

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

E21B 44/00 (2006.01)

E21B 21/08 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200310103433.1

[45] 授权公告日 2007 年 12 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 100353027C

[22] 申请日 2003.10.31

[21] 申请号 200310103433.1

[73] 专利权人 中国石油化工股份有限公司

地址 100029 北京市朝阳区惠新东街甲 6 号

共同专利权人 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

[72] 发明人 侯绪田 杨春国 高炳堂 曾义金
郭才轩 张建龙

[56] 参考文献

CN2187224Y 1995.1.11

CN1339650A 2002.3.13

US5842149A 1998.11.24

US6035952A 2000.3.14

US20030139916A1 2003.7.24

US6367566B1 2002.4.9

泥浆液位动态监测系统. 李长星等. 石油仪器, 第 15 卷第 3 期. 2001

欠平衡压力钻井井底压力控制技术探讨. 杨春国. 石油钻探技术, 第 28 卷第 5 期. 2000

欠平衡钻井计算机伺服控制节控箱试验研究. 刘刚等. 石油机械, 第 29 卷第 5 期. 2001

实用欠平衡钻井钻井液技术. 郭才轩. 钻井液与完井液, 第 19 卷第 6 期. 2002

审查员 李 华

[74] 专利代理机构 北京思创毕升专利事务所

代理人 韦庆文

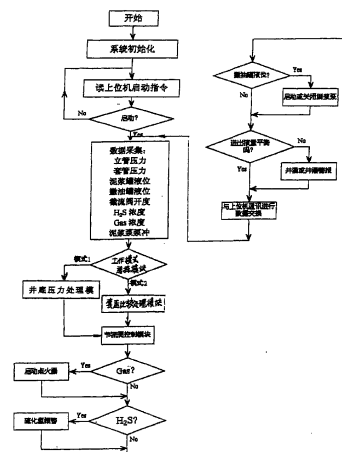
权利要求书 5 页 说明书 13 页 附图 4 页

[54] 发明名称

一种欠平衡钻井井底压力自动控制系统及方法

[57] 摘要

本发明提供一种欠平衡钻井井底压力自动控制系统及自动控制方法, 涉及计算机自动控制技术。本发明的自控系统包括欠平衡井底压力处理模块, 其根据环空动力平衡的原理, 以实测的立压和计算的钻具内和钻头压降来计算欠平衡钻井钻进时的井底压力, 得出井底压力值。将井底压力值与系统设定值进行比较, 当井底压力值超过或低于系统设定值时, 发出调节节流阀开度指令以控制井底压力恢复到设定范围, 从而完成对井底压力的监控。本发明的自控系统及方法能够实时跟踪井底压力的变化, 精确、及时调控。本发明的自动控制系统及方法提高了欠平衡钻井工艺的自动化程度, 同时也提高了欠平衡钻井作业的可靠性和安全性, 具有广阔的推广应用前景。



1. 一种欠平衡钻井井底压力自动控制系统，包括数据采集单元、数据处理单元、控制执行单元和数据转换及传输单元，其特征在于：

(1).数据采集单元：包括设置在钻井作业系统中的采集立管压力、套管压力的压力传感器、采集节流阀开度的传感器及采集泥浆泵泵冲的泵冲传感器；所述数据采集单元实时采集欠平衡钻井作业的动态模拟数据，并通过数据转换及传输单元将该数据传送给数据处理单元；

(2).数据处理单元：包括欠平衡钻井井底压力处理模块、数据采集模块及静态数据录入模块；

数据采集模块将由数据转换及传输单元传来的动态数据输入欠平衡钻井井底压力处理模块；

静态数据录入模块将包括井身结构、钻具结构、泥浆性能及井深在内的参数输入欠平衡钻井井底压力处理模块；

欠平衡钻井井底压力处理模块将包括以上所述的动态及静态数据在内的参数进行处理，根据：井底压力=立管压力+钻具内液柱压力-钻具内循环压耗-钻头压降，以实测的立压和计算的钻具内和钻头压降来计算欠平衡钻井钻进时的井底压力，得出井底压力值，将井底压力值与系统设定值进行比较，当井底压力值超过或低于系统设定值时，通过调节立压的大小来控制井底压力；根据立压与套压的关系： $P_{立压} = P_{管内摩阻} + P_{环空摩阻} + P_{喷嘴压降} + P_{套压} + P_{环空液压} - P_{管内液压}$ ，通过调节套压来使立压发生变化，套压的调节通过调节节流阀的开度来控制，由此发出调节节流阀开度指令通过数据转换及传输单元传给控制执行单元；

(3).控制执行单元：包括节流阀控制模块、节流阀；

其中节流阀控制模块收到数据处理单元发出的控制节流阀开度的指令时，输出控制信号给节流阀，控制节流阀开度，以实时将井底压力控制

在设定范围内。

2. 根据权利要求 1 所述的自动控制系统，其特征在于：

所述的数据采集单元包括采集硫化氢气体浓度的传感器；

所述的数据处理单元包括硫化氢气体过量报警控制模块，数据采集模块将硫化氢气体浓度的动态数据输入硫化氢气体过量报警控制模块，报警控制模块根据实际采集的浓度数据与设定的浓度进行对比，如果实际采集的浓度数据>设定浓度，发出启动报警器的指令给控制执行单元；

所述控制执行单元包括 H₂S 气体过量报警器，当报警器收到数据处理单元发出的启动报警器的指令，启动报警器进行报警。

3. 根据权利要求 1 所述的自动控制系统，其特征在于：

所述数据采集单元包括采集可燃气体浓度的传感器；

所述的数据处理单元包括点火器控制模块，数据采集模块将可燃气体浓度的动态数据输入点火器控制模块，点火器控制模块根据实际采集的可燃气体浓度数据与设定的浓度进行对比，如果实际采集的浓度数据>设定浓度，发出可燃气体过量指令给控制执行单元；

所述的控制执行单元包括设置在点火管线上的点火器，当接受到数据处理单元发出的可燃气体过量指令时自动点火燃烧可燃气体。

4. 根据权利要求 1 所述的自动控制系统，其特征在于：

所述的数据采集单元包括采集撇油罐液位的液位仪；

所述的数据处理单元包括倒浆泵控制模块，数据采集模块将撇油罐液位的动态数据输入倒浆泵控制模块，倒浆泵控制模块根据实际采集的撇油罐液位数据与设定的液位进行对比，如果实际采集的液位数据>设定的液位，则发出启动倒浆泵指令给控制执行单元；

所述的控制执行单元包括设置在撇油罐上的倒浆泵，当接受到数据处理单元发出的启动倒浆泵指令时启动倒浆泵把撇油罐里的钻井液抽到钻

井循环罐中，维持欠平衡钻井液循环系统的正常运行。

5. 根据权利要求 1 所述的自动控制系统，其特征在于：

所述的数据采集单元包括采集泥浆罐液位的液位仪；

所述的数据处理单元包括井涌井漏报警控制模块，数据采集模块将泥浆罐液位的动态数据输入井涌井漏报警控制模块，报警控制模块根据实际采集的液位数据与上一时段的液位数据进行对比，如果液位的波动值>设定值，发出启动报警器的指令给控制执行单元；

所述控制执行单元包括井涌井漏报警器，当报警器收到数据处理单元发出的启动报警器的指令，启动井涌井漏报警器进行报警。

6. 根据权利要求 1 所述的自动控制系统，其特征在于所述自动控制系统包括系统设置显示单元，该单元包括静态数据录入模块、数据显示模块、通讯模块，系统设置显示单元与所述的数据处理单元通过通讯模块交换数据，其中静态数据录入模块通过通讯模块及连接将静态数据的原始参数传输给数据处理单元，将包括井身结构、钻具结构、泥浆性能及井深在内的静态数据初始化，并随时根据钻进情况向数据处理单元传输更新了包括井深和钻井液性能在内的数据，同时钻井监控画面、现场施工数据及由数据处理单元传回的结果数据，通过数据显示模块动态显示，并存储数据。

7. 一种欠平衡钻井井底压力自动控制方法，包括数据采集步骤、数据处理步骤、控制执行步骤，其特征在于：

(1).数据采集步骤：实时采集钻井作业中的立管压力、套管压力、节流阀开度及泥浆泵泵冲的动态模拟数据，并将所测数据输出给数据处理步骤；

(2).数据处理步骤：将包括井身结构、钻具结构、泥浆性能在内的静态数据及上述数据采集步骤中采集的数据进行处理，根据： $\text{井底压力} = \text{立管压力} + \text{钻具内液柱压力} - \text{钻具内循环压耗} - \text{钻头压降}$ ，以实测的立压和计算的钻具内和钻头压降来计算欠平衡钻井钻进时的井底压力，得出井底压力

值，当井底压力值 $<(\text{系统设定值}-\text{设定误差})$ 时，通过调节立压的大小来控制井底压力；根据立压与套压的关系： $P_{\text{立压}}=P_{\text{管内摩阻}}+P_{\text{环空摩阻}}+P_{\text{喷嘴压降}}+P_{\text{套压}}+P_{\text{环空液压}}-P_{\text{管内液压}}$ ，通过调节套压来使立压发生变化，套压的调节通过调节节流阀的开度来控制，由此发出关小节流阀开度指令，以增加套压值，在等待一个压力传播延迟后根据变化了的立压和所述动静态数据重新计算井底压力，再把计算的井底压力与设定值进行对比，直到井底压力在设定值 \pm 设定误差范围之内；当计算得出的井底压力 $>(\text{设定值}+\text{设定误差})$ 时，发出开大节流阀开度指令，以减少套压值，在等待一个压力传播延迟后根据变化了的立压和其它数据重新计算井底压力，再把计算的井底压力与设定值进行对比，直到井底压力在设定值 \pm 设定误差范围之内；

(3).控制执行步骤：根据上述数据处理步骤给出的控制节流阀开度的指令，输出控制信号给电控节流阀，控制节流阀开度，以实时将井底压力控制在设定范围内。

8. 根据权利要求7所述的自动控制方法，其特征在于：

所述的数据采集步骤包括采集硫化氢气体浓度的动态模拟数据，；

所述的数据处理步骤包括将数据采集步骤中实际采集的硫化氢浓度数据与设定的浓度进行对比，如果实际采集的浓度数据 $>$ 设定浓度，发出启动报警器的指令；

所述控制执行步骤包括当收到数据处理步骤发出的启动报警器的指令时，启动报警器进行报警。

9. 根据权利要求7所述的自动控制方法，其特征在于：

所述数据采集步骤包括采集可燃气体浓度的动态模拟数据；

所述的数据处理步骤包括根据数据采集步骤实际采集的可燃气体浓度数据与设定的浓度进行对比，如果实际采集的浓度数据 $>$ 设定浓度，发

出可燃气体过量指令；

所述的控制执行步骤包括当接受到数据处理步骤发出的可燃气体过量指令时，启动点火器燃烧可燃气体。

10.根据权利要求 7 所述的自动控制方法，其特征在于：

所述的数据采集步骤包括采集撇油罐液位的动态模拟数据；

所述的数据处理步骤包括根据实际数据采集步骤采集的撇油罐液位数据与设定的液位进行对比，如果实际采集的液位数据>设定的液位，则发出启动倒浆泵指令；

所述的控制执行步骤包括当接受到数据处理步骤发出的启动倒浆泵指令时，启动倒浆泵把撇油罐里的钻井液抽到钻井循环罐中，维持欠平衡钻井液循环系统的正常运行。

11.根据权利要求 7 所述的自动控制方法，其特征在于：

所述的数据采集步骤包括采集泥浆罐液位的动态模拟数据；

所述的数据处理步骤包括根据实际采集的泥浆罐液位数据与上一时段的液位数据进行对比，如果液位的波动值>设定值，发出启动报警器的指令；

所述控制执行步骤包括当报警器收到数据处理单元发出的启动报警器的指令时，启动井涌井漏报警器进行报警。

12.根据权利要求 9 所述的自动控制方法，其特征在于所述方法中包括系统设置显示步骤，通过初始化数据处理步骤中的静态数据，并随时根据钻进情况向数据处理步骤传输更新了的包括井深和钻井液性能在内的数据，同时传回数据处理步骤处理的结果数据，动态显示钻井监控画面及现场施工数据。

一种欠平衡钻井井底压力自动控制系统及方法

技术领域

本发明涉及欠平衡钻井中的压力控制技术，进一步地说，是涉及液相欠平衡钻井中的井底压力自动控制系统及其自动控制方法。

背景技术

在目前常规钻井中，往往采用过平衡钻井技术，即钻井的井底压力（钻井液液柱压力加上循环压降等）大于地层孔隙压力。这种钻井技术的优点在于钻井的安全性比较高。但由于液柱压力大于地层孔隙压力，不可避免地对地层造成损害，如（1）泥浆滤液侵入地层，和地层里的粘土发生水化反应，粘土膨胀、分散、运移，堵塞孔隙后道；（2）泥浆滤液和地层流体起化学反应，产生水锁、乳化、润湿反转和固相沉淀，从而堵塞孔隙喉道；（3）泥浆固相直接堵塞孔隙喉道等。这使得在现场钻井施工中经常会遇到完井前油气显示良好，后效反应强烈甚至出现井涌、井喷，但由于储层受污染等因素造成完井测试效果却很差，即使有产量不是很低就是衰减太快。可是由于钻进时的良好显示使决策者不忍放弃，造成反复布井，浪费了巨额的资金，也推迟甚至错过了新油田的发现。此外，这种压差还对机械钻速产生负面影响，如（1）压差对岩石强度的影响：压差越大，岩石的强度越大，越难破碎；（2）压差对井底清洗效果的影响：压差增大容易产生压持效应，影响机械钻速；故压差越大机械钻速越低，故减小压差是提高机械钻速的一种途径。

欠平衡钻井技术是近几年在国外快速发展的一项新技术，也是石油工程 20 世纪 10 大顶尖技术之一，它起源是为了克服常规过平衡钻井中出现的严重井漏等工程事故、提高机械钻速、减少地层污染，它是钻井理论的突破，是钻井作业从“过平衡”、“平衡”到“欠平衡”的必然。

欠平衡钻井的主要技术特点是利用特殊设备（旋转防喷器）及工艺技术实

现井底欠平衡钻进，既边喷边钻。欠平衡钻井工艺的核心问题是在钻井过程中保持井底压力低于地层孔隙压力或储层压力在一个合适的范围内(即设计负压值)，但在实际钻井过程中由于地层流体的进入特别是地层气体在井底负压状态下流入井筒，以及泵入排量的变化都会造成井口和井底压力的波动，井底压力不在是一个恒定值。目前，现场普遍采用的是根据钻井产油、气量的高低、来间接估计井底压力状况：例如，如果产油、气量过高，井底压力可能太低，负压值太大；如果产油、气量过低，井底压力可能太高，造成过平衡。从而根据经验，通过手动调节节流阀改变套压而间接影响井底压力，使套压保持在合适的范围内。由于手动调节存在准确性低和效率不高等问题，特别是这种方法对井底压力情况的估计以及套压调节量的大小上很大程度上依赖操作者的经验水平，并没有直接可参照比较的客观参数，稍有不妥，就会造成井底过压，失去了欠平衡钻井的意义，或者造成负压值太大，容易发生钻井事故。

根据手动调节欠平衡钻井压力的原理，中国专利申请 01136291.X 提供了一种欠平衡钻井用节流压力（套压）的自动控制系统。其主要特征是通过采集有关立压、套压等动态模拟信号，通过计算机转换成压力数据，然后按设定的套压的控制值进行控制，其控制目的是维持套压或立压在设计值内不变。其理论是建立在简单的压井原理之上，认为维持立压不变就等于井底压力不变，没有将泵排量、钻井液性能等的变化对井底压力考虑在内（而这些在欠平衡钻井作业中会经常变化）。其虽然比手动调节套压精度和效率都提高了，但其核心只是将计算机简单代替了人工，所依据的原理以及参照和调整的参数与手动调节并无两样，因此同样存在上述手动调节的问题。

目前，世界上生产欠平衡专用旋转防喷器的技术已趋成熟，国内也有多家石油机械厂正在开发旋转防喷器产品。但都没有配备相应的压力自动控制系统。而且由于地质地貌的不同，国外的欠平衡钻井技术多采用注气欠平衡钻井，钻具中同时注入气体和钻井液（泥浆），因此注气欠平衡钻井是通过调节注气量

和注液量来调节井底压力。我国国内的欠平衡钻井技术则多采用液相欠平衡钻井，钻具中只注入钻井液，因此无法套用国外气压钻井的压力控制方法。

发明内容

井底压力控制是欠平衡钻井工艺得以成功实施的关键，如果井底压力控制不当会造成正压钻井而失去欠平衡钻井的意义或欠平衡过大引起井口失控等钻井事故。

本发明针对液相欠平衡钻井技术进行研究。液相欠平衡钻井是指通过在钻杆中注入纯液相（钻井液或泥浆）进行欠平衡钻井的工艺。如附图 2 所示钻杆 9 是中空的用于注入钻井液，环空 14 是指钻杆同井壁间的间隙，由钻杆 9 中注入的钻井液从钻头喷出后沿环空 14 返回地面。尽管可以通过环空 14 及套管压力 12 来推导井底压力 13，但由于环空 14 内的流体不仅有钻井液，还包括从油、气层带上的油相、气相及岩屑，呈现出多相流的状态。多相流的影响因素非常复杂，计算误差大，因此很难准确、简便的由出口压力推算出井底压力 13。

发明人认为环空与钻杆的中空构成了类似 U 型管的流体通道，如附图 3 所示。因此从钻杆 9 内，根据立管压力 11（立压）及钻具和钻头内的压降同样可以来推导井底压力 13。而且由于液相欠平衡钻井的钻杆 9 中的流体为纯液相，因此可以利用成熟的水力学模型进行计算来准确推导井底压力 13。其误差要比利用多相流模式推导井底压力要小得多。

由此发明人根据这种环空与钻杆间动力平衡的原理，通过研究井底压力与其它钻井参数的关系，充分地考虑了液相欠平衡钻井中可能对井底压力的各种影响因素，通过采集立压、套压、泵冲数据，结合输入的钻井液全性能数据及井身结构参数等，建立计算井底压力模型，从而能够得到井底压力值。按照维持井底压力不变的原则通过调节套压从而改变立压的方法，控制井底压力不变，为井底压力自动控制提供依据。

因此，本发明提供了一种欠平衡钻井井底压力自动控制系统，通过计算机自控系统实时监控、计算出井底压力，使其时刻准确控制在欠平衡钻井的工艺要求范围之内。

另外，本发明提供了一种欠平衡钻井井底压力自动控制的方法，能够实时跟踪实际井底压力的变化，以保障欠平衡钻井正常进行，该方法调节精度高，可确保欠平衡钻井工艺的可靠性和安全性。

本发明针对液相欠平衡钻井技术，根据环空动力平衡的条件建立如下公式①：

井底压力=立管压力+钻具内液柱压力—钻具内循环压耗—钻头压降。

公式①中：

- a.立管压力(立压)：通过现场实时采集得到；
- b.钻具内液柱压力：根据输入的井斜、井深、钻井液密度的静态数据利用水力学公式计算；
- c.钻具内循环压耗：根据现场实时采集的泵冲折算出的钻井液排量、钻具几何尺寸、钻具长度、钻井液性能（包括泥浆密度、塑性粘度、nk 值）利用水力学公式计算；
- d.钻头压降：根据现场实时采集的泵冲折算出的钻井液排量、钻头水眼尺寸、钻井液性能利用水力学公式计算。

综上所述，可以利用实时采集的立压、泵冲，并结合井斜、井深、钻具几何尺寸、钻头水眼尺寸、钻具长度、钻井液性能等静态数据，通过上述原理推导出准确的井底压力值。

欠平衡钻井工艺中井底压力的设定值，针对具体的钻井来说是已知的，可以根据该钻井的具体参数条件及其所在的地质构造情况如地层压力等来设计。当井底压力在设计值范围内时，井底压力与其所在的地层压力之间有一合理负压值，欠平衡钻井可正常且安全的进行。当井底压力值不在设计值范围内时，

根据以上推导则可以通过调节立压的大小来控制井底压力使其保持在设计范围内。

立压与套压（套管压力）之间有这如下关系：

$P_{立压} = P_{管内摩阻} + P_{环空摩阻} + P_{喷嘴压降} + P_{套压} + P_{环空液压} - P_{管内液压}$ 。

所以可以通过调节套压来使立压发生变化，从而达到控制井底压力的目的。套压的调节则可通过调节节流管汇上设置的节流阀的开度来控制。

因此，依据以上原理，本发明提供了一种欠平衡钻井井底压力自动控制系统，其包括数据采集单元、数据处理单元、控制执行单元和数据转换及传输单元，其中：

(1).数据采集单元：包括设置在钻井作业系统中的采集立管压力、套管压力的压力传感器、采集节流阀开度的传感器及采集泥浆泵泵冲的泵冲传感器等。所述数据采集单元实时采集欠平衡钻井作业的动态模拟数据，并通过数据转换及传输单元将该数据传送给数据处理单元；

(2).数据处理单元：包括计算机，优选嵌入式计算机，如工业控制计算机等。其中包含有欠平衡钻井井底压力处理模块、数据采集模块及静态数据录入模块。

所述的数据采集模块将由数据转换及传输单元传来的动态数据输入欠平衡钻井井底压力处理模块。该模块主要起到控制采样频率、过滤干扰信号、对采集的数据进行求和平均等处理并传给数据处理单元的作用。

所述的静态数据录入模块将包括井身结构、钻具结构、泥浆性能及井深在内的参数输入欠平衡钻井井底压力处理模块，并能够及时更新所述的参数。

欠平衡钻井井底压力处理模块将包括以上所述的动态及静态数据在内的参数进行处理，以实测的立压和计算的钻具内和钻头压降来计算液相欠平衡钻井钻进时的井底压力，即通过上述公式①得出井底压力值。将井底压力值与系统设定值进行比较，当井底压力值超过或低于系统设定值时，发出调节节流阀开

度指令通过数据转换及传输单元传给控制执行单元；

(3).控制执行单元：包括节流阀控制模块、节流阀等。

其中节流阀控制模块收到数据处理单元发出的控制节流阀开度的指令时，输出控制信号给节流阀，控制节流阀开度，以实时将井底压力控制在设定范围内。所述的节流阀控制模块还起到防止阀关死而将井憋漏的作用。

(4)数据转换及传输单元包括 A/D、D/A 变换器、I/O 控制器等，起到系统的数据转换和数据的输出输入等作用。其将数据采集单元得到的模拟数据通过 A/D 变换器变换成数据，然后通过 I/O 控制器输入给数据处理单元。再将数据处理单元的处理数据通过 D/A 变换器变换成模拟信号，经 I/O 控制器输出给控制执行单元。

为了使本发明的自控系统功能更完善，以上所述的自动控制系统还包括硫化氢气体过量报警体系：

即所述的数据采集单元还包括采集硫化氢（ H_2S ）气体浓度的传感器；

所述的数据处理单元还包括硫化氢气体过量报警控制模块，数据采集模块将硫化氢气体浓度的动态数据输入硫化氢气体过量报警控制模块，报警控制模块根据实际采集的浓度数据与设定的浓度进行对比，如果实际采集的浓度数据>设定浓度，发出启动报警器的指令给控制执行单元；

所述的控制执行单元还包括 H_2S 气体过量报警器，当报警器收到数据处理单元发出的启动报警器的指令，启动报警器进行报警。

本发明的自控系统还包括当可燃气体过量时自动点火的自控体系：

即所述的数据采集单元还包括采集可燃气体浓度的传感器；

所述的数据处理单元还包括点火器控制模块，数据采集模块将可燃气体浓度的动态数据输入点火器控制模块，点火器控制模块根据实际采集的可燃气体浓度数据与设定的浓度进行对比，如果实际采集的浓度数据>设定浓度，发出

可燃气体过量指令给控制执行单元；

所述的控制执行单元还包括设置点火管线上的点火器，当接受到数据处理单元发出的可燃气体过量指令时自动点火燃烧可燃气体。

本发明的自控系统中还包括自动控制撇油罐倒浆的体系：

即所述的数据采集单元还包括采集撇油罐液位的液位仪；

所述的数据处理单元还包括倒浆泵控制模块，数据采集模块将撇油罐液位的动态数据输入倒浆泵控制模块，倒浆泵控制模块根据实际采集的撇油罐液位数据与设定的液位进行对比，如果实际采集的液位数据 $>$ 设定的液位，则发出启动倒浆泵指令给控制执行单元；

所述的控制执行单元还包括设置在撇油罐上的倒浆泵，当接受到数据处理单元发出的启动倒浆泵指令时启动倒浆泵把撇油罐里的钻井液抽到钻井循环罐中，维持欠平衡钻井液循环系统的正常运行。

本发明的自控系统还包括对井涌井漏报警的自控体系：

即所述的数据采集单元还包括采集泥浆罐液位的液位仪；

所述的数据处理单元还包括井涌井漏报警控制模块，数据采集模块将泥浆罐液位的动态数据输入井涌井漏报警控制模块，报警控制模块根据实际采集的液位数据与上一时段的液位数据进行对比，如果液位的波动值 $>$ 设定值，发出启动报警器的指令给控制执行单元；

所述的控制执行单元还包括井涌井漏报警器，当报警器收到数据处理单元发出的启动报警器的指令，启动井涌井漏报警器进行报警。

为了便于现场操作及场外监控，本发明所述的自动控制系统还包括系统设置显示单元。该单元包括计算机，如便携式计算机等。其中包括静态数据录入模块、数据显示模块、通讯模块等。系统设置显示单元可作为上位机与作为下

位机的所述数据处理单元通过通讯模块及有线或无线连接交换数据。所述通讯模块可起将数据在上位机和下位机之间进行交换的作用。

所述系统设置显示单元中的静态数据录入模块通过通讯模块及连接将静态数据的原始参数传输给数据处理单元，将包括井身结构、钻具结构、泥浆性能及井深在内的静态数据初始化。并随时根据钻进情况向数据处理单元传输更新了的包括井深和钻井液性能在内的数据。同时钻井监控画面、现场施工数据及由数据处理单元传回的结果数据，通过数据显示模块动态显示。而且系统设置显示单元还可以对结果数据进行存储。

本发明的自控系统中所涉及的压力传感器、泵冲传感器、液位仪、点火器、报警器、节流阀、节流阀开度传感器等设备均可采用现有技术中相应的设备。

针对上述本发明的欠平衡钻井井底压力自动控制系统，本发明还提供一种欠平衡钻井井底压力自动控制的方法。该方法可包括数据采集步骤、数据处理步骤、控制执行步骤，其中：

(1).数据采集步骤：实时采集钻井作业中的立管压力、套管压力、节流阀开度及泥浆泵泵冲的动态模拟数据，并将该数据传送给数据处理步骤；

(2).数据处理步骤：将包括井身结构、钻具结构、泥浆性能在内的静态数据及上述数据采集步骤中采集的数据进行处理：如上述公式①的原理，以实测的立压和计算的钻具内和钻头压降来计算欠平衡钻井钻进时的井底压力。得出井底压力值，当井底压力值 $< (\text{系统设定值}-\text{设定误差})$ 时，发出关小节流阀开度指令，以增加套压值，在等待一个压力传播延迟后根据变化了的立压和所述静态数据重新计算井底压力，再把计算得出的井底压力与设定值进行对比，直到井底压力在设定值 \pm 设定误差范围之内；当计算的井底压力 $> (\text{设定值}+\text{设定误差})$ 时，发出开大节流阀开度指令，以减少套压值，在等待一个压力传播延迟后根据变化了的立压和其它数据重新计算井底压力，再把计算的井底压力与

设定值进行对比，直到井底压力在设定值±设定误差范围之内；

(3).控制执行步骤：根据上述数据处理步骤给出的控制节流阀开度的指令，输出控制信号给电控节流阀，控制节流阀开度，以实时将井底压力控制在设定范围内。

为了使本发明的自控方法功能更完善，以上所述的自动控制方法中还包括当硫化氢气体过量时的自动报警的方法：

即所述的数据采集步骤包括采集硫化氢气体浓度的动态模拟数据；

所述的数据处理步骤包括将数据采集步骤中实际采集的硫化氢浓度数据与设定的浓度进行对比，如果实际采集的浓度数据>设定浓度，发出启动报警器的指令；

所述控制执行步骤包括当收到数据处理步骤发出的启动报警器的指令时，启动报警器进行报警。

所述的报警方式包括现有技术中的各种报警方式，如声光报警或通过计算机发声或显示报警等。

本发明的自动控制方法中还包括当可燃气体浓度过量时的自动点火燃烧可燃气体的自控方法：

即所述数据采集步骤包括采集可燃气体浓度的动态模拟数据；

所述的数据处理步骤包括根据数据采集步骤实际采集的可燃气体浓度数据与设定的浓度进行对比，如果实际采集的浓度数据>设定浓度，发出可燃气体过量指令；

所述的控制执行步骤包括当接受到数据处理步骤发出的可燃气体过量指令时，启动点火器燃烧可燃气体。

本发明的自动控制方法还包括控制倒浆泵自动倒浆的方法：

所述的数据采集步骤包括采集撇油罐液位的动态模拟数据；

所述的数据处理步骤包括根据实际数据采集步骤采集的撇油罐液位数据与设定的液位进行对比，如果实际采集的液位数据 $>$ 设定的液位，则发出启动倒浆泵指令；

所述的控制执行步骤包括当接受到数据处理步骤发出的启动倒浆泵指令时，启动倒浆泵把撇油罐里的钻井液抽到钻井循环罐中，维持欠平衡钻井液循环系统的正常运行。

本发明的自动控制方法还包括根据泥浆罐液位的波动情况自动对井涌井漏报警的方法：

所述的数据采集步骤包括采集泥浆罐液位的动态模拟数据；

所述的数据处理步骤包括根据实际采集的泥浆罐液位数据与上一时段的液位数据进行对比，如果液位的波动值 $>$ 设定值，发出启动报警器的指令；即当实时采集的液位低于上一时段液位，且波动值 $>$ 设定值，则发出井漏报警的指令，当实时采集的液位高于上一时段液位，且波动值 $>$ 设定值，则发出井涌报警的指令；

所述控制执行步骤包括当报警器收到数据处理单元发出的启动报警器的指令时，启动井涌井漏报警器进行报警。

为了便于现场操作及场外监控，本发明所述的自动控制方法中还包括系统设置显示步骤。其通过将包括井身结构、钻具结构、泥浆性能及井深在内的静态数据录入并交换给数据处理步骤，初始化数据处理步骤中的静态数据，并随时根据钻进情况向数据处理步骤传输更新了的包括井深和钻井液性能在内的数据，同时传回数据处理步骤处理的结果数据，动态显示钻井监控画面及现场施工数据，并存储数据。

此外，本发明的自控系统的工作模式可以包括两者，一种为上述的以实测

的立压和计算的钻具内和钻头压降来计算欠平衡钻井井底压力，将其与系统设定值进行比较并进行控制的工作模式；另一种为在背景技术中介绍的根据经验设定套压值，将实测的套压值与设定值比较，控制套压值或立压值不变的工作模式。在钻井系统在进行欠平衡钻井时，自控系统选择前一种工作模式（模式1），而当钻井系统在进压井作业（遇到井涌时往往需要压井作业）时可选择后一种工作模式（模式2）。

根据上述后者的这种工作模式，本发明的自动控制系统中的数据处理单元或系统设置显示单元中还包括工作模式选择模块，数据处理单元中还包括套压比较处理模块。当系统需要以第二种工作模式运行时，可通过工作模式选择模块选择第二种工作模式，数据处理单元中的数据采集模块将套压实测数据传给套压比较处理模块，将套压实测值与套压的设定值进行比较，当套压数据不在设定范围内时，发出调节节流阀的指令给控制执行单元进行节流阀开度的控制以调整套压。

本发明的欠平衡钻井井底压力自动控制系统及方法能够配合世界上所有类型的旋转防喷器（用于欠平衡钻井的专用设备）工作，通过使用该系统及提高了欠平衡钻井工艺的自动化程度，同时也提高了欠平衡钻井作业的准确性、可靠性和安全性。具有广阔的推广应用前景。

附图说明

- 图 1 为欠平衡钻井系统的设备布置示意图；
- 图 2 为钻杆与环空流体压力实际情况示意图；
- 图 3 为环空动力平衡模式示意图；
- 图 4 为本发明井底压力自动化控制系统的程序流程图；
- 图 5 为本发明欠平衡钻井井底压力处理模块的流程图。

具体实施方式

下面结合附图进一步地描述本发明。

本发明的钻井系统的主要设备如图 1 所示：

其中欠平衡钻井的钻杆 9 中注入钻井液，套管 10 中为返回的多相流体。钻杆 9 上设置有立压传感器 1 可实时测量立压数据给自控系统。套管 10 中多相流体经过截流管汇 8 输入气液分离罐 7。截流管汇 8 中的节流阀可根据自控系统的指令来控制开度，从而控制套压。配合节流阀安装的套压传感器可实测套压的动态模拟数据给自控系统。从套管 10 中返回的流体经过气液分离罐 7 分离。气体从分离罐 7 上部排出。在气体排出线路上设置有硫化氢气体浓度传感器、可燃气体浓度传感器，可将气体浓度数据实时传给自控系统。在气体排出的点火管线 4 上设置有点火器。在收到自控系统点火指令时点火器自动点火燃烧可燃气体。由气液分离罐 7 排出的液体在撇油罐 5 中静置。液体中的油从液面上去除。该撇油罐 5 上设置有液位仪，实时测量液位数据给自控系统。倒浆泵 6 在收到系统指令后可自动启动将泥浆排至泥浆罐 3。泥浆罐 3 上设置有泥浆泵液位仪，可实时测量液位数据给自控系统。泥浆罐 3 通过泥浆泵 2 将泥浆注入钻杆 10。配合泥浆泵 2 设置有泵冲传感器可实时测量泵冲数据给自控系统。

图 4 为本发明自控系统的程序流程：

如图所示下位机开机系统初始化的主要工作是与上位机进行通信，接受传来的井身结构、钻具结构、钻井液性能，井深等工作数据，以及是否启动设备工作、设备将要工作在何种模式下等控制数据。当系统接受到启动指令后，开始调用数据采集模块，数据采集模块在规定时间内采集立管压力、套管压力、泥浆罐液位、撇油罐液位、节流阀开度、 H_2S 浓度、天然气 (Gas) 浓度、泵冲等数据。然后，根据工作模式选择模块选择工作模式 1 或工作模式 2。如果选择模式 2，则通过套压比较处理模块，对套压实测值同设定值比较，并把结果数据传给节流阀控制模块，由其控制节流阀的开度，保持套压在设定值范围内。如

果控制方式是模式 1，则调用井底压力处理模块，该模块根据实测动态数据和有关静态数据计算井底压力，然后调用节流阀控制模块，控制节流阀开度从而使井底压力维持在设定范围之内。

当系统根据工作模式的不同进行相应的压力控制之后对采集的天然气浓度数据进行判断，如果 $>$ 设定值则启动点火器。然后对采集的 H_2S 浓度数据进行判断，如果 $>$ 设定值则进行硫化氢报警。之后，系统对采集的撇油罐液位数据进行判断，如果不在设定范围之内，则根据是否 $>$ 上限设定值或是否 $<$ 下限设定值而启动或关闭倒浆泵。接着，系统对采集的泥浆罐液位数据进行进出液量平衡判断，如果液位实测值与上一时段的实测值之间的波动值大于或小于设定值则进行井涌或井漏报警。之后与上位机通讯进行数据交换，把有关结果或需显示的数据上传给上位机。最后把控制重新交给数据采集模块进行下一次的循环。

图 5 为本发明自控系统中欠平衡井底压力处理模块的程序流程：

如图 5 所示，首先根据实时采集的数据和静态数据以及上位机传来的井身结构、钻具结构、泥浆参数及井深等数据计算钻具内的液柱压力、钻具内压耗、钻头压降，在此基础上用采集的立压数据计算出井底压力，然后根据井底压力设定值进行判断，如果计算井底压力在系统设置值 \pm 误差之内则直接退出该模块。如果计算井底压力不在系统设置值 \pm 误差之内则调用节流阀控制模块，节流阀控制模块根据一定的算法开大（如果井底压力 $>$ 设定值）或关小（如果井底压力 $<$ 设定值）节流阀，这样套压就会降低或升高，进而造成立压也有不同程度的变化。

然后系统进入一个等待时段，等待一个压力传播延迟时间后调用数据采集模块，根据采集的数据重新计算井底压力，如果计算井底压力在系统设置值 \pm 误差之内则退出该模块。如果计算井底压力还不在于系统设置值 \pm 误差之内则调用节流阀控制模块再次进行调整，直到计算井底压力在系统设置值 \pm 误差之内。

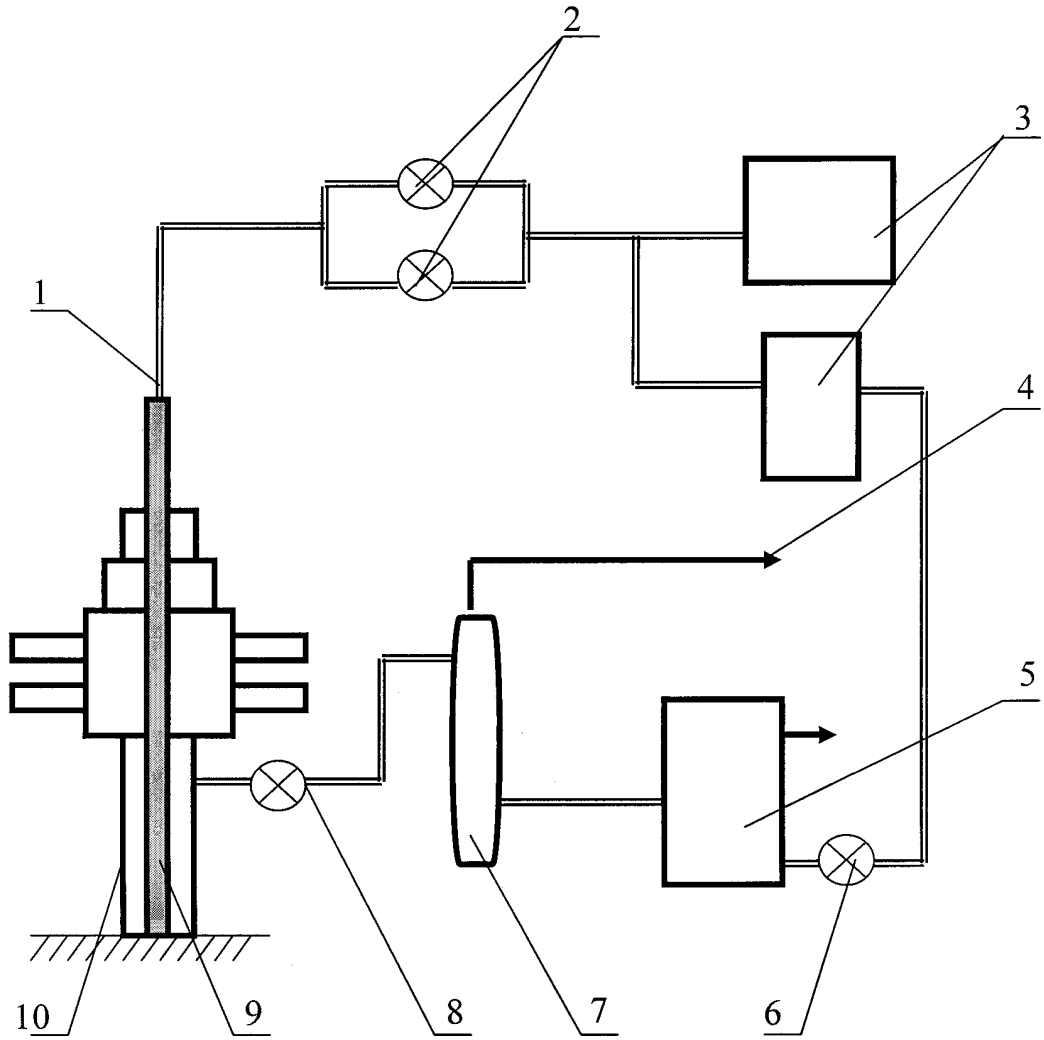


图 1

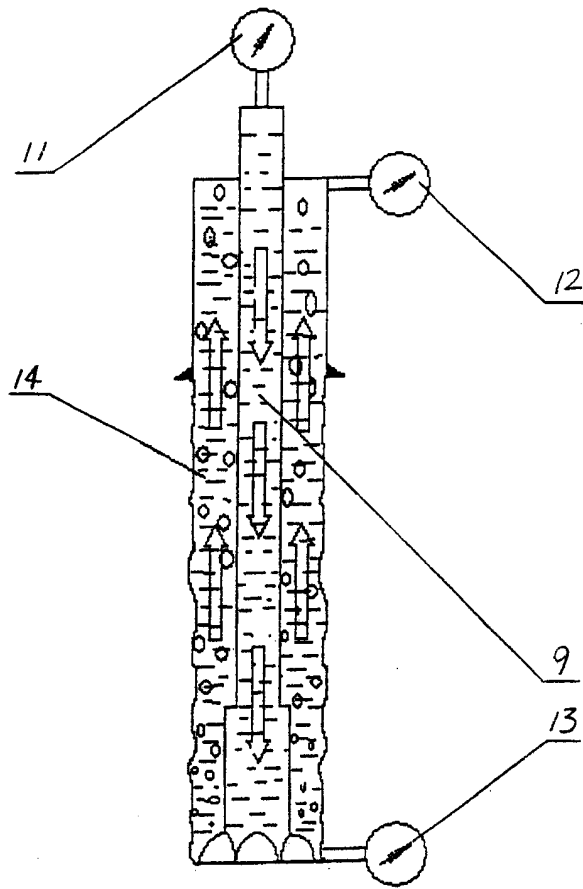


图 2

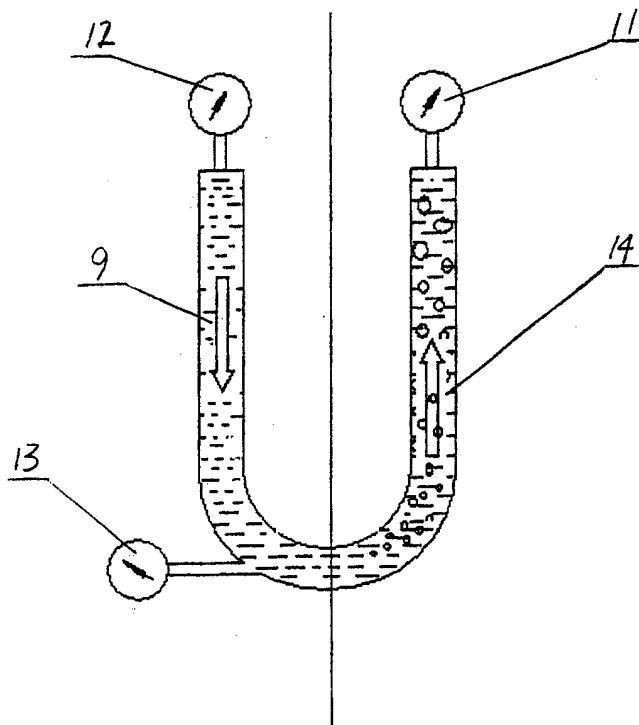


图 3

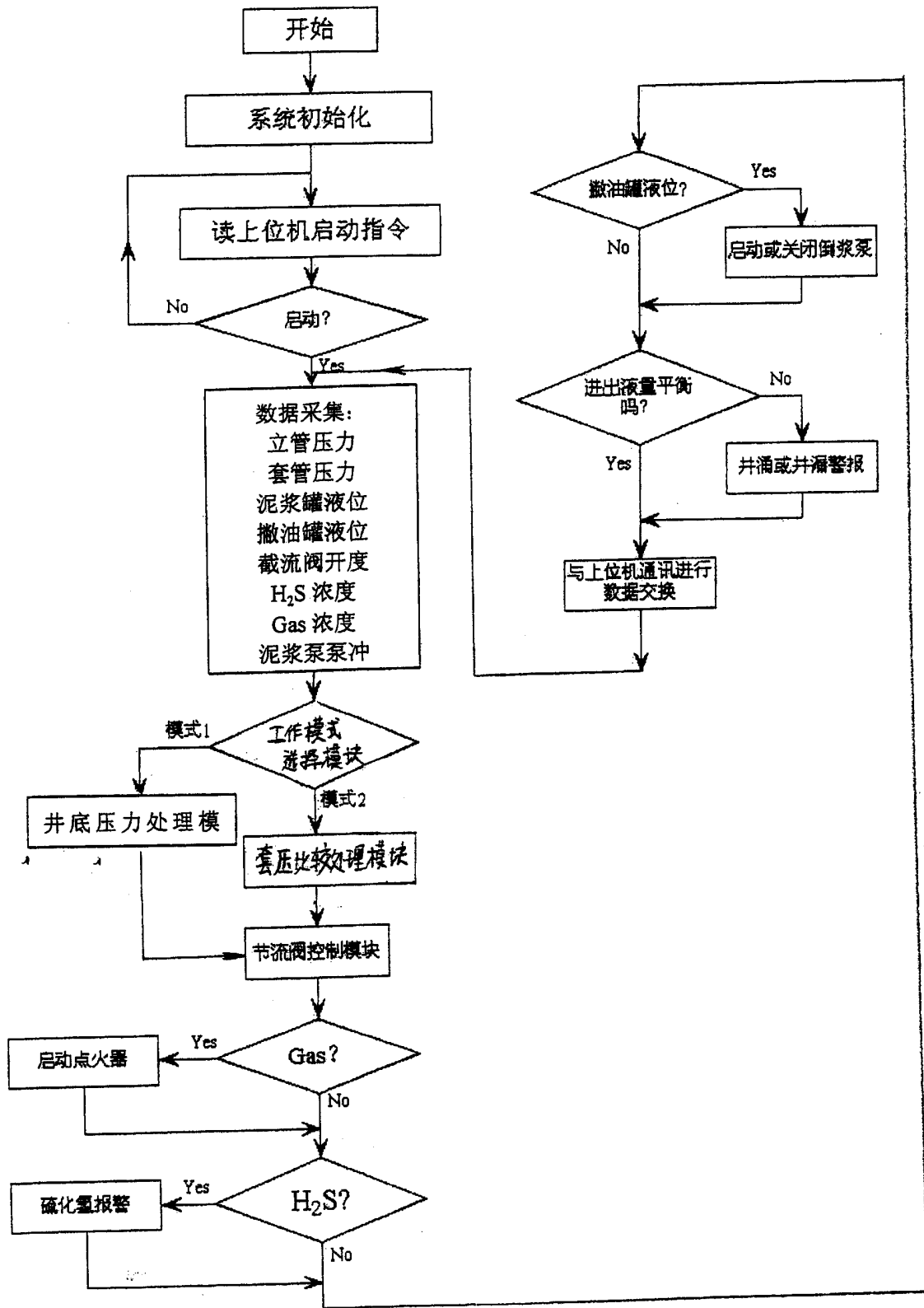


图3

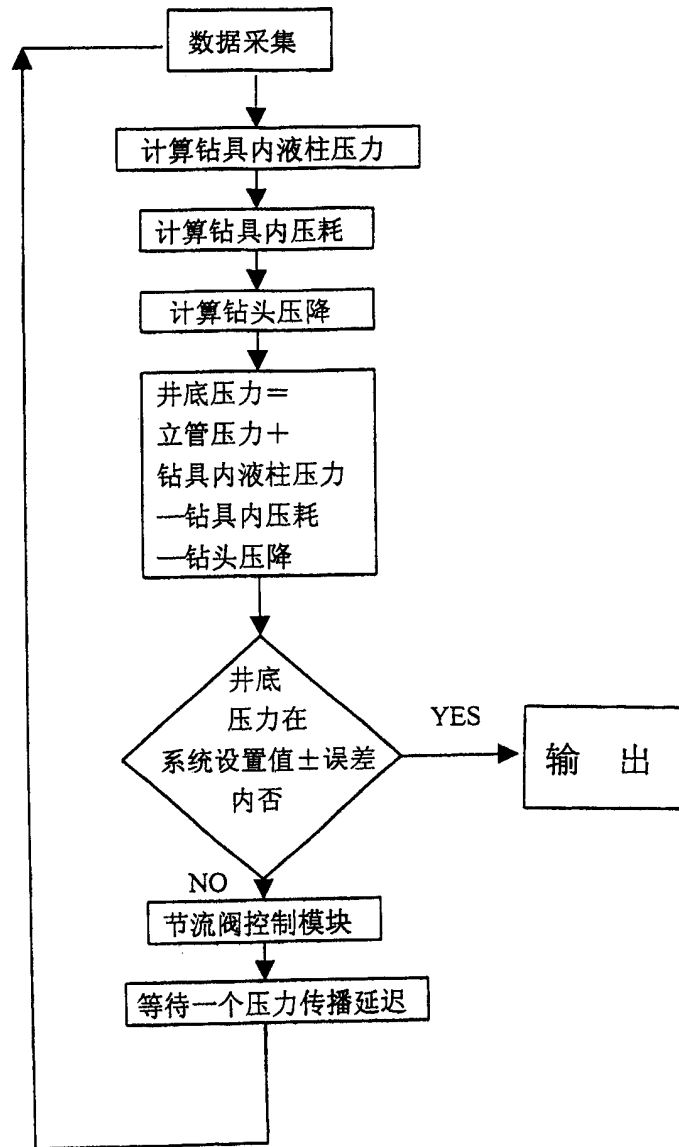


图 5