



松辽外围东部盆地群下白垩统烃源岩沉积特征与生烃潜力分析

张文浩¹, 王丹丹¹, 姚忠岭², 张交东¹, 周新桂¹, 孟元林³, 李世臻¹,
刘旭锋¹, 曾秋楠¹, 刘卫彬¹, 林燕华¹

1. 中国地质调查局 油气资源调查中心, 北京 100083; 2. 内蒙古煤炭地质勘查(集团)总公司 231 公司,
内蒙古 呼和浩特 010090; 3. 东北石油大学, 黑龙江 大庆 163318

摘要: 松辽外围东部盆地群位于中国东北地区的东部, 研究区内共有 39 个中小规模沉积盆地, 总面积约 52×10^4 km². 在总结东部盆地群烃源岩沉积特征的基础上, 通过对三江、勃利、通化及红庙子等盆地地下白垩统烃源岩有机地球化学综合分析, 查明了研究区下白垩统主力烃源岩有机质丰度、有机质成熟度以及有机质类型等指标特征、分布规律, 并分析了影响这些指标在区域上规律变化的地质因素, 以提升研究区的油气基础地质认识, 为东北地区油气资源调查与勘探部署提供科学依据。

关键词: 松辽盆地外围; 下白垩统; 有机质丰度; 有机质成熟度; 有机质类型

THE LOWER CRETACEOUS SOURCE ROCKS FROM EASTERN BASIN GROUP IN THE PERIPHERY OF SONGLIAO BASIN: Sedimentary Characteristics and Hydrocarbon Generation Potential

ZHANG Wen-hao¹, WANG Dan-dan¹, YAO Zhong-ling², ZHANG Jiao-dong¹, ZHOU Xin-gui¹, MENG Yuan-lin³,
LI Shi-zhen¹, LIU Xu-feng¹, ZENG Qiu-nan¹, LIU Wei-bin¹, LIN Yan-hua¹

1. Oil and Gas Resources Survey Center, CGS, Beijing 100083, China;

2. No. 231 Branch of Inner Mongolia Coal Geological Exploration (Group) Co., Ltd., Hohhot 010090, China;

3. Northeast Petroleum University, Daqing 163318, Heilongjiang Province, China

Abstract: The eastern basin group in the periphery of Songliao Basin, located in the east of Northeast China, includes 39 small- and medium-scale sedimentary basins, covering an area about 52×10^4 km². Based on the sedimentary characteristics of source rocks in the eastern basin group, through comprehensive analysis of organic geochemistry of the Lower Cretaceous source rocks in Sanjiang, Boli, Tonghua and Hongmiaozi basins, the paper identifies the characteristics and distribution rule of organic matter abundance, maturity and types in the Lower Cretaceous source rocks of the study area, and analyzes the geological factors that affect regular changes of the above indexes regionally, to improve the basic geological understanding of oil-gas resources in the area and provide scientific basis for the oil-gas survey and exploration in Northeast China.

Key words: periphery of Songliao Basin; Lower Cretaceous; organic matter abundance; organic matter maturity; organic matter type

收稿日期: 2021-03-30; 修回日期: 2021-05-09. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局油气基础地质调查项目“松辽外围东部断陷盆地群油气基础地质调查”(项目编号 DD20160165); “南华北盆地上古生界油气地质调查”(项目编号 DD20190095).

作者简介: 张文浩(1987—), 男, 博士, 高级工程师, 从事油气调查和油气资源综合评价及研究工作, 通信地址 北京市海淀区北四环中路 267 号 北京奥运大厦, E-mail//wenhaocugb@163.com

0 引言

东北地区是中国重要的石油天然气生产基地,一直是国内主力油气供应区,在中国油气构成中占据着十分重要的位置,为维护国家石油战略安全发挥了举足轻重的作用^[1-3]。但近年来,随着松辽盆地油气勘探难度逐渐增大,勘探与开发成本也日趋增高,油气产量开始逐年下降,目前迫切需要开拓新区新层系及新领域,亟需新的油气接替区为油田的增储上产和可持续发展提供接替领域和资源保障^[1-9]。

中国东北地区共发育 51 个中生代沉积盆地,主要包括松辽盆地及其外围分布的众多中小盆地,盆地总面积约 $59.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。目前只有 6 个盆地建成油气田,其他则暂未取得油气突破,整个外围盆地群目前整体的油气总产量仅占松辽盆地的 2% 左右^[8-9]。根据相关统计分析,松辽外围中小盆地总面积为 $33.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,现还有油气矿权空白区约 $21.80 \times 10^4 \text{ km}^2$,矿权空白区比例为 64.90%^[8-9]。在油田接替如此紧迫的形势下,松辽盆地外围的中小型沉积盆地已成为油气勘探的重要领域之一。

东北地区沉积盆地被嫩江-开鲁断裂与依兰-伊通断裂所分隔,可划分为西部、中部和东部三大盆地群。以往的油气勘探开发主要集中在松辽盆地及其西部的二连、海拉尔等盆地,东部盆地群的工作程度相对较低,亟需持续加强对东部盆地群的油气调查及勘探工作^[6-9]。下白垩统(K_1)在松辽外围东部地区分布广泛,是该区主要油气勘探层系,蕴藏着巨大的勘探潜力,但目前缺乏对整个松辽外围东部地区下白垩统已有成果与资料的系统梳理,对油气地质规律缺乏综合研究。笔者及研究团队在前人的研究基础上,依托公益性油气调查项目,通过开展油气基础地质调查及地质调查井钻探工程等工作,在三江盆地东部、通化盆地、红庙子盆地下白垩统地层均钻获了良好的油气显示^[9-11],并对松辽外围东部盆地群下白垩统烃源岩开展了综合分析研究,为下一步该地区的油气勘探部署提供科学依据。

1 东部盆地群中生界地层划分

研究区位于东北地区的东部,即依兰-伊通断裂以东的东部盆地群,行政区划上隶属于黑龙江省、吉林省与辽宁省东部(图 1)。经统计,研究区内共有 39 个

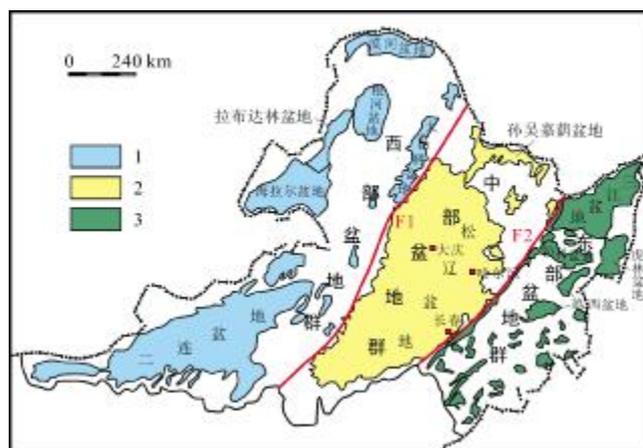


图 1 松辽外围东部盆地群分布图

(据文献 [9])

Fig. 1 Distribution map of eastern basin group in the periphery of Songliao Basin

(From Reference [9])

1—西部盆地群 (western basin group); 2—中部盆地群 (central basin group); 3—东部盆地群 (eastern basin group); F1—嫩江-开鲁断裂 (Nenjiang-Kailu fault); F2—依兰-伊通断裂 (Yilan-Yitong fault)

中小规模沉积盆地,总面积约 $11 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[9],总油气当量可达 $28.95 \times 10^8 \sim 30.58 \times 10^8 \text{ t}$,油气勘探潜力较大^[12]。东部盆地群主要为中生界叠合残留盆地,面积具有“北大南小”特征,其中较大的盆地多位于北部的黑龙江省内。

综合考虑构造、沉积、生物群面貌等因素,松辽外围东部地区的地层可划分为北部黑龙江分区和南部吉林分区(表 1)^[5]。黑龙江地层分区包括三江盆地、勃利盆地、虎林盆地、鸡西盆地、鹤岗盆地、佳木斯盆地等,主要发育三叠系、侏罗系、白垩系和古近系,其中侏罗系至早白垩系地层厚度大,生物化石丰富。吉林地层分区包括宁安盆地、延吉盆地、桦甸盆地、梅河盆地、敦化盆地、浑春盆地、蛟河盆地等,主要发育白垩系、古近系和新近系地层,含有煤、油页岩、硅藻土、黏土等,上新统顶部被玄武岩所覆盖。

本研究在搜集分析各油田公司及不同学者地层划分对比方案的基础上,结合已有的钻井、重磁电及古生物成果,修订完成了黑龙江地区与吉林地区南北地层的划分对比^[5, 13-20](图 2)。三叠系主要发育在吉林省地层的山间或山前盆地,为一套火山-碎屑岩含煤沉积,在那丹哈达地体发育大岭桥组的海相硅质岩,夹有陆相碎屑岩^[21]。中-晚侏罗世地层仅局部地区发育,

表 1 松辽外围东部盆地群南、北地层区主要特征

Table 1 Characteristics of south and north stratigraphic subareas in the eastern periphery of Songliao Basin

地层分区名称	构造位置	地层发育状况	一般厚度/m	主要沉积盆地
黑龙江东部地层分区	新华夏系第二隆起带	海相、海陆交互相地层及早白垩世早中期及古近纪和新近纪地层较发育	E+N: 800~1500 K: 1500~3000 J: 1000 T: 1500~3000	三江盆地、勃利盆地、虎林盆地、鸡西盆地、鹤岗盆地、宁安盆地、佳木斯盆地
吉林东部地层分区	新华夏系第二隆起带	白垩系、古近系和新近系较发育	E+N: 1400~4800 K: 500~2200 J: 500 T: 1000~2000	依兰-伊通地堑、延吉盆地、敦化盆地、蛟河盆地、柳河盆地、通化盆地、红庙子盆地、果松盆地、马鞍山盆地

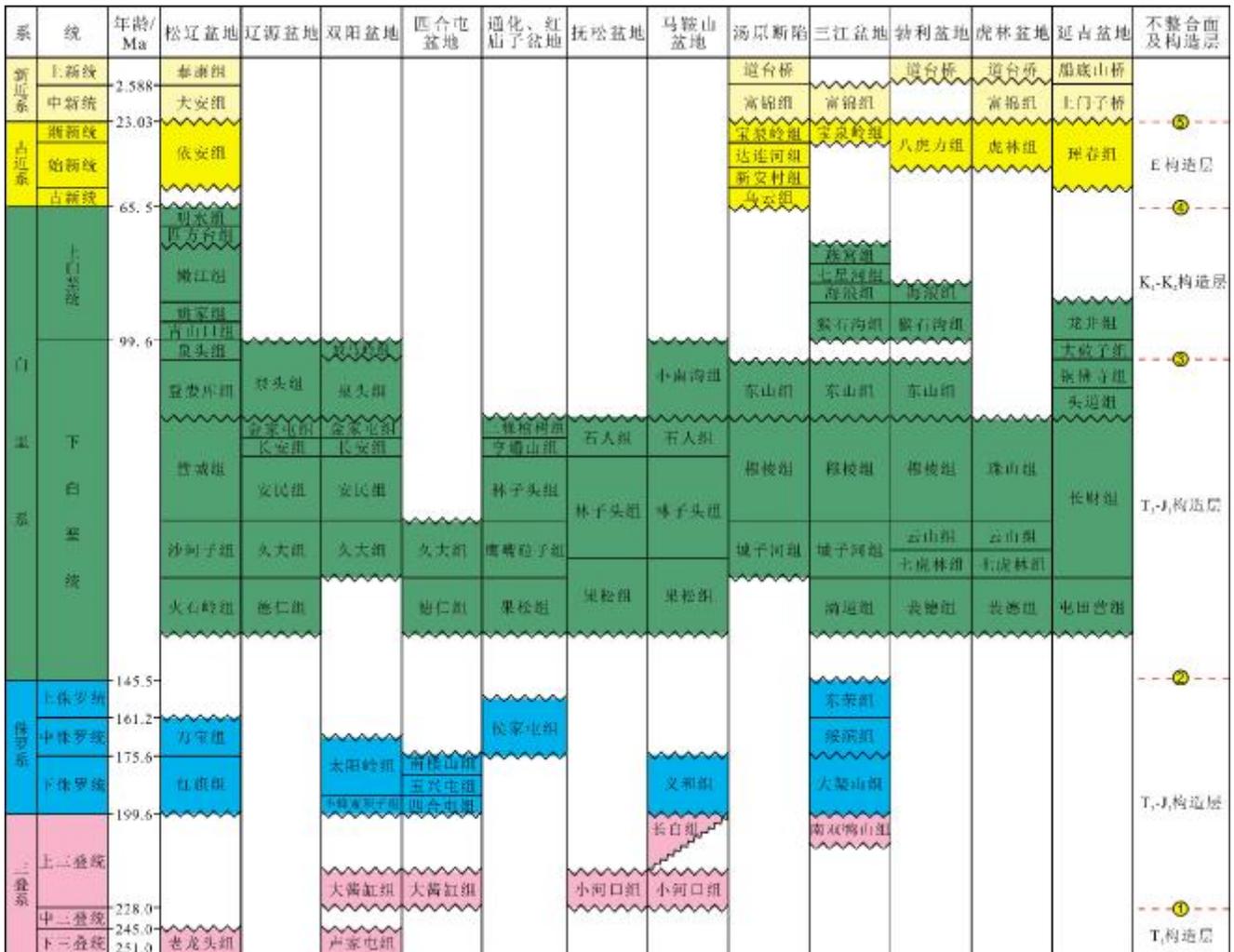


图 2 松辽外围东部盆地群主要盆地地层对比图

(据文献 [12])

Fig. 2 Stratigraphic correlation of eastern basin group in the periphery of Songliao Basin

(From Reference [12])

东部盆地群发育陆相、海相及海陆交互相地层。早白垩世,尤其是早白垩世早期地层十分发育,火石岭组、德仁组、砬门子组、果松组、滴道组、裴德组、屯田营组和宁远村组发育的火山岩夹碎屑岩地层全区可对比。沙河子组、久大组、大沙滩组、鹰嘴砬子组、城子河组、云山组、长财组等煤系地层是研究区内主力烃源岩。营城组、穆棱组、珠山组发育火山岩及含煤地层也可以对比。早白垩世晚期泉头组具有全区对比意义。晚白垩世地层在松辽盆地、孙吴-嘉荫盆地、三江盆地发育,其他盆地都不发育,其中上白垩统是松辽盆地的主力产油气层位。古近系、新近系在依兰-伊通盆地十分发育,其他盆地不甚发育,具有全区对比意义的有达连河组、虎林组、珲春组发育的煤系地层和道台桥组、船底山组发育的火山岩。

2 下白垩统烃源岩沉积特征

2.1 中生界沉积特征

(1)近源快速沉积。松辽外围东部断陷盆地内各断陷的规模较小,加之断陷造成强烈的地形起伏,陆源碎屑的供给充分,造成了物源近、沉积快、岩相变化快、沉积体系规模小等沉积特征^[12]。通常在斜坡区形成快速充填超覆尖灭带,沉积物矿物成熟度低,分选差。以发育径向流为主,水流长度小于宽度,沉积相带窄,相变迅速。各断陷构造活动在时空上的不均匀性,使其沉积类型和厚度上有较大分异。

(2)以淡水—微咸水湖盆为主。松辽外围东部断陷盆地群(如敦密盆地、柳河盆地)为规模较小的狭长盆地,分割性极强,湖盆范围有限,陆源水流充分供给淡水,淡水与湖水充分交换,以发育淡水—微咸水湖泊(矿化度小于 35 g/L)为主。淡水湖泊水生生物繁盛,如淡水藻类、介形虫、小型双壳类等,湖盆边缘高等植物较发育,高等植物屑供给充分。仅在部分深断陷的中央,由于强烈火山作用及深部物质的加入,加之持续深水环境,可能发育深水半咸化湖泊沉积。

(3)多种碎屑岩沉积体系。由于断陷盆地狭小,多个陆源水流充分供给碎屑,湖泊区与各种碎屑沉积体系的比例约为 1:1~1:2^[22]。碎屑岩一般分布在构造高部位,深断陷成为深水湖相区,从而形成粗细相间格局。湖泊区范围有限,碎屑沉积体系(包括冲积扇、扇三角洲、水下扇等)的比例较高。盆地内发育多种沉积

体系,即冲积扇沉积体系、扇三角洲沉积体系、近岸水下扇沉积体系、深水重力流沉积体系及湖泊沉积体系。

2.2 下白垩统烃源岩沉积特征

在东北地区东部盆地群广泛发育下白垩统烃源岩,烃源岩类型包括暗色泥岩、碳质泥岩、煤层和油页岩。在野外石油地质调查的过程中发现,研究区南部的烃源岩颜色深、粉砂含量低,一般发育黑色泥岩、油页岩以及薄煤层;研究区北部的烃源岩颜色较浅、粉砂含量较高,多发育暗色泥岩、煤和碳质泥岩,不发育油页岩。

在松辽外围东部盆地群中,下白垩统烃源岩累积厚度整体上具有“北厚南薄”的特征(图 3)。北部地区下白垩统烃源岩累积厚度最厚可达 1 285 m 左右,最薄只有几米,厚度变化较大;南部地区各盆地面积较小,下白垩统烃源岩累积厚度分布在 100~850 m,各盆地烃源岩厚度相差较小。

3 下白垩统烃源岩有机地球化学特征

3.1 有机质丰度及影响因素

有机碳丰度(TOC)是评价烃源岩的最基本参数之一,是判识烃源岩的首选指标。笔者近年来对三江盆地、鸡西盆地、双阳盆地、通化盆地等下白垩统烃源岩(野外或钻井岩心)样品进行了分析测试(表 2)。三江盆地下白垩统城子河组(K_{1ch})和穆棱组(K_{1m})发育的煤系泥岩与碳质泥岩是主要烃源岩。穆棱组煤系泥岩 TOC 含量为 0.25%~3.80%,平均值为 1.22%; S_1+S_2 介于 0.09×10^{-3} ~ 2.27×10^{-3} 之间,平均值为 0.89×10^{-3} 。城子河组煤系泥岩 TOC 分布范围为 0.14%~4.30%,平均值为 1.47%; S_1+S_2 介于 0.02×10^{-3} ~ 5.80×10^{-3} 之间,平均值为 1.04×10^{-3} 。三江盆地下白垩统烃源岩有机质丰度达到了中等—好的评价标准。

在地表与地质调查井样品地球化学分析结果的基础上,笔者还搜集、研究了虎林盆地、勃利盆地、宁安盆地等下白垩统烃源岩的测试数据(表 2)^[18-29]。总体上,参照陆相烃源岩有机质评价标准(SY/T5735—1995)^[30],下白垩统烃源岩达到了中等,部分烃源岩达到好烃源岩的标准,如方正断陷、延吉盆地、辽源盆地、松江盆地、双阳盆地、果松盆地、通化盆地和红庙子盆地;有的属于最好的烃源岩($TOC > 2, S_1+S_2 > 20$),如东宁盆地、老黑山盆地和罗子沟盆地。在研究区,下白垩统烃源岩

表2 松辽外围东部盆地群下白垩统烃源岩有机质丰度统计表

Table 2 Organic matter abundance of Lower Cretaceous source rocks in the eastern periphery of Songliao Basin

盆地	地层	烃源岩	TOC/%	(S ₁ +S ₂)/10 ⁻³	氯仿沥青“A”/%	总烃 HC/10 ⁻⁶	综合评价		
三江盆地	穆棱组	煤系泥岩	0.25~3.80 1.22(106)	0.09~2.27 0.89(70)	0.003~0.044 0.018(32)	36~268 121(15)	差一中		
		暗色泥岩	6.73~13.58 9.07(3)	11.36~93.81 36.08(4)	0.108~0.317 0.213(2)	509~2163 1336(2)			
	城子河组	煤系泥岩	0.14~4.30 1.47(77)	0.02~5.80 1.04(60)	0.003~0.105 0.033(33)	47~488 207(18)			
		暗色泥岩	9.55	11.88					
	鸡西盆地	穆棱组	煤系泥岩	0.12~5.02 1.36(112)	0.06~17.04 1.04(96)	0.003~0.116 0.022(56)		79~606 543(2)	差一中
			碳质泥岩	8.15~36.80 21.06(6)	1.62~96.19 43.25(6)	0.015~0.340 0.105(4)		164~1274 719(2)	
城子河组		煤系泥岩	0.30~5.96 1.84(75)	0.07~13.54 1.73(64)	0.003~0.156 0.034(62)	133~917 385(11)			
		碳质泥岩	6.50~39.57 22.76(21)	0.54~105.78 35.09(21)	0.013~0.709 0.218(12)	327~3001 939(10)			
双阳盆地	长安组	煤系泥岩	1.54~4.10 2.68(6)	0.19~9.34 3.33(6)	0.039	341	中—好		
	金家屯组	煤系泥岩	3.06~3.41 3.24(2)	0.30~5.53 2.92(2)	0.328	1375			
通化盆地	亨通山组	暗色泥岩	0.25~2.79 1.08(36)	0.08~10.33 2.57(36)	0.107~0.159 0.133(2)	762~976 869(2)	中等—好		
	下桦皮甸子组	暗色泥岩	1.02~3.08 1.85(8)	1.19~9.65 4.42(8)	0.052~0.087 0.064(3)	195~576 334(3)			
虎林盆地	云山组	煤系泥岩	0.39~5.90 1.97(40)	0.08~20.80 3.29(34)					
		碳质泥岩	6.89~36.33 14.50(5)	27.43~73.05 44.85(5)中					
勃利盆地	穆棱组	暗色泥岩	0.40~0.53 0.48(3)	0.06~0.28 0.1767(3)	0.007~0.259 0.091(3)	1135			
	下云山组	暗色泥岩	0.15~3.52 0.78(14)	0.04~2.41 0.31(14)	0.002~0.038 0.010(14)				
	珠山组	暗色泥岩	0.11~4.37 1.12(30)	0.04~16.93 1.45(28)	0.002~0.422 0.039(17)	204~1046 625(2)			
宁安盆地	穆棱组	煤系泥岩	0.22~5.93 1.63(19)	0.24~41.06 5.34(22)					
		碳质泥岩	6.30~33.75 14.87(7)	0.58~112.36 41.47(6)					
延吉盆地	铜佛寺组	暗色泥岩	0.31~4.57 1.94(42)	0.08~33.77 3.69(51)	0.008~0.225 0.057(25)	306~583 444(2)			
	大砬子组	暗色泥岩	0.16~4.81 1.57(56)	0.04~34.01 4.39(68)	0.005~0.220 0.053(38)	70~960 357(5)			
	安民组	煤系泥岩、碳质泥岩	1.48~8.38 4.62(6)	0.04~4.75 2.38(6)	0.010~0.080 0.030(5)				
	久大组	煤系泥岩	2.55~5.54 3.54(11)	0.34~46.80 16.13(11)	0.010~0.690 0.390(4)				

相、滨浅湖、半深湖—深湖相为主, 优质烃源岩比例较低. 大部分烃源岩有机质以淡水水生生物及陆生高等植物为主, III型、II₂型干酪根占主导地位, 部分断陷甚至以发育沼泽相III型煤系烃源岩为主. 但在部分规模较大深断陷的半深湖—深湖相区, 水生浮游生物繁盛, 油页岩较发育, 以发育II₁、II₂型干酪根为主, 如三江盆地、鸡西盆地、双阳盆地、果松盆地、柳河盆地、通化盆地和红庙子盆地(表3).

根据前人资料与最新样品分析结果, 得出下白垩统烃源岩有机质类在平面上的展布规律(图5). 由图

5可见, 下白垩统烃源岩主要发育II—III型干酪根, 但总体上南部地区有机质类型好于北部地区. 北部地区主要为II₂—III型, 南部地区主要为I—II₂型. 原因主要为北部地区沉积盆地发育于海陆交互相、滨浅湖相等浅水环境, 有机质来源于陆生高等植物及水生浮游生物, 但以陆生生物为主; 南部地区沉积环境主要为湖相, 少数为沼泽相, 油页岩较发育, 水生浮游生物繁盛, 烃源岩中陆源高等生物较为发育. 因此, 北部烃源岩具有一定的生气潜力, 南部烃源岩同时具有生油和生气的潜力.

表3 松辽外围东部盆地群下白垩统烃源岩有机质显微组分统计表

Table 3 Characteristics of organic maceral in Lower Cretaceous source rocks in the eastern periphery of Songliao Basin

盆地	地层	烃源岩	腐泥组/%	壳质组/%	镜质组/%	惰性组/%	类型指数	干酪根类型
三江盆地	穆棱组	煤系泥岩	<u>42.0-84.7</u> 67.7(24)	<u>0.3-2.0</u> 0.8(8)	<u>12.3-48.0</u> 29.8(24)	<u>0.3-17.0</u> 4.5(13)	<u>-2.8-73.2</u> 43.2(24)	II ₁ -III
	城子河组	煤系泥岩	<u>28.3-74.0</u> 62.6(22)	<u>0.3-0.7</u> 0.5(2)	<u>24.0-64.3</u> 36.3(23)	<u>0.3-7.3</u> 2.4(9)	<u>-27.3-54.5</u> 34.4(22)	
鸡西盆地	穆棱组	煤系泥岩	<u>24.0-46.7</u> 39.5(24)	<u>0.7-6.7</u> 6.4(21)	<u>30.0-66.0</u> 40.9(24)	<u>6.7-16.7</u> 14.8(23)	<u>-35.5-10.8</u> -2.7(24)	II ₂ -III
双阳盆地	长安组	煤系泥岩		35.2	64.8		-31.0	III
	金家屯组	煤系泥岩		9.3	90.7		-63.4	
		炭质泥岩		6.3	93.7		-67.1	
柳河盆地	亨通山组	暗色泥岩		<u>35.0-78.0</u> 51.8(5)	<u>20.0-60.0</u> 43.8(5)	<u>1.0-8.0</u> 4.4(5)	<u>-32.5-22.0</u> -11.4(5)	II ₂ -III
通化盆地	亨通山组	暗色泥岩		<u>78.7-80.7</u> 79.7(2)	<u>19.3-21.3</u> 20.3(2)		<u>23.4-25.92</u> 4.65(2)	II ₁ -III
	下桦皮甸子组	暗色泥岩		<u>68.0-81.0</u> 74.7(3)	<u>15.0-24.0</u> 19.3(3)	<u>4.0-8.0</u> 6.0(3)	<u>8.0-25.01</u> 6.7(3)	
	鹰嘴砬子组	暗色泥岩	<u>16.0-25.0</u> 19.7(3)	<u>68.0-76.0</u> 51.7(7)	<u>14.0-65.0</u> 34.5(6)	<u>1.0-9.0</u> 4.3(4)	<u>-43.0-41.5</u> 3.7(7)	
红庙子盆地	亨通山组	暗色泥岩		<u>60.0-75.0</u> 66.2(5)	<u>18.0-30.0</u> 24.2(5)	<u>7.0-11.0</u> 9.6(5)	<u>-3.0-17.0</u> 5.2(5)	II ₂ -III
		油页岩		<u>60.0-70.0</u> 65.0(2)	<u>22.0-30.0</u> 26.0(2)	<u>8.0-10.0</u> 9.0(2)	<u>-3.0-11.0</u> 4.0(2)	
	下桦皮甸子组	暗色泥岩		<u>83.0-85.0</u> 84.0(2)	<u>10.0-12.0</u> 11.0(2)	5.0	<u>28.0-30.0</u> 39.0(2)	
	鹰嘴砬子组	暗色泥岩	22.0	<u>55.0-73.0</u> 66.0(3)	<u>20.0-23.0</u> 21.7(3)	<u>7.0-8.0</u> 7.5(2)	<u>11.0-32.3</u> 19.4(3)	

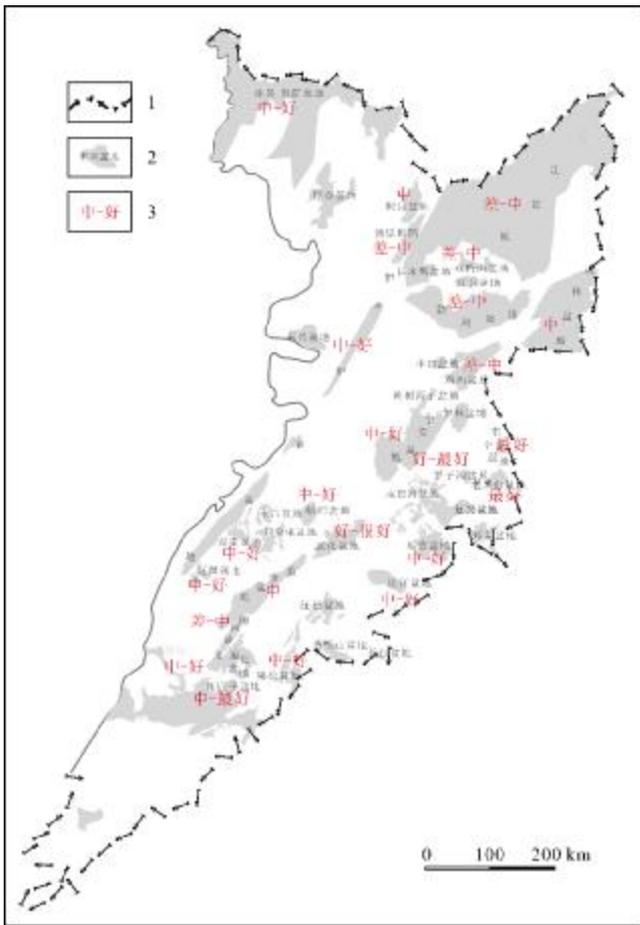


图 4 松辽外围东部盆地群下白垩统烃源岩有机质丰度平面图
 Fig. 4 Organic abundance distribution map of Lower Cretaceous source rocks in the eastern periphery of Songliao Basin
 1—国界(national boundary); 2—盆地(basin); 3—有机质丰度(organic matter abundance)

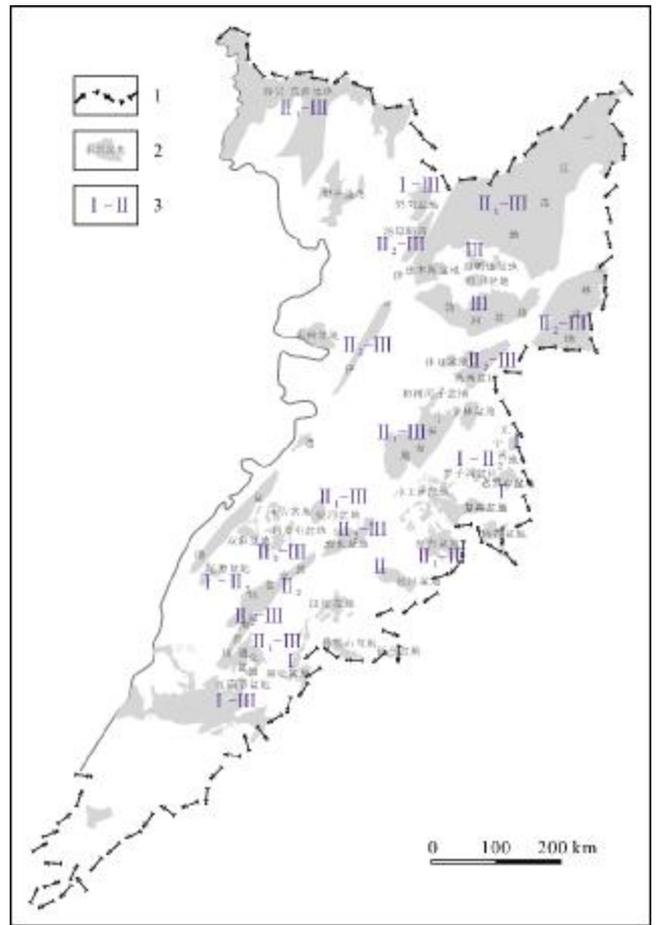


图 5 松辽外围东部盆地群下白垩统烃源岩有机质类型平面图
 Fig. 5 Distribution map of organic matter types of Lower Cretaceous source rocks in the eastern periphery of Songliao Basin
 1—国界(national boundary); 2—盆地(basin); 3—有机质类型(organic matter type)

3.3 烃源岩有机质成熟度及影响因素

有机质成熟度(R_o)是烃源岩能否生成大量石油或天然气的关键^[31]。沉积有机质在沉积埋藏期间,通过各种地质应力作用,达到某种特定演化阶段才可以形成油气。通过研究三江盆地、鸡西盆地、通化盆地、柳河盆地、红庙子盆地、果松盆地和双阳盆地的下白垩统烃源岩样品有机质成熟度,结果表明三江盆地下白垩统烃源岩 R_o 主要介于 0.66%~2.11%之间, T_{max} 主要介于 440~580 °C之间,有机质热演化达到了高成熟阶段(图 6, 图 7a、b)。鸡西盆地下白垩统烃源岩 R_o 主要介于 0.49~2.15%之间, T_{max} 主要介于 440~580 °C之间,有机质热演化处于高成熟阶段(图 6, 图 7c、d)。

总体分析,松辽外围东部盆地群下白垩统烃源岩有机质成熟度具有“北高南低”的变化趋势(图 6)。北部主要处于成熟—高成熟阶段,以轻质油、凝析油气与湿气为主;南部主要处于低熟—成熟阶段,以生成中质油为主。

莫霍面埋深可能是导致东部盆地群下白垩统烃源岩有机质成熟度差异的主要原因。已有的研究表明,莫霍面越浅,大地热流越高,地温梯度越高^[32]。研究区莫霍面埋深从北向南逐渐变深,北部地区莫霍面埋藏为 35~36 km,地温梯度较高,生烃门限较浅;南部莫霍面埋深为 37~40 km,地温梯度较低,生烃门限较深(图 8)。三江盆地、虎林盆地、勃利盆地和鸡西盆地位于研

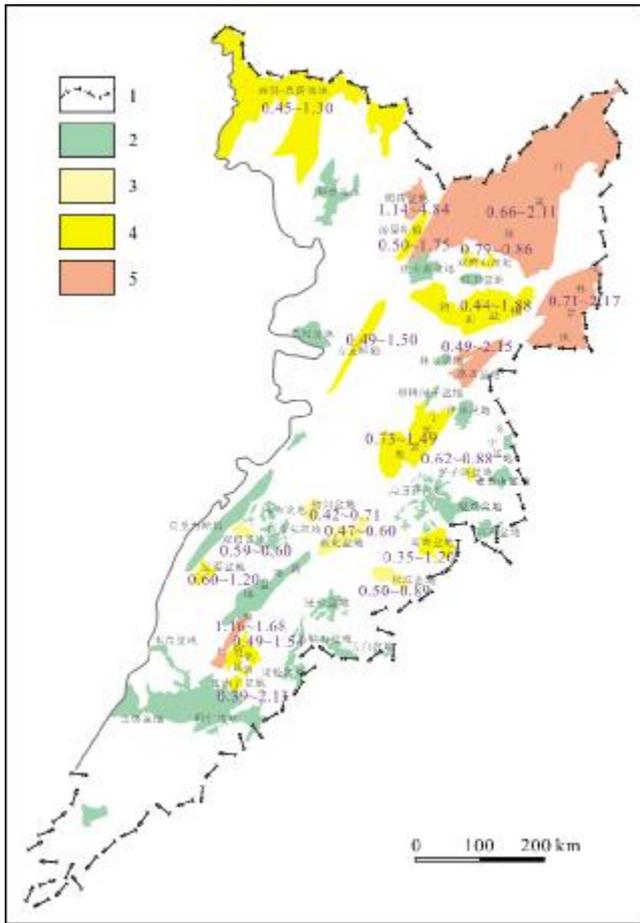


图6 松辽外围东部盆地群下白垩统烃源岩有机质成熟度平面图

Fig. 6 Distribution map of organic matter maturity of Lower Cretaceous source rocks in the eastern periphery of Songliao Basin

1—国界 (national boundary); 2—盆地 (basin); 3—低成熟阶段 (low mature, $R_o=0.5\% \sim 0.7\%$); 4—成熟阶段 (mature, $R_o=0.7\% \sim 1.3\%$); 5—高成熟阶段 (high mature, $R_o=1.3\% \sim 2.0\%$)

究区北部,莫霍面埋藏较浅,生油门限较浅;而罗子沟盆地、延吉盆地和敦化盆地位于研究区南部,莫霍面埋藏较深,生油门限也相对较深(图9)。

4 结论

(1)松辽外围东部中小规模沉积盆地群,总油气当量可达 $28.95 \times 10^8 \sim 30.58 \times 10^8$ t,具较大勘探潜力。受各断陷规模较小且分割性强的影响,东部盆地群中新生界具有近源快速沉积、淡水—微咸水湖盆为主的沉积特征,发育多种碎屑岩沉积体系沉积特征。

(2)松辽外围东部盆地群下白垩统烃源岩广泛发育,其中暗色泥岩、碳质泥岩和煤系地层是主要烃源岩层。

(3)有机地球化学分析结果表明,松辽外围东部盆地群下白垩统烃源岩有机质丰度具有“南高北低”的特征,南部通化、柳河等盆地烃源岩有机质丰度达到中等—好级别,北部相对较低;主要发育Ⅱ—Ⅲ型干酪根,总体上南部好于北部;有机质成熟度具有从北到南逐渐降低的趋势。

参考文献 (References):

- [1]张君峰,许浩,赵俊龙,等.中国东北地区油气地质特征与勘探潜力展望[J].中国地质,2018,45(2):260-273.
Zhang J F, Xu H, Zhao J L, et al. Geological characteristics and exploration potential of oil and gas in the northeast area of China[J]. Geology in China, 2018, 45(2): 260-273.
- [2]任收麦,乔德武,张兴洲,等.松辽盆地及外围上古生界油气资源战略选区研究进展[J].地质通报,2011,30(2/3):197-204.
Ren S M, Qiao D W, Zhang X Z, et al. The present situation of oil & gas resources exploration and strategic selection of potential area in the Upper Paleozoic of Songliao Basin and surrounding area, NE China [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2/3):197-204.
- [3]张抗.东北地区油气领域接替形势展望[J].地质通报,2013,32(8):1141-1146.
Zhang K. The prospect of the development of oil and gas exploration in Northeast China (in lieu of preface)[J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(8):1141-1146
- [4]陈树旺,丁秋红,郑月娟,等.松辽盆地外围新区、新层系一油气基础地质调查进展与认识[J].地质通报,2013,32(8):1147-1158.
Chen S W, Ding Q H, Zheng Y J, et al. New areas and series of strata on the periphery of Songliao Basin: the progress and recognition based on foundational geological survey for oil and gas resources[J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(8):1147-1158
- [5]乔德武,张兴洲,杨建国,等.东北中—新生代盆地油气资源战略调查与选区[M].北京:地质出版社,2013.
Qiao D W, Zhang X Z, Yang J G, et al. Investigation and evaluation of strategic oil and gas resources in Meso-Cenozoic basin in Northeast China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013.
- [6]张文浩,王丹丹,李世臻,等.重磁电勘探在黑龙江三江盆地石炭系—二叠系油气地质调查中的应用[J].中国地质,2019,46(1):191-201.
Zhang W H, Wang D D, Li S Z, et al. The application of gravity-magnetic-electric prospecting engineering for Carboniferous-Permian petroleum geological survey in Sanjiang Basin, Heilongjiang Province [J]. Geology in China, 2019, 46(1): 191-201.
- [7]张文浩,周新桂,李世臻,等.三江盆地前进坳陷油气地质调查新进展[J].地质通报,2018,37(6):1157-1165.
Zhang W H, Zhou X G, Li S Z, et al. The progress in oil and gas survey in Qianjin Depression of Sanjiang Basin[J]. Geological Bulletin

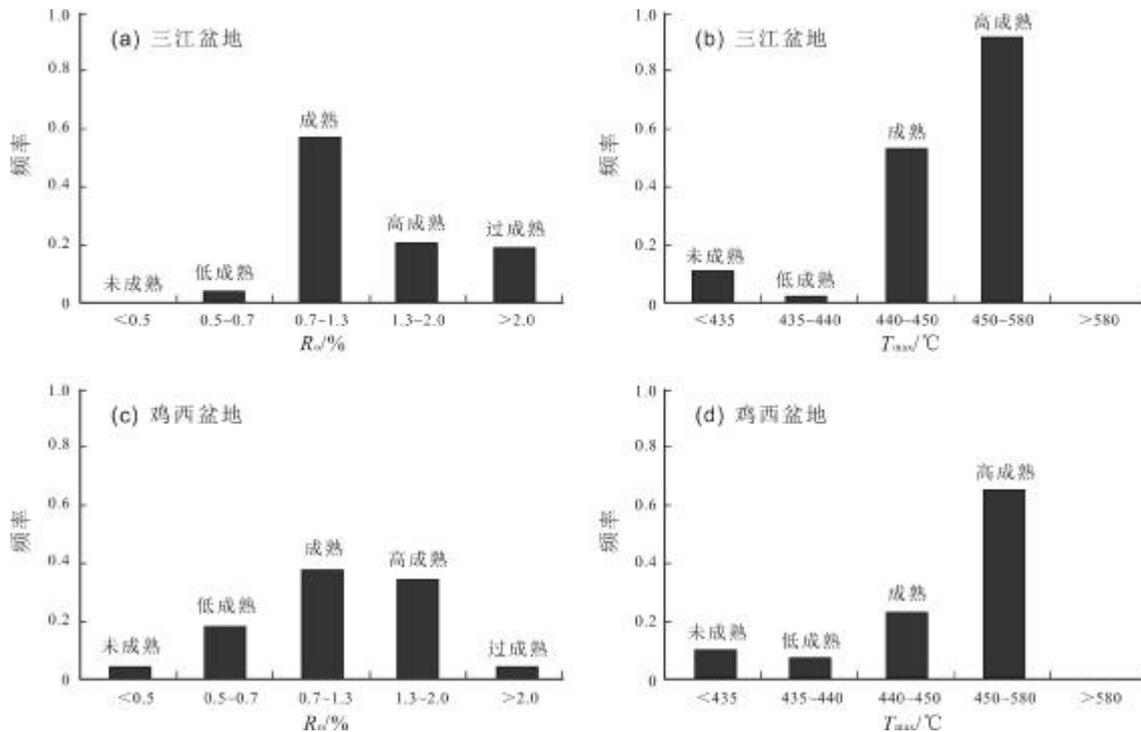


图7 三江盆地与鸡西盆地下白垩统烃源岩有机质成熟度

Fig. 7 Organic matter maturity of Lower Cretaceous source rocks from Sanjiang Basin and Jixi Basin

of China, 2018, 37(6):1157-1165.

- [8] 张文浩, 苗苗青, 姜鲲鹏, 等. 中国油气资源勘探开发特点、趋势及生态管理[J]. 地质与资源, 2019, 28(5): 454-459.

Zhang W H, Miao M Q, Jiang K P, et al. Characteristics, trends and ecological management of oil-gas resources exploration and development in China[J]. Geology and Resources, 2019, 28(5): 454-459.

- [9] 张文浩, 张交东, 王丹丹, 等. 中国东北地区东部盆地群油气资源前景展望[J]. 地质通报, 2020, 39(23): 307-318.

Zhang W H, Zhang J D, Wang D D, et al. The present situation and potential of oil and gas resources exploration in eastern Northeast China[J]. Geological Bulletin of China, 2020, 39(23): 307-318.

- [10] 王丹丹, 周新桂, 李世臻, 等. 通化盆地下白垩统烃源岩石油地质特征及生烃潜力研究[J]. 地质学报, 2017, 91(9): 2119-2130.

Wang D D, Zhou X G, Li S Z, et al., Petroleum geologic features and generation potential of the Lower Cretaceous hydrocarbon source rocks in the Tonghua Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2017, 91(9): 2119-2130.

- [11] 王丹丹, 张文浩, 李世臻, 等. 辽宁省红庙子盆地烃源岩特征与生烃潜力研究——来自红地1井的证据[J]. 石油实验地质, 2018, 40(4): 526-531.

Wang D D, Zhang W H, Li S Z, et al. Features and hydrocarbon potential of source rocks in the Hongdi 1 well, Hongmiaozi Basin Liaoning Province[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2018, 40

(4): 526-531.

- [12] 周新桂, 孟元林, 李世臻, 等. 东北地区东部盆地群中生代油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2018.

Zhou X G, Meng Y L, Li S Z, et al. Meso-Cenozoic petroleum geology of the eastern basin group in Northeast China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2018.

- [13] 吉林省地质矿产局. 中华人民共和国地质矿产部地质专报·吉林省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1988.

Jilin Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Jilin Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988.

- [14] 黑龙江省地质矿产局. 中华人民共和国地质矿产部地质专报·黑龙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993.

Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Heilongjiang Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993.

- [15] 李东津. 吉林省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.

Li D J. Lithostratigraphy of Jilin Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997.

- [16] 曲关生. 黑龙江省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.

Qu G S. Lithostratigraphy of Heilongjiang Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997.

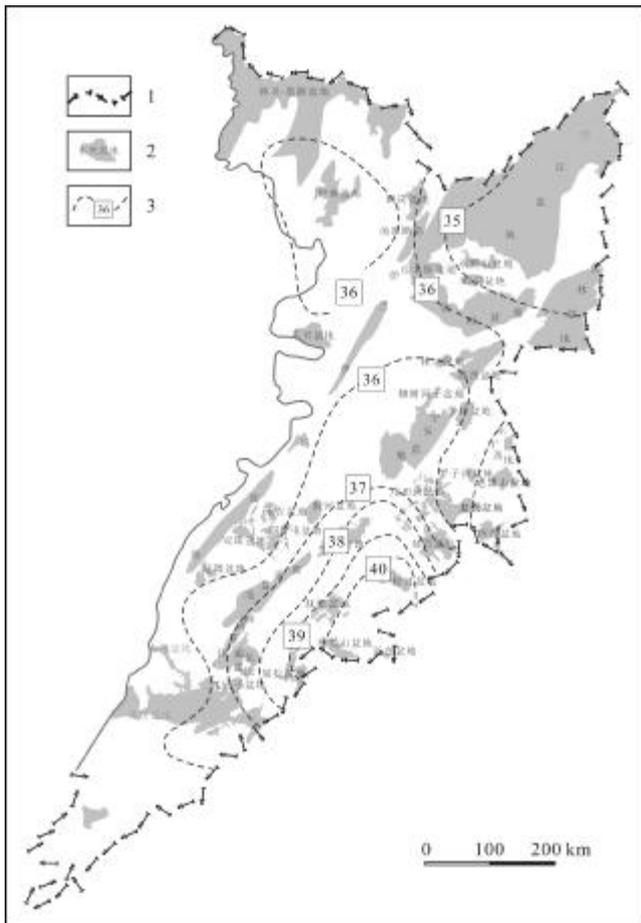


图8 松辽外围东部盆地群莫霍面埋深

Fig. 8 Moho depth of eastern basin group in the periphery of Songliao Basin

1—国界(national boundary); 2—盆地(basin); 3—莫霍面等深线(Moho depth contour, km)

[17]张梅生, 李晓波, 王旖旎, 等. 吉林中南部中生代地层划分及对比[R]. 中国石油吉林油田公司勘探部, 2012.
Zhang M S, Li X B, Wang Y N, et al. Division and correlation of Mesozoic stratigraphy in central and southern part of Jilin province [R]. Exploration Department of Jilin Oilfield Company, PetroChina, 2012. (in Chinese)

[18]大庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志·大庆油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
Daqing Oilfield Petroleum Geology Compilation Group. Petroleum geology of China: Daqing Oilfield [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993. (in Chinese)

[19]吉林油田石油地质志编写组. 中国石油地质志·吉林油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
Jilin Oilfield Petroleum Geology Compilation Group. Petroleum geology of China: Jilin Oilfield [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993. (in Chinese)

[20]辽河油田石油地质志编写组. 中国石油地质志·辽河油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
Liaohe Oilfield Petroleum Geology Compilation Group. Petroleum geology of China: Liaohe Oilfield [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993. (in Chinese)

[21]周荔青, 刘池阳. 中国东北油气区晚侏罗世—早白垩世断陷油气成藏特征[J]. 中国石油勘探, 2004, 9(2): 20-25.
Zhou L Q, Liu C Y. Oil and Gas Migration and accumulation characteristics of Late Jurassic-Early Cretaceous rifts in Northeast China oil and gas Area [J]. China Petroleum Exploration, 2004, 9 (2): 20-25.

[22]孟元林, 申婉琪, 周新桂, 等. 东部盆地群下白垩统烃源岩特征与页岩气勘探潜力[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(6): 893-902.
Meng Y L, Shen W Q, Zhou X G, et al., Characteristics of the

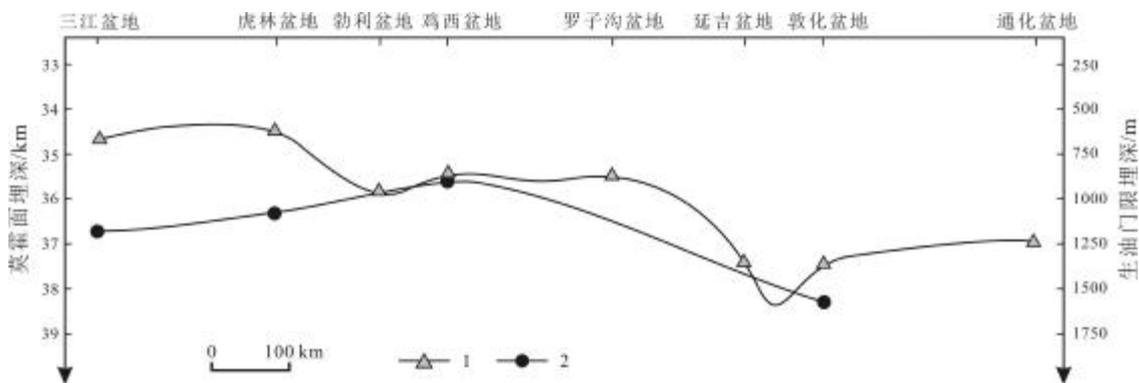


图9 松辽外围东部盆地群莫霍面埋深与生油门限剖面图

Fig. 9 Profile of Moho depth and oil generation threshold in the eastern periphery of Songliao Basin

1—莫霍面埋深(buried depth of Moho); 2—生油门限(threshold depth of oil generation)

- Lower Cretaceous source rocks and shale gas exploration potential of eastern basin group, NE China [J]. *Oil & Gas Geology*, 2016, 37(6): 893-902.
- [23] 韩春花. 勃利盆地中生界地质特征及油气资源潜力分析[D]. 长春: 吉林大学, 2005.
- Han C H. Analysis of Mesozoic geological characteristics and hydrocarbon resource potential of Boli Basin[D]. Changchun: Jilin University, 2005.
- [24] 吴河勇, 李子顺, 王世辉, 等. 大庆外围盆地优选区油气资源战略评价及突破研究[R]. 中国石油大庆油田有限责任公司, 2008.
- Wu H Y, Li Z S, Wang S H, et al. Strategic evaluation and breakthrough of oil and gas resources in Daqing peripheral basins [R]. Daqing Oilfield Co., Ltd., PetroChina, 2008. (in Chinese)
- [25] 刘维亮, 夏斌, 蔡周荣, 等. 鸡西盆地白垩统天然气地质条件[J]. *天然气工业*, 2010, 30(2): 40-44.
- Liu W L, Xia B, Cai Z R, et al. Natural gas geologic conditions in the Early Cretaceous Jixi Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(2): 40-44.
- [26] 张渝金. 虎林盆地七虎林河坳陷油气地质条件分析[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- Zhang Y J. Analysis of petroleum geological conditions in the Qihulin River Depression of Hulin Basin[D]. Changchun: Jilin University, 2010.
- [27] 韩欣澎, 郝国丽, 刘超, 等. 通化盆地石油地质特征及油气资源潜力[J]. *世界地质*, 2013, 32(2): 337-343.
- Han X P, Hao G L, Liu C, et al. Petroleum geologic features and petroleum resources potential in Tonghua Basin [J]. *Global Geology*, 2013, 32(2): 337-343.
- [28] 林长城, 郝国丽, 陈桂标, 等. 敦-密断裂带吉林段断陷盆地石油地质条件及勘探方向[J]. *世界地质*, 2013, 32(2): 317-324.
- Lin C C, Hao G L, Chen J B, et al. Petroleum geology and exploration orientation in faulted basins along the Duahua-Mishan fault in Jilin Province[J]. *Global Geology*, 2013, 32(2): 317-324.
- [29] 张吉光, 金成志, 金银姬. 延吉残留断陷盆地油气地质特点及勘探潜力[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- Zhang J G, Jin C Z, Jin Y J, et al. Petroleum geological characteristics and exploration potential of Yanji residual faulted basin[M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [30] 黄飞, 辛茂安. 中华人民共和国石油天然气行业标准并陆相烃源岩地球化学评价方法(SY/T5735—1995)[S]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- Huang F, Xin M A. Geochemical method for continental source rock evaluation(SY/T5735—1995)[S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996.
- [31] 程克明, 王铁冠, 钟宁宁, 等. 烃源岩地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- Cheng K M, Wang T G, Zhong N N, et al. Geochemistry of Hydrocarbon Source Rocks. Beijing: Science Press, 1995.
- [32] 王钧, 黄尚瑶, 黄歌山, 等. 中国地温分布的基本特征[M]. 北京: 地震出版社, 1990.
- Wang J, Huang S Y, Huang G S, et al. Basic characteristics of the earth's temperature distribution in China[M]. Beijing: Seismological Press, 1990.

(上接第 324 页/Continued from Page 324)

- Zhang J P, Tang S H, Lü J W, et al. Analyses of forming condition and favorable area of oil shale in the 1st member of Qingshankou Formation, Songliao Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(1): 156-162.
- [25] 辛仁臣, 蔡希源, 王英民. 松辽坳陷深水湖盆层序界面特征及低位域沉积模式[J]. *沉积学报*, 2004, 22(3): 387-392.
- Xin R C, Cai X Y, Wang Y M. Depositional model of low stand and characteristics of sequence boundary in deep-water lake, Songliao depression basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(3): 387-392.
- [26] 柳波, 石佳欣, 付晓飞, 等. 陆相页岩层系岩相特征与页岩油富集条件——以松辽盆地古龙凹陷白垩系青山口组一段富有机质页岩为例[J]. *石油勘探与开发*, 2018, 45(5): 828-838.
- Liu B, Shi J X, Fu X F, et al. Petrological characteristics and shale oil enrichment of lacustrine fine-grained sedimentary system: A case study of organic-rich shale in First Member of Cretaceous Qingshankou Formation in Gulong Sag, Songliao Basin, NE China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2018, 45(5): 828-838.
- [27] 柳波, 孙嘉慧, 张永清, 等. 松辽盆地长岭凹陷白垩系青山口组一段页岩油储集空间类型与富集模式[J]. *石油勘探与开发*, 2021, 48(3): 521-535.
- Liu B, Sun J H, Zhang Y Q, et al. Reservoir space and enrichment model of shale oil in the first member of Cretaceous Qingshankou Formation in the Changling sag, southern Songliao Basin, NE China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2021, 48(3): 521-535.
- [28] 王飞宇, 冯伟平, 关晶, 等. 湖相致密油资源地球化学评价技术和应用[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2016, 46(2): 388-397.
- Wang F Y, Feng W P, Guan J, et al. Geochemical assessment of lacustrine tight oil and application [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2016, 46(2): 388-397.
- [29] Allix P, Burnham A, Fowler T, et al. Coaxing oil from shale [J]. *Oilfield Review*, 2010, 22(4): 4-15.