

文章编号: 1000-0550(2008)06-1021-06

基准面变化幅度半定量分析技术及其应用

彭传圣¹ 林会喜¹ 林红梅¹ 孙 怡¹ 路顺行¹ 陈世悦²

(1 胜利油田地质科学研究所 山东东营 257015 2 中国石油大学 山东东营 257061)

摘 要 基准面是抽象的、非物理的、一个变化的势能面,其通过制约可容空间变化控制着地层的沉积与保存作用。湖相沉积受构造控制作用强,地震上超点法难以用来确定基准面的变化幅度。通过录井岩性资料中沉积物类型及其叠加特征可以反推相对可容空间的变化幅度。依据砂岩—泥岩旋回的厚度分布,选取丰度最高值区间的中值厚度或平均旋回厚度为统计区间,自目的层底部向顶部统计各区间内砂岩、泥岩厚度,计算泥岩百分含量,并赋以不同泥岩百分含量相应的基准面变化值,可半定量分析基准面变化幅度。应用该方法可明确不同地区可容空间的变化特征,识别转换面和划分基准面旋回,并分析基准面旋回变化对沉积相分配的控制作用。该方法在滨浅湖滩坝相砂、泥岩薄互层的基准面旋回划分和对比中应用,建立了高精度等时地层格架。

关键词 基准面变化 半定量 层序地层 分析技术 砂泥岩薄互层

第一作者简介 彭传圣 男 1975 年出生 博士 高级工程师 E-mail pengchuansheng@163.com

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

基准面是抽象的、非物理的界面,是一个变化的势能面,其通过制约可容空间变化而控制着地层的沉积与保存作用^[1-3]。高分辨率层序地层划分正是运用与其相关的原理,根据各种标志识别出不整合面、沉积转换面以及洪泛面等界面进行的。钻井层序划分通常是应用岩心资料或测井资料(自然伽马、自然电位曲线)识别出层序界面及基准面旋回,但划分和对比中常遇到一些问题。一方面,岩心资料是比较有限的,另一方面,地层若为滩坝相的砂、泥岩薄互层沉积时,则层序界面与基准面旋回难以确定。如果能半定量确定出基准面变化的幅度,则可应用于界面识别和等时地层单元划分和对比。在研究海相地层层序中,地震上超点法是常用于确定基准面(海平面)升降变化的方法^[4-9]。在湖相沉积中,沉积受构造作用的控制可能更强,上超点往往为控盆断层边界点,难以用来确定基准面的变化幅度。因此,基准面变化幅度半定量确定需从井资料入手。

1 基准面变化幅度半定量分析技术

1.1 基准面旋回识别原理

无论短期基准面旋回或较长期基准面旋回的识别都是通过 A/S 值变化的趋势分析进行的^[1,9]。短期旋回中 A/S 值的变化趋势可以通过能指示沉积物形成时的水深、沉积物保存程度的相序、相组合和相异作用进行,这些标志包括:①单一相物理性质的

垂相变化;②相序与相组合的变化;③旋回对称性的变化;④旋回叠加样式的变化;⑤地层几何形态与接触关系等。较长期基准面旋回的确定可以通过短期旋回的叠加样式分析得到。当 A/S 值 < 1 时,即沉积物供给速率大于可容空间增加速率时,较长期基准面下降,形成向湖(海)盆方向推进的进积叠加样式,发育的岩相类型单一; A/S 值 > 1 时,较长期基准面上升,形成向陆推进的退积叠加样式,岩相类型丰富;在较长期基准面上升与下降的转换时期, A/S 值 = 1 形成短期旋回加积叠加样式^[1-3]。

1.2 半定量分析技术

根据基准面旋回识别原理可知,尽管相对可容空间的绝对值难以确定,但它的变化可以反映在沉积物类型及其叠加特征上。每口井沉积物类型及其叠加特征可以反推相对可容空间的变化幅度,并据此配合其他识别标志确定不同类型、不同级别的基准面旋回转换面。通过区域上多口井的综合分析,则可明确一个地区的变化特点,并进行等时地层单元划分对比,分析沉积的分配和演化规律。

基准面变化幅度半定量分析技术具体的操作方法是:①从研究目的层段的底界面向上,每隔 nm 统计其砂岩、泥岩厚度,计算泥岩百分含量。砂岩包括各粒级砾岩类、砂岩类,泥岩包括砂质泥岩、粉砂质泥岩、泥岩、灰质白云质泥岩及页岩等。②将泥岩百分含量为 50% 作为基准面变化幅度零值,泥岩百分含

收稿日期: 2007-12-07 收修改稿日期: 2008-03-04

量为零值处定义为 -1, 泥岩百分含量为 100% 处定义为 1; 当泥岩、砂岩单层厚度超过 nm 时, 厚度每增加 nm 系数向相应方向增加 1。③ n 的取值可依据砂岩—泥岩旋回的厚度分布值确定, 通常取丰度最高值区间的中值厚度或平均旋回厚度。④ 仅计算暗色泥岩的百分含量, 泥岩的厚薄能较好地反映基准面上升形成的可容空间增大, 但如果泥岩的原始沉积色为氧化色, 则相对于还原色来说, 其可容空间是变小的, 反映了基准面的下降, 因此, 计算时尽量去除。

当然, 上述方法的应用也有一定的前提。水深变化往往与基准面升降有直接的关系, 因而往往可以用地层叠加样式反映的湖侵和湖退旋回分析基准面变化旋回。但深度旋回并非粒度旋回, 只有在特定的沉

积环境中砂岩和泥岩的厚度旋回才大致与水深变化旋回一致, 泥岩厚度增大反映水体变深, 如三角洲前缘环境等。但有些沉积环境中泥岩和砂岩变化旋回并不反映水深旋回, 最典型的是潮间带沉积, 与富砂的潮下带和潮间带相比, 潮上带泥坪细粒沉积的出现可以反映水体变浅, 而不是变深。因而不能在所有沉积环境中均用该项方法。

济阳拗陷的沾化凹陷沙二上亚段—东营组为渐新世湖盆从扩张到收缩的一个沉积层序, 以湖相的各类碎屑岩类沉积为主, 通常暗色泥岩反映了较深水—深水的沉积环境, 可采用该方法进行层序地层的分析。以该区邵 52 井为例, 通过基准面变化幅度半定量分析技术分析其基准面变化, 较好地反映了长、中、短等各期基准面变化过程。根据对该井砂岩—泥岩旋回厚度统计, 平均旋回厚度为 20.6 m 以此作为变化幅度半定量分析计算基值 n 按上述方法进行计算, 并对曲线进行回归圆滑处理, 可以得到基准面变化曲线 (图 1)。据此, 可划分出各级基准面旋回。沙二上亚段—东营组为一个完整的长期基准面旋回, 曲线表现了从低基准面不断向高基准面变化再向低基准面演化的过程。此长期旋回又可细分为 6 个中期旋回。底部 2 个以仅发育上升基准面半旋回为特征, 中上部发育 3 个完整的基准面旋回, 顶部中期旋回仅发育上升半旋回, 这可能是由于东营组沉积末期渤海湾升降构造运动导致整个盆地上升使最顶部的下降半旋回被剥蚀。由于沉积物的堆积往往响应于基准面的变化, 应用此法划分的旋回可使地层的对比更倾向于等时。

2 基准面变化曲线分析可容空间及其对沉积类型的控制

济阳拗陷中, 沾化凹陷与车镇凹陷沙二段—东营组沉积具有较大的差异性, 车镇凹陷沙一段与东营组往往为大厚层泥岩, 砂岩不发育, 而沾化凹陷东营组中、上部则砂岩极为发育, 反映了两个凹陷的演化存在明显的差异性。为分析其差异性, 选取了两个凹陷不同构造带的井进行基准面变化幅度计算, 并分别对沾化、车镇凹陷进行拟合, 得到两个凹陷基准面变化幅度曲线 (图 2)。对比曲线可知, 两个凹陷基准面变化存在较大差别: ① 尽管两个凹陷均可识别出 3 个基准面上升—下降的湖泛面, 且发育部位大致相当, 但最大湖泛面发育部位不同, 沾化凹陷发育于 d_3 旋回 (东营组内) 顶部, 车镇凹陷发育于 s_1 旋回 (沙一段

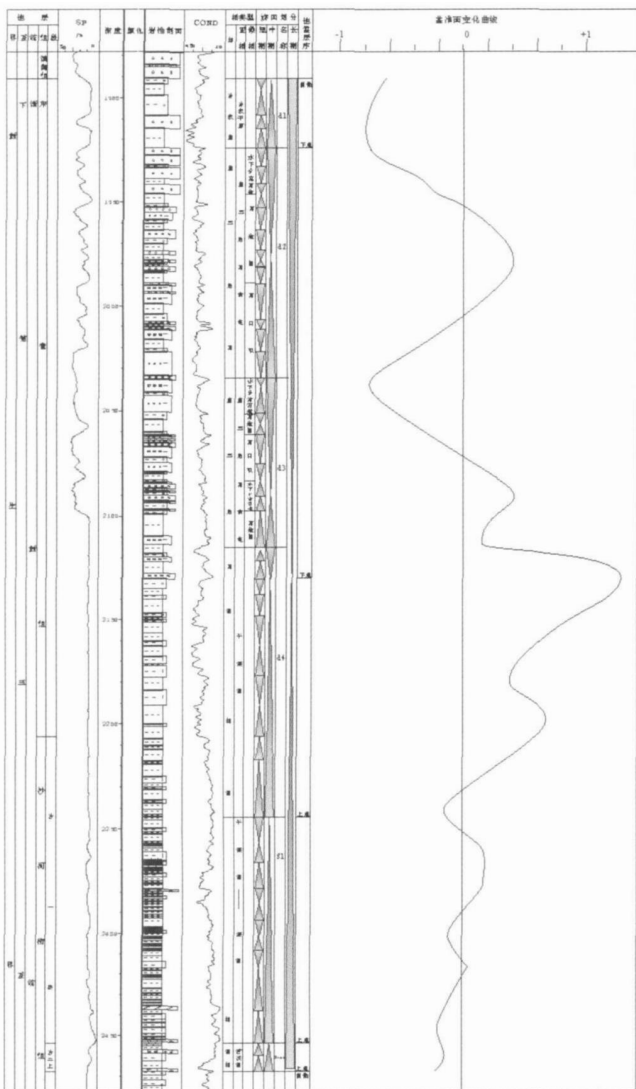


图 1 沾化凹陷邵 52 井基准面变化幅度半定量分析及层序划分图

Fig 1 Semi quantitative analytic technique on base level range ability of Shaoh52 in Zhanhua Sag

内)内部。反映了两个凹陷构造变动与湖平面变化具有相似性,但非同步。②沾化凹陷 s₂—d₃ 上升半旋回的基准面总体较高,而 d₃ 下降半旋回—d₁ 旋回则基准面旋回总体较低;车镇凹陷 s₂ 旋回为低基准面, s₁—d₁ 旋回基准面总体较高。反映了沾化凹陷与车镇凹陷在此沉积期的可容空间存在较大的差异。基准面旋回的变化对沉积相的分配具有明显的控制作用。上述两个凹陷基准面的差别导致的沉积相分配的差异尤为明显。沾化凹陷沙二段—东营组沉积相的纵向演化为:沙二段滨浅湖滩坝→沙一段底部生物滩坝→沙一段和东营组 d₄、d₃ 下部的半深湖、深湖相→东营组 d₂ 旋回三角洲相→东营组 d₁ 旋回河流及洪泛平原相。车镇凹陷的纵向演化为:沙二段滨浅湖滩坝→沙一段底部生物滩坝→沙一段和东营组 d₄ 半深湖、深湖相→东营组 d₃—d₁ 旋回的浅湖相。

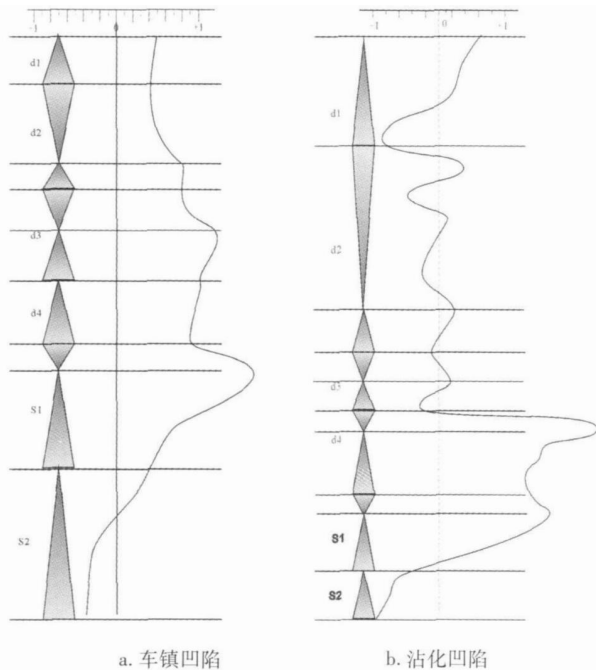


图 2 沾化凹陷与车镇凹陷基准面变化综合曲线图
Fig 2 Composite base level change of Zharhua and Chezhen Sag

3 在砂、泥岩薄互层地层划分对比中的应用

车镇凹陷沙二段为一套滨浅湖滩坝相沉积(图 3)。坝主体以粉砂岩、粉细砂岩为主;坝侧翼为泥质粉砂岩、粉砂质泥岩;而坝间多为灰色泥岩。垂向上,坝砂厚度一般较大,5~10 m 不等,单个坝体厚度 1~3 m 左右。常由多个旋回组成,旋回之间为坝间湖相

泥岩,反映坝的叠置作用,多呈细—粗—细对称韵律或向上变粗的反韵律。泥岩和砂岩之间为渐变接触;浅灰色—深灰色粉砂岩、细砂岩多与灰色泥岩和灰绿色泥岩形成岩性组合。由于受潮浪和回流的冲刷、淘洗的改造作用,坝相沉积构造十分丰富。自下而上多出现波状层理、复合层理(层面波痕,干涉波痕)、小型交错层理、冲洗层理,可以见到较大波浪或风暴浪形成的泥砾及滑塌变形构造等。滩亚相以粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩为主,呈细—粗—细旋回,偶见粉细砂岩;泥岩颜色主要为灰黑色、紫褐色、灰绿色,表明水体较浅。垂向上,滩砂多呈砂岩和泥岩的频繁互层,砂岩层数多,单层厚度较薄,一般 1~2 m。其韵律特征多呈细—粗—细的对称韵律,也可见细—粗的反韵律。泥岩和砂岩之间为渐变接触;浅灰色粉砂岩、泥质粉砂岩与紫褐色泥岩和灰绿色泥岩形成岩性组合。滩亚相中常见的沉积构造有小型交错层理、波状层理、复合层理、透镜状层理等,层面见对称波痕和干涉波痕,偶见冲洗层理和风暴泥砾沉积;与滩组合的泥岩中生物潜穴、炭屑、生物扰动等较为发育。因此,该套地层具有砂、泥岩薄互层、相序变化快或不明显的特征,且测井曲线以齿状、指状为主。

对于具有系统取心的钻井,可以依据岩相的粒序、沉积构造等特征进行短期旋回的划分。但由于测井曲线往往不具有钟型或漏斗型等特征,岩性粒上差别不大。因此,如果没有取心资料,是难以通过录井和测井曲线来划分地层并进行对比的。基准面变化幅度半定量分析技术能较好地解决此问题。根据对车镇地区多口探井的砂—泥岩旋回厚度丰度分布的统计,主要丰度分布为 2~4 m。因此,选取 3 m 作为基准面变化幅度计算基值,以此计算各井的基准面变化曲线。从大 52 大 55 和大 132 井的计算和拟合曲线结果可以看出(图 4),沙二段可以识别出 3 个基准面上升—下降转换面和 3 个基准面下降—上升转换面,以此可划分出 4 个基准面旋回,且 3 口井具有较好的可对比性。据此,可以建立高精度等时地层格架。

4 讨论

1964 年 Fischer 提出根据潮坪和环潮坪碳酸盐的米级旋回层序经线性沉降校正后的累积厚度与时间的变化关系所得出的一种厚度—时间图解,称为 Fischer 图解。其是按照从底到顶的顺序利用累积厚度对旋回数作图,得到曲线的正斜坡。在旋回厚度大于平均厚度处,曲线变陡;反之曲线变缓。图解的纵

轴为平均旋回厚度累计偏移, 横轴为旋回数^[7]。该图解是分析海/湖平面变化的一种有效的方法^[8]。但该方法存在一些缺陷, 如果存在这样 3 个旋回: 10 m 砂岩 + 1 m 泥岩、10 m 砂岩 + 10 m 泥岩、1 m 砂岩

+ 10 m 泥岩的组合, 则无论是统计砂岩的单旋回厚度, 还是统计整个旋回的厚度, 都会存在着 2 个旋回分析结果一样的情况, 从而无法反映出真实的海/湖平面变化情况。

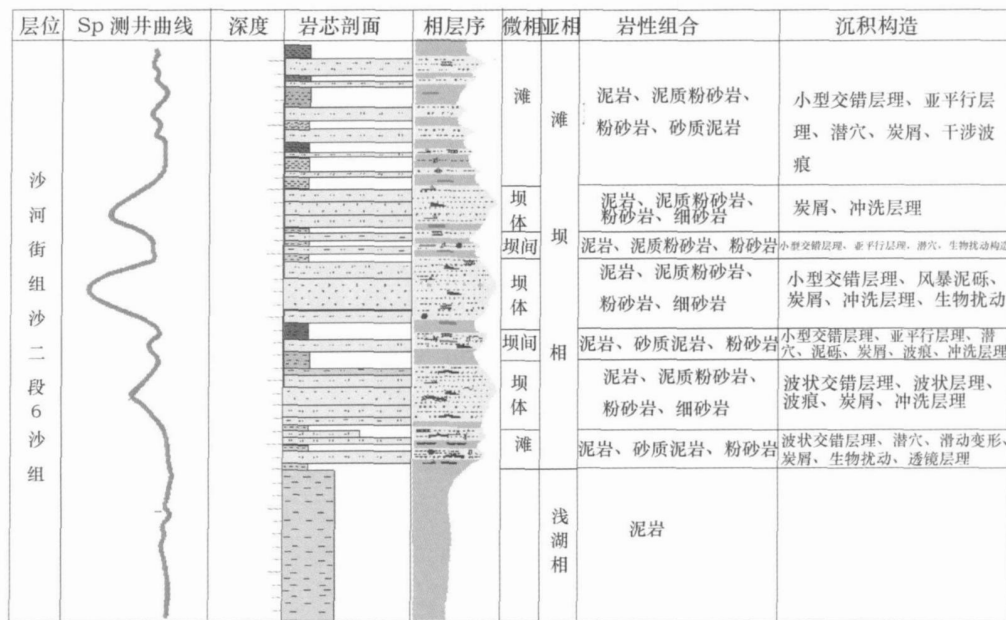
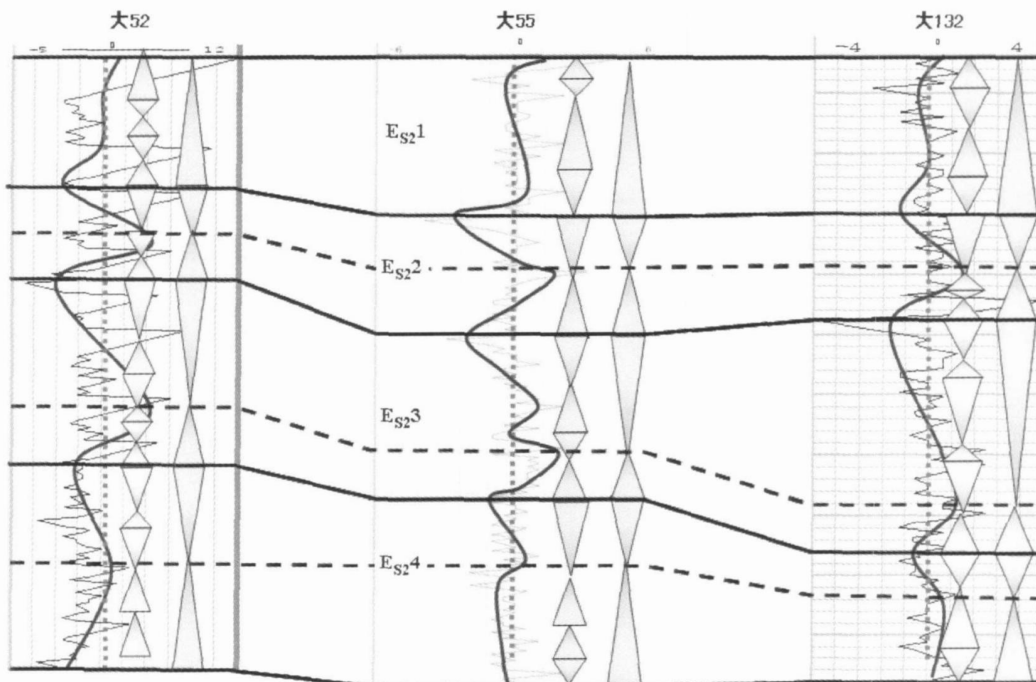


图 3 车镇凹陷大 55 井单井相剖面图

Fig. 3 Individual well sedimentary facies profile map of Well Da55 in Chezhen Sag



注: 实线为基准面下降—上升转换面, 虚线为基准面上升—下降转换面

图 4 车镇凹陷沙二段基准面变化曲线及地层对比图

Fig. 4 Base level variation curve and stratigraphic correlation map of the second section of Shahejie Formation in Chezhen Sag

本文所述的基准面变化幅度半定量分析技术则是一种通过计算一定厚度范围内砂泥岩百分含量来分析基准面变化的方法, 与 Fischer 图解有一定的相似性, 但由于充分考虑了砂岩的含量变化, 从而能更好地反映出基准面旋回的变化。之所以称之为半定量分析技术, 是因为基准面本身是一个比较抽象的界面, 无法确定绝对基准面的位置, 且该方法对于基准面变化幅度的计算也只是按一定原则给定的量值来实现。当然, 此方法仅是一种简要的探索, 还可向更精确方向发展。例如通过泥岩中古生物或微量元素等分析古水深^[9], 通过砂岩的沉积构造确定古水深^[10], 考虑压实作用的校正, 或与测井数据小波变换^[11~13]进行综合分析等, 这些方面的深化研究均可使该技术向更精确、量化方向发展。

5 结论

(1) 基于砂泥岩比含量分析所计算的基准面变化幅度曲线能较好反映出基准面的变化, 可据此分析不同地区同一时期基准面变化差异和基准面旋回的变化对沉积相分配的控制作用。

(2) 应用基准面变化幅度半定量分析技术可以较好地划分滨浅湖滩坝相砂、泥岩薄互层基准面旋回, 建立高精度等时地层格架。

参考文献 (References)

- 1 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 stratigraphic sequence investigation in America: high resolution sequence stratigraphy [J]. Oil and Gas geology, 1995, 16(2): 89-97]
- 2 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: 3-15 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun, et al. The Principle and Application of High Resolution Sequence Stratigraphy [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 3-15]
- 3 Cross T A. High-resolution stratigraphic correlation from the perspective of base level cycles and sediment accommodations [C] // Dolson J ed. Unconformity related hydrocarbon exploration and accumulation in clastic and carbonate settings. Short Course Notes. Rocky Mountain Association of Geologists, 1991: 28-41

- 4 Vail P R, Mitchum R M, Todd R G, et al. Seismic stratigraphy and global changes of sea level [C] // Payton C E ed. Seismic stratigraphy-application to hydrocarbon exploration. AAPG Memoir, 1977, 26: 83-97
- 5 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): 108-114 [Fan Tailiang, Li Qingmou. Analytic technique and its application of base level of deposition [J]. Petroleum and Natural Gas Geology, 1997, 18(2): 108-114]
- 6 郑荣才, 彭军, 吴朝容, 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 of terrigenous basin and its implications [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 249-255]
- 7 Fischer A G. The Lower Cyclothem of the Alpine Triassic [J]. Kansas Geological Survey Bulletin, 1964, 169(1): 107-149
- 8 Read J F, Gøbbhanmer P K. Use of Fischer plots to define third-order sea-level curves in Ordovician peritidal cyclic carbonates, Appalachians [J]. Geology, 1988, 895-899
- 9 张世奇, 任延广. 松辽盆地中生代沉积基准面变化研究 [J]. 长安大学学报, 2003, 25(2): 1-5 [Zhang Shiqi, Ren Yanguang. Mesozoic Base level of deposition variety investigation in Songliao Basin [J]. Journal of Chang'an University, 2003, 25(2): 1-5]
- 10 纪友亮, 张世奇, 陆相断陷湖盆层序地层学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 11-19 [Ji Youliang, Zhang Shiqi. Nonmarine Fault Depression Basin Sequence Stratigraphy [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996: 11-19]
- 11 李江涛, 李增学, 余继峰, 等. 基于测井数据小波变换的层序地层对比 [J]. 沉积学报, 2005, 23(4): 639-645 [Li Jiangtao, Li Zengxue, Yu Jifeng, et al. Sequence stratigraphic comparison based on wavelet transform of logging information [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(4): 639-645]
- 12 张占松. 测井资料识别层序的方法及问题讨论 [J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(5): 119-121 [Zhang Zhansong. Discussion on the method of recognition on stratigraphic sequence by logging information [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(5): 119-121]
- 13 王志坤, 王多云, 宋广寿, 等. 测井信号小波分析在高分辨率层序地层划分中的应用 [J]. 大庆石油学院学报, 2005, 29(6): 17-20 [Wang Zhikun, Wang Duoyun, Song Guangshou, et al. Application of logging signal wavelet analysis in high resolution sequence stratigraphic division [J]. Journal of Daqing Petroleum College, 2005, 29(6): 17-20]

Semiquantitative Analytic Technique on Base Level Variation Range and Its Application

PENG Chuan-sheng¹ LIN Hui-xi¹ LIN Hong-mei¹
SUN Yi¹ LU Shun-xing¹ CHEN Shi-yue²

(1. Geological Scientific Research Institute of SINOPEC Shengli Oilfield Limited Company Dongying Shandong 257015

2. China University of Petroleum Dongying Shandong 257061)

Abstract Base level is an imaginary level surface and as a matter of fact a very physical potential energy level at the same time which controls stratum depositional and conservation by increasing or decreasing accommodation space. Lacustrine sedimentation is mainly controlled by tectonic action. Seismic onlap pinch out boundary is difficult to be used for confirming excursion of the base level. The sediment types and their superimposed features in log data can conversely verify the rangeability of relative accommodation space. In the light of thickness distribution of the sand shale sequence cycle we can semiquantitatively analysis rangeability of the base level by selecting middle thickness or average thickness of the maximal bearing value area as statistics area then accounting thickness of sand and shale of every area from bottom to top and calculating percentage of the mudstone which endowed with different “base level variety numerical value”. The method is suitable to make definite the changing features of accommodation space to recognize transform surfaces and base level cycle and to analysis the dominance for precipitation facies partition. It is applied in base level cycle division and comparison of offshore sedimentation sand or sand shale alternate layer to establish high resolution equitime framework.

Keywords base level variety semiquantitative analytic technique stratigraphic sequence sand shale alternate layer