

文章编号:0253-9985(2012)05-0730-06

地质统计学反演技术在薄储层预测中的应用

王香文¹, 刘红¹, 滕彬彬¹, 王连雨²

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油大庆油田有限责任公司采油一厂, 黑龙江大庆 163001)

摘要:以厄瓜多尔南部 H-N 油田 M1 层薄储层为例, 阐述了研究区 M1 层储层预测难点和存在问题, 提出针对性的储层预测方法技术。经过储层和围岩地球物理特征分析, 论证了储层预测条件, 确定了运用以地质统计学反演为核心的储层预测技术对该区进行储层预测研究, 来解决该区储层薄(1~25 ft)、横向变化大、隐蔽性强的薄储层的识别; 通过以地震、稀疏脉冲反演、地质统计学反演不同数据体间砂体进行对比分析, 精细解释出该区砂体分布; 经过无井、盲井和新钻井校验, 实现了薄层的高精度预测, 提高了预测精度(垂向分辨率达到 5 ft)。该预测结果经过在 H-N 油田的实际应用和新钻井钻探证实, 砂层钻遇率为 100%, 钻探符合率达 82%, 实现了该区新井产能的突破。

关键词:薄储层; 地质统计学反演; 储层预测

中图分类号:TE112.3

文献标识码:A

Application of geostatistical inversion to thin reservoir prediction

Wang Xiangwen¹, Liu Hong¹, Teng Binbin¹ and Wang Lianyu²

(1. Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;

2. The First Oil Production Factory of Daqing Oilfield Company, PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163001, China)

Abstract: Taking M1 thin reservoir in H-N oilfield, Southern Ecuador, as an example, this paper documents the challenges and problems of thin reservoir prediction and presents relevant techniques and methods to tackle these problems. Based on analysis of geophysical characteristics of reservoirs and surrounding rocks, a geostatistical inversion technique is applied in this case to identify the thin (1–25 ft) reservoirs with rapid lateral changes and strong concealment. Sand distribution is refined through correlation between different data volume including seismic interpretation, CSSI (Constrained Sparse Spike Inversion) and geostatistical inversion, and is further checked by non-well, random-wells and newly drilled wells. The accuracy of thin reservoir prediction is greatly enhanced to a vertical resolution up to 5 ft. This technique is successfully applied in H-N oilfield and the new drilling data show that all the predicted thin sand layers are encountered and the drilling coincidence rate is 82%.

Key words: thin reservoir, geostatistical inversion, reservoir prediction

1 研究区概况

H-N 油田位于厄瓜多尔 Oriente 盆地中东部, 主要构造特征为一近南北走向的低幅度长轴背斜, 构造较平缓, 断层不发育, 目的层范围内继承性发育特征明显, 主要沉积为海陆交互相的潮

道砂-砂坪砂体, 特别是 H-N 油田 M1 层砂层厚度 1~25 ft, 平均厚度 12.5 ft (图 1), 具有埋深大 (大于 8 200 ft)、储层薄 (一般小于 40 ft)、构造幅度低 (一般小于 60 ft)、含油性隐蔽、储层与围岩之间物性差异较小、非均质性强、横向变化快等特点^[1]。油田内完钻 51 口井钻遇该砂层, 小于 10 ft 的砂体占有井砂体总数的 48%。区内相距 150 m

收稿日期: 2012-04-20; 修订日期: 2012-08-13。

第一作者简介: 王香文 (1970—), 女, 高级工程师, 储层预测。

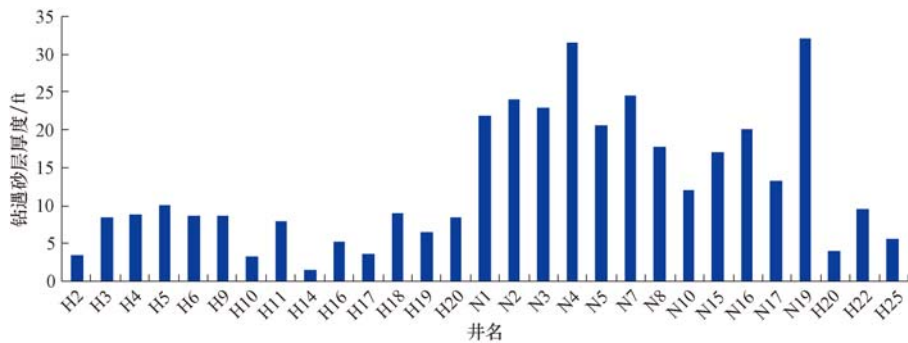


图1 H-N油田M1砂层厚度统计

Fig. 1 Cartogram showing M1 sandstone thickness in H-N oilfield

的两口井在该层一口钻遇 10 ft 砂层,另一口井却钻遇的是泥岩,可见 M1 砂层是由横向变化大,连续性差的薄砂层组成的隐蔽性岩性油气藏。因此储层存在与否成为滚动扩边井位部署的主要依据^[2-3],于是砂体的空间展布预测成为该油田研究的重点。2009 年以前研究区一直没有新井钻探,也没有新储量增加。因此为了滚动扩边,增储上产项目公司决定对该区进行薄储层预测的技术攻关。

2 研究思路

针对 H-N 油田 M1 储层预测难点。采用传统的波阻抗反演预测无法预测该区薄砂体的展布^[4-6],经过多次实验,最终决定采用具有马尔科夫链蒙特卡罗算法的地质统计学反演方法进行高精度储层预测研究。通过对 M1 层的储层和围岩的岩石物理特征分析、确定性反演、反演参数优选、地质统计学反演预测、砂体精细解释等技术过程实现该区薄层的预测研究,利用新钻井对储层预测结果进行钻遇效果分析验证。以上过程是一个反复迭代的过程^[6]。

2.1 M1 储层和围岩岩石物理特征

对 H-N 油田的 M1 层进行储层预测之前要对该层的上下围岩的地球物理特征进行分析研究,结合该区录井岩屑、测井统计等资料^[7-8],找出对岩性较敏感的测井曲线。M1 储层为薄的石英砂岩,为中孔高渗中、细砂岩,M1 上围岩为致密块状粉砂岩与钙质泥岩互层,下围岩为 30 ft 以上的深灰色泥页岩。利用自然伽马曲线和密度、中子孔隙度曲线进行岩性划分,分为 3 种岩相:泥质粉

砂岩干砂岩(高纵波阻抗)、砂岩(中纵波阻抗)、含钙泥页岩(低波阻抗)。经过多井测井统计分析表明,波阻抗属性对该区的储层和围岩是有一定的敏感性,图 2 为 H-N 油田 M1 层波阻抗对 3 种岩性敏感性的直方图统计,可见 M1 砂层和围岩在波阻抗曲线是有一定区分能力的,这为接下来的储层预测打下了很好的基础,满足了精细预测的条件。

2.2 储层岩性预测方法

对薄层有很强分辨能力的地质统计学反演预测方法技术,是高精度的储层预测技术。本次反演所采用的 StatMod MC 是在纵向时间域上采用马尔科夫链蒙特卡罗模拟(MCMC),横向上采用多网格蒙特卡罗模拟方法(MGMC)。它将传统地质统计学^[7]的高斯随机空间概念和非线性最优化求解的迭代过程有机的整合起来。输入数据包括地震数据、地震子波、地层格架模型、各种岩相的概

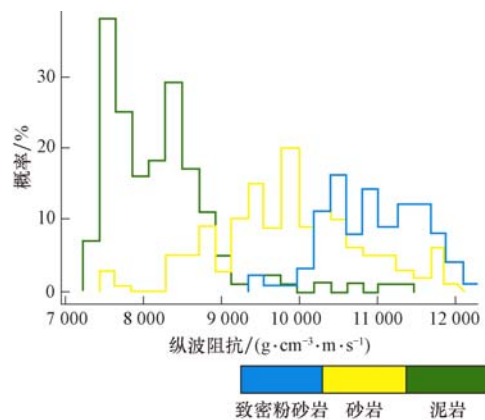


图2 H-N油田M1储层波阻抗岩性敏感性统计和直方图

Fig. 2 Statistics and histogram of lithologic sensitivity of impedance in M1 reservoir, H-N oilfield

率密度分布函数、变差函数,各种岩相所占的百分含量以及测井曲线,流程图见图3。经过横向、纵向反演参数的优选、参数模拟实验、无井和抽井检验、岩性精细解释等技术流程进行反演预测。

该技术优点:改善常规反演结果的分辨率,在保持横向分辨率的基础上提高纵向分辨率,对薄层分辨率高,井间结果与井点处精度同样较高;可以有多个结果、多个实现进行优化组合,能够生成高分辨率的三维属性体,如砂岩概率和泥岩概率体。

地质统计学反演预测的技术关键是岩性比例、纵向变差函数和横向变差函数等统计学参数的选取,它们很难直接从测井资料和地震资料上直接判断,要通过地球物理统计分析与确定性反演成果的比对以及地质认识来综合优化选取,以及经过无井、抽井等上百次的模拟实验来进行优化确定最终的反演参数。针对该研究区的情况,优选出的11口井参与反演约束,剩下的井作为“盲井”对模型的预测性进行检查。地质统计学反演结果得到纵向精度为1 ms的50个纵波阻抗和岩相实现,形成具有地质意义的岩性数据体。

2.3 砂层厚度精细解释

经过以上地质统计学反演预测得到的结果,明确岩性反演结果和储层的相互对应关系,并进行对比分析。采用逐渐缩小视窗的三维立体解释技术,图4的连井剖面是在地震资料、稀疏脉冲波

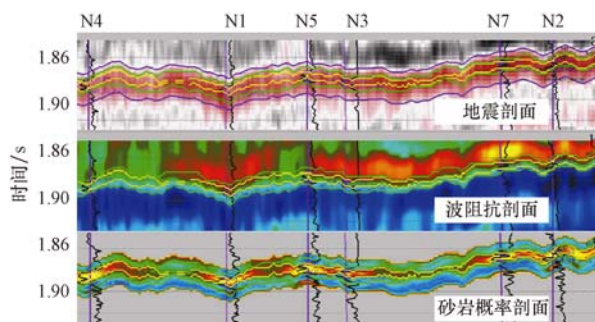


图4 H-N油田M1层砂岩顶、底界精细解释

Fig. 4 Fine interpretation of top and bottom M1 sandstone in H-N oilfield

阻抗预测和地质统计学反演预测的结果对M1砂岩顶底界面进行的精细雕刻^[9-10],该次解释分3次进行,第一次是基于地震尺度的波谷的上下两个零相位的解释,M1砂层位于该零相位之间,紫色线为地震尺度的M1层的顶底界。第二次是基于稀疏脉冲反演的结果根据明显的岩性的波阻抗底界面追踪出M1砂层的粗略的顶底界绿色线,波阻抗剖面中绿色线间的深绿色为砂岩发育带。第三次是在地质统计学反演的砂岩概率体上精细的解释出M1砂层的顶底界黄色线,砂岩概率剖面中黄红色代表砂体越发育。可见解释精度在不断提高,更能精确刻画M1砂岩的横向和纵向展布特征。

3 储层预测效果

经过精细的砂层解释得到M1层的砂体厚度分布图,成果的检验在地质认识基础上从平面、剖面、盲井、新钻井等多方面进行校验分析。平面上,M1层砂体呈北西南东向的条带和土豆状分布趋势与地质沉积方向相吻合,岩性剖面 and 已钻井对比也很好的展示了砂体厚度变化和延展方向(图5)。图中N19就是没有参与反演约束的井,储层预测结果和实钻结果一致,剖面中显示该井砂岩中泥质含量增加。图6中,我们储层预测之前2009年底N17钻井显示,在该井处砂岩变薄、变差,且早期钻探显示在该区西部存在岩性减薄变差带,我们预测结果从M1层预测的砂体厚度分布平面图和预测的砂体分布剖面图中均显示砂体分布在该区(黑色圈)存在岩性尖灭带,更进一步验证预测结果的准确性,符合地质沉积规律。图7是对未参与反演约束的钻井钻遇厚度与预测砂体

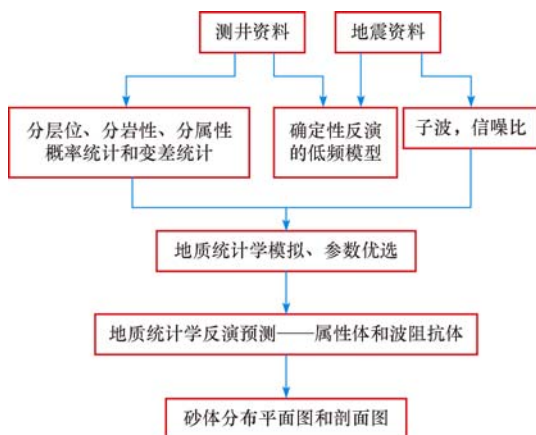


图3 地质统计学反演技术流程

Fig. 3 Workflow of geostatistical inversion

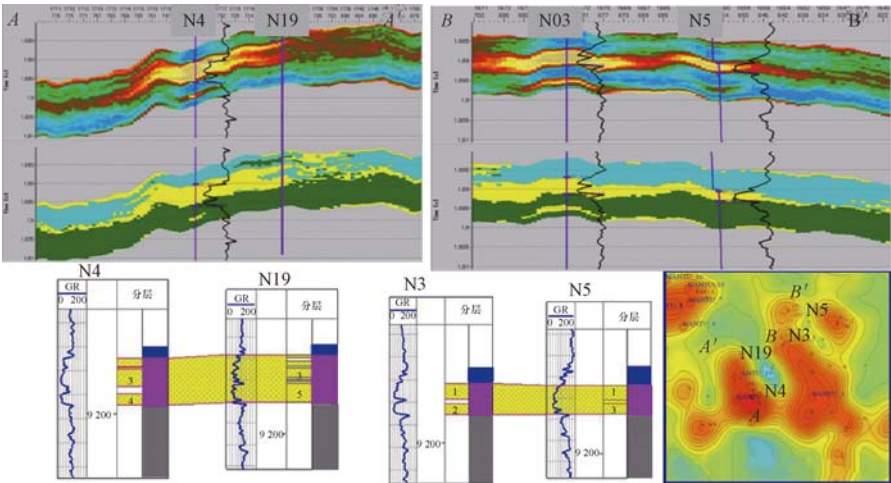


图 5 H-N 油田 M1 储层预测剖面

Fig. 5 Reservoir prediction profile of M1 resevoir in H-N oilfield

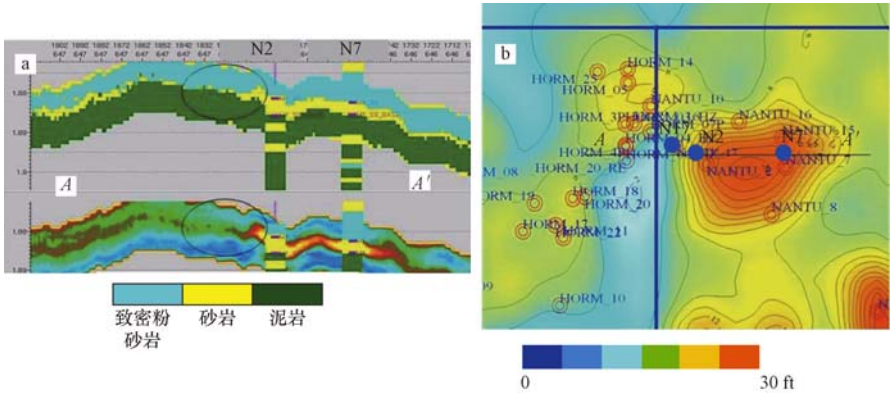


图 6 H-N 油田 M1 储层预测厚度校验

Fig. 6 Check of predicted M1 sandstone thickness in H-N oilfield

a. M1 层预测的砂体分布剖面;b. M1 层预测的砂体厚度分布

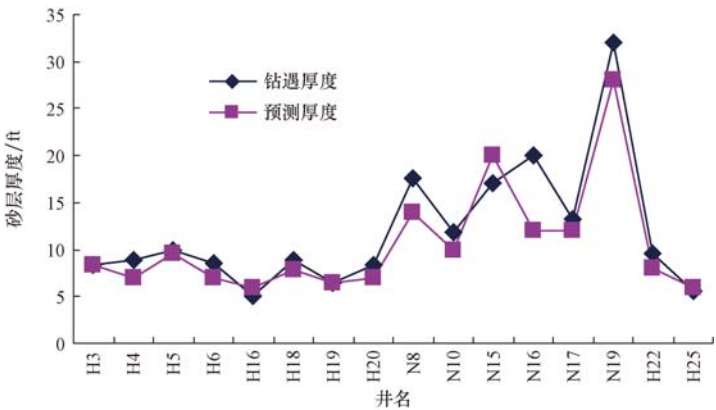


图 7 H-N 油田 M1 层储层预测精度

Fig. 7 Prediction accuracy of M1 reservoir in H-N oilfield

厚度进行统计对比,钻遇砂层厚度符合率达 85% 以上。

于是应用该预测结果进行了新井的井位部

署。截止 2011 年 7 月新钻井共 13 口,砂体钻遇符合率 100%,钻遇砂体厚度平均符合率为 83%。表明该项薄储层预测技术在该地区的应用是有效

的,13口井中有4井次的M1层进行测试获得较好的产量。以H5井区为例说明,2010年5月1日完钻的H25井钻遇M1储层厚度5.5 ft,预测储层厚度为6.5 ft,预测砂体厚度符合率达82%(图8)。对比分析证实了H25井和H5井之间砂体是连通的,实现了滚动扩边,为进一步向西扩大M1层开发提供了储量基础。基于以上分析部署了

H26井,完钻后H26反演预测厚度6.75 ft,实钻厚度为8.5 ft,符合率为79.4%,该井2010年8月20日测试初产为49.6 m³,含水3.9%,为该区新增储量评估提供了依据。具体H-N油田M1层2010—2011年新钻井储层预测精度见表1,可见针对薄层砂体预测方法在H-N油田是准确可靠的。

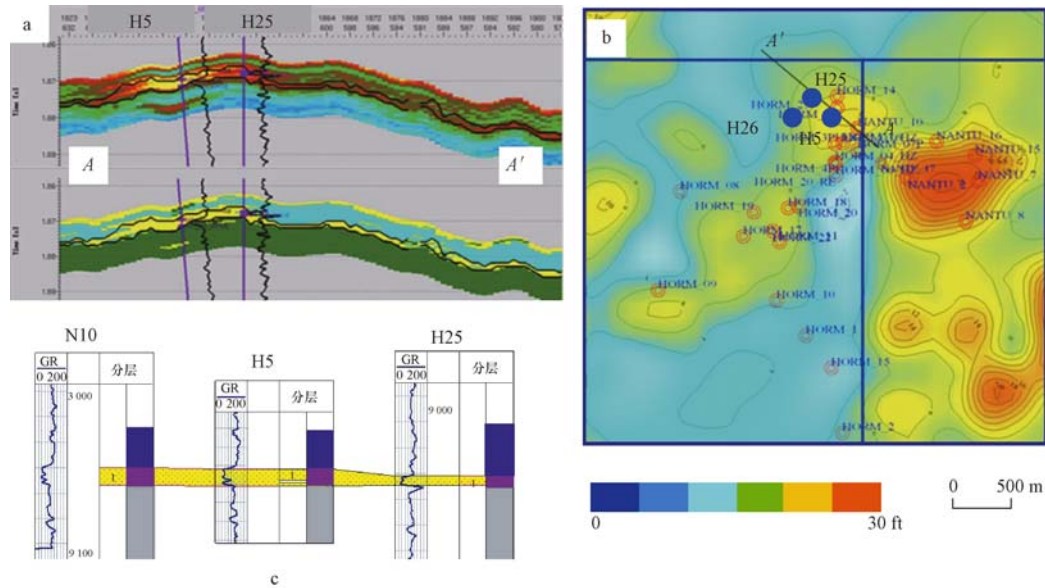


图8 H5-H25 M1储层预测结果与钻遇厚度对比剖面

Fig. 8 Thickness comparison of predicted and drilled M1 reservoir in well H5 and well H25, H-N oilfield

a. M1层预测的岩性剖面;b. M1层预测的砂体厚度图;c. 井点连线剖面

表1 H-N油田M1层2010—2011年新钻井
储层预测精度

Table 1 Drilling coincidence rate of M1 reservoir
in newly drilled wells in 2010-2011, H-N oilfield

井名	实钻厚度/ft	反演预测厚度/ft	绝对误差/ft	相对误差	符合率
H20	4.4	4.50	0.10	0.02	0.98
H22	9.5	8.00	1.50	0.46	0.84
H25	5.5	6.50	1.00	0.18	0.82
H23	3.1	2.25	0.85	0.27	0.73
H24	10.9	9.00	1.90	0.17	0.83
H26	8.5	6.75	1.75	0.21	0.79
H17	13.3	13.50	0.20	0.02	0.99
H21	20.6	22.00	1.40	0.07	0.93
H23	16.1	18.00	1.90	0.12	0.88
H18	9.9	10.00	1.0	0.01	0.99
H25	11.9	11.90	0	0.00	1.00
H14	11.4	17.00	5.60	0.49	0.51
H30	2.0	3.00	1.00	0.50	0.50

注:数据截至2011年7月。

4 结束语

H-N油田是一个典型的低幅构造和岩性控藏,经过实钻井的钻探效果分析认为该方法对于解决该区薄层的预测是有效的。但是在预测过程中一定要做到在进行地质统计学反演预测前测井资料必须进行预处理和标准化;地震资料要是叠后纯波数据体;参数的选取要符合该区的地质特征;要进行抽井和没参与反演约束的井进行验证分析,进一步验证参数的准确性。我们也要知道任何预测方法都不是万能的,只能是在目前资料精度范围内做到最好,它是有地区的适应性的。

参考文献

- [1] 王香文,付维署,胡学智,等. 储层预测技术在TA井区的应用研究,勘探地球物理进展[J]. 2009,32(1):65-67.

Wang Xiwen, Fu Weishu, Hu Xuezhi, et al. Application of re-

- servoir prediction technology in TA well area[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2009, 32(1): 65-67.
- [2] 单敬福,王峰,孙海雷,等.基于地震波阻抗反演的小层砂体预测技术——在大庆油田州57水平井区块的应用[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 212-218.
- Shan Jinfu, Wang Feng, Sui Hailei, et al. Prediction of sublayer sandstones based on wave impedance inversion in the wellblock of the horizontal well Zhou 57[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2): 212-218.
- [3] 冯斌,吕爱民,王伟,等.河道砂油藏开发中后期配产配注方法及应用[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(6): 934-939.
- Feng Bin, Lü Aimin, Wang Wei, et al. Approach and application of proration and injection allocation at the middle-late production stages in channel sandstone reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(6): 934-939.
- [4] 王西文,刘全新,苏明军,等.滚动勘探开发阶段精细储集层预测技术[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(6): 51-53, 71.
- Wang Xiwen, Liu Quanxin, Su Mingjun, et al. Precision predicting reservoirs on the stages of progressive of exploration and development[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(6): 51-53, 71.
- [5] 王西文,刘全新,周嘉玺,等.精细储层预测技术在板南5-3井区得应用[J]. 石油物探, 2003, 42(3): 389-394.
- Wang Xiwen, Liu Quanxin, Zhou Jiaxi, et al. Application of fine reservoir prediction techniques in Bannan 5-3 oilfield[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2003, 42(3): 389-394.
- [6] 柏冠军,吴汉宁,赵希刚,等.地震资料预测薄层厚度方法研究与应用[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(2): 554-558.
- Bai Guan jun, Wu Hanning, Zhao Xigang, et al. Research on prediction of thin bed thickness using seismic data and its application[J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(2): 554-558.
- [7] 王香文,于常青,董宁,等.储层综合预测技术在鄂尔多斯盆地定北区块的应用[J]. 石油物探, 2006, 45(3): 267-271.
- Wang Xiangwen, Yu Changqing, Dong Ning, et al. Application of techniques of fine structure interpretation and formation prediction in Dingbei area of Ordos basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45(3): 267-271.
- [8] 黄军斌,高利军,高勇,等.辫状河流相薄砂体地震子波效应和识别方法[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 225-231.
- Huang Junbin, Gao Lijun, Gao Yong, et al. Wavelet effect and recognition methods of thin sand bodies in braided river facies[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2): 225-231.
- [9] 李东安,宁俊瑞,刘振峰.用神经网络和地质统计学综合多元信息进行储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(4): 493-498, 503.
- Li Dongan, Ning Junrui and Liu Zhenfeng. Reservoir prediction with integrated information based on artificial neural network technology and geostatistics[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(4): 493-498, 503.
- [10] 李占东,赵伟,李阳,等.开发地震反演可行性研究及应用——以大庆长垣北部油田为例[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(5): 797-806.
- Li Zhandong, Zhao Wei, Li Yang, et al. Feasibility study and application of development seismic inversion—a case study from northern Changyuan oilfield of Daqing[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 797-806.

(编辑 张亚雄)

《石油与天然气地质》影响因子再创新高

据2012年版《中国期刊引证报告(扩刊版)》统计,本刊2011年的影响因子为2.248,同比上升15.34%(2010年为1.949),被引频次为2848,同比上升5.36%(2010年为2703),均比2010年有较大提升。根据2011年的影响因子、被引频次等数据,本刊在石油、天然气工业类期刊中总体位居第三。