

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 油气田中油气的分异作用

——以塔里木盆地牙哈凝析油气田为例

周兴熙

中国石油勘探开发研究院,北京,100083

**内容提要** 塔里木盆地牙哈油气田是我国迄今发现的最大的凝析油气田,由12个油气藏组成,油气分布具有“西油东气”、“上气下油”、“上轻下重”的特征,这种特征的形成,是油气自西北分两个高峰期注入和在重力作用下分异的结果,呈现了“中部注入的正向差异聚集”的模式。这种模式与 Gussow 和 Schowalter 所建立的模式在形成机制或油气分布方面有所不同。

**关键词** 分异作用 重力分异 正向差异聚集 牙哈凝析油气田 塔里木盆地

油气田中油气的分布和流体相态的变化规律历来是石油地质学中的一个重要内容,同时也是勘探家非常关注的问题。笔者(1993,1995)提出分异作用是造成油气藏流体类型多样性的主要原因之一,并把其分为“初始分异”(烃类生成期的分异)、“运移中的分异”和“聚集中的分异”。而今在牙哈凝析油气田中所见的油气分布主要受“聚集中和聚集后的分异作用”控制,当然也和“初始分异”、“运移中的分异”有关。分异作用不仅是一个地球化学过程,更是一个比较复杂的物理和物理化学过程,至今对后一种过程及其在烃类分异中的研究仍是石油地质学中较为薄弱的环节。本文试图以牙哈油气田的油气分布状况为例,分析油气分异作用,论述其成藏机制。

## 1 前人主要观点概述

对油气在运移和聚集过程中的分异作用已有许多论述,以差异储集(differential entrapment)、分离-运移作用(separation-migration)以及重力(浮力)分异(gravitational/buoyancy differentiation)比较重要。

Gussow (1954)提出的差异储集的概念和模式(图1A),在石油地质界得到广泛的认同和应用。这种模式的特点是天然气聚集在运移路径上一系列圈闭的低部位,原油却聚集在高部位。李明诚(1994)指出发生这类差异储集“在自然界是不会很多”。它的实现要具备4个先决条件:“要有相互连通的圈闭系

列”,其溢出点“逐次增高”,“有丰富油气补给”,“不能有溶解气析出”。张厚福等(1999)还着重指出这一系列圈闭必须“具有区域性较长距离运移条件”,主要是要求储层的渗透性和连通性要好。实际上不言而喻的是差异储集还必然是以烃类单方向注入为前提的。

Schowalter (1979)提出了另一种形式的差异储集。与 Gussow 的模式相反,这种模式油是聚集在高部位,分布在运移路径的远端,如图1B所示。与 Gussow 的模式相同,其形成条件也是十分严格的。

Chapman 在解释油气聚集时,特别强调重力(主要是浮力)的作用(查普曼,1989)。解释其机理为:油水界面处两者的压力相当,而界面之上油的压力(实际上应是剩余流体压力—笔者)大于水的,因而把水驱向下部(图1C)。笔者认为同样的道理,气也会把油驱向下部。因此在先成的油气藏中如果有不断注入的气,浮力会使“气顶”不断增大,可以把油从圈闭底部排出,进入更高的圈闭,形成高的圈闭富油,低的圈闭富气,形成 Gussow 模式;众多的实例显示,由于先成的油气藏底部相对渗透率较低,形成充注屏障,后来的油、气只能向别的圈闭、包括更高的圈闭中运聚,在这种情况下就形成类似于 Schowalter 模式。笔者等(1995)曾把前一种模式称为“逆向分异(negative differentiation)”;后一种模式称为“正向分异(positive differentiation)”。可见重力

注:本文为“九五”国家重点科技攻关项目“塔里木盆地天然气成藏条件及勘探方向”(编号99-111-01-03)资助成果。

收稿日期:2002-02-28;改回日期:2003-07-11;责任编辑:周健。

作者简介:周兴熙,男,1934年生。教授级高级工程师。1958年毕业于北京地质学院石油系。主要从事天然气地质和油藏地质研究。通讯地址:100083,北京910信箱地质所。

分异、主要是浮力的作用是油气分异的基本动力之一，在不同的石油地质条件下可以形成各种各样的油气分布模式。

Silvermann(1965)用分离-运移作用(separation-migration)来说明油气的纵向分异,认为深部油藏中溶解的天然气因温度和压力的降低脱出沿断裂向上运移,进入浅部的圈闭;在浅部温度和压力进一步降低,发生逆凝析,产生油环,形成油气藏(图1D)。笔者认为在运移过程中,由于天然气中“轻组分(CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>)”富集,在浅部若不发生逆凝析,则形成气藏,据此对Silvermann的模式图略做修改。

England描述了石油在圈闭中的砂岩储层的充注过程(英格兰,1987),指出“沿充注路径烃类成分相应发生梯度性变化”。

可见Chapman、Silvermann、England的研究成果都为分析油气田(藏)的形成和油气的分布提供了思路和借鉴。

## 2 牙哈油气田概况与成藏过程

牙哈油气田位于天山南麓库车前陆盆地的南缘

隆起带中段的牙哈断裂背斜带上,背斜带呈ENE向,长约60km,宽为3~4km,面积为660km<sup>2</sup>。由西而东分布着7个高点,总的形势为东高西低,制高点在中部。背斜轴部发育一组断裂,呈左行雁列展布。圈闭类型主要为断背斜、滚动背斜(图2)。油气层主要是古近系苏维依组底部砂岩—白垩系顶部砂岩层和新近系吉迪克组底部的两个砂岩层。牙哈油气田是由12个油气藏组成,其中凝析气藏9个,带油环凝析气藏1个,油藏2个,是全国陆上最大的凝析油气田。同时其油气分布特点十分鲜明,为研究烃类分异提供了良好的实例。

### 2.1 牙哈油气田烃类分布的特点

牙哈油气田的烃类以凝析油气为主,占全部油气储量当量的78.9%。黑油储量为全部储量当量的21.1%。油气分布的特点呈现了“西油东气”、“上气下油”、“上轻下重”规律性的变化。

“西油东气”表现为西部的1、5号古近系为油藏,东部的2~3、6、4号为气藏,之间的7号是带油环的气藏。形式上类似于Schowalter模式,形成机制却有很大的区别。

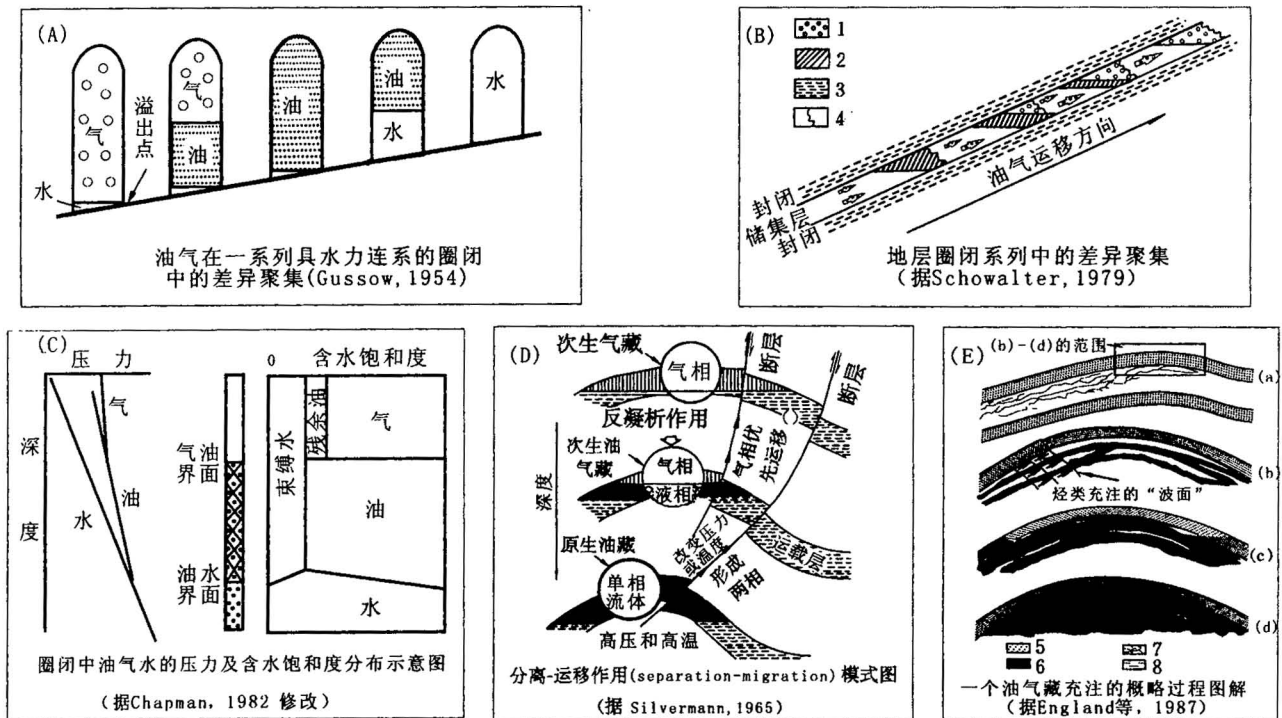


图1 油气田中油气运移与分异模式图

Fig. 1 Model of oil and gas differentiation process inside oil and gas field

1—气;2—油;3—岩性遮挡;4—渗透屏障;5—含水砂岩;6—含油砂岩;7—运移的烃;8—页岩

1—Gas; 2—oil; 3—lithologic barrier; 4—permeable shielding; 5—water-bearing sandstone; 6—oil-bearing sandstone;

7—migrating hydrocarbon; 8—shale

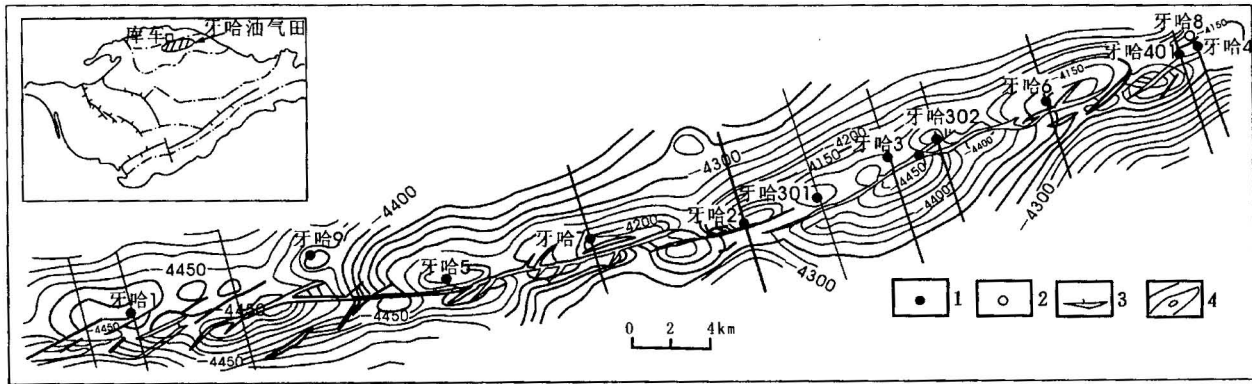


图 2 牙哈油气田构造略图(据塔里木石油勘探开发指挥部,1994)

Fig. 2 Structure map of the Yaha oil-gas field in the Tarim basin (after Tarim Petroleum Exploration and Development Bureau, 1994)

1—工业油气井;2—干井;3—断层;4—构造等值线(m)  
1—Oil-gas well; 2—dry hole; 3—fault; 4—contourline (m)

“上气下油”表现的也很典型:7号油气藏的油气界面深度为海拔-4225m,就是整个油气田油和气的分界,西部的1、5号背斜的古近系油层深度(-4418~-4345m)大,为油藏;其余各高点的古近系的产层浅于该深度(-4200~-3988m)全为凝析气藏(图2)。

油气密度向深部增大的现象很为明显,表现出“上轻下重”(表1)。

表 1 牙哈油气田液态烃密度变化表  
Table 1 Density of liquid-hydrocarbon in the Yaha oil-gas field

油气藏	层位	深度 (m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	备注
YH2-3	N <sub>1j</sub>	4980~4963	0.7846	凝析油
		4980~4984	0.7868	
	E	5064~5108	0.7930	
		5160~5166	0.7995	
YH6	N <sub>1j</sub>	4963.5~4963	0.7997	
	E	5160~5163	0.8006	
YH4	N <sub>1j</sub>	4964~4980	0.7889	黑油
		4997~5001	0.7994	
YH7	E	5225~5235	0.850*	
YH1	E	5459.5~5466	0.823*	

注: \* YH7和YH1的气油比分别为209和273,这两个密度值反转是受气油比的影响。

2.2 牙哈油气田成藏作用和成藏过程

油气层有机包裹体的均一化温度的直方图(图3)反映出油气田具有两个充注高峰期,第一高峰期在古近纪末—中新世迪吉克期初,第二高峰期在中新世迪吉克期末—上新世库车期。据此,可把成藏过

程分为早、晚两期来叙述。

第一高峰期(古近纪末—中新世迪吉克期初)背斜埋藏很浅,古近纪底砂岩段顶埋深为139~170m,底砂岩段底埋深为177~225m。构造形态为一非常平缓的背斜,倾角<1°,具有牙哈5和牙哈2、牙哈302三个高点。此时分布在牙哈地区西北拜城凹陷的三叠系腐殖型有机质已经成熟,有原油和凝析气排出(周兴熙等,1998,1999),自西北注入牙哈背斜带(张敏等,1997),总体上形成带油环的气藏。天然气受到的阻力较小,充注充分,原油受到阻力较大,造成油气藏的油环西厚东薄(图4A)。

另外,分析图3可见西部的牙哈5古近系油藏主要充注的时间较早,所以其包裹体均一化温度较牙哈2气藏的偏高的部分,表明油气运聚成藏是由西部向东部推移。张敏等(1997)用地球化学资料分析也曾得出过类似的结论,这种情况犹如England所描述的油藏充注过程那样(图1E)(英格兰,1998)。所以由于油气充注方向的控制,油气田有可能“先天”就具有西部富油的趋势。

第二高峰期(中新世迪吉克期末—上新世初)构造带发生不均衡下沉,西段的埋深大于东段300余米,同时一系列张扭性断裂形成,使原来的完整背斜分隔、破裂,形成与现今基本相似的构造面目。

断裂断开层位主要为古近系和中新统,断距以中段(牙哈2~3段)最大,向东、西两端减小。其中牙哈2~3号和6号气藏的断裂断距最大,向下可达侏罗系,向上可达上新统库车组中部(表2)。

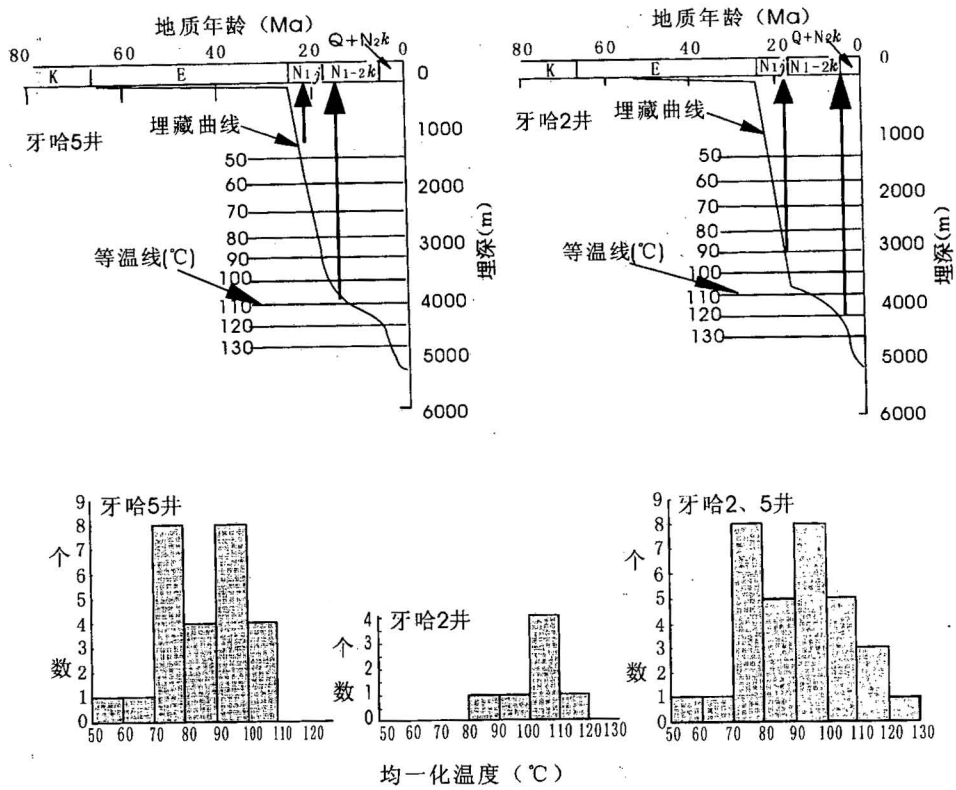


图3 牙哈油气田包裹体均一化温度分布及油气注入年龄图解(均一化温度数据据范善发等,1998分析成果<sup>①</sup>)  
 Fig. 3 Diagram of distribution of fluid inclusion and age injected oil and gas in the Yaha oil-gas field  
 (Datum of homogenization temperature are after Fan Shanfa et al. , 1998)

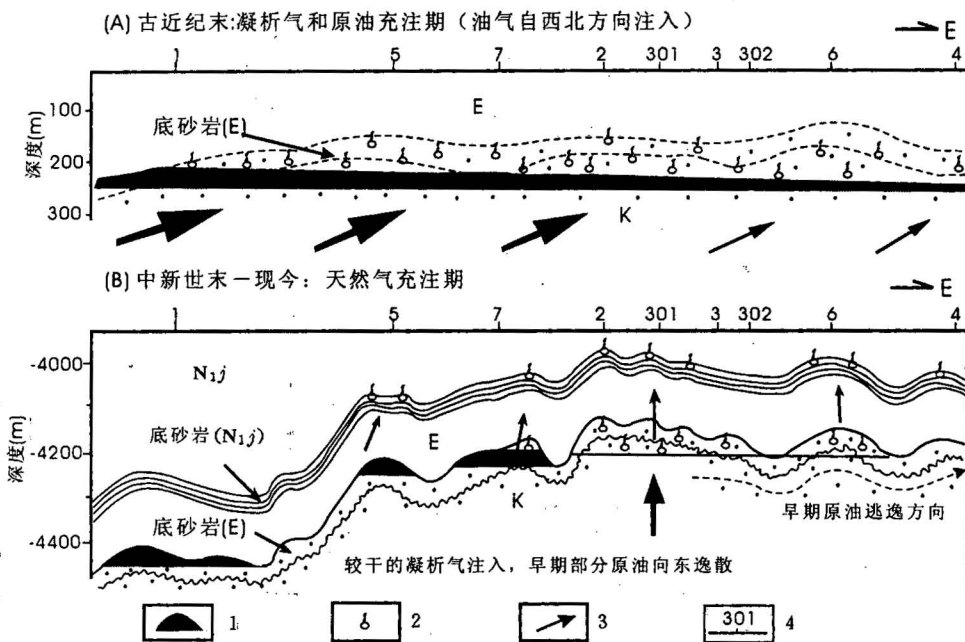


图4 牙哈油气田成藏过程示意图  
 Fig. 4 Diagrammatic section of machine process of the Yaha oil-gas field  
 1—油藏; 2—气藏; 3—运聚方向; 4—井号  
 1—Oil pool; 2—gas pool; 3—migrating direction; 4—number of well

表2 牙哈背斜带断裂的断距变化表

Table 2 Fault displacements in Yaha anticline belt

油气藏	井号	T8(E)底(m)	T6(N <sub>1j</sub> )底(m)	
1号油藏	YH1	20	10	西 ↓ 东
5号油气藏	YH5	100	90	
2~3号气藏	YH301	280	210	
6号气藏	YH6	165	145	
4号气藏	YH4	95	75	

此期的烃类充注过程实际上是以中新世后期至上新世初为高潮。这时聚集的烃类为较干的凝析气(周兴熙等,1998,1999)。主要的供气通道是断穿了侏罗系的牙哈2~3号断层(其余的断层向下都消失在白垩系中)。凝析气注入,扩大了2-302和6号高点的聚集规模;西部牙哈1、5、7号高点由于埋深加大而使早期聚集的油、气得以保存,形成1、5、7号油藏和带油环的气藏;也是由于断裂的活动,凝析气排向浅部的储层和邻近的圈闭,形成迪吉克组底砂岩诸凝析气藏(温压降低的不大,未发生逆凝析,与Silverman的“分离-运移”模式相似,又有点区别)(图4B);同时在2~3号早期的油气藏的油水界面处形成“沥青垫”(张敏等1997)。并且一部分烃类被排出,向东逸散。

可见,这个时期的成藏作用,属于一种由中部注入式的“正向差异储集”成藏模式。

### 2.3 牙哈油气田油气分布控制因素

(1)注入方向控制着油气平面分布。由于早期油气是由西北部注入,造成西部富油,东部富气;晚期构造带向西倾伏和中部大量的天然气注入,就使油气分布发生进一步分异,形成“西油东气”的特点。

(2)断裂的断距控制着油气田中油气的纵向分布:表2所列断裂在背斜构造带中段的断距大都大于百米,因而使中段的圈闭5、7、2~3、6号高点不仅古近系含有油气,而且天然气还沿断裂上窜至过迪吉克组,形成新近系的气藏。

(3)重力作用把密度小的烃类驱向上方,密度大的排到下部,于是形成了油气田的“上气下油”、“上轻下重”的分布特征。

在表1中7号背斜的古近系原油的密度(0.850 g/m<sup>3</sup>)大于1号原油的密度(0.823 g/m<sup>3</sup>),似乎有些反常。进一步分析可知:7号的气油比低于1号的气油比,这是由于这个背斜高点的气油分异得比较充分,不仅生成了大的气顶,而且天然气还运移至新近系聚集成藏。牙哈1号背斜的断裂断距较小(10~20m,见表1),油气基本上未分离,故其气油比较高,

致使其密度小于7号油藏。故可见到断裂通道作用和重力作用又是相互制约的。

## 3 结束语

油气在聚集成藏过程中发生分异是一种普遍的作用,其主要动力是重力(主要是浮力)的作用。在地下水活跃地带,水动力也会影响油气的分布,但水动力的起源仍然是重力。与重力无关的有浓度差引起的扩散力,不过在一般情况下,其影响很小。

牙哈油气田是库车油气系统南部亚系统具有代表性的油气聚集带,由于其典型性,可以用其基本特征建模——“牙哈成藏模式”(周兴熙,2000)。此外,它还是“重力分异”和正向分异的“差异储集”的典型实例。

(1)油气田的油气来源于陆相三叠系和侏罗系暗色泥岩和煤系,有机质为腐殖型和偏腐殖型,母质的生成物以凝析气为主,中等成熟阶段有少量黑油生成(周兴熙等,1998,1999)。油气聚集成藏有早、晚两个高峰期,大致在古近纪末至中新世初期和中新世末期至上新世。

(2)烃源区拜城凹陷在油气田的西北,油气经过源岩系中的砂岩输导层向东南侧向运移至南缘隆起的断裂背斜带,沿断裂注入上覆的储层。油气田中油和气的分布在平面上主要受油气注入方向的控制,纵向分布主要受断裂的断距和重力的控制。油气田“西油东气”、“上气下油”和“上轻下重”的分布特征主要是重力分异的结果。

(3)“差异储集”在自然界是存在的,其形式和机制是多种多样的,避免简单的套用,是分析油气藏的重要原则。

### 注 释

①范善发,许世平,段毅,等.1998.塔里木盆地成烃地球化学.“九五”科技攻关项目成果报告.

### 参 考 文 献

- 查普曼 R E. 1989. 石油地质学. 李明诚译. 北京:石油工业出版社, 109~111.
- 李明诚. 1994. 石油与天然气运移. 北京:石油工业出版社, 107~109.
- 英格兰 W A. 1998. 油气的二次运移和聚集含油气系统——从源岩到圈闭. 李蕊译. 北京:石油工业出版社, 248~256.
- 张厚福,方朝亮,高先志,等. 1999. 石油地质学. 北京:石油工业出版社, 176~178.
- 张敏,林壬子,梅博文. 1997. 油藏地球化学——塔里木盆地库车含油气系统研究. 重庆:重庆大学出版社.
- 周兴熙. 1993. 初论华北盆地油气共生窗. 天然气工业, 11(2): 12~15.



- 周兴熙,黄传波,张国良,等. 1995. 塔里木盆地油气藏. 北京:石油工业出版社,73~83.
- 周兴熙,刘士容,李绍基,等. 1998. 塔里木盆地天然气形成条件和分布规律. 北京:石油工业出版社.
- 周兴熙,袁容,王红军. 1999. 腐殖型凝析气的研究——以塔里木盆地为例. 地学前缘,6(增刊):221~226.
- 周兴熙. 2000. 复合叠合盆地油气成藏特征——以塔里木盆地为例. 地学前缘,7(3):39~47.

### References

- Gussow W C. 1954. Differential entrapment of oil and gas; a fundamental principle. AAPG Bulletin, 38:816~853.
- Li Mingcheng. 1994. Migration of oil and gas. Beijing: Petroleum Industry Press, 107~109 (in Chinese).
- Schowalter T T. 1979. Mechanics of secondary migration and entrapment. AAPG Bulletin, 63(5):723~760.
- Silvermann S R. 1965. Migration and segregation of oil and gas in fluids in subsurface environment. AAPG Bulletin Men, 4:53~65.
- Zhang Houfu, Fang Chaoliang, Gao Xianzhi, et al. 1999. Geology of Petroleum. Beijing: Petroleum Industry Press, 176~178 (in Chinese).
- Zhang Min, Lin Renzi, Mei Bowen. 1997. Geochemistry of the Petroleum deposit——the research on the petroleum and gas system about the Kuche in Tarim. Chongqing: Chongqing University Press (in Chinese).
- Zhou Xingxi. 1993. The first discuss on the communal window of the petroleum and gas in the North China Basin. Nature Gas Industry, 11(2): 12~15 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xingxi, Huang Chuanbo, Zhang Guoliang, et al. 1995. The petroleum and gas deposit in the Tarim basin. Beijing: Petroleum Industry Press. 73~83 (in Chinese).
- Zhou Xingxi, Liu Shirong, Li Shaoji, et al. 1998. The gas form conditions and the distribution rules about the Tarim basin. Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese).
- Zhou Xingxi, Yuan Rong, Wang Hongjun. 1999. Research on the humus condensate gas——for the Tarim basin. Earth Science Frontiers, 6(supplement): 221~226 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xingxi. 2000. the form features of the petroleum deposit about the complex congruence basin——for the Tarim basin. Earth Science Frontiers, 7(3): 39~47 (in Chinese with English abstract).

## Differentiation Process inside Oil and Gas Fields: Example from the Yaha Oil and Gas Condensate Field in the Tarim Basin

ZHOU Xingxi

*Research Institute of Exploration and Development, CNPC, Beijing, 100083*

### Abstract

The Yaha oil and gas field in the Tarim Basin is the largest oil and gas condensate discovered in the mainland of China up to now, which consists of 12 petroleum pools. The distribution of oil and gas is characterized by "oil enriched in the west, gas enriched in the east", "oil enriched in the upper, gas enriched in the lower" and "lighter in the upper, heavier in the lower". The character was caused by gravitational differentiation, when oil and gas injected from the northwest during two peaks of petroleum injection. It formed a "positive differential entrapment injected from the middle" model, which is different from those of Gussow and Schowalter.

**Key words:** differentiation process; positive differential entrapment; gravitational differentiation; Yaha oil and gas condensate field; Tarim Basin