

页岩气储层的基本特征及其评价

蒋裕强<sup>1</sup> 董大忠<sup>2</sup> 漆 麟<sup>1</sup> 沈妍斐<sup>1</sup> 蒋 婵<sup>1</sup> 何溥为<sup>3</sup>

1. 西南石油大学资源与环境学院 2. 中国石油勘探开发研究院 3. 延长油田股份有限公司子长采油厂

蒋裕强等. 页岩气储层的基本特征及其评价. 天然气工业, 2010, 30(10): 7-12.

**摘 要** 页岩气独特的赋存状态,“连续成藏”的聚集模式,区别于常规天然气储层的特征以及评价内容等决定了页岩气储层研究的特殊性。目前,国内针对页岩气储层特征及评价的工作开展得相对较少,需要建立相应的评价标准。在大量调研国外文献的基础上,综合利用四川盆地最新的浅井钻探和野外露头取样资料,从常规储层研究思路入手,详细分析了页岩气储层的基本特征(有机质特征、矿物组成、物性特征、储渗空间特征),进而总结了页岩气储层评价的主要内容;同时,借鉴美国页岩气勘探成功经验,从实际资料出发,筛选出有机质丰度、热成熟度、含气性等 8 大关键地质因素,进而提出了一套较为适用的储层评价标准。据该标准评价后认为,四川盆地地下古生界筇竹寺组和龙马溪组 2 套海相黑色页岩具有良好的勘探开发前景。

**关键词** 页岩气 储集层 溶蚀孔隙 有机孔隙 裂缝 评价内容 评价标准 关键地质因素

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2010.10.002

页岩气是指主体上以吸附和游离状态存在于低孔隙度、特低渗透率,富有机质的暗色泥页岩或高碳泥页岩层系中的天然气。在页岩气藏中,天然气亦可存在于该层系中的粉、细砂岩,粉砂质泥岩或砂岩夹层中,在此讨论的页岩气储层专指页岩。页岩除具备储集条件外,还作为页岩气藏的烃源岩和盖层。如何对页岩这一特殊储层的特征进行描述、评价,正是笔者探讨的问题。

1 页岩气储层基本特征

1.1 有机质特征

页岩气储层中含有大量的有机质,其丰度与成熟

度对页岩气资源量有重要影响。页岩气吸附实验结果也表明,页岩中有机碳含量与页岩气的生气率具较好的正相关性<sup>[1-3]</sup>。在相同温压条件下,富有机质的页岩较贫有机质的页岩具有更多的微孔隙空间,能吸附更多的天然气,影响吸附气多寡的关键因素是有机碳含量的高低。

美国 5 大含气页岩的有机碳含量均较高,其中 Barnett 页岩有机碳含量介于 2.0%~7.0%,平均为 4.5%,Antrim 页岩和 New Albany 页岩有机碳含量部分超过 20%,吸附气含量最低为 13%,最高可达 70%(表 1)。笔者依据四川盆地最新浅井及露头分析资料,对该区下寒武统筇竹寺组和下志留统龙马溪组

表 1 美国主要含气页岩储层有机质特征统计表 %

页岩层系	Barnett	Antrim	New Albany	Lewis	Ohio	Woodford	Marcellus	Fayetteville	Haynesville
有机碳含量	2.0~7.0	0.3~24.0	1.0~25.0	0.5~2.5	0.0~4.7	1.0~14.0	0.5~4.0	4.0~9.3	0.5~4.0
镜质体反射率	1.0~2.1	0.4~0.6	0.4~0.8	1.6~1.9	0.4~1.3	1.1~3.0	1.5~3.0	1.0~4.0	0.4~0.6
吸附气含量	20	70	40~60	13~40	50				

注:据本文参考文献[4-9]数据修编。

基金项目:国土资源部全国油气资源战略选区调查与评价专项课题(编号:XQ-2009-14)、国家科技重大专项(编号:2008ZX05001-001)。

作者简介:蒋裕强,1963 年生,副教授;从事储层地质、油气藏地质、沉积学研究工作。地址:(610500)四川省成都市新都区新都大道 8 号西南石油大学。电话:13981828815。E-mail:xnsyjq3055@126.com

页岩进行分析,结果显示筇竹寺组有机碳含量为1.0%~11.07%,普遍大于1%;龙马溪组的有机碳含量一般分布在0.51%~4.88%,最高可达9%左右。可以推测,四川盆地地下古生界2套页岩吸附气含量应该是较高的。

从美国主要产页岩气盆地页岩气成因看包括生物成因气、热成因和两种混合成因气,即包含低成熟度页岩气(Antrim 页岩  $R_o$  为0.1%~0.6%)、高成熟度页岩气(Barnett 页岩  $R_o$  为1.0%~2.1%)和高低成熟度混合页岩气。由此可看出,页岩储层中有机质成熟度不是影响页岩气成藏的关键因素,但成熟度越高越有利于页岩气成藏。根据北美地区统计资料,页岩气成藏要求  $R_o > 1.3\%$ 。

四川盆地西南部筇竹寺组页岩总体热演化程度高,其  $R_o$  一般分布在1.83%~3.23%;长芯1井揭示该井龙马溪组页岩  $R_o$  值均超过3.0%,平均可达3.21%。2套页岩在区域上  $R_o$  最低也接近或大于2.0%,表明这2套页岩进入了过成熟演化阶段,具备形成页岩气藏的条件。伴随天然气生成作用产生的微裂缝也有利于储存更多的游离气。

1.2 矿物组成

页岩储层的矿物组成除常见的黏土矿物(伊利石、蒙皂石、高岭石)外,还混杂有石英、长石、云母、方解石、白云石、黄铁矿、磷灰石等矿物。

北美地区Barnett页岩的石英、长石和黄铁矿含量为20%~80%(其中石英含量为40%~60%),碳酸盐矿物含量低于25%,黏土矿物含量通常小于50%。四川盆地地下古生界2套页岩的X射线荧光衍射(XRD)分析结果总体与Barnett页岩相似(图1、表2),其石

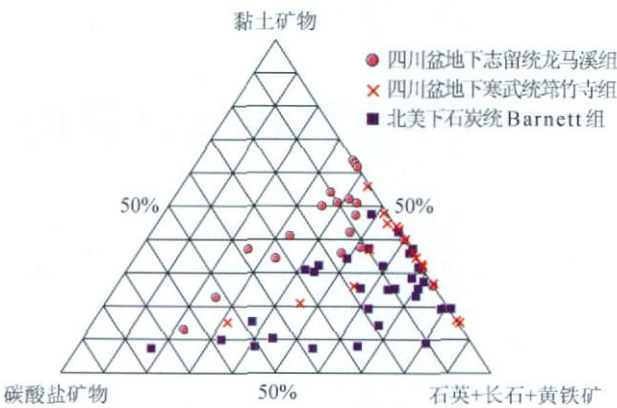


图 1 四川盆地及周边下古生界黑色页岩与北美 Barnett 页岩矿物组成对比三角图

英、长石和黄铁矿的平均含量为30%~64%,碳酸盐矿物的平均含量低于20%,极少数为0,黏土矿物含量平均在31%~51%。与Barnett页岩对比,龙马溪组的硅质含量偏少,筇竹寺组的含量偏多,但龙马溪组的碳酸盐矿物含量较高,而筇竹寺组的含量偏少。研究表明,石英等脆性矿物含量高有利于后期的压裂改造形成裂缝;碳酸盐矿物中方解石含量高的层段,易于溶蚀产生溶孔。

Bowker 研究认为, Barnett 页岩层中黏土矿物主要为微含蒙皂石的伊利石<sup>[10]</sup>。四川盆地及邻区筇竹寺组和龙马溪组页岩储层黏土矿物分析结果也表明其组成主要是伊利石,其次为绿泥石,不含蒙皂石,有少量的高岭石和伊/蒙混层(表3、图2)。筇竹寺组的伊利石含量较龙马溪组高,平均值为83.5%,I/S混层比在0~40%,平均为32.5%;龙马溪组的绿泥石平均含量为15.67%,I/S混层比平均为10.72%。

研究表明,页岩气储层中黏土矿物的含量与吸附

表 2 四川盆地及周缘下古生界黑色页岩储层 XRD 分析数据统计表 %

地区	层位	石英+长石+黄铁矿含量	碳酸盐矿物含量	黏土矿物含量
渝东南	龙	22.5~80.6/52.25	0.0~64.8/15.04	12.7~50.8/32.67
川南	马	25.5~46.8/35.64	10.0~37.7/20.23	34.2~54.0/44.13
川东北	溪	25.1~69.2/42.23	0.0~52.4/13.10	22.5~63.6/44.68
川北	组	37.7~60.2/45.18	0.0~6.7/3.35	39.8~62.3/51.48
川东北	筇	31.3~52.3/42.23	0.0~53.4/18.07	15.30~56.1/39.70
川北	竹	53.0~84.1/63.06	0.0~18.9/4.26	15.9~48.1/32.60
黔北	寺	55.8~84.7/64.38	0.0	15.3~44.2/35.62
渝东南	组	45.3~72.9/57.23	0.0~33.7/11.77	21.0~44.9/31.00
北美	Barnett	20~80	<25	<50

注:表中数据表示格式为,最小值~最大值/平均值。  
© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

表 3 四川盆地及邻区下古生界黑色页岩黏土矿物组成表 %

项 目	筇竹寺组			龙马溪组			
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
黏土矿物 相对含量	S	/	/	/	/	/	
	I/S	0	10	4.25	0	17	8.43
	I	65	100	83.50	56	100	75.40
	K	0	6	3.88	0	7	3.67
	C	0	29	11.00	0	24	15.67
	C/S	0	18	14.50	0	4	4.00
混层比	I/S	0	40	32.50	0	15	10.72
	C/S	0	45	40.00	0	30	30.00

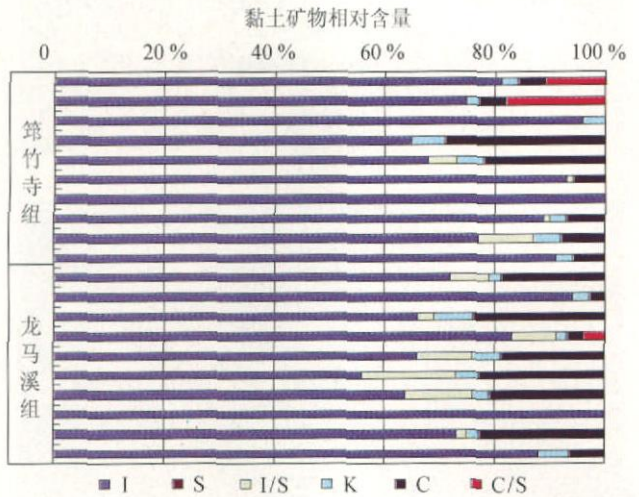


图 2 四川盆地及邻区下古生界黑色页岩黏土矿物相对含量变化图

气含量具有一定的关系, 其中最主要的是伊利石; 蒙皂石类膨胀性黏土矿物不利于对后期储层压裂造缝。

1.3 物性特征

北美地区页岩气储层物性评价采用了美国天然气研究所(1996)研制的 GRI 页岩岩心测定方法。该方法不仅可以测定页岩基质总的孔隙度, 还可以测定出含气孔隙度, 且测定出的页岩渗透率最低可达 $10^{-14}$

mD<sup>[11]</sup>。国内目前不具备此技术, 只能按常规储层物性分析方法测试, 故不能与北美页岩物性进行比对。

页岩气储层具低孔、特低渗致密的物性特征。美国主要产气页岩储层岩心分析总孔隙度分布在 2.0% ~ 14.00%, 平均为 4.22% ~ 6.51%; 测井孔隙度分布在 4.0% ~ 12.00%, 平均为 5.2%; 充气孔隙度分布在 1.0% ~ 7.5%, 充水孔隙度为 1.0% ~ 8.0% (表 4)。渗透率一般小于 0.1 mD, 平均喉道半径不到 0.005  $\mu\text{m}$ <sup>[2]</sup>。

四川盆地页岩储层物性分析取得部分孔隙度资料, 因渗透率测试灵敏度低未测出。资 2 井筇竹寺组黑色粉砂质页岩样品物性分析孔隙度分布在 1.0% ~ 2.5%, 平均孔隙度为 1.58%; 资 3 井硅质页岩的孔隙度为 0.12% ~ 0.70%。威 001-2 井筇竹寺组页岩储层的测井孔隙度在 0.69% ~ 3.08%, 平均值为 1.64%, 渗透率在 0.001 ~ 0.11 mD, 平均值为 0.019 mD<sup>[12-15]</sup>。阳深 2 井龙马溪组测井解释孔隙度一般为 1.0% ~ 5.0% (表 5)。阳 63、隆 32 等井在龙马溪组已测试获气流, 可见, 四川盆地地下古生界页岩具备储集条件。

北美地区主要页岩储层含水饱和度为 10% ~ 35% (表 4)。页岩储层的含水饱和度直接影响着含气量, 随页岩成熟度的增加产气量剧增, 而含水饱和度降低<sup>[10, 17]</sup>, 含水量高将降低产气效率。关于页岩气开发含水饱和度下限斯伦贝谢公司选取值为 45%<sup>[1]</sup>。

含油饱和度( $S_o$ )小于 5% 时才被认为是页岩气的有利勘探区<sup>[1]</sup>。这是因为, 一方面, 含油饱和度若过大势必降低含气饱和度; 另一方面, 油分子太大容易堵塞微米—纳米级别的微孔隙和喉道, 减慢气体的流速, 不利于页岩气的产出。

1.4 储渗空间特征

页岩储层的储渗空间可分为基质孔隙和裂缝。基质孔隙有残余原生孔隙、有机质生烃形成的微孔隙、黏土矿物伊利石化形成的微裂(孔)隙和不稳定矿物(如长石、方解石)溶蚀形成的溶蚀孔等。

表 4 北美主要产气页岩储层物性统计表

页岩层系	Woodford	Marcellus	Barnett	Fayetteville	Haynesville	Antrim	New Albany	Lewis	Ohio
渗透率/mD			0.01			< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
总孔隙度	3.0% ~ 9.0%	10.0%	4.0% ~ 5.0%	2.0% ~ 8.0%	8.0% ~ 9.0%	9.0%	10.0% ~ 14.0%	3.0% ~ 5.5%	4.7%
测井孔隙度	3.0% ~ 6.5%	5.5% ~ 7.5%	6.5% ~ 8.5%	4.0% ~ 12.0%	8.0% ~ 10.0%				
充气孔隙度			2.5%		6.0% ~ 7.5%	4.0%	5.0%	1.0% ~ 3.5%	2.0%
充水孔隙度			1.9%			4.0%	4.0% ~ 8.0%	1.0% ~ 2.0%	2.5% ~ 3.0%
含水饱和度	10%	12% ~ 35%	25% ~ 25%	15% ~ 35%	15% ~ 20%				

注: 据本文参考文献[2, 5, 6, 9, 16]等数据修编。

表 5 四川盆地地下古生界页岩储层岩心与测井孔隙度分析表

井号	层位	岩性	岩心孔隙度	
			区间值	平均值
资 2	筇竹寺组	粉砂质页岩	1.00% ~ 2.49%	1.58%
资 3	筇竹寺组	硅质页岩	0.12% ~ 0.70%	0.35%

井号	层位	岩性	测井孔隙度	
			区间值	平均值
威 001-2	筇竹寺组	黑色页岩	0.69% ~ 3.08%	1.64%
阳深 2	龙马溪组	黑色页岩	1.30% ~ 4.70%	

1.4.1 残余原生孔隙

主要是分散于片状黏土中的粉砂质颗粒间的孔隙。这部分孔隙与常规储层孔隙相似, 随埋藏深度增加而迅速减少。

1.4.2 有机孔隙

目前有研究认为, 页岩中的孔隙以有机质生烃形成的孔隙为主(图 3)。据 Jarvie 等人研究, 有机质含量为 7% 的页岩在生烃演化过程中, 消耗 35% 的有机碳可使页岩孔隙度增加 4.9%<sup>[18]</sup>。有机微孔的直径一般为 0.01~ 1 μm。

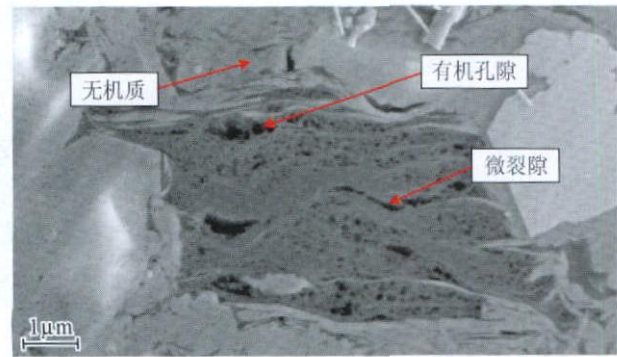


图 3 有机质生烃体积缩小形成的孔隙图<sup>[18]</sup>

1.4.3 伊利石化体积缩小的微裂(孔)隙

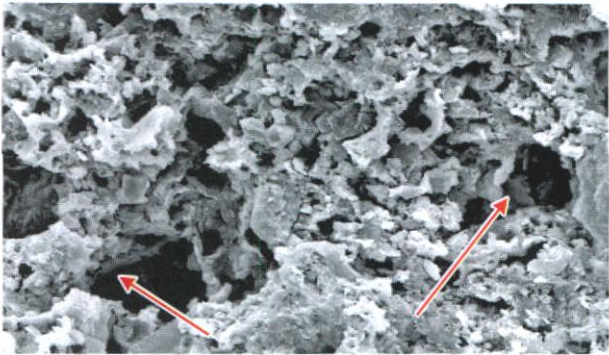
蒙皂石向伊利石转化是页岩成岩过程中重要的成岩变化。当孔隙水偏碱性、富钾离子时, 随着埋深增加, 蒙皂石向伊利石转化, 伴随体积减小而产生微裂(孔)隙。

1.4.4 次生溶蚀孔隙

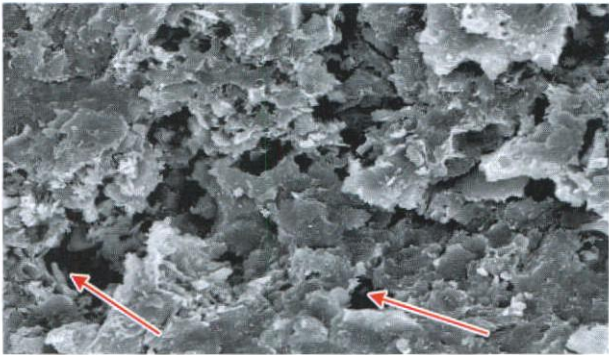
王正普等在鉴定川东及邻区志留系龙马溪组暗色泥质岩时见有发育的溶孔, 次生溶蚀孔隙的孔径多数在 0.01~ 0.05 mm, 少数在 0.05~ 0.60 mm, 连通孔隙率最低值仅为 0.82% (不含易溶矿物), 最高达 32.41%, 一般为 16%, 碳酸盐含量在 10%~ 30% 时最

易形成高孔段<sup>[19]</sup>。该类次生孔隙是由于有机质脱羧后产生的酸性水对页岩储层的碳酸盐矿物强烈溶蚀形成的。

笔者在研究中亦发现黑色页岩中颗粒被溶蚀的现象(图 4)。扫描电镜下溶蚀孔孔径为 15~ 20 μm, 孔缘不规则。上述孔隙的观察依赖于微米—纳米级电子显微镜分析技术。



(a) 重庆城口县石溪河剖面 龙马溪组 SE 1 000×



(b) 贵州金沙县岩孔剖面 牛蹄塘组 SE 2 000×

图 4 黑色页岩中颗粒被溶蚀现象图

1.4.5 裂缝

页岩储层中的裂缝多以微裂缝形式存在。其产生可能与断层和褶皱等构造运动相关, 也可能与有机质生烃时形成的轻微超压而使页岩储层破裂有关, 也有学者认为与差异水平压力有关<sup>[20]</sup>。

微裂缝对页岩气的产能增加有很大影响, 同时裂缝的存在也使得页岩气的开发变得格外复杂。一方面, 微裂缝发育并与大型断裂连通, 对于页岩气的保存条件极为不利; 地层水也会通过裂缝进入页岩储层, 使气井见水早, 含水上升快, 甚至可能暴性水淹。另一方面, 微裂缝发育不但可以为页岩气的游离富集提供储渗空间, 增加页岩气游离态天然气的含量; 而且, 微裂缝也有助于吸附态天然气的解析, 并成为页岩气运移、开采的通道。

2 储层评价内容及标准

2.1 评价内容

页岩气藏是典型的自生自储型气藏<sup>[21]</sup>, 因此评价页岩储层除与常规储层有相同的岩石学、物性等储层基本特征外, 还应考虑页岩气藏形成的含气性及能否被开采等要件<sup>[22]</sup>。为此, 结合美国页岩气勘探成功经验, 笔者筛选了 8 大关键地质因素尝试对页岩储层进行初步的评价(图 5)。

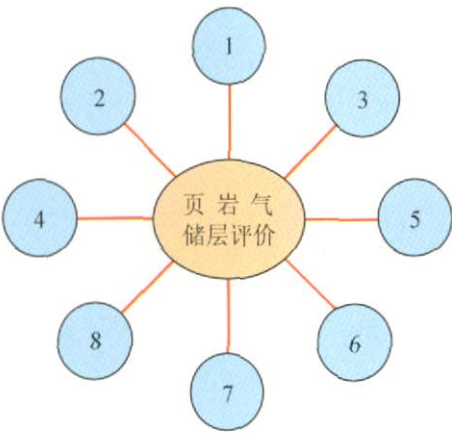


图 5 页岩储层评价内容示意图

- 1) 有机质丰度: 有机质含量高低直接影响页岩含气量的大小。有机质丰度越高, 页岩气含量越高。北美地区研究认为具有商业价值的页岩气藏有机碳含量一般大于 2%, 最高达 10%。
- 2) 热成熟度: 反映有机质是否已经进入热成熟生气阶段(生气窗)。因为有机质进入生气窗后, 生气量剧增, 有利于形成商业性页岩气藏。北美页岩气储层的  $R_o$  值一般大于 1.1%。
- 3) 含气性: 页岩气主要的存在形式是游离气与吸附气。故应根据现场损失气量测定及页岩等温吸附实验, 直接测定页岩的游离气量及吸附气量, 以评价页岩储层的含气性。
- 4) 页岩厚度: 指高伽马、富含有机质页岩的厚度, 因为富含有机质页岩厚度越大, 页岩气藏富集程度越高。页岩厚度和分布面积是保证有充足的储渗空间和有机质的重要条件, 一般要求直井厚度大于 30 m。由于水平钻井和分段压裂等技术的应用, 页岩有效厚度可能低于该下限值。
- 5) 储层物性: 通过页岩基质孔隙度、含气孔隙度、渗透率及含气饱和度测定以及裂缝组构和类型分析,

- 评价页岩储层的储气能力大小。
- 6) 矿物组成: 除硅质、钙质矿物外, 页岩储层中还包括黏土矿物。页岩储层的伊利石含量与吸附气含量有一定关系。硅质、钙质矿物成分越高, 页岩储层加砂压裂时, 越容易被压开。
- 7) 脆性: 页岩储层的基质渗透率很低, 需要裂缝才能形成工业产能。除本身的天然裂缝外, 在开发过程中还应考虑页岩储层在加砂压裂改造时, 是否易于被改造。脆性越大, 越易被改造。
- 8) 力学性质: 通过泊松比、杨氏模量等测定, 评价页岩储层的造缝能力。
- 以上指标 1) ~ 5) 主要评价页岩储层的储气量大小, 即地质储量(GPI); 而指标 6) ~ 8) 则是评价页岩储层是否易于改造, 能否最终将储藏在页岩中的天然气开采出来。
- 2.2 评价标准
- 根据上述评价内容, 笔者建立了相应的页岩气储层评价标准(表 6)。

表 6 页岩储层评价标准表

项目	关键评价参数	基本要求
有机质丰度	总有机碳含量	TOC>2%
	热成熟度	$R_o>1.1\%$ , 最好处在生气窗( $R_o>1.3\%$ )
无机矿物	石英或方解石含量	>40%
	黏土矿物含量	<30%
	黏土矿物组成	蒙皂石等膨胀性黏土矿物含量低
物性	渗透率	$K>10^{-4}$ mD
	含水饱和度	$S_w<40\%$
岩石	泊松比	$\mu<0.25$
力学	杨氏模量	$E>20\ 000$ MPa
厚度	高伽马页岩厚度	>30 m

四川盆地地下古生界筇竹寺组和龙马溪组页岩储层的有机碳含量普遍大于 2%,  $R_o$  值最低都大于 2.0%, 石英及方解石等脆性矿物含量均超过 40%, 黏土矿物含量低且不含蒙皂石, 其渗透率和含水饱和度均满足下限标准, 高伽马值黑色页岩厚度也在 30 m 以上。依照上述标准, 四川盆地筇竹寺组和龙马溪组海相黑色页岩具有勘探开发价值。

3 结论与认识

- 1) 页岩气藏是典型的“自生自储”气藏。作为储层

的页岩富含有机质, 有机质含量及成熟度对页岩含气量有着重要的影响。

2) 页岩储层具有独特的矿物组成。除黏土矿物外, 还含有不等量的石英、长石、云母、方解石等矿物。黏土矿物中伊利石含量高低与吸附气含量有一定关系。石英、长石等脆性矿物含量高, 有利于储层压裂改造; 方解石含量高则易于形成次生溶孔, 改善储集条件。

3) 页岩储层属特低渗一致密储层, 具备一定储集能力。孔隙类型多样, 孔径大小为微米—纳米级, 包括残余粒间孔、有机质生烃形成的微孔隙、溶蚀孔和黏土矿物伊利石化形成的微裂(孔)隙; 裂缝多为微裂缝, 其形成与构造运动、生烃超压、差异水平压力等有关。

4) 页岩气储层评价内容包括储层含气性、气藏可开采性等要件。基于有机质特征、无机矿物组成、物性及岩石学特征 4 个方面建立了页岩储层评价标准。

成文中, 中国石油西南油气田公司王世谦教授级高级工程师给予了热情指导, 特致以真诚的感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] BOYER C, KIESCHNICK J, LEWIS R E. Producing gas from its source[EB/OL]. [2010-08-20] <http://www.slb.com.cn/to/2006/Autumn2006/4.df>.
- [2] BOWKER K A. Barnett Shale gas production, Fort Worth Basin: issues and discussion[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 523-533.
- [3] CHALMSERS G R, BUSTIN R M. Lower Cretaceous gas shales of Northeastern British Columbia: geological controls on gas capacity and regional evaluation of a potential resource[C] // AAPG Annual Convention. San Antonio, Texas: AAPG, 2008.
- [4] MANGER K C, CURTIS J B. Geological influences on location and production of Antrim shale gas[J]. Devonian Gas Shales Technology Review (GRI), 1991, 7(2): 5-16.
- [5] CURTIS J B. Fractured shale gas system[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938.
- [6] WARLICK D. Gas shale and CBM development in North America[J]. Oil and Gas Financial Journal, 2006, 3(11): 1-5.
- [7] 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.

- [8] HILL D G, LOMBARDI T E. Fractured gas shale potential in New York[M]. Arvada, Colorado: [s. n.], 2002: 1-16.
- [9] HILL D G, NELSON C R. Reservoir properties of the Upper Cretaceous Lewis Shale, a new natural gas play in the San Juan Basin[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(8): 1240.
- [10] BOWKER K A. Recent developments of the Barnett Shale play, Fort Worth Basin[C] // Innovative Gas Exploration Concepts Symposium. Denver: [s. n.], 2002.
- [11] 闫存章, 黄玉珍, 葛春梅, 等. 页岩气是潜力巨大的非常规天然气资源[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 1-6.
- [12] 王世谦, 陈更生, 董大忠, 等. 四川盆地下古生界页岩气藏形成条件与勘探前景[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 51-58.
- [13] 王兰生, 邹春艳, 郑平, 等. 四川盆地下古生界存在页岩气的地球化学依据[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 59-62.
- [14] 程克明, 王世谦, 董大忠, 等. 上扬子区下寒武统筇竹寺组页岩气成藏条件[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 40-44.
- [15] 刘成林, 李景明, 李剑, 等. 中国天然气资源研究[J]. 西南石油学院学报, 2004, 26(1): 9-12.
- [16] 李新景, 吕宗刚, 董大忠, 等. 北美页岩气资源形成的地质条件[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 27-32.
- [17] 聂海宽, 唐玄, 边瑞康. 页岩气成藏控制因素及中国南方页岩气发育有利区预测[J]. 石油学报, 2009, 30(4): 484-491.
- [18] JARVIE D M, HILL R J, RUBLE T E, et al. Unconventional shale gas systems: the Mississippian Barnett Shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale gas assessment[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 475-499.
- [19] 王正普, 张荫本. 志留系暗色泥质岩中的溶孔[J]. 天然气工业, 1986, 6(2): 117-119.
- [20] 李荣, 孟英峰, 罗勇, 等. 泥页岩三轴蠕变实验及结果应用[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(3): 57-59.
- [21] 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): 15-18.
- [22] 朱华, 姜文利, 边瑞康, 等. 页岩气资源评价方法体系及其应用——以川西坳陷为例[J]. 天然气工业, 2009, 29(12): 130-134.

(收稿日期 2010-05-23 编辑 罗冬梅)

# ABSTRACTS AND AUTHORS

## Significance and possibilities of improving the percentage of natural gas in energy structure in China

Tong Xiaoguang

(Overseas Exploration and Development Company, PetroChina, Beijing 100034, China)

**NATUR. GAS IND. VOLUME 30, ISSUE 10, pp. 1-6, 10/25/2010. (ISSN 1000-0976; In Chinese)**

**Abstract:** Natural gas is a kind of clean energy source and its CO<sub>2</sub> emission is rather lower than that of coal and oil. In order to keep balance between meeting the rapidly increasing demand for energy and reducing the discharge amount of greenhouse gases, the energy structure has to be optimized, so undoubtedly the percentage of natural gas is to be improved, which is the short cut way for present China to step into a low-carbon economy. Up till now, the potential of global natural gas resources is more than what we predicted before, that is to say, there is rich natural gas resource all over the world. Our prediction results demonstrate that in China the ideal consumption of natural gas in 2030 will be 500 bcm, whereas by that time the annual domestic gas production will be about 250 bcm, to which besides conventional natural gas, coalbed methane and shale gas, the most possible unconventional gas sources, will contribute a lot, so the left half of natural gas consumption will have to turn to the imports. At present, the world demand for gas consumption is reducing due to the international financial crisis, while the U. S. shale gas is being highly developed at fast speed and numerous LNG projects have been put into production in the world. All this above provides China a good chance for importing a great sum of overseas gases, but the gas price is still the bottlenecking problem. So this paper points out that only if the problem of gas price is solved, the importing plan of overseas gases will be actually enacted.

**Key words:** China, improvement, natural gas, energy structure, percentage, low-carbon economy, importing overseas gas, gas price

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2010.10.001

**Tong Xiaoguang**, Academician of Chinese Academy of Engineering, born in 1935, graduated from Nanjing University with an M. Sc. degree in 1964. He has long been engaged in research and management of oil and gas geological exploration.

**Add:** No. 61, North Fuchengmen Street, Xicheng District, Beijing 100034, P. R. China

## Basic features and evaluation of shale gas reservoirs

Jiang Yuqiang<sup>1</sup>, Dong Dazhong<sup>2</sup>, Qi Lin<sup>1</sup>, Shen Yanfei<sup>1</sup>, Jiang Chan<sup>1</sup>, He Fuwei<sup>3</sup>

(1. School of Resources & Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;

2. Petroleum Exploration and Development Research Institute, PetroChina, Beijing 100083, China;

3. Zichang Production Plant, Yanchang Oilfield Co., Ltd., Zichang County, Shaanxi 717300, China)

**NATUR. GAS IND. VOLUME 30, ISSUE 10, pp. 7-12, 10/25/2010. (ISSN 1000-0976; In Chinese)**

**Abstract:** Shale gas reservoirs are featured by unique gas occurrence and continuous gas accumulation, and their characteristics and evaluation criteria are different from those of conventional gas reservoirs. Just due to the said peculiarities, related studies on shale gas reservoir features and evaluation are relatively poor at present in China, so it is essential to establish corresponding evaluation criteria. Based on an investigation into a number of literatures at home and abroad, in combination with the latest shallow exploratory drilling data and outcrop data in the Sichuan Basin, we performed an in-depth analysis of the basic features of shale gas reservoirs, including organic matter, mineral composition, physical properties, and poroperm characteristics, and presented the main contents of

shale gas reservoir evaluation. In addition, eight key geologic factors such as organic abundance, thermal maturity, and gas content, etc. are selected and corresponding evaluation criteria are established. According to these criteria, the Lower Palaeozoic Qiongzhusi and Longmaxi formations in the Sichuan Basin are favorable targets for marine black shale gas exploration.

**Key words:** shale gas, reservoir, dissolution pore, organic matter, fracture, evaluation content, evaluation criteria, key geologic factor

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2010.10.002

**Jiang Yuqiang**, associate professor, born in 1963, has long been engaged in research of reservoir geology and sedimentology.

**Add:** No. 8, Xindu Avenue, Xindu District, Chengdu, Sichuan 610500, P.R. China

**Tel:** + 86 13981828815 **E mail:** xnsyjq3055@126.com

## Characteristics of log responses and major control factors of the development of carbonate reservoirs in the Huanglong Formation, eastern Sichuan Basin

Zhang Bing<sup>1</sup>, Zheng Rongcai<sup>1</sup>, Dang Luru<sup>2</sup>, Zheng Chao<sup>2</sup>, Zhu Yixin<sup>2</sup>, Wen Huaguo<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Oil & Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Southwest Oil & Gasfield Company, PetroChina, Chongqing 400021, China)

**NATUR. GAS IND. VOLUME 30, ISSUE 10, pp. 13-17, 10/ 25/ 2010. (ISSN 1000-0976; In Chinese)**

**Abstract:** The Upper Carboniferous Huanglong Formation is the major gas pay zone in the eastern Sichuan Basin. Based on core observation, cast thin section analysis, SEM, core physical properties, and pore structure, we perform an in-depth study of the reservoir characteristics of the Huanglong Formation. The lithologies of the Huanglong Formation reservoirs are dominated by granular dolomite and crystalline dolomite as well as dolomitic karst breccia. The reservoir spaces are dominated by intercrystalline pores and intercrystalline dissolution pores, followed by inter granular dissolution pores, intra granular dissolution pores, moldic pores, super-large dissolution pores as well as dissolved fractures without cements. According to the electrical property contrast of reservoirs, we recognize 3 reservoir types including pore cavern fracture type, pore type, and fracture type and build corresponding log response models. The following conclusions are obtained. ① Detrital bank facies belt controls the distribution and scale of reservoirs. ② Thermal and burial dolomitization is the major mechanism of reservoir formation. ③ Karstification not only enlarges the scale of reservoirs but improves their quality.

**Key words:** eastern Sichuan Basin, Late Carboniferous, reservoir feature, log response, mode, diagenesis, sedimentary facies, karstification

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2010.10.003

**Zhang Bing**, born in 1981, holds a Ph. D degree and is engaged in research of petroleum geology and reservoir sedimentology.

**Add:** No. 1, Dongsan Rd., Erxianqiao, Chengdu, Sichuan 610059, P.R. China

**Tel:** + 86 13880183776 **E mail:** zb4819890@qq.com

## Numerical Simulation of gas detection through pulsed neutron logging while drilling

Zhang Feng<sup>1</sup>, Yuan Chao<sup>1,2</sup>, Hou Shuang<sup>1,2</sup>, Wang Xinguang<sup>1,2</sup>

(1. School of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China; 2. Key Laboratory of Well Logging, China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China)