

文章编号: 1000-0550(2009)06-1109-07

喀左盆地九佛堂组露头高分辨率层序地层划分^①

魏恒飞 王宇林 王威 郭强 刘锦

(辽宁工程技术大学资源与环境工程学院 辽宁阜新 123000)

摘要 在实测 106 km 剖面和对喀左盆地九佛堂组沉积特征及演化进行详细研究的基础上, 依据相序关系, 并结合碳酸盐、油页岩的成因意义, 将九佛堂组划分了 1 个长期基准面旋回和 7 个中期基准面旋回。在长期基准面旋回内, 上升期的中期基准面旋回发育以上升半旋回为主的不完全对称型中期基准面旋回, 上升与下降过渡期的中期基准面旋回, 则发育近完全对称的中期基准面旋回, 下降期的中期基准面旋回, 则发育以下降半旋回为主的不完全对称型中期基准面旋回。经过对中期基准面旋回和短期基准面旋回发育特点和形成原因的详细研究, 对代表剖面进行了中期基准面旋回对比。

关键词 九佛堂组 高分辨率层序地层 基准面旋回 油页岩 可容纳空间

第一作者简介 魏恒飞 男 1983 年出生 硕士 煤油气地质学 E-mail: hengfei-wl4@126.com

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

随着对陆相湖盆层序地层特点的研究, 高分辨率层序地层学以其精确性和实用性已被多数从事陆相湖盆层序地层研究的地质工作者所认同, 并在各自的实际研究过程中对高分辨率层序地层学理论体系进行了完善和丰富^[1-7]。运用高分辨率层序地层学进行高分辨率等时地层对比, 探讨等时地层格架内地层的分布模式, 其目的就是寻找特定岩石组合在盆地内的时空分布特点, 提高勘探效率。

喀左盆地为晚中生代裂陷盆地, 地跨辽宁省西部朝阳、建昌、喀左和凌源四县, 位于东经 119°10'~120°15', 北纬 40°30'~41°35'。盆地长轴呈 NNE 向展布, 南北长约 120 km, 东西宽约 35 km, 面积约为 4 200 km²。盆地充填地层为九佛堂组, 九佛堂组发育了多套油页岩层, 部分具有工业意义。本文是在 106 km 野外实测剖面的基础上, 在室内进行了详细的沉积环境分析之后, 进行的露头高分辨率层序地层学划分。

1 区域地质概况

喀左盆地在大地构造区划上, 处于华北板块东北部燕山造山带辽西凹陷^[8]。早白垩世初, 在 NNW—SEE 向伸展构造应力场中, 经初始裂陷, 并形成义县组火山—沉积岩系后, 区内 NNE 向断裂进一步拉张裂陷, 形成喀左盆地。之后发育了九佛堂组, 九佛堂

组主要发育一套湖相碎屑岩, 以粘土和粉砂岩为主, 砂岩和砾岩多发育于下部和上部, 九佛堂组厚度一般为 1 105~2 750 m。喀左盆地分为 4 个次级构造单元: 即四官营子凹陷、梅勒营子凹陷、大城子凹陷和五虎山凸起(图 1)。各凹陷东南为断裂盆缘, 西北为沉积—侵蚀盆缘。

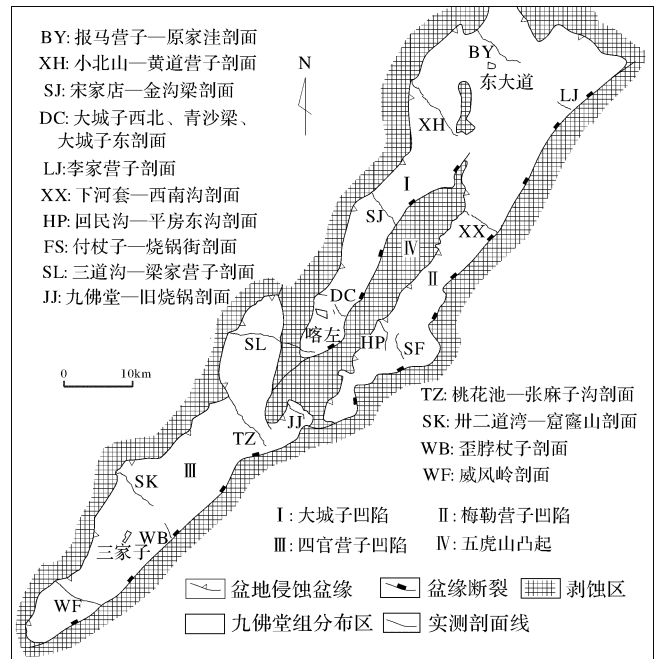


图 1 喀左盆地构造单元划分及实测剖面位置图
Fig 1 Tectonic unit division and measured sections location map of Kazuo Basin

① 中国石油辽河石油勘探局“建昌盆地九佛堂组地质调查”项目资助
收稿日期: 2008-07-13 收修改稿日期: 2008-10-12

2 碳酸钙沉积和油页岩在层序划分中的意义

目前滨浅湖地区的层序地层单元划分和对比的方法比较成熟,而对半深湖—深湖区的层序地层划分和对比^[9],仍是层序地层学研究中的一个难题,半深湖—深湖区的中期基准面旋回划分,最关键的是找到各中期基准面旋回的最大湖泛面和顶底界面。在本文中根据油页岩在层序划分中的意义找到中期基准面由上升到下降的转换点即最大湖泛面;利用含钙质组分的泥岩和粉砂岩来确定水深变浅的趋势。由于喀左盆地九佛堂组主要发育浅湖—深湖亚相,并在其发育期形成了纯泥岩与含钙泥岩和粉砂岩的交替层,因此有必要对碳酸钙沉积^[10-11]和油页岩在层序划分中的意义进行探讨,下面就此问题进行简要讨论。

地层中的钙质组分的形成与气候和季节有关,其沉淀作用与水体中的碳酸盐的饱和程度密切相关,碳酸钙的溶解度随水体的深度增加而增加并随温度的升高而降低,因此在半深湖—深湖区,由于气候变化引起水体深度下降时,则会使碳酸钙饱和而析出沉淀;而水体深度的增加使碳酸钙处于欠饱和状态,则不发生碳酸钙沉淀。总之,碳酸钙的形成与环境存在密切联系,钙质泥岩层一般反映了气候干热、水深减小^[12]等条件,因此由纯泥岩段到钙质泥岩段和钙质粉砂岩段就构成了一个水体向上变浅的旋回。

油页岩是由藻类及部分低等生物的遗体经腐泥化作用和煤化作用而形成的一种高灰分的低变质的腐泥煤,其形成环境一般为浅湖—深湖亚相的静水环境下,在经典层序地层学中认为是凝缩段,是最大湖泛面的位置,但刘立在对国内外多处油页岩形成环境进行对比分析之后认为油页岩是否可以作为水进体系域和高位体系域的标志要具体情况具体分析:如果在一个层序内,油页岩层为容纳空间由增加到减小的转折点,那么该油页岩层的底界面可代表最大湖泛面(本文中用油页岩的顶界面)。如果一个层序内,油页岩层上面有厚层的其他密集段(如黑色泥页岩)存在,那么油页岩层就只能代表一次较大的洪泛面,而不代表最大的洪泛面,因此不能作为区分体系域的标志^[13]。这一原则在油页岩发育的湖相沉积中寻找中期基准面上升到下降的转换点时是非常有效的。

3 短期基准面旋回特征及其成因意义

露头剖面中识别出短期基准面旋回是高分辨率

层序地层学研究中识别短期基准面旋回的重要方法,也是进行高分辨率层序地层划分的基础。短期基准面旋回的形成原因多受气候变化引起的可容空间和沉积物补给通量比值(A/S)的变化控制。本文在识别短期基准面旋回界面时,主要根据露头上的岩性突变面、冲刷面及含钙质组分岩石顶底岩性的变化趋势。根据短期基准面旋回的对称程度分为不对称型短期基准面旋回和对称型短期基准面旋回(图 2 3)。

3.1 不对称型短期基准面旋回

不对称型短期基准面旋回又可分为仅发育上升半旋回和下降半旋回的短期基准面旋回。仅发育上升半旋回的短期基准面旋回多发育于辫状河三角洲平原亚相、辫状河三角洲前缘亚相(图 3a b)及湖泊的滨浅湖地带。其形成多是在基准面上升期保存了向上变细的沉积层序,而在基准面下降期可供沉积物沉积的可容空间小于沉积物补给通量,因此在其下降期沉积的物质多被剥蚀掉,形成顶界面与上覆岩层呈冲刷接触。沉积相序自下而上多表现为:具大型槽状交错层理的分流水道粗砂岩—越岸平原沉积的泥质粉砂岩和凝灰岩夹决口扇沉积的中砂岩和细砂岩、水下分流河道沉积的凝灰质中粗砂岩—河口坝沉积凝灰质细砂岩—远沙坝沉积的凝灰质粉砂岩或滨湖沉积的细砂岩—浅湖沉积的钙质粉砂岩和粉砂质泥岩。仅发育下降半旋回的短期基准面旋回多发育于扇三角洲前缘亚相(图 3c),在沉积相序上自下而上表现为:具小型交错层理的远沙坝细砂岩—具大型槽状交错层理的河口坝沉积的含砾粗砂岩—水下分流河道沉积的砾岩。此类型短期基准面旋回主要出现于中期基准面下降旋回中加速下降的中、晚期,因短期基准面上升的幅度变小,短暂的上升期沉积常受到水进冲刷作用影响而不发育,而下降期主要处于 $A/S < 1$ 向 $A/S \ll 1$ 强烈递减的状态,因而其顶界面常具冲刷现象。

3.2 对称型短期基准面旋回

对称型短期基准面旋回以保存有完整的上升半旋回和下降半旋回为特点,根据其形态可分为以上升半旋回为主的短期基准面旋回、以下降半旋回为主的短期基准面旋回和近完全对称的短期基准面旋回。以上升半旋回为主的短期基准面旋回在喀左盆地九佛堂组中主要发育于辫状河三角洲平原亚相(图 3d),其沉积相序表现为:具大型槽状交错层理的分流水道沉积的含砾粗砂岩—越岸平原沉积的凝灰质粉砂岩夹决口扇沉积的中砂岩—决口扇细砂岩。其

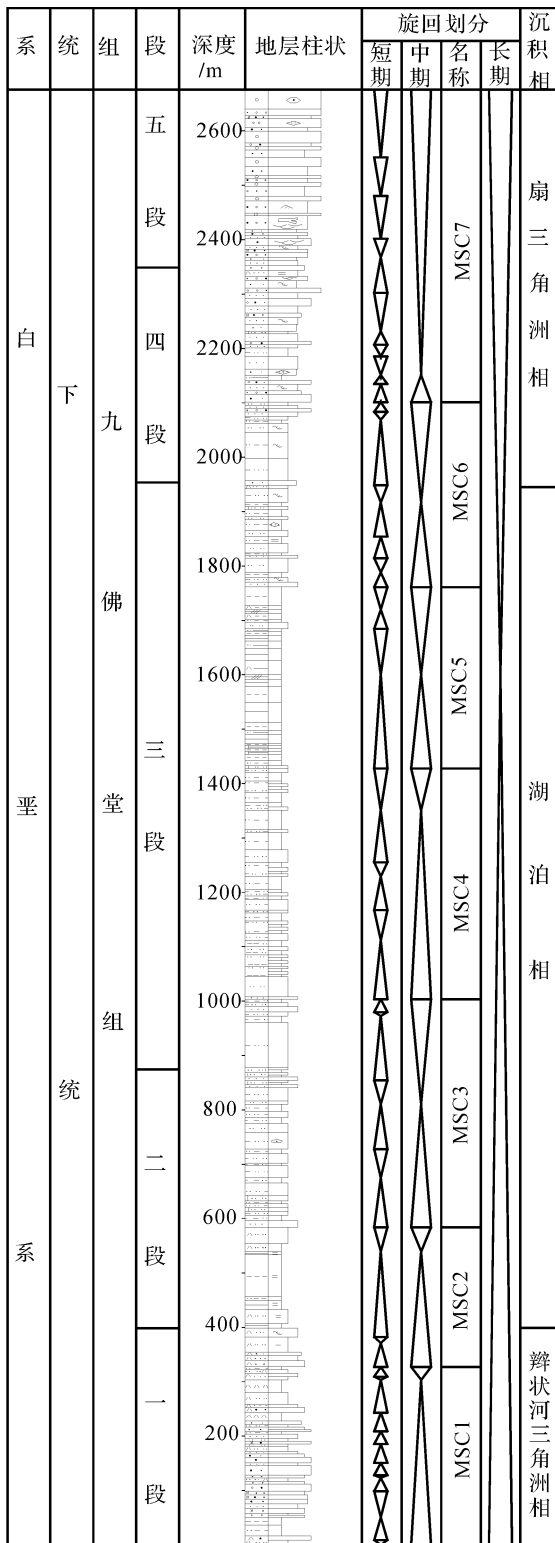


图 2 九佛堂组沉积相和高分辨率层序地层综合柱状图 (图例见图 5)

Fig 2 Synthesis column map of sedimentary facies and high-resolution sequence stratigraphy of Jiufotang Formation

主要是在短期基准面上升期可容空间和沉积物补给通量的比值 $A/S \geq 1$ 的条件下沉积物得以保存, 而在下降中后期由于可容空间的迅速减小, 沉积大多不能被保存下来, 形成与上覆岩层呈冲刷接触的地层样式。以下降半旋回为主的短期基准面旋回在喀左盆地九佛堂组中主要发育于扇三角洲前缘亚相 (图 3f), 在沉积相序上表现为水下分流河道沉积的砾质不等粒砂岩—河口坝沉积的具小型交错层理的细砂岩—前三角洲沉积的凝灰质页岩—远沙坝沉积的具小型交错层理的粉砂岩—河口坝沉积的具小型交错层理的细砂岩—水下分流河道沉积的不等粒砂岩。此类型形成的原因主要为在可容空间和沉积物补给通量的比值 $A/S \leq 1$ 的条件下, 由于短期基准面上升期为快速上升, 保存了较薄的沉积物, 而短期基准面下降期为缓慢下降, 保存较厚的沉积物。近完全对称的短期基准面旋回在喀左盆地主要表现为以滨湖亚相和浅湖亚相 (图 3e) 交替出现为特征, 其沉积相序上表现为小型交错层理凝灰质细砂岩—具波痕的凝灰质粉砂岩—泥岩—具波痕的凝灰质粉砂岩。此类型短期基准面旋回多是在沉积物供给速率接近至略低于可容空间增长率弱补或欠补偿沉积条件下形成的。

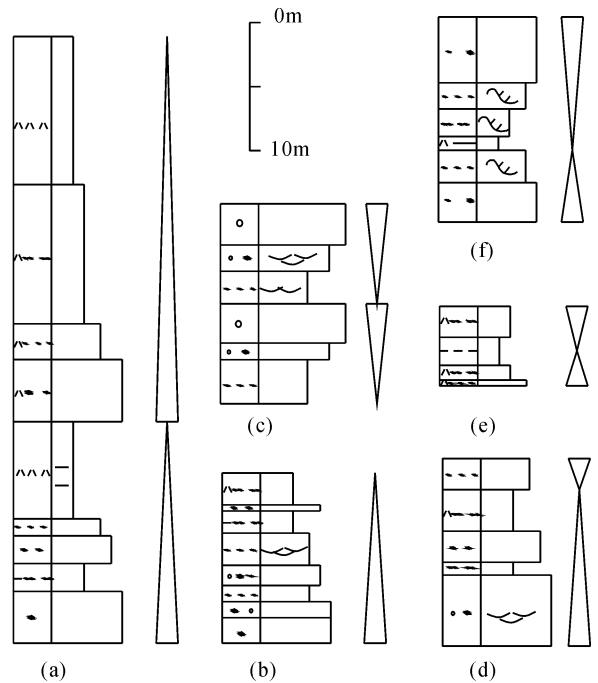


图 3 短期基准面旋回沉积特征 (图例见图 5)

Fig 3 Sedimentary characteristics of short-term base level cycles

综上所述, 短期基准面旋回主要受其在中期基准

面旋回中的所处时期以及基准面旋回引起的可容空间和沉积物补给通量比值 (A/S) 的变化控制。在中期基准面旋回早、晚期, 短期基准面旋回多发育以上升和下降半旋回为主的短期基准面旋回, 其沉积物以砾岩、砂岩为主。而在中期基准面旋回的中期则以发育对称型短期基准面旋回为主, 沉积多为粉砂岩和泥岩。

4 中期基准面旋回特征及其成因意义

中期基准面旋回的发育多为气候和构造引起的可容空间和沉积物补给通量比值 (A/S) 的变化引起。中期基准面旋回是在大致相似的背景下形成的一系列具成因联系的短期基准面旋回的组合, 包括中期基准面上升和下降半旋回^[14]。中期上升半旋回由一系列代表水体逐渐变深的短期旋回叠加而成, 中期下降半旋回则由一系列代表水体逐渐变浅的短期旋回叠加而成。因而中期基准面旋回在盆地内对比是最具等时意义的。喀左盆地九佛堂组表现为 7 个中期基准面旋回, 自下而上命名为 MSC1、MSC2、MSC3、MSC4、MSC5、MSC6、MSC7, 其中 MSC5 的转换点为长期基准面旋回的最大湖泛面。中期基准面旋回的顶底界面多是滨浅湖砂岩不连续界面或含钙粉砂岩的连续界面、三角洲平原亚相的河道砂岩和砾岩形成的岩性突变面; 其转换点多为深湖亚相灰黑色泥岩、油页岩及前三角洲泥岩、页岩 (图 2 5)。

中期基准面旋回的发育特征在喀左盆地范围内具有一定规律。在长期基准面旋回的上升期, 盆地内多发育以上升半旋回为主的不完全对称型中期基准面旋回; 处于长期基准面旋回由上升期转为下降期的中期基准面旋回, 则发育近完全对称的中期基准面旋回; 而处于长期基准面旋回下降期的中期基准面旋回, 则以发育以下降半旋回为主的不完全对称型中期基准面旋回。在长期基准面上升时期发育的中期基准面旋回表现为上升期沉积的地层厚度比下降期沉积的地层厚度大, 形态表现为以上升半旋回为主的不完全对称型。其多发育于盆地水体扩张期的辫状河三角洲中, 在垂向上以发育退积型辫状河三角洲为特征 (图 4a), 界面多为受冲刷的前辫状河三角洲粉砂质泥岩并与上覆地层呈突变接触。其形成的沉积动力学^[15]原因为: 在基准面上升时期由于可容空间的增长速率大于沉积物的补给速率, 表现为沉积作用, 沉积物得以保存, 而下降期由于可容空间的降低, 到

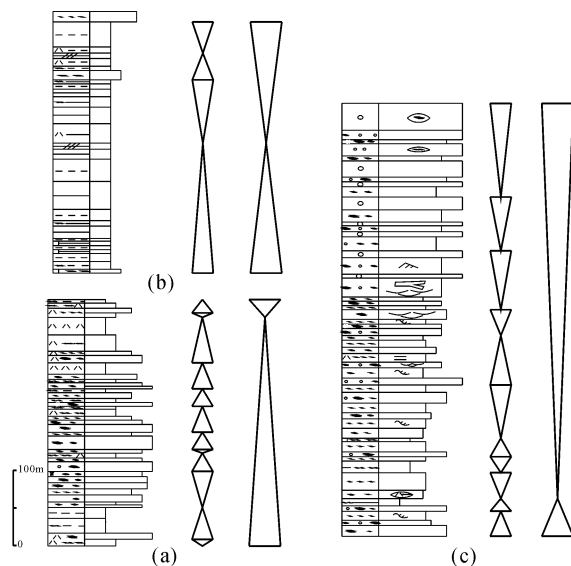


图 4 中期基准面旋回沉积特征 (图例见图 5)

Fig 4 Sedimentary characteristics of mid-term base level cycles

中期基准面旋回的中后期可容空间小于沉积物补给通量, 此时的沉积物多被冲刷掉, 形成沉积间断。在长期基准面由上升转化为下降时期, 中期基准面旋回的上升半旋回和下降半旋回表现为良好的对称性。此时盆地水体有增长到最大转为开始降低为特征, 因此主要发育湖相泥岩、页岩和粉砂岩 (图 4b), 垂向序列上表现为: 自中期基准面旋回的湖泛面向中期基准面旋回的顶底界面, 含钙质泥岩、粉砂岩增多, 中期基准面旋回的顶底界面多为连续界面。其形成原因是由于基准面上升期可容空间增大使得沉积物得以保存, 在基准面由上升转化为下降时可容空间增加到最大, 此时在浅湖—深湖区形成饥饿型沉积状态, 并形成油页岩, 而基准面下降期由于可容空间略大于沉积物补给通量, 沉积物也能较好的保存下来, 形成近完全对称的中期基准面旋回。在长期基准面下降半旋回形成的中期基准面旋回表现为以下降期为主的不完全对称型基准面旋回, 此类中期基准面旋回多发育于湖泊水体迅速减小时期, 并以发育扇三角洲为特征 (图 4c), 顶底界面多以受冲刷的扇三角洲平原亚相分流河道砾岩、砂岩, 转换点多以前扇三角洲粉砂质页岩、泥岩为主。垂向上表现为进积型扇三角洲, 其形成原因是由于基准面上升初期湖水快速上升而保存了较薄的沉积物, 而在下降期湖水缓慢下降而保存较厚的沉积物。

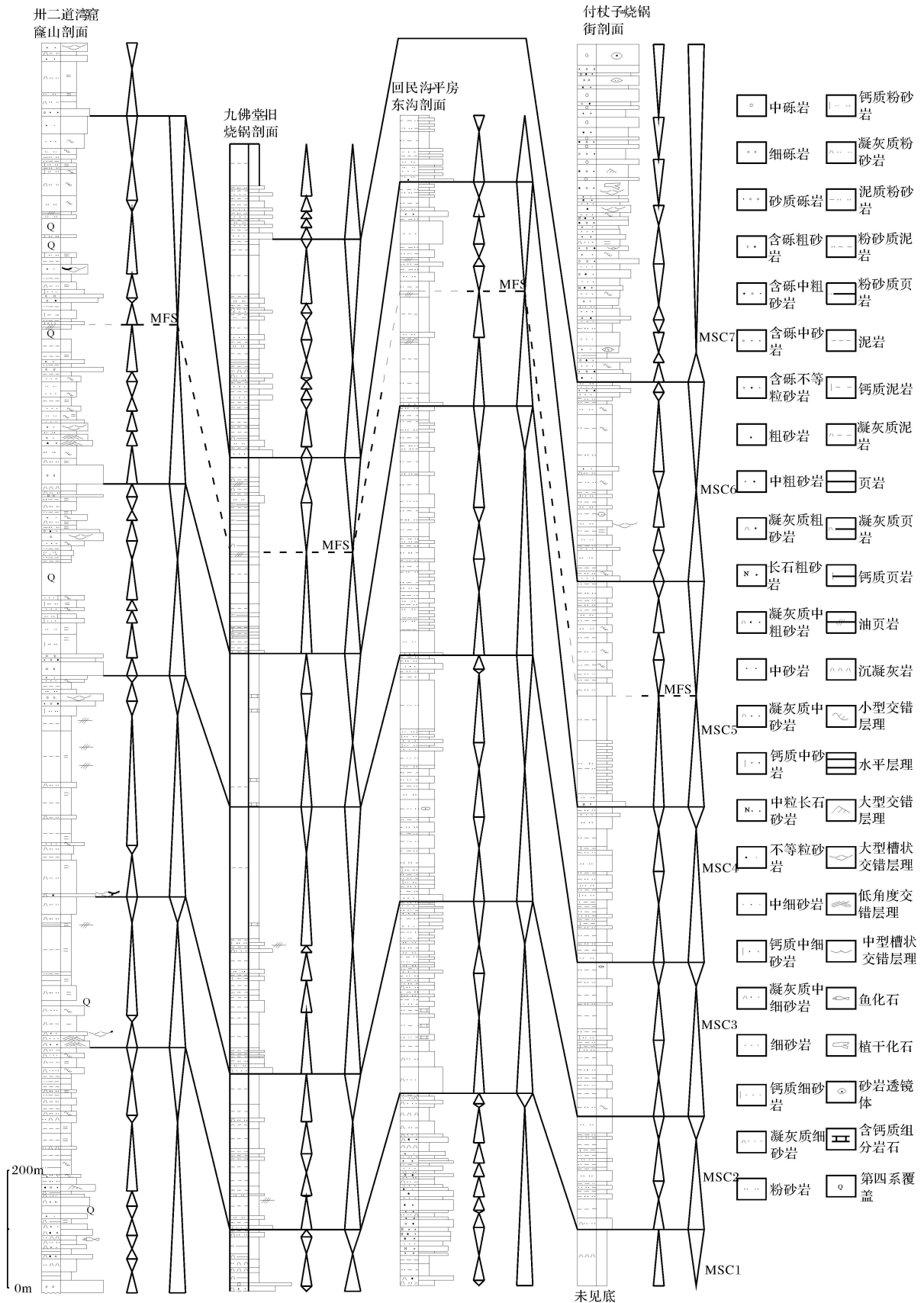


图 5 九佛堂组露头高分辨率层序地层对比剖面

Fig 5 Comparison section of high-resolution sequence stratigraphy of Jiufotang Formation outcrop

5 高分辨率层序地层等时对比及意义

喀左盆地九佛堂组表现为 1 个长期基准面旋回(图 2)。长期基准面旋回底界面为区域构造运动造成的冲刷面,顶界面为湖泊萎缩期发育的大面积河道化的砾岩沉积,长期基准面旋回的转换点(MFS)以卅二道湾—窟窿山剖面上的胡家窝铺一号矿开采的油页岩和位于九佛堂—旧烧锅剖面上的大沟村东南废矿井的油页岩最具代表性。

根据野外实测剖面情况,现选择 4 条出露较完整的剖面进行高分辨率层序地层等时对比(图 5)。在本文中,依据高分辨率层序地层对比从大到小的原则,首先在长期基准面旋回的框架内根据中期基准面旋回内的相序关系、顶底界面和湖泛面特征自下而上进行层序地层中期基准面旋回等时对比。从而在喀左盆地九佛堂组中建立以长期基准面旋回为框架,中期基准面旋回为等时对比单元的地层格架^[5-16]。通过对喀左盆地九佛堂组进行的各级次基准面旋回的划分和对比,对以后喀左盆地九佛堂组的进一步勘探确定了有利地段,并对现在正在开发中的油页岩的发育层位和与上下地层间的关系做出了解释。

6 结论

(1) 浅湖—深湖区层序地层学划分是层序地层学研究的一个难题,而油页岩在浅湖—深湖区是否可作为最大湖泛面要具体情况具体分析,碳酸钙沉积代表了水体变浅的趋势,是寻找浅湖—深湖基准面下降的重要标志。本文在应用碳酸钙和油页岩沉积意义划分喀左盆地九佛堂组浅湖—深湖亚相中期基准面旋回中取得了良好的效果。

(2) 通过对野外实测剖面的综合分析以及详细的沉积环境分析的基础上,运用高分辨率层序地层学基本原理,并结合碳酸钙、油页岩的成因意义,喀左盆地九佛堂组表现为 1 个长期基准面旋回和 7 个中期基准面旋回,其中中期基准面旋回在盆地内具有良好的可对比性。在长期基准面旋回的上升期,多发育以上升半旋回为主的不完全对称型中期基准面旋回;处于长期基准面旋回由上升期转为下降期的中期基准面旋回,则发育近完全对称的中期基准面旋回;而处于长期基准面旋回下降期的中期基准面旋回,则以发育以下降半旋回为主的不完全对称型中期基准面旋回。

(3) 经过对中期基准面旋回和短期基准面旋回

发育特点和形成原因的详细研究,在长期基准面旋回的框架内对代表剖面进行了中期基准面旋回等时对比,从而建立了喀左盆地九佛堂组以中期基准面旋回为等时对比单元的地层格架。

参考文献 (References)

- 解习农,李思田.陆相盆地层序地层研究特点[J].地质科技情报,1993 12(1): 22-26 [Xie Xinong Li Sitan Characteristics of sequence stratigraphic analysis in terrestrial basin [J]. Geological Science and Technology Information 1993 12(1): 22-26]
- 邓宏文.美国层序地层研究中的新学派—高分辨率层序地层学[J].石油天然气地质,1995 16(2): 90-97 [Deng Hongwen A new school of thought in sequence stratigraphic studies in USA: high-resolution sequence stratigraphy [J]. Oil and Gas Geology 1995 16(2): 90-97]
- 邓宏文,王洪亮,李熙*.层序地层基准面的识别、对比技术及应用[J].石油天然气地质,1996 17(3): 177-184 [Deng Hongwen Wang Hongliang Li Xizhe Identification and correlation techniques of sequence stratigraphic base levels and their application [J]. Oil and Gas Geology 1996 17(3): 177-184]
- 郑荣才,吴朝荣,叶茂盛.浅谈陆相盆地高分辨率层序地层研究思路[J].成都理工学院学报,2000 27(3): 241-244 [Zheng Rongcai Wu Chaorong Ye Maosheng Research thinking of high-resolution sequence stratigraphy about a terrigenous basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology 27(3): 241-244]
- 郑荣才,彭军,吴朝荣.陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J].沉积学报,2001 19(2): 249-255 [Zheng Rongcai Peng Jun Wu Chaorong Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2001 19(2): 249-255]
- 邓宏文,王洪亮,宁宁.沉积物体积分配原理—高分辨率层序地层学的理论基础[J].地学前缘,2000 7(4): 305-313 [Deng Hongwen Wang Hongliang Ning Ning Sediment volume partition principle theory basis for high-resolution sequence stratigraphy [J]. Earth Science Frontiers 2000 7(4): 305-313]
- 王洪亮.“转换面”的概念及其层序地层学意义[J].地学前缘,2008 15(2): 35-42 [Wang Hongliang Concept of “Turnround Surface” and its significance to sequence stratigraphy [J]. Earth Science Frontiers 2008 15(2): 25-42]
- 张亚明,高玉娟,何保.建昌—喀左盆地中生代构造演化[J].辽宁工程技术大学学报,2005 24(6): 829-831 [Zhang Yanming Gao Yujuan He Bao Tectonic evolution in Jianchang-Kazuo basin in Mesozoic era [J]. Journal of Liaoning Technical University 2005 24(6): 829-831]
- 王嗣敏,刘招君.高分辨率层序地层学在陆相地层研究中的若干问题的讨论[J].地层学杂志,2004 28(2): 179-184 [Wang Simin Liu Zhaojun Discussion on some problems of high resolution sequence stratigraphy in the study of continental stratigraphy [J]. Journal of Stratigraphy 2004 28(2): 179-184]
- 赵俊青,夏斌,纪友亮,等.湖相碳酸盐高精度层序地层学探析

- [J]. 沉积学报, 2005 23(4): 646-656 [Zhao Junqing Xia Bin Ji Youliang, et al. Analysis of the high resolution sequence of lacustrine carbonate[J]. Acta Sedimentologica Sinica 2005 23(4) 646-656]
- 11 孙钰, 钟建华, 袁向春, 等. 惠民凹陷沙一段湖相碳酸盐层序地层分析[J]. 石油学报, 2008 29(2): 213-218 [Sun Yu Zhong Jianhua Yuan Xiangchun et al. Analysis on sequence stratigraphy of lacustrine carbonate in the first member of Shahejie Formation in Huimin Sag [J]. Acta Petroli Sinica 2008 29(2): 213-218]
- 12 操应长. 断陷湖盆层序地层学[M]. 北京: 地质出版社, 2005 105-106 [Cao Yingchang Rift Lacustrine Basin Sequence Stratigraphy [M]. Beijing Geological Publishing House 2005 105-106]
- 13 刘立, 王东坡. 湖相油页岩的沉积环境及其层序地层学意义[J]. 石油实验地质, 1996 18(3): 311-316 [Liu Li Wang Dongpo Depositional environments of lacustrine oil shales and its sequence stratigraphy significance[J]. Experimental Petroleum Geology 1996 18(3): 311-316]
- 14 朱筱敏. 层序地层学. 山东东营: 中国石油大学出版社 [M]. 2006 147-157 [Zhu Xiaomin Sequence Stratigraphy [M]. Shandong Dongying China Petroleum University Press 2006 147-157]
- 15 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析[J]. 沉积学报, 2000 18(3): 369-375 [Zheng Rongcai Yin Shimin Peng Jun Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle[J]. Acta Sedimentologica Sinica 2000 18(3) 369-375]
- 16 郑荣才, 彭军. 陕北志丹三角洲长 6 油层组高分辨率层序分析与等时对比[J]. 沉积学报, 2002 20(1): 92-100 [Zheng Rongcai Peng Jun Analysis and isochronostratigraphic correlation of high-resolution sequence stratigraphy for Chang-6 oil reservoir set in Zhidan Delta Northern Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2002 20(1): 92-100]

Division of High-Resolution Sequence Stratigraphy of Jiufotang Formation Outcrop in Kazuo Basin

WEI Heng-fei WANG Yu-lin WANG Wei GUO Qiang LIU Jin

(Resources and Environment Engineering College Liaoning Technology University Fuxin Liaoning 123000)

Abstract On the basis of 106 kilometers measured sections and detailed research of sedimentary characteristics and evolution of Jiufotang Formation in Kazuo Basin according to facies sequence relationship and the genetic significance of Calcium Carbonate and oil shale Jiufotang Formation are divided into 1 long-term base level cycle and 7 mid-term base level cycles. In long-term base level cycle the mid-term base level cycles on the rising period are mainly incomplete symmetry with the majority of uprising semi-cycle the one on the transition period from rising to declining developed nearly complete symmetry the one on the declining period mainly developed incomplete symmetry with the majority of subsiding semi-cycle. After detailed research of developmental characteristics and forming reason of mid-term base level cycles and short-term base level cycles correlation of mid-term base level cycles were carried out on representative profile.

Key words Jiufotang Formation high-resolution sequence stratigraphy base-level cycles oil shale accommodation