

华北南部晚古生代陆表海盆地层序地层 格架与海平面变化

李增学 魏久传 王明镇 李守春

(山东矿业学院地球科学系)

[内容提要] 陆表海盆地与边缘海盆地的区域地质条件具有根本性差异,其层序地层格架必然不同。研究表明,华北晚古生代陆表海盆地极平缓的地势难以形成大范围的侵蚀不整合,高频海平面变化和突发性的海侵事件是层序形成的主导因素。陆表海盆地含煤层序具有二元结构,即“海侵体系域—高水位体系域”的层序模式。

关键词 陆表海盆地 层序地层格架 海平面变化

层序地层学的产生和发展给沉积学、地层学领域带来了崭新的理论体系和方法技术。但源于北美大陆边缘海含油气盆地研究成果的层序地层学^[1]理论和模式不一定适用于其他盆地,如内陆盆地、陆表海盆地等。因此,进行板内陆表海盆地海陆交替型含煤地层的层序地层学研究,需要在汲取陆缘海盆地层序地层学的研究思路和方法同时,根据陆表海盆地的具体地质条件和沉积特点,总结出独具特色的层序划分、建立层序地层格架及进行层序内部构成单元分析等的原则和思路,以丰富和完善当代层序地层学的理论体系和方法系统。

1 晚古生代华北聚煤盆地区域地质背景

华北晚古生代石炭二叠纪含煤岩系在我国北方有相当广泛的分布,其范围遍及华北、西北区的大部,东北区的南部以及中南、华东区的北部。华北的石炭二叠纪含煤地层包括了从晚石炭世到晚二叠世的所有地层,而晚石炭世至早二叠纪早期的含煤岩系应归属于陆表海盆地海陆交替型沉积。

聚煤前华北是我国形成较早的古隆起区^[2,3],石炭二叠纪含煤岩系是在华北寒武—奥陶纪盆地地台型沉积的基础上沉积的,盆地基底主要为太古宇、元古界深变质岩组成的稳定地块^[4]。早元古代末的吕梁运动时期,华北北部边缘的阴山构造带已经出现,南缘的秦岭构造带也开始显示。吕梁运动界面之上相继沉积了长城系、蓟县系和青白口系等碎屑岩、泥质岩及硅镁质碳酸盐岩,这是基底之上的第一套盖层。震旦系属浅海相沉积,而寒武系底部和青白口系间的沉积间断最为重要,表明华北主体部分在距今7亿年前后曾一度大规模隆起。寒武系与奥陶系间多为整合接触,在全区均有沉积,厚度600—1500m,属浅海沉积,这表明再

①国家自然科学基金资助项目(49272122)。

②本文1996年4月18日收稿。

度沉降接受沉积后华北古隆起区具有整体性和稳定性的特色。中奥陶世为广阔、平缓的海盆,晚期在近东西方向海盆内的山西昔阳、山东莱芜、豫北新乡和晋东南侯马等处形成深达80—200m的近东西向拗陷。中奥陶世后由于加里东运动的影响,华北整体隆起,使上奥陶统至下石炭统缺失,华北地区经历了长期剥蚀、夷平和准平原化,为晚古生代含煤岩系的沉积创造了有利条件。本溪组广泛地平行不整合于中奥陶统马家沟组不同层位的灰岩侵蚀面上。该侵蚀面较平缓,总体呈准平原型岩溶地貌。

晚石炭世早期(本溪期),沉积盆地呈北高(陆相沉积为主)南低(但盆地南缘也呈现起伏不大的隆起区)的平缓斜坡,海水主要由北东辽、吉和南部皖、豫及西部甘肃侵入。晚石炭世晚期(太原期)盆地持续下降,盆地地形更趋平坦,沉积范围更宽广,但盆地仍呈现北高南低的基本势态。由于盆地内部发育有同沉积断裂和同沉积褶皱,由北而南的岩相和聚煤作用分带较为明显,但总的盆地地势是较为平缓的。至早二叠世山西期,盆地的大部分地区平稳抬起为陆,南部少数地区仍间有海水侵入事件,盆地内幅度不大的水下隆、拗构造分布较广泛,盆地的总体态势与太原期具有相似性,但盆地水域体制和盆地沉积环境已有显著不同,盆地广泛发育冲积-三角洲沉积,聚煤作用逐步南移。

2 陆表海盆地含煤岩系主要沉积体系

沉积体系和沉积体系域为层序构成的主要建造块。根据成因相在盆地中的空间配置和时间上的演化特点,将研究区含煤岩系划分出三大沉积体系类型,即潮坪沉积体系、障壁-潟湖沉积体系和河控浅水三角洲沉积体系。这三类沉积体系为陆表海盆地层序的主要沉积体系域构成。不同类型或相同类型沉积体系在垂向上的叠覆,使盆地聚煤作用呈现出十分明显的阶段性^[5]。

2.1 潮坪沉积体系

潮坪沉积体系是华北晚古生代在有障壁的局限陆表海条件下形成的,因盆地古地理的特殊性,潮坪分布的范围相当广阔,构成独特的陆表海盆地潮坪沉积体系。在这类体系中,潮汐水道沉积十分发育,与淤泥混合坪沉积一起构成潮坪沉积体系的骨格。另外,泥坪、砂坪、潮脊砂脊和潮坪沼泽(或潮坪泥岩沼泽)等成因相也较为多见。陆表海条件下潮坪的逐渐沼泽化乃至泥岩沼泽化,且在海陆交替型含煤岩中多次出现,是华北聚煤盆地含煤沉积的一大特色。在上石炭统的多层薄煤层中虽然含有较高的无机硫分,但尚未发现煤层中含有海相动物化石及其碎屑,也未发现其他海相沉积物,因而这些煤层不应属于海相成因,实为海退时期潮坪沉积体系沼泽化并受海水影响的近海泥炭沼泽形成,这类煤层具有较好的等时对比意义。

2.2 障壁-潟湖沉积体系

在受限陆表海盆地,障壁岛和潟湖为两个不可分隔的沉积环境单元。经作者研究,本研究区障壁-潟湖沉积体系主要成因相有障壁岛组合、主潮道和潮汐三角洲组合(砂坝和指状砂席等)、潟湖及其沿岸潮坪带组合等。障壁-潟湖沉积体系主要在太原组下段,是陆表海盆地含煤层序中比较重要的沉积体系类型。巨大的受限陆表海盆地在其演化过程中常由巨大的潮坪沉积体系演变为有障壁岛发育的障壁-潟湖沉积体系,潟湖沿岸潮坪带的沼泽化和潟湖淤浅沼泽化,形成障壁岛后沼泽或广泛的潮坪沼泽,最终发育成为泥炭沼泽。

障壁-潟湖沉积体系中各环境单元的发育和演化直接受海平面变化的控制,如障壁砂坝

的发育和进积或退积作用、主潮道的沉积作用、潮汐三角洲向潟湖区的进积作用等,都与当时海平面升降幅度有关。高级别的海平面变化可使得潟湖区大面积扩大或大规模萎缩,或使涨潮三角洲得以发育而逐渐向潟湖区推进,或使其突然处于水体下而退却。从山东地区识别出的潮汐三角洲沉积组合的分布层位和沉积特点看,3级海平面变化可使得潮汐三角洲形成和发展起来,最终使潟湖淤浅而随之废弃;4级海平面变化使潮汐三角洲出现显著的进积或退积现象,也可能改变潮汐三角洲的进积方向。

2.3 河控浅水三角洲沉积体系

三角洲或三角洲沉积体系的概念和分类多来源于水体较深和构造比较活跃的地质背景。研究区发育的河控浅水三角洲沉积体系出现于陆表海盆地充填序列的上部,其沉积特征与美国东部含煤地层(宾夕法尼亚系)中发育的三角洲^[6]相似,即发育于水体较浅的台地背景、三角洲平原组合发育(如分流河道十分发育且常切割前期沉积物)、三角洲前缘不太发育等特点。华北晚古生代陆表海盆地发育的河控浅水三角洲更具特色,如其分布范围大、分支频繁,为一巨大的复合性的河控浅水三角洲沉积体系,在山西、河南和山东及以南地区都识别出类似的沉积组合。河控浅水三角洲体系的主体部分为三角洲平原,可划分出上三角洲平原和下三角洲平原两大成因相组合^[7]。上三角洲平原的成因相构成较复杂,起骨架作用的是分流河道,位于分流河道间的洼地主要进行着两种沉积作用,决口沉积作用和越岸沉积作用。这两种沉积作用共同充填着分流间的洼地,而使其逐渐演化成沼泽环境。因此,浅水三角洲体系由发育到废弃的整个演化过程中,废弃阶段是重要的聚煤期,而三角洲平原是较理想的聚煤场所,如果废弃阶段持续的时间较长,而且构造因素也有利于泥炭沼泽的持续而稳定地发育,那么就能形成广阔而稳定的富煤带。华北陆表海盆地上部充填序列中的重要含煤层段为浅水三角洲体系演化过程中废弃阶段形成的,构成了华北地区的重要煤矿床,如我国重要的煤炭基地鲁西南矿区开采的主要煤层即为浅水三角洲沉积体系形成的。

3 陆表海聚煤盆地的层序地层格架

将完整的陆表海聚煤盆地充填序列划分为五级层序:一级为盆地充填层序(basin-fill sequence);二级为构造层序(tectonic sequence);三级为层序(即基本层序,sequence);四级为小层序组(parasequence sets),与体系域相当;五级为小层序(parasequence)。盆地充填层序指盆地充填沉积的整体^[8],即盆地发育期的整个垂向沉积层序,该序列由若干套沉积组合构成,并按一定的顺序出现,其中每套沉积组合皆由共生关系密切的成因相组成。区域性不整合面(包括假整合面)为一级古构造界面,是划分构造旋回的标志,并以此划分构造层序。不同的构造层序分别代表了不同的构造体制,其规模大、持续时间长,内部常有次级古构造界面,并有侵蚀和间断。研究区内石炭二叠系为1个完整的盆地充填层序(图1),陆表海盆地含煤沉积为1个构造层序。

3.1 三级层序(基本层序)划分

3.1.1 三级层序划分原则

三级层序划分是层序地层分析的核心内容,而层序界面的鉴定和追踪则是核心中的重点科学问题。但是陆表海盆地层序界面和层序划分工作较其他沉积盆地要困难得多,因为华北晚古生代陆表海盆地基底坡底极缓而难以形成大范围的侵蚀不整合^[9],因此需要通过成因相、沉积体系及体系域、海平面变化及旋回地层、生物地层等的全面分析和综合对比后,才

能确定出用以划分陆表海盆地三级层序的各类界面,以建立盆地沉积的层序地层格架。

盆地充填序列	构造层序		以往地层划分		本文层序划分	
	III	较稳定背景下的内陆碎屑沉积	二叠系	石千峰组	·····	TC(SB ₆)
II	稳定背景下的近海内陆碎屑含煤沉积	上石盒子组		— — — — —	S 5	
		下石盒子组		— — — — —	TT(SB ₅)	
I	稳定内陆表海海陆交替型含煤沉积	石炭系		山西组	////	RR(SB ₄)
			太原组	////	S 3	
			本溪组		MR(SB ₃)	
					S 2	
					MR(SB ₂)	
					S 1	
					TC(SB ₁)	

图1 华北南部晚古生代层序地层界面及构造层序

TC. 古构造运动面; TT. 构造应力场转换面; RR. 区域海退事件界面; MR. 最大海退界面

Fig. 1 Late Palaeozoic sequence stratigraphic boundaries and tectonic sequences in northern China

TC=palaeotectogenetic boundary, TT=transformation boundary of tectonic stress fields,

RR=regional regressive event boundary, MR=maximum regressive boundary

根据近些年进行陆表海盆地层序地层分析的研究实践,总结出划分陆表海盆地层序的基本原则:(1)首先识别和确定盆地充填层序和构造层序的分界面,这是控制盆地总体沉积的大型沉积、构造界面,相对而言比较容易识别和追踪;(2)在具高频海平面变化事件的陆表海海陆交替型沉积地层中,设法找到最大海侵事件沉积层位(或界面),因为这是陆表海盆地层序划分和体系域识别的重要依据。该层位(或界面)的确定须在垂向沉积序列中作反复比较和在区域上进行大范围追踪;(3)体系域的识别和小层序组的确定要与层序界面的鉴别、层序划分同步进行,以便相互印证;(4)以陆表海盆地的事件型海侵^[10]沉型研究为突破口,识别和确定海侵沉积序列,以便找到海侵标志沉积物逐步向盆缘方向推进(退积)的证据,这是划分陆表海盆地三级层序的关键。即在陆表海盆地层序地层分析中,海侵沉积序列的识别比海退沉积序列的分析显得更重要;(5)最大海泛面的识别与层序界面的识别同步进行,因为在陆表海盆地广大范围内层序界面表现为整合面,因此有时可先识别出最大海泛面尔后才确定出层序界面,这并不影响层序格架建立的正确性;(6)广泛的泥炭化事件是陆表海环境的最突出特点之一,因此最广泛的、区域性的泥炭化事件沉积的研究对建立层序地层格架最有意义。泥炭化事件沉积界面不一定是三级层序界面,但很可能是小层序组、小层序的划

分界面。

上述划分陆表海盆地三级层序及建立层序地层格架的基本原则与经典层序地层学^[1]不尽一致。经典层序地层学认为,在进行层序地层研究时,首先进行各级层序界面的识别,紧接着建立完整盆地的等时(年代)地层格架,尔后在该格架内进行层序各级建造块的详细分析,如体系域识别、小层序划分等。这些原则用于陆表海盆地的层序地层研究中显然不能凑效,其原因在于华北陆表海盆地与北美大陆边缘海盆地两者的区域地质背景和沉积特征存在根本上的差异,首先建立层序地层格架的目标难以实现。因此,进行陆表海盆地含煤地层的层序地层分析,不能生搬硬套国外已有的模式,而应在汲取新思潮、新理论、新技术和新方法的同时,结合我国煤田地质特点,在追踪的基础上加以发展^[11]。

3.1.2 层序界面类型

以下4种界面为研究区陆表海盆地层序划分的界面。

1. 盆地区域性不整合面 是指在全盆地范围内发育的不整合面(包括假整合面),它往往与构造运动事件相吻合,有时也与构造层序界面一致,如华北石炭—二叠纪煤系与奥陶系间的假整合面在全盆地范围内发育,即为划分构造层序和层序的典型界面。

2. 区域性海退事件界面 指大规模的与区域性海退事件有关的沉积体系废弃界面,这是巨型平碟式陆表海盆地所特有的。由于华北晚古生代海平面变化和构造运动导致海平面在比较短的时间间隔内大幅度下降,甚至使海水全部退出盆地,最终使盆地环境在短期内改观,由海陆交替型沉积转变为过渡型乃至陆相沉积。同期可在盆缘找到不整合面。

3. 构造应力场转换面 由于构造运动性质或形式的改变导致构造应力场的转换,应力场转换面在沉积上表现为沉积体系或体系域的转换面,在盆地比较大的范围内尤其盆地内部可能表现为整合面,而在盆缘则为侵蚀或冲刷界面。由于构造应力场转换面是盆地构造运动性质的改变造成的,因此可能是盆地沉积体制发生改变的界面。

4. 最大的海退事件界面 与上述的区域性海退事件界面不同,最大海退事件界面是指在海陆交替频繁的陆表海条件下,影响全盆地的最大的几次海退事件造成的界面。这种海退事件是全球海平面变化的组成部分,在该界面上即出现海侵标志。最大海退事件界面是通过时空上海水进退事件规模的比较与区域上沉积体系及体系域配置关系的改变确定出来的。突发性海侵事件和最大海退事件是陆表海盆地三级海平面变化中的主要事件。

据上述层序界面出现的位置和区域追踪结果,华北晚古生代地层共划分出5个层序,其中内陆表海盆地共划分出3个三级层序(图1)。

3.2 陆表海盆地层序地层格架

华北晚古生代陆表海聚煤盆地极缓的古坡度难以形成大范围的侵蚀成因的不整合,而受限陆表海盆地中障壁-潟湖体系的发育具显著特色,如由于海平面升降变化导致沉积体系发生改变,障壁砂坝可能具游动性等。因而低水位体系域(LST)在陆表海盆地广大范围内可能并不存在^[9,12]。沉积层序的底部可能以海侵体系域开始,其上为高水位体系域。高水位体系域的内部构成单元也不都象陆缘海盆地的层序那样以三角洲朵体的比较明显的向盆地方向推进为特征,而是由沉积速率很小的细粒质、泥质或砂泥质沉积物构成,沉积体的向盆地方向的推进也远不如前者显著。因此,华北陆表海聚煤盆地含煤岩系的层序内部构成型式显然不同于边缘海盆地的层序地层模式。根据层序内部最大海泛面出现的位置,小层序的进积、加积及退积特点,华北晚古生代陆表海盆地的含煤层序为二元结构型(或称为双层结

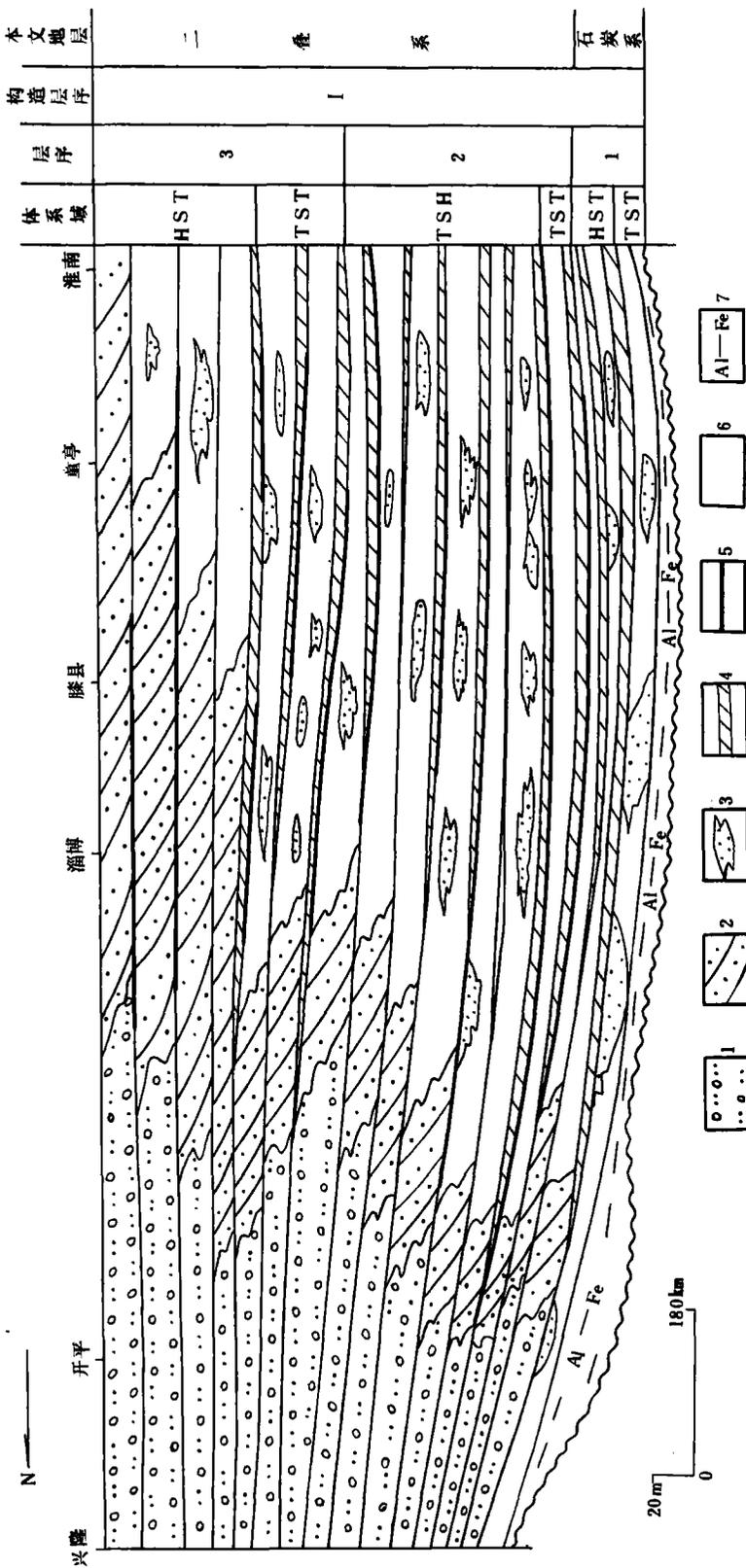


图 2 华北地区陆表海盆地层序地层格架

1. 冲积沉积体系; 2. 三角洲沉积体系; 3. 障壁-潟湖、潮坪体系; 4. 陆表海海侵沉积; 5. 煤层; 6. 障壁-潟湖、潮坪细碎屑或海湾沉积; 7. 含铁铝质沉积

Fig. 2 Sequence stratigraphic framework of the epicontinental sea basin in northern China

1=alluvial depositional system; 2=deltaic depositional system; 3=coarse-grained clastic deposits in the barrier-lagoon and tidal-flat systems; 4=epicontinental transgressive deposits; 5=coal seams; 6=fine-grained clastic or estuarine deposits in the barrier-lagoon and tidal-flat systems; 7=ferruginous-aluminous deposits

构),即为“海侵体系域—高水位体系域”的层序结构(图2)。陆表海海陆交替型含煤层序(三级层序)共划分出3个。层序1形成时,海侵方向总体为由东向西北及偏南方向,聚煤盆地北缘及最南缘为隆起区,该层序为含煤层序,呈北厚南薄;层序2和层序3形成时,华北聚煤盆地的总体地势发生了明显变化,北高(以陆源碎屑沉积为主)南低(海相碳酸盐沉积比例较大),西高东低,海侵方向总体为由南东向北西。华北晚古生代含煤岩系主要形成于陆内相对稳定区,其地貌为受限陆表海盆地,障壁岛以外(向大洋方向)的同期边缘海部分至今尚未找到其存在的证据。图3即为华北陆表海海陆交替型含煤沉积层序地层学模式。

层序内小层序是体系域的构成单元,其划分有赖于区域水进界面的识别。含煤岩系中发育大量薄的海侵层,其厚度不大但分布范围大,大多数具等时对比意义。由于陆表海盆地海水进退具有突发性事件型和广泛性的特点,所以,海侵事件导致了在短暂的地质时间间隔内引起盆地水体深度陡变,海退后盆地基底露出水面或覆水较浅,从而有广泛的潮坪沼泽乃至泥炭沼泽发育。据海侵层和泥炭层(煤)成为小层序的主要依据,层序1划分出4个小层序,层序2划分出7个小层序,层序3划分出6个小层序(见图3和图4)。而且,海侵体系域由1—2个小层序组成,高水位体系域则由多个小层序组成。

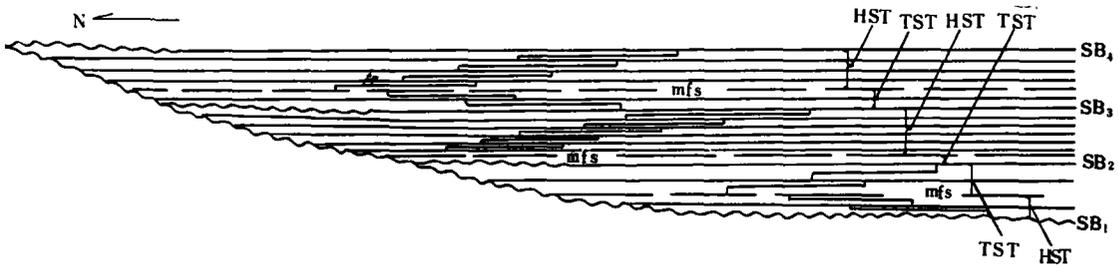


图3 华北晚古生代陆表海盆地层序地层模式

HST: 高水位体系域; TST: 海侵体系域; mfs: 最大海泛面; SB₁、SB₂、SB₃、SB₄: 层序界面

Fig. 3 Sequence stratigraphic model for the Palaeozoic epicontinental sea basin in northern China

HST=highstand systems tract; TST=transgressive systems tract; mfs=maximum flooding surface;

SB₁ to SB₄ represent the sequence boundaries

3.3 陆表海盆地层序中密集段的分布

Loutit, Hardenbol 和 Vail 等人(1988)^[13]认为密集段(condensed sections)是大陆边缘海盆地层序对比的钥匙,为薄的海相地层单元,主要是由于相对海平面快速上升在大陆边缘形成。在陆表海海陆交替型含煤岩系中识别和确定密集段要困难得多,因为陆表海盆地的沉积滨线坡折(depositional coastal break)不易确定。华北陆表海盆地的特殊古地理景观,使得含煤层序中密集段的产出位置和分布与边缘海盆地有很大差异,如受限陆表海盆地与大洋之间的障壁体系直接影响和限定了密集段的发育和分布。在陆表海含煤层序中的最大海泛面附近,尤其在海侵过程成煤阶段,煤层下部或底部海侵成因的沉积薄层可能为密集段,如厚层灰岩和煤层间的海相泥岩(富含微体古生物)很可能就是密集段。因为陆表海盆地的海侵具有突发性事件特点,而高频海平面变化又是陆表海的最显著特色^[14],在一个三级海平面变化周期中,最大的那几次海侵事件导致分布范围广的密集段形成,而次一级的海侵事件也往往造成盆地范围内一定区域的“饥饿面”形成,因而层序中有多层“类密集段”沉积,这是

陆表海含煤层序中密集构成的基本特点,也是层序地层学中有关密集段涵义的外延。

4. 陆表海盆地海平面变化

4.1 海平面变化的周期特点

海平面变化具有周期性,那么在地层记录上必然留下旋回性特征,空间上的旋回性表明时间上的周期性(但地层记录中旋回性的缺乏不一定表明时间上周期性的缺乏)。Miall (1984, 1990)^[15]提出了旋回中的旋回(cycle within cycle),即由于受不同制约因素的影响,地层的旋回性具有不同的级次,而且相互叠加,最终反映出不同级次相互叠加的海平面变化周期,即复合海平面变化周期(Goldhammer, 1990)^[16]。华北晚古生代陆表海盆地的海平面升降变化具有复合海平面变化的显著特点(图4),在三级海平面变化周期复合叠加了四级、五级海平面变化旋回。华北陆表海环境沉积地层是由一种较薄的反映水深向上变浅的复合旋回性序列组成,其分界面是由地史上瞬时的相对海平面上升形成的间断事件所产生的,而紧接着则是一种均衡的堆积过程。陆表海的海水快速进退事件应属于瞬时事件,但在水体加深作用过程中也会产生非常慢的堆积作用,海平面升降变化导致了沉积物容纳空间增长速率、海底水体环境的周期性变化,从而形成旋回性的沉积记录。

4.2 突发性海侵事件

海侵和海退是地质学中古老的基本概念。大陆边缘海盆地海平面变化一般是海水逐渐地、缓慢地侵浸到陆上的一种水进地质过程,反映在沉积层序内部单元分布规律上,可以看到海相沉积物由海及陆的依次向陆方向超覆;垂向沉积序列则表现为自下而上由陆相向海相的过渡。然而,陆表海的海侵则表现为“不连续性的海侵过程”,这标志着一种快速突发性的海水侵漫事件。陆表海的突发性海侵导致了时间上的连续性和沉积相序上的不连续性,即海陆交替频繁的相序特点,而海相层与陆相层之间并无侵蚀间断。海相层一般为单一的同性相,其分布面积广且稳定,具有极好的等时意义,成为小层序对比的可靠依据。华北陆表海含煤岩系中普遍见到海相层直接覆于煤层之上,两者之间未见有连续性沉积序列。突发型海侵事件一方面导致潮坪泥炭沼泽发育中断,使已形成的泥炭堆积物快速处于深水环境,另一方面也使泥炭得以保存而最终成煤。

4.3 海平面变化周期与层序及其构成单元的响应

据 Miall 等人(1984, 1990)^[15]的研究,三级海平面变化周期可能由洋脊变化或大陆冰川的生长及消亡产生。石炭二叠纪是全球冰川发育的重要时期,具备海平面周期性发育的极好条件,一个三级海平面升降周期形成了Ⅲ级层序(sequence)。四级海平面变化是三级海平面变化周期中次一级的海平面升降,叠加于三级海平面变化之上,是控制层序中小层序组发育的主导因素。在陆表海海陆交替型沉积层序中识别出的周期性小层序,是高频海平面变化的产物,与五级海平面变化周期相对应。小层序可用冰融-海平面变化机制解释,小层序界面的形成是由于冰盖消融使盆地水体急剧加深所致,或者由于冰盖生长导致盆地覆水较浅、干枯淤浅而形成,小层序内部构成序列反映了上述界面形成时的水体深度变化和水动力条件的改变。

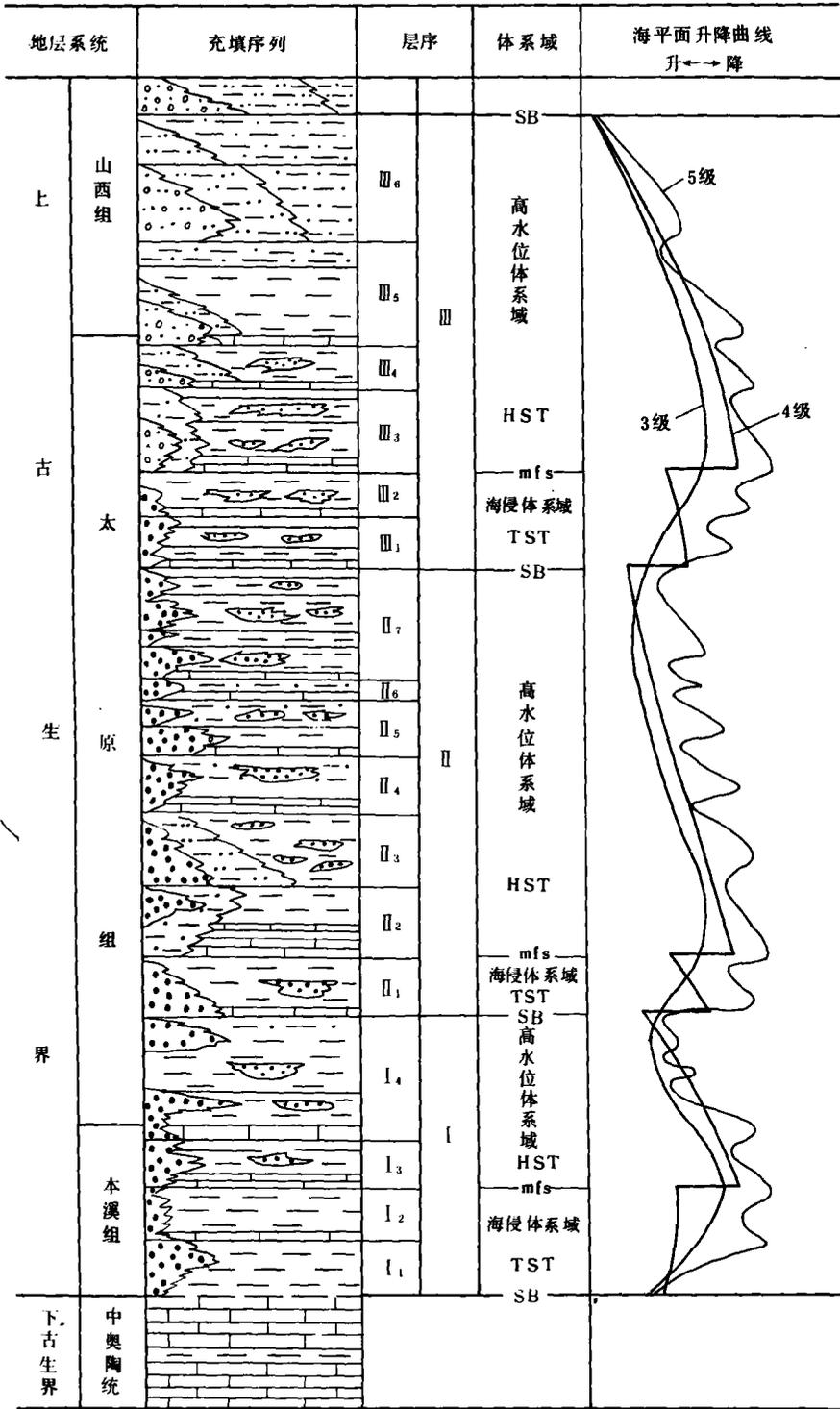


图4 华北陆表海盆地充填序列和海平面变化

Fig. 4 The infilling sequences and sea-level changes in the epicontinental sea basin in northern China

参 考 文 献

- 1 Wilgus, C. G., Hastings, B. S., Ross, C. A. et al. Sea-level changes, an integrated approach, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 42, 1988
- 2 韩德馨、杨起. 中国煤田地质学(下册). 北京: 煤炭工业出版社, 1980
- 3 王熙曾、朱梅如、王杰. 中国煤田的形成与分布. 北京: 科学出版社, 1992
- 4 莽东鸿、杨丙中、林增品. 中国煤盆地构造. 北京: 地质出版社, 1994
- 5 李增学、魏久传、李守春等. 鲁西陆表海盆地富煤单元的形成与分布. 煤炭学报, 1995, Vol. 20, No. 1
- 6 Horne, J. G., Fenn, J. C. and Baganz, B. P. Depositional models in coal exploration and mine planning in Appalachian Region, AAPG Bull. 1978, 62(12).
- 7 李增学、魏久传、李守春. 鲁西河控浅水三角洲沉积体系及煤聚积规律. 煤田地质与勘探, 1995, Vol. 23, No. 1
- 8 李恩田. 断陷盆地分析与煤聚积规律. 北京: 地质出版社, 1988
- 9 李恩田、李斌、林畅松等. 含煤盆地层序地层分析的几个基本问题. 煤田地质与勘探, 1993, Vol. 21, No. 4
- 10 何起祥、业治铮、张明书等. 受限陆表海的海侵模式. 沉积学报, 1991, Vol. 9, No. 1
- 11 李恩田. 论沉积盆地分析领域的追踪与创新. 沉积学报, 1992, Vol. 10, No. 3
- 12 李增学. 内陆表海盆地的层序地层分析——华北内陆表海聚煤盆地研究进展. 地球科学进展, 1994, Vol. 9, No. 6
- 13 Loutit, T. S., Hardenbol, J. and Vail, P. R. Condensed sections, the key to age determination and correlation of continental margin sequences. In: Sea-Level Changes—An Integrated Approach, SEPM Special Publication, 1988(42), 183—215
- 14 李增学、李守春、魏久传. 事件性海侵与煤聚积规律. 岩相古地理, 1995, Vol. 15, No. 1
- 15 Miall, A. D. Principles of sedimentary basin analysis. Elsevier, Amsterdam, 1984
- 16 Goldhammer, R. K. Depositional cycles, composite sea-level changes, cycle stacking patterns, and the hierarchy of stratigraphic forcing; examples from Alpine Triassic platform carbonates. Geological Society of America Bulletin, Vol. 102

SEQUENCE STRATIGRAPHIC FRAMEWORK AND SEA-LEVEL CHANGES IN THE LATE PALAEOZOIC EPICONTINENTAL BASIN IN NORTHERN CHINA

Li Zengxue Wei Jiuchuan Wang Mingzhen Li Shouchun
Shandong Institute of Mining and Technology

ABSTRACT

The sequence stratigraphic framework of an epicontinental basin differs from that of a marginal basin because of the differences in regional settings in the two kinds of basins. The research results in the present paper show that the main factors controlling the formation of the sequences in the Late Palaeozoic epicontinental basin in northern China are high-frequency sea-level changes and episodic transgressive events, because the gentle slope of the basin made it difficult to form basin-wide erosional unconformity. The coal-bearing sequences in the epicontinental basin are of binary configuration, i. e., the sequence model of "transgressive systems tract—highstand systems tract".

Key words: epicontinental sea basin, sequence stratigraphic framework, sea-level change