

页岩渗透率测试方法研究

王 拓¹⁾, 朱如凯^{1,2)}, 白 斌¹⁾, 崔景伟¹⁾, 吴松涛¹⁾

1) 中国石油勘探开发研究院, 北京, 100083; 2) 提高石油采收率国家重点实验室, 北京, 100083

近年来美国形成包括Barnett页岩在内的 8 个页岩区产区, 中国国土资源部 2011 年估算中国页岩气可采资源量为 $25 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。页岩作为细粒沉积物储层致密, 孔隙度一般小于 5%, 地层渗透率仅为几百纳达西, 准确测定页岩渗透率对页岩气开采具有重要的意义。

1 页岩渗透率测定意义

页岩气呈吸附和游离两种状态赋存于页岩的纳米级孔隙中, 吸附气含量为 20%~85%, 游离气

含量为 15%~80%, 与常规天然气相似, 储层物性愈好, 游离气含量愈高。页岩气在页岩裂缝和基质中流动机理包括解吸、扩散和达西流动^[1]。具体过称为: ①在压降的作用下, 页岩气从纳米孔隙壁上解吸, 在干酪根/粘土以及纳米孔隙基质内向表面解吸流动扩散; ②在浓度差作用下, 页岩气由基质向裂缝中扩散; ③裂缝中游离气向井底流动, 裂缝中压力降低; ④在流体势作用下, 页岩气遵循达西定律流向井筒, 见图 1。

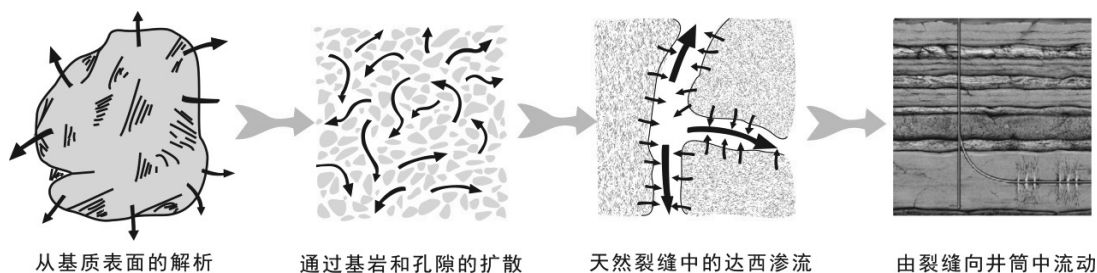


图 1 页岩气在页岩中的流动机理

渗透率是表征气体运移能力的一个物理量^[2]。Sondergeld 指出页岩裂缝渗透率一般在 0.001~0.1mD, 基质渗透率在 10^{-9} ~ 10^{-5} mD, Javadpour 等则通过实验测得页岩基质渗透率为 10^{-6} mD。因页岩气藏渗透率远低于常规气藏, 采用传统测试方法得出的结果将不能准确测定, 不同实验室测定结果常相差 2 到 3 个数量级 (Passey 等, 2010; Freeman, 2010)。而页岩基质渗透率是页岩气流动性的重要参数, 是计算页岩气技术可采产量的重要依据, 对页岩气开发具有重要意义。

2 页岩渗透率测试方法

页岩储层渗透率测试方法分为稳态法、非稳态法和解吸流动法。

(1) 稳态法: 稳定流法属于达西流测试方法, 该方法存在 3 个主要问题: ①气体在低渗透介质中渗流存在非达西流动特点, 应用达西流动公式计算渗透率不准确; ②介质渗透率很低, 需要很高的驱替压差和很长的稳定时间; ③操作时需人为记录数据, 误差较大。

注: 本文为国家油气重大专项 (编号 2008ZX05001) 和中国石油长庆油田致密油示范工程项目联合资助成果。

收稿日期: 2013-03-13; 改回日期: 2013-03-31; 责任编辑: 周健。

作者简介: 王拓, 男, 1988 年生, 陕西富平人, 现中国石油勘探开发研究院硕士研究生在读, 研究方向为非常规油气储层。电话: 86+10-83595345, E-mail: outgnaw@163.com。

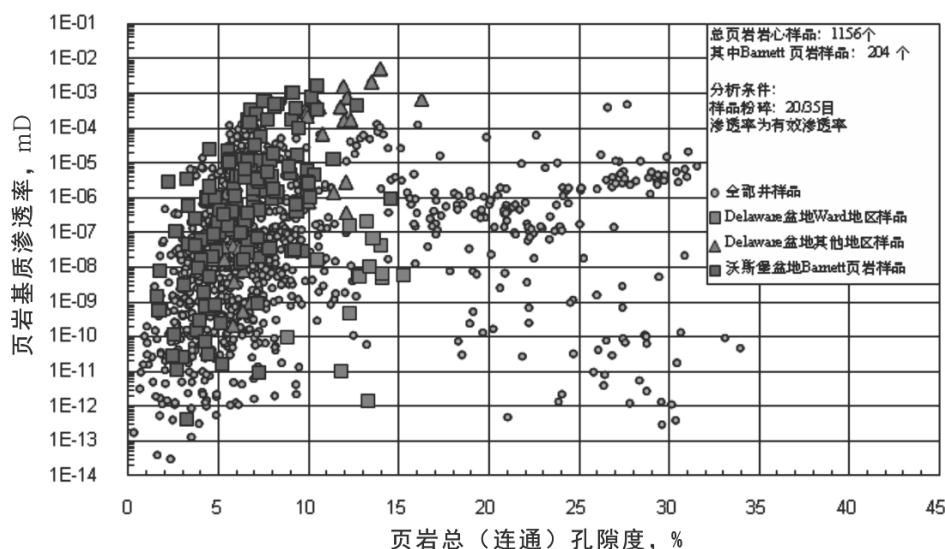


图2 美国产气页岩储层孔隙度-渗透率关系 (据美国天然气研究所, 2006)

(2) 非稳态渗透率测试法: 对于页岩等致密储层, 非稳态有效克服了稳态法的缺点, 在页岩储层渗透率测试中应用效果良好。非稳态渗透率测试法包括了脉冲衰减法和恒速压汞法, 其中脉冲衰减法具备较高的测试效率和精度, 能够测试不同围压条件下储层渗透率, 为页岩储层原始条件下的渗透率测试提供了有效手段。恒速压汞法精度相对较低, 测试结果可作为参考数据。脉冲衰减法主要划分为岩心柱脉冲衰减法、岩屑脉冲衰减法两种脉冲衰减渗透率测试方法。岩心柱脉冲法适用于对页岩等致密储层进行精密的渗透率测试, 岩屑脉冲衰减法不受样品形状限制, 缩小了样品测试尺寸, 能避免天然裂缝的影响, 为页岩基质渗透率测试提供有效手段。图2是美国天然气研究所(GRI)对北美部分页岩气产区的页岩孔渗数据测试结果。

(3) 解吸流动法: 页岩中吸附气占总产气量的20%~80%, 吸附气的解吸是页岩气开采中的重要机制之一, 岩气井稳产期较长主要是因为气井后

期生产的天然气主要来自储层中的吸附气。当存在气体解析时, 选择氦气或甲烷气, 用解吸流动法测定页岩的基质渗透率。

总之, 目前测量页岩气渗透率的各种方法存在以下两个问题: ① 围压下页岩不会发生解吸, 压力脉冲和压汞方法低估了其渗透率; ② 理论上渗透率是岩石自身的性质, 因此它不随压力及气体流动类型变化而变化。但对于页岩气而言, 其微观尺度下发生的克氏滑脱, 会增大页岩气的渗透率。因此, 对于页岩渗透率的计算公式(考虑滑脱效应)和测试方法仍需进一步改进。

参考文献 / References

- Roger M.Slatt, Prema Singh, et al. 2009. Workflow for Stratigraphic Characterization of Unconventional Gas Shale. SPE 119891
- F. Javadpour. 2009. Nanopores and Apparent Permeability of Gas Flow in Mudrocks (Shales and