

文章编号: 1001-6112(2011)S1-0089-03

# PNN 测井技术在塔河碎屑岩水平井的应用与效果

斯尔江, 李卫伟

(中国石化 西北油田分公司 塔河采油一厂, 新疆 轮台 841604)

**摘要:** 动态监测技术是提高油田开发水平以及油气藏管理能力的重要手段。为使油气藏动态分析与调整控制的依据更充分, 采用 PNN 测井技术针对塔河地区碎屑岩水平井高孔、高渗、高矿化度提供了有效的技术手段, 为下一步开采方案提供重要依据。

**关键词:** 剩余饱和度; 水淹级别; PNN 测井; 塔河油田

中图分类号: TE357.8

文献标识码: A

## Application and effect of PNN well-logging technology in clastic rock horizontal wells, Tahe Oil Field

Sierjiang, Li Weiwei

(No. 1 Tahe Production Plant, SINOPEC Northwest Company, Luntai, Xinjiang 841604, China)

**Abstract:** Dynamic monitoring technology is an important way to improve oil field development and reservoir management. PNN well-logging technology was applied in clastic rock horizontal wells with high porosity, permeability and mineralization in the Tahe Oil Field, providing important basis for further exploration.

**Key words:** surplus saturation; water flooding level; PNN well-logging; Tahe Oil Field

### 1 PNN 测井技术原理与特点

PNN (Pulse Neutron Neutron) 是脉冲中子—中子测井方法的简称, 使用中子发生器向地层发射 14.1 MeV 的快中子, 经过一系列的非弹性碰撞 $[(1 \sim 10) \times 10^{-8} \text{ s}]$ 和弹性碰撞 $[(1 \sim 1\ 000) \times 10^{-6} \text{ s}]$ , 当中子的能量与组成地层的原子处于热平衡状态时, 中子不再减速, 称为热中子, 此时它的能量约为 0.025 eV, 速度  $2.2 \times 10^5 \text{ cm/s}$ , 与地层原子核反应主要是俘获反应<sup>[1]</sup>。

### 2 PNN 计算剩余油饱和度的公式及参数

热中子寿命是从快中子变为热中子的瞬间开始, 到大部分热中子(约 63.2%)被岩石吸收时为止所经历的平均时间( $\tau$ ), 单位为  $\mu\text{s}$ <sup>[2]</sup>, 热中子宏观俘获截面( $\Sigma$ )是指 1 立方厘米体积的物质中, 所有原子核对热中子的微观俘获截面之和, 常用单位为 c. u., 或  $\Sigma$  单位 s. u., l. c. u. = 1 s. u. =  $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ 。地层的热中子寿命与宏观俘获截面的关系为:

$$\tau = \frac{1}{v\Sigma}$$

式中:  $v$  为热中子速度, 温度 25 °C 时  $v = 2.2 \times 10^5 \text{ cm/s}$ 。所以有关系:

$$\tau = \frac{4\ 545.5}{\Sigma}$$

地层中各矿物质的热中子的宏观俘获截面各不相同, 如氯元素的热中子的微观俘获截面为 31.6 b, 比地层水和油中的氢(0.329 b)、氧(0.001 6 b)、碳(0.004 5 b)等元素的微观俘获截面要大一百至几千倍。因此可用于把水淹层和未水淹层区分开来, 并可计算剩余油饱和度。

对于含油气纯岩石, 根据体积模型有:

$$S_w = \frac{(\Sigma - \Sigma_{ma}) + \varphi(\Sigma_{ma} - \Sigma_h)}{\varphi(\Sigma_w - \Sigma_h)}$$

式中:  $S_w$  为地层水饱和度;  $\varphi$  为地层孔隙度;  $\Sigma_{ma}$  为岩石骨架热中子宏观俘获截面;  $\Sigma_w$  为地层水热中子宏观俘获截面;  $\Sigma_h$  为油气的热中子宏观俘获截面。

含油气泥质岩石, 根据体积模型有:

$$S_w = \frac{(\Sigma - \Sigma_{ma}) + (\Sigma_{ma} - \Sigma_{sh})V_{sh} + \varphi(\Sigma_{ma} - \Sigma_h)}{\varphi(\Sigma_w - \Sigma_h)}$$

式中:  $V_{sh}$  为泥质含量;  $\Sigma_{sh}$  为泥质的热中子宏观俘获截面。

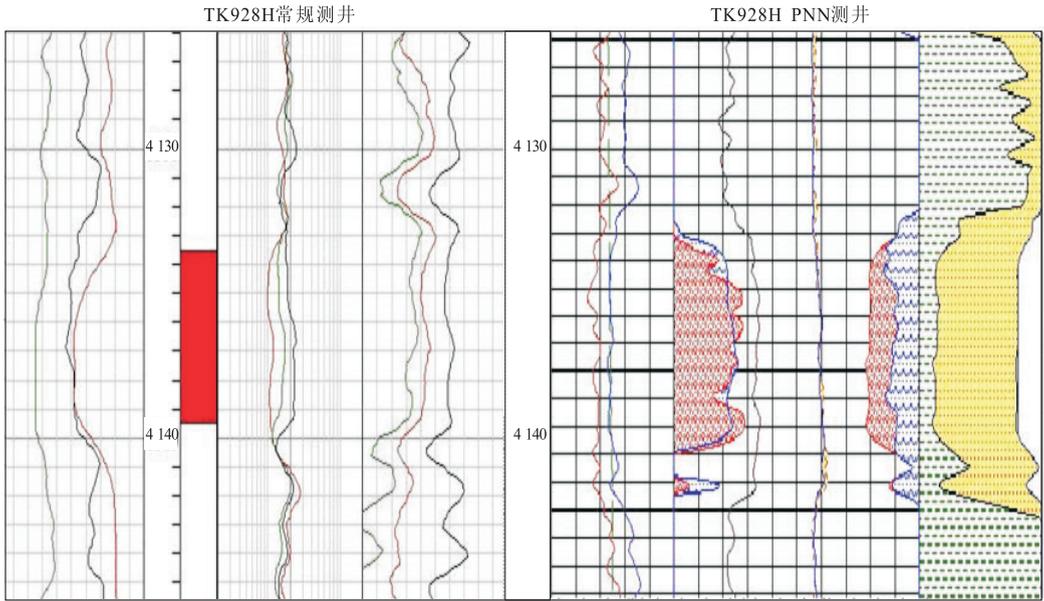


图 1 TK928H 井白垩系裸眼测井与 PNN 测井解释成果对比

Fig. 1 Comparison between open-hole and PNN loggings of Cretaceous, Well TK928H

### 3 PNN 现场应用

在塔河油田砂泥岩开发过程中,通过 PNN 测井对剩余饱和度、水淹程度、水淹层段达到了很好的解释,同时对确定油水界面也获得很好的效果。

#### 3.1 评价新层剩余饱和度

监测油田剖面中的储层开采过程中含水变化饱和度变化,及时掌握井筒纵向一横向剩余饱和度分布,是 PNN 测井的关键应用技术。

TK928H 是 T903 三叠系构造西南部的一口开发水平井,PNN 测井前生产三叠系,排量 200 m<sup>3</sup> 电潜泵,日产液 218.4 m<sup>3</sup>,日产油 7.4 t,含水 97.0%,常规测井未解释其他层系。通过 PNN 测试对前期未开发层系进行解释,发现白垩系卡普沙良群苏善河组顶部砂体应该为一套含油砂体(图 1),建议补孔 4 132.0~4 140.6 m,层厚 8.6 m;补孔后日产液 40.99 m<sup>3</sup>,日产油 33.75 t,含水 17.65%,措施效果明显。

#### 3.2 判别水淹级别

PNN 测井能在裸眼井和下套管的井中判别油、气、水层。但其前提条件是地层水矿化度必须大于 5×10<sup>4</sup> mg/L。原油俘获截面为 18~22 c. u.;地层水俘获截面为 22~120 c. u.,地层水的俘获面积随含氯量的增加而急剧增大。因此,通过俘获截面曲线判定水淹及水淹级别(表 1)。

#### 3.3 确定产水层

TK201H 井是塔河 2 号构造上第一口水平开

发井,本井目的层段为三叠系中油组;其岩性上部为泥岩夹薄层砂岩,下部以含油砂岩为主,偶夹泥岩(表 2)。

4 644.5~4 664.5 m 段孔隙度为 33%,俘获截面值为 22 c. u.,得出含水饱和度为 20%~30%,解释为油层。

表 1 TK113H 井中子寿命测井解释

Table 1 Neutron well-logging interpretation of Well TK113H

斜深/m	厚度/m	有效孔隙度/%	俘获截面/c. u.	含水饱和度/%	解释结论
4 540~4 557	17	20~25	18~22	25~40	油气层
4 557~4 589	32	22	22~31	30~100	强水淹层
4 703~4 724	21	17~20	21~28	40~100	强水淹层
4 727~4 921	194	12~20	30	100	水淹层

表 2 TK201H 中子寿命测井与常规测井对比

Table 2 Comparison between neutron and normal well-loggings of Well TK201H

测井类型	斜深/m	解释结论
常规测井	4 610.3~4 611.5	油层
	4 624.1~4 625.7	油层
	4 644.9~4 664.0	油层
	4 673.8~4 708.9	油层
	4 710.4~4 715.7	油层
	4 937.2~4 938.4	油层
	4 942.0~4 943.9	油层
	4 990.2~5 061.3	油层
PNN 测井	4 644.5~4 664.5	油层
	4 672.5~4 717.5	油层
	4 990~5 160	水层

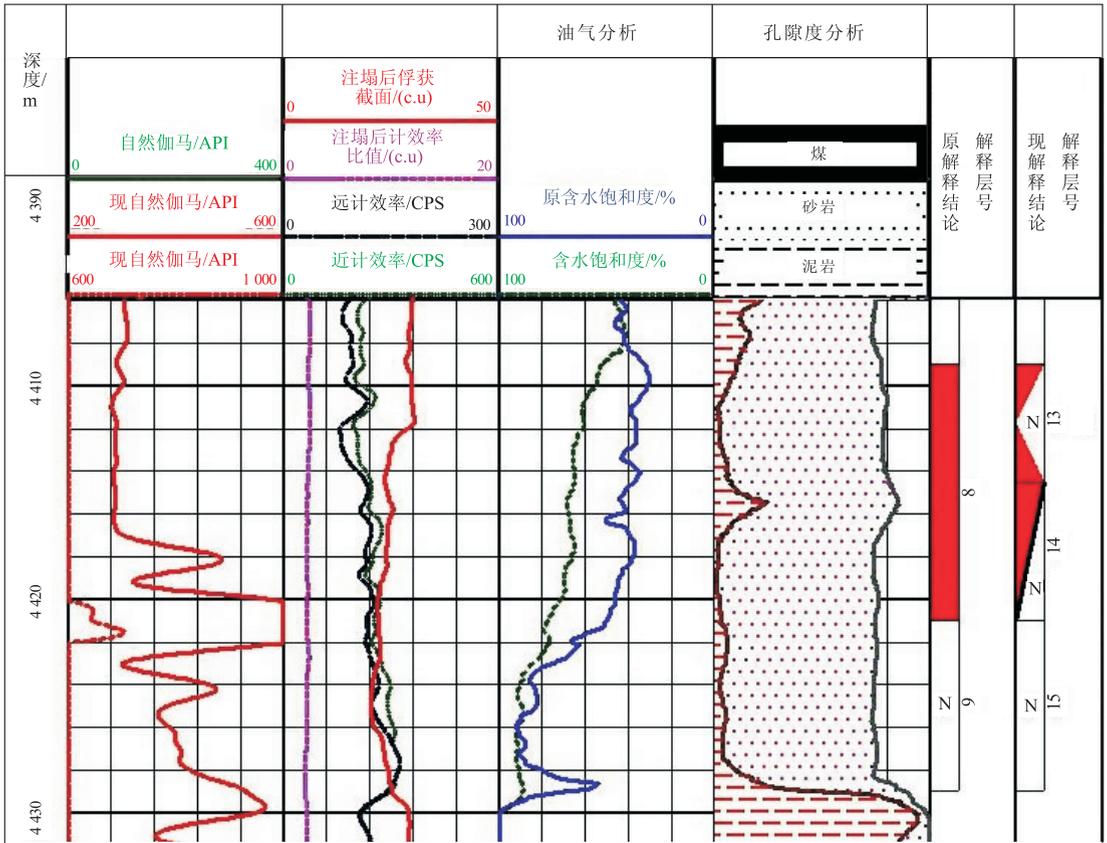


图 2 DK10 井中子寿命解释成果

Fig. 2 Neutron well-logging interpretation of Well DK10

4 672.5~4 717.5 m 段孔隙度为 33%，俘获截面值为 22 c. u.，得出含水饱和度为 20%~30%，解释为油层。

4 990.0~5 160.0 m 段孔隙度为 25%~30%，俘获截面值为 26~32c. u.，计算出含水饱和度为 60%~90%，解释为水层。该层为前期主产层，从测井曲线上看，该层主要为水，含部分残余油，与实际生产情况一致。

### 3.4 监测油水界面

PNN 测井可以监测储集层在开采过程中油水界面的变化<sup>[3]</sup>。DK10 井产层为三叠系中油组，在完井测井解释资料中 RILD 清楚显示油水界面为 4 421.0 m，在 PNN 测井中发现 4 414.5~4 421 m (图 2)，层厚 6.5 m，完井解释原始含油饱和度 60%，中子寿命计算含油饱和度为 31.52%，俘获截面为 32.38 c. u.，油水界面已上移至 4 418 m，上移了 3 m，根据测井资料综合分析可能是油层底水上串引起油层水淹，最终导致油水界面上升。

## 4 结论

1)PNN 测井的工艺简单，对井筒及其流体没有特殊要求。施工时间为 7~8 h，只要仪器可以正常下放到井底，就可以正常测井。

2)PNN 测井能及时掌握水平井开发段(层)的剩余油饱和度变化情况，了解油田剩余油饱和度的纵横向分布。

3)能了解碎屑岩水平井水淹状况及水淹级别、确定产水层位，较有效地监测油(气)水界面变化。

4)PNN 在测量机理与解释过程中都具有明显的优势及特点，PNN 不仅可以监测已生产层位的状况，还可以监测未开采层位，发现新的潜力层。

### 参考文献：

[1] 测井学编写组. 测井学[M]. 北京:石油工业出版社,1998.  
 [2] 郭海敏. 生产测井导论[M]. 北京:石油工业出版社,2003.  
 [3] 江汉石油管理局测井公司. 中子寿命原理[G]. 潜江:江汉油田分公司,2002.