

油气在储层孔喉中的微观运移机理探讨

罗明高 黄健全 唐洪

摘要 从孔隙结构的微观特征出发,对石油地质学中的油气运移基本理论进行了定量探讨,主要探讨了油气运移的基本孔隙结构条件、运移流体条件;油气运移方向;在均质孔隙结构储层中的运移;在不同非均质孔隙结构组合中的储层中的运移,从而丰富、补充和完善了传统的石油地质学理论。

关键词 油气运移 运移饱和度 运移的基本条件 运移机理 运移方向 非均质储层

中图分类号 P618.130.21

文献标识号 A

A Quantitative Study on Hydrocarbon Migration Mechanism in Pores and Throats of Reservoir

LUO Ming-gao HUANG Jian-quan TANG Hong
(Southwest Petroleum Institute Nanchong Sichuan 637001)

Abstract

Based on the microscopic features of pore structure, this article quantitatively discusses several essential problems about hydrocarbon migration principle in petroleum geology. It mainly investigates the primary pore structure characteristics, fluid properties and direction of hydrocarbon migration as well as the hydrocarbon migration behaviors in the reservoir of the homogeneous pore structure and in the reservoir which has the various combinations of heterogeneous pore structure. The conclusion could enrich and supplement the theories of petroleum geology.

(1) Only under certain condition can the hydrocarbon migrate. It includes pore structure and fluid condition. The former is the coordination number is bigger than or equal to 2 and the pore throat which the hydrocarbon immigrant by. The latter is fluid number reaching saturation of hydrocarbon migration.

(2) The diversification of microscopic pore structure in reservoir cause that the hydrocarbon migrates in multi-direction. The trend of the hydrocarbon migration is upward, but when the coordination number is bigger than 2, it may migrate upward as well as updip.

(3) The hydrocarbon migration show heterogeneity of the hydrocarbon migration direction, saturation and height of oil column in heterogenous reservoir which pore structure

is complex.

Key words

migration mechanism migration direction heterogeneous reservoir

1 概述

石油地质学的基本理论认为：油气在储层中的运移(二次运移)是首先往储层的顶部运移，然后沿着其上倾方向运移。简而言之，油气二次运移的过程为向上和向上倾方向两步。随着石油地质理论的发展和研究手段的不断更新，这些理论而进一步补充和完善，本文从储层微观孔隙结构理论出发，探讨油气运移的微观机理。本文假设油气地下是处于静水条件下。

油气运移特征与各种条件和作用力相关，本文讨论的基本条件为：油气的运移是在水体中进行和；油的比重小于水；主要作用力是浮力和毛管力。

2 运移饱和度

实际上，油气在储层中要进行二次运移，其油(气)必须到达一定的数量后，油(气)柱高度所产生的浮力。才能克服毛管力而运移。由此可定义油气运移所需的油气饱和度为运移饱和度；定义油气运移所需的最小油气饱和度为临界运移饱和度。

3 运移的基本条件

3.1 孔隙结构条件

从储层孔隙结构的观点看，油气在地下的运移就是在储层的孔隙和喉道中的缓慢移运过程。由于储层孔隙半径大于喉道半径，故油气运移时主要应克服喉道的毛管阻力，油气运移的孔隙结构条件可简单归纳为两点：孔喉配位数 Z (每个孔隙连接的喉道个数)必须大于2；油气(将)运移出去的喉道半径应大于(已)运移进来的喉道半径。

3.2 运移流体条件

流体渗流的基本条件为必须形成连续相，这种连续相的大小在油气运移时就表现为最小的油(气)柱高度，其大小与孔隙结构、流体密度差及地层倾角相关，即与喉道半径成反比、与流体密度差成反比、与地层倾角成反比。

4 运移机理探讨

4.1 运移方向

油气在地下的运移方向为向上和上倾方向，储层孔隙结构特征的不同导致运移方向的不同，根据孔喉配位数的不同，分三种的特征讨论：

当配位数等于1时，油气不能运移；

当配位数等于2时，油气只能往另一个喉道运移(图1)：

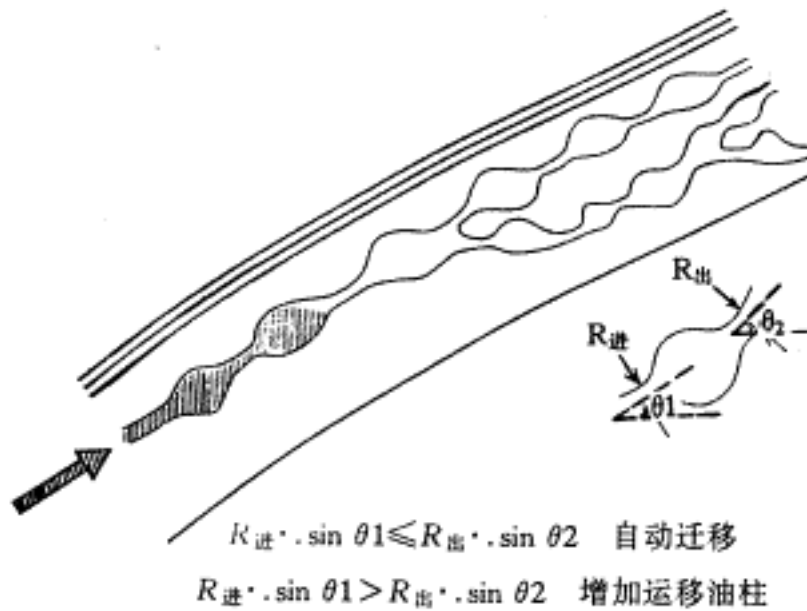


图1 储层中油气运移定量模式(配位数为2)

Fig.1 The quantitative model of hydrocarbon migration in reservoir(coordination number is 2)

当配位数大于2时，油气可选择性的往不同喉道运移。

当配位数为3时(图2)，油气二次运移的方向可向上或上倾方向，当 $R_{出}^1 \cdot \sin \theta_1 > R_{出}^2 \cdot \sin \theta_2$ 时油气往 $R_{出}^1$ 连接的孔隙运移；当 $R_{出}^1 \cdot \sin \theta_1 < R_{出}^2 \cdot \sin \theta_2$ 时油气往 $R_{出}^2$ 连接的孔隙运移；从数学意义上看，还有第三种可能，即当 $R_{出}^1 \cdot \sin \theta_1 = R_{出}^2 \cdot \sin \theta_2$ 时油气同时往 $R_{出}^1$ 和 $R_{出}^2$ 连接的孔隙运移。

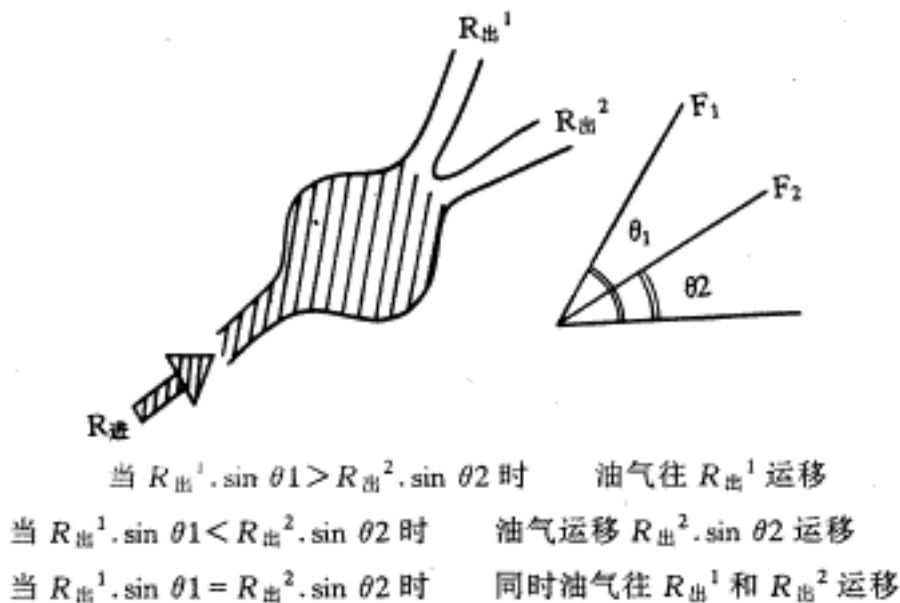


图2 储层中油气运移定量模式(配位数为3)

Fig.2 The quantitative model of hydrocarbon migration

由此可见，当配位数为 n 时，油气运移的方向为半径大、倾角大的喉道所连接的孔隙，其数学表达式为：

$$R_{出} \cdot \sin \theta_{出} = \text{Max} \{ R_{出i} \cdot \sin \theta_{i} \quad i=1,2,\dots,n$$

4.2 均质储层中运移

均质储层是指储层孔隙结构分类特征上表现为同一类的储层组合。油气在这种储层组合中的运移特征为：方向单一性和一贯性；油气运移的连贯性；运移饱和度的不变性等三个主要特征，见图3。

4.3 非均质储层中的运移

当不同类型的孔隙结构储层组合在一起时，视为非均质储层。储层的非均质组合将使油气运移表现出各表现出各种非均质特征。

假设有三种不同的孔隙结构类型(好、中、差)，在剖面上可形成三种不同的组合，如图4所示，在这三种不同的组合中的油气运移特征完全不同。

在好储层位于下部、差储层位于顶部的正韵律组合中，由于下部好储层的孔喉半径大、配位数高，在这类储层中的运移特征为：油气的运移饱和度低、运移油柱高度小、运移方向单一；顶部的差储层中的孔喉半径小、配位数低的特点就导致油气运移饱和度高、运称油柱高度大、运移方向复杂的相反特征；中部的中等储层介于上下两者之间，油气在这种储层组合中的运移特征为：从下到上运移饱和度逐渐增加、运移方向趋于复杂、运移油柱不断递增等三个主要特征(图4a)。

在好储层位于上部、差储层位于顶部的反韵律组合中的油气运移特征与上述的正韵律相反，即从下到上运移饱和度逐渐减小、运移方向趋于简单、运移油柱不断递减等三个主要特征(图4b)。

在中等储层位于下部、好储层位于中部、差储层位于顶部的组合中，在各类储层中的运移特征各异，油气在这种储层组合中的运移特征为：运移饱和度、运移方向、运移油柱都不断变化(图4c)。

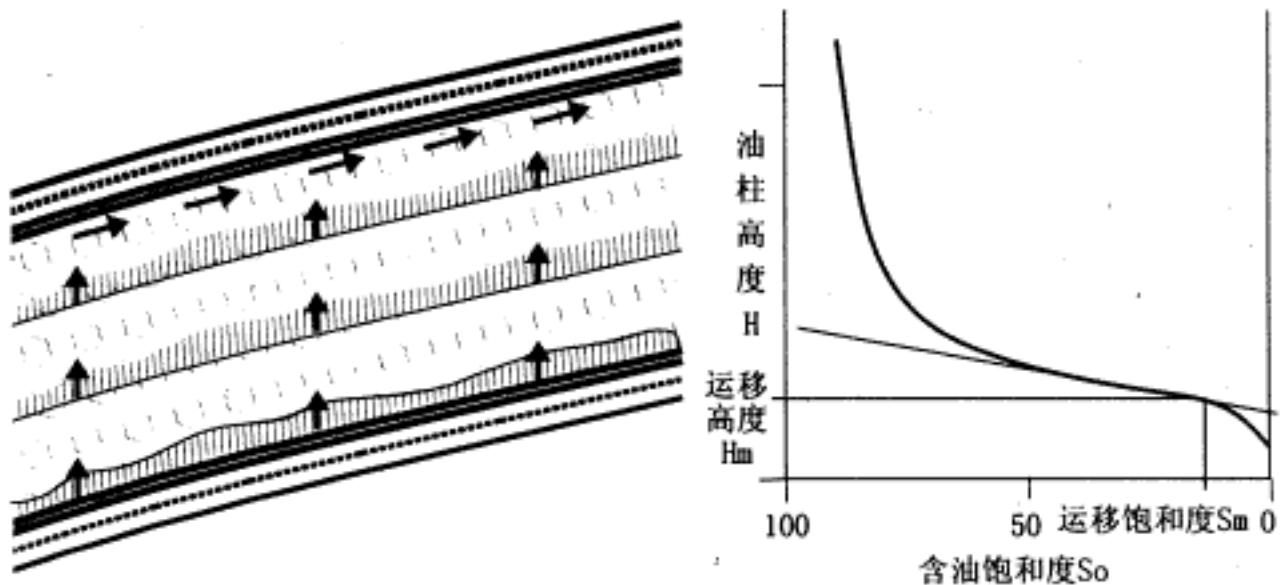
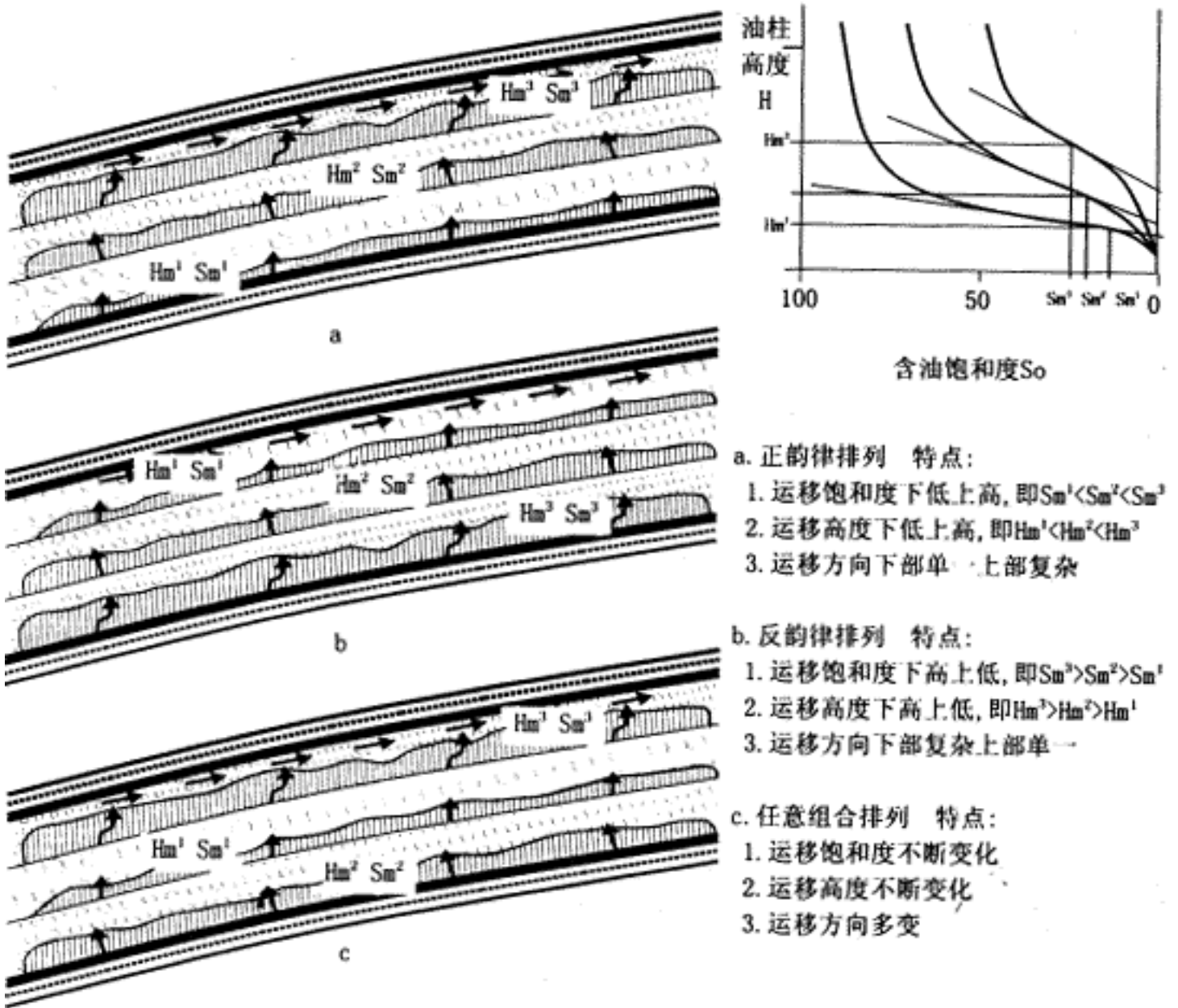


图3 均质储层中油气运移模式



- a. 正韵律排列 特点:
1. 运移饱和度下低上高, 即 $Sm^1 < Sm^2 < Sm^3$
 2. 运移高度下低上高, 即 $Hm^1 < Hm^2 < Hm^3$
 3. 运移方向下部单一上部复杂
- b. 反韵律排列 特点:
1. 运移饱和度下高上低, 即 $Sm^1 > Sm^2 > Sm^3$
 2. 运移高度下高上低, 即 $Hm^1 > Hm^2 > Hm^3$
 3. 运移方向下部复杂上部单一
- c. 任意组合排列 特点:
1. 运移饱和度不断变化
 2. 运移高度不断变化
 3. 运移方向多变

图4 非均质储层油气运移模式

5 认识

(1) 油气运移只有在一定条件下才能运移。油气运移的孔隙结构条件为配位数大于等于2、运移出的喉道大于运移进的喉道；运移的流体条件为达到运移饱和度。

(2) 储层微观孔隙结构多样性导致油气运移的多方向，油气运移的方向总趋势为向上，但当配位数大于2时，它既可向上也可往上倾方向。

(3) 在孔隙结构复杂的非均质储层中的油气运移表现出运移方向、运移油饱和度、运移油柱高度的非均质性。

国家“863”项目(863-306-04-03-1A)资助

第一作者简介 罗明高 男 1958年出生 教授 从事沉积和储层地质

作者单位：罗明高 黄健全 唐洪(西南石油学院勘探系 四川南充 637001)

参考文献

- [1] 罗明高.开发地质学[M].北京：石油工业出版社，1996.67~71
- [2] 张万选，张厚福.石油地质学[M].北京：石油工业出版社，1993.99~134

收稿日期：1998-03-04 收修改稿日期：1998-06-01