

山东及邻区石炭二叠纪 含煤地层的层序地层式样^①

李增学 魏久传 李守春

(山东矿业学院 泰安 271019)

提 要 山东及邻区石炭二叠纪海陆交替型含煤地层为内陆表海盆地沉积,可划分出三个Ⅲ级层序,其分界面为Ⅲ级海平面变化的周期性界面,在华北广大地区表现为整合面。含煤层序的基本结构特点为“二元型”,即“海侵—高位”的体系域叠置型式。海侵体系域由 1—2 个小层序构成,高位体系域为 4—7 个小层序构成。因此,华北内陆表海含煤盆地层序格架与北美大陆边缘海含油气盆地的层序模式具有根本上的差异。

关键词 陆表海 海陆交替型含煤地层 二元结构层序 层序地层分析

第一作者简介 李增学 男 40 岁 博士 教授 沉积学 煤地质学

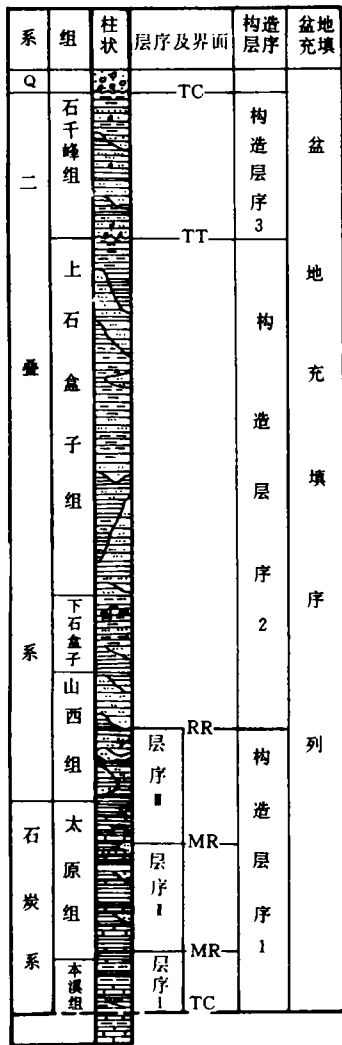
层序地层学是继 60—70 年代沉积环境和相模式研究高潮之后,在当代沉积学发展中最有全面影响的前缘学科。尤其是进行海平面升降变化的全球可比性的研究,以及海平面升降对层序和沉积体系的突出影响的研究^[1,2],促进了层序地层学的完善和发展。Wagoner 等人(1990)提出一套依据钻井岩心、测井资料和露头相结合进行层序地层研究的方法和技术^[3],从而严格地厘定了层序地层学的概念体系。近年我国学者开展了断陷盆地^[4,5]和陆相盆地^[6,7]层序地层分析,取得了重要进展。作者开展了稳定内陆表海盆地含煤地层的层序地层分析^②,对华北晚古生代大型聚煤盆地东南部含煤地层的层序地层格架类型、内部构成单元、成因相配置和海平面变化特点等进行了详细研究,总结了稳定内陆表海盆地Ⅲ级层序划分原则。本文重点论述石炭二叠纪含煤地层的层序地层样式和内部单元划分。

1 层序界面的确定

层序划分的首要任务是鉴别层序界面,但对华北晚古生代内陆表海盆地海陆交替型含煤地层的层序划分来说是难度相当大的。只有通过全盆地范围内的追踪和对比,才能正确地识别出层序界面。由于一个层序的底部是新的沉积期开始,其内部应是一种独特的沉积序列,所以层序界面可以通过钻井岩心、露头和测井进行识别和追踪。而进行华北石炭二叠纪含煤地层的层序地层划分,必须充分考虑到陆表海盆地的区域背景条件。大多数陆表海环境的沉积地层由一种较薄的向上变浅的旋回性地层序列组成,其分界面是由地质上瞬时的相对海平面上升形成的间断事件所产生,紧接着这一间断事件之后则是一种均衡的堆积过程。对于这种不对称的

① 国家自然科学基金项目(编号:49272122)

② 李增学,1993. 11,山东及邻区晚古生代含煤地层的层序地层分析(博士学位论文)



TC. 古构造运动面 TT. 构造应力场转换面
 RR. 区域性海退事件界面 MR. 最大海退事件界面
 图1 研究区石炭二叠系
 含煤层序界面类型及层序划分
 Fig. 1 The types of sequence boundaries
 and sequence classification of
 Permian-carboniferous in the study area

周期过程, Goodwin 和 Anderson^[8] 称其为 PAC 周期 (Punctuated Aggradational Cycles), 并以此来表示这种异成因地层单元, 它是一种在地层记录中普遍存在的单一过程所代表的周期性发生的事件所产生的。这种异成因机制即为近年来地质学家们在其研究工作中得到证实的高频海平面变化, 即与地球轨道效应有关的米兰柯维奇周期^[9,10]。

根据陆表海含煤地层沉积特点, 聚煤盆地的区域背景条件和沉积期构造活动特征, 以及陆表海的高频海平面升降周期, 可将下面几类界面作为陆表海含煤地层的层序界面(图 1):

1.1 区域性不整合面 华北地区奥陶系与石炭系间的假整合面, 属区域性构造运动界面, 是一种大型的构造层序(tectonic sequence)界面。该界面是由地史上古构造运动所形成的, 是与大地构造运动事件相吻合的, 且能在全盆地内准确地追踪和对比。该界面在山东区内有多处露头可供实测追踪, 在地震剖面和测井曲线上反映十分清楚, 可同时作为盆地充填序列、构造层序和层序划分的依据。

1.2 区域性海退事件界面 对于华北陆表海大型浅碟式盆地, 大规模的与海退事件有关的沉积体系废弃界面具有特殊意义。由于海平面变化和古构造沉降运动导致海平面大幅度下降, 以致使海水在较短的地质时间间隔内全部退出盆地。而同期可在盆地边缘(华北北部)找到不整合面。这类海退事件最终使盆地环境发生巨大变化。晚石炭世晚期的海退事件, 海水大规模向南退却, 海陆交替的盆地环境改变为陆相沉积环境。该界面为内陆表海盆地沉积层序的顶界面。

1.3 构造应力场转换面 在石炭二叠系最上部的石千峰组与石盒子组间存在一比较明显的分界面, 其上下不仅岩性差异较大, 而且有机质丰度和生物组合等均有显著的差异。该界面为应力场的转换面, 在沉积上表现为沉积体系或体系域的转换面。由于构造应力场、气候条件的改变, 导致地貌单元大面积改观。这类界面在盆地内部可能为整合面, 而在盆地边缘为侵蚀或冲刷界面。

1.4 最大海退事件界面 这是华北内陆表海盆地沉积中独特的层序界面类型。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, 高频海平面变化中最大的那次海退事件界面, 其上出现海侵标志。这种最大海退事件界面是通过垂向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。这类界面的识别和确定对于内陆表海条件下海陆交替含煤层序的划分和建立年代地层格架是非常关键的。

上述四种层序界面是综合研究区内陆表海含煤地层及上部陆相地层的总体特征,通过横向追踪确定的,其中区域性不整合面、最大海退事件界面和区域性海退事件界面是确定内陆表海海陆交替型含煤层序类型的关键性界面。

2 内陆表海含煤地层的层序地层格架

2.1 盆地充填序列和构造层序

据本次对内陆表海盆地充填特征的系统研究,认为一个完整的盆地充填沉积序列(盆地内部建造块)应分为五级层序:Ⅰ级为盆地充填序列(basin-fill sequence);Ⅱ级为构造层序(tectonic sequence);Ⅲ级为层序(sequence);Ⅳ级为小层序组(parasequence sets),相当于体系域;Ⅴ级为小层序(parasequence)。盆地充填序列^[11]是指盆地充填沉积的全部,即在盆地发育期的整个沉积序列,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构成。区域性不整合面及假整合面为Ⅰ级古构造界面,是划分构造旋回的标志,并据此划分构造层序。不同构造层序代表了不同的构造体制,其规模大、持续时间长,内部尚有次级古构造界面、侵蚀和沉积间断。研究区石炭—二叠系为一完整的盆地充填序列,可划分出3个构造层序,内陆表海海陆交替型含煤沉积为其中的1个构造层序。

2.2 Ⅲ级层序划分

Ⅲ级层序的划分是层序地层分析的核心内容。对于华北晚古生代内陆表海条件下含煤地层进行层序划分,可运用经典层序地层学的思路和方法体系,但不能生搬硬套其固定模式。华北晚古生代内陆表海盆地的极缓的古坡度难以形成大范围侵蚀成因的不整合;低位体系域在地台广大范围内可能并不存在^[12],层序底部常以海侵体系域开始,高位体系域的单元构成也不都象经典模式那样以三角洲体的明显的向盆方向推进为特征,而可能是由沉积速率很小的泥质、含砂泥质沉积物构成,沉积体的向盆方向推进远不如前者显著。

根据对层序界面的识别及界面类型,将内陆表海海陆交替型含煤地层划归为1个构造层序,其底界面为构造运动面(区域性假整合面),顶界面为区域性海退事件界面。该构造层序中可划分出3个Ⅲ级层序,其划分依据为最大海退事件界面出现的位置。

由于含煤盆地为一巨大的内陆表海浅碟式沉积盆地,北缘至阴山天山构造带,南至秦岭构造带,后期构造运动将含煤地层破坏严重,各煤田被大片剥蚀无煤区隔开,因而地震剖面很难满足层序地层分析的要求。我们着重采用钻井岩心层序、测井层序及两者的结合、露头层序等方法技术划分层序。

2.2.1 钻井岩心层序划分 研究区可供利用的钻孔资料很丰富(上万口井),密度大,以现行全心孔作为详细成因相、沉积特征和层序划分的标准柱子。钻井岩心层序分析首先从单井开始,鉴别由于水进水退和构造等因素所造成的旋回单元、层序和体系域边界,尔后进行孔间联系。再根据详细的生物地层学研究,建立孔间年代地层和生物地层的对比关系。

2.2.2 测井层序分析 本次研究主要采用自然伽玛和视电阻率两类曲线,也参考速度和中子曲线划分层序及小层序。测井层序划分也是从单井开始,根据测井曲线在反映地层纵向上大尺度沉积特征及其变化特点,找准变化突出点和变化序列组合,以建立沉积层序及其关系。这

是靠有限的取心资料所不易实现的。

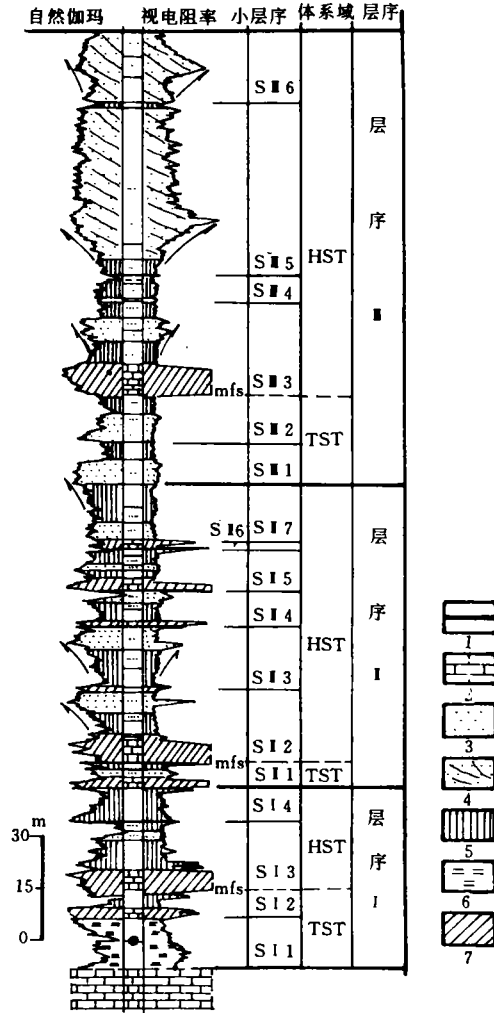
2.2.3 钻井岩心和测井资料综合划分层序

本次划分层序及其内部单元主要采用岩心和测井曲线相结合的方法,以全取心孔及其测井资料为对比柱子,以研究区内所有钻孔测井曲线为基础,进行二维层序划分及对比,最终建立层序基本格架。在具体工作中,测井层序和钻井岩心层序分析同步进行,两者的综合分析得出一种有意义的解释成果。测井物性解释和岩心的沉积学分析是互相印证和补充的。图2是综合岩心和测井资料划分的内陆表海盆地沉积层序及沉积体系域的一个简例。

2.2.4 露头层序划分 在山东淄博地区、新汶地区,石炭二叠系有良好的露头,本次研究进行了露头地层实测和层序追索,并划分出层序单元。除了采用传统的野外地质剖面实测方法外,特别加强了同层位、同界面的长距离追踪,经与钻井岩心和测井层序划分成果对比,相应界面和单元吻合。

2.3 沉积体系域的识别与划分

2.3.1 体系域的识别 层序地层学概念体系中的沉积体系域主要根据地层几何形态和物理关系,以及沉积体的配置关系和成因关系进行识别,因而层序地层学中的沉积体系域是沉积环境与几何形态的统一(据李思田)^[11]。山东及邻区石炭—二叠纪含煤层序的沉积体系、体系域的研究特点不仅在于对成煤环境的正确识别和对各种大的沉积体的成因解释,而且更重要的在于阐明各种沉积体系的相互关系及其在全盆地中的配置样式。根据详细研究含煤岩系成因相及其构造特点,成因相在盆地中的空间配置和时间上的演化特点,将研究区含煤系划分出三大沉积体系类型,即潮坪沉积体系、障壁—泻湖沉积体系和河控浅水三角洲沉积体系。这3类沉积体系为沉积体系域的主要构成,不同类型或相同类型沉积体系在空间上的叠覆,形成了独具特色的内陆表海含煤层序沉积体系



- 1. 煤层 2. 石灰岩 3. 障壁—泻湖、潮坪沉积体系中的粗碎屑沉积 4. 三角洲沉积体系中的粗碎屑沉积 5. 潮坪、泻湖与海湾细碎屑、泥质沉积 6. 铁、铝质、泥质沉积 7. 内陆表海海侵期沉积

TST. 海侵体系域 HST. 高位体系域

mfs. 最大海泛面 S I 2. 体系域单元—小层序

图2 研究区海陆交替型含煤层序及其构成单元(以济宁地区资料为据)

Fig. 2 The paralic coal-bearing sequences and their architectural units in the study area (based on the data from Jining area)

域。

2.3.2 最大海泛面的确定 最大海泛面是海侵体系域和高水位体系域的分隔界面,是在陆源沉积场所向陆迁移时海进过程中海侵达到最大范围时形成的,并被海退期间上覆于下部体系域顶面上的进积倾斜沉积体所掩埋。最大海泛面是内陆表海含煤沉积层序中最关键性界面,可以从晚古生代海陆交替型3个含煤层序中识别出来,位于每个层序的下部。所以海侵体系域和高位体系域的厚度相差很大,前者较后者薄得多。研究表明,最大海泛面总是与研究区内含煤层序中厚度最大、全区分布稳定的石灰岩层密切相关,但其位置不一定在厚层海相层的底界面,往往出现在该层位的下部,这可以从测井曲线上识别出来(见图2)。值得注意的是,海侵层往往与泥炭层共生在一起,即常见煤层顶板直接为灰岩,其间没有过渡层沉积,此时最大海泛面即位于海相层与泥炭层的分界面上。如果海相层下部可识别出含有丰富海相动物壳屑的层位,那么最大海泛面即位于壳屑层与厚层海相层之间的分界面上。

2.3.3 含煤层系内沉积体系域类型 根据最大海泛面的性质和出现层位,海陆交替型含煤层序可划分出海侵体系域和高水位体系域,为二元结构型层序。这是华北晚古生代海陆交替型沉积层序的独特的构成,也是与边缘海盆地层序构成的显著区别之关键点。因为迄今为止在华北地台广大面积内尚未发现煤系底部存在着作为低水位体系域标志的深切谷地充填沉积物。

2.3.4 体系域单元—小层序^[13](parasequence)的识别与划分 小层序的划分有赖于区域性水进界面的识别,在内陆表海条件下发育的海陆交替型含煤岩系中有大量的海侵层,由于盆地基底的相对稳定性和古地貌上坡极缓的坡度,海水进退表现出突发性和广泛性,在短暂的地质年龄间隔中引起大面积的环境演变,因此这些海相层具有等时性。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。这样,海侵、广泛的泥炭沼泽化,与火山灰降落事件一样,都具有“事件”性质。因此,海侵层位的对比、泥炭薄层的追踪、火山灰层位的鉴定等都是划分小层序的重要依据。据此,将内陆表海海陆交替型含煤层序划分出17个小层序,其中层序I为4个,层序II为7个,层序III为6个(图2)。

3 海陆交替型含煤层序的构成样式

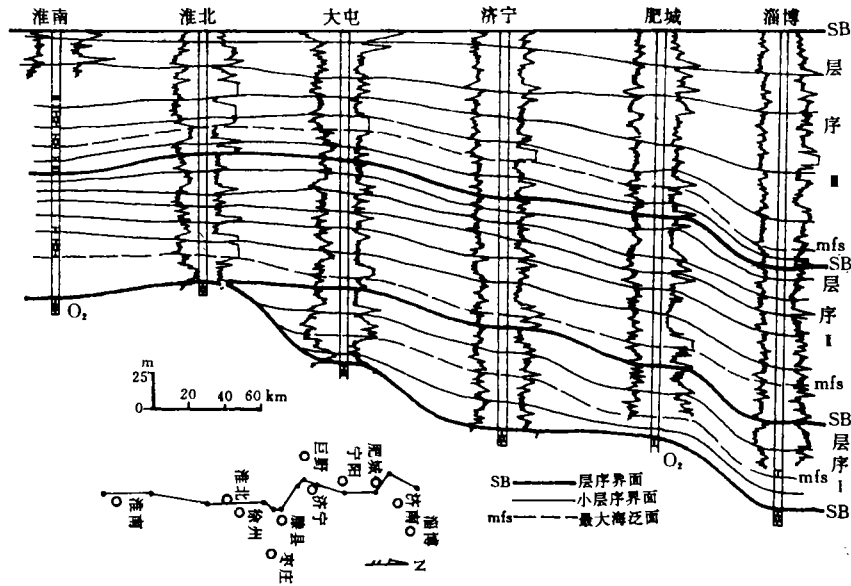
3.1 体系域重建

为了详细划分层序及其内部构成单元(层序建造块),我们编制了大量由山东东北部区淄博煤田至安徽淮南煤田的长距离沉积断面图(高精度的岩心分层和测井资料对比)、各煤田大比例尺沉积断面图(依据密集的钻孔资料)和各体系域单元大比例尺沉积断面网络,以追踪层序和小层序,重建沉积体系域,恢复古地理和古环境。图3为成果简化图之一,展示了依据钻井岩心和测井资料划分的层序、体系域和小层序及其对比连结情况。将大量的这类划分成果图放在三维空间进行联系对比,可展示出层序、体系域和小层序在空间上的叠置型式。

3.2 聚煤盆地背景及演变特点

聚煤期前华北是我国形成较早的古隆起区^[14,15]。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,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。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,属浅海沉积,表明再度沉积后华北古隆起

区具有整体性和稳定性的特色。中奥陶世后由于加里东运动影响,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。



钻孔的左侧为自然伽玛曲线,右侧为视电阻率曲线

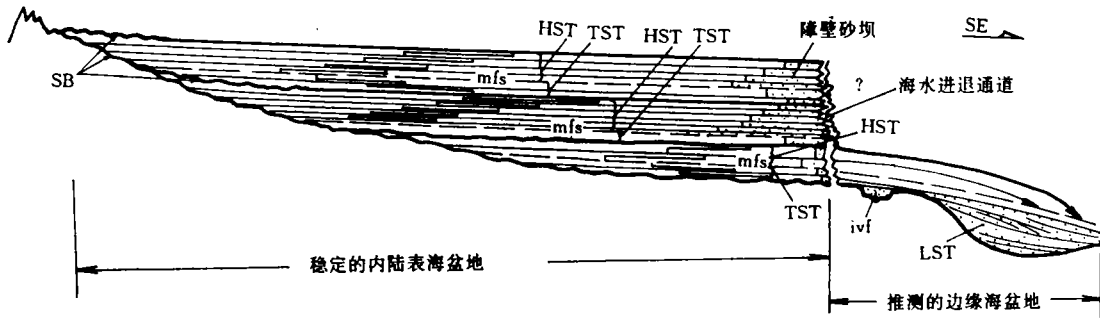
图3 山东及邻区晚古生代海陆交替型含煤地层层序及小层序叠置关系

Fig. 3 The stratigraphical sequences and the stacking of parasequences of the Late Paleozoic paralic coal measures of Shandong and its adjacent area

上石炭统经历了本溪期和太原期两个沉积阶段。本溪期海水从华北东偏北方向向西南侵入,使盆地形成了海陆交替局部含煤沉积,而在盆地的西部、南部及北缘未经海水浸漫之处,仅有陆相沉积或残积物。层序 I 即是在此种背景下形成的。太原期盆地基本继承了本溪期的轮廓,但出现了北偏高南偏低的明显地势,以海相层的分布和整个沉积物物源供给总趋势看,苏皖地区是海水侵入的主要通道。此时盆地最稳定,沉积了最具特色的海陆交替型含煤沉积,形成了层序 II。山西期盆地虽然继承了太原期的基本轮廓,但北高南低的总趋势加剧,海平面在高频变化的过程中,海水以向南退却为主,出现了进积作用强的浅水三角洲沉积,形成了可与经典层序^[16]构成对比的层序 III。

3.3 含煤层序构成样式

图 4 是根据华北晚古生代内陆表海海平面变化特点和海陆交替型含煤层序内部构成单元类型提出的内陆表海盆地含煤地层的层序地层模式。含煤层序为“海侵体系域—高水位体系域”二元结构型,聚煤盆地为巨型浅碟式受限内陆表海型,与其同期的边缘海部分可能相距较远,或在板块消减及大陆碰撞过程中被破坏掉了。内陆表海盆地与边缘海盆地或大洋之间可能以通道(sea way)形式相通。



HST. 高水位体系域 TST. 海侵体系域 mfs. 最大海泛面 SB. 层序界面

图4 华北稳定内陆表海盆地含煤层序构成模式

Fig. 4 The architectural model of coal-bearing sequence of the stable epicontinental sea basin of North China

4 研究意义

层序地层学的产生给沉积学和地层学领域带来一次革命,普遍认为其影响如大地构造学中产生了板块构造学说一样深刻。但任何研究成果和理论都是来自具体研究工作和长期实践,国外的理论和成功模式虽然具有很好的指导和借鉴意义,但如果仅是生搬硬套现有模式去开展不同类型盆地分析工作,将无助于层序地层学的完善和进一步发展。内陆表海海陆交替型含煤地层的层序地层分析是一新的课题,在国内外尚未有可供借鉴的成功模式参阅。本次研究,划分了Ⅲ级层序及其内部构成单元,重建了沉积体系域,建立了石炭二叠纪具有内陆表海盆地沉积特色的层序模式。这些成果对于解释晚古生代华北内陆表海突发性海侵^[17]事件和煤聚集规律^[18]具有重要的理论和实际意义。层序划分和内部建造块的确定对指导煤层对比具有现实意义。如山东及邻区各煤田存在的煤层对比不清问题和层组界线的确定争论不休等都可可在统一的层序地层格架中得到解决。例如,本溪组与太原组之间的分界,在鲁西南煤田,传统的划分方案是以第十二层灰岩顶层面为界,其以下为本溪组,其以上为太原组。在含煤地层层序地层研究中,在第17层煤顶层面经长距离追踪对比,识别出层序界面,即层序Ⅰ和层序Ⅱ的分界面。第17层煤至第十二层灰岩间为明显的海退时期潮坪沉积。如果按传统划分则会将同一沉积旋回的海退半旋回分割开来,这显然是不合理的。本次研究成果与国际上对石炭系和二叠系划分方案基本挂钩。

研究工作得到李思田教授、李祯教授的精心指导;王鸿祯教授、杨起教授、孙永传教授、张鹏飞教授和田兴有研究员等提出了建设性意见。王明镇教授、张锡麟教授和李青山高级工程师参加了部分研究工作。在此特致衷心感谢!

收稿日期:1994年3月8日

参 考 文 献

- [1]王英民,1987,全球海平面升降周期与层序地层学,岩相古地理通讯,(5):33—40。
- [2]李思田,1992,层序地层分析与海平面变化研究—进展与争论,地质科技情报,(4):23—30。

- [3] Van Wagoner J. C. Mitchum R. M. Campion K. M. and Rahmanian V. D., 1990, Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores, and Outcrops: Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies, AAPG Methods in Exploration Series, No. 7: 1-55.
- [4] 徐怀大, 1991, 层序地层学理论用于我国断陷盆地分析中的问题, 石油与天然气地质, (1): 52-57.
- [5] 魏魁生、徐怀大, 华北典型箕状断陷盆地层序地层学模式及其与油气赋存关系, 地球科学, (2): 139-149.
- [6] 余素玉、邬金华, 1993, 层序地层学方法及其在陆相湖盆研究中的应用, 地质科技情报, (2): 37-43.
- [7] 解习农、李思田, 1993, 陆相盆地层序地层研究特点, 地质科技情报, (1): 22-26.
- [8] Goodwin P. W. and Anderson E. J., 1985, Punctuated aggradational cycles; a general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation. J. of Geol., Vol. 93, p. 515-533.
- [9] Brett C. E., W. M. Goodman and S. T. Loduca, 1990, sequences, cycles, and basin dynamics in the silurian of the Appalachian foreland basin, sedimentary Geol., Vol. 69, p. 191-244.
- [10] Anderson E. J. and Goodwin P. W., 1990, The significance of meter-scale allocycles in the quest for a fundamental stratigraphic unit, J. of Geol. Soc. London, Vol. 147, p. 507-518.
- [11] 李思田, 1988, 断陷盆地分析与煤聚积规律, 北京: 地质出版社, 32-33.
- [12] 李思田、李楨、林畅松等, 1993, 含煤盆地层序地层分析的几个基本问题, 煤田地质与勘探, (4): 1-9.
- [13] 李思田, 1992, 论沉积盆地分析领域的追踪与创新, 沉积学报, (3): 10-15.
- [14] 韩德馨、杨起, 1980, 中国煤田地质学(下册), 北京: 煤炭工业出版社, 101-151.
- [15] 王熙曾、朱柳如、王杰, 1992, 中国煤田的形成与分布, 北京: 科学出版社, 11-20.
- [16] 威尔格斯 C. K 主编, 徐怀大等译, 1993, 层序地层学原理, 北京: 石油工业出版社, 49-55, 138-184.
- [17] 何起祥、业治铮、张明书等, 1991, 受限陆表海的海侵模式, 沉积学报, (1): 1-10.
- [18] 李增学、魏久传、李守春等, 1995, 鲁西陆表海盆地富煤单元的形成与分布, 煤炭学报, (1): 10-17.

The Sequence Stratigraphical Pattern of the Permo-carboniferous Coal Measure in Shandong and Its Adjacent Area

Li Zengxue Wei Jiuchuan and Li Shouchun

(Shandong Institute of Mining and Technology, Tai'an 271019)

Abstract

Sequence stratigraphical analysis in epicontinental paralic coal measure is a new problem for study. Based on the sedimentary characteristics of Permo-carboniferous coal measure in Shandong and its adjacent area and the general feature of the vast coal-bearing depositional basin of North China, using the thought, method and technique of sequence stratigraphy originated from the study of marine basin, the authors have carried out the sequence stratigraphical analysis in paralic coal measure. Our research shows that the Late Paleozoic paralic coal measure in the study area can be divided into three third order sequences which are separated by periodic surface of third order sea-level changes. The three boundaries of sequence are conformity planes in North China area. The basic architecture of the coal bearing sequences are characterized by dualistic pattern, which differs from the typical "lowstand-transgressive-highstand" model established by North American scholars in the study of continental marginal oil-gas basin.

The classification of sequences, the identification and the follow-up correlation of various order surfaces

of internal units in sequence have solved the confused correlation problem in the study of vertical succession. The correlating analysis of depositional systems, and system tracts, and the determination of the stratigraphical frame of coal bearing sequence provide the bases for the basin—filling analysis of the vast epicontinental basin. In this paper, the classification of parasequences and the characteristics of their boundaries are discussed. Research also shows that the transgressive systems tracts consist of 1 to 2 parasequences, and the highstand systems tracts are composed of 4 to 7 parasequences. Seventeen parasequences are distinguished in the three third—order sequences, most of them are of periodic parasequences. The classification of parasequences is dependent on the identification of regional transgressive boundaries. In the paralic coal measure developed in the epicontinental sea, the thin—layered stable transgressive beds, the extensively distributed tidal flat deposits and peat swamp deposits provide correlation basis for the classification of parasequences.

Key words: epicontinental sea paralic coalseries dualistic configuration sequence stratigraphic analysis