

桐柏山高压变质带及其区域构造型式

索书田^{1,2}, 钟增球², 张宏飞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: 桐柏山是秦岭—大别山造山带的重要组成部分. 新近的构造学和岩石学详细研究表明, 该区广泛分布有大量的、大小不一的榴辉岩及退变质榴辉岩块体, 构成一个延展长约200 km和宽约40 km的高压变质带. 由榴辉岩或退变质榴辉岩、遭受过高压变质作用的沉积和火山岩、由榴辉岩退变质而成的片麻岩和片岩、以及面理化的含榴或不含榴的花岗岩组成的高压变质单位(HP), 在组成及变质演化特征方面, 均与大别—苏鲁地区的高压单位类似. 构造上, 显示一典型的西北美型变质核杂岩. 分隔开由桐柏杂岩组成的核部杂岩单位(CC)及上覆的高压单位的 km 尺度的伸展拆离带, 具有下和中伸展拆离带的复合性质, 是在高压变质作用期后伸展体制下形成的. 桐柏山高压变质带是与大别山地区的高压变质带相联接的, 据其岩石学、构造学及相关的主要构造边界展布特征, 推测该高压变质带穿过南襄盆地有继续向东秦岭延伸的趋势. 桐柏山高压变质带是东秦岭造山带与大别—苏鲁超高压和高压变质带间的构造纽带.

关键词: 桐柏山; 高压变质带; 变质核杂岩; 伸展拆离带; 构造边界; 构造纽带.

中图分类号: P588.34 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)06-0551-09

作者简介: 索书田(1936—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事变质岩构造分析、岩石圈流变学、构造地质学及大陆深俯冲的构造变形教学和研究工作.

习惯上, 将京汉铁路以西和南襄盆地以东的山地, 称作为桐柏山, 它是巨型中国大陆中央山系的一个组成部分. 近20年来, 国内外地质学家对秦岭造山带以及大别山超高压和高压变质带的研究, 取得了令人瞩目的进展. 与此同时, 虽然也有不少地质工作者曾经在桐柏山做过大量的地质矿产调查及基础地质研究^[1~10], 但相对而言, 其研究深度是较浅的, 是研究中国大陆中央造山系的一个薄弱环节.

早在20世纪60年代, 在普查和勘探金红石矿产时, 就已在桐柏山南坡的湖北省随枣地区, 发现了大量的榴辉岩及榴闪岩块体^[11], 但受当时认识上的局限性制约, 并未理解其构造意义. 随着秦岭造山带及大别山超高压和高压变质带的深入研究, 一个突出的问题提到地质学者的面前, 即秦岭造山带内的商丹缝合线及勉略缝合线向东如何与大别山地区的缝合线相连^[1,2], 或者说, 大别山地区的超高压和高压变质带向西如何延展, 并与整个秦岭造山带结构

及演化统一协调起来^[12,13]. 魏春景等^[14]报道的桐柏山鸿仪河榴辉岩的特征及张宏飞等^[15]对大别杂岩与桐柏杂岩地球化学行为的对比研究, 为解决这一关键问题提供了一些新的线索. 本文的目的是在大范围的详细构造学和岩石学研究基础上, 重点描述桐柏山地区高压榴辉岩的空间分布、高压单位岩石组合及区域构造型式, 讨论其与大别山超高压及高压变质带的关系, 推测高压榴辉岩带可能向西延伸的总体趋势.

1 榴辉岩及退变质榴辉岩的分布

研究区榴辉岩多呈尺度不同的块状和透镜体状, 广泛分布于桐柏山北侧桐柏县城郊区的古井庄、望城岗以及桐柏县中西部的郭庄、楼子庄、鸿仪河及新集等地. 在桐柏山南侧, 榴辉岩及退变质榴辉岩分布更为广泛, 如广水市杏仁山、随州市沙沟、王庄及枣阳市鹿头、双河镇等地. 枣阳市大阜山含金红石变辉长岩中也含有榴辉岩透镜体, 且具有变辉长岩及角闪岩部分向榴辉岩转换的岩石学证据, 如角闪石

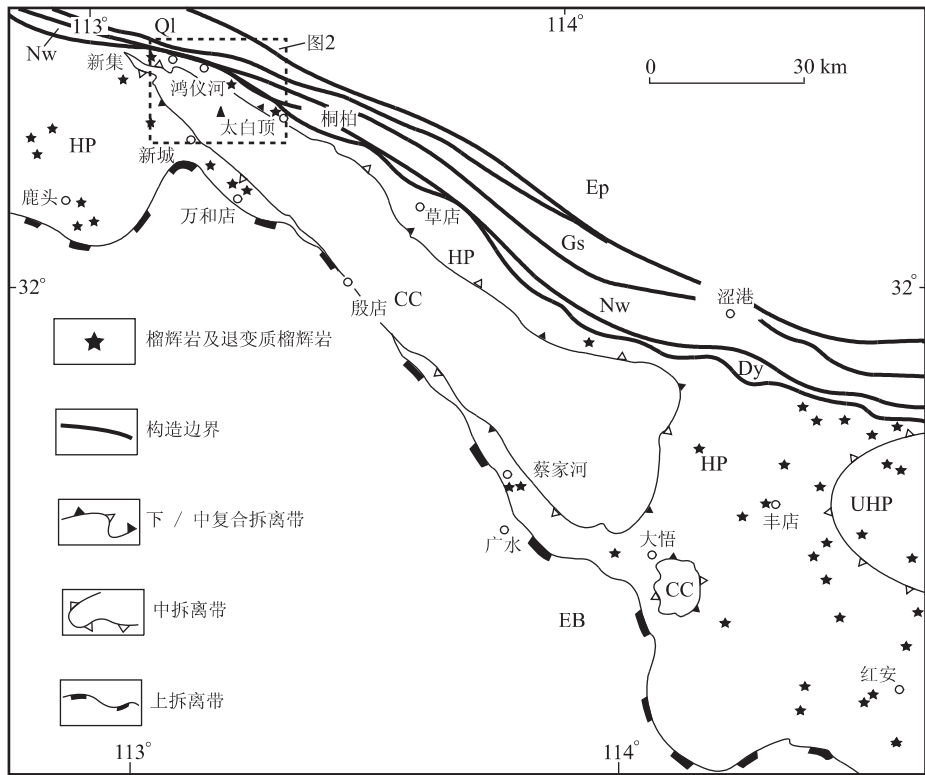


图1 桐柏—红安变质带地质略图

Fig. 1 Regional map of the Tongbai-Hong'an metamorphic belt with simplified major lithotectonic divisions

Ep. 二郎坪岩群; Ql. 秦岭岩群; Gs. 龟山岩组; Nw. 南湾岩组; Dy. 定远岩组; EB. 绿帘—蓝片岩单位; HP. 高压单位; UHP. 超高压单位; CC. 核部杂岩单位

及其他暗色矿物周围发育石榴石冠状体(garnet corona)、沿角闪石解理发育金红石等。桐柏山北侧和南侧的榴辉岩及退变质榴辉岩体的特征是相似的(图1, 2), 共同构成一个延长约200 km和宽约40 km的高压(HP)变质带。不过, 除在鸿仪河及古井庄等地找到较新鲜的榴辉岩之外, 大多数榴辉岩体, 包括随州市的长500 m及宽300 m的沙沟榴辉岩体, 都发生过不同程度的退变质作用。桐柏县鸿仪河一带新鲜榴辉岩由石榴石、绿辉石、金红石、多硅白云母、石英和冻蓝闪石等组成。这些矿物组合记录了高压变质作用事件。据魏春景等^[14]分析计算, 绿辉石中硬玉(Jd)组分为32.48%~33.09%, 多硅白云母中的Si达到3.365。桐柏县城郊区古井庄的榴辉岩虽然有明显的退变质作用, 但高压矿物组合石榴子石(28%)、单斜辉石(25%)、多硅白云母(15%)等仍保留较好。新鲜榴辉岩、榴闪岩及含榴二云片麻岩或片岩的几何关系, 在露头上可直接观察到。镜下石榴子石自形晶体保存较好, 一般具有成分带状结构, 核部含有大量矿物包裹物, 偶见晶内螺旋状结构(如杏仁山、古井庄和大阜山), 而单斜辉石则以角闪

石化为特征。据石榴子石—绿辉石—多硅白云母组合地质压力计估算, 变质压力为1.3~1.4 GPa, 变质温度770~780 °C^[14], 与大悟、新县及红安地区的不含蓝晶石的石英榴辉岩形成温度和压力条件大体一致^[16, 17], 并具有相似的 p - T - t 演化轨迹, 属于高压变质单位(HP)。至今, 还未在该区找到代表超高压变质作用的标志性矿物、变质岩石及其组合。

2 高压变质单位(HP)组成

与整个大别—苏鲁超高压和高压变质带内的高压变质单位类似^[12, 13], 桐柏地区的高压变质单位也主要由4部分岩石组合构成, 即(1)榴辉岩或退变质榴辉岩, 局部伴有变形的蛇纹岩化橄榄岩; (2)经受高压变质的沉积岩及火山岩, 如白云石大理岩、石墨片岩、石英岩及白云钠长片麻岩等; (3)由榴辉岩强烈退变质及剪切变形而成的含榴二云石英片岩、含榴绿帘斜长角闪片岩、片麻岩等, 和(4)面理化含榴或不含榴的花岗岩。地质部门在新近的1/5万地质

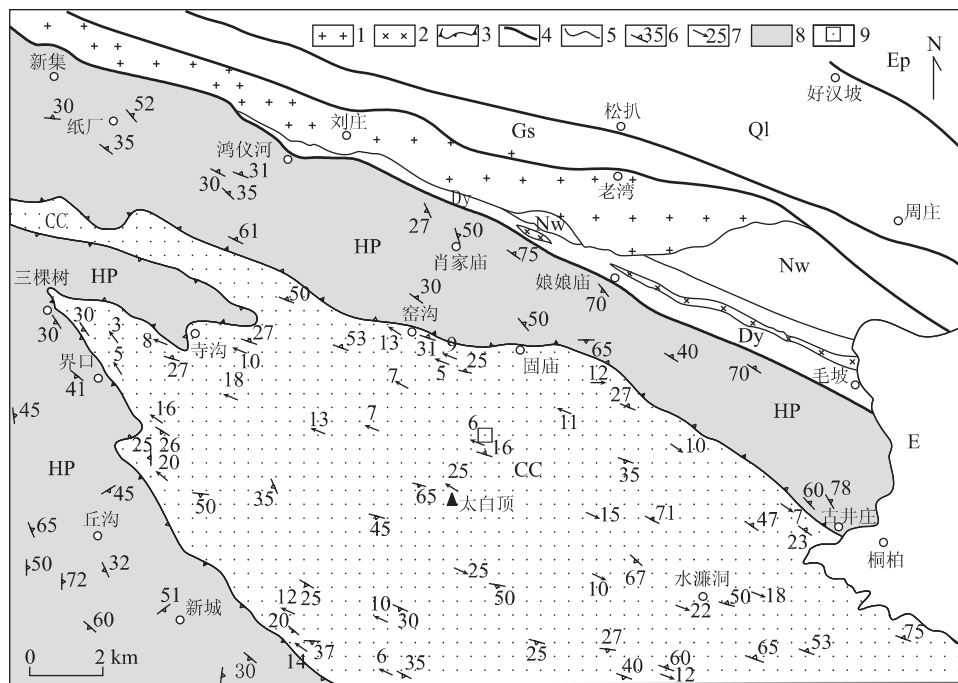


图2 桐柏山高压变质带构造图(位置见图1)

Fig. 2 Structural map of the high-pressure metamorphic belt from the Tongbai mountains (see Fig. 1 for location)

1. 晚中生代花岗岩; 2. 晚古生代辉长岩; 3. 下、中复合拆离带; 4. 构造边界; 5. 地质界线; 6. 区域面理; 7. 拉伸线理; 8. 高压变质单位(HP); 9. 核部杂岩单位(CC); Qi. 秦岭岩群; Gs. 龟山岩组; Nw. 南湾岩组; Dy. 定远岩组; E. 第三系

测量过程中,在不同的地段分别称作为肖家庙岩组、马鞍山岩组、鸿仪河岩组及丘沟岩组等.其实,它们在岩石组合、变质变形特征方面都是一致的,在三维空间上都是相互联通的(图2).经过区域上的追索和关键构造部位详细观察证明,桐柏地区的高压变质单位(HP),向东与大别地区出露的高压变质单位是衔接的,其构造边界也可逐一连接和对比,与上覆的绿帘—蓝片岩单位(EB)有共同的接触和几何配置关系(图1)^[17];向西,被南襄盆地的中生代陆相盆地沉积掩盖,但据钻孔及地球物理资料,陆相沉积物基底岩石及主要构造边界,均可与盆地东西两侧山区出露的岩石及构造对比^[18,19].因而,桐柏山区的高压变质单位岩石,有越过南襄盆地向西延伸的趋势,推测在河南省浙川与西峡间,可能会找到其踪迹.至少地球化学上富钨(金红石)等元素带,盆地东西两侧是连通的.如果这一推测得到验证,那么西秦岭勉略缝合线向东延伸趋势就比较明确了.

3 区域构造型式

3.1 构造边界与几何关系

桐柏山北侧,高压变质单位覆于桐柏杂岩之上,

二者以 km 尺度厚的糜棱岩带相分隔,并被脆性断裂改造(图3).如桐柏县窑沟糜棱岩面理产状为 NE20°∠31°,而古井庄面理化碎裂岩的面理产状为 NE65°∠20°.但一般情况下,脆性断裂面产状较陡,倾角多在 50°~75°之间,构成高压单位的南部边界.高压变质单位的北部边界是鸿仪河—娘娘庙韧性剪切带,糜棱岩面理的局部产状为 NE55°∠85°.低级变质的定远岩组变基性及酸性火山岩覆于高压变质单位之上,而且在定远组中有许多变辉长岩侵入体(图2),已大都与围岩一起变为构造岩.其与北淮阳地区的定远岩组岩石构造特征非常相似,而且区域上是相衔接的(图1).

桐柏山南侧,高压变质单位也直接覆于桐柏杂岩之上,它们之间的接触关系和发育的糜棱岩带,在随州市万和店及新城一带看得极为清楚.新城东 3 km 的陈庄地区,糜棱岩带面理产状 SW220°∠29°,线理产状 NW295°∠14°.绿帘—蓝片岩单位(EB)覆于高压变质单位之上,两者间也以韧性剪切带或拆离带为界,与大别地区的大悟、黄陂及红安一带情况非常相似,不详细赘述.

值得指出的是,桐柏山的東西两端,也可直接观察到高压变质单位与下伏的桐柏杂岩的接触及叠覆

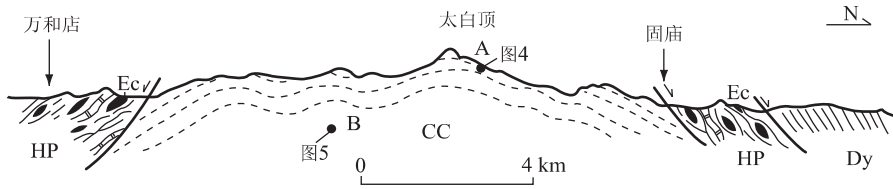


图 3 桐柏山南北向横剖面

Fig. 3 A schematic N-S cross-section of the Tongbai mountains. Note that the late brittle faults truncate the detachment fabric (dashed lines) which is characterized by an open antiform

Dy. 定远岩组; HP. 高压单位; CC. 核部杂岩单位; Ec. 榴辉岩及退变质榴辉岩体. A 及 B 分别为图 4 及图 5 位置

关系(图 1,2),证明桐柏杂岩是现今桐柏地区出露的地壳构造柱中最下部的一个岩石构造单位.

3.2 伸展拆离带

宋鸿林^[20]和金维浚等^[21]都曾注意到桐柏地区发育的地壳尺度的伸展构造,并指出桐柏杂岩顶部发育一区域性的“剥离断层面”.据我们在大别—苏鲁超高压和高压变质带的研究结果^[12,13,22],现今观察到的造山带尺度区域构造框架,是在三叠纪碰撞造山作用期后的伸展体制下形成的,其中发育的下、中、上和顶伸展拆离带,是其中典型特征和结构要素之一.结合桐柏山区的实际,高压变质单位直接与桐柏杂岩组成的核部杂岩单位(CC)接触,因此,观察到的分隔桐柏杂岩与高压变质单位的韧性剪切带,实际上是下伸展拆离带与中伸展拆离带的复合构造.该复合拆离带厚 1~2 km,主要由桐柏杂岩形成.区域上形成一 NWW—SEE 向延长的开阔背形构造,在背形两翼,糜棱岩面理分别向东北及南西倾斜,倾角一般在 20°~35°之间.在背形转折端,如太白顶一带,糜棱岩面理近水平(图 3).背形的东南和北西倾伏端,面理分别向南东及北西倾斜,如广水车站一带,面理产状多为 SE95°~135°∠15°~30°.在整个桐柏山地区,矿物及拉伸线理特别是窗棂构造极为发育,向 NWW 及 SEE 倾伏,倾伏角多在 5°~25°之间.仅考虑桐柏山主峰地区,大体以固庙—太白顶一线为界,西部线理总体向北西方向倾伏,而东部则总体向南东倾伏(图 2).在露头及薄片尺度上观察到的剪切方向及运动学标志,如 SC 构造、长石残斑系和多米诺构造等,指明上盘主要为正向下滑运动.在背形南翼的陈庄一带,露头上的运动学标志还证实,局部地区的沿线理 NW295°∠5°方向的正向滑动兼右行方向的剪切作用也是很清楚的.而在背形转折端如太白顶一带,运动学及应变标志(图 4)表明,沿线理 NW305°∠5°方向的拉伸及垂向韧性缩短或韧性薄化作用(ductile thinning)是主要的,具

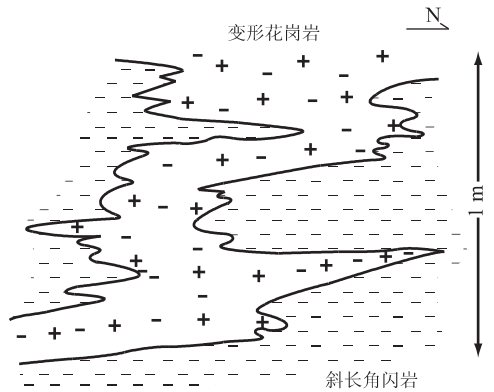


图 4 下、中复合拆离带内的变形花岗岩(位置见图 3, A)
Fig. 4 Sketch showing granite deformation induced by vertical shortening or ductile thinning in the composited lower/middle detachment zone (see Fig. 3, A for location)

有共轴及纯剪的应变特征.此外,糜棱岩中石英组构的测定分析,也可作为这些判断的辅助证据^[21].殷店及界口等地糜棱岩中 S—C 面夹角一般为 20°,考虑到临界剪应变($r \approx 3.5$),剪应变值多 > 5.8 .石英塑性变形非常明显,以晶内变形机制为主,长石双晶变形现象常见,表明该拆离带发育时的温度相当高,处于中下地壳层次.

高压变质单位与上覆绿帘—蓝片岩单位间的上拆离带特征,与大别—苏鲁地区的上拆离带是一致的,只是由于后期的构造热事件改造,连续性 & 完整性受到不同程度的破坏.

3.3 变质核杂岩型结构型式

详细的研究证明,桐柏地区的区域构造型式,类似于一个西北美的科迪勒拉型变质核杂岩(metamorphic core complex)^[23],是在高压变质作用期后伸展体制下形成的.

核杂岩单位(CC)由桐柏杂岩构成.出露面积 130 km×30 km.张宏飞等^[15]的岩石学和地球化学研究表明,桐柏杂岩与大别杂岩的特征是可对比的.

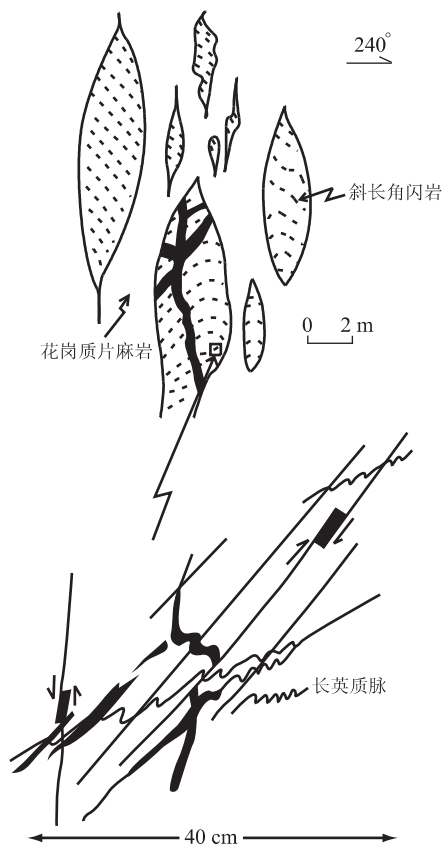


图5 核部杂岩内斜长角闪岩透镜体及变形的长英质脉系(位置见图3,B)

Fig. 5 Sketch showing amphibolite lenses and deformed felsic vein system in the core complex unit (see Fig. 3, B for location)

它主要由变质的表壳岩系如黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩、磁铁石英岩及白云石大理岩及不同时代的变形古老花岗质岩石组成。在桐柏山背形的核部,如在随州市草店以南地区所观察到的(图5),代表古老地壳残块的斜长角闪岩,解体成菱形或透镜体状,被花岗质片麻岩环绕包裹。菱形或透镜体状斜长角闪岩的最大扁平面近垂向排列,内部残留的古老面理还可清晰可见,局部产状为 $180^\circ \angle 40^\circ$ 。斜长角闪岩透镜体内高温水力破裂发育,多被长英质脉体充填。据不同方向的长英质脉体变形行为及形态、运动学特征,可进行应变和应力分析,其结果是主应力轴 $\sigma_1 = \text{SW}254^\circ \angle 5^\circ$, $\sigma_2 = \text{NW}345^\circ \angle 3^\circ$ 及 $\sigma_3 = \text{SE}104^\circ \angle 84^\circ$,表明遭受了近水平方向的挤压体制影响,属于核部杂岩内所保留的先期缩短作用形成的残余构造,未受到区域伸展构造变形的强烈改造。因而,伸展作用具拆离性质,且具多层次拆离带,变形分解作用及应变局部化

(strain localization)极为明显^[24]。应变主要集中在伸展拆离带内。

在桐柏山主峰及相邻地区,下和中滑脱带形成的复合伸展拆离带,以及顶伸展拆离带是最主要的拆离带,前者的展布、出露和保存最为良好(图1,2),后者在广水等地区出露最为清楚^[3,12,13]。一般而言,下和中复合拆离带内糜棱岩矿物组合及矿物变形行为,如上述,反映角闪岩相至高绿片岩相环境;顶部拆离带内变形岩石,主要体现低级变质状态,而且,在顶部拆离带的上部,往往发育区域性脆性断层及碎裂岩,未变质或具极低级变质作用的沉积盖层(SC)中发育阶梯状正断层组合(图6)。所以,高压及绿帘—蓝片岩相变质作用,都发生在顶部伸展拆离带之下。韧性伸展流动主要发生在中下地壳。

总之,桐柏地区高压变质带的区域构造型式,具有一个变质核杂岩的特征,它控制了高压变质岩石的空间分布。几何形态为开阔的背形,结构上由桐柏杂岩构成核部单位,沉积盖层未变质或只遭受极低级变质作用,高压变质单位界于下、中复合拆离带与上拆离带之间。总体是在垂向缩短及NW—SEE方向近水平的伸展体制下形成的。在高压单位内部,由于强烈退变质作用、部分熔融作用及伸展变形的叠加改造,同碰撞构造变形记录大都被掩盖和删除,但在中小尺度及显微尺度上,仍能观察到其残余构造。鸡公山等晚中生代大型中酸性深成岩体边界切割伸展构造的面理和线理组构。因而,上述变质核杂岩型的构造样式,在这些深成岩体就位之前就已成型了。其发育的时限是很明确的。

4 讨论和结论

通过近20年来国内外地质学家的研究,对于大别—苏鲁超高压和高压变质带形成的地构造及地球动力学背景,已有趋于一致的认识,即将超高压和高压变质岩理解为扬子克拉通向北深俯冲于中朝克拉通之下并与其碰撞的结果^[25]。关于大陆碰撞及超高压—高压变质作用形成的时限,虽然还有争论,但多种方法及多个实验室测定结果指出,超高压—高压岩石峰期变质作用年龄介于250~210 Ma^[26]。但是,至今尚有一系列涉及大陆深俯冲的基本问题,如超高压—高压变质岩石的空间分布、榴辉岩与围岩关系、缝合线位置、同碰撞构造变形特征、超高压和高压岩石折返机制及变质构造演化过程、以及大

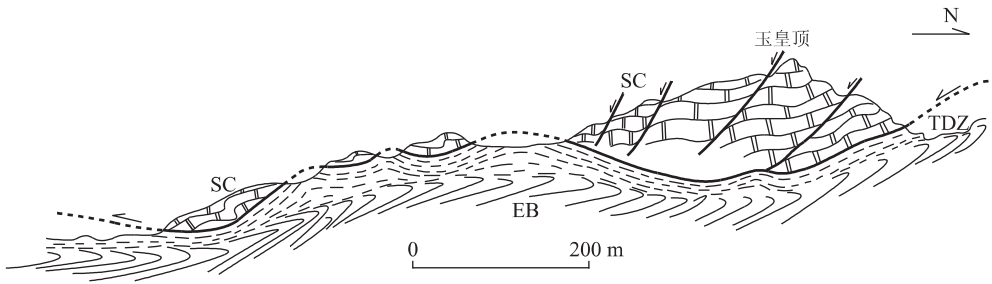


图6 湖北省广水玉皇顶地质剖面

Fig. 6 Schematic geological cross-section to show the top detachment zone (TDZ) and normal faults in the sedimentary cover (SC), Yuhuangding of Guangshui, Hubei

TDZ. 顶部拆离带; SC. 沉积盖层单位; EB. 绿帘—蓝片岩单位

别—苏鲁超高压和高压变质带与秦岭造山带的衔接对比等,都还存在着不同的认识和严重分歧。究其原因,一方面是由于现今整体的研究和认识程度还不够高,研究的思路、方法和手段还需要不断提高;另一方面,许多研究者多侧重于某一研究领域及某一局部地段,还未能从多学科及秦岭—大别—苏鲁—朝鲜半岛整个巨型大陆中央造山带来观察和理解问题,尤其是未能真正从构造学及地球动力学观点出发来审视客观的地质现象,往往带有一些局限性。从这个意义上讲,桐柏山高压变质带的深入研究,可能会对认识整个大别—苏鲁超高压和高压变质带的构造背景及其演化,有所启迪。

例如,在不少涉及大别—苏鲁超高压—高压变质带的中外文献中,经常出现“北大别”与“南大别”的术语,指的是以水吼—五河断裂带为构造边界或缝合线,划分为“北大别弧杂岩”与“南大别碰撞杂岩”两个岩石构造单位^[27,28],并以此来建立大别地区大陆深俯冲的动力学演化模式。通过近年来的深入岩石学、地球化学及构造学的研究证明,这种依据地理学领域和二维空间所建立的岩石构造单位划分和概念,虽然对大别—苏鲁超高压—高压变质带的研究曾起过一些积极作用,但是,它不符合地质实际,经受不住客观资料的挑战和检验^[29,30]。这是由于:(1)“北大别杂岩”在三维空间上是出露的地壳构造柱最下部的一个岩石构造单位,超高压(UHP)和高压(HP)单位岩石覆于其上(图7);(2)水吼—五河断裂并非是大别超高压变质岩石单位的顶部边界^[27],恰恰相反,它乃是大别超高压变质岩石单位的底部边界,属于下拆离带的一部分^[12,13,29]; (3)在大别山北部桐城、舒城及霍山地区,近年来发现了大量的榴辉岩及超高压—高压变质作用的证迹^[29~31],

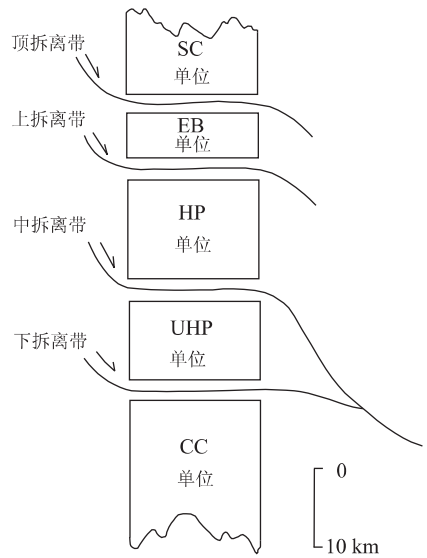


图7 大别—苏鲁超高压和高压变质带地壳构造柱

Fig. 7 Cartoon to show the tectonic stack for the crust of UHP and HP metamorphic belts in the Dabie-Sulu region, China

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

而且,通过野外区域上的追索和对比,南大别超高压变质带与大别山北部出露超高压和高压变质岩石的区域在地理及构造上是相连接的,岩石组合和构造样式是相似的或一致的。最近,我们又在潜山县北部水贵坂张家湾一带的面理化榴辉岩内石榴子石中,发现了柯石英包裹体假象,进一步证明大别山北部出露有超高压变质带岩石,而且现今观察到的大别超高压—高压变质带区域构造框架,在形态上构成以罗田为中心的穹窿或短轴背形,构造上类似于西北美的科迪勒拉型变质核杂岩,是三叠纪碰撞期后伸展体制及角闪岩相条件下形成的^[12,13],并不是碰撞构造阶段形成的构造框架。不过,由于八里畈—晓

天一磨子潭断裂带的切割破坏,罗田穹窿北部的局部地段保存并不完整,核部杂岩(即“北大别弧杂岩”)直接与八里畈—晓天一磨子潭断裂带上盘的中低级变质的佛子岭岩群相接触,给正确认识不同岩石构造单位之间空间几何配置关系带来一定困难。通过对桐柏山高压变质带区域构造型式的研究,如图1和图2等所示,高压变质单位(HP)与下伏的核杂岩单位(CC)几何配置关系,是否更为明确,是否对大别地区超高压—高压变质带的区域构造框架认识,提供了另一个新的佐证。如果能够认识到这一基本的不同岩石构造单位间三维几何关系,那么,有关三叠纪中朝与扬子克拉通间碰撞缝合线位置、超高压—高压变质岩石的空间分布、折返过程^[32]、大别—苏鲁超高压—高压变质带向西与秦岭造山带的衔接关系以及整个大陆中央造山带的结构和演化历史等一系列问题,都有必要重新审视与深入研讨。

综合上述分析,可得出下列初步结论:(1)桐柏山地区的高压榴辉岩分布很广泛,作为一个高压变质单位,其岩石组合及变质—构造演化特征,是与大别—苏鲁超高压和高压变质带中的高压单位相似或一致的。至今,还未发现典型的代表超高压变质作用的标志性矿物和岩石。(2)在桐柏山地区,高压变质岩石分布的北限是鸿仪河—娘娘庙剪切带,它向东与大别地区的八里畈—晓天一磨子潭剪切带相连。桐柏山高压变质带向东与大别山区大悟、红安及新县一带的高压变质带连为一体,向西,越过南襄盆地,可能在河南省西峡和淅川间,找到其踪迹,那里的富钛等地球化学省,与桐柏山富钛(金红石)构造带具有相似性和可比性。向西很可能与勉略缝合带相勾通,仅只是现今出露于地表的地壳流变学层次不同,地质构造表现形式不同而已。桐柏高压变质带是东秦岭造山带与大别—苏鲁超高压和高压变质带间的构造纽带。(3)现今桐柏山高压变质带显示的区域构造型式,是一个典型的古老变质核杂岩,表明地壳垂向上韧性缩短薄化与NWW—SEE向近水平伸展流动的体制,在高压变质岩石向地壳表面折返过程中,起过重要作用。其构造样式与大别—苏鲁超高压和高压变质带主体的区域构造型式是一致的,由桐柏杂岩组成的核杂岩单位(CC),是该区出露的地壳构造柱最下部的构造岩石单位,在桐柏地区,目前还缺少存在超高压变质单位岩石的确切证据。这种区域构造型式是在碰撞期后伸展体制下形成的。(4)同碰撞和同高压变质作用的构造变形记录,多被

减压退变质作用、部分熔融作用及伸展变形所掩盖。仅只在中小尺度和显微尺度上,可以观察到其残余构造。

工作和论文编写过程中,得到湖北省及河南省国土资源部门同行的协助,特此致谢。

参考文献:

- [1] 张国伟,孟庆任,于在平,等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(3): 193—200.
- [2] Meng Q R, Zhang G W. Timing of collision of the North and South China blocks: controversy and reconciliation [J]. *Geology*, 1999, 27(2): 123—126.
- [3] Suo S T, Zhou H W. Transpressive deformation across Tongbai-Dabie orogenic belt [J]. *Journal of China University of Geosciences*, 1992, 3(1): 1—8.
- [4] 刘源骏. 对湖北大阜山岩体几点认识[J]. *湖北地质*, 1991, 5(2): 45—54.
- [5] 刘源骏. 对大别山几个有争议问题之我见[J]. *湖北地矿*, 2000, 14(3/4): 8—15.
- [6] 王寿琼. 某金红石矿床的成矿地质条件及富集因素[J]. *地质与勘探*, 1984, 5: 21—29.
- [7] Zhai X M, Day H W, Hacker B R, et al. Paleozoic metamorphic in the Qinling Orogen, Tongbai Mountains, central China [J]. *Geology*, 1998, 26(4): 371—374.
- [8] 谢巧勤,徐晓春,岳书仓. 河南桐柏老湾金矿床和花岗岩的年龄及其意义[J]. *高校地质学报*, 2000, 6(4): 546—553.
- [9] 翟淳. 桐柏块体地质[M]. 成都:成都科技大学出版社, 1989.
- [10] 年平国,简新玲,彭霞,等. 桐柏县老湾金矿带地质物化探特征及找矿模型[J]. *河南地质*, 1999, 17(4): 254—262.
- [11] 刘源骏. 一种含金红石“石榴子石角闪石岩”的初步研究[J]. *地质学报*, 1966, 46(2): 224—231.
- [12] 索书田,钟增球,游振东. 大别—苏鲁超高压—高压变质带伸展构造格架及其动力学意义[J]. *地质学报*, 2001, 75(1): 14—24.
- [13] Suo S T, Zhong Z Q, You Z D, et al. Post-collisional ductile extensional tectonic framework in the UHP and HP metamorphic belts in the Dabie—Sulu region, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2001, 75(2): 151—160.
- [14] 魏春景,吴玉新,倪云燕,等. 河南桐柏地区榴辉岩的特征及其地质意义[J]. *科学通报*, 1999, 44(17): 1882—1885.

- [15] 张宏飞,张利,高山,等. 桐柏北部燕山期花岗岩对地壳深部物质组成的地球化学示踪[J]. 地球化学,1999,28(2): 105—112.
- [16] 周高志,Liou J G,刘源骏,等. 湖北北部高压、超高压变质带[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1996.
- [17] Eide E A, Liou J G. High-pressure blueschists and eclogites in Hong'an: a framework for addressing the evolution of high- and ultrahigh-pressure rocks in central China [J]. *Lithos*, 2000, 52(complete volume): 1—22.
- [18] 游振东,索书田,韩郁菁,等. 造山带核部杂岩变质过程与构造解析——以东秦岭为例[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1991.
- [19] 张国伟,张本仁,袁学诚,等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [20] 宋鸿林. 秦岭—大别山造山带早期的伸展构造[A]. 见:钱祥麟,主编. 伸展构造研究[C]. 北京:地质出版社,1994, 12—21.
- [21] 金维浚,宋鸿林,马文璞. 桐柏—大别山西段的伸展构造[J]. 地质科学,1997,32(2): 156—164.
- [22] 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 [J]. *Science in China (Series D)*, 2000, 43(3): 225—236.
- [23] Davis G H. Shear-zone model for the origin of metamorphic core complexes [J]. *Geology*, 1983, 11(6): 342—347.
- [24] Kirby S H, Kronenberg A K. Rheology of the lithosphere: selected topics [J]. *Reviews of Geophysics*, 1987, 25(6): 1219—1244.
- [25] Liou J G, Benno S, Ernst W G. Ultrahigh-pressure metamorphism and tectonics [J]. *The Island Arc*, 1995, 4(4): 233—239.
- [26] Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie orogen, China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 161(1—4): 215—236.
- [27] Wang Q C, Liu X H, Maruyama S, et al. Top boundary of the Dabie UHPM rocks, central China and their geotectonic implications [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1995, 11(4): 295—300.
- [28] Jahn B M, Wu F Y, Lo C H, et al. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie complex, central China [J]. *Chemical Geology*, 1999, 157(1—2): 119—146.
- [29] 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.
- [30] Tsai C H, Liou J G. Eclogite-facies relics and inferred ultrahigh-pressure metamorphism in the North Dabie Complex, central-eastern China [J]. *American Mineralogist*, 2000, 85(1): 1—8.
- [31] 魏春景,单振刚,张张飞,等. 北大别榴辉岩的确定及其地质意义[J]. 科学通报,1997,42(17): 1832—1835.
- [32] Ring U, Brandon M T, Willett S D, et al. Exhumation processes [A]. In: Ring U, Brandon M T, Lister G S, et al, eds. *Exhumation processes: normal faulting, ductile flow and erosion* [C]. London: Geological society (Special Publication), 1999, 154: 1—27.

HIGH-PRESSURE METAMORPHIC BELT AND ITS TECTONIC PATTERN IN TONGBAI MOUNTAINS, CENTRAL CHINA

Suo Shutian^{1,2}, Zhong Zengqiu², Zhang Hongfei², Zhou Hanwen², You Zhendong²

(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: The Tongbai Mountains is an important component part of the Qinling-Dabieshan orogenic belt. The recent detailed researches in tectonics and petrology show that a great amount of eclogites or retrograded eclogites in different sizes, widely distributed in the Tongbai mountains, constitutes a high-pressure metamorphic belt, around 200 km long and 40 km wide. The high-pressure metamorphic unit is generally composed of the following four different major lithologies: (1) eclogites and retrograded eclo-

gites; (2) HP-metamorphosed sedimentation and volcanic rocks; (3) gneissic or schistose rocks resulting from retrogressive HP eclogites; and (4) foliated garnet-bearing granites or garnet-free granites. The rock assemblages and metamorphic evolution of this high-pressure unit are similar to those in the Dabie-Sulu ultrahigh pressure (UHP) and high-pressure metamorphic belts. The regional structural pattern of the HP metamorphic belt in the Tongbai Mountains corresponds perfectly to a Cordilleran-type metamorphic core complex where three crustal-scale, gently-dipping, normal-sense detachment zones were developed. The composite detachment zone resulted possibly from both the lower detachment zone and the middle detachment zone is presently sandwiched between the core complex unit (CC) below, and the high-pressure metamorphic unit (HP) above. The structures controlling the present spatial distribution of HP metamorphic rocks were dominantly products of an extensional process following the Triassic HP metamorphism. Both structural considerations and concordant field relations suggest that the Tongbai HP metamorphic unit is an important part of the Dabie-Sulu UHP and HP metamorphic belts. Its western extension overlain by the Mesozoic to Cenozoic sedimentary rocks may have crossed the Nanxiang basin to the Eastern Qinling. The new findings and ideas should be employed for the reconstruction of the evolution of the whole Qinling-Dabie orogenic belt. The Tongbai high-pressure metamorphic belt serves as a structure linking the Eastern Qinling orogen with the Dabie-Sulu UHP and HP metamorphic belts.

Key words: Tongbai mountains; high-pressure metamorphic belt; metamorphic core complex; extensional detachment zone; tectonic boundary; structural linkage.