

大别山造山带研究的主要进展及存在问题*

徐树桐** 刘贻灿 吴维平 江来利

安徽省地质科学研究所,合肥 230001

摘要 回顾了1990年以来在大别山超高压变质带研究取得的主要进展及存在的问题。包括:在大别山北部超镁铁岩带内发现榴辉岩,根据榴辉岩的发现以及同位素定年,解释了超镁铁岩带的构造背景;强调了岩石构造单位的正确划分对研究大别山地质的重要意义。对现行的岩石构造单位划分的分歧意见以及由此产生的对几何结构的不同认识进行了评述。

关键词 超镁铁岩带(UMRB) 榴辉岩 超高压变质带(UHPMB) 大别山

大别山造山带跨鄂、豫、皖3省。苏北-胶南地区不在本文讨论范围之内。对大别山造山带进行专题研究始于20世纪80年代初。到1998年为止,先后有美、英、法、日、德、意、土耳其等国的地质学家与国内的10余个单位或专题组合作,对大别山区立项进行专题研究。在大别山区的超高压变质带(UHPMB)研究方面取得了丰富的成果,使大别山成为国际地质学界瞩目的热点地区之一。本文以不同于前人^[1,2]的角度对这些成果进行评述。

1 主要进展

1.1 超高压矿物和岩石的发现及UHPMB的确定

1989年起,先后在大别山超高压带内发现了柯石英^[3,4]、微粒金刚石^[5]、钛斜硅镁石^[6]等超高压矿物以及石英硬玉岩^[7]、含蓝晶石+滑石(白片岩组合)的石英岩^[8]。这些发现对确定该区超高压变质带的存在,对促进该区超高压变质作用的研究以及使大别山成为国际地质学界研究热点都起过重要作用。此外,Wang等^[9]、张儒媛等^[10,11]、王晓燕等^[12]在多处榴辉岩及榴辉岩相岩石中发现过柯石英及其假象,并在不同围岩中发现过榴辉岩相矿物。金振民等^[13]在石榴橄榄岩中发现针状含钛铬磁铁矿。这些发现对UHPMB的存在和分析其形成、折返过程,提供了重要的线索。1998年底作者等先后超镁铁岩带(UMRB)内发现多处榴辉岩露头^[14],并对这些榴辉岩及其围岩进行了岩石学和同位素年代学研究^[15,16]。Tsai等^[17]也在这个带内发现了退变的石榴橄榄岩,游振东^[18]确认了饶钹寨的榴辉岩的存在。北部榴辉岩的发现对重新认识这个带的构造背景及整个大别山的构造格局有非常重要的意义。

1.2 UHPMB内非超高压岩石的发现

作者等在1994年^[19]及以后的区域地质调查(1/5万)中发现绿片岩相岩石,随后又发现构

2000-09-13 收稿,2001-01-02 收修改稿

* 国家自然科学基金(批准号:49794041)资助项目

** E-mail: xust@mail.hf.ah.cn

造卷入而后重熔并变形的角闪岩相变质花岗岩与榴辉岩相岩石密切共生,同时论证了它们都是 UHPMB 的特殊成员^[20],为 UHPMB 是变质构造混杂岩提供了新的证据。

1.3 UHPMB 的变形历史研究

由于受糜棱岩传统定义的束缚,以及命名原则的不统一,因而对高级变质的榴辉岩相剪切带中的糜棱岩不认识。作者等^[19]曾经提到大别山双河地区面理化榴辉岩是榴辉岩相剪切作用的产物,随后对其中变形石榴石的几何学和运动学特征作了初步研究^[21],论证了面理化榴辉岩是榴辉岩相糜棱岩,代表折返初期广泛的榴辉岩相剪切作用。这对研究大别山早期变形历史非常重要。Zhong,索书田等^[22,23]对折返后期角闪岩相的伸展有较详细研究。江来利等^[24]也将大别山变形历史大致划分为前榴辉岩相、榴辉岩相、角闪岩相及角闪岩相后 4 个变形阶段。

1.4 地球化学研究

地球化学的研究主要集中在 UHPMB 内榴辉岩同位素年代学、稳定同位素和微量元素地球化学 3 个方面。同位素年代学的研究以 Li 等^[25-27]做的工作具有代表性,他们确定榴辉岩的变质年龄为 210~230 Ma,尤其是以 230 Ma 左右的为主,并根据 $-\epsilon_{Nd}$ 值确定大部分榴辉岩为陆壳成因。但在北部熊店榴辉岩中得出 422 Ma 及 $\epsilon_{Nd} = +5.1$ (Sm-Nd 法)^[26] 以及 300~400 Ma^[28,29] 的年龄 (Zr U-Pb 法)。蜜蜂尖榴辉岩的年龄有 480 Ma (Sm-Nd 法)^[28]。特别值得注意的是熊店榴辉岩既具有洋壳成因特征的 ϵ_{Nd} 值又具有陆壳特征的 Nb 亏损^[28]。陈道公等^[30]在鹿吐石铺的灰色片麻岩中测得 233~239 Ma 和在道士冲同样岩石中测得 307~718 Ma 年龄 (Zr U-Pb 法)(都在 UMRB 中)。作者等^[31]最近对严格限定的 UMRB 内的榴辉岩和英云闪长质片麻岩分别做了测试,得出榴辉岩的 260 Ma, 210 Ma (左右) 和 190 Ma 的内部 Sm-Nd 等时线 ($W_r + G_t, G_t + O\ mph, G_t + O\ mph + W_r$), 一个榴辉岩样品的 Zr U-Pb 法年龄为 230 Ma。两个英云闪长片麻岩样品的 Zr U-Pb 法年龄分别为 218 和 226 Ma。大部分榴辉岩的 ϵ_{Nd} 为负值, LREE 富集, 但铈铍寨榴辉岩的 ϵ_{Nd} 为 +3.8, LREE 亏损, 不少榴辉岩和斜长角闪岩有 Nb 正异常^[16]。相反, 我们严格取自带外的 2 个二长花岗岩和花岗闪长片麻岩 (相当于大别杂岩) 的样品都无古生代和印支期变质年龄记录^[31]。

现有资料表明,大部分采自 UHPMB 和 UMRB 的榴辉岩和片麻岩样品,除大于 700 Ma 的原岩年龄 (Zr, U-Pb 法) 和 130~150 Ma 反映中生代热事件的年龄外,都有古生代和印支期的多期变质年龄记录,而带外片麻岩都无多期变质年龄记录,表明这 2 个带是古生代-印支期卷入深俯冲的构造单位,带外的二长花岗质和花岗闪长质片麻岩是未卷入深俯冲的扬子大陆基底。认为“除 220~230 Ma 以外,榴辉岩的其他峰期变质年龄都是不可信”的意见,似乎与板块构造的基本原理不符。

1.5 构造岩石单位的划分

正确划分构造岩石单位对研究造山带的构造格局和演化至关重要,但前一阶段对此重视不够。已有的几种划分方案是:

- (1) Zhai 等^[32]将大别山从北向南分为:北大别安第斯式弧杂岩;中部含超高压岩石的杂岩;南部扬子大陆边缘活化盖层。
- (2) Wang 等^[33]划分为:北淮阳弧后复理石带;北大别弧杂岩带;南大别碰撞杂岩带;宿松变质杂岩带。
- (3) 董树文等^[34]分为:南大别和北大别 2 个带。
- (4) 徐树桐等^[19]划分为:后陆盆地;变质复理石;超镁铁岩带(变质蛇绿混杂岩);大别杂岩(扬

子大陆俯冲基底);榴辉岩带(高-超高压变质带);宿松群和张八岭群(扬子大陆俯冲盖层);前陆带。近年来的资料,特别是北部榴辉岩的发现及其同位素定年资料表明,这一方案与地质事实基本一致。

1.6 构造背景的研究

1.6.1 高-超高压变质带构造背景的研究 在过去的一段时间内,各家对 UHPMB 研究的重点主要集中在它的组成、形成和折返。在榴辉岩及榴辉岩相岩块中有榴辉岩相矿物组合、微粒金金刚石和柯石英及其假象,部分围岩中也有残留的榴辉岩相矿物、柯石英及其假象,因而有人将这些岩块和围岩都作为高压-超高压岩石,并认为即使不含这些矿物或包体的岩石,也经历过超高压变质作用,只是由于这些矿物因退化变质作用而消失,这就是流行于欧洲的关于榴辉岩是“原地”成因学派的观点。但也有人认为这 2 种岩石具有不同的变质作用过程,这是“外来”成因学派的观点。

对于大别山榴辉岩的成因,也有与上述 2 种观点类似的想法。其中,关于“外来”成因又有 2 种相似但又有所不同的解释。一种意见认为,在较小尺度上,榴辉岩或榴辉岩相岩石相对于其近围岩具有“原地”成因,而在较大尺度上相对于较远围岩,则具有“外来”成因^[11]。另一种意见认为,榴辉岩带是一个构造单位,带内既有榴辉岩及榴辉岩相岩石,也有非榴辉岩相的岩石。因而榴辉岩对于榴辉岩相围岩是原地或半原地的,而相对于非榴辉岩相围岩则是“外来”的。但作为一个构造带(UHPMB)而言,它总体相对于带外的岩石都是外来的^[19~21]。

关于 UHPMB 的构造背景,有以下几种认识:(1) Okay 等^[35]认为它是扬子大陆的俯冲板片;(2) Wang 等^[33]也认为是扬子大陆的深俯冲部分,并由于挤压而上侵;(3) 徐树桐等^[19]认为它是扬子与中朝两个大陆板块之间因碰撞而形成的构造混杂岩,并在折返过程中有不同变质等级的岩块卷入。UHPMB 与北部变质复理石和南部扬子大陆俯冲基底以糜棱岩带接触。带内也有不同变质等级的糜棱岩带分布在片麻岩基质中或岩块内部。带内岩块的混杂性和基质的广泛的剪切作用是确定构造混杂岩的主要依据。

1.6.2 UMRB 的构造背景 这是一个研究不多但争论很大的问题。主要观点有:(1) Okay 等^[35]认为它是扬子大陆的一部分,并非缝合带;(2) 徐树桐等^[19]认为它是变质的蛇绿混杂岩,是扬子与中朝大陆之间的缝合带,并可能有榴辉岩和榴辉岩相岩石存在;(3) Wang 等^[33]认为它代表弧杂岩;(4) Zhang 等^[36]认为它属于中朝大陆南缘并处于俯冲带的上盘;(5) Eide^[37]认为它是俯冲板片中最深的部分,本应存在的榴辉岩及榴辉岩相岩石可能因后来的高温迭加而消失。

上述争论的关键之点在于带内(1)是否有榴辉岩及榴辉岩相岩石的存在,(2)是否有洋壳残片。1998 年以来相继发现的榴辉岩及残留的榴辉岩相岩石已证实确有榴辉岩相岩石存在。但与超高压变质带中榴辉岩有明显不同。主要特点是:(1)有早期高温($T \approx 900^\circ\text{C}$)麻粒岩相的退变阶段;(2)有多期变质年龄^[30,31]。现有资料说明,这个带内虽有洋壳碎片,但完全证实的数量不多。不过,无论从带内岩石的混杂性、广泛剪切作用,还是从变形式样与前陆带的相似性而言,它都应当是缝合带,但不是典型的变质蛇绿混杂岩,应为变质构造混杂岩。本应出现的洋壳地球化学特征,在深俯冲过程中可能出现二次均一化而改变,或是在折返的高温叠加阶段被改造而不典型。另一种可能是大量洋壳组分尚未完全被剥露。野外观察表明,这个带与它南部的超高压变质的构造混杂岩带可能是连续的,UMRB 北带是这 2 种构造混杂岩的根

带,南带可能是叠瓦状岩片。带内榴辉岩的发现以及高-超高压的变质作用现象^[14-17],也排除了岛弧的可能性。

1.6.3 大别杂岩(或扬子大陆俯冲基底)的构造背景 这是一个非常重要但研究不多的问题。根据板块构造,特别是大型薄皮构造的研究成果,强烈缩短的造山带内增生柱和前陆附近,都有俯冲基底的存在。在增生柱之下的俯冲基底可以因俯冲板片的隆起及后期剥蚀而出露,如阿尔卑斯的平宁带及阿帕拉契亚的蓝岭带。对大别杂岩的锆石 U-Pb 定年显示有 806 和 836 Ma,以及 1983 和 2354 Ma 的年龄^[31]。其中,1983 Ma 和 2354 Ma 可能是迄今在大别山,除湖北黄土岭片麻岩 2814 Ma 之外^[38],测得的最老年龄,但无任何古生代和印支期变质年龄记录^[31],表明它未卷入深俯冲。这些同位素定年为这种划分提供了新的证据。岩石学证据^[19]也表明它是没有卷入深俯冲的半原地单位。

1.6.4 宿松群与张八岭群的构造背景 通常认为宿松群是扬子大陆被动边缘沉积,但与宿松群、张八岭群可以对比的红安群被认为是活动边缘或裂谷沉积^[28]。值得注意的是,大部分为绿帘角闪岩相的宿松群中,有超高压矿物柯石英和天蓝石的存在^[39],这个现象确定后将表明,含超高压矿物的岩石不属于宿松群而是外来体,并很可能是榴辉岩带逆冲于宿松群之上的前锋。

2 存在的主要问题

尽管在过去的 20 年中,大别山的研究工作取得了丰硕成果和重大进展,但仍有若干重大地质问题有待深入研究。

2.1 大别山岩石构造单位划分方面的主要问题

(1) 各家划分的构造单位,特别是北部 UMRB,如何与西部大别山区对应?

(2) UMRB 中的一些基性变质岩,既有陆壳特征也有某些洋壳特征的原因是什么?

(3) 桐柏山区以二郎坪群产出为特征的弧后盆地在大别山区有无对应部分,梅山群以及出露于肥西防虎山的片麻岩是否与之相当或相当于其中的一部分层位?在大别山区出露的杨山煤系(包括其下的花园墙组)是弧后盆地,还是与洋壳俯冲有关的磨拉石?

(4) 大别山区有无相当于桐柏山区秦岭群或黄岗杂岩的岛弧杂岩?在大别山北部 UMRB 中出现有大量岛弧物质残片,是否表明原来的岛弧已因俯冲而消失或解体。

(5) 宿松群与红安群的关系应当是红安群 = 宿松群 + 张八岭群 + 榴辉岩带南部(花凉亭水库以南)。宿松群中含超高压矿物组合的岩石是裂谷关闭时的俯冲产物还是北部榴辉岩带的前锋?如果含磷岩系是俯冲盖层,则其时代不应老于震旦纪(扬子大陆最老未变质盖层为震旦系),其上部代表裂谷建造的蓝闪片岩或细碧石英角斑岩应属古生代。这虽与现有的同位素定年不符,但却是非常合理而且是可能的,因此需要进一步研究。

(6) 大别杂岩的情况比较复杂,含义混乱,有两方面原因:首先,由于“大别杂岩”定义范围不同。以往将佛子岭-信阳群以南,宿松群(红安群)以北的变质杂岩都作为大别杂岩,而本文作者定义的大别杂岩不包括 UMRB 和 UHPMB。以往大别杂岩年龄数据包括了晚太古代到中生代(部分数据来自笔者定义的大别杂岩,部分数据来自 UMRB 和 UHPMB)并认为它是中朝或扬子大陆的前寒武纪结晶基底。引用这些数据的人认为它是多期造山事件的影响,但忽略了有一部分年龄数据不是来自目前定义的大别杂岩。而作为扬子板块俯冲基底的大别杂岩中

目前并未发现古生代和印支期的多期变质年龄。其次,80年代以前报道的同位素年龄数据因样品精度及设备和方法的陈旧而无法准确利用。

(7) 关于同碰撞花岗岩。造山带的俯冲带上盘通常有同造山期的花岗岩。一般认为大别山是印支期碰撞造山带,但迄今未发现印支期的花岗岩体。可能的原因是:其一,大别山范围内的俯冲带上盘已完全剥蚀;其二,超镁铁岩带和超高压变质带内有大量岛弧物质卷入,被卷入的长英质岩片会因带内的高温而重熔并随混杂岩带继续运动而变为片麻岩。类似于双河一带的变质花岗岩^[20]可能属于此种类型,不过它位于混杂岩带内而不是位于其上盘。

2.2 大别山运动学研究中存在的主要问题

(1) 由于大别山的 UMRB 和 UHPMB 中都有明显的高温流变现象,在以位错蠕变为主的岩石中,由于最高温度变形阶段可能抹去早期任何运动学标志而使对变形早期的运动学研究有很大困难。对一些特定的均质矿物如位错蠕变形成的变形石榴子石的运动标志(滑移系的优选定向)的判别,也是榴辉岩相条件下运动学研究中的难点。

(2) 无论在 UHPMB 还是 UMRB 中的基性或超基性岩及有关岩石中都有部分熔融现象的存在,而部分熔融又对流变行为有重要影响,但这方面的研究可能只处在起步阶段。类似的问题是,超高压岩石中的流体作用能极大地影响变质变形条件。虽然已经知道有榴辉岩相流体作用(如榴辉岩相石英脉,石榴石、绿辉石和硬玉中有 H_2O^+)以及退变过程中有含水矿物形成,但详细研究还有待进行。

(3) 任何精确的运动学研究都必须消除多期褶皱变形的影响,而多期褶皱变形的构造解析必须以正确划分岩石构造单位为前提。因此这是今后应当进行的工作。

(4) 超高压带的俯冲深度和折返。根据柯石英和微粒金刚石的产出,曾推测大别山 UHPMB 的俯冲深度为 100~120 km^[4,5,9]。后来根据钛斜硅镁石^[6]和菱镁矿^[40]的发现推测其俯冲深度达到 150~170 km。金振民等^[13]根据石榴橄榄岩中橄榄石内针状含钛铬磁铁矿的出溶,推测其俯冲深度可能大于 300 km。吕古贤等^[41]则根据“构造超压”推测含柯石英榴辉岩的俯冲深度为 32 km 左右或略深,如果这种推测能结合榴辉岩(多晶的)的流变律和超高压矿物形成条件(特别是温度条件)的实验,也许会更有说服力。不过这是一项非常复杂而又困难的工作。

超高压带形成过程的研究由于一些关键矿物的消失而难度较大。关于超高压带的折返,则有:1) Wang 等^[33]的 3 阶段折返模式,其中第 1 阶段(240~220 Ma)的折返速率最大,为 3.5 mm/a; 2) Chavagnac 等^[42]的两阶段折返模式,第 1 阶段(225~210 Ma)最大,为 10 mm/a; 3) 徐树桐等^[20,21]推测榴辉岩的折返到角闪岩相深度平均速率为 9 mm/a(200~190 Ma)或 6 mm/a(205~190 Ma)。虽然大家都承认必须有快速折返作用,但由于依据的资料以及所取时限不同,因而估算的折返速率有很大差异。

(5) 低级变质岩中的细晶榴辉岩。岳西县港河板岩中有若干个“脉”状细晶(<0.5 mm)榴辉岩,其中有柯石英,有人认为它是“侵入于低级变质岩中的榴辉岩脉”^[43],但缺乏实验岩石学资料的证明。

根据上述最新进展以及作者对所提问题的认识,可将大别山岩石构造单位及其反映的造山带的几何结构表示如图 1。

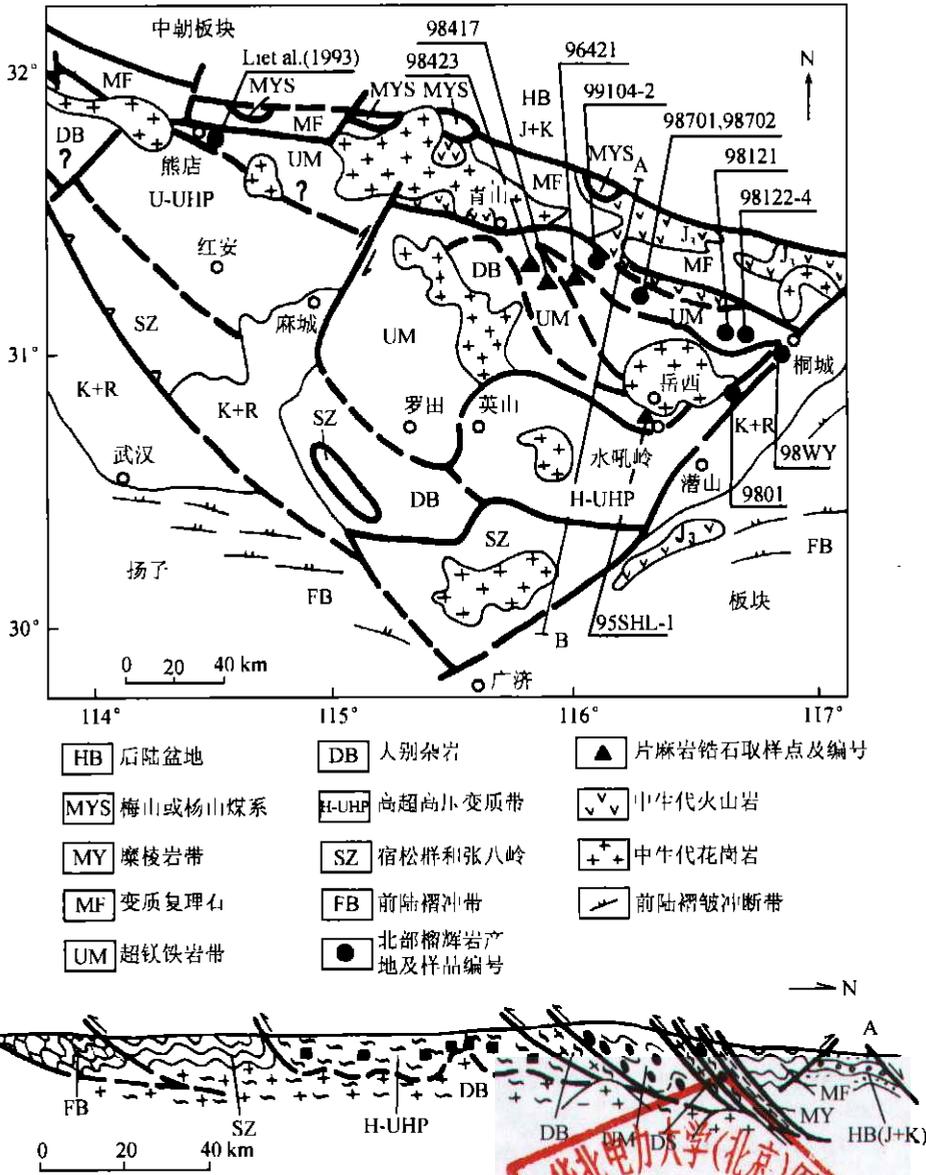


图 1 大别山构造岩石单位分布略图

致谢 本文成文过程中常印佛院士提供了宝贵意见,作者表示衷心感谢.

参 考 文 献

1 Xu S, et al. Confirmation of the ultrahigh pressure metamorphic belt in the Dabie Mountains and related problem. Progress in Natural Science, 1999, 9(1): 15

- 2 从柏林,等. 大别山苏鲁超高压变质带研究的最新进展. 科学通报, 1999, 44(11): 1127
- 3 Okay A I, et al. Coesite from the Dabie Shan eclogites, central China. *Eur J Mineral*, 1989, 1: 595
- 4 Wang X, et al. Coesite-bearing eclogite from Dabie Mountains in central China. *Geology*, 1989, 17: 1085
- 5 Xu S, et al. Diamonds from Dabie Shan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting. *Science*, 1992, 256: 80
- 6 Okay A I. Saphirine and Ti-clino-humite in the ultra-high pressure garnet-pyroxenite and eclogite from Dabie Shan, China. *Contrib Mineral Petrol*, 1994, 116: 145
- 7 Xu S, et al. Diamonds from the metamorphic rocks in eastern Dabie Mountains (in Chinese). *Chinese Science Bulletin*, 1991, 36(17): 1318
- 8 江来利,等. 大别山东段超高压变质带蓝晶石石英岩中的白片岩组合. 科学通报, 1998, 43(14): 1540
- 9 Wang X, et al. Regional ultrahigh pressure coesite-bearing eclogite terrane in central China: evidence from country rocks, gneiss, marble and metapelite. *Geology*, 1991, 19: 933
- 10 张儒媛,等. 中国中部河南省榴辉岩中柯石英的发现及其地质意义. 岩石学报, 1993, 9(2): 186
- 11 Zhang R, et al. Petrography of UHPM rocks and their country rock gneiss. In: Cong B (EDT) *Ultrahigh Pressure Metamorphic Rocks in The Dabieshan-Sulu Region of China*. Beijing: Science Press, 1996, 49 ~ 68
- 12 王晓燕,等. 豫南地区含柯石英榴辉岩的发现. 岩石学报, 1993, 9(2): 181
- 13 金振民,等. 大别山超高压岩石形成深度局限于 100 ~ 150 km 吗? 科学通报, 1998, 43(7): 767
- 14 Xu S, et al. Discovery of the eclogite and its petrography in the northern Dabie Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(3): 273
- 15 刘贻灿,等. 大别山北部榴辉岩和英云闪长质片麻岩锆石 U-Pb 年龄及多期变质增生. 高校地质学报, 2000, 6(3): 418
- 16 刘贻灿,等. 大别山北部榴辉岩的地球化学特征和 Sr, Nd 同位素组成及其大地构造意义. 中国科学, D 辑, 2000, 30
- 17 Tsai C H, et al. Eclogite-facies relics and inferred ultrahigh-pressure metamorphism in the North Dabie complex, central China. *American Mineralogist*, 2000, 85: 1
- 18 游振东. 安徽大别山北坡尖晶石方辉橄榄岩中发现榴辉岩包体. 地学前缘, 2000, 7(1): 68
- 19 徐树桐,等. 大别山的构造格局和演化. 北京: 科学出版社, 1994, 1 ~ 175
- 20 徐树桐,等. 大别山东部榴辉岩带中变质花岗岩及其大地构造意义. 岩石学报, 1998, 14(1): 42
- 21 徐树桐,等. 大别山超高压变质带面理化榴辉岩中变形石榴石的几何学和运动学特征及其大地构造意义. 岩石学报, 1999, 15(3): 321
- 22 Zhong Z, et al. Extensional tectonic framework of post high and ultrahigh pressure metamorphism in Dabieshan, China. *J of China University of Geosciences*, 1998, 9(1): 1
- 23 索书田,等. 大别山地块超高压变质期后伸展变形及超高压岩石折返过程. 地质科学, 2000, 30(1): 9
- 24 江来利,等. 大别山超高压变质岩的变形历史及折返过程. 地质科学, 1999, 34(4): 432
- 25 Li S, et al. Collision of the north China and Yangtze blocks and formation of coesite-bearing eclogites: timing and processes. *Chemical Geology*, 1993, 109: 89
- 26 Li S, et al. Geochronology of high-ultrahigh pressure metamorphism in the Dabie Mountains and Su-Lu terrane: I. Sm-Nd isotope system. *Science in China (D)*, 1996, 39: 597
- 27 Li S, et al. Chronology of ultrahigh pressure metamorphism in the Dabie Mountains and Sulu terrane: II. U-Pb isotope system of zircons. *Science in China (D)*, 1997, 40: 200
- 28 You Z, et al. *The High-Pressure and Ultra-High-Pressure Metamorphic Belt in the East Qinling and Dabie Mountains, China*. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996. 22 ~ 29
- 29 简平,等. 大别山西部熊店加里东榴辉岩一同位素地质年代学的证据. 地质学报, 1997, 17(2): 133
- 30 陈道公,等. 北大别片麻岩中锆石 U-Pb 年龄离子探针初探. 岩石学报, 2000, 16(2): 199
- 31 Xu S, et al. A paradox-The ultramafic rock belt (UMRB) as a metamorphosed tectonic melange in northern Dabie Mountains, eastern central China *Paradoxes in Geology*, Elsevier
- 32 Zhai M, et al. Petrological-tectonic units in the coesite-bearing terrane of the Dabie Mountains, central China and their geotectonic implications. *J SE Asian Earth Sci*, 1995, 11: 1

- 33 Wang Q, et al. A possible Paleozoic island arc: petrochemical evidences from North Dabie gneiss. In: Annual Report of the Laboratory of Lithosphere Tectonic Evolution (1993—1994), Institute of Geology, Beijing: Academia Sinica. Seismological Press, 1994. 37 ~ 47
- 34 董树文, 等. 大别造山带的基本结构. 科学通报, 1993, 38(6): 542 ~ 545
- 35 Okay A I, et al. Tectonics of the ultrahigh pressure metamorphic terrane: the Dabie Shan/Tongbo Shan orogen, China. Tectonics, 1993, 12: 1320
- 36 Zhang R, et al. Petrogenesis of a high temperature terrane: A new tectonic interpretation for the north Dabie Shan, central China. J Meta Geol, 1996, 14: 319
- 37 Eide E A. A mode for the tectonic history of the HP and UHP region in east central China. In: Ultrahigh Pressure Metamorphism (EDT Coleman R G and Wang X), Cambridge: University Press. Cambridge, 1995, 391 ~ 426
- 38 简 平, 等. 大别基底老于黄土岭麻粒岩锆石测年证据. 地球学报, 1997, 18(增刊): 65
- 39 荆延仁, 等. 安徽宿松超高压矿物的研究. 安徽地质, 1995, 5(3): 66
- 40 Zhang R, et al. Ultrahigh pressure metamorphosed talc-magnesite and Ti-clino-humite-bearing mafic and ultramafic complex in the Dabie Mountains, China. Journal of Geology, 1995, 36, 1011
- 41 吕古贤, 等. 构造附加静水压力研究与含柯石英榴辉岩成岩深度测算. 科学通报, 1998, 43(24): 2590
- 42 Chavagnac V, et al. Coesite-bearing eclogite from the Bixiling complex, Dabie Mountains, China. Sm-Nd ages, geochemical characteristics and tectonic implications. Chemical Geology, 1996, 133: 29
- 43 高天山, 等. 大别山区低绿片岩相火山碎屑岩中榴辉岩脉的发现. 科学通报, 1997, 42(16): 1758