

基于小波变换的黔西北地区 龙潭组煤系地层层序划分

辛福东¹,许浩¹,汤达祯¹,孙昌花²,任鹏飞¹,曹立坤¹

(1.中国地质大学(北京)能源学院,北京 100083; 2.贵州天然气能源投资股份有限公司,贵州 贵阳 550081)

摘要:黔西北晚二叠世聚煤区是华南地区重要的成煤区域,加强地质研究、明确其层序地层格架十分必要。与利用岩心和测井等资料划分层序的传统方法相比,小波变换具有定量划分层序地层的优势。分析黔西北地区层序结构与时频能谱图、小波曲线之间的对应关系,建立研究区海侵体系域和高位体系域的小波变换模型。海侵体系域能量团由深到浅逐渐增强,并由小尺度向大尺度方向移动;高位体系域能量团由深到浅逐渐减弱,并由大尺度向小尺度方向移动。根据层序界面识别结果,结合小波曲线和时频能谱的能量变化特征对三级层序进行划分,将研究区龙潭组煤系地层划分为4个三级层序、8个体系域,即每个层序由海侵体系域和高位体系域组成,低位体系域发育不明显。结果表明,利用小波变换方法所划分的层序界面与传统方法所划定的界面位置具有一致性。

关键词:小波变换 层序地层 能谱分析 测井数据 煤系地层 黔西北地区

中图分类号:TE111.3

文献标识码:A

Sequence division of Longtan coal measure strata based on wavelet transform in northwestern Guizhou

XIN Fudong¹, XU Hao¹, TANG Dazhen¹, SUN Changhua², REN Pengfei¹, CAO Likun¹

(1.School of Energy Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing City, 100083, China;

2.Guizhou Natural Gas Energy Investment Co., Ltd., Guiyang City, Guizhou Province, 550081, China)

Abstract: The Late Permian coal-accumulating area in northwestern Guizhou is an important coal-forming area in south China. So it is necessary to strengthen the geological research and to clear sequence stratigraphic framework as soon as possible. Compared with the traditional methods of using the core and logging data to divide the sequence with many subjective human factors, the wavelet transform technique has advantages of dividing sequence stratigraphy quantitatively. The relationships of sequence structure in northwestern Guizhou with time frequency energy spectrum and wavelet curve were analyzed to build up the wavelet transform models of transgressive system tract and highstand system tract of the study area. The energy clusters in the transgressive system tract gradually increased from deep to shallow, and moved from small scale to large scale; the energy clusters in the highstand system tract gradually decreased from deep to shallow, and moved from large scale to small scale. The third-order sequence was divided according to the sequence interface recognition results, the features of wavelet curves and the variation of time-frequency energy spectrum. Finally, the coal measure strata of Longtan Formation in the study area were divided into 4 third-order sequences and 8 system tracts, and each sequence was composed of transgressive system tract and highstand system tract while the development of lowstand system tract was not obvious. The division results show that the sequence boundaries defined by wavelet transform are consistent with those defined by the traditional methods.

Key words: wavelet transform; sequence stratigraphy; energy spectrum analysis; logging data; coal measure strata; northwestern Guizhou

收稿日期:2017-09-08。

作者简介:辛福东(1993—),男,山东潍坊人,在读硕士研究生,从事非常规油气研究。联系电话:15692362679, E-mail: xinfudong@vip.qq.com。

基金项目:国家科技重大专项“多煤层煤储层精细描述及可改造性研究”(2016ZX05044-001)。

贵州省煤层气资源丰富^[1],资源量约为 $3.15 \times 10^{12} \text{ m}^3$,居中国第二。贵州省煤层气共钻井118口,其中织3井、大2井和比1井日产气量可达 $1\,500 \text{ m}^3/\text{d}$,织2井和织4井日产气量超过 $2\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据煤层气勘探开发特点,加强地质研究、尽快明确层序地层格架十分必要。对于黔西北地区的层序地层格架,前人大多是以华南地区为研究对象进行了大范围、大尺度的划分,殷鸿福等认为晚二叠世可划分为2个三级旋回^[2];邵龙义等将晚二叠世划分为3个三级层序和17个四级层序^[3];杨兆彪等将晚二叠世煤系地层划分为4个三级层序^[4-5]。不同学者对研究区层序地层格架的划分差异很大,难以满足煤层气勘探的需求。

传统的层序地层划分通常是利用岩心、录井资料、测井曲线、地震资料等进行定性的研究,这一过程的主观性和解释的多解性使得层序的划分很大程度上受到人为因素的影响^[6]。研究区沉积环境复杂,不同地区岩性组合不同,层序界面也有不同的表现形式,因此对于龙潭组内部层序界面的识别至今仍存在争议。测井数据作为一种分辨率高、连续性好的信号,蕴含丰富的地层旋回信息^[7],而小波变换作为测井数据的有效处理方法,能够将一维的测

井数据在二维时频域内实现局部放大,从而突出测井数据对地层特征的分析功能^[8]。笔者在常规层序地层划分方法的基础上,应用小波变换技术,对黔西北地区龙潭组煤系地层层序进行定量划分,以期为该区域煤层气勘探提供一定的借鉴。

1 区域地质概况

研究区位于贵州省西北部,大地构造位置处于扬子陆块西南缘(图1),构造相对稳定^[3]。中二叠世末期,东吴运动造成康滇古陆抬升,在经历了长时间的剥蚀以后,至晚二叠世早期扬子陆块发生基底沉降^[9]。在康滇古陆和黔北隆起的共同控制下,研究区古地形总体表现为西高东低的缓坡形态,SE方向海水侵入,物源主要来自于西部的康滇古陆^[10-11]。这一海陆配置关系与构造格局共同控制沉积相的展布,由陆向海发育浅水三角洲—潮坪泻湖—碳酸盐潮坪的海陆过渡相沉积环境,形成了晚二叠世主要的煤系地层^[12-13]。后期由于多期构造运动的作用,黔西北地区形成了一系列背、向斜相间排列的构造格局,现今的煤系地层被分割并赋存于多个独立的次级向斜单元^[14-15]。

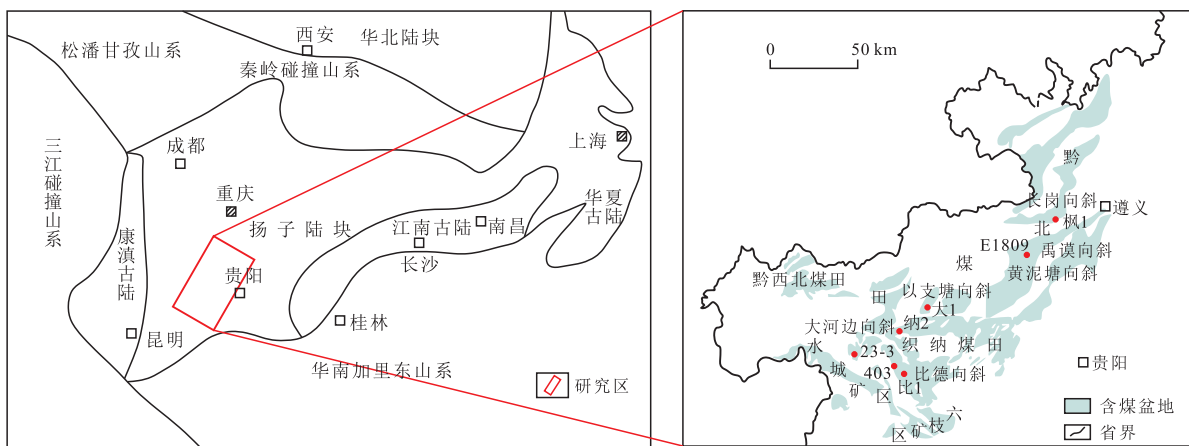


图1 黔西北地区构造位置

Fig.1 Tectonic location in northwestern Guizhou

2 层序界面识别

层序界面识别是实现层序划分的关键和基础,根据岩性组合和测井曲线等,结合钻孔柱状剖面,对研究区晚二叠世煤系地层的层序地层进行分析。通过对研究区21口钻井岩心的观察描述,识别出的层序界面标志主要有区域性不整合面、下切谷的冲刷面、古土壤层与根土岩和沉积体系转换面。

区域性不整合面 由古构造运动形成的区域性不整合面是黔西北地区龙潭组划分层序的重要标志,研究区晚二叠世龙潭组煤系地层上覆于峨眉山玄武岩或茅口组,可以将茅口组灰岩或峨眉山玄武岩的顶面作为龙潭组三级层序SQ1的底座。

下切谷的冲刷面 研究区区域性分布的砂岩底面的滞留沉积也代表一种侵蚀不整合面。如以支塘龙潭组广泛发育的三角洲平原沉积相,明显可见河流下切形成的砂砾岩冲刷面,界面上、下的沉

积环境及沉积构造都截然不同。

古土壤层与根土岩 古土壤层通常是在基底暴露后经成土作用形成的,在冲积平原河道间地区,古土壤层是识别层序界面的一种重要标志。中二叠世晚期南方发生海退,研究区大范围暴露成陆,使得古土壤层较为发育。

沉积体系转换面 沉积体系转换面一般是水体变浅—变深旋回过程的转换面。在冲积平原河道间缺少下切谷冲刷面砂体时,沉积体系转换面可以作为识别层序界面的重要标志。

3 测井曲线的小波变换

3.1 小波变换原理与过程

测井信号属于一维深度域信号,通过小波分析可以转变为二维深度—尺度域函数^[16]。测井信号通过小波变换处理后,对其频率结构进行分析变得更加容易和直观,从而可以探测到各频率之间的突变层段或者突变点^[17],这种突变对应地质上沉积环境的突变。通过对时频能谱图中能量团的变化和各尺度下小波曲线周期性变化规律进行分析,可得到地层旋回特征并建立与层序界面之间的对应关系,从而对层序进行划分。

进行小波变换,首先用小波消噪的方法对测井信号进行预处理^[18],通过全局软阈值将小波系数进行截断,在对噪声进行压制之后重构信号,从而达到消噪的目的。运用小波消噪的方法可以在消除地质信息中噪声干扰的同时保证曲线分辨率未降低(图2)。之后基于 Matlab 对选定的测井数据进行连续小波变换处理,即可得到时频能谱图与小波曲线^[19]。通过对多种测井曲线的小波变换结果进行对比分析,选择自然伽马曲线用于本次研究,因为自然伽马曲线与其他测井曲线相比,能够敏感地反映出地层泥质含量的变化,用它进行地层旋回研究最为有效^[20]。小波函数选用 Morlet 小波函数,因为

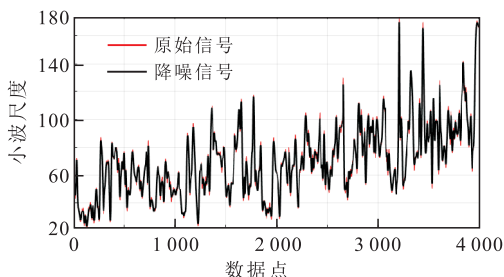


图2 黔西北地区比1井测井曲线小波消噪前、后对比
Fig.2 Comparison of original signal and de-noised signal of logging curves of Well Bi1 in northwestern Guizhou

它是一种连续小波函数,不仅能克服离散小波离散化过程中信号特征缺失的弊端,而且 Morlet 小波函数的尺度因子和地层沉积周期之间有着良好的对应关系,能较好地识别层序界面和其内部旋回^[21-23]。

3.2 小波变换典型地层模型

由沉积学原理可知,单一层序内岩性的变化具有连续性,这体现在测井信号上,经过小波变换之后,就能得知地层的旋回性和海进、海退的沉积模式。根据前人成果^[24]和地质资料的分析,研究区主要发育海侵体系域和高位体系域,缺失低位体系域。因此,为了分析研究区层序结构与时频能谱图、小波曲线之间的对应关系,选取典型的地层剖面进行研究,建立研究区海侵体系域和高位体系域的小波变换模型(图3)。

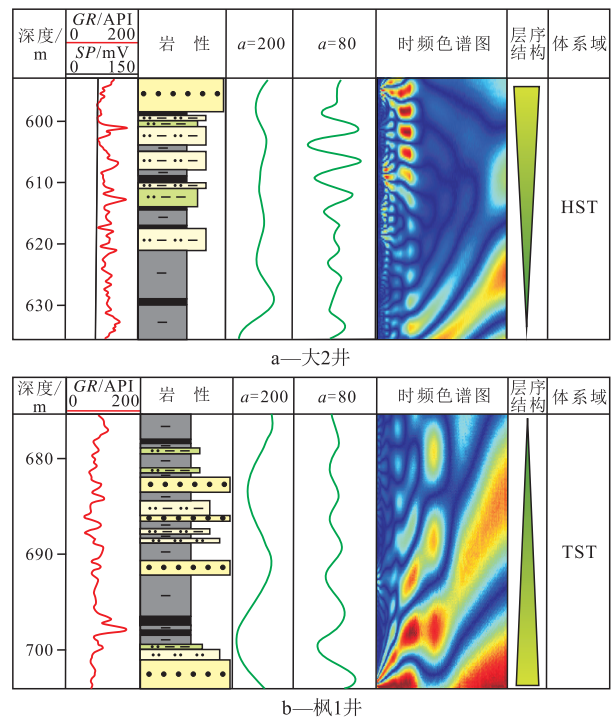


图3 黔西北地区小波变换典型地层模型

Fig.3 Typical stratum models of wavelet transform in northwestern Guizhou

海侵体系域(TST)对应退积型沉积模式,这一时期海平面上升,沉积物粒度由粗变细,GR曲线为漏斗形^[25]。表现在时频能谱图上,海侵体系域由深到浅能量团从小尺度向大尺度迁移,小尺度小波曲线振幅由强变弱,对应向上粒度变细、泥质含量增多的水进沉积环境,即旋回上部以大尺度成分为主,而下部富含小尺度成分(图3a)。高位体系域(HST)对应进积型沉积模式,这一时期海平面下降,为高水位时期的沉积;与海侵体系域相反,沉积物粒度向上变粗、泥质含量减少,砂泥比随埋深增大而减小,GR曲线为钟形;表现在时频能谱图上,随着

尺度的增大,由深及浅信号的能量减弱,小尺度小波曲线振幅由强变弱,表明旋回上部以小尺度成分为主,而下部富含大尺度成分(图3b)。

综上所述,在时频能谱图上,海侵体系域能量团由深到浅逐渐增强,并由小尺度向大尺度方向移动;高位体系域能量团由深到浅逐渐减弱,并由大尺度向小尺度方向移动。能量团在深度一尺度域上的迁移与沉积环境的变化是对应的,可用于地层旋回性的分析。岩性突变界面在时频能谱图上为能量团在大尺度和小尺度都有分布且存在显著变化的地方,对应地质上的沉积间断面或剥蚀面,可以作为层序界面。

4 层序地层划分

根据层序界面识别方法,结合小波曲线和时频

能谱图中的能量变化特征对三级层序进行划分,将研究区龙潭组煤系地层划分为4个三级层序、8个体系域(图4),即每个层序由海侵体系域和高位体系域组成,低位体系域发育不明显。划分结果表明,用小波变换方法所划分的层序界面与传统方法所划定的界面位置具有一致性。

在层序划分的基础上,结合岩心、测井曲线、钻孔柱状剖面等地质资料,对研究区21口井进行综合分析,并以大河边23-3井、以支塘纳2井、黄泥塘大2井、禹谟E1809和长岗枫1井为重点剖析对象,建立黔西北龙潭组层序地层格架(图5)。

三级层序1(SQ1) 该层序主要包含龙潭组下段下部到峨眉山玄武岩顶部。SQ1底界为区域性构造不整合面,顶界为冲刷面或泥岩,在时频能谱图中也可以看到能量团和小波曲线的突变。该层序由海侵体系域和高位体系域组成,沉积环境以泻

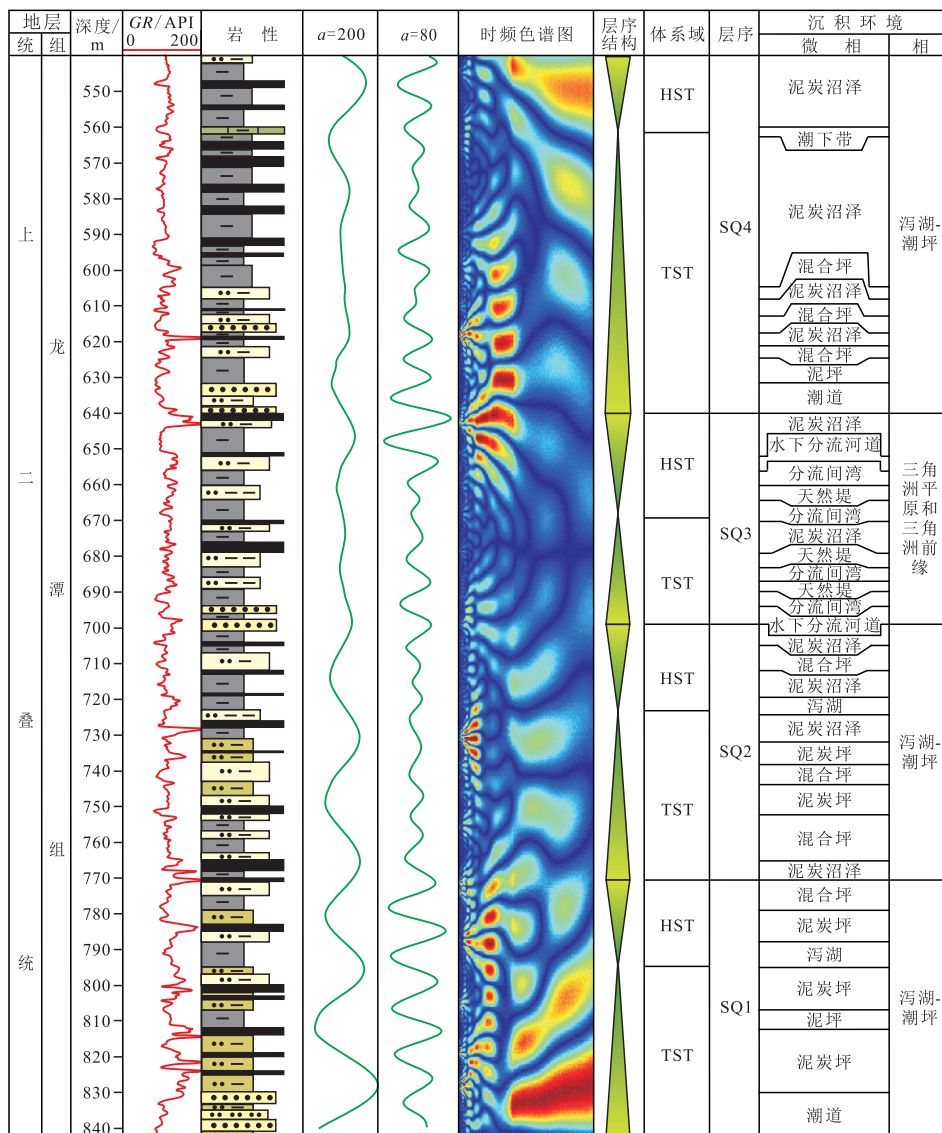


图4 黔西北地区比1井地层层序划分

Fig.4 Division of stratigraphic sequence of Well Bi 1 in northwestern Guizhou

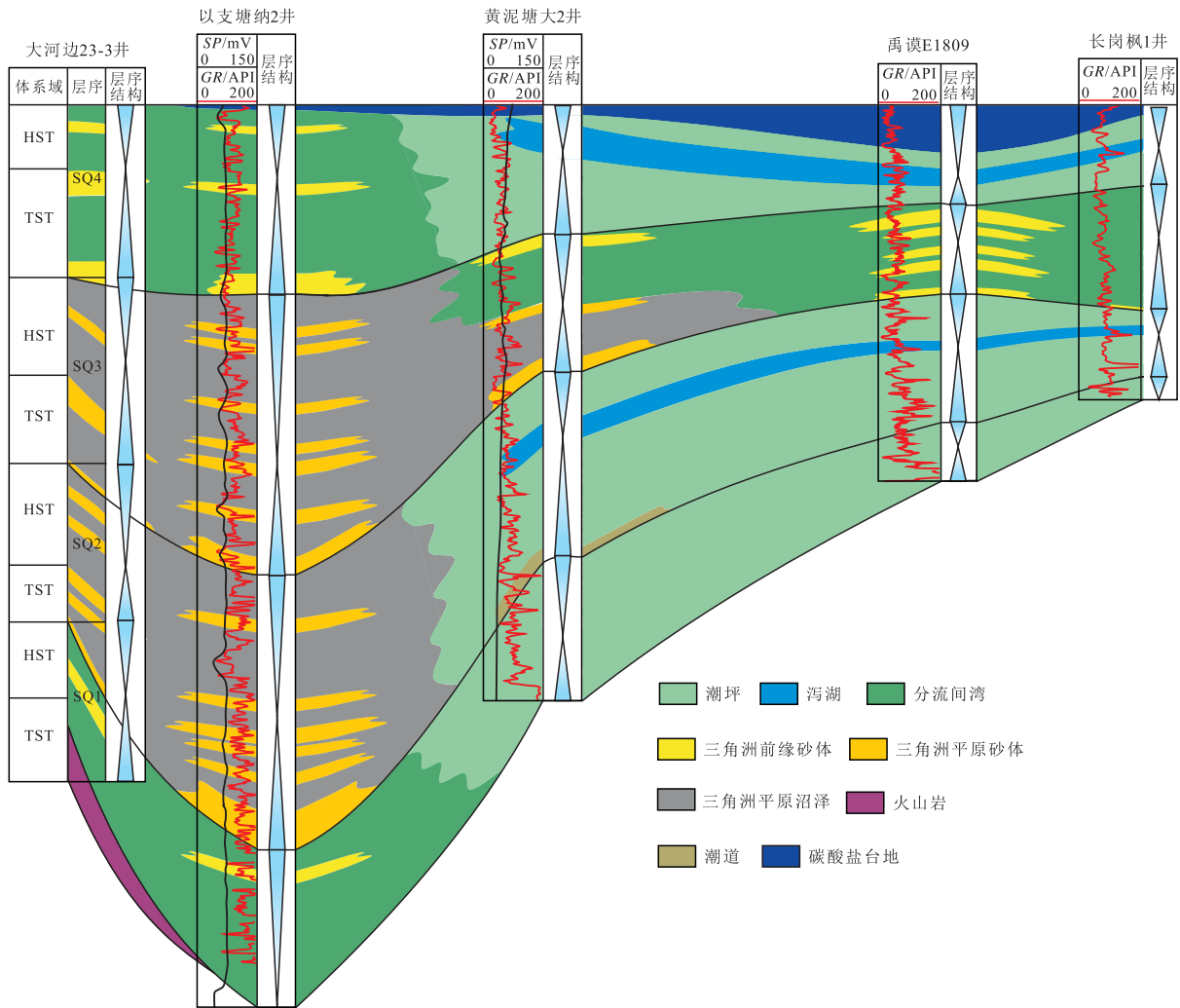


图5 黔西北地区龙潭组层序地层格架充填模式

Fig.5 Filling model of the sequence stratigraphic framework of the Longtan Formation in northwestern Guizhou

湖-潮坪相为主。龙潭组沉积早期为海侵过程, SQ1 能量团在不同尺度之间的变化、小波曲线的反复振荡与脉动式海侵的过程相对应。煤层主要发育在海侵体系域早-中期的海湾-潮坪泥炭沼泽里。

三级层序 2(SQ2) 该层序包含龙潭组上段下部到龙潭组下段上部。底界主要为冲刷面、厚层砂岩或者泥岩, 顶界为细砂岩、粉砂岩, 可见河道冲刷面, 是泻湖-潮坪相向三角洲相过渡的层段。该层序也由海侵体系域和高位体系域组成。在研究区南部和东部海侵作用明显, 这从比 1 井的小波曲线振荡特征及时频能谱图中能量团的变化可以看出。东部钻井时频能谱图中可见能量团存在明显的变化与波动, 故不同井之间能量团的差异可以作为海侵方向由东向西的佐证。这一时期煤层表现为多层密集产出, 在海侵体系域早-中期和高位体系域中-晚期均有发育。

三级层序 3(SQ3) 该层序位于龙潭组上段中

部。底界为 SQ2 与 SQ3 分界面的厚层下切谷砂体, 顶界为三角洲前缘-三角洲平原相向泻湖-潮坪相的转折段。这一时期发生了晚二叠世最大范围的海退, 研究区沉积环境主要为三角洲平原-三角洲前缘相, 砂岩广泛发育且厚度较大。剖面上三角洲体系极为发育, 主要由分流间湾、分流河道、天然堤、决口扇和泥炭沼泽组成。在时频能谱图上, 三角洲沉积环境可能受到河流自旋回作用和河道冲刷剥蚀的影响, 造成测井曲线信噪比降低, 有效旋回信息被噪声掩盖。由此也可以看出, 对于小波变换, 海相环境比陆相环境更易识别层序。煤层主要发育在最大海泛面附近三角洲平原泥炭沼泽里。

三级层序 4(SQ4) 该层序位于龙潭组上段上部。底界为三角洲-泻湖-潮坪的沉积体系转换面, 顶界为龙潭组的顶部。这一时期研究区发生晚二叠世最大规模的海侵, 主体沉积环境变为泻湖、潮坪-碳酸盐台地相沉积。在时频能谱图上, 层序界

面附近能量团变化明显,小波曲线振幅较大,而在层序内部能量变化整体上趋于稳定,说明这一时期沉积环境较为平稳。海侵体系域能量变化平稳,对应缓和的海侵过程;高位体系域能量变化强烈,对应迅速的海退过程。研究区西部厚煤层主要集中在海侵体系域泥坪环境,而在研究区东部发育碳酸盐台地沉积,煤层基本不发育。

5 结论

基于测井资料的小波变换所划分的层序界面与传统方法所划定的界面位置原理上具有一致性,都是对应地质上的沉积间断面或剥蚀面。而较常规的层序划分方法,能够减少主观因素的影响,提供了一种可视化的层序划分方法,对定量、客观地进行层序划分有一定的启示意义。

从研究区的典型地层模型中可以看出,海侵体系域能量团由深到浅逐渐增强,并由小尺度向大尺度方向移动;高位体系域能量团由深到浅逐渐减弱,并由大尺度向小尺度方向移动。用小波变换划分层序时,三角洲沉积环境可能受到河流自旋回作用和河道冲刷剥蚀的影响,造成有效旋回信息被噪声掩盖。由此也可以看出,海相环境比陆相环境更易保存地质信息,且更易在时频能谱图上识别层序。

使用小波变换方法对研究区龙潭组煤系地层进行划分,划分为4个三级层序、8个体系域,划分结果与实际地质认识较为一致。在三角洲前缘和潮坪沉积环境,海侵体系域早—中期与高位体系域中—晚期最有利于煤层发育;在三角洲平原沉积环境,最大海泛面附近最有利于煤层发育。

参考文献:

- [1] 王南,裴玲,雷丹凤,等.中国非常规天然气资源分布及开发现状[J].油气地质与采收率,2015,22(1):26-31.
WANG Nan, PEI Ling, LEI Danfeng, et al. Analysis of unconventional gas resources distribution and development status in China [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(1): 26-31.
- [2] 殷鸿福,童金南,丁梅华,等.扬子区晚二叠世—中三叠世海平面变化[J].地球科学——中国地质大学学报,1994,19(5):627-632.
YIN Hongfu, TONG Jinnan, DING Meihua, et al. Late Permian-Middle Triassic sea level changes of Yangtze Platform [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1994, 19(5):627-632.
- [3] 邵龙义,刘红梅,田宝霖,等.上扬子地区晚二叠世沉积演化及聚煤[J].沉积学报,1998,16(2):55-60.
SHAO Longyi, LIU Hongmei, TIAN Baolin, et al. Sedimentary evolution and its controls on coal accumulation for the Late Permian in the Upper Yangtze area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(2):55-60.
- [4] 杨兆彪.多煤层叠置条件下的煤层气成藏作用[D].徐州:中国矿业大学,2011.
YANG Zhaobiao. Coalbed methane accumulation under the condition of multiple coalseams [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2011.
- [5] 袁学旭.多煤层含气系统识别研究——以黔西上二叠统为例[D].徐州:中国矿业大学,2014.
YUAN Xuexu. Recognition of multi-coalbed methane bearing system: A case study of coal-bearing strata of Upper Permian in western Guizhou [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2014.
- [6] 陈钢花,余杰,张孝珍.基于小波时频分析的测井层序地层划分方法[J].新疆石油地质,2007,28(3):355-358.
CHEN Ganghua, YU Jie, ZHANG Xiaozhen. Logging sequence stratigraphic division based on wavelet time-frequency analysis [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(3):355-358.
- [7] 朱德燕,王学军,郝雪峰,等.东营凹陷泥页岩层序地层划分[J].油气地质与采收率,2016,23(2):52-56.
ZHU Deyan, WANG Xuejun, HAO Xuefeng, et al. Study on sequence stratigraphic division of oil shale in Dongying sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(2):52-56.
- [8] THIRION N, MARS J, VOLANT P, et al. Wavelet transform: Application to acoustic logging [J]. Oil & Gas Science & Technology, 2006, 49(2):149-163.
- [9] 邵龙义,张超,闫志明,等.华南晚二叠世层序—古地理及聚煤规律[J].古地理学报,2016,18(6):905-919.
SHAO Longyi, ZHANG Chao, YAN Zhiming, et al. Sequence-palaeogeography and coal accumulation of the Late Permian in South China [J]. Journal of Palaeogeography, 2016, 18(6):905-919.
- [10] 梅冥相,高金汉,易定红,等.黔桂地区二叠系层序地层格架及相对海平面变化研究[J].高校地质学报,2002,8(3):318-333.
MEI Mingxiang, GAO Jinhan, YI Dinghong, et al. Study on sequence stratigraphic framework and relative sea-level changes of the Permian in Guizhou and Guangxi areas, South China [J]. Geological Journal of China Universities, 2002, 8(3):318-333.
- [11] 郝黎明,邵龙义,时宗波,等.旋回频率曲线在幕式聚煤作用研究中的应用——以西南地区上二叠统为例[J].古地理学报,2000,2(4):12-19.
HAO Liming, SHAO Longyi, SHI Zongbo, et al. The application of depositional cycle frequency curve to episodic coal accumulation: With an example from the Upper Permian in Southwest China [J]. Journal of Palaeogeography, 2000, 2(4):12-19.
- [12] 王成善,陈洪德,寿建峰,等.中国南方二叠纪层序地层划分与对比[J].沉积学报,1999,17(4):2-12.
WANG Chengshan, CHEN Hongde, SHOU Jianfeng, et al. Characteristics and correlation of Permian depositional sequences in south China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(4):2-12.
- [13] 周小进.中国南方二叠纪构造—层序岩相古地理[D].长沙:中

- 南大学,2009.
- ZHOU Xiaojin.Tectonic-sequence-based lithofacies and paleogeography of Permian in south of China [D].Changsha: Central South University,2009.
- [14] 李红敬.扬子地区二叠系典型剖面层序地层分析及优质烃源岩判别[D].武汉:中国地质大学(武汉),2009.
- LI Hongjing.Sequence stratigraphy analysis and high quality source rock identification in typical Permian sections, Yangtze area [D].Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan),2009.
- [15] 赵征,陈朝玉,谭华,等.黔西北晚二叠世含煤岩系高分辨率层序地层与聚煤模式研究[J].中国煤炭地质,2014,26(5):1-8.
- ZHAO Zheng, CHEN Chaoyu, TAN Hua, et al.A study on Late Permian coal-bearing strata high resolution sequence stratigraphy and coal accumulation pattern in Northwestern Guizhou [J]. Coal Geology of China, 2014, 26(5): 1-8.
- [16] 刘玲杉,胡明毅,高达,等.四川磨溪—高石梯地区龙王庙组层序划分及储层预测[J].大庆石油地质与开发,2016,35(5):42-47.
- LIU Lingshan, HU Mingyi, GAO Da, et al.Sequence strata and reservoir prediction for Longwangmiao Formation in Sichuan Moxi-Gaoshiti area [J].Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2016, 35(5): 42-47.
- [17] SAILHAC P, GIBERT D, BOUKERBOUT H.The theory of the continuous wavelet transform in the interpretation of potential fields: a review [J].Geophysical Prospecting, 2009, 57(4): 517-525.
- [18] XIE R, WU Y, LIU K, et al.De-noising methods for NMR logging echo signals based on wavelet transform [J].Journal of Geophysics & Engineering, 2014, 11(3): 035003.
- [19] 赵伟,姜在兴,邱隆伟,等.小波分析划分层序单元的地质学理论基础、方法与应用[J].石油与天然气地质,2010,31(4):436-441.
- ZHAO Wei, JIANG Zaixing, QIU Longwei, et al.Geological concept, method and application of sequence unit identification through wavelet analysis [J].Oil & Gas Geology, 2010, 31(4): 436-441.
- [20] 王贵文,徐敬领,杨宁,等.小波分频分析法在沉积层序划分及等时对比中的应用[J].高校地质学报,2013,19(1):70-77.
- WANG Guiwen, XU Jingling, YANG Ning, et al.Using wavelet frequency analysis to divide sedimentary sequence cycles and isochronous correlation [J].Geological Journal of China Universities, 2013, 19(1): 70-77.
- [21] 李霞,范宜仁,邓少贵.Morlet小波在测井层序地层划分中的应用[J].勘探地球物理进展,2006,29(6):402-406.
- LI Xia, FAN Yiren, DENG Shaogui.Application of Morlet wavelet in sequence stratigraphic division on well-logging data [J].Progress in Exploration Geophysics, 2006, 29(6): 402-406.
- [22] 王辉,黎明碧,唐勇,等.基于小波变换的ODP1148A井测井层序地层研究[J].地球物理学进展,2015,30(2):672-680.
- WANG Hui, LI Mingbi, TANG Yong, et al.Logging sequence stratigraphy study of ODP hole 1148A logging based on wavelet transform [J].Progress in Geophysics, 2015, 30(2): 672-680.
- [23] 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 Jifeng, LI Zengxue.Wavelet transform of logging data and its geological significance [J].Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32(3): 336-339.
- [24] 秦勇,熊孟辉,易同生,等.论多层叠置独立含煤层气系统——以贵州织金—纳雍煤田水公河向斜为例[J].地质论评,2008,54(1):65-70.
- QIN Yong, XIONG Menghui, YI Tongsheng, et al.On unattached multiple superposed coalbed-methane system: in a case of the Shuigonghe Syncline, Zhijin-Nayong Coalfield, Guizhou [J].Geological Review, 2008, 54(1): 65-70.
- [25] MODE A W.Sequence stratigraphy and depositional environments of Middle-Late Miocene sediments in the eastern part of the Coastal Swamp depobelt, Niger Delta Basin, Nigeria [J].Arabian Journal of Geosciences, 2015, 8(11): 9 815-9 827.

编辑 经雅丽