

方法应用 ·

# 自然伽马测井曲线应用新方法

徐保庆

张付明

(临邑 胜利油田临盘采油厂)(东营 胜利油田测井公司)

徐保庆,张付明. 自然伽马测井曲线应用新方法. 石油仪器, 2002, 16(6): 36~38, 42

**摘 要** 自然伽马测井测量的是地层总的自然伽马放射性,是套管井测井的一种最基本的方法。随着油田开发的不断深入,地层中的放射性物质也在不断被搬运、堆积,导致地层中的自然伽马放射性出现异常变化。根据这个变化,自然伽马曲线在开发测井中不但可以用于深度校正,而且还可以在诸如水淹层解释、吸水剖面测试、油水井验窜、找漏等方面进行应用。这几种自然伽马测井曲线的新用法在临盘采油厂得到了很好的验证。

**关键词** 自然伽马测井 找水 水淹层 吸水剖面 大孔道 放射性

**作者简介** 徐保庆 工程师,1969 年生,1992 年毕业于原西安地质学院,获学士学位。现在山东省临邑县临盘采油厂地质研究所从事生产测井管理与应用工作。邮编:251507

## 自然伽马测井原理

自然伽马测井是在井内测量岩层中自然存在的放射性元素核衰变过程中放射出来的伽马射线强度,通过测量岩层的自然伽马射线强度来认识岩层的一种放射性测井方法。岩石中含有天然的放射性元素铀、钍、钍及其衰变物和放射性同位素钾等,这些元素的原子核在衰变过程中能释放出大量的 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 射线,使岩石具有自然放射性,能够在井内被加以识别,采集到的是穿透能力很强的 $\gamma$ 射线<sup>[1]</sup>。

不同岩石中放射性元素的含量和种类是不同的,岩石中放射性元素的含量、种类与岩石的岩性及其形成过程中的物理化学条件有关。一般来说火成岩在三大岩石中放射性最强,其次是变质岩,最弱的是沉积岩。

沉积岩的放射性主要取决于岩层的泥质含量,一般随着岩石中泥质含量的增加而增大,所以利用岩石的自然放射性可以判断岩石的泥质含量。

根据文献[2]、[3]和[4]可以知道,在注水开发的油田中,由于注水井的影响,注入水中的微量放射性物质滤积在注水层位,造成注水层自然伽马测井曲线高幅度异常,与之连通好的生产井采出程度高,也表现为自然伽马曲线高幅度异常,成为指示水淹

层、主力产液层的重要特征。

自然伽马测井仪的测量装置由井下仪器和地面仪器组成。井下仪由伽马射线探测器(由闪烁晶体和光电倍增管组成)、脉冲幅度鉴别器、分频器、整形器及电缆驱动器等电路组成。这几大部分组成一套完整的测井仪器。自然伽马测井仪是一种沿着井眼剖面测量岩层自然放射性活度分布的测量仪器。测井时,闪烁晶体把地层伽马射线转变成光脉冲信号,由光电倍增管的光阴极转换为光电子,经光电倍增管放大后输出负电压脉冲,经幅度鉴别、分频、整形、功放,然后经电缆输送到地面。井下仪器沿井身自下而上移动测量,就连续记录出井剖面上岩层的自然伽马强度曲线,称为自然伽马测井曲线。

自然伽马测井曲线在油气田勘探和开发中,主要用来划分岩性,确定储集层的泥质含量<sup>[5]</sup>、地层对比、射孔的跟踪定位,同时与其它测井曲线综合判断水淹层、了解油水井管外串槽、验证压裂效果,解释注水井的吸水情况,判断地层是否出砂、进行防砂效果检查等。

## 判断油层是否水淹

应用自然伽马测井可以判断油层是否水淹。油田注水后,在水驱油过程中,产层的流体性质、孔隙

结构、岩石的物理化学特性以及油气水分布都会发生一定程度的变化<sup>[5]</sup>。随着注入水的推进,原生水中所溶解的铀、钍、钾等放射性元素往往容易沉淀在岩石颗粒的表面,所以高渗透性的水淹层容易出现高铀显示,导致自然伽马曲线出现高的异常值。高渗透率的水淹层自然伽马有明显增高,成为指示水淹层的重要特征。

在一般情况下,对于砂泥岩地层,完井测井曲线上的自然电位与自然伽马在变化趋势上基本是一致的,套管井所测自然伽马与完井时所测自然伽马具有可比性。所以可以通过比较、分析所测自然伽马曲线与完井时所测的自然电位曲线来解释油井的出水段及水淹层。

例如,临 36-7 井,从该井所测的硼中子测井图如图 1 所示,由图 1 可以发现,17 号层自然伽马测井曲线明显异常,应为出水层,与同期所测的微差井温找水资料以及硼中子寿命测井解释结果基本是一致的。该井于 2001 年 11 月 24 日在 1 806 m 处打丢手封下采上,由于措施后供液不足,该井日液由措施前的 21.3 m<sup>3</sup>/d 下降为 2 m<sup>3</sup>/d,下降了 19.3 m<sup>3</sup>/d,日油由措施前的 1.2 t/d 上升为措施后的 1.8 t/d,仅上升了 0.6 t/d,而含水则由措施前的 95.3 % 下降为 10 %,下降了 85.3 %。

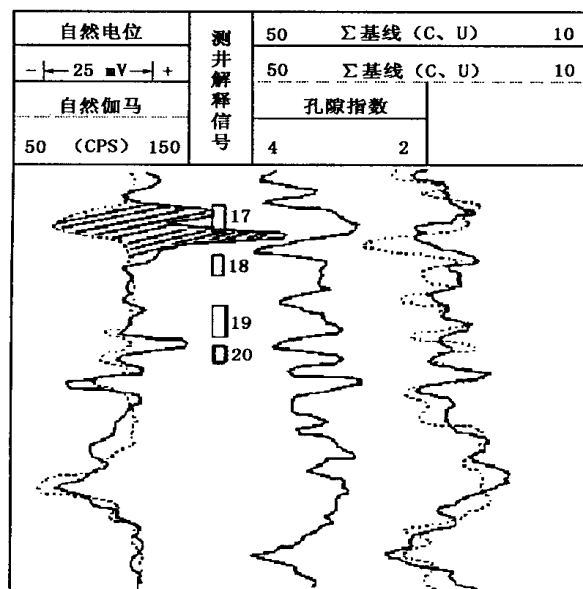


图 1 临 36-7 井硼中子寿命测井成果图

通过对三参数测井仪等测井仪器所测资料进行分析,发现部分油井的射孔井段存在自然伽马数值升高现象,并且多数层井温资料解释为主动层,即为主要出水层。

例如夏 53-37 井,该井于 1995 年 6 月 28 日投产,生产井段为 2 601 m~2 627 m,共 2 层 4.6 m,截止 2001 年 6 月底,日液能力为 88.0 m<sup>3</sup>/d,日油能力为 2.6 t/d,综合含水率达 97.0 %,2001 年 7 月 24 日用三参数测井仪进行了找水,所测自然伽马测井曲线如图 2 所示,从图 2 看自然伽马曲线幅度在 9 号层处明显升高。而根据井温资料解释 9 号层也为主动层,由于该井周围无注水井,分析该层所产为原生水,已达强水淹。

综合解释 9 号层为出水层。根据测试结果,在 2 621 m 处打丢手封下采上,措施后日液能力为 32.8 m<sup>3</sup>/d,日油能力上升为 5.3 t/d,上升了 2.7 t/d,而综合含水率下降为 83.8 %,下降了 9.6 个百分点。

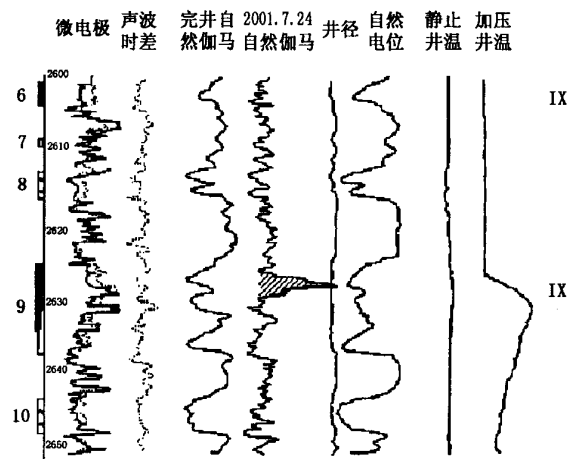


图 2 夏 53-37 井测井曲线图

## 判定注水井的吸水情况

利用不同时间所测的自然伽马曲线可以判定注水井的吸水情况。由于多年的注水,注入水中的微量放射性物质滤积在注水层位,造成注水层自然伽马测井曲线高幅度异常。因此,自然伽马测井曲线可用来区分注水井的吸水层和非吸水层。

如盘 1-217 井,将该井 2001 年 4 月 23 日所测的自然伽马曲线与完井测井组合图上的自然伽马曲线对比,如图 3 所示,从图 3 可以看出注水层段 1 798.6 m~1 802 m、1 806.8 m~1 808.4 m、1 813.8 m~1 816.8 m、1 824 m~1 829 m 4 个注水层段的自然伽马曲线异常幅度比较大,说明这 4 个层吸水比较好;与 2001 年 4 月 23 日所测吸水剖面解释结果对比见表 1,结论基本一致。

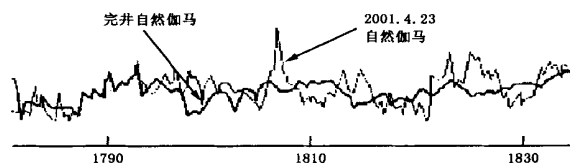


图 3 盘 1 - 217 井自然伽马曲线叠和图

表 1 盘 1 - 217 井吸水剖面解释成果表

电测 序号	射开井段 (m)	射开厚度 (m)	相对吸水 (%)	每米相对 吸水量 (%)
4	1 794.8 ~ 1 798.0	3.2	9.7	3.0
5	1 798.6 ~ 1 802.0	3.4	25.9	7.6
6	1 804.0 ~ 1 805.6	1.6	1.8	1.1
7	1 806.8 ~ 1 808.4	1.6	15.5	9.7
8	1 813.8 ~ 1 816.8	3.0	21.4	7.1
9	1 824.0 ~ 1 829.0	5.0	25.7	5.1

## 判断油水井套管外是否串槽

自然伽马曲线与其它曲线结合,可以判断油水井套管外是否串槽。由于套管外长期的流体流动常常会导致放射性物质的结垢现象。当存在管外串槽时,自然伽马放射性异常就不仅仅限于射孔井段,套管外产生窜流的井段也会出现放射性异常。而且,这种井段的自然伽马计数率要比正常井段的计数率高几倍。井内凡有水流活动的地层和孔道就会产生放射性物质结垢现象,这就是用自然伽马测井可以检测管外窜流的依据。对怀疑有窜流的油水井,测完自然伽马曲线后,与该井完井时所测原始自然伽马曲线进行对比,如果在非注入或非采出井段出现较大变化,即出现放射性异常,一般认为该井段存在套管外串槽现象。

如临 13 - 24 井,该井于 1999 年 7 月 16 日进行了吸水剖面测试,吸水剖面测井图如图 4 所示,从图 4 可以看出,在注水井段 1 758.6 m ~ 1 832.7 m 以下,出现了明显的自然伽马放射性异常和温度异常。该井注水层段以下由于夹层很薄,综合分析该井发生了套管外串槽现象。

## 辅助解释注水井的大孔道

在吸水剖面测试过程中,由于地层长期受注入水不断冲刷,造成孔隙喉道半径增大。这样,同位素微球可进入冲刷带,造成吸水好的井段显示同位素

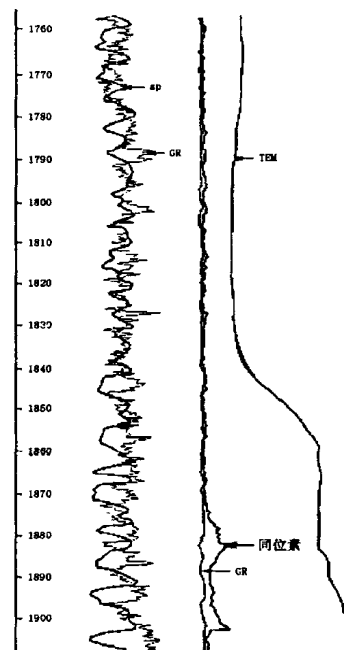


图 4 临 13 - 24 井吸水剖面图

低值,吸水差的井段反而显示同位素高值。结合不同时间所测的自然伽马曲线来判定注水井吸水情况,可以综合解释注水井是否形成了大孔道。例如临 58 - 25 井,该井 1999 年 4 月日注水量为  $56 \text{ m}^3/\text{d}$ ,根据 1999 年 4 月 16 日所测的吸水剖面,放射性同位素曲线异常并不明显,几乎没有吸水很好的注水层。但将所测的自然伽马曲线与完井时所测自然伽马测井曲线对比,如图 5 所示,从图 5 可以看出,1 713 m ~ 1 719 m、1 753.2 m ~ 1 761.4 m、1 765.6 m ~ 1 775.4 m 这 3 个注水层段的自然伽马曲线相关性不好,变化幅度比较大,也就是说这 3 个层段吸水性较好。而在吸水剖面测井过程中,放射性同位素由于该注水井形成了大孔道而被冲进了地层中。

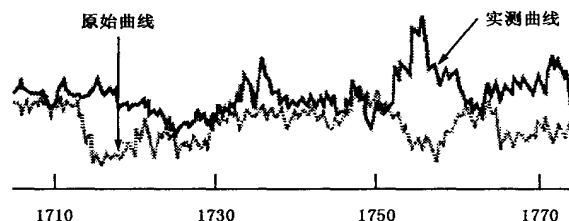


图 5 临 58 - 25 井自然伽马曲线重叠图

## 结 论

目前,自然伽马测井在油田的勘探开发工作中,  
(下转第 42 页)

两信号  $X_1(t)$  和  $X_2(t)$  进行互相关处理,在互相关图上的  $\tau = 0$  处有最大值,则  $\tau_0$  即为上述的时差。

设两传感器之间的中点为  $O$ ,漏损处  $K$  与中点  $O$  距离为  $d$ ,声波传播速度  $v$ ,则  $d = \frac{v \tau_0}{2}$ 。

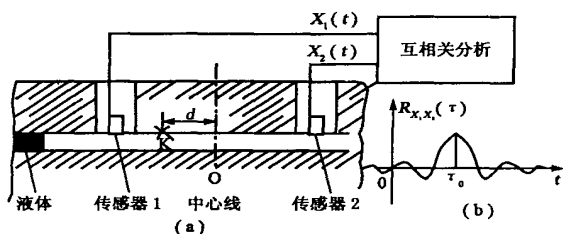


图 4 相关定位测量

运用这种互相关分析法确定管道系统漏损位置的误差约为几十厘米,从而为准确测量并维修地下管道系统泄漏提供了一种实用有效的方法。

除此之外,互相关分析还可应用在诸如回声测距系统、相关测速、信号传递通道的确定、相关滤波等工程测试中。在采用相关分析解决实际问题时,一般来说相关技术适用于对确定性信号的检测,其中在作互相关分析时还需要提供一个基准参考信号。

## 结 束 语

在工程技术应用的许多领域中经常要涉及到对各种参量的测试分析。由于信号的相关分析方法定量地、有效地揭示了信号内部及不同信号间的内在关系,为运用相关分析技术去解决工程中的实际问题奠定了理论基础,并提供了一套解决方案,从而使信号的相关分析技术在工程测试信号分析处理中得到了广泛的应用并展示了其良好的应用前景。

## 参 考 文 献

- 1 吴正毅. 测试技术与测试信号处理. 北京:清华大学出版社,1991:219
- 2 黄长艺,严普强. 机械工程测试技术基础. 北京:机械工业出版社,1996:134~137
- 3 于永芳,郑仲民. 检测技术. 北京:机械工业出版社,1997:114~116
- 4 蒋洪民,张庆. 动态测试理论与应用. 南京:东南大学出版社,1988:40~41

(收稿日期:2001-07-25 编辑:高红霞)

(上接第 38 页)

起到了越来越重要的作用。一方面,与磁定位曲线结合,广泛应用于探砂面、验射孔、验封等测井中的深度校正;另一方面,与井温、同位素等曲线结合,用于油井找水、找漏、验窜和吸水剖面的资料解释,尤其对于主力产液层解释,自然伽马提供了很好的证据。尽管在目前技术条件下,在诸如判断油层是否水淹、了解注水井的吸水剖面等方面只能做定性解释,还无法实现量化处理,但不可否认自然伽马测井在开发测井中的重要性。临盘采油厂针对目前的实际情况,利用三参数组合仪及五参数组合仪测井,提高了产液剖面测试资料的准确度,使所测的产液剖面资料能提供更多的可用信息。针对目前油井在水淹层和水淹推进方向不明确的情况下,建议进行多种测井项目,有助于认识水淹层和水淹推进方向,

建立一个或几个监测剖面,向井间监测方向发展,为油藏数值模拟和油藏描述提供依据。

## 参 考 文 献

- 1 王惠谦. 综合地球物理测井. 北京:地质出版社,1990:92~107
- 2 郭玉津,钟祖兰. 高含水期中厚层层内细分综合解释研究方法. 河南石油勘探局测井公司科研报告,1994(资料)
- 3 黄福堂. 注水开发储层水淹级别判断方法研究. 石油勘探与开发,1995,22(4)
- 4 赵人寿,张朝琛译. 油水井生产测试解释. 北京:石油工业出版社,1978
- 5 《测井学》编写组. 测井学. 北京:石油工业出版社,1998:178~180,494~498

(收稿日期:2002-06-20 编辑:高红霞)

**Qin Ying, Ren Nizhen and Zhang Peiyan. HD3 - 6408 - 9 encoder-decoder chip and its application. PI, 2002, 16(6) :30 ~ 32**

HD3 - 6408 - 9 chip is a high performance CMOS device. LSI chip is divided into two sections ,an encoder and a decoder. In the application of the data transmission ,we use two independent single chip microprocessor ,make use of the Encoder-Decoder(HD3 - 6408 - 9) to make up the reception ,transmit and display of the digital signals to accomplish the function of data transmission.

**Key Words :**encoder ,decoder ,data transmission ,single chip microprocessor

**Xu Baoqing and Zhang Fuming. New applicable method of gamma ray logging curre. PI,2002,16(6) :36~ 38, 42**

What natural gamma well logging measured is total natural gamma radioactivity in layer ,and it is a kind of most basic method in casing pipe well logging. Along with the continuous development of oilfield ,radioactive material also is constantly carried ,piled up in layer ,which causes natural gamma radioactive in layer to appeare abnormal change. According to this changing ,natural gamma curve in development logging can be not only rectified in depth ,but also used in some fields such as interpretation of water-flooded zone ,testing of water injection profile ,channeling and leakage detection of oil wells or water wells and seek leakage etc. The new methods about natural gamma logging has gotten very good verification in Linpan Oilfield.

**Key words :**natural gamma logging ,water finding ,water-flooded zone ,water injection profile ,pore path radioactive

**Shen Ying. Signal correlation analysis and its application to engineering test. PI, 2002, 16(6) :39~ 42**

The probabilistic parameter can be used to describe and analyze the correlatability among variables or signals that exist in processing of engineering signal extensively. This method can reveal the inherent regularity of correlative degree among signals. Related analysis technology of signal has been widely applied to engineering test and measurement.

**Key Words :**signal ,correlation analysis ,test ,random variable ,correlation function

**Liu Shufen and Zhang Tongyi. Application of multi well testing technology to oilfield development. PI, 2002, 16(6) :43 ~ 46 ,49**

Multi-Well testing technology plays an important role in the petroleum exploration and development. It is a main method of knowing reservoir ,evaluating reservoir ,and monitoring and managing production performance. with the continuous development of oilfield monitoring technology ,improvement of well testing technology ,and the instrument and meter developed to high accuracy electronic mode and digitization ,multi-well testig (disturb and pulse well testing) technology has been applied wider and wider. The well testing instrument has been developed from original surface direct-reading electronic pressure gauge to current storage high accuracy electronic pressure gauge. This change has reduced the testing personnel s workload. With the improvement of accuracy of electronic pressure gauge ,the required prerequisite has been decreased greatly ,the application scope of multi-well testing is becoming wider and wider. This paper researches the primary functions and typical application of multi-well testing technique in Daqing oilfield dynamic development.

**Key Words :**interference well testing ,pulse well testing ,development application

**Qian Jun ,Tang Zhenhuan ,Wang Wanchao and Gao Jing. Discussion of the alternative program of AT+ surface logging system. PI, 2002, 16(6) :47 ~ 49**

Bying analyzing the existent problem of AT+ surface logging system ,the paper gives the special alternative program for the system hardware and software. The implementation of the program will make the AT+ logging system whole nationalization. Based on keeping its original advantage ,we extend its capability of compatibling the national production logging system ,and meantime the speed of computer is highly improved , a new way for instrument s nationalization is found.

**Key Words :**hardware design , software design ,logical organization ,extended module