

文章编号: 1000-0550(2013)06-1088-06

高分辨层序地层学中 A/S 值量化方法的研究与讨论^①

苗小龙^{1 2 3} 王红亮^{1 2} 于波³ 李昭⁴ 赵国君⁵ 龚云洋^{1 2}

(1. 中国地质大学能源学院 北京 100083; 2. 中国地质大学海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室 北京 100083;

3. 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院 西安 710075; 4. 中国地质调查局油气资源调查中心 北京 100029;

5. 中国国土资源经济研究院 河北三河 065201)

摘要 可容纳空间增加速率与沉积物供应速率的比,即 A/S,作为高分辨率层序地层学研究中一个重要的参数,主要应用于划分地层旋回性。根据岩相特征对 A/S 值变化的响应,本文提出了 A/S 区间量化方法来确定 A/S 值。鉴于前人的研究成果,建立理想沉积模型,并对模型中的各种岩相分别赋值(由底部向顶部,ZYXWDCBA,分别为12345678)。根据沉积地层岩相值的变化,划分为基准面上升(岩相值向上增加)与下降(岩相值向上减小)两个区间,并定义单个区间内岩相值与底部岩相值的比值为该岩相地层的 A/S 值,同趋势区间岩相的 A/S 值相同。据此定义出的 A/S 值及其纵向变化意义与高分辨率层序地层中 A/S 值变化意义保持一致。应用本文提出的 A/S 值量化方法,对经典辫状河沉积岩相进行标准 A/S 量化研究,确立了各岩相的 A/S 值。应用于两个实例研究中确定 A/S 值,并利用 A/S 值来划分短期基准面旋回,与经典理论划分出的旋回特征具有较好的对比性,划分成果统一且操作简单,避免了同种沉积不同沉积旋回特征的划分方案。

关键词 高分辨层序地层学 岩相特征 A/S 区间量化法 划分基准面旋回 辫状河沉积

第一作者简介 苗小龙 男 1986 年出生 硕士 助理工程师 油气地质与层序地层学 E-mail: superdragon0420@gmail.com

通讯作者 王红亮 男 副教授 E-mail: whliang@cugb.edu.cn

中图分类号 P539.2 **文献标志码** A

0 引言

高分辨率层序地层学的理论核心是指在基准面旋回变化过程中,由于沉积物可容纳空间与沉积物补给量比值(A/S)的变化,相同沉积体系中沉积物体积发生再分配作用,导致沉积物堆积速率、保存程度和内部结构(如堆积形式)等发生变化^[1-2]。

利用 A/S 值的增加与减小来划分沉积基准面旋回,在高分辨率层序地层学研究中应用广泛^[3-10]。从基准面概念提出开始^[11],A/S 值一直被划分为①大于1(沉积物供应速率小于可容纳空间增加速率,海/湖岸线向远离盆地方向迁移,沉积物发生退积)、②等于1(两者基本持平,海/湖岸线基本不发生迁移,沉积物发生加积)、③0与1之间(沉积物供应速率大于可容纳空间增加速率,海/湖岸线向盆地方向迁移,沉积物发生进积)和④0与小于0(不发生沉积,或过路沉积,形成局部剥蚀面或不整合面)^[1,12-14],没有确切的量化值。很重要的原因是因

为可容纳空间与沉积物供应分开来研究,无法获得两者的真实值,而两者的比值也就无法确定。正是因为如此,出现了同沉积不同旋回的现象,即同一沉积特征被划分为不同的基准面旋回类型。

但是,大量的地层学和沉积学性质,包括岩石物性、相组合和相序、层组厚度、地层结构及地层不整合面出现的频率等,都记录了保存程度和 A/S 值条件^[2],使得 A/S 值的量化成为可能。本文尝试利用岩相及其组合关系的变化来量化 A/S 值,藉此来划分沉积地层短期基准面旋回。

1 建立理想沉积模型

沉积物体积分配通过时间改变了地层旋回的对称性,而旋回的对称性记录在了基准面旋回上升与下降时期形成的岩相中^[15]。理想沉积环境中,沉积地层为陆相—滨海—海相,基准面上升旋回期与下降旋回期,分别发育地层为 ZYXWDCBA 与 ABCDWXYZ(图1左起第1列,由底部向顶部,下同)。随着环境

^①国家科技重大专项(编号:2011ZX05009-002)资助

收稿日期:2012-10-15;收修稿日期:2012-12-27

的变化,可能形成对称与非对称基准面旋回(图 1,第 2 列与第 4 列)。

2 量化方法

特定的沉积环境中,理想发育岩相一般可以通过该环境中典型露头剖面获得。假设某种沉积环境中,理想发育的岩相种类为 8 种(图 1),包括了陆相和海相环境,以及两者之间的过渡环境。

理想环境下发育的基准面上升旋回由底部向顶部发育的岩相依次为 ZYXWDCBA,分别赋值为 12345678,代表退积或海进沉积;反之则代表进积或海退沉积。在此基础上,根据基准面上升与下降,将地层发育的岩相值划分为两个区间,即由底部向顶部岩相值增加(12345678)区间与减小区间(87654321)。单个区间内我们定义岩相值与底部岩相值的比值为该岩相地层的 A/S 值,同趋势区间岩相的 A/S 值相同,不同趋势区间岩相不具对比性。

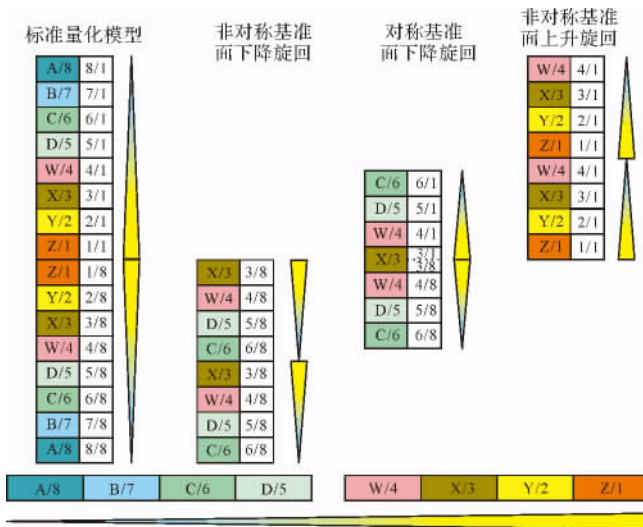


图 1 理想地层旋回对称性与非对称性示意图(据文献[15]修改)

Fig. 1 Schematic diagram of idealistic strata with symmetric and asymmetric cycles

如图 1 中第 1 列(左,下同)基准面下降旋回中,岩相 ABCDWXYZ 的 A/S 值依次为 8/8, 7/8, 6/8, 5/8, 4/8, 3/8, 2/8, 1/8,反映了可容纳空间逐渐减小的趋势;基准面上升旋回中,岩相 ZYXWDCBA 的 A/S 值依次为 1/1, 2/1, 3/1, 4/1, 5/1, 6/1, 7/1, 8/1,反映了可容纳空间逐渐增加的趋势。

特别需要指出的是:①单一区间内,对于岩相的缺失,笔者认为在地层发育过程中其地层被后期作用改造,如冲刷、剥蚀,而未保存下来,其厚度为 0 m,依

旧存在其相应的岩相值与 A/S 值,只是并未标出来(图 1 2 3 4 列);②图 1 第 3 列中,岩相 X 处,为基准面转化位置,故一分为二。对于基准面下降旋回区间没有影响;在基准面上升旋回区间内,笔者解释为 X 沉积前由于冲刷作用 Y 与 Z 地层被剥蚀;③A/S 值为 1 时,为相同岩相的加积,即为同一种岩相;④A/S 值小于等于 0 时,不发生沉积,为过路沉积或形成剥蚀面、不整合面,可以将这种界面的 A/S 值定义为 0。

依据上述方法量化的 A/S 值,可以很直观地反映 A/S 值的变化,为 A/S 值的增加与减小提供依据,也为定量划分基准面旋回提供了一种新的方法,我们称之为 A/S 区间量化原则。该量化原则中 A/S 值的地质意义没有改变,与前人研究成果相一致。

3 实例验证

本文选取短期基准面旋回内辫状河沉积层序来验证量化 A/S 值的可行性。辫状河的沉积序列较为复杂,最经典的为加拿大魁北克省加斯佩半岛泥盆纪辫状河剖面(图 2),自下而上为由粗变细的正韵律结构,反映了水动力能量逐渐减弱的沉积过程^[16,17]。

可以看出,辫状河环境中可能发育 5 种岩相,依据 A/S 值区间量化原则,辫状河经典地层为非对称基准面上升旋回(图 2)。相应的,冲刷面处 A/S 值为 0。我们可将其认为是经典辫状河 A/S 值量化剖面。

实例一

按照经典辫状河 A/S 值量化标准,对 Miall 总结的部分典型辫状河类型(M/N/O)^[18]进行量化 A/S 值来划分基准面旋回(图 3),可以发现辫状河发育以基准面上升旋回类型为主,泥岩相 5 发育较少,以河道相互切割为特征,表现为 2、3、4 的反复叠置出现。可以发现,利用量化的 A/S 值划分基准面旋回,可以很好的反映辫状河发育规律。

实例二

延庆硅化木地质公园位于北京市延庆县东北部的千家店镇下德龙湾村白河两岸,园内主要出露一套后城组紫红色、灰绿色等杂色河流相凝灰质细砂—粉砂岩^[19]。通过野外露头观察和分析,园内辫状河沉积的微相类型主要为河道充填沉积、心滩、河间湖泊与溢岸沉积^[20]。

结合经典辫状河 A/S 值量化剖面,通过对岩相 A/S 值量化来研究其旋回的变化特征(图 4)。本文将剖面中出现的溢岸沉积归为心滩顶部沉积(A/S 值为 4)来研究。

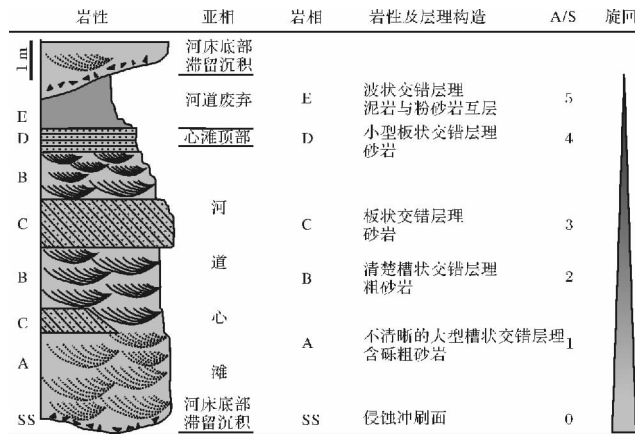


图 2 加拿大魁北克省加斯佩半岛泥盆纪辫状河剖面(据文献[16,17]修改,岩相类型 A/B/C/D/E 下同)
Fig. 2 Devonian braided-river outcrop in Gaspais Peninsula, Quebec, Canada

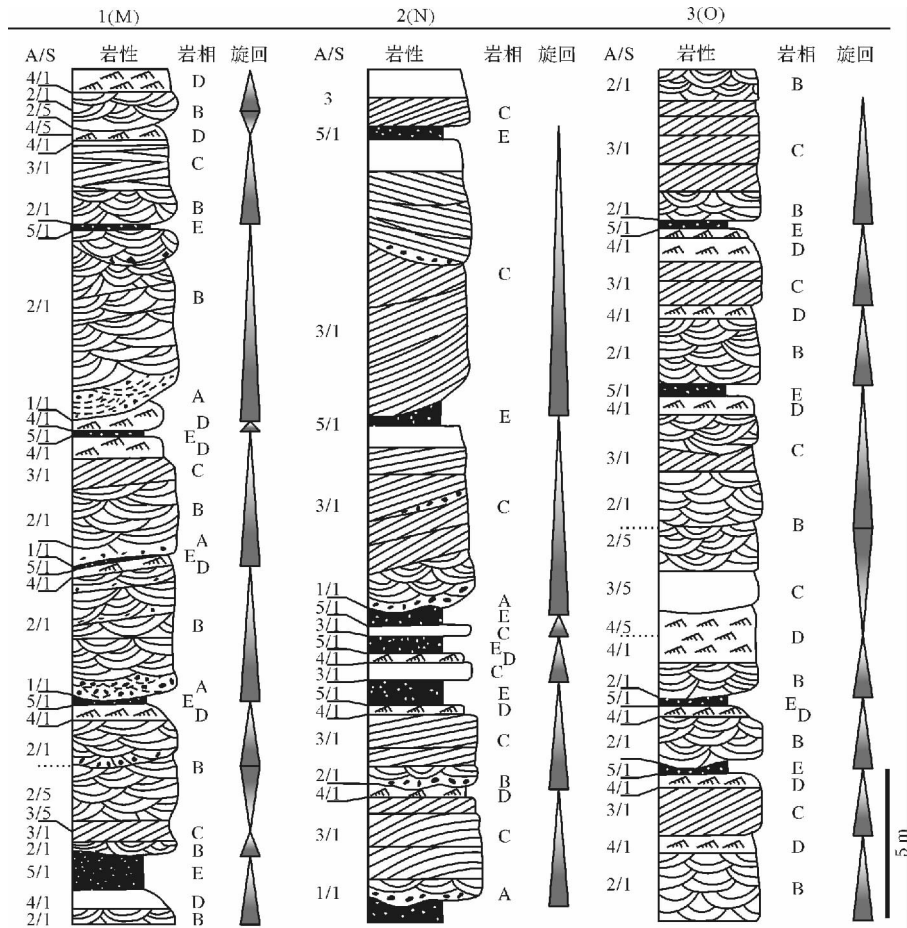


图 3 应用 A/S 区间量化原则划分典型辫状河剖面基准面旋回(据文献[16,17]有修改)

Fig. 3 Divide base-level-cycle on the typical braided river outcrop with the application of A/S quantization principle

总体上,由 A/S 值量化方法划分出的旋回特征,与经典理论划分出的旋回特征一致性较高,能够很好的反映旋回的变化特征。相比于经典理论划分出的短期旋回特征,更为细致,如厚度 40 ~ 100 m 段,原划分

为 3 个上升半旋回按照 A/S 值量化方法可以划分为 6 个上升半旋回,避免了选划分参数选择的不确定性。在此基础上,结合相类型的变化特征,可以进行中期、长期旋回的划分,将在以后的研究中深入探讨。

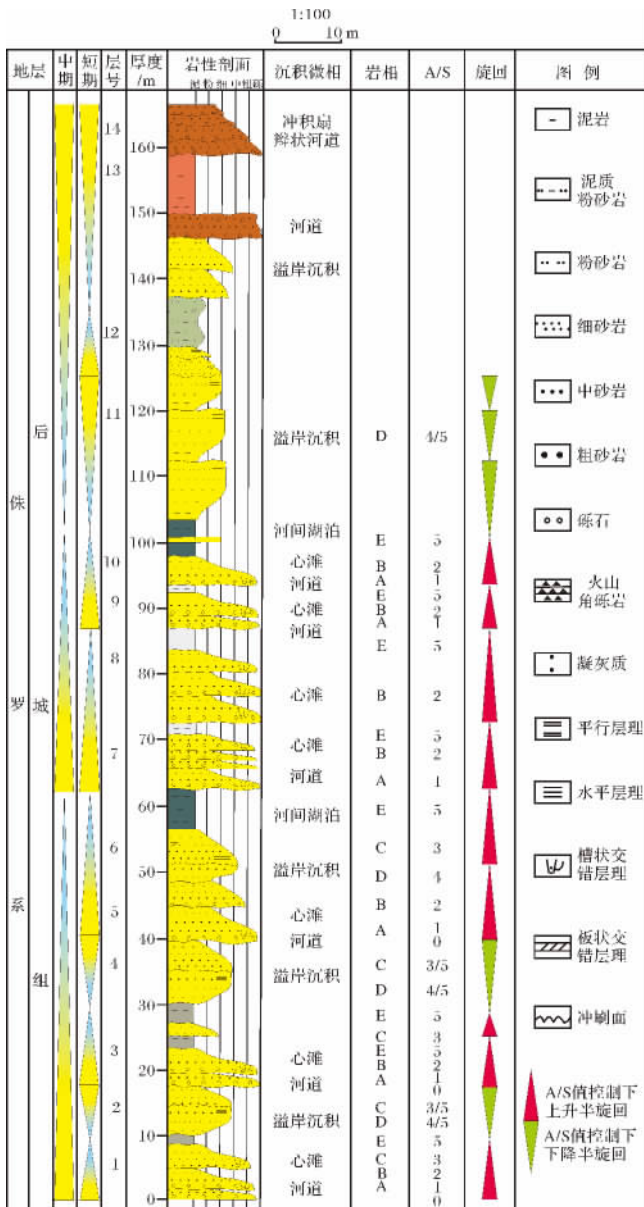


图 4 延庆硅化木辫状河高分辨率层序地层格架 (据文献[20]修改)

Fig. 4 Illustration of the sequence stratigraphic architecture of the study area

可以发现,根据 A/S 值量化方法划分出的旋回特征,与经典理论划分出的旋回特征具有很好的可比性,操作更简单。特别指出,由 A/S 值量化方法划分出的旋回特征,严格按照岩相的变化等参数进行旋回划分,相对于传统的划分方案更具参考性。

4 结论

通过记录短期基准面旋回内的岩相变化特征,可以量化 A/S 值,即可以应用岩相的变化来确定 A/S

值,还可以很好的反映沉积特征。记录基准面旋回的其他特征,如相组合、相序等都可以反映 A/S 值的变化,也可以量化 A/S 值。

基于 Cross 的研究成果,本文提出的 A/S 区间量化方法,可以较好地定量研究基准面旋回内 A/S 值及其变化特征,而且其取值范围所代表的沉积地质意义并没有改变。应用 A/S 区间量化方法,建立了短期基准面旋回内辫状河沉积岩相特征经典剖面,并对 Miall 总结的部分典型辫状河类型通过量化 A/S 值来划分基准面旋回,更具科学性,可以很好地解决同沉积不同旋回的问题。

基于岩相特征的变化,本文主要集中于短期基准面旋回内 A/S 值量化特征研究。宏观方向,以沉积微相、亚相或相特征就可以进行中期与长期基准面旋回内 A/S 值量化特征研究,将在以后的研究中深入探讨。另外,建立各种相环境的标准 A/S 值量化剖面,也将是未来研究的一个重点。

参考文献 (References)

- 朱筱敏. 层序地层学[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2000: 147-154 [Zhu Xiaomin. Sequence Stratigraphy [M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2000: 147-154]
- 邓宏文, 王红亮, 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: 3-24 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun, et al. High-resolution Sequence Stratigraphy—Principle and Application [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 3-24]
- 邓宏文, 王红亮, 阎伟鹏, 等. 河流相层序地层构成模式探讨[J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 373-379 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Yan Weipeng, et al. Architecture model of sequence stratigraphy in fluvial facies [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(3): 373-379]
- 邓宏文, 吴海波, 王宁, 等. 河流相层序地层划分方法——以松辽盆地白垩统扶余油层为例[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 621-627 [Deng Hongwen, Wu Haipo, Wang Ning, et al. Division of fluvial sequence stratigraphy: An example from the Lower Cretaceous Fuyu oil-bearing layer, the Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(5): 621-627]
- 邓宏文. 高分辨率层序地层学应用中的问题探析[J]. 古地理学报, 2009, 27(5): 471-480 [Deng Hongwen. Discussion on problem of applying high resolution sequence stratigraphy [J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 27(5): 471-480]
- 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层学基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177-184 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Li Xizhe. Identification and correlation of sequence stratigraphic base-levels and their application [J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(3): 177-184]

- 7 邓宏文,王洪亮,李小孟. 高分辨率层序地层对比在河流相中的应用[J]. 石油与天然气地质,1997,18(2):15-34 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Li Xiaomeng. Application of high-resolution sequence stratigraphic correlation to fluvial facies [J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(2): 15-34]
- 8 刘波. 基准面旋回与沉积旋回的对比方法探讨[J]. 沉积学报, 2002, 20(1): 112-117 [Liu Bo. Discussion on the correlation methods of base-level cycle and sedimentary cycle sequence [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(1): 112-117]
- 9 李世臻,王红亮. 高分辨率层序地层学在海坨子地区隐蔽油藏勘探中的应用[J]. 特种油气藏, 2008, 15(6): 20-95 [Li Shizhen, Wang Hongliang. Application of high-resolution sequence stratigraphy in exploration of subtle reservoirs in Haituozhi area [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2008, 15(6): 20-95]
- 10 王红亮. “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 “Turnaround Surface” and its significance to sequence stratigraphy [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(2): 35-42]
- 11 Wheeler H E. Baselevel, lithosphere surface, and time-stratigraphy [J]. Geological Society of America Bulletin, 1964, 75(7): 599-610
- 12 Martinsen O J, Ryseth A L F, Helland-Hansen W, et al. Stratigraphic base level and fluvial architecture: Ericson Sandstone (Campanian), Rock Springs Uplift, SW Wyoming, USA [J]. Sedimentology, 1999, 46(2): 235-263
- 13 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 [Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U. S.: High-resolution sequence stratigraphy [J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 89-97]
- 14 邓宏文,王红亮,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]
- 15 Cross T A, Lessenger M A. Sediment volume partitioning: Rationale for stratigraphic model evaluation and high-resolution stratigraphic correlation [M] // Sandvik K O, Gradstein F, Milton N. Predictive high resolution sequence stratigraphy. Norwegian Petroleum Society Special Publication. 1998: 171-196
- 16 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 145-186 [Yu Xinghe. Siliciclastic Petroleum Reservoir Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 145-186]
- 17 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010: 138-152 [Jiang Zaixing. Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 138-152]
- 18 Miall A D. The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology [M]. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996: 191-249
- 19 北京市地质矿产局. 北京市区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991 [Beijing Municipal Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology in Beijing [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991]
- 20 郭佳,邓宏文,季春辉,等. 北京北部上侏罗统辫状河体系沉积特征[J]. 现代地质, 2011, 25(4): 642-649 [Guo Jia, Deng Hongwen, Ji Chunhui, et al. Sedimentary characteristic of braided river of Upper Jurassic outcrops in north of Beijing [J]. Geoscience, 2011, 25(4): 642-649]

Research and Discussion: an Approach to Quantitative A/S in High-Resolution Sequence Stratigraphy

MIAO Xiao-long^{1 2 3} WANG Hong-liang^{1 2} YU Bo³
LI Zhao⁴ ZHAO Guo-jun⁵ GONG Yun-yang^{1 2}

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083;

3. Institute of Shanxi Yanchang Petroleum (group) Co., Ltd, Xian 710075;

4. Oil and Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100029;

5. Chinese Academy of Land & Resource Economics, Sanhe, Hebei 065201)

Abstract: As a key parameter in high-resolution sequence stratigraphy, the ratio of accommodation to sediment supply, named A/S for short, has been used to divide stratigraphic base-level cycles. However, A/S has been classified into unity, increasing, decreasing and below zero, without any real data.

According to the record of litho-facies and its thickness responded to the variation of A/S, this paper proposes an approach, named A/S interval quantization principle within special interval, to quantify the real data of A/S. Based on the former research, we found real sedimentary model, and set number on each litho-facies within the model (from

bottom to top , ZYXWDCBA , 12345678 , respectively) . According the numbers' changing , they are classified two intervals , base-level rising (number bigger upward) and base-level falling (number smaller upward) . In each interval , we define the ratio , number of sediment litho-face to number of bottom sediment litho-face , as A/S data , and every A/S data of litho-face is the same. The A/S data and its vertical changing has the same meanings with which in high-resolution sequence stratigraphy.

Applying the approach , we quantify A/S data on classic braided-river sedimentary litho-faces. With two practices , we found the A/S data on the former research , and based on which to classify short-term base-level cycle. Comparing with the former research , the division of base-level based on the approach has ideal similarity. At the same time , the division is single and operation-simple , which can avoid the phenomenon that different base-level division in the same sediment.

Key words: High-resolution sequence stratigraphy; litho-facies features; A/S interval quantization principle; base-level cycle division; braided-river sediment