

随钻近钻头方位伽马测量系统设计

白克宗¹ 党煜蒲²

(1.中海油田服务股份有限公司塘沽作业公司 天津 300459; 2.中海油田服务股份有限公司油田技术研究院 廊坊 065201)

摘 要: 研制的随钻近钻头工具能够有效地克服常规随钻测量系统测点远的不足,非常适合于在复杂地层或薄油层的情况下使用,具有现场组装方便、作业成本低的优势。其中近钻头方位伽马测量系统是其实现地质导向控制的核心。详细介绍了近钻头方位伽马测量系统的两大重要模块:扇区测量模块及伽马计数处理模块。现场实验证明该系统能够快速指示出工具穿越层位时的方向,满足现场作业要求,具有一定的市场价值。

关键词: 磁通门;扇区测量;方位伽马;近钻头测量

中图分类号: TN912 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 440.50

Design of near bit azimuth gamma ray measurement while drilling

Bai Kezong¹ Dang Yupu²

(1. Well-Tech Tanggu-China Oilfield Services Limited, Tianjin 300459, China;

2. Oilfield Technology Group, China Oilfield Services Co., Ltd., Langfang 065201, China)

Abstract: The near-drilling tool can effectively overcome the shortcomings of the conventional measurement while drilling system, which is very suitable for use in complex formations or thin reservoirs, and has the advantages of convenient field assembly and low operating cost. Near-bit azimuth gamma measurement system is the core of its geological steering control. In this paper, two important modules of near-bit azimuth gamma ray measurement system are introduced in detail: sector measurement module and gamma counting processing module. Field experiments show that the system can quickly indicate the direction of the tool crossing the horizon, meet the requirements of field operation, and has a certain market value.

Keywords: fluxgate sensor; sector angle measurement; azimuth gamma ray; near bit measurement

0 引 言

近年来,随着油气藏开采难度的增加,常规随钻测量系统^[1-2]测量点远离钻头,地层地质数据信息测量滞后,大大降低了钻遇率,降低油井产量^[3-4]。目前,国际上已经对近钻头技术和近钻头仪器进行研究和开发,并且取得了一定的成就,特别是 Baker-Hughes、Schlumberger、Halliburton 等几大石油服务公司都投入了大量的人力和物力用于近钻头仪器开发,各自具有不同特点的仪器已经从实验阶段进入到实用阶段。中海油田服务股份有限公司自主研发设计的随钻近钻头测井工具也进入到了实际应用阶段,具备近钻头井斜^[5-6]、方位伽马^[7]、钻头转速、井底温度、无线跨传^[8]等测量功能,在油气田开发测井作业中有着良好的应用前景。

近年来,油气勘探和钻井作业中,遇到的油气层层位越来越薄,地层也较复杂,地层弯曲甚至断层比较常见,在这

样的情况下,如果钻具钻出储集层,伽马数据缺少方向指示,回调操作缺少参照数据,回调难度较大。方位伽马是解决自然伽马^[9-12]不能指示方向性的有效方法。方位伽马工具把自然伽马暴露在整个井眼中的伽马采集模块改造成具有有限采集窗口的方式,只有开窗位置地层会被测量,再配合扇区测量模块,实时测量出当前窗口的位置,经过专门设计的伽马计数模块分扇区记录不同方向的测量结果,向上位机提供带有方向指示的伽马测量数据。当钻具偏离储层,工程师可以根据不同方向上伽马测数的变化顺序推断出钻具离开储层的方向,从而快速做出准确的回调控制,使钻具重返储层。本文详细介绍了随钻近钻头方位伽马测量系统组成及测量原理。

1 系统结构

中海油田服务股份有限公司研制的随钻近钻头工具主要有:近钻头井斜测量系统、近钻头方位伽马测量系统、测

量数据存储系统、电池单元和电池电量管理系统。其中近钻头方位伽马测量系统有两大重要核心模块:扇区测量模块和伽马计数处理模块。

扇区测量模块主要由三轴磁通门^[13-14]传感器及信号采集处理电路组成,能够在井下高温、振动及旋转钻进条件下,实时、高速地测量解算钻具的瞬时工具面角(即扇区角),提供准确的环井周方位扇区分布信息。

伽马计数处理模块是测量系统的另一个重要模块,也是系统的主控模块,主要实现伽马计数与扇区之间的对应,实时计算出不同扇区内伽马的数值,并将数据存储在Flash中,如图1所示。

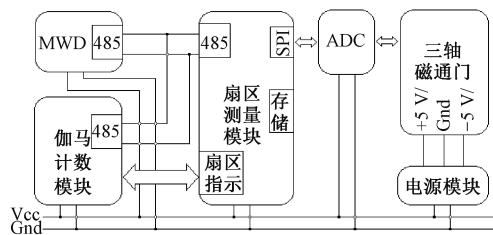


图1 系统结构

2 扇区测量原理

2.1 扇区划分

扇区是以重力工具面为基准,高边为上、低边为下的原则进行划分。近钻头方位伽马配置中,常用的有4扇区和8扇区两种模式。

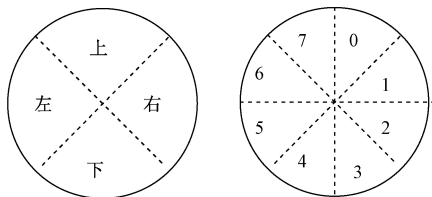


图2 扇区划分

4扇区是将圆按 90° 角等分为4个区域,每个区域为1个扇区,即上、下、左、右扇区,如图2所示。此模式适合于钻进控制,分辨轨迹是否偏离储层,从什么方向穿出,现场工程师根据上下伽马曲线的变化时间关系判断穿出方向,从而做出正确的回调措施。

8扇区是在4扇区的基础上,将圆每隔 45° 划分为1个扇区,如图2所示。8扇区对地层分辨比较细致,适合于做地层分析,特别是在地层中存在断层或者弯曲时,通过存储于方位伽马仪器内存中的高密度数据绘制伽马成像图,可以判断出断层,量化出地层倾角,如图3所示。

2.2 扇区角测量原理

随钻扇区角测量模块的几何参数及物理参数定义如图4所示,扇区角度测量即是对瞬时重力工具面角(GTF)的

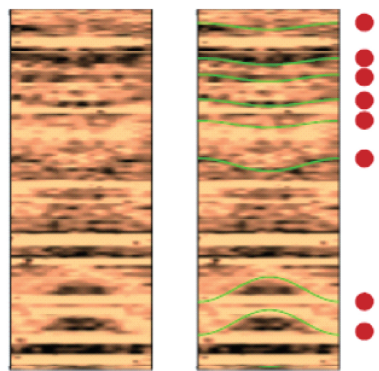


图3 方位伽马成像

测量。GTF与磁工具面角(MTF)之间的角差(GM)是磁北(实际上是磁北在钻具横截面上的投影)与高边的夹角,只与井斜角 α 和方位角 β 有关,与钻具转动角度(即GTF自身)无关。而MTF可由两轴磁通门(x轴、y轴)的测量值直接解算得出,且磁通门的测量精度几乎不受振动冲击和旋转工况的影响。所以,在连续旋转条件下,对GTF的实时测量,可转化为对MTF的实时测量,然后再利用两者间的GM进行补偿。

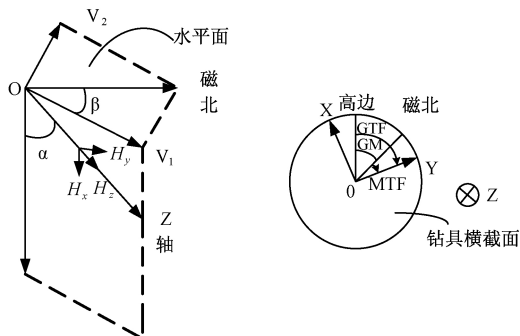


图4 重力工具面与磁性工具面关系

2.3 电路方案

扇区测量模块由磁通门传感器(含电源激励与信号处理电路)和信号采集处理电路构成,模块共包括6个功能部分:MCU主控模块、信号调理电路、Pt电阻测温电路、基准参考电压电路、数字存储电路和通讯电路^[15],如图5所示。

调理电路主要将磁通门信号处理模块输出的电压信号进行滤波和电压调理,使其符合单片机ADC的输入要求;MCU主控模块主要完成模拟信号的AD转换、信号的数字滤波处理、工具面角解算、数据存储以及上位机实时通讯等功能。

3 伽马计数处理模块电路设计

系统中伽马计数处理模块电路作为系统主控电路,硬件电路主要由下面几个功能部分组成:电池电源管理、各传感器模块的供电管理、MCU主控电路、伽马信号调理电

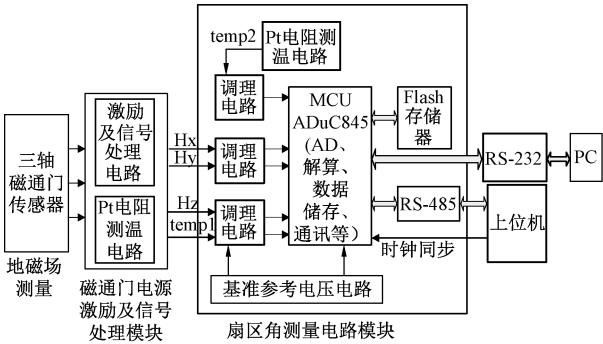


图 5 扇区测量模块硬件电路设计方案

路、数字存储电路、RTC 时钟模块、通信电路等。

系统 MCU 主控采用了飞思卡尔 MC9S12X 系列 16 bit 内核处理器,该芯片具有一个可平行处理的外围处理器 XGATE 模块,可有效提高应用处理速度,降低主 CPU 中断处理负荷。

伽马探管组件选用的是 CBG 公司生产的 NGT-CSX 型伽马传感器,该传感器的参数如表 1 所示。

表 1 NGT-CSX 参数指标

项目	指标
直径(外径)	1.05"(26.67 mm)
长度	15.5"(393.70 mm)
常规灵敏度	1.9 CPS/API
精度	±2%
薄层分辨率	223.52 mm
(8 英寸井眼直径)	
工作温度	-29~175℃
生存温度	-40~+204℃
震动	20 G, RMS, 50~1 000 Hz 随机频率
冲击(Z 轴)	500 G., 0.5 ms.
冲击(X 或 Y 轴)	1 000 G., 0.5 ms.
输入电压	17~48 V
输入电流	11~8 mA
最大电压	50 V
计数方式	负脉冲, +5 V~GND, 5 μs

电池电源管理,主要监控电池放电电压电流,计算电池剩余电量,负载过流保护。

伽马信号调理电路,主要将伽马探管输出的脉冲信号转换为符合单片机输入要求的脉冲信号,如图 6 所示。

4 方位伽马处理算法

扇区测量模块通过 2 个 I/O 口(IT0、IT1)输出表征方位扇区信息的脉冲信号。其中 IT0 输出代表上一个周期的结束和一个新周期的开始,用于标记旋转整周期,IT1 则输

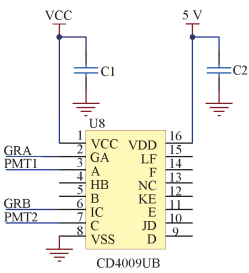


图 6 伽马信号调理电路

出表征上一个扇区采样的结束和一个新扇区采样的开始。扇区测量模块进行扇区角测量与脉冲信号输出的逻辑与时序关系如图 7 所示(图中以 8 扇区划分为例)。

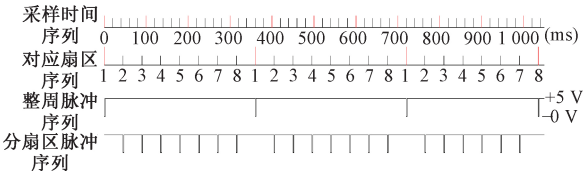


图 7 扇区测量模块输出脉冲时序

仪器旋转工作时,扇区测量模块产生 IT0、IT1 扇区信号,模块需要记录伽马传感器在每个扇区内的采样计数,及所在扇区内的采样时间。当计算周期到达时统计各个扇区的伽马计数和扇区采样时间,计算各扇区的伽马计数率。

仪器在静止或者滑动状态下,扇区不发生变化,扇区模块不会产生 IT0/IT1 的中断信号,系统通过定时处理完成伽马计数和时间累计到当前扇区内,如图 8 所示。

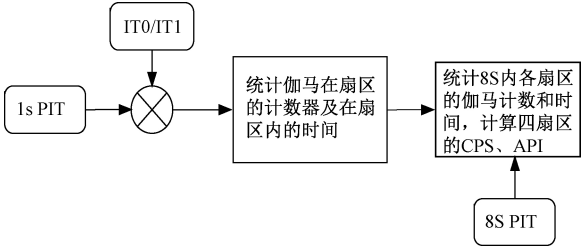


图 8 方位伽马处理系统

5 现场试验结果与分析

目前该仪器已经完成井下作业 2 次,累计井下循环时间 196 h,仪器运行稳定,取得了良好的测井数据。

常规随钻测井仪器与近钻头方位伽马数据曲线对比如图 9 所示,图中蓝色为近钻头伽马测量数据,红色曲线为常规随钻伽马测量数据。从测量曲线可直观看出近钻头伽马测量结果与常规随钻伽马测量数据相互吻合。

该随钻近钻头方位伽马测量系统能够指示出工具穿越层位时的方向,即是以下穿还是上穿的方式通过层位。经过数据处理后的近钻头方位伽马成像数据如图 10 所示,绿

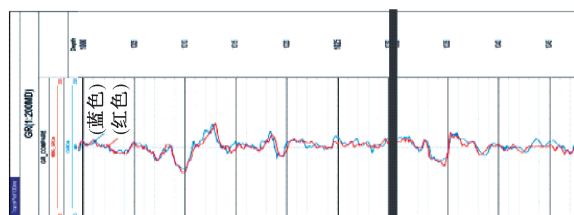


图9 常规随钻测井仪器与近钻头伽马数据曲线对比

色曲线为常规伽马曲线,黄色为下扇区伽马曲线,蓝色为上扇区伽马曲线。根据上下伽马曲线的变化顺序,可以判断出穿越层位时工具的方向,上伽马先变化即上穿出,下伽马先变化即下穿出。仪器在通过地层交界处时,不同方位的伽马采集的数据不同,通过来自不同方位的伽马测量数据,可以明显的判断出井眼轨迹与地层的接触关系。

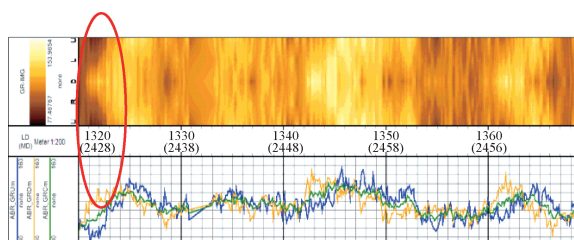


图10 近钻头方位伽马数据成像效果

6 结 论

本文介绍了近钻头方位伽马测量系统电路设计,包括基于三轴磁通门传感器设计的扇区测量模块和基于Freescale MC9S12X处理器的伽马计数模块设计。该系统能够解决常规伽马不能指示方向的问题,通过专门设计的伽马计数模块分扇区记录不同方向的测量结果,经计算后,向地面提供带有方向指示的伽马测量数据,快速指示出工具穿越层位时的方向。该系统目前仪器已经应用于实际的工程项目中,并取得了良好的效果。

参考文献

- [1] 王智明, 尚捷, 营志军, 等. SPOTE 随钻测井系统的试验研究[J]. 承德石油高等专科学校学报, 2012, 14(3): 25-30.
- [2] HAWKINS R, JONES S, CONNOR J O, et al. Design, development and field testing of a high dogleg

slim-hole rotary steerable system [C]. SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition, 2013: 1-6.

- [3] 杨志坚, 齐悦, 吴党辉, 等. DQNBMS-1 型近钻头随钻测量系统的研制与应用[J]. 石油钻采工艺, 2013, 35(1): 48-50.
- [4] 杨晓峰. 近钻头 CGDS-LWD 侧向测井技术研究及应用[J]. 石油仪器, 2011, 25(2): 14-15.
- [5] 刘白雁, 王新宇, 杜勇刚, 等. 井斜实时测量方法研究[J]. 中国测试技术, 2007, 33(4): 5-8, 25.
- [6] VAN LOO S A, RASSON J L. Development of an automatic declination-inclination magnetometer [C]. Geomagnetism for Aeronautical Safety: A Case Study in and around the Balkans, 2006: 177-186.
- [7] 唐海全. 随钻方位伽马数据成像处理方法[J]. 岩性油气藏, 2017, 29(1): 110-115.
- [8] 李志刚. 井下近钻头测量与无线短传技术研究[D]. 青岛: 中国石油大学, 2010.
- [9] INANC F, MCCLESKEY M. Gamma ray API definition-related issues, model based LWD tool characterization and calibration [C]. SPWLA 58th Annual Logging Symposium, 2017: 1-14.
- [10] 姚文彬, 郭云, 张松伟, 等. 自然伽马测井测井响应分析研究[J]. 石油仪器, 2013, 27(6): 68-71.
- [11] 姚文彬, 李辉, 尚捷, 等. 随钻自然伽马测井仪研制[J]. 电子测量技术, 2013, 36(6): 42-45.
- [12] 吴华强, 周艳琴, 许永伟, 等. MWD GAMMA 测量技术在地质导向钻井中的应用[J]. 断块油气田, 2005, 12(2): 71-72.
- [13] 梅硕基. 惯性仪器测试与数据分析[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1991.
- [14] 鲍丙豪, 孙磊. 基于磁通门传感器的数字信号处理系统[J]. 信息技术, 2016(1): 185-187.
- [15] 王兆安, 刘进军. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.

作者简介

白克宗, 大学专科, 主要研究方向为钻井工艺、随钻测井仪器、资料解释等。

E-mail: baikz@cosl.com.cn

党煜蒲, 硕士, 主要研究方向为随钻测量仪器研发。

E-mail: dangyp@cosl.com.cn