

文章编号: 1000-0550(2008)06-1005-09

# 鄂尔多斯盆地东北缘晚古生代陆表海 含煤岩系层序地层研究<sup>①</sup>

杨明慧<sup>1</sup> 刘池洋<sup>2</sup> 兰朝利<sup>3</sup> 刘 乐<sup>1</sup> 王金秀<sup>1</sup>

(1 中国石油大学(北京)盆地与油藏研究中心 油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249

2 西北大陆动力学国家重点实验室 西安 710069 3 中国石油大学(北京)石油天然气工程学院 北京 102249)

**摘 要** 通过区域不整合面、沉积体系转换面、构造应力场转换面和水上暴露面等层序界面的识别,对研究区进行层序地层划分,指出鄂尔多斯盆地东北缘晚古生代陆表海含煤岩系发育 7 个三级层序。在此基础上,认为陆表海层序仍然具有“三元”结构,由低位体系域、海侵体系域和高位体系域组成。在盆地北部发育的多期河道砂岩具有低位体系域的下切谷充填特点——面状充填,如晋祠砂岩、桥头砂岩以及北岔沟砂岩等。煤层在层序格架中的定位与海平面变化的转换时期有关,主要发育在陆表海环境的海侵体系域下部以及陆相环境的高位体系域上部。

**关键词** 层序地层 含煤岩系 陆表海 晚古生代 鄂尔多斯盆地

**第一作者简介** 杨明慧 男 1962 年出生 博士 沉积盆地分析 E-mail yangmh@cup.edu.cn

**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

## 0 引言

近二十年来,针对鄂尔多斯盆地晚古生代含煤岩系的沉积体系和古地理、层序地层以及海平面变化、层序结构、海侵成煤等方面的研究取得了巨大的进展<sup>[1-8]</sup>。然而就层序划分而言,由于方法和技术等不同还存在较大差异。例如陈钟惠等据海相层和沉积物粒度把本溪组至山西组划分出 10 个主要受控于区域性海平面变化的沉积旋回<sup>[1]</sup>,钟蓉等划分出 21 个三级海平面旋回<sup>[2]</sup>,李宝芳等划分为 19 个层序<sup>[3]</sup>;陈洪德等将本溪组至石盒子组划分为 19 个层序<sup>[4]</sup>,陈世悦等划分出 26 个层序<sup>[5]</sup>;郑荣才等将本溪组至下石盒子组划分为 8 个长期旋回层序<sup>[6]</sup>,李增学等划分为 9 个层序<sup>[7]</sup>。同时在陆表海盆地的层序结构、低位体系域沉积以及海进海退成煤等问题上还存在较多争议<sup>[3, 5, 8-10]</sup>。鄂尔多斯晚古生代含煤岩系的陆表海层序结构以及海侵并不仅仅是基础地质理论问题,而且涉及到聚煤环境、成煤模式以及层序地层学的诸多方面,值得重视和深入探讨。

## 1 地质背景

鄂尔多斯盆地位于华北板块西部,是一个多旋回演化的大型叠合盆地,由伊盟隆起、陕北斜坡、渭北隆

起、晋西褶曲带、天环向斜和西缘逆冲带等六个次级构造单元组成,面积约  $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

早古生代,鄂尔多斯盆地主要为陆表海沉积,周围被古陆和岛屿环绕形成碳酸盐岩沉积。中奥陶世,盆地整体隆起,遭受长期风化剥蚀。晚石炭世,华北板块在拉张应力作用下整体缓慢下沉,构造古地理格局继承了早古生代南北隆起、东西凹陷特征(图 1)。海水从东西方向侵入,但两侧凹陷程度及海侵时间不同。海西末期,海水退出盆地,东西差异减弱、南北差异加大,形成统一的南陡北缓的陆相克拉通拗陷盆地。

## 2 层序界面与层序划分

### 2.1 层序界面

层序形成主要受构造沉降、全球海平面变化、沉积物供应及气候因素控制。Vail 等认为层序的顶、底界面是受控于全球海平面变化形成的不整合面或与之相当的整合面,而沉积物供应、构造沉降和气候等因素的影响是局部的<sup>[11]</sup>。在被动大陆边缘、陆相等不同类型的盆地和沉积环境中,层序界面的性质和识别标志存在一些差异,并各具特点<sup>[12-15]</sup>。与克拉通有关的陆表海盆地与被动大陆边缘和陆相盆地不同,其盆地基底坡度极缓(一般  $< 0.001^\circ$ ),相对海平面

① 国家重点基础研究发展计划项目(批准号: 2003CB214600)资助。  
收稿日期: 2007-12-02 收修改稿日期: 2008-03-17

下降极易导致大区域暴露;由于水浅 (<20m)<sup>[16]</sup>,不可能形成凝缩层,因此其层序界面、结构等具有自身的特征。据研究,鄂尔多斯盆地晚古生代含煤岩系层序的界面有以下 4 种:

(1) 区域不整合面 是指盆地范围内发育的不(假)整合面,与构造运动事件一致,如晚古生代煤系与奥陶系灰岩之间由加里东运动形成的不整合面是划分层序以及构造层序的典型界面。

(2) 沉积体系转换面 指陆表海盆地特有的与区域性大规模海退事件有关的沉积体系废弃界面。由于海平面变化和构造运动导致海平面快速大幅度下降,海水可能全部退出盆地,沉积体系由海陆交替相迅速转变为陆相沉积,如北岔沟砂岩底界。

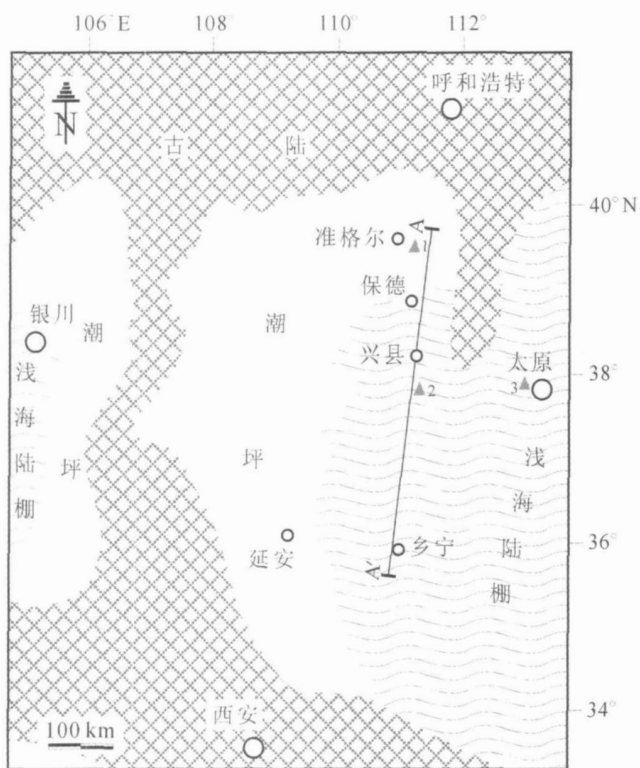


图 1 鄂尔多斯盆地东北缘晚古生代早期沉积环境图  
Fig 1 Sedimentary environment map of the Early Late Paleozoic in the northeastern Ordos Basin

(3) 构造应力转换面 由于构造运动性质或形式变化导致构造应力场转换,在沉积上表现为沉积体系或体系域的转换;在海侵方向上表现出“跷跷板”特点。如研究区层序 I、II 的海水从西北方向侵入,而层序 III 至 VIII 则转换为从东南方向(图 2),暗示在层序 II 和层序 III 的过渡中,盆地基底可能发生了先东南高然后转换为西北高的构造活动。

(4) 水上暴露面及其相应的整合面 陆表海盆地海水进退频繁,由于地势低缓而经常发生暴露面淹没现象。最明显的是在煤层底板发育根土岩和铝土岩沉积,代表古陆抬升暴露和沉积间断的存在,在该界面上出现海侵标志。由煤层及其上覆的海相泥岩、灰岩指示海侵和高位体系域沉积。这种暴露面及其上的快速海侵是陆表海盆地的多发事件,因此作为层序界面也最为常见。

## 2.2 层序划分

据上述层序界面出现的位置和区域追踪,鄂尔多斯盆地东北缘晚古生代含煤岩系共划分出 10 个层序,其中陆表海盆地划分出 7 个三级层序(图 2.3),每个层序中包含低位体系域、海侵体系域和高位体系域沉积。

第 I 层序的总厚度变化趋势呈北厚南薄,底界面为中奥陶统峰峰组或马家沟组灰岩顶面的平行不整合面。海侵体系域由山西式铁矿和 G 层铝土矿代表的滨岸泻湖沉积构成,包括部分泥岩、粉砂岩和细砂岩夹薄煤层。在准格尔煤田南端和河东煤田北端,由上部的 1~3 层灰岩构成高位体系域;其中,下部灰岩的厚度不稳定,呈透镜状,而上部的半沟灰岩(张家沟灰岩)厚度比较稳定。

第 II 层序主要由粗砂岩、细砂岩、粉砂岩和砂泥岩互层及泥岩组成,北厚南薄,约 4~58 m。底部的低位体系域为晋祠砂岩,在盆地北部是代表下切谷充填的分流河道沉积,其上的海侵体系域沉积主要为 9 号煤,由 2~3 层薄煤构成。高位体系域为潮下沉积的灰岩,灰岩约 1~4 层,自北而南层数减少,连续性变差,呈透镜状。顶部的吴家峪或下扒楼沟灰岩厚度较为稳定。

第 III 层序开始,海水从盆地东南方入侵。层序底部的西铭砂岩是海平面下降期间的潮坪—潮道沉积,代表下切充填沉积,其上的 10.9 煤为海侵体系域沉积,高位体系域沉积以上扒楼沟灰岩为主。

第 IV 层序底部是以屯兰砂岩为代表的分流河道沉积,为低位体系域沉积,在盆地中南部对下伏 9 煤呈冲刷接触或由于其进入而聚煤作用中断。其上的 8 煤和 m13 煤为海侵体系域沉积,上覆高位体系域的庙沟(成家庄)灰岩、关家崖海相层沉积。

第 V 层序的低位体系域沉积为桥头砂岩及与之相当的下马兰砂岩,对下伏 m13 煤冲刷严重,两者厚度呈负相关关系<sup>[19]</sup>。m11~12 煤与 6 号煤下等构成海侵体系域,上覆高位体系域的毛儿沟(保德)灰岩是太原组 4 期海侵中规模最大的碳酸盐沉积。

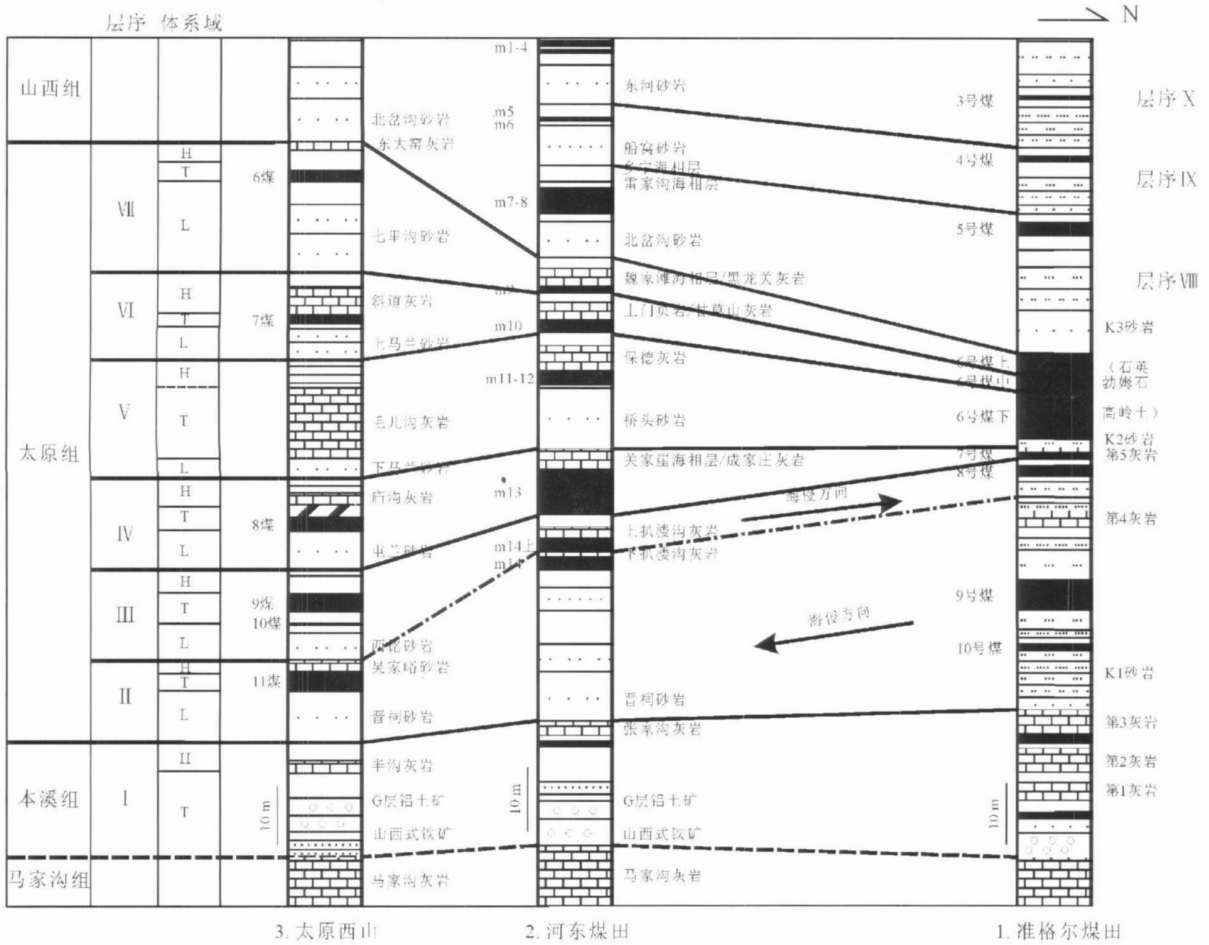


图 2 鄂尔多斯盆地东北缘及太原西山煤田晚古生代含煤岩系层序划分及对比图(柱状图位置见图 1)

Fig 2 Sequence division and correlation of coal-bearing measures in the northeastern Ordos Basin and Xishan coalfield of Taiyuan during the Late Paleozoic ( see Fig 1 for location of columns)

河东煤田、准格尔煤田和太原西山煤田柱状图据文献[ 1, 17和 18]; 柱状图左侧为煤层编号(其中太原西山不加“号”), 右侧为标志层; 准格尔煤田 6号煤分层据文献[ 19]

第 VII 层序低位体系域是上马兰砂岩, 7 煤、m10 煤和 6 煤中为海侵体系域沉积, 上部是斜道灰岩、甘草山灰岩构成的高位体系域沉积。

第 VII 层序的低位体系域是七里沟砂岩为代表的分流河道沉积, 分布局限, 其上为 6 煤、m9 煤和 6 号煤上为代表的海侵体系域, 上覆高位体系域沉积为泻湖海湾相的东大窑(黑龙关)灰岩。该期海侵规模在太原组 4 期中是最小的。

### 3 问题讨论

#### 3.1 层序结构与陆表海环境低位体系域沉积

尽管目前有学者对层序地层格架的等时性的精确性提出了质疑, 但年代地层格架的存在是毋庸置疑的。源自被动大陆边缘的层序地层学的局限性之一

是其着重于海相盆地, 以海平面变化主控层序的发育, 而忽视了与其同时代发生沉积的陆相盆地以及一些过渡性地区的沉积。从沉积基准面出发, 各个沉积域的沉积物应该在一个统一的等时格架中定位。位于克拉通内部的华北陆表海盆地, 地势低缓, 水体浅, 对海平面变化极为敏感。由于陆表海盆地地域局限、地貌单调, 在海平面下降时期缺乏形成大陆边缘的下切谷以及盆地低位体系域沉积的前提条件。因此, 一些学者认为华北陆表海盆地的层序结构具有独特的“二元”结构, 即仅由海侵体系域和高位体系域沉积组成<sup>[5 20 21]</sup>, 缺乏低位体系域或仅只能在大陆边缘以外寻找低位体系域沉积<sup>[3]</sup>。

从海平面变化和沉积旋回角度, 陆表海盆地的层序结构无疑应该是“三元”的, 即由低位体系域、海侵

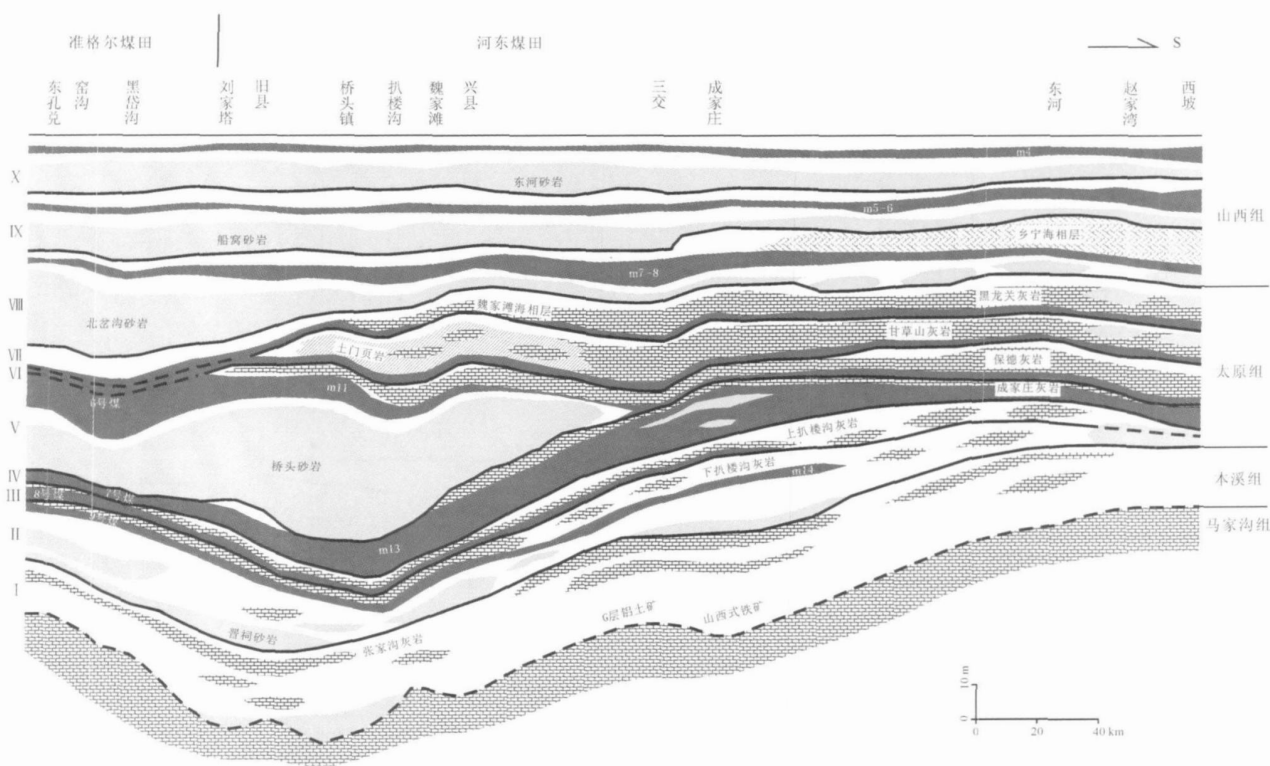


图 3 鄂尔多斯盆地东北缘晚古生代含煤岩系层序断面图 (据文献 [ 1 ] 补充, 剖面位置见图 1)

Fig 3 Sequence profile of coal-bearing measures in the northeastern Ordos Basin during the Late Paleozoic (modified from ref 1, see Fig 1 for location of the section)

体系域和高位体系域组成, 低位体系域是“失”而不是“缺”。即使是在暴露环境, 其上也总会存在局域的水体活动, 发育低位体系域沉积。那么何种沉积体系可以被视为“低位体系域”乃至“大范围暴露”背景下的特征产物? 研究表明, 鄂尔多斯晚古生代的沉积体系自北向南可分三带, 北带各旋回的海退部分多属河流沉积, 其中的桥头期、北岔沟期的河道砂体长度均 > 200 km 宽度 20 km 左右, 属曲率不大的曲流河<sup>[1-19]</sup>。晋祠期、桥头期和北岔沟期等多期河道砂体近于垂向叠置, 可能与长期活动的离石断裂有关。笔者认为, 这些发育在陆表海盆地北带的海退期河道砂体应属下切谷充填, 为低位体系域沉积。

### 3.1.1 晋祠砂岩

晋祠砂岩是指太原西山本溪组最上部一层灰岩(半沟灰岩)与太原组最下部一层灰岩(吴家峪灰岩)之间的不同砂体, 厚度 1~9 m<sup>[19]</sup>。在河曲刘家塔、旧县、腰庄、保德桥头、扒楼沟、兴县关家崖、临县三交和柳林成家庄等地岩性存在差异, 但以中粗、中细粒石英砂岩为主。

庄军认为晋祠砂岩是面状河流产物, 为潮坪沉

积, 局部有潮沟和砂坝沉积<sup>[22]</sup>; 杨锡禄等认为是分流河道与河口砂坝<sup>[23]</sup>; 陈钟惠等认为晋祠砂岩的沉积环境自北向南可分为三带, 北带(准格尔—保德)为河流及上三角洲平原, 中带(保德—三交)为下三角洲平原及三角洲前缘, 南带(三交以南)为潮坪—潮道沉积<sup>[1]</sup>。山西煤田地质局和桂学智等认为, 晋祠砂体为席状砂体, 由南北两端的三角洲前缘席状砂坝与中区的障壁砂坪席状砂体连接成片, 而分流河道砂体则分布于南北两端<sup>[24-25]</sup>。程宝洲等认为北部地区以浅水三角洲体系为主, 主要为分流河道和分流间湾, 中南地区以陆表海碎屑沉积为主, 发育泻湖、障壁岛和潮坪<sup>[18]</sup>。尽管对晋祠砂岩的沉积环境认识不一, 但有一点是相同的, 晋祠砂岩沉积的水流指向自北向南, 从河流、三角洲到潮坪逐渐发生变化。这种变化表明, 砂体在海平面下降期向陆表海盆地的低部位进积, 其对下伏地层的侵蚀具有地层缺失或沉积间断意义。

晋祠砂岩沉积时对下伏地层的侵蚀具有陆表海环境的下切谷充填特征——面状侵蚀, 与之比较的被动大陆边缘的下切谷大多属线状侵蚀。在河东煤田

北段,晋祠砂岩与下伏地层主要表现为沉积及超覆不整合接触,除与本溪组不同岩性段接触外,局部还直接覆盖中奥陶统灰岩。在河曲旧县,面状分布的晋祠砂岩底部发育中粗粒含砾石英砂岩,覆盖凹凸不平的张家沟灰岩;自旧县向南,经铺沟、东天桥、康家沟至保德腰庄,晋祠砂岩直接覆盖本溪组的下段沉积<sup>[26]</sup>。

### 3.1.2 桥头砂岩

桥头砂岩由陈钟惠等命名于保德桥头镇,指太原组底部关家崖海相层(庙沟灰岩)与保德灰岩(毛儿沟灰岩)之间的一套砂岩<sup>[1]</sup>。桥头砂岩的沉积背景争议较大,陈钟惠等认为该套砂岩是河流—三角洲沉积<sup>[1]</sup>;桂学智等认为桥头砂岩是河控浅水三角洲体系的分流河道沉积<sup>[25]</sup>;王华等认为桥头砂岩为粗碎屑曲流河沉积<sup>[27, 28]</sup>;姜烨等则认为桥头砂岩是由庙沟期、毛儿沟期与斜道期海侵形成的 3 套低位体系域下切河谷充填沉积叠置而成<sup>[10]</sup>。

宏观上,桥头砂岩具有多期砂体叠置、正粒序、沉积构造组合完整、条带状、单向古流特征,对下伏 m13 煤的冲刷显著,是相对近物源、快速堆积的高能河流产物<sup>[27, 28]</sup>。桥头砂岩的层序定位与晋祠砂岩可能存在不同之处。据桥头砂岩自北向南的分布和变化(图 4),可能仅桥头砂岩的下部是发育在低位体系域的河道沉积,依据有二:(1)砂体对下伏煤层(m13 煤)具有强烈的侵蚀作用,自北向南冲刷程度变弱直到消失<sup>[27]</sup>。(2)条带状河流的古流向一直指向南或南东<sup>[16, 27, 29]</sup>。据王华等研究,m13 煤发育在偶受海水影响的滨海平原。在其堆积末期,受南北向区域基底构造变动发生海退,海岸线南移,并出现快速下沉的负向河谷地形,为桥头砂岩对下伏煤层的冲刷作用提供了构造沉积背景<sup>[28]</sup>。在桥头砂岩的发育晚期,基底沉降活动减弱,开阔海域移到研究区的中南部,海水从东南方向侵入,河道曲流化并发育泛滥平原。因此推测桥头砂岩的上部可能是海侵体系域的河道充填沉积<sup>[29]</sup>。陈钟惠等从桥头剖面桥头砂岩的厚度

以及准格尔煤田部分钻孔推测的废弃河道形态判断桥头砂岩发育晚期的河床最大深度约 15 m 左右、宽度约 500 m<sup>[16]</sup>。

### 3.2 煤层在层序格架中的定位

低位体系域聚煤作用发生在陆棚边缘三角洲和下切谷中。尽管一些学者认为低位体系域是主要成煤场所,但国内外大多数学者则强调海侵和高位体系域有利于形成厚煤层<sup>[30]</sup>。由于鄂尔多斯盆地晚古生代陆表海环境的低位体系域发育较差,这种状况就更为显著。

在含煤岩系层序地层分析时,对煤层在层序格架中的定位以及含煤岩系中层序界面性质的确定是十分重要的。以前多把煤层放在含煤旋回层的顶部作为海退期产物,然而近来研究表明,较多的煤层可能发育在海进过程中,即所谓的海侵过程成煤<sup>[31]</sup>或海侵事件成煤<sup>[32]</sup>。由大面积分布的煤层及其上覆海相层或含动物化石地层构成典型的海陆过渡相含煤岩系旋回层,煤层与下伏沉积物之间在时间上存在一个明显的沉积间断<sup>[9]</sup>。由海平面上升引起的潜水面的上升阻碍沼泽排水而有效地防止了有机质氧化,从而促进厚泥炭层的堆积。除在煤层剖面中的镜质体反射率、结构镜质体含量、煤中硫的同位素比值及 TPI 指数等指标向上减少,结构镜质体的荧光强度、镜质体含量、黄铁矿及硫含量、煤中的碎屑显微组分、挥发分产率以及 H/C 原子比等指标向上增加等海侵煤特点外,煤层顶板为海相沉积(如泥岩、页岩、碳酸盐岩等)而非陆相冲积物等也是最直观的海侵成煤标志<sup>[33, 9]</sup>。

鄂尔多斯晚古生代煤层的层序定位比较复杂,既有海侵煤,也有高位煤(图 5)。其中河东煤田的 m14 上、m13、m10 和 m9 煤等均均为海侵煤。这类煤是障壁体系在海侵初期逐渐泥炭沼泽化,泥炭在随后的大规模海侵中很快处于还原环境,由煤化作用成煤。这种与下伏沉积体系缺乏从属关系的废弃体系成煤环境,

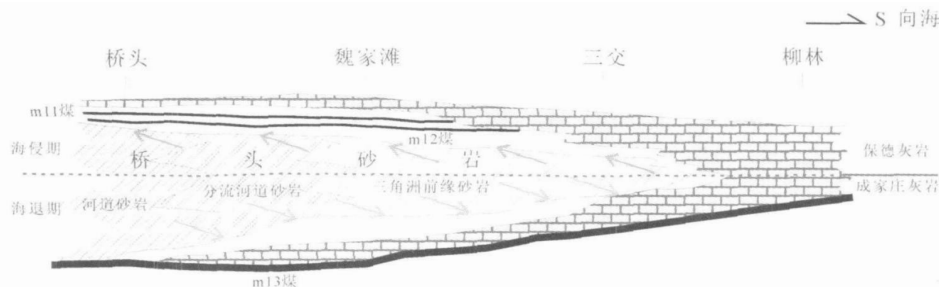


图 4 桥头砂岩沉积断面图(据文献[16]修改)

Fig 4 Depositional profile of the Qiaotou sandstone (modified from ref 16)

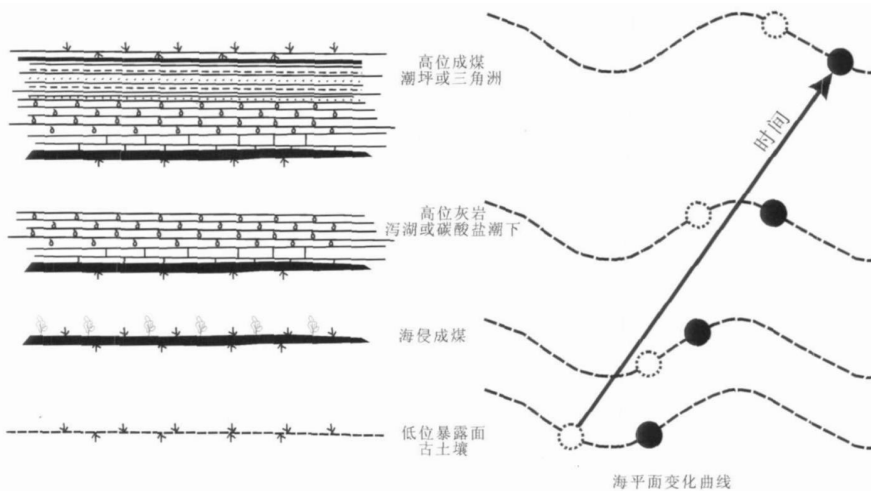


图 5 陆表海盆地煤层在层序格架中的定位 (据文献 [38] 改编)

Fig 5 Position of coalmeasures in sequence framework of epicontinental basin (modified from ref 38)

所发育的煤层与下伏沉积体系在时间上存在间断, 在成煤期的碎屑沉积体系基本上失去活动能力<sup>[35]</sup>, 因此, 煤层底板是典型的层序界面。煤层、黑色泥岩和上覆的含海相化石的灰岩为连续沉积, 代表海平面的上升和海进现象的发生。高位煤 (海退) 也是鄂尔多斯盆地重要的聚煤产物。高位煤发育在潮坪体系和障壁—泻湖体系演化的后期, 由于充填淤浅发生泥炭沼泽化。与陆表海碳酸盐岩煤系不同, 靠陆一侧冲积体系的陆源碎屑含煤岩系往往呈补偿或过补偿状态, 一般在海平面上升速率较大时, 才能与泥炭堆积速率保持平衡, 适于泥炭堆积的可容空间得以长时间持续, 从而形成巨厚煤层<sup>[36]</sup>。鄂尔多斯的柳林、三交一带的高位煤如山西组的 5~2 煤等多为三角洲平原成煤<sup>[3]</sup>。从聚煤环境与沉积体系的关系, 研究区北部煤层发育在与河流同期的或河流废弃后残留的泛滥平原, 中部煤层发育在建设期的或废弃了的三角洲平原, 而南部煤层发育在陆表海或海湾的潮坪充填沉积物之上<sup>[37]</sup>。就含煤性而言, 多数情况下三角洲沉积体系优于河流沉积体系。

从海平面变化角度, 海侵煤和高位煤分别发生在海退与海进和海进与海退之间的转换时期, 位置受滨线控制。由成煤环境决定了煤在基准面变化或在层序中的定位, 不同地理位置的海侵煤或高位煤均随海平面变化、沉积体系的变迁而发生迁移, 因此煤层并不等时, 不能视作等时的标志层。

## 4 结论

(1) 鄂尔多斯盆地东北缘晚古生代含煤岩系的

层序界面主要有区域不整合面、沉积体系转换面、构造应力转换面和海侵面及其相应的整合面等 4 种; 据此可将研究区划分为 10 个三级层序, 其中陆表海层序有 7 个。

(2) 鄂尔多斯盆地东北缘晚古生代的陆表海层序具有三元结构, 由低位体系域的下切河道砂体、海侵体系域的煤层和高位体系域的灰岩组成。在具体分析中应注意以研究区北部的河道砂体的存在确定低位体系域, 这类砂体的下切作用微弱, 一般具有面状充填特点。

(3) 鄂尔多斯盆地东北缘晚古生代的煤层大多具有海侵成煤的特点, 发育在太原组的陆表海环境; 而高位煤一般见于山西组的陆相环境。从层序格架定位角度, 煤层聚集的位置是在海平面变化的转换时期。受海平面变化和沉积体系迁移控制, 一般煤层本身并不具有等时意义。

第一作者谨以此文缅怀博士生导师陈钟惠教授 (1935~2007)。

## 参考文献 (References)

- 1 陈钟惠, 张年茂, 张守良, 等. 鄂尔多斯盆地东缘晚古生代含煤岩系沉积体系和聚煤作用的时空演化 [J]. 地球科学, 1989, 14(4): 357-366 [Chen Zhonghui, Zhang Niamao, Zhang Shouliang, et al. The temporal and spatial evolution of sedimentary systems and coal accumulating centre in Late Palaeozoic coal-bearing measures on the eastern margin of Ordos basin [J]. Earth Science 1989, 14(4): 357-366]
- 2 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 [J]. 地质学报, 1998, 72(1): 64-75 [Zhong Rong, Fu Zeming. The relationship between the distribution of thick coal belts

- and the Late Carboniferous-Early Permian marine transgression-regression in the North China Platform[J]. *Acta Geologica Sinica* 1998 72(1): 64-75]
- 3 李宝芳, 温显端, 李贵东. 华北石炭、二叠系高分辨层序地层分析[J]. 地学前缘, 1999 16(增刊): 81-94 [Li Baofang Wen Xianduan Li Guidong High resolution sequence stratigraphy analysis on the Permian-Carboniferous in north China platform[J]. *Earth Science Frontiers* 1999 16(Suppl): 81-94]
  - 4 陈洪德, 侯中健, 田景春, 等. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积层序地层学与盆地构造演化研究[J]. 矿物岩石, 2001, 21(3): 16-22 [Chen Hongde Hou Zhongjian Tian Jingchun et al Study on sequence stratigraphy of deposits and tectono-sedimentary evolution in Ordos Basin during Late Palaeozoic[J]. *Journal of Mineral Petrology* 2001, 21(3): 16-22]
  - 5 陈世悦. 华北石炭一二叠纪层序地层格架及其特征[J]. 沉积学报, 1999 17(1): 63-70 [Chen Shiyue Sequence stratigraphic framework and its characteristics of the Carboniferous-Permian in North China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 1999 17(1): 63-70]
  - 6 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[J]. 矿物岩石, 2002 22(4): 66-74 [Zheng Rongcai Wen Huaguo Liang Xiwen Analysis of high-resolution sequence stratigraphy for Upper Palaeozoic in Ordos Basin[J]. *Journal of Mineral Petrology* 2002 22(4): 66-74]
  - 7 李增学, 王明镇, 余继峰, 等. 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[J]. 沉积学报, 2006 24(6): 834-840 [Li Zengxue Wang Mingzhen Yu Jifeng et al Sequence stratigraphy of late Palaeozoic coal-bearing measures and the transgressive coal-formed features in Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2006 24(6): 834-840]
  - 8 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[J]. 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[J]. *Oil and Gas Geology* 1996 17(1): 1-7]
  - 9 邵龙义, 窦建伟, 张鹏飞. 含煤岩系沉积学和层序地层学研究现状和展望[J]. 煤田地质与勘探, 1998 26(1): 4-9 [Shao Longyi Dou Jianwei Zhang Pengfei The status and prospect of sedimentology and sequence stratigraphy research on the coal-bearing strat[J]. *Coal Geology & Exploration* 1998 26(1): 4-9]
  - 10 姜晔, 李宝芳, 王绍昌. 鄂尔多斯陆表海层序地层中的低位域沉积——以太原组上段桥头砂岩为例[J]. 现代地质, 2001, 15(4): 425-430 [Jiang Ye Li Baofang Wang Shaochang Low stand system tract sandstone in the sequence of epicontinental sea in Ordos a case of Qiaotou sandstone of upper Taiyuan Formation[J]. *Geoscience* 2001, 15(4): 425-430]
  - 11 Vail P R. Seismic stratigraphy and global changes of sea level part 3. Global cycles of relative changes of sea level[C] // Payton C E ed *Seismic Stratigraphy Applications to Hydrocarbon Exploration* AAPG Memoir 1977 26: 63-81
  - 12 徐怀大. 层序地层学理论用于我国断陷盆地分析中的问题[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(1): 52-57 [Xu Huaida Problems in analysis of faulted basins of China based on sequence stratigraphy theory[J]. *Oil & Gas Geology* 1991 12(1): 52-57]
  - 13 李思田, 程守田, 杨士恭, 等. 鄂尔多斯盆地东北部层序地层学及沉积体系分析[M]. 北京: 地质出版社, 1992 [Li Sitian Cheng Shoutian Yang Shigong et al. *Sequence Stratigraphy and Development System Analysis of the Northeastern Ordos Basin* [M]. Beijing: Geological Publishing House 1992]
  - 14 顾家裕. 陆相盆地层序地层学格架概念及模式[J]. 石油勘探与开发, 1995 22(4): 6-10 [Gu Jiayu Framework concepts and models of sequence stratigraphy in non-marine petroliferous basin[J]. *Petroleum Exploration and Development* 1995 22(4): 6-10]
  - 15 杨明慧, 刘池阳. 陆相伸展盆地的层序类型、结构和序列与充填模式——以冀中坳陷下第三系为例[J]. 沉积学报, 2002 20(2): 222-228 [Yang Minghui Liu Chiyang Types textures and series of the continental sequences and model of sedimentary basin-fill in rift basin: a case study from Jizhong basin, China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2002 20(2): 222-228]
  - 16 陈钟惠, 武法东, 张守良, 等. 华北晚古生代含煤岩系的沉积环境和聚煤规律[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993 [Chen Zhonghui Wu Fadong Zhang Shouliang et al. *The Depositional Environments and Coal Accumulating Regularities of Late Palaeozoic Coal-Bearing Measures in North China* [M]. Wuhan: Press of China University of Geosciences 1993]
  - 17 刘焕杰, 张瑜谨, 王宏伟, 等. 准格尔煤田含煤建造岩相古地理学研究[M]. 北京: 地质出版社, 1991 [Liu Huanjie Zhang Yujin Wang Hongwei. *Research on the Lithofacies Palaeogeography on Coal-Bearing Measures in Zhungeer Coalfield* [M]. Beijing: Geological Publishing House 1991]
  - 18 程宝洲. 山西晚古生代沉积环境与聚煤规律[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1992 [Cheng Baozhou. *The Late Palaeozoic Sedimentary Environment and Coal Accumulation Regularities in Shanxi Province* [M]. Taiyuan: Shanxi Press of Science and Technology 1992]
  - 19 代世峰, 任德貽, 李生盛, 等. 鄂尔多斯盆地东北缘准格尔煤田煤中超常富集勃姆石的发现[J]. 地质学报, 2006 80(2): 294-300 [Dai Shifeng Ren Deyi Li Shengsheng et al. A discovery of extremely-enriched Boehmite from coal in the Zhungeer coalfield the northeastern Ordos Basin[J]. *Acta Geologica Sinica* 2006 80(2): 294-300]
  - 20 李增学. 内陆表海聚煤盆地的层序地层分析——华北内陆表海聚煤盆地的研究进展[J]. 地球科学进展, 1994 9(6): 65-70 [Li Zengxue Sequence stratigraphic analysis of epicontinental coal accumulating basin: research advances in epicontinental coal accumulating basin of north China[J]. *Advance in Earth Sciences* 1994 9(6): 65-70]
  - 21 郭英海, 刘焕杰. 鄂尔多斯地区晚古生代的海侵[J]. 中国矿业大学学报, 1999 28(2): 126-129 [Guo Yinghai Liu Huanjie Transgression of late Palaeozoic Era in Ordos area[J]. *Journal of China University of Mining & Technology* 1999 28(2): 126-129]
  - 22 庄军. 中国平朔矿区含煤地层沉积环境[M]. 西安: 陕西人民教育出版社, 1987 [Zhuang Jun. *Sedimentary Environment of Coal-bearing Measures in Pingshuo Mining Area* [M]. Xi'an: Shaanxi



- Press of People Education 1987]
- 23 杨锡禄, 潘随贤. 太原西山含煤地层沉积环境 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1987 [ Yang Xilu Pan Suixian. Sedimentary Environment of Coal-bearing Measures in Taiyuan Xishan [M]. Beijing Press of Coal Industry 1987]
  - 24 山西煤田地质局. 鄂尔多斯盆地聚煤规律与煤炭资源评价 (山西部分) [M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1991 [ Shanxi Bureau of Coal Geology. Coal Accumulation Regularities and Coal Resource Evaluation of Ordos Basin (Part of Shanxi Province) [M]. Taiyuan Shanxi Press of Science and Technology 1991]
  - 25 桂学智. 河东煤田晚古生代聚煤规律与煤炭资源评价 [M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1993 [ Gui Xuezhi. Coal Accumulation Regularities and Coal Resource Evaluation of the Late Paleozoic in Hedong Coalfield [M]. Taiyuan Shanxi Press of Science and Technology 1993]
  - 26 柴东浩, 汤明章, 周社育, 等. 河东煤田北段晋祠砂岩及其与下伏地层的接触关系 [J]. 华北地质矿产杂志, 1996 11(1): 135-136 [ Chai Donghao Tang Mingzhang Zhou Sheyu et al. The contact between Jinci sandstone and underlying strata at the northern part of Hedong coalfield [J]. Jour Geol & Min Res North China 1996 11(1): 135-136]
  - 27 王华, 陈钟惠, 张守良, 等. 保德矿区太原组桥头砂岩沉积特征与煤聚集 [J]. 煤田地质与勘探, 1995 23(2): 1-6 [ Wang Hua Chen Zhonghui Zhang Shouliang et al. The sedimentary characteristics of Qiaotou sandstone body and its relation to coal accumulation of Taiyuan formation in Baode mining [J]. Coal Geology & Exploration 1995 23(2): 1-6]
  - 28 王华, 陈钟惠, 陆永潮. 山西河东煤田保德矿区太原组砂体特征及与煤聚集的关系 [J]. 地质学报, 2001 75(4): 562-569 [ Wang Hua Chen Zhonghui Lu Yongchao. Sedimentary characteristics of the main sandstone body of the lower section of the Taiyuan Formation and its relation to coal accumulation of the Fugu-Baode mine Hedong coalfield Western North China [J]. Acta Geologica Sinica 2001 75(4): 562-569]
  - 29 平立华, 郭英海, 李壮福, 等. 鄂尔多斯盆地保德地区太原组桥头砂岩沉积特征及成因 [J]. 天然气地球科学, 2006 17(6): 797-801 [ Ping Lihua Guo Yinghai Li Zhuangfu. Sedimentary characters and origin of Qiaotou sandstone in the Taiyuan Formation Baode area of Ordos Basin [J]. Natural Gas Geoscience 2006 17(6): 797-801]
  - 30 Aitken J F Flint S S. High-frequency sequences and the nature of incised-valley fills in fluvial systems of the Breathitt Group (Pennsylvania), Appalachian Foreland Basin eastern Kentucky [C] // Dalrymple R W, Boyd R Zaitlin B A eds. Incised Valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences SEPM Special Publication 1994 (51): 353-368
  - 31 邵龙义, 张鹏飞, 窦建伟, 等. 含煤岩系层序地层分析的新认识 [J]. 中国矿业大学学报, 1999 28(1): 20-24 [ Shao Longyi Zhang Pengfei Dou Jianwei et al. New cognition of sequence stratigraphic analysis in coal-bearing measures [J]. Journal of China University of Mining & Technology 1999 28(1): 20-24]
  - 32 李增学, 余继峰, 郭建斌. 华北陆表海盆地海侵事件聚煤作用研究 [J]. 煤田地质与勘探, 2002 30(5): 1-5 [ Li Zengxue Yu Jifeng Guo Jianbin. Study on coal accumulation under marine transgression events in the epicontinental basin of North China [J]. Coal Geology & Exploration 2002 30(5): 1-5]
  - 33 Diessel C F K. Coal-bearing Depositional Systems: coal facies and depositional environments [M]. Berlin: Springer-Verlag 1992
  - 34 桑树勋, 陈世悦, 刘焕杰. 华北晚古生代成煤环境与成煤模式多样性研究 [J]. 地质科学, 2001 36(2): 212-221 [ Sang Shuxun Chen Shiyue Liu Huanjie. Study on diversity of Late Paleozoic coal-forming environments and models in north China [J]. Chinese Journal of Geology 2001 36(2): 212-221]
  - 35 McCabe P J. Depositional environments of coal and coal-bearing sequences [C] // Rahmani R A, Flores R M. eds. Sedimentology of Coal and Coal-Bearing Sequences. Special Publication of International Association of Sedimentologist 1984 7: 13-42
  - 36 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 [J]. 中国海上油气 (地质) 2000 14(3): 178-181 [ Zhai Aijun Deng Hongwen Wang Hongliang. Sequence stratigraphy and correlation of upper Paleozoic coal-bearing formations in Ordos Basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2000 14(3): 178-181]
  - 37 邵龙义, 陈家良, 李瑞军, 等. 广西合山晚二叠世碳酸盐岩型煤系层序地层分析 [J]. 沉积学报, 2003 21(1): 168-174 [ Shao Longyi Chen Jialiang Li Ruijun et al. A sequence stratigraphic interpretation on late Permian carbonate coal measures in the Heshan coalfield Southern China [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2003 21(1): 168-174]
  - 38 邵龙义. 湘中早石炭世沉积学及层序地层学 [M]. 江苏徐州: 中国矿业大学出版社, 1997 [ Shao Longyi. Sedimentation and Sequence Stratigraphy of the Early Carboniferous in Middle Hunan Province [M]. Xuzhou Jiangsu Press of China University of Mining & Technology 1997]



# Sequence Stratigraphy of Late Paleozoic Coal-Bearing Measures in Northeastern Ordos Basin

YANG Ming-hui<sup>1</sup> LIU Chi-yang<sup>2</sup> LAN Chao-li<sup>3</sup>  
LIU Le<sup>1</sup> WANG Jin-xiu<sup>1</sup>

1. State Key Laboratory of Hydrocarbon Resource and Exploration Research Center of Basin and Reservoir  
China University of Petroleum Beijing 102249
2. State Key Laboratory of Continental Dynamics Northwest University Xi'an Shaanxi 710069
3. College of Oil & Gas Engineering China University of Petroleum Beijing 102249

**Abstract** By the identified the regional unconformity, sedimentary system conversion, tectonic stress conversion and exposed surface, the authors divided the Late Paleozoic coal-bearing measures in northeastern Ordos basin into seven 3rd sequences. Based on the study, the ternary texture of epicontinental sequence indicate that they also consist of lowstand systems tract, transgressive systems tract and highstand systems tract. Some fluvial sandbodies developed in the northern Ordos basin characteristic by filling of valley-incised in the lowstand systems tract that is sheet sandstone such as Jinci sandstone, Qiaotou sandstone and Beidagou sandstone. The position of coal seams in the sequence framework has relationship to the transformation time of sea level change, and develops mainly at the lower part of transgressive systems tract in epicontinental sequence and the upper part of highstand systems tract in normal marine sequence.

**Key words** coal-bearing measure, sequence stratigraphy, Late Paleozoic, epicontinental basin, Ordos Basin