



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103459755 A

(43) 申请公布日 2013. 12. 18

(21) 申请号 201180069937. 9

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011. 04. 08

E21B 21/08(2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日  
2013. 10. 08

E21B 47/00(2012. 01)

E21B 47/06(2012. 01)

(86) PCT申请的申请数据  
PCT/US2011/031767 2011. 04. 08

(87) PCT申请的公布数据  
W02012/138349 EN 2012. 10. 11

(71) 申请人 哈利伯顿能源服务公司  
地址 美国得克萨斯州

(72) 发明人 谢蒂尔·阿恩·克努森  
伏莱德瑞克·瓦尔佩

(74) 专利代理机构 隆天国际知识产权代理有限公司  
72003

代理人 金鹏

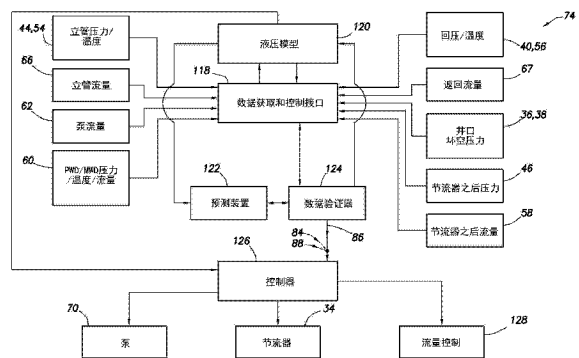
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

钻井中的自动立管压力控制

(57) 摘要

一种控制钻井操作中的立管压力的方法可包括:将测量的立管压力与期望的立管压力进行比较;以及响应于所述比较而自动调节节流器,从而减少所测量的立管压力和所期望的立管压力之间的差值。用在钻井操作中的立管压力控制系统可包括:控制器,基于测量的立管压力与期望的立管压力的比较来输出环空压力设定点;以及节流器,响应于所述环空压力设定点而自动进行调节。井系统可包括立管线路,连接到井眼中的钻柱;传感器,测量所述立管线路中的压力;以及第一控制器,至少部分地基于所测量的压力与期望的立管压力之间的差值来输出环空压力设定点。



1. 一种控制钻井操作中的立管压力的方法,所述方法包括:  
将测量的立管压力与期望的立管压力进行比较;以及  
响应于所述比较而自动调节节流器,从而降低所述测量的立管压力和所述期望的立管压力之间的差值。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中当钻井泵抽取通过钻柱的流体时,所述节流器接收所述流体。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中自动调节所述节流器还包括控制器输出环空压力设定点。
4. 根据权利要求3所述的方法,其中自动调节所述节流器还包括将测量的环空压力与所述环空压力设定点进行比较,并自动调节所述节流器使得所述测量的环空压力与所述环空压力设定点之间的差值被降低。
5. 根据权利要求4所述的方法,其中所述测量的环空压力与所述环空压力设定点进行比较的频率是所述测量的立管压力与所述期望的立管压力进行比较的频率的至少四倍。
6. 根据权利要求3所述的方法,其中所述控制器包括比例积分微分控制器。
7. 一种用在钻井操作中的立管压力控制系统,所述系统包括:  
第一控制器,基于测量的立管压力与期望的立管压力的比较来输出环空压力设定点;  
以及  
节流器,响应于所述环空压力设定点而自动进行调节。
8. 根据权利要求7所述的系统,其中自动调节所述节流器降低所述测量的立管压力与所述期望的立管压力之间的差值。
9. 根据权利要求7所述的系统,其中当钻井泵抽取通过钻柱的流体时,所述节流器接收所述流体。
10. 根据权利要求7所述的系统,其中第二控制器将测量的环空压力与所述环空压力设定点进行比较。
11. 根据权利要求10所述的系统,其中自动调节所述节流器降低所述测量的环空压力与所述环空压力设定点之间的差值。
12. 根据权利要求10所述的系统,其中所述测量的环空压力与所述环空压力设定点进行比较的频率是所述测量的立管压力与所述期望的立管压力进行比较的频率的至少四倍。
13. 根据权利要求7所述的系统,其中所述第一控制器包括比例积分微分控制器。
14. 一种井系统,包括:  
立管线路,连接到井眼中的钻柱;  
传感器,测量所述立管线路中的压力;以及  
第一控制器,至少部分地基于所测量的压力和期望的立管压力之间的差值来输出环空压力设定点。
15. 根据权利要求14所述的井系统,还包括响应于所述环空压力设定点而自动调节节流器。
16. 根据权利要求15所述的井系统,其中自动调节所述节流器降低所测量的立管压力与所述期望的立管压力之间的差值。
17. 根据权利要求14所述的井系统,其中第二控制器将测量的环空压力与所述环空压

力设定点进行比较。

18. 根据权利要求 17 所述的井系统,其中自动调节所述节流器降低所述测量的环空压力与所述环空压力设定点之间的差值。

19. 根据权利要求 17 所述的井系统,其中所述测量的环空压力与所述环空压力设定点进行比较的频率是所测量的立管压力与所述期望的立管压力进行比较的至少四倍。

20. 根据权利要求 14 所述的井系统,其中所述第一控制器包括比例积分微分控制器。

## 钻井中的自动立管压力控制

### 技术领域

[0001] 本公开文本一般涉及与地下井结合使用的设备和执行的操作,并且在此处描述的实施例中,更具体地提供用于钻井中的自动立管压力控制。

### 背景技术

[0002] 在可控制压力(managed pressure)钻井和欠平衡钻井中,通过例如在地球表面处或靠近地球表面处控制环空(annulus)中的压力来精确地控制井眼中的压力。然而,在一些情况下(例如,在井控制情况下等),期望的是通过控制连接到钻柱的立管中的压力来控制井眼压力。

[0003] 因此,将认识到需要在井眼压力控制技术领域改进。

### 附图说明

[0004] 图 1 是能够体现本公开文本的原理的井系统和相关方法的代表性局部剖视图。

[0005] 图 2 是可借助图 1 的井系统和方法使用的过程控制系统的代表性视图。

[0006] 图 3 是可借助井系统、方法和过程控制系统使用的立管压力控制系统的代表性视图。

[0007] 图 4 是立管压力控制系统的一部分的代表性视图。

### 具体实施方式

[0008] 在图 1 中代表性和示意性示出能够体现本公开文本的原理的井系统 10 和相关方法。在系统 10 中,井眼 12 是通过使位于管状钻柱 16 的末端上的钻头 14 旋转而被钻出的。

[0009] 钻井液 18 (通常已知为泥浆)经由钻柱 16 向下流出钻头 14 并且经由在钻柱和井眼 12 之间形成的环空 20 向上而循环,从而冷却钻头、润滑钻柱、去除钻屑并且提供井底压力控制的测量。单向阀 21 (典型地为旋启式止回阀)(例如当钻柱中进行连接时)防止钻井液 18 通过钻柱 16 向上流动。

[0010] 井底压力的控制在可控制压力和欠平衡钻井中以及在其他类型的井操作中是非常重要的。优选地,井底压力被精确地控制,以防止流体过多地流失进入到井眼 12 周围的地球地层 64 内、不期望的地层的断裂、不期望的地层流体大量涌入到井眼内等。

[0011] 在典型的可控制压力钻井中,期望的是将井底压力保持成恰好大于地层 64 的孔隙压力,而不超过该地层的断裂压力。在典型的欠平衡钻井中,期望的是将井底压力保持成稍微小于孔隙压力,由此实现流体从地层 64 的受控制的流入。

[0012] 氮或另一种气体,或者另一种重量较轻的流体,可以被添加到钻井液 18 用于压力控制。这种技术例如在欠平衡钻井操作中尤其有用。

[0013] 在系统 10 中,通过使用旋转控制装置(RCD) 22 封闭环空 20 (例如将环空隔离而不与大气连通,并使该环空在地面处或靠近地面处被加压)来获得对井底压力的额外的控制。RCD 22 密封在位于井口 24 上方的钻柱 16 的四周。虽然图 1 中未示出,但钻柱 16 可通

过 RCD22 向上延伸,以连接到例如转盘(未示出)、立管线路 26、方钻杆(kelley)(未示出)、顶驱(top drive)和 / 或其他传统的钻井设备。

[0014] 钻井液 18 经由与位于 RCD22 下方的环空 20 连通的导翼阀(wing valve) 28 离开井口 24。之后流体 18 通过流体回流管路 30 流到节流管汇 32,节流管汇 32 包括多余的节流器(chock) 34。通过可变地限制流体 18 通过可操作的节流器 34 的流量,将回压施加到环空 20。

[0015] 经由节流器 34 对流量的限制越大,则施加到环空 20 的回压越大。因此,通过改变施加到环空 20 的回压,可以方便地控制井底压力。可以使用如以下更全面地描述的液压模型部,来确定在地面处或靠近地面处施加到环空 20 的压力(此压力将引起期望的井底压力),以使得操作者(或自动控制系统)可以容易地确定为获得期望的井底压力而如何调节在地面处或靠近地面处(这样可以方便地进行测量)施加到环空的压力。

[0016] 同样可以期望的是,控制沿井眼 12 的其他位置处的压力。例如,利用本公开文本的原理,可以控制在套管鞋处、在侧向井眼的跟部处、在井眼 12 的大体竖直或水平的部分中、或者在任何其他位置处的压力。

[0017] 经由多种压力传感器 36、38、40 (这些压力传感器 36、38、40 中的每一个与环空连通),施加到环空 20 的压力可以在地面处或靠近地面处被测量到。压力传感器 36 检测在 RCD22 下方但是在防喷器(BOP)组件 42 上方的压力。压力传感器 38 检测在 BOP 组件 42 下方的井口中的压力。压力传感器 40 检测位于节流管汇 32 的上游的流体回流管路 30 中的压力。

[0018] 另一压力传感器 44 检测立管线路 26 中的压力。而又一压力传感器 46 检测在节流管汇 32 的下游但是在分离器 48、振动器 50 和泥浆池 52 的上游的压力。额外的传感器包括温度传感器 54、56、科氏流量计 58 和流量计 62、66。

[0019] 并非所有这些传感器都是必要的。例如,系统 10 可以仅包括流量计 62、66 中的一个。然而,来自这些传感器的输入对于液压模型部确定在钻井操作期间应对环空 20 施加什么样的压力而言是有用的。

[0020] 此外,钻柱 16 例如可包括其本身的传感器 60,用以直接地测量井底压力。这些传感器 60 可以是对于本领域技术人员而言公知的随钻压力(PWD)、随钻测量(MWD)和 / 或随钻测井(LWD)传感器系统的类型。这些钻柱传感器系统通常至少提供压力测量,并且还可以提供温度测量、钻柱特性(例如,振动、钻压(weight on bit)、粘滑等)的检测、地层特性(例如,电阻率、密度等)的检测和 / 或其他测量。多种形式(声学的、压力脉冲的、电磁的、光学的、有线的等)的遥测技术可以用于将井底的传感器测量传送到地面。钻柱 16 可以设置有导体、光学波导等,用于传送传感器 60 与以下描述的(以及图 2 中所示的)过程控制系统 74 之间的数据和 / 或命令。

[0021] 如果需要,系统 10 中可以包括有额外的传感器。例如,另一流量计 67 可以用于测量流体 18 离开井口 24 的流速,另一科氏流量计(未示出)可以在钻井泥浆泵 68 的上游或下游被直接互连等。

[0022] 如果需要,系统 10 中可以包括较少的传感器。例如,钻井泥浆泵 68 的输出可以通过计算泵的冲程来确定,而不是通过使用流量计 62 或任何其他流量计来确定。

[0023] 请注意,分离器 48 可以是 3 或 4 相分离器,或者是泥浆气体分离器(有时称为“泥

气分离器”)。然而,分离器 48 在系统 10 中并不是必须使用的。

[0024] 钻井液 18 通过钻井泥浆泵 68 被抽取,经过立管线路 26 并且进入钻柱 16 的内部。泵 68 从泥浆池 52 中接收流体 18,并且使流体 18 经由立管管汇(未示出)流到立管线路 26。之后流体 18 通过钻柱 16 向下、通过环空 20 向上、通过泥浆回流管路 30、再通过节流管汇 32、并且之后经由分离器 48 和振动器 50 到达泥浆池 52 来循环,以便进行调节和再循环。

[0025] 请注意,在上面所描述的到目前为止的系统 10 中,节流器 34 不能被用来控制施加到环空 20 的回压以用于控制井底压力,除非流体 18 流经该节流器。在传统的过平衡钻井操作中,每当在钻柱 16 中进行连接时(例如,随着井眼 12 被钻得更深而将另一长度的钻杆添加到钻柱上时)就会发生循环缺乏的现象,并且循环缺乏将要求唯一地通过流体 18 的密度来调节井底压力。

[0026] 然而,在系统 10 中,即使流体不通过钻柱 16 和环空 20 来循环,也可以通过节流器 34 保持流体 18 的流量。因此,通过限制流体 18 通过节流器 34 的流量,压力仍然可以被施加到环空 20。

[0027] 在如图 1 所示的系统 10 中,回压泵 70 可以被用于当需要时(例如,当在钻柱 16 中进行连接时),通过将流体泵送到环空 20 内而将流体的流量供应到节流管汇 32 上游的回流管路 30。如图 1 所示,泵 70 经由 BOP 组件 42 连接到环空 20,但是在另一个实例中,泵 70 可以被连接到回流管路 30,或者连接到节流管汇 32。

[0028] 可替代地,或者附加性地,如国际申请第 PCT/US08/87686 号、以及美国申请第 13/022,964 号所描述的,或者使用其他技术,流体可以在需要时从立管管汇(或者以其他方式从)被改道到回流管路 30。

[0029] 通过节流器 34 对于这种来自钻井泵 68 和 / 或回压泵 70 的流体流量的限制,将因此造成待施加到环空 20 的压力。如果实施了回压泵 70,则流量计 72 可以被用于测量该泵的输出。

[0030] 节流器 34 和回压泵 70 是能够被用于控制靠近地面处的环空 20 中的压力的压力控制装置的示例。必要时,可以使用其他类型的压力控制装置(例如,国际申请第 PCT/US08/87686 号、以及美国申请第 13/022,964 号等所描述的那些压力控制装置)。

[0031] 现在另参见图 2,其代表性示出过程控制系统 74 的一个示例的方框图。在其他示例中,在根据本公开文本的范围的情况下,过程控制系统 74 可包括这些元件的其他数量、类型、组合等,并且任何元件可以位于不同的位置或者与另一个元件集成。

[0032] 如图 2 所示,过程控制系统 74 包括:数据获取和控制接口 118、液压模型 120、预测装置 122、数据验证器 124 和控制器 126。这些元件可以与 2010 年 11 月 12 日递交的国际申请第 PCT/US10/56433 号所描述的那些元件类似。

[0033] 液压模型 120 被用于确定环空 20 中的期望的压力,从而实现井眼 12 中的期望的压力。液压模型 120 利用诸如井眼深度、钻柱转数(rpm)、运行速度、泥浆类型等数据来模拟井眼 12、钻柱 16、流体通过钻柱以及环空 20 的流动(包括由于这种流动造成的等效的循环密度)等。

[0034] 数据获取和控制接口 118 接收来自多种压力传感器 36、38、40、44、46、54、56、58、60、62、66、67、72 的数据并一起还接收钻探设备和向下钻井的数据,并将这种数据转送到液压模型 120 和数据验证器 124。此外,接口 118 将来自液压模型 120 的期望的环空压力转送

到数据验证器 124。

[0035] 预测装置 122 可以被包括在该示例中,以基于过去的数据来确定当前应该接收什么样的传感器数据以及期望的环空压力应该是什么样的。预测装置 122 可包括神经网络、遗传算法、模糊逻辑等,或者可包括用于产生传感器数据和期望的环空压力的预测的预测元件的任意组合。

[0036] 数据验证器 124 利用这些预测来确定任何特定的传感器数据是否是有效的、液压模型 120 输出的期望的环空压力是否是合适的,等等。如果环空压力是合适的,则数据验证器 124 将期望的环空压力传送到控制器 126(例如可编程逻辑控制器,该可编程逻辑控制器可包括比例积分微分(PID)控制器),该控制器 126 控制节流器 34、泵 70 和多种流量控制装置 128(例如,阀等)的操作。

[0037] 用这种方式,可以自动地控制节流器 60、泵 70 和流量控制装置 128,以在环空 20 中实现和保持期望的压力。环空 20 中的实际压力通常在可位于陆地或海底位置的井口 24 处或靠近井口 24 处(例如,使用传感器 36、38、40)被测量处。

[0038] 现在另参见 3,其以示意图形式代表性示出可以与井系统 10 和 / 或过程控制系统 74 一起使用的立管压力控制系统 80。当然,根据本公开文本的原理,立管压力控制系统 80 可以与其他井系统和其他过程控制系统一起使用。

[0039] 在图 3 所示的示例中,控制器 126 可以被用于基于所选的三个可能的环空压力设定点源中的一个来控制节流器 34 的操作。操作者通过使用人机接口(HMI)82(例如,适当配置的计算机、监视器等)和 / 或事件检测软件来选择环空压力设定点源。环空压力设定点源可以经由 HMI82 被选择,或者可以通过控制逻辑被自动地选择。

[0040] 由于环空压力通常在井口 24 处或靠近井口 24 处被测量,因此,该环空压力有时被称为井口压力。然而,在某些情况下(例如,海底钻井操作等),环空 20 内的压力可能不会在井口 24 处被测量,或者至少在井口处测量到的环空 20 内的压力可能不会被用于控制井眼 12 内的压力。例如,在地面(surface)位置、浮动式或半潜式钻井平台等处测量到的环空 20 内的压力有可能被用于控制井眼 12 内的压力。在本说明书中,井口压力被假定为环空压力的同义词,但应清楚地理解,在其他示例中,环空压力可能不会在井口处被测量,或者这种井口压力测量可能不会被用于控制井眼压力。

[0041] 使用人机接口 82,操作者可使用手动输入到人机接口的井口压力(WHP)设定点 84、由如上所述的过程控制系统 74 导致产生的井口压力设定点 86,或者从控制器 90 中输出的井口压力设定点 88 来选择控制井眼压力。

[0042] 控制器 126 可包括比例积分微分控制器(PID),且该控制器 126 可以对本领域技术人员而言公知的那种类型的可编程逻辑控制器(PLC)实施。比例积分微分控制器基于所选的井口压力设定点 84、86 或 88 和所测量的井口压力(例如,使用传感器 36、38 或 40)之间的差值  $e$  来操作。

[0043] 比例积分微分控制器确定是否或者如何调节节流器 34、泵 70、其他流量控制装置 128 等以最小化差值  $e$ 。可编程逻辑控制器基于比例积分微分控制器的输出来调节节流器 34 等。当然,必要时,可以使用除比例积分微分控制器和 / 或可编程逻辑控制器之外的过程控制装置。

[0044] 如果操作者期望基于在立管线路 26 中测量的(例如,使用传感器 44 测量的)压力

来控制井眼压力,则通过操作者来选择井口压力设定点 88。例如,可期望实现上述的一种情况是在流体从地层 64 涌入到井眼 12 之后的井控制步骤。

[0045] 控制器 90 (其可包括比例积分微分控制器) 接收期望的立管压力(SPP) 92 (该立管压力 92 可以经由人机接口 82 被手动输入) 与测量的立管压力 94 (例如,使用压力传感器 44 测量的) 之间的差值  $e$ 。控制器 90 确定是否或者如何调节井口压力以最小化差值  $e$ , 并输出合适的期望的井口压力设定点 88 用于使用人机接口 82 选择。

[0046] 优选地,控制器 90、126 经由级联控制,通过用于控制立管压力的外环路(包括控制器 90 和传感器 44),以及用于控制井口压力的内环路(包括控制器 126、传感器 40、节流器 34、泵 70 和其他流量控制装置 128) 来操作。更优选地,内环路的动态(dynamics) (例如,测量的井口压力 96 与选择的井口压力设定点 88 之间的比较的频率) 是外环路的动态(例如,测量的立管压力 94 与期望的立管压力 92 之间的比较的频率) 的至少四倍。

[0047] 控制器 90 的比例积分微分控制器可基于下面的公式 1 来进行其计算:

$$[0048] \quad u_k = u_{k-1} + K_p(e_k - e_{k-1}) + \frac{K_p T_s}{T_i} e_k + \frac{K_p T_d}{T_s} (e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}) \quad (1)$$

[0049] 其中,  $u$  为输出的井口压力设定点 88,  $k$  为序列指示器(用  $k$  表示本次采样,  $k-1$  表示前一次采样,  $k-2$  表示前两次采样),  $K_p$  为用于控制器 90 的增益(gain),  $T_s$  为采样间隔,  $T_d$  为微分时间,  $T_i$  为积分时间, 以及  $e$  为期望的立管压力 92 与测量的立管压力 94 之间的差值。

[0050] 现在另参见图 4, 其代表性示出一部分的立管压力控制系统 80 的示意图。在该视图中, 可以看出控制器 90 从初始化模型 98 中接收期望的立管压力 92。

[0051] 模型 98 将在启动时用于某些变量的初始值供应给控制器 90。期望的立管压力 92 优选地经由人机接口 82 被输入。此外, 初始的井口压力设定点 100 可以通过模型 98 被供应到控制器 90。初始的井口压力设定点 100 可以基于控制器 90 供应到控制器 126 的最后的井口压力设定点 88。

[0052] 某些配置数据 102 可以通过操作者经由人机接口 82 被输入并且被供应到模型 98 和控制器 90。数据 102 可包括用于控制器 90 输出、控制器增益、积分和微分时间以及采样间隔的最大和最小允许值。优选地, 所有这些变量(除采样间隔之外) 可以在压力控制操作期间被操作者改变。

[0053] 预测装置 122 和数据验证器 124 可以被用于验证由控制器 90 输出的井口压力设定点 88。用这种方式, 可以防止错误的或超范围的井口压力设定点 88 被输入到控制器 126。

[0054] 当通过控制器 90 生成的井口压力设定点 88 被控制器 126 选择使用以控制井口压力时, 立管压力实际上正被控制。这是因为井口压力设定点 88 通过控制器 90 被得以调节以最小化期望的立管压力 92 与测量的立管压力 94 之间的差值  $e$ 。因此, 通过控制器 126 来控制节流器 34、泵 70 和 / 或其他流量控制装置 128, 使得立管压力被保持在期望的水平。

[0055] 现在能够完全地理解, 本公开文本提供对于井眼压力控制技术的多种改进。以上所描述的立管压力控制系统 80 可以被用于调节过程控制系统 74 的操作, 从而保持期望的立管压力 92。

[0056] 对于本技术领域, 上述本公开文本提供一种控制钻井操作中的立管压力的方法。



该方法可包括：将测量的立管压力 94 与期望的立管压力 92 进行比较；以及响应于该比较而自动调节节流器 34，从而降低测量的立管压力 94 与期望的立管压力 92 之间的差值。

[0057] 当钻井泵(rig pump) 68 抽取通过钻柱 16 的流体时，节流器 34 接收流体 18。自动调节节流器 34 可包括输出环空压力设定点 88 的控制器 90。控制器 90 可包括比例积分微分控制器。

[0058] 自动调节节流器 34 还可包括将测量的环空压力 96 和环空压力设定点 88 进行比较，并自动调节节流器 34 使得测量的环空压力 96 和环空压力设定点 88 之间的差值  $e$  被降低。测量的环空压力 96 与环空压力设定点 88 进行比较的频率是测量的立管压力 94 和期望的立管压力 92 进行比较的至少四倍。

[0059] 以上还描述了用于钻井操作中的立管压力控制系统 80。系统 80 可包括：控制器 90，基于测量的立管压力 94 和期望的立管压力 92 的比较来输出环空压力设定点 88；以及节流器 34，响应于环空压力设定点 88 而自动进行调节。

[0060] 优选地，自动调节节流器 34 减少了测量的立管压力 94 与期望的立管压力 92 之间的差值  $e$ 。

[0061] 另一控制器 126 可将测量的环空压力 96 与环空压力设定点 88 进行比较。优选地，自动调节节流器 34 减少了测量的环空压力 96 与环空压力设定点 88 之间的差值  $e$ 。

[0062] 优选地，测量的环空压力 96 与井口压力设定点 88 进行比较的频率是测量的立管压力 94 与期望的立管压力 92 进行比较的至少四倍。

[0063] 上述本公开文本还描述了一种井系统 10，该井系统 10 可包括：立管线路 26，连接到井眼 12 中的钻柱 16；传感器 44，测量立管线路 26 中的压力；以及控制器 90，至少部分地基于测量的压力 94 和期望的立管压力 92 之间的差值  $e$  来输出环空压力设定点 88。

[0064] 应当理解，在此所描述的本公开文本的多个实施例可按照多个方向(例如，倾斜、倒转、水平、竖直等等)并以多种构造来使用，而不会背离本公开文本的原理。这些实施例仅作为本公开文本的原理的有效应用的示例而被描述，本公开文本并不限于这些实施例的任何具体细节。

[0065] 当然，一旦仔细考虑本公开文本的代表性实施例的以上描述，本领域技术人员将很容易理解可对具体的实施例进行多种改型、添加、代替、省略以及其他改变，并且这些改变是通过本公开文本的原理而被设想出的。因此，应清楚地理解，以上详细描述仅以说明和示例的方式给出，本发明的精神和范围仅由所附权利要求及其等同方案来限定。

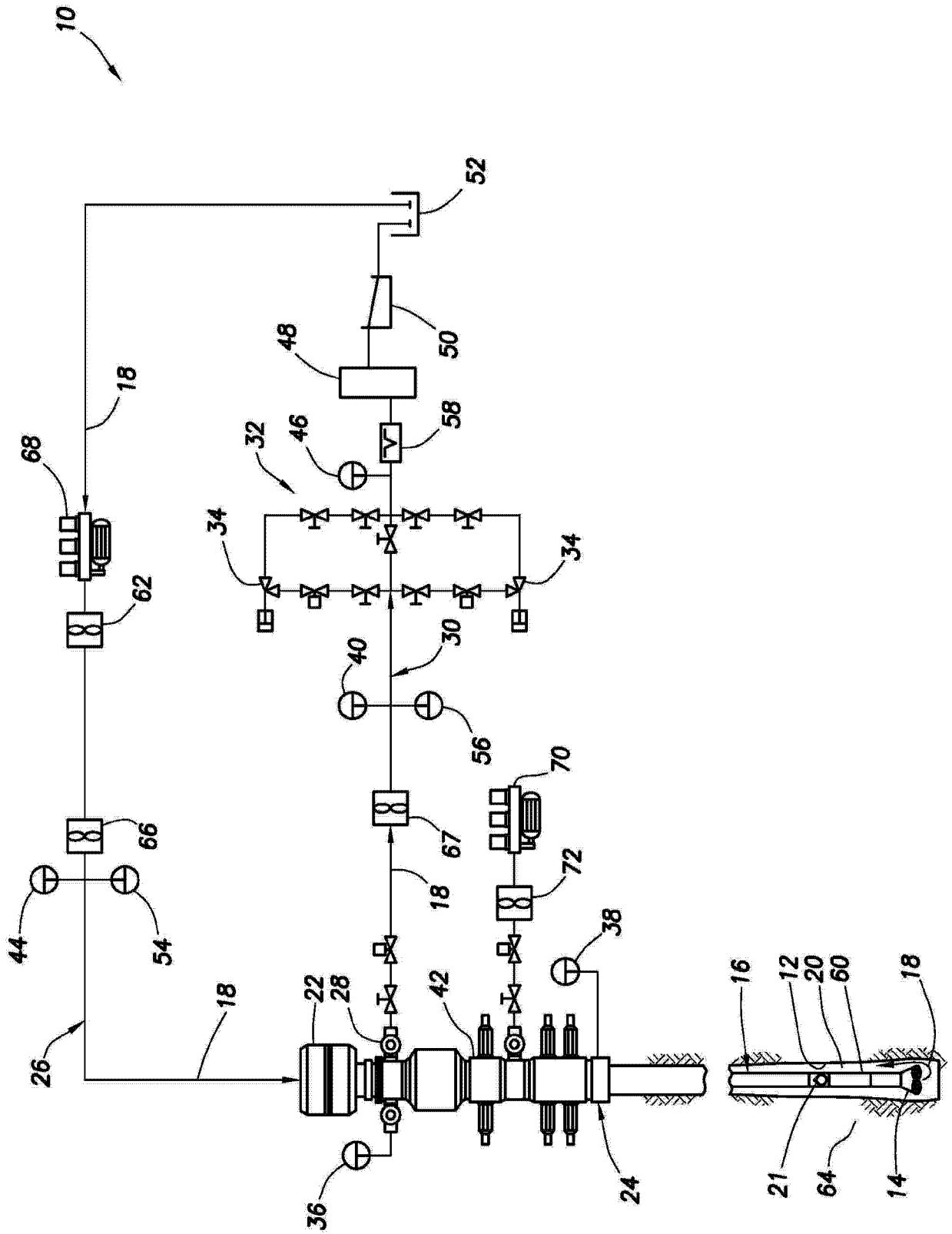


图 1



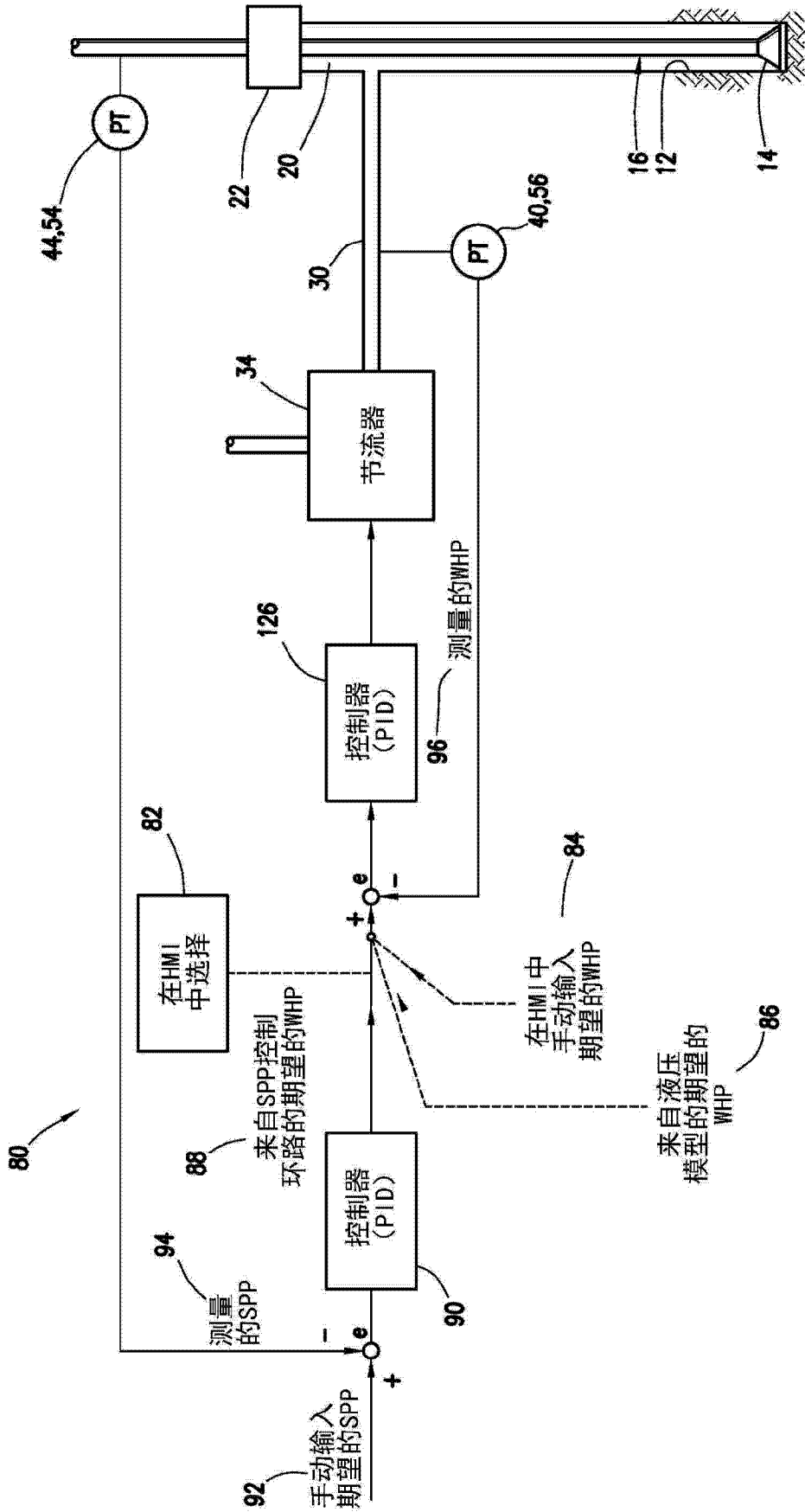


图 3

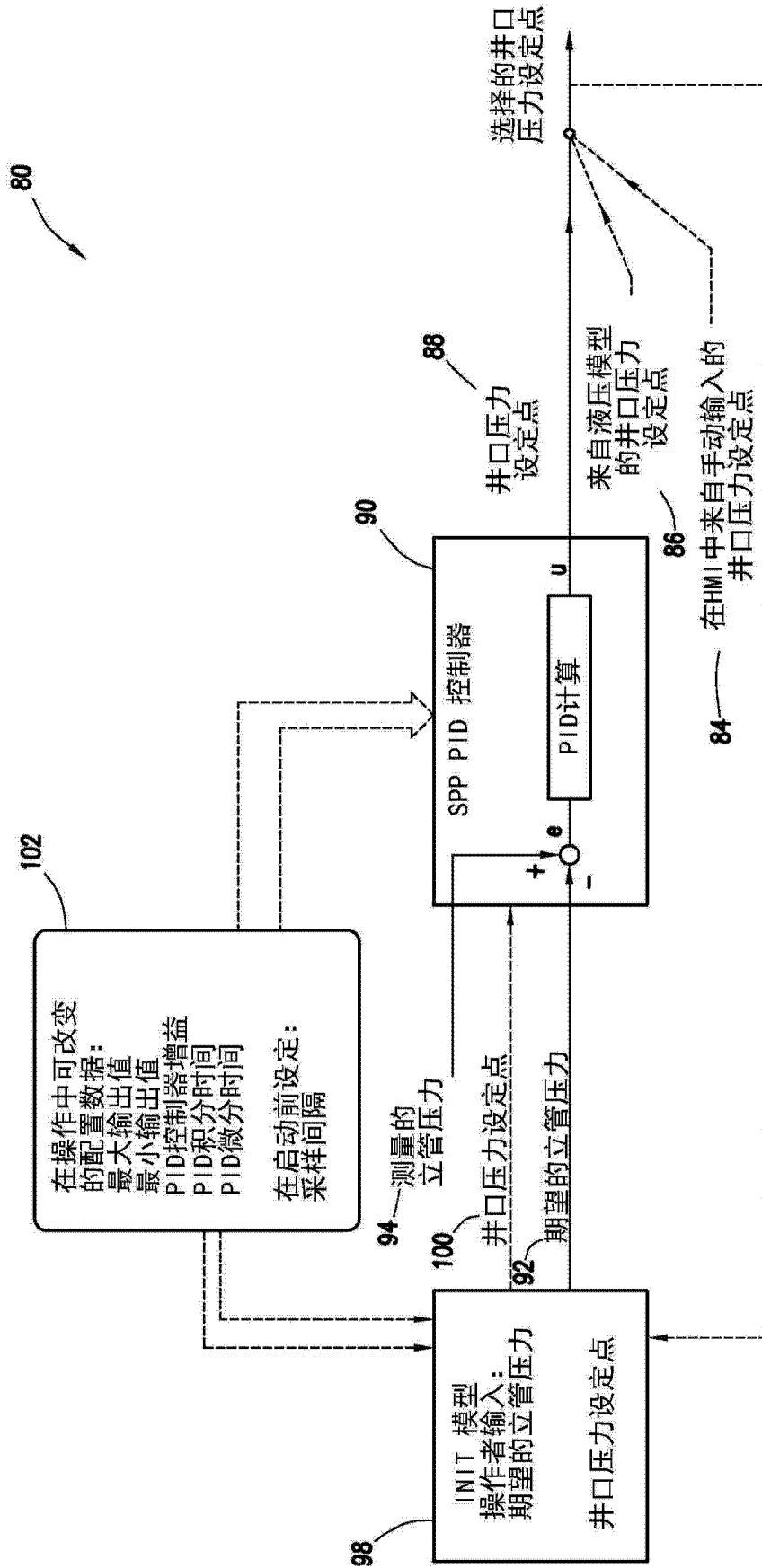


图 4