

文章编号: 1000-0550(2000)03-0362-07

鲁西陆表海盆地高分辨率 层序划分与海侵过程成煤特点^①

李增学 魏久传 韩美莲

(山东科技大学地球信息科学与工程学院 山东泰安 271019)

摘要 晚石炭世至早二叠世华北陆表海盆地的高频海平面变化,是盆地充填和聚煤作用的主要控制因素,因而形成了旋回结构十分清楚的含煤层序。本文运用高分辨率层序地层学的思路、分析技术,研究了鲁西陆表海盆地含煤地层的高分辨率层序地层学特征,识别和划分了中长期和中、短期基准面旋回。研究表明,突发性的海侵事件对陆表海盆地聚煤作用具有重要影响,海侵过程成煤为鲁西煤聚积的显著特点。

关键词 高分辨率层序 海侵过程成煤 基准面旋回 鲁西

第一作者简介 李增学 男 1955 出生 教授 博士 煤地质学与沉积学

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

涉及的范围系沂沭断裂以西山东诸煤田,以鲁西南煤田为重点。笔者对鲁西煤田煤系剖面千余个钻孔和测井柱状,以及10余个钻孔岩心进行了详细的实测与沉积学研究。运用当代层序地层学的研究思路,尤其运用高分辨率层序地层学的分析技术和方法,识别和追踪各级层序界面,研究了相序特点和沉积体系类型,以及不同旋回级次的基准面变化对沉积体系、相叠置、盆地充填的控制作用。海侵过程成煤是鲁西陆表海盆地充填沉积中的主要事件,因此,本文运用高分辨率层序地层学观点,分析了高频海平面变化与陆表海盆地煤聚积的成因联系。

1 鲁西陆表海盆地充填沉积特点

1.1 高分辨率层序地层单元级次

鲁西的石炭二叠纪含煤地层包括了从晚石炭世至晚二叠世的所有地层,而晚石炭世至二叠世早期的含煤岩系应归属于陆表海盆地海陆交替型沉积。

笔者运用高分辨率层序地层学的思路与方法,对鲁西陆表海盆地含煤地层进行高分辨率层序划分时,认为 Cross^[1]等提出的高分辨率层序地层学理论和方法,在海陆交替型含煤地层的层序地层研究中也很实用。近年来层序地层学出现了几种流派,如“沉积层序”派,“成因层序”派,“高分辨率层序”派等。而笔者认为,学派的层出不穷是促进学科发展的好现象,但不能将它们完全对立起来,因为盆地类型繁多,控制充填沉积的驱动机制也有多样性,应该取长补短,发展和完

善层序地层学分析系统和理论体系。因此,笔者在对陆表海层序级次进行划分时,充分考虑了 Wagoner 等的层序地层分级体系,对于更低级次的层序划分则充分吸收了 Cross 等人的研究思路。

将鲁西完整的陆表海充填序列划分成七级层序。一级为盆地充填层序(basin-fill sequence),相当于 Vail、Wagoner 等的层序地层概念体系中的巨层序(magasequence)。盆地充填层序是指盆地充填沉积的整体,由一系列沉积组合组成,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。二级为构造层序(tectonic sequence),相当于超层序(supersequence),是一个原型盆地充填沉积的总体。因不同原型盆地是在不同构造体制中发育形成的,因而原型盆地的充填通常是由大范围内构造运动界面为界的、有相对较长的沉积间断。也可以说,原型盆地有其独特的盆地动力学体制。一个原型盆地的充填序列事实上是一个构造层序^[2]。鲁西陆表海盆地充填沉积为一个构造层序(图1)。三级为层序(sequence),为层序地层学中的基本层序。四级层序与体系域大致相当,或与 Vail 层序中的小层序组(parasequence set)大体相当,即周期为 0.1~0.15 Ma 的层序^[3]。五级与小层序(parasequence)大致相当,即周期为 0.01~0.02 Ma 的层序。四级与五级层序与 Wagoner 等人所称“高频层序”(high-frequency sequences)基本对应。六级和七级层序也可以称微层序,是更高分辨率的层序单元,即是在基准面短周期(旋回)中形成的层序,笔者

① 国家自然科学基金项目(批准号:49872057)资助

传统地层划分		柱状 示意	华北生物地层划分(据何锡麟等, 1995)					本文层序地层划分					
统	组		统	组	笔 蛭 类	牙形刺	古植物	统	组	构造 层序	层序	层序界面	序填 序列
上二叠统	石千峰组		上二叠统	石千峰组	缺	缺	缺	上二叠统	石千峰组	3	V	RR	陆相河湖充填序列
	上石盒子组			上石盒子组					2	IV			
下二叠统	下石盒子组		下二叠统	下石盒子组	缺	缺	<i>Emplectopteridium alatum</i> - <i>Taeniopteris mystroemii</i> zone	下二叠统			山西组	1	III
	山西组			山西组					II				
上石炭统	太原组		上石炭统	太原组	<i>Pseudoschwagerina</i> - <i>Pseudofusulina</i> <i>Chlamoschwagerina</i>	<i>Streptognathodus</i> - <i>Gracilis</i> - <i>S. elongatus</i> - <i>S. wabamensis</i> zone	<i>Lepidodendron Szeianum</i> - <i>Neuropteris ouata</i> zone	上石炭统	太原组	1	I	MR	
				晋祠组									
本溪组			本溪组	<i>Fusulina</i> - <i>Fusulinella</i> - <i>Taitzehoella</i> zone	<i>Idiognathodus delicatus</i> - <i>Neognathodus magnificus</i> zone	<i>Linopteris Neuropteroides</i> <i>Gonchophyllum Richthofeni</i> zone	本溪组				TC		

图 1 鲁西石炭二叠系层序和构造层序及界面

RR. 区域性海退事件界面; MR. 最大海退事件界面; TC. 区域构造运动界面

Fig. 1 The sequences and tectonic sequences and its boundaries of Permian-Carboniferous in West Shandong province

在陆表海盆地层序地层格架(三级层序以上)内进行了短周期层序的识别与划分, 并进行了全研究区的对比, 在此基础上进行了成煤古地理分析, 取得了较为满意的效果。

1.2 陆表海盆地充填沉积特点

鲁西陆表海盆地充填沉积主要由三套沉积组合组成: (1) 滨岸平原冲积-风化壳沉积组合, 这是华北陆台自晚石炭世整体下降接受沉积以来第一套沉积组合, 主要由杂色铁铝质泥岩、杂色粘土岩、砂岩等组成, 相当于本溪组下段。(2) 潮坪-障壁-泻湖及浅海碳酸盐沉积组合。这是陆表海盆地海陆交替型充填沉积的典型沉积组合, 以多层碳酸盐岩、多层煤层与泥岩、砂质泥岩和砂岩的交互出现为特点。潮坪沉积组合、泻湖沉积组合、碳酸盐台地沉积组合、夹障壁砂坝组合呈周期性叠复, 旋回结构十分清楚, 构成一种大型海陆交替型沉积组合序列。该套组合序列实际上是由多套相似的沉积组合有规律叠置构成的。主要发育于本溪组上段和太原组。(3) 浅水三角洲沉积组合, 为陆表海盆地上部的充填沉积, 是在陆表海发生大规模海退期间海水南退 整个华北聚煤盆地地势出现明显差异的情

况下, 建设性三角洲广泛发育, 而且聚煤作用加强, 形成了以砂质沉积为主, 夹泥质沉积和煤层的典型的浅水三角洲平原沉积组合, 发育于山西组。由于陆表海盆地演化的后期, 海平面变化、盆地构造活动、气候和沉积物供给等条件都发生了明显变化。如海平面下降, 海水南退, 盆地由稳定到构造活动加剧, 盆地地势的北高南低势态加剧, 气候由潮湿变干燥, 导致沉积物供给速度加大, 最终导致建设性三角洲发育。随着三角洲发展到废弃阶段, 海水已完全退出华北地台, 陆表海盆地消亡, 转变为陆相河湖盆地。

1.3 鲁西石炭、二叠系界限的讨论

对于石炭系与二叠系间的界限, 仍存在较大的争议, 与国际上尚未完全接轨。近年来有关石炭系二分、二叠系三分和石炭、二叠系界限的成果不断涌现, 这三个问题也开始明朗化, 将逐渐趋于一致。国际上是以笔蛭类动物群 *pseudoschwagerina* 带之底 *Triticites* - *Montiparus* 带之顶作为石炭系与二叠系的分界。在鲁西地区, 位于太原组底部的第十一层石灰岩, 产 *Quasifusulina*, *Rugosofusulina* 笔蛭和 *Streptognathodus elongatus* *S. gracilis* 等牙形石化石 而第十二层石灰

岩所含生物化石特征与第十一层灰岩有显著差异。笔者认为,在鲁西南煤田,将二叠系与石炭系分界线放在第十一层灰岩与第十二层灰岩之间比较合适。这一界限与笔者三级地层序划分方案基本一致(图 1)。这样,太原组的很大部分(第十一层灰岩以上)就归入了二叠系。

2 基准面旋回的识别

Cross 认为,基准面是一种相对于地球表面波状升

降的、呈连续状的且略向盆地方向下倾的抽象面,基位置、运动方向及升降幅度随时间推移不断地发生着变化^[1]。而 Shanley 和 McCabe^[4]指出,相对海平面变化是大陆边缘和浅海环境基准面比较好的替代物,而河流平衡剖面、湖平面及地下潜水面可分别代替河流环境、湖泊环境及沙漠的基准面。应用基准面旋回分析方法和技术,对于识别与对比小层序(五级层序)及以下等级的低级别层序具有实际意义。

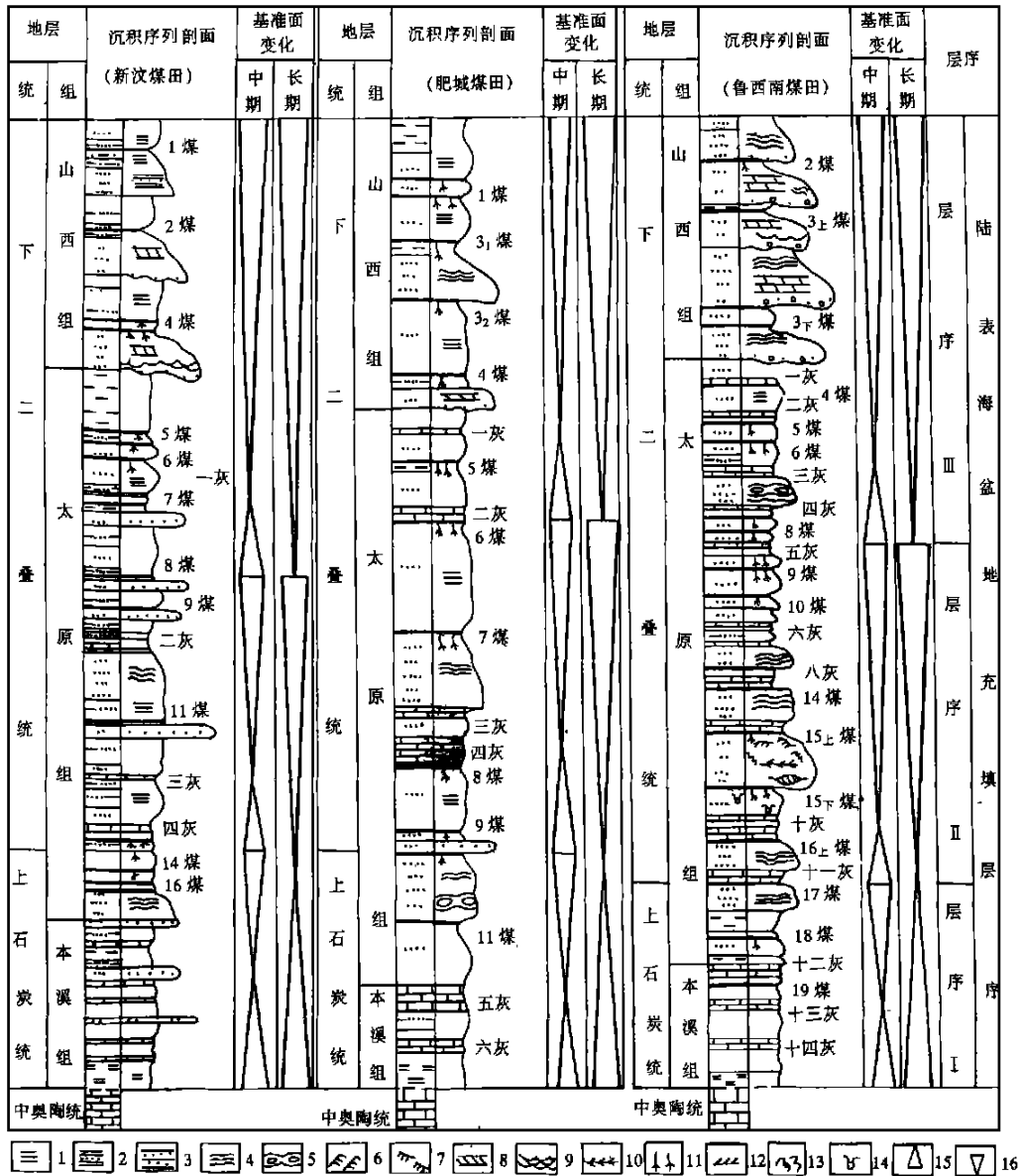


图 2 鲁西陆表海盆地中长期基准面旋回特点和层序划分

- 1. 水平层理; 2. 互层层理; 3. 平行层理; 4. 波状层理; 5. 透镜状层理; 6. 沙纹层理;
- 7. 水流波痕层理; 8. 板状交错层理; 9. 槽状交错层理; 10. 青鱼骨层理; 11. 根化石;
- 12. 植物化石碎片; 13. 生物扰动构造; 14. 虫孔; 15. 基准面上升; 16. 基准面下降

Fig. 2 Characteristics of the mid- and long-term base-level cycles and sequence division in the epicontinental basin of Western Shandong Province

2.1 陆表海海平面升降的高频率和不同周期复合特点

基准面旋回具有周期性, 那么在地层记录上必然留下旋回性标志。空间上的旋回性表明了时间上的周期性, 但地表记录上旋回性的缺乏不一定说明时间上周期性的缺乏, 因为有些时间的周期性而无地层记录或记录被破坏掉了。Miall 提出了旋回中含旋回^[5] (cycle within cycle) 的观点, 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旋回(周期)相叠加的海平面变化特点, 即复合海平面变化周期。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, 长周期的海平面变化中叠加了中、短周期的海平面变化。长周期海侵过程中有短周期的海退发生, 而长周期海退过程中有多次短周期海侵事件发生。总起来看, 鲁西晚古生代陆表海盆地沉积地层是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, 而紧接着则是一种比较均衡的沉积过程。陆表海盆地的海水快速进退事件属于瞬时事件, 但在水体加深作用过程中也会产生非常慢的沉积作用。海平面升降变化导致了容纳空间增长速率、海底水体环境的周期性变化, 从而形成海陆交替旋回性明显的沉积记录, 为高分辨率层序划分提供了物质基础。

2.2 中、长周期基准面旋回的识别和高级别层序的响应

对于华北晚古生代大型陆表海盆地, 由于其基底的极平缓 and 当时盆地构造活动的相对平稳, 因而中、长周期的相对海平面变化旋回比较清楚, 且规律性显著。图 2 为山东新汶煤田、肥城煤田与鲁西南煤田陆表海海陆交替型含煤岩系中长期地层基准面旋回与三级层序对应关系。中奥陶世以后, 华北地台长期处于基准面下降时期, 长时间遭受剥蚀。至晚石炭世, 基准面上升, 尔后上升速度逐渐加快。晚石炭世晚期, 基准面上升幅度达到最大, 因而海侵达到最大范围。早二叠世, 陆表海盆地实际出现了两个较大幅度的基准面下降阶段。早二叠世早时总体下降速度是缓慢的, 而晚时则下降速度较快, 以致海水退出华北盆地。华北陆表海盆地基准面旋回实质上可以用相对海平面变化替代, 因为晚古生代华北陆表海盆地的高频海平面变化是海平面变化、构造沉降、气候及沉积物供给综合作用的结果, 其中构造、气候和沉积物供给速度相对比较稳定, 海平面变化是主导因素。

最终划分结果是 3 个长周期基准面旋回形成了 3 个三级层序 但就整个陆表海盆地而言 前 2 个旋回

为欠补偿, 可容纳空间与沉积物供给量比值(A/S 值) 大于 1, 后一个旋回的 A/S 值小于 1, 可容空间迅速减小, 因而有效可容空间向盆地方向迁移, 旋回呈不对称性。而其间的中短期基准面旋回以 A/S 大于 1 为主, 出现多个 $A/S=1$ 的短周期, 因而有泥炭堆积最终形成煤层。

中期基准面旋回与三级层序中的体系域大致对应, 大规模的海侵(海泛)事件是由于中期基准面的上升引起的, 由于沉积的滞后作用(效应), 在基准面上升最大期后沉积了厚层石灰岩, 在陆表海充填沉积中出现了 3 次, 代表了 3 次大的基准面上升达最高点位置引起的海侵事件沉积。这是一个欠补偿状态下的密集段沉积, 该层位上下分别为不同的体系域: 海侵体系域和高水位体系域。

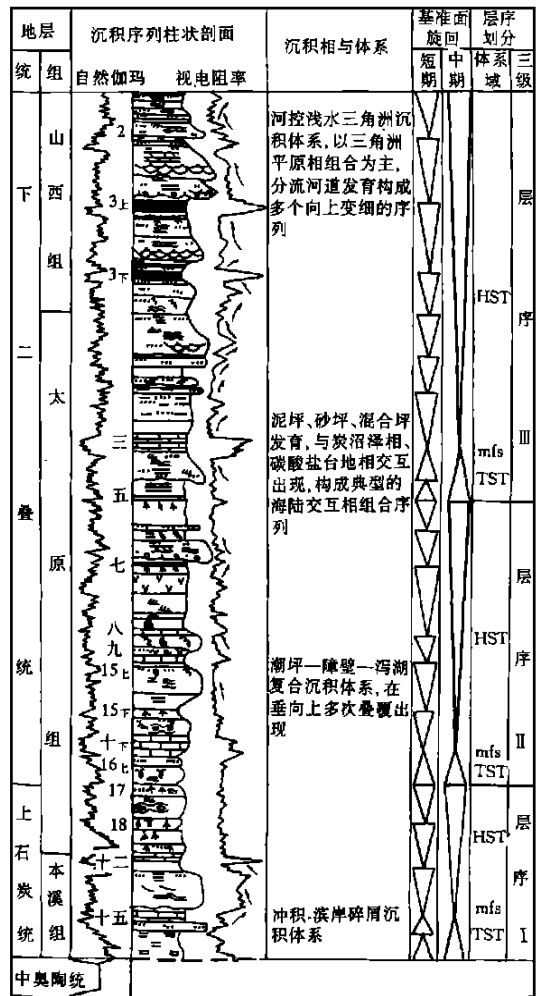


图 3 鲁西南煤田陆表海盆地中、短期基准面旋回
Fig. 3 The mid term and short-term base-level cycles of the epicontinental basin in West Shandong province

2.3 短期基准面旋回和低级层序的响应

根据基准面旋回沉积的地层特征, 即单一相物理

性质的垂向变化、相序与相组合变化、旋回叠加样式的改变、地层几何形态与接触关系等^[6]，在陆表海盆地充填沉积中、长周期旋回中可以进一步识别出短期旋回。海陆交替型沉积的突出特点是海相沉积(如海相灰岩、泥灰岩和海相泥岩等)与陆相沉积物交互出现，构成多个旋回。而海相灰岩直接覆盖于煤层之上又是陆表海盆地沉积的一个显著特色。在垂向上组成了多个向上变浅的旋回层序。通过对鲁西南煤田晚古生代陆表海充填层序中短期基准面旋回的识别，可划分出 18 个短期旋回(相当于小层序)(图 3)，多为不对称旋回，其间以突发性海侵面、泥炭化事件界面和冲刷界面分开。每个短期旋回的相序特点是：浅海碳酸盐沉积开始—潮坪泥炭沼泽沉积结束，其间的相略有差异。概括起来有如下 4 类相序列：①碳酸盐台地相→潮坪相组合→潮坪泥炭沼泽相；②碳酸盐台地相→泻湖相组合→滨海沼泽及泥炭沼泽相；③碳酸盐台地相→障壁坝组合→坝后沼泽及泥炭沼泽相；④前三角洲相→浅水三角洲平原相组合→沼泽及泥炭沼泽相。前三类为欠补偿弱加积型沉积相组合，可容空间与沉积物补给通量比值(A/S)大于 1，逐渐变化为接近于 1。反映一种基准面由快速上升到逐渐减小，再变化至逐渐下降的过程。快速上升阶段的持续时间比较短，尔后是一种缓慢下降及沉积物缓慢堆积的过程。后一类则是一种超补偿加积型相组合序列，反映基准面快速下降、沉积物快速向盆地方向推进的过程。

在陆表海盆地充填沉积的早中期，以前 3 类相组合的多次叠复为特征，基准面的短期旋回变化具有高频性，此期的高频相对海平面变化为其极好的替代物。

3 高分辨率层序地层划分

在基准面旋回识别和对比分析的基础上，以基准面旋回界面作为划分层序及内部单元的边界进行高分辨率层序地层划分。如前述，本文将层序级别划分为七级，1~3 级为高级别层序，可以通过长周期基准面旋回的识别与对比进行划分。4~7 级为低级别层序，

即高分辨率层序，可通过短期基准面旋回的识别与对比进行划分。由于晚古生代华北陆表海盆地大的海平面变化事件已基本对比清楚，认识上也比较一致，多年来对华北聚煤盆地成煤环境、煤聚集规律的研究^[7-9]，对比并不困难。而短期基准面旋回的识别与对比则难度较大。笔者对鲁西煤田陆表海海陆交替型地层基准面旋回研究表明，可以比较清楚地划分出 18 个短期旋回(图 3)，其对应的层序为五级层序(相当于小层序)。通过更详细的对比和识别，笔者认为，在此基础上还可以更进一步识别出更短期的基准面旋回，即相当于六级和七级层序的基准面旋回，但其对比的难度更大。

4 鲁西海侵过程成煤特点

海退成煤作用的研究成果较多，但海侵过程成煤作用的研究则显得比较薄弱。近年来国外学者曾对海侵过程成煤进行过较为系统的研究，提出了边缘海盆地海侵过程成煤模式^[10]，较为系统总结了其煤层剖面特点，并认为煤层顶板直接为深水海相层而非陆相冲积沉积是比较直接的海侵成煤标志。如鲁西大面积稳定分布的以海相灰岩、海相泥灰岩和含丰富海相动物化石泥岩等为顶板的煤层，多为海侵过程中形成。其中有些煤层是在中长期基准面上升过程中形成，有些煤层则是在短期基准面上升中形成的。

在层序 II 海侵体系域单元顶部的煤层(鲁西南为 16_上 煤层；肥城煤田为 8 煤)(图 4)，顶板为厚层海相灰岩，煤层中含有大量黄铁矿结核(甚至成层)。在山东地区，该层煤呈现南薄北厚特点，反映出海水由南而北侵入时对潮坪泥炭沼泽的影响程度。基准面上升，即相对海平面上升导致海侵事件发生，普遍泥炭沼泽化的潮坪覆水深度迅速增大。海侵也呈现出由南而北推进的过程，使北部区相对南部区泥炭沼泽发育时间相对较长。基准面的大幅度上升造成大范围海侵事件发生，使已堆积的泥炭很快处于深水还原环境，泥炭得以保存而成煤，而其上则沉积了厚层海相沉积。经笔

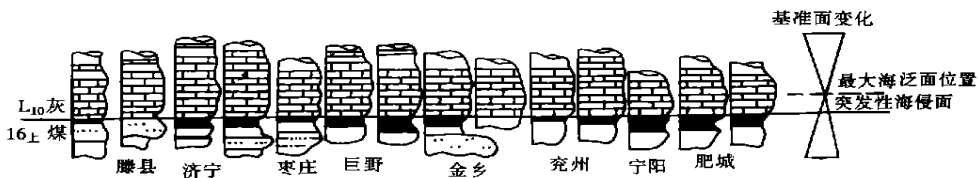


图 4 鲁西煤田层序 II 海侵煤层与厚层海相层的组合关系

Fig. 4 The combination of transgressive coalbeds and the thick main beds in the sequence II of Western Shandong coalfields

者研究,鲁西海侵煤层具有下列一些基本特征:①小层序为向上变细型;②大面积分布的煤层之上直接覆盖典型的海相层,小层序顶界面为海泛面或最大海泛面;③煤层厚度与小层序内砂体的分布具有成因联系,富煤带发育于砂体薄甚至无砂体分布区域;④长期基准面旋回中的海侵煤层多发育于海侵体系域,短期基准面旋回中的海侵煤层多发育于高水位体系域。

5 几点认识

笔者通过对鲁西陆表海陆交替型含煤地层地层基准面旋回的识别与对比分析,以及与层序地层单元响应的分析,得出以下几点认识:

(1) 由于陆表海盆地的构造活动相对稳定,因而基准面旋回可以用海平面升降旋回替代,亦即海平面变化级次与基准面旋回周期可以基本对应。

(2) 地层基准面旋回分析技术与方法应用于陆表海盆地海陆交替型含煤地层高分辨率层序划分中,具有很强的实用性,尤其是进行五级以下(包括六级、七级)层序的划分具有实际意义。

(3) 沉积层序的分析方法与高分辨率层序地层分析方法应是相容的、互补的,例如进行大层序、超层序及三级层序划分,利用地震地层、层序地层方法进行识别、追踪与对比是比较适宜的,而对于四级以下的低级别层序划分与对比则用地层基准面旋回分析方法比较适宜。

(4) 层序地层学的发展与完善应是多学科、多方

面互相包容和相互补充的结果,不同思路和分支理论的提出对促进层序地层的发展应起到推动作用,而不是相互抵触。

参 考 文 献

- 1 Cross T A. High-resolution stratigraphic correlation from the perspective of base-level cycles and sediment accommodation. In: Proceeding of Northwestem European Sequence stratigraphy Congress. 1994. 105 ~ 123
- 2 林畅松,杨起,李思田. 贺兰拗拉盆地充填演化分析[M]. 北京:地质出版社, 1995. 14~23
- 3 Mitchum R M, Van Wagoner P T. High-frequency sequence and their stacking patterns: sequence stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles[J]. Sedimentary Geology. 1991, Vol. 70: 131~160
- 4 Shanley K W, McCabe P T. Perspectives on the continental sequence stratigraphy[J]. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol. 1994, 78(4): 544~568
- 5 Miall A D. Principles of Sedimentary Basin Analysis (Second Edition). Springer-verlag New York Inc. 1990. 446~493
- 6 邓宏文,王洪亮,李熙喆. 层序地层学基准面和识别对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 3: 177~184
- 7 韩德馨,杨起. 中国煤田地质(下册)[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1980. 101~151
- 8 陈钟惠,武法东. 华北晚古生代含煤岩系的沉积环境和聚煤规律[J]. 武汉:中国地质大学出版社, 1993. 91~123. 129~131
- 9 尚冠雄. 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. 105~115; 160~188
- 10 Diessel C F K. Coal-bearing depositional systems—facies and depositional environment; 8. Coal formation and sequence stratigraphy[M]. Springer-verlag, 1992. 462~51

The Division of High-resolution Sequences and the Transgressive Coal Formation in the Epicontinental Basin of the Western Shandong Province

LI Zeng-xue WEI Jiu-chuan HAN Mei-lian

(Shandong University of Science and Technology, Tai'an Shandong 271019)

Abstract

The high-frequency sea level changes in the North China epicontinental basin from the Late Carboniferous to Early Permian are the main factors controlling the basin-filling and coal accumulation. The coal-bearing succession, therefore, has distinct cycles. The sea level changes in the North China epicontinental basin were composite sea level changes. The long-term sea level changes are superposed by shorter-term cycles, the mid-term and short-term sea level changes. There were short-term retrogressive events in the process of long term transgressive period, and multiple short periodic transgressive events superposed on the long-term transgressive period. Study shows that the base-level cycles in the North China epicontinental basin may be substitute by the relative sea level cycles, because the high-frequency sea level changes in the basin are the integrative results of the sea level changes, the tectonic subsidence, the climate changes and the sediment supply. The later three factors, the tectonics the climate and the sediment supply were relatively stable. The sea level changes thus become the domi-

nant factor.

Using the thought and methodology of high-resolution sequence stratigraphy, the authors investigate the characteristics of the high-resolution sequence stratigraphy of the coal measures in the Western Shandong, identify and divide the mid-long term and mid-short term base-level cycles. Three long-term base-level changes lead to the formation of three third order sequences. The mid-term base-level cycles are approximately corresponded to the systems tracts. Large-scale marine flooding events were caused by the mid-term base-level rise. Because of the hysteresis of the deposition, the thick-bedded limestones were deposited in the period of maximum base-level rises, which occurred three times in the history of the epicontinental basin, representing the depositions of three times of maximum base-level rises. The outstanding feature of the paralic succession is the alternative occurrences of the marine and terrestrial depositions, forming multiple cycles. That the marine layers directly superposed on the coalbeds is another feature of the deposition in the epicontinental basin. Eighteen short-term base-level cycles may be recognized in the epicontinental succession of the Western Shandong. Most of cycles are asymmetric, separated by episodic transgressive event surfaces, peatification event surfaces and large scope of scouring surfaces. The short-term base-level cycles are of high frequency.

The identification and correlation of short-term base-level cycles help to the division of high-resolution sequence. The study of the epicontinental paralic base-level cycles in the Western Shandong indicates that the eighteen short-term base-level cycles are corresponded to eighteen fifth-order sequences (corresponding to the parasequences). The episodic transgressive events have great effect on the coal accumulation in the epicontinental basin; coal formation in the transgressive process is the outstanding feature of the coal formation in the Western Shandong coalfields. The transgressive coalbeds in the long-term base-level cycles develop in the transgressive systems tracts, while the transgressive coalbeds in the short-term base-level cycles occur in the high stand systems tracts.

Key words high-resolution sequence stratigraphy coal formation in the transgressive process base-level cycle Western Shandong Province

(Continued from page 354)

Formation.

Synthesizing depositional character of the Duoba Formation, a depositional model can be reached. It is a mixed sediments model near shore for carbonates and terrigenous clastics, with plentiful supply of clastic and a gentle slope. From land to sea, there are two parts in the model; one by land is tidal-flat, and the other is carbonate platform, between them develops mixed sediments of low-energy subtidal facies.

From the south to the north, difference in depositional feature is obvious within narrow basin area of the Duoba Formation along east and west in Cuoqin basin. During deposition of the Duoba Formation, there are two carbonate platforms about Guiya-Lunpola and Dongcuo, and Geji-Yanhu may be the third.

Palaeotectonic system clearly controls distribution and depositional feature of the Lower Cretaceous including the Duoba Formation in Cuoqin basin. Bounded by Jiangma-Geang lake fracture, the south near the Gangdisi Arc develops pyroclastic sediments with 2000 meters thick near Cuoqin, and its sedimentary environment is wedge-top and foredeep of foreland basin. This set of stratum is called Zhenong Formation (K₁zl). On the contrary, the north develops mixed sediments of carbonates and terrigenous clastic. Its sedimentary environment is foredeep and forelift. This sediments forms the Duoba Formation. Clastic material mainly come from Gangdisi Arc and wedge-top. Towards basin uplift near Bangong lake-Nu river fracture belt, carbonate rock in strata increases, and formation thickness reduces and gradually pinch-outs. These obviously show a sedimentary fracture of foreland which is controlled by thrust belt.

Key words Tibet foreland the Duoba Formation depositional environment