

内陆表海含煤盆地层序地层分析的 思路和方法*

李增学 李守春 魏久传

(山东矿业学院地球科学系, 泰安 271019)

内陆表海含煤盆地的层序地层分析不同于大陆边缘海盆地, 尤其像华北晚古生代巨大的内陆表海聚煤盆地, 海平面变化具突发性和高频性特点, 因此所形成的海陆交替型含煤层序较其他类型盆地成因的层序要薄得多。根据研究区盆地充填特征, 海平面变化对沉积体系类型和空间配置的控制, 总结出内陆表海盆地层序地层分析的基本思路和方法, 即■级层序划分与层序内部构成单元划分同步进行, 最大海泛面的识别与层序界面、小层序界面以及沉积体系域的识别同步进行等原则。

关键词 内陆表海 含煤盆地 层序地层分析 晚古生代 思路 方法

第一作者简介 李增学 男 40岁 教授 沉积学和煤地质学

1 概述

北美学者 Vail, Wagoner 和 Mitchum 等^[1]最先提出一整套层序地层分析的概念与术语, 并据被动大陆边缘盆地提出海平面变化是层序演化的主要驱动机制。Vail 等^[2]近年又强调了构造作用对层序形成的影响, 并将层序地层分析、沉降史分析和构造-地层分析结合为整体的综合地层分析方法, 发展和完善了全球海平面变化为主导控制的理论。

层序地层分析的系统成果主要来自墨西哥湾和大西洋被动大陆边缘盆地^[3], 这一领域在其他方面的成果也主要来自海相沉积发育的盆地^[4]。近年层序地层理论和方法在克拉通盆地和前陆盆地^[5]得到应用和发展。Wagoner 等^[6]近年提出一套钻井、测井和露头层序地层研究方法和技术, 从而严格地厘定了层序地层学的概念体系。我国学者开展陆相盆地层序地层分析^[7~9], 探讨断陷盆地层序地层模式^[10,11], 寻找层序地层格架与沉积矿床间的成因关系^[12]和开拓含煤地层层序地层分析新途径等^[13], 都取得了重要的成果。

在煤地质领域由于具有发展和应用层序地层学的扎实基础和十分有利的条件, 我们近年进行了内陆表海含煤盆地的层序地层学研究和富煤单元形成、分布等的研究^{**}, 总结出了巨型浅碟式陆表海聚煤盆地含煤地层层序地层分析的基本思路和方法。

* 国家自然科学基金资助项目 (编号: 49272122)

** 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.

收稿日期: 1994-07-13 改回日期: 1995-03-02

2 华北内陆表海聚煤盆地层序地层研究特点

2.1 基本特点

晚古生代中国华北地区为内陆表海及受限海湾盆地,其总体形态为巨大的浅碟式沉积盆地。盆地北缘为阴山-天山构造带,南缘为秦岭构造带,西缘为乌兰格尔-平凉隆起^[14],在如此广大的陆台上沉积了全盆地可对比的海陆交替型含煤沉积,在全球是独具特点的。其沉积滨线坡折(depositional coastal break)不像边缘海那样容易确认,盆地基底极缓的古坡度(<0.001)难以形成侵蚀成因的角度不整合。迄今在华北地台广大面积内尚未发现煤系底部存在深切谷充填沉积。同期的边缘海可能位于东部及东南部且相距较远,与内陆表海盆地可能以通道形式连通。边缘海可能在后期板块消减及大陆碰撞过程中被破坏掉了。因而,内陆表海盆地含煤层序内部单元的构成形式,可能不同于经典的层序地层学模式。

2.2 层序发育的控制因素

北美学者提出并讨论了大陆边缘海盆地控制层序发育的主要因素^[1,3,15,16],如海平面变化、构造沉降、沉积物供给和气候条件。对于内陆表海盆地来说,海平面升降变化和沉积物供给是两个最重要的控制因素,盆地基底沉降和气候条件相对为次要因素,尤其是稳定的内陆表海盆地。

华北晚古生代内陆表海海陆交替型含煤层序较其他类型盆地成因的层序要薄得多,其原因归结于聚煤盆地地势极平坦,海平面高频变化,物源区相对较远,盆地沉积始终处于一种浅水而又欠补偿的状态,沉积速率很低等因素。

2.2.1 海平面变化特点

海平面变化是控制华北内陆表海盆地层序发育的最重要的因素,其变化特点显然不同于边缘海盆地。内陆表海海平面变化有两个特点:高频变化和突发式海侵^[17]。这两种变化都具有“事件”性质,高频变化控制了含煤岩系的海陆交替性质和垂向上旋回结构十分清晰的特点;突发式海侵控制了层序界面、层序内部各级单元界面的形成,以及沼泽发育程度和成煤环境及其变化。在含煤地层中可见到多层煤层直伏于海侵层(石灰岩,经鉴定为正常海洋环境沉积)之下,其间没有过渡层位。有不少煤层顶面与海侵层接触部位呈现规则的波状起伏,海侵层底面即表现为通常所比喻的蛤蟆顶,这是正常波浪作用的结果。泥炭层得以保存最终成煤是由于海平面突然上升水体变深,泥炭沼泽发育中断,而泥炭层处于还原环境免遭破坏的结果。通过详细研究含煤岩系中各薄层煤的沉积特点及其底板岩层的成因类型,认为晚古生代海陆交替型煤层是潮坪沼泽化最终泥炭沼泽化形成的,煤层中不含海相动物化石及其碎屑,煤层底板为潮坪沼泽成因的根土岩,因此不属于海相成煤。

2.2.2 沉积物供给

沉积物供给量是一种对物源区至盆地的地形、沉积物类型以及物源区气候等的复杂响应。内陆表海盆地地形特点受控于地台本身的构造活动,地台构造活动相当弱,盆地基底沉降缓慢,古坡度极缓。因此,盆内水动力条件在相当大的范围内具有一致性,沉积物一旦被搬运可在几乎相等的营力条件下到达距物源区相当远的部位沉积。近年,不少学者在晚古生代含煤地层中发现了火山碎屑^[18]和煤层夹研的火山灰成因机制^[19],也引起广泛的关注和讨论^[20]。这在含煤岩系沉积学研究中是一件值得重视的事件,尤其是火山灰降落事件的研究,对于层

序划分及对比界面的确定具有重要意义。

总起来看, 内陆表海盆地沉积物供应是欠补偿的。由于海平面的高频变化, 盆地覆水并不深, 还时常暴露为陆。从沉积体系的配置关系看, 潮坪沉积体系、障壁-泻湖沉积体系的反复多次出现、交互叠置是内陆表海盆地沉积环境演化的最突出特点。

2.3 含煤地层Ⅲ级层序划分的基本思路和方法

华北石炭二叠纪巨型聚煤盆地的地质条件与北美的大陆边缘海盆地有根本上的差异。因此, 不能把国外的模式简单地加以套用, 而需要在汲取新的理论与技术的同时, 立足我国煤田地质特点, 在追踪的基础上加以发展^[21]。所以, 灵活地运用当代层序地层分析的基本思路和方法, 找出内陆表海盆地与边缘海盆地间在沉积特点和地层构成形式上的差异, 建立内陆表海含煤地层的年代地层格架, 划分各级层序地层单元, 进行成因机制和沉积体系三维空间配置, 并在此基础上重建沉积体系域, 以及确定富煤单元的形成条件, 分析盆地演化史, 并利用煤岩煤质参数研究层序格架的构成特点, 最终确立独具特色的内陆表海含煤盆地层序地层模式。具体方法归纳成如下几点:

(1) 在具高频海平面变化事件的内陆表海海陆交替沉积的煤系中, 找到最大海侵事件界面, 因为它是内陆表海盆地层序划分和识别体系域类型的重要依据。这要在多个垂向剖面上作反复比较和区域追踪才能完成, 与经典层序地层学研究方法中要求首先确定层序界面、建立层序地层格架的步骤不尽一致。

(2) 体系域的识别和小层序组(parasequence sets)的确定要与层序界面的确定同步进行, 以便互相印证和进行完整层序的配套。

(3) 内陆表海盆地基底面极为平缓, 海侵具突发性, 但在区域性的突发式海侵发生之前往往有小规模的海侵事件发生。因此, 如何通过大型沉积断面找到海侵标志沉积物逐步向盆缘方向推进的沉积序列是划分Ⅲ级层序的关键步骤。即海侵沉积序列的分析比海退序列的分析显得更重要。

(4) 确定最大海泛面。在内陆表海含煤地层的层序划分中, 由于层序界面在盆地广大面积内可能为整合面, 因此, 也可能出现首先找到最大海泛面尔后才能确定出层序界面的情况。这并不影响最终对层序格架建立的可靠性。

(5) 泥炭化事件也是内陆表海环境最突出特点之一。因此, 对区域性的、最广泛的泥炭化事件的确定对划分层序最有意义。泥炭化事件界面不一定是Ⅲ级层序界面, 但有可能是小层序组、小层序的划分界面。本文强调的是“具区域性的”和“最广泛的”泥炭化事件, 即在内陆表海盆地沉积体系演化中, 潮坪或泻湖淤浅沼泽化, 最终在区域范围内发生泥炭沼泽化事件沉积。其下伏成因相是沼泽, 根座化石丰富, 泥炭属原地堆积。并不是整个煤系地层中所有煤层都属事件型沉积, 有些局部范围分布的煤层显然不具备作为层序内部结构单元划分的依据。不少研究者在煤层夹矸中发现降落火山灰沉积型蚀变产物^[22], 通过区域追踪可提高煤层对比的精度, 也为层序内部单元(如小层序)界面的确定提供了有力证据; 但目前发现的层位有限, 对比点太少, 尚不能满足层序格架建立的精度要求。有研究者在晚石炭世煤系中发现“风暴异地煤”^[23], 这类风暴异地煤是风暴事件沉积, 其界面或层位本身就具有很好的对比意义。

(6) 一个Ⅲ级层序应对应于一个Ⅲ级海平面升降旋回, 但内陆表海海平面升降旋回具不对称性, 在具突发性海侵事件沉积的含煤岩系中, 海侵半旋回往往比海退半旋回薄。

3 内陆表海含煤地层层序界面

大多数陆表海环境沉积的地层由一种较薄的向上变浅的旋回性层序组成, 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, 紧接着这一间断事件则是一种均衡的堆积过程。内陆表海盆地的层序界面确定较边缘海盆地要困难得多, 我们根据陆表海含煤盆地沉积特点和区域背景条件, 盆地构造由稳定到不稳定(二叠纪及以后)的演化特点, 认为以下四种界面可作为层序界面(图1)。

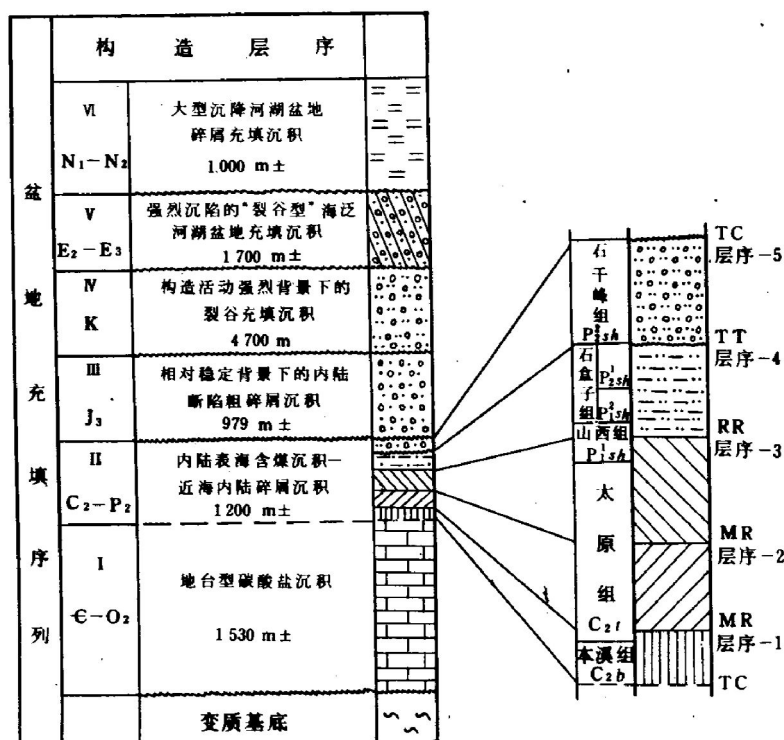


图1 山东层序地层古构造界面、构造层序、层序及层序界面示意图

TC—古构造运动面; TT—构造应力场转换面;

RR—区域性海退界面; MR—最大海退界面

3.1 区域性不整合面(古构造运动面, TC)

由古构造运动所形成的不整合面(包括假整合面), 往往与构造运动事件相吻合, 能在全盆地内普遍发育, 可以准确地追踪对比。晚古生代煤系底部与中奥陶统间由加里东运动所形成的假整合面在华北地台普遍发育, 为典型的构造层序、层序划分界面。

3.2 区域性海退事件界面(RR)

指大规模的与海退过程有关的沉积体系废弃界面, 位于内陆表海海陆交替型含煤沉积的顶部。如前所述, 华北内陆表海盆地的独特的巨型浅碟式形态, 使海侵具突发性事件性质, 也使海平面升降变化中的海退过程具备了“事件”性质。虽然这种性质与海侵的“突发式”有着根本性区别, 但较边缘海盆地又具无可比拟的“快速”特色。在内陆表海盆地, 即使海平面下降幅度

不大, 也会导致盆地内大范围迅速处于浅水环境。在这里, 区域性海退事件, 特指晚古生代华北内陆表海聚煤盆地最后一次影响全局的海退过程。其意义在于, 由于海平面变化和古构造运动导致相对海平面快速下降, 致使海水全部退出盆地, 最终使盆地环境改观。由此界面往上为陆相沉积, 再没有影响全盆地的海侵发生。

3.3 构造应力场转换面(TT)

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。由于盆地构造应力场的改变, 使盆地环境和内部特征发生大的变化, 从而导致沉积特征上的巨大变化。上二叠统石盒子组与石千峰组间存在着这样一个明显的分界面, 其上下有机质丰度截然不同。这类界面在盆地内部可能表现为整合面, 而在盆地边缘则为侵蚀或冲刷界面。

3.4 最大海退事件界面 (MR)

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内陆表海条件下, 控制同一含煤层序沉积的最大的那次海退沉积界面, 该界面往上出现海侵的标志。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。最大海退事件界面是内陆表海盆地沉积充填序列内部的界面, 其影响范围虽然涉及全盆地范围, 但海退发生后不久又接着发生海侵。

4 内陆表海含煤盆地层序地层样式

前已述及, 迄今在华北地台大面积内的保存完好的煤系中, 没有发现低位体系域存在的证据。根据对层序界面、最大海泛面以及海平面变化周期分析, 认为内陆表海含煤层序底部以海侵体系域开始, 上为高位体系域。高位体系域的单元组成结构, 也不都象经典层序那样以三角洲朵体明显地向盆地方向推进为特征, 而主要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也不十分显著。因此, 内陆表海盆地的含煤层序为“二元结构”(或为双层结构), 即“海侵体系域-高位体系域”构成一个完整层序(图2)。

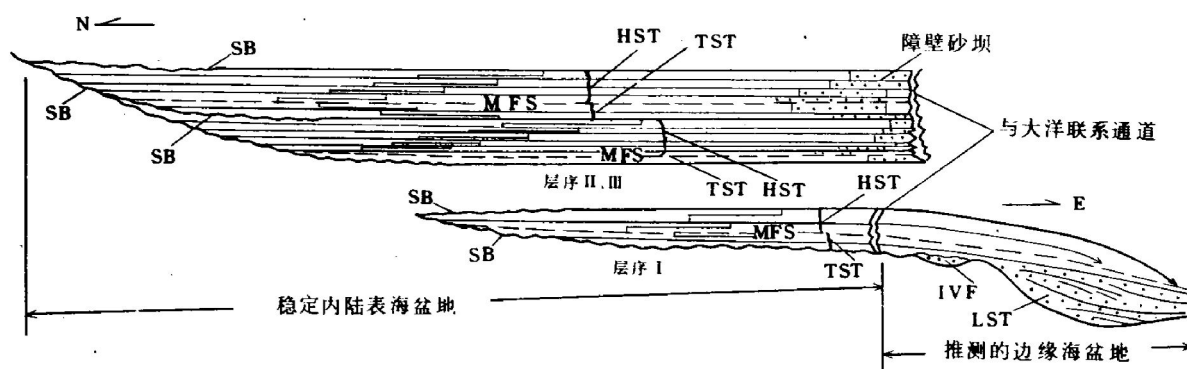


图2 华北晚古生代内陆表海盆地含煤地层的层序地层样式

HST—高位体系域; TST—海侵体系域; SB—层序界面;

MFS—最大海泛面; IVF—深切谷充填沉积; LST—低位体系域

内陆表海Ⅲ级含煤层序共有三个, 即层序Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ(图2)。层序Ⅰ沉积时, 海侵方向总体为由东而西, 盆地总势态为北部、南部和西部高, 东部低。层序Ⅱ和层序Ⅲ沉积时, 盆地地势有较大的改观, 总体为北高南低、西高东低, 海侵方向为由东南向西北。内陆表海盆地可能以复杂的方式与海洋相连通(如通道方式等), 其同期的边缘海部分可能在板块消减及大陆碰撞过程中被破坏。因此, 识别和确定层序中的一些关键层位的工作相当艰巨, 如密集段的识别和确定。

Loutit等^[24]在层序地层学中特别定义了密集段, 认为密集段(condensed section)是一种薄的海相层, 由远洋到半远洋沉积物组成, 以极低的沉积速度为特征, 代表了浅水和深水剖面之间的物理地层连接链环, 在每个沉积层序中, 从陆架或陆坡边界朝陆地方向到滨海砂沉积的远端范围内, 最易识别; 但华北内陆表海盆地的特殊古地理景观和盆地构成, 使得密集段产出位置与边缘海盆地有较大的差异, 如内陆表海盆地与大洋之间的障壁体系直接影响和限制了密集段的分布。研究表明, 华北内陆表海障壁体系中障壁砂坝的分布具有面状特点^[25],

且在盆地演化和海平面升降变化中具游动性,海水通过其间的低洼通道进入(和退出)盆地。因此,至今在保存的煤系地层中尚未鉴别出典型的密集段。如果仅从划分和对比地层单元及划分体系域的角度出发,将海平面快速上升期间形成的沉积物作为密集段对待^[26],即将煤系中的薄层灰岩作为密集段,显然是缺乏科学性,也不符合密集段的真正内涵。作者认为,在追踪最大海泛面和寻找与内陆表海盆地相联系的边缘海沉积,以及低位体系域存在证据的同时,鉴别密集段及其分布是一项具有重要意义的工作。

5 油气地质问题讨论

由上述分析可以看出,华北晚古生代含煤地层是受限陆表海盆地环境沉积的,“二元结构”是其典型特色。就内陆表海盆地本身(不包括与大洋连通部分)沉积的层序,与经典层序地层学模式比较,缺少一些较为关键的层位,如密集段、下切谷(或称深切谷)等。近年,尽管不少研究者试图在华北晚古生代地层中寻找低位体系域存在的证据,然而至今仍无结果。由于密集段、下切谷等重要层位与油气聚集的关系十分密切,所以在华北晚古生代地层中找油的地质工作是艰巨的。盲目地将一些不符合密集段内涵的沉积层作为密集段对待,将无益于找油和油气地质研究工作。因此,作者认为,华北晚古生代沉积盆地的层序地层深入研究和油气地质分析,尚需做好下列几项根本性工作:(1)盆地南缘地层格架的配套研究,即寻找与内陆表海盆地相连通的边缘海存在的证据,以及密集段的分布。其中,在盆地南缘的构造带中和东部郑庐断裂带及以东地区寻找残存煤系(或边缘海盆地沉积)是这项工作的重要步骤。(2)包括煤变质在内的有机质变质程度的综合分析。(3)二叠纪及以后沉积盆地演化及油气储集规律研究。(4)煤成气地质条件综合评价。这些工作是内陆表海盆地层序地层学研究的继续和深入,具有开创意义。

致谢:研究工作始终得到中国地质大学李思田教授、李祯教授的悉心指导,特致衷心感谢!

参 考 文 献

- 1 van Wagoner J C, Posamentier H W, Mitchum R M, et al. An overview of sequence stratigraphy and key definitions, sea-level change: an integrated approach. SEPM Special Publication, 1988, (42): 39~45
- 2 Vail P R Audemard F, Bowman S A, et al. The stratigraphic signature of tectonics, eustasy and sedimentology-an overview. In: Einsele G, Rickenw, Seilacher A, eds. Cycles and events in stratigraphy. Heidelberg: Sprinser-Verlag, 1991. 618~659
- 3 威尔格斯 C K. 层序地层学原理. 徐怀大, 魏魁生, 洪卫东等译. 北京: 石油工业出版社, 1993. 255~410
- 4 Mitchum R M, van Wagoner J C. High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles. Sedimentary Geology, 1991, 70 (2/4): 131~160
- 5 Weimer R J. Developments in sequence stratigraphy: foreland and cratonic basins—presidential address. Bull AAPG, 1992, 76 (7): 965~982
- 6 van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and faces. AAPG Methods in Exploration Series, 1990, 7: 1~55
- 7 李思田, 程守田, 杨士恭等. 鄂尔多斯盆地东北部层序地层及沉积体系分析. 北京: 地质出版社, 1992. 13~21
- 8 解习农, 李思田. 陆相盆地层序地层研究特点. 地质科技情报, 1993, (1): 22~26
- 9 余素玉, 邬余华. 层序地层学方法及其在陆相盆地研究中的应用. 地质科技情报, 1993, (2): 37~43

- 10 徐怀大. 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, 1991, (1): 52~57
- 11 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, 1993, (2): 139~149
- 12 杨瑞东. 层序地层学与沉积、层控矿产的关系. 地质与勘探, 1992, (3): 19~21
- 13 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. 煤田地质与勘探, 1993, (4): 1~9
- 14 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. 13~22
- 15 Galloway W E. Genetic stratigraphic sequence in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. Bull AAPG, 1989, 73: 125~142
- 16 Schlager W. Depositional bias and environmental change—important factors in sequence stratigraphy. Sedimentary Geology, 1991, 70 (2/4): 109~130
- 17 何起祥, 业治锋, 张明书等. 受限陆表海的海侵模式. 沉积学报, 1991, (1): 1~10
- 18 王永平. 济宁、巨野、滕县煤田石炭二叠系的火山碎屑岩. 煤田地质与勘探, 1990, (4): 35~42
- 19 冯宝华. 鲁西石炭二叠纪煤层中的高岭石. 煤田地质与勘探, 1986, (6): 8~12
- 20 房庆华, 徐榜荣, 吕鹏菊等. 关于滕县煤田太原组的“火山碎屑岩”. 煤田地质与勘探, 1992, (2): 6~9
- 21 李思田. 论沉积盆地分析领域的追踪与创新. 沉积学报, 1992, (3): 10~15
- 22 徐 兴, 张广忠, 韩作振等. 鲁西石炭纪煤系中火山事件沉积. 沉积学报, 1993, (3): 93~107
- 23 胡益成, 苏华成. 河南晚石炭世含煤地层中的风暴异地煤. 煤田地质与勘探, 1992, (3): 1~5
- 24 Loutit T S, Hardenbol J, Vail P R, et al. 密集段: 大陆边缘层序年代确定和对比的钥匙. 见: 威尔格斯 C K. 层序地层学原理. 徐怀大, 魏魁生, 洪卫东等译. 北京: 石油工业出版社, 1993. 220~254
- 25 刘焕杰, 贾玉如, 龙耀珍等. 华北石炭纪含煤建造的陆表海堡岛体系特点及其事件沉积. 沉积学报, 1987, (3): 73~80
- 26 陈世悦, 刘焕杰. 华北石炭二叠纪层序地层学研究的特点. 岩相古地理, 1994, (6): 11~20

THE THOUGHT AND METHOD OF SEQUENCE STRATIGRAPHIC ANALYSIS IN EPICONTINENTAL COAL-BEARING BASIN

Li Zengxue Li Shouchun Wei Jiuchuan

(Dept. of Earth Sciences, Shandong Institute of Mining and Technology, Taian)

Abstract

The sequence stratigraphic analysis of epicontinental coal-bearing basin differs from that of continental margin basin. In the vast epicontinental coal basin of the Late Paleozoic in North China, the sea level changed suddenly and frequently, the paralic coal measures formed in this condition is thinner than the sequence of marginal sea basin. Based on the basin-filling characteristics, the control of sea level change over the types and spatial distribution of depositional systems, the basic thought and method of sequence stratigraphic analysis of epicontinental basin have been proposed as follows: the classification of third order sequence and the intrasequence structural units could be taken at the same time; the recognition of maximum marine flooding surface, sequence interfaces, subsequence interface and depositional system tract could be taken at the same time.