

泌阳凹陷白云岩系高分辨率层序地层格架 ——一个应用基准面旋回理论的实例

程 喆¹, 孙凤华², 吕明久², 秦伟军², 王 忠²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国石化河南油田分公司, 河南南阳 473132)

摘要: 根据基准面旋回理论, 通过对研究区内 4 条连井剖面的层序地层分析, 建立起核桃园组三段 1 亚段至二段 3 亚段(C1)、核桃园组二段 2 亚段至 1 亚段(C2)两个长期基准面旋回, 其界限是基准面上升到基准面下降的转折点。C1 旋回纵向上为一个水体由深变浅的序列, 可进一步划分为 MSC1 和 MSC2 两个中期基准面旋回, 相当于核桃园组三段 1 亚段和二段 3 亚段的沉积; 每一个中期旋回当中可再细分为小的短期旋回。C2 旋回纵向上不完整, 仅由一个基准面下降的半旋回组成(相当于核桃园组二段 2 亚段到 1 亚段的沉积), 可进一步划分为 MSC3、MSC4、MSC5 和 MSC6 中期基准面旋回。在已建立的层序地层格架基础上进行精度更高的层序划分, 将有助于泌阳凹陷白云岩区的微相研究, 从而可预测与油气藏形成有紧密联系的裂缝和溶孔发育的有利相带。

关键词: 白云岩系; 高分辨率层序地层; 基准面旋回; 泌阳凹陷

第一作者简介: 程喆, 男, 29 岁, 高级工程师(博士生), 石油地质

中图分类号: TE111.3 文献标识码: A

在源于被动大陆边缘的经典层序地层学理论中, 沉积层序成因总是与海平面变化紧密联系在一起^[1,2]。我国中新生代陆相沉积盆地的湖平面基本不受全球海平面变化的影响^[3~5], 一般具有周期性和幕次性变化的特征^[6,7]。以最大水进面泥岩作为层序界面, 湖平面从下降到上升所对应的进积-退积-加积过程, 形成一个完整的成因地层单元。在层序内部具有向上变粗再变细的演化序列, 在区域上展布稳定^[8~12]。但是在陆相湖盆的深凹区, 长期以来一直处于水下环境, 普遍缺失低水位体系域^[13], 采用在沉积坡折位置追踪层序界面的方法失去了效力, 而应用基准面旋回原理和可容空间原理, 揭示基准面旋回与沉积动力学和地层响应过程的关系, 研究相对应的沉积相演化序列, 可以预测有利储集体的位置和发育情况。它强调基准面旋回层序级次取决于地层基准面旋回周期的长短^[14~18], 能较好地解决陆相盆地沉积序列对比分析的难题^[19]。

研究区位于南襄盆地泌阳凹陷腹部较深湖相带内^[20], 总体表现为一由北西向南东倾斜的单斜构造面貌。在下第三系核桃园组三段沉积末期至核桃园组二段沉积时期, 由于沉降活动减弱, 湖水浓缩并趋于咸化, 在凹陷腹部较深湖相带内沉积

了一套以泥质白云岩、白云岩、夹多层天然碱为主的白云岩系。根据研究区目的层段沉积地层具有明显旋回性^[21,22]的特点, 在应用基准面旋回理论建立的层序地层格架的基础上, 进行层序划分具有更高的精度, 有助于本地区的微相研究, 进而预测与油气藏形成有关的有利相带。

1 基准面旋回的识别

1.1 方法

一般认为基准面旋回的沉积学与地层学特征包括以下几个方面: 单一相物理性质垂向变化; 相序与相组合的变化; 旋回对称性的变化; 旋回叠加样式的变化; 地层几何形态与接触关系的特征等。露头与岩心资料通常都是识别短期旋回的基础, 测井曲线分析是通过短期旋回的叠加样式分析识别较长期基准面旋回的最好手段。地震资料除了可以通过反射终端的性质分析识别三级层序界面外, 精细测井-地震标定后的地震剖面还可以在三级层序内进一步识别较高级次的基准面旋回。无论以那种资料为主确定的基准面旋回, 都要经过岩性-电性-地震之间的相互标定与验证才能提高旋回识别的精度与可靠性^[23]。

泌阳凹陷白云岩系厚度大(可达 2 200 m)^[24], 层数多, 广泛发育的泥岩、白云质泥岩、泥质白云

岩、白云岩、天然碱和砂岩的频繁交互,导致地震资料分辨率低,难以追踪到较好的反射界面。在基准面旋回的识别过程中,以钻井取芯资料和测井资料进行相互标定与验证。例如,云1井取芯井段1904~1945 m,可划分为9个高频基准面升降半旋回,其中基准面上升半旋回是主要组成部

分,共计7个,而基准面下降半旋回则只有2个。这9个半旋回可组合成1个短期基准面上升半旋回,在自然电位曲线上这个短期旋回具有基准面上升的特征(图1)。这种将岩性与电性间标定和相互验证的方法,大大提高了基准面旋回识别的精度与可靠性。

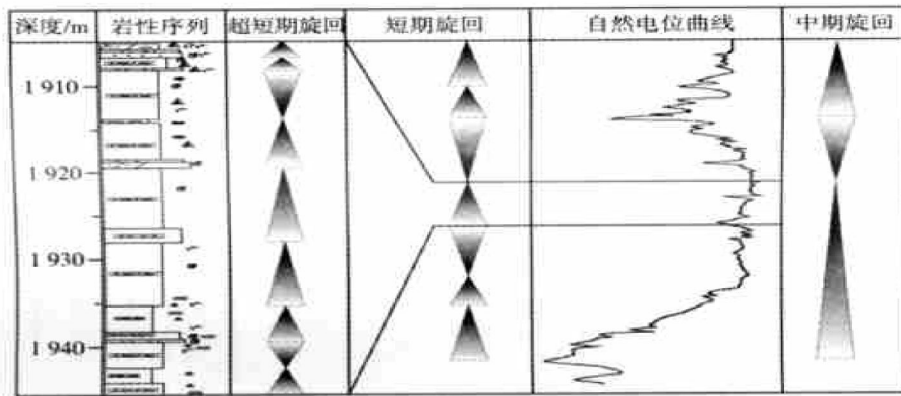


图1 泌阳凹陷云1井岩性-电性标定识别基准面旋回

Fig. 1 Litho-electric criteria of base level cycle in the well Yurr1, Biyang sag

1.2 标志

基准面旋回识别的主要标志有岩性剖面上的标志、测井曲线上的标志、地震剖面上的标志。该区主要采用前两种标志,识别效果较好。

在岩心剖面上识别成因层序的基础是相序分析。基准面旋回变化过程中可容空间的变化控制了相序特征及其在纵向上的相分异。在岩性剖面上弄清相和相序变化与水深变化的关系,进一步识别可容空间与沉积物的比值(A/S)的变化趋势,从而确定基准面旋回。岩性剖面上的旋回界面识别标志包括:地层剖面中的各种冲刷面、沉积相向盆地方向的移动、岩相类型或相组合在垂向剖面上的转换位置、不同岩性厚度的旋回性变化等。

研究区白云岩系可分为暗色泥岩相、砂岩相、白云质泥岩-泥质白云岩过渡相、白云岩相、含碱白云岩相和天然碱相。在垂向上主要形成两种沉积序列,即砂泥岩相→白云质泥岩-泥质白云岩过渡相→白云岩相→含碱白云岩相→天然碱相,代表水体逐渐变浅、盐度逐步变咸的沉积序列;天然碱相→含碱白云岩相→白云岩相→白云质泥岩-泥质白云岩过渡相→砂泥岩相水体变深的沉积序列过程。根据岩心标志可以在不同沉积环境中或不同岩相带内识别超短期、短期基准面旋回。

超短期旋回由单一的岩性旋回组成,短期基准面旋回是两个或两个以上的超短期旋回的组合,中期基准面旋回则是根据岩相组合结合其他地质资料如古构造的演化、古气候和地球化学资料将短期旋回按某种特定的样式叠加而成。图2总结了一些在本区识别基准面旋回的岩性剖面标志。云2井取心井段的1852~1859 m,由3个短期的基准面上升半旋回组成一个较高级的基准面上升半旋回;1740~1760 m则由3个基准面下降期的短期旋回组成一个中期基准面下降半旋回;在安23井的录井图上,可以识别出3个基准面升降半旋回,其中2个是基准面上升期,1个是基准面下降期,它们共同组成了一个基准面上升的过程。

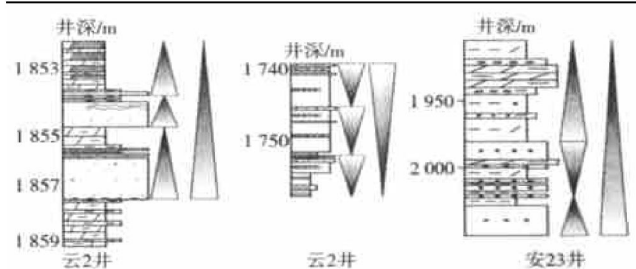


图2 泌阳凹陷基准面旋回识别的岩性标志

Fig. 2 Lithologic criteria of base level cycle in Biyang sag

利用测井曲线识别各级次基准面旋回是一个

重要的研究手段(图 3)。通过标定建立岩心短期旋回与测井曲线间的响应关系,用于指导非取心测井曲线的旋回划分。自然电位曲线能够较准确

地反映岩石成分、岩性变化和岩相组合,通过与录井剖面相互补充、综合分析,能够确定各级次基准面旋回界面,进行旋回划分。

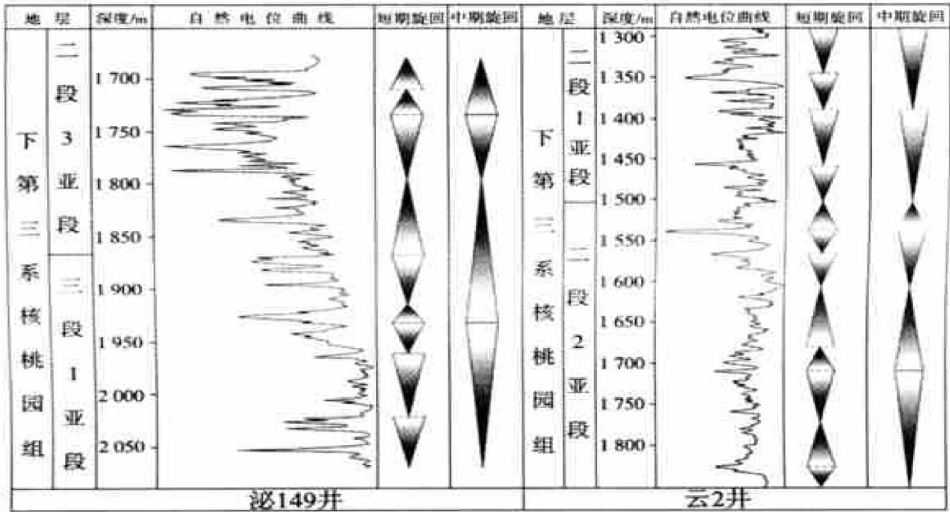


图 3 利用测井资料将短期旋回组合成中期旋回

Fig. 3 Synthesizing the short-term cycles into medium-term base level cycle with log data

在分析基准面升降与沉积动力学的基础上,以中期基准面旋回为周期,以短期基准面旋回为成因地层单元^[24],利用测井资料将短期旋回组合成中期或长期旋回(图 3)。这种叠加样式是较长期旋回向其上升或下降的最大幅度值单向移动的结果。总体上反映向湖盆边缘退积的叠加样式,它们都以较长期的基准面下降期为主,分别代表了研究目的层段两个大的沉积旋回,即由核桃园组三段 1 亚段和核桃园组二段 3 亚段组成的下部旋回和由核桃园组二段 2 亚段和核桃园组二段 1 亚段组成的上部旋回。

2 层序地层框架

通过不同级别的基准面旋回识别,对研究区 6 口典型井和 4 条连井剖面进行了层序地层分析,建立了本区高分辨率层序地层框架(表 1,图 4)。核桃园组三段 1 亚段-核桃园组二段 1 亚段划分为 2 个长期基准面旋回 C1 和 C2,长期旋回的边界是基准面上升到基准面下降的转换点。下部旋回(C1)为核桃园组三段 1 亚段和核桃园组二段 3 亚段,基准面下降期厚度远大于基准面上升期厚度,总体上为一个向上变浅的沉积序列。该旋回内部可进一步分为 2 个中期基准面旋回 MSC1 和 MSC2,其中 MSC1 旋回相当于核桃园组三段 1 亚

表 1 泌阳凹陷白云岩发育区高分辨率层序地层划分方案

Table 1 Classification scheme of high resolution sequence stratigraphy in the dolomite rocks area in Biyang sag

层序		陈文学 (2000)	胡授权 (1998)	本文对基准面旋回的划分	
地层				中期旋回	长期旋回
下第三系核桃园组	H1		S8		
	H2	H2-1	S7	MSC6	C2
				MSC5	
				MSC4	
				MSC3	
	H3	H3-1	S6	MSC2	C1
				MSC1	
	H3	H3-2	S5		
	H3	H3-3	S4		
	H3	H3-4	S3		

段和核桃园组二段 3 亚段下部地层, MSC2 相当于核桃园组二段 3 亚段上部地层。这两个中期旋回基准面上升期和基准面下降期发育完整。上部旋回(C2)仅由一个基准面下降半旋回组成,基准面上升半旋回不发育,相当于核桃园组二段 2 亚段和核桃园组二段 1 亚段地层。其中核桃园组二段 2 亚段由两个中期旋回组成,分别为 MSC3 和 MSC4,它们是两个完整的基准面升降旋回;核桃园组二段 1 亚段同样由两个中期旋回组成,分别为 MSC5 和 MSC6,但它们均不完整,仅发育基准面下降半旋回。

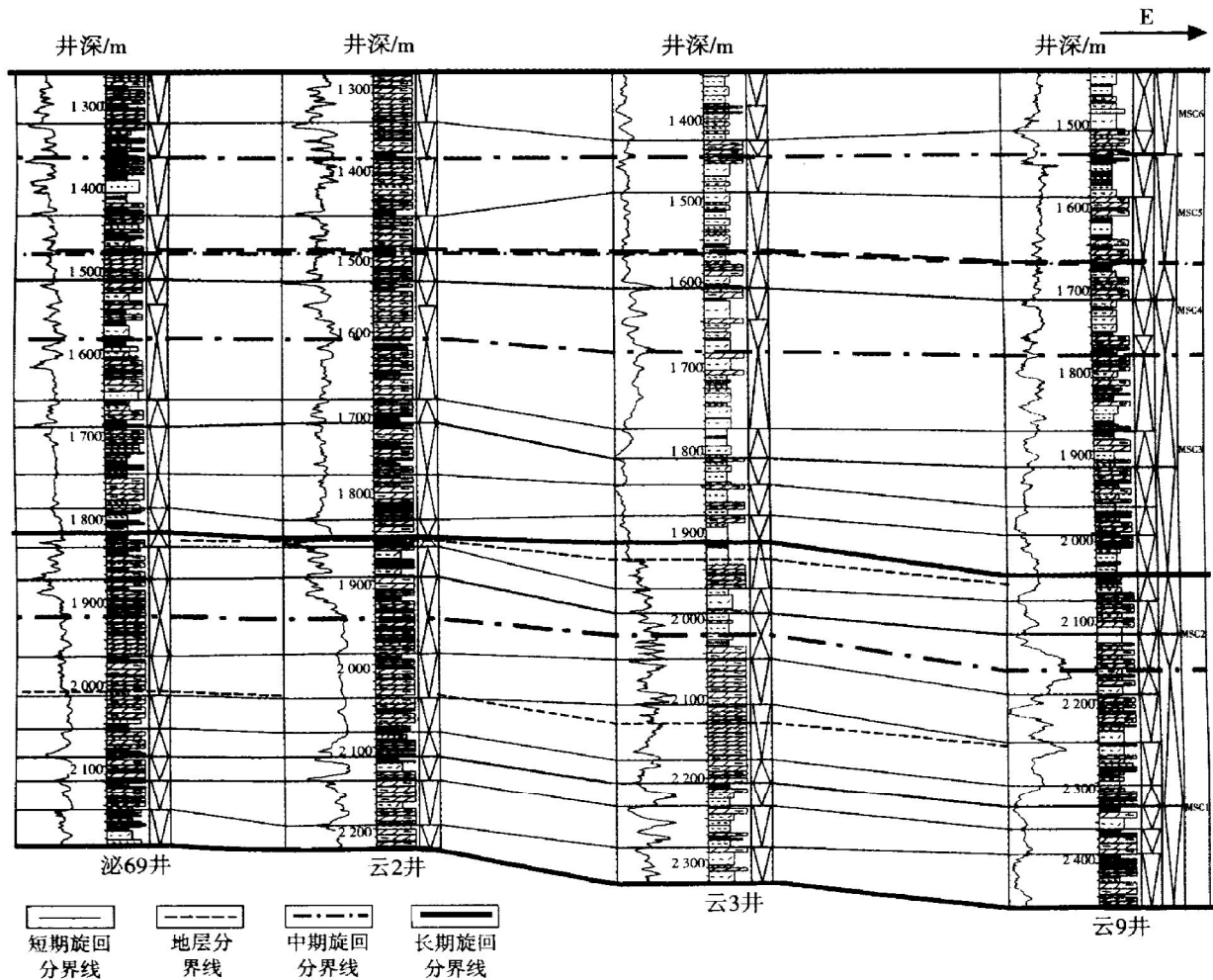


图4 泌阳凹陷白云岩区核桃园组二段-三段1亚段高分辨率层序地层格架剖面

Fig. 4 Section of $Eh_3^1 - Eh_2$ high-resolution sequence stratigraphy in the dolomite rocks area of Biyang sag

综合应用各种基准面旋回识别的标志,可以划分出目的层不同级别的基准面旋回,建立层序地层框架(图4)。

3 结语

根据基准面旋回理论,在岩性剖面上识别相和相序变化与水深变化的关系,确定短期基准面旋回。根据较长期基准面旋回是由若干短期基准面旋回按某种特定的样式叠加而成的特点,通过测井曲线将短期基准面旋回组合成中长期基准面旋回,结合其他地质资料建立高分辨率层序地层格架具有更高的精度,长期旋回C1的厚度500~600 m, C2旋回的厚度约为400 m。各中期旋回的厚度可在70~400 m不等,而短期旋回的厚度一般在10~60 m。利用岩心资料划分的短期旋回厚度较小,能够保证不同级次基准面旋回对比具有等时性。实践证明,这种基准面旋回和叠加样式与沉积动力学关系的分析方法适合中国广泛分布的

中生代陆相含油气盆地的高分辨率层序地层学研究^[25],必将成为盆地分析、矿产资源勘探开发与预测的强有力工具^[26]。总之,作为层序地层学理论的一个重要体系,基准面旋回理论具有科学性、预测性和实用可操作性,不仅可满足不同尺度层序地层学研究的需要,而且可较好地解决陆相沉积层序对比分析的一些难题。

参 考 文 献

- 1 Vail P R, Mitchum R M, Thompson S. Relative changes of sea plane from coastal onlap[A]. In: Payton C E. Seismic stratigraphy- application to hydrocarbon exploration[C]. AAPG Memoir, 1977, 26: 63~82
- 2 Van Wagoner J C, Posamentier H W, Mitchum R M, et al. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions[A]. In: Wilgus C K, Hastings B S, Kendall C G, et al. Sea level changes: an integrated approach[C]. SEPM Special Publication, 1988, 42: 39~45
- 3 Shanley K W, McCabe P J. Perspectives on the sequence stratigraphy

- of continental strata[J]. AAPG Bull, 1994, 78(4): 544~ 568
- 4 宋国奇. 济阳坳陷下第三系湖相沉积的层序地层学分析[J]. 现代地质, 1993, 7(1): 20~ 30
 - 5 徐怀大. 层序地层学应用于我国断陷盆地分析中的问题[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(1): 52~ 57
 - 6 解习农, 程守田, 陆永潮. 陆相盆地幕式构造旋回与层序构成[J]. 地球科学, 1996, 21(1): 27~ 33
 - 7 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
 - 8 郑小武, 邓宏文, 徐怀大, 等. 测井高分辨率层序地层自动划分技术与应用尝试[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 357~ 360
 - 9 薛良清. 层序地层学的回顾与展望[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 484~ 487
 - 10 胡受权. 断陷湖盆陡坡带陆相层序体系域模式[J]. 新疆石油地质, 1998, 19(5): 384~ 387
 - 11 顾家裕. 陆相盆地层序地层学格架概念与模式[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(4): 6~ 9
 - 12 胡受权. 泌阳凹陷陡坡带陆相层序发育的可容空间图解探讨[J]. 高校地质学报, 1998, 4(1): 85~ 94
 - 13 陈建强, 胡树庭, 杨欣德, 等. 山东淄博地区奥陶系层序地层划分和层序界面的识别标志[J]. 现代地质, 15(3): 247~ 253
 - 14 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177~ 183
 - 15 樊太亮, 李庆谋. 沉积基准面变化分析技术及其应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 108~ 113
 - 16 郑荣才, 吴朝容, 叶茂才. 浅谈陆相盆地高分辨率层序地层研究[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(3): 241~ 244
 - 17 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
 - 18 林畅松, 张燕梅, 刘景彦, 等. 高精度层序地层学和储层预测[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 111~ 116
 - 19 谢渊, 刘家铎, 王剑. 陆相层序地层学研究进展与挑战[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(2): 8~ 17
 - 20 张新社, 孙冲, 夏东领, 等. 泌阳凹陷腹部湖相白云岩油藏地质特征[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(6): 28~ 33
 - 21 陈文学, 姜在兴, 鲜本忠, 等. 层序地层学与隐蔽圈闭预测[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001
 - 22 胡受权, 郭文平. 南襄盆地泌阳凹陷高分辨率层序地层研究[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(3): 28~ 33
 - 23 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
 - 24 黄杏珍, 邵宏舜, 闫存风, 等. 泌阳凹陷下第三系湖相白云岩形成条件[J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 207~ 213
 - 25 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
 - 26 孟万斌. 从层序地层学到高分辨率层序地层学[J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(4): 380~ 384

HIGH-RESOLUTION SEQUENCE STRATIGRAPHIC FRAMEWORK OF DOLOMITE ROCKS IN BIYANG SAG: A CASE STUDY OF THE APPLICATION OF BASE LEVEL CYCLE THEORY

Cheng Zhe^{1,2} Sun Fenghua² Lv Mingjiu² Qin Weijun² Wang Zhong²

(1. China University of Geosciences, Beijing; 2. Henan Oilfield Company, SINOPEC, Nanyang, Henan)

Abstract: Based on the base level cycle theory, two long-term base level cycles, i. e. C1(the 1st sub-member of 3rd member of Eogene Hetaoyuan Formation(Eh_3^1) —the 3rd sub-member of 2nd member of Eogene Hetaoyuan Formation (Eh_2^3)) and C2(Eh_2^2 — Eh_2^3), have been built up through the sequence stratigraphy analysis of 4 well-to-well correlation sections in the study area. Their boundaries might be a breakpoint where base level rises and falls. C1 cycle is vertically a sequence which water body shallows upwardly, and it can further be divided into two medium-term base level cycles, i. e. MSC1 and MSC2, corresponding to the Eh_3^1 and Eh_2^3 deposition. Each medium-term cycles are subdivided into smaller short-term cycles. C2 cycle is vertically not complete and is only composed of one half cycle with a fall in base level (equivalent to Eh_2^2 and Eh_2^1 depositional stages), which can further be divided into four medium-term base level cycles, i. e. MSC3, MSC4, MSC5 and MSC6. On the basis of the established sequence stratigraphic framework, a more detailed sequence classification will be helpful to study the microfacies of dolomite area in Biyang sag, and to predict the facies belts favorable for development of fractures and dissolved pores closely related to oil and gas accumulation.

Key words: dolomite rocks; high resolution sequence stratigraphy; base level cycles; Biyang sag