

# 双探测器碳氧比测井技术及其应用\*

章树军<sup>1</sup>, 朱 鸿<sup>1</sup>, 赵德香<sup>2</sup>, 张春红<sup>1</sup>

(1. 胜利油田现河采油厂, 山东 东营 257068; 2. 胜利油田测井公司, 山东 东营 257095)

**摘要:** 通过向地层发射快中子并测量中子反应产生的伽玛射线能谱能够确定套管外面地层的含油饱和度。非弹性中子反应产生的伽玛射线能谱可以给出地层中碳、氧含量信息, 进而可以得到含油饱和度。在地层水矿化度非常低或未知时, 该测井技术在套管中尤为有用。

**关键词:** 碳氧比测井; 双探测器; 数据采集; 应用

**中图分类号:** TE132.1<sup>+</sup>4 **文献标识码:** A

## 0 引 言

碳氧比(C/O)测井方法是在 20 世纪 50 年代开始研究, 70 年代投入现场应用的一种脉冲中子测井方法<sup>[1]</sup>。该测井方法利用一种在 20 kHz 脉冲速率控制下的 14 兆电子伏特(MeV)中子源, 能够在套管中直接区分油层与低矿化层(矿化度低于  $50 \times 10^{-9}$ ), 未知矿化度水层或矿化度变化很大的水层; 在孔隙度较高( > 15%)的储集层中, 能定量地给出含油饱和度参数; 如果结合其他测井资料进行综合解释, 还能给出地层中的油水含量、孔隙度、渗透率及必要的岩性参数等。其最突出的优点是: 能穿透仪器外壳、井内流体、钢套管和水泥环等介质而直接探测地层, 其测量结果基本上与地层水矿化度无关。20 世纪 70 年代采用的是定点测量方法, 80 年代发展为连续测量, 但无论国内还是国外所用碳氧比测井仪都采用单探测器结构, 其测量结果受井眼条件影响较大, 所以测前要求洗井, 工艺复杂, 并且其探测器内所采用晶体性能不够理想, 数据采集系统及资料解释模型都存在一定的缺陷, 所以测量结果精度不够高。进入 90 年代以来, 国内外都致力于碳氧比测井的技术改进和研究, 目前国外斯仑贝谢公司已研制出了性能先进的碳氧比测井仪——储层饱和度测井仪(RST), 在国内, 北京航空航天大学也研制了新型的碳氧比测井仪——双探测器碳氧比能谱测井仪(DC

097 型井下仪)。两种测井仪都采用了双探测器结构, 是目前较先进的碳氧比测井仪。

## 1 碳氧比测井仪仪器特点

### 1.1 单探测器碳氧比测井仪特点

单探测器碳氧比测井仪在我国应用广泛, 性能最好的是从美国引进的 2727 碳氧比测井仪, 虽然该仪器在确定储集层含油饱和度、判断水淹层、进行油田动态监测等方面发挥了积极作用, 但经过十几年应用发现, 仪器在结构设计上、探测器性能上, 数据采集和资料解释上、测井工艺等方面还有许多不足, 主要有以下几点: 单探测器结构。单探测器碳氧比测井仪测得的资料受井眼内流体、套管尺寸、水泥环等井眼条件的影响较大。当井眼较大时(大于 15.3 cm), 井眼内的流体对测量的贡献可能超过地层中流体对测量的贡献。严重影响了资料解释, 降低了测量精度。探测器的晶体性能。由于探测器中使用的晶体是碘化钠晶体[NaI(Tl)], 这种晶体温度性能不错, 但其密度小, 只有  $3.67 \text{ g/cm}^3$ , 所以探测效率低, 计数率低, 导致测量值的统计涨落误差大, 测量精度降低。数据采集速度低。2727 碳氧比测井仪的数据采集系统要完成一个采集需要  $3.5 \mu\text{s}$ , 由于碳氧比测井的数据量很大, 这种数据采集速度限制了计数率的提高, 容易丢失有用信息。在资料处理和解释上, 如何去掉无用的干扰信号, 采取的方法

\*收稿日期: 2003-04-19; 修订日期: 2003-06-10; 编辑: 张天祯

作者简介: 章树军(1955-), 男, 安徽六安人, 工程师, 从事采油及测井管理工作。

还不够理想。由于存在上述不足,测得的资料可靠性差,应用范围窄,只有在孔隙度大于25%的地层中才能进行碳氧比的定量测量。由于井眼内流体对测量影响较大,要求测量前必须洗井,井内要求是清水,测井工艺复杂。

## 1.2 双探测器碳氧比测井仪的特点

### 1.2.1 双探测器系统

RST及DC 097测井仪的关键特征就是双探测器全谱测量系统,并且RST在仪器设计时使用了新型闪烁晶体和光电倍增管结合伽玛射线探测器新工艺,探测器晶体是加铈的氧化原硅酸钷(GSO)。

GSO具有如下一些优良特性:好的能量分辨率及高密度。GSO的能量分辨率处在NaI和BCO之间,BCO的密度比NaI高得多,密度高可以增强探测伽玛射线的灵敏度,对高能射线,尤为明显。衰减常数小。与NaI和BCO相比,GSO衰减常数仅为59  $\mu\text{m}$ ,要小得多,在高强度中子脉冲时有很高的瞬时计数率,这一点要优于其他类型的探测器。在150时GSO的光输出值大约是室温值的60%,光损耗量与NaI的差不多。这个性质使得GSO可以在150的井中进行正常时间和延长时间的测井,不需要保温瓶系统。

### 1.2.2 中子发生器

改进的中子发生器提供稳定而可控的中子束,它几乎是完美的方波,这种形状容易从每次脉冲后所产生的俘获伽玛射线中区分出中子脉冲持续时间产生的碳氧比伽玛射线,这种方波也能提高在中子脉冲期间探测碳和氧元素的机会,减少探测俘获伽玛射线的机会。

### 1.2.3 新型的高速电子线路

使用新型的高速伽玛脉冲处理技术大大地提高了计数率,并减少了堆积的伽玛射线,同时也提高了精度和测井速度。

## 2 数据采集

双探测器碳氧比仪器有3种测井可选择的模式:非弹性俘获方式、俘获西格马方式和西格马方式。每种方式都采用最佳时序来发射中子脉冲,并采集随时间变化的伽玛射线能谱和计数率。全谱按256道记录,分辨率可达8MeV。

### 2.1 非弹性俘获(IC)方式

这种方式记录的是由地层和井眼中元素非弹性中子散射所产生的伽玛射线能谱。通过分析这些能谱可以获得碳和氧元素含量,由此可以确定地层含油饱和度和井眼中的持油率,另外,在中子脉冲后还记录热中子俘获伽玛射线能谱。从这些元素的能谱分析求得的元素含量可用来确定岩性、孔隙度和视地层水矿化度。

静止测量一般采用这种方式。在足够高孔隙度的层段,以18.3~36.6 m/h的速度连续测量是可行的。对连续测量进行平均可以提高统计精度。

### 2.2 俘获西格马(CS)方式

俘获西格马方式同时记录俘获伽玛射线能谱和热中子衰减时间分布,由此确定地层的热中子俘获截面。如IC方式那样,由俘获伽玛射线能谱求得的元素含量可用于确定岩性、孔隙度和视地层水矿化度。其时间序列与双脉冲热衰减时间测井(IDT)使用的类似,给出时间衰减分布,由时间衰减分布可以确定地层和井眼俘获截面。测井速度通常为180 m/h。

### 2.3 西格马方式

该方式允许以较快的速度测井,测井速度可达549 m/h,用于获得俘获截面( ),记录时间衰减数据、中子发射后的本底伽玛能谱及有关的质量控制曲线。

## 3 应用效果及实例

胜利油田现河采油厂近几年来同北京航空航天大学合作,一直致力于双探测器碳氧比测井的研究工作。到目前为止,共实施碳氧比能谱测井19井次,累计增油 $10 \times 10^3$  t之多。

河14-斜26井测井前生产沙二<sup>2</sup>,井段2306.4~2321.0 m,工作制度为200 m<sup>3</sup>电泵,日产液量248 t,日产油量7.7 t,含水97%。为判断该井剩余油分布情况,于2002年3月29日进行了碳氧比能谱测井,测量井段为2300~2360 m及2465~2610 m,解释结果显示在这2个测量井段

王学元、王治祥,储层饱和度和测井仪(RST),斯仑贝谢公司新一代测井技术,1997。

中,共有4个油层,2个强水淹层,5个水层,2个油水同层和1个含油水层。根据解释结果,结合地质动态生产实际,补孔单采碳氧比测井解释结果为油层的沙二<sup>4</sup>后。日产油9.5 t/d,含水88%,不仅见到了好的增油效果,同时又降低了油井用电、污水处理及污水回灌成本,大大提高了综合经济效益。

通61-斜73并于2000年3月因全水关井,为寻找出水层,2002年9月22日进行了碳氧比能谱测井,测量井段1590~1630 m,并对测试数据进行了综合解释。解释结果共有1个油水同层,1个水层,1615.9~1625.2 m井段上部1615.9~1619.2 m处碳氧比值较高,而且岩性和物性都很好,解释为低水淹,下部1619.2~1625.2 m处碳氧比值较低,解释为高水淹。根据解释结果,结合地质动态生产实际,实施射孔1615.9~1621 m后增油11 t/d,增油效果较好。

#### 4 应用范围和限制

一般来说,碳氧比测井只能应用于套管井测量。这是因为,该测井方法最大的弱点之一是探测器深度较浅(一般不大于30 cm)。当然,如果井壁很规则而且浸入带很浅,也可以在裸眼井中应用。

碳氧比测井作业通常在完井7~10天后进行较为适宜。因为这时浸入带中的泥浆滤液已因地

层原始压力的驱逐而运移,水泥环外的地层已基本恢复到初始状态。如果在完井后立即进行碳氧比测井作业,将不能得到应有的地质效果,其原因就是因浸入带影响过于严重。

碳氧比测井最重要的用途是能够直接确定地层的含油饱和度。然而,这一结论只有在孔隙度较大(20%)的地层中才是正确的。当孔隙度值为10%~20%时,碳氧比测井只能定性地划分地层;而当地层孔隙度小于10%时,碳氧比测井基本上不能应用。

碳氧比测井技术受测井速度低和对井内流体很敏感的限制,测井仪器直径大也影响了它的应用。

碳氧比测井在不同的地质条件下应用时需有不同的解释技术与它相适应。目前常用的解释技术有比值法、覆盖法、交会图法、计算机法等。

为了提高碳氧比测井的解释精度,在重点层段常常进行重复测量,在重点层位还需作点测。

碳氧比测井虽然能够测量多种地质参数,然而,在许多情况下,均不单独使用碳氧比测井一种方法,而往往是采用多种测井方法来对地层作出综合分析。

#### 参考文献:

- [1] 朱达智,栾士文,程宗华,等.碳氧比能谱测井[M].北京:石油工业出版社,1984,178-179.

## Carbonate and Oxygen Ratio (C/O) Logging Technology by Using Double Detectors and Its Application

ZHANG Shu - jun<sup>1</sup>, ZHU Hong<sup>1</sup>, ZHAO De - xiang<sup>2</sup>, ZHANG Chun - hong<sup>1</sup>

(1. Oil - exploration Firm of Shengli Oil Field, Shandong Dongying 257068, China; 2. Logging Firm of Shengli Oil Field, Shandong Dongying 257095, China)

**Abstract:** Through shooting fast neutron and measuring spectral gamma - ray produced by neutron activation reaction, oil - bearing saturability of strata outside boring casing can be determined. Spectral gamma - ray caused by inelastic neutron reaction can give information of carbonate and oxygen content, then oil - bearing saturability can be gained as well. When water mineralization degree is low or unknown, the logging technology is very useful in boring casing.

**Key words:** Double detectors; carbonate and oxygen ratio (C/O); data collection; application