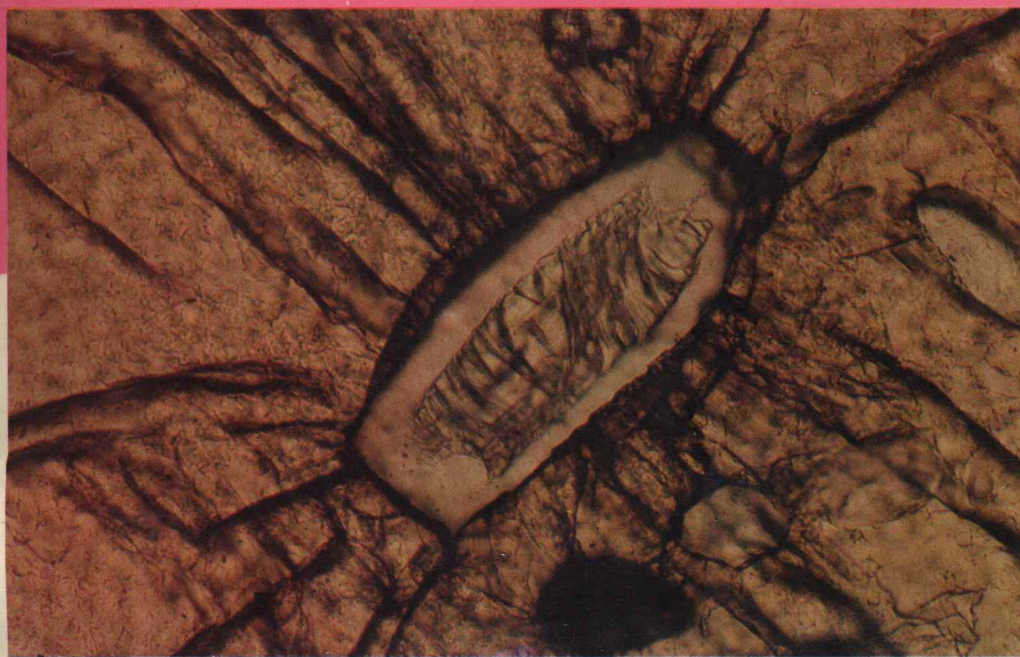


东秦岭大别 高压超高压变质带

游振东 韩郁菁 杨巍然 张泽明
韦必则 刘 嵘 著



中国地质大学出版社

东秦岭大别高压超高压变质带

游振东 韩郁菁 杨巍然 著
张泽明 韦必则 刘 嵘

中国地质大学出版社

前 言

高压超高压变质带的研究是当代地球科学研究的热点和前沿,80年代中期以来,越来越多的大陆造山带内发现了如柯石英榴辉岩这样具有超高压特征的岩石,深刻地改变了以往对地壳岩石变质条件范围的认识,揭示了陆壳岩石有俯冲达到地幔深度的可能性,而且超高压矿物组合在折返地表过程中能够保存而不受到破坏等新的事实极大地发展和更新了大陆构造学的知识,必将导致新构造观的萌生。

秦岭大别造山带是夹持于华北和扬子两个陆块之间的对接碰撞造山带,具有多期“开”“合”的构造历史,自80年代中期以来,愈来愈多的高压超高压岩石被发现,成为国际地质研究的天然实验室。

本课题组成员自80年代初期以来即着手大别山地区的高压变质研究。1985年立项的“大别山区前寒武纪变质地体的岩石学与构造学”(国家自然科学基金)和后继的“对接造山带变质作用过程与地球动力学状况”(国家教委博士点专项基金)等研究项目中,对本区的蓝片岩和榴辉岩进行了初步的岩相学和矿物化学及构造学研究。《大别山区前寒武纪变质地体的岩石学与构造学》一书已于1993年公开出版(索书田等,1993),其中包含有韩郁菁著的“大别山区的蓝闪绿片岩相变质作用——以木兰山蓝片岩带为例”,张泽明著的“大别山榴辉岩带的岩石学地球化学及其成因演化”等研究成果。1992年以来已在国内外发表有关论文20余篇,其中较有影响的有杨巍然等(1993)著的“大别蓝片岩-榴辉岩年代学研究新成果”,文中发表了4组蓝片岩-榴辉岩年代学数据,从而提出了对高压超高压变质带演化过程的新认识。张泽明1992年以来陆续发表了鄂、皖两省典型榴辉岩岩石学、矿物学、变质 $P-T-t$ 轨迹等方面的论著,亦已引起国内外广泛注意。

1993年起,课题组在国家计委国土司的资助和地质矿产部科技司的领导下,立项“秦岭大别高压超高压变质带”(96-30-07)。项目采用岩石学与构造学相结合,变质地质学与大地构造、地球动力学分析相结合,同位素年代数据与地质、矿物的分析相结合的跨学科研究原则及新方法,经过两年来的紧张工作,已取得预期效果,并有重大的进展,其主要成果如下:

(1)获得了一批高压超高压变质岩的年代学资料,总结秦岭大别高压超高压变质带相关年龄,可分5组,即2000Ma左右、800—1000Ma、455—471Ma、271—326Ma和200—245Ma。2000Ma左右是高压超高压变质岩的原岩年龄;800—1000Ma代表晋宁期区域变质,含扬子陆块北缘的高压变质作用;455—471Ma是加里东期超高压变质期,亦是东秦岭大别碰撞造山作用的主期;271—326Ma代表海西期构造热事件对高压变质地体的改造阶段;200—245Ma代表印支期碰撞所引起的高压变质地体隆升、韧性变形、变质重结晶的年龄。

(2)查明高压超高压变质岩的空间分布,厘定秦岭大别高压超高压变质带的构造分区、构造界面,在大别山区至少可分出绿帘蓝片岩带、低温榴辉岩带、超高压榴辉岩带和中温榴辉岩带,获得各带内典型地区的岩石学、构造学、年代学及成因矿物学新资料。

(3)研究高压超高压变质岩的地球化学、岩石化学特征,揭示了绿帘蓝片岩、榴辉岩及各种非基性高压超高压变质岩的原岩类型、岩石建造及其古构造环境的信息。

(4)通过细致岩石学和矿物学研究,确定了各榴辉岩、绿帘蓝片岩和一些非基性高压超高压变质岩的矿物组成、结构、构造特征,揭示了主要造岩矿物的成分环带和微区成分变化规律,

根据高压超高压变质岩变质和变形的全过程,重塑出高压超高压变质岩的 PTt 和 $PTtD$ 轨迹。

(5)进行了流体包裹体赋存状态、成分、物理性质、温压条件等全面的测定,在蓝晶石、绿辉石、石榴石和柯石英等超高压寄主矿物中还发现了熔融包裹体,它们在成分上和结构上与寄主晶相似,是早期捕获的,并在超高压榴辉岩中找到榴辉岩相阶段捕获的气液包裹体,其它的气液包裹体则是在榴辉岩相阶段以后捕获的,它们均与抬升和减压退变质关系密切,气液包裹体多呈弱酸性,具强还原性。

(6)通过榴辉岩围岩的岩石学、矿物学、年代学及构造学的研究,查明榴辉岩与围岩的关系,初步获得了围岩内超高压变质的证迹,结合其区域展布上的局限性,厘定了超高压变质围岩的有限同变质模型,丰富了高压超高压变质的岩石类型。

(7)通过典型地区构造研究、填图和构造解析,结合显微构造及少量超微构造资料,厘定了高压超高压变质岩的变形序列,获得了有关流变学、运动学和动力学的信息,结合岩石学资料,初步建立了高压超高压变质作用的地球动力学模型和折返机制。

(8)根据岩石学、矿物学、地球化学、同位素年代学和构造学的资料,总结了本区高压超高压变质的基本特征,在此基础上提出了高压超高压变质岩的成因模式,强调高压超高压变质带是华北、扬子两个陆块及其间的古海域(部分有洋壳)自晋宁期以来多期对接-俯冲-碰撞作用的产物,进而提出了秦岭大别造山带构造演化的框架。

研究工作结束后,1995年6月提交了研究专题报告,由沈其韩院士为主审,刘国惠研究员、张寿广研究员、康维国教授、安三元教授组成的评审组进行了评审,评审意见认为该报告是迄今为止,关于东秦岭大别超高压变质带最系统、全面的一部著作,在主要岩石的 PTt 轨迹和 $PTtD$ 轨迹、流体包裹体、变质岩的同位素年代学、榴辉岩与围岩关系、地球动力学模型等方面,都有新的进展和创见,与前人研究相比达到了更新的高度,丰富了全球高压超高压变质带的研究内容,建议尽快公开出版,以便广为交流。

本专著是在原研究专题报告的基础上,经过修改和润色而成。其编写分工如下:第一、二和九章由游振东和杨巍然编写;第三、六和七章由韩郁菁、张泽明和刘嵘编写;第四章由韦必则编写;第五和八章由张泽明编写。全书由游振东统稿。

处在科学技术飞速发展的20世纪末,新事实、新论点会不断涌现,但愿本专著的出版能够为后继研究者提供一点帮助。

课题研究期间,得到了索书田、桑隆康、钟增球、陈能松、周汉文等同志的热情关怀和帮助,张本仁教授、刘源骏总工多方面提供了指导,湖北区调所周高志高工对野外工作帮助尤多。在同位素年龄和流体包裹体测定中得到地质矿产部宜昌、天津和西安地质矿产研究所的大力协助,在岩石矿物化学分析、矿物电子探针分析以及超微结构分析中分别得到地质矿产部武汉测试中心、中国地质大学(北京)电子探针室及中国科学院沈阳金属研究所固体原子像开放实验室的支持和帮助。书中插图由彭泥泥、何建华和张红波清绘。在此一并致以衷心的感谢!

研究工作中还得到[英]Leeds大学B. W. D. Yardley教授和[美]Davis加州大学地质系主任H. W. Day教授的指导,E. Condliffe博士对部分样品进行了电子探针分析,特此致谢。

游振东

1995年11月

目 录

第一章 引论	(1)
一、高压超高压变质作用研究现状述评	(1)
二、从全球构造观点考察高压超高压变质岩的时空分布	(4)
第二章 区域地质背景	(7)
一、东秦岭大别构造带的主要地质构造单元简介	(7)
二、高压超高压变质作用的地质条件制约	(14)
三、花岗岩地球化学与构造环境	(18)
第三章 高压超高压变质岩的年代学	(21)
一、研究方法评述	(21)
二、Sm-Nd 定年	(22)
三、锆石 U-Pb 和 Pb-Pb 定年	(24)
四、其它方法的定年结果	(28)
五、高压超高压变质岩形成的时代	(29)
第四章 高压超高压变质带的构造学	(31)
一、高压超高压变质带的基本构造特征	(31)
二、典型高压超高压变质岩分布区的构造解析	(32)
三、高压超高压变质岩的显微构造解析	(44)
四、高压超高压变质岩矿物的超微构造解析	(48)
第五章 高压超高压变质岩的岩石学和矿物学	(51)
一、高压超高压变质岩的分类	(51)
二、绿帘蓝片岩	(51)
三、高压榴辉岩	(52)
四、超高压榴辉岩	(53)
五、非基性高压超高压变质岩	(56)
六、高压超高压变质岩的矿物学	(57)
七、矿物微量元素和稀土元素化学	(65)
第六章 高压超高压变质岩的地球化学	(69)
一、常量元素、微量元素和稀土元素地球化学	(69)
二、蓝片岩和榴辉岩的原岩类型及构造环境恢复	(84)
第七章 高压超高压变质岩中的流体包裹体	(90)
一、样品产出的地质位置	(90)
二、包裹体类型和分布特征	(90)
三、包裹体测温	(91)
四、超高压和高压榴辉岩(包括退变质的榴闪岩)以及硬玉石英岩的抬升轨迹	(94)
五、流体性质	(99)

第八章 高压超高压变质作用的 PTt 轨迹及其地球动力学	(104)
一、与高压超高压变质作用相关的地质温压计	(104)
二、高压和超高压榴辉岩峰期变质作用条件	(105)
三、进、退变质作用的温压条件	(107)
四、高压超高压榴辉岩变质作用的 PT 轨迹	(109)
五、地球动力学	(109)
第九章 结论	(115)
一、基本地质事实的总结	(115)
二、东秦岭大别高压超高压变质带构造演化阶段	(116)
三、按开合观点探讨高压超高压变质岩的形成与演化	(117)
四、存在的问题	(119)
附表:大别山地区主要高压超高压变质岩分布区代表性矿物电子探针分析	(122)
矿物代号	(142)
参考文献	(143)
图版说明及图版	(155)

第一章 引 论

东秦岭大别高压超高压变质带具有长期活动、多旋回发展的特色，其中高压超高压岩石现今散布的面积达 6 000km²，规模堪称世界之最。

中国的地质学家对高压石榴辉岩并不陌生。早在 1950 年初，北京大学、清华大学地质系师生教学用的榴辉岩标本，均采自江苏东海。至 50 年代末，广泛开展的中国东部诸省 1:20 万区域地质调查中，山东、江苏、安徽、湖北和河南等省均先后发现榴辉岩露头并标志于地质图上。王鹤年 (1963) 最先报导苏北榴辉岩。1970 年末开始已经广泛注意到这一高压变质带的存在。叶大年 (1979) 首次报导过河南信阳地区的多硅白云母和 C 型榴辉岩。应思淮等 (1981) 分别有专文报导苏北、胶南一带的榴辉岩。1986 年在董申保教授的领导下编成的“中国变质地质图”标绘出扬子北缘高压变质带，标志着中国系统研究高压变质的开始。1989 年杨建军首次提出苏鲁柯石英榴辉岩省的概念 (Yang and Smith, 1989)，标志着这一研究日益与国际高压超高压变质研究接轨，兴起了大别、苏鲁超高压变质研究的热潮。

一、高压超高压变质作用研究现状述评

自从 1984 年 Chopin 在西阿尔卑斯的 Dora Maira 岩块，Smith 在挪威西片麻岩区 (WGR) 高压榴辉岩的石榴石 (±绿辉石) 矿物中发现微粒的柯石英包裹物以来，人们开始认识到其构造意义，正如 W. Schreyer 教授 (1988) 所指出，超高压变质 (柯石英出现) 是陆壳岩石向地幔深部俯冲的岩石学证迹。

这些发现促进了陆壳岩石变质作用经典理论的修正。1990 年 Sobolev 和 Shatsky 在哈萨克斯坦 Kokchetav 岩块的片麻岩所含的锆石和石榴石中发现微粒金刚石包裹物，1992 年中国地质学家徐树桐和张树业几乎同时在大别榴辉岩和石榴辉岩岩中发现金刚石 (Xu 等, 1992)，1994 年 Dobrezhinetskaya 等在挪威片麻岩样品中又相继发现了微粒金刚石，进一步支持了榴辉岩属于超高压变质的概念。

这些岩石，原岩绝大多数是前寒武纪硅铝壳基底的岩石，有的含水，有的是碳酸盐，它们都共同具有低温、超高压 (最高可达 4.5GPa) 的变质条件，产出于岛弧岩浆带和中深源地震的构造域。由于这些岩石是超高压变质作用条件下形成的，就必然与岩石圈板片的俯冲过程，乃至超高压地质体的剥蚀和隆升有关系，所以超高压变质具有深刻的构造意义。此类深源岩石的抬升的速率和折返隆升机制，超高压矿物如何得以保存是地质科学中极具挑战性的课题。

P. Wyllie 在 1990 年北京第 15 届国际矿物学大会 (IMA) 开幕词中提出：“欧洲阿尔卑斯、前苏联和中国在变质岩中发现柯石英和金刚石，这些发现对于构造学者是一个真正的挑战，他们不仅要回答大陆岩石如何埋藏至 100km 深处，还要解释在回返地表过程中何以未受重结晶而破坏它们的矿物学信息”。

高压超高压变质作用研究成为当今地学研究的前沿和热点,1980年以来开了4次国际榴辉岩会议。第1届国际榴辉岩会议在法国的克莱蒙弗隆(1982)。第2届国际榴辉岩会议在奥地利维也纳(1985)。1989年在德国Wurzburg召开了第3届国际榴辉岩大会(TIEC),国际矿物岩石地球化学核心刊物Lithos,为会议发了专刊(Lithos,1990,25,1—3)。1992年在日本京都第29届国际地质大会上,高压变质是一个讨论专题。同年9月2—5日在北京大学召开了中美高压变质讨论会,总结交流了中国高压变质带的研究成果。1993年在意大利的科森萨举行了第4届国际榴辉岩会议。

80年代中期以来,中国地质矿产部不少单位开展了国际合作。其中,如湖北地质矿产局刘源骏、周高志等与美国斯坦福大学地学院、加州大学Santa Barbara分校地学系合作开展了题为“鄂北蓝片岩-榴辉岩带地质特征及含矿性”的专题研究,安徽省地质矿产局地质研究所与土耳其伊斯坦布尔科技大学地质系A. M. C. Sengor教授和A. I. Okay博士等联合进行了较长期野外调查并有成果发表。

近年来中国科学院地质研究所从柏林等与斯坦福大学地学院合作开展了大别苏鲁榴辉岩研究。1994年底在Stanford召开了国际岩石圈计划Ⅲ-6项目组第一次学术研讨会,主题为“超高压变质作用与构造”,总结交流了当前超高压变质和构造领域中提出的有关岩石学和构造学方面的问题,并于1995年8月在中国大别山召开了国际榴辉岩野外工作会议。这些学术交流活跃了中国地质学界在高压超高压研究领域的学术思想,提高了研究水平。

当前高压超高压变质研究中主要问题和已获得的进展如下。

(一) 超高压变质的矿物学标志

柯石英是超高压变质的主要标志。目前在大别杂岩分布范围内许多地点已发现柯石英或其假象,值得注意的是东秦岭大别及苏鲁超高压带上的柯石英不仅以石榴石、绿辉石等峰期矿物为其寄主晶,李学燮、康维国(1994)在蓝晶石中,张儒媛在绿帘石和蓝晶石中均发现有柯石英包裹体,据悉还有人找到了粒间的柯石英(从柏林,1995)。

徐树桐等在美国《Science》上报导了大别山榴辉岩中的微粒金刚石之后,最近重新进行了拉曼光谱测定,已获得更确凿的谱线(徐树桐,1995)。

除此之外,各个单位和个人新发现的高压矿物标志有富铝榴石(Al_2O_3 含量 $7w_B\%$ — $13w_B\%$)、富镁十字石、尼泊闪石(nyboite)和铁菱镁矿。

蓝晶石与滑石是白片岩的共生组合,据实验资料,其压力范围0.4—3.0GPa(Schreyer,1981),大别地区碧溪岭榴辉岩中已发现此类组合,但尚需进行详细工作。

(二) 高压超高压变质带的岩石学

东秦岭大别高压超高压变质带的研究是从蓝片岩开始的。周高志、刘源骏、刘忠光等(1993)曾集中报导鄂北高压低温变质带,指出其连续变质序列为蓝片岩、绿片岩至绿帘角闪岩和榴辉岩相,划分出蓝片岩和绿片岩相过渡带、绿片岩相带及榴辉岩和绿帘角闪岩相带,自南向北变质加深,变质温压计研究为0.5—0.7GPa、350—450℃至1.0—2.2GPa、500±50℃,并认为鄂北变质地体是向北倾斜的俯冲带,其后续的抬升早于中朝和扬子两个陆块的最终碰撞事件。韩郁菁(1993)对鄂北木兰山蓝片岩进行详细岩石学研究后指出:蓝片岩形成过程中,逆冲推覆、构造叠置、强烈应变引发局部流体超压起到十分重要的作用。

超高压变质岩研究则是从榴辉岩入手,目前已陆续发现榴辉岩以大小不等的块体,产出

于片麻岩、大理岩和超镁铁质岩中。超高压变质岩的原岩类型已不只是基性的榴辉岩，还有富镁铝土矿变成的石榴刚玉岩（樊祺诚等，1992），杂砂岩变成的硬石英岩等。

张泽明（1992，1993）曾经发表高压和超高压榴辉岩的 *PT* 轨迹，指出其顺时针型并有显著的等温降压段和各不相同的退变质 *PT* 轨迹。

在 *PT* 轨迹的研究中，许多研究者都发现榴辉岩相矿物中含有前榴辉岩相的矿物组合。它们多半是中低级变质矿物，但 Okay（1994）发现有麻粒岩相（假蓝宝石、顽火辉石和直闪石）。

（三）高压超高压变质作用的年代学研究

近几年中外学者都发表了大量定年成果，但意见仍然分歧。

蓝片岩带的年龄，据董申保（1986）、张树业和康维国（1989），属于新元古代，木兰山蓝片岩和钠长多硅白云母片岩 Rb-Sr 年龄为 725Ma，鄂北榴辉岩中的多硅白云母 K-Ar 年龄为 860Ma。然而还有 10 个以上白云母 K-Ar、³⁹Ar-⁴⁰Ar 数据说明年龄值在 100—270Ma 之间（Zhou G. 等，1993），最近笔者也获得一批蓝片岩 Sm-Nd 模式年龄为 1 941±26Ma，这个模式年龄表明蓝片岩原岩形成于古元古代，而在蓝片岩带中一个侧分泌石英脉流体包裹体 Rb-Sr 年龄为 1 075±56Ma，代表蓝片岩第一次区域变质的年代。而蓝片岩全岩 Sm-Nd 等时线、全岩单矿物 Sm-Nd 等时线和流体包裹体 Rb-Sr 等时线说明其印支期变质年龄为 205—227Ma（详见第三章）。

高压超高压榴辉岩同位素年代学成果可归纳为 4 组：1 500—2 100Ma（Sm-Nd 模式年龄，锆石 U-Pb 法上交点年龄）、700—900Ma（⁴⁰Ar-³⁹Ar，锆石 U-Pb 上交点年龄）、300—400Ma（Sm-Nd 全岩等时线）和 200—240Ma（Sm-Nd 矿物内部等时线，⁴⁰Ar-³⁹Ar，矿物 K-Ar 年龄）（从柏林，1995）。笔者近年在湖北英山、安徽石马等地用颗粒锆石 U-Pb、单颗粒锆石 Pb-Pb 与 Sm-Nd 单矿物-全岩年龄相互校验获得 471—485Ma 的数据（杨巍然等，1993；张泽明等，1994），使笔者认为东秦岭大别超高压变质峰期应为加里东期（详见第三章）。

（四）高压超高压岩石与围岩的构造关系

主要指榴辉岩，它们多呈大小不等的团块透镜体或小夹层出现于片麻岩、大理岩、角闪岩等具角闪岩相变质岩中，日益增多的超高压矿物在围岩大理岩、片麻岩中出现，使 Ernst 等（1991）、Okay 等（1993）认为大别杂岩是一个完整的超高压地体。王小民等（1991）划分了南大别和北大别，认为南大别是一完整的超高压地体。从柏林等（1993）根据双河一带地质填图，发现超高压变质岩与围岩是互层岩片，常见围岩与片麻岩呈构造接触，矿物学上明显不同于围岩，后者并未受超高压变质，因此倾向于它们属于构造上平行并置的变质地体，而非构造上连续的超高压地体。本课题组近来工作亦发现部分榴辉岩与其围岩同时受到超高压变质，但从大别杂岩整体看，超高压变质岩与大别杂岩具不同的变质历史，超高压变质岩拼合于大别杂岩之后，两者一起卷入了后期的韧性再造，以致多数榴辉岩均呈香肠状，或片内无根褶皱，夹于强面理化的片麻岩或云母片岩之中（游振东，1995）。

（五）超高压变质的折返机制

东秦岭大别高压超高压变质带，在构造上夹持于华北和扬子两陆块之间，两陆块长期的增生、消减是东秦岭大别高压超高压变质带形成的根本动因。

高压,特别是超高压变质岩,形成深度少则40—50km,多则达100km以上,这么深的岩石,如何折返到地表,一直是国际上讨论的热点。考虑到榴辉岩及其相关超高压变质岩在产状成因等方面的复杂性,不少学者已经认识到其折返机制主要与逆冲作用有关。Okay等(1993)认为秦岭大别造山带有与喜马拉雅型相似的构造演化,扬子大陆岩石圈俯冲过程中,由于连续的板底垫托,形成了厚达100km的陆壳逆冲岩楔。随逆冲面向南传播迁移,通过均衡隆升和剥蚀,深部岩石包括超高压变质岩得以抬升。其中,由于地壳增厚引起的重力垮塌和正断层,对抬升也起到了一定作用。张泽明根据超高压变质带的演化和温压条件估算,提出超高压岩石多阶段抬升,并伴随退变质过程,据其减压幅度,计算了各阶段抬升速率(详见第八章)。

总体看来,以往的东秦岭大别高压超高压变质带研究存在如下问题。

(1) 主要研究方向是在榴辉岩的岩石学、矿物学方面,而对其构造体制、流变学特征、原地异地变质折返机制等方面研究不足。

(2) 时代有不同认识,时间跨度很大,定年技术方法也有待改进。

(3) 在地域上看亦不平衡,东部研究比西部详尽,而现今新的发现证明在北秦岭基底岩系也已出露含柯石英(假象)榴辉岩(胡能高,1994)。这些都启示我们,要解决大别苏鲁高压超高压变质带成因问题,决非局限于一两个露头所能解决,这一方面需要对各个露头和邻近地段宏观构造的分析,也需要把它们和全球范围构造发展相联系。

二、从全球构造观点考察高压超高压变质岩的时空分布

高压超高压变质岩是陆壳岩石经过俯冲进入地壳和地幔深处,在高的静水压力(即岩压)、构造超压和流体超压等共同作用下变质而成,以后经逆冲推覆、抬升剥露、后造山伸展揭顶而使之与深部岩石一起出露于地表。

超高压岩石的出现,突破了长期以来人们对变质作用极限压力的认识,揭示了壳幔物质交换、再循环的多种形式,丰富了人们对深部地质作用过程和地质构造演化的复杂历史的认识。

前已述及,许多情况表明高压超高压变质不是一个局部的、孤立的地质现象,而是一个时空跨度大、范围广、影响地质构造演化全局的重大问题。因此,从全球构造角度研讨高压超高压变质的时空分布,一方面有利于揭示高压超高压变质作用的本质特征,另一方面可以促进和深化对全球构造的认识。

综合考虑现代板块构造作用的状况、历史构造演化规律和深部地质构造特征,可将全球构造划分成2个活动构造带和3个稳定构造区。2个活动带即环太平洋近经向活动带和地中海近纬向活动带。3个稳定区为太平洋构造区、冈瓦纳构造区和劳亚构造区。无论是活动带还是稳定区,都还可以进一步划分出次一级区域性近经向或近纬向的活动带和稳定区。这些次级稳定区、活动带之间,往往为构造断裂所占据。图1-1表示了目前报导的超高压榴辉岩的产地在全球构造中的位置。所述12个产地的岩石、地质、矿物学特征见表1-1。

从图1-1可得出下列3点认识:

(1) 所有高压超高压变质岩均分布于全球活动构造带或其次级区域活动带中,尤以地中海带最为集中。

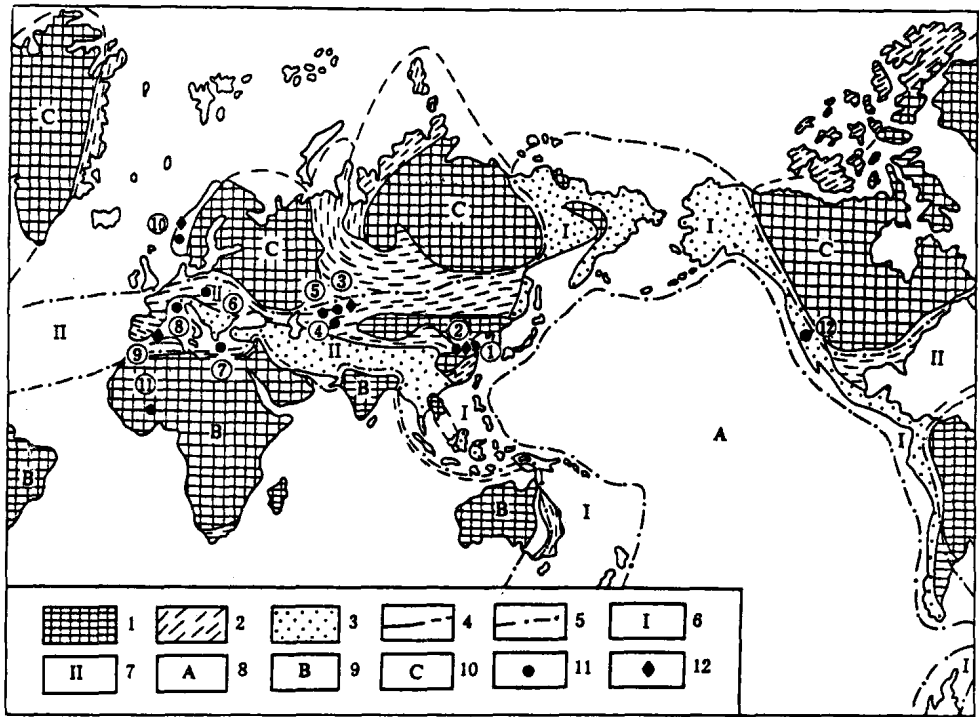


图 1-1 全球构造与超高压变质岩的分布

1. 前寒武纪地块; 2. 古生代褶皱带; 3. 中生代褶皱带; 4. 构造单位界线; 5. 全球构造带界线;
 6. 环太平洋构造带 (I); 7. 地中海构造带 (II); 8. 太平洋稳定构造区 (A); 9. 冈瓦纳稳定构造区 (B);
 10. 劳亚稳定构造区 (C); 11. 含柯石英榴辉岩; 12. 含金刚石榴辉岩
 产地: ①苏鲁; ②东秦岭和大别山; ③Kokchetav; ④Makabal; ⑤Maksutov; ⑥Bohemia; ⑦Sifnos;
 ⑧Dora Maira; ⑨Beni Bousera; ⑩Norway; ⑪Mali; ⑫Franciscan

(2) 高压超高压变质岩出现在不同时代的褶皱带中, 说明高压超高压变质可以在不同时代重复出现, 证明高压超高压变质作用在全球地质历史演化中的积极作用。

(3) 高压超高压变质岩常保存于多期变形变质的基底片麻岩块体中, 东秦岭-大别-苏鲁区, 榴辉岩赋存于新太古代和元古宙变质地体中, 从榴辉岩中已获得晋宁期、加里东期和印支期的变质年龄 (杨巍然, 1993); 哈萨克斯坦的 Kokchetav 榴辉岩原岩为前寒武纪变质杂岩周边被加里东期变质带所围绕, Sobolev 和 Shatsky (1990) 在前寒武纪变质杂岩中发现含金刚石的超高压变质岩, 金刚石作为微细包裹体产出于石榴辉石岩、石榴石-单斜辉石碳酸盐岩、石榴黑云片麻岩和片岩等岩石的石榴石与锆石之中, 据变质锆石离子探针分析提供的超高压变质时代为 $530 \pm 7\text{Ma}$, 与 $533 \pm 20\text{Ma}$ 的 Sm-Nd 等时年龄 (Jagoutz 等, 1989) 相吻合。挪威西部超高压变质岩一般认为是加里东期区域变质产物, 但 Carswell (1992) 报导, 在石榴石-橄榄岩的构造透镜体中发现残留的中元古代超高压矿物组合, 因此认为古老的超高压矿物组合被挤入到加里东期板块碰撞带的片麻岩中, 存在两期超高压变质作用, 这些均说明许多超高压变质作用经历了多期、复杂的演化过程。

表 1-1 超高压岩石的时空分布

序号	地点	造山带	岩石名称	特征性超高压矿物	峰期年龄(Ma)	PT 条件	围岩	资料来源
1	苏鲁	东秦岭大别造山带	柯石英榴辉岩	柯石英	743±13 788±19	840°C, >2.8GPa	胶南杂岩 (Ar-Pt)	王来明等(1993) Jahn B.-M. 等(1994)
2	大别	东秦岭大别造山带	石榴辉石岩、 柯石英榴辉岩	金剛石、 柯石英	471—485	>900°C, >4.0GPa 650—800°C, >2.8GPa	大别杂岩 (Ar-Pt) 大别杂岩	徐树桐等(1994) 本专著
3	Kokchetav	中亚乌拉尔蒙古褶皱带	石榴辉石岩、黑云母片麻岩、辉石-碳酸盐岩	金剛石	530±7	>900°C, >4.0GPa	元古宙 Kokchetav 杂岩	①, Sobolev 和 Shatsky (1990)
4	Makabal	西天山(吉尔吉斯)	榴辉岩	?	—	—	新元古代 Akdzhon 群	①
5	Makсутov	南乌拉尔	柯石英榴辉岩	柯石英	1 100(Rb-Sr) 450(K-Ar)	550—600°C, 2.4—2.6GPa	Makсутov 杂岩	Dobretsov, N. L. (1991)
6	Bohemia	海西褶皱带	榴辉岩-麻粒岩系	柯石英 (假象)	338—344	700—800°C, 3.0GPa	Orlica-Snierznik 穹窿变质 岩系	Bakun-Czubarow, N. (1993)
7	Sifnos	Hellenide 造山弧	榴辉岩-蓝片岩	?	41.0±0.3 (白云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar)	450—500°C, 1.0—2.0GPa	Athlic-cycladic 结晶杂岩	Okrusch, M. (1990)
8	Dora Maira	西阿尔卑斯	镁铝榴石石英岩	柯石英	38—40 (锆石 U-Pb)	700°C, >2.8GPa	早古生代基底多期变质岩 系	Tilton(1991) Chopin, C. (1984)
9	Beni Boussera	北非摩洛哥 Betic Rifean 弧形造山 带之一部分	石榴石二辉岩	金剛石	21.5—25.7	—, >4.5GPa	橄辉岩体中的高压岩管	Pearson, D. G. 等 (1993)
10	Norway	加里东褶皱带	石榴石麻粒岩、长英质麻粒岩	金剛石 柯石英	408—425 (Sm- Nd)	680—800°C, >2.0GPa	石榴石-黑云母-蓝晶石片 麻岩、黑云母-石榴石-角闪 石片麻岩	②
11	Mali	泛非褶皱带横贯撒哈拉 段	钙硅酸盐岩	柯石英	1 045±9 (多硅白云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar)	700—750°C, 2.7GPa	泛非褶皱带新元古代推覆 体前缘变质岩系	Caby, R. (1994)
12	Francis- can	加州海岸山脉带	蓝闪榴辉岩(类型 I)、暗绿玉 质单斜辉石榴辉岩(类型 I)	?	150—160 90—130	480—540°C, >1.0—1.5GPa 380—400°C, 0.95—1.4GPa	Franciscan 杂岩	Oh Changwahn, Liou, J. G. (1990)

资料来源: ① First Workshop of UHP Metamorphism and Tectonics, Dec. 1994, Stanford, Organized by International Lithosphere Program Task Group, ■-6;
② Terra Abstracts, Abstract Supplement No 4 to Terra Nova, Vol. 5, 1993(FIEC)

第二章 区域地质背景

秦岭大别高压超高压变质带西起川陕边境经陕南豫西东延至鄂北、安徽大别山区，为郯庐断裂错断后向北移动约400km，复又出露于苏北胶南东达荣成，东西绵延达2000km以上，是一条具有全球规模的构造带，当前研究工作最多的集中于苏鲁和大别山区，近年胡能高等（1994）在豫西秦岭群北沿发现具柯石英假象的榴辉岩，杨建军等（1994）报导柴达木北山石榴石辉橄岩和榴辉岩，都证实了高压超高压变质带的向西延伸，本次研究集中于该带的东段即东秦岭大别地区，其它地区亦稍有涉及。

一、东秦岭大别构造带的主要地质构造单元简介

秦岭大别构造带既是区分华北古陆与华南古陆的界线，又是联系二者的纽带，它本身经历了一个复杂的演化过程。秦岭大别造山带构造单元划分中最重要的是商南丹凤对接带，以它为界南部属华南古陆大陆边缘，北部属华北古陆大陆边缘（图2-1）。

华南古大陆边缘，以城口-襄樊-广济断裂为界与华南古陆接触，自南而北可分出两个构造岩石单位：安康武当块体（I），实际上为一逆冲推覆体，城口-襄樊-广济逆冲断层为其前沿，鄂西北的公路断裂为其根部，在地球物理资料中，此逆冲推覆体有明显的反映；南秦岭-桐柏-大别高压超高压变质块体（II），是本次研究的重点，可进一步划分为5个次级单位，将在后面详述。

华北古大陆边缘，以铁炉子-黑沟-明港断裂为界与华北古大陆相邻，其本身亦分两个构造岩石单位：秦岭高压超高压变质块体（III），块体南侧的松树沟蛇绿岩套，多数人认为是古大洋残片，安三元（1985）认为其中的榴闪岩是高压榴辉岩退变质产物，近期在块体北侧找到的柯石英（假象）榴辉岩，可确认秦岭高压变质块体的存在；北秦岭北淮阳块体（IV），这是一个自中新元古代以来长期活动的构造带，根据最近地球物理资料，北秦岭北淮阳块体也是推覆于华北古陆之上，但其逆冲断层角度比南部城口-襄樊-广济断裂陡（袁学诚，1994）。

本次研究重点集中于桐柏、大别地区，该区内高压超高压变质岩的主要产地见图2-2。今将各构造岩石单位地质特征简介如下：

（一）安康武当块体（I）

块体内部由3个向北倾斜的逆冲岩片所构成，组成逆冲构造系，涉及的岩石地层单位包括：元古宇武当群（Pt₂₋₃）组成的上推覆体，岩性主要为基性和酸性双峰式变质火山岩系中夹碎屑沉积变质岩系（杨坪组）；下震旦统耀岭河群以变质基性火山岩和火山碎屑岩为主，上震旦统主要是类复理石-碳酸盐沉积建造（包括陡山沱组、灯影组等）；震旦系—古生界盖层组成的下推覆体以及下伏原地岩系，整体构成双重逆冲构造系。元古宇武当群上推覆体自北向南推覆于震旦系—古生界下推覆体之上，下推覆体是一套逆冲褶皱和岩片式构造，逆冲岩片

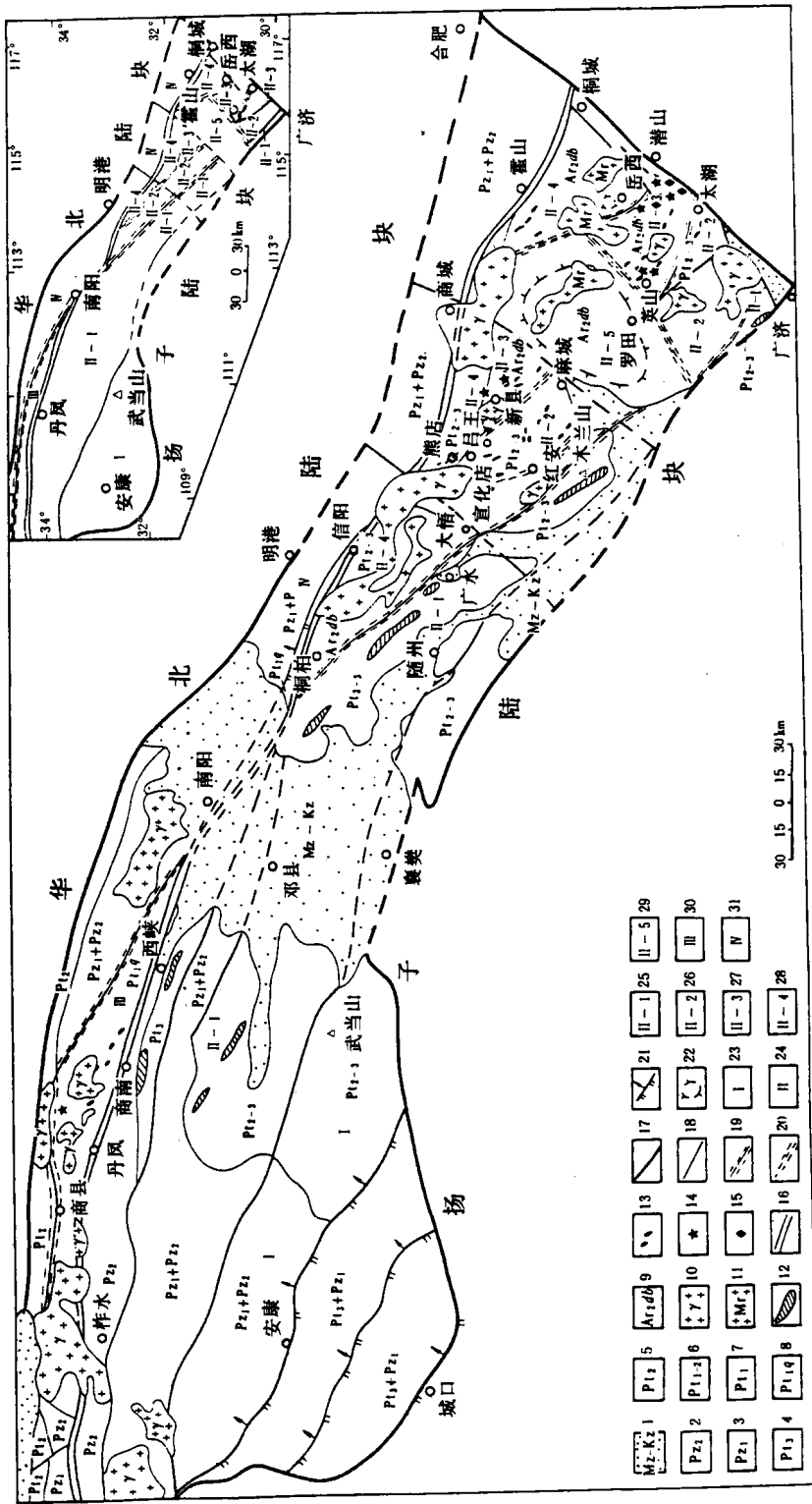


图 2-1 东秦岭大别构造带构造图

1. 中新生代盆地; 2. 上古生界; 3. 下古生界; 4. 新元古界; 5. 中元古界; 6. 古元古界宿松(红安)群; 7. 苏家河群; 8. 古元古界秦岭群;
9. 新太古界大别群; 10. 花岗岩; 11. 混合花岗岩; 12. 榴辉岩; 13. 榴辉岩; 14. 含柯石英榴辉岩; 15. 含金刚石榴辉岩; 16. 对接带; 17. 基底断裂; 18. 断层; 19. 韧性断层; 20. 韧性剪切带; 21. 推覆断层; 22. 片麻岩穹隆; 23. 安康武当块体; 24. 南秦岭-桐柏-大别高压超高压变质块体;
25. 绿帘蓝片岩带; 26. 高压低温榴辉岩带; 27. 超高压榴辉岩带; 28. 高压中温榴辉岩带; 29. 贫榴辉岩带; 30. 秦岭高压超高压变质块体;
31. 北秦岭北淮阳块体

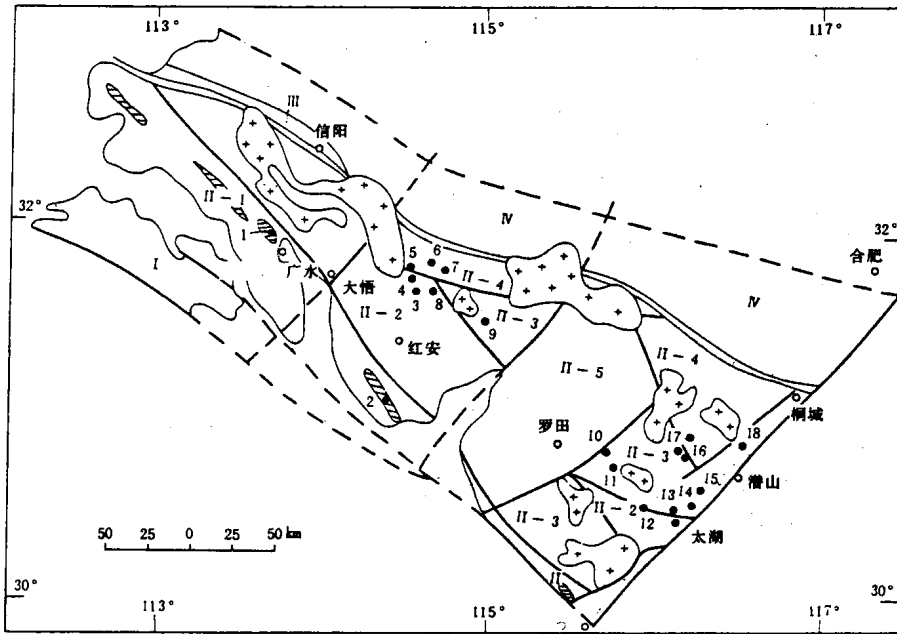


图 2-2 重点工作区及样品分布图

产地名称及样品号: 1. 广水蔡家河: C1123, C1049; 2. 黄陂木兰山: M026, M041; 3. 大悟吕王: W13, W301; 4. 大悟宣化店: 107-3, 107-33, 104-2, 138-1, 131-1, 118-2; 5. 罗山熊店: X-003, S-39, X-0141, S-13, X-0171, S-41, XH28-2, DX1-1, DX09-3; 6. 罗山苏河: S-070, X-048, S-071; 7. 罗山杨家冲(千斤河棚): XY1-1, XY1-3; 8. 新县卡房: L-031; 9. 新县田铺: X-066, X-069, XT3-1, X-085; 10. 英山程家咀: C2-11; 11. 英山芭茅街(蜜蜂尖): M105-3, M105-4, M105-32, M105-1; 12. 太湖黄镇: TH1-9, TH1-10; 13. 太湖花凉亭水库: H066, TS7-5; 14. 太湖石马: S013, S009, S003, S088, S040, S041, TS1-1, TS12-1, TS23-1, S055, TS21-1, S030, S0891, TS3-1, TS-72, S067, S066; 15. 潜山双河: TP2-2, TP3-1, TP4-1, TP5-1, TP7-1; 16. 岳西碧溪岭: TB8-7, TB8-3, Z011, TB23-1, Z008, TB21-1, TB3-1, TB3-4, TB4-1, TB7-4; 17. 岳山南山岭: TN1-4, NT1-5, TN1-4-1, TN1-5-1, TN1-7; 18. 潜山源潭: T1-1, T1-2; 图中 I, II, III, IV 参照图 2-1 中图注

23-31

呈叠瓦状(朱志澄, 1989)。元古宇武当群变质达绿片岩相, 普遍出现黑硬绿泥石、绿泥石、多硅白云母等低级变质矿物, 时代跨度大, 在 1 900—1 000Ma 之间, 可能是古元古代的裂谷式大陆边缘的火山沉积岩系经后期(晋宁期至印支期)变质而成。

(二) 南秦岭-桐柏-大别高压超高压变质块体 (I)

1. 绿帘-蓝片岩带 (I-1)

绿帘-蓝片岩带西起商南的赵川, 向南东出现于浙川的南化、白桑一带, 东南(阳)襄(樊)盆地出现于随枣、应山的余店、蔡家河以南地区, 向东延伸至黄陂木兰山、红安觅儿, 被团麻断裂所断, 再向东露现于广济的四望(图 2-1)。在郟庐断裂以东也有类似的蓝片岩带称张八岭群, 沿郟庐断裂作 NE 向分布。

卷入绿帘-蓝片岩带的岩石地层单位：在南阳盆地以西为武当群，南阳盆地以东主要为随县群和红安群。这些岩石地层单位，在物质组成上均以双峰式火山岩系为主，但亦夹部分类复理石、火山碎屑沉积岩系，考虑到它们在岩石组合和构造环境上的相似性，它们极可能是武当群双峰式火山岩系向东延伸部分，都应视作扬子陆块北缘、新元古代活动大陆边缘或裂谷式大陆边缘的火山沉积建造。

不整合在这变质岩系之上的是下震旦统的耀岭河群、变质基性火山岩系和上震旦统的陡山沱组和灯影组，然而向东厚度渐薄，在广济一带与蓝片岩带呈断层接触的上震旦统仅数十米，并有低级变质作用的叠加。

武当群、随县群的变质作用总体均属中高压绿片岩相，基性岩以出现绿泥石、绿帘石、阳起石、钠长石为特征，长英质（酸性）岩石中以多硅白云母、钠长石、石英组合为特征，偶见红帘石、锰铝铁榴石。

蓝闪石类矿物以青铝闪石为主，在应山余店一带的大理岩中可以出现镁钠闪石。蓝闪石岩矿物常呈长柱状变晶见于白云钠长片岩中，形成明显的线理构造。

蓝片岩带形成时代有争议，一种意见认为它未见于灯影组以上的地层，而且下扬子地区二叠系地层的强烈褶皱并未波及相邻的大别基底，因此力排中生代变质的说法，加以不少 Rb-Sr 全岩、锆石 U-Pb 年龄均支持蓝片岩属前震旦纪。

已故张树业教授（1987）发表了木兰山蓝闪绿帘绿泥片岩 Rb-Sr 年龄 744Ma，变质年龄为新元古代。不过杨巍然等（1994）采自湖北蔡家河地区蓝闪绿泥白云母片岩，获 Sm-Nd 全岩等时线 $227 \pm 30\text{Ma}$ 、Sm-Nd 全岩-单矿物等时线 $221 \pm 27\text{Ma}$ ，揭示本区部分蓝片岩带变质年龄为印支期。Eide（1994）发表红安地区蓝闪绿片岩相岩石中多硅白云母 6 个样品全熔法 (TFA)⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄分别为 225、222、213、201、230 和 195Ma，显然记录了红安块体碰撞后开始抬升剥蚀的年龄。

2. 高压低温榴辉岩带 (I-2)

主要部分位于团麻断裂以西、环水断裂以东。南以新城-圻春断裂为界与绿帘-蓝片岩带 (I-1) 相邻，北以一韧性剪切带与高压中温榴辉岩带为界。该带范围内发育的主要变质地层单位是红安群的七角山组。

七角山组主要岩石类型，底部有少量可疑变质砾岩，向上为白云母石英片岩、白云钠长石英片岩、钠长绿帘角闪岩、含石墨白云母石英片岩等。在大悟黄麦岭一带，七角山组下部出现含磷岩系，有工业价值，大致分布于大磊山穹隆的西南边缘。在穹隆北缘汪洋店一带出露红帘石（绿帘石）白云母石英片岩。西侧双桥吴家大湾，则见蓝晶石黄玉片岩。大理岩分布零星，仅环水断裂以西应山杏仁山一带集中出露，逆冲叠覆在随县群之上。穹隆西北部，宣化店一带多见白云母浅粒岩，是长英质变质岩，具清晰层状构造，据岩石化学研究，SiO₂ 含量高达 77%，相当于碱和硅过饱和的变质酸性岩。

综观七角山组变质岩类有如下特点：①长石类以钠长石为主；②帘石类出现绿帘石，偶见红帘石；③在基性变质岩中白色云母以多硅白云母为主；④角闪石类主要为镁普通角闪石，偶见浅闪石质普通角闪石，显示石榴石带到黑云母带的温压范围，普通角闪石不稳定，多已退变为阳起石。

从全区看，整个低温榴辉岩带普遍受到绿片岩相退变质作用的影响，榴辉岩体本身退变质作用也很强烈，可以追索出由榴辉岩→榴闪岩→钠长榴闪岩组成的岩石系列，彼此间是渐变过渡的关系。在变质基性岩中出现多硅白云母，是高压变质的一个特征，绿帘角闪岩相亦

多在高压区内出现，因此整个榴辉岩的原岩即红安岩群，是属于高压相系的一部分，也是扬子陆块北缘自新元古代以来持续长期处于活动状态的结果。

3. 超高压榴辉岩带 (II-3)

主体部分位于湖北英山、圻春、安徽岳西、潜山、太湖等地，即文献中所称“南大别”，在团麻断裂以西，见于新县的附近豫鄂边境。

超高压榴辉岩主要呈块体或似层状夹于大别杂岩变质表壳岩系中，榴辉岩体沿区域构造线分布，野外露头上总与围岩保持“整合接触”关系，实际受控于后期韧性剪切带。

常见的岩石组合是角闪相变质的新太古代至古元古代的表壳岩系（黑云母片麻岩、钙质片麻岩及大理岩等），混合岩化达半熔合岩程度，并以条带混合岩最为常见。大别杂岩中夹部分变质的基性岩，这些基性岩体多已变成斜长角闪岩，部分过渡为榴辉岩（如英山程家咀），有时厚度甚大，达10余米，有些地区（如英山密峰尖东面的董家湾）甚至保留有枕状构造的残余。

在河南卡房至新县田铺，是大别杂岩向西北延伸的部分，变质程度高于其附近的红安岩群和苏家河群，至少达低角闪岩相，在卡房附近见厚层的角闪岩，含绿帘石团块，类似于原杏仁体的残余，混合岩化现象较弱。

除了变质基性岩之外，尚见少量的超基性岩体（如石马的毛屋），这些超基性岩块多半呈小型块体，且强烈蛇纹石化，其中亦含榴辉岩块。

此外，在超高压榴辉岩带内常见古老花岗岩，它们以普遍存在变质基性岩或富云片岩残留体而区别于后造山的燕山期侵入体，以往的同位素定年已经识别出519—938Ma和370—376Ma（据桑隆康，1993）两个年龄段，它们或许分别代表晋宁和加里东两构造旋回的同造山花岗岩，经后期改造而片理化，典型岩体如罗田凤凰关和安徽潜山双河。

超高压榴辉岩相的典型矿物组合：石榴石（Pyp30%—40%）+绿辉石（Jd40%—47%）+蓝晶石+柯石英（石英）±多硅白云母±滑石。变质条件： $T=650-800^{\circ}\text{C}$ ， $P>2.6-2.8\text{GPa}$ 。

4. 高压中温榴辉岩带 (II-4)

主要指分布于河南罗山的熊店、苏河、杨家冲等地的榴辉岩体群，产于苏家河群的变质岩中。

苏家河群原包括定远组和浒湾组，定远组划归早古生代，故浒湾组相当于狭义的苏家河群。

在定远乡一带，定远组主要是白云母钠长片麻岩夹斜长角闪岩，原岩为流纹岩和变质玄武岩所组成，其中可能夹有变质杂砂岩。据部分岩石化学研究成果，基性岩类包括玄武岩、玄武安山岩和粗面安山岩，属亚碱性系列。酸性岩为亚碱性流纹岩类，在 $\langle\text{FeO}\rangle/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ 图解上大部分岩石属钙碱性系列*，因此定远组是一套钙碱性火山岩，起源于俯冲带的环境。

定远岩组南部以韧性剪切带与红安群相接，而其北部则以桐商断裂与浅变质的南湾组相接，南湾组过去认为是信阳群的上部，最近以泥盆纪化石的发现而被确定为变质泥盆系。

中温榴辉岩呈透镜体或似层状，发育于原苏家河群浒湾组，因受印支期强大韧性再造影响，现今榴辉岩体受强烈再造而显示片麻状，并有紧闭褶皱，据熊店一带观察，线理多向北缓倾。

* 刘景波（1994）. 豫南大别北坡变质地体和榴辉岩的研究（博士论文），中国地质大学（北京）。