

天然气盖层浓度封闭的定量评价及其应用

黄志龙 高耀斌 郝石生

(石油大学, 北京 100083)

提 要 分子扩散是自然界普遍存在的现象, 而天然气的扩散是天然气运移的重要机理, 气藏形成后, 天然气可以通过盖层扩散损失^①。天然气通过盖层扩散程度的大小是评价盖层封闭能力的关键。本文提出了盖层烃浓度封闭机理及定量评价的方法, 并利用此方法对琼东南盆地主要盖层进行了研究。

关键词 盖层 浓度封闭 扩散

第一作者简介 黄志龙 男 32岁 副教授 石油地质

当盖层本身具有生烃能力时, 将有效地延缓甚至阻止天然气通过盖层的扩散损失, 这种作用称为烃浓度封闭, 烃浓度封闭对天然气藏的保存具有重要意义。

1 浓度封闭机理

分子扩散是物质传递的一种方式, 地下条件下, 只要存在浓度梯度, 天然气就会自发地发生高浓度区向低浓度区的质量传递, 直到浓度达到平衡。气藏与上覆盖层之间存在烃浓度差, 气藏中的天然气就会通过盖层扩散散失。在浓度扩散条件下, 物质的扩散通量可由斐克第一定律来描述:

$$J = D \frac{dc}{dx} \quad (1)$$

式中 J —扩散通量($\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 或 $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$);

C —烃浓度(mol/m^3 或 g/m^3);

x —扩散方向上的距离(m);

D —扩散系数(m^2/s)。

负号表示扩散与浓度梯度方向相反。

从(1)式可看出扩散通量与扩散系数成正比, 与浓度梯度成正比。所以, 盖层与气藏的烃浓度差越大, 扩散损失量就越大, 当盖层中存在足够的烃浓度, 那么, 气藏天然气的扩散量会大大降低, 甚至被完全阻止或盖层中的烃气反而向气藏方向扩散。这就是盖层浓度封闭的机理, 这种浓度封闭作用可称为浓度“屏蔽”。

^① 郝石生, 天然气运聚平衡理论及研究, 天然气地球科学, 1993(2—3): 95—108。

如果气藏的直接盖层为非源岩,这种盖层无法阻止气藏气向上扩散,此时气藏中天然气通过盖层的扩散作用满足斐克第二定律,即:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (2)$$

式中 C —烃浓度;

t —扩散时间;

D —扩散系数。

如果气藏的直接盖层为气源岩,并且已进入成气门限,由于有天然气的不断生成,盖层单位时间内有一气浓度增加率 B ,此时,气藏天然气通过盖层的扩散作用满足下式:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (3)$$

式中 B 为盖层中单位时间气浓度增加率 ($\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{s}$),可由生烃、排烃史模拟方法来确定。

气源岩作为直接盖层时,气藏的天然气向上的扩散损失得到抑制或延缓,当气源岩产气率较高(B 大)时,气源岩生成的天然气反而向气藏扩散,气藏天然气的向上扩散损失完全被遏止,所以,在研究盖层的封闭能力时,浓度封闭作用的研究也十分重要。

2 浓度封闭的定量评价

不管盖层物性封闭和超压封闭能力有多强,只要气藏中天然气浓度大于盖层中天然气的浓度,气藏中的天然气就会在扩散作用下通过盖层而散失,这是天然气聚集中一个非常突出的特点。降低或抑制气藏中天然气扩散损失的地质因素主要有以下两种情况。一是盖层岩石非常致密,使盖层的扩散系数大大降低,从而减少了扩散损失,如膏盐的扩散系数比泥岩低2个数量级,所以能大大降低扩散损失量,更有效地保护气藏。第二种情况是缩小储盖层之间的浓度差,同样具有降低扩散损失的效果。因此,评价盖层的浓度封闭能力,应着眼于抑制扩散损失的能力。

盖层烃浓度封闭能力可有绝对量和相对量两种标准衡量。前者能给出具体的扩散强度和量,使人们认识到盆地或某层系扩散作用的强弱和它的破坏程度。后者主要考察由于盖层气浓度变化而引起扩散量变化的幅度大小。

2.1 扩散绝对量的计算^①

可有两种情况,一是盖层为非源岩,另一种是盖层为气源岩。

2.1.1 盖层为非源岩

盖层为非源岩,厚度为 L ,气藏气烃浓度为 C_0 ,盖层上侧渗透层的烃浓度为 C_2 ,则根据(2)式,可解得气藏通过单位面积盖层的扩散量为:

^① 郝石生,天然气运聚动平衡理论及研究,天然气地球科学,1993(2—3):95—108。

$$Q_o = \frac{D(C_o - C_2)}{L} t + \sum_{n=114}^{\infty} \frac{2L[C_o - C_2(-1)^n]}{n^2 \pi^2} (1 - e^{-n^2 \pi^2 2Dn/4L^2}) \quad (4)$$

2.1.2 盖层为气源岩

盖层为烃源岩, 盖层厚度为 L , 盖层中烃初始浓度为 C_1 , 气产率为 B (单位时间气的浓度增加率), 气藏烃浓度为 C_o , 盖层之上渗透层的烃浓度为 C_2 , 则气藏通过单位面积盖层的扩散量为

$$Q_o = \frac{D(C_o - C_2)}{L} t - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2L[(C_1 - C_o) + (C_2 - C_1)(-1)^n]}{n^2 \pi^2} (1 - e^{-n^2 \pi^2 2Dn/4L^2}) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2BL[1 - (-1)^n]}{n^4 \pi^4 D} (1 - e^{-n^2 \pi^2 2Dn/4L^2}) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2BL[1 - (-1)^n]}{n^2 \pi^2} t \quad (5)$$

利用(4)、(5)式, 结合生烃史、排烃史、运聚史模拟, 可以历史的、定量的计算气藏中天然气通过盖层的扩散强度。

2.2 浓度封闭相对强度计算

为了更好地定量评价盖层的浓度封闭能力, 这里引进浓度封闭系数的概念, 它是衡量盖层烃浓度封闭能力的相对标准。

假设盖层下覆储层孔隙中充满天然气(地下状态)计算盖层为非源岩时的扩散量 Q_o 和实际盖层条件下扩散损失量 Q , 则盖层烃浓度封闭系数 S_c 用下式表示:

$$S_c = \left(1 - \frac{Q}{Q_o}\right) \times 100\% \quad (6)$$

显然盖层烃浓度越小, Q 越接近 Q_o , S_c 值(百分数)越小, 说明盖层烃浓度封闭能力越小。相反, 盖层烃浓度越大, Q 越小, S_c 值越大, 说明盖层烃浓度封闭能力越强。当盖层浓度能完全封闭天然气扩散作用时, $Q=0$, $S_c=100\%$ 。可见, 浓度封闭系数 S_c 能很好的反映出盖层烃浓度的相对封闭能力。因此, 可以用浓度封闭系数这一参数定量评价盖层的浓度封闭能力。

3 实例应用

在地史发展过程中, 气藏或盖层条件不断演化, S_c 值也随这种演化而变化, 盖层的浓度封闭作用具有动态演化的特点。同一套盖层在不同的地质时代, 浓度封闭作用亦不尽相同。实际应用时, 可由实验室测定盖层的扩散系数, 并结合数值模拟的方法来进行浓度封闭作用的研究。

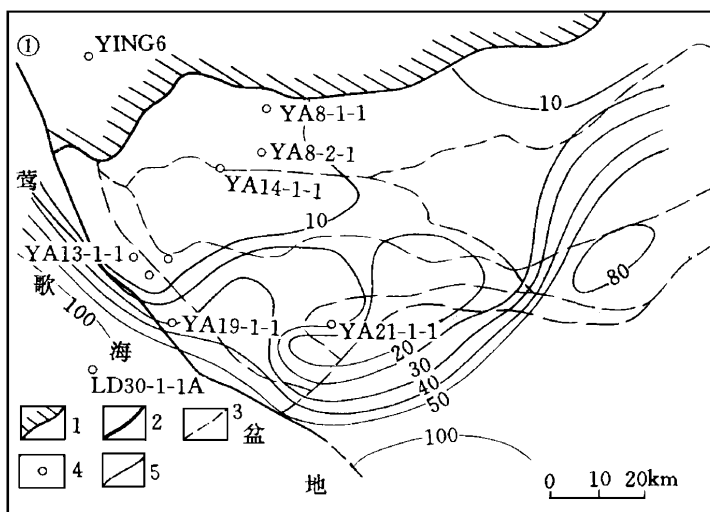
例如, 根据实验测定, 梅二段泥岩扩散系数是 $6.25 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$, 烃浓度封闭系数的计算是与生排烃数值模拟计算同时进行的, 表 1 是崖 21—1—1 井点梅二段数值模拟及烃浓度封闭系数计算结果, 梅二段地层作为盖层, 其中烃浓度在地史中是变化的, 其下覆地层(储气层)假设充满了气, 但地层中温度压力是变化的, 储气层中的烃浓度也是变化的, 所以,

梅二段烃浓度封闭系数也是变值(表1)。

表1 崖21-1-1井点梅二段数值模拟及浓度封闭系数计算结果

Table 1 Results of value simulation and concentration seal coefficients of Meierduan in Ya 21-1-1 Well

地质时间(Ma)	-15.0	-11.5	-8.6	-5.7	-2.8	0
顶-底界埋深(m)	0—256.1	331.0—545.0	1259.6—1422.7	1972.9—2120.6	2598.2—2738.6	3885.0—4018.0
顶-底界 R_c (%)	0.20—0.20	0.20—0.21	0.26—0.29	0.39—0.43	0.54—0.58	0.89—0.95
扩散强度 Q_0 $m^3/m^2 \cdot Ma$			1281	1525	1440	1019
扩散强度 Q $m^3/m^2 \cdot Ma$			1280	1521	1427	979
烃浓度封闭系数 S_c (%)			0.08	0.26	0.90	3.90



1. 盆地北部边界 2. ①号断层盆地西部边界 3. 盆地内构造单元分界线 4. 井位 5. 浓度封闭系数等值线

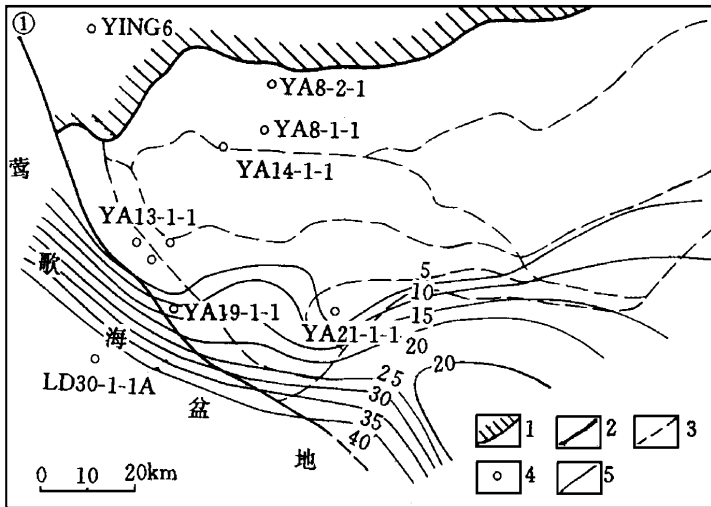
图1 琼东南盆地(西部)陵二段现今浓度封闭系数等值线图

Fig. 1 The equivalent map of concentration seal coefficient of Lingerduan in Qiong Dong Nan Basin (west)

图1和图2是琼东南盆地(西部)梅二段和陵二段盖层浓度封闭系数等值线,从图中可以看出:

① 梅二段在琼东南盆地的北部,包括崖北凹陷、崖城凸起、松涛西凹陷等,浓度封闭系

数很低,一般 $<2\%$,而盆地的南部浓度封闭作用较强,其浓度封闭系数为 $5\%—40\%$,这是由于在琼东南盆地的北部梅山组成熟度低,生气量少,而向南部,梅山组成熟度逐渐提高。



1. 盆地北部边界 2. ①号断层盆地西部边界 3. 盆地内构造单元分界线 4. 井位 5. 浓度封闭系数等值线

图2 琼东南盆地(西部)梅二段现今浓度封闭系数等值线图

Fig. 2 The equivalent map of concentration seal coefficient of Meierduan in Qiong Dong Nan Basin (west)

② 陵二段由于其埋深较大,成熟度较高,因而浓度封闭系数较大,但北部浓度封闭作用仍很低。崖南凹陷一带浓度封闭作用较强,浓度封闭系数 $10\%—85\%$,琼东南盆地南部浓度封闭系数 $>100\%$,说明陵二段盖层下的气藏可完全被浓度“屏蔽”。

4 结 论

1) 盖层为非源岩和烃源岩时,两者抑制气藏天然气扩散损失的能力是完全不同的,非源岩盖层无浓度“屏蔽”作用,而源岩盖层的生气强度是其“浓度屏蔽”作用关键因素。

2) 可用浓度封闭系数来定量评价盖层的烃浓度封闭能力。

3) 琼东南盆地主要盖层的浓度封闭作用研究表明,纵向上,陵二段的浓度封闭能力大于梅二段的浓度封闭能力,平面上,南部盖层的浓度封闭能力大于北部盖层的浓度封闭能力,浓度封闭作用由北往南增强。

收修改稿日期:1995年11月16日

参 考 文 献

(1) 黄志龙等,天然气扩散模型的建立及其应用,大庆石油学院学报,1994,3:8—13。

Quantitative Evaluation and Application of Concentration Seal of Caprock

Huang Zhilong Gao Yaobin and Hao Shisheng

(Petroleum University, Beijing 100083)

Abstract

Diffusion of molecule is frequent in the nature, diffusion of natural gas is important migratory mechanism. The natural gas in reservoir may diffuse through caprock. The key to the quantitative evaluation of sealing ability of caprock is to make out the quantity of diffusion through caprock. The mechanism and the method of evaluate quantitatively the concentration seal of caprock are put forward in this paper. The main caprocks in Qiong Dong Nan basin are studied using the method.

Key Words: Caprock Concentration seal Diffusion