



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105277464 A

(43) 申请公布日 2016. 01. 27

(21) 申请号 201510699029. 8

(22) 申请日 2015. 10. 26

(71) 申请人 中国石油大学(北京)

地址 102249 北京市昌平区府学路 18 号中
国石油大学 260 信箱

(72) 发明人 黄何鑫 姜振学 李卓 杨潇
原园 陈磊 冯杰

(74) 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理
有限公司 11205

代理人 杨贝贝 黄健

(51) Int. Cl.

G01N 7/14(2006. 01)

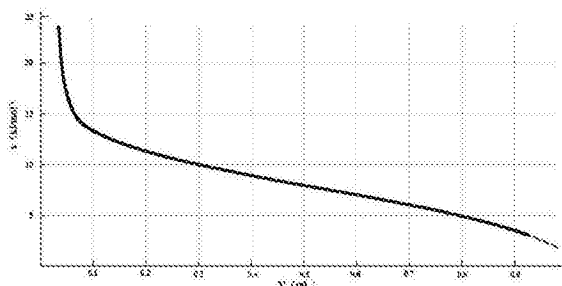
权利要求书1页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

恢复页岩含气量的方法

(57) 摘要

本发明提供一种恢复页岩含气量的方法,该方法通过吸附含气量以及孔隙体积含气量来恢复泥页岩的原始含气量,其中,所述吸附含气量恢复以 Polanyi 吸附势、London 色散作用势能理论以及气体状态方程为理论基础,结合岩心柱体甲烷等温吸附曲线、气体组分的测试数据,页岩孔隙度与含水饱和度,通过气体在地层温度及 95°C 解析过程间的吸附含气量变化得到;所述孔隙体积含气量恢复采用孔隙度、含水饱和度的测试数据通过状态方程得到。该含气量恢复方法理论依据更加完善,并且可以恢复泥页岩各气体组分的原始含量,有利于更精确、客观、全面地评估页岩气藏的可开采性。



1. 一种恢复页岩含气量的方法,其特征在于,包括如下步骤:

1) 从压力为 P_0 、温度为 T_1 的地层中取页岩,在温度 T_1 和常压 P_1 下对取得的页岩进行第一解析,直至无气体产生,收集第一解析气体;

2) 在温度 T_2 和常压 P_1 下对经所述第一解析的页岩进行第二解析,直至无气体产生,收集第二解析气体并得到其在标准状况下的体积 V_2 ,其中, T_2 为 95°C ;

3) 混合所述第一解析气体和第二解析气体,得到含有甲烷的混合气体,对所述混合气体进行分析,得到所述混合气体中各组分的体积百分含量 a_i ;

4) 根据式 1,得到所述第二解析气体中各组分在标准状况下的吸附含气量 V_{2i} ,

$$V_{2i} = \left[V_2 - \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \cdot V_0 \cdot q \cdot (1-w) \cdot \frac{273.15 \cdot P_1}{101325 \cdot T_2} \right] \cdot a_i \quad \text{式 1}$$

式 1 中, V_0 为所述页岩的体积, q 为所述页岩的孔隙度, w 为所述页岩的含水比例;

5) 根据式 2,得到所述页岩中各气体组分从地层到第二解析结束后在标准状况下的吸附含气量 V_{1i} ,

$$V_{1i} = \left(\frac{V_{i2} - V_{i0}}{V_{i2} - V_{i1}} \right) \cdot V_{2i} \quad \text{式 2}$$

式 2 中, V_{i0} 为第 i 组分气体在地层层位时吸附势对应的测试吸附体积, V_{i1} 为第 i 气体组分在所述第一解析时吸附势对应的测试吸附体积, V_{i2} 为第 i 气体组分在所述第二解析时吸附势对应的测试吸附体积;

6) 根据式 3,得到所述页岩从地层到第二解析结束后由孔隙体积中的气体膨胀所产生的标准状况下的含气量 V_p ,

$$V_p = \left(\frac{P_0 \cdot T_2}{P_1 \cdot T_1} - 1 \right) \cdot V_0 \cdot q \cdot (1-w) \cdot \frac{273.15 \cdot P_1}{101325 \cdot T_2} \quad \text{式 3}$$

页岩含气量为页岩中各气体组分吸附含气量 V_{1i} 之和与含气量 V_p 的总和。

2. 根据权利要求 1 所述的恢复页岩含气量的方法,其特征在于,根据甲烷的吸附特性曲线和式 4 得到第 i 气体组分的吸附特性曲线,并根据第 i 气体组分的吸附特性曲线和式 5 得到所述 V_{i0} 、 V_{i1} 和 V_{i2} ,

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{\text{甲烷}} \cdot \frac{V_{mi}}{V_{m\text{甲烷}}} \quad \text{式 4}$$

$$\varepsilon_i = RT \ln \frac{P_{\text{饱和}}}{P_{\text{任意}}} \quad \text{式 5}$$

式 4 中, ε_i 为第 i 气体组分在温度为 T 、压力为 $P_{\text{任意}}$ 时的吸附势, $\varepsilon_{\text{甲烷}}$ 为甲烷在温度为 T 、压力为 $P_{\text{任意}}$ 时的吸附势, V_{mi} 为第 i 气体组分的液态摩尔体积, $V_{m\text{甲烷}}$ 为液态甲烷的摩尔体积。

3. 根据权利要求 2 所述的恢复页岩含气量的方法,其特征在于,所述甲烷的吸附特性曲线根据甲烷对于所述页岩的等温吸附曲线与公式 6 得到,

$$\varepsilon_{\text{甲烷}} = RT \ln \frac{P_{\text{饱和}}}{P_{\text{任意}}} \quad \text{式 6}$$

式 6 中, $\varepsilon_{\text{甲烷}}$ 为甲烷在温度为 T 、压力为 $P_{\text{任意}}$ 时的吸附势, $P_{\text{饱和}}$ 为甲烷在温度 T 时的饱和蒸汽压。

恢复页岩含气量的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及非常规油气勘探开发技术,尤其涉及一种恢复页岩含气量的方法。

背景技术

[0002] 页岩气是当今热门的非常规油气资源,因此页岩的开发对于页岩气资源的获取至关重要。在页岩开发前,为了避免勘探开发的经济损失或可采资源的遗失,通常需要对页岩进行评价,而页岩的含气量是评价页岩气资源潜力和预测有利区的重要参考指标,因此,准确的页岩总含气量可以为资源潜力评价和有利区预测提供可靠的依据。

[0003] 目前有关页岩气的总含气量是将损失气量和解析气量相加得到,而页岩损失气量的估算方法主要采用美国矿业局对煤层损失气估算所采用的 USBM 法以及以该方法为基础衍生的多种拟合公式来估算页岩气的损失气量。根据 USBM 法,解吸作用的初期,累计解析气含量和解析时间的二次开方呈线性关系,将最初时间的解析气量数据外推至零时刻,通过最小二乘法或图解法恢复损失气。由于页岩层的深度远大于煤层深度,其在取心方式、钻井泥浆等方面与煤层具有巨大的差异性,因此该方法推广在页岩气损失气量的恢复上存在着很多问题,并且实践证明,在损失时间较长的情况下,USBM 法及其衍生的多种拟合公式并不准确。同时,USBM 法建立在多种假设条件的基础上,其本身也属于半经验方法,原理并不完善。

发明内容

[0004] 本发明提供一种恢复页岩含气量的方法,克服现有技术中页岩含气量恢复的理论基础偏差过大而导致页岩含气量恢复不准确的缺陷。

[0005] 本发明提供一种恢复页岩含气量的方法,包括如下步骤:

[0006] 1) 从压力为 P_0 、温度为 T_1 的地层中取页岩,在温度 T_1 和常压 P_1 下对取得的页岩进行第一解析,直至无气体产生,收集第一解析气体;

[0007] 2) 在温度 T_2 和常压 P_1 下对经所述第一解析的页岩进行第二解析,直至无气体产生,收集第二解析气体并得到其在标准状况下的体积 V_2 ,其中, T_2 为 95°C ;

[0008] 3) 混合所述第一解析气体和第二解析气体,得到含有甲烷的混合气体,对所述混合气体进行分析,得到所述混合气体中各组分的体积百分含量 a_i ;

[0009] 4) 根据式 1,得到所述第二解析气体中各组分在标准状况下的吸附含气量 V_{2i} ,

$$[0010] \quad V_{2i} = \left[V_2 - \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \cdot V_0 \cdot q \cdot (1-w) \cdot \frac{273.15 \cdot P_1}{101325 \cdot T_2} \right] \cdot a_i \quad \text{式 1}$$

[0011] 式 1 中, V_0 为所述页岩的体积, q 为所述页岩的孔隙度, w 为所述页岩的含水量;

[0012] 5) 根据式 2,得到所述页岩中各气体组分从地层到第二解析结束后在标准状况下的吸附含气量 V_{1i} ,

$$[0013] \quad V_{1i} = \left(\frac{V_{i2} - V_{i0}}{V_{i2} - V_{i1}} \right) \cdot V_{2i} \quad \text{式 2}$$

[0014] 式 2 中, V_{i0} 为第 i 组分气体在地层层位时吸附势对应的测试吸附体积, V_{i1} 为第 i 气体组分在所述第一解析时吸附势对应的测试吸附体积, V_{i2} 为第 i 气体组分在所述第二解析时吸附势对应的测试吸附体积;

[0015] 6) 根据式 3, 得到所述页岩从地层到第二解析结束后由孔隙体积中的气体膨胀所产生的标准状况下的含气量 V_p ,

$$[0016] \quad V_p = \left(\frac{P_0 \cdot T_2}{P_1 \cdot T_1} - 1 \right) \cdot V_0 \cdot q \cdot (1-w) \cdot \frac{273.15 \cdot P_1}{101325 \cdot T_2} \quad \text{式 3}$$

[0017] 页岩含气量为页岩中各气体组分吸附含气量 V_{i1} 和与含气量 V_p 的总和。

[0018] 本发明恢复的页岩含气量是指当页岩从地层层位到第二解析结束后, 计算出页岩在该过程中的所产生的总气量。

[0019] 由于页岩从地层到取出至地面的过程中一般会经历数十个小时, 因此在取岩过程中页岩释放的气体体积无法进行收集测量, 所以本发明对取出地层后的页岩在设定温度压力下的条件下进行了两次解析, 在两次解析的过程中页岩产生的气体体积是可以准确测量的, 因此利用可以准确测量的气体体积以及 Polanyi 吸附势理论去计算页岩从地层到第二解析结束后释放气体的总体积。

[0020] 在第二解析中, 页岩释放气体的总体积中包含了该过程中页岩吸附含气量产生的变化和页岩孔隙体积中的气体产生的变化量, 具体的, 第二解析为等压变温过程, 因此利用气体状态方程 $PV = nRT$ 与气体中各组分的百分含量得到式 1, 利用式 1 计算出页岩在第二解析中产生的各组分气体的吸附含量。

[0021] 本发明的步骤 5) 中的式 2, 是将页岩在第二解析中产生的各组分气体的吸附含量结合 Polanyi 吸附势获得的。即, 采用吸附势理论根据页岩在第二解析中产生的各组分气体的吸附含量获取页岩从地层到第二解析结束后产生的各组分气体的吸附含气量。

[0022] 由于页岩从地层到第二解析结束后处于变温变压过程, 因此利用气体状态方程可以得到本发明步骤 6) 中的式 3, 利用式 3 计算出页岩从地层到第二解析结束后孔隙体积中的气体产生的变化量。

[0023] 将页岩从地层到第二解析结束后的过程中产生的各组分气体的吸附含量之和与页岩从地层到第二解析结束后孔隙体积中的气体产生的变化量相加, 最终获得页岩从地层到第二解析结束后的总含气量。

[0024] 为了更加客观的表达页岩的含气量, 本发明中的气体体积都是统一为标准状况下的气体体积, 即压力为 101325Pa, 温度为 0°C 时的气体体积, 在带入上述等式计算时, 温度为热力学温度, 单位为 K, 压力单位为 Pa。具体地, 气体在标准状况下的体积可以根据式 7 计算。

$$[0025] \quad V_{\text{标况}} = \frac{273.15 \cdot P_{\text{计算}}}{101325 \cdot T_{\text{计算}}} \cdot V_{\text{计算}} \quad \text{式 7}$$

[0026] 其中, $V_{\text{计算}}$ 是气体在 $P_{\text{计算}}$ 和 $T_{\text{计算}}$ 下的气体体积。这里需要注意的是, 页岩在进行解析时的温度与收集气体的温度是不一致的, 以第二解析为例, 页岩是在温度 T_2 和常压 P_1 的解析箱中进行第二解析的, 但是收集气体的环境即气体体积的读数环境是在现场温度 T_3 以及现场压力 P_3 下进行的, 即解析的气体是在解析箱外收集并读数的, 因此上述式中的 $P_{\text{计算}}$ 和 $T_{\text{计算}}$ 是收集并读出 $V_{\text{计算}}$ 的环境的压力 P_3 和温度 T_3 。

[0027] 本发明的测量方法中,将页岩产生的总气量分为两大部分,一部分为页岩的吸附气体从地层层位到第二解析结束后所产生的变化量,另一部分为页岩的孔隙体积中的气体从地层层位到第二解析结束后所产生的变化量。由于页岩从地层到取出至地面的过程中释放的气体体积无法进行收集测量,所以本发明对取出地层后的页岩进行两次设定温度压力下的解析,在两次解析的过程中页岩释放的气体体积是可以准确测量的,本发明利用这两次可以准确测量的数据并结合 Polanyi 吸附势以及气体状态方程势最终获取页岩的含气量,因此本发明所提供的测量页岩含气量的方法的理论依据完善,并且可以测量页岩气体中各组分气体的原始含量,有利于更精确、客观、全面地评估页岩气藏的可开采性。

[0028] 进一步地,根据甲烷的吸附特性曲线和式 4 得到第 i 气体组分的吸附特性曲线,并根据第 i 气体组分的吸附特性曲线和式 5 得到所述 V_{i0} 、 V_{i1} 和 V_{i2} ,

$$[0029] \quad \varepsilon_i = \varepsilon_{\text{甲烷}} \cdot \frac{V_{mi}}{V_{m\text{甲烷}}} \quad \text{式 4}$$

$$[0030] \quad \varepsilon_i = RT \ln \frac{P_{\text{饱和}}}{P_{\text{任意}}} \quad \text{式 5}$$

[0031] 式 4 中, ε_i 为第 i 气体组分在温度为 T 、压力为 $P_{\text{任意}}$ 时的吸附势, $\varepsilon_{\text{甲烷}}$ 为甲烷在温度为 T 、压力为 $P_{\text{任意}}$ 时的吸附势, V_{mi} 为第 i 气体组分的液态摩尔体积, $V_{m\text{甲烷}}$ 为液态甲烷的摩尔体积。

[0032] 其中,吸附特性曲线是 V (体积) - ε (吸附势) 曲线。具体在应用过程中,第 i 气体组分的吸附特性曲线绘制方法为,以 N_2 为例:首先,液态甲烷的密度为 $426\text{kg}/\text{m}^3$,液态氮气的密度为 $808\text{kg}/\text{m}^3$,分别除摩尔质量,得到液态甲烷的摩尔体积 $V_{m\text{甲烷}} = 0.037558685\text{m}^3$,得到液态氮气的摩尔体积 $V_{m\text{氮气}} = 0.034653465\text{m}^3$;然后,根据甲烷的吸附特性曲线上具体测试数目的点 n 个,即可以得到 n 个 $\varepsilon_{\text{甲烷}}$ 以及对应的 n 个 $V_{\text{甲烷}}$;最后,将 n 个 $\varepsilon_{\text{甲烷}}$ 带入式 4 中得到 n 个 $\varepsilon_{\text{氮气}}$,再根据 n 个 $\varepsilon_{\text{氮气}}$ 与对应的 n 个 $V_{\text{甲烷}}$ 绘制出氮气的吸附特性曲线。其中,为了保证吸附特性曲线的准确性, $n \geq 13$ 。

[0033] 值得注意的是,本发明的第 i 气体组分的吸附特性曲线是根据甲烷的吸附特性转换而来的,该转换原理,即式 4,是根据 London 色散作用势能得到的。

[0034] 同样以 N_2 为例,计算 V_{i0} 时,将地层温度 T_1 、地层压力 P_0 以及氮气在 T_1 时的饱和蒸汽压带入式 5 中可以得到氮气在地层层位时的吸附势,然后在氮气的吸附特性曲线上找到该条件下的吸附势对应的测试吸附体积即可,同理,可根据该方法获得氮气的在第一解析时吸附势对应的测试吸附体积 V_{i1} 和在第二解析时吸附势对应的测试吸附体积 V_{i2} 。

[0035] 进一步地,所述甲烷的吸附特性曲线根据甲烷对于所述页岩的等温吸附曲线与公式 6 得到,

$$[0036] \quad \varepsilon_{\text{甲烷}} = RT \ln \frac{P_{\text{饱和}}}{P_{\text{任意}}} \quad \text{式 6}$$

[0037] 式 6 中, $\varepsilon_{\text{甲烷}}$ 为甲烷在温度为 T 、压力为 $P_{\text{任意}}$ 时的吸附势, $P_{\text{饱和}}$ 为甲烷在温度 T 时的饱和蒸汽压。

[0038] 其中,甲烷对于页岩的等温 (本发明对该测试温度不做限制,一般可以选择地层温度 T_1) 吸附曲线是 P (压力) - V (体积) 曲线。具体在应用过程中,甲烷的吸附特性曲线绘制方法为:首先,通过甲烷的等温吸附曲线上的 m 个测试点,即对应 m 个 $P_{\text{任意}}$ 和 $V_{\text{任意}}$;然后,

分别将 m 个 $P_{\text{任意}}$ 带入式 6 中, 此时式 6 中的 T 为测试温度, $P_{\text{饱和}}$ 为甲烷在测试温度时的饱和蒸汽压, 得到 m 个 $\varepsilon_{\text{甲烷}}$; 最后, 根据 m 个 $\varepsilon_{\text{甲烷}}$ 与对应的 m 个 $V_{\text{任意}}$ 绘制出甲烷的吸附特性曲线。其中, 为了保证吸附特性曲线的准确性, $m \geq 13$ 。

[0039] 本发明中, 甲烷对于页岩的等温吸附曲线是 P (压力) - V (体积) 曲线是根据体积法或者质量法的等温吸附测试方法测出 m 个 $(P-V)$ 点绘制的。因此, 在绘制甲烷的吸附特性曲线时, 就可以采用这 m 个 $(P-V)$ 点。

[0040] 本发明对各组分的吸附特性曲线的绘制软件不做限制, 在本发明中所采用的绘制软件为 MATLAB。

[0041] 本发明提供的恢复页岩含气量的方法, 将页岩气量分为页岩气中不同组分的吸附含气量与孔隙体积含气量两部分, 通过 Polanyi 吸附势理论、London 色散作用势能理论、气体状态方程以及真实可测的数据最终还原了页岩的含气量, 避免了半经验公式在页岩含气量测量中带来的不确定性, 使页岩气含气量的测量建立在质量守恒的现实背景基础上, 理论依据更加完善。同时, 本发明的恢复方法中考虑了不同组分气体的特性, 既避免了将不同组分气体统一计算的不合理性, 有可以明确页岩气中有效组分甲烷的含量, 为页岩的资源潜力以及有利区的预测提供了客观的参考基础。

附图说明

[0042] 图 1 为本发明实施例的 CH_4 对于页岩的等温 (30°C) 吸附曲线;

[0043] 图 2 为本发明实施例的 CH_4 的吸附特性曲线;

[0044] 图 3 为本发明实施例的 N_2 的吸附特性曲线;

[0045] 图 4 为本发明实施例的 CO_2 的吸附特性曲线。

具体实施方式

[0046] 实施例

[0047] 本实施例针对渝东南的页岩进行页岩含气量测量, 包括如下步骤:

[0048] 1) 第一解析: 从压力 $P_0 = 7100751.744\text{Pa}$ 、温度 $T_1 = 30^\circ\text{C}$ 的地层中取页岩, 将页岩处于解析箱中进行第一解析, 设定解析箱的压力 $P_1 = 99665\text{Pa}$ (常压), 温度 $T_1 = 30^\circ\text{C}$, 直至无气体产生, 收集第一解析气体;

[0049] 2) 第二解析: 设定解析箱的温度 T_2 为 95°C , 压力 $P_1 = 99665\text{Pa}$, 对经第一解析的页岩进行第二解析, 直至无气体产生, 收集第二解析气体 31mL (收集气体的环境压力 $P_3 = 99665\text{Pa}$, $T_3 = 12^\circ\text{C}$), 通过式 7 得到第二解析气体在标准状况下的体积为 29.2089cm^3 ,

$$V_{\text{标况}} = \frac{273.15 \cdot P_{\text{计算}}}{101325 \cdot T_{\text{计算}}} \cdot V_{\text{计算}} \quad \text{式 7}$$

[0051] 其中, $V_{\text{计算}} = 31\text{cm}^3$, $P_{\text{计算}} = 99665\text{Pa}$, $T_{\text{计算}} = (12 + 273.15) = 285.15\text{K}$;

[0052] 3) 混合所述第一解析气体和第二解析气体, 得到含有甲烷的混合气体, 对上述混合气体进行气相色谱法分析, 得到所述混合气体中主要含有 $\text{CH}_4 92.0150952\%$, $\text{N}_2 4.3717564\%$, $\text{CO}_2 3.6131484\%$ 。;

[0053] 4) 对解析完毕的页岩采用 He 孔隙度方法测定, 本实施例的页岩的体积为 786.63896cm^3 , 孔隙度 2.71% , 含水百分比为 15.3% (含水饱和度的数据来自于测井解释

曲线上深度 $\pm 0.0625\text{m}$ 的范围内的含水饱和度)。

[0054] 根据式 1,

$$[0055] \quad V_{2i} = \left[V_2 - \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \cdot V_0 \cdot q \cdot (1-w) \cdot \frac{273.15 \cdot P_1}{101325 \cdot T_2} \right] \cdot a_i \quad \text{式 1}$$

[0056] 得到所述第二解析气体中 CH_4 在标准状况下的吸附含气量 $V_{2i} = 24.27695436\text{cm}^3$, N_2 在标准状况下的吸附含气量 $V_{2i} = 0.953280966\text{cm}^3$, CO_2 在标准状况下的吸附含气量 $V_{2i} = 1.153429558\text{cm}^3$ 。

[0057] 式 1 中, $V_2 = 29.2089\text{cm}^3$, $T_1 = 303.15\text{K}$, $T_2 = 368.15\text{K}$, $P_1 = 99665\text{Pa}$ 。

[0058] 5) 关于 CH_4 、 N_2 、 CO_2 各自从地层到第二解析结束后在标准状况下的吸附含气量 V_{1i} 的计算。

[0059] 对于 CH_4 :

[0060] 图 1 为本发明实施例的 CH_4 对于页岩的等温 (30°C) 吸附曲线。在图 1 中, 采用测试的 16 个 (P-V) 点 (见下表 1), 将 16 个点对应的压力数据带入式 6 中,

$$[0061] \quad \varepsilon_{\text{甲烷}} = RT \ln \frac{P_{\text{饱和}}}{P_{\text{任意}}} \quad \text{式 6}$$

[0062] 其中, $R = 8.314\text{J/mol/K}$, $T = (273.15 + 30)\text{K}$, CH_4 在 30°C 的 $P_{\text{饱和}} = 118955626.1\text{Pa}$, 通过计算得到 16 个对应的 $\varepsilon_{\text{甲烷}}$ (见下表 1), 根据 16 个 (V- $\varepsilon_{\text{甲烷}}$) 绘制出 CH_4 的吸附特性曲线, 图 2 为本发明实施例的 CH_4 的吸附特性曲线。

[0063] 根据式 5, 得到 CH_4 在地层层位时的吸附势 $\varepsilon_{i0} = 7.103842385\text{kJ/mol}$ 、在所述第一解析时的吸附势 $\varepsilon_{i1} = 17.85617861\text{kJ/mol}$ 以及在第二解析时的吸附势 $\varepsilon_{i2} = 23.84523157\text{kJ/mol}$,

$$[0064] \quad \varepsilon_i = RT \ln \frac{P_{\text{饱和}}}{P_{\text{任意}}} \quad \text{式 5}$$

[0065] 其中, $R = 8.314\text{J/mol/K}$, 计算 ε_{i0} 时, $T = (30 + 273.15)\text{K}$, $P_{\text{任意}} = 7100751.744\text{Pa}$, $P_{\text{饱和}}(30^\circ\text{C}) = 118955626.1\text{Pa}$; 计算 ε_{i1} 时, $T = (30 + 273.15)\text{K}$, $P_{\text{任意}} = 99665\text{Pa}$, $P_{\text{饱和}}(30^\circ\text{C}) = 118955626.1\text{Pa}$; 计算 ε_{i2} 时, $T = (95 + 273.15)\text{K}$, $P_{\text{任意}} = 99665\text{Pa}$, $P_{\text{饱和}}(95^\circ\text{C}) = 240948730.1\text{Pa}$ 。

[0066] 在 CH_4 的吸附特性曲线, 找到分别与 ε_{i0} 、 ε_{i1} 以及 ε_{i2} 对应的 V_{i0} 、 V_{i1} 以及 V_{i2} , 再将第二解析气体中 CH_4 在标准状况下的吸附含气量 $V_{2i} = 24.27695436\text{cm}^3$ 带入式 2 中, 得到页岩中 CH_4 从地层到第二解析结束后在标准状况下的吸附含气量 V_{1i} 为 1198.634446cm^3

$$[0067] \quad V_{1i} = \left(\frac{V_{i2} - V_{i0}}{V_{i2} - V_{i1}} \right) \cdot V_{2i} \quad \text{式 2}$$

[0068] 表 1 CH_4 的 P-V- ε 对应表

[0069]

	P/Pa	V/mL/g	ε /kJ/mol
1	497370	0.085253486	13.80460359
2	997690	0.157478579	12.05013959

3	2006580	0.276784838	10.28903169
4	3008740	0.368973954	9.268048261
5	4000350	0.438711297	8.550089036
6	6007760	0.548348252	7.525122124
7	7999520	0.625451639	6.803460189
8	9993440	0.681440624	6.242554305
9	12994210	0.746515673	5.580763147
10	14992660	0.777594849	5.22020416
11	19005210	0.825542862	4.622487826
12	22001260	0.853601255	4.253536705
13	24993480	0.87519557	3.932148617
14	28992510	0.898992461	3.558066091

[0070]

15	32004300	0.912945995	3.30896911
16	34995490	0.925716947	3.083775048

[0071] 对于 N_2 :

$$[0072] \quad \varepsilon_i = \varepsilon_{\text{甲烷}} \cdot \frac{V_{mi}}{V_{m\text{甲烷}}} \quad \text{式 4}$$

$$[0073] \quad \text{其中, } \frac{V_{mi}}{V_{m\text{甲烷}}} = \frac{0.034653465}{0.037558685} = 0.9226$$

[0074] 将表 1 中的 16 个 $\varepsilon_{\text{甲烷}}$ 带入式 4 中, 得到 16 个对应的 $\varepsilon_{\text{氮气}}$ (见下表 2), 将计算出的 16 个 $\varepsilon_{\text{氮气}}$ 与表 1 中的 16 个 V 对应, 绘制出 N_2 的吸附特性曲线, 图 3 为本发明实施例的 N_2 的吸附特性曲线。

[0075] 根据式 5, 得到 N_2 在地层层位时的吸附势 $\varepsilon_{i0} = 6.515046199 \text{ kJ/mol}$ 、在所述第一解析时的吸附势 $\varepsilon_{i1} = 17.26738242 \text{ kJ/mol}$ 以及在第二解析时的吸附势 $\varepsilon_{i2} = 22.23513894 \text{ kJ/mol}$,

$$[0076] \quad \varepsilon_i = RT \ln \frac{P_{\text{饱和}}}{P_{\text{任意}}} \quad \text{式 5}$$

[0077] 其中, $R = 8.314 \text{ J/mol/K}$, 计算 ε_{i0} 时, $T = (30+273.15) \text{ K}$, $P_{\text{任意}} = 7100751.744 \text{ Pa}$, $P_{\text{饱和}}(30^\circ\text{C}) = 94173358.6567508 \text{ Pa}$; 计算 ε_{i1} 时, $T = (30+273.15) \text{ K}$, $P_{\text{任意}} = 99665 \text{ Pa}$, $P_{\text{饱和}}$

和 (30℃) = 94173358.6567508Pa ;计算 ϵ_{i2} 时, $T = (95+273.15)K$, $P_{任意} = 99665Pa$, $P_{饱和}(95℃) = 142386826.245744Pa$ 。

[0078] 在 N_2 的吸附特性曲线, 找到分别与 ϵ_{i0} 、 ϵ_{i1} 以及 ϵ_{i2} 对应的 V_{i0} 、 V_{i1} 以及 V_{i2} , 再将第二解析气体中 N_2 在标准状况下的吸附含气量 $V_{2i} = 0.953280966cm^3$ 带入式 2 中, 得到页岩中 N_2 从地层到第二解析结束后在标准状况下的吸附含气量 V_{1i} 为 $43.93983546cm^3$

[0079]
$$V_{1i} = \left(\frac{V_{i2} - V_{i0}}{V_{i2} - V_{i1}} \right) \cdot V_{2i} \quad \text{式 2}$$

[0080] 表 2 N_2 吸附特性曲线 $V-\epsilon$ 对应表

[0081]

	V/mL	ϵ /kJ/mol
1	0.085253486	12.73612727
2	0.157478579	11.11745879
3	0.276784838	9.492660636
4	0.368973954	8.550701326
5	0.438711297	7.888312144
6	0.548348252	6.942677672
7	0.625451639	6.276872371
8	0.681440624	5.759380602
9	0.746515673	5.14881208
10	0.777594849	4.816160358
11	0.825542862	4.264707268

[0082]

12	0.853601255	3.924312964
13	0.87519557	3.627800314
14	0.898992461	3.282671775
15	0.912945995	3.052854901
16	0.925716947	2.845090859

[0083] 对于 CO_2 :

[0084]
$$\varepsilon_i = \varepsilon_{\text{甲烷}} \cdot \frac{V_{mi}}{V_{m\text{甲烷}}} \quad \text{式 4}$$

[0085] 其中,
$$\frac{V_{mi}}{V_{m\text{甲烷}}} = \frac{0.073775989}{0.037558685} = 1.9643$$

[0086] 将表 1 中的 16 个 $\varepsilon_{\text{甲烷}}$ 带入式 4 中, 得到 16 个对应的 $\varepsilon_{\text{二氧化碳}}$ (见下表 3), 将计算出的 16 个 $\varepsilon_{\text{二氧化碳}}$ 与表 1 中的 16 个 V 对应, 绘制出 CO₂ 的吸附特性曲线, 图 4 为本发明实施例的 CO₂ 的吸附特性曲线。

[0087] 根据式 5, 得到 CO₂ 在地层层位时的吸附势 $\varepsilon_{i0} = 3.555438835 \text{kJ/mol}$ 、在所述第一解析时的吸附势 $\varepsilon_{i1} = 14.30777505 \text{kJ/mol}$ 以及在第二解析时的吸附势 $\varepsilon_{i2} = 22.79913562 \text{kJ/mol}$,

[0088]
$$\varepsilon_i = RT \ln \frac{P_{\text{饱和}}}{P_{\text{任意}}} \quad \text{式 5}$$

[0089] 其中, $R = 8.314 \text{J/mol/K}$, 计算 ε_{i0} 时, $T = (30+273.15) \text{K}$, $P_{\text{任意}} = 7100751.744 \text{Pa}$, $P_{\text{饱和}}(30^\circ\text{C}) = 29103873.35 \text{Pa}$; 计算 ε_{i1} 时, $T = (30+273.15) \text{K}$, $P_{\text{任意}} = 99665 \text{Pa}$, $P_{\text{饱和}}(30^\circ\text{C}) = 29103873.35 \text{Pa}$; 计算 ε_{i2} 时, $T = (95+273.15) \text{K}$, $P_{\text{任意}} = 99665 \text{Pa}$, $P_{\text{饱和}}(95^\circ\text{C}) = 171196497 \text{Pa}$ 。

[0090] 在 CO₂ 的吸附特性曲线, 找到分别与 ε_{i0} 、 ε_{i1} 以及 ε_{i2} 对应的 V_{i0} 、 V_{i1} 以及 V_{i2} , 再将第二解析气体中 CO₂ 在标准状况下的吸附含气量 $V_{2i} = 1.153429558 \text{cm}^3$ 带入式 2 中, 得到页岩中 CO₂ 从地层到第二解析结束后在标准状况下的吸附含气量 V_{1i} 为 2.406723147cm^3

[0091]
$$V_{1i} = \left(\frac{V_{i2} - V_{i0}}{V_{i2} - V_{i1}} \right) \cdot V_{2i} \quad \text{式 2}$$

[0092] 表 3 CO₂ 吸附特性曲线 V- ε 对应表

[0093]

	V/mL	ε /kJ/mol
1	0.085253486	27.11638284
2	0.157478579	23.6700892
3	0.276784838	20.21074495
4	0.368973954	18.2052272
5	0.438711297	16.79493989
6	0.548348252	14.78159739
7	0.625451639	13.36403685

[0094]

8	0.681440624	12.26224942
---	-------------	-------------

9	0.746515673	10.96229305
10	0.777594849	10.25404703
11	0.825542862	9.079952837
12	0.853601255	8.355222149
13	0.87519557	7.723919529
14	0.898992461	6.989109222
15	0.912945995	6.499808023
16	0.925716947	6.057459326

[0095] 6) 根据式 3, 得到页岩从地层到第二解析结束后由孔隙体积中的气体膨胀所产生的标准状况下的含气量 $V_p = 1126.966038 \text{ cm}^3$,

$$[0096] \quad V_p = \left(\frac{P_0 \cdot T_2}{P_1 \cdot T_1} - 1 \right) \cdot V_0 \cdot q \cdot (1-w) \cdot \frac{273.15 \cdot P_1}{101325 \cdot T_2} \quad \text{式 3}$$

[0097] 其中, $P_0 = 7100751.744 \text{ Pa}$, $P_1 = 99665 \text{ Pa}$, $T_2 = 368.15 \text{ K}$, $T_1 = 303.15 \text{ K}$ 。

[0098] 因此, 本实施例中的页岩含气量 $V =$ 各气体组分吸附含气量 $V_{i1} +$ 含气量 $V_p = 1198.634446 + 43.93983546 + 2.406723147 + 1126.966038 = 2371.947043 \text{ (cm}^3\text{)}$

[0099] 本发明提供的恢复页岩含气量的方法, 将页岩气量分为页岩气中不同组分的吸附含气量与孔隙体积含气量两部分, 通过 Polanyi 吸附势理论、London 色散作用势能理论、气体状态方程以及真实可测的数据最终还原了页岩的含气量, 避免了半经验公式在页岩含气量测量中带来的不确定性, 使页岩气含气量的恢复建立在质量守恒的现实背景基础上, 理论依据更加完善, 为页岩的资源潜力以及有利区的预测提供了客观的参考基础。

[0100] 最后应说明的是: 以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案, 而非对其限制; 尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明, 本领域的普通技术人员应当理解: 其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改, 或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换; 而这些修改或者替换, 并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

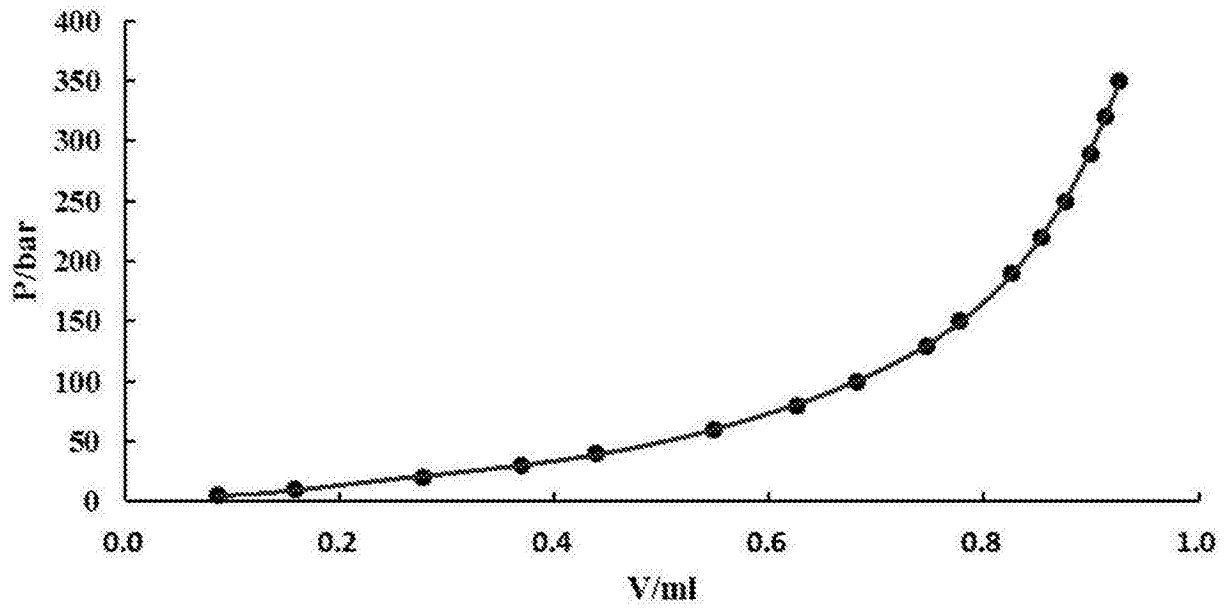


图 1

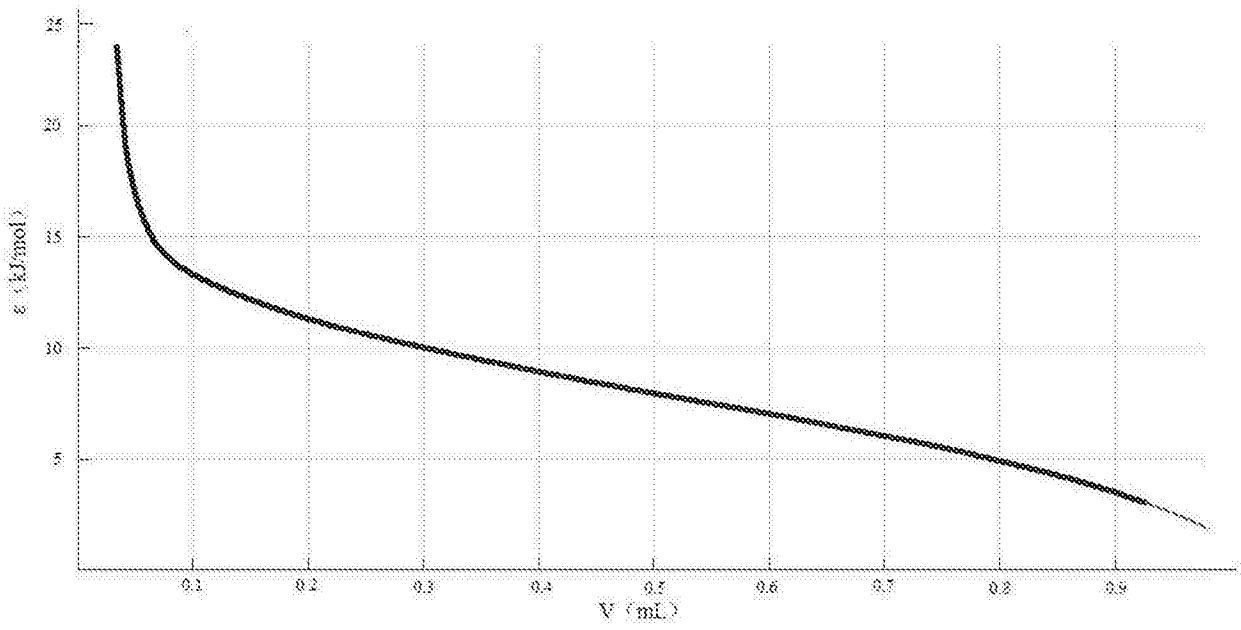


图 2

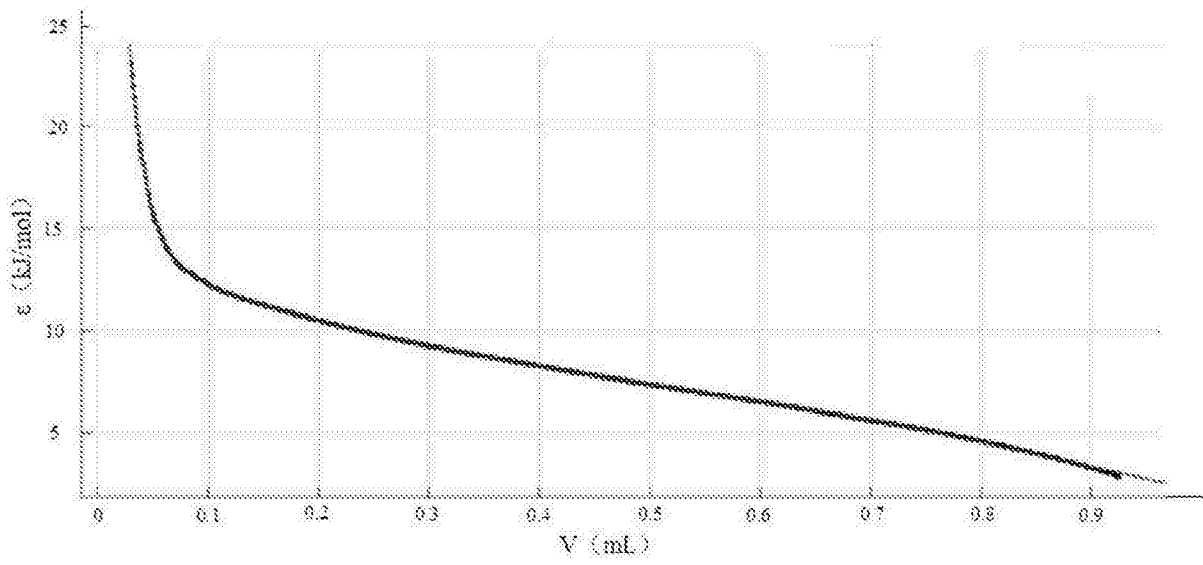


图 3

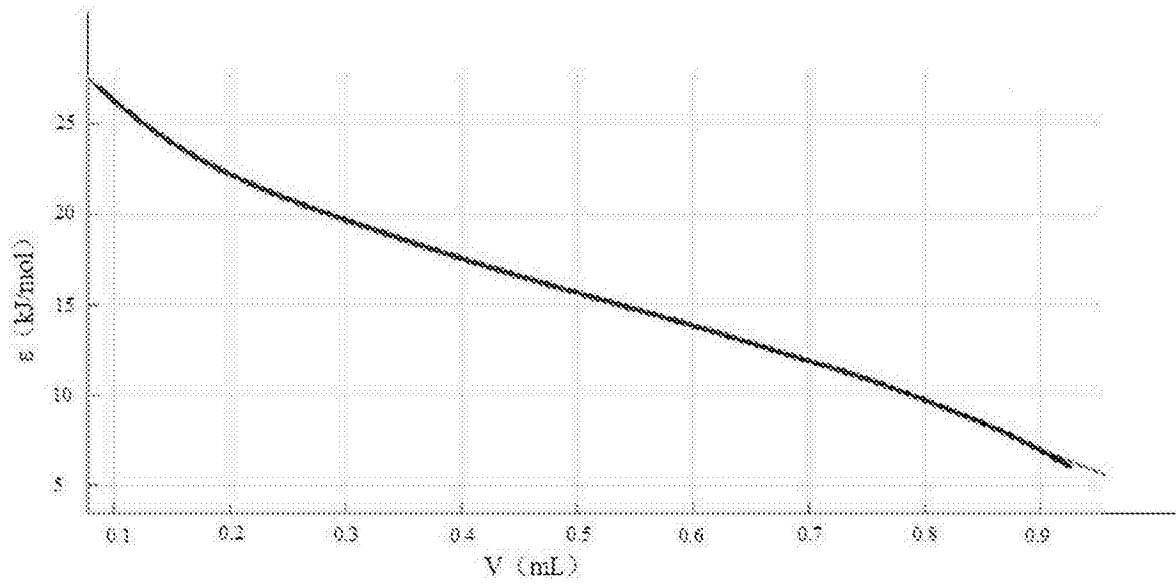


图 4