

煤储层的孔隙度、相对渗透率特征 及其测定方法

侯瑞云

(华北石油地质局规划设计研究院, 郑州 450006)

煤储层不同于常规的天然气储层,煤岩本身既是气源岩又是储集岩。作为储层,煤岩孔隙结构有其特殊性,煤层气的储集、产出机理也不同于常规储层。与常规油气储层对比,本文对煤储层的孔隙度,相对渗透率特征及其测定方法进行了介绍。

关键词 割理孔隙度 基岩孔隙度 气-水相对渗透率

作者简介 侯瑞云 女 31岁 工程师 石油地质

1 煤储层的基本特征

深埋地下的煤层在上覆地层压力和地热作用下,生成大量的甲烷气体和水,其中一部分甲烷气体和水保存于煤层中,构成所谓的煤层气。由于煤基岩微孔隙极其发育,具有极大的内表面积($100\text{m}^2/\text{g}\sim 400\text{m}^2/\text{g}$),因此煤层气中80%的气体以吸附形式存在于煤基岩微孔隙中。

煤储层具有双重孔隙介质结构。煤岩在成岩演化过程中发育一组呈直角相交、垂直层面的微裂隙(煤层气研究中统称割理),将煤岩分割成小块,称基岩块。煤基岩块内发育微孔隙,孔隙直径多为 $1\sim 2\text{nm}$ (图1)。储层条件下,割理网络通常为水饱和,是流体流动的通道,基岩微孔隙吸附气体,是煤层气吸附存在的场所。

在煤层气钻井排采过程中,由于煤储层割理网络为水饱和,所以首先排出的流体相为水相。随着水的排出,煤储层压力降低,煤基岩微孔隙内的吸附气体开始解吸并扩散进入割理网络,当割理内游离气体的浓度达到一定程度,足以克服水相阻力时,产生气、水两相流运动,从而有气相产出(图2)。井筒附近起初为单相流状态,然后为非饱和流状态,进而为两相流状态。

2 煤储层孔隙度,相对渗透率特征及其在煤储层评价中的作用

2.1 煤岩割理孔隙度、基岩孔隙度及其特征

煤储层孔隙分为割理孔隙和基岩微孔隙,因而煤储层孔隙度包括割理孔隙度和基岩孔隙度。割理孔隙度为割理孔隙体积与试样体积的百分比,基岩孔隙度为基岩块内微孔隙总体积与试样体积之百分比。

据国外有关文献介绍,割理孔隙度一般小于2%,在煤岩总孔隙度中占20%左右,基岩孔隙度在总孔隙度中占有较高的比例,达80%左右。对中国柳林、安阳两个煤层气勘探试验区附近所取矿井煤样的孔隙度测试结果进行统计(表1),中国煤岩的孔隙度也基本具有这种特征。其中割理孔隙度为0.47%~1.49%,在总孔隙度中所占的比例为4.80%~18.00%;而且随煤阶增高,割理孔隙度及其在总孔隙度中所占的比例有降低的趋势。

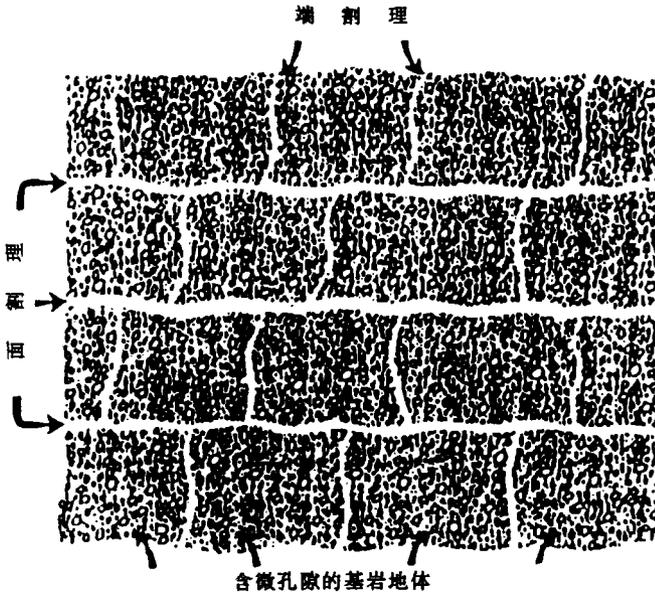


图 1 煤储层孔隙类型及分布特征示意图

煤岩孔隙度、渗透率对应力十分敏感,尤其是煤岩的渗透率随应力增加而显著减小,如图 3.4 所示。分析其原因是由于煤岩本身塑性很强,受应力作用,割理缝变窄,割理孔隙度稍有降低(基岩孔隙度基本不变),就会导致煤岩渗透率显著降低。

煤岩孔隙结构不同于常规储集岩,因而在煤储层中所起的作用也不同。基岩微孔隙与煤中气体的吸附有关,基岩孔隙度在煤岩成气阶段与煤中气体吸附量的大小有关。割理孔隙是流体运移的通道,因而割理孔隙度在气、水产出阶段,与煤中可流动水的饱和度、气、水流动特征密切相关。

2.2 煤岩气、水相对渗透率及相对渗透率曲线

煤储层为气、水二相流系统,煤岩气、水相对渗透率为气、水相(有效)渗透率与煤岩绝对渗透率的比值。数学表达式为:

$$K'_g = \frac{K_g}{K} \quad K'_w = \frac{K_w}{K}$$

式中: K_g 、 K_w 分别为气、水相对渗透率; K 为绝对渗透率。表示相对渗透率和饱和度之间变化的关系曲线称为相对渗透率曲线。由于煤岩孔隙结构及其在储层中所起的作用均不同于常规储层,因而煤岩气-水相对渗透率曲线的表示形式也有其特殊性。基岩微孔隙中的水为束缚水,无论其含水饱和度高低都不影响渗

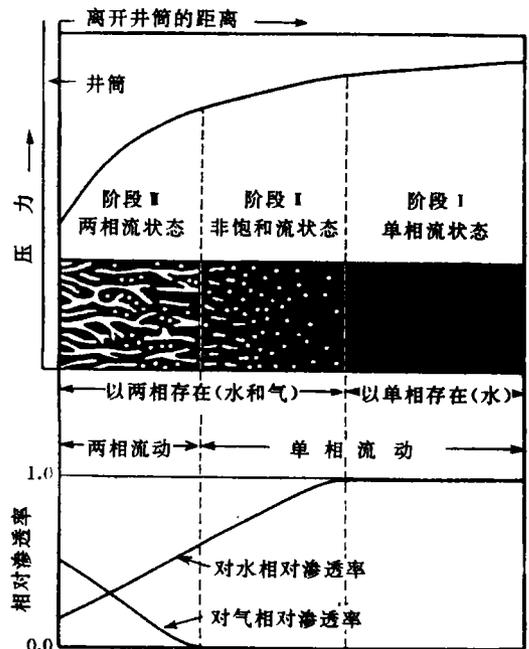


图 2 煤储层流体产出过程示意图

表1 柳林、安阳地区中、高煤阶煤孔隙度特征统计

样号	煤阶	Φ_t (%)	Φ_c (%)	$\frac{\Phi_c}{\Phi_t}$ (%)	Φ_m (%)	$\frac{\Phi_m}{\Phi_t}$ (%)
A4-二-3	焦煤	7.20	1.36	18.00	5.84	82
LQj-8-1	焦煤	12.00	1.49	12.42	10.51	87.58
LQj-8-5	焦煤	8.50	1.17	13.76	6.33	86.24
LQ-10-1(1)	焦煤	9.20	0.94	10.22	8.26	89.78
LQ-10-1(2)	焦煤	9.10	1.12	12.31	7.98	87.69
LQ-10-2	焦煤	11.10	1.65	14.86	9.45	85.14
AH-二1-2	瘦煤	7.20	0.79	10.97	6.41	89.03
AH-二1-1	瘦煤	4.60	0.53	11.52	4.07	88.48
AH-二1-1	贫煤	11.80	0.57	4.80	11.23	95.20
AH-二1-2	贫煤	8.00	0.73	9.00	7.27	91.00
AH-二1-3	无烟煤	4.40	0.47	10.68	3.93	89.32

Φ_t :总孔隙度; Φ_c :割理孔隙度; Φ_m 微孔隙度

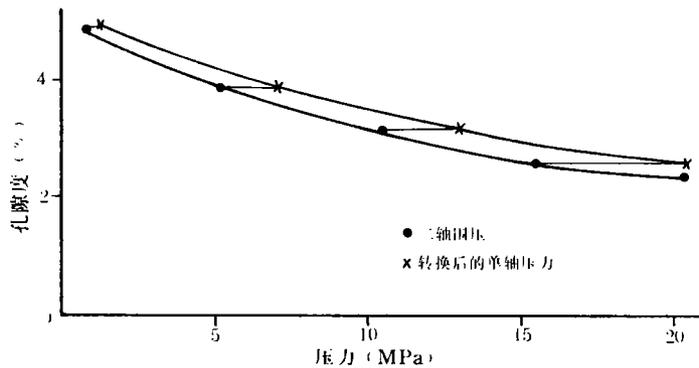


图3 孔隙度随围压变化曲线图

(煤安3井570.96~573.08m)

流,煤岩气、水相对渗透率为割理内气、水相的相对渗透率。相对渗透率曲线应反映割理内气、水流动特征。即反映相对渗透率变化特征的饱和度不是试样内水的总饱和度,而是割理内水的饱和度。适合煤岩孔隙特征的相对渗透率曲线与常规相对渗透率曲线的差异如图5所示。

煤岩孔隙结构及其作用的特殊性决定了煤岩气、水相对渗透率的作用也不同于常规天然气储层。常规天然气储层初始产出相为气相,仅到采气末期才出现气、水二相流运动,此时需要气、水相对渗透率资料,研究气、水二相随饱和度变化的流动特征,并计算气体采收率。而煤层气储层的初始产出相为水相,随着排采过程的进行,割理内水饱和度降低,气饱和度增加,从而出现两相流运动并伴随着气体的产出。因此,煤层气储层在生产早期就需用气、水相对渗透率资料,研究煤储层割理内气、水产出特征,计算和预测气、水产量及采收率。

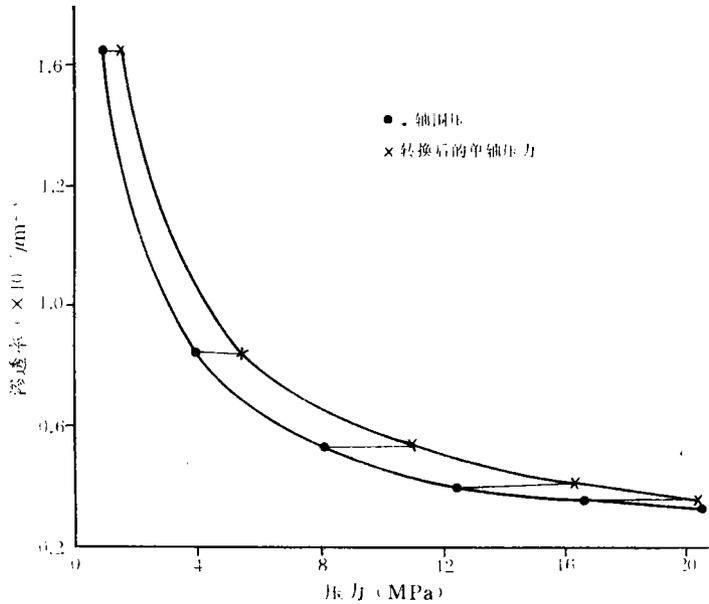


图 4 渗透率随围压变化曲线图(煤安 3 井 570.96~573.08m)

3 气-水相对渗透率及割理孔隙度的获取方法

3.1 实验室测定煤岩气、水相对渗透率的意义

煤层气储层排采早期阶段的气、水两相流取决于气、水相对渗透率,要模拟煤储层的气、水产量,预测煤层气的动态产出特征,就必须有气、水相对渗透率资料。然而,气-水相对渗透率曲线的获取方法则是一个有争议的问题。美国煤层气储层模拟评价专家(Mavor, M. 1993; Poul, G. 1992)认为:由于煤岩具有极强的脆性和非均质性,相对渗透率的实验室测定受多种因素制约,其结果不够准确;理论上讲,认为试井测试中获取的气-水相对渗透率最准确,但以前用于常规天然气储层的试井理论还没有被修改以适用于煤层气储层的两相流试井测试。有人提出用历史拟合法,即拟合已有气、水产量数据求取煤储层气-水相对渗透率,但因实际拟合中假设的可变参数太多,其结果也不精确。因此,尽管储层模拟评价专家对实验室测定煤岩气、水相对渗透率持有异议,但不得不承认实验室测定是获取煤岩气、水相对渗透率的唯一途径。

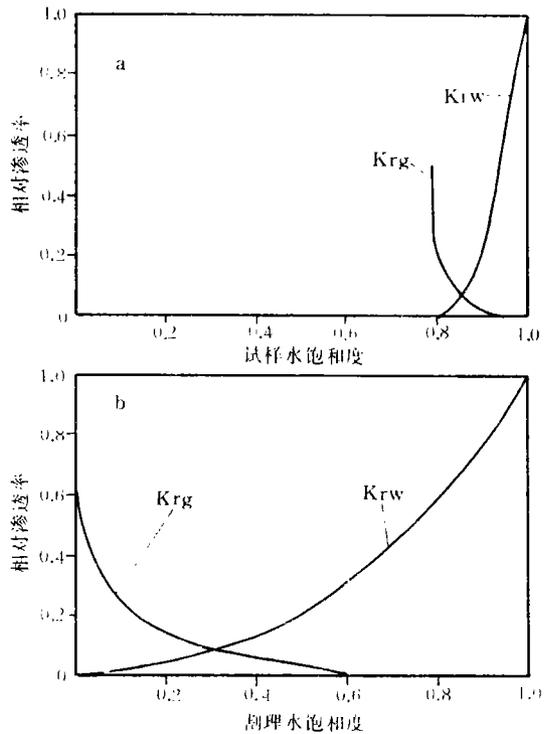


图 5 由两种方法表示的气-水相对渗透率曲线
 a: 未考虑煤岩特征的常规表示法;
 b: 考虑了煤岩特殊表示法
 (煤安 4 井二煤, 662.98m~663.10m)

3.2 煤岩气、水相对渗透率及割理孔隙度的实验室测定

3.2.1 割理孔隙度的测定方法

常规情况下,氮气孔隙度因氮分子直径小,可以进入极微小的孔隙,因而它既包括割理孔隙度也包括基岩孔隙度,应为总孔隙度;用抽真空煤油饱和法测得的孔隙度,由于抽真空条件下煤油可进入部分基岩微孔隙,因此用煤油饱和法得到的孔隙度既非割理孔隙度也非总孔隙度,它大于割理孔隙度小于总孔隙度。

由于进入基岩微孔隙内的水为不流动的束缚水,割理内的水为可流动水,试样割理内水的体积即可反映割理孔隙体积。因此,割理孔隙度可在相对渗透率测试过程中用气驱水资料求取。

3.2.2 煤岩气、水相对渗透率测试过程中应注意的问题

由于煤岩的非均质性、脆性、塑性以及煤储层的特殊性,煤岩气、水相对渗透率在测试过程中必须考虑试样保存、制备、测试步骤及数据处理等环节。

第一,由于煤岩性脆,极易破碎,失水风化变干会破坏煤的原始孔隙结构,因此,用于气、水相对渗透率及割理孔隙度测试的煤样应妥善保存,小心制样,避免破坏煤岩原始结构。第二,由于煤岩具有较强的塑性,渗透率对应力十分敏感,因此测试过程必须模拟储层压力条件。第三,测试过程应模拟煤储层中气、水产出顺序。数据处理也应考虑煤岩的特殊孔隙结构特征。

(收稿日期:1995年4月19日)

参 考 文 献

- 1 地矿部华北石油地质局编,煤层气译文集,郑州:河南科学技术出版社,1990
- 2 Gash B W. Measurement of Rock Properties in Coal for Coalbed Methane Production. *SPE*22909,1991,10

THE FEATURE AND MEASUREMENT METHODS OF POROSITY AND RELATIVE PERMEABILITY OF COAL RESERVOIR

Hou Ruiyun

(North China Bureau of Petroleum Geology, MGMR, Zhengzhou 450006)

Coal gas reservoir is different from conventional gas reservoir. Coal is not only source rock but reservoir as well. As reservoir, there is special feature in pore texture in coal. And mechanism of accumulation and occurrence of gas in coal is also different from those of conventional gas reservoir on basis of comparison of coal gas reservoir with conventional gas reservoir, the paper discussed the feature and measurement methods of porosity and relative permeability of coal reservoir.