

# 罗家地区高密度三维地震勘探实例

蔡希源<sup>\*①</sup> 韩文功<sup>②</sup> 于 静<sup>②</sup> 石林光<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>中国石油化工集团公司,北京 100728; <sup>②</sup>中国石化胜利石油管理局,山东东营 257100)

蔡希源,韩文功,于静,石林光. 罗家地区高密度三维地震勘探实例. 石油地球物理勘探,2011,46(2):182~186

**摘要** 随着近年地震勘探装备技术的提高,以高空间采样率为显著特征的高密度地震勘探技术取得了重大进展。本文介绍的胜利油田罗家地区陆上高密度三维地震采集试验,首次进行了超万道、全数字、单点、三分量高密度三维地震采集。在区域噪声特征分析的基础上,采用束状正交集中式对称观测系统,提高了采集数据的连续性和均匀性;施工前采用多种手段进行详细的表层结构调查,建立了精细表层结构模型;采集作业中,在改进检波器耦合条件的同时,强化了试验资料和施工记录的现场监控处理分析,获得了高品质的高密度多波资料,探索并形成了高效的高密度超万道地震数据采集组织管理模式。

**关键词** 高密度三维地震 数据采集 数字检波器 单点接收 表层调查

中图分类号:P631 文献标识码:A

## 1 工区概况

罗家地区为油田开发区,有诸多油矿设施。其地表广泛分布黄河三角洲冲积区一种常见的人工特殊地貌——台田,即挖土为沟排碱、筑土成台种田,台顶与沟底高差 3~5m,地表、近地表结构变化复杂。该区地下古近系油气资源富集而复杂;油藏类型多样,主要有生物灰岩油藏、复杂断块油藏及复杂岩性油藏等。无论从地表条件、地质条件,还是勘探开发需求,该区都具有代表性,因此,2008 年选择罗家地区开展了陆地高密度三维地震勘探数据采集试验。

## 2 高密度三维地震采集

基于 MEMS 数字检波器单点接收的高密度地

震采集,其核心是实现地震波场(含反射信号和噪声)的完全、精确采样和对弱信号的保护,即做到对信号和大部分规则噪声(特别是短波长噪声)的充分采样。野外采集要改善检波器耦合条件,强化激发质量控制和噪声监控,保护高频弱信号,确保野外物理点位的准确,从而保证获得高精度的高空间采样密度数据。

### 2.1 干扰波调查

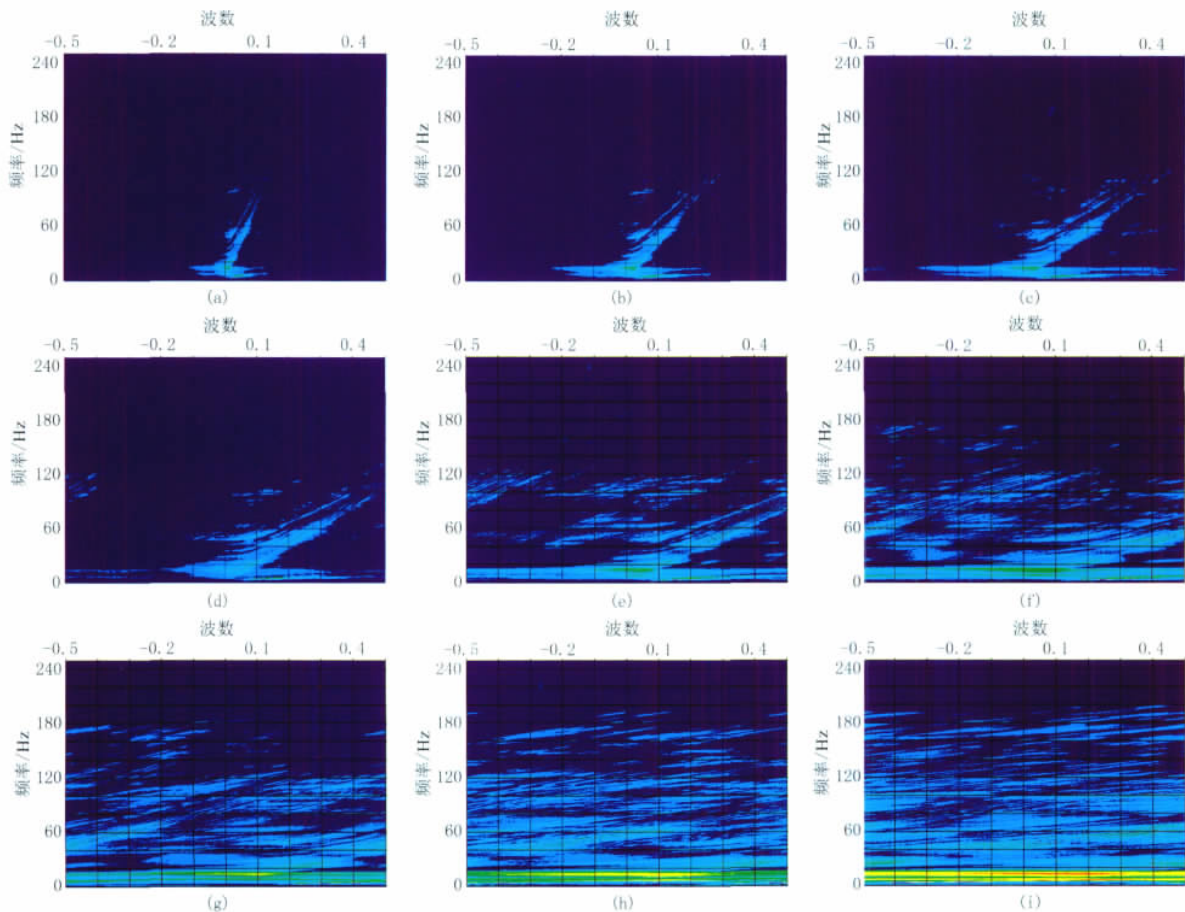
为了调查和研究该区干扰波特征,对试验区的干扰波进行了详细的调查。利用方形排列调查数据,对面波、抽油机、仪器车、浅层折射波等固定干扰进行了详细分析,力求获得有关这些干扰波的视速度、视频率、视波长和方向等特征参数(表 1);同时对短波长干扰波的空间假频和波场连续性进行了分析(图 1)。干扰波的调查与分析为采集参数的选择和压噪方案的制订提供了科学依据。

表 1 几种固定干扰的特征参数

干扰波类型	视速度/(m·s <sup>-1</sup> )	主频/Hz	频宽/Hz	视波长/m	主频视波长/m	发育方向
面波	199~396	3.5	1~10	20~400	57~113	震源
抽油机干扰	150	10	7~17	9~21	15	排列东南
仪器发电机 震动干扰	125	45	15~120	1~8	2.8	排列西南
浅层折射波	1700~2000	35	0~100		48~57	

\*北京市朝阳区朝阳门北大街 22 号中国石油化工集团公司,100728。Email:caixiyuan@sinopec.com.cn

本文于 2010 年 5 月 31 日收到,最终修改稿于同年 12 月 28 日收到。

图 1 不同接收点距的  $F-K$  谱

(a)2m; (b)4m; (c)6m; (d)8m; (e)10m; (f)16m; (g)20m; (h)30m; (i)40m

## 2.2 近地表建模

综合利用岩性取心、岩性探测、双井微测井、单井微测井、横波微测井及小折射等表层调查方法,对试验区低、降速带厚度及岩性变化情况做了细致的调查;采用密度为  $1\text{km} \times 1\text{km}$  的测网,建立了精确的近地表结构模型(图 2),为激发岩性选择和近地表校正提供了基础数据。通过精心选点、精细施工、精确解释,确保了表层调查数据的可靠性。对试验区激发参数采取逐点设计,有效地控制了激发岩性,最终保证了地震采集数据的质量。

## 2.3 采集方案

高密度三维观测系统要满足充分采样、对称采样和密集采样要求;要注意保护弱信号和保证高空间采样的精度。考虑高密度采集的特殊性,除常规观测系统设计应考虑的原则外,还应考虑以下因素:

(1)噪声与信号特征的认识和分析 充分发挥高密度数据体信息充分的优势;高密度地震数据信

噪比低、易于区分反射信号和各种噪声,因此观测系统设计要充分考虑去噪技术对数据的基本要求和特殊要求。

(2)室内组合 单点采集是用室内组合取代野外组合。考虑室内组合的特殊性,观测系统设计要考虑高密度地震数据的处理流程和特殊性。

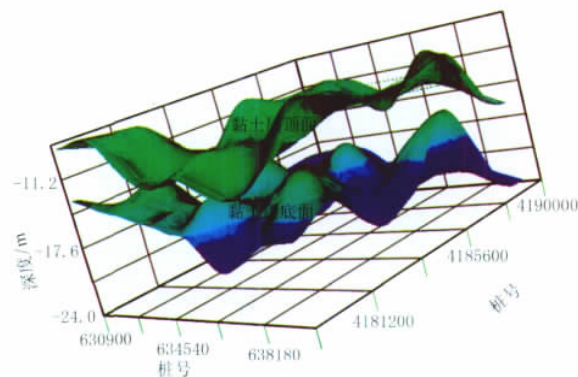


图 2 全区黏土层顶界面与底界面三维模型

(3)防止空间假频 高密度采集是对地震波场进行充分采集,不仅包括对有效信息进行充分采集,同时对噪声信息也应进行完全采集,因此对观测系统的道距等参数的设计须在常规观测系统设计基础上充分考虑避免面波等干扰波产生假频。

在综合考虑以上因素的基础上,设计出如下观测系统参数:

观测系统形式 28L10S400T

单线接收道数 400

道距 12.5m

覆盖次数 140

横向炮点距 25m

最大炮检距 3079.18m

最大非纵距 1806.25m

束线距 250m

排列形式 2493.75-6.25-0-6.25-2493.75

总道数  $400 \times 28 = 11200$

CMP 面元网格  $6.25\text{m} \times 6.25\text{m}$

接收线距 125m

纵向炮线距 125m

最小炮检距 6.25m

纵横比 0.724

每次滚动排列数 2 条

采集因素具有以下主要特点:①超万道、高密度采集,满足密集采样、连续采样、波场连续和对称采样的要求;②单点全数字三分量采集,检波器类型:DSU3,宽频带( $0 \sim 800\text{Hz}$ ),高灵敏度、幅频响应平直、大动态范围( $0 \sim 120\text{dB}$ )确保记录到弱小信号,24 位 A/D 转换录制弱小信号,多分量信息记录;③观测系统属性较好,炮检距的分布适合主要目的层深度( $800 \sim 2500\text{m}$ )的要求(图 3),方位角较宽,对称性较好,有利于地震数据的处理。

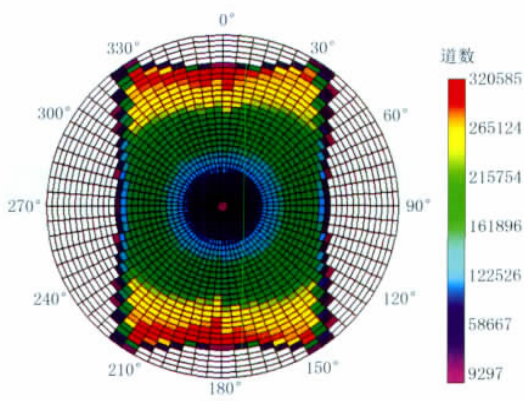
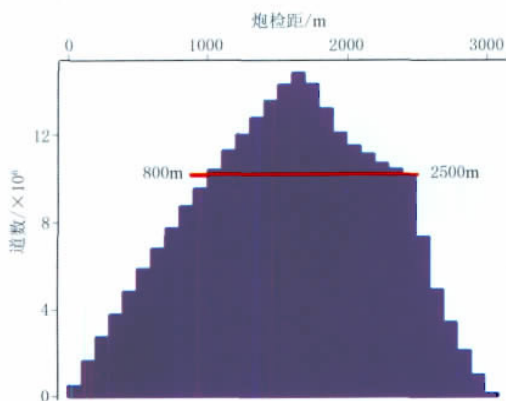


图 3 观测系统中不同炮检距(左)与方位角(右)分布图

## 2.4 野外质量控制措施

高密度地震勘探技术特点决定了野外采集作业的控制重点表现在:点位布设的均匀性、信号噪声记录的充分性、激发因素的一致性、检波器埋置方式的统一性、点位测量成果数据的准确性、采集装备的高效性。

在测量工序,采取“三个提前、多次重复”的工作方法,提前踏勘、提前设计、提前加密、多次重复测量,对所有物理点进行“二次定位”,确保物理点位的精确。

在激发阶段,利用“精细表层调查、全面的激发因素试验、逐点井深设计”等手段确保最优的激发效果。在野外施工过程中,不断摸索保证检波器耦合效果的方法,并确保其方向性。

## 3 资料效果分析

### 3.1 与老资料对比

图 4 是该区以往(1990 年采集)三维地震资料与本次高密度三维地震资料(三分量单检波器 Z 分量)单炮记录的对比。由于高密度采集资料是单点数字检波器接收,老资料为组合模拟检波器接收,老资料单炮记录的信噪比高于高密度单点接收数据,但高密度采集单炮资料比老单炮资料有明显的频率优势。在目的层  $1600 \sim 2200\text{ms}$  处,频带宽度由  $5 \sim 65\text{Hz}$  扩展到  $0 \sim 120\text{Hz}$ ,主频得到有效提高,为后续地震数据处理提供了良好的原始资料。

图5是偏移剖面的对比,新采集的高密度地震



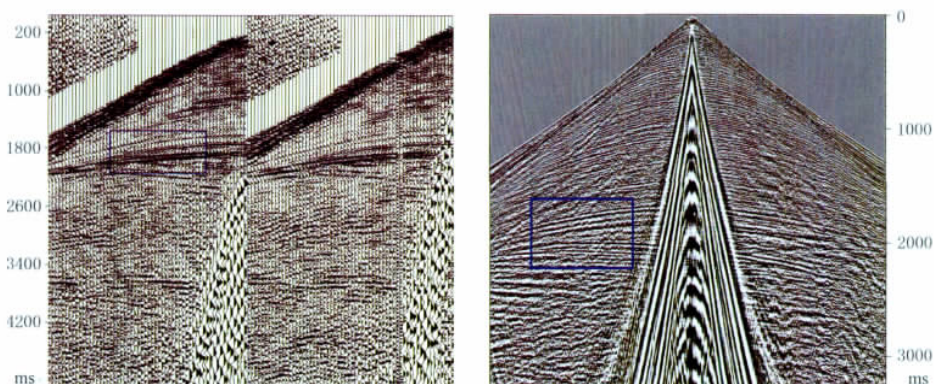


图 4 老资料单炮(左)与高密度采集数据单炮 Z 分量(右)对比

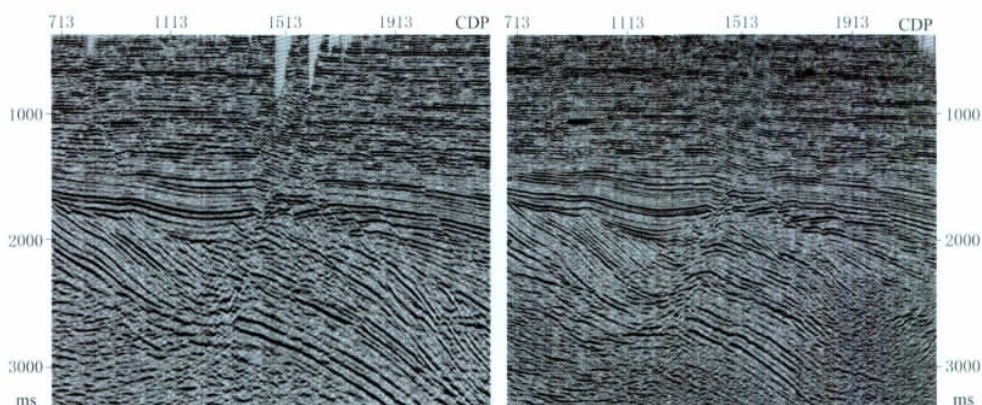


图 5 老资料剖面(左)与高密度地震剖面(右)的对比

剖面在横向分辨率上有大幅度提高,一些小断层和断块得到了清晰的刻画;在纵向分辨率上也有大幅度改善,层间信息丰富、地层接触关系更加清楚。

### 3.2 模拟检波器与数字检波器资料对比

为了对比数字检波器与常规模拟检波器的采集

效果,在本区第 4 束线上共用激发点、同时采用模拟检波器和数字检波器进行数据采集,保证激发地震子波的一致性,以便单因素反映两种检波器的不同接收效果。

图 6 是模拟检波器与数字检波器 Z 分量单炮记

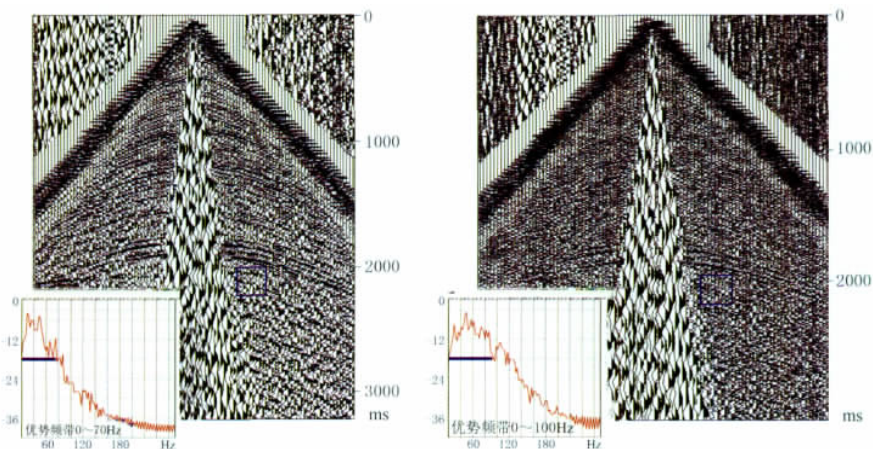


图 6 模拟检波器(左)与数字检波器(右)单炮资料对比

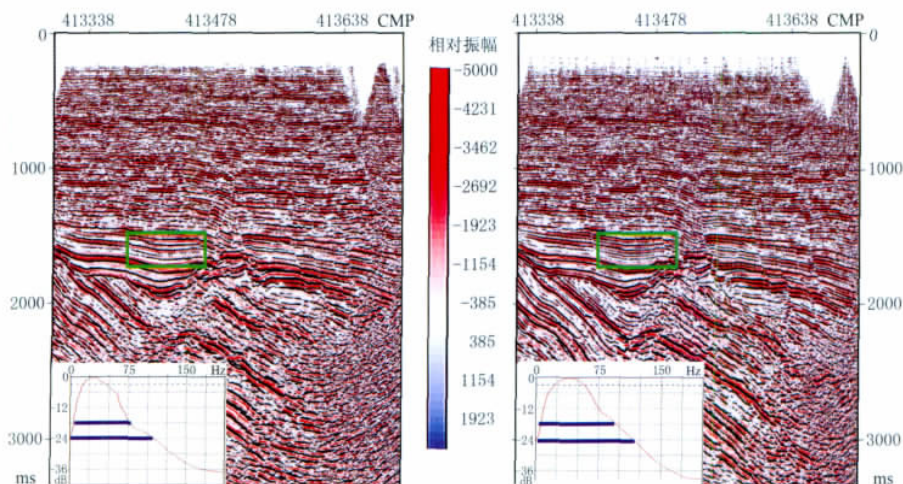


图7 常规模拟检波器剖面(左)与数字检波器剖面(右)对比

录的对比,可见野外采用模拟检波器组合接收的常规单炮资料面波压制效果好于数字单点接收的单炮记录,但数字检波器采集的地震资料有明显的频率优势,如 1900~2100ms 段数字检波器单炮资料较模拟检波器单炮资料优势频带拓宽了 30Hz。

图7为偏移剖面效果对比,显示数字检波器所得剖面上断点清晰,层间信息更加丰富。

#### 4 认识

罗家高密度三维地震采集试验是目前世界上最大的陆地井炮高密度地震数据采集项目,获得了内容丰富的高品质原始地震资料。分析后期地震数据处理剖面,经与老资料及同源激发模拟检波器采集数据的对比,基于 MEMS 数字检波器的高密度三维数据的纵、横向分辨率及保真度均有明显提高,表明高密度三维地震勘探技术具有巨大优势。同时,基于数字检波器的高密度三维地震勘探也是一项庞大的系统工程,在项目实施过程中还有诸多问题有待进一步探索和完善。

感谢中国石油化工有限公司油田部、科技部、胜利石油管理局、CGG 公司等单位及其专家的支持和帮助。

#### 参考文献

- [1] 李庆忠. 走向精确勘探的道路——高分辨率地震勘探系统工程剖析. 北京:石油工业出版社,1994
- [2] 谢里夫,吉尔达特著;初英等译. 勘探地震学(第二版),北京:石油工业出版社,1999
- [3] 俞寿朋. 高分辨率地震勘探. 北京:石油工业出版社,1993
- [4] 杨云岭,韩文功. 胜利油区高分辨率地震勘探技术与实践. 北京:石油工业出版社,2002
- [5] 李庆忠,地震高分辨率勘探中的误区与对策,石油地球物理勘探,1997,32(6):751~783  
Li Qing-zhong. Some mistaken concepts in high resolution seismic exploration and the corresponding countermeasures, OGP, 1997, 32(6): 751~783
- [6] 蔡希玲,刘学伟,勾丽敏. 地震采样波场的空间连续性分析方法. 石油地球物理勘探,2007,42(4):370~379  
Cai Xi-ling, Liu Xue-wei, Gou Li-min. Analytic approaches for spatial continuity of seismic sampled wave field. OGP, 2007, 42(4): 370~379

(本文编辑:朱汉东)

phase wavelet, stack correlation coefficient

1. Acquisition Technique Support Department, BGP Inc, Zhuozhou, Hebei, 072751, China,

**A high density 3D seismic acquisition case in Luojia area.** Cai Xi-yuan<sup>1</sup>, Han Wen-gong<sup>2</sup>, Yu Jing<sup>2</sup>, and Shi Lin-guang<sup>2</sup>. *OGP*, 2011, 46(2):182~186

With the advance in both field equipment and seismic technology, significant progress of HD (high density) seismic acquisition has been made in recent years. In 2008, Shengli Oil Field of Sinopec has conducted a land HD seismic acquisition in Luojia area. This was the first HD acquisition with over 10,000 live channels of 3C digital sensors in China. We adopted single-receiving technique that means that a single 3C sensor was planted at each receiver point. Based on noise characteristics analysis in the working area, a centralized swath orthogonal symmetric geometry was used. This geometry improves continuity and uniformity of seismic events. Many methods were used to investigate near surface structures. Some minor near surface structure models were built. In field acquisition, receiver coupling was improved and data quality control was monitored by on-site processing. So high quality 3C data were acquired. At the same time, an efficient field operation procedure for large-live-channel-count survey was developed.

**Key words:** high density 3D seismic, seismic data acquisition, digital sensor, single-receiving, near surface investigation

1. China Petroleum & Chemical Corporation, Beijing, 100728, China

2. Shengli Oilfield of Sinopec, Dongying, Shandong, 257100, China

**Numerical simulation of three-component elastic wavefield in 2D TTI media in the condition of the combined boundary.** Du Qi-zhen<sup>1</sup>, Sun Rui-yan<sup>1</sup>, and Zhang Qiang<sup>2</sup>. *OGP*, 2011, 46(2):187~195

In this work, based on the rotated staggered grid high-order finite-difference schemes of the first-order velocity-stress elastic wave equation, three-component elastic wavefield in the 2D TTI

(Tilted Transverse Isotropy) media is simulated after combining NPML (Non-splitting Perfect Match Layers) absorption condition and the free-surface boundary condition. The snapshot and synthetic records illustrate: 1. The NPML absorption condition can efficiently attenuate near-surface incidence waves and evanescent waves; 2. Comparison with the NPML absorption condition, the combined boundary conditions not only attenuate boundary reflections, but also accurately simulate free-surface situation and obtain full waves seismic data. Among these waves, PS converted wave as a special phenomenon provide useful information for the near surface structure investigation and multi-wave wavefield analysis; 3. Rayleigh surface wave and surface multiples generated in the free-surface boundary have an important influence on seismic imaging, thus the free surface condition should be taken account in seismic data processing. The simulation results indicate the numerical simulation of elastic wavefield in the 2D TTI media based on the combined boundary conditions is feasible and valid.

**Key words:** finite-difference scheme; rotated staggered grid; NPML (Non-splitting Perfect Match Layers) absorption condition; free-surface boundary condition; combined boundary conditions; TTI (Tilted Transverse Isotropy) media; first-order velocity-stress elastic wave equation; wavefield; numerical simulation

1. College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257061, China

2. Geological Science Academy of Shengli Oilfield, Sinopec, Dongying, Shandong, 257015, China

**Kinematic forward modeling based on block-model for crosswell seismic.** Li Hui-feng<sup>1</sup>, Wang Yan-jun<sup>1</sup> and Fan Ting-en<sup>2</sup>. *OGP*, 2011, 46(2):196~201

In forward modeling methods of surface seismic, only upgoing reflection waves were considered, and the information such as transmission wave, interlayer direct wave and downgoing wave were not involved. Furthermore, these methods are only suitable for simple layered model while it can-