

doi: 10.12097/gbc.2023.03.011

松辽盆地西缘构造带构造格架、演化及油气资源潜力

汪岩^{1,2}, 钱程^{1,2}, 钟辉^{1,2*}, 李成立^{1,2}, 秦涛³, 杨晓平^{1,2}, 赵维俊^{1,2}

WANG Yan^{1,2}, QIAN Cheng^{1,2}, ZHONG Hui^{1,2*}, LI Chengli^{1,2}, QIN Tao³, YANG Xiaoping^{1,2}, ZHAO Weijun^{1,2}

1. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;

2. 东北地质科技创新中心, 辽宁 沈阳 110034;

3. 中国地质调查局军民融合地质调查中心, 四川 成都 610036

1. Shenyang Center, China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China;

2. Northeast Geological S&T Innovation Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China;

3. Military Civilian Integration Center of Geological Survey, China Geological Survey, Chengdu 610036, Sichuan, China

摘要: 松辽盆地西缘构造带是研究松辽盆地形成演化的关键地带,但目前关于该构造带的构造格架、活动历史、控盆特征等仍不清晰,构造带深部物质架构及中—新生代构造演化的精细厘定为解决这一科学问题提供了新的证据。松辽盆地西缘地区布格重力异常与综合地球物理剖面特征指示,松辽盆地西缘构造带为区域上带状展布的超壳深大构造带。通过对综合构造变形带的产状、性质、运动学等资料分析,提出松辽盆地西缘构造带东西分带、倾向相背的“两带八字形”构造格架。依据构造带发育的基底背景、构造样式、地球物理特征等差异,建立了南北分段的“四段式”展布构架。在此基础上,结合区域构造演化、变形带构造解析与⁴⁰Ar/³⁹Ar 构造年代学等资料,恢复了晚三叠世、中晚侏罗世、早白垩世中期、晚白垩世中期、古新世—渐新世和新近纪—更新世 6 期中—新生代构造活动年代格架。结合构造带的控盆作用指出,外盆带控制的中侏罗世和早白垩世中期沉积盆地是油气资源勘查的重要选区,为中国东北地区新层系油气资源勘查提供了新依据。

关键词: 松辽盆地; 构造格架; 年代格架; 控盆作用; 油气资源潜力; 油气勘查工程

中图分类号: P54; P618.130.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2024)07-1073-17

Wang Y, Qian C, Zhong H, Li C L, Qin T, Yang X P, Zhao W J. Tectonic framework, evolution and potential petroleum resources of the structural belt in the western margin of Songliao basin. *Geological Bulletin of China*, 2024, 43(7): 1073–1089

Abstract: The structural belt in the western margin of the Songliao Basin is a key area for studying the formation and evolution of the Songliao basin. However, regarding the structural framework of this structural belt, the activity history and basin control characteristics are still unclear. This fine definition of deep material architecture and Meso-Cenozoic tectonic evolution in this structural belt provide a new evidence for solving this scientific problem. The Bouguer gravity anomaly and comprehensive geophysical profile characteristics indicate that the structural belt in the western margin of the Songliao basin manifests as a zonally distributed supercrustal deep structural belt. Through a comprehensive analysis encompassing the occurrence, nature and kinematics of the tectonic deformation zone, a "Bifurcated Dual Belt" structural framework is proposed. This framework divides into eastern and western zones, exhibiting opposing inclinations. According to the differences of basement background, tectonic pattern and geophysical characteristics of the structural belt development, a "four-stage" distribution framework is established for the north and south section. Additionally, considering the regional tectonic evolution, the structural analysis of deformation zones, and chronology data, the Meso-Cenozoic tectonic activity chronological framework of six periods is restored, including Late Triassic, Middle to Later Jurassic, middle Early

收稿日期: 2023-03-06; 修订日期: 2023-06-22

资助项目: 中国地质调查局项目《东部岩浆岩带区域地质调查》(编号: DD20230004)、《嫩江—黑河地区区域地质调查》(编号: DD20230210)和《松辽盆地西缘扎赉特—巴林左旗区域地质调查》(编号: DD20190039)

作者简介: 汪岩(1968-), 男, 正高级工程师, 从事区域地质与火成岩研究。E-mail: wangy68413@163.com

* 通信作者: 钟辉(1964-), 女, 正高级工程师, 从事岩石学、矿物学研究。E-mail: 2418734955@qq.com

Cretaceous, middle Late Cretaceous, Paleocene to Oligocene and Neogenic to Pleistocene. And combined with the basin-controlling influence of the structural belt, it is emphasized that the middle Jurassic and middle Early Cretaceous sedimentary basins, under the control of the exterior basin belt, hold paramount significance for the exploration, provided new basis for the exploration of petroleum reserves of new strata in northeastern China.

Key words: Songliao basin; structural framework; chronological framework; basin-controlling; potential petroleum resources; oil and gas exploration engineering

松辽盆地西缘构造带位于中国东北地区,传统上称为嫩江断裂带或嫩江-八里罕断裂带,地表与中国二级—三级阶梯的地貌分界(蒙古高原-大兴安岭与松辽盆地)位置相当。该构造带中生代演化不仅对松辽含油气盆地的形成演化及盆地西坡带油气资源分布具有控制意义,同时带内发育的诸多中小型油气远景盆地,也是中国东北地区新区新层系油气远景调查的重要选区。

前人对松辽盆地西缘构造带的产状、性质、活动时代、构造属性、成因等开展了大量研究,但目前为止关于构造带的地壳结构、构造格架、活动历史及其控盆特征仍不清晰。通过构造带中北段的布格重力异常、航磁异常、深反射剖面研究确定了断裂带的走向及位置,认为该断裂带具有伸展拆离断层或大型低角度正断层的性质,属深达莫霍面甚至切过莫霍面的深大断裂(傅维洲等, 1999; 张振法等, 2000; 陈洪洲等, 2004; 赵文智等, 2004)。而深反射地震、大地电磁测深等地球物理剖面反演,显示构造带具有“八”字形的结构特征,呈花状构造样式,是一条东倾的超壳断裂(傅维洲等, 1998; 刘财等, 2011; 李英康等, 2014; 鹿林等, 2019; 张鹏辉等, 2020)。基础地质方面,断裂带各段的研究重点差异较大,北段的嫩江-白城断裂研究侧重于断裂带形成的地球动力学背景,认为该断裂带的成因与侏罗纪西太平洋板块向欧亚大陆下的快速斜向俯冲有关(韩国卿等, 2009, 2012, 2014; 汪岩等, 2019);而南段的红山-八里罕断裂研究主要为喀喇沁变质核杂岩的形成时间、性质、演化阶段等(杨承先等, 1984; 邵济安等, 2001; 方曙等, 2001; 刘伟等, 2003; 王新社等, 2005, 2006)。关于构造带的构造归属,有学者将其与抚顺-敦化-密山断裂带、伊通-依兰断裂带、沈阳-长春-哈尔滨(四平-德惠)断裂带、东吴-昌图断裂带等一起划归为郯-庐断裂带北延系(郭孟习等, 2000)。但沿构造带的地震活动特征及其在莫霍面反演上的异常特征指示,松辽盆地西缘构造带是松嫩幔隆深部西坡带与大兴安岭重力梯度带的过渡地带,控制了松辽盆地西

部的形成与演化,与郯-庐断裂带的北延明显不同。

综上,松辽盆地西缘构造带是东北亚地区分割大兴安岭隆起和松辽盆地的一条区域性重要构造带。松辽盆地西缘构造带中新代构造演化的精细厘定无疑对松辽盆地演化与成因、大兴安岭隆升机制,以及东北地区中—新生代以来的构造格架与地貌格局具有重要的意义。本次在综合松辽盆地西缘构造带基础地质资料的基础上,结合重点区野外地质调查,通过区域地球物理资料和变形岩石的云母激光 Ar-Ar 年代学研究,探讨构造带的深部地壳结构、地质构造格架、构造活动年代格架、控盆特征及油气资源潜力,为中国东北地区新区新层系油气资源勘查提供新依据。

1 地质背景

松辽盆地是当今世界上最典型的中新生代陆相含油气沉积盆地之一,位于中亚造山带东段和太平洋构造域的叠加部位,其西缘地区发育一条北北东走向的大型脆-韧性变形构造带,即松辽盆地西缘构造带(图 1)。构造带夹持于大兴安岭主脊断裂带和松辽盆地西侧斜坡断裂(黑鱼泡-头台断裂)之间的大兴安岭东坡及山前地区,地下与中国东部北东—北北东向重力梯度带北段相耦合。该构造带北端自黑龙江省呼玛县一带,向南沿嫩江流域至内蒙古自治区莫力达瓦旗,经黑龙江省齐齐哈尔市西部、泰来县,吉林省白城市,延伸入内蒙古自治区境内,由扎鲁特旗、阿鲁科尔沁旗、奈曼旗西、平庄、八里罕,向南延入河北省,与平场-桑园大断裂相接,长度逾 1200 km。该构造带包括前人提及的嫩江断裂、嫩江-八里罕断裂、大兴安岭东坡断裂、嫩江-开鲁断裂等。

2 构造带地球物理特征

本次基于大兴安岭及其东部山前地区的布格重力数据,对松辽盆地西缘构造带的重力异常特征进

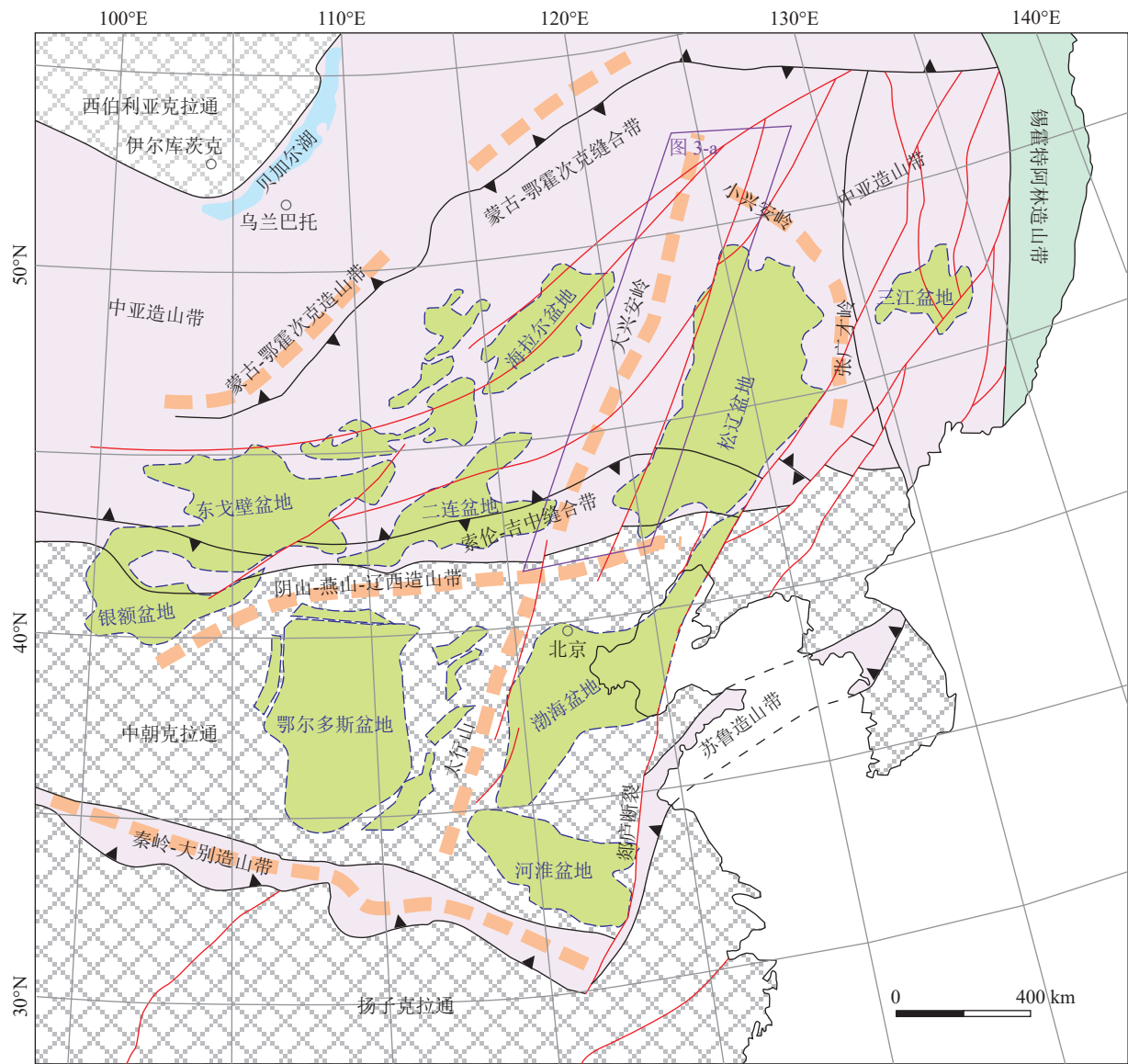


图 1 东亚地区构造单元划分图(据 Meng, 2003; Wang et al., 2011 修改)

Fig. 1 Tectonic map showing the subdivisions of East Asia

行反演。在布格重力异常平面等值线图(图 2-a)上, 松辽盆地西缘构造带所在位置具带状异常特征, 为西部高负重力异常和东部低正重力异常的过渡区。松辽盆地西缘构造带重力异常由浅源、中源至深源特征逐渐清晰, 浅源表现为阶梯状展布的带状低正或低负异常带(图 2-b), 与野外宏观展布的左阶构造行迹特征相似; 中源表现为串珠状展布的透镜状高正异常区(图 2-c), 与现代地表分布的晚中生代火山盆地分布吻合; 深源表现为连续带状展布的高正异常区(图 2-d)。由浅源至深源带状异常逐渐清晰, 暗示松辽盆地西缘构造带为区域上带状展布的深大构造带。在深源重力相干滤波平面等值线图

(图 2-e)上, 可清晰地分辨出松辽盆地西缘构造带两侧的边缘断裂, 表现为线状构造正值带。在莫霍面深度平面等值线图(图 2-f)上, 松辽盆地西缘构造带所在位置是松辽盆地 26~30 km 与大兴安岭及蒙古高原 34~43 km 莫霍面深度的过渡区, 暗示松辽盆地西缘构造带为区域上的超地壳断裂; 构造带内分布有多个浑圆状的 30~32 km 莫霍面深度区, 主要包括大杨树-讷河、布特哈旗-白城、突泉东部等地区, 与地表划分的中生代大杨树盆地、扎兰屯-龙江盆地及突泉盆地吻合性较好, 暗示该异常形成于晚中生代, 而且该异常在现代地球物理场中仍有很好的表现, 表明构造带对现今构造格局仍有控制意义。

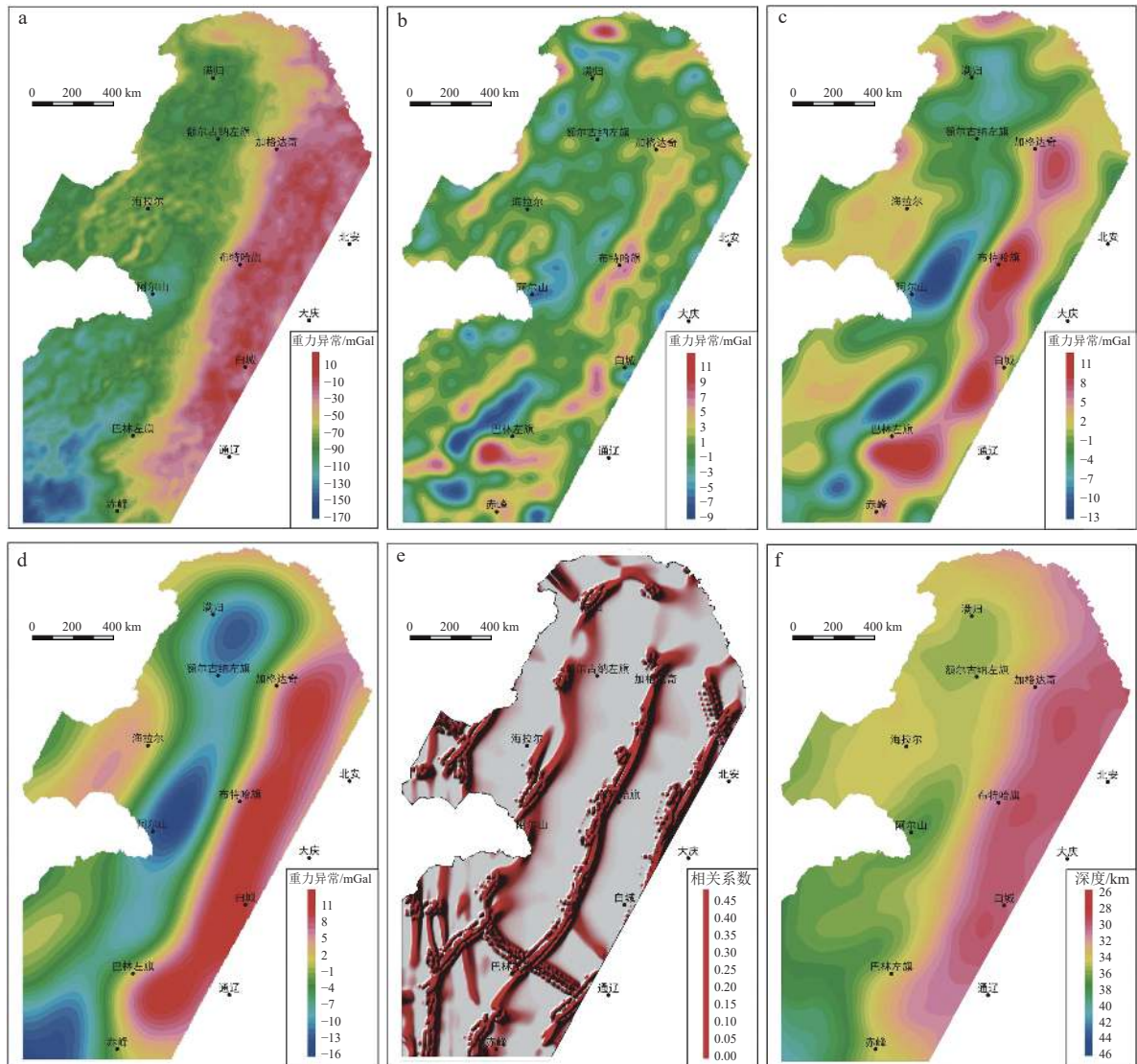


图2 大兴安岭地区布格重力异常及相关反演图解

Fig. 2 Bouguer gravity anomaly and its correlation inversion diagrams in the Great Hinggan Range

a—布格重力异常平面等值线图;b—浅源重力异常平面等值线图;c—中源重力异常平面等值线图;d—深源重力异常平面等值线图;
e—深源重力相干滤波平面等值线图;f—莫霍面深度平面等值线图

3 构造带地质格架

3.1 东西分带特征

在构造带野外调查与综合编图过程中发现,大兴安岭东坡及山前地区发育多条北东—北北东向韧性剪切带,这些剪切带的糜棱面理或构造片理产状变化较大,整体呈现西部向西倾、东部向东倾的特征。以乌兰浩特—白城地区为例,该区发育多条近于平行的韧性变形带,这些变形带呈北北东—北东走向,S-C 组构造发育,以左行走滑运动为主,主要岩石类型为花岗质糜棱岩和长英质糜棱岩(王东星等,

2018; 内蒙古自治区地质调查院, 2019)。但由西向东糜棱岩面理的倾向也由西向或北西西向变为东向或南东东向,西侧的胡尔勒—宝力根花地区发育一断续延伸上百千米的糜棱岩带,糜棱面理整体倾向西—北西西,乌兰浩特东侧的葛根庙糜棱岩带也呈现西—北西西倾的面理特征,而在其东侧的白城岭下地区花岗质糜棱岩面理整体倾向南东东。此外,扎兰屯和扎赉特旗等地区也存在类似特征(中国地质调查局沈阳地质调查中心, 2019)。本次在区域构造总结的基础上,结合地壳深部结构、韧性剪切带分布与产状等,将松辽盆地西缘构造带划分为东、西两

带, 结合其与松辽盆地的关系, 可分别称为内盆带和外盆带。内盆带主要位于大兴安岭山前地区, 属松辽盆地西斜坡带的最西部, 韧性剪切带的产状显示其向东倾; 外盆带主要位于大兴安岭东坡的前山区, 韧性剪切带的产状显示其向西倾(图 3)。综上, 松辽盆地西缘构造带具有显著的东西分带特征, 整体呈现“八”字形地质结构。

东北地区的布格重力异常显示, 大兴安岭与松辽盆地属于不同的重力异常区, 二者之间的过渡区存在一个高异常带, 方向一阶导数上该区存在 2 条平行的北北东向区域深断裂(吴咏敬等, 2012), 大体对应本次厘定的松辽盆地西缘构造带的内盆带和外盆带。前人横跨松辽盆地西缘构造带进行了大量的地球物理剖面勘查。满洲里—绥芬河地学断面(GGT)地震学研究(刘财等, 2011)显示, 大兴安岭与松辽盆地的地壳厚度差异很大, 前者厚度为 37~39 km, 后者厚度为 33~37 km, 二者之间存在较宽的过渡区, 且该区的地壳更薄, 指示其形成受到至少 2 条深大断裂的控制。刘财等(2011)在扎兰屯—齐齐哈尔地区获得了松辽盆地西部边界带深部构造的地电学证据, 全剖面深部结构呈现“八”字形特征, 东侧的嫩江断裂东倾且可能未切穿地壳。内蒙古新巴尔虎左旗—黑龙江齐齐哈尔深地震测深剖面显示(李英康等, 2014), 上地壳 10 km 之上盆山结构显著, 中下地壳与上地壳不同, 界面存在向西深部延伸的特征, 松辽盆地西侧的嫩江断裂具有向东倾的特征。诺门罕—齐齐哈尔深反射地震、MT、广角地震剖面模型(鹿林等, 2019)显示, 中部地壳到岩石圈地幔存在向东、西两侧分叉的 2 条高阻带, 该高阻带呈“八”字形。张鹏辉等(2020)在突泉南部完成了 1 条大地电磁测深和 1 条地震剖面, 获得了横向上“八”字形低阻条带深部电性结构, 并认为嫩江—八里罕断裂是一条东倾的超壳断裂。

本次对扎兰屯—阿荣旗地区重力布格异常进行了重力场区域和剩余异常分离试验, 以及增强重力异常特征的处理。结果显示, 扎兰屯—阿荣旗地区重力分带呈北东—北北东向, 被北东向重力梯度带分为东、中、西三部分, 东部重力高, 中部重力中等且变化大, 西部重力低, 三者之间存在 2 个较明显的梯度带, 反映了 2 条深大断裂控制且以北东—北北东向主体的构造格局。扎兰屯—阿荣旗地区 MT—磁法—重力联合剖面(图 4)断裂构造解译显示, f_1 、 f_6 、

f_7 为地壳深大断裂, 结合地表调查, f_1 和 f_6 具有相同的产出状态与活动性质, 二者与 f_7 呈现“八”字形的深部结构特征。

3.2 南北分段特征

松辽盆地西缘构造带穿越了兴安地块、松嫩地块、索伦—林西缝合带、白乃庙岛弧带, 甚至华北克拉通等, 由北向南的地质背景差异较大。区域地质资料显示, 松辽盆地西缘构造带的活动主要表现为糜棱岩带、脆性断裂系、侵入岩带、火山盆地、小型断(压)陷盆地、山前大型冲洪积扇(洪积台地)等。但该带由南向北不同部位的构造表现形式差异较大。地球物理上, 该构造带整体呈斜列式北北东向展布, 重力上延 10 km 后水平总梯度矢量模平面图表明, 其南段明显被北东向构造改造或继承, 异常呈北东东向斜列式展布, 而且越向南部北东向断裂越密集(图 3-b)。依据地球物理特征、构造样式及地质演化特征, 可将构造带划分为呼玛—阿荣旗段、甘南—突泉段、科右中旗—查布嘎段和红山—八里罕段 4 段(图 3)。

3.2.1 呼玛—阿荣旗段

该段在重力异常图上表现性较好, 其南部被伊尔施—扎兰屯北东向异常带截断, 在区域磁场中, 沿嫩江河谷为一大而稳定的负异常带。构造样式主要表现为中型断陷盆地、侵入岩带、糜棱岩带、基底隆滑构造等。该段地表大体与早石炭世末兴安地块和松嫩地块之间碰撞形成的嫩江构造带重合, 因此构造带两侧的前中生代地质建造分属不同的构造分区, 但二者是否存在继承关系还需进一步研究。中生代构造活动, 控制中侏罗世塔尔气西断陷盆地的沉积展布及白垩纪大杨树盆地的西侧边界, 北部控制新开岭中侏罗世侵入岩区的展布, 中部控制早白垩世火山盆地的展布, 南部控制中侏罗世尼尔基岩体的展布及晚侏罗世早期韧性变形带。晚新生代断裂再次复活, 控制现代盆(松嫩平原)—岭(大兴安岭隆起)地貌格局。通过布格重力异常、航磁异常深反射剖面研究确定了断裂带的大致展布位置, 并认为其性质为伸展拆离断层或大型低角度正断层(傅维洲等, 1999; 张振法等, 2000; 陈洪洲等, 2004; 赵文智等, 2004)。韩国卿等(2014)对尼尔基地区的北北东向韧性剪切带进行了研究, 认为其具左行剪切特征, 白云母激光 Ar-Ar 年龄显示其形成于 159 ± 0.61 Ma, 代表了“L”形构造岩左行剪切变形后的快速隆升时

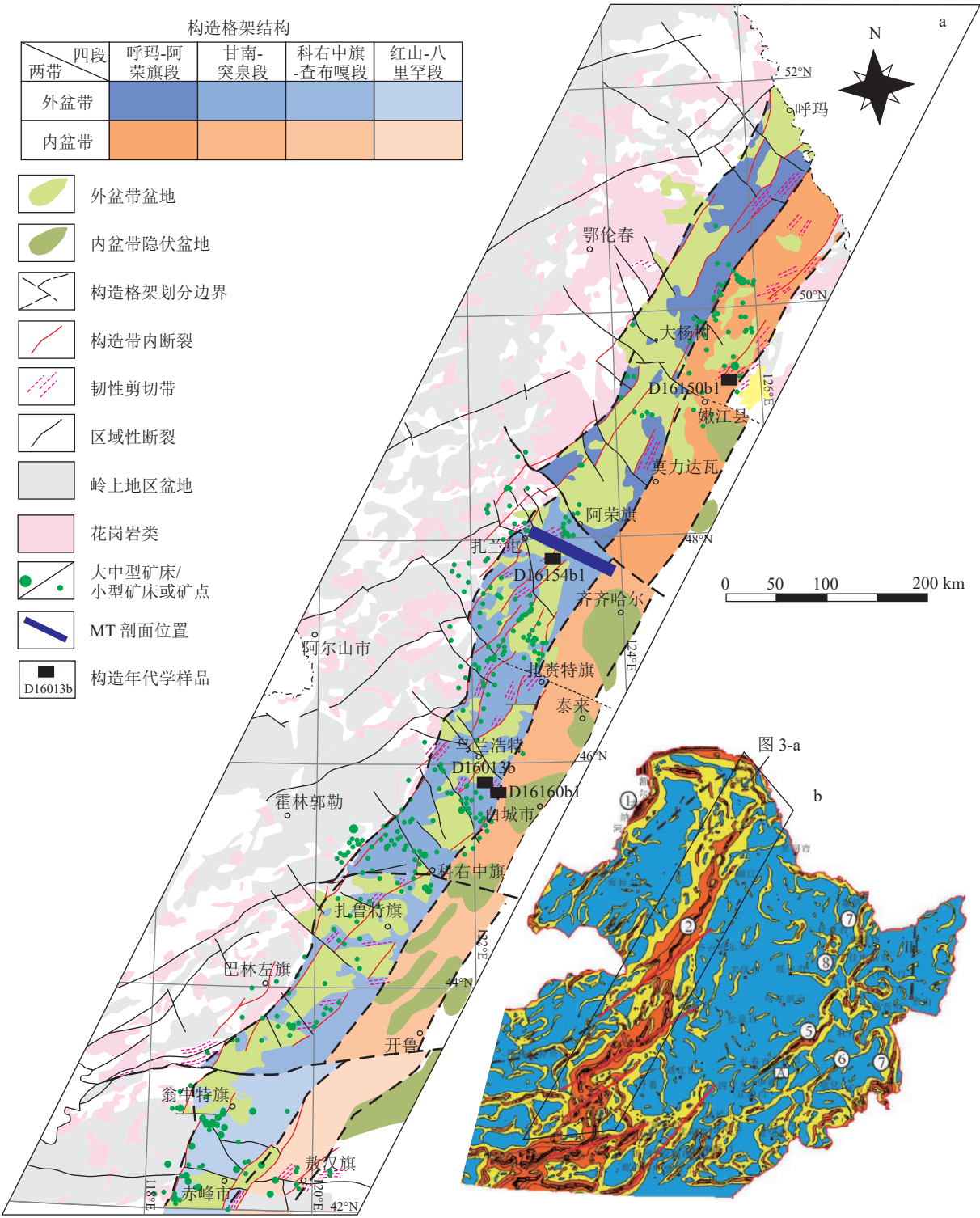


图 3 松辽盆地西缘构造带构造格架简图

Fig. 3 Structure maps of the western margin of Songliao basin structural belt

a—松辽盆地西缘构造带构造格架简图; b—东北地区重力上延 10 km 后水平总梯度矢量模平面图(张兴洲等, 2012), 其中蓝色区域为低值区、黄色区域为中值区、红色区域为高值区; ①—额尔古纳河-阿登高勒断裂; ②—黑河-嫩江-开鲁断裂; ③—赤峰-开源断裂; ④—西拉木伦河断裂; ⑤—依兰-伊通断裂; ⑥—敦化-密山断裂; ⑦—嘉荫-牡丹江断裂; ⑧—嘉荫-哈尔滨断裂

间, 松辽盆地断陷早期演化可能受控于西缘断裂为代表的左行走滑剪切作用。

3.2.2 甘南-突泉段

该段在重力异常图上表现性较好, 为近南北向带状异常, 其南部被林西-白城北东向异常带截断。构造样式主要表现为小型火山盆地群、侵入岩区带、糜棱岩带、基底隆滑构造等。该段地表大体与晚石炭世—早二叠世大兴安岭弧盆系和松嫩地块之间的拼合带重合, 两侧块体前中生代地质建造差异较大。中生代构造活动较强, 控制中侏罗世新林-宝力根花北断陷盆地及早白垩世龙江盆地的构造格局与沉积特征, 并控制晚白垩世大兴安岭隆起和松辽盆地西部斜坡带、凹陷区的构造格架; 晚新生代断裂复活, 控制现代盆-岭地貌格局。韩国卿等(2009, 2012)对岭下地区韧性剪切带进行了研究, 认为其具有左行剪切特征, 变形温度在 400℃ 左右, 其古应力值为 29.2~41.32 MPa, 反映走滑动力变质事件变形层次较低, 为中低温韧-脆性变形。汪岩等(2019)测得吉林白城岭下地区花岗质糜棱岩 A 型线理近水平, 获得其原岩年龄为早二叠世(296~281 Ma), 变形时代为 157~153 Ma 和 137~117 Ma, 并认为晚侏罗世受蒙古-鄂霍茨克缝合带闭合后的伸展作用影响, 松辽盆地西缘边界断裂发生左行伸展走滑作用; 早白垩世早期受西太平洋伊泽奈崎板块向欧亚大陆的斜向俯冲作用影响, 松辽盆地西缘边界断裂发生斜滑剪切作用。

3.2.3 科右中旗-查布嘎段

该段在重力上表现为北北东—近南北向带状异常, 被北东向带状异常改造强烈, 南部被西拉木伦东西向异常带所截断, 航磁异常图上呈现大片负磁场中有一条北东向延伸的狭长线性正异常带, 呈拉长的“S”形。构造样式主要表现为小型火山盆地群、基底隆滑构造等。内蒙古 1:5 万工农屯等幅区调(核工业二四三大队, 2019)证实, 松辽盆地西缘构造带在该段中部扎鲁特旗地区表现为系列近于平行的左行走滑, 且显示追踪张性的北东向断裂, 高精度磁法剖面 ΔT 磁法曲线正负值呈现急剧变化的特征。该带中生代活动较强, 自早白垩世中晚期开始控制扎鲁特旗地区的火山盆地, 在早白垩世晚期—晚白垩世活动逐渐强烈, 控制大兴安岭隆起和开鲁凹陷中凸起区与凹陷区的构造格局及沉积演化。晚新生代断裂复活, 控制现代盆-岭地貌格局。

3.2.4 红山-八里罕段

在重力上表现为北北东—北东向带状异常, 被近东西向带状异常强烈改造。构造样式主要表现为侵入岩区带、糜棱岩带、基底隆滑构造等。该带中生代活动较强, 控制晚侏罗世—早白垩世天山口盆地, 以及晚白垩世大兴安岭隆起和开鲁凹陷中凸起区与凹陷区的构造格局。晚新生代断裂复活, 控制现代盆-岭地貌格局。此外, 赤峰市东侧的地震资料显示, 震中分布也具有北东向展布的特征, 可能与该段断裂现代活动有关。20 世纪 80 年代以来, 有学者把红山-八里罕断裂看作是喀喇沁隆起的东缘边界拆离断层, 其北部的老哈河断裂控制了元宝山盆地沉积(杨承先等, 1984); 但近年研究发现, 红山-八里罕断裂并非单纯的拆离断层, 其可能在伸展拆离过程中具有左行走滑分量或是后期遭受过左行走滑剪切作用改造(邵济安等, 2001), 并在开鲁西部左行截切近东西向的西拉木伦缝合带(韩国卿等, 2009)。不同地区 and 不同类型构造岩的年代学表明, 114~112 Ma 为红山-八里罕断裂带左行走滑与正断式剪切的转向时期, 走滑时间主要集中在 134~117 Ma(刘伟等, 2003; 王新社等, 2005, 2006)。

综上, 松辽盆地西缘构造带中北段呼玛—突泉地区于中侏罗世—晚侏罗世晚期已经开始活动, 控制了断陷盆地, 早白垩世中晚期其与科右中旗-查布嘎段和红山-八里罕段贯通, 组成一条巨型的左行走滑断裂带, 早白垩世晚期—晚白垩世控制大兴安岭隆起与松辽盆地凹陷西侧构造格局, 晚新生代断裂带整体复活, 控制现代山地—平原地貌格局。

4 构造带活动年代格架

4.1 构造年代学分析

本次针对松辽盆地西缘构造带韧性变形强弱不同构造部位, 共采集 4 件样品开展云母激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素测年。云母激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 分析在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室完成, 采用的标样为 YBCs(29.286±0.045 Ma), 同位素分析结果见表 1。

样品 1(D16013b, 白云母糜棱片岩)采自乌兰浩特市东南部的葛根庙地区(图 5-a), 其片理产状为 $330^\circ \angle 30^\circ$, 拉伸线理产状为 $50^\circ \angle 9^\circ$, 呈左行剪切运动学特征。岩石呈深灰色, 粒状鳞片变晶结构, 片状构造, 弱糜棱构造。变余斑晶(残斑)为斜长石(5%),

表 1 乌兰浩特等地区韧性变形岩石中白云母（黑云母）⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素分析结果

Table 1 Muscovite (biotite) ⁴⁰Ar/³⁹Ar isotopic data for ductile deformed rock from Wulanhaote and other areas

序号	激光能量/%	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	³⁷ Ar/ ³⁹ Ar	³⁶ Ar/ ³⁹ Ar	⁴⁰ Ar*/ ³⁹ Ar _k	⁴⁰ Ar*/%	³⁹ Ar _k /%	年龄/Ma	2σ /Ma
1	1.50W	23.312310	0.018128	0.016970	18.29919	78.49	34.18	153.81	1.55
2	1.60W	21.851937	0.677986	0.014037	17.76778	81.26	10.96	149.52	2.12
3	1.70W	23.423294	0.229771	0.018281	18.04269	77.01	8.09	151.74	2.70
4	1.80W	24.937060	0.667720	0.023693	17.99866	72.14	11.13	151.39	2.52
5	1.90W	28.860318	1.286701	0.039646	17.26572	59.76	5.77	145.46	4.30
6	2.00W	22.699149	1.001668	0.015667	18.16442	79.95	6.80	152.72	2.75
7	2.10W	27.161442	6.133033	0.030441	18.75154	68.68	3.01	157.45	5.72
8	2.20W	35.844234	30.604546	0.062298	20.39964	55.43	0.39	170.66	35.77
9	2.30W	33.023446	8.452511	0.059655	16.18353	48.65	2.11	136.68	9.16
10	2.40W	28.455048	5.078449	0.036543	18.13837	63.47	4.37	152.51	4.86
11	2.50W	23.515048	2.651530	0.018646	18.25688	77.46	7.46	153.47	2.84
12	2.70W	24.571885	2.913325	0.024311	17.66314	71.71	5.73	148.68	3.52
13	1.50W	26.109030	0.000000	0.036757	15.19722	58.23	1.52	129.46	4.60
14	1.60W	18.125528	0.000000	0.009450	15.31029	84.49	4.69	130.39	1.64
15	1.70W	17.354669	0.000000	0.006171	15.48204	89.25	6.53	131.80	1.40
16	1.80W	17.485682	0.000000	0.006665	15.49508	88.63	5.83	131.90	1.42
17	1.90W	17.497083	0.000000	0.006625	15.53078	88.77	9.02	132.20	1.32
18	2.00W	18.615354	0.000000	0.010119	15.62297	83.93	8.20	132.95	1.49
19	2.10W	16.856446	0.000000	0.004450	15.50659	92.02	7.47	132.00	1.26
20	2.20W	16.746109	0.000000	0.004462	15.36834	91.82	4.87	130.86	1.44
21	2.30W	17.068313	0.000000	0.005463	15.38659	90.20	7.45	131.01	1.30
22	2.40W	16.817514	0.000000	0.004740	15.38418	91.50	5.60	130.99	1.36
23	2.50W	16.496783	0.000000	0.003620	15.34011	93.06	6.65	130.63	1.26
24	2.60W	16.664914	0.000000	0.004010	15.42067	92.58	6.67	131.29	1.28
25	2.70W	16.611332	0.000000	0.003907	15.43765	92.95	7.20	131.43	1.25
26	2.80W	16.903862	0.423359	0.004592	15.58588	92.17	5.02	132.65	1.44
27	2.90W	16.967996	0.000000	0.005283	15.21664	89.84	1.36	129.62	3.12
28	3.00W	17.742077	0.000000	0.007097	15.60053	87.97	7.91	132.77	1.35
29	3.10W	16.578803	0.000000	0.003924	15.37304	92.77	1.98	130.90	2.28
30	3.20W	16.684977	0.000000	0.004221	15.22589	91.43	2.01	129.69	2.16
31	1.50W	25.052591	0.092813	0.051030	9.98111	39.84	14.47	61.55	3.68
32	1.60W	31.114990	0.000000	0.065313	11.78729	37.89	13.24	72.47	4.55
33	1.70W	31.471051	2.922017	0.070080	11.02169	34.93	9.63	67.85	4.98
34	1.80W	33.063487	0.000000	0.072437	11.64914	35.24	13.64	71.63	5.01
35	1.90W	35.373439	0.000000	0.079879	11.69293	33.08	9.49	71.90	5.64
36	2.00W	35.824868	1.664856	0.080244	12.26221	34.18	8.86	75.33	5.75
37	2.10W	37.860488	2.961543	0.087379	12.30630	32.42	6.33	75.59	6.89
38	2.20W	39.547660	1.546248	0.080384	13.27492	33.52	4.34	81.41	7.82
39	2.30W	39.414444	3.152848	0.094838	11.67150	29.53	4.67	71.77	7.97
40	2.40W	41.752203	2.396616	0.099253	12.63879	30.21	3.91	77.59	8.82
41	2.50W	41.100909	0.000000	0.095455	12.85300	31.28	2.99	78.88	9.79
42	2.60W	41.243827	0.000000	0.092539	13.61202	33.09	2.14	83.43	11.59
43	2.70W	44.225163	1.334166	0.102592	14.03109	31.69	2.01	85.94	12.72

续表 1

序号	激光能量/%	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	³⁷ Ar/ ³⁹ Ar	³⁶ Ar/ ³⁹ Ar	⁴⁰ Ar*/ ³⁹ Ar _k	⁴⁰ Ar*/%	³⁹ Ar _k /%	年龄/Ma	2σ/Ma
44	2.80W	44.247886	4.286393	0.102165	14.45209	32.54	1.87	88.45	13.76
45	3.20W	74.311936	5.552318	0.225393	8.18847	10.97	2.41	50.65	17.52
46	1.50W	36.649529	0.119099	0.100735	6.89219	18.90	21.87	42.63	3.29
47	1.60W	23.680486	0.199983	0.056581	6.97756	29.46	22.79	43.15	2.03
48	1.70W	23.439156	0.291692	0.057677	6.42009	27.38	15.62	39.74	2.17
49	1.80W	23.023448	0.875969	0.055595	6.66938	28.95	13.37	41.26	2.22
50	1.90W	23.098630	0.000000	0.050853	8.04535	34.84	10.81	49.66	2.31
51	2.00W	24.641239	0.000000	0.054862	8.29350	33.70	7.91	51.17	5.22
52	2.10W	25.968659	0.000000	0.057431	8.19431	31.80	4.10	50.57	5.76
53	2.20W	31.332134	2.768777	0.075230	9.34366	29.75	2.83	57.55	5.12
54	2.30W	39.434792	24.412100	0.109580	9.18824	22.82	0.42	56.61	25.08
55	2.40W	52.363214	42.689161	0.143753	13.78254	25.36	0.28	84.26	38.45

注: *代表放射成因的⁴⁰Ar, k 代表在中子辐照中由³⁹K产生的³⁹Ar, 2σ(Ma)代表年龄相对误差;序号1~12为样品D16013b结果, 13~30为样品D16160b1结果, 31~45为样品D16154b1结果, 46~55为样品D16150b1结果

大小 0.4~1.0 mm, 呈眼球状、透镜状, 长轴略定向, 为同构造晚期的变斑晶; 基质由细长条片状白云母(65%)、拉长条带状石英(25%)及他形粒状斜长石(5%)组成。

样品 2(D16160b1, 黑云二长糜棱片岩)采自白城市岭下地区(图 5-b), 其片理产状为 125°∠50°, 拉伸线理产状为 45°∠12°, 呈左行剪切运动学特征。岩石呈灰紫色, 粒状鳞片变晶结构, 片状构造, 弱糜棱构造。残斑成分: 石英(5%), 大小 2.0 mm 左右, 不规则眼球状, 也见卵形集合体; 碱性长石(8%), 大小 1.0~3.0 mm, 不规则短透镜状, 微斜条纹长石, 边缘见斜长石与石英形成的蠕虫状反应边。基质由长条片状黑云母(40%)、他形粒状斜长石(35%)和略拉长粒状石英(12%)组成。

样品 3(D16154b1, 长英质糜棱片岩)采自扎兰屯市小围子地区(图 5-c), 其糜棱面理产状为 115°∠75°, 拉伸线理产状为 140°∠73°, 呈伸展运动学特征。岩石呈灰白色, 粒状变晶结构, 弱糜棱构造。岩石粒径 0.04~0.5 mm, 由长条片状黑云母(10%)、他形粒状(部分略拉长粒状)斜长石(30%)、他形粒状(部分拉长粒状)碱性长石(25%)及他形粒状(略拉长粒状)石英(35%)组成。

样品 4(D16150b1, 黑云母斜长片麻岩)采自嫩江县科洛地区(图 5-d), 其糜棱面理产状为 50°∠10°, 拉伸线理产状为 45°∠10°, 呈伸展运动学特征。岩石呈浅灰色, 片麻状构造、眼球状构造, 粒状

鳞片变晶结构, 主要由斜长石(40%)、石英(30%)、黑云母(25%)和少量绿帘石(5%)组成, 碎基含量较低(10%), 碎斑颗粒大小变化较大(0.2~1.5 mm)。斜长石长轴定向延伸, 双晶可见扭折现象, 可见眼球状压力影构造, 石英呈他形粒状、透镜状, 充填在斜长石条带之间, 有明显的波状消光, 黑云母沿剪切方向呈细长条片状定向排列。

样品中的云母呈丝带状或透镜状沿片理或绕变斑晶分布, 指示其均为构造变形过程中的新生矿物颗粒。D16013b 样品的测试结果显示, 白云母的放射性⁴⁰Ar*含量较高(>70%), 且年龄谱稳定(图 6-a, b), 其坪年龄为 152.0±2.0 Ma、全熔年龄为 151.8±1.2 Ma (MSWD=3.63), 回归计算得到反等时线年龄为 153.2±6.2 Ma (MSWD=4.13), 且其初始⁴⁰Ar/³⁶Ar 比值(287.4±39.7)与大气氩值(295.5)接近。由此认为, 白云母糜棱片岩的变质年龄为 153.2±6.2 Ma。D16160b1 样品测试结果显示, 黑云母的放射性⁴⁰Ar*含量较高(>70%), 且年代谱稳定(图 6-c, d), 其坪年龄为 131.5±0.9 Ma, 全熔年龄为 131.6±0.8 Ma (MSWD=1.37), 回归计算得到反等时线年龄为 131.3±1.2 Ma (MSWD=1.43), 且其初始⁴⁰Ar/³⁶Ar 值(299.9±17.5)与大气氩值(295.5)接近。由此认为, 黑云二长糜棱片岩的变质年龄为 131.3±1.2 Ma。D16154b1 样品的测试结果显示, 黑云母的放射性⁴⁰Ar*含量略低(<40%), 但定年结果较理想(图 6-e, f)。黑云母连续 10 个阶段析出³⁹Ar_k累计量为

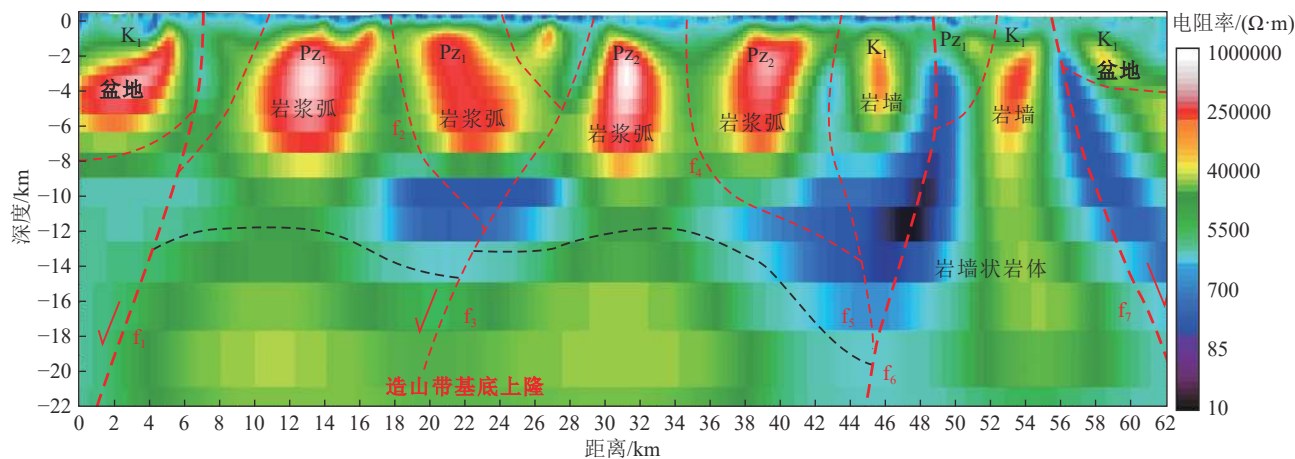


图4 扎兰屯—阿荣旗地区 MT 反演及“八”字形深部结构剖面

Fig. 4 MT inversion and deep structure profile in Zhalantun-Arongqi area

K₁—早白垩世; Pz₁—早古生代; Pz₂—晚古生代

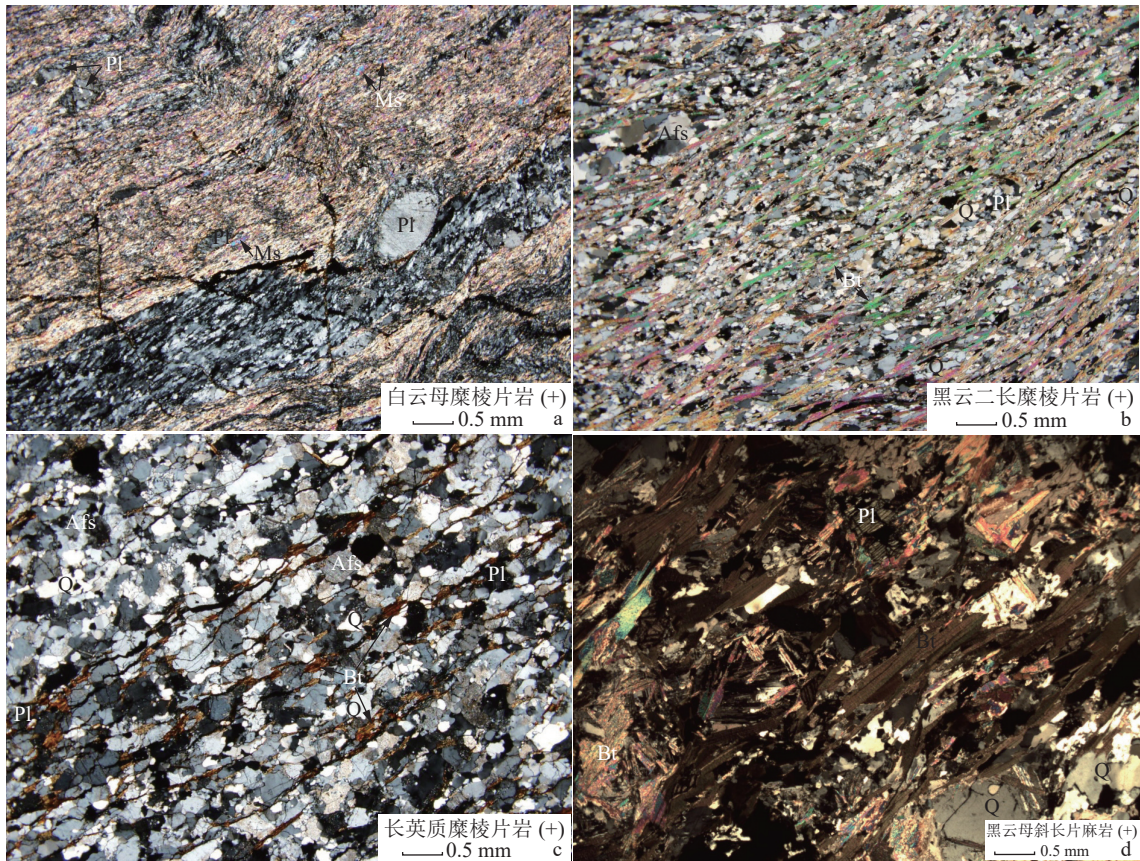


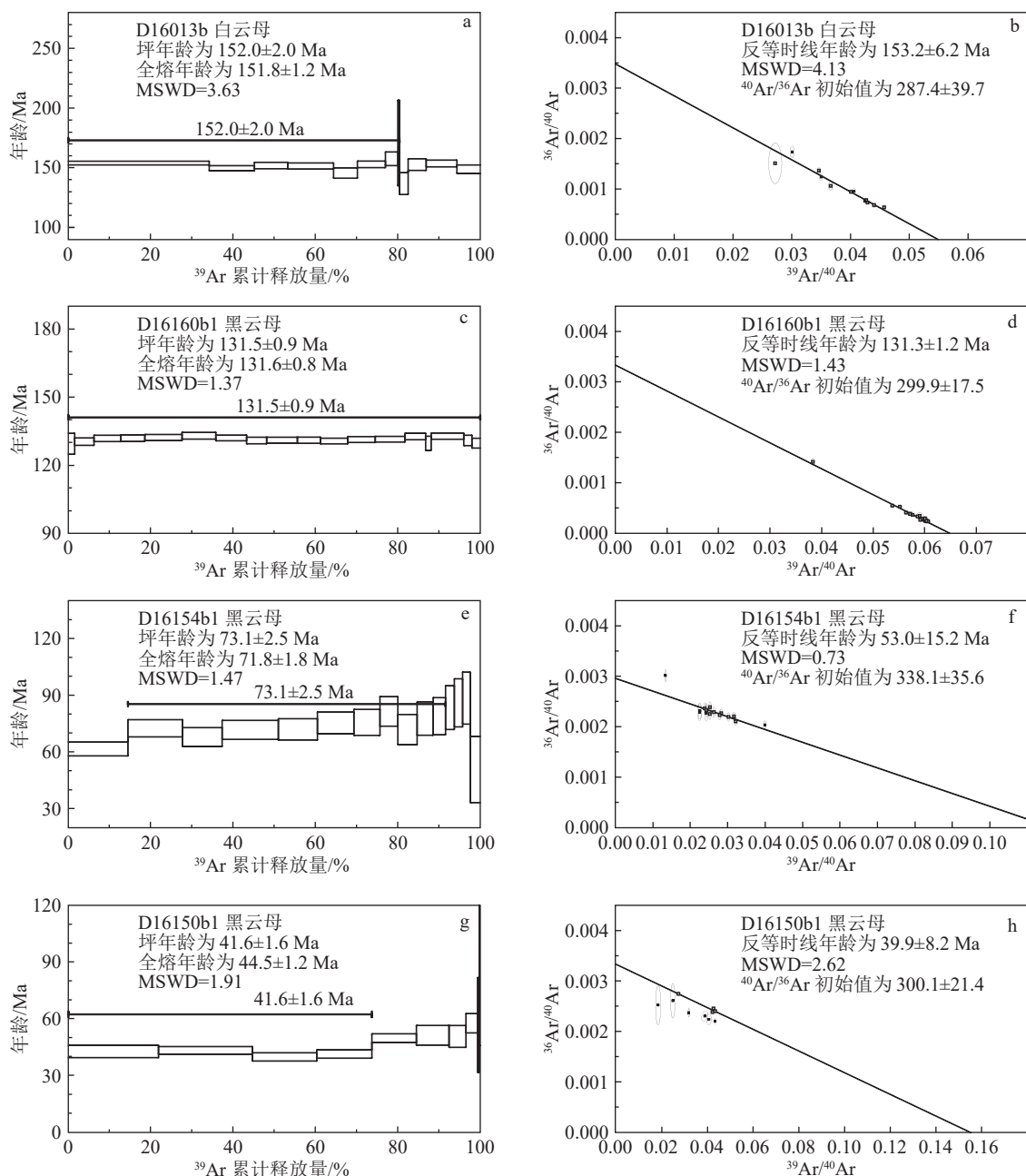
图5 松辽盆地西缘构造带韧性变形岩石镜下照片

Fig. 5 Photomicrographs of ductile deformed rocks in the structural belt of the western margin of Songliao basin

Pl—斜长石; Afs—碱性长石; Q—石英; Bt—黑云母; Ms—白云母

77.2%, 构成的坪年龄为 73.1 ± 2.5 Ma, 反等时线年龄为 53.0 ± 15.2 Ma, 其初始 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 值(338.1 ± 35.6)略高于大气值。由此认为, 长英质糜棱片岩的变质年

龄为 53.0 ± 15.2 Ma。D16150b1 样品测试结果显示, 黑云母的放射性 $^{40}\text{Ar}^*$ 含量也略低($<40\%$), 但有连续4个阶段析出 $^{39}\text{Ar}_k$ 累计量为73.7%, 对应的坪年龄

图 6 白云母(黑云母) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄谱图(a, c, e, g)和反等时线年龄图(b, d, f, h)Fig. 6 Muscovite (biotite) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age (a, c, e, g) and inverse isochron age map (b, d, f, h)

为 41.6 ± 1.6 Ma, 反等时线年龄为 39.9 ± 8.2 Ma, 其初始 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 值 (300.1 ± 21.4) 与大气值很接近。由此认为, 黑云母斜长片麻岩的变质年龄为 39.9 ± 8.2 Ma (图 6-g, h)。

松辽盆地西缘构造带中段韧性变形岩石的锆石和磷灰石裂变径迹测试(数据结果待发表)结果显示, 锆石裂变径迹中心年龄为 183~97 Ma, 大体可分为 140~97 Ma、183~148 Ma, 主体位于早白垩世期, 即 130~110 Ma, 暗示该时期存在较强的构造抬升

事件。而磷灰石裂变径迹中心年龄分布在 66~48 Ma 之间, 该年龄与嫩江县科洛地区的黑云母斜长片麻岩(D16150b1)中获得黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄相近, 暗示该时期松辽盆地西缘构造带存在较强烈的抬升。另外, 构造带不同地区的热演化史模拟显示, 约 25 Ma 以来存在快速的冷却事件, 指示该时期构造带发生了快速抬升。

前人也对松辽盆地西缘构造带构造活动形成的云母、绿泥石、变质锆石进行了大量的定年工作, 并

表 2 松辽盆地西缘构造带韧性变形岩石测年结果

Table 2 Dating results of ductile deformed rocks in the structural belt of the western margin of Songliao basin

采样位置	断裂性质	构造岩	测试方法	年龄/Ma	文献来源
赤峰楼子店	左行走滑韧性剪切	糜棱岩	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	133	张晓辉等, 2002
赤峰小城子	左行走滑韧性剪切	糜棱岩	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	127~117	刘伟等, 2003
赤峰楼子店	走滑韧性剪切	糜棱岩	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	134~126	王新社等, 2005
赤峰楼子店	拆离断层系	绿泥石化带	K-Ar	121~112	王新社等, 2006
白城岭下	左行走滑韧性剪切	糜棱岩	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	128.35±0.59	韩国卿等, 2012
白城岭下	左行走滑韧性剪切	糜棱岩	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	136.7±6.6	韩国卿等, 2012
讷河尼尔基	左行走滑韧性剪切	糜棱岩	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	158.99±0.61	韩国卿等, 2014
黑河金星镇	走滑韧性剪切	糜棱岩	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	112.9±1.2	郑常青等, 2008
金星及嘎拉山	左行走滑	花岗质糜棱岩	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	123.0±0.7, 124.4±0.9	郑常青等, 2015
嫩江县	伸展滑脱	花岗片麻岩	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	118.39~117.37	梁琛岳等, 2012
呼玛嘎拉山	伸展滑脱构造	花岗质片麻岩和大理岩	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	144.15±0.32, 147.11±0.34	刘勃然等, 2014
白城岭下	左行走滑韧性剪切	糜棱岩	U-Pb	216±15	汪岩等, 2019
白城岭下	左行走滑韧性剪切	糜棱岩	U-Pb	152.8±1.8	汪岩等, 2019
白城岭下	左行走滑韧性剪切	糜棱岩	U-Pb	156.5±1.5	汪岩等, 2019
白城岭下	左行走滑韧性剪切	糜棱岩	U-Pb	154.3±4.1	汪岩等, 2019
扎兰屯西沟	左行走滑韧性剪切	构造片岩	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	223.7±2.0	钱程等, 2022

获得一批较好的年代学数据(表 2)。结合本次调查结果综合分析,认为松辽盆地西缘构造带可能至少存在晚三叠世(230~216 Ma)、中侏罗世(160~152 Ma)、早白垩世(138~112 Ma)、古新世—渐新世(65~40 Ma)及新近纪—更新世(25 Ma 以来)多期活动。

4.2 中生代构造活动年代格架

大兴安岭中生代地层格架显示,下三叠统老龙头组 and 上三叠统柴河组之间存在地层缺失,中侏罗统塔木兰沟组 and 上侏罗统满克头鄂博组存在普遍的角度不整合,早白垩世中期龙江期火山岩底部也广泛发育复成分砾岩,下白垩统上部孤山镇组之上大兴安岭普遍缺失晚白垩世地层,仅在二连盆地和海拉尔盆地有少量晚白垩世中期沉积。此外,大兴安岭东部发育 2 个较好的成煤期,分别为下中侏罗统红旗组—万宝组—新民组—七林河组、下白垩统上部九峰山组—西岗子组—大磨拐河组。一定程度上反映了大兴安岭中生代存在晚三叠世中期、中侏罗世晚期—晚侏罗世初期、早白垩世中期 3 期构造运动,与本次厘定的松辽盆地西缘构造带中生代活动年代格架(230~216 Ma、160~152 Ma、138~112 Ma)较吻合。

陈印等(2013)对燕山地区的燕山运动构造格架进行了总结(图 7),包括早侏罗世之前的前造山和初造山幕、中侏罗世晚期的 1 期或早幕、早白垩世中期的 2~3 期或中幕,以及晚白垩世晚期的 4 期或晚幕。其中,早侏罗世之前、中侏罗世晚期、早白垩世中期等时间节点与本次获得的松辽盆地西缘构造带构造热事件年代格架较一致。另外,松辽盆地演化及其地层格架显示,在晚三叠世低级变质碎屑岩之上,中侏罗世在盆地西侧发育断陷盆地,不整合于前三叠纪地质体之上,形成万宝组和洮南组。早白垩世(约 140 Ma),松辽盆地进入火山断陷盆地演化阶段,开始形成火石岭组、沙河子组、营城组。之后,约 110 Ma 开始进入拗陷盆地演化阶段,沉积地层不整合于早期断陷盆地沉积之上,至嫩江组沉积结束,盆地发生反转(约 80 Ma),开始形成四方台组和明水组,至新生代早期,盆地整体萎缩。松辽盆地中侏罗世、早白垩世 2 期断陷盆地在盆地西侧发育较好,与本次厘定的 160~152 Ma 和 138~112 Ma 两期构造活动时限极吻合。因此,从这个角度说,松辽盆地西缘构造带对松辽盆地的形成、沉积、演化具有显著控制作用。

晚白垩世中期(约 80 Ma)的构造作用在燕山地



图 7 燕山运动构造幕划分(据陈印等, 2013)

Fig. 7 Division of tectonic episode of Yanshan Movement

区和松辽盆地演化过程中均有较好的地质记录,即燕山运动 4 期或晚幕和松辽盆地构造反转事件。大兴安岭山前地区该时期地质记录缺少,但在嫩江地区发育嫩江组的沉积,与上覆的新近系和下伏的下白垩统均为角度不整合接触。由此推测,松辽盆地西缘构造带可能也存在约 80 Ma 的构造事件,但其活动特征还有待调查。

结合松辽盆地西缘构造带构造行迹与⁴⁰Ar/³⁹Ar 等年代学研究,推测构造带中生代发生了 4 期活动:晚三叠世(230~216 Ma)外盆带左行走滑阶段,发育在科右中旗-扎兰屯段,以强变形糜棱岩带和花岗岩带特征为主;中晚侏罗世(160~152 Ma)外盆带逆冲推覆阶段,前侏罗纪地层发生逆冲推覆,发育右行韧性劈理化带,松辽盆地西侧发生断陷;早白垩世中期(138~112 Ma)左行走滑阶段,发育左行左阶断裂系,同时发育龙江期拉分-伸展火山盆地、花岗岩带和基底隆滑带与变质核杂岩,松辽盆地发生大规模断陷;晚白垩世中期(约 80 Ma),松辽盆地拗陷盆地发生构造反转。

4.3 新生代构造活动年代格架

锆石和磷灰石裂变径迹综合反演显示,大兴安

岭于 100~60 Ma 和 50~0 Ma 发生 2 次相对快速的冷却事件,于 60~50 Ma 发生再加热事件(Pang et al., 2020)。方石等(2008)对扎兰屯地区的花岗质岩石开展了磷灰石裂变径迹研究,获得了 4 个高速隆升期,分别为 56.44~49.65 Ma、40.40~31.80 Ma、25.00~17.91 Ma、11.72~4.45 Ma。笔者通过扎兰屯-阿鲁科尔沁旗地区锆石和磷灰石低温热年代学研究,获得了大兴安岭东坡山前区 25~15 Ma 的快速冷却事件(未发表数据)。裘善文等(2008)对大兴安岭东坡白土山组的分布、成因、年代与地质意义进行了研究,认为其分布于大兴安岭山前河口地区,为古冲洪积扇堆积,形成时代为早更新世晚期(约 0.80 Ma)。钱程等(2013)基于 DEM 数据对大兴安岭的构造地貌进行研究,认为在大兴安岭东坡发育多级阶梯状面状地貌。此外,钱程等(2018)在扎兰屯等地发现了多处地貌抬升和断裂活动的古地震记录。上述资料暗示,松辽盆地西缘断裂带新生代发生了多期构造活动,对区域地貌格局具有显著的控制作用。

区域地层格架显示,大兴安岭东坡缺失古近纪地层,新近系河湖相沉积发育于山前地区,不整合覆

盖于前新生代岩石之上。松辽盆地古近纪地层格架及其年代学特征表明(方石等, 2007), 古新世—始新世发育小型伸展断陷盆地充填依安组沉积, 中新世早期发育山前河湖相沉积, 形成大安组且不整合于依安组之上。结合本次获得的黑云斜长片麻岩和长英质糜棱片岩的黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄($39.9 \pm 8.2 \text{ Ma}$ 和 $53.0 \pm 15.2 \text{ Ma}$), 认为松辽盆地西缘构造带古新世—渐新世($65 \sim 40 \text{ Ma}$)存在较强烈的构造活动。

大兴安岭东坡山前地区的松散堆积物调查显示, 它们主要由半固结—松散的砂砾石组成, 主要分布在阿伦河、雅鲁河、绰尔河、洮儿河等山前地区, 地貌上呈高位台地地貌特征, 前人将其厘定为白土山组或宝格达乌拉组, 属于山前冲洪积台地成因, 代表了大兴安岭的一期隆升事件, 在大兴安岭山前地区形成布西期夷平面。另外, 通过地貌切割与沉积物分布研究, 白土山期砂砾石层(冲洪积扇)现分布于大兴安岭山前低台地地貌区, 呈现了大兴安岭山前最新的一期剥蚀地貌面。据白土山组的形成时间(早更新世晚期)、侵蚀沟谷的最老沉积物(中更新世晚期)等资料推测, 最新一期剥蚀地貌面的抬升事件发生在 $0.20 \sim 0.10 \text{ Ma}$ 。

松辽平原新生代沉积地层格架中, 西缘缺失古近纪沉积, 新近纪初孙吴组不整合覆盖于白垩系之上, 孙吴组下部及松辽平原大安组和依安组之间存在沉积间断; 上新世—早更新世盆地下部的泰康组砾石层与上部荒山组湖相沉积之间存在沉积间断。中更新世晚期松辽分水岭隆起, 松辽古大湖萎缩, 暗示松辽盆地新生代至少存在古新世—渐新世、中新世早期、早更新世中晚期、中更新世晚期—晚更新世初 4 期构造运动。与本次限定的古新世—渐新世($65 \sim 40 \text{ Ma}$)、新近纪—更新世(约 25 Ma 以来)2 期新生代构造活动相匹配。

5 构造带活动的控油特征

5.1 构造带控盆特征

区域地层格架显示, 松辽盆地西缘及周边地区的中生代盆地演化主要包括中侏罗世、早白垩世中期和晚白垩世 3 个成盆期。松辽盆地西缘构造带对不同时期盆地的宏观轮廓、展布形态、构造性质、形成演化等具有不同程度的控制作用。

中晚侏罗世, 因与万宝组含煤地层时限相当, 可称为万宝期。该期以压陷盆地为特征, 形成于区域

挤压造山或“造高原”背景, 盆地呈北北东向纺锤状, 由南向北主要为宝日乌苏盆地、新民盆地、扎鲁特旗盆地、突泉盆地、龙江盆地、蘑菇气盆地东侧、星火盆地、嫩北盆地。除突泉盆地(万宝盆地)发育早侏罗世红旗组含煤地层外, 其他盆地沉积物以万宝组、新民组、七林河组等含煤地层为特征。该期盆地演化时限较短, 大体与松辽盆地西缘断裂带 $160 \sim 152 \text{ Ma}$ 的活动时限一致。

早白垩世中期, 因与九峰山组含煤地层时限相当, 可称为九峰山期或龙江期。该期以走滑拉分盆地和伸展盆地为特征, 由北向南广泛发育, 北侧的大杨树盆地延伸较远且发育较好, 中部的龙江盆地、乌兰浩特盆地、突泉盆地、扎鲁特旗盆地相对偏小, 但发育较好, 南部的新民-宝日乌苏-翁牛特盆地也发育较好, 该期盆地演化以沉积龙江组、光华组和甘河组火山岩地层为主体, 但在大杨树盆地中还发育九峰山期和西岗子期含煤地层。该期盆地为松辽盆地西缘断裂带早白垩世左行伸展活动的重要表现形式。

晚白垩世, 因与松辽盆地晚白垩世含油气地层(青山口组、姚家组和嫩江组)时限相当, 可称为松辽凹陷期。该时期构造带的外盆带整体抬升遭受剥蚀, 内盆带沉降接受以嫩江组为主的沉积, 受构造活动影响发育坡折带, 控制姚家组和嫩江组在西坡带西部的沉积, 约 80 Ma 之后松辽盆地开始大规模萎缩, 沉积中心向西迁移, 在齐齐哈尔—大庆地区和哈尔滨地区沉积四方台组和明水组。

5.2 外盆带成烃潜力分析

5.2.1 万宝期盆地充填物及成烃潜力

中侏罗世万宝期沉积物主要包括万宝组、新民组和七林河组, 七林河组主要分布在嫩江以北地区, 新民组主要分布于突泉以南地区, 而万宝组主要分布于扎鲁特旗—嫩江地区。万宝组和新民组的暗色泥页岩烃源岩指标评价显示, 它们具有较好的生烃潜力, 是松辽盆地西缘地区新区新层系油气资源勘查的重要靶区。

万宝组和新民组均属于含煤层位, 富含暗色泥页岩层/段, 具有较好的成烃潜力。陈树旺等(2013)对它们的生烃潜力进行了评价, 结果显示, 龙江盆地山泉煤矿万宝组泥岩总有机碳(TOC)分布在 $0.131\% \sim 1.174\%$ 之间, 生烃潜量(S_1+S_2) 分布于 $0.02 \sim 0.4 \text{ mg/g}$ 之间, 氯仿沥青(A)为 $0.001\% \sim 0.02\%$,

最高热解度($T_{\max}$)介于 474~563℃ 之间,一个样品的镜质体反射率(R_o)为 1.43,属成熟—高成熟阶段,有机质类型为Ⅲ型干酪根,为较差烃源岩;突泉盆地万宝组具有生烃潜力的暗色泥岩、泥质粉砂岩累计厚度为 68.3 m, TOC 分布在 0.49%~2.31% 之间, S1+S2 分布在 0.01~0.45 mg/g 之间, 氯仿沥青 A 分布在 0.006%~0.36% 之间, $T_{\max}$ 为 472~554℃, R_o 分布在 1.45%~2.15% 之间; 扎鲁特盆地新民组样品的有机质类型为Ⅲ型干酪根,有机质丰度为差—中等, TOC 为 0.29%~0.81%, S1+S2 介于 0.12~0.18 mg/g 之间, 氯仿沥青(A)含量分布在 0.010%~0.133% 之间, $T_{\max}$ 分布在 476~585℃ 之间, R_o 分布在 1.89%~2.31% 之间,有机质处于高成熟阶段; 宝日乌苏盆地新民组夹煤层、泥灰岩透镜体, TOC 为 2.48%, S1+S2 为 0.11 mg/g, $T_{\max}$ 为 387℃, 有机质类型为Ⅲ型干酪根,有机质丰度为差—中等,处于高成熟阶段。

5.2.2 龙江期盆地充填物及成烃潜力

早白垩世中期龙江期的沉积物主要包括龙江组、光华组、甘河组、九峰山组和西岗子组。其中龙江组和光华组在松辽盆地西缘构造带的各个盆地中广泛分布,九峰山组和西岗子组分布在大杨树盆地中。光华组、九峰山组和西岗子组具有较好的生烃层位,且后两者以含多层煤层为特征,它们也是松辽盆地西缘地区新区新层系油气资源勘查的重要靶区。

以龙江盆地的光华组为例,其具有较好的油气显示。光华组在盆地的南部和北部岩性组合差异较大,中北部主要为一套流纹质火山岩夹细碎屑岩,而南部的碎屑岩夹层较多,以凝灰质碎屑岩、沉凝灰岩等为主体。在盆地南部的扎赉特旗印家街一带发育一套灰黑色薄层状泥页岩夹凝灰质粉砂岩,水平层理发育,厚度较大,泥页岩层中可见大量热河生物群化石,黑色薄层状泥页岩中有机质含量较高,可与九峰山组那克塔油页岩矿对比。印家街光华期灰黑色泥质页岩 TOC 分布于 0.94%~1.51% 之间,有机质整体为ⅡB 型干酪根, $T_{\max}$ 分布于 350~534℃ 之间,表明该烃源岩热演化处于未成熟阶段,局部层位受脉岩侵位影响,呈过成熟特征。

5.3 内盆带控油特征

松辽盆地主要形成于白垩纪,是中国东部中生代具有断陷—拗陷双重结构的复合型沉积盆地。王璞珺等(2015)根据盆地充填物的 2 个区域不整合

面,把松辽盆地沉积划分为 3 个构造层,分别对应断陷期(火石岭组—营城组)、拗陷期(登娄库组—嫩江组)和挤压反转期(四方台组—依安组)。断陷期(140~110 Ma),发育区域性伸展和大规模裂陷,形成同裂谷期火山—沉积序列;拗陷期(110~80 Ma)是火山期后热沉降与区域走滑拉分沉降叠加的结果,沉降速率高、沉积厚度大,形成大规模烃源岩沉积;挤压反转期(80~40 Ma),沉降中心向西北迁移,盆地逐渐萎缩消亡。本次探讨的构造带位于松辽盆地西缘,其活动年代格架显示,其在 138~112 Ma、80 Ma、65~40 Ma 均发生了强烈的构造活动,与松辽盆地断陷期演化、拗陷期与挤压反转期转换、反转晚期与区域早新生代伸展的构造格架时限极吻合。上述研究暗示,拗陷期和挤压反转期松辽盆地西侧的沉积与相分布受到松辽盆地西缘构造带活动与大兴安岭抬升的控制。

松辽盆地西部斜坡带—松辽盆地西缘构造带之间发育拗陷期坡折带(辛仁臣等, 2004),该坡折带对高频层序结构、沉积相带分布、砂岩类型和岩性油气藏类型分布具有强烈的控制作用(辛仁臣等, 2004; 黄薇等, 2007; 刘桂珍等, 2008; 李佳桐, 2021)。这些坡折带呈北北东向沿齐齐哈尔—泰来—白城—通榆一线分布,与本次划分的内盆带位置相吻合。坡折带类型包括侵蚀坡折带、断裂坡折带和挠曲坡折带,与地壳深部莫霍面陡变带、地温梯度变化带和深大断裂带有良好的对应关系,挠曲坡折带主要形成于盆地的拗陷发育阶段,受控于盆地西缘深大断裂的活动(辛仁臣等, 2004; 黄薇等, 2007)。松辽盆地西部斜坡带拗陷期沉积相分析显示,坡折带对分道河流砂体、席状砂体等的展布与厚度控制明显,坡折带不同区带的层序特征、沉积相带及砂体类型不同,造成油气藏类型的分布和油气聚集差异较大。结合松辽盆地油气藏的类型及其与坡折带的关系,大体可以确定,上坡折带和坡折枢纽带控制背斜、断背斜、断块和断鼻油气藏,下坡折带及坡折深水区控制超覆、砂体、浊积体油气藏,坡折枢纽带控制断层—岩性油气藏(黄薇等, 2007)。坡折带向南北延伸,可与敖汉旗剪切带和塔西韧性剪切带相连,坡折带延伸区还分布诸多晚侏罗世—早白垩世隐伏沉积盆地。因此,松辽盆地西缘构造带限定了坡折带的展布特征,构造带早白垩世活动制约了坡折带的基本形态,间接约束了松辽盆地西缘拗陷期的沉积特征与油气藏分布。

6 结 论

(1) 松辽盆地西缘构造带为区域上带状展布的超壳深大构造带, 表现为重力异常由浅源、中源至深源, 分别呈现带状低正或低负异常带、断续排列的透镜状高正异常区和连续带状展布的高正异常区。

(2) 构造带呈现东西分带“两带八字形”构造格架, 即东侧的内盆带东倾、西侧的外盆带西倾, 以及南北分段“四段式”展布构架。

(3) 构造带中—新生代经历了 6 期构造运动, 分别为晚三叠世(230~216 Ma)、中晚侏罗世(160~152 Ma)、早白垩世中期(138~112 Ma)、晚白垩世中期(约 80 Ma)、古新世—渐新世(65~40 Ma)、新近纪—更新世(25 Ma 以来)。

(4) 构造带内盆带限定的盆缘坡折带具有油气成藏潜力, 外盆带控制的中侏罗世和早白垩世中期沉积盆地是中国东北地区新层系油气资源勘查的重要选区。

致谢: 中国地质调查局沈阳地质调查中心张立东研究员和付俊或正高级工程师在研究过程中给予了帮助, 审稿专家在文章修改过程中提出了宝贵意见, 在此一并表示感谢。

参考文献

- Meng Q R. 2003. What drove late Mesozoic extension of the northern China-Mongoliatract? [J]. *Tectonophysics*, 369: 155–174.
- Pang Y M, Guo X W, Zhang X H, et al. 2020. Late Mesozoic and Cenozoic tectono-thermal history and geodynamic implications of the Great Xing'an Range, NE China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 189: 104–155.
- Wang T, Zheng Y, Zhang J, et al. 2011. Pattern and kinematic polarity of late Mesozoic extension in continental NE Asia: Perspectives from metamorphic core complexes [J]. *Tectonics*, 30(6): 119–145.
- 陈洪洲, 余中元, 许晓艳, 等. 2004. 嫩江断裂构造及其与地震活动的关系 [J]. *东北地震研究*, 4: 43–49.
- 陈印, 朱光, 姜大志, 等. 2013. 四合堂剪切带活动时代及其对燕山运动 B 幕时间的限定 [J]. *地质学报*, 87(3): 295–310.
- 陈树旺, 丁秋红, 郑月娟, 等. 2013. 松辽盆地外围新区、新层系——油气基础地质调查进展与认识 [J]. *地质通报*, 32(8): 1147–1158.
- 邓晋福, 苏尚国, 赵国春, 等. 2004. 华北燕山造山带构造要素组合 [J]. *高校地质学报*, 10(3): 315–323.
- 方曙, 朱洪森, 朱慧忠, 等. 2001. 华北地台北缘喀喇沁断隆隆升机制 [J]. *中国地质*, (3): 5–11.
- 方石, 张志强, 刘招君, 等. 2007. 松辽盆地新生代热演化及地层定年 [J]. *吉林大学学报 (地球科学版)*, 37(5): 923–928.

- 方石, 刘招君, 黄湘通, 等. 2008. 大兴安岭东南坡新生代隆升及地貌演化的裂变径迹研究 [J]. *吉林大学学报 (地球科学版)*, 5(2): 771–794.
- 傅维洲, 杨宝俊, 刘财, 等. 1998. 中国满洲里—绥芬河地学断面地震学研究 [J]. *长春科技大学学报*, 28(2): 206–212.
- 傅维洲, 贺日政. 1999. 松辽盆地及周边地地震构造特征 [J]. *世界地质*, 18(2): 95–100.
- 郭孟习, 孙炜, 尹国义, 等. 2000. 郯庐断裂系的北延及地质—地球物理特征 [J]. *吉林地质*, 19: 35–44.
- 韩国卿, 刘永江, 温泉波, 等. 2009. 嫩江—八里罕断裂带岭下韧性剪切带变形特征 [J]. *吉林大学学报 (地球科学版)*, 39(3): 398–405.
- 韩国卿, 刘永江, Franz Neubauer, 等. 2012. 松辽盆地西缘边界断裂带中南段走滑性质、时间及其位移量 [J]. *中国科学: 地球科学*, 42(4): 471–482.
- 韩国卿, 刘永江, Franz Neubauer, 等. 2014. 松辽盆地西缘边界断裂带中北段尼尔基 L 型构造岩构造年代学及其构造意义 [J]. *岩石学报*, 30(7): 1922–1934.
- 核工业二四三大队. 2019. 内蒙古 1: 5 万工农屯、扎鲁特旗、五道井子、鱼泡子牧场、包郎格艾勒、查布嘎吐幅区域地质调查报告 [R].
- 黄汲清. 1960. 中国地质构造基本特征的初步总结 [J]. *地质学报*, 40: 1237.
- 黄薇, 王建功, 赵应成, 等. 2007. 松辽盆地拗陷期坡折带特征 [J]. *石油学报*, 28(4): 31–35.
- 李佳桐. 2021. 松辽盆地西部斜坡区青山口组—嫩江组沉积体系研究 [D]. *吉林大学硕士学位论文*: 22–53.
- 李英康, 高锐, 姚聿涛, 等. 2014. 大兴安岭造山带及两侧盆地的地壳速度结构 [J]. *地球物理学进展*, 29(1): 73–83.
- 梁琛岳, 刘永江, 李伟, 等. 2012. 黑龙江省嫩江地区科洛杂岩隆升时代 [J]. *地质科学*, 47(2): 360–375.
- 刘勃然, 李伟, 贾杰, 等. 2014. 大兴安岭北段嘎拉山伸展滑脱构造 [J]. *吉林大学学报 (地球科学版)*, 44(4): 1142–1152.
- 刘财, 杨宝俊, 王兆国, 等. 2011. 松辽盆地西边界带深部构造: 地电学证据 [J]. *地球物理学报*, 54(2): 401–406.
- 刘桂珍, 鲍志东, 王英民. 2008. 松辽盆地西斜坡古沟谷—坡折带特征及其对储层分布的控制 [J]. *中国石油大学学报 (自然科学版)*, 32(6): 12–16.
- 刘伟, 杨进辉, 李潮峰. 2003. 内蒙赤峰地区若干主干断裂的构造热年代学 [J]. *岩石学报*, 19(4): 717–728.
- 鹿林, 张宫博, 刘财, 等. 2019. 地球物理剖面揭示大兴安岭域壳幔结构及其地质意义 [J]. *地球物理学报*, 62(11): 4401–4416.
- 马寅生, 吴满路, 曾庆利. 2002. 燕山及临区中生代挤压与伸展的转换和成矿作用 [J]. *地球学报*, 23(2): 115–122.
- 内蒙古自治区地质调查院. 2019. 内蒙古 1: 5 万沙巴尔吐、巴达尔湖社、两家子、团发屯六村、前联合屯、白音浩特幅区域地质调查报告 [R].
- 钱程, 崔天日, 李林川, 等. 2013. ASTER-GDEM 数据在大兴安岭北段地貌形态分析中的应用 [J]. *地质力学学报*, 19(1): 82–92.
- 钱程, 陆露, 秦涛, 等. 2018. 大兴安岭北段雅鲁河断裂晚更新世活动记录 [J]. *地质通报*, 37(9): 1748–1754.
- 钱程, 汪岩, 秦涛, 等. 2022. 内蒙古扎兰屯地区晚三叠世韧性剪切变形的激光⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄证据 [J]. *中国地质*, 49(1): 1990–1991.
- 裘善文. 2008. 中国东北地貌第四纪研究与应用 [M]. 长春: 吉林科学

- 出版社.
- 邵济安, 张履桥, 贾文, 等. 2001. 内蒙古喀喇沁变质核杂岩及其隆升机制探讨[J]. 岩石学报, 17(2): 283–290.
- 王东星, 贺宏云, 赵磊, 等. 2018. 内蒙古乌兰浩特地区早白垩世韧性变形对嫩江–八里罕断裂的响应[J]. 地质通报, 37(9): 1704–1709.
- 王璞珺, 赵然磊, 蒙启安, 等. 2015. 白垩纪松辽盆地: 从火山裂谷到陆内拗陷的动力学环境[J]. 地学前缘, 22(3): 99–117.
- 王新社, 郑亚东. 2005. 楼子店变质核杂岩韧性变形作用的 ^{40}Ar – ^{39}Ar 年代学约束[J]. 地质论评, 51(5): 574–582.
- 王新社, 郑亚东, 刘玉琳, 等. 2006. 内蒙赤峰南部楼子店拆离断层系绿泥石化带的形成时代[J]. 自然科学进展, 16(7): 902–906.
- 汪岩, 钱程, 马永非, 等. 2019. 吉林白城岭下地区花岗质糜棱岩锆石 U–Pb 年代学与地球化学特征对松辽盆地西缘晚古生代以来的俯冲背景的制约[J]. 地质学报, 93(1): 117–137.
- 吴咏敬, 董平, 王良书, 等. 2012. 东北地区构造分区与深断裂研究——基于重力场小波尺度分解[J]. 地球物理学进展, 27(1): 45–57.
- 辛仁臣, 王英民. 2004. 松辽盆地北部青山口–姚家组西部坡折带成因及演化[J]. 地球科学, 29(5): 621–624.
- 杨承先, 王贵华, 陈健. 1984. 内蒙红山–八里罕断裂带地质特征及其地震活动性[J]. 地震研究, (4): 391–398.
- 张鹏辉, 张小博, 方慧, 等. 2020. 地球物理资料揭示的嫩江–八里罕断裂中段深浅构造特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 50(1): 261–272.
- 张振法, 葛昌宝. 2000. 内蒙古东部区深部构造特征和大地构造问题浅议[J]. 内蒙古地质, 3(1): 6–18.
- 张晓辉, 李铁胜, 蒲志平, 等. 2002. 内蒙古赤峰楼子店–大城子韧性剪切带的 ^{40}Ar – ^{39}Ar 年龄及其构造意义[J]. 科学通报, 47(12): 951–956.
- 张兴洲, 马玉霞, 迟效国, 等. 2012. 东北及内蒙古东部地区显生宙构造演化的有关问题[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 42(5): 1269–1285.
- 张岳桥, 董树文, 赵越, 等. 2007. 华北侏罗纪大地构造: 综评与新认识[J]. 地质学报, 81(11): 1462–1480.
- 赵文智, 李建忠. 2004. 基底断裂对松辽南部油气聚集的控制作用[J]. 石油学报, 25(4): 1–6.
- 赵越. 1990. 燕山地区中生代造山运动及构造演化[J]. 地质论评, 36(1): 1–12.
- 赵越, 崔盛芹, 郭涛, 等. 2002. 北京西山侏罗纪盆地演化及其构造意义[J]. 地质通报, 21(4/5): 211–217.
- 赵越, 徐刚, 张拴宏, 等. 2004. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. 地学前缘, 11(3): 319–328.
- 赵越, 宋彪, 张拴宏, 等. 2006. 北京西山侏罗纪南大岭组玄武岩的继承锆石年代学及其含义[J]. 地学前缘, 13(2): 184–190.
- 郑常青, 金巍, 张兴洲. 2008. 中国东北松辽盆地西缘韧性断裂带的锆石 SHRIMP 和黑云母 Ar–Ar 年龄及其大地构造意义[C]//任收麦. 东北亚地区油气地质与矿产资源学术研讨会论文集. 长春, 吉林大学: 81–82.
- 郑常青, 李娟, 金巍, 等. 2015. 松辽盆地西缘构造带中花岗质糜棱岩的锆石 SHRIMP 和云母氩–氩年龄及其构造意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 45(2): 349–363.
- 中国地质调查局沈阳地质调查中心. 2019. 内蒙古 1 : 5 万五家户、孟家沟、莫力根屯、扎赉特旗、巴彥高勒幅区域地质调查报告[R].