

拟波阻抗反演在葡北油田储层沉积微相刻画中的应用

曹彤, 郭少斌

中国地质大学能源学院, 北京 100083

摘要 为了进一步提高碎屑岩油层沉积微相图的制图精度,并增强其横向预测性,以满足油气藏开发的需要,在大庆长垣葡北油田二断块,针对葡萄花油层中声波曲线不能有效区分储层与围岩,探索出了一套单井相与拟波阻抗地震反演数据结合沉积微相制图方法。该方法通过各种测井曲线储层敏感性交汇分析,找出储层敏感性测井曲线为自然电位曲线,并将其转换为阻抗值量纲的曲线,提取出高频部分,与原始波阻抗曲线低频部分合并,形成能反映储层变化的拟波阻抗曲线。然后,将重构拟波阻抗曲线用于地震反演。依据地震反演预测结果,分沉积单元精细调整拟波阻抗砂泥岩的阈值,使阻抗体所反映的砂体厚度与测井解释砂体厚度纵向上具有最优的符合率,绘制各沉积单元砂岩厚度的平面分布。在绘制沉积微相图时,井点根据其单元所属的相带类型进行外推,井间微相由砂体厚度和形态确定,利用反演信息确定河道宽度,反演的波阻抗切片确定各沉积微相发育形态。最后,进行单井沉积相校正,完成各沉积单元沉积微相图。该方法强调单井相与地震拟波阻抗反演数据的结合预测沉积微相分布特征,实际应用效果表明新的制图方法精度高、实用性强,能有效推动油气藏精细开发调整。

关键词 储层敏感性;曲线重构;拟波阻抗;沉积微相

中图分类号 TE19

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.33.005

Application of Quasi-impedance Inversion in the Microfacies Mapping in Pubei Oil Field

CAO Tong, GUO Shaobin

School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

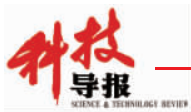
Abstract In order to meet the need of further reservoir development it is essential to improve the cartographic accuracy of the microfacies map for elastic rock reservoirs, especially to enhance its prediction capability in the cross well area. In the second fault block of the Pubei oil field in Daqing placanticline, the reservoirs and the surrounding rocks of the Putaohua Formation can not be differentiated only according to the acoustic attributes; therefore, a cartographic method which combines the single well facies with the quasi-impedance results is proposed. Firstly, from all the logging attributes, the optimum logging attribute which can differentiate the reservoirs and the surrounding rocks is chosen. A spontaneous potential attribute is chosen in the Putaohua Formation. Secondly, the seismic inversion is processed by using the quasi-impedance logging curve and adding the information of the spontaneous potential curve. Thirdly, the cross well microfacied types can be predicted by the inverted sand thickness; the channel width in the map can be calculated based on the inversion information; and the whole pattern of the microfacies map can be determined on the basis of the quasi-impedance inversion slices. Finally, the microfacies map is completed after the calibration of the single well facies. The real application shows the high accuracy and the practicability of the new mapping method, for the reservoir development and adjustment.

Keywords formation sensitivity; curve reconstruction; quasi-impedance; microfacies

收稿日期: 2013-05-16; 修回日期: 2013-08-10

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05013-006)

作者简介: 曹彤, 博士研究生, 研究方向为地震解释和储层预测与评价, 电子信箱: caotong1023@qq.com



0 引言

长期以来,油层沉积微相平面图一直被视为油藏开发中很重要的图件,因其能够直观反应油层联通性,在井网加密、措施改造、油层挖潜等油藏进一步开发中有重要指导意义^[1-5]。传统沉积相图采用已钻井的单井相绘制,该方法的精度与井网密度密切相关,井网越密越能逼近反映真实沉积环境。而且对于井间的沉积微相,没有足够依据。利用地震反演结果对储层分布进行预测,利用预测结果可以对沉积微相进行刻画,并对井间微相预测提供较为可靠依据。

大庆长垣葡北油田二断块储层为三角洲前缘相沉积,是一套细砂岩、泥质砂岩与粉砂质泥岩组合。储层与围岩的波阻抗差异较小,如果储层含油或水,速度会进一步降低,所以波阻抗地震反演不能有效预测储层的空间分布。近年来,拟波阻抗反演技术得到了广泛的应用,并获得了较好的效果^[6-13]。该方法主要针对在声波曲线不能区分储层与围岩的地区,采用其他测井曲线重构拟波阻抗曲线用于地震反演,能够有效预测储层平面分布,利用预测结果进一步刻画各油层单元的沉积微相图。

1 测井曲线储层敏感性分析

在应用各种测井曲线之前,需要对研究区测井曲线进行预处理,包括归一化、基线漂移、标准化等处理。储层的敏感测井参数分析是储层预测的基础,通过测井敏感性分析找出能区分储层和围岩的最佳测井参数。将葡北二断块测井解释砂岩分油层、水层、油水同层和干层分别统计,并与围岩进行不同测井属性特征直方图分析(图1)。

图1为油层、油水同层、水层、干层和泥岩的电阻率、波阻抗、自然伽马、自然电位、微电极幅度差分布直方图。图中红色和橙色曲线分别表示油层和油水同层不同测井属性的分布范围,粉色和浅蓝色分别代表干层和水层,泥岩用蓝色表示。可以看出原始波阻抗储层敏感性最差,基本不能区分储层(油层和油水同层)与围岩(泥岩),自然伽马、电阻率和微电极幅度差等测井曲线也不能有效区分砂泥岩,而自然电位(SP)直方图分布上可以明显看出围岩和储层是可分的,尤其是油层和油水同层自然电位值与围岩(泥岩)差别较大,易区分。围岩的自然电位值在-5~5mV,水层和干层自然电位值在-10~-5mV,油层和油水同层的自然电位值在-25~-18mV。

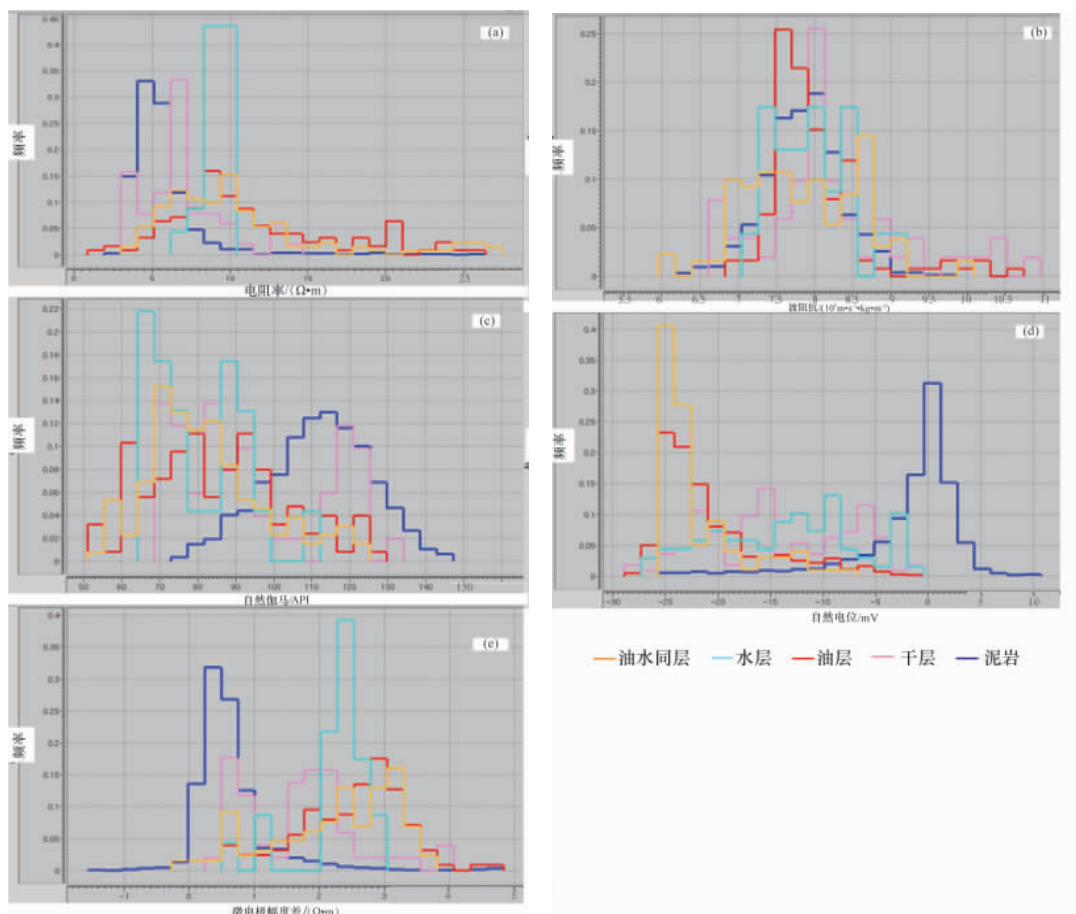


图1 不同测井曲线储层敏感性分析直方图

Fig. 1 Histogram of the different logging attributes for the reservoirs and the surrounding rocks

与其他测井曲线比较,研究区区分围岩和储层的最佳测井参数是自然电位,因此选用该测井参数进行拟波阻抗重构。

2 拟波阻抗曲线重构

拟阻抗曲线重构利用反映地层和岩性变化比较敏感的测井曲线(声波除外)构建具有阻抗量纲的新曲线,结合声波曲线得到的阻抗的低频模型,合成拟阻抗曲线,使它既能反映地层速度和波阻抗的变化,又能反映岩性的细微差异。从而更好反映储层特征与地震之间的联系。

对于葡北二断块,将阻抗曲线的低频信息和自然电位曲线的高频信息有机地融合到一起是拟阻抗曲线重构的关键。首先对自然电位(SP)曲线与原始波阻抗(IMP)曲线交汇分析,将其转换为阻抗值量纲的曲线,并进行高低频分离,提取出高频部分;然后提取原始波阻抗曲线低频部分;最后将提取出的高频与低频数据合并,形成能反映储层变化的拟波阻抗曲线。

3 拟波阻抗处理

测井约束的地震反演要求测井资料尽可能足够多且分

布均匀,因此在进行拟波阻抗反演处理之前,尽可能重构出研究区内所有井的拟波阻抗曲线,之后的步骤与常规测井约束反演方法是一致的。

在生成拟阻抗数据后,提取各井旁道子波和制作合成记录,并与地震记录进行对比。但要注意的是不能改变原始阻抗曲线所做时深关系,由于拟波阻抗曲线中有原始阻抗的低频部分存在,这个基本可以保证。可以通过改变子波达到重构阻抗产生的合成记录和地震井旁道的最佳匹配。

以地震构造解释结果和拟波阻抗数据建立初始模型,然后采用共轭梯度算法,通过不断修改更新原始地质模型,使模型正演合成地震资料与实际地震数据最佳吻合,最终的波阻抗数据便是反演结果。

从 SP 曲线重构的阻抗反演的结果看(图 2),纵向分辨率高,不仅与围岩能够清晰区分,而且反演出的砂层和测井解释结果吻合率较高。另外,横向上也能清晰反映出砂体延伸、尖灭等特征。例如,图 2 中葡 59-83 井在时间 985ms 位置附近发育的 3 套砂岩储层拟波阻抗反演剖面中能清晰地区分出来,而且中间一套砂岩往葡 59-82 井方向尖灭。

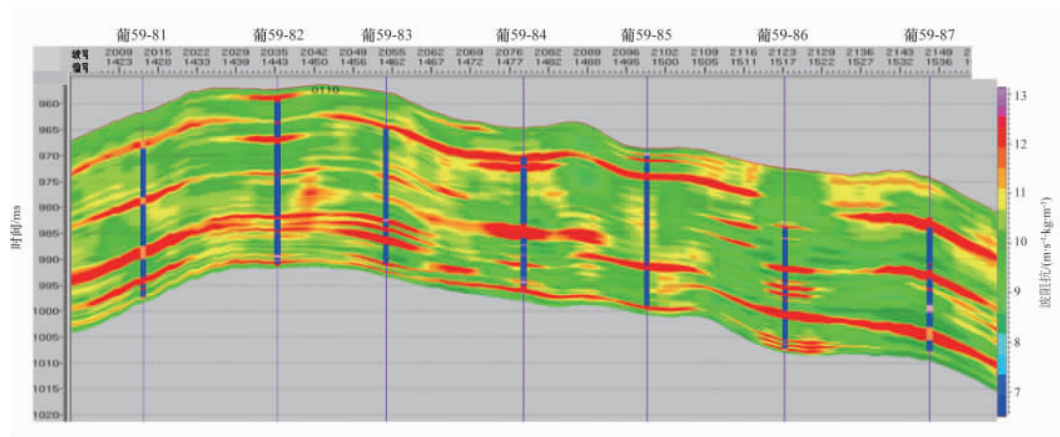


图 2 拟波阻抗反演联井剖面

Fig. 2 Quasi-impedance inversion profile crossing wells

4 沉积微相刻画

利用拟波阻抗反演结果刻画沉积微相,实质上就是确定井间微相,弥补利用单井相刻画沉积微相时井间信息的不足。葡北二断块葡 I 组油层细分 26 个沉积单元,从最小沉积单元的岩石组合、岩石物理特征和砂体平面形态,将沉积微相细分为三角洲前缘、内前缘和内外前缘过渡相 3 种亚相。其中发育水下分流主河道、水下分流浅河道、水下分流浅滩、分流间透镜状砂和分流间泥 5 种微相。在得到拟波阻抗反演三维数据体后,不仅可以抽取任意连井的阻抗剖面,确定河道宽度和井间砂体延伸,也可以从切片上看砂体分布形态,确定井间微相类型和砂体发育边界等。

4.1 依据预测砂体厚度和形态预测井间微相类型

精细调整拟波阻抗砂泥岩的门槛值,使阻抗体所反映的

砂体厚度与测井解释砂体厚度纵向上具有较高的符合率。分单元求取砂岩厚度的平面分布,在井点根据其单元所属的相带类型进行外推,而没有井钻遇的地方遵照相同砂岩厚度具有相同的沉积相带类型进行预测。

河道砂呈条带状、断续条带状分布,图 3(a)中红色-橙色表示砂岩厚度较大处,在刻画沉积微相时可以定为主河道微相,在图 3(b)中以红色表示,图 3(a)中黄色-绿色为砂岩厚度较小处,一般可以定为浅河道微相,在图 3(b)中以橙色表示。

图 3(a)中深绿色表示砂体厚度很薄,多呈席状、耳状,定为浅滩微相,在图 3(b)中以浅黄色表示,而透镜状砂多呈孤立状。所以根据各小层预测的砂体厚度和形态,可以定出井间的沉积微相类型。

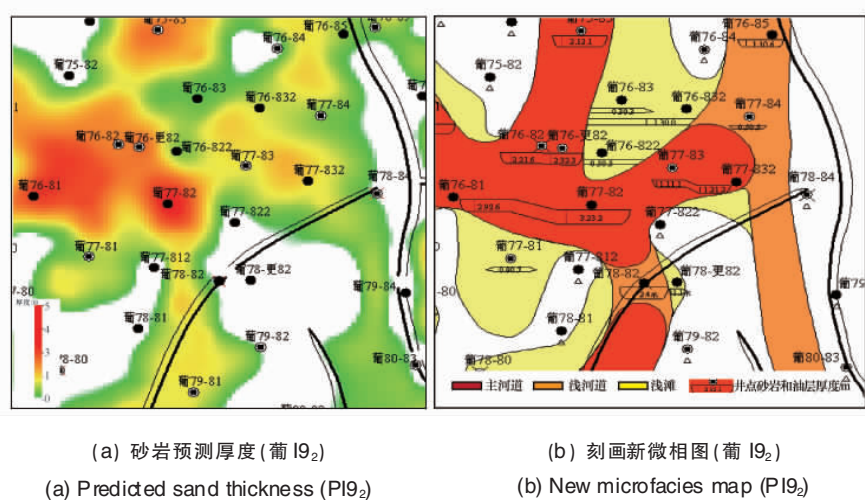


图3 利用预测砂体厚度和形态预测井间微相类型

Fig. 3 Prediction of the cross well microfacies types based on inverted sand thickness and patterns

4.2 利用反演信息确定河道宽度

在以往基于单井相绘制沉积微相图时,常会遇到井网加密一次,沉积相图中河道微相的宽度变窄一点的问题,出现这种情况一般是在井距大于河道发育宽度时发生^[14,15]。当井距小于河道宽度时,河道得到有效控制,不再受井距大小影响。但在实际开发生产中,极限井网密度往往比河道宽度大。地震数据包含了地下河道及其砂体产生的反射信息,依据地震反演阻抗数据,再现河道及其砂体的空间分布。

在垂直河道走向的阻抗剖面上,根据砂泥岩的波阻抗门檻值,调节颜色显示,保证红色表示发育较厚的砂岩,相对较薄的砂岩呈黄色和绿色显示,泥岩滤掉不显示,确定河道的发育宽度。如图4所示,图4(a)为一条垂直河道走向的拟波阻抗联井反演剖面,葡63-85井在葡I₂沉积单元预测砂岩分布宽度188m,从而确定一条北北东走向流经葡62-852和葡63-85河道在葡63-85井点处河道宽度为188m(图4(b))。

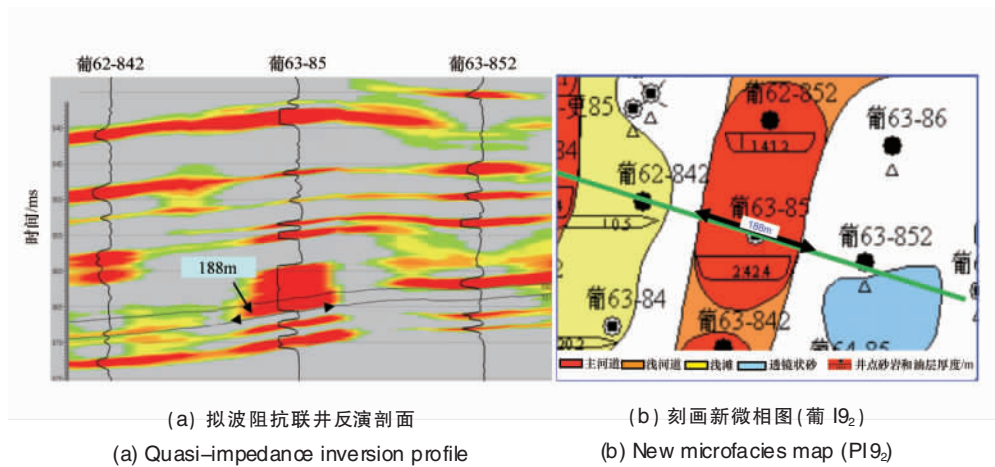


图4 利用反演剖面确定河道发育宽度

Fig. 4 Channel width based on the inversion profiles

4.3 拟波阻抗切片确定各沉积微相发育形态

依据地质认识确定了要绘制沉积单元的主要的沉积微相类型之后,在波阻抗体切该层段沿层切片或时间切片,分别刻画出主河道、水下分流浅河道、水下分流浅滩、分流间

透镜状砂和分流间泥等微相的分布情况,编制沉积微相图初稿。再依据单井相、阻抗剖面对井点和井间微相进行修正,最后得到可以用于指导油藏进一步开发调整的图件(图5)。

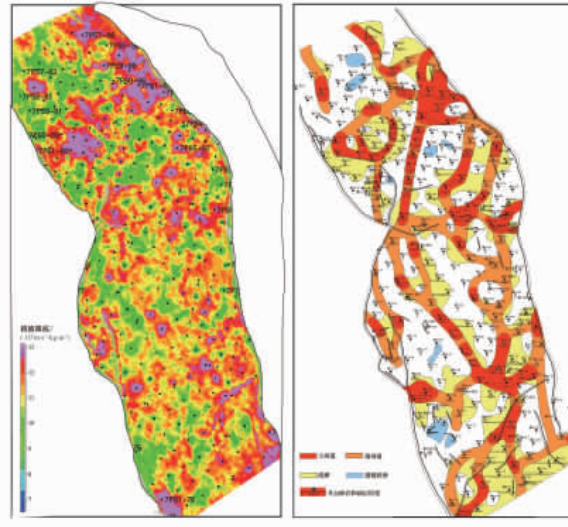


图5 拟波阻抗切片确定沉积微相发育形态

Fig. 5 Determination of the whole microfacies pattern according to the inversion slices

5 结论

(1) 在声波曲线不能有效分辨储层与围岩的地区, 寻找出储层敏感性测井曲线, 并重构拟波阻抗曲线用于地震反演, 能够有效预测储层空间展布。

(2) 采用拟波阻抗资料刻画沉积微相制图方法, 强调单井相与地震反演阻抗数据的结合, 井点处以单井相为主, 井间参考地震反演的结果, 对沉积微相进行横向预测。

(3) 在井间微相刻画时, 主要依据地震反演的剖面、切片以及预测的砂体厚度等综合信息进行精细刻画。

(4) 该沉积微相制图方法, 制图精度高, 横向预测性强, 值得在油层沉积微相研究及油气藏进一步开发部署工作中推广应用。

参考文献 (References)

[1] 刘双莲, 李浩, 周小鹰. 大牛地气田大12-大66井区沉积微相与储层产能关系[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 45-49, 60.
Liu Shuanglian, Li Hao, Zhou Xiaoying. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 45-49, 60.

[2] 黄世伟. 井震结合大比例尺沉积微相制图方法探讨——以松辽盆地北部齐家地区高台子油层为例[J]. 大庆石油地质与开发, 2009, 28(3): 32-34.
Huang Shiwei. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2009, 28(3): 32-34.

[3] 苏燕, 杨愈, 白振华, 等. 密井网区井震结合进行沉积微相研究及储层预测方法探讨——以大庆杏树岗油田杏56区为例[J]. 地质前缘, 2008, 15(1): 110-116.
Su Yan, Yang Yu, Bai Zhenhua, et al. Earth Science Frontiers, 2008, 15(1): 110-116.

[4] 江青春, 王海, 李丹, 等. 地震波形分类技术应用条件及其在葡北地区沉积微相研究中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 135-140.
Jiang Qingchun, Wang Hai, Li Dan, et al. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 135-140.

[5] Todorov I T. Integration of 3C-3D seismic data and well logs for rock property estimation[D]. Alberta: University of Calgary, 2000: 53-80.

[6] 余瀚潮, 李瑞, 蒋涔, 等. 测井曲线重构技术在储层反演中的应用[J].

物探化探计算技术, 2009, 31(6): 603-605.

Yu Hanyi, Li Rui, Jiang Cen, et al. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2009, 31(6): 603-605.

[7] 易浩, 杨飞, 杜家元. 伪波阻抗反演在惠州地区储层预测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2011, 8(3): 310-313.
Yi Hao, Yang Fei, Du Jiayuan. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2011, 8(3): 310-313.

[8] 许正龙. 曲线重构技术在储层横向预测工作中的应用[J]. 石油实验地质, 2002, 24(4): 377-380.
Xu Zhenglong. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(4): 377-380.

[9] 崔健, 张星. 曲线重构反演在储层预测研究中的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(3): 133-135.
Cui Jian, Zhang Xing. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2008, 27(3): 133-135.

[10] 贺懿, 刘怀山, 毛传龙, 等. 多曲线声波重构技术在储层预测中的应用研究[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(5): 549-552.
He Yi, Liu Huaishan, Mao Chuanlong, et al. Oil Geophysical Prospecting, 2008, 43(5): 549-552.

[11] 张学芳, 董月昌, 慎国强, 等. 曲线重构技术在测井约束反演中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(3): 70-72.
Zhang Xuefang, Dong Yuechang, Sheng Guoqiang, et al. Petroleum Exploration & Development, 2005, 32(3): 70-72.

[12] 罗权生, 赵铭, 张晓菊, 等. 均值为“零”的曲线重构技术在地震反演中的应用[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(4): 478-480.
Luo Quansheng, Zhao Ming, Zhang Xiaojun, et al. Xin Jiang Petroleum Geology, 2006, 27(4): 478-480.

[13] 刘百红, 郑四连, 关达. 拟声波宽带约束波阻抗反演在储层预测中的应用[J]. 勘探地球物理进展, 2005, 28(6): 416-420.
Liu Baihong, Zheng Silian, Guan Da. Progress in Exploration Geophysics, 2005, 28(6): 416-420.

[14] 封从军, 鲍志东, 单启铜, 等. 三角洲平原复合分流河道内部单砂体划分——以扶余油田中区南部泉头组四段为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 77-83.
Feng Congjun, Bao Zhidong, Shan Qitong, et al. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 77-83.

[15] Lorenz J C, Heinze D M, Clark J A, et al. Determination of width of meander-belt sandstone reservoirs from vertical downhole data, Mesaverde Group, Piceance Greek Basin, Colorado[J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(2): 710-721.

(责任编辑 侯澄芝)