

高分辨率层序地层学在辽河油田大民屯凹陷 油田精细开发中的应用

孙海雷^{1,2}, 柳成志³, 李明辉⁴, 刘华晔⁵, 李军辉³, 毕殿辉²

(1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 2. 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712;
3. 大庆石油学院 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318; 4. 大庆榆树林油田开发有限责任公司, 黑龙江 大庆 163453;
5. 大庆油田有限责任公司 第六采油厂, 黑龙江 大庆 163114)

摘要: 辽河油田大民屯凹陷沈84—安12块为一复杂断块油藏, 目前已进入开发中后期的高含水阶段。根据区内钻井、测井资料, 应用高分辨率层序地层学基本原理, 对沈84—安12块 E_3^3 段地层进行了多级次基准面旋回的识别与对比, 分析了基准面旋回对沉积特征、储层物性、剩余油分布的控制作用, 明确了基准面旋回内不同部位剩余油的富集规律: (1) 基准面下降晚期、上升早期, 砂体面积广, 厚度大, 储层物性好, 剩余储量易于动用且多连片分布; (2) 基准面下降早期、上升晚期, 砂体面积小, 厚度薄, 储层物性差, 剩余储量不易动用且零星分布; (3) 基准面下降中期、上升中期, 剩余油储量中等。研究证实运用高分辨率层序地层学的研究手段在高含水期的剩余油挖潜中具有重要意义。

关键词: 大民屯凹陷; 高分辨率层序地层学; 基准面旋回; 剩余油

中图分类号: TE122; P539.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-8527(2009)05-0981-06

Application of High Resolution Sequence Stratigraphy to Oilfield Fine Development of Damintun Depression of Liaohe Oilfield

SUN Hai-lei^{1,2}, LIU Cheng-zhi³, LI Ming-hui⁴, LIU Hua-ye⁵, LI Jun-hui³, BI Dian-hui²

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Exploration and Development, Daqing Oilfield Company Ltd, Daqing, Heilongjiang 163712, China; 3. College of Geosciences, Daqing Petroleum Institute, Daqing, Heilongjiang 163318, China; 4. Daqing Yushulin Oilfield Development Company Ltd, Daqing, Heilongjiang 163453, China; 5. Oil Recovery Plant No. 6, Daqing Oilfield Company Ltd, Daqing, Heilongjiang 163114, China)

Abstract: As a complicated fault-block reservoir, Shen 84-An 12 block in Damintun Depression of Liaohe Oilfield, has been at the late stage of development with high water content. Based on the drilling and logging data, and with the basic principles of high resolution sequence stratigraphy, the authors identified and compared base level cycles for E_3^3 semi-member of Shen 84-An12 block. It was analyzed that the base level cycles could control the sedimentary characteristics, reservoir properties and the distribution of residual oil. Then it was made sure that residual oil had different enrichment features at different parts of the base level cycles, and they were: (1) late stage of base-level-dropping and early stage of base-level-rising, sand body has wide area, large thickness and good reservoir properties, and widely distributing residual oil is easy to develop; (2) early stage of base-level-dropping and late stage of base-level-rising, sand body has small area, little thickness, poor reservoir properties, and scattered residual oil is difficult to develop; (3) middle stage of base-level-dropping or rising, residual oil reserves is medium. So, the applications of high-resolution sequence stratigraphy, are very useful in development of residual oil in the high water content stage.

Key words: Damintun Depression; high resolution sequence stratigraphy; base level cycle; residual oil

收稿日期: 2009-04-29; 改回日期: 2009-09-07; 责任编辑: 楼亚儿。

作者简介: 孙海雷, 男, 博士研究生, 1979年出生, 矿产普查与勘探专业, 主要从事沉积学、层序地层学方面的研究工作。

Email: sunhailei@petrochina.com.cn.

0 引言

随着盆地油气勘探与开发向更复杂和更深的方向发展,以及隐蔽油气藏勘探风险的不断增加,石油地质学家需要更精确的技术,以提高层序地层分析的分辨率和储层预测的准确性。由 Cross^[1-2]最早提出、邓宏文教授^[3-5]引入中国的高分辨率层序地层学为陆相地层精细地层对比和砂体分布预测提供了新的思路和方法,在中国陆相含油气盆地油气勘探开发研究中得到迅速推广和应用^[3-13]。本文以辽河油田大民屯凹陷沈 84—安 12 块 Es₃³段为例,运用高分辨率层序地层学原理和方法,采用多级旋回层序划分方案,进行基准面旋回的识别与对比,探讨沉积特征、储层物性、剩余油分布在不同级次基准面旋回中的分布规律。

辽河盆地大民屯凹陷是一典型的东陡西缓的箕状断陷,由西向东大致可以分为 3 个带:西部斜坡带、中部深陷带和东部陡坡带^[14]。沈 84—安 12 块是中部深陷带的一个含油断块,是辽河盆地的重要油藏之一^[15]。其构造上位于大民屯凹陷静安堡构造带中段,是静安堡鼻状隆起—断裂背斜复式构造带的主体,北、东、南三面被断层夹持、西部倾没的复杂断裂背斜构造。区内断裂发育,构造破碎,北东—近东西向断层将沈 84—安 12 块由北至南分为地堑、地垒和台阶,为一复杂断块区。沙河街组三段(S₃)为本区块的主要开发目的层,具有 S₃⁴、S₃³、S₃² 3 个含油层段,其中 S₃³段是主力的含油层段。自 1986 年编制开发方案以来,经过多次的开发方案调整,现在已进入开发中后期。

1 层序地层划分对比

Es₃³段为一套褐灰色中厚层含砾砂岩与暗色泥岩互层,可以将其划分为 4 个油层组(0、I、II、III)。通过对工区取心井的岩心观察和沉积微相研究,共识别出块状层理砂砾岩相、块状层理含砾砂岩相、斜层理粗砂岩相、斜层理中砂岩相、波状层理细砂岩相、递变层理不等粒砂岩相、波状层理粉砂岩相、交错层理粉砂岩相、微细斜层理泥质砂岩相、水平层理泥岩相 10 种岩相类型,确定沙河街组三段为以扇三角洲前缘为主的扇三角洲—滨浅湖沉积体系。由于研究区地形平缓,湖水较浅,其改造能力较弱,不易形成稳定连续的

河口坝砂体,因此,该区的沉积微相类型主要有水下分流河道、分流河道间、席状砂、前三角洲泥 4 种。在对该区沉积环境有一定认识的基础上,通过界面的特征和基准面旋回的识别,对该区进行层序地层划分对比,建立高分辨率层序地层格架。

1.1 层序界面特征

层序界面是基准面旋回下降到上升的转换面,在层序地层学研究中,层序界面被定义为不整合面或与其相对应的整合面。在沉积层序的形成过程中,存在 4 种沉积作用过程,即侵蚀作用、沉积物过路冲刷作用、沉积作用和非补偿性的饥饿沉积作用^[5]。不同的沉积作用过程形成于构造作用所影响的、基准面相对地表不同升降变化态势的地层过程中,由此而产生不同性质和规模的层序界面。研究区 Es₃³段为扇三角洲—滨浅湖沉积体系,主要发育水动力条件相对较弱的扇三角洲前缘,因此层序界面主要表现为局部发育的沉积间断面、冲刷面或非沉积作用间断面,其表现的具体特征如下:(1)河道底部的冲刷现象及其上覆的滞留沉积物;(2)向上变浅的相序或相组合向水体逐渐变深的相序或相组合的转换界面;(3)砂、泥岩粒度及厚度旋回性变化,如向上砂、泥岩粒度变粗、变厚转换为变细、变薄的转换界面;(4)反映水深、水介质性质及沉积环境的泥岩的原生色发生变化,泥岩颜色变浅代表了水体变小,可容纳空间缩小,基准面下降;基准面上升则反之。

湖泛面是指伴随基准面上升到下降的转换面,是湖水位上涨达最高点位置时发育的沉积界面,剖面上表现为退积式沉积组合转换为加积和进积式组合的转换面。该时期可容纳空间最大、湖水最深、环境相对稳定,沉积物补给量最少、沉积物最细,以泥岩沉积为主。Es₃³段中不同级别的湖泛面绝大多数位于泥岩段中,普遍具有低电阻、高伽马值的电性特征。

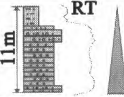
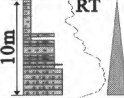



1.2 地层基准面旋回特征

以不同级次基准面升降运动导致的地层过程旋回性变化及沉积学响应特征为依据,对 Es₃³段不同级次基准面旋回层序进行划分,划分为 1 个长期、4 个中期、8 个短期及若干个超短期的地层基准面旋回。分析不同沉积体系和同一沉积体系中不同相带的短期旋回层序结构类型、沉积序列、叠加样式和分布规律,是进行高分辨率层序分析的基础,也是确定砂体成因类型、发育位置、几

何形态、产出规模和判断砂体储集物性及其非均质性特征的主要依据^[6]。下面以短期基准面旋回为例，讨论基准面旋回的结构类型。

短期地层基准面旋回是在成因上有联系的岩相组合，记录的是一个短期基准面旋回可容空间由增加到减少的过程^[7]。短期基准面旋回结构类型较多，变化较为复杂，前人研究多将其划分为3种基本类型(A、B、C)和7种亚类型(A₁、A₂、B₁、B₂、C₁、C₂、C₃)^[6,8-10]。在沈84—安12块Es₃地层中，由于研究区面积较小，而纵向上沉积环境变化不大，向上“变浅”非对称型旋回并不发育，仅发育A和C2种类型，并进一步细分为A₁、A₂、C₁、C₂、C₃5个亚类型。对于各短期旋回类型的特征，前人论述较多^[6,8-12]。在这些类型中，由不同成因的边界所限定的短期旋回层序结构及其所反映的沉积动力学条件明显不同^[9]，短期旋回的类型和发育过程，与可容空间的增长率和沉积物供给量的增长率间的比值(即A/S)密切相关^[12]，随着基准面旋回的变化，A/S发生变化，垂向的相组合随之变化，各结构类型的短期旋回的相组合具有一定的规律性(表1)。

表1 Es₃段短期基准面旋回结构类型及沉积微相序列关系
Table 1 Relation between structural types and sedimentary microfacies sequences of short-term base-level cycle in Es₃ member

旋回类型 类 亚类	名称	A/S 变化趋势	主要相组合	旋回类型模式
A	A ₁	低可容纳空间向上“变深”非对称型 整体A/S<1,顶部快速递增	水下分流河道→道间泥	
	A ₂	高可容纳空间向上“变深”非对称型 A/S<1向A/S≥1逐渐递增	水下分流河道→席状砂→道间泥	
C	C ₁	以上升半旋回为主的非完全对称型 A/S<1向A/S≥1递增,顶部短期递减	水下分流河道→席状砂→道间泥→席状砂(小型河道)	
	C ₂	近完全-完全对称型 A/S<1向A/S>1递增	水下分流河道→席状砂→道间泥→席状砂(小型河道)	
	C ₃	以下降半旋回为主的非完全对称型 A/S≥1向A/S<1递减,底部短期递增	席状砂→道间泥→席状砂(小型河道)	

由于A/S比值的变化，不同基准面旋回类型、形成的储集砂体也不同。低可容纳空间向上“变深”非对称型(A₁型)旋回形成于以A/S<1为主、后期A/S快速递增的沉积条件下，旋回主要由单个或多个河道砂体连续叠置组成，后期过渡到河

道间(前三角洲泥)微相，底部为细砾岩、含砾粗粒砂岩构成的河道底部滞留沉积，向上过渡为含砾粗砂岩、中砂岩沉积。砂体之间多不发育泥质隔层，连通性极好，为最有利储层发育的短期旋回类型；高可容纳空间向上“变深”非对称型(A₂型)形成于A/S<1、并逐渐递增的沉积条件下，沉积环境由分流河道过渡到席状砂，进而过渡到河道间(前三角洲泥)微相，储集砂体规模比A₁型旋回差，并沉积了一定厚度的泥质隔层，为较有利储层发育的短期旋回类型；对称型旋回(C型)形成于A/S<1向A/S≥1递增的沉积条件下，由于A/S递增的方式不同，形成3种不同的亚类型。沉积相带都是由水下分流河道(席状砂)过渡到河道间(前三角洲泥)微相，再过渡到席状砂(小型河道)微相，形成的储集砂体规模更小，彼此独立，泥质隔层发育，但也可作为有利储层。

1.3 基准面旋回内小层划分

以短期层序为等时单元，建立短时间尺度的高分辨率时间地层格架，并在等时地层格架内进行小层对比，可以大大提高储层对比的精度^[11]。根据开发需要，在短期基准面旋回内进一步划分砂层组、小层和单层。将Es₃地层划分为4个油层组、13个砂层组、30个小层、64个单层(表2)。在高分辨率层序地层格架内的小层划分，保证了小层或单砂体对比的等时性，从而建立了具有等时意义的小层地层格架。

表2 沈84—安12块Es₃段地层划分
Table 2 Stratigraphic division of Es₃ semi-member of Shen 84 - An 12 block

亚段	层序地层旋回		油层组		砂层组		小层		单层	
	长期	中期	短期	编号	个数	编号	个数	编号	个数	编号
Es ₃	1	1	2	0	2	1-2	4	1-4	9	1-9
		1	2	I	4	1-4	9	1-9	19	1-19
		1	2.5	II	3	1-3	8	1-8	17	1-17
合计	1	4	8		13		30		64	

2 基准面旋回内沉积及储层物性

在基准面旋回变化过程中，由于A/S比值的变化，在相域空间中发生沉积物的体积分配作用和相分异作用，进而控制了沉积相带的推进和后退。随着基准面的下降，A/S比值逐渐变小，沉积相带向前进积，相序上按前三角洲泥、席状砂、小型分流河道、分流河道的顺序迁移，砂体的粒

度也相应地发生变化,由粉砂岩、泥质粉砂岩为主的细粒沉积,过渡为砂砾岩、含砾砂岩和粗砂岩为主的粗粒沉积,过渡为砂砾岩、含砾砂岩和粗砂岩为主的粗粒沉积;随着基准面上升,A/S比值逐渐变大,沉积相带向后退积,相序上按分流河道、小型分流河道、席状砂、前三角洲泥的顺序迁移,沉积砂岩的岩性以粗粒砂砾岩及含砾砂岩退变为细砂岩、粉砂岩、泥质砂岩为主的细粒沉积(图1)。

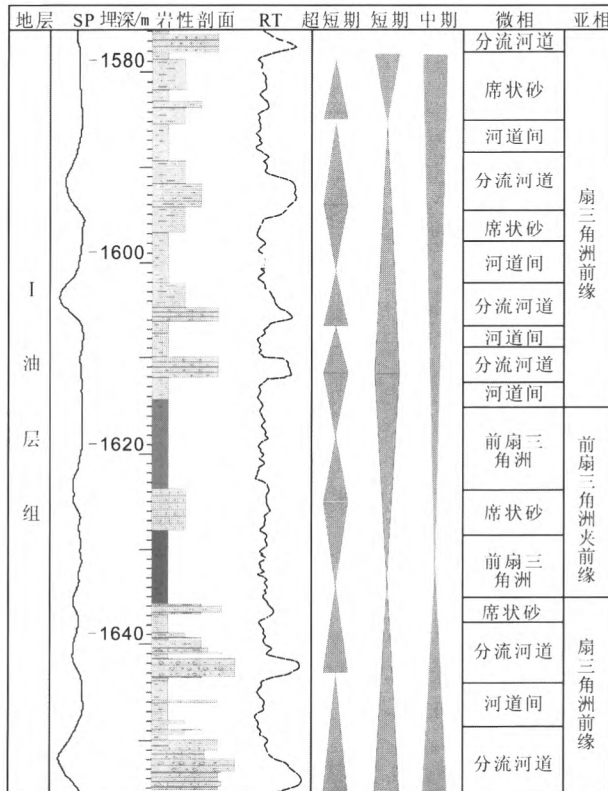


图1 J8井I油层组短期与中期旋回层序结构

Fig. 1 The sedimentary sequence structure of short-term and middle-term cycle within I reservoir of J8 well

砂体的厚度和储层物性与基准面旋回内的位置密切相关。具有较高的孔隙度和渗透率的地层多发育在中(长)期基准面下降到上升的转换面附近,该位置可容纳空间较低,容易形成厚层的粗碎屑分流河道砂体及席状砂沉积,砂体侧向叠置,分布范围广,形成的沉积地层砂泥比值较高,砂体连通性好,地层的平均孔隙度和渗透率相对较高;而低孔、低渗地层则往往位于中(长)期基准面上升到下降的转换面位置附近,该位置可容纳空间较高,多形成薄层的小型分流河道砂体和席状砂,砂体彼此独立。形成的沉积地层砂泥比值较低,砂体连通性差,一般地层的平均孔隙度和渗透率也相对较差(图2,图3)。

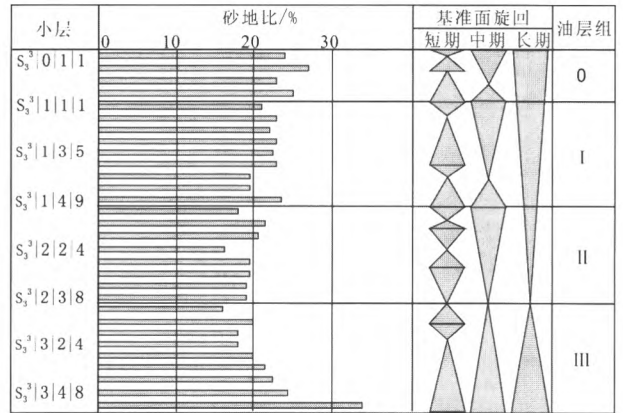


图2 基准面旋回内砂地比变化规律

Fig. 2 The variation of the ration between sand and strata in the base level cycle

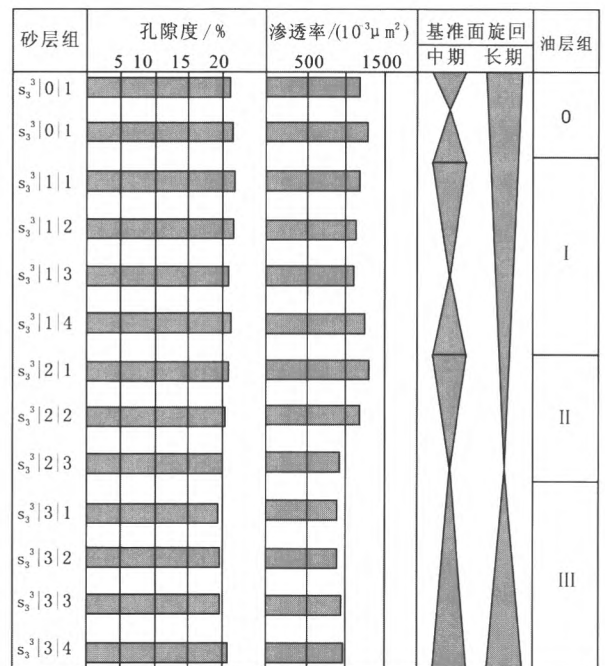


图3 中长期基准面旋回与储层物性的关系

Fig. 3 Relationship between middle-long term base level cycle and physical property of reservoirs

3 基准面旋回内剩余油分布规律

剩余油在储集空间的分布规律主要与地质特征(沉积、构造等)和开发因素(井网设计效果、射孔方案、注水方案、酸化压裂等)有关。影响剩余油分布的地质因素主要有沉积作用、成岩作用和构造特征^[16-17]。沉积作用是制约储层非均质性的主要因素,它决定了储层的发育规模、分布、结构及物性特征,控制注入水在油层中的运动。宏观上沉积演化、储层特征又受控于基准面旋回的变化,因此,基准面旋回对剩余油的分布具有一

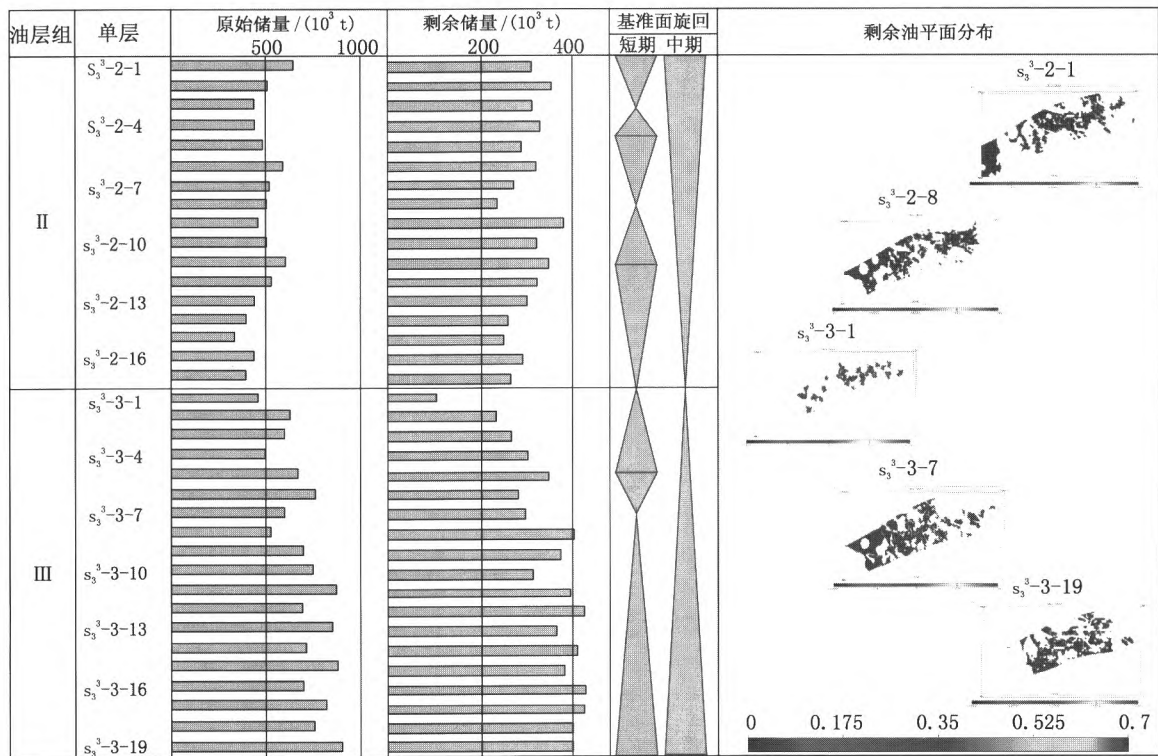


图4 基准面旋回与剩余油分布关系

Fig. 4 Relationship between base level cycle and the distribution of residual oil

定的控制作用(图4)。在基准面旋回上升早期、下降后期,石油原始储量及剩余油丰度较高,平面上分布广泛;基准面旋回上升后期、下降早期,原始储量及剩余油丰度较低,平面上分布也较为局限。结合基准面旋回内沉积和储层物性的分布规律,可以得出如下认识。

(1)基准面下降后期和上升早期,砂体面积广,厚度大,储层物性较好,易于动用,为主力油层,多重点开发,强注强采,动用较为充分,水淹强度大,但由于厚度大、物性好、原始储量大,剩余油数量仍很可观,且因注采作用,剩余油多连片分布,特别是在局部正向微幅度构造的位置富集。

(2)基准面下降早期和上升后期,砂体体积小,厚度薄,储层物性差,为非主力层,一般不作为重点动用对象,即使动用,其注采对应性也较差,因而动用差甚至未动用。因本身厚度小,物性差,剩余储量不易动用且零星分布。

(3)基准面下降中期形成的砂层组多层合采时,下部的砂体动用差,而上部的砂体动用好,剩余油储量中等;基准面上升中期形成的砂层组多层合采时,重点多放在下部物性好、厚度大的砂体上,而上部的厚度小、物性差的储层动用较

差,剩余油储量中等。

4 结论

(1)将大民屯凹陷沈84—安12块E₃³段地层划分为1个长期、4个中期、8个短期及若干个超短期的地层基准面旋回。

(2)短期基准面旋回仅发育A和C2种类型,并进一步细分为A₁、A₂、C₁、C₂、C₃5个亚类型。

(3)基准面旋回对沉积特征、储层物性、剩余油分布具有明显的控制作用。基准面下降后期、上升早期,砂体面积广,厚度大,储层物性好,剩余储量易于动用且多连片分布;基准面下降早期、上升后期,砂体体积小,厚度薄,储层物性差,剩余储量不易动用且零星分布;基准面下降中期、上升中期,剩余油储量中等。

参考文献:

[1] Cross T A. Controls on coal distribution in transgressive-regressive cycle, Upper Cretaceous, Western Interior, USA [M] // Wilgaus C K. Sea Level Changes: An Integrated Approach. New York: SEPM Special Publication, 1998: 371-380.
 [2] Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 322-350.

- [3] 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.
- [4] 邓宏文, 王洪亮, 李熙楛. 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.
- [5] 邓宏文, 王红亮, 祝永军. 高分辨率层序地层学原理及应用 [M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [6] 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.
- [7] 傅强, 李益. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组长8—长7油层组高分辨率层序地层格架及其地质意义 [J]. 现代地质, 2006, 20(4): 579-584.
- [8] 彭军, 陈景山, 郑荣才. 百色盆地百岗组高分辨率层序分析及研究意义 [J]. 地球学报, 2002, 23(2): 153-158.
- [9] 杨磊, 邓礼正. 川东北黄龙场—渡口河构造须四—五段高分辨率层序地层分析 [J]. 石油天然气学报, 2008, 30(1): 188-191.
- [10] 刘军, 张尚锋, 田骏. 坪北油田长4+5、长6油组短期基准面旋回层序分析 [J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(4): 15-17.
- [11] 孙致学, 凌庆珍, 邓虎成. 高分辨率层序地层学在油田深度开发中的应用 [J]. 石油学报, 2008, 29(2): 239-245.
- [12] 侯中健, 陈洪德, 田景春, 等. 苏里格气田盒8段高分辨率层序结构特征 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2004, 31(1): 46-52.
- [13] 段秋梁, 武法东, 陈建渝, 等. 渤海油田9砂层组高分辨率层序特征及其沉积演化 [J]. 现代地质, 2001, 15(1): 83-87.
- [14] 张玮, 李明杰, 孙增玖, 等. 辽河油田大民屯凹陷东部陡坡带的构造演化特征 [J]. 现代地质, 2008, 22(4): 490-494.
- [15] 曲志浩, 孔令荣. 低渗透油层微观水驱油特征 [J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2002, 32(4): 329-334.
- [16] 董冬, 陈洁, 邱明文. 河流相储集层中剩余油类型和分布规律 [J]. 油气采收率技术, 1999, 6(3): 39-46.
- [17] 魏纪德, 杜庆龙, 林春明. 大庆油田剩余油的影响因素及分布 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 57-59.