

鲁西煤田内陆表海含煤层序的小层序 类型及煤聚积规律^①

李增学 李守春 魏久传

(山东矿业学院, 泰安 271019)

提 要 小层序 (Parasequence) 为Ⅲ级含煤层序的内部构成单元—体系域单元。研究表明, 海陆交替型含煤层序可识别出稳定的能作为区域对比的周期性小层序, 其顶底界面多为事件型海侵面和泥炭化事件界面。根据小层的成因特点和含煤情况, 将小层序划分为: 波浪作用为主形成的总体向上变细小层序、潮汐流作用为主形成的含煤小层序 (有向上变细、向上变粗又变细两类)、河流作用为主受潮汐流影响形成的具有向上变粗又变细的二元结构的含煤小层序。

小层序类型和小层序组的形成与内陆表海海面变化特点具有十分密切的关系, 海水的退却致使沉积体系进入废弃阶段而泥炭沼泽化, 标志着小层序发育的终结。因此, 研究小层序的形成与研究煤聚积规律具有密切关系。

关键词 含煤地层 地序地层格架 小层序 煤聚积规律

第一作者简介 李增学 男 41岁 博士 教授 沉积学 煤、油气地质学

在煤地质学领域具有应用和发展层序地层学研究的扎实基础和十分有利的条件, 如密集地下工程、良好的露头、精细的地层划分和对比, 多年来积累的大量钻井和测井资料, 以及煤地质学领域多年来沉积学和旋回地层研究基础等。华北晚古生代为大型的内陆表海盆地, 其基底极缓的古坡度 (< 0.001) 难以形成侵蚀成因的角度不整合, 沉积地层为一套海陆交替型含煤岩系。因此, 象华北晚古生代陆表海如此巨大的浅碟式盆地, 其总体地质条件与北美的大陆边缘海盆地^[1]具有根本上的差异。在汲取经典层序地层学理论和技术的同时, 立足我国内陆表海盆地特点, 才能在追踪研究的基础上加以发展。以小层序为古地理、古环境的编图单位, 研究沉积盆地煤聚积规律是一种新途径。

1 含煤岩系层序地层分析的基本特点

层序地层学的产生和发展对地层学、沉积学、煤和石油天然气地质学, 以及大地构造学等许多领域带来深刻影响, 并被看作具有变革意义的地质学生长点 (李思田, 1992)。在煤地质学领域具有应用和发展层序地层学理论和方法的条件, 含煤岩系层序地层分析已成

① 国家自然科学基金资助项目 (49272122)

收稿日期: 1995- 07- 20

为层序地层学新理论和新方法体系中的重要组成部分^[2]。含煤地层层序地层分析方法的基本特点,亦即与传统的“相—旋回分析法”的重要区别在于:①层序地层分析是将相和沉积体系放在一个等时地层格架中进行整体性系统研究,从而使盆地分析具有空间整体性特点,并易于阐明相和沉积体系的分布规律;②层序地层序列是一种等时的成因地层序列,这种序列的划分可以对盆地充填进行更合理的解析,层序可进一步划分出小层序组和小层序;③应用古生物学、同位素等方法确定层序地层单元界面及定年,这样,层序地层界面就具有了年代和成因地层意义;④层序地层单元的分界面是古构造运动,以及具有全盆地对比意义的事件界面;⑤年代地层格架的建立和成因地层序列中各级单元的划分成为古地理、古环境编图的基础,这对于重建沉积体系域及阐明沉积体系及小层序在层序内部的分布更具理论和实际意义。

在煤地质学领域,传统的“相—旋回分析法”一直占有重要位置,但沉积旋回的划分原则一直存在争议。在传统含煤地层旋回研究中,海陆交替含煤旋回的划分是以海退相为起点,将煤层划分在旋回中部。这种划分方法被认为是有利于在一个旋回中对煤层上下部分的沉积特点进行细致研究,从而可以深入了解煤层的形成过程。显而易见,这种传统“相—旋回分析法”的缺点是对事件界面的鉴别没有足够的重视,从而导致全盆地范围内对比上的困难和失误。而现代沉积学及对古代成煤沉积模式的研究表明,具有工业价值的煤层极少形成于活动碎屑沉积体系之上,大面积的沼泽化实际上代表了一种沉积上的不连续。

层序地层单元的划分是以事件界面及具有对比意义的沉积学界面作为划分依据,而且必须充分考虑层序地层格架的完整性和等时性。对鲁西煤田含煤层序内部小层序的划分始终遵循上述原则。而沉积旋回的划分则是注重水进水退结果及垂向上相序配置特点。但如果应用当代“旋回地层学”理论和方法^[3,4]进行沉积旋回的划分和研究,那么旋回划分与层序地层单元划分具有对比上的相容性。

2 小层序的界面类型

层序的基础结构单元是 Parasequence,它是层序的基本建造块。国内学者对 Parasequence 有不同的译法和理解,最常见的译名有“准层序”、“副层序”、“亚层序”和“小层序”等。本文采用“小层序”译名,因为一个层序(Sequence)内包含若干个小层序(Parasequence),它们之间存在等级上的差异,“小层序”更符合 Parasequence 的内涵^[5]。

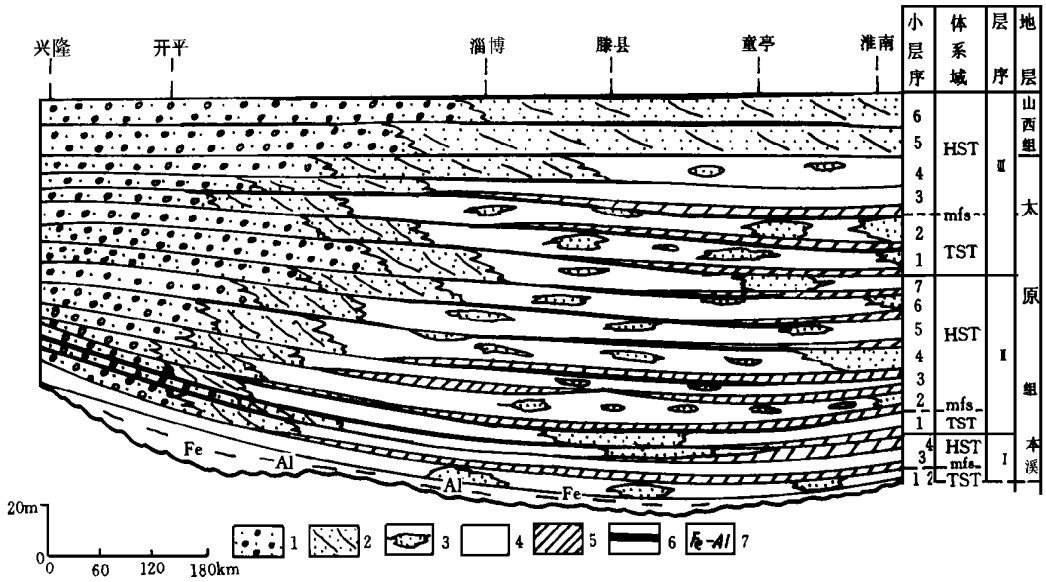
小层序界面是一个海洋淹没面(海泛面)和与之相当的地层界面。它应是一种面状界面,在大区域内只有较小的地形起伏,可以较为明显地分出位于其上的深水沉积和其下的浅水沉积。海泛面还以轻微水下剥蚀的微小间断或无沉积作为标志。海泛面是一种典型的小层序界面类型,但北美地质学家们所强调的四类海进底滞留层^[1],在研究区内陆表海盆地沉积中几乎找不到。因而需要找到作为划分小层序的界面标志的新证据,并提出内陆表海盆地沉积层序内部单元划分的方法和技术。

由于内陆表海盆地的地势特点和背景条件的特殊性,海平面变化具有突发性^[6]和高频性^[7]两大特点,因此,小层序的划分有赖于区域性水进界面的识别。在受限内陆表海条件下发育的海陆交替型含煤岩系中有大量薄的海相沉积层。由于盆地基底的相对稳定性和古地貌上极缓的坡度,海水进退表现出广泛性和事件性,在短暂的地质年龄间隔中引起大面积的

环境演变,因此,这些海相层的形成和分布具有区域可比性。海退后,盆地基底露出水面,只在高潮期暂时被海水浸没,从而有从广泛的潮坪沉积最终导致泥炭沼泽化事件发生。

海侵、盆地的广泛的泥炭化、火山灰降落事件等,都应属于“事件沉积”。因此,海相层的对比、泥炭薄层的追踪、火山灰层位的鉴定都是划分小层序的重要依据。研究表明,华北晚古生代内陆表海盆地含煤沉积中的主要煤层的顶界面,事实上是一个小的沉积间断面。因为每一次大面积沼泽化事件发生并形成泥炭沉积以后总是接着发生区域性突发性海侵,从而形成海相灰岩直接覆于煤层之上的普遍现象,其间缺少某些沉积层位,即时间上的连续性和沉积上的间断性成为一体。

对华北晚古生代内陆表海含煤盆地东南缘层序地层分析^①表明,3个三级层序均为二元结构型,即“海进体系域—高位体系域”。迄今为止在华北地台大面积内尚未发现煤系底部存在着作为低位体系域标志的深切谷充填沉积^[8]。根据小层序界面的分布及特点,在3个内陆表海型含煤层序中共识别出17个小层序(图1)。其层序I中4个,层序II中7个,层序III中6个。海进体系域一般由1~2个小层序组成,且比较薄。而高位体系域由多个小层序组成一种弱进积—加积的小层序组。



- 1. 冲积沉积体系 2. 三角洲沉积体系 3. 障壁—泻湖、潮坪沉积体系中的粗碎屑沉积
- 4. 潮坪、泻湖或海湾细碎屑、泥质沉积
- 5. 陆表海碳酸盐岩、泥灰岩沉积 6. 煤层 7. 铁、铝质泥质沉积

图 1 华北晚古生代内陆表海含煤盆地层序地层框架

Fig. 1 Sequence stratigraphic framework of the epicontinental sea coal-bearing basin of Late Paleozoic Era in North China

小层序界面的形成机制可归纳为以下 3 个方面: (1)随着分流河道的冲裂作用,三角洲朵体中的前三三角洲泥被压实,而使得水体的深度相对增加。三角洲朵体的被浸没形成一个快

① 李增学,山东及邻区晚古生代含煤地层的层序地层分析,中国地质大学(北京)博士学位论文,1993,11

速生成的、平坦状的、被轻微剥蚀的界面,通常在该界面上有小的(有时可能没有保存下来)海进底滞留层(Elliott, 1974)小层序界面的侧向延伸和三角洲朵体的分布区大致相当。由于每个朵体的分界面的分布占一定的范围,且形成的时间较短促,因而这在较大范围内对地层的年代学和岩性学解释提供了局部的时间界线。(2)由于构造沉降引起海平面急速地相对上升,地震活动的影响也可引起滨线的降低,使海岸的很大面积被淹没而迅速接受沉积,从而形成小层序界面。(3)海平面升降形成小层序界面。显然,层序I和层序II的小层序界面主要由第3和第2种机制形成,而层序III的小层序界面主要是由第1种机制形成的。

3 小层序基本类型及其特点

从国外大量文献资料中可了解到有关小层序类型的介绍,但均较为简单。如Wagoner等人(1990, 1991)^[1,9]将小层序归纳为两种基本类型,即向上变粗和向上变细的小层序。在典型的向上变粗小层序中,具有层组向上变厚、砂岩粒度变粗、砂泥比值增高的特征,总体为向上变浅的沉积组合。在向上变细的小层序中,具有层组向上变薄、砂岩粒度向上变小(最上部通常为泥岩和煤)、砂泥比值降低的特点。但是,向上变细的序列不一定代表水体的逐步变深,也可能是向上变浅。因此,单一的沉积序列特点并不能完全反映沉积环境和盆地的覆水情况,而需要看小层序组的类型,即是进积型的、加积型的还是退积型的等。

根据研究区含煤岩系特征(其中粒序变化可作为主要参考指标)、含煤情况和水动力条件(起主导作用的水动力性质)等因素对内陆表海含煤层序进行了小层序分类,对其命名则采用上述三方面有机结合的复合名称,即水动力性质+总体粒序变化+含煤情况。这样有利于重建沉积体系域和研究煤聚积规律。

3.1 波浪作用为主形成的总体向上变细小层序

这类小层序的形成主要受波浪的作用,并受河流作用的影响,粗碎屑沉积集中于下部,有冲刷面,总体粒序向上变细,沉积物颜色变深,不含煤(仅个别区段有碳质页岩),但可发育含有植物根、叶部化石碎片的沼泽或覆水沼泽沉积。这类小层序出现于层序I的下部。

3.2 潮汐流作用为主形成的含煤小层序

3.2.1 总体向上变细含煤小层序

这类小层序在含煤层序的高位体系域中最常见。普遍的情况是下部为潮坪沉积,上部为沼泽或泥炭沼泽沉积。其中有下列不同情况:小层序上部出现多层薄煤层(或煤线),但层位较稳定;有的小层序顶部为一较厚的煤层,且稳定分布;有的在小层序中下部的成因相构成较复杂,如发育潮汐水道组合、混合坪组合、潮汐砂脊组合等,上部成因相构成较简单,一般为潮坪沼泽或泥炭沼泽。

3.2.2 向上变粗再变细含煤小层序

这类小层序形成于潮汐作用强度逐渐增大的水动力条件下,也是内陆表海盆地含煤层序高位体系域中的主要构成单元。其成因相的构成较复杂,受限陆表海潮坪—泻湖环境中的各环境单元沉积几乎都能找到,其中潮汐水道组合、涨潮三角洲组合、砂泥混合坪组合为小层序的骨格(架)部分。在垂向上,砂岩层的厚度和粒度由下而上增大,再往上又逐渐变小,顶部常有薄的沼泽沉积,也发育极薄的煤层(图2)。

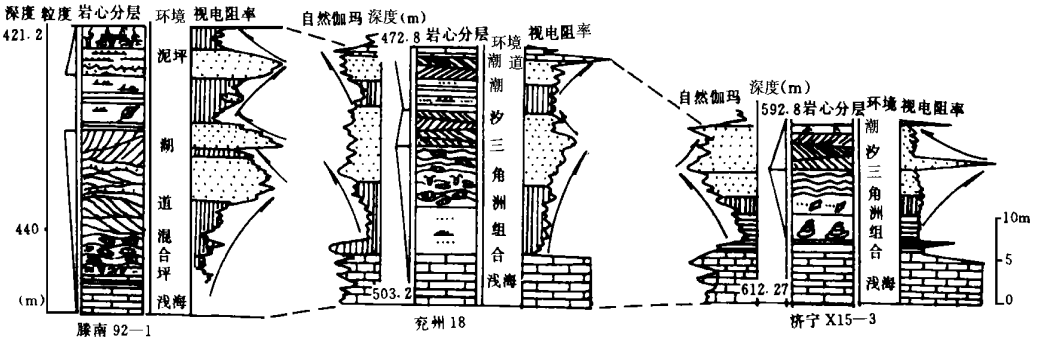


图 2 潮汐流作用为主形成的含煤小层序

Fig. 2 Tide-controlled upward coal-bearing parasequence

3.3 河流作用为主受潮汐流影响的含煤小层序

这类小层序具向上变粗又变细两元结构,形成于水动力条件较强的浅水三角洲环境,是内陆表海含煤层序Ⅲ中高位体系域的上部构成单元,由较完整的三角洲沉积体系垂向序列构成,其下部分界面是前三角洲沉积的底界(通常为海侵层)。成因相的构成较为复杂,但其主体骨格为三角洲平原组合,主要成因相为分流河道。如果此种情况下简单地以冲刷面为界划分层序内部单元,则会把三角洲完整的沉积序列一分为二,即把三角洲平原下界面与河流体系的下界面相连,这显然会造成对比的错误。因此,在确定这类小层序界面时,需要认真分析三角洲平原的成因相及构成,鉴别不同成因的冲刷面,有时可能由多个分流河道组合构成一个完整的沉积序列,所以,只有找到代表同期三角洲沉积体系底界的标志物,才能连结对比小层序。而且,要靠多种手段和资料(如地震剖面,测井和钻井连成的高精度沉积断面)才能有效地追踪小层序。

4 内陆表海盆地煤聚积规律分析

以往人们对一个沉积盆地进行煤聚积规律研究时,往往以“组”或“群”为编图单位,如砂体图、砂比图及其他分析图件等。精度略高的也是以“段”为编图单位。上述这种编图方法往往掩盖很多实质性问题,如多期成因的砂体的叠加、不同环境单元的演化特点被一种模式掩盖、事件型沉积被淡化等等。层序地层学理论的提出为人们建立盆地等时地层格架提供了科学依据和分析技术,在一个统一的层序格架中可以较准确地确立各级等时地层单元或适合于一定范围内的对比地层单元。我们在系统建立了内陆表海盆地含煤层序基本格架的基础上,为了详细研究沉积体系演化和内陆表海盆地煤聚积规律,编图达到了小层序的精度,对各主要煤层进行了三维追踪研究。研究表明,以小层序为基本单位,编制沉积断面网络和大剖面控制,以及主要沉积体平面形态(如砂体、煤层等)最为有效。波浪作用为主形成的小层序不含煤,河流作用为主形成的含煤小层序的煤聚积规律已有报导^[10]。限于篇幅,下面仅举海进体系域和高位体系域中潮汐流作用为主形成的两类小层序进行煤聚积与沉积体系演化分析。

4.1 海进体系域单元

层序II (图 3)中的主要含煤小层序是位于层序II 最底部的海进体系域 (TST)单元,即层序II 中的小层序 1(SI 1),在鲁西煤田发育稳定可采的第 16号煤层即位于该小层序的顶部。该小层序属前述的潮汐流作用为主形成的向上变粗又变细的含煤小层。根据密集的钻孔资料所编制的兖州地区砂分散体系和主要煤层厚度图,显示出富煤带主要分布于该地区北部(图 4)。砂分散特征与富煤带分布对比分析显示出富煤带形成于砂岩薄乃至等于零的部位,砂岩厚度与煤层厚度总体上呈现互为消长的关系,且展布轮廓基本吻合。这表明下部成因相的变化对煤聚积的影响很大,随着海侵的进程,沼泽化潮坪沉积体系中潮汐水道逐渐发育,潮汐作用增强。因而在潮汐水道作用较强的部位不利于泥炭堆积,成煤作用较弱。

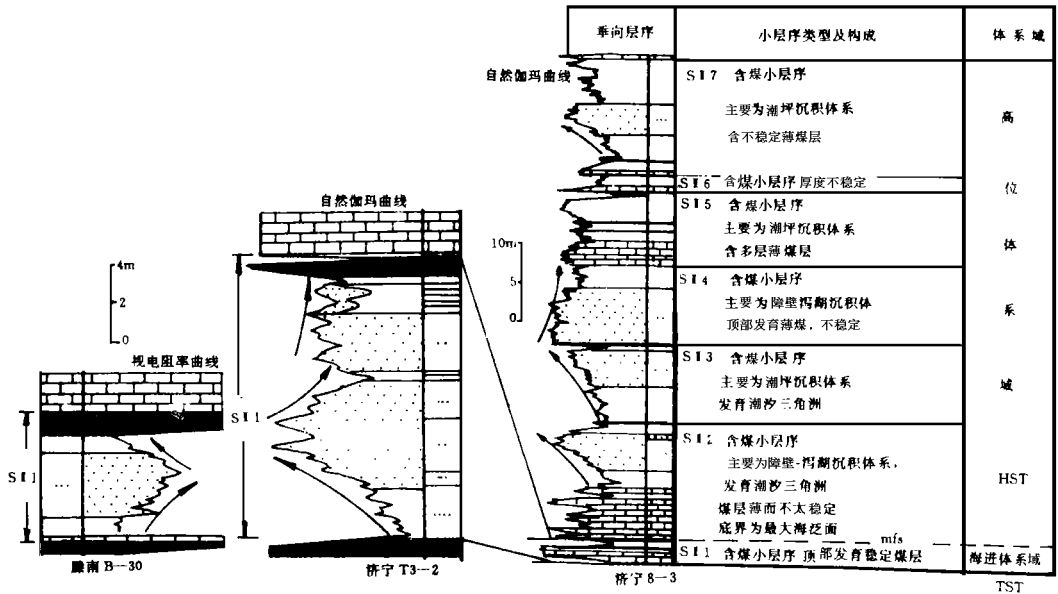


图 3 层序II 体系域单元构成剖面及 SI 1小层序垂向序列

Fig. 3 Framework section of the system tract units of the Sequence II and vertical sequence of Parasequence SI 1

4.2 高位体系域单元

海侵达到最高水位后开始发生海退,其间可找到最大海泛面 (mfs),并以此作为海进体系域与高位体系域的分界面。由于华北晚古生代受限陆表海海平面变化具高频率升降特点,所以在总体发生海退的背景下仍有低级别的进退事件发生,高水位期泥炭的堆积直接受高频海平面变化的控制。障壁岛、泻湖及其环潮坪带、涨潮三角洲等环境单元在巨大的受限陆表海盆地中发育,往往在障壁岛后、潮坪和潮汐三角洲分布区发育沼泽或泥炭沼泽。以 SI 4 (见图 3)为例,为潮汐流作用为主形成的总体向上变细的含煤小层序。根据济宁地区近千口钻孔资料编制的砂分散体系图和煤层厚度图(图 5),可以看出砂体的展布与煤层厚度变化没有较为吻合的关系,即富煤带的分布与其下伏砂体没有成因上的密切联系。这说明主煤层的厚度基本上不受下伏成因相变化的影响,而主要受整个潮汐坪沉积体系或障壁-泻湖沉积体系沼泽化程度的控制。显然,这反映了从潮坪沉积体系或障壁-泻湖沉积体系的形成至

整个沉积体系沼泽化,是由于随着海退的进程,潮汐流作用逐渐减弱,潮汐水道被充填,最终导致全面沼泽化的过程所致。

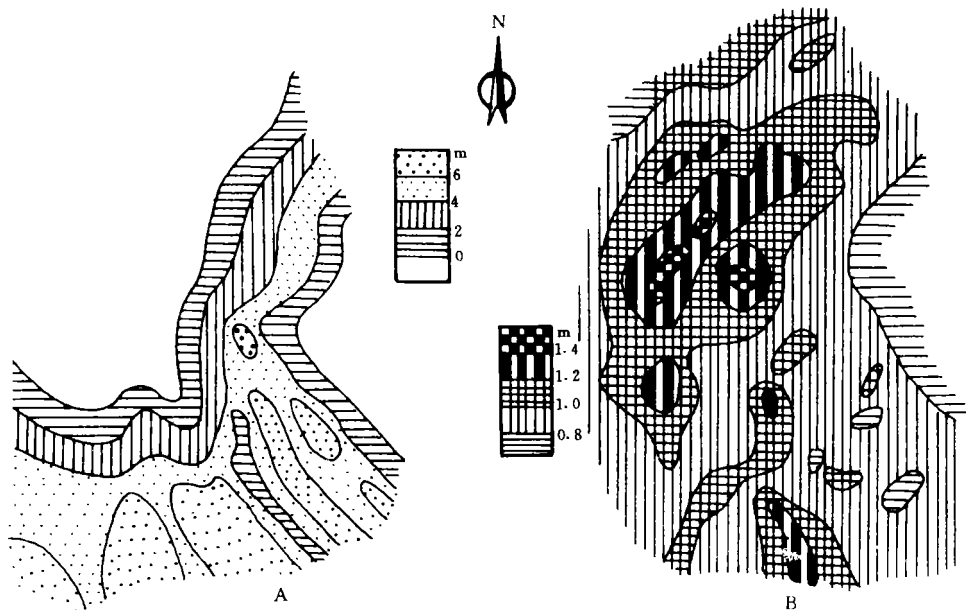


图 4 兖州煤田 S1 小层序砂岩厚度 (A)和煤层厚度 (B)图

Fig. 4 Sandstone thickness (A) and seam thickness (B) of Parasequence S1 of Yanzhou Coalfield

5 几点认识

(1)层序地层学理论和方法给煤地质学研究领域带来了新的理论体系和分析技术,使含煤盆地充填分析更具系统性和科学性,这在鲁西煤田含煤地层沉积体系和层序地层学分析中已得到体现。

(2)沉积盆地煤聚积规律研究有了新的分析技术和手段,在含煤盆地等时地层格架内,以 Parasequence 为基本编图单位,更能确切地恢复成煤古地理,查明泥炭沼泽性质,为煤及其共伴生资源评价和预测提供更科学的依据。

(3)层序地层学为陆表海盆地演化、沉积体系分析、含煤地层旋回特征与海平面升降变化间关系的研究、富煤带形成与分布及其成因相配置的关系的研究带来了新的解释途径。对沉积体系及体系域的追踪分析真正进入到三维空间,使每一种沉积体能在全盆地地层格架内得到科学地成因解析。

(4)事件型沉积层位和多级等时层序及内部单元界面的确定,为重要层位对比提供了科学依据,如突发性海侵事件界面、高频海平面变化事件界面、火山灰降落事件界面、大范围的泥炭化事件界面、风暴事件界面(包括风暴异地煤追踪层位)等。上述事件界面在传统的成煤环境和沉积相研究中未能得到充分重视,而在含煤盆地层序地层分析中可得到充分利用,且可在区域对比和等时层位追踪方面有较大的突破。

(5)根据我国含煤盆地特点划分小层序,并以此编制高精度的岩相古地理图,是煤聚积

规律分析的新途径。通过层序地层学为指导的煤聚积研究,可使煤地质学理论和方法系统有较显著的提高,也使煤田预测工作更具科学性。因此,作者提出,应在近年编著具有中国特色的新层序地层学为理论指导的中国煤田地质学,以阐明中国含煤盆地类型和层序地层学聚煤模式。

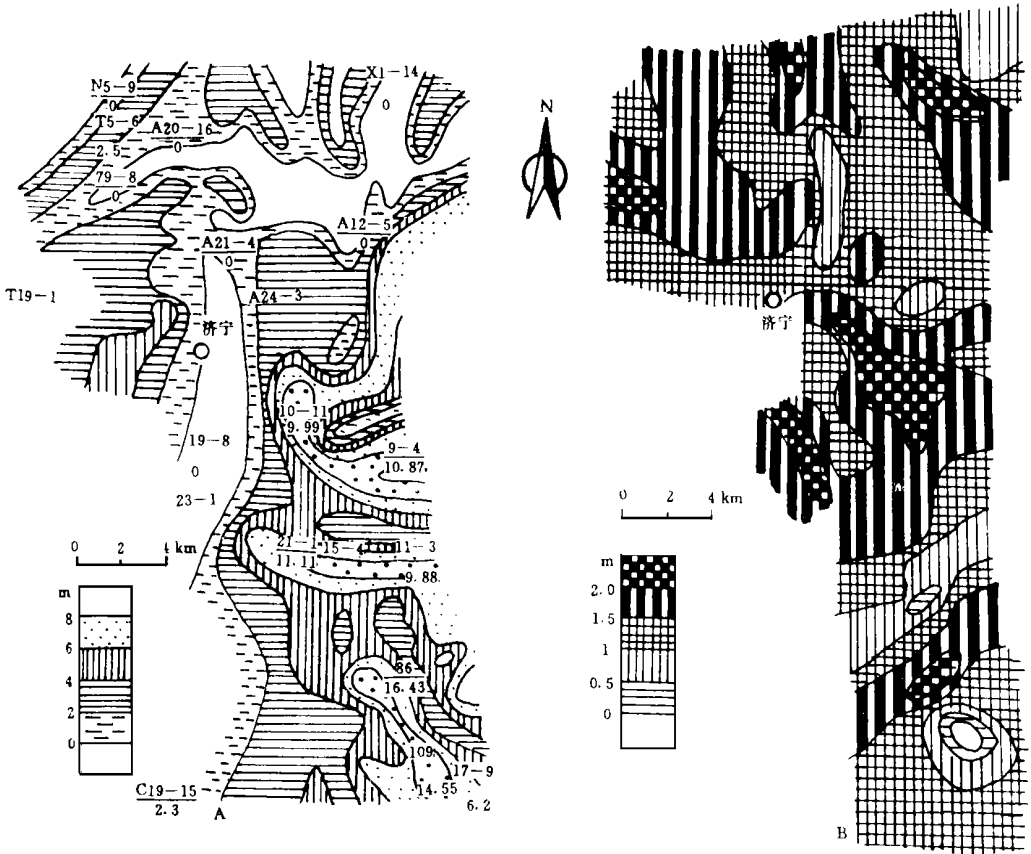


图 5 济宁煤田 SII 4 小层序砂体厚度 (A) 和煤层厚度 (B) 图

Fig. 5 Sandstone thickness (A) and seam thickness (B) of parasequence SII 4 of Jinan Coalfield

致谢: 研究工作得到中国地质大学李思田教授和李祯教授的指导, 山东矿院地质 90 级代世峰和张铸同学参加了部分研究工作, 在此深表谢意!

参 考 文 献

- [1] Wilgus C K, et al. Sea-level change: an integrated approach. SEPM special publication, 1989, 42.
- [2] 李增学, 李守春, 魏久传. 含煤岩系沉积体系研究. 地震出版社, 1995, 5.
- [3] Miall A D. Principles of Sedimentary Basin Analysis (second edition), Springer-Verlag. New York Inc, U S A.
- [4] Brett C E, Goodman W M and Loduca S T. Sequences, cycles, and basin dynamics in the Silurian of the Appalachian Foreland Basin. Sedi Geol 69(5): 3-4.
- [5] 李思田. 论沉积盆地分析领域的追踪与创新. 沉积学报, 1992, (3).
- [6] 何起祥等. 受限陆表海的海侵模式. 沉积学报, 1991, (1).

- [7] 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, (1).
- [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. 地球科学进展, 1994, (6).
- [9] Van Wag oner J.C, et al. Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, cores, and Outcrops. Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies. AAPG Methods in Exploration Series, 7.
- [10] 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, (2).

Types of Parasequence and Law of Coal Accumulation of Coal-bearing Sequence in the Paleozoic Epicontinental Sea Basin of Western Shandong Coalfield

Li Zengxue Li Shouchun and Wei Jiuchuan

(Shandong Institute of Mining and Technology, Taian 271019)

Abstract

Parasequence is a internal composing unit of the third order coal-bearing sequence, namely a system tract unit. The present study shows that stable periodic parasequences that can be used as regional correlation can be recognized in the paralic coal series. The superfaces and subfaces of these parasequences are mostly surfaces of event transgression or peatification. Based on the genetic characteristics and coal-bearing conditions the parasequences may be classified into four types: wave controlled upward fining parasequences, tide controlled upward fining coal-bearing ones, tide controlled upward coarsening and thus fining coal-bearing ones, and fluvial controlled tide influenced upward coarsening and thus fining coal-bearing ones.

The types of parasequences and the formation of parasequence sets are closely related to the sea level change of epicontinental sea. The retreat of sea water and peatification of depositional system mark the end of the growth of parasequences. The research on the formation of parasequences, therefore, is closely related to the study of coal accumulation law.

The present research shows that, with parasequences being the basic drawing units within the sequence stratigraphic frameworks of the coal-bearing basin, the paleogeography in the coal forming period can be more precisely reconstructed, the nature of peat swamps can be more correctly identified. This method can provide more reasonable scientific basis for the evaluation and prediction of coal resources and their associated mineral deposits. Hence, the classification of parasequence types suitable for the characteristics of coal-bearing basin in China is of a new route for the analysis of coal-accumulation. The sequence stratigraphy advances the theory and methodology system of the coal geology and provides useful tools for the prediction of coalfields.

Key words coal-bearing measures sequence stratigraphic framework parasequence law of coal accumulation