

文章编号:1673-5005(2009)05-0023-07

渤海湾盆地南堡凹陷古近系烃源岩有机相特征

赵彦德¹, 刘洛夫¹, 王旭东², 艾天杰³, 张枝焕¹, 梅 玲¹, 李 燕¹

(1. 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249; 2. 中国石油冀东油田 勘探开发研究院, 河北 唐山 063004;
3. 中国矿业大学 资源与安全工程学院, 北京 100083)

摘要:根据烃源岩地球化学特征, 结合有机岩石学、沉积学特征, 对南堡凹陷古近系烃源岩有机相进行了综合研究。结果表明, 南堡凹陷古近系分布有藻源相、含植源藻源相、含藻源植源相和植源相等不同类型的有机相, 有机相类型对烃源岩的生烃条件与有效烃源岩的分布特征具有显著的控制作用: 半深湖-深湖藻源相和半深湖-浅湖含植源藻源相富含生烃组分, 是南堡凹陷最有利于生烃的有机相; 浅湖-三角洲含藻源植源相是在弱氧化-还原环境下形成的陆源高等植物和水生生物的混源相; 以陆源高等植物为母质的植源相是生烃能力差的有机相带。

关键词:有机相; 烃源岩; 古近系; 南堡凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE 122.1

文献标识码: A

Characteristics of organic facies of Eocene hydrocarbon source rocks in Nanpu sag, Bohai Bay Basin

ZHAO Yan-de¹, LIU Luo-fu¹, WANG Xu-dong², AI Tian-jie³, ZHANG Zhi-huan¹, MEI Ling¹, LI Yan¹

(1. School of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
2. Exploration and Development Research Institute of Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan 063004, China;
3. School of Resource and Safety Engineering in China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: Combined with organic petrology and sedimentology characteristics, the organic facies of the source rocks were comprehensively studied according to the geochemistry characteristics. The results show that the zones of the most important source rocks are distributed in the algal, floral-algal, algal-floral and floral facies. The development and distribution of source rocks are controlled by different types of organic facies. The excellent source rocks in the Nanpu sag were developed in the algal organic facies of deep lake-semideep lake and the floral-algal organic facies of semideep lake-shallow lake. The organic matters, which were deposited in a weakly oxidative and reducing environments, were developed in the organic facies of algal-floral organic inputs of the shallow lake and delta. This type of organic facies is chaotic facies of higher plant and aquatic organism, it is also good at generating the hydrocarbons. The relatively poor source rocks were deposited in the floral organic facies, which parent material was higher plant of land sources.

Key words: organic facies; source rocks; Eocene; Nanpu sag; Bohai Bay Basin

Rogers 认为有机相是从成因上认识烃源岩特征与展布的途径^[1-2]。Jones 等强调有机相是空间上具有相同有机质特征的特定沉积体, 并建立了 7 种有机相类型^[3-4]。有机相在油气勘探中主要用于评价烃源层^[5], 获得烃源岩沉积体的油气生成条件及其在盆地充填序列中的空间展布特征^[6-10]。南堡凹陷是黄骅坳陷北部一个小型的含油气构造单元, 是在

华北地台基底上, 经中、新生代块断运动而发育起来的一个中新界北断南超、东断西超的复合箕状凹陷。凹陷内发育拾场、林雀、柳南和曹妃甸 4 个次凹。凹陷内新生界厚度大、分布范围广, 古近系断拗期发育了巨厚的湖相暗色泥质沉积, 成熟暗色泥岩最大厚度为 1.5 ~ 1.7 km。古近纪沙三段沉积时期

收稿日期: 2009-03-10

基金项目: 中国石油大学(北京)与冀东油田公司合作研究项目(JDYJ-2006-JS-0026)

作者简介: 赵彦德(1973-), 男(汉族), 甘肃肃凉人, 博士研究生, 主要从事沉积学与有机地球化学方面研究。

柏各庄断层强烈活动,形成以深湖和半深湖相泥岩沉积为主的拾场次凹和柳南次凹,构成两个生油中心,主力生油层为沙三段中、下部的深湖相泥岩,生油层厚度达0.3~0.5 km。古近系晚期高柳断层活动强烈,沙一段至东营组沉积中心南移至林雀、曹妃甸地区,主力生油层位为沙一段、东三段,生油岩厚度达0.3~0.65 km。但是,目前对上述各层系烃源岩有机相特征的研究相对薄弱。笔者对南堡凹陷烃源岩进行研究,探讨凹陷内主力烃源岩有机相分布特征及其对烃源岩分布的控制作用。

1 烃源岩有机地球化学特征

1.1 有机质丰度

沉积物中有机碳含量是原始有机质丰度、沉积水体的深度、沉积物的沉积速率及介质的物理化学条件等沉积环境因素的综合反映^[11]。根据南堡凹陷烃源岩样品有机碳分析,东三段、沙一段和沙三段四、五亚段有机碳含量较高,平均值分别为0.92%,1.01%,2.42%和1.03%,生烃潜量分别为2.57,2.37,12.11和3.23 mg/g,有机质丰度较高,为南堡凹陷主要烃源岩层。沙三段四亚段有机质丰度高,生烃潜力大,为南堡凹陷优质烃源岩。结合沉积相分析^[12-13],这些层段烃源岩主要发育于以三角洲和湖泊为主的沉积环境。这与张振英^[14]等认为的深湖相、前三角洲—浅湖相、湖泊三角洲前缘烃源岩有机质丰度较高,特别是深湖相烃源岩为好的烃源岩的结论相一致。

1.2 有机质类型

有机质类型的评价取决于有机质富氢组分和生烃能力。干酪根是沉积有机质的主体,因此干酪根类型基本上可反映出有机质类型。南堡凹陷古近系各层位烃源岩中有机质元素组成分布较分散,各种有机质类型均较多,具体到每一个层位则又相对集中(图1)。东三段有机质类型主要以Ⅱ₁型为主,同时也有少量Ⅰ型和Ⅲ型有机质;沙一段有机质类型主要以Ⅱ₁和Ⅱ₂型为主;沙三段四、五亚段以Ⅱ₁型有机质为主,也有部分Ⅰ型有机质。东一段、东二段和沙三段一至三亚段有机质类型主要以Ⅱ₂型和Ⅲ型为主。

干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 可以反映干酪根的性质和生源构成。来源于陆生高等植物的Ⅲ型干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 值较高, $\delta^{13}\text{C}$ 大于-25.5‰,而来源于水生生物的Ⅰ型干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 值则较低,一般小于-28.0‰^[15-16]。南堡凹陷古近系各层段干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-29.38‰~

-22.22‰,表明其生源母质具有高等植物和水生生物的混合来源。东三段 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-29.70‰~-23.48‰,平均值为-26.41‰;沙一段 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-26.79‰~-24.80‰,平均值为-25.60‰;沙三段四、五亚段 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-28.20‰~-24.51‰,平均值为-25.87‰。东三段有机质类型较好, $\delta^{13}\text{C}$ 的值较低,沙三段四、五亚段 $\delta^{13}\text{C}$ 较高,仍是好的有机质类型,原因是它埋藏深,干酪根演化程度高,经历了热降解大量生油阶段,同位素分馏效应显著。

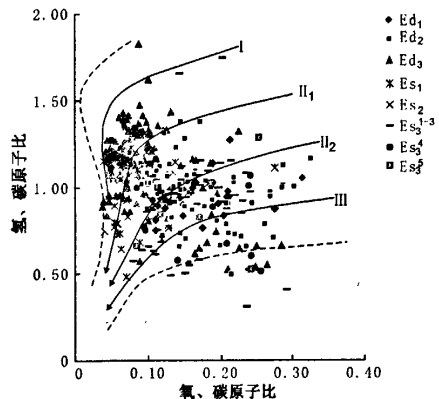


图1 古近系烃源岩有机质类型

Fig. 1 Organic matter type of Eogene source rocks in Nanpu sag

氢指数 I_H 是判定有机质类型的重要参数,氢指数越大,有机质类型越好。南堡凹陷古近系烃源岩氢指数相对较低,东三段氢指数为18~750,平均为270,氢指数大于350的样品占东三段总样品的29%,主要为Ⅱ₂和Ⅱ₁型干酪根,含部分Ⅰ型;沙一段氢指数为11~648,平均为193,有机质类型主要为Ⅱ₂和Ⅲ型,含部分Ⅱ₁型和少量Ⅰ型;沙三段四、五亚段氢指数为11~738,平均为286,氢指数大于350的样品占该段总样品的37%,有机质类型主要为Ⅱ₁和Ⅱ₂型,含部分Ⅰ型。

1.3 有机质成熟度

南堡凹陷烃源岩沙河街组有机质演化程度较高。沙三段五亚段成熟度(R_o)为0.58%~1.56%,平均值为0.88%,部分样品 R_o 大于1.3%,处于成熟—高成熟阶段;沙三段四亚段 R_o 为0.53%~1.26%,平均值为0.82%,处于成熟阶段;沙一段 R_o 为0.5%~1.28%,平均值为0.80%,处于成熟阶段;东营组烃源岩成熟度低于沙河街组,东三段 R_o 为0.41%~1.28%,平均值为0.71%,处于低成熟—成熟阶段。东一段和东二段成熟度低,处于未成熟—低成熟阶段。

1.4 有机质沉积的地球化学环境

微量元素硼(B)的含量、硼与镓($w(B)/w(Ga)$)和锶与钡($w(Sr)/w(Ba)$)的含量比值常用来作为区分淡水和咸水沉积的参数^[7],如南堡凹陷东三段烃源岩 $w(B)$ 为 $75 \sim 120 \times 10^{-6}$,均值为 98×10^{-6} , $w(B)/w(Ga)$ 值为 $2.0 \sim 3.0$,平均值为 2.5 , $w(Sr)/w(Ba)$ 值为 $0.01 \sim 0.40$,平均值为 0.13 ,各段微量元素参数见表1。结果表明,东三段、沙一段和沙三段烃源岩沉积时水体呈现出微咸的淡水沉积特征。东三段和沙一段烃源岩B含量相对较高,可能与黏土矿物的吸附以及沉积时期物源区含火山沉积物有关。

元素含量 $w(V)/w(V+Ni)$ 值可反映沉积水体的氧化还原环境。高比值(大于0.84)反映水体分层及底层水体中出现 H_2S 的厌氧环境;中等比值($0.54 \sim 0.72$)为水体分层不强的厌氧环境;低比值(小于 $0.46 \sim 0.60$)为水体分层弱的贫氧环境^[11,17]。南堡凹陷古近系东三段烃源岩 $w(V)/w(V+Ni)$ 值为 $0.48 \sim 0.80$,平均值为 0.69 ;沙河街组沙一段

烃源岩 $w(V)/w(V+Ni)$ 值为 $0.47 \sim 0.80$,平均值为 0.67 。表明东三段和沙一段烃源岩沉积时以水体分层较弱的厌氧环境为主。沙河街组沙三段烃源岩 $w(V)/w(V+Ni)$ 值为 $0.22 \sim 0.93$,平均值为 0.74 。表明沙三段沉积物沉积时以水体分层相对较强厌氧环境为主。

硫是沉积成岩过程中生物化学作用的重要标志,是沉积岩中较丰富的元素, S^{2-} 的百分含量可以有效地确定沉积岩沉积时的氧化还原环境,强还原环境其含量大于 0.8% ,氧化环境小于 0.2% ,弱还原环境和还原环境分别为 $0.2\% \sim 0.4\%$ 和 $0.4\% \sim 0.8\%$ ^[7]。纵向上,南堡凹陷东三段、沙一段、沙三段四、五亚段 S^{2-} 的值接近或大于 0.2% (表1),表现为弱还原-还原环境,其他层段均小于 0.2% ,呈现氧化环境的特征。横向上,从样品分布的井位分析,靠近洼陷和沉积中心,其还原硫含量较大,反映了湖泊沉积时水体由浅变深,环境也由氧化相逐渐向还原相渐变的过程。

表 1 南堡凹陷古近系烃源岩沉积环境参数

Table 1 Parameters of sedimentary environment of Eogene source rocks in Nanpu sag

特征分类	Ed ₃	Es ₁	Es ₃ ^{4,5}
岩性特征	灰色砾岩、含砾砂岩夹灰色泥岩	灰白色、浅灰色砂砾岩、细砂岩、粉砂岩与浅灰色、深灰色泥岩呈不等厚互层,在高堡地区发育有一定程度的生物灰岩。	以灰色、深灰色、灰黑色泥岩、油页岩为主,夹有薄层砂岩。
沉积环境	半深湖	半深湖-浅湖	半深湖-浅湖
盐度特征	微咸水-淡水	微咸水-淡水	淡水
水体环境	还原-弱氧化	弱还原-弱氧化	还原
B	75~120/98(2)	115(1)	15~120/42(8)
w(B)/w(Ga)	2.0~3.0/2.5(2)	2.50(1)	2.40~3.40/2.90(2)
w(Sr)/w(Ba)	0.01~0.40/0.13(6)	0.6(1)	0.14~0.45/0.25(30)
S ²⁻	0.01~0.70/0.19(164)	0.01~1.47/0.13(86)	0.01~0.67/0.23(89)
w(V)/w(V+Ni)	0.48~0.80/0.69(78)	0.47~0.80/0.67(34)	0.22~0.93/0.72(49)
w(Pr)/w(Ph)	0.76~3.64/1.33(16)	0.83~2.76/1.43(19)	0.51~1.91/1.07(15)

注:括号内数字为样品个数。

高姥植比 $w(Pr)/w(Ph)$ (大于3.0)指示为氧化条件下陆源有机质的输入,而低比值(小于0.8)则指示为典型缺氧条件,通常为高盐或碳酸盐岩环境^[18-21]。沙三段四、五亚段 $w(Pr)/w(Ph)$ 接近于1(表1),表明其沉积为还原环境;沙一段呈现出弱还原-弱氧化的沉积环境;东三段为还原-弱氧化环境。

2 烃源岩有机岩石学特征

南堡凹陷古近系烃源岩有机显微组分主要有镜质组、惰质组和壳质组以及大量矿物沥青基质。东三段、沙一段和沙三段壳质组和矿物沥青基质在全

岩中的百分含量明显高于其他各亚段(图2)。壳质体组成较复杂,既有来源于高等植物的孢子体、角质体和树脂体等,又有来源于藻类微生物的藻类体。沙三段四亚段壳质组在全岩中的质量分数平均为 10.52% ,最高达 33.3% ;东三段、沙一段和沙三段四亚段壳质组藻类体平均分别为 4.19% , 3.61% 和 5.28% ,沙三段四亚段最高达 20.50% 。

矿物沥青基质广泛分布于暗色泥岩、炭质泥岩中,具有重要的生烃意义。矿物沥青基质中有机质在干酪根中均呈无定形体形式存在,在未成熟-成熟阶段,其类型可以根据生烃能力和荧光特征划分为

腐泥矿物沥青基质(或腐泥无定形)和腐殖矿物沥青基质(或腐殖无定形),一般发亮黄绿色荧光或黄-暗黄荧光者与藻类来源有关,为腐泥无定形,生烃能力极强,属腐泥组;呈褐黄-褐红色荧光或基本不发荧光者则可能与高等植物的生物降解或细菌改造有关,为腐殖无定形,生烃能力较弱^[22]。研究区古近系沉积时期,主要为微咸化的淡水湖泊,矿物沥青基质在其半咸和微咸化的湖相页岩和油页岩中为腐泥矿物沥青基质或腐泥无定形。东三段、沙一段和沙三段矿物沥青基质在全岩中质量分数分别为12.68%,5.59%和6.03%,最大值分别为24.50%,18.90%和17.80%,东营组矿物沥青基质质量分数相对高于沙河街组,这与东营组有机质热演化程度低于沙河街组有关。

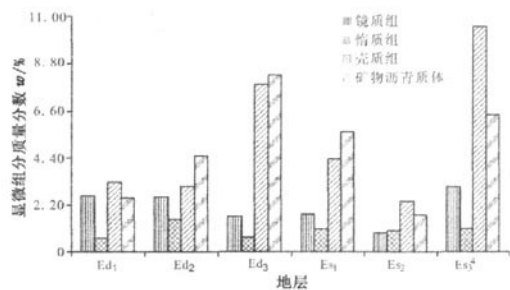


图2 古近系烃源岩有机显微组分相对含量

Fig.2 Relative content of organic macerals of Eocene source rocks

3 有机相类型和分布特征

根据对南堡凹陷烃源岩沉积学特征、有机地球化学特征和有机岩石学特征的分析,结合前人有机相研究成果^[1,5,22-27],笔者将研究区有机相划分为4种类型。

3.1 藻源相

这类有机相发育在深湖一半深湖区,暗色泥岩发育,源岩沉积环境属于还原环境下的间歇性闭塞半深湖-深湖相。有机质显微组分主要为壳质组和矿物沥青基质,干酪根类型好,为I型和II₁型;可溶有机质组分中,饱和烃含量高, $w(\text{饱和烃})/w(\text{芳烃})$ 均值大于3; $w(nC_{21} + nC_{22})/w(nC_{28} + nC_{29})$ 和 $w(C_{21}^-)/w(C_{22}^+)$ 相对较高; $w(C_{29}\text{藿烷})/w(C_{30}\text{藿烷})$ 小于0.5, $w(\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}\text{甾烷}) > w(\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}\text{甾烷})$,伽马蜡烷丰度相对较高,有机质母质呈现出以水生生物藻类为主,含少量陆源物质的特征; R_o 大于0.8%,有机质处于成熟演化阶段,有机碳含量

大于2.0%,生烃潜量超过6 mg/g。深湖-半深湖藻源相是有机质类型最好、有机质丰度高、且已经相当成熟的源岩有机相带。该相带主要发育在沙三四、五亚段、沙一段和东三段。由于受控于区域断裂活动,沙三段底部的四、五亚段以柳赞地区为沉积中心,呈近椭圆状北西向展布,并向西南超覆至高尚堡地区^[28],在沉积中心深洼区形成半深湖-深湖藻源有机相(图3(a))。沙一段沉积时期,受西南庄断层与柏格庄断层的差异升降及高柳断层活动的影响,高柳地区的沉积中心萎缩,在北堡和滩海区沉积中心的洼陷区发育半深湖-深湖藻源有机相(图3(b))。东三段沉积时期沉积中心由北西向东南方向迁移,在林雀次凹和柳南-曹妃甸次凹中心部位发育半深湖-深湖藻源有机相(图3(c))。类似于Jones的A相或AB相。

3.2 含植源藻源相

这类有机相发育在浅湖-半深湖区,暗色泥岩较发育,沉积环境属于远岸开阔湖相,为弱还原环境下的稳定沉积。有机质显微组分壳质组和矿物沥青基质含量较高,干酪根类型较好,为II₁型。可溶有机组分中饱和烃含量较高, $w(\text{饱和烃})/w(\text{芳烃})$ 均值大于2; $w(nC_{21} + nC_{22})/w(nC_{28} + nC_{29})$ 和 $w(C_{21}^-)/w(C_{22}^+)$ 相对较高; $w(C_{29}\text{藿烷})/w(C_{30}\text{藿烷})$ 为0.5~0.6, $w(\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}\text{甾烷}) > w(\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}\text{甾烷})$,伽马蜡烷丰度相对较高,有机质生源母质主要为藻类和无定形,含部分陆源物质的特征; R_o 为0.5%~0.8%,有机质处于低成熟向成熟演化阶段;有机碳含量达到1.5%,生烃潜量达到4.0 mg/g。浅湖-半深湖含植藻源有机相是有机质类型较好、有机丰度较高、生烃潜力较高的源岩有机相带。该相带在全区范围内主要烃源层段均有发育,且沿生烃洼陷的半深湖-浅湖藻源有机相呈环状分布,相带面积较大,是研究区主要有机相带。类似于Jones的B相。

3.3 含藻源植源相

这类有机相发育在滨浅湖、三角洲区,岩性主要为泥岩,属于弱还原-弱氧化环境下的稳定沉积。有机质显微组分镜质组和惰质组较高,干酪根类型为II₂型。可溶有机质组分中饱和烃含量相对较高, $w(\text{饱和烃})/w(\text{芳烃})$ 均值为1.2; $w(nC_{21} + nC_{22})/w(nC_{28} + nC_{29})$ 和 $w(C_{21}^-)/w(C_{22}^+)$ 相对较低; $w(C_{29}\text{藿烷})/w(C_{30}\text{藿烷})$ 为0.6~0.9, $w(\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}\text{甾烷}) < w(\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}\text{甾烷})$, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}\text{甾烷}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}\text{甾烷}$ 和 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}\text{甾烷}$ 呈反“L”型,伽马蜡烷丰度较低,有机质生源母质呈

现出以陆源高等植物为主,含少量藻类物质的特征。 R_o 为 0.5%~0.8%,有机质处于低成熟阶段;有机碳为 0.8%,生烃潜量达到 2.0 mg/g。浅湖-半深湖含植藻源有机相有机质保存条件相对较差,但仍可形成较好的烃源岩,油气兼生,且该相带分布范围广,类似于 Jones 的 C 相。

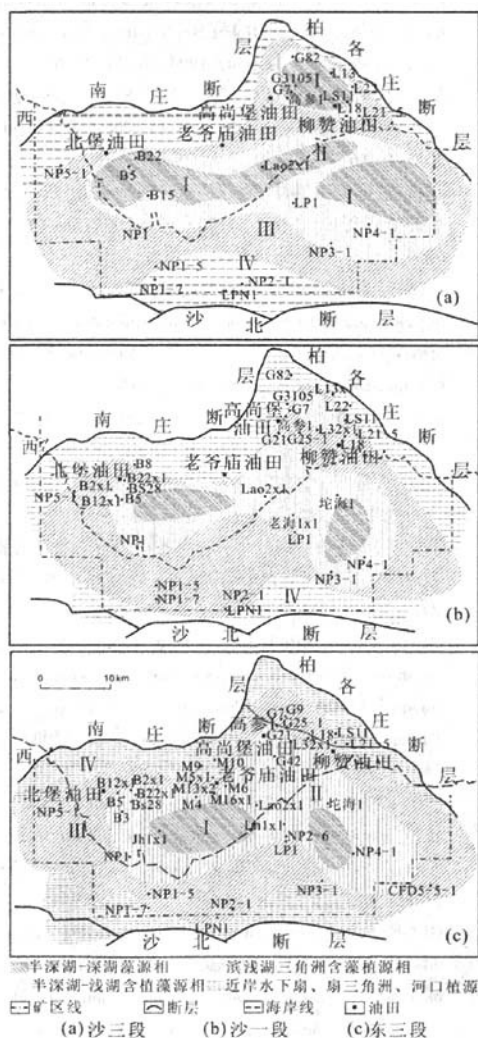


图3 南堡凹陷古近系沙三段、沙一段、东三段有机相图

Fig.3 Organic facies distribution of Es₃ (a), Es₁ (b) and Ed₃ (c) members in Nanpu sag

3.4 植源相

这类有机相主要发育在近岸水下扇、扇三角洲、河口等环境,岩性主要为泥岩和炭质泥岩,属于氧化环境下的沉积。有机质显微组分镜质组和惰质组高,干酪根类型为Ⅲ型。可溶有机质组分中,饱和烃

含量低, $w(\text{饱和烃})/w(\text{芳烃})$ 均值为 0.8, $w(nC_{21} + nC_{22})/w(nC_{28} + nC_{29})$ 和 $w(C_{21}^-)/w(C_{22}^+)$ 值低; $w(C_{29}\text{藿烷})/w(C_{30}\text{藿烷})$ 大于 0.9, $w(\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}\text{甾烷}) < w(\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}\text{甾烷})$, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}\text{甾烷}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}\text{甾烷}$ 和 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}\text{甾烷}$ 呈反“L”型,伽马蜡烷丰度低或者无,有机质生源母质主要为陆源高等植物。 R_o 在 0.5%左右,有机质处于未成熟-低成熟阶段;有机质丰度变化较大,有机碳含量一般小于 0.5%,生烃潜量小于 2.0 mg/g。近岸水下扇、扇三角洲含藻源-植源相生油能力差。该相带东营组较发育,东三段沉积时期在洼陷四周边缘地区和物源入口处发育(图 3(c));东二段沉积以近岸水下扇-深水湖泊型沉积体系组合为主,除两个洼陷中心部位发育面积有限的半深湖-浅湖含植藻源相和滨浅湖、三角洲含藻源植源相外,绝大部分地区发育近岸水下扇、扇三角洲植源相,生油能力有限;东一段沉积时期为东营期的湖泊萎缩期,形成了一套以粗碎屑为主的冲积体系,有机质类型为残余腐殖型,为氧化环境的产物,且处于未成熟阶段,油气藏的形成贡献少或无贡献,为非源岩有机相带。类似于 Jones 的 D 相。

4 结论

(1)研究区古近系分布有藻源相、含植源藻源相、含藻源植源相和植源相等不同类型的有机相,其中藻源相、含植源藻源相带水体为还原和还原-弱氧化环境,有机质保存条件好,有机碳含量高,为最有利的生烃相带。

(2)有机相在垂向上分布控制了烃源岩发育层位。沙三段沉积时期,湖域面积大,水体相对较深,广泛发育藻源相和含植藻源相,其中沙三段四亚段是南堡凹陷古近系优质烃源岩;沙一段和东三段沉积时期藻源相、含植藻源相和含藻植源相在洼陷内分布也较为广泛,生烃能力较强。

(3)有机相带横向上的分布控制了烃源岩的平面展布,从洼陷中心向洼陷周边,有机相带逐渐从藻源相向植源相过渡,有机相带变差,生烃能力减弱;半深湖-深湖藻源相、半深湖-浅湖含植藻源相和滨浅湖-三角洲含藻源植源相分布在沉降中心地带,资源潜力大,其南部斜坡毗邻的南堡滩海构造带具较大的勘探潜力,为目前和今后勘探的重点。

参考文献:

[1] 郝黎明,邵龙义.基于层序地层格架的有机相研究进

- 展[J]. 地质科技情报, 2000, 19(4): 60-64.
- HAO Li-ming, SHAO Long-yi. Study advance of organic facies and its distribution in sequence frame[J]. Geological Science and Technology Information, 2000, 19(4): 60-64.
- [2] 李君文, 陈洪德, 田景春. 沉积有机相的研究现状及其应用[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(6): 96-100.
- LI Jun-wen, CHEN Hong-de, TIAN Jing-chun. Sedimentary organic facies: current research and application[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2004, 24(6): 96-100.
- [3] JONES R W. Organic facies [C]//WELTE D H. Advances in petroleum geochemistry. London: Academic Press, 1987: 1-89.
- [4] 彭立才, 杨慧珠, 刘兰桂, 等. 柴达木盆地北缘侏罗系烃源岩沉积有机相划分评价[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 178-181.
- PENG Li-cai, YANG Hui-zhu, LIU Lan-gui, et al. Classification and estimation of organic facies in Jurassic source rocks from north margin, Chaidamu Basin[J]. Oil & Gas geology, 2001, 22(2): 178-181.
- [5] 郝芳, 陈建渝. 层序和体系域的有机相构成及其研究意义[J]. 地质科技情报, 1995, 14(3): 79-83.
- HAO Fang, CHEN Jian-yu. Organic facies compositions of sequences and systems tracts and its studying significances[J]. Geological Science and Technology Information, 1995, 14(3): 79-83.
- [6] COUCH E L. Calculation of Paleosalinities from boron and mineral data [J]. AAPG, 1971, 55(10): 1829-1837.
- [7] 邓宏文, 钱凯. 沉积地球化学与环境分析[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993: 18-31.
- [8] 孙镇城, 杨藩, 张枝焕, 等. 中国新生代咸化湖泊沉积环境与油气生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 125-142.
- [9] RAISWELL R, BUCKLEY F. Degree of pyritization of iron as a palaeoenvironmental indicator of bottom-water oxygenation [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1988, 58(5): 812-819.
- [10] 郝芳, 陈建渝, 孙永传, 等. 有机相研究及其在盆地分析中的应用[J]. 沉积学报, 1994, 12(4): 77-86.
- HAO Fang, CHEN Jian-yu, SUN Yong-chuan, et al. Organic facies studies and their use in sedimentary[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(4): 77-86.
- [11] 苗建宇, 周立发, 邓昆, 等. 新疆北部中二叠统烃源岩有机质与沉积环境的关系[J]. 地球化学, 2004, 33(6): 424-430.
- MIAO Jian-yu, ZHOU Li-fa, DENG Kun, et al. Organic matters from middle Permian source rocks of northern Xinjiang and their relationships with sedimentary environments[J]. Geochimica, 2004, 33(6): 424-430.
- [12] 徐龙, 王振奇, 张昌民, 等. 南堡凹陷下古近系储层特征及其影响因素[J]. 江汉石油学院学报, 1994, 16(2): 21-26.
- XU Long, WANG Zhen-qi, ZHANG Chang-min, et al. Characteristics of Paleogene reservoir and its influential factors in Nanpu sag, Bohai Bay Basin[J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 1994, 16(2): 21-26.
- [13] 周海民, 从良滋, 董月霞, 等. 断陷盆地油气成藏动力学与含油气系统表征[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 10-16.
- [14] 张振英, 邵龙义, 柳广第, 等. 南堡凹陷无井探区烃源岩评价研究[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(4): 64-67.
- ZHANG Zhen-ying, SHAO Long-yi, LIU Guang-di, et al. Evaluation of source rocks at no exploratory well area of Nanpu sag, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(4): 64-67.
- [15] 黄第藩, 李晋超. 陆相有机质演化与成烃机理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984.
- [16] 王铁冠, 钟宇宁, 侯读杰, 等. 低熟油气的形成机理与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 80-82.
- [17] 苗建宇, 周立发, 邓昆, 等. 吐鲁番坳陷落二叠统烃源岩地球化学特征与沉积环境的关系[J]. 中国地质, 2004, 31(4): 424-430.
- MIAO Jian-yu, ZHOU Li-fa, DENG Kun, et al. Relationship between the depressional environment and chemistry of Permian hydrocarbon source rocks in the Turpan depression [J]. Geology in China, 2004, 31(4): 424-430.
- [18] DIDYK B M, SIMONEIT B R T, BRASSELL S C, et al. Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentation [J]. Nature, 1978, 272(5650): 216-222.
- [19] HUGHES W B, HOLBA A G, DZOU L I. The ratios of dibenzothiophene to phenanthrene and pristane to phytane as indicators of depositional environment and lithology of petroleum source rocks [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 59(17): 3581-3598.
- [20] PETERS K E, MOLDOWAN J M. 生物标记化合物指南: 古代沉积物和石油分子化石的解释[M]. 姜乃煌, 张水昌, 林永汉, 等. 译. 北京: 石油工业出版社, 1995: 105-107.
- [21] PETERS K E, WALTERS C C, MOLDOWAN J M. The biomarker guide: biomarkers and isotopes in the environment and human history [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005: 136-152.

- [22] 秦建中. 中国烃源岩[M]. 北京:科学出版社,2005:286-287.
- [23] 朱创业. 陕甘宁盆地奥陶统马家沟组层序沉积有机相特征及其烃源岩分布[J]. 沉积学报,2000,18(1):57-62.
- ZHU Chuang-ye. Characterestics of sequence sedimentary organic facies and distribution of source rocks of Majiagou formation, lower Ordovician, Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000,18(1):57-62.
- [24] 朱光有,金强,戴金星,等. 东营凹陷沙四中亚段盐湖相烃源岩研究[J]. 高校地质学报,2004,10(2):257-266.
- ZHU Guang-you, JIN Qiang, DAI Jin-xing, et al. Investigation on the salt lake source rocks for middle Shasi column of Dongying depression[J]. Geological Journal of China Universities, 2004,10(2):257-266
- [25] 梅玲,张枝焕,王旭东,等. 渤海湾盆地南堡凹陷原油地球化学特征及油源对比[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(6):40-46.
- MEI Ling, ZHANG Zhi-huan, WANG Xu-dong, et al. Geochemical characteristics of crude oil and oil-source correlation in Nanpu sag, Bohai Bay Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008,32(6):40-46.
- [26] 金强,朱光有,王娟. 咸化湖盆优质烃源岩的形成与分布[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(4):19-23.
- JIN Qiang, ZHU Guang-you, WANG Juan. Deposition and distribution of high-potential source rocks in saline lacustrine environments[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008,32(4):19-23.
- [27] 曾发富. 南堡凹陷下第三系烃源岩地球化学特征及有机相研究[D]. 东营:石油大学勘探系,1996.
- [28] 周海民,董月霞,刘蕴华,等. 断陷盆地油气勘探理论与实践[M]. 东营:石油大学出版社,2001:22-24.

(编辑 徐会永)

(上接第22页)

- [23] WALSH J, WATTERSON J, YIELDING G. The importance of small-scale faulting in regional extension [J]. Nature, 1991,351:391-393.
- [24] 孙珍,庞雄,钟志洪,等. 珠江口盆地白云凹陷新生代构造演化动力学[J]. 地学前缘,2005,12(4):489-498.
- SUN Zhen, PANG Xiong, ZHONG Zhi-hong, et al. Dynamics of Tertiary tectonic evolution of the Baiyun sag in the Pearl River Mouth Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2005,12(4):489-498.
- [25] 米立军,张功成,傅宁,等. 珠江口盆地白云凹陷北坡-番禺低隆起油气来源及成藏分析[J]. 中国海上油气,2006,18(3):161-168.
- MI Li-jun, ZHANG Gong-cheng, FU Ning, et al. An analysis of hydrocarbon source and accumulation in Panyu low-uplift and north slope of Baiyun sag, Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2006,18(3):161-168.
- [26] 傅宁,米立军,张功成,等. 珠江口盆地白云凹陷烃源岩及北部油气成因[J]. 石油学报,2007,28(3):32-38.
- FU Ning, MI Li-jun, ZHANG Gong-cheng, et al. Source rocks and origin of oil and gas in the northern Baiyun depression of Pearl River Mouth Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007,28(3):32-38.
- [27] 柳保军,申俊,庞雄,等. 珠江口盆地白云凹陷珠海组浅海三角洲沉积特征[J]. 石油学报,2007,28(2):49-56.
- LIU Bao-jun, SHEN Jun, PANG Xiong, et al. Characteristics of continental delta deposits in Zhuhai formation of Baiyun depression in Pearl River Mouth Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007,28(2):49-56.
- [28] 庞雄,陈隽,代一丁,等. 珠江口盆地白云西-开平凹陷油气聚集及勘探目标研究[J]. 中国海上油气:地质,1995,9(4):237-245.
- PANG Xiong, CHEN Jun, DAI Yi-ding, et al. Study on hydrocarbon accumulation and exploration targets in west Baiyun-Kaiping sag of Pearl River Mouth Basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1995,9(4):237-245.

(编辑 徐会永)