

北萨哈林盆地油气成藏主控因素及有利区带分析

陈文学, 吕雪雁, 周生友, 李长征
(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:北萨哈林盆地属于中生代弧后盆地, 发育中、上中新统奥科贝凯组页岩、上中新统努托瓦组下段页岩、下中新统威宁组和中、下中新统达吉组含煤层系3套烃源岩。主力产层为中、下中新统的达吉组砂岩和上中新统努托瓦组下段砂岩。圈闭类型为背斜、复杂断背斜和断块。统计分析表明, 平面上油气主要聚集在盆地东北萨哈林次盆, 并且海上油气储量、油气田规模均大于陆上; 垂向上油气主要分布在中中新统达吉组和上中新统努托瓦组。油气成藏条件综合评价分析认为, 盆地油气分布主要受构造和储层两方面因素的控制; 上新世晚期形成的构造圈闭是油气聚集的主要场所, 上新世晚期—全新世萨哈林褶皱幕对早期形成的圈闭起调整或破坏作用; 中、下中新统达吉组和上中新统努托瓦组下段砂岩的展布控制了油气藏的纵横向分布。油气勘探结果表明, 东北萨哈林次盆陆上部分勘探程度较高, 海上是近几年的储量增长区, 也是今后最具勘探潜力的地区, 其勘探目的层主要为努托瓦组和达吉组, 勘探目标主要为构造—地层型圈闭和地层型圈闭。

关键词: 油气分布; 油气成藏; 主控因素; 勘探潜力; 萨哈林盆地

中图分类号: TE122.3⁺1

文献标识码: A

Controlling factors of hydrocarbon accumulation and play fairway in North Sakhalin Basin

Chen Wenxue, Lü Xueyan, Zhou Shengyou, Li Changzheng

(SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Locating in the circum-Pacific fold belts of far-east in Russia, the North Sakhalin Basin is a back-arc basin developed from Mesozoic to Cenozoic. There are three sets of source rocks including shale in the Okobykay Formation of the Upper Miocene, shale in the lower Nutovo Formation of the Upper Miocene, and coal-bearing strata in the Weining Formation of the Lower Miocene and the Dagi Formation of the Lower Miocene. Its main oil production derived from the sandstones in the Dagi Formation of the Middle and Lower Miocene and the lower Nutovo Formation of the Upper Miocene. The major trap types are anticlines, complex faulted anticlines and fault blocks. Oil and gas mainly accumulated in the Sakhalin sub-basin in the northeast, with larger reserves offshore than onshore. Vertically, they were mainly found in the Dagi Formation of the Middle Miocene and the Nutovo Formation of the Upper Miocene. The comprehensive evaluation of reservoir conditions showed that the distribution of oil and gas were mainly controlled by structure and reservoir development. The structural traps formed during the late Pliocene provided spaces for hydrocarbon accumulation, and the folding event which took place from the late Pliocene to Holocene functioned as adjustment and even destruction to traps. The distribution of sandstones in the Dagi Formation of the Middle and Lower Miocene and the Nutovo Formation of the Upper Miocene controlled the plane and vertical distributions of hydrocarbon. Compared to the highly explored onshore area, the offshore area has a great potential, and the exploration targets should be focused on the structural-stratigraphic and stratigraphic traps in the Nutovo and Dagi Formations.

Key words: hydrocarbon distribution; hydrocarbon accumulation; controlling factors; exploration potential; Sakhalin Basin

北萨哈林盆地, 又称东萨哈林—鄂霍茨克盆地, 位于俄罗斯萨哈林岛的北部, 面积为 234 166 km²。盆地 88.9% 的面积位于海域, 覆盖了萨哈林东部大陆架的大部分地区, 并进入了鄂霍茨克海的深水区

(图 1)。盆地在 1923 年首次获得油气发现, 根据 IHS 数据^[1], 截至 2012 年 7 月, 共发现油气田 76 个, 累计探明油气可采储量 120×10⁸ bbl (1 bbl=0.137 t) 油当量。

收稿日期: 2013-08-06; 修订日期: 2014-08-01。

作者简介: 陈文学 (1963—), 男, 教授级高级工程师, 从事石油地质研究工作。E-mail: Chenwx.syky@sinopec.com。

基金项目: 中国石油化工股份有限公司科技开发部项目 (P09085) 资助。

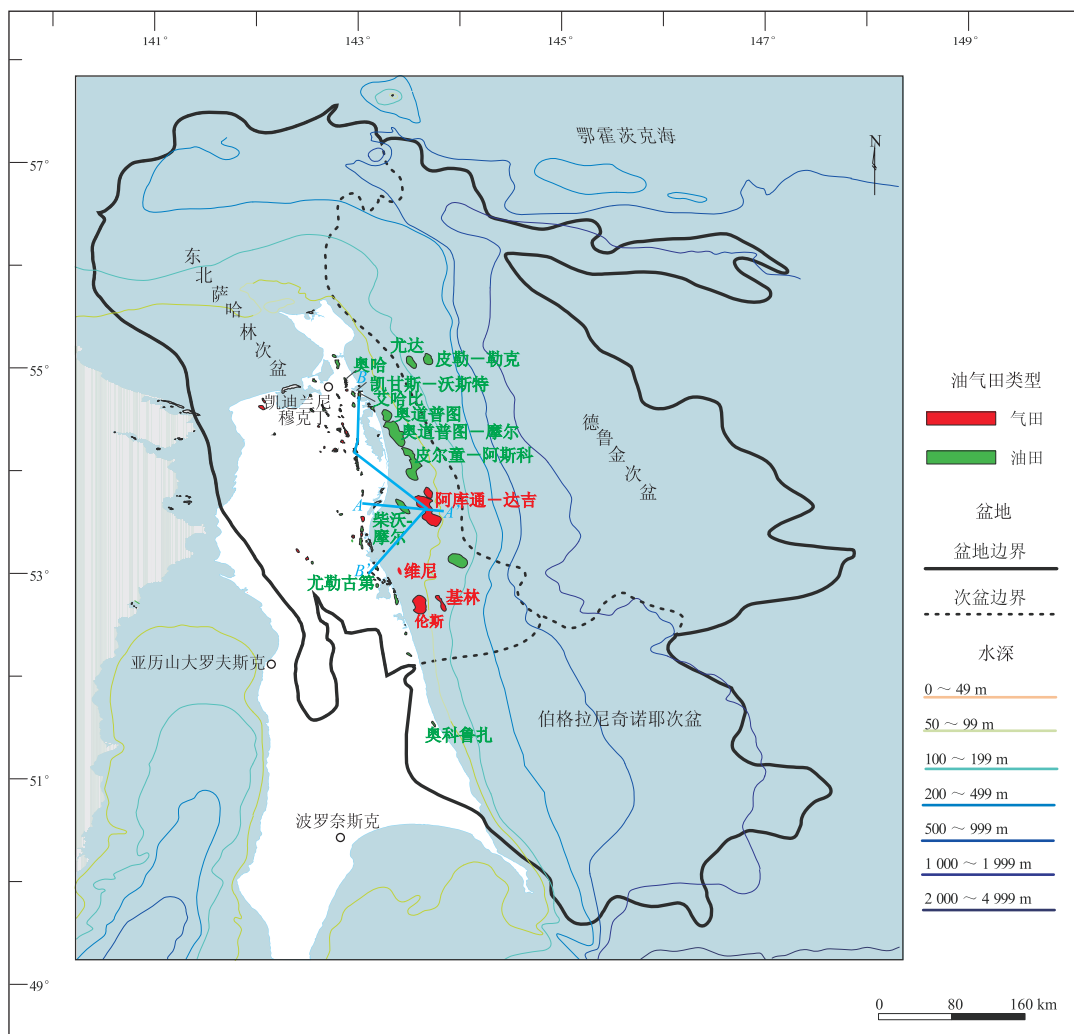


图 1 北萨哈林盆地位置及油气田分布

Fig.1 Location of North Sakhalin Basin and hydrocarbon distribution

经过近 90 年的勘探,盆地陆上勘探已进入成熟阶段,海上勘探起步较晚,近几年仍陆续有重要油气发现^[2-3]。受勘探认识、勘探程度、地表条件等因素的制约,目前对盆地油气成藏条件还缺乏系统的认识,对盆地油气分布及主控因素的认识还有待进一步深化。本文试图通过分析近几年北萨哈林盆地海上油气新发现的石油地质测试资料,结合陆上研究成果,分析总结盆地油气分布特点及成藏主控因素,提出下步勘探有利区带。

1 盆地构造演化及沉积充填

1.1 盆地构造演化特征

北萨哈林盆地属新生代弧后盆地,盆地的演化与亚洲板块东部边缘的板块构造演化有着密切的关系^[4-5]。盆地的演化过程可分为古新世—渐新世(65~29.3 Ma)裂谷期、渐新世—上新世(29.3~3.4 Ma)转换拉伸期(主要沉降期)和上新世至今

(3.4~0 Ma)反转期(挤压隆升期)。

盆地发育 2 期构造,早期构造形成于裂谷期,构造走向以北北东向为主,包括一系列凸凹相间的向斜、背斜及正、逆断裂;晚期构造形成于反转期,包括系列东西向背斜、向斜带及正、逆断裂;2 期构造表现为早期南北向背斜被晚期东西向断层切割。由于晚期构造运动的叠加,早期形成的构造格局遭受强烈改造,构造线方向变得模糊(图 2)。根据沉积充填特征和构造样式,盆地进一步分为 3 个次盆,分别为东北萨哈林次盆、德鲁金次盆和伯格拉尼奇诺耶次盆。

1.2 沉积充填特征

盆地基底为上古生界—三叠系岩层^[6-8],侏罗系和下白垩统变质岩超覆在其上,呈不整合接触。盆地沉积盖层总体上厚度变化明显,由东向西呈巨大的楔形,在坳陷中可达 7~8 km。不同时代地层平面展布特征表现为向海洋方向由较老的沉积组

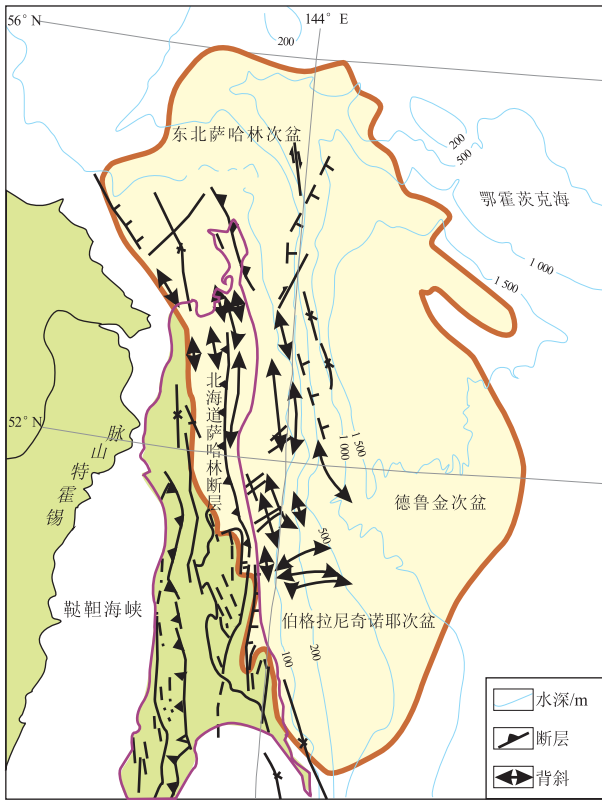


图2 北萨哈林盆地构造单元划分及特征

Fig.2 Subdivision and structure feature of North Sakhalin Basin

合(古近系)向较新的沉积组合(中新统和上新统)过渡(图3)。

根据沉积充填特点,结合盆地构造演化,盆地沉积盖层可以划分为3大构造层。(1)下部构造层为上白垩统,在盆地西部为砂质泥岩,厚度约为5 km,东部为火山岩建造;(2)中部构造层为强变形的碎屑岩层,厚度6~8 km,包括古近系和新近系6套地层,分别为始新统的利索克斯组(部分地区称留卡明组)、渐新统的迈棋喀组(部分地区称穆特诺夫组)、达耶—胡林组(部分地区称图穆斯卡

亚组)、中新统的威宁组(部分地区称克伦多组)、达吉组(部分地区称皮尔斯卡亚组)、奥科贝凯组和努托瓦组。发育2大套烃源岩、6套储层和多套盖层,垂向上形成多套储盖组合,是盆地油气勘探的主要目标层系;(3)上部构造层为上上新统一第四系弱变形的碎屑岩层。

2 油气成藏条件

2.1 烃源岩特征

根据 Popovich 等^[9]将北萨哈林盆地的原油划分为2种类型。I类原油地化特征是: C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 正甾烷的比例稳定, C_{29} 含量不超过36%;环己烷/环戊烷比值低;藿烷/甾烷比值3.0~5.0,姥/植比1.1~2.0。I类原油主要产自东北萨哈林次盆陆上和邻近陆架油气田,产层包括奥科贝凯组和努托瓦组下段(图4)。

II类原油的典型特点是 C_{29} 甾烷含量高,大于50%;环己烷/环戊烷比值高,大于1.5;姥/植比变化范围大(1.13~2.61)。II类原油主要产自盆地中部和东南部油气田,储层包括威宁组和达吉组。

综合分析表明,北萨哈林盆地垂向上存在上下2套烃源岩,下部烃源岩为威宁组和达吉组滨岸相—陆相含煤系地层,以生成II类原油为主;上部烃源岩为奥科贝凯组海相泥页岩和努托瓦组下段海相泥页岩,以生成I类原油为主。

2.1.1 威宁组和达吉组烃源岩

威宁组和达吉组含煤层系被认为是萨哈林北部重要的气源^[10],沉积相包括陆相和滨岸海相。该套地层腐殖型有机质含量高,但平面上变化较大。

威宁组煤系地层在盆地西北地区以腐殖型有机质含量高为特点;在盆地东南部地区和盆地北部奥哈地区由于相变为深水沉积,腐泥型有机质含量

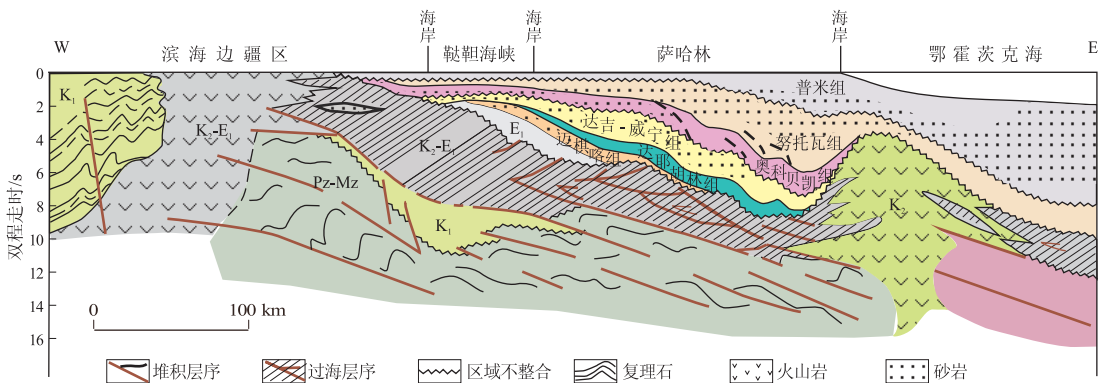


图3 北萨哈林盆地区域地质横剖面

根据参考文献[1]修改。

Fig.3 Regional geological section in North Sakhalin Basin

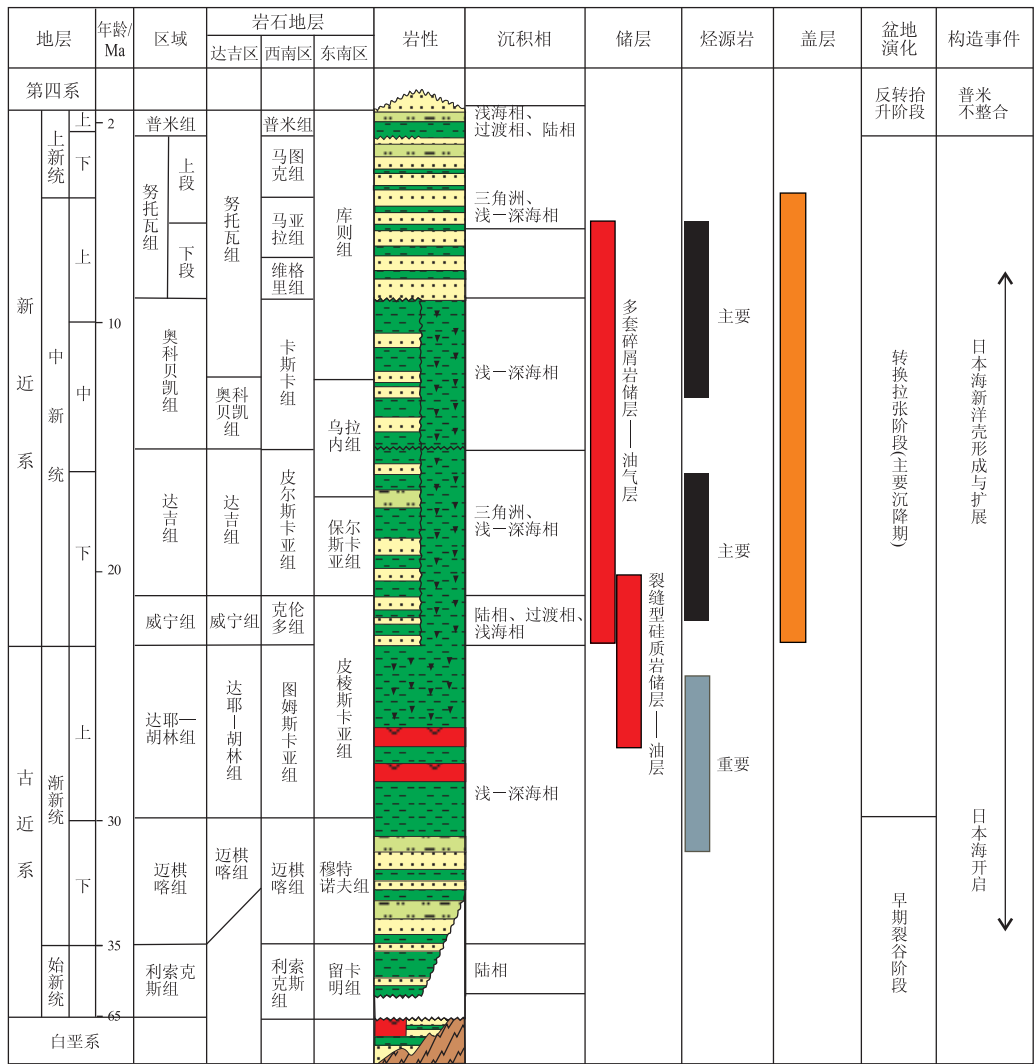


图 4 北萨哈林盆地综合地层柱状图

Fig.4 Comprehensive stratigraphic column in North Sakhalin Basin

表 1 北萨哈林盆地主要生油层地化特征

Table 1 Geochemical characteristics of main source rocks in North Sakhalin Basin

层位	分布	有机质类型	沉积环境	$\omega(\text{TOC})/\%$	$R_o/\%$	厚度/m
努托瓦组	盆地东北部	腐殖—腐泥型	浅海—半深海	0.5~1.17	<0.5~1.2	500~2 500
奥科贝凯组	全盆地	盆地西部为腐殖型,东北部为腐泥—腐殖型	浅海—半深海			
达吉组	全盆地	盆地西部为腐殖型,东部为腐泥型	盆地西部为海陆过渡相,东部为海相	最大 1.5	0.45~1.6	500~1 500
威宁组	全盆地	盆地西北部为腐殖型,东南和东北部为腐泥—腐殖型				

增加。达吉组在盆地西部为三角洲、潟湖、滨岸相的砂岩和泥岩沉积,有机质类型为腐殖型;在东部相变为海相深水泥页岩沉积,有机质类型变为腐殖型,海相泥页岩最大有机质含量为 1.5%(表 1)。

另外,达吉组在盆地西南部地区的同期深水沉积被称为皮尔斯卡亚(Pilskaya)组,岩性为硅质岩,是凯甘斯—沃斯特(Kayganskoye Vostochnoye)油气发现中液态烃的源岩;平均氢指数 326 mg/g,有机质

类型 II-I 型。英国石油公司钻探证实,皮尔斯卡亚硅质岩也是萨哈林海上德鲁金次盆最近油气发现(皮勒—勒克和尤达)的源岩。威宁组和达吉组源岩在构造高部位埋藏浅, $R_o = 0.45\% \sim 0.76\%$, 进入生油门限;但在低部位,演化程度高, R_o 达到 1.6%。

2.1.2 奥科贝凯组和努托瓦组下段烃源岩

奥科贝凯组为 1 套海进—海退沉积层序,在盆地西部为粗粒的含煤碎屑岩沉积,有机质类型为腐殖型;在盆地东北部变为相对深水相的海相泥页岩沉积,有机质类型为腐泥—腐殖型。奥科贝凯组深水海相泥页岩是盆地东北部油气田的主要源岩。

努托瓦组下段由过渡相和浅海相砂岩、泥岩组成,在萨哈林岛的东北部为潟湖相和三角洲相,到鄂克次克海上变为海相深水沉积。泥岩有机质类型为腐殖—腐泥型,自西向东有机质含量增加,TOC 最大值位于阿库通(Arkutun)油气田,平均 1.17%,向南到达吉—摩尔(Dagi—More)、维尼(Veninskoye)

和伦斯(Lunskoye)油气田降到 0.81%~0.84%,向北到柴沃(Chayvo)、皮尔童—阿斯科(Piltun—Astokh)和奥道普图(Odoptu)油气田,降到 0.5%~0.62%。该套泥页岩氯仿沥青含量在 150×10^{-6} 左右。

在萨哈林岛陆上,奥科贝凯组和努托瓦组下段泥页岩的热演化程度不高, $R_o < 0.5\%$, 但越靠近海域,演化成熟度越高,在柴沃油气田附近 R_o 可达 1.2%。

2.2 储层特征

北萨哈林盆地发育 6 套储层,分别是努托瓦组下段、奥科贝凯组、达吉组、威宁组(表 2)及盆地东南部的皮棱斯卡亚组(相当于威宁组和达耶—胡林组)和保尔斯卡亚组(达吉组下段同期沉积)。其中,达吉组砂岩和努托瓦组下段砂岩是北萨哈林盆地的主力产层。达吉组和努托瓦组属于古阿穆尔河的 1 个大三角洲沉积体系(图 5)。地震地层学上表现为达吉组浅海相三角洲沉积自西向东前积,之上是奥科贝凯组加积和退积沉积,以及 1 个

表 2 北萨哈林盆地重要储层特征

Table 2 Key reservoir characteristics in North Sakhalin Basin

产层	地层	分布	岩性	沉积环境	孔隙度/%	渗透率/ ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)
努托瓦组下段	上中新统	海上	砂岩	三角洲	15~34	10~1 000
奥科贝凯组	中、上中新统	陆上	砂岩	浅海—深海陆架	10~30	10~10 000
达吉组	中、下中新统	盆地	砂岩	三角洲	11~37	10~10 000
威宁组	下中新统	不清	砂岩	陆相、过渡相、浅海相	15~20	10~90

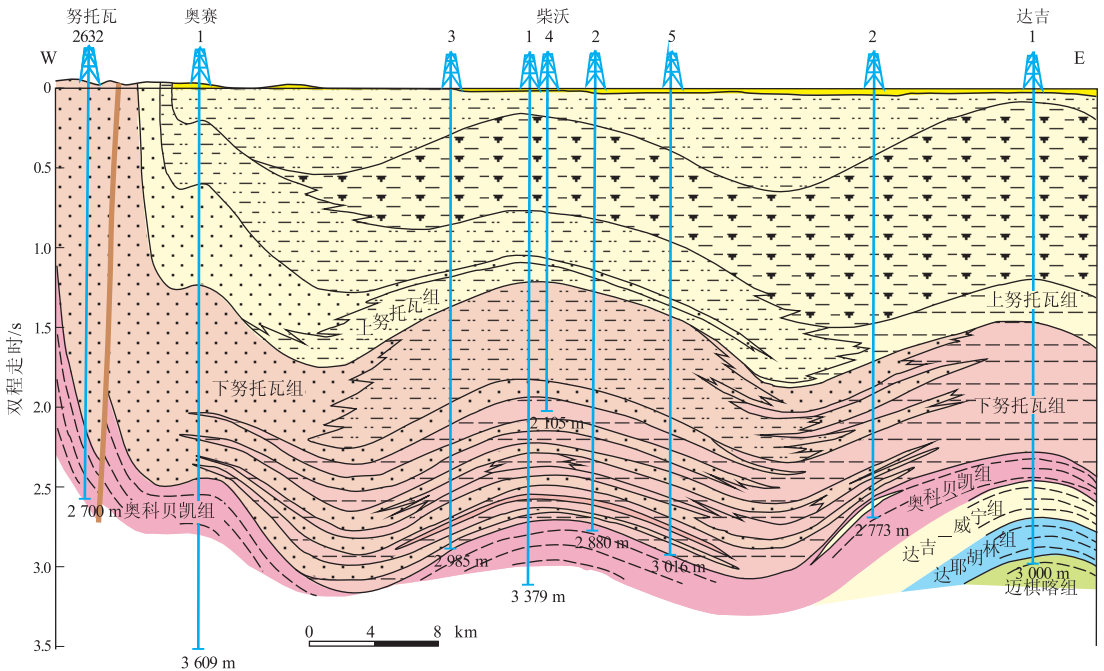


图 5 北萨哈林盆地努托瓦组沉积剖面
位置见图 1 测线 AA', 根据参考文献[1]修改。

Fig.5 Sedimentary profile of Nutovo Formation in North Sakhalin Basin

相似的自西向东前积的努托瓦三角洲沉积。

威宁组包含 1~4 个厚度在 5~20 m 的储层单元。达吉组产层垂向上可以划分为 20 多个净厚度为 1~38 m 的砂层(组),油气层孔隙度平均 22%,渗透率平均 $320 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;储层物性最好的地区位于盆地西部、北部和东北部。奥科贝凯组砂岩储层只在萨哈林陆上作为产层,包括 5~8 个净厚度在 1~50 m 的砂层。努托瓦组下段砂岩储层主要发育在海上,产层厚度 1~54 m(平均 6 m),孔隙度平均 23%,渗透率平均 $200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

总体上,北萨哈林盆地储层横向分布连续性较差,但在一个局部构造单元内,砂层组的厚度和岩性还比较稳定。

2.3 盖层特征及储盖组合

根据区域地质资料,北萨哈林盆地海区,主要发育 3 套区域性或半区域性盖层,即努托瓦组上段含粉砂的泥岩层序,奥科贝凯组粉砂质—砂质泥岩层序,达耶—胡林组深水硅质泥岩层。努托瓦组下段砂岩、奥科贝凯组砂岩、达吉组砂岩和威宁组砂岩与其上覆的泥岩、粉砂质泥岩沉积形成良好的储盖组合。

2.4 圈闭特征

盆地圈闭类型为背斜、复杂断背斜和断块。以北海道—萨哈林剪切带(断裂带)为界,盆地东、西部圈闭特点不同。盆地西部已发现油气藏圈闭类型主要为断块型、断背斜型,并且圈闭面积普遍较小,最大 15.5 km^2 ,平均 3.0 km^2 ;而盆地东部则以背斜为主,圈闭面积较大,最大 246 km^2 ,平均 85 km^2 。

其次,盆地东、西部圈闭形成时间和形成机制也存在差异。东部宽缓背斜型圈闭构造的形成有一定继承性,油气藏具有统一的油水界面;而西部被多期断层切割形成规模较小的断块或断背斜圈闭,其形成受基底大断裂活动产生的挤压应力控制,形成时间较晚,油气藏不具有统一的油水界面。

3 油气分布特征及主控因素

3.1 油气分布特征

根据 IHS 数据库资料统计结果表明,截至 2012 年 7 月,北萨哈林盆地共发现油气田 76 个,石油原始可采储量 $35 \times 10^8 \text{ bbl}$,天然气原始可采储量 $13\ 018 \times 10^8 \text{ m}^3$,凝析油原始可采储量 $7.66 \times 10^8 \text{ bbl}$,天然气探明储量占盆地油气总储量的 66%。

平面上北萨哈林盆地 97% 的油气探明可采储量分布在东北萨哈林次盆,油气田呈近南北向成带分布,从北向南油减少,气增多。且以海上发现油气储量为主,无论是总油气储量及单个油气田规模海上均大于陆上(表 3)。

纵向上北萨哈林盆地油气主要分布在努托瓦组下段和达吉组,占已发现油气总储量的 97.2% (图 6)。

努托瓦组下段砂岩储层主要分布在海上,发现的油气探明储量占盆地总储量的 52.4%。储层岩性为三角洲相砂岩,盖层为三角洲前缘互层状泥岩,圈闭以背斜、断背斜为主,在前三角洲厚层泥岩中也发育砂岩岩性圈闭。

达吉组是盆地内第二大产层,发现的油气探明可采储量占盆地总储量的 44.8%,其中伦斯气田是盆地内发现的最大气田。储层为三角洲相、滨海相

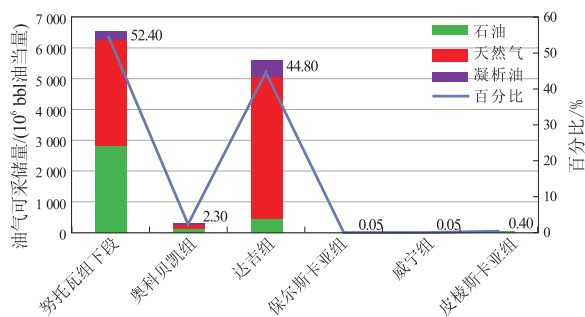


图 6 北萨哈林盆地油气产层垂向分布
Fig.6 Vertical distribution of hydrocarbon production layers in North Sakhalin Basin

表 3 北萨哈林盆地已发现油气储量分布

Table 3 Proved reserves distribution in North Sakhalin Basin

油气田位置	油气田类型	油气田数/个	总可采储量/ (10^6 bbl 油当量)	油气田规模/(10^6 bbl 油当量)		
				均值	最小值	最大值
海上	气田	7	4 708	672	8.5	3 092
海上	油田	9	5 342	593	10.8	2 586
陆上	气田	23	277	12	<1	60
陆上	油田	34	1 569	46	<1	260
陆上/海上	气田	1	23.3	23.3	23.3	23.3
陆上/海上	油田	2	65.4	33	<1	65

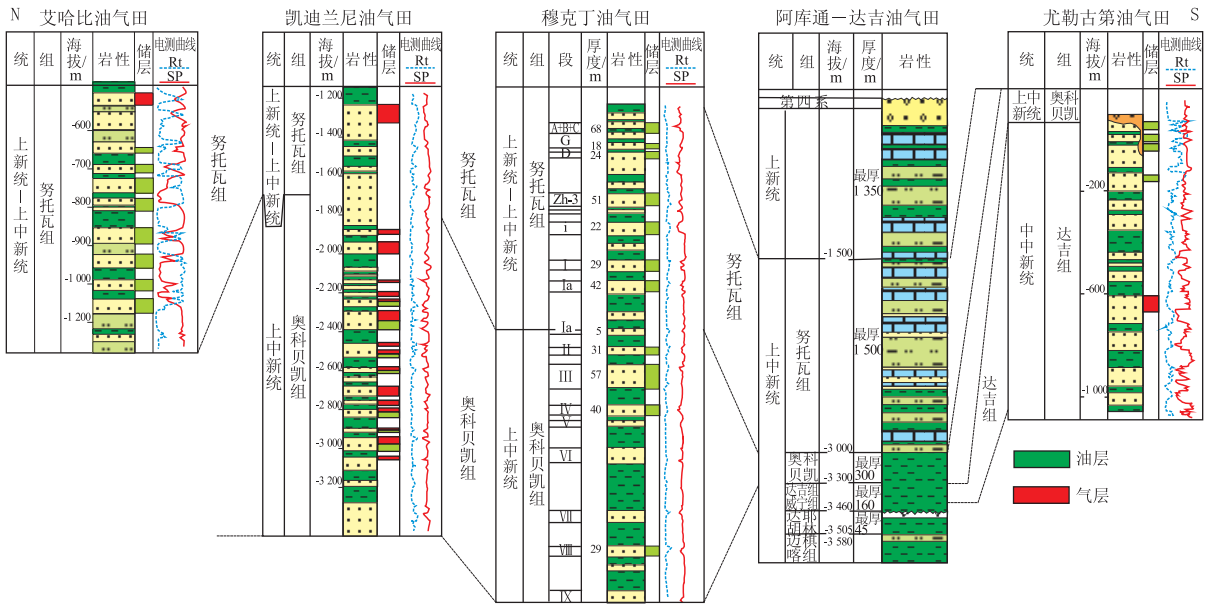


图7 北萨哈林盆地主力储层空间展布
位置见图1 测线 BB'。

Fig.7 Spatial distribution of main reservoirs in North Sakhalin Basin

砂岩,圈闭类型以背斜、断背斜为主,奥科贝凯组泥岩是这套储层的有效盖层。

奥科贝凯组是盆地陆上部分最重要的含油储层之一,其油气探明可采储量占盆地已发现总储量的2.3%,目前已在31个油气田或油气发现中发现了这类储层。但这类储层中发现的油气田往往规模不大,在已发现的油气田中,只有2个油气田的石油可采储量超过 2×10^8 bbl。

3.2 油气主控因素分析

综合分析盆地构造演化和油气成藏条件,结合已发现油气藏解剖,认为盆地油气成藏主要受构造和储层2方面因素的控制。

3.2.1 构造因素

上新世晚期形成的构造圈闭是油气聚集的主要场所。上新世晚期—全新世萨哈林褶皱幕对早期形成的圈闭起调整或破坏作用。盆地圈闭类型以背斜、复杂断背斜和断块为主。对已发现油气藏圈闭演化分析表明,圈闭在中中新世末或早上新世末具有雏形,在晚上新世得到大幅度隆升,这一时期刚好与烃源岩的油气排烃高峰期匹配。晚上新世—全新世,盆地进一步隆升,对先前形成的油气藏起到调整作用,也形成了新的圈闭。在断裂发育部位(剪切带附近),新的构造活动对已形成的油气藏起到破坏作用。例如,维尼构造带,在上新世末期萨哈林褶皱幕期间强烈隆升,断层发育,上覆地层遭受剥蚀,构造顶部早期油气藏被破坏或调整,仅存次生残余的小型气藏。在构造轴向翼部,

由于奥科贝凯组发育的巨厚泥岩使保存条件变好,后期破坏作用逐渐减弱,使油气得以聚集和保存,形成一些小型气藏。

3.2.2 储层因素

努托瓦组下段和达吉组砂岩的展布范围控制了油气藏的纵横向分布。达吉组和努托瓦组砂岩同属于古阿穆尔河三角洲沉积体系。据IHS资料^[1],该三角洲沉积体系平面展布为 $1\ 100\text{ km} \times 250\text{ km}$ 。从盆地不同地区已发现油气田油气层对比(图7)可以看出,努托瓦组下段三角洲砂岩沉积和奥科贝凯组浅海相砂岩沉积主要分布在盆地的北部,并且由北向南,砂地比逐渐降低,到阿库通—达吉油气田,努托瓦组下段砂岩基本上为前三角洲相的薄砂层沉积;奥科贝凯组则相变为陆棚相泥岩沉积。达吉组三角洲相砂岩主要分布在阿库通—达吉油气田以南,是盆地南部油气田的主力储层。

4 资源潜力及有利区带综合评价

盆地资源潜力分析的方法有传统的物质平衡法、统计法、分形法、石油地质综合评价法等^[11-13]。本文采用石油地质综合评价选区方法,结合已有油气勘探成果,综合分析盆地资源潜力并提出下步勘探有利地区。综合分析认为,东北萨哈林次盆仍然是今后最具勘探潜力的地区,其次为德鲁金次盆,伯格拉尼奇诺耶次盆勘探风险相对较大。

东北萨哈林次盆,奥科贝凯组浅海相泥页岩、努托瓦组下段过渡相—浅海相泥页岩以及下中新

统威宁组和中新统达吉组含煤层系两大套烃源岩发育齐全,演化适中,为油气聚集提供丰富的物质基础;该地区发育中新统古阿穆尔河三角洲,三角洲前缘砂体和前三角洲泥岩垂向上形成良好的储盖组合,为油气聚集提供良好的空间。该次盆目前共发现 72 个油气田,油气探明可采储量 $11\ 676 \times 10^6$ bbl 油当量,累计产量 $1\ 736 \times 10^6$ bbl 油当量^[1],待发现油气资源量 $15\ 922 \times 10^6$ bbl 油当量^[14]。

综合分析东北萨哈林次盆油气勘探开发历史及现状,认为该区陆上部分已达高成熟勘探阶段,下步勘探发现的空间较小,今后油气勘探潜力区主要为海上。2006—2011 年间,陆续在海上获得 5 个油气发现,新增储量 5 亿多桶油当量,油气资源以天然气为主。根据 IHS 资料,海上尚有一定数量的未钻圈闭,海上油气勘探的主要目的层系为努托瓦组和达吉组,勘探目标主要为构造—地层型圈闭和地层型圈闭。

德鲁金次盆位于海上,发育奥科贝凯组浅海相泥页岩、努托瓦组下段前三角洲相泥页岩、威宁组和达吉组同期深水沉积皮尔斯卡亚组硅质岩多套烃源岩。但由于该次盆处于盆地主力储层努托瓦组下段和达吉组古阿穆尔河三角洲的前三角洲位置,储层厚度较薄,物性相对较差。2004—2006 年,英国石油公司先后在该次盆发现 3 个油气田,探明石油可采储量 1.26×10^8 bbl,天然气 221.13×10^8 m³,产层为努托瓦组下段砂岩储层,圈闭类型为地层—构造复合型,说明该地区具有一定勘探前景。

伯格拉尼奇诺耶次盆位于盆地南端,发育上渐新统达耶—胡林组深海页岩和硅质岩烃源岩。储层为上渐新统达耶胡林组同期沉积的硅质岩,孔隙类型为裂缝型。1972 年在该地区发现 1 个油气田(奥科鲁扎油气田)后再没有取得重要发现。总体上说,该地区离盆地主力产层发育区和含油气区较远,水体深,勘探风险较大。

参考文献:

- [1] IHS data:North Sakhalin Basin[DB].2012.
- [2] Silverman M R.Exploratory drilling near Sakhalin Island expected to increase[J].Oil and Gas Journal,1990,88(47):73-77.
- [3] Silverman M R.Petroleum geology of Sakhalin island,USSR[J].AAPG Bulletin,1990,74(6):764,1001.
- [4] Gribidenko H S,Khvedchuk I I.The tectonics of the Okhotsk Sea[J].Marine Geology,1982,50(3):155-197.
- [5] Worrall D M,Kruglya k V,Kunst F,et al.Tertiary tectonics of the Sea of Okhotsk,Russia;far-field effects of the India-Eurasian collision[J].Tectonics,1996,15(4):813-826.
- [6] Gribidenko H S,Khvedchuk I I.Basic features of geology of the Sea of Okhotsk[M]//Origin and history of marginal and inland seas.Utrecht:VNU Science Press,1984,23:19-41.
- [7] Gladenkov Y B.Stratigraphy of marine Paleogene and Neogene of Northeast Asia(Chukotka,Kamchatka,Sakhalin)[J].AAPG Bulletin,1980,64(7):1087-1093.
- [8] Alabushev A.Sedimentary formations of the Cretaceous Sakhalin basin(far east Asia)[J].Geologische Rundschau,1995,84(2):237-244.
- [9] Popovich T A,Kravchenko T I.Genetic characteristics of hydrocarbon composition of oils,North Sakhalin petroleum basin[J].Geologiya Nefti i Gaza,1995(1):40-44.
- [10] Lindquist S J.The north Sakhalin Neogene total petroleum system of eastern Russia,Open-File Report 99-50-O[R].2000.
- [11] 罗毅,蔡勋育,吕立勇.百色盆地东部坳陷终极资源量预测与勘探方向[J].石油实验地质,2011,33(2):215-218.
Luo Yi,Cai Xunyu,Lü Liyong.Ultimate potential resource prediction and exploration target in East depression,Baise Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2011,33(2):215-218.
- [12] 曾怡.分形法预测油气储量与资源量[J].石油实验地质,1998,20(2):152-154.
Zeng Yi.A new method of petroleum resources estimation;fractal method[J].Experimental Petroleum Geology,1998,20(2):152-154.
- [13] 吕雪雁.沙特鲁卜哈利盆地古生界石油地质特征及勘探潜力分析[J].石油实验地质,2005,27(5):479-483.
Lü Xueyan.Petroleum geological characteristics and exploration potential in the Paleozoic of Rub al Khali Basin,Saudi Arabia[J].Petroleum Geology & Experiment,2005,27(5):479-483.
- [14] USGS World Energy Assessment Team. U.S.Geological Survey world petroleum assessment 2000-description and result[DB].Denver:U.S.Geological Survey,2000.

(编辑 黄娟)