

文章编号: 1000-0550(2008) 06-1076-09

南堡凹陷古近系层序地层格架中烃源岩分布与生烃特征研究

赵彦德^{1,2} 刘洛夫¹ 张枝焕¹ 王旭东³ 管红⁴ 梅玲¹ 李燕¹ 陈蕾³

(1 中国石油大学(北京)资源与信息学院 北京 102249; 2 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院 西安 710021;

3 中国石油冀东油田公司勘探开发研究院 河北唐山 063004 4 中国海洋石油研究中心 北京 100027)

摘要 南堡凹陷油气资源丰富,古近系主要分布有沙三段、沙一段和东三段三套有效烃源岩。在层序地层学研究的基础上,应用有机地球化学、有机岩石学和沉积有机相等研究手段和方法对东三段、沙一段和沙三段不同层序和同一层序不同体系域中烃源岩特征进行综合研究。结果表明,南堡地区烃源岩非均质性特征明显,烃源岩生烃的层位主要分布于 SQ9、SQ5~SQ8、SQ2和 SQ1 的湖扩展体系域和早期高位体系域, SQ2 为优质烃源岩段。造成这种非均质性的主要原因是不同体系域的沉积特征,这影响着烃源岩有机质类型和保存条件。

关键词 南堡凹陷 古近系 层序地层 烃源岩 生烃特征

第一作者简介 赵彦德 男 1973 年出生 博士研究生 沉积学和有机地球化学 E-mail: zhaoyande001@yahoo.com.cn

中图分类号 TE122.2 P539.2 **文献标识码** A

0 前言

层序地层学是在地震地层学的基础上发展起来的,通过建立有效地沉积盆地等时地层格架,进行体系域的沉积环境和岩相分析,对生油层、储集层和盖层的分布进行预测。在应用层序地层学对不同类型储集层的展布、性质等研究领域,前人已开展了卓有成效的工作,并取得了丰硕的成果^[1,2],而对于烃源

岩的分布预测和质量评价等方面的研究则相对较少,这方面的理论研究也相对薄弱^[3]。湖平面升降控制沉积环境、沉积相的特征和分布,高质量的烃源岩应有规律地分布于层序地层格架中的一些部位。开展层序格架中的烃源岩研究,探讨烃源岩分布与层序地层的关系,对有效地研究盆地的油气生成具有重要的意义^[3]。

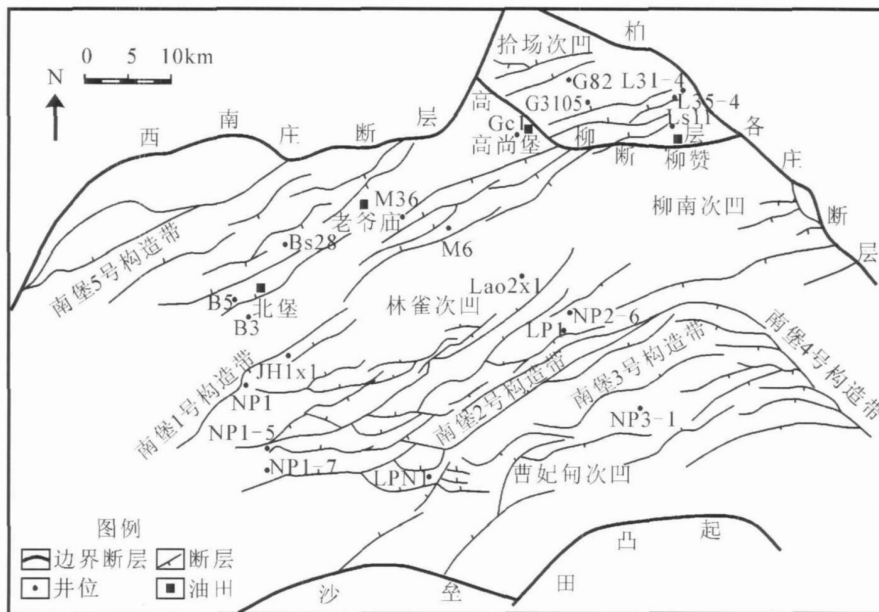


图 1 南堡凹陷区域地质简图

Fig 1 Map showing the regional geology in Nanpu Sag

收稿日期: 2007-12-10 收修改稿日期: 2008-03-14

南堡凹陷是黄骅拗陷北部的一个含油气构造单元,是在华北地台基底上,经中、新生代的块断运动而发育起来的一个中新世北断南超、东断西超的复合箕状凹陷。凹陷内发育拾场、林雀、柳南和曹妃甸四个次凹和高尚堡、柳赞、老爷庙、北堡四个陆地构造带以及南堡 1-5 号五个滩海构造带(图 1)。区内新生代厚度大、分布范围广,第三系断拗期发育了巨厚的湖相暗色泥质沉积,古近系的 E_{s3}^{4-5} 、 E_{s1} 和 E_{d3} 作为南堡凹陷主要烃源岩,其基本特征前人已进行了较为全面的研究^[4-9]。但对于凹陷内沉积环境格局的复杂性及其对暗色泥(页)岩有机质丰度及类型的形成、保存等控制因素的影响却缺乏系统研究或研究程度不高,制约了对南堡凹陷烃源岩认识的再提高,影响了油气勘探工作进一步深入开展。本文利用层序地层学的方法,采用有机地球化学、有机岩石学和沉积学相结合的研究手段,从沉积学角度出发,通过对这些层段烃源岩地球化学和有机岩石学特征分析,探讨南堡地区古近系层序地层格架中烃源岩的分布、生烃特征和规律。

1 南堡凹陷层序地层特征研究

南堡凹陷是我国东部较为典型的富油气断陷盆地,其丰富的油气资源和有利的生储盖条件,形成了十亿吨级规模的大油气田。前人对南堡凹陷层序地层特征进行了富有成就的研究,取得了许多成果,有利地指导了油气勘探工作^[10-12]。研究区南堡凹陷古近系可划分为 1 个一级层序(东营组和沙河街组)和 4 个二级层序(沙河街组沙一段、沙二段、沙三段和东营组)和 11 个三级层序(图 2)。沙三段为古近系裂谷早期形成的一套滨浅湖—深湖、扇三角洲和冲积扇沉积,总厚度 600~2 000 m 以上。沙三段五亚段为砂岩、砂砾岩集中发育段,以灰—灰白砂砾岩为主,夹有灰褐色、绿色、灰绿色、灰色泥岩,以灰砂灰泥和岩性粗为典型特征,为沙三段沉积旋回底部冲积扇沉积体系产物,相当于 SQ1(图 2)。沙三段四亚段暗色泥岩主要分布在高尚堡和柳赞地区,岩性以灰色、深灰色、灰黑色、褐色泥岩、油页岩为主,夹有薄层砂岩,属稳定的深湖相沉积,相当于 SQ2。沙三段三亚段至一亚段,为粗碎屑砂岩、含砾砂岩与深灰色泥岩层段,相当于 SQ3 及 SQ4 下部。沙二段不发育,为氧化环境下冲积体系域的红色河流相正旋回沉积地层,下部为砂岩、砂砾岩集中段,上部地层由粗碎屑的冲积体系和红色泥岩组成,相当于 SQ4。沙一段为底粗上细的

正旋回沉积地层,为裂后充填阶段的浅水湖泊及湖泊三角洲沉积,该套地层构成一个完整的二级层序 III 可识别出 SQ5、SQ6、SQ7 和 SQ8 四个三级层序, SQ5 和 SQ6 主要分布在高柳断层以北地区, SQ7 主要分布在高柳地区, SQ8 分布较为广泛,全区均有分布;东营组位于古近系一级沉积旋回上部,是一套砂岩、含砾砂岩与灰色泥岩互层段,岩性呈现出底粗中细的特征,东三段相当于 SQ9(图 2)。

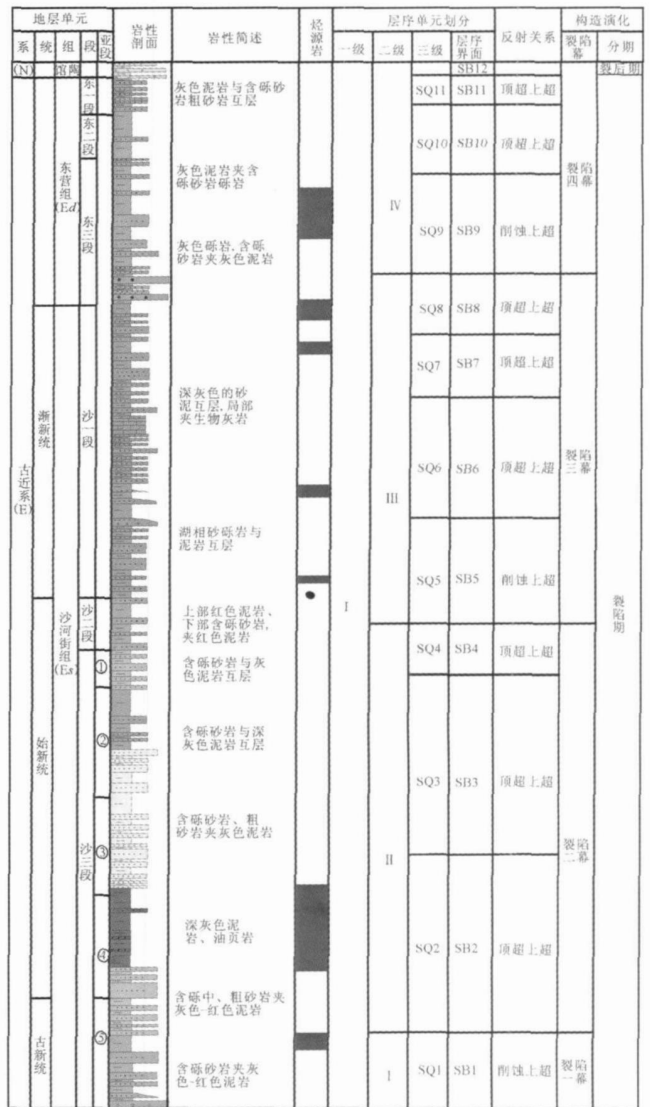


图 2 南堡凹陷层序地层划分¹ 有修改

Fig 2 The scheme of sequence stratigraphy in Nanpu Sag

2 南堡凹陷古近系不同层序烃源岩有机地球化学特征

¹ 周海民,董月霞,等.陆相断陷盆地层序地层学工作方法图集.石油工业出版社,2006.

2.1 不同层序烃源岩有机质丰度

岩石类型和岩石组合的变化导致了有机质丰度的差异,沉积韵律性是造成源岩有机质非均质性的根本原因,有机质丰度与烃源岩的岩性存在明显的相关性^[13]。对南堡凹陷古近系不同层段、层序和环境的烃源岩样品有机质丰度参数进行统计分析, SQ2 层序中半深湖—深湖相深黑色泥岩、油页岩 TOC 和 $S_1 + S_2$ 的值最大, TOC 分布在 0.05% ~ 3.68% 范围内,均值达到 2.43%,生烃潜力 $S_1 + S_2$ 的值分布在 0.05 ~ 22.41 mg/g 均值 12.11 mg/g。SQ5、SQ6 和 SQ7 层序主要分布在高柳断层以北地区, SQ7 在老爷庙地区也有分布, SQ8 层序地层在凹陷内广泛分布,该段地层烃源岩非均质性明显,有机碳和生烃潜力的值分布范围较为广泛, TOC 分布在 0.01% ~ 2.17% 的范围内,均值为 1.07%,生烃潜力 $S_1 + S_2$ 分布在 0.14 ~ 8.58 mg/g 均值为 2.37 mg/g。SQ9 层序中暗色泥岩 TOC 分布在 0.11% ~ 2.08% 范围内,均值达到 0.92%,生烃潜力 $S_1 + S_2$ 的值分布在 0.06 ~ 8.58 mg/g 均值 2.57 mg/g。SQ1、SQ2、SQ5~SQ8 和 SQ9 有机质丰度高,为研究区主要的烃源岩层段。

2.2 不同层序有机质类型

有机质类型的评价取决于有机质富氢组分和生烃能力。氢指数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, SQ9 氢指数介于 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 C_2 和 C_1 型干酪根,含部分 iv 型; SQ5 ~ SQ8 氢指数介于 11 ~ 648,平均为 193,有机质类型主要为 C_2 和 C_3 型,含部分 C_1 型和少量 iv 型; SQ2 高柳断层以北的四、五亚段氢指数介于 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 C_1 和 C_2 型干酪根,含部分 iv 型。

2.3 不同层序有机显微组分特征

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。SQ2、SQ5~SQ8 和 SQ9 中壳质组和矿物沥青基质在全岩中的百分含量明显高于其它各亚段(图 3)。壳质组组成较复杂,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。其中 SQ2 中壳质组含量在全岩中的百分含量平均为 10.52%,最高达 33.3%;壳质组藻类体平均含量, SQ9、SQ5~SQ8 和 SQ2 分别为 4.19%、3.61% 和 5.28%,其中 SQ2 层序中部分样品有机显微组分中

藻类体含量最高可达 20.50%。

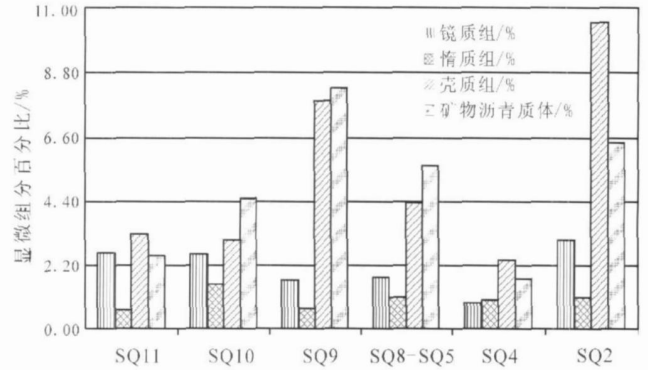


图 3 古近系不同层序烃源岩有机显微组分在全岩中相对含量

Fig 3 The relative content of organics maceral in the different sequence source rocks of Paleogene

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;而呈褐黄—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^[14]。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。SQ9、SQ8~SQ5 和 SQ2 矿物沥青基质在全岩中平均百分含量分别为 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含量相对高于沙河街组,这与东营组有机质热演化程度低于沙河街组有关。

3 南堡凹陷不同层序格架中烃源岩分布特征研究

3.1 不同体系域有机质组成特征研究

在层序地层格架内,每个体系域有不同的沉积特征,影响着陆源沉积物的进入,并影响了沉积有机质的类型和保存^[2]。一个二级层序代表该盆地从开始沉降—强烈沉降—收缩沉降以至剥蚀的一次湖盆完整的发育过程,其内部体系域构成自下而上可划分为低位体系域、湖扩展体系域和高位体系域^[15,16], SQ9 相当于东三段,由灰色砾岩、含砾砂岩夹灰色泥岩组成,发育一套三角洲—湖泊沉积,内部不同体系域沉

积相、岩性和有机质丰度、类型均有较大变化。SQ9 下部低位体系域,处于湖盆发育早期,盆地沉降速率较低,而沉积的充填速率高,湖区范围小,湖平面低,水体较浅,沉积组合为粗碎屑为主的冲积体系,砂岩发育,泥岩单层厚度小,一般小于 10 m。如庙 6 井 SQ9 低位体系域样品 TOC 值为 0.83%,生烃潜量 $S_1 + S_2$ 仅为 1.72 mg/g 有机质类型较差,为 ④型干酪根,生标参数伽马蜡烷 $I_{C_{30}}$ 藿烷比值为 0.08 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}/C_{29}$ 比值仅为 0.59(表 1),表明该段地层沉积时期以淡水的三角洲和滨浅湖沉积为主,有机质中陆源高等植物的比重大。SQ9 层序中部地层泥岩厚度明显增加,且发育颜色较深的暗色泥岩,为浅湖和深湖一半深湖沉积的产物,北 3 井 SQ9 湖扩展体系域泥岩样品 TOC 含量达到 1.69%(表 1), $S_1 + S_2$ 的值达到 8.28 mg/g 有机质类型也较下部地层好,氢指数也相对较高,最高达到 427,有机质类型为 ③₁ 型(图 4),该段沉积为东营组湖侵最为强烈期,湖域面积最大时期的沉积。SQ9 上部以由扇三角洲、前扇三角洲和滨浅湖相组成的沉积序列为主,为湖盆水退时期初期,水体开始逐渐变浅,陆源物质增加,有机质丰度和类型较下部湖扩展体系域相对较差,NP1 井 SQ9 高位域样品有机碳含量为 0.9%,有机质类型为 ③₂ 型(表 1)。从剖面上分析, SQ9 湖扩展体系域泥质沉积生烃性质最好(图 4)。

沙一段主要发育在湖水较浅、构造较平静的沉积环境中,相当于二级层序 ④主要沉积相为浅湖、半深湖和深湖,局部发育三角洲沉积^[17]。下亚段为浅灰

色细砂岩、粉砂岩与浅灰色泥岩的薄互层,底部砂体厚度较大,泥岩厚度相对较小,在层序格架中为低位体系域。NP1 井 SQ8 低位域泥岩样品(3 776 m) TOC 的值仅为 0.46%,有机质类型为 ④型,有机显微组分中有利于生烃的壳质组没有检测出;样品(4 261.5 m) TOC 含量为 1.0%,但有机质类型却较差为 ④型,矿物沥青基质相对含量仅为 11.05%,镜质组和惰质组含量高达 88.5%,其伽马蜡烷指数均较低(0.10 和 0.23),生标参数 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}/C_{29}$ 的值为 0 或没有检测出(表 1)。有机碳含量低,有机质类型较差,生源以陆源高等植物为主,为该段地层烃源岩主要特征。沙一段上部泥岩厚度增加,北深 28 井 SQ8 湖扩展体系域样品(4 323 m) TOC 含量达 1.5%,有机质类型较好为 ③₁ 型,壳质组 + 矿物沥青基质含量为 78.9%,伽马蜡烷指数达到 0.33 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}/C_{29}$ 的值为 3.07%,表明有机质生源母质主要为水生藻类,该段泥岩为沙一段最主要的烃源岩层。沙一段高位体系域,有机碳含量较高,NP1-5 井和 LPN1 井 SQ8 高位体系域样品(3 844 m 和 3 917 m) TOC 含量分别为 1.16%、1.27%,有机质类型均为 ③₁ 型,有机显微组分中壳质组和矿物沥青基质相对含量均达到 75% 以上, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}/C_{29}$ 的值也均大于 1,呈现出生源母质为水生生物的特征(表 1)。

SQ2 展布范围广,沉积厚度大,下部地层层序主体由湖扩展体系域及高位体系域构成,其底部为低位体系域;上部层序主要为湖扩展体系域和高位体系域,低位体系域不发育^[11]。高柳地区最有利于生烃

表 1 南堡凹陷古近系不同体系域烃源岩地球化学特征数据

Table 1 The data of source rock geochemistry in different systems tracts in Nanpu Sag

体系域	分析样品	层位	层序	TOC %	类型	显微组分 / %				生标特征		有机相类型	
						镜质组	惰质组	壳质组	矿物沥青基质	伽马蜡烷	$\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}/C_{29}$	本次研究	Jones 方案
HST	NP1(3387)	Ed ₃	SQ9	0.91	③ ₁	14.3	8.9	46.4	30.4	0.11	1.43	藻源相	A, AB
	NP1-5(3844)	E _{s1}	SQ8	1.16	③ ₁	11.9	-	18.2	69.9	0.10	1.63	含植藻源相	AR, B
	LPN1(3917)	E _{s1}	SQ8	1.27	③ ₁	33.3	-	18.5	48.2	0.07	1.16	含植藻源相	AR, B
	G19-10(4050)	E _{s3}	SQ2	3.45	③ ₁	2.1	-	63.8	34.1	0.05	1.06	含植藻源相	AR, B
EST	B3(3599)	Ed ₃	SQ9	1.69	③ ₁	7.5	1.6	40.9	50	0.05	1.50	藻源相	A
	NP1-5(3613)	Ed ₃	SQ9	1.34	③ ₁	11.4	-	44.3	44.3	0.11	1.699	藻源相	A, AB
	NP1-5(3763)	Ed ₃	SQ9	0.94	③ ₁	5.7	2.6	59.4	32.3	0.05	2.04	藻源相	A, AB
	Bs28(4323)	E _{s1}	SQ8	1.50	③ ₂	21.1	-	29.6	49.3	0.33	3.07	含植藻源相	AR, B
	L38x1(3385)	E _{s3}	SQ2	2.43	③ ₁	15.4	6.7	40.3	37.6	0.09	2.7	藻源相	A, AB
LST	M6(3645)	Ed ₃	SQ9	0.83	④	-	-	-	-	0.08	0.59	植源相	C, D
	NP1(3776)	E _{s1}	SQ8	0.46	④	100	-	-	-	0.10	-	植源相	D
	NP1(4261.5)	E _{s1}	SQ8	1.01	④	55.8	32.7	-	11.5	0.23	0	植源相	CD, D
	L35-4(2900)	E _{s3}	SQ2	0.42	④	30.9	10.0	30.9	28.2	0.12	0.25	植源相	D

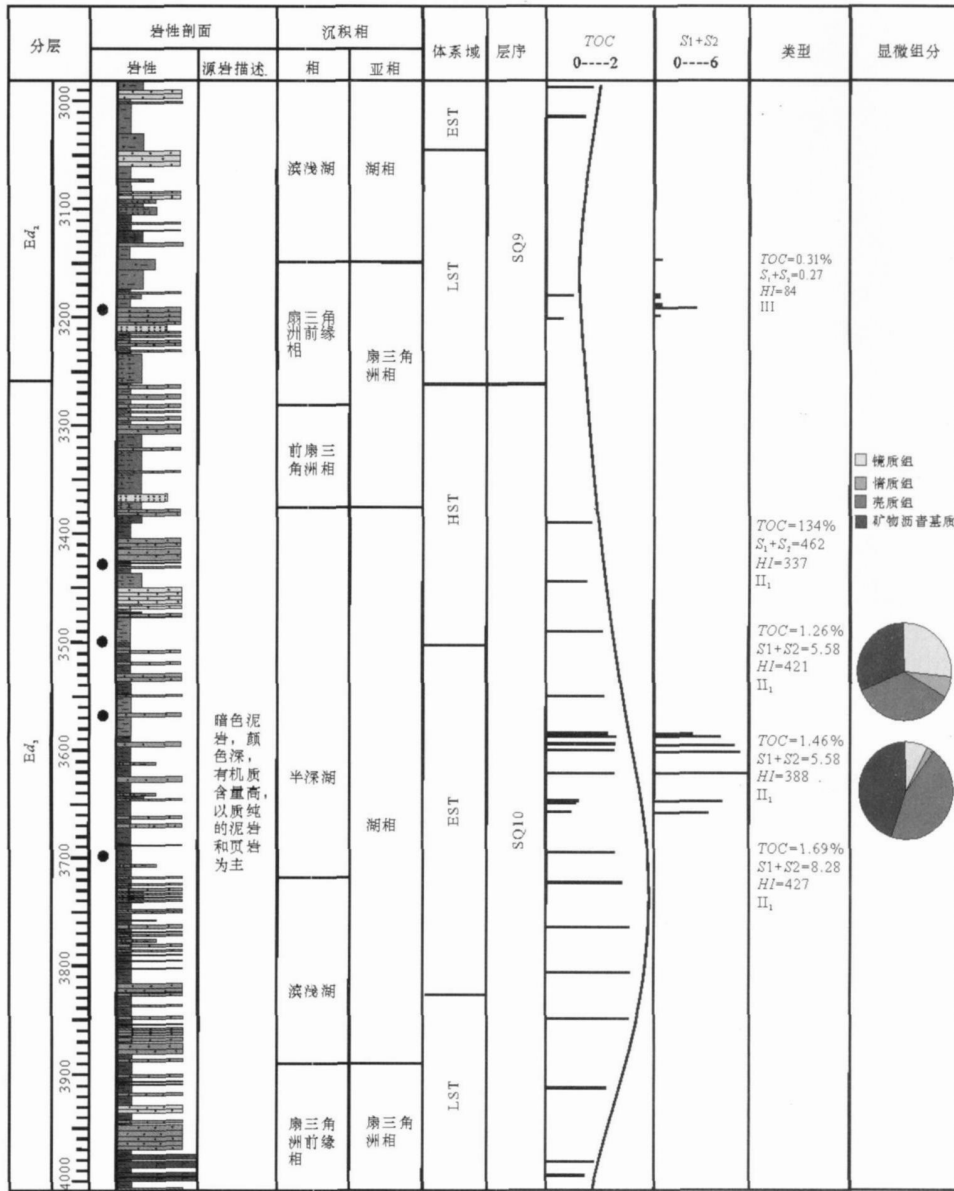


图 4 南堡凹陷北 3 井层序格架中烃源岩综合柱状图

Fig 4 The composite columnar section of sequence framework in Well Bei 3

的源岩分布在沙三段四亚段, 岩性以深灰色、灰黑色泥岩和油页岩为主, 夹薄层的砂岩, 属于稳定的深湖相沉积, 为湖扩展体系域的产物。高尚堡地区油页岩较发育, 为鼓包状油页岩标准层, 高参 1 井 SQ2(沙三段四亚段)湖扩展体系域发育的深水和半深水的富有机质的泥岩和油页岩, 有机碳含量达到 4.93%, 生烃潜量达到 22.14 mg/g。柳 38x1 井 SQ2 层序湖扩展体系域 3385 m 样品有机碳含量达 2.43%, 有机质类型为 ⊕ 型, 生烃组分壳质组和矿物沥青基质相对含量达到 77.9%, 生标参数 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}/C_{29}$ 比值高达 2.7(表 1), 呈现出生源母质以藻类为主的特征。高

柳断层以南湖扩展体系域分布于沙三段的中下部, 有机质丰度和类型均较好, 北 5 井 SQ2 层序湖扩展体系域有机碳含量为 1.04%, 有机质类型为 ⊕ 型, 发育区内有利的烃源岩; SQ2 层序高位体系域 G19-10 井 4050 m 样品有机碳含量高达 3.43%, 有机质类型为 ⊕ 型, 有机显微组分壳质组和矿物沥青基质相对含量高达 97.9%。低位体系域有机碳含量低, 柳 35-4 井 SQ2 层序样品 (2900 m), 有机碳含量为 0.42%, 有机质类型为 ⊕ 型干酪根, 为较差的烃源岩层, 呈明显的烃源岩非均质性特征。SQ2 为研究区优质烃源岩段。

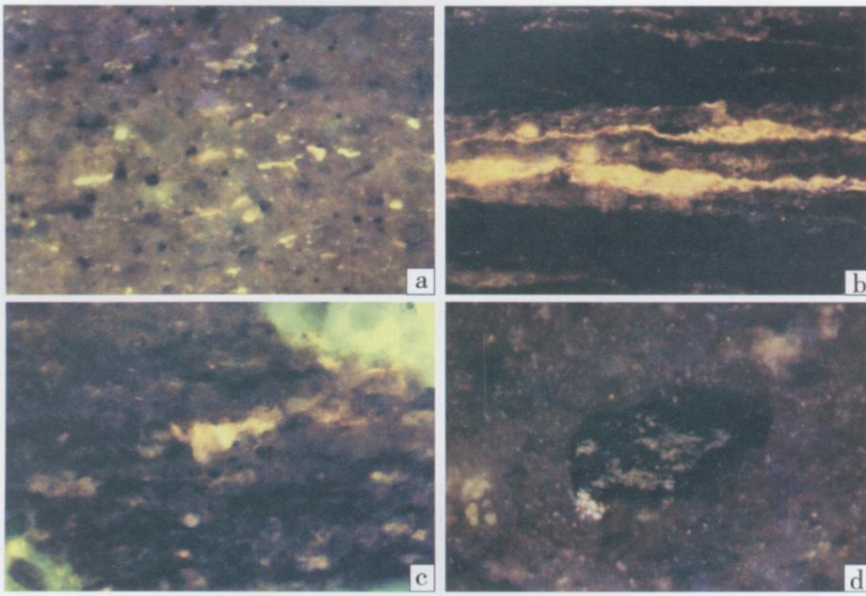


图 5 不同体系域有机显微组分特征

Fig 5 The characteristic organic maceral in different system s tracts

3.2 有机显微组分及组成在不同体系域中的分布特征

南堡凹陷东三段、沙一段和沙三段不同体系域烃源岩有机显微组分特征表明(图 3和表 1),湖扩展沉积层序中利于生烃的有机显微组分含量要明显高于低位体系域和高位体系域,壳质组和矿物沥青基质的含量也较低位体系域和高位体系域高,北深 28 井 SQ8 湖扩展体系域伽马蜡烷 /C₃₀藿烷的值较高达到 0.33, $\alpha\alpha\alpha$ 20R C₂₇/C₂₉高达 3.07,北 3 井和高参 1 井 SQ9 层序均检测出较为丰富的黄色藻类体和矿物沥青基质(图 5a, b, c),泥岩中腐泥组分和发荧光的无定形体比较多,表明湖扩展体系域生源输入以水生低等生物为主。而高位体系域则相对湖扩展体系域有机质类型相对较差和有机显微组分中富氢组分相对较低,混入少量和部分陆源物质,但仍以藻类为主($\alpha\alpha\alpha$ 20R C₂₇/C₂₉大于 1),水介质条件表现出一定氧化性和低盐度的特征(伽马蜡烷 /C₃₀藿烷低值)。在低位体系域中可见有丰富的保存完好的植物碎屑,北 3 井 SQ11 低位体系域检测出大量团状镜质体(图 5d),NP1 井 SQ8 低位体系域样品(3 776 m)有机显微组分中镜质体含量达到 100%(表 1)。

3.3 层序格架中的烃源岩有机相及生烃特征

(1) 低水位体系域 南堡凹陷不同体系域有机质类型和显微组分特征表明,低位体系域的湖退层序中所含的陆源物质要明显高于湖扩展体系域,有机质

类型以 α 型为主;显微组分中,含有大量丝质体和深灰色团状树脂体,镜质组和惰质组的含量高,达到 80% 以上;泥岩中 C₂₇-C₂₈-C_{29 $\alpha\alpha\alpha$ 20R 规则甾烷分布型式呈现出反“L”型(图 6a),有机质生源以陆源高等植物为主。这种环境烃源岩有机质丰度较低,而且生烃潜力也比较小,有机相以植源相为主,同时在低位体系域晚期,随着水体加深,盐度增加,陆源高等植物供给的减少和水生生物的增加,有机质类型中富氢物质增加,显微组分含有部分藻类物质,有机相以含藻植源相为主(表 1)。}

(2) 湖扩体系域 湖平面上升期间,河流萎缩,导致碎屑沉积物输入量和陆源有机质供应量减少,形成有利于湖相有机质集中的深湖和半深湖沉积环境,最大湖泛期时,介质的还原性较强,也比较稳定。因此,这个稳定、深度最大、还原性阶段形成的暗色泥岩中有机质丰度和类型较好;有机显微组分中富氢物质藻类体和矿物沥青基质的含量较大;泥岩中 C₂₇-C₂₈-C_{29 $\alpha\alpha\alpha$ 20R 规则甾烷分布型式呈现出“L”型(图 6b),有机质生源以水生低等植物为主,有机相以藻源相和含植源藻源相为主。在湖侵末期,湖平面处于相对静止(稳定)期,此时可形成密集段。密集段中含有丰富的、种类多样的底栖和浮游生物组合,故其在缺氧环境中能形成极有利于生烃的藻源有机相,生烃性质好。}

(3) 高水位体系域 通过对南堡凹陷层序格架

中烃源岩分布特征研究分析,不同层序的高位体系域均呈现出水体较深,盐度相对较高,沉积环境以半深湖相和三角洲相为主,还原性相对较强的特征,有利的沉积环境和介质条件利于低等水生生物的发育和生长,形成的泥岩中利于生烃的壳质组和矿物沥青质比较多,有机质类型较好,以 II₁型为主,泥岩中 C₂₈比重增加, C₂₇-C₂₈-C₂₉ ααα 2OR 规则甾烷分布型式呈现出“V”型(图 6c),有机质生源以水生生物为主,但陆源高等植物也占有一定的比重。有机相类型以含植藻源相和藻源相为主,其生烃性质比较好。高位体系域晚期,由于水体变浅,还原性相对减弱,氧化性加强,沉积环境为氧化性环境,陆源高等植物的输入增加,沉积速度较高,导致湖相藻类有机质稀释,有机质类型以 ⊕₂型为主,有机相类型则呈现出含藻源植源相和植源相的特征。

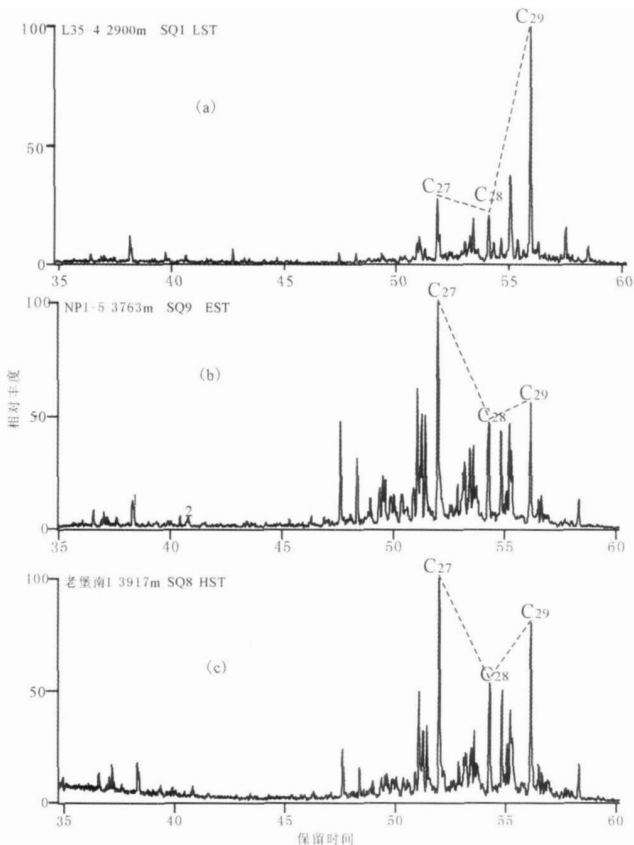


图 6 南堡凹陷不同体系域烃源岩饱和烃甾烷化合物质量色谱图

Fig 6 The mass chromatogram of sterane in different system's tracts in Nanpu Sag

3.4 层序格架中的烃源岩空间展布特征

(1) 相同层序和体系域横向上不同沉积背景中烃源岩发育的差异。

层序地层格架中烃源岩空间展布特征受其沉积背景的影响。不同的沉积相带在空间上的展布控制了烃源岩的岩性、岩相以及有机质组成类型^[18]。南堡凹陷古近系烃源岩层序格架中同一层序、同一体系域,烃源岩空间展布呈现出较大的差异,有机相带横向上的分布控制了烃源岩的平面展布,在洼陷中心林雀次凹和曹妃甸次凹的半深湖—深湖、半深湖—浅湖和滨浅湖—三角洲沉积环境中发育藻源、含植藻源和含藻源植源有机相,其暗色的泥岩和油页岩有机质丰度高,类型好,富烃组分富集。凹陷边缘区域则主要发育扇三角洲前缘相,砂岩发育,泥岩厚度减薄,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(图 7)。

(2) 不同层序纵向上沉积演化控制烃源岩在层序地层格架中的横向迁移

从纵向上分析,烃源岩主要分布在 SQ2、SQ5~SQ8 和 SQ9 中,但由于其构造演化的背景不同,凹陷内烃源岩空间展布随沉降中心的迁移而呈现出较大的变化特征。沙河街组沉积时期,由于受控于区域断裂活动,沙三段中下部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,在沉积中心深洼区形成半深湖—深湖藻源有机相,其暗色泥岩和油页岩发育,为该区域主要生油岩层位。在层序格架中主要分布在 SQ2 层序中。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,其发育暗色泥质沉积为该区域内主要烃源岩层,在层序格架中为 SQ5~SQ8。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,其暗色的泥质沉积为层序格架中 SQ9 发育的烃源岩(图 7)。

4 结论

(1) 通过上述分析表明,渤海湾盆地南堡凹陷古近系烃源岩主要分布在 SQ1、SQ2、SQ5~SQ8 和 SQ9 中,其中 SQ2 为优质烃源岩层段。

(2) 含植藻源相和藻源相及其相伴生的半深湖、深湖泥质沉积主要分布在湖扩展体系域,利于生烃的富氢组分壳质组和矿物沥青质富集,显微组分中含大量藻类体、孢子体和腐泥型矿物沥青基质,生烃性质好;发育在滨浅湖—半深湖含植藻源相和发

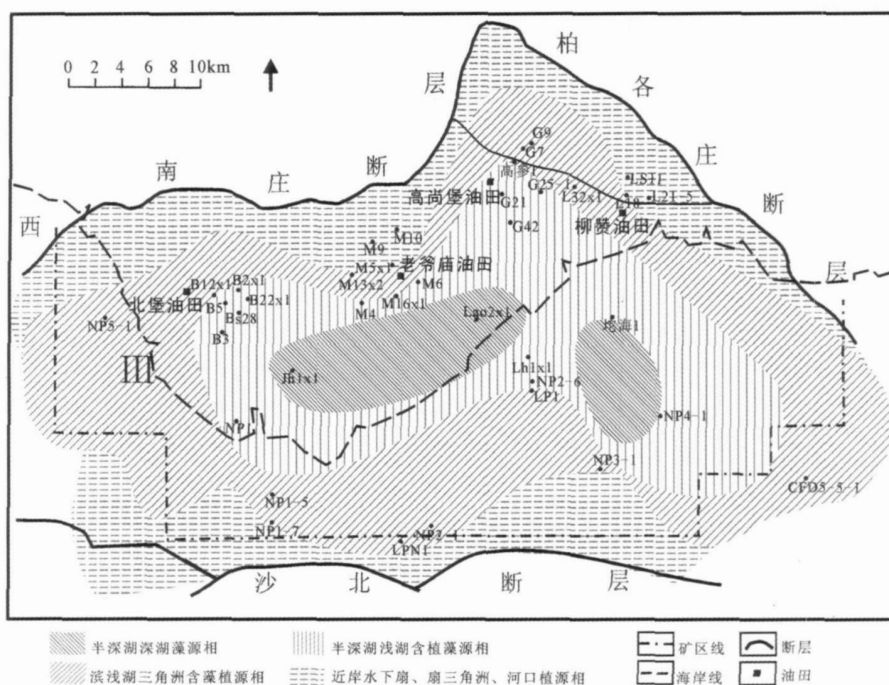


图 7 南堡凹陷 SQ9 层序 (相当于东三段) 烃源岩有机相图

Fig 7 The chart of organic facies of source rocks in SQ9

育在滨浅湖、三角洲含藻源植源相的泥质沉积主要分布在高位体系域, 壳质组和矿物沥青基质含量较高, 生烃性质较好; 发育于近岸水下扇、扇三角洲、河口植源相等环境的泥质沉积主要出现在低位体系域, 有机显微组分中含大量镜质体、丝质体和惰质体, 镜质组和惰质组含量高, 生烃性质差。藻源相和含植源藻源相为最利于生烃的有机相带。

(3) 湖扩展体系域和早期高位体系域的烃源岩有机质丰度高, 类型好, 生烃组分富集, 质量最好, 发育的暗色泥质沉积是沉积层序中最有利于烃源层发育的部分, 低位体系域则较差。

致谢 审稿人对本文提出了建设性的建议, 特此致谢。

参考文献 (References)

1 赵厚银, 王延斌, 邵龙义. 渤海湾盆地 G-P 不同体系域有机显微组分与生烃性 [J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(1): 66-69 [Zhao Houyin, Wang Yanbin, Shao Longyi. Organic macerals and hydrocarbon potential in different system tracts of G-P source rocks in Bohai Bay Basin: a case study of Konggu-4 and Dacan-1 Wells [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(1): 66-69]

2 黄绍南. 层序地层有机地球化学研究进展及其意义 [J]. 南方国土资源, 2005, 6: 30-34 [Huang Shaofu. The progress and significance of sequence stratigraphic geochemistry [J]. Land and Resources of South China, 2005, 6: 30-34]

3 刘洛夫, 康永尚, 齐雪峰, 等. 准噶尔盆地侏罗系层序地层格架中的烃源岩评价 [J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 687-694 [Liu Luofu, Kang Yongshang, Qi Xuefeng. Evaluation on source rocks in the Jurassic sequence stratigraphic frameworks of the Junggar Basin, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(4): 687-694]

4 董月霞, 周海民, 夏文臣. 南堡凹陷第三系层序地层与油气成藏的关系 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 39-41 [Dong Yuexia, Zhou Haimin, Xia Wenchen. Relationship between Tertiary sequence stratigraphy and oil pool formation in Nanpu Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 39-41]

5 张振英, 邵龙义, 柳广弟, 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 Zhenying, Shao Yongyi, Liu Guangdi, 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]

6 李贤庆, 王铁冠, 郑红菊, 等. 南堡凹陷下第三系烃源岩显微组分组成与热演化 [J]. 现代地质, 1999, 13(4): 339-443 [Li Xianqing, Wang Tieguan, Zheng Juhong, et al. Mineral composition and thermal evolution of lower Tertiary source rocks in the Nanpu Sag [J]. Geoscience, 1999, 13(4): 339-443]

7 刘蕴华, 周海民, 熊保贤, 等. 南堡凹陷的含油气系统分析 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 364-365 [Liu Yunhua, Zhou Haimin, Xiong Baoxian, et al. Analysis of petroleum system in Nanpu Sag [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(4): 364-365]

8 谭丽娟, 田世澄. 南堡凹陷油气运移特征及成藏动力学系统划分 [J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(5): 16-18 [Tan Lijuan, Tian Shicheng. Characteristics of hydrocarbon migration and kinetic system classification of pool-forming in Nanpu Sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(5): 16-18]

- Development 2000, 27(5): 16-18]
- 9 王铁冠, 李贤庆, 刚文哲, 等. 南堡凹陷生油评价、油源对比及流体特征 [R]. 石油大学(北京), 1996[Wang Tieguan, Li Xianqing, Gang Wenzhe, *et al* The Report of Oil Source Rock Evaluation, Oil Source Comparison and Fluid Characteristics in the Nanpu sag [R]. China University of Petroleum, 1996]
 - 10 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 [Zhou Haimin, Cong Liangzi, Dong yuexia *et al* Dynamics of Reservoir Formation and Characterization of Petroleum System for Rift Basin [M]. Beijing Petroleum Industry Press 2005 10-16]
 - 11 周海民, 董月霞, 刘蕴华, 等. 断陷盆地油气勘探理论与实践 [M]. 山东东营: 中国石油大学出版社, 2001 22-24 [Zhou Haimin, Dong Yuexia, Liu Yuehua *et al* The Petroleum Exploration Theory and Practice of Rift Basin [M]. Dongying Shandong China University of Petroleum Press 2001 22-24]
 - 12 周海民, 汪泽成, 郭英海. 南堡凹陷第三纪构造作用对层序地层的控制 [J]. 中国矿业大学学报, 2000 29(3): 326-330 [Zhou Haimin, Wang Zecheng, Guo Yinghai Tectonic controls on sequence stratigraphy in Tertiary period in Nanpu Depression [J]. Journal of China University of Mining & Technology 2000 29(3): 326-330]
 - 13 李丕龙. 济阳拗陷“富集有机质”烃源岩及其资源潜力 [J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 317-322 [Li Pibng The organic-rich hydrocarbon source rocks and their resource potentials in Jiyang depression [J]. Earth Science Frontier 2004, 11(1): 317-322]
 - 14 秦建中. 中国烃源岩 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 286-287 [Qin Jianzhong The Source Rock in China [M]. Beijing Science Press 2005: 286-287]
 - 15 邹才能, 池英柳, 李明, 等. 陆相层序地层学分析技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004 161-204 [Zou Caineng, Chi Yingliu, Li Ming *et al* Analytic Technique of Nonmarine Sequence Stratigraphy [M]. Beijing Petroleum Industry Press 2004 161-204]
 - 16 朱筱敏. 层序地层学 [M]. 山东东营: 中国石油大学出版社, 2001 [Zhu Xiaomin Sequence Stratigraphy [M]. Dongying Shandong China University of Petroleum Press 2001 22-24]
 - 17 郑红菊, 董月霞, 王旭东, 等. 渤海湾盆地南堡富油气凹陷烃源岩的形成及其特征 [J]. 天然气地球科学, 2007, 18(1): 16-19 [Zheng Hongju, Dong Yuexia, Wang Xudong *et al* The generation and characteristics of source rocks in Nanpu oil-rich depression Bohai Bay Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(1): 16-19]
 - 18 高志勇, 张水昌, 朱如凯, 等. 塔中地区良里塔格组海平面变化与烃源岩的非均质性 [J]. 石油学报, 2007, 28(5): 45-50 [Gao Zhiyong, Zhang Shuchang, Zhu Rukai *et al* Sea-level change and heterogeneity of source rocks of Lianglitage Formation in the central Tarim area [J]. Acta Petroleologica 2007, 28(5): 45-50]

Distribution and Hydrocarbon Generation of the Eogene Source Rocks in a Sequence Stratigraphic Framework in the Nanpu Sag Bohai Bay Basin

ZHAO Yan-de^{1, 2} LIU Luo-fu¹ ZHANG Zhi-huan¹ WANG Xu-dong
GUAN Hong⁴ MEI Ling¹ LI Yan¹ CHEN Lei³

(1. Faculty of Geoscience China University of Petroleum, Changping, Beijing 102249

2. Petrochina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021;

3. Jidong Oilfield Company of China Petroleum, Tangshan, Hebei 063004

4. Research Center CNOOC, Beijing 100027)

Abstract Nanpu Sag is rich in oil and gas and the main hydrocarbon source rocks of the Eogene are distributed within Es₃, Es₁ and Ed₃ Formations. Based on the sequence stratigraphy study, the hydrocarbon-generating potential and distribution of source rocks in the Eogene sequence stratigraphic framework of Nanpu sag are discussed in this paper by the methods of organic petrology, geochemistry and organic facies. The results show that the heterogeneity of source rocks varies in different systems tracts. The hydrocarbon source rocks which were deposited in the early highstand systems tract and extent systems tract have the best hydrocarbon-generating potential in the SQ9, SQ5-SQ8, SQ2 and SQ1 of Eogene, because the characteristics of sedimentation in the different systems tracts affect the type and conservation of organic materials in source rocks.

Key words Nanpu Sag, Paleogene, sequence stratigraphy, Eogene source rocks, hydrocarbon generation