

# 门限控烃作用及其在有效烃源岩判别研究中的应用

姜振学<sup>1,2</sup>, 庞雄奇<sup>1,2</sup>, 金之钧<sup>1,2</sup>, 周海燕<sup>1,2</sup>, 王显东<sup>1,2</sup>

(1. 石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 2. 教育部石油天然气成藏机理重点实验室, 北京 102249)

**摘要:** 油气在生排运聚成藏过程中需经历生烃门限、排烃门限、成藏门限和资源门限。某一确定的油气运聚成藏系统进入任一门限都将损耗一部分烃量。实际地质条件下源岩生成的烃量只有超过进入各个门限时损耗烃量之和后才能大规模聚集成藏, 构成油气勘探的远景区; 只有提供的油气满足成藏过程中各种油气损耗形成工业油气聚集的源岩才称为有效烃源岩。阐明了各门限的地质含义、判别标准和控油气作用机理, 并将门限控烃作用在塔里木盆地台盆区古生界碳酸盐岩源岩评价中进行了应用。研究表明, 不存在一个放之四海而皆准的最小有机质丰度下限, 最小有机质丰度下限受源岩自身条件及成藏地质条件的共同影响。

**关键词:** 成藏系统; 门限控烃; 有效源岩; 资源评价; 塔里木盆地。

**中图分类号:** P618.130.2 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2383(2002)06-0689-07

**作者简介:** 姜振学(1963—), 男, 副教授, 1998年于中国地质大学(北京)获博士学位, 主要从事油气成藏机理与油气资源评价工作。

有效烃源岩判别标准一直是石油地质学者关注的焦点, 也是油气地质研究的难题。以往国内外许多学者多在统计的基础上给定一个值, 不同学者统计的样本空间不同, 得出的结论也不同。从统计结果看, 最小有机质丰度下限从 0.05%~0.5% 都有, 给烃源岩判别和评价带来较大的不确定性。

以往大多数资源评价方法都是在求得源岩生(排)油气量后乘以运聚系数(聚集系数)得到运聚系统内的油气资源量<sup>[1~3]</sup>。这一方法在实践中表现出来的缺陷是: 运聚系数取值困难, 人为因素影响大。依据勘探程度较高地区获得的油、气运聚系数分别为 1%~10% 和  $1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3}$ , 这一范围的取值几乎可以满足决策们对某一实际研究区任一资源量期望值的主观要求。我国叠合盆地构造变动大, 油气在运聚过程中的损耗量大, 且随地质条件的不同而改变, 在这种情况下用一个笼统的运聚系数概括油气聚集或耗散作用无法满足生产要求。此外, 这种简单的类比法在地质条件较复杂的情况下并不成立。例如, 生烃量较少的油气成藏系统内可能因损耗

烃量大而无法聚集油气; 生烃量较大的成藏系统内可能因构造变动大而破坏了原已聚集成藏的所有油气。本文依物质平衡原理, 研究油气生成量和损耗量之间的平衡关系, 进而给出了有效烃源岩的判别方法。

## 1 门限控烃作用及其研究意义

油气是一种流体矿产, 它自形成后就处在一种散失和聚集的动态平衡之中。油气的散失包括源岩残留(吸附、孔隙水溶和油溶(气))、储层滞留(吸附、孔隙水溶和油溶(气)等)、区域盖层形成前排失、运移过程中流散(围岩吸附、压实水溶解流失、扩散等)、构造变动破坏等。聚集起来的油气量等于生成量与各种耗散量之差。事实上, 聚集起来的烃量并非都能构成资源, 只有那些达到一定规模, 在当前或将来技术条件下能够开采并值得开采的部分才有意义。可供聚集起来的烃量可细分为无价值的聚集烃量、常规的油气资源量和特殊形式(如深盆气等)的油气资源量 3 部分。这就是物质平衡原理。当油气生成量一定时, 油气系统内损耗的烃量越大, 则可供聚集成藏的烃量越小, 油气资源前景越差。

利用物质平衡原理求油气资源量的方法最早是

收稿日期: 2002-08-12

基金项目: 国家“973”重大基础研究项目“中国典型叠合盆地油气聚散机理及定量研究(G1999043310)”; 中国石油与天然气集团公司“九五”重大科技攻关项目“大、中型油气田成藏定量模式研究(960007)”。

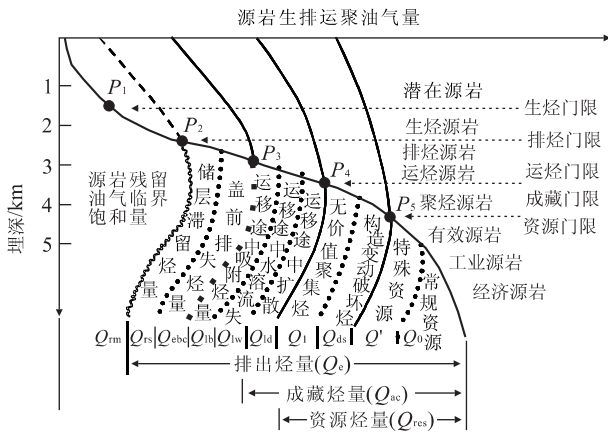


图 1 门限控烃作用定量研究地质概念模型

Fig. 1 Geological model in quantitative research of thresholds controlling on hydrocarbon

由前苏联学者 Вачслейся 于 1954 年提出来的,许多地球化学家为了改进这种方法作过大量工作,最近几年又有一些科学家对这一方法进行了修改和完善<sup>[4~7]</sup>. 本文提出了门限控烃作用,并在这一作用指导下建立生烃量、损耗烃量、可供聚集烃量及各种形式资源量的计算模型,进而给出了塔里木盆地古生界有效烃源岩判别的最小丰度下限标准.

门限控烃作用系指油气在生排运聚成藏过程中存在 4 个地质门限(或地质临界条件),这 4 个地质门限对油气生排运聚成藏起控制作用. 油气成藏系统只有进入了各个地质门限后才能形成具有工业价值的油气藏而构成油气勘探远景区,提供油气能够满足 4 个门限损耗的源岩才是有效的源岩. 这 4 个地质门限或地质临界条件分别是生烃门限、排烃门限、成藏门限和资源门限,每一个门限代表了油气运聚成藏过程中损耗烃量的临界下限值. 概念模型如图 1 所示.

从图 1 中可以看出,源岩累积生成的烃量只有在满足了源岩各种形式的残留烃量需要后才能进入排烃门限;排出烃量只有在超过了上覆第一套区域盖层与源岩之间的储层滞留烃量、区域盖层形成前的排失烃量、系统内扩散损耗烃量、水溶流失烃量之和后才能进入成藏门限;系统内某一圈闭中聚集的烃量满足构造破坏烃量,并超过了某一临界下限值(具有工业价值)后才有经济意义,构成具有工业价值的油气藏,即聚集烃量减去构造破坏烃量和无工业价值的油气聚集量之和,即为油气运聚成藏系统的工业门限或资源门限. 在研究并计算出某一个油气运聚成藏系统中的油气生成量和各种形式的损

耗量之后,就可以判断出该系统已经进入哪一个地质门限以及该系统最终可供聚集成藏的烃量大小.

## 2 各种地质门限判别及其计算模型

### 2.1 生烃门限判别及其生烃量计算

关于生烃门限前人已做过研究<sup>[8]</sup>. 这里强调指出两点:一是不同类型或不同有机显微组分的母质大量生成油气的门限不同,它们的转化程度不能都用一个  $R_0 = 0.5\%$  表示<sup>[9]</sup>;二是生化作用和热解作用都有可能使有机母质进入生烃门限. 源岩进入生烃门限之前也将耗散一部分烃量,这一部分烃量主要是溶于水后随压实作用排出或因浓度梯度作用而以扩散相形式排出. 由于源岩在进入生烃门限前生成的烃量少并受溶解度、排水量和扩散系数和时间等条件的限制,这一阶段源岩损耗的烃量较小,没有排失的继续残留于源岩内. 生烃门限大都依据源岩中氯仿沥青“*A*”随埋深增大变化的拐点判别,这一拐点可以是  $R_0 < 0.5\%$ ,也可以是  $R_0 \geq 0.5\%$ ,视地质条件不同而异.

生烃量的计算模型为:

$$Q_p = S \cdot H_0 \cdot C\% \cdot R_p(KTI, R_0) \cdot \rho_r \quad (1)$$

式中:  $Q_p$  为源岩生烃量,  $m^3$  或  $kg$ ;  $S$  为源岩分布的面积,  $m^2$ ;  $H_0$  为源岩厚度,  $m$ ;  $C$  为有机母质丰度,  $\%$ ;  $KTI$  为干酪根类型,  $0 \leq KTI \leq 100$ ;  $R_0$  为源岩转化程度,  $\%$ ;  $\rho_r$  为源岩的密度,  $kg/cm^3$ ;  $R_p$  为油气发生率(每吨有机母质在地史过程中已产生的烃量),  $kg/t$  或  $m^3/t$ .

### 2.2 排烃门限判别及其排烃量计算

油气满足源岩各种残留,并以游离相开始排烃的地质条件称排烃门限. 定量模型表达式为:

$$Q_{es} = Q_p - Q_m - (Q_{ew} + Q_{cd} + Q_{co}) \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} < 0; \text{未进排烃门限(非排烃源岩)} \\ = 0; \text{处于排烃门限(临界排烃源岩)} \\ > 0; \text{进入排烃门限(排烃源岩)} \end{array} \right.$$

式中:  $Q_m$  为源岩的残留烃临界饱和量,  $m^3$  或  $kg$ ;  $Q_{ew}$ ,  $Q_{cd}$ ,  $Q_{co}$ ,  $Q_{es}$  分别表示水溶相、扩散相、油溶相和游离相排烃量,  $m^3$  或  $kg$ .

对于某一确定的研究区和源岩层,它们残留油气的条件是固定不变的. 在这一前提条件下可以通过生烃条件( $C\%$ ,  $KTI$ ,  $R_0$ )对源岩排烃门限的影响建立它们之间相互关系的理论图版,用这一图版可

以对研究区不同生烃条件源岩的排油气门限进行判别.关于源岩排烃门限及其控油气作用的研究已有专门的文献讨论<sup>[6,7]</sup>.

### 2.3 成藏门限判别标准及聚集烃量计算模型

油气排出源岩并满足源岩与第一套区域盖层之前油气散失烃量和区域盖层之间储层的各种残留(吸附、水溶、游离)及运移散失时的临界地质条件称为成藏门限.其计算模型为:

$$Q_{ac} = Q_{es} - Q_{ebc} - Q_{rm}^s - (Q_{wl} + Q_{de}) + Q_{ew}' + Q_{co}' \begin{cases} < 0; \text{未进成藏门限(非聚烃源岩)} \\ = 0; \text{处于成藏门限(临界聚烃源岩)}. \\ > 0; \text{进入成藏门限(聚烃源岩)} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $Q_{ac}$ 、 $Q_{rm}^s$ 、 $Q_{ebc}$ 、 $Q_{wl}$ 、 $Q_{de}$ 分别为成藏烃量、围岩残留烃量、盖前损耗烃量、水溶流失烃量和扩散烃量,kg或 $m^3$ ;  $Q_{ew}'$ 、 $Q_{co}'$ 分别为油气运移过程中水溶释放和油溶释放气量,kg或 $m^3$ .

(1)盖前损失烃量的计算.盖前损失烃量的计算模型为:

$$Q_{ebc} = Q_{es} \cdot k_{ebc}. \quad (4)$$

式中: $Q_{ebc}$ 为盖前排失烃量,kg或 $m^3$ ;  $Q_{es}$ 为源岩排烃量,kg或 $m^3$ ;  $k_{ebc}$ 为源岩在区域盖层形成前排出烃与当前累积排烃总量之比.

(2)围岩残留烃量的特征.油气排出源岩后并非充满整个储层空间(围岩),而是有选择性地有限的运移层(围岩)空间中运移,通道宽度大约占整个运移层的1%~10%,对于天然气可能更宽些.对于临界残留油饱和度研究一般认为油气运移需要一定的油气饱和度作为连续运移通道的代价,一般残留油饱和度在20%~30%,气饱和度达到10%即可,但不同地质情况不同.许多学者计算油气运移临界高度在0.304~16 m之间<sup>[10~15]</sup>.

(3)围岩残留油量的计算.围岩残留油量的大小的计算模型为:

$$Q_{mo}^s = S' \cdot H_o \cdot \phi \cdot S_o \cdot \rho_o \cdot K_{path}^o. \quad (5)$$

式中: $Q_{mo}^s$ 为围岩残留油量, $m^3$ 或kg;  $S'$ 为运移层中运聚单元的面积, $m^2$ ;  $H_o$ 为围岩残留油的厚度,m;  $\phi$ 为围岩孔隙度;  $S_o$ 为残留油饱和度,%;  $\rho_o$ 为油密度,kg/ $m^3$ ;  $K_{path}^o$ 为运移层通道系数.

(4)围岩残留天然气量的计算.围岩滞留气量( $Q_{mg}^s$ )的计算模型为:

$$Q_{mg}^s = S' \cdot H_g \cdot (q_b + \phi \cdot S_w \cdot q_w + \phi \cdot S_o \cdot q_o + \phi \cdot S_g \cdot \frac{273 \cdot p}{T}) \cdot K_{path}^g. \quad (6)$$

式中: $Q_{mg}^s$ 为围岩滞留气量,kg或 $m^3$ ;  $S'$ 为运聚单元的面积, $m^2$ ;  $H_g$ 为天然气流经围岩的厚度,m;  $q_b$ 为单位体积储层吸附烃量,kg/ $cm^3$ 或 $m^3/cm^3$ ;  $\phi$ 为储层孔隙度;  $S_w$ 、 $S_o$ 、 $S_g$ 分别为孔隙含水饱和度、含油饱和度和含气饱和度;  $p$ 为储层压力, $10^5$  Pa;  $T$ 为储层热力学温度,K;  $K_{path}^g$ 为运聚通道系数.

(5)油气运移随水流失烃量的计算.油气在运移过程中随水流失烃量计算模型为:

$$Q_{wl} = q_{ew} \cdot S' \cdot H \cdot \Delta\phi \cdot K_{path}. \quad (7)$$

式中: $q_{ew}$ 为油气在水中的溶解度, $m^3/m^3$ 或kg/ $m^3$ ;  $S'$ 为运聚单元面积, $m^2$ ;  $H$ 为运移层厚度,m;  $K_{path}$ 为通道系数(油、气不同).

(6)油气运聚过程中散失烃量的计算.扩散相排气量( $Q_{ed}$ )的计算模型为:

$$Q_{ed} = \int_0^t S \cdot D \cdot \frac{dc}{dz} \cdot dt. \quad (8)$$

式中: $Q_{ed}$ 为扩散相排气量, $m^3$ ;  $S$ 为扩散相排气面积, $m^2$ ;  $D$ 为扩散系数, $cm^2/s$ ;  $\frac{dc}{dz}$ 为沿扩散方向的浓度梯度, $m^3/m$ ;  $t$ 为扩散排烃时间,s.实验室测定条件的扩散系数( $D$ )需经过校正才能很好地反映地质条件下的情况<sup>[16]</sup>.

在多套储盖组合的天然气的扩散量计算时,上覆源岩生排烃期应为下伏源岩天然气的扩散的终止时期.膏泥岩盖层的扩散系数远大于泥质盖层的扩散系数,一般为2个数量级以上<sup>[4,17]</sup>.

(7)油气运聚过程释放气量的计算.源岩层供烃量参与油气的运移,在油气二次运移过程中由于地质条件(埋深、温度、压力)的变化,水溶相、油溶相排出的天然气由于埋深变浅,温压降低而游离析出,这部分游离析出的油气也将加入到二次运移的有效烃量之中,计算模型为:

$$Q_{ew}' = \Delta V_w' \cdot \Delta q_{ew}', \quad (9)$$

$$Q_{co}' = \Delta V_o' \cdot \Delta q_{co}'. \quad (10)$$

式中: $Q_{ew}'$ 、 $Q_{co}'$ 分别为源岩水溶相、油溶相供烃量在油气二次运移过程中的释放烃量, $m^3$ ;  $\Delta q_{ew}'$ 、 $\Delta q_{co}'$ 分别为单位体积水、油自源岩排出后至上覆第一套区域性盖层处释放的烃量, $m^3/m_w^3$ 、 $m^3/m_o^3$ ;  $\Delta V_w'$ 、 $\Delta V_o'$ 分别为二次运移过程中水体积、油体积的变化, $m^3$ .

### 2.4 资源门限判别及其损耗烃量计算

资源门限的判别标准是油气运聚系统内有工业价值的油气藏的形成.一个确定的油气成藏系统内何时形成具有工业价值的油气藏以及能形成多大的

有工业价值的油气藏取决于 3 方面因素:一是可供聚集成藏的烃量大小,它的数值越大形成工业价值油气藏的可能性越大、个数越多、最具价值的单个油气藏规模越大;二是构造破坏烃量的大小;三是形成的无价值的油气藏个数及无价值聚集烃量大小.计算模型如下:

$$Q_{\text{res}} = Q_{\text{ac}} - Q_{\text{ds}} - \left. \begin{array}{l} <0; \text{未进资源门限 (非资源源岩)} \\ =0; \text{处于资源门限 (临界资源源岩)} \\ >0; \text{进入资源门限 (资源源岩)} \end{array} \right\} Q_l \quad (11)$$

式中:  $Q_{\text{res}}$  为油气资源量,  $\text{m}^3$  或  $\text{kg}$ ;  $Q_{\text{ds}}$ 、 $Q_l$  分别为构造破坏烃量、最小非工业价值聚集烃量,  $\text{m}^3$  或  $\text{kg}$ .

(1) 油气构造破坏烃量的计算. 关于构造破坏烃量的计算较为复杂. 本文主要考虑了构造变动强度、构造变动期次以及区域盖层的性质和类型、构造变动期与油气运移门限和高峰期的匹配关系等. 首先依据断距、剥蚀量和褶皱倾角确定出同一构造变动的强度系数, 分别记为  $k_f$ 、 $k_e$  和  $k_a$ . 三方面特征均表现强烈的地区破坏的烃量大.  $k=1$  表明全部破坏,  $k=0$  表明完全不破坏; 断裂、剥蚀和褶皱 3 种构造变动形式破坏的最大烃量不能超过 100%. 经过第 1 次断裂、剥蚀和褶皱 3 种形式的构造变动后, 剩余的烃量计算模型为:

$$\Delta Q_m^1 = Q_m^1 (1 - k_f^1) (1 - k_e^1) (1 - k_a^1) \cdot k_{\text{cap}}^1 \quad (12)$$

式中:  $\Delta Q_m^1$  为第 1 次构造变动后剩余的烃量,  $\text{m}^3$  或  $\text{kg}$ ;  $Q_m^1$  为第 1 次构造破坏前成藏系统内的烃量,  $\text{m}^3$  或  $\text{kg}$ ;  $k_f^1$ 、 $k_e^1$ 、 $k_a^1$  分别为第 1 次构造运动的断裂、剥蚀和褶皱 3 种构造强度系数;  $K_{\text{cap}}^1$  为源岩之上的第 I 套区域盖层保存烃量校正系数.

对于同样一次构造变动, 区域盖层厚度和岩性不同, 则剩余烃量可以完全不同; 例如盐岩柔性大, 同样强度和方式的构造变动下能够保护油气的量远大于泥岩. 对于不同盖层保护烃量校正系数的给值可以通过类比法确定, 也可以通过物理模拟实验获得.

第 2 次构造变动后系统内剩余的烃量计算模型为:

$$\Delta Q_m^2 = (\Delta Q_m^1 + Q_m^2) (1 - k_f^2) (1 - k_e^2) (1 - k_a^2) \cdot k_{\text{cap}}^2 \quad (13)$$

式中:  $\Delta Q_m^2$  为第 2 次构造变动破坏后的剩余烃量,  $\text{m}^3$  或  $\text{kg}$ ;  $Q_m^2$  为第 1 次构造变动后系统内再次提供的有效运移烃量,  $\text{m}^3$  或  $\text{kg}$ ;  $k_f^2$ 、 $k_e^2$ 、 $k_a^2$  分别为第 2 次构造运动的断裂、剥蚀和褶皱 3 种构造强度系数.

依此类推: 第  $n$  次构造变动后系统内的剩余烃

量计算模型为:

$$\Delta Q_m^n = (\Delta Q_m^{n-1} + Q_m^n) (1 - k_f^n) (1 - k_e^n) (1 - k_a^n) \cdot k_{\text{cap}}^n \quad (14)$$

整理后得到:

$$\Delta Q_m^n = \sum_{m=1}^n (Q_m^m - k_{\text{ds}}^m \sum_{i=1}^m Q_m^i \prod_{r=i}^{m-1} (1 - k_{\text{ds}}^r) \cdot k_{\text{cap}}^m) \quad (15)$$

式中:  $\Delta Q_m^n$  为第  $n$  次构造变动后系统内剩余运移烃量,  $\text{m}^3$  或  $\text{kg}$ ;  $Q_m^i$  为第  $i$  次构造变动前系统内提供的运移烃量,  $\text{m}^3$  或  $\text{kg}$ ;  $i=1, 2, \dots, n$ ;  $k_{\text{ds}}^i$  为第  $i$  次构造变动综合强度系数;  $n$  为构造变动的总次数.

当系统内存在多套区域性盖层和目的层时, 则第一套区域性盖层受构造变动后破坏的运移量可作为第二套区域性盖层护盖下的第二套目的层的有效运移烃量, 它们的破坏烃量计算方法同前所述. 第三套、第四套区域性盖层下的目的层的运移烃量及破坏烃量依此类推.

(2) 非工业聚集烃量的计算. 非工业聚集问题可以应用油气藏规模序列理论予以解决<sup>[1]</sup>. 基本原理是利用研究区已经发现的油气藏个数及大小进行规模序列分析, 预测出研究区所讨论的油气运聚系统内潜在的油气藏个数 ( $n$ ) 及每个油气藏储量的大小 ( $Q_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ ). 在确知或研究后得到研究区最小经济价值的油气藏规模 ( $Q_m$ ) 后, 则无价值的油气藏个数 ( $l$ )、非工业聚集烃量 ( $Q_l$ ) 可计算获得:

$$Q_i = \frac{Q_{\text{max}}}{i^k} \quad (16)$$

$$Q_l = \sum_{i=m}^n Q_i \quad (17)$$

式中:  $Q_l$  为非工业聚集烃量,  $\text{m}^3$  或  $\text{kg}$ ;  $Q_i$  为运聚单元的  $i$  个油藏的规模,  $\text{m}^3$  或  $\text{kg}$ ;  $Q_{\text{max}}$  为运聚单元最大规模油气藏,  $\text{m}^3$  或  $\text{kg}$ ;  $m$  为研究区最小经济规模油藏序号.

如果研究区所讨论的油气运聚系统内尚无油气藏发现, 则采用地质类比法借用相邻或相似运聚系统的统计结果计算. 基本原理是: 先确定出系统内最大油气藏 ( $Q_{\text{max}}$ ) 与可供聚集烃量的对应关系, 然后确定出第  $i$  个油气藏规模 ( $Q_i$ ) 与最大油气藏规模 ( $Q_{\text{max}}$ ) 之间的关系, 最后确定出最小工业价值油气藏的规模 ( $Q_m$ ). 借用这些成果就可以很方便地求出所研究的油气运聚系统内潜在的油气藏个数、无价值油气藏的耗损烃量和最大的油气藏规模.

### 3 门限控烃理论的应用

根据门限控烃作用, 依据塔里木盆地源岩条件、围岩条件及盖层条件, 给定源岩有机质丰度变化范围为 0.1%~3.0%, 源岩干酪根类型指数(KTI)为 0~100, 源岩厚度给定为 100 m, 对源岩的生、排、聚及资源量门限进行了模拟. 模型中源岩残留烃、围岩残留烃、水矿化度、油气密度等参数均在统计前人大

量分析化验成果上给定; 不同源岩吸附气、水溶油气、盖层扩散系数等参数均在模拟实验基础上给定或统计建模; 断裂强度、褶皱强度和剥蚀强度等参数均在实际资料研究基础上给定. 模拟结果见表 1 和图 2, 3.

从模拟结果可以看出, 源岩能生烃, 但不一定能够排烃; 能够排烃的源岩不一定能够达到成藏; 满足成藏的源岩不一定能够形成工业油气资源. 进入各

表 1 塔里木盆地古生界源岩进入各地质门限最小有机质丰度下限统计

Table 1 Statistics of minimum lower limit of organic matter abundance at the time of Paleozoic carbonate source rock entering each geological threshold in Tarim basin %

门 限	O <sub>2+3</sub>				E-O <sub>1</sub>			
	0~25	25~50	50~75	75~100	0~25	25~50	50~75	75~100
排烃门限	CH <sub>4</sub>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	CN	0.2~0.5	0.2	0.15	0.15	0.2~0.5	0.2	0.15
	oil	0.2~0.3	0.2	0.15	0.15	0.3~0.2	0.2	0.15
资源门限	CH <sub>4</sub>	0.3~0.5	0.2	0.2~0.15	0.15	0.2	0.2	0.15
	CN	0.4~0.6	0.2	0.15	0.15	0.2~0.4	0.2	0.15
	oil	>1.7	0.7~0.9	0.7~0.5	0.4~0.5	0.6~1.0	0.5~0.6	0.3~0.4

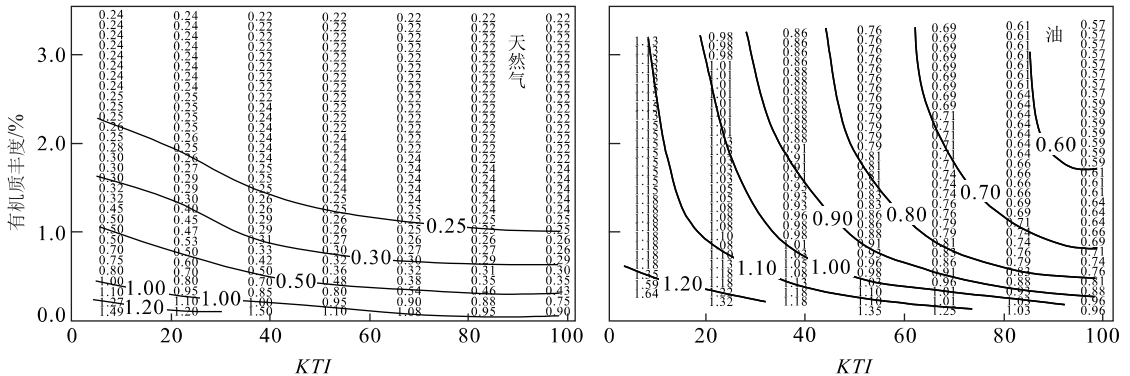


图 2 塔里木盆地碳酸盐岩源岩排烃门限判别理论

Fig. 2 Academic plate of deciding expulsion hydrocarbon threshold of carbonate source rock in Tarim basin

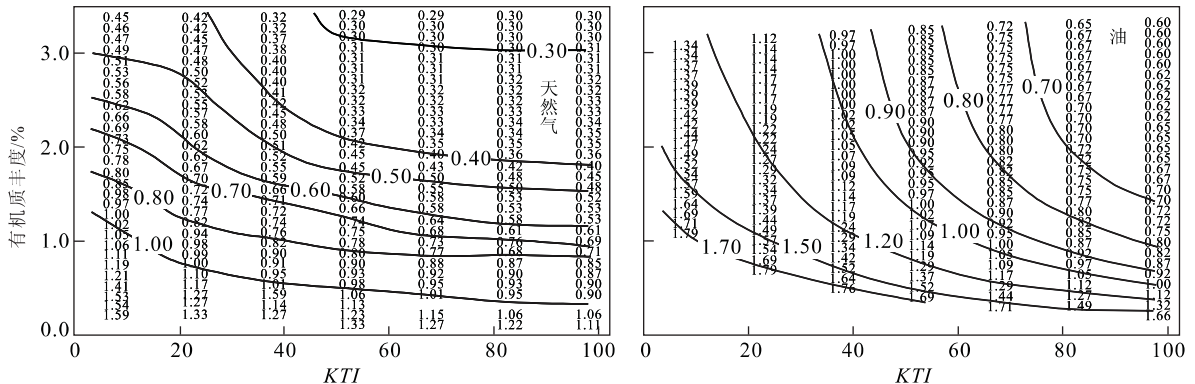


图 3 塔里木盆地碳酸盐岩源岩油气资源门限判别理论

Fig. 3 Academic plate of deciding oil and gas resources threshold of carbonate source rock in Tarim basin

门限的早晚主要取决于源岩的性质、类型、丰度及源岩的演化程度。

对不同类型源岩的成藏过程特征研究表明,有机质丰度不同、类型不同的烃源岩进入同一地质门限的临界地质条件不同,因而判别它的临界标准也不同。同一源岩,甲烷气、重烃气和油进入同一地质门限,要求其源岩演化程度逐渐增高;同一丰度的源岩干酪根类型越接近腐泥型(I型),源岩进入同一地质门限的要求演化程度越低( $R_0$  越小),源岩干酪根类型越接近腐植型(III型),源岩进入同一地质门限要求演化程度越高( $R_0$  越大);同一干酪根类型,有机质丰度越低,进入同一地质门限要求源岩演化程度越高,且呈倍数级增大;同一演化程度,干酪根类型好(偏腐泥型),则进入同一地质门限的丰度要求降低,反之亦然。

在源岩有机质丰度、类型和演化程度一定的条件下,源岩的厚度、盖层封烃时间、围岩的岩性、成岩演化及构造运动对进入各地质门限有着不同程度的影响。

在区域地质条件不变的情况下,源岩的排油气门限( $R_0$ )随母质丰度( $C\%$ )增大和有机母质类型指数( $KTI$ )增大而提前( $R_0$  变小),三者具有互补关系。

## 4 结论

(1)油气运聚成藏过程中存在 4 个地质门限,即生烃门限、排烃门限、成藏门限和资源门限。油气运聚成藏系统进入任一门限都将损耗一部分烃量,只有当生成的烃量超过了各地质门限损耗烃量之和才能形成具有工业价值的油气藏并构成勘探远景。(2)源岩不存在一个放之四海而皆准的最小有机质丰度下限标准,同一源岩同一演化程度进入不同地质门限的最小有机质丰度下限不同,同一源岩不同演化程度进入同一地质门限要求的最小有机质丰度下限也不同。另外在其他地质条件不变的情况下,源岩厚度越大,可使源岩进入同一地质门限的时间越提前。(3)对于同一丰度的源岩、油气进入各地质门限时间由先到后,演化程度逐渐增强;同一丰度源岩不同类型时,随源岩类型由腐泥型向腐植型转变,其进入同一地质门限要求的演化程度增强。(4)源岩的有机质丰度、源岩的类型及源岩的演化程度具有互补关系。

## 参考文献:

[1] 武守诚. 石油资源地质评价导论[M]. 北京:石油工业出

版社,1994. 1—125.

WU S C. Guide of petroleum resource geological evaluation [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994. 1—125.

[2] 宋芝祥. 油气资源评价方法的选择[J]. 沉积学报,1987, 5(1): 104—113.

SONG Z X. Selection of petroleum resource evaluation methods [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1987, 5(1): 104—113.

[3] 赵旭东. 中国数学地质(一)[M]. 北京:地质出版社, 1986. 1—172.

ZHAO X D. China mathematic geology (I) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1986. 1—172.

[4] 郝石生,黄志龙,高耀斌,等. 天然气运聚平衡及其应用[M]. 北京:石油工业出版社,1994. 3—55.

HAO S S, HUANG Z L, GAO Y B, et al. Gas migration and accumulation balance and application [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994. 3—55.

[5] 庞雄奇,陈章明,陈发景. 含油气盆地地史、热史、生留排烃史数值模拟研究与烃源岩定量评价[M]. 北京:地质出版社,1993. 1—98.

PANG X Q, CHEN Z M, CHEN F J. Numerical simulation of hydrocarbon generation, remaining and expulsion from source rocks in geohistory and their quantitative evaluation [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 1—98.

[6] 庞雄奇. 排烃门限控油气理论与应用[M]. 北京:石油工业出版社,1995. 1—147.

PANG X Q. Theory of hydrocarbon expulsion thresholds controlling hydrocarbon and its application [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995. 1—147.

[7] 庞雄奇,陈章明,陈发景. 排烃门限的基本概念、研究意义与应用[J]. 现代地质,1997, 11(4): 510—521.

PANG X Q, CHEN Z M, CHEN F J. Basic concept of hydrocarbon expulsion threshold and its research significance and application [J]. Geoscience, 1997, 11(4): 510—521.

[8] 蒂索 B P. 石油的形成与分布[M]. 北京:石油工业出版社,1978. 44—198.

Tissot B P. Petroleum formation and occurrence [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1978. 44—198.

[9] 程克明. 吐哈盆地油气生成[M]. 北京:石油工业出版社,1994. 1—199.

CHENG K M. Petroleum generation of Turpan-Hami basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994. 1—199.

[10] Schowalter T T. Mechanics of secondary hydrocarbon



- migration and entrapment [J]. AAPG, 1979, 63(5): 728—760.
- [11] 李明诚. 碎屑岩系中天然气运移的特征及其定量研究 [J]. 石油与天然气地质, 1992, 19(4): 1—11.  
LI M C. Characteristics and quantitative study of natural gas migration in clastic rocks [J]. Oil & Gas Geology, 1992, 19(4): 1—11.
- [12] England M A, Fleet A J. Petroleum migration [M]. London: Sunbury-on-Thames, 1991. 149—161.
- [13] England W A, Mackenzie A S, Mann D M, et al. The movement and entrapment of petroleum fluid in the subsurface [J]. Journal of the Geological Society, 1987, 1(144): 327—347.
- [14] 王志欣, 张一伟. 含油(气)饱和度与油(气)运移的关系 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 197—200.  
WANG Z X, ZHANG Y W. Relationship between oil (gas) saturation and migration [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 197—200.
- [15] Thomas M M, Clouse J A. Scaled physical model of oil migration [J]. AAPG Bull, 1995, 79(1): 19—29.
- [16] 付广, 姜振学, 陈章明. 松辽盆地三肇地区扶余油层天然气通过青山口组泥岩盖层的扩散史 [J]. 大庆石油地质与开发, 1993, 12(3): 5—9.  
FU G, JIANG Z X, CHEN Z M. Diffusion history of natural gas in Fuyu reservoir of Songliao basin through mudstone caprock of Qingshankou Formation [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1993, 12(3): 5—9.
- [17] 付广, 姜振学, 庞雄奇. 盖层烃浓度封闭能力评价方法探讨 [J]. 石油学报, 1997, 18(1): 39—43.  
FU G, JIANG Z X, PANG X Q. An estimation of sealing ability of hydrocarbon concentration of caprocks [J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(1): 39—43.

## Threshold Control over Hydrocarbons and Its Application in Distinguishing Valid Source Rock

JIANG Zhen-xue<sup>1,2</sup>, PANG Xiong-qi<sup>1,2</sup>, JIN Zhi-jun<sup>1,2</sup>, ZHOU Hai-yan<sup>1,2</sup>, WANG Xian-dong<sup>1,2</sup>

(1. Basin & Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, Ministry of Education, Beijing 102249, China)

**Abstract:** A series of thresholds, such as thresholds of hydrocarbon generation, expulsion, accumulation and resources, may occur during reservoir formation. Part of hydrocarbons are consumed in certain reservoir system of petroleum when reaching a threshold. Oil and gas supplied by source rocks in practical geological conditions can be accumulated to form reservoir in larger scale and be of promising oil and gas exploration future only after hydrocarbon generation amount from the source rock is more than the sum of hydrocarbon lost across each threshold. Source rocks can be called valid source rock only when the excessive oil and gas come from them can form a commercial reservoir after the amount of hydrocarbons generated by the source rock meets the need of all kinds of wasting during the process of reservoir formation. The paper presents geologic meanings, judging standards, mechanisms of controlling oil and gas of thresholds and their application in Paleozoic carbonate source rock evaluation in Tarim basin. Researches indicate that there is not a minimum lower limit of organic matter abundance which can be used validly everywhere. While the minimum lower limit of organic matter abundance was affected by conditions of the source rock itself, together with the geological conditions of reservoir formation.

**Key words:** reservoir formation system; thresholds controlling on hydrocarbon; valid source rock; resources evaluation; Tarim basin.