

大别—苏鲁超高压变质带内的 块状榴辉岩及其构造意义

索书田^{1,2}, 钟增球², 周汉文², 游振东²

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 大别—苏鲁超高压($>27 \times 10^8$ Pa)变质带内的榴辉岩,在大陆深俯冲、碰撞和折返剥露过程中,大都遭受了强烈的变形和变质作用的重置与再造。但是,大型榴辉岩体核部以及包裹于大理岩和石榴橄榄岩体内部的块状榴辉岩,往往保留其初始简单的矿物组合、中—细粒状变晶结构和块状构造。详细地分析了块状榴辉岩的几何学、岩相学及变质作用特征,指出它们是超高压榴辉岩递进及多期变质变形分解作用的残留体,位于尺度不同的弱应变域内,是大陆深俯冲及碰撞作用的真正记录。

关键词: 超高压变质带;大陆深俯冲;块状榴辉岩;变质和变形分解作用;大别—苏鲁区。

中图分类号: P542 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2003)02-0111-10

作者简介: 索书田(1936—),男,教授,博士生导师,1960年毕业于北京地质学院,主要从事岩石圈流变学、构造地质学及 UHP 和 HP 变质带构造学研究和教学工作。

1 一般问题

近 20 年来,对大别—苏鲁超高压和高压变质带的岩石学、变质作用特征及形成的构造背景,已经进行了较深入的研究^[1~25]。大多数国内外学者认为,这一巨型的超高压($>27 \times 10^8$ Pa)和高压变质带,主要是在三叠纪(250~220 Ma)扬子克拉通向北深俯冲(>100 km)并与中朝克拉通碰撞的结果^[4,20,23]。但是,由于超高压和高压变质作用产生的榴辉岩及相关岩石组合,在其形成和折返过程中遭受到了递进的或多期的变形及变质作用的重置(resetting)和再造(reworking),现今在不同尺度上观察到的超高压带构造和岩石组合,并不能直接反映大陆深俯冲及碰撞阶段的物理环境及流变学状态。从许多研究者的描述来看,有关超高压榴辉岩形成时代^[22]、变质作用 pT 条件估算^[19] 以及深俯冲和碰撞动力学模式设想^[21,26],多依赖于对强烈变形的或具有不同程度减压退变质作用的超高压变质岩石测试。因而,所得结果及参数,还不能准确反映扬子克拉通向北

的深俯冲及与中朝克拉通碰撞的实际状况。

通过关键构造部位的大比例尺详细制图和构造分析,在大别—苏鲁超高压变质带内识别出两类新鲜的和遭受压减退变质作用很微弱的含柯石英或其假象的榴辉岩,一类为块状榴辉岩(massive eclogite),另一类为面理化榴辉岩(foliated eclogite)^[27],两类榴辉岩在矿物组合和结构构造方面有明显的不同,在露头尺度上就可以区别。块状榴辉岩大体相当于 Zhang 等^[19]的富金红石榴辉岩、Tabata 等^[28]的 D 型榴辉岩和程裕淇等^[29]的深色榴辉岩系列(dark-coloured eclogite series)。本文的主要目的,就是在详细描述块状榴辉岩特征基础上,运用变质和变形分解作用(metamorphic and deformation partitioning)原理^[30~32],讨论块状榴辉岩的构造意义,明确指出,含柯石英的块状榴辉岩是大陆深俯冲和碰撞作用的端员产物或记录器(record-keepers)。

2 区域地质背景

大别—苏鲁超高压变质带,是世界上现已发现和研究的十几个超高压变质带中最大的一个^[22,33]。近 20 年来的研究证实,它主要是在三叠纪(250~

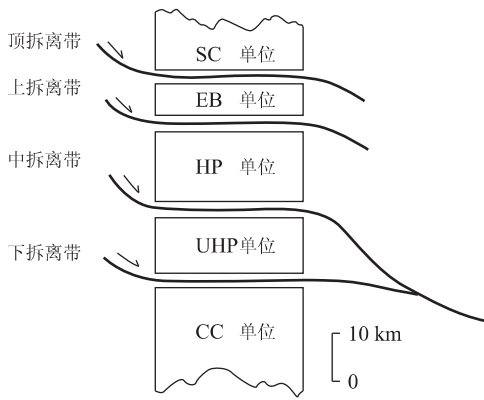


图 1 大别—苏鲁超高压和高压变质带地壳构造柱

Fig. 1 Cartoon showing the crustal pile of UHP and HP metamorphic belts in the Dabie-Sulu region
SC. 沉积盖层; EB. 绿帘—蓝片岩; HP. 高压变质岩; UHP. 超高压变质岩; CC. 核部杂岩

220 Ma) 扬子克拉通向北深俯冲 (>100 km) 并与中朝克拉通碰撞的结果。但现今观察到的大别—苏鲁造山带构造框架, 则主要是大陆碰撞期后 (200~170 Ma) 伸展体制及白垩纪以来晚造山伸展坍塌构造阶段形成的^[25]。八里畷—磨子潭—晓天 (大别区)—五莲—烟台 (苏鲁区) 断裂带, 构成超高压和高压变质岩分布的北限, 代表强烈改造了的三叠纪扬子克拉通与中朝克拉通碰撞缝合带位置^[34]。在该断裂带以南出露的地壳内, 发育 4 个地壳尺度的、产状平缓的伸展拆离带, 即下拆离带、中拆离带、上拆离带和顶拆离带, 将造山带地壳分隔成垂向上叠置的 5 个构造岩石单位 (片), 由下向上分别称为核杂岩单位 (CC)、超高压单位 (UHP)、高压单位 (HP)、绿帘—蓝片岩单位 (EB) 和沉积盖层单位 (SC) (图 1)。其中, 核杂岩单位由扬子克拉通基底古老硅铝壳岩石

及再造的年轻地壳片麻状岩石组成, 位于大别—苏鲁造山带地壳构造柱最下部, 至今尚未发现典型的超高压和高压变质岩石及矿物组合。超高压单位内的岩石组合分为两部分, 其一是曾遭受过超高压变质作用的岩石, 如各种榴辉岩、大理岩、硬玉石英岩及石榴橄榄岩; 其二是未遭受过超高压变质作用、由减压部分熔融作用形成的面理化花岗质岩石。本文重点研究的块状榴辉岩, 就赋存在该单位遭受过超高压变质作用的岩石中。近年来的构造和岩石学观察研究工作也在高压单位岩石分布区, 如湖北省红安县华河、大悟县熊店和河南省罗山县苏河等地, 发现有轻微面理化的块状榴辉岩透镜体, 野外关系及出露样式与超高压单位内的块状榴辉岩类似, 将有另文详作讨论。研究范围内沉积盖层岩石, 一般未变质或仅遭受极低级变质作用, 因此, 不属于超高压和高压变质带成分。在三维空间上, 超高压、高压、绿帘—蓝片岩和沉积盖层单位岩石, 依次环绕和叠置核杂岩单位, 构成类似于北美变质核杂岩 (metamorphic core complex) 的构造样式^[25,35] (图 2)。很明显, 不能直接按照现在观察到的区域构造样式及组构特点, 再造大陆深俯冲和碰撞阶段的动力学模式。

3 野外现象

至今, 已在大别—苏鲁超高压变质带内发现 10 多处块状榴辉岩, 多成大小不等的透镜体群或其他形状的斑块 (patch) 体群, 单个块体厚度多为 5~100 cm, 大者可达 30~50 m。据块状榴辉岩与围岩的关系, 大体分为以下 3 种类型。

(1) 与面理化榴辉岩密切伴生的块状榴辉岩。典

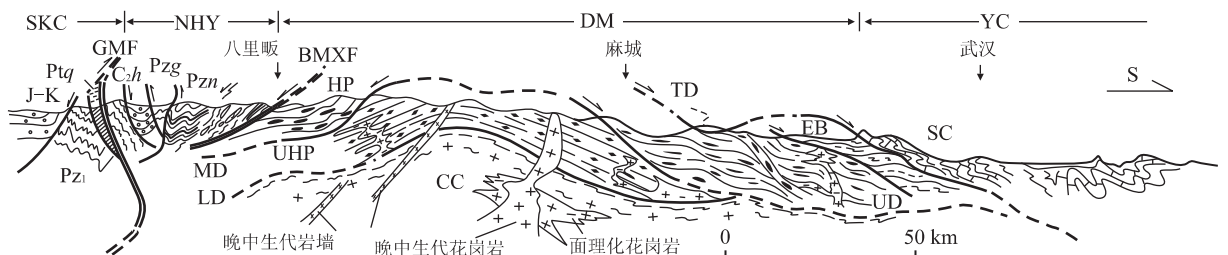


图 2 大别山综合横剖面

Fig. 2 Synthetic section across the entire Dabie Mountains, illustrating the post-collisional extensional tectonic style, main petro-tectonic units and detachment zones

SKC. 中朝克拉通; NHY. 北淮阳构造带; DM. 大别地块; YC. 扬子克拉通; CC. 核杂岩单位; UHP. 超高压单位; HP. 高压单位; EB. 绿帘—蓝片岩单位; SC. 沉积盖层单位; LD. 下拆离带; MD. 中拆离带; UD. 上拆离带; TD. 顶拆离带; BMXF. 八里畷—磨子潭—晓天断裂带; GMF. 龟梅断裂带; J-K. 侏罗—白垩系; C_{2h}. 中石炭系胡油房组; P_{zg}. 古生界龟山组; P_{zn}. 古生界南湾组; P_{z1}. 下古生界; Ptq. 秦岭群

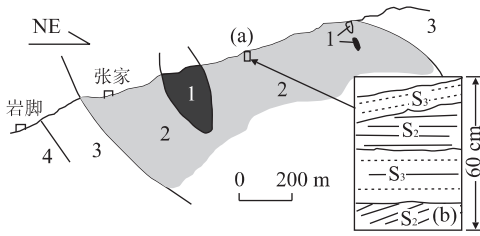


图 3 潜山县张庄榴辉岩体剖面图

Fig. 3 A schematic cross-section of eclogite body showing geometry between the massive eclogite and the foliated eclogite located in the Zhanghuang area, Qianshan

1. 块状榴辉岩; 2. 局部退变质的面理化榴辉岩; 3. 含榴绿帘二云斜长片麻岩; 4. 面理化花岗岩; a 内方框放大示于 b, 其中 S₂ 和 S₃ 分别代表面理化榴辉岩内及初期折返形成的主面理

型实例位于湖北省麻城市福田河、英山县樊家湾、太湖县双河和石马, 潜山县张家(图 3)、岳西县碧溪岭、苏北东海县青龙山和碱场以及山东省诸城县桃行等地区。一般情况下, 块状榴辉岩与面理化榴辉岩或程裕淇等^[29]称作的浅色榴辉岩系列(light-coloured eclogite series)构成规律的弱应变域与强应变带组合关系, 块状榴辉岩位于新鲜榴辉岩内部, 与面理化榴辉岩体积之比约 1/10, 两者界面是过渡性的, 并一同被角闪岩相片麻岩及面理化含榴花岗岩围岩所包裹。

(2) 包裹于大理岩内的块状榴辉岩。典型实例如湖北省岳西县菖蒲、太湖县双河和潜山县五庙、新店、山东省荣城市单家和孔家店等大理岩采石场或天然露头所见。在大别山地区, 已发现含金刚石包裹体的榴辉岩, 大都属于这种类型^[3,4,35]。块状榴辉岩块体小、形状不规则, 厚度多为 7~12 cm, 偶见三轴不等椭球状体(46 cm×27 cm×9 cm)。一般情况下, 围岩大理岩面理发育, 其中的块状榴辉岩块体, 大体沿着大理岩的面理定向排列, 颇具布丁或复合布丁状样式(图 4)。与第一种类型比较, 榴辉岩中石榴石 Mg 含量低, Ca 含量高, 富含透辉石型的单斜辉石^[3]。

(3) 包裹于橄榄岩及二辉岩内的块状榴辉岩。典型实例是山东省荣城市迟家店^[36]、日照市梭罗村、苏北东海县许沟、毛北以及安徽省太湖牌楼、岳西县南山岭^[37] 橄榄岩或二辉岩内的榴辉岩。安徽省岳西县碧溪岭、苏北东海及山东省莒南县莲坡村等地, 橄榄岩与块状榴辉岩在空间上密切伴生或相互包裹, 在流变学上, 与包裹于橄榄岩内的块状榴辉岩具有

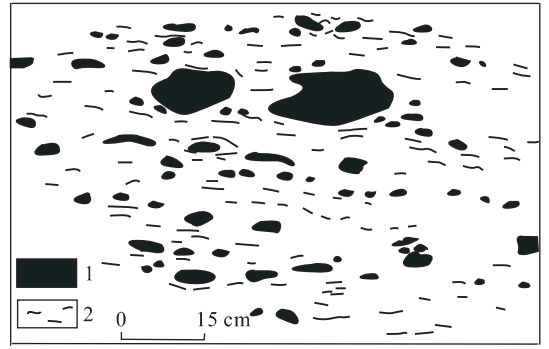


图 4 安徽省潜山县新店大理岩内的块状榴辉岩块体

Fig. 4 Outcrop sketch illustrating massive eclogite blocks within marble at Xindian, Qianshan County, Anhui Province

1. 块状榴辉岩; 2. 大理岩

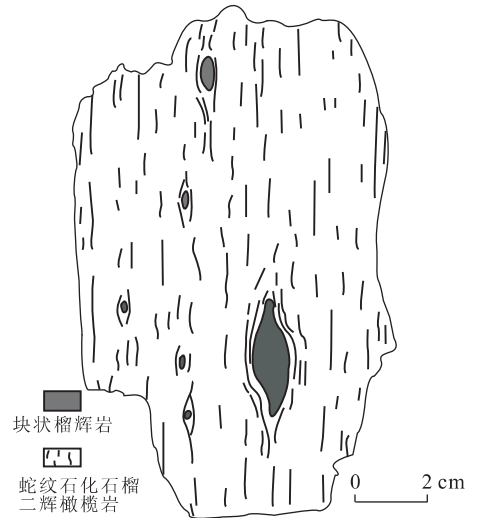


图 5 手标本尺度石榴二辉橄榄岩中的块状榴辉岩透镜体

Fig. 5 Sketch at a hand specimen scale showing massive eclogite lenses in the garnet websterite peridotite, Chijiadian, Rongcheng County, Shandong

相似的物理环境。山东省荣城市迟家店石榴二辉橄榄岩内的榴辉岩透镜体或块体很小, 最大的厚度为 50~100 cm, 几厘米的斑块状或透镜状者多见(图 5)。

4 块状榴辉岩的岩相学

程裕淇等^[29]曾详细地描述过碧溪岭地区深色(块状)榴辉岩的岩相学特征。通常, 新鲜的、未遭受或只轻微遭受退变质作用叠加的块状榴辉岩不发育后成合晶结构, 一般为带褐红色调的暗绿色或墨绿色, 中细粒粒状变晶结构, 块状构造, 局部由绿辉石

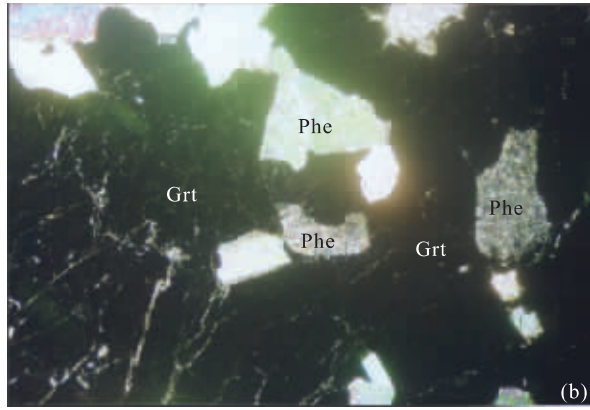
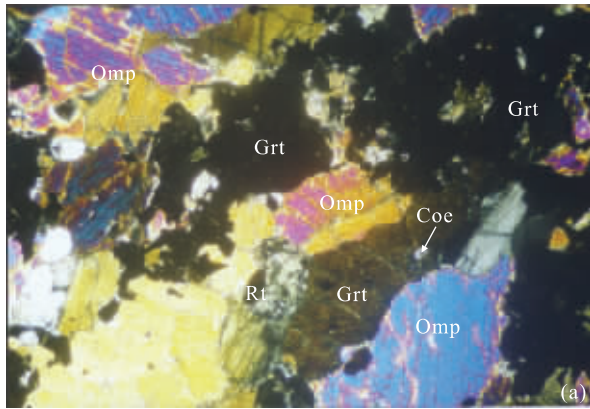


图 6 样品 S_2 含柯石英包裹体的块状榴辉岩 (a) 和样品 $M-12_2$ 具多硅白云母变斑晶的块状榴辉岩 (b)

Fig. 6 Massive eclogite with inclusion of coesite in omphacite in sample S_2 (a) and massive eclogite with phengite porphyroblasts (Phe) in which contain inclusion of omphacite in sample $M-12_2$ (b)

Grt. 石榴石; Omp. 绿辉石; Rt. 金红石; Coe. 柯石英; Phe. 多硅白云母; 正交偏光, 视域宽 5 mm

晶体定向排列, 显示微弱的面状及线状^[27,32] 组构。主要矿物组合为石榴石+绿辉石+金红石+柯石英(假象)(图 6a), 含少量的副矿物磷灰石、锆石和黄铁矿等。有的块状榴辉岩中含金刚石^[1~5]。与面理化(浅色)榴辉岩相比较, 块状榴辉岩的特点概括如下:

(1) 矿物组合简单。通常缺少蓝晶石、多硅白云母、黝帘石(斜黝帘石)等其他超高压及高压矿物组合。有时块状榴辉岩中出现多硅白云母、黝帘石(斜黝帘石)及绿帘石等矿物(如 $M-12_2$ 及 $M-12_3$), 则往往呈变斑晶形式, 无形组构, 其中多含石榴石和绿辉石包裹体(图 6b), 显示晚世代的热-构造事件记录。(2) 金红石含量较高。块状榴辉岩一般金红石含量达 3%~5%, 有的高达 7.5%~9%^[29], 构成金红石矿体, 因而, Zhang 等^[19] 称其为富金红石榴辉

岩。(3) 普遍含柯石英或其假象, 偶含微粒金刚石包裹体。(4) 矿物形组构不发育。虽然有时由绿辉石晶体定向排列显示微弱面状及线状组构, 但总体上观察, 块状榴辉岩的矿物形组构不甚发育。显示曾缺少足够大的偏应力作用, 结晶塑性流动不强烈。石榴石多为他形多晶集合体, 粒径 0.5~2 mm, 其内动态重结晶的微晶粒径为 0.2~0.4 mm; 偶见半自形或自形石榴石晶体(如单家 $Sh-r-31$, 牌楼 $M-17-4$), 内含有先期包裹矿物, 绿辉石多为短柱状, 自形半自形, 大小多为 (0.5~2.0) mm × (0.4~0.8) mm。在较大的绿辉石晶体内包裹有小的石榴子石。(5) 据程裕淇等^[29] 的矿物光性及岩石地球化学分析, 块状榴辉岩的主要矿物光性及岩石地球化学特征也与面理化(浅色)榴辉岩有一些差别, 他们认为, 块状(深色)榴辉岩的原岩, 可能是基性火山熔岩及有关的凝灰岩。

5 构造意义

从上面的描述可知, 新鲜的块状榴辉岩是大别—苏鲁超高压变质带内保存最完好的初始超高压变质岩石, 遭受减压退变质作用、变形作用及再热化作用的改造最弱, 无论是在片麻岩及面理化花岗岩围岩中大的榴辉岩体内部还是包裹在大理岩或橄榄岩中的块状榴辉岩, 虽然都呈大小不同的透镜体或斑块状体, 但大都保留其超高压变质作用形成的简单矿物组合及初始的结构构造特征。所以, 块状榴辉岩是大陆深俯冲和碰撞作用的端元产物, 是超高压峰期变质作用的记录器。块状榴辉岩的直接围岩, 尤其是面理化榴辉岩、角闪岩化榴辉岩及大理岩, 都遭受过不同程度的变形和变质作用的重置和再造, 记录了长期而复杂的超高压变质岩石的构造—热历史。

野外详细的构造解析证明, 大陆深俯冲和碰撞形成的超高压变质带的递进的或多期变质和变形分解作用, 是块状榴辉岩得以较好地保存其初始状态的主要原因之一, 而变质和变形分解作用, 又受到超高压变质带组成和结构不均一性以及流变学差(rheological contrast)的制约^[38]。

在通常情况下, 块状(深色)榴辉岩和面理化(浅色)榴辉岩在空间上呈规律的几何配置, 显示出变质和变形分解作用的应变图象或域行为(domainal behaviour)(图 7)。块状榴辉岩块体相当于弱应变域, 局部还显示脆—韧性变形行为, 在流变场中处于被

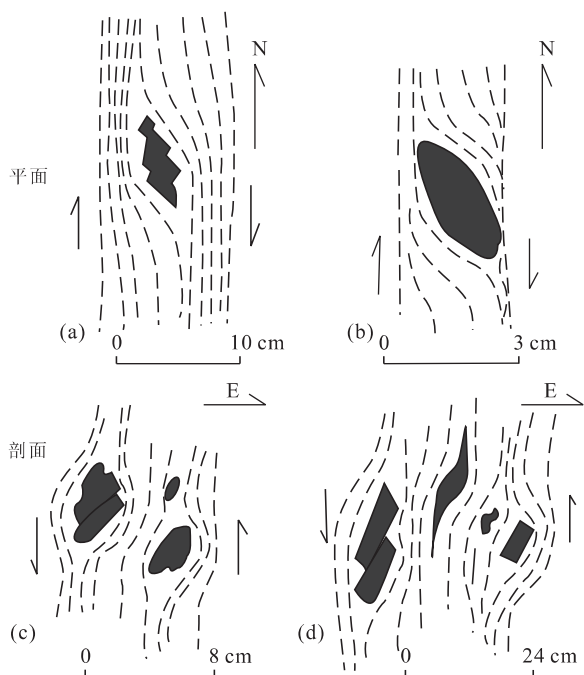


图 7 苏北青龙山超高压榴辉岩相条件下变质和变形分解作用形成的应变图像

Fig. 7 Outcrop sketches showing eclogite strain pictures formed by metamorphic and deformation partitioning under UHP eclogite facies conditions, Qinglongshan, northern Jiangsu

a, b. 平面图; c, d. 剖面图

动状态. 面理化榴辉岩是遭受强烈剪切应变和塑性流动的强应变带, 在流变场中占具主动位置, 与块状榴辉岩块体构成两相物质的布丁—基质或残斑—基质流变学格局^[32, 39], 并可利用布丁或残斑(强相)与基质(弱相)间的几何关系, 判断局部的运动学状况. 需要指出的是, 因为此处讨论涉及的面理化(浅色)榴辉岩也含有柯石英或其假象等超高压变质作用标志性矿物, 退变质作用很微弱, 与块状榴辉岩相比较, 只是含水矿物(如多硅白云母、黝帘石或斜黝帘石和蓝晶石等)明显增加, 塑性变形造成的面理和线理极为发育, 两者的接触关系也是过渡的, 因而推测, 该阶段的变质和变形分解作用, 主要还是在超高压榴辉岩相变质作用及大陆深俯冲和碰撞环境下进行的. 另一方面, 从面理化的榴辉岩矿物组合和结构构造来看, 不仅应变较块状榴辉岩强, 而且变质作用压力和温度等物理条件, 也会发生相应的变化, 年代学上也应有所差别. 总之, 块状榴辉岩是大陆深俯冲和碰撞形成的最初超高压变质岩石, 而面理化榴辉岩则是跟随其后由变质和变形分解作用形成的强应

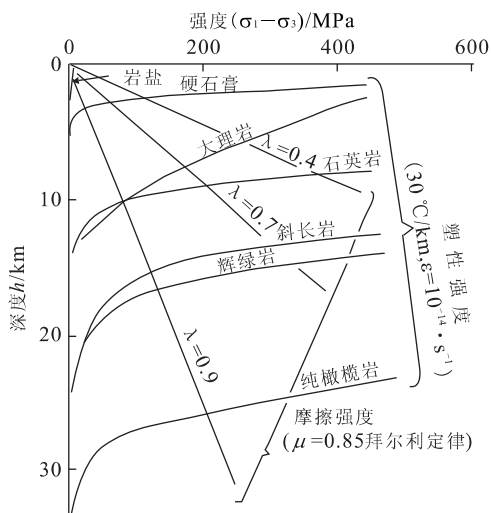


图 8 常见岩石的强度—深度关系图解

Fig. 8 Brittle and plastic rock strengths as a function of depth

变带内的岩石组合, 其母岩就是块状榴辉岩. 因而, 具块状构造的榴辉岩, 初始可能为具有造山尺度的楔状岩片, 只是由于在上地幔深度及超高压榴辉岩相变质作用条件下, 被变质和变形分解作用解体了. 在其后的多期变质和变形分解作用过程中, 受应变局部化(strain localization)的制约^[40], 变形和退变质作用, 主要集中于面理化(浅色)榴辉岩之中, 并形成新的剪切带网络格局, 使先期超高压榴辉岩相条件下形成的布丁—基质或残斑—基质流变学样式部分得以保存, 成为难以寻觅的大别—苏鲁地区大陆深俯冲和碰撞的直接证据.

大理岩中的块状榴辉岩, 如图 3 所示, 多呈简单或复合布丁样式. 由于大理岩与榴辉岩之间存在的流变学(强度)差^[41, 42](图 8), 无论是在超高压榴辉岩相条件下还是在其后的角闪岩相条件下, 变形和退变质作用都主要集中于大理岩中, 因此, 块状榴辉岩的超高压变质矿物组合及结构构造得以较好保存, 是不言而明的.

6 讨论

(1)关于大陆深俯冲和碰撞的时间. 大多数研究者认为, 大别—苏鲁区超高压变质作用、大陆深俯冲及碰撞的时限为 230~210 Ma^[10~14, 20~22, 43]. 但是, 从他们的年代学测试样式描述来看, 一般都选用的是条带状含多硅白云母、蓝晶石及黝帘石的榴辉岩,

并常具角闪岩化等减压退变质矿物组合^[22]。因此,从前面的讨论来看,无论应用何种年代学方法,所得出的结果可能大多不代表峰期超高压变质作用的年代,充其量只能反应超高压变质作用的最小或冷却时限。Xu 等^[5]、Okay 等^[4]及 Hacker 等^[24]的年代学研究曾分别获得过(243.9±0.2) Ma, (246±6) Ma 及 210~250 Ma 数据,而且, Hacker 等^[24]还明确指出,245 Ma 代表了超高压变质作用时代,而 219 Ma 则反映一次地壳压力条件下伴随退变质作用的构造—热事件时限。笔者相信,如果在进一步超高压变质作用的年代学研究中,能够精细地挑选新鲜的块状榴辉岩样品进行多种方法测试,定会得出更接近峰期超高压变质作用实际的年龄数据。最近吴元保等^[44]通过碧溪岭石榴橄榄岩中锆石的年代学研究获得的(254±38) Ma 数据,就很值得重视。在现有资料情况下,笔者暂且把大别—苏鲁区大陆深俯冲、碰撞及超高压变质作用的时限放在 250~220 Ma 间。叶凯等^[36]报道的山东省荣城市迟家店石榴二辉橄榄岩中块状榴辉岩(P 型榴辉岩)Sm—Nd 内部等时线 232 Ma 及 Okay 等^[4]报道的大别山五庙南路边采场大理岩榴辉岩(样品 230D)中石榴石—全岩 Sm—Nd 年龄(246±6) Ma,都接近超高压变质作用峰期的实际时限。

(2)关于超高压变质作用的 pT 条件。至今,已经发表过大量的有关大别—苏鲁超高压变质作用的 pT 条件物理参数及相关的 pTt 轨迹图解。由于已经在许多地点发现了微粒金刚石、柯石英或其假象等超高压标志性矿物包裹体,依据柯石英及金刚石的稳定性域和平衡反应,峰期变质作用压力曾大于 $30 \times 10^8 \sim 40 \times 10^8$ Pa,大陆壳物质俯冲于 100 km 以下,是无可置疑的。新近 Schmid 等^[45]还利用新的地质压力计估算峰期超高压变质作用最大压力为 $40 \times 10^8 \sim 48 \times 10^8$ Pa,显示陆壳岩石俯冲深度就更大了。但是,对于峰期超高压变质作用的温度估测,就大相径庭、众说纷纭了^[18~21]。导致这种状况的原因,除引用的地质温度计不同和测试误差外,也是由于选择的测试样品不同造成的。Okay^[3]曾用含微量多硅白云母(250 H)或蓝晶石(229 B)的片麻岩内榴辉岩,在 30×10^8 Pa 压力条件下计算的平均温度分别为(788±50) °C 和(805±20) °C。而 Zhang 等^[19]给出的安徽省岳西县碧溪岭含柯石英榴辉岩的变质作用条件为 $p > 27 \times 10^8$ Pa, $T \approx 610 \sim 700$ °C。很显然,后者估算的变质温度显然过低,不能代

表峰期超高压变质作用的温度。值得指出的是, Okay^[3]对大理岩内含柯石英及微粒金刚石榴辉岩的峰期变质作用温度估算(800±80) °C,应当接近实际的峰期变质作用环境。这类榴辉岩的矿物组合及结构构造特点,就类似于本文描述的块状(深色)榴辉岩。Carswell 等^[46]用采自大别山关家岭及碧溪岭等地的榴辉岩估算的最高平衡温度 850 °C(压力 $32 \times 10^8 \sim 38 \times 10^8$ Pa),也大体代表了超高压变质作用的温度条件。

(3)关于大陆深俯冲的极性。大别—苏鲁超高压变质带是大陆深俯冲和碰撞的结果,属俯冲—碰撞型造山带^[47~49],现已被广大研究者所认同。但是,究竟是扬子克拉通向北深俯冲于中朝克拉通之下,还是中朝克拉通向南深俯冲于扬子克拉通之下,甚或扬子克拉通及中朝克拉通分别向北和向南双向深俯冲于“大别小陆块”之下^[11,50],至今,尚有不同的认识。各种推论也分别提出了地质、地球物理及地球化学领域的证据。关于大陆深俯冲的方向或极性(polarity)的认识,涉及到对大陆碰撞缝合带位置、大陆深俯冲及碰撞变形构造运动学、前进侧(pro-side)和后退侧(retro-side)^[47~49]以及碰撞造山带三维地壳结构的理解,需要有专文另行讨论。这里仅想强调指出,由于大别—苏鲁超高压变质带主要是由三叠纪大陆深俯冲和碰撞形成的,因而,分析大陆深俯冲的极性,是力图恢复和推断三叠纪阶段大陆深俯冲方向,不能完全依赖地球物理及地球化学资料对现今地壳结构的解释及物质的示踪进行判断,需要进行综合分析及编制复原去变形横剖面,更需要考虑剥蚀作用的效应^[48]。按理说,块状榴辉岩是大陆深俯冲和碰撞的直接证据,也应提供有关大陆的深俯冲及碰撞运动学的标志,但是,由于受复杂的和多期变质变形分解作用的改造,残存的绝大多数块状榴辉岩个体很小,又经过不同方式的旋转和位移,利用其排列格式及保留的初始运动学标志,很难进行造山尺度的运动学分析和判断大陆深俯冲的极性。

目前,笔者主要依据:(1)八里畷—磨子潭—晓天断裂带(大别区)及五莲—烟台断裂带(苏鲁区)是被强烈改造了的扬子克拉通与中朝克拉通碰撞缝合带的残余根带^[33];(2)现今及部分平衡复原后核部杂岩、超高压、高压、绿帘—蓝片岩和沉积盖层等岩石构造单位的三维空间几何配置(图 1,2);(3)后陆伸展盆地及前陆褶皱逆冲带的发育和位置;(4)地球物理及地球化学资料提供的信息^[51~53]以及中朝克

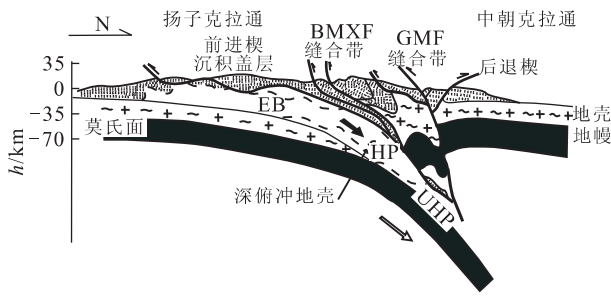


图 9 大别—苏鲁 UHP 和 HP 变质带部分去变形横剖面

Fig. 9 Partial retrodeformed cross-section of Dabie-Sulu UHP and HP metamorphic belts showing a possible configuration of the Triassic deep continent subduction and collision

BMXF. 八里畈—磨子潭—晓天断裂; GMF. 龟梅断裂; UHP. 超高压变质岩; HP. 高压变质岩; EB. 绿帘—蓝片岩变质岩

拉通南缘徐淮地区早侏罗世侵入杂岩体中榴辉岩包体的发现^[54]等,推测三叠纪时扬子克拉通北缘曾向北深俯冲于中朝克拉通之下并与其碰撞,产生超高压变质岩石组合(图 9)。虽然俯冲—碰撞造山带本身就具有双倒向(bivergence)不对称几何学和运动学特征^[47~49],但现今大别—苏鲁造山带所显示的不对称双倒造山或花状构造,则主要是在三叠纪碰撞造山期后及白垩纪以来陆内变形的结果^[37]。

7 结论

(1) 块状榴辉岩是大别—苏鲁超高压变质带内大陆深俯冲和碰撞作用的终端产物和记录器。由于多期复杂的变质变形分解作用以及与围岩间存在的流变性差,多呈不同尺度的透镜体或斑块体,幸免强烈的减压退变质作用影响,而得以保存。

(2) 块状榴辉岩记录的峰期超高压变质作用、大陆深俯冲和碰撞时限,应大于前人年代学研究的结果,大体介于 250~220 Ma 间。相应地,含柯石英及微粒金刚石块状榴辉岩所反映的峰期变质作用 pT 条件为 $p > 27 \times 10^8 \sim 40 \times 10^8$ Pa, $T > 800$ °C。

(3) 在三叠纪期间,扬子克拉通向北深俯冲于中朝克拉通之下并与其碰撞,首先产生区域性规模的块状榴辉岩及相关的超高压岩石组合,跟随其后在不同构造体制下的变质和变形分解作用,使得块状榴辉岩不断被解体,除分散保存的透镜体或斑块体之外,大部分都改造成面理化榴辉岩、榴闪岩及至含榴二云片麻岩。如果这些认识能够成立,那么,以往

涉及大别—苏鲁超高压变质带的构造演化及变质作用 pT 轨迹的理解,应当进行新的审视和必要调整。

参考文献:

- [1] Okay A I, Xu S T, Sengor A M C. Coesite from the Dabie Shan eclogites, central China [J]. *Eur J Mineral*, 1989, 1: 595—598.
- [2] Okay A I, Sengor A M C. Evidence for intra-continental thrust related exhumation of the ultrahigh-pressure rocks in China [J]. *Geology*, 1992, 20: 411—414.
- [3] Okay A I. Petrology of a diamond and coesite-bearing metamorphic terrain: Dabie Shan, China [J]. *Eur J Mineral*, 1993, 5: 659—675.
- [4] Okay A I, Sengor A M C, Satir M. Tectonics of an ultrahigh-pressure metamorphic terrane: the Dabieshan-Tongbaishan orogen, China [J]. *Tectonics*, 1993, 12: 1320—1334.
- [5] Xu S T, Okay A I, Ji S Y, et al. Diamond from the Dabie Shan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting [J]. *Science*, 1992, 256: 80—82.
- [6] Wang X, Liou J G, Mao H K. Coesite-bearing eclogite from the Dabie Mountains in central China [J]. *Geology*, 1989, 17: 1085—1088.
- [7] Wang X, Liou J G. Regional ultrahigh-pressure coesite-bearing eclogitic terrane in central China: evidence from country rocks, gneiss, marble and metapelite [J]. *Geology*, 1991, 19: 933—936.
- [8] Wang X, Liou J G, Maruyama S. Coesite-bearing eclogites from the Dabie Mountains, central China: petrogenesis, $P-T$ paths and implications for regional tectonics [J]. *J Geol*, 1992, 100: 231—250.
- [9] Li S G, Hart S R, Zheng S G, et al. Timing of collision between the North and South China blocks — the Sm-Nd isotopic age evidence [J]. *Science in China (Series B)*, 1989, 32: 1393—1400.
- [10] Li S G, Chen Y Z, Cong B L, et al. Collision of the North China and Yangtze blocks and formations of coesite-bearing eclogites: timing and processes [J]. *Chemical Geology*, 1993, 109L: 70—89.
- [11] Li S G, Chen Y Z, Jagouty E, et al. Geochemical and geochronological constraints on the tectonic outline of the Dabie Mountains, central China: a continent-microcontinent collision model [J]. *Continental Dynamics*, 1998, 3: 14—31.
- [12] Li S G, Jagouty E, Chen Y Z, et al. Sm-Nd and Rb-Sr isotopic chronology and cooling history of ultrahigh pressure metamorphic rocks and their country rocks at

- Shuanghe in the Dabie Mountains, central China [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2000, 64: 1077—1093.
- [13] Ames L, Tilton G R, Zhou G. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb dating of coesite-bearing eclogites [J]. *Geology*, 1993, 21: 339—342.
- [14] Ames L, Zhou G Z, Xiong B C. Geochronology and isotopic character of ultrahigh-pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons, central China [J]. *Tectonics*, 1996, 15: 472—489.
- [15] Cong B L, Wang Q C, Zhai M G, et al. Ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie-Sulu region, China: their formation and exhumation [J]. *The Island Arc*, 1994, 3: 135—150.
- [16] Cong B L, Zhai M G, Dennis A, et al. Petrogenesis of ultrahigh-pressure rocks and their country rocks at Shuanghe in Dabieshan, central China [J]. *Eur J Mineral*, 1995, 7: 119—138.
- [17] Wang Q C, Liu X H, Maruyama S, et al. Top boundary of the Dabie UHPM rocks, central China [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1995, 11: 295—300.
- [18] Xiao Y L, Li S G, Jagoutz E, et al. *P-T-t* path for coesite-bearing peridotite-eclogite association in the Bixiling, Dabie Mountains [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40: 156—158.
- [19] Zhang R Y, Liou J G, Cong B L. Talc, magnesite and Ti-clinohumite-bearing UHP metamafic and ultramafic complex in the Dabie Mountains, China [J]. *J Petrol*, 1995, 36: 1011—1037.
- [20] Liou J G, Zhang R Y, Jahn B M. Petrology, geochemistry and isotope data on an ultrahigh-pressure jadeite quartzite from Shuanghe, Dabie Mountains, east-central China [J]. *Lithos*, 1997, 41: 59—78.
- [21] Maruyama S, Liou J G, Zhang R Y. Tectonic evolution of the ultrahigh-pressure (UHP) and high-pressure (HP) metamorphic belts from central China [J]. *The Island Arc*, 1994, 3: 112—121.
- [22] Charagnac V, Jahn B M. Coesite-bearing eclogites from the Bixiling complex, Dabie Mountains, China: Sm-Nd ages, geochemical characteristics and tectonic implications [J]. *Chemical Geology*, 1996, 133: 29—51.
- [23] Ernst W G, Liou J G. Overview of UHP metamorphism and tectonics in well-studied collisional orogens [J]. *International Geology Review*, 1999, 41: 477—493.
- [24] Hacker B R, Ratchbacher L, Webb L, et al. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie orogen, China [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1998, 161: 215—230.
- [25] Suo S T, Zhong Z Q, You Z D. Extensional deformation of post-ultrahigh-pressure metamorphism and exhumation process of ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie massif, China [J]. *Science in China (Series D)*, 2000, 43: 225—236.
- [26] Eide E A. A model for the tectonic history of HP and UHPM regions in east central China [A]. In: Coleman R G, Wang X M, eds. *Ultrahigh pressure metamorphism [C]*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 391—426.
- [27] Suo S T, Zhong Z Q, Zhou H W, et al. Triassic collisional structures and post-collisional deformation of Bixiling UHP rock stack: insights for tectonic evolution of UHP metamorphic belt in Dabie Massif, central China [J]. *Journal of China University of Geosciences*, 2002, 13(1): 1—13.
- [28] Tabata H, Maruyama S, Shi Z. Metamorphic zoning and thermal structure of the Dabie ultrahigh-pressure-high-pressure terrane, central China [J]. *The Island Arc*, 1998, 7: 142—158.
- [29] 程裕淇, 庄育勋, 高天山, 等. 大别山蓴蒲—碧溪岭地区高压—超高压榴辉岩相变质岩和有关岩石的岩石类型及其原岩性质[J]. *地质学报*, 2002, 76(1): 1—13.
CHENG Y Q, ZHUANG Y X, GAO T S, et al. Lithology and protolith of HP-UHP eclogite facies metamorphic rocks and relict rocks of the Changpu-Bixiling area, Dabie Mountains [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76(1): 1—13.
- [30] Bell T H. Deformation partitioning and porphyroblast rotation in metamorphic rocks: a radical reinterpretation [J]. *J Metamorphic Geol*, 1985, 3: 106—118.
- [31] Vigneresse J L, Tikoff B. Strain partitioning during partial melting and crystallizing felsic magmas [J]. *Tectonophysics*, 1999, 312: 117—132.
- [32] 索书田, 钟增球, 周汉文, 等. 大别—苏鲁超高压变质带内变形分解作用对榴辉岩透镜体群发育的影响——以碧溪岭地区为例[J]. *地质科技情报*, 2001, 20(2): 15—22.
SUO S T, ZHONG Z Q, ZHOU H W, et al. Influence of deformation partitioning on the development of eclogite lenses in Dabie-Sulu UHP metamorphic belt,

- China: an example from the Bixiling area [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2001, 20(2): 15—22.
- [33] Ogasawara Y, Zhang R Y, Lion J G. Petrogenesis of dolomitic marbles in the Su-Lu ultrahigh-pressure metamorphic terrane, eastern China [J]. *The Island Arc*, 1998, 7: 82—97.
- [34] 索书田, 钟增球, 游振东. 大别—苏鲁构造带三叠纪碰撞缝合线的位置[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2000, 25(2): 111—116.
SUO S T, ZHONG Z Q, YOU Z D. Location of Triassic tectonic suture line between collided Sino-Korean and Yangtze cratons in Dabie-Sulu tectonic zone [J]. *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*, 2000, 25(2): 111—116.
- [35] Davis G H. Shear-zone model for the origin of metamorphic core complexes [J]. *Geology*, 1983, 11: 342—347.
- [36] 叶凯, 徐平. 山东荣城大疃榴辉岩成因岩石学研究[J]. *岩石学报*, 1992, 8(1): 27—39.
YE K, XU P. Petrogenesis of eclogites and related peridotitic rocks in Datuan area of Rongcheng County, Shandong Province [J]. *Acta Petrological Sinica*, 1992, 8(1): 27—39.
- [37] 索书田, 桑隆康, 韩郁菁, 等. 大别山前寒武纪变质地体岩石学与构造学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993.
SUO S T, SANG L K, HAN Y J, et al. Petrology and tectonics in Dabie Precambrian terranes, central China [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1993.
- [38] Ghosh S K, Sengupta S. Boudinage and composite boudinage in superposed deformations and syntectonic migmatization [J]. *J Struct Geol*, 1999, 21: 91—110.
- [39] Handy M R. The solid-state flow of polymineralic rocks [J]. *J Geophys Res*, 1990, 95(B6): 8647—8661.
- [40] Altenberger U. Strain localization mechanisms in deep-seated layered rocks [J]. *Geol Rundsch*, 1997, 86: 56—68.
- [41] Dahlen F A, Suppe J. Mechanics, growth and erosion of mountain belts [J]. *Geological Society of America, Special Paper*, 1988, 218: 161—178.
- [42] Philippot P, Van Roermund H L M. Deformation processes in eclogitic rocks: evidence for the rheological delamination of the oceanic crust in deeper levels of subduction zones [J]. *J Struct Geol*, 1992, 14: 1059—1077.
- [43] 杨经绥, 许志琴, 吴才来, 等. 含柯石英锆石的 SHRIMP U—Pb 定年: 胶东印支期超高压变质作用的(离子探针)证据[J]. *地质学报*, 2002, 79(3): 354—372.
YANG J S, XU Z Q, WU C L, et al. SHRIMP U—Pb dating on coesite-bearing zircon: evidence for Indosinian ultrahigh-pressure metamorphism in Su-Lu, East China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76(3): 354—372.
- [44] 吴元保, 陈道公, 程昊, 等. 碧溪岭岩体中石榴橄榄岩的锆石显微结构及离子探针定年[J]. *高校地质学报*, 2001, 73(3): 356—362.
WU Y B, CHEN D G, CHENG H, et al. SIMS U—Pb dating and images of zircons from garnet peridotite of Bixiling [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2001, 73(3): 356—362.
- [45] Schmid R, Franz L, Oberhänsli R, et al. High-Si phengite, mineral chemistry and evolution of ultrahigh-pressure eclogites and calc-silicates from the Dabie Shan, eastern China [J]. *Geological Journal*, 2000, 35: 185—207.
- [46] Carswell D A, O'Brien P J, Wilson R N, et al. Thermobarometry of phengite-bearing eclogites in the Dabie Mountains of central China [J]. *J Metamorphic Geol*, 1997, 15: 239—252.
- [47] Willett S, Beaumont C, Fullsack P. A mechanical model for the tectonics of doubly-vergent compressional orogens [J]. *Geology*, 1993, 21: 371—374.
- [48] Beaumont C, Ellis S, Hamilton J, et al. Mechanical model for subduction-collision tectonics of Alpine-type compressional orogens [J]. *Geology*, 1996, 24: 675—678.
- [49] Pfiffner O A, Ellis S, Beaumont C. Collision tectonics in the Swiss Alps: insight from geodynamic modeling [J]. *Tectonics*, 2000, 19: 1065—1094.
- [50] 李英康, 董树文, 张中杰, 等. 大别造山带地壳泊松比结构与超高压变质带——来自宽角反射与近垂直反射剖面的启示[J]. *地质论评*, 2002, 48(1): 15—23.
LI Y K, DONG S W, ZHANG Z J, et al. Poisson's ratio structure of the crust and UHP metamorphic zone in the Dabie orogenic belt: a suggestion from wide-angle and subvertical seismic reflection sounding [J]. *Geological Review*, 2002, 48(1): 15—23.
- [51] Wang C Y, Zeng R S, Mooney W D, et al. A crustal model of the ultrahigh-pressure Dabie Shan orogenic belt, China, derived from deep seismic refraction profiling [J]. *J Geophys Res*, 105, 10857—10869.
- [52] 张宏飞, 高山, 张本仁, 等. 大别山地壳结构的 Pb 同位

- 素地球化学示踪[J]. 地球化学, 2001, 30: 395—401.
- ZHANG H F, GAO S, ZHANG B R, et al. Pb isotopic study on crustal structure of Dabie Mountains, central China [J]. *Geochimica*, 2001, 30: 395—401.
- [53] Xu P F, Liu F T, Wang Q C, et al. Slab-like high velocity anomaly in the uppermost mantle beneath the Dabie-Sulu orogen [J]. *Geophysical Research Letters*, 2001, 28(9): 1847—1850.
- [54] 许文良, 王冬艳, 刘晓春, 等. 徐淮地区早侏罗世侵入杂岩体中榴辉岩类包体的发现及其地质意义[J]. *科学通报*, 2002, 47(8): 618—622.
- XU W L, WANG D Y, LIU X C, et al. Discovery of eclogite enclaves in Early Jurassic intrusive complex of the Xu-Huai region and its geological significance [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(8): 618—622.

Massive Eclogites and Their Tectonic Significance in Dabie-Sulu UHP Metamorphic Belt, East-Central China

SUO Shu-tian^{1,2}, ZHONG Zeng-qiu², ZHOU Han-wen², YOU Zhen-dong²

(1. *Faculty of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*; 2. *Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*)

Abstract: Detailed study of the structures in the Dabie-Sulu UHP metamorphic belt, east-central China indicates that most of Triassic UHP rocks were reworked and reset under eclogite- and amphibolite-facies conditions, following the peak UHP metamorphism. However, some of fresh coesite- and microdiamond-bearing massive eclogite bodies which are enclosed by marbles, foliated eclogites and garnet-peridotites respectively, remained almost undeformed on the centimeter to hundred of meter scale. The massive eclogites consist of garnet, omphacite, rutile and coesite/quartz with medium to fine-grained massive features in appearance. Most of diamond-bearing eclogites come from the eclogite lenses enclosed by the marbles which are surrounded, in turn, by the amphibolite facies gneisses and orthogneisses. Based on the analyses of petrography, structure and metamorphism of the massive eclogites, it can be inferred that these eclogites may record p - T conditions for the deep continental subduction, collision and peak UHP metamorphism. The massive eclogites have been equilibrated in the range of >800 °C and 32×10^8 — 40×10^8 Pa. Furthermore, 250—220 Ma is considered the best estimate for the age of the peak UHP metamorphism and deep continental subduction. A comparative study of deformation features in the massive eclogite lenses and the country rocks shows that metamorphism and deformation partitioning played an important role in the preservation of the fresh massive eclogites as record-keepers of the deep subduction within the Dabie-Sulu UHP metamorphic belt. The episodic or progressive metamorphism and deformation partitioning has resulted in lens-shaped domains of low strain separated by anastomosing domains of high strain. The massive eclogites which occur within the domains, at different scales, of low strain are likely to survive a retrogressive metamorphism and deformation resetting, and consequently to retain the near peak metamorphic signature. Therefore, only these eclogites preserve the record of early UHP metamorphic and deformational events. A possible tectonic model is also given for the Dabie-Sulu UHP metamorphic belt, showing the general geometry of the Dabie-Sulu lithosphere at the time of peak metamorphism during the Triassic continental subduction and collision.

Key words: UHP metamorphic belt, continental subduction, massive eclogite, metamorphism and deformation partitioning, Dabie-Sulu region.