

页岩气解析测试中的几个问题 ——以柴达木盆地柴页 1 井为例

汪双清¹, 邵广宇², 秦 婧¹, 芦 苒¹, 沈 斌¹, 孙玮琳¹, 徐学敏¹
WANG Shuangqing¹, SHAO Guangyu², QIN Jing¹, LU Ran¹, SHEN Bin¹,
SUN Weilin¹, XU Xuemin¹

1. 国家地质实验测试中心, 北京 100037;

2. 海城市石油化工仪器厂, 辽宁 海城 114200

1. *National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China;*

2. *Haicheng Petrochemical Instrument Factory, Haicheng 114200, Liaoning, China*

摘要: 岩石含气量是页岩气资源量评价及勘探开发的关键性技术指标, 其测试技术与方法尚处于发展与完善过程中。利用恒温解析-氢火焰离子检测法对柴达木盆地柴页 1 井侏罗系大煤沟组不同岩性的岩心进行了页岩气解析测试, 通过对解析曲线和含气量数据分析研究发现: ①页岩气解析测试的气体释放过程包括一系列的复杂解析过程, 而非简单的解吸附过程, 具有多级性, 其解析速率曲线表现出多峰性; ②岩石中吸附气的解吸量在早期恒温解析阶段遵循 USBM 直线规律, 这一时间段的解析数据适合于计算损失气量; ③岩石中的残余气是被岩石的物理构造所限滞的气体部分, 应该在将岩石粉碎后测定; ④将含页岩气岩心短期封存对于解析气测定结果的影响不大, 在 30 天内完成测试即可。这些认识对于页岩气解析测试技术方法的改进、完善与规范具有重要参考价值。

关键词: 页岩气; 解析测试方法; 柴页 1 井

中图分类号: TE122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2016)02/03-0339-09

Wang S Q, Shao G Y, Qin J, Lu R, Shen B, Sun W L, Xu X M. Some problems concerning measuring shale gas content of rocks with gas desorption method. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35(2/3):339-347

Abstract: The measurement of shale gas content using isotherm desorption method for the complex Jurassic shale-mudstone-sandstone-coal rock system was conducted with cores from the Chaiye-1 well drilled in Qaidam Basin. According to the data achieved, methodology for measuring shale gas content of rocks with isotherm desorption method was discussed based on practice. First, the shale gas desorption curve of rocks commonly exhibits multiple desorption peaks, due to the fact that the shale gas in rock represents not only adsorbed gas but also physically bound gas, and it desorbs when the micro physical structure in the rock is altered by the desorption process. Second, the lost shale gas portion of the rocks should be restored with the desorption data achieved at the early stage, which represents desorption of adsorbed gas at a stable manner. Third, residue gas of the rocks should only be measured by cracking the rocks to powder, since it is physically enclosed in the rocks. Fourth, shale gas in cores can be measured with isotherm desorption method later after the cores are canned and sealed in the desorption chamber without unreasonably data discrimination within 30 days.

Key words: shale gas; gas desorption measurement method; Chaiye-1 well

岩石含气量是页岩气资源量评价的关键性技术指标^[1-2]。获得岩石含气量的方法主要有 3 种, 即直接法(解析测定法)^[3-8]、间接法(等温吸附法)^[9-12]

和测井解释法^[8-9,13]。其中, 通过岩心解析测定含气量的直接法被认为是最可信、最直接的方法, 也是最广泛运用的岩石含气量测试方法^[14-15]。

收稿日期: 2015-03-09; 修订日期: 2015-07-01

资助项目: 国家地质实验测试中心基本科研业务费资助课题(编号: 2014CSJ02)

作者简介: 汪双清(1961-), 男, 博士, 研究员, 从事有机地球化学研究。E-mail: herr007@163.com

直接法是借鉴于煤层气解吸测试方法的一种测定岩石含气量的方法,提供的气量包括3个部分:①钻井岩心样品封装到解析罐之前解析出来的无法计量的气体部分,称为损失气;②岩心装罐后可以直接解析并计量的气体部分,称为解析气;③自然解析到最后,仍然残留在岩样中,要通过粉碎样品的的方法使其解析释放出来的气体部分,称为残余气。该方法在岩石含气量测定中尚存在诸多的技术性问题^[4-6,16],有待研究、改进,尤其是损失气恢复方法的可靠性存疑的问题,以及如何认识残余气的本质、统一残余气测量方法等问题,亟需得到明确的回答。在这方面,笔者利用自主研制的仪器,对柴达木盆地柴页1井不同岩性的岩心样品进行含气量解析测试,发现了一些规律。

1 实验部分

1.1 测试原理与方法

本次研究主要依据柴达木盆地北缘柴页1井的侏罗系大煤沟组钻井岩心样品的含气量解析测试数据。具体的样品采集井段及相关信息记录见表1。

测试仪器包括恒温解析单元,氢火焰离子化检测器(FID),数字控制与数据采集单元,气路控制部件(图1)。将钻井岩心样品置于解析罐中,在地层

温度下恒温解析,用FID对解析气进行连续检测,并对检测信号进行实时采集与记录。其优点在于:①FID选择性地对解析出来的烃类气体进行连续检测,水蒸气、空气等非烃类气体对测量结果的影响甚微,几乎没有影响,因此,解析体系中的空气死体积对测试结果没有影响,无需用饱和食盐水、石英砂等填料来消减解析罐中的死体积,也避免了水蒸气对于测试结果的干扰;②FID的灵敏度高,稳定性好,可以对纳克级的烃类气体进行长时间、稳定的定量检测;③全部测试过程在数字控制下自动完成,可以对烃类解析气体的体积参数及其随时间的变化进行不间断地连续测量,高分辨率地记录岩石气体的解析过程,避免人为误差。

1.2 测试条件与数据处理

解析气测定:截取新出井的完整岩心段,经水洗除去泥浆后揩干,置于解析罐中密封,测定解析气量。根据目标地层温度的平均值设定解析温度为80℃;解析腔用电热方式控制温度,控温精度±2℃。

残余气测定:完成解析气测定后的岩心样品在密闭碎样罐中粉碎,在80℃±2℃下解析测定含气量。

数据采集与保存:氢火焰离子化检测器(FID)的数据采集速率为20数据/s,数据保存频率为每2s 1次,保存值为相应时间段内的平均值。

表1 柴页1井含气量测试岩心样品及其测试信息

Table 1 Related information of gas content tested cores of Chaiye-1 well

序号	取样井段/m	岩性	升井时间 /min	暴露时间 /min	开始测试前的罐 内封存时间/min	1号峰结束时间 /min
1	1911.5	浅灰色细砂岩	518	24	31	97
2	1921.15	灰色泥岩	375	29	30189	80
3	1925.8	褐黑色油页岩	375	12	1287	61
4	1935.34	灰黑色炭质泥岩	330	15	9	21
5	1953.1	黑色炭质泥岩	338	18	42655	48
6	1954	灰黑色炭质泥岩(高含砂)	338	34	27464	62
7	1962.1	灰黑色炭质泥岩	334	24	3618	39
8	1974.97	灰黑色炭质泥岩	353	17	2	23
9	1980.7	深灰色粉砂岩	340	376	2	24
10	1995.6	灰黑色砂质泥岩	796	14	4	20
11	2000.38	深灰色砂质泥岩	333	22	20348	46
12	2012.5	灰白色中砂岩	434	8	2535	72
13	2026.85	灰黑色炭质泥岩	342	25	6175	26
14	2036.78	黑色煤	647	16	3	61
15	2093.12	黑色煤	432	13	881	78

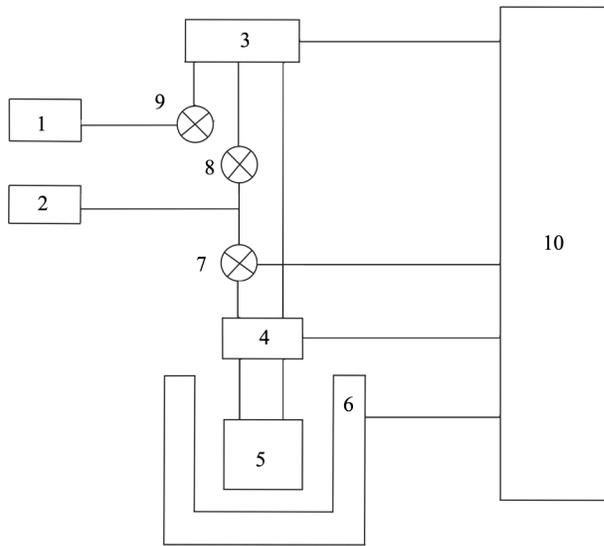


图 1 岩石解析气测量仪组件结构示意图

Fig. 1 Structural sketch of the device used for gas desorption test

1—氢气; 2—空气; 3—氢火焰离子化检测器(FID); 4—气路控制单元; 5—解析罐; 6—恒温腔; 7、8、9—稳流阀; 10—数字控制与数据采集单元

数据处理:根据所测定的 FID 信号峰面积计算烃类气体的体积,获得单位质量岩心所含解析气在 101.325kPa、0℃时的标准体积;单位体积气体的 FID 峰面积用标准甲烷气体标定,岩心解析气体积的单位为 mL/kg,单位时间体积的单位为 mL/(kg·min⁻¹)。

损失气计算:采用 USBM 直线回归法^[9]计算。

2 问题与讨论

页岩气的含义随着页岩气产业的发展而变化,早期是指富有机质(TOC 值一般大于 2%)源岩层段中商业性产出的天然气^[17-18],目前普遍将页岩气定义为细粒低渗透地层单元(主体为源岩层)中自生自储的天然气,既指源岩中自生自储的天然气,也包括了源岩层段中其他致密岩层中的天然气,关键在于页岩气的开发必须要用体积压裂技术增加储集层的渗透率。同时,其气源既可以是热裂解成因的热解气,也可以是细菌降解成因的生物气^[19]。在页岩气藏中,天然气也存在于夹层状的粉砂岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩,甚至砂岩地层中,为天然气生成之后在源岩层内就近聚集的结果,表现为典型

的原地成藏模式。因此,页岩气藏的资源量是多种不同岩性储集体中天然气量的综合表现。鉴于此,在含气量测试方法层面上,将泥岩、页岩、砂岩、煤等不同岩性的岩心都包括在本文的讨论中。

2.1 解析气测试

对 15 个不同岩性类型岩心的解析测试结果显示,岩石中气体的解析速率并非是到达最高值后逐步递减单向变化的,而是表现为具有起伏的多峰性(图 2-a~f);在累积解析体积的时间曲线上则表现出阶梯性,而非平滑的递增曲线。这种现象在参考文献^[6]中已有报道,具有普遍性。

第一个峰一般在解析开始后数分钟内达到峰顶,个别情况下需要 10min 左右。其峰高和峰宽受诸多因素影响,包括岩心的岩性、含气量、气体的赋存形式及其分布,以及在罐中密闭存储的时间等,有时与第二个峰(2号峰)之间的分离度不高(图 2-a)。对所测试的 15 个样品的解析速率曲线分析发现,很显然,含气量高、在罐中存储时间长的样品出峰较高(表 1;图 2)。然而,没有发现该峰达到峰谷的时间有明确的规律性,范围为 20~97min(表 1),说明其影响因素比较复杂。鉴于该峰出现在岩心从初始温度加热升温到设定温度的过程中,推测罐中岩心的实际升温速率可能也是影响该峰宽度的重要因素。由此看来,该峰应该是罐中游离气与升温过程解析气的混合峰,将其命名为 1 号峰。当游离气量相对于升温过程中的解析气量比较小时,则该峰较小,有时难以分辨,如图 2-a、f 所示。同样,将第二个峰命名为 2 号峰,第三个峰命名为 3 号峰……,以此类推。测定的 15 个岩心样品 2 号峰的封顶出现在开始升温解析后 1.5~3.0h 之间。根据文献报道^[7],在样品升温过程中,温度不稳定则解析过程不稳定,页岩的解析稳定阶段一般出现在样品开始升温后 1.5~2h。因此,2 号峰应该是岩心样品的温度到达设定温度并处于稳定后,正常吸附气在主要解析阶段的解析曲线,解析速率表现出先逐步增加,到达峰值后再逐步降低的过程。在解析速率增加阶段,累计解析气量随时间呈直线增长(图 2-g~l)。

3 号峰开始,应该是区别于正常吸附气的似吸附气的解析峰。从 15 个不同类型岩心解析曲线的分析看,似吸附气的解析具有多级性,表现出多个解析峰,一般有 3 个以上的较强解析峰,唯有砂质泥

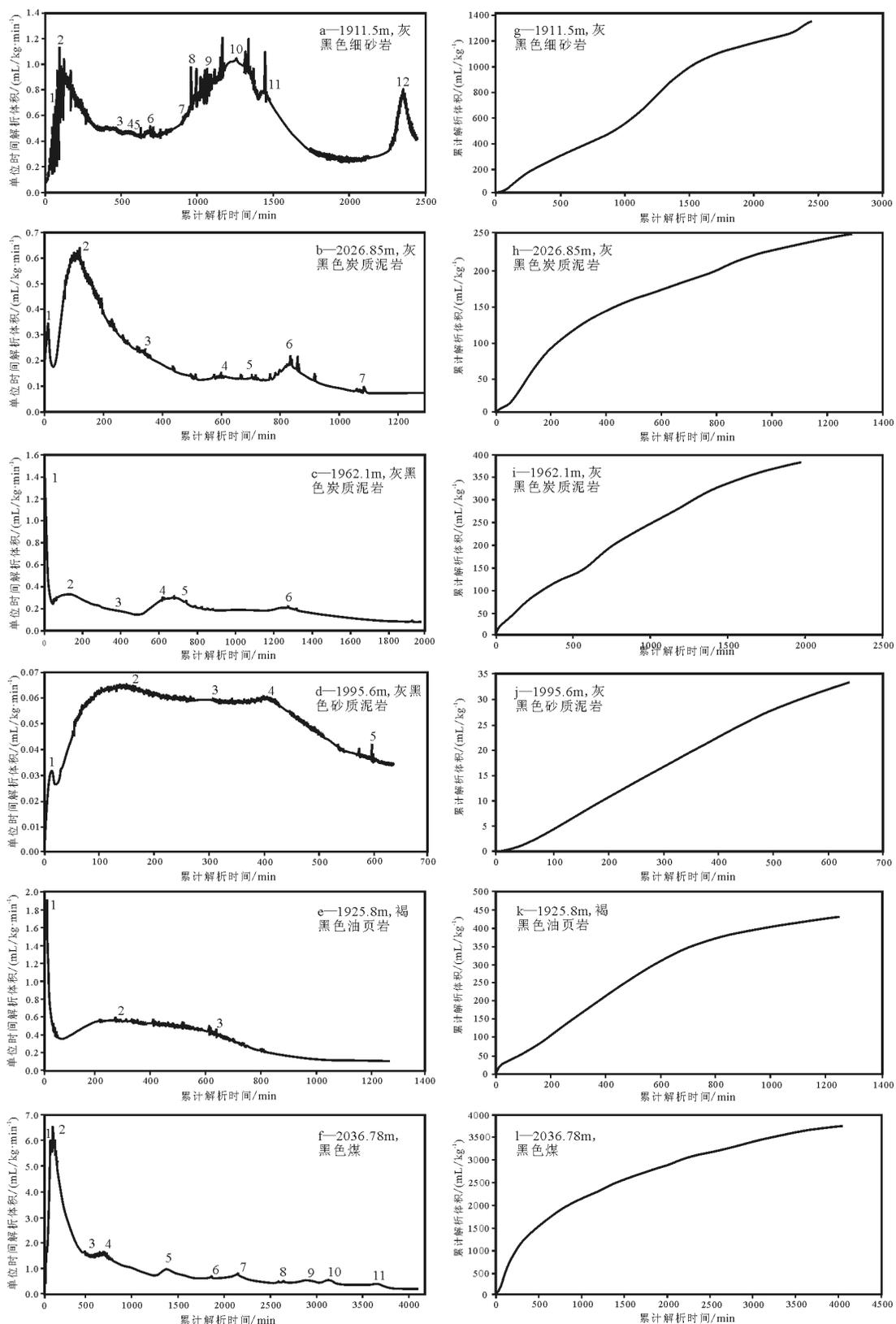


图2 不同岩性岩心的烃类气体解吸体积曲线

Fig. 2 Hydrocarbon gas desorption curves of cores

岩和油页岩例外,两者都只有个别比较明显的微弱似吸附气解析峰(图2-a~f),说明似吸附气的解析过程有别于吸附气的解吸过程,解析峰的数量和强度与样品的岩性有关。

关于似吸附气的赋存形式有待研究。赵群等^[6]认为,多级解析现象的出现是因为岩心内存在天然裂缝的缘故,不同的裂缝在不同解析时刻占主导作用,导致解析速率不同。笔者认为,这种解释有一定道理,但过于简单,推测似吸附气可能是被岩石的某种物理微结构不同程度地驻滞在岩心中的气体部分。从15个不同类型岩心的解析情况看,很显然,似吸附气在煤和泥岩中所占比例较小,而在砂质岩性中所占比例较大,有时超过2号峰所代表的正常吸附气(图2-a~f)。分析其原因,可能这部分气是被水分和粘土矿物封堵在岩石微孔(隙)中的气体,随着解析过程中水分的逐步挥发和粘土矿物体积的逐步收缩,被逐步、逐级地释放。因此,事实上,解析测试中似吸附气的释放过程是一系列的复杂解析过程,而非简单的过程。这种可能性可以从深度1911.5m细砂岩解析过程得到验证。该岩心在解析测试完成后失重5.2%,表明其含水率较高。从该砂岩的解析速率曲线(图2-a)可以看出,在解析过程中,多时段出现了不稳定的跳跃峰,尤其是在初始阶段至2号峰出现前的时段内。该岩心解析测试时的环境大气压力为70.28kPa,80℃的解析温度接近水的沸点,跳跃峰正是岩石中水剧烈挥发造成的。随着水分的逐渐挥发,从2号峰开始下降时起,跳跃峰出现的频率和强度均逐步降低。但是,在3号峰的上升阶段,显著的跳跃峰再次高强度、高频次地出现,达到峰值后又变得相对平滑,至4号峰则变得完全平滑。一般情况下,岩心在封装后10min内开始解析,就能得到分离清晰的1号峰和2号峰(图2-d,4min)。该岩心的含气量较高(4.14m³/t),1号峰和2号峰之间的分离却很不明晰(图2-a)。解析测试是在其封装后31min开始升温的,说明它在升温解析前吸附气的解析速度很慢。从这些因素和现象分析,可以认为岩石中水分的封堵作用严重影响了深度1911.5m砂岩中正常吸附气在室温下的解析,彰显了水分对于岩石中气体解析的抑制作用。据此可以推测,岩石的微孔(隙)发育,粘土矿物含量较低,则似吸附气占比较高。

2.2 损失气恢复

页岩气含量测试中的损失气是指从岩层被钻遇起,岩心从井下原位提升到地表,再到装入解析罐中密封好之前的这段过程中,从岩心中释放到环境中的页岩气部分。用解析法测定岩石的含气量时,岩心样品中页岩气的损失是不可避免的,因为它是从钻头钻遇岩层时就开始的,在其离开取心筒之前的一系列后续工程环节中,以及将其装入解析罐密封的过程中,页岩气的损失一直在持续。正因为如此,即使是通过密闭取心,甚至保压取心所测定的页岩气含量的准确度也不高^[9],而且代价昂贵,少有人使用。

页岩气含量测试中的解析气量和残余气量是通过实验直接测定的,误差较小,而且可以通过测试技术手段和方法的改进加以控制。而损失气量是根据解析数据计算得出的,目前还无法对其误差进行准确评价。

准确测量储层岩石含气量是页岩气储层模拟和产量预测的前提,而恢复岩心样品的损失气量是获得正确岩石含气量的关键。岩心样品的损失气量的大小受诸多因素的影响,包括损失时间(从岩层被钻遇到将岩心密封于解析罐中的时间段)、损失过程中的温度、压力及其变化,以及岩心的岩性及其理化性质等。一般情况下,损失气量较大,其测试误差对页岩气资源量评价的影响也较大。从表2可以看出,对柴页1井岩心进行解析测试的损失气占总含气量的6.3%~43.1%;在薛晓辉等^[7]的报道中,这一比例是10%~60%。因此,在优化解析过程中,完善损失气量计算方法尤为重要。

损失气的恢复有多种方法,主要有美国联邦矿物局的USBM直线回归法、Smith & Williams方法、Amoco方法和下降曲线法^[9]。其中,得到广泛应用的是USBM直线回归法。USBM直线回归法的理论基础是假设岩样为均质球状体,气体开始扩散时在岩样表面的浓度为零,气体扩散过程中的温度和扩散速率是恒定的,从岩样内部到表面的浓度变化是瞬时的。按照这一假设建立的数学模型,其数值解表明,在解吸的初始时刻,累计解吸气量与解吸时间的平方根成正比^[6]。因此,USBM直线回归法是针对吸附气的,用岩心样品进入解析罐后的累计解吸气体积对解吸时间的平方根进行线性回归,获得该岩心的线性解吸方程,然后反推岩心在进入样

品罐密封之前的累计损失时间内所解吸的气体体积,即为损失气体积。但是,很多人认为,这一直线回归的方式是不准确的,应该采用曲线回归^[4,9]。赵群等^[6]认为,直线回归低估了20%~40%的损失气量,应该采用指数递减法对岩心解析实验数据进行经验公式拟合,求取损失气量。刘洪林等^[4]认为,USBM直线回归法只适用于岩心解析的初始阶段,在损失时间较长的情况下必然导致结果不正确。薛晓辉等^[7]建议采用二阶解析温度,用泥浆循环温度下的稳定解析过程数据计算损失气,并通过增加数据点,保障数据的完整性来改善估算效果。王瑞等^[8]则认为,这种建立在等温吸附-解析原理基础上获得损失气的方法从实测到模型估算都有问题。

笔者认为,关键问题在于没有把解吸气和解析气区分开来。测试结果表明,就快速解析的整个解析过程而言,大部分样品的累计解析气体积与解析时间之间的关系都不遵循USBM直线规律(图3),且严重偏离,只有少数岩心的解析曲线在解析温度稳定的时段内比较接近直线(图3-c、d),不同岩心的解析曲线差异很大。鉴于前述讨论中已经确认岩石中气体的解析具有分级解析特性,并表现为与之相对应的多个解析峰,其中3号峰及其以后出现的解析峰并非纯粹吸附气的解吸峰,其释放过程自然不遵循USBM直线规律,而且其释放需要在去除水分后等附加条件下才可以有效地实现,可以认为它们不会在损失气时间内自然解吸,因此不会对损失气有贡献;1号峰和2号峰都源自吸附气,但是,与1号峰对应的主体是在测试开始前已经解吸出来,并且以游离气形式存在于解析罐中的吸附气部分,亦不可能用USBM直线规律来约束。因此,只有2号峰是真正吸附气的解吸峰,其释放行为接近Langmuir方程,遵循USBM直线规律。

基于以上分析,笔者认为,只有2号峰能够反映真正吸附气的解吸规律,而且最接近损失气的释放规律。事实上,在每2s 1个数据点的高密度、无间断的解析数据中,当岩心温度稳定在设定的解析温度后,从气体解析速率达到最大值开始,直到3号峰开始出现之前,即在解析速率曲线的2号峰从峰值降到峰谷的时间段内,岩心样品的累计解析气体积与解析时间的平方根之间具有完美的线性相关关系,相关系数几乎为1(图3),说明在这个解析过程区间内,吸附气的解吸的确遵循USBM直线规律,测试

数据可以用于损失气的回归计算。

表2中列出了基于这种损失气量计算方法的14个柴页1井岩心的含气量测试结果,从表中可以看出,2块煤岩的损失速率分别为每分钟0.126%和0.127%,基本一致;2块粘土矿物含量较高的泥岩和油页岩的损失速率分别为每分钟0.110%和0.192%,与煤岩相差不大;炭质泥岩的损失速率差异较大,介于每分钟0.082%~0.206%之间;砂岩和含砂量较大的泥岩损失速率介于每分钟0.033%~0.122%之间,但总的来说相对较低,大部分介于每分钟0.033%~0.044%之间,仅为煤的1/4~1/3。将各样品的解析速率曲线进行对比,发现岩石中似吸附气的比重越大,则损失气的损失速率越小,可能与这部分气体在损失时间内参与解析过程的程度低有关。这一点可以从深度2026.85m炭质泥岩和深度1911.5m细砂岩之间的对比中看到,前者的损失速率达到0.206%,是后者的4.7倍(表2),从它们的解析速率曲线(图2-a、b)对比可以看出,前者的似吸附气的份额较低,远远低于后者。此外,从表2还可以看出,与砂岩和炭质泥岩相比,高粘土泥岩和煤中吸附气的份额较大,参与损失解析过程的份额亦较大,所以损失速率较大。由此可见,按照2号峰计算损失气量的方法是可行的,结果是合理的。当然,不能说这种计算结果是准确的,因为岩心在损失时间内所经历的过程非常复杂,所处环境条件不断变化,而且每个岩心样品的经历都不可能完全相同,因而不可能用统一的模式准确地进行定量刻画。但是,并不影响这种损失气计算方法的实用性和相对合理性。

2.3 残余气测试

目前,一般认为只有进行快速解析测试时才需要测试残余气,对岩心进行长时间的自然解析时没有测试残余气的必要^[4]。然而,从前面展示的实验数据及其讨论可知,岩石中存在被结构性约束的页岩气,这部分气体在自然解析条件下不会被释放,但是它们在压裂开采中是可能被释放出来的,因此应该属于岩石含气量的一部分。这部分气体的量并不小,根据Curtis^[20]的统计结果,页岩气储层中吸附气所占份额为20%~85%,笔者从有关数据获取的技术层面考虑,推测这部分气实际上是解析气,而其余部分主要是残余气;在所测试的岩心中,残余气占岩石总含气量的13.8%~86.5%,与Curtis的数据

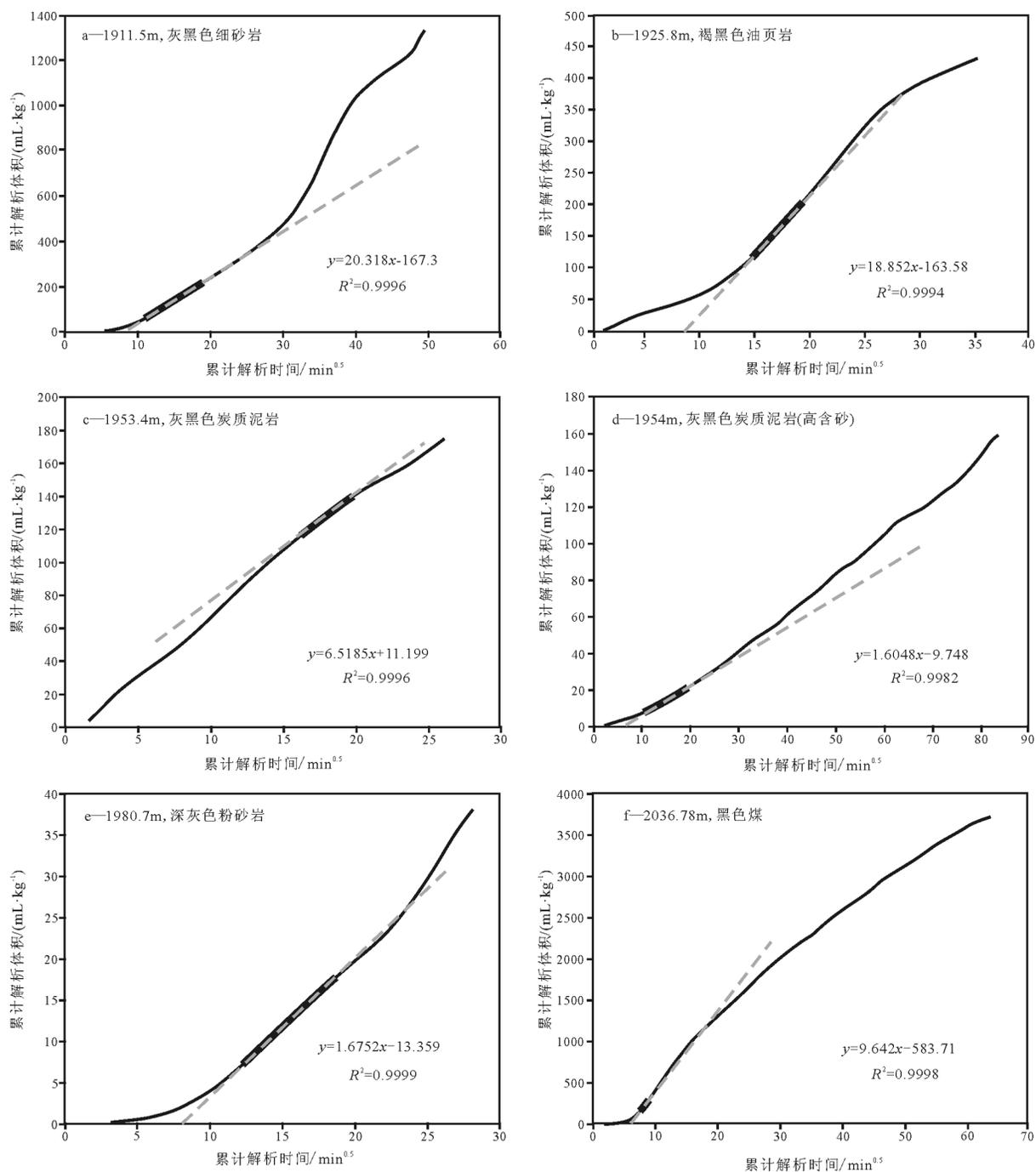


图3 部分岩心的烃类气体解析体积与解析时间平方根关系曲线

(实线段部分标识遵循 USBM 直线规律的区间, 对应解析速率曲线的 2 号峰从峰值降到峰谷的时间段)

Fig. 3 Correlations of desorption gas volumes with square root of desorption time

契合, 而且其份额越大, 岩心中气体的损失速率越小(表 2), 说明它是原本存在的, 并不完全是解析不彻底留下的。在对开放的大气环境下存放了近 2 年

的羌塘盆地羌资 5 井 80m 深度的黑色泥岩和 591.5m 深度的泥岩岩心进行破碎法残余气测定时, 获得其残余气含量分别为 0.094m³/t 和 0.086m³/t, 证实了

表2 柴页1井部分岩心的含气量测试结果
Table 2 Hydrocarbon gas content of the cores tested

序 号	取样井 段/m	岩性	含 气 量					
			解析体积/(mL·kg ⁻¹)	损失体积/(mL·kg ⁻¹)	残余体积/(mL·kg ⁻¹)	残余气份额/%	损失气份额/%	损失速率/(%·min ⁻¹)
1	1911.5	浅灰色细砂岩	1325.3	514.2	2259.4	55.1	12.5	0.044
2	1921.15	灰色泥岩	286.0	128.5	124.2	23.1	23.9	0.110
3	1925.8	褐黑色油页岩	431.0	346.3	124.5	13.8	38.4	0.192
4	1935.34	灰黑色炭质泥岩	142.4	126.1	215.5	44.5	26.1	0.145
5	1953.1	黑色炭质泥岩	174.3	177.8	493.0	58.3	21.0	0.113
6	1954	灰黑色炭质泥岩(高含砂)	159.2	27.8	191.8	50.6	7.3	0.036
7	1962.1	灰黑色炭质泥岩	378.2	133.5	337.3	39.7	15.7	0.082
8	1974.97	灰黑色炭质泥岩	108.2	50.7	75.5	32.2	21.6	0.112
9	1980.7	深灰色粉砂岩	38.0	71.0	198.4	64.5	23.1	0.042
10	2000.38	深灰色砂质泥岩	17.4	15.2	209.1	86.5	6.3	0.033
11	2012.5	灰白色中砂岩	1569.5	1370.0	2050.5	41.1	27.5	0.122
12	2026.85	灰黑色炭质泥岩	246.8	258.1	135.0	21.1	40.3	0.206
13	2036.78	黑色煤	3710.8	3717.8	1190.6	13.8	43.1	0.127
14	2093.12	黑色煤	3198.6	1750.2	1111.2	18.3	28.9	0.126

注:损失时间=升井时间/2+暴露时间;损失速率为单位损失时间内总含气量的损失百分率平均值

这部分气体的存在。

残余气的测试一般是将岩心粉碎到一定粒度后进行的,即所谓破碎法;也有通过高温驱赶方法测试的,即所谓高温法。前一种方法最好是在密闭条件下进行岩心粉碎并直接测试,但是需要专用设备。后一种方法便于操作,但是,高温不可能将所有残余气都驱赶出来。而且,高温可以将岩心中一部分非气体组分气化,甚至将一部分有机质裂解成为气体组分,从而影响测试结果,因此不建议使用。

由此可见,残余气是岩石页岩气量的重要组成部分,必须对其进行测试,而且应该用破碎法进行测试。

2.4 样品保存

一般认为,岩心的解析测试应该尽早进行,因为从理论上讲,Langmuir方程只适用于解析初始阶段的吸附气解吸^[4],因此,只有用解析早期阶段的测试数据进行USBM直线回归才能获得比较准确的损失气量。但是,一旦岩心进入解析罐密封后,是否必须立即开始测试呢?实验结果表明,只要解析罐密封良好,至少在岩心入罐后1个月内,样品存放的时间对测试结果的影响不大。从表1可以看出,本次所测试的岩心在解析罐中存放的时间最短为2min,最长为42655min(29.6d)。从解析速率曲线(图2-a~f)可见,存放时间对1号峰的大小有影响,

在早期的表现比较明显,当存放时间较长后,并没有观察到1号峰的不断增长,可能是因为密封环境内的页岩气不断趋向解吸-吸附平衡,气体解析受到了抑制。因此,将岩心样品存储在密闭解析罐中一段时间后再进行解析测试是可行的,但不建议存放时间太长,最好不要超过30d。

3 结 语

3.1 结 论

(1)页岩气不仅以游离气和吸附气形式赋存,还有部分气体被各种物理结构滞止于岩石中,需要在适当的条件下才能被释放出来,使得页岩气的释放过程成为复杂的解析过程,而非简单的解吸过程,呈现出多级解析特征,其解析速率曲线表现出多峰性。

(2)岩石中吸附状态气体在恒温解析早期阶段的解析气量遵循USBM直线规律。

(3)残余气是岩石中被岩石的物理构造所限滞的气体部分,不能自然解析出来。

(4)将含页岩气岩心进行短期封存,对于解析气测定结果的影响不大。

3.2 建 议

(1)应加强对于页岩气多级解析机理的研究,为页岩气开采工程和产能预测提供理论指导。

(2)用USBM直线法恢复岩心的损失气量时,应该采用恒温解析早期阶段的解析气量数据来计算。为了保障损失气恢复数据的质量,在岩心的恒温解吸测试过程中,应该进行高密度的解析气数据采集。

(3)岩心的残余气量应该在将其粉碎后测定。

(4)在条件有限的情况下,可以将岩心样品存储在密闭解析罐中一段时间后,再进行解析测试,但建议存放时间不要超过30d。

鸣谢:中国地质调查局任收麦研究员、中国地质调查局油气资源调查中心包书景研究员为本项研究提供了岩心样品和现场测试条件和相关地质资料,周志、郭天旭等柴页1井项目组成员在样品采集与测试中提供了大力帮助,谨致谢忱。

参考文献

- [1]陈永武,王少波,韩征,等.页岩气资源/储量计算与评价技术规范[S].中华人民共和国地质矿产行业标准,DZ/T 0254—2014,中华人民共和国国土资源部发布.
- [2]陈元千,周翠.中国《页岩气资源/储量计算与评价技术规范》计算方法存在的问题与建议[J].油气地质与采收率,2015,22(1):1-4.
- [3]刘洪林,闫刚,李晓波,等.页岩含气量测定方法[S].中华人民共和国石油天然气行业标准,SY/T 6940—2013,国家能源局发布.
- [4]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.
- [5]王瑞,张宁生,刘晓娟,等.页岩气吸附与解析附机理研究进展[J].科学技术与工程,2013,13(19):5561-5567.
- [6]赵群,王红岩,杨慎,等.一种计算页岩岩心解析测试中损失气量的新方法[J].天然气工业,2013,33(5):30-34.
- [7]薛晓辉,岳小金,韦巍.页岩含气量测定过程中的几点建议[J].中国煤炭地质,2013,25(4):27-29.
- [8]王瑞,张宁生,刘晓娟,等.页岩气吸附与解析附机理研究进展[J].科学技术与工程,2013,13(19):5561-5567.
- [9]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.
- [10]方俊华,朱炎铭,魏伟,等.页岩等温吸附异常初探[J].吐哈油气,2010,15(4):317-320.
- [11]Bustin A M M, Bustin R M, Russel-Houston J. Horseshoe Canyon and Belly River coal measures, south central Alberta: Part 2—Modeling reservoir properties and producible gas[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2011,59(3): 235-260.
- [12]Ross D J K, Bustin R M. Characterizing the shale gas resource potential of Devonian-Mississippian strata in the Western Canada sedimentary basin: Application of an integrated formation evaluation[J]. AAPG Bulletin, 2008, 92(1):87-125.
- [13]莫修文,李舟波,潘保芝.页岩气测井地层评价的方法与进展[J].地质通报,2011,30(2/3):400-405.
- [14]Montgomery S L, Jarvie D M, Bowker K A, et al. Mississippian Barnett Shale, Fort Worth basin, north-central Texas: Gas-shale play with multi-trillion cubic foot potential[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(2):155-175.
- [15]Strapoc D, Mastalerz M, Schimmelmann A, et al. Geochemical constraints on the origin and volume of gas in the New Albany Shale (Devonian-Mississippian), eastern Illinois Basin[J]. AAPG Bulletin, 2010, 94(11):1713-1740.
- [16]李武广,杨胜来,陈峰,等.温度对页岩吸附解析的敏感性研究[J].矿物岩石,2012,32(2):115-120.
- [17]张金川,薛会,张德明,等.页岩气及其成藏机理[J].现代地质,2003,17(4): 466.
- [18]张金川,金之钧,袁明生.页岩气成藏机理和分布[J].天然气工业,2004,24(7): 15-8.
- [19]王飞宇,贺志勇,孟晓辉,等.页岩气赋存形式和初始原地气量(OGIP)预测技术[J].天然气地球科学,2011,22(3):501-510.
- [20]Curtis J B. Fractured shale-gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11):1921-1938.