

# 江陵凹陷古近系新下段膏盐岩地球物理 响应特征及分布预测

杨淑雯<sup>1,2</sup>, 陈波<sup>1\*</sup>, 蔡德洋<sup>3</sup>, 关小曲<sup>4</sup>, 谢瑞<sup>1,2</sup>, 曹军涛<sup>3</sup>

(1.长江大学非常规油气湖北省协同创新中心, 湖北武汉 430100; 2.长江大学地球科学学院, 湖北武汉 430100; 3.中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院, 新疆库尔勒 841000; 4.中国石油华北油田分公司地球物理勘探研究院, 河北任丘 062552)

**摘要:**江陵凹陷古近系新下段膏盐岩非常发育,且油气成藏与膏盐岩分布关系密切。分析研究区含膏盐岩段的岩心、钻井、测井和地震等资料,发现江陵凹陷新下段膏盐岩在测井曲线上表现为低密度、高电阻率的特征;通过正演模拟认为研究区膏盐岩具有强振幅、低频率的地震响应特征,结合井—震标定,确定不同岩性在地震剖面上的响应特征存在差异;膏盐岩表现为明显的强振幅、较好连续性的地震响应特征,砂、泥岩互层沉积表现为中—强振幅、较差连续性的地震响应特征,泥岩表现为弱振幅或空白反射特征。通过地震属性提取,分析典型岩相的地震属性特征,建立研究区岩相—地震响应—地震属性的关系,并据此预测未钻井区域的岩性分布,完成研究区不同岩性分布的区域划分。最终确定江陵凹陷新下段膏盐岩主要分布于2个区域,分别为梅槐桥洼陷南部和资福寺洼陷南部。

**关键词:**新下段膏盐岩地球物理响应特征 分布预测 江陵凹陷

中图分类号:TE112.24

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)02-0033-06

## Geophysical responses characteristics and distribution prediction of gypsum-salt rock in the lower member of Xingouzui Formation of Paleogene in Jiangling sag

Yang Shuwen<sup>1,2</sup>, Chen Bo<sup>1</sup>, Cai Deyang<sup>3</sup>, Guan Xiaoqu<sup>4</sup>, Xie Rui<sup>1,2</sup>, Cao Juntao<sup>3</sup>

(1.Hubei Cooperative Innovation Center of Unconventional Oil and Gas, Yangtze University, Wuhan City, Hubei Province, 430100, China; 2.School of Geoscience, Yangtze University, Wuhan City, Hubei Province, 430100, China; 3.Research Institute of Exploration and Derelopment, Tarim Oilfield Company, CNPC, Korla, Xinjiang, 841000, China; 4.Geophysical Exploration Research Institute of Huabei Oilfield Company, CNPC, Renqiu City, Hebei Province, 062552, China)

**Abstract:** The lower member of Xingouzui Formation (Ex) of Paleogene in Jiangling sag is rich in gypsum-salt rocks. The hydrocarbon accumulation is closely related to the distribution of gypsum-salt rock. By analyzing the cores, logs and seismic data, it is found that the lithologic and the electric characteristics of gypsum-salt rocks are low density and high electronic resistivity. Based on forward modeling, their seismic responses are characterized by high amplitude and low frequency. Combined with well-seismic calibrating, it is found that different lithologic has different seismic response. The seismic reflection characteristics of gypsum-salt rock are strong amplitude, low frequency and good continuity. Seismic responses of the interbedded sand and shale are characterized by strong amplitude and bad continuity. Weak amplitude reflection feature appears in mudstone. By extracting the seismic attribute data, the characteristics of seismic attributes of typical facies

收稿日期:2015-01-10。

作者简介:杨淑雯(1988—),女,湖北仙桃人,在读硕士研究生,从事地震资料解释及非常规油气资源评价方面的研究。联系电话:(027)69111832, E-mail:shuwenyang@126.com。

\*通讯作者:陈波(1967—),男,湖北松滋人,教授,博导。联系电话:(027)69111832, E-mail:chpo@yantzeu.edu.cn。

were determined, and the relationship among lithological facies, seismic response and seismic attribute was established to predict the gypsum-salt distribution in the undrilled zone based on the drilled area in Jiangling sag. In conclusion, gypsum-salt rock in Lower Ex of Jiangling sag distributes in two areas of the southern of Meihuaiqiao subsag and Zifusi subsag.

**Key words:** Lower Ex; gypsum-salt rock; geophysical responses characteristics; distribution predict; Jiangling sag

江陵凹陷古近系新下段膏盐岩非常发育,且在膏盐岩分布区发育主力烃源岩,膏盐岩沉积对油气的生成、运移及保存具有较大影响,因此油气富集与膏盐岩分布具有密切关系。此外,江陵凹陷岗钾1井钻遇高温高压卤水层,日产卤水量达4 320 m<sup>3</sup>/d;由于富钾卤水与石油矿产均属于流体矿产,具有很多类似的性质,使应用地球物理预测方法预测富钾卤水层成为可能<sup>[1-2]</sup>。近年来,对含盐盆地的研究主要集中于盐岩体因变形、流动所形成的各种特殊盐构造及相关油气藏<sup>[3-4]</sup>。膏盐岩多具有杂乱、连续性较差的地震反射特征;且膏盐岩特殊的地球物理响应特征及多种岩相组合会造成地震反射特征的多样性,须根据膏盐岩和围岩的地震属性特征对不同区域、不同层段的膏盐岩进行识别和预测。为此,笔者利用地震正演模拟明确砂岩、泥岩及膏盐岩在不同组合关系下的地震反射特征,并将地震属性分析与钻井资料相结合,确定不同岩相组合膏盐岩的分布范围<sup>[5]</sup>,研究成果对含油气盆地地下步勘探

开发部署具有重要指导意义。

### 1 地质概况

江陵凹陷位于江汉盆地西南部,是发育在扬子陆块上的中-新生代陆相凹陷,面积约为6 500 km<sup>2</sup>,为江汉盆地最大的次级负向构造单元(图1)。研究区的东界为清水口断层,西界为问安寺断层,南界为公安断层,北界为纪山寺断层,凹陷西部发育北北东向区域性大断裂万城断层,共同控制着江陵凹陷的形成和发展<sup>[6]</sup>。研究区现今的构造格局表现为东西分块、南北分带、多隆多坳、南抬北斜的特征,自西向东、自北向南可依次划分为江口向斜带、万城断裂带、拾桥单斜带、清水口向斜带、荆州背斜带、梅槐桥向斜带和公安单斜带共7个构造单元。江陵凹陷发育厚度近万米的白垩系-古近系陆相地层,其中新沟嘴组在凹陷中心的厚度达1 500 m,且新沟嘴组下段(新下段)为膏盐岩发育层段。

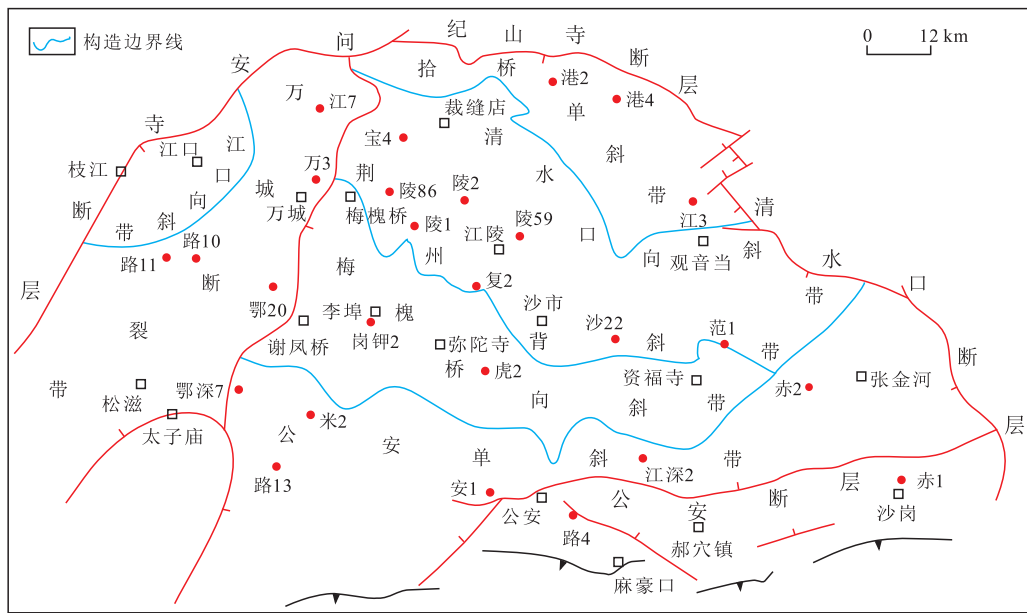


图1 江陵凹陷区域构造位置及构造单元划分

Fig.1 The location and division of its tectonic units of Jiangling sag

### 2 膏盐岩发育特征

通过分析江陵凹陷新沟嘴组钻遇膏盐岩的18口探井及4口取心井资料认为,研究区新下段主要

发育泥岩、泥膏岩、粉砂岩和膏质盐岩;且由下至上膏盐岩含量逐渐减少,砂、泥岩含量相应增加,整体表现为从膏质盐岩—泥膏岩—泥岩—粉砂岩的咸化—淡化的沉积演化规律。其中,陆源碎屑沉积物的颗粒较细,主要为灰色、棕色泥岩夹薄层灰色、棕

红色粉砂岩;膏盐岩发育以膏盐—泥岩的薄互层沉积为主,常表现为灰白色膏质盐岩、泥膏岩与灰色泥岩(部分区域为棕色)的互层沉积。

### 3 膏盐岩地球物理响应特征

#### 3.1 测井响应特征

综合分析测井与岩心资料发现,江陵凹陷主要发育泥膏岩和膏质盐岩2种膏盐岩。由于特殊的物质结构,在进行测井解释时,这2种膏盐岩的测井数据常表现出很大的差异,成为判识膏盐岩的基本依据<sup>[7]</sup>。研究区泥膏岩主要分布于新下段 I 和 II 油组,其自然伽马值极低,一般为 35~55 API,在研究区所有岩性中最低;密度为 2.75~2.86 g/cm<sup>3</sup>,高于其他岩性;声波时差一般为 170~200 μs/ft,与其他岩性相比较低;电阻率测井曲线显示为高阻,中子测井曲线的低值趋于 0;由于泥膏岩不易溶于水,因此在淡水钻井液条件下井径曲线表现为正常。膏质盐岩主要分布于新下段 II 和 III 油组,其自然伽马值较低,一般为 45~65 API,明显低于砂岩和泥岩;密度为 1.3~2.0 g/cm<sup>3</sup>,低于研究区其他岩性,且一般不随埋深的增加而大幅增大;声波时差一般为 220~280 μs/ft,与其他岩性相比较低;电阻率测井曲线显示为高阻,中子测井曲线的低值趋于 0;由于膏质盐岩易溶于水而发生浸泡溶解作用,因此在淡水钻井液条件下井径曲线表现为明显的扩径。从不同岩性的速度—密度交会图(图2)可以看出,泥膏岩与泥岩和砂岩的密度具有较大差异;膏质盐岩具有低速度、低密度的特征,与其他岩性差异明显。

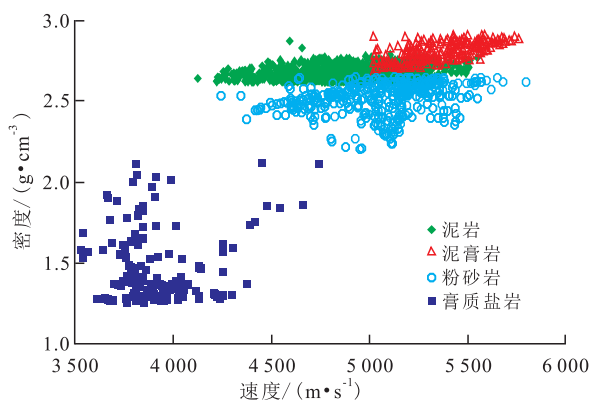


图2 江陵凹陷新下段不同岩性速度—密度交会

Fig.2 The crossplot of density and velocity of different lithologies in the lower member of Xingouzui Formation of Jiangling sag

#### 3.2 地震响应特征

正演模拟是在实际钻井、测井资料分析的基础上,通过设定地质体的形状、产状和物性数据,对预

测的地质模型进行地震模拟,据此分析岩层的地震响应特征<sup>[8]</sup>。不同岩性的岩电特征分析结果表明,膏盐岩的密度和地震波传播速度与砂、泥岩具有明显差异,与围岩产生较大的波阻抗差,因此可以形成较强的地震反射界面。

江陵凹陷含盐地层中膏盐岩的沉积形式可分为盐岩层、膏盐岩互层和泥膏岩互层3种。研究区新下段以薄互层沉积为特点,80%单层厚度小于4 m;既有砂岩与泥岩的薄互层沉积,也有膏盐岩与泥岩的薄互层沉积,而盐岩与砂岩一般不呈薄互层沉积。由于地震资料的纵向分辨率有限,地震剖面上1个同相轴是由多个薄互层反射叠加所形成;当单层厚度较薄时,仅在整个薄互层的顶、底界面形成地震反射界面;当单层厚度大于四分之一波长时,在薄互层内部才会形成地震反射界面<sup>[9]</sup>。对研究区虎2井地震剖面进行频谱分析认为,在正演模拟过程中适合采用主频为25 Hz的正极性雷克子波,结合虎2井测井资料对研究区膏盐岩发育段进行正演模拟(图3),结果显示膏盐岩互层段的地震反射振幅最强,且新下段膏盐岩的厚度为18 m<sup>[10]</sup>,在其内部也形成地震反射界面,整体表现为一强一弱振幅

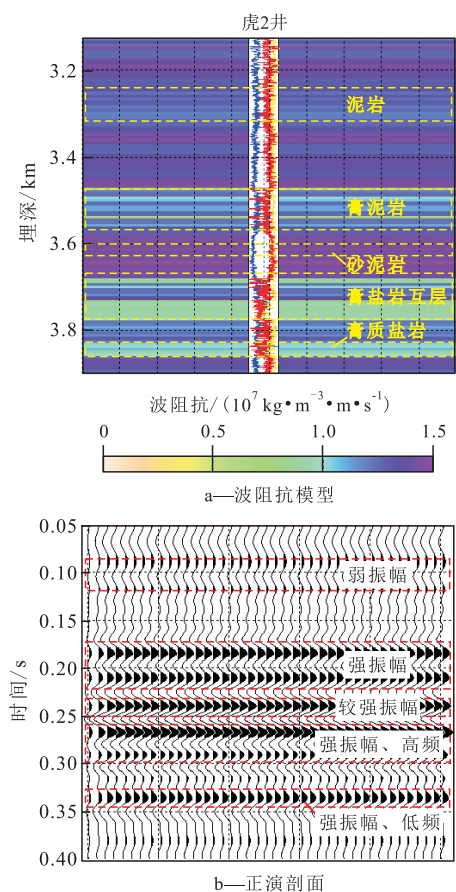


图3 江陵凹陷虎2井正演模拟

Fig.3 Seismic forward modeling of gypsum-salt rock drilled at Well Hu2 in Jingling sag

反射特征;泥膏岩互层段表现为明显的强振幅反射特征,盐岩层段表现为较强振幅、低频的地震反射特征,且振幅强度随盐岩层厚度增大而增大;砂、泥岩互层段的地震反射振幅强度相对较弱,泥岩段的地震反射表现为弱振幅甚至空白反射特征。

### 4 膏盐岩分布特征

地震属性预测主要是在准确标定层位的基础上,根据膏盐岩的物性变化导致地震波反射速度、频率、振幅、相位以及波形等一系列地震属性参数的纵、横向变化<sup>[11]</sup>,利用对膏盐岩反应敏感的地震属性参数预测膏盐岩的平面分布范围<sup>[12]</sup>。江陵凹陷的构造较为复杂,地层多为砂、泥岩薄互层或夹薄层膏盐岩沉积,且由于陆相沉积环境下的沉积稳定性较差,相变较快,因此岩性成为影响地震属性变化的主导因素<sup>[13]</sup>。研究区的地震数据由4块三维地震工区拼接而成,范围较大,覆盖凹陷内的主要构造单元,综合地震反射特征与地震属性分析<sup>[14]</sup>,建立研究区岩相—地震响应—地震属性的关系,进而可以根据地震属性的平面分布特征对不同岩性的分布区域进行划分。由于不同岩性的地震反射振幅存在较大差异,且地震反射振幅的强弱与膏盐岩厚度呈明显的正相关关系,因此可以利用对振幅变化非常敏感的均方根振幅属性来预测研究区膏盐岩的平面分布<sup>[15]</sup>。根据江陵凹陷钻井、地震资

料,通过井—震标定,对新下段顶界面进行全区追踪解释,并以平行于顶界面向下开时窗生成底界面的方法,提取变时窗约束的均方根振幅属性来预测膏盐岩的平面分布<sup>[16]</sup>。研究结果(图4)表明,江陵凹陷岗钾1井、虎2井和资深1井钻遇新下段膏盐岩,其地震响应表现为强振幅、连续性较好的低频反射,均方根振幅值为1~1.5 cm;砂、泥岩互层沉积以陵2井、陵63井和沙22井最为典型,地震响应表现为中—强振幅、连续性较差的高频反射,均方根振幅值为1.6~2 cm;泥岩则表现为弱振幅或空白反射,以万121井和米2井最为典型,均方根振幅值为0.2~0.6 cm;此外,玄武岩表现为极强的振幅反射<sup>[17]</sup>,以范4井最为典型,仅分布于研究区东部较小的范围。

综合分析江陵凹陷的沉积构造背景、钻井、二维和三维地震资料以及地震属性预测的岩相划分结果,确定研究区新下段沉积时期沉积相的平面分布特征(图5)。结果表明,在新下段沉积时期江陵凹陷发育的膏盐岩主要分布于2个区域。一是发育于梅槐桥洼陷南部的椭圆型膏盐岩沉积区,其相带展布与李埠—流市断裂带的走向一致;二是发育于资福寺洼陷南部较大面积的椭圆型膏盐岩沉积区,其走向受资北断层控制。此外,由于沉积环境的变化,受北部物源的影响,新下段沉积时期研究区膏盐岩的分布范围小于沙市组沉积时期,且有向南部迁移萎缩的趋势。

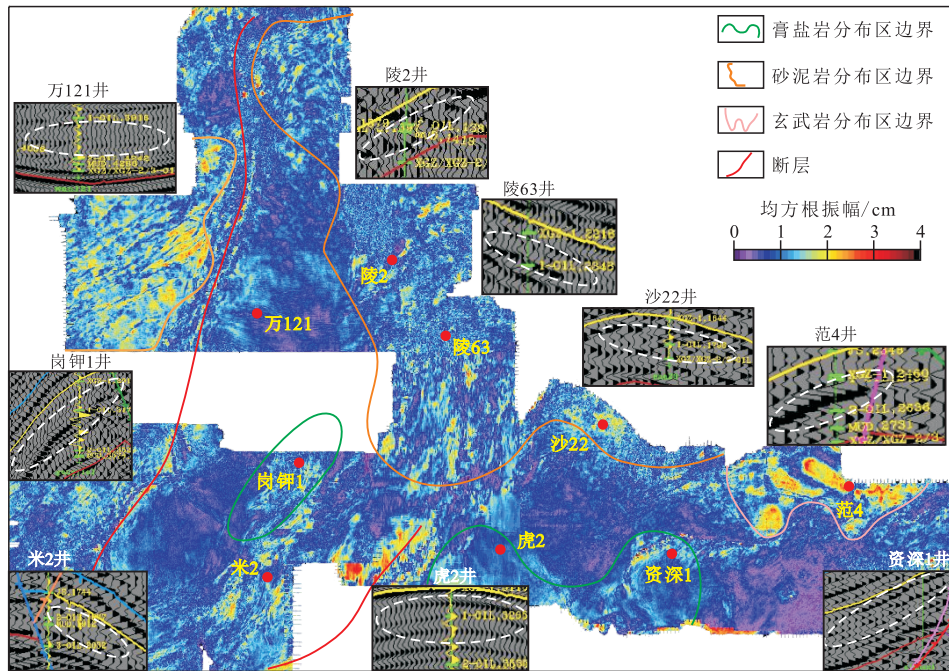


图4 江陵凹陷新下段均方根振幅属性

Fig.4 The RMS amplitude of the lower member of Xingouzui Formation, Jingling sag

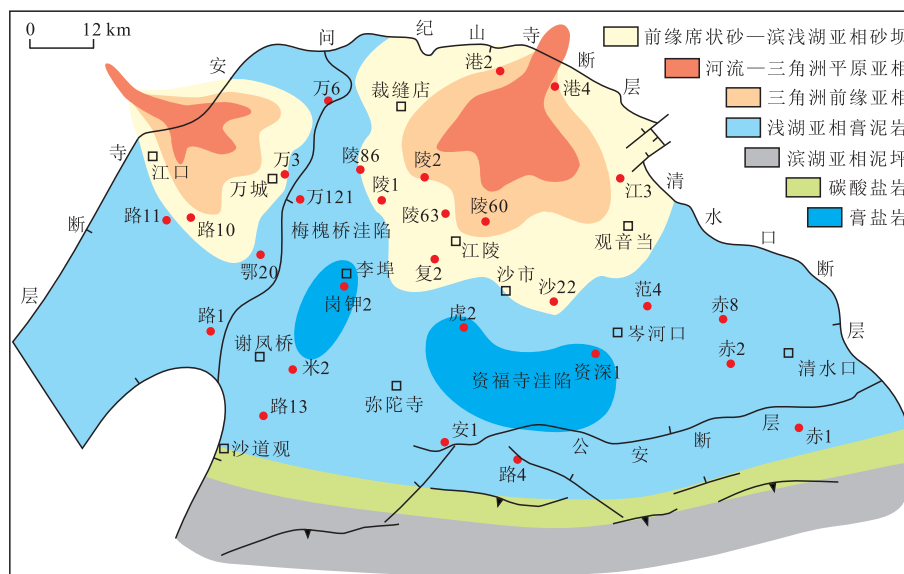


图5 江陵凹陷新下段沉积时期沉积相平面分布

Fig.5 Sedimentary facies of the lower member of Xingouzui Formation in Jiangling sag

## 5 结论

基于三维地震资料,综合地质、钻井和测井资料,对江陵凹陷古近系新下段膏盐岩的地球物理响应特征进行分析,据此确定新下段膏盐岩的分布特征。研究表明,膏盐岩在测井曲线上表现为低密度、高电阻率的特征,地震剖面上表现为强振幅、好连续性反射特征,且其地震反射特征与膏盐岩的厚度及组合有关。不同岩性在地震剖面上的响应特征存在差异,膏盐岩表现为明显的中—强振幅、较好连续性的地震响应特征,砂、泥岩互层沉积表现为中—强振幅、较差连续性的地震响应特征,泥岩表现为弱振幅或空白反射特征。通过井—震标定,明确研究区已钻井区域不同岩性的地震属性特征,据此预测未钻井区域的岩性分布,完成研究区不同岩性分布的区域划分。综合区域沉积构造背景、钻井、二维和三维地震资料以及地震属性预测的岩相划分结果,确定江陵凹陷新下段沉积时期膏盐岩主要分布于梅槐桥洼陷南部和资福寺洼陷南部。

### 参考文献:

- [1] 杜海峰,于兴河,陈发亮.河南省东濮凹陷古近系沙河街组沙三段盐岩沉积特征及其石油地质意义[J].古地理学报,2008,10(1):53-62.  
Du Haifeng, Yu Xinghe, Chen Faliang. Sedimentary characteristics of saltrocks and their petroleum geologic significance of the Member 3 of Shahejie Formation of Paleogene in Dongpu Sag,

Henan Province [J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(1): 53-62.

- [2] 孙利,余光华,李建革,等.东濮凹陷膏盐岩沉积控制因素及其对油气成藏的影响[J].油气地质与采收率,2014,21(5):27-31.  
Sun Li, Yu Guanghua, Li Jiange, et al. Controlling factors of gypsum-lith sedimentary and its impact on hydrocarbon reservoirs in Dongpu sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(5): 27-31.
- [3] 孙思敏,梁德富,黄述旺.东濮凹陷文留油田盐岩地震反射特征及相关油藏类型[J].地质力学学报,2007,13(4):348-354.  
Sun Simin, Liang Defu, Huang Shuwang. Seismic reflection characteristics of halite and related hydrocarbon accumulation types of the Wenliu oilfield in the Dongpu subbasin [J]. Journal of Geomechanics, 2007, 13(4): 348-354.
- [4] 孙波,蒋有录,张善文,等.东濮凹陷北部膏盐岩分布特征及其对地层温度的影响[J].油气地质与采收率,2012,19(1):28-30.  
Sun Bo, Jiang Youlu, Zhang Shanwen, et al. Distribution characteristics of salt and its influence on geotemperature, north Dongpu depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(1): 28-30.
- [5] 庞尚明,陈发亮,李勤英.东濮凹陷盐岩地震地质特征研究[J].石油物探,2005,44(6):605-608.  
Pang Shangming, Chen Faliang, Li Qinying. Seismo-geologic features of halite in Dongpu depression [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2005, 44(6): 605-608.
- [6] 芮志锋.江汉盆地江陵凹陷新沟嘴组沉积体系分析与有利目标区带预测[D].北京:中国地质大学(北京),2009.  
Rui Zhifeng. Analysis of sedimentary system and prediction of favorable exploration target of Xingouzui Formation in Jiangling Depression, Jianghan Basin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2009.
- [7] 魏水建,冯琼,冯寅,等.川东北通南巴地区三叠系膏盐岩盖层

- 预测[J].石油实验地质,2011,33(1):81-86.
- Wei Shuijian, Feng Qiong, Feng Yin, et al. Prediction of Triassic gypsum cap rocks in Tongnanba region of Northeast Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(1): 81-86.
- [8] 马中高, 管路平, 贺振华, 等. 利用模型正演优选地震属性进行储层预测[J]. 石油学报, 2003, 24(6): 35-39.
- Ma Zhonggao, Guan Luping, He Zhenhua, et al. Reservoir characterization using seismic attributes optimized with rock physics modeling [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(6): 35-39.
- [9] 李宗杰. 三道桥白垩系储层正演模拟分析[J]. 特种油气藏, 2013, 20(5): 32-35.
- Li Zongjie. Forward modeling analysis of the Cretaceous reservoirs in Sandaoqiao area [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(5): 32-35.
- [10] 罗开平, 邱歧, 叶建中. 江汉盆地江陵凹陷油气富集规律与勘探方向[J]. 石油实验地质, 2013, 35(2): 127-132.
- Luo Kaiping, Qiu Qi, Ye Jianzhong. Petroleum accumulation regulations and exploration targets in Jiangling sag, Jianghan basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(2): 127-132.
- [11] Li Ming. Geophysical exploration technology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2014: 103-131.
- [12] 于正军. 灰质背景下浊积岩储层地震响应特征及识别方法——以东营凹陷董集洼陷为例[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(2): 95-97.
- Yu Zhengjun. Seismic response characteristics and recognition method of turbidity under carbonate depositional environment—a case in Dongji sag of Dongying sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(2): 95-97.
- [13] 李凤君, 庞雄奇, 辛广柱, 等. 地层物性变化对地震属性的影响[J]. 大庆石油学院学报, 2005, 29(4): 7-9.
- Li Fengjun, Pang Xiongqi, Xin Guangzhu, et al. Effects of formations' physical property changes on seismic attributes [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2005, 29(4): 7-9.
- [14] 洪忠, 张猛刚, 苏明军. 应用地震波形分类技术识别岩相的适用性和局限性[J]. 物探与化探, 2013, 37(5): 904-909.
- Hong Zhong, Zhang Menggang, Su Mingjun. The applicability and limitations of the seismic wave-form classification technology to the identification of lithological facies [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2013, 37(5): 904-909.
- [15] Bibiana Kytková, Patrik Hutman, Róbert Prochác. Application of seismic attributes at the 3D seismic interpretation [J]. Acta Geologica Slovaca, 2009, 1(2): 103.
- [16] 张军华, 朱焕, 高荣涛, 等. 地震复合属性—地震属性提取与解释新方法[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(4): 494-496.
- Zhang Junhua, Zhu Huan, Gao Rongtao, et al. Compound attribute as new method for pick up and interpretation of seismic attributes [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(4): 494-496.
- [17] 何又雄, 查树贵, 霍浩, 等. 江陵凹陷玄武岩覆盖区勘探方法研究[J]. 石油天然气学报, 2005, 27(2): 194-196.
- He Youxiong, Zha Shugui, Ho Hao, et al. Exploration and development of basaltic areal coverage in Jingling Depression [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 27(2): 194-196.

编辑 邹澍滢

(上接第32页)

- [14] 陈发景, 贾庆素, 张洪年. 传递带及其在砂体发育中的作用[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 144-148.
- Chen Fajing, Jia Qingsu, Zhang Hongnian. Transfer zone and its relation with distribution of sand bodies [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 144-148.
- [15] 胡纯心, 杨帅, 陆永潮, 等. 长岭凹陷多环坡折地貌发育特征及对沉积过程的控制[J]. 石油实验地质, 2013, 35(1): 17-23.
- Hu Chunxin, Yang Shuai, Lu Yongchao, et al. Characteristics of multiple-circular slope break geomorphology and its controlling on sedimentary process in Changling Sag, Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(1): 17-23.
- [16] 尚鲁宁, 吕大伟, 李增学, 等. 琼东南盆地崖南凹陷崖城组辫状河三角洲沉积特征及油气地质意义[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(5): 4-9.
- Shang Luning, Lü Dawei, Li Zengxue, et al. Depositional characteristics and petroleum geology significance of braided delta system in Yacheng formation, Yanan sag, Qiongdongnan basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(5): 4-9.
- [17] 吴俊红. 巴喀油田八道湾组致密砂岩储层沉积特征[J]. 特种油气藏, 2013, 20(1): 39-43.
- Wu Junhong. Sedimentary characteristics of tight sand reservoirs of Badaowan Formation of Baka oilfield [J]. Special Oil & Gas Reservoir, 2013, 20(1): 39-43.
- [18] 郭涛, 王军, 石文龙, 等. 辽西低凸起中南段古近系东营组层序地层及地层-岩性油气藏勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 248-255.
- Guo Tao, Wang Jun, Shi Wenlong, et al. Sequence stratigraphy of the Paleogene Dongying Formation and its significance for stratigraphic-lithologic reservoirs exploration in the central-south Liaoxi salient [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 248-255.
- [19] 赖维成, 宋章强, 周心怀, 等. “动态物源”控砂模式[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(6): 763-768.
- Lai Weicheng, Song Zhangqiang, Zhou Xinhui, et al. Model of dynamic source controlling sand [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(6): 763-768.

编辑 邹澍滢