



苏鲁造山带的构造格局与演化: 来自苏鲁超高压带浅变质岩的制约

周建波*, 曾维顺, 曹嘉麟, 韩杰

吉林大学地球科学学院, 长春 130061

* 联系人, E-mail: zhoujianbo@jlu.edu.cn

2013-05-12 收稿, 2013-07-01 接受, 2013-08-07 网络版发表

国家重点基础研究发展计划(2009CB825008, 2013CB429802)和国家自然科学基金(41272241, 41190075)资助

摘要 苏鲁超高压带内部及其北缘广泛发育以绿片岩相为代表的新元古界浅变质岩系, 如超高压带内部石桥浅变质岩, 超高压带南部的海州群和超高压带北部的五莲群、蓬莱群以及鲁西地区的土门群等. 其中五莲群和海州群具有扬子型新元古界岩石组合特征, 以发育含磷、冰碛砾岩和双峰式火山岩为特征, 碎屑锆石在这些地层中也记录了丰富的新元古代年龄信息; 而鲁西土门群和胶北蓬莱群华北型新元古界在苏鲁地区以碎屑岩-碳酸盐岩为代表, 其碎屑锆石在这些地层中记录了与华北基底变质岩相似的年代学信息. 根据这些浅变质岩系的地质学 and 同位素年代学特征, 我们对苏鲁造山带的构造格局, 板块缝合线位置和大陆碰撞过程中的构造推覆提出了新的认识.

关键词

浅变质岩
新元古界
锆石年龄谱
大陆碰撞
苏鲁造山带

大别-苏鲁超高压变质带中广泛发育以绿片岩相变质为主的浅变质岩系^[1-3], 它们大多经历并记录了华南陆块俯冲与折返等重大地质过程, 对示踪大别-苏鲁造山带与大陆碰撞有关的过程具有重要的指示意义. 前人曾针对这些浅变质岩进行了大量的研究工作, 提升了浅变质岩系在大别-苏鲁超高压变质带研究的理论意义^[1-8]. 但是由于以往的研究多为局部地段的观察, 缺乏系统性和综合性, 进而导致对苏鲁造山带构造格局和演化机制等重大地质问题存在截然相反的认识. 按照出露的大地构造位置, 苏鲁地区有争议的新元古代浅变质岩具体包括超高压内部的石桥杂岩^[1-3,5,9,10], 超高压带北缘的五莲群杂岩^[3-5,7,11-13]和胶北地块的蓬莱群^[6,14-18]等. 其中五莲群和石桥浅变质岩产出在超高压带邻近区域, 均遭受了强烈韧性剪切作用的改造并呈断续的残片状出露, 对其属于华南还是华北陆块的大地构造亲缘性及其形成机制等问题始终存在多种截然不同的认识^[1-13]. 而造山

带北侧胶北地块分布的蓬莱群尽管出露相对连续, 变质变形作用改造较弱, 但是由于它们的地质研究程度较低, 目前仍有属于华北陆块^[6,18], 属于华南陆块^[16,17], 或部分属于华南陆块的仰冲残片^[14,15]等截然不同的认识.

造成上述认识分歧的主要原因是: (1) 目前的地质工作均集中在个别地段的观察和测试, 缺少系统性和针对性的大地构造亲缘性研究, 进而制约着对苏鲁造山带构造格局的认识和大陆板块俯冲过程与机制的深入探讨; (2) 苏鲁地区有争议的新元古代浅变质岩以碎屑岩-碳酸盐岩为代表. 由于缺少火山岩夹层导致其原岩年龄和构造成因背景缺少必要的制约条件, 因此传统的地质观测对其大地构造亲缘性的识别较为困难; (3) 最近的碎屑锆石 U-Pb 年代学研究成果为苏鲁地区新元古代浅变质岩的物源区性质及其大地构造亲缘性的识别提供了较好的研究思路^[5-8,14,15], 但是在没有典型的苏鲁周缘华北/华南同

引用格式: 周建波, 曾维顺, 曹嘉麟, 等. 苏鲁造山带的构造格局与演化: 来自苏鲁超高压带浅变质岩的制约. 科学通报, 2013, 58: 2338-2343

Zhou J B, Zeng W S, Cao J L, et al. The tectonic framework and evolution of the Sulu Orogen: evidence from the low-grade metamorphic rocks in the SuLu UHP belt. Chin Sci Bull, 2013, 58: 2338-2343, doi: 10.1360/972013-561

时代标志性年龄谱信息制约下,应用区域性华南/华北背景资料进行对比,很难对新元古界地层中碎屑锆石的所有 U-Pb 年龄谱信息的含义给出明确的解释,进而导致对其可能的构造亲缘性也存在截然相反的判别^[1-8,14-19]。为此,我们针对苏鲁地区浅变质岩进行了探索研究,结果对识别苏鲁地区浅变质岩的构造属性,厘定苏鲁造山带的构造格局以及大陆碰撞过程中的构造推覆等方面具有重要意义。

1 苏鲁地区典型华南/华北陆块年龄谱的建立

苏鲁造山带广泛发育新元古代浅变质沉积地层,

如超高压带内部石桥浅变质岩和超高压带北部的五莲群、蓬莱群等(图 1)。我们通过岩石组合结合锆石年龄谱对苏鲁超高压带的浅变质岩的大地构造属性进行了有效判别,取得了如下成果。

1.1 建立了苏鲁地区典型华北板块新元古界的岩石组合特征和锆石 U-Pb 年龄谱

胶北地区的变质结晶基底原岩为 2541 ± 5 Ma 的 TTG 岩系,并叠加变质年龄为 1866 ± 4 Ma 的麻粒岩-高角闪相变质作用。这些特征不仅证明胶北地区为华北陆块的重要组成部分,同时也证明华北陆块东

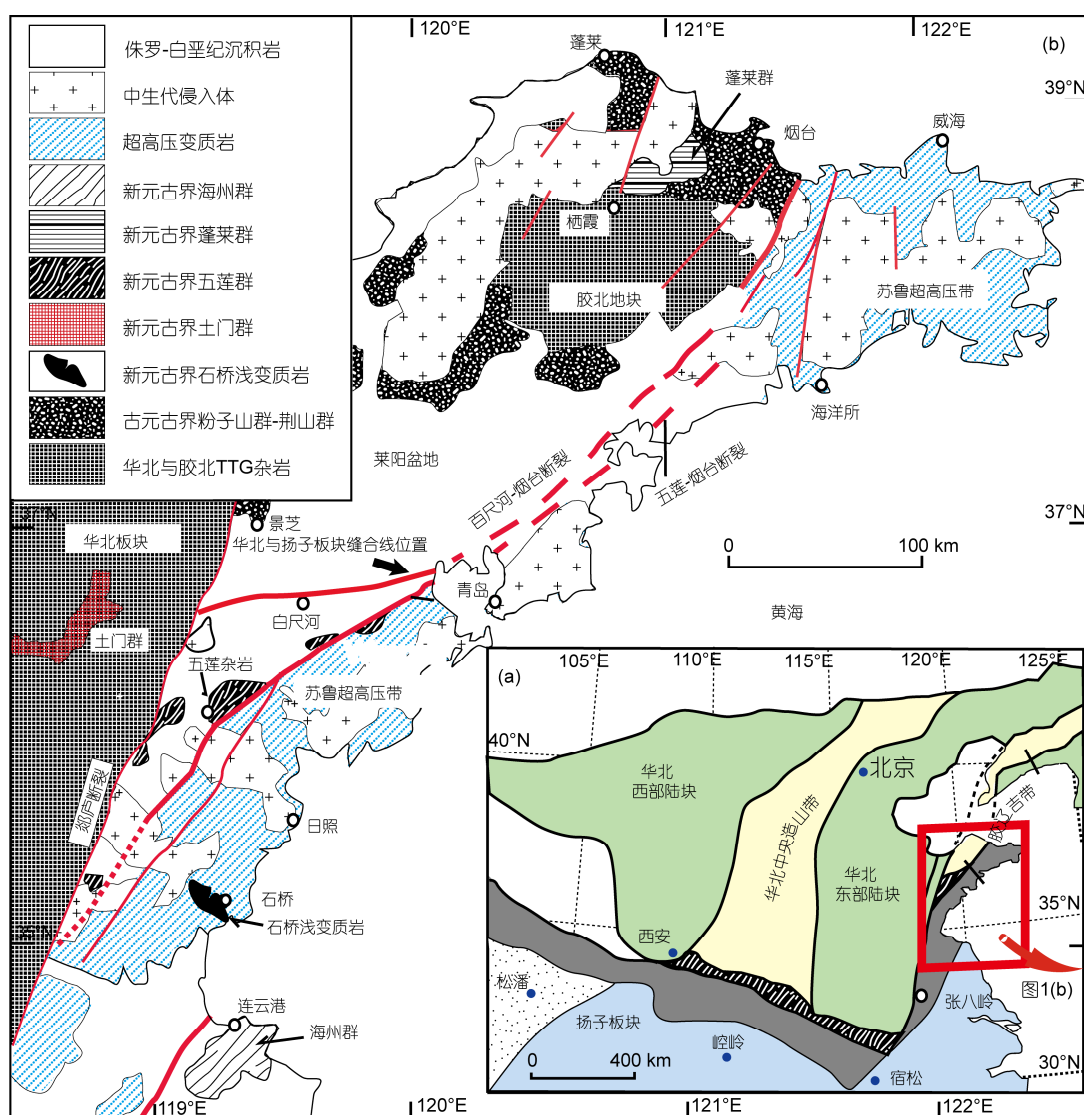


图 1 大别-苏鲁造山带构造格局(a)和苏鲁造山带的构造格局及其浅变质的出露位置(b)

修改自文献[8]。图中示扬子与华北板块的缝合线为五莲杂岩带以北的百尺河-烟台断裂

南部的胶-辽-吉变质带形成时代与华北中部造山带一致, 约为~1.86 Ga. 不整合在胶北 TTG 杂岩之上的蓬莱群碎屑锆石 U-Pb 年龄分布在 2.9~1.8 Ga 之间 (SHRIMP 法), 主要集中在>2.5, 2.45~2.1 和 2.0~1.8 Ga, 显示蓬莱群的物源区为“原地的”太古代 TTG 岩系和早-中元古代粉子山和荆山群(图 2(a)).

鲁西典型华北地区土门群的碎屑锆石 U-Pb 年龄多集中分布在 2.2~2.5 Ga, 发育时代为~2.5 Ga 的峰期(图 2(c)), 其与华北陆块基底年龄信息一致. 典型华北新元古界的蓬莱群和土门群岩石组合以浅变质复理石岩系为主, 这一组合与辽东地区的震旦系具有可比性, 而与华南陆块北缘的震旦系含磷-火山岩具有明显的区别.

1.2 建立了苏鲁地区典型华南陆块型新元古界岩石组合特征和锆石 U-Pb 年龄谱

苏鲁高压带内海州群包括锦屏和云台组, 野外

调研表明其岩石组合以双峰式火山岩-含磷岩系为代表, 明显有别于华北陆块的复理石岩系(如胶东蓬莱群和鲁西土门群). 海州群碎屑锆石 LA-ICP-MS 法 U-Pb 年龄为确定其构造属性提供了更为详细的信息, 300 余颗碎屑锆石 U-Pb 年龄限定了锦屏组沉积下限为~640 Ma, 云台组沉积下限为 610 Ma. 碎屑锆石的 U-Pb 年龄谱大致分为 610, 650, 750, 820 和 930 Ma 等几个峰期 (图 2(d)), 与华南陆块北缘基底发育的大量新元古代岩浆事件年龄一致. 锆石原位 Hf 同位素组成显示, 它们的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 数值介于-22.8 和-7.4 之间, 对应的 Hf 模式年龄为 2341~3100 Ma, 反映这些物质为古老地壳再循环的产物.

1.3 初步建立了区分苏鲁地区华南/华北型新元古界的岩石组合特征和年龄谱标志

华北与华南陆块在三叠纪碰撞造山之前分别具有明显不同的构造演化历史, 也导致了新元古代沉

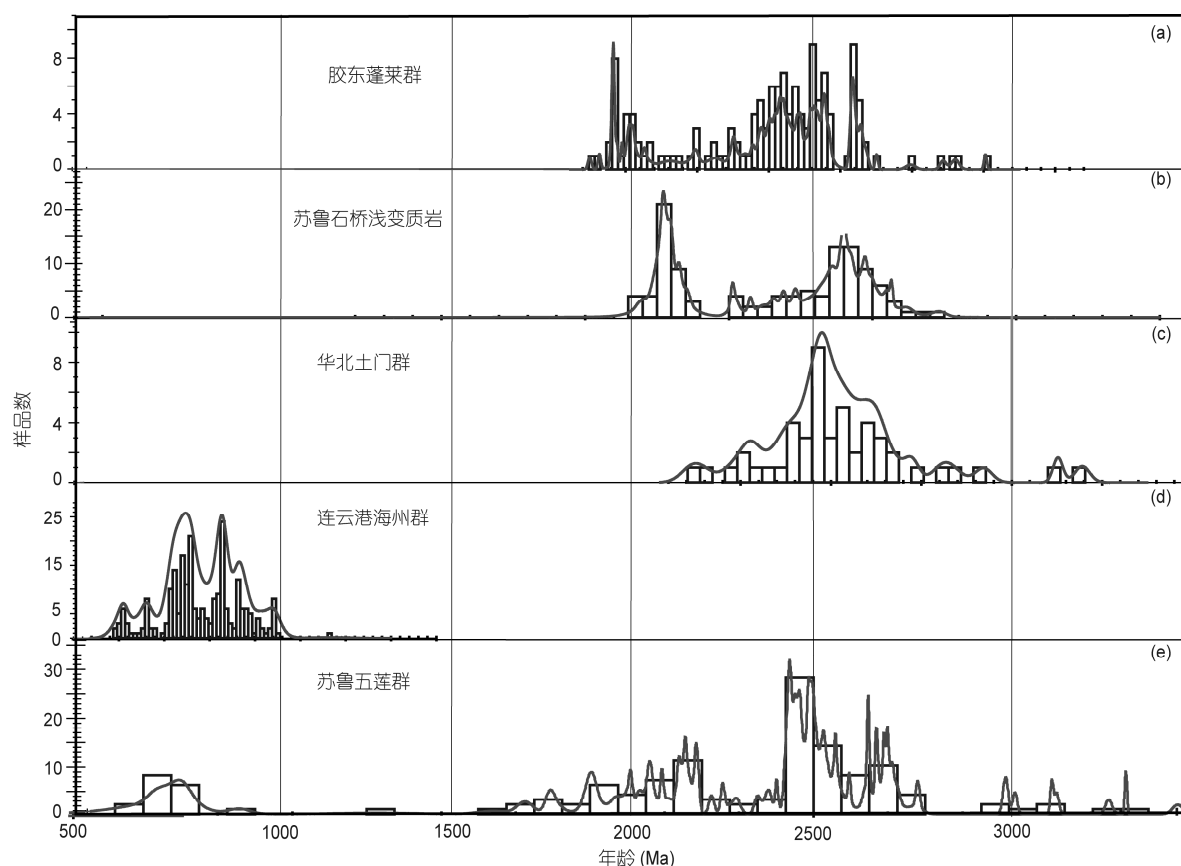


图 2 苏鲁造山带浅变质岩碎屑锆石年龄谱图
年龄数据详见文献[5~8]

积物在华北和华南陆块同样具有明显不同的沉积背景和物源区性质,如华南新元古界岩石组合以发育含磷、冰碛砾岩,双峰式火山岩为特征,碎屑锆石在这些地层中也记录了丰富的新元古代年龄信息。而华北新元古界在苏鲁地区以碎屑岩-碳酸盐岩为代表,其碎屑锆石在这些地层中也记录了与华北基底变质岩相似的年代学信息。上述沉积和年代学的特征为苏鲁地区有争议的新元古代浅变质岩的物源区性质和大地构造亲缘性判别提供了可以借鉴的区域性背景信息。

2 五莲构造杂岩带的确立及其对苏鲁地区板块缝合线位置的制约

苏鲁地区的构造格局与板块缝合线位置存在较大的分歧,业已成为探讨苏鲁造山带构造格局和演化机制的重点和焦点问题之一。我们在详细的野外调研和地质地球化学综合研究基础上,确立了五莲杂岩带这一特征性构造单元的物质组成,典型的构造-岩石组合特点和同位素年代学信息,认为它们的形成及就位过程与大洋板块俯冲过程中形成的增生楔相当。在此基础上,提出苏鲁地区的板块缝合线为五莲杂岩带以北的百尺河-烟台断裂。

(1) 在苏鲁超高压变质带北缘五莲-威海断裂以北发育着一条宽约 10~14 km 的五莲构造杂岩带。大地构造格局上,苏鲁地区的五莲杂岩带可以与大别地区的北淮阳构造杂岩带对比。野外和岩石学综合研究表明,它们大多数只经历了绿片岩相变质作用;运动学特征研究显示,其主体为向北西逆冲的叠瓦状岩片。

(2) 五莲花岗岩的锆石 U-Pb 定年得到的结果分别为 672 ± 4 , 742 ± 19 和 747 ± 14 Ma (TIMS 法)。与超高压带内超高压变质岩的原岩年龄一致,均为新元古代华南陆块北缘的特征性产物。五莲变质火山岩的就位年龄为 760 ± 4 Ma (SHRIMP 法),这些火山岩年龄与五莲花岗岩年龄^[13]一致,代表了华南陆块北缘与新元古代 Rodinia 超大陆裂解有关的岩浆事件^[20~22]。而五莲石英岩组合的碎屑锆石 U-Pb 年龄为 3.5~0.6 Ga 之间,并进一步分为 4 组年龄: >3.0, 2.8~2.5, 2.2~1.9 和 1.0~0.6 Ga (图 2(e))。新元古年龄大量出现在五莲群变质沉积岩中,不仅限定了五莲群的沉积时限,同时也表明了这些沉积岩具有华南陆块

的构造亲缘性,并可对比于华南陆块的新元古界莲沱组和陡山沱组。

(3) 苏鲁超高压带北缘的五莲杂岩带(五莲群浅变质沉积岩和五莲花岗岩)共同产于华北陆块与华南陆块的缝合边界,这些岩石发生强烈的动力变质,区域上呈同褶皱一叠瓦状冲断层—构造混杂岩的组合形式出露。在剖析了该杂岩带的几何学和运动学特征基础上,我们认为它们是华南陆块俯冲过程中被刮削下来就位于板块边界的增生杂岩带,为大陆板块俯冲增生杂岩的主要组成部分^[1~3]。因此,华北与华南陆块的三叠纪板块缝合线位于蓬莱群和五莲杂岩之间的白尺河-烟台断裂,而传统的五莲-烟台断裂是否具有大陆碰撞缝合线性质值得检验。

3 大陆碰撞过程中的构造推覆

按照传统的板块构造学说,大陆地壳由于其密度低,不可能俯冲到高密度的地幔中。然而,科学家相继在全球 22 条变质带中发现了柯石英,金刚石和其他超高压变质矿物和矿物组合,证明大规模的低密度长英质岩石曾俯冲到地幔深部发生超高压变质,然后又折返到地表^[23~25]。就大陆板块深俯冲和折返的地球动力学机制来说,已经提出了很多模型,其中大陆俯冲隧道模型能够解释很多前人难以解释的现象^[22]。例如,不同变质等级岩石在大别-苏鲁造山带的出现指示,大陆俯冲过程中地壳岩石在不同深度发生拆离后沿俯冲隧道依次折返。对胶北地体南缘大理岩的研究发现,华南陆块表壳岩石在大陆碰撞过程中被北向推覆到华北陆块南缘^[26]。本研究揭示,在大陆碰撞过程中华北陆块的表壳物质可以被推覆到俯冲的华南陆块的北缘。

(1) 苏鲁超高压带内发育的石桥浅变质岩,野外呈构造残片状与超高压变质围岩呈韧性变形带接触。岩石组合变质碎屑岩为主,包括板岩、千枚岩和石英片岩类,为以复理石建造为主。石桥浅变质岩的典型矿物组合为板岩(绿泥石+绢云母+石英),千枚岩(绿泥石+黑云母+绢云母+石英)和石英片岩类(白云母+石英+钠长石)。变质矿物组合显示以绿片岩相为主,明显有别于周边的超高压变质岩。

(2) 全岩地球化学分析显示^[5],这些浅变质岩在微量元素组成上与后太古宙平均页岩(PAAS)具有明显的可对比性,而与超高压变质岩区别明显,因此排除了石桥浅变质岩为超高压变质岩遭受后期构造改

造而发生退变的可能. 岩石地球化学分析进一步揭示, 这些浅变质岩形成于华北陆块南缘的被动大陆边缘构造环境.

(3) 石英岩和石英片岩的碎屑锆石 SHRIMP 年代学显示, U-Pb 年龄分布在 2.8~1.9 Ga 之间, 并具体分为 3 组: 2.66~2.50, 2.35~2.15 和 2.1~1.9 Ga, 对应的峰期年龄分别为 2520, 2212 和 2018 Ma (图 2(b)), 与华北陆块基底的年代谱特征相对应.

(4) 石桥浅变质岩中石英片岩的变质白云母 Ar-Ar 坪年龄为 265.9 ± 1.2 Ma^[5], 显示变质事件早于大别-苏鲁造山带超高压变质年龄(225~240 Ma)^[21~22]至少 25 Myr. 在剖析石桥浅变质岩韧性变形的几何学和运动学基础上, 认为该期浅变质事件年龄对应于大陆碰撞过程中浅变质岩的增生就位时间.

(5) 石桥华北型浅变质岩的存在预示着, 曾有华

北陆块的表壳物质被推覆到华南陆块北缘. 在大别-苏鲁造山带两侧的合肥盆地, 松潘-甘孜盆地和潜山等周缘盆地中也相继发现了华北物质的同位素年代学信息. 上述结果支持这些浅变质岩曾属于华北南缘的陆源沉积物, 在二叠纪前后华北-华南陆块汇集的过程中被推覆到了华南陆块北缘, 之后在三叠纪大陆板块俯冲和折返过程中, 这些推覆过来的华北陆块物质被剥蚀殆尽, 并被剥蚀到周缘的中生代盆地中, 进而导致在松潘-甘孜, 合肥盆地和潜山等三叠-侏罗纪盆地中发现特征性的华北型物质信息^[5].

(6) 石桥华北型浅变质岩的发育表明, 华北陆块表壳岩石在大陆碰撞过程中发生南向推覆作用. 另一方面, 华南陆块表壳岩石在大陆碰撞过程中发生北向推覆作用^[26]. 因此, 在大陆碰撞过程中俯冲和仰冲陆块的表壳岩石(沉积盖层)都发生了构造推覆作用.

致谢 研究工作自始至终得到了郑永飞教授的指导, 在此深表感谢!

参考文献

- 1 周建波, 郑永飞, 李龙, 等. 扬子大陆板块俯冲的构造加积楔. 地质学报, 2001, 75: 338-352
- 2 周建波, 郑永飞, 李龙. 大别-苏鲁超高压变质带内部的浅变质岩. 岩石学报, 2001, 17: 39-48
- 3 Zheng Y F, Zhou J B, Wu Y B, et al. Low-grade metamorphic rocks in the Dabie-Sulu orogenic belt: A passive-margin accretionary wedge deformed during continent subduction. *Int Geol Rev*, 2005, 47: 851-871
- 4 Wu Y B, Zheng Y F, Zhou J B. Neoproterozoic granitoid in Northwest Sulu and its bearing on the North-South China Blocks boundary in east China. *Geophys Res Lett*, 2004, 31: L07616
- 5 Zhou J B, Wilde S A, Zhao G C, et al. Detrital zircon U-Pb dating of low-grade metamorphic rocks in the Sulu UHP belt: Evidence for overthrusting of the North China block above the South China block during continental subduction. *J Geol Soc London*, 2008, 165: 423-433
- 6 Zhou J B, Wilde S A, Zhao G C, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Neoproterozoic Penglai Group and Archean gneisses from the Jiaobei Terrane, North China, and their tectonic implications. *Precambrian Res*, 2008, 160: 323-340
- 7 Zhou J B, Wilde S A, Zhao G C, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Wulian Complex: Defining the boundary between the North and South China Cratons in the Sulu Orogenic Belt. *China. Precambrian Res*, 2008, 162: 559-576
- 8 Zhou J B, Wilde S A, Liu F L, et al. Zircon U-Pb and Lu-Hf isotope study of the Neoproterozoic Haizhou Group in the Sulu orogen: Provenance and tectonic implications. *Lithos*, 2012, 136-139: 261-281
- 9 董树文, 张勇, 黄德志. 苏北超高压变质带石桥构造窗地质特征. 安徽地质, 1996, 6: 9-13
- 10 宋明春, 宋志勇. 对胶南造山带朋河石组的几点新认识. 山东地质, 1998, 14: 25
- 11 周建波, 郑永飞, 吴元宝. 苏鲁造山带北缘五莲杂岩的锆石 U-Pb 年龄及构造意义. 科学通报, 2002, 47: 1745-1749
- 12 周建波, 刘建辉, 郑常青. 苏鲁造山带浅变质岩的成因及其大地构造意义. 地质学报, 2005, 79: 475-486
- 13 Huang J, Zheng Y F, Zhao Z F, et al. Melting of subducted continent: Element and isotopic evidence for a genetic relationship between Neoproterozoic and Mesozoic granitoids in the Sulu orogen. *Chem Geol*, 2006, 229: 227-256
- 14 Tang J, Zheng Y F, Wu Y B, et al. Geochronology and geochemistry of metamorphic rocks in the Jiaobei terrane: Constraints on its tectonic affinity in the Sulu orogen. *Precambrian Res*, 2007, 152: 48-82
- 15 Tang J, Zheng Y F, Wu Y B, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating C and O isotopes for impure marbles in the Jiaobei Terrane of the Sulu orogen: Implication for its tectonic affinity. *Precambrian Res*, 2006, 144: 1-18
- 16 Faure M, Breton N L, Lin W, et al. Where is the North China-South China block boundary in eastern China? Reply. *Geology*, 2002, 30: 668

- 17 Faure M, Lin W, Le Breton N. Where is the North China-South China block boundary in eastern China? *Geology*, 2001, 29: 119–122
- 18 Zhai M G. Where is the North China-South China block boundary in eastern China? *Comment. Geology*, 2002, 30: 667
- 19 Ratschbacher L, Hacker B R, Calvert A, et al. Tectonics of the Qinling (Central China): Tectonostratigraphy, geochronology, and deformation history. *Tectonophysics*, 2003, 366: 1–53
- 20 Zheng Y F, Wu R X, Wu Y B, et al. Rift melting of juvenile arc-derived crust: Geochemical evidence from Neoproterozoic volcanic and granitic rocks in the Jiangnan Orogen, South China. *Precambrian Res*, 2008, 163: 351–383
- 21 Zheng Y F, Chen R X, Zhao Z F. Chemical geodynamics of continental subduction-zone metamorphism: Insights from studies of the Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD) core samples. *Tectonophysics*, 2009, 475: 327–358
- 22 Zheng Y F. Metamorphic chemical geodynamics in continental subduction zones. *Chem Geol*, 2012, 328: 5–48
- 23 Chopin C. Ultrahigh-pressure metamorphism; tracing continental crust into the mantle. *Earth Planet Sci Lett*, 2003, 212: 1–14
- 24 Liou J G, Ernst W G, Song S G, et al. Tectonics and HP-UHP metamorphism of northern Tibet—Preface. *J Asian Earth Sci*, 2009, 35: 191–198
- 25 Zheng Y F, Zhang L F, McClelland W C, et al. Processes in continental collision zones: Preface. *Lithos*, 2012, 136–139: 1–9
- 26 Tang J, Zheng Y F, Wu Y B, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating, C and O isotopes for impure marbles in the Jiaobei terrane of the Sulu orogen: Implication for its tectonic affinity. *Precambrian Res*, 2006, 144: 1–18