

关于页岩含气量确定方法的探讨

董 谦¹ 刘小平¹ 李武广² 董清源¹

1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249

2. 中国石油大学(北京)石油工程学院, 北京 102249

摘要:

页岩含气量是页岩气资源评价和有利区优选的关键性参数,也是评价页岩是否具有开采价值的一个重要标准。对页岩含气量的获取方法进行了介绍,其一是通过解吸法分别测量解吸气、残余气和损失气;其二是利用等温吸附实验、测井解释等方法分别计算页岩中的吸附气、游离气含量。分析认为:解吸法测量结果容易受到取心方式、测定方法、损失气量计算方法、气体解吸温度等因素的影响,所测得的总含气量比间接法更接近于真实值;吸附气量的估算需要综合考虑有机碳含量、粘土矿物组分、成熟度、温度和压力等因素对页岩吸附能力的影响,建立适当的吸附气含量计算模型,游离气量估算的关键是确定页岩的有效孔隙度和含气饱和度。建立针对页岩含气量测试技术和等温吸附实验技术标准,量化各种控制因素对页岩含气量的影响,对准确评价页岩含气量具有重要意义。

关键词:

页岩含气量;解吸法;等温吸附实验;吸附气;游离气;测井解释

文献标识码:A

文章编号:1006-5539(2012)05-0034-04

0 前言

准确的含气量数据是页岩气勘探开发中计算资源量必不可少的参数之一,关系到单井产气量的预测,决定着页岩气藏资源前景的好坏以及是否具有开采的经济价值。21世纪以来,我国学者通过对我国部分地区与北美成功钻探页岩气井地区进行类比,认为我国许多盆地具有页岩气成藏地质条件,对页岩气成藏条件有了一定认识,并在部分地区开展了页岩气藏的潜力评价和区带优选工作,但对页岩含气量的研究还非常薄弱,给页岩气资源评价工作带来困难^[1-2]。如何有效获取含气量数据,选取适合页岩含气量的计算

方法和正确的评价参数,对页岩含气量做出准确评价,是页岩气研究的一项重要内容。

1 页岩含气量计算方法

页岩含气量的测量目前国内外没有专门的行业标准和方法技术,主要参照煤层气行业中的测量方法,再结合页岩的特性对实验方法和参数做相应的修改。页岩含气量测定方法可以分为两类:直接法(解吸法)和间接法(等温吸附实验法)。直接法是指利用现场钻井岩心和有代表性岩屑测定实际含气量,间接法是指通过等温吸附实验、测井解释等方法推测吸附气

收稿日期:

2012-06-12

基金项目:

全国油气资源战略选区调查与评价专项“全国页岩气资源潜力调查及有利区优选项目”资助(2009GYXQ15)

作者简介:

董 谦(1987-),男,湖北荆州人,硕士研究生,主要从事非常规天然气地质研究工作。

含量和游离气含量,其中直接法是页岩含气量测定的常用方法^[3-4]。

2 解吸法

用解吸法测定的含气量由三部分组成,即损失气量、解吸气量和残余气量。损失气量是指岩心快速取出,现场直接装入解吸罐之前释放出的气量。这部分气体无法测量,必须根据损失时间的长短及实测解吸气量的变化速率进行理论计算。解吸气量是指岩心装入解吸罐之后解吸出的气体总量,通常延续 2 周至 4 个月,根据解吸气量的大小而定。一般在 1 周内平均解吸速度小于 $10 \text{ cm}^3/\text{d}$ 时可终止解吸。残余气量是指终止解吸后仍留在样品中的那部分气体。需将岩样装入密闭的球磨罐中破碎,然后放入恒温装置中,待恢复到储层温度后按规定的时间间隔反复进行气体解吸,直至连续 1 周解吸的气体总量小于或等于 $10 \text{ cm}^3/\text{d}$,测定其残余气量^[5-6]。

在岩心提离井底至封罐的过程中,由于压力不断降低,有部分气体发生解吸而逸散。这部分气体无法计量,必须根据实际解吸数据并结合气体逸散理论模型来进行计算。由于所应用的理论模型不同,计算方法也不尽相同^[7-8]。

2.1 USBM 法

该方法的原理是基于页岩中气体扩散速度是不变的,损失时间越短,估算结果越准确。当损失气量小于含气量的 20% 时,结果较为准确。该方法认为在解吸初期,解吸量与解吸时间的平方根近似直线关系,数学表达式为:

$$v = v_0 + b\sqrt{t_0 + t} \quad (1)$$

式中 v ——解吸气量, cm^3 ;
 v_0 ——损失气量, cm^3 ;
 t_0 ——损失时间, min ;
 t ——实测解吸时间, min ;
 b ——直线段斜率。

利用最小二乘法把直线上的解吸点进行回归即可求出 v_0 及 b ,一般来说,用 USBM 法获得的损失气量往往偏大,当损失气量不大时,用 USBM 法较好。

2.2 Smith William 法

该方法在美国应用较广泛,在损失气量占总含气量的 50% 时仍比较可靠。Smith William 法所用的假设是单孔隙模型,从钻遇地层到岩心或岩屑返出地面这段时间,泥浆压力随时间呈线性变化,得到单孔隙扩散模型的解。计算公式为:

$$c = (v_L + v_D) / v_D \quad (2)$$

式中 c ——校正因子;

v_L ——损失气量, cm^3 ;

v_D ——实测解吸气量, cm^3 。

在求取校正因子时需要获得的参数有: T_D (提钻时间)、 T_S (提钻+装罐时间)和 T_{25} (解吸量为最大解吸量 25% 的时间),利用这些参数查表或对应的校正因子求取图版,获得校正因子 C ,利用式(2)求取损失气量。一般来说,当损失气量较大时,用 Smith William 法较准。

2.3 曲线拟合法

USBM 法和 Smith William 法都是使用解吸初始时刻的几个点估算损失气量,而曲线拟合法是通过所有的解吸数据与扩散方程的解拟合求得。这种方法由 Yee 等建立,当假定表明浓度为 0 的情况下,公式表示为:

$$v_D = v - \frac{6}{\pi^2} \exp\left[-\pi^2 \frac{D}{r^2} t\right] - v_L \quad (3)$$

式中 v_D ——实测解吸气量, cm^3 ;

v ——总解吸气量, cm^3 ;

v_L ——损失气量, cm^3 ;

t ——解吸时间, s 。

对于一个样品来说, D/r^2 为一常数,是页岩的有效扩散速率,根据实测数据对式(3)进行曲线拟合求解,可求出 v 和 v_L 。

2.4 测定方法的改进建议

解吸法是测量页岩含气量最直接的方法,在测定的过程中,测量结果容易受到取心方式、测定方法、损失气量计算方法、气体解吸温度等因素的影响,如何提高解吸气的测量精度,是准确评价页岩含气量的关键。提高解吸气的测量精度,可以从以下几方面着手:

a) 设法减少损失气量。在提钻取心及采样的过程中,应尽量加快速度缩短损失时间,损失时间越短,所得损失气量越准,即含气量越准。

b) 模拟地层温度。由于季节及昼夜温差的变化会影响解吸速率,给实验结果带来误差,所以应尽量消除温差变化对解吸的影响,实测解吸气时,应置解吸样品罐于恒温池中,温度应模拟地层温度。

c) 完善损失气量的计算方法。根据不同的结构类型选择不同的计算方法,如对于深井取心,损失时间较长,建议把解吸数据与吸附等温数据结合拟定临界解吸压力,并换算到提钻中气体开始解吸时的深度作为损失时间的计时起点计算损失时间,使损失气量结果更为准确。

d) 提高残余气量的准确性。用球磨法测定残余气含量时,球磨时间对测量的结果影响较大,球磨时间越长,测量的结果越准确。

e) 优化其他外在因素。如通过提高钻井液密度,可以在一定程度上减小损失气量;通过提高钻速,缩短损失时间等。

3 等温吸附实验法

根据赋存状态,页岩气可分为吸附气、游离气和溶解气三部分,由于溶解气在页岩含气量中所占比例十分微小,故在计算时可以忽略不计^[9]。用等温吸附实验法计算页岩含气量时,需要分别对吸附气含量和游离气含量进行计算,其估算公式如下:

$$q \approx q_{\text{吸}} + q_{\text{游}} \quad (4)$$

式中 q ——总含气量,为单位质量岩石中所含天然气在标准状态下的体积, m^3/t ;

$q_{\text{吸}}$ ——吸附含气量, m^3/t ;

$q_{\text{游}}$ ——游离含气量, m^3/t 。

3.1 吸附气量确定方法

3.1.1 等温吸附机理

页岩中的有机质和粘土矿物对于天然气的吸附属于单分子层物理吸附。Langmuir 吸附等温线方程是最早提出和应用最广的单分子层吸附等温式,其吸附等温式为:

$$v = \frac{v_m b p}{1 + b p} \quad (5)$$

式中 v ——气体在平衡压力为 p 时的吸附量, cm^3/g ;

v_m ——单分子层饱和吸附量, cm^3/g ;

p ——气体压力, MPa ;

b ——与温度和吸附剂有关的常数。

由式(5)可知:当压力足够低时,吸附量与气体平衡压力成正比;当压力足够大时,吸附量为常数,吸附剂表面近于被单分子层吸附质所饱和;当压力适中时, v 与 p 是曲线关系,见图 1。

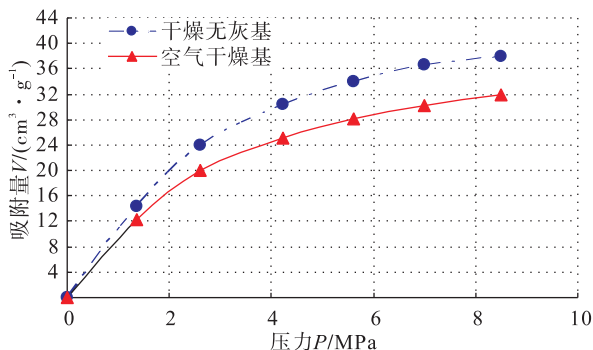


图1 等温吸附曲线

3.1.2 等温吸附计算模型

等温吸附法中页岩吸附气含量的确定主要是借鉴煤层气中吸附气的评价方法,通过等温吸附模拟实验,建立吸附气含量与压力、温度的关系模型。实验过程是在恒温条件下,测试不同压力下气体的吸附量,由压力和吸附量绘制出吸附等温线,根据兰氏模型计算吸附气含量^[10]。其计算公式为:

$$v = \frac{v_L p}{p_L + p} \quad (6)$$

式中 v ——吸附量, cm^3/g ;

p ——气体压力, MPa ;

v_L ——Langmuir 体积,代表最大吸附能力,其物理意义是:在给定的温度下,页岩吸附甲烷达到饱和时的吸附气含量, cm^3/g ;

p_L ——Langmuir 压力,Langmuir 体积的一半所对应的压力,其值相当于式(5)中的 $1/b$, MPa 。

由式(6)即可计算出任意地层压力下的吸附气含量。值得注意的是,等温吸附实验忽略了温度的变化对吸附气含量的影响,当压力一定时,随着温度的升高,页岩的吸附气量呈下降趋势。在 $10 \text{ MPa}/\text{km}$ 和 $35 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$ 温压条件下,有学者建立了同时考虑温度和压力变化的有机质吸附甲烷气模型。图 2 中显示了吸附气含量随深度的变化函数关系^[11],在埋深约 1000 m 处吸附气含量达到最大值,之后随着埋深的增加逐渐减小。即受温度的影响,当埋深超过 1000 m 时,兰氏等温模型不再适用。

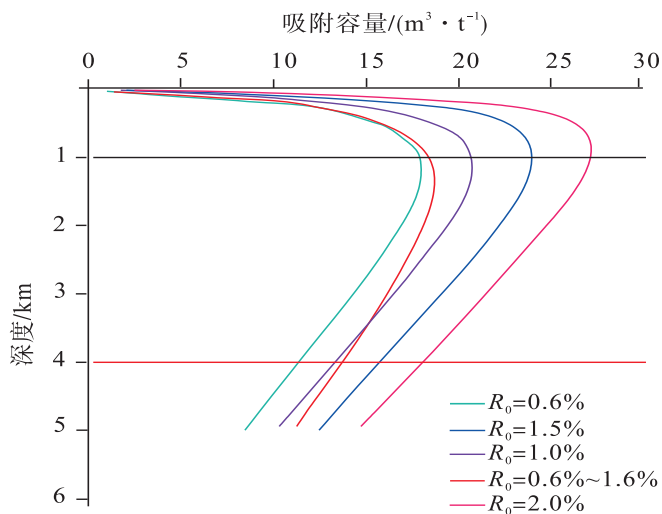


图2 有机质吸附甲烷气模型

目前等温吸附实验所给的最大压力不超过 12 MPa ,实验温度不超过 $100 \text{ }^\circ\text{C}$,而实际的地层压力和温度远远超过这个数值,因此,需要建立同时考虑温度和压

力的吸附气含量计算新模型。通过室内不同温度下的等温吸附实验,获得页岩等温吸附特征曲线,拟合出温度与吸附气含量之间的关系,再利用 Langmuir 模型计算地层压力条件下的吸附气含量,即可得到吸附气含量与温度、压力二者之间的表达式,然后根据地温梯度、页岩和地层水密度分别求出温度与埋深、地层压力与埋深的关系式,最后可得到吸附气量与对应深度之间的关系。

当然,页岩的吸附能力还与有机碳含量、粘土矿物组分、成熟度等自身条件密切相关,要建立具有普遍意义的吸附气的定量计算模型,就需要对不同的岩石进行吸附天然气实验,分析各个因素对页岩吸附气含量的影响程度^[12-13]。

3.2 游离气量确定方法

游离气是指以游离状态赋存于裂缝、基质孔隙等空间中的天然气,其变化范围很宽,占总含气量的 20%~80%。其计算公式为:

$$q_{\text{游}} = \frac{\phi \cdot S_g}{\rho \cdot Z} \quad (7)$$

式中 $q_{\text{游}}$ ——游离含气量,表示单位质量页岩中所含游离气在标准状态下的体积,cm³/g;

ϕ ——有效孔隙度,%;

S_g ——含气饱和度,%;

ρ ——岩石密度,g/cm³;

Z ——气体体积压缩因子,无量纲^[9]。

用此方法计算的关键是确定游离气的有效孔隙度和含气饱和度。游离气在页岩中的储集空间包括基质孔隙和裂缝两部分,故页岩气藏中游离气的有效孔隙度为基质孔隙度和裂缝孔隙度二者之和,可通过高精度实验和测井解释等方法获得。利用声波、中子、密度和核磁共振等测井资料可以测得较为可靠的基质孔隙度;通过双侧向测井资料则可以计算出较为精确的裂缝孔隙度。含气饱和度直接获取较为困难,一般通过测井解释等方法间接获取。是在建立岩石电阻率、泥质水电阻率、有效孔隙度同地层混合水电阻率关系式的基础上,利用阿尔奇公式计算得到^[14]。

4 结论

a) 解吸法测量页岩含气量时,测量结果容易受到取心方式、测定方法、损失气量计算方法、气体解吸温度等因素的影响,如何提高解吸气的测量精度,是准确评价页岩含气量的关键。

b) 计算吸附气含量时应综合考虑各个因素如有机碳含量、粘土矿物组分、成熟度、温度和压力等对页岩吸附气含量的影响程度,建立适当的吸附气含量计算模型;游离气量估算的关键是确定页岩的有效孔隙度和含气饱和度。

c) 目前开展的页岩含气量分析均参照煤层含气量的评价方法,但页岩气与煤层气毕竟不完全相同,有必要建立针对页岩气的含气量测试技术和等温吸附实验技术标准。

参考文献:

- [1] 李武广,杨胜来,殷丹丹,等. 页岩气开发技术与策略综述[J]. 天然气与石油,2011,29(1):34-37.
- [2] 李世臻,乔德武,冯志刚,等. 世界页岩气勘探开发现状及对中国的启示[J]. 地质通报,2010,29(6):918-924.
- [3] 唐颖,张金川,刘珠江,等. 解吸法测量页岩含气量及其方法的改进[J]. 天然气工业,2011,31(10):108-128.
- [4] 李玉喜,乔德武,姜文利,等. 页岩气含气量和页岩气地质评价综述[J]. 地质通报,2011,30(2-3):308-317.
- [5] 白兆华,时保宏,左学敏. 页岩气及其聚集机理研究[J]. 天然气与石油,2011,29(3):54-57.
- [6] 李静,李小彦,杨利君,等. 煤层含气量预测方法[J]. 煤田地质与勘探,1998,26(1):31-33.
- [7] 刘洪林,邓泽,刘德勋,等. 页岩含气量测试中有关损失气量估算方法[J]. 石油钻采工艺,2010,32(增刊):156-158.
- [8] 徐成法,周胜国,郭淑敏. 煤层含气量测定方法讨论[J]. 河南理工大学学报(自然科学版),2005,24(2):23-25.
- [9] 潘仁芳,陈亮,刘朋丞. 页岩气资源量分类评价方法探讨[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2011,33(5):172-174.
- [10] 李艳丽. 页岩气储量计算方法探讨[J]. 天然气地球科学,2009,20(3):466-470.
- [11] 王飞宇,贺智勇,孟晓辉,等. 页岩气赋存形式和初始原地起量(OGIP)预测技术[J]. 天然气地球科学,2011,22(3):501-510.
- [12] Bustin R M, Clarkson C R. Geological Controls on Coalbed Methane Reservoir Capacity and Gas Content [J]. International Journal of Coal Geology, 1998, 38(1/2): 3-26.
- [13] Ross D J K, Bustin R M. Impact of Mass Balance Calculations on Adsorption Capacities in Microporous Shale Gas Reservoirs [J]. Fuel, 2007, 86(17): 2696-2706.
- [14] 齐保全,杨小兵,张树东,等. 应用测井资料评价四川盆地南部页岩气储层[J]. 天然气工业,2011,31(4):44-47.