

文章编号: 1001-6112(2009)04-0415-05

# 地震反演成果的沉积学解释

杨贵祥<sup>1,2</sup>, 黄捍东<sup>3,4</sup>, 高锐<sup>1</sup>, 张如伟<sup>5</sup>, 赵迪<sup>3,4</sup>

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 中国石油化工股份有限公司华东分公司, 南京 210011; 3. 油气资源与探测国家重点实验室, 中国石油大学, 北京 102249; 4. 地球探测与信息技术北京市重点实验室, 北京 102249; 5. 广州海洋地质调查局, 广州 510760)

**摘要:**在油气藏勘探和开发中, 沉积特征的研究具有重要意义, 而将地震反演技术与沉积学原理结合进行沉积特征的刻画, 是目前利用地震资料开展沉积微相研究最有效的方法。为了使反演结果贴近地下地质特征, 将地震相控概念引入非线性随机反演中, 在 CZ 凹陷 C15 井区进行探索性应用, 以地震沉积学理论为指导, 结合地震相分析, 基于高精度地震反演成果进行了沉积特征解释, 比直接在地震剖面上进行沉积描述具有更高的可靠性, 获得了比较精细的沉积微相描述。

**关键词:**地震反演; 地震相; 沉积相; 随机反演; 油气勘探开发

**中图分类号:** TE121.3

**文献标识码:** A

## SEDIMENT LOGICAL INTERPRETATION FOR SEISMIC INVERSION RESULTS

Yang Guixiang<sup>1,2</sup>, Huang Handong<sup>3,4</sup>, Gao Rui<sup>1</sup>, Zhang Ruwei<sup>5</sup>, Zhao Di<sup>3,4</sup>

(1. Institute of Geology Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. East China Branch, SINOPEC, Nanjing, Jiangsu 210011, China; 3. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 4. Key Laboratory of Earth Prospecting and Information Technology, Beijing 102249, China; 5. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou, Guangdong 510760, China)

**Abstract:** Research of sedimentary characteristics is very important in the process of reservoir exploration and development. Seismic inversion technology is combined with sedimentological principle to characterize sedimentary features, which is the most effective method to carry on sedimentary microfacies research based on seismic data. Seismic phase-controlled concept is brought into nonlinear random inversion to make inversion results approach geological features. Guided by seismic sedimentology theory, combined with seismic facies analysis technique, based on high-accuracy seismic inversion results, sedimentary features are interpreted in well area C15 of CZ depression as an exploratory application, which has higher reliability than sedimentary features characterized directly on seismic section and yields better fine sedimentary microfacies characterization.

**Key words:** seismic inversion; seismic facies; sedimentary facies; random inversion; petroleum exploration and development

近 30 年来,随着油气勘探开发的深入,为了在钻探之前更多地了解地下地层分布和岩相类型,试图从地震信息中最大限度地提取地质信息,从而促进了地震与地质两大学科间的联合,推动了相关边缘学科的发展。20 世纪 70 年代初,地震地层学出现并得到快速发展,地震相分析是地震地层学的核心<sup>[1~3]</sup>,通过解释可以将地震相转化为沉积相<sup>[4]</sup>。

1998 年曾洪流提出“地震沉积学”概念<sup>[5,6]</sup>,并将现代地球物理技术与沉积学研究结合起来进行沉积相分析。作为核心技术的地震 90°相位转换技术、地震切片技术和分频解释技术被广泛应用<sup>[7~18]</sup>,但由于受地震分辨率的限制,对厚度小于纵向分辨率的薄层,这些技术都无法做到对沉积体厚度和尖灭点的定量刻画<sup>[19]</sup>。为此,基于地震沉积学原理,

收稿日期: 2009-04-29; 修订日期: 2009-07-09。

作者简介: 杨贵祥(1963—),男,博士后,教授级高级工程师,从事石油天然气勘探方法研究与技术管理工作。E-mail: njlaoyang@126.com。

研究了能够展现沉积特征的地震相控非线性反演方法<sup>[20]</sup>,并在 CZ 凹陷利用反演成果进行了薄层的追踪解释和沉积微相的精细划分,取得了较好的应用效果,拓展了地震反演方法的应用领域,丰富和完善了地震沉积学理论。

## 1 沉积学解释方法

### 1.1 彰显沉积特征的反演方法

为了使地震反演结果更加符合实际的沉积特征,采用地震相模型约束反演,实现宏观分析与微观预测的有机结合。其优势在于不依赖于初始模型,在提高地震资料纵、横向分辨率的同时,充分考虑地下地质条件的随机特性,使反演结果更符合实际地质情况。实现过程可分地震相控外推和非线性随机反演两部分来进行。即:在地震剖面上对沉积体系进行宏观划分并确定出相界面,建立包含反演目的层段的宏观相控模型,为地震相控约束反演奠定约束条件;然后在测井资料的约束下采用非线性随机算法逐道、逐次地进行外推反演。宏观模型最好与构造解释断层、地层起伏特征结合起来<sup>[20]</sup>。

### 1.2 沉积学解释方法

利用地震反演数据进行沉积学解释的流程如图 1 所示,以地震数据为基础,建立地震相控模型与构造模型,并对测井曲线进行重构,三者共同约束进行反演,在获得比较好的反演数据的基础上,

综合地震相与测井分析,最后开展地震反演数据的沉积微相解释。

## 2 C15 井区沉积学解释

C15 井区位于 CZ 凹陷北部(图 2),在 CZ 凹陷的发育与演化过程中构造运动起了重要的控制作用,在北部陡坡带控凹大断层的作用下,地层由北向南倾,并向南抬起;构造形态呈鼻状构造。沙三段下砂砾体属于深水沉积,与当时较低的古地形相一致。物源来自北部的 CZK 凸起剥蚀的早古生代碳酸盐岩地层,与隆起古地形一致。由北而南沉积

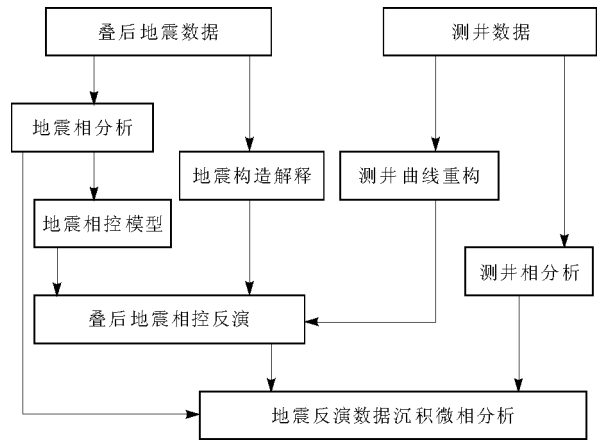


图 1 地震沉积解释流程

Fig. 1 The flow of seismic sedimentary interpretation

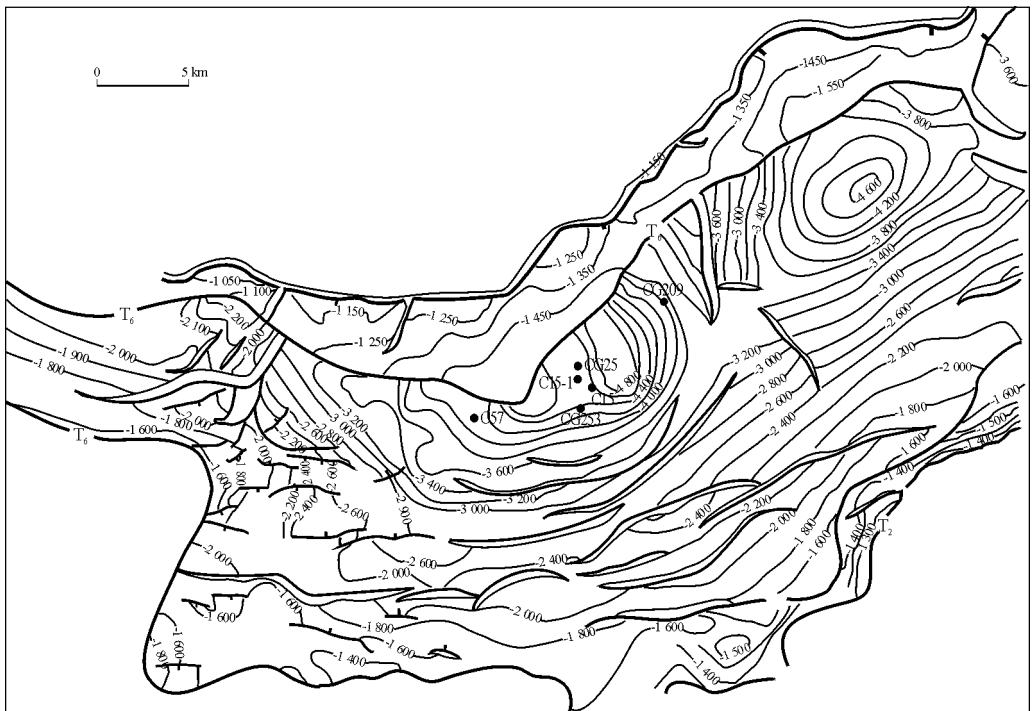


图 2 C15 井区地理位置

Fig. 2 Geographical position map of well area C15

相分布从冲积扇或扇三角洲—近岸水下扇—有根的深水浊积扇,以及有根或无根的滑塌浊积扇—深湖相变化,水体向盆中心加深。古地形分析表明,CG25 井靠近当时的 CZK 高地,向南为洼槽与低缓脊。古地形对水系与沉积具有控制作用,高地的水系流经低缓脊至洼槽,发育了主水道和浊积扇;洼槽为深湖相沉积,不发育水道。

### 2.1 地震相分析

地震相分析表明,C15-1 井区为滑塌浊积扇,C57 井区为深水浊积扇。

在 C15-1 井与 CG25 井,靠北部主边界断裂发育近岸水下扇,无红色泥岩出现。在南北向地震剖面上(图 3),这类扇呈楔状外形,内部反射结构随扇的位置不同而不同。其中,内扇为杂乱反射,中扇与外扇为前积反射、连续性较好;后者类似于三角洲前积砂体的反射特征。紧邻近岸水下扇向南,由于滑塌、碎屑流与浊流作用导致形成了滑塌浊积扇,这类扇呈发散状外形;其中,内扇为弱或空白或块状反射,中扇与外扇为发散、亚平行的连续

反射。此外在 CG25 井沙三下底部以下,即沙四段沉积末期,靠近北部主断裂发育扇三角洲;最明显的特征是出现了红色泥岩与大量的泥石流。红色泥岩反映了水体非常浅或 80% 以上的时间暴露在空气中的现象。

### 2.2 连井沉积微相特征

图 4 示出了南北向沉积相连井剖面,它代表了

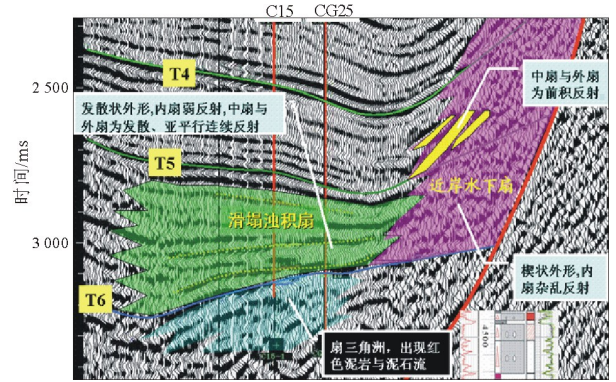


图 3 顺水流方向地震剖面

Fig. 3 Seismic section in the direction of water flow

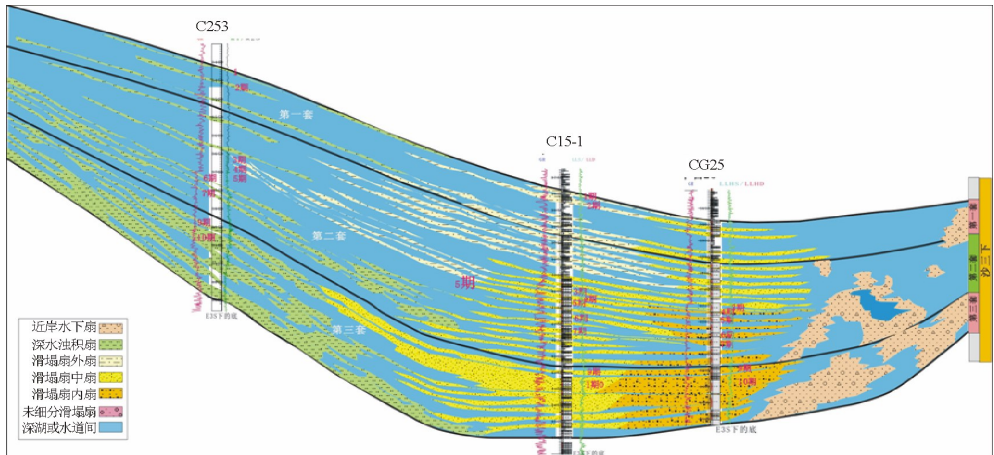


图 4 近南北向过 C253—CG25 连井沉积相

Fig. 4 Connecting-well sedimentary facies across C253—CG25 in the direction of near NS

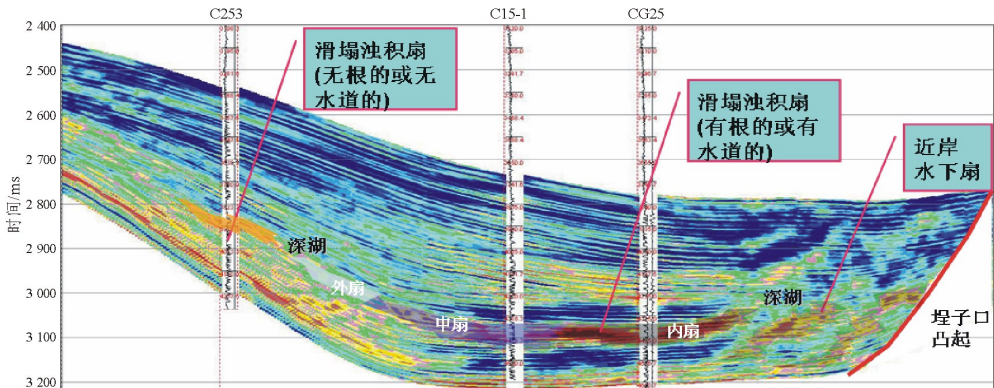


图 5 近南北向过 C253—CG25 反演剖面及第 10 层沉积解释

Fig. 5 Inversion section across C253—CG25 in the direction of near NS and sedimentary interpretation of the 10th layer



顺水道方向的剖面,展示了连井剖面的不同成因砂的分布、富集与变化特征。在 CG25 井—C15-1 井一带发育滑塌浊积扇,CG25 井主要为内扇,表现为厚的水道砂砾岩夹薄泥;C15-1 井为中扇,出现砂砾夹泥、砂砾泥互层;在 C253 井则演变为深水浊积扇,粒度更细,呈现“泥包砂”特征。这两类扇为深湖相隔开。由北而南,从 CG25 到 C253 井,沉积相由滑塌浊积扇由北而南推进,产生进积,向湖盆中心为深水浊积扇,这暗示物源来自北部。

纵向上,湖水加深导致退积沉积,如 C15-1 井

由下而上自老至新从中扇—外扇—深湖相变化,产生退积(图 4)。

反演结果与沉积相对比剖面非常吻合(图 5),由北而南分布近岸水下扇、滑塌扇、深水扇,扇的形态、进积与退积现象清晰可见。

图 6a 给出了东西向沉积相连井剖面,它代表了横切水道方向的剖面。滑塌扇与深水扇均成孤立状并侧向尖灭,均被深湖相隔开、互不相连。这说明在 CG209、CG25 和 C57 井区各自存在独立的水道体系。同样地,纵向上湖水加深也产生了退积沉积。

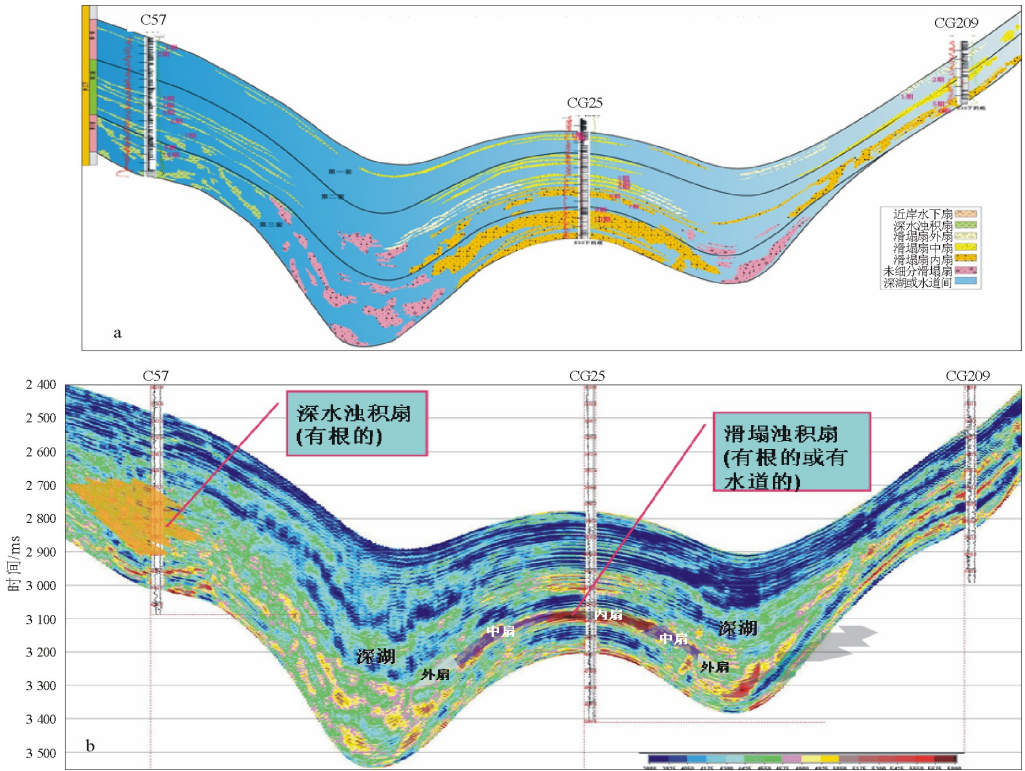


图 6 近东西向过 C57—CG25—CG209 连井沉积相及反演剖面

Fig. 6 Connecting-well sedimentary facies and inversion section across C57—CG25—CG209 in the direction of near EW

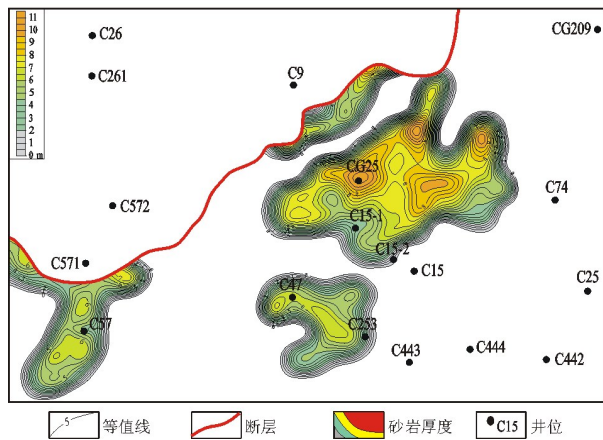


图 7 第 9 号砂层平面等厚度

Fig. 7 Thickness contour map for the 9th layer of sandstone

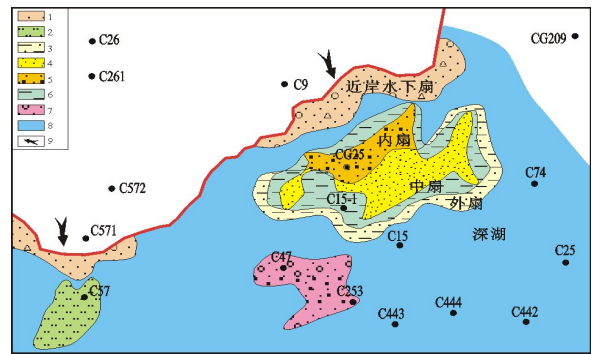


图 8 第 9 号砂层平面沉积相

1. 近岸水下扇; 2. 深水浊积扇; 3. 外扇; 4. 中扇水道;
5. 内扇水道; 6. 水道间; 7. 未细分滑塌扇; 8. 深湖泥岩; 9. 物源方向

Fig. 8 Sedimentary facies contour map for the 9th layer of sandstone

同样,反演结果与沉积相对比剖面非常吻合(图6b),东西向分布孤立的滑塌浊积扇、深水浊积扇,扇的形态、退积现象清晰可见。

### 2.3 沉积相平面分析

在高分辨率反演成果的基础上,结合地质与测井资料,对每期储层进行精细解释,获得其平面展布特征,可以得到精细的沉积相平面图。图7为第9期砂层的平面特征图,图8为对应的沉积微相平面图,从图中可以看出,近岸水下扇面积扩大很多,仍具有“深湖包扇”格局,物源依然来自北部。C15-1块的有根滑塌浊积扇最发育、面积最大,内扇与中扇均发育;无根滑塌浊积扇基本消失;水道4支合并,向南呈现出裙边分叉(图8),宽度非常大,水道最发育;C57深水浊积扇也有所扩大。同样,CG209一线无沉积。此外CG25的孔隙度(0.69%)要比C15-1(1.08%)低。

## 3 结论

1)利用地震相控非线性反演技术获得的高精度和高分辨率的反演结果,能够清晰的展示沉积特征,容易进行解释和追踪分析,为认识复杂岩性和研究沉积微相提供了重要的基础数据。

2)在CZ凹陷沙四段利用高精度的反演剖面,结合地震相和岩心资料,对砾岩体油藏进行了连井沉积相解释和微相的划分,发现了多个有利的岩性圈闭,与实际钻井资料吻合。成功地实践了地震沉积学理论,实现了地震反演结果的沉积学解释。

3)以地震沉积学理论为指导,将先进的地震反演技术用于沉积特征研究必将在油气藏勘探和开发过程中发挥越来越重要的作用。多学科、多种资料的有机结合是研究沉积特征的有利手段和主流发展方向。

### 参考文献:

- 1 Vail P R, Mitehum Jr R M. Seismic stratigraphy and global changes in Sea level, Part 1: overview[A]. In: Payton C E, ed. Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration, AAPG Memoir 26[C]. Tulsa: AAPG, 1977. 51~212
- 2 Sangree J B, Widmier J M. Interpretation of depositional facies

- from seismic data[J]. Geophysics, 1979, 44(2): 131~160
- 3 吴因业, 顾家裕. 从层序地层学到地震沉积学: 全国第5届油气层序地层学大会综述[J]. 石油实验地质, 2008, 30(3): 217~220
- 4 施泽进, 田亚铭, 韩小俊等. 川东南地区下古生界地震相特征及意义[J]. 石油实验地质, 2009, 31(1): 31~35, 39
- 5 Zeng Hongliu, Henry Stephen C, Riola John P. Stratal slicing, part II: Real 3-D seismic data[J]. Geophysics, 1998, 63(2): 514~522
- 6 Zeng Hongliu, Ambrose William A. Seismic sedimentology and regional depositional systems in Miocene Norte, Lake Maracaibo, Venezuela[J]. The Leading Edge, 2001, 20(11): 1260~1269
- 7 陆永潮, 杜学斌. 油气精细勘探的主要方法体系: 地震沉积学研究[J]. 石油实验地质, 2008, 30(1): 1~5
- 8 才巨宏. 综合应用波形分析及地震特征反演技术预测滩坝砂岩——以博兴洼陷梁108地区为例[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(3): 42~44
- 9 赵铭海. 常用叠后波阻抗反演技术评析[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(1): 36~38
- 10 毛凤鸣, 陈安定, 严元锋等. 苏北盆地复杂小断块油气成藏特征及地震识别技术[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 827~840
- 11 王正和, 蒋能春, 吕其彪. 地震沉积学概念、方法及其应用研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2008, 10(3): 52~54
- 12 焦志峰, 杨占龙. 地震信息多参数综合分析 with 岩性圈闭评价[J]. 石油实验地质, 2008, 30(4): 408~413
- 13 王军, 张金伟, 董臣强. 准噶尔盆地排2井区岩性油藏的地震正演模拟[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(4): 43~44, 48
- 14 刘军, 李玉君. 地震信息在油田开发中后期沉积微相随机建模中的应用——以辽河油田东部凹陷龙10块沙三段下亚段为例[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(1): 60~62
- 15 范洪军, 李军, 肖毓祥等. 地震分频技术在扇三角洲演化过程研究中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 682~686, 692
- 16 董春梅, 张宪国, 林承焰. 地震沉积学的概念、方法和技术[J]. 沉积学报, 2006, 24(5): 698~703
- 17 赖生华, 蒲秀刚. 沉积相地震波波形响应特征研究[J]. 石油实验地质, 2008, 30(4): 400~404
- 18 马立权, 何增国. 地球物理技术在河道砂体描述中的应用——以济阳拗陷埕东凸起北坡馆陶组为例[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2): 78~80
- 19 贺振华, 黄德济, 胡光岷. 复杂油气藏地震波场特征方法理论及应用[M]. 成都: 四川科技出版社, 1999
- 20 黄捍东, 罗群, 付艳等. 地震相控非线性随机反演研究与应用[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(6): 694~698

(编辑 徐文明)