

# 基于纯地震信息的砂体预测及流体检测

郝诚<sup>1</sup>, 施泽进<sup>2</sup>, 王长城<sup>1</sup>, 李益<sup>3</sup>

1. 成都理工大学能源学院, 成都 610059
2. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610059
3. 华油天然气股份有限公司, 成都 610100

**摘要** 针对河道砂体横向变化较快的非均质性特点,通过对低频信息保存较好的地震纯波进行信息挖潜,提取纯地震振幅信息以及相对阻抗反演进行河道砂体预测,利用地震低频增量属性对流体进行预测,有效解决了河道砂体横向变化较快的横向非均质性难题。通过河道砂体及流体检测结果,进行井位部署的优选,提供建议井5口,其中4口获得高产,研究结果可以作为油田生产井位部署的主要依据,此研究方法可以在类似地质条件区块中加以推广应用。

**关键词** 河道沉积;地震纯波;振幅信息;相对阻抗;低频增量

**中图分类号** TE122

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.11.004

## Sand body and fluid prediction based on pure seismic information

XI Cheng<sup>1</sup>, SHI Zejin<sup>2</sup>, WANG Changcheng<sup>1</sup>, LI Yi<sup>3</sup>

1. College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China
2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China
3. China Natural Gas Co., Ltd., Chengdu 610100, China

**Abstract** According to the characteristics of the lateral heterogeneity geological changes of channel sand body, this article uses the pure seismic information, in which low frequency information is well preserved, to predict the sand body and fluid by extracting pure seismic amplitude information by doing relative impedance inversion and using the low-frequency incremental attribute. According to the prediction results of sand body and fluid, well location optimization can be performed. Five wells were suggested and four of them had high yields. The research result can be used as a basis for the next step of the production of the oil field well deployment, and it also can be popularized in similar geological conditions blocks.

**Keywords** within-channel deposit; seismic pure wave; amplitude information; relative impedance; low frequency increment

储层地震预测主要以地震信息为主要依据,综合利用地质、测井、岩石物理等信息作为约束条件,对油气储层的岩性、形态、物性和含油气性进行预测<sup>[1-3]</sup>。地震反演已经成为油气勘探中储层预测的主导技术,并且在大多数地区取得了较好的效果。目前进行砂体预测多数采用测井曲线进行约束反演,该方法的优势在于井点处的反演效果较为理想,与实钻结果高度吻合,但由于测井曲线的横向插值影响,会导致部分无井的区域反演结果过于模型化或线性化,不符合横向变化较快的河道沉积特征。本文主要以纯地震信息为主,

通过提取地震振幅属性、相对阻抗反演(无井约束)及地震频率域的低频增量属性综合识别有利勘探区域,而测井相关资料(测井曲线、录井岩性及试油气数据)主要用来后续的验证工作。

研究区块位于川南大塔场地区,主要目的层为侏罗系沙溪庙组一段,研究区沙溪庙组主要以多期河道叠置发育为主。目前研究区钻井较多,已经进入后期开发阶段,近几轮井位钻探均未取得较好的效果<sup>[4,5]</sup>。因此,如何精细刻画各期河道的平面展布成为亟待解决的问题。

收稿日期:2014-12-12;修回日期:2015-03-18

基金项目:国家自然科学基金项目(41204091)

作者简介:郝诚,博士研究生,研究方向为储层预测及流体检测,电子信箱:flyingxc82@163.com

引用格式:郝诚,施泽进,王长城,等.基于纯地震信息的砂体预测及流体检测[J].科技导报,2015,33(11):29-33.

本文利用纯地震信息进行砂体的空间刻画,在砂体中预测含气性有利甜点区域<sup>[6]</sup>,研究思想主要体现为由“面”及“点”的逐步推进过程。

### 1 地震振幅属性提取

地震数据中所包含的几何学、运动学、动力学及统计学特征称为地震属性<sup>[7]</sup>。国际上统一采用“地震属性”一词,在此之前,一般称为地震信息、地震参数、地震特征等<sup>[8]</sup>。

进行振幅属性提取之前,首先进行精细的时深标定,确保每套砂体在地震剖面上的准确位置,只有这样才能进行砂体的地震反射特征总结,为后续的振幅属性提取提供理论依据。图1为研究区某井的时深标定图,目的层内两套砂体(黄色阴影部分)的地震反射特征均表现为砂岩的顶部为波谷反射,底部为波峰反射。

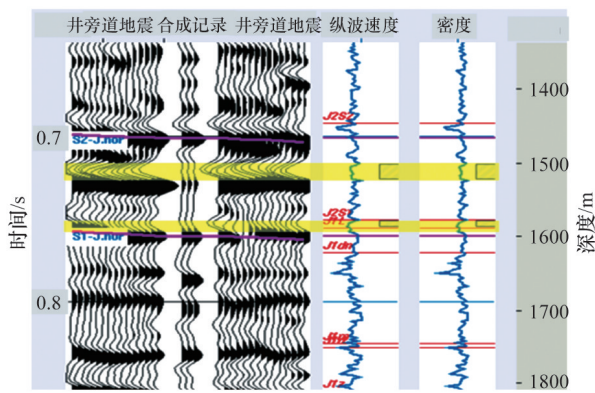


图1 研究区典型井时深标定

Fig. 1 Correlation sketch map of a typical well in the studied area

图2为研究区过多口钻井的连井地震剖面A,从剖面中可以看到,研究区沙一段的砂体在纵向上总共发育3套,从上至下分别为A砂体、B砂体及C砂体,其中在构造高部位位置主要发育第一套砂体A砂体,而在构造低部位3套砂体均有一定的发育。砂体的反射特征具有相似特点,即砂体的顶部为波谷反射,底部为波峰反射。图3中的砂体也具有相似的地震反射特征。因此,提取目的层各小层的最大波谷属性进行砂体预测。

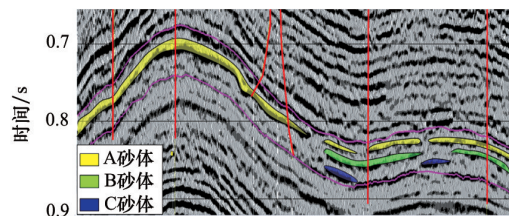


图2 过研究区多口钻井的连井地震剖面A

Fig. 2 Seismic line A across some wells in the studied area

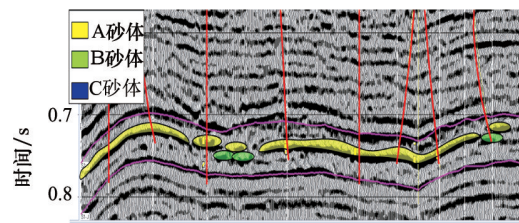


图3 研究区过多口钻井的连井地震剖面B

Fig. 3 Seismic line B across some wells in the studied area

图4为沙溪庙组一段C砂体平面图,沙溪庙组一段最下部的C砂体主要发育在工区中、东部,河道呈北东—南西向展布。C砂体全区发育程度有限,目前钻遇到C砂体的井揭示此套砂体含气性较差。

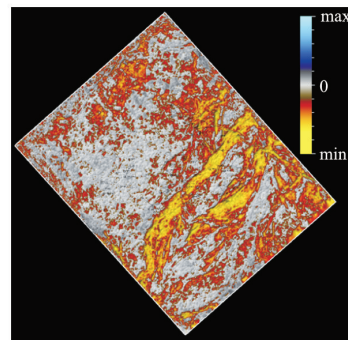
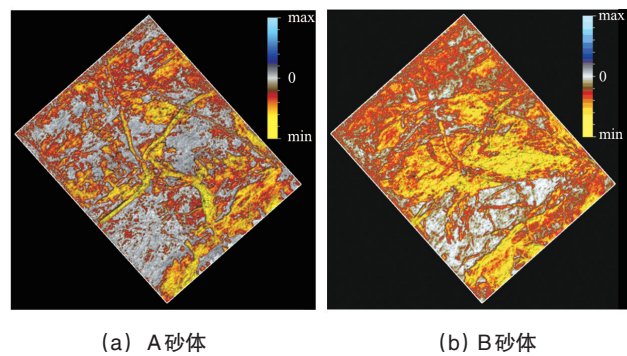


图4 沙溪庙组一段C砂体最大波谷平面

Fig. 4 Map of C sand body of formation Shaximiao (maximum trough map)

从图5可看出,沙溪庙组一段中部的B砂体全区发育,砂体连片性较好,只有在南部的三角区域砂体欠发育;沙溪庙组一段最上部的A砂体主要为三条河道沉积,研究区中部发育北东—南西向及北西—南东向的两条相交河道,研究区的东部地区发育一条北东—南西向河道。目前研究区的多口钻井揭示A砂体及B砂体含气性较好,为研究区的主力产层段。



(a) A砂体

(b) B砂体

图5 沙溪庙组一段A砂体、B砂体最大波谷平面

Fig. 5 Map of B sand and A sand body of formation Shaximiao (maximum trough map)

## 2 相对阻抗反演

相对阻抗反演是利用地震资料进行的无井约束反演技术<sup>[9]</sup>,通过对地震道积分得到地层的相对速度剖面进行地层分析。相对阻抗是从地震道的积分函数直接转换出关于地层速度信息,即道积分曲线的方法。道积分曲线类似于伪速度测井结果,但不像伪速度测井那样依赖于井的信息和计算结果要对应于地层波阻抗。

在实际处理中,相对阻抗不需要做任何假设,也不需要其他边界条件,只需要对地震资料进行积分。相对阻抗是一种简单的无约束地震反演,具有计算简单、无人参与等优点,实现简单,处理速度快,是纯地震信息的直接反演结果。处理结果的分辨率受地震频带宽度的影响,地震频带宽度愈宽,处理结果的分辨率愈高。

图6和图7分别为过研究区已钻井的相对阻抗反演剖面,从剖面中可以清晰地看到,沙溪庙组一段纵向上的3套砂体均能较好地进行识别,由于本次采用的地震是进行低频保留后的纯波数据,相应的地震频谱带宽较大,因此满足研究区的地质研究任务。

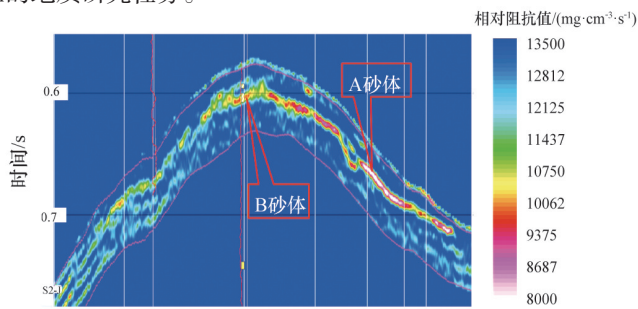


图6 过研究区A井—B井相对阻抗反演剖面

Fig. 6 Relative impedance line across well A and well B

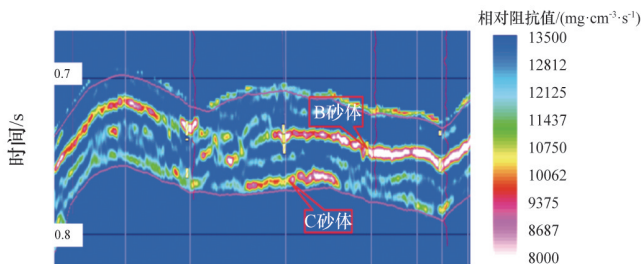


图7 过研究区C井—D井—E井—F井相对阻抗反演剖面

Fig. 7 Relative impedance line across wells C, D, E, F

进行相对阻抗反演后,可以把各井点处的相对阻抗属性值以曲线形式存取出来,便于后续门槛值确定。图8为相对阻抗属性值与声波时差曲线的交汇图,红色样点为砂岩样本,浅蓝色样点为泥岩样本。交汇图显示,声波时差曲线(横坐标)无法进行砂泥岩识别,即进行传统的声波测井约束反演,达不到岩性区分的反演效果。而相对阻抗属性(纵坐标)对砂泥岩具有非常好的识别效果,即当相对阻抗属性值大于 $9.5 \times 10^3 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ,小于 $12 \times 10^3 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,基本可以确定为砂岩。利用交汇门槛值分别提取了纵向上3套砂体的厚度平面图(图9),得到的3套砂体的厚度图与对应的利用最大

波谷属性提取的砂体沉积范围图具有较高的吻合性。两种方法的相互印证有效地降低了预测多解性。

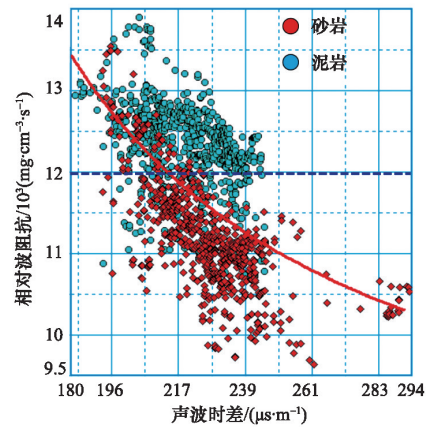
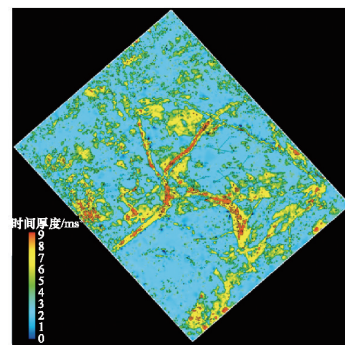
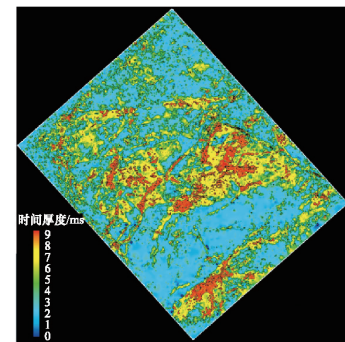


图8 相对阻抗与声波时差交汇

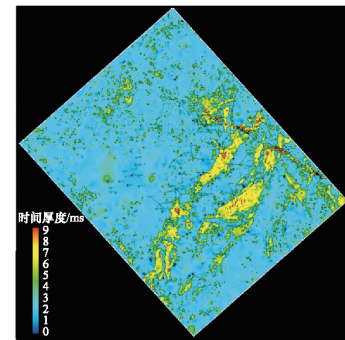
Fig. 8 Cross map between AC and relative impedance



(a) A砂体



(b) B砂体



(c) C砂体

图9 研究区沙溪庙组一段各套砂体厚度平面

Fig. 9 Sand body thickness map in formation Shaximiao

### 3 低频增量属性

当储层中含有流体或气体时,会引起地震波能量和频率变化<sup>[10]</sup>,表现为高频端能量迅速衰减,造成主频的明显降低。主频的降低,必然伴随着主频向低频端移动,故而造成低频端能量的增强,因此可以利用低频能量属性进行油气检测。本次利用的低频增量属性有别于常规的分频预测。分频预

测主要用于地质体的识别,而低频增量属性主要对含油气性进行有效刻画。为了确保预测结果的真实可靠,同样采用了保留低频信息的地震纯波数据体。图10(a)为普通致密砂岩的频谱形态图,图10(b)为含油气砂岩的频谱形态图,由图10(b)与图10(a)相减后得到的低频部分能量差(图10(c))可以明显看出当地层含气时,低频端能量有明显增强。

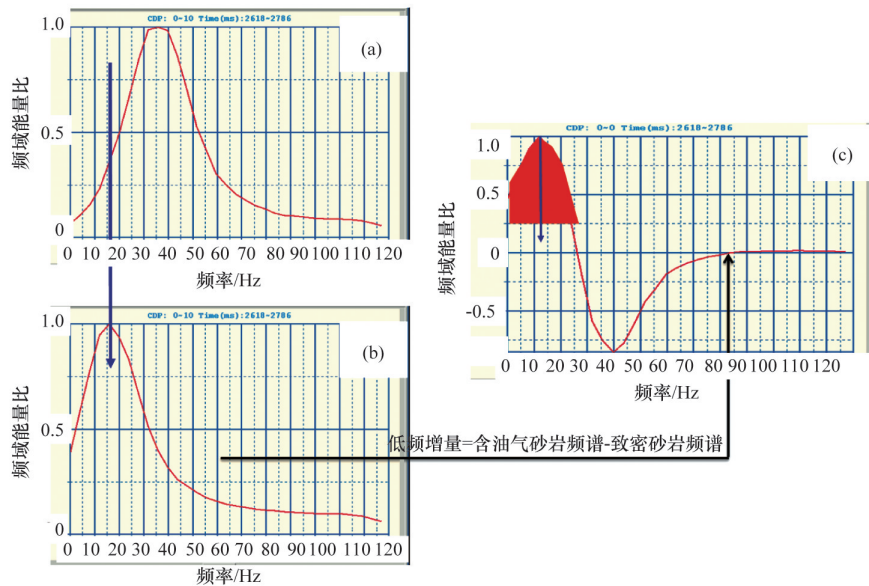


图 10 低频能量增强示意

Fig. 10 Sketch map of low frequency increment

通过低频增量技术对沙溪庙组一段含气砂体展布进行预测,低频增量剖面显示(图11、图12),沙溪庙组一段低频增量虽然在纵向分辨率上达不到预测精度,但在横向含气非均质性与已钻井产能关系上具有非常高的吻合率。分析认为,低频增量级别大于 $5 \times 10^6$ 对应测试产量大于 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。低频增量级别小于 $1 \times 10^6$ 对应测试产量小于 $0.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。预测结果显示,工区内含气砂体平面大面积发育、含气非均质性强,主要含气部位集中在构造高部位区域、东部缓坡区域,其次为北部陡坡区域和南部低幅构造区域。结合前面预测得到的砂体展布特征来看,油气主要集中发育在河道发育位置(图13),结合各期砂体展布特征,可以看到含气井主要集中在发育在研究区的A砂体及B砂体,研究区南部的砂体(属于C

砂体)目前无钻井揭示含气情况,可以作为下一步勘探井位的部署方向。

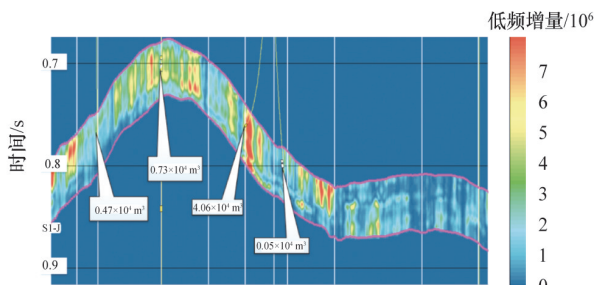


图 11 过研究区多口已钻井低频增量预测剖面图 A  
Fig. 11 Low frequency increment prediction line A across multiple wells of the studied area

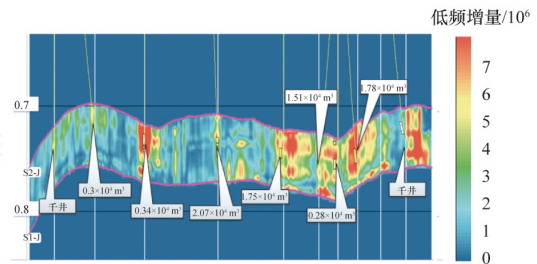


图 12 过研究区多口已钻井低频增量预测剖面图 B  
Fig. 12 Low frequency increment prediction line B across multiple wells of the studied area

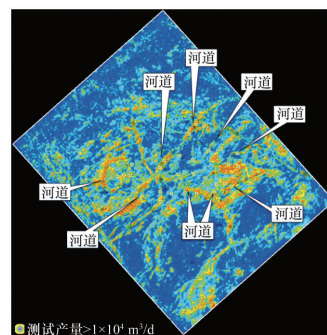


图 13 沙一段低频增量检测平面  
Fig. 13 Low frequency increment prediction map of formation Shaximiao

#### 4 结论

1) 通过单井精细的时深标定,得出研究区砂体具有“砂顶波谷砂底波峰”的地震反射特征,针对这种典型特征进行了最大波谷属性的提取,结合砂体的纵向发育规律,完成了3套砂体的平面展布预测。

2) 在不利用钻井曲线约束的前提下,利用纯地震信息的相对阻抗反演对砂体进行纵向识别,通过单井岩电敏感性分析,确定了砂岩对应的相对波阻抗范围为 $9.5 \times 10^3 \sim 12 \times 10^3 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ 。预测结果与单井录井岩性具有很高的对应性。由于无钻井信息约束,不受人为干扰因素,结果更加真实可靠。另外,各套单砂体的厚度图与振幅属性刻画的砂体展布范围具有很好的一致性。

3) 本次利用低频信息保存完好的地震,利用低频增量属性对沙溪庙一段进行了流体预测,通过与已钻井进行比对,预测结果吻合度较高。基于低频增量属性的流体预测同样属于纯地震频率信息的挖潜,不利用测井信息修正,结果更加真实可靠。

#### 参考文献(References)

- [1] 刘文岭,李刚,夏海英.地震波形特征分析定量描述方法[J].大庆石油地质与开发,1999,18(2):44-45.  
Liu Wenling, Li gang, Xia Haiying. Quantitative description method for characteristic analysis of seismic waveform[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1999, 18(2): 44-45.
- [2] 郭华军,刘庆成.地震属性技术的历史、现状及发展趋势[J].物探与化探,2008,32(1):19-22.  
Guo Huajun, Liu Qingcheng. The discussion of earthquake at tribute technology's history, present situation and development tendency[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2008, 32(1): 19-22.
- [3] 宋锦丽,董瀚,陈开远,等.大塔场沿层切片沉积微相解释与储层预测研究[J].石油天然气学报,2010,32(5):240-244.  
Song Jinli, Dong Han, Chen Kaiyuan, et al. Interpretation of sedimentary microfacies and reservoir prediction by using horizon slice in Data chang[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(5): 240-244.

- [4] 张晓鹏,许国明,黎从军,等.川西坳陷与川中隆起过渡带油气勘探评价[J].成都理工大学学报:自然科学版,2005,32(5):498-5031.  
Zhang Xiaopeng, Xu Guoming, Li Congjun, et al. Evaluation of hydrocarbon exploration in the West Sichuan depression and Central Sichuan uplift transitional zone[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2005, 32(5): 498-5031.
- [5] 刘蜀敏,徐筱冰,李小玲.川西南部地区须二段储层预测技术研究[J].天然气工业,2005,25(增A):62-65.  
Liu Shumin, Xu Xiaobing, Li Xiaoling. Reservoir prediction techniques of t3x2 in the south part of west Sichuan[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(Suppl A): 62-65.
- [6] 尤丽,张迎朝,李才,等.基于沉积成岩-储集相分析确定文昌9区低渗储层“甜点”分布[J].吉林大学学报:地球科学版,2014,44(5):1432-1438.  
You Li, Zhang Yingzhao, Li Cai, et al. Based on analysis of sedimentary-diagenetic reservoir facies to determine "sweet spots" distribution in low permeability from Wenchang 9 area[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2014, 44(5): 1432-1438.
- [7] Brown A R.地震属性及其分类[J].严又生,译.国外油气勘探,1997,9(4):529-530.  
Brown A R. Seismic attribute and classification[J]. Yan Yousheng, trans. Oil & Gas Prosecting Abroad, 1997, 9(4): 529-530.
- [8] 刘文岭,牛彦良,李刚,等.多信息储层预测地震属性提取与有效性分析方法[J].石油物探,2005,41(1):100-106.  
Liu Wenling, Niu Yanliang, Li Gang, et al. Seismic at tribute extraction and effectiveness analysis of multi-attribute reservoir prediction[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2005, 41(1): 100-106.
- [9] 王西文.相对波阻抗数据体约束下的多井测井参数反演方法及应用[J].石油地球物理勘探,2004,39(3):291-299.  
Wang Xiwen. Inversion of multi-logging parameters under constrain of relative waveimpedance data volume and application[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2004, 39(3): 291-299.
- [10] 王童奎,李莹,李君,等.叠前叠后流体检测技术在南堡凹陷潜山中的应用研究[J].地球物理学进展,2012,27(6):2492-2498.  
Wang Tongkui, Li Ying, Li Jun, et al. The applied research in Nanpu Sag buried hill with the fluid detection technology of prestack and post-stack[J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(6): 2492-2498.

(责任编辑 吴晓丽)

## 更正

《科技导报》2015年第4期第97~103页发表的张立国等的“核电厂营运单位应急响应能力评估软件平台”论文中,“基金项目:国家能源应用技术研究及工程示范项目(NY20120202)”更正为“基金项目:国家能源应用技术研究及工程示范项目(NY20111003-1)”。