

华北陆块古生代南向增生与秦岭-桐柏-红安造山带构造演化

吴元保^{①*}, 郑永飞^②

① 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 武汉 430074;

② 中国科学院壳幔物质与环境重点实验室, 中国科学技术大学地球和空间科学学院, 合肥 230026

* 联系人, E-mail: yuanbaowu@cug.edu.cn

2013-05-30 收稿, 2013-07-08 接受, 2013-08-07 网络版发表

国家重点基础研究发展计划(2009CB825005)资助

摘要 秦岭-桐柏-红安造山带记录了华南与华北陆块在古生代时期的拼合过程, 包含了华北陆块在这个时期的三阶段南向增生. 秦岭群可能是 Rodinia 超大陆裂解过程中从华南陆块或相同构造属性陆块分离并向北漂移到华北克拉通南缘的微陆块. 宽坪群和二郎坪群低级变质沉积岩原岩可能是华北克拉通南缘俯冲带之上的增生楔, 在北秦岭微陆块北向俯冲过程中受到变质变形作用. 北秦岭超高压变质岩石在寒武纪的形成可能代表了一次小陆块与大陆块之间的碰撞事件, 结果导致北秦岭地体增生到华北克拉通南缘. 秦岭群中的麻粒岩相变质作用与秦岭群广泛发育的深熔作用和岛弧岩浆作用准同时发生, 可能代表了古特提斯洋壳俯冲、弧后盆地关闭及其导致的弧-陆碰撞事件, 导致华北大陆第二次向南增生. 石炭纪高压变质作用代表了古特提斯洋壳俯冲和第二次弧-陆碰撞事件, 结果导致华北大陆第三次向南增生. 华南陆块与华北陆块之间的最终拼合发生在三叠纪, 在西部的秦岭-桐柏-红安造山带记录了增生型弧-陆碰撞过程, 而在东部的大别-苏鲁造山带表现为两个古老大陆之间的直接碰撞.

关键词

碰撞造山带
弧-陆碰撞
大陆增生
陆-陆碰撞
大陆俯冲

板块构造理论揭示, 造山过程涉及洋盆打开和关闭的 Wilson 循环, 伴随着相关洋壳的俯冲和岛弧岩浆作用、弧-陆碰撞到陆-陆碰撞过程^[1,2]. 秦岭-桐柏-红安-大别-苏鲁造山带含有世界上规模最大的超高压变质带, 是国际上研究超高压变质作用的经典地区之一^[3]. 国内外学者对该造山带进行了 20 多年的深入研究, 发现大陆深俯冲发生的主要时期为三叠纪, 但是在古生代时期华北与华南大陆之间存在多期的增生拼合^[2,4-6]. 该造山带从北到南可以划分为宽坪群、二郎坪群、秦岭群、商丹带、刘岭群、浒湾带及南秦岭带等 7 个岩石构造单元(图 1), 其中北秦岭由宽坪群、二郎坪群、秦岭群组成. 我们对位于该造山带中西部的秦岭-桐柏-红安造山带进行了系统

研究, 认为该造山带在三叠纪陆壳俯冲之前存在多期次的古特提斯洋壳俯冲和大陆增生/碰撞过程, 由此进一步限定了复合型大陆碰撞造山带的多期构造演化历史.

宽坪群以洛南-栾川断裂为界与华北克拉通相连, 主要出露有云母片岩、石英岩、大理岩和角闪岩等, 变质等级主要为绿片岩相-低角闪岩相, 局部可达角闪岩相. 变沉积岩中碎屑锆石的 U-Pb 年龄主要集中在 0.8~1.0, 1.2~1.7 和 2.4~2.6 Ga^[2], 显示宽坪群的物源主要来自华南陆块或具有相似构造属性的陆块, 这样华北克拉通的南缘应该在宽坪群以北. 碎屑岩浆锆石的最年轻 U-Pb 年龄为约 600 Ma, 代表了这些沉积岩的最大沉积时代. 宽坪群中的绿片岩具有

引用格式: 吴元保, 郑永飞. 华北陆块古生代南向增生与秦岭-桐柏-红安造山带构造演化. 科学通报, 2013, 58: 2246-2250

Wu Y B, Zheng Y F. Southward accretion of the North China Block and the tectonic evolution of the Qinling-Tongbai-Hong'an orogenic belt. Chin Sci Bull, 2013, 58: 2246-2250, doi: 10.1360/972013-662

N-MORB 或 E-MORB 型的微量元素分布特征, 其原岩年龄分别报道有 $943 \pm 6 \text{ Ma}^{[7]}$ 到 $611 \pm 18 \text{ Ma}^{[8]}$, 说明它们来自新元古代裂谷或弧后玄武岩(图 2(a)). 宽坪群的区域变质年龄可能不晚于约 $440 \text{ Ma}^{[9,10]}$, 应该出现在寒武纪, 对应于这些沉积岩受到俯冲并增生到华北克拉通南缘的时代.

二郎坪群主要由中基性变质火山岩和变沉积岩组成. 这些变质火山岩具有 E-MORB 或岛弧岩浆岩的微量元素特征, 表明它们形成于岛弧^[12]或弧后盆地^[6]环境. 同位素年代学和地球化学数据显示, 一些具有岛弧性质的火山岩被约 $480 \sim 490 \text{ Ma}$ 的花岗岩侵入, 表明这些岛弧火山岩的形成时代早于约 $490 \text{ Ma}^{[12]}$. 对二郎坪约 440 Ma 辉长岩的元素和同位素地球化学研究表明, 它们可能形成于弧后盆地环境^[13]. 结合北秦岭超高压变质作用的年代以及商丹洋在约 $400 \sim 450 \text{ Ma}$ 时的向北俯冲, 我们认为二郎坪群的基底形成可能是在约 490 Ma 之前秦岭群向北增生过程中形成的岛弧火山岩及其沉积盖层(图 2(b)), 在约 450 Ma 之后由于商丹洋的北向俯冲演化为弧后盆地^[4](图 2(d)).

秦岭群主要有榴辉岩、片岩、片麻岩、麻粒岩和大理岩等^[14]. 在榴辉岩和片麻岩中发现有柯石英^[14]和金刚石包裹体^[15], 指示这些岩石经历了峰期压力在 3.3 GPa 以上的超高压变质作用. 但是, 矿物温压计计算获得变质峰期温压条件分别为 $680 \sim 770 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $2.25 \sim 2.80 \text{ GPa}^{[16,17]}$, 均低于柯石英和金刚石的稳定温压条件, 可能指示这些超高压岩石经历了强烈的退变质作用改造. 麻粒岩相变质在秦岭群广泛报道, 其峰期温压条件分别为 $760 \sim 840 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $950 \sim 980 \text{ MPa}^{[9]}$. 碎屑锆石 U-Pb 年代学研究表明, 秦岭群以发育新元古代 960 Ma 主年龄峰为特征, 明显区别于华北陆块, 因此可能不是华北克拉通南缘格林维尔期的活动大陆边缘^[18]; 以缺少新元古代中期约 750 Ma 年龄峰区别于华南陆块^[2]. 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学结果显示, 秦岭群内高压-超高压榴辉岩原岩形成于约 800 Ma , 具有大陆拉斑玄武岩的特征, 来自相对亏损的地幔源区^[13]. 由于这些榴辉岩的原岩与二郎坪群玄武岩明显不同, 而与华南陆块边缘同期大陆裂谷玄武岩相类似, 指示榴辉岩原岩形成于新元古代大陆裂谷环境. Wang 等人^[19]对北秦岭榴辉岩中进行了详细的锆石 U-Pb 定年、微量元素和包裹体矿物分析, 将榴辉岩变质时代限定在 $485 \sim 495 \text{ Ma}$.

这个结果得到了榴辉岩石榴石+全岩 Lu-Hf 等时线定年结果的确证^[17]. 因此, 秦岭群可能是 Rodinia 超大陆裂解过程中从华南陆块或相似构造属性陆块分离^[13,20]并向北漂移到华北克拉通南缘的微陆块(图 2(a)). (北)秦岭超高压变质岩石的形成可能代表了一次大陆碰撞事件(图 2(c)), 伴有大陆边缘加积楔沉积物的变形和变质作用, 形成现在出露的宽坪群低级变质岩. 虽然受到后期变质作用的改造, 但是这期寒武纪变质变形作用在宽坪群岩石中的记录还是明显的.

在秦岭群发育有两期麻粒岩相变质作用. 其中以松树沟地区高压麻粒岩为代表的一期麻粒岩相变质作用时间为 $485 \sim 510 \text{ Ma}^{[21,22]}$, 与秦岭群超高压变质作用的时间几乎重叠. 这些麻粒岩产出于橄榄岩的周围, 可能是深俯冲地壳物质受到地幔楔加热引起麻粒岩相变质作用, 结果橄榄岩与高压变质岩共生. 秦岭群中还存在年龄为 $410 \sim 440 \text{ Ma}$ 的一期麻粒岩相变质作用^[9,23]. 这期麻粒岩相变质作用与秦岭群广泛发育的深熔作用和岛弧岩浆作用近似同时^[2]. 这些岩浆岩部分具有正的锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 和全岩 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值、低的全岩 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 值, 指示这一时期伴有新生地壳的生长和再造. 这一期构造作用代表了商丹洋壳俯冲和第一次弧-陆碰撞事件, 商丹缝合带上的岛弧岩浆岩及伴生的沉积岩逆冲至秦岭群, 结果导致华北陆块第二次向南增生(图 2(d)). 这期变质作用和岩浆事件在宽坪和二郎坪群也有记录^[10], 它们可能是商丹洋壳北向俯冲过程中弧后拉张加热的结果^[2].

对红安造山带北部浒湾高压变质带的榴辉岩, 在详细岩石学研究的基础上进行了 LA-(MC)-ICPMS 锆石 U-Pb 定年、微量元素和 Hf 同位素组成分析, 确定出该地区存在约 $310 \sim 320 \text{ Ma}$ 俯冲的古特提斯洋壳, 洋壳的形成时间为 $406 \pm 5 \sim 420 \pm 7 \text{ Ma}^{[24-26]}$. 锆石 Hf 同位素分析得到, 它们既有接近亏损地幔的高 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值, 对应于古特提斯洋壳玄武岩; 也有负的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值, 反映了古老地壳沉积物的加入. 该地区古生代洋壳可能形成于华南陆块北部的边缘盆地环境, 是秦岭微陆块与华北克拉通碰撞拼合后在其南缘发生构造伸展作用的结果(图 2(d)). 同时, 对于原岩为典型华南陆块新元古代基底物质的高压变质岩石, 它们发生高压榴辉岩相变质作用的时间也为 $310 \sim 320 \text{ Ma}$, 表明陆壳岩石和洋壳岩石一起共同经历了石炭纪榴辉岩相变质作用, 陆壳俯冲岩石对于洋壳榴辉岩的抬升和保存可能起了关键作用. 因此, $310 \sim 320 \text{ Ma}$ 的

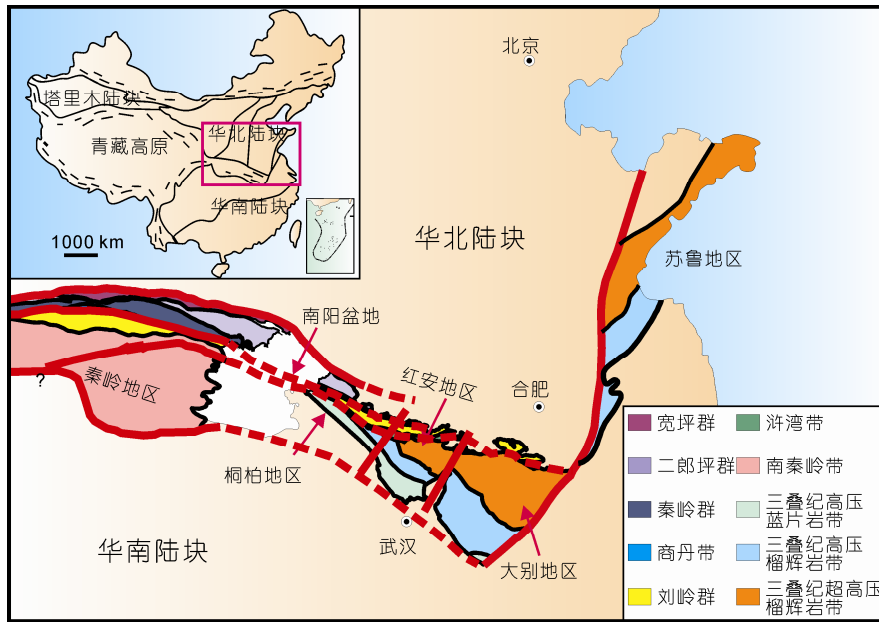


图1 秦岭-桐柏-红安-大别-苏鲁造山带地质简图(据 Zheng 等人^[11]修改)

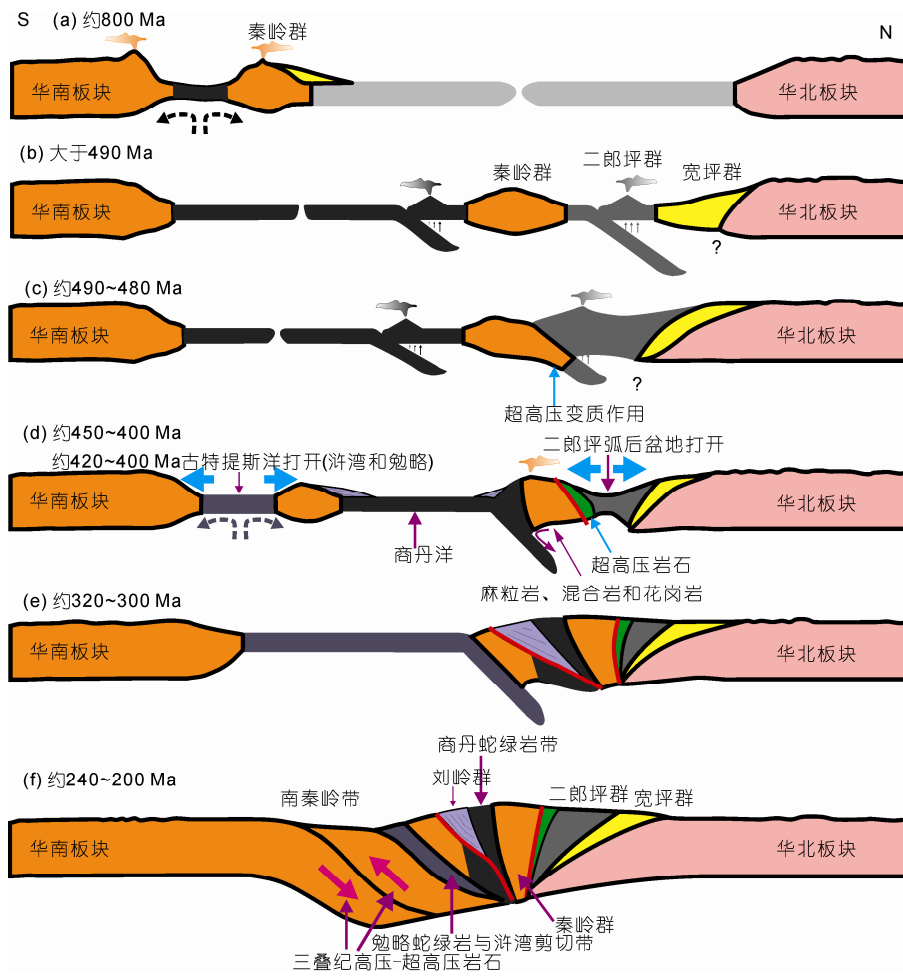


图2 华南与华北陆块沿秦岭-桐柏-红安造山带构造拼合过程示意图(据 Wu 和 Zheng^[12]修改)

构造作用代表了古特提斯洋壳玄武岩及其上覆陆源沉积物俯冲和第二次弧-陆碰撞事件, 相应的洋壳玄武岩和沉积物拼贴到商丹缝合带的南缘, 结果华北大陆第三次向南增生(图 2(e)). 石炭纪的变质作用在桐柏造山带的信阳群和秦岭造山带的刘岭群均有报道^[9,27], 但是没有达到榴辉岩相. 其中信阳群经历了中压变质作用, 石炭纪的变质作用发生在古特提斯洋壳俯冲过程中的上盘^[9], 因此古特提斯洋壳的俯冲可能可以向西延伸至南秦岭带的北缘.

华南陆块与华北陆块之间的最终拼合发生在三叠纪中期的 220~240 Ma (图 2(f)), 这在红安-大别-苏鲁造山带表现为超高压变质岩的形成^[11,28~30], 而三叠纪超高压变质岩在秦岭-桐柏造山带尚未发现^[2]. 就这个复合型碰撞造山带来说, 东部大陆碰撞属于华南华北两个古老大陆之间的直接碰撞, 所形成的大别-苏鲁造山带内部缺乏新生岛弧地体, 因此造山带本身相对狭窄; 而西部大陆碰撞属于新增生到华北克拉通南缘的微陆块/岛弧地体与华南古老大陆之间的碰撞, 所形成的秦岭-桐柏造山带内部存在新生岛弧地体, 因此造山带本身相对宽阔^[3]. 红安造山带

位于两者之间, 其东部表现出与大别-苏鲁造山带相似的特点, 而西部表现出与秦岭-桐柏造山带相似的特点, 因此记录了从特提斯洋壳俯冲到大陆碰撞的一系列构造过程及其转换.

通过对秦岭-桐柏-红安-大别造山带中榴辉岩、麻粒岩及相关高级变质岩石的同位素年代学和地球化学研究, 揭示出在三叠纪大陆深俯冲之前, 东秦岭-桐柏-红安造山带出现过三期大陆增生作用: 第一期为秦岭微陆块增生到华北克拉通南缘, 引起约 480~490 Ma 的超高压变质作用; 第二期为秦岭微陆块与早古生带岛弧之间的碰撞作用, 引起约 420~430 Ma 的麻粒岩相变质以及相应的岩浆作用; 第三期为古特提斯洋壳俯冲导致的弧-陆碰撞, 引起了约 310~320 Ma 的高压榴辉岩相变质作用. 东秦岭-桐柏-红安造山带记录了华北陆块在古生代时期的 3 次南向增生过程, 前后持续了 300 Ma 以上, 最终在三叠纪与华南陆块碰撞成一体. 在这个复合型造山带的东西部之间, 变质作用等级和变质作用时间上存在一定的差异, 可以解释为华南陆块自东向西斜向俯冲和华南-华北大陆逐渐碰撞的结果^[31~33].

参考文献

- Zheng Y F. Metamorphic chemical geodynamics in continental subduction zones. *Chem Geol*, 2012, 328: 5–48
- Wu Y B, Zheng Y F. Tectonic evolution of a composite collision orogen: An overview on the Qinling-Tongbai-Hong'an-Dabie-Sulu orogenic belt in central China. *Gondwana Res*, 2013, 23: 1402–1428
- Zheng Y F, Xiao W J, Zhao G C. Introduction to tectonics of China. *Gondwana Res*, 2013, 23: 1189–1206
- Zhang G W, Yu Z P, Sun Y, et al. The major suture zone of the Qinling orogenic belt. *J Southeast Asian Earth Sci*, 1989, 3: 63–76
- 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
- Dong Y P, Zhang G W, Neubauer F, et al. Tectonic evolution of the Qinling orogen, China: Review and synthesis. *J Asian Earth Sci*, 2011, 41: 213–237
- Diwu C R, Sun Y, Liu L A, et al. The disintegration of Kuanping Group in North Qinling orogenic belts and Neo-proterozoic N-MORB. *Acta Petrol Sin*, 2010, 26: 2025–2038
- Yan Q R, Wang Z Q, Yan Z, et al. Timing of the transformation from seafloor spreading on the south margin of the North China Block to subduction within the North Qinling orogenic belt. *Acta Geol Sin*, 2009, 84: 1563–1583
- Liu X C, Jahn B M, Hu J, et al. Metamorphic patterns and SHRIMP zircon ages of medium- to high-grade rocks from the Tongbai orogen, central China: Implications for multiple accretion/collision processes prior to terminal continental collision. *J Metamorph Geol*, 2011, 29: 979–1002
- Liu X C, Jahn B M, Li S Z, et al. U-Pb zircon age and geochemical constraints on tectonic evolution of the Paleozoic accretionary orogenic system in the Tongbai orogen, central China. *Tectonophysics*, 2013, 599: 67–88
- Zheng Y F, Fu B, Gong B, et al. Stable isotope geochemistry of ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Dabie-Sulu orogen in China: Implications for geodynamics and fluid regime. *Earth Sci Rev*, 2003, 62: 105–161
- Xue F, Lerch M F, Kroner A, et al. Tectonic evolution of the east Qinling Mountains, China, in the Palaeozoic: A review and new tectonic model. *Tectonophysics*, 1996, 253: 271–284

- 13 Wang H, Wu Y B, Gao S, et al. Continental origin of eclogites in the North Qinling terrane and its tectonic implications. *Precambrian Res*, 2013, 230: 13–30
- 14 胡能高, 赵东林, 徐柏青, 等. 北秦岭含柯石英榴辉岩的发现及其地质意义. *科学通报*, 1994, 39: 2013–2016
- 15 Yang J S, Xu Z Q, Dobrzhinetskaya L F, et al. Discovery of metamorphic diamonds in central China: An indication of a >4000-km-long zone of deep subduction resulting from multiple continental collisions. *Terra Nova*, 2003, 15: 370–379
- 16 Zhang J X, Yu S Y, Meng F C, et al. Paired high-pressure granulite and eclogite in collision orogens and their geodynamic implications. *Acta Petrol Sin*, 2009, 25: 2050–2066
- 17 Cheng H, Zhang C, Vervoort J D, et al. Timing of eclogite facies metamorphism in the North Qinling by U-Pb and Lu-Hf geochronology. *Lithos*, 2012, 136–139: 46–59
- 18 Shi Y, Yu J H, Tectonic evolution of the Qinling orogenic belt, Central China: New evidence from geochemical, zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes. *Precambrian Res*, 2013, 231: 19–60
- 19 Wang H, Wu Y B, Gao S, et al. Eclogite origin and timings in the North Qinling terrane, and their bearing on the amalgamation of the South and North China Blocks. *J Metamorph Geol*, 2011, 29: 1019–1031
- 20 Bader T, Ratschbacher L, Franz L, et al. The Heart of China revisited, I. Proterozoic tectonics of the Qin Mountains in the core of supercontinent Rodinia. *Tectonics*, 2013, doi: 10.1002/tect.20024
- 21 陈丹玲, 刘良, 孙勇, 等. 北秦岭松树沟高压基性麻粒岩锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义. *科学通报*, 2004, 49: 1901–1908
- 22 苏犁, 宋述光, 宋彪, 等. 松树沟地区石榴辉石岩和富水杂岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其对秦岭造山带构造演化的制约. *科学通报*, 2004, 49: 1209–1211
- 23 Wang H, Wu Y B, Gao S, et al. Silurian granulite-facies metamorphism, and coeval magmatism and crustal growth in the Tongbai orogen, central China. *Lithos*, 2011, 125: 249–271
- 24 Cheng H, King R L, Nakamura E, et al. Transitional time of oceanic to continental subduction in the Dabie orogen: Constraints from U-Pb, Lu-Hf, Sm-Nd and Ar-Ar multichronometric dating. *Lithos*, 2009, 110: 327–342
- 25 Liu X C, Wu Y B, Gao S, et al. Zircon U-Pb and Hf evidence for coupled subduction of oceanic and continental crust during the Carboniferous in the Huwan shear zone, western Dabie orogen, central China. *J Metamorph Geol*, 2011, 29: 233–249
- 26 Wu Y B, Hancher J M, Gao S, et al. Age and nature of eclogites in the Huwan shear zone, and the multi-stage evolution of the Qinling-Dabie-Sulu orogen, central China. *Earth Planet Sci Lett*, 2009, 277: 345–354
- 27 Mattauer M, Matte P, Malavieille J, et al. Tectonics of the Qinling belt: Build-up and evolution of eastern Asia. *Nature*, 1985, 317: 496–500
- 28 Li S G, Xiao Y L, Liou D L, et al. Collision of the North China and Yangtze Blocks and formation of coesite-bearing eclogites: Timing and processes. *Chem Geol*, 1993, 109: 89–111
- 29 Liu F L, Liou J G. Zircon as the best mineral for P-T-time history of UHP metamorphism: A review on mineral inclusions and U-Pb SHRIMP ages of zircons from the Dabie-Sulu UHP rocks. *J Asian Earth Sci*, 2011, 40: 1–39
- 30 Wu Y B, Gao S, Zhang H F, et al. Timing of UHP metamorphism in the Hong'an area, western Dabie Mountains, China: Evidence from zircon U-Pb age, trace element and Hf isotope composition. *Contrib Mineral Petrol*, 155: 123–133
- 31 Enkin R J, Courtillot V, Leloup P, et al. The paleomagnetic record of Uppermost Permian, Lower Triassic rocks from the South China Block. *Geophys Res Lett*, 1992, 19: 2147–2150
- 32 Zhao X X, Coe R S. Paleomagnetic constraints on the collision and rotation of north and south China. *Nature*, 1987, 327: 141–144
- 33 Li S Z, Kusky T M, Zhao G C, et al. Two stage Triassic exhumation of HP-UHP terranes in the western Dabie orogen of China: Constraints from structural geology. *Tectonophysics*, 2010, 490: 267–293