

文章编号: 1000-0550(2006)06-0834-07

鄂尔多斯盆地晚古生代含煤地层层序 地层与海侵成煤特点^①

李增学^{1,2} 王明镇^{1,2} 余继峰^{1,2} 韩美莲¹ 李江涛³ 吕大炜¹

(1. 山东科技大学地科学院 山东青岛 266510)

2. 山东省油气勘探开发工程技术研究中心 山东青岛 266510

3. 中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640)

摘要 层序划分的关键是层序界面的确定,无论是高级别的层序还是层序内部单元,都是以关键沉积或地层等时界面为边界的。由于海侵或者大规模水进水退导致的区域侵蚀面、事件性沉积在陆表海盆地充填中比较发育,因此,大面积水域扩张和退缩导致的大面积水流冲刷界面、沉积体系的大规模转换界面、盆地转折时期大面积的水流冲刷和河流复活形成的下切谷充填界面等都是层序划分的重要界面。煤层的形成是一个特殊的沉积事件,它可能是一个事件的结束,也可能是一个沉积事件的开始,因此也可能是划分层序的重要依据。将本溪组至下石盒子组划分出 9 个三级层序,4 个二级层序。陆表海盆地三级层序为海侵体系域高位体系域二个单元组成;盆地转换期的沉积充填层序,以及陆相盆地三级层序均为低位、水侵和高位体系域三元结构层序。海侵成煤和事件成煤是鄂尔多斯盆地晚古生代煤聚积的基本特色。

关键词 层序划分 鄂尔多斯盆地 海侵成煤作用

第一作者简介 李增学 男 1954 年出生 教授 博士生导师 煤地质学及能源盆地分析 E-mail: lizengxue@263.com

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 层序地层划分

鄂尔多斯盆地石炭—二叠系是重要的含煤地层,尽管石炭系与二叠系之间的界线仍然存在着争论^[1],但是,石炭—二叠系作为重要的能源矿产源岩序列已被广泛认知,且诸多学者进行了长期研究,在煤聚积和油气成藏研究中取得了重要成果。比较一致的看法是,石炭系与二叠系的分界线由原来的山西组与太原组分界面下移到太原组中下部。这样就把太原组划分为两个层段,下段属于上石炭统,上段为下二叠统。就石炭—二叠系分布而言,鄂尔多斯盆地的西缘、南缘,以及山西等分区有明显的差异。

鄂尔多斯盆地晚古生代含煤地层的层序地层划分是近年研究的热点之一。为了精细地查明煤及共存、共生矿产资源,能源地质工作者运用层序地层学的研究方法思路,进行了含煤地层的层序划分,特别是进行了高分辨率层序的划分,这对科学的评价和预测能源资源是十分重要的。中国煤田地质总局等

将石炭—二叠系划分为两个基本层序、7 个小层序组^[1];陈世悦将本溪组至上石盒子组的所有地层划分出 4 个二级层序和 26 个三级层序^[2];钟蓉将本溪组至山西组划分为 4 个二级层序和 14 个三级层序^[3];陈洪德等将本溪组至石盒子组划分为 5 个准二级层序和 19 个三级层序^[4];邓宏文等将山西组划分为一个长周期 3 个中周期旋回^[5];翟爱军和邓宏文将本溪组至上石盒子组划分为一个长周期和 3 个中周期旋回层序^[6];郑荣才等采用高分辨率层序划分的方法,将本溪组至下石盒子组划分为 3 个超长期、8 个长期、19 个中期和 62 个短期旋回层序^[7]。为了更精细的研究油气生储盖组合,梁积伟等鄂尔多斯盆地东北部山西组进行了高分辨率层序地层学研究^[8]。可以看出,鄂尔多斯盆地晚古生代含煤地层的层序地层划分仍然存在争议。主要因为以上研究者进行鄂尔多斯盆地石炭—二叠系层序划分所取的地层层段界面不同、采用的层序划分方法与技术不同,如以基准面分析为主要的分析方法的高分辨率层序地层分析,所划分

① 国家重点基础研究发展规划项目“多种能源矿产共存成藏(矿)机理与富集分布规律”(项目编号:2003CB214608)资助。
收稿日期:2006-01-24 收修改稿日期:2006-05-08

的三级层序与 Vail 等的经典层序地层划分的三级层序不尽一致。

层序划分的关键是层序界面的确定。首先是基本层序即三级层序界面的确定, 对于三级层序来说, 层序界面的识别和确认是最为关键的步骤, 没有界面就不可能将层序内部结构搞清楚。对于陆表海盆地来说, 层序界面的类型与性质一直存在不同看法, 因为大规模的不整合面在陆表海盆地内是不太发育的, 而由于海侵或者大规模水进—水退导致的区域侵蚀面、事件性沉积在陆表海盆地充填中是比较发育的。因此, 作者曾在研究华北陆表海盆地东南缘含煤地层层序地层特征时提出利用海侵、海退事件界面识别和确定三级层序界面的看法^[9], 并提出了陆表海盆地三级层序的结构模式。这些认识对于鄂尔多斯盆地晚古生代含煤地层的层序地层划分也有借鉴意义。

经对鄂尔多斯盆地上古生界沉积特征及其煤层成因分析, 我们认为主要的层序界面有: 大面积水域扩张和退缩导致的大面积水流冲刷界面, 表现在沉积序列中就是一些比较有特色的砂岩层在盆地范围内可以对比; 沉积体系的大规模转换界面也是划分层序的重要依据, 甚至可以是直接的层序界面; 盆地转折时期大面积的水流冲刷和河流复活形成的下切谷充填界面是直接的层序划分界面。煤层在划分层序中作用越来越被人们重视。但是, 煤层的不同成因又使得煤层在层序中位置出现多样性。以往人们为了煤层对比的需要, 而且认为煤层是盆地充填演化阶段末期盆地淤浅、活动碎屑体系基本废弃时期、盆地广大区域泥炭沼泽化形成的, 因此往往把煤层放在一个沉积旋回的中间(水退—水进旋回划分法), 或把煤层放在一个沉积旋回的上部(水进—水退旋回划分法), 现在看来这种旋回的划分方法并不完全符合含煤地层层序划分的原则, 因为一个煤层的形成是一个特殊的沉积事件, 它可能是一个事件的结束, 也可能是一个沉积事件的开始, 但一般不可能是一个沉积事件的中间阶段的产物。

根据以上对鄂尔多斯盆地上古生界含煤地层沉积特征和层序界面的分析, 可以将本溪组至石盒子组划分出 9 个三级层序, 4 个二级层序(图 1)。二级层序 1 中划分出 4 个三级层序, 每个三级层序为海侵体系域、高位体系域二个单元组成, 各层序由一个完整的上升—下降基准面旋回(该二级层序的长期和中

期相当)构成, 而短期基准面旋回组成各有不同; 二级层序 2 由 1 个三级层序构成, 它实际上是盆地转换期的沉积充填层序, 为低位、水侵和高位体系域三元结构层序, 一个长期基准面旋回和两个中期旋回; 二级层序 3 和二级层序 4 为陆相沉积层序, 各有由 2 个三级层序构成, 每个三级层序均为低位、水侵和高位体系域三元结构层序。二级层序 3 和 4 实际上是大型陆相盆地的沉积充填层序, 它与二级层序 1 是截然不同的盆地沉积充填的产物。

2 海侵成煤和事件成煤研究

煤是鄂尔多斯盆地多能源矿产中主矿产之一, 是晚古生代的主要能源矿产。煤层的成因比较复杂, 不是单一的水退(或海退)或者水进(或海进)期形成的, 可能受盆地多种因素的控制和影响。有些煤层可能是异地形成, 如风暴异地煤等。鄂尔多斯盆地晚古生代既有海侵煤层(如 9 号煤层)、异地煤(如 8 号煤层), 同时也有在高位期形成的煤层(如 6 号煤层), 而且这几类成因的煤层在整个盆地含煤沉积序列中代表的沉积事件和反映的聚煤作用环境是不同的。

2.1 关于陆相成煤

传统的成煤作用理论认为, 发生在一个聚煤盆地的成煤作用往往发生浅水背景条件下, 这种浅水背景是发生了水退的结果。即是说泥炭沼泽应该是一种浅水背景下逐渐演化为有利于植物繁衍的环境。煤地质学成煤作用理论一直“陆相成煤模式”或“学说”占优势。这里所说的“陆相”并非沉积学中的陆相沉积, 而是泛指成煤作用发生在浅水背景, 如近海背景下或陆表海盆地在海水退却时呈现的浅水背景等, 则被认为是“上升”为陆。如许多学者认为华北石炭—二叠系太原组为“海陆交互相沉积”, 这里就把太原组的煤层作为是“陆相”沉积的代表。因此, 传统煤地质学把由于水退(或海退)过程导致水域变浅、或盆地由于淤浅等都认为是由水域变为“陆地”。因此“陆相成煤”是泛指在各种背景下演化为浅水环境成煤的作用或机制, 而不是说只有陆相背景条件下才能成煤。层序地层学理论和盆地分析新的理论在煤地质学领域的应用, 使得煤地质学有了理论和成煤模式上的突破, 成煤作用不但在浅水背景下发生, 在水进背景下、在突发性事件背景下也可以发生, 因此, 成煤作用理论或成煤模式出现了多样化。

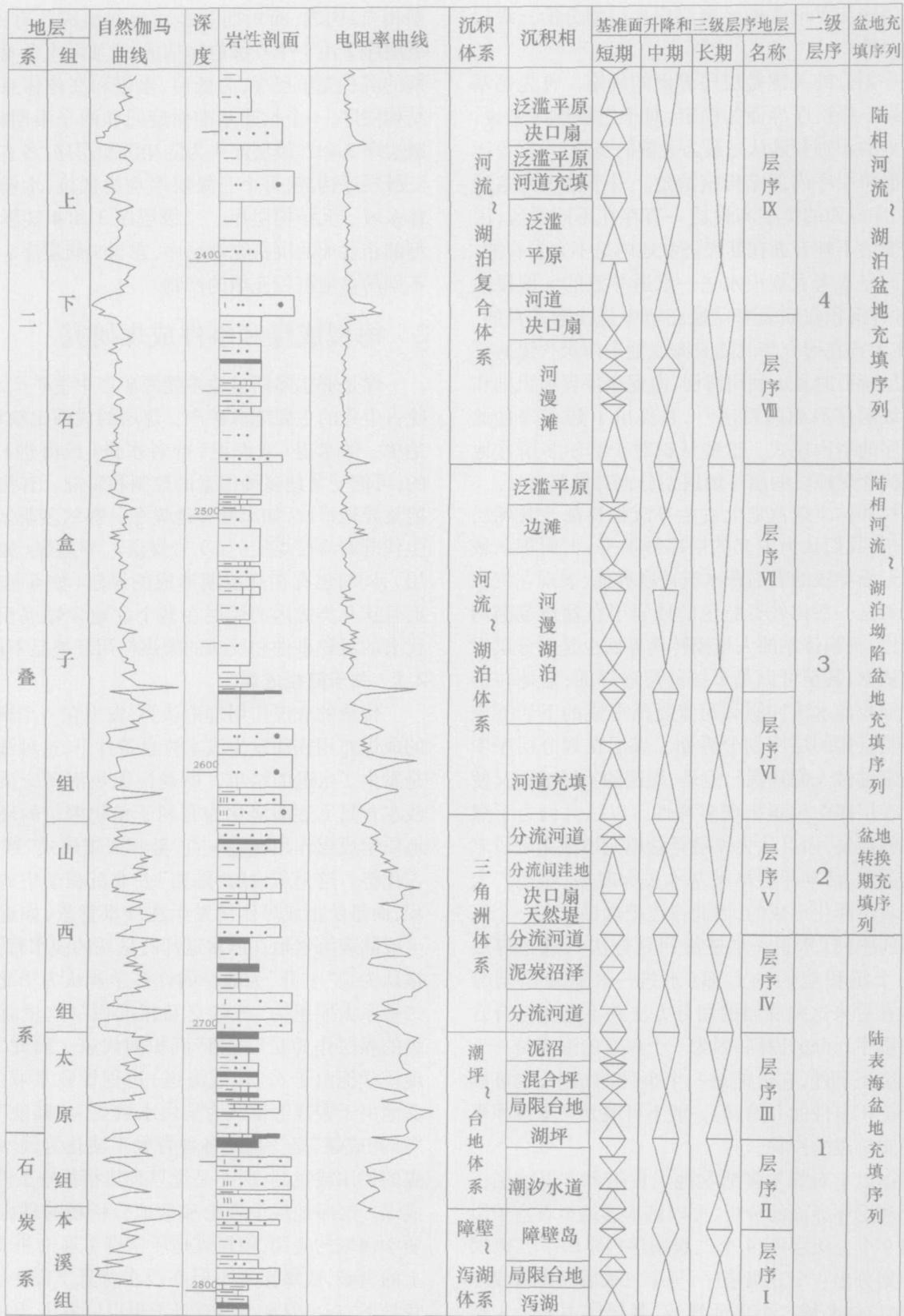


图 1 鄂尔多斯盆地上古生界层序地层划分及盆地充填序列

Fig 1 The analysis of sequence stratigraphy and filling succession of Upper Paleozoic in Ordos Basin

2.2 海侵成煤

海侵过程成煤成煤理论和模式来源于边缘海盆地聚煤作用分析成果^[10], 这一成果对于古老的煤田地质学既是一大的冲击也是一大的理论贡献。海侵过程成煤由一种基本观点逐渐形成了一种理论和成煤模式, 而且逐渐被广大煤田地质工作者所接受。这一理论的核心是论述了边缘海盆地在随海水侵进的过程中, 成煤作用在已经土壤化的滨岸地带发生, 并逐渐向陆上迁移。滨岸地带暴露土壤化被侵进的水体滋润成为沼泽, 进而泥炭沼泽化。早期已经形成的泥炭被逐渐加深的水体覆盖而保存。因此, 成煤作用与海侵过程密切相关, 这样所形成的煤层具有穿时性。海侵过程成煤理论的提出是对煤地质学理论是一大贡献, 也为聚煤盆地的成煤作用分析提供了新的思路。特别是如何评价煤层作为一种特殊沉积成因体在层序地层分析中的作用提出了需要思考的课题, 因为煤层的穿时性是海侵过程成煤作用的结果。但是, 边缘海盆地的滨岸地带具有很明显的坡度, 成煤作用发生在这一斜坡地带发生并逐渐向岸带移动。

根据鄂尔多斯盆地东部海相石灰岩与煤层的组合关系, 可以看出(图 2), 太原组的煤层就事件沉积特点来看可能有两种成因环境, 一是海侵过程成煤, 一是事件性的异地煤。海侵煤层主要是由于障壁体系在海侵发生的初期, 随着海侵的进程, 障壁岛后逐渐发育泥炭沼泽, 泥炭得以保存而成煤是由于后来大规模的海侵使得泥炭很快处于深水环境, 在这种还原环境中, 发生煤化作用最终成煤。这类煤层的顶板一般直接为海相石灰岩。如图 2 中的下 8 号煤层和 9 号煤层, 其顶板为海相灰岩, 即深灰色生物碎屑泥晶灰岩, 下 8 号煤层与 9 号煤层之间夹的石英砂岩为障壁砂坝沉积。煤层底板为泻湖背景下的环潮坪带沉积, 是在海退时期具有暴露土壤化的沉积, 属于发育植物根系的根土沉积。因此, 煤层是在海侵发生的过程中导致障壁坝后泥炭沼泽发育而形成的。这类煤层代表了一个海侵—海退旋回的开始, 煤层的底板可以作为一个层序的划分界面。

2.3 事件成煤

晚古生代鄂尔多斯地区与整个中国北方为一巨大的陆表海盆地, 鄂尔多斯与华北连为一体, 尽管海水进退的方向不一致, 但是陆表海盆地性质基本相同。在华北地区已经发现了风暴异地煤^[11]和与突发性海侵事件沉积有关的煤层^[12-13]。

鄂尔多斯盆地石炭—二叠系太原组上 8 号煤层

和 7 号煤层所产出的层位似乎是海相沉积的“夹层”, 煤层的底板和顶板都是海相石灰岩层(图 2), 这种灰岩—煤层—灰岩的地层结构模式, 可能预示着煤层的形成是一种很特殊的事件的产物。鄂尔多斯盆地东部海相石灰岩—煤层—海相石灰岩的组合, 说明煤层的产出层位具有特殊性。将这一沉积组合用台地基础上发育泥炭沼泽的解释难以说明煤层的聚积环境和煤层聚积前泥炭沼泽产生的盆地背景条件。因此, 本文认为这是一种异地煤, 可能是风暴事件的产物。风暴使得海水对滨岸或潮坪或泻湖的环潮坪带泥炭沼泽发生侵蚀, 而海水的回流又可携带着这种侵蚀带来的泥炭到海洋的较深水部位沉积, 最终形成煤层。因此, 煤层代表的环境就不是泥炭沼泽, 而是深水环境, 这种煤层的形成应该是异地成因。异地煤堆积可以发生在海侵期也可以发生在高水位期。

可以看出, 海侵层在时空上具有较好的稳定性和等时性。突发性海侵对陆表海盆地泥炭沼泽的发育与中止、泥炭的堆积与保存起到了关键性控制作用。海平面变化的事件性特点控制了陆表海盆地的聚煤作用, 基准面的上升为泥炭沼泽的发育制造了有利条件, 而后来大规模海侵又使泥炭的堆积中止, 这一事件即使泥炭在短时间内处于较还原的环境被保存而形成有沉积的煤层, 又使泥炭沼泽发育的持续时间较短而不可能形成较厚煤层。这就是陆表海盆地含煤地层中的煤层大都厚度不大的重要原因。

2.4 海退或水退成煤

在鄂尔多斯盆地东部的含煤沉积中, 也有高水位晚期成煤作用类型, 这种成煤作用就是传统煤地质学所阐明的经典成煤作用, 即海退或水退成煤。如图 2 中 6 号煤层是在层序 II 的上部单元, 在最大海泛期后的高水位期的沉积, 是比较典型的海退时期成煤。该煤层的底部沉积与煤层为一个连续沉积序列。这种水(海)退成煤作用理论和模式早已为广大煤地质工作者所熟知和公认。这一成煤模式的核心思想是聚煤盆地演化具有阶段性, 在这一阶段的后期, 沉积体系中活动碎屑系统废弃而使盆地范围内大部或全部沼泽化, 进而泥炭沼泽化。在泥炭堆积适宜的区域发生成煤作用和地壳沉降区得以保存的情况下形成煤。海退条件下形成的煤系要求盆地沉降不能停止。而且, 要在整个泥炭生成范围内发生沉降, 甚至向盆地方向沉降幅度更大。因而, 这将导致滨海平原洼地的形成, 而且泥炭堆积速率与沉降容纳速率保持平衡。而碎屑物质绕过泥炭沼泽或以河流穿过泥沼地的方

式到达海岸边缘带,以便使进积三角洲前缘或障壁体系后部的泥炭向盆地方向迁移提供出新的泥炭聚积区。除非有突发性洪水事件导致泥炭发育中止或灰分增高,正常情况下,在整个海退期泥炭聚积作用将持续进行,直到盆地演化的下一阶段活动碎屑体系

(如冲积体系发育)复活而使泥炭沼泽发育中止。可以看出,海退成煤作用一般发生在盆地演化某一阶段的后期,泥炭堆积的终结表明这一演化阶段的结束。所以,以往人们习惯于把煤层顶层面作为一个沉积旋回的顶界面,进行旋回划分与对比。

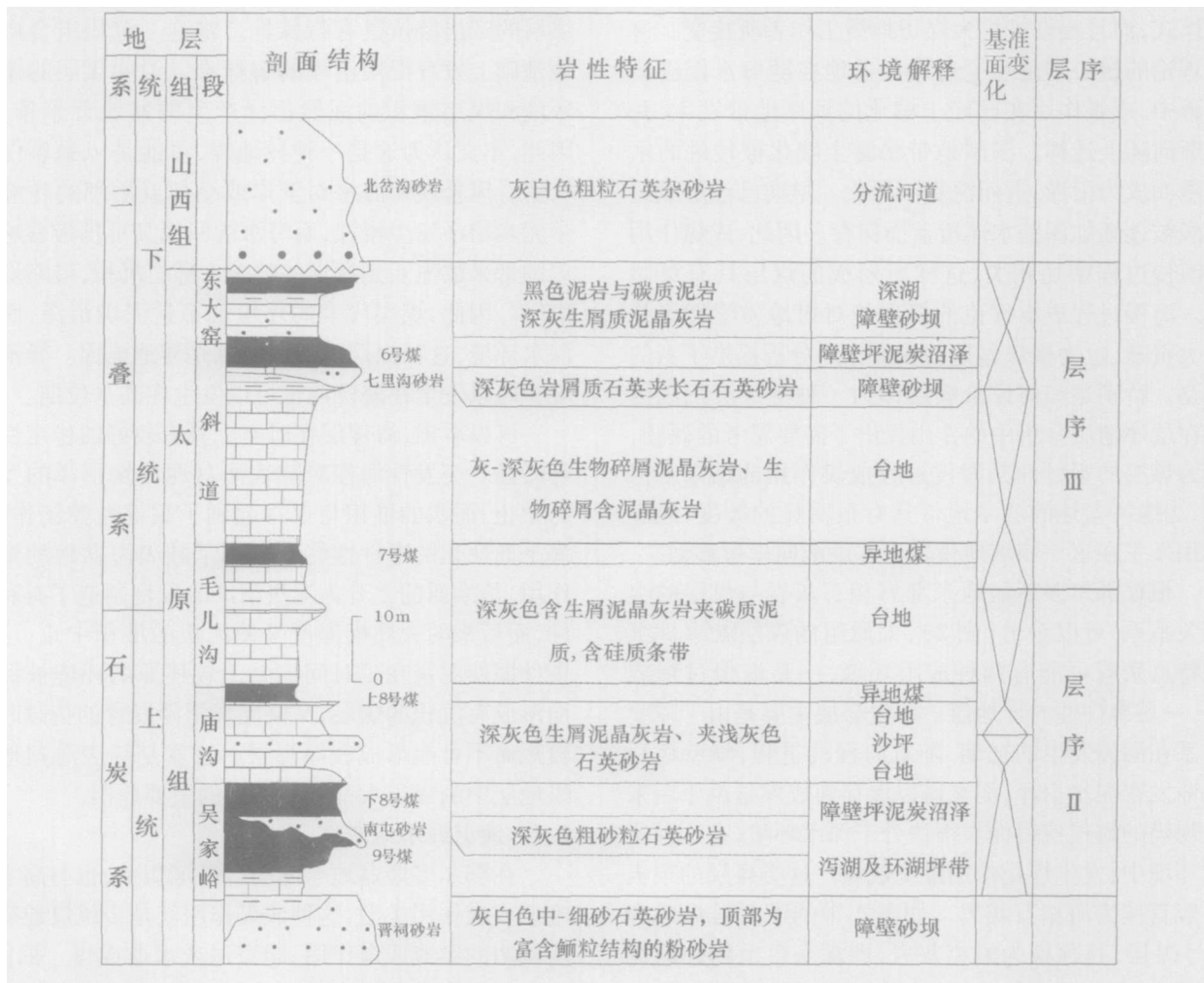


图 2 鄂尔多斯盆地东部含煤沉积序列

Fig. 2 The depositional sequence of coal bearing in the east Ordos Basin

3 盆地演化阶段与成煤作用特点

盆地演化是盆地聚煤作用发生与富煤单元形成的背景条件,只有在盆地的沉积或演化的重要转换期才有聚煤作用发生。晚石炭世早期是鄂尔多斯盆地在晚古生代古地理演化的很重要的时期,因为在这个时期之前,海侵主要来自西侧的祁连海,而沉积发生在西部的甘宁盆地。自晚石炭世早期以后,海侵就开始自华北陆表海和祁连海两个方向鄂尔多斯盆地侵入,且不断地向锦一庆一麟古隆起超覆。在太原组沉积时期,盆地海侵范围进一步扩大,海水逐步向锦一

庆一麟古隆起侵浸。在太原组沉积的中期阶段,华北海与祁连海沟通,成为统一的盆地。随着盆地演化的进程,盆地沉积有向南移动的趋势,如山西组沉积时盆地北部边界为阿拉善隆起和阴山隆起、南部边界为祁连隆起和北秦岭隆起,南北隆起之间的沉积区东与华北相连、西可与走廊东部相依,在鄂尔多斯盆地沉积特征除北部靠近隆起地带为内陆山前碎屑含煤沉积外,盆地的广大地区为开阔盆地碎屑含煤沉积。晚石炭世为陆表海盆地沉积时期。到下石盒子组沉积时期,基本上为大型陆相盆地沉积,为一套灰绿、灰白色砂岩夹灰绿、灰紫色泥岩碎屑岩系,这类岩系在鄂

鄂尔多斯盆地内基本一致,也可以与华北盆地进行对比。上石盒子组沉积与下石盒子组的分布基本一致,仍为一套河流—湖泊相沉积,属于半干旱气候条件下的产物。总的来看,石炭—二叠纪鄂尔多斯盆地是一种稳定的大型沉积盆地,盆地发生过由陆表海盆地转化为大型河流—湖泊陆相盆地的重要转折。

可以认为,无论是那种聚煤作用,如海侵煤、异地煤还是沉积体系废弃阶段的海退煤(或水退、或陆相煤),都是与盆地演化阶段具有密切关系,也可以说煤是盆地演化过程中的一种“事件”沉积的产物。因此,煤层在划分层序中是十分有用的沉积标志,但这种标志又不能作为一个固定模式来看待,而应该将煤的聚积与煤盆地演化和沉积充填的具体事件相联系。

参考文献 (References)

- 1 中国煤田地质总局著,鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价. 北京:煤炭工业出版社,1996 [China National Administration of Coal Geology. Coal Accumulating and Resource Evaluation of Ordos Basin. Beijing: Coal Industry Publishing House, 1996]
- 2 陈世悦. 华北石炭—二叠纪层序地层格架及其特征. 沉积学报, 1999, 17(1): 63~70 [Chen Shiyue. Sequence stratigraphic framework and its characteristics of the Carboniferous Permian in North China. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(1): 63~70]
- 3 钟蓉,傅泽明. 华北地台晚石炭世—早二叠世海水进退与厚煤带分布关系. 地质学报, 1998, 72(1): 64~75 [Zhong Rong, Fu Zeming. The relationship between the distribution of thick coal beds and the Late Carboniferous Early Early Permian marine transgression regression in the North China Platform. Acta Geologica Sinica, 1998, 72(1): 64~75]
- 4 付锁堂. 鄂尔多斯盆地北部上古生界沉积体系及砂体展布规律研究 [博士学位论文]. 成都理工大学, 2004, 10 [Fu Suotang. The study on the depositional system and sand body spreading regularity of upper Paleozoic in North Ordos Basin. Chengdu University of Science and Technology, 2004, 10]
- 5 邓宏文,曹爱武,王洪亮,等. 鄂尔多斯盆地晋西地区山西组层序地层与储层特征. 见:顾家裕,邓宏文,朱筱敏编. 层序地层学及其在油气勘探开发中的应用论文集. 北京:石油工业出版社,1997 [Deng Hongwen, Cao Aiwu, Wang Hongliang, et al. Sequence stratigraphic and reservoir characteristics of Shanxi Formation in the western area of Shanxi Province in the Ordos Basin. In: Gu Jiayu, Deng Hongwen, Zhu Xiaomin, et al. Symposium of Sequence Stratigraphic and Its Practices in the Prospection and Exploration for Oil and Gas. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997]
- 6 翟爱军,邓宏文,王洪亮. 鄂尔多斯盆地上古生界煤层在层序中的位置及对比特征. 中国海上油气(地质), 2000, 14(3): 178~180 [Zhai Aijun, Deng Hongwen, Wang Hongliang. Sequence stratigraphy and correlation of Upper Paleozoic coal bearing formations in Ordos Basin. China Offshore Oil and Gas Geology, 2000, 14(3): 178~180]
- 7 郑荣才,文华国,梁西文. 鄂尔多斯盆地上古生界高分辨率层序地层分析. 矿物岩石, 2002, 22(4): 66~74 [Zheng Rongcai, Wen Hua guo, Liang Xiwen. Analysis of high-resolution sequence stratigraphy for Upper Paleozoic in Ordos Basin. Journal of Mineral Petrology, 2002, 22(4): 66~74]
- 8 梁积伟,李文厚. 鄂尔多斯盆地东北部山西组高分辨率层序地层学研究. 沉积学报, 2006, 24(2): 251~258 [Liang Jiwei, Li Wenhou. High-resolution sequence stratigraphy of Shanxi Formation (Permian) in northwestern portion of Ordos Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(2): 251~258]
- 9 李增学,李守春,魏久传. 内陆表海含煤盆地层序地层分析的思路和方法. 石油与天然气地质, 1996, 17(1): 1~7 [Li Zengxue, Li Shouchun, Wei Jiuchuan. The thought and methods of sequence stratigraphic analysis in epicontinental basin. Oil and Gas Geology, 1996, 17(1): 1~7]
- 10 Diessel C F K. Coal bearing depositional systems coal facies and depositional environments. 8 coal formation and sequence stratigraphy. New York Inc: Springer verlag, 1999. 462~514
- 11 胡益成,廖玉枝,李召虎. 河南宜洛煤田晚石炭世地层中的异地煤. 地球科学, 1998, 83(6): 589~594 [Hu Yicheng, Liao Yuzhi, Li Zhaoming. Late carboniferous allochthonous coal of Yituo coalfield in Henan Province. Earth Science, 1998, 23(6): 589~594]
- 12 李增学,余继峰,郭建斌,韩美莲. 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 & Han Meilian. Analysis on Coal Formation under transgression events and its mechanism in epicontinental sea basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(2): 288~297]
- 13 Li Zengxue, Sun Yuzhuang, Yu Jifeng and Liu Deyong. Marine transgression "Event" in coal formation from North China Basin. Energy Exploration & Exploitation, 2003, 19(6): 559~567

Sequence Stratigraphy of Late Paleozoic Coal-bearing Measures and the Transgressive Coal formed Features in Ordos Basin

LI Zeng-xue^{1,2} WANG Ming-zhen^{1,2} YU Ji-feng^{1,2}

HAN Mei-lian¹ LI Jiang-tao³ LV Dawei¹

(1. College of Geology Information Science and Engineering, SUST Qingdao Shandong 266510)

2. Research Center of Petroleum and Gas Exploration and Exploitation Techniques of Shandong Qingdao Shandong 266510)

3. Guangzhou Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences Guangzhou 510640)

Abstract The identification of sequence boundaries is the key point for sequence stratigraphic classification. Both the higher order sequences and the units within the sequences are bounded with the key sediments or isochronous surfaces. It is common that regional erosion and event sedimentation resulting from transgression occurred in epicontinental sea basin infill. So water flow washing surface originated from the overspreading and shrinking of water over a large area. The large scale switchover surfaces between depositional systems and the filling surface of incised valley caused by rejuvenated river and flow washing during basin inversion are the important surfaces in classifying sequences. The forming of a coal seam is a special event that could be the end or start of an event and then could become the basis for sequence classification. It is classified into nine third order sequences and three second order sequences from Benxi formation to Xiashihezi formation. The four order sequence of epicontinental sea basin is composed of two units that is the Transgressive System Tract (TST) and Highstand System Tract (HST). Both the infill sequence during basin inversion and that of continental basin are composed of three parts: Low system tract, water invasion system tract and highstand system tract. Transgressive coal forming and coal forming under event are the essential features of Late Palaeozoic coal accumulation in Ordos basin.

Key words sequence classification Ordos basin transgressive coal formation