

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
E21B 47/06 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810104275.4

[43] 公开日 2009 年 8 月 26 日

[11] 公开号 CN 101514628A

[22] 申请日 2008.4.16

[21] 申请号 200810104275.4

[71] 申请人 中国科学院自动化研究所

地址 100080 北京市海淀区中关村东路 95 号

[72] 发明人 梁自泽 李 恩 谭 民 侯增广
王 硕 赵晓光 尚继林 梁 潘

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 周国城

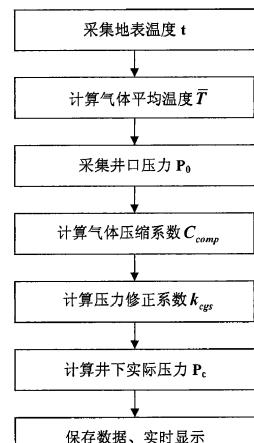
权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图 2 页

[54] 发明名称

一种井下压力实时测量与修正方法

[57] 摘要

一种毛细钢管井下压力实时测量与修正方法，其压力测量装置由井下传压筒、毛细钢管、压力变送器、温度变送器、数据采集器组成。井下传压筒在井下，通过毛细钢管与地面的压力变送器连接，井下压力通过毛细钢管中的惰性气体传递到地面，由压力变送器将其转换为数字信号，数据采集器采集压力变送器的井口压力信号和温度变送器的环境温度信号。数据采集器利用环境温度、常温层深度、温升层梯度、测井深度、气体摩尔质量等参数对井口压力进行修正，计算出井下实际压力。本发明测压装置及压力修正算法可实现油气井井下压力的间接测量，提高测井过程的实时性，方便传感器的标定维护，提高石油生产过程中的生产效率，保障安全生产。



1. 一种井下压力实时测量与修正方法，是利用毛细钢管间接测压原理，本方法所使用的测量装置包括井下传压筒、毛细钢管、压力变送器、温度变送器、数据采集器，其中井下传压筒为圆筒状，其下部有引压孔，上部有毛细钢管连接孔，毛细钢管为中空的钢制细管；压力变送器含有毛细钢管接口和两个 RS232 通讯接口 S1、S2，温度变送器含有热电偶探头接口和两个 RS232 通讯接口 S1、S2，数据采集器含有数据存储器和 RS232 接口；井下传压筒安装在油气井的井下油层中，其毛细钢管连接孔与毛细钢管的一端连接，毛细钢管顺着油气井生产管道伸出井口，其另一端与压力变送器的毛细钢管接口连接；热电偶元件埋置在地表，与温度变送器的热电偶接口连接；数据采集器的 RS232 接口与压力变送器的 S1 口连接，压力变送器的 S2 口与温度变送器的 S1 口连接，温度变送器的 S2 口用专用堵头封堵；其特征在于：

在毛细钢管和井下传压筒中充注惰性气体，一部分惰性气体通过井下传压筒下部的引压孔排到井下传压筒外，使惰性气体的压力与油层的压力在传压筒内到达平衡，并通过毛细钢管内的惰性气体将井下油层的压力传递到地面，由压力变送器将压力信号转换为数字信号，并通过 RS232 接口传递给数据采集器；数据采集器实时采集压力变送器的井口压力数据和温度变送器的地表温度数据，利用修正算法实时对采集到的压力数据进行修正，得到井下油层的实际压力值，并存储到数据存储器中。

2. 如权利要求 1 所述的一种井下压力实时测量与修正方法，其特征

在于：所述数据采集器在对井口压力进行修正时，采用如下步骤：

步骤 A：通过温度变送器采集地表温度 t_s ；

步骤 B：用地表温度 t_s 、地表层深度 h_f 、常温层温度 T_z 、常温层厚度 h_z 、温升层梯度 ΔT_u 、测井总深度 H 计算毛细钢管内气体的平均温度 \bar{T} ，其计算表达式为：

$$\bar{T} = \frac{t_s h_f + T_z (4H - 3h_f - 2h_z) + \Delta T_u (H - h_f - h_z)^2}{2H};$$

步骤 C：通过压力变送器采集井口毛细钢管的气体压力 P_0 ；

步骤 D：用平均温度 \bar{T} 、井口压力值 P_0 以及惰性气体的类型计算惰性气体的压缩系数 C_{comp} ，这里采用查表法获得，即根据不同气体的特性事先生成一个压缩系数与平均温度、井口压力的对应关系表，再利用平均温度和井口压力查表得到其所对应的气体压缩系数 C_{comp} ；

步骤 E：用气体压缩系数 C_{comp} 、油井深度 H 、惰性气体摩尔质量 M 、平均温度 \bar{T} 计算压力修正比例系数 k_{cgs} ，计算公式表示为：

$$k_{cgs} = \frac{G_{cst} \cdot M \cdot H}{C_{comp} \cdot (T_{falr} + \bar{T})},$$

其中 G_{cst} 为气体修正计算常数，数值在 0.001~0.003 范围内取值， T_{falr} 为温度转换偏移常数，数值在 300~500 范围内取值；

步骤 F：用比例系数 k_{cgs} 与井口压力值 P_0 计算井下实际压力值 P_c ，完成对井口压力的修正过程，其表达式为

$$P_c = \frac{1 + k_{cgs}}{1 - k_{cgs}} \cdot P_0 .$$

3. 如权利要求 1 所述的一种井下压力实时测量与修正方法，其特征在于：所述充注用的惰性气体为氮气或氦气。

4. 如权利要求 1 所述的一种井下压力实时测量与修正方法，其特征在于：所述数据采集器由基于 ARM9 处理器的信息处理卡构成，该信息处理卡上移植源码公开的实时多任务操作系统软件，数据采集器含有的数据存储器为 SD 存储卡，其存储容量为 512MB～4GB。

5. 如权利要求 2 所述的一种井下压力实时测量与修正方法，其特征在于：所述修正方法中所用到的各参数，包括地表层深度 h_f 、常温层温度 T_z 、常温层厚度 h_z 、温升层梯度 ΔT_u 、测井总深度 H 、惰性气体种类，由用户通过软件设定，并存储在数据采集器内部，用户根据实际情况随时对各参数进行修改。

一种井下压力实时测量与修正方法

技术领域

本发明涉及自动化信息处理技术领域，涉及一种油气井生产过程中井下压力的实时测量与采集方法，采用毛细钢管原理实现的间接测压方式，使用井下压力修正方法实时获取井下实际压力数据，适用于油气井勘探开发和生产过程中的井下压力实时监测。

背景技术

石油勘探和开发过程中生产人员需要不断地进行各种油气藏的动态测试，实时监控、测取油气藏的地层压力参数，并依据这些参数准确评价油田产能，优化油田产能的评价方法，确定合理的开发方案、以及安全生产等。目前国内内外的油气井井下压力测试多数采用机械式和电子存储式的测试方式，这种方式需要在油井关井后由钢丝悬吊相关检测设备下井，在测试一段时间后再将设备取出，不能做到实时测井，数据解释严重滞后于测井过程，且影响油井的正常生产。相关测量方式还有永久式电子测量设备，即仪表永久安装在井下，通过电缆引出信号至地面，但这种方式下测量设备不能方便取出，在井下高温高压的条件下传感器易出现漂移、老化等问题，使测量数据不准确，设备维护和校准非常困难。基于毛细钢管测压方式是一种新型的井下压力间接测量工艺，是通

过惰性气体在井口对井下压力进行间接测量。但井口测量的压力虽然与井下实际压力具有一定的关系，但井下压力受多种条件参数的影响，仅从井口压力仍不能反映井下实际压力的变化情况。特别是地层温度变化对惰性气体性质由很大影响，目前的毛细钢管测压技术只测量井口压力值，不对地层温度进行测量，不能推算出井下实际压力的准确值，因此油气藏勘探开发和油气生产受到一定的制约。要采用毛细钢管技术对井下实际压力进行实时测量，就必须对地层温度和井口压力进行同时测量，并采用快速高效的压力修正算法换算出井下实际压力，这对于增强井下压力数据监测的实时性，及时掌握地层参数信息变化，提高油气井生产开发效率，具有非常重要的意义。

发明内容

本发明的目的是提供一种井下压力实时测量与修正方法，对原有的毛细钢管测压系统进行有效地改进和提高，在油气井勘探开发过程中实现井下压力的实时测量与修正，根据地层温度变化情况动态调整压力修正结果，得到更为准确的井下压力数据，提高油井开发的测试性能，提高油气田勘探开发的效率，为安全生产和产能优化提供直接依据。

为达到上述目的，本发明的技术解决方案是：

一种井下压力实时测量与修正方法，是利用毛细钢管间接测压原理，本方法所使用的测量装置包括井下传压筒、毛细钢管、压力变送器、温度变送器、数据采集器，其中井下传压筒为圆筒状，其下部有引压孔，上部有毛细钢管连接孔，毛细钢管为中空的钢制细管；压力变送器含有毛细钢

管接口和两个 RS232 通讯接口 S1、S2，温度变送器含有热电偶探头接口和两个 RS232 通讯接口 S1、S2，数据采集器含有数据存储器和 RS232 接口；井下传压筒安装在油气井的井下油层中，其毛细钢管连接孔与毛细钢管的一端连接，毛细钢管顺着油气井生产管道伸出井口，其另一端与压力变送器的毛细钢管接口连接；热电偶元件埋置在地表，与温度变送器的热电偶接口连接；数据采集器的 RS232 接口与压力变送器的 S1 口连接，压力变送器的 S2 口与温度变送器的 S1 口连接，温度变送器的 S2 口用专用堵头封堵；

其在毛细钢管和井下传压筒中充注惰性气体，一部分惰性气体通过井下传压筒下部的引压孔排到井下传压筒外，使惰性气体的压力与油层的压力在传压筒内到达平衡，并通过毛细钢管内的惰性气体将井下油层的压力传递到地面，由压力变送器将压力信号转换为数字信号，并通过 RS232 接口传递给数据采集器；数据采集器实时采集压力变送器的井口压力数据和温度变送器的地表温度数据，利用修正算法实时对采集到的压力数据进行修正，得到井下油层的实际压力值，并存储到数据存储器中。

所述的一种井下压力实时测量与修正方法，其所述数据采集器在对井口压力进行修正时，采用如下步骤：

步骤 A：通过温度变送器采集地表温度 t_s ；

步骤 B：用地表温度 t_s 、地表层深度 h_f 、常温层温度 T_z 、常温层厚度 h_z 、温升层梯度 ΔT_u 、测井总深度 H 计算毛细钢管内气体的平均温度 \bar{T} ，其计算表达式为：

$$\bar{T} = \frac{t_s h_f + T_z (4H - 3h_f - 2h_z) + \Delta T_u (H - h_f - h_z)^2}{2H};$$

步骤 C：通过压力变送器采集井口毛细钢管的气体压力 P_0 ；

步骤 D：用平均温度 \bar{T} 、井口压力值 P_0 以及惰性气体的类型计算惰性气体的压缩系数 C_{comp} ，这里采用查表法获得，即根据不同气体的特性事先生成一个压缩系数与平均温度、井口压力的对应关系表，再利用平均温度和井口压力查表得到其所对应的气体压缩系数 C_{comp} ；

步骤 E：用气体压缩系数 C_{comp} 、油井深度 H 、惰性气体摩尔质量 M 、平均温度 \bar{T} 计算压力修正比例系数 k_{cgs} ，计算公式表示为

$$k_{cgs} = \frac{G_{cst} \cdot M \cdot H}{C_{comp} \cdot (T_{falt} + \bar{T})},$$

其中 G_{cst} 为气体修正计算常数，数值在 0.001~0.003 范围内取值， T_{falt} 为温度转换偏移常数，数值在 300~500 范围内取值；

步骤 F：用比例系数 k_{cgs} 与井口压力值 P_0 计算井下实际压力值 P_c ，完成对井口压力的修正过程，其表达式为

$$P_c = \frac{1 + k_{cgs}}{1 - k_{cgs}} \cdot P_0.$$

所述的一种井下压力实时测量与修正方法，其所述充注用的惰性气体为氮气或氦气。

所述的一种井下压力实时测量与修正方法，其所述数据采集器由基于 ARM9 处理器的信息处理卡构成，该信息处理卡上移植源码公开的实时多任务操作系统软件，数据采集器含有的数据存储器为 SD 存储卡，其存储容量为 512MB~4GB。

所述的一种井下压力实时测量与修正方法，其所述修正方法中所用到的各参数，包括地表层深度 h_f 、常温层温度 T_z 、常温层厚度 h_z 、温升层梯

度 ΔT_u 、测井总深度 H 、惰性气体种类，由用户通过软件设定，并存储在数据采集器内部，用户根据实际情况随时对各参数进行修改。

本发明提出的井下压力实时测量与修正方法的主要优点如下：采用毛细钢管间接测压技术对油气井的井下压力进行测量，设备维护和校准方便，系统可靠性高；采用压力变送器采集毛细钢管内气体的井口压力，采用温度变送器采集地表层的温度，把环境温度因素作为影响井下压力与井口压力关系的重要参数进行实时测量，提高了井下压力计算的准确性；采用经验公式计算方法和查表法对井口测量压力进行修正，得到井下实际压力值，提高了压力修正的计算效率，提高了井下压力数据监测记录的实时性；采用嵌入式 ARM 控制器组成数据采集器，提高了系统的运算性能，增强了井下压力实时测量与修正系统装置的实时性与准确性；采用 SD 卡作为数据存储介质，扩大了数据采集器的数据记录容量，增强了数据信息在其他计算机平台上的兼容性。

附图说明

图 1 为毛细钢管井下压力实时测量与修正方法的装置组成示意图；

图 2 是毛细钢管井下压力实时测量与修正方法的算法流程图。

具体实施方式

本发明的一种井下压力实时测量与修正方法，采用基于毛细钢管间接测压的技术原理，并对其原有测压系统装置进行改进和提高，使系统能够实时准确地对油气井的井下压力进行测量与存储，以满足油气井勘探与生

产中地层井下压力实时监测、记录与分析的需要。

图 1 为本发明毛细钢管井下压力实时测量与修正方法所使用的装置组成示意图。该装置为油井压力监测系统已另案申请专利，请同时参考《毛细钢管油井压力远程监测监控系统》（申请号：200810101359.2）的专利申请材料。如图 1 所示，本发明方法所使用的测量装置由井下传压筒 1、毛细钢管 2、压力变送器 5、温度变送器 7、数据采集器 9 构成。其中井下传压筒 1 为长圆筒状，下部有多个引压孔 11，上部有一个毛细钢管连接孔 12；毛细钢管 2 为外径 3.18mm 内径 1.37mm 的中空钢制细管；压力变送器 5 为石英晶体或应变型变送器，含有毛细钢管接口和两个 RS232 通讯接口 S1、S2；温度变送器 7 为热电偶型变送器，含有热电偶探头接口和两个 RS232 通讯接口 S1、S2；数据采集器 9 为以嵌入式 ARM 控制器构成的数据采集设备，移植实时多任务操作系统软件，含有 SD 卡数据存储器 10 和 RS232 接口。井下传压筒 1 安装在油气井的井下油层中，其毛细钢管连接孔 12 与毛细钢管 2 的一端通过带螺纹的钢质压帽连接，毛细钢管 2 使用毛管窄带固定在油气井生产管道外侧，并顺着生产管道伸出井口到地面，毛细钢管 2 的另一端与压力变送器 5 的毛细钢管接口通过钢质压帽连接；热电偶 6 元件与长条形铜质部件固定在一起，共同埋置在地表下，热电偶 6 元件的信号端与温度变送器 7 的热电偶接口连接；数据采集器 9 的 RS232 接口与压力变送器 5 的 S1 口连接，压力变送器 5 的 S2 口与温度变送器 7 的 S1 口连接，温度变送器 7 的 S2 口用专用堵头 8 封堵，同时数据采集器 9 通过其与变送器之间的接口为各变送器供电。

图 1 的工作原理如下：在装置安装下井后，通过气泵向毛细钢管 2 和

井下传压筒 1 内充注氮气或氦气等惰性气体，一部分惰性气体通过井下传压筒 1 下部的引压孔 11 排到井下传压筒 1 外，使惰性气体的压力减小，与油层的压力在传压筒 1 内到达平衡，并通过毛细钢管 2 内的惰性气体将井下油层的压力传递到地面，由压力变送器 5 将压力信号转换为数字信号，并通过 RS232 接口传递给数据采集器 9。数据采集器 9 实时采集压力变送器 5 的井口压力数据和温度变送器 7 的地表温度数据，利用修正算法实时对采集到的压力数据进行修正，得到井下油层的实际压力值，并存储到数据存储器 10 中。

图 2 为本发明的毛细钢管井下压力实时测量与修正方法的算法流程图，主要利用井口压力值、地表环境温度值、地层温度场分布特性和井深信息、惰性气体信息等参数实现从井口压力推算井下实际压力的计算过程。其主要计算流程为：

步骤 A：数据采集器 9 通过温度变送器 7 采集埋植在地表层下的热电偶 6 的温度，用来作为地表的环境温度 t_s ；

步骤 B：用地表温度 t_s 、地表层深度 h_f 、常温层温度 T_z 、常温层厚度 h_z 、温升层梯度 ΔT_u 、测井总深度 H 计算毛细钢管 2 内气体的平均温度 \bar{T} ，其计算方法为

$$\bar{T} = \frac{t_s h_f + T_z (4H - 3h_f - 2h_z) + \Delta T_u (H - h_f - h_z)^2}{2H};$$

其中地表层深度 h_f 、常温层温度 T_z 、常温层厚度 h_z 、温升层梯度 ΔT_u 是油气井所在地层的温度场分布特性，一般这些参数较为恒定，在油气井勘探过程中由专用地层勘探设备一次性测量获得，连同井深信息、惰性气体类型等作为内部参数由用户设置到该油气井相应的数据采集器 9 中，并存

储在数据采集器 9 内部，用户也可以根据实际情况随时对这些参数进行调整。

步骤 C：数据采集器 9 通过压力变送器 5 采集毛细钢管 2 内的气体在井口处的压力 P_0 ；

步骤 D：用平均温度 \bar{T} 、井口压力值 P_0 以及惰性气体的类型计算惰性气体的压缩系数 C_{comp} ，这里采用查表法获得，即根据不同气体的特性事先生成一个压缩系数与平均温度、井口压力的对应关系表，再利用平均温度和井口压力查表得到其所对应的气体压缩系数；

步骤 E：用气体压缩系数 C_{comp} 、油井深度 H 、惰性气体摩尔质量 M 、平均温度 \bar{T} 计算压力修正比例系数 k_{cgs} ，计算公式表示为

$$k_{cgs} = \frac{G_{cst} \cdot M \cdot H}{C_{comp} \cdot (T_{falt} + \bar{T})},$$

其中 G_{cst} 为气体修正计算常数，取值 0.0015， T_{falt} 为温度转换偏移常数，取值 459；

步骤 F：用比例系数 k_{cgs} 与井口压力值 P_0 计算井下实际压力值 P_c ，其表达式为 $P_c = \frac{1+k_{cgs}}{1-k_{cgs}} \cdot P_0$ ，从而完成对井口压力的修正过程，得到油气井的井下实际压力值，然后进行步骤 G：存储记录和显示。

本发明是利用毛细钢管间接测压原理对油气井井下压力进行实时测量与修正的方法。与原有的毛细钢管测压系统相比，该方法的装置包含能够测量地表环境温度的温度变送器，对影响井下压力与井口压力之间关系的重要温度因素进行实时测量，对于提高压力修正的准确性有非常重要的作用；通过经验公式方法和查表方法相结合的压力快速修正算法，对毛细

钢管内气体的井口压力进行实时修正，以此得到油气井的井下实际压力值，这可以提高油气井地层信息监测的实时性，方便油气井测试过程的实时分析，对安全生产和产能优化具有重要意义。

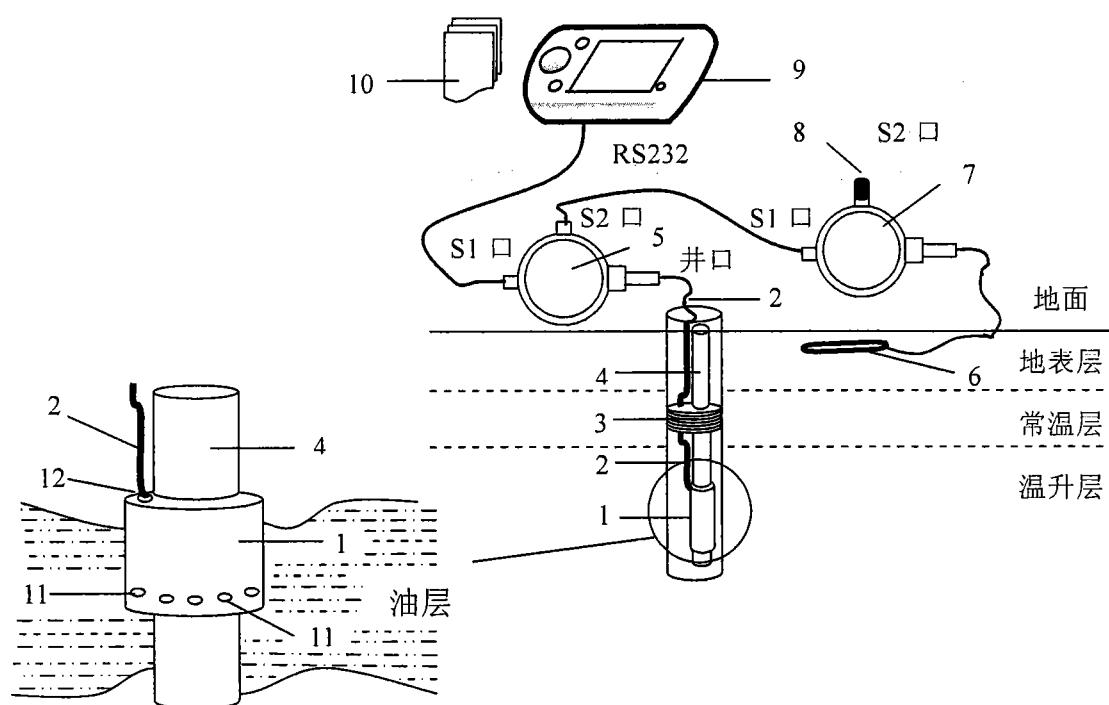


图 1

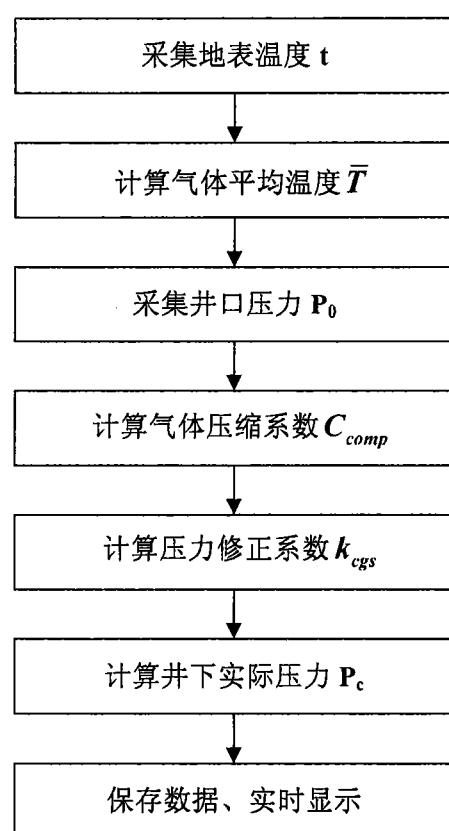


图 2