

层序地层地球化学方法在烃源岩评价中的应用 ——以海拉尔盆地贝尔凹陷为例

吴文祥^{1,2}, 张海翔^{1,2}, 李占东^{1,2}, 梁鹏¹, 刘赛¹, 李萌¹, 鲍储慧¹

(1. 东北石油大学 石油工程学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 东北石油大学 提高油气采收率教育部重点实验室, 黑龙江 大庆 163318)

摘要: 贝尔凹陷是海拉尔盆地富油凹陷之一, 其中 SQ2 层序湖侵体系域发育的暗色泥岩、泥灰岩、油页岩和含钙泥岩沉积组合是优质烃源岩, 但此前一直被忽视。依据实测有机碳含量(*TOC*)、氯仿沥青“A”含量、生烃潜量($S_1 + S_2$)、镜质体反射率(R_o)以及测井曲线预测的有机碳含量, 运用层序地层地球化学分析方法, 在层序格架内对贝尔凹陷烃源岩进行了精细研究, 明确了主力烃源岩和优质烃源岩的发育层序(体系域)和规模, 并计算了主力源岩和优质源岩的生烃与排烃量。研究认为, 贝尔凹陷 SQ2 和 SQ3 层序烃源岩 *TOC*、氯仿沥青“A”与 $S_1 + S_2$ 多数达到好源岩级别以上, 偏油性有机质所占比重较大, 是研究区的主力烃源岩; 主力烃源岩内部非均质性较强, 优质烃源岩主要发育在湖侵体系域和高位域的早期, SQ2 层序的湖侵体系域优质烃源岩最为发育。生烃与排烃量计算结果表明, SQ2 层序生油与排油量占绝对优势, 并且其内部的优质烃源岩对生油、排油量的贡献比例分别高达 84% 和 93%。结合油源对比研究, 认为 SQ2 层序的优质烃源岩是凹陷内主力的烃源岩。运用层序地层地球化学方法对烃源岩评价, 可以指导勘探程度较高的区块油气勘探, 同时对勘探程度低、钻井少、源岩取样少的含油气盆地的烃源岩评价工作更为有效。

关键词: 优质烃源岩; 测井; 地球化学; 贝尔凹陷; 海拉尔盆地

中图分类号: TE112.1

文献标识码: A

Sequence stratigraphic geochemistry and its application in evaluation of source rocks: taking Beier sag of Hailar Basin as an example

Wu Wenxiang^{1,2}, Zhang Haixiang^{1,2}, Li Zhandong^{1,2}, Liang Peng¹, Liu Sai¹, Li Meng¹, Bao Chuhui¹

(1. Institute of Petroleum Engineering, Northeast Petroleum University Daqing, Heilongjiang 163318, China; 2. Key Laboratory of Ministry Education for Improving Oil and Gas Recovery, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China)

Abstract: Beier sag is one of the prolific sags in Hailar Basin. However, the significance of high quality source rocks consisting of dark mudstone, marl, oil shale and calcareous mudstone, developed in the SQ2 sequence of the transgressive system tract in the sag, had been overlooked in previous studies. Based on various data including the measured *TOC*, content of the chloroform asphalt “A”, hydrocarbon generation potential ($S_1 + S_2$), vitrinite reflectance, as well as *TOC* from log interpretation, a detailed study of the source rocks was carried out in the context of sequence stratigraphic framework by using the geochemical-sequence analysis method to identify and evaluate the system tracts in which the major and quality source rocks had dwelled and calculate the amount of hydrocarbon generation and expulsion of the source rocks. The results show that most indexes including *TOC*, chloroform bitumen “A”, $S_1 + S_2$, and etc., indicate that the source rocks in SQ2 and SQ3 are good to excellent in quality and dominated by oil-prone organic matter, meaning the two sequences are the major source rocks in the sag. The major source rocks are strongly heterogeneous and the high-quality source rocks were mainly developed in transgressive system tracts and early stage high stand system tracts (especially in SQ2). Calculation of hydrocarbon generation and expulsion from the source rocks shows that the source rocks in SQ2 contributed the most with hydrocarbon generation amount accounting up to 84% of the total and hydrocarbon expulsion amount accounting up to 93% of the total. The SQ2 was therefore considered the most promising home for source rocks in the sag. Evaluation of source rocks with geochemistry method can be used not only to guide exploration in brown blocks but also to improve working efficiency of source rock evaluation of green blocks with rare wells and samples.

Key words: high-quality source rocks, logging, geochemistry, Beier sag, Hailar basin

收稿日期: 2014-08-18; 修订日期: 2015-05-10。

第一作者简介: 吴文祥(1961—), 男, 教授、博士生导师, 油藏描述及化学驱研究。E-mail: yiliu_0925@163.com。

通讯作者简介: 张海翔(1985—), 男, 博士生, 油藏描述及化学驱研究。E-mail: dqpi2014@163.com。

基金项目: 中国石油科技创新基金项目(2011D-5006-0101); 东北石油大学研究生创新科研项目(YJSCX2015-011NEPU)。

层序地层学已广泛应用于盆地的油气勘探工作中,特别是在等时层序地层格架中进行沉积体系分析,预测生油层、储层和盖层的分布等方面,开展了卓有成效的工作,并取得了丰硕的成果^[1-2]。然而,层序地层学在烃源岩分布与预测以及烃源岩评价等方面应用相对较少,这方面的理论研究也相对薄弱^[3]。近年来,层序地层地球化学研究日益受到重视,它将传统以组段为单元的烃源岩评价,细化到层序、体系域级别,从而提高了烃源岩评价精度^[4]。实际上,在一个完整的层序中,纵向有机质含量分布具有明显的规律性,凝缩段(密集段)附近的沉积速率较低,有机质含量相对最高,而由凝缩段向上或向下,有机质含量逐渐降低^[5]。

海拉尔盆地是大庆油田外围最大的一个含油气盆地,而贝尔凹陷是该盆地最有潜力的富油凹陷之一。目前探区内钻井稀少、分布不均,烃源岩化验数据有限且离散,尤其是凹陷的中心部位,钻井资料较少,给区域范围内烃源岩的评价研究带来困难。随着油田勘探工作的深入,贝尔凹陷的资源量与已提交的储量表现出极大矛盾,全国第三次资源评价预测资源量为 1.63×10^8 t,而现已提交探明储量为 1.59×10^8 t,预测储量 2.337×10^4 t,且有多口井获新的工业发现,预计资源探明率将超过100%,显然存在矛盾。为进一步落实油气资源,亟需对凹陷内的烃源岩,尤其是优质烃源岩重新开展评价研究。

优质烃源岩比普通烃源岩具有更强的生排烃能力,在油气成藏中往往起着关键性的控制作用^[6]。前人已对贝尔凹陷烃源岩特征进行过研究,在南屯组一段发现了一套岩性以暗色泥岩为主、有机质丰度高、类型好、生烃潜力可达到普通烃源岩六倍以上的优质烃源岩^[7-8]。但受分析资料和技术方法所限,对优质烃源岩的发育位置和空间分布特征的研究一直未能深入。烃源岩测井评价方法^[9-11]和层序地层地球化学研究方法^[12-13]为精细评价优质烃源岩的分布特征提供了技术手段。其中,烃源岩测井解释方法通过建立测井曲线与实测地化指标(有机碳为主)的定量关系,可以获得纵向上连续分布的评价数据,提高烃源岩评价的垂向分辨率;层序地层地球化学方法在层序地层格架基础上,以层序或体系域为单元来进行烃源岩评价,它比以组、段为研究单元的传统方法能更加精细地刻画烃源岩发育的非均质性,进而为准确预测烃源岩体积和生烃量^[14]、提高油气成因分类的精度^[15]奠定了基础。

本次将层序地层地球化学方法应用于海拉尔盆地贝尔凹陷,在利用测井方法获取单井连续分布有机碳的基础上,重点分析了不同层序和同一层序不同体系域内烃源岩的发育特征,明确了优质烃源岩发育的层

序和体系域,以及其对生油、排油量的贡献,不仅为研究区资源潜力再认识提供依据,同时对勘探程度低、钻井少、源岩取样少的含油气盆地烃源岩评价工作提供有效方法。

1 地质概况

海拉尔盆地属于东北亚晚中生代裂谷系的一部分,与蒙古国的塔木察格盆地实质上是一个盆地。海拉尔盆地可划分为“三拗两隆”五个一级构造单元,由16个凹陷组成^[16]。其中贝尔凹陷是海拉尔盆地贝尔湖拗陷的一个二级构造单元,是盆地内比较有勘探潜力的地区之一,凹陷呈北东向展布,面积 $3\,010\text{ km}^2$ 。由西到东可划分为贝西斜坡带、呼和诺仁构造带、贝西洼槽、苏德尔特构造带、霍多莫尔构造带、贝东北洼槽、贝中洼槽、布勒洪布隆起带、贝东洼槽及巴彦塔拉构造带10个构造单元(图1)。地层以白垩系为主,自下至上依次为下白垩统铜钵庙组(K_1t)、南屯组(K_1n)、大磨拐河组(K_1d)、伊敏组(K_1y)和上白垩统青元岗组(K_2q)。白垩系可划分为5个二级层序(I—V)、8个三级层序(SQ1—SQ8)^[17]。其中SQ2—SQ5为主要源岩层系,是本次研究的重点。

2 不同层序烃源岩的地球化学特征

2.1 有机质丰度

有机质丰度是反映有机质生烃能力的重要参数,有机碳含量(TOC)、氯仿沥青“A”和生烃潜量($S_1 + S_2$)是常用的丰度评价指标。根据本次研究,并结合前人研究成果^[7],选取了适合研究区的烃源岩评价标准(表1)。

据此评价标准,对研究区不同层序相应指标的取样分析结果进行了统计(图2)。可以看出,SQ2层序TOC、氯仿沥青“A”和 $S_1 + S_2$ 指标均指示有机质丰度以偏好级别为主,好—很好级别样品的频率平均在61%左右;SQ3层序TOC、氯仿沥青“A”和 $S_1 + S_2$ 指标也均指示有机质丰度以偏好级别为主,但好—很好级别样品所占比例低于SQ2层序,频率约为45%;受成熟度影响,尽管SQ4层序和SQ5层序TOC数值也较高,但氯仿沥青“A”和 $S_1 + S_2$ 指标偏低,分别属于中等烃源岩和差—中等烃源岩。

2.2 有机质类型

判别有机质类型的方法较多,结合贝尔凹陷实际分析化验资料,选用“ $H/C - O/C$ ”、“ $IH - T_{\max}$ ”图版对不同层序烃源岩的有机质类型进行研究。

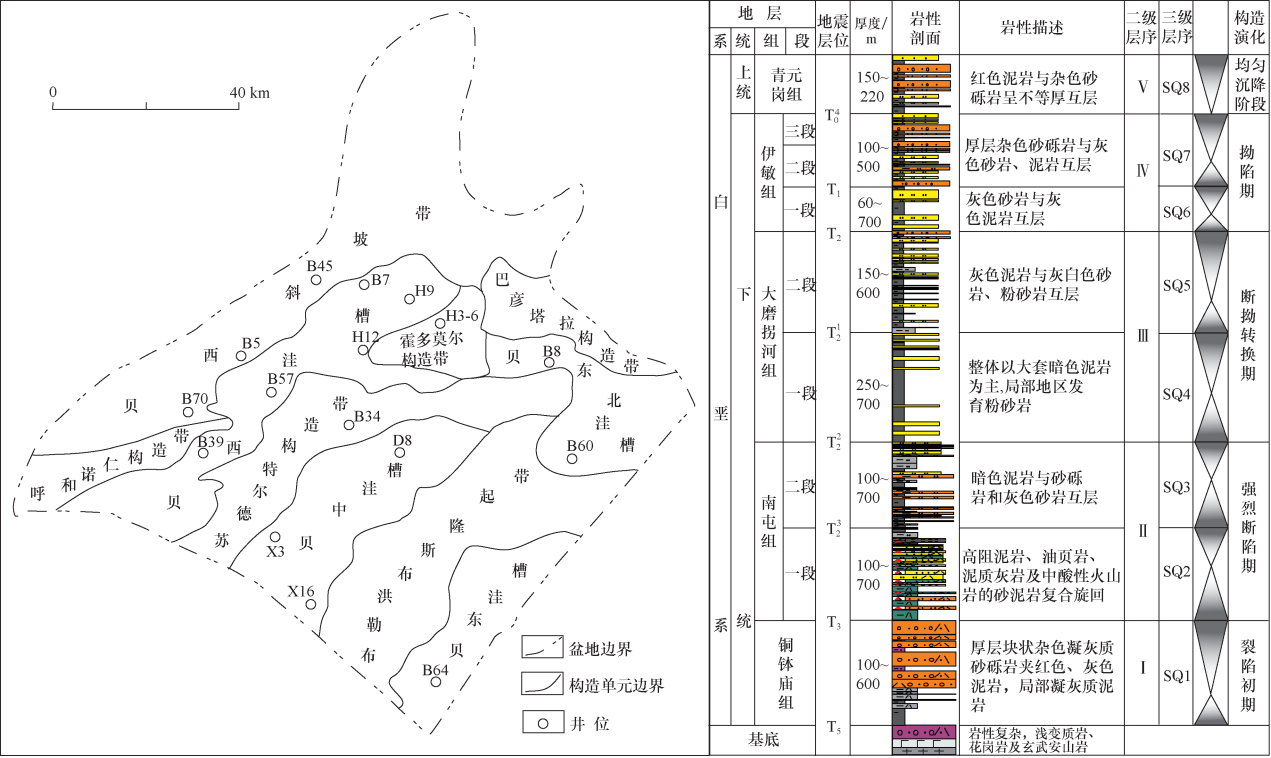


图1 海拉尔盆地贝尔凹陷构造单元划分与地层发育特征

Fig. 1 Tectonic division and stratigraphic features of Beier sag in Hailaer Basin

表1 陆相生油岩有机质丰度评价标准(SY/T 5735—1995)
Table 1 Standard for evaluating the abundance of organic matter in continental source rocks(SY/T 5735—1995)

评价参数	非生油岩	生油岩类别			
		差	中等	好	很好
TOC/%	<0.4	0.4~0.6	0.6~1.0	1.0~2.0	>2.0
(S ₁ +S ₂)/(mg·g ⁻¹)	<2	2~6	6~20	>20	
氯仿沥青“A”/%	<0.015	0.015~0.050	0.050~0.100	0.100~0.200	>0.200

从“ $IH - T_{max}$ ”的关系(图3)可以看出,不同层序均表现出多种类型有机质共存的特征,表明沉积过程中有机质母来源有所变化。其中,SQ2层序有机质类型以Ⅱ₁型和Ⅱ₂型为主,其次为Ⅲ型,少数别样品有机质类型显示为Ⅰ型;SQ3层序也以Ⅱ₁和Ⅱ₂型有机质为主,与SQ2相比,Ⅱ₂和Ⅲ型有机质所占比例偏大;SQ4和SQ5层序以Ⅲ型为主,个别样品显示为Ⅱ₁型或Ⅱ₂型。

干酪根有机元素是烃源岩中有机质的基本组成,不同母质来源干酪根的有机元素含量具有一定差别。干酪根元素分析也表明SQ2和SQ3层序的Ⅱ₁-Ⅱ₂型有机质所占比例较大,SQ4和SQ5层序以偏Ⅲ型有机质为主(图4),与“ $IH - T_{max}$ ”图版判断结果一致。

2.3 有机质成熟度

镜质体反射率(R_o)被认为是表征烃源岩热演化

程度最可靠的指标。贝尔凹陷干酪根的 R_o 随埋深增加而呈现规律性增大(图5)。SQ2层序 R_o 均在0.5%以上,表明源岩均进入成熟阶段,25%样品的 R_o 处于0.5%~0.7%,53%样品的 R_o 处于0.7%~1.3%,22%样品的 R_o 处于1.3%~2.0%,整体处于成熟-高成熟阶段;SQ3层序有7%的样品未达到成熟阶段,25%的样品处于低成熟阶段,60%的样品处于成熟阶段,8%的样品处于高成熟阶段,整体处于成熟阶段;SQ4层序有9%的样品未达到成熟阶段,53%的样品属于低成熟阶段,38%的样品处于成熟阶段,整体处于低成熟-成熟阶段;SQ5层序有25%的样品未达到成熟阶段,其余75%的样品均处于低成熟阶段。

综合以上各项指标,贝尔凹陷SQ2和SQ3层序的TOC、氯仿沥青“A”和 $S_1 + S_2$ 有机质丰度指标最好,偏油型的Ⅰ₁型和Ⅱ₁型有机质出现频率最高,且成熟度处于生油高峰附近,是凹陷内的主力的烃源岩层。同时,高有机质丰度、Ⅰ型干酪根样品的出现,暗示SQ2和SQ3层序局部很可能发育优质油源岩。

同时,研究区SQ2和SQ3层序内TOC与氯仿沥青“A”和 $S_1 + S_2$ 在表征有机质丰度上比较一致,即高TOC样品的氯仿沥青“A”和 $S_1 + S_2$ 也相对较高,同时考虑到TOC的分析样品相对较多,其测井评价方法也更加成熟,为此,推选TOC为指标来表征烃源岩性质的优劣。

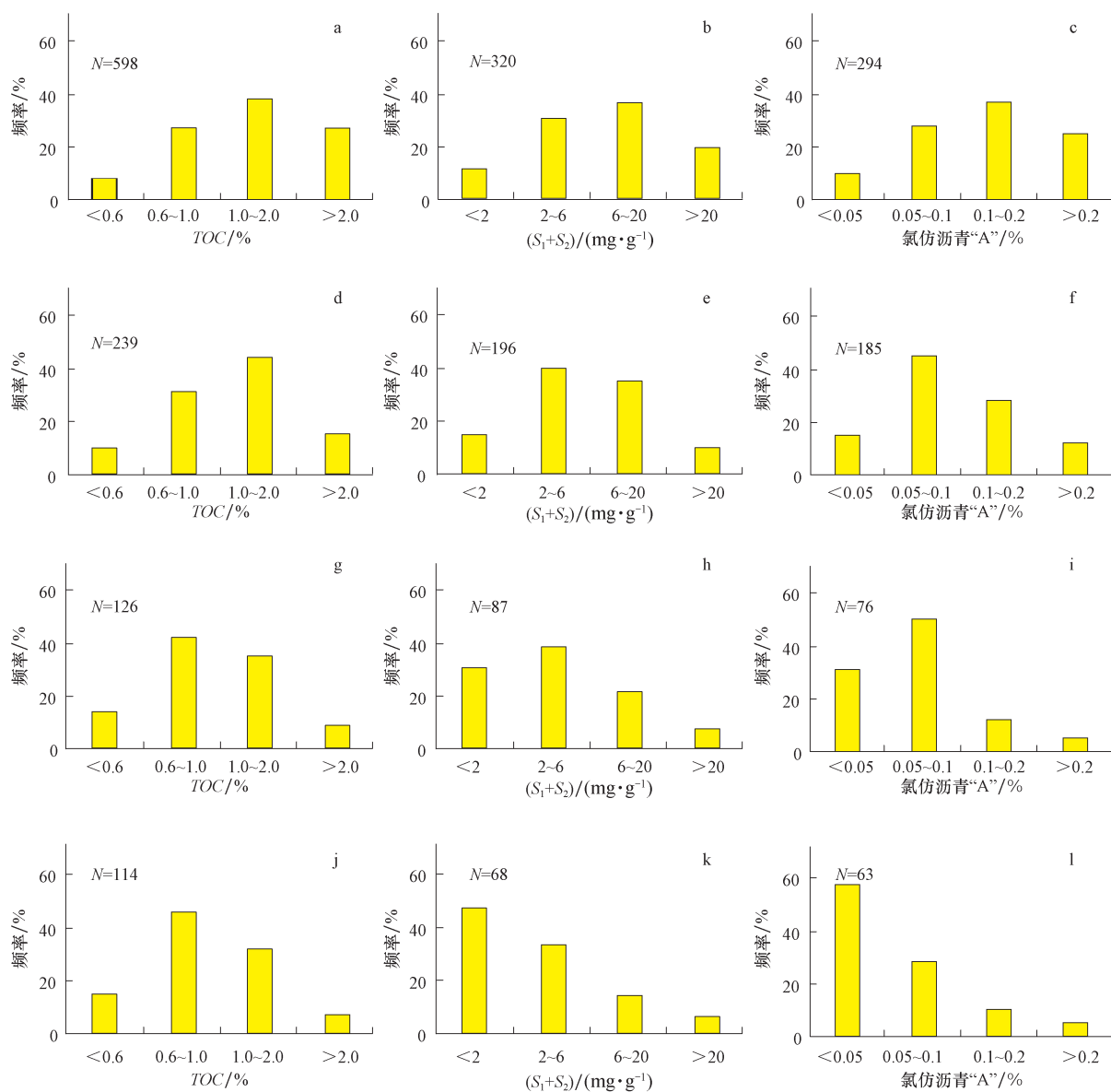


图2 贝尔凹陷不同层序有机质丰度统计

Fig. 2 Statistics of organic matter abundance in different sequences of Beier sag

a, b, c. SQ2 层序; d, e, f. SQ3 层序; g, h, i. SQ4 层序; j, k, l. SQ5 层序

3 层序格架内烃源岩发育特征

围绕烃源岩宏观、平面和垂向非均质性,开展不同层序、同一体系域内平面和剖面上烃源岩性质研究,以明确烃源岩的分布和非均质特征,为圈定烃源岩的分别规模、界定不同丰度烃源岩的平面分布范围和垂向上的发育厚度奠定基础,进而更好地预测烃源岩体积(质量)。

3.1 烃源岩宏观非均质性

受构造、沉积及物源供给等影响,不同层序内烃源岩的性质和分布规模不一。SQ1 层序沉积时期为盆地裂陷初期,断块差异沉降,沉降速率较小,表现为“窄盆浅水”的特征,烃源岩分布非常局限;SQ2 层序沉积时

期为强烈裂陷期,断裂持续活动,构造分异较大,断陷分割性强,发生第一次大规模水进,表现为“深盆深水”的特征,深湖-半深湖相暗色泥岩的发育面积达到最大,烃源岩样品的生烃指标也表明其生烃能力最强;SQ3 层序沉积时期为断陷鼎盛期,断裂持续活动,水域面积变大,但 SQ3 层序沉积时期水体较浅,表现为“广盆、浅水”沉积环境,深湖-半深湖相的暗色泥岩发育规模明显萎缩,滨浅湖相泥岩相对发育,有机质丰度整体趋于变低、有机质类型开始倾向Ⅲ型;SQ4、SQ5 层序沉积时期为断拗转换期,只有少部分断裂活动,沉积范围进一步较大,广泛发育滨浅湖相的泥岩,有机质类型以Ⅲ型为主,构成了盆地重要的区域性盖层^[17]。由此可见,SQ2 层序深湖-半深湖相的暗色泥岩发育规模最大,其次是 SQ3 层序。

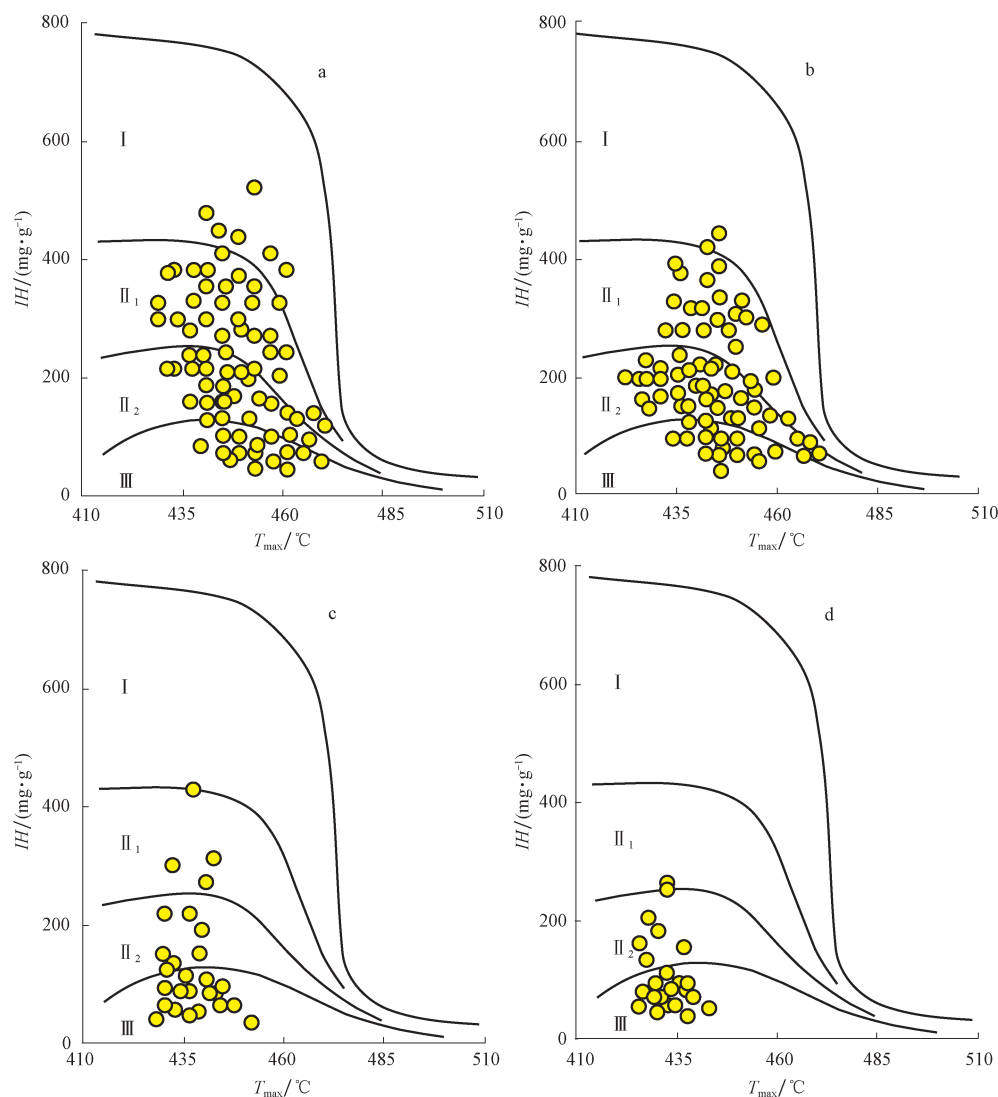


图3 贝尔凹陷不同层序有机质类型

Fig. 3 Distribution of different types of organic matter in different sequences of Beier sag

a. SQ2 层序; b. SQ3 层序; c. SQ4 层序; d. SQ5 层序

3.2 烃源岩平面非均质性

体系域为研究同一物源、不同沉积位置烃源岩的特征提供了精细的格架,为缺少钻井地区烃源岩预测提供了依据。研究认为,贝尔凹陷同一体系域内烃源岩性质与沉积环境关系密切,平面上烃源岩品质受沉积相控制特征明显。深湖-半深湖相暗色泥岩生烃指标最好,其次是滨浅湖相,三角洲前缘亚相最差。以SQ2湖侵体系域为例,从其沉积相与烃源岩TOC含量关系看(图6),深湖-半深湖沉积环境烃源岩有机碳含量最高,整体在2.0%以上,是研究区最具潜力的生油岩;滨浅湖亚相有机碳含量次之,多数在1.0%~2.0%,属于中等-好源岩;辫状河三角洲前缘亚相对应有机碳含量主要在1.0%以下,属于差-中源岩。

3.3 烃源岩垂向非均质性

研究区烃源岩垂向非均质性也非常明显,即使是同

一体域内部,有机质类型也存在多样性,TOC数值也可相差数倍,同时烃源岩样品较离散,利用离散的实测TOC的大平均值表征烃源岩的烃潜力会掩盖局部优质烃源岩。为此,本文借助变系数 $\Delta\lg R$ 方法^[11]计算得到井剖面上连续的TOC值,对垂向上源岩的性质进行精细刻画。

变系数 $\Delta\lg R$ 技术依据沉积特征的差异,分区域选取代表井重新厘定经验参数,对陆相非均质性强、有机质丰度偏低地层的TOC含量测井效果较好。经反复验证,该方法能够对研究区TOC含量大于1%地层进行准确预测。

以B13井为例,测井方法计算的TOC值与实测值的趋势吻合较好,虽然对实测TOC小于1.0%部分误差较偏大,但不影响对源岩性质的判别(图7)。从该井地化指标的垂向变化看,TOC含量大于2.0%,有机质类型倾向I型的主力烃源岩集中发育在湖侵体系域和高水位体系域的早期,尤其是SQ2湖侵体系域主力源岩最发育,而低水位体系域和高水位体系域晚期

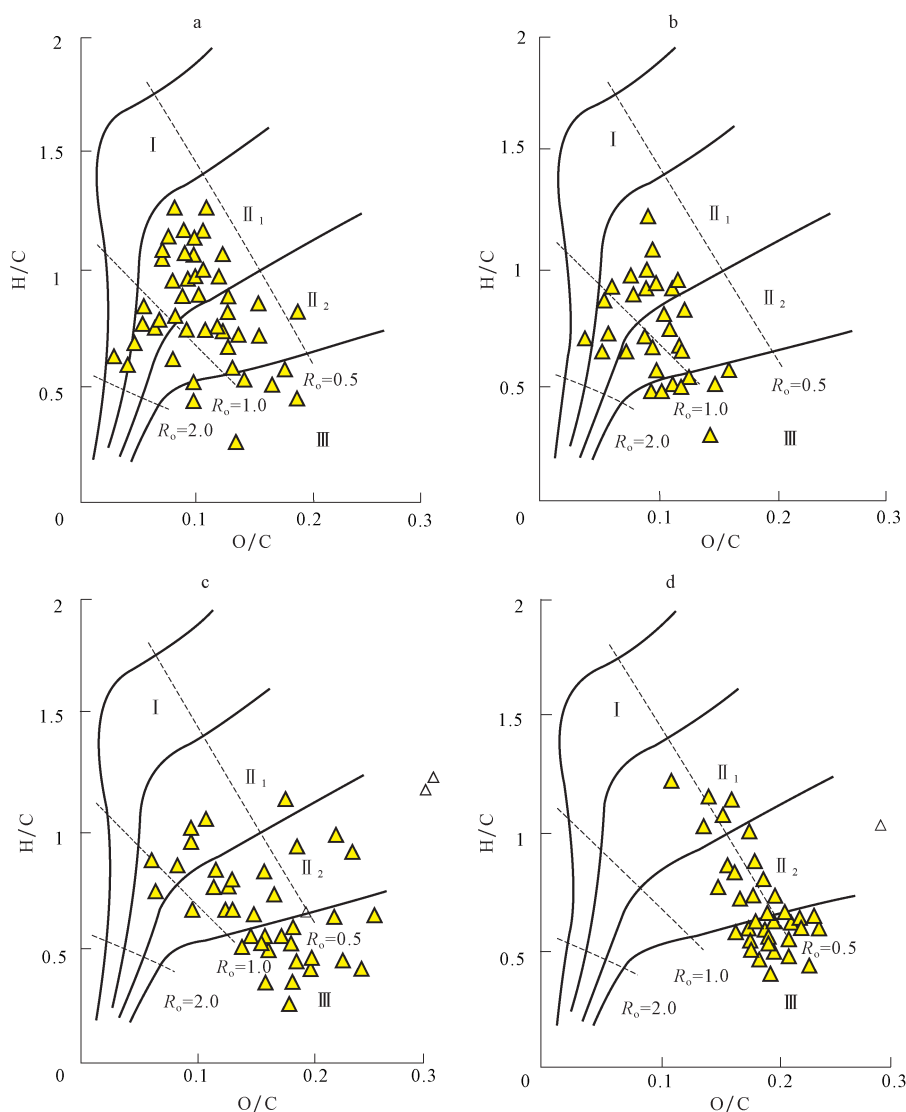


图4 贝尔凹陷不同层序暗色泥岩干酪根元素类型

Fig. 4 Classification of kerogene pyrolysis parameters of different sequences in Beier sag

a. SQ2 层序; b. SQ3 层序; c. SQ4 层序; d. SQ5 层序

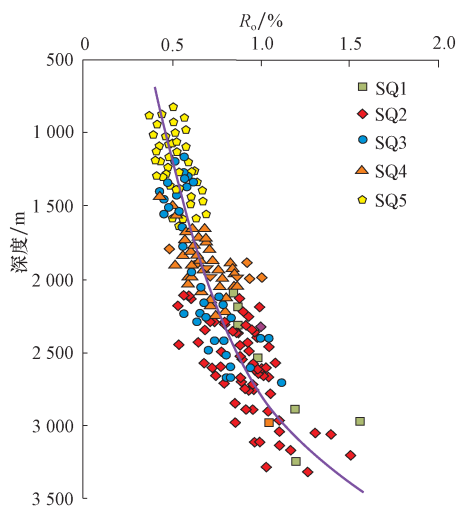


图5 贝尔凹陷烃源岩镜质体反射率与埋深关系

Fig. 5 Relationship between R_o and buried depth of samples from Beier sag

TOC 含量多数不足 2.0%, 有机质类型也更倾向 III 型。此外, SQ2 湖侵体系域内部烃源岩的非均质特征也较为明显, 不仅有有机质类型具有混杂特征, 并且局部源岩 (TOC 接近 6.0%, 有机质类型以 I 型和 II₁ 型为主) TOC 数值是其余部分的三倍, 而根据测井方法计算的井剖面上连续的 TOC 值, 不仅能够直观地展现出高丰度烃源岩的垂向分布, 进一步结合相应的界限值, 也可计算出不同丰度级别源岩的厚度。

4 层序格架内烃源岩的生油与排油特征

4.1 烃源岩的排油特征

理论上不同有机质丰度和类型烃源岩的排烃能力不同, 排烃能力越强的烃源岩对成藏越有利。根据物

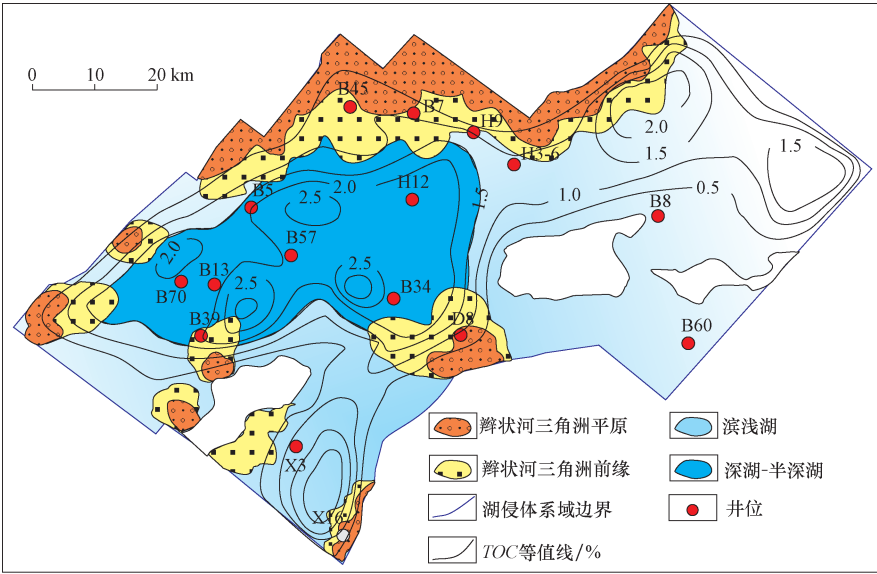


图 6 贝尔凹陷 SQ2 湖侵体系域沉积相与有机碳含量

Fig. 6 Composite map of sedimentary facies and TOC contour lines of SQ2 transgressive system tracts in Beier sag

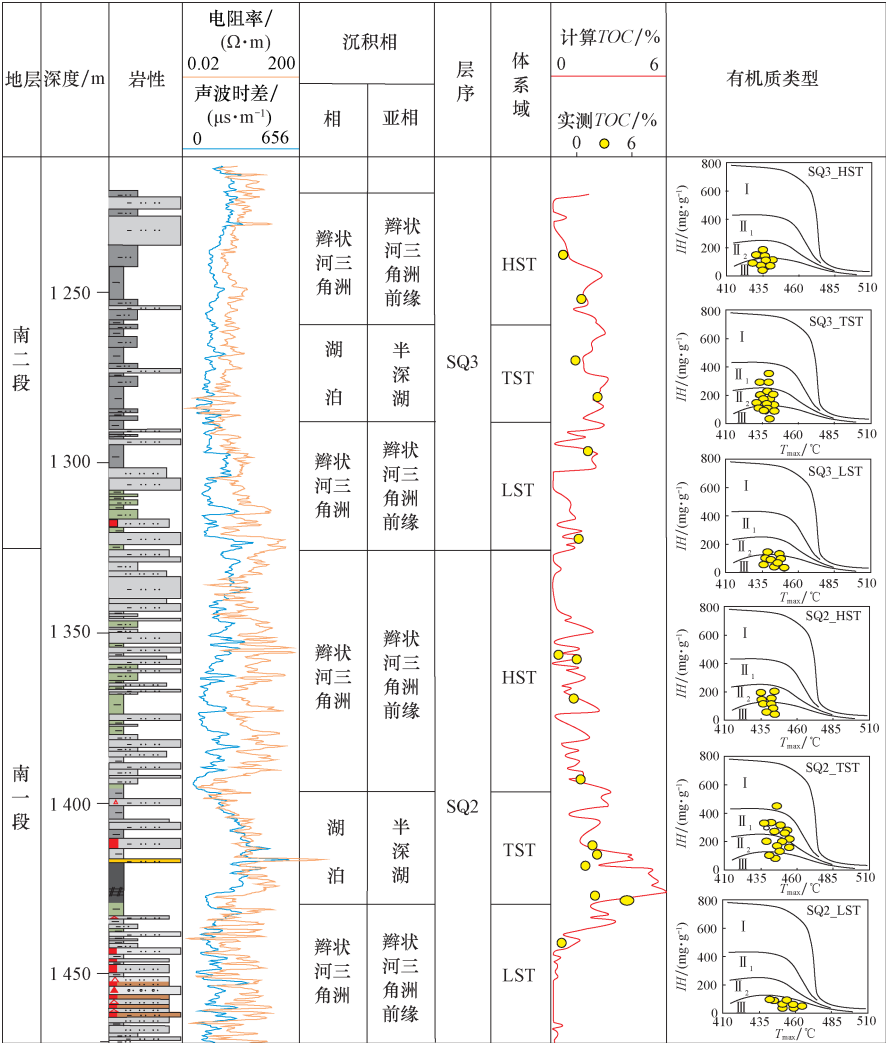


图 7 贝尔凹陷和 B13 井层序格架中烃源岩发育特征

Fig. 7 Synthesis column map of source rocks in sequence framework of well B13 in Beier sag

质平衡原理,利用单位质量烃源岩的生油量与残油量的差可计算单位烃源岩的排油量,通过单位质量烃源岩排油量与 TOC、有机质类型的关系可以得到不同类型烃源岩的排油特征^[6]。从图 8 可以看出,原始有机

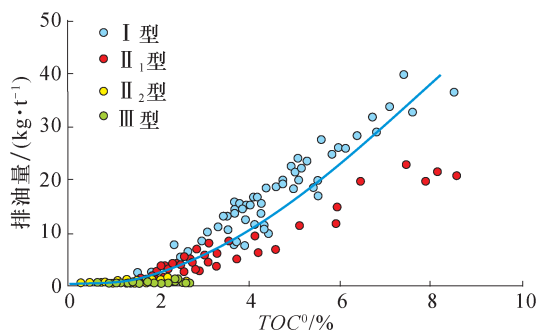


图8 贝尔凹陷单位质量烃源岩排油量
与原始有机质丰度的关系

Fig. 8 Relationship between oil expulsion amount per unit of mass of source rock and the original abundance of organic matter in Beier sag

碳含量(TOC^0)在3.0%处排油量突增,之后近似呈指数趋势增大,说明 TOC^0 大于3.0%(有机质类型以I和II₁型为主)的优质烃源岩的排烃特征非常值得关注。为方便应用,将 $TOC^0 = 3.0\%$ 转化成现今 TOC 含量,对应的 TOC 值约为2.0%^[22]。

4.2 烃源岩的生油与排油量

在烃源岩平面分布特征和垂向厚度分布的基础上,以体系域为单元,通过烃源岩的面积与厚度的乘积,并进行相应的单位转化和体系域之间的累加,即可得到SQ2、SQ3层序烃源岩的总质量和优质烃源岩的质量(图9)。进而可以计算得到SQ2和SQ3烃源岩和优质烃源岩的生油与排油量(图10)。

从图9和图10可以看出,虽然SQ3和SQ2烃源岩质量相差不大,但SQ2层序的生油与排油量是SQ3层序生油与排油量的近5倍,说明SQ2层序对贝尔凹陷的生油量的贡献较大;同时,SQ3和SQ2层序优质烃源岩质量分别占各自烃源岩总质量的45%和43%,但生油量占各自总生油量的74%和84%,排油量分别占各自总排油量的80%和93%,说明质量比例并不大的优质烃源岩对生油与排油量起主要贡献。此外,SQ2层

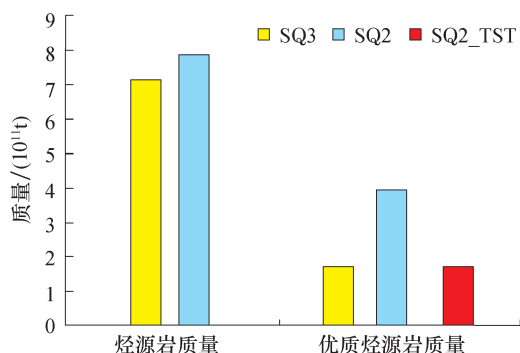


图9 贝尔凹陷烃源岩和优质烃源岩质量

Fig. 9 Mass of source rocks and high-quality source rocks in Beier depression

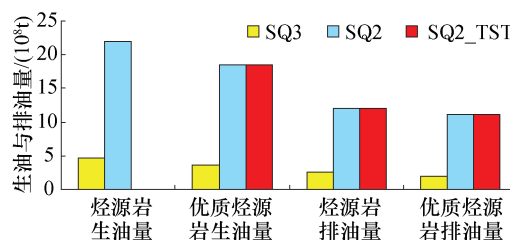


图10 贝尔凹陷烃源岩及优质烃源岩生油与排油量

Fig. 10 Amount of hydrocarbon generation and expulsion from source rocks and high-quality source rocks in Beier sag

序优质烃源岩主要发育在湖侵体系域(SQ2_TST),质量占该层序所有优质烃源岩的81%,生、排油量分别占该层序优质烃源岩生、排油量的82%和90%,说明对贝尔凹陷生油与排油量起主要贡献的是SQ2湖侵体系域的优质烃源岩。

油源对比结果进一步证实了SQ2层序优质烃源岩对油气成藏起主要贡献。从B38井甾烷和萘烷的质量色谱图(图11)可以看出,该井油砂的五环三萜类Ts略小于Tm,伽马蜡烷含量低, $C_{27} - C_{28} - C_{29}\alpha\alpha\alpha - 20R$ 甾烷三个峰呈略不对称的“V”字形特征,说明着相当一部分有机质来源于水生生物,这与湖侵体系域的优质烃源岩相应特征非常接近;而低水位体系域的Tm丰度明显大于Ts丰度,伽马蜡烷具有一定的丰度, $C_{27} - C_{28} - C_{29}\alpha\alpha\alpha - 20R$ 甾烷三个峰呈明显不对称的“V”字形, C_{29} 丰度明显大于 C_{27} ,这与和B38井油砂的生标特征差别较大;高水位体系域Ts含量大于Tm含量,且伽马蜡烷丰度较高,表明较多的陆源有机质输入, $C_{27} - C_{28} - C_{29}\alpha\alpha\alpha - 20R$ 甾烷峰型特征也与B38井原油也有较大的差别。

5 结论

1) 贝尔凹陷白垩系层序地层格架内发育两套主力烃源岩,分别对应着SQ2和SQ3层序,地化分析样品表明主力烃源岩 TOC 、氯仿沥青“A”、主烃潜量($S_1 + S_2$)等指标多数达到好源岩级别,偏油性有机质所占比重较大,且处于成熟-高成熟演化阶段。

2) 主力烃源岩内局非均质特征明显,源岩品质平面上“相控”特征明显,垂向上优质烃源岩局部集中发育。平面上,同一体系域内深湖-半深湖相烃源岩生烃指标最好,其次是滨浅湖和辫状河三角洲前缘相。垂向上,垂向上,高位域早期和低位域优质烃源岩生烃指标最好,尤其是SQ2湖侵体系域,部分烃源岩 TOC 含量接近6.0%,有机质类型接近I型,优质烃源岩最发育。

3) 烃源岩和优质烃源岩生油与排油量计算结果表明,SQ2层序烃源岩生油量占绝对优势,其内部优质

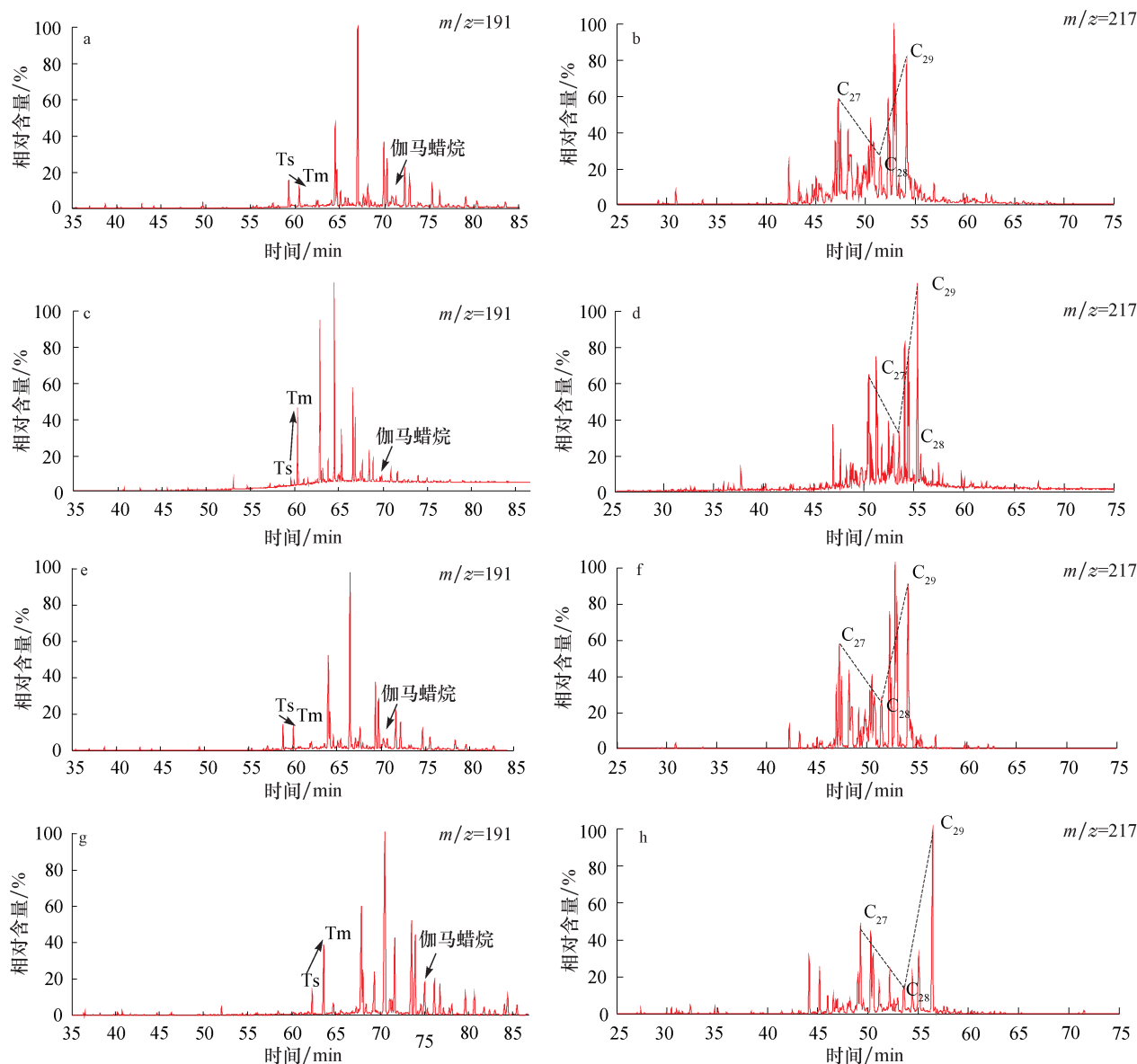


图 11 贝尔凹陷不同体系域烃源岩甾烷与萜烷质量色谱图

Fig. 11 Steranes and terpanes mass chromatogram in different system tracts of Beier sag

a, b. B38 井, 2 239.5 m 油砂, SQ3, LST; c, d. B38 井, 2 327.4 m 泥岩, SQ2, HST; e, f. B38 井, 2 386.1 m 泥岩, SQ2, TST; g, h. B38 井, 2 427.8 m 泥岩, SQ2, LST

烃源岩的生烃与排烃贡献分别高达 84% 和 93%, 对研究区生排油量起主要贡献, 并在油源对比中得到证实。

参 考 文 献

- [1] 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 Shuichang, Zhu Rukai, et al. Sea-level change and heterogeneity of source rocks of Lianglitage Formation in the central Tarim area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(5): 45-50.
- [2] 赵彦德, 刘洛夫, 张枝焕, 等. 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[J]. 沉积学报, 2008, 26(6): 1077-1085.
Zhao Yande, Liu Luofu, Zhang Zhihuan, et al. Distribution and hydrocarbon generation of the Eocene source rocks in a sequence stratigraphic framework in the Nanpu sag, Bohai Bay Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(6): 1077-1085.
- [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] Tobias H D, Payenberg, Miall A D. A new geochemical-sequence stratigraphic model for the Mahakam Delta and Makassar slope, Kalimantan, Indonesia: Discuss[J]. AAPG Bulletin, 2001, 86(6): 1098-1101.
- [5] Creaney S, Passey Q R. Recurring patterns of total organic carbon and source rock quality within a sequence stratigraphic framework[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(3): 386-401.
- [6] 卢双舫, 马延伶, 曹瑞成, 等. 优质烃源岩评价标准及其应用: 以海拉尔盆地乌尔逊凹陷为例[J]. 地球科学——中国地质大学学报

- 报,2012,37(3):535-544.
- Lu Shuangfang, Ma Yanling, Cao Ruicheng, et al. Evaluation criteria of high-quality source rocks and its applications; taking the Wuerxun sag in Hailaer Basin as an example [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2012, 37(3):535-544.
- [7] 付丽. 海拉尔盆地贝尔凹陷油气生成与成藏研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2008.
- Fu Li. Study on the generation and accumulation of oil in Beier depression, Hailaer Basin [D]. Da Qing: Daqing Petroleum Institute, 2008.
- [8] 李敬生. 贝尔凹陷优质烃源岩的发现及其地质意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(3):326-332.
- Li Jingsheng. Discovery and geological significance of high-quality source rock in Bei'er sag of Hailaer Basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2013, 40(3):326-332.
- [9] Passey Q R, Creaney S, Kulla J B. A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs [J]. *AAPG Bulletin*, 1990, 74(5):1777-1794.
- [10] 杨涛涛, 范国章, 吕福亮, 等. 烃源岩测井响应特征及识别评价方法[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(2):414-422.
- Yang Taotao, Fan Guozhang, Lv Fuliang, et al. The logging features and identification methods of source rock [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2013, 24(2):414-422.
- [11] 刘超, 卢双舫, 薛海涛. 变系数 $\Delta\log R$ 方法及其在泥页岩有机质评价中的应用[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(1):312-317.
- Liu Chao, Lu Shuangfang, Xue Haitao. Variable-coefficient $\Delta\log R$ model and its application in shale organic evaluation [J]. *Progress in Geophysics*, 2014, 29(1):312-317.
- [12] Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M. Siliciclastic sequence stratigraphy in well, cores and outcrops: Concept for high-resolution correlation of times and facies [J]. *AAPG Methods in Exploration*, 1990 (Series7): 11-55.
- [13] Katz B J, Pratt L M. Source rocks in a stratigraphic framework [J]. *AAPG Studies in Geology*, 1993, 37:1-247.
- [14] Peters K E, Snedden J W, Sulaeman A, et al. A new geochemical-sequence stratigraphic model for the Mahakam Delta and Makassar Slope, Kalimantan, Indonesia [J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84(1):12-44.
- [15] 李美俊, 李思田, 杨龙等. 层序地层地球化学及其在油气勘探中的作用[J]. 地学前缘, 2005, 12(3):219-226.
- Li Meijun, Li Sitian, Yang Long, et al. Sequence stratigraphic geochemistry and its application to hydrocarbon exploration. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(3):219-226.
- [16] 刘志宏, 梅梅, 柳行军, 等. 海拉尔盆地贝尔凹陷伸展断层转折褶皱作用及其对沉积作用的制约[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(5):1330-1337.
- Liu Zhihong, Mei Mei, Liu Xingjun, et al. Extensional fault-bend folding and its constraints on the sedimentation of Beier sag in Hailaer Basin [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2012, 42(5):1330-1337.
- [17] 曹瑞成, 李军辉, 卢双舫, 等. 海拉尔盆地贝尔凹陷白垩系层序地层特征及沉积演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 27(2):535-541.
- Cao Ruicheng, Li Junhui, Lu Shuangfang, et al. Sequence stratigraphic character and sedimentary evolution in Cretaceous in Huhehu depression in Hailaer Basin [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2010, 40(2):535-541.
- [18] 张君龙, 蒙启安, 漆家福. 断陷盆地多期构造变形特征与油气聚集——以海拉尔-塔木察格盆地南贝尔凹陷为例[J]. 石油实验地质, 2012, 34(4):368-375.
- Zhang Junlong, Meng Qi'an, Qi Jiafu. Multistage structural deformation features and hydrocarbon accumulation in faulted basin; a case study in Nanbeier Sag of Hailaer-Tamtsag Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2012, 34(4):368-375.
- [19] 李明义, 岳湘安, 江青春, 等. 海拉尔-塔木察格盆地中部断陷输导体系类型及其控藏作用[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(3):407-416.
- Li Mingyi, Yue Xiang'an, Jiang Qingchun, et al. Migration system types and their control on hydrocarbon accumulation in central fault depressions of Hailaer-Tamtsag Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(3):407-416.
- [20] 李占东, 李阳, 张海翔, 等. 海拉尔盆地乌尔逊-贝尔凹陷大磨拐河组油气成藏条件[J]. 石油实验地质, 2011, 33(5):480-487.
- Li Zhandong, Li Yang, Zhang Haixiang, et al. Petroleum accumulation conditions of Damoguaihe Formation in Urxun-Beier Sags, Hailaer Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2011, 33(5):480-487.
- [21] 杨勉, 徐梓洋, 杨柏松, 等. 贝尔凹陷基岩潜山致密储层裂缝分布预测[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(1):253-257.
- Yang Mian, Xu Ziyang, Yang Baisong, et al. Fracture prediction of bedrock buried hill tight reservoirs in Beier Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2014, 35(2):253-257.
- [22] 卢双舫, 刘晓艳, 曲佳燕, 等. 海拉尔盆地呼和湖凹陷烃源岩原始生烃潜力和原始有机碳的恢复[J]. 大庆石油学院学报, 1995, 19(1):31-34.
- Lu Shuangfang, Liu Xiaoyan, Qu Jiayan, et al. Restore of the original hydrocarbon generation potential and the original organic carbon content of source rocks in Huhehu depression of Hailaer Basin [J]. *Daqing Petroleum Institute*, 1995, 19(1):31-34.

(编辑 董立)