

文章编号:1000-0550(2005)04-0726-08

东营凹陷王家岗孔店组油气成因解析^①

李素梅^{1,2} 庞雄奇^{1,2} 邱桂强³ 高永进³

1(石油天然气成藏机理教育部重点实验室(石油大学) 北京 102249) 2(石油大学盆地与油藏研究中心 北京 102249)

3(中国石油化工股份公司胜利油田分公司 山东东营 257015)

摘 要 东营凹陷南斜坡东段王家岗地区孔店组原油特征明显不同于沙河街组为主的上部层系。孔店组原油具有高含蜡量、低含硫特征;多项生物标志物成熟度指标一致显示其成熟度高于上部层系,反映母源岩相对较高的成熟度。同区沙河街组原油具有相对低蜡、高硫、低熟—中等成熟等相反的特征,表明研究区内孔店组、沙河街组原油为不同成因原油。油—油、油源对比显示孔店组原油既有沙四段烃源岩的典型特征(如高含量伽玛蜡烷),也有沙四段烃源岩不具备而孔店组烃源岩具备的特征(如 C_{29} -规则甾烷优势)。正构烷烃单体烃同位素 $\delta^{13}C$ 值揭示孔店组原油与沙河街组原油有别,与深层孔店组烃源岩接近。综合研究认为,王家岗地区孔店组原油具有混源性,油气主要来自深层沙四段、孔二段烃源岩。研究区孔店组油气的发现及其与以往发现油气的不同表明深层另一套烃源岩的存在及广阔的深层油气勘探前景。

关键词 王家岗 孔店组 油气成因 生物标志物 混源

第一作者简介 李素梅 1968年出生 副教授 博士 有机地球化学

中图分类号 P593 **文献标识码** A

东营凹陷油气储量集中分布于第三系沙河街组、东营组和馆陶组,第三系底部孔店组及其下伏地层油气勘探程度相对较低。东营凹陷孔店组发现储量约1404万吨,仅占总储量的0.6%。在渤海湾盆地,孔店组油气主要分布于昌潍坳陷潍北地区、黄骅坳陷沧东—南皮洼陷。东营凹陷王家岗地区近年发现约10口孔店组工业油气流井,表明孔店组可成为该区今后油气储量接替的重要层系。现有诸多东营凹陷沙河街组及其上部层系油气成因的研究^[1-3],但对其下部相对深层孔店组油气成因与成藏的研究非常薄弱。本文重点讨论王家岗地区孔店组的油气成因,为该区深层油气勘探提供理论依据。

1 石油地质背景

王家岗含油气区位于东营凹陷南部缓坡带东段,隶属牛庄洼陷南斜坡王家岗—丁家屋子构造带(图1)。以往发现油气多为第三系沙河街组及上部层系,油气成因与八面河、草桥—乐安等油田相似^[1-5](图1)。近期在丁家屋子共有约11口井钻穿孔店组,都有油气显示,10口见工业油流。

研究区从下而上主要发育古生界寒武系—奥陶系、石炭—二叠系,中生界,下第三系孔店组、沙河街组、东营组;上第三系明化镇组、馆陶组;第四纪平原组。牛庄洼陷南斜坡缺失沙三下、孔二段、孔三段,局部地区缺中生界地层。现有研究一致确认,沙三中一下亚段、沙四上亚段是区内最重要的两套烃源岩^[1-3,6,7]。

2 样品与实验

重点采集并分析王家岗丁家屋子孔店组原油与油砂8个、沙河街组原油6个、孔店组泥岩5块,样品分布如图1。八面河油田20个油样^[2,3]、牛庄洼陷及其斜坡带沙四段21个岩样^[5]、邻区昌潍坳陷孔店组6个岩样和油样用于对比分析。

原油、岩样的氯仿抽提物采用常规柱色谱分离。在岛津GC-9A型色谱仪和Finnigan-MAT TSQ-45型GC/MS系统上进行饱和烃色谱及饱和烃、芳烃色谱—质谱分析。分析前加入 D_4 — C_{29} 甾烷、 D_8 —二苯并噻吩、 nC_{24} 、 D_{50} 标样。色谱条件:SE-54弹性熔硅毛细管柱(25 m×0.25 mm i. d.),以4℃/min自100℃

^①国家重大基础研究发展规划项目(编号:G1999043310)资助。
收稿日期:2004-12-03;收修改稿日期:2005-05-10

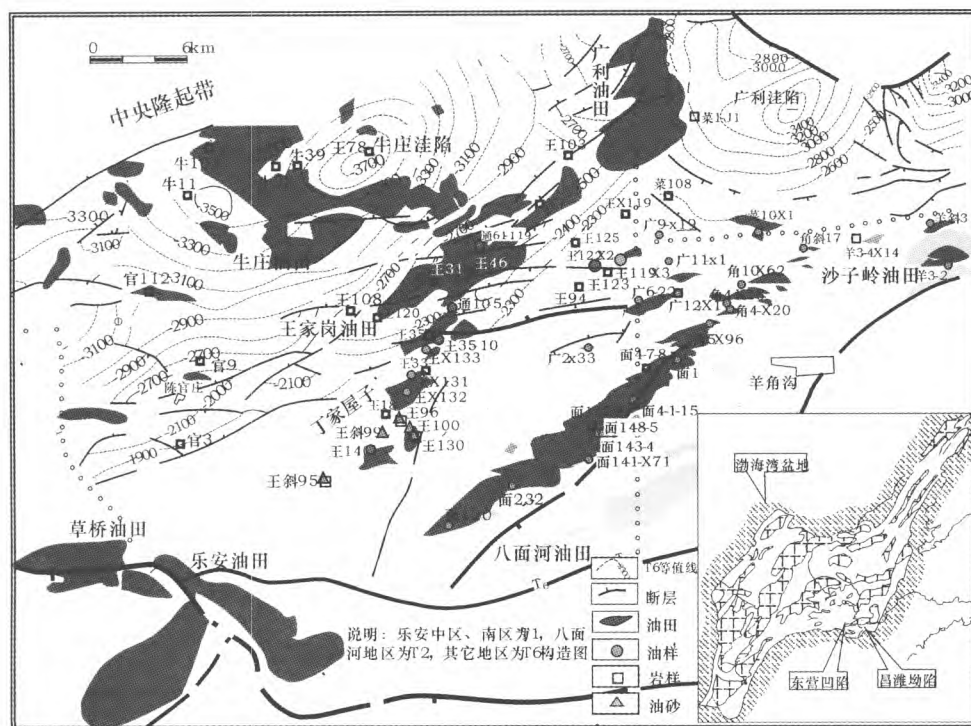


图1 研究区油气及样品分布

Fig. 1 Location of oilfield and samples in Eastern South Slope of Dongying Depression

升至 300℃, 载气为 He 气。色谱—质谱条件: 采用 SE-54 弹性熔硅毛细管柱 (25mx0.25mm i. d.), 载气为氦气, 升温程序: 以 4℃/min 的速率由 100℃ 升至 220℃; 再从 220℃ 以 2℃/min 升温到 300℃。质谱电离能量 70eV。

3 结果与讨论

3.1 原油物性与族组成特征

王家岗—丁家屋子孔店组原油多为正常油, 密度一般为 0.8254 ~ 0.8653 g/cm³, 粘度为 3.81 ~ 109 mpa·s, 具有含蜡量 (28.85% ~ 31.70%) 与凝固点 (35 ~ 44℃) 较高、含硫量较低 (0.04% ~ 0.44%) 的特征。孔店组原油物性与八面河沙河街组原油形成显明的对比, 后者多数为重质、粘度较高的稠油, 含蜡量 (5.6% ~ 13.35%)、凝固点 (9 ~ 37℃) 较低、含硫量 (一般为 1.22% ~ 3.44%) 较高^[1,3]。以上原油的物性差异主要与油气成因及其遭遇不同程度的次生改造作用有关^[3], 原油物性的差异表明孔店组与上部层系原油具有不同的成因。

王家岗孔店组原油的族组成特征是, 以饱和烃馏分为主 (69.9% ~ 72.1%), 其次为芳烃 (14.9% ~ 18%), 非烃 (5.2% ~ 6.1%) 与沥青质 (6.2% ~

8.1%) 含量极低, 具有高饱芳比 (3.9 ~ 4.8) 特征, 以上特征反映孔店组原油母源岩较高的成熟度。与之相比, 同区沙河街组原油饱和和烃含量 (一般为 49.2% ~ 60.3%) 稍低, 芳烃 (17.1% ~ 22.9%)、沥青质 (14.1% ~ 24.3%) 偏高, 表明孔店组原油更高的成熟度。

3.2 原油烃类化学组成特征

王家岗—丁家屋子孔店组原油烃类组成与分布与同区沙河街组等上部层系原油有显著差异。孔店组原油饱和烃正构烷烃分布范围广, 碳数范围可为 $nC_{11} \sim nC_{40}$, 其中, nC_{21} 高分子量正构烷烃较为发育, 正构烷烃一般为双峰型 (图 2)。孔店组原油具有较低的 Pr/nC_{17} 、 Ph/nC_{18} 值 (图 3), 如王 X131、王 X132 井原油 Pr/nC_{17} 值分别为 0.22、0.26; Ph/nC_{18} 值分别为 0.35、0.43; 同区沙河街组原油对应参数值分别为 0.69 ~ 1.31、1.42 ~ 3.33。孔店组原油较低的 Pr/nC_{17} 、 Ph/nC_{18} 值可能主要反映其较高的成熟度。孔店组、沙河街组原油 Pr/Ph 值一般 < 1 (表 1), 前者偏高于后者, 反映母源岩形成于偏还原性原始沉积环境。

原油甾、萜类化合物同样反映上、下层系原油显著的差异 (图 4、图 5)。下部孔店组原油显著的 C_{29} -

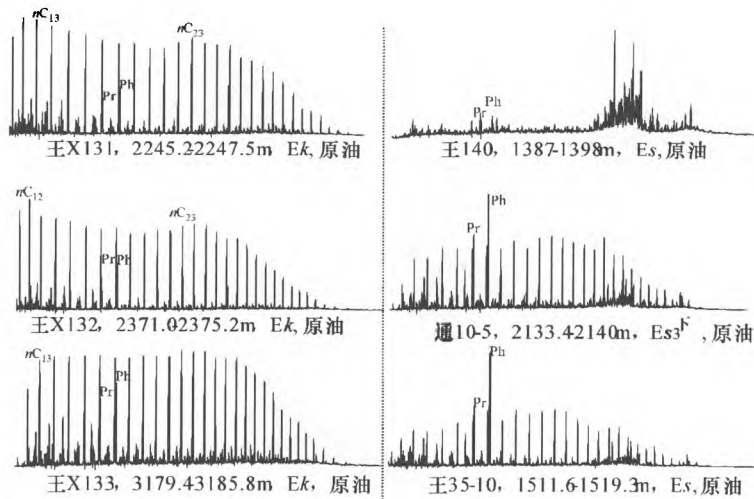
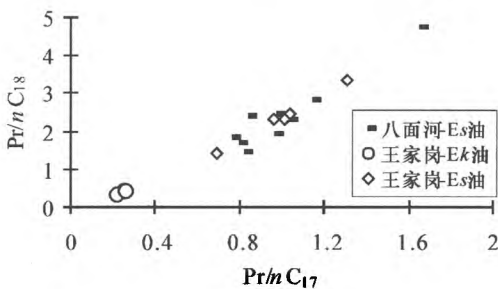


图2 王家岗孔店组、沙河街组部分原油饱和烃总离子流图

Fig. 2 TIC fingerprints of the saturated hydrocarbons in the oils selected

图3 原油 $Pr/nC_{17} \sim Ph/nC_{18}$ 关系图①Fig. 3 Relationship between $Pr/nC_{17} \sim Ph/nC_{18}$ for the oils from Wangjiagan-Bamianhe region

规则甾烷优势(C_{27} -、 C_{28} -、 C_{29} - $\alpha\alpha\alpha$ 甾烷呈反“L”型分布),使其一目了然地区别于沙河街组(C_{27} -、 C_{28} -、 C_{29} - $\alpha\alpha\alpha$ 甾烷呈“V”字型分布)(图4),体现原油成因与油源的差异。湖相原油、烃源岩中 C_{29} -规则甾烷优势往往与高等植物生源输入较多有关^[8],如邻区昌潍坳陷、黄骅坳陷沧东—南皮孔店组烃源岩及相关原油^①,但也有例外^[9,10]。孔店组原油甾烷异构化程度明显高于沙河街组,前者 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha/20S/(S+R)$ 值为0.46~0.52、 C_{29} 甾烷 $\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$ 为0.39~0.49(表1),仅处于相对构造高部位的王斜95井偏低;沙河街组原油对应值分别为0.33~0.46,0.32~0.45(表1),反映孔店组原油成熟度高于沙河街组。

孔店组原油 C_{31} 藿烷 $22S/(S+R)$ 值为0.60~0.65,高于同区沙河街组(0.56~0.59)(表1),与其甾烷异构化程度偏高一致。孔店组原油较低分子量

孕甾烷相对于较高分子量规则甾烷系列(图4、图6c)、低分子量三环萜烷相对于较高分子量五环萜烷系列的丰度高于沙河街组(图5、图6d),孔店组原油 C_{21-22}/C_{27-29} -甾烷值为0.02~0.044,沙河街组为0.01~0.015(表1);孔店组原油三环萜/五环萜烷值为0.18~0.45,沙河街组仅0.06~0.09(表1、图5),进一步反映孔店组原油成熟度偏高。

孔店组原油总体具有较高的伽玛蜡烷含量(图5),伽玛蜡烷/ C_{30} -藿烷值高达0.85~1.90(表1)(仅王斜95井油砂偏低),高丰度伽玛蜡烷是区内沙四段烃源岩及相关原油的重要特征。此外,孔店组原油甾烷/藿烷值明显低于沙河街组(表1)。

3.2 孔店组油气来源分析

王家岗、八面河油田沙河街组原油成因基本一致^[11],原油主要来自>2700m的沙四段烃源岩^[2,3,5]。多项成熟度指标如 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha/20S/(20S+20R)$ 、 C_{29} 甾烷 $\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$ 显示,孔店组原油成熟度较高(图6a、b、表1),表明孔店组原油来自更深层的烃源岩。王X131、王X132、王X133井孔店组原油的烃源岩约与埋深3000~4500m的相对深层烃源岩成熟度相当(图6a、b)。孔店组原油物性及烃类化学组成也显示与沙河街组原油明显的差异(图4、图5),表明其烃源岩的性质有异。

研究区主要有两套烃源岩—沙三中下段与沙四

① 李素梅,等. 东营凹陷南斜坡东段深层油源分析与成藏条件研究. 2004.

上亚段^[1-3],牛庄洼陷沙三段烃源岩埋深一般小于 3 500 m,与孔店组相隔厚层沙四段(最高厚度 1 400 m)^[1]。沙三段烃源岩可溶物性质与孔店组原油也有较大的差异,如 Pr/Ph 值 > 1、伽玛蜡烷含量相对较低^[1-3],可排除沙三段作为孔店组可能烃源岩的可

能。迄今为止,渤海湾盆地 > 3 500 m 深层油气主要源自下第三系,如黄骅、冀中、济阳与临清坳陷^[12]。仅在黄骅坳陷孔店背斜构造带(孔西潜山)发现少量自生自储的下古生代奥陶系二次生烃原油^[13]。从烃源岩发育及热演化程度角度来看,本区中生界等古老

表 1 王家岗—丁家屋子、昌潍孔店组、沙河街组原油、烃源岩基本地球化学参数

Table 1 Basic geochemical parameters for selected oils of Kongdian and Shahejie Formations

井号	井深(m)	层位	样品 性质	Pr/ Ph	S/ (S + R)	$\alpha\alpha\alpha$ $\alpha\beta\beta$	$C_{21-22}/$ $C_{27-29}St$	St /H	$C_{27}/$ $C_{29} - St$	Tri/ penta	$C_{31}H$ S/S + R	Ts/ Tm	C_{35}/C_{34} H	G/ $C_{30}H$	4 - m/ $C_{29}St$
王 X133	3179.4	Ek	原油	0.70	0.52	0.49	0.044	0.31	0.52	0.41	0.65	1.86	0.99	1.90	0.15
王 X131	2245.2	Ek	原油	0.79	0.52	0.43	0.033	0.64	0.41	0.45	0.63	0.90	0.92	0.85	0.12
王 X132	3271	Ek	原油	0.76	0.49	0.42	0.031	0.70	0.29	0.31	0.62	0.77	0.75	0.97	0.16
王 100	1856.5	Ek	油砂	0.65	0.46	0.40	0.030	0.77	0.37	0.27	0.60	0.61	0.89	0.88	0.16
王 96	2161.09	Ek	油砂	0.59	0.46	0.39	0.020	0.79	0.36	0.22	0.60	0.46	0.84	0.79	0.13
王斜 99	1916.83	Ek	油砂	0.57	0.47	0.41	0.031	0.76	0.36	0.31	0.61	0.58	0.88	0.85	0.13
王 130	1899.8	Ek	油砂	0.64	0.46	0.41	0.026	0.83	0.36	0.28	0.60	0.59	0.93	0.95	0.15
王斜 95	1835.56	Ek	油砂	-	0.39	0.318	0.014	0.84	0.30	0.18	0.59	0.35	0.73	0.62	0.18
王 35-10	1511.6	Es	原油	0.40	0.39	0.32	0.013	2.72	0.77	0.08	0.58	0.51	1.24	0.91	0.22
通 10-5	2133.4	Es ₃	原油	0.46	0.38	0.35	0.011	1.96	0.84	0.07	0.58	0.47	1.07	0.82	0.31
通 61-119	-	Es	原油	0.61	0.46	0.45	0.015	0.70	0.72	0.07	0.59	0.86	0.76	0.30	0.37
王 140	1387	Es	原油	-	0.33	0.29	0.010	2.82	0.79	0.06	0.56	0.36	1.43	1.09	0.24
王 119X3	2592.5	Es ₄	原油	0.41	0.39	0.32	0.014	2.37	0.80	0.09	0.58	0.55	0.91	0.65	0.28
王 122-X2	2794.3	Es ₄	原油	0.42	0.39	0.32	0.013	2.21	0.78	0.08	0.58	0.51	0.93	0.60	0.29
王 46	3393.7	Ek	泥岩	1.17	0.40	0.36	0.019	0.89	0.78	0.20	0.60	0.94	0.74	0.52	0.29
王 46	3788	Ek	泥岩	0.55	0.32	0.37	0.007	0.35	0.86	0.05	0.57	0.58	0.74	0.27	0.35
王 46	4115.8	Ek	泥岩	0.55	0.44	0.38	0.027	0.65	0.89	0.16	0.58	0.90	0.65	0.30	0.30
王 46	4203	Ek	泥岩	0.55	0.34	0.37	0.017	0.38	1.15	0.10	0.56	0.68	0.84	0.24	0.36
王 46	4205.05	Ek	泥岩	0.46	0.45	0.40	0.013	0.64	0.73	0.08	0.57	0.68	1.41	0.44	0.43
央 5	3308.45	Ek ₂	泥岩	1.28	0.54	0.48	0.214	0.55	0.58	1.07	0.59	1.53	0.52	0.24	0.08
昌 68	2521.12	Ek	泥岩	9.80	0.41	0.23	0.036	0.10	0.25	0.03	0.59	0.03	0.35	0.07	0.03
昌 64	2445.50	Ek ₂	泥岩	4.45	0.42	0.26	0.025	0.09	0.37	0.05	0.59	0.61	0.51	0.10	0.17
昌 4-7	1331.30	Ek ₁	原油	4.29	0.40	0.30	0.024	0.19	0.43	0.10	0.58	0.59	0.59	0.16	0.15
昌 90	1589.40	Ek ₂	原油	5.62	0.35	0.33	0.029	0.29	0.43	0.15	0.57	0.69	0.55	0.14	0.14
昌 3-5	1741.50	Ek ₂	原油	5.52	0.37	0.31	0.032	0.30	0.49	0.15	0.57	0.65	0.51	0.15	0.16

注: S/(S + R): C₂₉ 甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ 20S/(20S + 20R); $\alpha\alpha\alpha/\alpha\beta\beta$: C₂₉ 甾烷 $\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta + \alpha\alpha\alpha)$; C₂₁₋₂₂/C₂₇₋₂₉St: C₂₁₋₂₂/C₂₇₋₂₉ 规则甾烷; C₂₇/C₂₉-St: C₂₇/C₂₉-甾烷; Tri/penta: 三环萜烷/五环萜烷; C₃₁HS/S + R: C₃₁ 藿烷 22S/(22S + 22R); Ts/Tm: 18 α (H)-/17 α (H)-三降藿烷; C₃₅/C₃₄H: C₃₅/C₃₄ 藿烷; G/C₃₀H: 伽玛蜡烷/C₃₀ 藿烷; 4-m/C₂₉St: 4-甲基甾烷/C₂₉-甾烷。

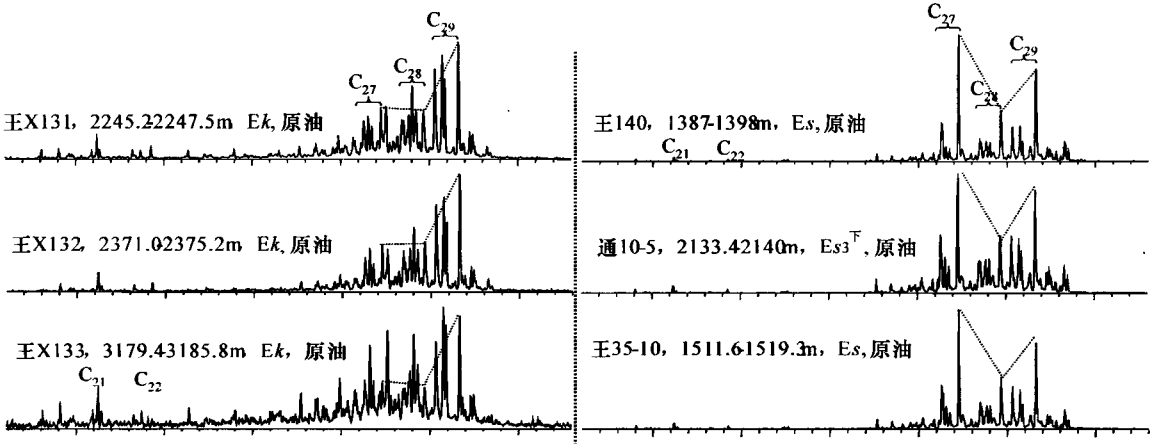


图 4 王家岗部分孔店组、沙河街组原油饱和烃 m/z217 质量色谱图

Fig. 4 m/z217 mass chromatograms of saturate fractions from partial oils of Kongdian and Shahejie Formation

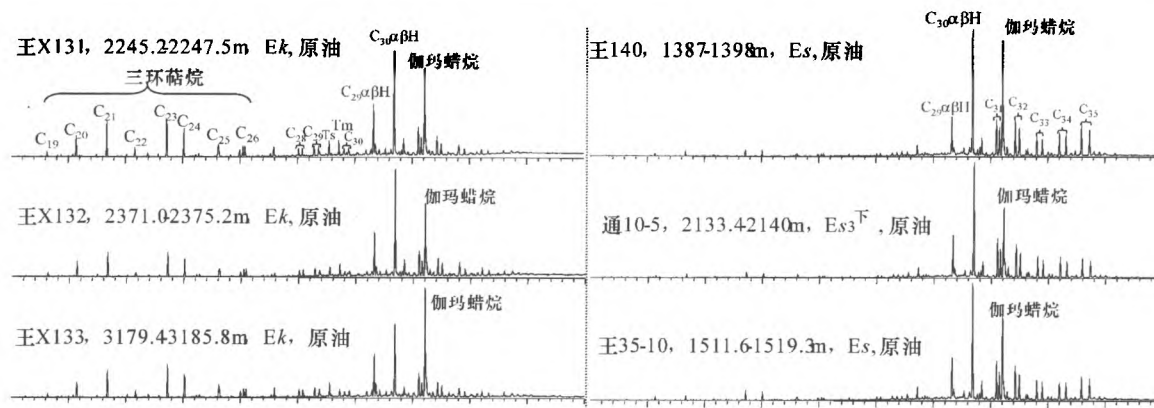


图5 王家岗部分孔店组、沙河街组原油饱和烃 $m/z191$ 质量色谱图

Fig. 5 $m/z191$ mass chromatograms of saturate fractions from partial oils of Kongdian and Shahejie Formation

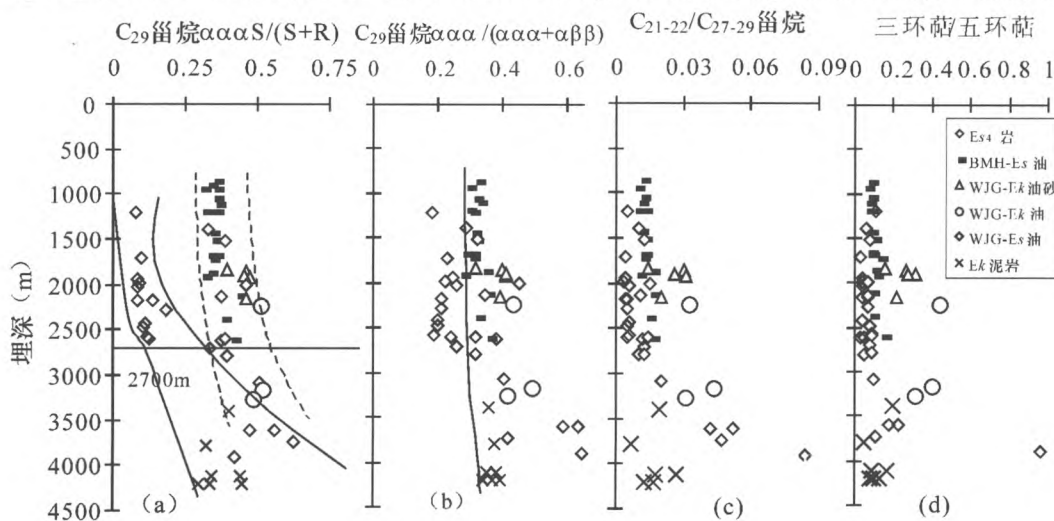


图6 原油和烃源岩成熟度及相关参数对比(BMH-八面河;WJG-王家岗)

Fig. 6 Oil-source rock correlation by maturity and the related parameters

烃源岩已基本不具备提供液态烃的潜能^[12],亦排除在可能的烃源岩之外。在渤海湾盆地的昌潍坳陷、黄骅坳陷的沧东—南皮洼陷,孔二段为主力烃源岩。东营凹陷多口深钻井在孔店组二段钻遇暗色泥岩,在本研究区内仅王46井钻遇(图1)。综合分析认为,沙四段、孔二段为区内可提供深层液态烃的两套主要烃源岩。孔店组形成于断陷盆地的起始阶段,烃源岩的规模可能远不及沙三段与沙四段,其性质可能有所差异。地震、岩相及样品分析显示,区内沙四段形成于咸化湖相^[1,3,7],孔店组形成于局限湖泊—河流相^[12]。

在特征性生物标志物组成上,牛庄洼陷及其斜坡带沙四段烃源岩及相关原油含高丰度伽玛蜡烷(图5、图7b), C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} $\alpha\alpha\alpha$ -规则甾烷呈“V”型分布

(图4)。渤海湾盆地已发现孔店组成因油气的昌潍坳陷、黄骅坳陷沧东—南皮洼陷孔店组烃源岩及相关原油具有伽玛蜡烷含量低、 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} $\alpha\alpha\alpha$ -规则甾烷呈“反L型”分布的特征,如昌潍坳陷孔店组烃源岩及原油伽玛蜡烷/ C_{30} -藿烷值为0.07~0.24, C_{27} -/ C_{29} -规则甾烷值为0.25~0.58,低于王家岗沙河街组原油(表1)。王家岗孔店组原油 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} $\alpha\alpha\alpha$ -规则甾烷呈“反L型”(即 C_{29} -规则甾烷优势)(图4),与渤海湾盆地其它孔店组原油(如昌潍坳陷)相似,但与同区沙四段烃源岩及相关原油的“V”型不一致(图7d)。王家岗孔店组原油具有高丰度伽玛蜡烷特征,该特征与同区沙四段烃源岩及相关原油相似(图5)。可见,王家岗孔店组原油与沙四段烃源岩及相关原油既有不同点亦有共同点,反映其油源复杂。区内王

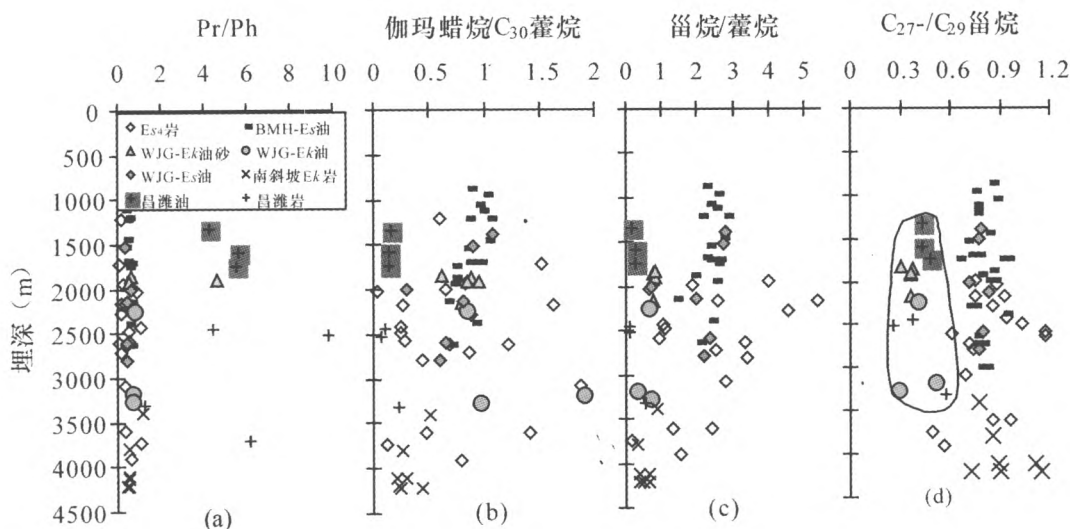
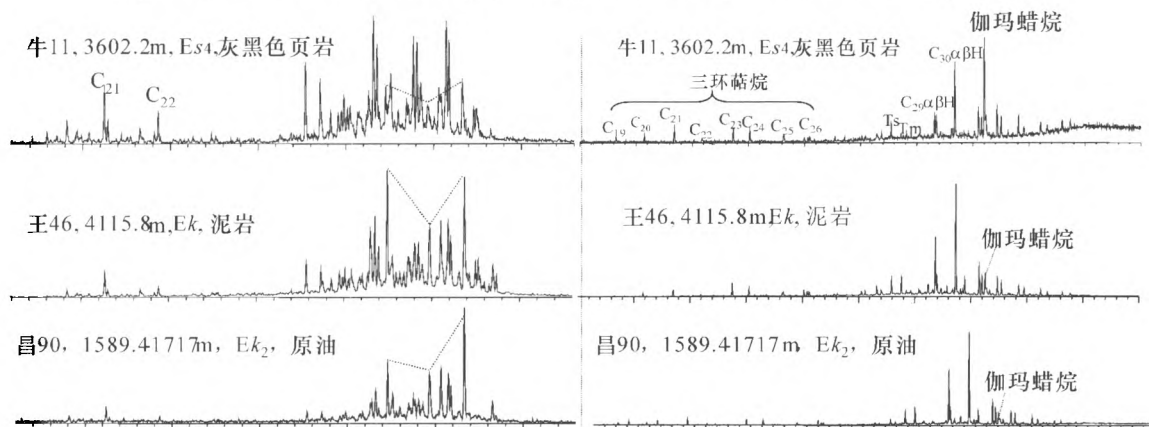


图7 原油、烃源岩母源及沉积环境地球化学示踪(图中代号同图6)

Fig. 7 Oil-source rock correlation by paleoenvironment and organic source indicating parameters

图8 孔店组、沙四段烃源岩饱和烃 $m/z217$ 、 $m/z191$ 质量色谱图Fig. 8 $m/z217$, $m/z191$ mass chromatograms of rock bitumen from Kongdian and Shahejie Formations

46井孔店组烃源岩不具有高丰度伽玛蜡烷(图7b、图8),与渤海湾盆地沧东—南皮、昌潍孔店组烃源岩相似(图8)^①。综合分析认为,王家岗孔店组原油的高伽玛蜡烷含量特征可能为同区沙四段烃源岩提供了部分油气所致;孔店组原油的 C_{29} -规则甾烷优势特征与昌潍、沧东—南皮孔店组原油一致(图8)^①,但非区内沙四段及沙三段烃源岩所具备,说明另有油源,孔店组自生自储的可能性最大。王46井(非生油中心钻探井,烃源岩不一定代表了该区孔店组烃源岩的普遍特征)孔店组烃源岩不具备 C_{29} -规则甾烷优势特征(图7),反映真正为王家岗孔店组油气提供油气的另一套烃源岩(具有 C_{29} -规则甾烷优势)尚未钻遇。王46井孔店组烃源岩既有沙四段的某些特征

(C_{27} 、 C_{28} 、 $C_{29}\alpha\alpha$ -规则甾烷呈“V型”)也有其不具备的特征(低丰度伽玛蜡烷),可能有过渡性质。东营凹陷牛庄洼陷孔店组烃源岩性质与邻区昌潍坳陷尚有较大差异,后者Pr/Ph值远高于前者(图7a、表1),体现较强的偏氧化性原始沉积环境。但王家岗孔店组原油及王46井孔店组烃源岩都具有较低的甾烷/藿烷值(图7c、表1),与昌潍坳陷原油及相关烃源岩相似,反映生源构成有一定相似处。

此外,单体烃同位素显示,孔店组原油正构烷烃特征不同于沙河街组,前者较重,后者较轻(图9)。

① 李素梅,等. 东营凹陷南斜坡东段深层油源分析与成藏条件研究. 2004.

王 X132、王 X133 孔店组原油正构烷烃同位素与孔店组王 46 井烃源岩较为接近,仅最初两个碳数 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏低。孔店组原油的正构烷烃同位素更多地显示孔店组烃源岩的特征。

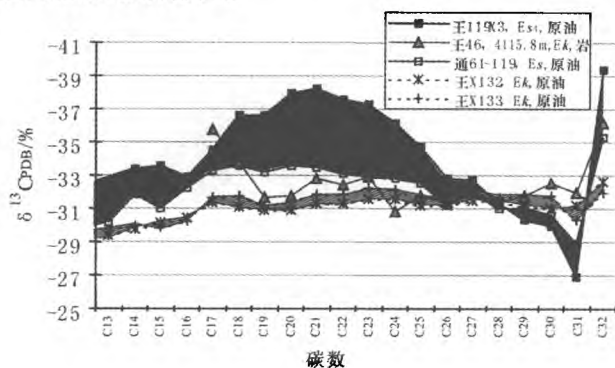


图9 王家岗油田原油、烃源岩饱和烃单体正构烷烃碳同位素分布特征

Fig. 9 The distribution of compound-specific isotope of the alkanes from the oils and rock bitumen in Wangjiagan Oilfield

综合分析认为,王家岗孔店组为混源油,烃源岩为深层沙四段与孔店组(相关的研究仍需在今后更多深钻井基础上,进行足量样品的对比分析)。从地质角度,孔店组地层充注混源油是完全可能的。牛庄洼陷南部边缘几条近东西向的深切正断层(如陈官庄断层)都有数百米的断距,可导致深层沙四段烃源岩与下伏孔店组地层对接,为深层沙四段烃源岩所生烃进入孔店组地层创造了条件。丁家屋子近南北向反向断层可将油源区与圈闭区相沟通,丁家屋子反向断裂—鼻状构造带近东西向反向与正向断层特别发育,孔店组油气主要聚集在反向断层构成的圈闭中。目前发现的东营凹陷南斜坡东段孔店组油气主要分布在王家岗—丁家屋子构造带。

4 结论

地质与地球化学综合研究表明,东营凹陷南部缓坡带王家岗—丁家屋子孔店组油气成因不同于沙河街组上部层系。孔店组原油成熟度高于沙河街组,反映油气为深部来源;孔店组原油物性与烃类化学性质与上部层系也有显著的差异,反映母源岩性质的差异。油—油、油—岩对比表明,孔店组原油具有混源性,深层沙四段及孔二段烃源岩为其可能的主力烃源岩。王家岗—丁家屋子孔店组原油性质及其油源与以往发现油气的不同,表明东营凹陷孔店组及深部层系广泛的油气勘探前景。

参考文献 (References)

- 1 张林晔,张春荣. 低熟油生成机理及成油体系——以济阳坳陷牛庄洼陷南部斜坡为例. 北京:地质出版社,1999. 5~123 [Zhang Linye, Zhang Chunrong. Origins of Immature Oils and Related Petroleum Systems: Case Studies from the Southern Slope of Niuzhuang Sag, Jiyang Depression. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999. 5~123]
- 2 庞雄彪,李素梅,黎茂稳,金之钧. 八面河地区“未熟—低熟油”成因探讨. 沉积学报, 2001, 4: 586~591 [Pang Xiongqi, Li Sumei, Li Maowen, et al. Origin of “immature oils” in the Bamianhe Oilfield of Eastern China. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(4): 586~591]
- 3 Pang Xiongqi, Li Maowen, Li Sumei, Jin Zhijun. Geochemistry of petroleum systems in the Niuzhuang South Slope of Bohai Bay Basin. Part 2: evidence for significant contribution of mature source rocks to “immature oils” in the Bamianhe field. Organic Geochemistry, 2003, 34(7): 931~950
- 4 庞雄奇,李素梅,金之钧,等. 渤海湾盆地八面河地区油气运聚与成藏特征分析. 中国科学 D 辑, 2004, 47: 177~189 [Pang Xiongqi, Li Sumei, Jin Zhijun, et al. Origin and accumulation of the oils from Bamianhe Oilfield, Bohai Bay Basin, Eastern China. Science in China (Series D), 2004, 47: 177~189]
- 5 Li Sumei, Li Maowen, Pang Xiongqi, Jin Zhijun. Geochemistry of petroleum systems in the Niuzhuang south slope of Bohai Bay Basin—part 1: source rock characterization. Organic Geochemistry, 2003, 34(3): 389~412
- 6 朱光有,金强. 东营凹陷两套优质烃源岩地质地球化学特征研究. 沉积学报, 2003, 21(3): 506~512 [Zhu Guangyou, Jin Qiang. Geochemical characteristics of two sets of excellent source rocks in Dongying Depression. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 506~512]
- 7 李素梅,庞雄奇,金之钧,等. 牛庄洼陷南斜坡未熟—低熟烃源岩排烃特征探讨. 沉积学报, 2004, 22(1): 161~168 [Li Sumei, Pang Xiongqi, Jin Zhijun, et al. Discussion of hydrocarbons expulsion from less mature source rocks in the Niuzhuang South Slope of Dongyi Depression, Bohai Bay Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 161~168]
- 8 Czochanska Z, Gilbert T D, Philp R P, et al. Geochemical application of sterane and triterpane biomarkers to a description of oils from the Taranaki Basin in New Zealand. Organic Geochemistry, 1988, 12: 123~135
- 9 马安来,张水昌,张大江,等. 轮南、塔河油田稠油油源对源. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 31~38 [Ma Anlai, Zhang Shuichang, Zhang Dajiang, et al. Oil and source correlation in the Lunan and Tahe heavy oil fields. Oil & Gas Geology, 2004, 25: 31~38]
- 10 Moldowan J M, Seifert W K, and Gallegos E J. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks. AAPG Bulletin, 1986, 69: 1255~1268
- 11 李素梅,庞雄奇,邱桂强,等. 东营凹陷南斜坡王家岗地区第三系原油成因及其意义. 地球化学, 2005, 34(5): 515~524. [Li Sumei, Pang Xiongqi, Qiu Guiqiang, et al. Characteristics and signif-

- icance of the Tertiary oils in the Wangjiagang oilfield in the South Slope of the Dongying Depression, Bohai Bay Basin. *Geochimic*, 2005, 34(5): 515 ~ 524]
- 12 谯汉生, 方朝亮, 牛嘉玉, 等. 渤海湾盆地深层石油地质. 北京: 石油工业出版社, 2002. 102 ~ 134 [Qiao Hansheng, Fang Chaoliang, Niu Jiayu, *et al.* Deep Petroleum Geology of the Bohai Bay Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002. 102 ~ 134]
 - 13 田克勤, 于志海, 冯明, 等. 渤海湾盆地地下第三系深层油气地质与勘探. 北京: 石油工业出版社, 2000. 40 [Tian Keqin, Yu Zhi-hai, Feng Ming, *et al.* Petroleum Geology and Exploration of Subsurface Deep Settings in Bohai Bay Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000. 40]
 - 14 王兆云, 程克明, 杨池银. 黄骅坳陷孔西潜山下古生界原生油. 石油勘探与开发, 1997, 24(1): 1 ~ 4 [Wang Zhaoyun, Cheng Keming, Yang Chiyin. Early palaeozoic primary oil of Kongxi buried hill in Huanghua Depression, Huabei, China. *Petroleum Exploration & Development*, 1997, 24: 1 ~ 4]

Origin of the Deep Oils from Kongdian Formation, Dongying Depression, Bohai Bay Basin

LI Su-mei^{1,2} PANG Xiong-qi^{1,2} QIU Gui-qiang³ GAO Yong-jing³

1(Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation (Petroleum University), Ministry of Education, Beijing 102249)

2(Basin and Reservoir Research Center, Beijing 102249)

3(Shengli Oilfield Company Ltd, SINOPEC, Dongying Shandong 257015)

Abstract The oils from Kongdian Formation of Paleogene in the Eastern Dongying South Slope are quite different from the overlapped Shehejie and Guantao Formation. The oils of Kongdian Formation are characterized by high concentration of wax (28.85 ~ 31.70%), low content of sulphur (0.04 ~ 0.44%) with the ratios of $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S + 20R)$ and C_{31} hopane $22S/(22S + 22R)$ of 0.46 ~ 0.52 and 0.6 ~ 0.65, respectively, suggesting relative high maturity. On the contrary, the overlapped Shahejie and Guantao Formations have features of relative low content of wax while high sulphur content with marginal to middle mature maturity. The differences between Kongdian and Shahejie Formations suggest different source rocks of the oils. Results of oil-source rock correlation show that the oils of Kongdian bear typical features of both Es_4 and Ek_2 source rock, i. e. high Gammacerane concentration of Es_4 and predominant C_{29} -steranes of possible Ek_2 . We suggest that the oils of Kongdian are mixed oils sourced from deep Es_4 and Ek_2 . The oils discovered from Kongdian Formation show the existence of another one set of deep source rock at least and good prospect of deep oils in the study area and the Dongying Depression.

Key words Wangjiagang, Kongdian Formation, oil-gas genetic mechanism, biomarkers, mixed oils