

Study on the Relation between the Formation and Evolution of Tanlu Fault Belt and Dabie-Sulu Orogenic Belt

Hongkui Li¹, Li Chen¹, Tingbao Han², Ke Geng¹, Chuanyuan Zhuo¹, Taitao Liang¹

¹Key Laboratory of Gold Mineralization Processes and Resources Utilization, The Ministry of Land and Resources, Shandong Key Laboratory of Geological Processes and Resource Utilization in Metallic Minerals, Shandong Geological Sciences Institute, Jinan Shandong

²No. 2 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Yanzhou Shandong
Email: lhklhk126@126.com

Received: Feb. 8th, 2016; accepted: Feb. 26th, 2016; published: Feb. 29th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Dabie-Sulu orogenic belt is a HP-UHP metamorphic belt formed by the collision of Triassic North China plate and the Yangtze plate. Its formation and evolution have experienced three stages, such as intense collision stage, subduction stage and exhumation stage. In the late Triassic, final registration has been completed. As a giant fault structure system in eastern China, Tanlu fault belt is controlled by dynamic background of transformation from Tethyan tectonic domain to the marginal Pacific tectonic domain, and subduction of the Pacific plate. Thus, large scale sinistral strike-slip happened and staggered Dabie-Sulu UHP metamorphic belt. The maximum distance of sinistral strike-slip is about 300 km. At the same time, development history of Tanlu sinistral shear strike-slip fault is divided into five development stages. It not only reappears complex history of transformation process from Tethys system to the Pacific system, but also reflects dynamics characteristics of continental margin in Eastern China.

Keywords

Dabie-Sulu Orogenic Belt, Tan-Lu Fault Zone, Plate Collision, Left-Lateral Horizontal Displacement, Tectonic Configuration Transform

郯庐断裂带形成演化与大别 - 苏鲁造山带的关系探讨

李洪奎¹, 陈 莉¹, 韩廷宝², 耿 科¹, 糕传源¹, 梁太涛¹

¹山东省地质科学研究所, 国土资源部金矿成矿地质过程与资源利用重点实验室, 山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室, 山东 济南

²山东省第二地质矿产勘查院, 山东 兖州

Email: lhklhk126@126.com

收稿日期: 2016年2月8日; 录用日期: 2016年2月26日; 发布日期: 2016年2月29日

摘 要

大别-苏鲁造山带是三叠纪华北板块和扬子板块碰撞形成的高压-超高压变质带, 其形成演化大致经历了强烈碰撞、俯冲和折返三个阶段, 在三叠纪晚期完成最终拼合。作为中国东部巨型断裂构造系统的郯庐断裂带, 受控于特提斯构造域向滨太平洋构造域转换和太平洋板块俯冲机制的动力学背景, 发生大规模左行平移并将大别-苏鲁超高压变质带错开, 左行平移的最大距离在300 km左右, 同时将郯庐左行剪切走滑断裂发育历史划分为五个发育阶段, 重现了从特提斯体制向太平洋体制的复杂历史转化过程, 也在相当程度上反映了我国东部大陆边缘的动力学特征。

关键词

大别-苏鲁造山带, 郯庐断裂带, 板块碰撞, 左行平移, 体制转换

1. 引言

众所周知, 中央造山带是夹持于我国塔里木、华北和扬子克拉通之间、近东西向延展的显生宙造山系统, 姜春法[1][2]、张国伟[3]、殷鸿福[4]等先后对该带进行过深入研究; 大别-苏鲁造山带是秦祁昆中央造山带的重要组成部分[5], 是华北和扬子二大板块强烈碰撞的记录, 以大面积出露碰撞造山带“根”部的深变质地体而成为研究大陆动力学的最佳地区, 它不仅记录了华北和扬子两大克拉通俯冲、碰撞的演化过程, 而且揭露出世界上面积最大、暴露最深的高压-超高压变质带, 对该造山带进行研究, 无疑具有重要的科学意义[5]。郯城-庐江断裂带(以下简称郯庐断裂)是纵贯中国东部大陆边缘的一条巨型断裂带, 总体呈北北东向, 将大别-苏鲁造山带从安徽庐江至山东莒县段长距离平移错开为东西二段, 东部为大别造山带, 西部为苏鲁造山带。这种平面的结构形态变化集中表现在中国及邻区构造演化由原来的南北分异, 转变为东、西分异, 西部以构造的继承性为特色, 东部则新生构造起了主要作用。受古亚洲洋、特提斯洋和滨太平洋等大洋岩石圈的影响, 中国东部大陆岩石圈自三叠纪以来发生了二次重大的地质事件, 一是扬子板块向华北板块俯冲碰撞, 形成大别-苏鲁高压-超高压变质带, 二是与太平洋板块俯冲和地球动力学体制转换有关[6], 使郯庐断裂带活化发生大规模左行平移, 并诱发侏罗-白垩纪强烈岩浆活动。本文试图根据掌握的以山东地区为主的基础地质资料为依据, 对郯庐断裂带形成演化与大别-苏鲁超高压变质带的关系进行初步探讨。

2. 大别-苏鲁造山带基本特征及其演化

大别-苏鲁造山带(又称大别-苏鲁高压-超高压变质带), 地处安徽、湖北、河南、江苏、山东五省境内, 自20世纪80年代起, 对大别-苏鲁造山带的研究逐渐深入, 其代表者有徐嘉炜[7]-[11]、徐树桐[12][13]、姜春法[1][2]、张国伟[3]、殷鸿福[4]、汤加富[14][15]等, 研究者们普遍认为: 大别-苏鲁造山带是华北、扬子两大板块印支期碰撞造山带, 超高压变质作用由深俯冲作用所形成[16]。以郯庐断裂为界, 西部为大别造山带, 东部为苏鲁造山带(图1)。

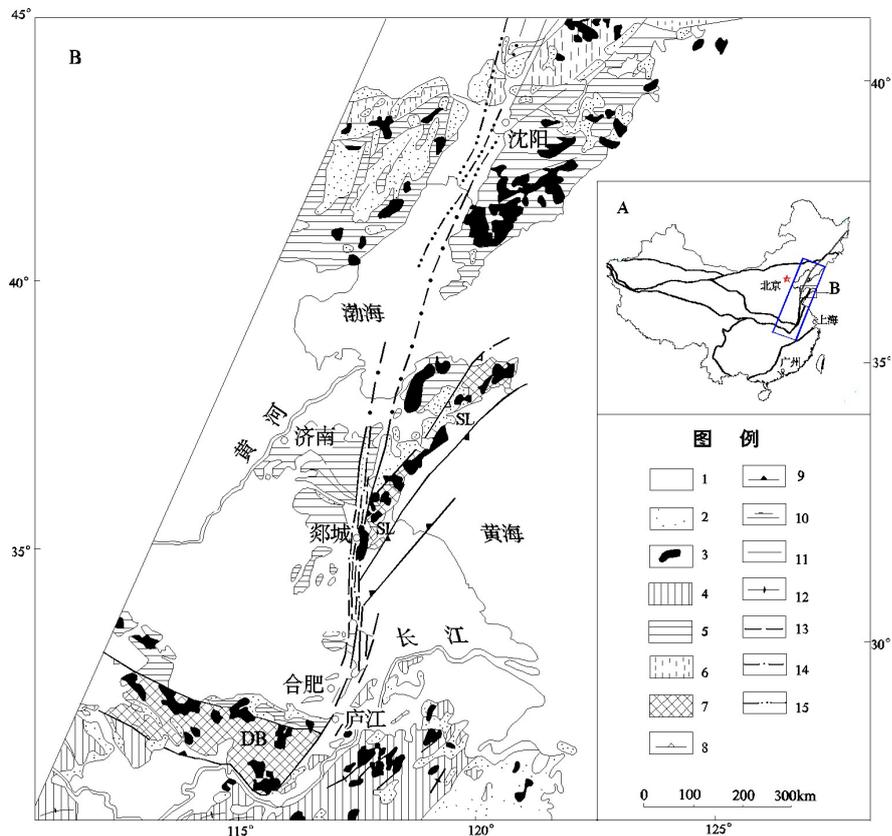


Figure 1. Sketch map of Dabie-Sulu orogenic belt and Tan-Lu fault zone; 1: Cenozoic rocks; 2: Mesozoic; 3: Mesozoic granites; 4: Precambrian-Triassic in South China Craton; 5: Precambrian-Triassic in North China Craton; 6: Precambrian-Triassic in Jihei craton; 7: Dabie-Jiaonan orogenic belt; 8: probable suture zone; 9: thrust fault; 10: Tan-Lu strike slip fault; 11: fault; 12: fold axis; 13: presume fault; 14: buried fault; 15: remote sensing interpreted fault; DB: Dabie orogenic belt, SL: Sulu orogenic belt

图 1. 大别 - 苏鲁造山带与郯庐断裂带构造略图; 1: 新生代岩类; 2: 中生界; 3: 中生代花岗岩; 4: 扬子地块前寒武 - 三叠系; 5: 华北地块前寒武 - 三叠系; 6: 吉黑地块前寒武 - 三叠系; 7: 大别 - 胶南造山带; 8: 可能的缝合线; 9: 冲断层; 10: 郯庐走滑断裂; 11: 断层; 12: 褶皱轴; 13: 推测断层; 14: 隐伏断层; 15: 遥感解译断层。DB: 大别造山带, SL: 苏鲁造山带

2.1. 大别造山带

大别高压 - 超高压变质折返带由中 - 高温变质岩 + 高压 - 超高压变质岩等组成, 其中由北大别变质杂岩、阚集岩群、晋宁期深熔花岗片麻岩、中生代岩浆岩及一些构造就位的变质超镁铁质岩块等, 构成造山带剥露最深的古老陆核基底, 划归中 - 高温变质亚相; 南大别高压 - 超高压变质杂岩、宿松岩群、张八岭岩群为折返的高压 - 超高压变质亚相; 大量晋宁期变形变质侵入岩为深成同碰撞岩浆岩亚相。各构造单元或构造亚相与相邻单元(亚相)间被韧性剪切带分隔, 由变质火山 - 沉积杂岩建造、变质海相火山 - 细碧岩建造等组成, 共同构成造山带基底堆叠体。该单元是印支期南、北两大陆块及其间微陆块(岛弧)聚合碰撞长期发展演化的巨型构造混杂岩带。燕山期大量花岗岩就位并产生一系列浅层推覆、滑覆构造, 最终完成大别造山带抬升再造过程。

大别高压 - 超高压变质折返带主要由榴辉岩、硬玉石英岩、大理岩、片岩、花岗质片麻岩、超镁铁质岩等组成, 其内含有柯石英和金刚石包体, 表明这些超高压变质岩石曾被俯冲到 > 100 km 深处[17]-[22];

Sm-Nd 矿物等时线法、单颗锆石 U-Pb 法、SHRIMP 分析技术等多种同位素定年研究表明, 大别高压和超高压变质作用年代主要为 230~210 Ma [22]-[27], 是在印支期扬子板块俯冲到中朝板块之下时发生的。对大别造山带的研究表明: 大别碰撞带在三叠纪晚期最后完成碰撞、拼合, 碰撞带内及其两侧的边缘残余海完全消失, 大量的同碰撞期变质和岩浆作用的年龄数据, 均为 240~205 Ma, 显示了三叠纪晚期完成拼合[22]-[27]。代表晚古生代 - 早三叠世残余洋壳的勉略 - 湖北随州花山一带蛇绿岩套, 在中三叠世末期受到挤压、碰撞, 这是秦岭 - 大别带最后完成碰撞、拼合的主要表现[28]-[30]。上述认识与地质方面的证据相吻合, 已经被多数地球科学工作者所接受。

张八岭中 - 高压变质带 变质作用为绿帘蓝片岩相+低绿片岩相, 显示继绿帘蓝片岩相变质之后又有低绿片岩相叠加, 二者呈相转变关系。许多 200~230 Ma 左右的多硅白云母 ^{40}Ar - ^{30}Ar 年龄的出现, 亦为印支期变质作用产物。

大别造山带内相应的变火山岩主体为张八岭岩群西冷岩组和岳西县桃园寨火山岩。晋宁期西冷旋回火山岩岩石组合为细碧岩 - 石英角斑岩组合, 岩石成分富钠、贫钙, 具双峰式特点, 形成于陆缘裂陷(谷)带海相环境。

第一套为变质超镁铁 - 镁铁质岩, 区域上总体呈北西向成群成带分布, 规模大小不等, 单个岩块呈透镜状、串珠状、星点状出露。主要岩石组合为纯橄岩、辉橄岩、蛇纹岩、辉石岩、角闪石岩、辉长岩组合, 为幔源岩浆分异产物。

第二套变质侵入岩组合为造山带主要组分, 包括燕子河二长花岗质 - 斜长(奥长)花岗岩 - 花岗闪长质 - 英云闪长质 - 闪长 - 辉长质片麻岩组合、汤池石英二长闪长质 - 石英二长质片麻岩组合、王铁二长花岗质 - 花岗闪长质 - 石英闪长质 - 闪长质片麻岩组合和西山驿正长花岗岩 - 二长花岗岩组合, 燕子河、王铁片麻岩组合具 TTG 岩系特征。各类片麻岩体均经受了深层剪切流变和角闪岩相变质, 含大量变质表壳岩包体, 总体平行造山带呈北西向展布。

第三类燕山期侵入岩组合总体呈北西 - 南东向展布, 岩浆侵位受北东 - 北北东向构造控制, 构造环境处于造山带抬升拉张环境, 花岗岩大规模侵位, 为造山晚期火山弧产物。燕山中期侵入岩岩石组合主要为花岗闪长岩 - 二长花岗岩组合, 呈岩株、岩瘤、岩墙状产出, 岩体同位素年龄多集中在 140~150 Ma 之间, 时代为晚侏罗世。燕山晚期侵入岩岩石组合为石英二长岩 - 花岗闪长岩 - 二长花岗岩 - 正长花岗岩组合。岩体同位素年龄多集中在 93~133 Ma 之间, 时代为早白垩世。岩石里特曼组合指数为 2.29~4.94, 属钙碱性 - 碱钙性岩系, 岩浆来源属于壳幔混合岩浆。

另外, 在大别岩浆岩带北部沙村、小河口、轿子岩、舞旗河、任家湾、高坝岩、祝家铺等地, 超镁铁 - 镁铁质岩体同位素年龄在 114~126 Ma 之间, 为燕山期产物。岩石组合为辉闪岩、角闪辉石岩、角闪石岩、辉长岩、闪长岩组合, 层状堆晶结构明显, 有向钙碱性系列方向演化及向贫 Ti 富 K 方向演化的趋势, 为玄武岩浆结晶分异的产物, 属幔源型拉斑玄武岩系列。

2.2. 苏鲁造山带

苏鲁造山带为秦祁昆造山系的东延部分, 结晶基底主要为晚太古 - 早元古代东海岩群、中元古代海州群、中元古代张八岭群, 形成于五台 - 吕梁旋回及晋宁旋回; 东海岩群是原岩系海相细碧角斑岩建造, 经历了超高压高角闪岩相 - 榴辉岩相变质变形改造, 吕梁旋回末伴随着会聚造山作用, 区内发生了大规模的混合岩化和中酸性岩浆岩的侵入作用, 其后于晋宁旋回该区经历了一个伸展扩张至会聚收敛的过程。锦屏岩群原岩为中基性火山岩、含磷碎屑岩及碳酸盐岩建造, 属伸展性裂谷边缘海沉积; 张八岭群原岩为细碧 - 石英角斑岩系, 属海底火山喷发 - 沉积岩系; 云台岩群原岩为一套中酸性 - 酸性火山 - 碎屑沉积变质产物, 属会聚性大洋边缘海相沉积。晋宁旋回末随着苏胶古洋的闭合与俯冲造山作用拼贴形成苏

鲁造山带，共同经历了超高压 - 高压变质作用，期后苏鲁造山带整体抬升，经历了一个长期的抬升与剥蚀过程。

作为苏鲁造山带山东段的胶南 - 威海高压 - 超高压变质带，分布于山东东南沿海，呈 NE 向展布、出露宽 20~100 km、断续长约 450 km，是扬子板块和华北板块陆 - 陆碰撞造山后形成的一条高压 - 超高压变质带(图 2)，是秦岭 - 大别碰撞带的东延部分，属秦祁昆造山系的不同级别的低序次构造单元[31]-[34]。

胶南 - 威海印支期陆 - 陆碰撞造山形成的高压 - 超高压变质带，其演化与发展史大致经历了强烈碰撞、俯冲和折返三个阶段(图 3)，其时限主要在 250~205 Ma，约 45 Ma [29] [34] [35]，属三叠纪构造事件。主要造山作用为：(1) 250~230 Ma，华北板块与扬子板块俯冲、碰撞，扬子板块俯冲华北板块之下，在俯冲带的前部和后部分别发生超高压变质和高压变质事件，叠加到前造山的角闪岩相变质事件之上。(2)

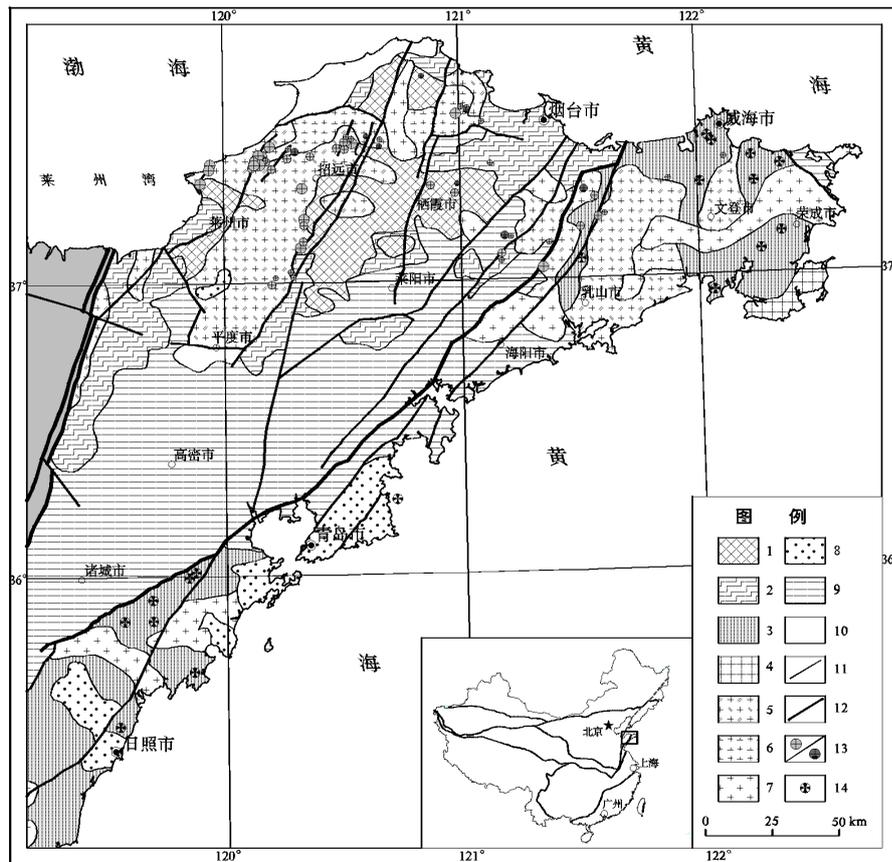


Figure 2. Sketch map of high pressure and ultra high pressure zones in Shandong; 1: Archean TTG and supracrustal rocks; 2: Proterozoic supracrustal rocks; 3: high pressure and ultra high pressure zones; 4: Triassic post-collision igneous complex; 5: Jurassic Linglong early orogenic intrusions; 6: Late Jurassic-Early Cretaceous Guojialing mid-orogenic intrusions; 7: Early Cretaceous Weideshan late orogenic intrusions; 8: Early Cretaceous Laoshan post orogenic alkaline intrusions; 9: Cretaceous sedimentary and volcano-sedimentary rocks; 10: Cenozoic sedimentary and volcano-sedimentary rocks; 11: main geological boundaries; 12: main faults; 13: gold mines/gold placer mines; 14: silver mines

图 2. 山东高压 - 超高压变质带简图; 1: 太古宙 TTG+表壳岩; 2: 元古宙变质表壳岩; 3: 高压 - 超高压变质带; 4: 三叠纪后碰撞岩浆杂岩; 5: 侏罗纪玲珑造山早期侵入岩; 6: 早白垩世郭家岭造山中后期侵入岩; 7: 早白垩世伟德山造山晚期侵入岩; 8: 早白垩世崂山后造山碱性侵入岩; 9: 白垩纪沉积 - 火山沉积岩系; 10: 新生代沉积 - 火山沉积岩系; 11: 主要地质界线; 12: 主要断裂; 13: 金矿/榴辉岩; 14: 银矿

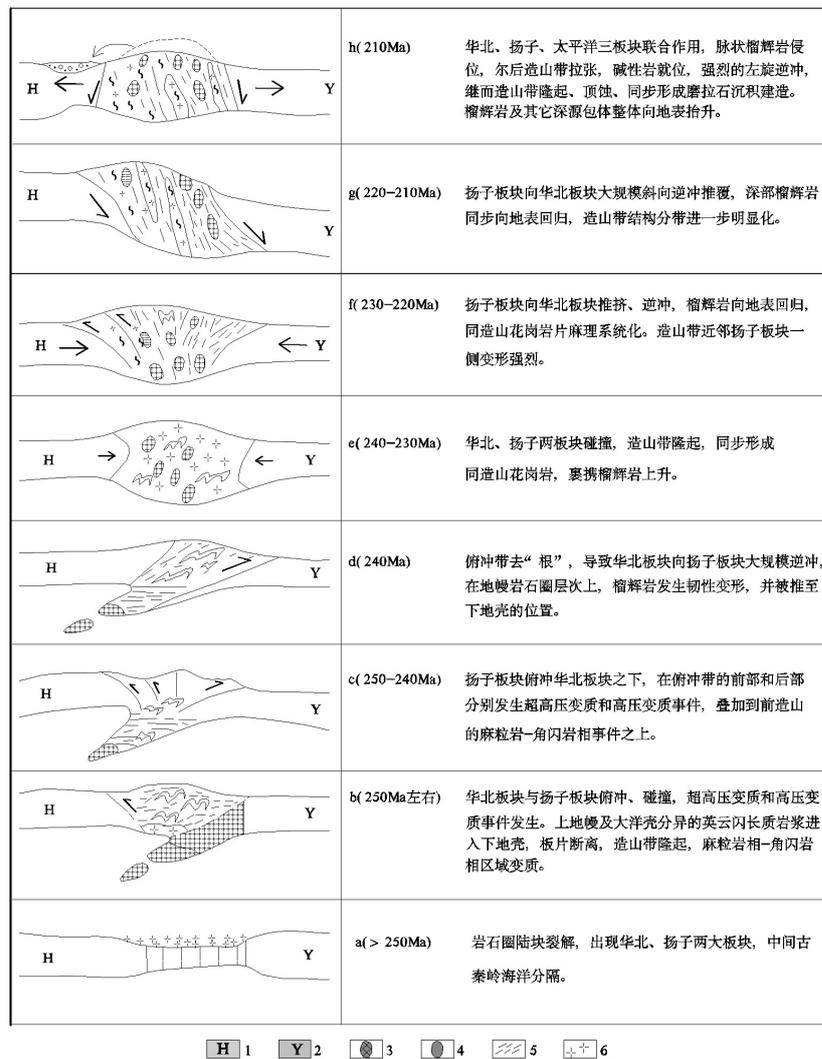


Figure 3. Collision and exhumation model of Dabie-Sulu orogenic belt; 1: North China Craton; 2: South China Craton; 3: ultrahigh-pressure rock; 4: high-pressure rock; 5: ductile shear zone; 6: surface crust

图 3. 大别 - 苏鲁造山带碰撞折返模式图；1：华北板块；2：扬子板块；3：超高压岩石；4：高压岩石；5：韧性剪切带；6：浅表层地壳

230~210 Ma, 扬子板块向华北板块推挤、逆冲, 榴辉岩向地表回归, 造山带近邻扬子板块一侧变形强烈。同时形成柳林庄 - 宁津所同造山角闪石岩 - 闪长岩 - 石英二长岩组合, 在荣成邢家岩体变辉长岩的 SHRIMP-U-Pb 年龄 213 ± 5 Ma、 211 ± 5 Ma [36], 红门石岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 215 ± 5 Ma [36]。

(3) 210~200 Ma, 扬子板块向华北板块大规模斜向逆冲推覆, 深部榴辉岩同步向地表回归, 造山带结构分带进一步明显化。(4) 210~205 Ma, 进入后造山拉张阶段, 形成嵯山后造山高碱正长岩组合, 在葛箕岩体含斑中细粒正长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 205.7 ± 1.4 Ma、 211.9 ± 1.5 Ma [36], 代表陆-陆碰撞造山阶段的结束, 同时证明三叠纪末期已经完成南北板块的拼合, 到侏罗 - 白垩纪时期应力场与三叠纪已经完全不同, 进而转入燕山造山作用阶段。

苏北芝麻坊超高压变质岩的 P-T 计算指示其最大变质压力可达 6 Gpa (相当于俯冲到 200~300 km 深度) [37] [38]; 青岛仰口榴辉岩中石榴石中的单斜辉石+金红石+磷灰石出溶体的发现进一步, 表明低密度

的陆壳岩石曾被俯冲到至少 200 多公里深处[39] [40]。

区内早期构造运动以韧性剪切变形构造发育为特征, 以北东向、北北东向为主, 晚期构造活动则脆性断裂构造为主, 在前期剪切构造的基础上发展而成, 断裂方向主要为北东向、北北东向, 晚期北西向断裂发育。

3. 郯庐断裂带构造演化与形成时序

郯庐断裂形成时间早, 演化历史长, 断裂活动复杂, 作为郯庐断裂的中段自然受到地质学界的广泛关注, 研究成果亦层出不穷[7]-[11] [41]-[44]。因此沂沭断裂带的形成和演化, 是地质界长期争论和探讨的焦点。由于地质构造演化的长期性和复杂性, 因此对沂沭断裂带形成或“诞生”的认识则有太古宙、元古宙、古生代、中生代等不同观点, 认为其是长寿断裂、长期多次活动, 并有继承性、各期力学性质均不相同。依据前述沂沭断裂带深部构造和浅部构造岩、构造形迹、构造盆地建造和改造的特征, 李洪奎将沂沭断裂带的演化划分为五个阶段[32]: (1) 孕育阶段、(2) 诞生阶段(J_1)、(3) 左行平移阶段(J_2-K_1)、(4) 张扭性裂谷阶段(K_1-K_2)和(5) 挤压断块运动阶段(E-Q)。

王小凤等认为[45]: 郯庐断裂的形成发轫于南北地块拼合带的向南突出部位, 而下地壳物质的北北东向左行韧性剪切流动则是其启动机制, 然后逐步向浅部和向北扩展。这一平面上自南向北分段递进的生长迁移机制, 得到了相应沉积盆地和岩浆活动年代学资料的支持, 也解释了中南段的缩短率和位移量明显大于北段的事实。同时根据不同层次变形域的特征, 提出了沿滑脱面上层对下层做 S(SS)E 向滑动的多层滑移模式, 反映了陆内大型走滑断裂带由深到浅的应力应变传递方式。通过断裂两侧地壳缩短资料的判断, 得出了郯庐中南段累积最大位移量为 300 km 的结论。同时将郯庐左行剪切走滑断裂发育历史划分为六个时期、四个变形阶段, 较全面地重现了从特提斯体制向太平洋体制的复杂历史转化过程, 也在相当程度上反映了我国东部大陆边缘的动力学特征。

值得注意的是, 尽管当时郯庐断裂带已经贯穿整个华北地块, 长达 1100 km, 但是至今尚未发现任何三叠纪的花岗质岩浆活动, 这可能说明当时断层的切割深度不超过 20 km, 此断裂可以称之为壳内断裂, 很可能只切到了上、下地壳之间滑脱面的断层[42]。许志琴等[46] [47]认为大型深层滑脱构造可以呈楔状和薄片状上地壳中滑脱运动, 这也许可以说明郯庐断裂带当时的确有可能只切断到 16 km 的部位, 属于扬子板块的南黄海上地壳曾经沿深 16 km 的滑脱面, 向北推覆在中朝板块之上。根据郯庐和黄海东缘断层带的走滑断距, 可以进一步推测扬子板块以薄皮构造的形式向北推覆了上百千米的距离。在南黄海地区, 地表到 16 km 深处属于扬子板块的上地壳, 这部分可称之为南黄海推覆体, 16~25 km 深处是插入扬子板块的属于中朝板块的下地壳, 深 25 km 以下的部位则又属于扬子板块的下地壳和岩石圈上地幔。另外, 在大多数发育板内变形的地区, 印支期花岗岩类侵入体的分布十分局限。根据这两方面的事实, 可以推测, 印支期的板块内部变形可能主要是与上、下地壳之间滑脱作用相关的。

结合已有研究成果, 笔者认为郯庐断裂带经历了漫长而多期的构造运动, 使之构造形态极为复杂。郯庐断裂带尤其是山东段的沂沭断裂早期孕育阶段属大陆边缘海槽, 形成始于早侏罗世, 起源于特提斯构造体制向太平洋构造体制的复杂历史转化过程, 它是我国东部大陆边缘动力学特征的反映, 沂沭断裂带首当其冲的受到巨大影响, 由于太平洋板块不断俯冲, 沂沭断裂带处在大陆活动边缘裂谷中。上地幔深熔岩浆不断从这里涌出, 为成矿送来矿源和热源。而在它的东侧由于板块热作用, 地壳物质重熔形成大量的多期的花岗岩质岩石, 成为胶东金矿成矿的重要母体。

沂沭断裂带在古近纪时以左行平移为主伴有张裂, 后期演化成裂谷[45]; 新近纪为左行平移, 伴有强烈的火山活动。第四纪则表现为差异性升降运动。

4. 二者关系探讨

中生代是中国地质发展史上强烈构造-岩浆事件大规模爆发期,这与中、晚三叠世后经历了华北、扬子陆块碰撞-拼贴及太平洋板块运动有关,并导致大规模叠加造山-裂谷系的形成[5][48]。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[49]。侏罗纪太平洋板块向西俯冲形成濼太平洋北北东方向大陆边缘体系,李四光先生称之为新华夏构造体系[50],侏罗纪-白垩纪中国东部转变为挤压造山带,翁文灏[51]首次提出称为燕山运动,并明确指出燕山运动以强烈的岩浆活动和挤压构造变形以及成矿作用为特征[51]。崔盛芹等[52][53]、赵越等[54][55]、任纪舜等[56]对燕山运动特征进行了描述与划分。对燕山运动的性质目前大多数学者认为是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[57],大别-苏鲁造山带和郟城-庐江断裂带就是在上述背景下形成演化的产物。

郟庐断裂带左行斜切大别-苏鲁造山带是不争的实事,但关于郟庐断裂带的平移距离,论裂谷者不谈平移;论平移者则回避裂谷,而平移的距离则存在更大的分歧,从百余千米,几百千米,甚至近千千米者皆有,究其主要原因是所选参照物不同。徐嘉炜最早研究郟-庐断裂及其平移性质,他认为郟庐断裂带是西北环太平洋边缘大陆内测的大型平移断层,其动力背景是太平洋板块向大陆板块的斜向运动,主平移时代为晚侏罗-早白垩世(140~110 Ma),最大平移距达 740 km,随后他又发表多篇论文及专著,进一步阐述他的这一独到见解[7]-[11][58]-[61]。他认为郟-庐断裂三叠纪开始活动,晚侏罗纪晚期构造变动达到高潮,以挤压条件下的巨大左行平移为主要特征,白垩纪至古近纪转为张裂陷陷,新近纪又受到新的挤压,伴以小幅度的右行平移,这种断裂性质上的转变与太平洋板块相对运动方向的改变有关,郟-庐断裂带是滨西北太平洋区大陆内缘的大型剪切滑动带。汤加富等[15]详细论述了郟庐断裂带南段在安徽境内无巨大平移的直接依据——标志地质体的错移与间接依据,认为在早侏罗世至白垩纪时,郟庐断裂带内及其两侧不同时、不等距的断陷结果,造成大别-苏鲁造山带西侧地质体被切断错移的假象,这就是郟庐断裂呈枢纽断陷性质与呈弧形延伸的大别-苏鲁造山带中部成小角度相截,综合造成的一种假位错效应[15]。袁洪亮[62]、李自堃等[63]从安徽前侏罗纪地层分布与岩相古地理状况,论述了大别造山带呈弧形(即自西而东由近 EW-NE-NNW 向)展布特点,以及不存在巨大平移的构造古地理证据。李春昱等认为是转换断层模式,郟庐断裂的形成与华北和扬子陆块沿秦岭-大别造山带碰撞有关[17][18][64],这一转换断层活动时限为晚古生代-中生代,延续到侏罗纪。基于郟庐断裂带的左行平移和朝鲜半岛沃川带、Honam 剪切带右行平移运动学特征, Yin *et al.* [19]称其为碰撞嵌入模式,认为郟庐和 Honam 剪切带之间的苏北、胶南及朝鲜的京畿-沃川带是华南板块北侧不规则被动边缘向北突出的一块[65][66],存在于碰撞前,嵌入碰撞时代为早二叠世晚期至晚三叠世与早侏罗世。马杏垣认为郟庐断裂带是我国东部一个独立的巨型构造体系[67][68],称更新华夏系,形成于燕山运动晚期。许志琴认为郟庐断裂带是我国东部规模最大的一条白垩-新近纪的后地台型古裂谷带[23][67]-[71],并划分出北、中、南三段,各段的基本特征、构造组合类型、沉降幅度、水平扩张量、火山活动、深部构造及地质发展史有所不同,但有一点是共同的,均十分明显地表现为先张后压的双重构造特征,后期的挤压应力作用取代于拉伸作用,是在中生代左旋平移基础上,经历了白垩纪强烈横向扩张阶段和古近纪以来的消亡挤压阶段而形成的。

在山东,近十余年来许多地学工作者逐渐认识到,胶南-威海造山带与大别东部可以对比,其地质建造,地质体同位素年龄、构造特征,变质变形特征,甚至含矿性均具有可比性,并基本达成共识。二者错开的距离在 450~500 km (安徽省肥西-山东省五莲),这应该是郟庐断裂带的最大位移。

因为在山东,大致从临沂向北,沂沭带逐渐变宽,而临沂以南到安徽嘉山延伸平直且较窄。山东处于剪切应力逐渐发散的部位,不应该有最大的位移量。因此,沂沭断裂带对鲁西地块的错开远小于这个距离。以沂水岩群与唐家庄岩群及胶东岩群与泰山岩群为标志,推测沂沭断裂带的平移距离在 100 km 左

右; 以土门群佟家庄组底部不整合面上的叠层石灰岩透镜体为标志则郟部 - 葛沟断裂和沂水 - 汤头断裂的左行平移距离在 50 km 左右[72]。

综上所述判断: 作为郟庐断裂带的组成部分, 沂沭断裂带在山东境内的左行平移距离大约在 150 km 左右, 但郟庐断裂带的左行平移距离整体表现上比沂沭断裂带要大, 约 330 km 左右。

5. 结论

① 大别 - 苏鲁造山带是华北和扬子二大板块强烈碰撞的记录, 以大面积出露碰撞造山带“根”部的深变质体而成为研究大陆动力学的最佳地区, 它不仅记录了华北和扬子两大克拉通俯冲、碰撞的演化过程, 而且揭露出世界上面积最大、暴露最深的高压 - 超高压变质带。

② 秦岭 - 大别碰撞带在三叠纪晚期最后完成碰撞、拼合, 碰撞带内及其两侧的边缘残余海完全消失, 大量的同碰撞期变质和岩浆作用的年龄数据, 均为 240~205 Ma, 显示了三叠纪晚期完成拼合。代表晚古生代 - 早三叠世残余洋壳的勉略 - 湖北随州花山一带蛇绿岩套, 在中三叠世末期受到挤压、碰撞, 这是秦岭 - 大别带最后完成碰撞、拼合的主要表现。

③ 郟城 - 庐江断裂带(以下简称郟庐断裂)是纵贯中国东部大陆边缘的一条巨型断裂带, 总体呈北北东向, 将大别 - 苏鲁造山带从安徽庐江至山东莒县段长距离平移错开为东西二段, 东部为大别造山带, 西部为苏鲁造山带。受太平洋板块俯冲和地球动力学体制转换有关[5], 使郟庐断裂带活化发生大规模左行平移, 其最大距离在 300 km 左右。同时将郟庐左行剪切走滑断裂发育历史划分为五个发育阶段, 即(1) 孕育阶段、(2) 诞生阶段(J_1)、(3) 左行平移阶段(J_2-K_1)、(4) 张扭性裂谷阶段(K_1-K_2)和(5)挤压断块运动阶段(E-Q), 重现了从特提斯体制向太平洋体制的复杂历史转化过程, 也在相当程度上反映了我国东部大陆边缘的动力学特征。

基金项目

本文为国家自然科学基金(编号: 41572068, 41140025)、山东地质勘查基金项目(2012028)和山东省泰山学者建设工程专项经费联合资助。

参考文献 (References)

- [1] 姜春发, 王宗起, 李锦铁. 中央造山带开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 1-107.
- [2] 姜春发. 中央造山带几个重要地质问题及其研究进展. 地质通报, 2002, 21(8-9): 453-455.
- [3] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 肖庆辉, 等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-885.
- [4] 殷鸿福, 张克信. 中央造山带的演化及其特点[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1998, 23(5): 438-442.
- [5] 李洪奎, 于学峰. 山东省大地构造相研究[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 9-19, 281-314.
- [6] 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 中国东部岩石圈根/去根作用于大陆活化[J]. 现代地质, 2005, 8(3): 349-356.
- [7] 徐嘉炜, 马国烽. 郟庐断裂带研究的十年回顾[J]. 地质论评, 1992, 38(4): 316-324.
- [8] 徐嘉炜. 郟城 - 庐江平移断裂系统[M]//中国地质科学院地质力学研究所编. 构造地质论丛(3). 北京: 地质出版社, 1984: 18-32.
- [9] 徐嘉炜. 试论郟 - 庐断裂带的平移及其地质与找矿意义[J]. 地质矿产研究, 1978(5).
- [10] 徐嘉炜. 郟 - 庐断裂带的平移运动及其地质意义[M]//中国地质科学院编. 国际地质学术论文集——为二十六届国际地质大会撰写(1), 构造地质 - 地质力学. 北京: 地质出版社, 1980: 129-142.
- [11] 徐嘉炜. 郟 - 庐断裂带巨大的左行平移运动[J]. 合肥工业大学学报, 1980(1): 12-21.
- [12] 徐树桐, 刘贻灿, 江来利, 等. 大别山的构造格局及演化[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 1-175.
- [13] 徐树桐, 刘贻灿, 江来利, 吴维平, 陈冠宝. 大别山造山带的构造几何学和运动学[M]. 合肥: 中国科学大学出版社, 2002: 1-133.

- [14] 汤加富, 候明金, 高天山, 荆延仁, 周存亭. 秦岭—大别—苏鲁造山带地质研究新进展——论中国东部弧形构造带的成因[M]//任纪舜, 杨巍然. 中国东部岩石圈结构与构造岩浆演化. 北京: 原子能出版社, 1998: 95-101.
- [15] 汤加富. 大别山及邻区地质构造特征与形成演化——地幔差速环流与陆内多期造山[M]. 北京: 地质出版社, 2003: 13-148.
- [16] 徐嘉炜, 刘德良, 李秀新. 中国东部中生代南北陆块的对接——论大别山碰撞带及其意义[C]//北京市地质学会. 中生代地质学术讨论会论文集. 北京: 地质出版社, 1987: 159-168.
- [17] Okay, A.I. and Sengor, A.M.C. (1992) Evidence for Intracontinental Thrust-Related Exhumation of the Ultra-High-Pressure Rocks in China. *Geology*, **20**, 411-414. [http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613\(1992\)020<0411:EFITRE>2.3.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020<0411:EFITRE>2.3.CO;2)
- [18] Okay, A.I., Xu, S. and Sengor, A.M.C. (1989) Coesite from the Dabie Shan Eclogites, Central China. *European Journal of Mineralogy*, **1**, 595-598.
- [19] Yin, A. and Nie, S.Y. (1993) An Indentation Model for the North and South China Collision and the Development of the Tan-Lu and Honam Fault Systems, East Asia. *Tectonics*, **12**, 801-813. <http://dx.doi.org/10.1029/93TC00313>
- [20] 刘国惠, 张寿广, 游振东, 等. 秦岭造山带主要变质岩群及变质演化[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1-190.
- [21] 陆松年, 陈志宏, 李怀坤, 郝国杰, 相振群. 秦岭造山带中两条新元古代岩浆岩带[J]. 地质学报, 2005, 79(2): 165-173.
- [22] 杨经绥, 吴才来, 张建新, 许志琴. 中央巨型超高压变质带和两期超高压变质作用的年代学证据[J]. 科学中国人(学术交流), 2005(8): 47-52.
- [23] 许志琴, 杨经绥, 李化启, 王瑞瑞, 蔡志慧. 中国大陆印支碰撞造山系及其造山机制[J]. 岩石学报, 2012, 28(6): 1697-1709.
- [24] 刘福来, 许志琴, 宋彪. 苏鲁地体超高压和退变质时代的厘定: 来自片麻岩锆石微区 SHRIMP U-Pb 定年的证据[J]. 地质学报, 2003, 77(2): 229-237.
- [25] 李曙光, 刘德良, 陈移之, 葛宁洁, 张宗清, 叶笑江. 大别山南麓含柯石英榴辉岩的 Sm-Nd 同位素年龄[J]. 科学通报, 1992, 7(4): 346-349.
- [26] 李曙光, 刘德良, 陈移之, 王松山, 裘冀, 胡世玲, 桑海清. 中国中部蓝片岩的形成时代[J]. 地质科学, 1993, 28(1): 21-27.
- [27] 李曙光, 肖益林, 刘德良. 大别山石马地区石榴黑云片麻岩的 Sm-Nd, K-Ar 年龄及冷却速率[J]. 地质科学, 1995, 30(2): 174-181.
- [28] 王道轩, 刘因, 李双应, 金福全. 大别超高压变质岩折返至地表的时间下限: 大别山北麓晚侏罗世砾岩中发现榴辉岩砾岩[J]. 科学通报, 2001, 46(14): 1216-1220.
- [29] 黄德志, 董树文, 叶朝暉. 大别与胶南造山带北缘地层对比意义[C]//兴皖之光, 卫星会议执行委员会. 中国科协首届青年学术讨论会“兴皖之光”卫星会议论文集. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1992: 52-58.
- [30] 李锦轶. 中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式——长江中下游地区震旦纪—侏罗纪沉积环境的演变[J]. 地质学报, 2001, 75(1): 25-34.
- [31] 李洪奎, 李逸凡, 耿科, 嵇传源, 张玉波, 梁太涛. 山东鲁东碰撞造山型金矿成矿作用探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2011, 35(4): 533-542.
- [32] 李洪奎, 杨永波, 杨锋杰. 山东沂沭断裂带构造演化与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2009: 93-95.
- [33] 李洪奎, 耿科, 嵇传源, 王峰, 刘继梅. 山东省优势大地构造相划分初步方案[J]. 山东国土资源, 2010, 26(6): 1-6.
- [34] 宋明春, 赵庆龄. 山东日照官山闪长玢岩锆石 SHRIMP 年龄: 印支期岩浆热事件及其对超高压变质岩折返历史的限定[J]. 地质通报, 2004, 23(12): 1254-1258.
- [35] 李洪奎, 时文革, 李逸凡, 李璐邑, 韩代成, 曹丽丽, 刘继梅. 山东胶东地区金矿成矿时代研究[J]. 黄金科学技术, 2013, 21(3): 1-9.
- [36] 张田, 张岳桥. 胶东半岛中生代侵入岩浆活动序列及其构造制约[J]. 高校地质学报, 2007, 13(2): 323-336.
- [37] 从柏林, 王清晨, 叶凯. 大陆深俯冲作用: 来自超高压变质的证据[J]. 中国科学基金, 1999(4): 194-198.
- [38] 从柏林, 王清晨. 大别山—苏鲁超高压变质带研究的最新进展[J]. 科学通报, 1999, 44(11): 1127-1141.
- [39] 苏相国, 王仁民, 顾德林. 山东诸城地区胶南群榴辉岩围岩高压变质作用特征[J]. 现代地质, 1994, 8(1): 65-71.
- [40] 王来明, 宋明春, 刘贵章, 等. 鲁东榴辉岩的形成与演化[C]//山东省地质矿产局. 山东省地质矿产研究文集. 济南: 山东科学技术出版社, 1996: 39-49.

- [41] 万天丰. 郟庐断裂带的演化与古应力场[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 1995, 20(5): 526-534.
- [42] 万天丰, 朱鸿, 赵磊, 林建平, 程捷, 陈进. 郟庐断裂带的形成与演化综述[J]. 现代地质, 1996, 10(2): 159-168.
- [43] 邓乃恭. 中生代华夏类型构造和郟庐断裂体系的特征与形成机制[M]//构造地质论丛编辑部. 构造地质论丛(3). 北京: 地质出版社, 1984: 33-38.
- [44] 王小凤, 李中坚, 陈柏林, 等. 郟庐断裂带[M]. 北京: 地质出版社, 2005: 329-338.
- [45] 王小凤, 李中坚, 陈柏林, 等. 郟庐断裂带[M]. 北京: 地质出版社, 2005: 1-14.
- [46] 许志琴. 扬子板块北缘的大型深层滑脱构造及动力学分析[J]. 中国区域地质, 1987, 6(4): 289-300.
- [47] 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆, Mattauer, M., Matte, P., Malavieille, J., Tapponnier, P. and Maluski, H. 东秦岭造山带的变形特征及构造演化[J]. 地质学报, 1986, 60(3): 237-247.
- [48] 叶天竺, 张智勇, 肖庆辉, 潘桂棠, 冯艳芳. 成矿地质背景研究技术要求[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 303-365.
- [49] 董树文, 张岳桥, 龙长兴, 杨振宇, 季强, 王涛, 胡建民, 陈宣华. 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.
- [50] 李四光. 地质力学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1973: 6-84.
- [51] Wong, W.H. (1927) Crustal Movements and Igneous Activities in Eastern China since Mesozoic Time. *Bulletin of Geological Society of China*, 6, 9-37. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1755-6724.1927.mp6001002.x>
- [52] 崔盛芹. 论全球中-新生代陆内造山作用与造山带[J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 283-283.
- [53] 崔盛芹, 李锦蓉, 吴珍汉, 易明初, 沈淑敏, 尹华仁, 马寅生. 燕山地区中新世代陆内造山作用[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 1-368.
- [54] 赵越, 杨振宇, 马醒华. 东亚大地构造发展中的重要转折[J]. 地质科学, 1994, 29(2): 105-128.
- [55] 赵越, 徐刚, 张拴红. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 319-328.
- [56] 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 姜春发, 等. 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[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 6-9.
- [57] 董树文, 吴锡浩, 吴珍汉, 邓晋福, 高锐, 王成善. 论东亚大陆的构造翘变——燕山运动的全球意义[J]. 地质评论, 2000, 46(1): 8-13.
- [58] 徐嘉炜. 郟城-庐江深断裂带的平移运动[J]. 华北地质, 1964(5): 13-21.
- [59] 徐嘉炜, 朱光, 吕培基, 郑学信, 孙世群. 郟庐断裂带平移年代学研究的进展[J]. 安徽地质, 1995, 5(1): 1-12.
- [60] 徐嘉炜, 崔可锐, 刘庆, 童蔚欣, 朱光. 东亚大陆边缘中生代的左行平移断裂作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1985, 5(2): 51-64.
- [61] 徐嘉炜, 刘德良, 李秀新. 中国东部中生代南北陆块的对接——论大别山碰撞带及其意义[C]//北京市地质学会. 中生代地质学术讨论会论文集. 北京: 地质出版社. 1987.
- [62] 袁洪亮. 郟城-庐江断裂带地质特征[J]. 中国区域地质, 1983(4): 69-76.
- [63] 李自堃, 袁洪亮. 郟城-庐江断裂带某些地质构造问题的探讨[M]//构造地质论丛编辑部. 构造地质论丛(3). 北京: 地质出版社, 1984: 33-38.
- [64] 李春昱. 用板块构造学对中国部分地区构造发展的初步分析[J]. 地球物理学报, 1975, 18(1): 52-76.
- [65] Oh, C.W. (2005) A New Concept on Tectonic Correlation between Korea, China and Japan: Histories from the Late Proterozoic to Cretaceous. *Gondwana Research*, 9, 47-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2005.06.001>
- [66] Zhua, R.X., Hoffman, K.A., Pan, Y.X., Shi, R.P. and Li, D.M. (2003) Evidence for Weak Geomagnetic Field Intensity Prior to the Cretaceous Normal Superchron. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 136, 187-189. [http://dx.doi.org/10.1016/s0031-9201\(03\)00034-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0031-9201(03)00034-7)
- [67] 马杏垣, 游振东, 谭应佳, 杨巍然, 李东旭, 吴正文. 中国大地构造的几个基本问题[J]. 地质学报, 1961(1).
- [68] 马杏垣. 中国及邻近海域岩石圈动力学图集[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [69] 许志琴, 张巧大, 赵民. 郟庐断裂带中段古裂谷的基本特征[J]. 中国地质科学院院报, 1982, 4: 17-44.
- [70] 许志琴. 郟庐裂谷系概述[M]//构造地质论丛编辑部. 构造地质论丛(3). 北京: 地质出版社, 1985: 39-46.
- [71] 许志琴. 谈谈裂谷[J]. 地质论评, 1980, 26(3): 260-264.
- [72] 宋明春, 王沛成, 主编. 山东省区域地质[M]. 济南: 山东省地图出版社, 2003: 68, 312-315.