

核磁测井资料在复杂储层评价中的应用效果

李静叶¹, 王祝文¹, 刘菁华¹, 王宏伟², 张大庆²

(1. 吉林大学 地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026; 2. 大庆钻探工程公司 测井公司, 黑龙江 大庆 163412)

摘要: 用自主研发的P型核磁数据处理软件对实际的复杂地层核磁测井资料进行处理,并结合常规测井资料和其他成像测井资料进行解释评价,改进了对地层流体性质评价的可靠性。结果表明,核磁测井资料的应用对低阻、低差异油气藏,低孔、低渗油气藏的识别,复杂岩性储层的评价均能起到明显的改善作用。

关键词: 核磁测井; 地层信息; 储层评价

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2012)01-0084-05

随着石油需求量的不断增加,地质学家们迫切地要求增加对复杂储层勘探程度的了解程度。如何降低对这类复杂储层勘探的风险,节约勘探成本,提高勘探结果的准确率,始终是石油勘探领域所面对的难题。自核磁测井(NMR)技术在20世纪90年代投入商业应用以来,其独特优势给地质学家解决复杂储层的评价问题提供了全新思路,对复杂储层的评价更是发挥了常规测井方法所不具备的优势^[1-8]。核磁测井数据可以提供与矿物成分无关的孔隙度、孔径分布,当 T_2 截止值准确时,还可提供自由流体孔隙度、束缚流体孔隙度、渗透率等信息。主要介绍了目前常用的P型核磁共振测井资料定量评价储层的方法,并结合低阻油气藏、低孔低渗储层、低差异油气藏和复杂岩性储层等复杂储层的核磁测井实际资料,对比分析了NMR方法的适用性。

1 核磁测井的基本原理

核磁共振测井技术的理论基础是岩石所含流体中的氢原子核会在均匀分布的静磁场及射频场的作用下产生核磁共振弛豫行为。当含油(或含水)样品处于均匀静磁场中时,流体中所含的氢核会被磁场极化,当对样品施加一定的射频场时,就会产生核磁共振现象。此时若撤去射频场,就会得到一个以指数函数形式衰减的信号(即回波串),这个衰减信号由许多不同孔隙中流体衰减信号叠加而成。

核磁共振测井通过对获取的核磁测井回波串进行多指数反演,可得到核磁共振测井 T_2 弛豫时间分布谱,利用 T_2 谱能够定性评价储层孔隙结构。 T_2 谱

横坐标表示弛豫时间,纵坐标表示相应的 T_2 幅度值。大孔隙对应的弛豫时间长,小孔隙对应的弛豫时间较短^[3]。

由于毛细管力的存在,当孔径小到一定程度后,流体会被其束缚而无法流动,对应 T_2 弛豫谱上存在一个时间界限,当孔隙流体的弛豫时间大于此时间界限时,流体为可动流体,反之则为束缚流体,称此时间界限为 T_2 截止值。大于 T_2 截止值的谱图面积与整个谱图面积的比值即为可动流体百分数,反之即为不可动流体百分数。每个样品都可以测得一个可动流体百分数,因此可以利用可动流体百分数的大小评价储层性质^[1]。

以 T_2 截止值为界限, T_2 弛豫谱形态靠左,则 T_2 弛豫速度较快,弛豫时间短,微孔隙发育,可动流体少,大部分流体处于束缚状态,为差储层特征; T_2 弛豫谱形态靠右,即 T_2 弛豫速度较慢,弛豫时间长,中、大孔隙发育,大部分流体处于可动状态,为好储层特征。

2 核磁测井数据的处理与解释

一般的核磁测井资料采用DPP软件中的DIFAN、TDA和MRIAN程序进行处理,根据其处理结果并结合由回波串数据经过多指数拟合得到的 T_2 分布谱在油水层的不同特点,综合分析进行流体性质识别^[1]。

(1) DIFAN处理解释技术。DIFAN处理解释技术是针对双回波间隔(DTE)测井资料的解释而发展起来的定量评价储层流体性质的技术。它是移谱法

(SSM)的完善和发展。其解释原理是利用了油、水扩散系数的差异,采用长短两个不同的回波间隔测量自旋回波串。由于加大回波间隔使得流体的横向弛豫时间减小,在 T_2 分布谱上,油、水的峰会向前移动。由于水的扩散系数比油的扩散系数大,这样在 T_2 分布谱上水的峰比油的峰移动得快,使得油与水的信号在 T_2 分布谱上区别开来,最终确定储层的含水饱和度。

(2)TDA 处理解释技术。TDA 处理解释技术是根据轻烃(天然气和轻质油)与水的纵向弛豫时间 T_1 的差异发展起来的。通常,轻烃有比较长的 T_1 ,而水则由于与岩石孔隙表面相接触, T_1 大大缩短,因而,轻烃与孔隙水完全极化所需要的时间不同。对于孔隙水而言,较短的极化时间就足以使其完全磁化;而轻质油与天然气则需要较长的极化时间,才能完全磁化。所以,如果有轻烃存在,长、短极化时间得到的 T_2 分布就会有明显差异。理论上讲,两个 T_2 分布相减,水的信号可以相互抵消,而油与气的信号则余留在差谱之中,由此识别油气。

(3)MRIAN 解释方法。MRIAN 解释方法是核磁测井资料与常规深探测的电阻率资料有机地结合起来,利用核磁测井提供的总孔隙度与黏土束缚水体积,采用双水模型计算原状地层的含水饱和度。它可以与其他的核磁处理结果结合起来分析储层的流体性质。双水模型为

$$C_t = \phi_t^m \cdot S_{wt}^n \cdot \left[C_w \left(1 - \frac{S_{wb}}{S_{wt}} \right) + C_{cw} \cdot \frac{S_{wb}}{S_{wt}} \right],$$

其中, C_t 为地层电导率, C_w 为地层水电导率, C_{cw} 为黏土束缚水电导率, ϕ_t 为总孔隙度, S_{wt} 为总含水饱和度, S_{wb} 为黏土束缚水饱和度, m 为胶结指数, n 为饱和度指数。

(4)解释参数的选择。地层水矿化度的选取根据邻井试油的水性资料获得,其他解释参数根据经验结合实际的测井资料进行选取。

在深入分析核磁测井数据处理方式的基础上,编制了一套能在微机上进行数据处理的软件(图1)。

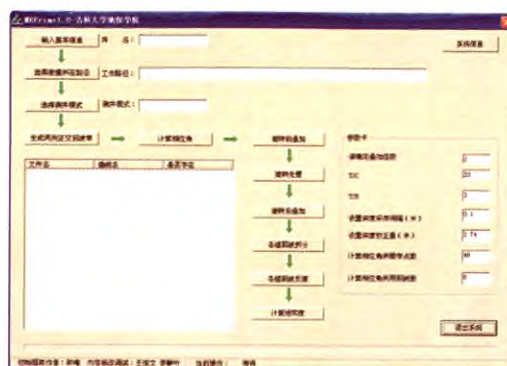


图1 核磁测井数据处理软件界面

3 实际应用

P型核磁共振测井仪器自引进以来,在生产中得到了广泛的应用,取得了许多成果。

3.1 在低阻油气藏的应用效果

图2所示为东海大春晓构造上某井的核磁测井结果。该井电阻率较低,从核磁来看,油水同层核磁

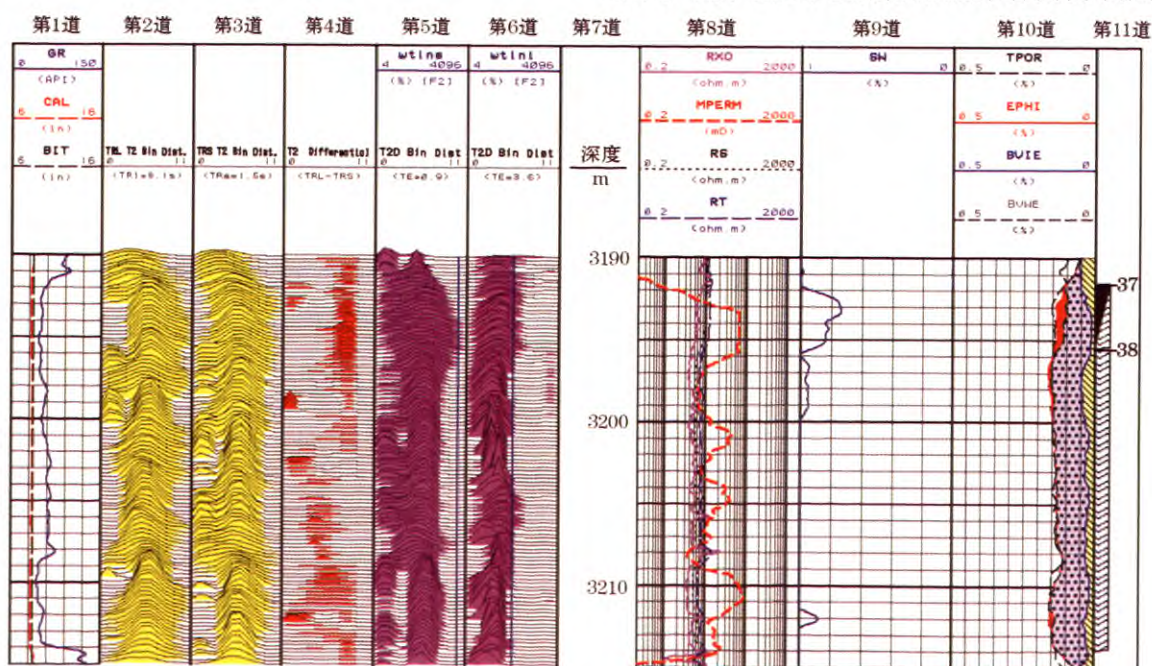


图2 核磁共振测井数据在低阻油气藏的应用示意

表现为谱有拖曳现象,多为单峰,分布较宽,差谱有一定显示,长回波间隔移谱水线后有谱显,这是油信号的显示。

图中第1道为GR、CAL曲线和钻头直径;第2~6道为差谱和移谱的 T_2 分布谱;第7道为深度;第8道为电阻率和渗透率曲线;第9道为含油饱和度;第10道为处理结果,包括总孔隙度、有效孔隙度、黏土束缚水、可动水;第11道为解释结果。图中可见第37、38层电阻率差相差很小,难以区分出有没有油气,从核磁来看,37层比38层谱峰较平滑,

差谱较强,移谱比较靠后,因此,37层可能是潜在的油层。

3.2 在低孔低渗油储层的应用效果

图3显示的是辽河断陷的某预探井,该井钻探深度超过3300 m,核磁测量的有效孔隙度10个在右,渗透率最大为4 md。图中可以看出,第28、29、65层核磁 T_2 分布成单峰分布, T_2 分布较宽,有拖拽现象,差谱有弱显示,移谱水线后有显示,综合解释为油和低油,其中第36层试油,压前累计产油30.53 m³,压后累计产油89.53 m³。

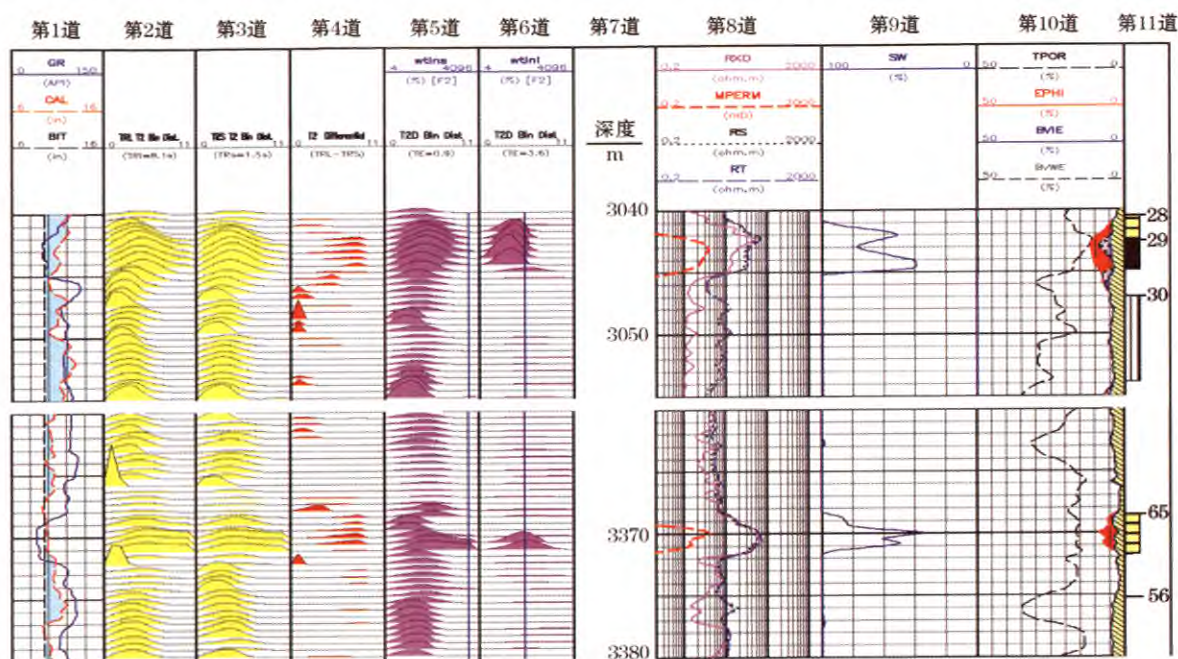


图3 核磁共振测井数据在低孔低渗储层的应用示意

3.3 在复杂岩性储层的应用效果

图4给出了辽河油田某井的综合解释成果。该井岩性主要为玄武岩和粗面岩,孔隙类型较多,有裂缝型孔隙,溶洞型孔隙和基质孔隙,由于粗面岩结构复杂,常规测井难以求准孔隙度,而核磁测井直接测量地层流体,能提供与岩性无关的孔隙度,在求孔隙度方面有常规测井无法比拟的优势。

图中,第1道为GR和阵列感应反演的侵入深度,第2道为长等待 T_2 谱,第3道为短等待 T_2 谱,第4道为差谱,第5道为短回波间隔的 T_2 谱,第6道为长回波间隔的 T_2 谱,第7道为深度,第8道为渗透率、阵列感应反演的地层真电阻率(红色实线)和深侧向电阻率,第9道为剖面,第10道为阵列感应侵入剖面,第11道为声波成像。从核磁来看, T_2 谱在5~10 bin上有谱峰显示,差谱也指示本层含有油气,移谱长回波间隔3100~3106 m为水线,右侧有谱峰显示,表示存在油气信号;从第九道的阵列感

应侵入来看,3099~3101 m、3110~3113 m两处渗透性较好,侵入较深;从第十道的成像来看,3099~3101 m裂缝较发育。综合以上情况,解释为油层,下面一层为低油,两层合试,日产油22.79 m³,产气4610 m³。

3.4 在低差异油气藏的应用效果

图5为某评价井的核磁测井综合解释成果。该地区由于低矿化度地层水、储层岩性粗、含油气丰度低、油水关系复杂等因素影响,用常规测井资料识别油水层时产生较大的失误,前期的10多口开发井大都存在解释的油层出水、解释的水层出油的问题。用常规测井资料评价该井2070~2100 m储层的流体性质很困难,主要表现在油水层的电阻率差异小。应用核磁共振测井技术成功地解决了该层段的油水关系评价和单层的流体识别,从处理后的结果上可以明显看出2074.5~2079 m和2105~2119 m为油水同层,2079~2110 m为可靠的油

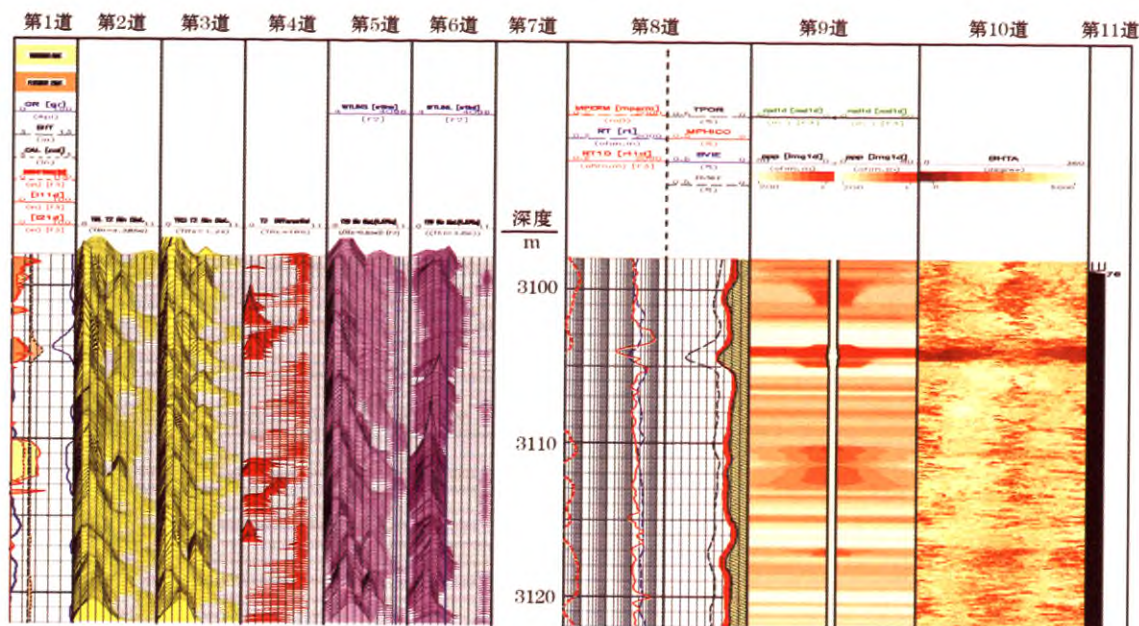


图4 核磁测井在复杂岩性储层中的应用示意

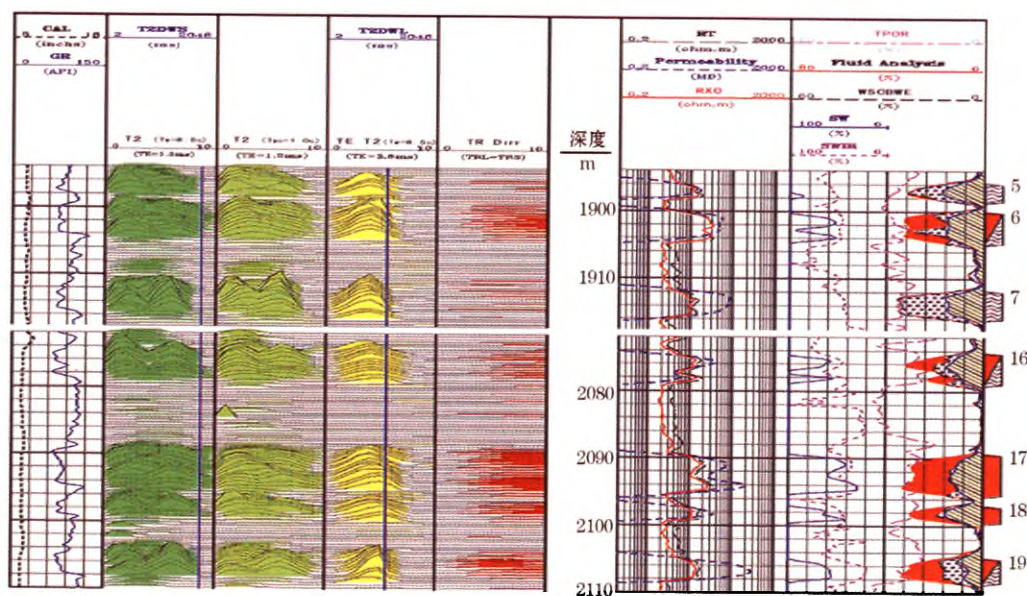


图5 核磁测井资料在低差异储层中的应用示意

层。将2 089.8~2 099.4 m油层投产,初期日产油69.7 t、天然气7 400 m³,无水。

4 结论

以上几个实例表明,NMR测井技术在解释识别低阻油气藏、低孔隙度、低渗透率油层、复杂岩性油藏储层、低差异油气藏、利用差谱观测方式识别油、气层和油气界面等方面具有常规测井所不具备的优势;与其他成像测井资料对比分析,可以提高复杂岩性储层流体识别的准确性;与常规测井资料结合进

行分析处理,可提高和改善对储层参数的计算精度及油、气、水解释评价的准确性。

NMR测井信息量丰富,资料解释方便直观,应用潜力大。特别是在识别低电阻率、低孔渗油气层和复杂岩性油气藏的测井评价方面,NMR测井具有明显的技术优势和应用潜力。

参考文献:

- [1] 王敬农,鞠晓东.石油地球物理测井技术进展[M].北京:石油工业出版社,2006:203-215.
- [2] 翁爱华,李舟波.核磁测井数据弛豫谱反演软件研究[J].长春

- 科技大学学报, 2000, 31(4).
- [3] 肖立志. 核磁共振成像测井与岩石核磁共振及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [4] 江玉龙, 王祝文, 伍东. 关于提高核磁测井差分谱油气显示方法的研究[J]. 东华理工大学学报, 2008, 31(1).
- [5] 江玉龙, 王祝文, 伍东. P 型核磁解释处理方法研究[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2008, 38(3).
- [6] Coates G R, Xiao L Z, Prammer M G. NMR logging principles and applications[M]. Texas: Gulf Publishing Company, 1999.
- [7] Xiao L Z, Du Y R, Ye C H. Observation of the Relaxivity and Thickness of Surface Phase in Porous Rock with the Combination of PFG NMR and Relaxation Measurements[J]. Science in China: Series A, 1996, 39(9).
- [8] Xiao L Z, Wang Z D and Liu T Y. Application of Multi-Exponential Inversion Method to NMR Measurement[J]. Petroleum Science, 2004, 1(1).
- [9] 王为民, 李培, 叶朝辉. 核磁共振弛豫信号的多指数反演[J]. 中国科学(A 辑), 2001, 31(8).
- [10] 王才志, 尚卫东. 应用奇异值分解算法的核磁测井解谱方法[J]. 石油地球物理探, 2003, 38(1).
- [11] 翁爱华, 李舟波, 莫修文. 低信噪比核磁共振测井资料的处理技术[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2003, 33(2).
- [12] 廖广志, 肖立志, 谢然红, 等. 孔隙介质核磁共振弛豫测量多指数反演影响因素研究[J]. 地球物理学报, 2007, 50(3).
- [13] 林峰, 王祝文, 刘菁华, 等. 核磁共振 T2 谱奇异值反演改进算法[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2009, 39(6).
- [14] 刘宏强, 王祝文. 基于奇异值分解法的核磁测井解谱算法[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2008, 38(增刊).

THE APPLICATION OF NMR LOGGING IN COMPLEX FORMATION EVALUATION

LI Jing-ye¹, WANG Zhu-wen¹, LIU Jing-hua¹, WANG Hong-wei², ZHANG Da-qing²

(1. College of GeoExploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. Well Logging Company of Daqing Drilling Group, Daqing 163412, China)

Abstract: Using the advantages of NMR logging data such as large amounts of information, convenience, visual data interpretation and high application potentiality in combination with the conventional logging data, the authors made integrated interpretation of the well logging data. The processing and interpretation of the practical data show that this method can obviously improve the reliability of the formation liquid property evaluation and help solve the logging evaluation problems for some complex formations.

Key words: NMR logging; formation information; reservoir evaluation

作者简介: 李静叶(1986-), 女, 硕士研究生, 主要从事测井技术方法的研究。

上接 83 页

Abstract: Based on an analysis of seismic data collected with different acquisition parameters in a work area of the South China Sea, this paper deals with the impact of the sinking depths of seismic source and cable on the quality of collected data in marine tow seismic exploration. The results are as follows: the shallower the seismic source sinking depth, the better the high frequency effect with the broadening wavelet frequency band; the shallower the cable sinking depth, the broader the frequency band, and the higher the resolution ratio, but with rather high noise resulting from stormy waves. The results obtained provide good basis for seismic data acquisition and subsequent seismic data processing.

Key words: source depth; cable sinking depth; amplitude spectrum

作者简介: 钟明睿(1982-), 男, 工程师, 现从事海洋地震资料处理工作, 公开发表学术论文数篇。