

云质岩类优质储层预测的频谱分解技术

戚艳平¹, 鲁阳¹, 杨海波¹, 吴涛¹, 唐洁², 桑蕴华³, 刘巍¹

1. 中国石油新疆油田公司勘探开发研究院, 新疆克拉玛依 834000
2. 中国石油新疆油田公司采油一厂, 新疆克拉玛依 834000
3. 中国石油西部钻探克拉玛依录井工程公司, 新疆克拉玛依 834000

摘要 准噶尔盆地西北缘乌尔禾地区二叠系风城组主要发育云质岩和火山岩两类储集体, 研究这两类储集体的分布范围对该区的石油勘探起着至关重要的作用。但云质岩和火山岩规模分布在地震剖面上表现为相似的强反射特征, 仅靠振幅类属性难以区分云质岩类和火山岩类储层。本文利用频谱分析技术分析云质岩和火山岩这两类储层在频率响应上的不一致性, 将两者的分布区域区分开, 并结合该区探井的试油资料, 总结出不同层段云质岩类储层产能的高低与其频谱特征的规律, 从而提取属性对云质岩类优质储层分布范围进行预测, 为该区二叠系风城组的勘探提供了有利的技术支持。利用频谱分解技术预测云质岩类优质储层的方法为其他区域云质岩类油气勘探提供了新思路。

关键词 准噶尔盆地; 云质岩; 频谱分解; 储层预测; 属性

中图分类号 TE19

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.01.008

Application of Spectral Decomposition Technology in Predicting High Quality Dolomitic Rock Reservoir

QI Yanping¹, LU Yang¹, YANG Haibo¹, WU Tao¹, TANG Jie², SANG Yunhua³, LIU Wei¹

1. Exploration & Development Research Institute, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay 834000, Xinjiang Uyghur Autonomous Region, China
2. Xinjiang Oilfield Company No. 1 Oil Production Plant, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay 834000, Xinjiang Uyghur Autonomous Region, China
3. Karamay Mud Logging Company of Western Drilling Engineering Corporation, PetroChina, Karamay 834000, Xinjiang Uyghur Autonomous Region, China

Abstract In the northwest margin of Junggar Basin Wuerhe, two sets of reservoirs including the dolomitic rock and the volcanic rock are developed in Permian Fengcheng Formation. An analysis of the distribution range of the dolomitic rock reservoir is very important for the petroleum exploration in the study area. However, these two rocks have the same seismic reflection, so they cannot be distinguished only by using the amplitude data. In this paper, the spectral decomposition is used to analyze the difference between the dolomitic rock and the volcanic rock so as to distinguish their distribution range. Then according to the actual well test data, the relations between the deliverability of the reservoir and the spectral parameters are obtained. Based on the relations, the spectral property is extracted to predict the distribution range of the high quality dolomitic rock reservoir, to provide a technology support for the exploration of Permian Fengcheng Formation in this area. The method of using spectral decomposition to predict the high quality dolomitic rock reservoir can also be used for studying the dolomitic rock in other areas.

Keywords Junggar Basin; dolomitic rock; spectral decomposition; reservoir predict; attribute

0 引言

准噶尔盆地西北缘乌尔禾地区二叠系风城组主要发育

云质岩和火山岩两大类相对优质储集体^[1], 在平面上表现为分区发育、相互消长的特征。云质岩类优质储层为泥质白云

收稿日期: 2012-09-12; 修回日期: 2012-10-22

基金项目: “十二五”国家科技重大专项大型油气田及煤层气开发项目(2011ZX05003-005)

作者简介: 戚艳平, 工程师, 研究方向为地震资料解释及有利目标识别与预测, 电子信箱: qianp@petrochina.com.cn

岩(如风3井)、云质粉砂岩(如风城011井),而火山岩类优质储层为玻屑熔结凝灰岩(如风南4井),其沉积体系见图1(据玛湖凹陷西缘云质岩高产带成因及勘探潜力分析,内部报告)。研究区二叠系风城组共分为3段,自下而上依次为风一段(P_{1f_1})、风二段(P_{1f_2})和风三段(P_{1f_3})。根据风城1井钻探结果,风一段钻揭厚度474m,为本文重点研究层段,岩性主要为白云质粉砂岩和泥质粉砂岩;风二段厚924m,岩性主要为石膏质粉砂岩与盐质泥岩互层;风三段厚度480m,岩性主要为泥质白云岩和白云质泥岩。目前钻遇该目标层共有8口井。

云质岩和火山岩规模分布在地震剖面上表现为相似的强反射特征,仅靠振幅类属性难以区分云质岩类和火山岩类储层。研究区风城组油藏受构造和岩性(物性)共同控制,预测云质岩类有利储层的分布是该区风城组进一步勘探的基础和条件。

传统地震储集层预测方法根据全频段信息进行研究,模糊了不同频率信号携带的不同地质信息,无法突出薄层所隐含的地质信息,因而限制了预测精度^[2]。频谱分解(spectral decomposition)技术通过离散傅里叶变换或最大熵等数学变换方法,将地震资料从时间域转换到频率域,形成振幅调谐体或相位调谐体,并利用目标层段振幅谱特征及相位谱特征对地震资料进行分析^[3]。利用地震波各种频率分量特性,能够有效识别薄层单元地质体,刻画复杂地质体内部地层反射特征,更加客观地反映储层的横向变化,有利于正确认识和评价储层,这些特点是常规解释和处理方法难以达到的^[4-5]。

目前,国内开展了利用频谱分析技术进行薄层砂体预测^[6]、储层定量解释^[7]、预测河道砂体^[2]以及预测储层含油气性^[8-9]等方面的研究。本文应用频谱分解技术对乌尔禾地区的云质岩类优质储层进行预测,取得了很好的成果。

1 云质岩与火山岩分布范围预测

1.1 典型井的云质岩与火山岩高频特征

研究区二叠系风城组一段风城1井、风城011井、风7井、风南1井、风南4井等重点井的电性和岩性资料研究表明,风城1井和风城011井区为云质岩类分布区,而风7井、风南1井、风南4井区也有云质岩分布,同时也发育火山岩。因此,开展云质岩类优质储层预测首先应将云质岩和火山岩类储层的主要分布范围区别开来。如图1所示。

应用频谱分解方法,结合钻遇二叠系风城组一段5口井的试油成果,分析每口井的储层频谱特征(表1、图2)。风城1井中测测试段S2为高产油气层,岩性为云质粉砂岩,井旁道分频范围为5~15Hz低频信息,且随着频率增加,该层段的地震响应越来越弱(图3)。风南4井和1井风城组一段岩性为火山岩,风南4井在S1段试油结论为油水同层,井旁道分频范围为23~55Hz中高频信息,而风南1井在S1段试油为稠油层,井旁频谱最高约达80Hz,且随着频率增加,该目标层的地震响应依然存在,缺少15Hz以下地震信息(图4)。

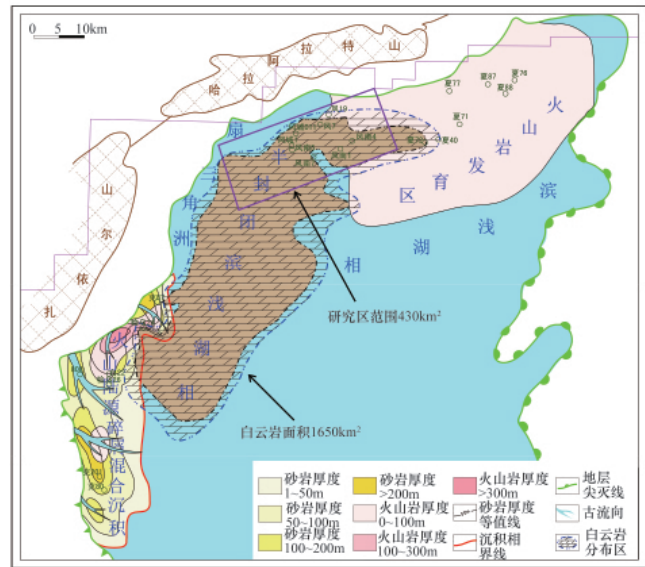


图1 西北缘风城组一段沉积体系分布示意

Fig. 1 Sedimentary system distribution in first member of Fengcheng Formation in northwest margin

表1 5口井试油成果和频谱分布范围

Table 1 Oil testing results and spectral distribution of 5 drilled wells

| 井号 | 试油层编号 | 试油层段岩性 | 日产油/t | 试油结果 | 频谱分布范围/Hz |
|-------|-------|--------|-------|------|-----------|
| 风城1 | S3 | 云质粉砂岩 | 8.96 | 油层 | 5~21 |
| 风城1 | C2 | 云质粉砂岩 | 109.8 | 油气同层 | 5~18 |
| 风城1 | S2 | 云质粉砂岩 | 12.4 | 油层 | 5~15 |
| 风城011 | S2 | 云质粉砂岩 | 28.35 | 油层 | 10~26 |
| 风城011 | S3 | 云质粉砂岩 | 0.41 | 含油层 | 20~35 |
| 风南4 | S1 | 火山岩 | 10.55 | 油水同层 | 23~55 |
| 风7 | S1 | 火山岩 | | 水层 | 25~50 |
| 风南1 | S2 | 火山岩 | 0.636 | 稠油层 | 30~80 |

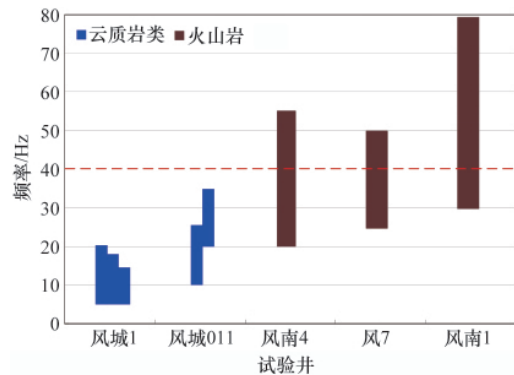


图2 试油井段岩性与频谱范围交会

Fig. 2 Cross-plot of oil testing lithology and spectral distribution

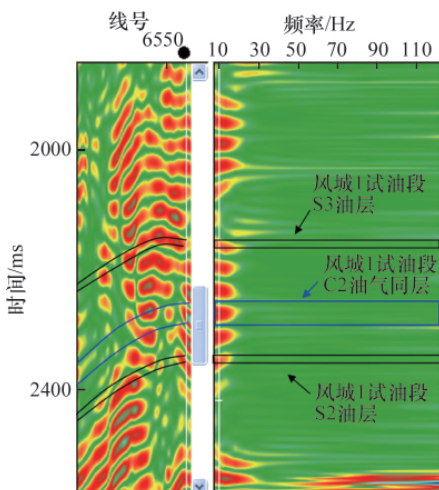


图3 风城1井旁地震道时频分析
Fig. 3 Time-frequency analysis in Well Fengcheng1 borehole-side seismic trace

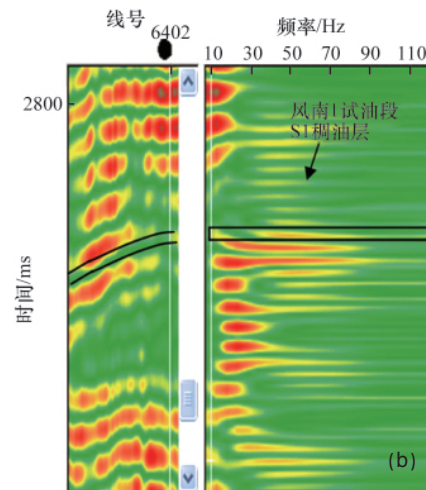
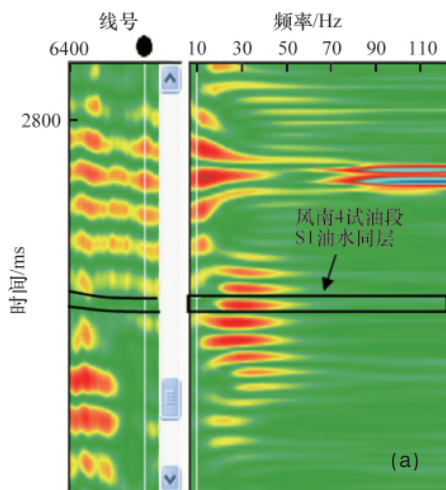


图4 风南4井(a)和风南1井(b)旁地震道时频分析
Fig. 4 Time-frequency analysis in Well Fengnan4 (a) and Well Fengnan1 (b) borehole-side seismic trace

1.2 云质岩和火山岩分布预测

分析试油段岩性与频谱范围交会图(图2)可知,风城组一段为具有一定产能的云质岩类和火山岩类储层,云质岩类储层具有低频信息(10~25Hz),但高频信息缺失(35~80Hz);而火山岩则表现为中高频均有分布(20~80Hz),缺少低频信息(10~15Hz)(表1)。因此,通过云质岩和火山岩类储层频率响应的不一致性,能够预测云质岩和火山岩的分布范围。通过提取仅有火山岩地震响应的40Hz地震分频数据体,并震标定结果表明风城组一段油层对应时窗约为40ms,然后沿风城组一段油层顶向下开40ms时窗提取均方根振幅属性(图5)。火山岩主要分布在工区东北部,而云质岩主要分布在中西部,二者具有明显不同的分布区域,该结果有利于进一步

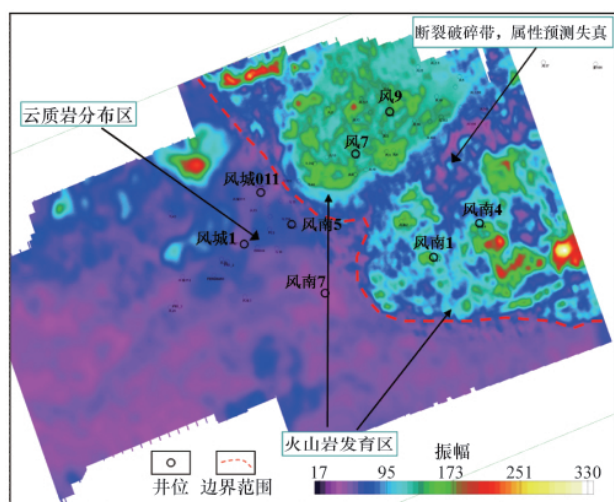


图5 风城组一段油层顶向下40ms时窗提取均方根振幅(40Hz)
Fig. 5 RMS amplitude of oil reservoir top below 40ms in first member of Fengcheng Formation (40Hz)

开展后续研究。

2 云质岩类优质储层预测

2.1 云质岩类优质储层与差、非储层分频特征

利用频谱分解技术将云质岩类和火山岩储层范围区分后对云质岩类优质储层进行预测。根据试油结果,风城1井风城组一段试油层C2、S2和S3频率约集中在15Hz,其中仅在C2段获109t/d高产油流,该低频段C2比S2、S3表现出更强的振幅特征(图3)。风城011井旁地震道时频分析表明,S2试油段(28t/d)较之S3试油段(0.41t/d)频率更低、振幅更强(图6)。因此,云质岩类储层的优良程度与频谱响应特征具有较强的可比性,优质储层表现出更低的频谱响应特征。

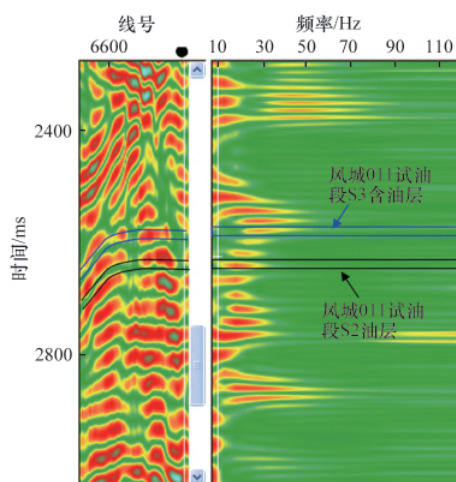


图6 风城011井旁地震道时频分析
Fig. 6 Time-frequency analysis in Well Fengcheng011 borehole-side seismic trace

2.2 云质岩类优质储层预测正演模型

为验证云质岩类优质储层与频率响应的对应关系,进行

了正演模拟,其中风城1井风城组一段中途测试C2段电测曲线代表云质岩优质储层存在的情况,蓝线为密度曲线,红线为声波时差曲线。虚拟井对应的非云质岩层段测井曲线利用风城1井C2段底部以下的泥岩电测曲线代替,代表云质岩不存在情况(图7)。从正演模拟得到的15Hz低频数据体可以看出,云质岩类优质储层分布范围比无云质岩发育区具有更强的振幅响应,而在30Hz中高频数据体上则相反(图8)。

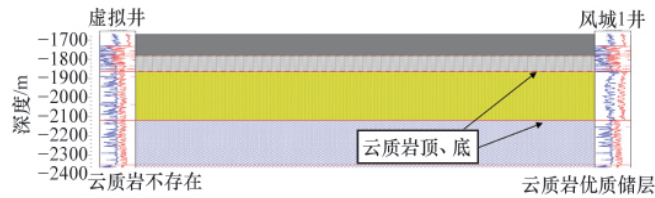


图7 云质岩正演模型

Fig. 7 Forward model of dolomitic rock

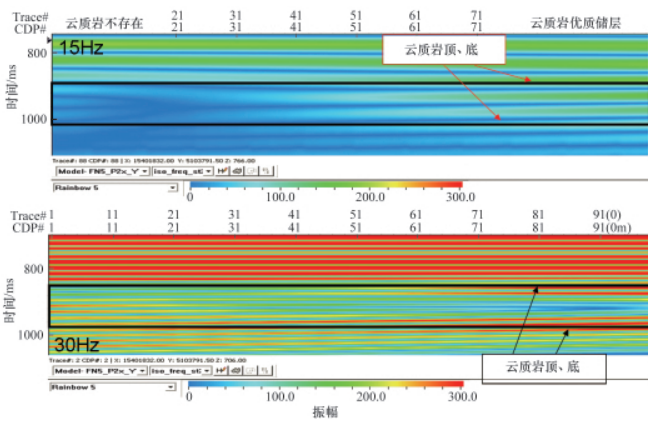


图8 正演模拟产生的15和30Hz数据体

Fig. 8 15 and 30 data from forward model

由此推断,云质岩具有在低频体(15Hz)强反射、高频体弱反射的规律,这与上述频谱分析技术得出的结论一致。

2.3 云质岩类优质储层预测结果

根据云质岩类优质储层的频谱响应特征,在15Hz分频体上沿风城组一段主力油层顶界向下40ms时窗提取振幅属性,通过对比分析,均方根振幅属性效果最为明显,预测云质岩类优质储层范围65km²(图9)。新近部署的风南5井、岩石薄片等资料表明,风城组一段岩性以云质粉砂岩为主(图10)。该井中途试油获日产油20t,日产气12000m³,是近30年准噶尔盆地单井日产量最高的井。后续上钻的风南7井风城组一段岩性以云质粉砂岩和泥质云岩为主,储层段试油

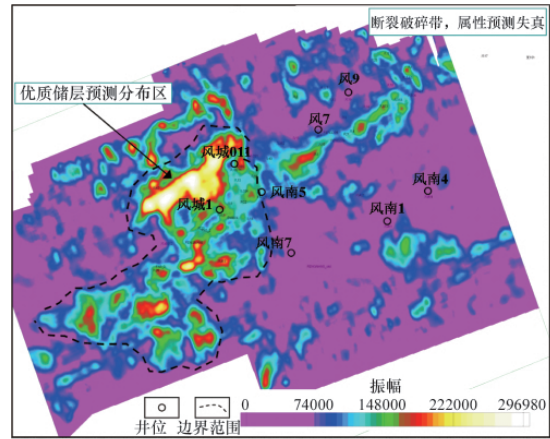


图9 风城组一段油层顶向下40ms时窗分频均方根振幅(15Hz)

Fig. 9 RMS amplitude of oil reservoir top below 40ms in first member of Fengcheng (15Hz)

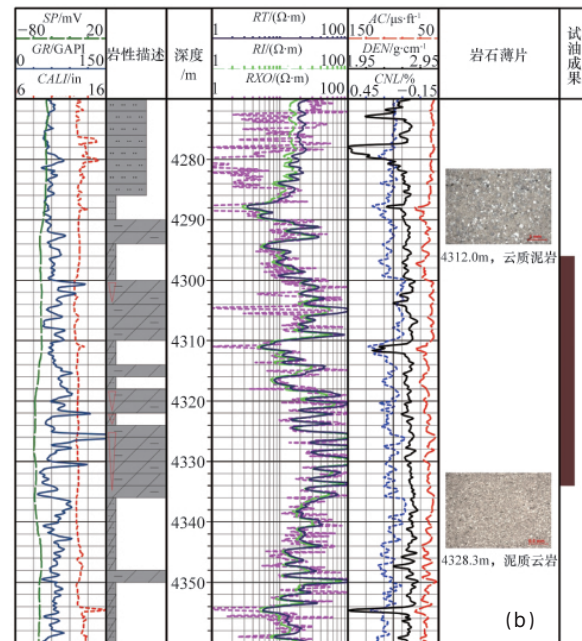
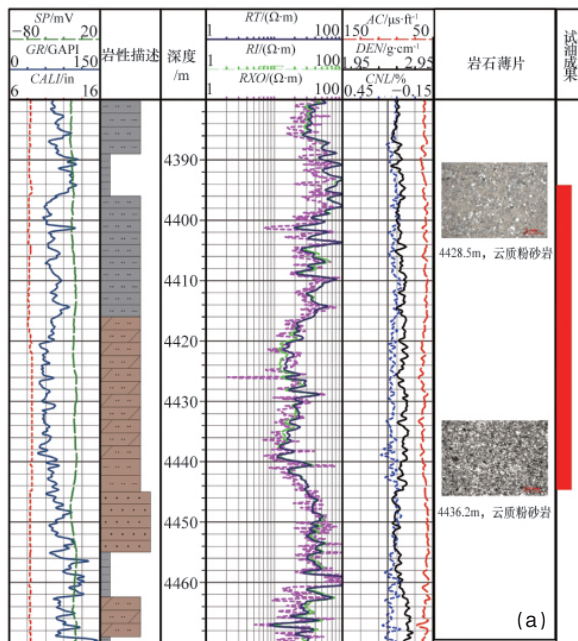


图10 风南5(a)和风南7(b)风城组一段综合柱状图

Fig. 10 Synthesis column chart of Fengnan5 (a) and Fengnan7 (b) in first member of Fengcheng Formation

为干层(图 10),证实该井在云质岩类储层分布区,而不在优质储层范围内(图 5、图 9)。风南 5 井、风南 7 井钻探结果与频谱分析方法预测云质岩类优质储层的范围吻合,说明利用此技术可以为其他区域云质岩类油气勘探提供新思路。

3 结论

本文利用频谱分析技术分析云质岩和火山岩这两类储层在频率响应上的不一致性,将两者分布区域区分开,并结合该区探井试油资料,得到不同层段云质岩类储层产能的高低与其频谱特征的规律,提取属性对云质岩类优质储层分布范围进行预测,主要结果如下:

(1) 利用频谱分析技术对准噶尔盆地西北缘风城组一段储层进行预测,结果显示,云质岩类具有强振幅、低频特征,优质储层表现为高频衰减;火山岩具有高频增强、低频衰减特征。利用两类岩性在频谱属性上的特征与差异,预测出云质岩类优质储层的分布范围。

(2) 利用多种地震技术手段进行优质储层预测已在地球物理界达成共识,而在应用地震技术进行预测时,首先需要各种地震技术在工区内的适用性进行必要的分析,然后对各种地震属性进行优选^[10,11]。在频谱分析的基础上,本文综合应用正演模拟、属性提取等多项技术手段,预测研究区云质岩类优质储层的分布范围,取得了显著效果。

参考文献 (References)

- [1] 方世虎,贾承造,郭召杰,等. 准噶尔盆地二叠纪盆地属性的再认识及其构造意义[J]. 地学前缘, 2006, 13(3): 108-121.
Fang Shihu, Jia Chengzao, Guo Zhaojie, et al. Earth Science Frontiers, 2006, 13(3): 108-121.
- [2] 胡水清,韩大匡,刘文岭,等. 应用谱分解技术预测河道砂体 [J]. 新疆石油地质, 2008, 29(3): 370-372.
Hu Shuiqing, Han Dakuang, Liu Wenling, et al. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 29(3): 370-372.

- [3] 魏志平. 谱分解调谐体技术在薄储层定量预测中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2009, 44(3): 337-340.
Wei Zhiping. Oil Geophysical Prospecting, 2009, 44(3): 337-340.
- [4] 蔡刚,吕锡敏,苏明军,等. 频谱分解技术在准噶尔盆地油气勘探中的应用[J]. 天然气工业, 2006, 26(4): 35-37.
Cai Gang, Lü Ximin, Su Mingjun, et al. Natural Gas Industry, 2006, 26(4): 35-37.
- [5] 刘喜武,宁俊瑞,刘培体,等. 地震时频分析与分频解释及频谱分解技术在地震沉积学与储层成像中的应用 [J]. 地球物理学进展, 2009, 24(5): 1679-1688.
Liu Xiwu, Ning Junrui, Liu Peiti, et al. Progress in Geophysics, 2009, 24(5): 1679-1688.
- [6] 唐湘蓉,蔡涵鹏,贺振华. 地震波高频信息在薄层砂体预测中的应用 [J]. 石油物探, 2012, 51(3): 244-250.
Tang Xiangrong, Cai Hanpeng, He Zhenhua. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2012, 51(3): 244-250.
- [7] 边立恩,于茜,韩自军,等. 基于谱分解技术的储层定量地震解释[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(54): 718-723.
Bian Lien, Yu Qian, Han Zijun, et al. Oil & Gas Geology, 2011, 32(54): 718-723.
- [8] 蔡涵鹏,贺振华,黄德济. 频率信息在碳酸盐岩礁滩储层含油气性预测中的应用[J]. 岩性油气藏, 2008, 20(4): 113-117.
Cai Hanpeng, He Zhenhua, Huang Deji. Lithologic Reservoirs, 2008, 20(4): 113-117.
- [9] 仲伟军,陈军,郭忠,等. 频谱衰减油气检测在石桥 1 井区中的应用[J]. 新疆地质, 2012, 30(1): 116-121.
Zhong Weijun, Chen Jun, Guo Zhong, et al. Xinjiang Geology, 2012, 30(1): 116-121.
- [10] 印兴耀,韩文功,李振春. 地震技术新进展 [M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2006.
Yin Xinyao, Han Wengong, Li zhenchun. New progress of seismic technology[M]. Dongying: China Petroleum University Press, 2006.
- [11] 王永刚. 地震资料综合解释方法 [M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2007.
Wang Yonggang. Seismic data interpretation [M]. Dongying: China Petroleum University Press, 2007.

(责任编辑 马宇红,朱宇)

· 科学共同体介绍 ·

中国计算机学会

中国计算机学会 (CCF) 于 1962 年成立中国电子学会计算机专业委员会,第一届委员会委员 22 人。**胡启恒**、**张效祥**、**李树勋**、**李国杰**等曾任学会理事长。

中国计算机学会属全国一级学会,是独立社团法人,是中国科学技术协会的会员。它是中国计算机及相关领域的学术团体,宗旨是为本领域专业人士的学术和职业发展提供服务;推动学术进步和技术成果的应用;进

行学术评价,引领学术方向;对在学术和技术方面有突出成就的个人和单位给予认可和表彰。

学会的业务范围包括:学术会议、优秀成果及人物评奖、学术刊物出版、科学普及、计算机专业工程教育认证、计算机术语审定等。有影响的系列性活动有“CCF 中国计算机大会”、“CCF 王选奖”、“CCF 海外杰出贡献奖”、“CCF 优秀博士学位论文奖”、CCF 青年计算机科技论坛、CCF 全国信息学

奥林匹克等。学会下设 11 个工作委员会,有分布在不同计算机学术领域的专业委员会 32 个。学会编辑出版的刊物有《中国计算机学会通讯》,与其他单位合作编辑出版的会刊有 16 种。学会与 IEEE-计算机学会、ACM 等国际学术组织有密切的联系或合作。

2011 年 11 月,中国计算机学会第十次会员代表大会在深圳举行,**郑纬民**当选新一届理事长,**杜子德**任秘书长。

(责任编辑 秦政)