

ICS 75.020

E 12

备案号: 27510—2010



中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 6752—2009

核磁共振成像测井作业技术规范

The specification for operation of nuclear magnetic resonance imaging logging

2009—12—01 发布

2010—05—01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 MRIL－P 型核磁共振成像测井..... 1

4 MRIL－C 型核磁共振成像测井 3

附录 A（规范性附录） 仪器工作状态误差要求 6

附录 B（规范性附录） 核磁“mril show2D”窗口工作状态误差要求 8

前 言

本标准的附录 A、附录 B 为规范性附录。

本标准由石油测井专业标准化委员会提出并归口。

本标准负责起草单位：中国石油集团长城钻探工程有限公司测井公司。

本标准参加起草单位：中国石化集团胜利石油管理局测井公司、中国石油集团测井有限公司华北事业部。

本标准主要起草人：向强、张振波、朱世和、岳璋、于飞、程祥、李六有。

核磁共振成像测井作业技术规范

1 范围

本标准规定了 MRIL-P 型和 MRIL-C 型核磁共振成像测井仪的施工作业方法和技术要求。

本标准适用于 MRIL-P 型和 MRIL-C 型核磁共振成像测井仪的现场作业；其他型号核磁共振成像测井仪的测井作业可参照执行。

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 5132 测井原始资料质量要求
- SY/T 5600 裸眼井、套管井测井作业技术规程
- SY/T 6277 含硫油气田硫化氢监测与人身安全防护规程
- SY/T 6593 核磁共振成像测井仪刻度规范

3 MRIL-P 型核磁共振成像测井

3.1 技术指标

- a) 最高工作温度：177℃/2h (350 ℉/2h)。
- b) 最大工作压力：137.9MPa (20000psi)。
- c) 仪器长度：16120mm (52.88ft)。
- d) 仪器质量：669kg (1475lb)。
- e) 仪器外径最大尺寸： $\phi 152.4\text{mm}$ (6in)。
- f) 适用井眼范围： $\phi 177.8\text{mm} \sim \phi 406\text{mm}$ (7in~16in)。
- g) 钻井液最小电阻率：0.02 $\Omega \cdot \text{m}$ (井眼内温度条件下)。
- h) 供电：
 - 电子线路交流电：电压 120V \pm 18V，频率 60Hz，电流 400mA；
 - 探头直流电：电压 600V，电流不大于 3A/脉冲。
- i) 运输储存环境：不低于 -20℃ (-4 ℉)。

3.2 仪器刻度

仪器刻度按 SY/T 6593 要求进行。

3.3 施工作业及安全防护

施工作业及安全防护应符合 SY/T 5600 和 SY/T 6277 的要求。

3.4 上井前准备

3.4.1 测井队接到通知后，了解井况、岩性、钻井液性能，选择合适的扶正器；并有针对性地进行作业策划和风险评估，制定施工应急预案。

3.4.2 探头充油应充足，压力平衡塞应距离底座 12.7mm。

3.4.3 每支仪器的插针、插槽应无松动且完好；“O”型密封圈应完好；各部件如有损坏，应及时更换。

3.4.4 联机检查仪器：

- a) 按照遥传短节 (D4TG)、电容式供电短节 (MRCC)、电子线路 (MREC)、现场校验器 (FIELDVERIFIER) 的顺序硬连接仪器。
- b) 启动地面测井系统，从测井软件 “CLASS” 主菜单中选择 “LOGGING SETUP”，再选择 “SERVICE SELECTION”。
- c) 输入服务表号 2440，回车确认。
- d) 给仪器电子线路供交流电 $120V \pm 18V$ ，并确定遥传通讯正常。
- e) 打开 “MRIL” 主窗口，仪器各状态参数应在正常工作范围内；温度值应接近环境温度，仪器系列号应正确。
- f) 打开扫频窗口，设定总幅度 GA 为 50，使用激活方式 “FREQSWPD” 进行扫频。
- g) 检查确定五个频段的扫频图是否正常后存盘，否则重新进行 b) ~f) 的过程直至仪器正常。
- h) 退出扫频窗口，在 “MRIL” 主窗口中点击 “ATTACH” 命令，出现 “OK” 提示并确认后，在 “DCCP” 面板上加直流高压到 40V，并观察在停止增加电压后，电流应减小到零，下井仪器电压应与地面电压相等。
- i) 在 “MRIL” 主窗口中点击 “STAR” 命令，弹出的 “STAR WINDOW” 中的中心频率应与扫频所得频率一致，设定 GA 值为 50~100。
- j) 点击 “OK”，执行发射命令。
- k) 继续增加 “DCCP” 面板上直流高压，同时观察电源面板和 “MRIL” 主窗口中 “HV_{max}” 的电压和电流，直至仪器电压达到 600V，在供电过程中，还应随时调整电子线路电源，使 “UVH1” 保持在 19V~24V。
- l) 打开核实窗口，选择 “FIELD CAL”，点击 “STAR”，打开 “STATISTICS SETUP” 窗口，在此窗口中设定参数见表 1。

表 1 检查参数设置表

FIRST EXPERIMENT	50
LAST EXPERIMENT	150
ACTIVATION SET	DVERIFYX
AMPLITUDE	100
RUNNING AVERAGE	20
FIELD VERIFIER #	输入现场检验器号码
FREQUENCIES 0 TO 4	FROM THE FREQUENCY SWEEP (从扫频中得到的频率)

- m) 点击 “OK” 开始测前核实。
- n) 核实完成后，点击 “Freq” 检查核实结果在误差范围内并存盘，见表 A. 1。
- o) 按要求给电容放电，然后断开仪器电子线路部分连接。
- p) 按照遥传短节 (D4TG)、电容式供电短节 (MRCC)、电子线路 (MREC)、核磁探头 (SNODE) 的顺序硬连接仪器 [152.4mm (6in) 的探头放置在外层充满硫酸铜溶液的刻度水箱内、123.8mm (4 $\frac{7}{8}$ in) 的探头放置在中层充满硫酸铜溶液的刻度水箱内]，做水罐统计检查。重复 b) ~n) 的步骤。
- q) 观察曲线 MPHI 的值，范围应在 100 ± 2 之内，其他指标见表 A. 2 的要求。
- r) 按要求给电容放电，然后断开仪器。

3.5 现场测量

- 3.5.1 仪器连接好后，给电子线路供电，加载服务表 2440，确认遥传通讯正常，仪器所有数据的指标都应在误差范围内。
- 3.5.2 井口对零下井，速度不超过 50m/min，在套管鞋附近不超过 17m/min。
- 3.5.3 在套管内禁止给仪器供高压直流电，仪器的“gain”值应在 20 ± 5 。
- 3.5.4 仪器进入裸眼井段后，如“gain”低于 100，则严禁给仪器供高压直流电。
- 3.5.5 在目的层选择岩性均匀、井眼规则的井段，以 3m/min 的速度上提仪器，进行测前扫频，同 3.4.4 中的 b) ~g)。
- 3.5.6 按测前设计、钻井液电阻率、仪器增益和井下钻井液电阻率确定测井速度。
- 3.5.7 点击“STAR”，输入正确的运行平均数，确认五个频带的中心频率正确无误，然后点击“OK”。
- 3.5.8 加高压直流电压至 600V，同 3.4.4 中的 h) ~k)。
- 3.5.9 设定 B1 值，调整脉冲总幅度 GA 值：B1mod 为 $B1cal \pm 5\%$ (B1cal 由刻度记录中查出)。
- 3.5.10 根据井况设定测井参数表及编辑曲线输出表。
- 3.5.11 仪器在下放到测量段上部，选择孔隙度较大、岩性较纯的地层，按照 SY/T 5132 的规定测量重复曲线。
- 3.5.12 仪器下放到测量段底部，按规定的速度测量主曲线，在“CLASS”主窗口中选择“LOG”进行测量并实时监视“MRIL”主窗口，确保所有参数均在误差范围内，见表 A.2 的要求。
- 3.5.13 仪器在下放、测量过程中，操作工程师应随时观察下井仪器的运行情况，防止遇阻、遇卡。
- 3.5.14 资料采集结束后，资料应符合 SY/T 5132 的要求，然后进行测后核实，测后核实与测前核实步骤相同。执行 3.5.5 的规定，测后核实结果应与测前核实结果一致。
- 3.5.15 检查硬盘数据，选取相应的出图模版，打印测井曲线，原始数据备份。
- 3.5.16 关闭下井仪器电源，断电与供电顺序相反；关闭所有窗口后关闭操作系统；关闭各面板电源；将所有开关置于安全位置。
- 3.5.17 填写好仪器运行记录。

4 MRIL—C 型核磁共振成像测井

4.1 技术指标

- a) 最高工作温度：155℃/0.5h (311 °F/0.5h)。
- b) 最大工作压力：137.9MPa (20000psi)。
- c) 仪器长度：3208MB 11.95m (47.05ft)，3207MB 11.80m (47.0ft)。
- d) 仪器质量：520kg (1150lb)。
- e) 仪器最大外径：3208MB $\phi 152.4\text{mm}$ (6in)；
3207MB $\phi 114\text{mm}$ (4.5in)。
- f) 适用井眼范围：3208MB $\phi 190\text{mm} \sim \phi 330\text{mm}$ ($7\frac{1}{2}\text{in} \sim 13\text{in}$)；
3207MB $\phi 127\text{mm} \sim \phi 190\text{mm}$ ($5\text{in} \sim 7\frac{1}{2}\text{in}$)。
- g) 钻井液最小电阻率：0.02 $\Omega \cdot \text{m}$ (井眼内温度条件下)。
- h) 供电要求：
电子线路交流电：电压 180V，频率 60Hz，电流 250mA；
探头直流电：电压 600V，800mA/脉冲。
- i) 运输储存环境：不低于 -20℃ (-4 °F)。

4.2 仪器刻度

仪器刻度按 SY/T 6593 要求进行。

4.3 施工作业及安全防护

施工作业及安全防护同 3.3。

4.4 上井前准备

4.4.1 同 3.4.1。

4.4.2 同 3.4.2。

4.4.3 同 3.4.3。

4.4.4 联机检查仪器：

- a) 按张力短节 (3981XB)、遥传短节 (3514XB)、数字能谱 (1329XB)、电容式供电短节 (3206PA)、电子线路 (3206EC)、测试模拟盒 (3203XB) 顺序连接仪器。
- b) 启动地面测井系统，加载相应的“OCT”服务表，加载与仪器对应的刻度。
- c) 在主菜单下选择“CAL/VER”，再选择“MRLSWP BEFORE LOG VERIFY”，从“MRLSWP/Calibration”子菜单中选“Start Frequency”设置起始频率（一般低于中心频率 30000Hz）、步进频率 2000Hz，然后再选择“Sample All Frequencies”，观察所获扫描图形应均匀圆滑，选择“Quit”或“Save”，所得中心频率和“gain”值应与测试盒给定值一致。
- d) 在“Data Acquisition Main Menu”菜单下选择 TOOL/MRIL “High Voltage/Enable”，用 2010XA 面板缓慢供直流电（50V/min~100V/min），直至直流电压为 200V，监视“mril show2D”窗口中的“Hvmx/mn”的电压显示，确定仪器正常后，继续缓慢增加直流电压至 600V。
- e) 在主菜单下选择“CAL/VER”，再选择“MRLBBS”，设置起始频率（一般低于中心频率 30kHz）、步进频率 2kHz，然后再选择“Sample All Frequencies”，观察刻度表中的所有数据，均应在给定的误差范围内，选择“Quit”或“Save”。
- f) 按要求给电容放电，然后断开仪器。
- g) 按张力短节 (3981XB)、遥传短节 (3514XB)、数字能谱 (1329XB)、电容式供电短节 (3206PA)、电子线路 (3206EC)、探头 (3208MB 或 3207MB) 的顺序硬连接仪器。
- h) 3208MA 探头放置在外层充满硫酸铜溶液的刻度水箱内，3207MA 探头放置在中层充满硫酸铜溶液的刻度水箱内，重复 c) ~e) 步骤。
- i) 附录 B “mril show2D”窗口中各孔隙度应在 100 ± 2 ，其他参数值见附录 B，正常显示应全部为黑色，超差后会出现字体变红和底色变红的提示。
- j) 按要求给电容放电，然后断开仪器。

4.5 现场测量

4.5.1 同 3.5.1。

4.5.2 同 3.5.2。

4.5.3 仪器进入裸眼井段后，如“gain”低于 75，则严禁给仪器供高压直流电。

4.5.4 监视“mril show2D”窗口，各值应在误差范围内，见附录 B。

4.5.5 在目的层选取渗透性好、井眼比较规则的井段，以 3m/min 的速度上提仪器，进行测前扫频，以确定中心频率。

4.5.6 在主菜单下选择“CAL/VER”，再选择“MRLSWP BEFORE LOG VERIFY”，从“MRLSWP/Calibration”子菜单中选“Start Frequency”设置起始频率（一般低于中心频率 30000Hz）、步进频率 2000Hz，然后再选择“Sample All Frequencies”，观察所获扫描图形应均匀圆滑，选择“Quit”或“Save”，中心频率将自动设置在“Activation Control”窗口中。

4.5.7 根据观察到的“gain”值，按表 2 确定“Q”级别，在“Activation Control”中选择。

表2 “Q”级别与“gain”对照表

Q level	3208MB	3207MB
Low Q	<220	N/A
Medium	220~330	240~360
High Q	>330	>360

4.5.8 确认 2010XA 直流电源面板的“DC CURRENT”处于最大位置，“DC VOLTAGE”处于关闭位置，打开 2010XA 面板电源。

4.5.9 在“Data Acquisition Main Menu”菜单下选择 TOOL/MRIL “High Voltage/Enable”，用 2010XA 面板缓慢供电（50V/min~100V/min），直至直流电压为 200V，监视“mril show2D”窗口中的“Hvmx/mn”的电压显示，确定仪器正常后，继续缓慢增加直流电压至 600V。

4.5.10 在“ACTIVATION CONTROL”窗口中设置幅度（低于刻度记录中 TANK CHECK VALUE 值 4 个~5 个）。

4.5.11 选择“T₂ log”并激活，根据“SWACT”值查“logging chart”图版，获得测速及“Run Average”，在目的层选择孔隙度较大、岩性较纯的地层，选用不同的“SWACT”值反复测量确定合适的 TW_s。

4.5.12 确定最大回波个数（echo）。逐步增加回波个数，观察 Hvmn 值的变化，当直流电压 Hvmn 在 400V~415V 范围内停止增加回波数，此时回波数为最大回波数。

4.5.13 根据 Speed/TR 图版确定测速或根据计算机推荐的测速（RSPD）测井，测井过程中监视“TPRC”值，应保持在 100 以下。

4.5.14 仪器有 T₂，DTW，DTE，BW 和 TP（其中 BW 和 TP 模式需要增加 3206QA 能量短节）五种测井模式，可根据用户要求，选择相应的测井模式，并输入相应的测井参数，激活相应的控制表。在激活新的控制表前，不宜关闭原控制表，这样容易成功激活，新的控制表激活后，原控制表会自动停止工作，颜色变灰。

4.5.15 仪器在下放到测量段上部，选择孔隙度较大、岩性较纯的地层，按照 SY/T 5132 的规定测量重复曲线。

4.5.16 将仪器下放到测量段底部，按规定的速度测量主曲线，随时监视曲线质量和“mril show2D”窗口，见附录 B，所有参数应全部为黑色，超差后会出现字体变红和底色变红的提示。

4.5.17 同 3.5.13。

4.5.18 资料采集结束后，资料应符合 SY/T 5132 的要求，然后进行测后核实，测后核实与测前核实相同，执行 4.5.5~4.5.6 的步骤。

4.5.19 同 3.5.15。

4.5.20 同 3.5.16。

4.5.21 同 3.5.17。

附 录 A
(规范性附录)
仪器工作状态误差要求

A.1 仪器工作状态误差要求见表 A.1。

表 A.1 仪器工作状态误差要求

曲线 CURVE	范围 RANGE	信噪比 SNR
MPHI	98~102	>50
MFFI	98~102	>100
B1	550~850	>200
GAIN	475~725	>30
ECHO1	98~102	>40
ECHO2	96~101	>40
ECHO3	94~100	>20
ECHO100	40~60	>40
T ₂ R2	150~225	>150
HVMIN	500~550	>300
HVMAX	570~600	>1000
15A	14.9~15.1	>1000
15ANEG	-15.1~-14.9	N/A
UVHI	19~24	>1000
15T	14.6~14.9	>1000
5A	4.9~5.1	>1000
5ANEG	-5.1~-4.9	>1000
5DIG	4.9~5.1	N/A
A1INECH	5.0	N/A
A1RING	<40	N/A
A1OFFSET	<10	N/A
ALOFFSET	<10	N/A
ALRING	<40	N/A
ALINECH	<5.0	N/A
CART TEMP1	20~35	N/A
TX TEMP2	25~45	N/A

A.2 核磁“MRIL”主窗口中参数误差要求见表 A.2。

表 A.2 核磁“MRIL”主窗口中参数误差要求

曲线 CURVE	误差范围 TOLERANCE
Exp Rate	>2
Porosity	$0\sim 102$
Bound Vol.	$0\sim 102$
Free Fluid	$0\sim 102$
Chi	<2.0
B1mod	± 5 of B1cal
Gain	$150\sim 900$
Echo3	<102
Av. Offset	<10.0
Av. Noise	<10.0
Ringin	<80.0
IENoise	<10.0
Cart Temp	<155
Trans Temp	<190
Ant. Temp	<155
+ 5Digital	$4.9\sim 5.1$
+ 5Analog	$4.9\sim 5.1$
- 5Analog	$-5.1\sim -4.9$
Unreg. 5V	$9.5\sim 12.5$
+ 15Analog	$14.8\sim 15.2$
- 15Analog	$-15.2\sim -14.8$
15Trans	$14.8\sim 15.2$
Ur15low	$19.0\sim 24.0$
Ur15high	$19.0\sim 24.0$
Hv Min	$450\sim 620$
Hv Max	$450\sim 620$

附 录 B
(规范性附录)

核磁 “mril show2D” 窗口工作状态误差要求

核磁 “mril show2D” 窗口工作状态误差要求见表 B. 1。

表 B. 1 核磁 “mril show2D” 窗口工作状态误差要求

序号	曲线	描述	误差范围
1	mphe	T_2 有效孔隙度	N/A
	mphe_	T_e , T_w , T_p 有效孔隙度	N/A
2	mbvi	T_2 毛细管束缚水	N/A
	mcbw	T_p 黏土束缚水	N/A
3	B1	T_2 已校正 B1 值	与刻度表 tank 值比较 ± 25 警告、 ± 50 错误
	B1_	T_e , T_p 已校正 B1 值	
4	gain	温度校正后的增益	>75 方可供直流高压
	gain0	未校正的瞬间增益	
5	chi	T_2 噪声	>3 警告
	chi_	T_w , T_e , T_p 噪声	
6	mdcy	发射周期	>4 出错
	b1_raw	T_2 未校正的瞬间 B1 值	>1100 警告、 >1250 出错
7	elth1	T_2 回波数	由设备性能决定
	elth_	T_w , T_e , T_p 回波数	
8	expn	测量次数范围	N/A
	expt	时间间隔	N/A
9	noise mx/mn	回波间噪声最大/最小值	>20 警告、 >30 出错
10	ring mx/mn	最大/最小回波串振铃	>40 警告、 >80 出错
11	tp noise	0.6 T_e 的回波串噪声	>20 警告、 >30 出错
	mg	0.6 T_e 的振铃	>40 警告、 >80 出错
12	tmp1	电子线路温度	$>300^\circ\text{F}$ 出错
	tmp2	发射电子线路温度	tmp1 ± 40 警告
13	wtbh	TTRM 钻井液温度	N/A
	tmp3	核磁探头温度	N/A
14	bht	核磁孔隙度校正温度	tmp1 ± 25 警告、 ± 40 出错
	tp	B1 校正温度	tmp3 ± 10 警告、 ± 20 出错
15	tw	等待时间	tw $<$ tws 出错
	tws	tw 短等待时间	

表 B.1 (续)

序号	曲线	描述	误差范围
16	qshi	时间深度匹配校正	>43 或 <-14 警告、 <-16 出错
	qshf		>0 出错
17	v17~21	+15V 核磁电子线路未稳压	<17 或 >24 警告、 >25 出错
	v9~11	+5V 核磁电子线路未稳压	<9 或 >13 警告、 >14 出错
18	hv mx	探头最大电压	$>610\text{V}$ 出错
	hv mn	探头最小电压	$<450\text{V}$ 警告、 $<400\text{V}$ 出错
19	chv/cht	3514 缆头电压/缆头张力	<170 或 >200 警告、 >210 出错