

# 河南登封晚古生代层序地层及聚煤特征研究

宋建军 董大啸 邵龙义

(中国矿业大学(北京)资源与地球科学系,北京 100083)

**摘要:**运用露头、钻井岩心层序地层的有关理论方法,对蹬槽剖面的晚古生代地层进行了详细的沉积学和层序地层学研究,共识别出 8 个三级层序界面,把本研究区域晚古生代地层划分为 7 个三级层序。 $S_1$  大致相当于本溪组; $S_2$  大致相当于太原组; $S_3$  大致相当于山西组; $S_4$  和  $S_5$  分别对应下石盒子组的上下部分; $S_6$  对应上石盒子组; $S_7$  对应石千峰组。在这些层序中,低位体系域往往以发育三角洲平原分流河道相砂砾岩、或残积相风化壳、或滨湖相中细砂岩为特征,而水进体系域多障壁岛-潟湖相泥岩和粉砂岩、三角洲前缘相砂泥层以及浅湖相细砂岩为主,高位体系域则主要为浅海相碳酸盐岩、前三角洲相泥岩及富泥质的浅湖相沉积序列。层序  $S_1$ ~层序  $S_2$  物源不丰富,聚煤作用主要发生在海侵初期或海退时期;层序  $S_3$ ~层序  $S_6$  物源相对丰富,聚煤作用主要出现在最大海泛附近。

**关键词:**登封地区;晚古生代;层序地层;聚煤

**中图分类号:** P539.2; P618.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)01-0167-07

华北晚古生代聚煤盆地为一巨型克拉通盆地,其煤炭资源富集程度及盆地形成与保存的相对完整性均为中国各时代各类型盆地之首<sup>[1]</sup>。石炭—二叠纪是华北克拉通盆地的主要成煤期,吸引了众多学者<sup>[1-3]</sup>。前人对整个盆地的石炭—二叠系沉积相及层序地层特征进行过研究,但是有关一个地区石炭—二叠系层序地层格架的深入分析还比较少见。本文在详细的沉积学研究和精细的地层划分对比基础上,从层序界面及体系域界面识别入手进行层序的划分与对比,建立了登封地区石炭—二叠系层序地层格架。

## 1 地质背景

华北盆地是一个多旋回断拗转化型的含油气盆地<sup>[4]</sup>。晚古生代时期的沉积作用受控于北部的古兴蒙洋和南部的秦岭洋向华北板块俯冲动力的平衡性<sup>[5]</sup>。晚石炭世,由于古兴蒙洋的俯冲暂缓,形成北低南高的古地形,致使海水从 NE 和 E 或 NW 方向侵入华北地台区,抵达三门峡—郑州—鄢陵一线,接受本溪组的沉积。早二叠世,由于古兴蒙洋俯冲加剧,而秦岭

洋俯冲相对暂缓,形成北高南低的古地形。由于豫西、豫西南的伏牛古陆和中条古陆的存在,在河南造成了向 SE 倾斜的古斜坡,海水进退方向为 NW-SE 向。晚石炭世—早二叠世均是陆表海碳酸盐台地—碎屑堡岛复合沉积体系。中二叠世,古兴蒙洋持续俯冲加剧,在河南形成浅水三角洲体系,不断向南推进。晚二叠世,秦岭洋俯冲加剧,伏牛古陆和中条古陆迅速隆起,在河南形成陆缘近海湖环境。早三叠世,秦岭洋闭合。其中,石炭纪—二叠纪地形的“跷跷板”变化最为显著,成为含煤地层“北型南相”的重要原因。

由于加里东运动的影响,华北板块在志留纪、泥盆纪和早石炭世隆起接受剥蚀,有多于 100 Ma<sup>[6]</sup>的沉积间断,在本溪组底部形成以铝土质泥岩为主的风化壳。晚石炭世,华北板块逐渐被海水淹没,登封地区产生以铝土质泥岩、水云母泥岩、高岭石泥岩为代表的潟湖相沉积。早二叠世,海侵进一步加大,本区主要呈现碳酸盐台地沉积,以多层的泥晶灰岩、生物碎屑灰岩为主要岩石类型。中二叠世,海退开始,出现以河控三角洲为主的沉积类型。其中,也有小规

收稿日期:2009-04-10;改回日期:2009-12-04

基金项目:国家重点基础研究发展计划 973 课题(2006CB202202)资助。

作者简介:宋建军,男,1963 年生,博士生,从事沉积学、工程地质和聚煤规律研究;E-mail:songjianjun0906@163.com。

模的海侵海退过程,在蹬槽剖面上石盒子组中发现了硅质海绵岩、海绿石等半深海相岩相。晚二叠世,登封地区基本脱离海洋的环境以陆相湖泊沉积为主, $Sr/Ba$  小于 1,发育了扇三角洲沉积。但是这一时期还不断受到小规模海水的影响,地层中发现有少量的海绿石<sup>[7]</sup>,腕足动物化石等海相沉积。

华北南部及邻区的石炭—二叠系,由于受传统标准方案的影响一直采用石炭系三分和二叠系二分的方案。但是由金玉环等<sup>[8-9]</sup>编制完成的《中国地层典》已经采用了石炭系二分和二叠系三分的划分方案。石炭系二分和二叠系三分已经成为地质学研究的趋势。因此本论文也采用石炭系二分和三叠系二分的方案(表 1)。

表 1 华北地台晚古生代地层对比简表<sup>[8-10]</sup>

Table 1 Correlation of Late Paleozoic strata in North China platform

地层系统				
界	系	统	组	代号
上古生界	二叠系	上统	石千峰组	P <sub>3s</sub>
			上石盒子组	P <sub>2-3s</sub>
		中统	下石盒子组	P <sub>2x</sub>
			山西组	P <sub>1s</sub>
		下统	太原组	C <sub>2f</sub> -P <sub>1f</sub>
	本溪组		C <sub>2b</sub>	
	石炭系	上统		
下古生界				

## 2 层序关键界面的识别及层序的划分原则

层序地层的关键界面指层序界面、海侵面和最大海泛面等,这些关键界面的识别对于层序划分有着极其重要的意义。

### (1) 三级层序界面的识别标志

#### 1) 区域不整合面

古构造运动形成的不整合面是典型的层序界面。研究区本溪组底部发育的含铝土质泥岩,其底面为一风化壳,作为一区域不整合面在全区普遍发育且易于识别对比,是很好的层序界面;石千峰组顶部的不整合面也是由于长期暴露遭受侵蚀所形成,上下分别是灰色的中砂岩和红色的巨厚层状的粗砂岩,因而可以作为层序界面。

#### 2) 下切谷冲刷面

区内一些大规模分布的砂岩体一般为低位期的下切谷充填沉积,其底面是一种侵蚀不整合面,可作为三级层序界面。本研究区域下石盒子组底部的砂锅窑砂岩、上石盒子组底部的田家沟砂岩、石千峰组底部的平顶山砂岩底面都可以作为三级层序的界面。这些砂岩底界面常为河道强烈下切作用形成的区域性冲刷面,其上、下的沉积环境、古生物组合、陆源碎屑成分及微量元素组成等一般都有明显变化。

#### 3) 海侵方向的转换面

华北晚古生代盆地由南隆北倾体制转换为北隆南倾体制,发生的时间大概是石炭纪和二叠纪之间。在河北南部,大青灰岩下面的 8 号煤层的底板可以作为一个海侵转换面<sup>[11]</sup>。8 号煤层和一<sub>1</sub>煤是对应的<sup>[12]</sup>。因此,一<sub>1</sub>煤底面可以作为海侵方向的转换面,代表一个层序的开始。

### (2) 三级海侵面的识别标志

主要是在一个层序中发育于下切谷充填沉积的砂体之上的第一个海泛面,经常是薄煤层或灰色泥岩等,这些薄煤层和泥岩常常共生有古土壤层。在没有河道发育的地带,海侵面与层序界面重合,海侵面直接覆盖在河道间层序界面处的古土壤层上。研究区下石盒子组底部的砂锅窑砂岩属于低位体系域下切谷充填沉积,覆盖之上的广泛分布的薄层粉砂岩的底面可以作为初始海泛面。

### (3) 三级最大海泛面

在碳酸盐浅海陆棚沉积背景下,可以是向陆地延伸最远的一层石灰岩的底面。在登封蹬槽剖面,太原组发育 7 层灰岩,其中上段 L<sub>5</sub> 灰岩延伸最远,可与河北南部的伏青灰岩相对比<sup>[13]</sup>。L<sub>6</sub>、L<sub>7</sub> 灰岩只是间歇性向北回泛,形成的多层灰岩。L<sub>5</sub> 灰岩的底面可以作为最大海泛面。

在滨海平原沉积背景下,可以是反映当时水体最深的岩石单元的底面。上石盒子组的硅质海绵岩的底面可以作为最大海泛面。

## 3 层序地层格架的建立

在本次南华北盆地晚古生代层序地层研究中,层序的定义及体系域的划分采用 EXXON 公司“Vail”学派的观点,本次针对蹬槽剖面,并结合区域资料,在晚古生代地层中共识别出 8 个层序界面及 7 个层序(图 1),因为本溪组—石千峰组延伸年限从

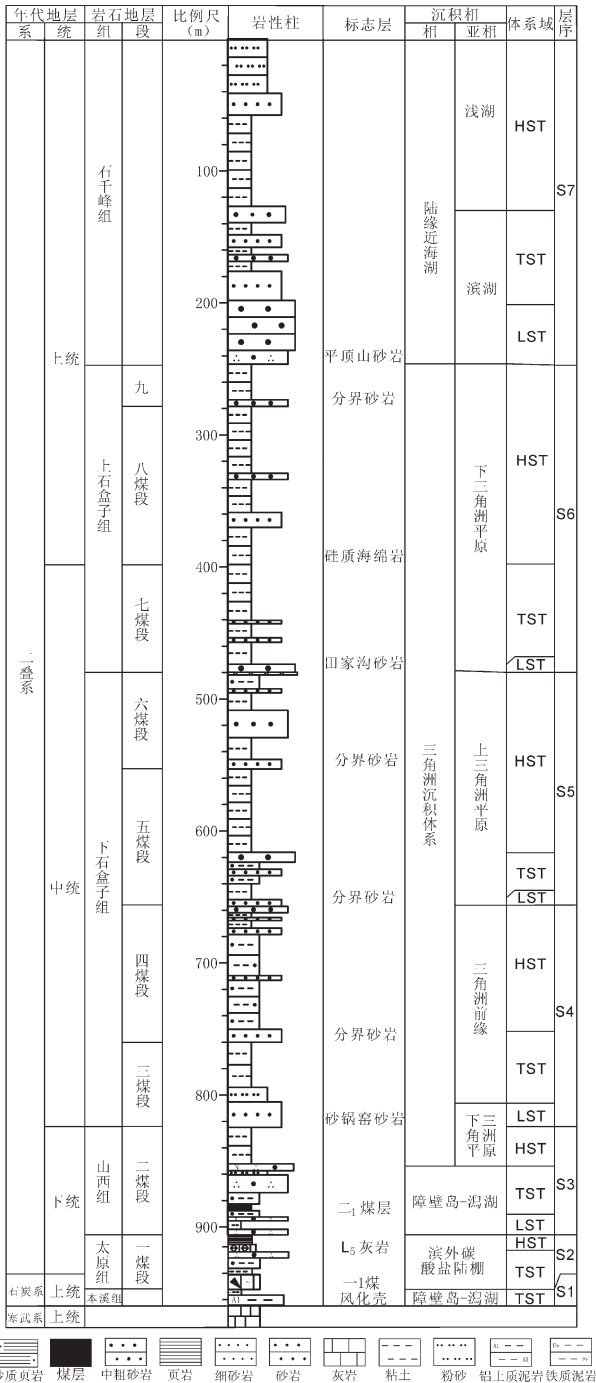


图 1 蹬槽剖面石炭—二叠系层序地层柱状简图

Fig.1 Permian-Carboniferous sequence stratigraphical column of Dengcao profile

303~270 Ma,持续 33 Ma,所以本文的 7 个层序平均每个持续 5 Ma,如果考虑不整合面所代表的时限,那么每个层序大致相当于 Vail 的三级层序。

(1)层序 S<sub>1</sub>

层序 S<sub>1</sub> 大体相当于本溪组的地层。本层序只明显发育海侵体系域,低位体系域和高位体系域不发育或不显著。底界是本溪组铝土质泥岩下面风化壳的底面。研究区晚石炭世为陆表海沉积,地形较平坦,河流不发育,难以形成侵蚀不整合,因此低位体系域不发育,没有下切谷砂体沉积。海侵体系域地层主要包含浅灰、黄灰色铝土质泥岩,灰白色、灰褐色硅化含灰岩屑中砾岩,灰色鲕状泥岩及薄层煤;地层中夹有菱铁矿结核,有微小的波状层理和平行层理。本层序主要是潟湖相沉积。

(2)层序 S<sub>2</sub>

层序 S<sub>2</sub> 大体相当于太原组的地层。本层序发育海侵和高位体系域。层序 S<sub>2</sub> 底界面为一海侵方向的转换面,海侵方向由北东变为南东。一<sub>3</sub>煤底面可以作为海侵方向的转换面,它的底面可以作为层序界面;最大海泛面是 L<sub>5</sub> 灰岩的底面,L<sub>5</sub> 灰岩向陆地延伸最远的一层石灰岩,代表最大海泛的沉积。海侵体系域地层包含深灰色泥岩,煤层及灰色-深灰色生物屑泥岩,浅灰色细粒砂岩、中粒砂岩;夹植物化石碎片、瓣类化石、动物痕迹化石等。高位体系域地层包含灰色生物屑泥晶灰岩及煤层,灰色-深灰色硅质海绵岩,灰色砂质泥岩,夹薄层的泥岩、粉砂岩;夹有腕足类动物化石、瓣类化石、植物化石碎片。本层序代表碳酸盐台地和潟湖-潮坪相沉积。

(3)层序 S<sub>3</sub>

层序 S<sub>3</sub> 相当于山西组的地层。本层序发育有海侵和高位体系域,低位体系域不发育或不明显。层序底面(初始海泛面)是山西组底部细粒石英砂岩底面;最大海泛面是覆盖在底部细粒石英砂岩之上的二<sub>1</sub>煤层的底面。海侵体系域由一层浅灰色细粒石英砂岩组成,夹薄层的泥岩、粉砂岩,含有植物化石碎片、菱铁矿结核、叶片化石、茎干化石、根化石;有槽状交错层理、平行层理。此层序代表三角洲平原沉积。

(4)层序 S<sub>4</sub>

层序 S<sub>4</sub> 相当于下石盒子组的三、四煤段。其底界是砂锅窑砂岩的底部冲刷面,初始海泛面是覆盖在砂锅窑砂岩之上的砂泥互层段的底部,最大海泛面是本层序最厚泥岩的底部,代表本层序最深的沉积环境。低位体系域由砂锅窑砂岩构成,其底面是一

明显的冲刷面。砂锅窑砂岩有中厚层-厚层状的中粗粒岩屑石英砂岩组成,发育槽状交错层理和板状交错层理。海侵体系域由浅灰色细粒石英砂岩与薄层状浅灰色泥岩互层为特征,粒度向上逐渐变细,泥岩的厚度越来越大,砂岩的厚度越来越小,反映出三角洲前缘相不断超覆在三角洲平原相之上,形成退积序列;含有植物化石碎片、根化石、叶片化石、虫孔遗迹化石;发育小型的槽状或者板状交错层理。高位体系域下部由一套浅灰色厚层状泥岩构成;上部由多套薄层状泥岩、煤层、粉细砂岩构成,含有植物根化石、茎干化石、叶化石,可见小型的层状交错层理。这一体系域形成于三角洲平原和三角洲前缘沉积环境。

#### (5)层序 S<sub>5</sub>

层序 S<sub>5</sub> 相当于下石盒子组五、六煤段地层。底面是四、五煤段分界砂岩的底面;初始海侵面是覆盖在砂锅窑砂岩之上的砂质泥岩的底面;最大海泛面是本层序最后泥岩的底面。低位体系域由四、五煤段的分界砂岩组成,中粒长石岩屑石英砂岩;含有牙形石化石;发育中型槽状交错层理和板状交错层理。海侵体系域地层有根土岩及薄层煤,厚层的泥岩,中粒岩屑长石砂岩,黄褐色、灰白色中厚层状粗砂岩,薄层的细砾岩;含有植物根化石,植物化石碎片,茎干化石。高位体系域灰黄色厚层状砂质泥岩,黄灰色-灰色厚层状紫斑泥岩,含有植物根化石,植物化石碎片,茎干化石;发育中型槽状交错层理和板状交错层理。此层序为上三角洲平原沉积相。

#### (6)层序 S<sub>6</sub>

层序 S<sub>6</sub> 相当于上石盒子组的地层。发育低位体系域、海侵体系域和高位体系域。底面是田家沟砂岩的底部冲刷面;初始海泛面是覆盖在田家沟砂岩之上的砂泥互层段底面;最大海泛面是硅质海绵岩的底部,代表本层序最深的沉积环境。低位体系域由田家沟砂岩构成,浅灰色细砾岩,浅灰色厚层状粗砂岩;含有牙形石化石;发育有大型槽状交错层理。海侵体系域地层含有浅灰色薄中厚层状粉砂岩和砂质泥岩,黄灰色巨厚层状紫斑泥岩,灰黑色-深灰色泥岩,薄煤层,绿灰色中厚层状细粒长石石英砂岩;含有植物化石碎片,菱铁矿结核,根化石,茎干化石;发育有中小型的槽状交错层理和波状交错层理。高位体系域地层含有海绵岩,黄色和紫色泥岩,黄灰色-黄褐色薄层细粒砂岩;含有海绵骨针化石、牙形石化石;小型的板状交错层理,槽状交错层理和平行层

理。此层序的沉积环境是三角洲平原。

#### (7)层序 S<sub>7</sub>

层序 S<sub>7</sub> 相当于石千峰组的地层。发育低位体系域、湖侵体系域和高位体系域。底面是平顶山砂岩的底面;初始湖泛面是覆盖在平顶山砂岩之上的砂质泥岩底面;最大海泛面是石千峰组上部最厚层泥岩的底面。低位体系域由厚层的平顶山砂岩组成;灰白色中粗粒长石石英砂岩,灰白色含砾粗砂岩;含有菱铁质结核,中大型的槽状交错层理和楔状交错层理。海侵体系域地层包含黄灰色中厚层状细砂岩,紫红色-灰绿色泥岩;含有少量的植物化石碎片;平行层理和槽状交错层理发育。高位体系域地层包含厚层的紫红色、灰绿色、灰黄色泥岩,巨厚的灰黄色薄层状粉砂岩;含有少量的菱铁质结核;小型的板状交错层理和槽状交错层理发育。此层序为一套陆缘近海湖泊沉积。

## 4 聚煤特征研究

Bohacs 和 Suter (1997)及 Holz 等(2002)提出煤层厚度取决于可容空间增长速率与泥炭聚集速率之间的相对平衡状态。过慢的相对海平面上升速率,难以保证泥炭堆积所需的可容空间,因此难以形成厚煤层;相反,过快的海平面上升速率,使得泥炭堆积速率又难以追赶上可容空间增加速率,从而造成泥炭沼泽很快被海水淹没,结果也难以形成厚煤层;只有适度的海平面上升速率,才能保证可容空间增加速率与泥炭堆积速率之间的相对平衡关系,使泥炭能持续堆积,从而形成巨厚煤层。

在距物源区较近的冲积体系或滨海平原过渡相靠陆一侧的背景下,因有丰富的陆源碎屑供给而常常处于补偿或过补偿状态,只有当海平面(基准面)上升速率相当大、可容空间快速增加时,即相当于最大海泛带位置,可容空间增加速率才会与泥炭堆积速率保持平衡,适于泥炭层堆积的可容空间可以持续很长时间,从而形成巨厚煤层。对于远离陆源区的滨外陆棚或碳酸盐岩台地背景中形成的含煤岩系,情况则完全相反。滨外陆棚或碳酸盐岩台地环境一般缺乏陆源碎屑供给,沉积速率一般低于海平面上升速率,所以盆地多处于欠补偿状态,只有当一次海平面下降一定幅度使基底变浅或暴露之后海平面重新上升过程中才会产生适于泥炭层堆积的可容空间。在这种背景下,相对上升较慢的海平面才会维持

适于泥炭层堆积的可容空间长时间存在以形成较厚煤层,相反,海平面上升速度过快,大大超过泥炭堆积速率时,水体则会变深而不适于植物生长,其结果是适于泥炭层堆积的可容空间不能长期存在,从而只能形成厚度较小的煤层。因此,在滨外陆棚和碳酸盐岩台地背景下,厚度较大的煤层可能只会在海侵面处或者相对海平面下降时期形成,而在最大海泛面处形成的煤层,其厚度往往较小(图 2)。

#### 4.1 层序 S<sub>1</sub> 聚煤特征

层序 S<sub>1</sub> 沉积以流水不畅的潟湖相为主,局部地区存在障壁岛相或者潮坪相。潟湖环境一般缺乏陆源碎屑供给,沉积速率一般低于海平面上升速率,所以可容空间增加速率和泥炭堆积速率在海泛初期或者海退时期才能达到平衡,聚煤高峰往往出现在初始海泛时期或者相对海平面下降时期。在研究区内,聚煤高峰出现在 HST 内部相对海平面下降时期。

#### 4.2 层序 S<sub>2</sub> 聚煤特征

与层序 S<sub>1</sub> 的潟湖沉积环境比较,层序 S<sub>2</sub> 的碳酸盐台地沉积环境同样缺乏陆源碎屑供给,沉积速率多数时期低于海平面上升速率,可容空间增加速率和泥炭堆积速率在海泛初期或者海退时期才能达到平衡,聚煤高峰往往出现在初始海泛时期或者相对海平面下降时期。在本研究区域,聚煤高峰位于 TST 早中时期,而最大海泛面附近聚煤较薄。

#### 4.3 层序 S<sub>3</sub> 聚煤特征

层序 S<sub>3</sub> 沉积时期以三角洲为主体的沉积环境,物源较丰富,泥炭的堆积速率往往超出可容空间的增长速率。只有在最大海泛期的时候,可容空间增长速率与泥炭堆积速率之间的差值最小,成煤最厚。作为最大海泛期标志层的二<sub>1</sub>煤,厚度大,层位稳定,分布面积广,煤质优良,是晚古生代地层最主要的勘探和开采对象。

#### 4.4 层序 S<sub>4</sub> 和层序 S<sub>5</sub> 聚煤特征

层序 S<sub>4</sub> 和层序 S<sub>5</sub> 属于典型的三角洲沉积。三角洲主要是因河流带来的大量泥砂迅速堆积而成,海水可以对三角洲起改造、破坏和再分布的作用。依据河流、波浪和潮汐能量的相对大小,可形成河控三角洲、潮汐三角洲和浪控三角洲。晚古生代华北地台主要是陆表海分布,水体较浅,波浪、潮汐的破坏能量较小,主要以河控三角洲为主。河控三角洲的物源来源丰富,泥炭堆积速率较快,只有在最大海泛期附近可容空间的增长速率和泥炭的堆积速率才可持平,煤层厚层分布。在本研究区域,层序 S<sub>4</sub> 和层序 S<sub>5</sub> 的厚煤层分布在最大海泛面附近。

#### 4.5 层序 S<sub>6</sub> 聚煤特征

层序 S<sub>6</sub> 也属于典型的三角洲沉积。但是可控三角洲的相对强度没有层序 S<sub>4</sub> 和层序 S<sub>5</sub> 大,证据之一就是最大海泛面附近发现了硅质海绵岩。硅质海绵

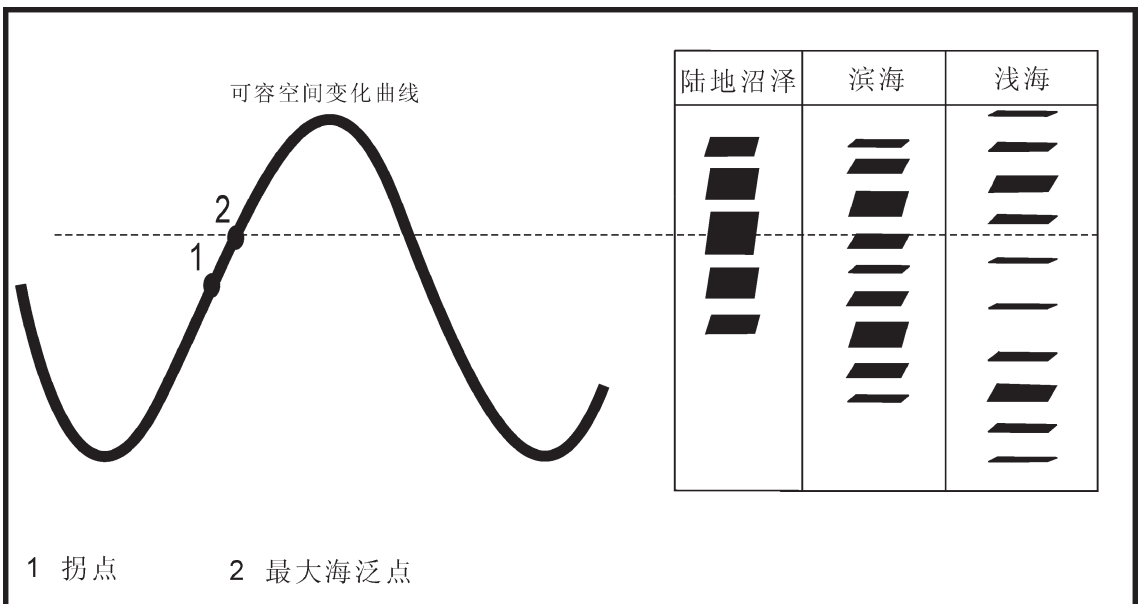


图 2 层序内部不同物源背景下聚煤特征示意图  
Fig.2 Schematic diagram of coal accumulation characteristics under different source backgrounds

岩是典型的海相类岩石,代表海侵的相对强度有所增大,物源的相对丰富度有所下降。同层序  $S_4$  和层序  $S_5$  相比较,由于物源供应量的减小,聚煤高峰不仅仅出现在最大海泛面附近,而且在初始海泛面附近也有出现。同层序  $S_1$  和层序  $S_2$  相比较,由于物源供应的增加,聚煤高峰不仅仅出现在初始海泛面,而且也出现在最大海泛面附近。

## 4 结 论

(1)本文用反映当时水体最深的岩石单元的底面作为最大海泛面。延伸最远、发育最好的灰岩底面(层序  $S_2$ );硅质海绵岩的底面(层序  $S_6$ );最厚层泥岩底面(层序  $S_3$ 、层序  $S_4$ 、层序  $S_5$ 、层序  $S_7$ )。

(2)蹬槽剖面的层序界面有 3 种:区域不整合面(层序界面  $SB_1$  和层序界面  $SB_8$ );海侵转换面(层序界面  $SB_2$ );下切谷冲刷面(层序界面  $SB_3$ -层序界面  $SB_7$ )。

(3)蹬槽剖面石炭纪—二叠纪地层可以分为 7 个三级层序。层序  $S_1$  大体相当于本溪组的地层;层序  $S_2$  大体相当于太原组的地层;层序  $S_3$  相当于山西组的沉积;层序  $S_4$  相当于下石盒子组的三、四煤段地层;层序  $S_5$  相当于下石盒子组五、六煤段地层;层序  $S_6$  相当于上石盒子组沉积;层序  $S_7$  相当于石千峰组沉积。

(4)层序  $S_1$ ~层序  $S_2$  物源不丰富,聚煤作用主要发生在海侵初期或海退时期;层序  $S_3$ ~层序  $S_6$  物源相对丰富,聚煤作用主要出现在最大海泛附近。

## 参考文献 (References):

- [1] 尚冠雄. 华北晚古生代聚煤盆地造盆构造述略[J]. 中国煤田地质, 1995, 7(2):1-6  
Shang Guanxiong. An outline of basining structures of North China Late Paleozoic coal accumulation basin [J]. Coal Geology of China, 1995, 7(2):1-6(in Chinese with English abstract)
- [2] 武法东, 陈钟惠, 张守良, 等. 华北晚古生代含煤盆地层序地层初探[J]. 中国煤田地质, 1994, 6(1): 11-18  
Wu Fadong, Chen Zhonghui, Zhang Shouliang, et al. A sequence stratigraphic discussion of the Upper Paleozoic coal basin in North China[J]. Coal Geology of China, 1994, 6(1):11-18(in Chinese).
- [3] 陈世悦, 刘焕杰. 华北晚古生代层序地层模式及其演化 [J]. 煤田地质与勘探, 1995, 23(5): 1-5.  
Chen Shiyue, Liu Huanjie. Sequence stratigraphic models and their evolution of Late Palaeozoic in North China [J]. Coal Geology & Exploration, 1995, 23(5): 1-5(in Chinese with English abstract).
- [4] 程爱国, 魏振岱. 华北晚古生代聚煤盆地层序地层与聚煤作用关系的探讨[J]. 中国煤田地质, 2001, 13(2): 7-11.  
Cheng Aiguo, Wei Zhendai. Research on relationship between sequence strata and coal-accumulation of Late Palaeozoic coal-accumulating basin in Northern China [J]. Coal Geology of China, 2001, 13(2): 7-11(in Chinese with English abstract).
- [5] 魏怀习. 华北晚古生代煤系古地理演化 [J]. 中国煤田地质, 2001, 13(4):14-15.  
Wei Huaixi. Paleogeographic evolution of Late Paleozoic coal-bearing strata in Northern China [J]. Coal Geology of China, 2001, 13(4): 14-15(in Chinese with English abstract).
- [6] 戴福贵, 刘宝睿, 杨克绳. 华北盆地地震剖面地质解释及其构造演化[J]. 中国地质, 2008, 35(5):820-840.  
Dai Fugui, Liu Baorui, Yang Kesheng. Geological interpretation of seismic sections and tectonic evolution of the North China basin [J]. Geology in China, 2008, 35(5): 820-840(in Chinese with English abstract).
- [7] 河南煤田地质公司. 河南省晚古生代聚煤规律[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.  
Coal Company of Henan. Coal Accumulation of Late Paleozoic in Henan [M]. Wuhan:China Geoscience University Press, 1991 (in Chinese).
- [8] 金玉珩, 等. 中国地层典: 石炭系[M]. 地质出版社, 2000:9  
Jin Yugan, et al. China Stratigraphic Code [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000:9(in Chinese).
- [9] 金玉珩, 等. 中国地层典: 二叠系[M]. 地质出版社, 2000:15.  
Jin Yugan, et al. China Stratigraphic Code [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2000:15(in Chinese).
- [10] 金玉珩. 国际地层表[J]. 地层学杂志, 2004, 29(2): 98.  
Jin Yugan. International Stratigraphic Chart [J]. Journal of Stratigraphy,2004, 29(2): 98.
- [11] 邵龙义, 张鹏飞, 窦建伟, 等. 含煤岩系层序地层分析的新认识—兼论河北南部晚古生代层序地层格架 [J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28(1):21-24.  
Shao Longyi, Zhang Pengfei, Dou Jianwei, et al. New considerations on coal measures sequence stratigraphy—A case study from the Late Paleozoic coal measures in south Hebei [J]. Journal of CUMT Mining Science and Technology, 1999, 28(1): 21-24(in Chinese with English abstract).
- [12] 尚冠雄, 等. 华北地台晚古生代煤地质学研究[M]. 太原:山西科学技术出版社, 1997:162-163.  
Shang Guanxiong, et al. Late Paleozoic Coal Geology of North China Platform [M]. Taiyuan:Shanxi Science and Technology Press, 1997:162-163(in Chinese).
- [13] 邵龙义, 何志平, 鲁静, 等. 环渤海湾西部石炭系—二叠系层序地层及聚煤作用研究[M]. 北京:地质出版社, 2008:67.  
Shao Longyi, He Zhiping, Lu Jing, et al. Sequence Stratigraphy and Coal Accumulation of the Carboniferous and Permian in the Western Peri-Bohai Bay Area of the Northern China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2008:67 (in Chinese with English abstract).

- [14] Bohacs K, Suter J. Sequence stratigraphic distribution of coaly rocks: fundamental controls and paralic examples[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81: 1612-1639.
- [15] Holz M, Kalkreuth W, Banerjee I. Sequence stratigraphy of paralic coal-bearing strata: an overview [J]. International Journal of Coal Geology, 2002, 48: 147-179.

## Sequence stratigraphic analysis and characteristics of Late Paleozoic coal accumulation in Dengfeng, Henan Province

SONG Jian-jun, DONG Da-xiao, SHAO Long-yi

(Department of Earth Sciences, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Principles and methods of sequence stratigraphy for outcrops and drilling cores were used to reconstruct the Upper Paleozoic sequence stratigraphic framework in Dengcao profile. Extensive investigation into outcrop and borehole data reveals that a total of 8 third-order sequence boundaries and 7 third-order sequences are developed in the Upper Paleozoic strata in the Henan part of southern North China Basin.  $S_1$  is equivalent to the Benxi Formation,  $S_2$  to the Taiyuan Formation,  $S_3$  to the Shanxi Formation;  $S_4$  and  $S_5$  to the Xiashihezi Formation,  $S_6$  to the Shanshihezi Formation, and  $S_7$  to the Shiqianfeng Formation. Within these sequences, the lowstand systems tracts are represented by conglomerates and sandstones of the delta plain distributary channel and lakeshore and the weathered crust of eluvial facies. The transgressive systems tracts are dominated by coastal-shallow lacustrine mudstones and siltstones and barrier island-salt lagoon and delta front, and the highstand systems tracts are mainly composed of carbonate rocks and mudstone-abundant successions. Coal accumulation of sequence 1~sequence 2 occurred mainly in the early transgressive or regressive period with poor sources, whereas coal accumulation of sequence 3~sequence 6 occurred mainly in the largest pan-sea with rich sources.

**Key words:** Dengfeng area; Upper Paleozoic; stratigraphic framework; coal accumulation

---

**About the first author:** SONG Jian-jun, male, born in 1963, doctor candidate, mainly engages in the study of sedimentology, engineering geology and coal accumulation regularity; E-mail: songjianjun0906@163.com.