

天然气封盖层的突破压力

邓祖佑¹, 王少昌², 姜正龙², 陈昭年¹

(1. 中国地质大学能源系, 北京 100083; 2. 石油勘探开发科学研究院廊坊分院, 河北廊坊 065007)

摘要: 突破压力的模拟实验方法是利用已取得的盖层岩芯样品, 模拟到地下赋存状态, 用气体排驱直至气体突破, 求得的近似排替压力值即为突破压力。通过模拟实验研究发现, 突破压力主要受控于渗透率, 随渗透率的减小而增大; 而介质、孔隙度等也都影响着突破压力。渗透率相同, 饱含介质由气→油→水突破压力逐次成倍增加。孔隙度与突破压力则呈反向相关关系, 孔隙度越大, 突破压力越小。利用以突破压力为主的相关参数, 将盖层封闭性能划分为 6 个等级, 建立了适合我国特点的天然气封盖层封闭能力的综合分级评价标准。

关键词: 盖层; 突破压力; 模拟实验; 渗透率; 分级评价标准

第一作者简介: 邓祖佑, 男, 34 岁, 博士生, 石油地质

中图分类号: P618.13 **文献标识码:** A

气藏的形成除了要有储集空间外, 还要有阻止天然气逸散的盖层。一般来讲, 盖层应具有很高的毛细管排替压力, 以克制油气藏的剩余压力, 使油气不能向上运移逸散, 从而形成毛细管压力封闭。当盖层毛细管排替压力小于油气藏的剩余压力时, 天然气就要通过盖层渗滤散失, 很难形成封闭。

当然, 天然气向储集层的充填与通过盖层的逸散(逸散方式包括渗滤和扩散)是一个动平衡过程。如果充填大于逸散, 仍然可以形成气藏。本文运用模拟实验手段, 测得岩样的突破压力, 探讨盖层的渗透率、孔隙度等影响因素对突破压力的控制作用, 探求突破压力作为评价天然气封盖层封闭性能最直接的依据。

1 模拟实验

模拟实验方法是利用已取得的封盖层岩芯, 模拟其在地下的赋存状态, 用实验的方法求得突破压力。操作中, 先根据井深标定环压, 再使岩芯样品分别呈干层、油(气)层和水层的状态(岩芯分别饱含空气、煤油、水), 用气体排驱, 并定时加压, 直至气体突破, 求得近似排替压力值即为突破压力。

将岩芯加工成直径为 2.5 cm 的小岩芯柱, 用氮气测定准备好的岩样孔隙体积, 在模拟地层压力条件下, 测定岩样的气体渗透率。渗透率特低的岩芯, 其气体渗透能力并不服从达西定律, 总是存在

一个起始压力(即突破压力或门槛压力), 低于这个压力, 气体是不会流动的。

测试样品遇水后呈 3 种状态: 对于遇水极易膨胀破碎的泥岩样品, 将其置于高压岩芯夹持器里再高压饱和煤油或模拟油后, 用气体排驱测量排替压力; 对于遇水膨胀但不破碎的样品, 装在高压岩芯夹持器里高压饱和盐水后, 分别测量气体和煤油或模拟油的排替压力; 对于遇水不膨胀的致密岩样可先在高压容器里高压饱和盐水, 然后装入高压岩芯夹持器里, 测量气体和煤油或模拟油的排替压力。

模拟实验法测得的突破压力比真正的排替压力略高, 精度受实验时间和操作水平影响较大, 但长时间测试得到的突破压力基本接近排替压力。

2 影响因素

突破压力是反映盖层封闭能力最根本、最直接的评价参数, 影响突破压力的因素除泥质含量、成岩作用、裂缝等因素外, 主要是以下因素。

2.1 渗透率

按照实验流程, 在饱含不同介质(空气、煤油和水)条件下, 对 500 余块不同时代地层(古生界、中生界、新生界)岩芯样品进行了测试, 求得多项物理参数。以气体绝对渗透率为横坐标, 饱含不同介质(空气、煤油和水)条件下所取得的突破压力为纵坐标, 在双对数坐标上投点, 作回归曲线, 二者呈反向线性相关关系(图 1), 说明突破压力主要受控于渗透率, 随着渗透率的减小而增大。

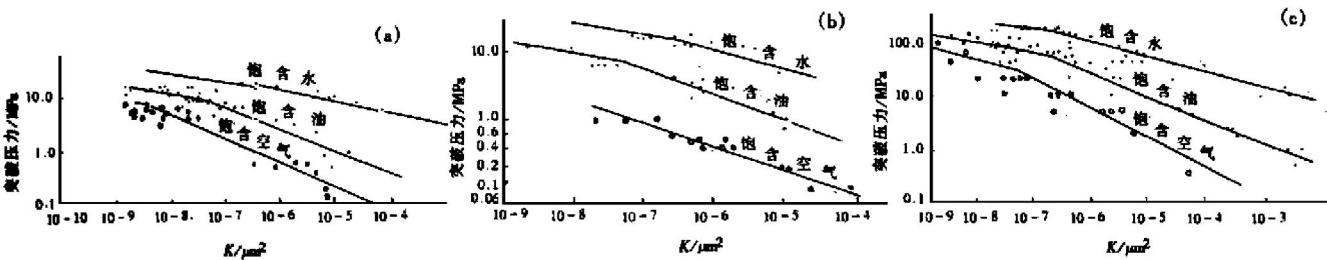


图 1 华北地区古生界(a)、中生界(b)、新生界(c)泥质岩封盖层突破压力(饱含不同介质) 与渗透率关系图

Fig. 1 Relationship between permeability and breaking pressure of mud cover rocks (comprising different medium) in Paleozoic, Mesozoic, Cenozoic of Northern China

2.2 介质

同一块岩芯样品, 依饱含的介质由气 → 油 → 水, 突破压力逐次成倍增加。样品渗透率越大, 增

加的倍数越大(表 1) 。实验近千块样品, 都说明这种规律性很强。由此说明同一岩性的封盖层所处的地质环境不同, 其封闭能力差异巨大。

表 1 同一样品饱含不同介质时突破压力与渗透率数据表

Table1. Data of breaking pressure and permeability during comprising different medium in same sample

井号	井深/m	常规物性		饱含空气		饱含煤油		饱含水	
		渗透率/ μm^2	孔隙度/ $\%$	渗透率/ μm^2	排替压力/MPa	渗透率/ μm^2	排替压力/MPa	渗透率/ μm^2	排替压力/MPa
乾 131	1 881.4	1.55×10^{-4}	4.19	6.94×10^{-5}	0.02	1.74×10^{-6}	0.8	1.43×10^{-7}	2.0
英 108	1 391.5	5.9×10^{-5}	10.2	2.88×10^{-5}	0.05	6.01×10^{-7}	0.8	6.80×10^{-9}	10.0
英 109	1 554.1	9.2×10^{-6}	12.5	4.10×10^{-6}	0.3	1.32×10^{-8}	4.0	4.91×10^{-9}	14.0
大 202	1 818.3	1.05×10^{-6}	3.79	5.50×10^{-7}	0.6	1.20×10^{-8}	10.5	2.40×10^{-9}	16.0

2.3 孔隙度

盖层突破压力与孔隙度关系的一般规律是, 孔隙度越大, 突破压力越小, 二者呈反向相关关系(图 2) 。相同突破压力条件下, 孔隙度由小到大所对应的饱含

不同介质的顺序是: 空气 → 煤油 → 水; 相同突破压力条件下, 盖层的地层时代由老到新, 孔隙度由小到大, 即孔隙度由小到大的顺序是: 下古生界碳酸盐岩 → 上古生界泥质岩 → 中生界泥质岩 → 新生界泥质岩。

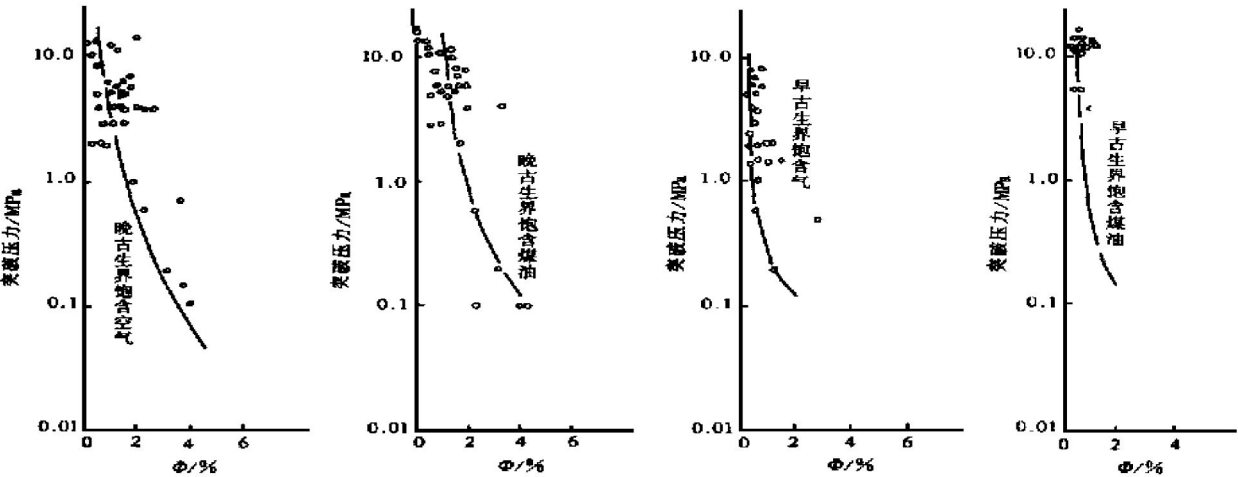


图 2 华北地区古生界天然气封盖层突破压力与孔隙度关系图

Fig. 2 Relationship between porosity and breaking pressure of Paleozoic gas cap rocks in Northern China

3 盖层评价

根据对我国 14 个储量大于 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的天然气藏的统计, 区域盖层中泥质岩有 13 个, 占 93%; 膏盐岩 1 个, 占 7%。直接盖层中泥质岩有 11 个, 占 79%; 膏盐岩 3 个, 占 21%。由此可见, 我国天然气盖层主要是泥质岩。因此, 用一个统一的

标准来度量封盖层的封闭能力, 建立定量评价标准, 就显得非常重要。

从前面的分析可以看出, 对于封盖层封闭能力分类评价最直接的参数是突破压力。国内外的一些学者, 如前苏联的哈宁和皮利普等, 我国的王少昌^[1]、游秀玲^[2]、郝石生^[3]、许化政^[4]等都从突破压力出发, 综合利用岩性、孔隙结构参数、压汞-吸附

法分析实验参数等其他一些因素,分别建立了盖层遮挡能力分级评价标准。虽然所取参数、方法各异,有的是实测、有的是计算引伸,但均使盖层的评价逐步定量化。

八五期间,我们从建立盖层实验室开始,着手改进测试方法,取得测试的基础资料,以此为基础进行盖层封闭能力的综合评价研究。通过对上千块样品突破压力的测试和几百块样品进行盖层配

套实验分析(包括突破压力、吸附、扩散、比表面等 10 项参数),同时分析了我国 50 个大、中、小型气田(藏)的气柱高度与排替压力值,并充分考虑了度量渗滤、扩散和水溶散失等参数,系统整理了以实验为基础的大量资料,利用分析判别、统计归纳多因子判别等方法,最终提出了以突破压力为主的 12 个参数综合判别盖层的封闭能力的分级评价标准,共划分出 6 个等级(表 2)。饱含空气时岩石的

表 2 天然气封盖层封闭能力分级评价表

Table. 2 Complex grading evaluation of sealing ability in gas cap rocks

气体绝对渗透率/ μm^2	孔隙度/%	饱含不同介质突破压力/MPa			孔隙优势半径/ 10^{-10}m	比表面/ $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$	CH_4 吸附量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	扩散系数/ $\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$	绿泥石含量/%	裂隙发育程度	主要岩性	封盖层分级
		饱含空气	饱含煤油	饱含地层水								
10^{-9}	1.5	6.8	14.9	30	10	> 15	5	10^{-9}	5	无	盐岩、泥质岩、铝土岩	1(最好)
10^{-8}	> 2	3.9	10.5	24.3	> 20	> 30	> 4	10^{-8}	8	无	泥质岩、碳质泥岩、灰岩	2(好 ^上)
10^{-7}	> 5	1.53	6	17.3	> 30	> 40	> 3	10^{-7}	15	无	泥质粉砂岩、粉砂质泥岩	3(好 ^下)
10^{-6}	> 7	0.55	2.6	11.4	> 40	> 60	> 2	10^{-6}	20	微	泥质粉砂岩、粉砂质泥岩	4(一般)
10^{-5}	> 7	0.2	1.05	6.67	< 40	> 60	< 2	10^{-5}	< 20	微	泥质细砂岩、泥质粉砂岩	5(差)
10^{-4}	10	0.07	0.4	3.7	< 40	80	< 2	10^{-4}	< 20	微	泥质细砂岩、粉砂岩	(特殊条件可做盖层)

突破压力分为: 6.8, 3.9, 1.53, 0.55, 0.2, 0.07 MPa。

该分级评价标准有以下特点:

(1) 所有参数都以模拟实验为依据,且大量数据测到了渗透率为 $1.0 \times 10^{-7} \mu\text{m}^2$ 的较好盖层突破压力,接近排替压力值。

(2) 有我国大中型气田气层浮力作为衡量标准,说明该评价标准适合我国气田特点,符合客观地质条件的实际应用。

(3) 建立了所列参数的相关关系,在生产上利用常规特性数据即能判识盖层封闭能力,因而更具有实用性。

(4) 考虑了盖层所处不同地质环境的赋存状态,接近生产实际。

同时应说明,该标准反映了我国天然气封盖层的一般规律,具体到每个盆地则略有差异。

参 考 文 献

- 1 王少昌,裴锡古. 陕甘宁盆地上古生界泥质岩封盖能力研究[J]. 石油学报, 1987, 8(2): 25~ 32
- 2 游秀玲. 天然气封盖层评价方法探讨[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(3): 1~ 10
- 3 郝石生,黄志龙. 天然气运聚动平衡及其应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994
- 4 许化政. 渤海湾盆地泥岩封闭性能研究[J]. 天然气工业, 1991, 11(6): 1~ 5

BREAKING PRESSURE OF GAS CAP ROCKS

Deng Zuyou¹, Wang Shaochang², Jiang Zhenglong², Chen Zhaonian¹

(1. Resources Department, China University of Geosciences, Beijing; 2. Langfang Brand, Research Institute of petroleum Survey & development, CNPC, Langfang)

Abstract: According to a modeling experiment, breaking pressure is apprioximatly calculated by the alternate drive force of gas drived into the core samples of cap strata, the samples were set in a status similar to its real geological *status quo anter*. It is found that the breaking pressure increases with the decreasing of permeability. Under the same permeability, the breaking pressure in gas-, oil- and water-bearing stata double one by one; the relation between breaking pressure and porosity is in reverse correlation. According to the parameters of the pressure, the sealing abilities of the cap rocks could be divided into six grades, and the complex grading evaluation criteria of gas cap rock sealing ability that is suitable for China is established.

Key Words: cap rock; breaking pressure; modeling experiment; permeability; grading evaluation criteria