

华北部分矿区煤储层压力研究

张延庆

(中联煤层气有限责任公司, 北京)

唐书恒

(中国煤田地质总局第一勘探局, 河北邯郸)

摘 要 煤储层压力是煤层气开发的重要参数, 它可以通过试井方法获取。华北部分矿区的试井资料表明, 煤储层压力的变化较大, 其主要影响因素有构造应力、地下水头高度及埋深、地下水矿化度等。当含气饱和度一定时, 储层压力对煤层气井早期的气产率和水产率有较大影响。

关键词 煤层气 储层压力 影响因素 华北

煤储层压力是指储层中点的压力。储层开发前, 一般处于平衡状态, 此时储层流体所承受的压力称为原始储层压力。压力是地层能量大小的反映, 知道了储层压力就等于知道了储层中流体的流动趋势。

煤储层压力不仅对于煤层的含气量、气体赋存状态有着重要影响, 同时也是气体和水从裂隙向井筒流动的能量。当前煤层气生产使用压力衰竭法, 美国圣胡安盆地的最佳生产井都处于超压地带, 压力梯度在 12.44 ~ 13.57 kPa/m 之间。由于煤储层的孔隙度和渗透率对有效应力非常敏感(何伟钢等, 2000), 有效应力增大, 煤层渗透率减小; 而当超压时, 有效应力相对变小, 所以, 超压有时也是高渗透率的指示。

储层压力不仅影响煤储层的渗透性, 还对煤层气井的产能有一定的影响。

1 储层压力的测试

原始储层压力通常在储层测试期间由试井确定。这种测试通常由数小时的短时间生产和关井阶段构成, 测量井底压力与时间的函数, 然后外推到无限关井时间, 压力数据应根据其中流体比重校正到储层中点。如果一口井尚未投产, 可用静压力梯度法测量井中的垂直压力分布。

试井分析也可以在储层生产了很长的时间或大量产出后, 用于确定平均储层压力。通常关井一段时间, 将测得的压力外推到无限关井时间, 即可以得到近似平均压力, 但这个值必须根据产出量、储层形态和生产时间进行校正。

利用试井数据可求出煤层的原始储层压力(孙茂远等, 1998), 计算公式(Horner 方程)为:

$$P_{ws} = P_i + \frac{2.121 \times 10^{-3} q B \mu}{Kh} \lg \frac{\Delta t}{\Delta t + t}$$

式中, P_{ws} 为井底关井压力(MPa); P_i 为原始储层压力(MPa); q 为流量(m^3/d); μ 为流体的粘度(mPa/s); K 为煤层渗透率(μm^2); h 为煤层厚度(m); t 为流动时间(h); Δt 为关井时间(h); B 为流体地层体积系数。

当关井时间 $\Delta t \rightarrow \infty$ 时, $P_{ws} \rightarrow P_i$ 。因此, 把直线延长, 使它与 $\Delta t / (\Delta t + t) = 1$ 的坐标相交, 交点所对应的压力值就是 P_i 。在实际资料解释中, 这一压力值称为外推压力。对尚未投入开发的煤层气储层, 外推压力即为始地层压力; 而已投入开发的煤层气储层, 则为视平均压力。

另外, 求取原储层压力的方法, 在常规油气田勘探中还经常采用压力计法、探测液面法、作图法等非常成熟有效的方法。若条件具备采用不同方法取得的数据可以相互验证。

2 华北部分矿区储层压力特征

储层压力是指作用在煤岩孔隙空间的内流体上的压力, 由 3 个方面的作用力组成, 即上覆岩层压力、静水柱压力和岩层中存在的构造应力。在一定的封闭条件下, 储层压力的大小通常是以压力水头(液柱)高度表示的。实测储层压力梯度, 是指从井口至测试层中点算起的单位深度的压力数值。储层压力状态是按储层压力梯度大于、等于或小于淡水压力梯度的情况来衡量的, 即当压力梯度大于 9.79

kPa/m 时为高压(或超压)异常状态;等于 9.79 kPa/m 时为正常压力状态;小于 9.79 kPa/m 时为低压异常状态。

储层压力和压力状态以及储层压力与临界解吸压力的比值,是评价煤层气井可采性的重要参数。采用注入压降方法对华北部分矿区煤储层进行了试井,注入液体是经过过滤后的清水,表 1 中列出的是经过校正后的原始储层压力以及原始储层压力梯度。结果表明,由于受构造条件(即现代地应力状态)、压力水头埋藏深度以及地下水矿化程度等因素的影响,不同矿区的储层压力及压力状态存在一定差别和变化。

表 1 华北部分矿区储层压力表

Table 1 The reservoir pressure data from well test measurements

矿区	井号	煤层编号	煤层深度 m	原始储层 压力/mPa	储层压力梯度 kPa·m ⁻¹
寿阳	HG1	3	511.45	3.98	7.78
		15	627.28	5.92	9.44
	HG2	3	747.17	6.85	9.17
		15	868.68	4.81	5.51
	HG6	3	436.44	3.92	8.98
		15	553.08	4.68	8.46
韩城	HS1	3	631.30	8.29	13.13
		11	700.20	8.47	12.10
	HS2	3	672.33	7.31	10.87
		11	723.95	8.32	11.49
	HS3	3	601.07	9.43	15.68
		11	692.50	6.32	9.13
平顶山	1511	二 ₁	1110.58	10.64	9.58
峰峰	SHU1	二	573.21	6.23	10.87
	LONG1	二	783.20	1.75	2.23

将表 1 中列出的原始储层压力梯度与淡水的静压梯度进行比较,可以发现,寿阳矿区煤储层普遍表现为低压异常状态,韩城矿区则基本为高压异常状态,只有一层煤的储层压力为低压异常状态,平顶山矿区的测试结果略低于正常压力状态,而峰峰矿区部分块段的储层压力为高压异常,部分块段明显为低压异常状态。由于受各种因素的影响,储层压力的分布与变化(即使在同一区块、同一煤层或同一测试井内的不同煤层中)往往也存在着明显差异或异常现象。如峰峰矿区内 LONG1 井的二号煤层,测得的压力梯度为 2.23 kPa/m,远远低于 SHU1 井二号煤层(10.87 kPa/m)的测试结果,韩城矿区内,在南部的 HS1 井测得煤储层压力梯度为 12.10~13.13 kPa/m,而在北部的 HS2 井测得的压力梯度值为 10.87~11.49 kPa/m,比南区低 1~2 kPa/m

左右。另外,在韩城矿区 HS3 井和寿阳矿区的 HG2 井,在同一试井中有下部煤层的储层压力低于上部煤层的反常情况。因为煤储层压力是在煤层长期演变过程中各种地质条件不断发展变化的结果。不同地区、不同条件下,各种因素表现的强弱程度不同,从而造成了储层压力的差异变化。对这一问题,后面将进行详细讨论。

3 影响储层压力变化的主要因素

在一定的圈闭条件下,储层压力主要是由实际测得的压力水头高度来度量的,而储层压力梯度的计算则是由储层压力除以地表至测试层中点的距离来决定的。由此可知,储层压力的分布与变化,主要受储层埋藏深度、地下水水头高度及其埋深以及地下水矿化度、储层温度和地应力状态的影响。

3.1 构造应力的影响

地质构造不仅影响和控制着煤层气储层的埋藏、分布以及封闭条件,而且构造应力的存在直接影响到作用在煤层孔隙空间内流体上的压力大小。一般认为(员争荣 2000),处于挤压构造应力场背景中的煤储层,其压力值往往偏大,压力梯度偏高;而处于拉张型构造应力场中的煤储层,其压力值偏低,压力梯度也较低。如向斜、背斜或单构造的含煤区,煤储层的埋藏、封闭条件和煤储层内的压力分布与变化存在明显差异。另外,在抬升地块或逆掩超覆以压扭作用为主的构造部位,构造应力的存在往往是影响储层压力变化的主要原因,甚至产生储层压力异常(程爱国等,1999;傅雪海等,1999)。

韩城矿区位于鄂尔多斯盆地东南缘渭北断隆区的铜川-韩城断褶带,处于 2 条不同方向断裂带的结合部位,地应力梯度高,从而造成煤储层具有较高的原始储层压力。如 HS2 井,试井获得 3 号和 15 号煤层的最小主应力梯度为 19.86~22.86 kPa/m,这两个煤储层的原始储层压力呈高压异常状态,主要是由于如此高的地应力梯度造成的。而寿阳矿区位于沁水盆地东北部边缘的翘起端,地应力梯度小,如 HG1、HG2 和 HG6 井,3 号和 15 号煤储层的地应力梯度为 11.94~18.24 kPa/m,均比韩城矿区的地应力梯度小,因此煤储层也就表现为低压异常状态。

另外,韩城矿区 HS3 井和寿阳矿区 HG2 井的 2 个煤储层由于构造应力的不同造成下部煤层的储层压力低于上部煤层的储层压力,表现出层位的反序现象。以寿阳矿区 HG2 井为例,3 号煤层的最小主应力梯度为 17.32 kPa/m,而 15 号煤层的最小主

应力梯度仅为 13.19 kPa/m,构造应力的差异造成了上下两个煤层的原始储层压力的反序现象。

3.2 地下水压力水头高度及埋深的影响

地下水压力水头高度是表征储层压力的直接数据,一般水头越高储层压力就越大。在煤系地层中,由于各个煤层主要含水间无明显的水力联系,往往构成不同的水动力系统,储层压力主要是由储层本身的直接充水含水层的压力水头高度来度量的。如韩城矿区 3 号煤层的直接充水含水层是其下部的砂岩含水层,11 号煤层的直接充水含水层是其顶板的 K₂ 灰岩,这两个含水层之间没有水力联系,具有相

互独立的补排系统,寿阳矿区的 3 号和 15 号煤储层也具有相似的特点。因此,同一个测试井的上下两个煤层,可能具有完全不同的原始储层压力状态,与储层的直接充水含水层的压力水头高度不同有关。

另外,压力水头的埋藏深浅(水位)造成不同的水动力条件,也是影响储层压力梯度变化的重要因素。一般压力水头埋藏越深,压力梯度就越小,埋藏越浅则压力梯度相应增大。平顶山矿区的西部地区与东部地区相比,由于锅底山阻水断层的阻隔,压力水头埋藏深度相差了 156~355 m,东部地区的储层压力梯度明显高于西部地区。

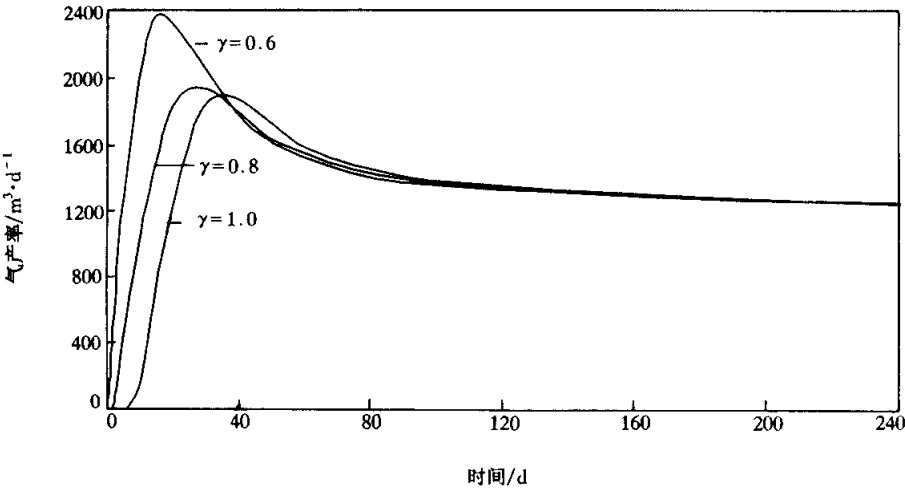


图 1 储层压力系数对煤层气井气产率的影响

Fig. 1 The influence of the reservoir pressue factor to the gas productivity of coalbed methane well

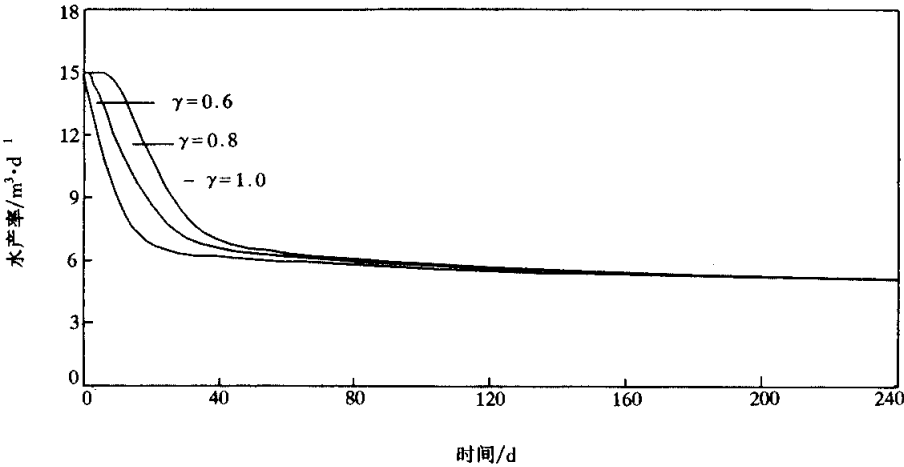


图 2 储层压力系数对煤层气井水产率的影响

Fig. 2 The influence of the reservoir pressure factor to the water productivity of coalbed methane well

3.3 地下水矿化度的影响

储层压力状态是按大于、等于或小于淡水静水压力梯度(9.79 kPa/m)的标准来判定的,因此,地下水矿化度是影响储层压力状态的重要因素。地下水矿化度越高其比重越大,在相同的压力水头高度下,高矿化水比低矿化水的水头压力要相应增大。因此,在封闭、滞流、地下水补排条件较差的高矿化度水分布区段,往往出现储层压力的高压异常状态。如在韩城矿区,太原组灰岩中水的矿化度为1.26~3.7 g/L,山西组砂岩含水层中水的矿化度为0.56~3.5 g/L,峰峰矿区2号煤层顶板砂岩中水的矿化度为0.32~3.64 g/L。韩城和峰峰矿区内某些块段存在的高压异常状态,除了其他因素的影响之外,应当与这些块段地下水矿化度较高有一定的关系。与此相反,寿阳矿区太原组灰岩水的矿化度为1.0 g/L,山西组砂岩中水的矿化度为0.30~1.0 g/L;平顶山矿区二₁煤层顶板砂岩中水的矿化度为0.5 g/L左右。这两个矿区的煤储层压力均为低压异常状态,与地下水的低矿化度相符。

4 储层压力对煤层气井产能的影响

储层压力对煤层气井产能的影响,涉及其解吸压力与储层压力的比值。临界解吸压力与储层压力的比值越趋近于1,煤层气井越容易产气。如果临

界解吸压力比原始储层压力低得多,势必要经过长期的排水降压才能产气。图1和图2分别为原始储层压力对寿阳煤层气井气产率和水产率的影响情况。寿阳目标区煤储层的压力系数为0.8,分别将其增加和减小0.2来分析储层压力对煤层气井产能的影响。由图可见,当煤层的含气饱和度确定后,即其临界解吸压力一定时,原始储层压力对煤层气井的初始产气时间有较大影响,压力系数越大,开始出气的时间越晚,压力系数越小,产气越早。压力系数对煤层气井的产气高峰和累积气产量影响不大。但对初始产水情况有较大影响,压力系数较大时,初期需要排出大量水,而压力系数较小时只需排出少量水即可产气。

参 考 文 献

- 程爱国,林大扬,彭苏萍.1999.聚煤作用系统论和系统分析.地球学报,20(增刊):617~622.
- 傅雪海,秦勇,李贵中.1999.现代构造应力场中煤储层孔裂隙应力分析与渗透率研究.地球学报,20(增刊):623~627.
- 何伟纲,唐书恒,谢晓东.2000.地应力对煤层渗透性的影响.辽宁工程技术大学学报,19(4):353~355.
- 孙茂远,黄盛初等著.1998.煤层气开发利用手册.北京:煤炭工业出版社,85~102.
- 员争荣.2000.试论构造控制煤层气藏储集环境.中国煤田地质,12(3):22~24.

Research on Coal Reservoir Pressure of some Mine Areas in North China

Zhang Yanqing

(China United Coalbed Methane Co. LTD., Beijing)

Tang Shuheng

(No.1 Bureau, China National Administration of Coal Geology, Handan, Hebei)

Abstract The pressure of coal reservoir, an important parameter in the development of coalbed methane, can be determined through well test. The well test information of some mine areas in North China shows that the pressure of coal reservoirs vary in a wide range. The main influencing factors are tectonic stress, height and burial depth of groundwater, the mineralization degree of groundwater and so on. When the coalbed methane saturation is constant, the pressure of coal reservoir has a relatively great influence on the methane and water production rates in the early period of coalbed gas wells.

Key words coalbed methane reservoir pressure influencing factor North China