

# APS 测井在识别火山岩低阻气层中的应用\*

王建国<sup>1</sup> 何顺利<sup>1</sup> 李秀生<sup>1</sup> 刘红歧<sup>2</sup>

(1. 中国石油大学·北京 2. 西南石油大学)

王建国等. APS 测井在识别火山岩低阻气层中的应用. 天然气工业, 2007, 27(8): 35-37.

**摘要** 在低渗透火山岩储层中, 由于井眼环境和岩性骨架对常规补偿中子的影响, 测井信息的信噪比较低, 在识别气层尤其是低阻气层时符合率比较低。为此, 介绍了一种新的测井方法——加速式中子源孔隙度测井 (APS), 该方法提高了中子产额, 增加了探测器数量, 采用了背屏蔽设计, 优化了选择探测器源距。从测量结果上来看, 该方法能降低岩石骨架和井眼环境对于测量结果的影响, 提供了多个孔隙度测量结果。以大庆徐深 8 井为实例, 阐述了 APS 测井在识别低孔、低渗、火山岩气层、水层中的应用, 解决了常规测井无法判别油气水的问题, 射孔试气证明了 APS 测井的有效性。从综合应用效果看, APS 测井在识别低阻气层方面具有一定优势。

**关键词** 孔隙度测井 火山岩 气层 电阻率 松辽盆地 应用 效果

在所有元素中, 氢是最强的中子减速剂<sup>[1]</sup>。这是各种中子测井能有效解决地层含氢量以及与此有关的地质问题的科学基础。天然气的含氢指数特别低, 当地层孔隙中含有天然气时, 由于“挖掘效应”的影响, 中子测井得到的地层视孔隙度偏低。据此衍生出许多利用中子测井与体积密度视孔隙度值的差异来评价天然气储层的方法<sup>[2-4]</sup>。但在火山岩地层中, 由于地层骨架对测井信息的贡献远大于孔隙部分的贡献, 大大降低了测井资料的信噪比, 从而增加了常规方法识别气层的不确定性。APS (accelerator porosity sonde, 加速式中子源孔隙度测井) 具有多个超热中子探测器, 不同探测器的探测范围不同, 在识别低阻气层方面具有一定优势。

## 一、APS 测井原理

APS 是新一代综合孔隙度岩性测井仪的一部分, 是一种超热中子孔隙度测量装置<sup>[5]</sup>。与补偿中子测井仪不同, 它具有 5 个高效<sup>3</sup>He 计数管 (4 个用于探测超热中子, 1 个用于探测热中子) 中子探测器和 1 个中子发生器组成 (见图 1)。

位于探测器上方的中子发生器在一个周期里分为快和慢两部分工作方式。快工作方式发射 30 束宽度为  $10 \mu\text{s}$  的中子, 2 个脉冲中子束之间间隔为  $30 \mu\text{s}$ , 这段时间用于进行测量超热中子时间谱; 慢工作

方式只发射一束宽度为  $100 \mu\text{s}$  的中子, 脉冲中子发射结束后停止发射  $700 \mu\text{s}$ , 这段时间用来测量热中子时间谱, 然后进入第二个大周期。APS 快、慢两种方式发射的中子的能量为  $14 \text{ MeV}$ , 中子产额为  $3.8 \times 10^8$  中子/s。这种高中子产额可允许探测超热中子和使用探测器屏蔽, 而精度方面没有任何损失。

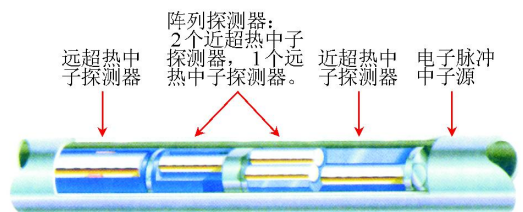


图 1 APS 仪器结构示意图

远超热中子探测器 (简称远超) 其计数率变化主要与中子通量的空间分布的变化有关, 而中子通量的空间分布的变化又取决于中子慢化长度, 因此计数率的变化最终取决于地层的含氢指数。

近超热中子探测器 (简称近超) 被置于一种特殊屏蔽材料的中部, 降低了它对地层孔隙度的灵敏度, 但它对中子发生器产额的变化是灵敏的, 因而对于相同孔隙度的地层来说, 中子发生器产额发生变化时, 不会引起中子计数率的比值发生变化。近探测器对于井眼的影响有一定的灵敏度, 因此对中子计

\* 本文受到中国石油天然气集团公司创新基金项目 (编号: 04E7023) 资助。

**作者简介:** 王建国, 1978 年生, 博士研究生; 主要从事测井解释、气藏工程等方面的研究。地址: (102249) 北京市昌平区中国石油大学 251 号信箱。电话: (010) 89734268, 13581691458。E-mail: wjglw@ yahoo. com. cn

数率比值测量具有一定的环境补偿作用。

在近和远超热中子探测器之间由3个小探测器组成一个阵列,由2个并排的超热中子探测器(靠近近超,简称中超)和1个热中子探测器组成,中超探测器计数率可以同时以两种方式应用:①来自中超与时间无关的计数率远远高于远超计数率,通过 $\alpha$ 处理,可提供高精度的孔隙度测量;②测量脉冲中子之间的、来自中超与时间相关的计数率,这些超热中子计数率时间分布的测量,反映了仪器前面地层中的超热中子通量,对于仪器与地层时间间隙区域中介质的变化非常灵敏。由超热中子时间谱导出的衰减时间常数,即中子慢化时间的一种量度,也同时是地层含氢指数的一种量度。由于中超探测器的体积小,经优化选择源距,能使其测量结果主要反映地层含氢指数的变化,受有效颗粒密度的影响很小。

阵列探测器中的热中子探测器,安放在远超和中超之间。用于进行热中子时间分布测量(热中子时间谱),依此可以确定地层的热中子吸收截面。热中子探测器提供热中子衰减时间测量结果。该探测器对仪器间隙非常灵敏,可以提高评价和校正仪器间隙的方法。

由于中超、热中子、远超探测器均采用背屏蔽,面向地层,只探测来自仪器前面地层方向的超热中子或热中子,而仪器背面的超热中子或热中子被屏蔽,这就提高了地层与井眼的信号比,大大减少了环境影响。

近/中比孔隙度的响应范围在侵入带,主要反映地层的含氢指数,受有效颗粒密度的影响很小。近/远比孔隙度的响应范围在原状地层,就对地层颗粒密度和气体挖掘效应的灵敏度来说,近/远比孔隙度的显示特性与补偿中子测井仪类似,但不完全相同。由于近/中比孔隙度与近/远比孔隙度的响应范围不同,所以侵入带和原状地层的不同的含气饱和度将对这两种孔隙度造成的含氢指数响应和挖掘效应也不同。现以实例分析如何利用近/中比和近/远比孔隙度判断气、水层。

## 二、实例分析

大庆徐深气田位于松辽盆地东南断陷区徐家围子断陷兴城鼻状构造,储层主要发育在营城组砂砾岩和火山岩中。火山岩气层埋深大多超过3450 m,孔隙度大多分布在1%~10%之间,渗透率小于 $0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属典型的深层、低孔、特低渗储层<sup>[6-8]</sup>。徐深8井是1口预探井,构造位置略低,幅度相对平

缓,该井处有一个单独的火山机构,丘型反射特征明显,呈南北向展布,有利相带面积 $20.7 \text{ km}^2$ 。

徐深8井在3704~3745 m段的岩性为流纹岩。常规测井曲线中,体积密度变小,声波时差变大,反映该层物性非常好。但是该层深浅侧向电阻率却突然变低,且深侧向电阻率值在 $20 \sim 60 \Omega \cdot \text{m}$ 之间,补偿中子值也变大,达到15.5%。从徐深气田的气、水层测井识别图版来看(见图2),该层落在水层区。但是在钻井过程中,该层气测显示非常活跃。总烃含量最大值与基值的比值达到53.4%,从徐深气田的气、水层录井识别图版上来看(见图3),该层落在气层区。

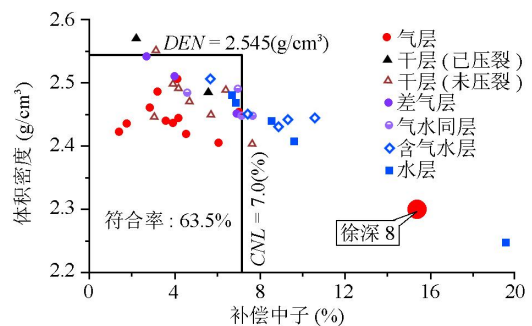


图2 徐深气田气、水层常规测井识别图版

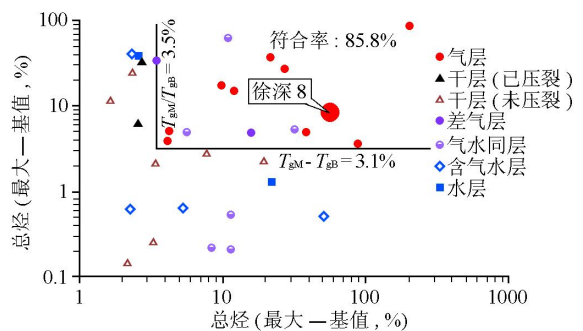


图3 徐深气田气、水层录井识别图版

从密度孔隙度和补偿中子孔隙度处理结果来看(图4),二者基本相等,无交会面积,常规孔隙度测井处理结果显示无气层特征。但是从APS测井处理结果来看(图4),近/中比孔隙度(虚线)与近/远比孔隙度(实线)之间有明显的分离,其差值都在6%以上。根据气层的中子测井响应方程,结合该层的地层水矿化度、地层温度、地层压力、常规侧向电阻率等资料,得出侵入带的含氢指数响应量和挖掘效应量分别为1.3%和0.8%,原状地层的含氢指数响应量和挖掘效应量分别为4.8%和3.1%。所以在该层段,这二者的差别为5.8%。从APS测井结果来看,该层的气层特征明显。结合气测录井的数据,综

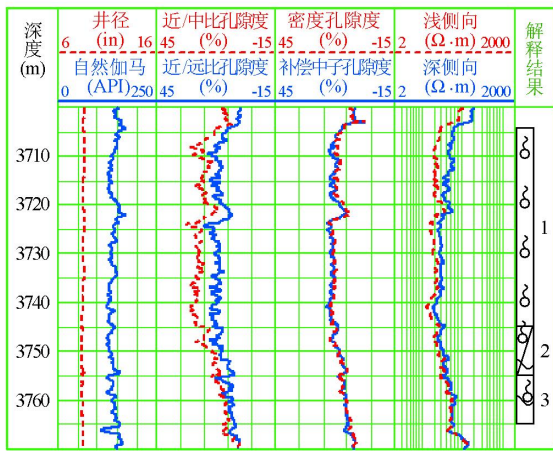


图 4 徐深 8 井气层 APS 特征图

合判断该层段为气层。经试气成果证实该层为气层,在未压裂的情况下就能达到日产气  $22.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,显示该层极佳的储层物性和含气性。

经天然气组分分析,CO<sub>2</sub> 的含量达到 24.34%,而徐深气田的 CO<sub>2</sub> 含量平均值为 2.84%,分析该气层的低阻原因应与较高的 CO<sub>2</sub> 含量有关。CO<sub>2</sub> 在地层条件下溶解于束缚水,在岩石表面形成富含 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 和 H<sup>+</sup> 的薄膜,导致岩石表面的电导率较高,从而在宏观上表现为低电阻率特征。

该井的 3970~4040 m 段岩性为流纹质晶屑熔结凝灰岩,常规测井的电阻率在 100~150 Ω·m,补偿中子值在 4.8%~7% 之间,体积密度在 2.47~2.51 g/cm<sup>3</sup>,该层物性较好,电阻率较高,在常规测井解释图版上,落在气水同层的区域。密度孔隙度和补偿中子孔隙度相等(图 5),无交会面积。从 APS 测井处理结果(图 5)来看,近/中比孔隙度和近/远比孔隙度也相差无几,显示侵入带与原状地层

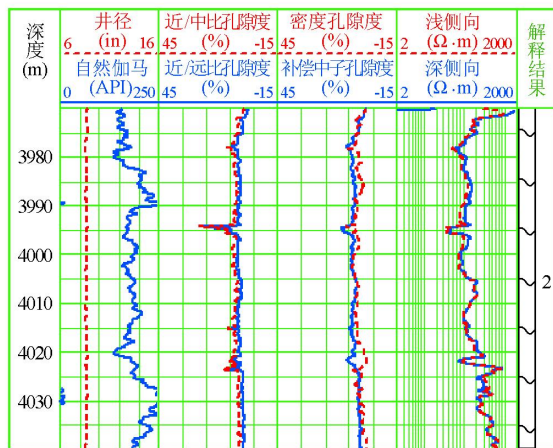


图 5 徐深 8 井水层 APS 特征图

的含氢特征没有差别;且该层气测录井也没有显示,所以综合判断为水层。经试气证实,该层日产微气,日产水 1.5 m<sup>3</sup>,试气结论为水层。

对比图 4 和图 5 可看出,在用相同刻度的情况下,气层段的近/中比孔隙度与近/远比孔隙度在不同含气饱和度的影响下有明显的分离,而在水层段由于二者探测范围内的含气饱和度没有差别,所以两条曲线也就没有表现出分离特征。这进一步说明 APS 在判断气、水层方面具有非常大的优势。

### 三、结 论

(1)徐深 8 井天然气层低阻的原因是 CO<sub>2</sub> 含量比较高,在地层条件下溶解于束缚水,形成了碳酸,导致岩石表面的电导率较高,从而引起地层宏观电阻率比较低。

(2)APS 测井通过提高中子产额,增加探测器数量,采用背屏蔽设计以及优化选择探测器源距来减小岩石骨架、井眼环境对于测量结果的影响;突出了中子对于天然气的响应特征,提高了测井信息的信噪比。

(3)APS 测井提供的多个不同探测深度的孔隙度测量结果,保证了识别气层的可靠性。从徐深 8 井气、水层识别效果来看,APS 测井能够很好地解决火山岩低阻气层的问题。

### 参 考 文 献

- [1] 黄隆基.核测井原理[M].北京:石油工业出版社,1985:82.
- [2] 李云省,曾渊奇,田建波,等.致密砂岩气层识别方法研究[J].西南石油学院学报,2003,25(1):25-30.
- [3] 沈慧萍,史振勤,乔国安,等.深层气层识别方法研究[J].天然气工业,2005,25(10):47-48.
- [4] 秦绪英,肖立志,张元中.中子测井与天然气探测技术[J].核电子学与探测技术,2006,26(1):9-12.
- [5] 中国石油天然气集团公司测井重点实验室.测井新技术培训教材[M].北京:石油工业出版社,2004:145-151.
- [6] 王成,马明侠,张民志,等.松辽盆地北部深层天然气储层特征[J].天然气工业,2006,26(6):25-28.
- [7] 邵红梅,毛庆云,姜洪启,等.徐家围子断陷营城组火山岩气层储层特征[J].天然气工业,2006,26(6):29-32.
- [8] 付晓飞,云金表,卢双舫,等.松辽盆地无机成因气富集规律研究[J].天然气工业,2005,25(10):14-17.

(修改回稿日期 2007-03-16 编辑 韩晓渝)