

# 地球物理测井实验及资料处理方法分析

## ——以核磁共振资料为例

丁慧<sup>1</sup> 刘亮<sup>1</sup> 李功强<sup>2</sup>

1. 山西工程技术学院; 2. 中石化经纬公司华北测控公司

**[摘要]**地球物理测井实验课程是应用型本科高校勘查技术与工程专业的一门实践性课程。目前部分学生及科研人员没有遵循正确的实验仪器操作步骤, 获得了不合理的实验结果。以核磁共振岩心实验及资料处理方法为例, 展示了合理的操作步骤及资料处理解释方法, 可以对广大师生作为一个借鉴和参考, 实验方法和获得的结果可以应用在相关的教学和科研工作中。

**[关键词]**地球物理测井; 实验; 核磁共振

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.10.1680

### 引言

地球物理测井课程实验是本科高校勘查技术与工程专业学生的一门学科专业实验课程之一<sup>[1-2]</sup>。该课程对地下储层获取的实际岩心以及测井资料为实验对象, 以提升本科生对实验仪器和测井解释处理软件的操作能力为抓手, 对培养学生的基础实验技能, 增强专业综合素质能力有着非常重要的作用。以核磁共振岩心和测井资料为例, 总结了岩心核磁实验的处理步骤和测井资料处理解释的方法, 明确了为了能够获得准确核磁实验结果而必要的实验步骤, 同时对普及学科知识原理以及提升学生和科研人员的操作技能做到抛砖引玉的功效。

### 一、岩心核磁共振实验

#### (一) 实验的预处理

核磁共振测井只对孔隙中氢核产生的信号进行测量, 其信号的强弱反映了孔隙的大小, 数值上等于T2谱分布的面积积分。对于一块岩石, 由于其孔径大小在一范围内变化, 而氢核的弛豫时间与孔径大小有关, 因此通过对T2谱的分析能够区分束缚流体和可动流体, 可以了解岩石的孔隙结构, 在效果上相当于压汞资料。核磁共振测井利用实验装置和测试分析系统, 能够开展各种模拟储层条件下的岩石物理实验, 涵盖物性、电及电化学特性、声及机械特性、核物理、光学、磁共振及毛管力、地质等主要类别, 能为测井响应机理研究、测井解释模型研究提供支撑<sup>[3]</sup>。涉及地下储层的岩心实验, 一般应将岩心样品进行清洗操作, 去除灰尘及杂质, 避免油污影响。以核磁共振实验为例, 在进行岩心核磁共振实验前, 首先要对所选岩心样品进行必要的预处理, 为下一步的岩心核磁共振实验操作打下基础。必要的预处理主要包括: ①利用专用设备对岩心样品进行洗油、洗盐处理; ②岩心饱和, 测量饱和状态下的湿样质量; ③岩心烘干, 测量干样质量及尺寸<sup>[4-7]</sup>。

#### (二) 参数的获取

T2截至值是核磁共振实验和测井资料的重要参数, 在实验室条件下能得到不同饱和度和离心力条件下的岩心T2谱分布<sup>[8]</sup>。实验具有不损害岩心检测、一块岩样可以获得多个参数的显著优点, 且可以刻度核磁共振测井资料识别储层流体性质, 对储层评价意义重大。

### 二、核磁共振测井资料处理

核磁共振测井采集的原始信号为回波串, 对回波串进行时深转换与回波拆分、各组回波分别反演T2谱或拼接联合反演、储层参数计算、孔隙结构分析和流体性质分析, 最终绘制成果图。一维核磁共振主要利用反演的T2谱进行油气层孔隙结构的识别, 利用差谱和移谱特征识别油气信号, 根据以往的生产测试经验, 利用差谱信号对天然气的信号比较敏

感, 因此差谱适用于气储层。而移谱对油层尤其是稠油层比较有效, 因此移谱适用于油储层。但是核磁测井处理出来的差谱和移谱数据不可避免地受到核磁原始回波串噪声的信号干扰。因此往往在水层也会出现差谱和移谱信号。导致了核磁测井资料的多解性。而二维核磁共振利用了T1谱, 从二维谱纵轴方向有效的区分出油气层, 可以作为一维核磁共振的有效升级。二维核磁共振资料处理是一维核磁共振的升级。在资料处理时, 应建立反演出的二维T1-T2谱或者T2-D谱。二维T1-T2谱是在测井采集时设定相同回波间隔和不同等待时间来获得的, 而二维T1-D谱是采用相同等待时间和不同回波间隔来获得的。二者都是通过二维谱上应首先划分出油层或气层的信号区。以T1-T2谱为例, 一般将T2谱作为横轴, T1谱作为纵轴。并且在二维图中绘制出T1/T2的直线, 按比值分别为1、2、5、10、20、50、100比例设定。一般气层的信号位于T1-T2谱的右上方区域, T1/T2值在10-100区间; 毛管束缚水居于中间区域, T1/T2值在1-10区间; 而黏土束缚水居于T1-T2谱的左下方区域, T1/T2值也在1-10区间, 区分毛管和黏土束缚水还得参考T2截至值。不同油气田T2截至值不尽相同, 以本文研究区为例毛管和黏土束缚水的T2截至值界限为3ms, 可动流体与毛管束缚水的T2截至值界限为12.7ms, 国内大部分致密砂岩储层T2截至值均较小, 表明我国非常规致密砂岩储层和传统的中、高孔渗储层相比, 无论是孔隙度还是孔径都是偏小的, 并且孔隙结构非常复杂。通过核磁共振资料处理就可以为识别复杂储层的孔隙结构以及孔隙度和渗透率, 二维核磁共振较一维核磁共振的优势是能够将油气谱和水谱分离, 使之能够单独成像。这样就可以直观的观测油气的T1和T2谱, 便于计算其孔隙体积, 为定性和定量识别储层打下良好基础。二维核磁共振虽然较一维核磁有优势, 但仍以一维核磁为理论基础, 其评价储层的原理不变。当实验室具备二维核磁共振的实验条件时, 应首选二维核磁做实验进而进行资料处理。否则, 若只能进行一维核磁共振的实验条件时, 应首先把T2截至值分析正确, 这样才能得到正确的处理结果。

### 三、核磁共振测井资料处理结果

对收集的核磁共振测井资料经过预处理后, 利用DPP核磁共振处理软件进行了精细处理, 可以分别得到相应的物性参数数据及成果图件。下面以XX69井资料为例进行实验成果分析。

本井核磁测量井段为1600.00~2128.00m, 采用的是双TW单TE采集模式, 从现场测量的Chia值和Gain值来看, 除部分井段由于井眼扩径严重导致资料在此失真外, 其他井段曲线质量合格率为100%。经DPP系统处理可以得到地层孔隙度、渗透率以及地层流体性质情况, 本井选择的T2截至值为20ms,

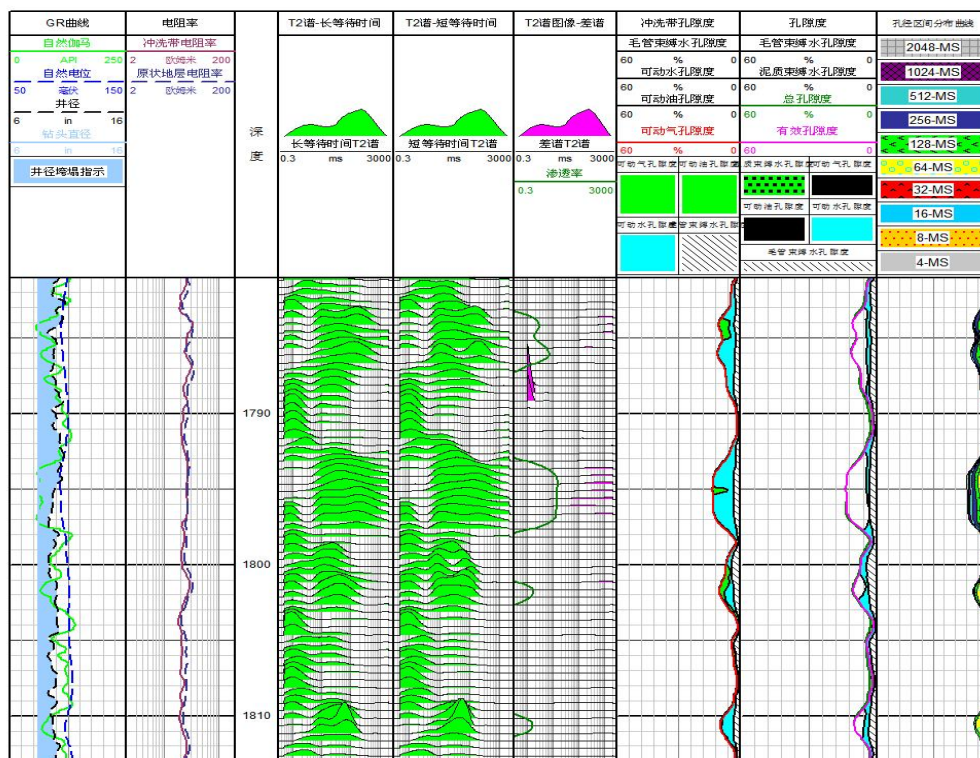


图1 XX69井核磁共振解释成果图

从处理的结果来看，T2截至值的选取是恰当的。下面对主要解释层段进行分析。

(1) 1783.80~1785.10m、1785.70~1786.70m井段，层厚2.30m，总孔隙度为10.89%，有效孔隙度为9.61%。从区间孔隙度的分析结果来看，储层孔隙大部分由大、中孔径孔隙组成，由于非均质性强，故物性中等。全烃资料该段有显示，通过对核磁资料的分析，该层含烃中等，综合解释为油水同层，综合处理成果图见图3-1。1793.30~1797.60m井段，层厚4.30m。本段全烃资料显示好，通过对核磁资料的分析，可动流体孔隙中含烃好，综合解释为油水同层。1801.00~1802.40m井段，总层厚1.40m，毛管束缚水体积为3.08~3.35%，可动流体体积：5.16~5.89%。全烃资料无显示，通过对核磁资料的分析，可动流体孔隙含烃较少，综合解释为油水同层，综合处理成果图见图1。

(2) 1960.30~1962.00m、1962.80~1965.70m井段，层厚4.60m，总孔隙度为8.18%，有效孔隙度为5.89%。T2谱展布较宽，位置靠前，无差谱信号，泥质成分较高。在常规曲线上该层自然伽马约为90.0API，密度为2.50g/cm<sup>3</sup>，声波时差215.0μs/m，均指示物性较差，有效孔隙度较低，综合解释为差油层，综合处理成果图见图3-2。1976.70~1980.0m、1980.80~1982.30m井段，层厚4.80m，总孔隙度为8.15%，有效孔隙度为6.85%。T2谱展布较宽，位置靠前，无差谱信号，在常规曲线上该层自然伽马约为72.0API，密度为2.49g/cm<sup>3</sup>，声波时差217.0μs/m，综合解释均为差油层。

综合研究数据得知，研究区可动流体百分数为23.84~87.16%。这表明研究区可动流体百分数分布范围较宽，可动流体均值含量相对较低，为低孔低渗透砂岩储层，储层具有较强的非均质特征。且在渗透率为0.1×10<sup>-3</sup>μm<sup>2</sup>之前，随着渗透率的增大可动流体百分数的含量增速最大，在渗透率为0.1×10<sup>-3</sup>μm<sup>2</sup>~0.6×10<sup>-3</sup>μm<sup>2</sup>之间。

四、结论

(1) 地球物理测井实验应遵循标准的实验步骤，并且应以岩心刻度测井的方式进行资料处理和解释，才能得到合理的结论。

(2) 明确了不同饱和度条件下多等待时间和多回波间隔岩心T2谱分布，进而可以刻度核磁共振测井资料识别储层流体；

(3) 核磁共振资料对储层主要孔隙结构（孔径尺寸）及流体性质进行分析和识别，对储层评价有实际指导意义。

参考文献

[1] 刘国昌, 唐志远. 地球物理勘探课程思政教学改革与实践[J]. 中国多媒体与网络教学学报(上旬刊), 2021(01): 184-186.  
 [2] 肖亮. 资源勘查工程专业《地球物理测井与解释》课程的教学改革[J]. 科技创新导报, 2020, 17(19): 214-215+218.  
 [3] 王为民, 郭和坤, 叶朝辉. 陆相储层岩石核磁共振物理特征的实验研究[J]. 波谱学杂志, 2001. 2.  
 [4] 肖立志, 谢然红, 丁娱娇, 等. 核磁共振测井仪器的最新进展与未来发展方向[J]. 测井技术, 2003b, 27(4): 265-269.  
 [5] 肖飞, 何宗斌, 等. 核磁共振测井连续表征储层孔隙结构参数方法研究[J]. 石油天然气学报, 2012, 3.  
 [6] 邵维志, 丁娱娇. 核磁共振测井在储层孔隙结构评价中的应用[J]. 测井技术, 2009, 33(1): 52-56.  
 [7] 王忠东, 汪浩, 李能根, 等. 核磁共振岩心基础实验分析[J]. 测井技术, 2001, 25(3): 170-174.  
 [8] 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: 35-7  
 第一作者简介:  
 丁慧(1985-), 女, 山西工程技术学院地球科学与工程系实验师, 主要从事地球物理测井实验教学及科研工作。