

文章编号: 1000-0550(2003)02-0288-10

陆表海盆地海侵事件成煤作用机制分析^①

李增学 余继峰 郭建斌 韩美莲

(山东科技大学 山东泰安 271019)

摘要 研究了含煤地层中海侵事件沉积序列,即海侵沉积与煤层直接接触的组合特点,总结了海侵事件和海侵事件成煤特点,提出了陆表海聚煤盆地海侵事件成煤作用理论及海侵事件成煤机制。研究表明,陆表海盆地充填沉积序列中,既有海退成煤作用又有海侵成煤作用发生,而且,海侵事件为陆表海盆地海平面变化的典型特色,海侵的突发性是海侵事件的基本属性,其沉积具有等时性。海侵事件导致盆地事件型聚煤作用发生。本文还深入讨论了海侵事件成煤机制及其在含煤地层层序地层界面识别、层序地层单元划分的重要意义和作用。

关键词 海侵事件 事件聚煤作用 陆表海盆地

第一作者简介 李增学 男 1954年出生 博士 教授 沉积学、煤地质学及层序地层学

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 传统成煤理论和模式面临的挑战

传统的成煤作用理论或以往大多数煤地质研究者认为,成煤作用发生在一个水进水退旋回中的水退期,即水(海)退成煤模式或称为“陆相成煤模式”。可以说,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。Diessel^[1]指出,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。

随着含煤地层的层序地层研究不断深入和煤地质

学者的不懈探索,近年来发现某些煤层不是在海退期间形成,而是在海侵过程中形成。Diessel^[1]、Riegel^[2]等、邵龙义等^[3]、李增学等^[4]都对海侵过程成煤作过不同程度的论述,Diessel还提出了海侵过程成煤模式,因此占统治地位的海退成煤或陆相成煤理论和模式受到挑战。海侵、海退是地质学中古老的基本概念,人们基于对现代海湾过程的观察与分析,采用将今论古的方法建立了海侵、海退的基本模式。普通的地层超覆和退覆规律早已被人们所接受,并成为恢复古海平面变化特点的重要依据。均变理论一直是地质学理论的支柱之一。例如人们普遍接受这样的海侵定义:海侵是海水逐渐地、缓慢地漫漫到陆上,海岸线逐渐后退的地质过程。反映在沉积上,则可以看到海相沉积物由海及陆的各种相带依次向陆地方向超覆,在垂向层序上则为比较完整的海→陆相序;海退序列则反之,也是比较完整的相序。但是,人们在研究海平面升降变化、海侵与海退过程中,发现灾变或突变在盆地沉积动力机制中也是比较重要的现象。事件地层学的形成与发展给盆地充填沉积分析带来了新思路。

2 海侵过程成煤

Diessel比较系统地总结了边缘海盆地海侵过程成煤的基本特点,主要基于对煤层剖面的详细研究,如镜质体反射率、结构镜质体含量、煤中硫的同位素比值及 TPI 指数等指标的向上减少;结构镜质体的荧光强度、镜质体含量、黄铁矿及硫份含量、煤中碎屑显微组分、煤的挥发份含量以及 H/C 原子比等指标向上增加

① 国家自然科学基金项目(批准号:49872057)资助

收稿日期:2002-04-01 收修稿日期:2002-06-12

等都是海侵过程的基本证据。Diessel 还认为煤层顶板直接为海相沉积而不是陆相冲积沉积是最直观的海侵成煤标志。依据他的这一观点,华北陆表海盆地充填沉积中的大部分海相灰岩与煤层组合,可以归为海侵成煤组合。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,这一理论认为:随海侵进程,成煤作用逐渐向陆上迁移,成煤作用与海侵过程密切相关,先形成的泥炭被海水淹没,这样所形成的煤层具有穿时性(图 1)。这一成煤理论和模式来源于边缘海盆地聚煤作用分析成果,对煤地质学理论是一贡献,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,无论煤层顶面还是底面能否成为一种层序单元界面,需要重新厘定和认真研究。

海侵体系域成煤^[5]与海侵过程成煤的基本点是一致的。海侵体系域成煤主要是从层序的结构特点分析,是指在一个层序的海侵体系域成煤,与高水位体系域成煤是相对的。海侵体系域成煤模式确实是对过去成煤作用模式中仅有海退旋回成煤或高水位体系域成煤,且煤层位于旋回顶部的成煤模式的重要突破。以往煤田地质研究者大多把煤层的形成与其下伏沉积物进行成因联系,作为恢复成煤环境的方法之一,并认为煤层为陆相成因。所谓“海陆交替型含煤岩系”这个概念本身就带有比较浓厚的煤层为陆相成因的色彩。

海侵过程成煤和海侵体系域成煤模式的提出是对煤地质学基础理论的丰富与发展,可以说是层序地层学理论和方法系统促进了煤地质学的发展,因此,当代层序地层学尤其是高分辨率层序地层学理论的形成,

必将为含煤盆地研究提供新的思路,使成煤模式多样化。

3 海侵事件与事件成煤机制

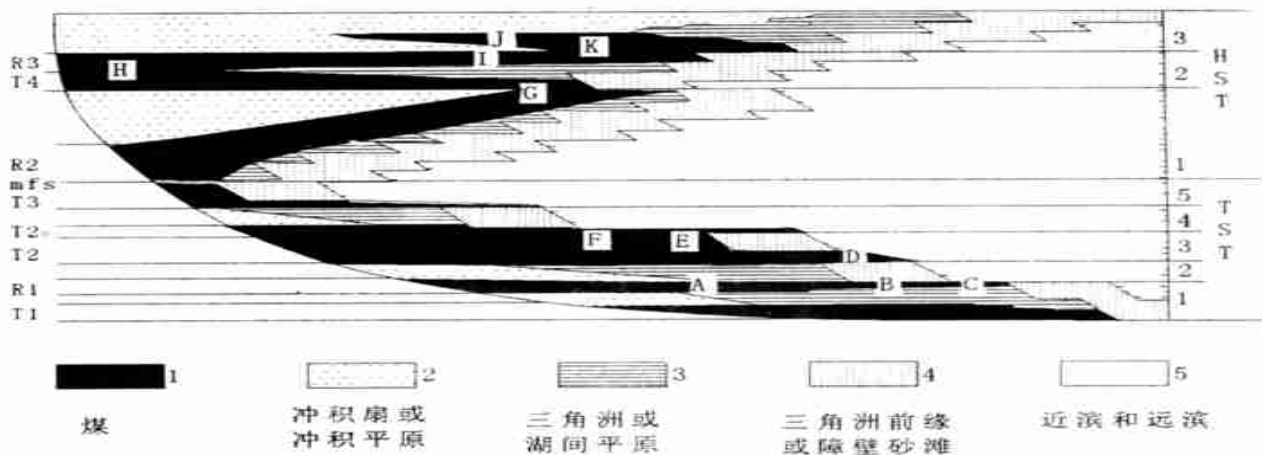
3.1 海侵事件研究进展

根据我国石炭、二叠系陆表海充填沉积中浅海相突然大面积覆盖在陆相沉积物之上,两者之间有明显相序缺失的现象,何起祥等^[6]提出事件型海侵(event transgressive)或突发型海侵(episodic transgressive)的概念,并认为这种海侵现象为一种快速突发的海水侵漫事件,表现在沉积上为相序明显的不连续,即看不到海水逐渐侵进的沉积记录。

Vail Wagoner 等人提出的层序地层学,是以海平面变化为主要机制建立层序地层格架,进行层序地层单元配置(如体系域、准层序等)的,这里提到的海平面变化、海水进退实质上就是一种边缘海盆地普通的海侵、海退现象。笔者认为这在层序地层模式中仍反映出一种海平面变化均变理论,并没有考虑到不同盆地类型中海侵的突发性问题,而突发性海侵及其相应沉积记录的地质意义是不容忽视的,对于陆表海盆地层序地层划分及聚煤作用来说,更具特殊意义。

近年来有关华北陆表海聚煤盆地海平面变化、煤聚积规律特点及层序地层研究取得了重要的进展^[7-13],丰富了煤地质学的研究内容,也为陆表海盆地成煤作用及其模式的研究带来重要思考。

首先,由于华北晚古生代陆表海盆地的特殊古地理背景(如极为低平的盆地基底等),海侵过程常具快速侵进的特点,与普通的海侵过程相比具有“事件”性质,在沉积记录上表现为水体深度截然不同的沉积组



T1 R1 T2 R2 T3 R3 T4 煤层: A B C... K 相对位置: HST 高水位体系域, TST 海侵体系域, mfs 最大海泛面

图 1 层序地层环境中成煤模式图解(据 Diessel, 1991)

Fig. 1 Diagrammatic model of a number of sequence-stratigraphic setting of coal seams(after Diessel, 1991)

合直接接触,其间具明显的相序缺失(非侵蚀间断缺失),海侵层在时空上具有较好的稳定性和等时性。华北晚古生代含煤地层中常见到海相石灰岩大面积直接覆盖在浅水或暴露沉积物上,且具有多旋回性,这一现象是比较典型的突发性海侵导致的结果。这种突发性海侵对陆表海盆泥炭沼泽的发育与中止、泥炭的堆积与保存,起到了主控作用。

其次,晚古生代华北陆表海盆地海平面变化具有高频率和复合性的特点,即晚古生代海平面升降周期频数多、级次复杂、相互叠加,在其控制下形成了一套所谓海、陆交替型的沉积,总体上符合 Miall^[14]总结的“旋回含旋回”(cycle with cycle)特征,且又具独特性,即快速的海侵过程、振荡性的变化频率,构成复合型海平面变化:长周期的海平面升降变化周期中叠加了中、短期的海平面波动变化;长周期的海退过程中具有多次短周期的海侵事件;同样,海退过程中也可能有短周期的海退变化。海平面升降变化与海侵、海退过程应是有本质区别的两种概念,海侵、海退是海平面升降、盆地构造沉降、气候等多因素综合作用后海岸线的相对变化。

通过对鲁西地区晚古生代陆表海盆地充填沉积进行高分辨层序地层划分(图 2),参考邻区(如两淮和河南)资料综合分析,可以看出,高级别海平面变化中叠加了低级别海平面变化,突发性海侵形成了海侵成煤小层序,这些典型特征成为陆表海盆地高分辨层序划分的重要依据。

总起来看,华北陆表海盆地晚古生代海平面变化特点(即突发性海侵、高频复合海平面变化周期)控制了陆表海盆地的充填沉积和煤聚积作用,而且,聚煤作用特点也显著不同于其它类型的盆地。

3.2 海侵事件成煤特点

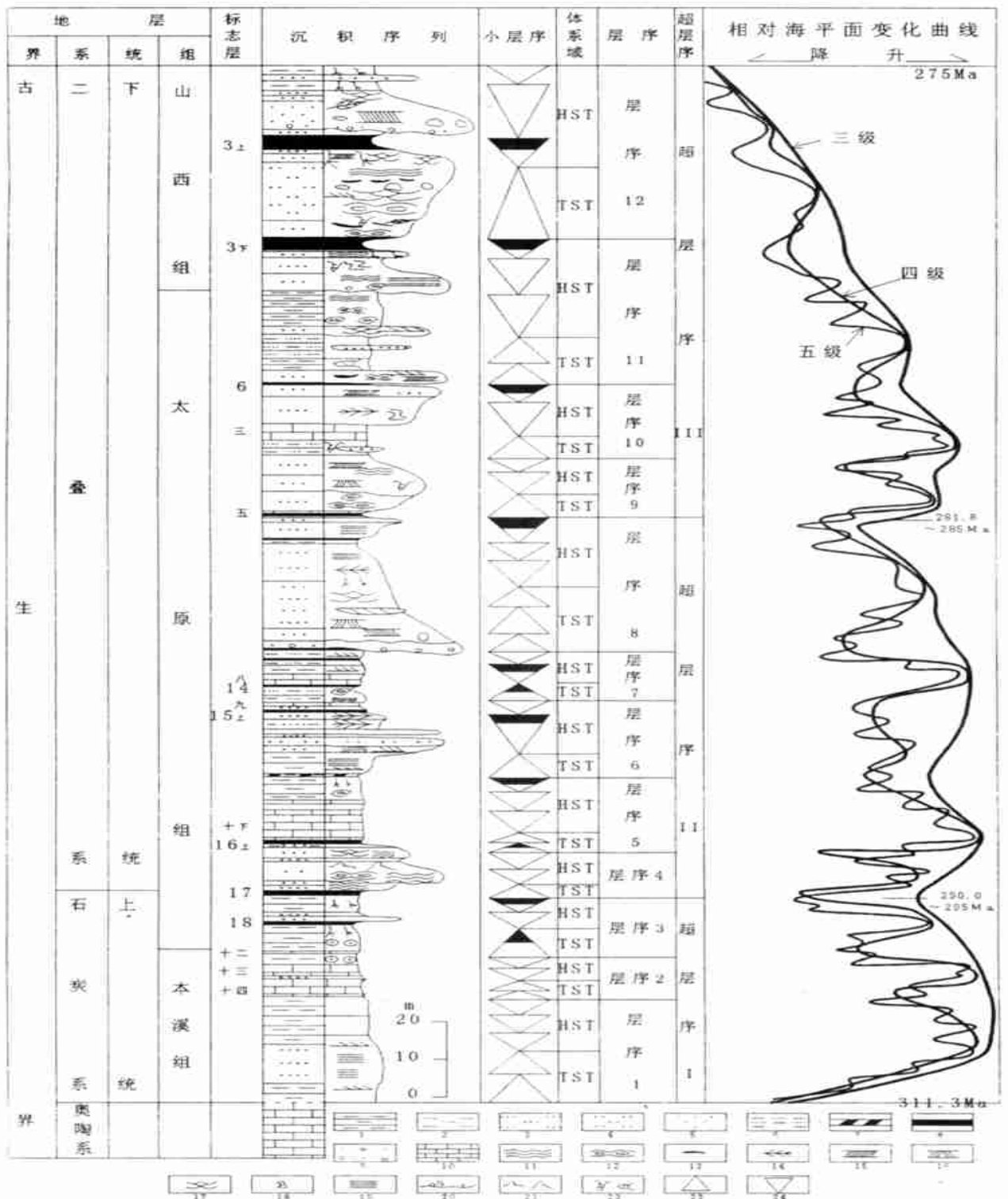
海侵过程成煤模式源于边缘海盆地聚煤作用的分析成果,笔者认为这一模式不能完全适用于陆表海盆地,尤其是在像华北巨大碟型陆表海盆地,其形成的地质背景和充填机制具有特殊性,与边缘海盆地有着根本上的差异。首先,边缘海盆地的海侵过程是逐渐向陆侵进的,而华北聚煤盆地属大型内陆表海,为板内波状拗陷型聚煤盆地,其基底极缓的古坡度($< 0.001^\circ$)而难以形成侵蚀成因的角度不整合^[10]。盆地充填序列为一套旋回结构清楚的、海相层与煤层及碎屑岩交替的含煤沉积。石炭二叠纪形成了面积达 $8.0 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的巨型聚煤区,为世界罕见,其古地理条件、沉积充填特点、盆地性质在全球独具特色。首先表现在盆地的充填序列上,无论海相沉积、煤层还是泥质碎屑沉积,大多以薄层出现,且交替频繁。构造上表现为稳定性强、整

体统一的特点。即使海平面上升幅度不大,也会淹没盆地的广大区域。这就使得海侵的“过程”相对于边缘海盆地来说非常短暂,没有“逐步的、缓慢的”向陆侵进的那样一个很长的过程。这种海侵过程可以认为是一种海侵事件,即何起祥等论述过的“突发性海侵”,具有极好的等时性。其次,海侵过程成煤观点认为,海平面上升、缓慢海侵过程中泥炭堆积、成煤,其与下伏粘土岩底板之间有相当长的沉积间断,并认为海侵沉积是逐渐向陆超覆的,其间是一个穿时界面。而陆表海盆地的这种向陆超覆是不明显的,或者仅在盆地边缘部位出现,盆内广大区域是比较一致的缺失某些相的叠覆(或为加积)沉积。

3.2.1 海侵沉积与煤层

在华北石炭二叠纪含煤地层中,海侵沉积与煤层的直接组合关系比较突出,即海相沉积直接压煤且呈多旋回交替出现,构成了一种特殊的沉积相组合。海相沉积以海相灰岩为主,还有海相泥岩、泥灰岩等,含有大量海相动物化石,如在鲁西发育的泥晶生物碎屑灰岩(L3)中含牙形刺有: *Streptognathoduselongatus*, *S. wabaunsensis*, *S. fachengensis*, *Hindeodolla multidenticulata*; 采到蕨化石有 *Schwagrinaagregaria*, *S. bellula*, *Paraschwagerina renodis*, *P. qinghaiensis*, *Quasifusulina compacta*, *Q. longissima*, *Boultonia willisia*等,其他灰岩中采集到类似的海相动物化石组合,此外还采集到腕足、棘皮、有孔虫、海绵骨针、苔藓、珊瑚等化石。而直接伏于海相灰岩之下的煤层则不含任何海相动物化石。这种浅海相沉积大面积覆盖在非海相沉积物之上的现象在华北陆表海盆地东南缘充填沉积垂向序列上反复出现 10 余次,代表了 10 余个典型的特殊旋回。海相层与下伏煤层之间具有相序缺失,即没有海水逐渐侵没(向陆侵进过程的相应的沉积序列)。这可能是一种突发型海侵或称事件型海侵。如果在煤层底板识别出暴露沉积,那么,这种暴露沉积可能代表一种曾受到剥蚀或无沉积面,实际上可能为一种沉积间断面,这样,煤层的底板、煤层、煤层之上的海侵沉积就分别代表三种不同环境的沉积,三者之间就代表不同沉积学意义的界面。如煤层中含有夹石层,而这种夹石层正如有些学者研究的那样,为火山灰降落事件沉积,那么,煤层与海相灰岩的组合关系就更加复杂化了,事件沉积所代表的则是另外一种意义的沉积,其等时性和大面积分布的特点指示了层序地层划分的重要界面。

因此,华北陆表海盆地的上述特殊沉积序列代表了环境演化中的特殊事件,在进行层序划分和恢复盆地演化史中是不可忽视的。



- 1. 泥质岩; 2. 粉砂岩; 3. 细砂岩; 4. 中砂岩; 5. 粗砂岩; 6. 砂质泥岩; 7. 碳质泥岩; 8. 煤层; 9. 砂砾岩;
- 10. 石灰岩; 11. 波状层理; 12. 透镜状层理; 13. 碳屑; 14. 双向交错层理; 15. 板状交错层理; 16. 小型交错层理;
- 17. 槽状交错层理; 18. 变形层理; 19. 水平层理; 20. 冲刷面; 21. 生物扰动构造; 22. 虫孔; 23. 基准面上升; 24. 基准面下降

图 2 鲁西陆表海盆地充填沉积序列、高分辨率层序划分与高频海平面变化

Fig. 2 The basin-fill sequence, high-resolution sequence, stratigraphy and high-frequency sea-level degrees of epicontinental basin in the Western Shandong

3.2.2 典型序列与相组合

陆表海盆地充填沉积序列中有两种较为典型的相组合,一是相与相间发育的间断面,为不连续沉积组合,但在时间序列上是连续的,如图 3 上部相组合,即自下而上依次为暴露沉积、潮坪沼泽及泥炭沼泽、浅海沉积,其中:暴露沉积代表了一种剥蚀或沉积间断,而沼泽与海侵沉积之间存在海侵过程沉积相序缺失,两者之间存在饥饿沉积或无沉积面,实际上缺少海水向岸扩展的海岸退积序列。这种序列反映了陆表海盆地沉积环境演化上的突发性。第二种序列是连续相序,盆地的环境演化是渐变的,如图 3 的下部序列,潮坪沼泽化逐渐泥炭沼泽化是一个连续过程。以上两种序列之间的关键区别点是盆地在演化中基底有无暴露发生。在基底有暴露的情况下,基准面低于盆地基底,则发生暴露土壤化作用,也可能遭受剥蚀。此种情况下,暴露沉积之上的煤层代表了一种基准面开始上升的标志,即在土壤化基础上,海平面上升导致基准面上升,土壤开始湿润,泥炭沼泽发育,紧随其后的大面积海侵使泥炭沼泽发育中断,并使泥炭快速处于深水环境而最终形成煤层。

陆表海盆地充填沉积中,以上两种相序都存在,注意区别其特点并准确确定间断面的位置,对于划分高分辨率层序具有实际意义。

3.2.3 海侵成煤机制

前已述及,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。图 4 展示的是山东煤层赋存区,煤层与海相灰的组合特点,具有以下几种关系:① 厚层海相灰岩与薄层煤层组合;② 薄层海相灰岩与薄层煤层组合;③ 中厚层灰岩与薄层煤层的组合;④ 厚层灰岩与较厚层煤的组合。这些组合反映了海侵持续的时间和规模以及聚煤作用的强弱。上述组合出现于含煤序列的不同阶段,但主要发育于海侵体系域。

海相沉积与煤层的组合受海平面变化周期的控制,在低级别的海平面变化周期中形成薄层海相灰岩/较厚煤层的组合,高级别的海平面变化周期中则多形成厚层海相沉积/薄煤层组合。在层序地层格架中,海侵体系域的煤层位于体系域的底部,而海退成因的煤层则位于高水位体系域的顶部。可以说,煤层的发育都与海平面升降变化中的转折期有关,而海侵成煤成为陆表海盆地成煤的重要特色。在低级别的海平面变化周期内,适合泥炭沼泽发育的持续时间相对较长,尽管海平面波动对泥炭堆积产生重要影响,但泥炭堆积得以较稳定的进行且最终成煤。

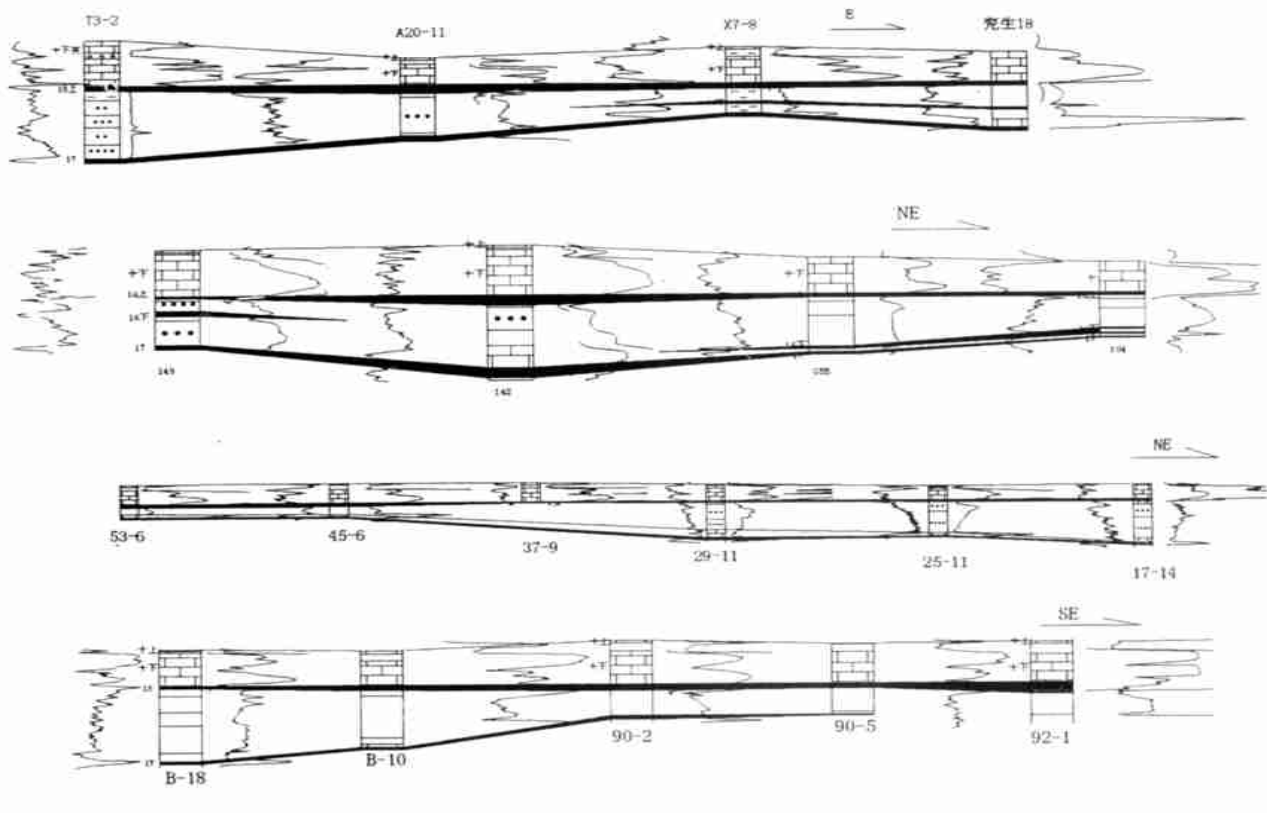
从盆地较大范围观察煤层与海侵沉积的稳定性,可以看出,煤层与海侵沉积间存在互相消长的关系,靠陆方向煤层较厚,靠盆地方向煤层较薄,而海相灰岩则恰恰与之相反(图 5 该图北部为向陆方向,向南为向海方向)。

海侵过程成煤强调海侵的过程特点,这里的过程



图 3 陆表海盆地充填沉积中的不完整相序和完整相序特征(资料取自山东地区,时代为晚石炭世)

Fig. 3 Characteristics of incomplete facies succession in the sediments of North China Epeiric Sea



注: 钻孔左侧为自然伽玛曲线; 右侧为电阻率曲线

图 4 鲁西南煤田 L10-L11 沉积断面图

Fig. 4 Sediment profiles in the Southwest Shandong Coalfield, North China

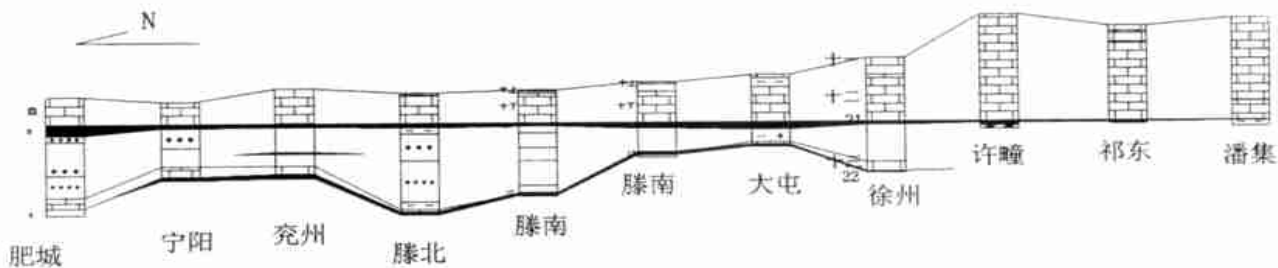


图 5 十灰岩与 16 煤的等时对比图

Fig. 5 Isochronous correlation of limestone No. 10 and coal seam No. 16

特点就是海侵机制问题。而海侵过程成煤也是以边缘海盆地的普通海侵、海退机制为主导因素的,并没有考虑到不同盆地类型中海侵的突发性或事件性问题。而陆表海盆地的突发性海侵及其相关的沉积记录的地质意义是非常重要的,是解析海侵事件成煤机理的最重要依据。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,这一事件既使泥炭在短时间内处于较还原的环境被保存而最终形成煤层,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。也就是说在这种盆地环境中形成的煤层大多为薄煤层。

海侵事件成煤与海侵过程成煤的本质区别在于沉积层位的等时性,后者不具备这一特征,因此,煤层对比和等时地层对比时必须特别注意。海侵事件成煤模式中的海相层与煤层间没有海侵过程所对应的完整沉

积序列,即相序不完整。煤层底板为根土岩,两者间有沉积间断,为划分高分辨层序及其内部单元的重要界

面。关于这一间断的特点和成因,已有学者专门论述过^[3],笔者认为,对这一间断面新的认识是对含煤地

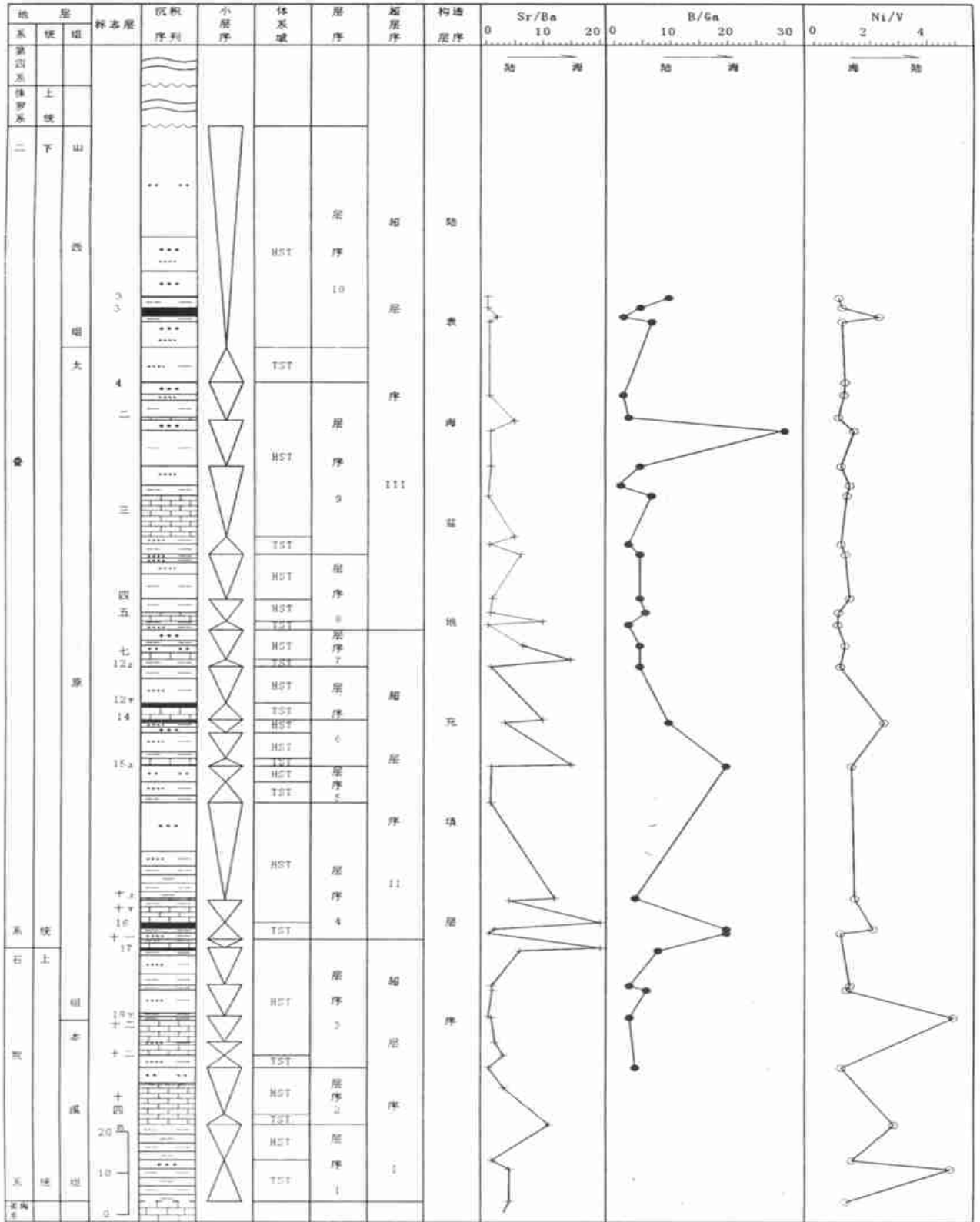


图 6 滕北煤田微量元素变化及层序划分图

Fig. 6 The characteristics of the trace elements and division of sequences in Tengbei Coalfield, Shandong province

层层序划分和地层等时性对比的重要贡献。

如果最大海泛面位于海侵事件成煤组合中,那么这一界面附近应有“凝缩段”沉积(或称为密集段),笔者认为应是煤层或海相层的组成部分,或者是海相层的下部层段。这是一种相当缓慢的、基本无陆源碎屑供应的还原环境下的饥饿期沉积。此时的凝缩段沉积并不是“海侵过程”所对应的沉积序列,而是最大海泛期的饥饿沉积。海侵事件成煤是一种新的成煤作用类型,为陆表海盆地所特有,海侵事件成煤沉积组合及其相关事件界面的识别与鉴定,为高分辨率层序地层划分、对比以及建立陆表海盆地高分辨率等时层序地层格架提供了理论和实际依据。作为一种新的成煤作用模式,可为煤地质学基础理论的丰富作出贡献。

3.3 海侵事件成煤与层序界面

如何划分陆表海盆地含煤地层各级层序,海侵成煤分析非常重要。前面已经讨论了陆表海侵事件特点,这就为含煤地层的层序划分奠定了基础。海侵过程既然表现为一种事件,那么它就具有等时性特点,这种等时海侵沉积为层序划分提供了关键标志。海相灰岩与煤层组合及其特点为层序和超层序划分提供了依据,而整体序列中 B/G Sr/Ba V/Zr 等的变化和某些突变点为层序地层格架的建立提供了可靠的证据(图 6)。海侵事件沉积成为层序内部单元如体系域的划分标志。由于陆表海盆地古地貌、古地理和古构造的特殊性,因此,陆表海盆地的层序为二元结构,即一个层序由下部的海侵体系域和上部的高水位体系域组成,目前,在华北晚古生代巨型聚煤盆地充填沉积中尚没有识别出低水位体系域。图 6 的层序单元中没有低水位体系域,这是陆表海盆地充填沉积的显著特点。

4 海侵事件成煤的识别在层序地层分析中的意义

本文提出的海侵事件成煤模式中,主要强调了海侵的事件属性,那么事件属性本身就具有等时意义。海侵事件对陆表海盆地的聚煤起控制作用,泥炭堆积是海侵之前基准面上升导致环境演化的结果。也可以说泥炭堆积是发生于大规模海侵之前的海平面振荡作用期间,如果泥炭堆积所需可容空间有较长的稳定期,那么就可以形成较厚的煤层。而事实是大规模海侵使得可容空间突然增大,泥炭堆积已不适宜,泥炭的煤化作用发生过程完全处于还原条件下,凝胶化作用比较彻底,使泥炭被快速淹没且处于深水环境的发生过程是一种突发性事件,最终形成的海相灰岩-煤层组合是等时沉积。可以看出,煤层及其顶板都是单一的同性相,且在盆地内分布面积广而稳定,也具备等时相特

点,因此,对划分层序及内部各级单元特别是含煤地层高分辨率层序划分具有实际意义。主要表现在:

(1) 海侵体系域成煤是陆表海盆地聚煤作用的显著特色,海侵是基准面上升的控制因素,因此,可以将煤层作为海侵体系域的最初沉积。但陆表海盆地海侵体系域的煤都较薄,且为高硫煤,这对于工业利用可能产生不利影响。

(2) 作者提出“海侵事件成煤”,主要是有别于海侵过程成煤,其关键在于海侵沉积的等时性。海侵事件成煤是大型内陆表海盆地所特有的聚煤作用类型,也是一种新的成煤作用模式,应该作为煤地质研究的一个重要成果而成为煤地质学的组成部分。

(3) 海侵事件成煤沉积序列的识别对于陆表海盆地含煤层序地层格架具有重要意义,可以认为,海平面变化不同周期导致了不同级别的层序地层界面。

(4) 海侵成煤序列中,煤层与其上覆海相沉积,以及煤层与其下伏底板间的关系是比较复杂的,如果煤层底板为暴露沉积,底板可能为根土岩,煤层与根土岩之间可能存在一种间断面,这一间断也可能是一种层序界面。煤层上覆的海相沉积可能包含了一种海侵界面,也可能是最大海泛面,因此,体系域的划分要依赖于最大海泛面的识别。

参考文献 (References)

- 1 Diessel C F K. Coal-bearing depositional systems-coal facies and depositional environments: 8-coal formation and sequence stratigraphy [M]. New York: Inc. Springer-Verlag, 1992: 462~514
- 2 邵龙义译. 含煤旋回层及其成因模式 [J]. 国外煤田地质, 1994, (1): 1~10 [Riegel W. Coal-bearing cycles and its genetic models [J]. 1992]
- 3 邵龙义, 龚建伟, 张鹏飞. 含煤岩系沉积学和层序地层学研究现状与展望 [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 strata [J]. Coal Geology and Exploration, 1998, 26(1): 4~9]
- 4 李增学, 李守春, 魏久传等. 事件性海侵与煤聚积规律—鲁西晚石炭世富煤单元的形成 [J]. 岩相古地理, 1995, 15(1): 1~9 [Li Zengxue, Li Shouchun, Wei Jiuchuan. Episodic transgression and coal accumulation: an example from the Late Carboniferous coal-rich units in the Western Shandong Coalfields [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1995, 15(1): 1~9]
- 5 李宝芳, 温显端, 李贵东. 华北石炭-二叠系高分辨率层序地层分析 [J]. 地学前缘, 1999, 6(增刊): 81~94 [Li Baofang, Wen Xianduan, Li Guidong. High resolution sequence stratigraphy analysis on the Permo-Carboniferous in North China Platform [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(Sup): 81~94]
- 6 何起祥, 业治铮, 张明书等. 受限陆表海的海侵模式 [J]. 沉积学报, 1991, 9(1): 1~10 [He Qixiang, Ye Zhizhen, Zhang Mingshu et al. Transgression model of restricted epicontinental sea [J]. Acta

- Sedimentologica Sinica, 1991, 9(1): 1~ 10]
- 7 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-accumulation regularities of Late Paleozoic coal bearing measures in North China [M]. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1993]
 - 8 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, 54(6): 65~ 70 [Li Zengxue. Sequence stratigraphy analysis of epicontinental coal accumulating basin—research advance in epicontinental coal accumulating basin of North China [J]. Advance in Earth Science, 1994, 9(6): 65~ 70]
 - 9 尚冠雄. 华北晚古生代煤地质学研究 [M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1997. 91~ 188 [Shang Guanxiang. China national administration of coal geology [M]. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Press, 1997. 91~ 188]
 - 10 李思田, 李祯, 林畅松等. 含煤盆地层序地层分析的几个基本问题 [J]. 煤田地质与勘探, 1993, 21(4): 1~ 9 [Li Sitian, Li Zhen, Lin Changsong, *et al.* Some fundamental problem: about sequence stratigraphic analysis of coal basin [J]. Coal Geology and Exploration, 1993, 21(4): 1~ 9]
 - 11 李增学, 魏久传, 王明镇等. 华北表海盆地南部层序地层分析 [M]. 北京: 地质出版社, 1998. 207~ 225 [Li Zengxue, Wei Jiuchuan, Wang Mingzhen, *et al.* Sequence stratigraphical analysis of the south part of the North China Epicontinental Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998. 207~ 225]
 - 12 张韬. 中国主要聚煤期沉积环境与聚煤规律 [M]. 北京: 地质出版社, 1995. 69~ 92 [Zhang Tao. Depositional environment and coal-accumulating regularities of main coal-accumulating stages in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995. 69~ 92]
 - 13 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. 97~ 115 [Shao Longyi. Sedimentology and sequence stratigraphy of the Lower Carboniferous in Hunan, South China [M]. Xuzhou Jiangsu Press of China University of Mining and Technology, 1997. 97~ 115]
 - 14 Miall A D. Principle of sedimentary basin analysis (second edition) [M]. New York Inc. Springer-Verlag, 1990

Analysis on Coal Formation under Transgression Events and Its Mechanism in Epicontinental Sea Basin

LI Zeng-xue YU Ji-feng GUO Jian-bin HAN Mei-lian
(Shandong University of Science & Technology, Tai'an, Shandong 271019)

Abstract According to traditional coal-forming theory, coal formation was thought to take place in the water (marine) regression period of the transgression and regression cycle, that is, the land facies coal forming model. The author's basic point of view that coal was formed during sea transgression is gradually becoming a theory or model of coal formation, which shows coal formation was transferred gradually to land during the transgression coal forming closely related to transgression. Peat formed in advance was submerged in seawater, as a result, the coal seam formed was of diachronism. This theory and model is originated from the analyzing result of the coal formation in epicontinental sea basin, which is a contribution to coal geology and bring up a new way in the analysis of coal formation. In particular, it puts forward a question on how to evaluate the function of coal seam, in terms of a special sedimentary body in sequence stratigraphy analysis. As the diachronism of coal seams was caused by the transgressive coal formation, whether the top surface or the bottom surface of a coal seam can be taken as an interface of different sequence units remains to be studied in detail. The sea level change of North China epicontinental sea basin in the late paleozoic period is of the feature of high frequency and complexity, that is, the sea level changed with different frequencies and grades and the superposition of them, to cause to form a special unit of sediment body. Long period of sea regression contains many short periods of transgression events; also, there may be relatively short period of regression in the course of transgression. The authors have studied the sedimentary series of transgression events in the coal-bearing strata and the characteristics of transgression sediments coming into contact with coal seams, summed up the points of transgression events and coal formation under the events, studied the mechanism of coal forming with transgression events, and put forward the theory of coal formation with transgression events in epicontinental sea coal aggregational basin. It is believed that the transgression events controlled the aggregation of coal in epicontinental sea basin, the rising of the base level provided favorable condition for the growth of peat swamp, while the large scale of transgression later on stopped the peat accumulation, which put the peat in a deoxidizing environment for a relatively short time for being preserved to form coal, and makes it impossible for very thick coal seams to be formed in such short period of peat swamp. That is to say, coal seams formed in such basin environment are mostly thin coal seams. The essential difference of coal formation with transgression events from that with transgression process is the isochronism. The latter is lacking in isochronism. There is no such continuous sedimentary series between sea facies layers and coal seams in the transgression event coal-forming

(Continued on page 306)

gradually from the south to the north caused by transgression, so the bottom part of Devonian system is constituted by a set of transgressive clastic sedimentary rock. The great scale transgressive event at the end of the early Epoch of Devonian forms evident differentiation of depositional facies in Guizhou and Guangxi province, a lot of isolated carbonate platforms are developed in Dianqiangui Basin, the special paleogeographic setting marked by "platforms-basins-hills-trough" is formed and lasted to the early stage of the late Epoch of Devonian. The strata of the upper Epoch of Devonian become regressive thin out from paleosea to oldland resulted from the Ziyun epeirogeny that took place in the transitional period from Devonian Period to Carboniferous Period. On the basis of the study on the evolutionary natures of sediments in time and the distribution characters of sedimentary facies in space, 13 third-order sedimentary sequences are discerned in Devonian strata in Guizhou and Guangxi province, which could be grouped into one second-order tectonic sequence. In terms of the correlation on biostratigraphy, the sea-level changes delegated by third-order sequences with different architecture natures of facies-succession also could be correlative in research region, in the end, the framework of sequence stratigraphy could be constructed. Many characters such as two elementary natures of third-order sequences—"the regularity of facies-succession in space and the synchronism of the changes of sedimentary environment in time", two kinds of diachronism that are relative to two types of facies-changing surfaces—"the diachronism of facies-changing surfaces caused by static facies-changing surface and the diachronism of punctuated surfaces formed by dynamic facies-changing surfaces" in stratigraphic records, are clearly demonstrated in the framework of sequence stratigraphy.

Key words the framework of sequence stratigraphy, Devonian system, Guizhou and Guangxi area in south China

(Continued from page 296)

model as in ordinary transgression process. The bottom floor of the coal seam is root clay, and there is interruption of sedimentation, which can be used as an important interface in dividing high-resolution sequences and the inside units. In the transgression event coal formation model has been proposed in the paper, the authors mainly emphasize the accidental event property. The transgression event played a controlling role in the aggregation of coal in the epicontinental sea basin. Peat accumulation results from the evolution of the environment caused by the rising of base level ahead of transgression. The peat accumulation can be said to take place during the period of sea level oscillation. If the accommodation needed for peat accumulation is stable for a long period, thick coal seam could be formed. The fact is that large scales of transgression enlarge the accommodation abruptly, which was not suitable for coal accumulation. Peat was submerged in deep water and coalification took place in a complete deoxidizing condition, also the gelatification was fairly complete. The happening process is of accidental property and eventually the combined sediment of sea facies limestone and coal seams is of isochronism. It can be seen that the coal seam and its top floor are of the same facies which is widespread and stable in the basin and is isochronic, so, being of practical significance in dividing sequences of different orders. The study shows that there exists coal formed with both transgression and regression sedimentary series in the epicontinental sea basin, and the transgression event is the typical characteristic of the sea level change in epicontinental sea basin. The transgression event resulted in the event of coal aggregation. Furthermore, discussed in the paper, are the mechanism coal formation under transgression events and its significance and function in the recognition of sequence interface and division of different sequence units.

Key words transgression events, aggregation of coal under "event", epicontinental sea basin