

【特邀论文】

大别山造山带与合肥盆地的构造耦合

王清晨^① 从柏林^① 马 力^②

(①中国科学院地质研究所岩石圈构造演化开放研究实验室,北京 100029;

②中国石油天然气总公司南方新区油气勘探经理部,杭州 310023)

摘要 对大别山造山带和合肥盆地的地质、地球物理、地球化学综合研究表明,大别山造山带是中生代碰撞造山作用的产物,合肥盆地是这一造山带隆起时开始形成的,经历了凹陷→断陷→构造反转 3 个阶段。造山带的“去根”过程与地幔上涌控制着大别山的隆起和合肥盆地的发育。

关键词 大别山造山带 合肥盆地 构造耦合 大陆动力学

大陆是以山脉的形成为标志的,而沉积盆地往往是能源与矿产资源的成储区。造山带与沉积盆地的形成、演化都是地球深部动力学过程对地壳浅部构造制约的表现。随着大陆动力学研究的不断深入,造山带与相关沉积盆地的构造耦合关系日益受到重视。这方面的研究不但将深化对大陆动力学的认识,同时也将为沉积盆地的资源、能源远景勘探提供科学依据。以此为目标,我们对大别山和合肥盆地进行了地质-地球物理综合研究,以地学大断面的形式,编制了大比例尺(1:100 000)走廊地质平面图、地质剖面图、重力布格异常与航磁 ΔT 异常图、地震解释剖面图以及地质-地球物理综合解释剖面图。本文即是对这一研究的基础理论部分的一个概要总结,旨在探讨“造山”与“造盆”的统一地球动力学机制。

1 大别山与合肥盆地的构造单元划分

由于含柯石英榴辉岩在大别山的发现,现已成为世界上规模最大的超高压变质岩带,而其北侧的合肥盆地则被列为能源勘探远景区之一。大别山和合肥盆地由北向南可被划分为 6 个构造单元(图 1)。

1.1 合肥盆地

北侧以寿县-定远正断裂为界,南侧以金寨-舒城断裂为界。合肥盆地进一步被肥中断裂(又称固始-肥东断裂)和六安断裂(又称防虎山断裂)分为三部分。北部在侏罗系之下发育了变形不太强烈的古生界;中部发育了下侏罗统,并在其下有中下古生界沉积,推测为西侧中古生界白大山群^[1]在合肥盆地的延伸,已强烈变形;南部在巨厚的上白垩统和下第三系之下堆积了发育火山岩的巨厚中、上侏罗统,后者不整合在佛子岭群浅变质岩之上。

1.2 北淮阳弧后复理石带

位于合肥盆地之南,由佛子岭群浅变质的砂岩和泥质岩组成,其中夹石英岩和大理岩。此带岩石大多数经历了绿片岩相变质作用,只有出露于卢镇关附近的一些岩石经历了角闪岩相变质作用。此带南侧以晓天-磨子潭断裂为界。

1.3 北大别弧杂岩带

位于北淮阳弧后复理石带之南,主要由英云闪长岩质片麻岩组成,其中发育了岛弧成因的

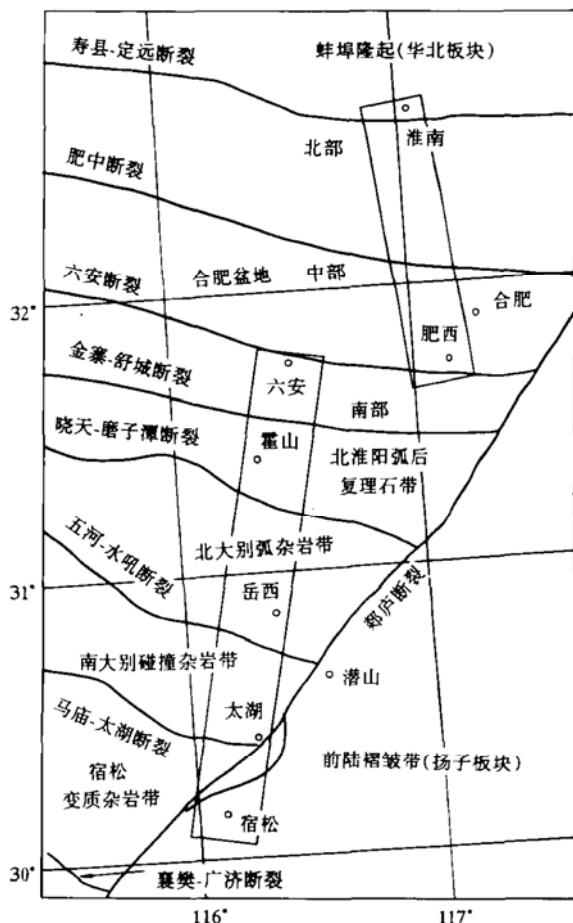


图1 大别山与合肥盆地的构造单元划分

图中条形框为地质-地球物理综合研究区

2 大别山与合肥盆地的深部结构

大别山和合肥盆地的重、磁异常资料表明(图2)，北部合肥盆地重磁场的总体特征是重力异常高低相间，磁异常大部分与重力高有一定的对应关系。淮南南侧的重力梯度带对应着寿县-定远断裂。盆地北部以宽缓的“重高磁高”为特点，局部重力高和重力低相间，重力高对应于盆地基底的隆起，重力低则对应于第三系凹陷。盆地中、南部为重力梯度带密集区，对应着一系列近东西向断裂，即六安断裂、蜀山断裂及肥中断裂。

南部造山带重、磁场的总体特征为“磁高重低”，但几个构造单元间的重磁场仍有细微差别。北淮阳复理石带为“重高磁低”，磁负异常对应于磁性弱佛子岭群复理石。另一方面，北大别弧杂岩带的斜磁化作用也是引起北淮阳带大片负异常的原因之一。北大别弧杂岩带和南大别碰撞杂岩带以大面积重力低为特征，但前者为300~500γ的高正磁异常群，而后者为100~300γ的正磁异常群，反映了二者岩石组合上的差异。这一重力低以马庙-太湖断裂(F_2)为南界，从该断裂向南直至宿松为北东走向的重力梯度带，主要反映了郯庐断裂(F_1)的影响。

经六安-宿松纵贯大别山造山带的大地电磁测深资料^[4]，揭示出两层波状起伏的低阻层。一层(6~25Ω·m)位于12~23km深处，为地壳内的滑脱面；另一层(40~50Ω·m)位于30~50km处，曾被认为是莫霍面。我们依据重力资料对莫霍面进行的估算表明，莫霍面的起伏并

超镁铁-镁铁质岩块及麻粒岩等岩块^[2]。北大别杂岩带经历了角闪岩至麻粒岩相变质作用。此带南侧以五河-水吼断裂^[3]为界。

1.4 南大别碰撞杂岩带

位于北大别弧杂岩带南侧，主要由片麻岩、片岩、榴辉岩和大理岩组成，其他还有超镁铁质岩和硬玉石英岩。大别山区迄今为止所发现的含微粒金刚石和柯石英的超高压变质岩均产于此带。其南侧以马庙-太湖断裂为界。

1.5 宿松变质杂岩带

位于南大别碰撞杂岩带南侧，主要由片麻岩、片岩、变质磷块岩和大理岩组成。这些岩石大多经历了绿片岩相至角闪岩相变质作用。此带南侧和东侧分别以襄樊-广济断裂和郯庐断裂为界。

1.6 前陆褶皱带

此带位于宿松变质杂岩带之南，主要出露了寒武系硅质页岩、奥陶系灰岩和页岩、志留系页岩夹砂岩、上泥盆统砂岩和石炭-二叠系页岩与灰岩。其上不整合了侏罗系砂岩。古生界地层中发育了轴面向北及北西倾的褶皱。

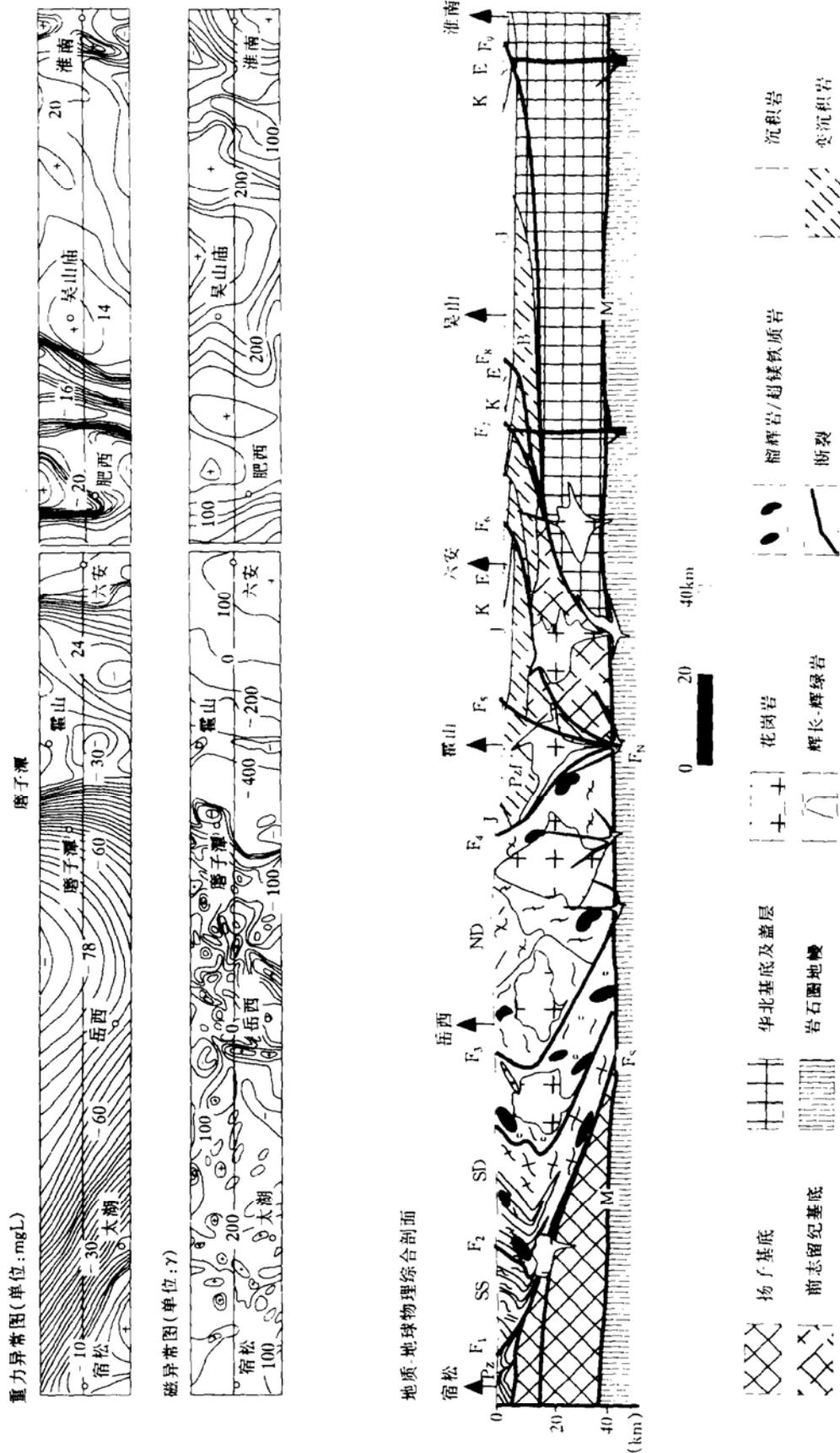


图2 大别山与合肥盆地的地质-地球物理综合图
Pz—前陆榴辉带古生界, SS—宿松变质杂岩, SD—南大别碰撞杂岩, ND—北大别弧杂岩,
Pbf—北淮阳复理石(佛子岭群), B—白大山群。断裂名称见正文

不大,在合肥盆地南缘的六安附近最浅,约34 km,而在岳西附近最深,约40 km,这一估算得到最近完成的折射地震剖面的印证。该资料还进一步揭示了莫霍面的起伏状态^[5],六安附近的莫霍面起伏高差约4 km,而在岳西附近的20 km距离内起伏达5 km,反映了残存的深部断裂。磨子潭至肥西间发育了一系列重力梯度带和断裂带,包括晓天-磨子潭断裂(F_4)、金寨-舒城断裂和六安断裂(F_6)。其中晓天-磨子潭断裂在地表浅部向北倾,而金寨-舒城断裂(F_5)在地表浅部向北倾而深部向南倾,六安断裂则向南倾,并在晚期形成相背的逆冲,它们均从属于一条具挤压分量的大型走滑断裂系,我们称之为大别山北麓断裂系(F_N)。代表南、北大别山的水吼-五河断裂(F_3)在重力资料上并无显示,仅反映为断裂两侧磁异常强度的南低北高,而太湖-马庙断裂则位于大别山低重力区的南界。它们对应于一条向北倾的深达莫霍面的断裂,在大地电磁测深和折射地震剖面中均有反映,我们称之为大别山南界断裂(F_s)。

综合上述地质学和地球物理学资料,我们编制了连接大别山造山带和合肥盆地的深部地质结构解释剖面(图2)。大别山南界断裂和大别山北麓断裂系夹持着高级变质岩区,两侧为变质级别较低的构造单元,是扬子板块—大别山造山带—华北板块三大构造单元间的深部界线。

3 大别山与合肥盆地的构造演化史

关于大别山超高压变质岩带的 $P-T-t$ 演化历史,已另撰文做了详尽论述,并指出其与碰撞造山过程的统一性^[6~8]。扬子板块与华北板块在二叠纪末至三叠纪初发生碰撞,扬子板块的向北俯冲把陆壳物质带至90 km以下经历高压、超高压变质作用,形成含金刚石和柯石英的超高压变质榴辉岩、片岩、大理岩和硬玉石英岩,而在浅部则形成高压榴辉岩、高压片麻岩和蓝片岩。高压、超高压变质岩在侏罗纪时已折返到地壳浅部,并经历了角闪岩相退变质作用。

对合肥盆地的研究表明,合肥盆地的发育经历了凹陷、断陷和构造反转等3个阶段。早侏罗世为凹陷阶段,仅在大别山北麓接受河流湖泊相沉积,沉降中心位于肥西县防虎山一带。中侏罗世至早第三纪为断陷阶段,其中又可分为早期断陷和晚期断陷两个亚阶段。中、晚侏罗世为早期断陷亚阶段,主边界断裂在大别山北麓的晓天-磨子潭断裂,伴生剧烈的火山喷发活动,沉降中心向北迁移至六安以北。晚白垩世至早第三纪为晚期断陷亚阶段,在原来统一的大型盆地内发育了几条倾向朝南的同生正断层,即六安断裂(F_6)、蜀山断裂(F_7)、肥中断裂(F_8)、寿县-定远断裂(F_9)等,沿其南侧形成几个沉降中心。在这些断裂附近还发育了大陆玄武岩。晚第三纪以后进入构造反转阶段,合肥盆地不再接受沉积,而是受挤压抬升并遭受剥蚀^[9]。

图3按时间顺序概括了大别山造山带和合肥盆地的构造耦合关系和演化历史。显然,合肥盆地是在秦岭-大别山造山带隆起过程的张裂背景下形成的后陆盆地。大别山造山带的构造倒向朝南,而向北的逆冲构造是晚第三纪后形成的。因此,合肥盆地在构造属性上为后陆盆地,形成于造山带衰萎(Collapse)期。

4 “造山”与“造盆”的动力学机制讨论

为了讨论大别山造山带和合肥盆地形成的动力学机制,我们对反映深部过程的岩浆进行了研究^[9]。

合肥盆地南部的侏罗纪陆相火山岩和大别山造山带的大量侏罗纪至白垩纪花岗岩均属富钾的钙碱性系列,稀土元素总量偏高($(241 \sim 440) \times 10^{-6}$),轻、重稀土元素的比值介于(17~

$34) \times 10^{-6}$ 间, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为 $0.706 \sim 0.709$ ^[10]. 这些特征表明, 来自地幔的岩浆受到上地壳的混染. 对大别山北部白垩纪基性侵入岩的研究进一步表明, 北大别山之下有一老的地幔楔^[11].

合肥盆地中发育了两期玄武岩. 古新世发育的非碱性拉斑玄武岩, 具有明显的来源于消减带之上地幔楔的地球化学特征, 它们适度富集轻稀土元素, 强烈亏损 Th, Nb 和 Ta 等高场强元素, 但富集 Ba. 其高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值 ($0.705\ 83 \sim 0.706\ 78$) 和负 ϵ_{Nd} 值 ($-5.5 \sim -9.0$) 显示源区富集 EMII 组分. 渐新世发育的碱性玄武岩更富集轻稀土元素, 含由来自破裂橄榄岩包体的俘虏晶, 其 ϵ_{Nd} 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值分别为 $2.8 \sim 6.2$ 和 $0.703\ 47 \sim 0.704\ 31$, 表明它们的原始岩浆来源于长时期亏损而近期又发生富集事件的大陆岩石圈地幔, 并以非常快的速度喷发至地表, 没有受到地壳物质的混染.

值得指出的是, 华北板块的大陆岩石圈在新生代时减薄至 $75 \sim 80$ km. 此外, 由古新世拉斑玄武岩到渐新世碱性玄武岩再到全新世强碱性钾质火山岩的演化序列表明, 岩浆源随时间逐渐变深^[9]. 考虑到岩石圈的减薄, 这种岩浆源的变深可理解为热软流圈顶部的不断上升. 换言之, 来自软流圈的流体交代并改造了大陆岩石圈的下部, 形成交代层(metasome), 并逐渐转化为软流圈的顶部. 这一过程的持续使造山带的根部和地幔楔不断受到底蚀.

在上述岩浆作用发生之前, 大别山造山带内还发生了超高压变质岩的折返, 这是另外一种大规模物质运动. 由于超高压变质岩的主体成分为变沉积岩, 密度低于两侧的大陆地幔, 因而受两侧挤压和浮力的联合作用从地下 90 km 及更深处折返到中地壳深度. 这一折返过程可分为两个阶段^[12]. 第一阶段的折返速率极快, 大约 3.5 mm/a , 地温梯度为 $5 \sim 10^\circ\text{C/km}$; 第二阶段伴随着地温梯度的升高(20°C/km)和角闪岩相退变质作用, 平均折返速率为 $0.7 \sim 1.1\text{ mm/a}$. 看来, 超高压变质岩的第二阶段折返与退变质及造山带根部物质的部分熔融是同一构造-热事件, 与造山带的“去根”作用有关, 而后者又标志着地幔上涌的开始. 这种造山带的“去根”和地幔上涌究竟是拆沉作用(delamination)造成的? 还是地幔对流的底蚀引起的? 目前尚缺乏给出定论的确切证据.

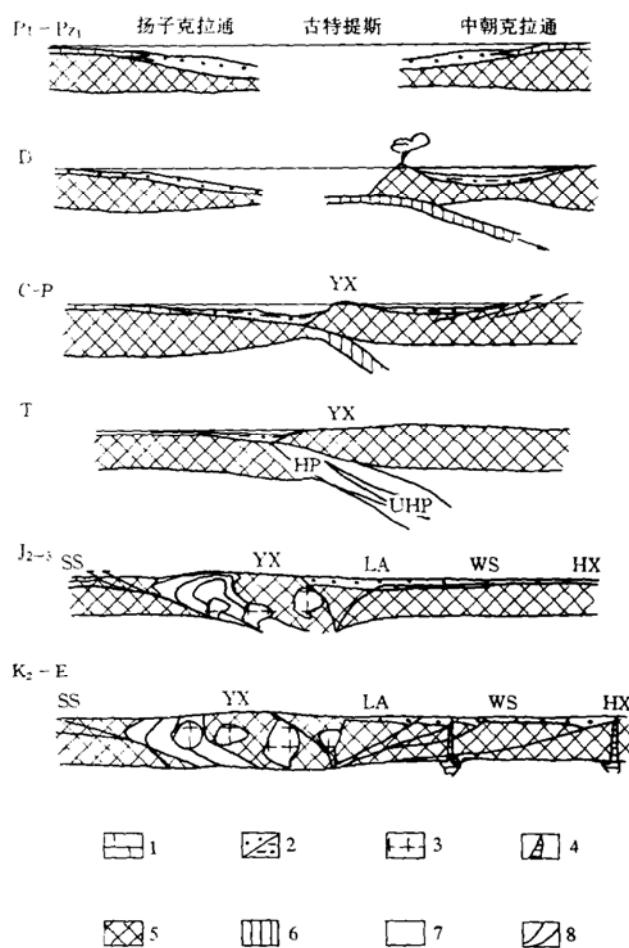


图 3 大别山与合肥盆地构造演化示意图

图中字母标志了地理参照点. SS—宿松, YX—岳西, LA—六安, WS—吴山, HN—淮南, HP/UHP—高压/超高压变质岩. 1—碳酸盐岩, 2—粗/细碎屑岩, 3—花岗岩, 4—基性岩, 5—陆壳, 6—洋壳, 7—超高压变质岩, 8—断裂

5 结论

(1) 大别山造山带和合肥盆地可划分为6个构造单元。其边界断裂在重、磁、电、震等地球物理场中都有明显的表征。这些地表见到的断裂向深部分别收束归并为大别山南界断裂和大别山北麓断裂系，代表了扬子板块-大别山造山带-华北板块三大构造单元间的深部界线。

(2) 侏罗纪时，超高压变质岩沿大别山南界断裂和晓天-磨子潭断裂折返至中地壳。此时大别山开始隆起，大别山北麓断裂系直接控制着火山通道和合肥盆地的沉积边界。从白垩纪始，岩浆活动范围扩大到整个大别山和合肥盆地，大别山继续隆起，盆地沉降中心向北迁移。晚第三纪以后，大别山北麓断裂系的走滑-挤压活动形成盆地中的反转构造，合肥盆地结束沉积历史，转而遭受剥蚀。

(3) 在超高压变质岩折返的第二阶段，发生了大别山的隆起和合肥盆地的沉降，同时还发生了超高压变质岩的退变质作用和造山带内广泛的岩浆活动。控制这些构造-热事件的深部过程为造山带的“去根”过程和地幔上涌。

致谢 甘克文教授、陈焕疆教授、吴少华高级工程师及杨华高级工程师等从学术上提出了宝贵的意见，作者在此一并表示感谢。本工作为国家自然科学基金(批准号：49372132)和中国石油天然气总公司南方新区油气勘探经理部资助项目。本文由叶大年院士推荐。

参 考 文 献

- 1 毕治国, 李玉发, 汤家富, 等. 皖西白大山群的发现及其地质意义. 安徽地质, 1994, 4: 135~140
- 2 翟明国, 从柏林. 苏鲁-大别山变质带岩石大地构造学. 中国科学, D辑, 1996, 26(3): 258~264
- 3 Wang Q, Liu X, Maruyama S, et al. Top boundary of the Dabie UHPM rocks, Central China. Journal of Southeast Asia Earth Sciences, 1995, 11: 195~300
- 4 董树文, 孙先如, 张 勇, 等. 大别山碰撞造山带基本结构. 科学通报, 1993, 38(6): 542~542
- 5 Dong S, Chen J, Huang D. Differential exhumation of UHP metamorphic rocks in the Dabie Mountains, China. Abstract of the 30th IGC, Vol. 2/3, 1996, 596
- 6 Cong B, Wang Q, Zhai M, et al. Ultra-high pressure metamorphic rocks in the Dabie-Su-Lu region, China: their formation and exhumation. The Island Arc, 1994, 3: 135~150
- 7 Cong B, Wang Q. Ultra-high-pressure metamorphic rocks in China. Episodes, 1995, 18: 91~94
- 8 Cong B. Ultrahigh-pressure Metamorphic Rocks in the Dabieshan-Sulu Region of China, Beijing: Science Press & Kluwer Academic Publishers, 1996. 224
- 9 从柏林, 王清晨, 张海政, 等. 中国合肥盆地新生代火山岩成因岩石学研究. 岩石学报, 1996, 12: 370~381
- 10 徐树桐, 刘贻灿, 江来利, 等. 大别山的构造格局和演化. 北京: 科学出版社, 1994. 175
- 11 陈正宏, 罗清华, 邓属予, 等. 中国北大别山区基性侵入岩及基-中性岩脉的地球化学初探. 见: 海峡两岸地质学术研讨会论文集(I), 台北, 1995. 4~7
- 12 王清晨, 从柏林. 大别山超高压变质岩的地球动力学意义. 中国科学, D辑, 1996, 26(3): 271~276

(1997-01-24 收稿)