

·页岩气资源·

页岩气含气量和页岩气地质评价综述

李玉喜, 乔德武, 姜文利, 张春贺

LI Yu-xi, QIAO De-wu, JIANG Wen-li, ZHANG Chun-he

国土资源部油气资源战略研究中心, 北京 100034

Strategic Research Center of Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Beijing 100034, China

摘要:页岩气为源岩区油气聚集,属于源岩滞留气,以游离和吸附状态为主存在。富有机质页岩含气量是页岩气资源评价和有利区优选的关键参数。页岩有机质含量和地层的压力、温度、湿度等因素影响页岩的含气量。含气量的确定方法主要有解吸和测井方法。开展页岩气地质评价,除含气量参数外,还要研究地层和构造特征、岩石和矿物成分、储层厚度和埋深、储集空间类型、储集物性、岩石力学参数、有机地球化学参数、区域现今应力场特征、流体压力、储层温度、流体饱和度、流体性质等其它参数。发展有效的系统集成方法,综合分析、评价页岩气资源潜力和预测有利区,目前也在不断探索之中。

关键词:页岩气;含气量;保存条件;评价参数;地质评价;有利区优选

中图分类号:P618.1

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2011)02/03-0308-10

LI Y X, QIAO D W, JIANG W L, ZHANG C H. Gas content of gas-bearing shale and its geological evaluation summary. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(2/3):308-317

Abstract: Shale gas is one kind of natural gas that has been generated but remained in source rocks at the state of free or absorbed. The shale gas content is the key factor for shale gas assessment and core area evaluation. There are several factors of shale layers that affect the shale gas content, including TOC, R_o , pressure, temperature and moisture. Well site, laboratory, and mathematical techniques used to determine absorbed gas content, and well logs are used to determine free gas content. Evaluation of shale gas reservoirs need even more factors, the factors in the aspects of shale geologic factors such as thickness and depth, rock type and lithologic composition, microfacies and organic geochemistry factors; reservoir factors such as porosity, permeability, rock mechanics factors and sensitive factors; absorbed gas content, free gas content, total gas content, etc. Development of an effective system integration approach, comprehensive analysis, evaluation of shale gas resource potential and prediction of favorable areas are constantly being explored currently.

Key words: shale gas; shale gas content; preservation condition; evaluation parameters; geological evaluation; favorable area optimization

页岩气作为一种新类型的天然气资源,在美国和加拿大开发已经取得成功,并对北美天然气和国际LNG(液化天然气)供应产生了明显的影响。2009年,北美页岩气产量达到 $950 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中美国页岩气产量达到了 $878 \times 10^8 \text{ m}^3$,占其全部天然气产量的15%左右。加拿大为 $72 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。中国页岩气勘查工作刚刚起步,目前以调查富有机质页岩的基本特征为主,主要手段为地质浅井和地表地质调查。2010年,石油公司实施了几口页岩气勘探井,取得了明显的进展。

1 对页岩气的理解

1.1 页岩气为连续型油气聚集

Curtis^[1]对页岩气(Shale gas)进行了界定,并认为页岩气在本质上就是连续生成的生物化学成因气、热成因气或两者的混合,它具有普遍的地层饱含气性、隐蔽聚集机理、多种岩性封闭和相对很短的运移距离,它可以在天然裂缝和孔隙中以游离方式存在,在干酪根和粘土颗粒表面上以吸附状态存在,甚至

收稿日期:2010-11-16;修订日期:2011-01-06

资助项目:国土资源部油气专项《中国重点地区页岩气资源潜力及有利区优选》(编号:2009GYXQ15)

作者简介:李玉喜(1962-),男,高级工程师,从事页岩气资源调查评价与有利区优选研究。E-mail:liyuxi@126.com

在干酪根和沥青质中以溶解状态存在。即页岩气为连续型气藏(图1)^[2]。

1.2 页岩气为源岩层系油气聚集

张金川等^[3-4]认为,页岩气是指主体位于暗色泥页岩或高碳泥页岩中,以吸附或游离状态为主要存在方式的天然气聚集。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。从某种意义上来说,页岩气藏的形成是天然气在源岩中大规模滞留的结果。由于储集条件特殊,天然气在其中以多种相态存在^[3-4]。

从以上的定义可以看出页岩气的2个主要特征。一是游离气与吸附气并存,从美国的情况看,游离气在20%~80%之间,吸附气在80%~20%之间,范围很宽,其中部分页岩气含少量溶解气。二是页岩系统包括富有机质页岩,富有机质页岩与粉砂岩、细砂岩夹层,粉砂岩、细砂岩夹富有机质页岩;页岩气形成于富有机质页岩,储存于富有机质页岩或一套与之密切相关的连续页岩组合中,不同盆地页岩气层组合类型不相同。即页岩气为源岩层系天然气聚集的一种,为天然气生成后,未排出源岩层系,滞留于源岩层系中形成的。源岩层系油气聚集除页岩气外,还包括煤层气、页岩油和油页岩(图2)^[5]。源岩区的油气聚集都是连续型油气聚集,属于非常规油气,分布广、资源丰度低、开发难度大、技术要求高是其普遍特点。

2 页岩含气量和影响因素

2.1 页岩含气量

页岩含气量是指每吨岩石中所含天然气折算到标准温度和压力条件下(101.325kPa,25℃)的天然气总量,包括游离气、吸附气、溶解气等,目前主要关注吸附气和游离气(图3)。游离气是指以游离状态赋存于孔隙和微裂缝中的天然气;吸附气是指吸附于有机质和粘土矿物表面的天然气,以有机质吸附为主,伊利石等粘土矿物也有一定的吸附能力。

从形成机理和过程的角度看,富有机质页岩含气量的大小取决于生烃量和排烃量,即页岩含气量=生烃量-排烃量。其中,生烃量受有机质的类型、含量和成熟度的控制;排烃量主要受排烃门限高低控制,突破压力大,排烃门限高,则在相同的生烃

条件下,含气量高。

从等温吸附研究的结果看,按每10m水柱=14.5MPa换算,若页岩地层处于正常流体压力状态,在1150m以浅,特别是在700m以浅,页岩气中的吸附气含量随着深度增加而明显增加,在1150m以深,吸附气含量增加缓慢,在2000m以深,吸附气含量曲线变得十分平缓,吸附气增加量已经不明显。而游离气随着埋深的增加表现出平稳增加的趋势,波动比较小(图3)^[6]。实验结果也显示出,在1150m左右,游离气和吸附气的含量基本相等,之后,随着埋深的增加,游离气含量逐步增加,在埋深达到2800m左右时,游离气达到吸附气的2倍以上。总体上表现出在1150m以深,页岩气的存在状态主要以游离气为主的趋势。

2.2 页岩气的储集空间

页岩气的储集空间包括孔隙和微裂隙。Jarvie等认为,页岩中的孔隙以有机质生烃形成的孔隙为主,如果页岩有机质质量百分含量为7%,则体积百分含量为14%,若这些有机质有35%发生转化,则会使岩石增加4.9%的孔隙空间(图4、图5)^[7-8]。

微裂缝是页岩的另一种主要储集空间(图6),长度在微米级至纳米级。微裂缝的成因多种多样。页岩在生烃过程中,随着烃类生成量的增加,内压增大,当达到突破压力后,会形成大量的微裂隙,为烃类排出提供通道,同时也形成新的储集空间。在成岩过程中,矿物相的变化也会使微裂隙形成。构造活动过程中也会形成大量的微裂隙。

2.3 影响页岩气含量的因素

2.3.1 压力、温度

压力与埋深直接相关。富有机质页岩含气量总体随压力的增加而增加,其中,吸附气在低压条件下增加较快,当压力达到一定程度后,增加速度明显减缓,而游离气仍然在明显增加,并成为页岩气的主体(图3)。温度增加会降低富有机质页岩的吸附能力(图7)^[9],任何富有机质页岩在高温条件下吸附能力都会明显下降,温度升高1倍,吸附能力下降近2倍。即随着地温的不断升高,富有机质页岩的吸附能力不断下降,游离气的比例不断增加。

2.3.2 有机质含量

有机质含量决定了页岩的生烃能力、孔隙空间的大小和吸附能力,对富有机质页岩的含气量起决定性的作用。从国内外的实测结果看,有机质

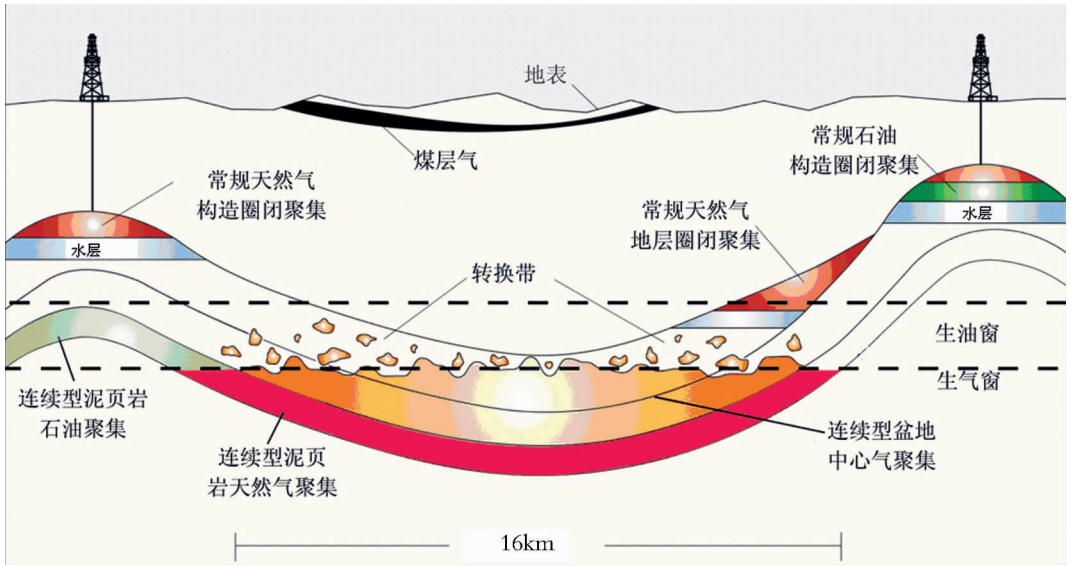


图1 连续型油气藏成藏模式(据参考文献[2]修改)

Fig. 1 Reservoir model of continuous type of gas reservoir

分布区		源岩区				运移区		圈闭区				散失区	多区
资源类型		油页岩	煤层气	页岩油	页岩气	水溶气	致密油气	低渗油气	重油	常规油	常规气	油砂	生物气
热演化程度 R_o /%	0.5	■	■										■
	0.7	■	■	■	■		■	■	■	■		■	
	1.3		■	■	■		■	■	■	■	■	■	
	2.0		■		■		■				■		
可采资源潜力		$120 \times 10^8 t$	$11 \times 10^8 t$	不清	不清	不清	分歧	$212 \times 10^8 t$ 、 $22 \times 10^{12} m^3$				$23 \times 10^8 t$	不清
开发情况	国外	少量	开发	少量	开发	开发	开发	开发				开发	开发
	国内	少量	起步	开发	未	未	少量					起步	开发

图2 油气资源类型和成藏区划分^[9]

Fig. 2 Types of gas reservoir and division of reservoir area

含量直接影响含气量,有机质含量越高,含气量越大(图8)。两者具有近似线性的相关关系,相关程度很高^[9]。

2.3.3 其它因素

除以上影响因素外,岩石的湿度、有机质类型、粘土矿物含量、地层水矿化度等,对富有机质页岩的含气量也有不同程度的影响。其中,干岩石的含气量

明显高于“湿”岩石;伊利石的吸附能力高于蒙脱石,高岭石的吸附能力最弱。而地层水矿化度对生物成因页岩气的含气量有明显的影

响。从以上富有机质页岩含气量的影响因素看,页岩气的聚集和保存也是需要一定条件的。开展页岩气聚集条件研究,是寻找页岩气富集有利区的基础。

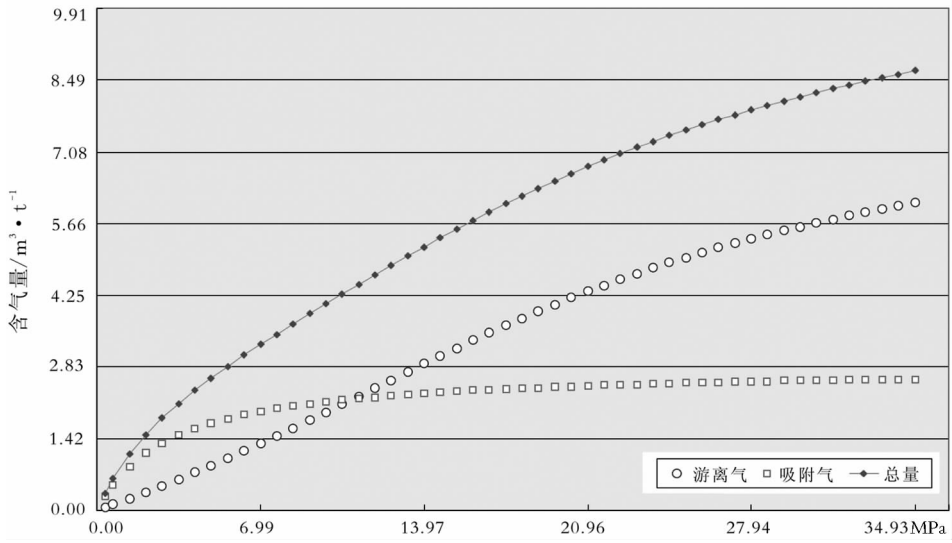


图 3 游离气、吸附气及其与压力之间的关系(据斯伦贝谢,2004,修改)

Fig. 3 Effect of pressure on free gas and absorbed gas



图 4 有机质含量与孔隙空间的关系(Jarvie et al, 2007)

Fig. 4 Organic matter content and its correlation with pore space

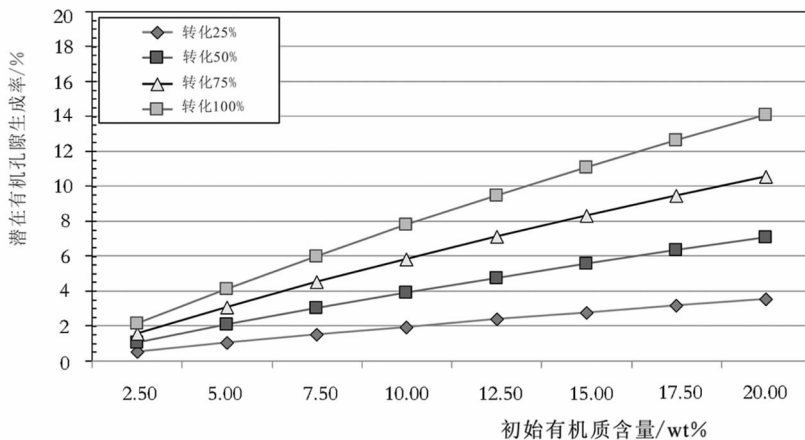


图 5 有机质含量、转化率与孔隙空间的关系(Jarvie et al, 2010)

Fig. 5 Correlation between organic matter, transformation rate and pore space

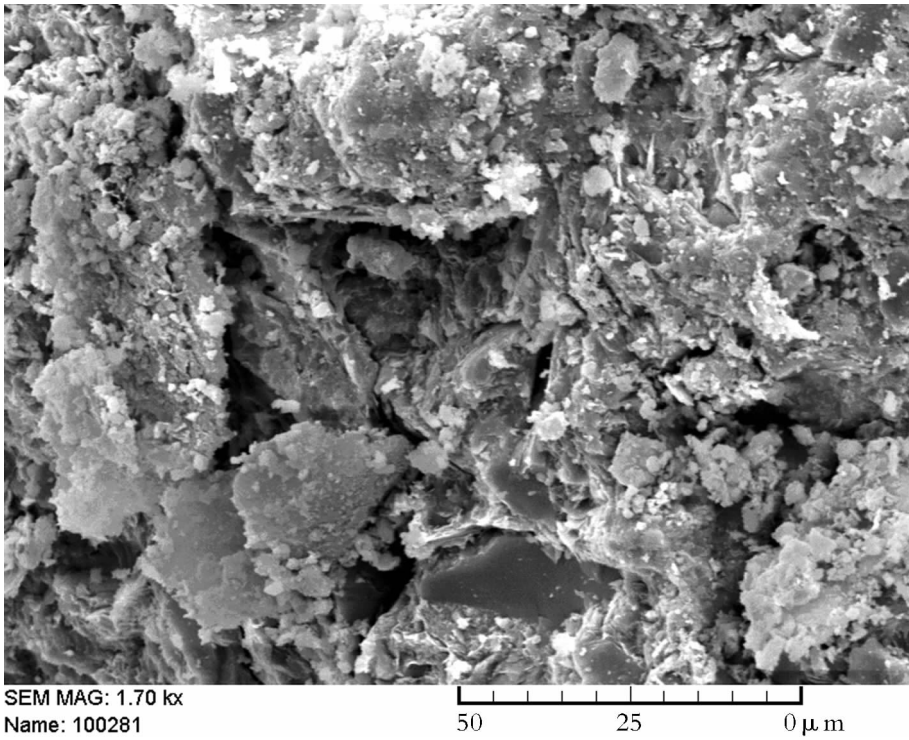


图6 富有机质页岩在扫描电镜下的孔隙和微裂隙的特征(渝页1井)
Fig. 6 Characteristics of pores and micro-leakage of organic-rich shale under SEM

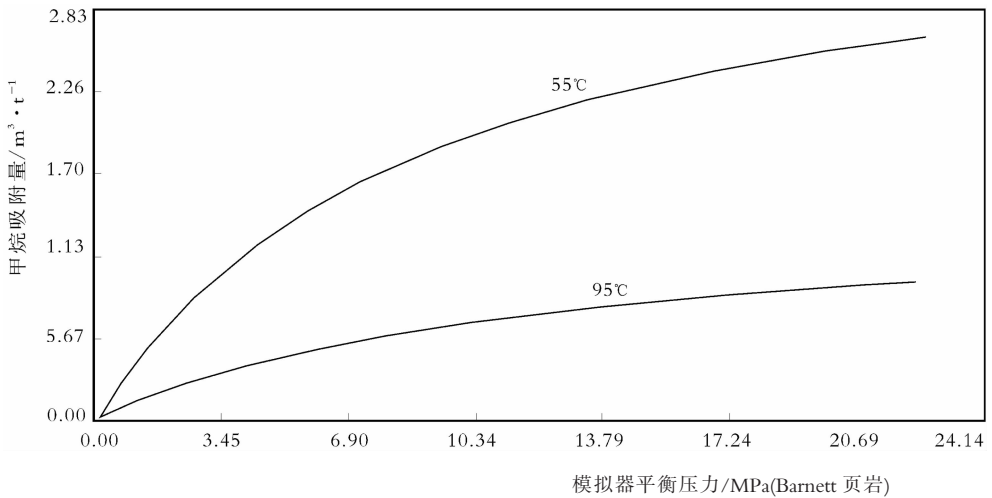


图7 温度对吸附气含量的影响^[7]
Fig. 7 Temperature impact on absorbed gas content

3 含气量确定方法

3.1 直接测定

包括保压取心测定和密闭取心测定。国外研究人员认为,保压取心测定页岩含气量的方法不但价

格昂贵,而且准确度不高,不建议使用。通过密闭液覆盖可保存大部吸附气和部分游离气。密闭取心测定页岩含气量的方法偶尔使用。

3.2 分类测定

通过分类测定页岩中的游离气、吸附气和残留

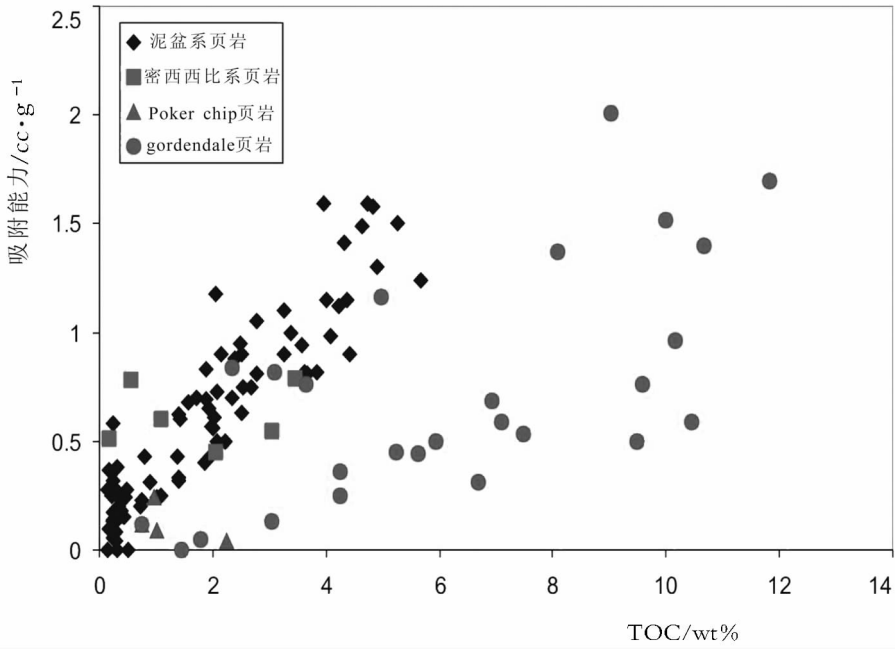


图 8 有机质含量与吸附气之间的线性关系^[9]

Fig. 8 Linear correlation between organic matter content and absorbed gas

气,得到页岩气总含气量,是目前应用最广的页岩气含气量测定方法。游离气的测定首先通过岩心确定含水饱和度,如果含油,确定含油饱和度,进而确定游离气含气饱和度。通过建立岩电关系,利用饱和度测井确定游离气含量。吸附气含量主要通过解吸和测井手段获取。

3.2.1 解吸

通过岩心(包括二次取心)、井壁取心或岩屑解吸,可确定解吸气含量。其中二次取心的解吸气量较高,井壁岩心、绳索取心次之,岩屑解析量较少。岩心解吸方式包括快速解吸和慢速解吸 2 种方法。快速解吸的时间短,一般在 8~24h 之间,总解吸气量包括

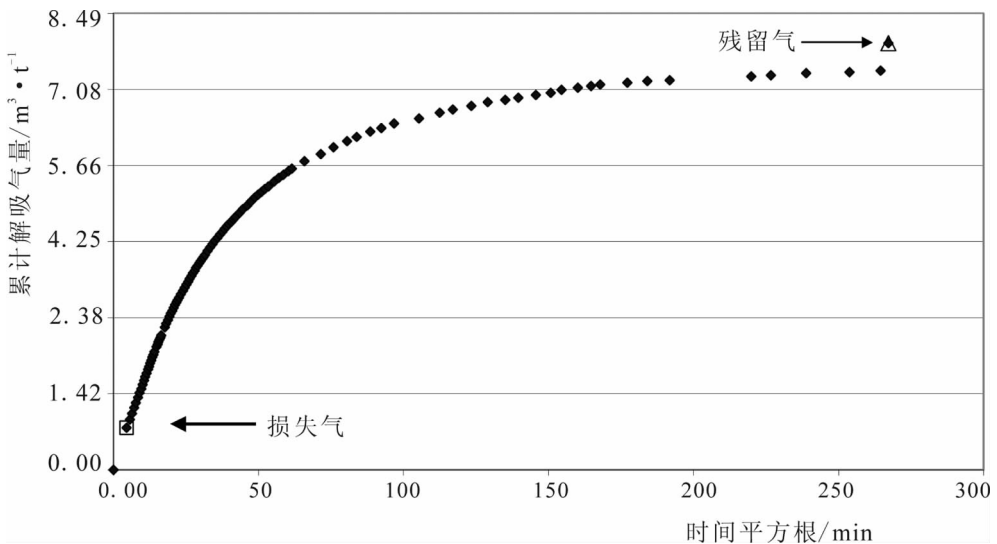


图 9 损失气恢复^[10]

Fig. 9 Recovery of lost gas

损失气、解吸气和残留气 3 部分,即:

$$\text{总解吸气量} = \text{损失气}(Q_1) + \text{解吸气}(Q_2) + \text{残留气}(Q_3)$$

慢速解吸的时间长,在 45d 以上,慢速解吸的总解吸气量包括损失气量和解吸气量 2 部分,即:

$$\text{总解吸气量} = \text{损失气}(Q_1) + \text{解吸气}(Q_2)$$

其中损失气(Q_1)为岩心地层钻开后到装罐前散失的气量。页岩气损失气的起算时间为岩心提至钻井液压力等于页岩层流体压力的时间,或采用提钻到井深一半的时间(清水泥浆)。损失气(Q_1)的确定目前有 4 种方法:USBM 直接法,Smith & Williams 方法,Amoco 方法和下降曲线法。其中,广泛应用的美国 USGS 的 USBM 直接法原理是损失气量与解吸时间的平方根成正比,利用解吸过程前 4h 的数据,可以恢复损失气量。但采用直线回归方式被认为是不准确的,目前经改进采用曲线回归(图 9)^[10]。

解吸气(Q_2)包括岩心装罐解吸获得的天然气和为获取残留气在碎样过程中释放的天然气 2 部分。

残留气(Q_3)为样品粉碎到一定目数后,解吸获得的天然气量。残留气(Q_3)确定的方法是将岩心粉碎到一定目数以下进行解吸,要同时确定碎样过程中散失气量和残留气含量 2 个量。快速解吸必须进行残留气测定,否则会明显低估含气量,对总解吸气量的影响较大。

3.2.2 等温吸附模拟

等温吸附模拟是解吸的逆过程,在煤层气研究中为成熟技术,在国外页岩气含气量研究中也为成熟技术,在国内页岩气研究中,还有一些新问题需要解决,结果也基本可用。通过等温吸附模拟,可以研究不同有机质含量、类型、湿度等富有机质页岩的吸附特征和能力,获得吸附气含量参数数据,并与解吸等其它手段获得的数据综合,得到富有机质页岩的含气量及其变化规律的参数数据。

需要注意的是,解吸获得的含气量一般大于等温吸附模拟的含气量,有时也会低于等温吸附模拟的吸附量。其原因主要是解吸气与吸附气之间不是等量关系。解吸获得的页岩气中包括一定量的残留游离气和大部分吸附气。如果两者的和大于吸附气量,再加上游离气,就会出现总含气量大于等温吸附模拟获得的总含气量;如果小于吸附气量,再加上游离气,就会出现总含气量小于等温吸附模拟获得的总含气量。

3.2.3 含气量测井解释

通过测井资料综合解释确定富有机质页岩含气量,已经在北美页岩气勘探开发中普遍应用。通过测井资料确定富有机质页岩的含气量,首先要建立岩电关系,包括岩石密度与有机质含量的关系,放射性物质含量与有机质含量的关系,有机质含量与含气量的关系等。在岩电关系的基础上,通过测井资料解释吸附气含量、游离气含量和总含气量(图 10)^[11]。

4 页岩气地质评价

页岩气等非常规油气勘探不同于常规油气勘探,非常规油气勘探不但包括发现全新的油气藏,还包括过去错过或不经济天然气的再发现。如致密砂岩气和煤层气,发现历史很长,但由于经济和技术原因没有得到开发。在技术进步的推动下,如今又被重新认识和开发。

页岩气地质评价包括对新的勘探区页岩气的评价,更多的是对已经开展常规油气勘探地区的重新评价。因此,充分利用已有资料信息和知识是页岩气地质评价的捷径。

4.1 评价内容

由于页岩气的特殊性,研究内容的侧重点较其它非常规天然气资源有所不同。页岩气的勘查开采需要研究的内容包括下述 12 项:

- (1) 地层和构造特征
- (2) 岩石和矿物成分
- (3) 储层厚度和埋深
- (4) 储集空间类型和储集物性(孔隙度和渗透率,裂缝的长度、宽度和导流性,裂缝与孔隙度的关系)
- (5) 泥页岩储层的非均质性
- (6) 岩石力学参数
- (7) 有机地球化学参数
- (8) 页岩的吸附特征和聚气机理
- (9) 区域现今应力场的特征
- (10) 流体压力和储层温度
- (11) 流体饱和度与流体的性质
- (12) 开发区的基本条件等

4.2 地质研究

首先开展区域地质研究,分析研究区地层构造和沉积、演化;在区域地质研究的基础上,研究区域应力场的特征和变化规律,确定最大主应力、中间主

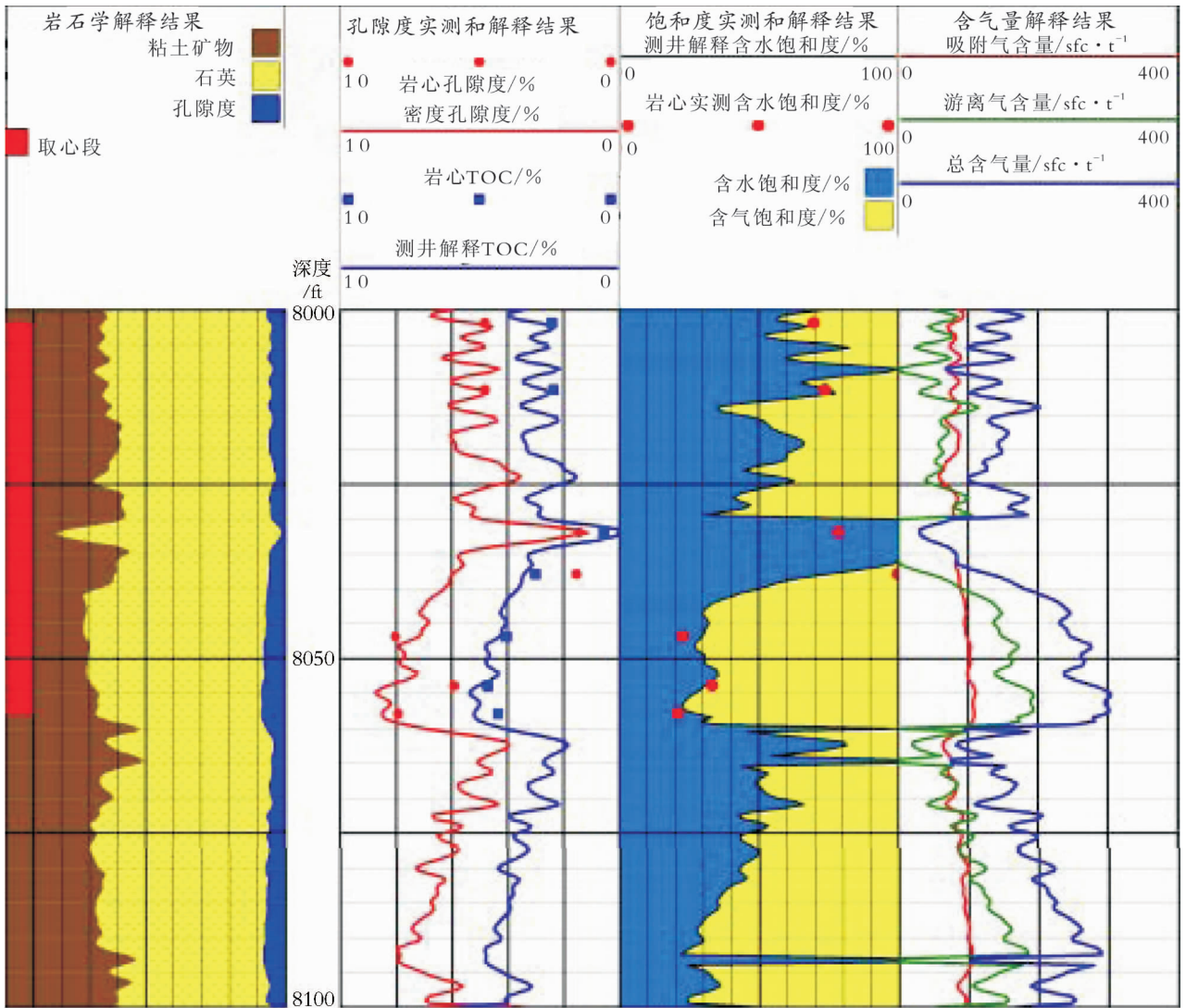


图 10 页岩气相关参数测井解释(据 Robert 等,2008)

Fig. 10 Using well log to identify shale gas

应力和最小主应力的大小和方向,确定水平最大、最小主应力的大小和方向,为钻井设计提供基础参数。

在区域地质研究的基础上,针对页岩气勘探开发要开展以下 3 个方面的针对性研究。

4.2.1 富有机质泥页岩的基本特征

通过地质和地球物理、地球化学资料,确定富有机质泥页岩的层位、分布、厚度和埋深。分析确定页岩层系的岩石类型和剖面组合,分析沉积微相的特征。研究岩石的矿物组成。

研究岩石的 TOC 含量及其在剖面、平面上随岩石类型和沉积微相的变化规律;确定有机质成熟度。

在有地震和钻井资料时,通过地震和井筒资料可以对以上各项参数进行研究和标定。其中,测井资料可以标定岩石的矿物组成、有机质类型和演化程度,划分沉积微相。地震资料可以识别富有机质泥页岩层系和空间展布,并编制富有机质泥页岩厚度、埋深平面图。

4.2.2 岩石孔渗特征和储层力学参数、敏感性参数

通过岩心、测井资料,研究富有机质泥页岩层系各类岩石的孔隙度和渗透率。通过岩心和薄片分析,研究岩石宏观和显微裂缝的特征;通过扫描电镜,研究分析岩石微观孔隙、裂缝的特征和矿物成分;通过低压注 N₂、CO₂、CH₄ 和高压压汞,研究岩石的孔隙

结构、孔喉半径等。在建立岩电关系的基础上,通过测井数据,研究解释富有机质泥页岩层系的物性特征和变化规律。

通过岩石力学实验,确定岩石的弹性模量、泊松比和岩石的抗张、抗剪、抗压数等参数数据。通过敏感性实验,确定岩石的水敏、酸敏、碱敏、速敏、压敏等参数,为钻井和压裂提供基础参数。

4.2.3 富有机质泥页岩层系的含气性

以岩心资料为基础,标定饱和度数据资料,并建立岩电关系,通过测井资料,确定富有机质泥页岩层系的游离气含量;通过岩心解吸,确定岩心吸附气含量和残留气含量。最终确定富有机质泥页岩层系的总含气量。

在经过岩心资料标定后,可通过测井数据同时确定富有机质泥页岩地层层系的游离气、吸附气和总页岩气含量。

4.3 页岩气资源潜力分析

对目标区的页岩气地质资源量和资源丰度进行预测,得到页岩气资源潜力数据,为目标区页岩气开发提供决策依据。

通过以上工作,确定页岩气的关键参数下限。美国多个盆地页岩气经济开发的关键参数主要包括孔隙度、含水饱和度、含油饱和度、渗透率和总有机质含量。要求孔隙度大于4%、含水饱和度小于45%、含油饱和度小于5%、渗透率大于100nD、总有机质含量大于2%(表1)^[1]。

4.4 页岩气有利区优选

页岩气作为聚集于源岩层系的连续型油气聚集,其分布层位明确,分布面积大,但有富集区存在^[2]。资源潜力评价要同时考虑以游离态和吸附态存在的天然气。目前,国外页岩气资源潜力的评价方法有体积法、类比法、统计法、成因法等。在勘查阶段主要采用体积法和类比法,其中体积法是基础方法。体积法预测资源潜力、确定富集区的主要指标包括目地层的厚度、面积、密度和含气量。目地层的厚度和面积要结合含气量指标,通过地质和地球物理手段确定,获得页岩的吨岩含气量及其分布十分关键。

目前,美国页岩气有利区优选要求有机质含量达到一定指标。美国主要页岩气层 TOC 一般大于2%,最好的在2.5%~3.0%以上;有机质热成熟度在生气窗范围之内, R_o 一般在1.1%以上,美国主要页岩

表1 页岩气开发关键参数下限(据斯伦贝谢,2006)

Table 1 Lower limit of key factors of gas-bearing shale utilization

参数	最低值
孔隙度	>4%
含水饱和度	<45%
含油饱和度	<5%
渗透率	>100nD
总有机碳含量	>2%

气层 R_o 为1.1%~3.5%,包括处于1.1%~2.0%生气高峰阶段的页岩气,也包括2.0%以上处于生气高峰后的页岩气,都有成功开发的实例。

富有机质页岩的厚度达一定规模,一般在15m以上,区域上连续稳定分布,TOC低的页岩的厚度一般在30m以上,要求有一定的保存条件,盆地中心区或构造斜坡区为有利区;脆性矿物、微裂缝发育,其中石英、方解石、长石等矿物含量大于30%~40%。大面积区域富集、连续分布,气藏面积与有效气源岩面积相当,因此资源量非常巨大,可能是常规资源的2~3倍或更多。

若要有效开发,必须应用先进的勘探开发技术来提高单井产量和采收率,并降低成本,主要技术包括水平井钻井、分段压裂等。

5 基本认识

页岩气为源岩区油气聚集。页岩气资源潜力为生气量与排气量之差。影响含气量的因素较多,其中有机质含量和压力的影响最大。

页岩气含气量可以通过解吸和测井方法获得,目前中国页岩气的岩电关系还没有建立,近期还主要通过解吸方法确定含气量。

含气量指标是页岩气地质评价、资源潜力预测和有利区优选的重要指标,但不是唯一的指标。开展页岩气地质评价需要综合地质特征、地球化学特征、储层理化特征、流体性质等多方面因素。

总之,中国页岩气还处于起步阶段,研究和勘查还不够深入,还面临大量的未知问题,需要不断加强实践和探索,在实践和探索中逐步推进页岩气的研究和勘探开发。

致谢: 本文在编写过程中得到张金川教授、龙鹏宇研究生的支持和帮助,在此表示感谢。

参考文献

- [1]Curtis J B. Fractured shale-gas systems[J]. AAPG Bull., 2002 ,86(11): 1921-1938.
- [2]Richard M Pollastro, Ronald J Hill, Daniel M Jarvie, et al. Assessing Undiscovered Resources of the Barnett-Paleozoic Total Petroleum System, Bend Arch -Fort Worth Basin Province, Texas, Online Adaptation of Presentation at AAPG Southwest Section Meeting[R]. Fort Worth, TX, March, 2003.
- [3]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.
- [4]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.
- [5]李玉喜, 张道勇. 我国油气储量、产量增长影响因素分析[J]. 地球学报, 2009,30(6):855-867.
- [6]Rick Lewis, David Ingraham, Marc Percy, et al. New Evaluation Techniques for Gas Shale Reservoirs[C]//Reservoir Symposium 2004. Schlumberger.
- [7]Daniel M Jarvie. Unconventional Shale Resource Plays: Shale -Gas and Shale Oil Opportunities[C]. Fort Worth Business Press meeting, 2008.
- [8]Daniel M Jarvie. Shale Gas: Making Gas and Oil From Shale Resource Systems[R]. Dalas Geological Society, 2010.
- [9]R Marc Bustin, A Bustin, D Ross, et al. Shale Gas Opportunities and Challenges[R]. (Adapted from oral presentation at AAPG Annual Convention, San Antonio, Texas, April 20-23, 2008), Search and Discovery Articles #40382 (2009), Posted February 20, 2009, University of British Columbia.
- [10]Noel B Waechter, George L Hampton III, James C Shipp. Overview of Coal and Shale Gas Measurement: Field and Laboratory Procedures[C]//International Coalbed Methane Symposium. 2004.
- [11]Charles Boyer, John Kieschnick, Roberto Suarez -Rivera, et al. Producing Gas From Its Source[C]//New Technique of Oil Field. 2006: 36-49.
- [12]李玉喜, 聂海宽, 龙鹏宇.我国富有机质泥页岩发育特点与页岩气战略选区[J].天然气工业, 2009,(12):115-118.