中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释

董树文[1)]，张岳桥[1,2)]，龙长兴[1)]，杨振宇[1,2)]，季强[3)]，王涛[3)]，胡建民[1)]，陈宣华[1)]

1）中国地质科学院地质力学研究所，北京，100081； 2）南京大学地球科学系，210093；
3）中国地质科学院地质研究所，北京，100037

内容提要：随着一系列新构造观察资料和高精度同位素测年数据的累积，加深了对发生在中国东部晚侏罗世—早白垩世时期构造变革事件的认识，对燕山运动的性质、时限和动力学内涵有了新的诠释。中—晚侏罗世初期(165±5 Ma)东亚多板块拼贴运动学发生重大调整，构造体制发生重大转换，启动了以中朝地块为中心、来自北、东、南西不同板块向东亚大陆“多向汇聚”的构造新体制，形成以陆内俯冲和陆内造山为特征的东亚汇聚构造体系。同时大陆地壳岩石圈发生显著增厚，并紧随早白垩世以剧烈的大陆岩石圈伸展和火山—岩浆活动为特征的岩石圈巨量减薄和克拉通破坏，导致燕辽生物群灭绝和热河生物群兴盛的重大生物群更替，成为中国大陆和东亚重大构造变革事件，这是燕山运动的基本内涵。本文依据燕山运动构造变形型式、动力学背景以及产生的深部过程，将“燕山运动”定义为起始于165±5 Ma的“东亚多向汇聚”构造体制及其形成的广泛陆内造山和构造变革，并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。

关键词：晚侏罗世；燕山运动；东亚多向汇聚；陆内造山与变形；岩石圈增厚与减薄

翁文灏先生(Wong，1926，1927，1929)最早命名的“燕山运动”，是指发生在华北燕山地区中晚侏罗世时期的重大构造事件，包括中侏罗世晚期的构造运动A幕、侏罗纪末期的构造运动B幕和晚侏罗世期间的中间幕。崔盛芹等(2002)将燕山地区的燕山运动分为两个时期，即早—中侏罗世的早燕山期和晚侏罗世—白垩纪的晚燕山期。任纪舜等(1999)将燕山运动分为早、中、晚3个旋回，时限包括整个侏罗纪和白垩纪。有的学者将燕山期构造演化划分为初始造山(J_1)，早期造山(J_2)，峰期造山(J_3)，晚期造山(K_1)，后造山(K_2)5个构造幕，同样概括了侏罗纪与白垩纪全部。对燕山运动的性质目前大多数学者认为，燕山运动的本质是中国东部近东西向的特提斯构造域向北北东向的滨太平洋构造域的转换，即从大陆碰撞构造体制转为以西太平洋陆缘俯冲构造体制为主导的陆内变形和陆内造山。另外，构造运动导致岩浆侵入-火山爆发作用使得燕山期成为我国最重要的成矿期，约80%的大中型金属矿床的形成与这个阶段有关(陈毓川等，2007)，构造作用形成地质环境的巨变导致燕辽生物群向热河生物群的更替，成为生物进化的激变期(季强等，2004)。因此，燕山运动在我国甚至在东亚具有特殊的地质意义，是全球中生代构造演变的重大事件。

中国中东部地区中晚三叠世经历了华北、扬子和华夏陆块碰撞—拼贴的过程，形成了古中国大陆和古亚洲大陆的雏形。通常将三叠纪微陆块拼合碰撞和大陆形成的过程归结为印支运动，其标志为近东西向的古特提斯海洋关闭。印支运动之后，中国大陆进入陆内构造变形阶段，尤其是侏罗纪太平洋板块向西俯冲，形成濒太平洋北北东方向大陆边缘体系(即新华夏构造体系)。崔盛芹等(1999，2002)提出印支运动与燕山运动之间连续性的观点，认为自印支运动开始，濒太平洋构造带的活动性加强，到燕山期达到高潮，将印支运动视为燕山运动的前奏。赵越等(1994，2004)则强调燕山运动是特提斯构造域向太平洋构造域和动力体制转变的产物。董树文等(2000)曾构想，燕山运动记录了侏罗纪来自北、东、西南3个方向向东亚汇聚挤压的变形图像。

注：本文为国家自然科学基金(编号 40572120)、大陆深俯冲作用(编号 1999055)和中石化项目《大巴山前陆演化与油气远景》联合资助项目的成果。

收稿日期：2007-07-28；改回日期：2007-10-02；责任编辑：郝梓国。

作者简介：董树文，男，1954年生。1975年毕业于合肥工业大学地质系，1988年毕业于中国地质科学院研究生部，获博士学位。现任中国地质科学院副院长，研究员，博士生导师。长期从事动力成岩成矿与大别山碰撞造山带研究，近年来重点探讨燕山运动和东亚大陆地球动力学问题。通讯地址：100037，北京市百万庄26号，中国地质科学院；电话：010—68999606；Email：swdong@cags.net.cn。

Davis 等(2001)则解释燕山运动是北方蒙古—鄂霍次克海关闭、向南推挤缩短和太平洋向西俯冲作用交替影响的结果。翟明国等(Zhai et al., 2004)强调华北中生代构造转换不是陆内造山结果,而是与周边块体夹击引起华北地幔大规模上隆有关。张宏仁(2000)则提出了中侏罗世天体事件引发燕山运动的观点。

关于燕山运动发生的时限,赵越等(2004)根据中侏罗世日本海沟增生楔和东亚火山弧的出现,认为作为燕山运动主幕构造转换时代为中侏罗世。任纪舜等(1999)以张家口组火山岩系喷发之前约 145±5 Ma 作为中国东部构造体制转换时期。牛宝贵等(Niu et al., 2004)在张家口火山岩底部获得锆石 U-Pb SHRIMP 年龄,将 135 Ma 定为从挤压构造体制向伸展构造体制转换时间。

由于中国东部甚至亚洲东部中新生代一系列重大地质作用的过程和效应均涉及了印支运动和燕山运动问题,时代跨越了三叠纪、侏罗纪和白垩纪,逐渐成为东亚大地构造研究的新热点,但是仍有许多问题存在重大争议或根本性分歧。诸如:早白垩世伸展或岩石圈减薄是属于三叠纪造山(印支运动)后效、还是侏罗纪造山(燕山运动)后效?大别山—苏鲁三叠纪超高压碰撞造山带内大片早白垩世花岗岩是否为三叠纪碰撞造山后期的产物?燕山运动仅仅是太平洋板块俯冲的响应吗?晚侏罗世陆内造山机制是什么?中新生代东亚大陆地势反转的原因何在?燕山运动是局部的、还是全球的?等等。这些问题均涉及到燕山运动或侏罗纪构造活动的时限、机理和动力学背景。随着近年华北地块周边和中国东部构造地质研究的重要进展和高精度同位素测年数据的累积,以及东亚深部地球物理探测计划的实施,使我们能更加全面审视侏罗纪构造演化及其区域动力学机理,从多层面诠释燕山运动的内涵及其动力学本质。

1 燕山运动"多向挤压"与"多向造山"格局

我国学者通常强调燕山运动的实质是特提斯构造域向濒太平洋构造域的转换,也就是原三叠纪形成的近东西向的构造系统在侏罗纪转变成北东—北北东向的构造系统,环太平洋构造主导了我国东部或亚洲东部的构造演化(赵越等,2004;任纪舜等,1999)。显然,华北地块的构造演化离不开周边块体对其的相互作用,近年来随着华北地块周边和中国东部侏罗纪构造变形与演化研究的深入,发现侏罗纪变形存在多方位、多层次和多幕次的特点。

1.1 大别山—大巴山侏罗纪陆内造山

位于华北地块南缘的大别山—秦岭—大巴山造山带及其前陆侏罗纪大规模褶皱与缩短,变质造山带超覆于前陆褶皱带之上,位于前陆与造山带之间的北倾襄樊—广济断裂带深切 Moho 与上地幔,对应发育一套完整的侏罗纪同造山—后造山岩浆系列,构成了侏罗纪陆内造山系统。晚侏罗世构造变形与运动学分析指示扬子陆块向北东方向挤压和俯冲。在大别山—大巴山一带,侏罗纪造山效应表现在下列几个方面。

(1) 扬子陆块向秦岭—大别山俯冲,导致扬子前陆早—中侏罗世地层褶皱,三叠纪变质造山带叠覆于前陆早侏罗世盆地之上。大别山前陆侏罗纪盆地被超高压变质岩系所超覆(董树文等,2005),其边界断裂襄樊—广济断裂带向北倾,直接切割 Moho 面深达地幔(Dong et al., 2004, 高锐等,2004)。大巴山前陆下侏罗统强烈褶皱,叠加在三叠纪褶皱之上,形成紧密的弧形前陆褶皱带(董树文等,2006)。这些研究成果与依据古地磁资料所提出华北与扬子陆块拼合的最后时限为中侏罗世是一致的(杨振宇等,2001),而晚侏罗世进入了陆内造山时期。

(2) 侏罗纪陆内俯冲导致超高压岩石从下地壳抬升折返到上地壳,剥露了造山带深部构造和岩石。大别山超高压岩石折返过程基本可确定为两阶段模式,即:236～210 Ma 期间的同碰撞快速折返下地壳过程(>3mm/a)和 160±10Ma 折返到中地壳过程(1mm/a);侏罗纪陆内造山导致地壳缩短加厚和山脉抬升,使超高压岩石进一步抬升至近地表或部分出露地表,所以在大别山北麓合肥盆地晚侏罗世凤凰台组出现含柯石英榴辉岩砾石(Wang et al., 2002),这个时期中国东部高原可能形成(董树文等,2000,张旗等, 2001)。

(3) 晚侏罗世陆内造山诱发了早白垩世大规模的岩浆作用和火山活动。在大别山和苏鲁地区造山带和前陆带以及东部广大地域,发育早白垩世 135～110 Ma 的 I-A 型花岗岩岩浆系列(Chen et al., 2003,郭敬辉等,2005)。其中 130～110 Ma 的巨量岩浆岩和火山岩可能为侏罗纪岩石圈根拆沉的结果,对应中国东部燕山期岩石圈减薄和岩浆—成矿大爆发时期(Mao et al., 2003)。

1.2 燕山—阴山构造带侏罗纪逆冲-推覆构造

在华北地块北缘,郑亚东等(Zheng et al.,

1996)在中蒙边界区传统的海西构造带中发现侏罗纪特大型推覆构造——亚干推覆体,最大推覆距离达 120 km 以上。大青山逆冲断层为一长达 155 km 以上的大型推覆构造. 上盘向北北西方向逆冲,逆冲断距至少 22 km,很可能超过 35 km,覆盖整个东大青山地区。推覆体涉及的最新地层为大青山组,推覆事件应在晚侏罗世与早白垩世之间。郑亚东等(Zheng et al., 1998)在大兰旗附近侵入于大青山逆冲断层上下盘的花岗岩体中采集了样品,获得锆石 U-Pb 年龄为(119 ±2) Ma,限定了推覆构造的时代上限。Davis 等(1998) 在燕山承德地区发现的晚侏罗世逆冲推覆构造,推覆距离在 40～45km。这些作者(Davis et al., 2001)将侏罗纪—白垩纪变形划分为:①大于 180Ma 的向南逆冲推覆作用,②中侏罗纪—晚侏罗纪早期的伸展断层作用,③晚侏罗纪—早白垩纪早期的向北逆冲作用,④早白垩纪晚期的挤压作用,⑤中白垩纪伸展变形,⑥晚白垩纪左旋走滑作用。提出燕山运动是蒙古—鄂霍次克海关闭形成的南北向挤压与太平洋板块向东亚大陆俯冲形成的向西北方向挤压的交替作用的结果。

沿华北克拉通北部的内蒙地轴或阴山纬向构造带,出现大规模的逆冲推覆构造,被认为是蒙古—鄂霍茨克扬关闭的远程效应(郑亚东等,1998;Yang et al.,1998)。据地质和古地磁资料,位于西伯利亚板块与华北板块之间的蒙古—鄂霍茨克洋,直到早白垩世才完全闭合(Enkin et al., 1992;Yang et al., 1992;Yin et al.,1996),所以这些晚侏罗世的推覆构造属于典型的板内变形,与北部上千公里外蒙古—鄂霍茨克洋闭合和碰撞有关。

1.3　鄂尔多斯地块周边晚侏罗世多向挤压变形

在华北地块核部鄂尔多斯盆地,最新研究结果显示(张岳桥等, 2006,2007),鄂尔多斯盆地及其周缘在早中侏罗世处于弱伸展应力环境,晚侏罗世盆地遭受多向的挤压应力作用,形成了鄂尔多斯盆地周缘呈环形展布的侏罗纪构造变形格局(图 1)。张抗(1989)早已认识到鄂尔多斯盆地周缘燕山期挤压变形呈环形格局,边缘的逆冲断裂-褶皱构成外环,盆地中部为环形格局的稳定地快。盆地西缘逆冲-推覆构造带北段和中段的根部隐伏在新生代地堑盆地之下,南段的根带位于青铜峡—固原断裂。晚侏

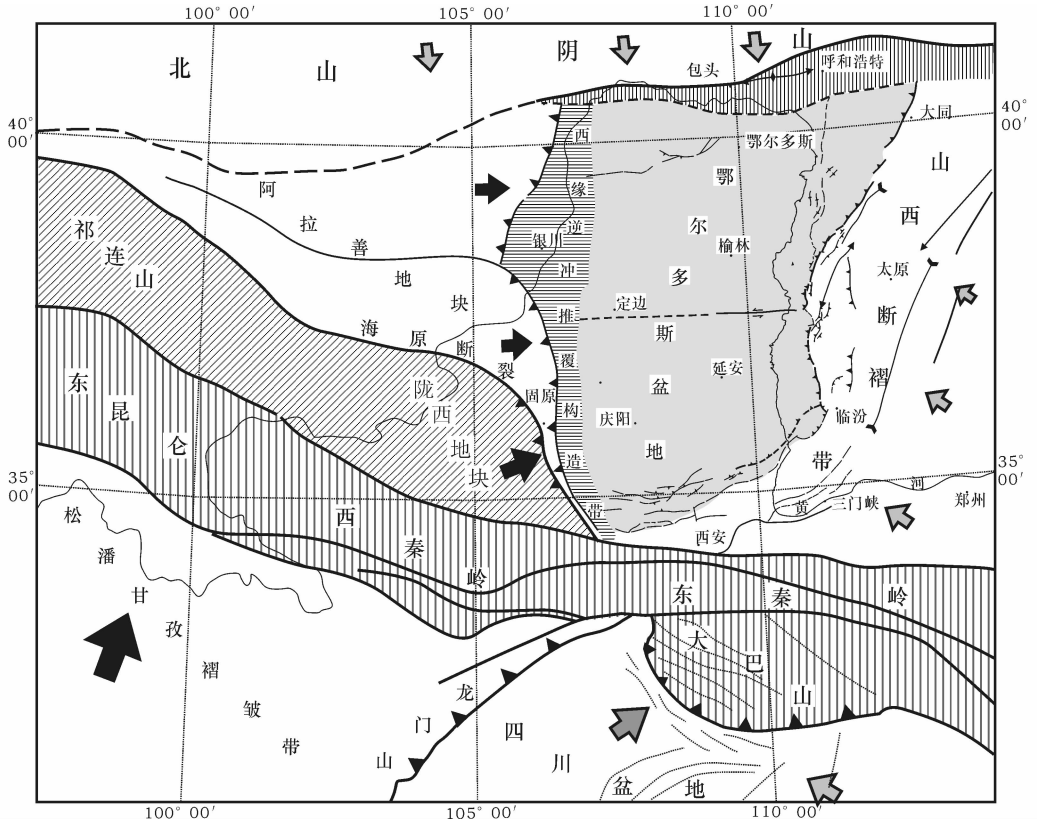


图 1　鄂尔多斯地块周缘晚侏罗世变形格局与多向挤压作用(据张岳桥等,2007)

Fig. 1　Late Jurassic deformation pattern and multi-direction compressions around the Ordos Block (after Zhang et al., 2007)

罗世再次挤压,造成古老造山带向盆地方向逆冲推覆,形成近南北向的西缘逆冲-推覆构造带。盆地东部及山西台褶带的变形带,由南北向的离石断裂带、北东向芦牙山复向斜、北北东向鹅毛口断裂组成,构成山西台褶带深部断坪—断坡系统的前缘上盘断坡构造。鹅毛口断裂、芦牙山北缘断裂、离石断裂等均是断坡构造的反向冲断层。根据前缘反向冲断层卷入地层判断,深部滑脱带可能位于上下地壳的过渡带,动力应来自东部。鄂尔多斯盆地北缘,早中侏罗纪断陷盆地—石拐子盆地发生强烈褶皱变形,前寒武系岩石逆冲在侏罗纪地层之上,挤压方向为近南北向。内蒙地轴的南缘边界断裂向南逆冲,在其前缘形成规模不等的类前陆盆地,沉积了巨厚的砂砾岩地层(土城子组砾岩层,何政军等,1998)。大青山一带发现大型的推覆构造,表明阴山造山带在晚侏罗世发生强烈的挤压复活(Zheng et al. , 1998)。

鄂尔多斯盆地由地块周缘向地块中央多向挤压变形格局,是中国大陆晚侏罗世变形的典型构造样式,这种周缘挤压变形样式也出现在四川盆地,形成时代大致同时,即晚侏罗世初期(~160Ma)。由于在东亚各板块汇聚过程中,一些中间小的刚性地块周边较软的褶皱带向中央挤压,结果造成在巨型汇聚系统下产生若干次级汇聚中心的格局。而且,这种机制使前侏罗纪的稳定地块反转成侏罗纪—白垩纪盆地,成为中国大型含油气盆地形成的机理,即:在侏罗纪多向挤压背景下稳定地块(薄层盖层或剥蚀区)周边的软弱的凹陷沉积层系向中央地块超覆、冲断和堆积。

1.4 华南—胶东—辽东地区侏罗纪左行走滑-逆冲构造

在华北地块东缘中国东部沿海,甚至东亚太平洋带发育了一系列大型的左行走滑断裂带,如:日本中央构造线—台东平移断裂带、中央锡霍特哈林—澳川—南澳平移断裂带、郯城—庐江平移断裂带、大兴安岭—太行山—武陵山平移断裂带。这些北北东向巨型断裂带在中晚侏罗世发生左旋走滑和逆冲活动(戚建中等,2000),形成时代由西向东呈逐步变新的趋势,代表了太平洋或伊泽奈崎洋板块向亚洲板块持续俯冲—挤压的构造样式。东南沿海地区同时发育晚侏罗世的推覆构造,指示了南东—北西向的挤压,中侏罗世地层卷入构造,并被早白垩世的火山岩覆盖,在浙江、福建和广东沿海广为分布(关玉祥等,1994,郑志强等,2000,黄昌旗等,2001)。在大别山—苏鲁三叠纪超高压碰撞造山带内往往发育130°~160°方向的线理构造,线理矿物的年龄大致在170~150Ma(Hacker et al. , 2000),这组线理在辽东半岛也可见到(王宗秀等,2000),与东南沿海推覆 NW-SE 向方向近于平行。李三忠等(2004)在辽东发现 160±Ma 的"S"型重熔花岗岩,推测是太平洋板块俯冲的最早记录。杨进辉等(2004)报道了辽东丹东侏罗纪花岗岩的变形年龄,产于 158Ma 片麻状花岗岩中向北西逆冲的构造其$^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄为143Ma。Zhu 等 (2005), Wang(2006)在大别山东缘和肥东—张八岭地区发现大型基底走滑韧性剪切带,其中超糜棱岩中的白云母、多硅白云母、角闪石等单矿物的$^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年,获得了晚侏罗世(160~143 Ma)变形时代。这些可能是典型的晚侏罗世挤压逆冲和剪切变形的记录。

2 晚侏罗世东亚大陆汇聚板块构造体系

(1) 西伯利亚板块向南运动与蒙古—鄂克斯霍洋关闭。西伯利亚陆块与华北和蒙古联合(古亚洲构造带)地块发生对接及蒙古—鄂霍茨克洋消失的时间发生在晚侏罗世,并有三叠纪—中侏罗世海相地层在鄂霍茨克洋的发现及其它地质等证据证明(Enkin et al. , 1992; Zhao et al. , 1992, Nie and Rowley, 1994)。一般认为,侏罗纪—早白垩世时期西伯利亚和华北—蒙古板块之间的蒙古—鄂霍次克海的闭合及碰撞是从西向东逐步发展的(Yin and Nie, 1996, Yang et al. , 1998)。但是,古地磁研究认为,西伯利亚板块与华北—蒙古板块之间的鄂霍茨克洋在晚侏罗纪时期尚有 1000 km 距离,直到早白垩世(130 Ma)两者的古磁极才趋于一致,而且证明侏罗纪以来西伯利亚板块是向南运动,最后与华北—蒙古板块碰撞(Enkin et al. , 1992; Gilder and Courtillot, 1997)。

(2)太平洋板块向西俯冲消减与东亚大陆陆缘构造体系。日本或东亚的大陆边缘发现了中侏罗世连续的含反射虫复理石的增生楔,而从前推测的三叠纪增生楔并没有证据,从而证实了太平洋板块的俯冲时间不会早于中侏罗世(水谷伸治郎等,1989; Maruyama et al. , 1989, 1997; Isozaki, 1997),研究揭示太平洋板块曾在 140 ~ 80Ma 之间以大于200mm/a 的速度和较低的角度快速俯冲。地球物理探测证明太平洋或伊泽奈崎洋板块向东亚俯冲的时间为晚侏罗世,地震层析成像技术在壳幔边界上追踪到晚侏罗纪洋壳沉没的高速堆集体(Van der

voo et al., 1999;Richards, 1999)。太平洋洋底磁条带仍证实其最老的年代为晚侏罗世(Wallick et al.,1992)。古太平洋板块从中—晚侏罗世开始向亚洲板块俯冲,直接导致了东亚晚侏罗世大陆内部的广泛变形和陆内造山(张岳桥等,本期)。

(3)印度板块向北运动与印度洋开启。特提斯洋向亚洲大陆俯冲时间的记录也是在晚侏罗世。印度板块脱离澳大利亚等冈瓦纳古陆的时间和特提斯洋反时针旋转关闭的启始点、拉萨地块和几梅里地块群与亚洲大陆拼贴等构造过程都是同步的(165～150Ma)(图 2)。印度洋拖拉着印度陆块最终与亚洲大陆碰撞(50±10Ma)(Chang, 1986;Leader et al., 1988;Yin et al., 1996)。

3　燕山运动的新诠释

燕山运动的概念最先由翁文灏在东京泛太平洋科学大会上提出(Wong,1927),1929 年他详细地阐述并明确定义(Wong,1929),将华北燕山运动分为 A、B 两幕,分别与北美西部的侏罗纪和拉拉米运动对比,燕山运动 B 幕以强烈的褶皱和冲断层为特征。并明确指出,秦岭、北淮阳、大青山、甚至华南,特别是东南沿海都发生燕山运动。如前所述,几十年来,燕山运动的概念在我国广泛地应用,并在构造运动波及范围、精细过程与定年和动力学起因等方面不断发展和进步。显然,也存在许多、甚至根本性的分歧。对此提出本文的观点,以供讨论。

3.1　燕山运动主幕主要发生在晚侏罗世(165±5～136 Ma)

燕山运动主幕主要发生在晚侏罗世(165±5～136 Ma),其起始点位于燕山地区髫髻山组火山岩和九龙山砾岩下的角度不整合,而在缺失髫髻山组和九龙山组的地区,以后城子组砾岩层与下伏地层的不整合为界,与翁文灏定义的燕山运动原义一致。根据国际地科联地层委员会公布的最新地层年代表(Gradstein,2004),侏罗纪与白垩纪界限在 145 Ma,晚侏罗世底限 161Ma。髫髻山组火山岩底部的时代为 158～160Ma(赵越等,2002;刘建等,2006),属于晚侏罗世。但是富含燕辽生物群的髫髻山组火山岩时代约 165Ma(季强等,2004)。据此,早—中侏罗世的地质作用范畴原则上应划为“印支运动”,作为三叠纪大陆碰撞的后续影响,这与地质实际是符合的。我国东部几乎所有的早中侏罗世地层或盆地都是近东西方向展布的,而真正北东方向的盆地出现是晚侏罗世,这不仅在燕山地区,而且包括大别山前后陆,大巴山前陆均如此。当然,构造运动的萌动时间要稍早一些,很可能启动于中侏罗世晚期,但作为一个大区域甚至全球意义的构造运动,有必要明确其顶底界限和上下时限,以便对比。本文将“燕山运动”底界时间定为 165±5 Ma,顶界时间为 83 Ma。同样,燕山运动的上限也存在争论,本文考虑到一个特殊的地质现象,即地球磁场的磁宁静期的时限大致为 120～83Ma,尽管对这种现象还没有很好的地质解释(Zhu et al., 2002),但是,这种磁异常发生在早白垩世华北岩石圈垮塌减薄之后,并叠合在西太平洋地域,不能不将二者进行联系。假设,此白垩纪磁宁静与岩石圈垮塌减薄有关,那么,将它们作为一个构造事件来考虑可能是合理的。83Ma 后磁宁静的消失,核幔边界的重新活跃定会导致另一个重大的地质事件。另外,考虑到华南沿海地区最新岩浆侵入和火山喷发的测年数据,将 83Ma 作为燕山旋回的上限,其后进入到喜玛拉雅运动(表 1)。

3.2　燕山运动分期及其构造含义

本文将燕山运动分为 3 个时期:燕山运动主幕强挤压陆内造山期(165±5Ma ～136Ma),主伸展垮塌与岩石圈减薄期(135～100Ma),燕山运动晚幕弱挤压变形期(100～83Ma)(表 2)。

(1) 强挤压陆内造山期(165±5 Ma ～136 Ma):这是传统意义上的燕山运动主变形时期。由于来自东侧太平洋板块、北侧蒙古—鄂霍次克海、南西拉萨地块和特提斯洋向东亚大陆的多向汇聚,形成以华北地块为中心的汇聚构造运动样式和多向挤压变形统一的汇聚构造体系。西伯利亚板块侏罗纪的持续南向运动使陆块之间的强烈缩短造成近东西向的陆内强烈变形,形成远离板块边缘的造山带和相伴的褶皱—冲断带。这个时期的特征是前中侏罗统地层褶皱和 160～140Ma 的逆冲推覆构造,燕山地区出现艾迪克岩型髫髻山火山岩系和九龙山砾岩下的不整合为底界,代表了地壳增厚的产物。中晚侏罗世濒太平洋俯冲作用加强在东亚边缘形成巨型左型走滑断裂系统。

(2) 主伸展垮塌与岩石圈减薄期(135～100 Ma):由于中晚侏罗世板块汇聚和多向挤压变形和陆内造山导致中国东部地壳岩石圈增厚,特别是华北地块地壳大幅度增厚,从而诱发了以华北为中心的岩石圈垮塌减薄和克拉通破坏,大规模的软流圈地幔上涌发生的底板垫托作用引发了巨量的岩浆侵

入和火山喷发,伴随着大范围的区域巨量金属堆积成矿作用。这个构造作用时期应是燕山运动主变形时期地壳岩石圈增厚的后效,其深部过程深刻地影响了表层环境,在地表堆积了约 6×10^6 km^3 体积的

表 1 华北地区侏罗纪地层单元对比与主要构造事件划分

Table 1 Stratigraphic correlation of Jurassic units and division of the major tectonic events in North China

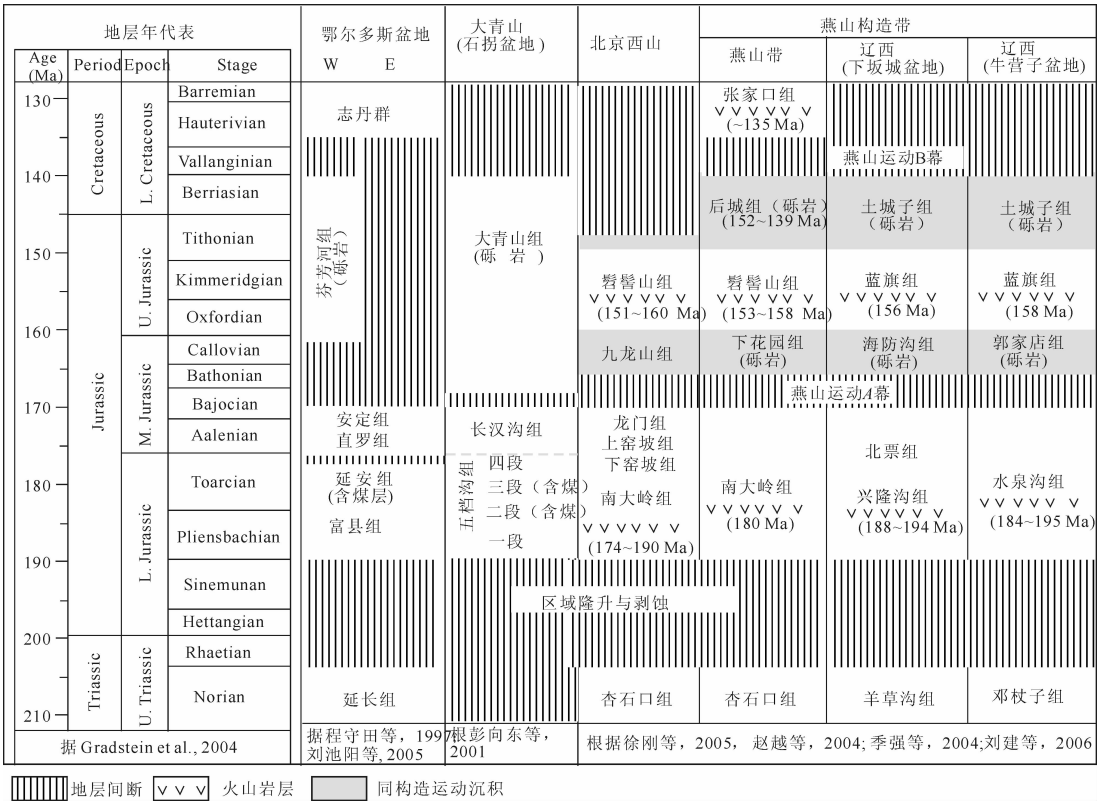
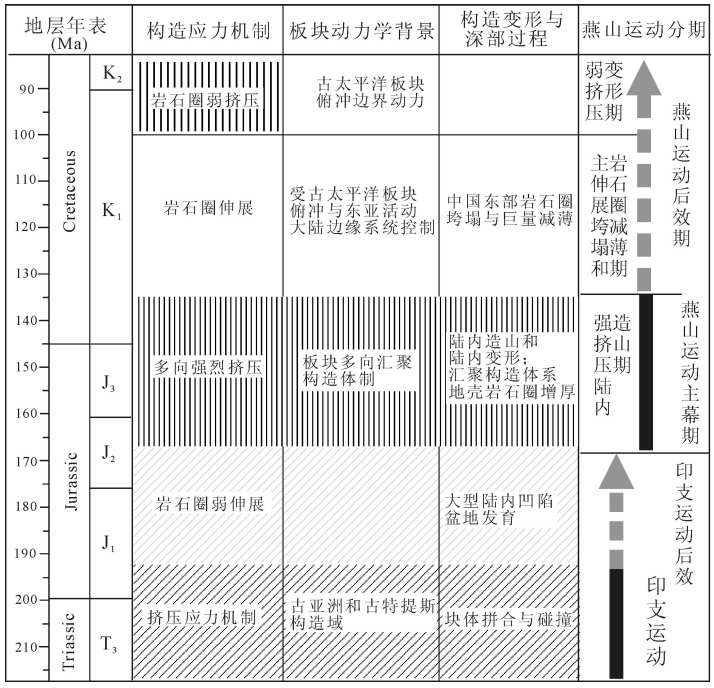


表 2 中国东部中生代构造体制重大转换与燕山运动分期

Table 2 Change of Mesozoic tectonic regimes in East China and division of the Yanshan Movement



火山岩(陶奎元等,1999),热河生物群由繁盛转为几乎灭绝(季强等,2004),东亚高原隆升(张旗等,2001)等。地质上以覆盖中国东部的 130～100 Ma 的火山岩和 135～110 Ma 的岩浆作用和大规模成矿作用为特征,底部常有底砾岩。

(3) 弱挤压变形期(100～83 Ma):早白垩世末期至晚白垩世中期,华北地区构造应力机制以 NW-SE 向挤压为主,这期挤压应力场使早期形成的伸展断陷盆地发生不同程度的构造反转,也使中国东部郯庐断裂系发生左旋走滑活动(Zhang et al.,2003)。这期挤压应力场是对主伸展垮塌期构造应力场的调整,区域动力主要受控于古太平洋向亚洲大陆俯冲板块的边界应力场。

3.3　燕山运动是周邻板块汇聚作用引起的陆内变形和陆内造山

虽然翁文灏先生并没有明确"燕山运动"发生的动力学背景,但他清晰地指出"燕山运动"的 A、B 两幕与北美的侏罗纪和拉拉米运动可以对比。拉拉米运动(Laramide revolution)或拉拉米—哥伦比亚运动(Laramide-Columbian Orogeny)是指法拉隆(Farallon)板块向北美板块之下俯冲产生的构造作用。本文将"燕山运动"定义为周邻板块向亚洲大陆汇聚引起的广泛的多向陆内造山与陆内变形(表 2,图 2)。众所周知,中国东部自中三叠纪后,随着华北与华南、华北与蒙古陆块的碰撞缝合,其间的特提斯海洋关闭,形成古中国大陆,古亚洲大陆雏形也基本出现。中侏罗世后进入到陆内变形和陆内造山作用阶段。晚侏罗世陆内造山作用在全球构造演化中具有重要的地位,其中远离板块边界的大型推覆构造和强烈变形是周邻板块汇聚产生的远程效应,而中国东部早白垩世大规模的岩石圈伸展减薄和古老克拉通破坏更是陆内俯冲与陆内造山之后的直接结果。这一系列构造概念的相继提出,极大地丰富了构造地质学理论和大陆动力学理论,"燕山运动"作为陆内造山的典型记录,成为中国地质学家对世界地质科学理论贡献的经典。

3.4　燕山运动是板块多向汇聚而不是太平洋板块单向作用的结果

近年的构造地质研究表明,中晚侏罗世中国东部甚至东亚大陆不仅处于太平洋板块俯冲边界动力系统的控制,同时受控于来自北部的西伯利亚板块与古亚洲构造带沿蒙古—鄂霍次克洋汇聚碰撞产生的远程构造作用,还有来自拉萨地块与羌塘地块的碰撞产生的来自西南方向的挤压,构成中晚侏罗世多向挤压汇聚的板块动力学格局(图 3)。这在华北地块的南部大别山、大巴山地区、东侧的沿海地区、北面的阴山—大青山、中蒙边界和燕山地区的各种方向的侏罗纪变形带和造山带及其运动学得以证实。其中以鄂尔多斯盆地周缘的晚侏罗世多向挤压变形最为典型(图 1)(张岳桥等,2007)。实际上翁文灏(1929)在阐述中国东部中生代造山运动时,已经注意到侏罗纪构造的不同方向,在他的图 1 中,至少标注了挤压方向由南北向、南东向、东西向、和北西向。Yin 等(1996),董树文等(2000),Ratschbacher 等(2000)、Davis 等(2001)、Zhai 等(2004)、张岳桥等(2007)已经从不同侧面讨论了这个问题。多向挤压汇聚的动力学分析与以往将"燕山运动"仅仅是太平洋板块作用的观点相比,可能更全面揭示了"燕山运动"的板块动力学内涵和它的全球构造意义,从而更加合理地解释了发育在东亚大陆各个不同方向的晚侏罗世陆内变形和构造体系,并从逻辑和机制上将东亚中新生代构造演化有机地联系起来,特别是将东亚东部构造与西部构造联系起来,也能探试性地考虑新生代印度板块向北漂移的动因以及喜马拉雅碰撞造山的原因。如果从全球的视野着眼,中晚侏罗世东亚板块汇聚可能造成太平洋中脊的拉开、特提斯大洋关闭和印度洋扩张等。

4　与燕山运动相关的重大地质问题的解疑

4.1　中国东部岩石圈减薄是燕山运动而不是印支运动的后效

中国东部发现软流圈地幔与地壳直接接触(吴福元等,2000),原岩石圈地幔在白垩纪发生拆沉而消失。软流圈地幔与地壳直接接触的动力学效应是产生强烈的岩浆底板垫托作用及伴随地壳深部的高温作用和部分熔融,导致巨量的岩浆侵位和爆发、壳幔物质的强烈交换和大规模流体作用,形成大面积和突发性的成矿作用。有关中国东部岩石圈减薄主要发生在早白垩世的认识基本趋于一致,但是,早白垩世岩石圈减薄是三叠纪大陆碰撞造山的后效还是侏罗纪陆内造山的后效,存在严重的分歧。例如,认为是三叠纪碰撞后效的观点,将大别山—苏鲁超高压造山带内的 130Ma 左右的花岗岩划为大陆深俯冲的后造山产物(Li et al., 1997; Hacker et al., 2000; 郭敬辉等,2005);而作为晚侏罗世造山后效观点则将早白垩世花岗岩作为侏罗纪后造山伸展阶段的产物(董树文等,2005)。由于晚侏罗世的陆内

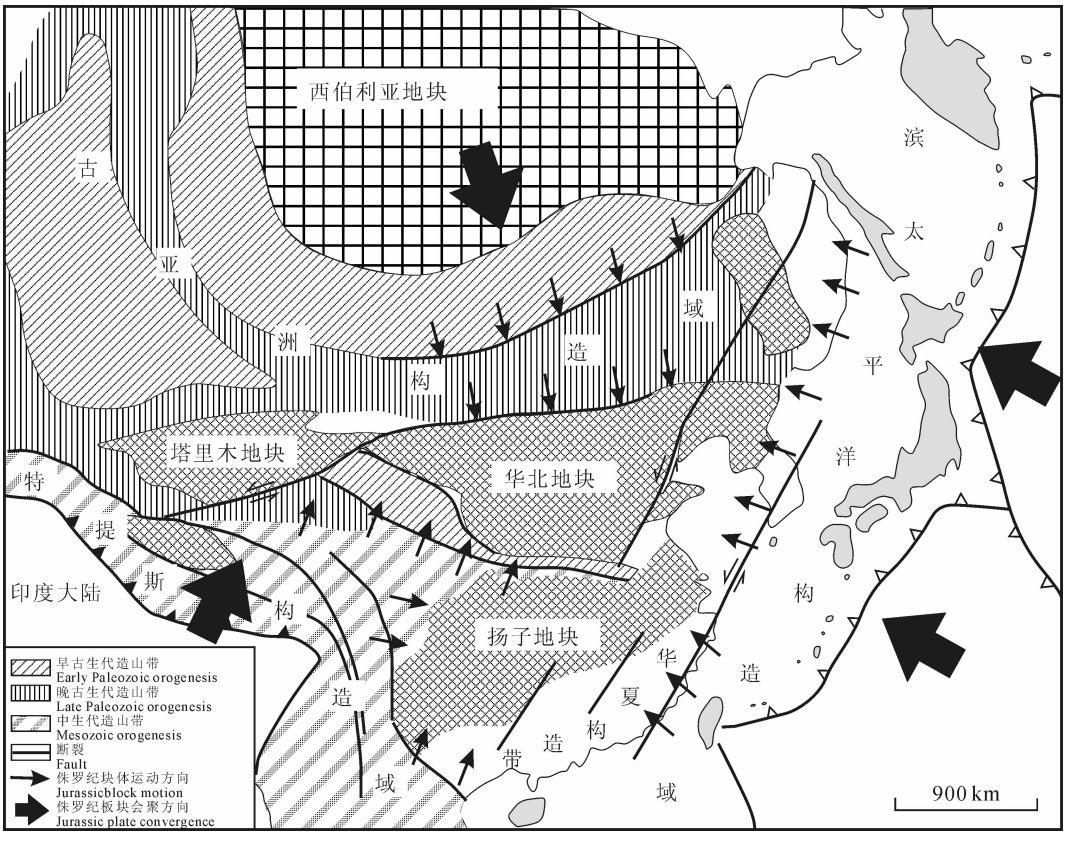


图 2 东亚中晚侏罗世板块多向汇聚作用与变形型式

Fig. 2 Middle to Late Jurassic multi-directed convergence of plates in East Asia and its deformation pattern

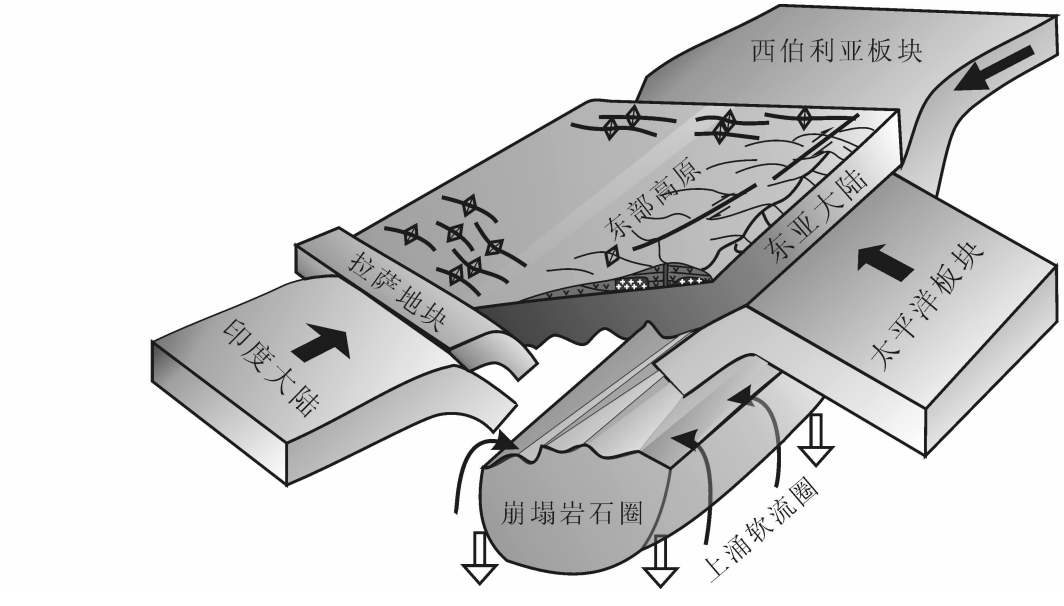


图 3 东亚大陆侏罗纪板块汇聚作用与早白垩世岩石圈拆沉减薄机制示意图

Fig. 3 Schech map showing Jurasic plate convergence of the East Asian continents and thinning mechanism of Early Cretaceous lithospheric delamination

造山将导致地壳或岩石圈的增厚,而且因围绕华北地块的多向汇聚可能形成华北地块岩石圈和地壳的巨大增厚,所以随后发生岩石圈垮塌并引发底侵作用和大规模岩浆活动是必然的,属于燕山运动的后效。

4.2　侏罗纪燕辽生物群与白垩纪热河生物群更替的大地构造背景

中侏罗世早期,我国北方东部地区仍处于岩石圈伸展、内陆盆地发育的阶段,同时出现了一个具有东亚特色的陆生生物群——燕辽生物群(季强等,2004)。盆地发育初期,冀北—辽西地区主要发育了一套以砾岩、砂岩为主的沉积(九龙山组或海房沟组),化石稀少,属种单调,常见者有:*Liaotherium gracilis*(哺乳动物);*Liaosteus hongi*(鱼类);*Karataviella chinesis*, *Sinopsocus oligovenus*, *Rhipidoblattina hebeiensis*, *Mesoneta antiqua*(昆虫),*Euestheria haifanggouensis*(叶肢介)以及少量植物化石,代表了燕辽生物群发育的初始阶段。随着盆地的发育,分布面积不断扩大,该区主要发育了一套火山—沉积建造(髫髻山组或蓝旗组)。火山岩以中基性岩类为主,如安山岩、安山玄武岩、玄武安山岩、粗安岩等。沉积岩主要为一套浅灰色薄层凝灰岩、凝灰质泥岩、页岩和粉砂岩,产出丰富多彩的各门类化石,如 *Jeholotriton paradoxus* 和 *Chunerpeton tianyiensis*(蝾螈);*Jeholopterus ningchengensis* 和 *Pterorhynchus wellnhoferi*(翼龙);*Scansoriopteryx heilmanni* 和(?)*Pedopenna daohugouensis*(手盗龙类);*Mesobaetis sibirica*, *Mesoneta antique*, *Rhipidoblattina*(*Canaliblatta*) *hebeiensis*, *Brunneus haifanggouensis*, *Palaeontinodes haifanggouensis* 等(昆虫);*Euestheria ziliujingensis*, *E. haifanggouensis*, *E. jingyuanensis* 和 *E. luanpingensis*(叶肢介);*Cladophlebis*(*Osmunda* ?) sp., *Anomozamites angulatus*, *A.*(*Trymia* ?) sp., *Cycadolepis sp.*, *Ginkgoites* sp., *Pityospermus* sp., *Pityocladus* sp., *Zamites gigas*, *Yanliaoia sinensis* 和 *Coniopteris burejensis* 等(植物),代表了燕辽生物群发育的辐射—繁盛阶段(王武力等,1987;任东等,1995;Ren et al.,2002;Liu et al.,2004;季强等,2005)。推测当时冀北—辽西地区应是温暖、湿润的环境条件。大约从晚侏罗世早期(160Ma)开始至早白垩世早期(136Ma),冀北—辽西地区受到了多向的强烈挤压,岩石圈增厚、抬升,形成高山,正是这次强烈的构造运动使得冀北—辽西地区气候环境条件发生了重大变化,由原来的温暖、湿润的环境条件变为干燥、阴冷的荒原环境条件。这种气候环境条件的重大变化使得当时的陆地生态系统遭受了灾难性毁坏,使得燕辽生物群中 90%以上的生物发生大规模绝灭,最终导致燕辽生物群的消亡,而在早白垩世,岩石圈再次拉张伸展,形成一系列内陆盆地,并出现了新的陆生生物群——热河生物群和阜新生物群。所以燕山运动导致的陆地生态环境的巨变成为燕辽生物群与热河生物群的更替的直接原因,从而进一步证实生物、生态对构造、气候变化的灵敏反应。

5　结论

(1) 在新的构造研究和年代学数据支持下,提出"燕山运动"实质是围绕华北地块启动的晚侏罗世板块多向会聚体制,以陆内变形和陆内造山为特征,是东亚多板块同时汇聚作用的结果。

(2) 燕山运动起始于约 165±5Ma 之前,结束于 83 Ma。经历三个演化阶段:强挤压——陆内造山期(165～136 Ma);主伸展——岩石圈减薄期(135～100Ma);弱挤压变形期(100～83Ma)。

(3) 晚侏罗世多向挤压和陆内造山与早白垩世大规模伸展和岩石圈减薄(克拉通破坏)是燕山运动过程中两个显著不同的阶段,伸展减薄是挤压造山的后效。

(4) 燕山运动引发的生态环境巨变直接导致了燕辽生物群的灭绝和热河生物群的更替。

(5) 燕山运动不仅是中国东部、而且是中国中西部、甚至是亚洲东部侏罗纪—白垩纪时期的重大构造事件,也是晚中生代全球性构造事件,对其大陆动力学研究具有重大科学意义。

致谢:本文在酝酿和成文过程中,得到常印佛院士、李廷栋院士、邓晋福教授、郑亚东教授鼓励与指导,曾与吴锡浩研究员、赵越研究员、高锐研究员、王成善教授、陈丕基研究员等有益讨论,在此谨致由衷的谢意。

参　考　文　献

陈毓川,常印佛,裴荣富,任纪舜,汤中立,翟裕生. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价. 北京:地质出版社.

崔盛芹. 1999. 论全球中—新生代陆内造山作用与造山带. 地学前缘,6(4):283～293.

崔盛芹,李锦蓉,吴珍汉,易明初,沈淑敏,尹华仁,马寅生. 2002. 燕山地区中新生代陆内造山. 北京:地质出版社,1～386.

董树文,吴锡浩,吴珍汉,邓晋福,高锐,王成善. 2000. 论东亚大陆的构造翘变—燕山运动的全球意义. 地质论评,46(1):8～13.

董树文,胡建民,李三忠,施炜,高锐,刘晓春,薛怀民. 2005. 大别山侏罗纪变形及其构造意义. 岩石学报,21(4):1189～1194.

董树文,胡建民,施炜,张忠义,刘刚. 2006. 大巴山侏罗纪叠加褶皱与侏罗纪前陆. 地球学报,27(5):403～410.

高锐,董树文,贺日政,刘晓春,李秋生,管烨,白金,李朋武,黄东定,钱桂华,匡朝阳. 2004. 莫霍面地震反射图像揭示扬子地块深俯冲过程. 地学前缘,11(3):430～449.

郭敬辉, 陈福坤, 张晓曼, Siebel W, 翟明国. 2005. 苏鲁超高压带北部中生代岩浆侵入活动与同碰撞—碰撞后构造过程:锆石 U-Pb 年代学. 岩石学报,21(4):1281～1301.

关玉祥,杨添水. 1994. 福建省推覆构造研究及其意义. 福建地质,13(4):248～277.

和政军,李锦轶,牛宝贵. 1998. 燕山—阴山地区晚侏罗纪强烈推覆—隆升事件及沉积响应. 地质论平,14(4):407～418.

黄昌旗,曹志明. 2002. 闽西南回笼地区逆冲推覆构造. 福建地质,21(2):85～90.

季强,陈文,王五力,金小赤,张建平,柳永清,张宏,姚培毅,姬书安,袁崇喜,张彦,尤海鲁. 2004. 中国辽西中生代热河生物群. 北京:地质出版社,1～357.

季强,柳永清,陈文,姬书安,吕君昌,尤海鲁,袁崇喜. 2005. 再论道虎沟生物群的时代. 地质论评,51(6):609～612.

李三忠, 刘建忠,赵国春,吴福元,韩宗珠,杨中柱. 2004. 华北克拉通东部地块中生代变形的关键时限及其对构造制约—以胶辽地区为例. 岩石学报,20(3):0633～0646.

刘建,赵越,柳小明. 2006. 冀北承德盆地髫髻山火山岩的时代. 岩石学报,22(11):2717～2630.

柳永清, 刘燕学, 李佩贤, 张宏, 张立君, 李寅, 夏浩东. 2004. 内蒙古宁城盆地东南缘含道虎沟生物群岩石地层序列特征及时代归属. 地质通报,23 (12):1180～1187.

戚建中,刘红缨,姜耀辉. 2000. 中国东部燕山期俯冲走滑体制及其对成矿定位的控制. 火山岩与成矿,21(4):244～265.

任纪舜,王作勋,陈炳蔚,姜春发,牛宝贵,李锦轶,谢广连,和政军,刘志刚. 1999. 中国及邻区大地构造图(1/500 万)及简要说明书—从全球看中国大地构造. 北京:地质出版社,6～9.

任东, 高克勤, 郭子光, 姬书安, 谭京晶, 宋卓. 2002. 内蒙古宁城道虎沟地区侏罗纪地层划分及时代探讨. 地质通报, 21 (8-9):584～591.

任东,卢立伍,郭子光,姬书安. 1995. 北京与邻区侏罗—白垩纪动物群及其地层. 北京:地震出版社, 1～222.

水谷伸治郎,邵济安,张庆龙. 1989. 那丹哈达地体与东亚大陆边缘中生代构造的关系. 地质学报,60(3):204～216.

陶奎元,毛建仁,邢光福,杨祝良,赵宇. 1999. 中国东部燕山期火山—岩浆大爆发. 矿床地质,18(4):317～322.

王宗秀,唐哲民,杨中柱,杨晓波. 2000. 大连地区中生代韧性变形. 地震地质,22(4):379～386.

王五力,郑少林,张立君,蒲荣干,张武,吴洪章,具然弘,董国义,元红. 1987. 辽宁西部中生代地层古生物(第一册). 北京:地质出版社,1～263.

吴福元,孙德有,张广良,任向文. 2000. 燕山运动的深部动力学本质. 高等地质学报,6(3):379～388.

杨进辉,吴福元,罗清华,钟莎霖,张艳斌,S A Wilde. 2004. 辽宁丹东地区侏罗纪花岗岩的变形时代:Ar/Ar 年代学制约. 岩石学报,20(5):1205～1214.

杨振宇,董树文, J Besse. 2001. 中国南北地块中生代构造演化与超高压变质岩的折返机制. 地质论评,47 (6):568～576.

张抗. 1989. 鄂尔多斯断块构造与资源. 西安:陕西科学技术出版社,1～94.

张岳桥,施炜, 廖昌珍,胡博. 2006. 鄂尔多斯盆地周边断裂运动学分析与晚中生代构造应力体制转换. 地质学报,80(5): 639～647.

张岳桥,廖昌珍,施炜,张田,郭芳芳. 2007. 论鄂尔多斯盆地及其周缘侏罗纪变形. 地学前缘,14(2):182～196.

张岳桥,董树文,赵越,张田. 2007. 华北侏罗纪大地构造:综评与新认识. 地质学报,81(11):1462～1480.

张宏仁. 2000. 燕山事件. 地质学报,72(2):103～111.

张旗,钱青,王二七,王焰,赵太平,郝杰,郭光辉. 2001. 燕山中晚期中国东部高原:埃达克岩的启示. 地质科学,36(2):248～255.

赵越,杨振宇,马醒华. 1994. 东亚大地构造发展中的重要转折. 地质科学,29(2):105～128.

赵越, 崔盛芹, 郭涛, 徐刚. 2002. 北京西山侏罗纪盆地演化及其构造意义. 地质通报,21 (4～5): 211～217.

赵越,徐刚,张拴红. 2004. 燕山运动与东亚构造体制的转变. 地学前缘,11(3):319～328.

郑志强,苏江湖,马金清. 2000. 闽北仁寿地区逆冲推覆构造. 福建地质,20(2):78～86.

Chang C F. 1986. The Royal Society/Academia Sinica. 1985. Geotraverse of Tibet-preliminary conclusions. Nature,323:501～507.

Chen Jiangfeng, Xie Zhen, Li Huimin, Zhang Xidao, Zhou Taixi, Park, Y S, Ahn, K S, Zhang Xi. 2003. U-Pb zircon ages for a collision-related K-rich complex at Shidao in the Sulu ultrahigh pressure terrain, China. Geochemical Journal, 37(1): 35～46.

Chen Yuchuan, Chang Yinfo, Pei Rongfu, Ren Jishun, Tang Zhongli, Zhai Yusheng. 2007. Chinese mineralization system and assessememt of regional mineralizationt. Beijing: Geological Publishing House, 1～962.

Cui Shengqin. 1999. On global Meso-Cenozoic intracontinental orogenesis and orogenic belts. Earth Science Frontier, 6(4): 283～29 (in Chinese with English abstract).

Cui Shengqin, Li Jinrong, Wu Zhenhan, Yi Mingchu, Shen Shumin, Ying Huaren, Ma Yinsheng. 2002. Mesozoic and Cenozoic intracontinental orogenesis of the Yanshan area, China. Beijing: Geological Publishing House, 1～386.

Davis G A., Wang C, Zheng Y D, Zhang C H. 1998. The enigmatic Yinshan fold-and-thrust belt of northern China: new views on its intraplate contractional styles. Geology, 26:43～46.

Davis G A, Zheng Y D, Wang Z, Darby B J, Zhang C H, Gehrels G. 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China. In: Hendrix M S and Davis G A eds. Paleozoic and Mesozoic evolution of central Asia: From continental assembly to intracontinental deformation. Boulder, Colorado: Geological Society of American Memoir,194,171～197.

Dong Shuwen, Wu Xihao, Wu Zhenhan, Deng Jinfu, Gao Rui, Wang Chengshan, 2000. On tectonic seesawing of the East Asia continent-Global implication of the Yanshanian movement. Geological Review, 46(1): 8～13 (in Chinese with English abstract).

Dong S W, Gao R, Cong B, Zhao Z Y, Liu X C, Li S Z, Li Q S, Huang D D. 2004. Crustal structure of the southern Dabie ultrahigh-pressure orogeny and Yangtze foreland from deep seismic reflection profiling. Terra Nova, 16(6):319～324.

Dong Shuwen, Hu Jianmin, Shi Wei, Zhang Zhongyi, Liu Gang. 2006. Jurassic superposed folding and Jurassic foreland in the Daba Mountain, central China. Acta Geoscientica Sinica, 27

(5):403～410 (in Chinese with English abstract).

Dong Shuwen, Hu Jianmin, Li Sanzhong, Shi Wei, Gao Rui, Xue Huaimin. 2005. The Jurassic deformation in the Dabie Mountains and its tectonic significances. Acta Petrologica Sinica, 21(4):1189～1194 (in Chinese with English abstract).

Enkin R Z, Yang, Z, Chen Y, Courtillot V. 1992. Paleomagnetic constraints on the geodynamic history of main Chinese blocks from the Permian to the present: a review. Journal of Geophysical Research,97: 13953～13989.

Gao Rui, Dong Shuwen, He Rizheng, Liu Xiaochun, Li Qiusheng, Guan Ye, Bai Jin, Li Pengwu, Huang Dongding, QIian Guihua, Kuang Zhaoyang, Li Sanzhong. 2004. Subduction process of the Yangtze continental block from Moho reflection image, South China. Earth Science Frontier, 11(3):430～449 (in Chinese with English abstract).

Gilder S, Courtillot V. 1997. Timing of the north-south China collision from new Middle to Late Mesozoic paleomagnetic data from the North China Block. J. Geophys Res, 102: 17713～17727.

Gradstein F M,Ogg J G,Smith A G. 2004. A new Geological Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene. Episodes, 27～29.

Guo Jinghui, Chen Fukun, Zhang Xiaoman, Siebel W, Zhai Mingguo. 2005. Evolution of syn-to post-collisional magmatism from north Sulu UHP belt, eastern China: zircon U-Pb geochronology. Acta Petrologica Sinica, 21(4):1281～1301 (in Chinese with English abstract).

Guang Yuxiang; Yang Tianshui. 1994. Nappe Structure Research of Fujian Province and its significance. Geology of Fujian, 13(4): 248～277 (in Chinese with English abstract).

Isozaki Y. 1997. Jurassic accretion tectonics of Japan. The Island Arc,6(1):25～51.

Hacker B, Ratschbacher L, Webb L, McWilliams M, Lreland T, Calvert A,Dong S,Wenk H R,Chateigner D. 2000. Exhumation of ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Late Triassic-Early Jurassic tectonic unroofing. J. Geophys. Res., 105:13339～13364.

He Zhengjun, Li Jinyi, Niu Baogui and Ren Jishun. 1998. A Late Jurassic intensive thrusting-uplifting event in the Yanshan-Yinshan area, northern China, and its sedimentary response. Geological Review, 44(4): 407～418 (in Chinese with English abstract).

Huang Chanqi, Cao Mingzhi. 2002. Thrust nappe structures from Huilong area in southwestern Fujian. Geology of Fujian, 21 (2):85～90 (in Chinese with English abstract).

Ji Qiang, Chen Wen, Wang Wuli, Jin Xiaochi, Zhang Jiampimg, Liu Yongqing, Zhang Hong, Yao Peiyi, Ji Shu´an, Yuan Chongxi, Zhang Yan and You Hailu, 2004. Mesozoic Jehol Biota of western Liaoxi, China. Beijing: Geological Publishing House. 1～357 (in Chinese with English abstract).

Ji Qiang, Liu Yongqing, Chen Wen, Ji Shuan, Lv Junchang, You Hailu, Yuan Chongxi. 2005. On the geological age of Daohugou Biota. Geological Review, 51(6): 609～612 (in Chinese with English abstract).

Leader M, Smith A, Yin J. 1988, Sedimentology and paleoenvironmental evolution of the 1985 Lhasa to Golmud geotraverse. Philos, Trans. R. Sco. London, Ser. A, 327:107～143.

Li Sanzhong, Liu Jianzhong, Zhao Guochun, Wu Fuyuan, Han Zongzhu, Yang Zhongzhu. 2004. Key geochronology of Mesozoic deformation in the eastern block of the North China Craton and its constraints on regional tectonics: a case of Jiaodong and Liaodong Peninsula. Acta Petrologica Sinica, 20 (3):0633～0646 (in Chinese with English abstract).

Li S G,Li H M,Chen Y Z,Xiao Y L,Liu D L. 1997. Chronology of ultrahigh pressure metamorphism of the Dabieshan-Sulu terrane-zircon U-Pb isotopic system. Science in China (Series D), 27(3):200～206.

Liu Jian, Zhao Yue, Liu Xiaoming, 2006. Age of the Tiaojishan Formation volcanics in the Chengde Basin, northern Hebei province. Acta Petrologica Sinica, 22(11): 2617～2630 (in Chinese with English abstract).

Liu Yongqing, Liu Yanxue, Li Peixian, Zhang Hong, Zhang Lijun, Li Yin, Xia Haodong. 2004. Daohugou biota-bearing lithostratigraphic succession on the southeastern margin of the Ningcheng basin, Inner Mongolia, and its geochronology. Geological Bulletin of China,23 (12):1180～1187 (in Chinese with English abstract).

Maruyama S, Liou J G, Seno T. 1989. Mesozoic and Cenozoic evolution of Asia. In: Ben-Avraham Z ed. The evolution of the Pacific Ocean margins, Oxford University Press,75～99.

Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G, Terabayashi M. 1997. Paleogeographic maps of the Japanese islands: plate tectonic systhesis from 750 Ma to the present. The Island Arc,6:121～142.

Mao Jingwen,Wang Yitian,Zhang Zuoheng,Yu Jinjie,Niu Baogui. 2003. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in North China and adjacent areas-Implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits. Science in China, Series D, 46(8):838～851.

Nie S, Rowley D B. 1994. Comment on "Paleomagmatic constraints on the geodynamic history of the major blocks of China from the Permian to the Present" by R J Enkin et al. J. Geophys. Res., 99:8035～8042.

Niu B G,He Z J,Song B,Xiao W W. 2004. SHRIMP geochronology of volcanics of the Zhangjiakou and Yixian Formations, Northern Hebei Province, with a discussion on the age of the Xingpanling Group of the Great Hinggan Mountains and volcanic strata of the southeastern coastal area of China. Acta Geologica Sinica (English Edition),78:1214～1228.

Qi Jianzhong; Liu Hongying; Jiang Yaohui. 2000. Yenshanian subduction and strike-sliping regime of East China, and its control of ore localization. Volcanology & Mineral Resources, 21(4):244～265 (in Chinese with English abstract).

Ratschbacher L,Hacker B R,Webb L E,McWiiiams M,Ireland T, Dong S,Calvert A,Wenk H R,Chateigner D. 2000. Exhumation of the ultrahigh-pressure continental crust in east-central China: Cretaceous and Cenozoic unroofing and the Tan-Lu fault. J. Geophys. Res., 105:13303～13338.

Ren Dong, Lu Liwu, Guo Ziguang, Ji Shuan. 1995. Faunae and Stratigraphy of Jurassic-Cretaceous in Beijing and the adjacent areas. Beijing: Seismological Publishing House, 1～122 (in Chinese with English abstract).

Ren Dong, Gao Keqin, Guo Ziguang, Ji Shuan, Tan Jingjing, Song Zhuo. 2002. Stratigraphic division of the Jurassic in the Daohugou area, Ningcheng, Inner Mongolia. Geological Bulletin

of China, 21 (8-9): 584～591 (in Chinese with English abstract).

Ren Jishun, Wang Zuoxun, Chen Bingwei, Jiang Chunfa, Niu Baogui, Li Jinrong, Xie Guanglian, He Zhengjun, Liu Zhigang. 1999. The tectonics of China from a global view-a guide to the tectonic map of China and adjacent regions—view geotectonics of China from globe. Beijing: Geological Publishing House, 1～25.

Richards M S. 1999. Prospecting for Jurassic slabs. Nature, 397:203～204.

Shinjiro Mizutani, Shao Ji'an, Zhang Qinglong. 1989. The Nadanhada terrane in relation to Mesozoic tectonics on continental margins of east Asia. Acta Geologica Sinica, 60(3):204～216.

Tao Kuiyuan, Mao Jianren, Xing Guangfu, Yang Zhuliang, Zhao Yu. 1999. Strong Yanshanian volcanic-magmatic explosion in east china. Mineral Deposits, 18(4):317～322 (in Chinese with English abstract).

Wang Daoxuan, Liu Yin, Li Shuangying, Jin Fuquan. 2002. Lower time limit on the UHPM rock exhumation: Discovery of eclogite pebbles in the Late Jurassic conglomerates from the northern foot of the Dabie Mountains, eastern China. Chinese Science Bulletin, 47(3): 231～235.

Wang Wuli, Zheng Shaolin, Zhang Lijun, Pu Ronggan, Zhang Wu, Wu Hongzhang, Ju Ranghong, Dong Guoyi, Yuan Hong. 1987. Mesozoic stratigraphy and palaeontology of western Liaoning. Beijing: Geological Publishing House, 1～263 (in Chinese with English abstract).

Wang Zongxiu, Tang Zhemin, Yang Zhongzhu, Yang Xiaobo. 2000. Ductile tectonic deformation of Mesozoic time in the Dalian area. Seismology and Geology, 22(4):379～386 (in Chinese with English abstract).

Wallick B P, Steiner M B. 1992. Paleomagnetic and rock magnetic properties of Jurassic Quiet Zone Basalts, hole 801c in Proceeding of Ocean Drilling Program, Sci. Results, 129.

Wang Y. 2006. The onset of the Tan-Lu fault movement in eastern China: constraints from zircon (SHRIMP) and $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating. Terra Nova, 18 (6):423～431.

Wong W H. 1926. Crust movement in eastern China. Proceedings of 3th Pan-Pacific Science Congress, Tokyo, 642～685.

Wong W H. 1927. Crustal movement and ignous activities in eastern China since Mesozoic time. Bulletin of Geological Society of China, 6(1):9～36.

Wong W H. 1929. The Mesozoic orogenic movement in eastern China. Bulletin of Geological Society of China, 8:33～44.

Wu Fuyuan, Sun Deyou, Zhang Guangliang, Ren Xiangwen. 2000. Deep geodynamics of Yanshain Movement. Geological Journal of China Universities, 3(6): 379～388 (in Chinese with English abstract).

Van der voo R, Spakman W, Bijwaard H. 1999. Mesozoic subducted slabs under Siberia. Nature, 397:246～249.

Yang Jinhui, Wu Fuyuan, Luo Qinghua, Zhong Sunlin, Zhang Yanbin, Wilde, S A. 2004. Deformation age of Jurassic granites in the Dandong area, eastern China: ^{40}Ar-^{39}Ar geochronological constraints. Acta Petrologica Sinica, 20(5): 1205～1214 (in Chinese with English abstract).

Yang Z, Courtillot, J Besse, X Ma, L Xing, S Xu, J Zhang, 1992, New paleomagnetic constraints on the relative motions and collision of the North and South China blocks, Geophysical Research Letters, 19, 577～580.

Yang Z, Sun Z, Ma X, Huang B, Zhou Y. 1998. APWP and tectonic movements of the North China Block during the Phanerozoic. Science in China, Series D, 41(supp.):51～65.

Yang Zhenyu, Dong Shuwen, Jean B. 2001. Mesozoic tectonic evolution of the North and South China Blocks and exhumation mechanism of the ultra-high pressure metamorphic rocks. Geological Review, 47 (6):568～576 (in Chinese with English abstract).

Yin A, Nie S. 1996. A Phaneozoic palinspastic reconstruction of China and its neighboring regions. In: Yin A and Harrison T M (eds). The Tectonic Evolution of Asia. Cambrige University Press, 442～485.

Zhai M G, Zhu R X, Liu J M, Meng Q R, Hou Q L, Hu S B, Li Z, Zhang H F, Liu W. 2004. Time range of Mesozoic tectonic regime inversion in eastern North China Block. Science in China (Series D), 47(2):151～159.

Zhang Hongren. 2000. Yanshan event. Acta Geologica Sinica, 72 (2):103～111 (in Chinese with English abstract).

Zhang Kang. 1989. Faulted block of Ordos and resource. Xian: Shanxi Science and Technology Publishing House, 1～394 (in Chinese with English abstract).

Zhang Qi, Qian Qing, Wang Erchie, Wang Yan, Zhao Taiping, Hao Jie, Guo Guangjun. 2001. An East China plateau in mid-late Yanshanian period: implication from adakites. Scientia Geologica Sinica, 36(2):248～255 (in Chinese with English abstract).

Zhang Y Q, Dong S W, Shi W. 2003. Cretaceous deformation history of the middle Tan-Lu fault zone in Shandong Province, eastern China. Tectonophysics, 363(3-4):243～258.

Zhang Yueqiao, Shi Wei, Liao Changzhen, Hu Bo. 2006. Fault kinematic analysis and change in late Mesozoic tectonic stress regimes in the peripheral zones of the Ordos basin, North China. Acta Geologica Sinica, 80(5): 639～647 (in Chinese with English abstract).

Zhang Yueqiao, Liao Changzhen, Shi Wei, Zhang Tian, Guo Fangfang. 2007. On the Jurassic tectonics in and around the Ordos basin, north China. Earth Science Frontier, 14(2): 186～192 (in Chinese with English abstract).

Zhang Yueqiao, Dong Shuwen, Zhao Yue, Zhang Tian. 2007. Jurassic tectonics of North China: a synthetic view. Acta Geologica Sinica, 81(11):1462～1480.

Zhao Yue, Yang Zhengyu, Ma Xinghua. 1994. Geotectonic transition from paleoasian system and paleotethyan system to paleopacific active margin system in eastern Asia. Scientian Geologica Sinica, 29(2): 105～119 (in Chinese with English abstract).

Zhao Yue, Cui Shengqin, Guo Tao, Xu Gang, 2002. Evolution of a Jurassic basin of the Western Hills, Beijing, North China and its tectonic implications. Geological Bulletin of China, 21 (4 5):211～217 (in Chinese with English abstract).

Zhao Yue, Xu Gang, Zhang Shuanghong, Yang Zhengyu, Zhang Yueqiao, Hu Jianming. 2004. Yanshanian movement and conversion of tectonic regimes in East Asia. Earth Science frontiers, 11(3):319～328 (in Chinese with English abstract).

Zheng Y D, Zhang Q, Wang Y, Lkaasuren B, Badarch G, Badamgalav Z. 1996. Great Jurassic thrust sheets in Beishan (North Mountain)—Gobi areas of China and southern Mongolia.

Journal of Structural Geology, 18:1111～1126.

Zheng Y D, Davis G A, Wang C, Darby B J, Hua Y G. 1998. Major thrust sheet in the Daqingshan Mountains, Inner Mongolia, China. Science in China (Series D), 41:553～560.

Zheng Zhiqiang, Su Jianghu, Ma Jinqing. 2000. Thrust nappe structures in the Renshou area of northern Fujian Province. Geology of Fujian, 20(2):78～86 (in Chinese with English abstract).

Zhu G, Wang Y S, Liu G S, Niu M L, Xie C L, Li C C. 2005. $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of strike-slip motion on the Tan - Lu fault zone, East China. Journal of Structural Geology, 27:1379～1398.

Zhao X X, Coe R, Liu C. 1992. New Cambrian and Ordovician paleomagnetic poles for the north China block and their paleogeographic implication. J. Geophys Res., 97:1767～1788.

Zhu R X, Pan Y X, Shi R P. 2002. New Cretaceous plaeointensity data and the constraints on geodynamics. Science in China, series D, 45(10):931～938.

Jurassic Tectonic Revolution in China and New Interpretation of the Yanshan Movement

DONG Shuwen[1)], ZHANG Yueqiao[1,2)], LONG Changxiang[1)], YANG Zhenyu[1,2)], JI Qiang[3)], WANG Tao[3)], HU Jianmin[1)], CHEN Xuanhua[1)]

1) *Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing*, 100081; 2) *Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing*, 210093; 3) *Institute of Geology, CAGS, Beijing*, 100073

Abstract

With acquisition and accumulation of new data of structural investigations and high resolution isotopic dating data, we have greatly improved our understanding of the tectonic events occurring in eastern China during the period from the Late Jurassic to Early Cretaceous and may give a new interpretation of the nature, timing and geodynamic settings of the "Yanshan movement". During the Mid Late Jurassic (165±5 Ma), great readjustment of plate amalgamation kinematics took place in East Asia and the tectonic regime underwent great transformation, thus initiating a new tectonic regime in which the North China block was the center and different plates converged toward the East Asian continent from the north, east and southwest and forming the "East Asia convergent" tectonic system characterized by intracontinental subduction and orogeny. As a consequence, the crustal lithosphere of the East Asian continent thickened considerably during the Late Jurassic, followed immediately by Early Cretaceous substantial lithospheric thinning and craton destruction featured by drastic lithospheric extension and widespread volcano-magmatic activities, resulting in a major biotic turnover from the Yanliao biota to Jehol biota. Such a tremendous tectonic event that took place in the continent of China and East Asia is the basic connotation of the "Yanshan movement". In the paper, according to the deformation patterns, geodynamic settings and deep processes, the "Yanshan movement" is redefined as the Late Jurassic East Asian multidirectional plate convergent tectonic regime and its associated extensive intracontinental orogeny and great tectonic change that started at ～165±5 Ma. The substantial lithospheric attenuation in East China is considered the post-effect of the Yanshanian intracontinental orogeny and deformation.

Key words: Late Jurassic; Yanshan Movement; East Asian multi-direction convergent tectonic systems; intracontinental orogeny and deformation; lithospheric thickening and thinning