大别造山带中生代陆缘向陆内变形的演变及其动力学

王勇生* 马莅权 白桥 张旭

合肥工业大学资源与环境工程学院，合肥 230009

* 通讯作者，Email：yshw9007@hfut.edu.cn

国家自然科学基金项目（42242012、42272240、42472268）资助

摘要 华南、华北板块的碰撞拼合是东亚大陆形成的重要过程。作为华南、华北板块陆-陆碰撞作用最重要的产物之一，大别造山带记录了中生代两大板块之间由大陆边缘碰撞向陆内变形演变的完整历史，是认识东亚大陆中生代构造演化最适合的地区之一。本文从区域构造演化的角度总结了大别造山带中生代陆缘向陆内变形的构造转换过程。华南、华北板块间的古特提斯洋分支于~266 Ma 前在大别造山带开始闭合，华南板块向 NW 方向斜向俯冲于华北板块之下，在地幔深度发生高压-超高压变质作用。华南板块在俯冲过程中解耦，最终导致了造山带内不同构造-岩石单元的形成。随后，在构造挤出和浮力驱动的共同作用下超高压变质岩从地幔深处向上折返，并于~210 Ma 时主体上升至地壳底部。自早侏罗世开始，大别造山带转变为陆内变形，区域应力场呈现为近南-北向挤压，导致了早-中侏罗世冲积扇相沉积序列以及晚侏罗世逆冲断层的发育。早白垩世初，东亚大陆东部在古太平洋板块板片后撤的主导作用下转变为区域伸展背景，大别造山带发生显著的山根减薄作用，地壳浅部表现为穹窿状伸展隆升和大规模岩浆作用的发生，造山带内构造-岩石单元的空间分布状态被改造，大量岩石被剥蚀搬运至周缘盆地内。自晚白垩世开始，大别造山带进入缓慢隆升阶段，不再发生造山带尺度的构造样式的改变。

关键词 大别造山带，大陆俯冲和超高压岩石折返，陆内造山作用，山根去除和穹窿状隆升，东亚大陆多板块汇聚

1 引言

东亚大陆是世界上地质构造最复杂的区域之一，夹持于特提斯构造域、太平洋构造域和古亚洲构造域之间（任纪舜等，2016；董树文等，2019）。东亚大陆经历了自~3.8 Ga 以来丰富的构造演化历史，包括哥伦比亚（Zhao 等，2002）、罗迪尼亚（Li 等，2008）和潘基亚（Stampfli 等，2013）超大陆的聚合-裂解，记录了特提斯洋（许志琴等，2015；吴福元等，2020；丁林，2024）、古亚洲洋（肖文交等，2019）的闭合及大陆增生过程和古太平洋板块向现今太平洋板块的发展演变（Li 和 Li，2007；朱日祥和徐义刚，2019；Liu 等，2021）。因而，开展东亚大陆构造演化研究，对于理解大陆动力学和发展板块构造理论具有重要意义。

大陆的构造演化通常起始于大陆边缘构造变形，再转变为陆内变形，中间经历了大洋俯冲至陆-陆碰撞等一系列复杂的演化过程。获取大陆边缘向陆内变形的转换过程和动力学演化的详细信息对理解东亚大陆构造演化具有重要意义。以印支运动和燕山运动为代表的中生代构造活动形成了东亚大陆的主体格架，华南、华北板块的陆-陆碰撞则是其中最重要的地质过程之一，形成了横贯中国中部的秦岭-桐柏-红安-大别和苏鲁造山带（许志琴等，1988；张国伟等，2001）。大别造山带位于秦岭-桐柏-红安-大别造山带的东端，与东北侧的苏鲁造山带一起构成了全球超高压岩石出露面积最大的地区之一（Liou 等，2009；Zhang 等，2009）。自变质成因柯石英（Wang 等，1989；Okay 等，1989）和微粒金刚石（Xu 等，1992）被发现以来，大别造山带便成为了全球范围内开展大陆动力学演化研究的关键热点地区。大别造山带起源于古特提斯洋分支的闭合（Hacker 等，2006；Ernst 等，2007；许志琴等，2015；Dong 等，2021），经历了由三叠纪陆-陆碰撞的陆缘变形向侏罗纪和白垩纪陆内变形的转换（Hacker 等，1998；Faure 等，2003；索书田等，2004；Wu 和 Zheng，2013；林伟等，2013；Liu 等，2015a），晚中生代以来主要受控于古太平洋板块的俯冲作用（李曙光等，2013；朱日祥和徐义刚，2019），同时也受到古亚洲构造

域近南北向挤压的远程应力场影响（董树文等，2019）。在造山带构造演化过程中，与三大构造域相关的动力学机制作为主控因素不断转变，且每个阶段的地质特征具有较好的可辨识性。因而，聚焦大别造山带的构造演化历史，不但有助于更好地认识固体地球不同圈层间物质交换、构造变形的协同演变，而且也可以为东亚大陆中生代构造演化历史提供重要信息。

大别造山带中生代构造演化总体可划分为三个阶段：三叠纪的同碰撞俯冲和超高压岩石折返、侏罗纪的陆内造山作用以及白垩纪的碰撞后伸展-隆升作用。本文从区域构造演化的角度系统总结了大别造山带中生代从三叠纪陆缘到侏罗-白垩纪陆内变形的构造演变，期望通过对造山带构造演化历史的总结和综合分析，为东亚大陆中生代多板块汇聚体系下的地球动力学演化提供一些新的证据。

2 大别造山带及周边地区构造单元

华南、华北板块之间的陆-陆碰撞不仅导致了岩石圈增厚，形成了绵延上千公里的巨大的褶皱山系，同时导致了扬子前陆褶皱-冲断带和周缘前陆盆地的发育。

2.1 大别造山带

大别造山带位于中国中东部，向西以商城-麻城（商-麻）断裂与红安造山带相接，东侧和南侧分别以郯庐断裂带和襄樊-广济断裂与华南板块相邻，北侧为合肥盆地（图 1）。大别造山带内发育四条与造山带走向近平行的断裂，由北向南分别为晓天-磨子潭断裂、五河-水吼断裂（浠水断裂为其西延部分）、弥陀-花凉亭断裂和太湖-马庙断裂，将造山带划分为六个构造-岩石单元: 北淮阳单元、北大别单元、高压-超高压榴辉岩单元、宿松杂岩单元、角闪岩相大别杂岩单元和高压蓝片岩相单元（图 2；Xu 等，2012）。

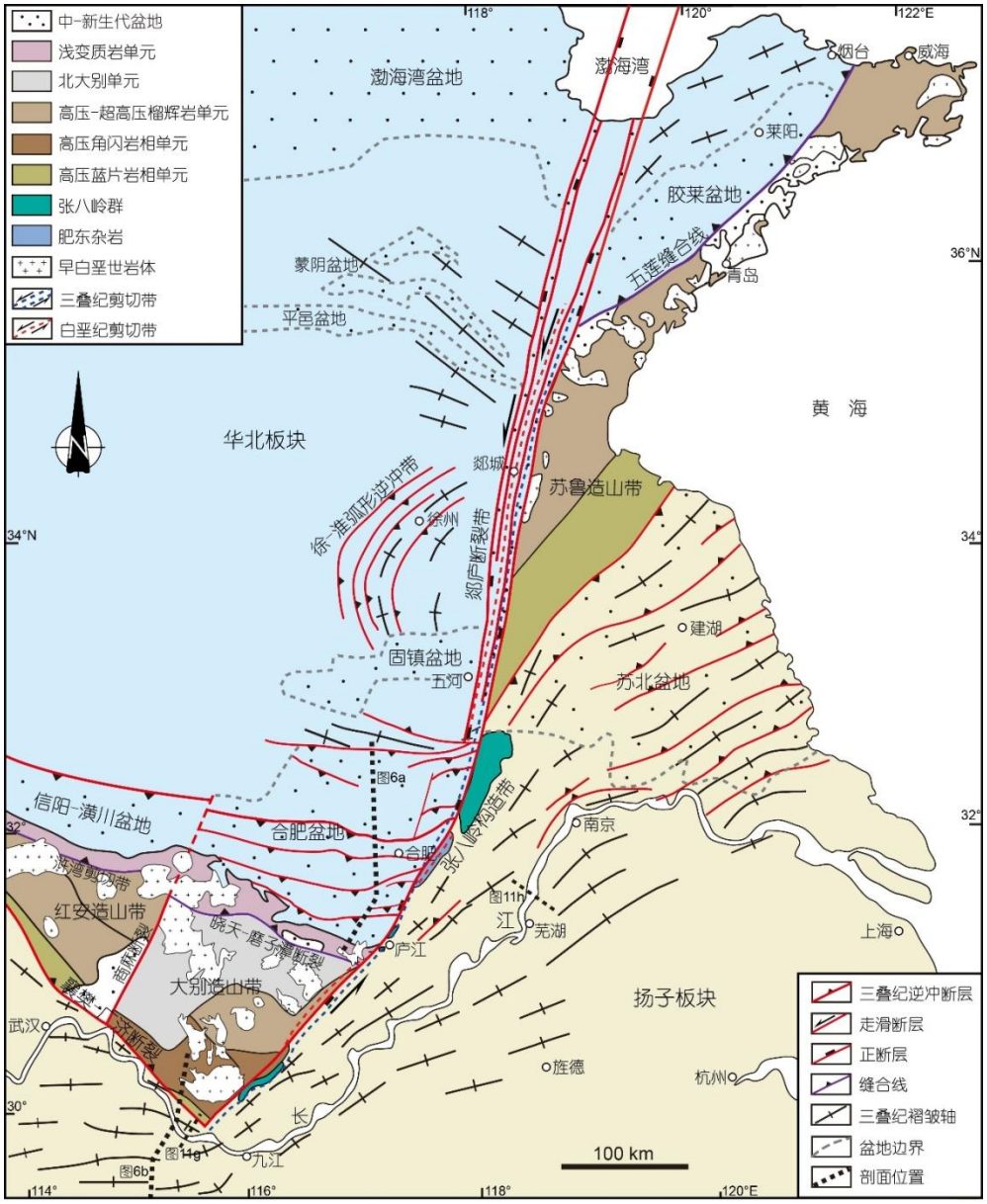


图 1 秦岭-桐柏-红安-大别-苏鲁造山带及周边地区构造简图，据 Zhang 等（2025）修改

北淮阳单元主要由佛子岭群、卢镇关群和少量石炭系梅山群组成，少量早古生代岛弧岩浆岩残留在佛子岭群岩石中（刘贻灿等，2021；Wang 等，2022）。佛子岭群主要由浅变质砂岩、板岩、千枚岩、云母片岩、石英岩和大理岩组成，其原岩为形成于早古生代岛弧活动相关的复理石沉积序列（Xu 等，2012；Zhu 等，2017），主要经历了绿片岩相变质（林伟等，2005；Zheng 等，2005；Tang 等，2024）。卢镇关群主要由正片麻岩组成，原岩为新元古代中期岩浆岩（800–700 Ma；Zheng 等，2004；江来利等，2005；刘景波等，2013；Wu 等，2024），经历了绿帘-角闪岩相变质作用（Zheng 等，2005；林伟等，2005）。石炭系梅山群主要由砾岩、长石砂岩、粉砂岩和粉砂质泥岩组成，底部夹一套含煤岩系（Li 等，2004）。北淮阳单元的形成被认为是经历了较浅俯冲（林伟等，2005；Tang 等，2024）或俯冲阶段加积增生作用的产物（Zheng 等，2005）。

北大别单元是大别造山带内出露面积最大的构造-岩石单元（图 2），主要由混合岩、灰色片麻岩和斜长角闪岩组成，并有大量的早白垩世花岗岩和少量基性-超基性岩体侵入（Wu 等，2007；赵子福和郑永飞，2009；He

等，2011；Wang 等，2013），局部存在少量呈布丁状分布的榴辉岩、石榴辉石岩及麻粒岩（索书田等，2004；Wu 等，2008；Liu 等，2011；李秋立等，2013；Groppo 等，2015；Lin 等，2015）。北大别单元变质岩原岩主要为新元古代岩浆岩（Zhao 等，2008；刘贻灿等，2015），罗田地区出露少量新太古-古元古代岩石（Wu 等，2008；田洋等，2022；王开和赵天宇，2023），经历了三叠纪超高压变质作用（Xu 等，2005）、麻粒岩相叠加（Gao 等，2017）和角闪岩相退变质作用（Liu 等，2011）的多阶段演化，表现为广泛的混合岩化和多期构造变形叠加的特征（刘贻灿等，2015）。

高压-超高压榴辉岩单元主要分布于造山带中东部，部分呈狭长状分布于北大别单元东侧（图 2；Lin 等，2009）。高压-超高压榴辉岩单元可划分为北部的含柯石英榴辉岩的超高压榴辉岩单元和南部的以石英榴辉岩为代表的高压榴辉岩单元（Okay，1993）。高压-超高压榴辉岩单元出露由斜长角闪岩、花岗片麻岩、副片麻岩、大理岩组成的围岩和呈布丁状分布其中的榴辉岩、硬玉石英和石榴辉石岩。榴辉岩及其围岩中锆石核部的新元古代岩浆作用年龄、与华南板块一致的 Sr-Nd、Pb、$\delta^{18}O$、$\delta^{13}C$ 同位素等特征指示其原岩为形成于新元古代的华南板块盖层岩石（Cong 等，1995；Rowley 等，1997；Hacker 等，1998；Zheng 等，2006；Xia 等，2013；Prave 等，2018）。围岩片麻岩锆石中柯石英包体的发现则指示其与榴辉岩一起经历了深俯冲（Liu 等，2001）。

宿松杂岩单元与角闪岩相大别杂岩单元位于造山带南部（图 2），以往的研究中有时将两者合二为一。但鉴于两者的岩石组成存在明显差异，因而通常被划分为两个独立的构造-岩石单元。宿松杂岩单元位于高压榴辉岩单元南侧（图 2），主要由云母石英片岩、石墨片岩、石英岩、大理岩、变质磷块岩等变沉积岩和一系列正片麻岩组成（江来利等，2003；Xu 等，2012），经历了高压绿帘-角闪岩相变质（魏春景和单振刚，1997；石永红等，2013）。介于 228–190 Ma 之间的白云母 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄表明其变质-变形作用发生于三叠纪同碰撞阶段（Hacker 和 Wang，1995；江来利等，2003）。角闪岩相大别杂岩单元（Liu 等，2007；Xu 等，2012），也被称为无榴辉岩的片麻岩单元（Faure 等，2003；Lin 等，2015），向北以断层与宿松杂岩单元和北大别单元相接（图 2），主要由花岗片麻岩、斜长角闪岩等正片麻岩和大理岩组成，其原岩年龄为新元古代中期（800–700 Ma）和新太古-古元古代（2.8–2.0 Ga；江来利等，2003；Zhao 等，2021a；王开和赵天宇，2023），经历了角闪岩相变质（Faure 等，2003）。该构造-岩石单元的岩石类型和形成时代与其北侧罗田地区的北大别单元高度类似，可能为新元古代岩浆岩侵位的华南板块基底发生俯冲作用而形成或是准原位的华南板块基底（Ji 等，2017）。到目前为止，角闪岩相大别杂岩单元中并未有榴辉岩存在的报道，表明其可能并未经历高压-超高压变质作用（Faure 等，2003）。

高压蓝片岩相单元，也被称为张八岭群（对应于张八岭构造带内的张八岭群），位于大别造山带东南缘，向南以襄樊-广济断裂与扬子前陆褶皱-冲断带相接（图 2）。高压蓝片岩相单元主要由钠长绿帘阳起片岩、白云钠长石英片岩、阳起片岩、冻蓝闪石绢云片岩等岩石组成（Xu 等，2012），为一套原岩形成于新元古代的变火山岩（Zhao 等，2016），经历了三叠纪同碰撞阶段中-高绿片岩相变质和强烈的韧性变形（杨坤光等，2011）。

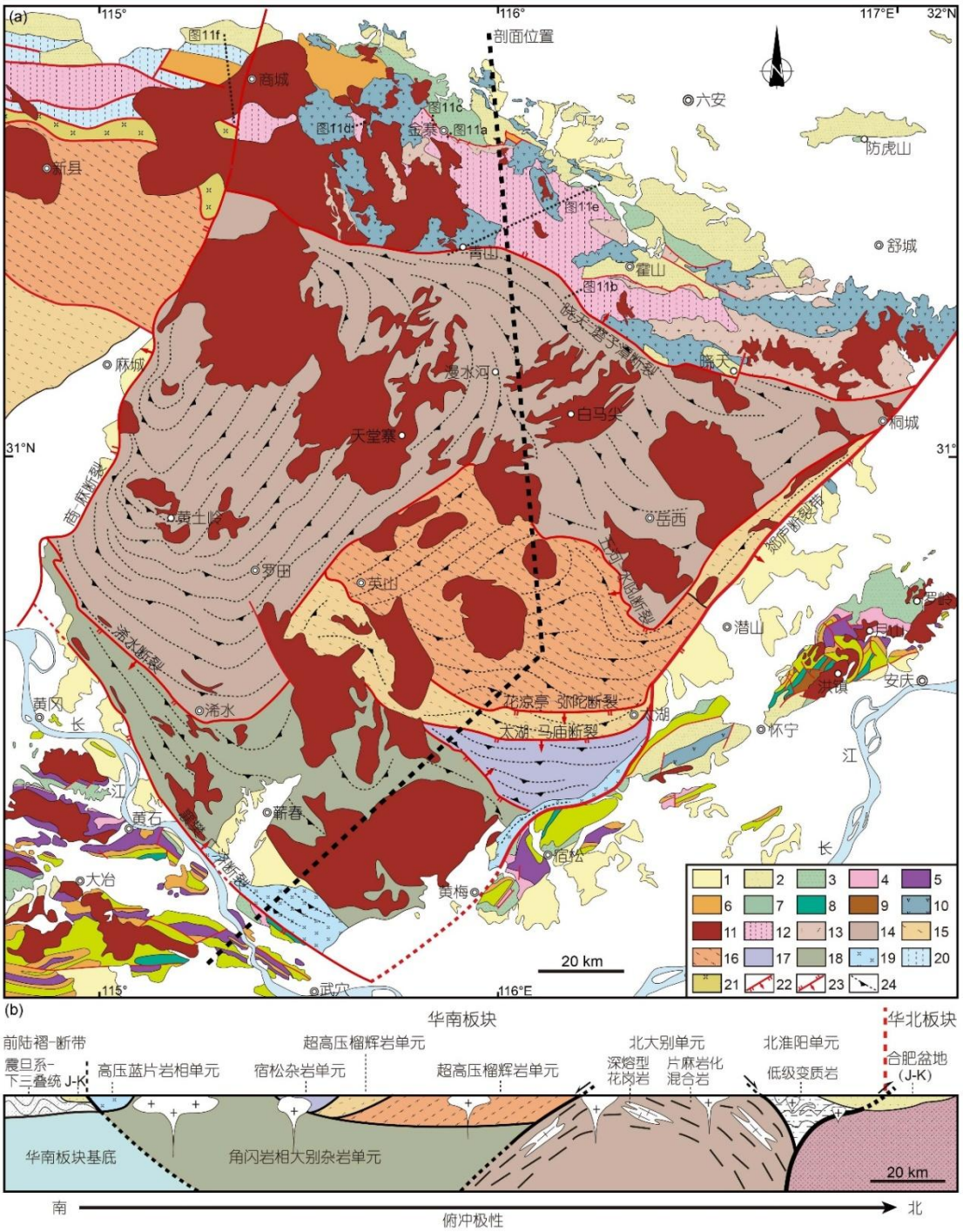


图 2 大别造山带及周边地区地质简图。(a) 大别造山带构造-岩石单元划分及周边地区地质简图(据 Xu 等,2005；刘贻灿等，2021 修改)，面理轨迹据 Ji 等（2017)；(b) 大别造山带地壳尺度岩石构造单元剖面示意图（据 Faure 等，2003；Ji 等，2017；Zheng 等，2019 及地球物理资料综合绘制)。1. 上白垩统-第三系；2. 下白垩统；3. 侏罗系；4. 上三叠统；5. 下-中三叠统；6. 石炭-二叠系；7. 志留-泥盆系；8. 寒武-奥陶系；9. 新元古宙；10. 火山岩；11. 晚中生代岩体；12. 佛子岭群/南湾群；13. 卢镇关群；14. 北大别单元；15. 高压榴辉岩单元；16. 超高压榴辉岩单元；17. 宿松杂岩单元；18. 角闪岩相大别杂岩单元；19. 高压蓝片岩相单元；20. 新元古-早古生代混杂岩；21. 浒湾榴辉岩单元；22. 正断层；23. 逆断层；24. 面理轨迹，实心三角指向代表岩石面理倾向

2.2 造山带前陆褶皱-冲断带

华南、华北板块陆-陆碰撞产生的强大挤压力传递至碰撞带南侧的扬子板块北缘，导致了扬子前陆褶皱-冲断带的形成。华南、华北板块在大别造山带处的缝合边界形态呈向东南方向突出的反“L”形，造山带南侧和东侧均发育有前陆褶皱-冲断带（图1），古生界-下三叠统海相盖层呈现为强烈的褶皱和逆冲构造（朱志澄等，1989；朱光等，1999；Li等，2010a；董树文等，2011），以等斜褶皱、低角度推覆和叠瓦状逆冲断层为特征。在大别造山带南侧，长江以北、襄樊-广济断裂以南的狭长区域内发育强烈的对冲构造带（Dong等，2004；刘少峰和张国伟，2008；梅廉夫等，2008；Li等，2010a；Liu等，2015a），逆冲构造与褶皱走向为NWW-SEE向，向东尖灭于武穴地区。对冲构造北侧断层面和褶皱轴面倾向北，呈现为由北向南逆冲；南侧断层面和褶皱倾向南，呈现为由南向北逆冲。该对冲构造带两侧逆冲构造的形成具有不同时性（Li等，2010a），北侧逆冲构造形成于印支期，南侧逆冲构造则形成于早燕山期。长江以南地区，逆冲构造与褶皱主要呈近东-西向，地表出露的褶皱和逆冲构造主体倾向南，表现为由南向北的逆冲（Faure等，2003；Zhu等，2009；Li等，2010a）。大别造山带东侧的褶皱-冲断带则表现为南窄北宽的楔形，向东南方向延伸至长江北岸，同样表现为大致以长江为界的对冲构造（朱光等，1999；梅廉夫等，2008）。逆冲构造与褶皱走向表现为NEE至NE向，断层面和褶皱轴面倾向NNW至NW，逆冲构造主要为上盘向SE或SSE的运动。在靠近郯庐断裂带位置，逆冲构造与褶皱走向由NE-SW向转变为NNE-SSW向（Zhu等，2009）。宿松地区下侏罗统与古生界之间角度不整合接触，及它们卷入指向南的逆冲变形并被后期正断层切割的现象，指示前陆褶皱-冲断带挤压变形主体形成于晚三叠世和侏罗纪（刘少峰和张国伟，2013）。

2.3 造山带周缘盆地

大别造山带除向西与红安造山带相接外，其北、东、南侧均发育有早中生代沉积盆地（图 3；李忠等，2000，2002；Grimmer 等，2003；Liu 等，2003，2005；Li 等，2005；Zhu 等，2009；Yang 等，2010；Wang 等，2021），盆-山系统之间存在着密切的耦合关系。大别造山带周缘盆地充填的中生代地层主要由上三叠统、下-中侏罗统、白垩系构成，上侏罗统普遍缺失。

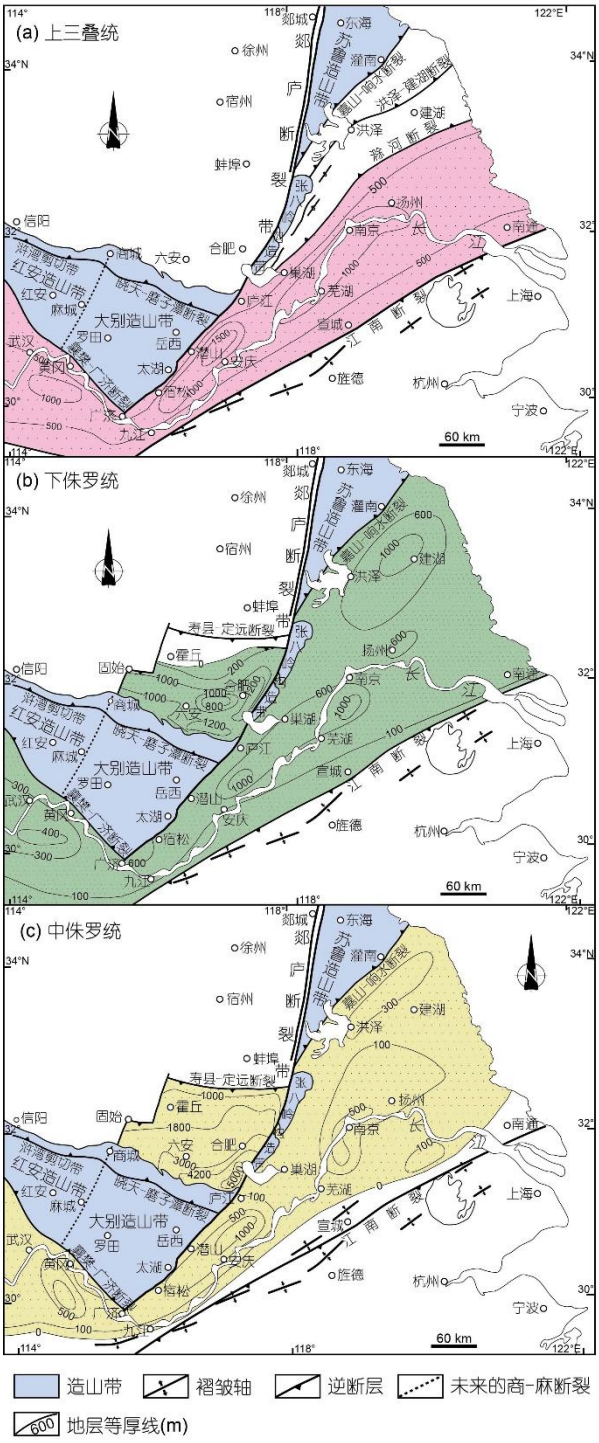


图 3 大别造山带周缘盆地及沉积厚度分布示意图（据 Zhu 等，2009 修改）

2.3.1 合肥盆地

合肥盆地位于大别造山带北侧，经历了早中生代挤压挠曲和晚中生代伸展裂陷的两阶段活动（赵宗举等，2000；Li 等，2005 Meng 等，2007；Liu 等，2010），导致盆地南缘发育一套厚达 5000 ~7000 m 的陆相碎屑沉积夹火山岩-火山碎屑岩充填，由老到新依次为下侏罗统防虎山组、中侏罗统三尖铺组/圆筒山组、下白垩统凤凰台组/周公山组/毛坦厂组、下白垩统黑石渡组/晓天组和上白垩统戚家桥组（图 4）。综合的物源分析显示，盆地南缘地层碎屑物质主要来自于大别造山带（Li 等，2005；Meng 等，2007；Liu 等，2010；Zhu 等，2017；王勇生等，2020）。

下侏罗统防虎山组不整合覆盖在佛子岭群之上，仅分布于肥西防虎山一带，主要由厚层砾岩、含砾粗砂岩和长石砂岩组成，夹少量薄层细砂岩和粉砂岩，由下而上显示为冲积扇、辫状河到曲流河的沉积演变（Li 等，2005；Meng 等，2007）。中侏罗统三尖铺组、圆筒山组表现为同期异相沉积。三尖铺组广泛分布于合肥盆地南部边缘，不整合覆盖于北淮阳单元之上（李忠等，2000；Meng 等，2007；Liu 等，2010），底部地层主要由厚层砾岩构成，与平行层状含砾砂岩和粗砂岩共生，向上部逐渐转变为砂岩，同样显示了冲积扇到辫状河的沉积演变。圆筒山组则覆于防虎山组之上，主要表现为互层状细砂岩、粉砂岩和泥岩组合，代表了位于盆地远端的曲流河和湖泊相沉积环境。

下白垩统凤凰台组平行不整合于三尖铺组之上，主要由巨厚层灰白色到灰紫色块状砾岩组成，顶部发育交错层状含砾砂岩（李忠等，2000；Meng 等，2007；Liu 等，2010），反映了冲积扇和辫状河沉积环境。周公山组与凤凰台组表现为同期异相沉积，底部主要为含砾粗砂岩、砂岩与粉砂岩互层，上部为含砾砂岩夹粉砂岩和粉砂质泥岩，代表了三角洲前缘和湖泊相沉积环境。毛坦厂组主要由安山岩、粗面安山岩及火山角砾岩、泥灰岩组成，喷发时间为 128 Ma 左右，广泛分布于北淮阳单元内及合肥盆地南缘。凤凰台组、周公山组碎屑锆石年龄的最小值分别为 129 Ma 和 128 Ma（图 4；Zhu 等，2017），以及地层岩石中火山岩夹层的发育指示三者均形成于早白垩世初。

下白垩统黑石渡组为一套分布于毛坦厂组火山岩之上的中-细粒砂岩、粉砂岩及含砾砂岩，形成于湖泊相和河流相沉积环境中。晓天组仅分布于晓天盆地内，主要为砂岩、粉砂岩和泥岩互层（吴海权等，2002），反映了深水相沉积的特点。

上白垩统戚家桥组，岩性主要为紫红、砖红色砾岩、含砾粗砂岩及含钙质结核细砂岩和粉砂岩，具有自西向东粒度变细的特征（吴海权等，2002），为冲积扇相沉积。

2.3.2 造山带东侧盆地

大别造山带东侧的早中生代盆地南起长江北岸的武穴地区，沿长江一带向 NEE 方向延伸至南通以北（图 3；Zhu 等，2009），主要出露上三叠统黄马青群、下-中侏罗统象山群（董树文等，1994；李培军和夏邦栋，1995），不整合覆盖于古生界—下-中三叠统海相地层之上（图 4）。下扬子地区早白垩世时发育了一系列 NE-NNE 向展布的陆相火山岩盆地，早白垩世火山岩系（龙王山组/大王山组/中分村组/蝌蚪山组）不整合覆盖于下-中侏罗统象山群之上（Zhu 等，2009）。由于后期的多次构造运动，盆地中所沉积的上三叠-中侏罗统常受到剥蚀而局部残留，或隐伏于早白垩世火山岩系、晚白垩世-古近纪陆相伸展盆地之下（董树文等，1994；李培军和夏邦栋，1995；朱光等，1999）。与大别造山带相邻的上三叠-中侏罗统主要出露于宿松-月山一线。

上三叠统黄马青群包括下部的黄马青组、铜头尖组和上部的范家塘组、拉犁尖组，自下而上可分为沉积于海相向陆相过渡环境的杂色岩段、内陆湖盆环境的红色岩段和沼泽相的含煤岩段（董树文等，1994；李培军和夏邦栋，1995）。黄马青群沉积厚度变化大，沉积中心位于沿江附近（图 3）。

下-中侏罗统象山群下段磨山组以砂页岩夹薄层煤层为特征，具底砾岩，沉积环境为内陆河流-湖泊-沼泽相，垂向上表现为河、湖相频繁交替。象山群上段罗岭组沉积物主要为红色的砂、页岩，以湖泊相沉积为主，间有河流相沉积（董树文等，1994；李培军和夏邦栋，1995）。

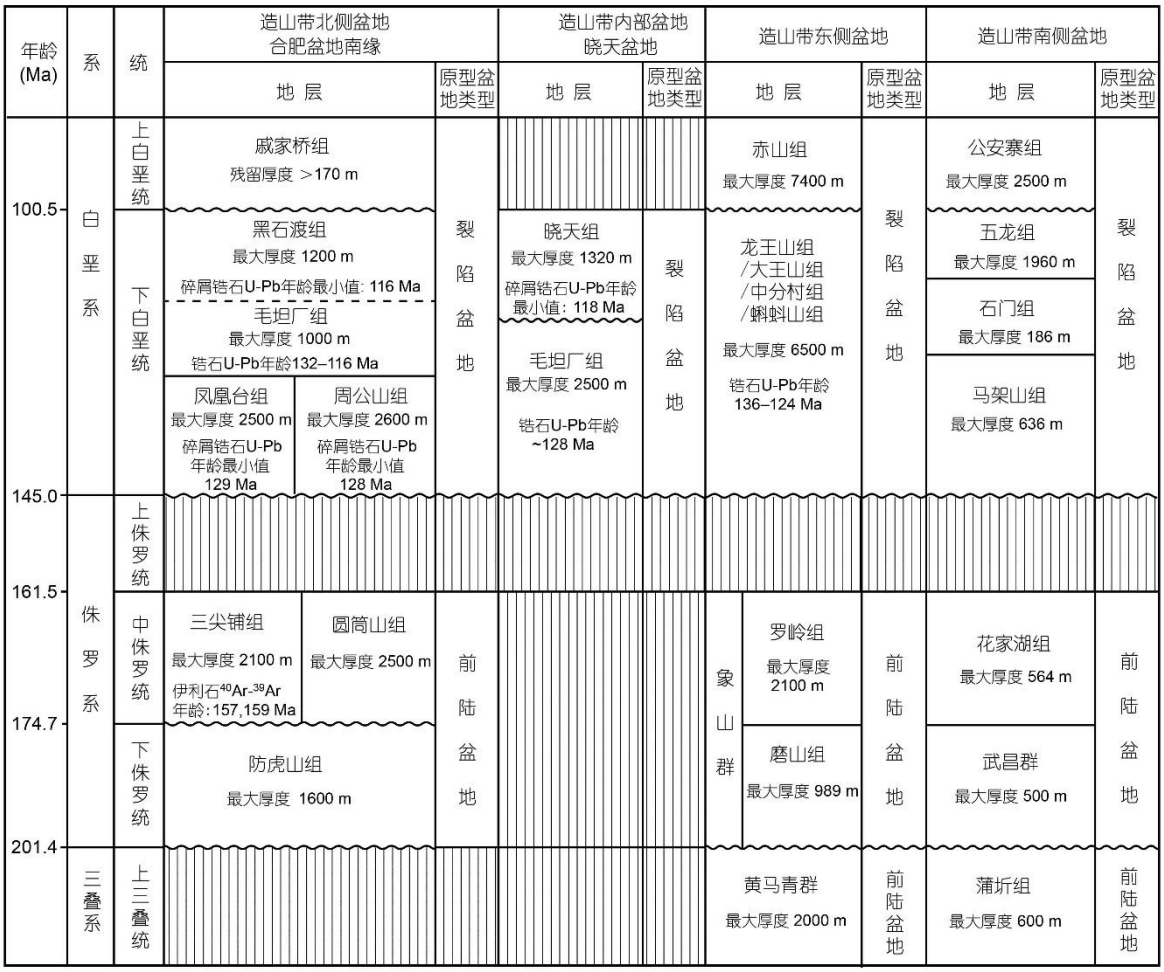


图 4 大别造山带周缘及内部盆地地层对比表。地层特征及划分依据：董树文等，1994；李培军和夏邦栋，1995；李忠等，2000，2002；吴海权等，2002；王岳军等，2002；Liu 等，2003，2005；Fan 等，2004；Li 等，2005；Meng 等，2007；Wang 等，2009；Zhu 等，2009，2017；Yang 等，2010；Wang 等，2021

2.3.3 造山带南侧盆地

大别造山带南侧的上三叠统-侏罗系主要出露于沿江黄石-武穴地区（图 2），由下而上依次为上三叠统蒲圻组、下侏罗统武昌群和中侏罗统花家湖组（李忠等，2002；Yang 等，2010；Deng 等，2024），上覆下白垩统马架山组火山岩系（图 4）。上三叠统蒲圻组岩性主要为灰绿色-紫红色粉砂质泥岩、泥岩夹中-薄层粉砂岩组合，含钙质结核，为高位体系域海陆交互相沉积。下侏罗统武昌群由灰色厚层砂岩、黄灰色中厚层粉砂岩、砂质泥岩和灰色中厚层状泥质粉砂岩和泥岩组成，表现为曲流河沉积序列。中侏罗统花家湖组下部为粗砂岩到细砂岩和粉砂岩的向上变细旋回，上部为薄层粉砂岩和粉砂质泥岩，属于辫状河沉积序列（李忠等，2002）。下-中侏罗统紧邻襄樊-广济断裂南侧出露，地层普遍因褶皱而变陡，广泛发育倾向 N 或 NE 的面理（Schmid 等，1999）。

3 大别造山带岩石圈结构

大别造山带现今总体呈现为地壳规模的穹窿，以北大别单元为核心，其他构造-岩石单元以构造堆叠的形式分布于其南、北两侧（图 2；Wang 等，1998；Ratschbacher 等，2000；Yuan 等，2003；Faure 等，2003；林伟等，

2013）。北大别单元以南为一套向南东-南-南西倾斜的堆叠岩片（图 5），由下而上依次为角闪岩相片麻岩单元、超高压榴辉岩单元、高压榴辉岩单元、宿松杂岩单元和高压蓝片岩相单元，新元古界-下三叠统海相地层覆盖其上（图 2）。北大别单元北侧为浅变质的北淮阳单元，合肥盆地南缘的中生界掩盖了其北部的部分岩石，从而导致华南、华北板块的深部缝合边界位于合肥盆地中部（图 6a；Faure 等，2003；Hacker 等，2006；林伟等，2013）。

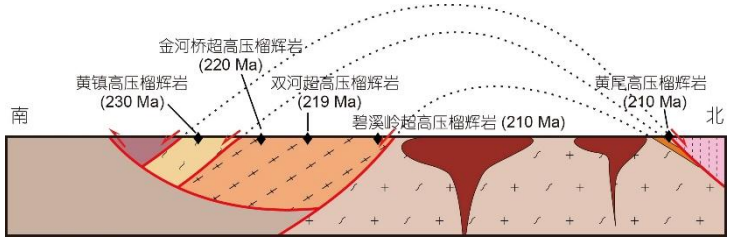


图 5 大别造山带中南部的堆叠岩片及变质年龄的穿时性特征，据 Wang 等（2008）修改。年龄数据为高压-超高压变质岩折返至地壳底部的锆石 U-Pb 年龄结果，来源：Ayers 等，2002；Liu 等，2006；Leech 等，2013 及其引文。图例同图 2。

以商-麻断裂为界，东、西两侧的大别造山带与红安造山带的地壳速度特征存在显著差异（徐佩芬等，2000）。依据现今造山带内岩石空间分布特征，可以推测晚三叠世时大别、红安造山带高压-超高压变质岩呈现为穹窿状展布，其长轴方向呈 WNW-ESE 走向（Hacker 等，2000；林伟等，2013）。早白垩世伸展过程中商-麻断裂两侧经历了差异隆升，东侧的大别造山带隆升幅度更大，导致北大别单元顶部的高压-超高压变质岩被剥蚀殆尽，而西侧的红安造山带则保留了较大规模的高压-超高压岩石（杨坤光等，1999；Ratschbacher 等，2000；林伟等，2013；Zhao 等，2021b）。现今大别造山带地表大面积出露深成岩体，但该特征越过商-麻断裂后消失（图 2），红安造山带白垩纪火山岩也仅集中于其北部边缘，同样表明了大别造山带具有更大的隆升幅度。

大别造山带现今岩石圈厚度约 78 km（杨文采，2003），平均莫霍面深度为 36 km，最大深度位置位于造山带北缘的晓天-磨子潭断裂下方（刘福田等，2003；Yang 和 Li，2018），可达 42 km，显示大别造山带腹地仍保留有 6–8 km 厚的山根（Wang 等，2000；Dong 等，2004）。与华南板块北缘和华北板块东南缘相比，大别造山带莫霍面的深度变化幅度并不大，地震层析成像结果中也不显示存在有三叠纪深俯冲作用导致的加厚山根（He 和 Zheng，2018），指示了碰撞后山根去除事件的发生（李曙光等，2013）。

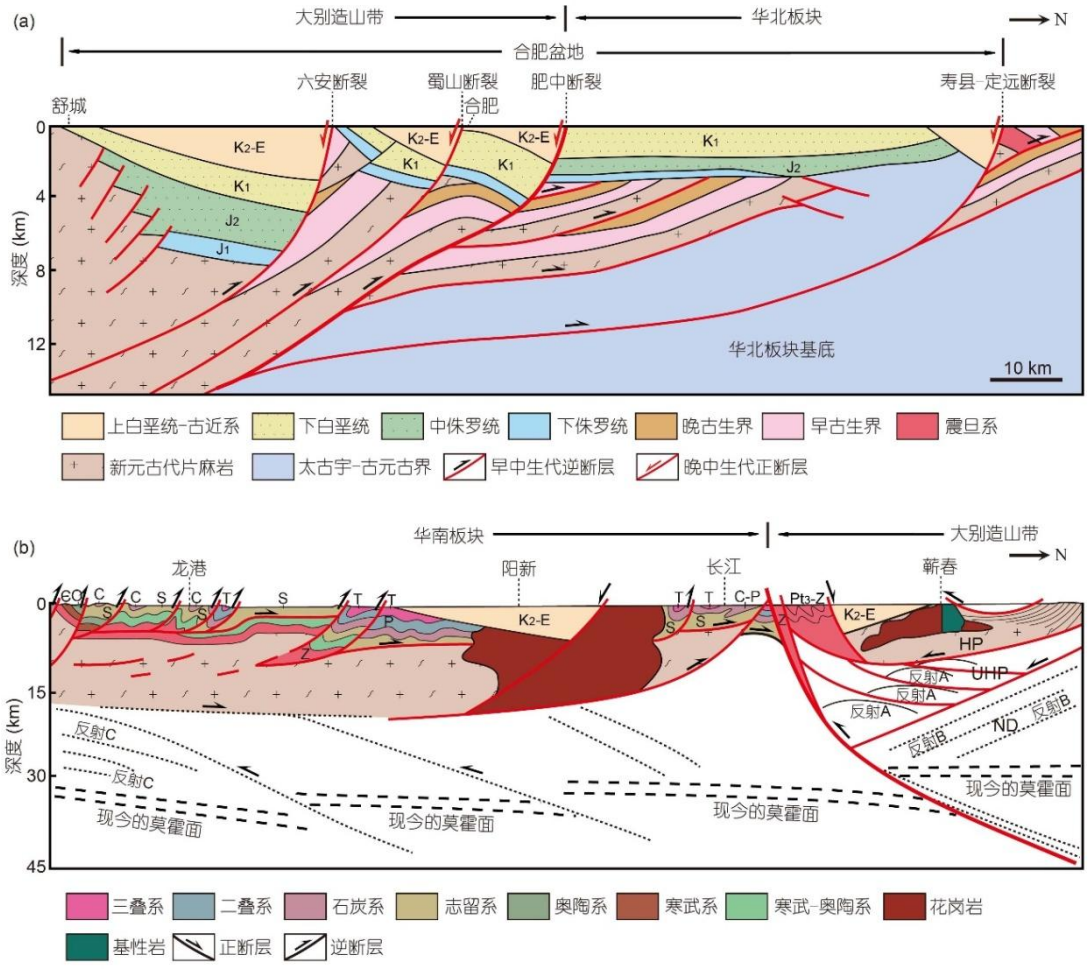
大别造山带地壳结构具有莫霍面垂向错断、壳内发育高速穹隆构造、中-上地壳发育低速层的鲜明特点（刘福田等，2003；闫诚等，2020）。总体北倾的莫霍面代表了残留的俯冲构造，记录了早中生代华南板块向北俯冲于华北板块之下（Yuan 等，2003；Dong 等，2004）。造山带南侧的莫霍面深部陡变带，指示华南板块与大别造山带的深部缝合线位于襄樊-广济断裂以北。襄樊-广济断裂与晓天-磨子潭断裂深部的莫霍面不连续指示了深达地幔的高角度逆冲断层（Dong 等，2004），其形成机制则可能与超高压岩石的折返通道有关。造山带 5-30 km 深度的地壳内存在一个向北倾斜、速度值达 6.5–6.6 km/s 的高速体，向下与下地壳物质相连，推测其为地壳中残留的超高压变质岩（徐佩芬等，2000），其厚度不超过 8 km（杨文采，2003）。

大别造山带北部的晓天-磨子潭断裂分割了浅变质的北淮阳单元和广泛混合岩化的北大别单元（图 2），在上地壳表现为北倾的低角度正断层，向下转变成向南陡倾的逆冲断裂（赵宗举等，2000；杨文采，2003）。与秦岭造山带内构造单元的对比显示，该断裂是古特提斯洋闭合后的三叠纪陆-陆碰撞缝合线（Hacker 等，2006；Ratschbacher 等，2006；许志琴等，2015；Zhu 等，2017）。构造、岩石、地球物理等资料综合显示，晓天-磨子

222 潭断裂带是被强烈改造了的三叠纪碰撞缝合线（Hacker 等，2000；刘福田等，2003；Dong 等，2004），属于同碰
223 撞阶段深俯冲岩石折返过程中的俯冲通道顶界断裂（郑永飞等，2013），晚中生代时叠加了变质核杂岩的伸展拆
224 离断层活动（Wang 等，2011；Lin 等，2015；Ji 等，2017）。六安断裂、肥中断裂等盆地基底断裂向南倾斜，倾
225 角逐渐变缓，逐渐延伸至晓天-磨子潭断裂带下方。这些断裂的逆冲活动导致北淮阳单元内的卢镇关群和佛子岭
226 群向北延伸，使得位于下部的卢镇关群掩盖于华北板块南缘的太古宙五河群和古元古界凤阳群之上（图 6a；赵宗
227 举等，2000）。但考虑到华南、华北板块之间可能存在一个类似北秦岭的地块（Zhu 等，2017），因而深部地壳可
228 能具有更复杂的岩石接触关系。

229 大别造山带南侧由北向南逆冲的前陆褶皱-冲断带向东尖灭于武穴地区，向西则呈楔状在桐柏、秦岭造山带
230 南侧逐渐变宽（Li 等，2010a；Liu 等，2015a）。大别造山带前陆褶皱-冲断带仅在长江以北几公里的范围内出露，
231 向南则转变为由南向北逆冲的褶皱-冲断带，两者大致沿长江形成对冲构造带。但在地壳深部，由北向南逆冲的
232 逆冲构造可向南延伸至幕阜山北缘（图 6b；Dong 等，2004），指示了早-中侏罗世华南板块地壳变形的叠加。

233 大别造山带向东越过郯庐断裂带，莫霍面深度明显减薄，郯庐断裂带下方莫霍面呈现上拱的形态，厚度约为
234 29 km（Wang 等，2000）。郯庐断裂带呈截然的形态分割了大别造山带和下扬子地区的地形地貌，在地表呈现为
235 正断层，控制了东侧盆地内白垩系-古近系的发育（Zhu 等，2005）。



236
237 图 6 大别造山带及其周缘地区地震剖面。（a） 合肥盆地深部地震剖面，据赵宗举等（2000）及刘少峰和张国伟
238 （2013）修改；（b）大别造山带南缘及前陆地区地震剖面，据 Dong 等（2004）及 Li 等（2010a）修改。剖面位
239 置标于图 1。HP: 高压变质岩；UHP: 超高压变质岩；ND: 北大别单元

4 大陆俯冲和高压-超高压岩石折返

4.1 华南、华北陆-陆碰撞和超高压变质作用

华南、华北板块的陆-陆碰撞过程起源于东古特提斯洋分支的闭合（Hacker等，2006；Ernst等，2007；Zhang等，2009；许志琴等，2015；Dong等，2021）。相对于华北板块北缘广泛发育中元古代、古生代、三叠-中侏罗世岩浆作用，华北板块南缘却缺失这些时代的岩浆作用（Zhang等，2014），表明华南、华北板块的拼合过程并不仅是简单的大洋板块俯冲和随后的华南板块俯冲作用。位于两板块缝合边界西部的秦岭造山带内发育明显的早古生代岩浆作用（王晓霞等，2015；Wu和Zheng，2013；Dong和Santosh，2016），代表了早古生代大洋板块的俯冲。二郎坪洋向南俯冲于北秦岭地体之下很好地解释了华北板块南缘不发育古生代岩浆活动的现象（Dong和Santosh，2016；刘晓春等，2015）。利用详细的碎屑锆石年龄证据，Zhu等（2017）揭示了大别造山带存在类似于秦岭造山带的北秦岭地体和二郎坪洋，二郎坪洋向南俯冲于北秦岭地体之下，古生代岩浆活动发生于北秦岭地体内而不是华北板块南缘（图7）。随后，古特提斯洋俯冲再次在北秦岭地体内形成岛弧岩浆岩（刘贻灿等，2021；Wang等，2022），并发育佛子岭群和石炭系弧前沉积序列。佛子岭群沉积过程中由被动大陆边缘环境向活动大陆边缘转变的岩石学和地球化学证据（柴广路和李双应，2016）很好地证实了上述演化模式。

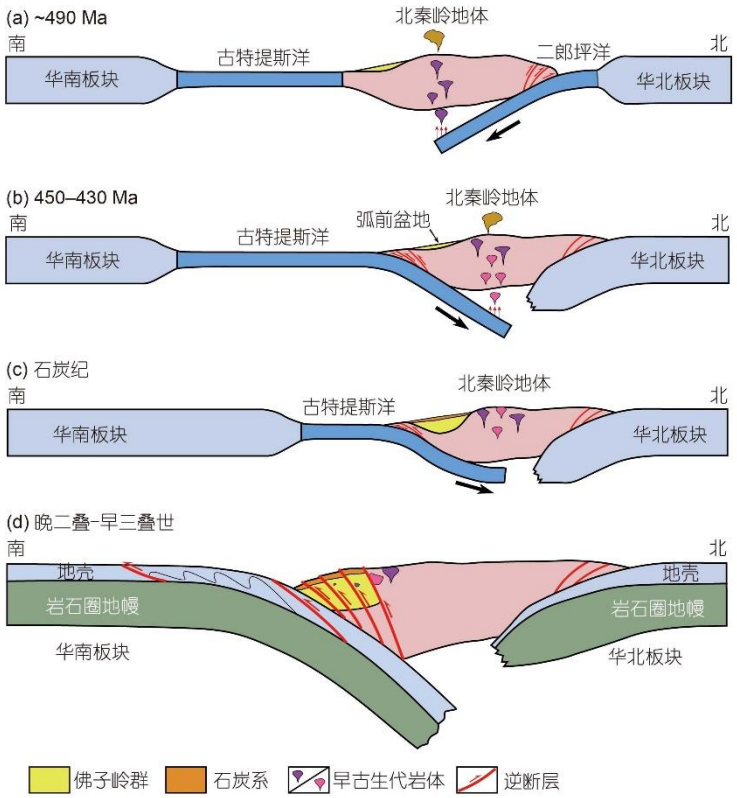


图 7 大别造山带前三叠纪构造演化模式图，据 Zhu 等（2017）和 Wang 等（2022）修改

大别造山带内不存在蛇绿混杂岩，华北板块南缘也不发育代表大洋板块俯冲产物的火山-沉积建造（Zhang等，2014），导致华南、华北板块间的缝合线位置长期处于争议中。随着研究程度的不断提高，北淮阳单元部分岩石被发现掩盖于合肥盆地沉积物之下（Li等，2005；Meng等，2007；Liu等，2010；石永红等，2014），地震剖面中一系列南倾的合肥盆地基底断裂导致造山带物质向北延伸（赵宗举等，2000；刘少峰和张国伟，2013），指示华

南、华北板块的缝合线可能位于合肥盆地内近东-西向的肥中断裂一带。造山带内岩石原岩主要来自华南板块（Zhai等，1995；Rowley等，1997；Hacker等，1998；Zheng等，2006；Xia等，2013；Prave等，2018）、前陆褶皱-冲断带主要位于华南板块北缘（Zhu等，2009；Li等，2010a；Liu等，2015a）、深部地球物理证据（Wang等，2000；Yuan等，2003；Dong等，2004）等指示了华南板块俯冲于华北板块之下的俯冲极性。

作为华南、华北板块陆-陆碰撞最典型的产物之一，大别造山带记录了碰撞的起始及详细的陆-陆碰撞过程。东古特提斯洋分支的闭合呈现为东早西晚的趋势（Zhao和Coe，1987；许志琴等，2015；Dong等，2021），位于东端的大别造山带的碰撞起始时间最早。古环境证据显示，古特提斯洋在中二叠世时由开放大洋转变为封闭大洋（Zhang等，2018），表明古特提斯洋分支在该时期开始闭合。因而，大别造山带陆-陆碰撞的起始应对应于古特提斯洋古环境转变的开始。多种同位素定年方法的应用，尤其是锆石微区中矿物组合鉴定与U-Pb定年相结合的方法，揭示了造山带内变质岩的进变质年龄主要介于260–242 Ma之间（图8）。目前大别造山带内获得的最大年龄来自浅变质的北淮阳单元，分别为~260 Ma的白云母^{40}Ar-^{39}Ar年龄（林伟等，2005）和~266 Ma的榍石、金红石U-Pb年龄（Zhao等，2023）。这些年龄结果与中二叠世古环境转变时间吻合，且早于桐柏造山带内陆-陆碰撞的起始时间（~256 Ma；Cheng等，2011），表明华南、华北板块陆-陆碰撞的起始时间应不晚于~266 Ma。

但到目前为止，关于华南、华北板块的陆-陆碰撞过程的认识仍不统一，多种碰撞模式被提出。基于二叠-三叠纪时华南、华北板块之间存在~67°的夹角，旋转碰撞模式被提出（Zhao和Coe，1987；Gilder等，1999）。根据郯庐断裂带左行平移和Honam断裂右行平移的协同演化，Yin和Nie （1993）提出了华南板块向北楔入的碰撞模式。基于线性航磁异常、地表地质观测和深地震剖面的综合解释，Li（1994）提出了华南板块壳-幔拆离（鳄鱼嘴形式）碰撞模式。Wang等（2003）基于逆冲断层随造山带弯曲的现象提出了山弯构造模式。基于华南、华北碰撞边界中大别造山带处洋盆闭合时间更早、大陆俯冲演化时间更长以及区别于西部的大规模超高压岩石的发育，Liu等（2015b）提出了斜向关闭模式。鉴于郯庐断裂带起源于华南、华北板块陆-陆碰撞过程中（Yin和Nie，1993；Li，1994；Gilder等，1999；Zhu等，2009），陆元超等（2022）在综合分析了现有郯庐断裂带起源机制的基础上，认为大别造山带北部的华北板块原始存在着向南的突出体，与华南板块发生嵌入式碰撞并导致俯冲板片撕裂，从而形成两大陆间的斜向会聚。位于华北板块东南部的徐-淮弧形逆冲带和华南板块九江地区的弧形褶皱带（图1），被认为分别代表了苏鲁造山带和大别造山带点碰撞的产物（Zhu等，2009；Shu等，2017；陆元超等，2022）。

大别造山带变质成因柯石英（Wang等，1989；Okay等，1989）和微粒金刚石（Xu等，1992）的发现，表明华南板块可俯冲至120 km的地幔深部发生超高压变质作用（Xu等，2005；郑永飞，2008）。但由于超高压变质作用、折返阶段和碰撞后变质-变形作用的强烈改造，造山带内榴辉岩及其围岩片麻岩中记录的俯冲阶段构造变形信息已基本被抹除，仅有少量俯冲相关的信息记录在浅变质的岩石中。北淮阳单元主要经历了绿片岩相变质，被认为是形成于较浅俯冲（林伟等，2005；Tang等，2024）或俯冲阶段加积增生作用（Zheng等，2005）中的构造-岩石单元。佛子岭群岩石中存在一期优选方位近N-S向或NE-SW向的矿物拉伸线理，表现为上盘向S或向N的剪切指向特征，可能代表了板块会聚阶段的变形（林伟等，2005）。

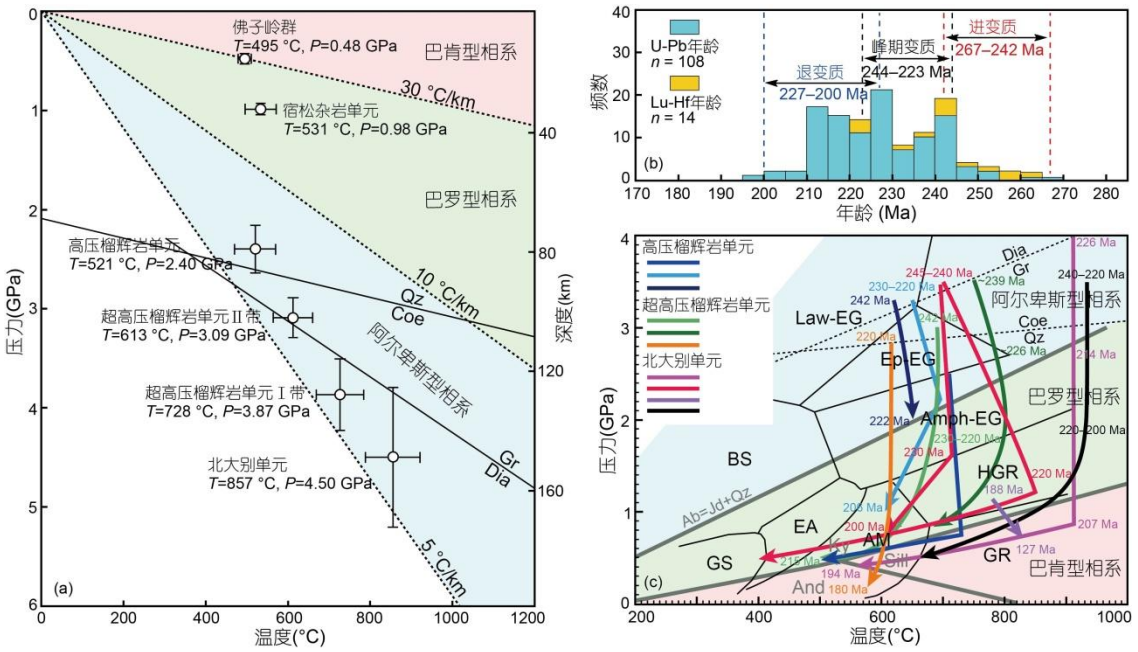


图8 大别造山带变质作用条件和时间汇总图。（a）造山带内各构造-岩石单元峰期变质条件，据Tang等（2024）修改。（b）深俯冲岩石变质年龄汇总柱状图，据陆元超等（2022）修改，年龄结果来自Li等（2000）、Ayers等（2002）、陈道公等（2003）、Liu等（2006）、Wawrzenitz等（2006）、Gao等（2011）、Jian等（2012）、Wang等（2012）、Leech和Webb（2013）及其引文、Zhang等（2023）。（c） 部分深俯冲岩石P-T轨迹，据张强强等（2023）修改

大陆岩石圈俯冲至地幔深处发生高压-超高压变质作用，导致榴辉岩及其中超高压指示矿物的形成（Wang等，1989；Okay等，1989；Xu等，1992）。大别造山带内深俯冲岩石的高压-超高压峰期变质作用的发生时间总体介于244–223 Ma之间（图8）。华南板块在俯冲过程中发生了俯冲板片解耦（图8；Hacker等，2000；Wang等，2008；刘贻灿和李曙光，2008），被切割成多个不同的岩片（图9），导致其经历了不同的峰期变质的温-压条件，最终形成现今造山带内不同的构造-岩石单元。地质温压计、热模拟结果显示（图8），北大别单元变质作用条件为T = 850–1020 ℃，P = 4.0–4.5 GPa（Xu等，2005；古晓锋等，2013；Xia等，2023）。超高压榴辉岩单元的变质条件为T = 570–830 ℃，P = 2.8–5.2 GPa（Wei等，2013，2015；石永红等，2013）。超高压榴辉岩单元通常按照变质条件被划分为I带和II带，其中II带的温压条件明显低于I带，但两者间的边界如何划分仍存在不同观点（Wei等，2013，2015；石永红等，2013；Tang等，2024）。高压榴辉岩单元的变质作用条件为T = 470–570 ℃，P = 2.2–2.7 GPa；宿松杂岩单元的变质作用条件为T = 450–555 ℃，P = 0.8–1.2 GPa（石永红等，2013）。位于造山带北部的佛子岭群温压条件最低，为T = 467–519 ℃，P = 0.4–0.6 GPa（Tang等，2024）。目前在佛子岭群中也发现有少量温压条件相对较高的变质岩（T = 535–645℃，P = 0.6–1.0 GPa；Tang等，2024）。但考虑到佛子岭群岩石仍残留有清晰的沉积构造特征和其中明显较小的矿物粒度，本文仍选择沿用其绿片岩相变质条件（图8）。

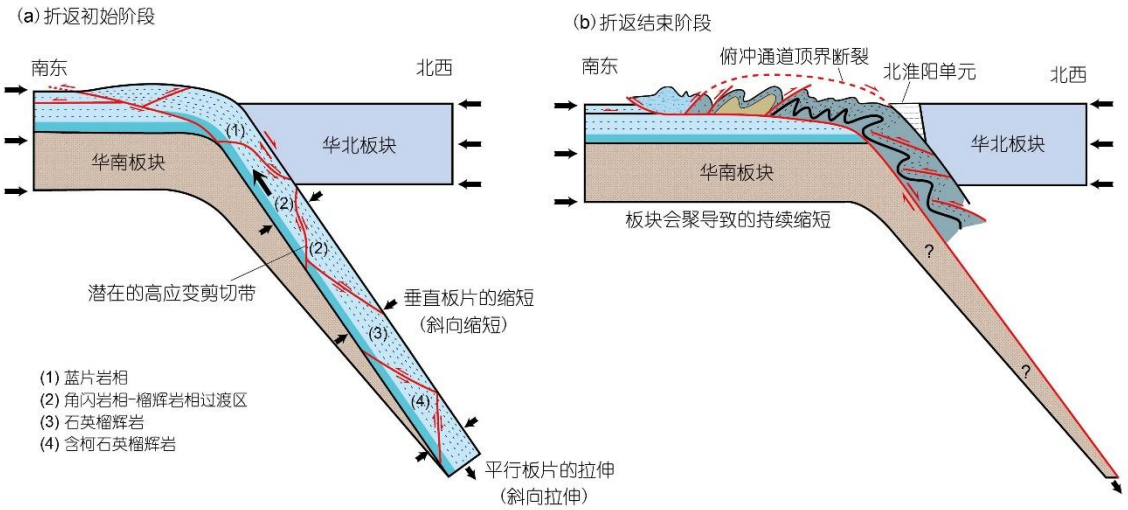


图9 大别造山带俯冲板片解耦及多板片折返示意图，据Hacker等（2000）修改

4.2 高压-超高压岩石折返过程和机制

超高压变质岩如何从地幔深处返回地壳浅部涉及到固体地球不同圈层变形的协同演变，其过程和机制一直是大陆动力学研究中的科学难题。全球超高压地体总体可分为两大类（Kylander-Clark等，2012；郑永飞等，2013）：一类是演化缓慢的大型地体（可达10–30 Ma），另一类是演化时间较短的小型地体（＜10 Ma）。大别-苏鲁造山带的超高压岩石出露面积可达30000 km^2，是演化缓慢的大型地体的典型代表之一，也是全球高压-超高压变质岩研究的热点地区。

大别造山带高压-超高压变质岩的同碰撞折返过程主要介于227–210 Ma之间（图8），表现为向SE方向的逆冲叠置（图10）。该折返方向与华南板块晚三叠世持续的向NW方向的运动（Faure等，2003；Liu等，2015b；Xue等，2021）和NW-SE向挤压作用相对应。高压-超高压变质岩的同碰撞折返包括两期构造变形（Faure等，2003；索书田等，2004；林伟等，2013；李沛东等，2024）：第一期变形表现为近南-北向的折返，岩石中发育有N-S向或NE-SW向的矿物拉伸线理，沿该方向的线理，岩板顶（北）部岩石变形的运动学为上盘向N或NE的剪切变形，岩板底（南）部的变形表现为上盘向S或SW的剪切变形，面理化榴辉岩中发育含拉伸线理的透入性面理及网络状韧性剪切带（索书田等，2004；Zhang等，2009b）；第二期变形表现为NW-SE的矿物拉伸线理和沿此线理发育的上部指向NW的剪切变形，发生于角闪岩相退变质环境中，应变集中于片麻岩、片岩、大理岩等非能干层，强度较高的榴辉岩成为构造透镜体（李沛东等，2024）。第二期变形是深俯冲岩石折返阶段的主变形期，导致大别造山带内无论是在北淮阳单元的变质砂岩、板岩、大理岩、千枚岩还是在高压-超高压榴辉岩单元中的片麻岩、角闪岩、榴辉岩中均可观察到清晰而稳定NW-SE向矿物拉伸线理和上盘向NW的剪切变形（Hacker等，2000；Faure等，2003；索书田等，2004；林伟等，2013；李沛东等，2024）。

为了解释高压-超高压岩石如何从地幔深处返回地壳浅部，多种折返模式被提出。大别造山带现有的折返模式大多认可高压-超高压变质岩在华南板块持续的俯冲挤压下向上折返的机制，主要表现为构造挤出与浮力驱动的共同作用。Okay和Şengör（1992）认为华南板块俯冲形成的造山带岩石圈根发生拆沉，持续的南北向挤压导致超高压岩石向上折返。Maruyama等（1994）强调了持续的挤压作用导致超高压岩石呈楔状从深部斜向挤出。索书田等（2000）认为超高压变质岩先向上挤出，而后经历长时期伸展流动形成超高压变质地体区域构造样式。Hacker等（2000）提出在大别造山带西部存在一个枢纽，一系列构造岩片在浮力驱动下沿枢纽顺时针旋转的折返

模式。Wang等（2003）认为在造山带弯曲过程中，高压-超高压岩石向东挤出。Faure等（2003）提出同碰撞折返阶段早期高压-超高压岩石以晓天-磨子潭断裂为北界向上挤出，晚期表现为穹窿状隆升折返；在此基础上，林伟等（2013）结合浒湾剪切带上盘向N或NE运动的特征，将早期折返归结为构造型式高度类似俯冲隧道的同碰撞伸展。Zheng（2012）将俯冲隧道模型应用于大别造山带，大陆俯冲隧道中的角力流驱动了高压-超高压变质岩的差异性折返。

俯冲隧道是指汇聚板块边缘下伏俯冲板片与上覆板片之间的自由空间及其中的物质（郑永飞等，2013），通常由隧道内物质与相邻板块的相对运动边界所限定（Stöckhert，2002）。俯冲隧道模型最初被提出用来解释大洋俯冲带的形成和演化（Cloos和Shreve，1988），之后被拓展应用于大陆俯冲带（Gerya等，2002；Ganne等，2006；Zheng，2012）。俯冲隧道模型有助于更好地了解折返过程中的流体-熔体活动、水-岩相互作用（郑永飞等，2013）以及大陆岩石圈不同层间的变形特征（Agard等，2018）。李沛东等（2024）在大别造山带超高压榴辉岩单元北部发现了一个上盘向NW剪切的千米尺度的榴辉岩相鞘褶皱，详细的构造解析表明同碰撞阶段早期折返变形符合俯冲隧道模型（林伟等，2013；李沛东等，2024）。

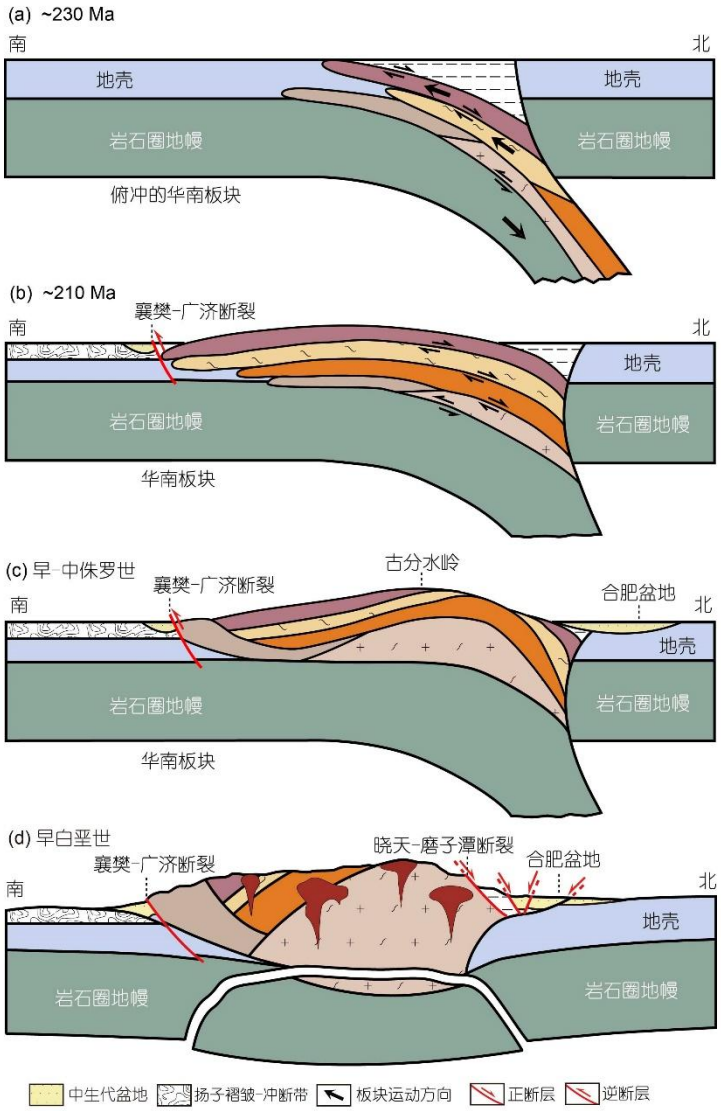


图10 大别造山带深俯冲岩石多阶段折返示意图

与苏鲁造山带相比，大别造山带缺失同碰撞阶段岩浆活动（Zhao 等，2017）。但橄榄石、辉石等名义上的无水矿物也含有微量的结构水（章军锋等，2000），微量 CO_2 的加入即可大幅降低橄榄岩的熔点，从而导致部分熔融的发生（章军锋等，2015）。而且，深俯冲陆壳折返早期表现为近等温降压过程，超高压岩石中发生多硅白云母降压脱水（Xia 等，2023），导致长英质熔体的形成和硬玉石英岩的发育（Gao 等，2015）。榴辉岩及其围岩片麻岩中明显的变质锆石生长也是熔/流体活动的指示（Chen 等，2015）。包含有含水矿物的超高压变质岩的部分熔融会显著影响深俯冲地壳的流变学性质，进而对启动超高压岩片的快速折返发挥关键作用。而且，即使是“干”的超高压岩石在高温（>850℃）变质条件下也可以发生部分熔融（Sawyer 等，2011；Zheng 等，2011）。减压熔融是大陆碰撞带高压-超高压岩石折返期间深熔作用的主要表现形式（Zheng 等，2011；Groppo 等，2015；Zhang 等，2023）。部分熔融可以显著降低超高压岩石的力学强度，从而促使俯冲陆壳内部的拆离和超高压岩石的折返（Labrousse 等，2015）。大别造山带超高压变质岩中记录了 225–205 Ma 折返过程中的降压脱水作用（Zheng 等，2011；Gao 等，2015）及 225–210 Ma 的部分熔融（Chen 等，2012；Xia 等，2023）。降压脱水产生的流体活动导致超高压变质岩的强度显著降低，榴辉岩与围岩一起发生透入性韧性变形（钟增球和索书田，2007；李沛东等，2024）。

随着俯冲大陆板块前端的大洋板块的断离，俯冲的大陆地壳在浮力及俯冲隧道内构造作用下，从地幔深度通过岩片逆冲折返至莫霍面深度堆垛，形成不对称的推覆体（图10；Faure等，2003；索书田等，2004；Liu等，2007；Wang等，2008），由上而下依次为宿松杂岩单元、高压榴辉岩单元、超高压榴辉岩单元、北大别杂岩单元和角闪岩相大别杂岩单元，在早白垩世穹窿状伸展过程中被改造为由南向北依次出露（图2）。持续的减压折返与折返过程中的降压脱水导致了岩石的角闪岩相退变质（游振东等，2000；Chen等，2012；林伟等，2013；李沛东等，2024），榴辉岩的有效黏度明显升高（顾筱彤和王勤，2020），促进了超高压变质岩快速折返。

大别造山带进变质、超高压峰期/退变质以及高压榴辉岩相退变质的锆石U-Pb年龄均具有从南向北变年轻的穿时性特征（图5；Wang等，2008；刘贻灿和李曙光，2008），表明堆垛在地壳底部的折返岩片呈现为由上向下折返时间依次变年轻的上驮式折返，从而导致了折返岩片中广泛的上盘向NW的剪切变形。这种穿时性特征不仅表现在大别造山带纵向方向上，而且沿造山带横向上在红安、大别、苏鲁造山带高压-超高压变质岩中普遍存在（刘晓春等，2013）。穿时性特征的形成与造山带内俯冲板片解耦以及多板片折返过程密切相关。与造山带内俯冲板片解耦之后的北大别单元长时间处于地幔深处，记录了相对较晚的峰期变质时间（~226 Ma；Liu等，2011；Deng等，2021），经历了超高温超高压变质作用和折返阶段高压榴辉岩相、麻粒岩相变质作用的叠加，明显不同于高压-超高压榴辉岩单元的近等温降压的折返过程。

5 侏罗纪陆内造山作用

晚三叠世同碰撞折返阶段，高压-超高压变质岩完成了由地幔深度到地壳底部的上升过程，在早-中侏罗世则由地壳底部上升至地壳浅部（Li 等，2000；董树文等，2005；Wang 等，2008），因而早-中侏罗世也通常被作为大别造山带内高压-超高压变质岩向上折返的第二阶段。高压-超高压榴辉岩中 190–170 Ma 的 Rb-Sr 年龄、^{40}Ar-^{39}Ar 年龄揭示了早-中侏罗世隆升事件的发生（陈江峰等，1995；Hacker 等，1998；Li 等，2000）。北大别单元超高温变质岩由于长时间处于地幔深处，其由地幔向地壳的折返仍可持续至早侏罗世初（Liu 等，2007）。北大别单元内中等深熔混合岩记录了 200–192 Ma 以脱水熔融为主的深熔作用（Chen 等，2015）；镁铁质麻粒岩记录了~188 Ma 的深熔事件，其锆石域中石榴石+单斜辉石 ±石英的矿物组合指示其在早侏罗世时仍处于高压条件下（Gao 等，

2017）。该期早-中侏罗世隆升事件同样存在于西侧的红安造山带中，表现为区域挤压背景下的局部伸展活动（Li 等，2010b）。

但现今大别造山带内部普遍缺失侏罗纪岩石，仅靠零星的年代学结果难于有效识别侏罗纪构造。而造山带周缘盆地充填了来自邻近造山带的碎屑物质，是山脉隆起和剥蚀历史的关键记录者（Naylor 和 Sinclair，2008）。因而，作为大别造山带隆升剥蚀物质的沉积空间，其周缘盆地内充填的沉积物碎屑成分有效地记录了造山带内各构造-岩石单元不同时期在地表的出露状况（Wang 等，2009；Yang 等，2010；Qian 等，2016；Zhu 等，2017；Wang 等，2021）、高压-超高压变质岩初始剥露（Grimmer 等，2003；Li 等，2005）等信息。并且，造山带周缘盆地沉积地层的发育也为侏罗纪构造事件的识别提供了载体。

位于大别造山带北侧的合肥盆地形成于早侏罗世，其基底断裂为近东-西向发育的逆冲断层（赵宗举等，2000；Meng 等，2007；Liu 等，2010）。盆地南缘下侏罗统防虎山组岩石中含柯石英包体的碎屑锆石以及碎屑锆石定年结果中三叠纪主年龄峰的出现，指示早侏罗世时造山带北侧的超高压岩石已开始出露地表（Li 等，2005）。下、中侏罗统均表现为冲积扇相沉积序列（Li 等，2005；Meng 等，2007；Liu 等，2010），总体显示粗-细-粗碎屑旋回，碎屑结构在总体成熟度较高的背景下有降低的趋势（李忠等，2002）。基底断裂表现为幕式逆冲活动，逆冲断层与侏罗系沉积地层相互贯穿（赵宗举等，2000；刘少峰和张国伟，2008），反映了合肥盆地南缘早-中侏罗世呈现为区域挤压体制下的挠曲下陷。下侏罗统的碎屑物质来源为早古生代岛弧岩浆岩、高压-超高压变质岩和宿松杂岩单元的混合（王勇生等，2020），中侏罗统则转变为单一的高压-超高压变质岩（Wang 等，2021；Deng 等，2024）。该转变表明在造山带内古分水岭的北侧，高压-超高压变质岩中侏罗世时已广泛出露地表（刘少峰和张国伟，2013；Wang 等，2021），而其他构造-岩石单元的岩石则已剥蚀殆尽。

大别造山带南侧、东侧盆地晚三叠世晚期到早-中侏罗世发育准平原化陆相碎屑岩及含煤沉积（李培军和夏邦栋，1995；李忠等，2002；Liu 等，2003；董树文等，2011），地层物源物质均表现为大别造山带和江南隆起带的混合（Wang 等，2009；Yang 等，2010；Qian 等，2016）。地层岩石的碎屑锆石年龄中缺失三叠纪变质年龄，而以新元古代和古元古代年龄峰为特征，表明大别造山带内的物质并不是来自于高压-超高压榴辉岩单元，而是主要来自于宿松杂岩单元（Yang 等，2010；Wang 等，2021）。综合造山带周缘所有盆地内的物源分析结果，可以推断晚三叠-早侏罗世时宿松杂岩单元应广泛出露于整个造山带范围内（图 10）。

大别造山带南、北缘广泛发育逆冲构造，造山带内变质岩逆掩于周缘盆地沉积地层之上，卷入的最新地层为中侏罗统（图 11；王瑜，1994；刘文灿和王果胜，1999；郭华等，2002；李忠等，2002；江来利等，2003；董树文等，2005；Li 等，2010a；Liu 等，2015a）。这些逆冲构造从上世纪 80 年代开始就已受到广泛关注（张廷秀，1987；郝杰和刘小汉，1988；朱志澄等，1989；Xu 等，1992）。造山带北缘北淮阳单元中发育一系列逆冲推覆构造，使得浅变质的佛子岭群逆掩于石炭系和合肥盆地南缘中侏罗统之上，局部可见石炭系逆冲在中侏罗统之上（刘文灿和王果胜，1999；郭华等，2002；Liu 等，2010），形成一系列构造窗、飞来峰和逆掩断层（图 11）。造山带东缘不整合覆盖在古生界-下三叠统之上的上三叠统黄马青群和下-中侏罗统象山群卷入了较强的变形，与上覆白垩系之间表现为区域性角度不整合（朱光等，1999；董树文等，2011）。造山带南缘变形卷入的最新地层为中侏罗统花家湖组，造山带内变质岩逆掩至其南侧的侏罗系之上（李忠等，2002；Li 等，2010a；Liu 等，2015a），与上覆白垩系表现为角度不整合接触。鉴于这些逆冲构造被白垩系不整合覆盖，同时可见推覆体被未变形的早白垩世岩脉侵入破坏，其活动时间被限定为晚侏罗世-早白垩世初。

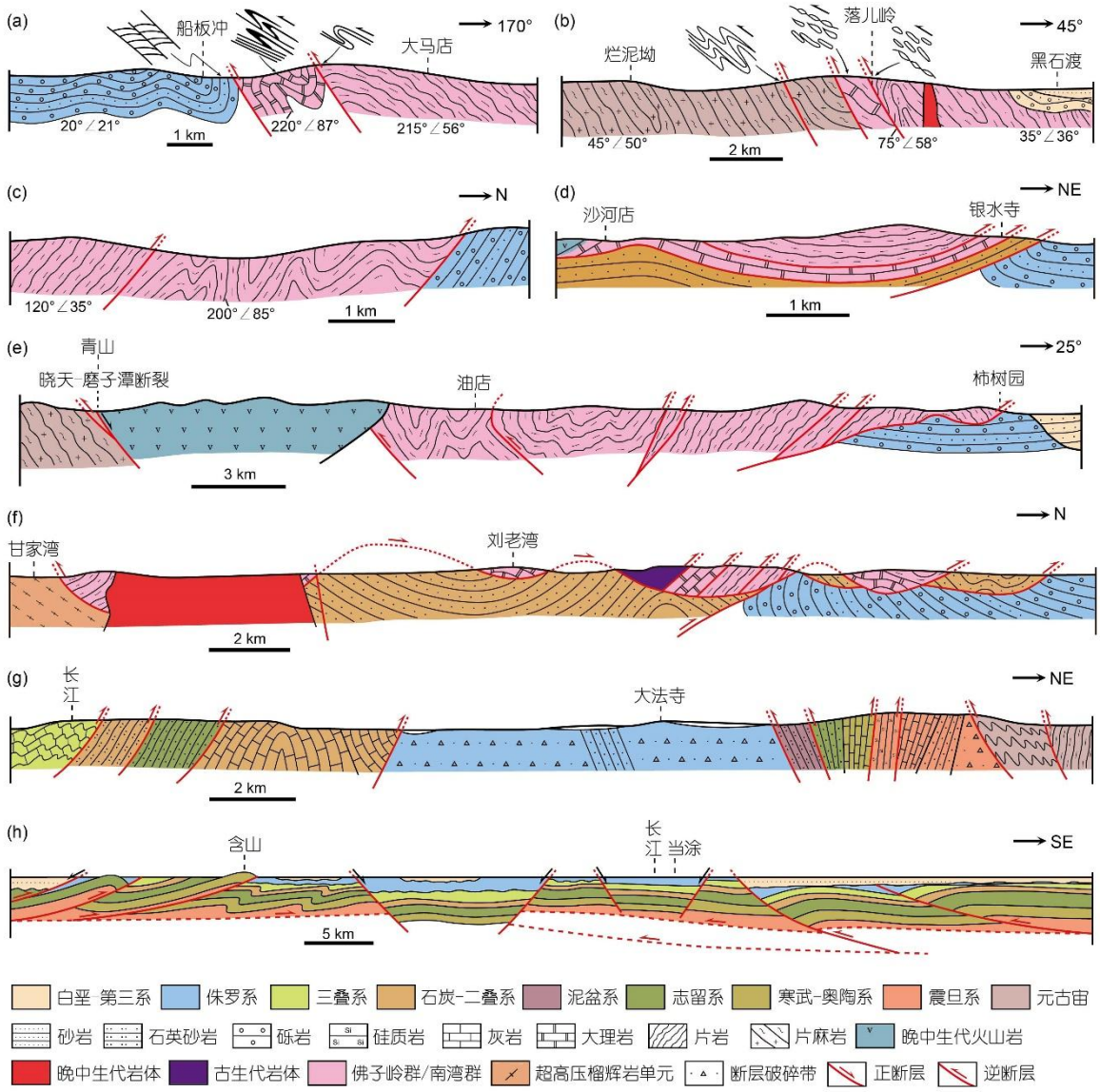


图 11 大别造山带周缘侏罗纪逆冲构造剖面图。（a）安徽金寨船板冲-大马店构造剖面图，据郭华等（2002）；（b）安徽霍山烂泥坳-黑石渡构造剖面图，据郭华等（2002）；（c）安徽金寨滴水岩推覆体中的牵引褶皱，据刘文灿和王果胜（1999）；（d）安徽金寨全军推覆体，据董树文等（2005）；（e）安徽金寨青山-柿树园构造剖面图，据 Liu 等（2010）；（f）河南商城石门冲飞来峰构造剖面图，据刘文灿和王果胜（1999）；（g）湖北武穴大法寺地区对冲构造，据常印佛等（2019）；（h）下扬子地区含山-当涂地质剖面，据李海滨等（2011）。剖面位置标于图 1 和图 2

作为大别造山带东界的郯庐断裂带在晚侏罗世和早白垩世初分别发生过一次左行平移活动（Wang，2006；朱光等，2018；Qiu 等，2023；Zhang 等，2025）。而作为造山带南界的襄樊-广济断裂在碰撞后发生过一期向南的逆冲活动，以低角度逆冲推覆为特点（杨坤光等，2011）。大地电磁成像也显示，襄樊-广济断裂表现出明显的向南逆冲的特征（He 等，2023）。因而，鉴于大别造山带与郯庐断裂带的构造演化的耦合性，大别造山带晚侏罗世-早白垩世初应表现为整体向南的逆冲活动。

大别造山带周缘盆地中一个鲜明的特征是不发育三叠纪陆-陆碰撞相关的磨拉石建造，无论是造山带南缘还是东缘盆地中的上三叠统均呈现为河流相或湖泊相沉积序列（李培军和夏邦栋，1995；李忠等，2002），造山带

北缘盆地则不发育上三叠统。现有的成果认为，早-中侏罗世时大别造山带南界的位置相对于现今应该更靠北，之后的逆冲活动使造山带内变质岩向南逆掩到扬子板块北缘之上，从而导致晚三叠世至侏罗纪盆地几乎被逆冲带掩盖，盆地内地层被褶皱变形（Li 等，2010a；董树文等，2011；杨坤光等，2011；刘少峰和张国伟，2013），造山带南侧的前陆褶皱-冲断带相对于苏鲁造山带明显偏窄。重、磁和地震资料显示，大别造山带东南端两侧岩石具有基本一致的物理性质（He 等，2023）；地震速度剖面和电磁剖面资料显示大别南缘呈薄层状向南逆掩在扬子陆块之上（赵志新和徐纪人，2009），清楚地揭示了碰撞后逆冲活动的存在。

实际上，陆内造山的概念在本世纪初已被提出（邓晋福等，2004；董树文等，2005）。东亚大陆中-晚侏罗世呈现为多向汇聚构造体系，导致古老纬向构造带强烈逆冲复活（董树文等，2019），作为华南、华北板块陆-陆碰撞边界的秦岭-桐柏-红安-大别造山带就是其中之一。秦岭造山带在晚侏罗-早白垩世期间表现为强烈的陆内造山活动（Dong 等，2016）。而大别造山带作为华南、华北板块陆-陆碰撞边界的重要组成部分，其侏罗纪近南-北向的强烈挤压作用（董树文等，2005；Liu 等，2015b）、造山带北侧盆地基底断裂的幕式逆冲（赵宗举等，2000；刘少峰和张国伟，2008）以及造山带周缘盆地下侏罗统与古生界之间的角度不整合（董树文等，1994；朱光等，1999；李忠等，2001；刘少峰和张国伟，2013；Wang 等，2021）均指示了侏罗纪时期陆内造山作用的发生。

与全球范围内其他典型碰撞造山带相比，大别造山带主碰撞期和碰撞后岩浆活动的时间间隔明显偏长。针对显生宙大陆碰撞造山带的总结分析显示，碰撞后岩浆作用的时间一般为主碰撞期后 20–50 Ma（宋述光等，2015；许文良等，2020；张强强等，2023）。大别造山带主碰撞时间为 250–210 Ma（图 7），但直到~130 Ma 时才出现由于山根去除而产生的大规模岩浆活动（赵子福和郑永飞，2009；李曙光等，2013），两者间隔可达~100 Ma。这也表明造山带三叠纪的陆-陆碰撞造山过程和早白垩世岩浆活动之间可能缺乏直接的动力学连接（董树文等，2005），而造成这一现象的原因可能正是侏罗纪陆内造山作用。

古地磁证据显示，华南、华北板块在中-晚三叠世和早-中侏罗世之间经历了~67°的相对旋转（Zhao 和 Coe，1987；Yang 等，1992），中侏罗世以来不再有明显的相对位移，指示晚侏罗世时大别造山带已转变为陆内变形。那么，大别造山带何时由两大陆间的陆-陆碰撞变形开始转变为陆内变形？古太平洋板块的平板俯冲作用在早侏罗世时已成为华南板块构造变形的主控因素，导致整个华南板块产生宽阔的 NE-SW 走向褶皱-断层带（Li 和 Li，2007；李三忠等，2018；李建华等，2024）。造山带南侧扬子前陆褶皱-冲断带地壳深、浅部逆冲活动的解耦（Dong 等，2004）很好地证明了这一点。理论上，古太平洋板块的平板俯冲应该导致大别造山带仍表现为 NW-SE 向挤压。但大别造山带及其周缘的区域应力场由晚三叠世的 NW-SE 向挤压转变为早侏罗世的近南-北向挤压（Schmid 等，1999；Liu 等，2015b），扬子前陆褶皱-冲断带在早-中侏罗世发育了指向南西的宽缓褶皱变形（Li 等，2010a）。这可能与华南板块持续的俯冲与顺时针旋转过程有关。随着华南、华北板块之间洋盆的闭合和华南板块的顺时针旋转，大别造山带的区域应力场由 NW-SE 向挤压被改变为近南-北向挤压（Liu 等，2015b），导致秦岭-桐柏-红安-大别造山带的持续缩短。在秦岭造山带南部，前陆褶皱-冲断带向 S-SW 方向扩展，导致了大巴山弧形构造带的形成（Dong 等，2013；Liu 等，2015b）。松潘-甘孜造山带向 N-NE 向挤压作用的叠加可能增强了华南板块的顺时针旋转。

秦岭造山带在 210–200 Ma 表现为碰撞后伸展（王晓霞等，2015；Dong 和 Santosh，2016），大别造山带高压-超高压变质岩主体于~210 Ma 折返至地壳底部，随后折返速率大幅下降（Li 等，2000）。大别造山带东侧宿松地区可清楚观察到上三叠统细碎屑沉积岩不整合覆盖在强烈变形的古生界之上（朱光等，1999；刘少峰和张国伟，2013；Wang 等，2021），并且上三叠统在邻近造山带的宿松地区和远离造山带的宁镇地区具有类似的沉积相特征

（李培军和夏邦栋，1995；Deng 等，2024）。大别造山带南侧的中扬子盆地充填了比合肥盆地颗粒更细的沉积地层，主要发育早-中侏罗世辫状河三角洲沉积体系，盆地沉降和沉积物供给均小于造山带北部的合肥盆地。所有这些均表明晚三叠世末-早侏罗世初由华南、华北板块陆-陆碰撞产生的挤压作用已基本结束，大别造山带由陆-陆碰撞型大陆边缘变形转变为陆内变形，进入了新的构造演化阶段。近南-北向挤压作用导致秦岭-桐柏-红安-大别造山带呈现为碰撞后的长期缩短（Liu 等，2015b），并在大别、红安造山带北侧发育早-中侏罗世挤压挠曲盆地（图 2；合肥盆地和信阳-潢川盆地）。

值得注意的是，大别造山带北侧发育大规模下-中侏罗统冲积扇相沉积序列而南侧表现为河流-湖泊相。从下侏罗统磨拉石建造的分布局限性和砾石成分的单调性可以看出，该时期属于陆内挤压造山运动初期阶段的表现（刘文灿和王果胜，1999；郭华等，2002）。中侏罗统磨拉石建造广泛分布于合肥盆地南缘，其沉积环境从底部到顶部由山麓冲积相和河流相频繁交替演化，显示了强烈造山运动的发生。在造山带周缘盆地内，北侧合肥盆地内的地层产状相对平缓（Li 等，2005；Liu 等，2003；Meng 等，2007；朱光等，2011），与造山带南侧强烈褶皱变形的侏罗系形成鲜明的对照，可能指示了大别造山带南侧表现为挤压逆冲的前锋带。而且，同碰撞阶段之后郯庐断裂带仅表现为向苏鲁造山带以北延伸拓展（Qiu 等，2023；Zhang 等，2025），指示其动力来源于北部的古亚洲构造域。鉴于华北板块早侏罗世表现为区域性隆升状态（Meng 等，2019）以及侏罗纪时东-西向挤压构造的发育（董树文等，2019），可以推断大别造山带侏罗纪近南-北向挤压应主要来源于古亚洲构造域。

6 白垩纪山根去除和伸展-剥露作用

大别造山带在晚中生代发生了大规模的山根去除，加厚的地壳减薄到厚度小于 40 km（李曙光等，2013），导致了地幔上涌、大规模岩浆活动和成矿作用（赵子福和郑永飞，2009；李曙光等，2013；Gao 等，2016a）、广泛的混合岩化作用（Wu 等，2007；Wang 等，2013；Xu 等，2017；王勇生等，2018），在岩石圈浅部呈现为强烈的穹窿状隆升（Wang 等，1998；王国灿和杨巍然，1998；许长海等，2001；侯泉林等，2007；Lin 等，2015），使得造山带岩石在 140–120 Ma 期间表现为极快速冷却。位于隆升核部的罗田地区隆升幅度超过 20 km（杨坤光等，1999；Ratschbacher 等，2000；王勇生等，2014），导致麻粒岩相变质岩局部出露地表（Wu 等，2008；Gao 等，2017）。

大别造山带晚中生代岩浆活动表现为大规模花岗岩、少量基性-超基性岩体侵位和中-酸性火山岩喷发，导致现今造山带内火成岩出露面积可达 47%（Ratschbacher 等，2000）。镁铁质和花岗质岩浆岩分别为受俯冲陆壳物质改造的造山带岩石圈地幔和俯冲陆壳部分熔融的产物（赵子福和郑永飞，2009；李曙光等，2013），侵位时间主要介于 143–120 Ma 之间（图 12）。中-酸性火山岩则起源于富集岩石圈地幔和俯冲陆壳物质的混合（王岳军等，2002；Fan 等，2004；Dai 等，2016；Gao 等，2016b），喷发时间介于 134–122 Ma 之间（图 12）。碰撞后花岗岩类的化学成分在~130 Ma 发生突变，为山根去除提供了地球化学证据（李曙光等，2013）：早期岩浆活动介于 143–131 Ma 之间，具有埃达克岩性质（Wang 等，2007；Xu 等，2007）；晚期岩浆活动介于 130–120 Ma 之间，不具有埃达克岩性质（He 等，2011；李曙光等，2013）。

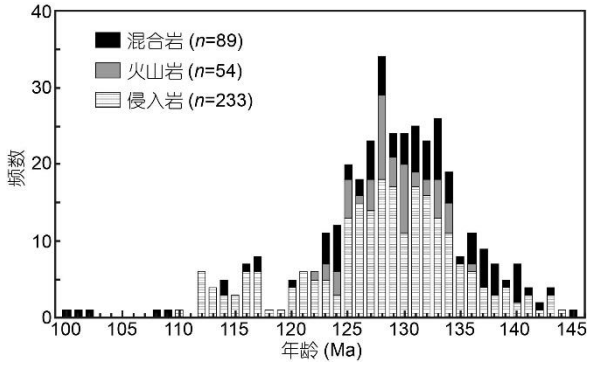


图 12 大别造山带晚中生代岩浆活动和混合岩化作用年龄汇总。侵入岩年龄据 Wang 等（2007）、Xu 等（2007）、He 等（2011）及其引文、Gao 等（2016a）及其引文、Zhao 等（2017）及其引文、Yan 等（2021）及其引文、Huang 等（2024）及其引文、Wang 等（2024）及其引文；火山岩年龄据王岳军等（2002）、Fan 等（2004）、Dai 等（2016）、Gao 等（2016b）及其引文、Zhu 等（2017）及其引文；混合岩年龄据 Wu 等（2007）、Wang 等（2013）及其引文、Xu 和 Zhang（2017）及其引文、王勇生等（2018）及其引文、Xia 等（2023）及其引文、Lei 等（2024）及其引文、Wang 等（2025）及其引文

北大别单元混合岩中浅色体保留了多阶段深熔作用的年龄记录（Chen 等，2015；刘贻灿等，2015；Gao 等，2017；Lei 等，2024），不同锆石核部记录了古元古代（Jian 等，2012）、新元古代（Hacker 等，1998；Wu 等，2007）、印支期（Liu 等，2007）和早白垩世（Wu 等，2007；王勇生等，2018）多种不同的年龄信息，但边部多具有清晰的早白垩世年龄信息，表明混合岩在早白垩世经历过一次造山带尺度的深熔作用。早白垩世混合岩化作用主要从~140 Ma 持续至~120 Ma，局部地区可持续至~100 Ma（图 12；Wang 等，2013；Xu 和 Zhang，2017；王勇生等，2018；Wang 等，2025）。北大别单元内出露的混合岩发生了强烈的构造变形，表现为清晰的 NWW-SEE 向矿物拉伸线理和上盘向 NWW 方向的剪切指向 （Wang 等，1998；Hacker 等，2000；Ratschbacher 等，2000；Faure 等，2003；Wang 等，2011；Lin 等，2015；Ji 等，2017；王勇生等，2018）。

穹窿状隆升导致造山带内不同构造-岩石单元间的边界断裂发生伸展滑脱活动（Ratschbacher 等，2000；侯泉林等，2007；Wang 等，2011；Lin 等，2015；Ji 等，2017；徐翔和王勤，2019；Huang 等，2024），北大别单元南、北两侧呈现为构造堆叠（Faure 等，2003）。在此过程中，不仅同碰撞阶段覆于北大别单元之上的岩石被剥蚀殆尽，导致大面积的混合岩化岩石和深成岩体出露地表，而且折返至地壳浅部的构造-岩石单元的分布状态也被改造而重新就位。现今高压-超高压榴辉岩单元、宿松杂岩单元分布于造山带中东部、其面理主体倾向 SE 的特征正是穹窿状隆升改造的结果。综合桐柏、红安造山带的研究成果显示，造山带伸展拆离活动的起始时间为~136 Ma（Lin 等，2015）。

北大别单元周缘被一系列伸展拆离断层所包围，北侧的晓天–磨子潭断裂内同一样品中黑云母、角闪石获得了一致的~128 Ma 的 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄（Wang 等，2011）；造山带东缘的郯庐断裂带也在同一样品中获得了~128 Ma 左右的白云母与全岩 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄（Zhu 等，2005）。K-Ar 体系中不同定年矿物的封闭温度存在明显差别，在冷却过程中会记录不同的冷却年龄（Dunlap，1997）。因而，不同定年矿物获得一致 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄的现象表明这两条断裂在~128 Ma 左右存在一期快速冷却事件。北大别单元南缘的五河-水吼断裂的剪切活动发生于 130–126 Ma 之间（Ratschbacher 等，2000），西缘的商麻断裂拆离剪切活动时间为 126 Ma 左右，西南缘的浠水断裂的活动时间为 126 Ma 左右（Ji 等，2017）。可以看出，环绕北大别单元的剪切带几乎在同一时间发生了伸展活动，对应于

北大别单元整体的大幅度隆升。在北大别单元内部，榴辉岩中金红石的 U-Pb 同位素体系被重置而重新记年，获得了一致的~128 Ma 的年龄结果（李秋立等，2013）。鉴于这些榴辉岩分布于北大别单元不同位置，其一致的年龄结果反映了该时期应当存在造山带尺度的~128 Ma 岩浆活动。结合造山带内广泛分布的~128 Ma 侵位的岩浆岩，可以推断大别造山带穹窿状隆升活动在~128 Ma 达到了高峰。

现有岩体隆升成果显示，~132 Ma 以来侵位的岩体总体表现为由穹窿中心向边缘其结晶深度逐渐减小（杨坤光等，1999；Ratschbacher 等，2000；王勇生等，2014；Wang 等，2024），但其结晶时间却并未表现出逐渐年轻的趋势。这表明大别造山带在~132 Ma 时可能已呈现为穹窿形态，并持续至~120 Ma。罗田、天堂寨、白马尖岩体及邻近区域具有明显更大的隆升幅度，岳西附近岩体则均具有较小的隆升量，表明罗田-天堂寨岩体-白马尖岩体一线才是后碰撞穹窿的核心部位（Huang 等，2024；Wang 等，2024），而岳西地区则并不表现为明显的隆升中心。

造山带隆升作用和区域性伸展活动导致周缘盆地基底中的逆断层复活为正断层，控制了白垩系的沉积，其中以合肥盆地南缘地层发育程度最好。下白垩统发育了大套的河流相及山麓相沉积，反映了强烈的山-盆差异升降运动，对应于大别造山带强烈的穹窿状隆升（李忠等，2000，2002；Liu 等，2003；Meng 等，2007；Wang 等，2021）。合肥盆地南缘下白垩统下部凤凰台组含有大量的榴辉岩砾石（Li 等，2005），且碎屑锆石年龄主要以三叠纪和新元古代年龄峰为主（Zhu 等，2017；Wang 等，2021），指示其物源物质主要来自于高压-超高压榴辉岩单元；下白垩统上部黑石渡组中的砾石则主要为火山岩，碎屑锆石年龄以白垩纪年龄峰为主（Wang 等，2021），显示其物源为早白垩世岩浆岩或混合岩。物源岩石类型的转变表明，北大别单元上覆的高压-超高压变质岩在早白垩世期间被剥蚀殆尽，北大别单元岩石开始广泛出露地表。

目前关于大别造山带晚中生代山根去除的机制主要有两种: 岩石圈拆沉和变质核杂岩。鉴于造山带内存在明显的 143–131 Ma 和 130–120 Ma 两阶段岩浆活动，早白垩世山根去除过程被认为同样经历了两个阶段（李曙光等，2013）: 第一阶段中三叠纪陆-陆碰撞形成的冷山根与热软流圈间的温差形成上地幔对流，导致加厚岩石圈在~145 Ma 时被去除；随着软流圈-岩石圈底界的抬升导致下地壳部分熔融和力学性质弱化，触发了第二阶段加厚下地壳的大规模拆沉和山根垮塌。而详细的构造解析显示，无论是北大别单元内部的片麻岩和混合岩，还是其周边的韧性剪切带，均记录了显著的上盘向 NWW 方向的剪切变形特征（Wang 等，1998；Hacker 等，2000；Ratschbacher 等，2000；Faure 等，2003；Wang 等，2011；Lin 等，2015；Ji 等，2017；王勇生等，2018）。这表明早白垩世初大别造山带可能存在一条地壳层次的近水平韧性剪切带，伸展拆离方向与造山带大致平行（Wang 等，2011；Ji 等，2017），在随后的大规模岩浆侵位和穹窿状隆升过程中被改造成现今环绕北大别单元的晓天-磨子潭断裂、商-麻断裂和五河-水吼断裂（图 2）。晓天-磨子潭断裂的伸展拆离活动导致了北大别单元混合岩与北淮阳单元浅变质岩的直接接触。

虽然岩石圈拆沉和变质核杂岩是两种完全不同的动力学机制，但变质核杂岩模式强调了~130 Ma 之前的中-下地壳岩石剪切变形，岩石圈拆沉则更聚焦于~130 Ma 以来的地壳快速减薄和软流圈物质上涌。因而，这两种机制并不是完全对立的。现有的研究认为古太平洋板块的俯冲后撤控制了整个中国东部的岩石圈减薄过程（朱日祥和徐义刚，2019；Liu 等，2021），大别造山带在早白垩世初发生加厚地壳的部分熔融，引起~145 Ma 的岩浆活动和地壳尺度内新的流变学分层，导致地壳出现强烈的力学弱化，形成地壳尺度的韧性拆离剪切带，进而加速了造山带地壳伸展和去根作用，从而导致~130 Ma 以来的大规模岩浆活动和造山带的穹窿状隆升。

晚中生代是整个东亚大陆构造演化的关键转换时期，大陆岩石圈浅部表现为区域性伸展作用和大规模岩浆活

动（董树文等，2019；朱日祥和徐义刚，2019）。在整个东亚大陆范围内，大别造山带变质核杂岩无论形成时间还是伸展拆离方向，均与东亚大陆其他变质核杂岩具有很好的一致性（Lin 等，2015；Ji 等，2017；李三忠等，2018）。这表明大别造山带早白垩世的伸展-隆升活动应当是整个东亚大陆晚中生代区域性伸展作用的组成部分，其动力学机制可能与三叠纪陆-陆碰撞造山作用没有直接成因关系（Ratschbacher 等，2000；Yuan 等，2003；林伟等，2013；Ji 等，2017），而是中国东部晚中生代岩石圈减薄在地壳浅部的响应。

自晚白垩世开始，大别造山带进入缓慢隆升阶段。大量的低温热年代学数据显示（图 13；Grimmer 等，2002；许长海等，2004；Reiners 等，2003；Hu 等，2006；Ding 等，2021），大别造山带最晚自~80 Ma 起表现为缓慢剥蚀的整体隆升，具有相对统一的隆升历史，已不再发生造山带尺度的构造样式的改变。

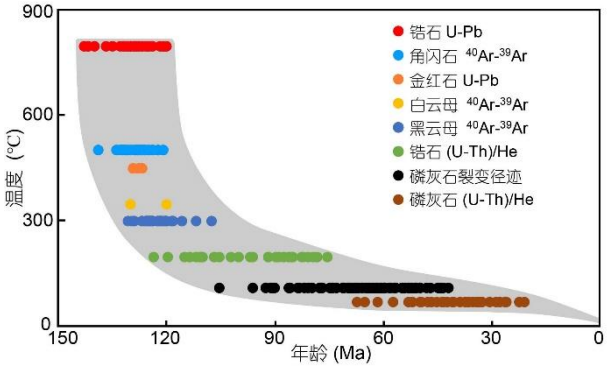


图 13 大别造山带晚中生代以来年龄汇总及冷却轨迹（据 Wang 等，2024 修改）。锆石 U-Pb 年龄据 He 等（2011）及其引文、Gao 等（2016a）及其引文、Zhao 等（2017）及其引文、Yan 等（2021）及其引文、Huang 等（2024）及其引文、Wang 等（2024）及其引文；金红石 U-Pb 年龄据李秋立等（2013）；角闪石、白云母、黑云母 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄据 Ji 等（2017）及其引文；锆石（U-Th）/He 年龄据 Reiners 等（2003）、Ding 等（2021）及其引文；磷灰石裂变径迹年龄据 Reiners 等（2003）、许长海等（2004）、Hu 等（2006）及其引文；磷灰石（U-Th）/He 年龄据 Ding 等（2021）及其引文

7 小结与展望

大别造山带形成于华南、华北板块间古特提斯洋分支的闭合。华南板块持续向 NW 方向的运动导致古特提斯洋分支首先在大别造山带于晚二叠世时闭合，强烈的陆-陆碰撞过程发生于三叠纪。华南板块盖层和少量基底岩石深俯冲至地幔深处发生超高压变质作用，随后向上折返，并于晚三叠世晚期主体上升至地壳底部。自早侏罗世开始，大别造山带转变为陆内变形，造山带及周缘区域应力场方向表现为近南-北向挤压，其动力主要来源于古亚洲构造域。早中生代松潘-甘孜造山带和古太平洋板块平板俯冲的联合作用可能是华南板块顺时针旋转的动力来源。早白垩世时，在古太平洋板块板块后撤的主导作用下，大别造山带发生强烈的山根去除和穹窿状伸展作用。

综上可知，大别造山带中生代由大陆边缘的陆-陆碰撞向陆内变形的转换是特提斯、太平洋和古亚洲三大构造域多向汇聚作用的结果，因而也是反演东亚大陆中生代多向汇聚作用的重要对象。但到目前为止，大别造山带及其周边区域的构造演化仍存在一些争议性问题，导致针对华南、华北板块的陆-陆碰撞过程以及东亚大陆中生代演化的认识仍存在不足，主要为：

（1）大别造山带东侧长江以北地区发育构造变形强烈的前陆褶皱-冲断带，向 NE 方向延伸并在宁镇地区与苏鲁造山带的前陆褶皱-冲断带连成一体。但郯庐断裂带为起源于华南、华北板块间的斜向会聚边界，大别造山

带东侧并不存在明显的陆-陆碰撞作用，那么这些能够向北延伸并与苏鲁造山带前陆褶皱-冲断带相连的强变形带如何形成？九江地区和徐-淮弧形逆冲带被认为是华南、华北板块点碰撞的产物，且徐-淮弧形逆冲带形成时间相对较晚（Shu 等，2017；陆元超等，2022）。但为何华南、华北板块之间在长距离向 NNE 方向相对运动之后又在苏鲁造山带开始向 NW 的斜向俯冲？

（2）秦岭-桐柏-红安-大别造山带早中生代应力场方向的改变通常被认为来自于华南板块的顺时针旋转（Zhao 和 Coe，1987；Gilder 等，1999）。但近年来的工作显示，华北板块晚三叠-早侏罗世可能发生了 50 °左右的顺时针旋转（张岳桥和董树文，2019），从而导致华北板块东南缘向南的楔入和郯庐断裂带向北的拓展延伸。秦岭造山带晚侏罗-早白垩世表现为陆内造山活动，其动力学机制被解释为华北板块向造山带之下的俯冲（Dong 等，2016）。大别造山带也有类似的相关报道（Li 等，2017；Zheng 等，2023）。那么，是否的确存在中生代时期华北板块向南的俯冲?

（3）在过去近四十年的研究中，大别造山带积累了海量的研究数据。Tian 等（2025）通过对大别造山带内已有热年代学数据的汇编，提出了一种反演岩石冷却路径以生成剥蚀历史的新方法，该方法有助于探索地球历史上构造、气候和剥蚀之间的动态相互作用。但类似的对现有数据的汇编以及以野外观察为基础的数值模拟工作（Dai 等，2018）仍相对较少，这极大地限制了对华南、华北板块碰撞拼合及随后的陆内构造演化过程的认识。

综上，大别造山带作为华南、华北板块陆-陆碰撞的产物，记录了由三叠纪大陆边缘变形向侏罗-白垩纪陆内变形的演变。因而，以大别造山带及其周缘前陆地区的构造演化为切入点，有助于获得多板块汇聚体系下东亚大陆构造演化的新证据。

致谢：很荣幸能够参与董云鹏教授主持的国家自然科学基金重大研究计划项目《东亚大陆中生代构造演化》并撰写以大别造山带中生代构造演化为主题的综述论文。感谢两位评审人审阅了全文并提出建设性的修改意见。大别造山带是一个研究程度非常高的地区，在过去的近四十年时间里积累了海量的研究成果。本文在资料选择时可能有很多不尽完美之处，很多观点也是一家之言，如有疏漏和错误，敬请大家多多批评指正!

参考文献

柴广路, 李双应. 2016. 北淮阳东段佛子岭群变质岩地球化学特征及其地质意义. 地学前缘, 23: 29–45

陈道公, Deloule E, 程昊, 等. 2003. 南大别黄镇低温榴辉岩多同位素体系年代学研究. 中国科学D辑: 地球科学, 33: 828–840

陈江峰, 谢智, 刘顺生, 等. 1995. 大别造山带冷却年龄的^{40}Ar-^{39}Ar和裂变径迹年龄测定. 中国科学B辑: 化学, 33: 828–840

邓晋福, 罗照华, 苏尚国, 等. 2004. 岩石成因、构造环境与成矿作用. 北京: 地质出版社

丁林. 2024. 特提斯地球动力系统研究新进展. 中国科学: 地球科学, 54: 892–896

董树文, 方景爽, 李勇, 等. 1994. 下扬子中三叠世-中侏罗世沉积相与印支运动. 地质论评, 40: 111–119

董树文, 胡健民, 李三忠, 等. 2005. 大别山侏罗纪变形及其构造意义. 岩石学报, 21: 1189–1194

董树文, 马立成, 刘刚, 等. 2011. 论长江中下游成矿动力学. 地质学报, 85: 612–625

董树文, 张岳桥, 李海龙, 等. 2019. “燕山运动”与东亚大陆晚中生代多板块汇聚构造——纪念“燕山运动”90周年. 中国科学: 地球科学, 49: 913–938

古晓锋, 刘贻灿, 邓亮鹏. 2013. 北大别罗田榴辉岩的同位素年代学和岩石成因及其在折返过程中的元素和同位素行为. 科学通报, 22: 2132–2137

顾筱彤, 王勤. 2020. 大别山超高压变质岩的显微构造与有效黏度. 高校地质学报, 26: 601–616

郭华, 吴正文, 柴育成, 等. 2002. 大别山造山带中生代逆冲推覆构造系统. 现代地质, 16: 121–129

郝杰, 刘小汉. 1988. 桐柏-大别碰撞造山带大型推覆-滑脱构造及其演化. 地质科学, 23: 1–10

侯泉林, 刘庆, 李俊, 等. 2007. 大别山晚中生代剪切带特征及年代学制约. 地质科学, 42: 114–123

江来利, Siebel W, 陈福坤, 等. 2005. 大别造山带北部卢镇关杂岩的U-Pb锆石年龄. 中国科学D辑: 地球科学, 35: 411–419

江来利, 吴维平, 储东如, 等. 2003. 大别山北部碰撞后伸展-逆冲推覆构造. 科学通报, 48: 1557–1563

李海滨, 贾东, 武龙, 等. 2011. 下扬子地区中-新生代的挤压变形与伸展改造及其油气勘探意义. 岩石学报, 27: 770–778

李建华, 董树文, 赵国春, 等. 2024. 华南晚中生代大陆变形、深部过程及动力学. 地质学报, 98: 829–861

李培军, 夏邦栋. 1995. 走滑挤压盆地—以中晚三叠世下扬子沿江盆地为例. 地质科学, 30: 130–137

李沛东, 王勤, 武梅千. 2024. 大陆俯冲隧道中的应变不均一分布: 来自大别山超高压变质岩的记录. 地质学报, 98: 50–78

李秋立, 杨亚楠, 石永红, 等. 2013. 榴辉岩中金红石U-Pb 定年: 对大陆碰撞造山带形成和演化的制约. 科学通报, 58: 2279–2284

李三忠, 索艳慧, 李玺瑶, 等. 2018. 西太平洋中生代板块俯冲过程与东亚洋陆过渡带构造-岩浆响应. 科学通报, 63: 1550–1593.

李曙光, 何永胜, 王水炯. 2013. 大别造山带的去山根过程与机制: 碰撞后岩浆岩的年代学和地球化学制约. 科学通报, 58: 2316–2322

李忠, 李任伟, 孙枢, 等. 2002. 大别山南麓中生代盆地充填记录对造山作用属性的反映. 中国科学 D 辑: 地球科学, 32: 469–478

李忠, 孙枢, 李任伟, 等. 2000. 合肥盆地中生代充填序列及其对大别山造山作用的指示. 中国科学 D 辑: 地球科学, 30: 256–263

林伟, 冀文斌, 石永红, 等. 2013. 高压-超高压变质岩石多期构造折返: 以桐柏-红安-大别造山带为例. 科学通报, 58: 2259–2265

林伟, 王清晨, Faure M, 等. 2005. 从北淮阳构造带的多期变形透视大别山构造演化. 中国科学D辑: 地球科学, 35: 127–139

刘福田, 徐佩芬, 刘劲松, 等. 2003. 大陆深俯冲带的地壳速度结构—东大别造山带深地震宽角反射/折射研究. 地球物理学报, 46: 366–372

刘景波, 张灵敏, 叶凯, 等. 2013. 大别山北部卢镇关群变质火山岩和共生变质的花岗岩全岩和锆石氧同位素、锆石U-Pb年代学研究. 岩石学报, 29: 1511–1524

刘少峰，张国伟. 2008. 东秦岭-大别山及邻区盆-山系统演化与动力学. 地质通报, 27: 1943–1960

刘少峰, 张国伟. 2013. 大别造山带周缘盆地发育及其对碰撞造山过程的指示. 科学通报, 58: 1–26

刘文灿, 王果胜. 1999. 北淮阳地区中生代逆冲推覆构造. 现代地质, 13: 143–149

刘晓春, 江博明, 李三忠. 2013. 大陆岩板俯冲与折返的穿时性: 桐柏造山带晚二叠-三叠纪高压变质地体提供的

制约. 科学通报, 58: 2251–2258
刘晓春, 李三忠, 江博明. 2015. 桐柏-红安造山带的构造演化: 从大洋俯冲/增生到陆陆碰撞. 中国科学: 地球科学, 45: 1088–1108
刘贻灿, 邓亮鹏, 古晓锋. 2015. 大陆俯冲碰撞带高温超高压变质岩的多阶段折返与部分熔融. 中国科学: 地球科学, 45: 752–769
刘贻灿, 候克斌, 杨阳, 等. 2021. 大别山北淮阳带奥陶纪花岗岩的厘定及其对北秦岭东延的启示. 大地构造与成矿学, 45: 401–412
刘贻灿, 李曙光. 2008. 俯冲陆壳内部的拆离和超高压岩石的多板片差异折返: 以大别-苏鲁造山带为例. 科学通报, 53: 2153–2165
陆元超, 朱光, 尹浩, 等. 2022. 郯庐断裂带起源与大陆斜向汇聚. 地质学报, 96: 3410–3425
梅廉夫, 戴少武, 沈传波, 等. 2008. 中、下扬子区中、新生代陆内对冲带的形成及解体. 地质科技情报, 27: 1–14
任纪舜, 赵磊, 徐芹芹, 等. 2016. 中国的全球构造位置和地球动力系统. 地质学报, 90: 2100–2108
石永红, 曹晟, 王娟, 等. 2014. 北淮阳变质单元岩石学、年代学分析及对大别造山带构造缝合线位置的探究. 地质科学, 49: 378–393
石永红, 王娟, 李秋立, 等. 2013. 大别造山带变质岩温度压力结构研究. 科学通报, 58: 2145–2152
宋述光, 王梦珏, 王潮, 等. 2015. 大陆造山带碰撞-俯冲-折返-垮塌过程的岩浆作用及大陆地壳净生长. 中国科学: 地球科学, 45: 916–940
索书田, 钟增球, 周汉文, 等. 2004. 大别-苏鲁超高压和高压变质带构造演化. 地学前缘, 11: 71–82
索书田, 钟增球, 游振东. 2000. 大别地块超高压变质期后伸展变形及超高压变质岩石折返过程. 中国科学D辑: 地球科学, 30: 9–17
田洋, 王伟, 金巍, 等. 2022. 大别贾庙新太古代花岗质岩石: 对扬子克拉通形成与演化的制约. 中国科学: 地球科学, 52: 2219–2238
王国灿, 杨巍然. 1998. 大别造山带中新生代隆升作用的时空格局—构造年代学证据. 地球科学, 23: 461–467
王开, 赵天宇. 2023. 大别山地区约2.5 Ga花岗质岩石的发现—扬子基底太古宙-元古宙之交陆壳的直接证据. 地质论评, 69: 1231–1248
王晓霞, 王涛, 张成立. 2015. 秦岭造山带花岗质岩浆作用与造山带演化. 中国科学: 地球科学, 45: 1109–1125
王勇生, 白桥, 田自强, 等. 2020. 合肥盆地南缘碎屑锆石定年及其对大别造山带超高压岩石折返的指示. 中国科学: 地球科学, 50: 921–935
王勇生, 白桥, 杨秉飞. 2018. 北大别单元混合岩的变形及锆石年代学特征: 对混合岩变形时间的限定. 中国科学: 地球科学, 48: 980–996
王勇生, 王海峰, 盛勇, 等. 2014. 大别造山带早白垩世抬升演化研究-来自岩体侵位深度的证据. 中国科学: 地球科学, 44: 200–212
王瑜. 1994. 大别山北麓地区的构造格局. 中国区域地质, 2: 141–147
王岳军, 范蔚茗, 郭锋. 2002. 北淮阳晚中生代火山岩定年及火山砾石地球化学: 对大别灰色片麻岩隆升和中生代地层格架的约束. 科学通报, 47: 1528–1534
魏春景, 单振刚. 1997. 安徽省大别山南部宿松杂岩变质作用研究. 岩石学报, 13: 356–368

吴福元, 万博, 赵亮, 等. 2020. 特提斯地球动力学. 岩石学报, 36: 1627–1674
吴海权, 江来利, 戴圣潜. 2002. 安徽霍山-毛坦厂地区中生代地层层序的厘定. 地层学杂志, 26: 39–45
肖文交, 宋东方, Windley B F, 等. 2019. 中亚增生造山过程与成矿作用研究进展. 中国科学: 地球科学, 49: 1512–1545
徐佩芬, 刘福田, 王清晨, 等. 2000. 大别-苏鲁碰撞造山带的地震层序成像研究—岩石圈三位速度结构. 地球物理学报, 43: 377–385
徐翔, 王勤. 2019. 大别山花凉亭-弥陀剪切带与超高压变质岩片的斜向差异折返. 高校地质学报, 25: 182–196
许文良, 赵子福, 戴立群. 2020. 碰撞后镁铁质岩浆作用: 大陆造山带岩石圈地幔演化的物质记录. 中国科学: 地球科学, 50: 1906–1918
许长海, 周祖翼, 马昌前, 等. 2001.大别造山带140~85 Ma热窿伸展作用—年代学约束. 中国科学D辑: 地球科学, 31: 925–937
许长海, 周祖翼, Van Den Haute P, 等. 2004. 大别造山带磷灰石裂变径迹（AFT）年代学研究. 中国科学D辑: 地球科学, 34: 622–634
许志琴, 李源, 梁凤华, 等. 2015. “秦岭-大别-苏鲁”造山带中“古特提斯缝合带”的连接. 地质学报, 89: 671–680
许志琴, 卢一伦, 汤耀庆, 等. 1988. 东秦岭复合山链的形成-变形、演化及板块动力学. 北京: 中国环境科学出版社.
闫诚, 高锐, 郭晓玉. 2020. 深地震反射剖面所揭示的大陆碰撞后期的构造演化—以大别山造山带研究为例. 地球物理学进展, 35: 1702–1709
杨坤光, 程万强, 朱清波, 等. 2011. 论大别山南缘襄樊-广济断裂的两次向南逆冲推覆. 地质论评, 57: 480–494
杨坤光, 马昌前, 许长海, 等. 1999. 北淮阳构造带与大别造山带的差异性隆升. 中国科学 D 辑: 地球科学, 29: 97–103
杨文采. 2003. 东大别超高压变质带的深部构造. 中国科学D辑: 地球科学, 33: 183–192
游振东, 索书田, 钟增球, 等. 2000. 大别山超高压变质岩的退变质显微构造: 折返过程的启示. 地质学报, 74: 224–233
张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社.
张强强, 高晓英, 陈仁旭, 等. 2023. 东特提斯构造域变质演化及其构造启示. 中国科学: 地球科学, 53: 2723–2749
张廷秀. 1987. 大别山北缘的逆冲推覆构造. 合肥工业大学学报, 9: 54–60
张岳桥, 董树文. 2019. 晚中生代东亚多板块汇聚与大陆构造体系的发展. 地质力学学报, 25: 613–641
章军锋, 金振民, Green II H W, 等. 2001. 大陆深俯冲带中的水: 来自大别山超高压榴辉岩的证据. 科学通报, 45: 1889–1894
章军锋, 王春光, 续海金, 等. 2015. 俯冲隧道中的部分熔融和壳幔相互作用: 实验岩石学制约. 中国科学: 地球科学, 45: 1270–1284
赵志新, 徐纪人. 2009. 广角反射地震探测得到的中国东部地壳三维P波速度结构. 科学通报, 54: 931–937
赵子福, 郑永飞. 2009. 俯冲大陆岩石圈重熔:大别-苏鲁造山带中生代岩浆岩成因. 中国科学D辑: 地球科学, 39: 888–909
赵宗举, 杨树锋, 陈汉林, 等. 2000. 合肥盆地基底构造属性. 地质科学, 35: 288–296

郑永飞, 赵子福, 陈伊翔. 2013. 大陆俯冲隧道过程: 大陆碰撞过程中的板块界面相互作用. 科学通报, 58: 2233–2239

郑永飞. 2008. 超高压变质与大陆碰撞研究进展: 以大别-苏鲁造山带为例. 科学通报, 53: 2129–2152

钟增球, 索书田. 2007. 超高压变质岩的塑性流变学. 现代地质, 21: 203–212

朱光, 刘程, 顾承串, 等. 2018. 郯庐断裂带晚中生代演化对西太平洋俯冲历史的指示. 中国科学: 地球科学, 48: 415–435

朱光, 徐嘉炜, 刘国生, 等. 1999.下扬子地区前陆变形构造格局及其动力学机制. 中国区域地质, 18: 73–79

朱日祥, 徐义刚. 2019. 西太平洋板块俯冲与华北克拉通破坏. 中国科学: 地球科学, 49: 1346–1356

朱志澄, 马曹章, 杨坤光. 1989. 鄂东南多层次滑脱拆离及其与桐柏-大别山滑脱拆离的对接关系. 地球科学, 14: 19–27

Ayers J C, Dunkle S, Gao S, Miller C L. 2002. Constraints on timing of peak and retrograde metamorphism in the Dabie Shan ultrahigh-pressure metamorphic belt, east-central China, using U-Th-Pb dating of zircon and monazite. Chem Geol, 186: 315–331

Chen R X, Ding B H, Zheng Y F, Hu Z C. 2015. Multiple episodes of anatexis in a collisional orogen: Zircon evidence from migmatite in the Dabie orogen. Lithos, 212–215: 247–265

Chen R X, Zheng Y F, Hu Z C. 2012. Episodic fluid action during exhumation of deeply subducted continental crust: Geochemical constraints from zoisite-quartz vein and host metabasite in the Dabie orogen. Lithos, 155: 146–166

Cheng H, Zhang C, Vervoort J D, Wu Y B, Zheng Y F, Zheng S, Zhou Z Y. 2011. New Lu–Hf geochronology constrains the onset of continental subduction in the Dabie orogen. Lithos, 121: 41–54

Cloos M, Shreve R L. 1988. Subduction-channel model of prism accretion, melange formation, sediment subduction, and subduction erosion at convergent plate margins: 1, Background and description. Pure Appl Geophys, 128: 455–500

Cong B L, Zhai M G, Carswell D A, Wilson R N, Wang Q C, Zhao Z Y, Windley B F. 1995. Petrogenesis of ultrahigh-pressure rocks and their country rocks at Shuanghe in the Dabie Mountains, Central China. Eur J Mineral, 7: 119–138

Dai F Q, Zhao Z F, Dai L Q, Zheng Y F. 2016. Slab-Mantle Interaction in the Petrogenesis of Andesitic Magmas: Geochemical Evidence from Postcollisional Intermediate Volcanic Rocks in the Dabie Orogen, China. J Petrol, 57: 1109–1134

Dai L M, Li S Z, Li Z H, Somerville I, Suo Y H, Liu X C, Gerya T, Santosh M. 2018. Dynamics of exhumation and deformation of HP-UHP orogens in double subduction-collision systems: Numerical modeling and implications for the Western Dabie Orogen. Earth-Sci Rev, 182: 68–84

Deng L P, Liu Y C, Groppo C, Rolfo F, Yang Y, Gu X F, Wang A D. 2021. New constraints on P-T-t path of high-T eclogites in the Dabie orogen, China. Lithos, 384: 105933

Deng T, Hu X M, Chew D., Wang Q, Yu J H, Drakou F. 2024. Sedimentological evidence for pre-Early Permian continental subduction in the Dabie orogen, central-east China. Tectonics, 43: e2023TC007839

Ding R X, Chang Y, Min K, Xu C H, Wang W. 2021. Post-orogenic topographic evolution of the Dabie orogen, Eastern China: Insights from apatite and zircon （U-Th）/He thermochronology. Geomorphology, 374: 107487

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

Dong S W, Gao R, Yin A, Guo T L, Zhang Y Q, Hu J M, Li J H, Shi W, Li Q S. 2013. What drove continued continent-continent convergence after ocean closure? Insights from high-resolution seismic-refl ection profiling across the Daba Shan in central China. Geology, 41: 671–674

Dong Y P, Santosh M. 2016. Tectonic architecture and multiple orogeny of the Qinling Orogenic Belt, Central China. Gondwana Res, 29: 1–40

Dong Y P, Sun S S, Santosh M, Zhao J, Sun J P, He D F, Shi X H, Hui B, Cheng C, Zhang G W. 2021. Central China Orogenic Belt and amalgamation of East Asian continents. Gondwana Res, 100: 131–194

Dong Y P, Yang Z, Liu X M, Sun S S, Li W, Cheng B, Zhang F F, Zhang X N, He D F, Zhang G W. 2016. Mesozoic intracontinental orogeny in the Qinling Mountains, central China. Gondwana Res, 30: 144–158

Dunlap W J. 1997. Neocrystallization or cooling? $^{40}Ar/^{39}Ar$ ages of white micas from low-grade mylonites. Chem Geol, 143: 181–203

Ernst W G, Tsujimori T, Zhang R Y, Liou J G. 2007. Permo-Triassic collision, subduction-zone metamorphism, and tectonic exhumation along the East Asian continental margin. Ann Rev Earth Planet Sci, 35: 73–110

Fan W M, Guo F, Wang Y J, Zhang M. 2004. Late Mesozoic volcanism in the northern Huaiyang tectono-magmatic belt, central China: partial melts from a lithospheric mantle with subducted continental crust relicts beneath the Dabie Orogen? Chem Geol, 209: 27–48

Faure M, Lin W, Schärer U, Shu L S, Sun Y, Arnaud N. 2003. Continental subduction and exhumation of UHP rocks: Structural and geochronological insights from the Dabieshan （East China）. Lithos, 70: 213–241

Ganne J, Marquer D, Rosenbaum G, Bertrand J M, Fudral S. 2006. Partitioning of deformation within a subduction channel during exhumation of high-pressure rocks: a case study from the Western Alps. J Struct Geol, 28: 1193–1207

Gao X Y, Zhang Q Q, Zheng Y F, Chen Y X. 2017. Petrological and zircon evidence for the Early Cretaceous granulite-facies metamorphism in the Dabie orogen, China. Lithos, 284–285: 11–29

Gao X Y, Zhao T P, Zhao J H. 2016b. Petrogenesis of the early Cretaceous volcanic rocks in the North Huaiyang tectono-magmatic unit of the Dabie Orogen, eastern China: Implications for crust-mantle interaction. J Asian Earth Sci, 118: 51–67

Gao X Y, Zheng Y F, Chen Y X, Tang H L, Li W C. 2015. Zircon geochemistry records the action of metamorphic fluid on the formation of ultrahigh-pressure jadeite quartzite in the Dabie Orogen. Chem Geol, 419: 158–175

Gao X Y, Zheng Y F, Chen Y X. 2011. U-Pb ages and trace elements in metamorphic zircon and titanite from UHP eclogite in the Dabie orogen: Constraints on P-T-t path. J Metamorph Geol, 29: 721–740

Gao Y, Mao J W, Ye H S, Li Y F, Luo Z Z, Yang Z Q. 2016a. Petrogenesis of ore-bearing porphyry from the Tangjiaping porphyry Mo deposit, Dabie orogen: Zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopic constraints. Ore Geol Rev, 79: 288–300

Gerya T V, Stöckhert B, Perchuk A L. 2002. Exhumation of high-pressure metamorphic rocks in a subduction channel: A numerical simulation. Tectonics, 21: 1056, doi: 10.1029/2002TC001406.

Gilder S A, Leloup P H, Courtillot V, Chen Yan, Coe R S, Zhao X X, Xiao W J, Halim N, Coqne J P, Zhu R X. 1999. Tectonic evolution of the Tancheng-Lujiang （Tan-Lu） fault via Middle Triassic to Early Cenozoic paleomagnetic data. J Geophys Res, 104: 15365–15390

Grimmer J C, Jonckheere R, Enkelmann E, Ratschbacher L, Hacker B R, Blythe A E, Wagner G A, Wu Q, Liu S, Dong S W. 2002. Cretaceous-Cenozoic history of the southern Tan-Lu fault zone: Apatite fission-track and structural

825 constraints from the Dabie Shan （eastern China）. Tectonophysics, 359: 225–253
826 Grimmer J C, Ratschbacher L, McWilliams M, Franz L, Gaitzsch I, Tichomirowa M, Hacker B R, Zhang Y Q. 2003.
827 When did the ultrahigh-pressure rocks reach the surface? A $^{207}Pb/^{206}Pb$ zircon, $^{40}Ar/^{39}Ar$ white mica, Si-in-phengite
828 single grain study of Dabie Shan synorogenic foreland sedimentation. Chem Geol, 197: 87–110
829 Groppo C, Rolfo F, Liu Y C, Deng L P, Wang A D. 2015. P-T evolution of elusive UHP eclogites from the Luotian dome
830 （North Dabie Zone, China）: How far can the thermodynamic modeling lead us? Lithos, 226: 183–200
831 Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, Ireland T, Walker D, Dong S W. 1998. U/Pb zircon ages constrain the architecture
832 of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie Orogen, China. Earth Planet Sci Lett, 161: 215–230
833 Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, McWilliams M O, Ireland T, Calvert A, Dong S W, Wenk H, Chateigner D. 2000.
834 Exhumation of ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Late Triassic-Early Jurassic tectonic
835 unroofing. J Geophys Res, 105: 13339–13364
836 Hacker B R, Wallis S R, Ratschbacher L, Grove M, Gehrels G. 2006. High-temperature geochronology constraints on the
837 tectonic history and architecture of the ultrahigh-pressure Dabie-Sulu Orogen. Tectonics, 25: TC5006,
838 doi:10.1029/2005TC001937
839 Hacker B R, Wang Q C. 1995. Ar/Ar geochronology of ultrahigh-pressure metamorphism in central China. Tectonics, 14:
840 994–1006
841 He C S, Zheng Y F. 2018. Seismic evidence for the absence of deeply subducted continental slabs in the lower
842 lithosphere beneath the Central Orogenic Belt of China. Tectonophysics, 723: 178–189
843 He M X, Xu Y J, Fang H, Zhang X B. 2023. Deep structure and formation model of the southernmost Tanlu fault Zone,
844 eastern China: Constrained from magnetotelluric imaging. J Asian Earth Sci, 256: 105805
845 He Y S, Li S G, Hoefs J, Huang F, Liu S A, Hou Z H. 2011. Post-collisional granitoids from the Dabie orogen: New
846 evidence for partial melting of a thickened continental crust. Geochim Cosmochim Acta, 75: 3815–3838
847 Hu S B, Kohn B P, Raza A, Wang J Y, Gleadow A J W. 2006. Cretaceous and Cenozoic cooling history across the
848 ultrahigh pressure Tongbai-Dabie belt, central China, from apatite fission-track thermochronology. Tectonophysics,
849 420: 409–429
850 Huang P, Yan Z, Xiao W J, Sang M, Mao Q G, Abuduxun N. 2024. Early cretaceous multi-stage extension in the North
851 Dabie complex in the eastern central China: insights from structural and geochronological data. Front Earth Sci, 12:
852 1354317
853 Ji W B, Lin W, Faure M, Shi Y H, Wang Q C. 2017. The early Cretaceous orogen-scale Dabieshan metamorphic core
854 complex: implications for extensional collapse of the Triassic HP-UHP orogenic belt in east-central China. Int J
855 Earth Sci, 106: 1311–1340
856 Jian P, Kröner A, Zhou G Z. 2012. SHRIMP zircon U–Pb ages and REE partition for high-grade metamorphic rocks in
857 the North Dabie complex: Insight into crustal evolution with respect to Triassic UHPmetamorphism in east-central
858 China. Chem Geol, 328: 49–69
859 Kylander-Clark A R C, Hacker B R, Mattinson C G. 2012. Size and exhumation rate of ultrahigh-pressure terranes linked
860 to orogenic stage. Earth Planet Sci Lett, 321–322: 115120
861 Labrousse L, Duretz T, Gerya T. 2015. H_2O-fluid-saturated melting of subducted continental crust facilitates exhumation
862 of ultrahigh pressure rocks in continental subduction zones. Earth Planet Sci Lett, 428: 151–161
863 Leech M L, Webb L E. 2013. Is the HP-UHP Hong′an-Dabie-Sulu orogen a piercing point for offset on the Tan-Lu fault?
864 J Asian Earth Sci, 63: 112–129

Lei H C, Xu H J, Zhang H, Deng L P, Hu D S, Ye Y K. 2024. From Triassic metamorphism to Early Cretaceous anatexis in the Dabie orogen, central China: Constraints from in-situ U-Pb age and Hf and O isotopes of zircon from migmatites. J Asian Earth Sci, 265: 106107

Li R W, Li S Y, Jin F Q, Wan Y S, Zhang S K. 2004. Provenance of Carboniferous sedimentary rocks in the northern margin of Dabie Mountains, central China and the tectonic significance: constraints from trace elements, mineral chemistry and SHRIMP dating of zircons. Sediment Geol, 166: 245–264

Li R W, Wan Y S, Cheng Z Y, Zhou J X, Li S Y, Jin F Q, Meng Q R, Li Z, Jiang M S. 2005. Provenance of Jurassic sediments in the Hefei Basin, east-central China and the contribution of high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the Dabie Shan. Earth Planet Sci Lett, 231: 279–294

Li S G, Jagoutz E, Chen Y Z, Li Q L. 2000. Sm-Nd and Rb-Sr isotopic chronology and cooling history of ultrahigh pressure metamorphic rocks and their country rocks at Shuanghe in the Dabie Mountains, Central China. Geochim Cosmochim Acta, 64: 1077–1093

Li S Z, Jahn B M, Zhao S J, Dai L M, Li X Y, Suo Y H, Guo L L, Wang Y M, Liu X C, Lan H Y, Zhou Z Z, Zheng Q L, Wang P C. 2017. Triassic southeastward subduction of North China Block to South China Block: Insights from new geological, geophysical and geochemical data. Earth-Sci Rev, 166: 270–285

Li S Z, Kusky T M, Zhao G C, Liu X C, Zhang G W, Kopp H, Wang L. 2010b. Two-stage Triassic exhumation of HP-UHP terranes in the western Dabie orogen of China: Constraints from structural geology. Tectonophysics, 490: 267–293

Li S Z, Zhao G C, Zhang G W, Liu X C, Dong S W, Wang Y J, Liu X, Suo Y H, Dai L M, Jin C, Liu L P, Hao Y, Liu E S, Wang J, Wang T. 2010a. Not all folds and thrusts in the Yangtze foreland thrust belt are related to the Dabie Orogen: Insights from Mesozoic deformation south of the Yangtze River. Geol J, 45: 650–663

Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, Davidson A, De Waele B, Ernst R E, Fitzsimons I C W, Fuck R A, Gladkochub D P, Jacobs J, Karlstrom K E, Lu S, Natapov L M, Pease V, Pisarevsky S A, Thrane K, Vernikovsky V. 2008. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis. Precambrian Research, 160: 179–210

Li Z X, Li X H. 2007. Formation of the 1300-km-wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model. Geology, 35: 179–182

Li Z X. 1994. Collision between the north and south blocks: A crust-detachment model for suturing in the region east of the Tan-Lu fault. Geology, 22: 739–742

Lin W, Ji W B, Faure M, Wu L, Li Q L, Shi Y H, Schärer U, Wang F, Wang Q C. 2015. Early Cretaceous extensional reworking of the Triassic HP-UHP metamorphic orogen in Eastern China. Tectonophysics, 662: 256–270

Lin W, Shi Y H, Wang Q C. 2009. Exhumation tectonics of the HP-UHP orogenic belt in Eastern China: New structural-petrological insights from the Tongcheng massif, Eastern Dabieshan. Lithos, 109: 285–303

Liou J G, Ernst W G, Zhang R Y, Tsujimori T, Jahn J G. 2009. Ultrahigh-pressure minerals and metamorphic terranes–the view from China. J Asian Earth Sci, 35: 199–231

Liu F L, Gerdes A, Liou J G, Xue H M, Liang F H. 2006. SHRIMP U-Pb zircon dating from Sulu-Dabie dolomitic marble, eastern China: constraints on prograde, ultrahigh-pressure and retrograde metamorphic ages. J Metam Geol, 24: 569–589

Liu J B, Ye K, Maruyama S, Cong B L, Fan H R. 2001. Mineral inclusions in zircon from gneisses in the ultrahigh-pressure zone of the Dabie Mountains, China. J Geol, 109: 523–535

Liu L, Liu L J, Xu Y G. 2021. Mesozoic intraplate tectonism of East Asia due to flat subduction of a composite terrane

slab. Earth-Sci Rev, 214: 103505

Liu S F, Heller P L, Zhang G W. 2003. Mesozoic basin development and tectonic evolution of the Dabieshan orogenic belt, central China. Tectonics, 22: 1038, doi:10.1029/2002TC001390

Liu S F, Li W P, Wang K, Qian T, Jiang C X. 2015a. Late Mesozoic development of the southern Qinling–Dabieshan foreland fold-thrust belt, Central China, and its role in continent–continent collision. Tectonophysics, 644–645: 220–234

Liu S F, Qian T, Li W P, Dou G X, Wu P. 2015b. Oblique closure of the northeastern Paleo-Tethys in central China, Tectonics, 34: doi:10.1002/2014TC003784

Liu S F, Steel R, Zhang G W. 2005. Mesozoic sedimentary basin development and tectonic implication, northern Yangtze Block, eastern China: record of continent–continent collision. J Asian Earth Sci, 25: 9–27

Liu S F, Zhang G W, Ritts B D, Zhang H P, Gao M X, Qian C C. 2010. Tracing exhumation of the Dabie Shan ultrahigh-pressure metamorphic complex using the sedimentary record in the Hefei Basin, China. Geol Soc Am Bull, 122: 198–218

Liu Y C, Gu X F, Li S G, Hou Z H, Song B. 2011. Multistage metamorphic events in granulitized eclogites from the North Dabie complex zone, central China: Evidence from zircon U–Pb age, trace element and mineral inclusion. Lithos, 122: 107–121

Liu Y C, Li S G, Xu S T. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb dating for gneisses in northern Dabie, high T/P metamorphic zone, central China: Implications for decoupling within subducted continental crust. Lithos, 96: 170–185

Maruyama S, Liou J G, Zhang R Y. 1994. Tectonic evolution of the ultrahigh-pressure（UHP）and high-pressure（HP）metamorphic belts from central China. Island Arc, 3: 112–121

Meng Q R, Li S Y, Li R W. 2007. Mesozoic evolution of the Hefei Basin in eastern China: sedimentary response to deformations in the adjacent Dabieshan and along the Tanlu fault. Geol Soc Am Bull, 119: 897–916

Meng Q R, Wu G L, Fan L G, Wei H H. 2019. Tectonic evolution of early Mesozoic sedimentary basins in the North China block. Earth-Sci Rev, 190: 416–438

Naylor M, Sinclair H D. 2008. Pro- vs. retro-foreland basins. Basin Res. 20: 285–303

Okay A I, Şengör A C. 1992. Evidence for intracontinental thrust-related exhumation of the ultra-high-pressure rocks in China. Geology, 20: 411–414

Okay A I, Xu S T, Şengör A M C. 1989. Coesite from the Dabie Shan eclogites, central China. Eur J Mineral, 1: 595–598

Okay A I. 1993. Petrology of a diamond and coesite-bearing metamorphic terrene: Dabieshan, China. Eur J Mineral, 5: 659–673

Prave A R, Meng F W, Lepland A, Kirsimäe K, Kreitsmann T, Jiang C Z. 2018. A refined late-Cryogenian–Ediacaran earth history of South China: Phosphorous-rich marbles of the Dabie and Sulu orogens. Precambrian Res, 305: 166–176

Qian T, Liu S F, Wang Z X, Li W P, Chen X L. 2016. A detrital record of continent-continent collision in the Early-Middle Jurassic foreland sequence in the northern Yangtze foreland basin, South China. J Asian Earth Sci, 131: 123–137

Qiu E K, Zhang Y Q, Larson K P, Li B X. 2023. Dating strike-slip ductile shear through combined zircon-, titanite- and apatite U–Pb geochronology along the southern Tan-Lu fault zone, East China. Tectonics, 42: e2022TC007734.

Ratschbacher L, Franz L, Enkelmann E, Jonckeere R, Poerschke A, Hacker B R, Dong S W, Zhang Y Q. 2006. The Sino-Korean-Yangtze suture, the Huwan detachment, and the Paleozoic-Tertiary exhumation of （ultra）

high-pressure rocks along the Tongbai-Xinxian-Dabie Mountains. In: Hacker B R, McClelland W C, Liou J G. eds. Ultrahigh-pressure metamorphism: Deep continental subduction. Geol Soc Am Spec Pap, 403: 45–75

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

Reiners P W, Zhou Z Y, Ehlers T A, Xu C H, Brandon M T, Donelick R A, Nicolescu S. 2003. Post-orogenic evolution of the Dabie Shan, eastern China, from （U-Th）/He and fission-track thermochronology. Am J Sci, 303: 489–518

Rowley D B, Xue F, Tucker R D, Peng Z X, Baker J, Davis A. 1997. Ages of ultrahigh pressure metamorphism and protolith orthogneisses from the eastern Dabie Shan: U/Pb zircon geochronology. Earth Planet Sci Lett, 151: 191–203

Sawyer E W, Cesare B, Brown M. 2011. When the Continental Crust Melts. Elements, 7: 229–234

Schmid J C, Ratschbacher L, Hacker B R, Gaitzsch I, Dong S W. 1999. How did the foreland react? Yangtze foreland fold-and thrust belt deformation related to exhumation of the Dabie Shan ultrahigh-pressure continental crust （eastern China）. Terra Nova, 11: 266–272

Shu L S, Yin H W, Faure M, Chen Y. 2017. Mesozoic intracontinental underthrust in the SE margin of the North China Block: Insights from the Xu-Huai thrust-and-fold belt. J Asian Earth Sci, 141: 161–173

Stampfli G M, Hochard C, Verard C, Wilhema C, von Raumer J. 2013. The formation of Pangea. Tectonophysics, 593: 1–19

Stöckhert B. 2002. Stress and deformation in subduction zones-insight from the record of exhumed high pressure metamorphic rocks. Geol Soc London Spec Publ, 200: 255–274

Tang J K, Shi Y H, Cheng N F, Yang G S, Li J J, Tang G X. 2024. Tectonic affinity and evolution of the Foziling Group: A window into the Dabie orogenic belt's shallow subduction process. Lithos, 488–489: 107804

Tian Y T, Li B J, Zhong H X, Pan L L, Fu B, Zhang Z J, Mazur S. 2025. A method for calculating denudation from the big global thermochronologic data: Example applications to the Dabie orogen, eastern China. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 130: e2024JB029044

Wang C Y, Zeng R S, Mooney W D, Hacker B R. 2000. A crustal model of the ultrahigh-pressure Dabie Shan orogenic belt, China, derived from deep seismic refraction profiling. J Geophys Res, 105: 10857–10869

Wang E C, Meng Q R, Burchfiel B C, Zhang G W. 2003. Mesozoic large-scale lateral extrusion, rotation, and uplift of the Tongbai-Dabie Shan belt in east China. Geology, 31: 307–310

Wang L, Ji M, Gao X Y, Chen X J. 2025. Multistage crustal reworking in the Dabie orogen: Evidence from zircons in migmatites and retrograded eclogites. Lithos, 492–493: 107872

Wang Q C, Shi Y H, Lin W, Guo J H. 2008. Exhumation of the Dabie UHP terrane, China. Inter Geol Rev, 50: 15–31.

Wang Q, Wyman D A, Xu J F, Jian P, Zhao Z H, Li C F, Xu W, Ma J L, He B. 2007. Early Cretaceous adakitic granites in the Northern Dabie Complex, central China: Implications for partial melting and delamination of thickened lower crust. Geochim Cosmochim Acta, 71: 2609–2636

Wang S J, Li S G, An S C, Hou Z H. 2012. A granulite record of multistage metamorphism and REE behavior in the Dabie orogen: constraints from zircon and rock-forming minerals. Lithos, 136: 109–125

Wang S J, Li S G, Chen L J, He Y Sheng, An S C, Shen J. 2013. Geochronology and geochemistry of leucosomes in the North Dabie Terrane, East China: Implication for post-UHPM crustal melting during exhumation. Contrib Mineral Petrol, 165: 1009–1029

Wang X D, Neubauer F, Genser J, Yang W R. 1998. The Dabie UHP unit, central China: a Cretaceous extensional allochthon superposed on a Triassic orogen. Terra Nova, 10: 260–267

Wang X M, Liou J G, Mao H K. 1989. Coesite-bearing eclogite from the Dabie Mountains in central China. Geology, 17: 1085–1088

Wang Y J, Zhao G C, Xia X P, Zhang Y H, Fan W M, Li C, Bi X W, Li S Z. 2009. Early Mesozoic unroofing pattern of the Dabie Mountains （China）: Constraints from the U−Pb detrital zircon geochronology and Si-in-white mica analysis of synorogenic sediments in the Jianghan Basin. Chem Geol, 266: 231–241

Wang Y S, Bai Q, Tian Z Q, Du H. 2021. Mesozoic unroofing history of the Dabie Orogen, eastern China: Evidence from detrital zircon geochronology of sediments in the Hefei Basin. J Geol, 129: 183–206

Wang Y S, Jiang C, Yang J H, Bai Q. 2022. Geochronology and geochemistry of Beilou granitic pluton: Identification of early Paleozoic arc magmatic rock in the Dabie Orogen, central China. Geol J, 57: 2540-2563

Wang Y S, Xiang B W, Zhu G, Jiang D Z. 2011. Structural and geochronological evidence for Early Cretaceous orogen-parallel extension of the ductile lithosphere in northern Dabie orogenic belt, east China. J Struct Geol, 33: 362–380

Wang Y S, Yang J H, Bai Q, Zhang X, Li Z S. 2024. Determination of the formation time of the present tectonic framework in the Dabie Orogen, eastern China: Zircon U-Pb geochronology and Al-in-Hornblende geobarometer. Minerals, 14: 562

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: 423–431

Wawrzenitz N, Romer R L, Oberhänsli R, Dong S W. 2006. Dating of subduction and differential exhumation of UHP rocks from the Central Dabie Complex（E-China）: Constraints from microfabrics, Rb-Sr and U-Pb isotope systems. Lithos, 89: 174–201

Wei C J, Cui Y, Tian Z L. 2015. Metamorphic evolution of LT-UHP eclogite from the south Dabie orogen, central China: An insight from phase equilibria modeling. J Asian Earth Sci, 111: 966–980

Wei C J, Qian J H, Tian Z L. 2013. Metamorphic evolution of medium-temperature ultra-high pressure （MT-UHP） eclogites from the South Dabie orogen, Central China: An insight from phase equilibria modelling. J Metamorph Geol, 31: 755–774

Wu P, Wu Y B, Zhang S B, Zheng Y F, Li L, Gao Y, Song H, Xu Z Q, Shi Z M. 2024. Revisiting Neoproterozoic tectono-magmatic evolution of the northern margin of the Yangtze Block, South China. Earth-Sci Rev, 255: 104825

Wu Y B, Zheng Y F, Gao S, Jiao W F, Liu Y S. 2008. Zircon U-Pb age and trace element evidence for Paleoproterozoic granulite-facies metamorphism and Archean crustal rocks in the Dabie orogen. Lithos, 101: 308–322

Wu Y B, Zheng Y F, Zhang S B, Zhao Z F, Wu F Y, Liu X M. 2007. Zircon U-Pb ages and Hf isotope compositions of migmatite from the North Dabie terrane in China: constraints on partial melting. J Metam Geol, 25: 991–1009

Wu Y B, Zheng Y F. 2013. Tectonic evolution of a composite collision orogen: An overview on the Qinling-Tongbai-Hong'an-Dabie-Sulu orogenic belt in central China. Gondwana Res, 23: 1402–1428

Xia Q X, Yu M, Zhu E L, Chen R X, Li W C, Zheng Y F, Zhao Z F, Li Z Y. 2023. Two generations of crustal anatexis in association with two-stage exhumation of ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie orogen. Lithos, 446–447: 107146

Xia Q X, Zheng Y F, Chen Y X. 2013. Protolith control on fluid availability for zircon growth during continental subduction-zone metamorphism in the Dabie orogen. J Asian Earth Sci, 67–68: 93–113

Xu H J, Ma C Q, Ye K. 2007. Early cretaceous granitoids and their implications for the collapse of the Dabie orogen, eastern China: SHRIMP zircon U–Pb dating and geochemistry. Chem Geol, 240: 238–259

Xu H J, Zhang J F. 2017. Anatexis witnessed post-collisional evolution of the Dabie orogen, China. J Asian Earth Sci, 145: 278–296

Xu S T, Liu Y C, Chen G B, Ji S Y, Ni P, Xiao W S. 2005. Microdiamonds, their classification and tectonic implications for the host eclogites from the Dabie and Su-Lu regions in central eastern China. Mineral Mag, 69: 511–522

Xu S T, Okay A I, Şengör A M C. 1992. Diamond from Dabie Shan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting. Science, 256: 80–82

Xu S T, Wu W P, Lu Y Q, Wang D H. 2012. Tectonic setting of the low-grade metamorphic rocks of the Dabie Orogen, central eastern China. J Struct Geol, 37: 134–149

Xue Z H, Lin W, Chu Y, Wei W, Feng Z T, Zhang J F. 2022. Late Triassic successive amalgamation between the South China and North China blocks: Insights from structural analysis and magnetic fabrics study of the Bikou Terrane and its adjacent area, northwestern Yangtze block, central China. Geol Soc Am Bull, 134: 2051–2071

Yan J, Liu X Q, Wang S N, Xie J C, Liu J M. 2021. Metallogenic type controlled by magma source and tectonic regime: Geochemical comparisons of Mesozoic magmatism between the Middle–Lower Yangtze River Belt and the Dabie Orogen, eastern China. Ore Geol Rev, 133: 104095

Yang J H, Cawood P A, Du Y S. 2010. Detrital record of mountain building: Provenance of Jurassic foreland basin to the Dabie Mountains. Tectonics, 29: doi.org/10.1029/2009TC002600

Yang Y S, Li Y Y. 2018. Crustal structure of the Dabie orogenic belt（eastern China）inferred from gravity and magnetic data. Tectonophysics, 723: 190–200

Yang Z Y, Courtillot V, Besse J, Ma X H, Xing L S, Xu S J, Zhang J X. 1992. Jurassic Paleomagnetic constraints on the collision of the North and South China Blocks. Geophysical research letters, 19: 577–580

Yin A, Nie S Y. 1993. An indentation model for the North and South China collision and the development of the Tan-Lu and Honam fault system, eastern Asia. Tectonics, 12: 801–813

Yuan X C, Klemperer S L, Teng W B, Liu L X, Chetwin E. 2003. Crustal structure and exhumation of the Dabie Shan ultrahigh-pressure orogen, eastern China, from seismic reflection profiling. Geology, 31: 435–438

Zhai M G, Cong B L, Zhao Z, Wang Q C, Wang, G, Jiang L L. 1995. Petrological-tectonic units in the coesite-bearing metamorphic terrain of the Dabie Mountains, central China and their geotectonic implication. J Southeast Asian Earth Sci, 1: 1–13

Zhang C W, Yang Y, Liu Y C, Groppo C, Rolfo F. 2023. UHP metamorphism, decompression anatexis and retrogression of garnet-bearing metagranite and granitic gneiss from the Dabie orogen during continental collision. Lithos, 456–457: 107339

Zhang F F, Algeo T J, Romaniello S J, Cui Y, Zhao L S, Chen Z Q, Anbar A D. 2018.Congruent Permian-Triassic $\delta^{238}U$ records at Panthalassic and Tethyan sites: Confirmation of global-oceanic anoxia and validation of the U-isotope paleoredox proxy. Geology, 46: 327–330

Zhang L, Zhong Z Q, Zhang H F, Sun W, Xiang H. 2009b. The formation of foliated （garnet-bearing） granites in the Tongbai–Dabie orogenic belt: partial melting of subducted continental crust during exhumation. J metamorphic Geol, 27: 789–803

Zhang R Y, Liou J G, Ernst W G. 2009a. The Dabie–Sulu continental collision zone: A comprehensive review. Gondwana Res, 16: 1–26

Zhang S H, Zhao Y, Davis G A, Ye H, Wu F. 2014. Temporal and spatial variations of Mesozoic magmatism and deformation in the North China Craton: Implications for lithospheric thinning and decratonization. Earth-Sci Rev, 131: 49–87

Zhang S, Dai L, Zhu G. 2025. Multiple Stages of Strike-slip Movement and the Propagation of the Tan–Lu Fault Zone, East Asia. Acta Geologica Sinica （English Edition）, 99: 352–369

Zhao G C, Cawood P A, Wilde S A, Sun M. 2002. Review of global 2.1-1.8 Ga orogens: implications for a pre- Rodinia supercontinent. Earth-Sci Rev, 59: 125–162

Zhao K F, Luo Y H, Yang Y J, Yang X Z. 2021b. High-resolution lithospheric structures of the Qinling-Dabie orogenic belt: Implications for deep subduction and delamination of continental lithosphere. Tectonophysics, 806: 228799.

Zhao L, Tang H, Mitchell R N, Li Q L, Zhou X W, Zhai M G. 2023. The joining of North and South China during the Permian: Coherent metamorphic evidence from East Asia orogenesis. Tectonics, 42: 2023TC007916

Zhao T, Zhu G, Lin S Z, Wang H Q. 2016. Indentation-induced tearing of a subducting continent: Evidence from the Tan–Lu Fault Zone, East China. Earth-Sci Rev, 152: 14-36

Zhao T, Zhu G, Wu Q, Hu R M, Wu Y H, Xu Z Y, Ye J. 2021a. Evidence for discrete Archean microcontinents in the Yangtze Craton. Precambrian Res, 361: 106259

Zhao X X, Coe R S. 1987. Paleomagnetic constraints on the collision and rotation of North and South China. Nature, 327: 141–144

Zhao Z F, Liu Z B, Chen Q. 2017. Melting of subducted continental crust: Geochemical evidence from Mesozoic granitoids in the Dabie-Sulu orogenic belt, east-central China. J Asian Earth Sci, 145: 260–277

Zhao Z F, Zheng Y F, Wei C S, Chen F K, Liu X M, Wu F Y. 2008. Zircon U–Pb ages, Hf and O isotopes constrain the crustal architecture of the ultrahigh-pressure Dabie orogen in China. Chem Geol, 253: 222–242

Zheng H W, Zhao D P, He R Z, Yang H, Niu X, Li Z X. 2023. Seismic evidence for collisional tectonics of the North China and Yangtze blocks in the Tongbai-Dabie orogenic belt. J Asian Earth Sci, 258: 105878

Zheng Y F, Wu Y B, Chen F K, Gong B, Li L, Zhao Z F. 2004. Zircon U-Pb and oxygen isotope evidence for a large-scale ^{18}O depletion event in igneous rocks during the Neoproterozoic. Geochim Cosmochim Acta, 68: 4145–4165

Zheng Y F, Xia Q X, Chen R X, et al. 2011. Partial melting, fluid supercriticality and element mobility in ultrahigh-pressure metamorphic rocks during continental collision. Earth Sci Rev, 107: 342–374

Zheng Y F, Zhao Z F, Chen R X. 2019. Ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie-Sulu orogenic belt: Compositional inheritance and metamorphic modification. Geol Soc London Spec Publ, 474: 89–132

Zheng Y F, Zhao Z F, Wu Y B, Zhang S B, Liu X M, Wu F Y. 2006. Zircon U-Pb age, Hf and O isotope constraints on protolith origin of ultrahigh-pressure eclogite and gneiss in the Dabie orogen. Chem Geol, 231: 135–158

Zheng Y F, Zhou J B, Wu Y B, Xie Z. 2005. Low-grade metamorphic rocks in the Dabie-Sulu orogenic belt: A passive-margin accretionary wedge deformed during continent subduction. Inter Geol Rev, 47: 851–871

Zheng Y F. 2012. Metamorphic chemical geodynamics in continental subduction zones. Chem Geo, 328: 5–48

Zhu G, Liu G S, Niu M L, Xie C L, Wang Y S, Xiang B W. 2009. Syn-collisional transform faulting of the Tan-Lu fault zone, East China. Int J Earth Sci, 98: 135–155

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. J Struct Geol, 27: 1379–1398

Zhu G, Wang Y S, Wang W, Zhang S, Liu C, Gu C C, Li Y J. 2017. An accreted micro-continent in the north of the

1105 Dabie Orogen, East China: Evidence from dating results of detrital zircons. Tectonophysics, 698: 47–64