

高分辨率层序地层学的应用 ——以河 125 断层区沙三中亚段为例

钟建华^{1,2}, 孙正贵², 糕元杰¹, 梁 刚¹

(1. 中国石油大学(华东) 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061;

2. 山东省东营市胜利油田 科研处, 山东 东营 257061)

摘 要: 应用高分辨率层序地层学的理论及方法, 对东营凹陷沙三中亚段进行了精细地层对比, 划分出 3 个长期基准面旋回和 4 个中期旋回。

关键词: 高分辨率; 层序地层; 基准面旋回; 沙三中亚段; 河 125 断层区

doi: 10.3969/j.issn.1001-1412.2009.03.012

中图分类号: P539.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2009)03-0243-06

1 概述

高分辨率层序地层学是对地层记录中反映基准面变化旋回的时间地层单元二元划分。该理论体系及其技术应用的关键是识别地层中多级次的基准面旋回和等时对比; 核心内容为基准面旋回变化过程中, 对应 A/S(可容空间/沉积物通量) 比值的变化在相同沉积体系域或相域中发生的沉积物体积分配作用和相分异作用, 及其所导致的沉积物保存程度、堆积样式、相序、相类型及岩石结构的变化; 上述变化是相关地层在基准面旋回中所处位置的函数, 因而地层分布型式和相类型的分布规律是可以预测的; 通过高精度时间分辨率的基准面旋回等时对比, 可将钻井的一维信息转换为三维信息。其基本概念体系有基准面及可容空间、基准面旋回、叠加样式、体积分配、相分异。

可容空间(A)是在时间进程中产生或消失的可供沉积物得以堆积(或被侵蚀)的累计空间, 它限定了可能沉积在所有地理位置的沉积物的体积, 决定了沉积物的体积分配, 形成了地层叠加样式, 导致了相分异。

地层基准面相当于一个相对地球表面波状升降

的、连续的、略向盆地方向下倾的抽象势能面, 亦即河流平衡剖面。与该界面相关的环境可处于不同的 4 种状态: ①侵蚀作用; ②沉积作用; ③过路状态(by pass); ④无沉积间断(图 1)。

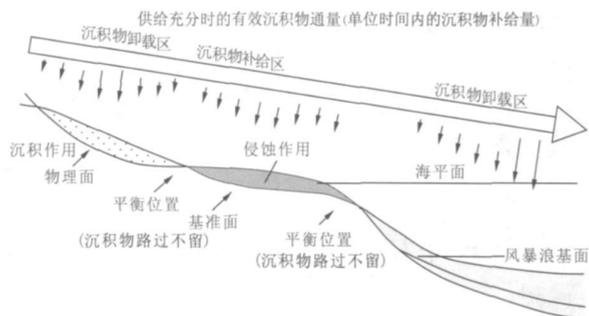


图 1 基准面可容纳空间与沉积物供给之间平衡时的沉积-地貌状态示意图(据 T. A. Cross, 1994 修改)

Fig. 1 Sedimentary-topographic sketch at equilibrium of sedimentary space and sediment supply

基准面旋回由上升和下降两个半旋回组成, 基准面升、降可发生在地表之上或之下, 也可穿越地表上下摆动。在地表的不同部位基准面的升降旋回是等时的, 由一次升降旋回过程中保存的地层记录为一个以时间为界面的时间地层单元或成因层序, 一般由代表上升和下降两个半旋回的岩石叠加组成,

收稿日期: 2008-08-26

作者简介: 钟建华(1957-), 男, 江西南昌人, 教授, 博士, 1993 年在中国科学院长沙大地构造研究所获博士学位, 现在中国石油大学(华东)任教, 从事构造地质和沉积学教学、科研工作。通信地址: 山东省东营市, 中国石油大学(华东)勘探管 4020 室; 邮政编码: 257061; E-mail: zhongjh4020@126.com

也可由仅代表半旋回沉积记录的岩石+界面组成,或仅表现为以冲刷和无沉积间断为标志的界面。可分为3种类型:向上“变深”的非对称型旋回,向上变浅的非对称型旋回和向上变深复变浅的对称型旋回。在陆相盆地中,不同区域表现为不同的基准面旋回类型(图2)。

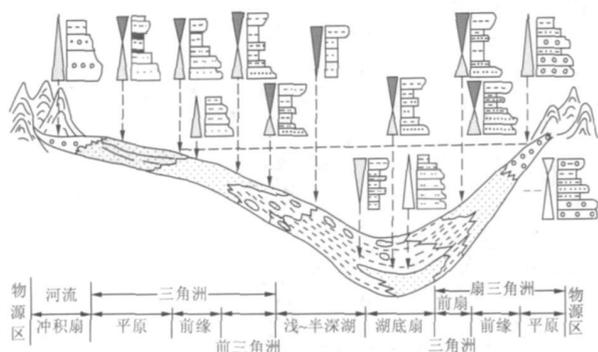


图2 湖相盆地中不同旋回结构的层序在不同沉积体系域的分布模式(据邓宏文)

Fig. 2 Distribution model of different cyclic fabric sequences in different sedimentary system domain

叠加样式是由于容存空间有规律地在地理和时间位置上的变化而产生的一种可以识别的地层堆积叠置方式。叠加样式有3种型式:向海阶进、向陆阶进、垂向叠加。

2 高分辨率层序划分与对比的基本方法

高分辨率层序地层划分是依据不同级次的基准面旋回和相伴的可容纳空间变化,导致岩石记录的地层学和沉积学特征的过程-响应原理进行的,旋回等时对比是通过相序分析识别层序在空间上的连续性、排列或叠加样式,确定旋回和界面的发育位置并加对比实现的。

对比过程中,以基准面由下降折向上升、或由上升折向下降的转换位置,也即旋回的二分时间单元分界线为等时对比的优选位置。由于地层记录中转换点或表现为不连续界面,或为连续界面,岩层与界面出现的位置和比例是其在沉积盆地中所处位置和基准面升、降过程中A/S值变化的函数,因而了解地层过程中岩石与岩石、岩石与界面、界面与界面的对比关系极为重要。

2.1 层序界面的识别

在高分辨率层序地层研究中,层序界面的识别是研究工作中重要的基础工作,不同级别的层序界面具有不同的识别标志(表1)。

2.2 确定基准面旋回的级次

高分辨率层序地层的基准面旋回由大到小可分为6级,分别为:①巨旋回:由原型盆地的完整沉积充填序列组成,以区域构造运动不整合面为底、顶界;②超长期旋回:由盆地构造演化各阶段的沉积充填序列组成,又称超层序或构造层序、构架层序,以盆地范围内的构造不整合面为底、顶界;③长期旋回:由盆地同一构造演化阶段次级构造幕式活动形成的沉积充填序列组成,以盆地范围内的构造不整合面、大型冲刷面或相关整合面为底、顶界面;④中期旋回:由对应偏心率长周期气候变化的沉积充填序列组成,以盆缘的较大型冲刷面或相关整合面为底、顶界;在陆相盆地中以中期旋回最具等时对比意义;⑤短期旋回:由对应偏心率短周期气候变化的多个沉积韵律组成,底、顶界为小型冲刷面或相关整合面;⑥超短期旋回:由对应岁差级气候变化的单个沉积韵律组成,亦为地表露头、岩心和大比例尺测井剖面中所能识别的最小成因地层单元,其层序结构和分布模式与短期旋回相同。

2.3 确定旋回叠加样式

以中期基准面旋回的升、降过程为例,短期旋回的叠加样式可分为5种情况:①低可容纳空间的初始上升期,由数个向上“变深”的非对称旋回组成进积叠加样式;②中等至高可容纳空间的持续上升过程,由对称型和向上“变深”的非对称型旋回组成加积-退积叠加样式;③高可容纳空间持续上升和绕过最高点位置后折向下降的早期,由向上“变深”的非对称型、向上变浅的非对称型和对称型组成退积→加积叠加样式;④中等-低可容纳空间的持续下降过程中,由对称型和向上变浅的非对称型组成加积→复进积叠加样式;⑤下降晚期至达到地表之下的最低点位置区间,出现冲刷侵蚀作用。

3 高分辨层序地层划分与对比的应用

3.1 研究区概况

研究工区和层位主要是现河采油厂所管辖的东营凹陷中带、牛庄、董集地区的沙三段,主要涉及东营凹陷中央断裂背斜构造带西段、牛庄洼陷和董集洼陷(图3)。

表 1 层序界面的识别标志

Table 1 Disernable mark of sequence interface

界面类型	成因	产状及等时性	主要识别标志		
			地表和岩心剖面	测井剖面	地震剖面
I 类	区域构造运动	穿越盆地边界的区域构造不整合面, 具大幅度穿时性	风化壳、底砾岩、角度不整合或下伏地层大套缺失的假整合	各项测井参数的突变面	大型构造削截面、沉积超覆面、角度不整合面
II 类	与盆地构造演化各阶段相关的应力场转换有关	遍及盆地和对应构造演化各阶段的构造不整合面, 具较大幅度的穿时性	风化壳、底砾岩、下伏地层部分缺失的假整合、岩性-岩相的突变面	反映不同沉积体系和不同测井相组合特征的转换面、突变面	盆地范围内的大型构造削截面、沉积超覆面、微角度不整合面或假整合面
III 类	与同一构造演化阶段中的次级构造活动强度周期性幕式变化有关	限于盆地范围的次级构造不整合面和相关整合面, 具幅度不大的穿时性	古暴露标志、大型冲刷间断面或侵蚀面、岩性-岩相突变面	反映同一或相邻沉积体系的大套进积-退积组合的测井相转换面、突变面	限于盆地边缘的构造削截面、沉积超覆面、反映地层不协调关系的连续强反射界面和反射终端类型
IV 类	与偏心率周期中气候波动引起的基准面升降和物质供给变化有关	局部发育的沉积间断面和相关整合面, 较大范围内具较好的等时性	间歇暴露面, 较大规模的冲刷面、岩性、岩相的突变面或均变面	反映同一沉积体系中相似或相邻相序的进积-退积组合的测井相转换面、突变面	未作特殊处理的剖面很难识别, 或表现为地震反射结构变化的分界面, 地震相类型转换面
V 类	与斜率周期中气候波动引起的基准面升降和 A/S 值变化有关	局部发育的沉积间断面和相关整合面, 区内基本等时	间歇暴露面、小型冲刷面和非沉积作用间断面、相似岩性和岩相组合的分界面	反映韵律性沉积旋回的进积-退积组合的测井相组合转换面	一般不能识别
VI 类	与岁差周期中气候波动引起的基准面升降和 A/S 值变化有关	分布范围有限的小间断面和非沉积作用间断面, 主体为整合面, 区内基本等时	小型冲刷面、非沉积作用间断面、相似岩性-岩相组合的地层分界面	反映单一岩性或数个岩性组合的进积、退积、加积或进积-退积的测井相转换面	不能识别

超、下超、上超、削截等), 对研究区长期基准面旋回进行识别(图 4)。

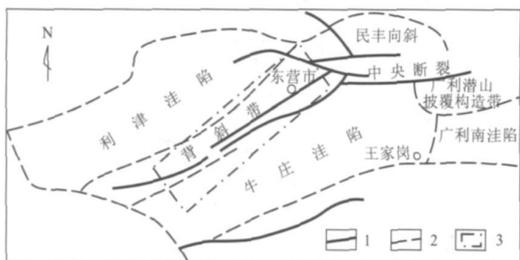


图 3 研究区构造位置图

Fig. 3 Map showing tectonic position of the study area

1. 断层 2. 构造单元界线 3. 研究区范围

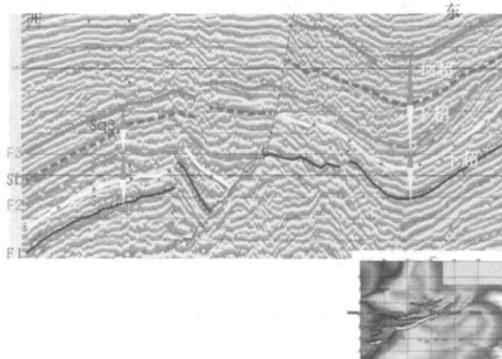


图 4 in512 瞬时相位层序划分

Fig. 4 T ransient phase sequence division at in512 line

工区现今构造面貌较为简单, 为一向东北方向抬升、向西南方向倾没的 NE 向大型鼻状构造。该鼻状构造南翼发育了一条贯穿全区的近 EW 向的断层(河 125 断层)。它们形成于中央断裂背斜构造带发育时期, 并受其控制持续活动至晚第三纪。河 125 断层为 N 倾, 断层落差由东向西减少, 最后消失, 发育过程也是由东向西逐步发育, 充分反映了中央断裂背斜构造带的控制作用。构造发育史研究表明, 该断层为同沉积断层, 它们对沙三段及其以上地层和砂体的沉积与发育具有重要的控制作用。

3.2 研究区高分辨率层序划分与对比

3.2.1 地震剖面上层序的识别和划分

利用地震反射同相轴的各种反射终端类型(顶

3.2.2 利用测井和岩心资料建立研究区层序格架

F2 为一次小规模湖泛作用形成的湖泛面。在钻/测井剖面上对应为灰色泥岩发育段, 地震剖面上表现为一组强振幅、连续性较好的反射同相轴(图 5)。

SB1 为沙三中大型复合三角洲内部的一个层序界面。界面之下三角洲砂体发育, 界面之上以泥岩为主。地震剖面上, 东部可见上覆地层向该界面的下超反射特征(图 6)。

F3 为沙三中与沙三上的界面, 即地震 T4 标志层。该界面为一次规模较小的湖泛作用形成的湖泛面。在钻/测井剖面上对应灰色泥岩发育段, 在地震

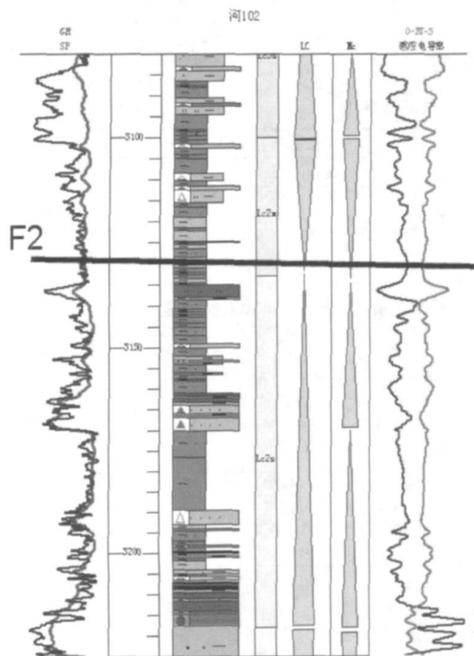


图5 F2界面测井特征

Fig. 5 Well logging feature of interface F2

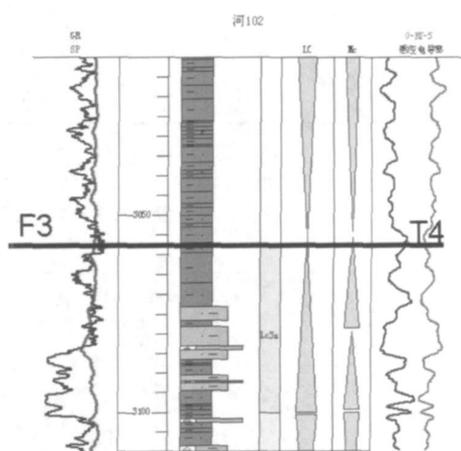


图7 F3界面测井特征

Fig. 7 Well logging feature of interface F3

育明显的顶超(图8)。

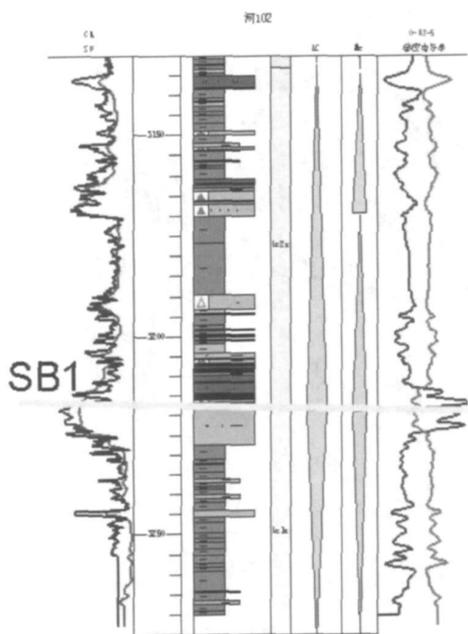


图6 SB1界面测井特征

Fig. 6 Well logging feature of SB1 interface

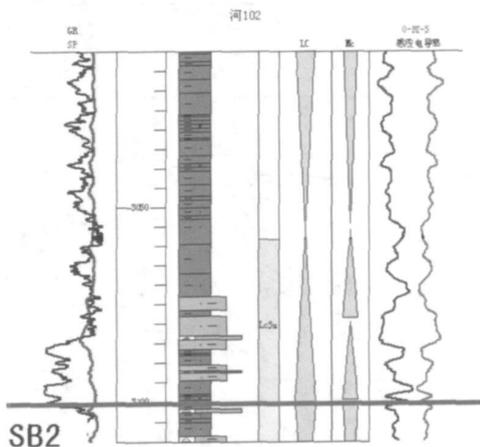


图8 SB2界面测井特征

Fig. 8 Well logging feature of interface SB2

利用测井标定的层序界面及湖泛面,对研究区进行骨干剖面的高分辨率层序划分和对比,结果如图9、图10所示。

沙三中划分为3个长期旋回(Lc)、4个中期旋回(Mc)。

Lc1旋回下部形成于盆地强烈裂陷初期,由于基底沉降快,持续时间较长,可容纳空间增加速率大,基准面上升期地层沉积较厚,形成巨厚的泥岩与油页岩互层沉积;进入下降期时,东南和东部方向的水系开始注入,影响到该区,剖面上见三角洲的沉积特征。该旋回地层基准面上升到下降的转换位置为地震T6标志层。

Lc2旋回为发育在沙三中内部。旋回形成时盆地进入裂陷充填期。该旋回基准面下降时期物源体

剖面表现为两组强振幅、连续性好的反射同相轴(图7)。

SB2界面在钻、测井剖面中明显位于沉积物进积、退积转换的位置。

由于上覆三角洲沉积物的过路冲刷作用,界面对应的同相轴的连续性较差、振幅较弱,东部地区发

系充填作用显著, 沉积物堆积速率逐渐增大, 形成一套以砂岩为主, 粒度逐渐向上变粗的反旋回沉积, 地层呈明显的进积叠加样式。基准面下降半旋回沉积的厚度大于基准面上升半旋回的厚度, 旋回具明显的不对称结构。

Lc3 旋回在沙三中只发育上升半旋回, 形成于

沙三段裂隙阶段的萎缩期。旋回发育初期曾经历了规模较大的湖泛作用, 水体不深但波及面积广, 基本覆盖整个盆地。下降期湖区迅速萎缩, 在盆地大多地方保存下较薄的垂向上表现为进积叠加序列的沉积物, 该旋回基准面上升期沉积物略厚于下降期沉积物。

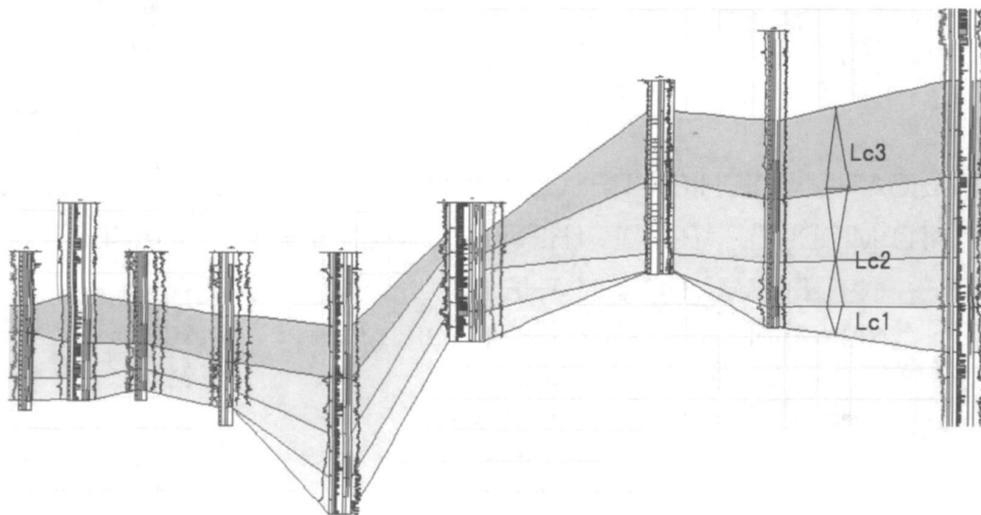


图 9 EW 向骨干剖面层序对比图

Fig. 9 Sequence correlation at a E-W key profile

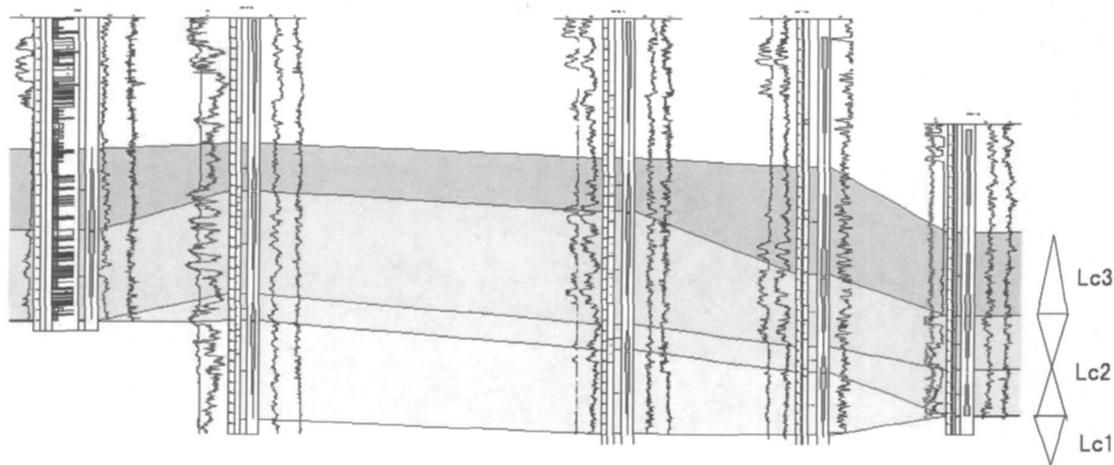


图 10 南北向骨干剖面层序对比图

Fig. 10 Sequence correlation at a S-N key profile

4 结论

根据地层基准面旋回和可容纳空间变化原理,

将河 125 断层区沙三中划分为 3 个长期基准面旋回, 提高了地层划分和对比的精度, 为开展沉积体系研究及油气成藏研究提供了高精度的可靠地层格架。

参考文献:

- [1] Cross T A. Controls on coal distribution in transgressive regressive cycles, Upper Cretaceous, Western Interior, U. S. A. [C] // Wilgus C K. Sea-level changes: An integrated approach. SEPM Special Publication, 42, 1988:37-80.
- [2] 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]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89-97.
- [3] 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177-184.
- [4] 李阳, 邱桂强, 刘建民. 沉积学研究对济阳断陷湖盆油气勘探开发的推动作用[J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 400-407.
- [5] 邓宏文, 王洪亮, 祝永军, 等. 高分辨率层序地层学——原理及应用[M]. 北京:地质出版社, 2002: 3-22.
- [6] 李阳, 蔡进功, 刘建民. 东营凹陷下第三系高分辨率层序地层研究[J]. 沉积学报, 2002, 20(2): 210-216.
- [7] 李阳. 陆相断陷盆地储层沉积学研究新进展[C] // 第三届全国沉积学大会论文摘要汇编. 2004.
- [8] 王洪亮, 邓宏文. 地层基准面原理在湖相储层预测中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 96-102.

APPLICATION OF HIGH-RESOLUTION SEQUENCE STRATIGRAPHY TO MIDDLE PART OF THE THIRD MEMBER OF SHAHEJIE FORMATION IN THE HE 125 FAULT AREA

ZHONG Jian-hua^{1,2}, SUN Zheng-gui², ZHUO Yuan-jie¹, LIANG Gang¹

(1 Earth Resources College of China Petroleum University (Huadong), Dongying 257061, Shandong province, China; 2 Scientific Research Division of Shengli Oil Field, Dongying 257061, Shandong province, China)

Abstract: The high-resolution sequence stratigraphy theory is applied to refining strata correlation of middle part of the third member of Shahejie formation. Three long term base level cycles and four medium term base level cycles are outlined.

Key Words: high resolution; sequence stratigraphy; base level cycle; middle part of the third member of Shahejie formation