



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105863623 A

(43)申请公布日 2016.08.17

(21)申请号 201610462636.7

(22)申请日 2016.06.23

(71)申请人 中国石油集团钻井工程技术研究院  
地址 102206 北京市昌平区黄河街5号院1  
号楼

(72)发明人 盛利民 艾维平 窦修荣 王鹏  
吕海川 张磊

(74)专利代理机构 北京天奇智新知识产权代理  
有限公司 11340

代理人 李振文

(51)Int.Cl.

E21B 47/26(2012.01)

E21B 47/12(2012.01)

G04R 20/04(2013.01)

G04G 7/00(2006.01)

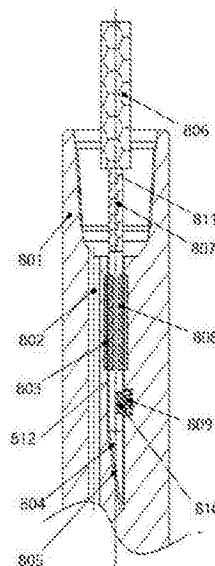
权利要求书1页 说明书11页 附图9页

(54)发明名称

一种用于随钻VSP测量的数据分时携带系统及方法

(57)摘要

本发明涉及一种数据分时携带系统及方法，属于地球物理勘探技术领域，具体涉及一种用于随钻VSP测量的数据分时携带系统及方法。包括：可相互对接的携带装置和VSP卡座；其中：所述携带装置包括：浮筒、控制存储电路、以及与控制存储电路相连的携带装置耦合线圈和霍尔传感器；所述VSP卡座位于VSP测量工具本体上，其包括：与所述携带装置耦合线圈相配合的VSP侧耦合线圈，与所述霍尔传感器相配合的磁体。因此，本发明具有如下优点：(1)能够分时读取井下VSP数据，保障了随钻VSP系统实时测量的优势；(2)能够携带精确的时间信息，用于校对井下VSP时钟产生的误差，提高了测量精度。



1. 一种用于随钻VSP测量的数据分时携带系统,其特征在於,包括:可相互对接的携带装置和VSP卡座;其中:

所述携带装置包括:浮筒(806)、控制存储电路(807)、以及与控制存储电路(807)相连的携带装置耦合线圈(808)和霍尔传感器(810);

所述VSP卡座位于VSP测量工具体(801)上,其包括:与所述携带装置耦合线圈(808)相配合的VSP侧耦合线圈(803),与所述霍尔传感器(810)相配合的磁体(809)。

2. 根据权利要求1所述的一种用于随钻VSP测量的数据分时携带系统,其特征在於,

所述携带装置包括设置有携带装置耦合线圈(808)和霍尔传感器(810)的杆状本体(811),所述杆状本体(811)的上端连接浮筒(806),下端设置有携带侧导向装置;

所述VSP卡座设有用于容纳所述杆状本体(811)的对接腔(812),所述对接腔(812)的底部设置有与所述携带侧导向装置相配合的VSP侧导向装置;所述对接腔(812)上设置有VSP侧耦合线圈(803)和磁体(809);

当所述杆状本体(811)到达对接腔(812)底部后,所述携带装置耦合线圈(808)与VSP侧耦合线圈(803)相耦合,所述霍尔传感器(810)与所述磁体(809)相耦合。

3. 根据权利要求1所述的一种用于随钻VSP测量的数据分时携带系统,其特征在於,所述携带侧导向装置、VSP侧导向装置是相互相合的导向斜面。

4. 根据权利要求1所述的一种用于随钻VSP测量的数据分时携带系统,其特征在於,所述VSP卡座上设置有用于和携带装置耦合的对接腔(812),所述对接腔(812)旁设置有泥浆通道(802),所述携带装置上设置有用于连通所述对接腔(812)和泥浆通道(802)的导流孔。

5. 一种用于随钻VSP测量的数据分时携带方法,其特征在於,包括:通过地面泵压将数据携带装置压入井底并与VSP测量工具对接后进行数据交换,利用与携带装置相连的浮力装置将数据携带装置浮出至井口,从携带装置中取出数据。

6. 根据权利要求5所述的一种用于随钻VSP测量的数据分时携带方法,其特征在於,当数据携带装置与VSP测量工具对接后,根据安装于数据携带装置上的霍尔传感器是否感知到安装于VSP测量工具上的磁体来判断对接是否成功,在判断对接成功后进行数据交互;在判断对接失败后,不进行数据交互。

7. 根据权利要求5所述的一种用于随钻VSP测量的数据分时携带方法,其特征在於,将数据携带装置与地面时钟进行同步后再压入井底与VSP测量工具对接,在数据交互时,数据携带装置将时间同步信息发送至VSP测量工具,VSP测量工具根据时间同步信息校准自身时间。

## 一种用于随钻VSP测量的数据分时携带系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种数据分时携带系统及方法,属于地球物理勘探技术领域,具体涉及一种用于随钻VSP测量的数据分时携带系统及方法。

### 背景技术

[0002] 随着油气勘探开发难度的加大,垂直地震剖面(Vertical Seismic Profiling, VSP)随钻测量技术的应用价值日益凸现,尤其是其地层前探功能,探测范围远大于其他随钻测井工具。深井超深井碳酸盐溶洞精确定位和高压地层的卡层等问题目前仍难以解决。例如,有关数据表明,塔里木地区塔北地区溶洞一次钻井成功率为59.5%,利用随钻VSP工具对该地区失利井进行二次定位,可使溶洞的钻遇率将提高至85%,潜山深度定位误差小于1%,显著降低钻探风险,节约钻井作业成本,并提高钻井时效。

[0003] 随钻VSP是一种井中地震观测技术,它以电缆VSP技术为基础,将地震波检测、数据采集与存储等仪器集成到井下钻具上,在不影响正常钻井作业情况下,实时测量并记录地面震源产生的地震波经地层透射、反射后的信号,从而获取随钻VSP数据,通过对测量结果的走时、极性、相位、幅值等分析,得到钻头前方地层的界面深度、地层剖面以及岩石属性等,其探测范围可达钻头前数百米。与地面地震相比,由于随钻VSP数据在井底中获取,地震波传播路径相对较短,高频信号衰减较少,因此,具有信噪比高、分辨率高,以及运动学、动力学特征明显等优势。与常规电缆VSP相比,随钻VSP是在钻井作业接单根期间进行测量,不干扰钻井作业,占用钻机时间少,施工风险小,钻井成本低。此外,随钻VSP能同时接收到上行波和下行波,可用来为地面地震数据估算反褶积算子;多分量随钻VSP还可同时记录纵波及横波,实现多波多分量勘探。

[0004] 随钻VSP测量工具的关键技术是精确测量地震波单程旅行时间,然而井下恶劣环境中获得高精度时钟,是限制随钻VSP测量工具能否实际应用的关键因素,通常要求工作200小时后井下计时累计误差小于1ms,这对于常规的晶振而言,难以满足精确测量地震波旅行时间的需要。在钻进过程中井下传感器要承受强振动、冲击,需要设计特殊的安装结构方能满足随钻仪器的要求。震源激发的地震波经地层衰减达到井底后,VSP测量工具上的传感器与井壁的耦合效果对信号检测由决定性影响,

[0005] 此外,现有的地面与井下实时通信技术因数据传输速率限制,目前比较先进泥浆脉冲传输速率也只能达到3~5bps,其他如智能钻杆传输技术,尽管传输速率最高可达100kbps,但其在深井作业时的可靠性较低,成本较高,整个系统复杂庞大,不适用于实时传输随钻VSP全波场数据。由于随钻VSP系统测量的全波数据暂时保存于井下存储器中,无法进行实时上传,只能等到起钻后再将其导出,很大程度上限制了随钻VSP系统实时测量的特点。

[0006] 总而言之,如何确保VSP地震波传感器与井壁的耦合效果、传感器减震结构以及高精度井下时钟、井下测量数据的传输是随钻VSP技术需要克服的主要难题。

## 发明内容

[0007] 本发明主要是解决现有技术所存在的井下测量数据传输困难的技术问题,提供了一种用于随钻VSP测量的数据分时携带系统及方法。该系统及方法能够分时读取井下VSP数据,并且能够携带精确的时间信息,用于校对井下VSP时钟产生的误差。

[0008] 为了解决上述问题,根据本发明的一个方面,提供了一种用于随钻VSP测量的数据分时携带系统,包括:可相互对接的携带装置和VSP卡座;其中:

[0009] 所述携带装置包括:浮筒、控制存储电路、以及与控制存储电路相连的携带装置耦合线圈和霍尔传感器;

[0010] 所述VSP卡座位于VSP测量工具本体上,其包括:与所述携带装置耦合线圈相配合的VSP侧耦合线圈,与所述霍尔传感器相配合的磁体。

[0011] 优化的,上述的一种用于随钻VSP测量的数据分时携带系统,

[0012] 所述携带装置包括设置有携带装置耦合线圈和霍尔传感器的杆状本体,所述杆状本体的上端连接浮筒,下端设置有携带侧导向装置;

[0013] 所述VSP卡座设有用于容纳所述杆状本体的对接腔,所述对接腔的底部设置有与所述携带侧导向装置相配合的VSP侧导向装置;所述对接腔上设置有VSP侧耦合线圈和磁体;

[0014] 当所述杆状本体到达对接腔底部后,所述携带装置耦合线圈与VSP侧耦合线圈相耦合,所述霍尔传感器与所述磁体相耦合。

[0015] 优化的,上述的一种用于随钻VSP测量的数据分时携带系统,所述携带侧导向装置、VSP侧导向装置是相互相合的导向斜面。

[0016] 优化的,上述的一种用于随钻VSP测量的数据分时携带系统,

[0017] 所述VSP卡座上设置有用于和携带装置耦合的对接腔,所述对接腔旁设置有泥浆通道,所述携带装置上设置有用于连通所述对接腔和泥浆通道的导流孔。

[0018] 为了解决上述问题,根据本发明的一个方面,提供了一种用于随钻VSP测量的数据分时携带方法,包括:通过地面泵压将数据携带装置压入井底并与VSP测量工具对接后进行数据交换,利用与携带装置相连的浮力装置将数据携带装置浮出至井口,从携带装置中取出数据。

[0019] 优化的,上的一种用于随钻VSP测量的数据分时携带方法,当数据携带装置与VSP测量工具对接后,根据安装于数据携带装置上的霍尔传感器是否感知到安装于VSP测量工具上的磁体来判断对接是否成功,在判断对接成功后进行数据交互;在判断对接失败后,不进行数据交互。

[0020] 优化的,上的一种用于随钻VSP测量的数据分时携带方法,将数据携带装置与地面时钟进行同步后再压入井底与VSP测量工具对接,在数据交互时,数据携带装置将时间同步信息发送至VSP测量工具,VSP测量工具根据时间同步信息校准自身时间。

[0021] 因此,本发明具有如下优点:(1)能够分时读取井下VSP数据,保障了随钻VSP系统实时测量的优势;(2)能够携带精确的时间信息,用于校对井下VSP时钟产生的误差,提高了测量精度。

## 附图说明

- [0022] 附图1是随钻VSP测量原理示意图；
- [0023] 附图2是随钻VSP测量流程示意图；
- [0024] 附图3是随钻VSP测量工具示意图；
- [0025] 附图4是四分量VSP测量的地震波信号波形示意图；
- [0026] 附图5是随钻VSP测量传感器安装设备示意图；
- [0027] 附图6是钻具振动状态波形图；
- [0028] 附图7是推靠机构控制原理图；
- [0029] 附图8是数据携带器结构示意图；
- [0030] 附图9是数据携带器的数字信号控制电路结构示意图；
- [0031] 附图10是数据携带器工作流程图；
- [0032] 附图11是同步装置连接示意图；
- [0033] 附图12是时钟同步装置串行数据输出示意图；
- [0034] 附图13是时钟同步装置原理示意图；
- [0035] 附图14是井下信号测量与数据存储原理框图；
- [0036] 附图15是数据高速回放接口示意图；
- [0037] 附图16数据高速回放程序流程图；
- [0038] 附图17数据高速回放程序状态图。

## 具体实施方式

[0039] 下面通过实施例,并结合附图,对本发明的技术方案作进一步具体的说明。

[0040] 图中,井壁101、数据携带器102、VSP测量工具103、第一地层界面104、第二地层界面105、震源106、地面时钟同步装置107、直达波108、第一反射波109、第二反射波110、VSP耦合线圈301、信号发射电路302,第一水听器303、数据通信口304,精密时钟组件305、井下主控电路306、Z轴检波器307、X轴检波器308、电池筒309,第二水听器310,座卡机构311、信号接收电路312、数据存储电路313、信号采集电路314、Y轴检波器315、测量探头501、密封结构502、锁紧环503、检波器504、信号线505、传感器安装体506、油箱701、电磁阀702、,推力油缸703、推靠块704、溢流阀705、单向阀706、油泵707、无刷电机708、VSP测量工具本体801、泥浆通道802、VSP侧耦合线圈803、携带侧导向斜面804、VSP侧导向斜面805、浮筒806、控制存储电路807,携带装置耦合线圈808、,磁体809、霍尔传感器810、杆状本体811、对接腔812。

[0041] 实施例：

[0042] 1、系统结构

[0043] 如图1所示,本发明提出的四分量随钻VSP测量系统主要由地面震源、VSP井下测量工具、数据携带器、地面时钟同步装置以及数据处理系统等组成。其中井下VSP测量工具由分布在X、Y、Z轴向的三个检波器阵列、两个水听器、信号测量电路、数据采集与存储电路、信号接收与发射电路、系统电源监测电路、数据高速下载接口以及电池筒等组成。井下VSP测量系统如图3所示。

[0044] 井下VSP测量工具是整个测量系统的重要核心部分,其作用是采集井下接收的地

震波信号并自动提取初至波时间(校验炮时间),将地震波形数据保存于存储器中以便起钻后做进一步分析处理。随钻VSP数据是否有效依赖于井下测量工具与地面设备的精确同步,为此,井下测量系统选用高精度晶振源作为时间记录的基准,地面时钟则以GPS时钟作为参考时钟源,每隔1秒校对一次地面时钟,从而有效保证了测量结果的准确性。为了及时获取到井下测量数据,钻进过程中利用泵压将数据携带器压入井底,与VSP测量工具进行数据交互,快速读取测量数据以及每个炮点提取的初至波时间,利用该数据可得到时深转换关系,用于将时间域地震剖面转化到深度域,并可将钻头位置标注于地震剖面上,为钻井工程师提供决策依据。由于井下VSP测量工具工作于接单根间隔期间,井下钻具处于静止状态时,地面震源向地层激发地震波即放炮,三个轴向检波器同时测量到地震的纵波和横波,便于以后对数据处理做定量分析。而两个水听器接收的地震信号无方向性,用于计算出当前的震波速度及直达波与发射波做波场分离。

[0045] 在随钻VSP测量系统中,将震源放置地面井口附近,通常距离井口约50m左右。震源通常为可控震源,它是一种连续扫频振动的震源,频率范围约为10~100Hz,其优点是抗干扰能力强、重复性好。如图3所示,地面震源产生扫描信号 $az$ ,该信号 $az$ 同时被地面检波器测量并记录。井下安装于随钻VSP测量工具的检波器阵列测量到震源经过地层传输的初至波信号 $bz$ ,从震源产生信号 $az$ 到井下接收到信号 $bz$ ,所经历的时间为 $tz1$ 。震源信号 $az$ 向下继续传播到地层界面会产生反射波信号 $cz$ 和 $dz$ 。反射波信号 $cz$ 和 $dz$ 被井下检波器阵列接收到所用的走时为 $tz2$ 和 $tz3$ 。由于波信号 $bz$ 和反射波信号 $cz$ 和 $dz$ 都是被同一检波器阵列所检测记录到,信号 $bz$ 、 $cz$ 和 $dz$ 相互叠加在一起无法进行区分。因此,需要将震源扫描信号 $az$ 和信号 $bz$ 、 $cz$ 和 $dz$ 进行互相关运算处理得到信号 $fz$ 。信号 $fz$ 在时域上得到与时间 $tz1$ 、 $tz2$ 和 $tz3$ 相关的三个特征信号,分别对应初至波信号 $az$ 、反射波信号 $bz$ 和 $cz$ 。

[0046] 随钻VSP工具作业流程如图2所示,具体描述如下:

[0047] 钻前:井下工具同步地面时钟,并设置井下仪器的工作参数。钻中:①井下信号采集电路平时处于休眠状态,一旦自动检测到钻井作业停止,则开启井下采样模式,检测检波器接收的信号。②如果钻具处于静止状态,泥浆循环暂停,则激发地面震源。为避免井下仪器被钻具噪声激活,要对地震波入射能量的特征进行分析,确定是有效放炮信息后,将对下一炮的采集数据存储,并拾取初至波时间。③一旦自动检测到钻井作业开始,则将初至波时间及波形数据保存于存储器中,等待数据携带器读取,随后开启井下休眠模式。④地面系统利用初至波时间及时修正速度模型以及时深转换关系,并将钻头定位于地表地震剖面上,以便为制定钻井决策提供依据。钻后:起钻后将井下存储器中的全场波形采集数据导出,后期做VSP数据处理。

[0048] 2、传感器安装结构

[0049] 与电缆VSP相比,随钻VSP测量系统所使用的检波器和水听器要耐受井下强烈振动与冲击,其安装结构较为特殊。

[0050] 三个地震检波器分别安装于VSP工具本体上不同位置,相互呈X、Y、Z轴向正交关系。考虑到检波器在测量时要从本体上向外推靠至井壁,测量完成后收回到本体,故将三个检波器分别安装在三个推靠块内部型腔中。由于采用的检波器为速度型模拟检波器,其结构包括圆柱型永磁体、上下两个磁靴、线圈和线圈支架、对线圈起支撑作用的弹簧片等,整个检波器为一个单自由度惯性体。线圈支架上有两组相互反绕的线圈,外界磁场在线圈上

产生的噪声相互抵消。磁钢两端的磁靴确保磁场均匀分布,并增强了磁场强度。当震源激发地震波时,检波器外壳产生运动而使线圈在磁场中产生了相对运动,线圈切割磁力线产生感应电动势,其电压的大小取决于运动的速度。以X向检波器的安装结构举例说明,如图5所示,传感器安装设备由测量探头501、密封结构502、锁紧环503、检波器504、信号线505、传感器安装体506等几部分组成。其中,传感器安装设备安装在本体上与液压推力油缸的推力杆连接,两道密封结构有效阻止了泥浆浸入,检波器通过锁紧环固定在推靠块内部型腔,锁紧环与推靠块采用多个螺钉固定,检波器的输出信号线通过高压密封插针连接到测量电路。

[0051] VSP工具本体上端和下端各有一个水听器舱体,分别安装了第一水听器303和第二水听器310,两者相隔一定距离L,用于测量当前的层速度,获取时深转换所需的信息,因其接收VSP工具周围的震波信号,即环空泥浆中压力场的波动,策略结果是一个标量值,为后期进行波场分离提供必要的的数据。水听器用来测量地震波在环空泥浆中产生的压力波动,由于该压力波动一个标量,不论地震波来自哪个方向水听器均能敏感到泥浆压力波动,故无需推靠到井壁,便可测量到环空泥浆耦合来的震波信号,将水听器安装到舱体后,采用盖板进行密封,盖板与本体之间采用多个螺钉固联,并且盖板上设计了一个圆孔将泥浆引入至水听器敏感面,用于接收通过环空泥浆传播进来的地震波信号。

### [0052] 3、钻具状态检测

[0053] 随钻VSP测量是在接单根间隔期间进行,泥浆泵停止工作,钻具保持静止状态,此时,地面震源向井下激发地震波,井下VSP工具才能保证测量结果准确有效。为此,井下控制电路中安装了两轴加速度计,用于实时监测钻具的振动状态,测量的钻具振动信号通过带通滤波器后,去除信号包含的直流分量和高频信息,只保留中低频动态信息,从而控制电路自动检测出钻具状态,判断井下是否启动采集存储。由于VSP工具中选用的主控单片机数学运算能力较差,进行相对复杂的计算需要占用较多机时,会影响整个系统工作的可靠性,故尽量采用较简单的算法(比如乘法和除法都采用乘或除2N的方法实现)。

[0054] 板载加速度计能够敏感到钻具纵向的准周期振动,而泥浆泵、转盘钻或是它们的复合作用所引起的准周期振动频率不低于1Hz。实现方法如下:

[0055] (1)先将加速度计检测的纵向加速度信号进行带通滤波,去除直流信号和高频信号;

[0056] (2)将带通滤波后的加速度值与阈值 $\pm \Delta g$ ( $\pm 40\text{mg}$ )进行比较,确定该值是否过零;①已知加速度值从正值向负值方向过零,则随后的加速度测量值与 $+\Delta g$ 进行比较,确定是否从负值向正值方向过零;②当已知加速度值从负值向正值方向过零,则随后的加速度测量值与 $-\Delta g$ 进行比较,确定是否从正值向负值方向过零;

[0057] (3)在指定的时间内(15秒)统计加速度值过零次数;

[0058] (4)如果统计值 $\geq 30$ ,即认为存在一个准周期振动,否则认为无准周期振动产生;

[0059] (5)连续3次统计中,若“统计值 $\geq 30$ ”的次数 $\geq 2$ ,则允许VSP工具进行采集存储,否则禁止VSP工具进行采集存储。

[0060] (6)阈值选择。通过对有限的井底轴向加速度存储数据反复进行比较分析,模拟阈值基本确定为 $\pm 40\text{mg}$ 。根据

$$[0061] \quad Acc = \frac{2T_1 - T_2}{2T_2} \times 25 = \frac{\Delta T}{2T_2} \times 25$$

[0062] 其中, Acc为计算的加速度值(g), T1为与加速度大小有关的高脉冲宽度, T2=12064为与加速度大小无关的脉冲周期,  $\Delta T=2T1-T2$ 为井下单片机测量并计算出的中间变量。由上可得

$$[0063] \quad \Delta T = \frac{2 \times T_2}{25} \times Acc$$

[0064] 当设置模拟阈值为 $\pm 40\text{mg}$ 时,可得数字阈值为 $\Delta T \approx \pm 38$ 。

[0065] 实施方案1:

[0066] 通过分别比较 $A_{xRMS}$ 和 $A_{yRMS}$ 与 $A_{th}$ 的差自动设置泥浆泵的工作状态STPUMP。

[0067]  $A_{xRMS} - A_{th} > 0$ 或 $A_{yRMS} - A_{th} > 0$

[0068] 则STPUMP=1(开泵);否则STPUMP=0(关泵)。

[0069] 其中,  $A_{xRMS}$ 为X轴振动传感器均方根值,即

$$[0070] \quad A_{xRMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{A_{xi}}{256}\right)^2}{N}} = \frac{1}{256} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (A_{xi})^2}{N}}$$

[0071]  $A_{yRMS}$ 为Y轴振动传感器均方根值,即

$$[0072] \quad A_{yRMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{A_{yi}}{256}\right)^2}{N}} = \frac{1}{256} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (A_{yi})^2}{N}}$$

[0073]  $A_{th}$ 为人为设置的比较阈值(需要通过试验获取),  $A_{xi}$ 为高通滤波后X轴(通道0)振动传感器AD采样值(两字节有符号整型数),  $A_{yi}$ 为高通滤波后Y轴(通道1)振动传感器AD采样值(两字节有符号整型数)。N为平均次数(初步设置为256),需根据滤波通道数和N开辟存储器空间( $2 \times 256$ 个字)。

[0074] 实施方案2:

[0075] 因 $A_{xi}$ (或 $A_{yi}$ )为两字节有符号整型数,而 $A_{xi} \div 256$ (或 $A_{yi} \div 256$ )的结果实际上就是取 $A_{xi}$ (或 $A_{yi}$ )的高字节(分别记为 $A_{xiHG}$ 和 $A_{yiHG}$ ),这样需要开辟的存储空间可减少一半( $2 \times 256$ 个字节)。

[0076]  $A_{xRMS}$ 为X轴振动传感器均方根值,即

$$[0077] \quad A_{xRMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (A_{xiHG})^2}{N}}$$

[0078]  $A_{yRMS}$ 为Y轴振动传感器均方根值,即

$$[0079] \quad A_{yRMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (A_{yiHG})^2}{N}}$$

[0080] 电路板的减振和高通滤波器的衰减导致 $A_{xiHG}$ 和 $A_{yiHG}$ 常为0(即动态加速度值总是小于1g),此时自动判断可能会失效,需要通过试验进行验证。对所述的钻具状态检测方法进行了试验验证,实际结果如图6所示,其中地面泥浆泵工作频率约为1.5Hz,计算的泥浆泵工作频率(去除窄脉冲前)为1.67Hz,计算的泥浆泵工作频率(去除窄脉冲后)为1.67Hz,可见检测结果能够作为井下钻具状态的有效判据。



#### [0081] 4、推靠机构

[0082] 检波器与井壁之间的耦合效果对地震波测量数据是否有效有着至关重要的影响。当钻井作业暂停(接单根)时,井下电路检测到钻具处于静止状态,控制电路启动无刷电机,驱动油泵转动产生的高压油,经单向阀后进入推力油缸,从而推动驱动杆将携带检波器的推靠块推靠至井壁,电机运行一定时间T后停止工作,由于推力油缸中的高压油无泄放回路,推靠机构处于保压状态。此时井下VSP工具便开始采集地震波信号并存储测量数据,等到采集存储完成后,发出控制命令让电磁阀动作,将高压油快速泄放至油箱,推靠块在弹簧作用下迅速收回,结束本次信号测量。

[0083] 如图7所示,传感器推靠机构由油箱701、电磁阀702、,推力油缸703、推靠块704、溢流阀705、单向阀706、油泵707、无刷电机708等几部分组成,其中,油箱701为胶囊油箱。下面对控制原理进行详细说明:油泵707在电机708驱动下产生高压油,输出至单向阀706连接推力油缸703,考虑到推靠过程中可能遇到较大的反作用力,导致油缸憋压而损坏液压系统,在油缸703入口与油箱701之间接了一个溢流阀705,有效保护液压系统安全。电磁阀702的作用是在测量结束后,为推力油缸提供了一条快速泄流通道,确保推力块能顺利收回。无刷电机708采用软启动方式进行控制,其调加速过程为先匀加速,达到设定转速后以恒定速度运行,其好处是电机启动电流冲击较小,系可靠性高。

#### [0084] 5、数据携带器

[0085] 目前比较先进泥浆脉冲传输速率也只能达到3~5bps,其他如智能钻杆传输技术,尽管传输速率最高可达100kbps,但其在深井作业时的可靠性较低,成本较高,整个系统复杂庞大,不适用于实时传输随钻VSP全波场数据。由于随钻VSP系统测量的全波数据暂时保存于井下存储器中,无法进行实时上传,只能等到起钻后再将其导出,很大程度上限制了随钻VSP系统实时测量的特点。此外,地面时钟与井下时钟相互独立,二者在同步启动后各自计时,由于井下时钟收到高温影响,导致井下时钟的长期稳定性与地面时钟相比均有所降低,而井下高精度时钟是整个随钻VSP系统的关键,通常要求在200小时后井下VSP工具的与地面时钟之间的计时误差要小于1ms,故采用数据携带器将与地面精确同步的时间信息下传至VSP工具,可以有效消除井下时钟产生的计时误差,从而提高井下地震波测量精度。

[0086] 为了能够及时地获取所需井下VSP数据,本发明提出了一种新型的数据分时携带装置。它有两个主要功能,一是分时读取井下VSP数据,二是携带精确的时间信息,用于校对井下VSP时钟产生的误差。如图8所示,该数据携带器为圆柱状结构,主要由VSP测量工具本体801、泥浆通道802、VSP侧耦合线圈803、携带侧导向斜面804、VSP侧导向斜面805、浮筒806、控制存储电路807,携带装置耦合线圈808、,磁体809、霍尔传感器810、杆状本体811、对接腔812等几部分组成。其中数据携带器的控制与存储电路如图9所示,主要由数字信号控制器、信号发射单元、信号调制单元、发射线圈、信号接收单元、接收线圈、信号解调单元、霍尔信号检测单元、存储器单元以及低压电源组成。耦合线圈绕制在磁芯上,为了提高信号耦合效果及数据传输速率磁芯选用高磁导率材料,可以实现与VSP工具之间的高速数据无线传输。考虑到泥浆浸入,线圈表面安装有保护套筒。为了保证数据传输速度与可靠性,两个耦合线圈之间的间隙控制在1mm以内。控制与存储电路安装在数据携带器本体内部,采用电池组作为电源。数据携带器实时检测霍尔信号是否为高电平,从而控制是否进行数据交互。数据携带器工作在主模式下,控制数据传输方向,而VSP工具工作在从模式。与数据携带器

对接的VSP工具本体上有相同的斜面导向结构,并在霍尔传感器正对的位置安装有永磁体,其目的是在数据携带器与VSP工具对接成功后,在永磁体的磁场作用下,数据携带器能够检测到一个高电平信号,作为是否对接成功的状态信号,该状态信号只有为高电平时,数据交互才进行。若在数据传输过程中,对接状态信号变低,则保存本次数据读取结果,等待状态信号为高时继续读取数据,实现了数据断点续传,从而保证了每次数据交互的可靠性。由于VSP工具上的座卡采用斜面导向定位,故在工具上端设计了6个导流孔,有效保证了泥浆通道有足够的导流截面,在泥浆压力作用下确保数据携带器能可靠地与VSP工具对接。

[0087] 数据携带器具体的工作流程如图10所示。现对该数据携带器工作原理做如下详细说明:当需要获取井下VSP数据时,启动数据携带器工作,与地面时钟进行同步对时,并设置好工作参数,投入钻具中心水眼,在地面泥浆泵压作用下,将其压入井底,由于VSP工具与数据携带器上均有导向斜面,故携带器可以自动定位到VSP工具座卡,VSP工具本体上的永磁体产生的磁场作用下,数据携带器上的霍尔传感器输出一个高电平信号,控制与存储电路一旦检测该电平为高,表示数据携带器与VSP工具对接成功,开始通过各自的耦合线圈进行数据交互,若控制与存储电路检测该电平为低,则表示对接失败,不与VSP工具进行通信。数据携带器成功对接后,数据携带器将此刻的精确时间发送给VSP工具,以便消除VSP时钟在井下高温环境下因其长时稳定性差而产生的计时误差,每一次读取数据按照预先设定好的数据长度和波特率进行,待数据读取完成后,数据携带器则停止读取,并将收到的数据进行存储。当地面泥浆泵停止工作,数据携带器将自动浮出至井口,再将其拿到仪器房,下载所读取的数据。

#### [0088] 6、时钟同步装置

[0089] 随钻VSP测量系统由井下数据采集单元和地面辅助信号采集单元两部分组成,两个单元的时钟同步精度要求很高( $<1\text{ms}$ ),而地面同步装置采用GPS作为参考时钟源,其计时精度可达 $1\mu\text{s}$ 级。地面同步装置一方面要与井下测量单元进行时钟同步,另一方面则要实时记录震源放炮时刻,以便获取每一炮对应的井下测量数据。此外,针对可控震源需要采集扫描信号波形,用于数据相关处理。通常要求地面同步装置与震源系统同步计时精度非常高,达几十 $\mu\text{s}$ 级。

[0090] 如图11所示,可控震源同步控制系统包括两部分,即编码单元和解码单元,通常地面同步装置和震源编码单元位于仪器房,而解码单元则在井场放炮点,二者之间采用有线或无线方式连接。地面GPS同步装置与震源控制器为4线制连接,其中触发脉冲信号为和GND一组,扫描信号和GND为一组,每组信号是一对双绞线,长度约2m左右,两组信号线均为裸线,需要自行配接连接器。震源触发信号为幅度2~5V的正脉冲,满足TTL电平规范,其驱动能力是可达20mA。扫描信号频率为6~125Hz,信号幅度为0~12V,0.5s后达到最大值,之后为等幅正弦波扫频信号。扫描信号是连续信号,震源每触发一次则发出一串扫频波,常用频率范围约8~96Hz,扫描时间约8~20s,根据具体的地质条件选定。地面同步装置以GPS时钟作为参考,与井下测量系统精确同步计时,实时记录地面震源放炮时刻,精确到0.01ms,采集存储扫描信号波形做后互相关处理,采样间隔1ms,数据长度为24Bits。

[0091] GPS卫星可在全球范围内提供精确的UTC(universal time coordinated)时间信息。利用GPS授时模块接收卫星的UTC时间信息,通过其接口与同步装置内数字信号处理器的通信串口相连接,并将接收的GPS时间信息传至数字信号处理器,然后通过软件对接收的

UTC时间信息进行处理,用以校正同步装置的精确时间。如图13所示,地面GPS同步装置主要包括:数字信号处理器、GPS授时模块、非易失存储单元、液晶显示模块、同步脉冲输出、触发信号检测单元、按键检测单元、通信接口以及电源电路等。该装置以GPS授时模块为核心,通过串口从GPS授时模块获取到准确的绝对时间信息(年/月/日/时/分/秒),并且每隔1s(PPS)校准一次计时值,有效保证了地面同步装置的计时精度。

[0092] 为了保证井下与地面计时精确同步,当井下仪器上电配置好参数后,地面同步装置在整秒时刻,发出同步启动信号至井下仪器,使其开始工作;当仪器起钻后,地面装置再次在整秒时刻,发出同步结束信号至井下仪器,使其停止工作。将井下记录的时间以地面计时为参考,可得到计时误差,数据处理阶段将其消除。VSP仪器入井后,在接单根时使钻具处于静止状态,地面震源开始激发放炮,同时震源控制器产生触发信号,GPS同步装置实时记录触发信号脉冲上升沿时刻,用于精确查找到该炮地震波信号对应的井下测量数据,并将记录的触发时刻按照放炮顺序保存成带有时间标识的文件。针对可控震源扫频激发的特点,同步装置需要采集存储扫描信号波形,用于后期数据相关处理,根据现场地质条件确定扫描信号参数后,在触发信号产生时刻(上升沿)采集扫描信号,并存储成带有时间标识的数字波形文件。GPS同步装置记录的文件通过RS-485总线上传至计算机,为后期进行数据处理及分析决策提供必要的数据库。

#### [0093] 7、信号采集与数据存储

[0094] 如图11所示,本发明提出的信号采集电路控制井下5通道24位ADC对X、Y、Z轴检波器信号以及两个水听器信号进行实时测量,并将其采集结果存入串行SRAM芯片阵列中进行缓存。电路中高精度24位ADC为TI公司高可靠性产品ADS1278HT,其最高采样率可达144KSPS,70KHZ带宽足以满足地面可控震源产生的10~100HZ扫频信号采集要求,当它工作在高分辨率模式时,其信噪比可达到111db。检波器和水听器检测到地震波信号后,分别经过前置调理电路将其放大,以便满足ADS1278HT进行模数转换要求。前置放大器采用低功耗、轨至轨、程控增益差动放大器THS4521。数字信号控制器采用Microchip公司的dsPIC33FJ128MC710A作为主控芯片控制ADS1278HT工作在同步采集方式,通过SPI端口读取采集转换的数据,并将该数据通过SPI总线写入SRAM芯片阵列中进行缓存。SRAM芯片阵列采用8片1Mbit高温SRAM芯片级联,存储容量可达128KB,满足对地震波初至时间自动提取与实时数据处理所需缓存容量要求。

[0095] 如图14所示,数据存储电路用于存储井下传感器(检波器和水听器)检测到的地震信号波形,起钻后在井场进行数据回放,以便做进一步VSP数据处理与分析。由于地震波信号的采样间隔为1ms,数据长度为24Bit,5个通道采集一次的数据量为15个字节,因此,随钻VSP测量系统井下数据存储容量需要达到2GB以上。主控芯片dsPIC33FJ128MC710A用于对存储芯片阵列进行读写控制,并接收由信号采集电路主控芯片发送的缓存数据。存储阵列的擦除、读写地址设置等指令均由地面计算机通过RS485总线发送到主控芯片后,再由主控芯片控制对应的NORFLASH存储芯片。数据存储电路由用一片高温CPLD芯片进行存储器芯片阵列管理,该芯片采用VERILOG语言对其进行编程,实现5输入32输出控制功能,用于对32片高温NORFLASH存储芯片进行片选管理。主控芯片通过SPI总线负责协同CPLD与NORFLASH芯片工作,完成对每一片NORFLASH芯片的SPI读写控制。存储芯片阵列采用了镁光公司的64MB高温NORFLASH存储芯片,整个存储单元由32片64MB存储芯片级联组成,总存储容量可达2GB。

随钻VSP测量系统要求每通道信号采集满足采样间隔为1ms,数据长度为24Bit的要求。按照5通道采集计算,2GB存储容量可满足四分量随钻VSP测量工具连续工作200小时所需的存储空间。

#### [0096] 8、数据高速回放

[0097] 随钻VSP测量系统现场应用时,要求起钻后快速下载井下工具存储的数据,及时进行速度模型修正以及数据处理,将钻头位置标注于地震剖面上,为钻井工程师提供决策依据。由于井下采集的VSP数据容量较大,因此,数据回放速度尤为重要,常规随钻仪器的数据下载接口通常采用RS485总线,其数据传输速率相对较低,获取数据需要的时间较长,从而影响钻井作业进度。而USB2.0接口是一种应用在计算机领域的新型接口技术,具有传输速度更快,理论传输速度为12Mbps,支持热插拔以及连接多个设备的特点,目前已经在各类外部设备中广泛的被采用。为了最大限度地提高数据下载速度,本发明利用USB转SPI接口电路通过SPI总线直接读取存储器数据,而不经数字信号控制器中转,实现了大容量VSP数据的高速下载。

[0098] 如图15所示,本发明设计的数据回放电路主要包括:FPGA控制器、两片512KB的SRAM、USB2.0控制器CY7C68013A、SPI接口、48MHz晶振以及计算机等。数据回放速度可达到每秒32MB,FPGA控制器用于读取大容量数据存储电路的数据,并缓存到512KB的SRAM中,两片SRAM作为数据FIFO,即当一片SRAM存储满后由USB2.0芯片CY7C68013A发送到地面计算机,而FPGA芯片则继续读取存储器并缓存到另外一片SRAM存储器,当存储满后同样由USB2.0芯片CY7C68013A发送到地面计算机。两片SRAM以“乒乓”操作模式工作,大幅提高了数据传输速度。

[0099] 下面结合图16对数据高速下载的具体的程序流程进行详细地说明。上电后FPGA固件架构首先设置所有内部状态变量,然后调用用户初始化函数TD\_Init()。待返回后,固件架构就会初始化USB接口成为未配置的状态,并使能中断。此时,紧接着在1s的间内固件开始重枚举(ReEnumerate),并启动任务分配器,这个任务分配器就会按顺序重复地执行下列工作。

[0100] 1)调用轮询函数TD\_Poll()。

[0101] 2)检测是否有标准设备请求,是否收到SETUP包。如果有,它将会解析所收到的命令请求并加以响应,如果是传输数据命令,FPGA控制器将对SRAM进行FIFO读写操作。

[0102] 3)决定是否报告USB挂起事件。如果要报告USB挂起事件,则调用函数TD\_Suspend,若成功返回,则测试唤醒事件。如果未检测到唤醒事件,它将会把FPGA控制器放入中止模式中。当回复事件被检测到时,将调用函数TD\_Resume(),并跳回步骤1)。

[0103] 下面对数据高速下载的具体的程序状态进行详细地说明。FPGA控制器读写SRAM的程序状态图如图17所示,分别对应了FIFO接口数据输出控制和FIFO接口数据输入控制。

[0104] 1)FIFO接口数据输出程序流程

[0105] IDLE:读事件产生,进入STATE1;STATE1:使能SLCS,确定从FIFO读地址,若FIFO非空,在保证从FIFO地址至少稳定出现25ns后,进入STATE2,否则停留在STATE1;STATE2:延时一个时钟周期后,使能SLOE,把内部FIFO中的数据驱动到数据总线上,进入STATE3;STATE3:延时一个时钟周期后,使能WRREQ,把数据总线上的数据写入乒乓FIFO中,进入STATE4;STATE4:延时一个时钟周期后,使能SLRD,同时SLRD信号要保证建立时间和保持时间要求,

在经过tXFD时延后下一个地址的FIFO数据驱动到数据总线上,进入STATE5;STATE5:如果仍有数据要读,进入STATE2,否则进入IDLE。

[0106] 2)FIFO接口数据输入程序流程

[0107] IDLE:写事件产生,进入STATE1;STATE1:使能SLCS,确定从FIFO地址,若FIFO非满,在保证EZ-USB FIFO地址至少稳定出现25ns后,进入STATE2,否则停留在STATE1;STATE2:延时一个时钟周期后,使能RDREQ,驱动乒乓FIFO中的数据到数据总线上,并保证tSFD的最小要求,进入STATE3;STATE3:延时2个时钟周期后,使能SLWR,同时保证SLWR信号的建立时间和保持时间要求,在IFCLK的上升沿,数据被写入从FIFO中,FIFO的标志位在经过tXFLG时延后被更新,进入STATE4;STATE4:如果提交给从FIFO的数据为乒乓FIFO的最后一组数据,则使能PKTEND,同时在满足其建立、保持时间的条件下,在IFCLK的上升沿提交最后一组数据,进入STATE5;STATE5:如果仍有数据要读,进入STATE2,否则进入IDLE。

[0108] 本文中所描述的具体实施例仅仅是对本发明精神作举例说明。本发明所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实施例做各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代,但并不会偏离本发明的精神或者超越所附权利要求书所定义的范围。

[0109] 尽管本文较多地使用了井壁101、数据携带器102、VSP测量工具103、第一地层界面104、第二地层界面105、震源106、地面时钟同步装置107、直达波108、第一反射波109、第二反射波110、VSP耦合线圈301、信号发射电路302,第一水听器303、数据通信口304,精密时钟组件305、井下主控电路306、Z轴检波器307、X轴检波器308、电池筒309,第二水听器310,座卡机构311、信号接收电路312、数据存储电路313、信号采集电路314、Y轴检波器315、测量探头501、密封结构502、锁紧环503、检波器504、信号线505、传感器安装体506、油箱701、电磁阀702、,推力油缸703、推靠块704、溢流阀705、单向阀706、油泵707、无刷电机708、VSP测量工具本体801、泥浆通道802、VSP侧耦合线圈803、携带侧导向斜面804、VSP侧导向斜面805、浮筒806、控制存储电路807,携带装置耦合线圈808、,磁体809、霍尔传感器810、杆状本体811、对接腔812等术语,但并不排除使用其它术语的可能性。使用这些术语仅仅是为了更方便地描述和解释本发明的本质;把它们解释成任何一种附加的限制都是与本发明精神相违背的。

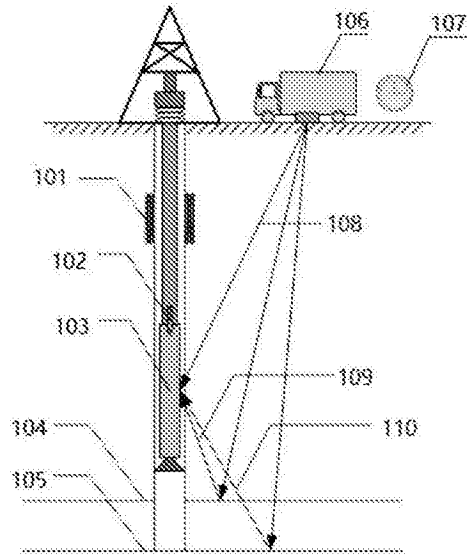


图1

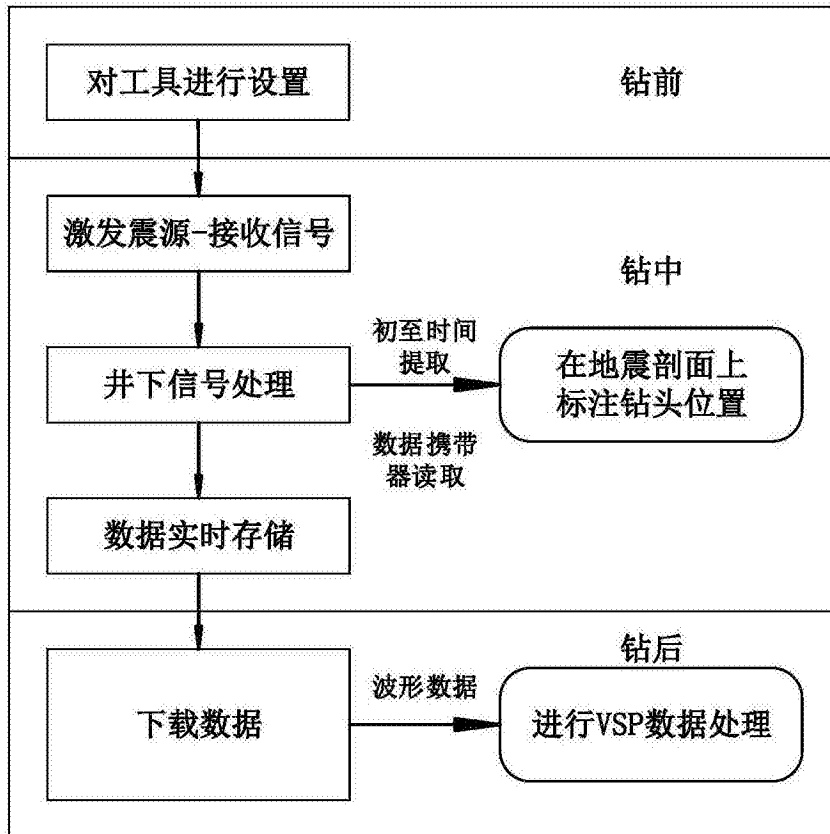


图2

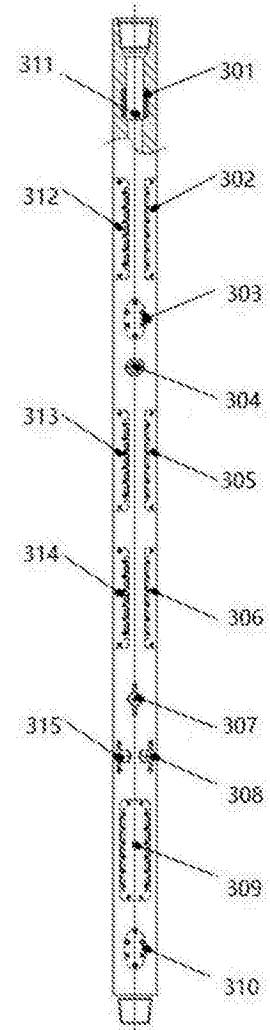


图3

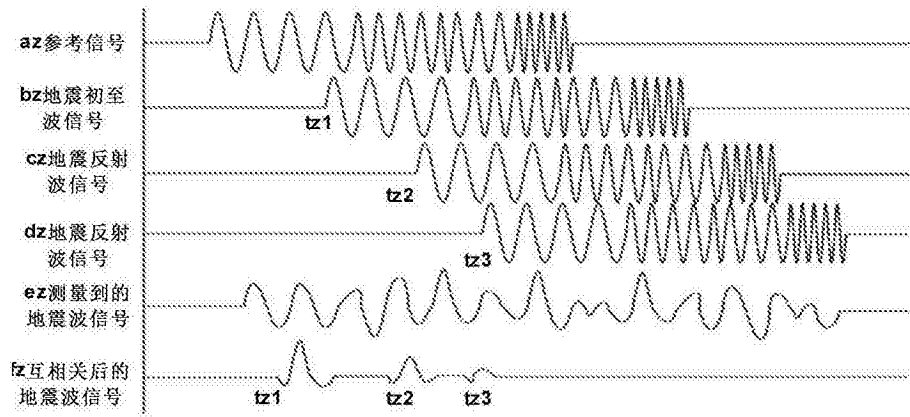


图4

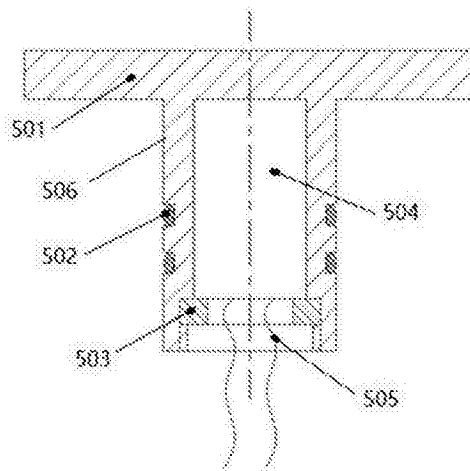


图5

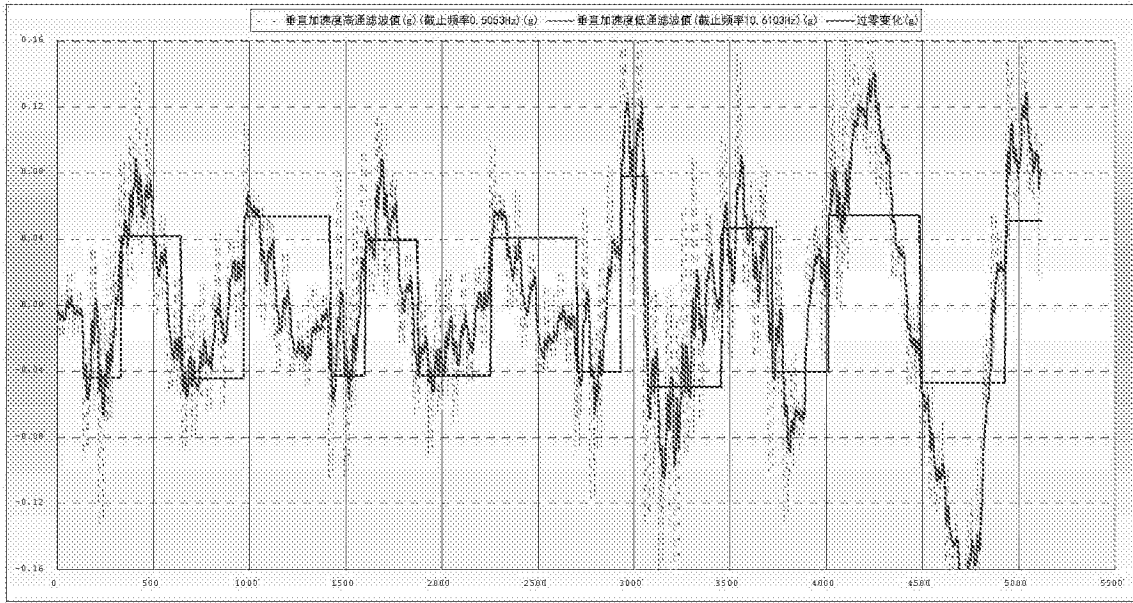


图6

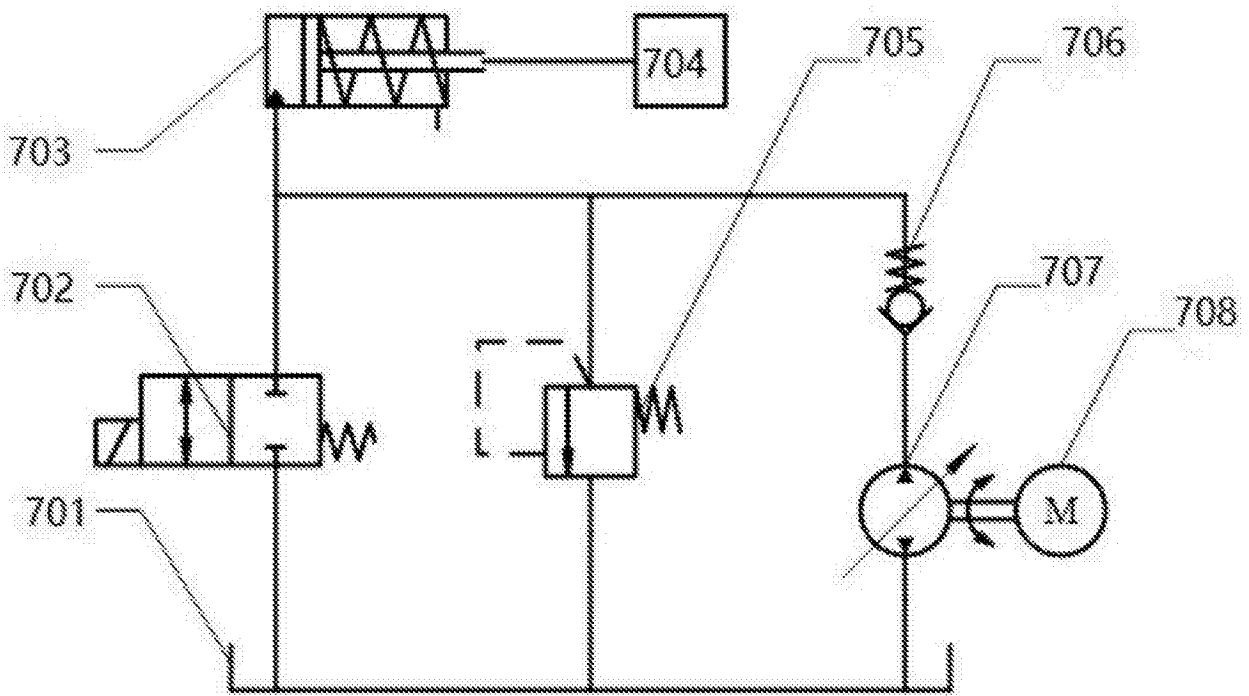


图7



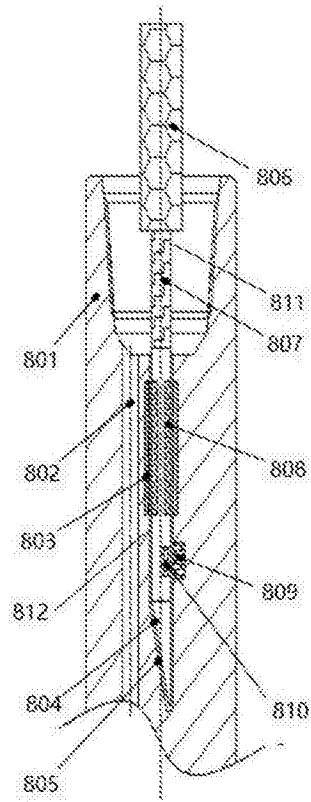


图8

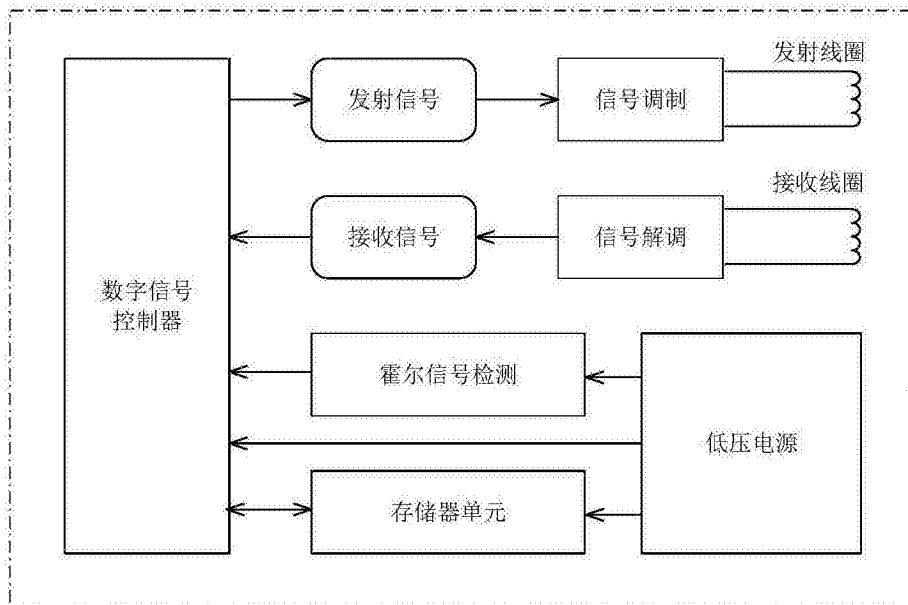


图9

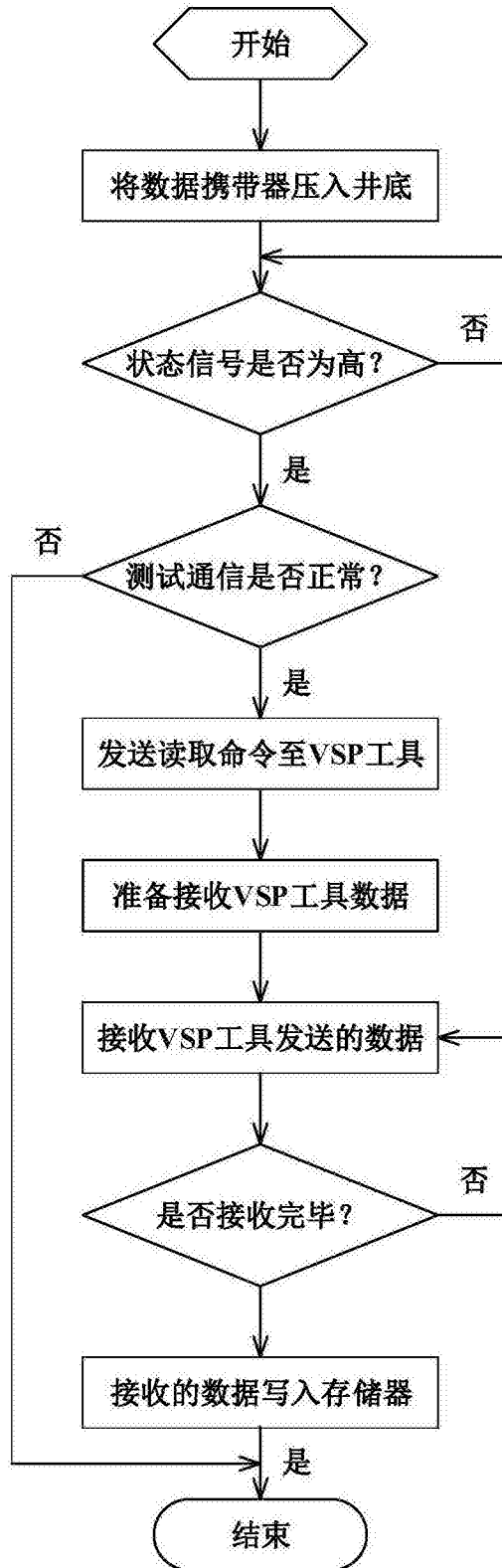


图10

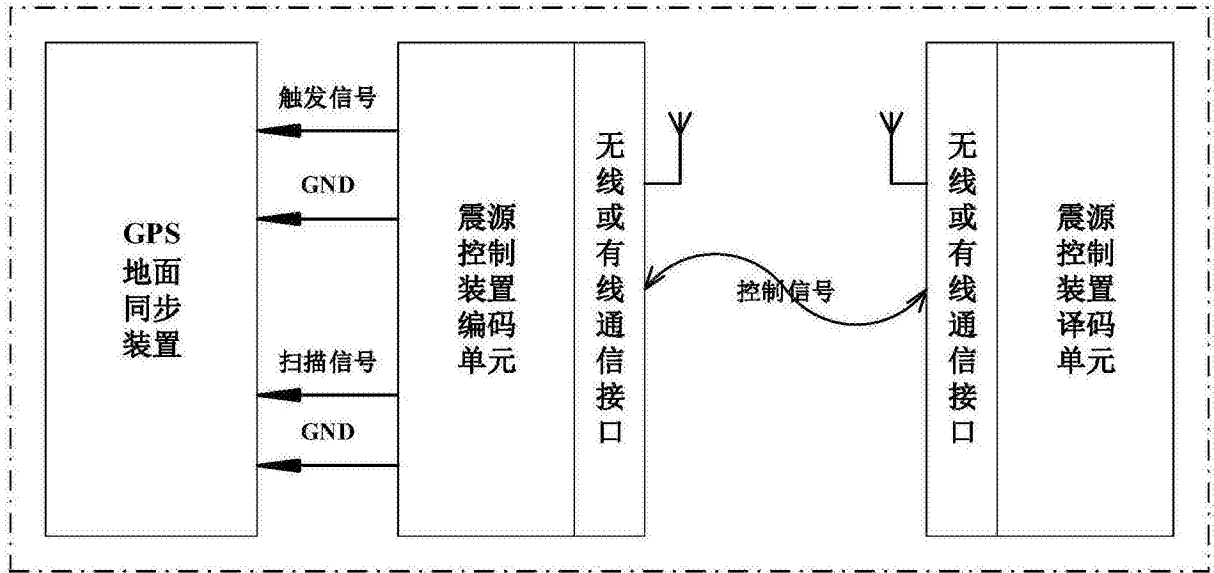


图11

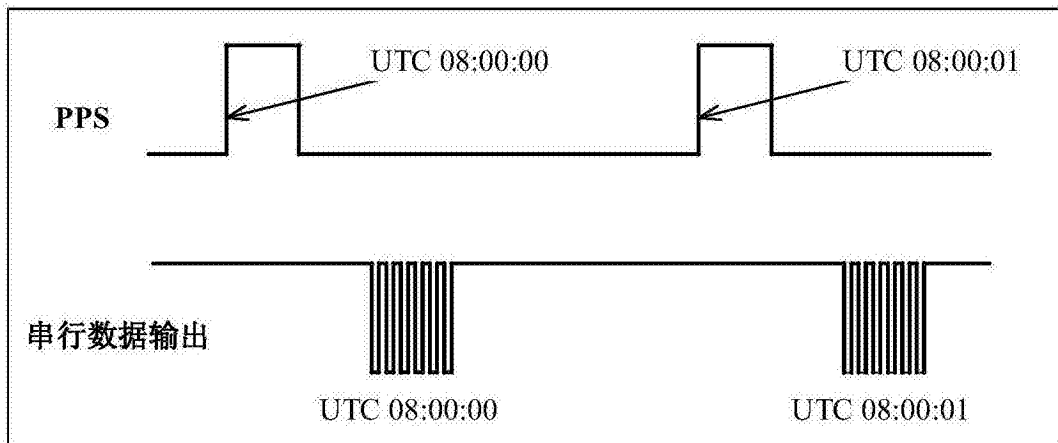


图12

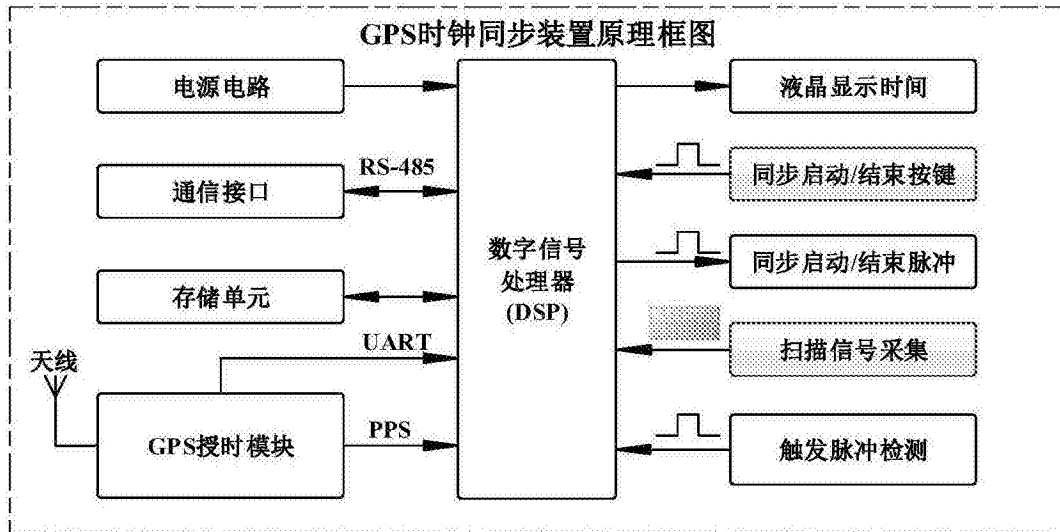


图13

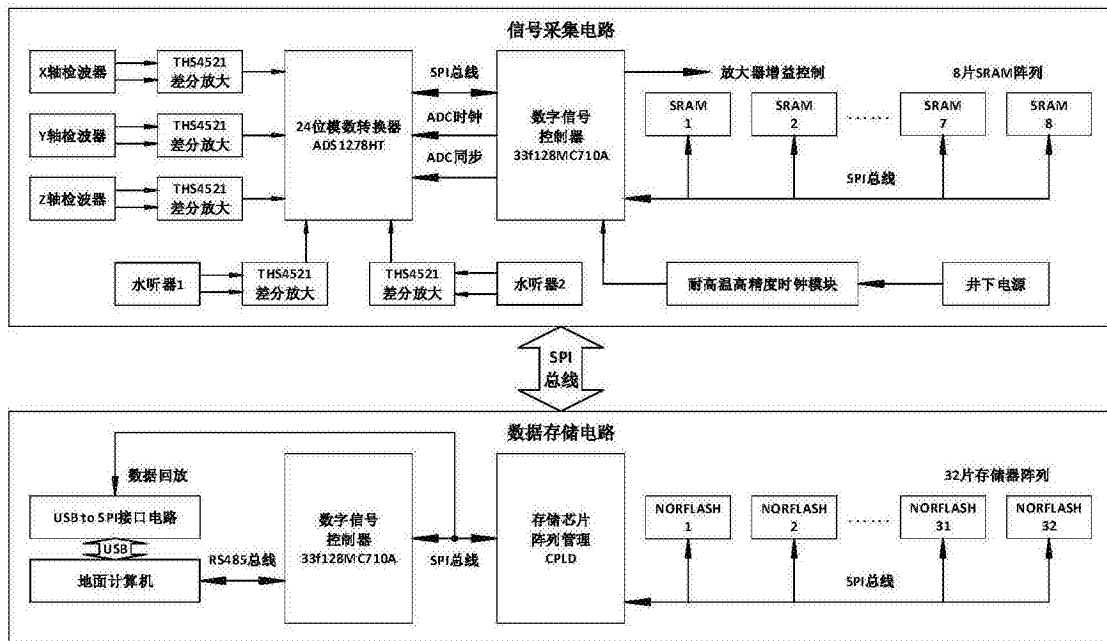


图14

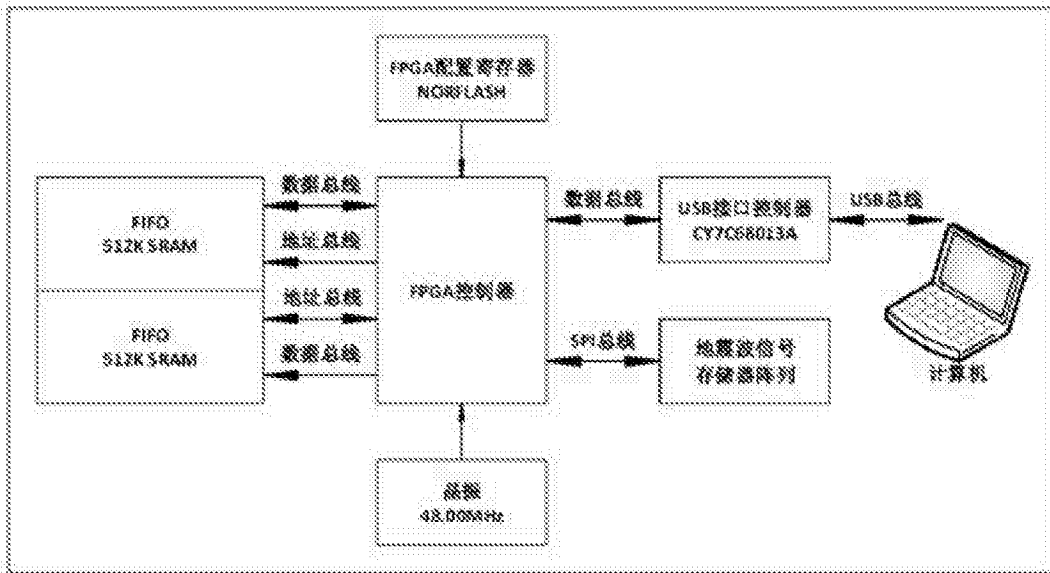


图15

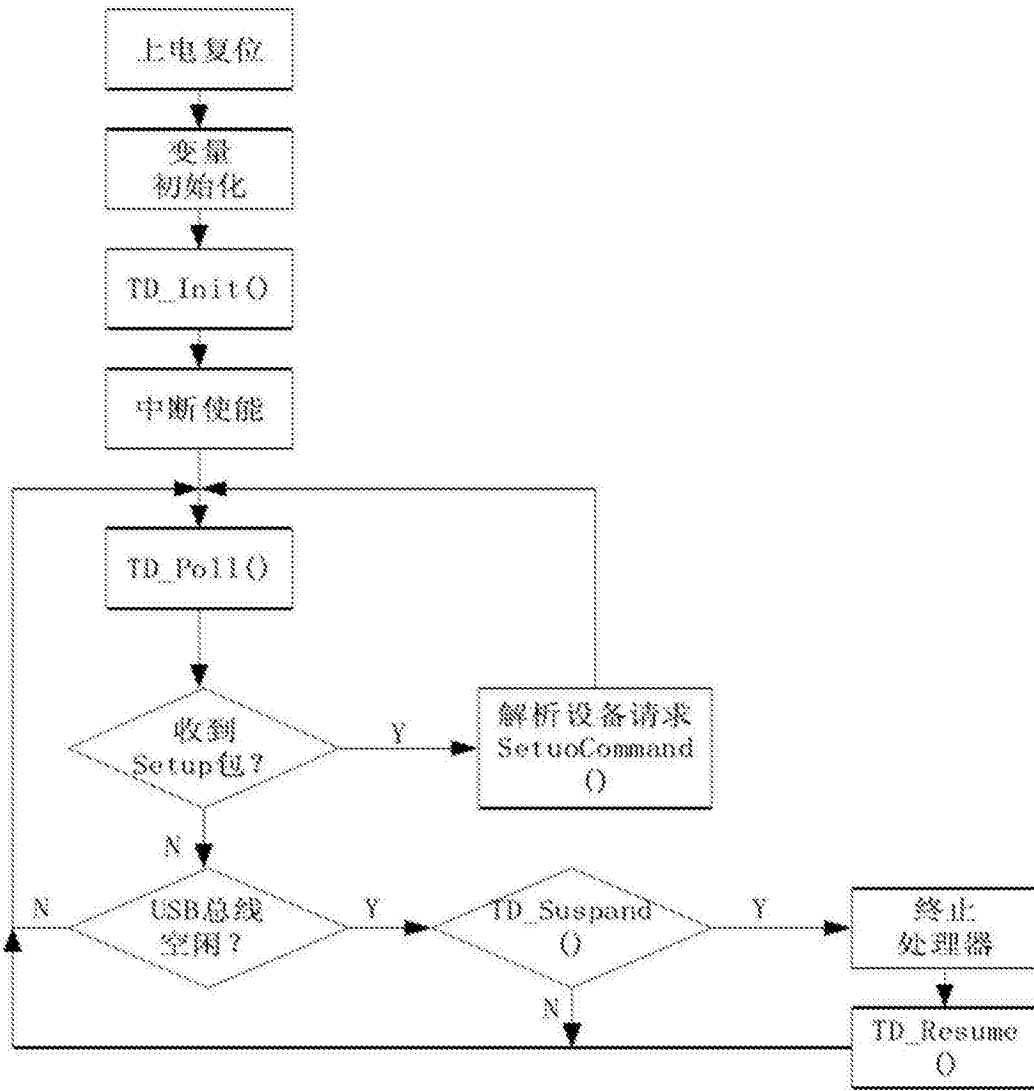


图16

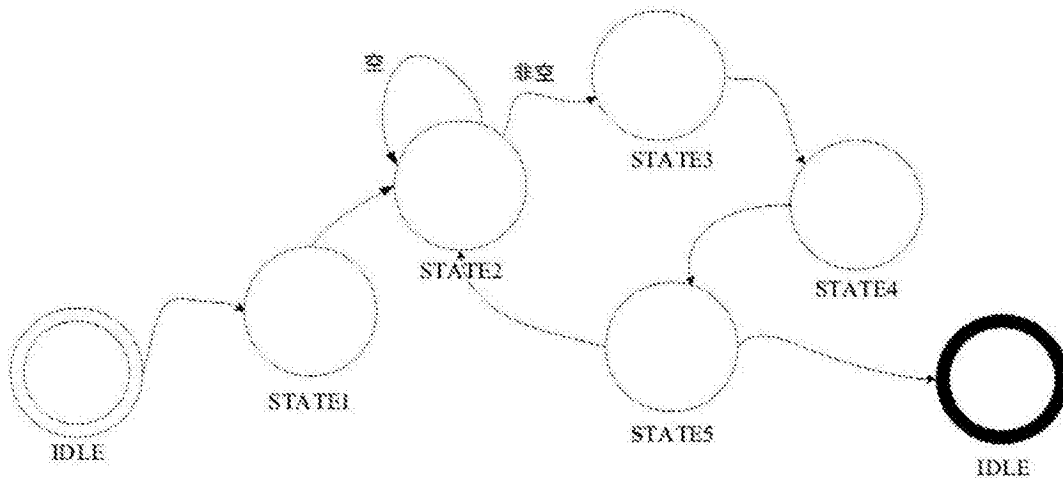


图17