

# 直接模拟排烃量的方法及其应用

李明诚

(中国地质大学,北京 100083)

秦若辙

(大港石油勘探开发研究院,天津 300280)

马 顺 明

(胜利油田地质科学研究所,山东东营 257015)

作者采用直接模拟排烃量的方法,对我国渤海湾某凹陷进行了排烃量和排烃率的模拟,同时对其油气运移的一些主要特征也进行了研究和分析。

关键词 直接模拟 排烃量 排烃率 残烃量

第一作者简介 李明诚 男 58岁 教授 石油地质

排烃时的模拟是当前定量研究油气运移的最有效方法。通过模拟不仅能获得排烃量、排烃率等重要评价参数,同时对地下运移的相态、距离、方向以及通道等问题都能进行比较可靠的定量分析。本文提出直接模拟排烃量的方法,适用于砂泥岩层系中的石油和油型气。

## 一、问题的提出

目前常根据生烃量减残烃量求得排烃量再比上生烃量得出排烃率 $[(生烃量 - 残烃量) / 生烃量 = 排烃率]$ 。但传统方法生烃量是依据残烃指标来求得,无论用体积法、还是蒂索法,都要乘以各种类比的经验系数或难以测定的转换系数来恢复,其结果两者总是呈正相关关系。实际上现今的残烃量是生成和运移两种作用的最终产物,两者关系并非一定正相关。从方程上看,残烃量大时排烃率就小,或残烃量小时排烃率就大,因此与传统上用残烃指标来评价生烃岩的好坏产生矛盾。另外从数学上看,残烃量与生烃量表面上是两个数,实际上生烃量来自残烃量是一个同源数,该方程也不能成立。用热模拟法求生烃量虽然可以缓解这一问题,但在取得不成熟样品和实验条件上与地下相差甚远,问题也不小。提出这些问题并非否定这些方法,而只是想说明求原始生烃量仍是一个难关。能不能找出一种方法绕过原始生烃量而直接求出排烃量呢,这就是本文的中心议题。

## 二、直接模拟的方法

众所周知,赋存在地层孔隙中的石油几乎是不可压缩的。因此,根据压实原理泥质源岩成熟后孔隙体积的减小,就意味着有等体积孔隙流体的排出,只要得知排出流体中的含油饱和度和地下原油密度,利用下列方程就能计算出排烃量和排烃率。

$$Q_1 = V[(n_m - n_r)/(1 - n_m)]S_o\rho_o \quad (1)$$

式中： $Q_1$ 为排烃量( $10^8t$ )、 $V$ 为成熟源岩体积( $km^3$ )、 $n_m$ 为源岩门限深度时的孔隙度(%)、 $n_r$ 为源岩现埋深的孔隙度(%)、 $S_o$ 为排出流体的含油饱和度(%)、 $\rho_o$ 为地下原油密度( $10^3t/km^3$ )。

$$K(\%) = Q_1/(Q_1 + Q_2) \quad (2)$$

式中： $K$ 为排烃率(%)、 $Q_2$ 为源岩中的残烃量( $10^8t$ )、 $(Q_1 + Q_2)$ 为地下源岩实际生烃量( $10^8t$ )。

$$Q_2 = V\rho_r A \quad (3)$$

式中： $\rho_r$ 为源岩的密度( $10^3t/km^3$ )、 $A$ 为氯仿沥青含量(%)。

通过数值模拟可以得出总排烃量、每层源岩的排烃量和排烃率以及每个时期的古排烃量。再根据地下的温度和压力就能得知油中的溶气量(即排气量)，同样也可以求得排气率。

### 三、应用的实例

作者(1986~1987)曾对我国东部渤海湾盆地某凹陷进行了排烃量和排烃率的模拟。根据该凹陷陆上 150 口钻井、海上 6 口钻井以及海上地震剖面等实际资料，编制了程序(图 1)，进行了电算，获得了较为满意的结果。

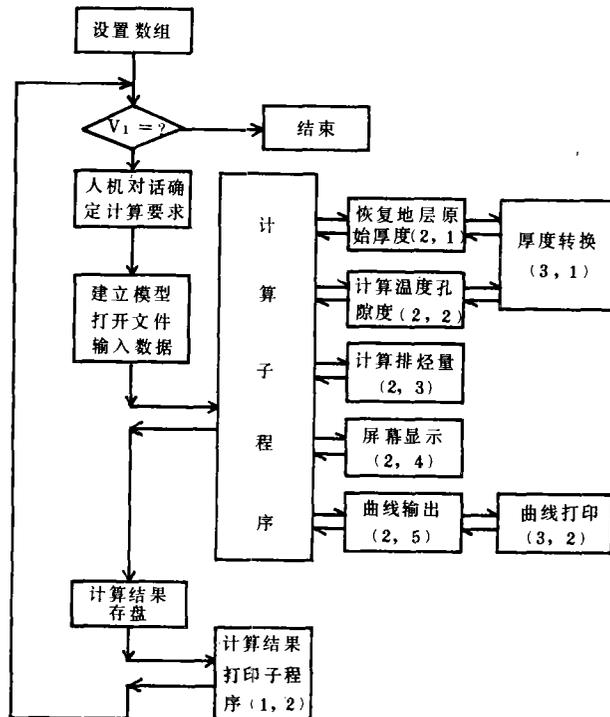


图 1 排烃量计算程序框图

1. 排烃量：下第三系渐新统(沙河街组和东营组)沙三段生油岩的排烃量占总排烃量的

50%、沙二段占20%、沙一段占15%。有效生油岩体积接近沙三段、相当于沙二段和沙一下段之总合,生油指标最好的沙一中上段只占排烃量的10%,东营组约占5%(图2)。

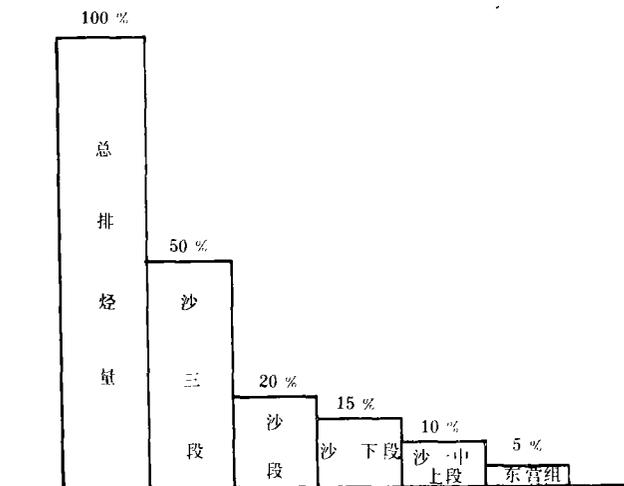


图2 渐新统各组段生油岩排烃量(%)

2. 凹陷内分区排烃量:陆地部分占总排烃量的12%;海域部分占总排烃量的88%(其中<5m水深地区占39%,>5m水深地区占49%)。

3. 排烃率:下第三系渐新统各生油层系的平均排烃率为29%。各层段的排烃率沙三段为42%、沙二段为36%、沙一下段为34%、沙一中上段为11%、东营组为16%。

4. 占排烃量:晚第三纪上新世明化镇上期末( $Nm^+$ )各生油层段的累计排烃量约占当今总排烃量的90%;明化镇下期末( $Nm^-$ )约占64%;中新世馆陶世末( $Ng$ )约占15%;而早第三纪渐新世东营期末只占当今总排时的7.5%。

分析上述成果可以得出砂泥岩层系中油气运移的一些主要特征:

1. 主力生油层是排烃量大、排烃时期长、排烃率高的沙三段。评价生油层的好坏不能单凭地化指标的高低。沙一中上段氯仿抽提物丰度几乎是沙三段的一倍且生油岩有效体积大致相当,但其排烃量只及沙三段的1/5,排烃率只有11%。说明地化指标只能直接反映残烃的多少,并不能直接反映排烃量的多少,因此也就不能完全反映生油岩的好坏。如果源岩母质类型和有效生油岩体积大致相同而地层压实程度和排液条件不同(岩性组合不同),那么欠压实地层往往是地化指标高、残烃量大而排烃量低,沙一中上段就是这种情况。由于各生油组段的排烃量和残烃量都不相同,因此对一个生油凹陷来说也不能只有一个相同的排烃率。

2. 排烃期和油气聚集的时期在砂泥岩层系中初次运移和二次运移是一个连续的、互相制约的并几乎是同时的过程。大量排烃的时期也应是二次运移聚集的时期。根据古排烃量的计算可以得知,开始大量排烃的时期是明化镇下期而并不在东营期末(图3)。因此那种认为早第三纪先形成古油气藏,而后为早晚第三纪之间的地壳运动所破坏,再在上第三系中形成次生油气藏的说法是不确切的。看来上第三系中的油气藏就是在晚第三纪大量排烃时聚

集形成的,并非原生气藏破坏后而形成的次生气藏。因此不必担心在东营期末由地壳运动所造成的沉积间断和不整合会导致大量油气的散失。相反,这一运动可能为后期大量运移的油气提供更多的通道。这可能就是上第三系中油气比较富集的主要原因,尤其是在断层发育的地区更是如此。这一点对于我国东部断陷盆地上第三系油气勘探具有重大意义。

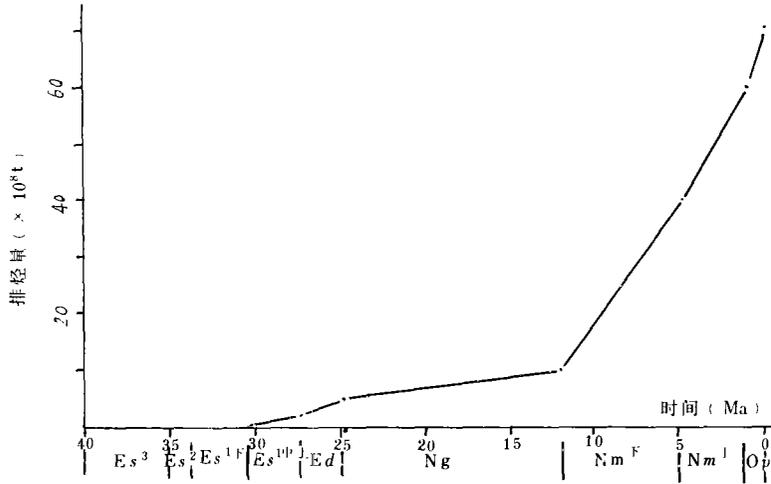


图3 渐新生油岩排烃量随时间变化曲线

3. 根据排烃等值线的分布可以进一步推断运移方向(图4)。等值线向陆地凹陷边缘发散的方向一般是运移的主方向。目前陆地上所发现的油气藏大多位于主运移方向的两侧。

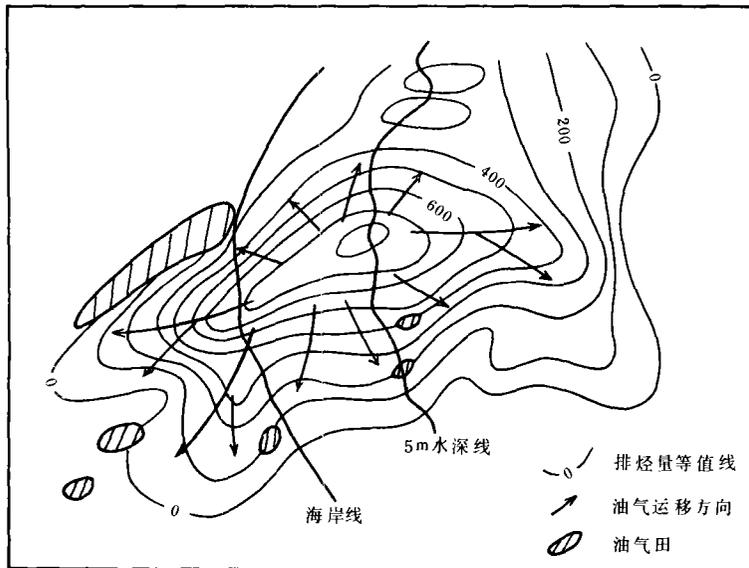


图4 排烃等值线与油气运移方向

利用物质平衡原理计算供油面积可以确定运移距离。根据已知油气田在排烃等值线图上的位置,可以计算出要满足该油气田地质储量的供油面积,从而可以确定最小水平运移距离。通过计算确定:陆上各油气田的油气源水平运移距离约分别为20、12、10、6km。

实际上该凹陷陆地的排烃量不能满足陆地上各油气田的地质储量,必须要由海域排烃运移补给。若按海域排烃中心计算其最大水平运移距离,分别不超过30、20、18、15km。

4. 运移通道和运移模式:Magara(1978)提出过在砂泥岩层系中计算垂向和侧向运移量的方程:

$$\frac{q_H}{q_V} = S \cdot \frac{k_{sh}}{k_{sh}} \cdot \frac{L-h}{X} \cdot \frac{\rho_b - \rho_w}{\rho_{so} - \rho_w} \quad (4)$$

式(4)中: $q_H$ 、 $q_V$ 分别为侧向和垂向排量, $S$ 为地层中含砂层的厚度比, $K_{sh}$ 、 $K_{sh}$ 分别为砂岩和泥岩的渗透率, $(L-h)/X$ 是水平距离为 $X$ 的沉积厚度梯度, $\rho_b$ 、 $\rho_w$ 、 $\rho_{so}$ 分别为颗粒、孔隙流体和新沉积物的总体密度。

根据式(4)可求出 $q_H/q_V$ 比值,再根据下式求出侧向和垂向排量。

$$W_H = [q_H/q_H + q_V]W \quad (5)$$

$$W_V = \left[ \frac{1}{q_H} / (q_V + 1) \right] W \quad (6)$$

式(5)(6)中: $W$ 为总排量, $W_H$ 、 $W_V$ 分别为侧向和垂向排量。

我们对主力生油层沙三段进行了计算,结果表明只有2~3%的流体进行了穿层面的垂向运移,绝大部分流体都是沿层系进行侧向运移。可以设想如果有稳定的砂层、层理面和连续的沉积间断面,烃类将一直沿着它们进行侧向运移,但实际上由于岩性的变化以及断层的错动,流体并不能沿侧向一直运移。当在断层或岩性变化处侧向运移受阻时,流体就被迫沿断层面垂向运移。可见在砂泥岩层系中地下流体的运移通道主要是由砂层、泥质岩中的砂条带、层理面、沉积间断面以及断层组成。其中断层是迫使流体进行垂向运移的重要通道,否则在断陷盆地中的浅层很难有油气聚集。

正是断层的通道性和圈闭性决定了流体在砂泥岩层系中呈阶梯状运移(图5)。当砂岩与泥岩在断层两盘对置时,断层首先对砂岩中的流体产生圈闭,而后当圈闭中流体的能量大于断层面的排替压力时,流体就沿断层面往上运移,进入上升盘另一砂层后又开始侧向运移。当砂层与砂层在断层两盘对置时则发生穿断层面的运移,此时断层只具通道性。如果存在多条阶梯式的运移通道,流体就可能沿着不同的阶梯式通道以侧向加垂向的运移方式从凹陷深处运移上来。这种阶梯运移模式在断陷的缓坡一侧表现比较明显,在陡坡一侧由于断层密集,油气侧向运移比较短,很容易认为油气是沿一条断层运移上来的。认识断陷盆地砂泥岩层系中流体运移的这种模式具有很大的理论和实际意义。它不仅合理地解释了断层既可做通道又可做圈闭的两重性,同时也说明了:为什么在断层同一侧可以有不同性质、不同油源的油气聚集;为什么在断层同一侧某些与油气藏邻近的砂层中没有油气聚集;为什么相间水层的水质各不相同。这些都是流体沿一条断层由下往上运移所不能解释的问题。

在上述分析的基础上,我们就可以把那些靠近排烃中心、有断层连接深部主力生油层、有砂体分布而钻井又不太深的地区,做为进一步勘探油气的有利地区,为盆地的远景评价提

供科学的依据。

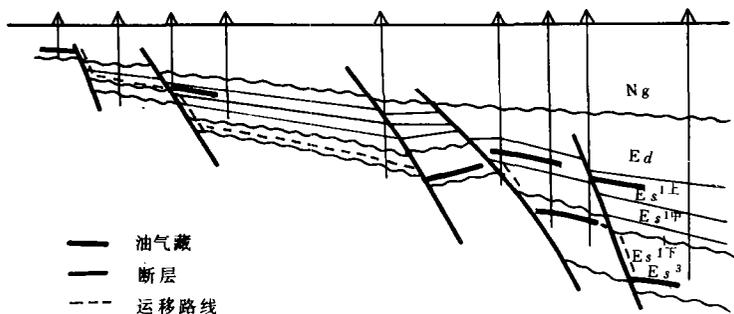


图5 阶梯状运移模式图

#### 四、方法的检讨

本方法最大的难点是如何确定  $S_0$  值。这次模拟用 Dickey(1975)提出的 1% 计算做为最小排烃量,用残烃饱和度计算为最大排烃量,取两者的平均值做为排烃量,其结果与该区用蒂索法计算生油量再乘以类比的排烃系数只相差几亿吨,在同一数量级上。我们认为当两种方法模拟的结果基本相同时,两种结果都具可靠性,说明该区残烃量与生烃量具正相关关系;当两种方法的模拟结果相差较大时,应当注意检查传统的计算方法,因为很可能是由该区残烃量与生烃量不呈正相关而引起的误差。

总之,本方法不同于其它的方法,它避开由残烃量先求原始生烃量这一难题,而是根据源岩孔隙度的减少直接计算出排烃量,再与实测的残烃量相加得地下实际生烃量,进而相比求出排烃率,在理论上也是合理的,而且还较少受到生油岩非均质性和取样分析的影响和干扰。尽管  $S_0$  值不易确定,但其可靠程度绝不会低于乘以经验系数的水平,完全可以成为计算和评价资源量的一种方法,其结果至少可以与其它方法的计算结果进行相互验证和对比。

近年来作者对如何确定  $S_0$  值进行了多方面的研究,并在不同的凹陷中进行了模拟,本文  $S_0$  值的取法只是其中的一种,这些情况将陆续在以后的文章中论述。

#### 参 考 文 献

1. 真柄钦次. 压实与流体运移, 1978
2. 李明诚. 石油与天然气运移, 1987
3. 李明诚. 石油实验地质, 1988, 10(2)
4. Chapman R E. *Petroleum Geology*, 1983

## METHODOLOGY AND APPLICATION OF DIRECT-SIMULATION ON THE HYDROCARBON EXPULSION

Li Mingcheng

*(China University of Geology)*

Qin Ruozhe

*(Dagang Research Institute of Petroleum  
Exploration and Development)*

Ma Shuanming

*(Research Institute of Geoscience, Shengli Oil Field)*

### Abstract

Applying the direct—simulation on hydrocarbon expulsion, the authors of this paper study the hydrocarbon expulsion and the expulsion rate in a certain depression of the Bohai Gulf Region. Furthermore, the main characteristics of hydrocarbon migration have been studied in this paper.