

中国东北晚中生代—新生代盆山体系构造演化及成因探讨

王五力, 付俊彧, 杨雅军

(沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110034)

摘 要 中国东北盆山体系主要形成和发展于晚侏罗世晚期—新近纪, 经历了晚侏罗世晚期—早白垩世小盆山(盆岭)和晚白垩世—新近纪大盆山(盆山)两个阶段的构造发展过程。盆岭阶段起始于东北高原向盆岭体系转换的张家口期, 全盛于义县—九佛堂期, 萎缩于盆岭向盆山体系构造转换的沙海—阜新期, 结束于张老公屯期(东山期)。盆山阶段经历了晚白垩世早期大规模拗陷、晚白垩世晚期拗陷萎缩、古近纪大规模裂谷和新近纪后裂谷拗陷。认为太平洋板块对盆山体系形成和发展有巨大的影响, 但无论是板块、地幔柱和超级地幔柱均不太可能形成如此规模, 又具北北东向的中—新生代岩浆岩带和盆山体系, 更可能是超级地幔热、地幔柱和东亚多向板块汇聚背景下, 西太平洋板块俯冲共同作用的结果。

关键词 盆山体系 构造演化 超级地幔热 地幔柱 太平洋板块 中国东北

TECTONIC EVOLUTION AND GENESIS OF THE LATE MESOZOIC-CENOZOIC BASIN-AND-MOUNTAIN SYSTEM OF NORTHEAST CHINA

WANG Wu-li, FU Jun-yu, YANG Ya-jun

(Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang 110034, China)

Abstract : The basin-and-mountain system of Northeast China formed and developed mainly in the late stage of Late Jurassic-Neogene, involved two processes of tectonic development: the late Late Jurassic-Early Cretaceous small basin-and-mountain (basin-and-range) stage and the Late Cretaceous-Neogene big basin-and-mountain (basin-and-mountain) stage. The basin-and-range stage originated in the Zhangjiakou stage, when the Northeast Highland transformed into the basin-and-range system, developed in the Yixian-Jiufotang stage, withered in the Shapai-Fuxin stage, and finally ended in the Zhanglaogongtun stage (Dongshan stage). The basin-and-mountain stage experienced the early Late Cretaceous huge depression, the late Late Cretaceous withering of depression, the Paleogene massive rift, and finally the Neogene post-rift sag. It seems that the Pacific plate remarkably effected the formation of the basin-and-mountain system. However, neither the plate, nor mantle plume and super plume are able to form such massive and NNE-striking Mesozoic-Cenozoic magmatic belt and basin-and-mountain system. It is more possibly the result of super mantle thermal zone and mantle plume action together with West Pacific plate subduction, under the background of East Asian multi-direction plate convergence.

Key words : basin-and-mountain system; tectonic evolution; super mantle thermal zone; mantle plume; Pacific plate; Northeast China

中国东北在早中生代, 特别是中—晚侏罗世形成板内造山和东北高原^[1-4], 虽然是挤压和伸展交替出现, 但主导性的是收缩和挤压。局部地区形成收缩(挤压)型盆山构造, 但并未形成盆山体系, 与后期大

规模伸展构造背景下的盆山体系有着本质上的不同。中国东北盆山体系主要形成和发展于晚侏罗世晚期—新近纪, 经历了晚侏罗世晚期—早白垩世小盆山(下称盆岭)和晚白垩世—新近纪大盆山(下称盆山)2个阶

收稿日期 2011-11-01 编辑 李兰英

基金项目 中国地质调查局“大兴安岭成矿带北段基础地质综合研究”项目(1212011121068)资助。

作者简介 王五力(1941—), 男, 研究员, 从事历史大地构造和中生代地层古生物研究, 通信地址 沈阳市黄河北大街1号。

段的构造发展过程.

1 盆岭体系构造阶段(晚侏罗世晚期—早白垩世)

盆岭构造阶段起始于张家口期的火山活动,全盛于大规模火山作用的义县—九佛堂期,萎缩于沙海—阜新期,结束于张老公屯期(东山期).义县期及其后所形成的东北亚巨大面型展布的盆岭群,大多数是义县期火山活动后续所形成的断陷盆地,自义县期开始发育,至孙家湾期出现类磨拉石沉积建造为止.因此盆岭(小盆山)阶段(135~96 Ma)为张家口期—张老公屯期.盆岭构造阶段经历了3个次级演化阶段.

1.1 东北高原向盆岭体系的转换

早中生代东北高原向晚中生代盆岭体系的转换期,是构造背景从总体挤压到总体伸展的过渡期,是伸展与挤压的并存期,也是从前期东西向构造和近南北向构造并存向构造线以北北东向为主体的构造转换期.该时期为晚侏罗世晚期张家口期—大北沟期,也是燕山运动第二幕(B幕)的持续期.

伸展型张家口期火山作用局限于额尔古纳—大兴安岭—燕辽一带,伸展作用处于有限的起始阶段.大兴安岭是主要伸展区,张家口期所形成的断陷—拗陷伸展型火山盆地遍布整个大兴安岭区域.但盆地构造线方向在大兴安岭主脊及东坡,受滨太平洋构造域的影响,为北北东向.而在大兴安岭西部,受古亚洲构造域的制约,沿蒙古弧边缘方向分布,为北东东—北东向.

前期的挤压格局继续发展的表现为,大兴安岭外东北其余地区,除三江地区外,基本未发现沉积与火山活动,而是持续隆起.因此挤压作用在持续,前陆推覆构造继续和基本结束,鄂霍次克造山带已开始形成,并形成漠河盆地的左行推覆构造体系^[1].同时,在佳木斯地块上东荣组与滴道组之间的角度不整合代表了鄂霍次克造山带与佳木斯地块的挤压,以断块抬升为主,形成平缓开阔的褶皱,主要构造线方向为东西和北东向.总体反映出南北向挤压所形成的推覆构造和块断造山.燕辽地区在土城子期末发生的最主要逆冲推覆构造基础上,在辽西地区张家口期沉积不发育,辽吉东部普遍缺失,代表了燕山运动第二幕的持续影响.因此该时期是伸展作用开始,前期挤压造山作用高潮继续和基本结束的承前启后的转换期.

1.2 盆岭体系的形成与分布

早白垩世义县—张老公屯期,全面形成盆岭构造体系,并在东北亚广泛地分布,呈面形展布于中国东北、俄罗斯南滨海,往北达到鄂霍次克造山带,往西至

外贝加尔、蒙古东北部,往南到冀北—辽西、辽东—朝鲜北部地区.李思田^[2]称之为“东北亚断陷盆地系”,并进一步分为4个带.第1带:外贝加尔带.第2带:大兴安岭以西带,东界为大兴安岭,西界到蒙古国乔巴山市以西.第3带:松辽带,位于大兴安岭以东,其宽度相当现今松辽平原的宽度,本带出露较好的部分在辽宁省和内蒙昭乌达盟地区,向北延伸并被松辽盆地晚中生代末期的沉积和新生代沉积所掩盖;第4带:辽吉东部带,此带的盆地主要分布于辽宁、吉林两省东部和黑龙江省部分地区,仅有少数小型断陷盆地稀疏分布.

中国东北断陷盆地群既分布于前期的造山带上,如燕山、大兴安岭,也分布于前期地块之上,如松辽地块、辽东地块等.当时盆岭构造发育典型地区是在大兴安岭、辽西—松南区和松辽中心区(图1).以下分别论述.

(1) 大兴安岭义县—张老公屯期的盆岭体系形成于满克头鄂博—白音高老期,发展于龙江—南屯期,萎缩于大磨拐—伊敏期,结束于伊敏晚期(张老公屯期、东山期).同时形成了大兴安岭地区隆起带和沉降带相间的构造格局.西部为古亚洲构造域与滨太平洋构造域过渡区,自北向南分布有额尔古纳—满洲里、东乌旗、苏尼特—西乌旗、温都尔庙—固阳—多伦4条大致平

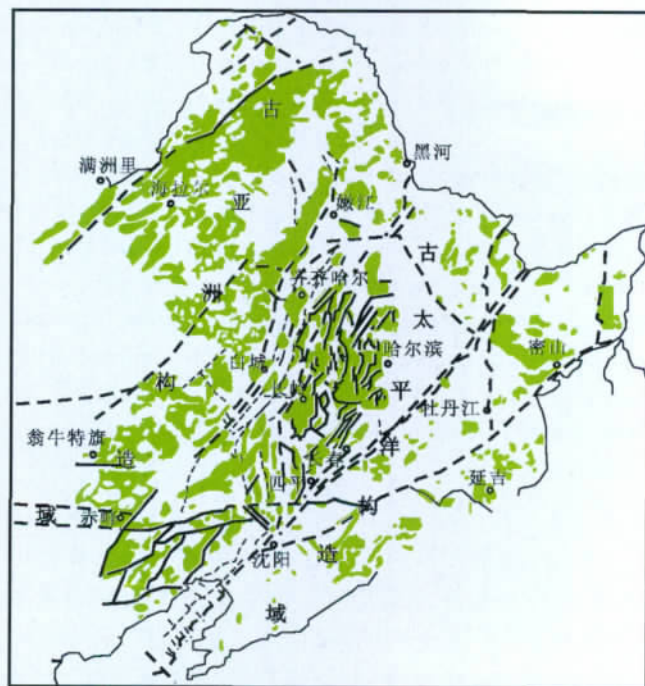


图1 东北地区晚中生代早期盆岭分布示意图

Fig. 1 Distribution of the basin-range of early Late Mesozoic in Northeast China

行于蒙古弧走向的隆起带,其间分别为海拉尔—根河、二连—乌拉盖—霍林格勒、腾格尔—霍善达克³条沉降带。在上黑龙江地区发育有鄂霍次克山前沉降带。东部为滨太平洋构造域,发育有北北东向的大兴安岭中央隆起带(林西—大石寨—加格达奇隆起带)和大兴安岭东坡裂陷带。

大兴安岭区西部的盆岭体系是在前期造山带基础上产生的,是在古生代额尔古纳地块、海拉尔弧后盆地、东乌旗岛弧、西乌旗弧后盆地、林西岛弧和华北板块北缘造山带基础上形成的。东部的盆岭体系虽有多宝山岛弧和乌兰浩特岛弧的部分基础,但基本上是新生的。

大兴安岭中央隆起带是侏罗纪火山岩盆地的主要分布区,但集中于中部和南部。侏罗纪—白垩纪火山岩盆地则广泛分布于大兴安岭的东西两侧。白垩纪火山岩盆地集中在大兴安岭东坡北部的盆地中。可以划分出大兴安岭主脊中部侏罗纪火山岩带、大兴安岭主脊南部侏罗纪火山岩带、大兴安岭西北坡侏罗—白垩纪火山岩带、大兴安岭西南坡侏罗—白垩纪火山岩带、大兴安岭东南坡侏罗—白垩纪火山岩带、大兴安岭东北坡白垩纪火山岩带(图2)。

(2) 辽西—松南地区盆地也分布在一系列的沉降带和隆起带之上。走向主要为北北东、北东和近南北向,个别有近东西向,从而使全区成为南北分块、东西分带的构造格局。自西向东有承德—赤峰—大兴安岭东坡带、下辽河—铁法—双辽(包括东、西带)带和铁法—开原—梨树带。由赤峰—开原、西伦木拉河和凌源—北票等大断裂所控制的近东西向隆起带有旧庙—建平、哲南和铁法隆起。另外,由分支断裂控制了次一级的隆起,例如在辽西有凌源—叨尔登、凤凰山—瓦房子、松岭—南票和医巫闾山等4条隆起,在开鲁区有哲中盆地内东明、东苏日吐、哲东和三刀吐—大四家子等4条隆起。上述隆起带控制了区内主要沉降带和盆地的分布(图3)。

(3) 松辽中部区为松辽盆地主体区,具有50多个断陷类盆地。可以孙吴—双辽断裂带为界,西部为西坡盆地群,东部为松辽区裂谷断陷区。松辽中央隆起东、西两侧形成两条裂谷带,以西侧的大庆、古龙、长岭等盆地和东侧的杏山、莺山、榆树、德惠等盆地为代表。在早白垩世晚期—登楼库期,安达—扶余中央隆起两侧的裂谷进一步发展,形成统一的裂谷,其中长岭—大庆裂谷带区最为发育。中央隆起和裂谷带很可能与前述的下辽河—铁法—双辽(包括东、西带)带相连,控制性

断裂带是郯庐和孙吴—双辽断裂带。

在辽吉东部区,因受古太平洋板块斜向俯冲作用的影响,郯庐断裂带走滑平移,依兰—伊通和敦化—密山地堑开始形成。所形成的盆地为多种方向的拗陷和断陷盆地。盆地类型主要有挤压型的延吉、蛟河盆地,拉分伸展型的辽东区盆地,弱伸展的吉中辽源等盆地和先拉伸后挤压的吉南柳河、浑江、通化等盆地。

1.3 盆岭向盆山体系构造转换

在早白垩世义县—张老公屯期全面形成的盆岭构造体系中,沙海—张老公屯期(或伊敏期、穆棱—东山期)为盆岭构造阶段发展的晚期,是盆岭体系向盆山体系构造转换的过渡期。之后从孙家湾期(或猴石沟期、泉头期)开始进入盆山体系发展演化阶段。

沙海—张老公屯期伸展与挤压并存。一方面,松辽盆地登楼库期裂谷进一步发展,是松辽盆地基底裂谷高峰期,并延续到青山口组沉积期。泉头组和青山口组有近南北向展布的同沉积生长断层。表明后期局部地区继续伸展。120~100 Ma发生引张裂陷形成沂沭或伊兰—伊通裂谷带,沿敦化—密山断裂发育拉分盆地和火山活动,以及辽西张老公屯组、黑龙江东部东山组、泉水村组等火山作用。另一方面,总体表现为挤压和隆起。大兴安岭东缘山前嫩江断裂逆冲推覆构造进一步发展。海拉尔盆地在大磨拐—伊敏期早期出现构造反转。伊敏末期,一些前期凹陷发生强烈的挤压变形。拉布达林盆地在大磨拐河组沉积时期受到挤压作用,原来控陷正断层大多发生正反转作用,并且在盆地中形成断层传播褶皱和断层转折褶皱。在辽西地区,沙海组和孙家湾组沉积期普遍隆起。沙海组、孙家湾组红杂色类磨拉石沉积,代表了隆起后的剥蚀沉积。同时产生以北票南天门断裂为代表的逆冲断裂系。早白垩世末期100~90 Ma,郯庐断裂发生重要的左行走滑活动,使敦化—密山和伊兰—伊通裂谷带发生构造反转。松辽盆地以东的许多控盆正断层均发生构造反转,形成压扭性逆断层和逆冲断层,敦密断裂还切割了苏子河盆地的北端。黑龙江东部东山组与穆棱组之间的角度不整合,可能代表穆棱组沉积之后曾发生过一次以挤压逆冲为主的构造运动。在三江盆地、鸡西盆地和勃利盆地,在穆棱组沉积之后均产生构造反转构造。因此,阜新组与孙家湾组及相当的层位之间产生的燕山运动第三幕所形成的不整合遍及全区,表明该时期全区挤压隆起,结束了盆岭期的发展,是一次重要的盆山转换运动。

2 盆山体系构造阶段(晚白垩世—新近纪)

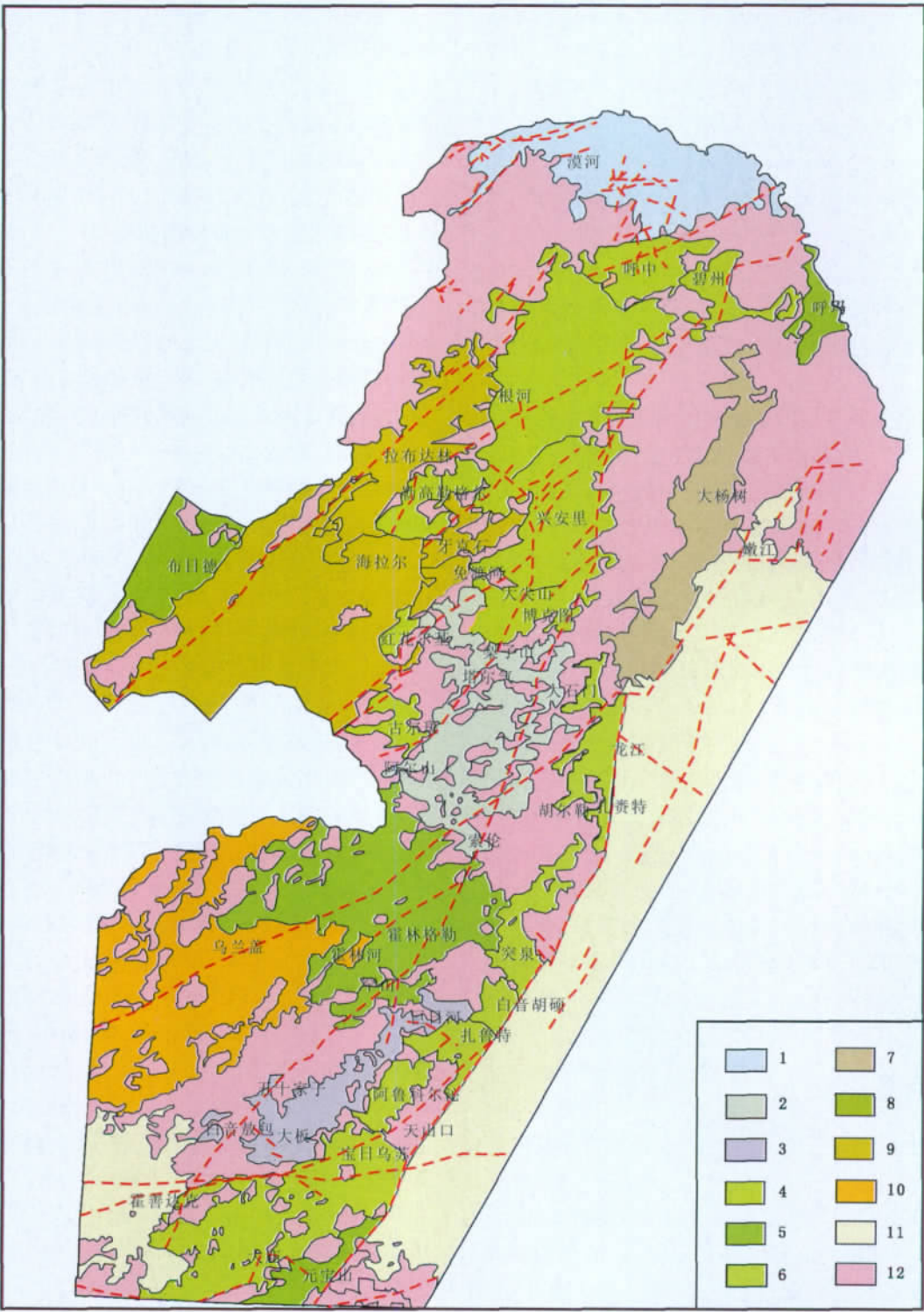


图 2 大兴安岭中生代盆地分布示意图

Fig. 2 Distribution of the Mesozoic basins in Daxinganling region

1—侏罗纪前陆盆地(Jurassic foreland basin); 2-3—侏罗纪火山盆地(Jurassic volcanic basin); 4-6—侏罗-白垩纪火山盆地(Jurassic-Cretaceous volcanic basin); 7—白垩纪火山盆地(Cretaceous volcanic basin); 8—侏罗-白垩纪火山沉积盆地(Jurassic-Cretaceous volcanic-sedimentary basin); 9-11—侏罗-白垩纪沉积盆地(Jurassic-Cretaceous sedimentary basin); 12—盆地基底及中生代侵入岩区(basin basement and Mesozoic intrusive)

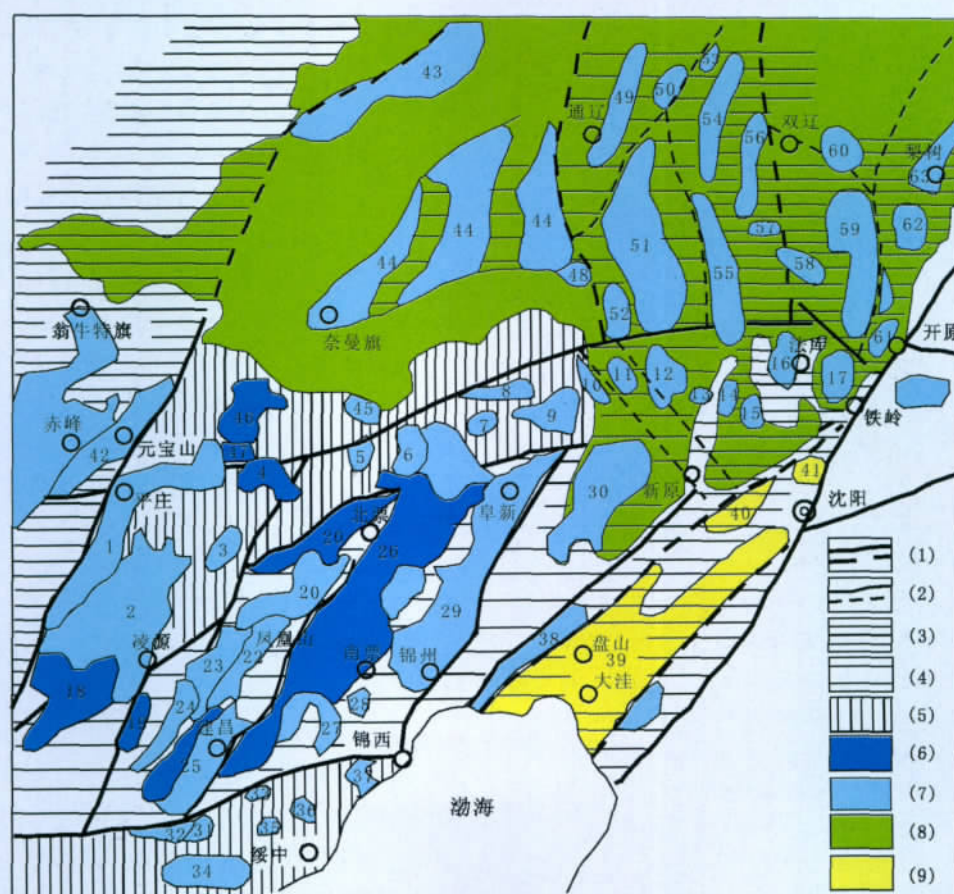


图3 晚中生代早期辽西-松辽南部区主要隆起带、沉降带和盆地分布

Fig. 3 Distribution of early Late Mesozoic uplift zones, subsidence zones and basins in Western Liaoning and Southern Songliao region

(1)—主要断裂(major fault);(2)—分支断裂(secondary fault);(3)—主要隆起(major uplift);(4)—次要隆起(secondary uplift);(5)—东西向隆起(E-W-trending uplift);(6)—早中生代盆地(Early Mesozoic basin);(7)—晚中生代早期盆地(early Late Mesozoic basin);(8)—晚中生代晚期盆地(late Late Mesozoic basin);(9)—古、新近纪盆地(Paleo-Neogene basin). 图中数字代表的盆地及所处构造位置(basins and their tectonic locations)—内蒙古地轴(Inner Mongolia axis):1—平庄,2—宁城—平泉—凌源,3—铁营子,4—四家子,5—房申,6—黑城市,7—乌兰木图,8—满井—巴楼子,9—务欢池,10—哈尔套,11—福兴地,12—彰武,13—叶茂台,14—秀水河子,15—登仕堡,16—法库,17—铁法;燕辽沉降带之平泉拗陷(Pingquan sag of Yanliao subsidence zone):1—三十家子,凌源—叨尔登隆起,19—郭家店;北票—建昌拗陷(Beipiao-Jianchang sag):20—北票,21—朝阳,22—梅勒营子,23—喀左,24—四官营子,25—建昌;松岭—南票隆起(Songling-Nanpiao uplift):26—金岭寺—羊山(包括四合屯、紫都台),27—暖池塘,28—新台门;阜新—锦州拗陷(Fuxin-Jinzhou sag):29—阜新—义县;黑山—北镇隆起(Heishan-Beizhen uplift):30—黑山—八道壕;山海关隆起(Shanhaiguang uplift):31—大青山,32—新开岭,33—玉凤庙,34—永安,35—砬子山,36—郭家屯,37—兴城;下辽河拗陷(Lower Liaohe sag):38—胡家镇,39—下辽河,40—大民屯,41—沈北;大兴安岭东坡隆起(Daxinganling Dongpo uplift):42—元宝山;开鲁拗陷之哲中拗陷(Zhezong sag of Kailu depression):43—陆家堡,44—哲中;哲南隆起(Zhenan uplift):45—宝国吐,46—敖汉旗,47—新地,48—甘其卡;黑山(医巫闾山)—通辽隆起(Heishan-Tongliao uplift):49—前家店,50—大林镇;科尔左后旗拗陷(Kezouhouqi sag):51—宝格吐—呼勒斯诺尔,52—潮海—大冷,53—乌日塔拉;铁法—双辽隆起(Tiefa-Shuang uplift):54—安乐—西达拉,55—张强—巴雅斯古楞,56—扎兰营子—苏根艾拉,57—协尔苏,58—三家子,59—大洼—昌图,60—国家街;梨树—开原隆起(Lishu-Kaiyuan uplift):61—金沟子,62—双庙,63—梨树

晚白垩世和新生代古近纪、新近纪(96~2.6 Ma)形成了盆山体系。中国东北西部有大兴安岭,东部有张广才岭—辽吉东部高地,中间夹持有大型松辽盆地,张广才岭以东和辽吉东部高地以北有三江—中阿穆尔盆地、渤海湾—下辽河裂谷盆地、敦化—密山和伊兰—伊通裂谷等(图4)。

盆山体系发展始于晚白垩世初期(燕山运动三

幕),经晚白垩世、古近纪,直至新近纪。整个演化过程在前期盆岭向盆山构造转换(早白垩世晚期挤压隆起及邻庐断裂大规模左行平移阶段)的基础上,又经历了2个阶段(I、II),4个小阶段(I~IV)。I. 晚白垩世大规模拗陷阶段:(I)大规模拗陷(K_2^{1-2});(II)大规模拗陷萎缩(K_2)。II. 新生代大规模裂谷阶段:(I)大规模裂谷(N);(II)后裂谷拗陷(N)。

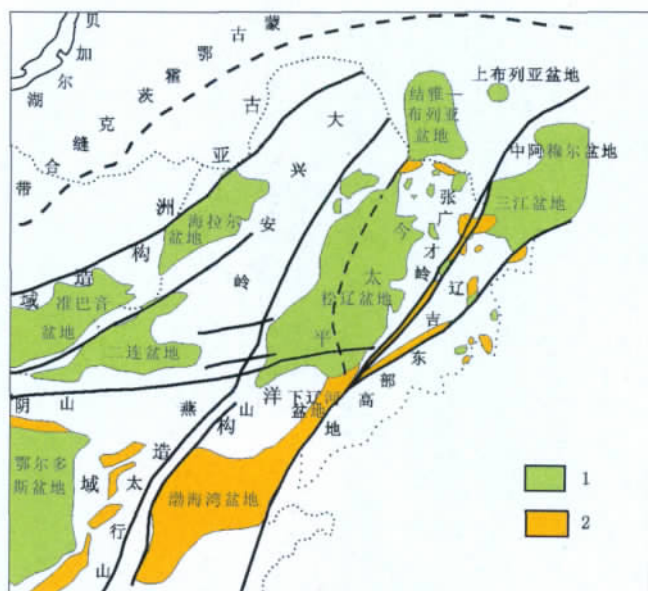


图4 东北及邻区晚中生代晚期—新生代早期盆山分布

(据孟庆任等, 2002, 修改)

Fig. 4 Distribution of the late Late Mesozoic-early Cenozoic basins and mountains in Northeast China and adjacent region

(modified from MENG Qing-ren et al., 2002)

1—晚白垩世盆地 (Late Cretaceous basin); 2—古近纪盆地 (Paleogene basin)

2.1 晚白垩世大规模拗陷

燕山运动第三幕以后, 由强烈挤压转向晚白垩世早期强烈伸展, 松辽盆地在裂谷断陷基础上产生大规模叠覆拗陷, 嘉荫—结雅—布列亚盆地与松辽盆地同步发展, 是同一伸展构造背景下, 中等规模的断陷—拗陷。同时松辽盆地周边的延吉、方正、大三江等盆地也进入沉积拗陷阶段。在大兴安岭西坡海拉尔和二连盆地由前期沉降带断陷转变为晚期伸展型非造山拗陷, 东坡大杨树盆地已结束沉降, 但受松辽盆地湖侵的影响, 有松辽型的少量沉积。

2.2 晚白垩世晚期大规模拗陷萎缩

晚白垩世晚期四方台—明水期, 以燕山运动第四幕的强挤压运动所造成的区域性不整合面为代表, 标志着前一个伸展构造阶段结束。之后, 大规模拗陷萎缩, 松辽等盆地准平原化。至古新世喜马拉雅运动第一幕, 结束了盆山第一阶段的发展。

2.3 古近纪大规模裂谷盆地阶段

在喜马拉雅运动第一幕使全区隆起基础上, 松辽等盆地进一步萎缩和准平原化。小兴安岭、延边和三江地区, 有松辽平原富峰山组和依安组等同期沉积, 部分地区有玄武岩喷发, 也存在前期大型拗陷萎缩晚期准平原化的内陆湖泊—沼泽沉积的产物。但是全区盆山

体系格局犹存, 进入盆山体系第二阶段。与此同时, 古近纪的渤海湾—下辽河和伊兰—伊通、敦化—密山等前期裂谷发展成大规模裂谷盆地。裂谷盆地主要为基性玄武岩喷发和类磨拉石夹有滨湖—湖沼相的含煤、油页岩、黏土沉积, 而在黑龙江省东部的鸡西—绥滨一带也有基性火山岩的喷发活动。

2.4 新近纪后裂谷拗陷阶段

新近纪期间, 喜马拉雅运动已进入第二幕, 松辽等盆地平原化, 残留平原碎屑沉积。辽吉东部和三江平原主要为后裂谷拗陷型暗色或红杂色碎屑沉积—大陆玄武岩沉积。渤海湾—下辽河等裂谷盆地进入后裂谷期, 玄武岩进一步扩大分布, 后期玄武岩进一步扩展到大兴安岭及小兴安岭区。

3 盆山体系成因探讨

上述盆山体系形成与演化的成因是什么? 本文简要探讨之。

对于中国东部盆山体系成因, 目前有如下一些认识: 由于岩石圈巨量减薄、大规模岩浆作用、高原垮塌和大规模伸展作用, 岩石圈大幅度减薄、超级地幔柱的活动^[1]将中国东部岩石圈巨量减薄视作燕山期陆内造山和陆内变形的后效^[5,9]; 认为与潘基亚联合大陆的裂解同步, 中国东部裂谷开始出现^[10]等。其中地幔底侵—拆沉—交代—转型产生的岩石圈巨量减薄被认为是主要的成因。

历来, 中国东部中生代大陆边缘的地球动力学背景存在多种意见, 如认为中国东部在燕山期存在类似安第斯型的主动大陆边缘, 也是欧亚板块与太平洋板块的边界碰撞带, 盆地均为弧后拉张或挤压条件下形成^[11-12]。另有意见则强调了西伯利亚板块、特提斯—印度板块和太平洋板块之间的相互作用, 认为中国东部中生代盆地形成的地球动力学背景与三大板块间相互作用及其间的复杂演化过程有密切的关系^[13-14]。又如认为由 Izanagi (伊佐奈岐) 板块近北向运动, 与中国东部大陆呈小角度相交而不发育岛弧型岩浆作用^[15]。李思田^[8]指出巨大的东北亚断陷盆地系, 因范围太大而无法用弧后拉张体制来解释成因。邵济安等^[16-17]则采用地幔热柱和底侵来解释东北区前晚白垩世时期中生代的岩浆作用, 认为无论底侵、拆沉还是地幔柱作用, 与太平洋板块无直接关系。与此同时, 可能开始于 180~155 Ma, 高潮于 145~120 Ma 的中国东部的岩石圈减薄问题, 成为研究热点^[18-20]。邓晋福等^[9]提出, 燕辽地区燕山期时, 在厚 150~200 km

的印支期岩石圈基础上,通过拆沉—去根作用,减薄了 50 km 厚度。其成因于地幔的底侵、拆沉、交代和转型^[21]。吴福元等^[22]认为中国东部新生代岩石圈地幔的转型实质上是中生代岩石圈地幔转型的一个不可分割的组成部分,是中生代岩石圈减薄过程的继续。路凤香等^[23]认为白垩纪晚期—新生代中国东部主要是地幔物质呈“蘑菇云”状上涌,同时岩石圈伸展导致岩石圈减薄。董树文等^[5,24]认为晚中生代早期的岩浆活动与岩石圈的拆沉作用有关,在中国东部印支期形成高原后,于 160~150 Ma 前后发生岩石圈的巨量减薄,导致软流圈地幔上涌,形成巨量火山岩和花岗岩。冷超级地幔柱下沉导致的拆沉作用是中国周边多向板块汇聚(“东亚汇聚”)运动的动因,而后的伸展作用引起早白垩世岩石圈大幅度减薄以及强烈的岩浆活动,形成了大规模的火山岩省。张旗等^[4,25]据埃达克岩的研究认为中国东部高原主要发生在中晚侏罗世,中国东部大规模岩浆活动与岩石圈减薄有关,岩石圈减薄是下地壳拆沉,与太平洋板块没有关系。最大减薄的时间在燕山期,在这之前和之后,岩石圈是厚的。大规模岩浆活动可能与超级地幔柱的活动有关,是一种新的大火成岩省类型。

因此对中国东部大陆边缘地球动力学背景的认识并未统一。其中有 4 种代表性的观点值得关注,一是以吴福元等^[20,26]为代表提出与太平洋板块俯冲有关说;二是以邵济安等^[17,27-28]为代表提出的与太平洋板块俯冲无直接关系的底侵或软流圈底辟说;三是张旗等^[4]为代表提出的与太平洋板块俯冲无关的超级地幔柱说;四是董树文等^[5,24]为代表提出的冷超级地幔柱导致“东亚多向板块汇聚”和其后软流圈地幔上涌的伸展作用说。问题涉及到地幔柱、超级地幔柱和周边板块,特别是太平洋板块俯冲作用影响两个方面。

笔者认为大规模岩浆作用和盆山体系的成因,固然与岩石圈—下地壳减薄有关,但根本的成因应从板块作用、板块及古地块之间俯冲形成的冷板片可能激发形成地幔柱以及超级地幔热带 3 个方面来探讨。

3.1 太平洋板块巨大的影响

在周边板块,尤其是太平洋板块方面,首先要区分古太平洋板块和今太平洋板块作用的区别。古太平洋主要存在于泥盆世—晚侏罗世,其板块的俯冲作用,已由中国东北存在不同时期含蛇绿岩和深海沉积的混杂岩的那丹哈达地体拼合带、延边、牡丹江、嫩江等缝合带所证明。特别是松嫩、佳木斯和兴凯地块拼合带上分布的黑龙江群具有拼贴增生杂岩的性质,其中

松嫩与佳木斯地块拼合带时代有 500 Ma 和 190 Ma 两个年龄,但至少表明早侏罗世期间因古太平洋板块作用,佳木斯地块已经俯冲拼贴到东北大陆边缘或重新活动^[29-31]。

今太平洋从现有记录太平洋板块开裂的 140~135 Ma 至今,开始时间为晚侏罗世晚期—早白垩世早期^[38-41]。这与盆山体系形成开始时间相同。Hilde et al.^[38]的研究表明,在 135~100 Ma 期间,作用于中国东部的主要是库拉板块,100~65 Ma 是库拉—太平洋板块,65~25 Ma 是太平洋板块。3 个阶段板块均向北北西方向运动,与东亚大陆成斜交,太平洋板块与印度—特提斯板块之间由一系列的近南北、北北西向转换断层交界。可以认为 135 Ma 在华南、印支,100~25 Ma 在中国东部有主动大陆边缘。因此 135~100 Ma 间东北和华北是一个与主动大陆边缘有所不同的斜向俯冲地体拼贴边缘;100~25 Ma 有主动大陆边缘。Moore 的研究表明^[42],135 Ma 作用于中国大陆边缘的是伊佐奈岐(Izanagi)板块,其向北西方向,具有主动大陆边缘。66 Ma 以后,主要是太平洋板块由北北西逐渐转向北西西向运动。中国大陆边缘经历了由斜向至正向主动边缘的过程。Koppers 等^[43]的研究表明,西太平洋板块在 140~125 Ma 向北东东移动,125~110 Ma 向北西西移动,110~100 Ma 向南西西移动,100~43 Ma 向北北西移动,43 Ma 至今向北西西移动。因此 140 Ma 以来大部分时间为斜向和少部分时间正向俯冲。但在 140~125 Ma 的中国东部大规模岩浆活动主要时期,为北东东移动,西太平洋大陆边缘为非俯冲。

中国东部中生代构造应力场研究^[44]的结果表明,三叠纪(250~208 Ma)为北向挤压;侏罗纪(208~135 Ma)为北西西—南东东向挤压;白垩纪—始新世早期(135~52 Ma)为北北东向挤压;始—渐新世(52~23.3 Ma)为北西西向挤压。由上可认为,在 135~52 Ma,太平洋板块没有产生向西的挤压力。

综合这些研究成果,可以认为太平洋板块的俯冲方向还未定论。但总体上晚侏罗世晚期—早白垩世早期以来,今太平洋在中国大陆边缘于中生代主要为斜向俯冲或 140~125 Ma 短时期内可能为非俯冲大陆边缘,新生代主要为正向俯冲。

太平洋东部美洲的大陆边缘是科迪勒拉型和安第斯型,总体为聚敛型大陆边缘,似已公认^[45]。但是,在 140~135 Ma 至今的太平洋板块向美洲大陆俯冲方向的上述研究中,同样认识不同,不能定论。有的也是

斜向俯冲和非俯冲. 因此在此问题上, 主要依据地质事实, 上述研究仅为参考.

事实是中国大陆上, 古亚洲、特提斯和滨太平洋构造域内的构造线方向, 与西伯利亚、特提斯和太平洋板块方向是一致和协调的, 说明周边三大板块对中国大陆无疑是有巨大的影响. 王鸿祯等^[14]指出: 印支期后大阶段的特征是泛大陆裂解和大西洋扩张导致了环太平洋域的出现, 这一新的构造型式使中国由南北部之间的差异转变为东西部之间的差异. 大体上, 自晚中生代以后, 中国东部主要处于伸展体制之下, 中国西部的特提斯构造域则主要表现为各个亲冈瓦纳地块不断北移并拼贴到欧亚大陆之上. 中国新的构造体制和动力学过程主要受北方的西伯利亚板块、东方的太平洋板块和西南方的印度板块相互作用的控制.

亚洲大陆东部边缘发育的白垩纪拼贴增生杂岩地体为今太平洋发展期间板块的俯冲提供了证据. 因为如果没有俯冲, 地体不能拼贴于大陆, 也不可能形成混杂堆积. 中国东北在 140~100 Ma 期间广泛分布的北北东向火山岩带平行于大陆边缘, 应为环太平洋火山岩带的一部分. 同时据年代学研究, 晚侏罗世晚期—早白垩世张家口组、义县组、张老公屯组及新生代的玄武岩带几个主要火山岩层位分布, 具有自西向东逐渐年轻的趋势, 证明在东亚多向板块汇聚背景下, 今太平洋中西太平洋板块俯冲作用有相当的影响.

3.2 板块及古地块之间俯冲形成的冷板片可能激发形成地幔柱

邵济安等^[15]所提出的垂直日本海沟穿过日本海、长白山到四平附近, 以及从四平横穿大兴安岭至蒙古额尔德尼查干的地震层析 (ST) 剖面表明, 中国东北 100 Ma 以来, 西太平洋板块的冷板片俯冲至长春—四平一线. 同时松辽盆地之下有地幔热柱. 大兴安岭地区亦存在冷板片和地幔热柱. 说明板块和地幔热柱作用同时存在.

中国东北西伯利亚板块与华北板块南北向挤压, 导致蒙古—鄂霍次克洋的封闭, 后续板内作用继续. 而特提斯洋印度—澳大利亚板块与西伯利亚板块挤压产生的向东推挤力加强, 太平洋板块的斜向俯冲起到了推挡的作用. 中—晚侏罗世为主的“东亚多向板块汇聚”在晚中生代持续. 如果 100 Ma 以来的板片可以俯冲至长春—四平一线, 那么在早白垩世太平洋板片应可俯冲至大兴安岭山前, 因为当时日本海未开裂, 日本外带地体亦未到位. 地球物理资料表明, 中国东部存在一个明显但是横向上不均一的地震波速异常带, 并且

其西部边界与大兴安岭—太行山重力异常带相吻合, 反映了冷的高密度物质, 通常被认为是俯冲板片或拆沉进入软流圈地幔的下地壳物质.

同时要考虑的是中—晚侏罗世因“东亚汇聚”而产生的地块之间, 或新产生的地块之间的俯冲作用也在继续. 大兴安岭东侧和松辽盆地西缘, 在晚古生代黑河—嫩江—白城西倾俯冲带和缝合带的基础上, 中生代松嫩地块向大兴安岭可能持续下插俯冲. 黑河—嫩江—白城是北北东向串珠状强磁异常带区及西部岩石圈厚度和 Moho 面突变带区^[16]. 同时深部地球物理也证明存在下插俯冲带^[17]. 同样, 相对固结的东北地块在蒙古—鄂霍次克缝合带的北西向俯冲作用也可能持续. 王鸿祯等^[14]就认为中国东部内陆区兼有俯冲型和陆内碰撞型两种岩浆活动.

因此, 中国东北及邻区在晚侏罗世晚期—早白垩世, 主要的地幔活动中心在松辽—辽西、大兴安岭—冀北区以及蒙古—鄂霍次克缝合带的北西区. 3 个区域是有区别的. 松辽区为太平洋板块 B 型俯冲和可能激发的地幔柱活动区; 大兴安岭区为松嫩地块向大兴安岭 A 型 (或 C 型) 俯冲和可能激发的地幔柱活动区; 蒙古—鄂霍次克缝合带北西区, 可能为东北固结地块向该区 A 型俯冲和可能激发的地幔柱活动区. 巨大面状分布的东北亚断陷盆地系, 因范围太大而无法用弧后拉伸体制来解释^[8], 但上述模式可能是产生的原因之一.

3.3 超级地幔热带

东、西太平洋大陆边缘有巨大的差异, 主要是中国东部为伸展型大陆边缘, 而美洲是科迪勒拉和安第斯聚敛型大陆边缘. 地球物理分析证明, 中国东部存在中生代中晚期以来的“东亚大陆巨型裂谷体系”, 是伸展型大陆边缘的主要表现^[18].

但如此大规模的北北东向条带状岩浆岩带和伸展型盆山体系, 完全用板块作用来解释是有问题的, 因为东亚多向板块汇聚和太平洋板块的作用, 在早中生代表现为挤压、推覆和板内造山, 在晚中生代虽然可以产生类似后造山期的伸展, 但也不太可能产生极大超越前期造山带范围的如此大规模的伸展作用, 那种将大规模岩浆活动和伸展盆地形成, 视为板内造山晚期产物的观点, 有待商酌. 而下插板块、地块形成的冷板片可能激发形成的热地幔柱, 也不足以形成如此大规模分布的火山岩和花岗岩带, 只能起补充和促进作用, 特别在东北地区.

但是用超级地幔柱解释也是有问题的, 因为柱形的地幔柱无法形成有定向分布的带状构造, 更可能形

成环状构造.

中国东部伸展,与潘基亚大陆大规模裂解、大洋拉张基本是同步的,应视为一种全球性的构造活动.在地球聚合固结的总趋势下,层圈分异和调整是层圈耦合至非耦合循环螺旋发展和地球演化内在动力.地壳—岩石圈的构造岩浆作用一般也是地球能量扩散的表现.以热能为主的全球性能量扩散,受逐渐加强固化的地壳—岩石圈阻碍,一方面在固化圈薄弱环节形成能量扩散带,可以形成热点、热线(裂谷)、热面(地幔柱)、热带(全球性大洋中脊裂谷带、环太平洋和古特提斯构造岩浆带,区域性裂谷带和构造岩浆带等),因此成为高热流区;另一方面在固化圈稳定区形成底侵—交代或热能聚集区,可以形成稳定区热力场,当热能衰减后,也是地壳—岩石圈固化加强和增厚的主要区域.与此相反,当底侵、拆沉、交代和转型作用加强时,在稳定区的薄弱带,也可以形成点、线、面的构造岩浆活动带,并在一定条件下,稳定区可以转换为活动区.在全球潘基亚大陆形成后,以热能为主的全球性能量扩散在东亚东部形成超级地幔热带是完全可能的,因为这里是环太平洋板块结合带,同时是中小地块分布区,是固结地壳—岩石圈的薄弱带.

在此背景下,东亚东部板块、地块俯冲下沉冷板片可能激发的地幔柱活动,加强了超级地幔热带的活动和层圈调整的进程.而全球性的超级地幔热带的活动又促进了板块、地块运动,相互转换,在一定程度上互为因果.因此,板块、地块运动和超级地幔热带的作用是一个问题的两个方面.在中国东部,一方面,东亚多向板块汇聚作用在继续,表现为燕山运动第三、四幕和喜马拉雅运动一、二幕仍然有重要的影响,形成伸展型盆地和裂谷的构造反转和新生代始新世后的近代西太平洋沟—弧—盆体系.其中燕山运动第三幕是由小盆山(盆岭)构造转变为大盆山(盆山)构造的转折性运动.另一方面,板块、地块俯冲下沉冷板片可能激发地幔柱和超级地幔热带的共同作用也在继续和发展,因此中国东部岩石圈减薄,更可能是超级地幔热带配合以地幔柱、板块作用,主动调整层圈结构的过程.伸展型盆山构造得以不断发展.

超级地幔热带、地幔柱和板块的共同作用,不仅有阶段性,而且有自西向东的迁移性.在东北主体大陆是晚侏罗世晚期—白垩纪主要共同活动区,在此区内盆山体系的发展分为2个阶段,其中晚侏罗世晚期—早白垩世大规模岩浆活动、伸展作用形成小盆山(盆岭)格局,而晚白垩世在大规模岩浆活动趋于平静后形成

大盆山(盆山)格局.这是岩石圈大规模减薄、大规模岩浆活动后,热量释放,地幔柱以及超级地幔热带开始缩减,地幔上隆而地壳拗陷,形成以松辽盆地为代表的大型拗陷.在主体大陆地壳相对固结后,晚白垩世开始,特别是古近纪开始,超级地幔热带、地幔柱和板块共同活动区转移至松辽盆地以东及西太平洋岛弧、边缘海地区,形成东北东部100 Ma的火山活动、裂谷和新生代大型裂谷系和沟—弧—盆体系.

总之,盆山体系形成和发展更可能是超级地幔热带、地幔柱和东亚多向板块汇聚背景下,西太平洋板块俯冲共同作用的结果.

最后值得指出,超级地幔热带、地幔柱和板块共同作用中的相互关系和作用细节有待进一步探讨.

参考文献:

- [1] 李锦轶. 中国东北及邻区若干地质构造问题的新认识[J]. 地质论评, 1998, 44(4): 339—347.
- [2] 葛肖虹, 马文璞. 东北亚南区—新生代大地构造轮廓[J]. 中国地质, 2007, 34(2): 212—228.
- [3] 张旗, 王元龙, 金惟俊, 等. 晚中生代的中国东部高原: 证据、问题和启示[J]. 地质通报, 2008, 27(9): 1404—1430.
- [4] 张旗, 金惟俊, 李承东, 等. 中国东部燕山期大规模岩浆活动与岩石圈减薄与大火成岩省的关系[J]. 地学前缘, 2009, 16(2): 21—51.
- [5] 董树文, 李廷栋, 钟大赉, 等. 侏罗纪/白垩纪之交东亚板块汇聚的研究进展和展望[J]. 中国科学基金, 2009(3): 281—286.
- [6] WANG Wu-li, CHEN Shu-wang, LIU Shi-wei, et al. The Early Mesozoic orogenic belt and highland of Northeast China[J]. Geology and Resources, 2010, 19(S1): 39—45.
- [7] 李锦轶, 莫申国, 和政军, 等. 大兴安岭北段地壳左行走滑运动的时代及其对中国东北及邻区中生代以来地壳构造演化的制约[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 157—168.
- [8] 李思田, 杨士恭, 吴冲龙, 等. 中国东北部晚中生代裂陷作用和东北亚断陷盆地系[J]. 中国科学: B辑, 1987(2): 75—85.
- [9] 董树文, 张岳桥, 龙长兴, 等. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释[J]. 地质学报, 2007, 81(11): 1449—1461.
- [10] 蔡学林, 朱介寿, 曹家敏, 等. 东亚西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.
- [11] 郭令智, 施央申, 马瑞士. 西太平洋中、新生代活动大陆边缘和岛弧构造形成和演化[J]. 地质学报, 1983(1): 11—20.
- [12] 高名修. 中国东部盆地系与美国西部盆地山脉构造对比及其成因机制[A] // 中国中生代盆地构造和演化. 北京: 科学出版社, 1983.
- [13] 王鸿祯, 等. 中国及邻区构造古地理及生物古地理[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.
- [14] 王鸿祯, 何国琦, 张世红. 中国与蒙古之地质[J]. 地学前缘, 2006, 13(6): 1—13.
- [15] 吴福元, 葛文春, 孙德有. 走滑构造及对中国东部中生代地质研究的意义[J]. 世界地质, 1994, 13(1): 105—112.
- [16] 邵济安, 牟保磊, 何国琦, 等. 华北北部在古亚洲域与古太平洋域构

- 造叠加过程中的地质作用 [J]. 中国科学: D 辑, 1997, 27 (5): 390—394.
- [17] 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.
- [18] 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 中国东部岩圈根/去根作用与大陆“活化”——东亚型大陆动力学模式研究计划 [J]. 现代地质, 1994, 8 (3): 349—356.
- [19] 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: 110.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 吴福元, 徐义刚, 高山, 等. 华北岩石圈减薄与克拉通破坏研究的主要学术争论 [J]. 岩石学报, 2008, 24 (4): 1145—1174.
- [23] 路凤香, 郑建平, 李伍平, 等. 中国东部显生宙地幔演化的主要样式“蘑菇云”模型 [J]. 地学前缘, 2000, 7 (1): 97—107.
- [24] 董树文, 吴锡浩, 吴珍汉, 等. 论东亚大陆的构造翘变——燕山运动的全球意义 [J]. 地质论评, 2000, 46 (1): 8—13.
- [25] 张旗, 钱青, 王二七, 等. 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.
- [26] 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.
- [27] 邵济安, 路凤香, 李伍平. 辽西中生代陆内底侵作用背景下形成的安山岩 [J]. 岩石学报, 2007, 23 (4): 701—708.
- [28] 邵济安, 季建清, 路凤香, 等. 大陆岩石圈对扩张机制的响应 [J]. 2008, 地质通报, 27 (9): 1431—1440.
- [29] 张兴洲. 黑龙江岩系——古佳木斯地块加里东缝合带的证据 [J]. 1992, 长春地质学院学报 (博士论文集), 94—101.
- [30] 李锦轶, 牛宝贵, 宋彪, 等. 长白山北段地壳的形成与演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [31] 谢鸣谦. 拼贴板块构造及其驱动机理——中国东北及邻区的大地构造演化 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [32] 王五力, 郑少林, 张立君, 等. 中国东北环太平洋带构造地层学 [M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- [33] 唐克东, 邵济安, 李景春, 等. 吉林延边缝合带的性质与东北亚构造 [J]. 地质通报, 2004, 23 (9-10): 885—891.
- [34] 唐克东, 赵爱林. 吉林延边开山屯地区地层时代的新证据 [J]. 地层学杂志, 2007, 31 (2): 141—150.
- [35] 唐克东, 邵济安, 李永飞. 松嫩地块及其研究意义 [J]. 地学前缘, 2011, 18 (3): 57—65.
- [36] 张兴洲, 马志红. 黑龙江东部中—新生代盆地演化 [J]. 地质与资源, 2010, 19 (3): 191—196.
- [37] 颜炳强, 张福勤, 苗来成, 等. 东北牡丹江地区“黑龙江群”中斜长角闪岩与花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质学意义 [J]. 岩石学报, 2008, 24 (4): 1237—1250.
- [38] Hilde T W C, Uyeda S, Kroenke L. Evolution of the western Pacific and its margin [J]. Tectonophysics, 1977, 38 (1-2): 145—165.
- [39] Koppers A A P, Morgan J P, Morgan J W, et al. Testing the fixed hot spot hypothesis using $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age progressions along seamount trails [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2001, 185: 237—252.
- [40] Moore G W. Plate-tectonic evolution of the Circum-Pacific region [A]. //1989 AAAS annual meeting ;155th national meeting. AAAS Publication, 1988: 155, 27.
- [41] 万天丰. 中国东部中新世板内变形构造应力场及其应用 [M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [42] 张兴洲, 乔德武, 迟效国, 等. 东北地区晚古生代构造演化及其石油地质意义 [J]. 地质通报, 2011, 30 (2-3): 205—213.
- [43] 刘殿秘, 韩立国, 翁爱华, 等. 松辽盆地西北边界部分地球物理特征 [J]. 地球物理进展, 2007, 22 (3): 1722—1727.