

# RPM 测井辅助裸眼判别油水性质

牛 朋 李念泽 (中海油田服务股份有限公司油田技术事业部, 天津 300459)

**摘要:** RPM 测井是剩余油气饱和度动态监测测井的简称, 该项技术可以在过油管条件下确定已射开油气层的剩余油饱和度分布情况、油水界面或气水界面的变化情况, 进而据此分析生产区内的油气层动用程度、油层水淹程度和来水方向等。此外, 近年来裸眼测井过程中低电阻率油层和可疑储层流体的识别越来越受到重视, 通过对该项技术测井资料的深入挖掘分析, 可以辅助判别裸眼井油水性质, 延长油井见水时间, 提高油藏采收率。文章通过具体实用案例介绍了剩余油气饱和度 (RPM) 测井与裸眼测井相结合判别油水性质的可行性和准确性。

**关键词:** 油水性质; 饱和度测井; 剩余油饱和度; RPM; 地层

## 1 测井仪器介绍

剩余油气饱和度动态监测测井 (RPM) 是一种普遍应用于国内外的油藏动态监测测井技术, 其中子源采用可控中子发生器产生中子脉冲, 实现安全条件下的脉冲中子俘获测量 (PNC 模式)、脉冲中子能谱测量 (C/O 模式)、脉冲中子持率测量, 同时根据不同测井需求, 该仪器还具备脉冲中子活化水流测量模式和示踪测量模式, 其中中子活化水流测量模式可以过油管实现油管内和环空内流量测量<sup>[1-4]</sup>。

RPM 测井仪由一个可控脉冲中子发生器和三个近、远探测器组成, 可以实现一次入井同时获取多重测量模式和测井参数的需求, 同时该仪器可以与常规剖面测井仪组合使用, 以获取更为准确的井下流体分布情况, 辅助精细解释。

图 1 为 RPM 测井仪基本组成示意图。

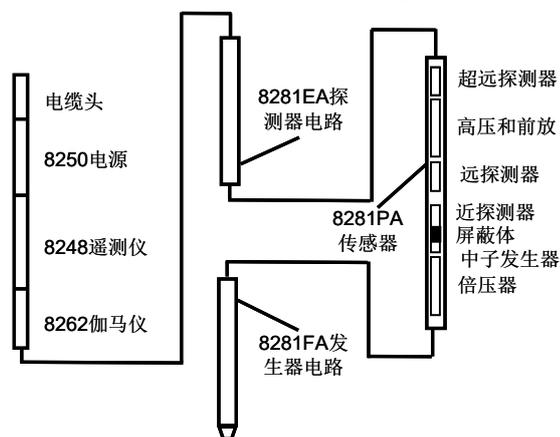


图 1 RPM 测井仪基本组成示意图

表 1 RPM 测井仪关键性能指标

	C/O 模式	PNC 模式
仪器外径 /mm	43	
最小测量井眼 /mm	48	
耐压 /MPa	138	
耐温 /°C	177	
井斜范围 /°	0-100	
脉冲中子源频率 /kHz	10	1
脉冲宽度 /μs	40	60
测井速度 /m/min	0.6	6 (2.1-12)
探测深度 /cm	21.6	27.9

垂直分辨率 /cm	61 (测速为 0.6m/min)	63.5
	152cm (测速为 1.5m/min)	

### 1.1 RPM 工作原理

RPM 测井的工作基础是中子与地层的相互作用, 属于核物理测井范畴, 主要通过可控中子源产生的 14MeV 高能快中子与地层物质中的原子核发生弹性散射、弹性散射、扩散与俘获等反应, 进而接收一系列反应过程中产生的伽马射线。在油藏动态监测过程中主要用到该仪器的脉冲中子能谱测量模式 (C/O 模式) 和脉冲中子俘获测量模式 (PNC 模式), 下面就其测量原理分别简单介绍。

### 1.2 RPM 测量模式

#### 1.2.1 脉冲中子能谱测量模式 (C/O 模式)

中子发生器产生能量为 14MeV 的高能快中子, 高能快中子射入地层后, 中子与地层元素中的靶核发生反应, 被靶核吸收后形成复核, 之后放出能量较低的中子, 而靶核仍处于激发态, 此过程称为非弹性散射, C/O 模式即利用非弹性散射进行测量。处于激发态的地层元素为不稳定状态, 通常会放出伽马射线而回到基态, 由此产生的非弹性散射伽马射线被 RPM 接收器所接收, 记录的非弹性散射伽马射线与发生反应的碳、氧、硅、钙等元素密切相关, 通过分析可以提供这些元素相对含量的油管信息, 如 C/O (碳氧比)、Si/Ca (硅钙比) 等<sup>[3-6]</sup>。

#### 1.2.2 脉冲中子俘获测量模式 (PNC 模式)

高能快中子经过与地层元素的非弹性散射后减速为热中子, 此后中子与地层物质的作用转换为扩散。地层元素的原子核俘获热中子的几率或者能力叫做该核素的微观俘获截面, 核素俘获热中子后成为激发态的复核, 此后放出一个或者几个伽马光子回到基态, 在此过程中放出的伽马射线称为俘获伽马射线, RPM 探测器接收该伽马射线即热中子的俘获伽马射线的计数率, 据此可以计算出地层的热中子宏观俘获截面  $\Sigma$ 。由于气层热中子宏观俘获界面与油、水相比要小得多, 具体可以很好的识别气层<sup>[5-8]</sup>。

## 2 应用实例

渤海蓬勃区块某井, 裸眼测井过程中因井斜过大, 随钻测井中的中子-密度测井仪入井风险较高, 仅测量

自然伽马和电阻率,对储层油水性质的解释依靠该区块临井参数反算得出,但该区块为新区块,钻井和在产井数较少,油水性质和地层联通性存在一定不确定性,而该井即将进行射孔完井,急需寻找辅助测井技术,明确油水关系。

### 2.1 测井资料质量分析

从 2510-2610m 井段测井组合结果中可以看出,各趟 C/O、Si/Ca 曲线重复性良好,在油水层位置, Si/Ca 与 C/O 曲线交汇差异明显,能够反映剩余油饱和度分布状况,测井质量良好。

### 2.2 资料解释成果

RPM 饱和度测试的准确度,依赖于裸眼标准水层或未动用油层的精度。从本井裸眼井资料来看,稳定的标准水层在 2510-2610m 测量段内的顶部(图 2)。

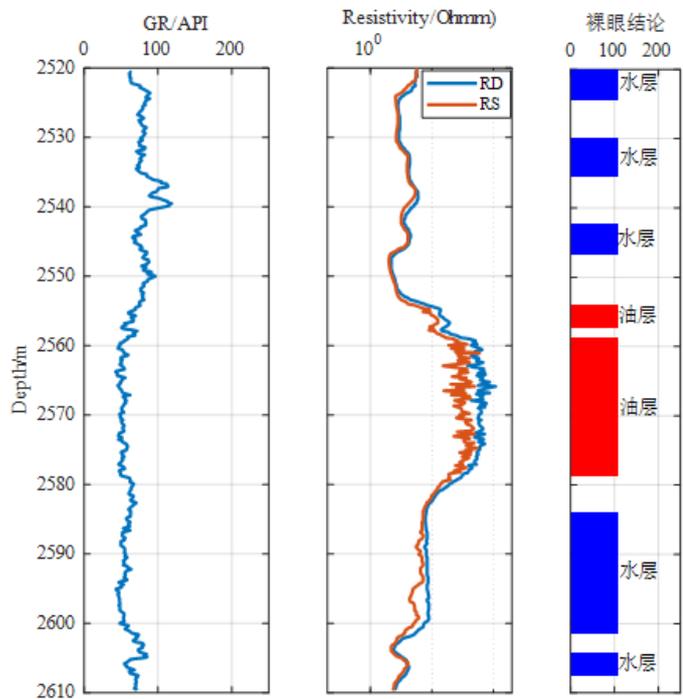


图 3 裸眼井测井组合图(2510-2610m)

文中后续解释成果图中各曲线道如下:

第 1 道为裸眼井伽马曲线 GR、RPM-C/O 模式的磁定位曲线 CCL1、CCL2、CCL3、CCL4 和 PNC 模式测量的 SGFC 曲线、磁定位曲线 CCL; 第 2 道为深度; 第 3 道为裸眼解释结论; 第 4 道为电阻率曲线; 第 5-8 道为四趟 C/O 和 S/C 曲线, 第 9 道为拟合后的碳氧比曲线 Lavgeo 和硅钙比曲线 Lavgsc, 第 10 道为饱和度曲线(SWOH 为计算的原始含水饱和度曲线、SWCO 为 RPM 测井计算的饱和度曲线); 第 11 道为岩性剖面。

C/O 用于指示地层的含油性, 直接判断地层含油饱和度的高低, Si/Ca 在地层水矿化度变化不大的地层里用来指示岩性。解释中需要运用裸眼井伽马曲线 GR 和 RPM-C/O 模式的磁定位曲线 CCL、PNC 模式测量的 SGFC 曲线等进行校深, 并综合分析裸眼电阻率曲线、原始含水饱和度曲线、裸眼解释结论, 将 C/O 和 Si/Ca

曲线进行反向刻度来识别储层的含油性, 采用刻度法计算出 RPM 测井饱和度曲线。

#### 2.2.1 标准层解释

从 C/O 曲线来看, 水层位置, C/O 值低, 调整 Si/Ca 与 C/O 曲线刻度, 使二者在水层位置无交会后, 可明显看出图中油层位置二者有明显交会, RPM-C/O 测井解释饱和度与裸眼解释饱和度基本一致。

#### 2.2.2 存疑层解释

从存疑水层处的测井响应来看, Si/Ca 曲线值减小, 提示物性变差(自然伽马在该处无明显物性变差响应), RPM-C/O 测井解释饱和度较裸眼解释饱和度略有升高, 为岩性变化影响, 原始含水饱和度计算偏低。

2884.3-2886.5m 裸眼解释为水层处, RPM-C/O 测井显示, Si/Ca 及 C/O 曲线均与 2882.1-2883.6m 裸眼解释为油层处无明显区别, 在以 2520-2610m 层段水层为标准参考层条件下, 2884.3-2886.5m 储层, RPM 资料显示与 2881.1-2883.6m 油层有着近似的油层响应。

### 3 总结

在勘探开发过程中, 在井斜过大等复杂井况条件下, 裸眼测井资料录取不全或很少的情况时有发生, 此时储层油水性质的认识则依赖于岩石物理师的经验及区块认识, 从而不可避免的出现油水性质认识模糊, 后期完井或措施调整时存疑层位是否投入开发的疑难, 油藏动态监测测井 RPM 则可以通过不动管柱作业, 有效辅助判断油水性质, 与裸眼测井资料及地区经验相互验证, 提高测井解释准确度。

#### 参考文献:

- [1] 郭海敏. 生产测井导论 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003(89).
- [2] 黄志洁, 邱细斌. 储层性能监测仪 (RPM) 及其应用 [J]. 石油仪器, 2004, 18(2): 43-46.
- [3] 王潇祎. 饶阳凹陷区域水平井测井技术研究及应用 [D]. 北京: 中国地质大学, 2020.
- [4] 石海峰. 动态监测技术在油田开发中的应用与发展 [J]. 粘接, 2019, 40(11): 43-47.
- [5] 陆大卫, 刘兴斌, 谢进庄. 大庆油田全周期动态监测技术施策研究 [J]. 测井技术, 2019, 43(01): 1-9.
- [6] 刘敏, 伍轶鸣, 刘勇, 等. 动态监测技术在 H 油田开发中的应用 [J]. 承德石油高等专科学校学报, 2015, 17(01): 1-5+24.
- [7] 陈猛. 基于 PNN 测井剩余油饱和度监测技术研究 [D]. 武汉: 长江大学, 2013.
- [8] 马焕英, 李疾翎, 牛朋, 等. 储层饱和度动态监测在海上油田的应用 [J]. 石油天然气学报, 2012, 34(06): 104-107+168.

#### 作者简介:

牛朋 (1984-), 男, 汉族, 山东临沂人, 本科, 工程师, 主要从事套管井测井资料处理解释、方法研究方面的工作。