

文章编号: 1000-0550(2008) 01-0086-06

# 有机地球化学参数在层序划分对比中的应用

——以冀中拗陷束鹿凹陷沙三下亚段为例

金凤鸣<sup>1,3</sup> 韩春元<sup>2,3</sup> 王吉茂<sup>3</sup> 郭永军<sup>3</sup> 高正虹<sup>3</sup>

(1. 成都理工大学 成都 610059; 2 中国矿业大学 北京 100831;

3 中国石油华北油田公司勘探开发研究院 河北任丘 062552)

**摘要** 深水细粒沉积层系的层序地层单元细分和对比,是建立合理的层序地层格架的关键,也是进行深水区岩性油气藏勘探开发的一项重要基础研究工作。但往往由于细粒沉积层系层序地层单元划分标志不明显,其划分对比为困难,这也是层序地层学研究的难点。依据高分辨率层序地层学原理,从沉积层序的成因及其表现入手,应用表征沉积环境或沉积物特征的有机地球化学参数在纵向上的周期性变化规律,对渤海湾盆地冀中拗陷束鹿凹陷沙三段下亚段半深湖—深湖相泥灰岩沉积进行了层序地层单元划分和对比,较好地识别出了 4 级旋回与 5 级旋回,为建立高分辨率层序地层格架奠定了基础。

**关键词** 层序地层 有机地化参数 细粒沉积 泥灰岩

**第一作者简介** 金凤鸣 男 1964 年出生 博士 油气勘探 E-mail yj\_jfm@petrochina.com.cn

**中图分类号** P593 P539.2 文献标识码 A

目前 1~3 级层序划分与对比,主要依据地震反射特征、古生物组合和钻 测井资料所反映出的沉积旋回;局部地区高分辨率层序(4~5 级)划分对比,主要依据露头、岩心或在这些资料标定基础上的测井曲线组合。但对于细粒沉积物地层(如凝缩段),目前已有的层序划分方法都难以进行高分辨率的层序地层单元划分<sup>[1]</sup>。利用地球化学参数的纵向变化规律,不仅可以实现细粒沉积地层的高分辨率层序划分,而且可以实现不同井间的横向对比,建立等时层序地层对比关系<sup>[2~4]</sup>。本文以渤海湾盆地冀中拗陷束鹿凹陷沙三段下亚段泥灰岩层序研究为例,探讨了利用有机地球化学参数变化规律进行细粒沉积层序划分与对比的方法。

## 1 地质背景与地层发育特征

束鹿凹陷位于渤海湾盆地冀中拗陷南部,为一北东向展布的东断西超的新生代单断箕状凹陷。其东南以新河大断裂为界,西至宁晋凸起,北与深县凹陷相接,勘探面积约 700 km<sup>2</sup>(图 1)。该凹陷自古近纪沙三期开始接受沉积,自下而上发育古近系沙三段、沙二段、沙一段、东营组和新近系馆陶组、明化镇组,地层最大厚度约 4 500 m。

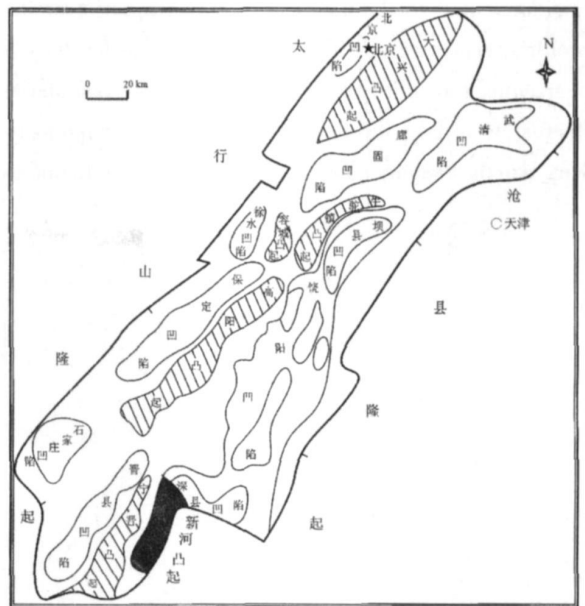


图 1 束鹿凹陷区域位置图

Fig 1 Map showing the location of Shulu sag in Jizhong depression

层序地层学研究表明,束鹿凹陷沙三段与沙二段下亚段构成一完整的二级层序,其底界为古近系与石炭—二叠系之间的区域不整合面,顶界为沙二上亚段与沙二下亚段之间的区域不整合面。该二级层序进

一步可划分为 3 个三级层序, 沙三段下亚段为第一个三级层序, 属该凹陷主要沉降期早期的沉积层系。该层序底界为二级层序底界, 顶界为沙三段下亚段与沙三段中亚段之间的局部不整合面, 地层厚度一般 300 ~ 500 m。该层序沉积期, 受东部边界大断裂和荆丘、台家庄两个近东西向古隆起的控制, 凹陷发育南、中、北三个水体不完全连通的次级洼槽, 构成三个相对独立的沉积、沉降中心, 中洼槽沉积了一套咸化半深湖—深湖相碎屑流碳酸盐岩质砾岩、泥灰岩夹钙质泥岩建造。泥灰岩位于该层序的中上部, 属湖侵体系域和高位体系域沉积, 其下为低位体系域块状碳酸盐岩质砂砾岩沉积, 其上突变为沙三段中亚段砂、泥岩互层沉积, 厚度一般 200~ 300 m, 最厚可达 500 m, 分布范围约 200 km<sup>2</sup> (图 2)。

岩相学研究表明, 这套泥灰岩既非典型的碳酸盐岩, 也非正常的碎屑岩, 而属于内源碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积, 即所谓的混积岩<sup>[56]</sup>。根据内源组份和陆源组份的相对含量, 可细分为以内源组份为主的混积岩和以陆源组份为主的混积岩两种类型。前者包括泥质泥灰岩、粉砂质泥灰岩等岩石类型, 后者包括灰泥质泥岩、灰泥质粉砂岩等岩石类型。这些岩石常呈纹层状互层出现, 构成明暗纹层相间的韵律层。部分地区这种韵律层之间发育“纯”泥灰岩或页岩、油页岩。

这套泥灰岩既是主力烃源岩, 也是自生自储型裂缝性岩性油藏的重要勘探领域。目前凹陷内已有 27 口井钻遇这套泥灰岩, 其中 19 口井见油气显示, 3 口井获工业油流, 3 口井获低产, 日产油量最高可达 15.43 t, 显示出良好的勘探前景。因此, 对这套沉积层系细分层序地层单元, 建立高分辨率层序地层格架, 对于正确认识其生烃潜力、细化勘探单元、合理构建岩性油藏成藏模式及正确选择勘探目的层和水平井钻井层段均具有重要的实际与理论意义。

前已述及, 束鹿凹陷沙三段下亚段为一完整的三级层序, 其顶、底界面在 seismic 剖面 and 钻 测井资料上较易识别。但该层序中上部的较深水泥灰岩 (混积岩) 沉积, 运用常规层序地层学方法进行细分和对比则较为困难。为此, 我们在大量地球化学样品测试分析基础上, 根据表征沉积环境的有机地球化学参数在纵向上的周期性变化规律, 对这套细粒沉积层系进行了四级与五级旋回的划分和对比。

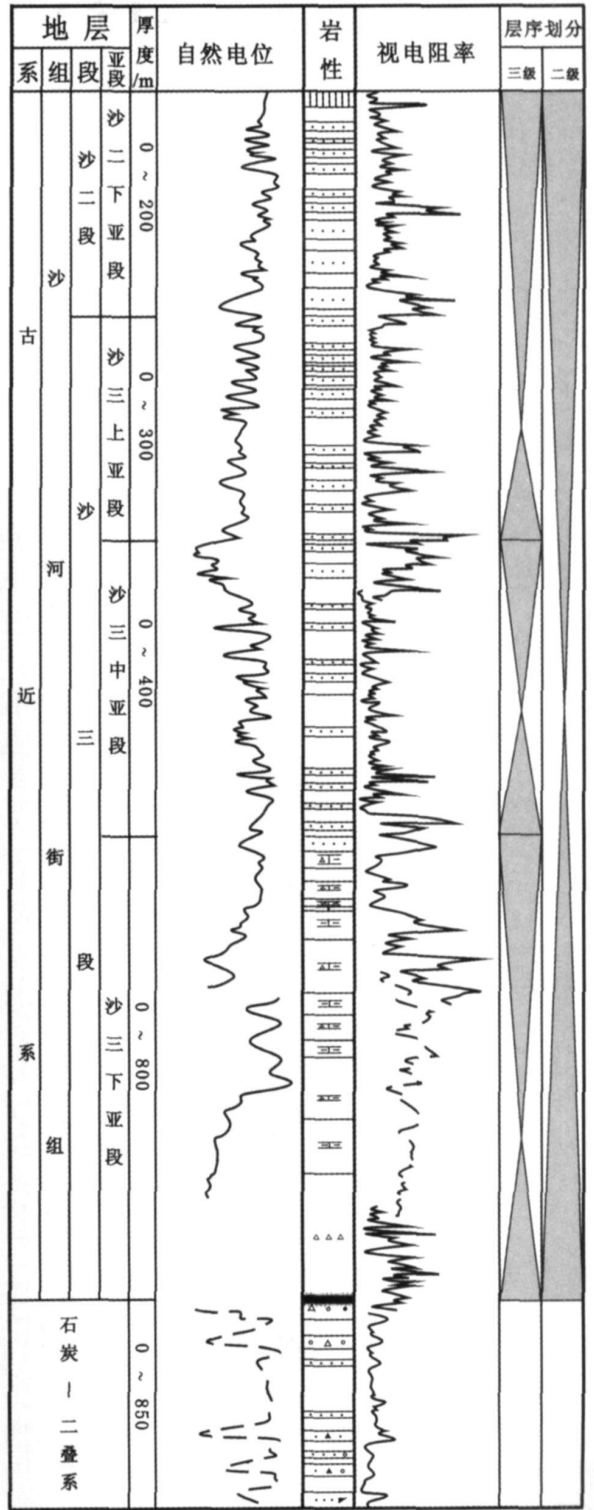


图 2 束鹿凹陷沙三段发育剖面图  
Fig 2 Stratigraphic profile in Es<sub>3</sub> in Shulu sag

## 2 利用有机地球化学参数进行地层层序划分的原理

旋回性是层序地层学理论的基础,也是层序地层单元划分的关键。陆相盆地沉积作用的旋回性,主要受构造幕式运动或气候周期性变化所控制。不同级别的构造幕或气候周期控制形成不同级别的沉积旋回,即层序地层单元<sup>[1]</sup>。根据层序地层学原理,一个理想的湖相沉积旋回对应于一个相应级别的湖平面升降旋回。在这一演化过程中,水体深度由浅—深—浅、沉积环境由氧化—还原—氧化,沉积物中有机物质的丰度等参数在纵向上将呈现出由低—高一低(或小—大—小)的周期性变化。因而有机地化参数的这样一个变化周期,可看作一个沉积旋回或层序地层单元。该变化周期两端的低值点和中部最高值点分别对应于层序地层单元的顶、底界位置和最大湖泛面位置。

较深水细粒沉积区有利于有机物质的沉积和保存,有机地球化学参数在纵向上的周期性变化特征最

为明显。因此,适于利用有机地化参数在纵向上的周期性变化规律,识别和划分较小级别的层序地层单元。

## 3 有机地球化学参数与层序地层划分

### 3.1 有机地球化学参数选择

通过束鹿凹陷 5 892 块次样品的 24 项地球化学参数约 30 000 个数据点的数理统计及作图分析,发现有机质丰度参数有机碳含量 ( $C_{org}$ )、生烃潜量 ( $S_1 + S_2$ )、有机相参数氢指数 ( $HI$ )与无机相参数还原硫含量 ( $S$ )等 4 项与沉积环境有关的参数,在纵向上具有明显的周期性变化规律,可用于泥灰岩层系层序地层单元的细分和对比,而其它参数则规律性较差。为此,研究中选择有机碳含量 ( $C_{org}$ )、生烃潜量 ( $S_1 + S_2$ )、氢指数 ( $HI$ )和还原硫含量 ( $S$ )等 4 项参数作为作图参数进行了作图分析,并以此进行单井层序地层单元划分和连井层序地层单元对比,取得了十分理想的效果(图 3)。

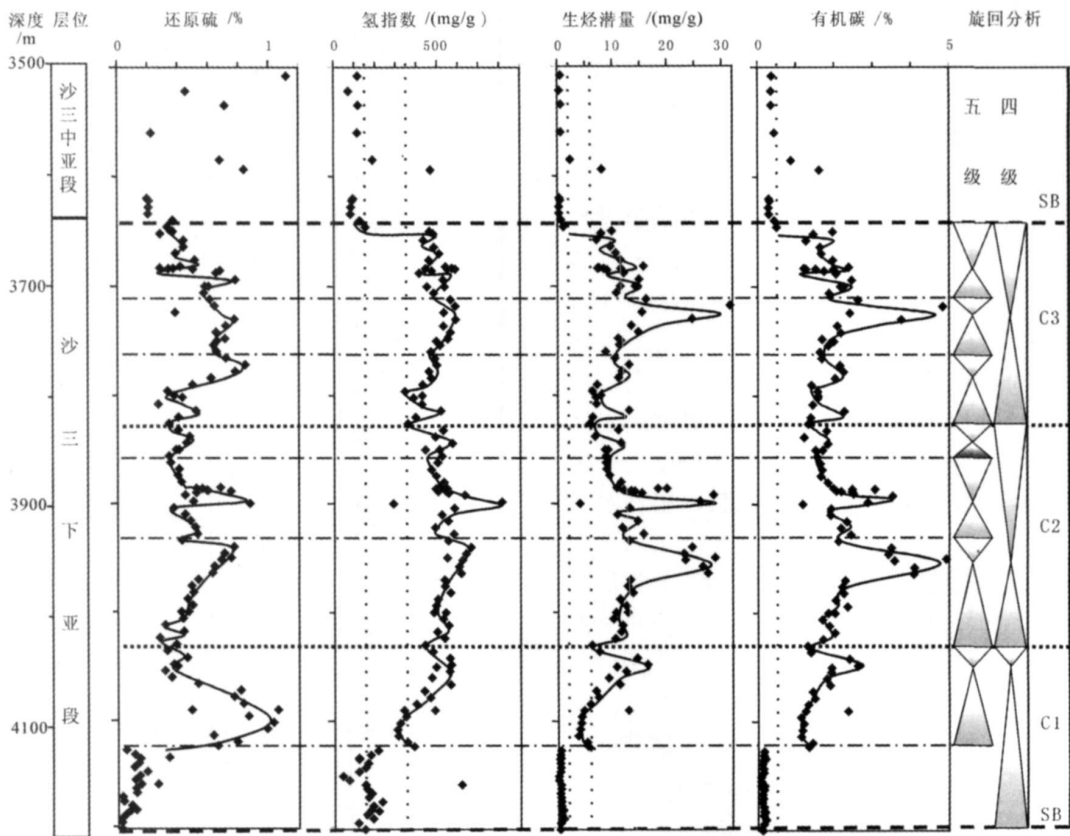


图 3 束鹿凹陷晋 116X 井沙三段下亚段有机地化参数旋回分析图

Fig 3 Map showing the cyclic variation of organic geochemical parameters in Lower Es<sub>3</sub> in Well Jin 116 in Shulu sag

### 3 2 单井有机地球化学层序地层划分

研究中选择地层齐全、取样密度较大的晋 116X 井作为基准井进行了单井层序地层单元划分, 该井沙三段下亚段钻厚 563 m, 其中泥灰岩段厚 486 m, 碳酸盐岩角砾岩段厚 77 m。

从图 3 可以看出, 晋 116X 井沙三段下亚段有机碳含量 ( $C_{org}$ )、生烃潜量 ( $S_1 + S_2$ )、氢指数 ( $HI$ ) 和还原硫含量 ( $S$ ) 在纵向上具有明显的由低—高一低—低的周期性变化规律。前已述及, 有机地化参数在纵向上一个由低—高一低—低的变化周期, 可看作一个沉积旋回或层序地层单元。据此原理, 结合岩性变化和测井曲线响应特点, 首先可将该井沙三段下亚段划分为 3 个

四级旋回, 自下而上分别命名为 C1、C2、C3 各旋回的顶底界面分别为该旋回中上述参数相对最低值点的连线。同理, 可将每个四级旋回进一步细分为 2~3 个五级旋回, 整个泥灰岩段共划分出 7 个五级旋回。据此, 确立了泥灰岩段高分辨率层序地层单元的划分方案。

### 3 3 连井有机地化层序地层对比

以晋 116X 井的层序地层单元划分方案为基准, 在单井各级次有机地化参数变化旋回划分的基础上, 依据等时对比原则, 建立了中洼槽沙三段下亚段泥灰岩段高分辨率地层对比格架 (图 4)。

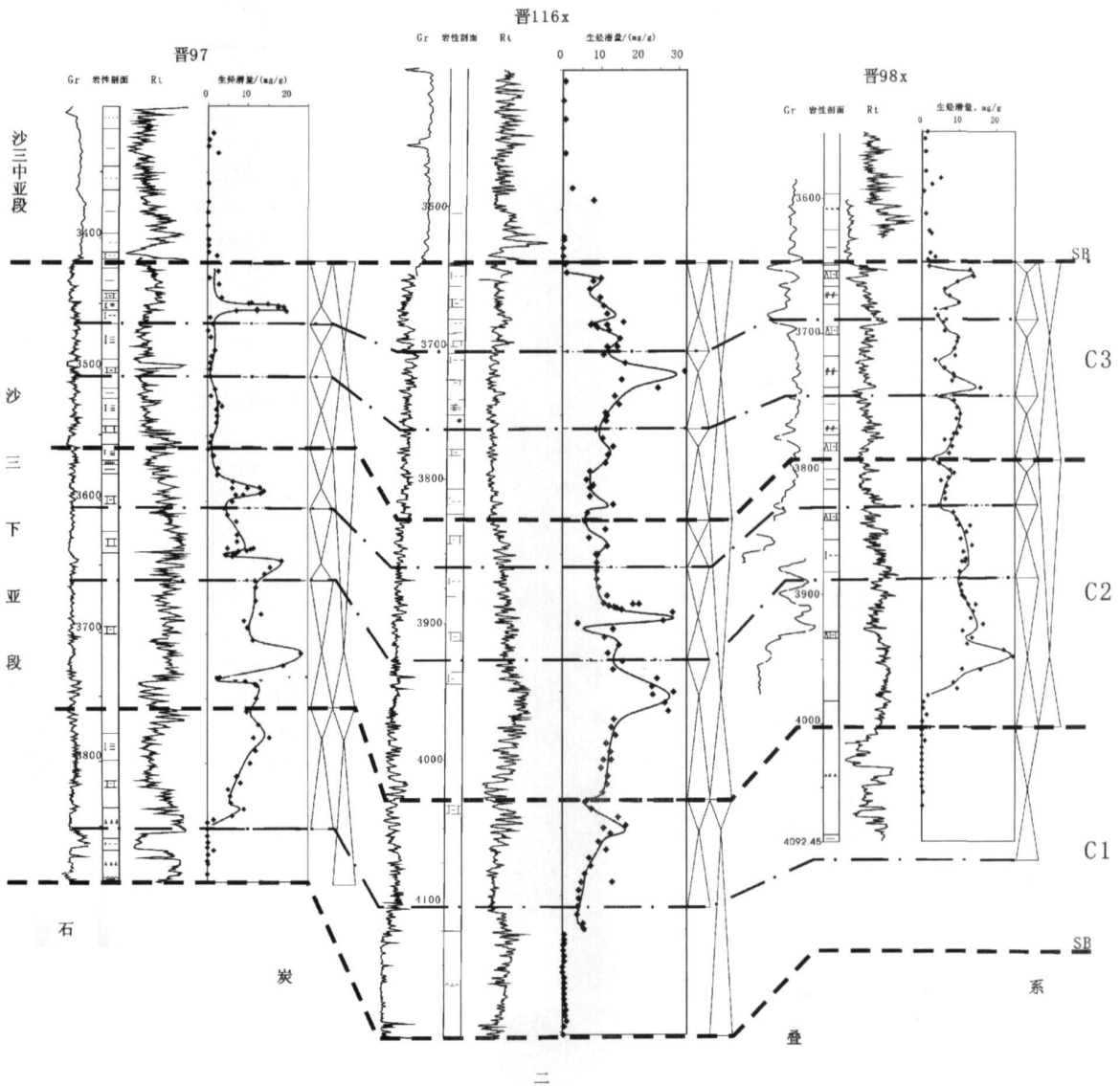


图 4 束鹿凹陷沙三段下亚段高分辨率层序地层对比格架

Fig 4 High resolution sequence stratigraphic framework in Lower Es<sub>3</sub> in Shulu sag

从该格架不难看出,有机地化参数在纵向上的周期性变化规律以及据其确定的各级次沉积旋回的厚度,在不同井间均具有较好的一致性。同时,对于 4 级旋回而言,不同井间视电阻率 ( $R_t$ ) 曲线的变化特征也基本一致, C1 表现为高、低阻相间, C2 表现为相对高阻, C3 表现为相对低阻。但对于 5 级旋回的划分与对比,特别是各级次旋回最大湖泛面位置的确定,利用视电阻率曲线则难以把握,而且很可能会得出错误的结论。这反映出有机地化参数对于本区泥灰岩段高分辨率层序地层单元的划分与对比具有更强的适用性和科学性。

该层序地层格架的建立,对于束鹿凹陷沙三段下亚段自生自储型裂缝性泥灰岩油藏的勘探具有重要的实际意义。首先,该格架实现了泥灰岩段地层单元的细分,这对于正确认识其生烃潜力、细化勘探单元、合理构建成藏模式奠定了良好的地层基础。第二,该格架清晰地显示出了各级次旋回中最有利烃源岩的发育位置(地球化学参数峰值区),实际钻井资料表明,这些位置一般是微裂缝最发育和产能最高的位置,因此该格架为生产中正确选择勘探目的层及水平井钻井层段提供了重要依据。

## 4 问题讨论与结论

(1) 合理的采样密度,是利用有机地化参数准确进行高分辨率层序地层单元划分与对比的保证。根据本项研究的经验,以每 5~6 m 取 1 个小样(取样井段范围 1 m)、每 20~30 m 取 1 个大样(取样井段范围 10 m)的密度采样,即可较好地满足五级层序地层单元研究的需要。低于此密度,则规律性明显变差。当然,采样密度应视研究对象的不同而变化,对于不同级别的层序地层单元,从高级到低级采样密度应该越来越大。

(2) 正确的参数选择,是利用有机地球化学参数实现高分辨率层序地层单元的划分与对比的关键。

实际研究过程中,应视具体资料情况尽可能多选用几项参数,以便互为补充、相互校正。此外,还应充分结合古生物、钻 测井和地震等资料进行综合分析,以避免单项资料的局限性,使层序地层单元的划分与对比更为客观、合理。

(3) 利用与沉积环境相关的有机地球化学参数在纵向上的周期性变化规律,可以实现较深水细粒沉积层系高分辨率层序地层单元的划分与对比。该方法对于建立较深水细粒沉积层系合理的层序地层格架提供了一种新的途径。

## 参考文献 (References)

- 1 纪友亮,张世奇.层序地层学原理及层序成因机制模式[M].北京:地质出版社,1998[Ji Youliang Zhang Shiqi Sequence stratigraphy theory and sequence genetic model[M]. Beijing Geological Publishing House 1998]
- 2 杨玉峰,王占国,张维琴.松辽盆地湖相泥岩地层有机碳分布特征及层序分析[J].沉积学报,2003,21(2):340-344[Yang Yufeng Wang Zhanguo Zhang Weiqin The patterns of total organic carbon and sequences within mudstone formation, Songliao Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica 2003 21(2): 340-344]
- 3 朱光有,金强,张水昌,等.东营凹陷沙河街组湖相烃源岩的组合特征[J].地质学报,2004,78(3):416-427[Zhu Guangyou Jin Qiang Zhang Shuichang et al Combination characteristics of lake facies source rock in the Shahejie Formation, Dongying Depression[J]. Acta Geologica Sinica 2004, 78(3): 416-427]
- 4 瞿辉,赵文智.层序格架在油气勘探中的应用[J].石油勘探与开发,2000,27(5):40-43[Qu Hui Zhao Wenzhi The application of sequences framework to oil and gas exploration[J]. Petroleum Exploration and Development 2000 27(5): 40-43]
- 5 沙庆安.混合沉积和混积岩的讨论[J].古地理学报,2001,3(3):63-66[Sha Qing'an Discussion on mixing deposit and Hunji Rock[J]. Journal of Palaeogeography, 2001, 3(3): 63-66]
- 6 张雄华.混积岩的分类和成因[J].地质科技情报,2000,19(4):31-33[Zhang Xionghua Classification and origin of mixed sedimentite[J]. Geological Science and Technology Information, 2000, 19(4): 31-33]

# Application of Organic Geochemical Parameters in Sequence Classification and Correlation: a case study from Lower E<sub>3</sub> in Shulu Sag Jizhong Depression

JIN Feng-ming<sup>1,3</sup> HAN Chun-yuan<sup>2,3</sup> WANG Jim-ao<sup>3</sup> GUO Yong-jun<sup>3</sup> GAO Zheng-hong<sup>3</sup>

(1 Chengdu Science and Technology University, Chengdu 610059; 2 China University of Mining and Technology, Beijing 100831;

3. Exploration and Development Research Institute, Huabei Oilfield Company, PetroChina, Renqiu Hebei 062552)

**Abstract** It is the key factor for establishment of scientific sequence stratigraphy framework to conduct sequence stratigraphic unit classification and correlation of deep-water fine sedimentary series. In addition, it is one important basic research for exploration and development of lithologic oil and gas reservoirs in deep-water areas. Its classification marker, which is usually indistinct, handicaps sequence stratigraphic unit correlation of deep-water fine sedimentary series and acts as one difficult point for sequence stratigraphy research. On the basis of high resolution sequence stratigraphy theory, this paper starts with origin and presence of sedimentary sequence and carries out sequence stratigraphic unit classification and correlation for semi-deep lake to deep lake marl deposit in lower E<sub>3</sub> of Jizhong depression in Shulu sag, Bohai Bay Basin by using periodical variation rules in vertical of organic geochemical parameters that present sedimentary environment or sediment characteristics. And consequently, cycle grade-4 and grade-5 are distinguished in a better way, which provides basis to establish high-resolution sequence stratigraphy framework.

**Key words** sequence stratigraphy, organic geochemical parameter, fine-grained sediment, marl