

文章编号: 1001-6112(2008)01-0001-05

# 油气精细勘探的主要方法体系

——地震沉积学研究

陆永潮<sup>1</sup>, 杜学斌<sup>1</sup>, 陈平<sup>1</sup>, 向奎<sup>2</sup>, 李涛<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学 资源学院, 武汉 430074;

2. 中国石油化工股份有限公司 胜利油田分公司 新疆勘探开发中心, 山东 东营 257200)

**摘要:**地震沉积学是基于高密度三维地震资料、现代沉积环境、露头 and 钻井岩心资料建立的沉积环境模式的联合反馈, 是用以识别沉积单元的三维几何形态、内部结构和沉积过程的一项新的方法体系。精细沉积建模是地震沉积学研究的基础, 正演模型技术是地震沉积学研究的桥梁。地质模型约束和正演模型指导下的地球物理技术对地下地质体的精细刻画和解释是地震沉积学的主要研究手段, 具体技术包括: 测井约束反演技术、地层切片和属性分析技术、分频解释技术等, 这些技术已经在渤海湾盆地东营凹陷和准噶尔盆地研究中得到了使用并取得良好的效果。地震沉积学将成为 21 世纪油气精细勘探的主要手段。

**关键词:**测井约束反演; 地层切片; 分频解释; 地震沉积学; 准噶尔盆地; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

## MAIN METHODS SYSTEM OF FINE PETROLEUM EXPLORATION

—SEISMIC SEDIMENTOLOGY

Lu Yongchao<sup>1</sup>, Du Xuebin<sup>1</sup>, Chen Pin<sup>1</sup>, Xiang Kui<sup>2</sup>, Li Tao<sup>1,2</sup>

(1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. Xinjiang Center of Exploration and Development, Shenli Oil Field, SINOPEC, Dongying, Shandong 257200, China)

**Abstract:** Seismic sedimentology is a new methods system using depositional environment model based of high-precision seismic data, the modern depositional environment, outcrops and cores to identify the sedimentary unit 3D geometry, the internal structure and deposition process. Fine sedimentary modeling is the base of seismic sedimentology. Forward model technique is the bridge of seismic sedimentology. The main aim is using geophysical techniques to fine describe and explain underground geological body with the geological constrained model and forward model. The key technology used in the Dongying Sag of the Bohai Bay Basin and the Junggar Basin and includes: logging constrained inversion technology, stratal slicing and attribute analysis technology, frequency decomposing technology, etc. Seismic sedimentology will become the 21st century's main petroleum fine exploration methods.

**Key words:** logging constrained inversion; stratal slicing; frequency decomposing technology; seismic sedimentology; the Junggar Basin; the Bohai Bay Basin

### 1 地震沉积学的概念

高分辨三维地震处理、解释和成像技术的飞跃发展, 为沉积体系和储层研究提供了有力工具, 这一系列技术与当代沉积体系建模研究的紧密结合造就了新的分支学科——地震沉积学。地震沉积学的概念是在近几年内才在国际上提出的, 它是基

于高精度地震资料、露头 and 钻井岩心资料建立的沉积环境模式的联合反馈, 用以识别沉积单元的三维几何形态、内部结构和沉积过程<sup>[1]</sup>, 其研究核心就是建立更为精细沉积体的三维构成。应当指出的是, 三维地震可视化技术的发展对地震沉积学的提出和发展起着非常重要的推动作用, 并成为储层预测的有效手段, 已在陆上和海域广泛使用, 特别是

收稿日期: 2007-10-23; 修订日期: 2008-01-02。

作者简介: 陆永潮(1962—), 男, 教授, 主要从事层序地层、储层预测研究。E-mail: luyc01@cug.edu.cn。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40402014)。

在海底扇储层识别和建模等方面取得了很好效果<sup>[2~4]</sup>。

### 2 地震沉积学的研究内容和思路

地震沉积学是以高精度地震资料、现代沉积环境、露头古沉积环境模式的综合研究为基础,以沉积单元的三维几何形态、内部结构和沉积过程识别为目的的一门学科<sup>[5]</sup>(图1)。

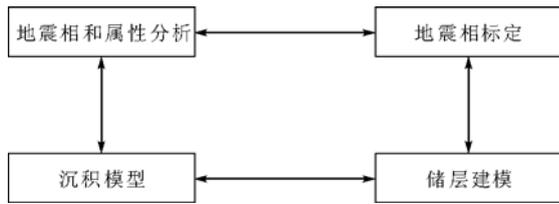


图1 地震沉积学研究思路和流程  
Fig.1 Research idea and technic flow of seismic sedimentology

#### 2.1 地震沉积学研究的基础

精细沉积建模是地震沉积学研究的基础。在高精度等时框架中动态地恢复沉积体系的三维空间展布及其演化,是当今沉积学研究的主要方向。高精度层序地层学提供了精细等时分层手段,为储层建模提供了一个高分辨率的等时地层框架,在此框架内,研究储集体在多重控制因素下的演化过程,具动态建模的意义。

运用高精度层序地层学方法进行沉积体系分析,能够清晰地展示其随时间进行变化的动态过

程。因此,研究不仅可以揭示沉积体系的内部构成要素的基本特征<sup>[6]</sup>,古地形和地貌变化<sup>[7,8]</sup>,还可以揭示各种沉积体系在等时格架中的空间分布和随时间的迁移变化规律<sup>[9,10]</sup>。这些动态的概念模式对储集体的展布及其储集物性研究提供了更好的预测。

#### 2.2 地震沉积学研究的桥梁

正演模型技术是地震沉积学研究的桥梁。不同地质体由于其岩石组合、内部结构、岩性、物性和含油气性等差异,在地震上必然表现出反射形态、内部结构、反射频率、振幅等地震参数反射特征的不同。由于地下地质的复杂性和地震波传播过程的复杂性,加之各种波的干扰,造成了地震剖面中的各种反射现象存在多解性,大大地增加了地震资料解释的难度。利用地震正演模型技术结合实际资料,不仅可以建立不同地质体的地震识别模型(图2),同时也可避免地震现象的多解性,提高地震解释精度。

正演模型的建立不仅可以在宏观上验证地震资料处理和解释方法的正确性,同时对地层格架内不同沉积背景下的各类储集体的地震资料处理和精细解释有很好的指导作用。尤其近年来高分辨三维地震资料在油气勘探中的广泛应用,建立有地域和地质年代特色的高精度正演模型是各个油田地质和地球物理工作者关注的热点。

#### 2.3 地震沉积学研究的核心

高分辨三维地震资料的精细储集体描述和成像技术是地震沉积学研究的核心。在动态沉积地

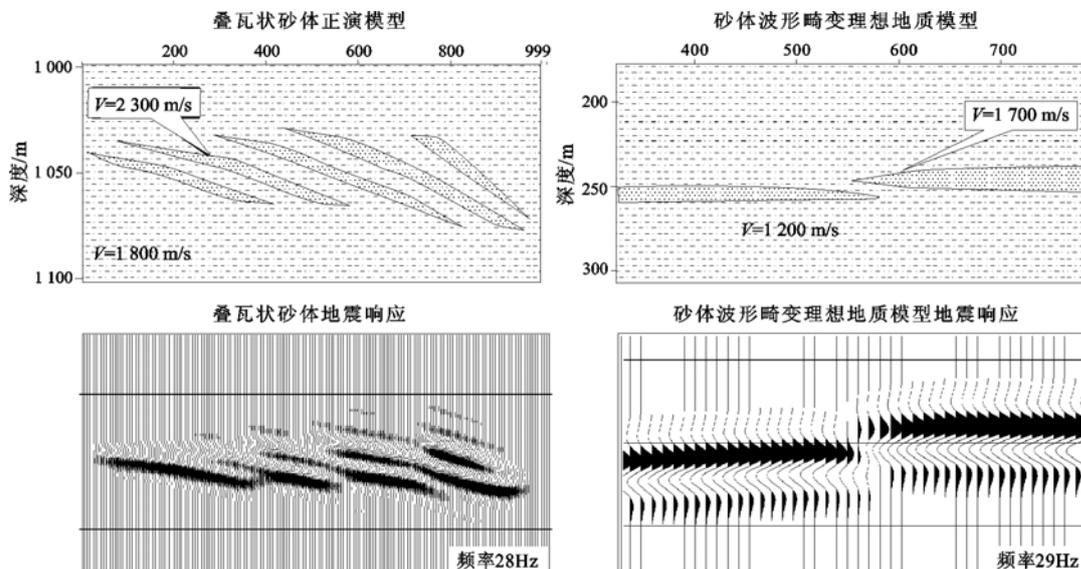


图2 常见的不同砂体的二维正演模型  
Fig.2 Two-dimensional forward model of different sandbody

质模型指导下的三维地震资料解释、储集体描述和成像技术不仅赋予了地震相和地震属性全新的地质学和沉积学概念,也客观地再现了各类储集体三维空间形态及其内部沉积构成变化。尤其近年来发展起来的分频解释技术、测井约束反演技术、综合属性分析等技术,使我们更清楚地了解沉积层序的内部结构,储层横向和纵向变化规律。这些技术的使用均可在更高分辨率的基础上对各类储集体进行精细描述,甚至对储层物性和水—岩相互作用预测<sup>[10]</sup>,从而为地震沉积学的发展开辟了广阔的前景。

### 3 地震沉积学的研究方法和技术

#### 3.1 测井约束反演技术

在地震储层预测和砂体描述中,测井约束反演技术是不可缺少的技术(图 3),其在砂岩岩性油藏描述中发挥了非常重要的作用。著名地球物理学家李庆忠院士曾指出“交到地质人员手中的地震资料应是作了反演的波阻抗剖面”、“波阻抗反演是高分辨率地震资料处理的最终表达形式”。目前,测井约束反演处理已经成为处理常规目标的一种手段。

##### 3.1.1 储层特征参数分析

储层特征参数的分析在用地震反演区分岩性中特别重要。在常用的递推反演方法中,主要应用声波曲线导出的波阻抗来区分或分辨岩性,但在一些地区或层段,由声波曲线导出的波阻抗并不能有效区分砂、泥岩。而自然伽马、自然电位或电阻率对岩性反映清楚,因此,研究中需要挑选能够有效

区分砂、泥岩的曲线进行分析,并建立伪声波曲线进行波阻抗反演。

##### 3.1.2 合成地震记录与地震子波提取

测井、地质、钻井的信息是以深度测定的,而地震信息是以时间标定的,如何建立深度域中测井、地质、钻井资料与时间域上地震资料之间的对比非常重要。建立他们之间关系的桥梁是合成地震记录,利用合成地震记录,对储层进行精细标定,才能保证地震信息和测井信息的耦合,建立正确的低频波阻抗模型。

子波是地震反演中的关键因素,子波与模型反射系数褶积产生合成地震数据,直接影响反演的波阻抗结果。在子波的提取中,最重要的是子波极性判别,因此需要综合地震地质信息,判别子波极性。

#### 3.2 地层切片综合属性分析技术

Brown<sup>[11]</sup>等首先阐明通过三维地震的水平成像(即时间切片)可以产生高分辨率的沉积相图像。自 20 世纪 90 年代起,大量的研究证实,地震地貌学是沉积成像研究的有力工具。地震地貌成像是沿等时沉积界面(地质时间界面)提取各类综合属性(平均能量振幅+平均峰值振幅+最大振幅+均方根振幅+正极性振幅),并通过属性优化可客观地反映地震工区内沉积体系的展布范围。这样的地震切片就是地层切片,它是通过在 2 个等时界面间进行合理地内插切片来实现,这与 1996 年 Posamentier<sup>[12]</sup>提出的等比例切片比较类似。常用的切片类型包括时间切片和沿层切片。时间切片是沿某一固定地震旅行时对地震数据体进行切片

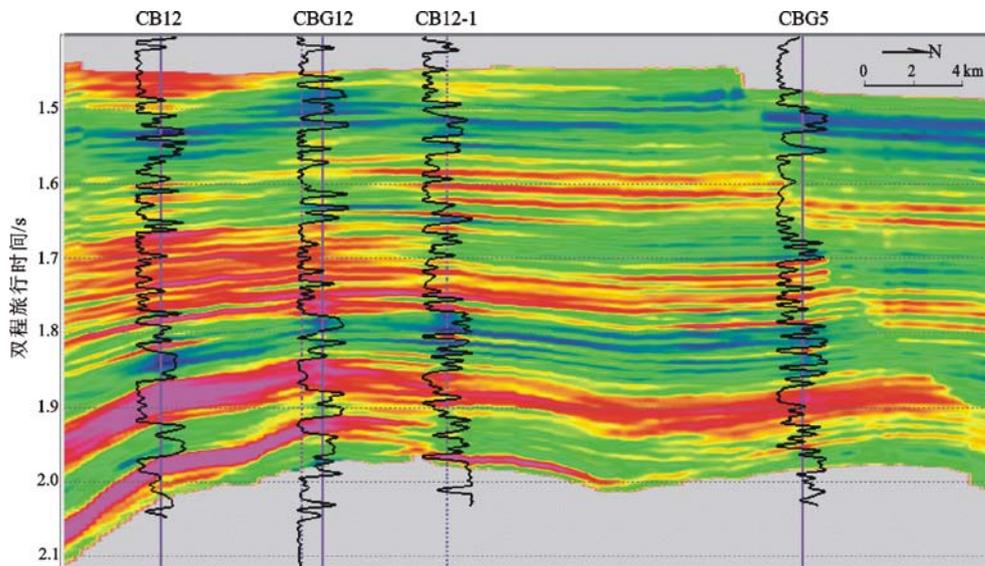


图 3 测井约束反演技术的储层预测和砂体描述

Fig. 3 Reservoir prediction and description sand of logging constrained inversion

显示,切片方向是沿垂直于时间轴的方向,它切过的不是一个具有地质意义的层面;沿层切片是沿着或平行于地震层位进行切片,它更倾向于具有地球物理意义。

从准噶尔盆地车排子地区的滩坝砂例子可以

看到(图4),在超覆斜坡带和滩坝砂发育的位置,利用切片进行高频层序内的滩坝砂体研究时,仅从层序界面或某个同相轴上、下沿层切片,其位置往往穿越同相轴,不能切过滩坝砂体,因此不能真正刻画滩坝砂体的平面分布;而地层切片采用等比例

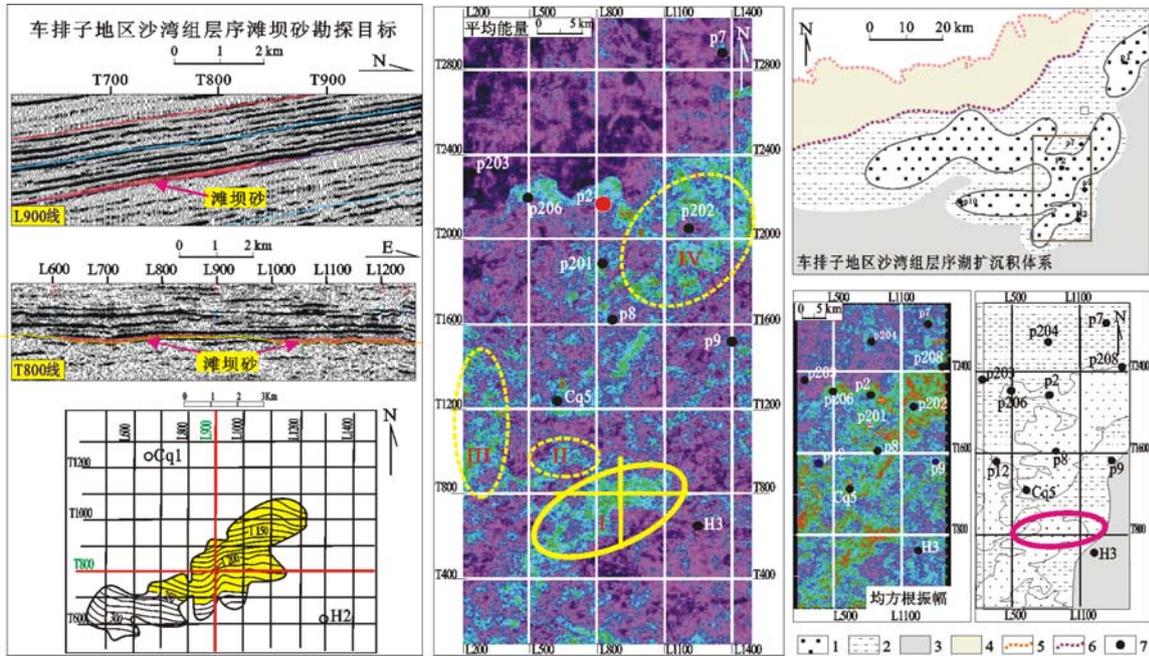


图4 准噶尔盆地湖扩滩坝砂储层精细解释和多属性预测

- 1. 滩坝砂; 2. 滨湖相; 3. 浅湖相; 4. 滨岸平原; 5. 滨湖边缘; 6. 山前边缘; 7. 钻孔

Fig. 4 Fine explained and multiple attributes forecast of EST beach-bar sand in the Junggar Basin

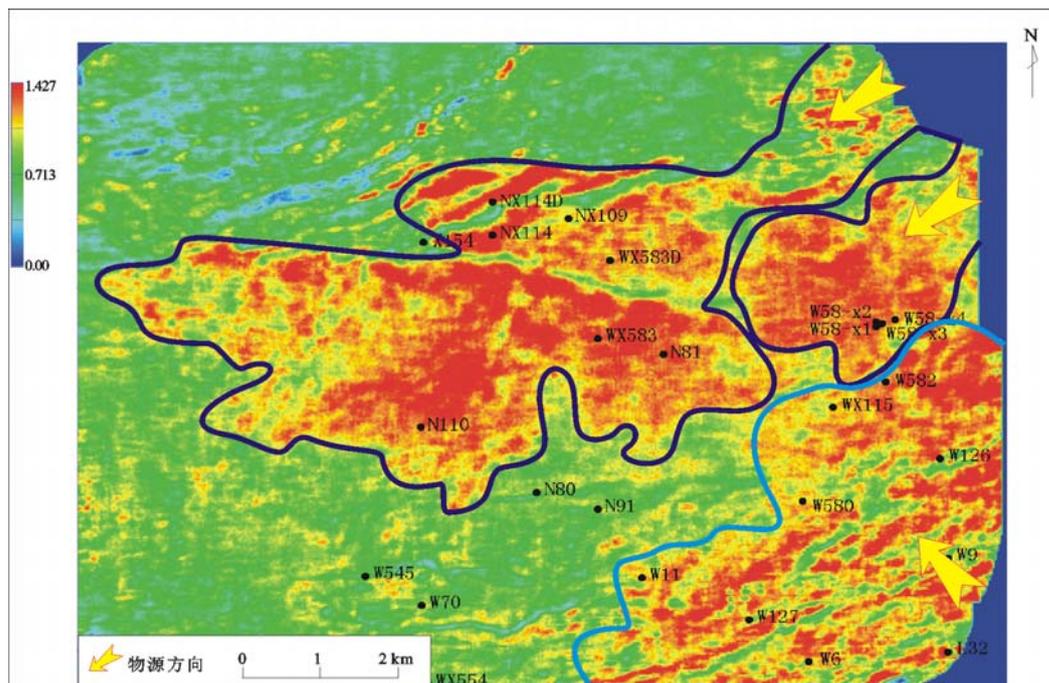


图5 渤海湾盆地东营凹陷沙四段储层多属性最佳优化结果

Fig. 5 Multiple attributes optimization results of the fourth member of Shahejie Formation in the Dongying Sag of the Bohai Bay Basin

内插的方法,其切片位置与反射同相轴更加吻合,因而更接近于等时界面,尤其在确定沿初始湖泛面向上切片才能真正刻画出沿初始湖泛面向两岸超覆退积分布的滩坝砂体形态(图4)。因此,赋予地质含义的水平切片的综合属性分析技术,不但可最大限度地识别并刻画沉积砂体的时空分布,且可证实砂体的物源方向(图5)。

### 3.3 分频解释与时频分析技术

研究表明,低频地震资料中的反射同相轴更多地反映岩性界面信息,而高频资料中的同相轴更多地反映时间界面信息。基于这一认识,采用分频解释的方法,针对不同的地质目的使用不同频段的地震数据。地震沉积学中使用的分频解释是基于地震资料的频率成分控制了地震反射同相轴的倾角和内部反射结构这一原理。一般而言,地震子波的频率越高,相应的地震资料与测井信息就吻合得越好,这就是分频解释的基本依据。因此,运用分频解释技术是地震沉积学对地震频率控制同相轴倾角和内部反射结构这一认识的一个反映。

但是,地震资料中连续的频率变化本身蕴含了丰富的地质信息,不同级别的地质层序体对应着地震剖面上的不同频率特征,仅采用分频解释方法还不能将这类信息充分利用起来,而时频分析方法恰好弥补了这一缺陷。时频分析即频率时间扫描,它通过快速傅里叶变换将时间域的地震记录转化到频率域,利用时频分析技术按不同频率进行扫描分析可以识别出由大到小的各级层序体,从而得到一些地震剖面上没有的信息。由于纵向上频率变化的方向性代表了岩性粗细的变化,所以时频分析不但可以用于地层层序解释,还可以用于划分沉积旋回和推断水体变化规律及沉积环境变化。因此在地震沉积学的研究中,分频解释与时频分析技术应结合起来使用。

## 4 结论

综上所述,基于高密度三维地震处理技术之上的对高精度等时地层格架中三维储集体的精细刻画,日益成为老区油田扩边挖潜和精细勘探的必备技术手段之一,而探索出一套适合本地区储集地质体刻画的方法体系,地震沉积学研究将是21世纪主要技术领域。随着高密度三维地震技术的进一步发展和完善,地震沉积学必将成为继地震地层学、层序地层学之后一门研究沉积地质体三维几何

形态、内部结构和沉积过程的新学科。

### 参考文献:

- Schlager Wolfgang. The future of applied sedimentary geology [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2000, 70 (1):2~9
- Knutz P C, Cartwright J. Seismic stratigraphy of the West Shetlands Drift: implications for late Neogene palaeocirculation in the Faeroe - Shetland gateway [J]. *Palaeoceanography*, 2003, (4):doi:10.1029~2002
- Posamentier, H. W. Seismic geomorphology: imaging elements of depositional systems from shelf to deep basin using 3D seismic data: implications for exploration and development[A]. In: Davies R J, Cartwright J, Stewart S A, et al, eds. *3D Seismic Technology: Application to the Exploration of Sedimentary Basins*, *Geol Soc Mem 29* [C]. London: Geol Soc Press, 2004. 11~24
- Bulat J. Some considerations on the interpretation of seabed images based on commercial 3D seismic in the Faroe - Shetland channel[J]. *Basin Res*, 2005, 17:21~42
- Neuhaus D, Borgomano J, Jauffred H-C, et al. Quantitative seismic reservoir characterization of an Oligocene-Miocene carbonate buildup: Malampaya field, Philippines[A]. In: Eberli G P, Anselmetti F S, Betzler C, et al, eds. *Seismic imaging of carbonate reservoirs and systems*, *AAPG Memoir 81*[C]. Tulsa: AAPG, 2004. 169~183
- Lamers E, Carmichael S M M. The Paleocene deepwater sandstone play West of Shetland[A]. In: Fleet A J, Boldy S A R, eds. *Petroleum Geology of Northwest Europe*[C], *Proceedings of the 5th Conference*. London: Geol Soc Press, 1999. 645~659
- Smallwood J R, Gill C E. The rise and fall of the Faroe-Shetland Basin: evidence from seismic mapping of the Balder Formation[J]. *J Geol Soc*, 2003, 159:627~630
- Morgan R. Structural controls on the positioning of submarine channels on the lower slopes of the Niger Delta[A]. In: Davies R J, Cartwright J, Stewart S A, et al, eds. *3D Seismic Technology: Application to the Exploration of Sedimentary Basins*, *Geological Society Memoir 29*[C]. London: Geol Soc Press, 2004. 45~51
- Long D, Bulat J, Stoker M S. Seabed morphology of the Faroe - Shetland Channel derived from 3D seismic datasets[A]. In: Davies R J, Cartwright J, Stewart S A, et al, eds. *3D Seismic Technology: Application to the Exploration of Sedimentary Basins*, *Geological Society Memoir 29*[C]. London: Geol Soc Press, 2004. 53~61
- Cartwright J, Huuse M. 3D seismic technology: the geological 'Hubble' [J]. *AAPG Bull*, 2005, 85:1373~1405
- Brown A R, Dahm C G, Graebner R J. A stratigraphic case history using three-dimensional seismic data in the Gulf of Thailand [J]. *Geophysical Prospecting*, 1981, 29(3):327~349
- Posamentier H W, Dorn G A, Cole M J, et al. Imaging elements of depositional systems with 3-D seismic data: a case study[A]. In: Pacht J. A, Sheriff R E, Perkins B F, eds. *Stratigraphic Analysis*[C], *GCSEPM Foundation 17th Annual Research Conference*, 1996. 213~228