

# 陆相断陷盆地层序类型与隐蔽油气藏勘探

## ——以南堡凹陷古近系为例

冯有良<sup>1</sup>, 周海民<sup>2</sup>, 李思田<sup>3</sup>, 刘蕴华<sup>2</sup>, 董月霞<sup>2</sup>, 曹中宏<sup>2</sup>

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

2. 中国石油冀东油田勘探开发研究院, 河北唐山 063004

3. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

**摘要:**以南堡凹陷高分辨率三维地震、测井和丰富的地质资料为基础,运用高精度层序地层分析方法,结合盆地构造和沉积充填特征的研究,在南堡凹陷古近系识别出了1个超层序组、4个超层序、11个三级层序,在柳北扇三角洲体系可划分出6个四级层序。根据古构造坡折带控制层序类型和层序构成模式的思路,通过南堡凹陷古近系同沉积构造发育特征的分析,认为南堡凹陷古近系存在同沉积断裂坡折带和同沉积背斜挠曲坡折带2种类型,由此决定了南堡凹陷古近系主要发育了同生断裂坡折型层序和同沉积背斜挠曲坡折型层序,建立了这2种类型层序体系构成模式。其中同生断裂坡折型层序和同沉积背斜挠曲坡折型层序的低位域砂体及高位域砂体成藏条件优越、地震剖面易于识别,是隐蔽油气藏勘探的主要目标。

**关键词:** 同沉积断裂; 同沉积背斜挠曲; 坡折型层序; 低位域砂体; 高位域砂体; 隐蔽油气藏; 古近系; 南堡凹陷。

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2004)05-0603-06

收稿日期: 2004-05-12

## Sequence Types and Subtle Trap Exploration in Continental Rift Basin: A Case Study of Lower Tertiary of the Nanpu Depression

FENG You-liang<sup>1</sup>, ZHOU Hai-min, LI Si-tian<sup>3</sup>, LIU Yun-hua<sup>2</sup>, DONG Yue-xia<sup>2</sup>,  
CAO Zhong-hong<sup>2</sup>

1. *Petroleum Exploration and Development Research Institute, PetroChina, Beijing 100083, China*

2. *Jidong Petroleum Exploration and Development Research Institute, PetroChina, Tangshan 063004, China*

3. *Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*

**Abstract:** Based on integrated analysis of high-resolution 3D seismic sections, log curves and abundant geological data, basin filling sequence in the Lower Tertiary Nanpu depression consists of one super sequence set, four super sequences, and eleven third-order sequences. The North Liuzhan fan delta system can be divided further into six fourth-order sequences. Two kinds of slope-breaks are developed in this basin, one is the syndepositional fault slope-break, the other is the syndepositional bend slope-break, which control clearly sequence types and stratigraphic models. Corresponding two kinds of sequence patterns are observed in Lower Tertiary Nanpu depression, that are the syndepositional fault slope-break and syndepositional bend slope-break sequences. The lowstand sand bodies and highstand sand bodies in the both sequences are favorable for hydrocarbon accumulation, and can be identified on seismic section easily, hence, they are taken as main targets for subtle trap exploration.

**Key words:** syndepositional fault; syndepositional bend; slope-break sequence; lowstand sand body; highstand sand body; subtle trap reservoir exploration; Lower Tertiary system; Nanpu depression.

近年来,层序地层学的概念和研究方法在我国 东部陆相断陷含油气盆地研究和隐蔽油气藏勘探中

得到了广泛的应用。我国学者对陆相断陷盆地层序形成的动力学机制、层序的级次划分、层序界面的识别标志、层序的体系域构成及隐蔽油气藏的勘探方法都做了深入的探讨,为层序地层在我国含油气盆地的广泛应用和有效地指导隐蔽油气藏的勘探做了有益的尝试,并取得了良好的勘探成果(魏魁生和徐怀大,1997;纪友亮和张世琦,1996;林畅松等,2000;冯有良等,2000;冯有良和李思田,2001;李思田,2002),在不同的盆地中总结出了不同的层序体系域构成模式,以用于指导隐蔽油气藏的勘探。

南堡凹陷作为渤海湾盆地黄骅拗陷内小型的箕状凹陷盆地,其特殊的构造发育特征和沉积条件决定了南堡凹陷在不同的构造背景条件下发育不同的层序类型及其空间组合,这些在不同构造背景条件下发育的不同类型的层序及其体系域构成模式在陆相断陷盆地有一定的普遍性。本文以南堡凹陷为例,研究其层序的基本类型、体系域构成模式、盆地充填序列及隐蔽油气藏发育特征。

南堡凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷东北隅,古近系是一个具有北断南超特征的典型的箕状凹陷,面积 1 900 km<sup>2</sup>(图 1)。该凹陷西北部以西南庄断层为界与老王庄—西南庄凸起接壤;东北部以柏各庄断层为界与码头营—柏各庄凸起接壤;南部与沙垒凸起呈断超关系。该凹陷内部被高柳断层分割为南北两区,北区是沙河街组(E<sub>s</sub>)的沉积中心,发育柳赞、高尚堡披覆背斜构造带、拾场次凹 3 个二级构造单元,是沙河街组主要的生油含油区带。南区是东营组(Ed)的沉积中心,在西南庄断层的下降盘发育了老爷庙、北堡逆牵引背斜构造带,在南缓坡发育了南堡、老堡断鼻构造带和蛤坨逆牵引背斜构造带,在中

央地带从西向东依次发育了林雀次凹和柳南次凹 2 个东营组生油中心(图 1)。

## 1 层序地层格架

南堡凹陷古近系为一个超层序组(SSQS),其顶底界面分别为新近系馆陶组与古近系东营组之间的区域性不整合面(24.6 Ma)、中生界与古近系之间的不整合面(65 Ma)。该超层序对应于南堡凹陷古近纪盆地裂陷期的沉积建造(图 2,3)。

古近系超层序组据其内发育的二级层序界面,可划分出 4 个超层序(SSQ)。超层序 1(SSQ<sub>1</sub>)相当于沙三 5 亚段(E<sub>s3</sub><sup>5</sup>),对应裂陷一幕;超层序 2(SSQ<sub>2</sub>)相当于沙三 4 亚段到沙二段(E<sub>s3</sub><sup>4</sup>—E<sub>s2</sub>),对应于裂陷二幕;超层序 3(SSQ<sub>3</sub>)相当于沙一段(E<sub>s1</sub>),对应于裂陷三幕;超层序 4(SSQ<sub>4</sub>)相当于东营组(Ed),对应于裂陷四幕。其界面分别是裂陷幕之间的不整合面。在每一个超层序内,据其发育的三级层序界面可划分出三级层序。其中超层序 1(SSQ<sub>1</sub>)由 Sq1 组成;超层序 2(SSQ<sub>2</sub>)由 Sq2, Sq3, Sq4 组成;超层序 3(SSQ<sub>3</sub>)由 Sq5, Sq6, Sq7, Sq8 组成;超层序 4(SSQ<sub>4</sub>)由 Sq9, Sq10, Sq11 组成,以上共划分出 11 个三级层序,其中在柳北地区 Sq2 层序的高位域扇三角洲中可划分出 6 个四级层序(图 2,4)。

通过对不同级别的层序界面按测井曲线与地震剖面的界面标定及闭合追踪就可以建立研究区层序格架剖面。从图上可以看出,古近系层序格架具有如下特征:超层序 1 内发育的层序(Sq1)受同沉积断裂坡折的控制;超层序 2 内发育的层序(Sq2, Sq3, Sq4)受由同沉积背斜造成的地层挠曲坡折带控制;而超层序 3 内发育的层序(Sq5, Sq6, Sq7, Sq8)发育背景较为平缓;主要发育在高柳断层以南地区的超层序 4(Sq9, Sq10, Sq11),在凹陷南坡受断裂坡折控制,在北部的北堡、老爷庙和蛤坨地区则受由同沉积背斜造成的地层挠曲坡折带控制(图 3,4)。

## 2 同沉积构造坡折带的概念及其层序体系域构成特征

影响南堡凹陷层序发育的因素很多,但是,作为陆相断陷盆地,复杂而又强烈的构造运动是控制层

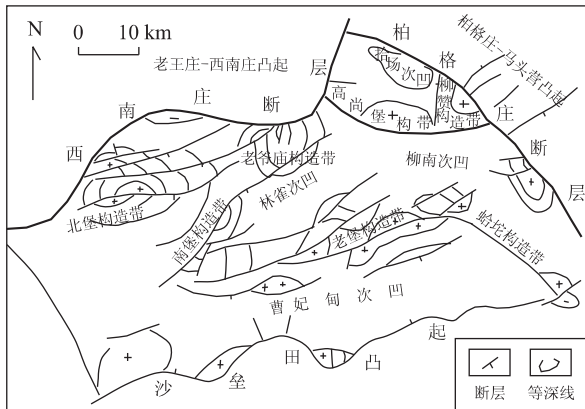


图 1 南堡凹陷构造纲要图

Fig. 1 Tectonic outline of Nanpu depression

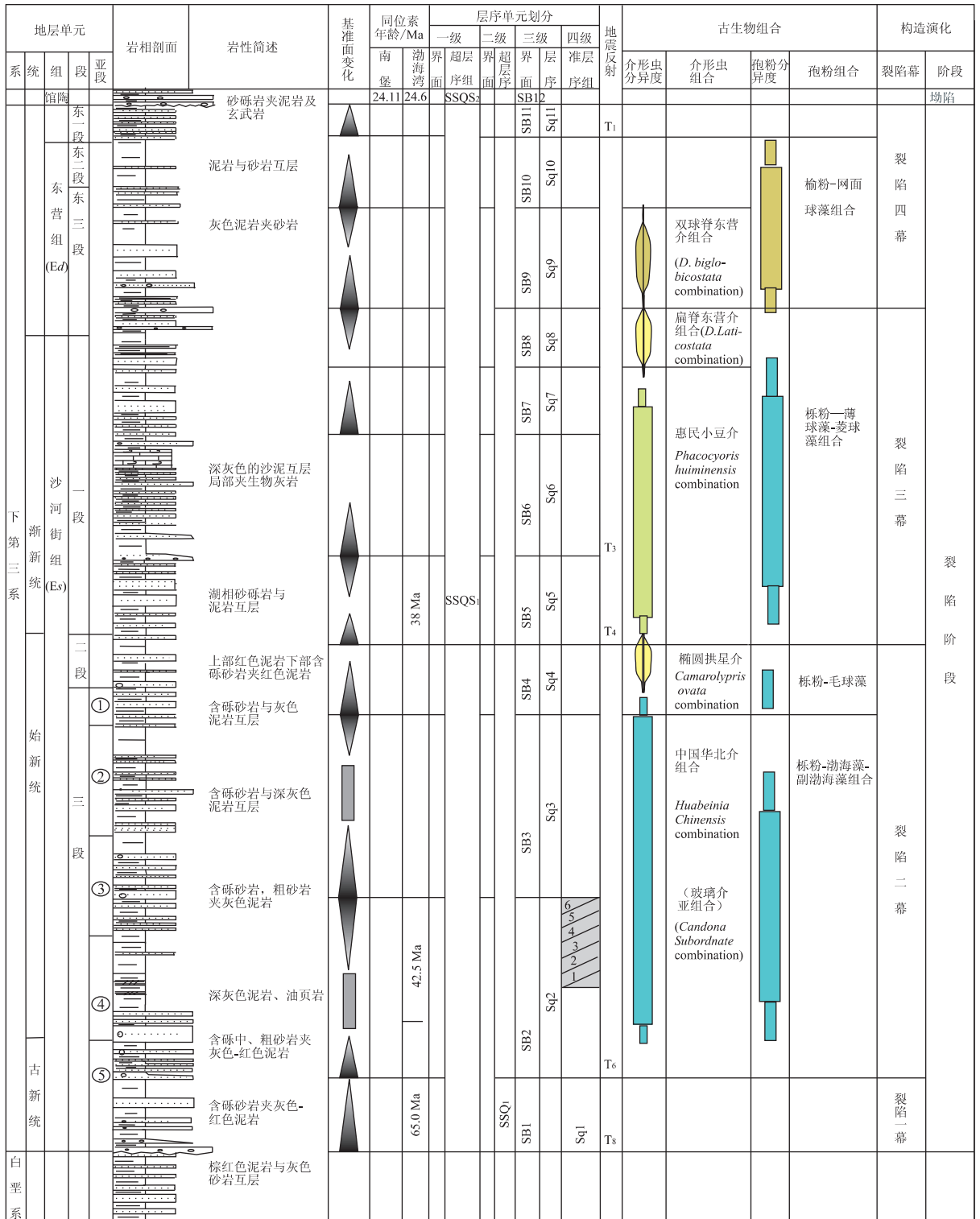


图 2 南堡凹陷古近系层序划分序列

Fig. 2 Lower Tertiary sequence succession of Nanpu depression

序及其体系域发育的主导因素,古地貌背景样式成为控制层序类型和体系域发育特征的关键.因此,根据古地貌背景类型及其在层序发育过程中的控制作用

用建立层序模式,不但能使建立的陆相断陷盆地层序模式具有普遍性,而且还能更好地预测有利储集体及烃源岩.

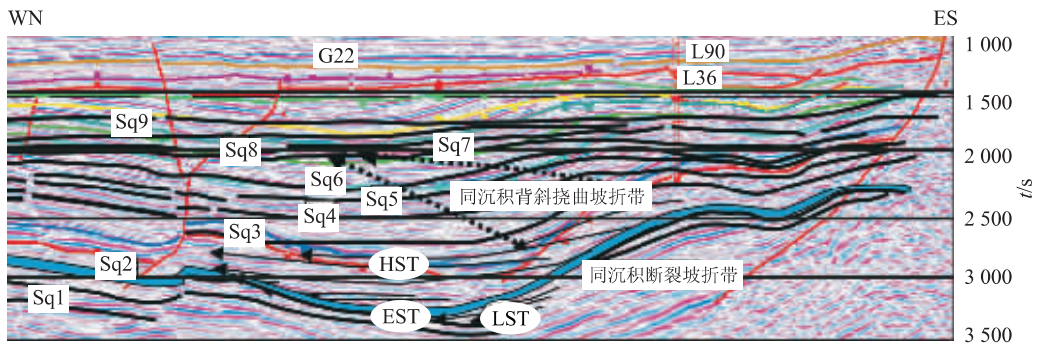


图 3 南堡凹陷高柳三维 cross1400 测线层序剖面

Fig. 3 Cross 1400 sequence section of Gaoliu 3D area in Nanpu depression

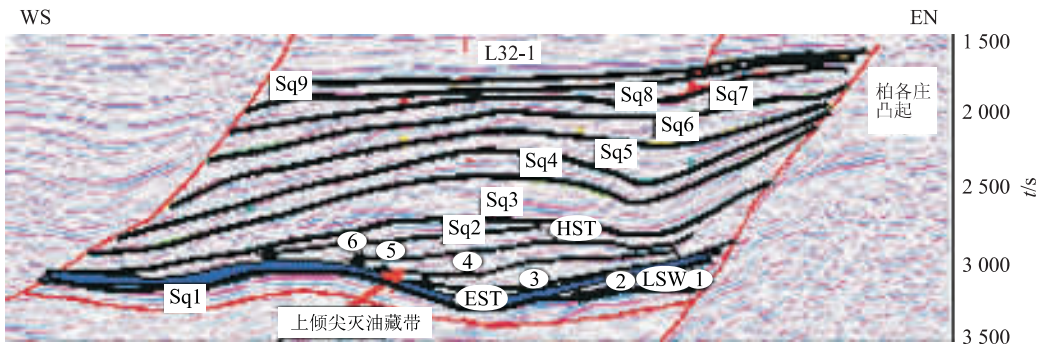


图 4 南堡凹陷高柳三维 L1583 测线层序剖面(①—⑥为四级层序编号)

Fig. 4 Line 1583 sequence section of Gaoliu 3D Seismic profile area in Nanpu depression

据笔者对南堡凹陷构造发育特征与层序发育形式的研究表明:南堡凹陷同沉积构造带的作用相当于 I 型层序的陆架坡折带,可称为构造坡折带.概括起来可归纳为 2 个基本类型:(1)同沉积断裂坡折带;(2)同沉积背斜挠曲坡折带.

### 2.1 同沉积断裂构造坡折带及其体系域构成特征

同沉积断裂坡折带的概念首先被 Vail *et al.* (1991)用于发育同生断裂的被动大陆边缘盆地.随后 Howell and Flint(1996)认为伸展盆地中的同沉积断裂和断层转换带其作用等同于被动大陆边缘的陆架坡折.林畅松等(2000)在对济阳坳陷沾化凹陷同沉积构造与层序形成关系研究的基础上明确提出了构造坡折带的概念.

对南堡凹陷研究表明:断陷盆地裂陷 I 幕断陷和伸展作用强烈,盆地内发育了大量的同沉积断裂带和断层转换带,其作用类似于被动大陆边缘的陆架坡折(shelf-slope break),它能控制层序的形成和体系域的发育.这些地带是层序低水位期湖泊的滨线位置.

因此,本文把南堡凹陷内对层序及其体系域发育起明显控制作用的同生断裂或断裂带、阶状断裂

面及其断层转换带称为同沉积断裂构造坡折带(syn depositional fault structural slope-break zone).

断裂构造坡折带具有多种组合样式.南堡凹陷的构造坡折带按断面、断阶面、转换带的三维空间组合方式可分为以下 2 种样式:A.断阶状构造坡折带;B.交叉状构造坡折带.不同坡折带样式控制着不同低位域砂体的形态及分布样式(冯有良和邱以刚,2003).

在南堡凹陷,同沉积坡折型层序在地震剖面上容易识别,其层序界面附近可见到明显的削截和不整合现象.层序的发育受同生断裂坡折带的控制,其特点表现在:(1)断裂坡折带之上地层较薄,而断裂

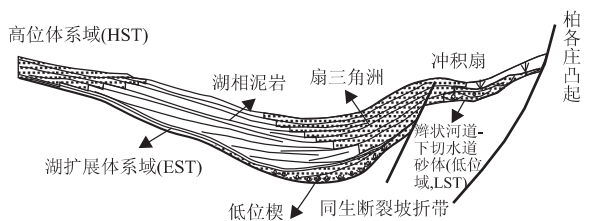


图 5 同沉积断裂坡折型层序体系域构成

Fig. 5 Syndepositional fault slope-break sequence features of systems tracts of Nanpu depression

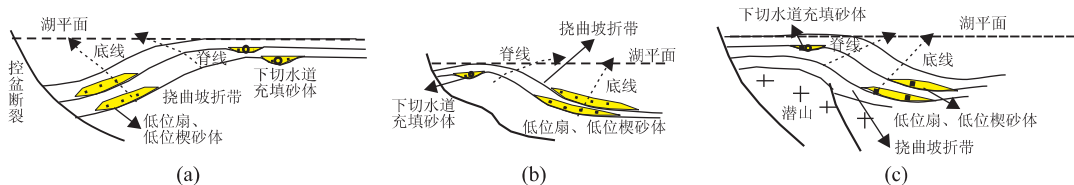


图 6 同沉积背斜挠曲坡折带及低位砂体分布

Fig. 6 Syndepositional anticline bend slope-breaks and lowstand sand bodies distribution in Nanpu depression

a. 同沉积块断—掀斜挠曲坡折带; b. 同沉积逆牵引背斜挠曲坡折带; c. 同沉积披覆背斜挠曲坡折带

坡折带之下地层较厚;(2)断裂坡折带之上层序的低位域发育下切水道、辫状河,而断裂坡折带之下则发育小型扇三角洲、水下扇或浊积扇构成低位域(图 5);(3)层序湖扩展体系域在坡折带之下为一套稳定的深湖相泥岩、油页岩,在坡折带之上发育近源水下扇和滨浅湖沉积(图 5);(4)高位域在盆地的陡坡发育大型扇三角洲,如柳赞—柳北扇三角洲。而在盆地的缓坡则发育大型的河流三角洲沉积体系及湖泊体系(图 5)。

### 2.2 同沉积挠曲坡折带及其层序体系域构成特征

断陷盆地的同沉积构造除了同生断裂构造带外还有极为重要的同沉积构造带,这就是块断掀斜构造和同沉积背斜构造带。这些构造带能造成湖泊古地貌坡度变陡,形成同沉积挠曲坡折带。它能控制层序的形成和沉积体系的发育。同沉积挠曲坡折带的脊线部位相当于低水位期湖泊的沉积滨线位置,在该带之下可发育低位域砂体。因此,本文把断陷盆地中因块断掀斜构造或同沉积背斜的发育而造成的古地貌挠曲带称为同沉积挠曲坡折带。

在断陷盆地中按同沉积挠曲坡折带的成因可划分为 2 个亚类:第一亚类为同沉积块断掀斜挠曲坡折带;第二亚类为同沉积背斜挠曲坡折带,它进一步可划分为 2 个样式:(1)同沉积逆牵引背斜挠曲坡折带;(2)同沉积披覆背斜挠曲坡折带(图 6)。这些坡折带类型和样式与断陷盆地的块断掀斜构造运动、逆牵引背斜和披覆背斜的发育有密切关系,同沉积挠曲坡折带往往是这些同沉积构造的组成部分。

就南堡凹陷来说,同沉积挠曲坡折型层序的发育受控于同沉积挠曲坡折造成的古地貌弯曲,同沉积挠曲坡折的成因类型多样(图 6),但其对层序形成和体系域发育的控制作用是相同的。同沉积挠曲坡折带的脊线(即同沉积挠曲坡折带的最高位置)是古湖泊的沉积滨线位置,同沉积挠曲坡折带的底线位置是同沉积挠曲坡折带的最低位置,而且同沉积挠曲坡折带的脊线和底线由早到晚向盆地沉降中心

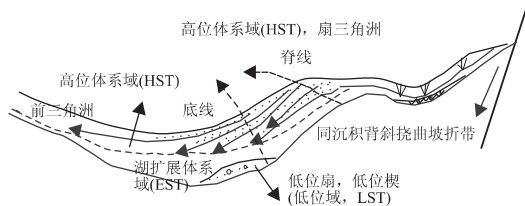


图 7 南堡凹陷同沉积背斜挠曲坡折型层序体系域构成

Fig. 7 Syndepositional bent slope-break sequence features of systems tracts

迁移,二者之间是同沉积挠曲坡折带的位置。层序的低位域(LST)主要发育在同沉积挠曲坡折带及其以下地区,可以是水下扇、浊积扇构成的低位扇,也可以是小型扇三角洲组成的低位楔。同沉积背斜挠曲坡折带之上低位域不保留或只发育下切水道充填。层序的湖扩展体系域(EST)主要发育深湖一半深湖及滨浅湖沉积。高位域(HST)则主要发育扇三角洲、河流三角洲沉积体系(图 7)。

### 3 隐蔽油气藏预测与勘探

上述分析表明,南堡凹陷有利于隐蔽油气藏发育的层序主要是同沉积断裂坡折型层序和同沉积背斜挠曲坡折型层序。在同生断裂坡折型层序中,发育在断裂坡折带之下的低位域砂体如低位楔(扇三角洲)、低位扇(水下扇、浊积扇)和断裂坡折带之上的下切水道充填砂体在 seismic 剖面上有明显反射特征,易于识别和预测。上覆在低位域砂体之上的湖扩展域泥岩、油页岩是良好的烃源岩和盖层。因此,这类砂体成藏条件优越,是隐蔽油气藏勘探的主要目标(图 3,4,5)。高位扇三角洲砂体在南堡凹陷分布局限,且因差异压实而发育小幅构造隆起,是隐蔽油气藏最为有利勘探目标,如柳北 Sq2 高位扇三角洲经油田钻探 L201×1、L103×1 井发现了累计厚度 50~80 m 的厚油层。

在同沉积背斜挠曲坡折型层序中,发育在挠曲坡折带之下的低位域砂体与同生断裂型层序低位域砂体具有相同的地震反射特征和同样良好的成藏条件,是南堡凹陷另一类隐蔽油气藏勘探的主要目标(图 6)。

## 4 结论

(1)南堡凹陷古近系可识别出 1 个超层序组、4 个超层序、11 个三级层序,在柳北扇三角洲体系可划分出 6 个四级层序。(2)据南堡凹陷古近系同沉积构造发育特征,认为南堡凹陷古近系存在同沉积断裂坡折带和同沉积背斜挠曲坡折带 2 种类型,由此决定了南堡凹陷古近系主要发育了同生断裂坡折型层序和同沉积背斜挠曲坡折型层序 2 种层序类型。(3)同生断裂坡折型层序和同沉积背斜挠曲坡折型层序的低位域砂体及高位域砂体成藏条件优越,在地震剖面上易于识别,是隐蔽油气藏勘探的主要目标。

## References

Feng, Y. L., Li, S. T., 2001. Depositional characteristics of lowstand sand bodies of the third member of the Shahejie Formation in the Dongying depression and the significance in petroleum geology. *Geological Review*, 47(3): 278—286 (in Chinese with English abstract).

Feng, Y. L., Li, S. T., Xie, X. N., 2000. Dynamics of sequence generation and sequence stratigraphic model in continental rift-subsidence basin. *Earth Science Frontiers*, 7(3): 119—132 (in Chinese with English abstract).

Feng, Y. L., Qiu, Y. G., 2003. Application of high-resolution sequence stratigraphy to exploration of Lower Tertiary subtle reservoirs in Jiyang subbasin. *Acta Petrolei Sinica*, 24(1): 49—52 (in Chinese with English abstract).

Howell, J. A., Flint, S. S., 1996. A model for high resolution

sequence stratigraphy within extensional basins. In: Howell, J. A., Aitken, J. F., eds., High resolution sequence stratigraphy: Innovations and Applications. Geological Society Special Publication No. 104, London, 129—137.

Ji, Y. L., Zhang, S. Q., 1996. Sequence stratigraphy of continental rift-subsidence lacustrine basin. 1st edition. Petroleum Industry Press, Beijing, 1—74 (in Chinese).

Lin, C. S., Pan, Y. L., Xiao, J. X., et al., 2000. Structural slope-break zone: Key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(3): 260—267 (in Chinese with English abstract).

Vail, P. R., Audemard, F., Bowman, S. A., et al., 1991. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology—An overview. In: Einsele, G., Ricken, W., Seilacher, A., eds., Cycles and events in stratigraphy. Springer-Verlag, Berlin, 617—659.

Wei, K. S., Xu, H. D., 1997. Cretaceous high-resolution sequence stratigraphic framework in Songliao basin. *Oil & Gas Geology*, 18(1): 7—13 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

冯有良,李思田,2001. 东营凹陷沙三段层序低位域砂体沉积特征. *地质论评*, 47(3): 278—286.

冯有良,李思田,解习农,2000. 陆相断陷盆地层序形成动力学及层序地层模式. *地学前缘*, 7(3): 119—132.

冯有良,邱以刚,2003. 高精度层序地层学在济阳坳陷古近系隐蔽油气藏勘探中的应用. *石油学报*, 24(1): 49—52.

纪友亮,张世琦,1996. 陆相断陷盆地层序地层学. 第一版. 北京:石油工业出版社,1—74.

林畅松,潘元林,肖建新,等,2000. 构造坡折带——断陷湖盆层序和油气预测的重要概念. *地球科学——中国地质大学学报*, 25(3): 260—267.

魏魁生,徐怀大,1997. 松辽盆地百垩系高分辨率层序地层格架. *石油与天然气地质*, 18(1): 7—13.