

沁水盆地煤层储集性能

单秀琴

(石油勘探开发科学研究院廊坊分院, 河北廊坊 065007)

沁水盆地煤层孔隙分为 5 种类型, 孔渗性较高, 煤层吸附回线以密闭型为主, 毛管压力曲线主要为裂隙-孔隙型, 孔隙分布以大孔为主, 孔容及孔比表面积大, 具中等吸附能力。因而该地区煤层储集性能较好, 煤层气易于开采。

关键词 沁水盆地 煤层 储集性 孔隙 吸附

作者简介 单秀琴 女 33 岁 工程师 储层地质

1 概 况

沁水盆地属于山西地块内的沁水复向斜带, 煤层遍及全盆地, 主要形成于中晚石炭世太原期和二叠世山西期。太原组煤自下而上为 16 号~ 6 号煤层, 而以 15 号煤为主, 镜质组分一般为 65%~ 80%, 惰质组分为 16%~ 30%, 壳质组分为 4%~ 5%, 煤阶属气煤-无烟煤。山西组煤以 3 号煤为主, 分布范围广、厚度大, 镜质组分 45%~ 70%, 惰质组分 20%~ 36%, 壳质组分 10%~ 19%, 煤的变质程度和前者相同。

2 储集特征

2.1 物性特征

煤层气主要以吸附形式赋存于煤层中。煤层微孔发育, 比表面积大, 吸附性强, 割理发育, 构成极为复杂的储集空间网络。微孔主要为储存场所, 割理(或裂隙)主要为渗流通道。

2.1.1 孔隙度

根据有关文献资料^[1], 全国 64 个地区煤矿计算的孔隙度最大为 12.18%(铜川煤矿), 最小为 0.69%(鸡西煤矿), 平均值为 4.2%, 此值远低于常规油气储层的孔隙度值。我们利用氦孔隙法测得的沁水盆地孔隙度值最大为 12.20%, 最小为 2.0%, 平均为 8.2%, 高于全国煤矿孔隙度平均值。测定结果还表明, 煤层孔隙度和煤阶有一定的相关性(图 1), 随煤阶升高, 孔隙度降低, 大约至焦煤-瘦煤之后, 随煤阶升高, 孔隙度又有所回升。

2.1.2 渗透率

煤层渗透率资料^[2]表明, 一般渗透率都很低, 通常小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。本次采用气测法测得渗透率

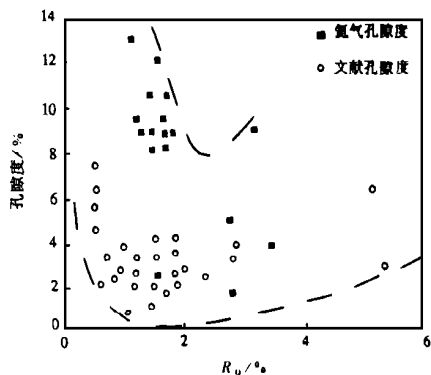


图 1 R_o 与孔隙度关系图

最大为 $3.73 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最小值为 $1.89 \times 10^{-6} \mu\text{m}^2$, 平均为 $0.604 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (17 块样品) (图 2a)。

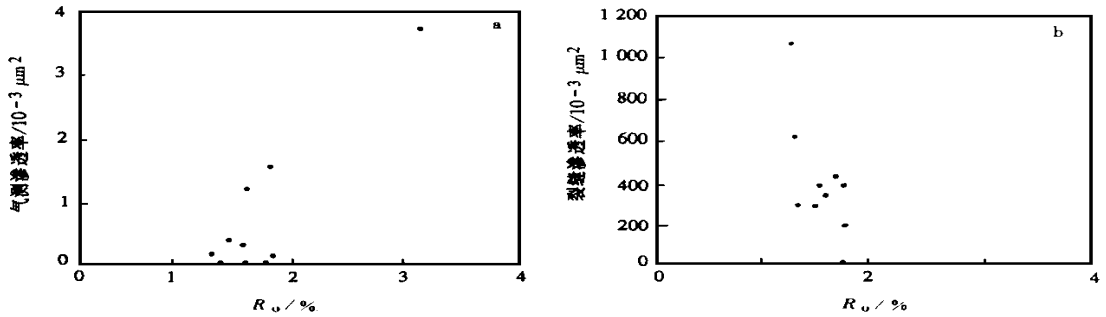


图 2 R_o 与渗透率关系图

2.1.3 裂缝渗透率

裂缝渗透率的测定结果表明, 裂缝渗透率最小 $2.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最大 $1054.24 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $488.422 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (12 块样品), 较气测渗透率高, 此特征符合渗透率的一般规律。煤层裂缝发育, 煤层的渗透特征主要由裂隙提供的。而且从压汞资料提供的特征来看, 该地区煤层以大孔为主, 裂隙空间所占的流动比例大。煤层裂缝渗透率所表现的特征与煤阶关系亦十分密切 (图 2b)。在焦煤至瘦煤之间, 裂缝渗透率随煤阶的升高而降低。

2.2 孔隙形态特征

根据铸体薄片和扫描电镜的观察分析, 沁水盆地煤储层孔隙可划分为 5 种类型。

(1) 裂隙孔 (割理孔)。煤在煤化过程中形成的特殊孔隙类型, 一般呈不规则的格子状, 格子大小不等, 裂缝宽窄、长短也不等 (在电镜下, 可看到 $1 \sim 5 \mu\text{m}$ 的裂隙)。它是煤层中的主要孔隙类型。裂缝类型常见晶间缝、直线缝、丁字缝、交叉缝与颗粒破碎缝等。裂隙发育的煤层物理性质一般较好 (图版 I-1, 2)。

(2) 粒间孔。在煤中有各种大小不等的微粒, 这些微粒可能是镜质体、惰质体、壳质组菌体或其他不定形微粒。它们构成的孔为粒间孔, 一般呈三角形或不规则形。在电镜下可见到 $1 \sim 30 \mu\text{m}$ 的孔隙, 一般均和裂隙相通, 构成煤层的渗流空间 (图版 I-3)。

(3) 植物残体胞腔孔。这种类型的孔隙, 有的呈圆形, 有的呈椭圆形 (一般为 $1 \sim 3 \mu\text{m}$), 有的胞腔中, 完全充填了粘土矿物。这种孔隙往往是孤立的, 互不连通, 如受挤压则成为缝状孔隙 (图版 I-4)。

(4) 线状孔。往往由木质纤维在煤化过程中挤压而成, 镜下可以观察到受力作用或排列方向 (图版 I-5)。

(5) 微孔。是煤基质块中的孔隙, 在低倍镜下, 不容易观察到, 在高倍镜 ($1000 \sim 2000$ 倍) 下, 可见到 $0.1 \sim 5 \mu\text{m}$ 的孔隙。它主要构成煤的吸附孔 (图版 I-6)。

2.3 孔隙结构特征

2.3.1 微观孔分布特征

用氮气吸附法可有效地测定微孔和小孔的分布。实验表明, 沁水煤样中, 小孔为主的样品占样品总数的 90%, 而微孔为主的样品仅占 10%。

杨思敬* 认为, 凡开放性孔及细颈瓶孔都能造成吸附回线, 凡封闭性孔都不能产生回线,

* 杨思敬. 高压吸附实验技术吸附特征及基础理论的研究. 1993

并将煤样吸附回线归纳为 3 种形式, 而沁水盆地煤样只表现出前 2 种典型形式(图 3)。

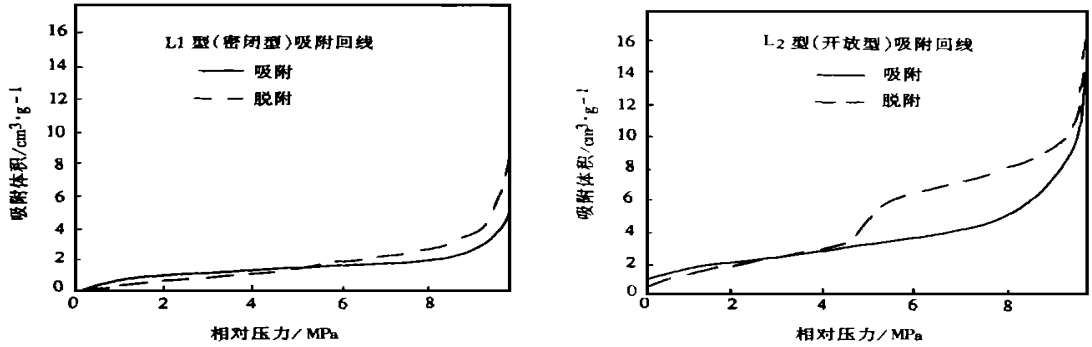


图 3 煤的两种典型吸附回线

图 3 中 L1 型(密闭型)没有回线或回线甚小, 反映出煤中没有(或很少有)开放性孔, 而封闭性孔占很大比重; L2 型(开放型)具有回线, 回线分布于相对压力较高处, 在相对压力较低处吸附线与脱附线重合, 说明微孔范围内多为封闭孔, 而在小孔范围内具有开放性孔。沁水氮吸附回线, 多数呈 L1 型, 少数呈 L2 型, 反映出煤中小孔部分开放, 微孔多封闭。

2.3.2 微观孔隙结构特征

岩样的毛细管压力曲线, 可以完整地描述岩样的孔隙结构特征, 不同孔隙结构的样品毛细管压力曲线形态不同。沁水地区煤样测定结果表明, 煤层的孔隙结构不同于砂岩储集层, 而与泥岩的孔隙结构特征类似。

2.3.2.1 压汞曲线特征

(1) 裂隙-孔隙型压汞曲线。这类曲线, 在油层砂岩中很少发现, 具有一个或多个平坦段, 在很低的压力下, 汞饱和度可达 50% 以上。当压力克服了宽度阻力后, 它在很大范围段内进汞饱和度很低。沁水盆地大部分煤样的压汞曲线属此类型, 其特征是: ①最大汞饱和度高, 达 95% 以上; ②中值压力低(0.005~0.012 MPa)、中值半径大(62~146 μm); ③退汞效率较高(34%~42%), 视孔喉体积比大(1.44~4.87), 孔喉分选相对均匀; ④与同类型的泥岩相比, 泥岩的退出效率较低(约 26%), 视孔喉体积比大(2.846), 中值半径大(约 75 μm)。

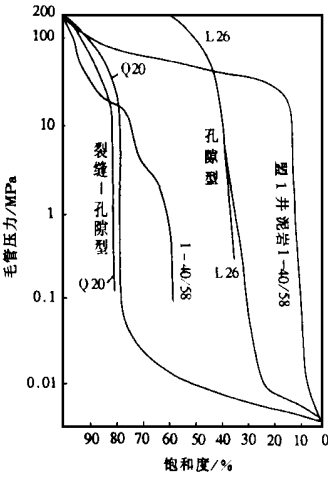


图 4 典型煤层毛细管压力曲线对比图

(2) 孔隙型压汞曲线。这种曲线形态, 在致密砂岩油层、泥岩盖层中是最常见的形态特征, 即排驱压力很大, 总进汞量低, 其曲线特征如下(图 4): ①汞饱和度低(51.796%); ②排驱压力大, 在 0.68 MPa 以上; ③中值压力高(190 MPa), 中值半径小(0.003 947 μm); ④退汞效率高(43.05%), 视孔喉体积小(1.323), 孔喉相对均匀; ⑤与同类型的泥岩相比, 泥岩的退汞效率高(约 40%), 视孔喉体积小(1.325 6)。

2.3.2.2 孔隙结构参数特征

沁水盆地煤层的微观结构参数特征为: 排驱压力低或划不出排驱压力, 中值半径大, 大孔

总量在 50% 以上,小孔次之,占 14.55%~23.92%,主要体现为裂隙孔,煤层气容易开采。

2.3.2.3 孔比表面积和孔容

西山矿区煤孔容值最大,6 号煤为 0.112 ml/g,2 号、3 号煤 0.062~0.085 ml/g,平均 0.074 67 ml/g;潞安地区 3 号煤较低,从 0.042~0.111 ml/g,平均 0.059 25 ml/g;晋城地区 3 号煤最低,平均 0.058 5 ml/g。

压汞曲线测定过程中计算的比表面积和吸附法测定的比表面积属于同一概念,因测定方法不同,而数值相差甚大,但变化规律相同(图 5)。压汞孔比表面积以潞安地区 3 号煤最大,平均 6.04 m²/g;西山地区次之,平均 5.84 m²/g;晋城地区最低,平均 3.56 m²/g。总的趋势是,孔比表面积随变质程度的升高而降低,在焦、瘦煤阶段略有上升趋势,到无烟煤阶段又急剧降低。

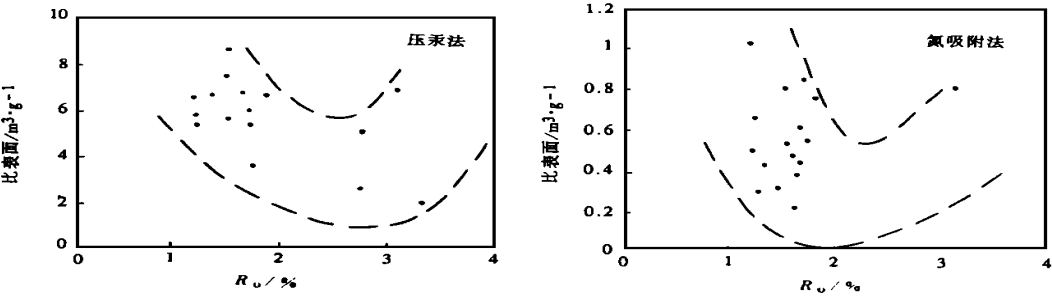


图 5 R_o 与比表面的关系

2.3.2.4 矿物组分与煤孔隙特征的关系

据扫描电镜观察,煤孔隙中多充填有粘土矿物,这样,随着灰分的增高孔隙结构必然有所变化。实验表明,随着灰分的提高,孔容、孔比表面都呈下降趋势(图 6)。

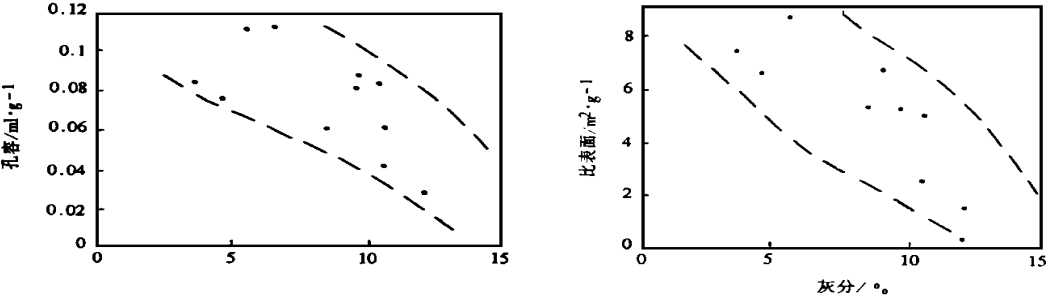


图 6 孔容和孔比表面与灰分的关系

2.4 吸附特征

煤层甲烷气主要以吸附状态赋存于煤体内表面上,朗氏吸附体积是衡量煤岩吸附能力的量度。实测沁水盆地朗氏体积为 32.11~42.93 m³/t,朗氏压力 1.01~2.53 MPa。

从沁水盆地 15 块样品测定的吸附量(30℃,6 MPa)看,长焰煤的吸附量大,焦煤的吸附量为 13.6~34.9 cm³/g,沁水盆地煤的平均吸附量为 23.23 cm³/g,属中等水平。用 R_o 与吸附量作关系图(图 7),规律较明显,随着煤阶升高,吸附量降低($R_o < 2\%$);然后随着煤阶升高,吸附量增加(R_o 值在 2.0%~3.36%之间)。图中除具体数值与文献值^[1]有所差异之外,其变化

规律和趋势相同(图 7)。除此之外,吸附量还与孔隙半径和比表面积有关。当孔隙半径减少或当比表面积增大时,吸附量增高。

3 结论

(1) 沁水盆地煤层孔隙可划分为 5 种类型。煤层孔隙度、渗透率较高,孔隙度随煤阶升高而降低,至焦-瘦煤之后,又有所回升。渗透率与煤的变质程度有关。在焦煤至瘦煤之间,裂缝渗透率随煤阶升高而降低。孔比表面积变化特征与孔隙度相同。另外,随着灰分增高,孔容、孔比表面积都呈下降趋势。

(2) 煤层氮吸附回线表现为密闭型和开放型两种类型,且以密闭型为主。

(3) 煤层压汞曲线分为裂隙-孔隙型和孔隙型两种类型,沁水盆地煤样压汞曲线主要为第一种。孔隙分布以大孔为主,小孔次之,微孔较少。

(4) 随着煤阶升高,吸附量先是降低($R_o < 2.0\%$),然后又增加(R_o 值在 $2.0\% \sim 3.36\%$ 之间)。沁水盆地煤岩吸附能力为中等。

总之,沁水盆地煤层裂隙发育,物性好,孔容和比表面大,吸附和解析特性好,大孔较多,故储集性能好,煤层气易于开采。由于本次研究工作所基于的实验数据有限,所以对本区煤层物性的认识不够全面,希望在今后的工作中进一步补充与修改。

致谢: 在本文编写过程中,得到了严衡文,杜韞华,严启团,陈孟晋,李剑,陈敏,王宏岩等有关专家的大力支持,在此表示衷心感谢!

参 考 文 献

1 张新民. 中国的煤层甲烷. 西安: 陕西科学技术出版社, 1991. 36~ 60
2 钱凯, 赵庆波, 汪泽成. 煤层气勘探开发理论与实验测试技术. 北京: 石油工业出版社, 1996. 24

RESERVOIR CHARACTERISTICS OF COAL FORMATIONS IN QINSHUI BASIN

Shan Xiuqin

(Research Institute of Petroleum Exploration & Development, CNPC, Langfang, Hebei)

Abstract

Coal formation pores such as cleats and intergranular pores could be divided into five types in this area. The adsorption and desorption curves are mainly closed; the coalbed capillary pressure curves are principally fissure-pore type; large pores are widely distributed; the pore volume and specific area are both large; and the adsorption property is in middle-class. Therefore, the performance of coalbed reservoirs is good and coalbed methane could be easily developed in this area.

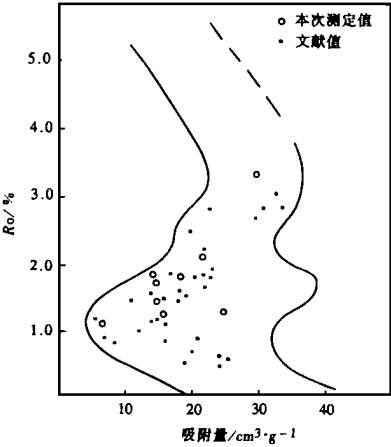


图 7 R_o 与甲烷吸附量关系图