

doi: 10.12029/gc20160617

吴佳忆, 施尚明. 鸭绿江盆地长白坳陷成藏条件分析及油气勘探前景[J]. 中国地质, 2016, 43(6): 2070–2081.

Wu Jiayi, Shi Shangming. Petroleum geological condition and hydrocarbon exploration prospect of Changbai Depression in Yalu River Basin[J]. Geology in China, 2016, 43(6): 2070–2081(in Chinese with English abstract).

鸭绿江盆地长白坳陷成藏条件分析及油气勘探前景

吴佳忆¹ 施尚明²

(1.大庆油田有限责任公司勘探开发研究院,黑龙江 大庆 163712;2.东北石油大学地球科学学院,黑龙江 大庆 163318)

摘要:鸭绿江盆地是一个典型的多旋回叠合型盆地,可能蕴藏着丰富的油气资源。文章以构造地质学和石油地质学为理论指导,以鸭绿江盆地长白坳陷为研究对象,从地质资料、地球物理资料入手,分析研究区构造特征及烃源岩、储盖层、油气运移等各项成藏关键条件,对该区资源潜力做出综合评价。研究表明,鸭绿江盆地长白坳陷的中部伸展沉降带地层层序完整,厚度大且稳定,局部构造发育,且均位于油气有利的指向区,具备油气勘探的有利前景,为首选的油气勘探有利区。

关键词:鸭绿江盆地;成藏条件;构造特征;资源潜力

中图分类号:P618.130.2⁺1; 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2016)06-2070-12

Petroleum geological condition and hydrocarbon exploration prospect of Changbai Depression in Yalu River Basin

WU Jia-yi¹, SHI Shang-ming²

(1. Exploration & Development Research Institute, Daqing Oilfield Company Limited Daqing, Heilongjiang Province 163712, China; 2. Geoscience Institute, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, Heilongjiang, China)

Abstract: The Yalu River Basin is a typical multicycle and multiplex basin, which is potentially rich in oil and gas resources. Guided by the method of tectonic geology and petroleum geology and based on geophysical and geological data analysis, the authors emphatically studied Changbai Depression in Yalu River Basin and made scientific evaluation of its resource assessment according to investigating the petroleum geological condition and structure characteristics of the study area. The results show that the central extensional subsidence belt of Changbai Depression in Yalu River Basin with large thickness and continuous stratigraphic sequence seems to be the preferred favorable exploration area, which has various local structures in favorable directional zone of hydrocarbon migration.

Key words: Yalu River Basin; petroleum geological condition; structure characteristics; resource assessment

About the first author: WU Jia-yi, female, born in 1988, doctor, majors in geological resources and geology engineering; E-mail: 147567033@qq.com.

收稿日期:2015-10-27;改回日期:2016-01-22

基金项目:东北石油大学研究生创新科技项目(YJSCX2014-001NEPU)资助。

作者简介:吴佳忆,女,1988年生,博士生,地质资源与地质工程专业;E-mail:147567033@qq.com。

通讯作者:施尚明,男,1956年生,教授,博士生导师,主要研究方向为油气田开发地质;E-mail:ssm@nepu.edu.cn。

About the corresponding author: SHI Shang-ming, male, born in 1956, professor, doctoral supervisor, mainly engages in the study of oil and gas geology and exploitation; E-mail: ssm@nepu.edu.cn.

Fund support: Supported by Northeast Petroleum University Innovation Foundation for Postgraduate students (No. YISCX2014-001IVEDU).

鸭绿江盆地地处中国东北的战略要地,该地区油气资源的勘探,将会对中国能源安全及东北亚地区稳定起到重要影响。鸭绿江盆地在地理上位于吉林省通化市和白山市辖区内,其所处构造带位于华北板块东北缘,是古亚洲洋南支洋古生代闭合后华北板块与东北联合地块碰撞的陆缘增生带,为增生型造山带^[1]。结合野外露头、煤田钻井及综合地质研究表明,该盆地具备典型叠合盆地的特征,主要是由中生代陆相盆地与古生代海相残留盆地叠合而成,整体表现为前陆盆地的特征。盆地烃源岩发育,拥有前陆盆地前期经历长期稳定发育的沉积型烃源岩和前陆期经历挤压碰撞后发育的拗陷型烃源岩;其下部被动大陆边缘稳定性沉积和其上部叠置的前陆沉积,决定了盆地纵向上发育多套生储体系;发育大规模逆冲推覆构造,具有隆拗相间的构造格局;受构造冲断作用的影响,盆地内发育有多种类型的油气圈闭^[2-5]。盆地发育有华北地块典型的古元古代至新生代的海相、海陆交互相、陆相多套地层和火成岩,特别发育新元古代的滨海—浅海相碎屑岩、碳酸盐岩和中生代陆相碎屑岩和火山岩^[6-9]。鸭绿江盆地的地质条件预示着其具有较好的油气勘探前景。前人对鸭绿江盆地的研究多集中在找矿勘探^[10]、成矿预测^[11]和含油气盆地演化^[12],关于盆地成藏条件及潜力预测的研究较少。本文利用煤田钻井、探井及丰富的地质资料,对鸭绿江盆地长白拗陷成藏条件展开探讨与分析,并借助区域地质资料合理地评价研究区资源潜力,旨在为该区域油气勘探提供基础科学依据。

1 区域构造运动及盆地演化特征

1.1 区域构造运动

鸭绿江盆地长白拗陷是Pt₂-Ar基底之上受2组逆冲断层夹持所形成的中生代盆地,以挤压性构造演化为主,具有前陆盆地的构造特征(图1)。沿江逆冲大断裂控制了盆地南缘边界,全区呈近东西走向,向南倾,长约90 km,断层上盘为基底变质岩系,逆冲掩

覆在盆地内不同时代沉积地层之上。东北微板块群与华北板块运动相互作用,加之太平洋板块运动带来的影响,造成研究区地质构造既复杂又特殊。研究区主要经历了以下3个构造发育阶段^[13-27]:

(1)太古宙—中元古代基底发育阶段:鸭绿江盆地长白拗陷的结晶基底由太古宙和古、中元古界两部分组成。太古宙结晶基底是盆地基底最老的第一套变质岩系,由经过多次区域变质和混合岩化作用的鞍山群组成,古、中元古代结晶基底为老岭群和集安群,由各种结晶片岩、片麻岩、大理岩、混合岩类组成。

(2)新元古代—晚二叠世海相盆地发育阶段:古生代盆地位于古亚洲洋南缘,伴随古亚洲洋向华北板块俯冲以及微陆块之间的碰撞,华北克拉通北缘与东北联合地块逐渐形成近东西向展布的巨型陆缘俯冲—碰撞造山带,地壳活动主要表现为垂直升降运动,屡次遭受海侵—海退,沉积了浅海相—滨海相碎屑岩和碳酸盐岩建造。早古生代发育一套以火山—沉积岩系为主的弧后盆地沉积,晚古生代二叠纪时期盆地处于古亚洲洋板块的俯冲作用之下,为活动大陆边缘的构造环境,发生了较为强烈的海底火山喷溢活动,形成了狭长的北东走向火山岩带,晚二叠世末华北板块北缘最终沿西拉木伦河缝合线与北侧佳—蒙地块碰撞拼贴,转入陆内演化阶段。

(3)早三叠世—新生代陆相断陷叠合盆地发育阶段:自晚二叠世海水全部退出之后,虽然地壳活动性在逐渐增强,但早—中三叠世基本上保持了晚二叠世的古地理轮廓,沉积了一套内陆盆地河湖相红色碎屑岩系,与下伏二叠系内连续沉积,整合接触。中生代早期,主要受古亚洲洋板块和西伯利亚板块与中朝板块的相互作用,经历了古亚洲洋消减、两大陆壳板块陆—陆碰撞拼接的演化历史;至中生代的印支—燕山期,受到陆内造山作用的影响,出现多期次的构造—岩浆活动和沉积—火山活动,自三叠纪晚期到侏罗、白垩纪形成多期“上叠盆地”;到中

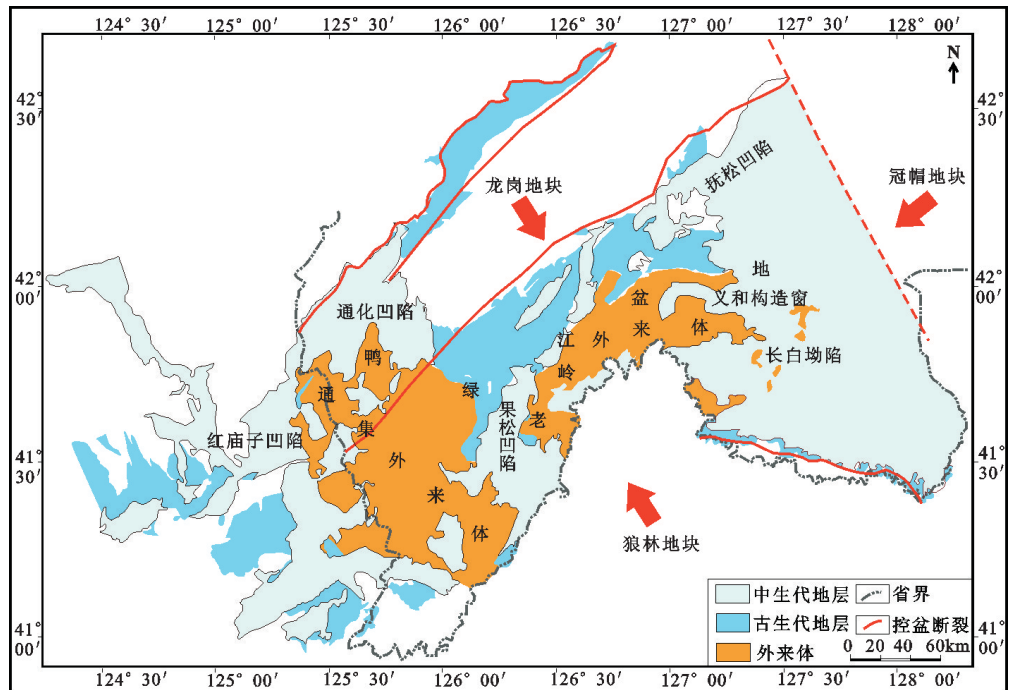


图1 鸭绿江盆地构造位置图
Fig.1 Distribution of Yalu River Basin

生代后期及新生代的喜马拉雅期,在西环太平洋陆缘造山作用的影响下,形成陆内与陆缘之间的“前缘盆地”。挤压构造运动导致前陆期盆地形成大量侏罗山式褶皱、冲断背斜、披覆背斜等构造圈闭,呈狭长带状展布,形成两隆三拗的隆拗相间构造格局。

1.2 构造带划分

结合应力特征、断裂展布特征及构造类型特征分析得出,研究区在构造上具有南北分带的特征。可将其划分为北部隆起带、中部伸展沉降带和南部挤压逆冲推覆带(图2),各构造带具有以下特征:

(1)北部隆起带:位于研究区北部的老岭隆起,整体呈NEE向展布,地表大部分出露元古代和燕山期花岗岩,基地顶面埋深一般在海拔500 m以上。

(2)中部伸展沉降带:位于研究区中部的长白拗陷,主体受南北两侧逆冲断层夹持,在研究区整体呈西窄东宽的喇叭状,整体呈EW向展布,以发育向研究区WN方向倾斜,走向NE向、近EW向的生长逆断层为特征,内部包含次一级凹凸相间的构造格局。

(3)南部挤压逆冲推覆带:位于研究区南部的新房子冲断带,受到南、北两条断裂的控制,整体呈EW向展布,以发育向研究区中部逐渐收缩的NW-SE向叠瓦状逆冲推覆构造为特征。

1.3 地层划分

研究区基底岩系包括太古宇和中、新元古界变质岩系,1800 Ma的界面十分显著,其上的新元古界近似盖层。下古生界是陆表海稳定类型沉积,上古生界是海陆交互相,中生界是内陆盆地堆积,从晚三叠世始发育火山喷发沉积,晚侏罗世火山活动尤为剧烈,至白垩纪晚期尚有活动,显然是受到环太平洋火山活动带的影响。新生代火山岩十分发育,其分布主要受北东向裂谷和东西向断裂所控制。新近系也有陆相湖盆地堆积,第四系可分为4个冰期和间冰期沉积,缺失志留系到下石炭统,各地层岩性特征见图3^[28-31]。

1.4 火山岩分布特征

重磁电联合反演结果显示,研究区火山岩十分发育,分布广泛(图4)。在拗陷东部七道沟一带,火山岩沉积最厚,最大总厚度达到1300 m,在拗陷西部六道沟一带,火山岩沉积较薄,沉积总厚度小于500 m,由拗陷中部向南,火山岩沉积总厚度逐渐减薄。

2 盆地油气成藏条件

2.1 烃源岩特征

野外地质调查与烃源岩分析结果表明,研究区

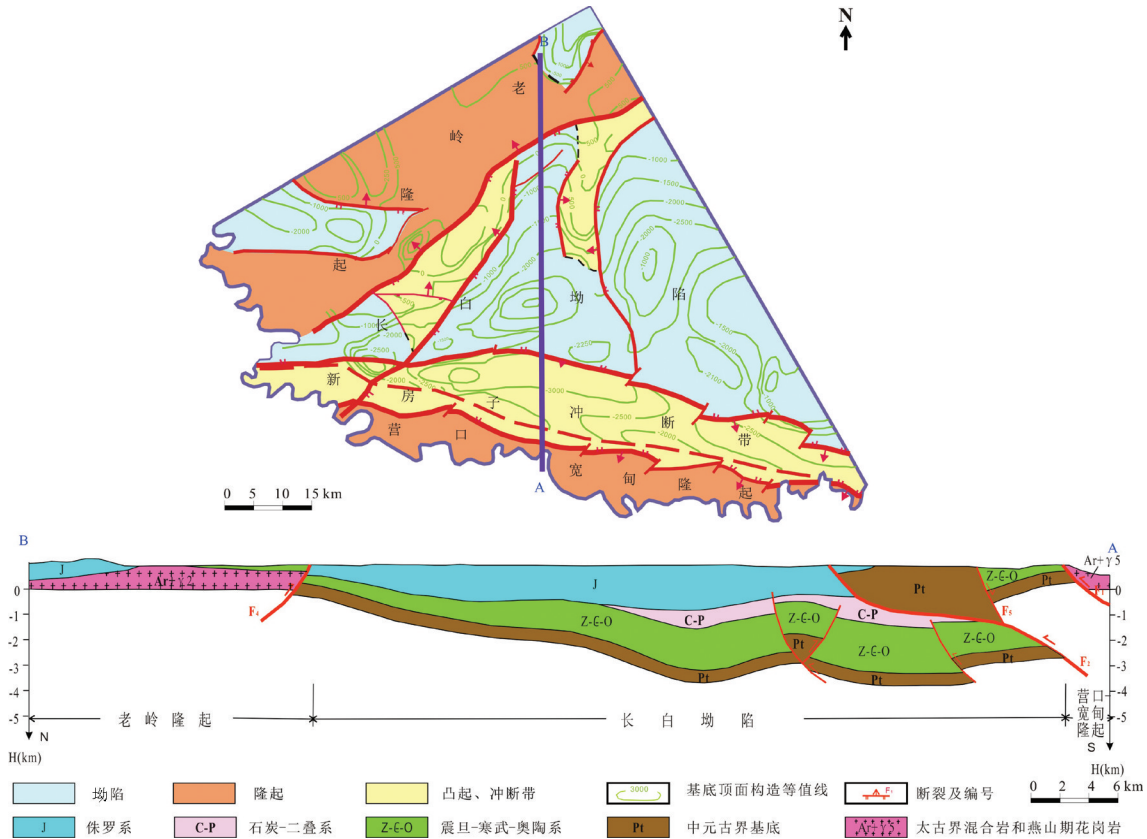


图2 鸭绿江盆地长白坳陷分布图
Fig.2 Distribution of Changbai Depression in Yalu River Basin

发育3套主力烃源岩,累计厚1183~1889 m,泥地比为47%。烃源岩有机质丰度较高,处于成熟—过成熟热演化阶段,产率指数随地层时代的变老而有序增加,产率均大于0.1,表明烃源岩已经大量生、排烃,具有成藏的物质基础(图3、表1)。煤田部分地质井在寒武系碱厂组、二叠系山西组砂岩中见到沥青,地表露头多处见到震旦系、寒武系、奥陶系沥青显示,证实盆地发生过油气生成和聚集(图5),因此,盆地的烃源岩基础好,具备形成油气藏的物质条件。

2.2 储集层特征

根据研究区周边露头所见油气显示层位和煤田钻井、探井综合分析,确认盆地储集层从震旦系到中生界均有发育,存在海相、陆相和火山岩等多种类型储集层(表2),储层多为低孔、低渗储层,其储集能力受控于裂缝的发育。

2.3 盖层特征

盖层是形成圈闭和阻止油气逸散得以保存的

主要条件之一。野外地质调查证实长白坳陷盖层条件良好,发育有5套区域性盖层,其中震旦纪膏盐岩、奥陶纪页岩和石炭—二叠纪泥岩、铝土质页岩及炭质页岩为下伏储层提供顶部封盖;寒武纪浅海相区域性泥页岩构成震旦纪海相碳酸盐岩储层的区域盖层,厚250~350 m,全区发育较稳定;侏罗纪煤系泥岩和火山岩,作为侏罗纪储集层和下伏储层的区域盖层,累计厚度200~600 m,由于受燕山末期构造运动的影响,研究区西南部剥蚀严重,向东部逐渐变好,但亦受到不同程度的剥蚀。研究区区域盖层累计厚度达1541m,占地层厚度的44%,由此可见区域盖层非常发育,能够为油气成藏提供了良好的封盖条件。

2.4 生储盖组合

根据沉积体系、测井资料分析等的研究,推测长白坳陷可形成多套生、储、盖相互配置,划分为上、中、下3套含油气生储盖组合(图6)。

下部含油气组合:该含油气系统以生气潜力大

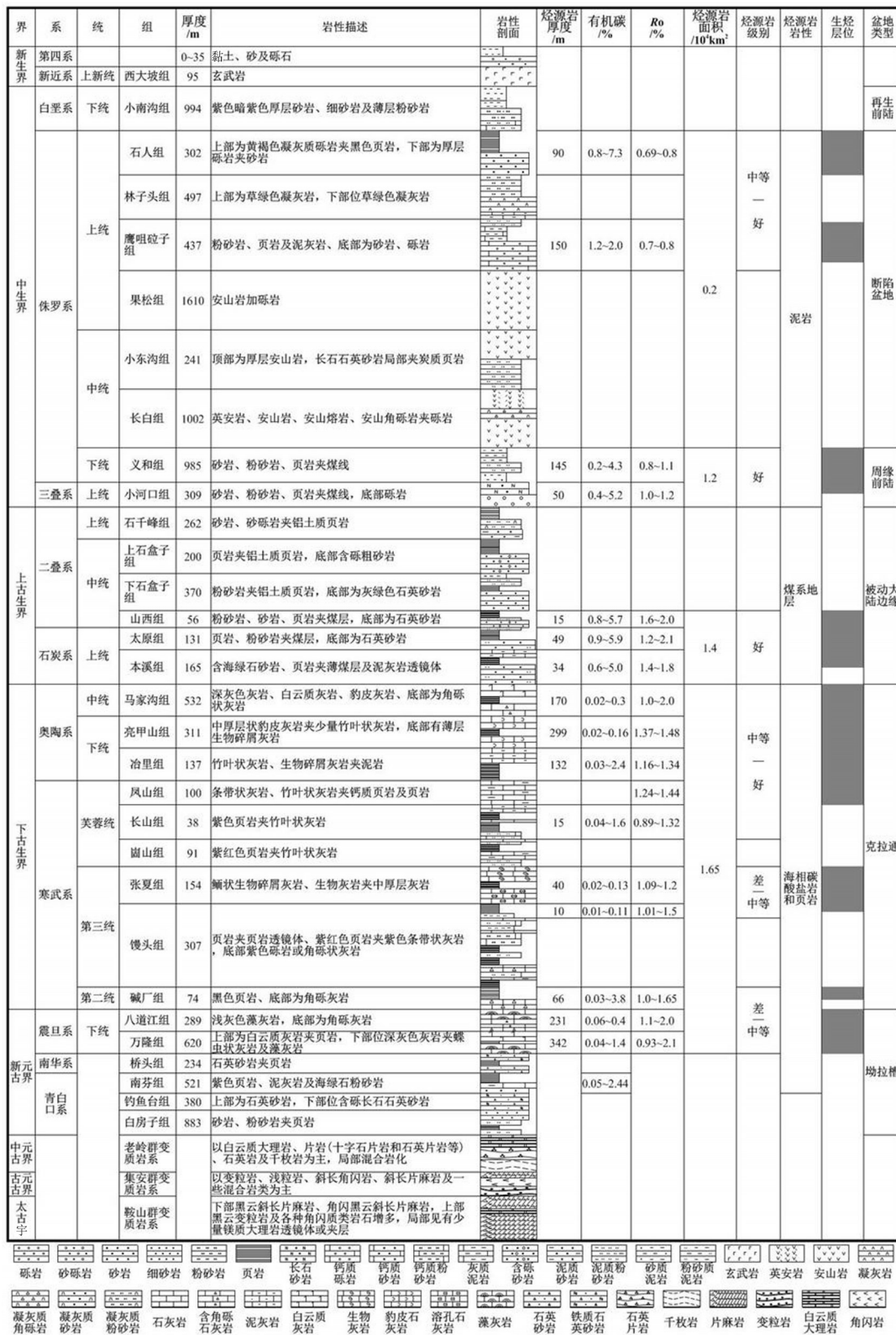


图3 鸭绿江盆地长白坳陷岩性综合柱状图
Fig.3 Lithologic column of Changbai Depression in Yalu River Basin

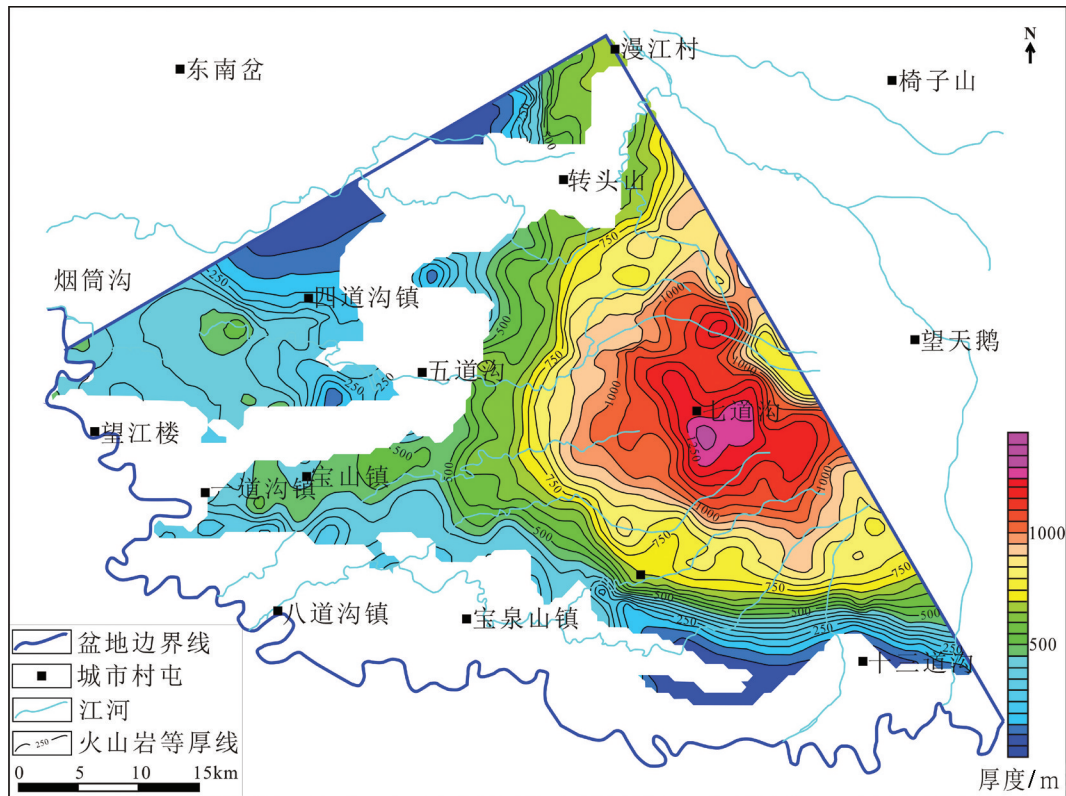


图4 鸭绿江盆地长白坳陷火山岩地层厚度图

Fig.4 Volcanic strata thickness of Changbai Depression in Yalu River Basin

的寒武系碱厂组黑色页岩为主要烃源岩,以寒武系的馒头组和张夏组的鲕粒灰岩为主要储层,以石炭系一二叠系的暗色泥岩、铝土岩为其顶部的一套局部盖层,与层内的海相碳酸盐岩及页岩构成较好的生储盖组合。

中部含油气组合:该含油气系统的烃源岩主要是石炭系一二叠系本溪组、太原组和山西组的黑色泥岩、煤层,以生气为主,储层主要是石炭系一二叠系太原组、山西组和石盒子组的砂岩,盖层为二叠系石千峰组、石盒子组的页岩,主要发育自生自储式组合。

上部含油气组合:该含油气系统既可接受下部上三叠统一下侏罗统的湖沼相泥、页岩烃源岩供给,自身也具有一定的生烃潜力,储层以侏罗系长白组、果松组的火山碎屑岩为主,侏罗纪煤系泥岩和火山岩作为下伏储层的局部盖层,主要发育下生上储式组合。

2.5 运移、聚集和保存

研究区发育的大量断层是油气运移的重要通

道。油气通过孔隙和微裂缝等进行初次运移后,通过这些长期活动的深大断裂通道发生二次运移。中生代末期燕山运动和始新世—渐新世喜马拉雅运动使区内北东向断层与近东西向断层发育,在新近纪近南北向挤压作用影响下,部分早期断层持续活动,并形成众多新的断层。根据研究区断层规模及断穿层位,可将其划分为2类,分别为断穿古近系、新近系继承性活动的大断层和受晚期新构造运动影响形成的次级断层。前者与深部高角度断层共同控制油气圈闭的形成,该类断层将深部烃源岩与浅层储层沟通,构成油气垂向输导体系,使油气在深、浅层圈闭中富集。而后者主要是指与大断层伴生或由于差异压实作用在中—新生代发育的断层,其断距小、延伸距离短,对地层沉积无明显的控制作用,且该类断层与早期断层相互切割,构造油气从烃源岩运移到浅层圈闭的输导体系^[32-37]。

2.6 油气聚集单元

鸭绿江盆地具典型叠合盆地特征,古生代海相残留盆地之上叠合了上三叠—下侏罗统的周缘前

表1 鸭绿江盆地长白坳陷烃源岩评价
Table 1 Source rock evaluation of Changbai Depression in Yalu River Basin

地层时代 代 系	烃源岩 类型	有机碳/%	Ro/%	S ₁ +S ₂ /(mg/g)	I _H /(mg/g)	T _{max} /°C	烃源岩特征		
元古宙 早古生代	奥陶系 (60 块)	灰岩 泥(页)岩	<u>0.04~0.31</u> 0.11 0.33	<u>1.01~1.98</u> 1.31 1.36	<u>0.04~0.7</u> 0.16 0.32	<u>31.3~760</u> 319 48.4~400 187	443~530 440~542	虽然灰岩的有机质丰度相对较低,成熟度高,作为油源岩品质略差,但可作为良好的气源岩。同时,海相烃源岩特有的三段式生烃演化模式可以为油气聚集提供多种油气源	
	寒武系 (30 块)	灰岩 泥(页)岩	<u>0.02~0.54</u> 0.23 <u>0.31~3.8</u> 1.2	<u>0.89~1.65</u> 1.26 <u>1.0~1.4</u> 1.2	<u>0.03~0.9</u> 0.18 <u>0.23~0.7</u> 0.44	<u>27.8~600</u> 158 <u>27~600</u> 218	447~550 433~556		
	震旦系 (20 块)	灰岩 泥(页)岩	<u>0.04~0.4</u> 0.16 <u>0.1~2.44</u> 0.7	<u>0.93~2.04</u> 1.4 1.5	<u>0.03~0.52</u> 0.1 <u>0.12~0.38</u> 0.2	<u>22~433.5</u> 145 <u>50~300</u> 136	459~560 463~560		
	泥岩	<u>0.9~5.9</u> 3.7		<u>0.17~4.5</u> 2.0	<u>9.8~96</u> 44.8				
	石炭系 (50 块)	炭质泥岩 煤岩	<u>6.5~29</u> 18.7 <u>62~96.3</u> 82	<u>1.2~2.1</u> 1.68	<u>2.8~115</u> 44.5 <u>13.0~126</u> 70	<u>10.4~410</u> 172 <u>14~159</u> 88.0	461~582		烃源岩有机质丰度高,处于成熟—高成熟演化阶段,已经历了生、排烃高峰期,以生气为主,是盆地的主要生烃层系
	晚古生代	泥岩	<u>0.83~5.7</u> 3.0		<u>0.3~4.4</u> 1.7	<u>10.8~114</u> 49			
二叠系 (81 块)	炭质泥岩 煤岩	<u>6.2~39</u> 22.7 <u>41~97</u> 76	<u>1.6~2.0</u> 1.79	<u>2.7~90.4</u> 22 <u>2~171</u> 77	<u>5~226</u> 83 <u>3~227</u> 96	450~589			
三叠系 (16 块)	泥岩 煤岩	<u>0.72~11.4</u> 2.11 <u>57~63.5</u> 60.2	<u>0.8~1.2</u> 1.1	<u>0.1~23.1</u> 6.4 <u>7.03~135.5</u> 96.02	<u>9.6~190</u> 46 <u>33~410</u> 78	424~570			
中生代	侏罗系 (15 块)	泥岩 煤岩	<u>0.40~5.02</u> 1.41 <u>13.77~45</u> 20.78	<u>0.6~1.78</u> 1.54	<u>0.11~29.5</u> 3.98 <u>2.14~27</u> 9.25	<u>9~350</u> 36 <u>20~324</u> 54	413~533	烃源岩有机质的丰度中等,生气潜力高,成熟度正处于大量生气的高成熟阶段	

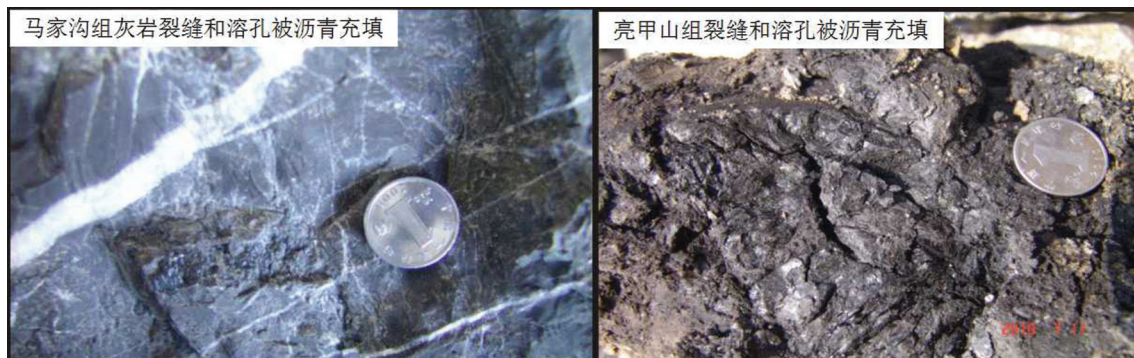


图5 鸭绿江盆地长白坳陷烃源岩露头
Fig. 5 Source rock outcrops of Changbai Depression in Yalu River Basin

陆盆地和下白垩统的再生前陆盆地,叠合盆地的形成与演化控制了碳酸盐岩层系油气生成、聚集和保存,二期前陆盆地的叠加对油气的生成、运移和聚集成藏较为有利。由于研究区主要受挤压构造运动作用,由强烈的断裂活动形成的断块、背斜、断背

斜和披覆背斜等构造圈闭是主要的油气圈闭。

3 油气勘探前景

鸭绿江盆地长白坳陷震旦—寒武—奥陶系(Z- ϵ -O)、石炭—二叠系(C-P)、侏罗系—下白垩统

表2 鸭绿江盆地长白坳陷储层物性分析数据
Table 2 Reservoir physical property data of Changbai Depression in Yalu River Basin

储层	孔隙度/%	渗透率/ 10 ⁻³ μm ²	岩性	孔隙	成岩作用	类型	发育层位
海相碳酸盐岩 (20块)	1.57~15.84 2.4	0.001~19.35 0.05	以灰岩、豹皮灰岩为主	孔隙以微孔隙为主, 裂缝以构造裂缝最为发育	压实、压溶作用、白云石化作用、胶结作用、溶蚀作用、重结晶作用、破裂作用、去白云石化作用	低孔、特低渗型	震旦系万隆组和八道江组、奥陶系马家沟组、冶里组和亮甲山组、寒武系张夏组
陆相碎屑岩 (26块)	3.03~36.62 7.6	0.039~28.81 1.42	以细砂岩、石英砂岩为主	以粒间孔为主, 其次为粒内孔、铸模孔、长石溶孔	交代作用、溶蚀作用、压实作用、胶结作用	低孔、低渗型	二叠系石千峰组、石盒子组、侏罗系小东沟组、果松组、石人组
火山岩 (30块)	0.4~20.3 8.6	0.002~8.62 0.94	以安山岩、英安岩为主	孔隙以次生溶孔为主, 裂缝以微裂缝较为发育	冷凝收缩作用、熔结作用、胶结作用、溶解作用、交代作用、充填作用、脱玻化作用、构造作用	低孔、低渗型	侏罗系果松组和长白组

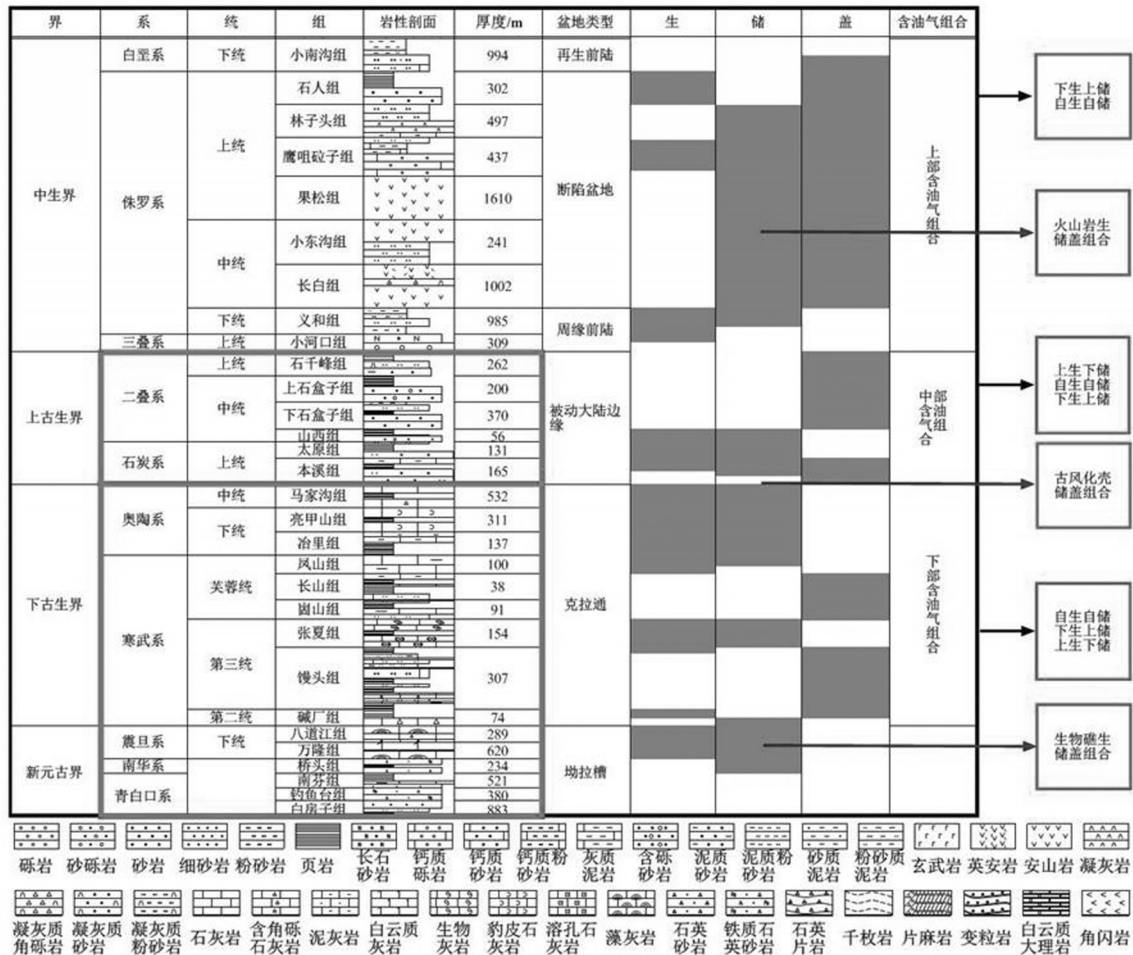


图6 鸭绿江盆地长白坳陷生储盖组合剖面
Fig.6 Source-reservoir-caprock profile of Changbai Depression in Yalu River Basin

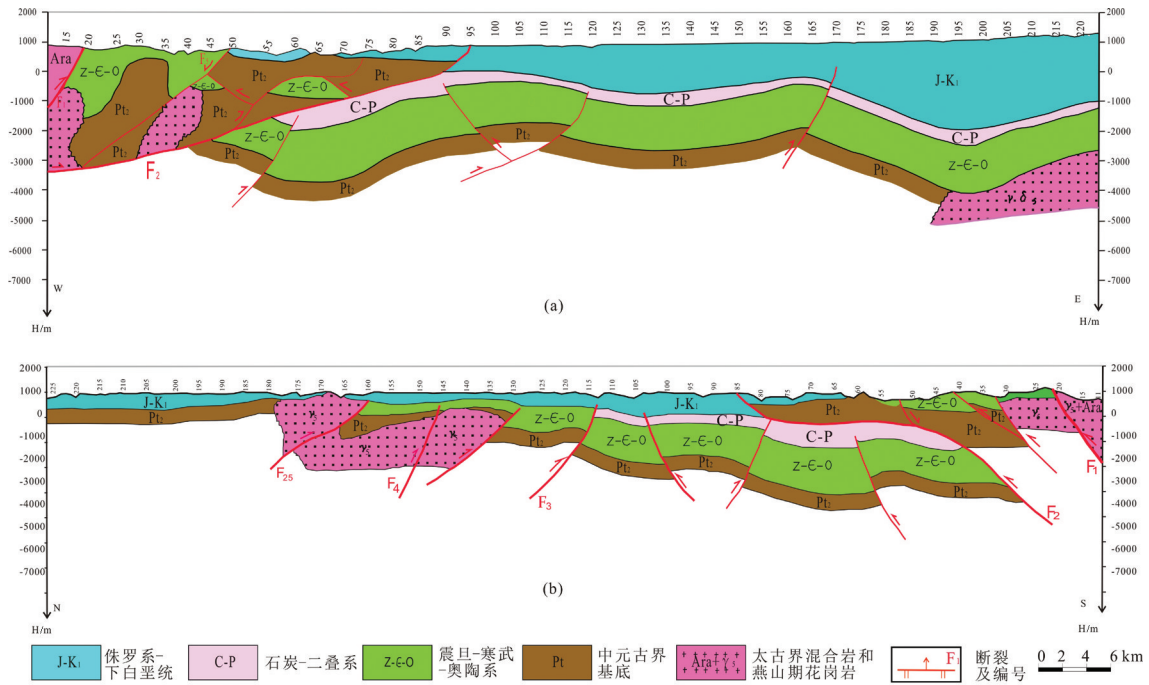


图7 鸭绿江盆地长白坳陷地层发育特征(a—东西向; b—南北向)

Fig. 7 Stratigraphic development characteristics of Changbai Depression in Yalu River Basin ((a) E-W; (b) S-N)

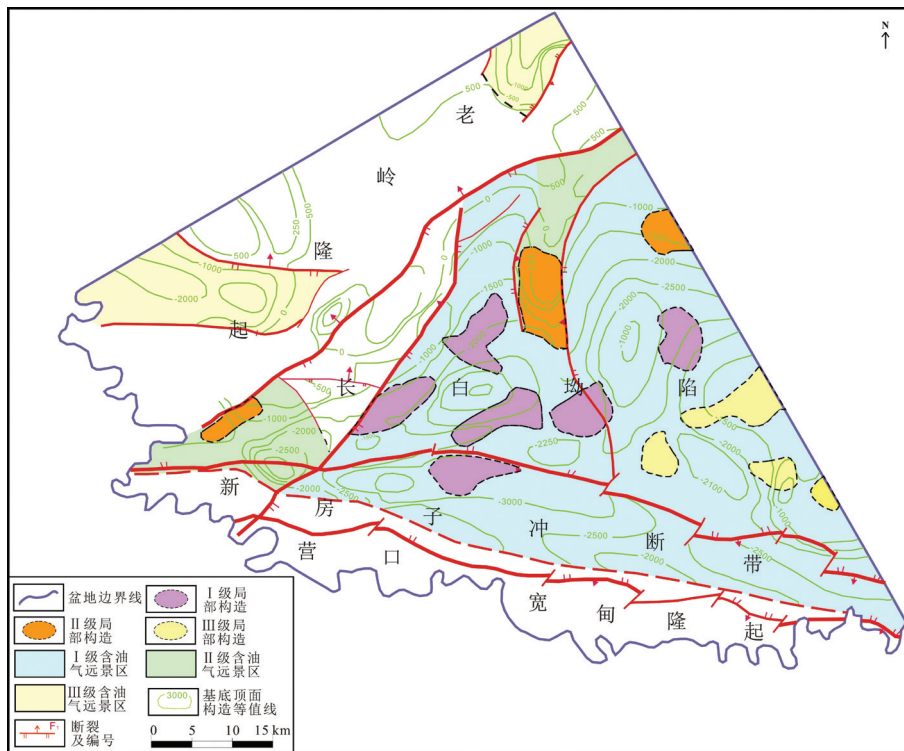


图8 鸭绿江盆地长白坳陷含油气远景预测图

Fig. 8 Most promising region for oil and gas prospecting in Changbai Depression of Yalu River Basin

(J-K1)等地层均有发育,震旦—寒武—奥陶系(Z-ε-O)地层分布较广,厚度较大,一般在1500 m左右;石炭—二叠系(C-P)地层残留较局限,在构造高部位基本被剥蚀,厚度较小,一般在500 m左右,发育于冲断带以下及以北的凹陷内(图7)。根据油气地质分析认为,研究区中部地层层序完整,厚度大且稳定,烃源岩层系发育,具备良好的油气源条件;局部构造发育,且均位于油气有利的指向区,易于捕获油气;断裂规模较大,能够改善储集层储集性能同时连通烃源岩与储集层;上部盖层发育,厚度大且稳定,断裂发育较少,有利于油气藏的保存。综上所述,中部伸展沉降带具备油气勘探的有利前景,为首选的油气勘探有利区(图8)。

4 结 论

(1)不同应力背景使得研究区构造具有南北特征,由南向北依次为挤压逆冲推覆带、伸展沉降带和隆起带,海相、陆相地层发育,下古生界是陆表海稳定类型沉积,上古生界是海陆交互相,中生界是内陆盆地堆积。

(2)鸭绿江盆地长白拗陷发育发育3套主力烃源岩,层系多、厚度大、丰度高、类型多,累计厚1183~1889 m,泥地比为47%。烃源岩有机质丰度较高,处于成熟—过成熟热演化阶段,产率指数随地层时代的变老而有序增加,产率均大于0.1,表明烃源岩已经大量生、排烃,具备形成油气藏的物质条件。

(3)盆地储集层从震旦系到中生界均有发育,存在海相、陆相和火山岩等多种类型,发育5套区域性盖层,生储盖组合配置合理,推测可形成多套生、储、盖相互配置,划分为上、中、下3套含油气储盖组合。

(4)在分析该地区成藏条件的基础上,结合区域地质资料研究认为,研究区中部伸展沉降带地层层序完整,厚度大且稳定,局部构造发育,且均位于油气有利的指向区,具备油气勘探的有利前景,为首选的油气勘探有利区。

参考文献(References):

- [1] 吉林省地质矿产局. 吉林省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 200-350.
Jilin Geology and Mineral Bureau. Regional Geology of Jilin Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 200-350(in Chinese).
- [2] 邱瑞照, 李廷栋, 邓晋福, 等. 中国大陆大规模成矿作用油气田形成——来自岩石圈的约束[J]. 中国地质, 2006, 33(4): 852-865.
Qiu Ruizhao, Li Tingdong, Deng Jinfu, et al. Large-scale metallogenesis and petroleum field formation in continental China - constraints from the lithosphere [J]. Geology in China, 2006, 33(4): 852-865(in Chinese with English abstract).
- [3] 张军营. 中国叠合含油气盆地石油地质基本特征与研究方法[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013, (24): 257.
Zhang Junying. The petroleum geological characteristics and research methods of superimposed basin in China [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013, (24): 257 (in Chinese).
- [4] 陈杨. 川西晚三叠世前陆盆地的形成演化过程及油气勘探意义[D]. 成都理工大学, 2011.
Chen Yang. The Formation of Western Sichuan Foreland Basin and Its Significance in Oil-gas Exploration during Late Triassic [D]. Chengdu University of Technology, 2011(in Chinese with English abstract).
- [5] 杨承志. 松辽盆地—大三江盆地晚白垩世构造反转作用对比及其成因联系[D]. 中国地质大学(武汉), 2014.
Yang Chengzhi. Comparative study on Late Cretaceous tectonic inversion of Songliao Basin - Great Sanjiang Basin and its genetic relationship [D]. China University of Geosciences (Wuhan), 2014 (in Chinese with English abstract).
- [6] 曲永强, 孟庆任, 马收先, 等. 华北地块北缘中元古界几个重要不整合面的地质特征及构造意义[J]. 地学前缘, 2010, 17(4): 112-127.
Qu Yongqiang, Meng Qingren, Ma Shouxian, et al. Geological characteristics of unconformities in Mesoproterozoic successions in the northern margin of North China Block and their tectonic implications [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(4): 112-127 (in Chinese with English abstract).
- [7] 吴奇, 许立青, 李三忠, 等. 华北地块中部活动构造特征及汾渭地堑成因探讨[J]. 地学前缘, 2013, 20(4): 104-114.
Wu Qi, Xu Liqing, Li Sanzhong, et al. Active tectonics in the central North China Block and the cause of the formation of the Fenwei Graben [J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(4): 104-114(in Chinese with English abstract).
- [8] 张允平, 李景春. 华北及其以北地区晚古生代—早中生代构造格架主体特点[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 916-930.
Zhang Yunping, Li Jingchun. Tectonic framework and main characteristics of North China and its northward areas in Late Paleozoic-Early Mesozoic period [J]. Geology in China, 2010, 37(4): 916-930(in Chinese with English abstract).
- [9] 金炳成, 刘永江, 韩国卿, 等. 吉林—延吉—朝鲜咸北地区晚古生代沉积特征及其构造演化意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(Z1): 296-305.

- Kim Byongsong, Liu Yongjiang, Han Guoqing, et al. Late Paleozoic sedimentary characteristics in Yanji-Jilin-Hambuk area, Korea and its significance to tectonic evolution [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2012, 42(Z1): 296-305(in Chinese with English abstract).
- [10] 吴冬铭, 李玮, 李玉龙, 等. 关于鸭绿江深断裂带北延的重力场证据[J]. 吉林地质, 2008, 27(1): 56-60.
Wu Dongming, Li Wei, Li Yulong, et al. The evidence of gravitational field about Yalu River deep-fracture zone stretching to the North [J]. Jilin Geology, 2008, 27(1): 56-60(in Chinese with English abstract).
- [11] 程德林, 马晓东, 张立明, 等. 吉林省集安沿江一带多金属成矿地质背景及找矿方向[J]. 吉林地质, 2010, 29(4): 13-17.
Cheng Delin, Ma Xiaodong, Zhang Liming, et al. Polymetallic ore geologic setting and prospecting direction of Yanjiang Ji' an area of Jilin Province [J]. Jilin Geology, 2010, 29(4): 13-17(in Chinese with English abstract).
- [12] 李吉焱, 单玄龙, 马月, 等. 鸭绿江断裂带吉林段含油气盆地分布及演化[J]. 世界地质, 2013, 32(1): 98-104.
Li Jiyan, Shan Xuanlong, Ma Yue, et al. Distribution and evolution of petroliferous basins along Yalu River fault in Jilin [J]. Global Geology, 2013, 32(1): 98-104(in Chinese with English abstract).
- [13] 韩作振, 宋志刚, 高丽华, 等. 华北板块北缘东段中生代沉积特征及盆地演化研究进展[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2014, 33(2): 1-10.
Han Zuozhen, Song Zhigang, Gao Lihua, et al. Advances of sedimentary characteristics and basin evolution of Paleozoic in the northeastern margin of the North China block [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology, 2014, 33(2): 1-10(in Chinese with English abstract).
- [14] 钟福平, 钟建华, 艾合买提江·阿不都热合曼, 等. 华北克拉通破坏时间与破坏范围分布特征——来自银根—额济纳旗盆地苏红图坳陷早白垩世火山岩的启示[J]. 中国地质, 2015, 42(2): 435-456.
Zhong Fuping, Zhong Jianhua, Ahmatjan Abdurahman, et al. Timing and scale of the destruction of the North China craton: Revelation from the Early Cretaceous volcanic rocks in Suhongtu Depression of Inngen-Ejin Banner Basin [J]. Geology in China, 2015, 42(2): 435-456(in Chinese with English abstract).
- [15] 孙卫东, 凌明星, 汪方跃, 等. 太平洋板块俯冲与中国东部中生代地质事件[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(3): 218-225.
Sun Weidong, Ling Mingxing, Wang Fangyue, et al. Pacific plate subduction and Mesozoic geological event in eastern China [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2008, 27(3): 218-225(in Chinese with English abstract).
- [16] 殷长建, 彭玉鲸, 靳克. 中国东北东部中生代火山活动与泛太平洋板块[J]. 中国区域地质, 2000, 19(3): 301-311.
Yin Changjian, Peng Yujing, Jin Ke. Mesozoic volcanism in the eastern part of Northeast China and Transpacific plate [J]. Regional Geology of China, 2000, 19(3): 301-311(in Chinese with English abstract).
- [17] 徐芹芹, 季建清, 徐继耀, 等. 中国北方新生代大陆变形及其动力学机制分析[J]. 中国地质, 2015, 42(6): 1633-1673.
Xu Qinqin, Ji Jianqing, Xu Jiyao, et al. Cenozoic continental deformation in northern China and its geodynamic mechanism [J]. Geology in China, 2015, 42(6): 1633-1673(in Chinese with English abstract).
- [18] 金炳成. 中国东部—朝鲜半岛古生代沉积特征及构造演化[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
Jin Bingcheng. Characteristics of Paleozoic Sedimentary from East China-Korean Peninsula and Its Tectonic Evolution [D]. Changchun: Jilin University, 2012(in Chinese with English abstract).
- [19] 陈根文, 夏换, 陈绍清. 华北地区晚中生代中大构造转折的地质证据[J]. 中国地质, 2008, 35(6): 1162-1177.
Chen Genwen, Xia Huan, Chen Shaoqing. The geological evidences for the tectonic transition in late Mesozoic in North China [J]. Geology in China, 2008, 35(6): 1162-1177(in Chinese with English abstract).
- [20] 邵建波, 毕守业. 吉林省东部主要北东向断裂带地质特征及地壳演化[J]. 吉林地质, 1995, 14(1): 35-39.
Shao Jianbo, Bi Shouye. Geologic features of NE faulted zone in the eastern part of Jilin Province and its crustal evolution [J]. Jilin Geology, 1995, 14(1): 35-39(in Chinese with English abstract).
- [21] 胡见义, 徐树宝, 周兴熙, 等. 东北亚古老克拉通油气勘探新领域及资源潜力[J]. 地质论评, 1996, 42: 7-15.
Hu Jianyi, Xu Shubao, Zhou Xingxi, et al. New oil and gas exploration frontiers and resource potential of old cratons in the Northeast Asia [J]. Geological Review, 1996, 42: 7-15(in Chinese with English abstract).
- [22] 张吉光, 卢滨, 孟元林, 等. 延吉盆地成藏期与油气分布[J]. 大庆石油地质与开发, 2015, 34(3): 23-28.
Zhang Jiguang, Lu Bin, Meng Yuanlin, et al. Petroleum accumulation period and distribution in Yanji Basin [J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2015, 34(3): 23-28(in Chinese with English abstract).
- [23] 张国仁, 江淑娥, 韩晓平, 等. 鸭绿江断裂带的主要特征及其研究意义[J]. 地质与资源, 2006, 15(1): 11-18.
Zhang Guoren, Jiang Shue, Han Xiaoping, et al. The main characteristics of Yalujiang fault zone and its significance [J]. Geology and Resources, 2006, 15(1): 11-18(in Chinese with English abstract).
- [24] 李振英. 鸭绿江断裂带南段浅层地质构造的探测[J]. 东北地震研究, 1991, 7(3): 83-87.
Li Zhenying. Shallow geological structure detection of South fracture belt [J]. Northeastern Seismological Research, 1991, 7(3): 83-87(in Chinese).

- [25] 董南庭, 武贵禄, 王光奇, 等. 鸭绿江断裂带基本地质特征及成矿规律[J]. 吉林地质, 1989, 8(4): 1-25.
Dong Nanting, Wu Guilu, Wang Guangqi, et al. The basic geological features of the Yalujiang fracture belt and the metallogenic regularities [J]. Jilin Geology, 1989, 8(4): 1-25(in Chinese with English abstract).
- [26] 丑述一, 薛继广, 刘浩, 等. 吉林省长白山地区新生代火山岩基本特征及成因模式探讨[J]. 吉林地质, 2014, 33(3): 1-4.
Chou Shuyi, Xue Jiguang, Liu Hao, et al. The basic features and genetic model of Cenozoic volcanic rocks in Changbai Mountain area, Jilin Province [J]. Jilin Geology, 2014, 33(3): 1-4(in Chinese with English abstract).
- [27] 张立敏, 唐晓明. 西太平洋板块俯冲运动与中国东北深震带[J]. 地球物理学报, 1983, 26(4): 331-340.
Zhang Limin, Tang Xiaoming. The underthrusting movement of the Western Pacific plate and the deep focus earthquake zone of Northeast China [J]. Acta Geophysica Sinica, 1983, 26(4): 331-340(in Chinese with English abstract).
- [28] 孙宝田. 吉林省临江—长白地区地质特征及成矿预测[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(6): 686.
Sun Baotian. The geologic characteristics and metallogenic prediction of Linjiang—Changbai zone in Jilin Province [J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 1999, 8(6): 686 (in Chinese).
- [29] 赵冰仪, 周晓东. 吉南地区古元古代地层层序及构造背景[J]. 世界地质, 2009, 28(4): 424-429.
Zhao Bingyi, Zhou Xiaodong. Paleoproterozoic strata sequence and tectonic setting in Southern Jilin Province [J]. Global Geology, 2009, 28(4): 424-429(in Chinese with English abstract).
- [30] 吉林省地质矿产局. 吉林省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 1-324.
Jilin Geology and Mineral Bureau. Lithostratigraphy of Jilin Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 1-324(in Chinese).
- [31] 毕守业, 王德荣, 贾大成, 等. 吉林省地体构造的基本特征[J]. 吉林地质, 1995, 14(1): 1-14.
Bi Shouye, Wang Derong, Jia Dacheng, et al. On geological feature and distributive law of ductile shear zones in Jilin Province [J]. Jilin Geology, 1995, 14(1): 1-14(in Chinese with English abstract).
- [32] 王建新, 张俊华, 王超, 等. 东北地区中生代火山岩成分空间变异及其成矿规律[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(4): 752-763.
Wang Jianxin, Zhang Junhua, Wang Chao, et al. Spatial variability of composition of Mesozoic volcanic rocks and metallogenic regularity in Northeast China [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40(4): 752-763(in Chinese with English abstract).
- [33] Konyukhov A I. Geological structure, sedimentation conditions, and petroleum potential of sedimentary basins in Southeast Asia [J]. Lithology and Mineral Resources, 2009, 44(5): 427-440.
- [34] B A Sotolov. Geological conditions of petroleum formation and accumulations on ancient platforms [J]. International Geology Review, 1977, 19(2): 201-207.
- [35] Hashemi M, Nikoudel M R, Hafezi Moghaddas N, et al. Engineering geological conditions of the Holocene sediments of Anzali area, South Caspian, North Iran [J]. Atabian Journal of Geosciences, 2014, 7(6): 2339-2352.
- [37] 单玄龙, 谢晓婷, 任宇, 等. 吉林东部中、新生代盆地非常规油气资源及潜力分析[J]. 世界地质, 2013, 32(1): 77-83.
Shan Xuanlong, Xie Xiaoting, Ren Yu, et al. Meso-Cenozoic unconventional hydrocarbon resources in eastern Jilin and prospect of development [J]. Global Geology, 2013, 32(1): 77-83(in Chinese with English abstract).
- [36] 孙永河, 韩钰萍, 冯志鹏, 等. 海拉尔盆地贝尔凹陷断裂系统及其对油气运聚的控制作用[J]. 地质论评, 2011, 57(1): 89-99.
Sun Yonghe, Han Yuping, Feng Zhipeng, et al. Fault systems and its control on hydrocarbon migration and accumulation in Bei Sag, Hailar Basin [J]. Geological Review, 2011, 57(1): 89-99 (in Chinese with English abstract).