

页岩气储层的基本特征与评价方式研究

蒋良云（中石化经纬有限公司西南测控公司，四川 成都 610000）

摘 要：页岩气是一种在本体上面，以对其进行吸附和游离的方式，在低孔隙度、特低渗透率、富有机物的暗色泥岩和高碳泥岩层系中存在的天然气，它不仅具有储存的作用，还可以作为页岩气藏的烃源岩和盖层。本文对我国页岩气储层的特点和评估方法进行了探讨。

关键词：页岩气储层；基本特征；评价方式

对于一个天然气的地层，其主要是以粉砂质、细砂岩、粉砂质泥或砂岩为主，本文所述的页岩气储层主要是以页岩为主^[1]。在对于这种独特的储层，如何描述和评价正是本论文要解决的问题。目前北美等国家获得了较好的开采条件，中国也正处于探索和努力阶段，力争在我国西部开展大规模的页岩气开采。在我国的油气资源开发过程中，页岩气储层的研究是油气资源开发早期阶段的重点，对于页岩气储层的精确定位有着十分重大的实际价值。

1 页岩气储层的基本特征

1.1 有机质特征

页岩气储层的矿物成分，包括了高岭石和石英，长石，方解石，磷灰石和黄铁矿石。在同等温度和压力下，富含有机质的泥岩比较贫有机质的泥岩更易形成微观孔隙，对气体的吸附能力也更强，而有机碳组分是决定其吸附能力的重要因子。通过对黏土矿物的分析，有关专家认为页岩气储层的黏土矿物中的总质量分数与其实际质量分数密切相关，其中以伊利石为例，而某些蒙皂石类中含有膨胀型粘粒矿物，对后期储层压裂施工不利。

表1为美国页岩储层有机矿物统计表，美国五个主要的含气页岩组均具有较高的总碳数，Barnett页岩的总碳数可达3%~8%，有的页岩总碳数可达20%。

表1 美国页岩储层有机特征统计表（%）

页岩层系	Barnett	New Altrem	Antrim	Lewis	Ohio
总有机碳量	2-7	1-25	0.3-24	0.5-2.5	0-4.7

1.2 矿物组成

页岩岩石矿物学特性是决定泥质孔隙、微裂发育程度、压裂改造模式以及储层的含气性的关键。在页岩储层中，脆性矿物与粘性矿物共同形成了最重要的组成部分，在这些成分当中，脆性矿物包括了方解石、黄铁矿、长石、石英、云母等。因为，黏性矿物的微孔隙容量和比表面面积比较大，可以对很多的气体进

行吸附，所以，在页岩的基质系统中，最重要的是通过粘性矿物含量的多少来判定页岩吸附气含量的好坏。虽然与粘性矿物相比，脆性矿物的气体吸附量较小，但其高脆性岩体更易产生裂隙或诱发裂隙，更易在后期发育网络型裂隙，利于油气开发^[1]。

1.3 物性特组成

我国的页岩气储层具有低孔隙率和超低渗透率的特点^[2]。对于某些页岩气储层，从其岩芯中的岩石样品可以看出，在整个页岩气储层中，其孔隙总量所占的比重在2.0%~14.00%之间，而其均值仅为4.22%~6.51%；真实的测井孔隙度，以4.0%~12.00%为主，其平均值约为5.2%；实际重启孔隙度分布区为1.0%~7.5%，而充水孔隙度区为1.0%~8.0%，实际渗透性低于0.1mD，均喉道径值低于0.005m。而页岩气储层的含水饱和性与其真实的含气量有很大关系，随着其成熟性的提高，本身的产量也会随之提高，但是，当其含水性较高时，其产量将会下降。但实际上，仅当含油量<5%时，该地区的页岩气储层将被视为较好的油气资源开发区。这是由于在某一层面上，当含油饱和度太高时，整个地层的含气含量都会下降，而从另外一个层面上进行的研究表明，其石油分子过大会造成其阻塞微米——纳米量级的某些微孔，从而降低了天然气的总体流动速度，从而对页岩气的产量产生不利的作用。

1.4 储渗空间特征

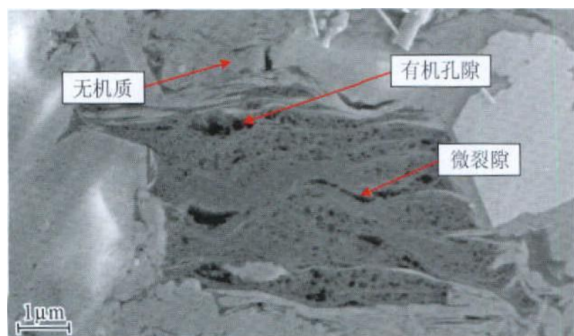
1.4.1 残余原生孔隙

即是某些粉沙石粒子间的空洞，这些空洞分布于薄层的粘土中。这种孔隙与某些常规页岩储层的孔隙相类似，在实际应用中，随着埋深的增加，在短期内是逐步减小的。

1.4.2 有机孔隙

从目前的研究来看，部分页岩气储层中存在着大量的由有机烃化生形成的孔隙型。在某些有机质含量

只有 7% 的泥质组中, 若在其生烃源岩中使用 35% 的有机碳, 可使页岩孔隙提高 4.9%, 而有有机微孔的粒径只有 0.01–1μm。

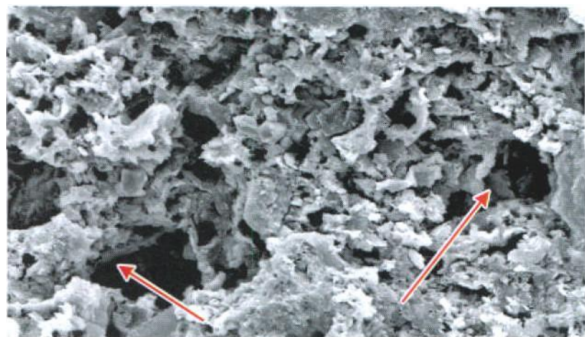


1.4.3 有机孔隙伊利石化体积缩小的微裂(孔)隙

在页岩成岩的过程中, 蒙皂石会慢慢地变成伊利石, 随着泥质含钾量的增大, 当它变成伊利石后, 它的数量会随着泥质成岩的速度而减小, 从而形成更细小的(孔)隙。

1.4.4 次生溶蚀孔隙

部分学者在对部分次生溶解性孔隙进行了研究, 结果表明, 大部分次生溶解性孔隙的孔径值在 0.01–0.05mm 之间, 只有很少一部分次生溶解性孔隙的孔径值在 0.05–0.60mm 之间, 它们的连通性最小达到 0.82%, 最大达到 32.41%, 一般情况下超过 16% 的居多, 而且由于碳酸盐岩的存在, 更易产生某些高孔。这种次生溶蚀孔隙的形成, 主要是由于有机质脱羧酸化后形成的酸液, 在一定程度上溶解了页岩气储层中的碳酸盐岩。



1.4.5 裂缝

在页岩储层中, 裂隙主要表现为微裂隙, 其产生与其本身所处的断裂和相应的褶皱等结构的的活动密切相关, 与此同时, 某些有机物在生烃过程中所造成的微弱的超压力等问题也会引起页岩储层集体破碎等问题的发生。在实际应用中, 微裂隙对提高和提高页岩气的产量有了重要影响。但是, 有些缝隙的出现, 在实际应用中也会对页岩气的开采造成一定程度的影

响, 这主要原因在于, 微裂隙的发展与某些大的断层相连接, 而这种问题对页岩气的保护不利。地层水也会通过这种缝隙问题, 而进入到整个页岩的储存层, 从而造成了某些气井在操作的时候, 会发生提前见水的问题, 从而使其含水量增加的速率变得更快, 更糟糕的情况下, 还会发生一些爆炸性的水浸。与此同时, 在实际应用中, 微裂隙的发展能够给整个页岩气本身的游离富集形成良好的储存渗空间, 从而能够对其进行更好的存储和渗透, 能够对其中的游离状态下的气体进行有效的提高。此外, 某些微观裂隙还能对其进行高效的吸收性分析, 为其输送和开发奠定了基础。

1.5 含气性性质

页岩气储层中是否存在具有工业应用价值的天然气一直是人们关注的焦点。页岩气主要以游离、吸附和溶解三种形式存在, 且主要以吸附和游离为主, 仅有少数可溶。因而, 目前对页岩储层的研究多以游离和吸附态为主。

1.5.1 游离气

游离气主要存在于泥页岩微孔隙与微裂缝中, 其含气量可以通过现场解析和体积法计算得出游离气量。由于现场解析成本较高, 取样有限, 体积法计算游离气量是最常用的方法, 单位质量泥页岩游离含气量 q_f 计算公式为: $q_f = \Phi_g S_g / (B_g \beta)^{[3]}$

式中: Φ_g 为孔隙度, S_g 为含气饱和度, B_g 为压缩因子; β 为泥页岩密度, t/m^3 。

1.5.2 吸附气

吸附气的含量, 可以通过现场解析、等温吸附模拟试验及关联分析法来进行计算附气含量, 在这些气体当中, 现场解析和等温吸附模拟试验的费用很高, 样本的数目也很少, 相关性分析法是一种比较实际的方法。在此基础上, 分析有机碳含量和黏土矿物含量对页岩气的吸收性和吸附性的作用, 并构建二者的函数关系, 进而得到不经过等温吸附试验的页岩气的吸收性。关于页岩气储层含气性的影响因子, 国际上学者们的结果显示, 其主要可以概括为两个方面: 一个是, 在其自身的特性, 也就是, 孔隙度、有机碳含量、矿物组分等。另外一个外界条件, 如温度, 压力, 埋深等。

2 页岩气储层评价研究

2.1 评价方式分析

2.1.1 有机质丰度

有机质的数量与整个页岩的含气量有很大的关

联,而当有机质的数量比较多时,总体上的天然气数量也就会比较多。在实际应用中,在某些有机碳的数量 $> 2\%$,甚至超过 10% 的页岩气储层是最具经济意义的。

2.1.2 热成熟度

如果在一个热性的发育时期,当有机物质进入到一个气性窗口时,它的整个气性总量就会明显的增大,从而会产生更高的价值的页岩气。

2.1.3 含气性

页岩气以游离气和吸附气的形式存在,对于这种情况,在实际应用中,一定要以实地损失气量的测定和页岩储层等温吸附等试验为基础,对页岩储层的游离气量和吸附气量进行直接的测定,只有在这种情况下,才能准确地对页岩储层的含气性进行测量。

2.1.4 页岩厚度

即某一种富有机质的页岩的厚度,页岩的总含量较高。而页岩的厚度和分布的区域是保证其拥有足够的储渗透空间和有机质的重要条件,在一般情况下,其直井厚度要 $> 30\text{m}$ 。

2.1.5 储层物性

其关键在于,对页岩基质的孔隙度、实际含气孔隙度、渗透率、含气饱和度测定、裂缝的构成、其总体种类等有关的要素进行了综合的研究,从而判断出页岩基质储存层的容量的大小。

2.1.6 矿物构成

目前通常采用逐步剥离的方法来计算页岩气储层复杂矿物组分,三孔隙度曲线加上光电截面指数为理论依据,以四条测井曲线为基础建立线性方程组,通过对四个测井点的数据进行回归分析,获得不含黏土的石英、长石、方解石和白云石。由于页岩气储层中含有大量的有机无机化合物(如黄铁矿)和其他无机化合物,利用传统的分析手段无法获得其组成信息^[2]。

在页岩储层中,黏土矿物、钙质矿物和硅质矿物是最常见的矿物。伊利石全组分的多少与其本身的吸收性气体的多少有关。可以说,随着其含量的增加,在用沙石进行压裂的过程中,就越容易压开。

2.1.7 脆性

页岩气藏大量储层是我国页岩气田重要的油气资源,已开展了多项指标的分析,结果表明,以页岩脆性指数、页岩有机碳、地层压强等指标为主要指标,可以对页岩气储层中的油气资源进行全面评估。以有机质为指标,分析了不同类型的有机质对含气程度的

影响,储层压力指数可以体现出气源丰度,而且,超压对微细缝的形成有利影响,岩体的脆性指标直接体现了页岩的微观裂隙的发展状况,因此,更高的岩体脆性指标对压裂及后续的开发更有利^[3]。

在页岩储层中,其本身的基质渗透率比较小,只要有裂缝的存在,其总体的经济价值就会得到提高,因此,在实际应用中,要在天然缝隙的基础上进行开采,要在对其进行加砂压裂改造,从而提高其总体的经济价值,总体而言,脆性越高,其转化也就更简单。

2.1.8 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。

2.2 评价标准

根据上述评价内容,本文建立了相应的页岩气储层评价标准。

表 2

项目	评价参数	要求
有机质丰度	总有机含碳量	TOC $> 2\%$
	热成熟度	$R_0 > 1.1\%$
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	蒙皂石等膨胀黏土矿物含量低
物性	渗透率	$K > 10^{-4}\text{mD}$
	含水饱和度	$S_w < 40\%$
岩石力学	泊松比	$\mu < 0.25$
	杨氏模量	$c > 20000\text{MPa}$
深度	高伽马页岩厚度	$> 30\text{m}$

3 结论

与一般的普通的砂岩储层相比,页岩气具有较大的开采难度。页岩储层以微小的纳米级微观孔隙微裂痕为主,是其主要储集体。可以说,页岩气储层的独特性质,直接导致了储层流体的独特性质。中国有机质页岩普遍分布,蕴藏着丰富的有机质潜力,是一种极具发展潜力的有机质页岩,但因其发展滞后,基础理论和技术的缺乏,至今尚未实现产业化生产。我国的页岩气储层的研究,对我国油气勘探与开采具有重大意义。

参考文献:

- [1] 乔辉,贾爱林,贾成业,位云生.页岩气储层关键参数评价及进展[J].地质科技情报,2018,37(02):157-164.
- [2] 李娜.页岩气储层评价与储量计算[D].沈阳:东北石油大学,2017.
- [3] 蒋裕强,董大忠,漆麟,沈妍斐,蒋婵,何溥为.页岩气储层的基本特征及其评价[J].天然气工业,2010,30(10):7-12+113-114.