

有效运聚通道的提出与确定初探

王震亮 陈荷立

(西北大学地质系, 西安 710069)

油气成藏系统与运移通道的分布决定了油气运移的方向和数量。本文从砂岩孔隙型通道入手, 着眼于资源评价目的, 提出应用同类地区工业性油气田(藏)下限标准与不同时期油气汇聚区的水流量来定义临界饱和度, 该饱和度值所圈闭的范围, 即为有效运聚通道。利用盆地模拟结果参数可分别计算平面和剖面上的水流量, 从而得到不同地质历史时期有效运聚通道的分布范围, 这将有利于运聚史和运聚量的研究。

关键词 有效运聚通道 油气运移 临界运移饱和度 定量研究

第一作者简介 王震亮 男 32 岁 博士 油气地质

长期以来, 人们一直致力于能够定量研究油气运聚史与运聚量, 因为这一问题的最终解决, 既为定量评价一个地区的油气资源提供重要参数, 又是油气运移研究工作的最终成果。但困难度极大, 目前还没有形成比较成熟的方法技术。作者在对运聚量的实际计算中发现, 要准确计算运聚量, 首先要定量评价运聚通道。文中提出了有效运聚通道的概念, 并从数、理方法上着手对如何定量评价运聚通道进行了探讨, 以期引起人们对这一问题的关注。

1 有效运聚通道的提出

1.1 理论基础

在油气二次运移、聚集与成藏过程中, 决定地下流体运移方向的是势梯度, 而不是压力梯度(陶一川, 1983)。油、气、水等流体在其各自的势场内, 是由高势区向相邻的低势区运移的, 这已为越来越多的人所认同。此外, 作者一直强调, 流体势的大小和相对分布反映了流体潜在的流动能力, 之所以称之为“潜在”, 是因为这种动力条件须与运移通道如孔隙、裂缝、断层等相结合, 才能使这种可能性变为现实。油气的运移程度(方向、数量等)取决于其与地下通道及油气成藏系统等地质因素的分布之间的配合。

油气的运、聚作用是发生于油气成藏系统内的,

这是我们的基本思路。成藏系统的划分以流体势特别是油气的古流体势为主要依据, 结合排烃及储、盖层发育特点, 沿高势区的中心线(“分隔槽”)将研究区划分为若干油气成藏系统(见图 1)。这些分隔槽就象地形上的分水岭分隔着不同水系一样, 使每一成藏系统分别构成了一个相对独立的体系。这里的油气成藏系统是作者在“八五”国家科技攻关期间逐渐形成的一种思想, 其实质上是一种三维空间分布的汇油范围, 但比后者更具综合意义。一个含油气系统可以有一个或多个这样的汇油区(主要取决于其古流体势的分布与演化特征), 油气在其中运移、聚集直至成藏。一个油气藏(田)就形成于一个油气藏系统内。

有利于油气二次运移和聚集的通道很多, 为方便起见, 这里仅以有利于油气运聚的砂岩孔隙通道为例加以说明。在砂岩储集层中, 最有利于油气通过的岩石介质应首推那些油(气)势梯度大且通透性能良好的地区, 后者可主要从岩石的孔隙度、渗透率、含油(气)饱和度来反映。油气在发生二次运移和聚集时, 无论以什么相态进行, 有一点是共同的, 即通道(孔隙)内径的含量必须达到一定数量之上, 低于这一数量则不发生明显的运移活动, 人们将该值称之为临界运移饱和度。

1.2 概念的提出

然而, 油气在多大饱和度下方可发生运移, 目前

却又是众说纷纭(李明诚编著, 1994; Hirsh, 1995)。表 1 列出了不同研究者对初次运移时临界运移饱和度值的看法, 而有关二次运移下的临界饱和度值前人研究更少, 目前正待攻关。到目前为止, 既没有理

论上的推算方法, 实验室内的物理模拟也存在很大困难, 因为临界饱和度受多种因素影响, 特别与岩石的润湿性、成分、组构、孔隙度等因素有关, 不同的含油岩很难有一个比较统一的标准。

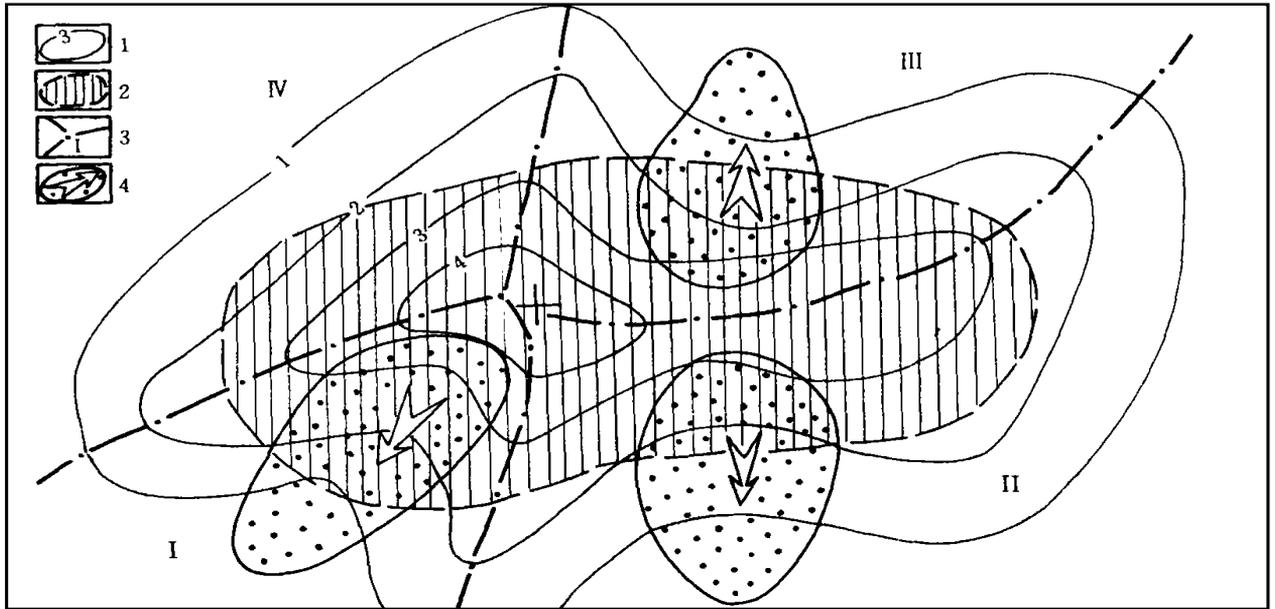


图 1 油气成藏系统划分示意图

1. 油势等值线; 2 有利排烃范围; 3 油气成藏系统分区及界线; 4 通道及运移方向

Fig. 1 Diagrammatic sketch of division to the pool-forming systems of gas and oil

1. contours of oil potential; 2 favorable regions for hydrocarbon-expulsion; 3 division and boundary between the pool-forming systems of gas and oil; 4 pathways and direction of migration

表 1 不同研究者对临界运移饱和度值的看法

Table 1 Various views on the critical saturability of migration by different researchers

研究者	临界运移饱和度(%)	研究者	临界运移饱和度值(%)
Levorsen(1979)	5~ 9	Philip(1995)	0.3
Dickey(1975)	10~ 1	Tissot(1971)	0.9
Welte(1987)	25	Momper(1978)	0.1
Hunt(1961)	0.35	李明诚(1992)	2~ 4

笔者认为, 对于孔隙型通道而言, 从岩石允许油、气通过的能力即通透性来看, 有利于油气二次运移的通道地区, 也必然是油气的有利聚集场所, 对于地层、岩性及水动力圈闭更是如此。这一思路与石油开发地质学中有效厚度的概念有一定相似之处。储层的产油能力取决于两个因素, 一是岩层具有一定

储油性, 即有一定孔隙度和含油饱和度; 二是在一定动力作用下储层内的石油具流动性, 即岩层有一定渗透率和地层压力。也就是说, 储层的孔、渗、饱须达某一下限值之上, 才具备形成工业油气流(聚集)的条件。在运聚量计算中, 油气发生二次运移时储层孔隙空间内的游离烃量必须首先满足临界运移饱和度

的要求。如前所述,采用一般的临界饱和度理论值,或仅靠为数有限的、非系统性测试结果将会给运聚量的计算带来很大误差,因此目前所见到的聚集量计算结果(排入储层中的烃量减去各种途径损耗量)往往具一定的、甚至较大的人为性。并且,过去对临界运移饱和度的应用是很笼统的一个平均值,没有考虑因岩石厚(宽)度、孔隙度、渗透率的变化导致临界运移饱和度的平面上变化。实际上在从油源岩到圈闭的漫长运移路途中,该值不可能一成不变,但对该值从源岩区到聚集区的系统测试不仅耗资巨大,且需在大量钻井、有足够岩芯资料之后方可进行,不利于油气资源特别是勘探新区的油气资源评价。因而笔者提出,参照同类地区工业油气流标准,考虑一定时期某一油气汇聚区的水流量,可以计算相应时期的油气临界运聚饱和度值,其公式为:

$$S_{om} = \frac{Q_{om}}{Q_{wt}} \quad (1)$$

式中 Q_{wt} 为某一运聚期对 Δt 内通过一汇聚区砂岩体的水流量((详见(15)式), Q_{om} 为不同地区工业油气藏下限标准。显然,(1)式是针对某一油气成藏系统(汇聚区)而言的,该临界饱和度的值更侧重于聚集并形成工业性油气藏的意义。因而又可称为临界成藏饱和度,该临界饱和度值所围成的、由多个节点网格构成的三维空间范围,即为有效运聚通道(见图 2),所谓有效,是指有利于形成工业性油气藏。

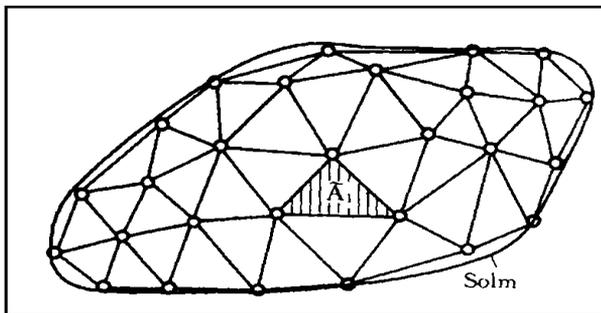


图 2 有效运聚通道内的二维节点网格分布

Fig. 2 Grid distribution of 2-D nodes in the effective pathways of migration and accumulation

2 有效运聚通道的确定

2.1 水流量的计算

由于目前的盆地模拟主要是在二维方向上进行

的(陈荷立, 1995; 王震亮等, 1997), 因此可将某地层在地下的分布分解在 xy 面(水平面)和 xz 面(垂直面)内的分布。

流体在岩石内的流动与渗透率有密切关系, 生产中把渗透率分为水平渗透率(k_h)和垂直渗透率(k_v)。这说明人们已基本认可这样一个现象, 即在水平面上任一点的流体渗流是各向同性的, 而剖面上存在测向和垂向渗流能力的差异。这样在 xz 面和 xy 面上单位面积、单位时间的水流量计算公式就有所不同。

假设地层中的渗流遵循达西定律, 考虑到宏观的流体流动(清华大学水力学教研组, 1965), 有:

$$v = K \cdot \text{grad } h \quad (2)$$

式中, v 为渗流速度, K 为渗流张量, h 为水(油、气)头, 其大小为:

$$h = \frac{p}{\rho_f \cdot g} + H \quad (3)$$

在 xy 面上任一点的流体渗流张量是各向同性的, 此时 $K_x = K_y = K_h, K_{xy} = K_{yx} = 0$, 并且:

$$K = \frac{k_h \cdot \rho_f \cdot g}{\mu} \quad (4)$$

显然它与岩石水平渗透率 k_h 、流体密度 ρ_f 与粘度 μ 密切相关, 所以对水来说, (2)式可化为:

$$U_w = \frac{k_h \cdot \rho_w \cdot g}{\mu_w} \cdot \text{grad } h_w \quad (5)$$

根据水头与水势(Φ_w)之间的关系:

$$\Phi_w = h_w \cdot g \quad (6)$$

可将(5)式写作:

$$U_w = \frac{\rho_w \cdot k_h}{\mu_w} \cdot \text{grad } \Phi_w \quad (7)$$

则在任一点(x, y)处单位时间内通过单位面积的水流量为:

$$Q_w |_{(x,y)} = \frac{\rho_w \cdot k_h}{\mu_w} \cdot H \cdot \left(\frac{\partial \Phi_w}{\partial x} \cdot i + \frac{\partial \Phi_w}{\partial y} \cdot j \right) \quad (8)$$

$\tilde{H}(x, y)$ 为地层 (x, y) 点处的厚度, $\partial\Phi_w/\partial x$ 、 $\partial\Phi_w/\partial y$ 分别代表水势在 x 、 y 方向上的变化梯度。水流量的大小为:

$$Q_w|_{(x,y)} = \frac{k_h \cdot \rho_w \cdot \tilde{H}}{\mu_w} \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial\Phi_w}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial\Phi_w}{\partial y}\right)^2} \quad (9)$$

在 xz 面上, 如果考虑到流体在侧向 (x 向) 和垂向 (z 向) 上渗滤能力的差异 (一般来说侧向好于垂向), 剖面上的流速就不宜视为各向同性。剖面上 (x, z) 点处的渗流速度可写为:

$$U_x = -k_h \cdot \frac{\rho_w}{\mu_w} \cdot \frac{\partial\Phi_w}{\partial x} \quad (10)$$

$$U_z = -k_v \cdot \frac{\rho_w}{\mu_w} \cdot \frac{\partial\Phi_w}{\partial z} \quad (11)$$

式中, k_v 为岩石的垂向渗透率, 则 xz 剖面上 (x, z) 点处的水流量为:

$$Q_w|_{(x,z)} = -\frac{\rho_w \cdot \tilde{H}}{\mu_w} \left(k_h \cdot \frac{\partial\Phi_w}{\partial x} \cdot i + k_v \cdot \frac{\partial\Phi_w}{\partial z} \cdot k \right) \quad (12)$$

其大小为:

$$Q_w|_{(x,z)} = \frac{\rho_w \cdot \tilde{H}}{\mu_w} \sqrt{\left(k_h \cdot \frac{\partial\Phi_w}{\partial x}\right)^2 + \left(k_v \cdot \frac{\partial\Phi_w}{\partial z}\right)^2} \quad (13)$$

若一节点网络的面积为 A_i (见图 2), 单位时间内通过它的水流量则为:

$$Q_{wi} = A_i \cdot Q_w \quad (14)$$

设组成该汇聚区的节点网络共有 n 个, 则在 t 时间内通过某油气汇聚区内所有节点网络的总水流量相应为:

$$Q_{wt} = \Delta t \cdot \sum_{i=1}^n Q_{wi} \quad (15)$$

这样, 利用 (9) 和 (13)~(15) 式即可分别算出在 xy 面和 xz 面上某一成藏系统内砂岩体的水流量。将 Q_{wi} 代入 (1) 式可算出成藏系统内砂岩体的临界饱和度值 S_{om0} 。

2.2 有效运聚通道的判别

要判断一个节点网络是否位于油的运聚通道范

围内, 其依据是看该节点网络的含油饱和度是否满足下列不等式:

$$S_o > S_{om} \quad (16)$$

当节点网络处的含油饱和度大于 S_{om} 时, 即位于有效通道范围内, 反之, 则位于通道范围之外。

在盆地模拟恢复的地质历史时期各参数 (地层厚度、水势梯度、孔隙度、渗透率、压力等) 基础上, 经上述途径可定量得出不同时期在平面和剖面上有效运聚通道的分布范围图 (图 3), 从而有助于认识不同地质时期古油藏的可能形成地区以及油气藏的演化历史, 并进而研究油气藏形成机理和油气运聚史。

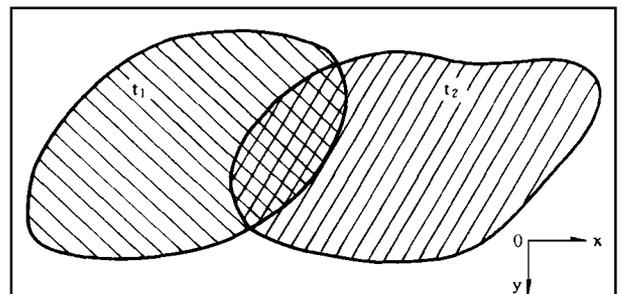


图 3 不同地质时期 (t_1 、 t_2) 有效运聚通道分布范围图

Fig. 3 Distribution of effective pathways for migration and accumulation in different geologic periods (t_1 , t_2)

3 可行性讨论

这一处理方案的优点, 一是考虑了古流体势的分布, 又考虑了砂岩体通道的展布特别是砂岩体内的孔、渗演化历史, 也就是说考虑了地层压力、流体势、孔隙度、渗透率不同时期的变化, 依 S_{om} 确定的有效运聚通道范围仅是该砂岩体的一部分, 因为并非砂岩内的所有部位都有利于油气运聚成藏, 这样就比过去单从流体势划分汇油区、从砂岩体分布判断通道范围的做法要精确一些; 二是藉助于盆地数值模拟技术可以勾绘出不同地质历史时期有利于形成油气藏的通道范围, 圈定聚集地区, 为进一步计算该汇聚区内的运聚量打下基础, 对于探讨油气藏形成机理、古油藏演变历史等问题必将发挥十分重要的作用。其不足之处仅在于不同地区 (尤其是新区) 工业油气藏下限标准的确定在勘探阶段比较困难 (进入开发阶段该参数容易获得), 只能给出一个大致的数值。为此, 笔者建议, 此时不妨借用我国现行的油气储量评价指标 (杨通佑等编著, 1990), 如按中

型油田的地质储量下限标准($0.1 \times 10^8 t$)作为 Q_{om} , 则求出的 S_{om} 所包围的区域即为形成中型油田的有效运聚通道范围。该范围内不会漏掉将来发现的大油田, 因为这是中型油田下限围成的最大范围, 且油田都是在成藏系统内形成的, 所以大型油田只能位于其中。显然, 对于不同的油田规模期望值, 有效运聚通道的分布范围是大小不同的, 油田规模越大, 范围越小。

4 结论

(1) 油气的运聚、成藏取决于流体能量条件的大小和相对分布, 油气的运移程度(方向、数量)有赖于不同时期油气成藏系统与通道的地下分布, 油气成藏系统实质上为一个综合意义上的三维空间分布的汇油区。

(2) 鉴于目前临界运移饱和度值的确定比较困难, 从聚集角度考虑, 应用同类地区工业性油气田(藏)下限标准, 考虑不同时期汇聚区的水流量, 可比较容易地得出临界运聚饱和度值, 这样的简化处理不失为目前技术条件下处理油气运聚这一复杂问题的有效手段。

(3) 该方案有两大优点, 一是全面考虑了影响临

界运移饱和度的多种因素, 二是最终可得临界运聚饱和度的三维空间分布范围。对于不同的油田规模期望, 可以有大小不同的运聚通道分布, 有利于资源评价。

(4) 以不同时期、不同汇聚区的临界运聚饱和度值为界线, 从而得出不同地质时期有效运聚通道分布范围的演化, 有助于进一步研究运聚史和运聚量。

参 考 文 献

- 1 陶一川. 油气运移聚集的流体动力学机理问题. 石油与天然气地质, 1983, 4(3): 255~ 267
- 2 李明诚编著. 石油与天然气运移(第二版). 北京: 石油工业出版社, 1994
- 3 Hirsch L. M., Thompson A. H. Minimum saturations and buoyancy in Secondary Migration. *AA PG Bull.*, 1995, 79(5): 69~ 710
- 4 杨通佑等编著. 石油及天然气储量计算方法. 北京: 石油工业出版社, 1990: 1~ 17
- 5 陈荷立. 油气运移研究的有效途径. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 126~ 131
- 6 王震亮等. 沉积盆地地下水动力场恢复. 西北大学学报, 1997, 27(2): 155~ 159
- 7 清华大学水力学教研组. 水力学(上册). 北京: 高等教育出版社, 1965

(收稿日期: 1998年3月3日)

PRELIMINARY APPROACH TO THE DEFINITION AND CONFIRMATION OF EFFECTIVE PATHWAYS FOR MIGRATION AND ACCUMULATION

Wang Zhenliang Chen Heli

(Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract

The distribution of pool-forming systems and migration pathways for hydrocarbon decides the migration direction and amount of hydrocarbon. Starting with pore-typed pathways in sandstone and aimed at resource evaluation, it is suggested in this paper that critical saturability should be defined by lower limit standards for industrial hydrocarbon fields (pools) in the areas of the same kind and the water flux of hydrocarbon accumulation areas in different periods. The trapped limits by this saturability value are effective pathways for migration and accumulation. The water flux on planes and profiles can be calculated separately using basin modeling result parameters, and so the distributive limits of effective pathways for migration and accumulation in the different periods of geological history be obtained. This will be advantageous to studying on the history and amount of migration and accumulation.

Key words effective pathways for migration and accumulation, hydrocarbon migration, critical saturability for migration, quantitative study