

煤储层的气体解吸特性研究*

霍永忠

(中联煤层气有限责任公司)

霍永忠. 煤储层的气体解吸特性研究. 天然气工业, 2004; 24(5): 24~26

摘 要 作者研究了气体在煤储层内的解吸特征, 并分析了煤储层气体解吸特征与物质组成、煤阶和孔隙结构的关系。孔隙结构(孔隙孔容、比表面积)的分布与孔隙封闭性)决定了压差在煤储层系统内的传递, 微孔孔容和比表面积越大, 压差越难以在煤储层内传递, 进而降低气体解吸效率和解吸率; 煤储层中镜质组含量的增加以及煤阶的增高, 会在一定程度上导致储层中微孔孔容和比表面积的增加, 因此, 物质组成和煤阶是影响煤储层中气体解吸效率的重要因素。

主题词 煤储层 解吸特征 孔隙结构

煤层气经过解吸, 在煤基质和微孔中扩散, 在裂隙网络中流动, 最后流至井筒^[1,2]。气体解吸量和解吸效率对煤层气采收率产生重要的影响^[3,4]。

中—高煤阶煤资源量占全国煤炭资源总量的43%^[5], 更主要的是, 中—高煤阶煤中甲烷含量普遍较高, 煤层气资源十分丰富, 故而, 加强中—高煤阶煤储层的气体解吸特性研究, 不仅有助于煤储层特性研究的深化, 而且有利于煤层气可采性评价。

在分析气体解吸特征及其与煤储层物质组成、煤阶、孔隙结构的线性关系的基础上, 作者研究了气体在煤储层内的解吸过程、解吸量与解吸效率。

样品与实验

8个煤样采自江西丰城矿区、山西阳泉、汾西、潞安和晋城等矿区, 煤阶为焦煤—无烟煤($R_{o,max} = 1.58\% \sim 3.53\%$); 均为腐植型煤, 镜质组全岩百分含量为70%~90%, 惰性组全岩百分含量为10%~20%, 在大部分的样品中未观察到壳质组。

解吸实验在 ASAP2000 比表面积仪上完成。10 g 80 目煤样在 80℃ 条件下烘干 8 h, 然后, 连续抽真空 4 h, 再注入气体加载, 压力由 10000 Pa 升至 120000 Pa, 之后, 依次降压使吸附于煤样内表面的气解吸, 在解吸过程中, 每一压力点的压力在 5 分钟内的变化不超过 13.3 Pa, 达到吸附平衡, 并测出相

应的气体吸附量。同时, 还计算出孔径分布及孔容和比表面积的分布。为研究煤中可溶有机质对解吸过程的影响, 煤样在抽提后, 再进行上述测试。

煤储层的气体解吸特征

在本次研究中, 相同压差的条件下, 气体解吸量与总的吸附量之比称为气体解吸效率, 可表征煤储层中气体的解吸能力。

从煤的等温吸附/解吸曲线图中可以发现(图 1),

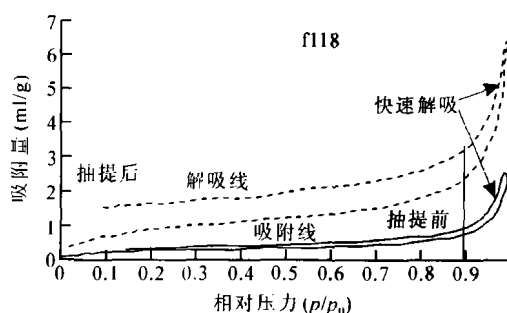


图 1 煤储层等温吸附/解吸曲线

首先, 随着压力的下降, 解吸曲线大致可分为 2 段, 即急剧下降段和平缓下降段, 两阶段的分界点可以通过分析曲线形态加以确定。前一段是气体大量解吸的反映, 解吸效率较高, 曲线斜率较高; 后一段表明气体解吸量减少, 解吸效率降低, 曲线斜率较小,

* 本成果受国家重点基础研究发展规划项目(2002CB211708)资助。

作者简介: 霍永忠, 1968 年生, 1998 年毕业于中国地质大学(北京)能源系, 获工学博士学位; 主要从事煤及烃源岩有机地球化学、有机岩石学及煤层气方向的研究。地址: (100011) 北京市安外大街甲 88 号。电话: (010) 64242362。E-mail: huoyz@vip.sina.com

这说明压力下降过程中,气体解吸具阶段性特点。其次,快速解吸阶段内气体的解吸量占全部解吸量的50%以上。另外,抽提前后样品的吸/解吸曲线具有较强的相似性,说明抽提前后煤样中气体解吸过程的相似性。

小孔($\Phi=100\sim10\text{ nm}$)和微孔($\Phi<10\text{ nm}$)是煤储层内气体的主要吸附空间,两者之间的分布关系对煤层气解吸特征产生了重要的影响。微孔孔容和比表面积在储集孔隙孔容和比表面积中所占的比例越高,解吸阶段分界点的相对压力(P/P_0)(P_0 指气体在一定吸附温度下的饱和蒸汽压, P 是达到吸附平

衡时的气体压力)也相应较高(图2),分界点相对压力越高则表明快速解吸仅发生在压力开始下降后的一个较小范围内,过了此分界点,压力继续下降,气体解吸速率变慢,乃至停止,这就表明,在煤中压差并没有得以有效传递,使得煤的解吸出现阶段性的特点。压力下降过程中,压差在小孔中的传递效率会高于在微孔中的传递,这样吸附于小孔内的气体有可能先于微孔内吸附的气体再吸,而且,小孔内气体的解吸效率较高,也预示着小孔和微孔的比例关系对煤储层气体解吸效率产生了一定的影响。

无论是抽提前样品,还是抽提后样中,微孔孔容

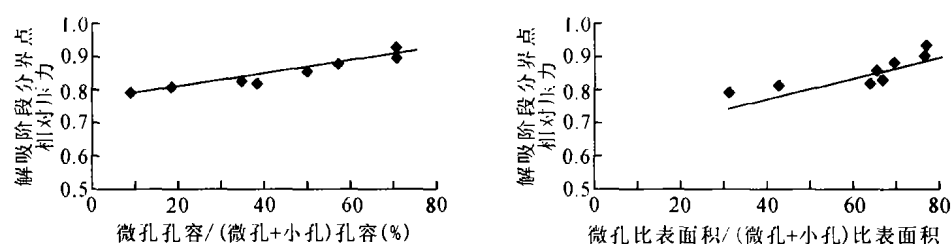


图2 解吸阶段分界点相对压力与孔隙结构关系图

和比表面积在储集孔隙孔容和比表面积中所占的比例越高,则煤储层气体解吸能力越低(图3)。

前人有关煤阶与孔隙分布关系的研究成果表明^[6,7],煤阶的提高导致微孔孔容和比表面积的增加,

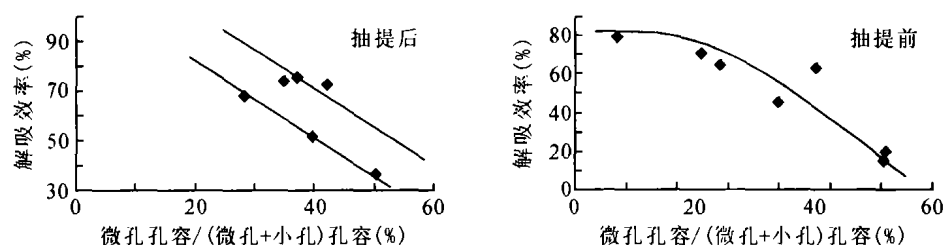


图3 煤储层解吸效率与孔隙结构

加,因此,煤阶的提高将使煤储层气体解吸效率降低,表1中所示的煤阶与解吸效率数据可显示这一点。

镜质组在煤中的含量越高,微孔孔容和比表面积也越高,而且在总孔容和总比表面积中所占有比例也相应提高,微孔孔容和比表面积的增加导致煤储层气体解吸效率随之降低(表1)。可见,煤中镜质组含量和煤阶通过影响孔隙分布特征,进而影响煤中气体的解吸效率。

实验发现,煤样的孔隙结构在抽提前后在分布样式上没有根本的改变。抽提后煤的微孔及小孔的孔容和比表面积均有所提高,与抽提前煤的孔容和比表面积分布曲线具有较强的相似性,说明抽提后煤

表1 煤样镜质组含量、煤阶与解吸效率数据表

样号	镜质组 反射率 (%)	镜质组全 岩含量 (%)	抽提前 解吸效率 (%)	抽提后 解吸效率 (%)
fl8	1.59	74.8	79.43	68
fl6	1.65	84.9	64.5	73.7
lwy9	1.78	83.84	80	75.3
lw9	1.9	81	71.1	72.2
s6	2.48	78.3	45	51.1
s18	2.21	73.1	63	35.94
sw2	2.98	90.7	19.6	/
jf4	3.53	92.8	14.68	/

的孔隙结构并未得到根本的改善,仅是数量上的同步增加;吴俊^[8]的研究结果也表明煤中可溶有机质的存在只是在数量上影响煤中孔容和比表面积,而不影响孔容和比表面积的分布。正是由于孔隙分布的相似性,导致抽提前后煤中气体解吸过程及解吸效率的相似性。

综上所述,微孔与小孔的分布是影响煤储层气体解吸阶段性、解吸效率和解吸量的重要因素,煤阶和显微组分组成通过影响微孔与小孔的分布,进而影响气体的解吸特征。

煤层气产出机理的再认识

一定压力条件下,煤储层内气体的吸附与解吸处于动态平衡状态,压力的变化将破坏这种平衡,压力下降,解吸作用加强,气体得以解吸。

Harpalani 提出了一个理想状态的煤层气产出模式^[1],压力差能有效地通过裂隙网络传递至小孔乃至微孔,使孔隙系统内压力下降,并产生解吸。

从图1中可以看出,压力的持续下降(压差产生),并未导致气体持续解吸,作者认为,这与压差的有效传递有关。

以封闭性将微孔分为3类,I类微孔,为连接小孔与其它孔隙(大孔、中孔)的微孔,属两端开口型,封闭性差,开放性较好,压差能有效地作用于此类孔隙。II类微孔赋存于小孔、中孔或大孔的边缘,孔喉较宽,属一端开口型,开放性较好,压差也能有效地作用于这类孔隙。III类微孔赋存于较大孔隙的边缘,也属一端开口型,但孔喉较小,封闭性较强,压差不能有效地作用于此类孔隙。另外,IV类孔隙为全封闭孔。I类、II类和III类微孔的数量关系决定了煤储层微孔的封闭性,I类、II类数量越高,煤储层微孔的封闭性越弱,压差的传递效率越高,那么,吸附于微孔内表面的气体解吸量和解吸效率越高。

结 论

通过实验分析,关于煤储层的气体解吸特性及

其影响因素得出了以下几点认识。

(1)由于微孔的封闭性阻碍了压差在煤储层内的有效传递,从而降低了煤层气的解吸量和解吸效率。

(2)小孔和微孔孔容与比表面积的分布决定了煤层解吸过程的阶段性,吸附于小孔内表面的气体首先解吸,且效率较高,其次吸附于微孔内表面的气体解吸,解吸效率取决于微孔的封闭性。

(3)煤阶的提高,镜质组含量的增高,均使微孔孔容与比表面积增加,并使煤层气解吸效率降低。

参 考 文 献

- 1 Harpalani S, Schraufnager R A. Shrinkage of coal matrix with release of gas and its impact on permeability of coal. *Fuel*, 1991; 69(5): 551~556
- 2 Gamson P, Beamish B, Johnson D. Coal microstructure and mineralization: their effect on methane recovery. In: *Coalbed methane and coal geology*. (eds. by Gayer R. and Harrie I.), *Geology Society Special Publication* 1996; (109): 165~179
- 3 Ayer W B. Knowledge of methane potential for coalbed resources grow, but needs more study. *Oil & Gas Journal*, week of Oct 9, 1989; 9~12
- 4 Ayer W B. Coalbed gas systems, resources, and production and a review of contrasting cases from the San Juan and Powder River basins. *AAPG*, 2002; 86(11): 1853~1890
- 5 毛节华, 许惠龙. 中国煤炭资源预测与评价. 北京: 科学出版社, 1999: 247
- 6 吕志发, 张新民, 钟铃文等. 块煤的孔隙特征及其影响因素. 徐州: 中国矿业大学学报, 1991; 20(3): 45~51
- 7 张新民, 张遂安, 钟铃文等. 中国煤层甲烷. 西安: 陕西科学出版社, 1991: 52~67
- 8 吴俊. 中国煤成烃理论与实践. 北京: 煤炭工业出版社, 1994: 130

(收稿日期 2004-01-18 编辑 黄君权)