



(21) 申请号 202111148695.4

(22) 申请日 2021.09.29

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114635690 A

(43) 申请公布日 2022.06.17

(73) 专利权人 中国石油天然气集团有限公司

地址 100007 北京市东城区东直门北大街9号

专利权人 中国石油集团川庆钻探工程有限公司

(72) 发明人 刘伟 冯思恒 陈东 许期聪

余鹏 郑海波 杨瑞帆 王鹏

刘静远

(74) 专利代理机构 成都中玺知识产权代理有限公司

公司 51233

专利代理师 邢伟

(51) Int.Cl.

E21B 47/11 (2012.01)

E21B 47/00 (2012.01)

E21B 47/26 (2012.01)

(56) 对比文件

CN 101482014 A, 2009.07.15

CN 105545284 A, 2016.05.04

CN 112483070 A, 2021.03.12

CN 1676874 A, 2005.10.05

CN 206071569 U, 2017.04.05

CN 2793324 Y, 2006.07.05

US 2016123137 A1, 2016.05.05

审查员 籍海燕

权利要求书3页 说明书15页 附图6页

(54) 发明名称

近钻头随钻测量方法、系统、设备和计算机可读存储介质

(57) 摘要

本发明提供了一种近钻头随钻测量方法、系统、设备和计算机可读存储介质,所述随钻测量方法包括:记录加速度传感器和磁通门传感器的输出数据,利用加速度计动态校正算法对加速度传感器的输出数据进行补偿校正,获得井斜解算值和工具面解算值;利用伽马传感器采集不同方位下的伽马信息,根据工具面解算值确定伽马传感器所在的方位,将获得的伽马信息采集值按扇区进行分配,并利用伽马数据处理算法对各扇区不同方位的伽马信息采集值进行加权处理,获得方位伽马数据。本发明能够实现对动态工具面的实时高精度测量,提高方位伽马数据测量的准确性,有助于加强近钻头随钻测量系统井眼轨迹控制能力,提高储层钻遇率和采出率。

步骤S1、在一个测量周期内,记录加速度传感器和磁通门传感器的输出数据,利用加速度计动态校正算法对加速度传感器的输出数据进行补偿校正,获得井斜解算值和工具面解算值。

步骤S2、在一个测量周期内,利用伽马传感器采集不同方位下的伽马信息,根据工具面解算值确定伽马传感器所在的方位,将获得的伽马信息采集值按扇区进行分配,并利用伽马数据处理算法对各扇区不同方位的伽马信息采集值进行加权处理,获得方位伽马数据。

1. 一种近钻头随钻测量方法,其特征在于,所述随钻测量方法包括:

S1、在一个测量周期内,记录加速度传感器和磁通门传感器的输出数据,利用加速度计动态校正算法对加速度传感器的输出数据进行补偿校正,获得井斜解算值和工具面解算值;其中,

所述加速度计动态校正算法具体包括以下步骤:

S11、对加速度传感器的输出数据进行分析,筛选低频有用信号并滤除高频干扰信号,获得滤除后的三轴方向上的重力加速度分量和三轴方向上的向心加速度分量;所述低频有用信号的判断依据为: $f_{gx}=f_{gy}=1/\text{RPM}$,且 $f_{gz}=0$,其中, f_{gx} 为加速度传感器在x轴方向上的振动信号频率,Hz; f_{gy} 为加速度传感器在y轴方向上的振动信号频率,Hz; f_{gz} 为加速度传感器在z轴方向上的振动信号频率,Hz;RPM为钻具的转速,rpm;

S12、去除滤除后的三轴方向上的向心加速度分量,获得校正后的三轴方向上的重力加速度分量;

S13、利用校正后的三轴方向上的重力加速度分量,计算获得井斜解算值和工具面解算值;

步骤S1中利用加速度计动态校正算法对加速度传感器的输出数据进行补偿校正的过程中,还包括以下内容:完成动态测量实验,获得井斜实际值和工具面实时值;分析实验测量结果,若井斜解算值与井斜实际值之间的误差小于或等于加速度计动态校正算法的解算精度,且,工具面解算值与工具面实时值之间的误差小于或等于加速度计动态校正算法的解算精度,则认为当前的加速度计动态校正算法验证合格,能够用于解算动态工具面;否则,调整高频干扰信号的滤除方式,并重复步骤S11至S13;

所述加速度计动态校正算法的解算精度的取值范围为: $-0.5 \leq \Delta \alpha \leq 0.5$,且, $-0.3 \leq \Delta w \leq 0.3$,其中 $\Delta \alpha$ 为加速度计动态校正算法中井斜角的解算精度, Δw 为加速度计动态校正算法中工具面角的解算精度;

在完成动态测量实验之前,搭建动态测量实验装置,所述动态测量实验装置包括试验台、动力机构、固定件、主轴、旋转机构、角度调节机构、电路骨架、加速度计、动态加速度校正模块;其中,所述试验台包括支架和工作台面,工作台面设置在支架上,并与支架活动连接;所述固定件的数量为两个,分别安装在工作台面的前后两端,以固定主轴的两端;所述旋转机构与主轴的一端固定连接,并能够带动主轴在竖直平面内旋转;所述动力机构设置在支架上,并与旋转机构传动连接,能够向旋转机构提供旋转的驱动力;所述角度调节机构设置在支架上,并能够带动工作台面在竖直平面内旋转至预定角度;所述加速度计设置在主轴上,并能够在主轴旋转过程中测量三轴加速度;所述电路骨架套装在主轴上,并被配置有安装动态加速度校正模块的第一区域;所述动态加速度校正模块设置在第一区域上,并被配置有加速度计动态校正算法;

S2、在一个测量周期内,利用伽马传感器采集不同方位下的伽马信息,根据工具面解算值确定伽马传感器所在的方位,将获得的伽马信息采集值按扇区进行分配,并利用伽马数据处理算法对各扇区不同方位的伽马信息采集值进行加权处理,获得方位伽马数据;其中,

所述伽马数据处理算法具体包括以下步骤:

S21、针对每个扇区,设置对应的加权窗口对伽马信息采集值进行初步加权处理,加权窗口为矩形窗、巴特利特窗、三角窗、布莱克曼窗、海明窗、汉宁窗、凯塞窗和切比雪夫窗中

的一种;

S22、根据加权窗口的初步加权处理结果,对每个扇区的伽马信息采集值进行卷积运算,获得不同方位对应的方位伽马解算值,卷积运算的公式如下:
$$G(\phi_k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F(\phi) W(\phi_k - \phi) d\phi,$$

式中, $G(\phi_k)$ 为加权窗处理后得到的 ϕ_k 方位对应扇区的数据采集值, $F(\phi)$ 为原始不同方位下的测量值, $W(\phi)$ 为加权窗函数;

S23、通过仪器刻度,将每个扇区的方位伽马解算值转换为标准化的方位伽马数据。

2. 根据权利要求1所述的近钻头随钻测量方法,其特征在于,所述高频干扰信号的滤除方式为分阶次低通滤波。

3. 根据权利要求1所述的近钻头随钻测量方法,其特征在于,采用波峰波谷求平均值的方式去除x轴和y轴方向上的向心加速度分量,采用仪器刻度的方式去除z轴方向上的向心加速度分量。

4. 根据权利要求1所述的近钻头随钻测量方法,其特征在于,所述旋转机构包括轴承座和同步带,轴承座与主轴的一端固定连接,同步带套设在轴承座上,并能够将动力机构的驱动力传递至轴承座。

5. 根据权利要求1所述的近钻头随钻测量方法,其特征在于,步骤S2中利用伽马数据处理算法对各扇区不同方位的伽马信息采集值进行加权处理的过程中,还包括以下内容:

完成方位伽马工具面测量实验,获得工具面实时值和方位伽马实际值;

分析实验测量结果,若工具面解算值与工具面实时值之间的误差小于或等于加速度计动态校正算法的解算精度,且,方位伽马解算值与方位伽马实际值之间的误差小于或等于伽马数据处理算法的解算精度,则认为当前的伽马数据处理算法验证合格,能够用于处理伽马信息;否则,调整加权窗函数,并重复步骤S21至S23。

6. 根据权利要求5所述的近钻头随钻测量方法,其特征在于,所述伽马数据处理算法精度的取值范围为: $-2 \leq \Delta GR \leq +2$,其中 ΔGR 为伽马数据处理算法中方位伽马值的解算精度,API。

7. 根据权利要求5所述的近钻头随钻测量方法,其特征在于,在完成方位伽马工具面测量实验之前,搭建方位伽马工具面测量实验装置,所述方位伽马工具面测量实验装置具有如权利要求1所述的动态测量实验装置的全部构件,还包括伽马源、伽马传感器和伽马数据处理模块;其中,

所述伽马传感器设置在主轴上,并能够在主轴旋转过程中测量方位伽马信息;

所述伽马源放置在试验台周围,并能够向伽马传感器传递伽马信号;

所述电路骨架还被配置有安装伽马数据处理模块的第二区域;

所述伽马数据处理模块设置在第二区域上,并被配置有伽马数据处理算法。

8. 一种用于随钻测量数据处理的设备,其特征在于,所述设备包括:

处理器;

存储器,存储有计算机程序,当所述计算机程序被处理器执行时,实现如权利要求1-7中任一所述的近钻头随钻测量方法中的加速度计动态校正算法和伽马数据处理算法中的至少一者,以获得井斜解算值和工具面解算值,和/或,方位伽马数据。

9. 一种存储有计算机程序的计算机可读存储介质,其特征在于,当计算机程序在被处

理器执行时实现如权利要求1-7中任一所述的近钻头随钻测量方法中的加速度计动态校正算法和伽马数据处理算法中的至少一者,以获得井斜解算值和工具面解算值,和/或,方位伽马数据。

近钻头随钻测量方法、系统、设备和计算机可读存储介质

技术领域

[0001] 本发明涉及近钻头随钻测量的技术领域,具体来讲,涉及一种近钻头随钻测量方法、一种随钻测量系统,以及一种设备和一种存储有计算机程序的计算机可读存储介质。

背景技术

[0002] 自二十世纪以后,国内大部分油气田相继进入边缘油气田、复杂断块油气田、超薄油气藏等难以动用储量的老油田、以及页岩气开发阶段。由于含油气藏的页岩通常呈现出储层薄,岩性软,造斜难度大等特点,这就给现存的钻井技术提出了新的要求。

[0003] 近钻头随钻测量技术的存在,能在低成本下实现井眼轨迹的精确控制,能为定向井、水平井、特殊工艺井等高精度钻井施工提供技术支持。该技术以钻遇油气藏,最大限度的暴露油气藏为目的,能提高油气藏钻遇率,最大限度保证井眼轨迹在油气藏中穿梭,增加油气藏在井眼中的裸露面积,准确判断钻头部位在油气藏的空间相对位置,提高井眼轨迹控制精度。

[0004] 近钻头随钻测量技术是以现有无线随钻系统为基础,在此基础上附加一个近钻头工具。近钻头工具包括三大部分:数据测量短节、数据接收短节和信号转接器。其中,数据测量短节用于钻井过程中靠近钻头部分地层参数与钻井工程参数的测量。数据测量短节只要一个偏心安装在“钻铤”壁内的伽马传感器,通过钻头旋转过程中伽马传感器沿周向扫描来完成方位伽马的测量。国内随钻伽马成像油井仪器已经在地质导向施工中普遍应用,但具有定向测量能力的伽马成像测量仪器目前还处于研制试验阶段,未形成商业化应用产品。

[0005] 为了确认扫描过程中伽马传感器所在的象限,需要精确计算出仪器的工具面,这在靠近钻头处恶劣的振动环境下是个难点。现有技术中,工具面的测量通常用加速度传感器实现。然而,在钻具高速旋转时,受离心力影响,加速度传感器输出会叠加一个偏差,该偏差与旋转速度相关。理论上,通过信号处理技术,把钻具旋转对加速度传感器输出的影响抑制到较低水平,仍可以实现工具面测量。但在钻井应用中,钻具的旋转状态存在较大的不确定性,且存在高强度振动、冲击等干扰,也会对加速度传感器输出产生额外的影响,通过信号处理算法很难高效的跟踪这些变化,且算法复杂,难以实现。

[0006] 此外,方位伽马技术的另一个难点为伽马数据处理方法。

[0007] 例如,于2016年5月4日公开的名称为一种随钻伽马成像数据处理方法、公开号为CN 105545284 A的专利文献记载了一种随钻伽马成像数据处理方法,包括:将伽马探测器采集的伽马数据放到临时缓冲区;测量并计算此时各伽马探测器的方位信息;将方位信息填入相应临时缓冲区数据的8或16扇区中;测量并处理各伽马探测器震动信息,判断此时的仪器所在状态;滑动钻进或复合钻进;当伽马累积时间到达预设值时,将扇区数据存放到FLASH存储缓冲区,分别进行数据处理;当FLASH存储缓冲区存满时,将缓冲区数据存储到FLASH中。该方法虽然利用在随钻方位伽马测井的多个探测器测量,形成了精确地层方位自然伽马成像,但无法保证伽马数据处理算法的真实可靠性。

[0008] 因此,形成一种近钻头随钻测量方法,对于提高井眼轨迹控制精度具有重要意义。

发明内容

[0009] 本发明的目的在于解决现有技术存在的上述不足中的至少一项。例如,本发明的目的之一在于提供一种能够随钻测量数据的测量精度的近钻头随钻测量方法和随钻测量系统。

[0010] 为了实现上述目的,本发明一方面提供了一种近钻头随钻测量方法,所述随钻测量方法包括:S1、在一个测量周期内,记录加速度传感器和磁通门传感器的输出数据,利用加速度计动态校正算法对加速度传感器的输出数据进行补偿校正,获得井斜解算值和工具面解算值;其中,所述加速度计动态校正算法具体包括以下步骤:S11、对加速度传感器的输出数据进行分析,筛选低频有用信号并滤除高频干扰信号,获得滤除后的三轴方向上的重力加速度分量和三轴方向上的向心加速度分量;S12、去除滤除后的三轴方向上的向心加速度分量,获得校正后的三轴方向上的重力加速度分量;S13、利用校正后的三轴方向上的重力加速度分量,计算获得井斜解算值和工具面解算值;S2、在一个测量周期内,利用伽马传感器采集不同方位下的伽马信息,根据工具面解算值确定伽马传感器所在的方位,将获得的伽马信息采集值按扇区进行分配,并利用伽马数据处理算法对各扇区不同方位的伽马信息采集值进行加权处理,获得方位伽马数据;其中,所述伽马数据处理算法具体包括以下步骤:S21、针对每个扇区,设置对应的加权窗口对伽马信息采集值进行初步加权处理,加权窗口为矩形窗、巴特利特窗、三角窗、布莱克曼窗、海明窗、汉宁窗、凯塞窗和切比雪夫窗中的一种;S22、根据加权窗口的初步加权处理结果,对每个扇区的伽马信息采集值进行卷积运算,获得不同方位对应的方位伽马解算值,卷积运算的公式如下:

$$[0011] \quad G(\phi_k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F(\phi) W(\phi_k - \phi) d\phi$$

[0012] 式中, $G(\phi_k)$ 为加权窗处理后得到的 ϕ_k 方位对应扇区的数据采集值, $F(\phi)$ 为原始不同方位下的测量值, $W(\phi)$ 为加权窗函数;S23、通过仪器刻度,将每个扇区的方位伽马解算值转换为标准化的方位伽马数据。

[0013] 在本发明的近钻头随钻测量方法的一个示例性实施例中,所述低频有用信号的判断依据可为: $f_{gx} = f_{gy} = 1/\text{RPM}$,且 $f_{gz} = 0$,其中, f_{gx} 为加速度传感器在x轴方向上的振动信号频率,Hz; f_{gy} 为加速度传感器在y轴方向上的振动信号频率,Hz; f_{gz} 为加速度传感器在z轴方向上的振动信号频率,Hz;RPM为钻具的转速,rpm。

[0014] 在本发明的近钻头随钻测量方法的一个示例性实施例中,所述高频干扰信号的滤除方式可为分阶次低通滤波。

[0015] 在本发明的近钻头随钻测量方法的一个示例性实施例中,可采用波峰波谷求平均值的方式去除x轴和y轴方向上的向心加速度分量,可采用仪器刻度的方式去除z轴方向上的向心加速度分量。

[0016] 在本发明的近钻头随钻测量方法的一个示例性实施例中,步骤S1中利用加速度计动态校正算法对加速度传感器的输出数据进行补偿校正的过程中,还可包括以下内容:

[0017] 完成动态测量实验,获得井斜实际值和工具面实时值;

[0018] 分析实验测量结果,若井斜解算值与井斜实际值之间的误差小于或等于加速度计动态校正算法的解算精度,且,工具面解算值与工具面实时值之间的误差小于或等于加速

度计动态校正算法的解算精度,则认为当前的加速度计动态校正算法验证合格,能够用于解算动态工具面;否则,调整高频干扰信号的滤除方式,并重复步骤S11至S13。

[0019] 在本发明的近钻头随钻测量方法的一个示例性实施例中,所述加速度计动态校正算法的解算精度的取值范围可为: $-0.5 \leq \Delta \alpha \leq 0.5$,且, $-0.3 \leq \Delta w \leq 0.3$,其中 $\Delta \alpha$ 为加速度计动态校正算法中井斜角的解算精度,度, Δw 为加速度计动态校正算法中工具面角的解算精度,度。

[0020] 在本发明的近钻头随钻测量方法的一个示例性实施例中,在完成动态测量实验之前,可搭建动态测量实验装置,所述动态测量实验装置可包括试验台、动力机构、固定件、主轴、旋转机构、角度调节机构、电路骨架、加速度计、动态加速度校正模块;其中,

[0021] 所述试验台包括支架和工作台面,工作台面设置在支架上,并与支架活动连接;

[0022] 所述固定件的数量为两个,分别安装在工作台面的前后两端,以固定主轴的两端;

[0023] 所述旋转机构与主轴的一端固定连接,并能够带动主轴在竖直平面内旋转;

[0024] 所述动力机构设置在支架上,并与旋转机构传动连接,能够向旋转机构提供旋转的驱动力;

[0025] 所述角度调节机构设置在支架上,并能够带动工作台面在竖直平面内旋转至预定角度;

[0026] 所述加速度计设置在主轴上,并能够在主轴旋转过程中测量三轴加速度;

[0027] 所述电路骨架套装在主轴上,并被配置有安装动态加速度校正模块的第一区域;

[0028] 所述动态加速度校正模块设置在第一区域上,并被配置有加速度计动态校正算法。

[0029] 在本发明的近钻头随钻测量方法的一个示例性实施例中,所述旋转机构可包括轴承座和同步带,轴承座与主轴的一端固定连接,同步带套设在轴承座上,并能够将动力机构的驱动力传递至轴承座。

[0030] 在本发明的近钻头随钻测量方法的一个示例性实施例中,步骤S2中利用伽马数据处理算法对各扇区不同方位的伽马信息采集值进行加权处理的过程中,还可包括以下内容:

[0031] 完成方位伽马工具面测量实验,获得工具面实时值和方位伽马实际值;

[0032] 分析实验测量结果,若工具面解算值与工具面实时值之间的误差小于或等于动态井斜校正的解算精度,且,方位伽马解算值与方位伽马实际值之间的误差小于或等于伽马数据处理算法的解算精度,则认为当前的伽马数据处理算法验证合格,能够用于处理伽马信息;否则,调整加权窗函数,并重复步骤S21至S23。

[0033] 在本发明的近钻头随钻测量方法的一个示例性实施例中,所述伽马数据处理算法精度的取值范围为: $-2 \leq \Delta GR \leq +2$,其中 ΔGR 为伽马数据处理算法中方位伽马值的解算精度,API。

[0034] 在本发明的近钻头随钻测量方法的一个示例性实施例中,在完成方位伽马工具面测量实验之前,可搭建方位伽马工具面测量实验装置,所述方位伽马工具面测量实验装置具有如上所述的动态测量实验装置的全部构件,还包括伽马源、伽马传感器和伽马数据处理模块;其中,

[0035] 所述伽马传感器设置在主轴上,并能够在主轴旋转过程中测量方位伽马信息;

- [0036] 所述伽马源放置在试验台周围,并能够向伽马传感器传递伽马信号;
- [0037] 所述电路骨架还被配置有安装伽马数据处理模块的第二区域;
- [0038] 所述伽马数据处理模块设置在第二区域上,并被配置有伽马数据处理算法。
- [0039] 本发明另一方面提供了一种近钻头随钻测量系统,所述随钻测量系统可包括数据测量短节、加速度传感器、磁通门传感器、伽马传感器、如上所述的动态加速度校正模块、以及如上所述的伽马数据处理模块,其中,加速度传感器、磁通门传感器和伽马传感器均设置在数据测量短节上。
- [0040] 本发明再一方面提供了一种用于随钻测量数据处理的设备,所述设备包括:
- [0041] 处理器;
- [0042] 存储器,存储有计算机程序,当所述计算机程序被处理器执行时,实现如上所述的加速度计动态校正算法和伽马数据处理算法中的至少一者,以获得井斜解算值和工具面解算值,和/或,方位伽马数据。
- [0043] 本发明再一方面提供了一种存储有计算机程序的计算机可读存储介质,当所述计算机程序在被处理器执行时实现如上所述的加速度计动态校正算法和伽马数据处理算法中的至少一者,以获得井斜解算值和工具面解算值,和/或,方位伽马数据。
- [0044] 与现有技术相比,本发明的有益效果包括以下内容中的至少一项:
- [0045] (1) 本发明设计了旋转状态下工具面的测量算法,能够实现对动态工具面的实时高精度测量;
- [0046] (2) 本发明利用动态井斜试验装置对校正后的处理数据进行验证,保证了校正后的处理数据的真实可靠性,有助于使得动态井斜算法精度能够满足仪器设计指标要求,以便实施下一步钻井施工工作;
- [0047] (3) 本发明能够计算伽马传感器的工具面,提高了方位伽马数据测量的准确性,有助于增强近钻头随钻测量系统井眼轨迹控制能力(造斜、纠斜),使得地质参数描述更准确;
- [0048] (4) 本发明利用方位伽马工具面解算试验装置对处理后方位伽马数据进行验证,保证了伽马数据处理算法的真实可靠性;
- [0049] (5) 本发明操作简单,可重复性高,有助于加强近钻头随钻测量系统井眼轨迹控制能力,提高储层钻遇率和采出率。

附图说明

[0050] 通过下面结合附图进行的描述,本发明的上述和其他目的和/或特点将会变得更加清楚,其中:

[0051] 图1示出了本发明的近钻头随钻测量方法的一个示例性实施例的随钻测量方法的流程示意图。

[0052] 图2示出了本发明的近钻头随钻测量方法的一个示例性实施例的加速度计动态校正算法的流程示意图。

[0053] 图3示出了本发明的近钻头随钻测量方法的一个示例性实施例的伽马数据处理算法的流程示意图。

[0054] 图4示出了本发明的近钻头随钻测量方法的另一个示例性实施例的加速度计动态校正算法的技术路线图。

[0055] 图5示出了本发明的近钻头随钻测量方法的另一个示例性实施例的动态测量实验装置的结构主视图。

[0056] 图6示出了本发明的近钻头随钻测量方法的另一个示例性实施例的动态测量实验装置的结构俯视图。

[0057] 图7示出了本发明的近钻头随钻测量方法的另一个示例性实施例的静态井斜在70度左右条件下的试验数据处理结果示意图。

[0058] 图8示出了本发明的近钻头随钻测量方法的另一个示例性实施例的振动条件下井斜在89度左右时的试验数据处理结果示意图。

[0059] 图9示出了本发明的近钻头随钻测量方法的另一个示例性实施例的工具面解算的全部数据计算误差分布示意图。

[0060] 图10示出了本发明的近钻头随钻测量方法的另一个示例性实施例的放射性伽马源放置的位置示意图。

[0061] 图11示出了本发明的近钻头随钻测量方法的另一个示例性实施例的方位伽马工具面测量实验的测量结果示意图。

[0062] 附图标记说明：

[0063] 1-试验台,2-电机,3-固定件,4-主轴,5-旋转机构,6-角度调节机构,7-电路骨架,8-加速度计,9-动态加速度校正模块,10-支撑座。

具体实施方式

[0064] 在下文中,将结合附图和示例性实施例来详细说明本发明的近钻头随钻测量方法、系统、设备和计算机可读存储介质。

[0065] 需要说明的是,“第一”、“第二”等仅仅是为了方便描述和便于区分,而不能理解为指示或暗示相对重要性。“上”、“下”、“内”、“外”仅仅为了便于描述和构成相对的方位或位置关系,而并非指示或暗示所指的部件必须具有该特定方位或位置。对于本领域普通技术人员而言,本文中的部分术语“压力”相当于压强。

[0066] 另外,在附图的流程图示出的步骤可以在诸如一组计算机可执行指令的计算机系统中执行,并且,虽然在流程图中示出了逻辑顺序,但是在某些情况下,可以以不同于此处的顺序执行所示出或描述的步骤。

[0067] 目前近钻头随钻测量系统所常用的伽马测量仪器为常规自然伽马,而常规自然伽马不具有测量方位信息能力,只能显示钻头处于储层还是非储层中,一旦由于地层变化或者其他原因钻头钻出储层后,将不能及时指导定向工程师引导钻头重新回到储层中去。要实现伽马测量仪器具有方位信息测量能力,需要解决的一个关键技术就是对动态工具面的准确测量。

[0068] 现有技术中,工具面的测量通常用加速度传感器来实现,在静态条件下,利用加速度传感器的输出数据能够得到高精度的工具面值。然而,在实际应用中,由于加速度传感器设置在数据测量短节上,而数据测量短节在正常工作过程中一直在随钻头旋转,且速度变化范围大。在钻进过程中,钻具高速旋转且振动剧烈,受离心力和振动影响,加速度传感器输出会叠加一个偏差,该偏差与旋转速度、振动频率等相关。这直接导致布置在“钻铤”内的加速度计测量值不能正确反映地球重力场影响,从而无法直接解算出旋转时的仪器井斜,

也无法直接用于工具面值的计算。

[0069] 因此,为了实现动态工具面的高精度测量,本申请提出利用加速度计动态校正算法来补偿由于旋转造成的加速度测量误差,通过修正后的加速度解算获得高精度的井斜数据和工具面数据。

[0070] 另外,方位伽马数据的处理方法也很关键。现有技术中,在一个测量周期内,一般通过快速工具面测量,对不同方位下伽马数据进行连续采集,再将不同方位的数据分配到之前划分好的扇区中。通常情况下,直接对每个扇区中采集到的多个计数值进行累加求平均,将结果作为该扇区的测量值,就能获得方位伽马数据。然而,事实上每一个方位上测量得到的伽马值,是该方位周围一定范围内的总体效应,如果测量值对应的方位在扇区的边缘附近,则会把临近方位对应的地层伽马特性引入到该扇区,降低方位信号的精度。

[0071] 因此,为了提高伽马信号采集的精度,本申请还提出利用伽马数据处理算法对采集到的方位伽马信息进行处理,通过对扇区内不同方位计数值进行加权,减小邻近扇区的影响,提高数据采集精度。

[0072] 为了实现上述目的,本发明一方面提供了一种近钻头随钻测量方法。

[0073] 在本发明的一个示例性实施例中,如图1所示,一种近钻头随钻测量方法可包括:

[0074] 步骤S1、在一个测量周期内,记录加速度传感器测量井斜的输出数据和磁通门传感器测量转速的输出数据,利用加速度计动态校正算法对加速度传感器的输出数据进行补偿校正,通过姿态参数求解获得井斜解算值(也就是动态井斜数据)和工具面解算值(也就是动态工具面)。

[0075] 需要说明的是,三轴加速度传感器用于敏感地球重力,实现井斜的测量。三轴磁阻传感器用于敏感地球磁场,用于转速测量。三轴磁阻传感器(也就是磁通门传感器)和三轴加速度传感器的数据相结合可以完成仪器的姿态解算,但由于磁阻传感器精度较低,且由于数据测量短节过于靠近钻头,振动较大,导致加速度测量值呈现较大偏差,所以该姿态测量结果精度较差,因此需要采用加速度计动态校正算法对加速度传感器的输出数据进行补偿校正。

[0076] 其中,如图2所示,加速度计动态校正算法可具体包括以下步骤:

[0077] 步骤S11、对采集到的加速度传感器的输出数据(也就是加表三轴数据)进行分析,筛选低频有用信号并滤除高频干扰信号,获得滤除后的三轴方向上的重力加速度分量和三轴方向上的向心加速度分量。需要说明的是,加表三轴数据包括三轴方向上的重力加速度分量、三轴方向上的振动加速度分量、以及三轴方向上的向心加速度分量。

[0078] 进一步地,低频有用信号的判断依据可为: $f_{gx}=f_{gy}=1/\text{RPM}$,且 $f_{gz}=0$,其中, f_{gx} 为加速度传感器在x轴方向上的振动信号频率,Hz; f_{gy} 为加速度传感器在y轴方向上的振动信号频率,Hz; f_{gz} 为加速度传感器在z轴方向上的振动信号频率,Hz;RPM为钻具的转速,rpm。

[0079] 进一步地,高频干扰信号的滤除方式可为分阶次低通滤波。换句话说,可以采用低通滤波的方式来处理加速度传感器所采集的数据中的高频干扰信号。处理过程中,对磁通门传感器的输出数据进行趋势项解析,获得磁通门传感器数据的转速解析结果;并以该转速解析结果为参考依据,对加速度传感器所采集的数据进行低通滤波,滤波过程中可设置分阶次的低通滤波,以对加速度传感器所采集的加表三轴数据进行逐级、多阶的滤除处理,从而实现在保证处理器运算能力的前提下获得高精度的加速度采集数据。

[0080] 需要说明的是,磁通门传感器通过测量地球磁场信息实现仪器状态计算,钻具的旋转、振动、冲击等运动状态不会对磁通门传感器的输出造成额外的影响。因此,在处理过程中选用磁通门传感器数据解析的转速结果为参考依据,对需要处理的数据设置一个“过渡带”,这样有针对性的通过低通滤波滤除“过渡带”以外的数据,从而能够大大提高运算速度和运算效率,以快速获得滤除后的数据(也就是滤除后的三轴方向上的重力加速度分量和三轴方向上的向心加速度分量)。

[0081] 步骤S12、对滤除后的三轴方向上的重力加速度分量和三轴方向上的向心加速度分量进行处理以去除三轴方向上的向心加速度分量,获得校正后的三轴方向上的重力加速度分量。

[0082] 进一步地,可采用波峰波谷求平均值的方式去除x轴和y轴方向上的向心加速度分量,可采用仪器刻度的方式去除z轴方向上的向心加速度分量。

[0083] 步骤S13、利用校正后的三轴方向上的重力加速度分量,计算获得井斜解算值和工具面解算值。

[0084] 步骤S2、在一个测量周期内,利用伽马传感器采集不同方位下的伽马信息,根据工具面解算值确定伽马传感器所在的方位,将获得的伽马信息采集值按扇区进行分配,并利用伽马数据处理算法对各扇区不同方位的伽马信息采集值进行加权处理,获得方位伽马数据。

[0085] 其中,如图3所示,所述伽马数据处理算法可具体包括以下步骤:

[0086] 步骤S21、针对每个扇区,设置对应的加权窗口对伽马信息采集值进行初步加权处理,加权窗口为矩形窗、巴特利特窗、三角窗、布莱克曼窗、海明窗、汉宁窗、凯塞窗和切比雪夫窗中的一种。

[0087] 步骤S22、根据加权窗口的初步加权处理结果,对每个扇区的伽马信息采集值进行卷积运算,获得不同方位对应的方位伽马解算值,卷积运算的公式如下:

$$[0088] \quad G(\phi_k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F(\phi) W(\phi_k - \phi) d\phi$$

[0089] 式中, $G(\phi_k)$ 为加权窗处理后得到的 ϕ_k 方位对应扇区的数据采集值, $F(\phi)$ 为原始不同方位下的测量值, $W(\phi)$ 为加权窗函数。

[0090] 步骤S23、通过仪器刻度,将每个扇区的方位伽马解算值转换为标准化的方位伽马数据。

[0091] 在本实施例中,步骤S1中利用加速度计动态校正算法对加速度传感器的输出数据进行补偿校正的过程中,还可以利用动态测量实验来验证或评估加速度计动态校正算法的解算精度,以确保该算法完全能保证动态井斜和工具面的测量精度要求。

[0092] 利用动态测量实验来验证或评估加速度计动态校正算法的测量精度的过程可具体包括以下内容:

[0093] (1) 完成动态测量实验,获得井斜实际值和工具面实时值。

[0094] (2) 分析实验测量结果,若井斜解算值与井斜实际值之间的误差小于或等于加速度计动态校正算法的测量精度,和,工具面解算值与工具面实时值之间的误差小于或等于加速度计动态校正算法的测量精度,则认为当前的加速度计动态校正算法验证合格,能够

用于解算动态工具面;若井斜解算值与井斜实际值之间的误差大于加速度计动态校正算法的测量精度,和/或,工具面解算值与工具面实时值之间的误差大于加速度计动态校正算法的测量精度,则调整高频干扰信号的滤除方式,并重复步骤S11至S13。

[0095] 进一步地,加速度计动态校正算法的测量精度的取值范围可为: $-0.5 \leq \Delta \alpha \leq 0.5$,且, $-0.3 \leq \Delta w \leq 0.3$,其中 $\Delta \alpha$ 为加速度计动态校正算法中井斜角的测量精度,度, Δw 为加速度计动态校正算法中工具面角的测量精度,度。

[0096] 需要说明的是,在完成动态测量实验之前,可搭建动态测量实验装置。

[0097] 进一步地,一种动态测量实验装置可包括试验台、动力机构、固定件、主轴、旋转机构、角度调节机构、电路骨架、加速度计、动态加速度校正模块。

[0098] 具体来讲,试验台包括支架和工作台面,工作台面设置在支架上,并与支架活动连接。

[0099] 固定件的数量为两个,分别安装在工作台面的前后两端,以固定主轴的两端。

[0100] 旋转机构与主轴的一端固定连接,并能够带动主轴在竖直平面内旋转。例如,旋转机构可包括轴承座和同步带,轴承座与主轴的一端固定连接,同步带套设在轴承座上,并能够将动力机构的驱动力传递至轴承座。

[0101] 动力机构设置在支架上,并与旋转机构传动连接,能够向旋转机构提供旋转的驱动力。

[0102] 角度调节机构设置在支架上,并能够带动工作台面在竖直平面内旋转至预定角度。

[0103] 加速度计设置在主轴上,并能够在主轴旋转过程中测量三轴加速度。

[0104] 电路骨架套装在主轴上,并被配置有安装动态加速度校正模块的第一区域。

[0105] 动态加速度校正模块设置在第一区域上,并被配置有加速度计动态校正算法。

[0106] 进一步地,动态测量实验装置还可以包括支撑座,支撑座设置在试验台的左右两侧,以防止主轴旋转时意外飞出。

[0107] 在本实施例中,步骤S2中利用伽马数据处理算法对各扇区不同方位的伽马信息采集值进行加权处理的过程中,还可以利用方位伽马工具面测量实验来验证或评估伽马数据处理算法的解算精度,以确保伽马数据处理算法能够有效解算出工具面值,能实现多扇区伽马成像测量。

[0108] 利用方位伽马工具面测量实验来验证或评估伽马数据处理算法的解算精度的过程可具体包括以下内容:

[0109] (1) 完成方位伽马工具面测量实验,获得工具面实时值和方位伽马实际值。

[0110] (2) 分析实验测量结果,若工具面解算值与工具面实时值之间的误差小于或等于加速度计动态校正算法的解算精度,且,方位伽马解算值与方位伽马实际值之间的误差小于或等于伽马数据处理算法的解算精度,则认为当前的伽马数据处理算法验证合格,能够用于处理伽马信息;若工具面解算值与工具面实时值之间的误差大于加速度计动态校正算法的解算精度,则调整加速度计动态校正算法;若方位伽马解算值与方位伽马实际值之间的误差大于伽马数据处理算法的解算精度,则调整加权窗函数,并重复步骤S21至S23。

[0111] 进一步地,伽马数据处理算法精度的取值范围可为: $-2 \leq \Delta GR \leq +2$,其中 ΔGR 为伽马数据处理算法中方位伽马值的解算精度,API。

[0112] 需要说明的是,在完成方位伽马工具面测量实验之前,可搭建方位伽马工具面测量实验装置。

[0113] 进一步地,一种方位伽马工具面测量实验装置具有如上所述的动态测量实验装置的全部构件,还可包括伽马源、伽马传感器和伽马数据处理模块。

[0114] 具体来讲,伽马传感器设置在主轴上,并能够在主轴旋转过程中测量方位伽马信息。

[0115] 伽马源放置在试验台周围,并能够向伽马传感器传递伽马信号。

[0116] 电路骨架还被配置有安装伽马数据处理模块的第二区域。

[0117] 伽马数据处理模块设置在第二区域上,并被配置有伽马数据处理算法。

[0118] 本发明另一方面提供了一种近钻头随钻测量系统。

[0119] 在本发明的一个示例性实施例中,一种近钻头随钻测量系统可包括加速度传感器、磁通门传感器、伽马传感器、如上所述的动态加速度校正模块、以及如上所述的伽马数据处理模块。其中,加速度传感器、磁通门传感器和伽马传感器均设置在钻头上。

[0120] 本发明的又一方面提供了一种基于近钻头随钻测量方法的计算机程序。

[0121] 在本发明的一个示例性实施例中,本发明的加速度计动态校正算法和伽马数据处理算法中的至少一者能够被编译为相应的程度代码或指令,并被编程为计算机程序。当程序代码或指令被处理器执行时,能够实现近钻头随钻测量方法中的步骤S11至S13,以获得井斜解算值和工具面解算值,和/或,能够实现近钻头随钻测量方法中的步骤S21至S23以获得方位伽马数据。

[0122] 本发明的又一方面提供了一种存储有计算机程序的计算机可读存储介质。

[0123] 在本发明的一个示例性实施例中,一种计算机可读存储介质中存储有计算机程序,在计算机程序指令被执行时可以实现本发明的加速度计动态校正算法和伽马数据处理算法中的至少一者。该计算机可读存储介质可以是任意数据存储装置,该数据存储装置中存储有能够被计算机系统读出的数据。例如,计算机可读存储介质的示例可包括:只读存储器、随机存取存储器、只读光盘、磁带、软盘、光数据存储装置和载波(诸如经有线或无线传输路径通过互联网的数据传输)。

[0124] 本发明的又一方面提供了一种用于随钻测量数据处理的计算机设备。

[0125] 在本发明的一个示例性实施例中,一种用于随钻测量数据处理的计算机设备可包括处理器和存储器。存储器用于存储计算机程序,该计算机程序用于实现本发明的加速度计动态校正算法和伽马数据处理算法中的至少一者。

[0126] 为了更好地理解本发明的上述示例性实施例,下面结合附图和具体示例对其进行进一步说明。

[0127] 在本示例中,一种近钻头随钻测量方法可包括以下内容:

[0128] 步骤一、在一个测量周期内,记录加速度传感器和磁通门传感器的输出数据,利用加速度计动态校正算法对加速度传感器的输出数据进行补偿校正,获得井斜解算值和工具面解算值。

[0129] 如图4所示,可具体包括:

[0130] (1) 对采集到的加表三轴数据进行分析和低通滤波处理,获得滤除后的三轴方向上的重力加速度分量和三轴方向上的向心加速度分量。

[0131] 其中,加表三轴数据包括三轴方向上的重力加速度分量(也就是x轴方向上的重力加速度分量 S_{gx} 、y轴方向上的重力加速度分量 S_{gy} 和z轴方向上的重力加速度分量 S_{gz})、三轴方向上的振动加速度分量(也就是x轴方向上的振动加速度分量 S_{vx} 、y轴方向上的振动加速度分量 S_{vy} 和z轴方向上的振动加速度分量 S_{vz})、以及三轴方向上的向心加速度分量(也就是x轴方向上的向心加速度分量 S_{ex} 、y轴方向上的向心加速度分量 S_{ey} 和z轴方向上的向心加速度分量 S_{ez})。

[0132] 低频有用信号以 $f_{gx}=f_{gy}=1/\text{RPM}$ 、 $f_{gz}=0$ 为筛选依据,高频干扰信号的滤除方式可为分阶次低通滤波。

[0133] 通过分阶次低通滤波的方式对加速度传感器数据进行滤除,滤除过程中将磁通门传感器数据进行周期计数处理,并将磁通门传感器数据的处理结果作为参考依据,设置“过渡带”,通过低通滤波滤除“过渡带”以外的数据,以快速获得滤除后的三轴方向上的重力加速度分量和三轴方向上的向心加速度分量。

[0134] (2)对滤除后的三轴方向上的重力加速度分量和三轴方向上的向心加速度分量进行处理以去除三轴方向上的向心加速度分量,获得校正后的三轴方向上的重力加速度分量。

[0135] 可以采用波峰波谷求平均值的方式去除x轴和y轴方向上的向心加速度分量(也就是x轴方向上的向心加速度分量 S_{ex} 和y轴方向上的向心加速度分量 S_{ey}),采用仪器刻度的方式去除z轴方向上的向心加速度分量(也就是z轴方向上的向心加速度分量 S_{ez}),以获得三轴方向上的重力加速度分量(也就是x轴方向上的重力加速度分量 S_{gx} 、y轴方向上的重力加速度分量 S_{gy} 和z轴方向上的重力加速度分量 S_{gz})。

[0136] (3)进行井斜解算,利用校正后的三轴方向上的重力加速度分量,计算获得井斜解算值和工具面解算值。

[0137] 需要说明的是,利用本申请的加速度计动态校正算法计算获得的动态工具面(也就是工具面解算值)是重力工具面,而不是磁性工具面。

[0138] 工具面解算值的计算公式如下式所示:

$$[0139] \quad TF = \begin{cases} \arctan(|AY/AX|), & AX < 0 \& \& AY \geq 0 \\ 2 \cdot \pi - \arctan(|AY/AX|), & AX < 0 \& \& AY < 0 \\ \pi - \arctan(|AY/AX|), & AX \geq 0 \& \& AY > 0 \\ \pi + \arctan(|AY/AX|), & AX > 0 \& \& AY \leq 0 \end{cases}$$

[0140] 式中AX、AY分别为加速度传感器X、Y轴输出的加速度值, m/s^2 ;TF为工具面解算值,度。

[0141] (4)搭建动态测量实验装置,完成动态测量实验,获得井斜实际值和工具面实时值。

[0142] 如图5和图6所示,动态测量实验装置可包括试验台1、电机2、固定件3、主轴4、旋转机构5、角度调节机构6、电路骨架7、加速度计8、动态加速度校正模块9和支撑座10。

[0143] 其中,试验台1包括支架和工作台面,工作台面设置在支架上,并与支架活动连接。固定件3的数量为两个,分别安装在工作台面的前后两端,以固定主轴4的两端。旋转机构5可包括轴承座和同步带,轴承座与主轴4的一端固定连接,同步带套设在轴承座上,并能够

将电机2的驱动力传递至轴承座。电机2设置在支架上,并与旋转机构5传动连接,用于向旋转机构5提供旋转的驱动力。角度调节机构6设置在支架上,并能够带动工作台面在竖直平面内旋转至预定角度。电路骨架7套装在主轴4上,动态加速度校正模块9则安装在电路骨架7上,动态加速度校正模块9被配置有加速度计动态校正算法。加速度计8设置在主轴4上,用于在主轴4旋转过程中测量三轴加速度。支撑座10设置在试验台1的左右两侧,用于防止主轴4旋转时意外冲出试验台1之外。

[0144] (5) 分析实验测量结果,保证加速度计动态校正算法获得的动态井斜和工具面满足精度指标要求。

[0145] 通过设置固定的不同转速,可以计算出不同时刻的实际井斜解算值和工具面解算值,通过对比测量解算的井斜实际值和工具面实时值来验证加速度计动态校正算法的精确性。

[0146] 分析试验处理结果可包括分析静态条件下的井斜试验结果和分析振动条件下的井斜试验结果。若井斜解算值与井斜实际值之间的误差小于或等于加速度计动态校正算法的解算精度,和,工具面解算值与工具面实时值之间的误差小于或等于加速度计动态校正算法的解算精度,则认为当前的加速度计动态校正算法验证合格,能够用于解算动态工具面。若井斜解算值与井斜实际值之间的误差大于加速度计动态校正算法的解算精度,和/或,工具面解算值与工具面实时值之间的误差大于加速度计动态校正算法的解算精度,则改进高频干扰信号的滤除方式以调整过渡带的范围(例如,缩小过渡带的范围),并重复步骤(1)至步骤(3)。

[0147] 加速度计动态校正算法的解算精度的取值范围可设置为: $-0.5 \leq \Delta \alpha \leq 0.5$,和/或, $-0.3 \leq \Delta w \leq 0.3$,其中 $\Delta \alpha$ 为加速度计动态校正算法中井斜角的解算精度,度, Δw 为加速度计动态校正算法中工具面角的解算精度,度。

[0148] 例如,利用采集的旋转状态下加速度数据对上述加速度计动态校正算法方法进行了验证。图7为静态井斜在70度左右条件下的试验数据处理过程及结果,其中,图7中的曲线A1(也就是实线)表示解算后的井斜解算值,曲线B1(也就是点划线)表示对A1的井斜解算值进行平滑滤波后的精度更高的井斜值。可以看出,在转速300RPM下,经过初步处理后,井斜波动幅度在0.02度左右,再处理后,井斜波动幅度在0.01度左右。

[0149] 图8为振动条件下井斜在89度左右时的试验数据处理过程及结果,其中,图8中的曲线A2(也就是实线)表示解算后的井斜解算值,曲线B2(也就是点划线)表示对A2的井斜解算值进行平滑滤波后的精度更高的井斜值。可以看出,经过初步处理后,井斜波动幅度在0.1度左右,再处理后,井斜波动幅度在0.05度左右。

[0150] 又例如,在实验室完成了旋转状态和振动状态下工具面精度的评估试验,试验中设计了5个井斜及方位姿态,在每个井斜及方位状态下,改变探管到多个工具面,采集并记录每个位置的井斜、方位、加速度传感器及磁通门传感器数据。具体的试验数据采集过程如下:

[0151] ①调整主轴倾斜至位置A(井斜90.65度,方位89.7度),然后旋转11个工具面角,采集不同工具面时的加表(也就是加速度传感器的输出数据)及磁通门数据(也就是磁通门传感器的输出数据);

[0152] ②调整主轴倾斜至位置B(井斜60.38度,方位89.7度),然后旋转8个工具面角,采

集不同工具面时的加表(也就是加速度传感器的输出数据)及磁通门数据(也就是磁通门传感器的输出数据);

[0153] ③调整主轴倾斜至位置C(井斜20.48度,方位89.7度),然后旋转5个工具面角,采集不同工具面时的加表(也就是加速度传感器的输出数据)及磁通门数据(也就是磁通门传感器的输出数据);

[0154] ④调整主轴倾斜至位置D(井斜37.49度,方位135.6度),然后旋转5个工具面角,采集不同工具面时的加表(也就是加速度传感器的输出数据)及磁通门数据(也就是磁通门传感器的输出数据);

[0155] ⑤调整主轴倾斜至位置E(井斜22.53度,方位210.7度),然后旋转6个工具面角,采集不同工具面时的加表(也就是加速度传感器的输出数据)及磁通门数据(也就是磁通门传感器的输出数据)。

[0156] 利用采集的数据验证上述加速度计动态校正算法,结果如表1-5和图8所示。其中表1-5分别为5个位置时工具面实时值与利用本示例的加速度计动态校正算法的工具面解算值的比较,图9为工具面解算的全部数据计算误差分布情况。可以看出,在理想情况下,不考虑振动以及测量中井斜与方位变化对解算精度的影响,利用本示例的加速度计动态校正算法计算的工具面计算值(也就是上述的工具面解算值)与工具面测量值(也就是上述的工具面实时值)误差很小,基本分布在0.3度以内。

[0157] 表1 位置A的工具面测量值与计算值比较结果

[0158]

采样点	测量值(度)	计算值(度)	误差(度)
1	25.5	25.49	-0.01
2	32.4	32.38	-0.01
3	42.7	42.66	-0.04
4	63.6	63.20	-0.09
5	104.1	103.94	-0.1585
6	145.5	145.4	-0.09
7	187.9	188.20	0.3096
8	229.3	227.49	0.191
9	304.5	304.02	-0.473
10	343.2	343.218	0.0178

[0159] 表2 位置B的工具面测量值与计算值比较结果

[0160]

采样点	测量值(度)	计算值(度)	误差(度)
1	23.6	23.62	0.0231
2	63.6	63.5569	0.0431
3	115.3	115.0211	0.2789
4	155.8	155.8984	0.0984
5	194.4	194.8132	0.4132
6	234.2	234.387	0.1874
7	274.6	274.91	0.3087

[0161] 表3 位置C的工具面测量值与计算值比较结果

[0162]	采样点	测量值 (度)	计算值 (度)	误差 (度)
	1	19.5	19.5477	0.0477
	2	98.6	98.4766	-0.1234
	3	168.8	168.9332	0.1332
	4	239.7	240.0251	0.3251

[0163] 表4 位置D的工具面测量值与计算值比较结果

[0164]	采样点	测量值 (度)	计算值 (度)	误差 (度)
	1	283.6	283.3446	-0.2554
	2	323.1	323.1717	0.0717
	3	50	49.873	0.127
	4	220.5	220.6016	0.1016

[0165] 表5 位置E的工具面测量值与计算值比较结果

[0166]	采样点	测量值 (度)	计算值 (度)	误差 (度)
	1	319.6	319.4777	-0.1223
	2	55.8	55.48	-0.32
	3	181.5	181.6469	0.1469
	4	236	236.1752	0.1752
	5	291.2	291.0465	-0.1535

[0167] 试验结果表明,动态井斜算法精度能够满足仪器设计指标要求,可以进行下一步的工作。

[0168] 步骤二、在一个测量周期内,利用伽马传感器采集不同方位下的伽马信息,根据工具面解算值确定伽马传感器所在的方位,将获得的伽马信息采集值按扇区进行分配,并利用伽马数据处理算法对各扇区不同方位的伽马信息采集值进行加权处理,获得方位伽马数据。

[0169] 可具体包括:

[0170] (1) 针对每个扇区,设置对应的加权窗口对伽马信息采集值进行初步加权处理。

[0171] 加权窗口为矩形窗、巴特利特窗、三角窗、布莱克曼窗、海明窗、汉宁窗、凯塞窗和切比雪夫窗中的一种。每个扇区对应的加权窗函数可以相同,也可以不同,具体设置哪种加权窗口由方位伽马工具面测量实验结果来决定。

[0172] (2) 通过加权窗口与测量得到的方位地层信息的卷积运算,实现对扇区信号进行采集,获得不同方位对应的方位伽马解算值。

[0173] 卷积运算的公式定义如下:

$$[0174] \quad G(\phi_k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F(\phi) W(\phi_k - \phi) d\phi$$

[0175] 式中, $G(\phi_k)$ 为加权窗处理后得到的 ϕ_k 方位对应扇区的数据采集值; $F(\phi)$ 为原始不同方位下的测量值; $W(\phi)$ 为加权窗函数。

[0176] 在一个采集周期内,假设有N个原始测量值落在同一个扇区的加权窗口内,则卷积公式可写成:

$$[0177] \quad G(\phi_k) = \frac{1}{Q} \sum_{j=1}^N F(r_j) W(\phi_k - r_j), \text{其中 } k=0, \dots, p-1$$

[0178] 式中, $G(\phi_k)$ 为加权窗处理后得到的 ϕ_k 方位对应扇区的数据采集值; Q 是数据点总数; r_j 是每个位置的方位; $F(r_j)$ 为不同方位下的测量值; W 为加权窗函数。

[0179] (3) 通过仪器刻度, 将每个扇区经伽马数据处理算法处理后的不同方位对应的方位伽马解算值转换为标准化的方位伽马数据。

[0180] 自然伽马测井刻度是自然伽马测井曲线标准化重要手段。通过刻度, 使不同类型自然伽马测井仪器对同一测量对象的测量获得相同结果, 从而克服自然伽马测井结果的差异性, 使自然伽马测井曲线具有可比性, 便于油田内部及各油田之间资料对比和定量解释。

[0181] (4) 搭建方位伽马工具面测量实验装置, 完成方位伽马工具面测量实验, 获得工具面实时值和方位伽马实际值。

[0182] 方位伽马工具面测量实验装置不仅具有如上所述的动态测量实验装置的全部构件, 还可包括伽马源、伽马传感器和伽马数据处理模块。

[0183] 具体来讲, 伽马传感器设置在主轴上, 用于在主轴旋转过程中测量方位伽马信息。伽马源放置在试验台周围, 并能够向伽马传感器传递伽马信号。伽马数据处理模块安装在电路骨架上, 并被配置有伽马数据处理算法。

[0184] (5) 分析实验测量结果, 保证伽马数据处理算法能够有效解算出工具面值, 能实现多扇区伽马成像测量。

[0185] 通过开启伽马源, 设置固定的不同转速, 可以计算出不同时刻的实际工具面解算值和方位伽马解算值, 通过对比测量解算的工具面实时值和方位伽马实际值来验证伽马数据处理算法的精确性。

[0186] 若工具面解算值与工具面实时值之间的误差小于或等于加速度计动态校正算法精度, 且, 方位伽马解算值与方位伽马实际值之间的误差小于或等于伽马数据处理算法精度, 则认为当前的伽马数据处理算法验证合格, 能够用于处理伽马信息。若工具面解算值与工具面实时值之间的误差大于加速度计动态校正算法精度, 则调整加速度计动态校正算法; 若方位伽马解算值与方位伽马实际值之间的误差大于伽马数据处理算法精度, 则调整加权窗函数, 并重复步骤 (1) 至 (3)。

[0187] 伽马数据处理算法的解算精度的取值范围可为: $-2 \leq \Delta GR \leq +2$, 其中 ΔGR 为伽马数据处理算法中方位伽马值的解算精度, API。

[0188] 例如, 参考表 1-5 和图 8 所采集的数据验证结果可知, 利用本示例的加速度计动态校正算法的工具面值与实测值误差很小, 基本分布在 0.3 度以内, 满足方位伽马分扇区要求, 可以用于处理方位伽马信息。

[0189] 如图 10 所示, 可将方位伽马信息采集值按照 4 个扇区进行分配, 利用加权窗算法对方位伽马信息采集值进行初步加权处理, 从而获得方位伽马解算值。

[0190] 同时, 20API 环境下, 在图 10 中所示的扇区 3 的位置附近放置一个高放射性伽马源, 完成方位伽马工具面测量实验, 获得工具面实时值和方位伽马实际值。

[0191] 图 11 为方位伽马工具面测量实验的测量结果, 图 11 中的曲线 A 表示扇区 1 的方位伽马实时值, 曲线 B 表示扇区 2 的方位伽马实时值, 曲线 C 表示扇区 3 的方位伽马实时值, 曲线 D

表示扇区4的方位伽马实时值。利用方位伽马工具面测量实验获得的数据验证上述伽马数据处理算法,结果如图11所示。可以看出,扇区1、2、4的方位伽马实时值均为20API左右,这与实际的20API环境相吻合,而扇区3的方位伽马实时值为38API,这与放置的高放射性伽马源的伽马值误差很小。

[0192] 测量结果表明,伽马数据处理算法能有效解算出方位伽马值,从而能实现多扇区伽马成像测量。

[0193] 综上所述,本发明的有益效果包括以下内容中的至少一项:

[0194] (1) 本发明设计了旋转状态下工具面的测量算法,能够实现对动态工具面的实时高精度测量。

[0195] (2) 本发明利用动态井斜试验装置对校正后的处理数据进行验证,保证了校正后的处理数据的真实可靠性,有助于使得动态井斜算法精度能够满足仪器设计指标要求,以便实施下一步钻井施工工作。

[0196] (3) 本发明能够计算伽马传感器的工具面,提高了方位伽马数据测量的准确性,有助于增强近钻头随钻测量系统井眼轨迹控制能力(造斜、纠斜),使得地质参数描述更准确。

[0197] (4) 本发明利用方位伽马工具面解算试验装置对处理方位伽马数据进行验证,保证了伽马数据处理算法的真实可靠性。

[0198] (5) 本发明操作简单,可重复性高,有助于加强近钻头随钻测量系统井眼轨迹控制能力,提高储层钻遇率和采出率。

[0199] 尽管上面已经结合示例性实施例及附图描述了本发明,但是本领域普通技术人员应该清楚,在不脱离权利要求的精神和范围的情况下,可以对上述实施例进行各种修改。

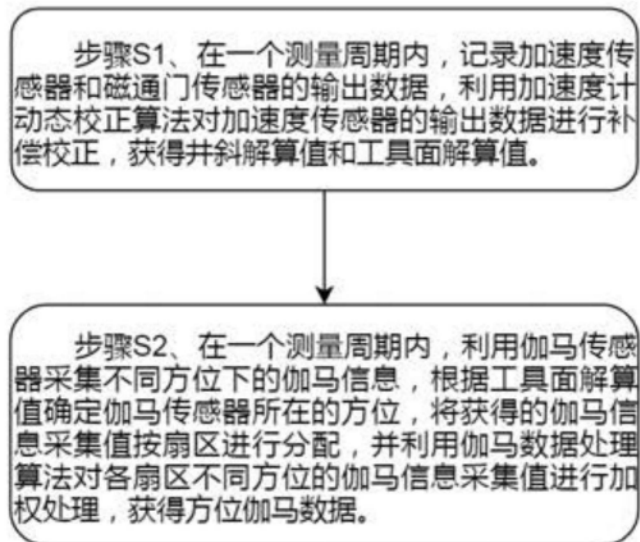


图1

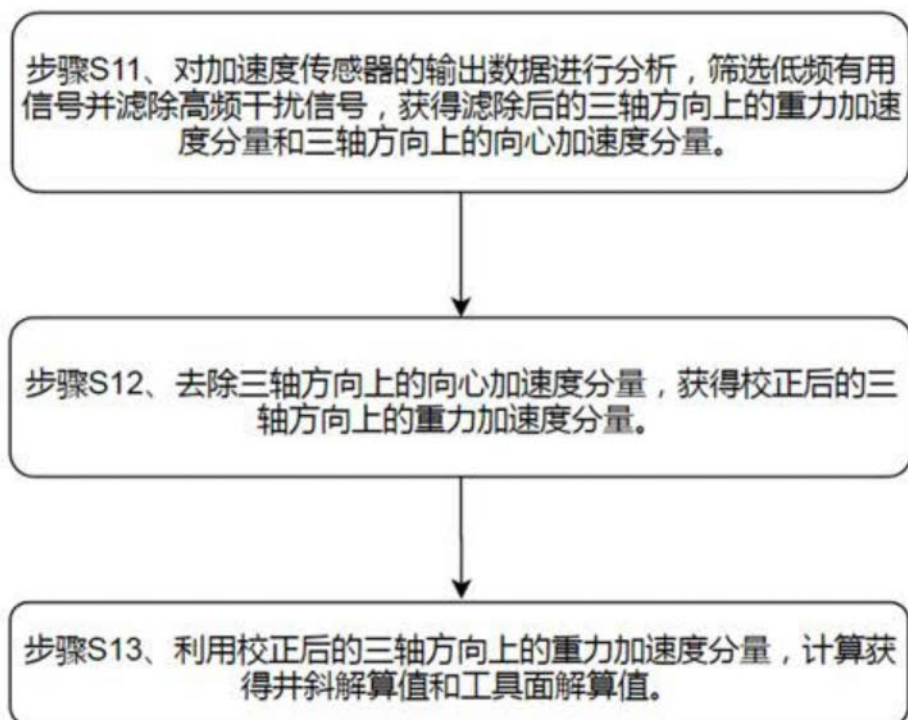


图2

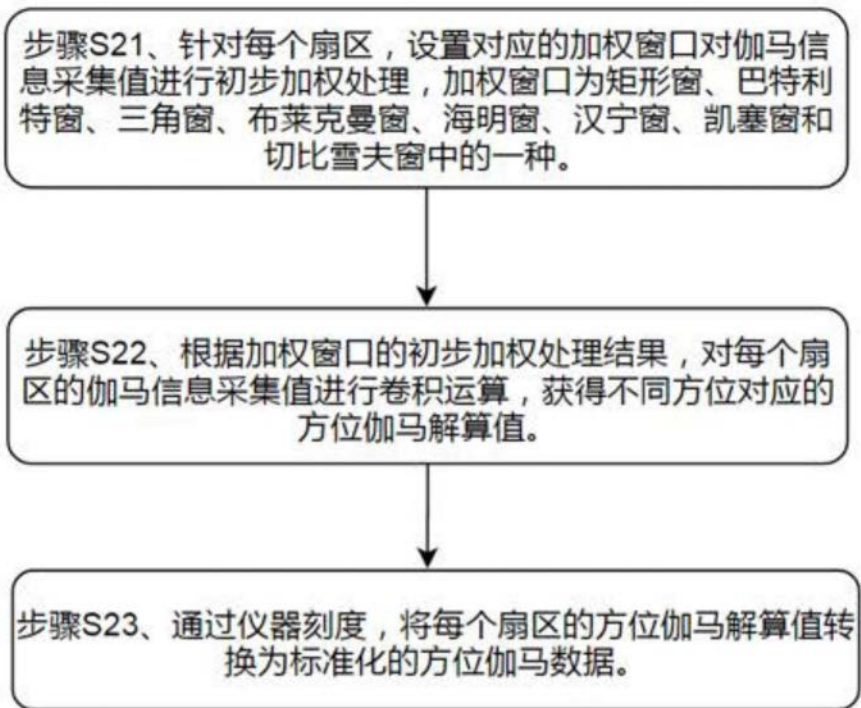


图3

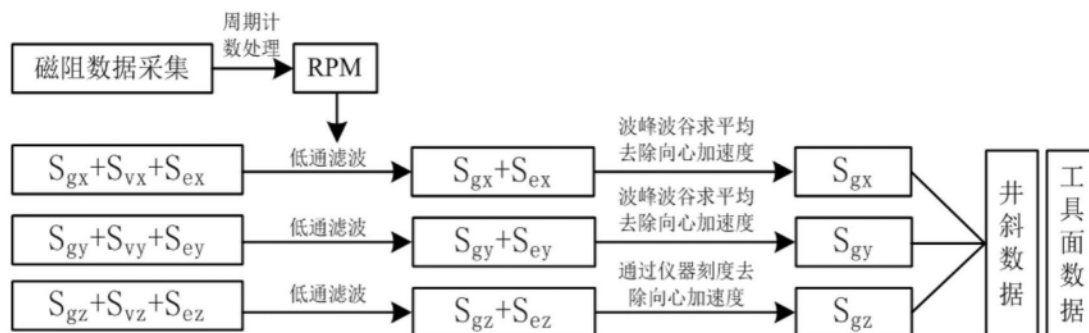


图4

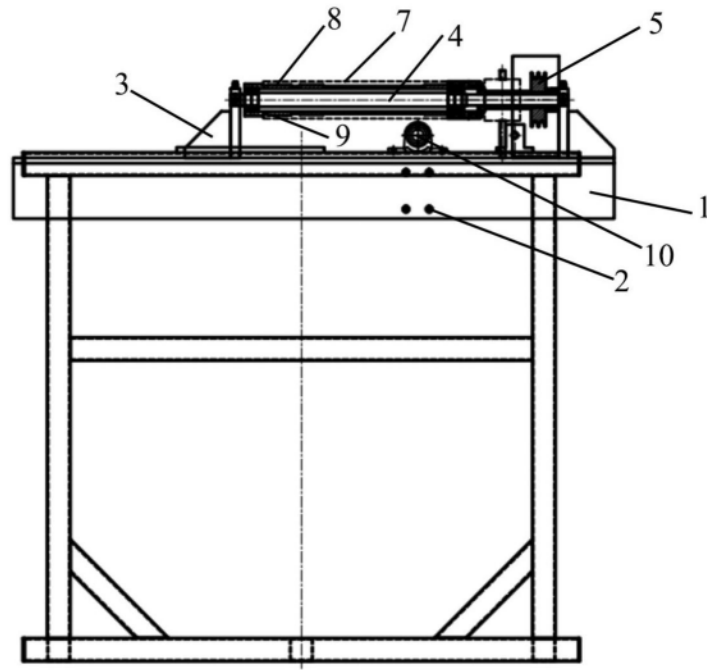


图5

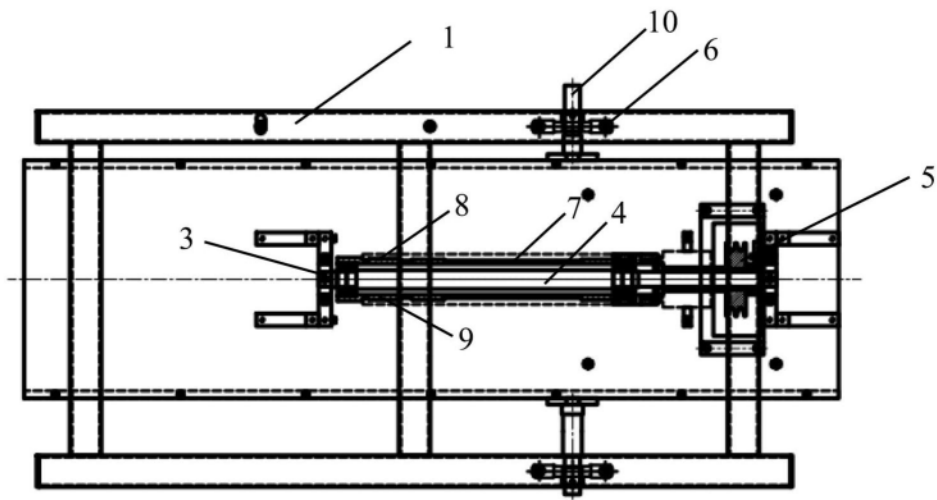


图6

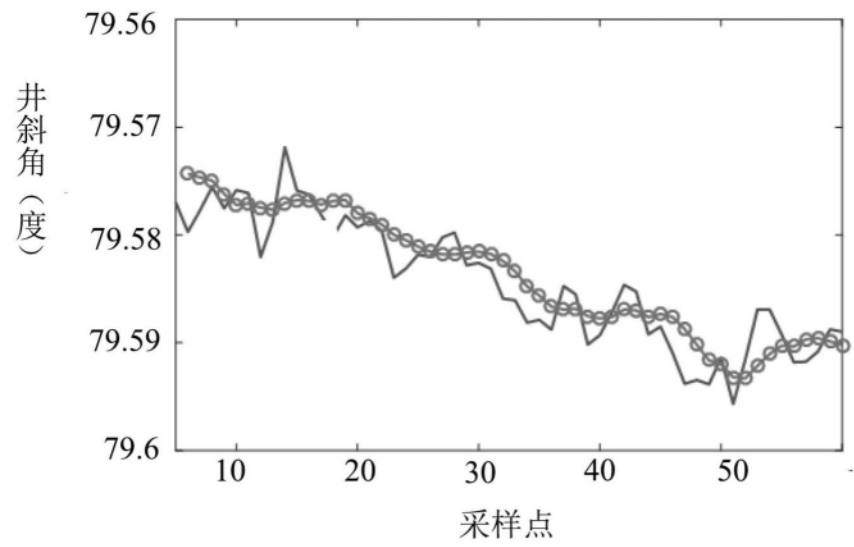


图7

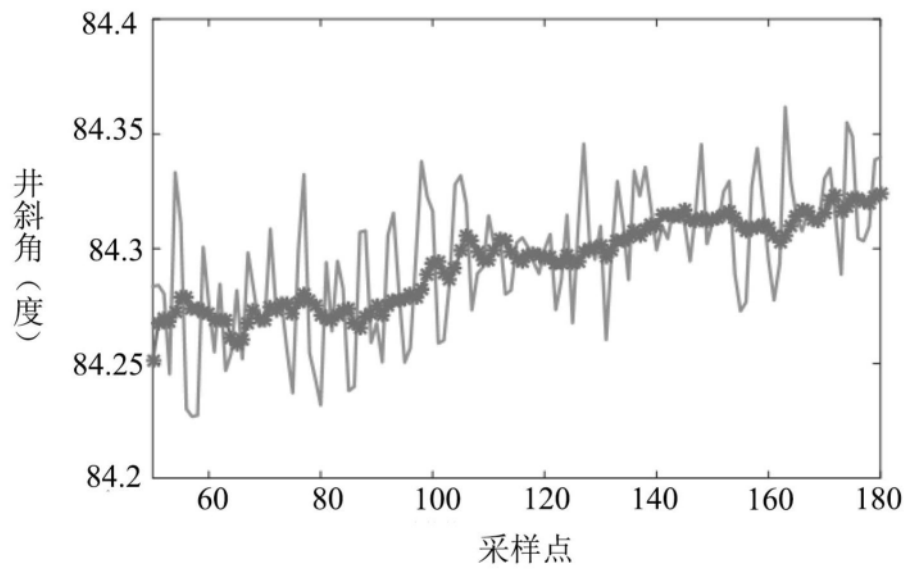


图8

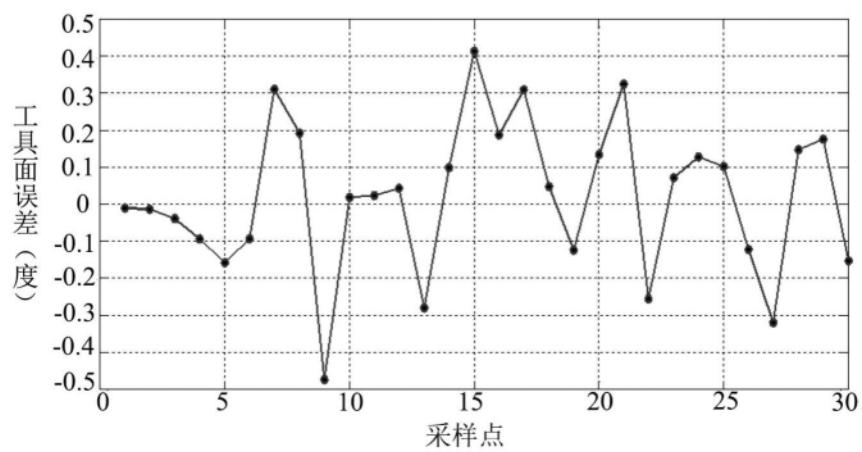


图9

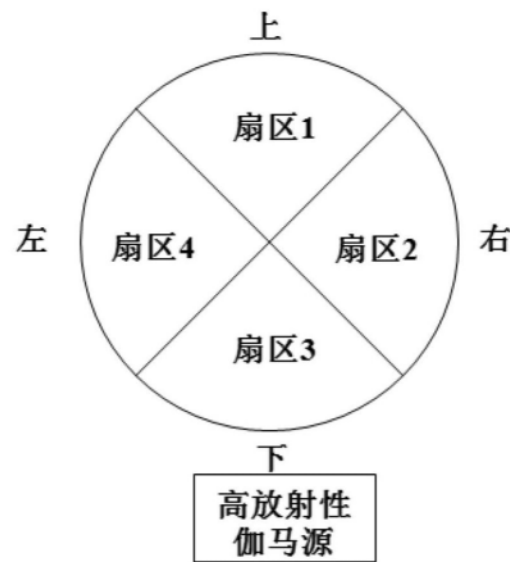


图10

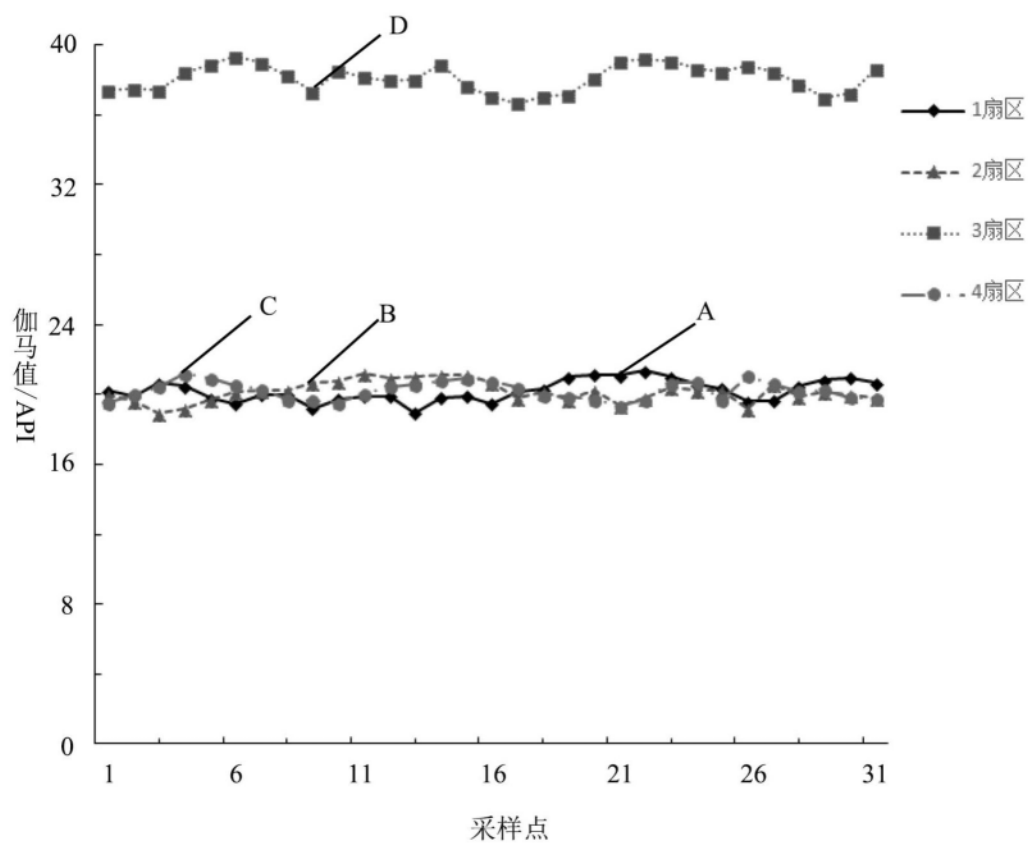


图11