

文章编号:0253-9985(2006)05-0614-06

准噶尔盆地侏罗系储层含油气性相关岩石物理参数

马丽娟,郑和荣

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:通过模拟地层压力、温度等特征进行岩心测试,结合多波极子测井资料,对准噶尔盆地腹部侏罗系储层地震预测及含油性相关岩石物理参数进行了研究,认为单一地震属性预测岩性存在一些局限性;利用常规地震属性进行含油气检测是不可行的,阐述了在该地区应用常规纵波阻抗技术进行储层预测及含油气性检测的难点,指出了含油气检测在利用AVO反演的同时,必须联合弹性波反演方法,才能有效提高地震储层预测和含油气性检测的成功率,对准噶尔盆地腹部合理应用地震技术预测储层和含油气性具有实际意义。

关键词:岩石物理参数;储层预测;含油气检测;侏罗系;准噶尔盆地

中图分类号:TE112.2 **文献标识码:**A

A study on petrophysical parameters for hydrocarbon detection of Jurassic reservoirs in Junggar basin

Ma Lijuan, Zheng Herong

(Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083)

Abstract: Based on core test data obtained from simulation of formation pressure and temperature, and in combination with multi-wave logging data, the petrophysical parameters for seismic prediction of Jurassic reservoir and hydrocarbon detection in the central of Junggar basin are studied. It is believed that there are some limitations for prediction of lithology with seismic attribute alone, and hydrocarbon detection is infeasible with traditional seismic attributes. Difficulties for reservoir prediction and hydrocarbon detection with traditional compressional wave impedance technology are discussed. It is suggested that a combination of AVO and elastic wave inversion method be used to effectively improve reservoir prediction and hydrocarbon detection. The results of the study are of practical significance for seismic in prediction of reservoir and hydrocarbon detection in the central of Junggar basin.

Key words: petrophysical parameter; reservoir prediction; hydrocarbon detection; Jurassic; Junggar basin

准噶尔盆地是我国西部油气勘探重要的中生代沉积盆地^[1-5],在盆地周缘及腹部已发现大量油气储量,已成为我国油气生产重要基地之一。目前,在准噶尔盆地腹部油气勘探又成为重要勘探领域。准噶尔盆地腹部包括乌伦古凹陷、陆梁隆起及中央凹陷三大构造单元,面积约54 230 km²。深层侏罗系是主要目的层。但是侏罗系构造相对平缓,构造圈闭不发育,因此寻找各

类隐蔽型圈闭、准确判识储层含油气性成为进一步勘探侏罗系、提高命中率的关键。

目前,中国石化在准噶尔盆地腹部的4个勘探区块中已发现的主要含油气层系有:中Ⅰ区块为侏罗系的三工河组二段,中Ⅲ区块为侏罗系的西山窑组,中Ⅳ区块为侏罗系的头屯河组。储层主要为砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩。

由于储层无论其在几何形态上,还是在岩性

收稿日期:2006-05-15

第一作者简介:马丽娟(1966—),女,博士后、高级工程师,物探、地质综合解释

基金项目:中国石油天然气股份有限公司“九五”重点科技攻关项目(970211)

或含油气等方面的横向变化,在地震记录上这些变化的信息非常复杂、隐蔽地混杂在一起。因此在应用地震信息预测储层和含油气性时,首先要从非常复杂的地震记录中提取与储层相关的各种地震信息(各种物性、岩性及含油气性等参数)^[6-8],然后选择参数来对储层进行分析、横向预测,识别有利的含油气区;其次要利用地震信息对储层进行追踪,预测、确定储层的顶、底界面^[9-11]。对地震勘探而言确定地震波特性的因素除激发、接收条件外,主要受岩石的弹性模量、密度和吸收等特性的影响。而这些特性又与岩石成分、孔隙度、埋深、孔隙内流体性质、压力、岩层的不均匀性以及其它的地质特性密切相关,连接地震参数与储层介质物性参数、状态之间的桥梁就是岩石物理参数^[12,13]。岩石物理参数分析主要研究地球物理勘探所获得的物理量与地下储层参数的对应关系,这二者对应关系的确定程度必然影响到储层和含油气性预测能力及其效果,了解岩石物性与地震波特性的关系可以更好地研究储层性质(孔隙度、渗透率)及其状态(含油饱和度、孔隙压力等)。在地震特征参数信息中表现储层及含油气性状态作用最明显的是运动学参数和弹性参数,运动学参数包括纵、横波速度(V_p, V_s),波阻抗(I_p, I_s),反射系数及他们的比值;弹性参数包括杨氏模量(E),泊松比(σ),剪切模量(μ),体积模量(κ),拉梅系数(λ)等^[14,15]。

本文通过岩心测试和多极子声波测井比较系统地统计了三工河组、西山窑组和头屯河组砂岩、泥岩、含油砂岩、含气砂岩和含水砂岩的纵、横波速度及其比值范围,对纵波速度、横波速度及纵、横波速度与密度、孔隙度、流体类型的关系进行了分析,总结了不同岩性的纵、横波速度的关系,在此基础上从储层预测和含油气检测角度出发,对准噶尔盆地腹部侏罗系储层及其含油气性相关的岩石物理参数进行了分析。

1 地震储层预测相关岩石物理参数分析

测井资料和实验室资料是比较精确和高分辨率的资料,地震资料所获得的大量地下数据空间资料的精确度和分辨率相对较差;但上述3种资料有许多互补性,通过岩心测试模拟地下地质条

件,测定干样及饱和样品的波速。根据岩石的孔隙度、渗透率与波速的关系,饱和水、饱和油和饱和气时岩石类型的波速特征,建立本区储层的具体预测标志。通过处理、分析、验证和对比可提取更多、更精确和有意义的地震特征参数信息。本文选定了准噶尔盆地中I和中IV区块已钻遇的物性好的砂岩和泥岩岩心样品16块,分别测试了岩样的纵波速度、横波速度、密度、孔隙度和渗透率;计算其相应的泊松比、体积模量、剪切模量、杨氏模量等岩石弹性参数。其他区块的井和不同物性砂岩(泥质粉砂岩、砂质泥岩等)是结合多极子测井资料进行分析的,测试统计结果表明在不同的应力、温度和岩性条件下,波速变化不同。

1.1 应力对波速的影响

岩心测试结果表明,准噶尔盆地腹部地区泥岩的纵波速度总体上随压力的增加而增加,但不同区块的泥岩存在差异,中I区块三工河组二段一砂组的泥岩速度比三工河组二段二砂组的泥岩速度低;中IV区块白垩系的泥岩速度比头屯河组的泥岩速度高。砂岩的纵波速度和横波速度也随着压力的增大而增加,但较三工河组二段的砂岩纵波和横波速度随着压力的增加变化较快,说明这个组段的砂岩孔隙度较其它组段的砂岩好,但是砂岩速度随压力的变化大于泥岩(图1,图2),说明了岩石沉积过程中孔隙因压实作用而变小,但砂岩较泥岩更易于被压实。

1.2 测井统计结果

正常地层压力条件下,研究区侏罗系(4000 m以上)砂岩、泥岩的纵波波阻抗(Z_p)随着地层埋藏深度的增加而逐渐增大,在同一深度,砂岩的 Z_p 值较高,泥岩的 Z_p 值较低,泥质粉砂岩和粉砂质泥岩以及部分粉砂岩、泥岩的 Z_p 值介于上述两者之间,但在该区砂岩和泥岩的波阻抗值差异非常小,表明单纯用 Z_p 值难于分辨该区岩性较细的砂岩和泥岩(图3)。

1.3 纵、横波速度比

该区不同岩心的纵横波速度比(V_p/V_s)有以下变换规律,砂岩和泥岩的 V_p/V_s 值均随地层埋深增加而减小,砂岩的 V_p/V_s 值主要为1.4~1.9,泥

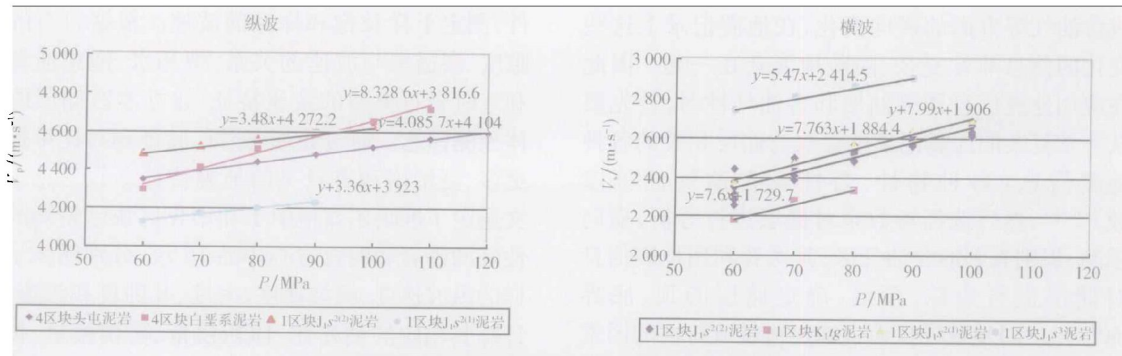


图1 准噶尔盆地腹部泥岩纵、横波速度随压力的变化

Fig. 1 Velocities of compressional wave and shear wave vs. pressure in mudstone in the central of Junggar basin

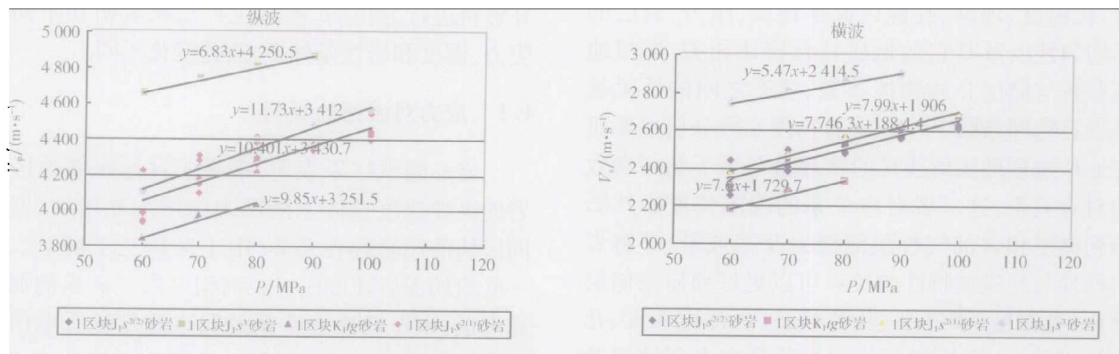


图2 准噶尔盆地腹部砂岩纵、横波速度随压力的变化

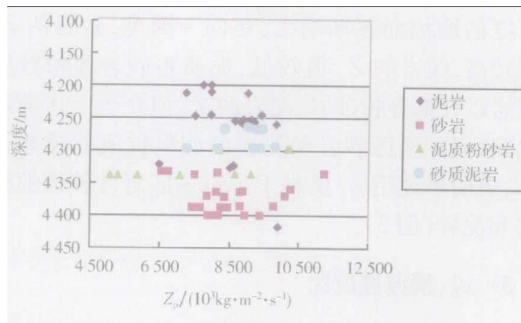
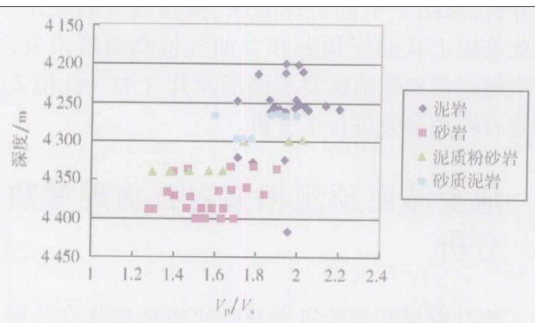
Fig. 2 Velocities of compressional wave and shear wave vs. pressure in sandstone in the central of Junggar basin

岩的 V_p/V_s 值为 1.8 ~ 2.2, 但是二者仍有重叠, 但随着砂岩成分的变化其 V_p/V_s 值是介于两者之间 (图4), 这表明可用纵横波速度比确定该区物性好的砂岩和泥岩。分析认为, 砂岩孔隙内泥质含量增加会导致传播速度的减小, 造成该区砂岩和泥岩的 V_p/V_s 值差异小的原因是岩性偏细 (主要为粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩)。因此单纯用纵横波速度比分辨出该区岩性细的砂岩

与泥岩是比较困难的。

图5是该区不同岩性的 V_p/V_s 与 Z_p 交会图。与单纯用 Z_p 或 V_p/V_s 来识别该区岩性的效果相比, 用 Z_p 与 V_p/V_s 交会图特征识别岩性 (岩性较细的砂岩和泥岩), 其效果有所改善。

综合分析认为, 在本区应用常规纵波波阻抗资料对砂岩和泥岩是难以分辨。因此, 用常规地震资料预测储层 (不含油气的储层) 是不可能的。

图3 准噶尔盆地腹部岩性 Z_p 与深度交会图Fig. 3 Crossplot of Z_p and depth of different lithologies in the central of Junggar basin图4 准噶尔盆地腹部岩性 V_p/V_s 与深度交会图Fig. 4 Crossplot of V_p/V_s and depth of different lithologies in the central of Junggar basin

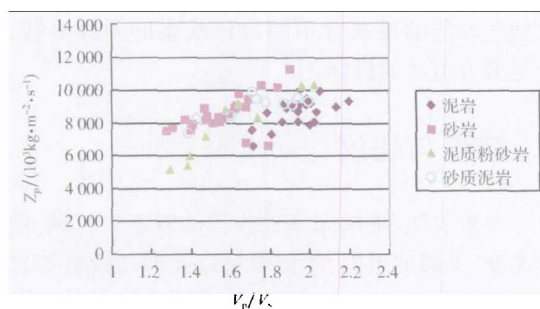
图5 准噶尔盆地腹部岩性 V_p/V_s 与 Z_p 交会图

Fig. 5 Crossplot of V_p/V_s and Z_p of different lithologies in the central of Junggar basin

2 地震含油性检测相关岩石物理参数分析

通过岩心测试和测井资料统计了砂岩在含不同的流体状态下岩石物理参数,侏罗系砂岩含油和含水时的孔隙度与 Z_p 的交会图(图6)分析发现,油层和水层的 Z_p 均随孔隙度的增大而减小;油层的 Z_p 值明显低于水层,当油层和水层的孔隙度不同时,含油的砂岩 Z_p 降低幅度可能与水层大孔隙度造成的 Z_p 值降低幅度相当,高孔隙度水层与高孔隙度油层的 Z_p 值相当。分析表明,用波阻抗预测较好储层的含油气性不够准确^[16]。

其次砂岩含不同流体时的 V_p/V_s 值有如下变化规律(图7):气层的 V_p/V_s 值小于水层、油层和泥岩,油层的 V_p/V_s 值和水层的 V_p/V_s 值差别很小;这是由于横波的传播与纵波不同,它不受岩石孔隙中流体的影响,地层含气以后, V_p 下降而 V_s 基本不变,因此气层的 V_p/V_s 与水层的差异大,而地层含油以后,其 V_p 下降较气层小,因此油层的 V_p/V_s 与水层的差异小。

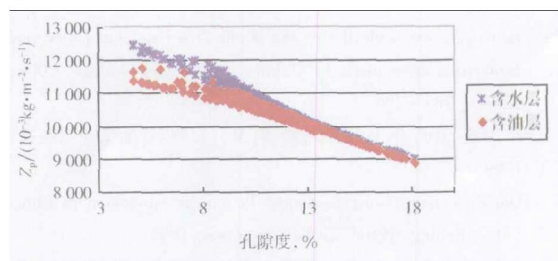
图6 砂岩饱和油水时孔隙度与 Z_p 交会图

Fig. 6 Crossplot of porosity and Z_p of sandstone saturated with oil and water

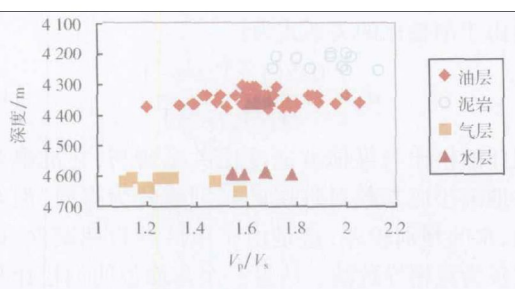
图7 砂岩含流体时 V_p/V_s 与深度交会图

Fig. 7 Crossplot of V_p/V_s and depth of sandstone containing different fluids

通过已知的岩石物理参数,依据公式求得岩石弹性参数,进而研究弹性参数与岩石含油气之间的关系。主要研究剪切模量(μ)、体积模量(κ)、泊松比(σ)等岩石弹性参数。通过岩石弹性参数研究发现部分参数对油气的响应不同。

泊松比是一个反映气层的最佳参数,特别是对高孔隙岩石。当岩石一个方向受到拉伸时,与之垂直的方向会受到压缩,压缩与拉伸两者应变之比我们定义为泊松比。含不同流体状态岩石的速度变化范围是互相重叠的,但泊松比却有明显的差别,因此可以利用泊松比较好地确定岩石含流体的性质。

在中部 I 区块的孔隙度/泊松比($\Phi - \sigma$)交汇图(图8)中可以看出,油层(红色)基本都分布在低泊松比区,说明该区油层的特点之一是比水层具有更低的泊松比。当泊松比大于 0.335 时,砂岩为水层。但是水层与油层仍有一部分重叠,这

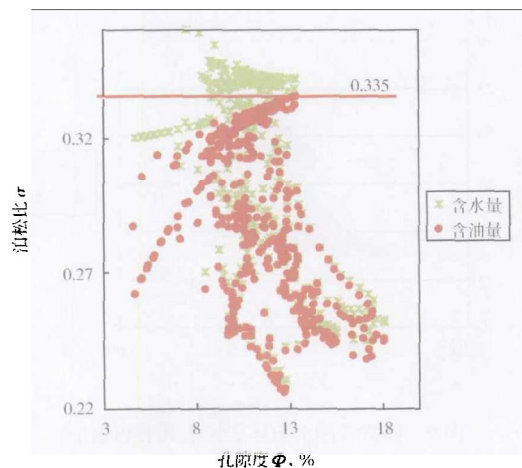
图8 油水层 $\Phi - \sigma$ 交汇图

Fig. 8 Crossplot of poisson's ratio and porosity in oil and water layer

是由于泊松比的关系式为:

$$\sigma = \frac{0.5(V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1} \quad (1)$$

因此泊松比与纵横波速度比关系密切,在准噶尔盆地泊松比参数对气层的判别应较为有效,但对油、水的判别较差,这是由于该区砂岩埋藏深、储层较为致密导致的。从另一个方面说明泊松比具有多解性,因此需要结合其他对油气敏感的参数方能预测油气。

其次弹性参数虽然许多来源于 V_p, V_s , 但经过计算变换,对油、气的分辨率就会产生变化。已知速度(包括纵波速度(V_p)和横波速度(V_s))和密度,就可通过公式求得:

$$\mu = \rho V_s^2 \quad (2)$$

$$\kappa = \rho(V_p^2 - 2V_s^2) \quad (3)$$

式中, ρ 为岩石密度。通过不同的岩石弹性参数的计算和交汇,发现准噶尔盆地腹部含油层与水层能够区分的参数是: $\kappa\rho - \mu\rho, (\kappa - \mu) - V_p$ 和 $(I_p - I_s) - V_p$, 3种交汇图都可以较好地地区分砂泥岩和油层、水层。图9是体积模量与剪切模量的差值与纵波速度的交汇图。可以看出体积模量与剪切模量的差值是14时为饱含油,差值是16时为饱含水,其效果较明显。这是由于在流体介质中,由于剪切模量 $\mu = 0$, 即干燥岩石的 μ 与完全饱和流体岩石的 μ 是相等的, μ 只与孔隙度有关,与孔隙流体性质无关,因此体积模量与剪切模量的差值能较好的反映储层含流体情况。在准噶尔

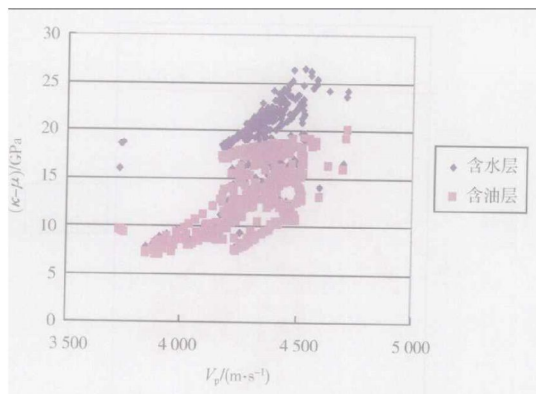


图9 砂岩含油水时体积模量和剪切模量差值与纵波速度的交汇图

Fig.9 Crossplot of differential between bulk modulus and shear modulus vs. velocity of compressional wave in sandstone saturated with oil and water

盆地获取能够反映含不同流体状态的弹性参数,应是努力追求的目标。

3 结论与建议

分析表明,准噶尔盆地腹部侏罗系岩石纵、横波速度、纵波波阻抗、体积模量以及剪切模量等岩石物理参数受岩性、物性和含油气性等多种因素控制,该区用纵波波阻抗不能分辨砂岩和泥岩。纵、横波速度比能够区分物性好的砂岩和泥岩以及砂岩含气与含水两种状态,弹性参数中的泊松比、体积模量与剪切模量的差值在一定条件也可以区分油层和水层。由于常规地震只涉及纵波,因此利用波阻抗反演对侏罗系埋藏深、物性差的储层预测是困难的,利用常规纵波勘探资料提取属性进行含油气检测也不现实。岩石参数分析表明,由于 AVO 技术在叠前进行,叠前共中心点道集中,非零炮间距地震道的反射系数包含了横波信息的影响,因此在 AVO 属性结果中包括了横波信息和泊松比信息,使用 AVO 特征相当于用纵、横波联合解释;该区可以利用 AVO 进行储层预测和含油气判别^[17,18],有助于提高油气检测的准确性,为了加强油气检测的准确性还必须联合弹性反演多属性储层预测技术,当然此技术的应用还需有高分辨率保幅的地震资料作基础,开展正演模型研究、流体替换技术研究和其他相关岩石物理参数的变化规律研究,可进一步提高地震储层预测和含油气性检测的成功率。

参考文献

- 王宜林,姜建衡,张义杰,等. 准噶尔盆地“九五”油气勘探进展及“十五”勘探方向[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(4): 284 ~ 286
Wang Yilin, Jing Jianheng, Zhang Yijie, et al. Petroleum exploration progress made during the Ninth Five-year plan period and exploration orientation[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2001, 22(4): 284 ~ 286
- 邱中建,龚再升. 中国油气勘探[M]. 北京:石油工业出版社, 1999
Qiu Zhongjian, Gong Zaisheng. Petroleum exploration in China[M]. Beijing: Petroleum Industry press, 1999
- 张越迁,张年富,姚新玉. 准噶尔盆地腹部油气勘探回顾与展望[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(2): 105 ~ 109
Zhang Yueqian, Zhang Nianfu, Yao Xinyu. Review and prospect for petroleum exploration in hinterland of Junggar basin[J]. Xin-

- jiang Petroleum Geology, 2000, 21(2): 105-109
- 4 王英民,刘豪. 准噶尔盆地侏罗系非构造圈闭的勘探前景[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 44-46
Wang Yingmin, Liu Hao. The exploration prospect of non-structural traps of Jurassic in Junggar basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1): 44-46
 - 5 张年富. 准噶尔盆地腹部莫索湾地区油气成藏条件与成藏模式[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(3): 17-20
Zhang Nianfu. Fluid compartment and hydrocarbon accumulation in Mosuowan area in central part of Junggar basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(3): 17-20
 - 6 刘震, 张万选, 张厚福. 模式识别在预探井钻前储层预测中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(2): 121-126
Liu Zhen, Zhang Wanxuan, Zhang Houfu. Application of pattern recognition in reservoir prediction in pre-exploratory wells before drilling[J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(2): 121-126
 - 7 李宗杰, 王勤聪. 塔北超深层碳酸盐岩储层预测方法和技术[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 35-40
Li Zhongjie, Wang Qincong. Method and technique for prediction of super-deep carbonate reservoir in north Tarim basin[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1): 35-40
 - 8 翟爱军, 邓宏文, 邓祖佑. 鄂尔多斯盆地上古界层序地层与储层预测[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 336-340
Zhai Aijun, Deng Hongwen, Deng Zuyou. Sequence stratigraphy and reservoir prediction of upper Paleozoic in Ordos basin[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(4): 336-340
 - 9 王西文. 精细储层预测技术在油田开发中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(2): 209-218
Wang Xiwen. Application of fine reservoir prediction technique to oilfield development[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(2): 209-218
 - 10 侯伯刚, 杨池银, 武站国, 等. 地震属性及其在储层预测中的影响因素[J]. 石油地球物理勘探, 2004, 39(5): 553-558
Hou Bogang, Yang Chiyin, Wu Zhanguo, et al. Seismic attribute and affected factors in reservoir prediction[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2004, 39(5): 553-558
 - 11 吴金才, 孟闲龙, 王离迟, 等. 准噶尔盆地腹部隐蔽油气藏及勘探思路[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(6): 682-691
Wu Jincai, Meng Xianlong, Wang Lichi, et al. Characteristics of subtle oil/gas reservoir and exploration strategy in central Junggar basin[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(6): 682-691
 - 12 Mukerji T, Jorstand A, Avseth P, et al. Mapping lithofacies and pore-fluid probabilities in a North Sea reservoir seismic inversions and statistical rock physics[J]. Geophysics, 2001, 66(4): 988-1001
 - 13 史譔, 杨东全. 岩石波速和孔隙度、泥质含量之间的关系研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 37(3): 379-384
Shi Ge, Yang Dongquan. The regression analysis study on velocity and porosity and clay content of rocks[J]. Acta Scientiarum Naturalium (Universitatis, Pekinensis), 2001, 37(3): 379-384
 - 14 Pokob A H, 杨恬欣. 岩石物理参数统计关系在研究火山岩地区中的应用[J]. 国外铀地质, 1990, (2): 60-63
Pokob A H, Yang Tianxin. The application of statistical of petrophysical parameters in volcanic earth study[J]. Overseas Uranium and Gold Geology, 1990, (2): 60-63
 - 15 徐伯勋, 白旭滨, 于常青. 地震勘探信息技术提取、分析和预测[M]. 北京: 地质出版社, 2001.
Xu Boxun, Bai Xubin, Yu Changqing. The technique of extracting, analysis and forecast of seismic information[M]. Beijing: Geology Publishing House, 2001
 - 16 凌云. 基本地震属性在沉积环境解释中的应用研究, 石油地球物理勘探, 2003, 38(4): 642-653
Lin Yun. The application of basic seismic attribute in sedimentary environment interpretation[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2003, 38(4): 642-653
 - 17 Krief M, Garat J, Stellingwerff J, et al. A petrophysical interpretation using the velocities of P and S waves (full-waveform sonic)[J]. The Log Analyst, 1990, 31: 355-369
 - 18 Brian H R. Fluid-property discrimination with AVO: a biot-gas-mann perspective[J]. Geophysics, 2003, 68(1): 29-39

(编辑 陈喜禄)

《石油与天然气地质》杂志影响因子继续保持领先

据2006年10月27日在北京国际会议中心举行的“中国科技论文统计结果发布会”消息,《石油与天然气地质》杂志2005年总被引频次为1524次,在能源科学技术类期刊中位列第四,在1652种核心期刊中位列第143位;影响因子为1.451,在能源科学技术类期刊中位列第二,在1652种核心期刊中位列第41位。

《石油与天然气地质》杂志自2004年从季刊改为双月刊以来,不断改进,推陈出新,相继刊出了大量反映科研、生产最新成果和进展的优秀论文,培养了一批优秀青年作者,在读者和同行中的影响力不断提高和深入,成为能源科学技术行业广大研究人员和高校师生中深受欢迎的刊物。

(李 军)