

文章编号: 1000-0550(2011)01-0192-07

东营凹陷深层烃源岩生物标志物特征及其意义^①

丁 飞¹ 蔡进功¹ 隋风贵² 郑德顺³ 徐兴友²

(1. 同济大学海洋地质国家重点实验室 上海 200092; 2. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司地质科学研究院 山东东营 257000; 3. 河南理工大学资源与环境学院 河南焦作 454000)

摘 要 主要利用 GC—MS 分析方法,对东营凹陷北部膏岩层以及上下两段深层烃源岩可溶有机质中正构烷烃、甾烷类和藿烷类生物标志化合物进行了分析,通过各种化合物的组成和分布特征对其地球化学意义进行了探讨。结合各项参数结果表明:三段有机质来源都具有低等水生生物输入和陆源高等植物输入的双重特征,膏岩层上段与下段有机质来源相似,以陆源物质略占优势,膏岩层段则以水生生物为主,特别是嗜盐菌藻类;膏岩层烃源岩形成时期的高盐度水体及其导致缺氧的有机质沉积、埋藏环境对有机质保存起到了重要作用。同时,揭示了膏岩层作为烃源岩对东营凹陷北部地区油源的贡献显著。

关键词 生物标志化合物 深层烃源岩 膏岩层 东营凹陷

第一作者简介 丁飞 男 1982 年出生 博士研究生 地球化学 E-mail: dingf2007@163.com

通讯作者 蔡进功 E-mail: caijingong@126.com

中图分类号 P593 文献标识码 A

0 引言

近年来,国内外油气勘探不断向盆地深部拓展^[1~3],突破了传统有机质生烃理论中液态烃存在下限(120℃, $R_o > 1.35\%$)的禁区,同时室内热模拟实验也表明高温条件下烃源岩中分散有机质仍然能够生成 C_{15+} 的烃类^[4],这向人们展示了深层油气的良好勘探前景。有机质在地质体生烃过程中并非仅受温度与时间的控制,也与压力、有机质分解反应化学体系开放与否、是否存在催化剂和水以及有机质类型、沉积速率和保存环境等多种因素有关^[1~5],因此,解剖已发现的深层油气藏的烃源岩特征,对提高有机质生烃认识具有重要意义。

东营凹陷北部的利津与民丰两个洼陷 4 000 m 以下沙河街组第四段(沙四段, Es_4)砂砾岩体中获得高产工业气流,如丰 8 井、丰深 1 井和丰深 2 井(F8 井、FS1 井和 FS2 井)等,经油源对比认定烃类来自于 Es_4 下亚段暗色泥岩^[6],而这套泥岩位于 Es_4 的中、下亚段大套暗红色砂砾岩及膏岩和盐岩中,经钻探证实膏盐岩上、下及层间(盐上、盐下、盐间)发育有暗色泥岩,其中盐上段主要为深灰色、黑灰色纹层泥岩;盐间段主要是深灰色、黑色含盐膏泥岩;盐下段主要为

深灰色砂岩与泥岩互层^②。长期以来对这套泥岩缺乏认识,制约了该区深层油气勘探的步伐,为此,选取了 Es_4 盐上、盐间、盐下的泥岩样品,通过可溶有机质抽提和 GC—MS 分析,依据生物标志化合物特征揭示不同层段的有机质来源及其沉积环境的差异,为认识深层有机质生烃特征,拓展该区深层油气勘探领域提供科学依据。

1 样品及试验方法

研究样品选自东营凹陷民丰地区(图 1) F8、FS1 和 FS2 井埋深在 3 000 ~ 5 500 m 的盐上段、盐间段和盐下段泥岩岩芯样品 16 块(表 1)。

将泥岩岩样经净化处理后放入恒温干燥箱内,在 40℃ 烘干 4 h 以上。干燥后样品磨碎过筛至 80 目以下,进行索氏抽提 72 h。抽提后所得可溶有机质经浓缩后加入正己烷静置沉淀沥青质,用硅胶、氧化铝色层柱,分别以正己烷、二氯甲烷和甲醇作为冲洗剂,得到饱和烃、芳香烃和非烃馏分。用 GC—MS 对饱和烃做分析测试,试验仪器 Agilent 6890 GC/5973N MSD,色谱柱为 DB5—MS 60 m × 0.25 mm × 0.23 μm,柱始温 100℃,升温速率 4℃/min,柱终温 320℃,恒温 20min。载气为氦气。离化方式为电子轰击(EI, 70eV),

①国家自然科学基金项目(批准号:40872089;40672085)和中国石油化工有限公司科技基金(批准号:P080309)资助。

②中石化胜利油田研究课题:济阳拗陷深层烃源岩研究与评价

收稿日期:2009-05-31;收修改稿日期:2010-01-19

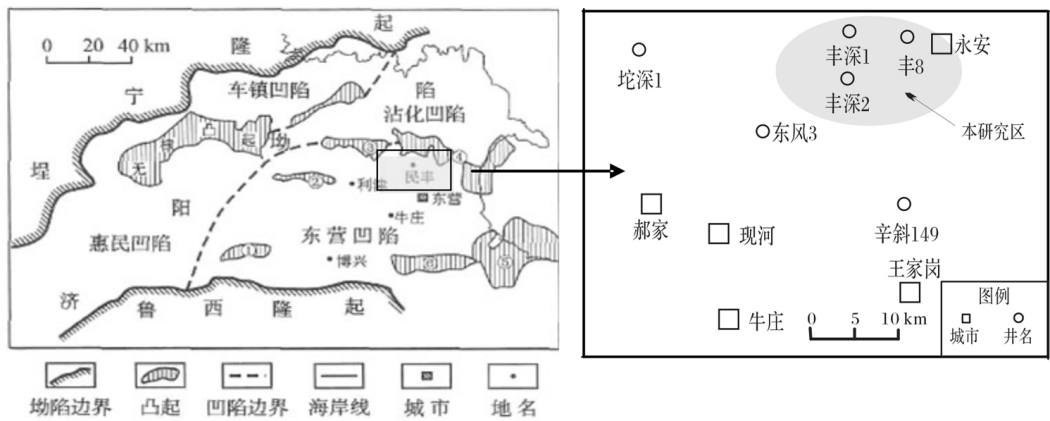


图1 研究区域位置图

Fig. 1 Geographical location of the study area

表1 东营凹陷深层烃源岩样品基本参数与族组成

Table 1 Geochemical parameters and group compositions of samples

层位	井名	深度/m	岩性	TOC/%	“A”/%	饱和烃/%	芳香烃/%	非烃/%	沥青质/%
盐上段	F8	3131.38	深灰色钙质泥岩	1.93	0.1705	43.63	7.01	18.47	0
	F8	3401.91	深灰色钙质泥岩	2.77	0.9647	57.62	5.97	17.07	0
	FS1	3216.7	深灰色钙质泥岩	1.83	0.1966	56.05	14.74	25	3.42
	FS1	3684.8	灰黑色钙质泥岩	2.37	0.2281	50.63	12.34	26.45	4.53
	FS1	3821.6	深灰色泥岩	2.45	0.3212	52	16.53	20	5.87
盐间段	F8	3816.87	深灰色盐质泥岩	0.81	0.0908	74.25	5.69	19.73	0
	F8	3945.2	灰黑色石膏质泥岩	0.85	0.2107	53.48	8.23	20.25	4.11
	F8	4060.45	深灰色石膏质泥岩	0.47	0.0606	72.7	11.28	10.68	3.56
	FS1	4025.3	深灰色膏质泥岩	1.75	0.4951	81.7	0.27	7.69	0
	FS2	3968	含盐质泥岩	0.82	0.1741	74.25	5.69	19.73	0
	FS2	3971.5	含盐质泥岩	0.71	0.2341	59.5	6.89	14.05	0
	FS2	4294.75	深灰色含盐泥岩	1.43	0.1283	75.8	2.23	14.97	0
	FS2	4498.8	含盐质泥岩	0.54	0.0622	78.53	1.28	11.54	0
盐下段	F8	4182.89	灰黑色泥质砂岩	2.29	0.0402	-	-	-	-
	FS1	4323.1	灰色泥岩	0.57	0.0188	26.17	33.64	27.1	4.67
	FS2	5582.6	灰色泥岩	0.18	0.0035	-	-	-	-

离子源温度 250℃。

2 结果与讨论

2.1 有机质丰度与类型

对 16 块样品的有机质丰度统计发现(表 1), 岩上、间、下三段间差异较大, 而以盐上段丰度较高。盐上段 TOC 含量分布在 1.83% ~ 2.77%, 相应氯仿沥青“A”含量也最高, 平均值为 0.38%。盐间段 TOC 含量低于盐上段, 最大值仅为 1.75%, 最小值为 0.47%, 而其氯仿沥青“A”含量相对较高, 平均值为 0.18%。盐下段有机质丰度差异较大, 其中埋深为 4182 m 的 F8 样品 TOC 为 2.29%, 但其氯仿沥青“A”含量远低于盐上段相当有机碳含量的样品, 可能

与有机质的类型有关。

从样品族组成可以看出(表 1), 不同层段样品族组成差异明显, 其中盐上段和盐间段均以饱和烃和芳香烃为主, 盐上段饱和烃占 50% 左右, 盐间段饱和烃占显著优势, 绝大多数样品含量都在 70% 以上, 仅有两个样品检出沥青质, 盐下段饱和烃含量很低, 芳香烃与非烃含量达到 60% 以上。据此推断盐上段和盐间段有机质主要来源于富含饱和烃类的水生生物源, 而盐上段有机质主要来源于芳香烃占优势的陆源植物, 该结果与孢粉相的分析结果相一致^①: 盐上段无定形组分含量高, 其次为木质素; 盐间段以无定形组分占

绝对优势,其他组分低;盐下段则以木质素为主,无定形含量低。不同层段中有机质来源的差异是有机质类型变化的主要原因。

2.2 有机质来源

正构烷烃 GC—MS 特征具有明显差异(图 2、表 2)。首先各段烃源岩饱和烃主峰碳变化较大,盐上段主要为 nC_{17} , 其次为 nC_{23} 、 nC_{25} ; 盐间段则以 nC_{16-18} 居多, 盐下段各样品主峰碳散乱, 分别为 nC_{18} 、 nC_{22} 、 nC_{23} 。此外, C_{21-}/C_{22+} 比值变化也较大, 其中 FS1 井从盐上到盐下按深度呈先增加后减小的趋势(表 2), 揭示了盐上段有机质以陆源占优势逐渐变化为水生来源为主, 而盐间段则以水生来源为主, 盐下段样品也体现出一定的水生优势, 与盐上段差别不大, F8 井与 FS1 井变化趋势类似。另外, 从三段烃源岩规则甾烷 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 的相对含量可以看出, 盐上段与盐下段类似, C_{27}/C_{29} 比值普遍小于 1.0, 盐上段与盐下段平均值分别为 0.76 与 0.81, 陆源物质在有机质组成中稍占优势; 盐间段高于其他两段, 平均值为 1.54, 最大值高达 4.3, 具有绝对水生优势, 体现了盐湖有机质来源具有其自身的特殊性。

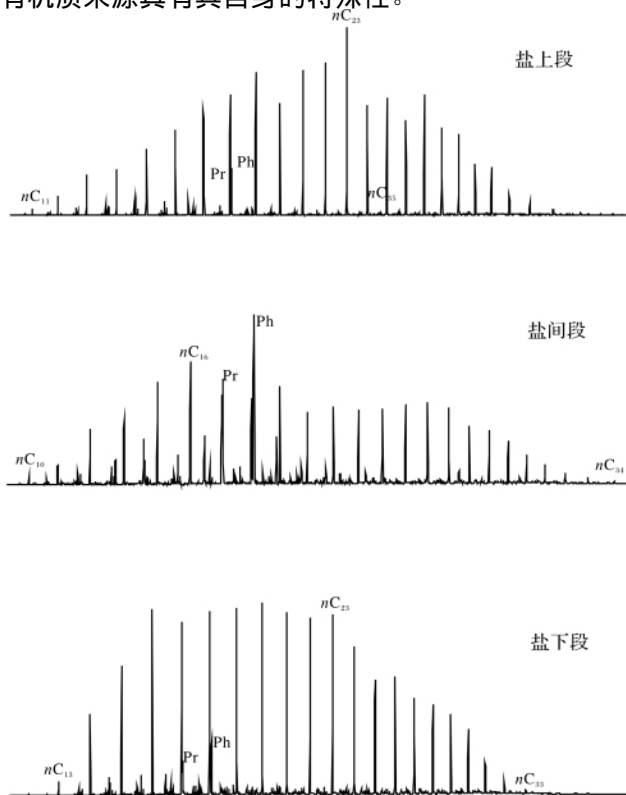


图 2 东营凹陷深层烃源岩饱和烃色谱图

Fig. 2 Mass chromatogram of m/z 85 of deep source rocks

from Dongying depression

从检出的类异戊二烯烃来看, 姥鲛烷和植烷较丰富。Pr/ C_{17} 与 Ph/ C_{18} 关系图(图 3)反映了盐间段特征明显区别于其他两段, 数据点相对分散, 表现为类异戊二烯烃类对正构烷烃的优势, 而盐上与盐下两段样品数据点在 Pr/ C_{17} 与 Ph/ C_{18} 均小于 0.1 的范围之内。高丰度的类异戊二烯烃是我国咸化湖典型特征之一, 同时表明菌藻类在盐间段发育^[7], 可能是沉积有机质的主要来源。另外, 盐间段烃源岩抽提物中所检出较其他两段丰富的三环萜类也表明了该段沉积有机质中咸化湖低等水生生物的突出贡献。

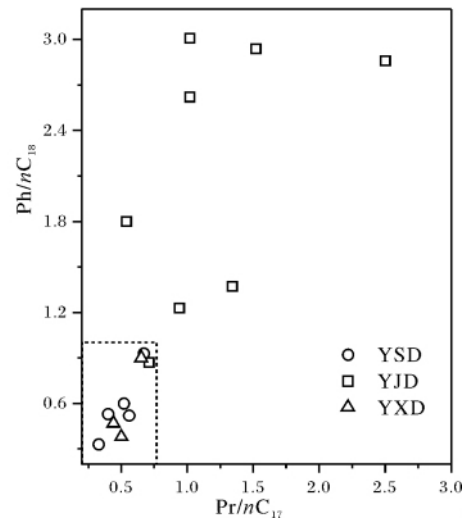


图 3 东营凹陷深层烃源岩类异戊二烯烃关系图
(YSD: 盐上段; YJD: 盐间段; YXD: 盐下段)

Fig. 3 Correlation plot of Ph/ nC_{18} vs. Pr/ nC_{17} of deep source rocks from Dongying depression

综合各种参数, 有机质来源主要与气候条件和河流输入变化有关^[8], 盐上段气候相对湿润^[9], 河流带来大量陆源有机质, 低等水生生物和陆源高等植物构成了有机质的双重输入。随着气候逐渐干旱^[9], 河流流量减小导致携带的陆源有机质减小, 但随着干旱程度增加湖水盐度增大, 一些嗜盐菌藻类适应高盐环境而大量繁殖, 成为沉积有机质主要来源, 从而导致盐间段水生生物占优势。

2.3 有机质沉积与保存环境

Pr/Ph 比值的差异体现了各段有机质沉积环境不同, 盐间段该参数明显低于其他两段。盐上段 Pr/Ph 比值分布在 0.75 ~ 1.24 之间, 盐间段 Pr/Ph 比值变化范围为 0.34 ~ 0.79, 与盐上段差异较大, 而盐下段 Pr/Ph 比值分布在 0.76 ~ 1.19 之间, 与盐上段并无明显差别。据梅博文等^[16]研究, 盐上段以及盐下

表 2 东营凹陷深层烃源岩生标参数
Table 2 Biomarker parameters of saturated hydrocarbon of the samples

层位	井名	Pr/Ph	主峰碳	C ₂₁ - /C ₂₂₊	甾烷			藿烷				
					孕甾烷类 /规则甾烷	/%			C ₂₉ ααα20S /20(S + R)	C ₃₁ αβ22S /22(S + R)	三环帖 /藿烷	伽马蜡烷 /C ₃₀ 藿烷
						C ₂₇	C ₂₈	C ₂₉				
盐上段	F8	1	23	0.94	0.01	38	18	44	0.37	0.58	0.04	0.04
	F8	0.75	25	0.63	0.03	27	21	52	0.46	0.58	0.16	0.15
	FS1	1.24	17	0.79	0.01	41	25	34	0.36	0.59	0.05	0.04
	FS1	1.07	17	0.93	0.08	27	23	51	0.52	0.56	0.38	0.21
	FS1	0.85	17	1.15	0.09	28	30	42	0.47	0.56	0.82	0.29
盐间段	F8	0.54	16	1.36	0.03	37	23	40	0.48	0.52	3.22	1.63
	F8	0.79	18	1.62	-	-	-	-	-	-	-	-
	F8	0.68	25	0.68	0.08	38	24	38	0.41	0.56	0.54	0.16
	FS1	0.56	16	1.59	-	69	15	16	0.4	0.47	-	0.16
	FS2	0.39	17	0.98	0.03	39	22	39	0.47	0.57	0.52	0.21
	FS2	0.34	17	1.17	0.02	43	21	36	0.41	0.5	2.22	0.51
	FS2	0.55	18	1.28	-	-	-	-	-	-	-	-
	FS2	0.75	18	1.1	-	34	23	43	0.43	-	-	0.51
盐下段	F8	1.19	22	0.81	0.03	35	26	39	0.45	0.57	0.21	0.09
	FS1	0.9	18	1.22	-	24	30	46	0.47	0.55	0.26	0.19
	FS2	0.76	23	0.86	0.01	40	21	39	0.32	0.59	0.06	0.05

半潮湿气候条件下淡水—微咸水湖还原环境,而盐间段属于半干旱气候条件下的咸水湖环境。从伽马蜡烷相对含量的变化也能够体现有机质沉积环境的差异,盐间段普遍较高。盐上段伽马蜡烷/C₃₀藿烷分布在 0.04 ~ 0.29 之间,平均值为 0.15,盐下段伽马蜡烷/C₃₀藿烷平均值为 0.11,与盐上段差别不大;盐间段伽马蜡烷/C₃₀藿烷最低值为 0.16,最高值达 1.63,平均值为 0.53。伽马蜡烷含量与水体盐度有关^[11,12],在济阳凹陷,正常盐度条件下烃源岩沉积有机质中伽马蜡烷/C₃₀藿烷比值在 0.09 ~ 0.29 之间^[13],盐上段与盐下段样品伽马蜡烷指数分布在此范围之内,属于正常沉积,而盐间段相对含量高的伽马蜡烷与 Pr/Ph 比值所指示的半干旱气候条件下咸水湖环境相吻合。从伽马蜡烷含量与 Pr/Ph 比值(图 4)也能够看出盐间段高伽马蜡烷指数对应于 Pr/Ph 比值的低值区,Pr/Ph 比值大于 0.8 的样品伽马蜡烷指数都在 0.4 以下,其原因可能为:当湖泊盐度降低时,表现为伽马蜡烷含量降低,而水体因盐度差异而产生的分层现象减弱,从而溶解氧能够进入底层水体导致有机质沉积环境趋于氧化,使得 Pr/Ph 比值增大。

藿烷组分中升藿烷检出不全,分布无明显规律性,不同于低熟烃源岩还原环境中存的 C₃₅ > C₃₄ > C₃₃ 的翘尾现象^[14]。所研究样品中大部分有孕甾烷检出,但含量很低,从 F8 井单井的各段烃源岩孕甾烷

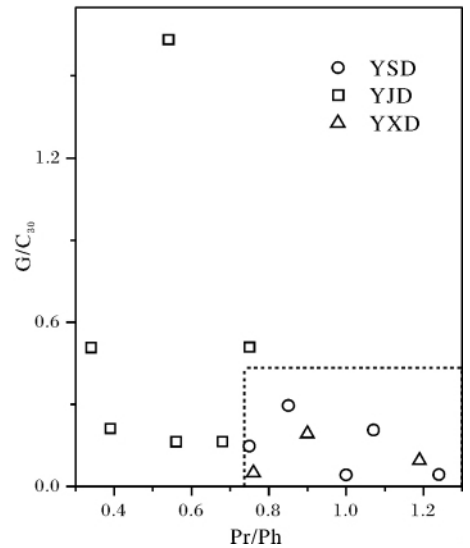


图 4 东营凹陷深层烃源岩 Pr/Ph 与伽马蜡烷指数关系 (YSD, 盐上段; YJD, 盐间段; YXD, 盐下段)

Fig. 4 Correlation plot of Pr/Ph vs. index of gammacerane of deep source rocks from Dongying depression

与孕甾烷相对含量依然能够看出盐间段高于其他两段,具有咸化湖特征,但盐间段部分样品因饱和烃中甾烷含量低而无法计算孕甾烷与升孕甾烷的含量。

2.4 有机质成熟度

对生物标志化合物成熟度指标统计对比发现各段有机质演化程度不同,以盐间段最低,盐上段略高于盐下段。盐上、盐间与盐下三段烃源岩规则甾烷

$C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/20(S+R)$ 比值平均值分别为: 0.436、0.433、0.413, 而藿烷类 $C_{31}\alpha\beta 22S/22(S+R)$ 比值各段平均值分别为: 0.574、0.527、0.570。尽管两个参数所指示各段烃源岩热演化程度有差异, 但其中一个明显特征是盐间段成熟度小于盐上段, 盐下段因样品数量少致使可比性较差。通过热解实验中成熟度指标 T_{max} 显示, 三段烃源岩自上而下平均值分别为: 443.6℃、395.3℃、438.2℃^①, 也体现了盐间段烃源岩成熟度明显低于上下两段的现。膏岩层的存在导致了烃源岩有机质热演化异常, 除有机质特殊沉积与保存环境外, 膏岩层热导率高导致深部地温容易传到浅部也是其中一个重要原因^[15]。

3 北坡原油油源探讨

Baltes 早在 1979 年就提出膏盐层的形成环境有利于有机质保存^[16], 并为转化成石油形成物质基础, 其与有机质结合量仅次于黏土或泥岩^[17]。前人对膏岩层有机质研究认为: 蒸发岩形成时期, 湖盆底部水体近于停滞, 使湖盆底部形成弱氧化弱还原环境, 从而有效保存了有机质^[18], 为烃类的形成提供物质基础。从东营凹陷北坡深层烃源岩有机地球化学参数来看, 膏岩层作为烃源岩生烃有其自身优势: 首先, 表征有机质丰度的参数 TOC 虽然低于盐上段, 但都在 0.5 以上, 而且有机质类型较其他两段好, 可溶有机质组分以饱和烃为主, 少见沥青质。其次, 通过甾、萜烷异构化参数得到的结果均显示其成熟度低于其上覆岩层。此外, 来源于高盐度环境下的细菌和藻类形成的有机质在特殊的沉积与保存环境中具有可观的生烃潜力。因此, 无论从有机质丰度、类型和成熟度方面都表明膏泥岩混层中有机质易于保存和生烃, 在东营凹陷北坡烃源岩研究和油气勘探中应予以足够重视。

鉴于此, 我们收集了东营凹陷北坡部分原油资料以明确北坡油源。前人通过类异戊二烯烃指标将原油分为两类: 一类具有较高的 Pr/Ph 比值, 较低的 Pr/ nC_{17} 与 Ph/ nC_{18} 比值, (Pr/Ph > 1, Pr/ nC_{17} 为 0.4 ~ 0.6, Ph/ nC_{18} 为 0.3 ~ 0.6); 另一类具有较低的 Pr/Ph 比值, 较高的 Pr/ nC_{17} 与 Ph/ nC_{18} 比值, (Pr/Ph 比值介于 0.3 ~ 0.8, Pr/ nC_{17} 为 0.7 ~ 1.1, Ph/ nC_{18} 介于 1.3 ~ 3.0), 后一种原油分布相对于前者更加广泛^[6]。可以看出, 第一类原油形成于较氧化环境, 母质类型较差; 第二类原油形成于还原环境, 母质类型较好。从本研究所取烃源岩样品分析结果来看, 第一类原油

可能来源于盐上段, Pr/Ph 比值大于或接近于 1.0, Pr/ nC_{17} 分布于 0.33 ~ 0.67, Ph/ nC_{18} 在 0.33 ~ 0.93。第二类原油与盐间段烃源岩特征相吻合, Pr/Ph 较低, 都在 0.8 以下, Pr/ nC_{17} 与 Ph/ nC_{18} 较高, 分别分布在 0.54 ~ 2.4 和 0.87 ~ 3.01, 巨厚膏岩层存在于东营凹陷北部, 也解释了第二类原油广泛分布的原因。从图 5 中能够看出北坡原油可以分为明显的两类, 并且与烃源岩各参数具有很好的一致性, 其中 I 区原油对应于盐上段和盐下段烃源岩, 而分布广泛的 II 区则对应于盐间段烃源岩。因此, 从可溶有机质角度, 可以初步判断东营凹陷北部供油区以盐上段和盐间段为主。

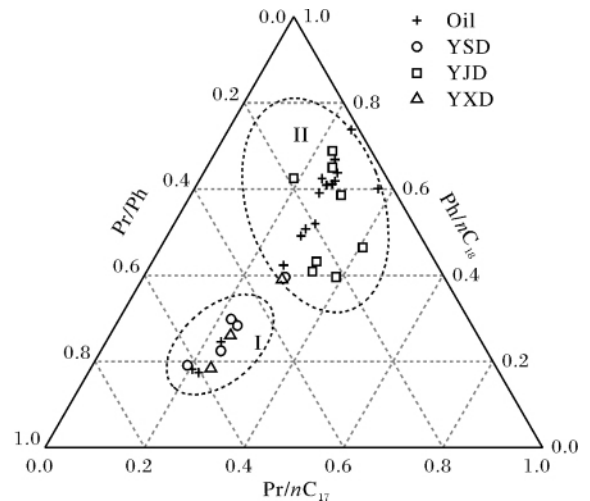


图5 东营凹陷北部油源生物标志物对比
(YSD: 盐上段; YJD: 盐间段; YXD: 盐下段)

Fig. 5 Relationships between biomarkers of oil and source rocks from northern Dongying depression

4 结论

通过综合分析东营凹陷深层烃源岩可溶有机质生物标志化合物特征主要得出以下结论:

(1) 烃源岩有机质丰度以盐上段为最高, 盐间段次之, 盐下段最低; 可溶有机质族组成反映出盐间段有机质类型最好, 其次为盐上段, 盐下段最差。

(2) 三段烃源岩有机质来源均存在低等水生生物来源和陆源高等植物输入的双重特征, 盐上段与盐下段有机质来源相似, 盐间段以低等水生生物来源为主, 特别是嗜盐菌藻类。

(3) 三段烃源岩有机质沉积与保存环境盐上段与盐下段类似, 为半潮湿气候条件下淡水—微咸水深

湖还原环境, 水体盐度正常; 盐间段特征明显区别于其他两段, 属于半干旱气候条件下咸水湖环境, 水体盐度大, 属于强还原环境。

(4) 综合烃源岩有机质丰度、有机质类型以及有机质成熟度参数, 得出东营凹陷深层烃源岩中膏泥岩层具有一定生烃能力, 对该区油气源有重要贡献, 且北坡原油主要供油区可能为盐间段和盐上段。

参考文献(References)

- Landais P, Michels R, Elie M. Are time and temperature the only constraints to the simulation of organic matter maturation? [J]. *Organic Geochemistry*, 1994, 22(3-5): 617-630
- 李美俊, 孟元林, 顾雪琴. 深层烃源岩成烃理论研究进展[J]. 特种油气藏, 2002, 9(4): 1-5 [Li Meijun, Meng Yuanlin, Gu Xueqin. Progress in theory of hydrocarbon generation in deep source rocks[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2002, 9(4): 1-5]
- 妥进才. 深层油气研究现状及进展[J]. 地球科学进展, 2002, 17(4): 565-571 [Tuo Jincan. Research status and advances in deep oil and gas exploration[J]. *Advance in Earth Science*, 2002, 17(4): 565-571]
- 段毅, 王先彬. 深层油气形成的若干问题探讨[J]. 天然气地球科学, 1999, 10(6): 22-26 [Duan Yi, Wang Xianbin. Discussions on deep oil generation[J]. *Natural Gas Geoscience*, 1999, 10(6): 22-26]
- 何光玉. 有机质成熟史热模拟探讨[J]. 地质地球化学, 2000, 28(3): 82-86 [He Guangyu. Simulation on maturation history of organic matter[J]. *Geology and Geochemistry*, 2000, 28(3): 82-86]
- 鹿洪友, 肖贤明, 刘云中, 等. 东营凹陷北部原油有机地化特征与成因类型[J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 707-712 [Lu Hongyou, Xiao Xianming, Liu Yunzhong, et al. Organic geochemistry and origin types of crude oils from the northern area of the Dongying depression [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(4): 707-712]
- 张枝焕, 杨藩, 方朝亮. 我国第三系咸化湖相有机质组成及环境意义[J]. 西安石油学院学报, 2002, 17(6): 16-24 [Zhang Zhihuan, Yang Fan, Fang Chaoliang. Geochemical characteristics and environment of organic matter of saline lakes in Tertiary, China [J]. *Journal of Xi'an Petroleum Institute*, 2002, 17(6): 16-24]
- 妥进才, 邵宏舜, 黄杏珍. 盐湖相生油岩中某些地球化学参数与沉积环境的关系[J]. 沉积学报, 1994, 12(3): 114-119 [Tuo Jincan, Shao Hongshun, Huang Xingzhen. The relationship between some geochemistry parameters and environment in saline facies [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994, 12(3): 114-119]
- 张海君, 薛天庆. 东营凹陷中北部沙四段沉积相研究[J]. 江汉石

- 油学院学报, 2003, 25(3): 38-39 [Zhang Haijun, Xue Tianqing. Es₄ sedimentary facies in mid-north of Dongying depression [J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 2003, 25(3): 38-39]
- 梅博文, 刘希江. 我国原油中异戊烷二烯烃的分布及其地质环境的关系[J]. 石油与天然气地质, 1980, 1(2): 99-115 [Mei Bowen, Liu Xijiang. The distribution of isoprenoid alkanes in China's crude oil and its relation with the geologic environment [J]. *Oil & Gas Geology*, 1980, 1(2): 99-115]
- Sinninghe Damste J S, Kenig F, Koopmans, et al. Evidence for Cammacerane as an indicator of water column stratification [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(9): 1895-1900
- 张立平, 黄第藩, 廖志勤. 伽马蜡烷—水体分层的地球化学标志[J]. 沉积学报, 1999, 17(1): 136-140 [Zhang Liping, Huang Difan, Liao Zhiqin. Gammacerane geochemical indicator of water column stratification [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(1): 136-140]
- 刘璇. 济阳拗奥陶系烃源岩生物标志物地球化学特征[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(3): 12-15 [Liu Xuan. Geochemical characteristics of biomarker of Ordovician source rocks in Jiyang depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2006, 13(3): 12-15]
- 沈忠民, 周光甲, 洪志华. 低成熟石油生成环境的生物标志化合物特征[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(4): 396-400 [Shen Zhongmin, Zhou Guangjia, Hong Zhihua. Biomarker characteristics of indication environments of low mature oil generation [J]. *Journal of Chengdu University Technology*, 1999, 26(4): 396-400]
- 高霞, 谢庆宾. 浅析膏盐岩发育与油气成藏的关系[J]. 石油地质与工程, 2007, 21(1): 10-11 [Gao Xia, Xie Qingbin. Brief discussion on the relation between the development of salt & gypsum rock and hydrocarbon accumulation [J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2007, 21(1): 10-11]
- Brassell S C, Wardroper A M, Thomson J D, et al. Specific acyclic isopterooids as biological markers of methanogenic bacteria in marine sediments [J]. *Nature*, 1981, 290: 693-696
- 王东旭, 曾溅辉, 宫秀梅. 膏盐岩层对油气成藏的影响[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(3): 329-333 [Wang Dongxu, Zeng Jianhui, Gong Xiumei. Impact of gypsolith on the formation of oil & gas reservoir [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(3): 329-333]
- 李勇, 钟建华, 温志峰, 等. 蒸发岩与油气生成、保存的关系[J]. 沉积学报, 2006, 24(4): 794-306 [Li Yong, Zhong Jianhua, Wen Zhihua, et al. Study on the relationship between evaporate and hydrocarbon generation [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(4): 794-306]

Characteristics of Biomarker and Its Implications of Deep Source Rocks from Northern Dongying Depression

DING Fei¹ CAI Jin-gong¹ SUI Feng-gui² ZHENG De-shun³ XU Xing-you²

(1. State Key Laboratory of Marine Geology, Shanghai 200092;

2. Geological Scientific Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257000;

3. Institute of Resources & Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000)

Abstract 16 mudstone samples from wells of F8, Fs1 and Fs2 in Minfeng area of Dongying depression were selected for understanding the origin and the preservation of the organic matter and their significances. By the application of organic analysis including: total organic carbon content, extraction of soluble organic matter, group composition of soluble organic matter and GC-MS of saturated hydrocarbon, the abundance, type and the maturity of the organic matter were studied.

The formation with the depth from 3 000 m to 5 000 m was divided into three units considering the existence of the gypsum-salt rock: the upper layer of the gypsum-salt rock, the gypsum layer and the lower layer of the gypsum-salt rock. There are great variations of the abundance of organic matter between each unit. The upper layer is much higher than others, so as to the content of chloroform bitumen "A". Both the TOC and the chloroform bitumen "A" of the gypsum layer are lower than the upper layer. The lower layer of the gypsum-salt rock is the lowest in chloroform bitumen "A", although one sample from F8 well has the TOC as high as 2.29%. The group composition of the soluble organic matter shows that: in three members of source rocks, the type of organic matter of gypsum layer is the best, and the upper layer of the gypsum-salt rock followed, at last is the lower layer of the gypsum-salt rock. Analysis of the gammacerane index and the ratio of Pr/Ph indicate that the upper layer of the gypsum-salt rock and the gypsum layer have similar sedimentary environment which is reducing deep lacustrine depositional environment under semi-humid climate conditions, and the salinity of the lake is normal in Dongying depression with fresh to brackish water. However, the depositional environment of gypsum layer is quite different for that is strong reducing saline lacustrine facies under semi-arid climate conditions with high salinity. The climate condition of the upper layer of the gypsum-salt rock is relatively more humid and huge amounts of terrestrial organic matter come into the lacustrine basin with surface runoff. As a result, the source of the sedimentary organic matter is lower hydrobiont, lacustrine algae and terrestrial organic matter transported by the river. As the climate conditions get more aridity, the input of terrestrial organic matter decrease due to the river discharge reduced. Meanwhile, the salinity of the lake get stronger because of the degree of drought is pricked up gradually, but many species of halophilic bacteria and variety kinds of algae adapted to the hypersaline environment growth rapidly. Therefore, the organic matter of the gypsum layer is mainly originated from lower hydrobiont and algae, which is supported mainly from the dominance of the isoprenoid to the normal alkanes. Because of the existence of the gypsum-salt rock, the difference of maturity of organic matter is significant from routine variation, which performance as the maturity of the gypsum layer is lower than both the upper and the lower layers.

The biomarker parameters of the crude oil from northern Dongying depression were collected to make sure the source of the oil had been exploited. According to the data, the crude oil can be separated into two species, one with high Pr/Ph ratio and low Pr/nC₁₇ and Ph/nC₁₈ ratios, the other with low Pr/Ph ratio while high Pr/nC₁₇ and Ph/nC₁₈ ratios, and the latter is distributed broadly in this area. The comparison of the biomarker parameters between the source rocks and the crude oil indicated that the former kind of crude oil probably derived from the upper layer of the gypsum-salt rock, and the latter kind of crude oil might be derived from the gypsum layer. Furthermore, the existence of the thick gypsum-salt rock explained the extensive distribution of the latter type.

In conclusion, the gypsum-salt rock from Dongying depression has great hydrocarbon generation potential. The crude oil exploited in this area may be mainly generated from the upper layer of the gypsum-salt rock and the gypsum layer, and the latter is dominated.

Key words biomarker; deep source rock; gypsum layer; Dongying Depression