

# 鄂尔多斯盆地靖边-绥德地区 古生界天然气运移和聚集的数值模拟

林锡祥 华保钦 杨小梅  
(中国科学院兰州地质研究所,兰州 730000)

**提 要** 本文用二维盆地模拟方法研究鄂尔多斯盆地靖边-绥德地区古生界天然气的运移和聚集。在数值模型中,天然气的运移由渗流和扩散两种运移形式组成。模拟结果表明,研究区古生界天然气的运移以渗流运移为主,扩散运移为辅。以早白垩世末期燕山运动后幕为界,运移期大体上可分为两个阶段。由此,形成了研究区各井的三种不同的运移聚集史。

**关键词** 渗流运移 扩散运移 数值模拟 天然气势 含气饱和度  
**第一作者简介** 林锡祥 男 56岁 研究员 石油地质

天然气藏的形成是天然气运移和聚集的结果。研究天然气的运移和聚集对勘探实践具有指导意义。本文是用二维盆地模拟方法研究鄂尔多斯盆地靖边-绥德地区古生界天然气的运移和聚集。众所周知,天然气的生成、运移和聚集是紧密相联的过程,生成量是运移和聚集的物质基础,而天然气的生成又取决于地层埋藏史和地温史。因此,研究天然气运移和聚集的数值模型包括烃源岩埋藏史、地温史、生气史和运移聚集史等内容;其中,运移聚集史模型是由二维渗流运移和二维扩散运移结合成的。模拟对象是由陕参1林1麒参1洲2铺1铺2和榆9等七口井组成的地质横剖面(图1)

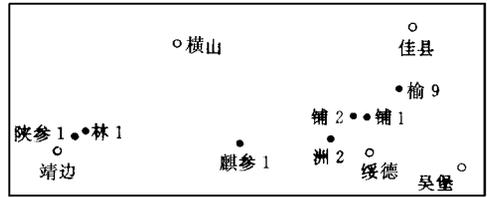


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

因此,研究天然气运移和聚集的数值模型包括烃源岩埋藏史、地温史、生气史和运移聚集史等内容;其中,运移聚集史模型是由二维渗流运移和二维扩散运移结合成的。模拟对象是由陕参1林1麒参1洲2铺1铺2和榆9等七口井组成的地质横剖面(图1)

## 1 地层埋藏史

根据沉积压实原理,用(1)式可以重建地层埋藏史

$$H_s = \int_{z_1}^{z_2} [1 - H(Z)] dZ \tag{1}$$

式中,  $H_s$ ——沉积层骨架厚度

$Z_1$ 、 $Z_2$ ——沉积层顶界和底界深度

$H(Z)$ —— $Z$ 深度处的孔隙度

欠压实地层经历了前期正常压实阶段和后期停止压实阶段,故恢复地层埋藏史时,欠压实地层从开始停止压实起孔隙度保持不变。

盆地处于上升剥蚀时期,根据压实不可逆原理,地层孔隙度也保持不变。剥蚀层段开始被剥蚀的时间和剥蚀厚度采用 Guidish 模式 (1985)<sup>[3]</sup> 确定。

鄂尔多斯盆地经历了中晚元古代坳拉谷、早古生代浅海台地、晚古生代滨海平原、中生代内陆湖盆和新生代周边断陷五大地质构造演化阶段。研究区位于盆地伊陕斜坡靖边绥德地区,从奥陶系马家沟组碳酸盐岩地层沉积以来的地层埋藏史以陕参 1 井为例如图 2 所示。加里东地壳运动使本区全面抬升,缺失中上奥陶统、志留系、泥盆系和下石炭统,沉积中断 1 亿年以上,在此期间,下奥陶统马家沟组碳酸盐岩遭受长期的风化侵蚀,侵蚀幅度 40—105 m,形成台、谷、丘相间的古地貌单元。侵蚀淋滤形成的碳酸盐岩风化壳岩溶带成为天然气聚集的良好场所。中石炭世开始,盆地又复沉降,中石炭统直接和奥陶系马家沟组不同层位接触,沉积环境由海相到陆相。从中石炭统到中侏罗统基本上为连续沉积。侏罗纪末期的燕山运动使本区抬升,缺失上侏罗统,剥蚀厚度约 150 m 左右。早白垩世堆积了陆相碎屑岩。燕山晚期盆地构造面貌逐渐变为自东向西倾斜的箕状形态,晚白垩世至第三纪末期研究区一直处于抬升、剥蚀阶段,剥蚀厚度为 500—1300 m 左右,陕参 1 林 1 井缺失  $K_1$ — $N_2$  地层,麒参 1 洲 2 铺 1 铺 2 和榆 9 等井缺失  $J_1$ — $N_2$  地层。第四系在研究区厚度小于 60 m。

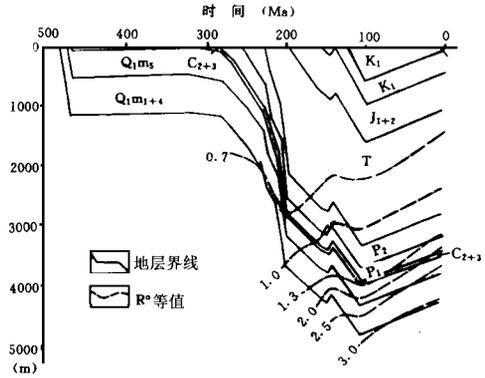


图 2 陕参 1 井地层埋藏史和成熟度 ( $R^0$ ) 史

Fig. 2 Reconstruction of the burial history and iso-reflectance lines for each horizons in the Shanpan-1 well

中石炭世开始,盆地又复沉降,中石炭统直接和奥陶系马家沟组不同层位接触,沉积环境由海相到陆相。从中石炭统到中侏罗统基本上为连续沉积。侏罗纪末期的燕山运动使本区抬升,缺失上侏罗统,剥蚀厚度约 150 m 左右。早白垩世堆积了陆相碎屑岩。燕山晚期盆地构造面貌逐渐变为自东向西倾斜的箕状形态,晚白垩世至第三纪末期研究区一直处于抬升、剥蚀阶段,剥蚀厚度为 500—1300 m 左右,陕参 1 林 1 井缺失  $K_1$ — $N_2$  地层,麒参 1 洲 2 铺 1 铺 2 和榆 9 等井缺失  $J_1$ — $N_2$  地层。第四系在研究区厚度小于 60 m。

## 2 地温史

地温史是制约烃类生成的最重要因素(生物成因气除外),根据今地温和实测镜质体反射率资料,在 Lerche(1984)的热流史模型<sup>[4]</sup>基础上,可以推导出古地温梯度与今地温梯度的下列关系式:

$$G(t) = G(1 + Ut) \quad (2)$$

式中,  $G(t)$ —— $t$  百万年前的地温梯度

$G$ ——今地温梯度

$U$ ——古地温梯度与今地温梯度的关系因子,由实测镜质体反射率与地温史的关系

确定

模拟结果认为,研究区地温梯度从古至今逐渐降低,如表 1 所示

表 1 各地质时期的地温梯度

Table 1 Computed geothermal gradient ( $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ) changes with the geological age

时代 井号	O-C <sub>1</sub>	C <sub>2+3</sub>	P	T	J	K	E	N	Q
陕参 1	5.6-4.8	4.8-4.42	4.42-4.27	4.27-4.08	4.08-3.78	3.78-3.4	3.4-3.18	3.18-3.06	3.06-3.05
麒参 1	5.6-4.7	4.7-4.3	4.3-4.14	4.14-3.94	3.94-3.61	3.61-3.21	3.21-2.96	2.96-2.83	2.83-2.82

### 3 成熟度史和生气史

地化研究证实上古生界奥陶系马家沟组碳酸盐岩为烃源岩,上古生界烃源岩有煤岩、碳质泥岩、暗色泥岩和灰岩。煤岩主要分布在上石炭统太原组和下二叠统山西组,灰岩主要分布在太原组

在恢复地层埋藏史和地温史基础上,用 TTI 法可以模拟出烃源岩的成熟度 ( $R^{\circ}$ ) 演化史,  $R^{\circ}$  与 TTI 关系式是根据陕参 1 井和麒参 1 井若干个实测的  $R^{\circ}$  与对应的 TTI 值用最小二乘法求得。即:

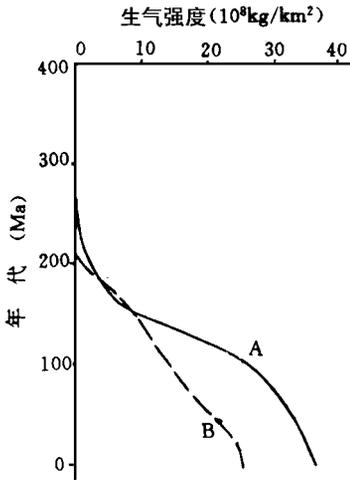
$$\begin{aligned}
 & \text{TTI} \leq 0.4 \text{ 时, } R^{\circ} = 0.2 \\
 & 0.4 < \text{TTI} \leq 1100 \text{ 时, } R^{\circ} = 0.327 + 0.32 \lg(\text{TTI}) \\
 & 1100 < \text{TTI} < 1650 \text{ 时, } R^{\circ} = -7.835 + 3.018 \lg(\text{TTI}) \\
 & 1650 \leq \text{TTI} \leq 2150 \text{ 时, } R^{\circ} = -8.48 + 3.231 \lg(\text{TTI}) \\
 & \text{TTI} > 2150 \text{ 时, } R^{\circ} = -1.177 + 1.044 \lg(\text{TTI})
 \end{aligned} \tag{3}$$

在计算出  $R^{\circ}$  史后,就可用热模拟实验产气率法恢复生气史。首先把热模拟实验结果用最小二乘法曲线拟合求得产气率与  $R^{\circ}$  的关系式,进而计算出各个地质时期的生气强度和生气量。碳酸盐岩和煤的生气率用环 14 井奥陶系泥晶灰岩和陕西府谷山西组褐煤的实验数据<sup>①</sup>,泥岩生气率用王庭斌(1990)的数据<sup>②</sup>。

因各井地温梯度和埋深不同,烃源岩成熟度史和生气史也各异,总的趋势是成熟度为西高东低,生气量也是西大东小。总体讲,奥陶系马家沟组底部烃源岩在中石炭世早期(329 百万年前)  $R^{\circ}$  值已达 0.5%—0.6%,开始生成天然气,中侏罗世  $R^{\circ}$  值为 1.3%,晚侏罗世已达 2.0%,进入干气阶段,目前  $R^{\circ}$  为 3.0% 以上。马家沟组顶部烃源岩在晚三叠世  $R^{\circ}$  已达 0.5%,早白垩世以后陆续达到 1.3%,目前麒参 1 井以西地区  $R^{\circ}$  已超过 2.0%。上古生界太原组和山西组烃源岩于晚三叠世末期开始成熟,目前  $R^{\circ}$  值在 1.0%—2.0%,其底部在陕

① 裴锡古等,鄂尔多斯地区天然气富集条件,1990

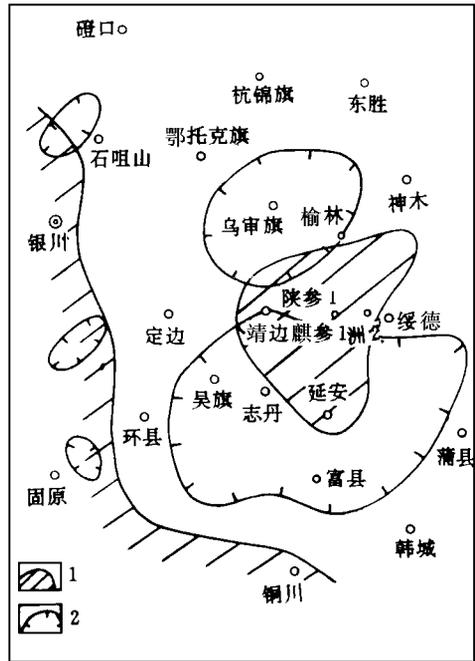
② 王庭斌等,天然气(含煤成气)资源评价与勘探测试技术研究,1990



A. 陕参 1 井奥陶系马家沟组 (O<sub>1</sub> m)  
 B. 麒参 1 井上古生界 C<sub>3</sub>-P<sub>1</sub>

图 3 烃源岩累积生气强度随时间变化曲线

Fig. 3 Variation of the accumulative gas generation intensity with time (Ma years)



1. 奥陶系生气强度大于  $10 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$  的地区  
 2. 上古生界生气强度大于  $25 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$  的地区

图 4 鄂尔多斯盆地现今古生界累积生气强度图 (据裴锡古, 1992 改编)

Fig. 4 Sketch map of the accumulative intensity of the Palaeozoic gas generation at the present time, Ordos Basin

参 1 林 1 井已超过 2.0%。陕参 1 井成熟度史如图 2 所示。

下奥陶统马家沟组 (O<sub>1</sub> m) 烃源岩目前累积生气强度在  $10-36 \text{ kg} / \text{km}^2$ , 陕参

1 井的累积生气强度史如图 3 所示, 其生气高峰期在早侏罗世至晚白垩世早期 (195-90 百万年前)。上古生界 C<sub>3</sub>-P<sub>1</sub> 烃源岩目前的累积生气强度为  $8-35 \text{ kg} / \text{km}^2$ , 累积生气强度史以麒参 1 井为例 (图 3), 其生气高峰期在中侏罗世至晚白垩世末期 (175-67 百万年前)。

除本区自身的气源外, 从区域上讲, 研究区处于鄂尔多斯盆地东部奥陶系生气中心范围内和南、北部上古生界生气中心之间 (图 4), 因此, 外来的气源也是充足的。

### 4 运移聚集史

天然气运移的机理一般包括渗流作用和扩散作用两种。渗流作用服从达西定律, 主要受流体势控制, 在渗流作用下, 天然气由高势区往低势区运移, 并在封闭的低势区聚集成藏。扩散作用服从弗克定律, 在含油气盆地中, 天然气从高浓度处向低浓度处扩散是常见的运移形式, 它贯穿于烃源岩的排气、天然气的运移和聚集以及成藏后的散失等过程。据此, 本文建立了由二维两相渗流运移模型和二维扩散运移模型相结合组成的天然气运移聚集模拟系统。

在研究区按网格系统布置二维 (垂直方向和某一水平方向) 计算单元, 利用上述模拟系统可以求得各计算单元在各个地质时期的含气饱和度, 由此推断天然气运移和聚集的方向。

#### 4.1 渗流运移模型

采用 Ungerer 的二维两相流体流动模型<sup>[6]</sup>,它主要由流体渗流方程和质量平衡方程等组成。其数学表达式如下:

$$\vec{V}_w = \frac{-K K_w d_w}{-w} \vec{\text{grad}} F_w \quad (4)$$

$$\vec{V}_g = \frac{-K K_g d_g}{-g} \vec{\text{grad}} F_g \quad (5)$$

$$F_w = \frac{P_w}{d_w} + GZ \quad (6)$$

$$F_g = \int \frac{P_{g2}}{P_{g1}} \frac{P_g}{d_g} + GZ \quad (7)$$

$$P_g = P_w + P_c \quad (8)$$

$$d(d_w VHS_w) = d_w \sum_{n=1}^4 L_n \vec{V}_w dt \quad (9)$$

$$d(d_g VHS_g) = d_g \sum_{n=1}^4 L_n \vec{V}_g dt + dQ \quad (10)$$

式中:  $K$ —固有渗透率 ( $\text{m}^2$ )

$\vec{V}_w$   $\vec{V}_g$ —分别为水和天然气的渗滤速度 ( $\text{m/s}$ )

$-w$   $-g$ —分别为水和天然气的动力粘度 ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )

$K_w$   $K_g$ —分别为水和天然气的相对渗透率

$d_w$   $d_g$ —分别为水和天然气的密度 ( $\text{g/cm}^3$ )

$F_w$   $F_g$ —分别为水势和天然气势 ( $\text{m}^2/\text{s}^2$ )

$P_w$   $P_g$   $P_c$ —分别为水压力、气压力和毛细管压力 ( $\text{Pa}$ )

$G$ —重力加速度 ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

$Z$ —计算点相对于基准面的高度 ( $\text{m}$ )

$V$ —单元体积 ( $\text{m}^3$ )

$H$ —孔隙度

$L_n$ —和相邻单元相接的边界长度 ( $\text{m}$ )

$S_w$   $S_g$ —分别为水和天然气饱和度 (%)

$dt$ —时间间隔 (%)

$dQ$ — $dt$ 期间天然气的生成量 ( $\text{kg}$ )

相对渗透率  $K_w$   $K_g$  用 Mudford(1990)<sup>[3]</sup>的关系式。

由渗流方程可知,渗流运移主要受流体势控制,而流体势的大小取决于流体压力、流体密度和计算点标高。

盆地演化过程中每一个计算点的孔隙流体压力在地层正常压实情况下等于静水压力;在欠压实情况下,地层孔隙度不随埋深加大而减小,岩层的有效应力不变,增加的上覆负荷压力将完全由孔隙流体支撑,若上覆岩层密度为  $2.3 \text{ g/cm}^3$ ,在不考虑水热增压条件下,流体压力增加的速度应为  $0.023 \text{ MPa/m}^{[1]}$ ;在盆地处于上升剥蚀时期,尔压实层段流体压力减小的速度应不小于  $0.023 \text{ MPa/m}$  据此可以从目前实测的地层压力和地层埋藏史恢复盆地沉积演化过程中每个计算点流体压力的变化。本文参照裴锡古等(1990)<sup>①</sup>的剩余压力图求取目前地层压力值

#### 4.2 扩散运移模型

扩散运移是由浓度差引起的物质分子的移动,因此,天然气扩散运移的结果是扩散场各计算单元天然气浓度随时间而变化。按照费克第二定律,反映浓度随时间变化的扩散方程是:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left[ \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right] \quad (11)$$

式中,  $C$ ——天然气浓度 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )

$t$ ——时间

$D$ ——扩散系数 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

$x, y, z$ ——三维空间的三个方向

已知天然气初始浓度和地层的扩散系数,则采用有限差分法就可求出扩散场各点在各时间间隔的天然气浓度分布。

#### 4.3 天然气势和含气饱和度

模拟的主要成果是重现了网格系统中每个单元在各个地质时期的天然气势和含气饱和度。模拟结果表明,本区含气饱和度的分布明显受控于天然气势,即天然气势相对低的地区含气饱和度高于其邻近天然气势相对高地区的含气饱和度(图5图6图7和图8),说明研究区天然气的运移以渗流运移为主,扩散运移为辅

本区奥陶系天然气开始运移时间在上石炭世(307百万年前),上古生界天然气在晚三叠世(204百万年前)开始运移。以早白垩世末期燕山运动后幕为界,运移期大体上可分为两个阶段。

第一阶段的主要运移期从侏罗纪早期(195百万年前)至早白垩世末期(100百万年前),此时期内麒参1井为高势区,天然气势大于  $30 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ,其西侧陕参1井和林1井为低势区只有  $17-25 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ,东侧的洲2井为  $25-29 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 。东部榆9井为低势区,天然气势为  $20-22.5 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ,其西侧铺1和铺2井为相对高势区,其值为  $25-30 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 。天然气由高势区向邻近低势区运移,因此,陕参1井、林1井、洲2井和榆9井为天然气运移指向,含气饱和度大于30%;而麒参1铺1和铺2等井含气饱和度小(图5图6)。

晚白垩世燕山运动后幕和第三纪喜山运动使本区抬升,各井区地层遭受不同程度剥蚀,陕参1和林1区白垩系以上地层被剥蚀,麒参1等五井区缺失侏罗系及其以上地层。由于地层抬升剥蚀,造成地层压力减小,因而各井区天然气势随之降低,其相对高低也起变化,从而

① 裴锡古等,鄂尔多斯地区天然气富集条件,1990

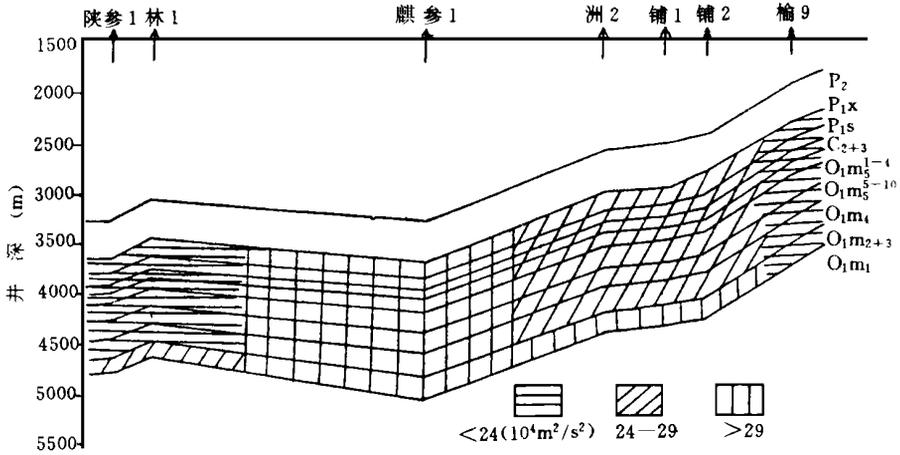


图 5 早白垩世末期古生界天然气势分布图

Fig. 5 Distribution of the computed gas potentials of Palaeozoic at the end of Lower Cretaceous

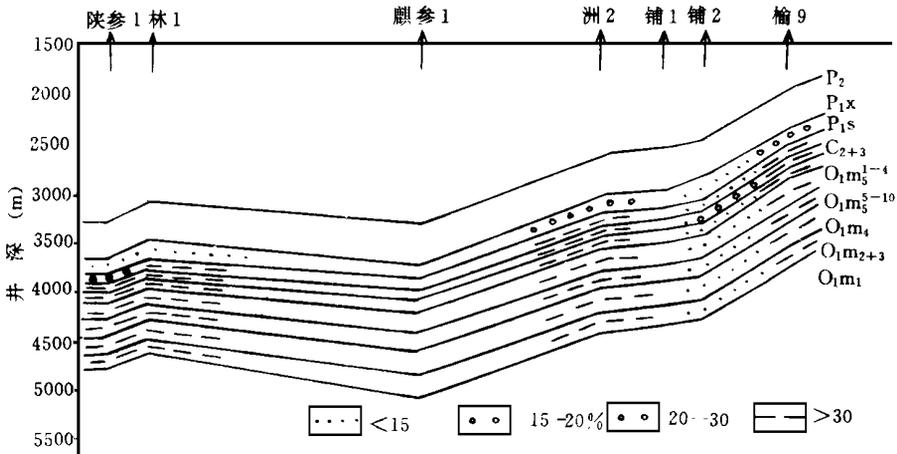


图 6 早白垩世末期古生界含气饱和度分布图

Fig. 5 Distribution of the computed gas saturations of Palaeozoic at the end of Lower Cretaceous

引起天然气运移指向的变化,进入第二阶段运移期。图 7和图 8是目前古生界天然气势和含气饱和度分布的情况,是天然气进入第二阶段运移期的最终结果。目前陕参 1和林 1井上古生界和奥陶系处于高势区,其值大于  $15 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ,但奥陶系马家沟组风化壳 ( $O_1m_5^{1-4}$ )为低势区,其值小于  $13 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 。麒参 1等五口井处于低势区 ( $13-15 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}^2$ )。天然气势相对高低的变化造成天然气运移指向的改变,含气饱和度也随之发生变化。陕参 1和林 1井上古生界含气饱和度由大于 30%降为目前的 10%—15%,东部洲 2和榆 9井上古生界含气饱和度大而麒参 1铺 1和铺 2井含气饱和度很低的情况已不存在,变为麒参 1洲 2铺 1和铺 2井含气饱和度在 18%—25%;下古生界奥陶系马家沟组合气饱和度变化情况

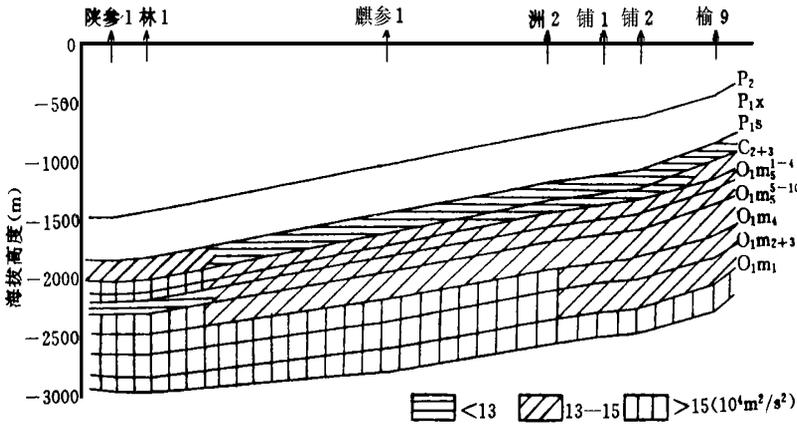


图7 目前古生界天然气势分布图

Fig. 7 Distribution of the computed gas potentials of Palaeozoic at the present time

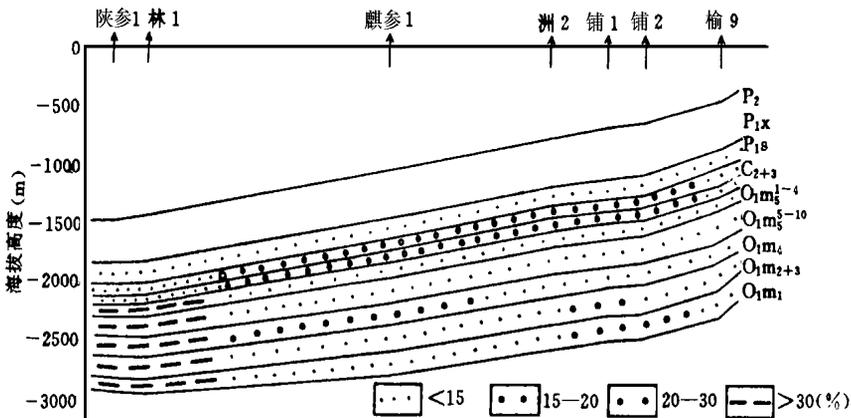


图8 目前古生界含气饱和度分布图

Fig. 8 Distribution of the computed gas saturations of Palaeozoic at the present time

与上古生界不同,由于陕参1和林1井马家沟组属云灰坪相带,其孔渗条件明显优于处在膏盐湖相带的麒参1等五口井,因此,虽然陕参1和林1井目前处于高势区,天然气仍然没有向外运移,含气饱和度仍保持在30%以上,值得提出的是,这两口井的马家沟组上部风化壳( $O_1m_5^{1-4}$ )目前压力系数只有0.92,为低势区,且岩溶带比其他五口井发育,孔渗条件良好,含气饱和度在37%以上,是目前主要产气层;麒参1洲2铺1和铺2等井经过第二阶段运移期,目前奥陶系含气饱和度在10%—20%(图8)东部榆9井目前处于低势区,但整个古生界含气饱和度反而变得很低,则是由于水动力条件的影响所致。总括起来,沿研究剖面奥陶系天然气主要分布在麒参1井以西地区,而上古生界天然气则主要分布在麒参1井及其以东地区。

根据含气饱和度史,可以把研究区各井天然气的运移和聚集大体上分为下述三种情况。

一是目前天然气的聚集是在第一阶段运移期完成的,主要运移、聚集期与天然气的生成高峰期相一致,含气饱和度逐渐增加,在早白垩世末期(100百万年前)达到最大值。其后虽经燕山运动后幕和喜山运动的改造,因处于区域上明显的有利相带,孔渗条件比邻井优越得多,故天然气没有向外运移,含气饱和度基本上不变,如陕参1和林1井奥陶系马家沟组即是(图9)。

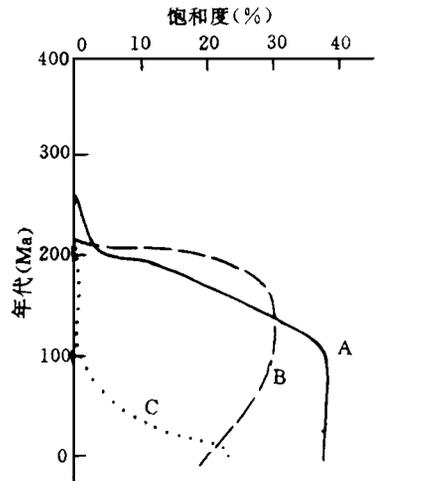
二是在第一阶段运移期含气饱和度逐渐加大到最大值,其后晚白垩世燕山运动后幕和喜山运动使已聚集的天然气有一部分向邻井运移,致使含气饱和度下降,如洲2井、榆9井(图9)。

三是天然气的运移、聚集主要是在第二阶段运移期完成的。在晚白垩世以前含气饱和度一直很低,燕山运动后幕及其后的喜山运动本井才成为天然气运移的指向,含气饱和度增大到目前的状况,如麒参1、铺1和铺2井即是(图9)。

本文工作得到长庆石油勘探局的大力协助,深表感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 真柄钦次,陈荷立等译. 压实与流体运移. 石油工业出版社, 1981
- [2] 裴锡古. 鄂尔多斯盆地古生界天然气的运移和聚集. 天然气地质研究, 石油工业出版社, 1992, 179-185
- [3] Guidish T M, et al. Basin evaluation using burial history calculations: an overview, AAPG bull., 1985, 69(1): 92-105.
- [4] Lerche I, et al. Determination of paleoheat flux from vitrinite reflectance data, AAPG bull., 1984, 68 1704-1717.
- [5] Mudford B S. An one-dimensional, two phase model of overpressure generation in the Venture gas field, offshore Nova Scotia, Bull. Canad. Petrol. Geol., 1990, 38(2): 246-258.
- [6] Ungerer P, et al. Basin evaluation by integrated two-dimensional modeling of heat transfer, fluid flow, hydrocarbon generation, and migration, AAPG, 1990, 74(3): 309-335.



A. 陕参1井奥陶系马家沟组风化壳 B. 洲2井二叠系山西组 C. 铺1井二叠系山西组  
图9 含气饱和度随时间变化曲线

Fig. 9 Evolution curves of the gas saturations with time for the three wells

# Numerical Modelling of the Palaeozoic Natural Gas Migration and Accumulation in the Jingbian– Suide area, Ordos Basin

*Lin Xixiang Hua Baoqin and Yang Xiaomei*

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

## Abstract

Primary migration and secondary migration of the natural gas have generally two forms, percolation and diffusion stream. The percolation migration is under the control of fluid potential, its direction is defined in such a way that gas percolation migrates from high to low gas potential. The diffusion stream is decided by concentration gradient, that gas moves from high to low concentration range.

Based on the above considerations, the bidimensional computer model of gas migration and accumulation is set up and consists of diphasic fluid percolation model ( Ungerer, 1990) and diffusion stream model in this paper, and its application to the Jingbian– Suidе area of Ordos Basin is also discussed in the present paper.

The study area is situated in the Yishan slope of Ordos Basin. Carbonate rocks of Ordovician and coal– bearing series of Upper Palaeozoic possess good condition of gas generation, and they are major source rocks and reservoir rocks of the area.

Modelling results have demonstrated that percolation migration is the principal form of the Palaeozoic gas migration, and diffusion migration is the secondary in this area. The period of migration may be divided into two stages. The first one occurred before Early Cretaceous. After the end of Late Cretaceous the area was lifted by the Yanshan Crustal Movement and Xishan Crustal Movement, Lower Cretaceous and Jurassic sedimentary strata of different places were eroded in varying degrees, distribution of gas potentials was changed, from then on, the period of migration entered the second stage.

There are three types of gas migration and accumulation history for wells of this area:

(1) Gas accumulation was formed in the first stage of migration, and the gas saturation is still high at the present time. (2) Gas accumulation was also formed in the first stage of migration. Thereafter, due to the Yanshan and Xishan Crustal Movement, the accumulated gas had partially migrated outward, resulting in the decrease of the gas saturation. (3) Gas accumulation was mainly been formed in the second stage of migration.

**Key words** percolation migration diffusion migration numerical modelling gas potential gas saturation