

doi: 10.12029/gc20210523

朱强, 吴礼彬, 杜建国, 胡召齐, 施珂, 孙明明, 赵先超, 高曙光. 2021. 张八岭隆起早白垩世变质核杂岩的厘定——对郯庐断裂带的制约及其与成矿作用关系[J]. 中国地质, 48(5): 1639–1652.

Zhu Qiang, Wu Libin, Du Jianguo, Hu Zhaoqi, Shi Ke, Sun Mingming, Zhao Xianchao, Gao Shuguang. 2021. Determination of the Early Cretaceous metamorphic core complex in Zhangbaling Uplift: Constraints on the Tan–Lu fault and its relationship with metallogenesis [J]. *Geology in China*, 48(5): 1639–1652(in Chinese with English abstract).

张八岭隆起早白垩世变质核杂岩的厘定 ——对郯庐断裂带的制约及其与成矿作用关系

朱强^{1,2}, 吴礼彬^{1,2}, 杜建国^{1,2}, 胡召齐¹, 施珂¹, 孙明明^{1,2}, 赵先超^{1,2}, 高曙光^{1,2}

(1. 安徽省地质调查院, 安徽合肥 230001; 2. 安徽省大陆成矿作用研究中心, 安徽合肥 230001)

摘要:张八岭隆起广泛分布的平缓韧性剪切带与郯庐断裂带平移作用形成的陡立韧性剪切带明显不同。通过对平缓韧性剪切带的几何学、运动学分析, 结合早白垩世盆地特征、中国东部变质核杂岩伸展拆离断层和同构造岩浆岩同位素定年结果, 厘定出张八岭隆起早白垩世变质核杂岩。该变质核杂岩上盘由南华纪—奥陶纪沉积地层和早白垩世盆地组成, 下盘为新元古代浅变质碎屑沉积岩、变海相火山岩(基底)以及早白垩世侵入岩, 上下盘之间被一条主伸展拆离断层所分隔。变质核杂岩长轴为NE–SW向, 指示构造反映上盘向SE剪切滑动, 与中国东部变质核杂岩的伸展方向完全一致。通过本次变质核杂岩的厘定, 结合野外地质事实, 笔者认为管店—马厂断裂是郯庐断裂带的次级断裂, 是对郯庐断裂带早白垩世末第三次左行平移的响应。在综合研究的基础上, 建立了区域构造–岩浆–成矿关系模型, 揭示了张八岭隆起早白垩世经历了早期伸展(变质核杂岩阶段)–挤压走滑(管店—马厂断裂形成阶段)–晚期伸展(闪长质脉岩侵位阶段)3个构造阶段, 多期构造、岩浆的叠加作用下, 形成了本区的金多金属矿产。

关键词: 伸展拆离断层; 韧性剪切带; 变质核杂岩; 早白垩世; 郯庐断裂带; 构造–岩浆–成矿; 地质调查工程; 中国东部

中图分类号: P548 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2021)05–1639–14

Determination of the Early Cretaceous metamorphic core complex in Zhangbaling Uplift: Constraints on the Tan–Lu fault and its relationship with metallogenesis

ZHU Qiang^{1,2}, WU Libin^{1,2}, DU Jianguo^{1,2}, HU Zhaoqi¹, SHI Ke¹, SUN Mingming^{1,2},
ZHAO Xianchao^{1,2}, GAO Shuguang^{1,2}

(1. Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001, Anhui, China; 2. Continental Metallogeny Research Center of Anhui Province, Hefei 230001, Anhui, China)

Abstracts: The gently dipping ductile shear zone widely distributed in the Zhan baling uplift is obviously different from the steeply

收稿日期: 2019–10–18; 改回日期: 2019–12–03

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20190379–13)和安徽省自然资源厅科技项目(2014–K–6)联合资助。

作者简介: 朱强, 1989年生, 男, 硕士, 工程师, 从事构造地质学和岩石地球化学研究; E-mail: 350470064@qq.com。

dipping ductile shear zone formed by the translation of the Tanlu fault. Based on the geometry and kinematics analysis of gently dipping ductile shear zone, combined with the characteristics of the Early Cretaceous basins and the isotopic dating of extensional detachment faults and syntectonic magmatic rocks of the metamorphic core complexes in eastern China, the Early Cretaceous metamorphic core complex of Zhangbaling uplift is defined. Its upper plate is composed of the Nanhua–Ordovician sedimentary strata and the Early Cretaceous sediments, the lower plate is composed of Neoproterozoic metamorphic clastic sedimentary rocks, metamarine volcanic rocks (basement) and early Cretaceous intrusive rocks. The upper and lower plates are separated by a main extensional detachment fault. The long axis of the metamorphic core complex is NE–SW, with indicative structure reflecting shear slipping to SE of the upper plate, which is completely consistent with the extension direction of the metamorphic core complex in eastern China. Through the determination of the metamorphic core complex, combined with field geological facts, it is believed that the Guandian–Machang fault is a secondary fault of Tanlu fault, which is a response to the third left–lateral translation of Tanlu fault zone at the end of Early Cretaceous. On the basis of comprehensive research, a regional tectonic–magmatic–metallogenic relationship model is established, which revealing that the Zhangbaling uplift has undergone three tectonic stages during early Cretaceous: Early extension(metamorphic core complex stage)–compression strike–slip (Guandian–Machang fault formation stage)–late extension (dioritic dike emplacement stage). The superimposition of multi–stage structuring and magmatism results in the formation of gold polymetallic minerals deposits in this area.

Key words: extensional detachment faults; ductile shear zone; metamorphic core complex; Early Cretaceous; Tanlu fault; tectonics–magmatism–metallogenesis; geological survey engineering; eastern China

About the first author: ZHU Qiang, male, born in 1989, master, engineer, engaged in the study of tectonics and geochemistry; E-mail: 350470064@qq.com.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey (No.DD20190379–13) and science and technology project from Natural Resources Department of Anhui Province (No. 2014–K–6).

1 引 言

张八岭隆起是指位于大别和苏鲁造山带之间,沿郯庐断裂带东侧分布的浅变质岩出露区,总体构成一个NNE走向的楔形隆起带(图1)。关于张八岭隆起的归属问题,早期学者几乎都聚焦于华南和华北陆块碰撞事件(Xu et al., 1993; Zhang et al., 2007, 2013; 胡博和张岳桥, 2007; Zhao et al., 2014),认为张八岭隆起是在印支期沿郯庐断裂带斜向汇聚边界发生的,缓倾角的张八岭剪切片岩是郯庐断裂东侧构造挤出部分,起到了刚性上地壳和下地壳近垂直剪切带的连接作用(Zhang et al., 2013; Zhao et al., 2014)。一些学者还强调了郯庐断裂带走滑作用的重要性,认为张八岭隆起后被郯庐断裂左行平移错开(徐嘉炜等, 1995; Wang et al., 2006; Zhu et al., 2010),但对此另一些学者持否定态度,认为郯庐断裂在中生代不存在大规模的左行平移活动(汤家富和徐卫, 2002; 李三忠等, 2009; 林伟等, 2016)。

近些年,张八岭隆起及邻区陆续有早白垩世变质核杂岩的报道(刘硕等, 2016; 林伟等, 2016; 李修钰等, 2018),为研究张八岭隆起机制提供了新的思路。

目前,张八岭隆起存在伸展拆离剪切带达成了一定共识,但其时代存在印支期(Zhang et al., 2007; 赵田等, 2016)和燕山期(Lin et al., 2005; 林伟等, 2013, 2016; 李修钰等, 2018)两种不同认识。此外,尽管前人围绕张八岭隆起区内的新元古代变质火山岩(赵田等, 2014)、早白垩世岩浆岩(李学明等, 1985; 牛漫兰等, 2006; 资峰等, 2008; 谢成龙等, 2009, 2016; 马芳和薛怀民, 2011; 朱强等, 2018)以及成矿时代(应汉龙等, 2002)开展了大量工作,但对于张八岭隆起的形成演化与成矿作用关系尚未有系统论述,严重制约了该地区金多金属矿成矿规律的认识。

本文通过详实的野外工作,在前人研究成果的基础上,对张八岭隆起平缓的伸展拆离韧性剪切带提出新的认识,厘定出张八岭地区早白垩世变质核杂岩,并系统论述了构造–岩浆–成矿之间的联系,阐释变质核杂岩体系对郯庐断裂带的晚中生代演化的约束,以期对张八岭隆起中生代构造演化和地质找矿工作提供新的思路。

2 区域地质背景

张八岭隆起大地构造位置西邻华北克拉通,东

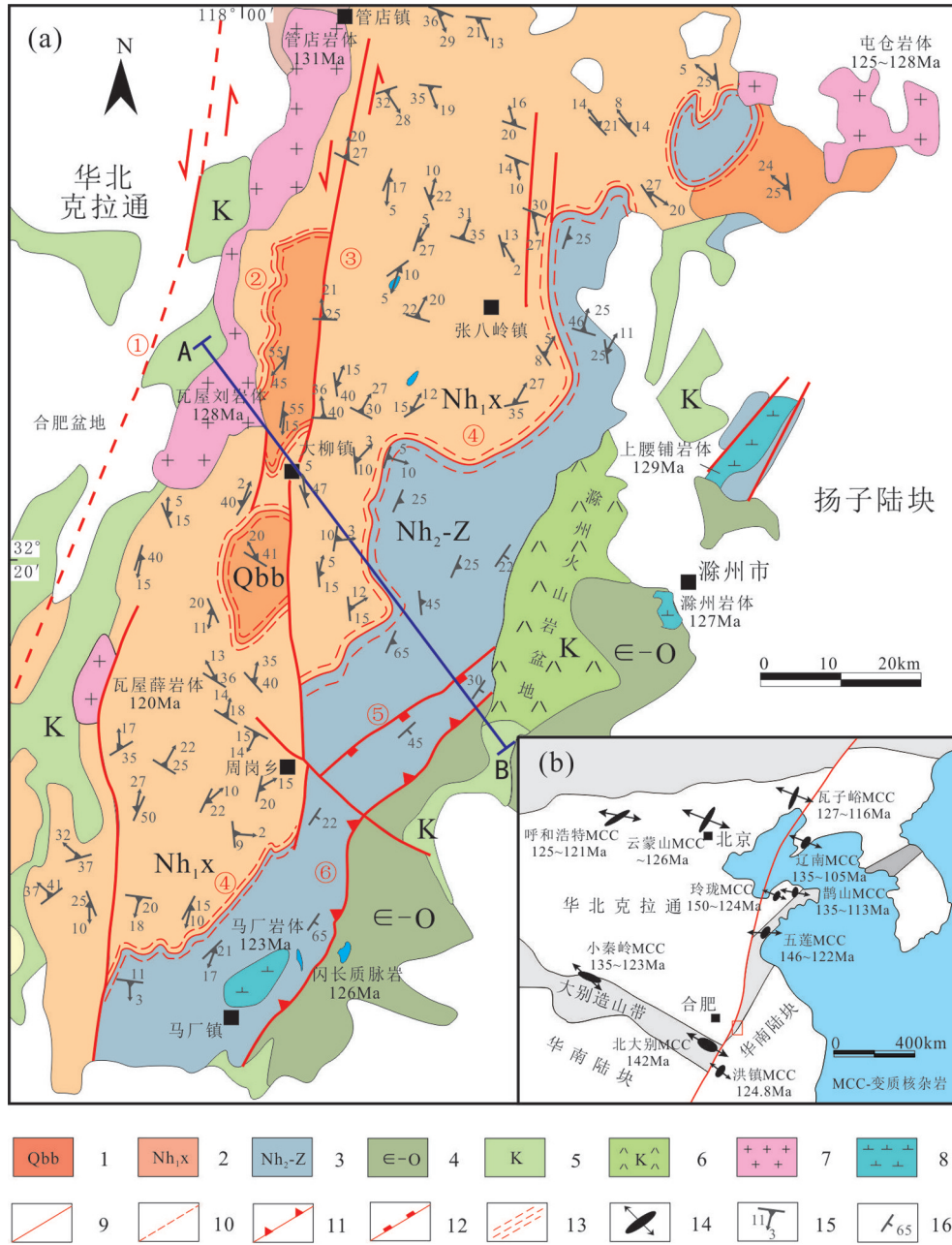


图1 张八岭隆起地质简图(a)和中国东部变质核杂岩分布图(b)

1—青白口系北将军组;2—下南华统西冷岩组;3—上南华统—震旦系;4—寒武—奥陶系;5—白垩纪沉积岩;6—白垩纪火山岩;7—燕山期花岗岩;8—燕山期闪长岩;9—实测断层;10—推测断层;11—逆断层;12—正断层;13—韧性剪切带;14—变质核杂岩;15—面理、线理产状;16—地层产状。①—郟庐断裂;②—皇甫山韧性剪切带;③—管店—马厂断裂;④—张八岭韧性剪切带;⑤—龙王庙断层;⑥—黄破断裂

Fig.1 Simplified geological map of Zhangbaling uplift(a) and distribution of metamorphic core complexes in eastern China (b)

1—Beijiangjun Formation of Qingbaikou System; 2—Xileng Formation of Lower Nanhua System; 3—Upper Nanhua – Sinian System; 4—Cambrian–Ordovician; 5—Cretaceous sedimentary rock; 6—Cretaceous volcanic rock; 7—Yanshanian granite; 8—Yanshanian diorite; 9—Measured fault; 10—Inferred fault; 11—Thrust fault; 12—Normal fault; 13—Ductile shear zone; 14—Metamorphic core complex; 15—Foliation and Lineation attitude; 16—Strata attitude. ①—Tanlu fault; ②—Huangpushan ductile shear zone; ③—Guandian –Machang fault; ④—Zhangbaling ductile shear zone; ⑤—Longwangmiao fault; ⑥—Huangpo fault

接扬子陆块,属于大别—张八岭造山带的一部分。研究区主体位于张八岭隆起,南东部属于扬子前陆褶冲带部分(图1b),往西进入合肥盆地,往东则为

滁州火山岩盆地(图1a)。张八岭隆起出露地层为新元古代北将军组和西冷岩组。北将军组主要为千枚岩为主的副变质岩系;西冷岩组主要为变细

碧-角斑岩夹变粉砂岩,岩石类型包括绢云千枚岩、石英绢云千枚岩、绢云石英片岩、含云母石英片岩等。扬子前陆褶冲带主要出露南华纪晚期至奥陶纪地层。南华纪晚期地层岩性主要为砂岩、粉砂岩、粉砂质千枚岩,上统岩性主要为灰岩夹砂岩、砂质千枚岩;寒武系主要岩性为碳酸盐岩,下部有炭质页岩、硅质页岩夹石煤层;奥陶系主要岩性为灰岩、大理岩。

研究区断裂构造十分发育,郟庐断裂带从西侧贯穿而过,区内主要脆性断裂为NNE向管店—马厂断裂和NE向黄栗树—破凉亭断裂。管店—马厂断裂以左行平移为主要特征,黄栗树—破凉亭断裂则以向NE逆冲为主要特征,两者均具有多期活动的特征。此外,研究区还广泛发育不同时期、不同特征的韧性剪切带,代表性的有皇甫山韧性剪切带和张八岭韧性剪切带(图1a),后者为本文研究的主要对象。岩浆活动较为强烈,出露面积较大的有管店岩体、瓦屋刘岩体、瓦屋薛岩体、马厂岩体、屯仓岩体、上腰铺岩体等,中酸性脉岩也广泛分布(图1a)。

3 张八岭隆起变质核杂岩的厘定

中国东部晚中生代伸展构造十分发育,最为醒目的是早白垩世开始的华北克拉通的破坏(Wu et al., 2005; 朱日祥等, 2012),相较于深部岩石圈破坏和减薄的机制探讨,浅部构造的相关论述相对较少。林伟等(2013)提出地壳中发育的伸展构造是克拉通破坏在浅部的直接表现,也是岩石圈深部减薄在浅部的重要响应,并指出广义上的伸展构造包括拆离正断层、变质核杂岩、伸展穹隆、裂陷盆地以及中酸性岩浆活动等,它们是区域伸展最直接的证据。目前,中国东部厘定出多个变质核杂岩,包括华北克拉通东部的瓦子峪、辽南、鹊山、玲珑、五莲等变质核杂岩(Lin et al., 2008; Wang et al., 2011; Zhang et al., 2012; Liu et al., 2013);华北克拉通南缘沿秦岭—大别造山带分布的小秦岭变质核杂岩和北大别变质核杂岩(林伟等, 2013);大别造山带东缘的桐城中大别变质核杂岩和洪镇变质核杂岩(刘硕等, 2016; 林伟等, 2016)(图1b)等。

李修钰等(2018)首次提出了张八岭隆起东段发育白垩纪南黄变质核杂岩。本文通过对张八岭平缓韧性剪切带详细的几何学、运动学分析,进一

步厘定出张八岭隆起变质核杂岩,认为张八岭韧性剪切带是典型的伸展拆离剪切带,变质核杂岩主体发育于郟庐断裂和黄破断裂之间的隆起区,具备以下三层结构:上盘由南华纪—奥陶纪沉积地层和白垩纪盆地组成,下盘为新元古代韧性剪切浅变质碎屑沉积岩、变海相火山岩(基底)以及中生代侵入体,上下盘之间被张八岭韧性拆离断层分隔。根据经典变质核杂岩定义(Davis and Coney, 1979; Davis and 郑亚东, 2002),要求必须有地壳剖面的大规模缺失,通过野外观察,张八岭变质核杂岩也确实存在部分地层的缺失,下盘中地壳基底岩石的构造剥露使得韧性转化带内或之下的塑性变形岩石位移至地表或近地表,也必然会造成基底地层的部分切除,部分地区亦可见拆离剪切断层将上盘周岗组底砾岩完全切割掉,并改造了原始的角度不整合面,但有些地区周岗组底砾岩却依然存在,同时经历了韧性变形(图2d),这些特征说明地层缺失的规模并不大。由此可见,区内地质条件基本满足了确定变质核杂岩必要的地质和几何先决条件,但不是典型的变质核杂岩。

3.1 张八岭伸展拆离剪切带特征

张八岭韧性剪切带是变质核杂岩厘定的重要依据之一。张八岭韧性剪切带糜棱面(叶)理缓倾(10~15°),大致沿周岗组与张八岭岩群西冷岩组的接触带分布,自张八岭向南,过珠龙北、施家集、至管家坝北,呈不规则状断续出露,总体走向约40°,长逾80 km,宽百余米至几百米不等,南部走向为NNE-SSW向,中部多为SN向,北部为NNW-NNE向(图1a)。

剪切带矿物拉伸线理近水平,倾向与面理近一致。S-C组构、残斑拖尾等各种剪切指向标志指示上盘向SE、SSW或SSE滑动,显示明显的右行剪切特征(图2a、c),被NNE向脆性断层叠加改造(图2b),周岗组底部砾岩被韧性剪切定向(图2d),往东(向上)变形表现为韧性程度递减的特征,更东侧的龙王庙断层则表现为倾向SE的脆性高角度正断层(图1a,图3),其为伸展拆离系统近地表脆性变形的表现,这些特征与赵田等(2016)认为的晚阶段递进演变为脆-韧性变形相一致。

3.2 上盘

上盘由新元古代南华纪晚期—古生代沉积盖

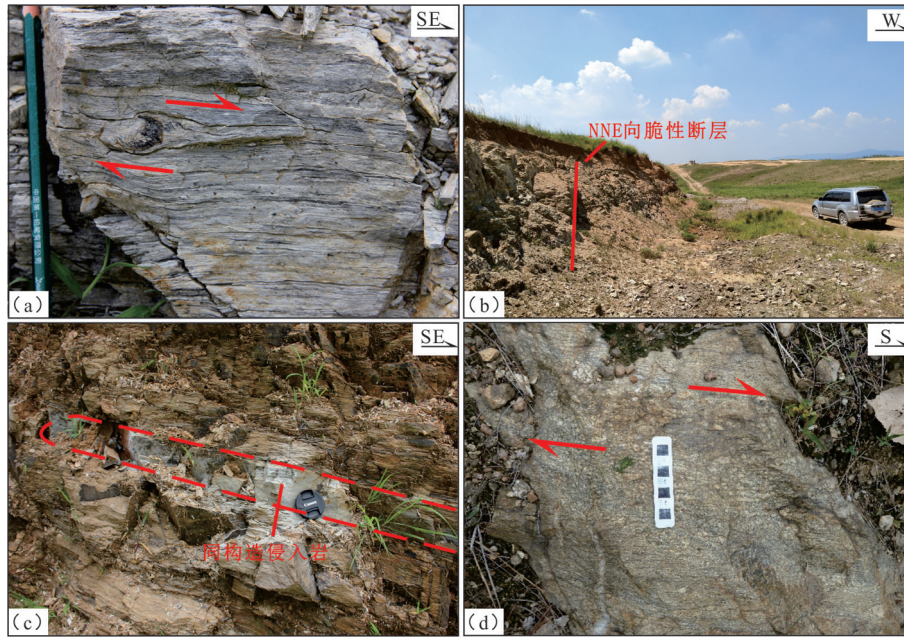


图2 张八岭伸展拆离韧性剪切带野外露头照片

a—旋转碎斑指示向SE右行剪切滑动;b—晚期NNE向脆性断层切割张八岭拆离伸展韧性剪切带;c—张八岭拆离伸展韧性剪切带中的同构造侵入岩;d—张八岭拆离伸展韧性剪切带上盘周岗组底砾岩砾石受右行剪切定向排列

Fig.2 Field outcrop photographs of Zhangbaling extensional detachment ductile shear zone

a—Rotational fragments indicate right row shear to SE; b— NNE brittle faults cut the Zhangbaling detachment ductile shear zone; c—Syntectonic intrusive rocks in Zhangbaling detachment extensional ductile shear zone; d—The right-lateral shear orientation of conglomerate gravels at the bottom of Zhouzhou Gang Formation in Zhangbaling detachment ductile shear zone

层和白垩纪盆地(包括火山岩和沉积岩)组成。两者均经历了伸展拆离断层同期的次生表壳正断层的改造作用。

3.2.1 南华纪晚期—奥陶纪沉积地层

南华纪晚期沉积盖层始于周岗组的沉积,与下伏西冷岩组为角度不整合,它们的接触面为变质核杂岩体系中的主拆离断层带,因而现今接触关系多被改造成为韧性断层接触,局部可见周岗组底砾岩,且受剪切作用影响具有定向性(图2d)。周岗组之上依次整合沉积苏家湾组、黄墟组、灯影组和皮园村组,总体构成了前寒武纪沉积盖层部分。寒武纪以来的古生代地层包括寒武纪荷塘组、黄柏岭组、大陈岭组、杨柳岗组、琅琊山组和奥陶纪上欧冲组和分乡组。寒武纪地层主要岩性为碳酸盐岩,下部见有炭质页岩、硅质页岩夹石煤层,奥陶纪地层主要岩性为灰岩、大理岩等。

张八岭隆起东侧出露的这些南华纪晚期至奥陶纪地层,保留了印支期脆性变形,发育一系列NE向由NW向SE推覆的逆冲褶皱带(图3),其中以黄破断裂带为代表,经历了印支期、燕山期多期构造

变形,为张八岭隆起东侧主要的控岩控矿断裂构造。同样发育变质核杂岩阶段的伸展构造,以龙王庙断层为代表,为高角度倾向SE的正断层。

3.2.2 白垩纪盆地

张八岭隆起东、西两侧的白垩纪盆地是变质核杂岩厘定的另一个重要依据。西侧为合肥盆地张桥组,与东侧滁州盆地赤山组类似,主要岩性为块层状复成分砾岩、灰紫色中厚—厚层砾岩、灰紫红色块层状灰质砾岩,砖红色中—薄层细粒钙质石英砂岩—粉砂岩或泥质粉砂岩组成韵律旋回层。

滁州盆地还发育大量的火山岩,出露面积约80 km²,呈NNE向展布。盆地西部直接覆盖在震旦系灯影组之上,南部和东部不整合在下古生界之上,上部局部见上白垩统张桥组红层。火山岩类型主要包括安山岩、粗安岩、英安岩、辉石安山岩等,并有大套的安山质凝灰岩发育(谢成龙等,2009),其喷发时限为132~116 Ma(谢成龙等,2007;马芳和薛怀民,2011),可分为3期,中期火山岩(129~125 Ma)具有类似于埃达克岩的特征,而早期(约132 Ma)和晚期(125~127 Ma)火山岩则具有一般钙碱

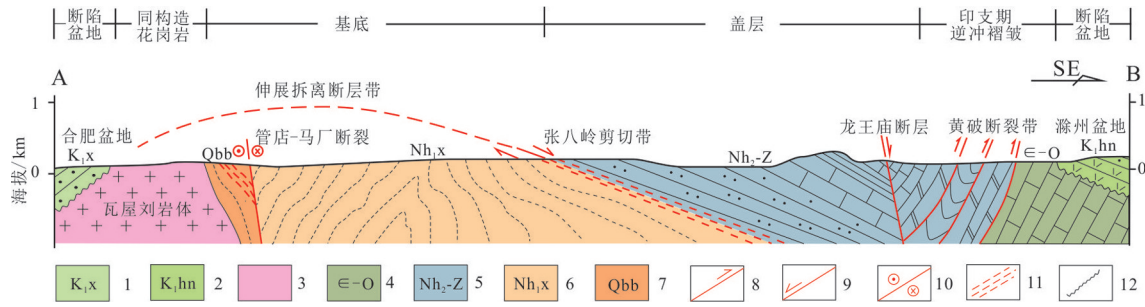


图3 张八岭隆起变质核杂岩剖面图

1—早白垩世新庄组;2—早白垩世黄石坝组;3—早白垩世花岗岩;4—寒武—奥陶系;5—上南华统一震旦系;6—下南华统西冷岩组;7—青白口系北将军组;8—逆断层;9—正断层;10—左行平移断层;11—韧性剪切带;12—不整合面

Fig.3 Profile of metamorphic core complex in Zhangbaling uplift

1—Early Cretaceous Xin Zhuang Formation; 2—Early Cretaceous Huang Shiba Formation; 3—Early Cretaceous granite; 4—Cambrian— Ordovician; 5— Upper Nanhua—Sinian System; 6—Xileng Formation of lower Nanhua System; 7—Beijianguan Formation of Qingbaikou System; 8—Thrust fault; 9— Normal fault; 10—Sinistral Strike-slip fault; 11—Ductile shear zone; 12—Unconformities

性岩浆的性质。地球化学特征表明该套火山岩在岩浆上升过程中没有明显的中、上地壳混染,岩浆过程主要是岩浆混合作用,岩浆源区属于华北克拉通。早期火山岩是EMI型富集地幔部分熔融和古老的华北下地壳部分熔融形成的岩浆混合的结果;中期和晚期火山岩则是幔源底侵物质与古老的华北下地壳岩浆以不同比例混合形成的,也可能有少量的软流圈物质的混入,火山岩是在伸展环境喷发形成的,指示了华北克拉通东部岩石圈的减薄(谢成龙等,2009,2016)。

3.3 下盘

下盘主要由张八岭岩群和早白垩世侵入岩组成。

3.3.1 张八岭岩群

张八岭岩群包括北将军岩组和西冷岩组。北将军组下部为青灰色、灰白色薄至中厚层白云质大理岩、深灰色大理岩化结晶灰岩夹少量深绿色千枚岩及变质粉砂岩;中部为灰绿、黄绿色绢云石英片岩、石英片岩、千枚岩及变质砂岩;上部为黄绿色绢云石英千枚岩、千枚岩夹绢云片岩及石墨片岩;西冷岩组下段为灰白、浅灰绿色薄层绢云片岩、钠长绢云石英片岩、厚层变石英角斑岩、变石英角斑质凝灰岩。上段为灰绿、灰紫、灰白色绢云石英片岩、角砾状绢云石英片岩夹透镜状变细碧岩、钠长阳起片岩、纳长绿泥片岩、绿帘石岩及含蓝闪石纳长阳起片岩、纳闪片岩、红帘石片岩及含集块沉火山角砾岩、角砾状岩屑砂岩等组成,原岩为石英角斑质

凝灰岩、细碧岩。

郭坤一等(1995)对石英角斑岩中单颗粒锆石采用质谱计双带源逐层蒸发法获得同位素年龄值分别为927 Ma和975 Ma。赵田等(2014)运用LA-ICP-MS锆石U-Pb定年所测得的张八岭隆起绿片岩相张八岭岩群变火山岩的原岩时代为754~753 Ma,并指出少数(709±6)~(729±6)Ma的较年轻年龄值可能为后期热事件影响;另外,西冷岩组石英角斑岩LA-ICP-MS锆石U-Pb测年获得(726.8±1.6)Ma的年龄(另文发表),表明西冷岩组形成于南华纪。

3.3.2 早白垩世侵入岩

早白垩世侵入岩主要包括管店岩体、瓦屋刘岩体、瓦屋薛岩体。岩体以狭长带状呈NNE或NE向展布,受深大断裂控制明显。管店岩体、瓦屋刘岩体、瓦屋薛岩体侵位于张八岭岩群变质岩中,与围岩侵入接触关系清晰,瓦屋刘岩体西侧和瓦屋薛岩体东侧主要为白垩纪红层覆盖。岩石类型包括二长岩、石英二长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩等。李学明等(1985)用U-Pb法获得管店岩体的年龄为128 Ma;牛漫兰(2006)根据岩体中黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar测年法获得瓦屋刘、瓦屋薛岩体的年龄分别为128.2 Ma和120.1 Ma;资峰(2008)测得管店岩体的U-Pb年龄为(131.5±1.6)Ma。岩石地球化学研究表明这些岩石具有埃达克岩属性,虽然其岩石成因和岩浆源区还有分歧,多数观点认为它们是由下地壳物质和地幔物质混合或者发生反应的结果

(资峰等,2008;朱强等,2018)。

4 讨论

4.1 变质核杂岩的形成时代和动力学背景

张八岭隆起东缘发育的叶理近直立的、线理近水平以NNE向左行剪切为特征的基底走滑韧性剪切带,并被认为是印支期华南—华北碰撞产生的走滑变形和张八岭地块的碰撞折返过程的重要依据(胡博和张岳桥,2007),此外,张八岭隆起遭受了印支期的构造变形也得到了其他学者研究的支持(陈宣华等,2000;Zhang et al., 2007, 2013; 赵田等, 2014)。本项目组获得的浅变质云母石英片岩中绢云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄值为205~235 Ma(未发表数据),也印证了印支期构造变形的存在。

笔者认为张八岭隆起的韧性变形并不局限于印支期,本文识别出的伸展拆离韧性剪切带无论是面(叶)理产状还是运动学特征,与郟庐断裂带内和张八岭隆起东缘近直立的、线理近水平的左行走滑韧性剪切带(胡博和张岳桥,2007;Zhu et al., 2010)都是截然不同的,它们应为不同时期韧性变形的产物。同时我们注意到,包括张八岭隆起东缘在内的印支期基底走滑韧性剪切带指示的NNE走滑构造方向,与盖层缩短变形的NW-SE向是脱耦的,故印支期变形为早期变形,事实上张八岭隆起的内部类似于东缘的走滑韧性剪切带也是广泛发育的,走向和倾向是杂乱且无规律的,这是因遭受后期变形改造而形成的。由于受到白垩纪强烈构造-岩浆热事件影响,剪切带中云母等矿物的Ar-Ar系统遭受部分重置,大部分单矿物 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄与早白垩世岩浆侵位年龄一致(张岳桥和董树文,2008)。综上所述,笔者认为印支期韧性变形在张八岭隆起是确实存在的,形成了张八岭岩群的绿片岩相的绢云石英片岩,但并未使得张八岭基底地层发生大范围隆升,主要发生在中-浅层次地壳,钻孔资料也显示这套浅变质基底在长江以北的盖层之下是广泛发育的。本次野外工作识别出的右行伸展拆离韧性剪切带的展布方向与其上(东)的盖层变形显示很好的递进关系(图3),早白垩世变质核杂岩伸展拆离断层将印支期形成的张八岭岩群浅变质岩系抬升至地表,形成了张八岭隆起。

区域上来看,华北克拉通东部的变质核杂岩几

乎都是沿着郟庐断裂带两侧发育的,自北向南依次有瓦子峪、辽南、鹊山、玲珑、五莲等变质核杂岩,它们的长轴均沿NE-SW向展布(图1b),拆离断层带中相关 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年结果给出了相对宽泛的时段,指示它们的形成时代为135~129 Ma(Lin et al., 2008; Wang et al., 2011; Zhang et al., 2012; Liu et al., 2013);华北克拉通南缘沿秦岭—大别造山带分布的小秦岭变质核杂岩和北大别变质核杂岩,这些伸展穹隆在131~125 Ma存在一个快速冷却过程,黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年的统计结果给出了125 Ma的拆离断层活动高峰期(林伟等,2013);大别造山带东缘的洪镇变质核杂岩(刘硕等,2016)和桐城中大别变质核杂岩(林伟等,2016),总体沿NE-SW向展布,形成时代均为早白垩世,其中,洪镇变质核杂岩拆离糜棱岩中白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为(124.8±1.2)Ma(刘硕等,2016)。通过以上定年结果,笔者认为中国东部以变质核杂岩为代表的伸展构造活动可能始于早白垩世(135 Ma),张八岭隆起与华北克拉通东部和大别造山带东缘的变质核杂岩均分布在郟庐断裂带两侧,具有长轴沿NE-SW向,上盘向SE右行剪切滑动的相同运动学特征,可能暗示了它们形成于同样的构造背景。

华北克拉通及邻区变质核杂岩与同构造花岗岩年龄的统计结果具有高度的一致性(林伟等,2013),因此,同构造岩浆岩的同位素年龄可以有效地约束变质核杂岩的形成时代。张八岭隆起广泛发育与伸展拆离同构造期的中酸性侵入岩,前人资料积累了大量的年代学资料。李学明等(1985)用U-Pb法获得张八岭隆起管店岩体的年龄为128 Ma;牛漫兰等(2006)根据黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年法获得瓦屋刘、瓦屋薛岩体的年龄分别为128.2 Ma和120.1 Ma;资峰等(2008)测得管店岩体的U-Pb年龄为(131.5±1.6)Ma;朱强等(2018)获得闪长玢岩锆石U-Pb年龄为126 Ma,从野外切割关系及定年结果来看,中性闪长岩类形成时代稍晚于中酸性花岗岩类。以上定年结果显示区内同构造侵入岩与中国东部变质核杂岩拆离剪切带云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年结果具有非常好的一致性,表明张八岭隆起变质核杂岩同样形成于早白垩世。

同构造期侵入岩的地球化学特征同时也是变质核杂岩成因机制的重要判别标志之一。岩石地球

化学特征显示张八岭隆起早白垩世中酸性侵入岩具有埃达克岩的特征,是由拆沉下地壳与地幔物质混合部分熔融形成,形成于伸展背景下(资峰等,2008;朱强等,2018),暗示了中国东部岩石圈伸展减薄可能主要来自于拆沉作用(Gao et al., 1998, 2002; 邓晋福等, 2003; 吴福元等, 2003),其动力学机制可能为伊泽奈崎板块由向北西西运动转变为向北西运动,相应的海沟向南东东后退,从而导致了华北克拉通东部伸展方向由WNW-ESE向转变为NW-SE向(Zhu et al., 2012),造成了整个中国东部岩石圈的减薄和华北克拉通的破坏,张八岭隆起早白垩世变质核杂岩正是此背景下的产物。

4.2 对管店—马厂断裂与郯庐断裂带的关系的指示意义

郯庐断裂带是中国东部一条NNE向延伸的巨型断裂系统,长期以来,它的形成演化过程是众多地质学家关注的焦点。自20世纪80年代以来,大量的科学研究提供了丰富的构造地质学资料和年代学数据(徐嘉伟,1980,1995;万天丰等,1996;汤家富和徐卫,2002;朱光等,2005,2009,2018;王勇生等,2006;侯明金等,2007;张岳桥和董树文,2008)。前人研究认为郯庐断裂带起源于印支期华北和华南板块的碰撞造山过程,在晚中生代经历了多期左行平移活动,分别为中侏罗世和早白垩世初,并已被一些构造和年代学研究所证实,在早白垩世中—晚期普遍转变为伸展活动,呈现为巨型的正断层带(Zhu et al., 2012)。

近年来研究发现张八岭隆起南段在早白垩世初左行走滑与早白垩世期间伸展及岩浆活动之后又叠加了一期左行走滑活动,提出郯庐断裂带在晚中生代存在第三期左行平移活动,同时,未变形的侵入岩年代学研究限定该期左行走滑活动发生在140~124 Ma(王微等,2015;韩雨等,2015;朱光等,2018),到了晚白垩世期间,郯庐断裂又转变为弱伸展活动。

张八岭隆起区位于郯庐断裂带东侧,区内断裂以NNE向管店—马厂断裂最为显著,虽然关于其与郯庐断裂带的关系一直是大家关心的重点问题,但现有研究资料尚缺乏有力证据。管店—马厂断裂向北延至而未切过郯庐主断裂,与其夹角为 10° ~ 25° ,且该断裂带最主要变形为左行剪切,这种与郯庐断裂带平面上的几何关系和相似运动学特征,表

明管店—马厂断裂带可能为郯庐断裂带的次级断裂,其形成与郯庐断裂带的左行剪切密切相关,认为印支末期(J_{1-2})郯庐断裂带重要的左行平移构造形成了贯穿南北的管店—马厂断裂(黄德志等,2000);侯明金等(1999)认为燕山早期受太平洋板块向欧亚大陆俯冲挤压影响,张八岭地区形成NNE向宽缓褶皱,基底拉分,岩浆侵入导致郯庐断裂带锥形形成,继而包括管店—马厂断裂在内的NNE向断裂系形成;刘文灿等(2001)则认为NNE向管店—马厂断裂多表现为西倾的逆冲、平移断层,明显被上侏罗统一白垩系覆盖,形成于早燕山期(J_2 — J_3)郯庐断裂带由中深层次韧性左行走滑向浅层次脆性左行走滑变形转变过程中。笔者野外观察发现,管店—马厂断裂经历了左行平移(图4f、g,图5c)、伸展(图4a、b、c、d,图5d)和右行平移(图4h)多期活动。该断裂及同期NNE向断裂明显切割了其他方向断裂和逆冲推覆构造,同时也切割了本文厘定出的早白垩世变质核杂岩中的伸展拆离断层(图1b),亦可见伸展拆离作用形成的韧性剪切带晚期叠加了脆性NNE向高角度断裂(图2b)。另外,管店—马厂断裂左行平移断层在早白垩世早期侵位的管店中酸性岩体中也普遍发育,表明管店—马厂断裂左行平移形成在岩体侵位之后,在池河小庙山金矿点(图4a、b)以及管店岩体内部,该断裂还控制了晚期闪长岩脉的侵位(图5a、b),这是该断裂重新进入伸展活动的体现。

综上所述,笔者认为NNE向管店—马厂断裂是郯庐断裂的次级派生断裂,定位于早白垩世早期中酸性岩体和晚期中性闪长质岩之间,是对郯庐断裂带早白垩世末第三次短暂左行平移的响应,大致时间为126 Ma。其后,郯庐断裂带重新进入伸展环境,具体表现则为晚期闪长质脉岩的侵位(朱强等,2018)。由此可见,张八岭隆起变质核杂岩的厘定为管店—马厂断裂与郯庐断裂带的关系提供了直接的证据,同时也间接地约束了郯庐断裂带晚中生代的第三次左行平移活动。

4.3 变质核杂岩的形成演化与成矿作用

如前所述,张八岭隆起变质核杂岩形成于早白垩世,在强烈的拉张环境下,同期岩浆作用与岩石圈拆沉引起的地幔物质上涌及壳幔相互作用关系十分密切(朱强等,2018)。研究区金、铅、锌等多金属成矿作用以金矿为主,成矿类型为石英脉—构造

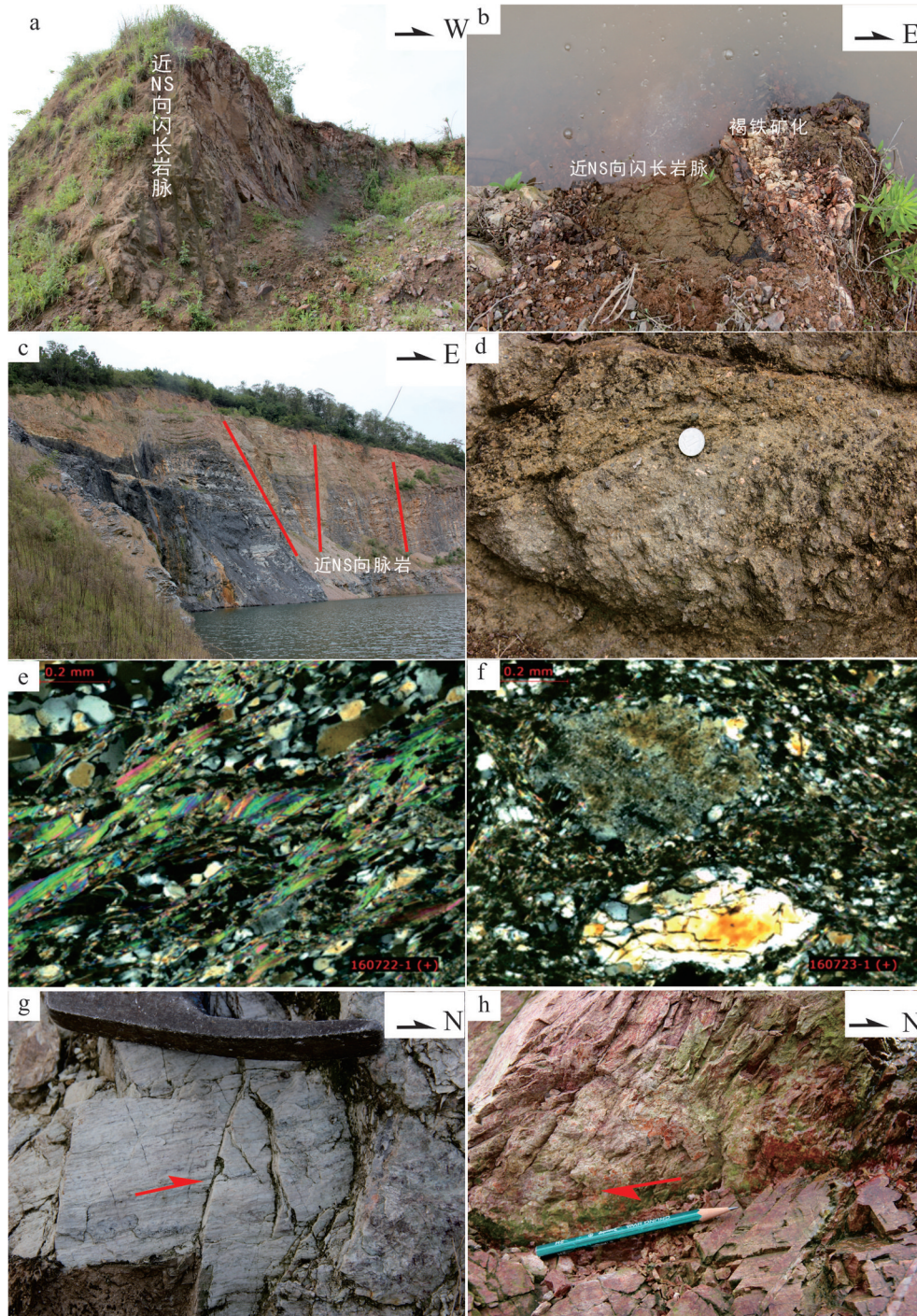


图4 管店-马厂断裂带宏、微观地质特征

a—小庙山闪长岩脉沿SN向破碎带侵入;b—小庙山SN向破碎带、闪长岩脉、褐铁矿化;c—马厂东玉屏山采场晚期近SN向陡立劈理化带及脉岩;d—大庙山西北引爆角砾岩;e—瓦庙村绢云母石英片岩中S-C构造;f—曲阜土庄糜棱岩“σ”型碎斑指示左旋剪切;g—施家集大林水库西冷岩组云母石英片岩早期左行擦痕;h—拂晓南晚期脆性右行擦痕

Fig.4 Macroscopic and microscopic geological characteristics of Guandian-Machang fault

a-Diorite dyke intrude along SN-trending fractured zone in Xiaomiaoshan; b-SN-trending fractured zone in Xiaomiaoshan, diorite dyke and limonite mineralization; c-Late SN-trending steep cleavage zone and dyke in Machang Yupingshan East stope; d- Detonation breccia in North Damiaoshan; e-S-C structure in Wamiaocun sericite quartz schist; f-“σ” type fragmental porphyry indicates left-lateral shear in Quting Tuzhuang; g- Xileng Formation mica quartz schist early Left-Line scratch in Shijiaji Dalin reservoir; h-Late brittle right-hand scratch in Foxiao

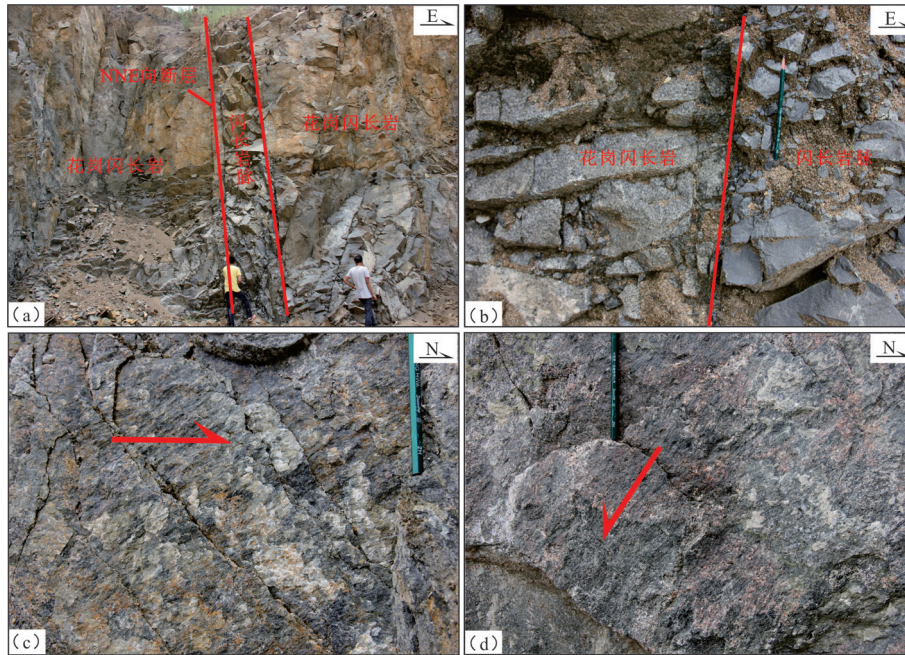


图5 管店岩体晚期闪长岩脉NNE向侵入到花岗闪长岩中

a—晚期闪长岩脉沿NNE向断裂侵入到早期花岗闪长岩中;b—晚期闪长岩脉和早期花岗闪长岩接触关系;c—NNE向断裂早期左行擦痕和阶步;d—NNE向断裂晚期正断层擦痕和阶步

Fig.5 NNE-trending intrusion of late diorite dikes into granodiorite in Guandian pluton

a-Late stage diorite dike intruded into early stage granodiorite along NNE trending faults; b-Contact relationship of between diorite dike and granodiorite; c-The early stage left-lateral striations scratches and steps of the NNE trending faults;d- Late stage normal fault striations scratches and steps of the NNE trending faults

蚀变岩型,矿体或产在早白垩世岩体内部,或产在岩体与地层内外接触带附近,表明成矿作用与岩体关系密切。上成金矿含金石英脉中(118.3±0.5) Ma的石英⁴⁰Ar/³⁹Ar坪年龄,代表了金成矿时代(应汉龙等,2002),其年龄稍晚于岩体,为典型的岩浆期后热液成矿,是对中国东部燕山期成矿大爆发的响应。

总体来看,张八岭隆起区晚中生代构造-岩浆-成矿三者呈现出良好的耦合关系(图6),早白垩世变质核杂岩的形成演化与成矿作用息息相关,其与成矿作用基本可以概括为早期伸展(变质核杂岩阶段)—中期挤压走滑(管店—马厂断裂形成阶段)—晚期伸展(闪长质脉岩侵位阶段)3阶段,最终控制了该地区金多金属矿的形成和定位。具体表现为:早白垩世(135 Ma左右),变质核杂岩体系开始形成,郯庐断裂带转变为伸展环境,控制了早白垩世管店等同构造期中酸性岩体以及合肥盆地、滁州火山岩盆地等;其后,区域进入短暂的挤压环境,郯庐断裂带进入第三期左行阶段(朱光等,2018),作为其次级断裂的管店—马厂断裂开始形成,并使得早期伸展拆离剪切带被左行切割破坏(图1a);最后,

该地区又重新进入伸展阶段,岩浆活动持续进行,岩性转为幔源物质参与更多的闪长质岩类,早期形成的断裂构造重新活化(包括管店—马厂断裂),闪长质岩在地表多呈脉岩沿早前NNE、NW、NE向等断裂侵位。

早期伸展形成的平缓的伸展拆离韧性剪切带,既为导矿构造,又为容矿场所,其规模巨大,连通地表与地壳深处熔融岩浆体。在伸展条件下,断层带为低压空间,深部岩浆热液以及变质热液向断层带运移,并沿其上升。滑脱断层下部韧性剪切带为一规模巨大的强应变带,提供了含金热液活化、迁移和富集。此外,随着上盘冷岩块向下剥离,下盘热岩块不断上升,两者接触带提供地下水和热能,促使热液大规模循环对流,幔源物质提供Au等成矿物质,在滑脱断层中有利地段初步成矿;接着在浅表部位,遭受中期左行走滑和晚期伸展阶段脆性断层的叠加改造,进一步形成层间剪切破碎带,成为成矿热液冷却富集沉淀的良好场所,岩浆作用持续带来更多的金多金属成矿元素,最终形成以上成金矿、郭大洼金矿点、小庙山金矿为代表的石英脉-构

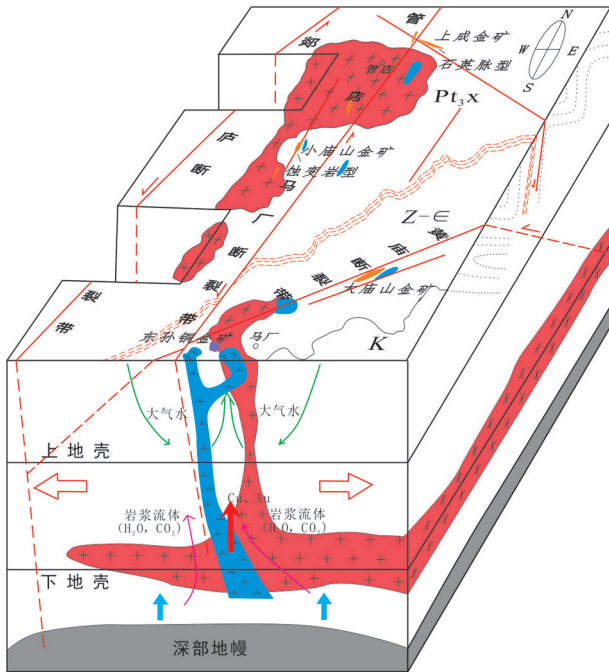


图6 张八岭隆起及邻区构造-岩浆-成矿模式图
 Pt_{3x}—新元古界西冷岩组; Z-C—震旦—寒武系; K—白垩系
 Fig.6 Structural-magmatic-metallogenic model of
 Zhangbaling uplift and its adjacent areas
 Pt_{3x}—Neoproterozoic Xileng Formation; Z-C—Sinian-Cambrian; K—
 Cretaceous

造蚀变岩型金矿,晚期闪长质脉岩可视为寻找构造蚀变岩型多金属矿的主要找矿标志之一。

5 结 论

(1)张八岭隆起广泛分布的平缓韧性剪切带与郟庐断裂带平移作用形成的陡立韧性剪切带明显不同。通过对平缓韧性剪切带的几何学、运动学特征分析,结合早白垩世伸展背景下的火山岩盆地特征、中国东部变质核杂岩伸展拆离断层和同构造岩浆岩同位素定年结果,厘定出张八岭隆起早白垩世变质核杂岩,长轴方向为NE-SW,上盘向SE剪切滑动,与中国东部变质核杂岩一致。

(2)通过张八岭变质核杂岩的厘定,结合野外地质事实,认为管店—马厂断裂是郟庐断裂带的次级断裂,是对郟庐断裂带早白垩世末第三次短暂的左行平移的响应,之后重新进入伸展环境,闪长岩126 Ma的侵位年龄约束了郟庐断裂第三次左行平移的时代。

(3)在综合分析的基础上,建立了区域构造-岩

浆-成矿关系模型,揭示了张八岭隆起早白垩世经历了早期伸展(变质核杂岩阶段)—挤压走滑(管店—马厂断裂形成阶段)—晚期伸展(闪长质脉岩侵位阶段)3个构造阶段,多期构造、岩浆的共同作用下形成了本区的金多金属矿产。

References

- Chen Xuanhua, Wang Xiaofeng, Zhang Qing, Chen Bailin, Chen Zhengle, Harrison T M, Yin A. 2000. Chronological study on the formation and evolution of Tan-lu fault zone[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 30 (3): 215-220 (in Chinese with English abstract).
- Davis G H, Coney P J. 1979. Geologic development of the Cordilleran metamorphic core complex[J]. Geology, 7: 120-124.
- Davis G H, Zheng Yadong. 2002. Metamorphic core complexes: Definition, type and tectonic setting[J]. Geological Bulletin of China, 21(4/5): 185-192(in Chinese with English abstract).
- Deng Jinfu, Zhao Hailing, Mo Xuanxue. 1996. Chinese Continental Root - column Structure: Key to Continental Dynamics[M]. Beijing : Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- Gao S, Luo T C, Zhang B R, Zhang H F, Han Y W, Zhao Z D, Hu Y K. 1998. Chemical composition of the continental crust as revealed by studies in East China[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 62 (11): 1959-1975.
- Gao S, Rudnick R L, Carlson R W, McDonough W F, Liu Y S. 2002. Re-Os evidence for replacement of ancient mantle lithosphere beneath the North China Craton[J]. Earth and Planetary Science Letters, 198(3/4): 307-322.
- Guo Kunyi, Wang Yingping. 1995. Petrology and petrochemical features of sprite-quartz-keratophyre, Zhangbaling metamorphic terrain[J]. Volcanology & Mineral Resources, 16(4): 25-35(in Chinese with English abstract).
- Han Yu, Niu Manlan, Zhu Guang, Wu Qi, Li Xiucui, Wang Ting. 2015. Geochronological evidence for the middle Early Cretaceous strike-slip movement from the Feidong segment of the Tan-Lu fault zone[J]. Advances in Earth Science, 30: 922-939(in Chinese with English abstract).
- Hou Mingjin, Wu Yuedong, Tang Jiafu. 1999. The metamorphic stratigraphic secession and structural patterns of Zhangbaling area[J]. Geology of Anhui, 9(1): 26-29(in Chinese with English abstract).
- Hou Mingjin, Zhu Guang, Mercier J, Vergély P, Wang Yongmin. 2007. Analyzing on geodynamic and regional tectonic evolution of Tanlu fault zone (Anhui segment) and its environs[J]. Chinese Journal of Geology, 42(2): 362-381(in Chinese with English abstract).
- Hu Bo, Zhang Yueqiao. 2007. Discovery of a basement strike-slip ductile shear zone on the eastern margin of the Zhangbaling uplift, Anhui, China, and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin

- of China, 26 (3): 256–265(in Chinese with English abstract).
- Huang Dezhi, Qiu Ruilong, Liu Deliang, Yang Xiaoyong, Xu Xiang. 2000. Verification of Guandian– Longwangjian Fault and TEM analysis of mylonites and its geological significance[J]. Geological Review, 46 (1): 58– 64(in Chinese with English abstract).
- Li Sanzhong, Liu Xin, Suo Yanhui, Liu Liping, Qian Cunchao, Liu Xiaochun, Zhang Guowei, Zhao Guochun. 2009. Triassic folding and thrusting in the eastern block of North China Craton and Dabie–Sulu orogenic belt and its geodynamic[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(9): 2031–2049(in Chinese with English abstract).
- Li Xiuyu, Zhu Kun, Tu Yinjiu, Wu Libin. 2018. Preliminary study on the Nanhuang metamorphic core complex in eastern Anhui [J]. Geology of Anhui, 28 (1):1–10(in Chinese with English abstract).
- Li Xueming, Li Binxian, Zhang Xun, Zhou Taixi. 1985. Isotope geological age of Guandian pluton and dynamic metamorphism of Tanlu fault zone[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 15 (supp.): 254–261(in Chinese with English abstract).
- Lin W, Faure M, Monié P, Scharer U, Panis D. 2008. Mesozoic extensional tectonics in Eastern Asia: The South Liaodong Peninsula Metamorphic Core Complex (NE China) [J]. The Journal of Geology, 116(2): 134–154.
- Lin W, Faure M, Wang Q C, Monié P, Panis D. 2005. Triassic polyphase deformation in the Feidong–Zhangbaling Massif(eastern China)and its place in the collision between the North China and South China blocks[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 25(1): 121–136.
- Lin Wei, Ji Wenbin, Shi Yonghong, Chu Yang, Li Qiuli, Chen Zechao, Liu Fei, Wang Qingchen. 2013. Multi–stage exhumation processes of the UHP metamorphic rocks: Implications from the extensional structure of Tongbai– Hong’an– Dabieshan orogenic belt[J]. Chinese Science Bulletin, 58(23): 2259– 2265(in Chinese).
- Lin Wei, Ji Wenbin, Shi Yonghong, Li Qiuli, Wang Qingchen. 2016. Structural analysis of the Tongcheng HP–UHP metamorphic belt in the northeastern Dabieshan and its constraint on the Tan–Lu fault zone[J]. Acta Petrologica Sinica, 32(4): 950–964(in Chinese with English abstract).
- Liu J L, Shen L, Ji M, Guan H M, Zhang Z C, Zhao Z D. 2013.The Liaonan /Wanfu metamorphic core complexes in the Liaodong Peninsula: Two stages of exhumation and constraints on the destruction of the North China Craton[J].Tectonics, 32(5): 1211–1141.
- Liu Shuo, Zhu Guang, Wu Qi, Chen Yin, Zhang Shuai, Wang Wei. 2016. Reappraisal of protolith ages and formation mechanism for the metamorphic core complex in Hongzhen, Huaining County, Anhui Province[J]. Geological Review, 62(3): 585–602(in Chinese with English abstract).
- Liu Wencan, Li Bowen, Pan Baoyou, Liu Yubao. 2001. Mesozoic tectonic deformation characteristics of Chaohu– Cuzhou area in Anhui[J]. Geoscience, 15(1): 13– 20(in Chinese with English abstract).
- Ma Fang, Xue Huaimin. 2011. SHRIMP zircon U– Pb age of late Mesozoic volcanic rocks from the Chuzhou basin , eastern Anhui Province , and its geological significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 30 (5): 924–934(in Chinese with English abstract).
- Niu Manlan. 2006. ^{40}Ar – ^{39}Ar dating of biotite from the mesozonic intrusions in Zhangbaling area and its geological significance [J]. Geological Science, 41(2): 217– 225(in Chinese with English abstract).
- Tang Jiafu, Xu Wei. 2002. No huge stricke slip in the southern sector of the Tancheng– Lujiang fault– tectonic evidence from Anhui Province [J]. Geological Review, 48 (5): 449–456(in Chinese with English abstract).
- Wan Tianfeng, Zhu Hong, Zhao Lei, Lin Jianping, Cheng Jie, Chen Jin. 1996. Formation and evolution of Tancheng– Lujiang fault zone: A review[J]. Geoscience, 10(2): 159– 168(in Chinese with English abstract).
- Wang T, Zheng Y D, Zhang J J, Zeng L S, Donskaya T, Guo L, Li J B. 2011. Pattern and kinematic polarity of Late Mesozoic extension in continental NE Asia: Perspectives from metamorphic core complexes[J]. Tectonics, 30(6). doi:10.1029/2011TC002896.
- Wang Wei, Song Chuanzhong, Li Jiahao, Ren Shenglian, Zhang Yan, Liu Huan, Yang Fan. 2015. Zircon U–Pb dating of shear activity in Feidong segment of Tanlu fault zone [J]. Chinese Journal of Geology, 50: 800–809(in Chinese with English abstract).
- Wang Y S. 2006. The onset of the Tan– Lu fault movement in eastern China: Constraints from zircon (SHRIMP) and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating[J]. Terra Nova, 18: 23–431.
- Wang Yongsheng, Zhu Guang, Song Zhuanzhong, Liu Guosheng, Xiang Biwei, Li Changcheng, Xie Chenglong. 2006. ^{40}Ar – ^{39}Ar chronology records of the transition from strike–slip to extensional movement of the Tanlu fault zone in the eastern Dabie Mountains[J]. Chinese Journal of Geology, 41(2): 242– 255(in Chinese with English abstract).
- Wu F Y, Lin J Q, Wilde S A, Zhang X O, Yang J H. 2005. Nature and significance of the Early Cretaceous giant igneous event in eastern China[J].Earth Planet Science Letter, 233: 103–119.
- Wu Fuyuan, Sun Deyou, Zhang Guangliang, Ren Xiangwen. 2000. Deep geodynamics of Yanshanain movement[J]. Geological Journal of China Universities, 6(3): 379– 388(in Chinese with English abstract).
- Xie Chenglong, Chen Juan, Liu Youqin, Zhu Xiaochao, Niu Manlan, Xiang Biwei. 2016. Inherited zircon U–Pb geochronology of the Late Mesozoic igneous rocks from the Zhangbaling uplift segment of the Tan–Lu Fault Zone: Magma source affinity and its tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 32 (4): 976– 988(in Chinese with English abstract).

- Xie Chenglong, Zhu Guang, Niu Manlan, Liu Xiaoming. 2009. Geochemistry of Late Mesozoic volcanic rocks from Chuzhou area and its implication for the lithospheric thinning beneath the Tan-lu fault zone[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (1): 92-108(in Chinese with English abstract).
- Xu J W, Ma G F, Tong W X, Zhu G, Lin S F. 1993. The Tancheng Lujiang Wrench Fault System[M]. Hoboken: John Wiley & Sons. 51-74.
- Xu Jiawei, Zhu Guang, Lv Peiji, Zheng Xuexin, Sun Shiqun. 1995. Progress in the studies on strike-slip chronology of the Tan-lu fault zone[J]. *Geology of Anhui*, 5(1): 1-11(in Chinese with English abstract).
- Xu Jiawei. 1980. The great left-lateral horizontal displacement of Tancheng-Lujiang fault zone, eastern China [J]. *Journal of Hefei University of Technology*, 1: 1-26(in Chinese with English abstract).
- Ying Hanlong, Liu Bingguang. 2002. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of gold-bearing quartz veins in Fengyang and Zhangbaling areas, Anhui Province, and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 21(3): 240-245(in Chinese with English abstract).
- Zhang B L, Zhu G, Jiang D Zi, Li C C, Chen Y. 2012. Evolution of the Yiwulushan metamorphic core complex from distributed to localized deformation and its tectonic implications[J]. *Tectonics*, 31 (4).
- Zhang Q, Teyssier C, Dunlap J, Zhu G. 2007. Oblique collision between North and South China recorded in Zhangbaling and Fucha Shan (Dabie-Sulu transfer zone)[J]. *The Geological Society of America Special Paper*, 434: 167-206.
- Zhang Q, Teyssier C. 2013a. Flow vorticity in Zhangbaling transpressional attachment zone, SE China[J]. *Journal of Structural Geology*, 48:72-84.
- Zhang Yueqiao, Dong Shuwen. 2008. Mesozoic tectonic evolution history of the Tan-Lu fault zone, China: Advances and new understanding[J]. *Geological Bulletin of China*, 27: 1371-1390(in Chinese with English abstract).
- Zhao T, Zhu G, Lin S Z, Yan L J, Jiang Q Q. 2014. Protolith ages and deformation mechanism of metamorphic rocks in the Zhangbaling uplift segment of the Tan-Lu fault zone[J]. *Science China: Earth Sciences*, 57(11): 2740-2757.
- Zhao Tian, Zhu Guang, Xiang Biwei, Lin Shaoze. 2016. Discussion on initial mechanism of the Tan-Lu fault zone[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 35 (6): 1120-1140(in Chinese with English abstract).
- Zhu G, Jiang D Z, Zhang B L, Chen Y. 2012. Destruction of the eastern North China Craton in a backarc setting: Evidence from crustal deformation kinematics[J]. *Gondwana Research*, 22 (1): 86-103.
- Zhu G, Niu M L, Xie C L, Wang Y S. 2010. Sinistral to normal faulting along the Tan-Lu fault zone: Evidence for geodynamic switching of the East China continental margin[J]. *The Journal of Geology*, 118(3): 277-293.
- Zhu Guang, Liu Cheng, Gu Chengchuan, Zhang Shuai, Li Yunjian, Su Nan, Xiao Shiye. 2018. Oceanic plate subduction history in the western Pacific Ocean: Constraint from Late Mesozoic evolution of the Tan-Lu Fault Zone[J]. *Science China Earth Sciences*, 48(4): 415-435(in Chinese with English abstract).
- Zhu Guang, Xie Chenglong, Wang Yongsheng, Niu Manlan, Liu Guosheng. 2005. Characteristics of Tan-lu high-pressure strike-slip ductile shear zone and its $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21 (6): 1687-1702(in Chinese with English abstract).
- Zhu Guang, Zhang Li, Xie Chenglong, Niu Manlan, Wang Yongsheng. 2009. Isotope chronology constraints on tectonic evolution of Tan-Lu fault zone[J]. *Chinese Journal of Geology*, 44(4): 1327-1342(in Chinese with English abstract).
- Zhu Qiang, Hu Zhaoqi, Shi Ke, Wu Libin, Jiang Laili. 2018. Zircon U-Pb age and geochemistry of the dioritic rocks in Chuzhou area in Anhui Province: Petrogenesis and dynamics significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 37 (6): 1101-1112(in Chinese with English abstract).
- Zhu Rixiang, Xu Yigang, Zhu Guang, Zhang Hongfu, Xia Qunke, Zheng Tianyue. 2012. Destruction of the North China Craton [J]. *Science China: Earth Sciences*, 42: 1135-1159(in Chinese).
- Zi Feng, Wang Qiang, Tang Gongjian, Song Biao, Xie Liewen, Yang Yueheng, Liang Xirong, Tu Xianglin, Liu Ying. 2008. SHRIMP U-Pb Zircon geochronology and geochemistry of the Guandian pluton in central Anhui, China: Petrogenesis and dynamic significance[J]. *Geochemistry*, 37(5): 462-480(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- Davis G H, 郑亚东. 2002. 变质核杂岩的定义、类型及构造背景[J]. *地质通报*, 21(4/5): 185-192.
- 陈宣华, 王小凤, 张青, 陈柏林, 陈正乐, Harrison T M, Yin A. 2000. 郟庐断裂带形成演化的年代学研究[J]. *长春科技大学学报*, 30(3): 215-220.
- 邓晋福, 苏尚国, 赵海玲, 莫宣学, 肖庆辉, 周肃, 刘翠, 赵国春. 2003. 华北地区燕山期岩石圈减薄的深部过程[J]. *地学前缘*, 10(3): 41-50.
- 郭坤一, 王迎平. 1995. 张八岭变质地体细碧石英角闪岩系岩石学和岩石化学[J]. *火山地质与矿产*, 16(4): 25-35.
- 韩雨, 牛漫兰, 朱光, 吴齐, 李秀财, 王婷. 2015. 郟庐断裂带肥东段早白垩世中期走滑运动的年代学证据[J]. *地球科学进展*, 30: 922-939.
- 侯明金, 吴跃东, 汤加富. 1999. 张八岭地区变质地层序列与构造型式[J]. *安徽地质*, 9(1): 26-29.
- 侯明金, 朱光, Mercier J, Vergély P, 王永敏. 2007. 郟庐断裂带(安徽段)及邻区的动力学分析与区域构造演化[J]. *地质科学*, 42(2): 362-381.
- 胡博, 张岳桥. 2007. 安徽张八岭隆起东缘基底走滑韧性剪切带的发现及其构造意义[J]. *地质通报*, 26(3): 256-265.

- 黄德志, 邱瑞龙, 刘德良, 杨晓勇, 徐祥. 2000. 安徽省嘉山管店—全椒龙王尖断裂的厘定和构造岩透射电镜分析及地质意义[J]. 地质论评, 46(1): 58–64.
- 李三忠, 刘鑫, 索艳慧, 刘丽萍, 钱存超, 刘晓春, 张国伟, 赵国春. 2009. 华北克拉通东部地块和大别—苏鲁造山带印支期褶皱—逆冲构造与动力学背景[J]. 岩石学报, 25(9): 2031–2049.
- 李修钰, 朱琨, 涂荫玖, 吴礼彬. 2018. 安徽东部南黄变质核杂岩初步研究[J]. 安徽地质, 28(1): 1–10.
- 李学明, 李彬贤, 张翼, 周泰禧. 1985. 安徽管店岩体的同位素地质年龄和郟庐断裂带的动力学变质作用[J]. 中国科学技术大学学报, 15(增刊): 254–261.
- 林伟, 冀文斌, 石永红, 褚杨, 李秋立, 陈泽超, 刘飞, 王清晨. 2013. 高压—超高压变质岩石的多期构造折返: 以桐柏—红安—大别造山带为例[J]. 科学通报, 58(23): 2259–2265.
- 林伟, 冀文斌, 石永红, 李秋立, 王清晨. 2016. 大别山东北缘桐城高压—超高压变质带的构造解析及其对郟庐断裂带的制约[J]. 岩石学报, 32(4): 950–964.
- 刘硕, 朱光, 吴齐, 陈印, 张帅, 王薇. 2016. 安徽怀宁县洪镇变质核杂岩原岩时代与形成机制再认识[J]. 地质论评, 62(3): 585–602.
- 刘文灿, 李博文, 潘宝友, 刘玉宝. 2001. 安徽巢湖—滁州地区中生代构造变形特征[J]. 现代地质, 15(1): 13–20.
- 马芳, 薛怀民. 2011. 皖东滁州盆地晚中生代火山岩的 SHRIMP 锆石 U–Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 30(5): 924–934.
- 牛漫兰. 2006. 张八岭地区中生代岩体中黑云母的 ^{40}Ar – ^{39}Ar 年龄及其地质意义[J]. 地质科学, 41(2): 217–225.
- 汤加富, 许卫. 2002. 郟庐断裂带南段并无巨大平移——来自安徽境内的证据[J]. 地质论评, 48(5): 449–456.
- 万天丰, 朱鸿, 赵磊, 林建平, 程捷, 陈进. 1996. 郟庐断裂带的形成与演化: 综述[J]. 现代地质, 10(2): 159–168.
- 王微, 宋传中, 李加好, 任升莲, 张妍, 刘欢, 杨帆. 2015. 郟庐断裂带肥东段剪切活动锆石 U–Pb 测年[J]. 地质科学, 50: 800–809.
- 王勇生, 朱光, 宋传中, 刘国生, 向必伟, 李长城, 谢成龙. 2006. 大别山东端郟庐断裂带由走滑向伸展运动转换的 ^{40}Ar – ^{39}Ar 年代学记录[J]. 地质科学, 41(2): 242–255.
- 吴福元, 葛文春, 孙德有, 郭春丽. 2003. 中国东部岩石圈减薄研究中的几个问题[J]. 地学前缘, 10(3): 51–60.
- 谢成龙, 陈娟, 刘友勤, 朱晓超, 牛漫兰, 向必伟. 2016. 郟庐断裂带张八岭隆起段晚中生代岩浆岩继承锆石 U–Pb 年代学: 源区属性及构造意义[J]. 岩石学报, 32(4): 976–988.
- 谢成龙, 朱光, 牛漫兰, 柳小明. 2009. 滁州火山岩地球化学及其对郟庐断裂带内岩石圈减薄的指示[J]. 岩石学报, 25(1): 92–108.
- 徐嘉伟, 朱光, 吕培基, 郑学信, 孙世群. 1995. 郟庐断裂带平移年代学研究的进展[J]. 安徽地质, 5(1): 1–11.
- 徐嘉伟. 1980. 郟—庐断裂带巨大的左行平移运动[J]. 合肥工业大学学报, 1: 1–26.
- 应汉龙, 刘秉光. 2002. 安徽凤阳和张八岭地区含金石英脉的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 21(3): 240–245.
- 张岳桥, 董树文. 2008. 郟庐断裂带中生代构造演化史: 进展与新认识[J]. 地质通报, 27: 1371–1390.
- 赵田, 朱光, 林少泽, 严乐佳, 姜芹芹. 2014. 郟庐断裂带张八岭隆起段变质岩的原岩时代与变形机制[J]. 中国科学: 地球科学, 44: 2112–2129.
- 赵田, 朱光, 向必伟, 林少泽. 2016. 郟庐断裂带起源机制的探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 35(6): 1120–1140.
- 周力, 张均, 王健, 孙腾. 2014. 安徽张八岭地区管店岩体成因及其与上成金矿床的关系[J]. 地质科技情报, 33(1): 32–40.
- 朱光, 谢成龙, 王勇生, 牛漫兰, 刘国生. 2005. 郟庐高压走滑韧性剪切带特征及其 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年[J]. 岩石学报, 21(6): 1687–1702.
- 朱光, 张力, 谢成龙, 牛漫兰, 王勇生. 2009. 郟庐断裂带构造演化的同位素年代学制约[J]. 地质科学, 44(4): 1327–1342.
- 朱光, 刘程, 顾承串, 张帅, 李云剑, 苏楠, 肖世椰. 2018. 郟庐断裂带晚中生代演化对西太平洋俯冲历史的指示[J]. 中国科学: 地球科学, 48(4): 415–435.
- 朱强, 胡召齐, 施珂, 吴林彬, 江来利. 2018. 安徽滁州地区闪长质岩锆石 U–Pb 年龄与地球化学: 岩石成因和动力学意义[J]. 地质通报, 37(6): 1101–1112.
- 朱日祥, 徐义刚, 朱光, 张宏福, 夏群科, 郑天愉. 2012. 华北克拉通破坏[J]. 中国科学: 地球科学, 42: 1135–1159.
- 资锋, 王强, 唐功建, 宋彪, 谢烈文, 杨岳衡, 梁细荣, 涂湘林, 刘颖. 2008. 皖中管店岩体的锆石年代学与地球化学: 岩石成因和动力学意义[J]. 地球化学, 37(5), 462–480.