 PSQ10。

(2)当地震资料地震反射特征不明显时,可以 借助地震时频分析方法来提取沉积旋回中的信息, 这会大大提高沉积旋回研究的定量化水平。

(3)测井资料作为井上最连续的资料,反映的 井中岩性、物性等信息也最值得借鉴。小波变化具 有尺度可大可小的优点,这对于提取单井的沉积旋 回、识别同一套沉积体具有重要作用,它的放大显微 功能有助于识别不同级别的层序体。

参考文献:

- 王宜林,王英民,齐雪峰,等. 淮噶尔盆地侏罗系层序 地层划分[J]. 新疆石油地质,2001,22(5):382-385.
 WANG Yi-lin, WANG Ying-min, QI Xue-feng, et al. Classification of stratigraphic sequences of Jurassic in Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology,2001,22 (5):382-385.
- [2] 王龙樟. 准噶尔盆地中、新生代陆相层序地层学探讨及应用[J]. 新疆石油地质,1995,16(4):324-330.
 WANG Long-zhang. A study on Mesozoic continental sequence stratigraphy and its application in Junggar Basin
 [J]. Xinjiang Petroleum Geology,1995,16(4):324-330.
- [3] 张满郎,张琴,朱筱敏,等. 准噶尔盆地侏罗系层序地 层划分探讨[J].石油实验地质,2000,22(3):236-249.
 ZHANG Man-lang, ZHANG Qin, ZHU Xiao-min, et al. On division of Jurassic sequence stratigraphy in the Junggar Basin[J]. Experimental Petroleum Geology,2000,22 (3):236-249.
- [4] 胡宗全,李明娟. 准噶尔盆地西北缘侏罗系层序模拟
 与沉积相演化特征[J]. 石油与天然气地质,2003,24
 (4):351-355.

HU Zong-quan, LI Ming-juan. Sequence modeling and sedimentary facies evolution of Jurassic in northwestern edge of Junggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24 (4):351-355.

[5] 耿春雁,陈布科.准噶尔盆地西北缘二叠系乌尔禾组 隐蔽圈闭[J].成都理工学院学报,2002,29(2):168-172.

GENG Chun-yan, CHEN Bu-ke. Subtle traps in the northwest margin of Junggar Basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2002, 29(2):168-172.

[6] 赵玉光. 准噶尔盆地西北缘二叠纪沉积岩相模式[J]. 新疆石油地质,1999,20(5):397-401. ZHAO Yu-guang. Sedimentary lithofacies model of Permian volcanic-sedimentary basin in northwestern margin of Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1999, 20 (5):397-401.

- [7] VAIL P R. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology-an overview [C]//Cycles and events in stratigraphy. NewYork: Springer-Verlag, 1991: 611-659.
- [8] 顾家裕,国彬程,张兴阳.中国陆相盆地层序地层格架 及模式[J].石油勘探与开发,2005,32(5):14. GU Jia-yu, GUO Bin-cheng, ZHANG Xing-yang, et al. Sequence stratigraphic framework and model of the continental basins in China[J]. Petroleum Exploration and Development,2005,32(5):14.
- [9] 王永刚,宋若微. 层序地震学在地层内部结构分析中的应用[J]. 石油物探,1997,36(增刊):36-39.
 WANG Yong-gang, SONG Ruo-wei. Application of sequence seismology in analysis of stratigraphic inner construction [J]. Geophysical Ospecting for Perole, 1997, 36 (sup):36-39.
- [10] 夏竹,刘超颖,魏文博,等. 地震道时间域频率属性特 征和地层层序划分[J]. 石油地球物理,2005,40(5): 550-560.

XIA Zhu, LIU Chao-ying, WEI Wen-bo, et al. Frequency attributes characters of seismic traces in time domain and division of stratigraphic sequence [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(5):550-560.

- [11] 余继峰,李增学. 测井数据小波变换及其地质意义
 [J]. 中国矿业大学学报,2003,32(3);336-339.
 YU Ji-feng, LI Zeng-xue. Wavelet transform of logging data and its geological significance[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32(3):336-339.
- [12] ANDREAS P F, REDERIK P A. Detection of sedimentary cyclicity and stratigr-aphic completeness by wavelet analysis: an application to late Albian cyclostratigraphy of the western Canada Sedimentary Basin[J]. Journal of Sedimentary Research, 1999, 69(4):862-875.
- [13] 李江涛,余继峰,李增学. 基于测井数据小波变换的 层序划分[J].煤田地质与勘探,2004,32(2):48-50.
 LI Jiang-tao, YU Ji-feng, LI Zeng-xue. The demarcating of stratigraphic sequence based on wavelet transform of well-logging data [J]. Coal Geology & Exploration, 2004,32(2):48-50.

(编辑 刘艳荣)