

doi:10.3799/dqkx.2013.017

# 渤海湾盆地南堡凹陷油气运移路径模拟及示踪

万 涛<sup>1</sup>, 蒋有录<sup>1</sup>, 董月霞<sup>2</sup>, 马 乾<sup>2</sup>, 田 涛<sup>1</sup>

1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东黄岛 266555

2. 中国石油冀东油田公司勘探开发研究院, 河北唐山 063004

**摘要:** 在油气成藏期分析的基础上, 采用盆地流线模拟技术对渤海湾盆地南堡凹陷成藏关键时刻油气运移过程进行了恢复, 根据原油含氮化合物和成熟度指标对典型油气富集区的油气运移路径进行了示踪。油气运移路径模拟结果表明, 研究区南部凹槽源内和源下油气藏在东营末期(距今 24.6 Ma)有一期较小规模运移, 油气大规模运移时期为明化镇中期(距今 9 Ma)。南部凹槽源上油气藏和北部凹槽源内油气藏在明化镇中期有少量油气运移, 大规模运移时期为明化镇末期(距今 2 Ma)。目前南部凹槽勘探程度较低, 模拟结果表明其具有较大的勘探潜力。原油地球化学指标揭示在源上油气藏富集区, 对于伸入洼陷中心的油源断层, 油气主要沿断层走向, 向构造高部位及断层面两侧砂体运移; 对于平行洼陷中心的油源断层, 油气主要沿断层倾向向构造高部位运移。在源内油气藏富集区, 油气主要通过有效烃源岩层系内发育的砂体向构造高部位运移。

**关键词:** 油气运移路径; 油气成藏期; 流线模拟; 含氮化合物; 成熟度; 油源断层; 南堡凹陷。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2013)01-0173-08

收稿日期: 2012-05-26

## Reconstructed and Traced Pathways of Hydrocarbon Migration in Nanpu Depression, Bohai Bay Basin

WAN Tao<sup>1</sup>, JIANG You-lu<sup>1</sup>, DONG Yue-xia<sup>2</sup>, MA Qian<sup>2</sup>, TIAN Tao<sup>2</sup>

1. School of Geosciences and Technology, China University of Petroleum, Huangdao 266555, China

2. Research Institute of Exploration and Development, Jidong Oilfield, PetroChina, Tangshan 063004, China

**Abstract:** The pathways of hydrocarbon migration in main hydrocarbon accumulation periods of Nanpu Depression in Bohai Bay Basin were reconstructed by the technology of streamline simulation. Based on the data of nitrogen compounds and maturity in crude oil, the traced pathways of hydrocarbon migration in the typical enrichment areas are studied. Streamline simulation results show that to reservoir inside and under source rock in south sags, there was a smaller scale hydrocarbon migration in late Dongying Formation (24.6 Ma ago), and a mass hydrocarbon migration in middle Minghuazhen Formation (9 Ma ago). To reservoir upper source rock in south sags and reservoir inside source rock in north sag, there was a small amount of hydrocarbon migration in middle Minghuazhen Formation, mass hydrocarbon migration in late Minghuazhen Formation (2 Ma ago). At present, hydrocarbon distribution in south sags does not match the simulation results, which indicates greater potential for exploration. The geochemical index of crude oil show that in the enrichment area of reservoir upper source rock, hydrocarbon migration was along faults strike, to the tectonic high position and sandstone on both sides of fault plane when the source fault stretched into the Sag center. For source faults parallel to the Sag center, hydrocarbon migration was along the faults tendency to the tectonic high position. In the enrichment area of reservoir inside source rock, hydrocarbon migration was along sandstone to the tectonic high position.

**Key words:** pathways of hydrocarbon migration; hydrocarbon accumulation periods; streamline simulation; nitrogen compounds; maturity; source faults; Nanpu depression.

油气运移是石油地质学的重要研究内容, 是连接油气生成和聚集成藏的纽带, 对于油气勘探具有

重要意义(蒋有录和查明, 2006)。由于油气运移在地质历史过程中留下的痕迹很少, 且在实验室中很难

进行模拟,关于油气运移路径的模拟和示踪俨然成为油气勘探中的重点和难点问题。笔者以渤海湾盆地南堡凹陷为例,在油气成藏期分析的基础上,采用盆地流线模拟技术,再现了成藏关键时刻油气运移过程,在大量原油样品含氮化合物和成熟度指标分析的基础上,对典型油气富集区的油气运移路径进行了示踪,以期为研究区下一步油气勘探提供地质理论依据,同时为渤海湾盆地类似凹陷的勘探开发提供借鉴意义。

## 1 油气成藏基本条件

南堡凹陷位于燕山台褶带南缘,是渤海湾盆地北侧一个小型油气富集区。整个南堡凹陷勘探面积为 $1932\text{ km}^2$ ,其中陆地面积 $570\text{ km}^2$ ,海域面积 $1362\text{ km}^2$ ,它是在华北地台基底上,经中、新生代的块断运动而发育起来的一个中新生界北断南超的箕状凹陷(董月霞等,2008),由高尚堡、柳赞、老爷庙、南堡1号、2号、3号、4号、5号构造带等8个二级构造带和林雀、曹妃甸、拾场等3个洼陷组成(图1)。

林雀洼陷和曹妃甸洼陷主力烃源岩发育层系为沙三段四亚段、沙一段和东三段,烃源岩厚度分别为 $200\sim600\text{ m}$ 、 $100\sim300\text{ m}$ 和 $100\sim700\text{ m}$ ,洼陷中心沙三段四亚段烃源岩目前已进入生油凝析气一生干气阶段,沙一段烃源岩有机质成熟度( $R_o$ )为

$0.5\%\sim1.28\%$ ,平均值为 $0.80\%$ ;东三段烃源岩有机质成熟度( $R_o$ )为 $0.41\%\sim1.28\%$ ,平均值为 $0.71\%$ ,源藏关系分析认为高柳断层以南地区油气来源于林雀洼陷和曹妃甸洼陷。沙三段四亚段发育的深湖相泥岩为拾场洼陷主力烃源岩,厚度达 $300\sim500\text{ m}$ (赵彦德等,2009),有机质成熟度( $R_o$ )为 $0.53\%\sim1.26\%$ ,平均值为 $0.82\%$ 。油源对比结果表明高柳断层以北沙河街组原油来源于该套烃源岩(李素梅等,2008)。根据研究区构造特点和油气来源,将高柳断层以南地区划分为南部凹槽,以北地区划分为北部凹槽。

受柏各庄和西南庄两条边界断层控制,南堡凹陷南部凹槽古近纪发育三角洲、扇三角洲和湖泊相沉积,北部凹槽则主要发育近岸水下扇、扇三角洲和湖泊相沉积(管红和朱筱敏,2008)。研究区新近纪主要发育冲积扇相、辫状河相和曲流河相沉积(梁昌国等,2008)。明化镇组上段和东二段稳定发育的泥岩为研究区两套主要的区域性盖层,此外局部地区发育的馆陶组火成岩也可以作为区域性盖层。圈闭类型主要有断块、断鼻、断背斜、低幅度背斜等(汪泽成等,2008)。

从成藏组合定义出发,研究区可划分源上、源内、源下成藏组合(汪泽成等,2008)。源上成藏组合(明化镇组下段、馆陶组和东一段)指被区域性盖层与下伏烃源岩分隔的油气藏和远景圈闭组合,其主

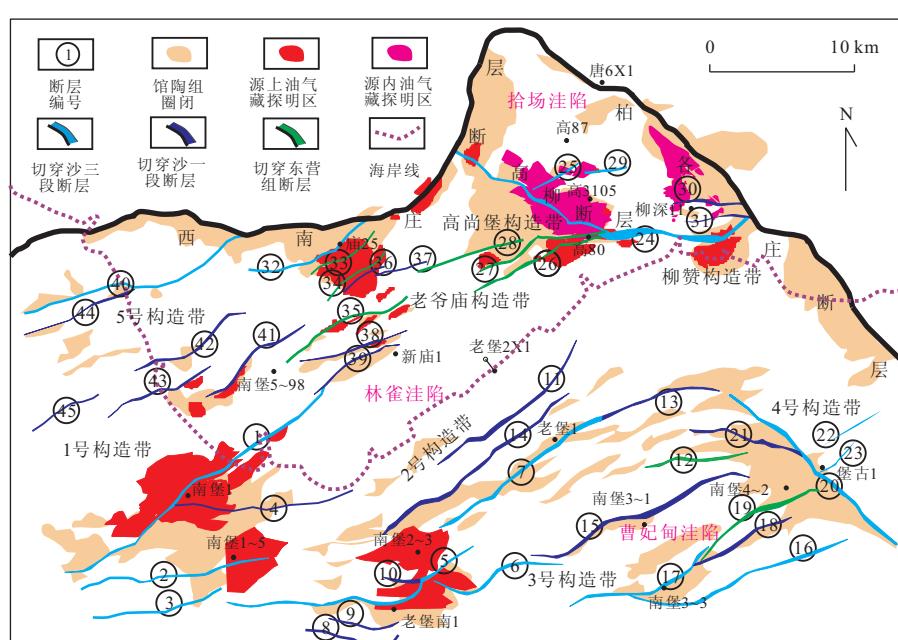


图1 南堡凹陷主要油源断层及油气分布

Fig. 1 The main source faults and hydrocarbon distribution in Nanpu depression

要特征是缺乏有效烃源岩。源内成藏组合(主要为东二段、东三段和沙河街组)指烃源岩内部的油气藏和远景圈闭组合。源下成藏组合则为潜山带油气藏和远景圈闭组合。

目前,南堡凹陷南部凹槽勘探上发现的油气主

要富集在1号构造带、2号构造带西部、老爷庙构造带和高柳构造带浅层,以源上油气藏为主,油气分布受切割烃源岩层位、且在明化镇期活动的油源断层控制(图1)。北部凹槽勘探上发现的油气以源内油气藏为主,油气主要富集在高柳构造带沙河街组。

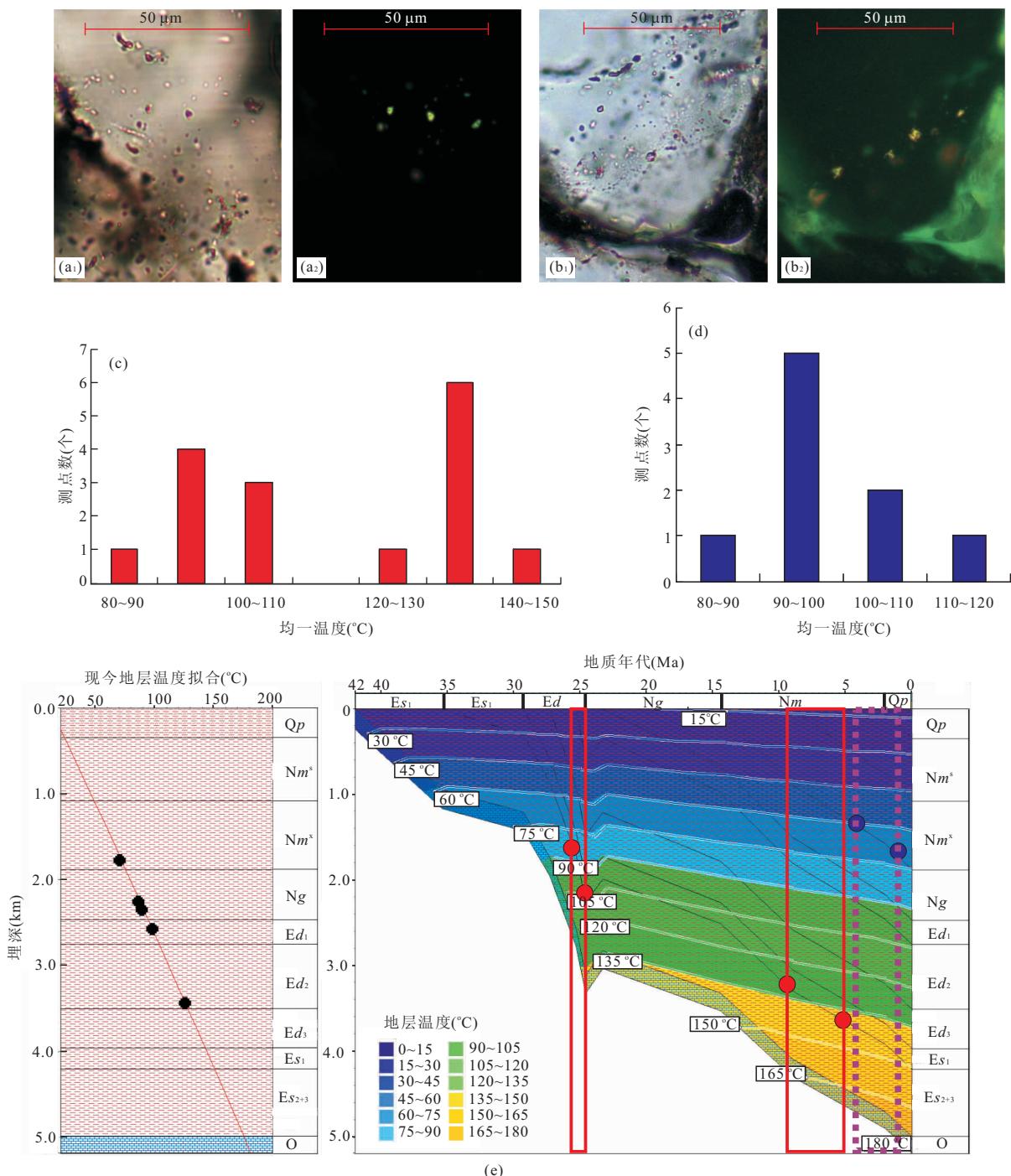


图2 流体包裹体确定南堡1井沙一段和东一段油气充注期次及成藏时间

Fig. 2 Division of hydrocarbon charging events and chronology in Shal and Dong1 Member of Well Nanpu1 by fluid inclusion  
a. 沙一段细砂岩流体包裹体显微照片(4 117.0 m;a<sub>1</sub>:透射光;a<sub>2</sub>:荧光);b. 东一段细砂岩流体包裹体显微照片(2 718.3 m;b<sub>1</sub>:透射光;b<sub>2</sub>:荧光);c. 沙一段细砂岩盐水包裹体均一温度;d. 东一段细砂岩盐水包裹体均一温度;e. 南堡1井埋藏史

表1 南堡凹陷不同构造带油气成藏期统计

Table 1 Hydrocarbon accumulation periods of different tectonic belts in Nanpu depression

凹槽	构造带	井号	取样深度(m)	层位	岩石类型	温度区间(℃)	充注时间(Ma)	油气充注成藏期
南部凹槽	1号构造带	南堡1	2 718.3	Ed <sub>1</sub>	灰色荧光细砂岩	90~100	4~2	明化镇晚期
			4 117	Es <sub>1</sub>	浅灰色油斑细砂岩	90~100 130~140	25.5~24.6 9~5	东营期、明化镇中期
	2号构造带	南堡1~5	3 963.5	0	浅灰色油迹灰岩	110~130	10.5~5	明化镇中期
		老堡南1	2 388.2	Ed <sub>1</sub>	浅灰色荧光细砂岩	75~85	5~1.5	明化镇晚期—第四纪
	西部	南堡288	3 405.9	Ed <sub>3</sub>	浅灰色油迹细砂岩	100~110	5~2	明化镇晚期
		2号构造带	老堡1	3 052.8	Ed <sub>1</sub>	浅灰色油斑细砂岩	90~100	6~2
	东部		3 414.9	Ed <sub>2</sub>	浅灰色油迹细砂岩	100~110	7~5	明化镇中—晚期
	4号构造带	南堡4~1	2 421.5	Ng	灰褐色油浸含砾不等粒砂岩	65~75	6~2	明化镇晚期
	5号构造带	南堡5~4	3 341	Ed <sub>1</sub>	浅灰色油迹细砂岩	100~110	5~2	明化镇晚期
	老爷庙构造带	庙108X1	3 301.8	Ed <sub>1</sub>	灰色油斑细砂岩	105~115	4~1	明化镇晚期—第四纪
北部凹槽	高柳构造带	柳12	3 658.3	Es <sub>3</sub>	灰色油斑砂岩	115~125	6.5~3.5	明化镇晚期

## 2 油气运移过程模拟

### 2.1 油气成藏期

目前对油气成藏时间及期次的确定通常有两种方法:一是绝对定年法,即储集层成岩矿物(主要是伊利石)同位素年代学分析法(王飞宇等,1997),二是相对定年法,即流体包裹体光性特征和均一温度分析法(李纯泉等,2010).本文采用第二种方法,在实验室将包裹体置于冷热台上加热至气相消失,再恢复成均一液相时的温度称为均一温度,该温度代表了流体包裹体形成时的温度.结合储层的埋藏史,可确定流体包裹体形成时储集层经受的温度,以及相应的埋深和地质年代等,从而判断油气充注的时间.如南堡1井沙一段浅灰色油斑细砂岩(4 117.0 m)中检测到发橙色和黄绿色两类烃类包裹体(图2a),与两类烃类包裹体伴生的盐水包裹体均一温度峰值分别为90~110 ℃和130~140 ℃(图2c),结合埋藏史得出源内油气藏时间为东营末期(距今25.5~24.4 Ma)和明化镇中期(距今9~5 Ma)(图2e,红色框表示).该井东一段灰色荧光细砂岩(2 718.3 m)中检测到发黄色的烃类包裹体(图2b),与烃类包裹体伴生的盐水包裹体均一温度峰值为90~100 ℃(图2d),结合埋藏史得出源上油气藏油气成藏时间为明化镇晚期(距今4~2 Ma)(图2e,蓝色框表示).

运用该方法确定了南堡凹陷不同构造带9口井11个层位的油气成藏期(表1),南部凹槽源内和源下油气藏具有两期油气充注的特征,分别为东营末期和明化镇中期.南部凹槽源上油气藏和北部凹槽源内油气藏具有一期油气充注的特征,为明化镇

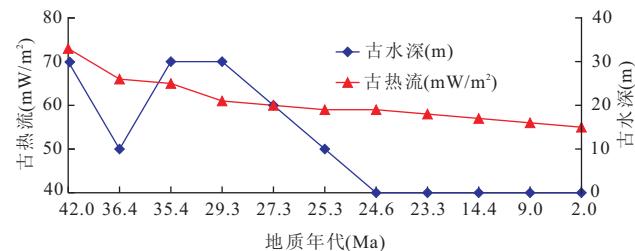


图3 盆地模拟参数变化

Fig. 3 The variable parameters for basin modeling

晚期至第四纪.

### 2.2 油气运移路径模拟

根据油气成藏期分析结果表明,研究区南部凹槽源内和源下油气藏具有两个油气成藏关键时刻,分别为东营末期(距今24.6 Ma)和明化镇中期(距今9 Ma),南部凹槽源上油气藏和北部凹槽源内油气藏具有一个油气成藏关键时刻,为明化镇末期(距今2 Ma),对上述3个关键时刻进行了油气运移路径模拟.

目前用于油气运移模拟的方法主要有流体势能分析法、渗流力学法、流线法等(石广仁,2009;郭小文等,2010).本文采用流线法,是基于浮力原理,通过模型的几何特征计算流体运移流动轨迹,以此确定流体的运移方向.模拟采用IES PetroMod盆地模拟软件,选取的主要参数,如地质年代、古大地热流值、古水深等参考南堡凹陷最新一轮资评结果(图3),古近系与新近系之间存在区域性不整合面,南部凹槽东营组剥蚀厚度取200~300 m,北部凹槽东一段和东二段地层遭受剥蚀,剥蚀厚度取400~700 m(彭清华等,2009),将Q<sub>p</sub>、N<sub>m<sup>s</sup></sub>、N<sub>m<sup>x</sup></sub>、Ng、Ed<sub>1</sub>、Ed<sub>2</sub>、Ed<sub>3</sub>、Es<sub>1</sub>、Es<sub>2</sub>~Es<sub>3</sub><sup>1~3</sup>、Es<sub>3</sub><sup>4</sup>等共10个层系

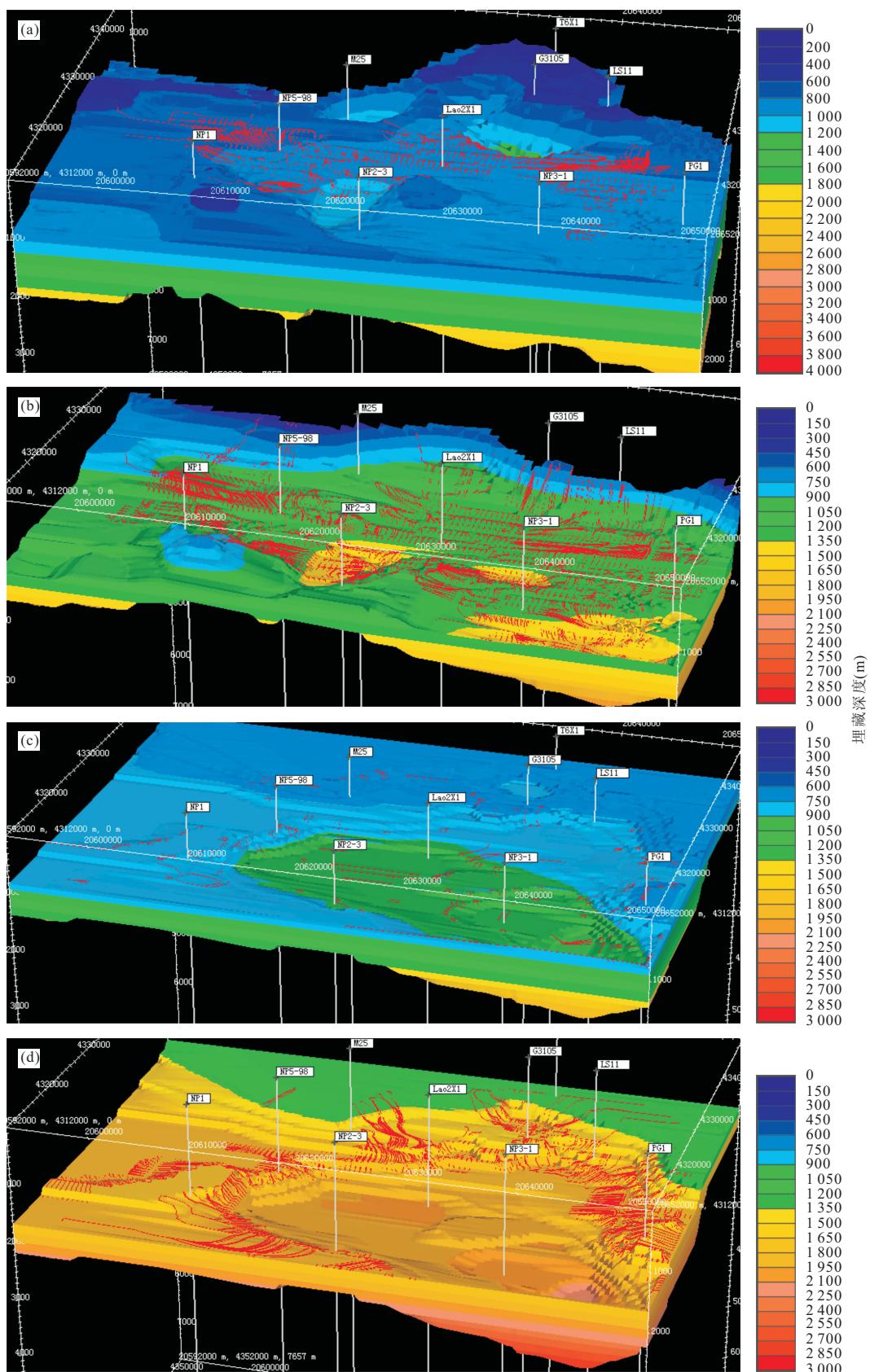


图4 南堡凹陷成藏关键时刻油汽运移路径模拟

Fig. 4 The reconstructed pathways of hydrocarbon migration in main hydrocarbon accumulation periods in Nanpu depression  
 a. 南部凹槽东二段底部东营末期(距今 24.6 Ma); b. 南部凹槽东二段底部明化镇中期(距今 9 Ma); c. 南堡凹陷馆陶组底部明化镇中期(距今 9 Ma); d. 南堡凹陷馆陶组底部明化镇末期(距今 2 Ma)

的地层厚度、岩性、沉积相按规范输入软件中进行运算,误差率为0.626%,满足误差率小于1%的标准,从模拟结果证明可靠。

盆地流线模拟结果表明(油气优势运移路径用红色线条表示,图4),南部凹槽源内和源下油气藏在东营末期(距今24.6 Ma)有一期较小规模运移,油气主要向南堡1号构造带、2号构造带东部和5号构造带运移(图4a),油气大规模运移时期为明化镇中期(距今9 Ma)(图4b),与南堡1井沙一段储层具有两类烃类包裹体、东营末期和明化镇中期两期充注相一致(图2).南部凹槽源上油气藏和北部凹槽源内油气藏在明化镇中期有少量油气运移(图4c),大规模运移时期为明化镇末期(距今2 Ma)(图4d),与油气成藏期分析结果一致(表1).此外,油气运移路径模拟结果与目前勘探上发现的油气富集区基本一致(图1、图4d),分析认为南部凹槽南堡2号构造带东部和4号构造带为源上成藏组合有利勘探地区(图4d).南部凹槽源内和源下成藏组合勘探程度低,模拟结果表明其具有较大的勘探潜力.

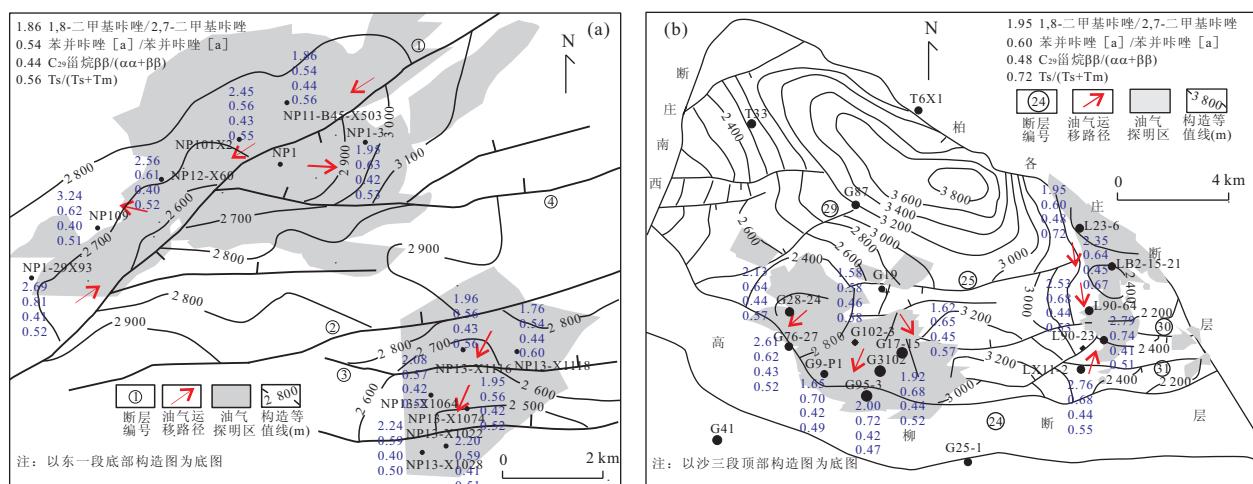
### 3 油气运移路径示踪

原油中含有氮原子杂环的咔唑类分子具有较强的极性,在油气运移途中出现咔唑类的地质色层分馏效应(刘小平和徐健,2004;刘华等,2008),如氮暴露型异构体(如2,7-二甲基咔唑)易于被矿物吸附,随着油气运移距离的增加而急剧减少,而屏蔽型异构体(如1,8-二甲基咔唑)极性较低,随运移而减少

的速率较慢;苯并[c]咔唑化合物结构接近于半球形,运移过程中相对较稳定,苯并[a]咔唑化合物结构近于线形,易于被矿物吸附,故两者含量比值随油气运移距离的增加而增加.此外,在原油的运移路径上表现为沿运移方向其成熟度不断减小的规律,即 $T_s/(T_s+T_m)$ 、 $C_{29}$ 甾烷 $\beta\beta/(a\alpha+\beta\beta)$ 的比值不断减小(李素梅等,2000).根据上述变化特征,对南堡凹陷典型油气富集区油气充注方向进行追踪.

南堡1号构造带源上油气藏为南部凹槽的主要油气富集带,约占南部凹槽探明石油地质储量的60%,主要发育4条油源断层,断层编号1~4.1号断层伸入林雀洼陷中心,沿断层走向,氮屏蔽型异构体/暴露型异构体(1,8-二甲基咔唑/2,7-二甲基咔唑)含量比值在构造高部位达到最大,向断层两端减小,反映出油气沿断层走向向构造高部位运移的特征,离1号断层越远,苯并[c]/苯并[a]咔唑化合物含量比值呈增大趋势,表明油气向断层面两侧砂体运移.2号和3号断层平行于林雀洼陷,沿断层倾向,氮屏蔽型异构体/暴露型异构体、苯并[c]/苯并[a]咔唑化合物含量比值向构造高部位逐渐增大,反映出油气沿断层倾向向构造高部位运移的特征.原油成熟度表现为向构造高部位成熟度不断减小的规律,与含氮化合物揭示的油气运移路径一致(图5a).

研究区目前勘探上发现的源内油气藏主要分布在北部凹槽沙河街组,向构造高部位,氮屏蔽型异构体/暴露型异构体、苯并[c]/苯并[a]咔唑化合物含量比值呈增大趋势,原油成熟度呈不断减小的规律,



揭示出油气主要通过有效烃源岩层系内发育的砂体向构造高部位运移(图5b)。

原油含氮化合物和成熟度指标分析结果与盆地流线模拟结果得出的油气运移路径具有一致性,均反映出油气自生烃中心,通过断层、砂体等输导体系向构造高部位运移的特征。

## 4 结论

(1)油气成藏期分析结果表明研究区南部凹槽源内和源下油气藏具有两个油气成藏关键时刻,分别为东营末期(距今24.6 Ma)和明化镇中期(距今9 Ma),南部凹槽源上油气藏和北部凹槽源内油气藏具有一个油气成藏关键时刻,为明化镇末期(距今2 Ma)。

(2)成藏关键时刻油气运移路径模拟结果表明,南部凹槽源内和源下油气藏在东营末期(距今24.6 Ma)有一期较小规模运移,油气主要向南堡1号构造带、2号构造带东部和5号构造带运移,油气大规模运移时期为明化镇中期(距今9 Ma),模拟结果表明其具有较大的勘探潜力。南部凹槽源上油气藏和北部凹槽源内油气藏在明化镇中期有少量油气运移,大规模运移时期为明化镇末期(距今2 Ma),模拟结果与目前勘探上发现的油气富集区基本一致,南堡2号构造带东部和4号构造带为源上油气藏有利勘探地区。

(3)原油含氮化合物和成熟度指标变化特征表明,在南部凹槽源上油气藏富集区,对于伸入洼陷中心的油源断层,油气主要沿断层走向,向构造高部位及断层面两侧砂体运移;对于平行洼陷中心的油源断层,油气主要沿断层倾向向构造高部位运移。在北部凹槽源内油气藏富集区,油气主要通过有效烃源岩层系内发育的砂体向构造高部位运移。

## References

- Dong, Y. X., Wang, Z. C., Zheng, H. J., et al., 2008. Control of Strike-Slip Faulting on Reservoir Formation of Oil and Gas in Nanpu Sag. *Petroleum Exploration and Development*, 35(4): 424—430 (in Chinese with English abstract).
- Guan, H., Zhu, X. M., 2008. Sequence Framework and Sedimentary Facies of Ed Formation in Paleogene, Nanpu Sag, Bohai Bay Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 26(5): 730—736 (in Chinese with English abstract).
- Guo, X. W., He, S., Hou, Y. G., 2010. Numerical Simulation of Petroleum Generation, Migration and Accumulation of the Es<sub>3</sub> Formation in Banqiao Depression. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 35(1): 115—124 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, Y. L., Zha, M., 2006. Petroleum Geology and Exploration. Petroleum Industry Press, Beijing, 136—183 (in Chinese).
- Li, C. Q., Chen, H. H., Liu, H. M., 2010. Identification of Hydrocarbon Charging Event by Using Micro-Beam Fluorescence Spectra of Petroleum Inclusion. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 35(4): 657—662 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. M., Jiang, Z. X., Dong, Y. X., et al., 2008. Genetic Type and Distribution of the Oils in the Nanpu Depression, Bohai Bay Basin. *Geoscience*, 32(6): 817—823 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. M., Liu, L. F., Wang, T. G., 2000. A Companion Study on the Effectiveness of Using Biomarker and Nitrogenous Compound as Indexes Indicating Oil and Gas Migration. *Petroleum Exploration and Development*, 27(4): 95—98 (in Chinese with English abstract).
- Liang, C. G., Lin, C. Y., Cao, J. T., et al., 2008. Sedimentary Facies in the Neogene Guantao Formation in the Gaoliu Structural Zone, Nanpu Depression. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 28(2): 76—82 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H., Jiang, Y. L., Chen, T., 2008. Effective Migration Pathways and Pool-Forming Model of Xindong Area in Dongying Depression. *Journal of China University of Petroleum(Natural Science Edition)*, 32(4): 13—18 (in Chinese with English abstract).
- Liu, X. P., Xu, J., 2004. Migration Fractionation Effects of Pyrrolic Nitrogen Compounds of Crude Oil in Weizhuang Area, Gaoyou Sag. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(4): 461—466 (in Chinese with English abstract).
- Peng, Q. H., Zhou, J. Y., Jie, Y. X., 2009. Erosion Thickness Restoration of Dongying Formation Reservoir in Nanpu Depression by Using Interval Transit Time Method. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 16(6): 50—53 (in Chinese with English abstract).
- Shi, G. R., 2009. Status, Problems and Proposals of the Quantitative Modeling Techniques for Hydrocarbon Migration and Accumulation. *Oil & Gas Geology*, 30(1): 1—10 (in Chinese with English abstract).
- Wang, F. Y., He, P., Zhang, S. C., et al., 1997. The K-Ar Iotopic Dating of Authigenic Illites and Timing of Hy-

- drocarbon Fluid Emplacement in Sand Stone Reservoir. *Geological Review*, 43(5): 542—546 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. C., Zheng, H. J., Xu, A. N., et al., 2008. Oil-Gas Exploration Potential for above Source Plays in Nanpu Sag. *Petroleum Exploration and Development*, 35(1): 11—16 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y. D., Liu, L. F., Wang, X. D., et al., 2009. Characteristics of Organic Facies of Eogene Hydrocarbon Source Rocks in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin. *Journal of China University of Petroleum (Nature Science Edition)*, 33(5): 23—29 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 董月霞,汪泽成,郑红菊,等,2008.走滑断层作用对南堡凹陷油气成藏的控制.石油勘探与开发,35(4):424—430.
- 管红,朱筱敏,2008.南堡凹陷东营组层序地层格架及沉积体系.沉积学报,26(5):730—736.
- 郭小文,何生,侯宇光,2010.板桥凹陷沙三段油气生成、运移和聚集数值模拟.地球科学——中国地质大学学报,35(1):115—124.
- 蒋有录,查明,2006.石油天然气地质与勘探.北京:石油工业出版社,136—183.
- 李纯泉,陈红汉,刘惠民,2010.利用油包裹体微束荧光光谱判识油气充注期次.地球科学——中国地质大学学报,35(4):657—662.
- 李素梅,姜振学,董月霞,等,2008.渤海湾盆地南堡凹陷原油成因类型及其分布规律.现代地质,32(6):817—823.
- 李素梅,刘洛夫,王铁冠,2000.生物标志化合物和含氮化合物作为油气运移指标有效性的对比研究.石油勘探与开发,27(4):95—98.
- 梁昌国,林承焰,曹敬涛,等,2008.南堡凹陷高柳构造带新近系馆陶组沉积相研究.沉积与特提斯地质,28(2):76—82.
- 刘华,蒋有录,陈涛,2008.东营凹陷辛东地区有效疏导体系及成藏模式.中国石油大学学报(自然科学版),32(4):13—18.
- 刘小平,徐健,2004.高邮凹陷韦庄地区原油吡咯类含氮化合物运移分馏效应.地球科学——中国地质大学学报,29(4):461—466.
- 彭清华,周江羽,揭异新,2009.声波时差法对南堡凹陷东营组剥蚀量的恢复.断块油气田,16(6):50—53.
- 石广仁,2009.油气运聚定量模拟技术现状、问题及设想.石油与天然气地质,30(1):1—10.
- 王飞宇,何萍,张水昌,等,1997.利用自生伊利石K-Ar定年分析烃类进入储集层的时间.地质论评,43(5):542—546.
- 汪泽成,郑红菊,徐安娜,等,2008.南堡凹陷源上成藏组合油气勘探潜力.石油勘探与开发,35(1):11—16.
- 赵彦德,刘洛夫,王旭东,等,2009.渤海湾盆地南堡凹陷古近系烃源岩有机相特征.中国石油大学学报(自然科学版),33(5):23—29.