

中国东部中—新生代大陆构造的形成与演化

葛肖虹^{1,2} 刘俊来² 任收麦³ 袁四化⁴

(1. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;
3. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100029; 4. 防灾科技学院, 河北 三河 065201)

摘要:20世纪60年代提出的“威尔逊旋回”以关闭洋盆两侧板块的碰撞作为板块运动旋回的终结,然而板块构造学说“登陆”20多年来的实践说明这种认识是不全面的。大陆弥散而宽广的陆内变形说明洋盆闭合两侧板块的碰撞并未终止板内构造作用。古亚洲大陆形成后中国东部中—新生代广泛发育的板内构造变形、岩浆活动、克拉通内盆地的形成都和古亚洲大陆南、北,印度洋和北冰洋洋脊的持续扩张、西太平洋和菲律宾洋壳的俯冲相关。本文厘清中国东部中—新生代大陆构造形成与演化的重大事件、构造性质、形成背景及其时空展布:(1)晚海西—印支期古特提斯洋关闭陆块拼合碰撞古亚洲大陆雏形形成;(2)晚侏罗—早白垩世蒙古—鄂霍茨克海闭合,陆—陆碰撞古亚洲大陆形成,挤压逆冲推覆构造在陆内变形中形成高潮,西太平洋伊佐奈岐洋壳板块的斜俯冲叠加了自东而西的影响;(3)早白垩世晚期—古近纪加厚地壳—岩石圈减薄、转型,陆内伸展变形达到高潮,大陆克拉通泛盆地、准平原化;(4)始新世晚期—早中新世(40~23 Ma)太平洋板块运动转向对东亚大陆NWW向的挤压和印度洋脊扩张印—澳板块对古亚洲南部陆—陆碰撞挤压的叠加,形成中国东部新生的构造地貌;(5)中—上新世—早更新世受东亚—西太平洋巨型裂谷系和印度洋中脊扩张的叠加影响,中国东部岩石圈地幔隆升、地壳减薄,陆缘、陆内伸展变形相继形成边缘海、岛弧、裂谷型盆地和剥蚀高原地貌;(6)早更新世晚期(0.9~0.8 Ma)—晚更新世末(0.01 Ma)中国东部大陆构造地貌基本形成。

关键词:中国东部中—新生代;大陆构造形成与演化;重大构造事件性质;形成背景及时空展布。

中图分类号:P541 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)01-0019-20

20世纪60年代威尔逊(1968)提出的大陆裂解成洋、洋盆俯冲闭合的“威尔逊旋回”以关闭洋盆两侧板块的碰撞作为板块运动旋回的终结^[1]。然而板块构造学说“登陆”20多年来的实践表明这种认识是不全面的。Molnar P.(1988)根据大陆内部的弥散性变形和广泛的地震活动,提出刚性板块构造理论不适用于大陆构造^[2],洋盆闭合两侧板块的碰撞并未终止板内构造作用。古亚洲大陆形成后中国东部中—新生代广泛发育的板内构造变形、岩浆活

动、克拉通内盆地都和古亚洲大陆南、北,印度洋和北冰洋洋脊的持续扩张、西太平洋和菲律宾洋壳的俯冲相关。厘清中国东部中—新生代大陆构造形成与演化的重大事件、构造性质、形成背景及其时空展布是大陆动力学研究的重要课题,也为中国矿产资源的形成提供背景。

由本文第一作者主编的《中国区域大地构造学教程》即将问世,本文以其中的部分内容阐述以上命题,奉献给读者并与同行切磋讨论。

收稿日期:2013-10-20; **改回日期:**2013-11-30

基金项目:普通高等教育“十一五”国家级规划教材项目;中央高校基本科研业务费专项资金(ZY20120102、ZY20110101)及国家自然科学基金重大研究计划课题(91214301)资助。

作者简介:葛肖虹,男,1938年生,教授,博士生导师,构造地质学专业,长期从事大地构造学、石油地质学科研与教学工作;
E-mail:gxhbj2004@163.com。

1 晚海西期—印支期古特提斯洋关闭, 陆块拼合、碰撞及古亚洲大陆雏形形成

古大陆复位研究已获共识,晚古生代当全球泛大陆(Pangaea)形成时,中国主要陆块中朝、扬子、西域(塔里木)板块仍在古特提斯洋东部处于游离状态^[3-6],它们相互的拼合碰撞及与西伯利亚亲缘板块的拼合发生在晚三叠世瑞替克期,即晚印支期完成了古亚洲大陆雏形的拼合。因此,中国东部的大陆构造演化起始于印支期。

早二叠世末—中三叠世末(280~220 Ma)古特提斯洋北支古亚洲洋自西向东关闭,使西伯利亚亲缘板块哈萨克斯坦、黑龙江板块相继和西域(塔里木)、中朝板块拼合碰撞,形成南天山—索伦—西拉木伦缝合带(图1)和相应近东西—北东东向展布宽300~400 km的构造—岩浆带,其南界可达中朝地台燕山构造带最南端的蓟县盘山、太行山北段的河北涿鹿及内蒙古中南部的凉城地区。岩浆岩主要为钾长花岗岩、二长花岗岩及碱性杂岩,其次为基性—超基性岩及少量中—酸性火山岩。岩浆活动主要开始于250 Ma,岩浆岩组合及地球化学特征均显示出同碰撞—后造山岩浆作用特征,如吉林大玉山花岗岩锆石U—Pb年龄为(248±4)Ma,形成于早三叠世晚期,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^[7]。上述构造—岩浆带具有由二叠纪末—中三叠世以高钾钙碱性为主,向晚三叠世大量出现碱性岩及相伴的碱性超镁铁岩的演变趋势,如由浑源、蔚县、宣化等地的双模式火山岩以及涿鹿矾山(223 Ma)、凌源河坎子(234 Ma)、赛马碱性杂岩(237~223 Ma)和安图青林子(224 Ma)等一系列白榴粗面斑岩、霞石正长岩和碱性超镁铁质杂岩等,应该是印支期陆—陆碰撞挤压后伸展作用的产物,表明挤压后的伸展裂隙,幔源岩浆上涌。在中朝地台以北形成了近纬向弧形展布、地壳加厚的中亚造山带雏形;在中朝、扬子—华南板块之间的古西域洋晚古生代—印支期自东向西关闭,形成秦岭—大别造山带,大别山北缘240~225 Ma超高压变质带和被郯庐断裂向北错移的苏鲁超高压变质带的确认^[8-9],标志着中朝与扬子—华南板块在印支期碰撞拼合;印支晚期古

特提斯洋南支的闭合形成西昆仑空喀山口—龙木错—双湖—澜沧江对接缝合线^[10-11],西域板块逆时针旋转与中朝、扬子板块拼合形成近南北向贺兰山—龙门山拼接带^[12],印支期完成了中国东部主要陆块的南北、东西向聚合(图1)^[12-13]。

在中朝克拉通南北边缘形成近东西向展布的造山带,中朝、扬子—华南地台的前侏罗纪印支期褶皱以地台南、北边缘的东西向由中、新元古界—上三叠统构成的厚皮褶皱与逆冲推覆构造为特点,表明南、北大块对接碰撞时所引起的南北向挤压距,地壳增厚,其强度由边缘向地台内部逐渐减弱,古亚洲大陆的雏形因此而形成。

2 晚侏罗世—早白垩世(158~135 Ma)蒙古—鄂霍茨克海闭合、南北陆块汇聚及古亚洲大陆形成

“燕山运动”是翁文灏先生于1926年在“泛太平洋科学会议”上所发表的《中国东部的地壳运动》中,首次提出并命名的。他根据燕山地区发育阿尔卑斯式的大规模逆冲推覆构造,指出它是中国东部和华北克拉通发生在侏罗纪—白垩纪期间一场重要的“造山型地壳运动”。半个多世纪以来,经过几代中外地质学家的研究,“燕山运动”不仅是中国,而且属于东亚洲际性重要的构造运动,它是亚洲东部构造形成的重要时期,也是重要的成岩、成矿期。说明包括中国在内东亚地区进入了一个强烈活动的构造发展阶段。需要指出的是,这个阶段无论沉积分布与构造特征都已超越了中朝和扬子—华南地台的范围,整个中国东部具有一致性。由于西太平洋伊佐奈岐洋壳板块向东亚大陆东部边缘斜俯冲的影响,把中国东部划分成东、西两个构造发展历史不同的区域,这一条重要构造边界基本沿着太行山—雪峰山的东麓分布。以中朝地台为例:西部以北北东向前白垩纪大规模宽缓的箱型褶皱隆升与大型沉积盆地为主;东部则是在隆升的背景上发育中—小型伸展裂隙的火山—沉积盆地,钙—碱性火山活动强烈。

徐刚等(2006)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—构造解析和中生代火山岩锆石SHRIMP U—Pb和LA—ICPMS年龄测

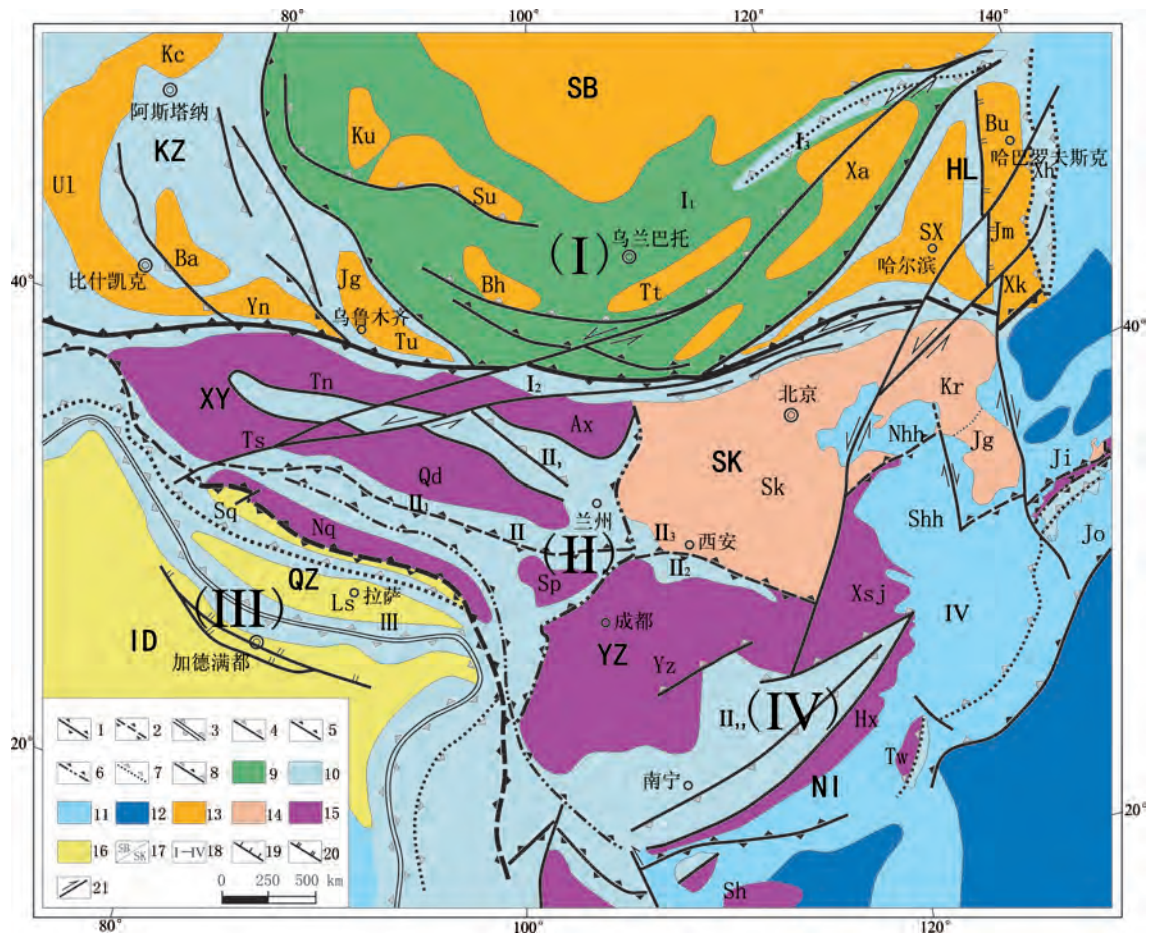


图1 中国及邻区晚中生代—新生代大地构造略图
(据文献[12-13]修改)

1~3—对接地壳消减带:1—海西期;2—印支期;3—燕山期及喜马拉雅期;4~8—叠接地壳消减带:4—加里东期;5—海西期;6—印支期;7—燕山期及喜马拉雅期;8—现代俯冲带;9~12—陆缘带与洋盆:9—北亚中元古—加里东—早海西期陆缘增生带;10—已成褶皱造山带的古、中、新生代陆缘带与已消亡的陆间洋(海)盆;11—现代陆缘带;12—现代深海洋盆;13~16—陆壳类型:13—北亚型;14—华北型;15—扬子型;16—冈瓦纳型;17~18—大地构造单元符号:17—构造域与古板块(地台)、地块;18—构造域与褶皱(造山)带;19~20—逆掩断裂带:19—燕山期,20—喜马拉雅期;21—晚中生代—新生代大型走滑断裂带。

大地构造单元 古板块(地台):
(I)—北亚构造域 1.SB—西伯利亚板块;2. I₁—西伯利亚中元古—加里东—早海西期增生陆缘带;Ku—库兹涅茨克地块;Su—萨彦—乌布苏地块;Bh—巴彦洪格爾地块;Tt—托托山地块;Xa—兴安岭地块。3.KZ—哈萨克斯坦板块;Kc—科克契塔夫地块;Ul—乌鲁套地块;Bh—巴尔哈什地块;Yn—伊宁地块;Jg—Tu—准噶尔—吐鲁番地块。
4.HL—黑龙江板块;SX—松嫩—锡林浩特地块;Bu—Jm—布列亚—佳木斯地块;Xk—兴凯地块。
(II)—亚洲中带(华夏)构造域 1.SK—中朝板块(华北型);Sk—中朝地台;Kr—朝鲜地块;Jg—京畿地块;Nhh—北黄海地块。2. YZ—扬子板块(扬子型);Yz—扬子地台;Sp—松潘地块;Xsj—下扬子—苏北—胶南地块;Shh—南黄海地块。3. NI—南海—印支地台(扬子型);Hx—华夏地块;Tw—台湾地块;Sh—南海地块;4. XY—西域板块(扬子型);Tn—北塔里木地块;Ts—南塔里木地块;Ax—阿拉善地块;Qd—柴达木地块;Nq—北羌塘地块。
(III)—南亚构造域 1.QZ—青藏地块、地体群(冈瓦纳型);Sq—南羌塘地块(地体);Ls—拉萨地块(地体)。2.ID—印度板块(冈瓦纳型)。
造山(褶皱)带、活动构造带:(I)—北亚构造域 I—蒙古—鄂霍次克(古亚洲/中亚)造山(褶皱)系: I₁—外贝加尔中—新元古—阿尔泰—蒙古—北兴安加里东—早海西期造山(褶皱)带; I₂—天山—兴蒙海西—印支期造山(褶皱)带; I₃—鄂霍次克印支—燕山期造山(褶皱)带;(II)—亚洲中带(华夏)构造域 II—昆仑—秦岭海西—印支期造山(褶皱)带; II₁—昆仑造山带; II₂—秦岭—大别造山带。 II₃—祁连山—满加尔加里东期造山(褶皱)带; II₄—华南加里东—海西期褶皱系
(III)—南亚构造域 III—滇藏印支—燕山—喜马拉雅期造山(褶皱)系
(IV)—环太平洋构造域 IV—环太平洋中—新生代活动构造带;Xh—锡霍特—阿林带;Ji—日本内带;Jo—日本外带

Fig.1 Late Mesozoic–Cenozoic tectonic map of China and its adjacent areas (modified after [12-13])

1–3–Continent–continent crustal subduction zone: 1–Hercynian, 2–Indosinian, 3–Yanshanian and Himalayan; 4–8–Continent–oceanic crustal subduction zones: 4–Caledonian, 5–Hercynian, 6–Indosinian, 7–Yanshanian and Himalayan, 8–Present subduction zone; 9–12–Continental margins and ocean basins: 9–Early Paleozoic accretion zone in North Asia, 10–Paleozoic, Mesozoic, Cenozoic folded continental margins and extinct ocean basins, 11–Present continental margin, 12– Present deep sea basin; 13–16–Crust types: 13–North Asia type, 14–North China type, 15–Yangtze type, 16–Gondwana type; 17–18–Tectonic units: 17–Paleo–plate (platform) or blocks, 18–Orogenic fold belt; 19–20–Thrust fault zone: 19–Yanshanian, 20–Himalayan; 21–Late Mesozoic–Cenozoic strike–slip fault

Tectonic units

Paleo–plate or platform:

(I) North Asia tectonic domain

1. SB–Siberia plate; 2. I₁–Middle–Proterozoic–Caledonian accretionary continental margin zone of Siberia plate: Ku–Kuznetsk block; Su–Sayan–Ubusu block; Bh–Bayanhongor block; Tt–Thott block; Xa–Xingan block. 3. KZ–Kazakhstan plate: Kc–Korqitafu block; Ul–Urutao block; Ba–Barhush block; Yn–Yining block; Jg–Tu–Junggar–Turfania block. 4. HL–Heilongjiang plate: Sx–Songnei–Xilinhot block; Bu–Jm–Buleah–Jiamusi block; Xk–Xingan block

(II) Central Asian (China) tectonic domains

1. SK Sino–Korea Plate: Sk–Sino–Korea platform; Kr–North Korean block; Jg–Gyeonggi block; Nhh–North Yellow Sea block. 2. YZ Yangtze plate: Yz–Yangtze platform; Sp–Songpan block; Xsj–Xia Yangtze–north Jiangsu–south Shandong block; Shh–South Yellow Sea block. 3. NI–South China Sea–Indian plate: Hx–Huaxia block; Tw–Taiwan block; Sh–South China Sea block. 4. XY–Xiyu plate: Tn–North Tarim block; Ts–South Tarim block; Ax–Alxa block; Qd–Qaidam block; Nq–North Qiangtang block

(III) South Asia tectonic domains: 1. QZ–Qinghai–Xizang plate: Sq–South Qiangtang block (massif); Ls–Lhasa block (massif).

2. ID–Indian plate

Orogenic (fold) belt and active tectonic zone:

(I)–North Asian tectonic domain

I Mongolia–Okhotsk orogen: I₁–Outer Baikal Meso–Neoproterozoic, Altai–Mongolia–North Xingan Caledonian–early Hercynian orogen; I₂–Tianshan–Xingmeng Hercynian–Indosinian orogen; I₃–Okhotsk Indosinian–Yanshanian orogen;

(II) Central Asian tectonic domain:

II Kunlun–Qinling Hercynian–Indosinian orogen: II₁–Kunlun orogen; II₂–Qinling–Dabie orogen; II₃–Qilianshan–Manjiaer Caledonian orogen; II₄–South China Caledonian–Hercynian fold belt

(III) South Asian tectonic domain

III Yunnan–Tibet Indosinian–Yanshanian–Himalayan orogen;

(IV) Circle Pacific tectonic domains

IV Circle Pacific Mesozoic–Cenozoic active tectonic zone; Xh–Xihuote–Alin zone; Ji–Inner Japan zone; Jo–Outer Japan zone

定,重新精确确定了1926年由翁文灏先生提出的燕山运动A、B幕的时空框架^[14]。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,而于前张家口期即144~137 Ma发生了燕山运动的B幕,是引起大规模EW–NEE走向逆冲推覆构造的时期。如何从宏观背景上去认识燕山期的陆内构造变形与岩浆活动?迄今仍是科学研究的前沿课题。

古地磁资料表明^[15],晚侏罗世—早白垩世鄂霍次克海湾发生了闭合(图2),这次闭合事件可归因于中—晚侏罗世泛大陆(Pangaea)裂解,大西洋盆向北延伸到北冰洋,北冰洋洋脊扩张造成阿纽依洋盆关闭,使西伯利亚板块向南漂移促使了鄂霍茨克海

的消亡,由此引起西伯利亚板块与黑龙江—哈萨克斯坦板块、中朝板块、扬子—华南板块的陆—陆碰撞,南北大陆再次汇聚形成古亚洲大陆。这也得到古地磁数据的进一步证明^[6,16-17]。大陆北部印支期缝合带两侧大陆岩石圈、地壳因晚中生代陆—陆碰撞而缩短增厚,发生陆内俯冲和侧向挤出,最终形成宽广的陆内高应变区,使弧形中亚造山带扩展到中朝板块的北缘阴山—燕山地区,并形成了当时中国北方弧形的高原地貌,在古亚洲洋缝合带以南中朝地台北缘形成了近纬向弧形展布的大规模左行走滑—逆冲推覆构造带、挤出构造^[12]和相应的盆—山结构,弧形东翼构造走向为EW—NEE向。

近年高锐等(2012)完成的从张家口北穿越索伦克碰撞带的深反射地震剖面,全长约630 km,

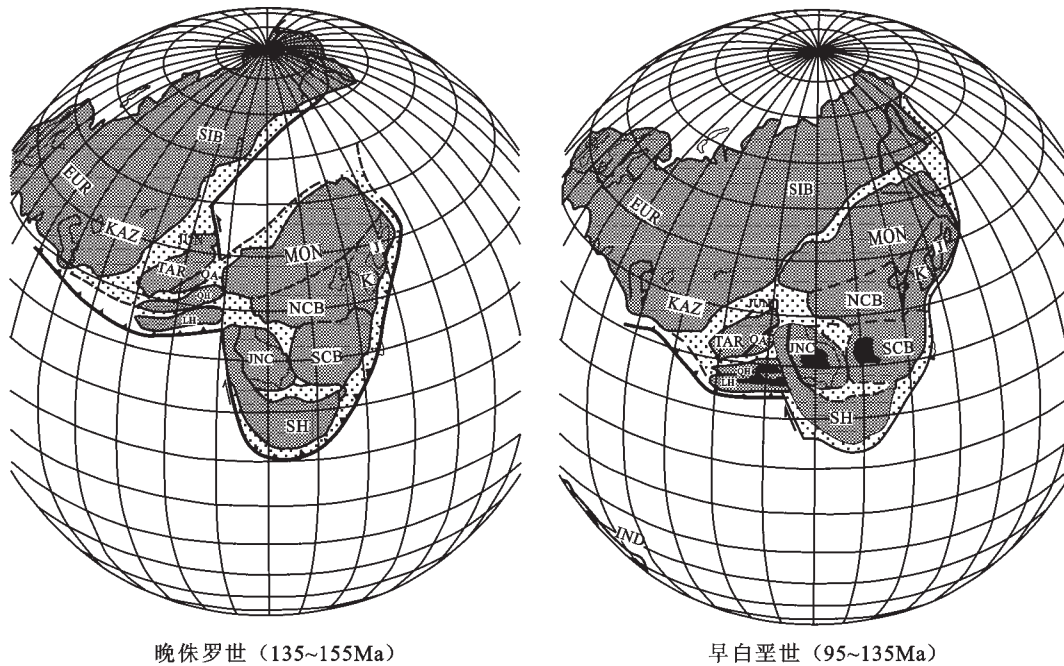


图2 晚侏罗世(155 ~ 135 Ma)—早白垩世(135 ~ 95 Ma)蒙古—鄂霍次克海闭合^[15]

EUR—俄罗斯地台;SIB—西伯利亚地台;KAZ—哈萨克斯坦地块;MON—蒙古造山带;NCB—中朝地台;
SCB—华南—扬子地台;INC—印支地块;QA—柴达木地块;TAR—塔里木地台;SH—滇缅泰地块

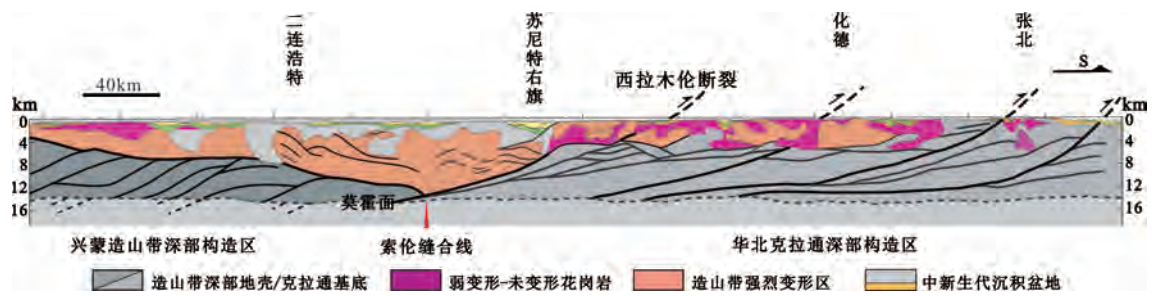
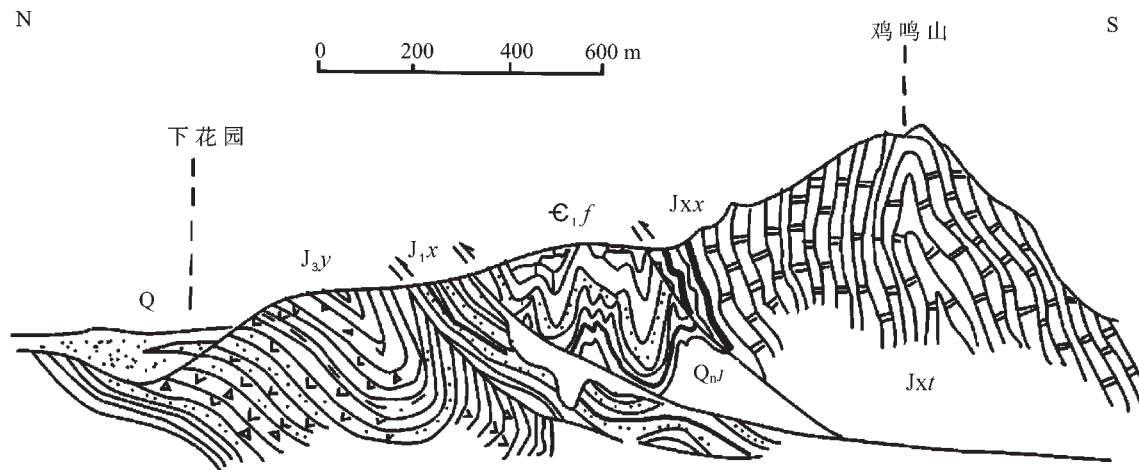
Fig.2 Maps showing the closure of Mongolia—Okhotsk Ocean during Late Jurassic—Early Cretaceous period^[15]

EUR—Russian Platform; SIB—West Siberia Platform; KAZ—Kazakhstan massif; MON—Mongolia orogenic belt;
NCB—Sino—Korea Platform; SCB—South China—Yangzte Platform; INC—Indosinian massif; QA—Qaidam massif;
TAR—Tarim massif; SH—Yunnan—Myanmar—Thailand massif

对兴蒙年青地块在古生代向华北克拉通北缘的增生和晚中生代—早更新世末陆—陆碰撞过程提供了新的解释。张世红(2012)的地震解释剖面(图3)清楚反映了上述部位的地壳结构,其最显著的特征是下地壳低角度的反射堆叠体,从西拉木伦河以南为一系列由北向南的逆冲推覆构造。在一些地方,这些反射体向上延伸进入上地壳,与野外出露的前寒武纪基底和古生代、中—新生代岩石相连。但多数情况,它们都被顶板和底板滑脱面所截切,地壳上部大量透明反射体被解释成花岗岩,它们被上述逆冲断层系切割。莫霍面位于全反射的下地壳和透明反射的上地幔之间,非常清楚。这些证据表明:①这一地区的地壳结构主要是晚中生代以来陆—陆碰撞形成的;②大量花岗岩应该是海西—印支期碰撞型花岗岩,部分为燕山期花岗岩;③晚中生代以来曾经发生过大规模的推覆隆升,逆冲推覆构造改造了莫霍面。

上述深部地壳构造剖面(图3)的地表响应,如中—蒙边境上长逾千余千米,走向近东西,发生在晚侏罗世—早白垩世的亚干特大型推覆体,运动方向由北向南,地表推覆缩距达180~200 km,平衡剖面计算实际上地壳的推覆变形缩距可达360 km以上^[18];以及大青山南侧由南向北反冲的逆冲推覆构造缩距大于35 km^[19]。再如冀北—辽西拗陷北侧的古北口—平泉—北票断裂系,在剖面上呈正花状构造,具右行斜逆冲性质^[20-22],活动时代148~137 Ma;冀北—辽西拗陷南侧反冲的寿王坟逆冲断裂^[23]和位于二者之间的河北宣化下花园鸡鸣山断裂(图4)^[24]。

鸡鸣山断裂上盘为蓟县系铁岭组(Jxt)灰岩、下马岭组(Jxx)砂页岩、青白口系景儿峪组(Qnj)砂页岩、下寒武统府君山组(Cf)硅质灰岩逆冲到下侏罗统下花园组(J_{1x})煤系和上侏罗统相当于髫髻山组的玉带山组(J_{3y})火山岩之上,使其为倒转向斜。它

图3 张家口北—二连浩特深反射地震解释剖面^①Fig.3 Deep seismic reflection profile across northern Zhangjiakou-Erenhot^①图4 宣化下花园鸡鸣山推覆构造剖面图^[24]Fig.4 Thrust structure profile of Jiming Mountain in Xiahuayuan, Xuanhua City^[24]

实际上从属于沿涿鹿、昌平、密云到喜峰口的一条长约300 km的近东西向叠瓦逆冲断裂带,在十三陵水库以东,暴露在岩壁上的断层倾角不超过20°,其运动方向由南向北,属于反冲逆断层,推覆缩距近40 km。

在中朝与扬子—华南板块之间最典型的逆冲推覆构造当属大别山由北向南的推覆构造,它使大别山地块晚中生代向南逆冲推覆(图5~6),掩覆了下扬子构造带^[25],在下扬子地区引起上地壳表层的对冲推覆褶皱如宁镇山脉自南向北的推覆构造^[26],中、下地壳和莫霍面均被卷入,后者是一系列向南叠瓦式的逆冲席,晚白垩世—古近纪又受到伸展构造变形的改造(图6)^[25]。

综上所述,以南北汇聚为主,陆—陆碰撞缩距、

挤压变形为特征的印支—燕山运动所发生的两期:从晚海西期—印支期到中—晚侏罗世的燕山运动A幕和晚侏罗世—早白垩世的燕山运动B幕,是包括蒙古—鄂霍茨克、燕山、朝鲜半岛北部在内的中亚造山带地壳加厚,表层挤压褶皱、推覆构造强烈变形的过程,整体呈现高原地貌,在东北和燕山、朝鲜半岛北部、大别山、下扬子以及苏北—胶南地区形成了小规模、动态迁移的盆—山结构,其间的演化是一个穿时的动态迁移过程。盆地是在挤压背景下,局部伸展—拉张的环境中形成的。

与上述在时空上叠加的是晚侏罗世—早白垩世期间西太平洋伊佐奈岐洋壳板块向西北斜俯冲对中国东部带来的变形影响,东强西弱,在东部引起NNE向希霍特阿林—完达山地体拼贴带的形成,

①张世红. 索伦克尔碰撞带地壳结构: 华北深反射地震剖面的地质解释. 第34届国际地质大会, 2012.

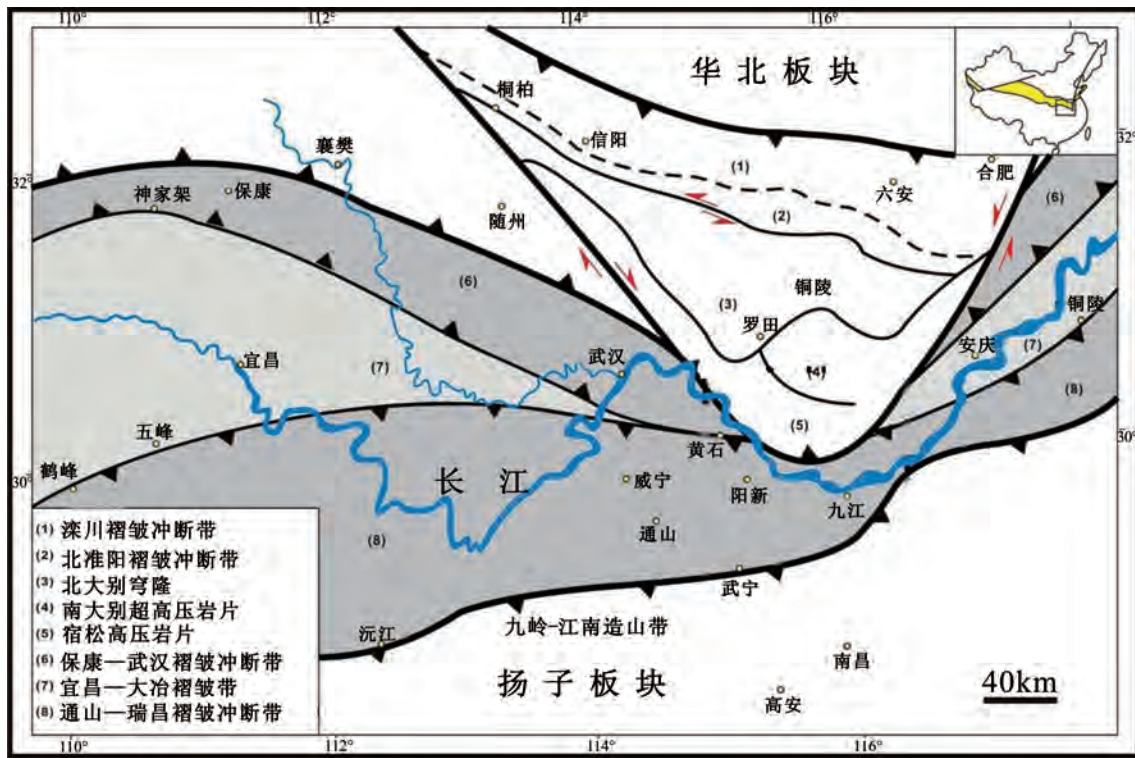


图5 大别山推覆构造区域背景图^[25]

Fig.5 Map showing regional tectonic background of Dabie Mountain thrust structure^[25]

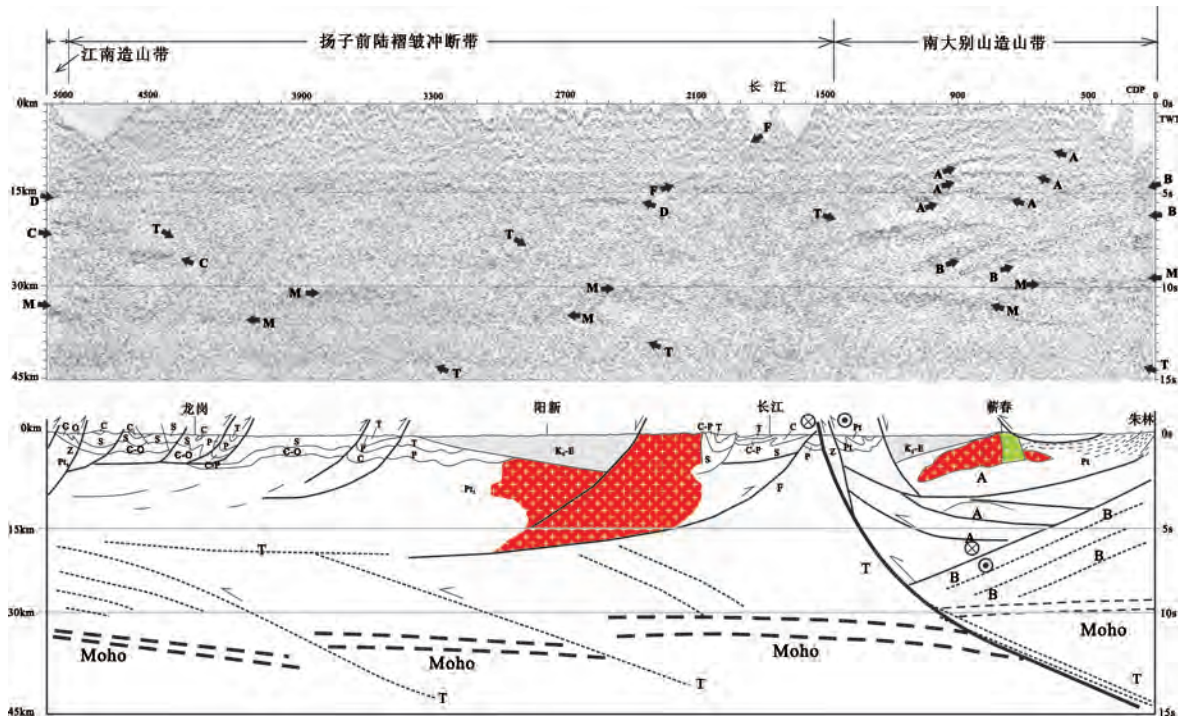


图6 大别山推覆构造地震解释剖面图^[25]

Fig.6 Thrust structure-seismic interpretation profiles in Dabie Mountain^[25]

郯庐断裂走滑变形,在燕山地区与前述形成NE-NNE向的联合构造和对印支期EW向构造形成NNE向的横跨褶皱^[24](图7);其影响达到中朝、扬子—华南地台的克拉通内部,即鄂尔多斯和四川盆地的东部,下白垩统角度不整合于中元古界—上侏罗统之上,形成一系列NNE走向左行走滑-挤压逆冲断裂与宽缓褶皱,如太行山、吕梁山复式背斜和沁水向斜;扬子—华南地台东部则为NNE走向紧闭的束状褶皱。而在与西域地台阿拉善地块碰撞拼合边界的贺兰—六盘山形成近SN-NNE向逆冲推覆构造带(图7),如从磴口到陇县是一南北向,长600 km,宽50~150 km的巨大背负式叠瓦冲断带^[28],其向南延伸与龙门山断裂带相接。该带由4条以上大致平行的主干断裂组成,断面向西倾,倾角上陡下缓,最后进入石炭纪、二叠纪煤系地层成为顺层滑脱,太古宙的结晶基底自西向东直接盖在上古生界

之上。叠瓦构造自西向东的发展由三叠系、侏罗系和白垩系—古近系前缘的东移表现出来。与此相应,逆掩断距也自西向东增大。因此至少鄂尔多斯向斜盆地的西缘在中生代时依然属挤压成因的前陆盆地。

扬子—华南地台燕山运动的影响同样来自北部和东、西三个方向,东部伊佐奈岐板块的斜俯冲,西部特提斯洋的俯冲与西域板块的碰撞,由此引起的板内变形十分强烈,挤压褶皱的总体走向为NNE向。东部以断裂变动为主,控制火山喷发与岩浆侵入,岩浆活动东强西弱,褶皱紧闭;西部褶皱宽缓、断裂发育,推覆-滑脱的薄皮构造比中朝地台普遍而强烈,构造类型与褶皱束方向受到外来碰撞与基底结构的双重制约,如在川中、黔中南向斜的核部,由于存在古元古—太古宙刚性陆核和基底隆起,盖层褶皱以开阔、宽缓的向斜盆地、穹隆和短轴背斜

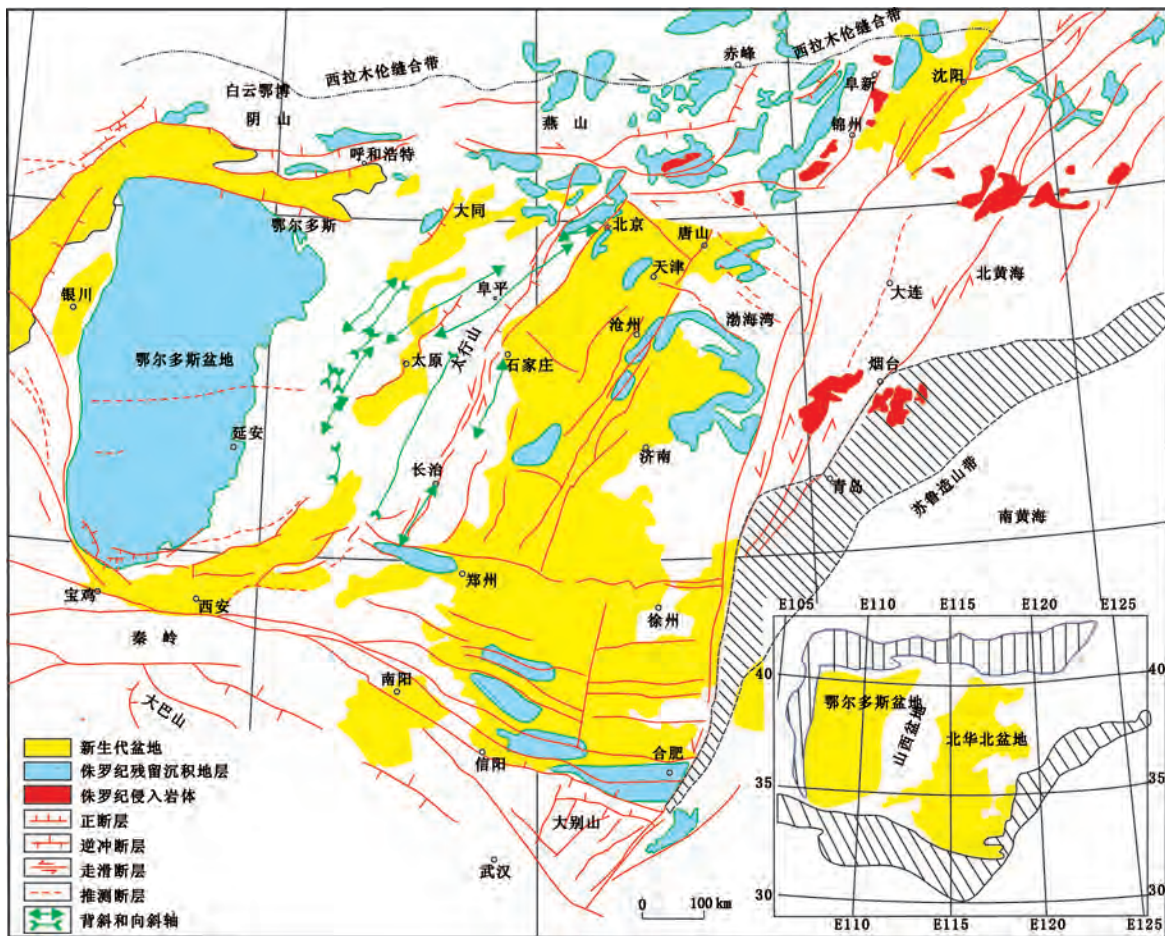


图7 中朝地台中新生代构造略图^[27]
 Fig.7 Mesozoic-Cenozoic tectonic map of Sino-Korea Platform^[27]

为主,方向性不明显;而在环绕其周缘的中—新元古界浅变质基底强烈凹陷区,盖层较厚,则形成一些方向性明显的褶皱束,其主要受到区域构造应力场的控制,同时也受到相邻基底隆起或刚性陆核的制约。扬子—华南地台中—新生代褶皱变形大致以四川盆地轴,两侧的逆冲方向相反(图8)^[29],华蓥山断裂以西的中生界变形微弱,向东南依次出露川东南中生界梳状褶皱带(隔挡式)、黔—川—鄂古生界箱状褶皱带(隔槽式),号称“侏罗山式褶皱”,即由于基底或盖层滑脱面引起的表层褶皱,最后是组成“江南古陆”西段的新元古界板溪群和南华系断弯型褶皱直接出露地表,成为海拔1000~2000 m雪峰山的山顶。变形层次深度向东加大的规律以

及三者空间上平行分布,都呈向西北突出的弧形,表明它们属同一个由东南向西北推掩的巨型叠瓦冲断带系统,这在黄汲清先生1944年即已述及;四川盆地以西的龙门山是一条著名的中生代叠瓦冲断带,北起广元,南达天全,长约500 km,与鄂尔多斯西缘叠瓦冲断带共同构成中国始自印支期的东西构造区分界。根据罗志立等(1989)的系统工作,冲断带由三条倾向西北的叠瓦式主干断裂组成,西北侧出露变形和变质强烈深层次的彭灌杂岩构造带,东南侧为未变质,以脆性变形为主的浅层次构造,表明西北侧断裂生成早(印支期)、埋藏深,后期抬升也高。对三叠纪、侏罗纪、白垩纪前陆盆地物源区的分析也表明,这是一个始自印支期,持

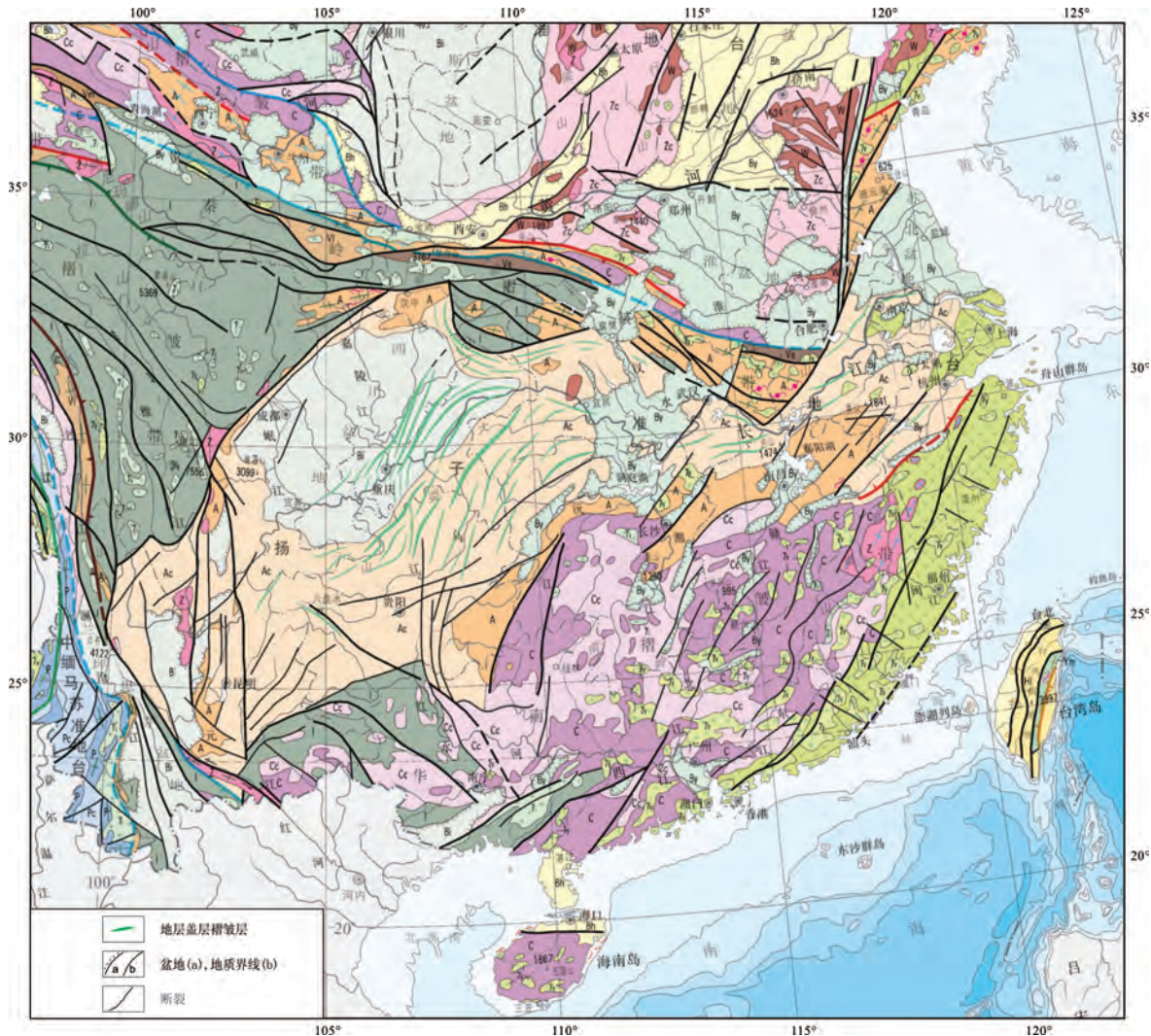


图8 扬子—华南地台中—新生代构造变形图(据[29]改编)

Fig.8 Mesozoic–Cenozoic structural deformation map of Yangtze–South China Platform (modified after [29])

续到燕山晚期和喜山晚期自西北向东南的背负式逆冲带,构造带的缩短率42%~63%,盖层缩短距离40.5~58 km^[30]。

构造形成时期以黄陵背斜—雪峰山为界,以东下白垩统角度不整合在南华系—上侏罗统厚皮褶皱之上,以西下白垩统与下覆地层平行整合接触共同被下更新统和中—上更新统角度不整合覆盖,说明西部构造形成时期晚于东部,东部受到伊佐奈岐板块斜俯冲的影响于晚燕山期变形,而西部则形成于渐新世末的四川期或更晚到早更新世末。

3 早白垩世晚期—古近纪(137~23 Ma)陆内伸展变形达到高潮及大陆克拉通泛盆地、准平原化

早白垩世晚期—晚白垩世(120~90 Ma)伊佐奈岐(Izanagi)洋壳板块近于平行东亚大陆边缘向北

斜向消减俯冲是东北亚北东向大型走滑断裂形成的背景,如郯—庐断裂北延的依兰—伊通(图9②)、敦化—密山断裂(图9③)和阿尔金断裂带的北支即车尔臣河—星星峡—东戈壁—德尔布干断裂(图9①),它们自东而西依次左行走滑错移了哈巴罗夫斯克—松辽原型盆地^[31]和海拉尔—蒙古东戈壁原型盆地(图9)。这期间也是大兴安岭—太行山伸展型碱性火山—深成岩带与松辽盆地伸展拗陷的鼎盛时期。长期以来使人困惑的是松辽盆地下—中白垩统东侧缺少边缘相,近年在依兰—伊通断裂的东盘被错移的三江盆地西侧发现了相应的下—中白垩统深水相,通过佳—依断裂的构造复位说明松辽盆地与哈巴罗夫斯克—三江盆地原为统一的北东东向盆地(图9),属于弧形中亚造山带东翼的裂陷盆地^[31]。中白垩世为盆地全盛期,属于近海的陆相盆地,这应该是松辽盆地油气潜力巨大的重要条件。

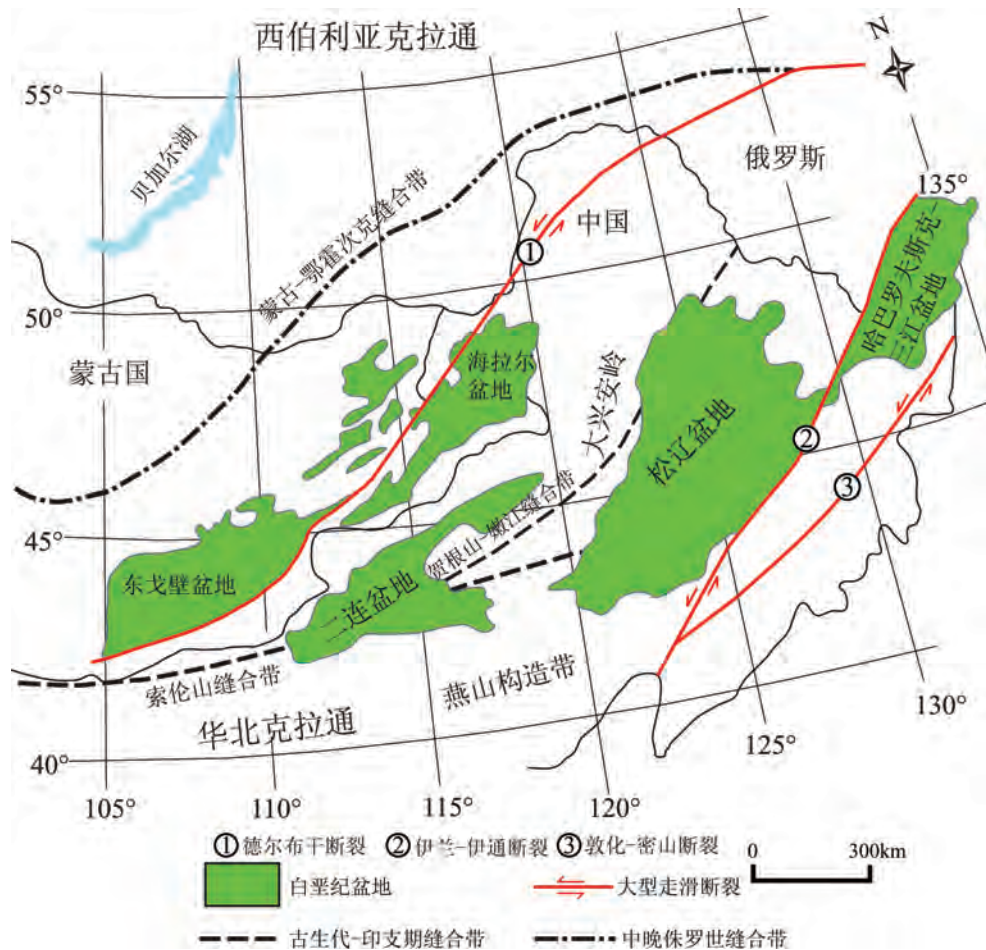


图9 东北亚中生代盆地与大型走滑断裂构造略图
Fig.9 Large strike-slip faults in Mesozoic basins of Northeast Asian

早白垩世晚期—晚白垩世是中国大陆南北向挤压作用后的松弛期,也是东部伊佐奈岐洋壳板块向北北西走滑斜俯冲对大陆挤压的松弛期,中国东部加厚地壳—岩石圈开始减薄、转型,巨量钙碱性岩浆侵入、喷发在 130 ~ 100 Ma 达到高潮(图 10)^[24]。

岩浆活动的岩石学、地球化学特征在中朝地台东部存在着时空上的不均一性,晚侏罗世—早白垩世早期广泛分布的高钾钙碱性火成岩中钾含量缺少自东向西增高的极性^[32],标示了它们的深部源区,

不完全来自西太平洋伊佐奈岐洋壳板块俯冲的影响,而更多来自于北部陆—陆深俯冲引起地壳加厚、壳幔交代熔融的影响,或二者双重影响的叠加。

徐义刚(2009)^[33]提出了华北克拉通岩石圈转型五阶段的演化模式(图 11),说明古生代克拉通 200 km 厚的低地温“大陆型岩石圈”经历 250 ~ 220 Ma 海西—印支期的碰撞和 160 ~ 140 Ma 晚侏罗—早白垩世的陆—陆碰撞以及早白垩世晚期—古近纪 120 ~ 60 Ma 伸展变形岩石圈巨量减薄约 140 ~ 100 km,转变为“大陆活动带型岩石圈”^[34]。

大—中型变质核杂岩与伸展沉积盆地形成,大规模伸展型盆—山结构的出现,应该说是岩石圈转型的地表响应。如前所述,此期也是郯—庐断裂左行走滑错移北延,亚洲东部陆缘带俯冲增生的时期。

早白垩世中晚期(135 ~ 100 Ma)即张家口—阜新组(东岭台组、义县组)沉积—火山岩巨厚、沉积广布,以橄榄玄武岩—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(2002)估算当时燕山地区的地壳厚度在 30 ~ 35 km,比晚侏罗世—早白垩世早期明显减薄 5 ~ 10 km^[35]。

包括中蒙边界区亚干变质核杂岩、大青山、阴山、燕山、大兴安岭、辽南在内许多变质核杂岩都形成于此时期^[36-39],由于伸展和走滑—伸展作用使一些

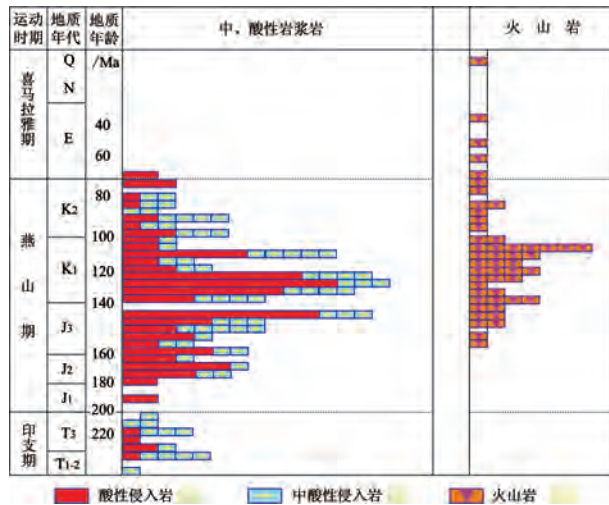


图 10 冀北燕山地区印支—燕山期岩浆活动年龄分布图^[24]
Fig.10 Indo-Yanshanian magmatism age distribution chart in Yanshan area of Northern Hebei Province^[24]

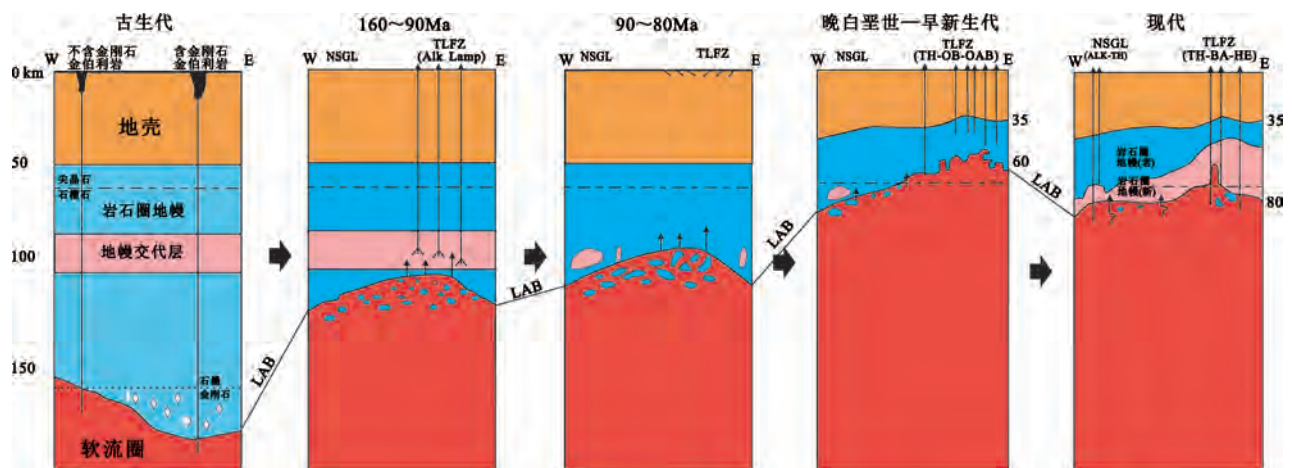


图 11 华北克拉通显生宙大陆岩石圈五阶段演化模式^[33]

TLFZ—郯庐断裂; NSGL—南北重力梯度带

Fig.11 Five-stage evolution model of Phanerozoic continental lithosphere of North China Carton^[33]

TLFZ—Tan-Lu strike-slip fault; NSGL— North-south gravity lineament



图12 中国东北部伸展构造变质核杂岩分布略图^[37]

Fig.12 Metamorphic core complex distribution maps showing extensional tectonics in Northeast China^[37]

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—古近纪以来的隆起区。曾经被认为是长期隆起的“内蒙地轴”、“医巫闾山隆起”、“辽南、辽北隆起”、“鲁西穹隆”、朝鲜半岛三个隆起区,实际多数都应该是在这个时期才成为大规模的隆升剥蚀区,并成为相邻盆地的物源区^[31],在它们的两侧形成了不同规模的伸展盆地。如鲁西穹隆以南,大汶口盆地北侧渐新统粗砾岩的成分:下部是二叠系—石炭系砂岩砾块、中部是奥陶系—寒武系灰岩砾块、上部是太古界片麻岩砾块,正好是鲁西穹隆隆起剥蚀的反序沉积(刘泽榕,1980面告),它说明鲁西穹隆的构造隆升发生在渐新世,是渐新世的变质核杂岩而不是古生代的隆起,长期以来把鲁西穹隆称为中朝地台发育过程中相对隆起的“鲁西台背斜”显然是一个历史的误会。

云蒙山、医巫闾山、辽东和胶东南部北东向延伸的变质核杂岩带与相邻盆地的出现,多数和郯—

庐巨型走滑构造带中的左行走滑拉分断块与拉分盆地的形成背景有关(图12)^[37]。在成因上可以和太平洋东岸的科迪瑞拉山系内晚白垩世拉拉米挤压造山区,圣安德列斯断裂带以东,始新世—中新世右行走滑伸展变形发育的盆—岭构造区相媲美。

华南的白垩系—古近系红层多呈大型断陷盆地出现,如湖北江汉盆地、湖南衡阳盆地、江西信江、吉安、赣州盆地、以及广东南雄盆地等。值得注意的是,上述盆地的沉积地层与微古生物特征竟和中国西部塔里木、柴达木、羌塘、河西走廊等盆地一致,显示当时它们属于同纬度的盆地群(图13)^[40]。只是中新世由于印度板块的楔入才形成“Z”字形展布。填充这些盆地的地层未受到上述燕山期挤压变形作用的影响,相反出现受同沉积铲状正断作用控制的掀斜断块、滚动背斜和披盖不整合等拉张应力场控制下的变形。与此同时,浙江东部不整合在晚侏罗世—早白垩世中、酸性钙碱性火山岩之上的上白垩统也变为双模式火山岩系,其中的玄武岩显

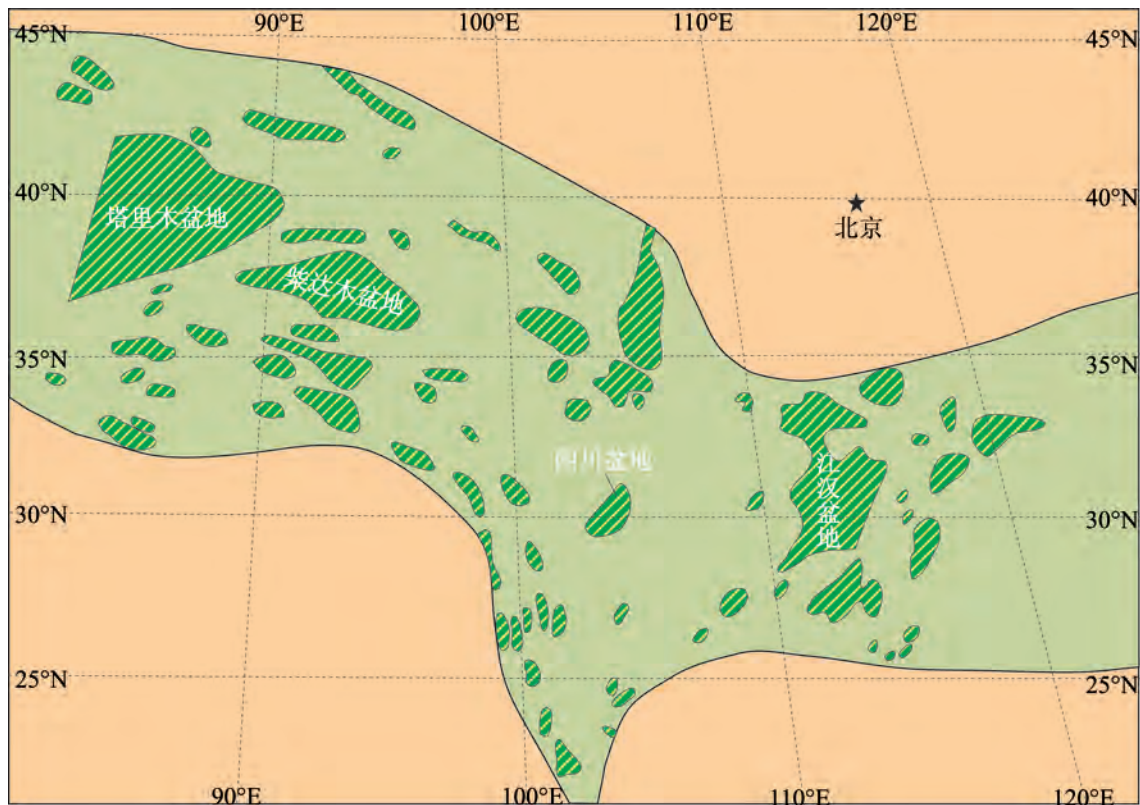


图13 中国中、西部始新世—渐新世同纬度泛盆地群分布图^[40]

Fig.13 Eocene – Oligocene basins in the same latitude distribution in middle and western parts of China^[40]

示了典型大陆橄榄玄武岩的特征。它们出现在NE-SW向孤立的小断陷盆地中。因此晚白垩世前后反映了中国东部构造体制的重大转折,从挤压缩短变形让位于晚白垩世—古近纪的大陆伸展作用。

4 始新世晚期—早中新世(40~23Ma)太平洋板块运动转向和印度洋中脊扩张的叠加及中国东部新生构造地貌的形成

根据洋底磁条带资料,太平洋板块运动及其向大陆俯冲的方向从白垩纪(81 Ma)到古新世一直向NNW阿拉斯加方向俯冲,而从始新世中期到渐新世末(43~23 Ma)由NNW转向NWW,其运移速度 $9\sim 10\text{ cm/a}^{[41]}$,这和处于东太平洋的太平洋板块残留中脊的扩张有关(图14)。当时东亚大陆东部大

陆边缘属于安第斯型大陆边缘,不存在日本海、南海和菲律宾小洋盆的阻隔,太平洋板块向NWW向俯冲,日本列岛、中国台湾、东北、华北、华南地区首当其冲受到来自SEE向的挤压,引起日本列岛四万十的高千穗运动(38 Ma)和台湾东缘埔里运动(33 Ma)形成玉里—寿丰构造混杂变质带,同时产生了中国东部NNE走向的挤压褶皱、推覆构造为主的构造变形和新生的构造地貌。诸如松辽、三江盆地东部自东向西的叠瓦状逆冲推覆构造;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^[31];下辽河—华北盆地构造反转,出现表层逆冲推覆构造,并普遍出现下中新统馆陶组与下覆古近系东营组的区域性角度不整合,唐智(1979)命名为“华北运动”;扬子—华南地台发生在渐新世末—早中新世大约24.6 Ma的“四川运动”^[42]所产生的NNE走向的

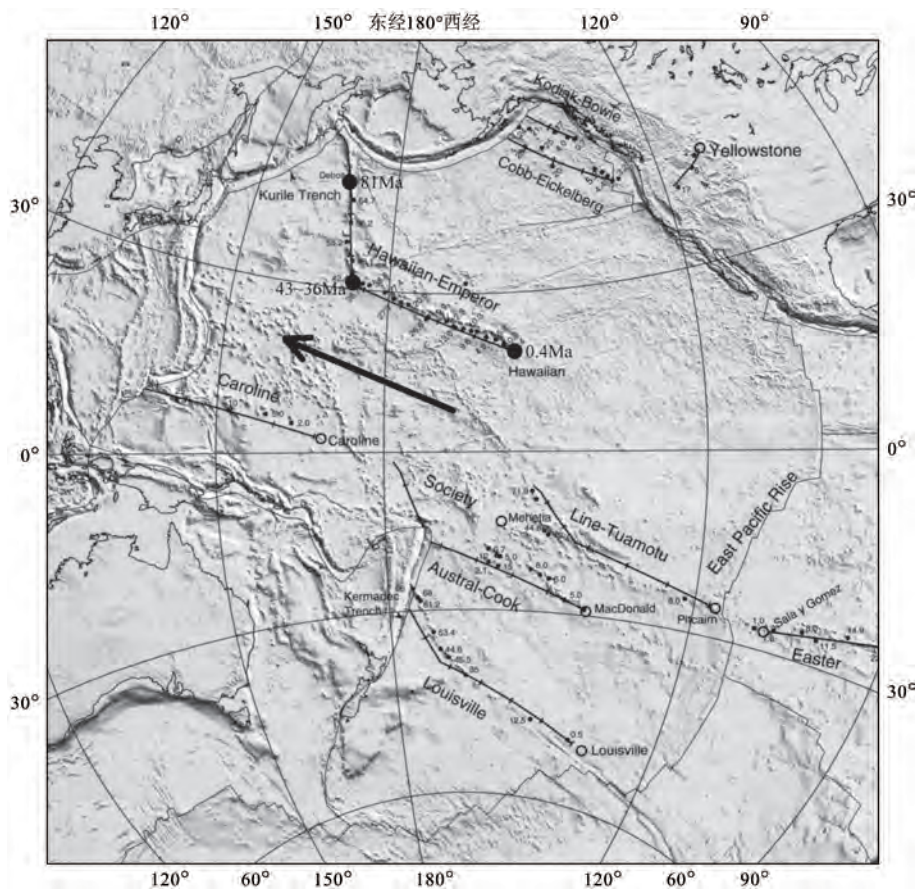


图14 夏威夷-皇帝海岭拐点标志着太平洋板块始新世—渐新世末的运动转向(据[41]改编)

Fig.14 Pacific plate movement steering during Eocene-Oligocene marked by Hawaiian-Emperor ridge inflection point (modified after [41])

挤压褶皱与推覆构造。如前所述,雪峰山由东南向西北推掩的巨型叠瓦冲断带和反冲的龙门山叠瓦冲断带皆形成于此期。中国大陆东部从大兴安岭—太行山—武陵山到长白山—千山—胶辽山地—闽浙山地NNE向的宏观盆—山地貌(图15),即李四光早年称谓的晚近时期(而不是20世纪70—80年代被后人称谓的“燕山期”)形成的“新华夏系”构造地貌轮廓,它们都应该是“四川—华北运动”构造变形的产物。

由于中新世后大兴安岭—山西、青藏—闽粤高原的隆升、剥蚀、夷平,能够标志这期构造变形的白垩系—古近系仅存于盆地内,而在很多地方被剥蚀殆尽,所以长期以来渐新世末“四川—华北运动”期的变形往往被许多学者和地质工作者所忽视,这是一个需要重新认识而且应该重视的问题。

始新世中期到早中新世(43~17 Ma)印度洋中脊持续扩张,印—澳板块向亚洲大陆南部推挤,陆—陆碰撞致使NWW向延伸的青藏—闽粤初始高原形

成(图15)^[45]。

5 中—上新世—早更新世(23~0.8Ma)中国东部岩石圈地幔隆升、地壳减薄及边缘海、岛弧、裂谷型盆地和剥蚀高原地貌的形成

中新世中期(15 Ma)由于弧后拉张日本海、南海相继形成边缘海,日本列岛—琉球成为岛弧。新近纪中国东北部在四川(华北)运动后剥蚀夷平的基础上受东亚—西太平洋巨型裂谷体系^[43-44]的影响,岩石圈地幔隆升、地壳减薄,出现了伸展裂谷型宏观地貌,松辽—三江、下辽河—渤海—华北、黄海、东海等盆地相继出现,西部鄂尔多斯发育为内陆湖盆地,大兴安岭山西隆升为高原区,其间发育了汾—渭裂谷系(图15)^[45];中国东南部“四川运动”后整个扬子—华南地台大部地区新近纪以来隆升成为高原,受印度洋中脊扩张的影响,它们同时属于

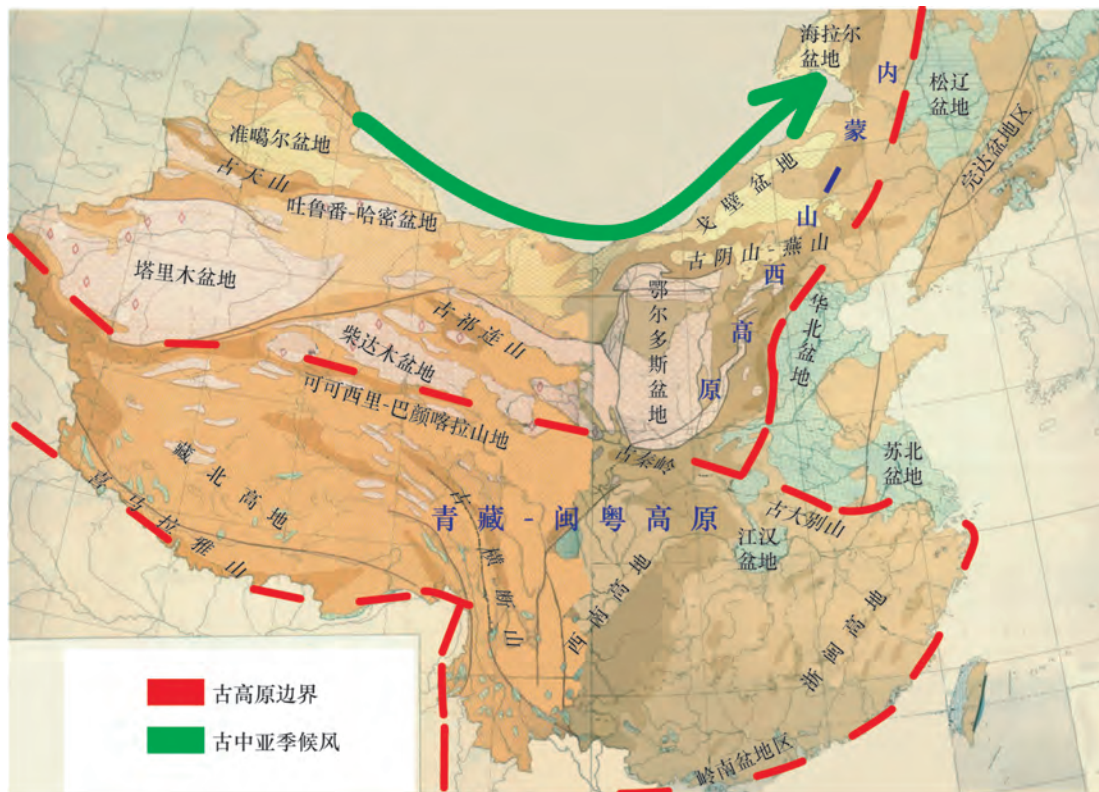


图15 新近纪中国构造地貌轮廓图(据[45]改编)

Fig.15 Neogene tectonic geomorphologic map of China (modified after [45])

青藏—闽粤初始高原^[42]的东部,迄今在西南地区由古近系构成的I级夷平面抬升到海拔2000~3000 m,东部抬升到1000~1500 m。

中新世初期形成的青藏—闽粤初始高原^[42]成为西起塔里木、柴达木、渭河地堑,东到河淮、苏北—南黄海、东海、南海诸盆地以及孟加拉湾新近纪期间沉积的主要物源区。在上述环初始高原的盆地中,新近纪中—上新统到更新统(N₁₋₂—Q)的沉积厚度都在3000~5000 m,在南海的莺歌海盆地甚至超过10000 m(郝天珧近告)。正是新近纪两千多万年以来如此巨量的剥蚀,使华南地区许多早白垩世—古近纪(K₁—E)的伸展型泛盆地都成了孤立、零星、缺失边缘相的小型残留盆地;大量古生界褶皱岩系,包括曾经属于中—上地壳的深层侵入岩被剥露地表,使华南闽、粤、赣、湘地区成为中国内生金属矿床最集中的地区。到上新世晚期—早更新世高原面已准平原化,高原主夷平面即高原腹地的羌塘盆地已和塔里木、柴达木、川西盆地近于同一海拔高度700~1000 m^[46-47]。高原的再次快速隆升发生在早更新世晚期之后。

6 早更新世晚期(0.9~0.8 Ma)—晚更新世末(0.01 Ma)中国东部大陆构造地貌基本形成

早更新世晚期(0.9~0.8 Ma)青藏高原的末次快速隆升^[48-50],影响到中国西北挤压型盆—山地貌的形成以及蒙古高原、山西—陕西黄土高原和云贵高原的形成,同时大兴安岭—太行山—武陵山的地形阶梯带和与之相对应的重力梯度带也是早更新世晚期(0.9~0.8 Ma)才形成的,因为古黄河在三门峡的贯通和古长江在三峡的贯通都发生在1.2~0.8 Ma^[51-52]。因此,早更新世末的构造运动奠定了中国东部现今阶梯状构造地貌的基本轮廓。

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^[53],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,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;燕山地区北京西山顶部1000 m海拔夷平面保存着上更新统马兰组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也是发生在晚更新世之后,因而分隔了辽河与黄—渤海水系^[49,54];同样,分隔黄河—淮河与长江水系的秦岭—大别山;分隔长江与珠江水系的南岭都形成于晚更新世之后。因此中国东部五大流域的分水岭晚更新世末才最终定型^[31,54]。

7 结 论

综上所述,“威尔逊旋回”洋盆消失两侧板块拼合碰撞后新生大陆外侧新生洋盆洋脊的扩张与相邻洋盆的俯冲是新生大陆内部陆内变形的不竭动力,它诱发大陆岩石圈壳幔物质的调整加厚或减薄。中国东部大陆早白垩世晚期—古近纪(135~23 Ma)加厚地壳—岩石圈减薄、转型,陆内伸展变形和岩浆活动达到高潮,使大陆克拉通出现泛盆地、准平原化,这种现象在“四川—华北运动”之后的新近纪再次重复。早更新世晚期(0.9~0.8 Ma)青藏高原的末次快速隆升,影响到中国东部构造地貌轮廓的基本定型。晚更新世末分隔五大流域东西走向分水岭山脉的再次隆升,说明了从晚中生代以来至今,北冰洋与印度洋脊的扩张和太平洋板块的俯冲是长期造成亚洲大陆三个方向受挤压发生陆内变形、诱发地震的宏观背景。中国东部中—新生代大陆构造的形成与演化正是在上述背景下发生的。

参考文献(References):

- [1] Wilson J T. Static or mobile Earth: The current scientific revolution[J]. Proceedings of the American Philosophical Society, 1968, 112(5): 309-320.
- [2] Molnar P. Continental tectonics in the aftermath of plate tectonics[J]. Nature, 1988, 335:131-137.
- [3] Wang Hongzhen, Zhang Shihong, He Guoqi. China and Mongolia[C]// Selley R C, Cocks L R M, Plimer I R (eds.). Encyclopedia of Geology, 2005, 1: 345-358.
- [4] Scotese C R. Atlas of Earth History, Paleomap Project[M]. Arlington, Texas, 2001: 52.
- [5] Lawver L A, Dalziel I W D, Gahagan L M, et al. The Paltes 2003 Atlas of Plate Reconstructions (750 Ma to Present Day)[M]. Plates Progress Report No. 280-0703, UTIG Technical Report No.190, 2003. 97.
- [6] 朱日祥, 杨振宇, 吴汉宁, 等. 中国主要地块显生宙古地磁视极曲线与地块运动[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(增刊): 1-16.
Zhu Rixiang, Yang Zhengyu, Wu Hanning, et al. Paleomagnetic constraints on the tectonic history of the major blocks of China during the Phanerozoic [J]. Science in China (Series D), 1998, 41

- (S2): 1-19.
- [7] 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 Yanbing, 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).
- [8] 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. Sm-Nd同位素体系[J]. 中国科学(D辑), 1997, 27(3): 200-206.
Li Shuguang, Li Huimin, Chen Yizhi. Chronology of ultrahigh-pressure metamorphism in the Dabie Mountains and Su-Lu terrane: I. Sm-Nd isotope system [J]. Science in China (Series D), 1996, 39(6): 597-609.
- [9] 郑永飞. 超高压变质与大陆碰撞研究进展: 以大别—苏鲁造山带为例[J]. 科学通报, 2008, 53(18): 2129-2152.
Zheng Yongfei. A perspective view on ultrahigh-pressure metamorphism and continental collision in the Dabie-Sulu orogenic belt [J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(20): 3081-3104.
- [10] 刘本培, 崔新省. 西藏阿里日土县宽铰蛤(*Eurydesma*)动物群的发现及其生物地理区系意义[J]. 地球科学, 1983, (1): 79-92.
Liu Benpei, Cui Xinsheng. Discovery of *Eurydesma*-Fauna from Rutog, northwest Xizang (Tibet), and its biogeographic significance [J]. Earth Science, 1983, (1): 79-92(in Chinese with English abstract).
- [11] 李才, 翟庆国, 董永胜, 等. 青藏高原龙木错—双湖板块缝合带与羌塘古特提斯洋演化记录[J]. 地质通报, 2007, 26(1): 13-21.
Li Cai, Zhai Qingguo, Dong Yongsheng, et al. Lungmu Co-Shanghu plate suture in the Qinghai-Tibet Plateau and records of the evolution of the Paleo-Tethys Ocean in the Qiangtang area, Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(1) : 13- 21 (in Chinese with English abstract).
- [12] 葛肖虹, 马文璞, 刘俊来, 等. 对中国大陆构造格架的讨论[J]. 中国地质, 2009, 36(5): 949-965.
Ge Xiaohong, Ma Wenpu, Liu Junlai, et al. A discussion on the tectonic framework of Chinese mainland[J]. Geology in China, 2009, 36(5): 949-965(in Chinese with English abstract).
- [13] 王鸿楫, 刘本培, 李思田. 中国及邻区大地构造划分与构造发展阶段[C]//王鸿楫, 杨森楠, 刘本培, 等. 中国及邻区构造古地理和生物古地理. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990: 3-34.
Wang Hongzhen, Liu Benpei, Li Sitian. Geotectonic units and tectonic development of China and adjacent regions[C]//Wang Hongzhen, Yang Sennan, Liu Benpei, et al. Tectonopalaogeography and Palaeobiogeography of China and Adjacent Regions. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1990: 3-34(in Chinese).
- [14] 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 Geoscientifica Sinica, 2006, 27(1): 1-12(in Chinese with English abstract).
- [15] Enkin R J, Yang Z, Chen Y, et al. Paleomagnetic constraints on the geodynamic history of the major blocks of China from the Permian to the present[J]. Journal of Geophysical Research, 1992, 97(B10): 13953-13989.
- [16] 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. Apparent polar wander path and tectonic movement of the North China Block in Phanerozoic[J]. Science in China (Series D), 1998, 41(S2):51-65.
- [17] 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).
- [18] 郑亚东, 王涛. 中蒙边界区中生代推覆构造与伸展垮塌作用的运动学和动力学分析[J]. 中国科学(D辑), 2005, 35(4): 291-303.
Zheng Yadong and Wang Tao. Kinematics and dynamics of the Mesozoic orogeny and late-orogenic extensional collapse in the Sino-Mongolian border areas [J]. Science in China (Series D), 2005, 48(7): 849-862.
- [19] 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 Zhonghong, Xu Zhongyuan, Yang Zhensheng, The thrust nappe tectonics in Daqingshan, Inner Mongolia [J]. Regional Geology in China, 1999, 18(4): 366-372(in Chinese with English abstract).
- [20] Davis G A, Wang C, Zheng Y D, et al. The enigmatic Yinshan fold-and-thrust belt of northern China: New views on its intraplate contractional styles[J]. Geology, 1998, 26: 43-46.
- [21] Davis G A, Zheng Y D, Wang C, et al. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning Provinces, northern China[J]. Geological Society of America Memoir, 2001, 194: 171-197.
- [22] 张长厚, 宋鸿林, 王根厚, 等. 燕山板内造山带中段近东西向中生代右行走滑构造系统[J]. 地球科学, 2001, 26(5): 464-472.
Zhang Changhou, Song Honglin, Wang Genhou, et al. Mesozoic dextral strike-slip structural system in middle segment of intraplate Yanshan orogenic belt, Northern China [J]. Earth Science, 2001, 26(5): 464-472(in Chinese with English abstract).
- [23] 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).
- [24] 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).
- [25] Dong S W, Gao R, Cong B L, et al. Crustal structure of the southern Dabie ultrahigh-pressure orogen and Yangtze foreland from deep seismic reflection profiling[J]. Terra Nova, 2004, 16: 319-324.
- [26] 葛肖虹. 论宁镇山脉推覆构造的特征与形成[J]. 长春地质学院学报, 1987, 17(2): 143-154.
Ge Xiaohong. Nappe structures in the Ningzhen Mountains [J]. Journal of Changchun College of Geology, 1987, 17(2): 143-154 (in Chinese with English abstract).
- [27] 张岳桥, 董树文, 赵越, 等. 华北侏罗纪大地构造: 综评与新认识[J]. 地质学报, 2007, 81(11):1462-1480.
Zhang Yueqiao, Dong Shuwen, Zhao Yue, et al. Jurassic tectonics of North China: A synthetic view [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(11):1462-1480(in Chinese with English abstract).
- [28] 汤锡元, 郭忠铭, 王定一. 鄂尔多斯盆地西部逆冲推覆构造带特征及其演化与油气勘探[J]. 石油与天然气地质, 1988, 9(1):1-10.
Tang Xiyuan, Guo Zhongming, Wang Dingyi. The characteristics and evolution of thrust nappe tectonic belt and its petroleum potential in the west Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 1988, 9 (1):1-10(in Chinese with English abstract).
- [29] 马丽芳. 中国地质图集[M]. 北京: 地质出版社, 2002, 38-39.
Ma Lifang. Geological Atlas of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 38-39(in Chinese).
- [30] 罗志立. 峨眉地裂运动的厘定及其意义[J]. 四川地质学报, 1989, 9(1): 1-16.
Luo Zhili. The determination of Emei taphrogenesis and its significance[J]. Geological Journal of Sichuan, 1989, 9(1):1-16(in Chinese with English abstract).
- [31] 葛肖虹, 马文璞. 东北亚南区中-新生代大地构造轮廓[J]. 中国地质, 2007, 34(2): 212-228.
Ge Xiaohong, Ma Wenpu. Mesozoic- Cenozoic tectonic framework of southern Northeast Asia [J]. Geology in China, 2007, 34(2): 212-228(in Chinese with English abstract).
- [32] 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).
- [33] 徐义刚, 李洪颜, 庞崇进, 等. 论华北克拉通破坏的时限[J]. 科学通报, 2009, 54(14):1974-1989.
Xu Yigang, Li Hongyan, Pang Chongjin et al. On the timing and duration of the destruction of the North China Craton[J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(19): 3379-3396.
- [34] 路凤香, 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): 86-92.
Lu Fengxiang, Zheng Jianping, Shao Ji'an, et al. Asthenospheric upwelling and lithospheric thinning in late Cretaceous-Cenozoic in eastern North China [J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(2): 86-92(in Chinese with English abstract).
- [35] 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 Fenxiang, 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).
- [36] 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(B辑), 1990, 12:1299-1305.
Zheng Yadong, Wang Shizheng, Wang Yufang. An enormous thrust nappe and extensional metamorphic core complex newly discovered in Sino-Mongolian boundary area [J]. Science in China (Series B), 1990, 12:1299-1305(in Chinese).
- [37] 刘俊来, 纪沫, 关会梅, 等. 地壳的拆离作用与华北克拉通破坏: 晚中生代伸展构造约束[J]. 地学前缘, 2008, 15(3): 72-81.
Liu Junlai, Ji Mo, Guan Huimei, et al. Crustal detachment and destruction of the North China craton: constraints from Late Mesozoic extensional structures [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(3):72-81(in Chinese with English abstract).
- [38] 马寅生, 崔盛芹, 吴淦国, 等. 巫医闾山变质核杂岩构造特征[J]. 地球学报, 1999, 20(4):142-149.
Ma Yinsheng, Cui Shengqin, Wu Ganguo, et al. The structural feature of metamorphic core complex in Yiwulushan Mountains, west Liaoning [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1999, 20(4):142-149 (in Chinese with English abstract).
- [39] 张必龙, 朱光, 姜大志, 等. 辽西巫医闾山变质核杂岩的形成过程与晚侏罗世伸展事件[J]. 地质论评, 2011, 57(6):779-798.
Zhang Bilong, Zhu Guang, Jiang Dazhi, et al. Evolution of the Yiwulushan metamorphic core complex and late jurassic extensional event in the western Liaoning Province [J]. Geological Review, 2011, 57(6): 779-798(in Chinese with English abstract).
- [40] 王建, 席萍, 刘泽纯. 柴达木盆地西部新生代气候与地形演变[J]. 地质论评, 1996, 42(2): 166-173.
Wang Jian, Xi Ping, Liu Zechun. Cenozoic climatic and topographic changes in the western Qaidam basin [J]. Geological Review, 1996, 42(2): 166-173(in Chinese with English abstract).
- [41] Condie K C. Mantle Plumes and Their Record in Earth History[M]. Cambridge University Press, 2001: 17-42.

- [42] 葛肖虹, 王敏沛, 刘俊来. 重新厘定“四川运动”与青藏高原初始隆升的时代、背景—黄陵背斜构造形成的启示[J]. 地学前缘, 2010, 17(4): 206–217.
Ge Xiaohong, Wang Minpei, Liu Junlai. Redefining the Sichuan Movement and the age and background of Qingzang plateau's first uplift: the implication of Huangling anticline and its enlightenment [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(4): 206–217 (in Chinese with English abstract).
- [43] 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 Jiaomin, 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).
- [44] 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).
- [45] 王鸿祯. 中国古地理图集[M]. 北京: 地图出版社, 1985: 141–142.
Wang Hongzhen eds. Atlas of the Palaeogeography of China[M]. Beijing: Cartographic Publishing House, 1985: 141–142(in Chinese).
- [46] 阴家润, 崔之久, 葛道凯, 等. 昆仑山口第四纪化石组合的生态环境分析及其对昆仑山隆升的意义[J]. 地球科学, 1996, 21(3): 243–248.
Yin Jiarun, Cui Zhijiu, Ge Daokai, et al. Paleocological analysis of Quaternary fossil assemblages from Kunlun Pass area, geological significance for Kunlun Mountains rising[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1996, 21(3): 243–248(in Chinese with English abstract).
- [47] 葛道凯, 崔之久, 伍永秋, 等. 青藏高原昆仑山垭口盆地沉积构造史研究[C]// 青藏项目专家委员会编. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究—学术论文年刊(1994). 北京: 科学出版社, 1995: 126–135.
Ge Daokai, Cui Zhijiu, Wu Yongqiu et al. Study on depositional and tectonic evolution of the Pass Basin of Kunlun Mountains, Northern Tibet Plateau[C]// Study of Evolution Process, Environmental Change and Ecological System of the Tibet Plateau. Beijing: Science Press, 1995: 126–135(in Chinese).
- [48] 李吉均, 方小敏, 潘保田, 等. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响[J]. 第四纪研究, 2001, 21(5): 381–391.
Li Jijun, Fang Xiaomin, Pan Baotian, et al. Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai–Xizang Plateau and its impacts on environments in surrounding area [J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(5): 381–391(in Chinese with English abstract).
- [49] 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).
- [50] 万天丰. 中国第四纪的构造事件与应力场[J]. 第四纪研究, 1994, (1): 48–55.
Wan Tianfeng. Tectonic event and stress field of Quaternary in China[J]. Quaternary Sciences, 1994, (1): 48–55(in Chinese with English abstract).
- [51] 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(1): 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(1): 50–57(in Chinese with English abstract).
- [52] 谢世友, 袁道先, 王建力, 等. 长江三峡地区夷平面分布特征及其形成年代[J]. 中国岩溶, 2006, 25(1): 40–45.
Xie Shiyou, Yuan Daoxian, Wang Jianli, et al. Features of the planation surface in the surrounding area of the Three Gorges of Yangtze[J]. Carsologica Sinica, 2006, 25(1): 40–45(in Chinese with English abstract).
- [53] 林年丰, 汤洁. 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, Tang Jie. Study on the environment evolution and the analysis of causes to land salinization and desertification in Songnen plain [J]. Quaternary Sciences, 2005, 25(4): 474–483(in Chinese with English abstract).
- [54] 葛肖虹, 王敏沛. 西去泥河湾—解读古人类与燕山隆升的历史[J]. 自然杂志, 2010, 32(5): 294–298.
Ge Xiaohong, Wang Minpei. Go west to Nihewan—Unscrambling the history of ancient Human and the uplift of Yanshan Mountain [J]. Chinese Journal of Nature, 2010, 32(5): 294–298(in Chinese with English abstract).

The formation and evolution of the Mesozoic–Cenozoic continental tectonics in eastern China

GE Xiao–hong^{1,2}, LIU Jun–lai², REN Shou–mai³, YUAN Si–hua⁴

(1. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China*; 2. *State Key Laboratory of Geological and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*;

3. *Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100029, China*;

4. *Institute of Disaster Prevention, Sanhe 065201, Hebei, China*)

Abstract: In the Wilson cycle proposed in the 1960s, the collision of tectonic plates which leads to closure of oceanic basins on both sides of plates marks the end of the cycle. In interpreting continental tectonics in the past 20 years, it seems that the above conclusion is not comprehensive. Diffusive and widely distributed intracontinental deformation suggests that the action of plate collision has not ceased. After the formation of the Paleo–Asian continent, tectonic deformation, magmatism and cratonic basin formation widely developed during Mesozoic–Cenozoic period in eastern China were possibly related to the progressive opening of the Indian Ocean and the Arctic Ocean as well as the subduction of the Western Pacific and Philippine oceanic plates. This paper intends to discuss the major tectonic events, structural properties, the formation background and the temporal and spatial distribution of Mesozoic–Cenozoic tectonics in eastern China. From Late Hercynian to Indosinian period, the Paleo–Asian continent was formed due to amalgamation of various tectonic blocks during the closure of the Paleo–Tethys. During Late Jurassic – Early Cretaceous, accompanied by the closure of the Mongol–Okhotsk ocean, the continent–continent collision gave rise to the formation of the Paleo–Asian continent. Thrust–nappe structures were formed during the intracontinental deformation. At the same time, the Western Pacific Isanagi plate was subducted obliquely, which caused superimposition effect from east to west. In the Middle–Late Cretaceous–Paleogene period, together with the transition from thickened crust to lithospheric thinning and transformation, the intracontinental extensional deformation approached its peak stage. Continental craton basins peneplanes were formed. From Late Eocene to early Miocene (40–23 Ma), the superposition of the motion of the Pacific plate turning in NWW direction, the spreading of the middle oceanic ridges of the Indian Ocean, and the continent–continent collision between the Indian–Australian and the southern part of the paleo–Asian plate induced the formation of the new tectonic landforms in eastern China. Affected by East Asia–Western Pacific rift and the Indian Ocean ridge spreading during Middle Pliocene and early Pleistocene, the eastern China continent experienced lithospheric mantle uplift, crustal thinning, marginal and intracontinental extensional deformation. These processes resulted in the successive formation of marginal seas, island arc, rift basins and eroded highland landscapes. During Early Pleistocene (0.9–0.8 Ma) – Late Pleistocene (0.01 Ma) period, the tectonic landforms of Eastern China were finally formed.

Key words: Mesozoic–Cenozoic tectonic activities in eastern China; formation and evolution of continental tectonics; key tectonic events; tectonic background and spatial–temporal distribution

About the first author: GE Xiao–hong, male, born in 1938, professor, supervisor of doctor candidates, majors in structural geology and engages in the study and teaching of tectonics and petroleum geology; E–mail: gxhbj2004@163.com.