

黄河口凹陷湖相烃源岩发育机制

庄新兵¹, 邹华耀¹, 姜雪¹, 杨元元¹, 孙和风^{1,2}

1. 中国石油大学(北京)地球科学学院; 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249
2. 中国海洋石油有限公司天津分公司勘探开发研究院, 天津 300452

摘要 渤海海域黄河口凹陷为典型的富生烃断陷盆地, 发育有沙河街三段(E_2S^3)、沙河街一段(E_3S^1)和东营组下段(E_3d^1)3套湖相烃源岩。 E_2S^3 和 E_3S^1 源岩有机质丰度高, 有机质类型以 II_A 为主, 个别为III型, 姥植比均小于2.0; E_3d^1 烃源岩有机质丰度中等, 有机质为混合II型偏向 II_B 型, 姥植比大于2.0。针对不同层系烃源岩的差异, 通过对凹陷构造-沉积演化和古气候分析以及古盐度计算, 探讨凹陷充填样式, 建立与源岩发育的关系。 E_2S^3 为平衡充填型湖盆, 发育的源岩有机质丰度最高, 是优质湖相源岩发育的最有利湖泊类型。 E_3S^1 为欠充填型湖盆, 水质略咸化, 发育的源岩有机质丰度略低于 E_2S^3 。 E_3d^1 由平衡充填型湖盆过渡到过充填型湖盆, 有机质丰度变化大, 生烃潜力明显低于欠充填型湖盆和平衡充填型湖盆。

关键词 古湖泊环境; 沉积充填样式; 烃源岩; 控制因素; 黄河口凹陷

中图分类号 TE121, P59

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)22-0048-07

Development Mechanism of Lacustrine Source Rocks in Yellow River

ZHUANG Xinbing¹, ZOU Huayao¹, JIANG Xue¹, YANG Yuanyuan¹, SUN Hefeng^{1,2}

1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting; College of Geoscience, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
2. Institute of Exploration and Development, Tianjin Branch, China National Offshore Oil Corporation Limited, Tianjin 300452, China

Abstract The YRM (Yellow River Mouth) sag is a typical Paleogene rich oil and gas rift basin. There are three sets of source rocks, which lie in Shahejie 3 Member (E_2S^3), Shahejie 1 Member (E_3S^1) and the lower Dongying Formation (E_3d^1), respectively. The E_2S^3 and E_3S^1 source rocks are characterized by high abundance of organic matter mainly of type II_A (exceptionally, III) and with Pristane/Phytane ratios all less than 2.0; the E_3d^1 source rocks are characterized by medium abundance of organic matter mainly of type II (mostly, II_B) and with Pristane/Phytane ratios more than 2.0. To find out the difference of source rocks in different layers, the structural-sedimentation evolution and the paleoclimmate are analyzed, and the paleosalinity of this sag is calculated to obtain the filling pattern and the relationships with source rock building. In E_2S^3 phase, the lacustrine is characterized with balanced filled source rocks of high abundance. It is the most favorable one to develop high quality source rocks. In E_2S^3 phase, the lacustrine is characterized with underfilled source rocks of good abundance (less than E_2S^3). And in E_2S^3 phase, the lacustrine is characterized with overfilled source rock of heterogeneous abundance. Obviously, its hydrocarbon generation potential is less than the other two.

Keywords ancient lacustrine environment; deposition filling pattern; source rocks; controlling factors; Yellow River Mouth sag

0 引言

林畅松^[1]、Lambias^[2]、Tecker等^[3]认为陆相断陷湖盆沉积记录了由构造沉降、气候旋回、物源供给等因素引起的可容空间

和相对湖平面的变化。可容空间和物源的供给速率控制了湖泊的发生、发展和充填消亡的过程^[4], 因此陆相断陷湖盆在不同演化时期发育不同成因特征的烃源岩, 致使烃源岩非均质性强

收稿日期: 2010-09-27; 修回日期: 2010-11-03

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划项目(90914006); 中海石油有限公司天津分公司项目(SC06TJ-TQL-004)

作者简介: 庄新兵, 博士研究生, 研究方向为盆地分析与油气成藏机制, 电子信箱: zhuangxinbing@126.com; 邹华耀(通信作者), 教授, 研究方向为油气成藏机制与富集规律, 电子信箱: huayaozou@cup.edu.cn

研究论文 (Articles)

烈^[5-9]。孔庆莹等^[7]对黄河口(YRM)凹陷古近系烃源岩的地球化学特征进行了系统论述,张如才等^[8]从油气资源评价方面认为该地区蕴藏着丰富的石油资源,具有较大的勘探潜力,刘占红等^[9-10]着重论述了古气候条件对烃源岩发育的控制作用。

本文从该地区古近系烃源岩地球化学特征入手,对盆地的构造沉降/沉积、古气候和水介质条件等进行综合研究,分析湖盆的演化与烃源岩发育的控制因素,探讨烃源岩的发育机制。

1 地质背景

黄河口凹陷位于济阳坳陷的东北部,渤中坳陷的南部,渤南、垦东凸起之间(图1)。面积约2000km²,为渤海海域典型

的富生烃凹陷,2009年勘探成果表明,已探明原油储量3.97×10⁸m³(含凝析油),天然气392.5×10⁸m³,具有良好的勘探潜力。

黄河口凹陷表现为断陷和坳陷叠置结构,其构造演化具有多幕裂陷、多旋回叠加、多成因机制复合特征,即凹陷自新生代以来的构造演化,可分为古近纪裂陷期形成的半地堑和新近纪裂后期形成的坳陷,二者之间为区域性不整合。研究区烃源岩发育段为沙河街组三段(E₃^{s3})、沙河街组一段(E₃^{s1})和东营组下段(E₃^{d1})。凹陷晚期快速沉降,在东营组早期形成了巨厚的湖相沉积,比临近的陆上凹陷普遍多一套东营组下段烃源岩,且埋深大、地热值较高,使该套烃源岩快速成熟并进入主力生烃阶段。各段烃源岩形成时构造背景、湖盆类型及古气候条件的差别,使其具有各自特有的特征。

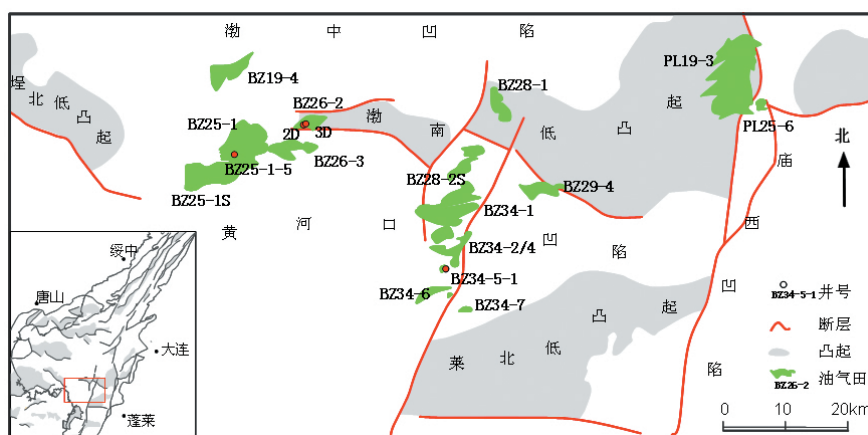


图1 黄河口凹陷区域位置示意图
Fig. 1 Location of the YRM sag

2 烃源岩地球化学特征

烃源岩有机碳含量是评价烃源岩生烃能力的基础指标。

研究区系统取样井BZ25-1-5在钻遇的3套烃源岩中,沙三段的有机碳含量最高(图2),平均3.43%,最大值达9.19%;沙一

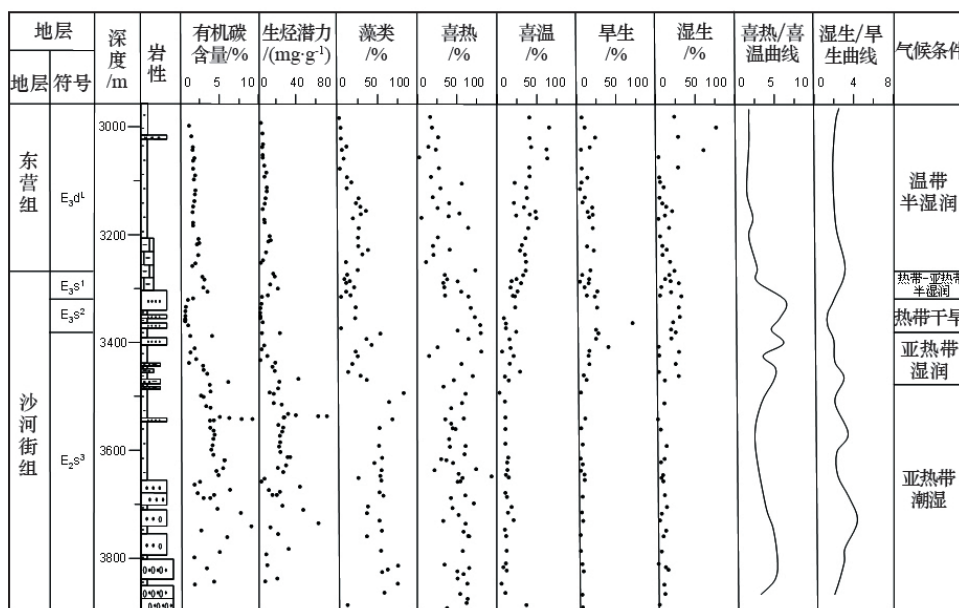


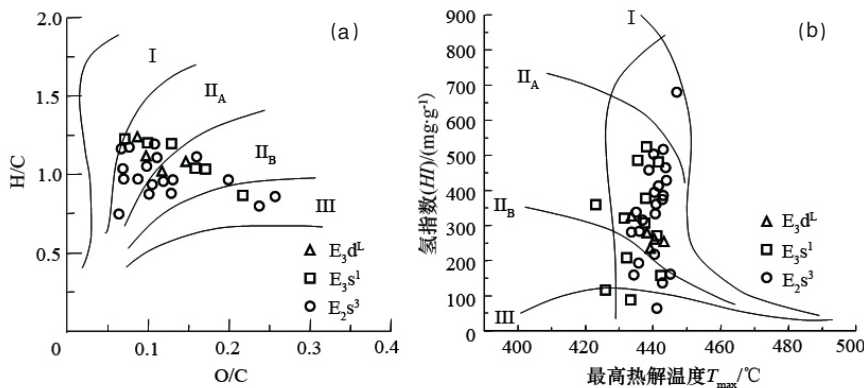
图2 BZ25-1-5井古近系烃源岩发育段地球化学和古气候特征

Fig. 2 Geochemical and paleoclimatic characteristics of well BZ25-1-5 Paleogene source rocks

段的有机碳含量居中,平均 0.88%,最大值 2.67%;渤海湾盆地的陆地上坳陷,如东营坳陷,黄骅坳陷等,东营组烃源岩以贫氢干酪根为主,有机碳含量较低,未成熟或仅处于成熟边缘,为差烃源岩或非烃源岩,黄河口凹陷有机碳含量平均达 1.27%,最大值 1.95%。泥岩的岩屑和岩心样品 Rock-Eval 热解分析显示,这 3 段烃源岩生烃潜力均在 3.78 以上,其中沙一段和沙三段样品的生烃潜力均值为 10.75 和 18mg/g;东下段部分生烃潜力高于 6.0mg/g,因此沙三段和沙一段为好烃源岩,东下段为中-好烃源岩。有机质类型决定了源岩的生烃演化及其产物特征,也是评价有机质生烃潜力最主要的指标。利用元素分析法和热解分析法对研究区有机质类型进行划分(图 3),沙三段、沙一段和东下段 3 套烃源岩的有机质类型以 II_A 和 II_B 型为主,沙三段和沙一段少量 III 型,由于海域钻井揭示的凸起和斜坡,源岩样品不能代表整个凹陷,因此干酪根类型多表现为混合型特征,对烃源岩的评价需要综合多参数讨论。

黄河口凹陷古近系烃源岩的沉积环境和有机质生源有

所不同,因此对研究区典型油气田的原油取样,在长江大学分析测试研究中心进行原油的色谱/质谱分析(GC/MS),采用的饱和烃 GC/MS 分析仪为 HP6890GC/5973MSD,HP-5MS 熔融石英柱(尺寸 30m×0.25mm,柱厚 0.25 μ m),生物标志物比值以单个化合物的峰面积计算。3 套烃源岩的生物标志物中指示水体环境和生源的参数伽马蜡烷和 4-甲基甾烷相对含量上反映出较明显的差别(图 4)。E₂s³ 烃源岩生标组合表现为低伽马蜡烷/C₃₀ 藿烷(<0.10)、高 4-甲基甾烷/甾烷(>0.15),同时姥鲨烷/植烷(姥植比)为 1.32~1.83,说明沙三段沉积期为淡水还原环境,有机质以内源为主;E₃s¹ 烃源岩生标组合表现为高伽马蜡烷/C₃₀ 藿烷(>0.10)和相对高的 4-甲基甾烷/甾烷(0.15~0.25),姥植比为 1.41(表 1),表明该沉积期为蒸发环境或咸水还原环境;E₃d¹ 烃源岩的生标组合则表现为低伽马蜡烷/C₃₀ 藿烷(<0.10)、低 4-甲基甾烷/甾烷(<0.10),姥植比大于 2.0 的特征,指示淡水弱氧化-弱还原环境,相比沙河街组沉积期陆源输入量较大。



(a) H/C-O/C 范氏图
(a) H/C-O/C classification

(b) HI-T_{max} 分类图
(b) HI-T_{max} classification

图 3 黄河口凹陷不同层系烃源岩有机质类型

Fig. 3 Source rock organic matter types of different layers in YRM sag

3 优质烃源岩发育机制与主控因素

优质湖相烃源岩的形成需要最佳的古环境条件相匹配,构造活动和古气候是决定湖盆类型的主要因素。构造活动控制了盆地升降、堆积的补偿状况、物质供给、水体深浅和水体范围的周期性变化,古气候控制沉积物供给、风化搬运的方式以及岩相组合,良好的古气候条件利于湖盆中藻类等微生物的产能^[1]。湖盆类型、物源供给及相应的水动力条件对有机质的产率有重要意义。

3.1 构造沉降、古气候与烃源岩发育

受太平洋板块向西俯冲的影响,燕山运动晚期在中国东部形成了一系列规模不等的断陷盆地,古近纪以来构造差异沉降,导致了渤海湾盆地各坳陷烃源岩发育和品质的差异。通过对黄河口凹陷沉降史分析可知烃源岩发育与构造沉降

密切相关。黄河口凹陷经历了 3 次主要的构造沉降期,自沙三段沉积时期,凹陷沉降迅速(图 5),沉降速率为 220m/Ma,沉积速率 232m/Ma,凹陷的沉降沉积中心相对比较稳定,此时发育了一套有机质丰度非常高的烃源岩。沙二段—沙一段沉积时期为第一个重要的裂后热沉降阶段,沉降速率变小,平均值为 80m/Ma,且沉积速率为 45m/Ma,沙二段普遍为粗粒碎屑沉积,沙一段为深灰色泥岩沉积,可见薄层灰岩、白云岩,烃源岩有机质丰度较高;东下段沉积时期凹陷沉降再次加速,沉降速率与沙三段沉积时期的相当,达 190m/Ma,由于盆地接受物源供应充足,沉积速率为 165~252m/Ma,因此烃源岩丰度依次降低,仅东下段底部发育中等烃源岩。

综上所述,快速沉降易形成好的烃源岩,研究区 3 个主要构造沉降期均发育有效烃源岩,沉降速率的变化对烃源岩发

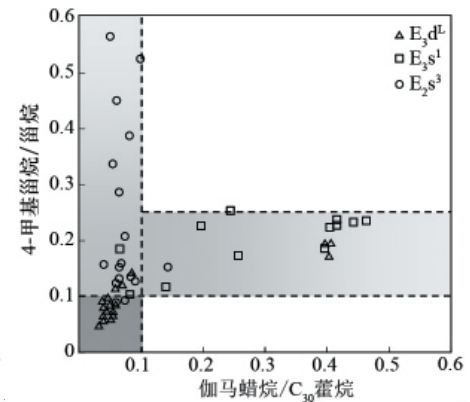


图 4 黄河口三套烃源层样品伽马蜡烷/C₃₀ 藿烷、4-甲基甾烷/规则甾烷比值分布图

Fig. 4 Gammacerane/C₃₀ Hopane, 4-Methyl Steranes/Steranes distribution of 3 source rock samples of YRM sag

表 1 黄河口凹陷湖盆特征和地球化学特征表
Table 1 Lacustrine and geochemical characteristics of YRM sag

特征及参数	层位		
	沙河街三段	沙河街一段	东营组下段
盆地充填样式	平衡充填	欠充填	过充填
构造活动幕	裂陷 II 幕	裂后热沉降	裂陷 III 幕
古气候	亚热带	热带—亚热带	温带
	潮湿	半湿润	半湿润
沉积环境	深湖相	陆相—滨浅湖	河湖交互相
沉积速率/(m·Ma ⁻¹)	232	45	165~252
烃源岩岩性	泥岩	泥岩	泥岩
	钙质泥岩	油页岩	
	油页岩	灰岩	
水介质条件	淡水—半咸化	咸化	淡水
有机质类型	干酪根 II _A , II _B , 主体 II _A	干酪根 II _A , II _B , 主体 II _A 见 III	干酪根 II _A , II _B
有机碳含量(平均值)/%	0.33~9.19(2.66)	0.11~2.67(0.88)	0.42~1.95(1.115)
氢指数(平均值)/(mg·g ⁻¹)	49~12527(3789)	38~1612(497)	41~1046(404)
烃源岩级别	好	好	中~好
姥植比	1.4~2.0	1.2~1.5	>2.0
伽马蜡烷/C ₃₀ 藿烷	<0.15	<0.15	<0.10
4-甲基甾烷/甾烷	>0.15	0.15~0.25	<0.15

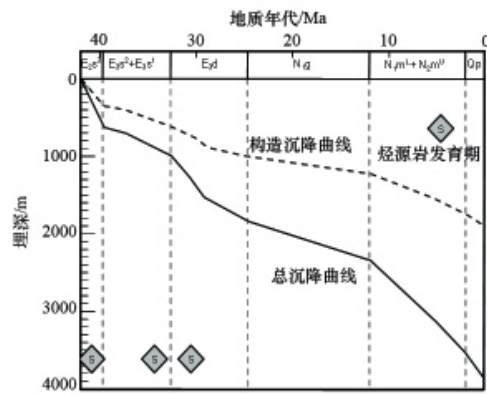


图 5 黄河口凹陷虚拟井基底沉降和构造沉降史
Fig. 5 History of basement subsidence and tectonic subsidence of pseudo-well in YRM sag

育具有重要的控制作用,同时快速沉降也为湖盆提供较大的可容空间,半深水—深水湖相沉积环境有利于有机质的保存。

气候周期性变化引起湖平面、沉积物供给和沉积物类型的变化,从而控制湖盆沉积充填样式和层序的发育演化^[4]。碎屑沉积物成分主要由源区的母岩组成、气候条件以及区域的古地貌特征共同决定^[12-13],Weltje 等^[14]认为气候是物源条件的主要控制因素。古气候恢复研究中孢粉组合较好地指示了古环境的温度和湿度,前人对研究区的古气候条件做了大量工

作,本文引用前人部分成果^[9-10],综合分析烃源岩的有机质丰度、类型,古近系的 3 个烃源岩发育期气候皆为较湿润,也为藻类勃发阶段,而沙二段沉积期气候炎热干旱,盆广水浅,烃源岩有机质丰度较差(图 2)。

通过以上对构造沉降和古气候的分析,参照文献[5]分类,沙三段沉积期较强的构造沉降使湖盆可容空间增大,同时气候潮湿,物源充填和水供应充足,砂质与泥质沉积物堆积叠置,发育以扇三角洲—深湖相的平衡充填样式为主,此时有机质丰度高、类型好、烃源岩较发育。沙二段沉积期沉降速率降低,炎热干燥,藻类化石含量和有机碳含量都较低,发育河流和滨浅湖沉积体系,有机质丰度较低,类型非均质强;继而沙一段沉积期喜温类和湿生类孢粉开始显著增多,构造沉降有所加强,湖盆可融空间增大,物源供应不足,发育以薄层灰岩和白云岩为主的滨浅湖相和深灰色泥岩夹油页岩的深湖相,有机碳含量明显增高,具有典型欠充填湖盆特征。东下段沉积期构造沉降加速,此时期孢粉中湿生/干生比值特征指示湿度不断增大,喜热/喜温比的变化特征指示温度不断降低,总体反映了较湿润的气候,凹陷呈现出自平衡充填样式到过充填样式的过渡。因此,从湖盆的演化与烃源岩的关系及上文中烃源岩的地球化学特征综合分析,可以得出湖盆类型与烃源岩发育的关系(表 1)。

3.2 古生产力与保存条件对湖相烃源岩形成的控制作用

1983—1985 年,由伦敦地质学会组织的“海相油源岩”和“湖相油源岩”两次国际讨论会上,表层水的高生产力、底层

水的缺氧环境二者对烃源岩形成的重要作用成为专家争论的话题。3.1节分析了构造沉降和古气候控制了烃源岩发育, 吴国璋等^[15]认为就烃源形成条件而言, 最具意义的是表层水高生产力和因湖水分层而引起的湖底贫氧环境。湖泊营养物质来源于河水, 在温暖湿润的气候条件下, 河水携带大量的陆源高等植物碎屑、矿物进入湖区水域, 引发浮游生物勃发, 现代湖泊(东非 Bogoria 湖)的调查表明, 咸水湖依靠营养元素

的高含量可造成高生产力。3.1节分析表明, 古近系沉积期较湿润气候皆有藻类频繁勃发(图 2), 而且相应的指示了湖泊较高生产力微量元素 Ba, Sr 含量较高(图 6)。前人研究表明该凹陷在 3 套烃源岩发育期气候潮湿温暖, 营养物质供应充足。因此认为古生产力不是影响该研究区烃源岩的主要因素, 恰恰有机质的保存条件最为重要。

无论是断陷盆地还是坳陷盆地, 有机质丰度高的烃源岩

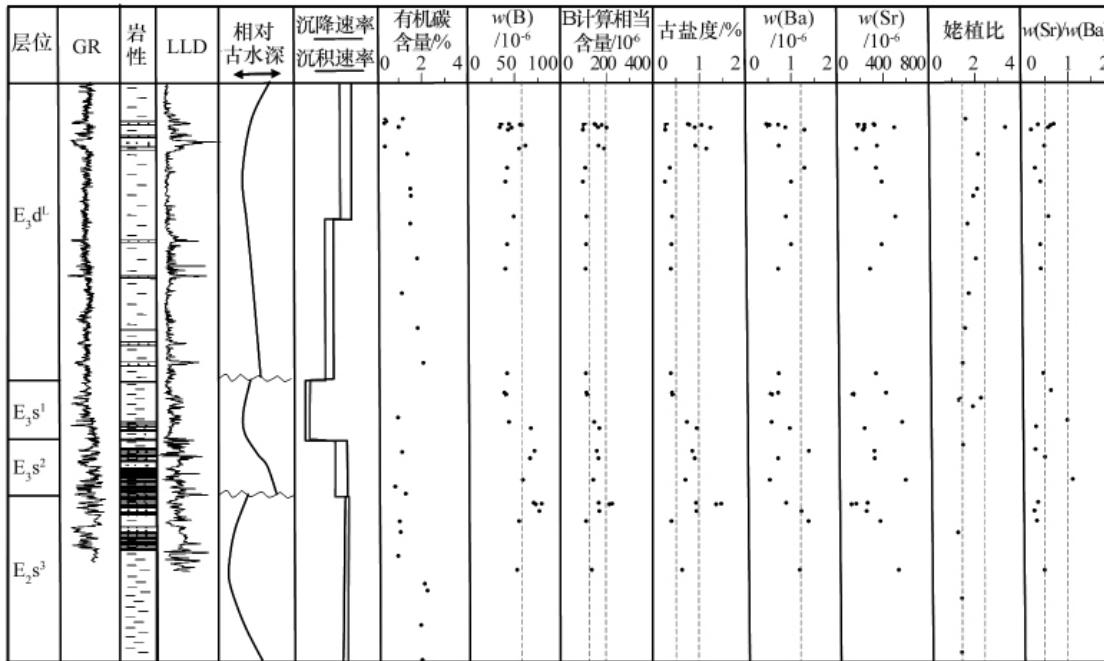


图 6 黄河口凹陷沉积环境综合柱状图

Fig. 6 Comprehensive column diagram of depositional environmental characteristics of YRM sag

均不同程度地与湖泊咸化有关, 湖水的盐度也随着湖盆类型的变化而变化(表 2, 图 6), 咸化湖盆盐跃层或温跃层结构是有机质堆积和保存的重要条件^[16], 湖盆具有足够的深度, 温度差异形成温跃层。恢复古湖泊的盐度, 较常用的微量元素法有锶钡法、锶钙法和硼元素法等。微量元素硼对盐度的反映很敏感, 收集的数据中硼元素试验数据较系统, 故采用沃克(Walker)法^[18]计算硼元素的相当含量, 进而利用校正图版和 Adams^[19]得出的回归方程 $Y=0.977X-7.043$ (式中, Y 为水介质的古盐度(0.1%), X 为黏土岩中的硼计算相当含量(10^{-6})), 计算得出 3 套烃源岩形成时期的水介质盐度。图 7 和表 2 表明, 沙三段沉积期, 硼含量 $w(B)$ 为 $(54-78) \times 10^{-6}$, 硼计算相当含量平均为 191×10^{-6} , 古盐度平均值为 0.818%, 该沉积期晚期由淡水演化为半咸水, 古湖泊呈半咸化趋势。而且此时湖盆封闭, 受外水流影响较小, 为深湖—半深湖沉积体系, 形成由湖水和湖介质盐度共同作用的湖水分层; 因此构造和气候控制下的古生产力和保存条件最佳耦合, 必然烃源岩生烃潜力最高。沙二段和沙一段沉积期早期略咸化, $w(B)$ 为 $(46-74) \times 10^{-6}$, 平均为 67.7×10^{-6} , 硼计算相当含量平均为 209.7×10^{-6} , 古

盐度平均为 0.909%, 最大为 1.484%, 为半咸水环境, 且藻类化石含量少, 初始湖泊生产力较低; 湖盆中出现薄球藻、棒球藻^[10], 反映水浅、稳定和水流不畅的沉积环境, 具有较强的还原条件半咸水环境, 有机质丰度相对沙三段烃源岩低, 生烃潜力中等(表 1), 非均质性强。东下段沉积期 $w(B)$ 为 $(41-64) \times 10^{-6}$, 硼计算相当含量平均为 170×10^{-6} , 古盐度平均为 0.597%, 早期为淡水环境, 晚期有所咸化, 湖盆继承性湖侵, 水和沉积物补给充足, Ba 元素体现了高的生产力, 但此时期表现为弱氧化—弱还原环境(姥植比 > 2.0), 有机质丰度逐渐降低, 仅早期均衡充填条件下有机质丰度较高。

综上所述, 优质烃源岩的形成不是单一因素控制的, 需要构造沉降、湿润气候、高生产力和保存条件等各控制因素最佳匹配。构造和气候控制下不同充填样式的湖盆具有特殊的成因类型和油气组合意义, 盆地充填的不同阶段发育不同成因特征的烃源岩, 因此陆相断陷湖盆烃源岩存在强烈的非均质性^[5-6, 20]。Bohacs 等^[21]相继提出层序地层地球化学或地球化学层序地层学的概念, 研究基于层序地层格架的烃源岩分布及其地球化学特征, 进一步评价烃源岩的成因与非均质性。

表2 黄河口凹陷微量元素数据和古盐度分析结果
Table 2 Analysis results of paleosalinity and trace element datas in YRM sag

层位	井号	深度/m	w(Ba) /10 ⁻⁶	w(Sr) /10 ⁻⁶	w(Sr) /w(Ba)	w(B) /10 ⁻⁶	w(K ₂ O)	B 计算相当 含量/10 ⁻⁶	校正 B 含量/10 ⁻⁶	古盐度 /(0.1%)
E ₃ d ¹	BZ34-2-3D	3180	873	452	0.52	64	2.11	257.82	190	11.52
	BZ34-2-3D	3181	440	208	0.47	60	2.19	232.88	175	10.05
	BZ34-2-2D	3310	3510	530	0.15	45	2.37	161.39	125	5.17
	BZ34-2-3D	3240	560	350	0.63	41	2.74	127.19	104	3.12
	BZ34-2-3D	3330	460	220	0.48	41	2.74	127.19	104	3.12
	BZ34-2-2D	3385	1130	290	0.26	45	2.89	132.35	108	3.51
	BZ34-2-3D	3430	710	420	0.59	41	2.44	142.83	113	4.00
E ₃ s ¹	BZ34-2-3D	3527	1360	276	0.20	76	3.19	202.51	165	9.08
	BZ34-2-2D	3420	720	430	0.60	40	2.30	147.83	115	4.19
	BZ34-2-2D	3505	976	241	0.25	69	2.71	216.42	170	9.57
	BZ34-2-3D	3530	690	310	0.45	46	2.99	130.77	107	3.41
	BZ34-2-2D	3568	1400	328	0.23	73	3.13	198.24	160	8.59
	BZ34-2-2D	3592	722	332	0.46	68	2.78	207.91	165	9.08
E ₃ s ¹	BZ34-2-3D	3615	1220	480	0.39	58	3.26	151.23	126	5.27
	BZ34-2-3D	3615	1170	269	0.23	76	3.10	208.39	170	9.57
	BZ34-2-2D	3660	540	600	1.11	60	2.89	176.47	144	7.03
	BZ34-2-2D	3718	895	269	0.30	72	2.89	211.76	168	9.37
	BZ34-2-2D	3720	—	170	—	81	2.26	304.65	224	14.84
	BZ34-2-2D	3720	—	130	—	74	2.16	291.2	213	13.77
E ₂ s ³	BZ34-2-2D	3730	1230	261	0.21	78	3.22	205.90	169.0	9.47
	BZ34-2-3D	3682	1330	313	0.24	76	3.30	195.76	161.5	8.74
	BZ34-2-2D	3815	1200	540	0.45	54	2.68	171.27	137.0	6.34

4 结论

根据黄河口凹陷3套源岩地球化学特征表明,沙河街组(E₂s³和E₃s¹)烃源岩有机质丰度高,有机质类型以II_A和II_B型为主,少量为III型,沙三段烃源岩较沙一段烃源岩丰度高,生烃潜力较大;东下段有机质丰度中—好,由早期到晚期依次变差,有机质类型为II_A和II_B型,整体偏向II_B型。

通过分析黄河口凹陷沉降史、古生物、微量元素、生物标记物特征,剖析了烃源岩发育的主控因素;构造和气候不仅控制了湖泊的充填类型,还控制了烃源岩的品质和分布。沙三段沉积期构造沉降迅速,气候炎热潮湿,发育平衡充填湖盆样式,且古生产力高,形成半深湖—深湖和偏咸化环境,有利于烃源岩的保存,发育生烃潜力较高的烃源岩。沙一段沉积期构造沉降减缓,气温逐渐降低,水介质半咸化,物源供应少,发育滨浅湖、局部半深湖相,发育欠充填湖盆样式,烃源岩非均质性较强。东下段沉积期降积再次加速,气候温暖潮湿,物源供应充足,典型淡水环境,广泛发育深湖—半深湖相,有机碳丰度在垂向上具有强非均质,底部烃源岩中等,部分烃源岩品质差或为非烃源岩。

参考文献 (References)

- [1] 林畅松, 李思田, 任建业. 断陷湖盆层序地层学研究和计算机模拟[J]. 地学前缘, 1995, 2(3): 124-132.
Lin Changsong, Li Sitian, Ren Jianye. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(3): 124-132.
- [2] Lambias J J. A model of tectonic control of lacustrine stratigraphic sequences in continental rife basins [M]//Barry J K. Lacustrine Basin Exploration: Case Study and Moden Analysis. Tulsa: American Association of Petroleum Geologist, 1991: 137-149.
- [3] Tecker U, Stridtmann J R, Smithson S B. A conceptual tectonostratigraphic model for seismic facies migration in a fluvio-facustrine extensional basin[J]. *AAPG Bull*, 1999, 83(1): 43-61.
- [4] Carroll A R. Stratigraphic classification of ancient lakes: Balancing tectonic and climatic controls[J]. *Geology*, 1999, 27(2): 99-102.
- [5] Carroll A R, Bohacs K M. Lake type controls on petroleum source rock potential in nonmarine basin[J]. *AAPG Bull*, 2001, 85(6): 1033-1053.
- [6] 金强. 有效烃源岩的重要性及其研究 [J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(1): 1-4.
Jin Qiang. *Oil & Gas Recovery Techninology*, 2001, 8(1): 1-4.
- [7] 孔庆莹, 邹华耀, 胡艳飞, 等. 黄河口凹陷古近系烃源岩的地球化学特

- 征[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2009, 24(2): 5-8.
Kong Qingying, Zou Huayao, Hu Yanfei, et al. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2009, 24(2): 5-8.
- [8] 张如才, 彭文绪, 王德英, 等. 黄河口凹陷油气资源评价与有利区预测[J]. 海洋石油, 2009, 29(2): 10-16.
Zhang Rucai, Peng Wenxu, Wang Deying, et al. *Offshore Oil*, 2009, 29(2): 10-16.
- [9] 刘占红. 黄河口凹陷层序地层与旋回地层研究及烃源岩形成条件分析[D]. 北京: 中国地质大学, 2007.
Liu Zhanhong. Sequence stratigraphy, cyclostratigraphy and the forming conditions of hydrocarbon source rocks in Huanghekou depression[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2007.
- [10] 刘占红, 李思田, 辛仁臣, 等. 地层记录中的古气候信息及其与烃源岩发育的相关性—以渤海黄河口凹陷古近系为例[J]. 地质通报, 2007, 26(7): 830-840.
Liu Zhanhong, Li Sitian, Xin Renchen, et al. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(7): 830-840.
- [11] 蔡雄飞. 古气候是盆地分析不可缺少的因素 [J]. 岩相古地理, 1994, 14(2): 42-46.
Cai Xiongfei. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1994, 14(2): 42-46.
- [12] 刘传联, 徐金鲤. 生油古湖泊生产力的估算方法及应用实例[J]. 沉积学报, 2002, 20(1): 144-150.
Liu Chuanlian, Xu Jinli. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(1): 144-150.
- [13] Perlmutter M A, Plotnick R E. Hemispheric asymmetry of the marine stratigraphic record: Conceptual proof of a unipolar ice cap[C]//Climate Controls on Stratigraphy. New York: Geological Society of America, 2003.
- [14] Weltje G J, Meijer X D, De Boer P L. Stratigraphic inversion of siliciclastic basin fills: a note on the distinction between supply signals resulting from tectonic and climatic forcing [J]. *Basin Research*, 1998(10): 129-153.
- [15] 吴国暄, 朱伟林, 黎明碧, 等. 古湖缺氧条件是控制富生油凹陷形成的重要因素——来自珠江口盆地的证据 [J]. 中国海上油气: 地质, 1999, 13(1): 1-5.
Wu Guoxuan, Zhu Weilin, Li Mingbi, et al. *China Offshore Oil and Gas: Geology*, 1999, 13(1): 1-5.
- [16] Fang H, Zhou X H, Zhu Y M, et al. Charging of the Neogene Penglai 19-3 field, Bohai Bay Basin, China: Oil accumulation in a young trap in an active fault zone[J]. *AAPG Bull*, 2009, 93(2): 155-179.
- [17] 金强, 查明. 柴达木盆地西部第三系蒸发岩与生油岩共生沉积作用研究[J]. 地质科学, 2000, 35(4): 465-473.
Ji Qiang, Zha Ming. *Scientia Geologica Sinica*, 2000, 35(4): 465-473.
- [18] Walker C T, Price N B. Departure curves for computing paleosalinity from boron in illites and shales[J]. *AAPG Bull*, 1963, 47(5): 837-841.
- [19] Adams T D, Haynes J R, Walker C T. Boron in Holocene illites of the dovey estuary, Wales, and its relationship to paleosalinity in cyclothem [J]. *Sedimentology*, 1965(4): 189-195.
- [20] 朱光有, 金强. 烃源岩的非均质性及其研究——以东营凹陷牛 38 井为例[J]. 石油学报, 2002, 23(5): 34-39.
Zhu Guangyou, Jin Qiang. *Acta Petrolei Sinica*, 2002, 23(5): 34-39.
- [21] Bohacs K M, Carroll A R, Mankiewicz J E. Lake-basin type, source potential, and hydrocarbon character: An integrated sequence - stratigraphic - geochemical framework [M]//Gierlowski -Kordesch E H, Kelts K R. Lake Basins Through Space and Time. Tulsa: American Association of Petroleum Geologist, 2000: 3-34.

(责任编辑 刘志远)

·学术动态·



“第 37 届国际高效液相色谱和相关技术会议及 仪器展览会”征文

中国化学会将于 2011 年 10 月 9—13 日在大连召开“第 37 届国际高效液相色谱和相关技术会议及仪器展览会”。

征文内容包括分离科学原理;理论模型;数据分析;液相分离技术的研究进展;塔技术和固定相;整体柱和小颗粒超压和高温色谱法;微型分离和微全分析系统;微流控、芯片和纳米技术;微型检测、电分离技术;毛细管电泳样品制备方法;联用分离: LC-MS, CE-MS, LC-NMR 和其他联用技术;多维分离技术;仪器仪表及检测方法;在生命科学和药物发现的应用;代谢组学、蛋白质组学、糖组学;生物标志物的发现和验证;临床、法医和毒理分析;医药分离和分析;药物滥用和兴奋剂分析;天然产物分析;中医分析;其他方面的应用:食品安全,环境与农业分析,手性分离,聚合物分析,寡核苷酸分离。

地址:大连市中山路 457 号(116023),侯晓莉;电话:13704092526,0411-84379520;传真:0411-84379559;电子信箱: hplc_dalian@dicp.ac.cn。