

大别—苏鲁区残余超高压构造及其动力学意义

索书田¹ 钟增球² 游振东² 周汉文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, 武汉 430074)

摘要: 根据构造学及岩石学研究并结合已有同位素年代学资料地质意义分析证明, 现在观察到的大别—苏鲁超高压变质带的区域构造框架, 主要是在三叠纪中朝与扬子克拉通碰撞期后(200~170 Ma)伸展体制和角闪岩相条件下形成的. 残余的同碰撞及超高压构造只保留在较大的榴辉岩及其他超高压变质岩体内部. 以湖北省麻城县乘马岗和何家湾、安徽省岳西县碧溪岭及江苏省东海等地区的榴辉岩为例, 分析描述了具弱面理的块状榴辉岩、超高压剪切带和A型褶皱等残余超高压构造. 强调指出, 只是这些早期的构造记录才反映大陆碰撞阶段的构造环境及相对运动学特征. 据此提出一个运动学模型, 表示三叠纪(240~210 Ma)扬子克拉通向北俯冲于中朝克拉通之下并与其发生斜向碰撞的动力学格局.

关键词: 残余 UHP 构造; 伸展过程; 挤压体制; 拉伸线理; 大别—苏鲁区.

中图分类号: P541

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2000)06-0557-07

作者简介: 索书田, 男, 教授, 1936年生, 长期从事构造地质学、岩石圈流变学和显微构造学的教学和研究工作, 近年来主要进行超高压—高压变质岩构造学研究.

0 引言

近年来, 涉及大别—苏鲁区超高压(UHP)和高压(HP)变质带的岩石学和矿物学的研究论文^[1~6]大量问世, 也提出了各种构造演化模式^[1,3,7], 解释大别—苏鲁区 UHP 和 HP 变质带的形成及折返过程. 可是, 正如索书田等^[8,9]和 Zhong 等^[10]所指出的, 现今所观察到的 UHP 变质带的构造框架, 主要是中朝与扬子克拉通三叠纪碰撞期后(200~170 Ma)伸展过程形成的. 同时, 由于对 UHP 榴辉岩本身的构造及组构研究很少, 同碰撞阶段的构造演化历史及造山尺度的构造样式, 尚难准确地推断. 本文目的是通过几个典型地区保存于榴辉岩体内的残余 UHP 构造的描述和分析, 讨论其在大陆碰撞过程中的动力学意义, 明确指出: 虽然不能严格对应, 但只有同碰撞阶段的 UHP 构造记录, 才可能反映中朝与扬子克拉通间相对运动学及动力学状况. 在分析过程中, 已发表的变质作用 $p-T$ 条件估算及可利用的同位素年代学资料^[11~16]不再重复引述.

1 地质背景

大别—苏鲁 UHP 和 HP 变质带位于中朝与扬子克拉通之间, 自桐柏山向东延伸经大别山、苏鲁地区, 越过黄海可能与朝鲜半岛的临津江变质带相连^[17], 延长 1 000 多 km, 是世界上现已确定的 10 多个 UHP 变质带中规模最大、出露最好的一个. 带中部被大的郯庐左行断裂带切割, 该断裂带主要形成时代是晚侏罗—早白垩世, 是由伊泽奈崎板块斜向俯冲于欧亚大陆之下的动力作用结果^[18]. 在大别山地区, 八里畷—磨子潭—晓天断裂带是 UHP 和 HP 变质岩石分布的北界^[8,19], 它分隔开北淮阳低中级变质带和含有各种高级及 UHP—HP 变质岩的大别地块, 并且与苏鲁地区的五莲—烟台断裂带一起, 代表被强烈改造了的三叠纪中朝与扬子克拉通碰撞缝合带^[8,9,15]. 这一缝合带以北约 20 km 处的龟山—梅山断裂带, 是东秦岭商丹断裂带的东延部分, 代表中生代南、北秦岭造山带之间的碰撞缝合线^[20]. 显然, 这种解释与一些作者^[21~23]的认识是相左的.

在一个区域尺度上, 大别—苏鲁 UHP 和 HP 变质带的构造图像如图 1 所示(现代地理坐标), 显示了典型的科迪勒拉型变质核杂岩构造特征. 可区

收稿日期: 2000-06-29

基金项目: 国家重大基础发展项目(G1999075506); 国家自然科学基金资助项目(No. 49972067, No. 49794041, No. 49772146).

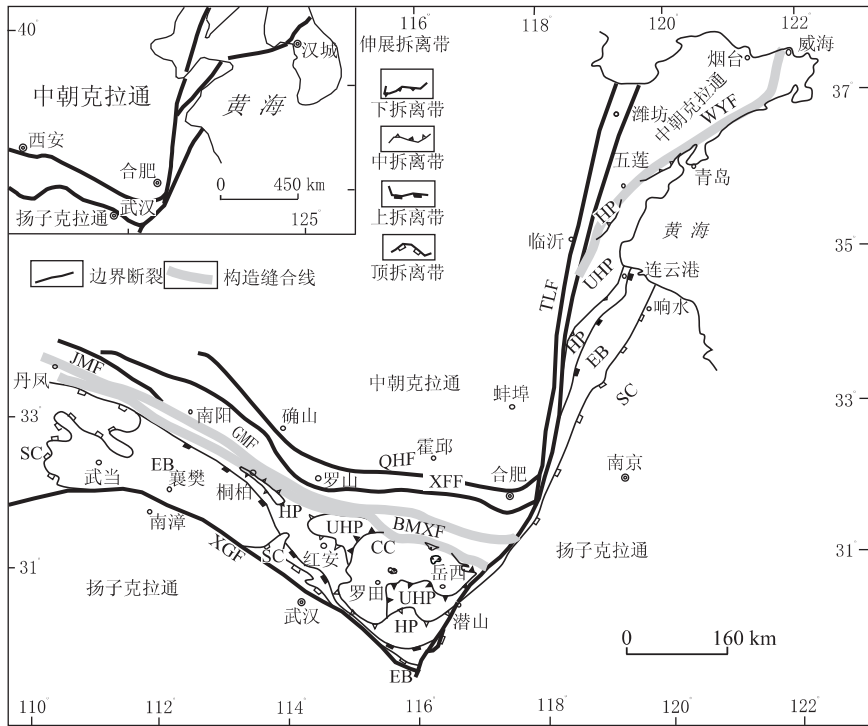


图 1 大别—苏鲁三叠纪碰撞期后伸展构造略图

Fig. 1 Simplified structural map of the Dabie-Sulu region, illustrating the extensional tectonic picture that postdates the Triassic continental collision between the Sino-Korean and Yangtze cratons

QHF. 确山—合肥断裂带; XFF. 信阳—肥西断裂带; GMF. 龟山—梅山断裂带; JMF. 军马河—马蹄湾断裂带; BMXF. 八里畈—磨子潭—晓天断裂带; XGF. 襄樊—广济断裂带; TLF. 郟城—庐江断裂带; WYF. 五莲—烟台断裂带; CC. 核部杂岩; UHP. 超高压单位; HP. 高压单位; EB. 绿帘石—蓝片岩单位; SC. 沉积盖层

分出 5 个岩石构造单位, 包括核部杂岩带(CC)、超高压单位(UHP)、高压单位(HP)、绿帘石—蓝片岩单位(EB)及沉积盖层(SC), 它们分别被 4 个低缓角度的伸展拆离带(detachment zone)分隔开^[19]. 运用各种方法测定的结果, UHP 和 HP 的峰期变质年龄为 240~210 Ma^[7, 14, 15, 24~29], 也反映中朝与扬子克拉通间斜向碰撞的大体时限^[15, 16, 30].

2 残余 UHP 构造

据表现型式及组构特征, 至少可识别出 3 种类型残余 UHP 构造, 即弱面理化块状榴辉岩、UHP 剪切带和 A 型褶皱.

2.1 弱面理化块状榴辉岩

在许多地点都可观察到具块状构造的榴辉岩, 如大别山西北部湖北省麻城县的乘马岗和何家湾, 英山县东冲河以及河南省新县田铺等. 乘马岗地区的榴辉岩透镜体包裹于区域角闪岩相片麻岩围岩中(图 2), 透镜体一般 0.5~30 m 长, 总体呈南北向排

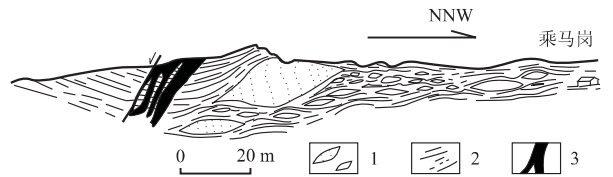


图 2 湖北省麻城县乘马岗 UHP 变质带横剖面
Fig. 2 A cross section at the outcrop scale showing relic UHP structures in lens-shaped eclogite bodies, near Chengmagang, Hubei Province

1. 榴辉岩; 2. 片麻岩; 3. 岩墙

列, 其最短轴垂直于向西缓倾斜(25°~35°)的角闪岩相区域面理, 呈现出扁平状榴辉岩透镜体在垂向上规律堆垛的样式. 残余的新鲜块状榴辉岩保存在大的榴辉岩体内部. 主要矿物组合是石榴子石及绿辉石, 其次有蓝晶石、多硅白云母、黝帘石(斜黝帘石)、金红石及不透明矿物. 露头上, 榴辉岩具微弱的面理或成分层(compositional layering), 产状 SW190°~260°∠63°~71°, 由石榴石及绿辉石等矿物含量变化体现出来. 在手标本及薄片尺度上, 石榴

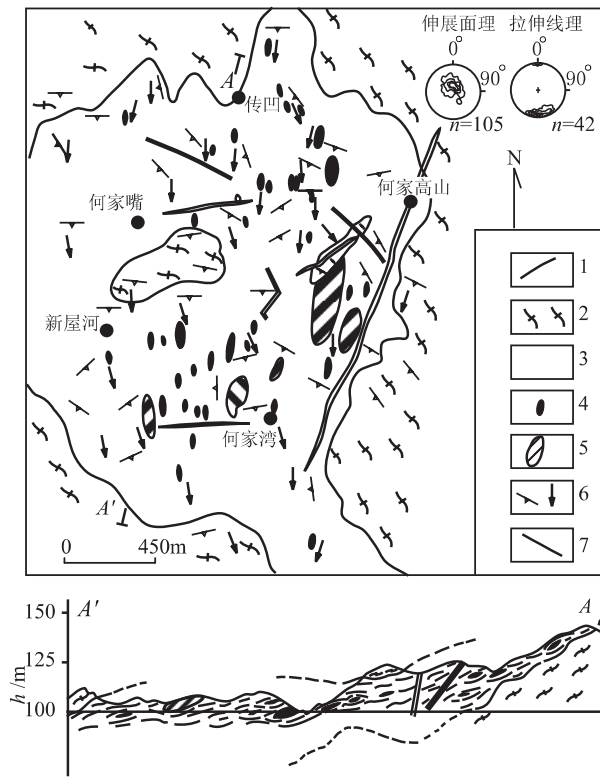


图 3 湖北省麻城县何家湾地区构造略图及剖面

Fig. 3 Structural sketch map and cross section of the Hejiawan area, Hubei Province

1. 晚中生代岩墙; 2. 面理化含榴花岗岩; 3. 绿帘二云母片麻岩;
4. 小型榴辉岩透镜体; 5. 具挤压结构的榴辉岩透镜体; 6. 伸展面理及拉伸线理; 7. 断层

石晶体多为自形—半自形, 直径一般 5~8 mm, 具冻蓝闪石、钠长石、绿帘石、石英及金红石包裹物。在石榴子石及绿辉石中发现有柯石英及柯石英假象^[31], 表明岩石曾遭受过 UHP 变质作用。

何家湾是一个研究残余 UHP 构造及其与退变质角闪岩相构造关系的理想地区, 因为岩石出露良好, 几乎没有第四系坡积物覆盖。我们选择该区进行了较详细的构造学与岩石学制图, 并利用平面及剖面图把三维空间上的地质事件及相互关系, 客观地表示出来(图 3)。该区出露的主要岩石为含榴绿帘二云母片麻岩(或所谓的高压片麻岩)及强烈面理化的含榴花岗岩, 其中具大量的榴辉岩透镜体。在厚度大于 10 m 的扁平状榴辉岩体内部, 残余的弱面理化块状榴辉岩保存较好。在露头尺度上, 富石榴石与富绿辉石的薄层显示弱面理或成分层, 走向北北西或北北东, 向南西或北东陡倾斜(70°~85°)。石榴子石自形—半自形, 一般大小为 1~2 mm, 但 9~10 mm 者也多见, 内有钠角闪石、钠长石、绿帘石和石英包裹

物, 并显示 S 形或雪球状构造。应变测量结果显示, 石榴石在榴辉岩中分布是不均一的。其形态轴比 $X : Y : Z$ 为 2.3 : 1.0 : 0.4, 弗林参数(K)为 0.87, 投影于视压扁型应变椭球体域。从露头及图 3 上均可清楚地看出, 榴辉岩体内部的由超高压矿物组合所显示出的弱面理及块状构造, 与强面理化片麻岩及花岗岩围岩中的构造是截然不同的^[9]; 前者代表同碰撞或挤压组构, 后者则代表角闪岩相条件下的伸展组构。虽然榴辉岩与片麻岩围岩在岩性上是过渡的, 但构造记录反映了不同构造变形体制。一般情况下, 厚度小于 10 m 的榴辉岩体, 由于受强烈减压退变质作用的改造, 先期同碰撞或挤压组构往往很难保存和识别。岩石也多变为榴闪岩或含榴斜长角闪岩, 内部面状及线状组构与围岩中的线、面组构一致, 这也证明, 榴辉岩体与围岩不是外来或混乱关系, 两者共同经历了碰撞后的角闪岩相 $p-T$ 演化过程。

2.2 UHP 剪切带

在野外观察及室内显微构造研究基础上, 在大型榴辉岩及其他超高压变质岩透镜体内部, 可识别出一系列在 UHP 变质条件下形成的剪切带。对于 UHP 剪切带的组构特点、表现形式及其构造意义, Suo 等^[32]曾作过专门的讨论, 指出 UHP 剪切带是大别—苏鲁 UHP 变质带中最早形成的一套韧性剪切系统。安徽省岳西县碧溪岭榴辉岩—镁铁质—超镁铁质杂岩体内部, 发育宽度 10~50 m 的多个平行的韧性剪切带, 带内由石榴子石、绿辉石、蓝晶石、多硅白云母和金红石等矿物塑性变形所形成的糜棱面理及拉伸线理特征明显。糜棱面理产状一般为 $SE100^{\circ} \sim 120^{\circ} \angle 60^{\circ} \sim 85^{\circ}$, 矿物及拉伸线理产状 $SW185^{\circ} \sim 190^{\circ} \angle 55^{\circ} \sim 63^{\circ}$ 。在岩石薄片尺度上, 拔丝状的石榴子石、绿辉石、蓝晶石、多硅白云母及金红石等矿物优选定向排列, 在 XZ 剖面上, 石榴子石、绿辉石及蓝晶石矿物形态比分别为 4~6, 10~20 和 10~15。与块状榴辉岩相比, 矿物组合大体一致。在石榴子石及绿辉石中找到了柯石英或柯石英假象, UHP 变质峰期年龄 220~210 Ma^[28]。但是, 石榴子石内部矿物包裹物几乎看不到, 表明其剪应变值比块状榴辉岩要大几个数量级。在碧溪岭地区, 具弱面理的块状榴辉岩及 UHP 剪切带共存, 反映了同碰撞及 UHP 变质条件下变形分解作用造成的弱应变域及线状强应变带的组合格式。实际上, UHP 剪切带就是大陆碰撞过程中, 在地幔深度形成的应变局部

化或应变软化带,据石榴子石的塑性变形推算,在 UHP($>27 \times 10^2$ MPa)环境下,变质温度最低可达 800 °C.

类似的 UHP 剪切带,在大别—苏鲁地区不少地点都已发现,如苏北东海县毛北,山东省荣城县滕家、风山及大疃等地.除局部地区(如荣城县风山)之外,大多数 UHP 剪切带内的主面理(即糜棱面理)的走向都大体呈南北向,向东或向西陡倾斜($70^\circ \sim 85^\circ$).例如,山东省荣城县滕家的 UHP 剪切带面理产状为 $NW290^\circ \angle 85^\circ$ 及 $90^\circ \angle 75^\circ$,石榴子石形态比为 6,大疃 UHP 剪切带面理产状为 $SE100^\circ \angle 70^\circ \sim 75^\circ$,石榴石形态比达 12.所有看到的 UHP 剪切带都保存于榴辉岩及其他 UHP 变质岩透镜体内部,受到不同程度的角闪岩相变质作用的叠加,因而,其规模受到榴辉岩及其他 UHP 变质岩透镜体大小的限制.它们只代表初始大型 UHP 剪切带被解体后残留下来的片断,其产状和方位,也可能发生过一定的旋转和变位.徐树桐等^[23]报道过双河地区一个露头尺度的 UHP 剪切带,指出它是在简单剪切条件下发育的.

2.3 A 型褶皱

通过地表地质填图及局部找矿钻探工程的揭露,分别在江苏省东海附近(毛北)及湖北省英山县东冲河地区,识别出 UHP 变质条件下形成的 A 型褶皱构造.

东海毛北大型榴辉岩体南北向延长约 2 600 m,宽约 400 m(图 4),其中的薄层状蛇纹石化石榴橄榄岩体及榴辉岩中的由浅绿色富绿辉石条带及粉红色富石榴石条带形成的成分层,一同弯曲形成枢纽陡立的复合倾竖褶皱,由拉长的石榴子石、绿辉石及蓝晶石定向排列显示出的矿物线理,与褶皱枢纽近平行,因而,褶皱具有 A 型褶皱的几何学特征.由于毛北地区地势平坦,似乎是一个第四纪时期形成的古波切台,所以,图 4 所表示的图形实际上代表了一个垂直 A 型褶皱 X 轴的横断面(YZ 面)样式.另外一个类似的小型 A 型褶皱位于湖北省英山县东冲河区,将在另文中详加描述.同样,现今观察到的 A 型褶皱的规模,也是受榴辉岩体的大小限制的,所以,他们也可能是大的 A 型或剑鞘状褶皱解体后残留下来的片断包裹于强烈区域面理化的角闪岩相片麻岩之中.毛北地区角闪岩相岩石片麻理代表的产状,可从图 4 内等面积赤平投影图解(下半球)观察出来.在该赤平图解上亦可看出,角闪岩相岩石中的区

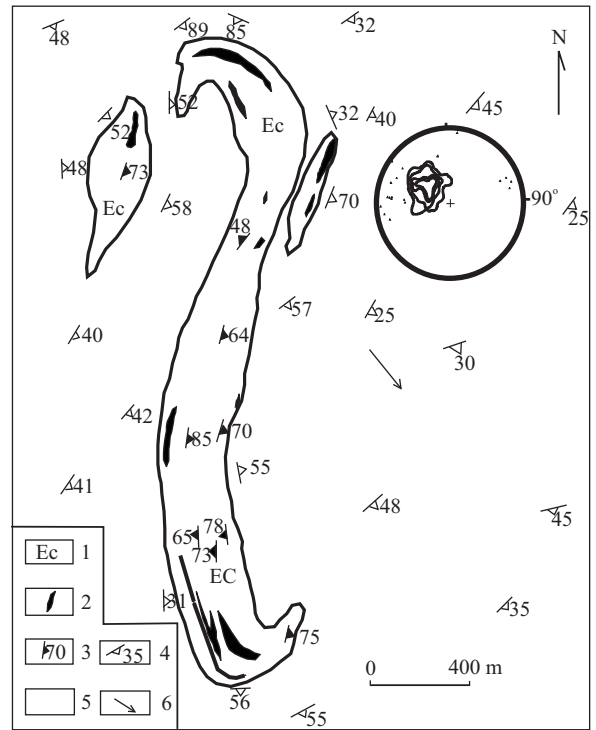


图 4 江苏东海 UHP 榴辉岩带构造略图

Fig. 4 Simplified structural sketch map showing a large A-type fold of eclogite enclosed within the gneiss country rocks, near Donghai, northern Jiangsu

等面积赤平投影图内,黑三角示 UHP 面理极点(计 20 个),伸展面理(计 42 个)等值线为百分之一面积内 2.4%, 7.1%, 11.9%, 16.7%. 1. 榴辉岩; 2. 橄辉岩; 3. 同碰撞面理; 4. 伸展面理; 5. 片麻岩; 6. 拉伸线理方向

域面理与榴辉岩体内部 UHP 变质作用条件下形成的面理,几何学上是截然不同的.在东海地区的榴辉岩—镁铁质—超镁铁质杂岩体中,不仅发现有柯石英及柯石英假象,还发现了微粒金刚石.

3 讨论与结论

与研究程度较高的西阿尔卑斯 Dora-Maira 地块^[33]及挪威西部加里东造山带^[34]等地区的 UHP 变质带构造特点相似,现今在大别—苏鲁 UHP 带观察到的区域构造样式,主要是在 UHP 变质峰期之后的减压退变质条件下形成的,而且与伸展体制和部分熔融作用(partial melting)密切相关.由于强烈的伸展阶段角闪岩相条件下变质变形的叠加和改造,UHP 变质矿物组合及构造记录,大都被涂抹或消失了,因此,无论是在区域还是露头尺度上识别其

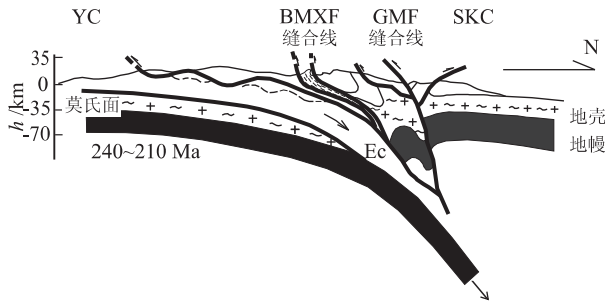


图 5 三叠纪中朝与扬子克拉通间碰撞运动学模式
Fig. 5 Profile through the Dabie-Sulu UHP and HP metamorphic belts showing a possible configuration of the Sino-Korean and Yangtze lithospheres during the Triassic continental collision around 240~210 Ma

YC. 扬子克拉通; SKC. 中朝克拉通; BMXF. 八里畷—磨子潭—晓天断层; GMF. 龟山—梅山断层; Ec. 榴辉岩

踪迹,都是比较困难的. 不少学者^[1,15,21,23,29]直接引用角闪岩相面状及线状组构建立构造演化模型,是可以理解的,但绝对是不可取的. 不过,正如 Henry 等^[33]依据在西阿尔卑斯研究 UHP 变质带构造实践所指出的,虽然整个 UHP 变质带遭受过强烈的区域性减压退变质变形作用,但变形分解作用 (deformation partitioning) 可使得一些透镜状弱应变域内能够保存先期的 UHP 构造残余. 所以,退变质作用较弱的大型透镜状榴辉体都是重要的变质和变形的记录器 (record-keeper)^[35],从中可以获得丰富的陆—陆碰撞及 UHP 变质作用阶段的关键构造信息.

从前面的构造分析可清楚的看出,弱面理化块状榴辉岩、UHP 剪切带及 A 型褶皱与角闪岩相围岩中透入性发育的区域性缓倾斜面状及线状组构,无论在矿物组合及产状上,均是极不协调的. 据大量的运动学及应变标志^[36]分析,围岩中的变形主要反映伸展体制下近直立方向共轴缩短及近水平方向的伸展^[8,9];但是,仅从目前观察到的残余 UHP 构造资料,还不足以准确判断造山尺度上 UHP 变质变形阶段的应变体制及运动坐标轴方位. 由于观察到的运动学标志非常稀少,依据几个地区和几种类型 UHP 残余构造描述,只能近似地推测它们代表了碰撞或挤压体制下近直立方向共轴伸展流动,并伴有相当大的近水平方向挤压产生的纯剪分量;透入性的矿物及拉伸线理则反映碰撞带上、下盘的相对运动方向^[37].

近年来的研究证实,许多碰撞造山带内早期发育的拉伸线理平行造山带延长方向,而且指出,只是这类早期的线状构造才反映板块的相对运动方向,虽然不能简单地逐一相对应^[38],但是,在大别—苏鲁超高压变质带,早期的矿物和拉伸线理与造山带延长方向是斜交或近垂直的(现今地理坐标). 我们依据本文提供的有限构造资料,结合可利用的同位素年代学、岩石学、地球物理及地球化学证据,提出一个三叠纪(240~210 Ma)中朝克拉通与扬子克拉通碰撞阶段的运动学模式(图 5). 在这个模式里,组成下盘的扬子克拉通向北深俯冲于中朝克拉通之下,并与其发生碰撞形成 UHP 变质矿物组合,发育 UHP 构造及组构.

综上所述,在榴辉岩及其他 UHP 岩石透镜体内部所观察到的残余 UHP 构造,都是在区域角闪岩相变质作用之前形成的,代表了 UHP 榴辉岩相条件下的变形记录. 这些相对早期发育的构造,反映了 240~210 Ma 中朝与扬子克拉通间碰撞阶段的相对运动及动力学状态,而现在我们所观察到的大别—苏鲁区 UHP 和 HP 变质带区域构造框架,是在碰撞期后(200~170 Ma)伸展体制和角闪岩相条件下形成的,不能利用其组构特征及岩石构造单元分布状况直接建立 UHP 变质带构造演化模式. 为了检验本文作者提出的解释及深入理解碰撞造山动力学过程,继续观察研究残余 UHP 构造并努力进行复原或平衡是非常必要的.

图 4 是在陆永增教授提供的地质图基础上简化缩编而成的,特此致谢.

参考文献:

[1] Cong B, Wang Q, Zhai M, et al. Ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie-Su-Lu region, China: their formation and exhumation [J]. *The Island Arc*, 1994, 3: 135~150.
[2] Liou J G, Zhang R Y, Wang X, et al. Metamorphism and tectonics of high-pressure and ultra-high-pressure belts in the Dabie-Sulu region, China [A]. In: Yin A, Harrison M T, eds. *Rubey Volume VIII, Tectonic development of Asia* [C]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 300~344.
[3] Hacker B R, Wang X, Eide E A, et al. The Qinling-Dabie ultrahigh-pressure collisional orogen [A]. In: Yin A, Harrison M T, eds. *Rubey Volume VIII, Tectonic development of Asia* [C]. Cambridge: Cambridge Univer-

- sity Press, 1996. 345~370.
- [4] 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.
- [5] Wallis S, Enami M, Banno S. The Sulu UHP terrane: a review of the petrology and structural geology [J]. *International Geology Review*, 1999, 41: 906~920.
- [6] Jahn B M. Sm-Nd isotope tracer study of UHP metamorphic rocks: implications for continental subduction and collisional tectonics [J]. *International Geology Review*, 1999, 41: 859~885.
- [7] Webb L E, Hacker B R, Ratschbacher L, et al. Thermochronologic constraints on deformation and cooling history of high- and ultrahigh-pressure rocks in the Qinling-Dabie orogen, eastern China [J]. *Tectonics*, 1999, 18: 621~638.
- [8] 索书田. 大别地块超高压变质省的构造变形研究[J]. *地质前缘*, 1999, 6: 255~262.
- [9] 索书田, 钟增球, 游振东. 大别地块超高压变质期后伸展变形及超高压变质岩石折返过程[J]. *中国科学(D辑)*, 2000, 30: 9~17.
- [10] Zhong Z, Suo S, You Z. Regional-scale extensional tectonic pattern of ultrahigh-pressure and high-pressure metamorphic belts from the Dabie massif, China [J]. *International Geology Review*, 1999, 41: 1033~1041.
- [11] Zhang R Y, Liou J G, Cong B. Petrogenesis of garnet-bearing ultramafic rocks and associated eclogites in the Su-Lu ultrahigh-*p* metamorphic terrane, eastern China [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 1994, 12: 169~186.
- [12] Zhang R Y, Hirajima T, Banno S, et al. Petrology of ultrahigh-pressure rocks from the southern Su-Lu region, eastern China [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 1995, 13: 659~675.
- [13] 李曙光, 李惠民, 陈移之, 等. 大别山—苏鲁地体超高压变质年代学—II. 锆石 U-Pb 同位素体系[J]. *中国科学(D辑)*, 1997, 27: 200~206.
- [14] Hacker B R, Wang Q. Ar/Ar geochronology of ultrahigh-pressure metamorphism [J]. *Tectonics*, 1995, 14: 994~1006.
- [15] Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, et al. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie orogen, China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 161: 215~230.
- [16] Wang Q, Cong B. Exhumation of UHP terrane: a case study from the Dabie Mountains, eastern China [J]. *International Geology Review*, 1999, 41: 994~1004.
- [17] Ree J H, Cho M, Kwon S T, et al. Possible eastward extension of Chinese collision belt in South Korea: the Imjingang belt [J]. *Geology*, 1996, 24: 1071~1074.
- [18] 朱光, 徐嘉炜. 郯庐断裂带与大别—胶南造山带的构造关系[A]. 见: 马宗晋, 杨主恩, 吴正文, 编. *构造地质学—岩石圈动力学研究进展*[C]. 北京: 地震出版社, 1999. 164~170.
- [19] Suo S, Zhong Z. Multi-layered low-angle ductile detachment system in Dabie-Sulu UHPM and HPM belts, China [J]. *Journal of China University of Geosciences*, 1999, 10: 187~193.
- [20] Meng Q R, Zhang G W. Timing of collision of the North and South China block: controversy and reconciliation [J]. *Geology*, 1999, 27: 123~126.
- [21] Wang Q, Liu X, Maruyama S, et al. Top boundary of the Dabie UHPM rocks, central China [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1995, 11: 295~300.
- [22] Xu S, Okay A I, Ji S, et al. Diamond from the Dabie Shan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting [J]. *Science*, 1992, 256: 80~82.
- [23] 徐树桐, 刘贻灿, 苏文, 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[J]. *岩石学报*, 1999, 15: 321~337.
- [24] Li S, Xiao Y, Liu D, et al. Collision of the North China and Yangtze block and formation of coesite-bearing eclogites: timing and processes [J]. *Chemical Geology*, 1993, 109: 89~111.
- [25] 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.
- [26] Ames L, Zhou G, Xiong B. 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.
- [27] Eide E A, McWilliams M O, Liou J G. ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology and exhumation of high-pressure to ultrahigh-pressure metamorphic rocks in east-central China [J]. *Geology*, 1994, 22: 601~604.
- [28] Chavagnac 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.
- [29] 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]. *Journal of Metamorphic Geology*, 1997, 15: 239~252.
- [30] Liou J G, Zhang R Y, Jahn B M. Petrology, geochemistry and isotope data on a ultrahigh-pressure jadeite quartzite from Shuanghe, Dabie Mountains, east-central China [J]. *Lithos*, 1997, 41: 59~78.
- [31] 刘景波, 国连杰, 吴颖. 豫南—鄂北大别山北部高压角闪石榴辉岩的研究[J]. *地质科学*, 1997, 32: 409~422.
- [32] Suo S, Zhong Z. Sequence of ductile shear zone in UHP metamorphic province within Dabie massif, China [J]. *Journal of China University of Geosciences*, 1998, 9: 189~195.
- [33] Henry C, Michard A, Chopin C. Geometry and structural evolution of ultra-high-pressure and high-pressure rocks from the Dora-Maira massif, Western Alps, Italy [J]. *Journal of Structural Geology*, 1993, 15: 965~981.
- [34] Andersen T B, Osmundsen P T. Deep crustal fabrics and a model for the extensional collapse of the southwest Norwegian Caledonides [J]. *Journal of Structural Geology*, 1994, 16: 1191~1203.
- [35] Moller C. Decompressed eclogites in the Sveconorwegian (-Grenvillian) orogen of SW Sweden: petrology and tectonic implications[J]. *Journal Metamorphic Geology*, 1998, 16: 641~656.
- [36] Simpson C, Schmid S. An evaluation of criteria to deduce the sense of movement in sheared rocks [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1983, 94: 1281~1288.
- [37] Schmid S M, Zingg A, Handy M. The kinematics of movements along the insubric line and the emplacement of the Ivrea zone [J]. *Tectonophysics*, 1987, 135: 47~66.
- [38] Ellis M, Watkinson A J. Orogen-parallel extension and oblique tectonics: the relation between stretching lineations and relative plate motions [J]. *Geology*, 1987, 15: 1022~1026.

RELIC UHP STRUCTURES IN DABIE-SULU REGION, CHINA: STRUCTURAL EXPRESSION AND GEODYNAMIC SIGNIFICANCE

Suo Shutian¹ Zhong Zengqiu² You Zhendong² Zhou Hanwen²

(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: Structural and petrological research combined with the geological analysis of the isotopic dating references available now is used in this paper to demonstrate that the present-day observed tectonic framework of the ultrahigh pressure (UHP) metamorphic belt in the Dabie-Sulu region was formed dominantly in an extensional process at 200—170 Ma, on amphibolite facies conditions, following the Triassic collision between the Sino-Korean and Yangtze cratons. The relic syn-collision and UHP structures are preserved in the relatively large eclogite and other UHP metamorphic rock masses. Examples of the eclogite drawn from the Chengmagang and Hejiawan in Hubei Province, the Bixiling in Anhui Province, and Donghai in Jiangsu Province, are used to analyze and describe such relic UHP structures as the massive eclogite with weak foliations, the UHP shear zones and A-type folds. It is stressed in the paper that only early UHP relic structural records may reflect the tectonic environment in the continental collision stage, and the corresponding relative dynamic features. On this basis, a kinematic model is proposed to represent the dynamic framework of the northward subduction of the Triassic (240—210 Ma) Yangtze craton under the Sino-Korean craton and of their corresponding oblique collision.

Key words: relic UHP structure; extensional process; compressive regime; stretching lineation; Dabie-Sulu region.

合成沸石分子筛处理有机物废水的应用前景

熊 宁

(中国地质大学材料科学学院, 北京 100083)

沸石是一族含水的碱或碱土金属铝硅酸盐矿物,是当今世界各国十分重视的无机微孔材料.天然沸石有很大的应用前途,但目前与人工合成分子筛比较,它的工业应用仍处于初级阶段.真正得到广泛应用的是具有纯度高、孔径均一、比表面积大、离子交换和吸附性能强等特点的合成沸石.尽管目前已合成了各种各样的沸石分子筛,但均是利用了纯的化工原料.随着其他行业对高活性原料的需求增加,制备分子筛所需的硅、含铝原料和碱的供应日趋紧张,价格不断上涨,使得合成分子筛的成本较高;另外工艺复杂、能耗高,特别是大孔径的分子筛,其合成常常需要加入有机模板.这些问题严重地制约了合成分子筛的应用范围.因此,以天然矿物岩石为原料,通过活化、改性处理,直接制备高性能、多功能分子筛,有利于简化工艺,降低生产成本和能耗,这是分子筛研制的一个新方向.

近年来,不断有报道采用天然矿物岩石作原料来合成沸石分子筛,其中报道最多的是用高岭土、珍珠岩、煤矸石、叶蜡石、硅灰石、粉煤灰及流纹质浮岩等合成沸石分子筛.以中国地质大学(北京)材料科学学院马鸿文教授为领导的课题组,几年来一直致力于富钾火山岩提钾及 13X 沸石分子筛的合成研究,取得了丰硕的成果,富钾火山岩提钾及合成沸石分子筛工艺通过了国土资源部专家鉴定.这些研究成果一方面为沸石分子筛的合成提供了新的原料,另一方面也为天然矿物岩石的应用开拓了新的前景.

1 沸石的吸附性能

沸石具有空旷的骨架结构,晶穴体积约为总体积的 40%~50%,独特的晶体结构使其具有大量均匀的微孔,孔径大多在 10 nm 以下,其孔径分布范围比较窄,因此在非常低的吸附分压下,吸附就几乎完

全达到饱和状态.其均匀的微孔与一般物质的分子大小相当,由此形成了分子筛的选择吸附特性,即沸石的孔径大小决定可以进入其晶穴内部的分子大小,只有比沸石孔径小的分子或离子才能进入.与其他多孔物质相比,沸石具有很大的比表面积,仅次于活性炭.沸石与活性炭吸附剂不同,后者的吸附力完全是色散力,而前者不仅色散力很大,还有较大的静电力.这是因为孔穴中含有阳离子,骨架氧含有负电荷,这样在阳离子的周围便形成强大的电场.

色散力与静电力的加和造成沸石的吸附力特别强,由于静电力的存在,使得沸石对极性、不饱和、易极化分子具有优先的选择吸附作用,即沸石本身是一种极性物质,其中阳离子给出一个强的局部正电场,吸引极性分子的负极中心,或是通过静电诱导使可极化的分子极化,极性越强或越易被极化的分子就越易被沸石吸附.

沸石对有机物的吸附能力主要取决于有机物分子的极性和大小.极性分子较非极性分子易被吸附.随着分子直径的增大,被吸附进入孔穴的机会就会逐渐减小.在水中由于存在不同的物质,如有机物分子、金属离子和水分子,它们的极性强弱和分子大小均不相同,吸附就会产生竞争的现象.

2 沸石处理有机废水的应用前景

我国现行饮用水水质 35 项标准中,关于有机物的标准有酚(以苯酚计)、氯仿、四氯化碳、苯并芘、滴滴涕、六六六.根据城市供水行业 2000 年技术发展规划,2000 年后第一、二类水司将增加多项有机污染物指标,尤其在氯化物中将增加二氯甲烷、三氯甲烷、四氯甲烷、三溴甲烷、对二氯苯、六氯苯,总量控制在 1 $\mu\text{g/L}$.这些有机氯化物被证实会对人体产生强致癌作用.二氯甲烷、三氯甲烷、三氯乙烷、四氯乙烷、三溴甲烷都是极性小分子或较小分子的有

(下转 572 页)