

# 黄骅拗陷古近系层序地层 格架特征及模式研究

苗顺德<sup>1</sup> 李秋芬<sup>2</sup> 欧阳诚<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学能源学院, 北京 100083; 2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;  
3. 四川石油管理局, 四川 成都 610051)

**摘要:**层序地层学发展至今已有 40 多年历史, 但在中国陆相盆地中的应用仅十多年。在很多盆地中还没有进行全面综合的层序地层格架建立, 如黄骅拗陷地层格架划分标准和划分方案不统一。笔者在国内外学者研究的基础上, 从层序划分原则入手, 通过对一级、二级、三级层序和体系域界面特征和识别标志的研究, 提出了该地区的层序划分方案, 并将该地区古近纪地层划分为 1 个一级层序、3 个二级层序和 11 个三级层序。通过对代表性剖面的研究, 提出同生断裂坡折带和挠曲坡折带引起沉积斜坡明显突变, 对盆地充填的可容纳空间和沉积作用产生重要影响, 同时控制着层序和低位砂体的发育。建立了两种坡折带与层序关系的模式, 并指出坡折带下部是利低位砂体的发育带。

**关键词:**黄骅拗陷; 古近系; 层序地层; 层序模式

**中图分类号:** P539.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2008)02-0256-08

层序地层这一概念是由 Sloss 等<sup>[1]</sup>在对比与划分北美克拉通晚寒武纪至全新世地层单元时提出并发表, 后经 Vail P. R 等<sup>[2,3]</sup>在震地地层学的基础上逐步推出了以全球海平面升降作为驱动以不整合面或与之相对应的整合面为界的层序发生、发展的理论体系, 即层序地层学。但其研究的经典地区是被动大陆边缘海相盆地。近年来, 层序地层学取得了很大的发展, 尤其是国内在陆相层序地层学方面取得了丰硕的成果<sup>[4-10]</sup>。虽然有些学者在黄骅拗陷进行过层序地层学研究, 但是研究程度不高。目前主要的问题是全区层序地层格架划分标准和划分方案不统一, 对该地区的层序地层特征和层序模式研究不清楚。

## 1 层序的级别及划分原则

自从层序地层学概念提出后, 国内外许多学者都对层序级别进行过相关研究, 并提出了不同的级别划分标准与方案, 主要有 Vail<sup>[11-12]</sup>、Embry<sup>[13]</sup>以及 Van

Wagoner<sup>[14]</sup>等。他们的划分方案各有所长。Vail<sup>[11-12]</sup>强调从主控因素的旋回性和周期性来划分层序的级别, Embry<sup>[13]</sup>提出根据不整合面特征来定义层序的级别(图 1), Van Wagoner<sup>[14]</sup>则强调层序的垂向、侧向叠置方式来确定层序的级别。

近年来, 随着勘探程度的提高, 勘探难度越来越大。高分辨率的地震资料与单井资料相结合, 建立井震结合的综合的高精度层序地层格架势在必行。因此, 笔者以综合运用高分辨率地震资料与单井多种资料相结合为层序地层划分原则, 充分利用计算机技术, 进行地震—井—人—机互动反馈来建立高精度层序地层格架。其中地震资料主要利用不整合面的规模以及地震反射结构即 Embry<sup>[13]</sup>的理论来划分, 而对单井则主要利用岩性、测井曲线等的旋回性和周期性即 Vail<sup>[11-12]</sup>和 Van Wagoner<sup>[14]</sup>的理论来划分, 通过计算机技术, 在人的控制下, 同时进行地震和井的层序地层学研究。

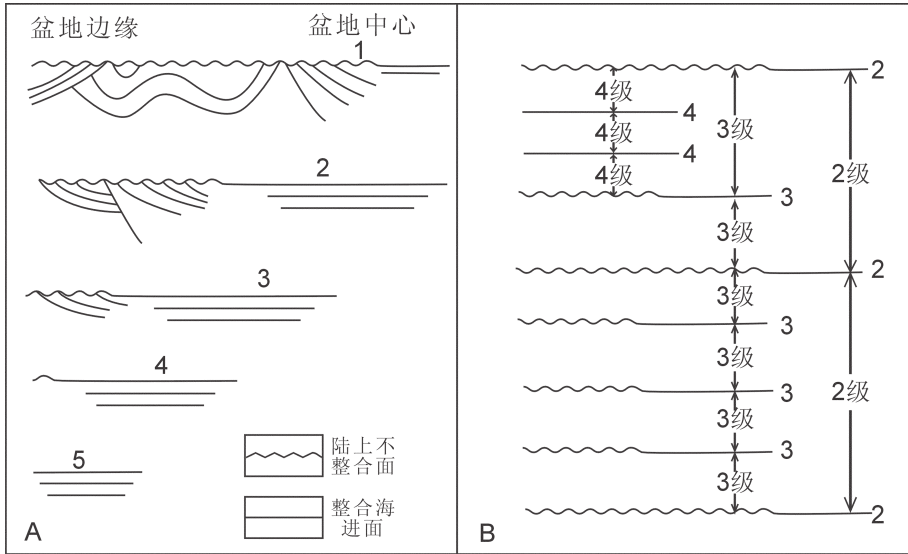


图 1 5 个层序级别的边界特征示意图(A)和层序级别的划分原则(B)<sup>[13]</sup>  
 Fig.1 Boundary characteristics of five sequence orders (A) and division principle (B)

## 2 层序地层界面的识别标志

不同级别层序地层界面的识别是进行层序划分及建立层序地层格架的基础。Van Wagoner<sup>[2,3]</sup>对层序界面的类型和特征进行了详细而系统的论述。层序包括一级层序、二级层序、三级层序甚至四级、五级层序,虽然层序的级别不同,但其界面均为不整合及其对应的整合面,具有十分相似的识别标志。层序界面的识别标志很多,但是这些识别标志中最可靠最易操作的识别标志是岩心岩相标志、测井标志、地震反射界面标志,另外古生物标志、地球化学指标也可以作为层序界面的辅助识别标志。

黄骅坳陷层序界面主要是从岩性岩相、测井、地震、古生物等方面进行研究的。岩性岩相标志主要是指剥蚀面、底砾岩、岩相突变等。测井上的识别标志主要表现在基值明显发生改变的拐点上、“箱状”或“钟形”自然电位的底部等方面,本次主要用自然电位和电阻率两种曲线进行识别。地震资料上层序界面的识别指的是地震反射终止类型及地震波的关系,地震的反射终止类型主要包括削截、顶超、上超、下超 4 种类型,地震波的关系可以分为协调关系和不协调关系,对应地质上的整合接触和不整合接触。黄骅坳陷这几种地震识别标志是十分清楚的(图 2)。

受东营运动的影响,黄骅坳陷古近系沉积末期

盆地发生整体抬升,湖平面下降,湖盆面积萎缩,沉积物露出水面,遭受长时期的风化、剥蚀,形成区域性大不整合,横向上延伸距离长,纵向上持续剥蚀时间久,穿过该界面岩性有泥岩为主突变为河床滞留砾岩,测井曲线基线发生明显改变,在地震剖面上可以看到明显的削截现象,为一级层序界面。

二级层序与古近纪的三幕构造运动相对应。在二级层序界面上很多井都发育砂砾岩或砾岩,同时测井曲线上标志也比较明显;在地震剖面上可以看到清楚的削截现象,在远离盆地中心的斜坡区,还有明显的侵蚀现象。

在岩相上,三级层序界面附近出现反映有沉积间断特征的岩性组合,如反映地表暴露的剥蚀层,特别在盆地边缘,岩性组合表现为明显的差异性,穿过此界面沉积相带向盆地移动显著,反映湖平面快速下降。在测井曲线上,三级层序界面附近自然电位曲线基线明显偏移,视电阻率值突增或突减。三级层序界面在不同的地震测线上的识别标志有所不同,但总体上来看有以下规律:①在远离盆地中心的斜坡区,地震反射终止类型主要是削截、下切谷和顶超,例如 SB12、SB10 等界面;②坡折带下部,地震剖面上上超、下超和削截现象明显,例如 SB2、SB4 等界面;③在盆地中心,地震反射局部有下超现象,大部分测线上同相轴反射连续性较好,表现为整合特征,层序界面是

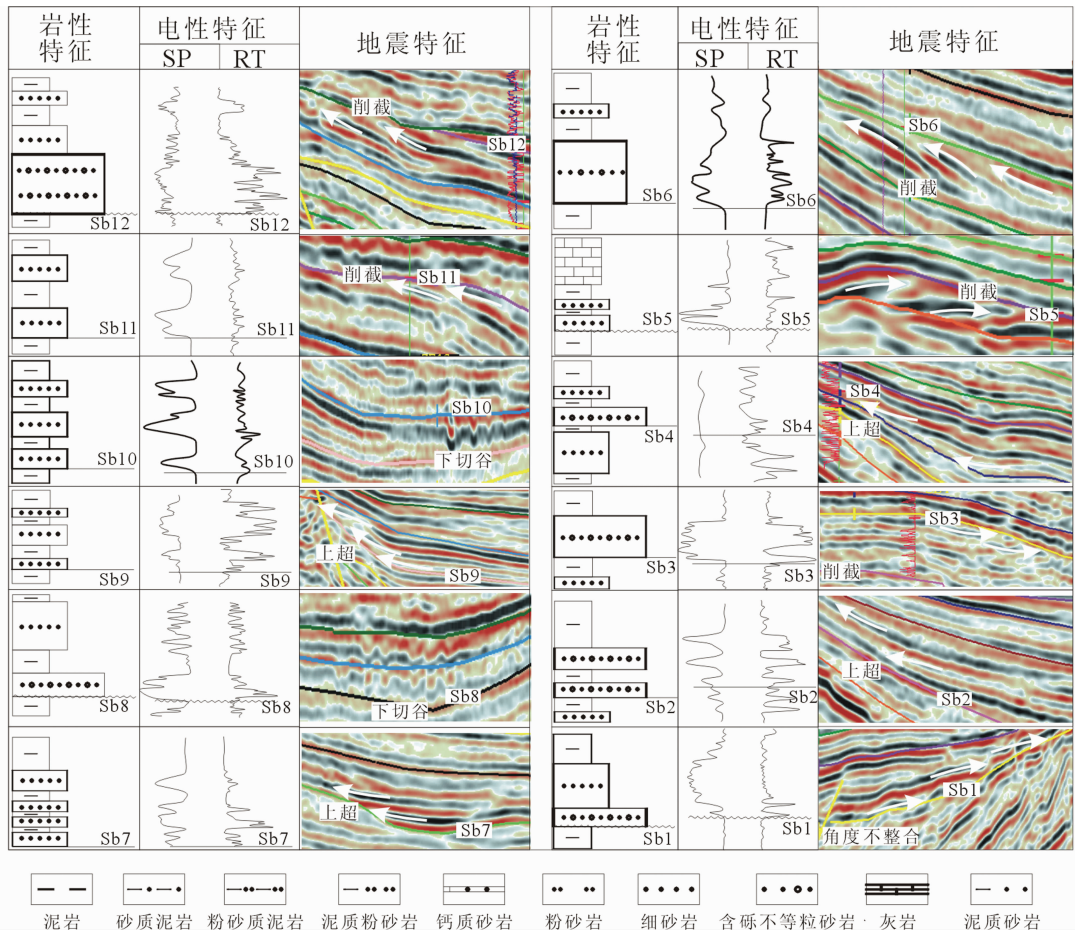


图2 黄骀坳陷古近系层序界面特征及识别标志

Fig.2 Characteristics and identification marks of Paleogene sequence boundaries in the Huanghua depression

与不整合对应的整合面。在古生物组合特征上,三级层序界面上下古生物组合具有明显的变化,甚至在局部地区存在化石带的缺失。黄骀坳陷古近纪地层中的三级层序界面识别标志和特征见图2。

体系域的划分主要是初始洪泛面和最大洪泛面的识别。层序形成于一个湖平面的升降变化旋回中,当湖平面由低位状态回升,并初次跨越坡折带,在湖盆形成湖泛时,就形成了初始洪泛面。穿过该界面水体突然加深,岩石粒度变细,泥岩含量增多,自然电位和视电阻率基值发生变化。最大湖泛面的识别是在湖平面快速上升,岸线不断向陆迁移至最大限度时湖平面所处的位置。湖平面快速上升时期由于湖盆可容空间增加速率远大于沉积物供给速率,湖盆处于“饥饿”状态,细粒沉积物形成“凝缩段”沉积。凝缩段在 seismic 剖面上表现为强振幅、高连续反射同相轴,与最远的湖岸上超点对应,往往发育盆地中主要

的生油岩。黄骀坳陷 SQ2 和 SQ6 中有 2~3 个同相轴强振幅、连续性好、中频率的反射、全区分布稳定、易于追踪对比,同时也是整个盆地中优质生油岩层。

### 3 层序地层划分方案

综合的层序地层的划分方案是建立综合层序地层格架的基础,笔者主要从以下几个方面研究层序地层的划分方案:①分析盆地的构造发育阶段,构造分析是划分一级层序和二级层序的重要手段;中国陆相盆地大多经历过多期构造作用,因此对构造的分析是很必要的。②结合一定的古生物资料,特别是在划分一级和二级层序的过程中,古生物资料是很有帮助的。③岩性岩相及测井资料旋回性特征分析,三级层序除了构造因素外,主要还是要根据岩性岩相及测井资料与地震资料相结合来确定。④分析地震剖面反射特征。古近纪是黄骀坳陷的断陷期,盆地



在拉张作用下,边断边沉积,形成了隆坳相间的构造格局,在盆地边缘形成了控盆断裂。新近纪为坳陷期,盆地沉积了近千米的地层。结合古生物资料将黄骅坳陷古近系划分为 1 个一级层序和 3 个二级层序;再结合单井-地震资料,在 3 个二级层序中划分出了 11 个三级层序(图 3)。

### 3.1 一级层序

黄骅坳陷古近纪地层为 1 个一级层序,对应于构造运动的断陷期。这个一级层序的顶界面为新近系和古近系的界面。这个界面上广泛发育底砾岩,是地层长期遭受风化剥蚀的结果。单井上该界面之上为大段砾岩沉积,界面之下则为砂泥岩沉积,同时,测井曲线基线值变化明显,在地震上,与下方同相轴有明显的削截现象。

### 3.2 二级层序

黄骅坳陷古近纪地层可以划分为 3 个二级层序,对应于断陷期的三幕构造运动。二级层序 I (包括沙二段和沙三段),与构造运动 I 幕-深陷期对应;二级层序 II (括沙一下、沙一中和沙一上三段),与构造运动 II 幕-稳定期对应;二级层序 III (包括东

一段、东二段和东三段),与构造运动 III 幕-衰减期对应。二级层序 I 盆地构造作用活跃,地震反射常被断层隔断,同时河流携带大量泥沙进入湖盆,在断层下盘扇体发育。二级层序 II 处于构造活动稳定期,水体深度相对也较稳定,形成了该盆地重要的生油岩层。二级层序 III 发育时,构造活动减弱,地震剖面上以平行、亚平行为主,说明湖盆沉积环境比较稳定。

### 3.3 三级层序

在二级层序内部,根据层序界面特征和湖平面的升降变化可以划分出三级层序。黄骅坳陷中共划分了 11 个三级层序,其中二级层序 I 中划分出了 4 个三级层序(SQ1、SQ2、SQ3 和 SQ4),二级层序 II 中划分出了 3 个三级层序(SQ5、SQ6 和 SQ7),二级层序 III 中划分出了 4 个三级层序(SQ8、SQ9、SQ10 和 SQ11)。这些三级层序界面在地震和单井中都比较容易识别,特别是 SQ11 和 SQ7 的顶界面、SQ1 和 SQ5 的底界面识别标志非常清楚,这些界面同时也是二级和三级层序的界面。

### 3.4 沉积体系域

沉积体系域是由同期的相互连接的一系列沉积

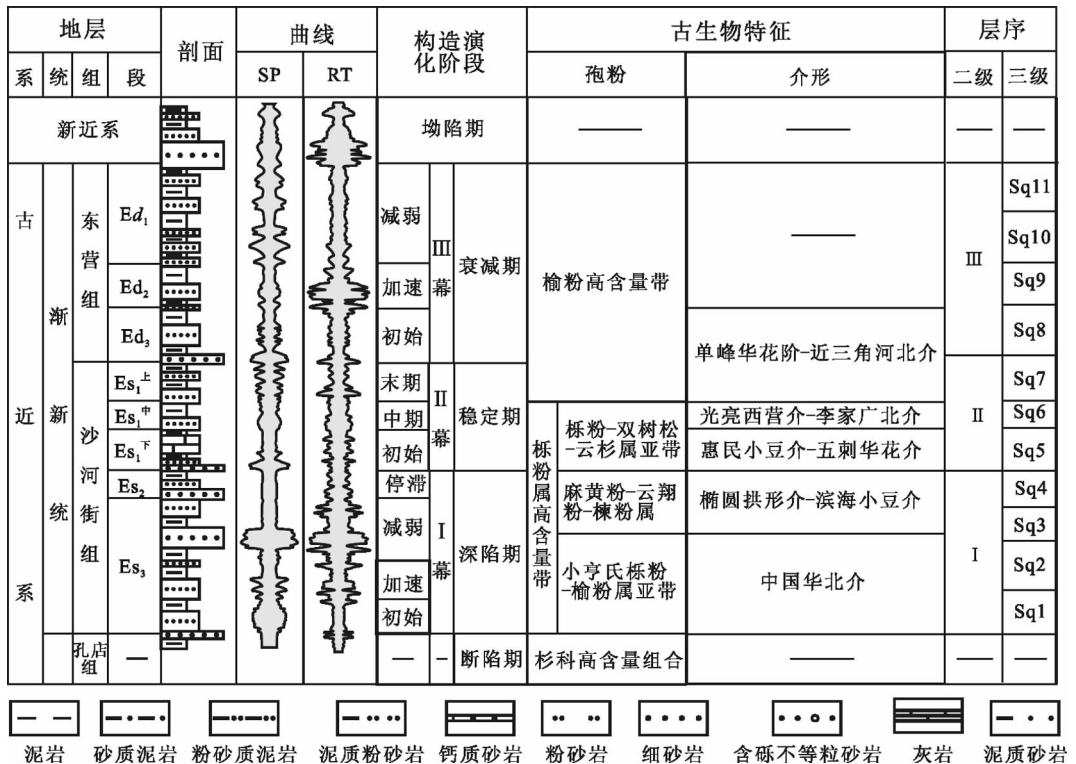


图 3 黄骅坳陷古近系层序地层划分标准及方案

Fig.3 Criteria and scheme of Paleogene sequence stratigraphic division in the Huanghua depression

体系组成的。三级层序可以进一步划分为低位体系域、湖扩体系域和高位体系域。初始洪泛面和最大洪泛面是这 3 种体系域的界面。

图 4 是黄骅拗陷的 SQ10 单井沉积体系域划分结果。低位域处于层序最底部,粒度向上变粗,砂岩厚度增大,泥岩含量减少,表现为反旋回,岩心观察主要是浊流沉积。泥岩含量增高表明水体加深,初始洪泛面是湖扩域的开始。该体系域厚度较小,粒度向上由粗变细,为正旋回地层,岩性主要为褐灰色水平层理砂质泥岩。泥岩含量最高时,表明水体达到了最深,粒度最细,即最大洪泛面位置;最大洪泛面是湖扩体系域的结束,也是高位域的开始,高位域主要是三角洲沉积体系,地震上表现为“S”型前积。

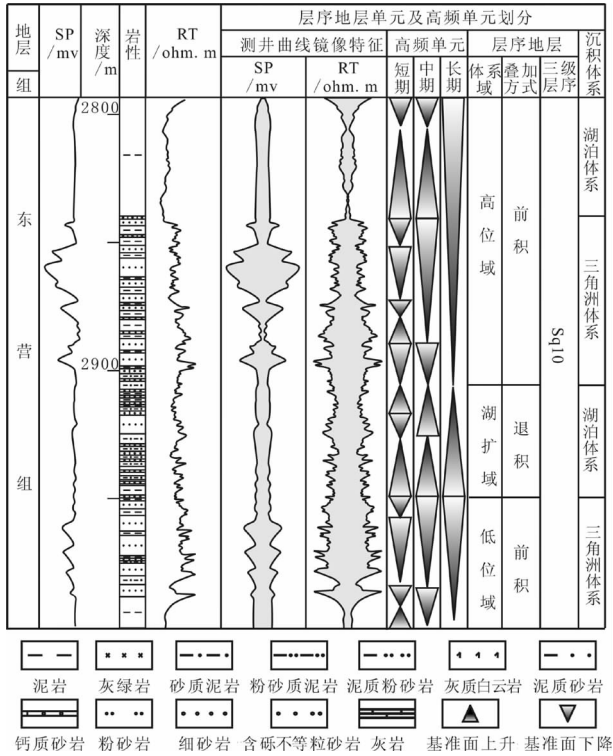


图 4 黄骅拗陷 SQ10 单井层序划分

Fig.4 Sequence division based on well SQ10 in the Huanghua depression

### 4 层序地层格架特征分析

在层序地层划分原则和层序界面识别标志研究的基础上,对黄骅拗陷的三维地震资料进行解释,结合 70 口井的测井、岩性岩相等资料,运用计算机技术,充分进行“井—震—人—机”的互动反馈,建立该

地区的层序地层格架。笔者主要以黄骅拗陷 1 条南北向剖面和 1 条东西向剖面组成的十字剖面来阐述该地区的层序地层格架特征。

#### 4.1 NS2 测线(南北向剖面)

NS2 穿过了黄骅拗陷主要的几个构造带,从北向南整个凹陷被几条同生断层分割成了隆拗相间的格局(图 5-a)。同生断层对层序格局具有明显的控制作用,断层的下降盘层序厚度增大、层数增多,而在上升盘地层厚度较薄。从地震内部反射特征来看,从隆起带到洼陷带存在明显的前积特征,从 SQ1 至 SQ11 都具有很强的相似性。在隆起带,层序较少,而且层序中大多数体系域都发育不完整,例如歧 55 井和庄 92 井 SQ10 和 SQ11 缺失低位域,而高位域和湖扩域发育。在断层之下的洼陷中,三角洲砂体发育,层序都比较发育,体系域也发育完整,例如歧南 2 井中,不但层序发育完整,而且在 SQ5、SQ6 和 SQ7 中都发育暗色泥岩、油页岩,分布范围广泛,全盆地容易追踪对比,说明此时湖盆较为宽阔,水体较深。该地区层序地层格架从 SQ1 至 SQ7 构造活动强烈,断层在层序内部发育,层序厚度也相对较厚, SQ8 至 SQ11,层序受断层影响少,整体分布比较稳定。这也说明二级层序 I 和 II 处于构造活动期,湖盆范围大,水体深,而二级层序 III 发育时,湖盆范围变小,水体也变浅。总体来看,层序地层格架受断裂坡折带的控制,断裂坡折带同时也控制着沉积体系的发育(图 5-b)。

#### 4.2 EW4 测线(东西向剖面)

EW4 由凹陷西部延伸至凹陷中心,整条剖面上,没有大断层穿过古近系层序(图 6-a)。但是由于挠曲构造作用,在盆地边缘出现了挠曲坡折带。在坡折带之上,层序很薄,数量也少,地震反射以顶超、下切谷等现象为主。而在坡折带之下,层序厚度加大,低位体系域发育盆底扇、低位楔等。层序地层格架 SQ1 至 SQ4 中断层很少发育,但整个层序起伏很大,说明当时构造比较活跃;SQ5 至 SQ7 中几乎没有断层,层序起伏不大,说明构造活动减弱;SQ8 至 SQ11 中断层不发育,层序平缓,说明这个时期构造活动很弱。总体来看,挠曲坡折带控制着层序和砂体的发育,它的形成往往与基底隐伏断裂有关系(图 6-b)。

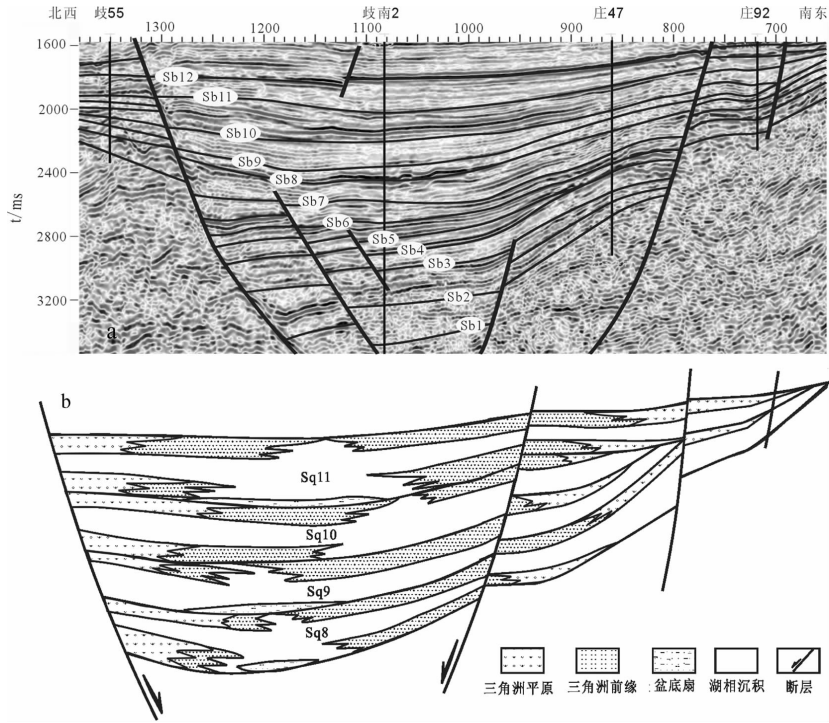


图 5 NS2 测线层序地层特征及模式

a—NS2 测线地震层序地层格架特征;b—NS2 测线 Sq8—Sq11 层序地层模式

Fig.5 Sequence stratigraphic characteristics and model of line NS2

a—Seismic sequence stratigraphic framework at line NS2;b—Sequence stratigraphic model of Sq8—Sq11 at line NS2

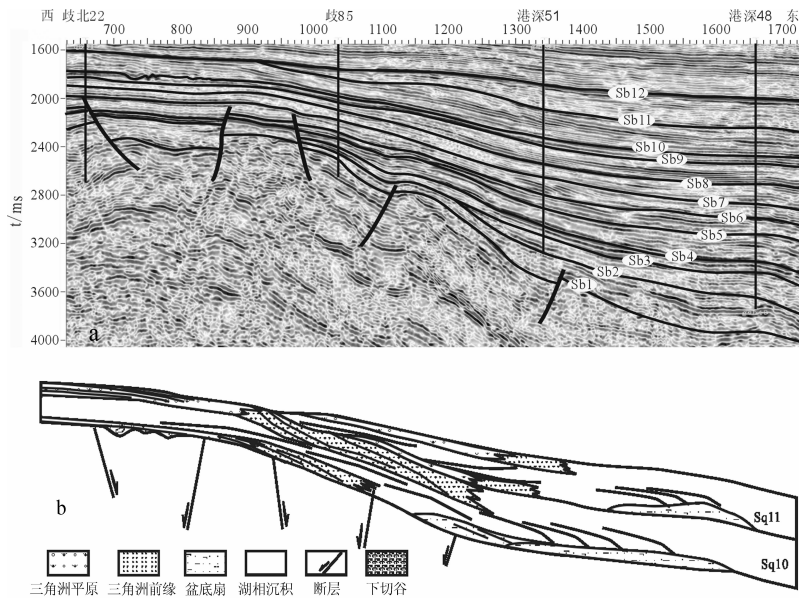


图 6 EW4 测线层序地层特征及模式

a—EW4 测线地震层序地层格架特征;b—EW4 测线 Sq10—Sq11 层序地层模式

Fig.6 Sequence stratigraphic characteristics and model of line EW4

a—Seismic sequence stratigraphic framework at line EW4;

b—Sequence stratigraphic model of Sq8—Sq11 at line EW4



## 5 结 论

(1)在层序地层划分原则和层序界面特征及识别标志的基础上,提出了黄骅坳陷古近系的层序划分方案。该地区古近系为1个一级层序,对应着古近系凹陷的断陷期。在一级层序内部划分出了3个二级层序,对应着断陷期活动—稳定—衰减的三幕。通过井—震—地—机互动反馈,在3个二级层序中划分出了11个三级层序,并解释了该地区层序地层格架。

(2)层序地层格架在南北方向,受控于同沉积断裂坡折带;而在东西向层序地层格架主要受控于挠曲坡折带。坡折带不但控制着层序的发育,也控制着砂体的发育,尤其是低位砂体的发育。在坡折带之上层序数目少且不完整,厚度小,坡折带之下层序发育完整,厚度增大,低位砂体发育。

## 参考文献(References):

- [1] Sloss L L. Sequences in the cratonic interior of North America[J]. Geol. Soc. Am. Bull. 1963, 74:93-114.
- [2] Van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well, cores and outcrops—concept for high-resolution correlation of times and facies [M]. AAPG Methods in Exploration Series, 1990(7):P1-55.
- [3] Van Wagoner J C, Posamentier H W, Mitchum R M, 等. 徐怀大, 等译. 层序地层学原理—海平面变化综合与分析[M]. 北京:石油工业出版社, 1993:1-35.  
Van Wagoner J C, Posamentier H W, Mitchum R M, et al. Xu Huaida translated, Sea-level Change: An Integrated Approach [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993:1-35 (in Chinese with English abstract).
- [4] 董国臣, 孙景民, 张守鹏, 等. 廊固凹陷古近系层序地层特征及油气储集规律探讨[J]. 中国地质, 2002, 29(4):397-400.  
Dong Guochen, Sun Jingmin, Zhang Shoupeng, et al. Paleogene sequence stratigraphy and oil-gas accumulation in the Langgu subdepression [J]. Geology in China, 2002, 29 (4):397-400 (in Chinese with English abstract).
- [5] 徐怀大. 层序地层学理论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.  
Xu Huaida. Problems in analysis of faulted basins of China based on sequence stratigraphic theory [J]. Oil & Gas Geology, 1991, 12(1):52-57(in Chinese with English abstract).
- [6] 倪超, 纪友亮. 饶阳凹陷古近系沙河街组层序地层分析及沉积体系研究[J]. 中国地质, 2006, 33(1):193-200.  
Ni Chao, Ji Youliang. Sequence stratigraphy and sedimentary system of the Paleogene Shahejie Formation in the Raoyang subbasin [J]. Geology in China, 2006, 33 (1):193-200 (in Chinese with English abstract).
- [7] 李思田, 林畅松, 解习农, 等. 大型陆相盆地层序地层学研究—以鄂尔多斯中生代盆地为例[J]. 地学前缘, 1995, 2(3/4):133-148.  
Li Sitian, Lin Changsong, Xie Xinong, et al. Approaches of nonmarine sequence stratigraphy—a case study on the Mesozoic Ordos basin [J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2 (3/4):133-148(in Chinese with English abstract).
- [8] 靳松, 朱敏敏, 钟大康. 扇三角洲高分辨率层序地层对比及砂体分布规律[J]. 中国地质, 2006, 33(1):212-220.  
Jin Song, Zhu Xiaomin, Zhong Dakang. High-resolution sequence stratigraphic correlation of fan deltas and distribution characteristics of sandbodies distribution characteristics of sandbodies[J]. Geology in China, 2006, 33(1):212-220(in Chinese with English abstract).
- [9] 柯光明, 郑荣才, 石和. 苏北盆地古近纪构造—层序岩相古地理特征与演化[J]. 中国地质, 2006, 33(6):1305-1311.  
Ke Guangming, Zheng Rongcai, Shi He. Lithofacies and paleogeography of Paleogene tectonic sequences in the Subei basin and their evolution [J]. Geology in China, 2006, 33(6):1305-1311 (in Chinese with English abstract).
- [10] 蔡希源, 李思田. 陆相盆地高精度层序地层学: 隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践[M]. 北京:地质出版社, 2003:1-315.  
Cai Xiyuan, Li Sitian. High Resolution Sequence Stratigraphy of Continental Basins—Basic Ideas, Methodology and Practice for Exploring Subtle Oil Pools [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003:1-315(in Chinese with English abstract).
- [11] Vail P R et al. Seismic stratigraphy and global changes of sea level [C]//Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir 26, 1977:49-212.
- [12] Vail P R et al. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology—an overview [C]//Cycles and Events in Stratigraphy. New York: Springer-Verlag, 1991:611-659.
- [13] Embry A F. Sequence boundaries and sequence hierarchies: problems and proposals [C]//Sequence Stratigraphy on the Northwest European Margin. Amsterdam: Elsevier 1995:1-11.
- [14] Van Wagoner J C et al. An Overview of the Fundamentals of Sequence Stratigraphy and Key Definitions, in—approach [M]. SEPM Special Publication 42, 1988:39-45.

## Paleogene sequence stratigraphic framework and model in the Huanghua depression

MIAO Shun-de<sup>1</sup>, LI Qiu-fen<sup>2</sup>, OUYANG Cheng<sup>3</sup>

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

2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, CNPC, Beijing 100083, China;

3. Sichuan Petroleum Administration, Chengdu 610051, Sichuan, China)

**Abstract:** Sequence stratigraphy has developed for over 40 years, but it was applied to continental basins in China only ten years ago. The integrated sequence stratigraphic framework for the entire stratigraphic succession has not been established in many basins such as the Huanghua depression. Based on previous research, proceeding from the principle of sequence division and through studies of the characteristics and identification indicators of different orders of sequences and system tract boundaries, the paper proposes a scheme of sequence division in the Huanghua depression and divides the Paleogene strata into 1 first-order sequence, 3 second-order sequences and 11 third-order sequences. Based on studies of typical sections, the authors propose that the abrupt change of the depositional slopes, resulting from the structural slope break zone or flexure slope break zone, has an important effect on the accommodation and sedimentation in the basin and that the structural slope break zone and flexure slope break zone control the development of the sequences and lowstand sand bodies. Two models for the relation between slope break zones and sequences have been constructed, and it is pointed out that the areas below the slope break zones are favorable zones for the deposition of lowstand sand bodies.

**Key words:** Huanghua depression; Paleogene; sequence stratigraphy; sequence model

---

**About the first author:** MIAO Shun-de, male, born in 1979, doctor, engages in basin analysis and studies of sedimentology and sequence stratigraphy; E-mail: sdmiao1979@163.com.