

# 东营凹陷北部陡坡带稠油成藏 机理与油气运聚特征

李素梅<sup>1,2</sup>, 庞雄奇<sup>1,2</sup>, 邱桂强<sup>3</sup>, 高永进<sup>3</sup>, 孙锡年<sup>3</sup>

1. 石油大学石油与天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249

2. 石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249

3. 中国石化胜利石油有限公司, 山东东营 257015

**摘要:** 东营凹陷北部陡坡带的王庄—宁海地区发现了大量稠油, 但原油的成因及其成藏机理仍不甚了解。在以往原油成因与油源调查基础上, 利用非烃含氮化合物及包裹体均一化温度对该区进行油气运移方向与相对距离、成藏时间与期次的分析。结果表明, 东营凹陷北部带原油具有由南而北的运移分馏效应, 反映北部陡坡带原油来自南部的利津洼陷; 王庄—宁海地区原油总体具有由东而西的运移分馏效应, 其东、西两侧各有一主要油气注气点。王庄—宁海原油烃类与非烃组成与分布特征揭示该区油气具有混合聚集特征。包裹体测试反映王庄—宁海地区油藏主要为晚期成藏, 距今小于 5 Ma; 而靠近生油中心地带包裹体具有早期成藏的记录( $\pm 36$  Ma)。

**关键词:** 稠油; 含氮化合物; 包裹体; 油气运移; 北部陡坡带。

中图分类号: P618.1

文章编号: 1000-2383(2004)04-0451-06

收稿日期: 2004-03-12

## Oil Migration and Accumulation Mechanisms for Heavy Oils in North Steep Slope of Dongying Depression, Eastern China

LI Su-mei<sup>1,2</sup>, PANG Xiong-qi<sup>1,2</sup>, QIU Gui-qiang<sup>3</sup>, GAO Yong-jin<sup>3</sup>, SUN Xi-nian<sup>3</sup>

1. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, University of Petroleum, Ministry of Education, Beijing 102249, China

2. Basin and Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing 102249, China

3. Shengli Oilfield Company Limited, SINOPEC, Dongying 257015, China

**Abstract:** A large amount of heavy oils are discovered in the north steep slope (NSS) of the Dongying depression, the Bohai Bay basin, Eastern China, but the mechanism of oil accumulation for this oil pools is still not well understood. Based on detail investigation of the composition for the oils and their source rocks, pyrrolic nitrocompounds and fluid inclusions have been analyzed to trace the process of oil migration and accumulation in the Wangzhuang-Ninghai region. The results show that apparent migration effects of nitrogen compounds within the oils from south to north, indicate the oils in the north steep slope originated mainly from the Lijing sag in the Dongying depression. Obviously, migration effects from east to west observed in the Wangzhuang-Ninghai area indicate two main charging points respectively in the eastern and western areas. Composition of alkanes and non-alkanes and their distribution as well as pyrrolic nitrogen compounds show the origin of mixing of the oils. Alkanes with slight and/or no biodegradation and 25-norhopanes with strong biodegradation are observed in same oils, which indicates possibly multiple oil charging periods and/or redistribution of the oils due to tectonic movement. Two periods of oil formation and accumulation have been identified as evidenced from fluid inclusions. Oil pools in the Wangzhuang-Ninghai region were formed within 5( ?) Ma before present. The oils generated in nearly 36( ?)Ma ago as evidenced from inclusions in reservoir near the Lijing sag. A number of faults, several unconformities and a series of well developed fans with coarse sands and conglomerate in the NSS are taken as favored migration pathways for hydrocarbon in the study

基金项目: 国家重点基础发展规划项目(G199943310); 国家“十五”攻关课题(2001BA605A09)。

作者简介: 李素梅(1968—), 女, 博士, 副教授, 主要从事有机地球化学、油气成藏地球化学研究。E-mail: smLi8888@yahoo.com.cn

area.

**Key words:** heavy oil; nitrogen compounds; fluid inclusion; oil migration; north steep slope.

近年发现东营凹陷北部陡坡带为油气超亿 t 的重要含油气区。其北靠陈家庄凸起,南邻东营凹陷最大的生油洼陷——利津洼陷。在北部陡坡带砂砾岩扇体中,发育以稠油为主、相对稀油共生的油气。在先前油气成因与油源调查基础上,本研究利用含氮化合物、包裹体技术,着重探讨北部陡坡带王庄—宁海地区油气的运聚成藏特征。含氮化合物已被广泛应用于全球油气运移过程评价(Li *et al.*, 1995; 王铁冠等, 2000; Li *et al.*, 2000; 李素梅等, 1999; 李素梅, 1999), 其作为油气运移指标的独特优越性已经得到一致确认。东部断陷湖相盆地具有分割性强、多沉积中心、多套烃源岩发育、构造演化复杂、特别是油气运移距离相对较近等特征, 如何有效地将含氮化合物应用于断陷盆地短距离、多套烃源岩供油地区油气运移过程评价, 是值得深入探讨的问题。

## 1 实验分析

吡咯类化合物采用二步分离法(Li *et al.*, 1992), 用 N-苯基咪唑为内标。吡咯类化合物 GC/MS 分析使用 Finnigan-MAT TSQ-45 型仪器, 配置

HP-5 弹性石英毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)。升温程序: 始温 35 °C, 恒温 5 min, 以 2 °C/min 速率升至 120 °C, 再以 3 °C/min 速率升至 310 °C, 恒温 15 min。采用氮气载气, 电子轰击源, MID 多离子方式检测。含氮化合物分析样品参见表 1, 图 1。

## 2 结果与讨论

### 2.1 非烃含氮化合物应用于油气运移评价

原油成因类型的划分是进行含氮化合物油气运移评价的前提。北部陡坡带王庄—宁海地区不同成因类型原油具有内、外分带分布的规律性(陈建渝等, 1997), 源自沙三段烃源岩的原油(沙三段型)主要分布在靠近生油中心内侧的胜北断层以南的地区, 具有淡水湖相原油特征; 源自沙四段烃源岩的原油(沙四段型)主要分布在外围即胜北断层以北的地区, 具有咸水湖相原油特征; 胜北断层附近局部为混合型原油。

北部陡坡带王庄—宁海地区原油多数遭遇不同程度的生物降解。本研究采集样品中郑 4-14 井为

表 1 部分原油主要含氮化合物运移指标

Table 1 Migration parameters of nitrogen compounds in the oils of the north steep slope in Dongying depression

井号	井深/m	层位	丰度/ (μg · g <sup>-1</sup> )	1,8-/ (2,7+1,2) -DMC	1,8-/ 2,3- DMC	1,8-/ 1,3- DMC	1,8-/ (1,4+1,5) -DMC	1,3-/ 2,5- DMC	1,6-/ 1,7- DMC	C <sub>4</sub> -/ C <sub>2</sub> -Ca	C <sub>3</sub> -/ C <sub>2</sub> -BC	Ca/ BC
利 853	2 863~2 985.1	Es <sub>4</sub>	31.9	1.15	11.09	1.55	0.39	1.22	0.67	0.73	0.82	1.02
利 85	2 552.6~2 724.2	Es <sub>4</sub>	29.7	1.14	10.29	1.54	0.40	1.31	0.63	0.83	0.84	0.94
利 371	1 989.6~1 999	Es <sub>4</sub>	33.6	0.89	7.13	1.11	0.41	1.87	0.78	1.17	0.88	0.70
利 561-1	1 992.3~2 071	Es <sub>3+4</sub>	30.4	0.88	6.99	1.12	0.43	1.77	0.74	1.16	0.94	0.44
郑 4-14	1 503.4~1 727	AnZ	15.0	1.17	10.79	1.85	0.47	1.13	0.66	1.81	1.21	0.49
郑 411	1 339	Es <sub>3</sub>	1.7	1.09	9.23	1.56	0.42	1.78	0.92	1.51	3.28	0.21
郑 408-01	1 290~1 372	Es <sub>1</sub>	3.2	1.36	7.91	1.43	0.53	2.09	0.92	1.22	2.59	0.72
郑 408x6	1 331~1 356	Es <sub>3</sub>	29.3	1.09	7.43	1.28	0.49	2.02	0.99	1.63	1.25	0.23
郑 362	1 196.3~1 210.0	Es <sub>1</sub>	12.4	1.08	6.28	1.18	0.46	2.39	0.86	1.21	1.83	0.48
郑 361	1 190~1 216	Es <sub>1</sub>	21.4	1.02	5.87	1.08	0.46	1.95	0.85	1.29	1.49	0.62
坨 82-X1	1 378~1 396	Es <sub>1</sub>	7.9	0.80	4.09	1.36	0.55	2.50	0.83	1.80	1.5	0.22
利 91	3 014.9~3 054.1	Es <sub>4</sub>	32.1	1.14	7.02	0.98	0.51	2.57	0.81	1.20	1.17	0.90
利 21-14	2 087.6~2 115	Es <sub>2</sub>	4.7	1.22	6.77	0.88	0.55	3.67	0.95	3.25	1.57	0.49
利 982	3 036.8~3 043	Es <sub>3</sub>	16.5	0.96	5.27	0.80	0.44	3.02	0.96	1.47	1.26	0.90

表中利 853 至利 561-1 为郑南沙四段型原油; 郑 4-14 至坨 82-X1 为王庄—宁海地区原油; 利 91 至利 982 为郑南沙三段型原油。郑 411 井为油砂, 其他为油样。

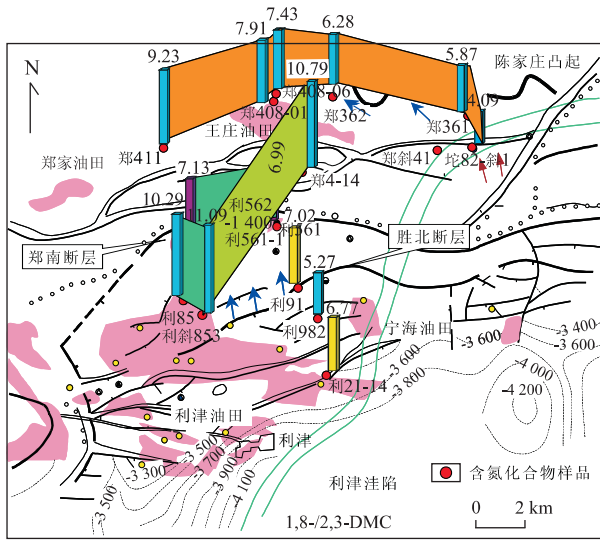


图1 原油中1,8- $/$ 2,3-DMC指示的运移分馏效应

Fig.1 Migration fractionation effect based on 1,8- $/$ 2,3-DMC of the oils

基底未降解油、郑361井主要为轻度降解油、郑408-01及郑411井为严重降解油,其他主要为中等降解油。据张春明等(1999)的研究,轻度降解对含氮化合物分布没有明显影响;中等降解可使咪唑、烷基咪唑浓度降低,但对其相对组成影响不大;只有严重降解才显著影响含氮化合物浓度,并使其相对组成发生变化。王庄—宁海降解油与未降解油 $C_0$ — $C_4$ 咪唑系列相对丰度变化不大,其变化幅度不及郑南(郑南断层南部)不同成因类型原油;也未出现严重降解油全屏蔽型丰度增加、半屏蔽型降低的现象。因此,王庄—宁海地区原油含氮化合物相对分布受生物降解影响程度总体较小,不会影响总体评价。

(1)参数选取。依据含氮化合物油气运移分馏机理(Li *et al.*, 1995;李素梅,1999),油气运移过程中含氮化合物丰度会逐渐降低;氮官能团屏蔽化程度高的异构体如1,8-DMC(二甲基咪唑,下同)将相对于屏蔽化程度低的异构体(如1,3-、1,5-DMC)富集;咪唑、苯并咪唑中高分子量化合物将相对于低分子量化合物富集;咪唑相对于苯并咪唑系列富集。本文选用如下运移指标:①含氮化合物绝对丰度;②1,8- $/$ 2,7-DMC、1,8- $/$ 2,3-DMC;③1,8- $/$ (1,4+1,5)-DMC、1,8- $/$ 1,3-DMC;④1,3- $/$ 2,5-DMC;⑤1,6- $/$ 1,7-DMC、1,4- $/$ 1,5-DMC;⑥2,6- $/$ 2,7-DMC;⑦ $C_4$ - $/$  $C_2$ -咪唑;⑧ $C_3$ - $/$  $C_2$ -苯并咪唑;⑨咪唑/苯并咪唑。最近研究表明,某些同类异构体如半屏蔽型参数1,6- $/$ 1,7

-DMC也显示较好的运移分馏效应,反映某些同类异构体的化学活性仍有差异,导致油气运移过程中与介质反应时作用程度不同;并且,相对于非同类型异构体,同类型异构体受热成熟度的影响可能较小(李素梅等,2002)。推测同类构型配对参数运移分馏效应可能不及异类构型参数,如全屏蔽对全裸露的1,8- $/$ 2,3-DMC,但此类参数在反映原油的成因方面也许更有优势。

(2)含氮化合物丰度变化特征。定量结果显示,郑南沙四段型原油中含氮化合物丰度较高,利91、利85等井分布范围为29.74~33.56  $\mu\text{g/g}$ (表1);郑南沙三段型原油丰度较低,利982、利21-14井分别为16.51  $\mu\text{g/g}$ 与4.74  $\mu\text{g/g}$ (表1)。以往研究表明,海相原油含氮化合物丰度高于陆相油、有机质类型较好原油丰度较高(李素梅,1999;朱扬明等,1997),郑南不同类型原油中含氮化合物的丰度差异推测与原油成因类型有关。王庄—宁海地区原油中含氮化合物丰度差别较大,郑411(油砂)、郑408-01井原油含氮化合物丰度较低,分别为1.71, 3.20  $\mu\text{g/g}$ ;郑408-06、郑361井的都相对较高,分别为29.32, 21.45  $\mu\text{g/g}$ (表1);王庄基底未降解油(郑4-14井)、郑362轻微降解油中吡咯类化合物丰度都相对低于郑南。油气运移是影响原油中吡咯类化合物丰度的重要因素(李素梅,1999),未降解与轻度降解油中含氮化合物丰度的偏低认为与油气运移分馏效应有关,但郑411等丰度特低的原油,系强烈生物降解所致。原油饱和烃、芳烃馏分分析表明,这2口井原油生物降解较严重。

(3)不同构型异构体相对丰度变化。随着油气运移距离的增加,不同构型异构体间将表现出一定的运移分馏效应,屏蔽化程度高的异构体相对于屏蔽化程度低的异构体富集(Li *et al.*, 1995;李素梅,1999)。1,8- $/$ 2,3-DMC、1,8- $/$ (2,7+1,2)-DMC为屏蔽与暴露型异构体配对参数。利85、利853与郑4-14井原油具有较高的1,8- $/$ 2,3-DMC值且极其相似,分布范围为10.29~11.09;分别位于利371、利561两大扇体根部的利371、利561-1井原油1,8- $/$ 2,3-DMC值相近,分别为7.13, 6.99(表1,图1)。烃类分析表明,利371、利561-1井上述原油均为沙四段型。按照油气一般自生油中心向外围运移、聚集的规律,1,8- $/$ 2,3-DMC值的偏低与推测的沿可能的油气运移方向值应增加似乎不太吻合。利85、利853井1,8- $/$ 2,3-

DMC 值偏高可能与油气运聚、成藏时间有关。利 853 井原油  $C_{29}$  甾烷  $\alpha\alpha 20 S/(S+R)$  值为 0.55, 高于利 371、利 561-1 井(分别为 0.44, 0.48), 利 853 可能为晚期生成的成熟度较高的原油。胜北断层南侧沙三段型原油如利 982、利 21-14 井  $1,8-/2,3-DMC$  值相对较低, 分别为 5.27, 6.77; 断层处的利 91 井沙四段油藏原油也相对较低, 推测与原油成因类型不同有关。可见, 含氮化合物的相对分布在一定程度上受控于原油成因类型。原油中  $1,8-/(2,7+1,2)-DMC$  显示与  $1,8-/2,3-DMC$  类似的特征(表 1)。

由东向西, 王庄—宁海地区原油中  $1,8-/2,3-DMC$ 、 $1,8-/(2,7+1,2)-DMC$  值依次增大, 前者变化顺序为 4.09(坨 82-X1)→5.87(郑 361)→6.28(郑 362)→7.43, 7.91(郑 408-06、郑 408-01)→9.23(郑 411)(表 1, 图 1); 后者变化范围为 0.80(坨 82-X1)→1.02(郑 361)→1.08(郑 362)→1.09(郑 408-06、郑 411)(表 1), 仅郑 408-01 井原油较高, 反映王庄东侧有一油气注入点, 原油具有由东而西的油气运移分馏效应, 可能同时反映王庄东侧原油性质稍有别于其他原油, 该区原油可能混合了部分沙三段型原油。郑 361、坨 82-X1 井原油上述参数值偏低, 郑南利 21-14、利 981 井沙三段型原油也偏低。

$1,8-/(1,4+1,5)-DMC$ 、 $1,8-/1,3-DMC$  为屏蔽与半屏蔽型异构体配对参数, 随油气运移距离增加而增加。由南而北, 利 853、利 85、利 371、利 561-1、郑 4-14 井原油的  $1,8-/(1,4+1,5)-DMC$  值逐渐增加(表 1, 图 2b), 反映由南而北的运移分馏效应。与  $1,8-/(2,7+1,2)-DMC$ 、 $1,8-/2,3-DMC$  相似, 利 371 井、利 561-1 井原油的  $1,8-/1,3-DMC$  值低于利 85、利 853 井。郑 361、郑 362、郑 408-06、郑 408-01 井原油参数  $1,8-/(1,4+1,5)-DMC$ 、 $1,8-/1,3-DMC$  值的逐渐增加趋势(图 2b, 表 1), 再次反映北部陡坡带高抬阶存在自东而西的运移分馏效应, 东侧可能有一油气注入点。图 2 中位于断层处的利 91 井沙四段油藏原油显示与郑南沙三段型原油更好的相似性, 反映断层处油气的混合作用。王庄东侧坨 82-X1 井原油  $1,8-/(1,4+1,5)-DMC$  值也显示与郑南沙三段型原油的相似, 说明王庄东不仅可能存在一油气注入点, 并且该注入点注入的原油可能混有少量沙三段型原油, 尽管该特征从原油烃类组成几乎无法识别。

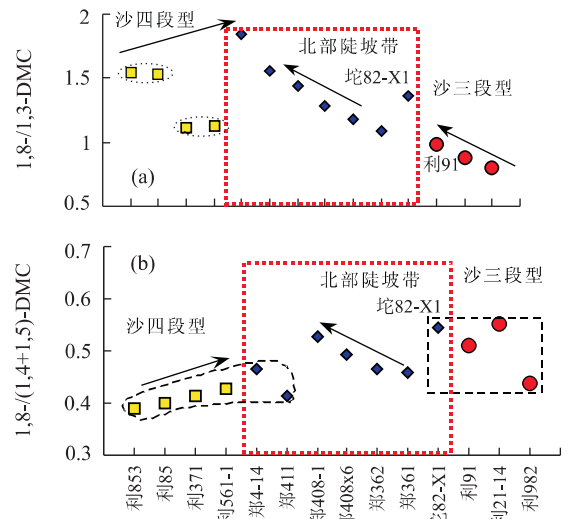


图 2 原油  $1,8-/1,3-DMC$  (a)、 $1,8-/(1,4+1,5)-DMC$  (b) 分布特征

Fig. 2 Distribution characteristics of  $1,8-/1,3-DMC$  (a),  $1,8-/(1,4+1,5)-DMC$  (b), in the oils

$1,3-/2,5-DMC$  为半屏蔽与暴露型异构体配对参数, 随油气运移距离增加而增加。由南而北,  $1,3-/2,5-DMC$  值依次为 1.22, 1.31(利 853、利 85)→1.77, 1.87(利 561-1、利 371)→2.02, 2.39(郑 408-06、郑 362)(表 1, 图 3a), 指示较好的沙四段型油气由南而北的运移分馏效应。值得注意的是, 胜北断层南部沙三段型原油  $1,3-/2,5-DMC$  值明显高于断层北部的利 85、利 853 井(表 1, 图 3), 明显反映原油成因类型影响该区含氮化合物的分布, 而成熟度的影响相对较小。同属沙三段型原油的利 982、利 21-14 井成熟度稍有差异,  $C_{29}$  甾烷  $\alpha\alpha 20 S/(S+R)$  值分别为 0.34, 0.44<sup>①</sup>, 但  $1,3-/2,5-DMC$  值相近(图 3); 利 85 井沙四段型原油的  $C_{29}$  甾烷  $\alpha\alpha 20 S/(S+R)$  值为 0.44, 与利 982 井沙三段型原油(0.47)接近, 但  $1,3-/2,5-DMC$  值差异显著(图 3)。断层处利 91 井沙四段油藏原油、王庄—宁海坨 82-X1、郑 362 井原油  $1,3-/2,5-DMC$  值都相对偏高, 极可能与沙三段型原油混入有关(图 3, 表 1)。

(4) 相同类型不同结构异构体相对丰度的变化。笔者对东营凹陷八面河地区原油、烃源岩中含氮化合物的研究发现, 同类型异构体配对参数如  $2,4-/2,5-DMC$ (暴露型)、 $1,6-/1,7-DMC$ (半屏蔽型)也在一定程度上显示油气运移分馏效应。并且, 同种构型异构体参数受成熟度的影响相对较小(李素梅

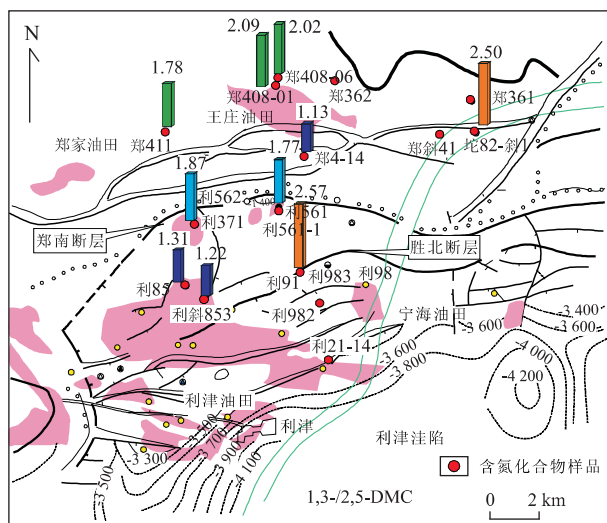


图 3 原油 1,8-/(1,4+1,5)-DMC、1,8-/1,3-DMC 分布特征

Fig. 3 Distribution characteristics of 1,8-/(1,4+1,5)-DMC, 1,8-/1,3-DMC in the oils

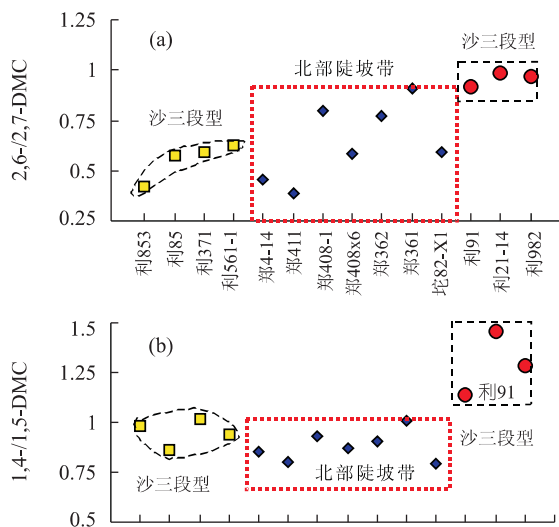


图 4 原油 2,6-/2,7-DMC (a)、1,4-/1,5-DMC (b) 分布特征

Fig. 4 Distribution characteristics of 2,6-/2,7-DMC (a), 1,4-/1,5-DMC (b) in oils of Wangzhuang-Ninghai area

等, 2002)。王庄—宁海地区参数 1,6-/1,7-DMC 同样显示了油气运移分馏效应, 应用效果与 1,3-/2,5-DMC 相似。参数 2,6-/2,7-DMC、1,4-/1,5-DMC 显示部分同构型配对参数在反映原油成因类型方面较为有效, 郑南沙三段型原油的 2,6-/2,7-DMC 与 1,4-/1,5-DMC 值明显高于沙四段型原油(图 4a, 4b)。

(5) 咔唑、苯并咔唑系列高低分子量同系物相对分布变化。官能团的立体屏蔽除与烷基取代位有关外, 还取决于侧链官能团的体积 (Snyder and Buell, 1968)。咔唑、苯并咔唑的相对可动性随烷基取代体积的增加而增加 (Chen, 1995; Li and Larter, 1993), 随油气运移距离的增加, 咔唑、苯并咔唑高分子量同系物相对于低分子量同系物丰度增加,  $C_4$ -/ $C_2$ -咔唑、 $C_3$ -/ $C_2$ -苯并咔唑分别为咔唑、苯并咔唑系列高分子量与低分子量配对参数。本研究中, 利 85、利 853→利 371、利 561-1→郑 411、郑 4-14 等井原油  $C_4$ -/ $C_2$ -咔唑、 $C_3$ -/ $C_2$ -苯并咔唑值逐渐增加(表 1), 运移分馏效应较为明显。郑 411、郑 408-01 井原油  $C_3$ -/ $C_2$ -苯并咔唑的异常高值则可能与生物降解等次生变化和/或由此而导致分离效果较差/杂峰干扰有关。

### 2.2 王庄—宁海地区油气混合聚集特征

按照含氮化合物的运移分馏, 可确定王庄—宁海地区原油主要来自南部的利津洼陷; 陡坡带高抬

阶可能有 2 个主要油气注入点, 分别位于王庄油田的东西两侧。并且, 高抬阶可能存在自东而西的运移分馏效应。特别地, 根据非烃含氮化合物的分布特征, 判断王庄—宁海东侧可能混有沙三段型原油。

从原油烃类馏分可找到确凿的油气混合聚集藏的证据。王庄—宁海东侧的郑 361 井沙一段油藏原油中正构烷烃仅受到轻微至中等程度的破坏, 为轻度降解油特征, 但该原油中同时检测出完整的 25-降萘烷系列(图 5), 指示其为严重降解油, 该现象反映郑 361 井沙一段油藏为混合油。同区郑斜 41、郑 362 井原油也存在不同程度生物降解油相混的现象。油气的混合聚集与多期充注和/或多期构造演化活动中油气重新分配有关。

包裹体分析表明, 东营凹陷北部陡坡带不同区域位置油气的运聚与成藏时间并不一致, 总体呈偏离生油中心越远、成藏时间越晚的特征, 北部陡坡带高抬阶油藏的最初成藏时间晚于低抬阶, 如利 853、利 92 等井沙四段最初成藏时间约为 35~37 Ma; 利 371 井沙四段成藏时间约为 18 Ma; 郑 408( $E_{s1}$ )、郑斜 41( $E_d$ )等井则为距今小于 3 Ma 内成藏; 利 853、利 92 等靠近生油中心的井还检测到晚期成藏的包裹体, 如利 92 井沙二段(1 990.6 m)包裹体捕获油气时间距今仅约 5 Ma。依据该区的构造演化与成烃史, 王庄—宁海为晚期成藏。但油气充注时间差异及区域构造活动, 可在一定程度上影响该区的油气运



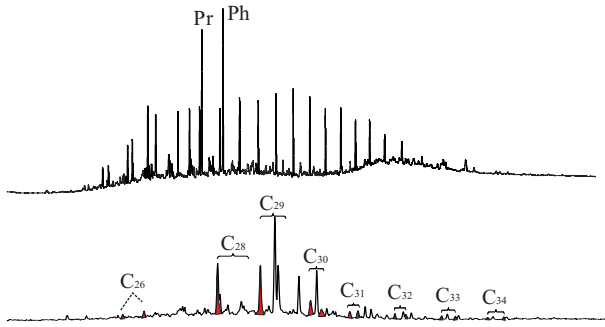


图 5 原油 2,6-/2,7-DMC、1,4-/1,5-DMC 分布特征  
Fig. 5 Distribution characteristics of 2,6-/2,7-DMC, 1,4-/1,5-DMC in oils of Wangzhuang-Ninghai area

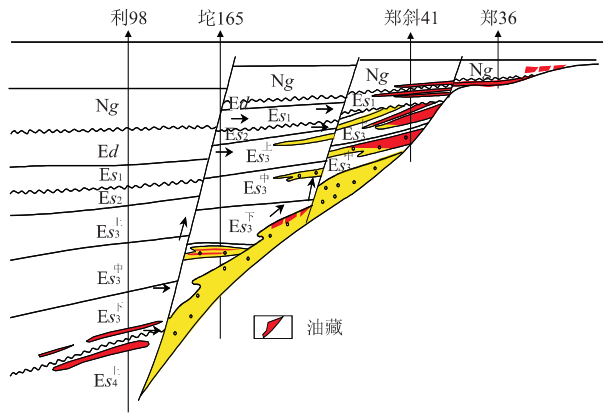


图 6 东营凹陷北部陡坡带油气运聚成藏模式

Fig. 6 Hydrocarbons migration and accumulation model for the north steep slope in Dongying depression

聚特征,特别是油气运移指标的大小。

### 2.3 油气运聚的地质条件

利津洼陷是东营凹陷最大的生油洼陷,可为其周边地区提供充足油源。在区域构造上,北部陡坡带为区域油气运移的指向。王庄—宁海一带发育多个地层不整合面,分别连通到不同成因类型储集体构成的圈闭中(图 6)。北部陡坡带的基岩古断面的风化壳可作为较好的油气储层,也是疏导层,其上发育沙三、沙四段超覆沉积的砂砾岩扇体,这些扇体倾向上尖灭在洼陷内的生油岩中,两者共同构成油气运移的主要通道。另一方面,在郑家—王庄南侧发育的郑南断层,断层落差大,活动时间长,沟通了油源与本区存在的多个不整合面,使洼陷中的油气得以沿断层和不整合面逐级向北部凸起方向运移(图 6)。断层、地层不整合面及发育在基岩古断裂面上的砂砾岩扇体一起在空间上相互沟通,构成油气运移的立体通道。

## 3 结论

(1)原油烃类生物标志物、非烃含氮化合物揭示,东营凹陷北部陡坡带不同成因类型原油具有不同的运聚与分布特征。沙三段型原油侧向运移距离相对较短,主要分布在靠近生油中心的内带;沙四段型原油侧向运移距离相对较远,主要分布在偏离生油中心的较远的外围包括王庄—宁海地区。(2)原油中含氮化合物的运移分馏效应揭示,王庄—宁海地区原油主要来自南部的利津洼陷;王庄—宁海区东、西两侧各有一主要油气输入点。烃类、非烃化合物及包裹体分析揭示东营凹陷北部陡坡带具有多期充注、混合聚集特征。王庄—宁海地区原油为晚期成藏,郑南地区则包括早期成藏原油。(3)东营凹陷北部陡坡带具有良好的油气运聚地质条件,断层、地层不整合面及各种砂砾岩扇体在空间上相互沟通,共同构成油气运移的立体通道。

## References

- Chen, J. Y., Liu, C. Y., Zhang, S. L., et al., 1997. Composition of the biomarkers in crude oils is the reflection of pool-formation history. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 22(6): 97–102 (in Chinese with English abstract).
- Chen, M., 1995. Response of pyrrolic and phenolic compounds to petroleum migration and in-reservoir processes[Dissertation]. University of Newcastle, U. K. .
- Li, M., Larter, S. R., 1993. Interactions of organic nitrogen species with mineral, water and organic networks; Implications to petroleum geochemistry. Paper presented at the 205th American Chemical Society Meeting (Denver), Division of Geochemistry, American Chemical Society, Abstract Paper, 89.
- Li, M., Larter, S. R., Stoddart, D., et al., 1992. Practical liquid chromatographic separation schemes for pyrrolic and pyridinic nitrogen aromatic heterocycle fractions from crude oils suitable for rapid characterisation of geochemical samples. *Analytical Chemistry*, 64: 1337–1344.
- Li, M., Larter, S. R., Stoddart, D., et al., 1995. Fractionation of pyrrolic nitrogen compounds in petroleum during migration; Derivation of migration-related geochemical parameters. In: Cubit, J. M., England, W. A., eds., *The Geochemistry of Reservoirs. Geol. Soc. Spec. Publ.*, 86: (下转 466 页)