

松辽盆地德惠凹陷深层含油气系统划分

郭少斌¹, 刘玉梅²

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 吉林大学 应用技术学院, 吉林 长春 130022)

摘要: 近年来, 含油气系统的概念受到了人们的广泛关注, 它为油气勘探提供了一种新的研究方法。作者在对松辽盆地德惠凹陷烃源岩有机质热演化剖面研究以及对工区钻井、测井、地震及分析测试资料进行全面收集和整理的基础上, 开展了生、排烃史的动态模拟。依据有机包裹体拉曼光谱分析、油气源对比及异常地层压力, 德惠凹陷深层剖面上初步可划分出 2 个含油气系统: a) 下部自源含油气系统, 以营城组顶部异常压力界面或不整合面为界; b) 上部它源含油气系统, 以泉三顶部异常压力面为界。平面上可划分农安、鲍家和布海 3 个亚含油气系统。其中农安亚含油气系统是最有利的含油气系统, 鲍家亚含油气系统是次有利含油气系统, 布海亚含油气系统是第三有利含油气系统。另外, 还指出了其中的不足。

关键词: 拉曼光谱分析; 含油气系统; 德惠凹陷; 松辽盆地

中图分类号: TE122. 2

文献标识码: A

德惠凹陷隶属松辽盆地东南隆起区内次一级构造单元(图 1)。经过 40 余年的勘探, 现已钻至泉二段以下井位 20 多口, 至今发现农安、万金塔和布海 3 个油气田, 且在不同程度提交了石油、天然气探明、控制及预测储量, 证实了德惠凹陷是一个油气资源丰富的含油气凹陷。前人曾在该区开展了构造、层序地层、储层与烃源岩综合评价、盆地模拟及油气勘探潜力与目标选择等研究工作。研究认为, 德惠凹陷油气资源较丰富, 烃源岩主要为断陷期沉积的沙河子、营城组地层, 有机质类型以 $\text{I}_1 - \text{I}_2$ 型占主导地位。随着研究程度的提高及新资料的进一步丰富, 有必要用含油气系统的基本理论和方法对前人资料进行系统总结, 探讨盆地油气的生成、运移和分布规律, 从而指导下一步油气勘探。

在国外, 1972 年 W. G. Dow 在 AAPG 年会上首先提出了石油系统(oil system)的概念; 1980 年 A. Perroneon 首先应用了含油气系统 (petroleum system) 的概念, 并进行了论述。以后 10 年间在西方形成了一个含油气系统热^[1-3], 我国近年也相继开展了该方面的研究^[4-8]。作者运用含油气系统的基本理论和方法, 在德惠凹陷开展了深层(从泉头组到沙河子组)含油气系统研究。

1 各区烃源岩有机质热演化剖面特征

从德惠凹陷烃源岩热演化剖面图(图 2)上看,

在深度小于 1 700m 时, $R_o < 0.5\%$, 该深度段的烃源岩处于未成熟阶段, 相应的地温 $< 62^\circ\text{C}$, 沥青转化系数 $< 3.2\%$, 烃转化系数 $< 1.5\%$, 热解产率指数 < 0.1 , H/C 原子比显示较高值, 大于 0.8, 产物主要为未成熟油气。在深度 1 700~ 2 560m 之间, R_o 从 0.5% 变化到 1.35%, 地温由 62°C 增至 86°C , 沥青转化系数由 3.2% 增至 9.9%, 烃转化系数则由 1.5% 增至 6.8%, H/C 原子比变化不大, 由 0.8 降至 0.7, 热解产率指数由 0.1 增至 0.31, 该阶段产物为原油和天然气。其中, 埋深 1 700~ 2 000m, R_o 为 0.5%~ 0.8% 对应于成熟早期阶段, 主要生成低熟油气; 埋深 2000~ 2560m, R_o 为 0.8%~ 1.35% 对

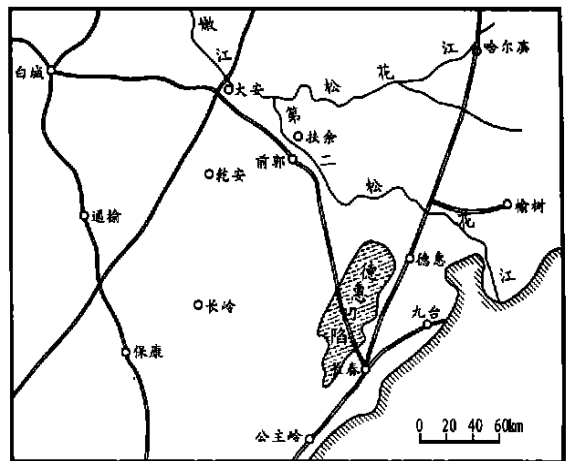


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Location map of the study area

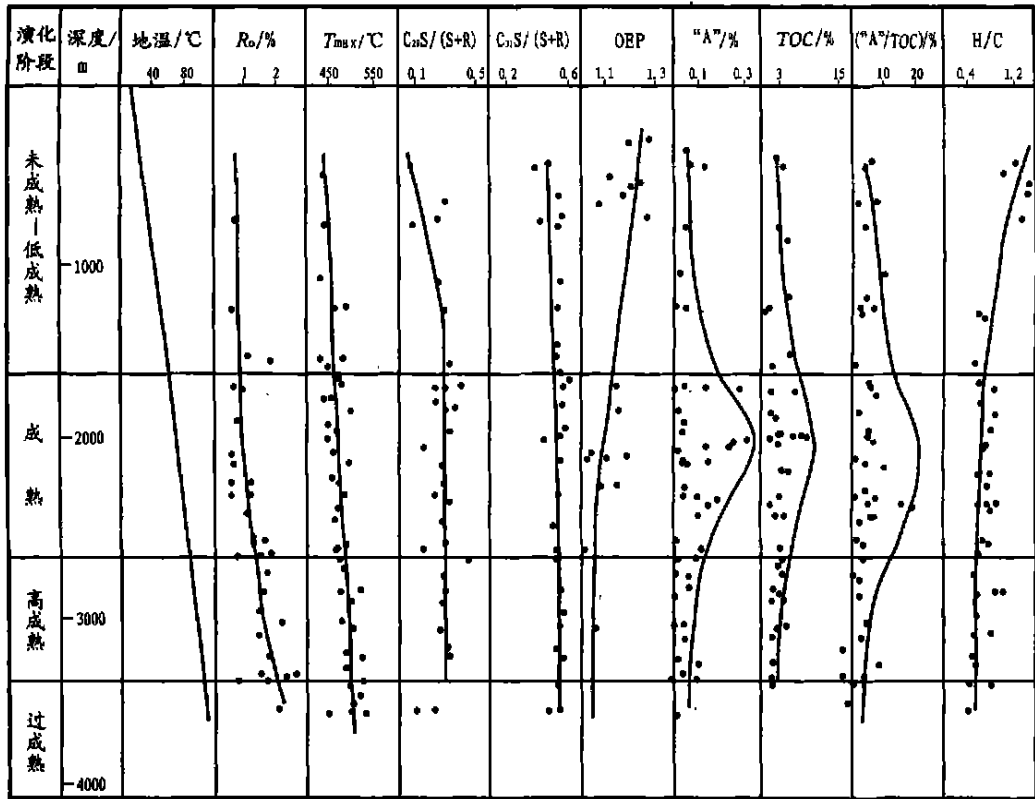


图2 德惠地区烃源岩演化综合剖面图

Fig.2 Comprehensive profile of source rock evolution in the Dehui Depression

表1 德惠凹陷演化阶段划分表

Table 1 Division of evolution stages in the Dehui Depression

底部埋深/ m	划分标志							油气性质 产状	演化阶段
	今地温/°C	反射率/%	热解峰温/°C	H/C	("A"/TOC)/%	C ₂₉ S/(S+R)	C ₃₁ S/(S+R)		
1 600	< 70	< 0.7	< 450	0.8~ 1.6	< 3	< 0.3	0.5	低成熟重质油、凝析油	未熟—低熟
2 650	70~ 90	0.7~ 1.3	450~ 490	0.6~ 0.8	2~ 20	0.3~ 0.4	0.5	成熟中质油	成熟阶段
3 350	90~ 110	1.3~ 2.0	490~ 510	0.4~ 0.6	< 2	0.4~ 0.5	0.5~ 0.6	高成熟轻质油、凝析油、湿气	高成熟阶段
> 3 350	> 110	> 2.0	> 510	< 0.4		0.5	0.6	干气	过成熟阶段

应于成熟晚期阶段,产物以成熟油气为主。当埋深到2 560~ 3 000m之间, R_o 为1.35%~ 1.8%,相应地温增至100°C,沥青转化系数降至1.5%,烃转化系数降至1.6%,H/C原子比降至0.64,热解产率指数增至0.48,对应有机质演化的高成熟阶段,产物主要为凝析油和湿气。深度大于3 000m时, R_o 大于1.8%,地温大于100°C,沥青转化系数小于1.5%,烃转化系数小于1.6%,H/C原子比小于0.64,热解产率指数大于0.48,该阶段为过成熟阶段,主要生成甲烷气。依据实际资料情况对德惠凹陷的演化特征进行评价的结果见表1。在烃源岩有机质热演化剖面研究的基础上,对工区钻井、测井、地震及分析测试资料进行全面收集和整理,开展生、

排烃史的动态模拟^[9]。

2 划分含油气系统的依据

2.1 有机包裹体拉曼光谱依据

有机包裹体可作为流体活动的唯一原始样品和直接标志。拉曼光谱是在拉曼光谱仪上组装光学显微镜系统,称之为激光拉曼分子微探针(laser Raman molecular microprobe,简称LRM),它能将激光聚焦在 $1\mu\text{m}^2$ 的面积上,进行分子成分和结构的原位微分析^[10]。

在德深2井2 093m深(相当登娄库组)的胶结物中可见较多固体沥青包裹体和气态烃包裹体,前

者呈近圆形、黑色,后者个体较小,褐黑色至深褐色;在石英次生加大边中可见气态烃包裹体,形状较小,多数呈圆形,少数为长条形,测定石英次生裂隙中包裹体均一温度为77~84℃,激光拉曼光谱1280、1384、1602峰发育(图3)。

在该井2355m深(相当营城组)的石英次生裂隙中发育有较多的包裹体。除盐水溶液包裹体外,有气态烃包裹体,显腰果状;还有少量液态烃包裹体,个体较小;在石英加大边中发育有气液两相包裹体,气液比20%~40%,呈似圆状。测定次生裂隙包裹体均一温度分别为67~72℃和78~86℃,激光拉曼1356、1361、1596、1599、2695峰明显(图4)。

从本次研究结果来看,德深2井从营城组到登娄库组包裹体均一温度及气液比都较低,为油气成熟阶段所捕获;但从包裹体赋存状态及颜色来看,尤其是沥青包裹体的出现,说明有高热演化阶段的产物,即下伏烃源岩有高热成熟—过成熟排烃过程。上下有机包裹体各相态成分有明显差异。

2.2 油气源对比

本次采用各组分同位素与源岩对应组分的同位素误差平方和最小及 ^{13}C 干酪根 $>^{13}\text{C}$ 原油或凝析油的原则,采集泉头组的油样都来源于沙河子组上段地层,且北高点(农42井)优先聚集了早期原油,南高点(农5井)聚集了后期演化程度略高的原油,或者其差异是来源于不同次洼的缘故。

各气样样品乙烷碳同位素与烃源岩干酪碳同位素对比说明布海及合隆气源主要为营城组,布海气样含 N_2 高可能与接近深大断裂有关;农安构造主要以营城组和沙河子组为烃源岩,有可能有登娄库组伴生气(农101)。其中北高点气藏演化程度略低于南高点,为优先聚集的结果。

2.3 异常压力依据

根据声波测井显示泉三段顶部及营城组顶部存在明显欠压实,并分别计算了它们的泥岩异常地层压力(图5、6)。

3 含油气系统划分及特征

依上述3方面特点,另外参照目前国内含油气系统划分方案,德惠凹陷深层剖面上可划分出2个含油气系统(图7):a)下部自源含油气系统,以营城组顶部异常压力界面或不整合面为界;b)上部它源含油气系统,以泉三顶部异常压力面为界。

随着盆地油气勘探程度的提高,含油气系统研究不能回答系统内具体哪一块(或几块)好,好到什么程度的问题。因此,应用系统论思想细化含油气系统已成为必然。亚含油气系统包括烃源岩(部分)和所有与之有关的油气,是介于含油气系统与成藏组合之间的一个地质单元,并且包含所有成藏的要素和成藏的地质过程,是所有地质要素和地质过程在时间和空间上有机匹配的产物。亚含油气系统的部分边界一般为盆地轴线、封闭性良好的边界断层和二级构造带轴线或封闭性良好的大断层,另一部分边界同含油气系统边界一致。亚含油气系统主要受凹陷内的次洼控制,一个生烃凹陷同时可向两个以上亚油气系统供应油气。德惠凹陷平面上可划分为农安、鲍家和布海3个亚含油气系统。

从平面上来看,农安亚含油气系统是最有利的含油气系统,农安北高点是3个次洼油气运移的长期指向区,是最有利的勘探区块,其中不利因素是后期抬升较高,大断层切穿较浅,油气遭到一定程度破坏。鲍家亚含油气系统是第二有利含油气系统,其中东部地区两条断层终止活动时间早,后期抬升小,但一直无明显大型圈闭,只是由两条断层活动形成

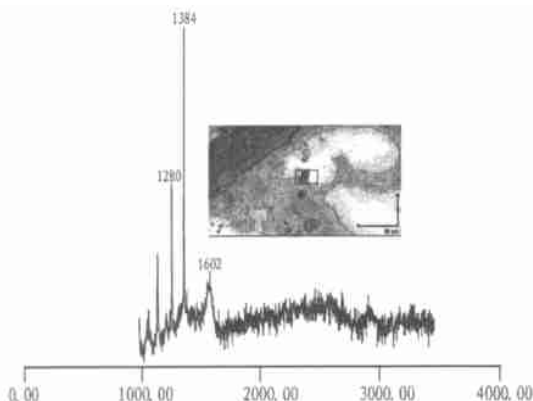


图3 登娄库组有机包裹体拉曼光谱图

Fig. 3 Laser Raman spectrum image of organic inclusions from the Denglouku Formation

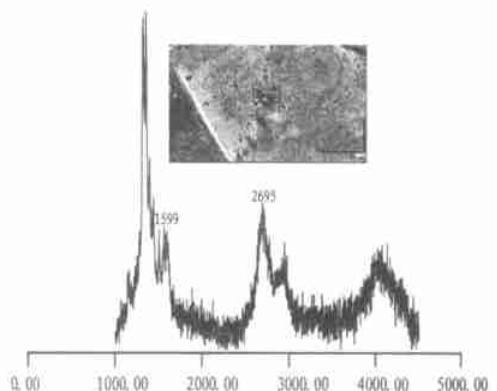


图4 营城组有机包裹体拉曼光谱图

Fig. 4 Laser Raman spectrum image of organic inclusions from the Yingcheng Formation

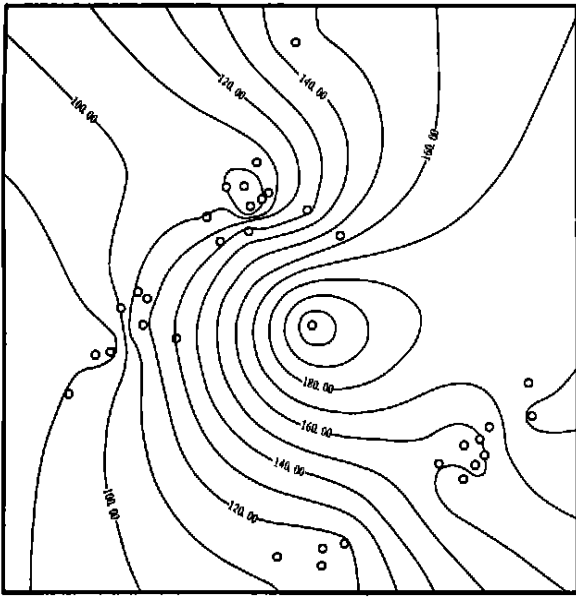


图5 泉三段顶部泥岩异常压力图

Fig. 5 Abnormal pressure of mudstone on the top of the Quansan Formation

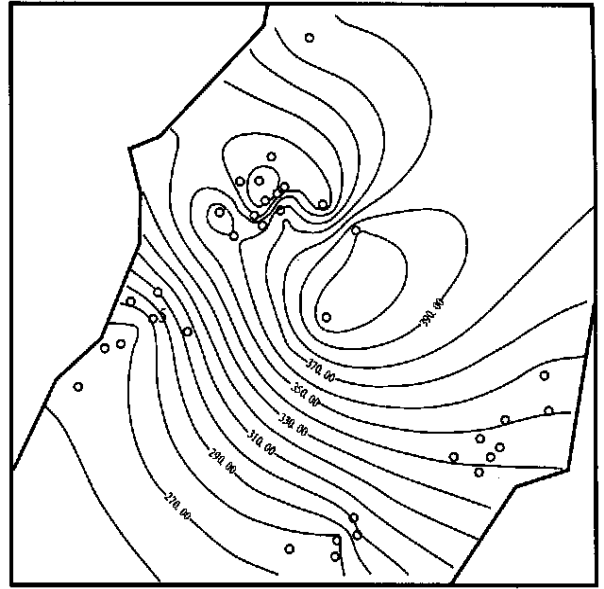


图6 营城组顶部泥岩异常压力图

Fig. 6 Abnormal pressure of mudstone on the top of the Yingcheng Formation

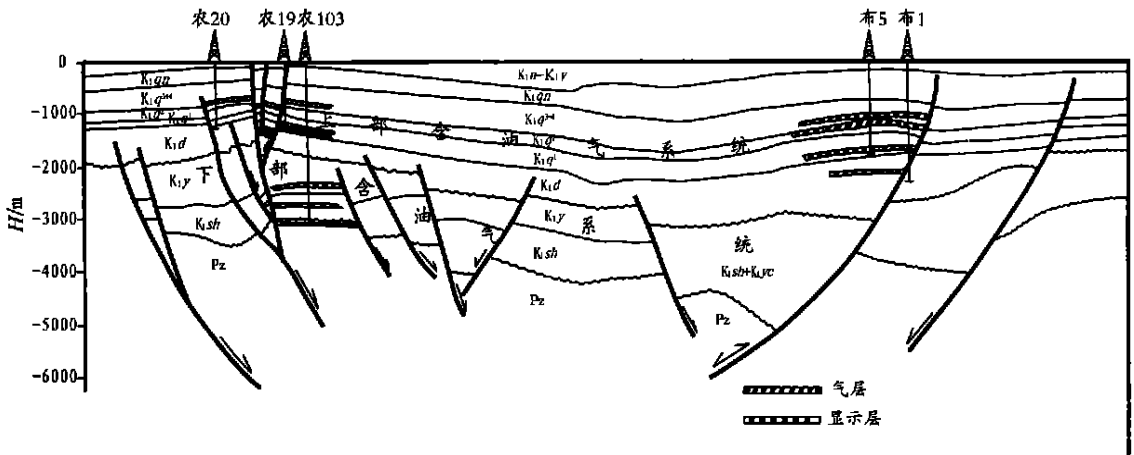


图7 德惠凹陷深层含油气系统剖面图

Fig. 7 Profile of deep petroleum systems in the Dehui Depression

的小断块,区域背景是向北倾的鼻状构造,该区是东次洼及南次洼油气运移的长期指向区,其中西侧断层内缘更有利。农安南高点长期无圈闭,只是嫩末构造抬升及断层扭动形成的小断块,只有南次洼提供油气源,所以成为该含油气系统次要有利区。布海亚含油气系统是第三有利含油气系统,东部边界断层使油气长期逸散,无明显的大型圈闭,仅东部有一些晚期小型低幅度构造。总之,农安亚含油气系统是最有利含油气系统,油气藏类型主要为断块、基岩以及岩性油气藏等;鲍家亚含油气系统是第二有利含油气系统,油气藏类型主要有背斜、地层超覆、断块等;布海亚含油气系统是第三有利含油气系统,主要油气藏类型有岩性及小型断块。

4 主要认识及存在问题

a) 德惠凹陷深层剖面上可划分出2个含油气系统: ①下部自源含油气系统,以营城组顶部异常压力界面或不整合面为界; ④上部它源含油气系统,以泉三顶部异常压力面为界。

b) 德惠凹陷平面上可划分为农安、鲍家和布海3个亚含油气系统。其中农安亚含油气系统是最有利的含油气系统,鲍家亚含油气系统是次有利含油气系统,布海亚含油气系统是第三有利含油气系统。

c) 本次仅给出激光拉曼光谱峰值,没有给出有机包裹体各相态成分及其相对含量。另外,目前生、

排烃史的动态模拟在无井区的参数只能靠推测, 对模拟结果会产生较大影响。值得注意的是, 许多盆地现今都可模拟出生、排烃来, 从理论上是成立的, 但在实际上并不一定存在油气聚集, 所以理论上计算的资源量可能偏大。

参考文献:

- [1] Demaison G, Huizinga B J. Classification of petroleum systems[J]. AAPG Bulletin, 1991, 75(10): 1626-1643.
- [2] Perrodon A. Petroleum systems: models and applications[J]. Journal of Petroleum Geology, 1992, 15(3): 319-326.
- [3] Magoon L B, Dow W G. The petroleum system—from source to trap[J]. AAPG Memoir 60, 1994: 1-60.
- [4] 费琪. 成油体系分析[J]. 地学前缘, 1995, 2(4): 163-170.
- [5] 田世澄, 等. 论成藏动力学系统[J]. 复式油气田, 1996, 1(1): 31-34.
- [6] 胡见义, 等. 中国含油气系统的应用与进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 3-95.
- [7] 唐文连, 等. 鄂尔多斯盆地地下生界含气系统及勘探方向[J]. 石油实验地质, 2000, 22(1): 28-34.
- [8] 何光玉, 等. 南海珠江三拗陷油气系统分析[J]. 石油实验地质, 2000, 22(1): 35-39.
- [9] 石广仁. 油气盆地数值模拟方法(第二版)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 14-200.
- [10] 谢奕汉, 等. 流体包裹体与盆地油气的生成和演化[J]. 地质科技情报, 1998, 17(增刊): 79-84.

DIVISION OF DEEP PETROLEUM SYSTEMS IN THE DEHUI DEPRESSION, THE SONGLIAO BASIN

GUO Shao-bin¹, LIU Yumei²

(1. Faculty of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Faculty of Applied Technology, Jilin University, Changchun, Jilin 130022, China)

Abstract: In recent years, the concept of petroleum systems has got wide attention. It provides a new research method for hydrocarbon exploration. Based on the thermal evolution profile study of organic matter in the hydrocarbon source rock of the Dehui Depression in the Songliao Basin and the thorough collection and collation of drilling, logging, seismic and testing data from the working area, the history of hydrocarbon generation and expulsion was dynamically simulated. According to the laser Raman spectrum analysis of organic inclusions, the correlation of hydrocarbon sources and the abnormal pressure of the strata, the Dehui Depression can preliminarily be divided into two petroleum systems on the deep profile, that is, the lower self-sourced petroleum system which is bounded by the abnormal pressure interface or unconformity plane on the top of the Yingcheng Formation and the upper else-sourced petroleum system which is bounded by the abnormal pressure surface on the top of the Quansan Formation. On the plane, Nongan, Baojia and Buhai three petroleum subsystems were divided. Among them, Nongan petroleum subsystem is the most favorable one, Baojia petroleum subsystem is the second, and Buhai petroleum subsystem takes the third. Otherwise, the lack of the method was pointed out.

Key words: Raman spectrum analysis; petroleum system; the Dehui Depression; the Songliao Basin

(continued from page 316)

pressure open system, the Central Thrust Belt normal- and over-pressure open-closed system, and the Luntai normal pressure open reservoir-forming system. And the Central Thrust Belt system can be subdivided into the above-Tertiary seal and the under-Tertiary seal two subsystems. In the above-Tertiary seal subsystem, secondary oil reservoirs are mainly formed; whereas, the under-Tertiary seal subsystem is the character of over-pressure gas accumulation.

Key words: reservoir-forming system; hydrocarbon; the Tarim Basin