

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2017.04.007

鲁西地区中生代穹盆构造与东亚构造体制转换

孙文军^{1,2}, 李三忠^{1,2}, 王鹏程^{1,2}, 李玺瑶^{1,2}, 刘晓光^{1,2},
张剑^{1,2}, 兰浩圆^{1,2}, 李少俊^{1,2}

(1. 海底科学与探测技术教育部重点实验室, 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋地质功能实验室, 青岛 266237)

摘要:根据野外观察分析,综合前人研究成果,对鲁西地区中生代褶皱叠加期次、构造特征以及动力学机制进行了分析。结果表明,鲁西中生代构造期次主要分为印支期和燕山期两幕褶皱-逆冲推覆作用,印支期主要为近东西向的宽缓褶皱,燕山期则以北东—北北东向的逆冲推覆和相关褶皱为主,两期褶皱叠加,形成穹盆构造。鲁西地区这种穹盆构造是东亚构造体制转变的地壳变形构造特征的产物。中生代以来,华北和华南地块之间的拼合构成了最初的东亚大陆,主要以近东西向构造为主。中生代中晚期逐渐发育起来的北北东向的环太平洋构造带叠加在东亚大陆的东缘,意味着在这期间古特提斯构造域为主导的汇聚体制转变为古太平洋构造域的俯冲消减体制。

关键词:穹盆构造;印支运动;燕山运动;构造转换;鲁西

中图分类号:P542

文献标识码:A

文章编号:0256-1492(2017)04-0110-16

华北东部乃至东亚地区自中生代以来深部和浅表地质过程和构造格局巨变均与印支运动和燕山运动密切相关,具体涉及 3 个地质时期,即三叠纪、侏罗纪和白垩纪。这些构造巨变长期以来备受众多地质学家的关注,也是东亚构造体制转换的具体体现^[1, 2]。中晚三叠世,华北与华南地块碰撞聚合,中国东部初步形成中国古大陆或亚洲古大陆的主体。一般将中三叠世华北与华南陆块聚合碰撞和中国或东亚古大陆雏形形成过程作为印支运动的主要内容,其重要特征是近 EW 向的古特提斯洋(商丹洋和勉略洋)最终闭合。而自印支运动以后,中国大陆主体开始进入陆内构造演化时期,构造体制由陆陆碰撞的构造体制变化为在古太平洋板块俯冲消减背景下的陆内变形和陆内造山,东亚大陆边缘主要受古太平洋板块向西俯冲影响,形成 NNE 向大陆边缘构造。然而,对于该构造体制转变时间、印支与燕山期形变的转换机制、燕山期变形的本质等问题一直存在着争论。众多学者认为东亚活动大陆边缘的

开始形成与演化,以及华北东部及邻区由古亚洲洋构造域与古特提斯构造域向太平洋构造域的重要转变时期为印支期^[3-9]。赵越等^[10-12]则强调东亚出现火山弧是东亚构造体制由特提斯构造域向太平洋构造域转变的重要标志,时间为中侏罗世,燕山运动是这两大动力体制转变的产物。董树文等^[1, 2]构想东亚构造体制由印支期多块体拼合机制,转换为中晚侏罗世初期自北、东、南西不同块体向华北地块为中心的“多向汇聚”背景下陆内俯冲和陆内造山体制,称为东亚汇聚构造体系。翟明国等^[13]强调华北块体中生代由挤压构造体制转化为伸展构造体制的构造转换,不是陆内造山效应,而是与深部过程有关,推断为晚侏罗世—早白垩世邻区块体聚合导致的华北地区软流圈地幔大规模上隆的结果。上述假说虽然尚有较大分歧,无论是转变时间还是转变方式都存在差异认识,但是为东亚构造体制转变的研究奠定了坚实基础,都认为近东西向的构造转变成北东或北北东的构造是东亚构造体制转变的基本特征。

随着华北东部陆块和中国东部构造-岩浆作用研究获得重要进展,东亚构造体制转折的研究也取得许多新的突破。例如,渤海湾盆地识别出印支期变形,其动力来源为华北地块向其东南缘的华南地块楔入并碰撞形成的秦岭-大别-苏鲁造山带有关^[14, 15]。同时还经历了燕山期构造叠加改造^[16, 17],而且在新生代沧东隆起与黄骅拗陷中生代基底研究中,发现其中存在许多北北东或者北东向的逆冲推覆构造,叠加改造印支期变形,判断为晚于印支期的

基金项目:国家自然科学基金杰出青年基金(41325009);山东省泰山学者特聘教授项目;鳌山卓越科学家计划(2015ASTP-0S10);国家重点研发计划(2016YFC060102, 2017YFC0601401);国家海洋局重大专项(GASI-GEOGE-01)

作者简介:孙文军(1987—),男,博士生,海洋地质专业, E-mail: sunwenjuna@163.com

通讯作者:李三忠(1968—),男,教授,博士生导师,构造地质与海洋地质专业, E-mail: sanzhang@ouc.edu.cn

收稿日期:2017-05-31; **改回日期:**2017-07-26。 周立君编辑

燕山期变形^[18-20]。合肥盆地基底和秦岭-大别-苏鲁造山带印支期和燕山期的变形研究也很精细,研究内容非常广泛。结合渤海湾盆地与合肥盆地以及苏鲁大别造山带中生代的构造特征研究,处于二者之间的鲁西地区也应该经历中生代的印支期和燕山期变形。但是,鲁西地区中生代构造研究长期以来侧重于中生代晚期伸展为主的滑脱构造^[21-26],而挤压构造研究薄弱,更少有人关注挤压构造相关的构造体制转换。同时,就研究区特别的穹盆叠加构造和突兀的地貌特征而言,已有许多学者提出了差异的构造成因机制,如牛树银等^[27, 28]认为鲁西地区的岩浆岩和断裂构造的分布受控于幔枝构造,来源于地幔柱的上涌;而有人^[29]则认为是源于基底构造格局与构造变形空间上的差异叠合,其中燕山期构造是由于古太平洋板块向东亚大陆俯冲形成的挤压构造导致陆内壳下拆沉与壳内挤出-逃逸构造的深、浅部动力综合效应的结果。中生代初期,华北地块和华南地块碰撞拼合形成东亚古大陆初始的拼贴构造格局;而后中生代中后期,由于古太平洋的俯冲,在东亚大陆东缘开始形成以北北东走向为主要特征的太平洋构造域,该构造域叠加于东亚大陆前期的构造变形之上,标志着在此阶段发生了从汇聚体制到俯冲消减体制的变化,前者是以古特提斯构造域为主的,而后者则是以古太平洋构造域为主^[10-12]。

为此,本文选择处于华北板块与华南板块的结合带——苏鲁造山带西侧的鲁西地区作为研究对象,因为研究区位于东亚汇聚的核心构造部位,大地构造位置十分独特,印支期与燕山期变形最终塑造了该区中生代构造样式,呈现经典叠加褶皱为特征的穹盆构造(图1),而且还存在多期次构造变形,塑造了鲁西地区多期次的构造变形及其叠加相互改造作用的形态,所以,构造变形研究将进一步增强对陆内构造动力学的认识与完善构造叠加的深部机制的意义深远,同时对邻区含油气盆地的开发与利用具有巨大价值。本文从褶皱样式的特点入手,分析构造叠加关系和区域大地构造背景,来探讨鲁西地区穹盆构造的形成与演化的构造过程及其深部动力学机制,对鲁西地区中生代时期挤压变形、构造样式、动力来源方向、变形形成机制以及深部动力学机制等问题进行深入探索,进而更加全面审视中国东部,乃至亚洲东部,中生代构造演化及其构造体制转变的动力学机制。

1 区域地质背景

鲁西地区泛指山东省西部地区,在构造上属于

郯庐断裂以西的华北克拉通东部地块,涵盖北部的济阳坳陷和南部的鲁西隆起或鲁西地块。本文研究区主要位于鲁西地块,处于两条重要深大断裂之间,东起郯庐断裂,西至兰聊断裂,北边延伸到重要的含油气盆地——渤海湾盆地济阳坳陷,南部涉及到中生代合肥盆地(图2)。该区具有典型的华北型克拉通结晶基底结构,结晶基底为太古宙TTG片麻岩和绿岩带、部分古元古代变质叠加的花岗质侵入体,沉积盖层以古生代海相、海陆过渡相碳酸盐岩和碎屑岩为主,和中、新生代陆相碎屑岩、火山碎屑岩及湖相泥岩。

除古老的结晶基底以外,研究区大面积出露的地层中,以古生界寒武系与奥陶系为主,而石炭系和二叠系以及中生界三叠系、侏罗系与白垩系则是局部残存出露(图3)。中生代重要的角度不整合面有三:下侏罗统与其下部地层之间、上侏罗统与中侏罗统之间和下白垩统与上白垩统之间的角度不整合面。其中,三叠系与侏罗系之间的不整合界面是一个重要构造运动分界面,是主要区别印支期与燕山期变形层的重要标志,代表了鲁西地区特提斯构造域形变与太平洋构造域形变的重大转变。不整合面以下的构造特征可大体上推断印支变形结束时的构造格局,当时差异已相当明显,自滕州,经平邑、蒙阴、沂源,至临朐一线,侏罗纪三台组不整合在下伏的二叠系太原组、古生代奥陶系与寒武系及太古宙与古元古代结晶基底上,尤其在临朐-沂水,古生界几乎完全被剥蚀掉。在古隆起之外,大部分地区三台组沉积在三叠系之上,仅在淄博一带侏罗系平行不整合沉积在三叠系之上。侏罗纪初期盆地中发育砾岩,推测同期主要为山间河流沉积相,而且许多地方基底出露,可见,鲁西地区当时处于相对较高的地形。鲁西北部地区出露的侏罗系相对较厚,而且下伏的三叠系依然有所保存,说明当时总体地势南高北低^[37, 38]。

华北和华南地块之间中三叠世最终碰撞导致形成近东西向秦岭-大别造山带^[39]。印支期构造变形在鲁西地区总体微弱,形成了一些近东西向的宽缓褶皱,卷入地层为寒武系一中、下三叠统。研究区广泛分布印支期角度不整合面,具体表现为中一下侏罗统角度不整合于下伏地层之上。鲁西有多处以寒武系和奥陶系为核心的向斜,自北向南济南一章丘-临朐、平阴-泰安-莱芜-沂源、磁窑-新泰-蒙阴、枣庄-苍山等呈东西向串珠状排列(图3)。早侏罗世以来,由于古太平洋板块由南东向北西俯冲,鲁西地区及邻区燕山期构造主要表现为大量发育的早中侏

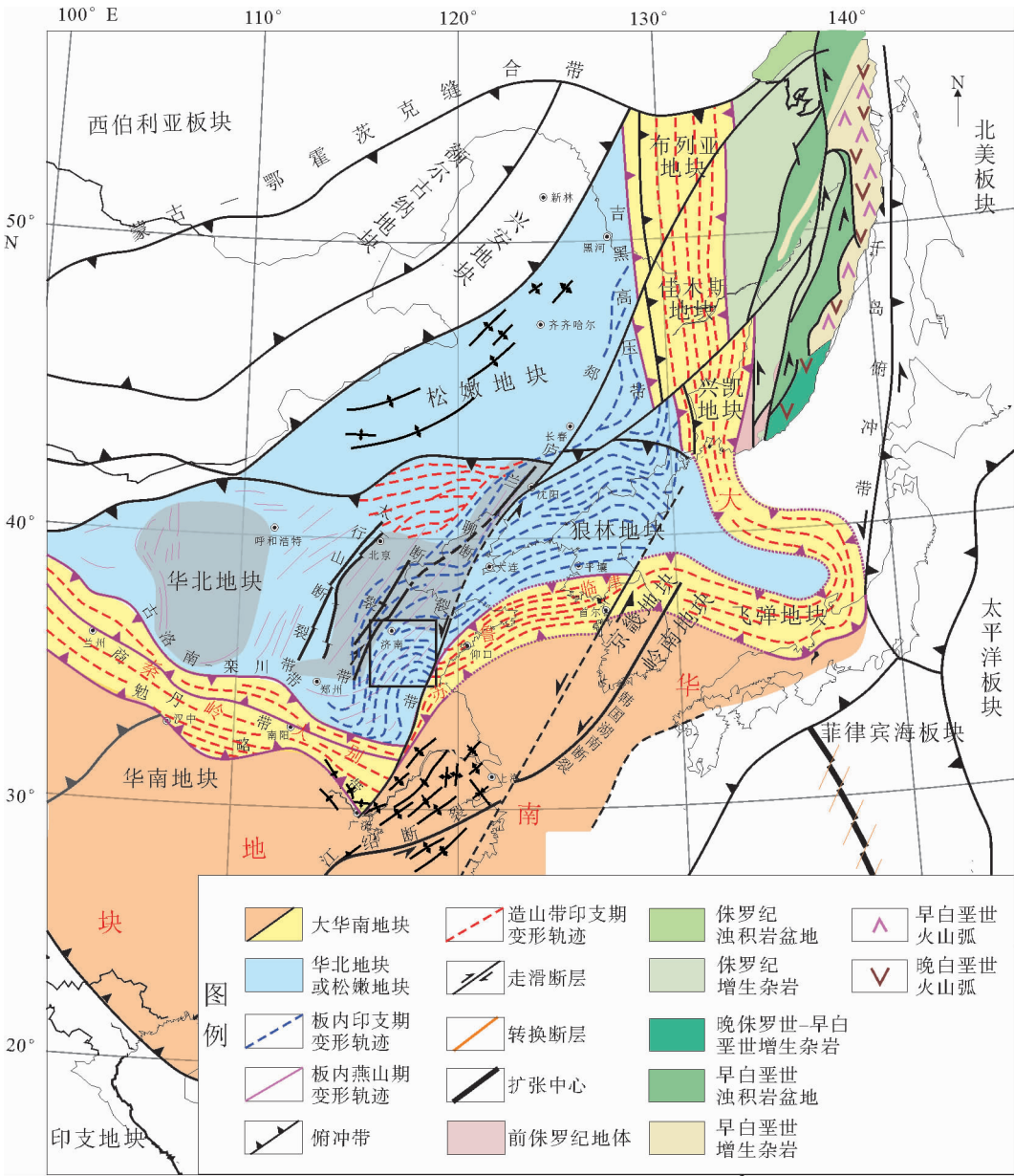


图 1 中国东部及邻区构造格架图(根据文献[30-36]编制)

Fig.1 Tectonic map of East China and adjacent areas (modified after references [30-36])

罗世 NE 或 NNE 轴向的宽缓褶皱以及同走向逆冲断裂,是对古太平洋板块 NW 向俯冲的构造响应。

鲁西隆起区现今中生代沉积主要见于山脉之间,向北凸出的弧形断陷盆地中,自北向南这些盆地依次为肥城盆地-莱芜盆地-鲁村盆地-南麻盆地-汶口盆地-汶东盆地-蒙阴盆地和汶上盆地-宁阳盆地-泗水盆地-平邑盆地。山脉上的寒武系与奥陶系岩层向西或北西方向缓倾,表现为单斜山,倾角较小,地层倾角最大可达 30°;而剖面上,盆地表现为北断南超的箕状断陷,北界大多表现为南倾正断层,南界则与单斜山为超覆不整合接触,地层倾角较缓,构造地貌上总体呈现典型的陆内盆山构造。

2 构造变形期次及特征

2.1 印支期变形

早—中三叠世,华北地块继续保持晚古生代时期的构造格局与沉积特点,地势北高南低,形成一个南陡北缓、呈东西展布的巨型盆地,主要为鄂尔多斯盆地,分布于鄂尔多斯、南华北西部及太行山一带,为开阔的内陆坳陷湖盆,岩相为北粗南细,厚度北薄南厚,沉积中心偏南;晚三叠世,华北地块与华南地块剪刀式拼合,华北地块整体隆升,但以吕梁山为

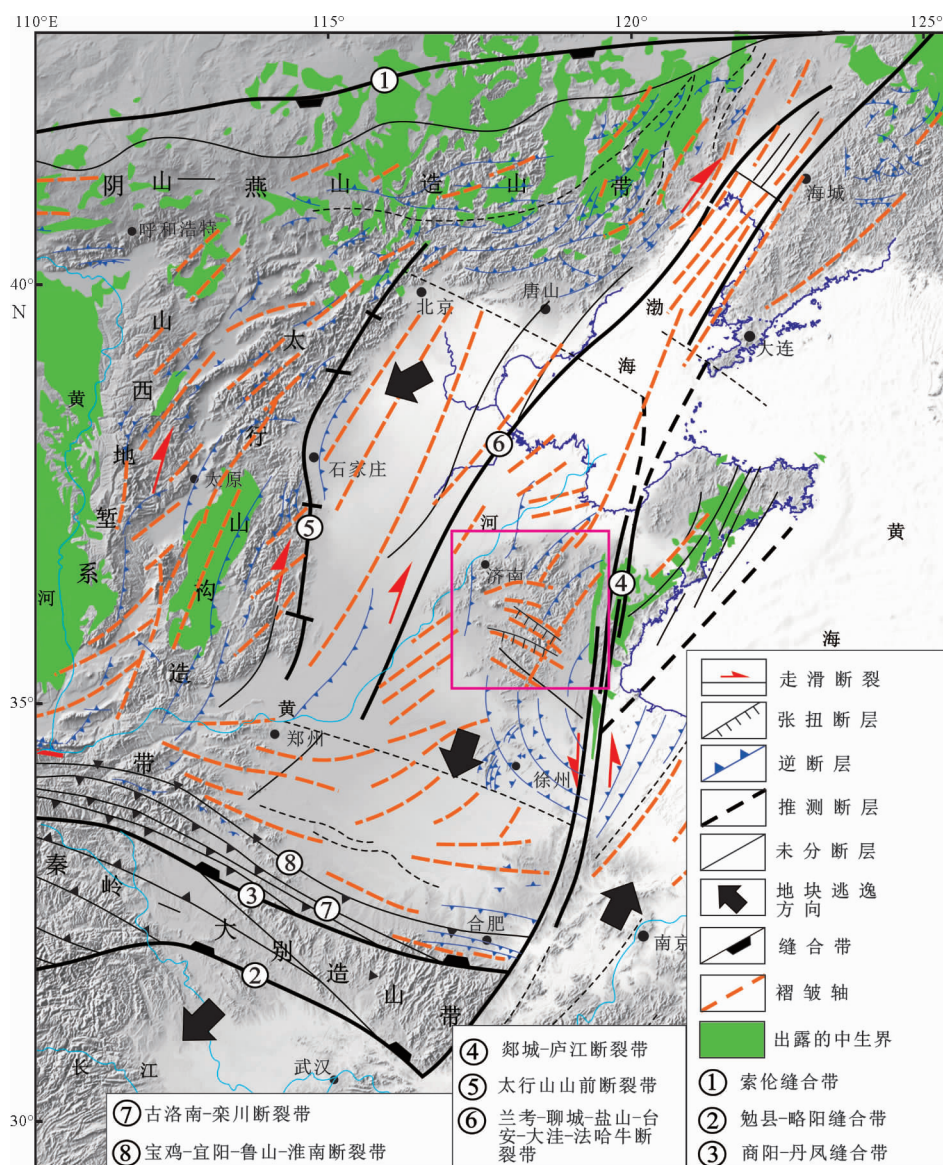


图 2 鲁西地块及邻区构造格架(根据文献[14-20, 30-36]编制)

Fig. 2 Tectonic map of the Luxi Block and adjacent areas (modified after references[14-20,30-36])

界,东部较西部隆升幅度大,以隆升剥蚀为主,盆地沉积范围向西收缩迁移,地势东高西低。西部仍表现为大型沉降盆地,阿拉善地块在南北向挤压作用下向东运动,前陆盆地在鄂尔多斯西缘开始形成。东部则在整体隆升背景下,出现南北差异升降的现象,局部形成一些箱形褶皱或断陷盆地,这时期在岩石圈调整过程中地壳浅表层还存在低角度推覆构造^[40]。印支末期,华北地块和华南地块南北向的挤压作用一直影响到华北地块的内部,研究区北部的济阳拗陷和黄骅拗陷形成了一系列北西西向至近东西走向的构造,主要构造样式为宽缓褶皱^[13-20]。

鲁西地区印支期的褶皱轴迹以 EW 向或者 NWW 向为主,虽然走向基本相同,但是轴面倾角与

翼间角存在一定差异,据此可将印支期变形分为两个幕次,即以紧闭褶皱为特征的早幕变形和以共轴叠加的宽缓褶皱为特征的晚幕变形^[29]。在潍坊市临朐县西峪村 S327 旁露头处,上寒武统炒米店组发育一期宽缓褶皱,褶皱轴向为近东西向,同时发育层间小褶皱,属于大褶皱的寄生褶皱,后期被北西向逆断层所切(图 4)。在济南市章丘区文祖镇文盛路北 S242 旁露头处,下奥陶统五阳山组泥页岩中见层内厢状褶皱和个别不对称小褶皱,指示与逆冲活动有关,为印支期顺层逆冲所致,断层产状变化显示为坡坪式逆冲(图 5)。在文祖镇南露头处,奥陶系中存在一印支期 NWW 向宽缓褶皱,背斜轴面倾向南,附近可见对应的大型宽缓向斜。根据详细的野外地

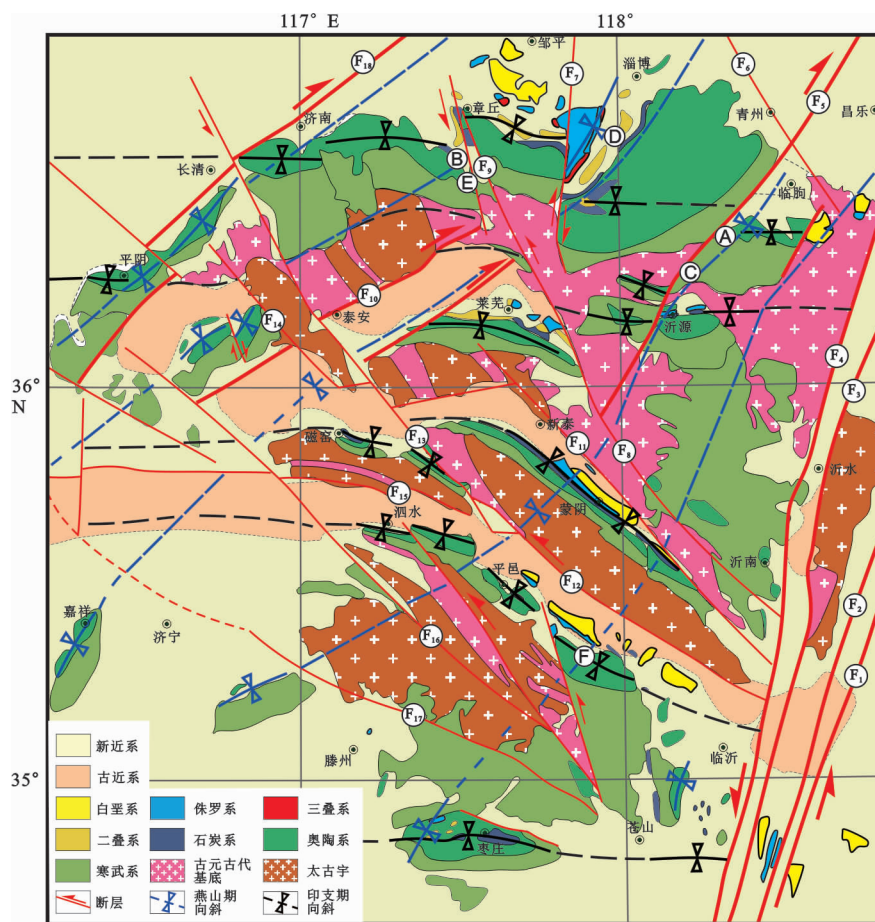


图3 鲁西地区穹盆构造

F1-F4: 郯庐断裂带; F5: 上五井断裂; F6: 益都断裂; F7: 博山断裂; F8: 铜冶店-孙祖断裂; F9: 文祖断裂; F10: 泰山山前断裂; F11: 新泰-蒙阴断裂; F12: 蒙山山前断裂; F13: 汶口断裂; F14: 肥城断裂; F15: 汶泗断裂; F16: 苍山-尼山断裂; F17: 枣庄断裂; F18: 济南断裂; A、B、C、D、E、F 为野外观察点位置

Fig. 3 Dome-basin structure in Western Shandong Province

F1-F4: Tanlu Fault Zone; F5: Shangwujing Fault; F6: Yidu Fault; F7: Boshan Fault; F8 Tongyedian-Sunzu Fault; F9: Wenzu Fault; F10: Taishan Piedmont Fault; F11: Xintai-Mengyin Fault; F12: Mengshan Piedmont Fault; F13: Wenkou Fault; F14: Feicheng Fault; F15 Wensi Fault; F16: Cangshan-Nishan Fault; F17: Zaozhuang Fault; F18: Jinan Fault; A, B, C, D, E and F show the positions of field observation stations

质调查发现,鲁西地区存在印支期褶皱挤压变形,主要是由于近南北向挤压,形成了研究区近东西向展布的隆起与坳陷的构造格架(图3)。印支期褶皱轴向主要是EW向或近EW向,因为遭受燕山期和新生代构造变形的叠加和改造,现今在地表呈现出串珠状特征。据此判断,可以认为研究区印支期受到南北向的挤压。

研究区近东西走向或北西西走向的印支期褶皱影响了北北东向或北东向的燕山期褶皱样式,同时又被北北东向的燕山期褶皱所叠加破坏,而且后期北北东向的断层将近东西向的断层切割错断。依据切割关系推断,近东西向的印支期构造变形形成时间早,而北北东向的燕山期构造变形则形成时间相对较晚。

油田构造分析表明,位于鲁西北部的济阳坳陷中,存在大量的北西西向褶皱,根据残留的中生代基底,凹陷在中三叠世末期至晚三叠世时期由于南北向挤压,形成北西西向或近东西向褶皱构造,应与华南地块与华北地块拼合形成大别-苏鲁造山带的构造变形同期^[40]。在古生代时期,济阳坳陷属于华北东部地块,恢复当时三叠系的原始地层厚度,约1 000到2 500 m。到晚三叠世,华北地块从南北两个方向分别受到西伯利亚地块和扬子地块的碰撞拼合,在南北向挤压应力的作用之下,导致华北内部整体隆升,经历风化剥蚀,因此现今济阳坳陷仅局部残留三叠系。印支期郯庐断裂发生左行走滑,济阳坳陷由于北东方向的挤压应力,古生代地层发生褶皱变形,导致“两隆三凹”北西走向压性构造带的出现,

而且构造隆起的部位被风化剥蚀,出现中生界中、下侏罗统煤系地层直接不整合于下古生界寒武系和奥陶系之上的现象^[41]。而在鲁西地区,淄川、蒙阴等局部地区可以发现中-下侏罗统坊子组与早—中三叠世或早古生代地层不整合接触,为印支运动产物^[42]。结合上述资料分析可知,印支时期近东西向褶皱在华北东部广泛发育,时间应当到晚三叠世。

根据上述印支期构造运动表现与变形特征的对比分析,在鲁西地块及其周边区域,构造变形样式主要是近东西向宽缓-紧闭褶皱及逆冲构造,这种隆坳相间的构造格局与南北两大纬向构造带展布方向一致。对比分析周边区域构造演化,推断研究区印支运动的动力学背景可能与西伯利亚地块、华北地块、华南地块之间的拼合作用有关。华北地块北部自晚二叠世以来,由于古亚洲洋的逐渐消亡而不断隆升,在

二叠世末期到中三叠世期间,西伯利亚地块与华北地块拼合,华北地块处于南北挤压的构造环境之下,形成印支期构造变形。华北地块南部在晚二叠世到中三叠世期间表现为活动大陆边缘,从中三叠世开始,华南地块和华北地块从东部开始碰撞造山,造山作用逐渐向西迁移,一直持续到晚三叠世,最终形成苏鲁-大别-秦岭造山带^[15]。这种动力作用的结果也是研究区形成东西向褶皱变形及逆冲构造的重要原因。

2.2 燕山期变形

早-中侏罗世,华北地块东部处于向太平洋构造域转换的过渡阶段,这一时期太行山将华北地块一分为二,西部为鄂尔多斯大型沉积盆地,东部主要在渤海湾盆地区为一些北西西向或近东西向的山间沉积盆地群^[16, 19]。此时,中国北部阴山-燕山造山带

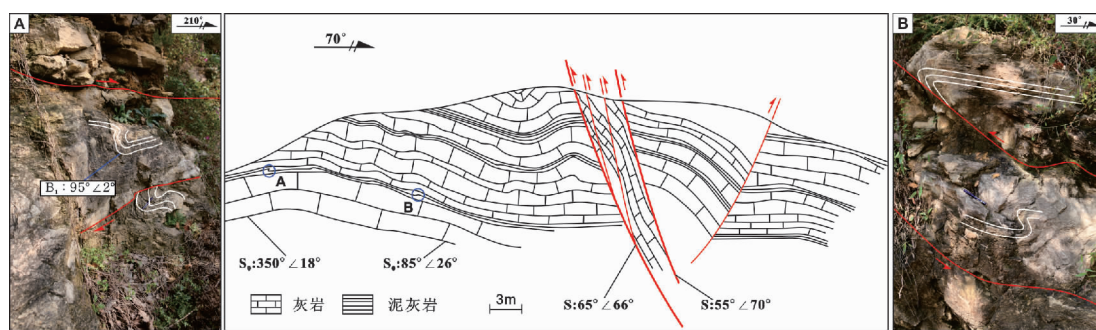


图 4 潍坊市临朐县西峪村构造剖面(位置如图 3 中 A, GPS: 36.39089°N, 118.31236°E, H292.7 m)

Fig. 4 Structural profile at the Xiyu Village, Linqu County, Weifang City

(See A in Fig. 3 for location, GPS: 36.39089°N, 118.31236°E, H292.7 m)

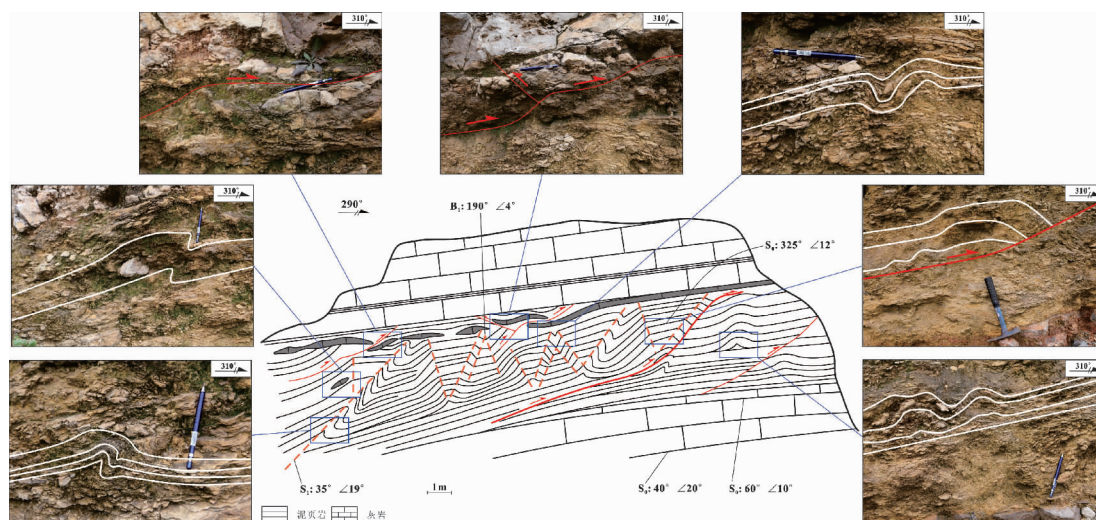


图 5 济南市章丘区文祖镇文盛路构造剖面(位置如图 3 中 B, GPS: 36.62046°N, 117.52599°E, H238.2 m)

Fig. 5 Structural profile through the Wenzun Town, Zhangqiu County, Jinan City

(See B in Fig. 3 for location, GPS: 36.62046°N, 117.52599°E, H238.2 m)

已经强烈挤压与收缩,中国东部两个核心地块——华南地块与华北地块也早已碰撞拼合,但在东南部太平洋构造域的作用下,继续一系列陆内变形,在北西向的挤压作用背景下,使得板块内部的先存三角形微块体,分别发生了北东向和南西向的逃逸,形成了走滑逃逸盆地群。盆地群在地块不同位置发育不同的盆地类型。坳陷盆地或前陆盆地多存在于三角形块体的前缘部分,如合肥盆地与鄂尔多斯盆地。走滑拉分盆地多存在三角形块体的两侧或中部。断陷盆地多存在于三角形块体的后缘或内部老构造带或古隆起部位。中侏罗世末期强烈的构造运动和大规模的北东向构造开始形成。晚侏罗世—早白垩世,太平洋板块活动完全代替华南地块、西伯利亚板块活动对华北地块构造演化的主导地位,中国东部开始广泛发育裂陷或断陷盆地。晚白垩世,郯庐断裂带以西的华北广大地区整体处于隆升剥蚀状态,大量缺失上白垩统,只是在个别盆地中能见及^[13, 17, 18]。

鲁西地区广泛发育燕山期褶皱,轴向主要为北东向或北北东向(图 3),向斜核部相对较窄,卷入变形的地层最老为下侏罗统。燕山期褶皱与北东向逆断层有关,主要为断层相关褶皱,由于后期伸展隆升

剥蚀^[43],早古生代地层主要是寒武系和奥陶系,而中生界地层特别侏罗系仅在鲁西北的淄博地区,鲁西中部莱芜、沂源、蒙阴、平邑地区只有零星残存分布(图 3)。在沂源县三岔乡璞邱一村 S327 旁露头,构造为一系列层内逆冲和低角度逆冲组成的坡坪式逆冲和断层相关褶皱,逆冲方向由北西向南东,相关褶皱轴迹为北东向(图 6)。在淄博市淄川区昆仑镇东奎山村东南 S803 旁露头,构造为北东向叠瓦逆断层,由北西向南东逆冲,同时还发育断层相关褶皱(图 7)。

区域构造对比研究表明,上述这些燕山期变形与利用油田钻井和地震勘探资料编制的渤海湾盆地区基底构造图揭示的褶皱一致^[44, 45],济阳坳陷内北东向褶皱卷入地层为中侏罗统,因此判断为燕山中期(中侏罗世末期)变形。可以推测燕山早期和中期鲁西隆起的古生界遭受两次微弱的北西向的挤压应力,表现为北北东向的隔槽式褶皱,经由济阳坳陷向北北东和辽南推覆体相连,而向南南东则和徐宿推覆体相接,向北西西与变形强烈的黄骅坳陷南部的徐黑薄皮推覆带相关,这些褶皱和推覆体同期形成,共同组成了横贯华北地块东部的燕山期大型挤压构造带^[46]。

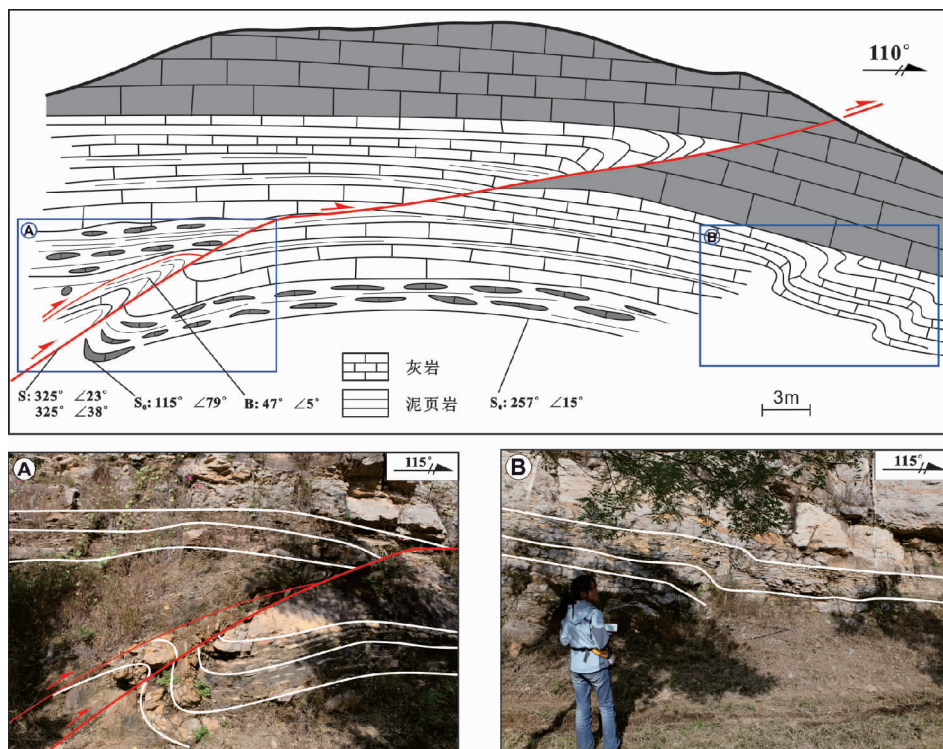


图 6 沂源县三岔乡璞邱一村构造剖面(位置如图 3 中 C, GPS: 36. 31564°N, 118. 23188°E, H343. 9 m)

Fig. 6 Structural profile at the Puqiouyi Village, Sancha Town, Yiyuan County

(See C in Fig. 3 for location, GPS: 36. 31564°N, 118. 23188°E, H343. 9 m)

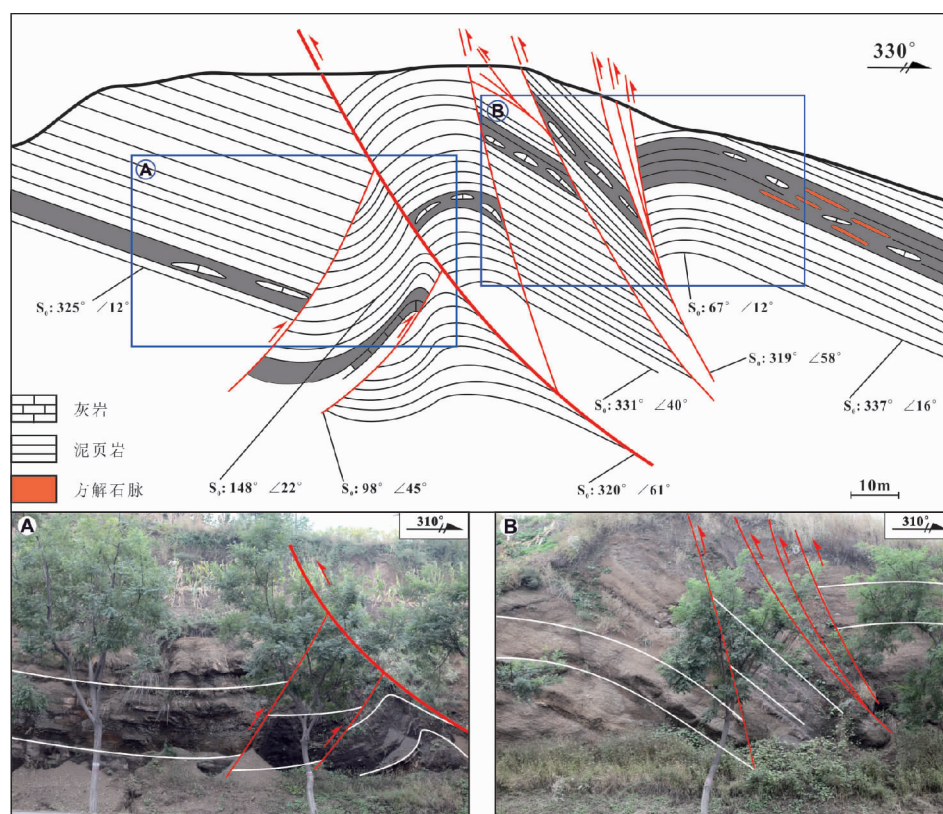


图 7 淄博市淄川区昆仑镇构造剖面(位置如图 3 中 D, GPS: 36.55896°N, 117.94433°E, H244.5 m)

Fig. 7 Structural profile at the Kunlun Town, Zichuan county, Zibo City

(See D in Fig. 3 for location, GPS: 36.55896°N, 117.94433°E, H244.5 m)

盆地的形成与上述构造变形具有相关性。早-中侏罗世早期,渤海湾盆地主要表现为对印支期造成的北西西或近东西向逆冲断层及阔缓褶皱所产生的低洼地区的充填^[16, 19, 20]。而中-晚侏罗世,北东向构造大规模形成。华北北部盆地主要表现为长轴以北东向为主,叠加或破坏三叠纪-早侏罗世的盆地,而南华北地区盆地分布具有与造山带走向相一致的特征^[13, 17, 18]。晚侏罗世-早白垩世,进入大规模的裂陷或断陷盆地发育阶段,且出现了明显的分区性:在兰考-聊城断裂系以东,由于受郯庐断裂带左旋走滑构造应力场的控制,主要发育北西或北西西向断陷盆地,而在该断裂系以西至太行山以东的地区,受左旋走滑影响较弱,主要发育北东和北北东向断陷盆地,在张家口-蓬莱走滑断裂带以北的下辽河拗陷区,盆地的长轴方向为北北东,属郯庐断裂带内部的走滑拉张盆地;晚白垩世,仅在河南信阳盆地及冀中、临清、黄骅拗陷的少数低洼地区接受沉积,多以红色河湖相粗碎屑为主。鲁西地区一些断陷盆地内也有上白垩统河湖相沉积。合肥盆地与鲁西盆地等具有含油层系,渤海湾盆地基底等也应该有一致的红层沉积。总体上,此时期的沉积和剥蚀状态

反映了华北地区的抬升以及边缘构造带的总体抬升,如太行山、大别山、燕山造山带等此时的隆升^[42]。

2.3 穹盆褶皱叠加

鲁西地区大面积出露太古代和元古代的结晶基底和古生界寒武系与奥陶系,而石炭系、二叠系以及中生代沉积盖层局部出露。古生代未见岩浆活动,构造稳定,无褶皱作用,主要为平行不整合;而且前文的褶皱皆位于古近系的角度不整合之下,因此,这些褶皱的变形时间为中生代。中生代鲁西地区广泛发育宽缓褶皱(图 3),轴向分为两个:近东西向或北西西向,北东向或北北东向(图 1,图 3),但是至少经历了 4 幕褶皱变形,印支期两幕共轴褶皱作用,燕山期至少两幕共轴褶皱叠加。

北东或北北东向褶皱叠加于近东西向宽缓褶皱之上,地表大面积呈方形或长方形(垡型)的穹隆构造。在章丘市文祖镇南青野村北 S242 路旁露头处,构造总体为印支期东西向不对称厢状褶皱,变形复杂,后期逆冲断层可能为燕山期,为 NE 走向(图 8)。在平邑县大泉村路旁露头处,印支期东西向的

褶皱被燕山期北东向的褶皱所改造,形成典型的穹盆构造(图 9)。这与前人在鲁西中生代构造解析过程中发现的北北东轴向的侏罗山式褶皱带相一致^[29]。寒武系和奥陶系不仅卷入了印支期东西向褶皱,也广泛发育北东向褶皱,两期褶皱叠加,但是,侏罗系也卷入北东向这期变形,仅在北部的淄博地区、鲁西中部的莱芜、沂源、蒙阴、平邑地区和鲁西南部的枣庄地区出露。

由上可知,印支期构造运动使研究区的地层受到南北向挤压,形成隆起与坳陷(图 9,图 10);后期由于古太平洋板块俯冲作用,研究区受燕山期构造运动影响,地层受北西向的挤压作用,形成北东向的构造;同时,北东向的构造以大角度甚至近乎直角方向叠加改造破坏近东西向印支期褶皱,依据 Ramsay 经典的褶皱叠加理论(当不同的两期褶皱以近乎垂直的方向相互作用时,两期褶皱背斜相交产生向上凸起的穹窿,与此同时两期褶皱向斜相交产生

向下凹的盆地,作用效果叠加)发现:鲁西地区的穹窿构造是由印支期背斜与燕山期的背斜两期褶皱叠加而成。因此,盆地构造则是印支期向斜与燕山期向斜叠加,同时又受后续伸展改造,最终形成了现今的盆地构造。图 3 显示穹窿与盆地呈现的形态大致均是长轴为近东西向,短轴为近北东向,意味着印支期褶皱总体以宽缓箱状褶皱为特点,为基底卷入型褶皱作用,奠定了穹盆构造的早期基础;燕山早期的隔槽式褶皱作用叠加改造,最终塑造了独特的穹盆构造的最终形态,类似太古代的“穹脊构造(dome-and-keel)”。

燕山晚期,研究区由于受到东部北东—北北东向左行走滑断裂和西部北东向右行走滑断裂的共同改造,以挤出构造的形式,打破了早期原有的东西向排列的构造格局,特别是西部表现为一定的北东向斜列特征,如肥城盆地、莱芜盆地、汶口盆地、汶东盆地呈北东东向雁列式排列(图 10)。这与中生代中

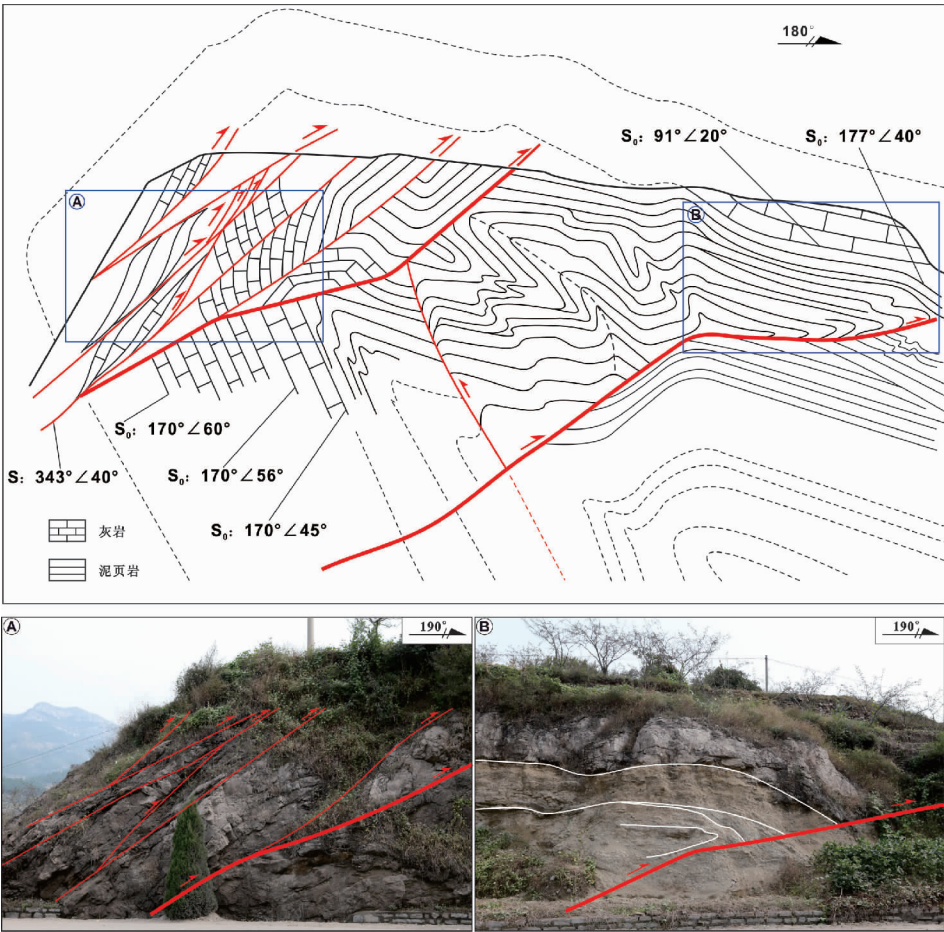


图 8 章丘市文祖镇南青野村构造剖面(位置如图 3 中 E,GPS: 36.55105°N、117.52975°E, H278.2 m)
Fig. 8 Structural profile at the Qingye Village, Wenzu Town, Zhangqiu County
(See E in Fig. 3 for location,GPS: 36.55105°N、117.52975°E, H278.2 m)

后期由于古太平洋板块俯冲,在东亚大陆东缘形成的北北东向的太平洋构造带事实一致,意味着在这期间发生了从汇聚体制到俯冲消减体制的变化,前者是以古特提斯的构造域为主的,而后者则是以古太平洋构造域为主。

3 动力学机制分析

古生代时期,鲁西地块构造相对稳定。中生代以来,由于西伯利亚、华北、华南地块的聚合以及古太平洋板块的俯冲,鲁西中生代进入构造活跃期,主要分为六个阶段,发生 3 次挤压到伸展的构造体制的转变。每个阶段都具有自己独特变形样式与构造应力方向以及形成机制,叠加了岩石圈深部过程,正是周边板块作用使得研究区深部机制转换,才造就了浅部复杂的构造响应。

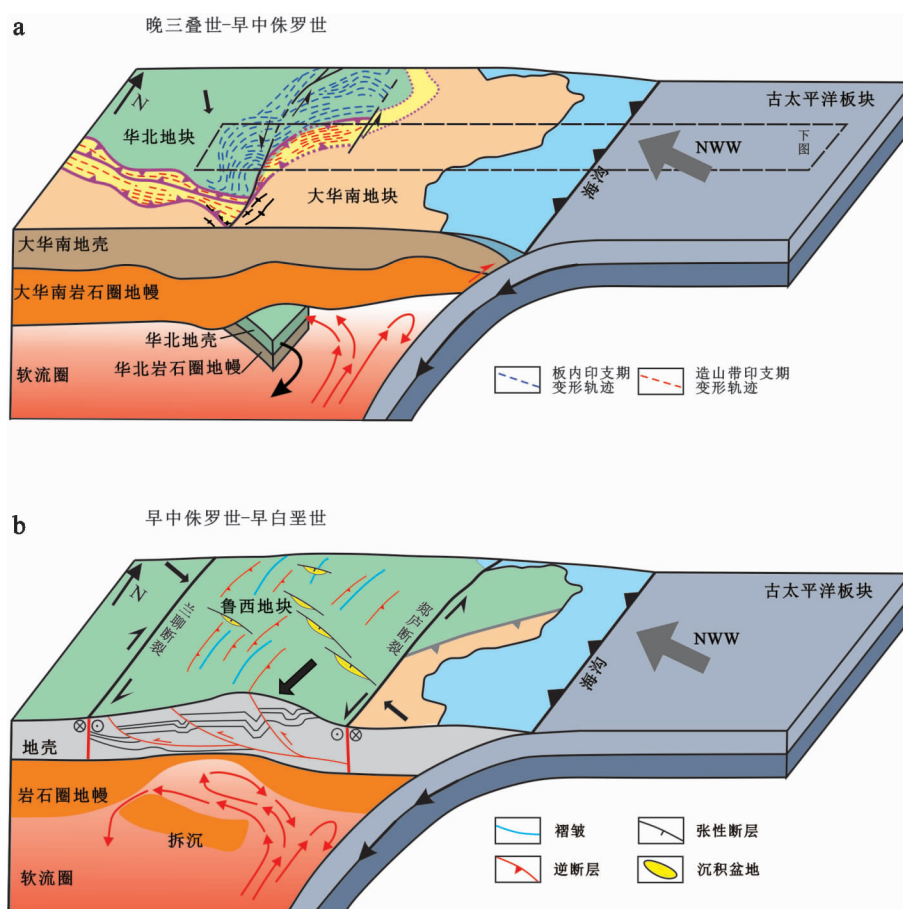
第一次构造体制转变从晚三叠世挤压变形到早、中侏罗世挤压作用,即从印支期到燕山早期变形体制转换。印支期华北地块沿秦岭-大别段与华南地块发生南北向碰撞,而沿苏鲁造山带向南东楔入华南地块,楔入-碰撞-拼合导致鲁西地区及其以西邻区受到总体南北向或 NNW 向挤压作用,形成近东西或 NEE 走向的宽缓褶皱,局部可见紧闭甚至倒转褶皱^[29],但是研究区未发现同期的岩浆事件。鲁西地区及周边露头地区不发育上三叠统沉积,可能由于挤压隆起作用,处于强烈的剥蚀状态,只是在济阳拗陷有所保存。三叠纪苏鲁带的碰撞造山之后,导致了华北东缘陆壳加厚,形成的榴辉岩可能很快就导致岩石圈发生拆沉^[47-51],地表变形影响范围向西可至鄂尔多斯盆地东缘^[47],大陆岩石圈内部应力场发生调整,整体上,华北地块作为向南东楔入的块体,鲁西地区北东向褶皱初步形成,同期北西向断裂则表现为正断层,闪长岩类杂岩顺其侵入,较好地记录了这次岩石圈的伸展过程,深部与印支晚期向苏鲁造山带之下俯冲的华北岩石圈地幔的向西拆沉有关^[32](图 11a)。林景仟等^[52]研究认为,鲁西地区早侏罗世岩浆活动范围较小:平邑铜石岩体的石英二长闪长斑岩的形成时间为 189.8 Ma,该岩体的二长斑岩的形成时间则为 188.4 Ma。北东向构造的初步形成意味着古太平洋俯冲挤压作用开始。从动力学角度,古太平洋板块俯冲启动的时间要早于古太平洋板块俯冲产生的效应,说明古太平洋俯冲时间可能早于早侏罗世变形,推测为晚三叠世,这正是中国南岭山地和朝鲜半岛的花岗岩线状侵入时间,

同期在日本形成双变质带,高温低压变质带为三叠纪^[53]。因此,该阶段是中国东部甚至东亚中生代大地构造体制的重要转变时期,不仅是古特提斯构造体制转换为古太平洋构造体制的延续,还是这两个构造体制转换的标志性分界^[40]。

第二次构造体制转变从中、晚侏罗世挤压变形和地壳增厚作用到早白垩世岩石圈拆沉、大陆裂谷与后续地壳伸展作用。自中侏罗世晚期开始,古太平洋板块向亚洲大陆俯冲作用明显增强,华北地块东部地区处于强烈的陆内挤压变形,鲁西地区的基底与沉积盖层在多次的挤压作用下,受到程度不一的挤压逆冲作用,产生一系列的北北东或北东向厢状褶皱和逆冲推覆构造,同时,鲁西东部边界的郯庐断裂发生左行走滑运动,西部边界兰聊断裂发生右行走滑运动,导致鲁西地块向南南东方向逃逸挤出(图 11b)。到早白垩世晚期,华北东部构造体制发生第二次转换,区域构造体制由挤压变为伸展,进入到以大陆地壳伸展构造为主要特征的构造演化阶段,郯庐断裂巨型古裂谷系在此阶段形成和发育。华北东部构造体制由中晚侏罗世的陆内挤压作用转换为早白垩世晚期地壳伸展和岩石圈减薄作用,从深部动力学分析,极有可能是由于大陆岩石圈增厚,进而发生拆沉;同时,古太平洋俯冲板片又向东回卷,可能也起到了触发和促进作用^[54]。第二阶段的拆沉范围为南北重力梯度带以东地区,主要是由于随着古太平洋的俯冲后撤,地幔楔内部的热对流场随之向东迁移^[47]。

第三次构造体制的转变是从晚白垩世挤压隆升时期和盆地反转活动到新生代伸展隆升。早期形成的断陷盆地在白垩纪末期区域性的挤压作用下产生构造反转,地层出现褶皱或翘倾。郯庐断裂发生左行走滑活动,兰聊断裂右行,挤出运动再次发生。同时,晚白垩世地壳构造演化发生了较大的分异。新生代,位于鲁西地块东界的郯庐断裂发生右行走滑运动,鲁西地块隆升程度更为明显,初步形成现今的地貌景观。

综上所述,鲁西地区印支期宽缓褶皱是华北与华南地块拼合的效应,燕山期发育的大量早中侏罗世 NE 或 NNE 轴向的宽缓褶皱以及伴生的同走向逆冲断裂,是对古太平洋板块北西向俯冲的构造响应(图 11)。早侏罗世之前的中生代东亚构造体制,特提斯构造动力体制占主导地位,尤其是华南地块与华北地块沿秦岭-大别-苏鲁造山带的碰撞拼合过程,主导着研究区的沉积、构造、岩浆活动等一系

图 11 鲁西地块褶皱构造与成因模式^[32,47,54]Fig. 11 Tectonic model of fold structure of the Luxi Block^[32,47,54]

列地质过程。早侏罗世之后,东亚活动大陆边缘与太平洋板块之间的俯冲动力学系统,控制了该区陆内沉积、构造与岩浆活动等一系列地质过程;同时,郯庐断裂和兰考-聊城断裂的走滑运动主导了鲁西地块断陷分布型式。在古太平洋板块俯冲到东亚陆缘的动力体制作用下,华北地块东部发生了显著的构造性质的转换,由中-晚侏罗世的地壳挤压和增厚过程转换为早白垩世岩石圈伸展和巨量减薄过程,在鲁西地块有沉积、构造和岩浆活动较好地记录了此构造体制的转变。其中,鲁西地区的穹盆构造正是对中国东部构造体制第一次转变的地壳变形响应,现今鲁西地区的盆山地貌是在穹盆构造格局基础上对后两次构造体制转变的地表响应。

4 结论

(1) 鲁西地区中生代构造特征为典型的穹盆褶皱叠加,是由近东西向印支期褶皱和与之近乎垂直的北东向或北北东向的燕山期褶皱叠加而成,它不同于同期造山运动期间的两幕褶皱的穹盆叠加,而

是不同期、不同构造体制下的两幕褶皱穹盆叠加。受印支期华南、华北板块碰撞和燕山期太平洋板块俯冲影响,印支期形成一系列近东西向的宽缓褶皱,燕山期由于太平洋北西向的俯冲,在印支期近东西向褶皱基础上叠加北东向的褶皱,形成鲁西独特的穹盆构造。

(2) 鲁西印支期主要为近东西向的宽缓褶皱,主要与中国东部地区中、晚三叠世经历了华北和华南地块之间碰撞过程,形成了古中国大陆和古亚洲大陆的雏形有关,其标志为近东西向的古特提斯洋关闭。

(3) 鲁西燕山期则以北东—北北东向的逆冲推覆和相关褶皱为主,主要与古太平洋的北西向俯冲有关。由于燕山期的变形主要体现为早侏罗世以来的变形,根据动力学转变早于地壳变形的原理,推断古太平洋俯冲始于晚三叠世。

(4) 鲁西地区穹盆构造是东亚两次构造体制转变的综合产物。即自中生代以来,扬子地块、华北地块与西伯利亚地块之间的拼合形成以近东西向构造为主;中生代中晚期,东亚大陆的东缘叠加了北北东

向的西太平洋构造带。也就是意味着在这期间发生了从汇聚体制到俯冲消减体制的变化,前者以古特提斯构造域为主,而后者则以古太平洋构造域为主。

参考文献(References)

- [1] 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. [DONG Shuwen, ZHANG Yueqiao, LONG Changxing, et al. Jurassic tectonic revolution in China and new interpretation of the Yanshan Movement[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(11): 1449-1461.]
- [2] 董树文, 张岳桥, 陈宣华, 等. 晚侏罗世东亚多向汇聚构造体系的形成与变形特征[J]. 地球学报, 2008, 29(3): 306-317. [DONG Shuwen, ZHANG Yueqiao, CHEN Xuanhua, et al. The formation and deformational characteristics of East Asia multi-direction convergent tectonic system in late Jurassic[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2008, 29(3): 306-317.]
- [3] 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等. 中国大地构造基本轮廓[J]. 地质学报, 1977, 51(2): 117-135. [HUANG Jiqing, REN Jishun, JIANG Chunfa, et al. An outline of the tectonic characteristics of China[J]. Acta Geologica Sinica, 1977, 51(2): 117-135.]
- [4] 马杏垣, 刘和甫, 王维襄, 等. 中国东部中、新生代裂陷作用和伸展构造[J]. 地质学报, 1983, 57(1): 22-32. [MA Xingyuan, LIU Hefu, WANG Weixiang, et al. Meso-Cenozoic taphrogeny and extensional tectonics in Eastern China[J]. Acta Geologica Sinica, 1983, 57(1): 22-32.]
- [5] 王鸿祯, 杨森楠, 李思田. 中国东部及邻区中、新生代盆地发育及大陆边缘区的构造发展[J]. 地质学报, 1983, 57(3): 213-223. [WANG Hongzhen, YANG Sennan, LI Sitian. Mesozoic and Cenozoic basin formation in East China and adjacent regions and development of the continental margin[J]. Acta Geologica Sinica, 1983, 57(3): 213-223.]
- [6] 任纪舜. 中国大地构造及其演化[M]. 北京: 科学出版社, 1980. [REN Jishun. Geotectonic Evolution of China[M]. Beijing: Science Press, 1980.]
- [7] 任纪舜. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1990. [REN Jishun. Tectonic evolution and mineralization of the continental lithosphere in Eastern China and its adjacent areas[M]. Beijing: Science Press, 1990.]
- [8] 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的形成及演化[J]. 地质学报, 1983, 57(1): 11-21. [GUO Lingzhi, SHI Yangshen, MA Ruishi. On the formation and evolution of the Mesozoic-Cenozoic active continental margin and island arc tectonics of the Western Pacific Ocean[J]. Acta Geologica Sinica, 1983, 57(1): 11-21.]
- [9] 崔盛芹, 李锦蓉. 试论中国滨太平洋带的印支运动[J]. 地质学报, 1983, 57(1): 51-62. [CUI Shengqin, LI Jinrong. On the Indosinian movement of China's Peri-Pacific Tectonic Belt[J]. Acta Geologica Sinica, 1983, 57(1): 51-62.]
- [10] 赵越, 杨振宇, 马醒华. 东亚大地构造发展的重要转折[J]. 地质科学, 1994, 29(2): 105-119. [ZHAO Yue, YANG Zhenyu, MA Xinghua, et al. Geotectonic transition from Paleasian system and Paleotethyan system to Paleopacific active continental margin in Eastern Asia[J]. Scientia Geologica Sinica, 1994, 29(2): 105-119.]
- [11] 赵越, 徐刚, 张拴宏, 等. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 319-328. [ZHAO Yue, XU Gang, ZHANG Shuanhong, et al. Yanshanian movement and conversion of tectonic regimes in East Asia[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3): 319-328.]
- [12] 赵越, 张拴宏, 徐刚, 等. 燕山板内变形带侏罗纪主要构造事件[J]. 地质通报, 2004, 23(9-10): 854-863. [ZHAO Yue, ZHANG Shuanhong, XU Gang, et al. Major tectonic events in the Yanshanian Intraplate Deformation Belt in the Jurassic[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9-10): 854-863.]
- [13] 翟明国, 孟庆任, 刘建明, 等. 华北东部中生代构造体制转折峰期的主要地质效应和形成动力学探讨[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 285-297. [ZHAI Mingguo, MENG Qingren, LIU Jianming, et al. Geological features of Mesozoic tectonic regime inversion in Eastern North China and implication for geodynamics[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3): 285-297.]
- [14] 宗国洪, 施央申, 王秉海, 等. 济阳盆地中生代构造特征与油气[J]. 地质论评, 1998, 44(3): 289-294. [ZONG Guohong, SHI Yangshen, WANG Binghai, et al. Mesozoic structures and their relations to hydrocarbon traps in the Jiyang Basin[J]. Geological Review, 1998, 44(3): 289-294.]
- [15] 于福生, 漆家福, 王春英. 华北东部印支期构造变形研究[J]. 中国矿业大学学报, 2002, 31(4): 402-406. [YU Fusheng, QI Jiafu, WANG Chunying. Tectonic deformation of Indosinian Period in eastern part of North China[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2002, 31(4): 402-406.]
- [16] 赵重远. 渤海湾盆地的构造格局及其演化[J]. 石油学报, 1984, 5(1): 1-8. [ZHAO Zhongyuan. Structural pattern and evolution of Bohaiwan Basin, China[J]. Acta Petrolei Sinica, 1984, 5(1): 1-8.]
- [17] 赵重远, 刘池洋. 华北克拉通沉积盆地形成与演化及其油气赋存[M]. 西安: 西北大学出版社, 1990. [ZHAO Zhongyuan, LIU Chiyang. Formation and evolution of sedimentary basins in North China Craton and their oil and gas occurrence[M]. Xi'an: Northwestern University Press, 1990.]
- [18] 杜旭东, 李洪革, 陆克政, 等. 华北地台东部及邻区中生代(J—K)原型盆地分布及成盆模式探讨[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(4): 5-9, 41. [DU Xudong, LI Hongge, LU Kezheng, et al. Distribution of prototype basins in Huabei Platform and its neighboring region and a discussion of basin formation model[J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(4): 5-9, 41.]
- [19] 李洪革, 杜旭东. 渤海湾地区中西部中生代构造特征及演化

- [J]. 中国石油大学学报:自然科学版, 1999, 23(3): 1-5.
- [LI Hongge, DU Xudong. Evolution and structural characteristics of the Mesozoic Era in the Central-West part of Bohai Bay area[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1999, 23(3): 1-5.]
- [20] 张俊, 潘懋, 漆家福, 等. 黄骅盆地孔西构造带的构造几何学特征[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2002, 38(4): 524-530. [ZHANG Jun, PAN Mao, QI Jiafu, et al. Tectonic geometric characters of Kongxi Structural Belt[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2002, 38(4): 524-530.]
- [21] 李理, 张进江, 钟大赉, 等. 鲁西地区沿寒武系/太古宇不整合面滑脱构造的主要特征及形成机制[J]. 地质科学, 2007, 42(2): 335-352. [LI Li, ZHANG Jinjiang, ZHONG Dalai, et al. Main characteristics of the decollement structures along the Cambrian/Archean Unconformity Surface in Western Shandong[J]. Chinese Journal of Geology, 2007, 42(2): 335-352.]
- [22] 李理, 钟大赉. 泰山新生代抬升的裂变径迹证据[J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 457-464. [LI Li, ZHONG Dalai. Fission track evidence of Cenozoic uplifting events of the Taishan Mountain, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(2): 457-464.]
- [23] 李理, 钟大赉, 时秀朋. 鲁西隆起和济阳拗陷新生代隆拗耦合关系[J]. 地质学报, 2007, 81(9): 1215-1228. [LI Li, ZHONG Dalai, SHI Xiupeng. Cenozoic uplifting/subsidence coupling between the West Shandong Rise and the Jiyang Depression, Northern China[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(9): 1215-1228.]
- [24] 李理, 钟大赉, 时秀朋, 等. 鲁西地区晚中生代以来伸展构造及其控矿作用[J]. 地质论评, 2008, 54(4): 449-458. [LI Li, ZHONG Dalai, SHI Xiupeng, et al. Late Mesozoic extensional structure and its constraints on mineralization in Western Shandong[J]. Geological Review, 2008, 54(4): 449-458.]
- [25] 李理, 钟大赉, 时秀朋, 等. 鲁西地区的滑脱构造及其形成的深部背景[J]. 自然科学进展, 2008, 18(6): 651-661. [LI Li, ZHONG Dalai, SHI Xiupeng, et al. The decollement structure and its deep background in Luxi area[J]. Progress in Natural Science, 2008, 18(6): 651-661.]
- [26] 李理, 钟大赉, 杨长春, 等. 伸展作用序列及其深部背景: 以晚中生代以来鲁西隆起和济阳拗陷为例[J]. 地学前缘, 2012, 19(5): 255-273. [LI Li, ZHONG Dalai, YANG Changchun, et al. Extension order and its deep geological background: evidence from Western Shandong Rise and Jiyang Depression in the Late Mesozoic-Cenozoic[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(5): 255-273.]
- [27] 牛树银, 胡华斌, 毛景文, 等. 鲁西地区地质构造特征及其形成机制[J]. 中国地质, 2004, 31(1): 34-39. [NIU Shuyin, HU Huabin, MAO Jingwen, et al. Structure in western Shandong and its genetic mechanism[J]. Geology in China, 2004, 31(1): 34-39.]
- [28] 牛树银, 孙爱群, 李玉静, 等. 鲁西幔枝构造及其控矿特征[J]. 地质学报, 2009, 83(5): 628-641. [NIU Shuyin, SUN Aiqun, LI Yujing, et al. Mantle branch structure in Western Shandong and its ore-controlling characteristics [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(5): 628-641.]
- [29] 李三忠, 王金铎, 刘建忠, 等. 鲁西地块中生代构造格局及其形成背景[J]. 地质学报, 2005, 79(4): 487-497. [LI Sanzhong, WANG Jinduo, LIU Jianzhong, et al. Mesozoic structure and its tectonic setting in the Western Shandong Block[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(4): 487-497.]
- [30] Cao X Z, Li S Z, Xu L Q, et al. Mesozoic-Cenozoic evolution and mechanism of tectonic geomorphology in the central North China Block: constraint from apatite fission track thermochronology[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 114: 41-53.
- [31] Li S Z, Guo L L, Xu L Q, et al. Coupling and transition of Meso-Cenozoic intracontinental deformation between the Taihang and Qinling Mountains[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 114: 188-202.
- [32] Li S Z, Jahn B, Zhao S J, et al. Triassic southeastward subduction of North China Block to South China Block: insights from new geological, geophysical and geochemical data[J]. Earth-Science Reviews, 2017, 166: 270-285.
- [33] 程世秀, 李三忠, 许立青, 等. 太行山——秦岭中、新生代板内变形及交接转换机制[J]. 地质论评, 2014, 60(6): 1245-1258. [CHENG Shixiu, LI Sanzhong, XU Liqing, et al. Junction and transition of Meso-Cenozoic intraplate deformation between Taihang Mountains and Qinling Mountains[J]. Geological Review, 2014, 60(6): 1245-1258.]
- [34] 舒良树, 吴俊奇, 刘道忠. 徐宿地区推覆构造[J]. 南京大学学报, 1994, 30(4): 638-647. [SHU Liangshu, WU Junqi, LIU Daozhong. Thrust tectonics of Xuzhou-Suzhou Region, Eastern China[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences Edition, 1994, 30(4): 638-647.]
- [35] Shu L S, Yin H W, Faure M, et al. Mesozoic intracontinental underthrust in the SE margin of the North China Block: insights from the Xu-Huai thrust-and-fold belt[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2017, 141: 161-173, doi: 10.1016/j.jseas.2016.08.020.
- [36] 王鹏程, 赵淑娟, 李三忠, 等. 长江中下游南部逆冲变形样式及其机制[J]. 岩石学报, 2015, 31(1): 230-244. [WANG Pengcheng, ZHAO Shujuan, LI Sanzhong, et al. The styles and dynamics of thrust in the south of the Middle-Lower Yangtze River area, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2015, 31(1): 230-244.]
- [37] 宋明春. 山东省大地构造格局和地质构造演化[D]. 中国地质科学院博士学位论文, 2008. [SONG Mingchun. Tectonic framework and tectonic evolution of the Shandong Province [D]. Doctoral Dissertation of Chinese Academy of Geological Sciences, 2008.]
- [38] 王毅, 陆克政, 任安身. 济阳拗陷东北部中生代构造运动和火山活动及盆地演化[J]. 石油大学学报:自然科学版, 1994, 18(2): 1-8. [WANG Yi, LU Kezheng, REN Anshen. Tectogenesis and volcanism and the basin evolution of the

- Mesozoic Era in the Northeast of Jiyang Depression[J]. Journal of University of Petroleum, China, 1994, 18(2): 1-8.]
- [39] 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪, 等. 秦岭-大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(12): 1121-1135. [ZHANG Guowei, DONG Yunpeng, LAI Shaocong, et al. Mianlüe tectonic zone and Mianlüe suture zone on southern margin of Qinling-Dabie orogenic belt[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2004, 47(4): 300-316.]
- [40] 张锡明, 张岳桥, 季玮. 山东鲁西地块断裂构造分布型式与中生代沉积-岩浆-构造演化序列[J]. 地质力学学报, 2007, 13(2): 163-172. [ZHANG Ximing, ZHANG Yueqiao, JI Wei. Fault distribution patterns of the Luxi Block, Shandong, and Mesozoic sedimentary-magmatic-structural evolution sequence[J]. Journal of Geomechanics, 2007, 13(2): 163-172.]
- [41] 杨品荣, 陈洁, 蔡进功, 等. 济阳坳陷构造转型期及其石油地质意义[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(3): 5-7. [YANG Pinrong, CHEN Jie, CAI Jingong, et al. Structural transitional stages in Jiyang depression and their significance on petroleum geology[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001, 8(3): 5-7.]
- [42] 李三忠, 张国伟, 周立宏, 等. 中、新生代超级汇聚背景下的陆内差异变形: 华北伸展裂解和华南挤压逆冲[J]. 地学前缘, 2011, 18(3): 79-107. [LI Sanzhong, ZHANG Guowei, ZHOU Lihong, et al. The opposite Meso-Cenozoic intracontinental deformations under the super-convergence: rifting and extension in the North China Craton and shortening and thrusting in the South China Craton[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(3): 79-107.]
- [43] 胡华斌, 牛树银, 毛景文, 等. 鲁西中生代幔枝构造及其金矿化[J]. 矿床地质, 2004, 23(1): 115-122. [HU Huabin, NIU Shuyin, MAO Jingwen, et al. Mesozoic mantle-branch structure and related gold deposits in Western Shandong[J]. Mineral Deposits, 2004, 23(1): 115-122.]
- [44] 漆家福, 于福生, 陆克政, 等. 渤海湾地区的中生代盆地构造概论[J]. 地学前缘, 2003, 10(S): 199-206. [QI Jiafu, YU Fusheng, LU Kezheng, et al. Conspectus on Mesozoic basins in Bohai Bay province[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(S): 199-206.]
- [45] 漆家福, 杨桥, 陆克政, 等. 渤海湾盆地基岩地质图及其所包含的构造运动信息[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 299-307. [QI Jiafu, YANG Qiao, LU Kezheng, et al. Geologic map of sub-outcrop and its implied information of tectogenesis in Bohai Bay basin province[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3): 299-307.]
- [46] 刘建忠, 李三忠, 周立宏, 等. 华北板块东部中生代构造变形与盆地格局[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(4): 45-54. [LIU Jianzhong, LI Sanzhong, ZHOU Lihong, et al. Mesozoic tectonics and basin distribution in the Eastern North China Plate[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2004, 24(4): 45-54.]
- [47] 郭慧丽, 徐佩芬, 张福勤. 华北克拉通及东邻西太平洋活动大陆边缘地区的P波速度结构: 对岩石圈减薄动力学过程的探讨[J]. 地球物理学报, 2014, 57(7): 2352-2361. [GUO Huili, XU Peifen, ZHANG Fuqin. P wave velocity structure of the North China Craton and West Pacific active continental margin: exploration for dynamic processes of lithospheric thinning[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2014, 57(7): 2352-2361.]
- [48] Gao S, Luo T C, Zhang B R, et al. Chemical composition of the continental crust as revealed by studies in East China[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1998, 62(11): 1959-1975.
- [49] Gao S, Rudnick R L, Xu W L, et al. Lithospheric evolution of the North China Craton: evidence from high-Mg adakitic rocks and their entrained xenoliths[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2006, 70(18S): A193.
- [50] Menzies M A, Xu Y, Flower M F J, Chung S L, Lo C H, et al. Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia. Washington, DC: American Geophysical Union, 1998: 155-164.
- [51] Xu W L, Gao S, Wang Q H, et al. Mesozoic crustal thickening of the eastern North China craton: Evidence from eclogite xenoliths and petrologic implications[J]. Geology, 2006, 34(9): 721-724.
- [52] 林景仟, 谭东娟, 金烨. 鲁西地区中生代火成活动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄[J]. 岩石矿物学杂志, 1996, 15(3): 213-220. [LIN Jingqian, TAN Dongjuan, JIN Ye. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of Mesozoic igneous activities in Western Shandong[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1996, 15(3): 213-220.]
- [53] 李三忠, 余珊, 赵淑娟, 等. 东亚大陆边缘的板块重建与构造转换[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2013, 33(3): 65-94. [LI Sanzhong, YU Shan, ZHAO Shujuan, et al. Tectonic transition and plate reconstructions of the East Asian Continental Margin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2013, 33(3): 65-94.]
- [54] Wang H, Xu Z W, Lu X C, et al. Two-types of Early Cretaceous adakitic porphyries from the Luxi terrane, eastern North China Block: melting of subducted Paleo-Pacific slab and delaminated newly underplated lower crust[J]. Lithos, 2016, 240-243: 140-154.

MESOZOIC DOME-BASIN STRUCTURES IN WESTERN SHANDONG PROVINCE AND ITS BEARING ON TRANSITION OF TECTONIC REGIMES IN EAST ASIA

SUN Wenjun^{1,2}, LI Sanzhong^{1,2}, WANG Pengcheng^{1,2}, LI Xiyao^{1,2},
LIU Xiaoguang^{1,2}, ZHANG Jian^{1,2}, LAN Haoyuan^{1,2}, LI Shaojun^{1,2}

(1. Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, MOE, College of Marine Geosciences,

Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2. Laboratory for Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China)

Abstract: According to field observation and previous research results, this paper makes a detailed study on fold superposition as well as structural styles and geodynamics in Western Shandong Province. The Mesozoic tectonic deformation in the region can be obviously divided into two groups, i. e. the Indosinian EW-striking open to tight folds and related reverse faults and the Yanshanian NNE- or NS-striking box fold and related propagating thrust fault system. The dome-basin structures in this region are the results of the superposition of the Indosinian and Yanshanian folds and represent the crustal deformation related to a transition of the geodynamic systems. The tectonic blocks of Yangtze, North China and Siberian assembled in Mesozoic, and then the East Asia formed, that resulted in the formation of EW-striking structures. Until the middle and late Mesozoic, the NNE-striking circum-Pacific tectonic belt gradually developed and began to affect the eastern margin of the East Asia Continent, Then happened the transition from the collisional systems of the Paleo-Asian Ocean and Paleo-Tethys tectonic domains to the the subduction system of the Paleo-Pacific Tectonic Domain.

Key words: dome-basin structure; Indosinian; Yanshanian; tectonic conversion; western Shandong Province