

# 东北亚南区中—新生代大地构造轮廓

葛肖虹<sup>1,2</sup> 马文璞<sup>2</sup>

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

**摘要:**东北亚南区是西太平洋构造带、北美大陆板块(或鄂霍次克板块)与中亚造山带、中朝、扬子板块等交汇部位,在泛大陆(Pangaea)拼合、裂解的宏观背景下中—新生代以来经历了多次构造事件的叠加,构造面貌比较复杂。包括朝鲜半岛在内,许多中—小型陆块的构造归属长期以来一直存在着争议,笔者根据近年来 SHRIMP 测年信息、生物古地理和相邻构造带的延伸,认为朝鲜半岛、日本飞驒—隐歧地块古生代应该归属于中朝板块;萨哈林岛—日本北海道归属于北美板块;布列亚—佳木斯—兴凯地块古生代归属于西伯利亚板块。20 世纪 80 年代以来绝大多数学者都把本区中生代以来的构造发展同西太平洋壳向东北亚大陆的俯冲联系在一起,然而近年相当多学者从东亚大陆本身的陆—陆碰撞—挤出—扩张来寻求晚中生代以来地壳—岩石圈减薄的地球动力学原因。本区经历了晚海西—印支期古亚洲洋消亡和晚燕山期(晚侏罗—早白垩世)南北大陆的陆—陆碰撞汇聚两个时期,使中亚造山带扩展到中朝板块北缘的阴山—燕山地区,使地壳增厚,形成与现今青藏高原类似的高原地貌;早白垩世晚期—古近纪本区地壳—岩石圈减薄,出现大规模伸展型盆—山结构,郯—庐断裂北延,出现左行走滑错移,东部陆缘俯冲增生、太平洋板块运动转向,引起的挤压变形,以及古近纪晚期大面积准平原化,黑龙江、吉林古近纪隆起边缘断陷盆地中的许多重、贵金属砂矿矿床也多半形成在此期;新近纪本区地壳—岩石圈进一步减薄,大陆裂谷扩展为东亚—西太平洋裂谷带,形成 NNE 向伸展型盆—山结构,日本海打开,西太平洋岛弧形成,早更新世末初步形成地形阶梯,晚更新世以后才形成了控制着地热与水系分布的现今地貌格架。

**关键词:**陆块构造归属;南北大陆汇聚;地壳—岩石圈减薄;盆—山结构;现今地貌格架

**中图分类号:**P542<sup>+</sup>.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)02-0212-17

亚洲是一个年青的复式大陆,由欧亚古陆和多个源自南半球冈瓦纳古陆的陆块拼接而成,现在的构造面貌到新生代初才定型<sup>[1]</sup>。笔者讨论的东北亚南区是这种复式大陆的典型表现地区之一。西太平洋构造带、西伯利亚、北美(或鄂霍次克)、中朝、扬子板块与中亚造山带等在此交汇(图 1)。在泛大陆(Pangaea)拼合和裂解的宏观构造背景下<sup>[2-3]</sup>中—新生代以来经历了多次构造事件的叠加,诸如南北大陆的汇聚碰撞、东部地体的拼贴、晚中生代大陆岩石圈减薄引起的伸展作用、大型走滑断裂的错移、东部陆缘的俯冲增生和新生代太平洋板块运动的转向与包括日本海打开在内的东亚—西太平洋大陆裂谷带<sup>[4-5]</sup>的形成,构造面貌比较复杂。包括朝鲜半岛、日本飞驒—隐歧、俄罗斯远东萨哈林岛—日本北海道和中、俄边境的布列亚—佳木斯—兴凯地块在内,许多中—小型陆块的构造归属长期以来一直存在着争议。近年来 SHRIMP 测年方法在许多前寒武纪地块上的应用,使众多陆

块形成的年代学信息更加清晰,结合古生代以来地层、生物古地理和相邻构造带变形年龄的数据,现已有可能对上述诸陆块的构造归属作出新的判断。东北亚南区尤其中国大陆东北部及俄罗斯远东地区,中、新生代以来的构造运动与演化历程,过去半个世纪备受中外学者的关注,20 世纪 80 年代以来多数意见都把这个地区中生代以来的构造发展同西太平洋构造带的演化联系在一起,90 年代以来更把西太平洋壳向东亚—东北亚大陆的俯冲作为引起东北亚大陆中—晚中生代岩石圈拆沉减薄的主因,并把由此引起的伸展作用作为造成包括松辽盆地在内诸多盆地生成和巨量岩浆侵入与喷出,以及内生矿产成矿高峰期确定的主要依据<sup>[6-9]</sup>。然而中国东北、华北地区中—新生代火山岩的面式分布,玄武岩成分  $K_2O+Na_2O$ 、 $K_2O/Na_2O$ 、 $K_2O$  由沿海向大陆内部增大的规律并不明显<sup>[9]</sup>, $K_{60}$  含量未显示典型岛弧火山岩由东向西系统增高的极性<sup>[9]</sup>,以及近年来岩浆岩幔源包体和火山岩地球化学特

收稿日期:2007-02-25;改回日期:2007-03-10

基金项目:国家自然科学基金项目(40272099;49772157)资助。

作者简介:葛肖虹,男,1938 年生,教授、博士生导师,主要从事区域构造教学与科研工作;E-mail:gxhbj2004@yahoo.com.cn。

征的一些研究成果并不支持上述认识,如邵济安等<sup>[1]</sup>根据大兴安岭火山岩微量元素中 Sr-Nd 同位素比值和 Ba/Nb 之间具有良好的线性关系,排除了由洋壳俯冲作用引起火山岩 Nb、Ta 亏损的可能性。相当多学者<sup>[12-13,15]</sup>从东亚大陆本身的陆-陆碰撞-挤出-扩张来寻求东北亚大陆中—晚中生代岩石圈减薄的地球动力学和高钾钙-碱性火山-侵入岩广泛分布的原因<sup>[5,10-14]</sup>,近年一些学者通过对东亚、西太平洋地区地震面波层析成像和软流圈、岩石圈三维  $V_s$  速度结构的研究,提出了东亚—西太平洋巨型裂谷体系的新认识<sup>[14,15]</sup>,它使对上述争议问题有了更深入的认识。笔者根据在东北、华北地区多年的工作积累和近年来中、外学者在东北亚与本区大地构造方面发表的最新成果<sup>[3-4,15-16]</sup>,试图对中国大陆东北部及邻区中、新生代大地构造的时空轮廓作一简要分析。

## 1 中—小型陆块的构造归属

东北亚南区包含众多中—小型陆块,它们的构造归属以及在演化中的相互关系曾是长期争论的问题:

(1) 朝鲜半岛:朝鲜学者根据地层出露状况曾把朝鲜半岛自北而南划分成狼林地块、平南拗陷、京畿地块、沃川拗陷、岭南地块 5 个构造单元。地块以出露太古宙—古元古代地层为主,拗陷则发育古生代盖层。20 世纪 80 年代以来多数学者认为临津江带是分隔中朝与扬子板块的苏—鲁高压变质带的向东延伸,因而把朝鲜半岛分成南、北两半,平南拗陷以北的北朝鲜为中朝板块,临津江带以南的南朝鲜属于扬子板块<sup>[17-18]</sup>。90 年代以来由于多次国际会议以及中韩、中朝学者的频繁合作交流,对于朝鲜半岛的构造划分也提出了多种模式。近年来黄海地球物理研究成果提示青岛—荣成断裂以南的苏—鲁高压变质带没有延伸到临津江,而是被纵贯黄海的近南北向断层右行错移到了济洲岛以南,这样朝鲜半岛的全部就都属于中朝板块<sup>[19]</sup>。1994 年笔者参加在汉城(首尔)召开的 IGCP-321 项国际会议,在沃川拗陷野外考察期间发现那里出露的新元古界—中奥陶统及平行不整合其上的中石炭统,从层序到岩性和辽东半岛的完全一致。因此从沉积盖层的地层发育特征看,北朝鲜的平南拗陷和朝鲜半岛南部的沃川拗陷都广泛出露着华北型的新元古界—中奥陶统浅海相碳酸盐岩和平行不整合其上的石炭、二叠系海陆交互—陆相沉积,朝鲜半岛南端的岭南地块小白山地区相当于辽东半岛新元古界南芬组的鸭蛋青色泥质板岩角度不整合在太古宙—古元古代的片麻岩之上,也酷似辽东半岛。近年来对半岛隆起区狼林地块、京畿地块和岭南地块片麻岩—麻粒岩基底岩系所作的 SHRIMP 年龄测定都说明它们以 1.8~2.5 Ga 为主<sup>[20]</sup>,而且狼林和岭南地块之上都残留有辽东半岛型的新元古界—中奥陶统剥蚀残块,因此从基底到沉积盖层朝鲜半岛全部属于中朝板块是合理的。20 世纪 80 年代在朝鲜南部沃川带江原道旌善郡桧洞里地区的桧洞里组中发现了志留纪的牙形刺;朝鲜北部黄海南道松林市的侏罗系大同群底砾岩中也曾发现过含志留纪海相生物化石的砾石<sup>[21-23]</sup>,以及北朝鲜平南拗陷和南朝鲜沃川拗

陷出露的相当于华北中奥陶统的峰峰组地层和上奥陶统半深海浊积岩,说明整个朝鲜半岛和中国鄂尔多斯盆地西缘、南缘一样早古生代期间分别属于中朝板块东部和西部的大陆边缘<sup>[24]</sup>。因此现今朝鲜半岛的构造单元划分实际上反映了中生代构造运动的结果,临津江构造带和沃川构造带的韧性变形带都受到北东走向逆冲—走滑断裂和伸展断裂的控制,无一例外地切割了侏罗—白垩系,同时无论是狼林地块还是京畿、岭南地块,前寒武系之上也都残留着新元古代—寒武—奥陶纪地层,而平南、沃川拗陷则保留着和辽东半岛完全一致的新元古代—古生代—三叠纪地层,说明它们原本都有统一的华北型古生代沉积盖层,只是由于晚燕山运动的逆冲推覆构造和早白垩世以后的伸展隆升引起的剥蚀,才造就了现今朝鲜半岛地层的出露状况与构造面貌。

(2) 飞驒—隐歧地块:亚洲东缘长近 2 000 km,宽约 300 km 的日本列岛是中生代以来洋、陆汇聚和来自赤道低纬度地体拼贴增生的产物,在日本海作为弧后盆地中新世(约 15 Ma)打开以前,日本曾是亚洲大陆东部大陆边缘的一部分<sup>[25]</sup>。位于本州岛北侧、围绕能登半岛分布的飞驒—隐歧地块是日本变质基底的主要出露区。对不同部分泥质片麻岩和角闪岩的各种同位素测年给出 1.9~1.1 Ga、600 Ma、400 Ma 和 240 Ma 等多组事件年龄,未变质的晚侏罗世—白垩纪手取群磨拉石不整合覆盖其上。飞驒—隐歧地块以飞驒边缘带蛇纹混杂带与以南由侏罗纪增生杂岩组成的美浓—丹波—足尾带接触。2001 年梶座圭太郎等(K.Kunugiza)在变质带中发现了由次透辉石、斜长石和楣石等组成的角闪岩相高压变质带,提出作为碰撞造山带的飞驒变质带相当于中朝和扬子板块之间苏—鲁超高压变质带的东延部分<sup>[26]</sup>,新的地球物理成果也支持这一观点<sup>[19]</sup>。日本海 15~5 Ma 张开<sup>[27]</sup>,Otofujii<sup>[28]</sup>根据古地磁成果提出原本成直线展布的日本列岛以东北日本逆时针、西南日本顺时针转动的双开门式旋转造就了现今的面貌。因此根据西南日本的逆时针向复位,飞驒—隐歧地块很可能填补了朝鲜半岛东北部的空缺。从而飞驒—隐歧地块归属于中朝板块看来比较合理。至于飞驒—隐歧地块南部宫崎鞍冈层发现的志留纪三叶虫 *Coronocephalites* 新属,按照段吉业<sup>[29]</sup>和 Ichikawa<sup>[29]</sup>的认识,可以和中朝板块北缘内蒙古达尔罕茂名联合旗以及吉林中部永吉县发现的中—晚志留世的三叶虫 *Coronocephalites* 新属对比,但是如果把飞驒—隐歧地块归位到朝鲜半岛东北部,它就和狼林地块、平南拗陷相近,后者 20 世纪 80 年代就发现了含志留纪海相生物化石的砾石<sup>[21]</sup>,它们同属于中朝板块的大陆边缘,含有志留系滨海相沉积也应该是合理的。需要提出的是,江博明等<sup>[29]</sup>提出飞驒带在构造上属于中亚造山带。

(3) 布列亚—佳木斯—兴凯地块:中国东北沿中、俄边境分布着一系列前寒武系结晶岩系组成的地块(图 1),在黑龙江省纬度范围内它们由近东西向展布的 3 个穹状隆起构成,自东向西分别是图兰、马门和岗仁隆起,隆起之间被古生代褶皱带分隔。其中岗仁对应于额尔古纳—兴安地块、马门对

应于松嫩地块、图兰则向南延伸到佳木斯地块<sup>[1]</sup>, Zonenshain 等<sup>[2]</sup>把鄂霍茨克带以南的兴安—布列亚—佳木斯和兴凯地块统称为古生代的阿穆尔 (Amuria, 黑龙江的俄文称谓) 微陆块。根据叶茂等<sup>[3]</sup>对上述地块构造演化特征的叙述, 笔者<sup>①</sup>认为把天山—兴蒙造山带贺根山—嫩江—黑河缝合带以东的

马门—松嫩地块和图兰—布列亚—佳木斯—兴凯地块作为中古生代的地块拼合体更为确切, 因为它们都有统一的前寒武系基底和早寒武世的第一个沉积盖层, 并称之为黑龙江板块。中生代以来它们被郯庐断裂北延的佳(木斯)—依(兰)断裂和敦(化)—密(山)断裂左行错移分隔成 3 段。对佳木斯地

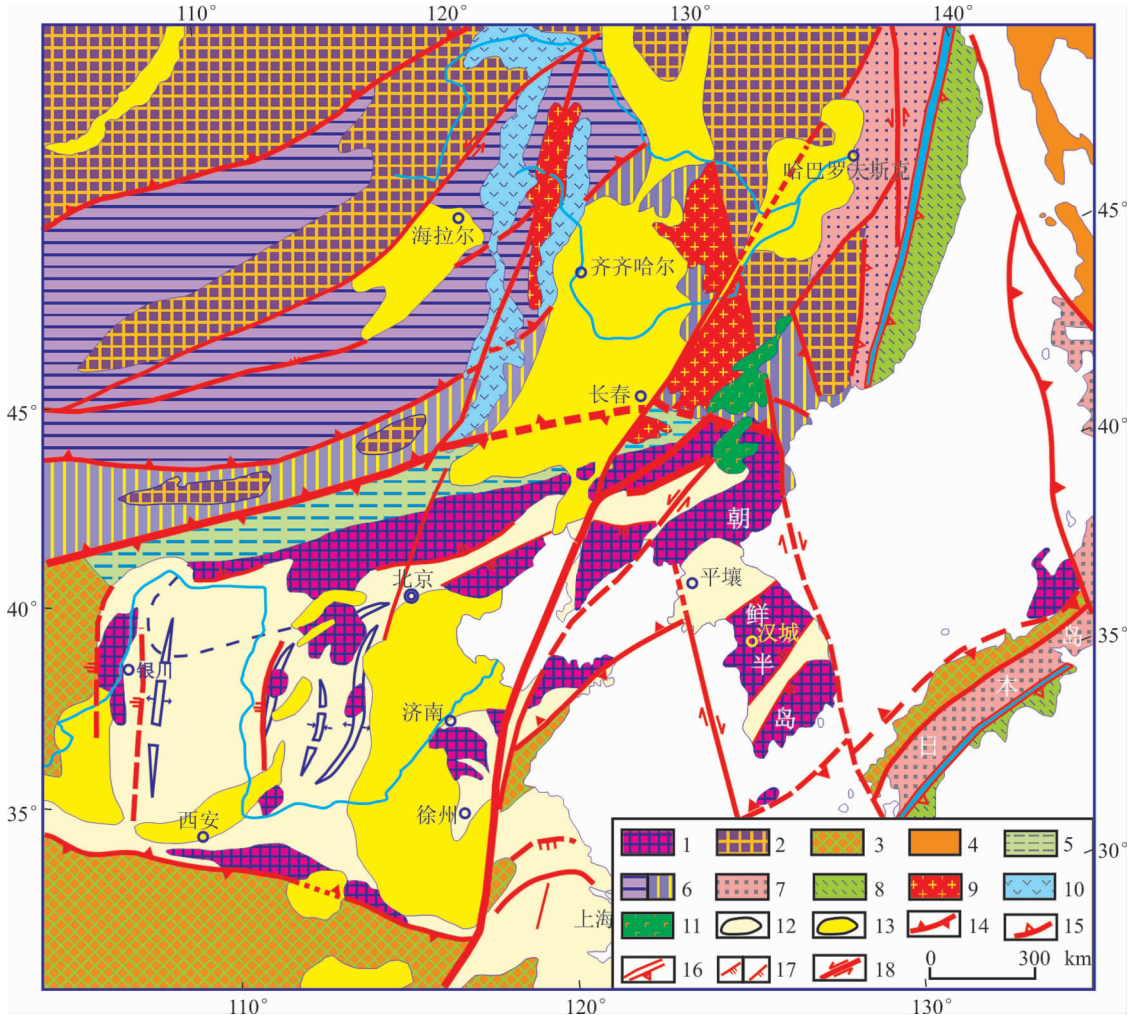


图 1 东北亚南区大地构造略图

- 1—中朝型太古宙—元古宙基底出露区, 部分具古生代盖层; 2—西伯利亚型太古宙—元古宙基底出露区, 部分具古生代盖层; 3—扬子型太古宙—元古宙基底出露区, 部分具古生代盖层; 4—北美型陆块; 5—中朝陆缘增生变质带; 6—内蒙古—兴安褶皱带早(左)、晚(右)古生代陆缘增生带; 7—J—K<sub>1</sub> 地体增生蛇绿混杂体; 8—K<sub>2</sub>—E 陆缘增生蛇绿混杂体; 9—晚海西—印支期花岗岩; 10—侏罗—白垩纪钙碱性火山岩带; 11—新生代幔源玄武岩; 12—前新生代盖层变形区; 13—新生代盆地; 14—板块缝合带或陆—陆碰撞拼合带; 15—地体拼贴带 (J—K<sub>1</sub>); 16—陆缘增生边界 (K<sub>2</sub>—E); 17—逆冲断裂、推覆构造; 18—中生代以来平移断裂

Fig.1 Tectonic sketch map of the southern part of Northeast Asia

- 1—Sino-Korea type Archean-Proterozoic basement outcrop region, with Paleozoic cover in some areas; 2—Siberia type Archean-Proterozoic basement outcrop region, with Paleozoic cover in some areas; 3—Yangtze type Archean-Proterozoic basement outcrop region, with Paleozoic cover in some areas; 4—North America type continental block; 5—Sino-Korea continental-margin accretionary metamorphic zone; 6—Early (left) and late (right) Paleozoic continental-margin accretionary zones in the Inner Mongolia-Hinggan fold belt; 7—Accretionary ophiolitic mélangé of the Jurassic-Early Cretaceous terrane; 8—Middle Cretaceous-Eocene continental-margin accretionary ophiolitic mélangé; 9—Late Hercynian-Indosinian granite; 10—Jurassic-Cretaceous calc-alkaline volcanic belt; 11—Cenozoic mantle-derived basalt; 12—Pre-Cenozoic cover deformation area; 13—Cenozoic basin; 14—Plate suture zone or continent-continent collision-assembly zone; 15—Terrane amalgamation zone (J-K<sub>1</sub>); 16—Continental-margin accretionary boundary (K<sub>2</sub>-E); 17—Thrust and nappe tectonics; 18—Translational fault since the Mesozoic

① 葛肖虹曾为满洲里—绥芬河地学断面项目副负责人(1991—1994), 项目执行过程中的主要地质技术负责。



块前寒武系基底岩系麻山群的同位素年代学研究始于上世纪80—90年代,曾获得2 539 Ma的Ar—Ar年龄和2 251 Ma Pb—Pb年龄<sup>[34]</sup>。刘静兰<sup>[35]</sup>与西澳学者Simon Wilde<sup>[36]</sup>等对麻山群单颗粒锆石进行SHRIMP测年,获得U—Pb年龄(502±10)Ma,近年Wilde<sup>[37]</sup>又发表了进一步的测年数据(525±12)Ma~(507±12)Ma,并据此提出中国东北的晚泛非岩浆活动事件,因为上述年龄都属于“泛非事件”范畴。结合上世纪90年代詹立培等<sup>[38]</sup>在兴凯地块南端纳霍德卡发现了冈瓦纳型石炭—二叠纪的动物化石,于是有些学者怀疑布列亚—佳木斯—兴凯地块是中生代来自冈瓦纳大陆的陆体,这是一个很引人注目又饶有兴趣的问题。可是必须注意到这一地区古生代以来的地层特征和生物古地理面貌看来并不支持上述看法。段吉业<sup>[39]</sup>提出佳木斯地块西缘伊春市五星镇上世纪80年代初曾在早寒武世的小金沟组(原五星镇组)中发现勒那阶三叶虫*Proerbia*;俄罗斯兴凯湖东南部以及大兴安岭以西的石勒喀河地区所发现的早—中寒武世三叶虫也都属西伯利亚型。小金沟组代表布列亚—佳木斯—兴凯地块克拉通化后的第一个沉积盖层,此后兴凯地块、布列亚地块所发育的奥陶—志留系海相碳酸盐岩、含单通道筴的二叠系海相沉积以及含安加拉植物群的陆相石炭—二叠系都提示它们属于西伯利亚板块。古生代以来布列亚—佳木斯—兴凯地块虽然和西伯利亚地台几经裂解、拼合,但一直都是临近西伯利亚板块的亲缘微陆块。根据古地磁资料,新元古代末至寒武纪初西伯利亚板块本身就位于南半球的低纬度<sup>[32]</sup>,属于当时罗迪尼亚超大陆中更古老的东冈瓦纳(Ur)的一部分<sup>[40]</sup>,因此经历“泛非事件”而克拉通化是正常的事情。印支期作为黑龙江板块主体的布列亚—佳木斯—兴凯地块与中朝板块碰撞,古亚洲洋最终封闭,本区成为古亚洲大陆东北部临近古太平洋的陆缘带。

(4)萨哈林岛—北海道:俄罗斯远东的萨哈林岛位于布列亚—佳木斯—兴凯地块以东锡霍特阿林带的最东侧,向南和日本北海道隔着宗谷海峡相连,两者构造轴线均近南北向,都是岛弧火山带、增生混杂体、蛇绿岩和叠瓦推覆构造广泛发育的中、新生代活动大陆边缘。萨哈林岛在构造上三分:西萨哈林的基底由强烈变形的早中生代混杂堆积组成,上覆中新世钙碱性岛弧火山岩,其碱度自东向西增高。它们在晚上新世到早第四纪变形并被向东逆冲到中部未固结的沉积之上,显示当时的贝尼奥夫带西倾;中部为蛇绿杂岩碎片构成的缝合带;以东的东萨哈林由蓝片岩和绿片岩、含众多古生代和中生代岩块的混杂体以及晚白垩世为主的大洋型火山岩等3个岩系组成<sup>[33]</sup>。日本北海道构造上六分<sup>[33]</sup>中部的空知—虾夷带是蛇绿岩系的一部分,所含放射虫的时代从侏罗纪末到中白垩世。含蓝片岩的神威古潭(Kamuikotan)高压变质带位于蛇绿岩系东侧。东部的日高、常吕和根室带由变基性岩和增生杂岩等组成,前者被认为是海山碎片,时代总的向东变新,前侏罗系在其中成不同规模的外来岩块产出。Sakakibara<sup>[41]</sup>提出萨哈林岛中部偏东的苏苏奈(Susunai)变基性

杂岩是神威古潭带的北延部分,从而证实萨哈林和北海道两者的构造连续性。欧亚和北美板块的边界从北冰洋中脊向南进入俄罗斯东北大陆内部以后,地震活动性不仅降低而且高度弥散,因此它的具体延伸以及鄂霍斯克是否作为一独立板块划分出来成为争论的问题<sup>[42]</sup>。Kojima等<sup>[43]</sup>根据地震观测数据倾向于把萨哈林岛—北海道划归北美板块(图1)。

## 2 中—新生代主要构造运动事件的时空轮廓

(1)南北大陆汇聚经历了晚海西—印支期古亚洲洋消亡和晚燕山期南北大陆的陆—陆碰撞汇聚两个时期,形成地壳—岩石圈增厚、高原地貌的中亚造山带

晚二叠世欧美大陆和南部冈瓦纳大陆碰撞、泛大陆(Pangaea)基本形成时<sup>[44]</sup>,西伯利亚及其外围微陆块:西部哈萨克斯坦板块、东部黑龙江板块和它们以南的西域(广义的塔里木)板块、东部中朝板块之间的古亚洲洋盆从晚二叠世到中三叠世自西向东逐渐封闭。20世纪90年代以来的区域地质调查工作已经证实,标志残留洋盆的蛇绿混杂岩沿着西拉木伦河、长春南、吉林中部、和延吉市南断续分布,基本上标示了西伯利亚与中朝两大板块缝合线的位置(图1)。位于该缝合带上的吉林中部红旗岭1号岩体锆石SHRIMP年龄为(216±3)Ma,形成于晚三叠世;吉林大玉山花岗岩体单颗粒锆石U—Pb同位素年龄为(248±4)Ma,形成于早三叠世晚期。岩石学和同位素地球化学研究表明,岩体属于高钾钙碱性I型花岗岩,岩浆来源于加厚地壳底部玄武质岩石的部分熔融作用,属同碰撞型花岗岩,是板块碰撞拼合的直接岩浆岩证据<sup>[45]</sup>,而出露在吉林省南部通化地区的岔信子岩体、小苇沙河岩体和龙头岩体,应用锆石U—Pb法,进行了侵位年代测定,年龄为203~217 Ma,确认它们形成于晚三叠世,岩体主要包括石英闪长岩和花岗岩两大岩类,前者来自于基性下地壳或者岩石圈地幔的部分熔融,而后者来源于加厚地壳的部分熔融,且岩浆源区存在石榴石残留相<sup>[46]</sup>,笔者认为很可能是北方板块深俯冲的标志而与大别—苏鲁超高压变质带无关。近年在缝合线以北吉林省中部的天桥岗碱长花岗岩获得的锆石SHRIMP和TIMS年龄分别为182 Ma和188 Ma,全岩Rb—Sr等时线年龄为185 Ma<sup>[47]</sup>,黑龙江张广才岭白石山岩体的全岩—矿物Rb—Sr等时线年龄为(196±4)Ma,岩石学和地球化学的详细研究表明该岩体具有壳幔混合成因,底垫的新生地壳在中亚造山带造山后晚期才生成<sup>[48]</sup>,它们都形成于早侏罗世。结合吉林—黑龙江地区早—中三叠世为残留海相沉积,晚三叠世晚期出现大酱缸组陆相磨拉石,说明该缝合线最终闭合及初期陆—陆碰撞发生在晚三叠世—早侏罗世,在中朝板块以北形成了近纬向弧形展布的中亚造山带,地壳加厚,其特征类似于始新世(55~45 Ma)雅鲁藏布江缝合带闭合后的喜马拉雅、冈底斯山带。中朝板块以南大别山北缘240~220 Ma超高压变质带和它被郯庐断裂向北错移的苏鲁超高压变质带的确认<sup>[49]</sup>,标志着中朝与扬子板块在印支期的碰撞拼合。因此印支期初步完成了古亚洲南北大陆的汇聚,形成

了包括西伯利亚板块西部、哈萨克斯坦板块—西域板块、黑龙江板块—中朝板块、扬子板块在内的古亚洲大陆。

晚侏罗—早白垩世泛大陆(Pangaea)裂解,大西洋盆向北延伸到北冰洋<sup>[44]</sup>,洋脊扩张使西伯利亚板块向南漂移促使了鄂霍次克海的消亡<sup>[52]</sup>,西伯利亚与黑龙江板块、中朝板块陆—陆碰撞,南北大陆再次汇聚<sup>[50-51]</sup>,两侧大陆岩石圈因碰撞而缩短增厚,发生陆内俯冲和侧向挤出,最终形成宽广的陆内高应变区,使中亚造山带扩展到中朝板块的北缘阴山—燕山地区。根据燕山地区发现源区深度大于 15 km 的燕山—晚期埃达克岩<sup>[52]</sup>和王东坡等<sup>[53-54]</sup>在长春净月坛下白垩统泉头组中发现冰筏沉积,吴根耀等<sup>[55]</sup>根据苏鲁洋的闭合论证了中国东部高原的形成,它们都提示包括燕山在内的中亚造山带当时形成了高原地貌;缝合带南北大规模走滑—逆冲推覆构造事件的确定<sup>[56-61]</sup>,如冀北—辽西拗陷北侧的古北口—平泉断裂系,在剖面上呈正花状构造,具右行斜压性质,活动时代 148~132 Ma,冀北—辽西拗陷南侧的密云—喜峰口—青龙断裂和位于二者之间的河北宣化下花园断裂,均为同样性质的右行走滑—逆冲断裂<sup>[62-63]</sup>,又如大青山南侧逆冲推覆构造缩距大于 35 km<sup>[64]</sup>,Davis 等<sup>[64]</sup>在“内蒙地轴”东段南侧承德地区发现晚侏罗世向北推覆、断距高达 40~45 km 的大型逆冲推覆构造;朱日祥等<sup>[65]</sup>、杨振宇等<sup>[66]</sup>、任收麦等<sup>[67]</sup>所测试的南北大陆汇聚的古地磁证据都说明了这次南北大陆的汇聚发生在中—晚中生代,高峰期在晚侏罗世末—早白垩世。包括燕山在内的中亚造山带中生代岩浆活动的岩石学、地球化学特征,说明晚侏罗世—早白垩世期间广泛分布的高钾钙碱性火成岩标示了在加厚地壳的同时,存在着壳—幔过渡带熔融岩浆向地壳的底侵作用,源于地幔的火成岩基性岩包体  $\varepsilon$  (Nd, t) 值低,在 -5 以下,为富集型,说明本区当时属于“大陆活动带型”地幔,源于地幔的火成岩基性岩包体中含有地壳的组分,层圈相互作用以下地壳与弱化的岩石圈地幔之间的作用为主,发生的部位邻近莫霍面, Sr/Y 比值为 167.67~36.42,估算当时燕山地区的地壳厚度在 45 km 左右<sup>[68-72]</sup>,其特征和现今青藏高原藏北地区广泛存在深度为 15~20 km 上地壳内平坦而稳定的低速层即壳内熔融层<sup>[73]</sup>,而与地表出露 24~10 Ma 高钾火成岩<sup>[73-74]</sup>的情况甚为相似,说明在造山带挤压隆升、地壳加厚的背景下,来自壳—幔过渡带幔源的熔融岩浆向地壳的底侵作用,完全可以形成壳内低速层(熔融层)而成为高钾钙碱性与基性火成岩的源区。

自从 1926 年翁文灏先生首次提出燕山运动以来,燕山地区广泛发育的大规模逆冲推覆构造一直引起国内外地学界的关注。近十年来,赵越等<sup>[75-76]</sup>、Davis 等<sup>[64]</sup>通过对燕山地区中生代火山岩锆石 U-Pb SHRIMP 和 LA-ICP-MS 年龄测定,厘定了几个关键层位的顶底界年龄,如杏石口组底 199 Ma 确认为下侏罗统,南大岭组底 174 Ma,原来认为是下侏罗统的南大岭组—下花园组—龙门组实际为中侏罗统;九龙山组(海房沟组)底 161 Ma,髻髻山组(蓝旗组)底 158 Ma,土城子组(后城组)底 153~152 Ma,原来认为是中侏罗统的髻髻

山组(蓝旗组)实际为上侏罗统<sup>[71]</sup>,与其连续上覆的土城子组(后城组)实际为晚侏罗世—早白垩世沉积;张家口组(东岭台组)底 134 Ma,原来认为是上侏罗统的张家口组(东岭台组)完全属于早白垩世早期的火山—沉积岩<sup>[71,75-77]</sup>。徐刚等<sup>[78]</sup>通过对燕山地区下板城盆地、承德—上板城盆地、北台盆地、京西盆地和辽西牛营子盆地、凌源地区精细的沉积—构造解析和上述中生代火山岩锆石 U-Pb SHRIMP 和 LA-ICP-MS 年龄测定,重新精确厘定了 1926 年由翁文灏先生提出的燕山运动 A、B 幕的时空框架。明确指出发生于晚海西期—印支期的褶皱、逆冲推覆构造在前髻髻山期即 161~158 Ma 达到了高潮,就是翁氏所指燕山运动的 A 幕,这和吉林中部天桥岗等碱长花岗岩所获得的锆石 SHRIMP 年龄 182~188 Ma<sup>[79]</sup>,张广才岭白石山岩体的全岩—矿物 Rb-Sr 等时线年龄(196±4) Ma<sup>[80]</sup>发生在早侏罗世是一致的;而于前张家口期即 135~132 Ma 发生了燕山运动的 B 幕,也引起大规模逆冲推覆构造<sup>[60-61,76,78-80]</sup>。这说明以南北陆—陆碰撞缩距、挤压变形为特征的燕山运动所发生的两期;从晚海西期—印支期到早—中侏罗世的 A 幕和晚侏罗世—早白垩世的 B 幕,是包括燕山、朝鲜半岛北部在内的中亚造山带地壳加厚,表层褶皱、推覆构造强烈变形的过程,在东北和燕山、朝鲜半岛北部地区形成了小规模、动态迁移的盆—山结构,整体呈现高原地貌,其间的演化是一个穿时的动态迁移过程。

(2) 早白垩世晚期—古近纪,中亚造山带和东北亚南区地壳—岩石圈减薄,出现大规模伸展型盆—山结构,郯—庐断裂北延的左行走滑错移,东部陆缘俯冲增生、太平洋板块运动转向引起的挤压变形,以及大面积准平原化。

早白垩世中晚期(135~100 Ma)即张家口组(东岭台组、义县组)沉积期火山岩巨厚、沉积广布,以橄辉玄武岩—粗安岩—英安岩为主体,主要起源于拉张环境下地壳上部岩石的部分熔融, Sr/Y 比值为 65.33~19.7,李伍平<sup>[81]</sup>估算当时燕山地区的地壳厚度在 30~35 km,比晚侏罗—早白垩世早期明显减薄 5~10 km。同样,大兴安岭北部的呼伦湖也发育一套碱性流纹岩,其全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 (127±5) Ma 和大兴安岭地区的 A 型花岗岩即巴尔哲碱性花岗岩<sup>[82]</sup>、碾子山花岗岩<sup>[83]</sup>为同期(125 Ma)侵入—喷发的火成岩,它们与大兴安岭北部源于富集大陆岩石圈地幔的伊列克得组钾玄质系列玄武岩(125±2 Ma)<sup>[84]</sup>时代一致,两者构成了双峰式火山岩组合<sup>[85]</sup>,反映大兴安岭地区早白垩世岩石圈的拉张环境<sup>[11]</sup>。从此,中亚造山带和东北亚南区开启了一个地壳减薄,幔源物质上涌,伸展变形的新时期,出现了大规模的伸展式盆—山结构和内生贵金属如金、银成矿的高峰期<sup>[86-87]</sup>。包括中蒙边界区亚干变质核杂岩<sup>[88,91]</sup>、大青山<sup>[92]</sup>、阴山<sup>[80]</sup>、燕山<sup>[93-94]</sup>、大兴安岭<sup>[88,90]</sup>、辽南<sup>[95]</sup>在内许多变质核杂岩都形成在此期,由于伸展作用使一些曾经深埋下地壳的麻粒岩相变质地质体,多数为元古宙、古元古代和太古宙的变质基底被剥露到地表,成为晚中生代以来的隆起区,曾经被认为是“内蒙地轴”、“冀东—医巫间山隆起”<sup>[93]</sup>、“辽南、辽北隆起”、朝鲜半岛 3 个隆起区,以至“佳木斯

隆起”、古大兴安岭等实际上都是从这个时期才开始成为隆升剥蚀区的，而在它们的两侧形成了不同规模的伸展盆地。对晚中生代活动的郯庐断裂向北延伸的佳(木斯)—依(兰)左行走滑断裂进行构造复位，松辽和哈巴罗夫斯克—三江盆地原先应该是统一的原型盆地，哈巴罗夫斯克—三江盆地东部早白垩世邻海，这就合理解释了松辽盆地早白垩世多次泛海沉积的成因。上述原型盆地连同毗邻的佳木斯隆起和古大兴安岭，它们的构造延伸长轴方向都不是现今的 NNE 向，而是 NEE 走向。那么包括古大兴安岭、松辽—哈巴罗夫斯克—三江原型盆地、古张广才岭、燕山在内早白垩世期间也都应该是 NEE 走向，属于中亚弧形造山带东翼内早白垩世的裂陷—伸展盆地和剥蚀山岭，它们向西和二连盆地、大青山、雅布赖山及其南、北缘的白垩纪盆地、酒泉盆地以及吐鲁番—哈密、准噶尔盆地等都应该属于统一构造背景下形成的中亚造山带弧形剥蚀山岭与伸展—裂陷盆地群<sup>[9]</sup>，在早白垩世全球海平面上升出现缺氧事件的背景下，它们无一例外成为早白垩世的含油气盆地。

晚白垩世—古近纪期间从黑龙江、吉林到内蒙古、晋、冀北燕山地区数千平方千米广泛分布着含有深源捕虏体的幔源碱性拉斑玄武岩，它们的  $\epsilon(\text{Nd}, t)$  值几乎全部都为正值，岩浆的源区从壳—幔（富集地幔）带转变为软流圈的亏损地幔<sup>[7]</sup>，软流圈来源的玄武岩最早喷发的时间为辽宁阜新碱锅地区的 107~93 Ma，它们是典型的碱性玄武岩并含有地幔二辉橄榄岩捕虏体<sup>[7]</sup>，向西至赤峰平庄一带，出露的碱性玄武岩中也能发现数量稀少的地幔捕虏体，东北地区最早喷发的该类玄武岩沿着郯庐断裂带在长春附近的富峰山发育，年龄为

83.93 Ma<sup>[7]</sup>，与此同时在山东诸城、蒙阴出露的粗玄武岩和钾玄武岩年龄为 111~115 Ma，松辽盆地内部青山口组中的拉斑玄武岩夹层也来源于亏损地幔，提示上地幔软流圈大规模的上涌促使本区和整个中国东部地壳—岩石圈减薄，从此开始了由“大陆活动带型地幔”向“大陆裂谷型地幔”的转变，其转折期发生在 100 Ma，高潮期在 65 Ma，其间约有 40 Ma 的过渡时期<sup>[13,72,97-99]</sup>，由于 50~30 Ma 西太平洋洋壳板块的斜向俯冲引发东北亚安底斯型陆缘锡霍特—阿林—台湾陆缘增生<sup>[3,100]</sup>及其后缘的拉张，本区上地壳和地表对岩石圈减薄的响应是大规模 NNE 向裂谷—伸展盆地的出现和山区广泛的剥蚀夷平，表现为青山口组—明水组—依安组沉积期间的松辽盆地和张广才岭以东包括延吉、宁安、鸡西、勃利、三江等盆地在内大砬子组(猴石沟组)—珲春组(八虎力组、虎林组、宝泉岭组)沉积期的泛盆地，即曾经称谓的“完达盆地”<sup>[101]</sup>(图 2-a)，以及郯庐断裂北延的佳(木斯)—依(兰)断裂和敦(化)—密(山)断裂带所形成的地堑型断陷盆地，如后者控制的鸡东、兴凯盆地古近系厚度一般在 600~900 m，虎林县的迎南盆地古近系总厚度可达 1 800 m<sup>[102]</sup>。在黑龙江依兰早始新世—早渐新世植物种类含有较多常绿阔叶成分，属北亚热带和暖温带的常绿阔叶、落叶阔叶、针阔叶混生林，其古气候年平均温度为 11~13.2℃，年温差为 20~25℃<sup>[103]</sup>，和古近纪期间中国的西北部同属一个纬向气候带<sup>[104]</sup>，由于气候潮湿上述盆地发育着巨厚的暗色含煤、油页岩和含油气的砂泥岩沉积，古近纪华北平原伸展率达 15%<sup>[5]</sup>，相同岩石圈减薄背景下的东北地区推断也应该在 10%~15%。当时的大兴安岭并不高，其西部包括海拉尔盆地在内，从锡林郭勒盟的东乌珠穆沁旗、二连

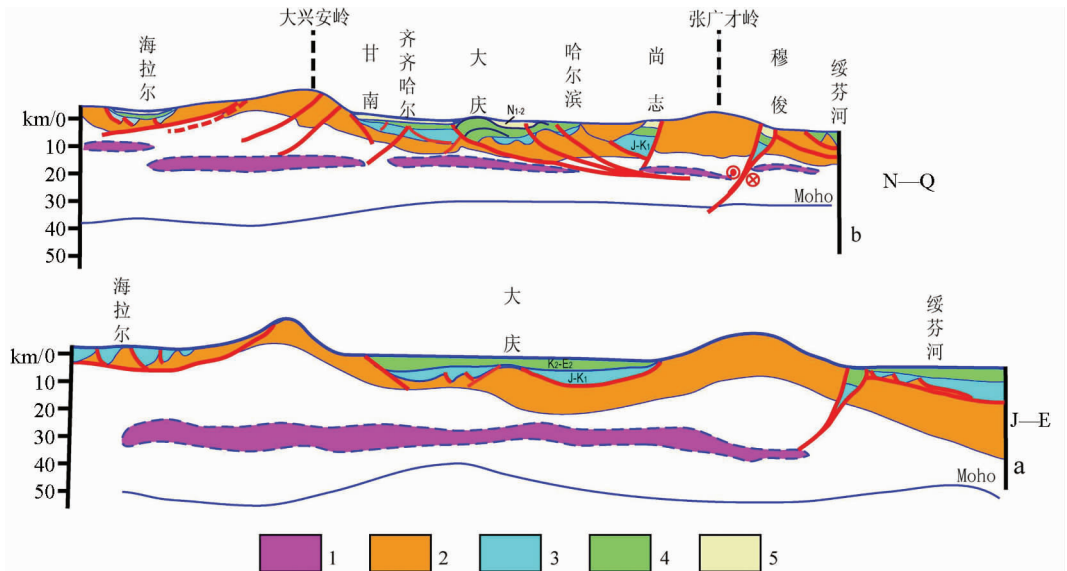


图 2 满—绥地学断面发展轮廓解释剖面

1—壳内低速层;2—古生界—三叠系;3—侏罗系—下白垩统;4—上白垩统—渐新统;5—中新统—更新统

Fig.2 Interpretation sections of the Manzhouli-Suifenhe geoscience transect

1-Intracrustal low-velocity layer; 2-Paleozoic-Triassic; 3-Jurassic-Lower Cretaceous;

4-Upper Cretaceous-Oligocene; 5-Miocene-Pleistocene



浩特到阿拉善盟广大内蒙古地区古近纪地层发育完全,以一套棕红夹灰绿色细碎屑岩的湖相沉积为主,含犀牛等哺乳类化石,总厚度为200~300 m<sup>[10]</sup>,很可能也是一个连通的泛盆地。上述泛盆地与温湿气候带的出现,都离不开晚白垩世—古新世由于泛大陆(Pangaea)裂解引起的全球海平面上升、火山爆发、温室效应、缺氧事件等重大突变的宏观背景。

根据夏威夷—皇帝海岭拐点的同位素年龄43~36 Ma<sup>[105-107]</sup>,结合洋底磁条带资料,从始新世中期太平洋板块运动方向由NNW转向NW,其运移速度9~10 cm/a<sup>[100]</sup>,东北亚首当其冲,除东部陆缘带锡霍特—阿林东缘、日本四万十的高千穗运动和台湾东缘38~33 Ma埔里运动形成的玉里—寿丰构造混杂变质带以外,东北亚地区普遍受到了SEE—

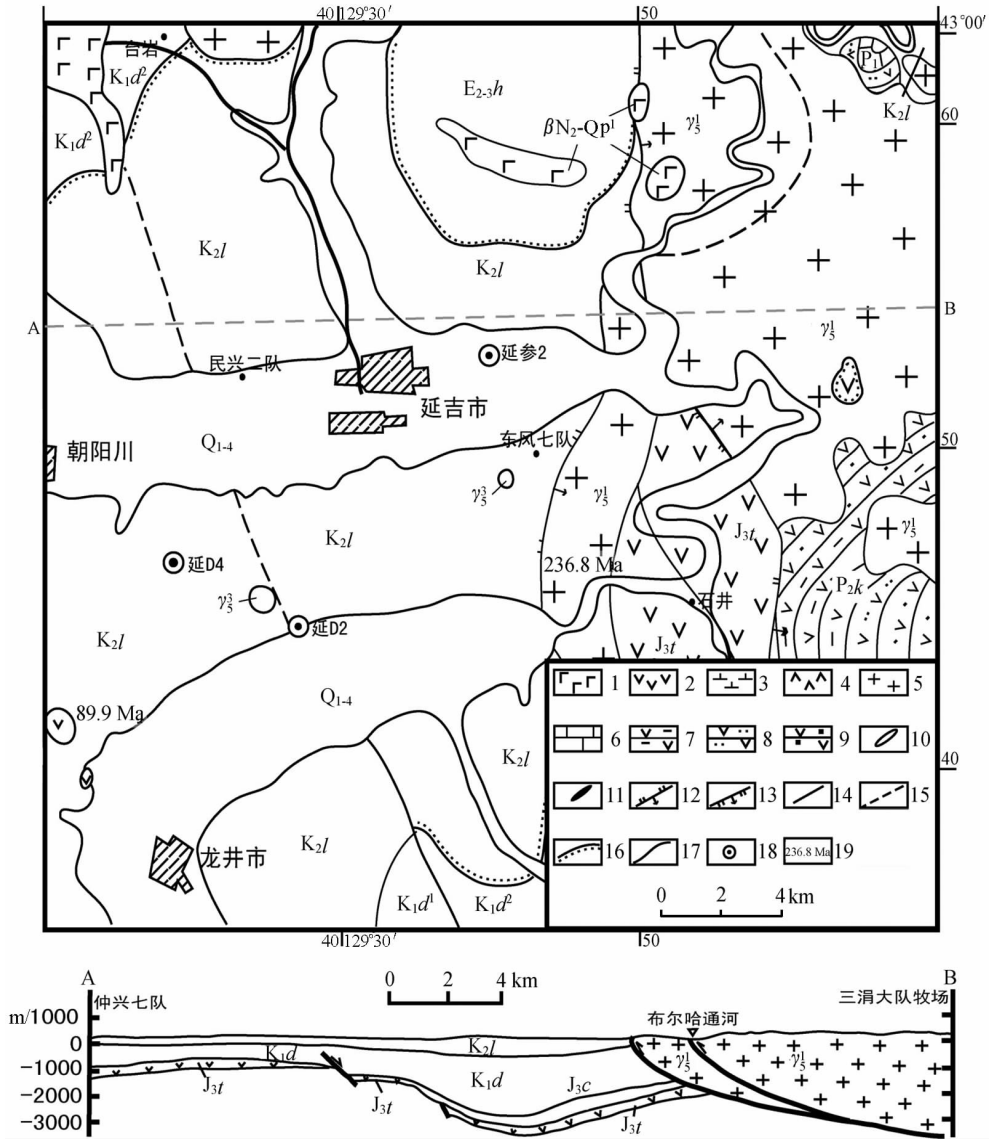


图3 延吉盆地东部地质构造与剖面图

Q—第四系;E<sub>2-3h</sub>—始—渐新统珲春组;K<sub>2l</sub>—上白垩统龙井组;K<sub>1d1-2</sub>—下白垩统大砬子组上、下段;J<sub>3t</sub>—上侏罗统屯田营组;P<sub>2k</sub>—上二叠统开山屯组;P<sub>1h</sub>—下二叠统辉岭组;γ<sub>3</sub>—燕山期;βN<sub>2</sub>-Qp<sup>1</sup>—上新世—早更新世;1—玄武岩;2—安山岩;3—闪长岩;4—二辉橄榄岩;5—花岗岩;6—结晶灰岩;7—凝灰质板岩;8—凝灰质砂岩;9—凝灰质砾岩;10—向斜轴;11—背斜轴;12—逆断层;13—正断层;14—断层;15—推测断层;16—不整合界线;17—地质界线;18—钻孔编号;19—同位素年龄

Fig.3 Geological structure map and section of the eastern Yanji basin

Q—Quaternary;E<sub>2-3h</sub>—Eocene-Oligocene Huichun Formation;K<sub>2l</sub>—Upper Cretaceous Longjing Formation;K<sub>1d1-2</sub>—Upper and Lower members of the Lower Cretaceous Dalazi Formation; J<sub>3t</sub>—Upper Jurassic Tuntianying Formation;P<sub>2k</sub>—Upper Permian Kaishantun Formation;P<sub>1h</sub>—Lower Permian Huiling Formation; γ<sub>3</sub>—Yanshanian; βN<sub>2</sub>-Qp<sup>1</sup>—Pliocene-early Pleistocene; 1—Basalt; 2—Andesite; 3—Diorite; 4—Lherzolite; 5—Granite; 6—Crystalline limestone; 7—Tuffaceous slate; 8—Tuffaceous sandstone; 9—Tuffaceous conglomerate; 10—Synclinal axis; 11—Anticlinal axis; 12—Reversed fault; 13—Normal fault; 14—Fault; 15—Inferred fault; 16—Unconformity; 17—Geological boundary; 18—No. of drill hole; 19—Isotopic age

NWW 向挤压变形的影响,松辽盆地东部自东向西的叠瓦状逆冲推覆构造,包括大庆萨尔图西陡东缓的背斜构造等都应该形成在此期,根据满洲里—绥芬河地学断面成果,许多逆冲推覆断裂都收敛于 15~25 km 深处的壳内低速层(图 2-b),近年在张广才岭以西佳木斯—伊通断裂发现的逆冲推覆构造<sup>[108]</sup>和笔者上世纪 90 年代初在延吉盆地东缘发现的逆冲推覆构造使印支期花岗岩(236.8 Ma)逆冲到始—渐新世地层珲春组之上(图 3),以及在辽河、胜利油田东部华北运动所形成的逆冲推覆构造<sup>[109]</sup>均属此列。该期来自 SEE 向的挤压构造事件造就了我国东北地区 NNE 向的挤压型盆—山结构,即大兴安岭、松辽盆地和张广才岭—古长白山。郯庐断裂北延的佳(木斯)—依(兰)和敦(化)—密(山)断裂带地堑断陷表层都成为逆冲推覆构造的前缘边界断裂,使古长白山、张广才岭推覆隆升,以至东北东部包括朝鲜半岛,始新世晚期—渐新世以隆升为主,根据近年大兴安岭与松辽盆地磷灰石裂变径迹的反演研究,大兴安岭在 40.4~31.8 Ma 的冷却过程是降温 19.28℃,降温速率 2.24℃/Ma,而松辽盆地在 36.18~23.61 Ma 升温 9.44℃,升温速率 0.75℃/Ma,反映了山体慢速抬升和盆地慢速沉降到抬升的过程<sup>[109]</sup>。张广才岭以东古近纪的泛盆地被侵蚀肢解为相互分隔的小盆地,以及随之而来的挤压后松弛引发的伸展—夷平作用使本区在古近纪后期大面积准平原化,目前大兴安岭中心部位海拔 700~1 000 m 以上所存在的兴安期夷平面有巨厚的风化壳<sup>[110]</sup>,应该就是古近纪末夷平作用的产物,以致中新世早期当敦(化)—密(山)、佳(木斯)—依(兰)断裂和大兴安岭断裂裂隙式玄武岩火山喷发时,在黑龙江大兴安岭与吉林长白山地区形成了广泛的溢流玄武岩平台。黑龙江、吉林出现在古近纪隆起边缘断陷盆地中的许多重、贵金属砂矿床也多半形成在此期。

(3) 新近纪东北亚南区地壳—岩石圈进一步减薄,大陆裂谷扩展为东亚—西太平洋裂谷带,日本海打开,西太平洋岛弧形成,早更新世末初步形成阶梯状地形,控制着地热与水系分布的现今地貌格架到晚更新世以后才出现。

新近纪由于印度洋、北冰洋洋脊的扩张印度板块与亚洲大陆的持续碰撞,南北大陆汇聚的宏观背景并未改变,但是由于挤压中心位于西部,促使青藏高原初次隆升<sup>[104]</sup>地壳—岩石圈增厚而上地幔软流层向东蠕散,中国东部由于上地幔软流圈的底侵作用使地壳—岩石圈减薄,东北亚南区新近纪的一个重要事件是古近纪以来的大陆裂谷向东扩展,形成东亚—西太平洋裂谷带,致使 15~5 Ma 日本海打开和西太平洋岛弧的形成。而东北亚南区大陆新近纪:岩浆活动的最大特色是碱性橄榄玄武岩的大规模喷发,从中—上新世的裂隙性喷发到第四纪的中心式喷发,前者在古近纪:末剥蚀夷平而成的准平原面上形成大面积的玄武岩溢流平台和岩被,现今成为高台玄武岩,如绵延千里的老爷岭山脊覆盖的玄武岩(10~8.9 Ma)面积达 1 万 km<sup>2</sup>,跨越中朝两国上新世玄武岩喷发形成的“盖马高原”熔岩台地面积达 1.5 万 km<sup>2</sup><sup>[111]</sup>(图 4),具有典型意义的河北围场中新世汉诺坝玄武岩(10~6 Ma)和大

兴安岭西侧上新世—早更新世喷发的达里诺尔火山群(11~6 Ma)、锡林郭勒玄武岩和乌盟东南的察哈尔玄武岩平台<sup>[112]</sup>,它们以碱性橄榄玄武岩和橄榄拉斑玄武岩为主,岩石地球化学特征说明岩浆来自深部软流圈或新生的岩石圈地幔,亦称“大陆裂谷型地幔”,为亏损型的软流圈地幔, $\epsilon_{(Nd)}$ 值高,几乎均为正值,层圈相互作用转变为软流圈—岩石圈地幔之间的作用,导源的岩浆大致沿 NWW 和 NNE 向的大型断裂带分布<sup>[72,97,98,113]</sup>。池际尚等<sup>[115]</sup>、路凤香等<sup>[114]</sup>根据辽宁复县和山东蒙阴中奥陶世晚期 457~462 Ma 侵位的金伯利岩及钾镁煌斑岩,通过对其中地幔捕虏体的计算,中朝板块古生代时期的岩石圈厚度为 200 km,属于低地温的“克拉通型岩石圈”,新近纪以来转变为新生代时期的 60~100 km 厚度、高地温的“大洋型岩石圈”<sup>[116]</sup>,近年来深反射地震数据表明东北地区新生代以来岩石圈的厚度也在 60~100 km<sup>[116]</sup>。本区上地壳对深部岩石圈减薄的构造响应是中—上新世到早更新世深切岩石圈地幔的 NNE 向大型断裂,如大兴安岭东侧的嫩江断裂、张广才岭西侧的佳(木斯)—依(兰)断裂、那丹哈达岭—长白山西侧敦(化)—密(山)断裂的正断层与地堑型断陷活动以及幔源玄武岩喷发。大规模的伸展作用使大兴安岭、张广才岭、那丹哈达岭—长白山掀斜抬升、伸展造山,松辽—下辽河盆地因裂谷作用而陷落,根据满洲里—绥芬河地学断面深反射地震的成果,大庆—哈尔滨莫霍面埋深为 29~30 km,岩石圈厚度 60~70 km,而大兴安岭西侧莫霍面埋深 40 km,岩石圈厚度约 120 km<sup>[116]</sup>,说明松辽盆地裂谷拗陷幅度最大的部位对应着莫霍面的上隆区(图 3-b),又一次形成了 NNE 向伸展型盆—山地貌的格架。近年磷灰石裂变径迹的反演研究表明,大兴安岭在 27.4~17.91 Ma 期间降温 28.68℃,降温速率 3.02℃/Ma; 11.72~4.45 Ma,降温 25.14℃,降温速率 3.46℃/Ma 山体冷却过程反映在中—上新世的快速隆升;而松辽盆地在 23.61~18.14 Ma,升温 7.04℃,升温速率 1.29℃/Ma; 12.01~5.83 Ma,升温 33.22℃,升温速率 5.38℃/Ma 反映盆地在中新世的快速沉降<sup>[109]</sup>。由于嫩江断裂的影响盆地沉降中心西移,松辽盆地成为西陷东扬的箕状盆地,并以双辽—大安—安达—孙吴深断裂为沉降中心轴,从晚白垩世到中—上新世一直成为中央拗陷或大湖盆地的主轴,而且这种盆地的构造面貌一直延续到中更新世的中晚期<sup>[117]</sup>,现今松辽盆地和敦(化)—密(山)、佳(木斯)—依(兰)断裂的地热、温泉分布(图 4)应该是上述裂谷盆地与断陷的表征。而由嫩江断裂引起掀斜抬升、伸展造山的大兴安岭,中新世晚期—上新世和上新世晚期—早更新世早期经历了两次大的剥蚀夷平,前者形成了“蒙古剥蚀面”,至今保留在大兴安岭东麓海拔为 1 000~1 200 m 的低山浑圆山顶和阴山北麓低山丘陵的顶部;后者则构成了蒙古高原的高原面,即现代分布最广泛、保存最完整的“戈壁剥蚀面”,大兴安岭东麓则保存在海拔 500~600 m 的高度<sup>[112]</sup>。早更新世末随着青藏高原的快速隆升<sup>[104,118]</sup>,整个蒙古高原以大兴安岭东麓的嫩江断裂和阴山、大青山南麓断裂为界也发生了掀斜隆升,使阴山古近纪夷平面抬高了 1 600~1 800 m,中



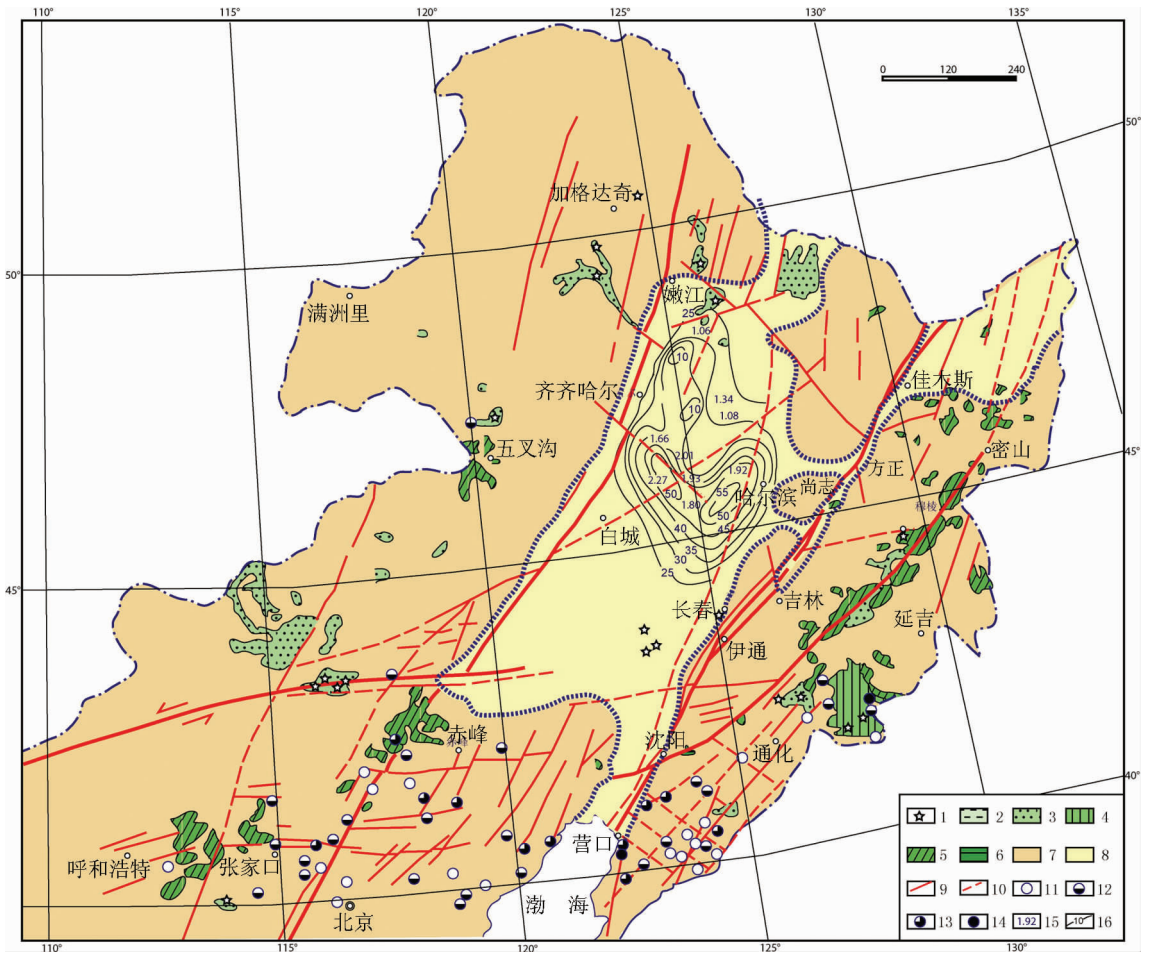


图4 华北—东北地区地热、温泉、火山、玄武岩分布略图(据王锡魁,1999 改编)

- 1—火山口;2—中更新世至全新世粗面岩、碱流岩、浮岩;3—更新世玄武岩;4—上新世玄武岩;5—中新世玄武岩;6—古近纪玄武岩;
- 7—山脉、丘陵;8—平原、湿地;9—大型、中型断裂;10—物探推断隐伏断裂;11—25~40℃温泉;12—40~50℃温泉;
- 13—60~80℃温泉;14—80~100℃温泉 15—热流值(HFU);16—地热梯度(℃/km)

Fig.4 Distribution of geotherms, springs, volcanoes and basalts in North China and Northeast China

- 1—Crater;2—Middle Pleistocene-Holocene trachyte, pantellerite and pumice;3—Pleistocene basalt; 4—Pliocene basalt;5—Miocene basalt;
- 6—Palaeogene basalt;7—Mountains and hills;8—Plain and wetland;9—Large and medium-sized fault;10—Inferred hidden fault;
- 11—25~40°C hot spring;12—40~50°C hot spring;13— 60~80°C hot spring;14—80~100°C hot spring;15—Heat flux (HFU);16—Geothermal gradient (°C/km)

更新世大兴安岭发育了“大姑冰期”的山岳冰川,阴山较高处出现永冻现象<sup>[112]</sup>,是否形成了上新世—早更新世蒙古高原顶部的冰原面?值得思考,因为早更新世早期在大兴安岭山前斜坡带堆积了冰水沉积物和古老的冰水洪积扇<sup>[119]</sup>。长白山地区亦继续上隆,现今海拔1 800~2 400 m的高夷平面的雪融地貌<sup>[120]</sup>是早更新世末形成的?还是晚更新世“玉山冰期”形成的?依然是一个尚未解决的问题。大兴安岭与张广才岭东部山地之间的松辽盆地西部依旧保持了统一大湖盆地的面貌。然而,中更新世末—晚更新世初,在松嫩平原南部的通榆、长岭一带发生了小幅度的EW向隆起,形成分水岭,使西辽河脱离松嫩水系,向南流向辽河平原,从辽东湾进入渤海<sup>[117,121]</sup>,以至辽河水系与松嫩水系分离,奠定了松辽平原现代水系的格局。联系到燕山地区北京西山顶部夷平面保存着晚更新世

的河床相砂砾石沉积,标志居庸关以北的深切河曲在晚更新世之后才形成,说明近东西走向的燕山山脉最新的隆升发生在晚更新世之后,因而分隔了辽河与黄—渤海水系。因此东北亚南区现今的阶梯状地貌应该经历了早更新世末和晚更新世的晚喜马拉雅运动后才最终定型。

从更广阔的时空范围来看,早更新世晚期(0.9~0.8 Ma)青藏高原的快速隆升,影响到中国西北挤压型盆—山地貌的形成以及蒙古高原、山—陕黄土高原和云贵高原的形成<sup>[104]</sup>。大兴安岭—太行山—武陵山的地形阶梯带和与之相对应的重力梯度带实际上也应该是早更新世晚期(0.9~0.8 Ma)才形成的,因为古黄河在三门峡的贯通,长江在三峡的贯通都发生在早更新世末<sup>[122]</sup>,同样,中国东部松辽—下辽河—渤海—河淮盆地所构成的NNE向裂谷沉降带,最终成型也应该在这

个时期。而中国东部地形地貌,包括分隔主要水系的近东西向分水岭最终形成时期则应该在中更新世晚期—晚更新世之后,如闵隆瑞<sup>[23]</sup>所称的“中国北方的末次造貌运动”,除前述松辽分水岭、燕山山脉以外,还包括山东半岛北部的招远—栖霞—文登分水岭<sup>[24]</sup>、黄河与淮河水系的秦岭—伏牛山、淮河与长江水系的大洪山—大别山、长江与珠江水系的南岭以及台湾岛中部的玉山—秀姑峦山等分水岭。笔者2000年赴台湾成功大学讲学期间在考察台东大纵谷时发现,近东西向展布的玉山—秀姑峦山的隆升使其以北的台东大纵谷中花莲溪水由南向北从花莲流入东海,而使其南侧向北流的秀姑峦溪在瑞穗折返向东南从大港口入东海,表明玉山—秀姑峦山隆升得很晚。上述近东西向展布的分水岭提示晚更新世期间和期后仍然存在着近南北向的区域性挤压,也就是印度洋、北冰洋洋脊的扩张所引发东亚大陆南北向大陆汇聚的宏观背景一直延续到现今,这个背景既控制了中国东部近东西向展布的水系分水岭,也制约了北北向裂谷带和深大断裂对地热异常的控制。

本文编写过程中邵济安、路凤香、张梅生、孙晓猛、刘正宏等教授,赵越研究员热情提供论著、文章和资料,路凤香教授、闵隆瑞研究员审阅初稿并提出宝贵意见,袁四化博士协助编图,任收麦副研究员协助校阅全稿,在此一并感谢。

#### 参考文献 (References):

- [1] 黄宗理, 张良弼. 地球科学大辞典[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 789.  
Huang Zhongli, Zhang, Lianbi. A Dictionary of Earth Sciences[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 789 (in Chinese with English abstract).
- [2] Brian, Windley. The Evolving Continents (3rd Edition) [J]. 1995: 157-167.
- [3] 马文璞, 陆松年, 王国胜. 日本在亚洲前沿的构造定位及其对中国东部区域构造的含义[J]. 地质通报, 2003, 22(3): 192-199.  
Ma Wenpu, Lu Songnian, Wang Guosheng. Tectonic positioning of the Islands of Japan in the Mesozoic Asian frontier and its relation to the regional geology of eastern China [J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22(3): 192-199 (in Chinese with English abstract).
- [4] 蔡学林, 朱介寿, 曹家敏, 等. 东亚太平洋巨型裂谷体系岩石圈与软流圈结构及动力学[J]. 中国地质, 2002, 29(3): 234-245.  
Cai Xuelin, Zhu Jieshou, Cao Jiamin, et al. Structure and dynamics of lithosphere and asthenosphere in the gigantic East Asian-West Pacific rift system [J]. Geology in China, 2002, 29 (3): 234-245 (in Chinese with English abstract).
- [5] 池际尚. 中国东部新生代玄武岩及上地幔研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988: 1-216.  
Chi Jishang. The study of Cenozoic Basalts and Upper Mantle Beneath Eastern China [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1988: 1-216 (in Chinese with English abstract).
- [6] 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 中国大陆根—柱构造——大陆动力学的钥匙[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 59-80.  
Deng Jifu, Zhao Hailing, Mo Xuanxue, et al. Continental Roots—Plume Tectonics of China—Key to the Continental Dynamics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 59-80 (in Chinese with English abstract).
- [7] 陈发景, 赵海玲, 陈昭年. 中国东部中生代伸展盆地构造特征及地球动力学背景 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1996, 21(4): 257-365.  
Chen Fajing, Zhao Hailing, Chen Zhaonian. Tectonic characteristics and geodynamic settings of Meso-Cenozoic extensional basins in eastern China [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1996, 21 (4): 257-365 (in Chinese with English abstract).
- [8] 吴福元, 孙德有, 张广良, 等. 论燕山运动的深部地球动力学本质 [J]. 高校地质学报, 2000, 6(3): 379-388.  
Wu Fuyuan, Sun Deyou, Zhang Guangliang, et al. Deep geodynamics of Yanshan Movement [J]. Geological Journal of China University, 2000, 6(3): 379-388 (in Chinese with English abstract).
- [9] 吴福元, 葛文春, 孙德有, 等. 中国东部岩石圈减薄研究中的几个问题 [J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 51-60.  
Wu Fuyuan, Ge Wenchun, Sun Deyou, et al. Discussions on the lithospheric thinning in eastern China [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(3): 51-60 (in Chinese with English abstract).
- [10] 朱勤文, 路凤香, 谢意红, 等. 大陆边缘扩张型火山岩组合——松辽盆地周边中生代火山岩研究 [J]. 岩石学报, 1997, 13(4): 551-562.  
Zhu Qinwen, Lu Fengxiang, Xie Yihong, et al. Volcanic rock assemblages in active belt of spreading type in continental margin: study on Mesozoic volcanic rocks around Songliao Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 1997, 13(4): 551-562 (in Chinese with English abstract).
- [11] 邵济安, 刘福田, 陈辉, 等. 大兴安岭—燕山晚中生代岩浆活动与俯冲作用关系 [J]. 地质学报, 2001, 75(1): 56-63.  
Shao Jian, Liu Futian, Chen Hui, et al. Relationship between Mesozoic Magmatism and subduction in Da Hinggan-Yanshan Area [J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75(1): 56-63 (in Chinese with English abstract).
- [12] 周新华. 中国东部中、新生代岩石圈转型与减薄研究若干问题 [J]. 地学前缘, 2006, 13(2): 50-64.  
Zhou Xinhua. Major transformation and thinning of subcontinental lithosphere beneath eastern China in the Cenozoic-Mesozoic: review and prospect [J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(2): 50-64 (in Chinese with English abstract).
- [13] 路凤香, 郑建平, 侯青叶, 等. 中国东部壳—幔、岩石圈—软流圈之间的相互作用带: 特征及转换时限 [J]. 中国地质, 2006, 33(4): 773-781.  
Lu Fengxiang, Zheng Jianping, Hou Qingye, et al. Zones of crust-mantle and lithosphere-asthenosphere interaction in eastern China: Characteristics and timing of transformation [J]. Geology in China, 2006, 33(4): 773-781 (in Chinese with English abstract).
- [14] 邵济安, 李之彤, 张履桥. 辽西及邻区中—新生代火山岩的时空对称分布及其启示 [J]. 地质科学, 2004, 33(2): 98-106.

- Shao Ji'an, Li Zhitong, Zhang Lüqiao. Symmetric spatiotemporal distribution of the Meso-Cenozoic volcanic rocks in west Liaoning and environs and its implications [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 33(2):98-106(in Chinese with English abstract).
- [15] 朱介寿, 蔡学林, 曹家敏, 等. 中国及相邻区域岩石圈结构及动力学意义[J]. 中国地质, 2006, 33(4):793-803.  
Zhu Jieshou, Cai Xuelin, Cao Jiamin, et al. Lithospheric structure and geodynamics in China and its adjacent areas [J]. Geology in China, 2006, 33(4):793-803(in Chinese with English abstract).
- [16] Khanchuk. Pre-Neogene tectonics of the Sea-of-Japan region: A view from the Russian side [J]. Earth Science Frontiers, Chikyū Kagaku 2001, (55):275-291.
- [17] 李春昱. 对亚洲地质构造发展的新认识[M]. 北京:地质出版社, 1981:1-21.  
Li Chunyue. New Ideas of the Tectonic Development of Asia[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1981:1-21(in Chinese).
- [18] 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明[M]. 北京:地质出版社, 1997:9-18.  
Ren Jishun, Wang Zuoxun, Chen Bingwei, et al. Tectonics of China as Viewed over the Globe—Brief Explanatory Notes on the Tectonic Map of China and Adjacent Regions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997:9-18(in Chinese).
- [19] 郝天珧, Manchel S, 刘建华, 等. 黄海深部结构与中朝-扬子块体结合带在海区位置的地球物理研究 [J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 51-61.  
Hao Tianyao, Manchel S, Liu Jianhua, et al. Deep structure and boundary belt position between Sino-Korean and Yangtze blocks in Yellow Sea [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3):51-61(in Chinese with English abstract).
- [20] Zhao G C, Cao L, Wilde S A, et al. Implications based on the first SHRIMP U-Pb zircon dating on Precambrian granitoid rocks in North Korea [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2006, (251): 365-379.
- [21] 李河荣. 韩国的古生物学[M]. 汉城:民音出版社, 1987:1-434.  
Li Herang. Palaeontology of Korea[M]. Minumsa, Seoul 1987:1-434.
- [22] 小林贞一. 兼二浦灰岩砾石是志留纪沉积物吗? [J]. 地学杂志, 1935:47(558):362-366.  
Kobayashi T. Is the Kenjiho limestone conglomerate a Gotlandian deposit?[J]. Geology, 1935, 47(558):362-366(in Chinese).
- [23] 郑昌熙. 韩国下古生界层序和沉积环境[J]. 韩国科学院会志(自然科学版), 1979, 18(5):123-169.  
Cheong C H, Lee H Y, Ko I S, et al. A study on stratigraphy and sedimentological environments of the lower Paleozoic sequences in South Korea (chiefly in Jeongseon area)[J]. Journal of the National Academy of Sciences, Republic of Korea, Natural Sciences Series, 1979, 18(5):123-169(in Chinese with English abstract).
- [24] 安太庠, 马文璞. 中朝地台的中奥陶统-下石炭统及其古地理和构造含义[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1993, 18(6):777-791.  
An Taixiang, Ma wenpu. Middle Ordovician-lower Carboniferous of Sino-Korean platform and its paleogeography and structural significance [J]. Earth Science -Journal of China University of Geoscience, 1993, 18(6):777-791(in Chinese with English abstract).
- [25] Ichikawa K, Mizutani S, Hada I, et al. Pre-Cretaceous Terranes of Japan[M]. Osaka City University, Publication of IGCP Project 224, 1990:413.
- [26] Kunugiza K, Tsujimori T, Kano T. Evolution of the Hida and Hida Marginal Belts [C]//ISAGA field workshop (FW-A) 2001: 75-131.
- [27] Kiyotaka, Chinzei. Late Cenozoic zoogeography of the Sea of Japan area[J]. Episodes 1991, 14(3):231-235.
- [28] Otofujii. Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan[J]. Earth Planet. Sci Lett, 1983,(62):349-359.
- [29] 段吉业, 安素兰. 吉林中部中-上志留统三叶虫动物群 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 36:1-9.  
Duan Jiye, An Sulan. Silurian Trilobites from Central Jilin Province, China [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004, 36: 1-9(in Chinese with English abstract).
- [30] Jiang B M, Wu F Y, Chen B. Massive granitoid generation in Central Asia: Nd isotopic evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic[J]. Episodes, 2000, 23(2):82-92.
- [31] 张兴洲, 杨宝俊, 吴福元, 等. 中国兴蒙-吉黑地区岩石圈结构基本特征[J]. 中国地质, 2006, 33(4):816-823.  
Zhang Xingzhou, Yang Baojun, Wu Fuyuan, et al. The lithosphere structure in the Hingmong -Jihe (Hinggan -Mongolia -Jilin -Heilongjiang) region, northeastern China [J]. Geology in China, 2006, 33(4):816-823(in Chinese with English abstract).
- [32] Zonenshain M, Kuzmin, Natapov. Geology of the USSR: A Plate-Tectonic Synthesis[J]. AGU Geodynamics Series, 1990:21.
- [33] 叶茂, 张世红, 吴福元. 中国满洲里-绥芬河地学断面域古生代构造单元及其地质演化 [J]. 长春地质学院学报, 1994, 24(3): 241-245.  
Ye Mao, Zhang Shihong, Wu Fuyuan. The classification of the Paleozoic tectonic units in the area crossed by M-S GGT [J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 1994, 24(3): 241-245(in Chinese with English abstract).
- [34] 党延松, 李德荣. 关于佳木斯地块前寒武纪同位素地质年代问题的讨论[J]. 长春地质学院学报, 1993, 23(3):312-318.  
Dang Yansong, Li Derong. Discussion on isotopic geochronology of precambrian Jiamusi block [J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 1993, 23(3):312-318 (in Chinese with English abstract).
- [35] Dorsett-Bain H, Wilde S, 刘静兰. 中国东北部一次泛非洲麻粒岩相事件—黑龙江省柳木麻山群 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定[J]. 黑龙江地质, 1996, 7(3):19-21.  
Dorsett-Bain H, Wilde S, Liu Jinglan. A Pan-African Granulite facies event in northeastern China: SHRIMP U-Pb zircon dating of the Mashan group at Liu Mao, Heilongjiang Province [J]. Heilongjiang Geology, 1996, 7(3):19-21 (in Chinese with English abstract).
- [36] Wilde S A, Dorsett-Bain H L, Liu L. J. The Identification of a



- Late Pan-African Granulite Facies Event in Northeastern China: SHRIMP U-Pb Zircon Dating of the Mashan Group at Liu Mao, Heilongjiang Province, China [M]. Amsterdam: VSP International Science Publishers, 1997: 59-74.
- [37] Wilde S A, Wu F Y, Zhang X. Late Pan-African magmatism in northeastern China: SHRIMP U-Pb zircon evidence from granitoids in the Jiamusi Massif [J]. Science and Direct Precambrian Research, 2003, (122): 311-327.
- [38] 詹立培, 邵济安. 延吉地区与冈瓦纳特提斯早二叠世生物群的对比 [M]. 北京: 地震出版社, 1993: 133-137.
- Zhan Lipai, Shao Ji'an. Comparison of the Early Permian Biota in Yanji Area with the Accreting Gondwana Tethys [M]. Beijing: Seismological Press, 1993: 133-137.
- [39] 段吉业, 安素兰. 黑龙江伊春早寒武世西伯利亚型动物群 [J]. 古生物学报, 2001, 40(3): 362-370.
- Duan Jiye, An Sulan. Early Cambrian Siberian fauna from Yichun of Heilongjiang Province [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2001, 40 (3): 362-370(in Chinese with English abstract).
- [40] John W, Rogers A. History of continents in the past three billion years [J]. J. Geology, 1996, (104): 91-108.
- [41] Sakakibara, Ofuka H, Kimura G. Metamorphic evolution of the Susunai metabasites in southern Sakhalin, Russian Republic [J]. J. metamorphic Geol, 1997, (15): 565-580.
- [42] Seno T, Sakurai T. Can the Okhotsk plate be discriminated from the North American plate? [J]. JGR, 1996, 5(11): 305-315.
- [43] Kojima T, Kametaka. Jurassic accretionary complex in E.Asia. Mem. [J]. Geol. Soc. Japan, 2000, (55): 61-72.
- [44] Scotese. Continental Drift (Edition 6) [M]. Arlington: University of Texas at Arlington, 1994.
- [45] 孙德有, 吴福元, 张艳斌, 等. 西拉木伦河-长春-延吉板块缝合带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩体的证据 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(2): 174-181.
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Zhang Yanbin, et al. The final closing time of the west Lamulun River- Changchun-Yanji plate suture zone: evidence from the Dayushan granitic pluton, Jilin Province [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004, 34 (2): 174-181(in Chinese with English abstract).
- [46] 路孝平, 吴福元, 赵成弼, 等. 通化地区印支期花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其与大别-苏鲁超高压带碰撞造山作用之间的关系 [J]. 科学通报, 2003, 48(8): 843-849.
- Lu Xiaoping, Wu Fuyuan, Zhao Chengbi, et al. Zircon U-Pb ages of Indosinian granites in the Tonghua area and their relation to collisional orogeny of the Dabie-Sulu UHP belt [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(8): 843-849(in Chinese).
- [47] 孙德有, 吴福元, 高山, 等. 吉林中部晚三叠世和早侏罗世两期铝质 A 型花岗岩的厘定及对吉黑东部构造格局的制约 [J]. 地学前缘, 2005, 12(2): 263-275.
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Gao Shan, et al. Confirmation of two episodes of A-type granite emplacement during Late Triassic and Early Jurassic in the central Jilin Province, and their constraints on the structural pattern of Eastern Jilin-Heilongjiang area, China [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12 (2): 263-275 (in Chinese with English abstract).
- [48] 孙德有, 吴福元, 林强, 等. 张广才岭燕山早期白石山岩体成因与壳幔相互作用 [J]. 岩石学报, 2001, 17(2): 227-235.
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Lin Qiang, et al. Petrogenesis and crust-mantle interaction of early Yanshan Baishishan pluton in Zhangguangcai Range [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(2): 227-235(in Chinese with English abstract).
- [49] 李曙光, 李惠民, 陈移之. 大别山-苏鲁地体超高压变质年代学—I. 锆石 U-Pb 同位素体系 [J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(3): 200-206.
- Li Shuguang, Li Huimin, Chen Yizhi. UHP metamorphic chronology of the Dabie-Sulu terrane, I. Zircon U-Pb isotope system [J]. Science in China (Series D), 1997, 27 (3): 200-206(in Chinese).
- [50] 葛肖虹. 中亚大陆一次重要的板内会聚事件 [J]. 地学前缘, 1999, 6 (4): 330.
- Ge Xiaohong. An important intraplate convergence event of the Central Asian continent [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6 (4): 330 (in Chinese with English abstract).
- [51] 郑亚东, Davis G A, 王琮, 等. 燕山带中生代主要构造事件与板块构造背景问题 [J]. 地质学报, 2000, 74(4): 289-302.
- Zheng Yadong, Davis G A, Wang Zong, et al. Major Mesozoic Tectonic Events in the Yanshan Belt and the Plate Tectonic Setting [J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74(4): 289-302(in Chinese with English abstract).
- [52] 张旗, 钱青, 王二七. 燕山中晚期的中国东部高原: 埃达克岩的启示 [J]. 地质科学, 2001, 36(2): 248-255.
- Zhang Qi, Qian Qing, Wang Erqi. A plateau in eastern China during the middle-late Yanshanian period: An inspiration from adakite [J]. Chinese Journal of Geology, 2001, 36(2): 248-255 (in Chinese with English abstract).
- [53] 王东坡, 刘招君, 刘立. 松辽盆地演化与海平面升降 [M]. 北京: 地质出版社, 1994: 92-109.
- Wang Dongpuo, Liu Zhaojun, Liu Li. The Evolution of Sangliao Basin with Sea Level Elevation and Subsidence [M]. 北京: 地质出版社, 1994: 92-109(in Chinese with English abstract).
- [54] 王东坡, 张立平, 刘立, 等. 松辽盆地白垩纪冰筏沉积的发现及其地质意义 [J]. 长春地质学院学报, 1996, 26(4): 382-387.
- Wang Dongpuo, Zhang Liping, Liuli, et al. The discovery and significance of Cretaceous ice-rafting deposits in songliao basin [J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 1996, 26 (4): 382-387(in Chinese with English abstract).
- [55] 吴根耀, 陈焕骞, 马力, 等. 中国东部燕山期高原的发育及对矿产和油气资源评价的启示 [J]. 石油实验地质, 2002, 24(1): 3-12.
- Wu Genyao, Chen Huanjiang, Ma Li, et al. Occurrence of the east China Ganshanian plateau and its inspiration to mineral and petroleum resources evaluation [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(1): 3-12(in Chinese with English abstract).

- [56] 赵越, 张拴宏, 徐刚, 等. 燕山板内变形带侏罗纪主要构造事件[J]. 地质通报, 2004, 23(9-10):854-863.  
Zhao yue, Zhang Shuanhong, Xu Gang, et al. The Jurassic major tectonic events of the Yanshanian intraplate deformation belt [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9-10):854-863(in Chinese with English abstract).
- [57] 郑亚东, Davis G A, 王琮. 内蒙古大青山逆冲推覆构造 [J]. 中国科学(D 辑), 28(4):289-295.  
Zheng Yadong, Davis G A, Wang Zong. Thrust nappe tectonics in the Daqing Mountains, Inner Mongolia [J]. Science in China (Series D), 1998, 28 (4):289-295(in Chinese).
- [58] 郑亚东, 王士政, 王玉芳. 中蒙边界区新发现的特大型推覆构造及伸展变质核杂岩[J]. 中国科学(D 辑), 1990, (12):1299-1305.  
Zheng Yadong, Wang Shizheng, Wang Yufang. Exceedingly large nappe tectonics and extensional metamorphic core complex discovered in the Sino-Mongolia border region [J]. Science in China (Series D), 1990, (12):1299-1305(in Chinese).
- [59] 刘正宏, 徐仲元, 杨振升. 大青山逆冲推覆构造形成时代的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄证据[J]. 科学通报, 2003, 48(20):2193-2197.  
Liu Zhenghong, Xu Zhongyuan, Yang Zhensheng.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age evidence for the age of formation of the Daqingshan thrust nappe tectonics [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48 (20):2193-2197 (in Chinese).
- [60] 刘正宏, 徐仲元, 杨振升. 论内蒙古大青山地区逆冲推覆构造[J]. 中国区域地质, 1999, 18 (4):366-372.  
Liu Zhenghong, Xu Zhongyuan, Yang Zhensheng. The thrusting tectonics in Daqingshan, Inner Mongolia [J]. Regional Geology of China, 1999, 18 (4):366-372(in Chinese with English abstract).
- [61] 张长厚, 张勇, 李海龙, 等. 燕山西段及北京西山晚中生代逆冲构造格局及其地质意义[J]. 地学前缘, 2006, 13(2):165-183.  
Zhang Changhou, Zhang Yong, Li Hailong, et al. Late Mesozoic thrust tectonics framework in the western part of the Yanshan orogenic belt and the Western Hills of Beijing; characteristics and significance [J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13 (2):165-183(in Chinese with English abstract).
- [62] 张长厚, 吴淦国, 徐德斌, 等. 燕山板内造山带中段中生代构造格局与构造演化[J]. 地质通报, 2004, 23(9-10):864-875.  
Zhang Changhou, Wu Ganguo, Xu Debin, et al. Mesozoic tectonic framework and evolution in the central segment of the intraplate Yanshan orogenic belt [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9-10):864-875(in Chinese with English abstract).
- [63] 张长厚, 吴淦国, 王根厚, 等. 冀东地区燕山中段北西向构造带: 构造属性及其年代学[J]. 中国科学(D 辑), 2004, 34(7):600-612.  
Zhang Changhou, Wu Ganguo, Wang Genhou, et al. Northwest-trending tectonic belt in the central segment of the Yanshan Mountains in eastern Hebei: Nature of the tectonics and its chronology [J]. Science in China (Series D), 2004, 34(7):600-612 (in Chinese).
- [64] Davis, Wang Zheng. The enigmatic Yinshan fold and thrust belt of northern China: new views on its intraplate contractional styles [J]. Geology, 1998, (26):43-46.
- [65] 朱日祥, 杨振宇, 吴汉宁, 等. 中国主要地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(增刊):1-16.  
Zhu Rixiang, Yang Zhenyu, Wu Hanning, et al. Phanerozoic paleomagnetic apparent polar wandering curve and block movement of major blocks of China [J]. Science in China (Series D), 1998, 28 (Supp.):1-16(in Chinese).
- [66] 杨振宇, 马醒华, 黄宝春, 等. 华北地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(增刊):44-56.  
Yang Zhenyu, Ma Xinghua, Huang Baochun, et al. Phanerozoic paleomagnetic apparent polar wandering curve and block movement of the North China block [J]. Science in China (Series D), 1998, 28 (Supp.):44-56(in Chinese).
- [67] 任收麦, 黄宝春. 晚古生代以来古亚洲洋构造域主要块体运动学特征初探[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(1):113-120.  
Ren Shoumai, Huang Baochun. Preliminary study on post-Late Paleozoic kinematics of the main blocks of the Paleo-Asian ocean [J]. Progress in Geophysics, 2002, 17(1):113-120(in Chinese with English abstract).
- [68] 路凤香, 郑建平, 张瑞生, 等. 地壳与弱化岩石圈地幔的相互作用—以燕山造山带为例[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2006, 31(1):1-7.  
Lu Fengxiang, Zheng Jianping, Zhang Ruisheng, et al. Interaction between the crust and weakening lithospheric mantle: Example from the Yanshan orogenic belt [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2006, 31(1):1-7(in Chinese with English abstract).
- [69] 邵济安, 张履桥, 肖庆辉, 等. 中生代大兴安岭的隆起——一种可能的陆内造山机制[J]. 岩石学报, 2005, 21(3):789-794.  
Shao Jian, Zhang Liqiao, Xiao Qinghui, et al. Rising of Da Hinggan Mts in Mesozoic: A possible mechanism of intracontinental orogeny [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(3):789-794(in Chinese with English abstract).
- [70] 邵济安, 何国琦, 张履桥. 燕山陆内造山作用的深部制约因素[J]. 地学前缘, 2005, 12(3):137-148.  
Shao Jian, He Guoqi, Zhang Liqiao, et al. Deep-seated factors controlling the intracontinental orogeny of Yanshan Mountains [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12 (3):137-148 (in Chinese with English abstract).
- [71] 李伍平, 路凤香, 李献华, 等. 北京西山髻髻山组火山岩的地球化学特征与岩浆起源[J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(2):123-133.  
Li Wuping, Lu Fengxiang, Li Xianhua, et al. Geochemical features and origin of volcanic rocks of Tiaojishan Formation in western Hills of Beijing [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2001, 20 (2):123-133(in Chinese with English abstract).
- [72] 路凤香, 郑建平, 张瑞生, 等. 华北克拉通东部显生宙地幔演化[J]. 地学前缘, 2005, 12(1):61-67.  
Lu Fengxiang, Zheng Jianpin, Zhang Ruisheng, et al. Phanerozoic mantle secular evolution beneath the eastern North China craton [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12 (1):61-67 (in Chinese with English abstract).

- English abstract).
- [73] 袁学诚, 李廷栋, 肖序常, 等. 青藏高原岩石圈三维结构及高原隆升的液压机模型[J]. 中国地质, 2006, 33(4):711-729.  
Yuan Xuecheng, Li Tingdong, Xiao Xuchang, et al. 3D lithospheric structure of the Qinghai-Tibet Plateau and hydraulic pressure machine model of the plateau uplift [J]. *Geology in China*, 2006, 33(4):711-729(in Chinese with English abstract).
- [74] 罗照华, 莫宣学, 候增谦, 等. 青藏高原新生代形成演化的整合模型——来自火成岩的约束[J]. 地学前缘, 2006, 13(4):196-211.  
Luo Zhaohua, Mo Xuanxue, Hou Zengqian, et al. An integrated model for the Cenozoic evolution of the Tibetan plateau: constraints from igneous rocks[J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(4):196-211(in Chinese with English abstract).
- [75] 赵越, 宋彪, 张拴宏, 等. 北京西山南大岭组玄武岩的继承锆石年代学及其含义[J]. 地学前缘, 2006, 13(2):184-190.  
Zhao Yue, Song Biao, Zhang Shuanhong, et al. Geochronology of the inherited zircons from Jurassic Nandaling basalt of the Western Hills of Beijing, North China; its implications [J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(2):184-190(in Chinese with English abstract).
- [76] 刘健, 赵越, 刘小明. 冀北承德盆地髻髻山组火山岩的时代[J]. 岩石学报, 2006, 22(11):2617-2630.  
Liu Jian, Zhao Yue, Liu Xiaoming. Age of volcanic rocks of the Tiaojishan Formation in the Chengde basin, northern Hebei [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(11):2617-2630(in Chinese).
- [77] 杨进辉, 吴福元, 邵济安, 等. 冀北张—宣地区后城组、张家口组火山岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2006, 31(1):71-80.  
Yang Jinhui, Wu Fuyuan, Shao Jian, et al. In-Situ U-Pb dating and Hf isotopic analyses of zircons from volcanic rocks of the Houcheng and Zhangjiakou Formations in the Zhang-Xuan Area, northern Hebei [J]. *Earth Science - Journal of China University of Geoscience*, 2006, 31(1):71-80(in Chinese with English abstract).
- [78] 徐刚, 赵越, 高锐, 等. 燕山褶皱带中生代盆地变形—板内变形过程的记录——以下板城、承德—上板城、北台盆地为例[J]. 地球学报, 2006, 27(1):1-12.  
Xu Gang, Zhao Yue, Gao Rui, et al. Mesozoic basin deformation of Yanshan folded fault belt —records of the intraplate deformation process: A case study of Xiabancheng, Chengde—Shangbancheng and Beitai Basins[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2006, 27(1):1-12(in Chinese with English abstract).
- [79] 葛肖虹. 华北板内造山带的形成史 [J]. 地质论评, 1989, 35(3):254-261.  
Ge Xiaohong. The history of formation of intraplate orogenic belts in the North China Paleoplate[J]. *Geological Review*, 1989, 35(3):254-261(in Chinese with English abstract).
- [80] 刘正宏, 徐仲元, 杨振升. 阴山中生代地壳逆冲推覆与伸展变形作用[J]. 地质通报, 2002, 21(4/5):246-250.  
Liu Zhenghong, Xu Zhongyuan, Yang Zhensheng. Mesozoic crustal overthrusting and extensional deformation in the Yinshan Mountains area [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(4/5):246-250(in Chinese with English abstract).
- [81] 李伍平, 李献华, 路凤香, 等. 辽西早白垩世义县组火山岩的地质特征及其构造背景[J]. 岩石学报, 2002, 18(2):193-204.  
Li Wuping, Li Xianhua, Lu Fengxiang, et al. Geological characteristics and its setting for volcanic rocks of early Cretaceous Yixian Formation in western Liaoning Province, eastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18(2):193-204 (in Chinese with English abstract).
- [82] 王一先, 赵振华. 巴尔哲超大型稀土铌钽矿床地球化学和成因[J]. 地球化学, 1997, 26(1):24-35.  
Wang Yixian, Zhao Zhenhua. Geochemistry and genesis of the Barzhe superlarge REE-Nb-Be-Zr deposit [J]. *Geochemistry*, 1997, 26(1):24-35(in Chinese with English abstract).
- [83] 李培忠, 于津生. 黑龙江碾子山晶洞碱性花岗岩岩体年龄及其地质意义[J]. 地球化学, 1993, 22(4):389-398.  
Li Peizhong, Yu Jinsheng. Age and geological significance of the Nianzishan miarolitic granite in Heilongjiang [J]. *Geochemistry*, 1993, 22(4):389-398(in Chinese with English abstract).
- [84] 葛文春, 强林, 李献华, 等. 大兴安岭北部伊列克得组玄武岩的地球化学特征[J]. 矿物岩石, 2000, 20(3):14-18.  
Ge Wenchun, Qianglin, Li Xianhua, et al. Geochemical characteristics of basalts of the Early Cretaceous Yi Lie Ke De Formation, North Da Hinggan Mountains [J]. *J. Mineral Petrol*, 2000, 20(3):14-18(in Chinese with English abstract).
- [85] 葛文春, 李献华, 林强, 等. 呼伦湖早白垩世碱性流纹岩的地球化学特征及其意义[J]. 地质科学, 2001, 36(2):176-183.  
Ge Wenchun, Li Xianhua, Lin Qiang, et al. Geochemistry of early Cretaceous alkaline rhyolites from Hulun Nar, Da Hinggan Mountains and its tectonic implications [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2001, 36(2):176-183(in Chinese with English abstract).
- [86] 陈先兵. 冀东马兰峪变质核杂岩控矿的初步认识[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(6):321-324.  
Chen Xianbing. Preliminary knowledge on control of Malanyu metamorphic core complex on metallization [J]. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 1999, 8(6):321-324(in Chinese with English abstract).
- [87] 秦正永. 燕山地区与变质核杂岩—伸展构造有关的金、银矿找矿远景探讨[J]. 前寒武纪研究进展, 1997, 20(2):37-43.  
Qin Zhengyong. The discussion about prospects of gold and silver ores related to metamorphic core complex—extensional tectonics in Yanshan areas [J]. *Progress in Precambrian Research*, 1997, 20(2):37-43(in Chinese with English abstract).
- [88] 张履桥, 邵济安, 郑广瑞. 内蒙古甘珠尔庙变质核杂岩 [J]. 地质科学, 1998, 33(2):140-146.  
Zhang Lüqiao, Shao Jian, Zheng Guangrui. Metamorphic core complex in Gan Zhuer Miao, Inner Mongolia [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1998, 33(2):140-146 (in Chinese with English abstract).
- [89] 马寅生, 崔盛芹, 吴淦国, 等. 医巫闾山变质核杂岩构造特征[J]. 地球学报, 1999, 20(4):385-391.



- Ma Rensheng, Chui Shengqin, Wu Ganguo, et al. The structural feature of metamorphic core complex in Yiwulüshan Mountains, West Liaoning[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1999, 20(4):385-391(in Chinese with English abstract).
- [90] 邵济安, 张履桥, 贾文, 等. 内蒙古喀喇沁变质核杂岩及其隆升机制探讨[J]. *岩石学报*, 2001, 17(2):283-290.
- Shao Ji'an, Zhang Lüqiao, Jia Wen, et al. Harkin metamorphic core complex in Inner Mongolia and its upwelling mechanism. [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17 (2):283-290 (in Chinese with English abstract).
- [91] 王涛, 郑亚东, 李天斌, 等. 中蒙边界区亚干变质核杂岩的组成与结构[J]. *地质科学*, 2002, 37 (1):79-85.
- Wang Tao, Zheng Yadong, Li Tianbin, et al. Composition and texture of the Yagan metamorphic core complex bordering China and Mongolia[J] *Chinese Journal of Geology*, 2002, 37 (1):79-85 (in Chinese with English abstract).
- [92] 王新社, 郑亚东, 张进江, 等. 呼和浩特变质核杂岩伸展运动学特征及剪切作用类型 [J]. *地质通报*, 2002, 21(4/5):238-245.
- Wang Xinshe, Zheng Yadong, Zhang Jinjiang, et al. Extensional kinematics and shear type of the Hohhot metamorphic core complex, Inner Mongolia [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(4/5):238-245(in Chinese with English abstract).
- [93] 马寅生, 崔盛芹, 吴淦国, 等. 医巫闾山变质核杂岩构造特征[M]. 北京:地震出版社, 2006.142-149.
- Ma Yinsheng, Cui Shengqin, Wu Ganguo, et al. The structural features of metamorphic core complex in Yiwülü Shan, Liaoning Province, northeastern China [M]. Beijing:Seismological Press, 2006;142-149(in Chinese).
- [94] Davis, Qian, Zheng Y, et al. The Shihetang thrust plate, a major crystalline nappe in the Yunmen mountains, Beijing, northeastern China[J]. *Geological Society of America*(abstract), Program, 1989, (21):319.
- [95] Liu Junlai, Guan Huimei, Mo J, et al. The Liaonan metamorphic core complex:constitution, structure and evolution [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(4):502-513.
- [96] 葛肖虹, 任收麦, 刘永江, 等. 中国大型走滑断裂的复位研究与油气资源战略选区预测[J]. *地质通报*, 2006, 25(9/10):1022-1027.
- Ge Xiaohong, Ren Shoumai, Liu Yongjiang, et al. Restoration of the huge strike-slip faults and related exploration target prediction of the oil and gas resources in China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(9/10):1022-1027(in Chinese with English abstract).
- [97] 路风香, 郑建平, 邵济安, 等. 华北东部中生代晚期-新生代软流圈上涌与岩石圈减薄[J]. *地学前缘*, 2006, 13(2):85-92.
- Lu Fengxiang, Zheng Jianping, Shao Jian, et al. Asthenospheric upwelling and lithospheric thinning in late Cretaceous-Cenozoic in eastern North China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(2):85-92 (in Chinese with English abstract).
- [98] 贾文, 朱慧忠, 邵济安. 内蒙古赤峰地区新生代玄武岩的时空分布[J]. *地质论评*, 2002, 48(3):267-272.
- Jia Wen, Zhu Huizhong, Shao Jian. Temporal-spatial distribution of Cenozoic basalts in Chifeng area, Inner Mongolia [J]. *Geological Review*, 2002, 48(3):267-272(in Chinese with English abstract).
- [99] 郑建平. 中国东部地幔置换作用与中生代岩石圈减薄[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1999:94-110.
- Zheng Jianping. Mesozoic -Cenozoic mantle replacement and lithospheric thinning beneath eastern China [M]. China University of Geosciences Press, 1999:94-110.
- [100] 万天丰. 中国大地构造学纲要 [M]. 北京:地质出版社, 2004:152-216.
- Wan Tianfeng. An Outline of Tectonics of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004:152-216 (in Chinese with English abstract).
- [101] 王鸿祯. 中国地质科学院, 武汉地质学院. 中国古地理图集[M]. 北京:地图出版社, 1985:121-126.
- Wang Hongzhen. Chinese Academy of Geological Sciences and Wuhan College of Geology. Atlas of the Palaeogeography of China [M]. Beijing:Cartographic Publishing House, 1985:121-126(in Chinese).
- [102] 王金山. 黑龙江省东部敦化-密山断裂带中的第三纪盆地[J]. *煤炭技术*, 2005, 24(2):96-982.
- Wang Jinshan. Tertiary Basin in the Dunhua - Mishan faults zone in east Heilongjiang Province [J]. *Coal Tecnology*, 2005, 24(2):96-98(in Chinese with English abstract).
- [103] 贺超兴, 陶君容. 黑龙江依兰早第三纪植物群的古气候分析[J]. *植物学报*, 1994, 36(12):952-956.
- He Chaoxing, Tao Junrong. Paleoclimatic analysis of Paleogene flora in YiLan county, Heilongjiang[J]. *Acta Botanica Sinica*, 1994, 36(12):952-956(in Chinese with English abstract).
- [104] 葛肖虹, 任收麦, 马立祥, 等. 青藏高原多期次隆升的环境效应[J]. *地学前缘*, 2006, 13(6):118-130.
- Ge Xiaohong, Ren shoumai, Ma Lixiang, et al. Multi-stage uplift of the Qinghai-Tibetan Plateau and its environmental effects[J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13 (6):118-130 (in Chinese with English abstract).
- [105] Stephan. Geodynamic evolution of the Taiwan-Luzon-Mindoro belt since the Late Eogene[J]. *Tectonophysics*, 1986, (125):245-268.
- [106] Maruyama, Seno. Orogeny and relative plate motion: Example of the Japanese Islands[J]. *Tectonophysics*, 1986, (127):305-329.
- [107] Condie K C. *Mantle Plumes and Their Record in Earth History*: Cambridge Univ, 2001.
- [108] 孙晓猛, 龙胜祥, 张梅生, 等. 佳木斯-伊通断裂带大型逆冲构造带的发现及形成时代讨论 [J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27 (5):638-643.
- Sun Xiaomeng, Long Shengxiang, Zhang Meisheng, et al. Discovery and discussion of formation ages of large-scale thrust tectonic zone in Jiamusi-Yitong fault zone[J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(5):638-643(in Chinese with English abstract).
- [109] 方石, 刘招君, 郭巍. 松辽盆地与大兴安岭新生代热构造耦合研究[J]. *核技术*, 2005, 28(9):717-721
- Fang Shi, Liu Zhaojun, Guo Wei. Thermal structure coupling

- research on Cenozoic in Songliao Basin and Dahinganling Mountain [J]. Nuclear Techniques, 2005, 28 (9):717-721 (in Chinese with English abstract).
- [110] 黎劲松, 霍文毅. 大兴安岭北部冰缘地貌及其形成环境初探 [J]. 地理科学, 1999, 19(6):543-548.
- Li Jinsong, Huo Wenyi. Research on the periglacial landforms in northern Da Hinggan Mountains and the forming palaeoenvironment [J]. Scientia Geographica Sinica, 1999, 19(6):543-548 (in Chinese with English abstract).
- [111] 刘嘉麒. 中国火山[M]. 北京:科学出版社, 1999:3-32.
- Liu Jiaqi. Volcanoes of China[M]. Beijing:Science Press, 1999:3-32 (in Chinese).
- [112] 乌云其木格. 内蒙古地貌的发育与特征 [J]. 阴山学刊(自然科学版), 1995, 13(1):32-50.
- Wuyunqimuge. Geomorphological development and features of Inner Mongolia [J]. Journal of the Yinshan Mountains (Natural Science Bulletin), 1995, 13(1):32-50 (in Chinese with English abstract).
- [113] 郑建平, 路凤香, 余淳梅, 等. 华北东部橄榄岩岩石化学特征及其岩石圈地幔演化意义 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2006, 31(1):49-56.
- Zheng Jianping, Lu Fengxiang, Yu Zhunmei, et al. Peridotitic petrochemistry of eastern North China: Significance for lithospheric mantle evolution [J]. Earth Science - Journal of China University of Geoscience, 2006, 31 (1):49-56 (in Chinese with English abstract).
- [114] 路凤香, 韩柱国, 郑建平. 辽宁复县地区古生代岩石圈地幔特征 [J]. 地质科技情报, 1991, 10 (增刊):2-19.
- Lu Fengxiang, Han Zhuguo, Zheng Jianping. Characteristics of the Paleozoic lithospheric mantle in Fuxian County, Liaoning [J]. Information of Geological Science and Technology, 1991, 10 (Sup.):2-19 (in Chinese).
- [115] 池际尚, 路凤香. 华北地台金伯利岩及古生代岩石圈地幔特征 [M]. 北京:科学出版社, 1996:215-274.
- Chi Jishang, Lu Fengxiang. Kimberlite of the North China Platform and Characteristics of the Paleozoic Lithospheric Mantle [M]. Beijing:Science Press, 1996:215-274 (in Chinese).
- [116] 杨宝俊, 刘财, 刘万崧, 等. 中国东北地区岩石圈结构的震学特征及对矿产资源的动力控制作用 [J]. 中国地质, 2006, 33(4):866-873.
- Yang Baojun, Liu Cai, Liu Wansong, et al. Seismological features of the lithospheric structure in Northeast China and dynamic controls on mineral resources [J]. Geology in China, 2006, 33(4):866-873 (in Chinese with English abstract).
- [117] 林年丰, 洁汤. 松嫩平原环境演变与土地盐碱化、荒漠化的成因分析 [J]. 第四纪研究, 2005, 25(4):474-483.
- Lin Nianfeng, Jie Tang. Study on the environment evolution and the analysis of causes of land salinization and desertification in Songnen plain [J]. Quaternary Sciences, 2005, 25 (4):474-483 (in Chinese with English abstract).
- [118] 葛肖虹, 任收麦, 刘永江, 等. 青藏高原末次快速隆升与“亚澳”陨击事件 [J]. 第四纪研究, 2004, 24(1):67-73.
- Ge Xiaohong, Ren shoumai, Liu Yongjiang, et al. Last rapid uplift of Qinghai -Xizang Plateau and the Austral -asian event of Meteorites [J]. Quaternary Sciences, 2004, 24(1):67-73 (in Chinese with English abstract).
- [119] 张殿发, 林年丰. 松嫩平原生态地质环境变迁构造—气候旋回机制探讨 [J]. 世界地质, 2000, 19(1):73-77.
- Zhang Dianfa, Lin Nianfeng. A Preliminary study on the neotectonism and climate cycle mechanism of environment evolvement in the Songnen Plain since the Quarternary [J]. World Geology, 2000, 19(1):73-77 (in Chinese with English abstract).
- [120] 宋长青, 崔之久, 刘耕年, 等. 长白山雪融地貌发育特征 [J]. 冰川冻土, 1995, 17(2):178-183
- Song Changqing, Cui Zhijiu, Liu Gengnina, et al. The features of nivation landforms in the Changbaishan Mts [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1995, 17 (2):178-183 (in Chinese with English abstract).
- [121] 王庆. 现代松辽分水岭的地貌结构及第四纪以来松辽分水岭的演化 [J]. 烟台师范学院学报(自然科学版), 1994, 10(2):134-139.
- Wang Qing. Geomorphologic Structure of Songliao divide and evolution of the divide in Quaternary Period [J]. Yantai Teachers University Journal (Natural Science), 1994, 10 (2):134-139 (in Chinese with English abstract).
- [122] 潘保田, 高红山, 李炳元, 等. 青藏高原层状地貌与高原隆升 [J]. 第四纪研究, 2004, 24(01):50-57.
- Pan Baotian, Gao Hongshan, Li Bingyuan, et al. Step-like landforms and uplift of the Qinghai -Xizang Plateau [J]. Quaternary Sciences, 2004, 24(01):50-57 (in Chinese with English abstract).
- [123] 闵隆瑞, 迟振卿. 中国北方末次造陆期及环境变迁 [J]. 第四纪研究, 1998, (3):256-261.
- Min Longrui, Chi Zhenqing. The last morphogene and environment changes in the Northern China [J]. Quaternary Sciences, 1998, (3):256-261 (in Chinese with English abstract).
- [124] 王庆, 王圣洁. 晚更新世以来山东半岛北部沿海地区的构造抬升速率 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18 (3):71-77.
- Wang Qing, Wang Shengjie. Uplift rates along northern Shandong peninsula since late quaternary [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1998, 18 (3):71-77 (in Chinese with English abstract).

## Mesozoic–Cenozoic tectonic framework of southern Northeast Asia

GE Xiao–hong, MA Wen–pu

(*Geosciences College, Jilin University, Changchun 130061, China;*

*China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

**Abstract:** Southern Northeast Asia covers the area where the West Pacific tectonic belt, North America or Okhotsk Plate, Central Asia orogenic belt, the Sino–Korea and the Yangtze blocks meet together. In the course of Pangaea and supercontinent assembling and disintegration this belt has experienced multiple tectonic events since the Mesozoic and has acquired a rather complicated structure. The tectonic affiliation of many middle–scaled and small scaled blocks, including that of the Korea Peninsula, have long been disputed. Based on recent obtained SHRIMP geochronologic data and palaeobiogeographic and tectonic evidences, the authors in this paper deem that the Korea Peninsula and the Hida–Oki belt of Japan might have been affiliated to the Sino–Korea Plate during the Paleozoic, Sakhalin–Hokkaido massifs, to the North America Plate, and the Bureya–Jiamusi–Khanka massifs, to Siberia Plate. Since the 80's of last century most authors have regarded the discussed area as connected with the westward subduction of the West Pacific oceanic crust under Northeast Asia since the Mesozoic. But recently more and more scholars prefer to interpret the geodynamics of crust–lithospheric thinning of Eastern Asia from continent collision and extrusion. The southern Northeast Asia belt has experienced two stages of tectonic development: consumption of the Palaeo–Asian Ocean during the late Hercynian–Indosinian epoch and convergence–collision between the southern and the northern continents during the late Yanshanian epoch (late Jurassic to early Cretaceous). It was these processes that resulted in the extension of the Central Asia orogenic belt to the Yinshan–Yanshan region at the northern edge of the Sino–Korea plate and the formation of a plateau morphology caused by crustal thickening similar to the Qinghai–Tibet Plateau today. In the late Cretaceous to Palaeogene, the crust–lithosphere thinning of this area caused the appearance of large scale extension type Basin–Range structure. In the meantime, the northward section of the Tanlu faults system underwent sinistral displacement. Along the East Asia continental margin occurred accretion, and the rotation of the Pacific plate caused compressional deformation and extensive peneplanation. Many heavy metal and noble metal placeres in the fault basins bordering Palaeogene uplifts in Heilongjiang and Jinin were formed in this period. In the Neogene the crust–lithosphere further thinned and the continental rifts developed into the East Asia–Pacific rift belt and the NNE–trending Basin–Range structure came to appear. The Sea of Japan opened, the Western Pacific island arcs appeared. The recent topographic steps of China was initiated at the end of the Early Pleistocene. But the present geomorphic frame that controls the nowadays climate and river system was not formed until post–late Pleistocene time.

**Key words:** tectonic affiliation of continental blocks; convergence of the southern and northern continents; crust–lithosphere thinning; Basin–Range structure; recent geomorphic frame.

---

**About the first author:** GE Xiao–hong, male, born in 1938, Professor and director of PhD, students, mainly engages, in the teaching and Study of regional strctres; E–mail: gxhbj2004@yahoo.com.cn.