



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102071926 B

(45) 授权公告日 2013. 01. 30

(21) 申请号 201010570374. 9

(22) 申请日 2010. 12. 02

(73) 专利权人 中国石油集团钻井工程技术研究院

地址 100195 北京市海淀区北坞村路甲 25 号静芯园 K 座

(72) 发明人 唐雪平 邓乐 王家进 王鹏 徐义 高文凯 艾维平

(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 任默闻

(51) Int. Cl.

E21B 47/06 (2012. 01)

E21B 49/08 (2006. 01)

E21B 21/08 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101319609 A, 2008. 12. 10,

CN 1174587 A, 1998. 02. 25,

CN 101070755 A, 2007. 11. 14,

CN 101852076 A, 2010. 10. 06,

US 5837893 A, 1998. 11. 17,

US 2010/0286917 A1, 2010. 11. 11,

审查员 杨林

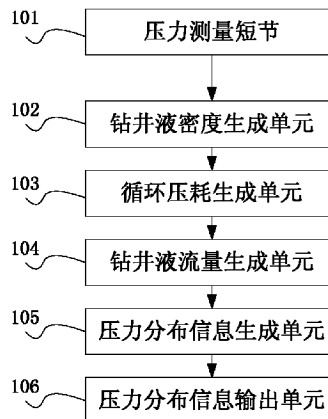
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 7 页

(54) 发明名称

一种全井段环空压力测量方法、装置及控制方法和装置

(57) 摘要

本发明提供了一种全井段环空压力测量方法、装置及控制方法和装置,该测量装置包括:压力测量短节,测量环空压力;随钻测量工具,测量定向参数,将测量数据上传到地面;地面接收单元,接收井下上传数据;钻井液密度生成单元,根据回压和静态环空压力生成等效环空钻井液密度;循环压耗生成单元,根据回压、等效环空钻井液密度和动态环空压力生成环空循环压耗;钻井液流量生成单元,根据等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型生成环空钻井液流量;压力分布信息生成单元,根据等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、回压等生成环空压力分布信息;以及压力分布信息输出单元。以解决基于环空压力分布数据的精细控压钻井作业问题。



1. 一种全井段环空压力测量方法,其特征是,所述的方法包括:

测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和启动钻井液循环状态下的动态环空压力;

测量地面回压,根据所述的地面回压和静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度;

根据所述的地面回压、等效环空钻井液密度和动态环空压力计算生成环空循环压耗;

测量钻井液流变性能,根据所述的钻井液流变性能确定水力学模型,并根据所述的等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量;

根据所述的等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息;

将所述的全井段环空压力分布信息输出。

2. 一种全井段环空压力测量装置,其特征是,所述的装置包括:

压力测量短节,用于测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和测量启动钻井液循环状态下的动态环空压力;

钻井液密度生成单元,用于测量地面回压,根据所述的地面回压和静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度;

循环压耗生成单元,用于根据所述的地面回压、等效环空钻井液密度和动态环空压力计算生成环空循环压耗;

钻井液流量生成单元,用于测量钻井液流变性能,根据所述的钻井液流变性能确定水力学模型,并根据所述的等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量;

压力分布信息生成单元,用于根据所述的等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息;

压力分布信息输出单元,将所述的全井段环空压力分布信息输出。

3. 一种环空压力控制方法,其特征是,所述的方法包括:

测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和启动钻井液循环状态下的动态环空压力;

测量地面回压,根据所述的地面回压和静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度;

根据所述的地面回压、等效环空钻井液密度和动态环空压力计算生成环空循环压耗;

测量钻井液流变性能,根据所述的钻井液流变性能确定水力学模型,并根据所述的等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量;

根据所述的等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息;

根据所述的全井段环空压力分布信息对控压钻井作业中的动态环空压力进行控制调节。

4. 一种环空压力控制装置,其特征是,所述的装置包括:

压力测量短节,用于测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和测量启动钻井液循环状态下的动态环空压力;

钻井液密度生成单元,用于测量地面回压,根据所述的地面回压和静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度;

循环压耗生成单元,用于根据所述的地面回压、等效环空钻井液密度和动态环空压力计算生成环空循环压耗;

钻井液流量生成单元,用于测量钻井液流变性能,根据所述的钻井液流变性能确定水力学模型,并根据所述的等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量;

压力分布信息生成单元,用于根据所述的等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息;

环空压力调节单元,根据所述的全井段环空压力分布信息对控压钻井作业中的动态环空压力进行控制调节。

5. 一种环空压力测量装置,其特征是,所述的装置包括:压力测量短节 PWD、随钻测量工具 MWD 和地面系统,所述的 PWD 与 MWD 相连接,所述的 MWD 与地面系统通信连接;其中,所述的 PWD 包括:

环空压力传感器,用于测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和测量启动钻井液循环状态下的动态环空压力;

数据传输单元,用于将包含所述的静态环空压力和动态环空压力在内的井下测量数据传到所述的 MWD 中;

所述的 MWD 包括:

定向参数测量单元,用于测量包含井斜角和方位角的井下测量数据;

数据接收单元,接收来自 PWD 的井下测量数据以及地面控制信号;

数据上传单元,用于将井下测量数据上传到地面;

所述的地面系统包括:

地面接收单元,用于接收 MWD 上传的井下测量数据;

钻井液密度生成单元,用于测量地面回压,根据所述的地面回压和接收的静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度;

循环压耗生成单元,用于根据所述的地面回压、等效环空钻井液密度和接收的动态环空压力计算生成环空循环压耗;

钻井液流量生成单元,用于测量钻井液流变性能,根据所述的钻井液流变性能确定水力学模型,并根据所述的等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量;

压力分布信息生成单元,用于根据所述的等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息;

压力分布信息输出单元,将所述的全井段环空压力分布信息输出。

一种全井段环空压力测量方法、装置及控制方法和装置

技术领域

[0001] 本发明关于石油、天然气钻完井作业中的动态井眼环空压力分布测量技术，特别是关于控压钻井中井眼环空压力的实时监测和全井段动态环空压力分布测量技术，具体地讲是一种全井段环空压力测量方法、装置及控制方法和装置。

背景技术

[0002] 控压钻井是一种在钻井过程中通过闭环系统精确控制整个井眼环空压力分布的自适应钻井工艺。控压钻井从井口到水眼经过井底从环空返回井口形成一个闭环系统，与单独调整钻井液密度和钻井液泵排量的系统相比，具有更强和更精确的井眼压力分布控制能力。控压钻井将循环流体系统视为一个压力容器，通过对环空压力的精细调整，使裸眼段的环空压力介于孔隙压力（或坍塌压力）和破裂压力之间，适应复杂地层窄小压力窗口钻井的需要，从而安全钻达目的层，减少非生产时间，降低钻井成本。

[0003] 然而，在完成本发明的过程中发明人发现，在现有技术中，环空压力分布是利用流变模型计算循环压耗来求得，其只针对一种钻井液参数，计算结果依赖于所采用的流变模型和流变参数。而实际钻井过程中，钻井液密度的变化，管内外流体密度的不同、排量的波动、机械钻速、转速和流变参数等的变化都将影响环空压力。因此，单纯依靠模型计算方法难以得到精确的环空压力，也无法提供实时环空压力分布结果。

[0004] 另外，在现有技术中，环空压力分布还可利用环空压力随钻测量工具，在钻井过程中随井深的变化逐点测量环空压力。该方法虽然可实时准确地测得某深度点的环空压力值，但是无法同时测到某一时刻全井段的动态环空压力分布数据。

发明内容

[0005] 本发明实施例提供了一种全井段环空压力测量方法、装置及控制方法和装置，以解决根据精确的环空压力分布数据进行控压钻井作业的问题。

[0006] 本发明的目的之一是，提供一种全井段环空压力测量方法，该方法包括：测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和启动钻井液循环状态下的动态环空压力；测量地面回压，根据地面回压和静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度；根据地面回压、等效环空钻井液密度和动态环空压力计算生成环空循环压耗；测量钻井液流变性能，根据钻井液流变性能确定水力学模型，并根据等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量；根据等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息；将全井段环空压力分布信息输出。

[0007] 本发明的目的之一是，提供一种全井段环空压力测量装置，该装置包括：压力测量短节，用于测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和测量启动钻井液循环状态下的动态环空压力；钻井液密度生成单元，用于测量地面回压，根据地面回压和静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度；循环压耗生成单元，用于根据地面回压、等效环空钻井液密度和

动态环空压力计算生成环空循环压耗；钻井液流量生成单元，用于测量钻井液流变性能，根据钻井液流变性能确定水力学模型，并根据等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量；压力分布信息生成单元，用于根据等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息；压力分布信息输出单元，将全井段环空压力分布信息输出。

[0008] 本发明的目的之一是，提供一种环空压力控制方法，该方法包括：测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和启动钻井液循环状态下的动态环空压力；测量地面回压，根据地面回压和静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度；根据地面回压、等效环空钻井液密度和动态环空压力计算生成环空循环压耗；测量钻井液流变性能，根据钻井液流变性能确定水力学模型，并根据等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量；根据等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息；根据全井段环空压力分布信息对控压钻井作业中的动态环空压力进行控制调节。

[0009] 本发明的目的之一是，提供一种环空压力控制装置，该装置包括：压力测量短节，用于测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和测量启动钻井液循环状态下的动态环空压力；钻井液密度生成单元，用于测量地面回压，根据地面回压和静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度；循环压耗生成单元，用于根据地面回压、等效环空钻井液密度和动态环空压力计算生成环空循环压耗；钻井液流量生成单元，用于测量钻井液流变性能，根据钻井液流变性能确定水力学模型，并根据等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量；压力分布信息生成单元，用于根据等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息；环空压力调节单元，根据全井段环空压力分布信息对控压钻井作业中的动态环空压力进行控制调节。

[0010] 本发明的目的之一是，提供一种环空压力测量装置，该装置包括：压力测量短节（PWD）、随钻测量工具（MWD）和地面系统，PWD 与 MWD 相连接，MWD 与地面系统通信连接；其中，PWD 包括：环空压力传感器，用于测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和测量启动钻井液循环状态下的动态环空压力；数据传输单元，用于将包含静态环空压力和动态环空压力在内的井下测量数据上传到 MWD 中；

[0011] MWD 包括：定向参数测量单元，用于测量井斜角和方位角等井下测量数据；数据接收单元，接收来自 PWD 的数据以及地面控制信号；数据上传单元，用于将各种井下测量数据上传到地面。

[0012] 地面系统包括：地面接收单元，用于接收 MWD 上传的各种井下测量数据；钻井液密度生成单元，用于测量地面回压，根据地面回压和接收的静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度；循环压耗生成单元，用于根据地面回压、等效环空钻井液密度和接收的动态环空压力计算生成环空循环压耗；钻井液流量生成单元，用于测量钻井液流变性能，根据钻井液流变性能确定水力学模型，并根据等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量；压力分布信息生成单元，用于根据等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息；压力分布信息输出装置，将全井段环空压力分布信息输出。

[0013] 本发明的有益效果在于：利用 PWD 的实测结果，结合优选的钻井水力学模型，计算等效钻井液密度和排量，进而计算环空压力分布的方法，有效测量出了全井段的动态环空压力分布数据，该动态环空压力分布数据是基于实时测量且符合物理学规律的结果。本发明可以及时和精确地描述全井段环空压力分布情况，并根据全井段环空压力分布信息更好地进行控压钻井作业。

附图说明

[0014] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0015] 图 1 为本发明实施例全井段环空压力测量方法流程图；

[0016] 图 2 为本发明实施例全井段环空压力测量装置结构框图；

[0017] 图 3 为本发明实施例环空压力控制方法流程图；

[0018] 图 4 为本发明实施例环空压力控制装置流程图；

[0019] 图 5 为本发明实施例基于 PWD 和 MWD 的全井段环空压力测量装置结构框图；

[0020] 图 6 为本发明实施例的控压钻井封闭流体循环系统示意图；

[0021] 图 7 为本发明实施例基于 PWD 和 MWD 的全井段环空压力测量方法流程图。

具体实施方式

[0022] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0023] 实施例 1

[0024] 如图 1 所示，本实施例的全井段环空压力测量方法包括：测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和启动钻井液循环状态下的动态环空压力（步骤 S101）；测量地面回压，根据地面回压和静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度（步骤 S102）；根据地面回压、等效环空钻井液密度和动态环空压力计算生成环空循环压耗（步骤 S103）；采用旋转粘度计测量钻井液流变性能，根据钻井液流变性能确定水力学模型，并根据等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量（步骤 S104）；根据等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息（步骤 S105）；将全井段环空压力分布信息输出（步骤 S106）。例如：

[0025] 在暂停钻井液循环状态时，设测得环空静压为 p_{as} ，对应的地面管路回压为 p_{bs} ，则

$$[0026] \quad p_{as} = \rho_a gh + p_{bs} \quad (1)$$

[0027] 其中， ρ_a 为环空等效钻井液密度， h 为传感器测量点垂深， g 为重力加速度。由 (1) 可计算出环空等效钻井液密度 ρ_a 。

[0028] 在恢复循环（启动钻井液循环状态）时，设测得环空压力为 p_a ，对应的地面管路回压为 p_b ，则

$$[0029] \quad p_a = p_h + \Delta p_a + p_b \quad (2)$$

[0030] 其中, p_h 为液柱压力, Δp_a 为环空循环压耗。

$$[0031] \quad p_h = \rho_a g h(L) \quad (3)$$

[0032] 根据水力学原理,环空压耗计算的基本公式为:

$$[0033] \quad \Delta p_a = \frac{2f\rho_a Lv_a^2}{D_h - D_p} \quad (4)$$

[0034] 其中, v_a 为环空平均流速, L 为井段长度, D_h 和 D_p 分别表示井眼内径和钻柱外径。

[0035] f 为摩阻系数,与钻井液流动时的雷诺数有关,即:

$$[0036] \quad f = F(R_e) \quad (5)$$

[0037] (5) 式中,钻井液在层流、紊流、过渡流等不同流动状态下,摩阻系数 f 的计算公式不同。钻井液流态的判别由雷诺数 R_e 的大小来确定。

[0038] 对不同的钻井液流型,其雷诺数 R_e 的计算公式也不同。

$$[0039] \quad R_e = G(\rho_a, v_a) \quad (6)$$

[0040] 钻井液流型的确定可由旋转粘度计在不同剪切速率下的切应力对各种流变模式(宾汉、幂律、赫-巴、卡森等)模式进行一元回归,选择相关系数大的流变模式来进行水力学计算。

$$[0041] \quad v_a = \frac{4Q_a}{\pi(D_h^2 - D_p^2)} \quad (7)$$

[0042] 其中, Q_a 为环空流量。

[0043] 因此,本实施例提出的计算方法和步骤如下:

[0044] (一) 计算环空等效钻井液密度 ρ_a : 根据钻井暂停循环钻井液时测量到的静态环空压力 p_{as} 和对应的地面管路回压为 p_{bs} , 由公式 (1) 计算出环空钻井液密度 ρ_a 。

[0045] (二) 计算测量点的环空循环压耗 Δp_a : 根据井眼测斜数据按最小曲率法或曲率半径法等可计算出环空测量点 L 处的垂深 $h(L)$, 由公式 (3) 计算出环空液柱压力 p_h ;

[0046] 根据循环时,测得环空压力为 p_a , 对应的地面管路回压为 p_b , 由公式 (2) 计算出测量点的环空循环压耗 Δp_a 。

[0047] (三) 计算实际环空钻井液流量 Q_a :

[0048] 1、根据旋转粘度计不同转速下测得的读数,优选钻井液流型;

[0049] 2、按井眼尺寸和钻具结构,对环空进行分段,确定每段的环空几何参数 D_h 、 D_p 和 L ;

[0050] 3、在一流量范围内,假设一流量 Q_a , 由 (3)-(7) 式计算分段环空循环压耗 Δp_{ai} , 进而求得总的环空循环压耗 Δp_a , 用叠代法完成实际环空钻井液流量 Q_a 的计算,直到 Δp_a 与实测计算出的 Δp_a 相等。

[0051] (四) 计算动态环空压力分布 $p_a(L)$: 根据不同井深 L , 井眼环空尺寸, 钻井液密度 ρ_a 、钻井液流量 Q_a 、地面回压 p_b 等即可计算动态环空压力分布 $p_a(L)$ 随井深的变化情况。

[0052] (五) 检验裸眼段的动态环空压力: 根据计算的动态环空压力分布 $p_a(L)$, 判断裸眼段的动态环空压力是否在许可压力范围内。如果不在安全压力范围内,可以通过调节地面回压、泵排量或钻井液密度来达到调整动态环空压力的目的,保证安全钻进,避免出现井下复杂情况和事故。

[0053] 实施例 2

[0054] 如图 2 所示,本实施例的全井段环空压力测量装置包括:压力测量短节 101,用于测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和测量启动钻井液循环状态下的动态环空压力;钻井液密度生成单元 102,用于测量地面回压,根据地面回压和静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度;循环压耗生成单元 103,用于根据地面回压、等效环空钻井液密度和动态环空压力计算生成环空循环压耗;钻井液流量生成单元 104,用于测量钻井液流变性能,根据钻井液流变性能确定水力学模型,并根据等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量;压力分布信息生成单元 105,用于根据等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息;压力分布信息输出单元 106,将全井段环空压力分布信息输出。例如:

[0055] 压力测量短节 101 测量钻井暂停循环钻井液时的静态环空压力 p_{as} 。地面回压计测量对应的地面管路回压为 p_{bs} ,由钻井液密度生成单元 102 根据公式 (1) 计算出环空钻井液密度 ρ_a 。

[0056] 根据井眼测斜数据按最小曲率法或曲率半径法等可计算出环空测量点 L 处的垂深 $h(L)$,由公式 (3) 计算出环空液柱压力 p_h ;根据循环时,压力测量短节 101 测得环空压力为 p_a ,对应的地面管路回压为 p_b ,循环压耗生成单元 103 根据公式 (2) 计算出测量点的环空循环压耗 Δp_a 。

[0057] 钻井液流量生成单元 104 用于计算实际环空钻井液流量 Q_a ,其中包括:

[0058] 1、根据旋转粘度计不同转速下测得的读数,优选钻井液流型;

[0059] 2、按井眼尺寸和钻具结构,对环空进行分段,确定每段的环空几何参数 D_h 、 D_p 和 L ;

[0060] 3、在一流量范围内,假设一流量 Q_a ,由 (3)-(6) 式计算分段环空循环压耗 Δp_{ai} ,进而求得总的环空循环压耗 Δp_a ,用叠代法完成实际环空钻井液流量 Q_a 的计算,直到 Δp_a 与实测计算出的 Δp_a 相等。

[0061] 压力分布信息生成单元 105,根据不同井深 L ,井眼环空尺寸,钻井液密度 ρ_a 、钻井液流量 Q_a 、地面回压 p_b 等即可计算动态环空压力分布 $p_a(L)$ 随井深的变化情况。

[0062] 压力分布信息输出单元 106 将动态环空压力分布 $p_a(L)$ 输出

[0063] 本实施例可根据压力分布信息输出单元 106 计算的动态环空压力分布 $p_a(L)$,判断裸眼段的动态环空压力是否在许可压力范围内。如果不在安全压力范围内,可以通过调节地面回压、泵排量或钻井液密度来达到调整动态环空压力的目的,保证安全钻进,避免出现井下复杂情况和事故。

[0064] 实施例 3

[0065] 如图 3 所示,本实施例的环空压力控制方法包括:测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和启动钻井液循环状态下的动态环空压力(步骤 S201);测量地面回压,根据地面回压和静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度(步骤 S202);根据地面回压、等效环空钻井液密度和动态环空压力计算生成环空循环压耗(步骤 S203);测量钻井液流变性能,根据钻井液流变性能确定水力学模型,并根据等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量(步骤 S204);根据等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息(步骤 S205);根据全井段环空压力分布信息对控压钻井作业中的动态环空压力进行控制调节(步骤 S206)。本实施例提出的具体计算方法和步骤如下:

[0066] (一) 计算环空等效钻井液密度 ρ_a :根据钻井暂停循环钻井液时测量到的静态环空压力 p_{as} 和对应的地面管路回压为 p_{bs} ,由公式 (1) 计算出环空钻井液密度 ρ_a 。

[0067] (二) 计算测量点的环空循环压耗 Δp_a :根据井眼测斜数据按最小曲率法或曲率半径法等可计算出环空测量点 L 处的垂深 $h(L)$,由公式 (3) 计算出环空液柱压力 p_h ;

[0068] 根据循环时,测得环空压力为 p_a ,对应的地面管路回压为 p_b ,由公式 (2) 计算出测量点的环空循环压耗 Δp_a 。

[0069] (三) 计算实际环空钻井液流量 Q_a :

[0070] 1、根据旋转粘度计不同转速下测得的读数,优选钻井液流型;

[0071] 2、按井眼尺寸和钻具结构,对环空进行分段,确定每段的环空几何参数 D_h 、 D_p 和 L ;

[0072] 3、在一流量范围内,假设一流量 Q_a ,由 (3)-(7) 式计算分段环空循环压耗 Δp_{ai} ,进而求得总的环空循环压耗 Δp_a ,用叠代法完成实际环空钻井液流量 Q_a 的计算,直到 Δp_a 与实测计算出的 Δp_a 相等。

[0073] (四) 计算动态环空压力分布 $p_a(L)$:根据不同井深 L ,井眼环空尺寸,钻井液密度 ρ_a 、钻井液流量 Q_a 、地面回压 p_b 等即可计算动态环空压力分布 $p_a(L)$ 随井深的变化情况。

[0074] (五) 检验裸眼段的动态环空压力:根据计算的动态环空压力分布 $p_a(L)$,判断裸眼段的动态环空压力是否在许可压力范围内。如果不在安全压力范围内,可以通过调节地面回压、泵排量或钻井液密度来达到调整动态环空压力的目的,保证安全钻进,避免出现井下复杂情况和事故。

[0075] 实施例 4

[0076] 如图 4 所示,本实施例的环空压力控制装置包括:压力测量短节 201,用于测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和测量启动钻井液循环状态下的动态环空压力;钻井液密度生成单元 202,用于测量地面回压,根据地面回压和静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度;循环压耗生成单元 203,用于根据地面回压、等效环空钻井液密度和动态环空压力计算生成环空循环压耗;钻井液流量生成单元 204,用于测量钻井液流变性能,根据钻井液流变性能确定水力学模型,并根据等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量;压力分布信息生成单元 205,用于根据等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息;环空压力调节单元 206,根据全井段环空压力分布信息对控压钻井作业中的动态环空压力进行控制调节。例如:

[0077] 压力测量短节 201 测量钻井暂停循环钻井液时的静态环空压力 p_{as} 。地面回压计测量对应的地面管路回压为 p_{bs} ,由钻井液密度生成单元 202 根据公式 (1) 计算出环空钻井液密度 ρ_a 。

[0078] 根据井眼测斜数据按最小曲率法或曲率半径法等可计算出环空测量点 L 处的垂深 $h(L)$,由公式 (3) 计算出环空液柱压力 p_h ;根据循环时,由压力测量短节 201 测得环空压力为 p_a ,对应的地面管路回压为 p_b ,循环压耗生成单元 203 根据公式 (2) 计算出测量点的环空循环压耗 Δp_a 。

[0079] 钻井液流量生成单元 204 用于计算实际环空钻井液流量 Q_a ,其中包括:

[0080] 1、根据旋转粘度计不同转速下测得的读数,优选钻井液流型;

[0081] 2、按井眼尺寸和钻具结构,对环空进行分段,确定每段的环空几何参数 D_h 、 D_p 和 L ;

[0082] 3、在一流量范围内,假设一流量 Q_a ,由 (3)-(6) 式计算分段环空循环压耗 Δp_{ai} ,进而求得总的环空循环压耗 Δp_a ,用叠代法完成实际环空钻井液流量 Q_a 的计算,直到 Δp_a 与实测计算出的 Δp_a 相等。

[0083] 压力分布信息生成单元 205,根据不同井深 L ,井眼环空尺寸,钻井液密度 ρ_a 、钻井液流量 Q_a 、地面回压 p_b 等即可计算动态环空压力分布 $p_a(L)$ 随井深的变化情况。输出动态环空压力分布 $p_a(L)$ 。

[0084] 环空压力调节单元 206 接收动态环空压力分布 $p_a(L)$,并根据动态环空压力分布 $p_a(L)$,判断裸眼段的动态环空压力是否在许可压力范围内。如果不在安全压力范围内,可以通过调节地面回压、泵排量或钻井液密度来达到调整动态环空压力的目的,保证安全钻进,避免出现井下复杂情况和事故。

[0085] 实施例 5

[0086] 如图 5 所示,本实施例的环空压力测量装置包括:压力测量短节 300 (PWD)、随钻测量工具 400 (MWD) 和地面系统 500, PWD 与 MWD 相连接, MWD 与地面系统 500 通信连接;其中, PWD 包括:环空压力传感器 301,用于测量暂停钻井液循环状态下的静态环空压力和测量启动钻井液循环状态下的动态环空压力;数据传输单元 302,用于将包含静态环空压力和动态环空压力在内的井下测量数据传到 MWD 中;

[0087] MWD 包括:定向参数测量单元 401,用于测量井斜角和方位角等数据;数据接收单元 402,接收来自 PWD 的数据以及地面控制信号;数据上传单元 403,用于将各种井下测量数据上传到地面。

[0088] 地面系统包括 500:地面接收单元 501,用于接收 MWD 上传的各种井下测量数据;钻井液密度生成单元 502,用于测量地面回压,根据地面回压和接收的静态环空压力计算生成等效环空钻井液密度;循环压耗生成单元 503,用于根据地面回压、等效环空钻井液密度和接收的动态环空压力计算生成环空循环压耗;钻井液流量生成单元 504,用于测量钻井液流变性能,根据钻井液流变性能确定水力学模型,并根据等效环空钻井液密度、环空循环压耗和水力学模型计算生成环空钻井液流量;压力分布信息生成单元 505,用于根据等效环空钻井液密度、环空钻井液流量、地面回压以及包括井深、井眼尺寸的钻井数据计算生成全井段环空压力分布信息;压力分布信息输出单元 506,将全井段环空压力分布信息输出。

[0089] 本实施例的环空压力测量装置,通过钻井过程中的实时动态/静态环空压力测量结果,结合优选的流变模型来计算全井段动态环空压力分布情况,以指导 MPD 井眼环空压力的调控。

[0090] 如图 6 所示,除了钻机等常见钻井设备外,控压钻井需要一个封闭的流体循环系统,该系统基本配置包括:节流管汇 13、回压泵 12、流动管线 14、泥浆补给罐 16、固控设备 15、泥浆池 17、压力表 10、泥浆泵 11。为了实现随钻环空压力测量,井下还需要装备随钻测量系统,基本配置包括:正脉冲发生器 1、驱动短节 2、电池筒短节 3、定向仪短节 4、上下数据连接器 5、电池及电路 6、数据回放接口 7、环空压力传感器 8、水眼压力传感器 9(即柱内压力传感器)等。

[0091] 如图 7 所示,地面设置 PWD 工具的采样间隔等参数, PWD 上装有柱内压力传感器和环空压力传感器,分别用于测量钻柱内外的钻井液流体压力。钻井过程中,在接钻杆等暂停钻井液循环状态下,利用环空压力传感器测量静态环空环空压力 P_{as} (用于计算环空钻井液

等效密度 ρ_a) ;利用钻柱内压力传感器可测量静态柱内压力 P_{is} (用于计算柱内钻井液等效密度 ρ_i)。开泵恢复钻井液循环后,分别利用环空压力传感器和柱内压力传感器测量动态环空压力 p_{ad} 和动态柱内压力 p_{id} 。首先,利用 MWD 将 PWD 测得的静态、动态压力数据上传至地面,结合地面对应实测的管路回压 p_b ,完成相关计算。其计算方法是先依据实测静态环空压力和地面回压计 10 计算等效环空钻井液密度,再根据不同转速条件下测得的钻井液旋转粘度计读数优选流变模型,确定对应的循环压耗计算公式,进而可求得与实测的井下动态环空压力相等的等效环空循环排量,最后根据实测井眼轨迹数据、钻具结构和井眼几何尺寸等数据计算出全井段的动态环空压力分布数据。然后,依据裸眼段的孔隙压力 / 坍塌压力和破裂压力来决定是否调整地面回压、钻井液密度或排量,以保正安全实施钻井作业,避免出现井下复杂情况和事故,快速顺利钻达目的层。例如,在本实施例中:

[0092] 环空压力传感器 301 测量钻井暂停循环钻井液时的静态环空压力 p_{as} 。回压计测量对应的地面管路回压 p_{bs} ,数据传输单元 302 将测量到的静态环空压力 p_{as} 等压力测量数据上传到 MWD,由钻井液密度生成单元 502 根据公式 (1) 计算出环空钻井液密度 ρ_a 。

[0093] 根据井眼测斜数据按最小曲率法或曲率半径法等可计算出环空测量点 L 处的垂深 $h(L)$,由公式 (3) 计算出环空液柱压力 p_h ;循环时,由环空压力传感器 301 测得环空压力 p_a ,数据传输单元 302 将包含测量到的环空压力 p_a 等压力测量数据上传到 MWD,如果回压计测量的对应的地面管路回压为 p_b ,循环压耗生成单元 503 根据公式 (2) 计算出测量点的环空循环压耗 Δp_a 。

[0094] 钻井液流量生成单元 504 用于计算实际环空钻井液流量 Q_a ,其中包括:

[0095] 1、根据旋转粘度计不同转速下测得的读数,优选钻井液流型;

[0096] 2、按井眼尺寸和钻具结构,对环空进行分段,确定每段的环空几何参数 D_h 、 D_p 和 L ;

[0097] 3、在一流量范围内,假设一流量 Q_a ,由 (3)-(6) 式计算分段环空循环压耗 Δp_{ai} ,进而求得总的环空循环压耗 Δp_a ,用叠代法完成实际环空钻井液流量 Q_a 的计算,直到 Δp_a 与实测计算出的 Δp_a 相等。

[0098] 压力分布信息生成单元 505,根据不同井深 L ,井眼环空尺寸,钻井液密度 ρ_a 、钻井液流量 Q_a 、地面回压 p_b 等即可计算动态环空压力分布 $p_a(L)$ 随井深的变化情况。

[0099] 压力分布信息输出单元 506 将动态环空压力分布 $p_a(L)$ 输出

[0100] 本实施例可根据压力分布信息输出单元 506 计算的动态环空压力分布 $p_a(L)$,判断裸眼段的动态环空压力是否在许可压力范围内。如果不在安全压力范围内,可以通过调节地面回压、泵排量或钻井液密度来达到调整动态环空压力的目的,保证安全钻进,避免出现井下复杂情况和事故。

[0101] 钻井作业是一个复杂的过程,和环空压力计算密切相关的钻井液密度、排量等物理量随时间不断发生变化,并且受到井涌、井漏、返屑效率等影响,难以在地面获取可靠的实时数据,在这种情况下单独利用钻井水力学计算公式,由于计算数据不准无法获得可靠结论。单独依靠 PWD 只能准确测到某时刻一点的环空压力,而不能测到全井段的动态环空压力分布数据。随着钻井的进行,钻井液密度、排量等都发生了变化,不可能依据以前的测量结果来描述环空压力随井深的分布情况。本发明利用 PWD 工具的实测结果,结合优选的钻井水力学模型,计算等效钻井液密度和排量,进而计算环空压力分布的方法,有效地解决了上述问题,可以获得基于实时测量且符合物理学规律的结果,以更加及时和精确地描述

全井段环空压力分布情况,更好地指导控压钻井作业。

[0102] 本发明实施例中应用了具体实施例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明实施例的思想,在具体实施方式及应用范围和材料上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

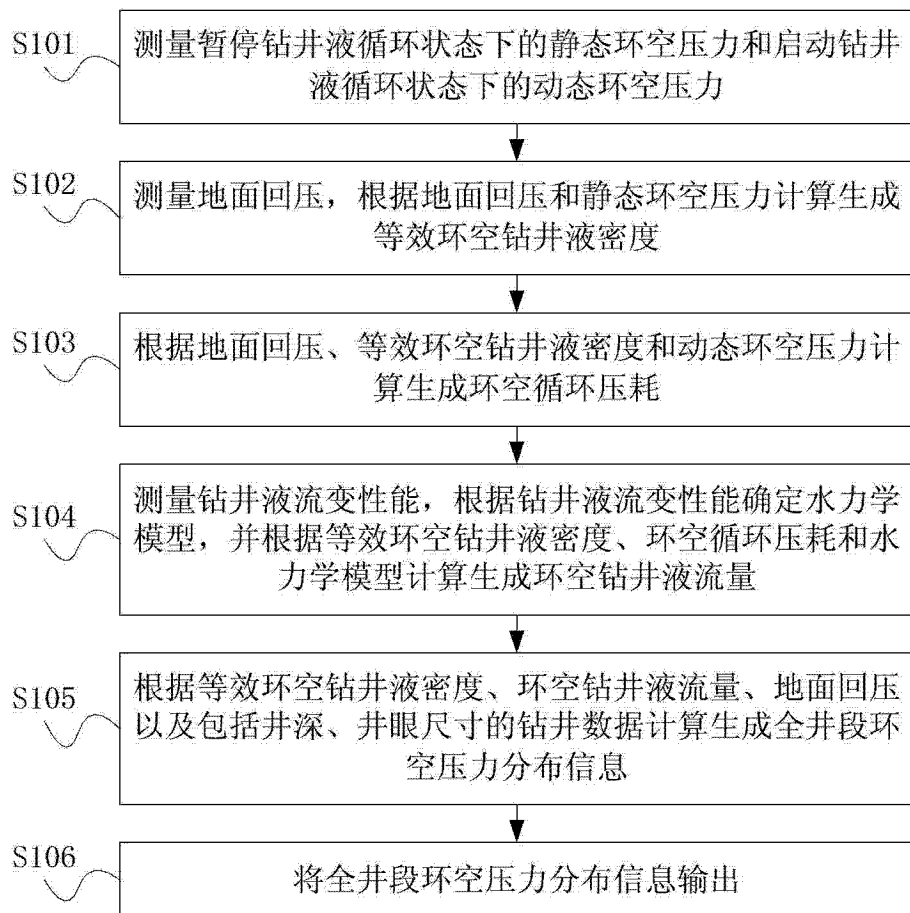


图 1

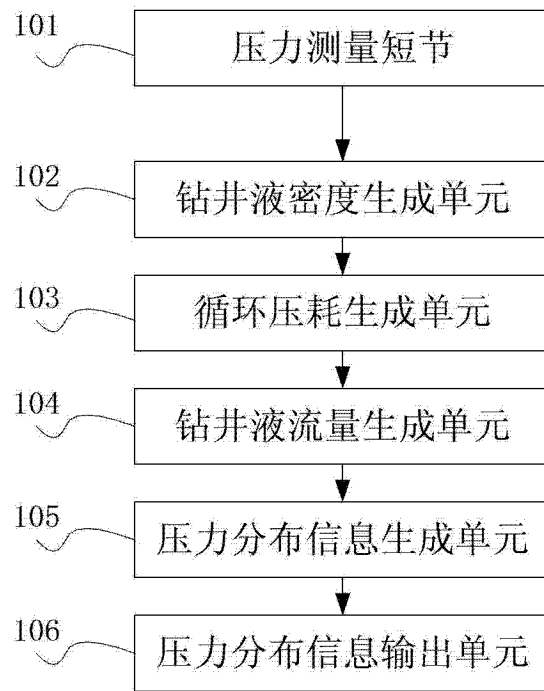


图 2

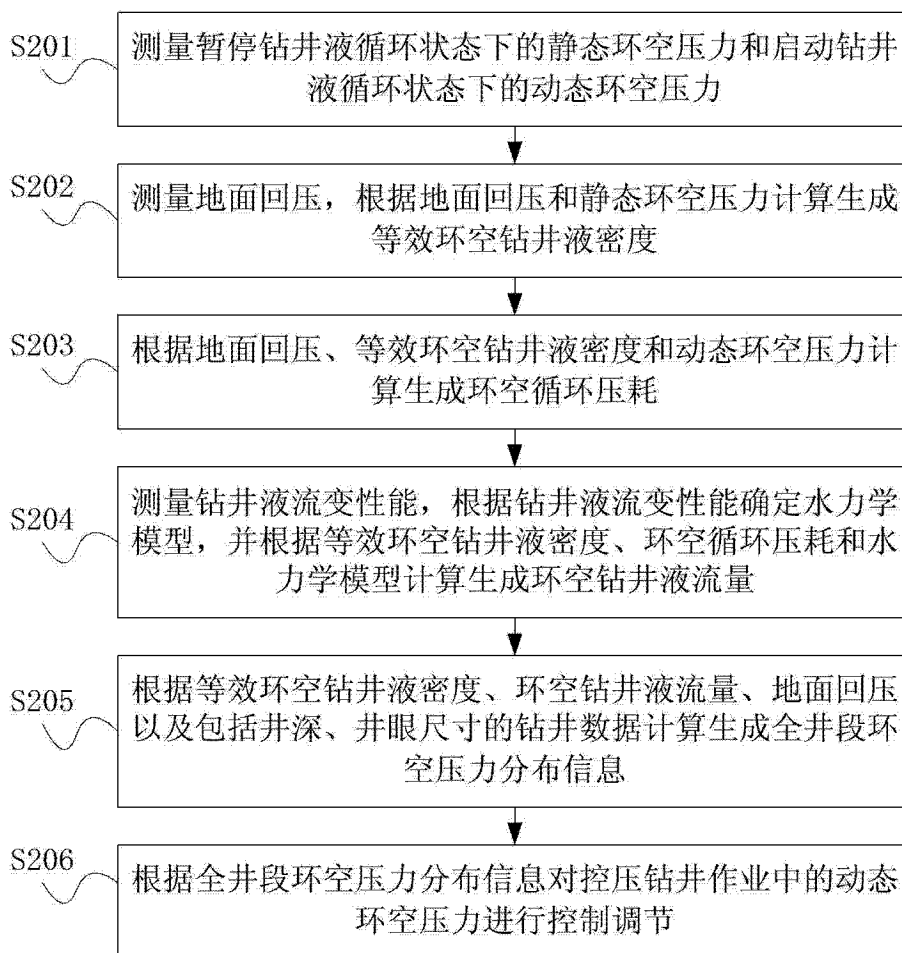


图 3

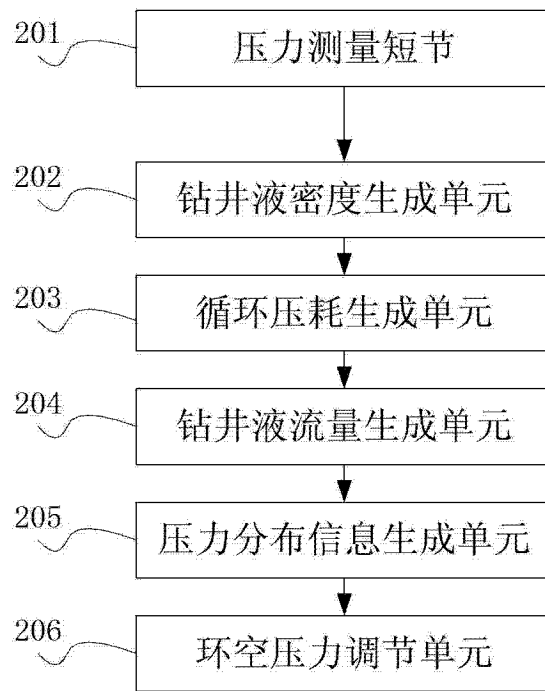


图 4

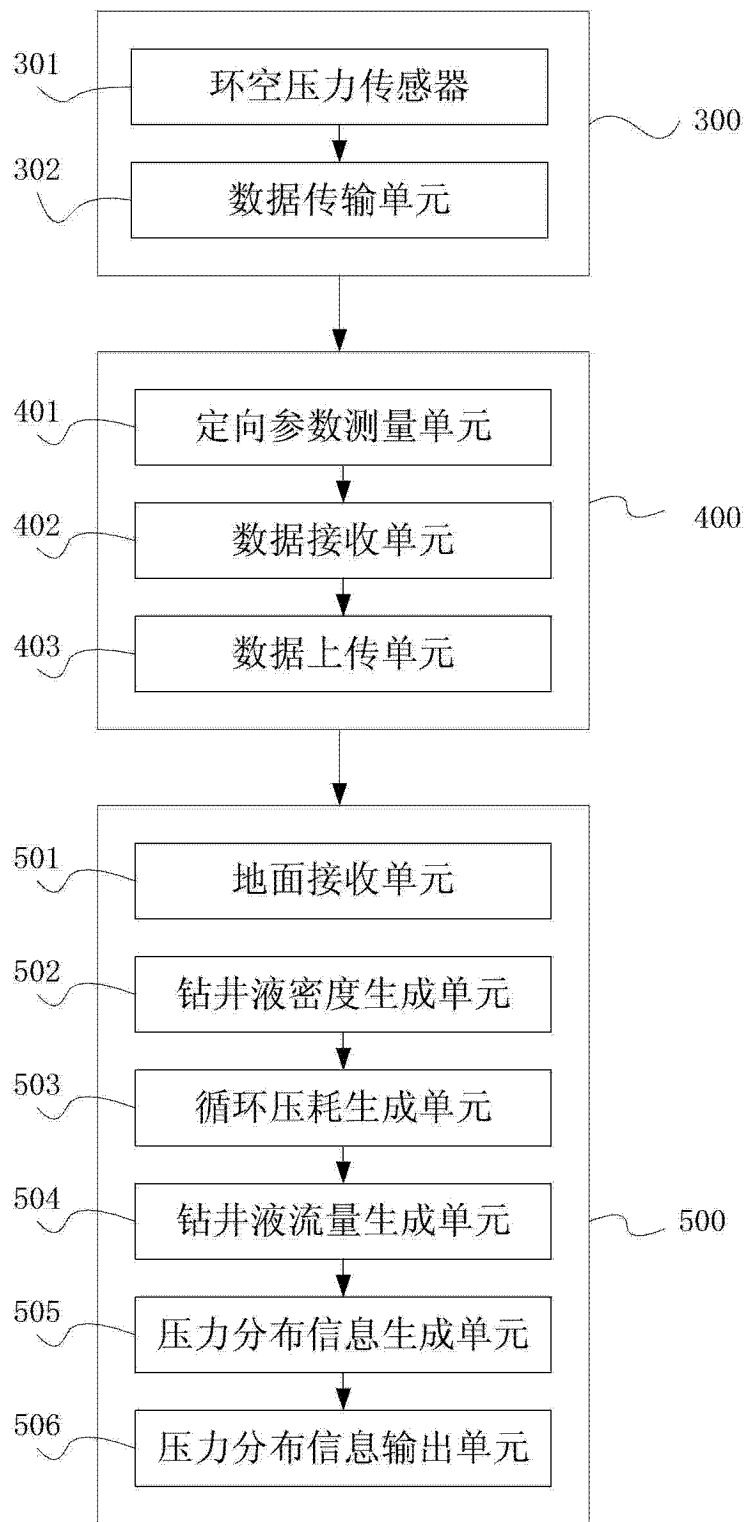


图 5

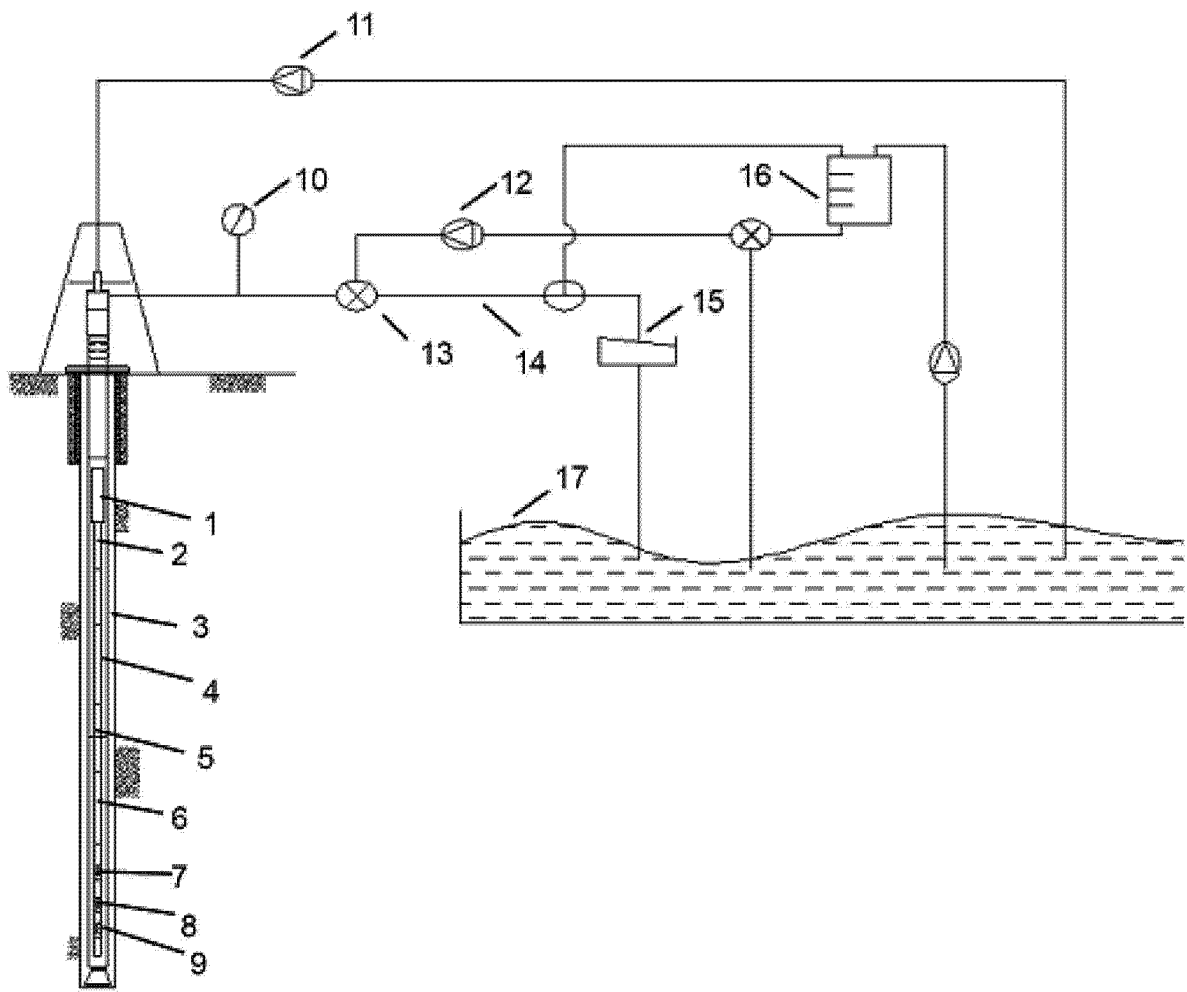


图 6

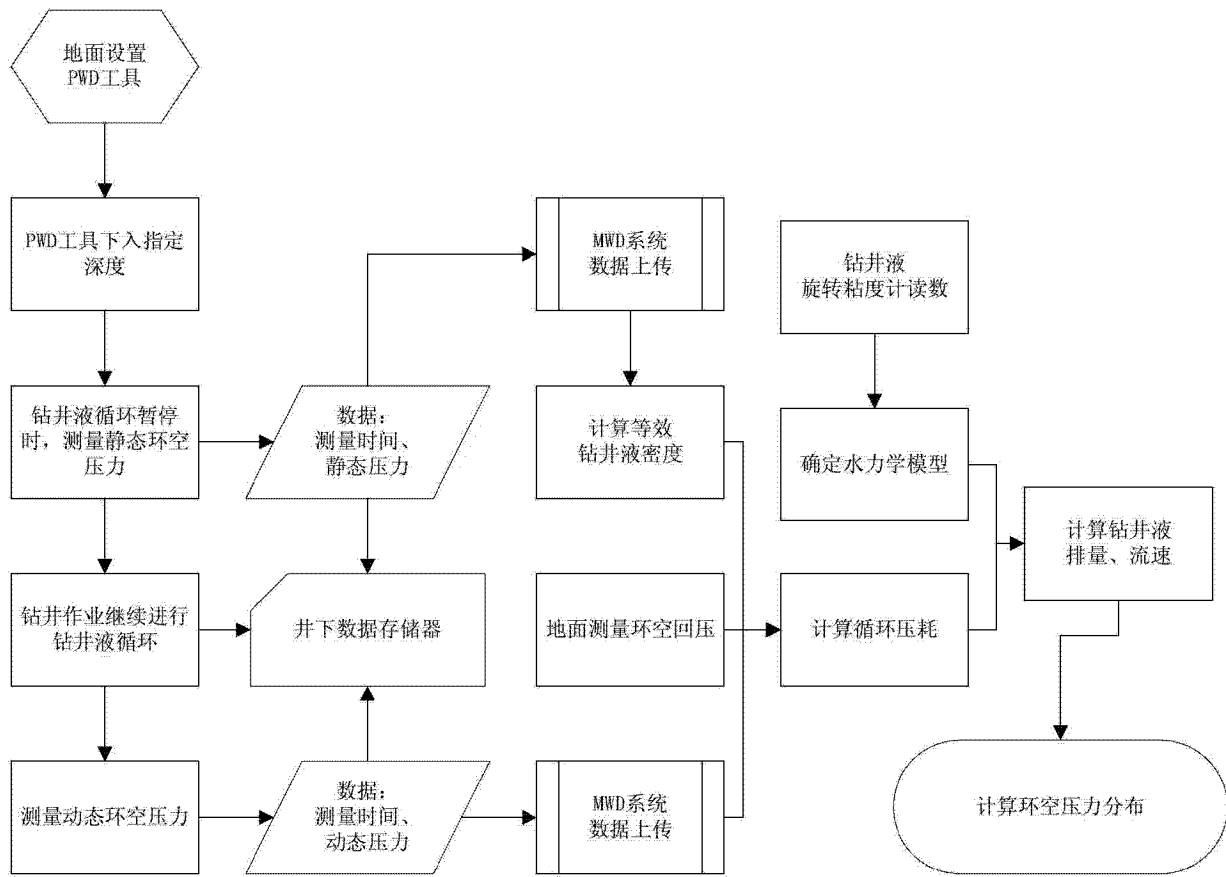


图 7