



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105004837 A

(43) 申请公布日 2015. 10. 28

(21) 申请号 201510363493. X

G01N 29/024(2006. 01)

(22) 申请日 2015. 06. 26

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路 15 号

(72) 发明人 王淑云 张旭辉 鲁晓兵 王爱兰 赵京

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理 事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.

G01N 33/00(2006. 01)

G01N 27/06(2006. 01)

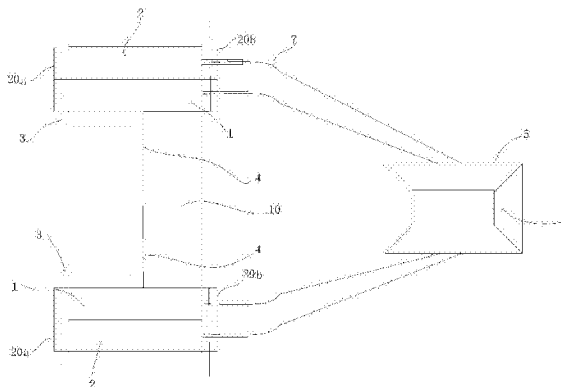
权利要求书2页 说明书3页 附图1页

(54) 发明名称

天然气水合物沉积物多测量单元分析方法及集成系统

(57) 摘要

本发明提供一种天然气水合物沉积物多测量单元分析方法及集成系统,该方法包括通过温度与压力联合测量传感器测量天然气水合物沉积物样品同一点的温度 T 和压力 P,根据天然气水合物的相平衡曲线,确定天然气水合物的合成状态;通过 TDR 测量单元根据天然气水合物合成过程中含水量的变化,实时地测量天然气水合物的合成饱和度;根据已知的天然气水合物和骨架自身的弹性模量,通过超声测量单元测量天然气水合物沉积物样品波速,获得天然气水合物沉积物的弹性模量,由此反演天然气水合物饱和度;根据已知天然气水合物的电阻和含一定盐度孔隙水自身的电阻,根据电阻测量单元测得的天然气水合物沉积物样品的电阻,反演天然气水合物饱和度和孔隙度。



1. 一种天然气水合物沉积物多测量分析方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤 1,通过温度与压力联合测量单元测量天然气水合物沉积物样品同一点的温度 T 和压力 P,根据天然气水合物的相平衡曲线,确定天然气水合物的合成状态;

步骤 2,由上述天然气水合物的合成状态可获得天然气水合物合成过程中含水量的变化,通过 TDR 测量单元根据天然气水合物合成过程中含水量的变化,实时地测量天然气水合物的合成饱和度;

步骤 3,根据已知的天然气水合物和骨架自身的弹性模量,通过超声测量单元测量天然气水合物沉积物样品的波速,获得天然气水合物沉积物的弹性模量,由此可以反演天然气水合物饱和度;

步骤 4,根据已知的天然气水合物的电阻和含一定盐度的孔隙水自身的电阻,根据电阻测量单元测得的天然气水合物沉积物样品的电阻,反演天然气水合物饱和度和孔隙度。

2. 根据权利要求 1 所述的天然气水合物沉积物多测量分析方法,其特征在于,所述步骤 2 中,根据如下换算公式获得天然气水合物的合成饱和度;

$$S_h = \frac{\rho_w \cdot \Delta S_w \cdot M_h}{N \cdot M_w \cdot \rho_h} = \frac{\rho_w \cdot f(\eta, P, T) \cdot M_h}{N \cdot M_w \cdot \rho_h}$$

其中 ρ_w 、 M_w 、 ΔS_w 分别为水的密度、摩尔质量、饱和度变化值; ρ_h 、 M_h 、 N 分别为天然气水合物的密度、摩尔质量、天然气水合物分子中单个甲烷分子结合水分子的数; $f(\eta, P, T)$ 为由温度 T 和压力 P 条件下 TDR 电信号值 η 转化的含水饱和度函数。

3. 根据权利要求 1 所述的天然气水合物沉积物多测量分析方法,其特征在于,所述步骤 3 中,根据如下换算公式反演天然气水合物饱和度;

在样品制备均匀的条件下,天然气水合物沉积物的平均弹性模量可以表示为:

$$E = \left(\frac{1}{4} \left(\frac{1}{E_r} + \frac{1}{E_v} \right) + \frac{1}{E_v + E_r} \right)^{-1}$$

其中, E_r 、 E_v 分别表示天然气水合物与骨架类似弹簧串联和并联受力的弹性模量,

$E_r = \frac{S_h}{E_h} + \frac{S_m}{E_m}$, $E_v = S_h E_h + S_m E_m$, E_h 、 S_h 分别表示天然气水合物的弹性模量和饱和度; E_m 、 S_m

分别表示土骨架的弹性模量和体积分数;

若天然气水合物和骨架自身的弹性模量已知,根据超声测量的波速 V,那么可以获得天然气水合物沉积物的弹性模量: $E = \rho \cdot V^2$,由此可以反演天然气水合物饱和度。

4. 根据权利要求 1 所述的天然气水合物沉积物多测量分析方法,其特征在于,所述步骤 4 中,根据如下换算公式反演天然气水合物饱和度和孔隙度;

在样品制备均匀的条件下,不考虑土骨架的电阻,天然气水合物沉积物的电阻类似弹性模量可以表示为:

$$R = \left(\frac{1}{4} \left(\frac{1}{R_r} + \frac{1}{R_v} \right) + \frac{1}{R_v + R_r} \right)^{-1}$$

其中, R_r 、 R_v 分别表示天然气水合物与水类似电阻串联和并联受力的电阻, $R_r =$

$S_h R_h + S_w R_w$, $E_v = \frac{S_h}{R_h} + \frac{S_w}{R_w}$, R_h 、 S_h 分别表示天然气水合物的电阻和饱和度； R_w 、 S_w 分别表示水的电阻和体积分数。

若天然气水合物和含一定盐度的孔隙水自身的电阻已知，剔除超声、TDR、不锈钢管路的对测量电阻影响，根据电阻测量的电阻，由此可以反演天然气水合物饱和度和孔隙度。

5. 一种天然气水合物沉积物多测量单元集成系统，其特征在于，包括：

电阻测量单元，用于测量天然气水合物沉积物样品的电阻；

超声测量单元，发射端和接收端分别设置在天然气水合物沉积物样品的上下两端，用于测量天然气水合物沉积物样品的波速；

温度与压力联合测量单元，用于测量天然气水合物沉积物样品同一点的温度和压力；

TDR 测量单元，根据天然气水合物合成过程中含水量的变化，实时地测量天然气水合物的合成饱和度；

模数转换单元，接收上述电阻、声波、温度和压力信号，并将其转换为数字信号；

数据分析单元，对上述数字信号进行分析和处理，获得天然气水合物沉积物样品的饱和度、弹性模量、温度、压力、分解程度的数据。

6. 根据权利要求 5 所述的天然气水合物沉积物多测量单元集成系统，其特征在于，所述超声测量单元的两个端子分别设置在天然气水合物沉积物样品的上端和下端；

所述电阻测量单元的两个端子分别设置在所述超声测量单元的两个端子上，且分别置于天然气水合物沉积物样品的顶部和底部，且两侧通过电绝缘材料封合；

所述温度与压力联合测量单元的两个测量端子分别从一侧穿过两所述电绝缘封合边壁伸入天然气水合物沉积物样品的顶部表面和底部表面；

所述 TDR 测量单元的两个测量端子分别从另一侧穿过两所述电绝缘封合边壁伸入天然气水合物沉积物样品的上部和下部。

7. 根据权利要求 6 所述的天然气水合物沉积物多测量单元集成系统，其特征在于，所述超声测量单元、电阻测量单元、温度与压力联合测量单元以及 TDR 测量单元的输出端均通过引出线与所述模数转换单元的输入端连接。

天然气水合物沉积物多测量单元分析方法及集成系统

技术领域

[0001] 本发明涉及天然气水合物开采技术,尤其是一种天然气水合物沉积物多测量单元分析方法及集成系统。

背景技术

[0002] 天然气水合物是一种储量巨大、清洁的非常规能源资源,也是我国的战略能源之一。天然气水合物沉积物力学特性是水合物开采及其安全性评价的基础参数。国内外各个天然气水合物研究单位已建立起多套天然气水合物沉积物合成、分解及其力学性质测量的一体化实验装置和水合物开采实验装置,但还存在以下难题难以突破。(1) 样品制备:样品的均匀性、合成饱和度、气液分布等不能实时在实验装置中测量;(2) 测量参数缺乏:在理论模型建立过程中,缺少必要的实验数据,不能很好地验证模型。因此,非常有必要研制一套天然气水合物多测量单元集成系统与分析方法。

发明内容

[0003] 本发明提供一种天然气水合物多测量单元分析方法及集成系统,用于克服现有技术中的缺陷,实现样品的实时测量,为建立理论模型提供足够量的数据,为天然气水合物的开采提供技术支持。

[0004] 本发明提供一种天然气水合物沉积物多测量分析方法,包括以下步骤:

[0005] 步骤 1,通过温度与压力联合测量单元测量天然气水合物沉积物样品同一点的温度 T 和压力 P ,根据天然气水合物的相平衡曲线,确定天然气水合物的合成状态;

[0006] 步骤 2,由上述天然气水合物的合成状态可获得天然气水合物合成过程中含水量的变化,通过 TDR 测量单元根据天然气水合物合成过程中含水量的变化,实时地测量天然气水合物的合成饱和度;

[0007] 步骤 3,根据已知的天然气水合物和骨架自身的弹性模量,通过超声测量单元测量天然气水合物沉积物样品的波速,获得天然气水合物沉积物的弹性模量,由此可以反演天然气水合物饱和度;

[0008] 步骤 4,根据已知的天然气水合物的电阻和含一定盐度的孔隙水自身的电阻,根据电阻测量单元测得的天然气水合物沉积物样品的电阻,反演天然气水合物饱和度和孔隙度。

[0009] 本发明还提供一种天然气水合物沉积物多测量单元集成系统,包括:

[0010] 电阻测量单元,用于测量天然气水合物沉积物样品的电阻;

[0011] 超声测量单元,发射端和接收端分别设置在天然气水合物沉积物样品的上下两端,用于测量天然气水合物沉积物样品的波速;

[0012] 温度与压力联合测量单元,用于测量天然气水合物沉积物样品同一点的温度和压力;

[0013] TDR 测量单元,根据天然气水合物合成过程中含水量的变化,实时地测量天然气水

合物的合成饱和度；

[0014] 模数转换单元,接收上述电阻、声波、温度和压力信号,并将其转换为数字信号；

[0015] 数据分析单元,对上述数字信号进行分析和处理,获得天然气水合物沉积物样品的饱和度、弹性模量、温度、压力、分解程度的数据。

[0016] 本发明提供的天然气水合物多测量单元分析方法及集成系统,配置在高压三轴仪、水合物开采实验装置中,通过时域反射技术(TDR)、温度和压力传感器测量样品制备过程中水合物的均匀性、饱和度等基本信息,从而保证建立起合适的样品制备技术;实时监测样品的力、声、电的流通信号,从而获得应力应变、声波、电阻等基本信息。在此基础上,获得天然气水合物饱和度、应力应变、声波、电阻之间的基本关系,建立一套应用分析方法,实现样品的实时测量,为建立理论模型提供足够量的数据,为我国天然气水合物钻探测井、开采及其安全性监测与评价研究提供测量系统 and 应用分析方法。

附图说明

[0017] 图1为本发明实施例提供的天然气水合物多测量单元集成系统的结构示意图。

具体实施方式

[0018] 如图1所示,本发明实施例提供一种天然气水合物沉积物多测量单元集成系统,由超声测量单元1、电阻测量单元2、温度与压力联合测量单元3、TDR测量单元4、模数转换单元5和数据分析单元6组成。其中超声测量单元1、电阻测量单元2、温度与压力联合测量单元3、TDR测量单元4均为传感器的一种。

[0019] 超声测量单元1的发射端和接收端分别布置在天然气水合物沉积物样品10的上、下两端,频率小于1MHz；

[0020] 电阻测量单元2布置在超声测量单元1上,电阻测量最大值在10兆欧;电阻测量单元2的两个端子分别设置在超声测量单元1的两个端子(发射端和接收端)上,且分别置于天然气水合物沉积物样品10的顶部和底部,两侧的边壁采用电绝缘材料封合,温度与压力联合测量单元3的两个测量端子分别从边壁一侧20a穿过两电绝缘封合边壁伸入天然气水合物沉积物样品10的顶部表面和底部表面;TDR测量单元4的两个测量端子分别从边壁另一侧20b穿过两电绝缘封合边壁伸入天然气水合物沉积物样品10的上部和下部;分别在两侧的边壁上打孔,保证不锈钢管路和细铜丝的通过。

[0021] 温度与压力联合测量单元3由两根不锈钢细管道(直径1mm以下)贯穿超声和电阻测量单元,进入天然气水合物沉积物样品10顶部和底部表面位置,分别测量其温度和压力数据；

[0022] TDR测量单元4采用两根细铜丝,直径不超过1mm,分别测量天然气水合物沉积物样品10上半部分和下半部分的水合物饱和度数据;该系统配置于高压三轴仪和水合物开采实验装置中；

[0023] 超声测量单元1、电阻测量单元2、温度与压力联合测量单元3以及TDR测量单元4的输出端均通过引出线与模数转换单元5的输入端连接。

[0024] 超声测量单元1测量的声波、电阻测量单元2测量的电阻、温度与压力联合测量单元3测量的温度、压力信号均为电信号,通过信号放大器,再通过模数转换单元5将上述电

信号转换为数字信号,输送给数据分析单元 6,数据分析单元 6 根据数据分析方法,添加数据分析单元,最终在计算机上直接输出水合物饱和度、水合物沉积物弹性模量、温度、压力、分解程度的数据。

[0025] 本发明实施例还提供一种天然气水合物沉积物多测量单元分析方法:

[0026] 温度-压力联合测量单元 3 可以测量天然气水合物沉积物样品 10 孔隙中同一点的温度 T 和压力 P(此压力需要剔除毛细压力 P_c),根据天然气水合物的相平衡曲线,确定天然气水合物的合成状态,由此可获得天然气水合物合成过程中含水量的变化。

[0027] TDR 测量单元 4 根据天然气水合物合成过程中含水量的变化,实时地测量天然气水合物的合成饱和度,即 $S_h = \frac{\rho_w \cdot \Delta S_w \cdot M_h}{N \cdot M_w \cdot \rho_h} = \frac{\rho_w \cdot f(\eta, P, T) \cdot M_h}{N \cdot M_w \cdot \rho_h}$,其中, ρ_w 、 M_w 、 ΔS_w 分别为

水的密度、摩尔质量、饱和度变化值; ρ_h 、 M_h 、 N 分别为天然气水合物的密度、摩尔质量、天然气水合物分子中单个甲烷分子结合水分子的数; $f(\eta, P, T)$ 为由温度 T 和压力 P 条件下 TDR 电信号值 η 转化的含水饱和度函数。

[0028] 在样品制备均匀的条件下,天然气水合物沉积物的平均弹性模量可以表示为:

$E = \left(\frac{1}{4} \left(\frac{1}{E_r} + \frac{1}{E_v} \right) + \frac{1}{E_v + E_r} \right)^{-1}$, 其中, E_r 、 E_v 分别表示天然气水合物与骨架类似弹簧串联和

并联受力的弹性模量, $E_r = \frac{S_h}{E_h} + \frac{S_m}{E_m}$, $E_v = S_h E_h + S_m E_m$, E_h 、 S_h 分别表示天然气水合物的弹性

模量和饱和度; E_m 、 S_m 分别表示土骨架的弹性模量和体积分数。

[0029] 若天然气水合物和骨架自身的弹性模量已知,根据超声测量的波速 V,那么可以获得天然气水合物沉积物的弹性模量: $E = \rho \cdot V^2$,由此可以反演天然气水合物饱和度。

[0030] 在样品制备均匀的条件下,不考虑土骨架的电阻,天然气水合物沉积物的电阻类

似弹性模量可以表示为: $R = \left(\frac{1}{4} \left(\frac{1}{R_r} + \frac{1}{R_v} \right) + \frac{1}{R_v + R_r} \right)^{-1}$, 其中, R_r 、 R_v 分别表示天然气水合物

与水类似电阻串联和并联受力的电阻, $R_r = S_h R_h + S_w R_w$, $E_v = \frac{S_h}{R_h} + \frac{S_w}{R_w}$, R_h 、 S_h 分别表示天然

气水合物的电阻和饱和度; R_w 、 S_w 分别表示水的电阻和体积分数。

[0031] 若天然气水合物和含一定盐度的孔隙水自身的电阻已知,剔除超声、TDR、不锈钢管路的对测量电阻影响,根据电阻测量的电阻 R,由此可以反演天然气水合物饱和度和孔隙度。

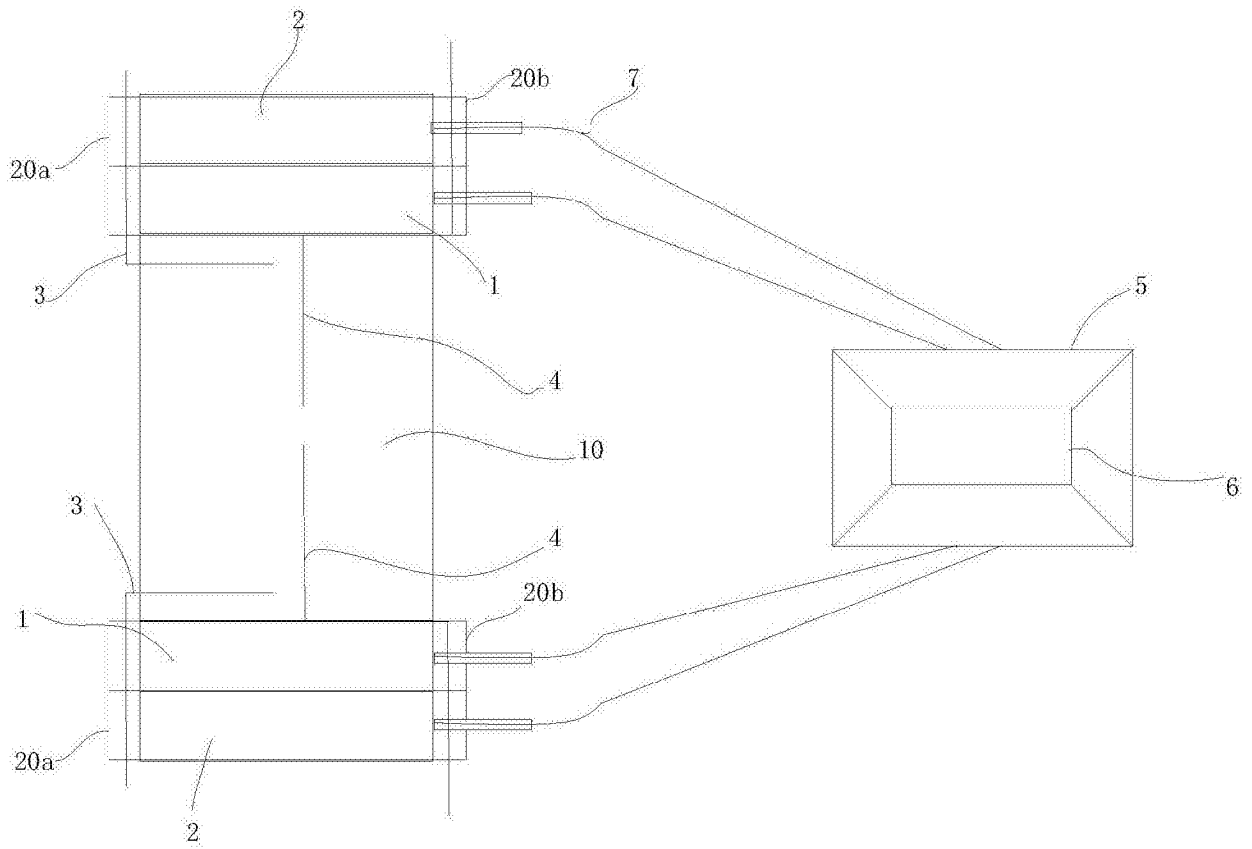


图 1