

# 单县矿区高分辨率层序地层及成煤作用研究

吕大炜<sup>1)</sup> 梁吉坡<sup>2)</sup> 李增学<sup>1)</sup> 王 薇<sup>2)</sup> 吴立荣<sup>1)</sup>  
张义江<sup>2)</sup> 郭建斌<sup>1)</sup> 宋洪柱<sup>1)</sup>

1) 山东科技大学, 山东青岛 266510; 2) 山东省地质科学实验研究院, 山东济南 250013

**摘 要** 运用高分辨率层序地层原理,通过岩心、测井资料的综合分析,对研究区上古生界进行了不同周期地层基准面旋回研究,识别出短期、中期、长期及超长期4种规模的地层旋回。通过对比分析,建立了该区高分辨率层序地层格架。研究表明,研究区成煤作用出现于基准面旋回的特殊位置(A/S接近于1),当叠置在长期基准面旋回下降半旋回和中期基准面旋回下降半旋回晚期是成煤的最有利时期。根据盆地充填演化和不同级次基准面旋回叠加可以将研究区成煤作用分为早期成煤作用和晚期成煤作用,依次分析了不同时期成煤作用的地层基准面变化和盆地沉积充填演化的过程。

**关键词** 高分辨率层序地层;基准面旋回;成煤作用;单县矿区

中图分类号: P539.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-3021(2008)05-633-06

## A Study of High-resolution Sequence Stratigraphic Characteristics and Coal Accumulation in Upper Paleozoic Strata of the Shanxian Coalfield

LÜ Dawei<sup>1)</sup> LIANG Jipo<sup>2)</sup> LI Zengxue<sup>1)</sup> WANG Wei<sup>2)</sup> WU Lirong<sup>1)</sup>  
ZHANG Yijiang<sup>2)</sup> GUO Jianbin<sup>1)</sup> SONG Hongzhu<sup>1)</sup>

1) Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510;

2) Geological Institute of Shandong Province, Jinan, Shandong 250013

**Abstract** Based on the principle of high-resolution sequence stratigraphy and an integrated analysis of the bore core and well logging, the authors divided different base level cycles of Upper Paleozoic strata in the study area. Four types of base level cycles were recognized: short, intermediate, long and extremely long. Through a comparative analysis, a high-resolution sequence framework was established. Researches show that the most favorable coal accumulation of the study area occurred at the special positions of the base level cycles (A/S close to 1), i. e., at the half level of the descending long base level and the late stage of the descending half level of the middle base level. According to the basin filling and the superimposition of different classes of base levels, the coal accumulation of the study area can be divided into early accumulation and late accumulation. The base level change of both accumulations and the course of basin filling evolution are analyzed in this paper.

**Key words** high-resolution sequence stratigraphy; base level cycle; coal accumulation; Shanxian coalfield

高分辨率层序地层学是近年来新兴起的一门学科,其理论与研究方法在海相地层研究中取得了较好的成果,并为世界地质学家所认可(Cross, 1994; 邓宏文, 1995, 1996; 郑荣才等, 2000)。我国学者经过大量得研究和探索,把该理论初步应用于陆相湖

盆油气勘探并取得了一系列的成果和理论(李思田等, 1993; 李增学等, 1995, 2000; 魏久传等, 2000; 覃建雄等, 2005),并为研究盆地充填史和成煤岩史奠定了科学理论基础。现今,许多煤岩地质工作者对陆表海背景下的海陆交互型含煤岩地层也进行了层

本文由国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(编号:2003CB214608)与2008年山东科技大学研究生科技创新基金联合资助。

收稿日期:2007-10-12;改回日期:2008-01-15。责任编辑:刘志强。

第一作者简介:吕大炜,男,1980年生,博士研究生,层序地层学与沉积学专业;通信地址:266510,山东省青岛市经济技术开发区前湾港路579号;电话:0532-86057939; E-mail: lvdawei95@126.com。

序地层学研究(李增学等,2007;沈玉林等,2007),并发表了一些有价值论文。鲁西南单县矿区是我国东部重要后备煤炭资源基地,为了摸清该区的煤岩层聚积规律,笔者运用高分辨率层序地层学的基本原理和分析方法,结合盆地构造、气候和物源供应特点,利用测井曲线、露头 and 岩相资料,通过地层基准面旋回分析和对比,识别追踪各级成因层序地层界面,进行了高分辨率层序地层划分,分析了基准面变化对层序结构、层序叠加样式、沉积体系类型和盆地充填演化的控制作用,进而分析基准面变化与该区成煤作用的关系。

## 1 地质概况

单县矿区位于山东省菏泽市东南部的单县辖区内,北邻济宁、成武,东与江苏省搭界,南靠安徽省、河南省,交通便利。单县矿区包括张集井田和陈蛮庄井田。

单县矿区地处华北板块东南缘,晚石炭世早期的本溪沉积期,该区以缓波状的隆拗运动为主,其沉积物假整合于中奥陶统石灰岩之上,主要发育石灰岩、粘土岩和泥岩等细粒物质,该区煤岩层不甚发育,属于浅海相沉积环境;该区晚石炭世的太原期是一个主要的成煤期,由于该期是陆表海的稳定发展时期,盆地充填了海陆交互的含煤岩系,沉积范围广而厚,煤岩层层数多,是主要成煤岩区;研究区山西期下部为海陆交互沉积,由于海平面总体下降造成了沉积环境向陆相过渡,上部为大型三角洲复合沉积体系,形成了厚煤岩层,其中3煤岩层为主采煤层。石盒子期,海水退出该区,研究区发育河流—湖泊相沉积物质,主要以大厚度的砂岩沉积为特色。

## 2 单县矿区上古生界高分辨率层序地层格架

在研究区通过对露头、测井曲线和岩相资料的分析 and 对比,对本区上古生界进行了高分辨率层序地层划分,建立了等时—层序地层格架(图1)。单县矿区上古生界可划分一个构造旋回( $TS_1$ ),其下界面为本溪组与奥陶系之间的区域不整合界面,上界面为中生界与上古生界区域不整合面。在上古生界构造层序内可以划分为两个超长周期基准面旋回、5个长期基准面旋回、12个中期基准面旋回和45个短期基准面旋回。

### 2.1 短期基准面旋回

依据露头和钻井资料、测井曲线分析,其短期基

准面旋回包括了对称型和不对称型(图2)。对称型主要发育于浅湖沉积环境、潮汐三角洲及泻湖沉积环境等,由代表基准面上升半旋回的退积结构与下降半旋回的进积结构组成的对称型旋回。在障壁—泻湖沉积环境或者潮坪沉积环境中,形成了由台地—砂坪沉积向上变浅的进积结构不对称旋回。河流—湖泊复合沉积体系中,由河道充填—泛滥平原或者河道充填—河道间洼地—沼泽相构成的退积结构不对称旋回等。

### 2.2 中期基准面旋回

在对短期基准面旋回叠加样式的基础上,确定了中期基准面旋回。根据短期基准面的岩相组合特征与测井响应,识别出3类中期基准面旋回:弱退积—加积型、弱进积—加积型和进积型。

#### 2.2.1 弱退积—加积型旋回

垂向上表现为以加积叠加样式为主,而总体表现退积样式(图3(a))。岩性则表现下部砂岩厚度大,砂岩层数多,粒度粗,向上砂岩层数减少、粒度变细;泥质含量向上增加。主要发育于三角洲沉积体系和潮坪与障壁—泻湖交互沉积体系中,最终以后者占主导地位为特征,研究区太原组顶部多呈现此类型。此类基准面旋回代表可容纳空间与沉积物供给通量比值( $A/S$ )略小于1,但是总体向上增大。

#### 2.2.2 弱进积—加积型旋回

垂向上表现为以加积叠加样式为主,总体表现进积样式(图3(b))。岩性表现为旋回下部单层砂岩厚度向上增厚、粒度变粗,且泥质含量减少,泥岩厚度减薄或大面积泥炭沼泽化。岩相类型较为复杂,出现多个三角洲及潮坪、障壁—泻湖、潮汐三角洲沉积组合的交替。该类型的形成与华北陆表海水平面间歇性下降有关。沉积物供给通量与水平变化导致 $A/S$ 值总体向上减少。

#### 2.2.3 进积型旋回

垂向上表现为总体进积样式(图3(c))。岩性表现为单层砂岩厚度向上增厚,粒度变粗,泥质含量向上减少。岩性类型由三角洲沉积体系向陆相沉积体系转化,为海陆交互型含煤岩地层沉积晚期海水退出成煤盆地转变为陆相沉积形成的非对称型旋回类型。

### 2.3 长期基准面旋回

在确定中期基准面旋回识别与对比分析的基础上进行长期基准面旋回的确定。界面的识别标志主要依据区域海退事件,沉积体系、相组合类型转化界面和区域性泥炭化事件界面等。经过对比分析,研

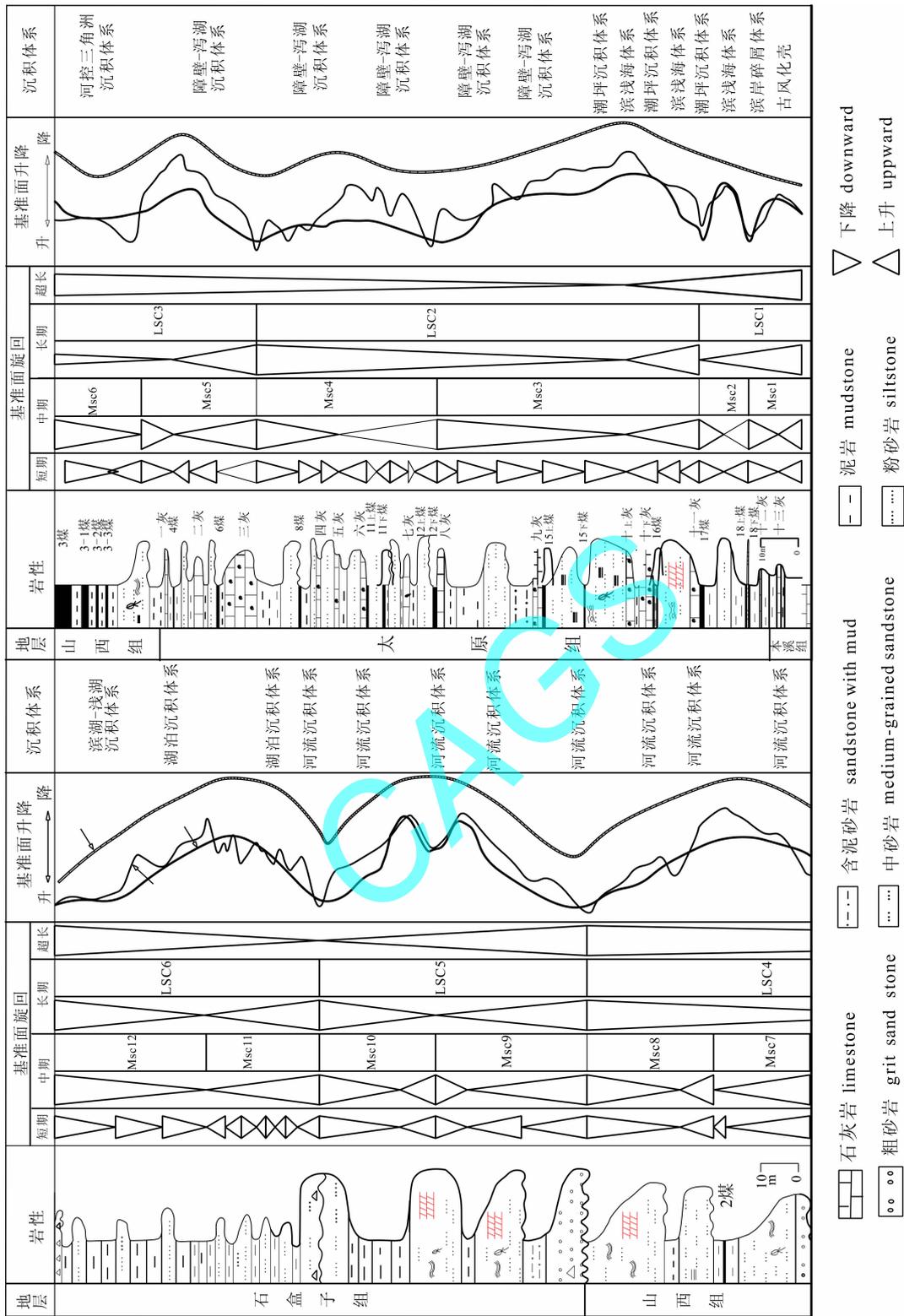


图1 单县矿区上古生界高分辨率层序地层划分  
Fig. 1 High-resolution sequence division of Upper Paleozoic strata in Shanxian coalfield

究区上古生界层段可以划分出5个长期基准面旋回。每个长期基准面旋回由1~4个中期基准面旋回组成(图2)。长期基准面旋回反映了基准面变化的高一级周期,是与盆地基准面长期变化导致A/S值发生变化密切相关的。长期基准面变化是与盆地

成煤作用阶段相互吻合的,因为较强的成煤作用总是在盆地演化中的某一阶段发生的。研究区上古生界长期基准面变化与沉积环境相关,陆表海沉积环境下,可以划分3个长期基准面旋回,以下降半旋回为主,陆相河流沉积环境下,其基准面旋回以对称型

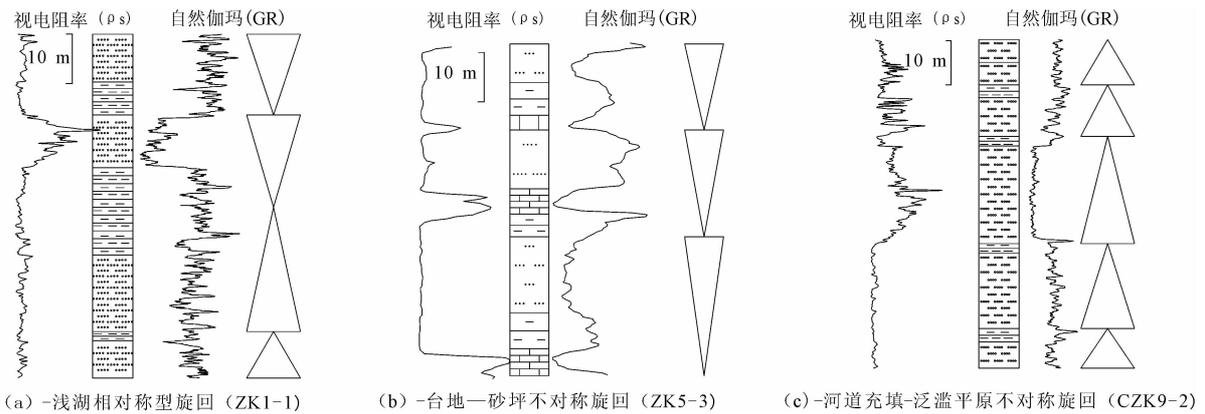


图2 短期基准面旋回及相应沉积特征

Fig. 2 Characteristics of short base level

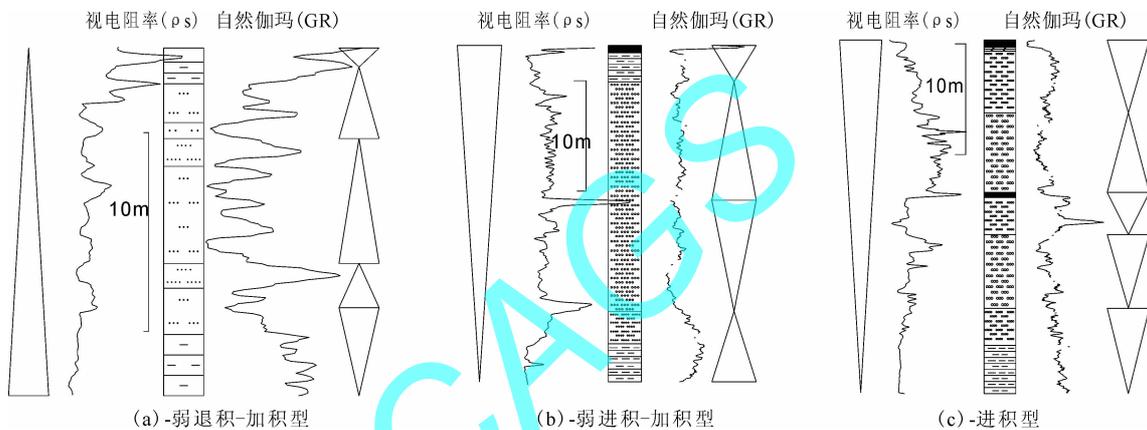


图3 中期基准面旋回类型及其沉积响应

Fig. 3 Characteristics of middle base level

为主,在陆相湖泊沉积环境下以下降半旋回为主。

### 3 基准面变化与成煤作用

泥炭沼泽是水域和陆地的过渡形态,因此其形成与分布受控于基准面变化。不同级次基准面旋回的叠加控制了成煤规律。泥炭沼泽的持续发育需要可容纳空间与沉积物补偿之间的平衡,即当沉积物补给通量变化导致的  $A/S$  值趋于 1 时,是成煤岩的有利时期(李增学等,1995;郑荣才等,2000)。因此,从基准面旋回变化与沉积的动力学角度分析,泥炭沼泽的发育与煤岩层的保存与不同级次基准面旋回转换叠置有关系。

单县矿区在沉积充填演化过程中,由于受构造、气候和物源供应的共同影响,成煤作用主要发生于陆表海海侵作用减退、河控三角洲作用加强阶段,即以第一超长期基准面旋回的下半旋回为主。根据其沉积充填演化,研究区主要分两期成煤作用发生:

①以下部含煤岩段(4煤岩~18<sub>下</sub>煤岩)的早期含煤岩阶段,主要是陆表海盆地地层基准面下降,海侵发生形成的海相煤岩层,主要发生于构造活动相对稳定的滨海沉积体系、潮坪沉积体系和障壁—泻湖沉积体系;②以上部含煤岩段(2煤岩~3<sub>下</sub>煤岩)为代表的后期成煤阶段,主要是盆地地层基准面上升,海水逐步退出研究区形成河流三角洲沉积,主要形成于构造相对稳定的河控浅水三角洲泥炭沼泽沉积。

#### 3.1 早期成煤作用

研究区早期成煤作用始于盆地演化的构造旋回中下部,主要位于 LST1 和 LST2,是研究区盆地基底趋于稳定并缓慢下沉,基准面下降时期发生的。此阶段盆地内主要沉积体系为潮坪沉积体系、障壁—泻湖沉积体系以及滨浅海(台地)沉积体系。该期研究区随着  $A/S$  逐渐增大,地层基准面上下震荡运动,在滨海平原地带、障壁—泻湖区边缘和潮汐三角洲顶部地带形成了多期的泥炭堆积,最终形成了多

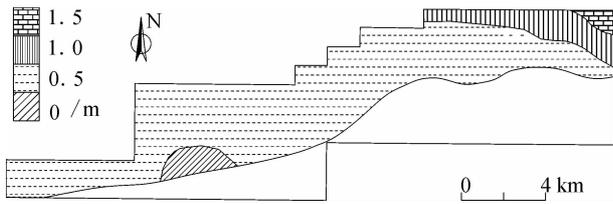


图4 16煤岩层厚度分布图

Fig. 4 Thickness of 16th coal seam

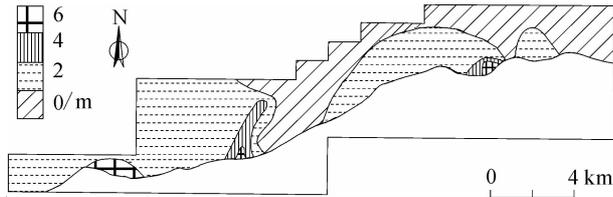


图5 3上煤岩层厚度分布图

Fig. 5 Thickness map of 3rd coal seam

层的薄煤岩层,煤岩层形成部位主要位于长期基准面旋回下降半旋回,且以中期基准面旋回下降半旋回晚期为主。主要含煤岩12层,只有15<sub>上</sub>煤岩、16煤岩、17煤岩和18<sub>上</sub>煤岩大部或局部可采。如本区16煤岩层(图4),在经过多期海侵海退后,成煤中心位于井田的东北隅,属于潮坪沉积体系。

### 3.2 晚期成煤作用

晚期成煤作用主要位于陆表海沉积向陆相沉积转换层序LST3下降半旋回。随着盆地整体抬升,基准面下降,海水从东北和西南两边逐渐退出本区,A/S变小并逐渐趋于1,形成了广泛得泥炭沼泽沉积,为煤岩层形成和保存奠定了基础。由于该期研究区主要是以河控浅水三角洲沉积体系为主,在三角洲平原得前缘部位出现了有利得成煤岩环境,成煤作用得扩展,形成了具有工业价值的煤岩层(图

5)。煤岩层主要分布于中期基准面下降半旋回晚期、下降半旋回长期基准面旋回。从3<sub>下</sub>煤岩至于3<sub>上</sub>煤岩,盆地经历了海平面下降,海水退出,河流沉积水域扩张的过程,中期基准面旋回(MSC6)中部的海退成煤与顶部水域扩大造成水侵成煤现象依次出现,其中3<sub>下</sub>为明显海退成煤,该煤层主要分布在张集井田,含硫成分高,煤岩层分叉(图6),3<sub>上</sub>煤岩层则为河流水侵成煤,该煤岩层厚,全区可对比(图5)。随着A/S减少,研究区转换为陆地沉积,水域逐渐从矿区得东部退出本区,在矿区东部的张集煤岩矿形成了该区不稳定得2煤岩层(图6)。

由此可见,单县矿区成煤作用主要受控于地层基准面旋回的变化,而基准面旋回受到盆地的升降、海(水)平面变化以及构造运动的影响。在研究区成煤作用发生的初期,由于海(水)平面下降或盆地抬升,滨海平原地带、潮汐三角洲顶部、河控浅水三角洲前缘和泻湖沉积层序底部沉积了大量泥炭沼泽,为成煤作用奠定了基础。长期基准面旋回与中期基准面旋回叠置影响着旋回内部沉积物的地层学和沉积学特征,也影响着泥炭沼泽的发育及煤岩的形成和保存。当中期基准面旋回叠置在长期基准面旋回上升的早期时,沉积物以粗碎屑为主,随基准面上升A/S值增大,可发生较微弱的成煤作用(如早期成煤作用形成的16煤岩)。当中期基准面旋回叠置在长期基准面旋回上升与下降转换时期,可出现最大可容纳空间,A/S比值达到最大,盆地覆水过深,不利于成煤岩。当中期基准面旋回叠置在长期基准面旋回下降时,尤其是晚期,盆地覆水变浅,各沉积体系趋于废弃,易发生大面积泥炭沼泽化事件,有利于成煤岩,此时如A/S比值(接近于1)较长期保持稳定,可形成较厚煤岩层(如晚期成煤作用形

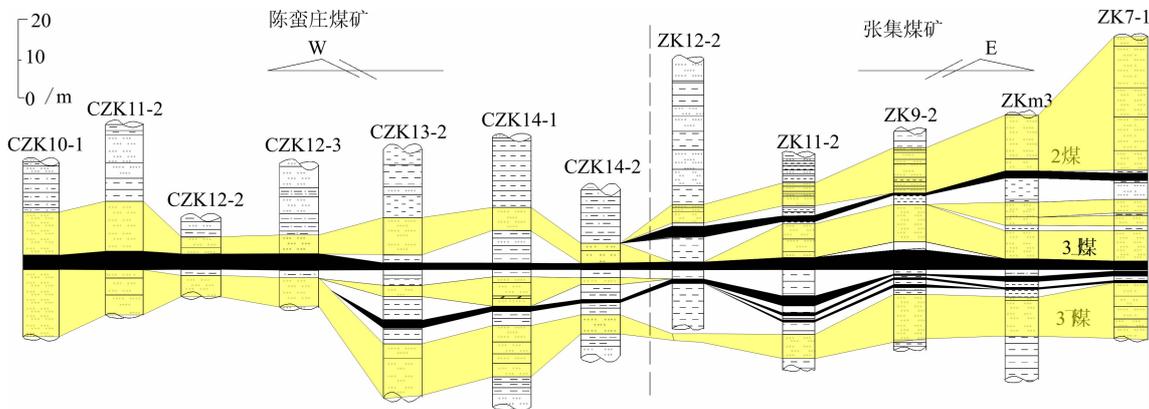


图6 2煤岩层、3煤岩层对比示意图

Fig. 6 Comparison between 2nd coal seam and 3rd coal seam

成的 $3_{上}$ 、 $3_{下}$ 煤岩)。因此,中期基准面下降半旋回晚期、长期基准面下降半旋回则是成煤作用比较发育的有利区带。

## 4 结论

(1)单县矿区沉积充填受到构造、沉积及气候所控制,根据高分辨率层序地层观点,可以将研究区上古生界地层划分为两个超长周期基准面旋回、5个长期基准面旋回、10个中期基准面旋回和45个短期基准面旋回。

(2)根据基准面叠加原理和发育,单县矿区上古生界可以识别出两种短期基准面旋回:对称型和不对称型。根据短期基准面旋回叠加方式可以区分出3种中期基准面旋回类型,即:弱退积—加积型、弱进积—加积型和进积型。

(3)基准面旋回的A/S值控制了煤岩层成集分布,叠置在长期基准面旋回之上的中期基准面旋回变化是控制成煤作用的重要因素,而长期基准面旋回下降半旋回的中期基准面旋回下降半旋回晚期是成煤岩的最有利时期。研究区上古生界成煤作用可以分为两期:早期成煤作用和晚期成煤作用。早期成煤作用主要是当中期基准面旋回叠置在长期基准面旋回上升的早期时,发生较微弱的成煤作用;晚期成煤作用主要是当中期基准面旋回叠置在长期基准面旋回下降时,A/S值(接近于1)较长期保持稳定形成的较厚煤岩层。

## 参考文献

- 邓宏文. 1995. 美国层序地层研究中的新学派—高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 16(2): 89~97.
- 邓宏文, 王洪亮, 李熙吉. 1996. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 17(3): 177~184.
- 李思田, 李祯, 林畅松. 1993. 含煤盆地层序地层分析的几个基本问题[J]. 矿区地质与勘探, 21(4): 1~9.
- 李增学, 魏久传, 李守春. 1995. 山东及邻区石炭二叠纪含煤地层的层序地层式样[J]. 沉积学报, 13(增刊): 18~26.
- 李增学, 魏久传, 韩美莲. 2000. 鲁西陆表海盆地高分辨率层序划分与海侵过程成煤特点[J]. 沉积学报, 18(3): 362~368.
- 李增学, 余继峰, 李江涛. 2007. 鄂尔多斯盆地多种能源共存富集的组合形式及上古生界沉积控制机制分析[J]. 地球学报, 28(1): 32~38.
- 刘贻军. 1998. 前陆盆地层序地层学研究中的几个问题[J]. 地球学报, 19(1): 90~96.
- 沈玉林, 郭英海, 李壮福, 孙粉锦. 2007. 鄂尔多斯盆地北部苏里格庙含油气区上古生界层序地层研究[J]. 地球学报, 28(1): 72~78.
- 覃建雄, 韦跃龙. 2005. 层序成因动力学参数类型及意义[J]. 地球学报, 26(6): 66~74.

- 魏久传, 李增学, 李守春. 2000. 黄县断陷盆地充填演化与煤成积规律[J]. 中国矿业大学学报, 29(3): 300~304.
- 郑荣才, 尹世民, 彭军. 2000. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析[J]. 沉积学报, 18(3): 369~375.

## References

- CROSS T A. 1994. High-resolution stratigraphic correlation from the perspective of base-level cycles and sediment accommodation[M]. In: Proceeding of Northwestern European Sequence Stratigraphy Congress, 105~123.
- DENG Hongwen. 1995. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U. S.: high-resolution sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas Geology, 16(2): 89~97 (in Chinese with English abstract).
- DENG Hongwen, WANG Hongliang, LI Xiji. 1996. Identification and correlation technique of sequence stratigraphic base-levels and their application[J]. Oil & Gas Geology, 17(3): 177~184 (in Chinese with English abstract).
- LI Sitian, LI Zhen, LIN Changsong. 1993. Some fundamental problem: about sequence stratigraphic analysis of coal basin[J]. Coal Geology and Exploration, 21(4): 1~9 (in Chinese with English abstract).
- LI Zengxue, WEI Jiuchuan, LI Shouchun. 1995. The sequence stratigraphical pattern of the Permo-carboniferous coal measure in Shandong and its adjacent area[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 13: 18~26 (in Chinese with English abstract).
- LI Zengxue, WEI Jiuchuan, HAN Meilian. 2000. The division of high-resolution sequences and the transgressive coal formation in the epicontinental basin of the Western Shandong Province[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 18(3): 362~368 (in Chinese with English abstract).
- LI Zengxue, YU Jifeng, LI Jiangtao. 2007. Combination types of coexistent multiple energy resources in the Ordos Basin and an analysis of the Upper Paleozoic sedimentation control mechanism[J]. Coal Geology & Exploration, 28(1): 32~38 (in Chinese with English abstract).
- LIU Yijun. 1998. Sequence Stratigraphy discussions for research foreland Basins[J]. Acta Geoscientica Sinica, 19(1): 90~96 (in Chinese with English abstract).
- SHEN Yulin, GUO Yinghai, LI Zhuangfu, SUN Fenjin. 2007. Sequence stratigraphy study of the Upper Paleozoic of the Suligemiao Oil and Gas-bearing area, North Ordos Basin[J]. Coal Geology & Exploration, 28(1): 72~78 (in Chinese with English abstract).
- QIN Jianxiong, WEI Yuelong. 2005. Parameter type of sequence genetic dynamics and its significance[J]. Acta Geoscientica Sinica, 26(6): 66~74 (in Chinese with English abstract).
- WEI Jiuchuan, LI Zengxue, LI Shouchun. 2000. Basin-filling evolution and coal accumulation in Huangxian Faulted Basin[J]. Acta of cumt, 29(3): 300~304 (in Chinese with English abstract).
- ZHENG Rongcail, YIN Shimin, PENG Jun. 2000. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 18(3): 369~375 (in Chinese with English abstract).