

ICS 75 - 010

E 11

备案号: 24431—2008



中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 6747—2008

油气探井核磁共振录井规范

Specifications for logging exploration wells by NMR physical property

2008—06—16 发布

2008—12—01 实施

国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 仪器设备和材料配置 1

4 仪器工作条件 1

5 岩样采集及处理 1

6 分析步骤及要求 2

7 录取参数 3

8 资料处理解释 3

9 资料项目 3

附录 A(规范性附录) 核磁共振录井取样记录格式 4

附录 B(规范性附录) 核磁共振录井样品分析记录格式 5

附录 C(规范性附录) 核磁共振渗透率计算方法 6

附录 D(资料性附录) 核磁共振录井 T_2 弛豫谱示意图格式 8

附录 E(资料性附录) 核磁共振录井成果表格式 9

前 言

本标准的附录 A、附录 B 和附录 C 为规范性附录，附录 D 和附录 E 为资料性附录。

本标准由石油地质勘探专业标准化委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国石油天然气集团公司辽河石油勘探局录井公司、中国石油天然气集团公司吉林石油集团地质录井公司、中国石油化工集团公司胜利石油管理局地质录井公司。

本标准主要起草人：刘宗林、周维仁、许宪金、陈天斌、宋明会、关有义。

油气探井核磁共振录井规范

1 范围

本标准规定了油气探井核磁共振录井的仪器设备和材料配置、仪器工作条件、岩样采集及处理、分析步骤及要求、录取参数、资料处理解释和资料项目要求。

本标准适用于油气井核磁共振录井。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

SY/T 6028—1994 探井化验项目取样及成果要求

SY/T 6294 2008 录井分析样品现场采样规范

3 仪器设备和材料配置

主要仪器设备和材料配置应符合下列要求：

- 核磁共振样品分析仪：磁场强度 0.08T~0.12T，磁场均匀度不低于 0.025%，回波时间最小可调至 1.5×10^{-4} s，仪器运行稳定后的磁体温度误差不超过 0.1℃。
- 不间断电源：录井现场使用不间断电源，续电时间不小于 1h。
- 电子天平：称量精度不低于 0.01g。
- 样品饱和仪：饱和压力 ≥ 0.10 MPa。
- 标样：孔隙度分别为 1%，3%，6%，9%，12%，15%，18%，21%，24% 和 27%。
- 试剂：氯化钠（含量不小于 99.5%）、氯化钾（含量不小于 99.8%）和氯化锰（含量不小于 99.0%）。

4 仪器工作条件

仪器工作条件应符合下列要求：

- 供电电源：电压 $220\text{V} \pm 11\text{V}$ ，频率 $50\text{Hz} \pm 3\text{Hz}$ 。
- 环境温度： $16^{\circ}\text{C} \sim 29^{\circ}\text{C}$ 。
- 相对湿度：不大于 85%。
- 仪器电路的相互绝缘及其对机壳的绝缘电阻均不应小于 $2\text{M}\Omega$ ，并装有漏电保护装置。
- 仪器应远离热源安装，做到牢固、无振动，且与墙面的距离大于 0.1m，与铁磁性物质的距离大于 1m。

5 岩样采集及处理

5.1 按 SY/T 6294—2008 中 4.7 的规定进行岩样采集，并填写“核磁共振录井取样记录”，格式见附录 A。

5.1.1 取样密度：

- 岩屑样：目的层的储集层应逐包取样；非目的层的储集层，单层厚度不大于 5m 的每层取 1

个样，大于 5m 的每 5m 取 1 个样，有油气显示的逐包岩屑取样。

b) 岩心样：取样密度见 SY/T 6028—1994 的 5.4.1。

c) 井壁取心样：储集岩的旋转式井壁取心应逐颗取样。

5.1.2 采样方法：

a) 岩屑样：在岩屑清洗后去掉块取样，并在 20min 内将样品装入取样桶，样品质量应不少于 50g。

b) 岩心样：在岩心中心部位取样，并在岩心出筒后 30min 内装入取样桶，样品质量应不少于 20g，且大小以 30mm×30mm×30mm 为宜。

c) 井壁取心样：在井壁取心岩心中心部位取样，并在岩心出心后 20min 内装入取样桶，样品质量应不少于 10g。

5.2 做物性分析前，应使用混合盐水对岩样进行真空饱和，岩屑样品饱和时间不少于 0.5h，岩心和井壁取心样品饱和时间不少于 2h，用滤纸吸去其表面水分待分析；做含油分析前，应使用锰离子浓度不小于 10000mg/L 的水溶液对岩样进行浸泡，浸泡时间不少于 24h，用滤纸吸去其表面水分待分析。

6 分析步骤及要求

6.1 开机

打开主机电源，仪器预热不少于 3h，仪器磁体温度稳定在设定温度。

6.2 仪器调参

6.2.1 系统参数设置

系统参数应符合下列要求：

a) 核磁共振频率的偏移值不应超过其额定频率的 2%。

b) 90°和 180°脉冲宽度的测量信号幅度均应达到最大。

c) 在信号不失真的条件下，仪器接收增益应设到最大。

d) 其他特定参数保持仪器出厂设置。

6.2.2 采集参数设置

采集参数应能最大限度地获取岩样信息，满足录井解释和地质研究的需要，包括但不限于：

a) 回波间隔。

b) 等待时间。

c) 采集回波个数。

d) 采集扫描次数。

6.3 标样分析

6.3.1 仪器调试要求

每次安装或维修仪器后，应对仪器进行重复性、线性度刻度测试；仪器连续运行 24h 应进行重复性测试。

6.3.2 重复性测试

6.3.2.1 将孔隙度不小于 10% 的至少两个不同标样依次置于仪器探头内稳定 5s 后测量，并按式

(1) 计算其孔隙度相对误差，该值不应大于 5%。

$$\Delta\delta = (|\phi_{\text{测}} - \phi_{\text{标}}| / \phi_{\text{标}}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\Delta\delta$ ——孔隙度相对误差，用百分数表示；

$\phi_{\text{测}}$ ——第 i 个标样的实测孔隙度，用百分数表示；

$\phi_{\text{标}}$ ——第 i 个标样的标定孔隙度，用百分数表示。

6.3.2.2 将孔隙度小于 10% 的至少两个不同标样依次置于仪器探头内稳定 5s 后测量，并按式 (2) 计算其孔隙度绝对误差，该值不应大于 0.5%。

$$\delta = |\phi_{\text{测}} - \phi_{\text{标}}| \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

δ ——孔隙度绝对误差，用百分数表示；

$\phi_{\text{测}}$ ——第 i 个标样的实测孔隙度，用百分数表示；

$\phi_{\text{标}}$ ——第 i 个标样的标定孔隙度，用百分数表示。

6.3.3 线性度刻度

将不少于五个不同孔隙度的标样分别置于仪器探头内稳定 5s 后测量，所刻度的孔隙度线性度不应小于 0.9996。

6.4 岩样分析

6.4.1 将待测样品装入不含氢的非磁性容器（如玻璃试管）后，置于仪器探头内（样品高度不应超过磁体均匀区）。

6.4.2 确认仪器当前参数准确无误后，开始进行岩样分析。

6.5 关机

保存测量结果，关闭测量软件，关闭主机，切断主机电源。

6.6 记录填写

根据样品分析情况，填写“核磁共振录井样品分析记录”，格式见附录 B。

7 录取参数

录取参数为：孔隙度、含油饱和度、可动流体饱和度和渗透率等参数，渗透率计算方法见附录 C。

8 资料处理解释

8.1 根据岩样分析数据，编制“核磁共振录井 T_2 弛豫谱”，格式参见附录 D。

8.2 利用本地区解释标准，依据岩样分析数据进行储层评价，并编写“核磁共振录井成果表”，格式参见附录 E。其中，井深（井段）和厚度的单位为米，孔隙度、含油饱和度和可动流体饱和度用百分数表示，渗透率的单位为毫达西，数值修约均匀到二位小数。

9 资料项目

资料（文本及电子版）项目包括：

- a) 核磁共振录井取样记录。
- b) 核磁共振录井样品分析记录。
- c) 核磁共振录井 T_2 弛豫谱。
- d) 核磁共振录井成果表。
- e) 核磁共振录井成果图。

附录 C

(规范性附录)

核磁共振渗透率计算方法

对于岩石而言,其渗透率仅与岩石性质有关,与流体性质无关。从油层物理学分析,岩石中束缚水饱和度与岩石本身性质有关,岩石孔隙中无论充填什么流体,其束缚水饱和度是不变的。因此,在下列五种核磁共振渗透率的计算模型中,式(C.5)更具有普遍性,也更适用于现场。

- a) SDR 模型:利用饱和水岩样的核磁孔隙度和 T_2 几何平均值,按式(C.1)计算核磁渗透率,其模型参数为 C_{s1} 。

$$K_1 = C_{s1} (\phi_{nmr}/100)^4 T_{2g}^2 \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

K_1 ——SDR 模型核磁渗透率,单位为毫达西 (mD);

C_{s1} ——由相应地区的岩样实验测量数据统计分析所得的模型参数;

ϕ_{nmr} ——核磁孔隙度,用百分数表示;

T_{2g} —— T_2 几何平均值,单位为毫秒 (ms)。

- b) SDR—reg 模型:利用饱和水岩样的核磁孔隙度和 T_2 几何平均值,按式(C.2)计算核磁渗透率,其模型参数为 C_{s2} , m , n 。

$$K_2 = C_{s2} (\phi_{nmr}/100)^m T_{2g}^n \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

K_2 ——SDR—reg 模型核磁渗透率,单位为毫达西 (mD);

C_{s2} ——由相应地区的岩样实验测量数据统计分析所得的模型参数;

ϕ_{nmr} ——核磁孔隙度,用百分数表示;

m ——由相应地区的岩样实验测量数据统计分析所得的模型参数;

T_{2g} —— T_2 几何平均值,单位为毫秒 (ms);

n ——由相应地区的岩样实验测量数据统计分析所得的模型参数。

- c) Coates 模型:利用饱和水岩样的核磁孔隙度以及由 T_2 截止值法(或 SBVI 法)求得的束缚水体积和可动水体积,按式(C.3)计算核磁渗透率,其模型参数为 C_{n1} 。

$$K_3 = (\phi_{nmr}/C_{n1})^4 (\phi_{nmrm}/\phi_{nmrb})^2 \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

K_3 ——Coates 模型核磁渗透率,单位为毫达西 (mD);

ϕ_{nmr} ——核磁孔隙度,用百分数表示;

C_{n1} ——由相应地区的岩样实验测量数据统计分析所得的模型参数;

ϕ_{nmrm} ——核磁可动流体孔隙度,用百分数表示;

ϕ_{nmrb} ——核磁束缚孔隙度,用百分数表示。

- d) Coates 扩展模型:利用饱和水岩样的核磁孔隙度以及求得的束缚水体积和可动水体积,按式(C.4)计算核磁渗透率,其模型参数为 C_{n2} , m , n 。

$$K_4 = (\phi_{nmr}/C_{n2})^m (\phi_{nmrm}/\phi_{nmrb})^n \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

K_4 ——Coates 扩展模型核磁渗透率,单位为毫达西 (mD);

ϕ_{nmr} ——核磁孔隙度,用百分数表示;

C_{n2} ——由相应地区的岩样实验测量数据统计分析所得的模型参数;

m ——由相应地区的岩样实验测量数据统计分析所得的模型参数;

ϕ_{nmfm} ——核磁可动流体孔隙度，用百分数表示；

ϕ_{nmrb} ——核磁束缚孔隙度，用百分数表示；

n ——由相应地区的岩样实验测量数据统计分析所得的模型参数。

e) 通用模型：利用饱和水岩样（或录井湿岩样）的核磁孔隙度和求得的束缚水饱和度按式（C. 5）计算核磁渗透率。

$$K_s = (\phi_{\text{nmr}}/C_{\text{nl}})^4 [(100\% - S_{\text{wi}})/S_{\text{wi}}]^2 \quad \dots\dots\dots (\text{C. 5})$$

式中：

K_s ——通用模型核磁渗透率，单位为毫达西（mD）；

ϕ_{nmr} ——核磁孔隙度，用百分数表示；

C_{nl} ——由相应地区的岩样实验测量数据统计分析所得的模型参数；

S_{wi} ——束缚水饱和度，用百分数表示。

附录 D
(资料性附录)

核磁共振录井 T_2 弛豫谱示意图格式

核磁共振录井 T_2 弛豫谱示意图格式参见图 D.1。

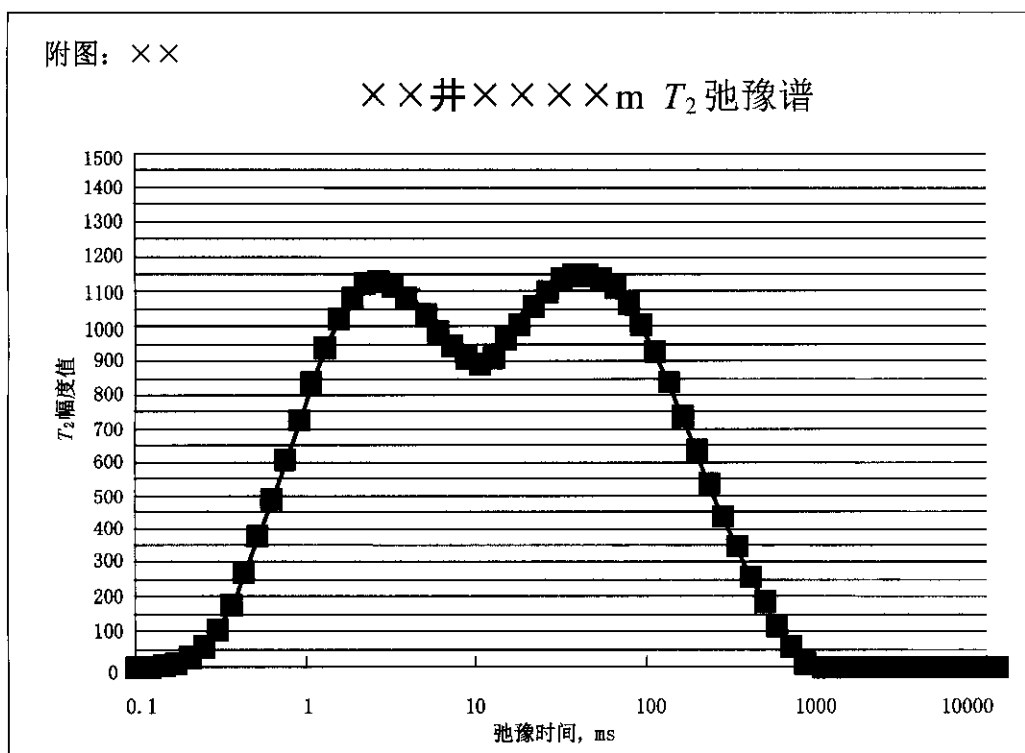


图 D.1 核磁共振录井 T_2 弛豫谱示意图格式

