

辽河油田大民屯凹陷下第三系 生油岩排烃研究

耿安松 傅家谟 盛国英 刘德汉

(中国科学院地球化学研究所, 广州)

陈义贤

(辽河石油勘探局, 辽宁盘锦)

采用高温高压半封闭实验体系, 对大民屯凹陷下第三系生油岩进行了排烃热模拟实验, 结果表明制约生油岩排烃量的因素是有机质丰度, 而制约生油岩排烃效率的因素则是有机质类型。排烃作用对原油族组成烷烃和非烃和沥青质的含量影响较大, 对芳烃含量影响较小。两类生油岩的排烃模式均具有无突发性排油高峰的特征。

关键词 排烃 初次运移 大民屯凹陷

第一作者简介 耿安松 男 32岁 助理研究员(博士) 有机地球化学

初次运移的排烃量和排烃效率是沉积盆地油气资源定量评价中必不可少的重要参数, 同时还可为初次运移机理的研究提供佐证。目前计算排烃量和排烃效率的方法有生油岩热解法^[1-3]、压实曲线法^[4]、原油分散量统计法^[5]、排烃模式计算法^[6]和实验模拟法^[7]等, 各种方法的基本原理相似但出发点不同。本文以辽河油田大民屯凹陷下第三系生油岩为对象, 采用热模拟实验的方法研究排烃量和排烃效率, 以期对初次运移研究提供新的信息。

一、地质背景

大民屯凹陷是辽河断陷北部的一个次级构造单元, 是早第三纪形成的小型断陷盆地, 位于沈阳市以西15 km左右, 面积约800 km²。凹陷的东、西、南三面由早期发育的三条基底边界断层所控制, 略呈不

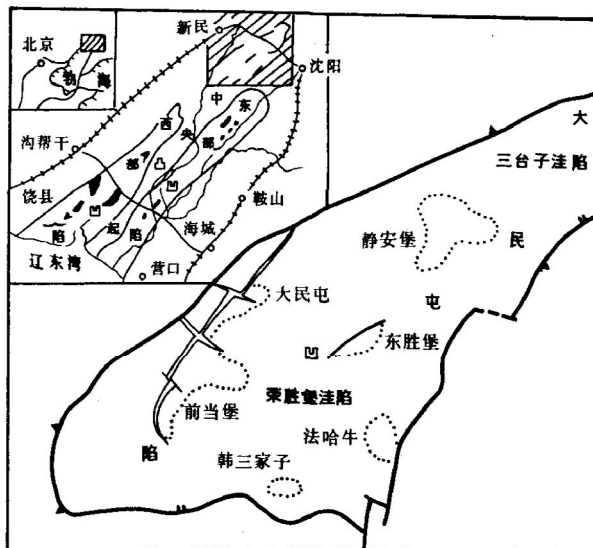


图1 辽河油田大民屯凹陷地理位置

对称的三角形(图1)。凹陷内沉积岩总厚度达6600 m,下第三系沙河街组沙三段和沙四段是主要的生油层,其中沙四段的生油条件又优于沙三段^[8]。

二、样品和实验方法

据研究*,大民屯凹陷沙三段生油岩有机质类型分布频率Ⅰ型和Ⅱ型约各占一半,沙四段生油岩则主要是Ⅱ型。本文选择了成熟度基本上一致的Ⅰ₀型和Ⅱ型生油岩各一块进行排烃热模拟实验,样品的基本参数见表1。

表1 样品基本特征

样号	井号	层位	深度 (m)	岩性	有机质 类型	有机碳 (%)	沥青 A (ppm)	R ^o (%)	沥青 A 族组成 (%)			
									烷烃	芳烃	非烃	沥青质
LD53	安1	Es ₄	2475.2	泥岩	Ⅰ ₀	2.85	1660	0.56	26.00	14.21	19.83	39.96
LD30	静74	Es ₄	2210.0	泥岩	Ⅱ	1.15	820	0.55	9.31	11.57	36.57	42.55

排烃模拟实验在高温高压半封闭实验体系^[9]中进行,实验温度为250—450℃,间隔50℃,恒温加热50 h,压力恒定为73.5 MPa。实验模具中样品上、下方分别充填7 g 细粒硅胶和20 g 石英沙,生油岩样品为40 g,实验产物用三氯甲烷抽提,有机产物的烷烃组分在HP5880A 气相色谱仪上分析,色谱柱SE54 (25 m×0.31 mm),程序升温70—290℃,4℃/min。实验温度与镜质组反射率的关系见表2。

表2 实验温度与镜质组反射率的关系

温度 (℃)	250	300	350	400	450
R ^o (%)	0.68	1.03	1.37	1.90	2.49

三、实验结果与讨论

1. 生油岩的排气量

实验表明,大民屯凹陷下第三系生油岩的排气量分布范围为23.19—860.87 m³/t 有机碳(表3),其中烃类气体所占的比例不大。在低演化阶段(250℃),Ⅰ₀型生油岩无气体排出,Ⅱ型生油岩排出的气体也很少;在中等演化阶段(300—400℃),Ⅰ₀型生油岩的排气量无显著变化,Ⅱ型生油岩的排气量随实验温度的上升迅速增加;进入高演化阶段(450℃),Ⅰ₀型生油岩的排气量迅速增加,Ⅱ型生油岩的排气量则略有降低。有机质丰度与排气量似乎相关性不密切,LD53的有机碳含量约为LD30的2.5倍,其单位重量生油岩和单位有机碳的生气量基本上都高于后者**,但在各演化阶段其排气量都显著低于后者。

2. 生油岩的生烃量和排烃量

* 耿安松,辽河油田大民屯凹陷下第三系生油岩生烃及排烃的实验研究,1990,博士学位论文。

** 同上。

表3 大民屯凹陷下第三系生油岩热模拟排气量

样号	排气量 m ³ /t 有机碳	温度(℃)				
		250	300	350	400	450
LD53	全气		42.54	43.68	53.95	454.82
	烃类气		0.24	0.23	1.20	37.76
LD30	全气	23.91	171.74	360.87	860.87	750.00
	烃类气		0.54	2.65	27.67	25.81

半封闭体系排烃模拟实验所获得的液态产物分为几个部分: 生油岩样品中吸附部分为残留烃, 生油岩样品上方硅胶吸附部分和下方石英沙吸附部分加收集瓶中的一起为排出烃, 残留烃与排出烃之和为总生烃量。实验温度对Ⅰ₁型生油岩(LD53)的生烃量有明显的影响, 随实验温度的升高生烃量逐渐增大, 而Ⅲ型生油岩(LD30)的生烃量与实验温度关系不明显, 不同热演化阶段生烃量基本保持不变(表4, 图2)。

表4 大民屯凹陷下第三系生油岩热模拟生烃量、排烃量和排烃效率

样号	温度(℃)		250	300	350	400	450
LD30	生烃量	(kg/t 岩石)	0.33	0.33	0.37	0.36	0.40
		(kg/t 有机碳)	28.26	28.70	31.74	31.09	34.57
	排烃量	(kg/t 岩石)	0.13	0.06	0.14	0.15	0.35
		(kg/t 有机碳)	11.09	5.43	11.96	13.26	30.00
	排烃效率(%)		39.23	18.94	37.67	42.66	86.79
LD53	生烃量	(kg/t 岩石)	1.02	0.86	1.24	2.13	3.14
		(kg/t 有机碳)	35.70	30.18	43.42	74.74	110.00
	排烃量	(kg/t 岩石)	0.14	0.24	0.25	0.31	2.89
		(kg/t 有机碳)	4.91	8.25	8.60	10.88	101.49
	排烃效率(%)		13.76	27.33	19.80	14.55	92.26

LD53(Ⅰ₁型)无论从有机质丰度还是有有机质类型来说, 都比LD30(Ⅲ型)的生油性能好, 因而其生烃量比LD30大得多。前者生烃量分布范围为0.86—3.14kg/t 岩石(30.18—110kg/t 有机碳), 而后者生烃量分布范围仅为0.33—0.40kg/t 岩石(28.69—34.57kg/t 有机碳)(表4)。生油岩的排烃量虽与生油量有一定的关系, 但相关性并不密切, 在各演化阶段Ⅰ₁型生油岩的生烃量都比Ⅲ型生油岩的生烃量大得多, 但前者的排烃量却比后者大不了多少(450℃时例外), 似乎表明排烃量与热演化程度和有机质类型的

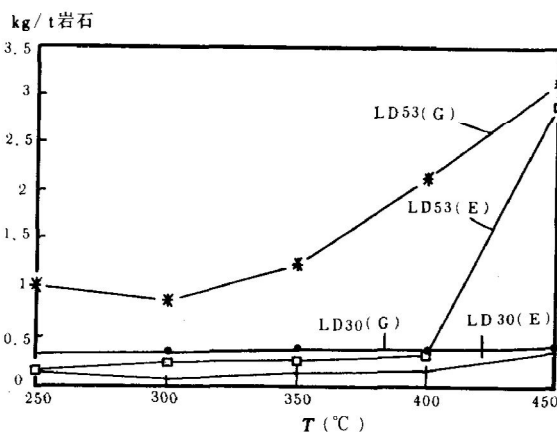


图2 大民屯凹陷下第三系生油岩的生烃量和排烃量
G—生烃量, E—排烃量

关系不大,而与生油岩的有机质丰度略有关系(图2)。

3. 生油岩的排烃效率

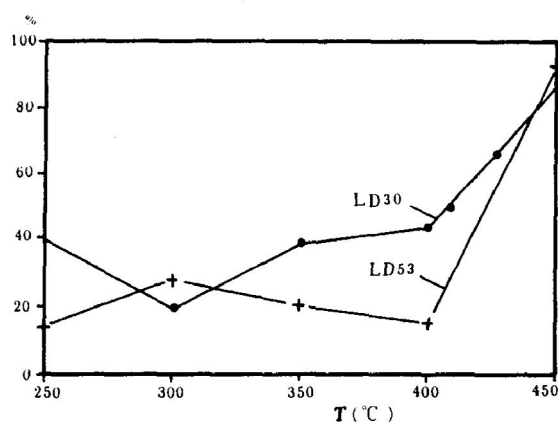


图3 两类生油岩的排烃效率
LD53—Ⅰ型, LD30—Ⅱ型

通常排烃效率指排出烃占总生烃量的比例,即:排烃效率=排烃量/总生烃量。实验结果表明,大民屯凹陷下第三系中Ⅰ型生油岩的排烃效率分布范围为13.8—92.3%。Ⅱ型生油岩的排烃效率分布范围为18.9—86.8%(表4),其中在高演化阶段(450℃)的高排烃效率值除与运移有关外,可能与残留烃大量裂解成气有关,不代表真实的排烃效率,这种现象在Cooler等^[1]的研究中也出现过。值得注意的是,多数实验温度下,生烃量和排烃量较小的Ⅱ型生油岩的排烃效率反而大于生烃量和排烃量都大的Ⅰ型生油岩(表4,图3)。

对比图2和图3可以看到,制约生油岩排烃量的是生油岩的有机质丰度,而制约生油岩排烃效率的则是有机质类型。生油岩的有机质丰度与其排烃效率之间似乎无明显的相关性,排烃量大的其排烃效率不一定就大。就本实验而言,多数情况下Ⅱ型生油岩的排烃效率大于Ⅰ型生油岩,这可能是由于Ⅰ型有机质比Ⅱ型有机质具有更高的吸附石油的能力。

4. 残留烃和排出烃的族组成对比及其演化

Ⅰ型生油岩残留烃(PY)中烷烃含量分布范围比Ⅱ型生油岩残留烃中烷烃含量分布范围宽得多,而非烃含量分布范围却窄得多,两者的芳烃和沥青质的含量分布范围相差不大。Ⅰ型生油岩与Ⅱ型生油岩排出烃向细粒围岩(硅胶)排出部分(PJ)的各族组成含量分布范围差别不大,而向粗粒围岩(石英沙)排出部分(PS),则前者比后者烷烃含量分布范围高而宽,非烃和沥青质含量分布范围低而窄,芳烃含量分布范围差别不大(表5)。

从族组成三角图上(图4)可以发现,两类生油岩中无论是排出烃还是残留烃,其芳烃含量的变化都不大,而烷烃、非烃和沥青质的含量变化却比较大,表明排烃作用对原油族组成中烷烃、非烃和沥青质的含量影响较大,而对芳烃的含量影响较小。与残留烃相比,排出烃中更富烷烃而少非烃和沥青质。这与大民屯凹陷原油和生油岩的实际族组成分布情况(图5)十分相似,略有不同的是排出烃比原油的族组成偏向烷烃端元的程度低一点,这可能与高温短时间的实验条件和低温长时间的地质条件的差

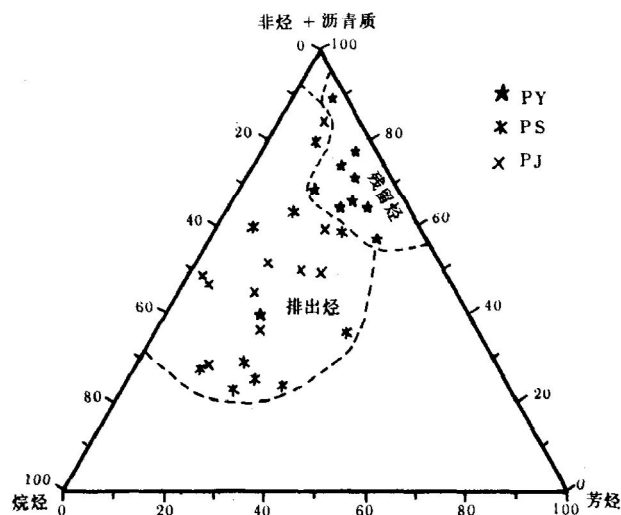


图4 残留烃和排出烃的族组成(%)

表5 残留烃和排出烃的族组成(%)

样 号	烷 烃	芳 烃	非 烃	沥 青 质
LD30	9.31	11.57	36.57	42.55
LD30-250PY	13.92	22.03	50.51	13.54
LD30-250PS	23.64	13.41	31.14	31.82
LD30-250PJ	44.33	5.00	35.00	11.67
LD30-250E	30.81	10.97	32.26	25.97
LD30-300PY	7.29	21.50	47.85	23.36
LD30-300PS	11.11	9.44	70.56	8.89
LD30-300PJ	34.29	14.29	51.42	
LD30-300E	17.60	10.80	65.20	6.40
LD30-350PY	3.09	7.82	89.09	
LD30-350PS	33.20	7.20	41.20	18.40
LD30-350PJ	40.00	15.00	45.00	
LD30-350E	34.85	9.09	42.12	13.94
LD30-400PY	4.51	18.41	65.00	12.07
LD30-400PS	16.22	25.33	31.33	27.11
LD30-400PJ	43.13	20.63	36.25	
LD30-400E	23.28	24.10	32.62	20.00
LD30-450PY	16.67	14.76	58.10	10.48
LD30-450PS	26.43	37.86	23.65	12.06
LD30-450PJ	25.00	25.83	49.17	
LD30-450E	26.30	36.81	25.87	11.01
LD53	26.00	14.21	19.83	39.96
LD53-250PY	41.60	18.77	25.67	13.96
LD53-250PS	59.39	13.06	13.88	13.67
LD53-250PJ	48.57	2.86	48.57	
LD53-250E	58.04	11.79	18.21	11.96
LD53-300PY	9.96	33.20	38.84	18.00
LD53-300PS	50.00	21.03	18.39	10.57
LD53-300PJ	28.57	21.43	50.00	
LD53-300E	48.40	21.06	20.74	9.79
LD53-350PY	8.59	27.38	37.03	27.00
LD53-350PS	55.07	22.05	22.19	0.68
LD53-350PJ	7.20	8.80	60.80	23.20
LD53-350E	42.86	18.67	32.04	6.43
LD53-400PY	10.80	23.74	37.58	27.88
LD53-400PS	44.94	31.39	20.25	3.42
LD53-400PJ	19.11	21.78	45.11	14.00
LD53-400E	35.56	27.90	29.27	7.26
LD53-450PY	8.76	17.22	47.11	26.91
LD53-450PS	49.64	25.07	7.04	18.24
LD53-450PJ	57.14	14.29	28.57	
LD53-450E	49.71	25.00	7.15	18.13

PY—残留烃，PS—石英砂吸附烃，PJ—硅胶吸附烃，E—排出烃

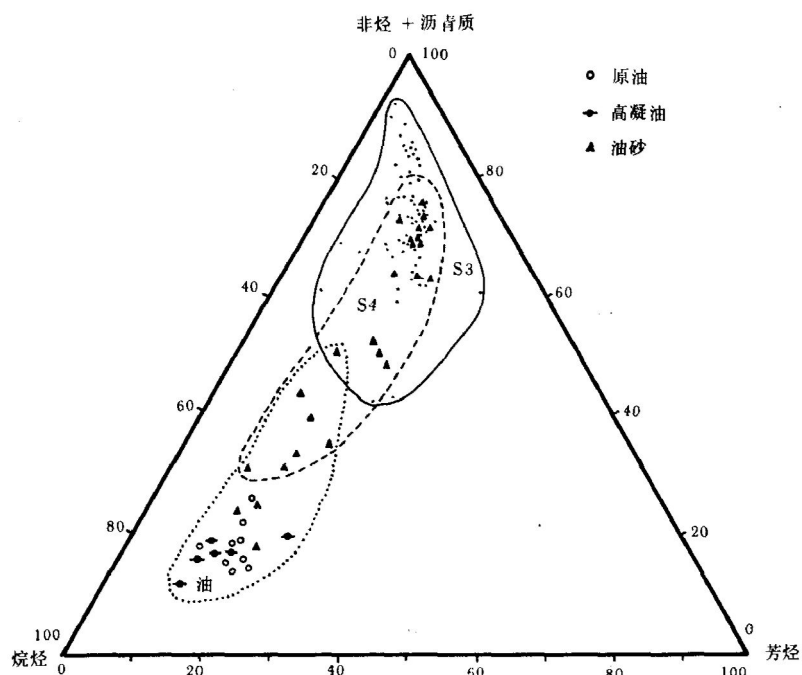


图5 大民屯凹陷下第三系生油岩及原油的族组成

(据许杏娟、李茂芬, 1986)

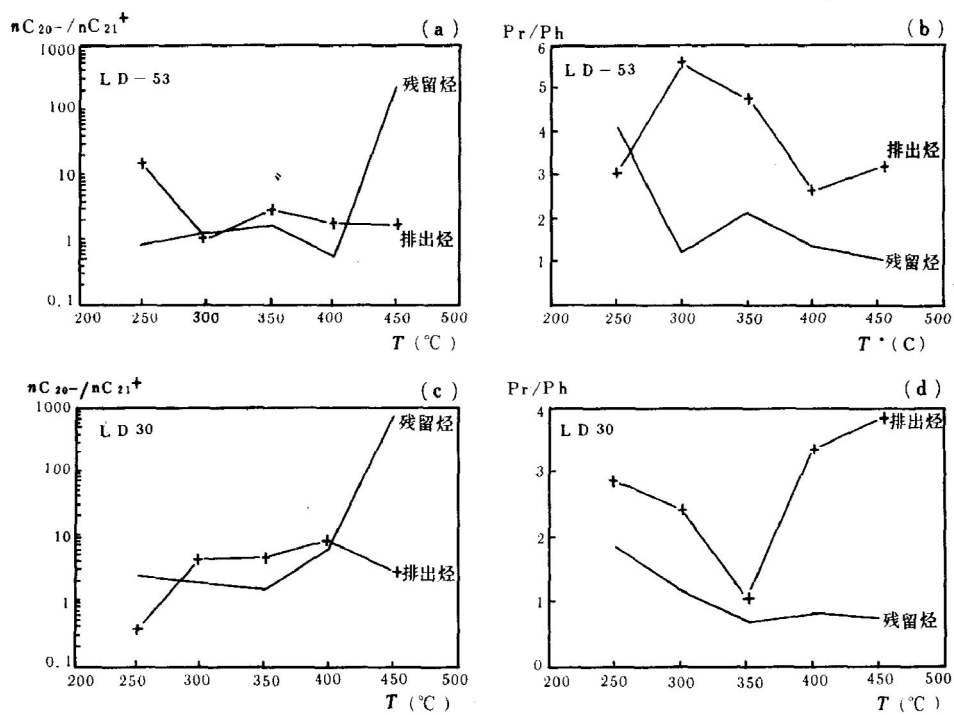


图6 大民屯凹陷下第三系两类生油岩残留烃和排出烃的烷烃组成

(a)、(b) — I_a型, (c)、(d) — II型

别有关。尽管如此，仍表明我们采用的实验体系所进行排烃热模拟实验的结果是可信的。

5. 残留烃和排出烃的烷烃组成对比及其演化

在不同热演化阶段，Ⅰ₀型和Ⅱ型生油岩残留烃和排出烃中烷烃组成的变化有着各自的特点（图6）。两类生油岩残留烃的 nC_{20-}/nC_{21+} 值总的演化趋势相似，随实验温度的升高而增大，表明随温度的升高，残留烃中长链烷烃逐步裂解为短链烷烃；排出烃的 nC_{20-}/nC_{21+} 值在不同热演化阶段变化不大。多数情况下排出烃比残留烃的 nC_{20-}/nC_{21+} 值大1.4—3.2倍，说明排出烃中优先富集低分子量烷烃。

两类生油岩残留烃的 Pr/Ph 值总的变化趋势相似，即随实验温度的升高而减小，不过Ⅰ₀型生油岩该值的分布范围大于Ⅱ型生油岩。而两类生油岩排出烃的 Pr/Ph 值变化趋势却不相同。在绝大多数情况下，排出烃的 Pr/Ph 值高于残留烃为后者的2—5倍，表明姥鲛烷比植烷更容易排出（图6）。

6. 两类生油岩的排烃模式

根据表3和表4的实验数据，可以得如图7所示的排烃模式。可以看到大民屯凹陷两类生油岩排烃模式的主要差别是气态产物的排出情况显著不同。Ⅱ型生油岩的气态产物排出量大，且随热演化程度的加大迅速增加；而Ⅰ₀型生油岩的气态产物排出量小且增加缓慢。此外十分有趣的是两类生油岩液态烃的排出都以较稳定的速率进行，无突发性排烃高峰，似乎表明液态烃的排出是连续的而不是间歇式的，这不同于东营凹陷的间歇式排烃模式*。

四、小 结

1. 制约生油岩排烃量的因素是有机质丰度，而制约生油岩排烃效率的因素则是有机质类型，排烃量大的其排烃效率不一定大。对大民屯凹陷下第三系生油岩而言，多数情况下Ⅱ型生油岩的排烃效率大于Ⅰ₀型生油岩的排烃效率。

2. 排烃作用对原油族组成中烷烃、非烃和沥青质的含量影响较大，而对芳烃含量影响较小。排出烃比残留烃更富含烷烃而少非烃和沥青质。

3. 低分子量正烷烃比高分子量正烷烃优先排出，姥鲛烷比植烷优先排出。

4. 两类生油岩的排烃模式表明大民屯凹陷下第三系生油岩无突发性排油高峰，液态烃的排出可能是连续的而不是间歇式的。

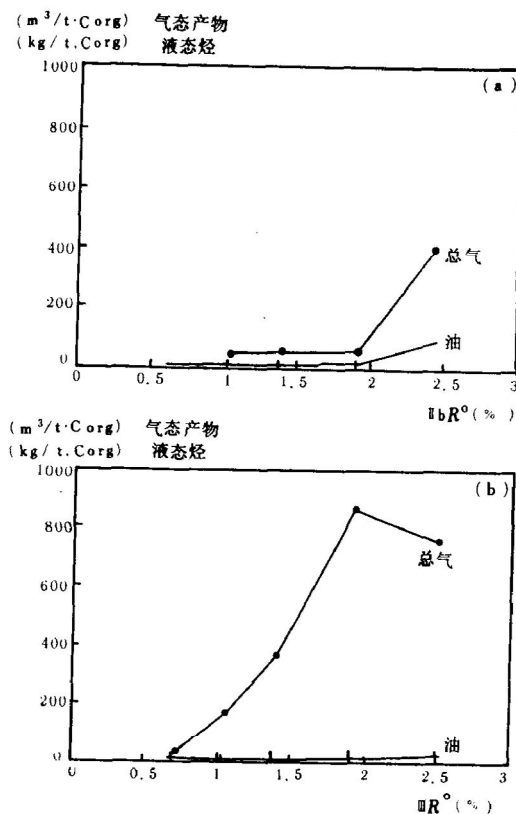


图7 大民屯凹陷下第三系生油岩
热模拟产物排出模式
(a) —Ⅰ₀型, (b) —Ⅱ型

* 胡济世，异常高压、流体压裂与油气运移，1987。

张惠之同志承担了气体分析, 卢家烂、冯家良同志为实验分析提供了帮助, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Cooles G. P., MacKenzie A. S., Quigley T. M., *Org. Geochem.*, 1986; 10 (1—3).
- [2] Espitalie J., Maxwell J. R., Chenet Y. et al., *Org. Geochem.*, 1988; 13 (1—3).
- [3] 郭立言等, 生油岩快速定量评价, 科学出版社, 1986.
- [4] 李明诚, 石油学报, 1985; 6 (1).
- [5] 盛志伟、李惠芬, 中国含油气盆地烃源岩评价, 石油工业出版社, 1989.
- [6] 李明诚, 石油与天然气运移, 石油工业出版社, 1987.
- [7] 张丽洁等, 中国科学院地球化学研究所有机地球化学开放研究实验室研究年报 (1987), 科学出版社, 1988.
- [8] 黄竹安, 石油与天然气地质, 1987; 8 (2).
- [9] 傅家谟等, 煤成烃地球化学, 科学出版社, 1990.

INVESTIGATION OF HYDROCARBON EXPULSION FROM EOGENE SOURCE ROCK IN DAMINTUN DEPRESSION, LIAOHE OILFIELD

Geng Ansong Fu Jiamo Sheng Guoying Liu Dehan

(*Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou*)

Chen Yixian

(*Petroleum Exploration Bureau of Liaohe Oilfield, Panjin*)

Abstract

Thermal simulation of hydrocarbon expulsion from Eocene source rock in Damintun Depression were made with high temperature-pressure semi-closed experimental system. The results show that the factor controlling hydrocarbon expulsion amounts is organic matter abundance of the source rock, but the factor controlling expulsion efficiency is the type of organic matter. Higher expulsion amount does not always mean higher expulsion efficiency. The content of alkanes and NSO compounds in crude oil is remarkably affected by hydrocarbon expulsion, while that of aromatics is only slightly affected. Hydrocarbon expulsion models of the source rocks in the depression are characterized by no abrupt peak of petroleum expulsion.