

# Hydrocarbon Identification Technique Based on Low Field NMR Well Logging of Drilling Fluids

Fang Yuan<sup>1,2</sup>, Jun Yan<sup>2\*</sup>, Jing Luo<sup>2</sup>, Guangzhao Yang<sup>3</sup>, Hongwei Wang<sup>3</sup>,  
Shiming Chen<sup>1</sup>, Shuai Hua<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Shanghai University), Shanghai

<sup>2</sup>Post-Doctoral Working Station of Suzhou Analytical Instrument Co., Ltd., Suzhou Jiangsu

<sup>3</sup>The Second Mud-logging Company, Daqing Drilling Engineering Company, Songyuan Jilin

Email: j\_yan@niumag.com

Received: Jun. 8<sup>th</sup>, 2017; accepted: Aug. 30<sup>th</sup>, 2017; published: Oct. 15<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

With the progress of drilling technology and the complication of exploration and development, Fluorescent logging and gas logging could not meet the demands of field oil and gas identification and evaluation. When different fluids in oil and gas layer and water layer are drilled, the response location of drilling fluid is different in nuclear magnetic relaxation spectra. According to the characteristics of drilling fluid, the ratio of oil and water content could be calculated to judge fluid types in reservoir, and a preliminary standard method was built for different areas and different oil reservoirs to solve the comprehensive utilization in combination with well-logging interpretation and fluorescence parameters, this study provided a comprehensive and accurate basis for decision making for well completion and oil testing horizon. Compared with the conventional mud logging methods, low field nuclear magnetic resonance technology is used to study the water based drilling fluid based on their NMR relaxation. A number of experiments and applications in northeast oilfield are established in order to improve the accuracy of evaluation technology to identify the fluid types. The nuclear magnetic resonance technology used for testing drilling fluid has important and far reaching significance for the mud-logging industry.

## Keywords

Nuclear Magnetic Resonance, Drilling Fluid, Mud Log, Oil and Water Identification, Oil Content, Water Content, Lubricant

---

---

\*通信作者。

# 基于低场核磁共振录井钻井液的油气识别技术

袁方<sup>1,2</sup>, 燕军<sup>2\*</sup>, 罗晶<sup>2</sup>, 杨光照<sup>3</sup>, 王洪伟<sup>3</sup>, 陈仕明<sup>2</sup>, 华帅<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>上海市应用数学和力学研究所(上海大学), 上海

<sup>2</sup>苏州纽迈分析仪器股份有限公司博士后工作站, 江苏 苏州

<sup>3</sup>大庆钻探工程公司地质录井二公司, 吉林 松原

作者简介: 袁方(1988-), 男, 博士, 在读博士(后), 现主要从事油气地球化学、油气田井场技术服务及核磁共振技术的油田应用方面的工作。

Email: j\_yan@niomag.com

收稿日期: 2017年6月08日; 录用日期: 2017年8月30日; 发布日期: 2017年10月15日

## 摘要

随着钻井工艺的不断进步以及勘探开发对象趋于复杂化, 荧光录井和气测录井已经不能完全满足现场油气识别与评价的需求。当钻遇油气层及水层等不同流体时, 其钻井液在核磁弛豫谱上响应位置是不同的。根据该特性可以计算钻井液的含油率和含水率, 进而直观地判断油层、干层和水层, 再综合利用录井气测和荧光参数建立不同地区, 不同油品, 不同储层的油、水层解释初步标准, 为完井及试油层位决策提供全面、准确的依据。与常规录井测试相比, 该次研究采用高分辨率低场核磁共振技术对水基钻井液的弛豫特性进行研究, 建立了水基钻井液含油性及其含油率的精细评价方法, 并对东北某油田砂岩储层水基泥浆进行了大量的实验和验证, 建立了水基钻井液含油性及其含油率的精细评价方法, 提高了录井技术对流体性质识别的准确性。由此可见, 利用核磁共振技术测试钻井液含油率对录井行业具有重要而深远的意义。

## 关键词

核磁共振, 钻井液, 泥浆测井, 油水识别, 含油率, 含水率, 润滑剂

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着录井技术的发展和提高, 录井已经成为井场发现油气藏和评价油气层最快速、直接、便捷的技术手段。近年来, 更多的录井仪器和技术被引用, 主要包括地化录井仪, 色谱气测仪等。油田现场主要采用综合录井技术, 依据岩屑、荧光显示和钻井液脱气的气测成分检测识别油气层, 上述技术可以定性、快速识别油气层, 在油气层解释方面起到了非常重要的作用。其优点可以归结为设备结构简单、直观、操作简便。但是, 随着钻井工艺的不断进步以及勘探开发对象日趋复杂化, 尤其是在大角度斜井及水平井的钻探中, 荧光观测和气测录井已经不能完全满足现场油气识别与评价的需求。例如, 气测录井无法对 C<sub>6</sub>~C<sub>25</sub> 和地层水做定量检测, 钻井液中的添加剂可具有荧光特性, 油气芳香烃类挥发易受到流体黏度

的影响；岩屑返还易形成岩屑床等，都会严重干扰荧光录井和气测录井，从而造成荧光显示与气测总烃含量不符的矛盾。

为了解决上述难题，笔者采用高分辨率低场核磁共振技术对钻入目的层的钻井液弛豫特性进行研究，建立了一套水基钻井液含油性及含油率的核磁定量及评价解释方法，提高了流体性质识别的准确性。该次研究围绕核磁共振钻井液录井技术，对东北某油田砂岩储层水基泥浆进行了大量实验，并从理论分析、实验测试流程、评价方法、数据处理及成果显示等方面做了大量的验证，建立了一套适合录井现场的快速钻井液核磁定量解释方法，并在实际应用中取得了很好的效果，弥补了气测录井技术和荧光油气识别技术的不足。

## 2. 钻井液核磁测试描述

### 2.1. 实验装置以及测试方法

录井钻井液的核磁测试采用苏州纽迈分析仪器股份有限公司生产的 MicroMR20-025V 型钻井液核磁共振录井仪，共振频率为 20.984 MHz，磁体强度为 0.49T，探头线圈直径为 25 mm，回波时间为 0.4 ms，等待时间为 2000 ms，回波个数为 1000，所采用的脉冲序列为 CPMG 序列，实验温度控制在 31.99℃~32.01℃。实际测试步骤为：① 测试时在试管里放入钻井液样品，放入核磁仪器中，然后设置系统参数并选择 CPMG 序列，完成饱锰前的采样测试；② 采样测试结束后，设置反演参数，自动反演，得出反演曲线以及积分曲线，钻井液含(油+水)率测量值；③ 在钻井液原液中加入  $MnCl_2$  溶液搅拌均匀后进行测量，得到反演曲线及积分曲线、钻井液含(油+水)率、钻井液含油率、钻井液含水率等测量值。

### 2.2. 钻井液基液及基线定标

#### 2.2.1. 样品的处理

未下井的水基钻井液基液(东北某油田砂岩储层水基泥浆)，其主要成分为水、土粉、纯碱等。如图 1 所示，该水基钻井液基液的横向弛豫时间  $\tau_2$  谱有 2 个峰，主峰在 10 ms 左右。当加入饱和  $MnCl_2$  溶液后，水峰完全受到抑制，信号量急剧减小，未呈现峰型分布特征，表明该水基钻井液基液不包含油等提供信号量的物质，不影响含油率和含水率的测试。

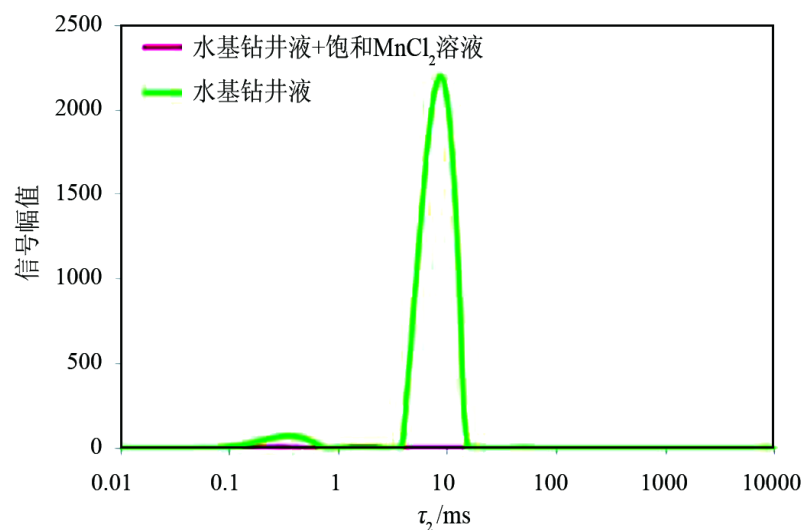


Figure 1. The  $\tau_2$  spectra of water-based drilling fluid added with  $MnCl_2$  solution

图 1. 水基钻井液及加入  $MnCl_2$  溶液后的  $\tau_2$  谱

由于水基钻井液含油率的变化比较大,高含油率与低含油率样品的信噪比、稳定性等存在一定差异,因此笔者制定了2条含油率(一条为高含油率,一条为低含油率)的标线。

### 2.2.2. 含油率标线

取 0.0382~0.4289 g 原油样品,以水基钻井液 6 g 为基准,对含油率 0.64%~7.2% 进行核磁测试,利用其总油峰面积作出含油率标线,线性相关系数为 0.99996,相关性较好。取 0.0007~0.0161 g 原油样品,以水基钻井液 6 g 为基准,含油率约为 0.0112%~0.268%,利用其总峰面积作出标线[1] [2],但是标线的相关系数比较低,线性关系较差。笔者对饱锰量进行了研究,当  $\text{MnCl}_2$  溶液占钻井液质量 19% 左右时,其油峰面积最稳定。该测试方法使上述低含油率标线的线性相关系数达 0.99997,含油率最低分辨率可达 0.01%。

利用  $\text{MnCl}_2$  溶液可使水的弛豫时间减小,进而区分出水峰,但往往并未全部抑制掉水峰。对于水基钻井液的测试,谱图前端保留一部分水峰信号,可提高信号量,也可减小数据的反演误差。高含油率的定标与测样均比较理想,而低含油率钻井液定油标线时,完全饱锰后的标线性度不理想。

如表 1、图 2 所示,当加入 0.76 g 的  $\text{MnCl}_2$  溶液( $\text{MnCl}_2$  溶液是质量分数为 50% 的溶液,即  $\text{MnCl}_2$  颗粒与水的混合物的质量比),其占钻井液质量的 19% 时,原油  $\tau_2$  谱峰面积最高、最稳定(稳定性 = [(峰面积 - 峰面积平均值)/峰面积平均值]  $\times$  100%)。

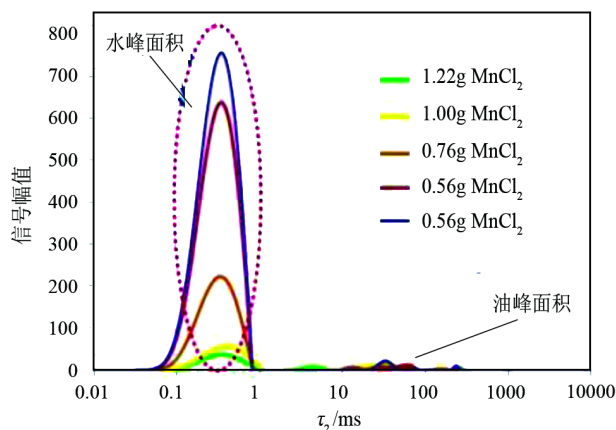


Figure 2. The  $\tau_2$  spectral distribution of oil-peak and water-peak areas  
图 2. 油峰面积和水峰面积  $\tau_2$  谱分布

Table 1. The contrast of repeatability and error of oil-peak area

表 1. 油峰面积重复性及误差比较

$\text{MnCl}_2$ 溶液质量/g	$\text{MnCl}_2$ 溶液质量/钻井液质量/%	原油 $\tau_2$ 谱峰面积	稳定性/%
0.56	14	139.384	-3.324
		142.441	-1.203
		150.703	4.527
		172.198	0.668
		169.91	-0.670
0.76	19	171.058	0.002
		208.531	6.473
		183.177	-6.473
1.00	25	288.007	12.064
		225.999	-12.064

### 3. 钻井液影响因素及校正

#### 3.1. 钻井液中润滑剂识别

为保障大角度或水平井的顺利钻进，常在钻井液中添加一定数量的润滑剂[3] [4]。润滑剂包括原油、柴油、白油、乳化沥青、酚醛树脂、烧碱、铵盐以及褐煤树脂等。上述润滑剂均会对气测录井和荧光录井产生影响，造成油气藏评价困难[5] [6]。气测录井是依据烃类组分来识别是否钻遇油气层，当地层油与润滑油组分类似时，气测方法则很难对油气进行识别。

如图3所示，当水基钻井液中加入一定量的  $MnCl_2$  溶液后，其核磁共振测试的  $\tau_2$  谱为一单峰(0.01~2 ms)；当加入 0.1 g 润滑剂时，在 10~200 ms 之间出现一个新峰，该峰就是润滑剂的峰；在该基础上继续增加润滑剂的量至 0.15、0.21 g 时，润滑剂的峰呈现不断上升的趋势，因此可以利用核磁共振技术有效识别钻井液中的润滑剂。

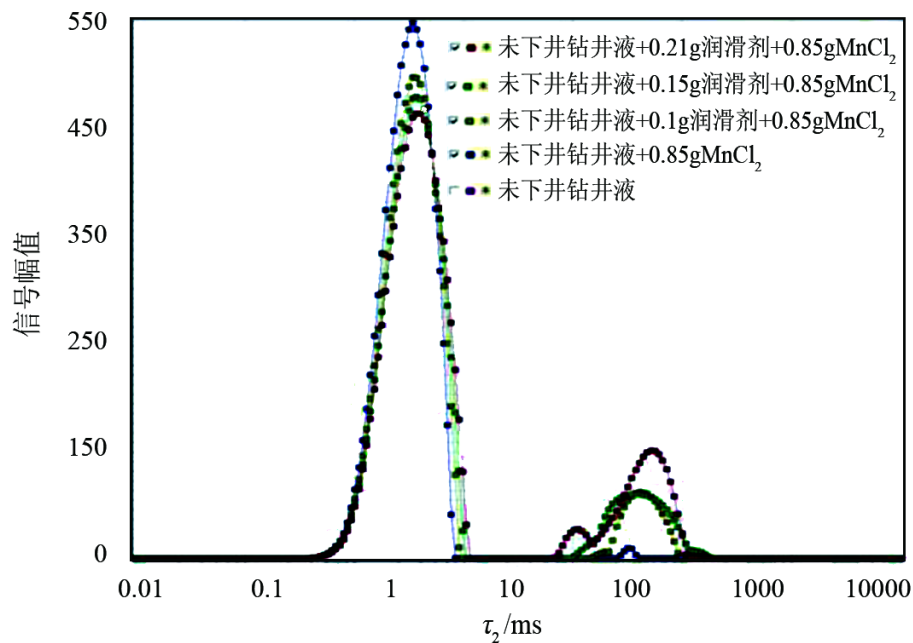


Figure 3. The experiment for adding lubricant such as white oil into water-based drilling fluid  
图3. 水基钻井液添加白油等润滑剂实验

#### 3.2. 钻井液中添加剂影响分析

取水基钻井液，加入各种添加剂，随后加入  $MnCl_2$  溶液，分别比较添加剂对水峰的影响。从图4可以看出，铵盐、土粉、纯碱不影响水基钻井液的峰型，饱锰后也未出现异常峰，表明铵盐、土粉、纯碱对钻井液的含油率和含水率测试影响不大；但是，白油类润滑剂对水基钻井液的峰型有较大影响，当和钻井液混合时就会出现第二峰值，且具有较长的弛豫时间。

#### 3.3. 影响校正方法

在实际应用中，低场核磁共振录井所测的含油率受诸多因素影响，其测量值校正方法主要有：① 利用核磁钻井液识别油水层，首先必须对钻井液是否混入白油类润滑剂进行测试，并在解释剖面图做出标识和详细的描述；② 对核磁钻井液升高层段，首先应考虑白油类润滑剂影响，通过标准层对比，采用

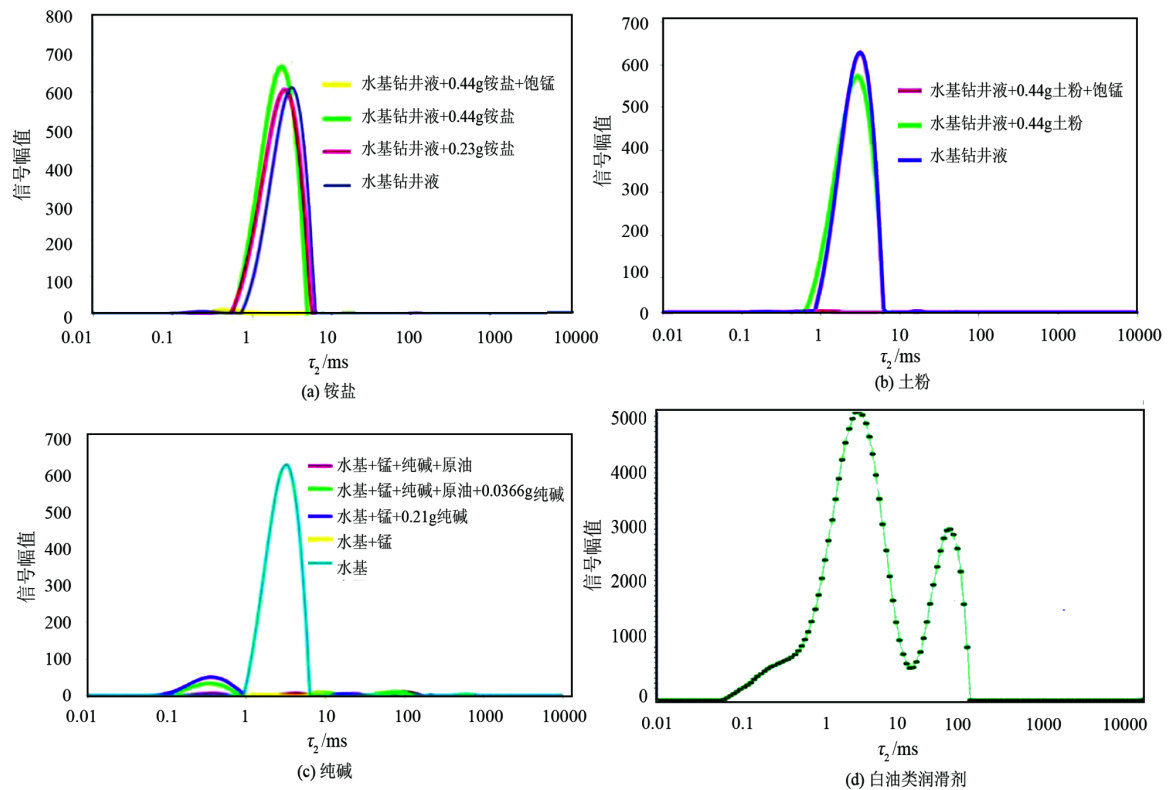


Figure 4. The  $\tau_2$  spectral contrast of water-based drilling fluid added with lubricant such as white oil  
 图 4. 水基钻井液添加剂及白油类润滑剂的  $\tau_2$  谱对比

扣除基值的方法; ③ 通过岩性及荧光含油性描述, 确定是否含有油页岩等含烃岩层, 在泥浆的浸泡下, 油页岩包含的烃类会部分溶解到钻井液中, 造成非储层段的核磁含油率升高, 但核磁含水率一般较稳定。

## 4. 储层评价效果分析

### 4.1. 储层特征及钻井液录井

东北某油田目的层岩性为与下伏地层整合接触的紫红色泥岩和灰白色粉细砂岩; 区内断裂较发育, 多条断层切割形成断阶构造, 有利于油气富集。根据邻井资料统计显示, 该区油层的储层物性差, 孔隙度一般为 6%~14%, 渗透率为 0.1 mD~1.28 mD, 含水饱和度较高。钻井液的设计以保证井壁稳定和井眼安全为目的, 因此采用优质的水基钻井液类型。录井设备选用全脱分析仪、电动脱气器以及荧光测定仪, 所测数据包括总烃和组分, 同时也包括二氧化碳、氢气和硫化氢的测定。进入目的层到井底要求连续测量泥浆罐钻井液体积、钻井液总体积、进出口钻井液密度、进出口钻井液温度、进出口钻井液电导率、出口流量等参数, 对油气显示层段要求每 2m 采集一个钻井液样品并做核磁分析。

### 4.2. 测试质量及稳定性分析

利用上述定标和测量流程, 按照实验区油层的原油参数, 人工配置了高含油率为 0.8% 和 3% 的样品, 并进行测量精度分析。由表 2 可以看到, 3 次重复测试的检测误差非常小。利用上述方法对低含油率的钻井液做了同样的比对, 配置的含油率约在 0.05%~0.1% 左右, 共进行了 5 次测试, 其误差也是在控制范围之内(表 3)。



**Table 2.** The repeatability test of oil content of high oil containing drilling fluids  
**表 2.** 高含油钻井液含油率重复性测试

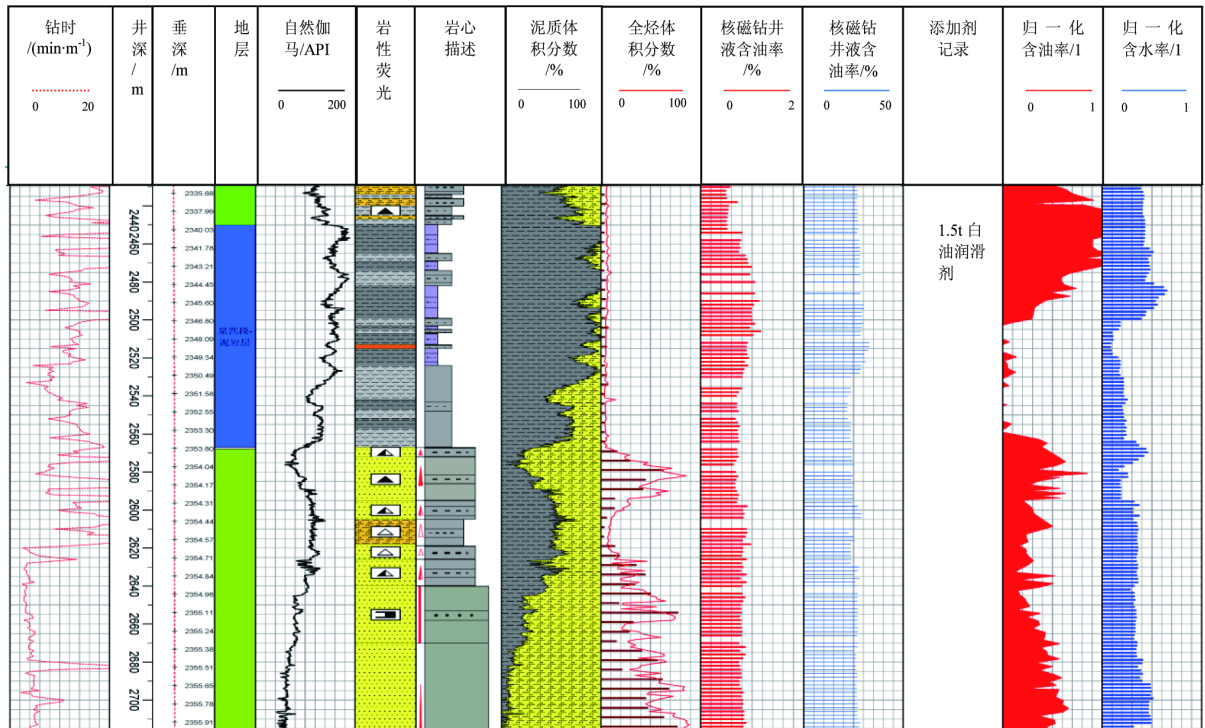
实验次数	0.8%含油率样品测试结果/%	相对误差/%	3%含油率样品测试结果/%	相对误差/%
1	0.7664	-4.20	2.9589	-1.37
2	0.7496	-6.30	2.8765	-4.12
3	0.7756	-3.05	2.8090	-6.37

**Table 3.** The repeatability test of oil content of low oil containing drilling fluids  
**表 3.** 低含油钻井液含油率重复性测试

实验次数	0.1%含油率样品测试结果/%	相对误差/%	0.05%含油率样品测试结果/%	相对误差/%
1	0.0936	-6.40	0.0389	-22.20
2	0.1007	0.70	0.0343	-31.40
3	0.0809	-19.10	0.0432	-13.60
4	0.1031	3.10	0.0399	-20.20
5	0.1114	11.40	0.0506	1.20

### 4.3. 应用实例及成果显示

图 5 是试验区的一口核磁钻井液测试及综合解释结果，可以看到，核磁含油率、核磁含水率与总烃体积分数有很好的对应关系，其测量值可以对钻井液中的含油率做出定量表征。



**Figure 5.** The result of NMR interpreting of drilling fluid  
**图 5.** 核磁钻井液综合解释成果图

## 5. 结语

对于水基钻井液的含油率测试,高含油率的测试样品的准确性和重复性均较好;对于低含油率的测试,选择保留一定的水峰后,其低含油率标线的相关性较好,测试效果也较好,能测得分辨率为0.1%~0.01%的含油率。水基钻井液中包含多种添加剂,且在钻井过程中还会不断添加,其中铵盐、土粉、纯碱不影响水基钻井液的峰型,对核磁钻井液含油率与含水率的测试也影响较小。但是,白油类润滑剂及泥岩中的油页岩等夹层含油物质会导致核磁钻井液含油率升高,应对其测量值进行校正。

## 致 谢

感谢苏州纽迈分析仪器股份有限公司博士后工作站及苏州泰纽测试服务公司对该项研究的大力支持!感谢大庆钻探工程公司地质录井二公司核磁共振项目组全体技术人员的协助!

## 项目基金

国家重大科学仪器设备开发专项(2013YQ17046304)。

## 参考文献 (References)

- [1] 杨德勇. 钻井液含油率核磁共振录井标定方法及应用[J]. 录井工程, 2013, 24(1): 27-30.
- [2] 许小琼, 王志战. 利用磁共振技术检测钻井液含油量的方法探究[J]. 波谱学杂志, 2011, 28(2): 237-242.
- [3] 刘强. 磺化聚合物钻井液在石油开采的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013(22): 181.
- [4] 张斌, 张欢庆, 周志世, 等. 水基磺化钻井液的流变性规律[J]. 钻井液与完井液, 2012, 29(2): 12-14.
- [5] 王中华. 国内钻井液及处理剂发展评述[J]. 中外能源, 2013, 18(10): 34-43.
- [6] 王志战, 秦黎明, 杜换福, 等. 钻井液粉末状荧光添加剂的核磁共振特性[J]. 波谱学杂志, 2014, 31(3): 341-348.

[编辑] 龚丹

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jogt@hanspub.org](mailto:jogt@hanspub.org)