



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104481436 B

(45)授权公告日 2017.05.10

(21)申请号 201410742931.9

(22)申请日 2014.12.05

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104481436 A

(43)申请公布日 2015.04.01

(73)专利权人 中国石油天然气集团公司  
地址 100007 北京市东城区东直门北大街9号

专利权人 中国石油集团钻井工程技术研究院

(72)发明人 姜英健 马鹏鹏 周英操 张兴全  
王瑛 刘伟 王凯 周泊奇  
刘子帅 王伟 崔堂波

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 王天尧

(51)Int.Cl.  
E21B 21/10(2006.01)

审查员 温锐

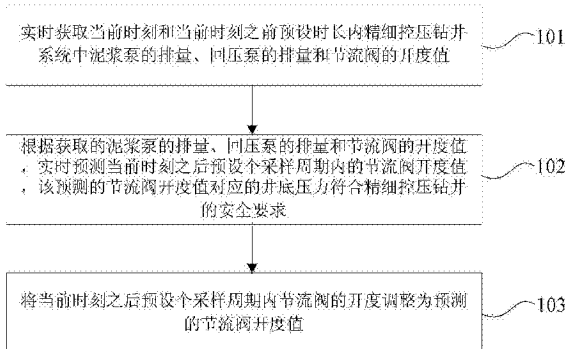
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

精细控压钻井节流阀的调节方法及系统

(57)摘要

本发明实施例提供一种精细控压钻井节流阀的调节方法及系统,其中,该方法包括:实时获取当前时刻和当前时刻之前预设时长内精细控压钻井系统中泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值;根据获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,实时预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值,该预测的节流阀开度值对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求;将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为预测的节流阀开度值。该方案通过当前时刻和当前时刻之前预设时长内泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,来预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值,可以提高对精细控压钻井节流阀调节的有效性。



1. 一种精细控压钻井节流阀的调节方法,其特征在于,包括:

实时获取当前时刻和当前时刻之前预设时长内精细控压钻井系统中泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值;

根据获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,实时预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值,该预测的节流阀开度值对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求;

将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为预测的节流阀开度值;

通过以下公式根据获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,实时预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值:

$$\tilde{x}(k) = f_p[\tilde{x}(k-1), \tilde{u}(k-1), \tilde{v}(k-1)];$$

$$\tilde{y}(k) = g_p[\tilde{x}(k)];$$

其中,  $f_p$  为根据前一时刻的回压泵排量、节流阀的开度值以及泥浆泵的排量,来计算当前时刻的回压泵排量的计算模型;  $\tilde{x}(k-1)$  为前一时刻的回压泵排量;  $\tilde{u}(k-1)$  为前一时刻的节流阀的开度值;  $\tilde{v}(k-1)$  为前一时刻的泥浆泵排量;  $g_p$  为根据当前时刻的回压泵排量来计算当前时刻的预测节流阀开度值的计算模型;  $\tilde{x}(k)$  为当前时刻的回压泵排量;  $\tilde{y}(k)$  为当前时刻的预测节流阀开度值;  $k$  为当前时刻;

将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为预测的节流阀开度值,包括:

根据精细控压钻井的钻井工况,设定精细控压钻井各个时刻的参考井口回压,该参考井口回压对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求;

实时将预测的节流阀开度值对应的井口回压与所述参考井口回压做比较,获得二者的井口回压之差;

根据所述二者的井口回压之差计算与该井口回压之差对应的节流阀开度值;

根据计算出来的节流阀开度值,调整获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,并根据调整后的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,重新预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值;

将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为重新预测的节流阀开度值。

2. 如权利要求1所述的精细控压钻井节流阀的调节方法,其特征在于,将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为预测的节流阀开度值之后,还包括:

检测当前时刻之后预设个采样周期内指定时刻的井底压力;

将检测到的指定时刻井底压力对应的节流阀开度减去预测的该指定时刻的节流阀开度值,得出二者的节流阀开度值之差;

将当前时刻之后预设个采样周期内指定时刻之后的节流阀的开度,调整为预测的节流阀开度值与所述节流阀开度值之差的和。

3. 一种精细控压钻井节流阀的调节系统,其特征在于,包括:

传感器,用于实时获取当前时刻和当前时刻之前预设时长内精细控压钻井系统中泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,并将获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值输出给精细控压钻井节流阀的调节系统之外的计算设备;

接收接口,用于接收所述计算设备发送的当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀预测开度值,该节流阀预测开度值是所述计算设备根据获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量

和节流阀的开度值预测得到的,该节流阀预测开度值对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求;

节流阀,用于将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为节流阀预测开度值;

所述计算设备通过以下公式根据获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,实时预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值:

$$\tilde{x}(k) = f_p[\tilde{x}(k-1), \tilde{u}(k-1), \tilde{v}(k-1)];$$

$$\tilde{y}(k) = g_p[\tilde{x}(k)];$$

其中, $f_p$ 为根据前一时刻的回压泵排量、节流阀的开度值以及泥浆泵的排量,来计算当前时刻的回压泵排量的计算模型; $\tilde{x}(k-1)$ 为前一时刻的回压泵排量; $\tilde{u}(k-1)$ 为前一时刻的节流阀的开度值; $\tilde{v}(k-1)$ 为前一时刻的泥浆泵排量; $g_p$ 为根据当前时刻的回压泵排量来计算当前时刻的预测节流阀开度值的计算模型; $\tilde{x}(k)$ 为当前时刻的回压泵排量; $\tilde{y}(k)$ 为当前时刻的预测节流阀开度值; $k$ 为当前时刻;

还包括:

输入设备,用于接收用户根据精细控压钻井的钻井工况,设定的精细控压钻井各个时刻的参考井口回压,该参考井口回压对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求;

比较器,用于节流阀将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为节流阀预测开度值之前,将节流阀预测开度值对应的井口回压与所述参考井口回压做比较,获得二者的井口回压之差;

输出接口,用于将所述井口回压之差输送给所述计算设备;

所述接收接口,还用于接收所述计算设备发送的新的当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀预测开度值,该新的节流阀预测开度值是所述计算设备根据所述井口回压之差调整获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值后,重新预测得到的;

所述节流阀,还用于将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为新的节流阀预测开度值。

4.如权利要求3所述的精细控压钻井节流阀的调节系统,其特征在于,还包括:

检测器,用于所述节流阀将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为节流阀预测开度值之后,实时检测当前时刻之后预设个采样周期内指定时刻的井底压力;

减法器,用于将检测到的指定时刻井底压力对应的节流阀开度值减去该指定时刻的节流阀预测开度值,得出二者的节流阀开度值之差;

所述节流阀,还用于将当前时刻之后预设个采样周期内指定时刻之后的节流阀的开度,调整为节流阀预测开度值与所述节流阀开度值之差的和。

## 精细控压钻井节流阀的调节方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及精细控压钻井技术领域,特别涉及一种精细控压钻井节流阀的调节方法及系统。

### 背景技术

[0002] 精细控压钻井技术是一项可以实现平衡或近平衡钻井的技术。其目的在于确定井底压力窗口,精确控制环空压力剖面,使整个井筒的压力维持在地层孔隙压力和破裂压力之间,解决钻井中的难题。其工作流程为:在封闭的循环系统中,钻井液从泥浆罐中通过钻井泵进入立管下降到钻杆,通过浮阀和钻头上部的环空,然后从旋转控制装置下方的环形防喷器流出。再通过一系列的节流阀到振动筛或脱气装置,最后回到泥浆罐。其控制压力原理是:在钻井过程中,井筒内的地层压力平衡方程为:井底压力=井口回压+静液压力+环空压耗,在实际钻井工作中,由于静液压力、环空压耗在既定井眼情况、钻井液性能及一定流量条件下是相对不变的,只有井口回压易于改变,因此可通过控制井口回压,使井底压力在适合的区间,实现不漏不溢、或者有控制的微漏失或者微溢流。视压力平衡所需,通过调节节流管汇上的节流阀开度来改变井口回压,最终达到井筒的压力平衡,提高钻井的安全性。

[0003] 精细控压钻井正常工作的关键是能够稳定准确的控制节流阀开度,而要实现这一目标,必须要建立精确地精细控压钻井控制计算模型,但一方面,由于要考虑多个参数,如回压、流体密度、流体流变性、环空液位、水力摩阻和井眼几何形态等,即使建立起的控制计算模型,其结构也十分复杂,难以实现精确的控制;另一方面,从工程应用角度,建立的控制模型需尽量简化,在不确定性因素的影响下仍能维持良好的性能,且要求控制算法简单,易于实现,以满足实时控制的需要,且实际钻井过程常常具有非线性、时变性和不确定性;因此使得难于建立起精确的精细控压钻井控制计算模型。

[0004] 目前,现有技术中精细控压钻井采用PID(比例-积分-微分)控制方法来控制节流阀的调节,但PID控制方法只能以一组固定不变的PID参数去适应钻井过程的不确定因素,往往不能完全符合钻井井筒地层系统这种多变量耦合、非线性、大时滞等复杂系统,且当PID参数变化超过一定范围时,钻井井筒地层系统的性能会明显变差,甚至无法达到要求,使得在控制钻井井筒地层系统中节流阀开度的过程中,不能克服钻井井筒地层系统的多变量耦合、非线性、大时滞等不确定性的影响,降低对精细控压钻井节流阀调节的有效性。

### 发明内容

[0005] 本发明实施例提供了一种精细控压钻井节流阀的调节方法,以提高对精细控压钻井节流阀调节的有效性。该方法包括:实时获取当前时刻和当前时刻之前预设时长内精细控压钻井系统中泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值;根据获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,实时预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值,该预测的节流阀开度值对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求;将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为预测的节流阀开度值。

[0006] 在一个实施例中,将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为预测的节流阀开度值,包括:根据精细控压钻井的钻井工况,设定精细控压钻井各个时刻的参考井口回压,该参考井口回压对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求;实时将预测的节流阀开度值对应的井口回压与所述参考井口回压做比较,获得二者的井口回压之差;根据所述二者的井口回压之差计算与该井口回压之差对应的节流阀开度值;根据计算出来的节流阀开度值,调整获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,并根据调整后的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,重新预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值;将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为重新预测的节流阀开度值。

[0007] 在一个实施例中,将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为预测的节流阀开度值之后,还包括:检测当前时刻之后预设个采样周期内指定时刻的井底压力;将检测到的指定时刻井底压力对应的节流阀开度减去预测的该指定时刻的节流阀开度值,得出二者的节流阀开度值之差;将当前时刻之后预设个采样周期内指定时刻之后的节流阀的开度,调整为预测的节流阀开度值与所述节流阀开度值之差的和。

[0008] 本发明实施例还提供了一种精细控压钻井节流阀的调节系统,以提高对精细控压钻井节流阀调节的有效性。该系统包括:传感器,用于实时获取当前时刻和当前时刻之前预设时长内精细控压钻井系统中泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,并将获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值输出给精细控压钻井节流阀的调节系统之外的计算设备;接收接口,用于接收所述计算设备发送的当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀预测开度值,该节流阀预测开度值是所述计算设备根据获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值预测得到的,该节流阀预测开度值对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求;节流阀,用于将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为节流阀预测开度值。

[0009] 在一个实施例中,还包括:输入设备,用于接收用户根据精细控压钻井的钻井工况,设定的精细控压钻井各个时刻的参考井口回压,该参考井口回压对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求;比较器,用于节流阀将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为节流阀预测开度值之前,将节流阀预测开度值对应的井口回压与所述参考井口回压做比较,获得二者的井口回压之差;输出接口,用于将所述井口回压之差输送给所述计算设备;所述接收接口,还用于接收所述计算设备发送的新的当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀预测开度值,该新的节流阀预测开度值是所述计算设备根据所述井口回压之差调整获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值后,重新预测得到的;所述节流阀,还用于将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为新的节流阀预测开度值。

[0010] 在一个实施例中,还包括:检测器,用于所述节流阀将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为节流阀预测开度值之后,实时检测当前时刻之后预设个采样周期内指定时刻的井底压力;减法器,用于将检测到的指定时刻井底压力对应的节流阀开度减去该指定时刻的节流阀预测开度值,得出二者的节流阀开度值之差;所述节流阀,还用于将当前时刻之后预设个采样周期内指定时刻之后的节流阀的开度,调整为节流阀预测开度值与所述节流阀开度值之差的和。

[0011] 在本发明实施例中,由于通过当前时刻和当前时刻之前预设时长内精细控压钻井系统中泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,来预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值,可以很好地克服精细控压钻井过程中各种不确定性和复杂变化对井底压力控制的影响;该预测的节流阀开度值对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求,并根据预测的节流阀开度值来调整节流阀的开度,从而可以提高对精细控压钻井节流阀调节的有效性,进而可以使得精细控压钻井过程中井底压力有效维持平衡。

#### 附图说明

[0012] 此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解,构成本申请的一部分,并不构成对本发明的限定。在附图中:

[0013] 图1是本发明实施例提供的一种精细控压钻井节流阀的调节方法的流程图;

[0014] 图2是本发明实施例提供的一种精细控压钻井系统的示意图;

[0015] 图3是本发明实施例提供的一种精细控压钻井节流阀的调节系统的结构框图。

#### 具体实施方式

[0016] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,下面结合实施方式和附图,对本发明做进一步详细说明。在此,本发明的示意性实施方式及其说明用于解释本发明,但并不作为对本发明的限定。

[0017] 在本发明实施例中,提供了一种精细控压钻井节流阀的调节方法,如图1所示,该方法包括:

[0018] 步骤101:实时获取当前时刻和当前时刻之前预设时长内精细控压钻井系统中泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值;

[0019] 步骤102:根据获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,实时预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值,该预测的节流阀开度值对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求;

[0020] 步骤103:将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为预测的节流阀开度值。

[0021] 由图1所示的流程可知,在本发明实施例中,由于通过当前时刻和当前时刻之前预设时长内精细控压钻井系统中泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,来预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值,可以很好地克服精细控压钻井过程中各种不确定性和复杂变化对井底压力控制的影响;该预测的节流阀开度值对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求,并根据预测的节流阀开度值来调整节流阀的开度,从而可以提高对精细控压钻井节流阀调节的有效性,进而可以使得精细控压钻井过程中井底压力有效维持平衡。

[0022] 具体实施时,可以通过传感器等器件来实时采集当前时刻和当前时刻之前预设时长内精细控压钻井系统中泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,如图2所示(图2中实线为钻井液流动线路,虚线为精细控压钻井节流阀调节的控制线路),该传感器可以分别安装在泥浆泵201、节流阀202以及回压泵203处,并通过将采集到的当前时刻和当前时刻之前预设时长内精细控压钻井系统中泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值等数

据传输给非线性预测装置205,该非线性预测装置205根据接收的当前时刻和当前时刻之前预设时长内精细控压钻井系统中泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值等数据,来实时预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值,并将预测的节流阀开度值传输给节流阀202,以便节流阀202将当前时刻之后预设个采样周期内的开度调整为预测的节流阀开度值,泥浆池204中的钻井液通过调整过开度的节流阀202进入井筒206中,以使得精细控压钻井井筒206的井口回压在控制要求范围内,进而使得精细控压钻井井筒206的井底压力达到控制要求的同时符合精细控压钻井的安全要求。

[0023] 具体实施时,本领域技术人员知晓如何根据泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值来预测节流阀开度值,具体的,上述非线性预测装置205预测节流阀开度值的过程可以通过非线性预测模型来实现,该非线性预测模型具体可以采用现有的以下公式:

$$[0024] \quad \sim x(k) = f_p[\sim x(k-1), \sim u(k-1), \sim v(k-1)] \quad (1)$$

$$[0025] \quad \sim y(k) = g_p[\sim x(k)] \quad (2)$$

[0026]  $f_p$ 为根据前一时刻用于计算井底压力的状态参数 $\sim x(k-1)$ (例如,回压泵排量)、前一时刻节流阀开度 $\sim u(k-1)$ 以及前一时刻泥浆泵泵速 $\sim v(k-1)$ (或泥浆泵排量),来计算当前时刻用于计算井底压力的状态参数 $\sim x(k)$ 的计算模型; $g_p$ 为根据当前时刻用于计算井底压力的状态参数 $\sim x(k)$ 来计算当前时刻的预测节流阀开度值 $\sim y(k)$ , $k$ 为当前时刻。在钻井的控制过程中,可以根据某时刻的用于计算井底压力的状态参数来计算井底压力的预期值,再与实测井底压力值比较。

[0027] 具体实施时,由于预测节流阀开度值的过程是闭环控制算法,实际钻井过程中又存在非线性、时变、模型失配、干扰等因素的影响,为了使预测得到的节流阀开度值能够及时得到修正,达到控制要求,以提高精细控压钻井节流阀调节的稳定性,在本实施例中,将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为预测的节流阀开度值,包括:根据精细控压钻井的钻井工况,设定精细控压钻井各个时刻的参考井口回压,该参考井口回压对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求;实时将预测的节流阀开度值对应的井口回压与所述参考井口回压做比较,获得二者的井口回压之差;根据所述二者的井口回压之差计算与该井口回压之差对应的节流阀开度值;根据计算出来的节流阀开度值,调整获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,并根据调整后的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,重新预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值,将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为重新预测的节流阀开度值。具体的,可将预测的当前时刻之后预设个采样周期内每个时刻的节流阀开度值对应的井口回压与参考井口回压做比较,得出每个时刻的二者的井口回压之差,例如,可以通过以下公式来得出每个时刻的二者的井口回压之差: $\min Q(r, \sim y) = \sum_{i \in p} [r(k+i/k) - y((k+i/k))]^2$ ,其中, $\min Q(r, \sim y)$ 是每个时刻的二者的井口回压之差, $r(k+i/k)$ 是 $k+i$ 时刻的参考井口回压, $y((k+i/k))$ 是 $k+i$ 时刻的预测节流阀开度值对应的井口回压, $i$ 是时间步长, $p$ 是当前时刻之后预设个采样周期,再计算出该井口回压之差对应的节流阀开度值,根据计算出来的节流阀开度值调整获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,并根据调整后的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,重新预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值,使得重新预测的节流阀开度值更接近参考井口回压对应的节流阀开度值;或者将预测的节流阀开度值加上或减去与井口回压之差对应的节流阀开度值,以使得加法或减

法计算后的节流阀开度值更接近参考井口回压对应的节流阀开度值。

[0028] 此外,在发生井漏、井涌等突发情况导致井底压力发生变化时,通过将预测的节流阀开度值调整的更接近参考井口回压对应的节流阀开度值,可以保持井底压力更平稳地过度为参考井口回压对应的井底压力,避免施加大幅值的节流阀开度控制量的情况,从而有助于钻井的顺利进行。具体的,上述设定精细控压钻井各个时刻的参考井口回压的过程可以通过以下函数来实现:

$$[0029] \quad r(k+i/k) = y_{ref} - [(y_{ref} - y(k))e^{(-iT_s/T_{ref})}] \quad (3)$$

[0030]  $r(k+i/k)$  代表根据目前  $k$  时刻的相关值计算预测出  $k+i$  时刻的参考井口回压值;  $y_{ref}$  为参考地层压力;  $y(k)$  是当前时刻预测节流阀开度值  $\sim y(k)$  对应的井口压力值;  $T_s$  为时间步长;  $T_{ref}$  是时间响应,  $i$  是时间步长,例如,  $i=1, 2, 3, \dots$  秒。

[0031] 具体实施时,由于实际精细控压钻井系统存在某些不确定性,使用预测的节流阀开度值来控制节流阀开度时,实际精细控压钻井系统的井底压力与预测的节流阀开度值对应的井底压力不一致,为了提高为节流阀调节的精度,在本实施例中,将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为预测的节流阀开度值之后,还包括:实时检测当前时刻之后预设个采样周期内指定时刻的井底压力(例如,图2中井筒206的井底压力);将检测到的指定时刻井底压力对应的节流阀开度减去预测的该指定时刻的节流阀开度值,得出二者的节流阀开度值之差(即预测误差);将当前时刻之后预设个采样周期内指定时刻之后的节流阀的开度,调整为预测的节流阀开度值与所述节流阀开度值之差的和。例如,预测的节流阀开度值是5,将节流阀开度调整为5后的井底压力对应的节流阀开度的4,即预测误差为4与5之差-1,在下一时刻调节节流阀开度时,将下一时刻的预测开度值加上-1后再调节到节流阀上。具体的,可以通过以下公式来得出二者的节流阀开度值之差(即预测误差):

$$[0032] \quad e(k) = z(k) - \sim y(k/k-1) \quad (4)$$

[0033] 其中,  $e(k)$  是  $k$  时刻的预测误差,  $z(k)$  是  $k$  时刻检测到的井底压力对应的节流阀开度,  $\sim y(k/k-1)$  是  $k$  时刻预测的节流阀开度值。

[0034] 同理求  $e(k), e(k-1) \dots e(1)$  等预测误差,根据历史的误差信息来进行误差预测校正,从而提高控制精度。

[0035] 以下结合具体示例来详细描述上述精细控压钻节流阀的调节方法,具体的,该方法包括:

[0036] 步骤1:确定精细控压钻井的控制目标。根据精细控压钻井实际工程情况及钻井参数(如:井型、井别、井身结构、井深、地层三压力剖面、钻井液密度设计等因素)在保证精细控压钻井安全的前提下确定精细控压钻井方案及控制目标。在精细控压钻井中,控制目标主要有节流阀开度  $u$  (取值范围一般为10%—90%) 和井底压力  $y$  (井底压力需大于等于地层孔隙压力,小于地层破裂压力)。设定控制初值。

[0037] 步骤2:设定参考轨迹,即精细控压钻井各个时刻的参考井口回压组成的轨迹。在精细控压钻井过程时,若发生井漏、井涌等突然情况时会导致井底压力发生变化,为了保证钻井的顺利进行,便要求改变节流阀开度迅速跟踪这一变化,通常是施加大幅值的节流阀开度控制变量。这会导致精细控压钻井过程中井底压力控制变化不平稳。为此,本申请预先设定一条参考轨迹,将预测的当前时刻之后预设个采样周期内每个时刻的节流阀开度值对



应的井口回压与参考井口回压做比较,得出每个时刻的二者的井口回压之差,再计算出该井口回压之差对应的节流阀开度值,根据计算出来的节流阀开度值调整获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,并根据调整后的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,重新预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值,将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为重新预测的节流阀开度值,使得重新预测的节流阀开度值更接近参考井口回压对应的节流阀开度值,以保持井底压力更平稳地过渡为参考井口回压对应的井底压力。

[0038] 步骤3:建立非线性预测模型。非线性模型预测控制是一种模型的控制算法。根据模型的历史信息和未来输入,通过模型来预测未来输出。建立的非线性预测模型不需要传统控制中对模型结构的严格数学模型的要求,而是根据功能要求按最方便的途径建立模型,具体的,可以通过公式(1)和(2)来实现,即通过公式(1)和(2)根据获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,实时预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值。

[0039] 步骤4:滚动优化。非线性模型预测控制是一种闭环控制算法,又实际钻井过程中存在非线性、时变、模型失配、干扰等因素的影响,为了使预测得到的节流阀开度值能够及时得到修正,得出预测的当前时刻之后预设个采样周期内每个时刻的节流阀开度值对应的井口回压与参考井口回压之间的井口回压差,并根据井口回压差调整获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,并根据调整后的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,重新预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值,滚动优化的目的是求出控制作用序列,使得优化时域内的预测节流阀开度值尽可能地接近参考轨迹。

[0040] 步骤5:反馈校正。实际工作中存在非线性时变性、模型失配和干扰等不确定因素,使实际精细控压钻井系统的井底压力与预测的节流阀开度值对应的井底压力不一致,通过得到实时检测到的指定时刻井底压力对应的节流阀开度与预测的该指定时刻的节流阀开度值之间的节流阀开度值之差(即预测误差),并根据预测误差来调整预测的节流阀开度值,例如,将预测的节流阀开度值加上或减去预测误差,根据调整后的节流阀开度值来控制节流阀的开度。

[0041] 基于同一发明构思,本发明实施例中还提供了一种精细控压钻井节流阀的调节系统,如下面的实施例所述。由于精细控压钻井节流阀的调节系统解决问题的原理与精细控压钻井节流阀的调节方法相似,因此精细控压钻井节流阀的调节系统的实施可以参见精细控压钻井节流阀的调节方法的实施,重复之处不再赘述。以下所使用的,术语“单元”或者“模块”可以实现预定功能的软件和/或硬件的组合。尽管以下实施例所描述的装置较佳地以软件来实现,但是硬件,或者软件和硬件的组合的实现也是可能并被构想的。

[0042] 图3是本发明实施例的精细控压钻井节流阀的调节系统的一种结构框图,如图3所示,包括:传感器301、接收接口302和节流阀303,下面对该结构进行说明。

[0043] 传感器301,用于实时获取当前时刻和当前时刻之前预设时长内精细控压钻井系统中泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,并将获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值输出给精细控压钻井节流阀的调节系统之外的计算设备300;

[0044] 接收接口302,与计算设备300连接,用于接收所述计算设备发送的当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀预测开度值,该节流阀预测开度值是所述计算设备根据获取的

泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值预测得到的,该节流阀预测开度值对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求;

[0045] 节流阀303,与接收接口302连接,用于将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为节流阀预测开度值。

[0046] 具体实施时,计算设备300可以为现有技术中有预测功能的设备,具体的,计算设备300可以采用上述非线性预测装置中执行的预测实现方法。

[0047] 在一个实施例中,还包括:输入设备,用于接收用户根据精细控压钻井的钻井工况,设定的精细控压钻井各个时刻的参考井口回压,该参考井口回压对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求;比较器,与输入设备连接,用于节流阀将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为节流阀预测开度值之前,将节流阀预测开度值对应的井口回压与所述参考井口回压做比较,获得二者的井口回压之差;输出接口,与比较器连接,用于将所述井口回压之差输送给所述计算设备;所述接收接口,与计算设备连接,还用于接收所述计算设备发送的新的当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀预测开度值,该新的节流阀预测开度值是所述计算设备根据所述井口回压之差调整获取的泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值后,重新预测得到的;所述节流阀,还用于将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为新的节流阀预测开度值。

[0048] 在一个实施例中,还包括:检测器,用于所述节流阀将当前时刻之后预设个采样周期内节流阀的开度调整为节流阀预测开度值之后,实时检测当前时刻之后预设个采样周期内指定时刻的井底压力;减法器,与检测器连接,用于将检测到的指定时刻井底压力对应的节流阀开度减去该指定时刻的节流阀预测开度值,得出二者的节流阀开度值之差;所述节流阀,与减法器连接,还用于将当前时刻之后预设个采样周期内指定时刻之后的节流阀的开度,调整为节流阀预测开度值与所述节流阀开度值之差的和。

[0049] 在本发明实施例中,由于通过当前时刻和当前时刻之前预设时长内精细控压钻井系统中泥浆泵的排量、回压泵的排量和节流阀的开度值,来预测当前时刻之后预设个采样周期内的节流阀开度值,可以很好地克服精细控压钻井过程中各种不确定性和复杂变化对井底压力控制的影响;该预测的节流阀开度值对应的井底压力符合精细控压钻井的安全要求,并根据预测的节流阀开度值来调整节流阀的开度,从而可以提高对精细控压钻井节流阀调节的有效性,进而可以使得精细控压钻井过程中井底压力有效维持平衡。

[0050] 显然,本领域的技术人员应该明白,上述的本发明实施例的各模块或各步骤可以用通用的计算装置来实现,它们可以集中在单个的计算装置上,或者分布在多个计算装置所组成的网络上,可选地,它们可以用计算装置可执行的程序代码来实现,从而,可以将它们存储在存储装置中由计算装置来执行,并且在某些情况下,可以以不同于此处的顺序执行所示出或描述的步骤,或者将它们分别制作成各个集成电路模块,或者将它们中的多个模块或步骤制作成单个集成电路模块来实现。这样,本发明实施例不限制于任何特定的硬件和软件结合。

[0051] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明实施例可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。



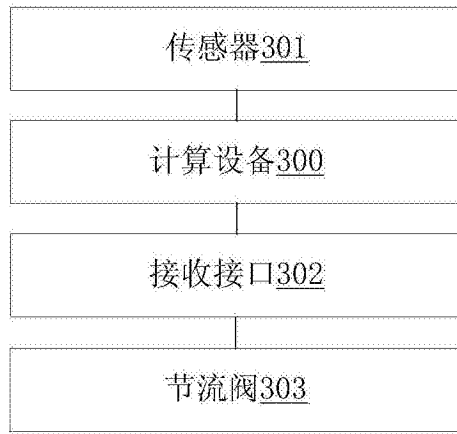


图3