

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

## 苏-鲁超高压变质岩带从上地幔 返回地表的证据

胡受奚 赵懿英 徐兵 卢冰 季海章

叶瑛

(南京大学地球科学系)

(浙江大学地球科学系, 杭州)



印支期苏-鲁超高压榴辉岩带是初始欧亚板块东部大陆边缘在与古太平洋板块强烈挤压作用过程中,由黄海—苏东北地体 A-型俯冲至上地幔形成的。其回返地表主要是在中—新生代由弧后扩张作用引起的地壳拉伸、增长、减薄过程中实现的。中—晚白垩世非造山的碱性花岗岩带与榴辉岩带的重叠、晚白垩世红色盆地、第三纪巨厚沉积岩系和新生代大陆裂谷带玄武岩等的形成和发育等种种地质证据表明俯冲至上地幔中的榴辉岩带后来被向上拉伸至地表的。

**关键词** 超高压榴辉岩带 弧后扩张作用 碱性花岗岩带 拉伸盆地

板块构造学解决和解释了一系列重大地质问题,其中包括论证洋壳和陆壳随岩石圈板块的 B-型(大洋岩石圈)俯冲和 A-型(大陆岩石圈)俯冲进入上地幔深处的机制。实验<sup>[1,2]</sup>和实际资料证明在俯冲过程中随着温度、压力的不断升高,地壳岩石的变质相逐步升高,当达到麻粒岩相时,特别达到榴辉岩相时,将发生分熔作用,使其易熔的组份成为密度较小的中—酸性岩浆,从上地幔返回地壳,构成与俯冲带相平行的中—酸性火山—侵入岩带,即安山岩带成为陆壳增生的重要物质来源。但对于俯冲进入上地幔的地壳经分熔后难熔的和密度大的残留的超高压变质岩,特别是整个变质岩带——榴辉岩带返回地表的机理,却未能解决。《地质科技动态》编辑部(1993)综合有关资料指出:“这一问题的提出无疑会使这一领域的地球动力学研究工作出现新面貌”<sup>[3]</sup>,笔者也有共识。

近几年笔者在研究苏-鲁沿海榴辉岩带和花岗岩带时,发现印支期强烈挤压环境中形成的超高压变质岩带——榴辉岩带(240—190Ma)<sup>[4,5]</sup>与燕山中—晚期(130—70Ma)拉张环境中形成的非造山碱性或(A-型)花岗岩带在时、空上存在有机的相互配合关系,以及晚白垩世红色盆地发育及新生代巨厚拗陷沉积岩的堆积特点,从而使笔者认识到活动大陆边缘弧后扩张构造机制的演化是解释超高压榴辉岩带由上地幔上升至地表的重要钥匙<sup>[6,7]</sup>。

榴辉岩形成和分布于地幔这已为人们所公认,板块构造学者认为洋壳俯冲到地幔转变为榴辉岩。人们较早在榴辉岩中发现超高压矿物——金刚石<sup>[8]</sup>,而后又发现柯石英<sup>[8,9]</sup>,并陆续在世界上其它地方和我国桐柏—大别和苏-鲁沿海榴辉岩带中发现这些超高压矿物<sup>[9,12]</sup>。至于榴辉岩在上地幔中是否成层、成带或成团块虽有争论,但多数人认为地表的榴辉岩带是板块俯冲的结果,是确定板块或地体边界断层的重要标志。

1906年 A. Ampferr 曾提出大陆岩石圈能俯冲到上地幔的可能,但长期被人们所忽视和

反对,但现在以他名命的 A-型或内硅铝层俯冲已为越来越多的人所接受,并有越来越多的证据表明沉积岩可俯冲到上地幔,尔后再返回地表。最近 H. Becker 和 R. Altherr(1992)<sup>[13]</sup>在深入研究下奥地利南 Bohemian 块体中高压麻粒岩和高温橄榄岩的 Moldanub 组合时,发现含钙硅酸盐大理岩中的单斜辉石含有富钾的长石的出溶体,这种结构表明是在压力达 3—4GPa<sup>[13,14]</sup>和 >1100°C 条件下形成。并认为它们是奥地利—阿尔卑斯板块在华力西期俯冲到北欧板块之下,尔后返回地表的。

H. B. 索波列夫等(1987,1990)<sup>[15,16]</sup>在北哈萨克斯坦的科克切塔夫地块的片麻岩和石榴石—辉石岩的石榴石、辉石和锆石中发现了柯石英和金刚石的包体,并认为这些超高压变质岩是地表沉积岩经俯冲作用达到极大的深度,在高压和高温条件下变质而成,然后又返回了地表。

榴辉岩作为地幔岩浆岩的包体,如地台区金伯利岩和造山带中超镁铁岩的包体出露于地表早已为人们所知道,但是出露地表延长几百千米,宽度达几十千米的榴辉岩带从地幔返回到地表的机制,人们却没有作出合理的解释。

下面以苏-鲁榴辉岩带为对象讨论其返回地表的构造机制。

## 1 苏-鲁沿海榴辉岩带的特征

### 1.1 分布特征

苏-鲁沿海榴辉岩带,具体地说,即是威海—荣成—文登—青岛—胶南—诸城—日照—赣榆—东海—泗洪榴辉岩带。此带规模巨大、连续性好,出露部分延长达 350km 以上;宽度为 5—40km,平均约 10km。北端从刘公岛没入渤海,南端在泗洪的潘赵庄没入洪泽湖区。在江苏分布于郯庐断裂以东和海(州)—韩(山)断裂以西;胶东沿海分布于莒南—五莲—即墨—海洋—昆嵛山断裂以东。据不完全统计,这一带中出露的榴辉岩体多达千个以上;它们的成分复杂,包括 Coleman 等(1965)所划分的 A、B 和 C 类;大小不一,长宽比一般为 5:1—3:1,一般长几米到几百米,宽几米到几十米;最长达 2700m,面积约 1km<sup>2</sup>;许多小的仅数—数百厘米平方。其围岩成分亦很复杂,包括含高压矿物的片麻岩、片岩、石英岩、大理岩(其中大多为副变质岩系),铁镁和超铁镁岩。尽管岩带是由大小不等的岩块所组成的混杂岩带,但由于它们同产在超级韧性剪切带中,所有的岩石、岩块都具有强烈的塑性流变的特征,因而几乎所有的榴辉岩体的构造要素,如片理、片麻理、条带、褶皱和变形等的产状及其延长方向与围岩的构造要素相一致。因此,整个岩带在产状上表现出有一定的规律性。这就要求我们从总体上讨论榴辉岩带性质及其形成和返回地表的构造环境。

### 1.2 榴辉岩带形成的构造环境

出露于华北地台东、南缘的苏-鲁沿海榴辉岩带和桐柏—大别榴辉岩带究竟是同一条岩带,还是两个不同构造环境形成的两个独立的岩带这是有争论的。笔者认为:虽然这两个岩带同分布于华北地台东、南或中国东部中生代活动大陆边缘,同在印支造山期形成,但却分属于不同的板块或地体的拼合带。前者是古太平洋板块与初始的欧亚板块强烈挤压所引起黄海—苏东北地体向胶北—胶南联合地体俯冲的产物(图 1);后者为华北板块与华南板块拼贴带,即东秦岭—桐柏—大别造山带在强烈挤压碰撞向北俯冲的产物。

该两条岩带之间的郯庐断裂究竟属于地体的边界断层?还是转换断层?是先存的?还是中生代才发生的?目前都存在争论。笔者的观点倾向前者。尽管其东西两面块体具有明显左行走滑特征,但两面的地层及其它地质体大多找不到对应关系;特别是两者的构造要素有明显

差别,如苏-鲁沿海榴辉岩带的构造线走向,呈现有规律的变化,由南向北,其走由 NE→NNE→SE,在北端刘公岛甚至呈 NNW 向,表明该带具有典型的弧形构造,与古太平洋板块俯冲带相适应;只有局部地段具东西走向,如日照一带;而桐柏—大别榴辉岩带为 NWW—EW 走向属纬向构造带,明显地受华南和华北古板块拼合带控制。

### 1.3 苏-鲁沿海榴辉岩带是 A-型俯冲带

前已指出:苏-鲁沿海榴辉岩带,不是古太平洋板块直接的 B-型俯冲带,而应是 A-型俯冲带,因为该带东侧是具有陆壳特征的黄海—苏东北地体,而不是大洋地壳。印支期海—韩断裂以东的黄海—苏东北地体在古太平洋板块强烈挤压作用影响下,曾沿此边界断裂带以 A-型俯冲的方式向西俯冲于胶北—胶南联合地体之下,直至达上地幔中,其保留的证据有:①榴辉岩本身存在一系列超高压变质矿物,如柯石英和金刚石等。②围岩的成分除铁镁和超铁镁变质岩团块外,其中有许多是含有高压矿物的副变质岩系,如含钙镁硅酸盐、石墨大理岩、蓝晶石石英岩和云母(多硅白云母)片岩、蓝片岩、含铁铝榴石条带花岗片麻岩等。③整个岩带原是由大小不等、性质不同的岩块和糜棱岩组成,属于碰撞俯冲混杂岩带。在挤压俯冲过程中成为典型的超级韧性剪切带,普遍具有高压、高温强烈塑性流变的特征。④各种大小不等的榴辉岩体和围岩的构造要素普遍保持高度一致;榴辉岩与围岩同褶皱,同变形,有的呈包体存在于片麻岩和大理岩等围岩中(图 2);有的在片麻岩中构成条带状构造,使两者密不可分。⑤按 Bruecker (1977)<sup>[17]</sup>对挪威西部加里东构造带中榴辉岩的锶同位素研究,认为地幔成因的榴辉岩( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub><0.704,而由地壳变质成因的榴辉岩,其( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub>>0.704。苏-鲁沿海榴辉岩,除山东日照梭罗村榴辉岩( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub>为 0.7033—0.7037<sup>[18]</sup>外,其它都>0.704,如莒南洙边榴辉岩为 0.7067,诸城祖家沟为 0.7074,青岛仰口达 0.7102<sup>[19]</sup>。表明榴辉岩在形成过程中有地壳物质和副变质岩系参加。⑥榴辉岩和围岩年龄的一致性。上述两条榴辉岩带中榴辉岩的年龄大多数落入印支期范畴(200—240Ma),如荣成迟店 232Ma,日照马家沟 207.8 Ma,日照垭口为 220.7Ma。在 50—60 年代,用 K-Ar 法测定的东海地区与榴辉岩有关围岩的年龄为 191Ma,193Ma,196Ma,199Ma,206Ma,214Ma,216Ma,236Ma 和 246Ma<sup>[20]</sup>,由此推想榴辉岩亦当属印支期。现有更精确方法测定的年龄资料,如 Rb-Sr 等时线年龄为 221.5Ma,<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar法年龄为 221.3±0.7Ma 等。⑦据初步研究,含钙镁硅酸盐大理岩中出现单斜辉石、

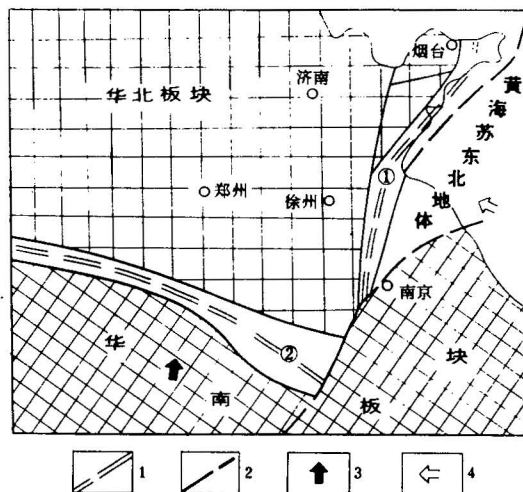


图 1 印支期(250—185Ma)中国东部活动大陆边缘板块和地体构造简化图

Fig. 1 Simplified plate and terrane tectonic feature of the eastern continent of China during Indosinian cycle

- 1—区域构造线走向; 2—地缝合线和主断裂;  
3—华南板块下行推覆和俯冲方向;  
4—古太平洋板块俯冲方向

1—strike of tectonic lineation; 2—suture and major fault;  
3—direction of downward thrust and subduction of the South China plate; 4—direction of collision and subduction of the Paleo-Pacific

石榴石、橄榄石以及阳起石及金云母等,并见到榴辉岩中常见的由单斜辉石与石英组成的乳滴状、微文象状和和指纹状后成合晶体(Symplektite)或出溶结构。这种结构一般认为是斜长石在高温(600—1100°C)、高压( $1.0 \times 10^8 \text{Pa}$ — $2.5 \times 10^8 \text{Pa}$ )<sup>[12,18,19,21]</sup>条件下转变和分解的结果。也发现单斜辉石中有富碱长石的出溶体(见图版 I—1,2,3,4)。由于在这一地区也发现柯石英,因此,推测其形成深度在 100km 以上。

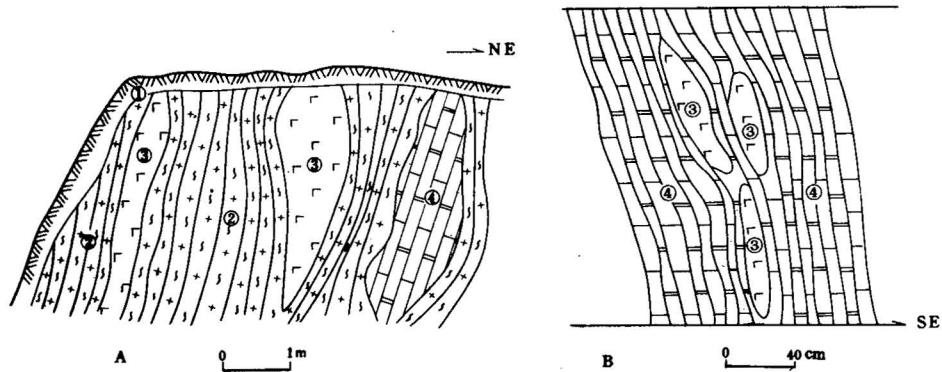


图 2 A. 片麻岩中的榴辉岩和大理岩囊团和透镜体素描图; B. 大理岩中的榴辉岩透镜体素描图

Fig. 2 A. Noddles and lens of eclogite and marble in gneiss; B. noddles of eclogite in marble

1—第四系; 2—条带状片麻岩; 3—榴辉岩; 4—大理岩(滕家石灰窑采石坑和石灰厂公路旁)

1—Quaternary; 2—gneiss; 3—eclogite; 4—marble

总之,上述一系列特征表明苏-鲁沿海榴辉岩带原是苏东北—黄海地体和胶北—胶南联合地体或胶东地体间的拼贴带的碰撞混杂岩带,曾整体地以 A-型俯冲的形式进入上地幔,并整体从上地幔返回地表。

## 2 印支期和燕山期中国东部古构造环境及其演化

目前,国内外大多数学者认为苏-鲁沿海榴辉岩带与秦岭—大别榴辉岩带属于同一个超高压变质带,是属中朝板块与扬子板块在印支期碰撞造山的产物,以后被左行的郯庐断裂所位移。笔者认为有多种证据表明它们是不同的构造环境下产生的两条独立的榴辉岩带,由于苏-鲁沿海榴辉岩带与秦岭—桐柏—大别榴辉岩带主体都形成于印支期,这就需要从中—新生代,特别是中生代中国东部构造环境及其演化的特征来探讨超高压变质岩带的形成和返回地表的原因和过程。板块的主体形成于海西末期<sup>[6,7]</sup>。由于初始欧亚板块和古太平洋板块(包括 Kula-Izanagi) 板块)都属于超级板块,因此,两者之间在整个印支期强烈的碰撞作用和所引起的远距离效应,导致整个亚洲东部宽广的活动大陆边缘的发育和许多与 B-型俯冲带相适应的呈 NE—NNE 和 NE—NNE—SN—NWW 弧形走向的造山带、韧性剪切带、A-型俯冲带、花岗岩带、中—酸性火山岩带和区域变质岩带的形成。任何忽视分布于中国东部超高压变质带与古太平洋板块和初始欧亚板块之间强烈作用的关系,是不能解释为什么 NWW—EW 走向的秦岭—桐柏—大别造山带和变质岩带中的榴辉岩相变质岩带主要集中分布于其东端大别山地段。为此,笔者认为只是从华北板块与扬子板块碰撞造山作用来解释榴辉岩带的形成和返回地表是不全面的;而只有将印支期初始欧亚板块与古太平洋板块间主要呈 NE—NNE 走向的强大

挤压力与华北板块和华南板块(印支期扬子板块已扩大为华南板块)间的主要呈南北向挤压力,以及更北面的西伯利亚板块,更南的印支板块等全球构造结合起来考虑这两条重要榴辉岩带的形成和分布问题则是正确和全面的。

应当指出:现在西太平洋活动大陆边缘不同于东太平洋安第斯型活动大陆边缘的特征,主要的表现有:①前者已发展为沟—弧—盆体系,后者为沟—弧体系;②前者在岛弧地带发育以安山岩为主的钙碱性火山岩系,而其大陆的南段(浙—闽—粤)和北段(冀—辽—吉—黑)是以流纹岩为主,中段以橄榄安粗岩系为主的火山岩系<sup>[21]</sup>。③西太平洋岛弧地带的安山岩系与东太平洋安第斯型安山岩系在岩石学、岩石化学和地球化学特征上很相近,表明它们与B-型俯冲机制有关。而中国东部大陆南北地段以及苏-鲁榴辉岩西部的胶莱火山岩盆地<sup>[22]</sup>都是以高硅、高碱、 $K_2O > Na_2O$ 、铝过饱和,低CaO、MgO,高( $^{87}Sr/^{86}Sr$ )<sub>i</sub>(一般为0.707—0.712,甚至达0.720)以及 $\delta Eu$ 亏损为特征的以流纹岩为主的火山岩系,充分表明它们是有大量地壳的沉积物参加,因此,A-型俯冲机制和有关的榴辉岩与它们的形成有密切的联系。

长期以来,许多中国地质学者认为中国东部在印支期褶皱运动之后,从燕山期便开始进入块断裂时期。从现代构造观点出发,即海西末,初始的欧亚板块与古太平洋板块强烈挤压后,便进入长期弧后扩张时期,中国大陆东部褶皱作用、陆内俯冲作用和区域变质作用等几乎趋于停止,产生一系列与拉伸作用有关的中侏罗世—早白垩世的火山岩盆地和晚白垩世的红色盆地。

第三纪弧后扩张作用进一步加强。中国东部大陆的构造—岩浆作用演化进入一个新阶段;几乎一切类型花岗岩和中—酸性火山喷发作用及其有关矿床完全消失,代之以与裂谷机制有关的玄武岩。中新世边缘海形成,沟—弧—盆构造格架建立。苏—鲁榴辉岩带进一步被拉伸至地表;与板块俯冲机制有关的钙碱性岩浆的侵入和喷发作用转移到逐渐从大陆解离出去的现岛弧地带。

### 3 碱性花岗岩带与榴辉岩带的共存是榴辉岩带返回地表的重要标志

#### 3.1 榴辉岩带主要是燕山中—晚期(130—70Ma)和新生代由拉伸作用返回地表

印支期初始欧亚板块与古太平洋板块发生强烈挤压导致苏东北—黄海地体向华北板块俯冲形成苏—鲁沿海榴辉岩带后,随后在燕山期早—中期,中国东部活动大陆边缘便开始发生大规模中—酸性火山喷发和侵入作用,并进入由挤压向拉张构造环境转化的过渡时期,表现出褶皱作用趋于停止,块断和拗陷作用普遍发育,地壳减薄和地幔上拱等现象明显。在胶东,榴辉岩带以西的燕山中期的胶莱火山岩盆地,已表现出拉张的构造特征,该盆地火山岩系的厚度达2000—8000m,表明基底地壳的厚度已拉薄至20km左右。至白垩纪中—晚期(130—70Ma),中国东部活动大陆边缘明显进入弧后扩张时期;至100Ma,钙碱性火山岩系及有关侵入岩几乎停止发育,代之以非造山的碱性花岗岩、碱性和偏碱性侵入岩和火山岩,同时,广泛发育拉伸作用形成的红色盆地。虽然西太平洋型沟—弧—盆(边缘海)构造格架是在中新世才开始形成的,但在这一时期以前,即从中—晚侏罗世开始中国东部活动大陆边缘地壳的拉伸、增长和减薄作用却表现得十分明显。曾俯冲进入上地幔的苏—鲁沿海榴辉岩带,就是在这—拉伸时期从上地幔返回地表的<sup>[6,7]</sup>。下面论述其证据和标志。

#### 3.2 沿海碱性花岗岩带

笔者认为最有说服力的证据是:印支期具有强烈塑性流变特征的苏—鲁沿海榴辉岩带与非造山的、无构造变形的、晶洞状构造发育的A-型或典型钠闪石碱性花岗岩带密切的平行关系

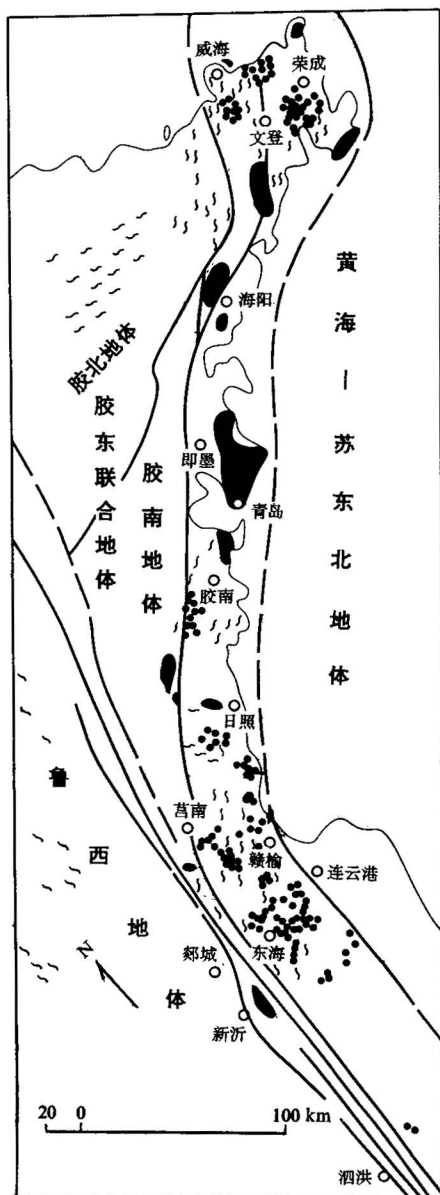


图3 苏-鲁沿海印支期超高压变质带和燕山晚期碱性花岗岩带的分布关系和构造环境

Fig. 3 Tectonic setting of the Indosinian ultra-high-pressure meta-morphic belt and the Late Yanshanian alkali-granite belt in the Su-Lu coastal region

(图3)。此条燕山中—晚期(130—70Ma)花岗岩带由北东到南西为:荣成石岛—三佛山(97Ma, 84.9Ma, 67.3Ma, 65.2Ma)—海阳(120Ma, 90.7Ma)—崂山(132Ma, 101Ma)—青岛(103.9Ma)—日照(<122Ma)—莒南(107Ma, 100Ma, 97Ma)—赣榆黑林—海州新沂桃林踢球山(96Ma)<sup>[22,23]</sup>。

中国东部大陆沿海碱性花岗岩带延长极长,由海州向南经苏南、浙江直至福建南端<sup>[24]</sup>。向北经韩国、中国的黑龙江直至俄罗斯鄂霍茨克和楚科奇地区<sup>[25]</sup>,延长达2000km以上,同时,广泛分布的红色盆地充分表明燕山中—晚欧亚板块东缘活动大陆边缘的弧后扩张作用的客观存在。

### 3.3 西太平洋沟—弧—盆体系形成于中新世

第三纪弧后扩张作用明显增强,东部大陆的构造—岩浆作用演化进入一个崭新阶段,几乎一切类型花岗岩类和中—酸性火山喷发作用及侵入作用及其有关的矿床完全消失,代之以与裂谷机制有关的一类玄武岩。与板块俯冲机制有关的钙碱性岩浆的喷发和侵入作用转移到逐渐从大陆解离和迁移出去的岛弧地带;从中新世开始到现在完成了沟—弧—盆(边缘海)构造格架。而中国东部大陆自晚白垩世开始广泛发育与弧后裂谷机制有关的碱性和高铝玄武岩。从中新世开始才实现了沟—弧—盆(边缘海)构造格架。而且在进一步发展。新生代在渤海和北黄海地区,上万米厚的沉积,表明基底地壳的厚度已拉薄至20km以下。因此可以推论自燕山期,特别自130Ma以来,长时期大规模的弧后扩张作用,在一定的构造背景下,足以使俯冲到上地幔的超高压变质岩带重新拉回地表。

### 3.4 其它证据

在榴辉岩带向上拉伸过程中,伴随着一系列有意义的地质现象:①榴辉岩带中各种岩石普遍地、不同程度地发生退变质现象,如绿辉石和石榴石→次闪石→黑云母(图版I—5,6)、金云母、碱性长石→绿泥石、蛇纹石、碳酸盐、石英;含 $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 的金红石→钛铁矿→榍石;②低温低压条件下形成的著名的东海的水晶矿(有时为巨大的晶洞)皆产于榴辉岩的接触带、裂隙和破碎构造中;

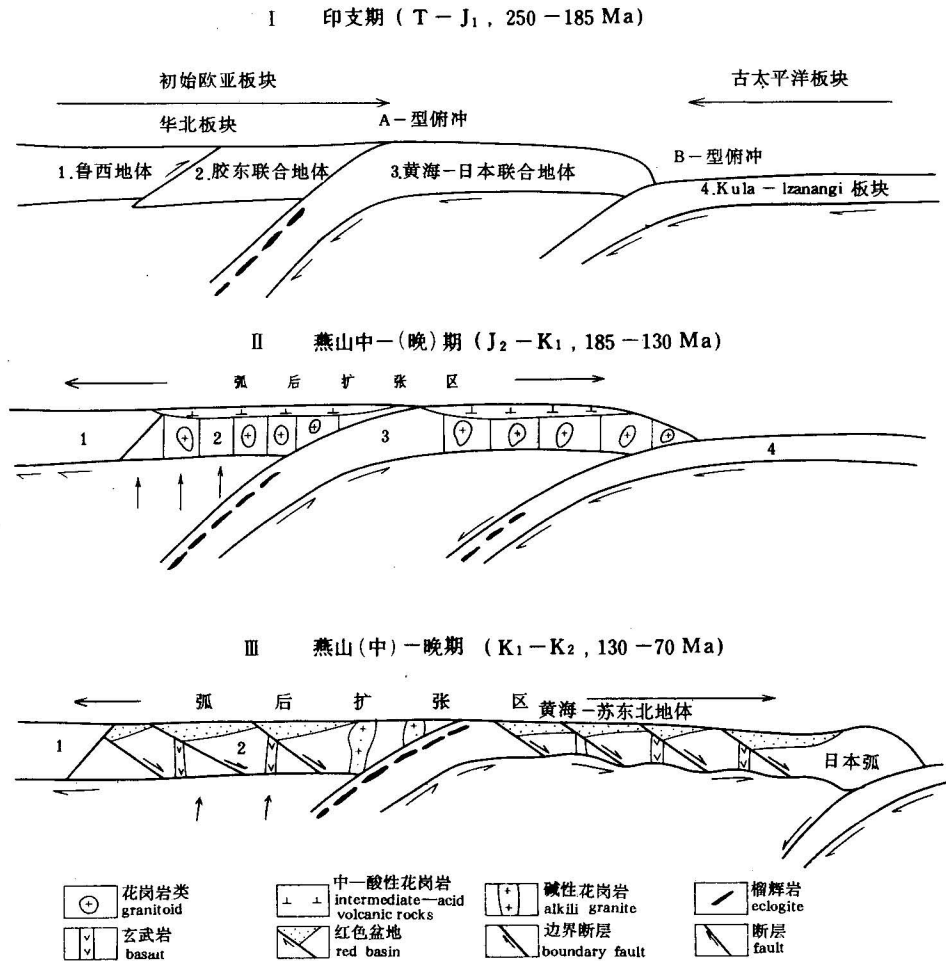


图 4 欧亚板块与古太平洋板块的构造演化与榴辉岩带的形成和返回地表的构造机制

Fig. 4 Geological features and evolutionary development associated with the initial Eurasian and Pacific plate compression collisions and subduction during the Mesozoic Era (250–70Ma)

其围岩蚀变有蛭石化、绿帘石化、镜铁矿、钠长石化等；③榴辉岩体轴线产状平缓的石香肠、窗棱和杆状构造十分发育。笔者认为这些构造是在榴辉岩带向下俯冲和向上拉伸过程中形成的。

### 3.5 苏-鲁沿海榴辉岩带形成和返回地表的机制和模式

徐树桐<sup>[11]</sup>、Okay、Sengor<sup>[27]</sup>认为上述中国东部超高压变质岩带出露地表是由于碰撞后喜马拉雅式陆内推复 (Postcollisional Himalayan-type inter-continental thrusting) 和侵蚀作用的结果，而事实上，中国东部大陆在印支期初始欧亚板块与太平洋板块强烈挤压俯冲后，便进入了长期的弧后扩张时期，其所引起的拉伸作用，地壳和岩石圈拉薄、增长和地幔上拱作用等长期控制着中国东部活动大陆演化发展，直至演变为现今的西太平洋式的沟—弧—盆体系。晚白垩世是重要转折时期，榴辉岩带的出露和碱性花岗岩带的叠置，是解决上述问题的主要标志，可用图 4 来阐述苏-鲁榴辉岩带形成的机制和返回的模式。

(1) 印支期 (250–185Ma): 古太平洋发生 B 型俯冲，带动中国东部大陆边缘发生陆内 A

型俯冲发生,并在俯冲板块上形成高压榴辉岩(图 4— I)。

(2)燕山中(一晚)期(185—130Ma):弧后盆地进入扩张期,伴随着玄武岩、中酸性火山岩以及碱性花岗岩的喷出(图 4— II)。

(3)燕山(中—)晚期(130—170Ma):此时中国东部大陆继续处于拉张状态,地壳和岩石圈减薄,地幔上拱,致使榴辉岩出露,并与碱性花岗岩带共存(图 4— III)。

### 参 考 文 献

- 1 Виноградов А. П. О происхождение вещества земной коры. Геол. 1961, 1: 3—30.
- 2 Хитаров Н. И., Пугин В. А. Оливиновый толеит его плавление и эволюция в Р-Т условиях эксперимент. Геол. 1972, 12: 1470—1482.
- 3 地质科技动态编辑部. 从地幔返回地表的超高压变质岩. 地质科技动态, 1993, 1: 20—24.
- 4 从柏林, 张儒瑗, 李曙光. 中国苏北—胶东南高压变质带的同位素地质年代初探. 岩石圈构造演化开放研究实验年报, 1990: 73—76.
- 5 韩宗珠. 山东荣成榴辉岩和石榴石橄榄岩的岩石学、矿物化学及其成因. 青岛海洋大学学报, 1992, 1: 61—70.
- 6 胡受奚, 郭继春, 胡志宏. 我国东部中、新生代构造—岩浆特征、演化及其与构造环境演化的联系. 江苏地质, 1992, 3/4: 129—136.
- 7 胡受奚. 有关中、新生代中国东部活动大陆边缘构造—岩浆作用发展、演化有关问题的沉思录. 地质科学, 增刊, 1992, 4: 40—46.
- 8 И. С. 罗日科夫. 金刚石矿床的地质特征与科学研究任务. 国外金刚石矿床的地质特征及普及方法, 1960: 1—15.
- 9 В. С. 索波列夫. 金刚石的形成条件. 国外金刚石矿床的地质特征及普及方法 中国工业出版社, 1960: 27—38.
- 10 徐树桐, 苏文, 刘贻灿. 大别山东段高压变质岩中的金刚石. 科学通报, 1991, 36(17): 1318—1320.
- 11 徐树桐等. 大别山的构造格局和演化. 科学出版社, 1994.
- 12 韩宗珠. 威海地区高压岩石组合及其成因演化. 青岛海洋大学学报, 1993, 3: 69—80.
- 13 Becker H, et al. Evidence from ultra-high-pressure for recycling of sediment into the mantle. Nature, 1992, 358 (6389) 745—748.
- 14 White W M. Surviving Subduction. Nature, 1992, 358(6389)714—715.
- 15 Н. В. 索波列夫等. 变质岩石榴石中的金刚石包裹体——金刚石形成的新环境. 地质科技动态, 1991, 4: 1—6.
- 16 Соболев Н В, ДАН СССР. 1976, 230(6): 1442—1444.
- 17 Bruecker H K. A crustal origin for eclogites and mantle origin for garnet peridotites: strontium isotopic evidence from clinopyroxene. Contrib. Mineral. petrol. 1977, 60(1)1—15.
- 18 杨建军. 苏-鲁榴辉岩及有关超基性岩. 地质出版社, 1991.
- 19 韩宗珠, 胡受奚, 赵广涛, 赵懿英, 徐兵. 中国东部榴辉岩的岩石学特征及其  $PTt$  轨迹研究. 南京大学学报, 1994, 30(1): 86—97.
- 20 全国同位素地质年龄数据汇编. 第一集(1979), 第二集(1977), 第三集(1986), 地质出版社.
- 21 吴利仁. 华东及邻区中—新生代火山岩. 科学出版社, 1984.
- 22 山东省地质矿产局. 山东省区域地质志. 地质出版社, 1982.
- 23 周亚东. 青岛—崂山 A—型花岗岩的地质地球化学的特征. 南京大学学报(地球科学版), 1991, 3: 92—107.
- 24 迟效国. 山东五莲—日照中生代花岗岩浆生成和侵位的幔壳穹隆机制. 中国北方花岗岩及其成矿作用, 地质出版社, 1991: 127—131.
- 25 涂光炽, 张玉泉, 赵振华. 华南两个富碱侵入岩带的初步研究. 花岗岩地质和成矿关系, 江苏科学技术出版社, 1984: 21—37.
- 26 洪大卫. 福建沿海晶洞花岗岩带的岩石学和成因演化. 科学出版社, 1987.
- 27 Okay A L, Sengor A M C. Evidence for intracontinental thrust-related exhumation of the ultra-high-pressure rocks in China. Geology, 1992, 20: 411—414.

### 图 版 说 明

1. 含钙镁硅酸盐大理岩中单斜辉石与石英的文象状后合成结构; 正交×85 荣成滕家石灰窑。
2. 榴辉岩中单斜辉石与石英的文象状后合成结构; 正交×85 荣成滕家。



3. 单斜辉石中碱性长石(富钾)的出溶体;正交 $\times 130$  荣成滕家石灰窑。
4. 榴辉岩中单斜辉石与石英的指纹状后合成结构;正交 $\times 85$  荣成滕家。
5. 榴辉岩中绿辉石的角闪石的反应边结构;刘公岛。
6. 柯石英榴辉岩;刘公岛。

## EVIDENCE FOR THE JIANGSU—SHANDONG ULTRA-HIGH-PRESSURE METAMORPHIC BELT RETURNS FROM THE UPPER MANTLE TO THE EARTH SURFACE IN THE MESOZOIC—CENOZOIC

Hu Shouxi, Zhao Yiyang, Xu Bing, Lu Bing, Ji Haizhang

*(Department of Geosciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu)*

Ye Ying

*(Department of Geosciences, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang)*

### Abstract

This paper deals with the characteristics of the Jiangsu—Shandong (Su-lu) Indosinian (250—190 Ma) ultra-high-pressure metamorphic belt, i. e. the coesite- and diamond-bearing eclogite belt, and evidence of its exhumation. More than one thousand eclogite bodies of varying size are scattered in the Su-lu eclogite belt, which extends northeasterly about 350 km and has an average width of about 10 km. The rock association includes A-, B- and C-type eclogites, garnet- and garnet-quartz pyroxenite, garnet-phengite gneiss, kyanite schist, kyanite quartzite, blueschist and calc-silicate (containing clinopyroxene with exsolution lamellae of alkali-feldspar) marble.

From a view-point of plate and terrane tectonics, the Su-lu eclogite belt was a collisional melange belt formed as a result of A-type subduction induced by the intense collision between the initial Eurasian and Paleo-Pacific plates in the Triassic and then became a super-ductile shear belt. During the post-Indosinian collision, especially in the Middle—Late Yanshanian (130—70 Ma) and Cenozoic, the active continental margin of eastern China entered into the period of intense back-arc spreading, which led to the formation of alkali granite belts (130—70 Ma) along the eclogite belt and the subsidence of many extensional red basins (100—70 Ma) and Cenozoic depression. These lines of evidence demonstrate the elevation of the ultra-high-pressure metamorphic belt from the upper mantle to the earth surface.

**Key words:** Ultra-high-pressure eclogite belt, back-arc-spreading, alkali granitic belt, extensional basin

### 作者简介

胡受奚, 1929年12月生。1952年毕业于浙江大学。长期从事矿床学、岩石学和地球化学方面的研究。现为南京大学地球科学系教授、博士生导师。通讯地址: 南京汉口路南京大学地球科学系。邮政编码: 210093。

