



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112228035 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 30

(21) 申请号 202011097145.X

E21B 47/022 (2012.01)

(22) 申请日 2020.10.14

E21B 47/024 (2012.01)

E21B 47/18 (2012.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112228035 A

(43) 申请公布日 2021.01.15

(73) 专利权人 长江大学

地址 434020 湖北省荆州市荆州区南环路1号

(72) 发明人 冯定 张红 王鹏 施雷 林德树

(74) 专利代理机构 荆州市亚德专利事务所(普通合伙) 42216

专利代理师 周宗扬

(56) 对比文件

CN 102383777 A, 2012.03.21

CN 102493766 A, 2012.06.13

CN 102913131 A, 2013.02.06

CN 103556945 A, 2014.02.05

CN 106761686 A, 2017.05.31

CN 109653733 A, 2019.04.19

US 2010175922 A1, 2010.07.15

US 2015167392 A1, 2015.06.18

审查员 蒋福宗

(51) Int. Cl.

E21B 44/00 (2006.01)

E21B 7/04 (2006.01)

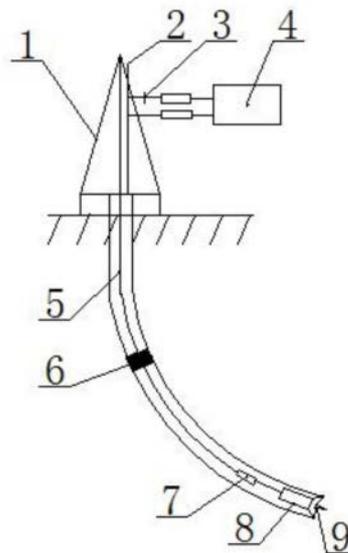
权利要求书2页 说明书9页 附图10页

(54) 发明名称

基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制方法

(57) 摘要

本发明涉及一种控制方法,具体涉及一种基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制方法。该方法包括如下步骤:参数下传、确定偏置矢量、偏心闭环控制、井身参数闭环控制。该方法在钻井作业时,不需要频繁起下钻就可以实现三维井眼轨迹控制,且具有机械钻速高、井眼清洁效果好、井眼轨迹控制精度和灵活性高、起下钻次数少、井眼质量高、安全性高等优点,适合于我国复杂油气藏中深井、超深井、超薄油层水平井及非常规油气井等特殊工艺井开发形势的需要,能精确控制井眼轨迹,克服了现有控制方法不能闭环控制、不能去除干扰信号的缺陷。



1. 一种基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制工具,包括如下步骤:

1)、参数下传

a、通过导向参数动态增量编码的方法对井身参数进行编码,编码完成后通过钻井液脉冲将井身参数下传至工具控制器;

b、工具控制器接收钻井液脉冲信号后,通过初始阈值确定、峰值检测、阈值更新对脉冲信号进行解码;

2)、确定偏置矢量

a、根据姿态传感器的检测数值和解码后的井身参数,计算工具面角以及偏置量;

b、根据偏置量计算偏心环旋转角度;

3)、偏心环转动角度闭环控制

a、通过角度传感器测得偏心环角度的输出量,并根据预设角度和角度输出量之间的差值控制电磁离合器开合,使偏心环转动至步骤2)中的偏心环旋转角度而对偏心环旋转角度闭环控制;

4)、井身参数闭环控制

a、通过传感器测得实际的井斜、方位、工具面角度与预设井身参数进行对比;

b、根据对比结果重复步骤2)和3)对井眼轨迹进行补偿修正而对井身参数进行闭环控制;所述的初始阈值确定包括以下步骤:井底流量传感器按时间段分组对钻井液流量信号进行检测,通过计算每组数据中差分最大的值,去除其中的最大和最小值,保留的数据记为 $[d_1, d_2, d_3]$,其中用 \bar{D} 表示其算术平均值,初始差分阈值上限的计算为 $Th_1 = 0.8\bar{D}$,初始差分阈值下限的计算为 $Th_2 = 0.3\bar{D}$,初始差分阈值上限数组为 $TH_1 = [0.8\bar{D}, 0.8\bar{D}, 0.8\bar{D}]$,初始差分阈值下限数组为 $TH_2 = [0.3\bar{D}, 0.3\bar{D}, 0.3\bar{D}]$;分别遍历5组数据求得每组数据的幅度最大值,去除其中的最大和最小值,保留的数据标记为 $[a_1, a_2, a_3]$,其中用 \bar{A} 表示其算术平均值;初始幅度阈值上限的计算为 $Th_3 = 1.3\bar{A}$,初始幅度阈值下限为 $Th_4 = 0.3\bar{A}$,初始幅度阈值上限数组为 $TH_3 = [1.3\bar{A}, 1.3\bar{A}, 1.3\bar{A}]$,初始幅度阈值下限数组为 $TH_4 = [0.3\bar{A}, 0.3\bar{A}, 0.3\bar{A}]$;通过初始阈值进行峰值检测:通过不断迭代求解得到动态的差分阈值和幅度阈值其目的是为了为了使不平整的钻井液脉冲信号曲线的幅值限定在一条直线上,超过或低于这条直线的幅值将舍去,而便于波峰波谷的检测;

所述的峰值检测包括以下步骤:假设钻井液脉冲信号曲线任意连续三个点为 f_i, f_{i+1}, f_{i+2} ;通过 $f_i - f_{i+1} > Th_1$ 和 $f_{i+1} - f_{i+2} > Th_1$,可以判断 f_{i+1} 是否在钻井液脉冲的下降沿;通过 $f_{i+1} - f_i > Th_1$ 和 $f_{i+2} - f_{i+1} > Th_1$,可以判断 f_{i+1} 是否在钻井液脉冲的上升沿;结合前面下降沿和上升沿的判断,若 f_{i+1} 满足 $|f_{i+1} - f_i| < |Th_2|$ 和 $|f_{i+2} - f_{i+1}| < |Th_2|$,即符合差分阈值的脉冲数据峰值的特点,可以判断 f_{i+1} 是在钻井液脉冲信号的波峰或波谷上的某一点;至此可以找到一个符合下降沿特点的数据点 f_{i+1} ,再设 f_{i+1} 连续的两点为 f_{i+2} 和 f_{i+3} ;若满足 $|f_{i+2} - f_{i+1}| < |Th_2|$ 和 $|f_{i+3} - f_{i+2}| < |Th_2|$,则 f_{i+2} 可能为波谷脉冲值点,其幅度值记为 a_{new} ;采用幅度阈值判断 f_{i+2} 是否为脉冲波谷点,判断条件为 $|f_{i+3} - f_{i+2}| < |Th_2|$;若满足判断条件则 f_{i+2} 为波谷脉冲值点,此时需要更新幅度阈值下限数组为 $TH_4 = [0.3\bar{A}, 0.3\bar{A}, a_{new}]$,同时更新 $Th_4 = \overline{TH_4}$,若 f_{i+2} 不满足判断

条件则可以继续下一个检测点,根据上面的过程,不断迭代计算,直到找到波谷值点;或者计算条件结束,波谷值点为最后一个计算值;

所述的阈值更新包括以下步骤:通过不断检测新的钻井液脉冲波峰和波谷值点,将之前的阈值替换掉,进行下一次检测:

首先,假设任意连续的3个点为 f_i, f_{i+1}, f_{i+2} ,满足 f_{i+1} 差分阈值的脉冲数据下降的特点;计算 f_{i+1} 到 f_{i+2} 的差分最值,得到的中间结果为 d_{new} , f_{i+2} 幅度值记为 a_{new} ;由于当前是脉冲下降沿,所以需要更新差分阈值下限数组为 $TH_2 = [0.3\bar{D}, 0.3\bar{D}, d_{new}]$,同时更新 $Th_2 = \overline{\overline{TH_2}}$;同时更新幅度阈值下限数组为 $TH_4 = [0.3\bar{A}, 0.3\bar{A}, a_{new}]$,同时更新 $Th_4 = \overline{\overline{TH_4}}$;其次,假设任意连续的3个点为 f_i, f_{i+1}, f_{i+2} ,满足 f_{i+1} 差分阈值的脉冲数据上升沿的特点;计算 f_{i+1} 到 f_{i+2} 的差分最值,得到的中间结果为 d_{new} , f_{i+2} 幅度值记为 a_{new} ;由于当前是脉冲上升沿,所以需要更新差分阈值下限数组为 $TH_1 = [0.8\bar{D}, 0.8\bar{D}, d_{new}]$,同时更新 $Th_1 = \overline{\overline{TH_1}}$;同时更新幅度阈值下限数组为 $TH_3 = [1.3\bar{A}, 1.3\bar{A}, a_{new}]$,同时更新 $Th_3 = \overline{\overline{TH_3}}$;由于钻井过程中随钻进深度的变化,压力会出现波动,根据不同地层的情况不断更新阈值;采用动态阈值法分析干扰信号的幅度值,通过用干扰信号幅度值的动态修正,能够确保钻井液脉冲通信更稳定;检测出峰值之后,通过编码的各个持续时间,进而算出各项井下参数;

所述的偏心环角度闭环控制包括: θ_r 为偏心环预设角度输入量; e 为偏差; u_k 为电磁离合器的输入量,控制电磁离合器的开合; u 为电磁离合器的输出量; θ 为偏心环角度的输出量,由角度传感器测量得到;根据预设角度 θ_r 和角度输出量 θ 之间的差值 e ,由控制器控制电磁离合器开合,最后使偏心环动作。

基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种控制方法,具体涉及一种基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制方法。

背景技术

[0002] 由于不断地开采,石油开采难度也在一步步地增加,大位移井、超薄油层水平井、定向井等复杂结构井在油气勘探开采中所占比例越来越大,另一方面,开采难度的增加也使得成本大大增加,传统的钻井工具已不能满足要求,所以急需新的钻井工具既能满足这些复杂井开发的需要又能降低开采成本。

[0003] 基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制工具,是以钻杆旋转作为偏置机构动作的驱动动力,在偏置机构的作用下工具主轴被迫产生偏置,导致钻头与井眼轴线产生倾角从而进行导向钻井。井眼轨迹控制工具包括偏心机构以及与偏心机构相连的减速装置、电磁离合器、传感器和控制器,所述井眼轨迹控制工具偏置动力由钻杆提供,所述偏心机构由内环和外环组成,内环嵌套于外环内孔中,主轴嵌套于内环内孔中。其配套的井眼轨迹控制方法是通过钻井液脉冲的方式向控制器下传控制信号,而使控制器控制电磁离合器动作而控制偏心机构的内环和外环动作,进而实现偏转,其可以在钻井作业时,不需要频繁起下钻就可以实现三维井眼轨迹控制。但现有控制方法在控制过程由于其存在缺陷,如不能闭环控制、不能去除干扰信号等缺陷,往往不能精确控制井眼轨迹,井眼轨迹存在一定偏差,因此有必要对其改进,使其能精确控制井眼轨迹。

发明内容

[0004] 本发明的目的是:提供一种通过对解码方法、偏置矢量计算方法、传感器布置位置的合理设置,而能精确控制井眼轨迹,通过对偏转角度和测算偏转角度的闭环控制,而能进一步精确控制井眼轨迹,以解决现有控制方法不能对井眼轨迹精确控制问题的基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制方法。

[0005] 本发明的技术方案是:

[0006] 基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制工具,包括如下步骤:

[0007] 1)、参数下传

[0008] a、通过导向参数动态增量编码的方法对井身参数进行编码,编码完成后通过钻井液脉冲将井身参数下传至工具控制器;

[0009] b、工具控制器接收钻井液脉冲信号后,通过初始阈值确定、峰值检测、阈值更新对脉冲信号进行解码;

[0010] 2)、确定偏置矢量

[0011] a、根据姿态传感器的检测数值和解码后的井身参数,计算工具面角以及偏置量;

[0012] b、根据偏置量计算偏心环旋转角度;

[0013] 3)、偏心环转动角度闭环控制

[0014] a、通过角度传感器测得偏心环角度的输出量,并根据预设角度和角度输出量之间的差值控制电磁离合器开合,使偏心环转动至步骤2)中的偏心环旋转角度而对偏心环旋转角度闭环控制;

[0015] 4)、井身参数闭环控制

[0016] a、通过传感器测得实际的井斜、方位、工具面角度与预设井身参数进行对比;

[0017] b、根据对比结果重复步骤2)和3)对井眼轨迹进行补偿修正而对井身参数进行闭环控制。

[0018] 本发明的有益效果在于:

[0019] 该基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制方法在钻井作业时,不需要频繁起下钻就可以实现三维井眼轨迹控制,且具有机械钻速高、井眼清洁效果好、井眼轨迹控制精度和灵活性高、起下钻次数少、井眼质量高、安全性高等优点,适合于我国复杂油气藏中深井、超深井、超薄油层水平井及非常规油气井等特殊工艺井开发形势的需要,能精确控制井眼轨迹,克服了现有控制方法不能闭环控制、不能去除干扰信号的缺陷。

附图说明

[0020] 图1为本发明的导向状态示意图;

[0021] 图2为基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制工具的结构示意图;

[0022] 图3为本发明总体控制方案示意图;

[0023] 图4为本发明井身参数增量编码时序示意图;

[0024] 图5为本发明下传参数解码流程示意图;

[0025] 图6为本发明预设点与当前点位置关系示意图;

[0026] 图7为本发明主轴偏心位移示意图;

[0027] 图8为本发明井眼轨迹导向控制算法示意图;

[0028] 图9为本发明偏心环旋转角度闭环控制原理示意图;

[0029] 图10为本发明角度传感器安装示意图;

[0030] 图11为本发明基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制工具测控方案示意图。

[0031] 图中:1、井架,2、立管,3、传感器,4、控制器,5、钻杆,6、扶正器,7、MWD系统,8、井眼轨迹控制工具,9、钻头,10、芯轴,11、上端动密封装置,12、上端悬臂轴承,13、测控短节,14、外壳,15、上端联轴器,16、外环电磁离合器,17、外环谐波传动装置,18、内环,19、外环,20、内环谐波传动装置,21、内环电磁离合器,22、下端联轴器,23、下端球轴承,24、下端动密封装置。

具体实施方式

[0032] 该基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制方法包括如下步骤:

[0033] 该基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹的总体控制方案为:地面终端包括数据采集传输单元、地面计算分析模拟中心、指令下传单元;根据预设点以及当前点的数据,地面终端进行计算后,将导向控制指令下传到MWD,其中井身参数的下传主要包括编码与解码,主要采用导向参数动态增量编码方法;再通过通讯短节将指令传递到工具控制器,工具控制器根据指令以及姿态传感器的测量结果控制井眼轨迹控制工具9的偏心机构动作,使偏心环

到达指定位置;偏心环位置传感器将偏心环的当前位置角度反馈给控制器,控制器比较其与预定位置的差值,使偏心环再次转动,按此不断循环,直到偏差在要求的范围内;井筒中钻杆驱动钻头进行钻井,同时为井眼轨迹控制工具9偏置机构提供动力;井眼轨迹控制工具9的控制器根据地面下传的控制指令和井下传感器的测量数据控制井眼轨迹控制工具动作,实现导向(参考图1)。

[0034] 该井眼轨迹控制工具包括芯轴10、上端动密封装置11、上端悬臂轴承12、测斜短节13、上端联轴器15、外环电磁离合器16、外环谐波传动装置17、内环18、外环19、内环谐波传动装置20、内环电磁离合器21、下端联轴器22、下端球轴承23、下端动密封装置24和钻头9;钻柱的上端与钻杆5相连接,下端与芯轴10相连接;芯轴10为空心旋转轴,是整个工具的动力来源,芯轴10的动力是上端钻杆5提供的;上端动密封装置11安装在工具的最上端;在上端联轴器15的下端依次安装有外环电磁离合器16、外环谐波传动装置17和偏心机构;内环谐波传动装置20、内环电磁离合器21和下端联轴器22的安装位置与外环谐波传动装置17、外环电磁离合器16和上端联轴器15的安装位置是关于偏置机构对称,彼此之间的连接形式一致;下端球轴承23和下端动密封装置24安装在工具最下方。

[0035] 钻井导向参数指令的下传是通过钻井液脉冲沿着钻柱传输到井底钻头处的通讯短节处;钻井液是通过编码调制成脉冲波在钻柱中流动,井底接收端需要采用对应的解码算法进行解码,才能将钻井液脉冲信息转换成导向指令来执行。

[0036] 下传参数增量编码方法

[0037] 由于组合编码的方式传送数据值有限,且传输数据的效率低,同时在数据的接收端也没有校验码。在钻井导向控制中,无法更好地满足精准导向钻井的要求。因此本发明中提出了钻井导向参数动态增量值编码方法,来完成钻井导向参数的编码传输过程。根据设定的增量正负标志 s 和相对于前一次整体数据的差值为 Δd ,在传输前一次数据的基础上,其后的数据只需传输 Δd_s ,就可以通过公(2-1)来计算获得。

$$[0038] \quad \Delta d_s = s \times \Delta d \quad (2-1)$$

[0039] 接收到参数后,通过上一次的计算值 d_1 、增量数据值 Δd_s ,通过公式(1-2)可以计算可得的具体值。

$$[0040] \quad d_2 = d_1 + \Delta d_s \quad (2-2)$$

[0041] 在以上公式(2-2)中,通过传输信息的地面控制单元来设置增量正负标志 s ,采用动态增量数据主要是为了解决大量的重复数据传输,减少传输数据所占用的脉冲时间长度;采用动态增量值传输数据能够有效减少数据传输的量,提高传输系统效率。

[0042] 具体为:地面下传参数为井深、井斜、方位角,下传数据包为:同步字、指令类型、方位角、井斜角、井深和检验码,地面上以钻井液单位脉冲时间 T_p 的倍数按照表1的编码规则对数据包进行编码。编码后,可以得到7个脉冲的持续时间: t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 、 t_5 、 t_6 、 t_7 ,低脉冲持续时间 t_1 为同步字时间长度,高脉冲持续时间 t_2 表示方位角指令类型,低脉冲持续时间 t_3 表示方位角值,高脉冲持续时间 t_4 表示井斜角指令类型,低脉冲持续时间 t_5 表示井斜角值,高脉冲持续时间 t_6 表示井深,低脉冲持续时间 t_7 表示校验码;如表1所示, Φ 代表传输的方位角参数; Φ_1 为上一次的方位角度值; β 代表传输的井斜角参数; β_1 为上一次的井斜角度值;设定最大井深增量30米,直接通过脉冲时间来计算进尺值, ΔL 代表进尺值,单位米。需注意钻井

液单位脉冲时间 T_p 需按照钻井液特性选取,若选取时间较短,则会因钻井液流量变化速度无法与指令变化速度匹配,导致无法有效上传数据(参考图4)。

[0043] 下传参数解码方法

[0044] 解码的核心是识别出一个脉冲的持续时间,因此需要找出脉冲开始和结束的时间点;而井底设备接收到的脉冲信号存在大量的干扰信息,无法直接识别出脉冲信号,因此需对下传信号进行预处理,之后针对增量编码的钻井液脉冲信号进行峰值识别,从而确定出脉冲的始末位置点,进而确定脉冲持续时间,最后通过编码规则反解出地面发送指令;下传参数解码流程主要包括脉冲信号预处理过程和解码过程,预处理过程首先是读取实时抽样脉冲信号,再对其进行去噪处理,看数据是否存在延时,若不存在延时,则进行平滑处理;若存在延时,则先需修复去噪引起的延时,之后进行平滑处理;预处理之后的信号是标准的脉冲信号,结合动态差分阈值法进行峰值识别,确定出脉冲持续时间,最后根据指令时间反算出其对应的下传参数完成解码(如图5)。

[0045] 针对实际钻井液波的特点,采用动态提取钻井液脉冲信号峰值,并在其提取过程中依据阈值适时应用符号化信号近似匹配的方法检测钻井液脉冲信号干扰段,可以有效地提高钻井液波峰值的检测效率,具体过程可以分为初始阈值确定、钻井液脉冲波峰值检测和阈值的更新。

[0046] 初始阈值确定:井底流量传感器按时间段分组(如:5组)对钻井液流量信号进行检测,通过计算每组数据中差分最大的值,去除其中的最大和最小值,保留的数据记为 $[d_1, d_2, d_3]$,其中用 \bar{D} 表示其算术平均值,初始差分阈值上限的计算为 $Th_1 = 0.8\bar{D}$,初始差分阈值下限的计算为 $Th_2 = 0.3\bar{D}$;初始差分阈值上限数组为 $TH_1 = [0.8\bar{D}, 0.8\bar{D}, 0.8\bar{D}]$,初始差分阈值下限数组为 $TH_2 = [0.3\bar{D}, 0.3\bar{D}, 0.3\bar{D}]$;分别遍历5组数据求得每组数据的幅度最大值,去除其中的最大和最小值,保留的数据标记为 $[a_1, a_2, a_3]$,其中用 \bar{A} 表示其算术平均值;初始幅度阈值上限的计算为 $Th_3 = 1.3\bar{A}$,初始幅度阈值下限为 $Th_4 = 0.3\bar{A}$;初始幅度阈值上限数组为 $TH_3 = [1.3\bar{A}, 1.3\bar{A}, 1.3\bar{A}]$,初始幅度阈值下限数组为 $TH_4 = [0.3\bar{A}, 0.3\bar{A}, 0.3\bar{A}]$;通过初始阈值进行峰值检测:通过不断迭代求解得到动态的差分阈值和幅度阈值其目的是为了使得不平整的钻井液脉冲信号曲线的幅值限定在一条直线上,超过或低于这条直线的幅值将舍去,而便于波峰波谷的检测。

[0047] 峰值检测:假设钻井液脉冲信号曲线任意连续三个点为 f_i, f_{i+1}, f_{i+2} ;通过 $f_i - f_{i+1} > Th_1$ 和 $f_{i+1} - f_{i+2} > Th_1$,可以判断 f_{i+1} 是否在钻井液脉冲的下降沿;通过 $f_{i+1} - f_i > Th_1$ 和 $f_{i+2} - f_{i+1} > Th_1$,可以判断 f_{i+1} 是否在钻井液脉冲的上升沿;结合前面下降沿和上升沿的判断,若 f_{i+1} 满足 $|f_{i+1} - f_i| < |Th_2|$ 和 $|f_{i+2} - f_{i+1}| < |Th_2|$,即符合差分阈值的脉冲数据峰值的特点,可以判断 f_{i+1} 是在钻井液脉冲信号的波峰或波谷上的某一点;至此可以找到一个符合下降沿特点的数据点 f_{i+1} ,再设 f_{i+1} 连续的两点为 f_{i+2} 和 f_{i+3} 。若满足 $|f_{i+2} - f_{i+1}| < |Th_2|$ 和 $|f_{i+3} - f_{i+2}| < |Th_2|$,则 f_{i+2} 可能为波谷脉冲值点,其幅度值记为 a_{new} ;采用幅度阈值判断 f_{i+2} 是否为脉冲波谷点,判断条件为 $|f_{i+3} - f_{i+2}| < |Th_2|$;若满足判断条件则 f_{i+2} 为波谷脉冲值点,此时需要更新幅度阈值下限数组为 $TH_4 = [0.3\bar{A}, 0.3\bar{A}, a_{new}]$ 。同时更新 $Th_4 = \overline{TH_4}$,若 f_{i+2} 不满足判断条件则可以继续下一个检测点,根据上面的过程,不断迭代计算,直到找到波谷值点;或者计算条件结束,波谷值点为最后一个计算值。

[0048] 阈值更新:通过不断检测新的钻井液脉冲波峰和波谷值点,将之前的阈值替换掉,进行下一次检测:

[0049] 首先,假设任意连续的3个点为 f_i, f_{i+1}, f_{i+2} ,满足 f_{i+1} 差分阈值的脉冲数据下降的特点;计算 f_{i+1} 到 f_{i+2} 的差分最值,得到的中间结果为 d_{new}, f_{i+2} 幅度值记为 a_{new} ;由于当前是脉冲下降沿,所以需要更新差分阈值下限数组为 $TH_2 = [0.3\bar{D}, 0.3\bar{D}, d_{new}]$,同时更新 $Th_2 = \overline{TH_2}$;同时更新幅度阈值下限数组为 $TH_4 = [0.3\bar{A}, 0.3\bar{A}, a_{new}]$,同时更新 $Th_4 = \overline{TH_4}$ 。

[0050] 其次,假设任意连续的3个点为 f_i, f_{i+1}, f_{i+2} ,满足 f_{i+1} 差分阈值的脉冲数据上升沿的特点;计算 f_{i+1} 到 f_{i+2} 的差分最值,得到的中间结果为 d_{new}, f_{i+2} 幅度值记为 a_{new} ;由于当前是脉冲上升沿,所以需要更新差分阈值下限数组为 $TH_1 = [0.8\bar{D}, 0.8\bar{D}, d_{new}]$,同时更新 $Th_1 = \overline{TH_1}$;同时更新幅度阈值下限数组为 $TH_3 = [1.3\bar{A}, 1.3\bar{A}, a_{new}]$,同时更新 $Th_3 = \overline{TH_3}$;由于钻井过程中随钻进深度的变化,压力会出现波动,根据不同地层的情况不断更新阈值;采用动态阈值法分析干扰信号的幅度值,通过用干扰信号幅度值的动态修正,能够确保钻井液脉冲通信更稳定;检测出峰值之后,通过编码的各个持续时间,进而利用表1算出各项井下参数;

指令名称	脉冲类型	最大脉冲时间(秒)	指令说明
同步字	低脉冲	T_p	$t_1 = T_p$
方位角指令类型	高脉冲	$3 * T_p$	$\begin{cases} 3 * T_p & \text{完全参数 } \Phi = (t_3 - T_p) * 360 / T_p \\ 2 * T_p & \text{正增量值 } \Phi = \Phi_1 + (t_3 - T_p) * 360 / T_p \\ T_p & \text{正增量值 } \Phi = \Phi_1 - (t_3 - T_p) * 360 / T_p \end{cases}$
方位角	低脉冲	$2 * T_p$	由 t_2 和 t_3 的值计算
[0051] 井斜角指令类型	高脉冲	$3 * T_p$	$\begin{cases} 3 * T_p & \text{完全参数 } \beta = (t_3 - T_p) * 180 / T_p \\ 2 * T_p & \text{正增量值 } \beta = \beta_1 + (t_3 - T_p) * 180 / T_p \\ T_p & \text{负增量值 } \beta = \beta_1 - (t_3 - T_p) * 180 / T_p \end{cases}$
井斜角	低脉冲	$2 * T_p$	由 t_4 和 t_5 的值计算
井深	高脉冲	$2 * T_p$	$\Delta L = (t_6 - T_p) * 30 / T_p$
校验码	低脉冲	$2 * T_p$	$\begin{cases} T_p & (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6) / T_p \text{为偶数} \\ 2 * T_p & (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6) / T_p \text{为奇数} \end{cases}$

[0052] 表1 动态增量指令编码格式表

[0053] 确定偏置矢量

[0054] 根据姿态传感器和井身参数中的预设数值,计算工具面角以及偏置量,具体为:根据预设点和当前点两个位置的空间角度可以计算狗腿角 β ,可以计算工具面角 α ,其计算过程为:(参考图6)。

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \quad \Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 \quad \phi_m = \frac{\phi_2 + \phi_1}{2} \tag{3-1}$$

[0055]
$$\beta = \sqrt{\Delta\phi^2 + (\Delta\varphi \sin\phi_m)^2} \tag{3-2}$$

$$\alpha_{\pi} = \arccos\left(\frac{\cos\phi_1 \cos\beta - \cos\phi_2}{\sin\beta \sin\phi_1}\right) \tag{3-3}$$

[0056] 式中, $\Delta\varphi$ 为预设点和当前点方位角的差值, $\Delta\phi$ 为预设点和当前点井斜角的差

值, φ_m 为预设点和当前点井斜角的平均值, β 为狗腿角, α_{TF} 为计算出的工具面角通式。

[0057] 工具面角的范围是 $[0, 2\pi]$, 而余弦反函数的范围是 $[0, \pi]$, 因此工具面角需依条件进行取值:

$$\text{当 } -360^\circ < \varphi_2 - \varphi_1 < -180^\circ \text{ 时, } \alpha = \alpha_{TF}$$

$$\text{当 } -180^\circ < \varphi_2 - \varphi_1 < 0^\circ \text{ 时, } \alpha = 2\pi - \alpha_{TF}$$

[0058]

$$\text{当 } 0^\circ < \varphi_2 - \varphi_1 < 180^\circ \text{ 时, } \alpha = \alpha_{TF}$$

$$\text{当 } 180^\circ < \varphi_2 - \varphi_1 < 360^\circ \text{ 时, } \alpha = 2\pi - \alpha_{TF}$$

[0059] 再根据基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制工具的尺寸可以计算合偏置矢量的模值, 即合偏心量的大小。

$$[0060] \quad |e| = \frac{\beta(L^2 - L_1^2 - L_2^2)}{(L + L_1)} \quad (3-4)$$

[0061] 式3-4中, L_1 为上轴承到偏心环的距离, L_2 为下轴承到偏心环的距离, L 为两轴承之间的距离, $L = L_1 + L_2$, β 为狗腿角, 此处指的是钻头轴线与工具轴线之间的夹角, $|e|$ 为偏置量。

[0062] 由于工具外壳与岩层存在摩擦, 导致外壳发生旋转, 造成实际工具面角与计算工具面角产生偏差, 该偏差值为外壳旋转角度 ψ , 工具面角 α 由前面的计算可以得到, 外壳的旋转角度 ψ 则由集成的3轴重力加速计模块进行测量, 实际的工具面角为 $\theta = \alpha + \psi$ 。

[0063] 偏心环角度的计算

[0064] 基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制工具在钻井时, 根据预设点和当前点的位置参数可以确定偏置矢量, 将其分解成为内偏心环和外偏心环上的偏置矢量, 最后转化成内外偏心环的旋转角度。主轴偏心位移示意图如图7所示, 将合偏置矢量分解到x轴y轴可以得到下面的关系:

$$[0065] \quad e_x = e \cos \alpha = e_1 \cos \alpha_1 + e_2 \cos \alpha_2 \quad (4-1)$$

$$[0066] \quad e_y = e \sin \alpha = e_1 \sin \alpha_1 + e_2 \sin \alpha_2 \quad (4-2)$$

[0067] o 为外壳中心, A 代表主轴中心, B 代表外环内孔中心, e_1 为外偏心环的偏心量, e_2 为内偏心环的偏心量, e 为偏心环组的总偏心量。式4-1, 4-2中, e_x 为 e 在x轴上的投影, e_y 为 e 在y轴上的投影。 e_1 、 e_2 、 e 与x轴之间的夹角分别为 α_1 、 α_2 、 α (参考图7)。

[0068] 将内外偏心环的偏置量及位置角度合成后, 可以得到下面的关系, 即得到当前偏置矢量的表达式:

$$e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + 2e_1e_2 \cos(\alpha_2 - \alpha_1)} \quad (4-3)$$

[0069]

$$\alpha = \arctan \frac{e_1 \sin \alpha_1 + e_2 \sin \alpha_2}{e_1 \cos \alpha_1 + e_2 \cos \alpha_2} \quad (4-4)$$

[0070] 根据式4-1, 4-2以及 e 、 e_1 、 e_2 、 α 具体值可以得出内外偏心环的位置角度表达式, 如式4-5所示。

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= \alpha \pm \arccos\left(\frac{e}{6}\right) \\
 \alpha_2 &= \alpha \mp \arccos\left(\frac{e}{6}\right)
 \end{aligned}
 \tag{4-5}$$

[0072] 由式4-5可以看出,根据工具面角以及偏置量,可以得到两组不同的解;要保证能在最短的时间内达到目标点,所以对这两组解进行取舍。

$$\theta_{20} = \arctan k_2 - \arctan k_0 \tag{4-6}$$

$$\theta_{30} = \arctan k_3 - \arctan k_0 \tag{4-7}$$

$$\theta_1 = \arctan k_4 - \arctan k_1 \tag{4-8}$$

[0074] 式4-6、4-7、4-8中, k_0 为外环内孔中心初始点与坐标原点连线的斜率; k_1 为主轴中心初始点和坐标原点连线的斜率; k_4 为目标点与原点连线的斜率; k_2 和 k_3 为 k_0 、 k_1 代入主轴中心点轨迹方程后得到;比较 θ_{20} 和 θ_{30} 之间的大小,若同为正值,取较小的;若同为负值,取绝对值较大的;若一正一负,取正的;以钻杆正转为正方向;又因为 $\arctan x$ 的取值范围在 $0-180^\circ$ 之间,所以如果前面选定的 θ (θ_{20} 或 θ_{30})为正,外偏心环则按照正方向旋转 θ 角度,内偏心环则按照正方向旋转 θ_1 角度;如果前面选定的 θ 为负,外偏心环则按照正方向旋转 $\theta+360^\circ$ 角度,内偏心环则按照正方向旋转 θ_1+360° 角度。

[0075] 基于对合偏置矢量的分解,得出内外环转角,并眼轨迹导向控制算法由合成偏置矢量得出工具面角和偏置量,可以计算内外偏心环的给定角度,再结合三轴加速度传感器以及角度传感器的测量值便可以得出与预定值之间的差值,根据差值控制内外环动作;内外环动作后,角度传感器再次将测量结果反馈给工具控制器,再次得出差值,根据差值使内外环动作,不断循环,直到差值满足要求为止。

[0076] 偏心环角度闭环控制

[0077] 偏心环角度闭环控制原理:

[0078] θ_r 为偏心环预设角度输入量; e 为偏差; u_k 为电磁离合器的输入量,控制电磁离合器的开合; u 为电磁离合器的输出量; θ 为偏心环角度的输出量,由角度传感器测量得到;根据预设角度 θ_r 和角度输出量 θ 之间的差值 e ,由控制器控制电磁离合器开合,最后使偏心环动作。本工具采用的电磁离合器在启动时需要+24v的启动电压,而在启动后只需6v的维持电压,基于功耗的考虑,采用PWM(脉冲宽幅调制)控制电磁离合器的开关。传感器检测的角度与设定角度的偏差作为偏心环转角的控制参数。整个闭环控制的控制精度与检测精度有关,传感器检测精度与传感器本身的性能和安装方式有关。为提高检测精度,传感器采用差分安装方式,使检测精度控制在 1° ,为实现偏心环转角闭环控制奠定了基础(参考图9)。

[0079] 电磁离合器控制算法

[0080] 电磁离合器的工作状态决定了内、外环的旋转情况,因此,电磁离合器在什么情况下吸合,什么情况下断开对于整个系统的精确导向有着至关重要的作用,而决定电磁离合器的吸合与断开的因素是,角度给定值与角度实测值的偏差 e ,但并不是只要 $e>0$ 就需要吸合电磁离合器的,这就需要根据偏差 e 的不同,共设5种情况来决定电磁离合器的状态,参照表2对电磁离合器的控制进行计算:

偏心状态		电磁离合器控制信号
E>0	E >E ₀	1 (ON)
	E <E ₀	0 (OFF)
E=0		0 (OFF)
E<0	E <E ₀	0 (OFF)
	E >E ₀	1 (ON)

[0081] 表2电磁离合器控制算法

[0082] 表中 E =偏心环角度设定值-偏心环角度实测值;偏差零带($\pm E_0$)=实际允许的偏差范围值(根据经验,人为设定)。

[0083] 传感器的布置

[0084] 姿态传感器

[0085] 设X、Y、Z为三轴加速度计坐标系,其中Z轴与导向工具轴线平行并指向导向工具底部;X轴和Y轴都在仪器横截面上,X指向仪器的基准方向;Y轴与X轴垂直,三轴两两正交。

[0086] 井眼轨迹控制工具的工具面角可通过一个专用的测斜短节来完成:在测斜短节中计算工具面角只需要测量工具坐标系中的三轴方向上的分量,根据这三个加速度分量可计算出导向工具的工具面;因此,测斜短节安装在不旋转外壳上;又由于外壳旋转时只有一个平面会发生变化,当外壳转动时,只需测量重力加速度在Z轴方向上分量,就可得出工具面角;测斜短节的轴线与工具重力方向高边(工具未偏心的初始状态)平行;将测斜短节装在仪器坐标的Z轴方向(参考图10)。

[0087] 角度传感器

[0088] 整个测量齿轮的机械角为 360° ,共有45对齿,通过定位销孔与偏心环连接,跟随偏心环一起旋转;主轴从测量齿轮中心孔中通过,孔尺寸略大于主轴尺寸,因为偏置过程中主轴要发生弯曲;角度传感器安装在不旋转外壳上,采用霍尔传感器KMI16/1实现偏心环转角测量,芯片内含高性能磁钢、磁敏电阻传感器和IC。它利用IC完成信号变换功能,当磁力线被屏蔽(分流),无法到达霍尔IC,此时霍尔IC输出跳变为低电平,其输出的电流信号频率与被测转速成正比,电流信号的变化幅度为 $7 \sim 14\text{mA}$;由于其外围电路比较简单,因而很容易配二次仪表测量转速;抗干扰能力强,同时具有方向性,它对轴向振动不敏感,工作温度范围宽达 $-40^\circ\text{C} \sim +150^\circ\text{C}$;KMI16/1传感器具有灵敏度高、测量范围宽、抗干扰能力强、外围电路简单等优点;其体积较小,最大外形尺寸为 $8\text{mm} \times 6\text{mm} \times 21\text{mm}$,能可靠固定在齿轮附近;另外,KMI16/1传感器芯片内部还有电磁干扰(EMI)滤波器、电压控制器以及恒流源,从而保证了其工作特性不受外界因素的影响(参考图11)。

[0089] 基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制工具测斜方案

[0090] 地面控制装置根据需要设定井眼轨迹参数,数据下传至MWD控制器;MWD控制器经过通讯终端将下传指令传到工具控制器中;工具控制器需要根据收到的指令以及传感器的检测数据控制偏心环的转动;其中偏心环转角是依靠偏心环转角传感器进行测量,根据地面监测系统设定的工具面角和偏置量,分解计算出偏心环内环和偏心环外环的相对旋转角度,要实现精确的控制首先取决于精确的测量,即偏心环转角的控制与检测息息相关;控制短节部分是完成井下偏心环转角闭环控制的重要部分,控制短节将地面监控系统下传的预

期偏心环转角的价值存入控制单元,通过控制电磁离合器的吸合,实现偏心环的相对转动来使主轴在规定工具面内弯曲,达到造斜的目的,当检测到的角度与预定值存在偏差时,将偏差作为控制参数,控制电磁离合器来实现控制偏心环转角的目的;在钻进过程中,工具的外壳难免会产生转动从而造成方向上的偏差,通过安装于外壳上的测斜短节测出实际方向与目标方向的角度,利于补偿修正,减小误差;整个钻井系统实现了双闭环,首先实现了角度的井下小闭环,使偏心环旋转角度达到设定角度;其次实现了地下工程参数的大闭环,通过井斜、方位、工具面角的检测,重新计算偏心环转角,进行大闭环精确控制,最后实现钻头按设定轨迹钻进的目的。

[0092] 该基于钻杆驱动的指向式井眼轨迹控制方法在钻井作业时,不需要频繁起下钻就可以实现三维井眼轨迹控制,且具有机械钻速高、井眼清洁效果好、井眼轨迹控制精度和灵活性高、起下钻次数少、井眼质量高、安全性高等优点,适合于我国复杂油气藏中深井、超深井、超薄油层水平井及非常规油气井等特殊工艺井开发形势的需要,能精确控制井眼轨迹,克服了现有控制方法不能闭环控制、不能去除干扰信号的缺陷。

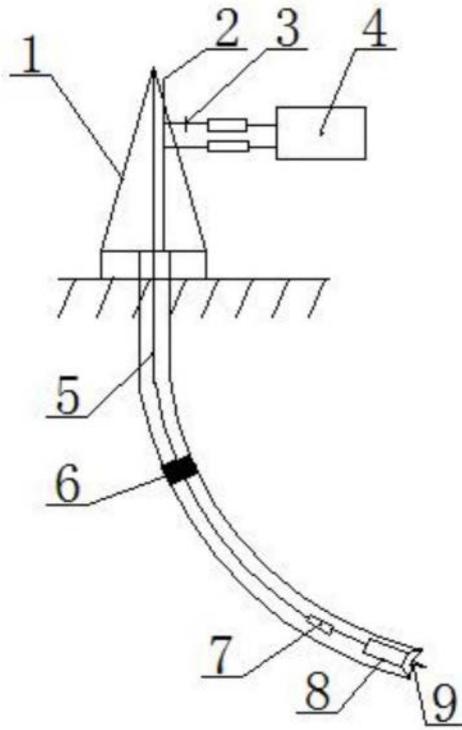


图1

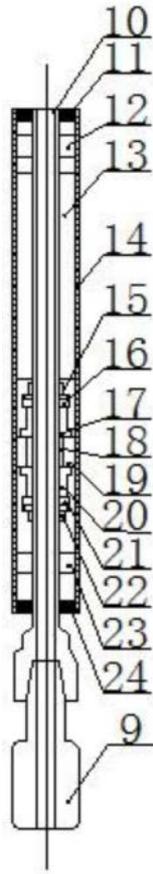


图2

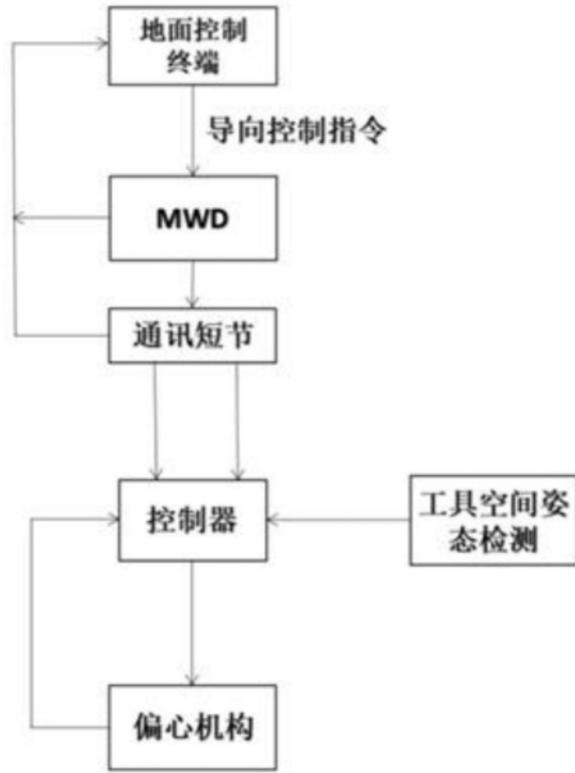


图3

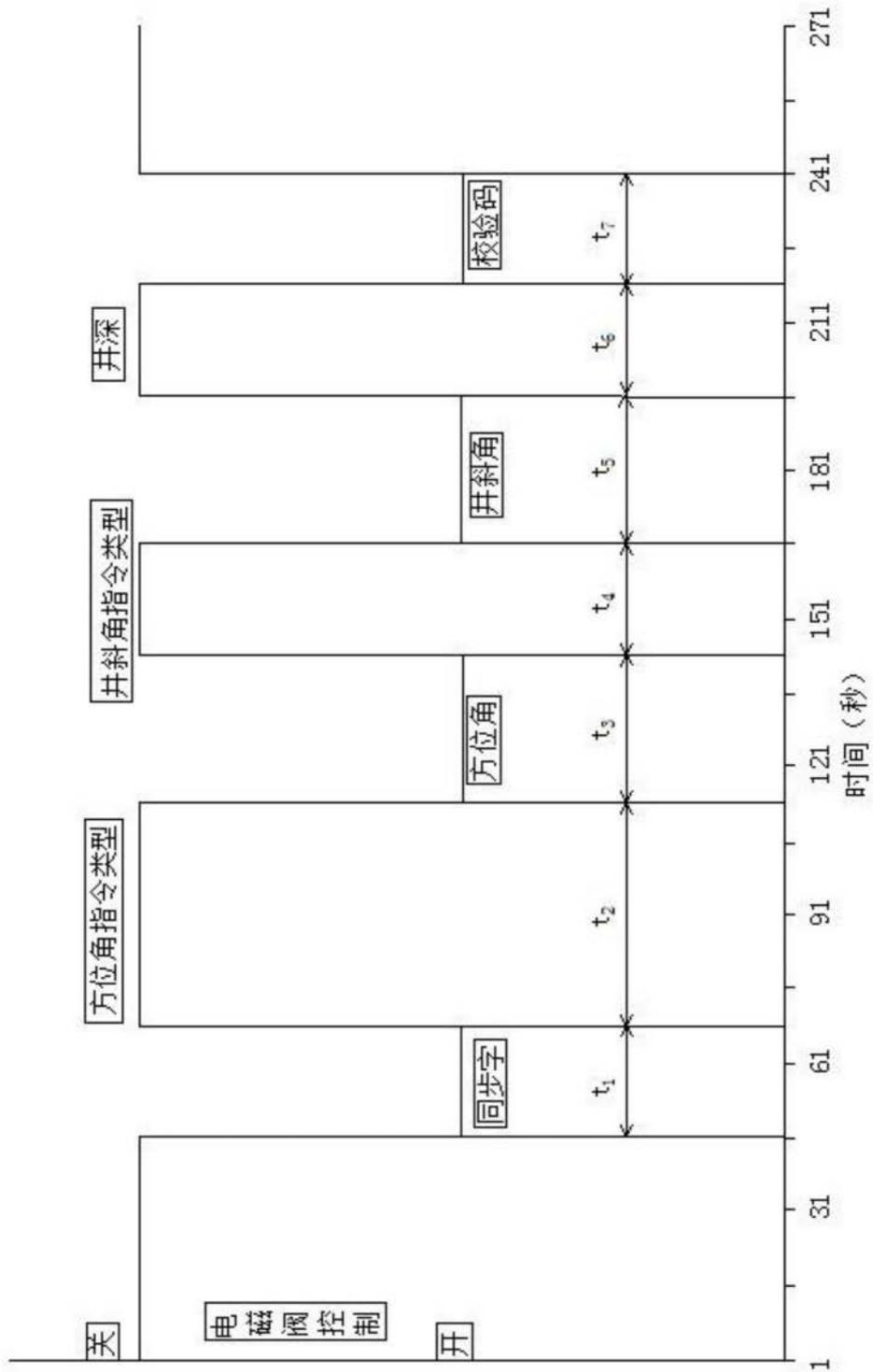


图4

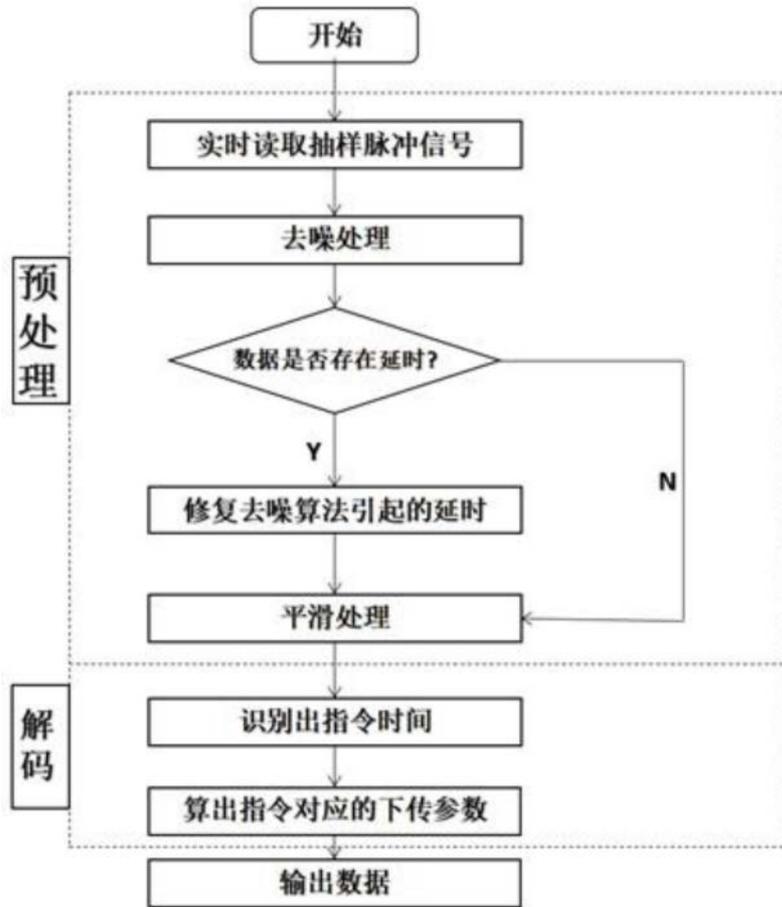


图5

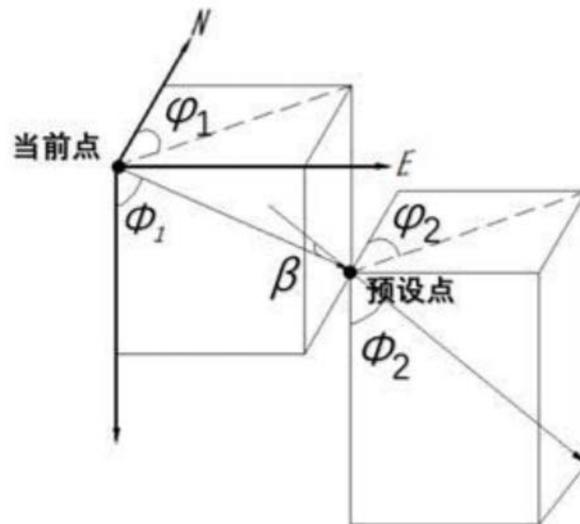


图6

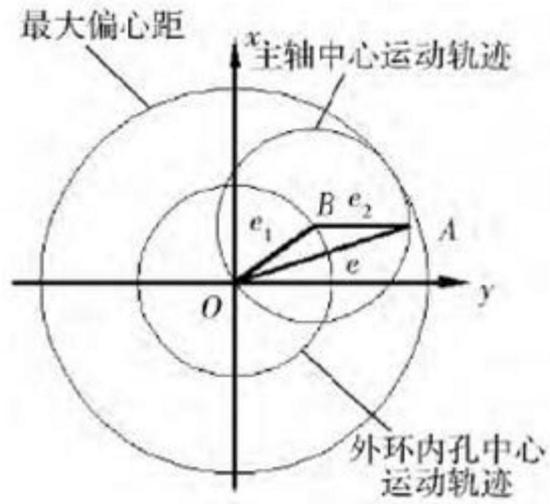


图7

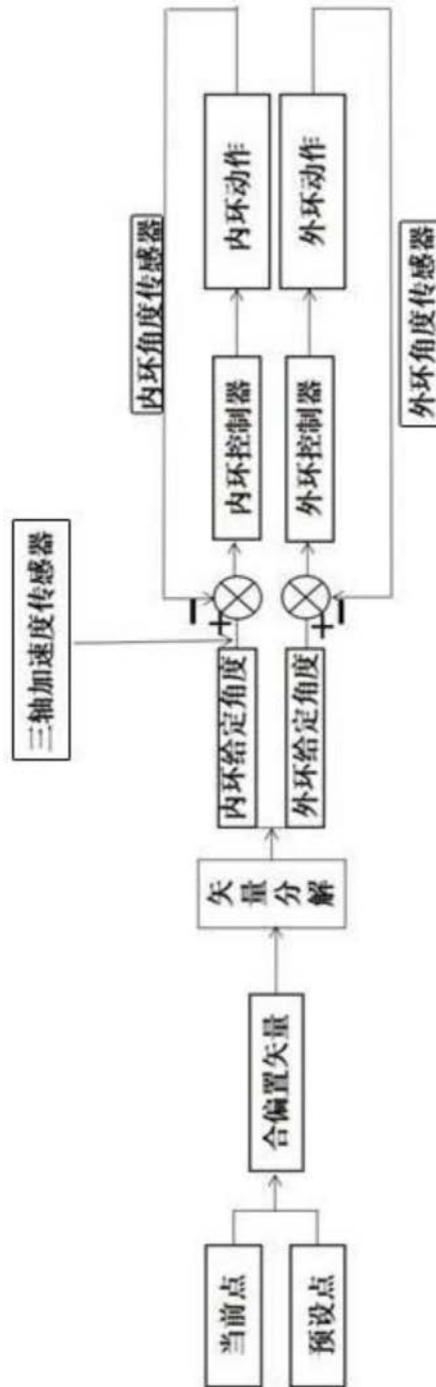


图8

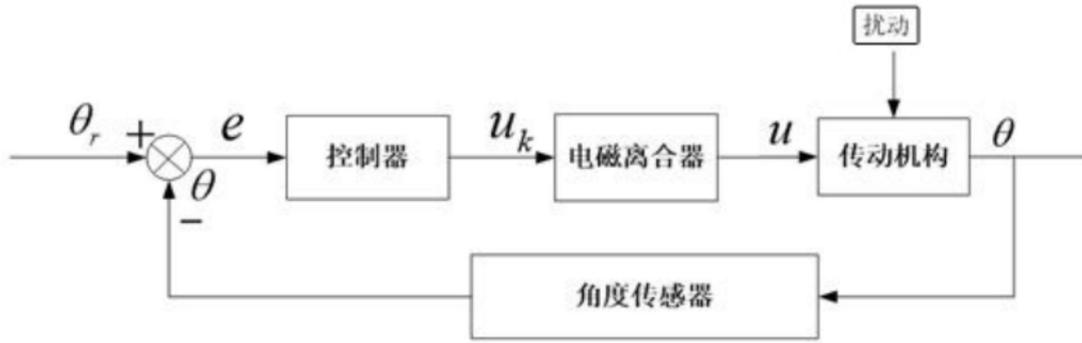


图9

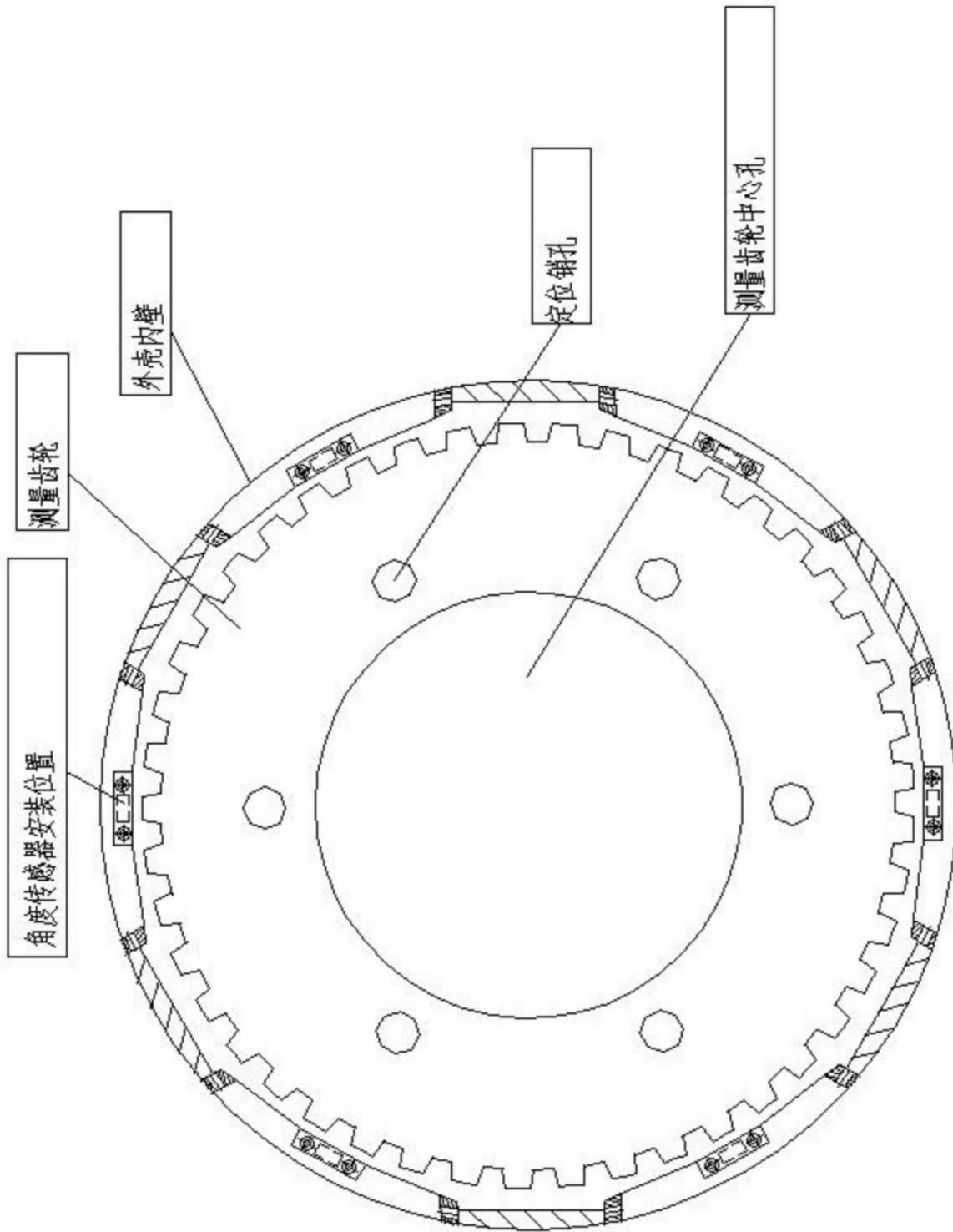


图10

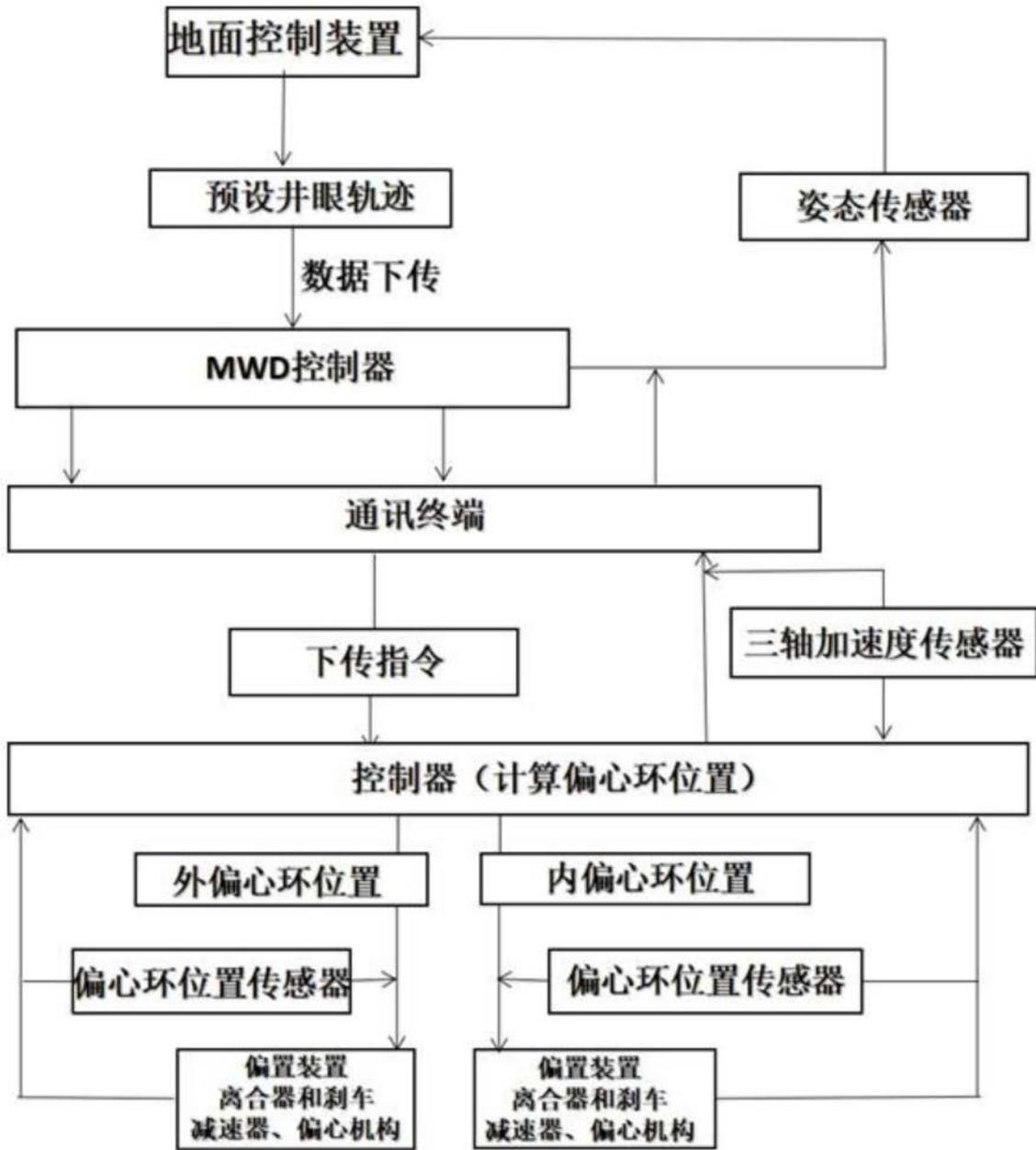


图11