



国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



大别山超高压变质作用 与碰撞造山动力学

《大别山超高压变质作用与碰撞造山动力学》编写组 著

Earth

科学出版社



国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



大别山超高压变质作用 与碰撞造山动力学

《大别山超高压变质作用与碰撞造山动力学》编写组 著

科学出版社

内 容 简 介

本书主要包括六方面的内容:①大别山碰撞造山带的地质构造;②大别山-苏鲁地区的超高压变质作用;③大别山超高压变质岩的年代学及冷却史;④大别山碰撞造山带的地球化学结构;⑤大别山造山带的深部结构;⑥陆-陆碰撞造山带的地球动力学。

本书可供从事变质岩石学、同位素年代学、造山带构造地质学、大陆动力学研究的科研人员参考,并可作为在相关领域进行深造的高年级大学生和研究生的专业参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大别山超高压变质作用与碰撞造山动力学/《大别山超高压变质作用与碰撞造山动力学》编写组著. —北京:科学出版社,2005

ISBN 7-03-015046-5

I. 大… II. 大… III. ①大别山-高压低温变质带-地质构造-研究②大别山-碰撞-造山运动-地球动力学 IV. P548.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 018443 号

责任编辑:谢洪源 韩 鹏/ 责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬/ 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 5 月 第 一 版 开本:787×1092 1/16

2005 年 5 月第一次印刷 印张:13 插页:9

印数:1—1 000 字数:311 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

目 录

第一章 绪论	(1)
参考文献	(5)
第二章 大别山碰撞造山带的地质构造	
..... 徐树桐 索书田 钟增球 刘贻灿 陈冠宝	(8)
2.1 大别山造山带的构造-岩石单位和几何结构	(9)
2.2 大别山造山带运动学特征	(19)
2.3 大别山造山带的变形构造	(27)
2.4 小结	(35)
参考文献	(35)
第三章 大别山-苏鲁地区的超高压变质作用	从柏林 王清晨 叶凯 刘景波 (40)
3.1 超高压变质岩的形成深度	(41)
3.2 超高压变质岩折返的 P - T 轨迹	(46)
3.3 超高压变质过程中的流体活动	(51)
3.4 小结	(56)
参考文献	(57)
第四章 大别山超高压变质岩的年代学及冷却史	李曙光 李秋立 侯振辉 (64)
4.1 超高压变质条件下的放射性同位素体系及年代学方法	(65)
4.2 大别山-苏鲁地区超高压变质岩年龄及冷却史	(83)
4.3 大别山造山带的年代学框架	(94)
参考文献	(111)
第五章 大别山碰撞造山带的地球化学结构	张本仁 张宏飞 高山 匡少平 (118)
5.1 北大别变质杂岩与南大别超高压变质单元结构关系的地球化学约束	(119)
5.2 大别山造山带主体属于扬子块体的地球化学证据	(132)
5.3 大别山造山带的构造格架	(139)
5.4 岩石物理性质与现今地壳结构和组成	(142)
5.5 小结	(152)
参考文献	(153)
第六章 大别山造山带的深部结构	袁学诚 刘福田 徐佩芬
唐文榜 徐新忠 左愚 金昕 伍宗华 李善芳 金维俊 华九如 袁维正	(159)
6.1 大别山的地震测深	(160)
6.2 大别山-苏鲁造山带的地震层析成像	(168)

6.3 小结	(183)
参考文献	(183)
第七章 陆-陆碰撞造山带的地球动力学	王清晨(186)
7.1 大别山超高压变质岩的折返过程	(188)
7.2 大别山造山带的运动学结构	(191)
7.3 大别山碰撞造山带形成的地球动力学	(194)
7.4 小结	(201)
参考文献	(201)
第八章 结语	(205)
参考文献	(209)
彩图	
附图: 1. 大别山造山带构造地质图(1/50 万)	
2. 大别山造山带构造纲要图(1/50 万)	

第一章 绪 论

摘要:自 20 世纪 80 年代超高压变质岩被发现以来,在超高压变质作用研究领域,中国科学家已取得了六项重要进展,即:①发现了大批超高压变质岩,使中国的大别山-苏鲁超高压变质岩带成为世界之最;②通过细致的矿物学研究,确认低密度的陆壳岩石可以被俯冲到地下 200 多公里深处,经历超高压变质作用;③查明了含柯石英榴辉岩的多硅白云母含大量过剩氩,然而高压变质矿物的 Sm-Nd, Rb-Sr 体系可达到平衡。多种同位素体系定年结果证明大别山-苏鲁超高压变质岩形成于三叠纪,它的折返过程至少经历了两次快速冷却过程,且超高压变质岩及其围岩具有相同的变质时代和冷却史;④对超高压变质岩中氧、碳、氢等同位素的研究进一步表明,超高压变质作用过程中并无大规模流体活动,大别山-苏鲁超高压变质岩异常低的 $\delta^{18}\text{O}$ 值表明大气水的氧同位素成分可被带到地幔深处而不改变;⑤层析成像和反射地震测深的初步研究表明,在发育超高压变质带的碰撞造山带之下可识别出俯冲的大陆残片;⑥通过对岩石学、矿物学、年代学、构造地质学、地球物理学等多学科资料的综合研究,提出了超高压变质地体的多阶段折返模式。1997 年开始执行的国家自然科学基金重大项目“超高压变质作用与碰撞造山带动力学”分设 5 个课题,分别研究大别山造山带的构造几何学和运动学,大别山-苏鲁地区超高压变质作用与形成环境,大别山造山带结构、形成和演化的地球化学约束,碰撞造山带的岩石圈细结构和超高压变质作用与碰撞造山动力学。

关键词:超高压变质岩;碰撞造山带;大别山;中国

Chapter 1 INTRODUCTION

Abstract: Study on the ultra-high pressure metamorphic (UHPM) rocks from China has been conducted since 1980s when the first piece of UHP rock was discovered. Progresses so far made in the field could be summarized as follows. ① The Dabieshan-Su-Lu UHPM belt has been well-known since many new outcrops of UHPM rocks were found. ② Mineralogical evidences indicate that the continental crust rocks with low density could subduce down to depth of $>200\text{km}$ and undergo UHPM. ③ The existence of excess Ar in phengites from coesite-bearing eclogites and isotopic equilibrium between UHPM minerals for Sm-Nd and Rb-Sr isotopic systems have been confirmed. The geochronology data show that UHPM rocks from the Dabieshan-Su-Lu area were formed in the early Triassic, they experienced two rapid cooling events during their exhumation process at least, and the UHPM rocks as well as their country rocks have the same metamorphic

age and cooling history. ④ Fluids were not active and oxygen isotope composition of meteoric water could be preserved during UHPM process, as is evidenced by O-, C-, and H- isotope data. ⑤ Seismic tomographic image displayed relic subducted slab, which is preserved under the UHPM rock bearing orogenic belt. ⑥ Multistage models were suggested to explain the exhumation of the UHPM terrain. A key project "Dynamics of the ultrahigh-pressure metamorphism and collision orogenic belt" was launched by the National Natural Science Foundation of China in 1997. The project is subdivided into 5 sub-projects, which study the geometry and kinematics, metamorphism, geochemical characters, and high resolution structures, as well as the geodynamics, of the Dabieshan orogenic belt.

Key words: UHP rock; Collision-type orogenic belt; Dabieshan; China

国际上对超高压变质岩的研究始于1984年(Smith, 1984; Chopin, 1984)。在西阿尔卑斯山陆壳变质岩和挪威榴辉岩中发现了柯石英后,在瑞士、哈萨克斯坦以及我国大别山-苏鲁地区也相继找到了含柯石英和金刚石的超高压变质岩(Xu, 1987; Yang and Smith, 1989; Okay et al., 1989; Wang et al., 1989; Enami and Zang, 1990; Xu et al., 1992)。随之,国际上掀起了超高压变质作用的研究热潮和激烈的国际竞争。我国的大别山-苏北-胶东南的超高压变质岩带规模最大、出露最好、岩石种类最多,已成为世界瞩目的研究基地。美、日、英、德、法、意及俄罗斯等国科学家分别与我国科学家开展了合作研究。中外科学家的研究兴趣和关注焦点是共同的,均致力于超高压变质岩的矿物学与岩石学,同位素年代学,微量元素与同位素地球化学,变质作用的 P - T - t 轨迹,超高压变质岩形成的构造环境与折返机制,超高压变质地体的结构构造,以及其地球动力学背景等。这些研究已经取得了丰硕成果,近10年仅有大别山-苏鲁地区超高压变质带的研究论文就达数百篇,并集中反映在Lithos、International Geology Review、Island Arc、科学通报等刊物的专刊和一些专著中(Coleman and Wang, 1995; Cong, 1996; Hacker and Liou, 1998; Liou et al., 1995; Liou et al., 1998)。除超高压实验研究外,可以说对大别山-苏鲁超高压变质带的研究反映了国际上在该领域研究的现状和水平。

我国虽然对榴辉岩的研究在20世纪60年代就已开始(王鹤年, 1963),但真正注意到超高压变质岩是在1987年,许志琴在她的博士论文(Xu, 1987)中指出大别山-苏鲁发育含柯石英榴辉岩。许志琴的发现引起了国际同行的重视,法国D. C. Smith、土耳其A. M. C. Sengör和A. I. Okay、美国J. G. Liou和R. G. Coleman、日本S. Banno等率先寻求与中国科学家的合作,共同研究中国的超高压变质岩,并于1989年分别由Okay等(Okay et al., 1989)、王小民等(Wang et al., 1989)、杨建军和Smith(Yang and Smith, 1989)及张儒璠等(Zhang et al., 1989)分别报道了我国大别山-苏鲁地区许多以前不为人知的超高压变质岩。

国际岩石圈计划先后设立第Ⅲ-6任务组(1994~1998)和第Ⅲ-8任务组(1999~2003),分别以“超高压变质作用和碰撞造山带地球动力学(Ultrahigh-pressure Metamorphism and Geodynamics in Collision-Type Orogenic Belts)”和“超高压变质地体的形成-折返过程与地球动力学(Processes and Geodynamics in Formation and Exhumation of the Ultrahigh-pressure Metamorphic Terrains)”为主题,这两个任务组均由中国科学家担任主席和秘书,自1994年起每

年召开国际性超高压变质作用与碰撞造山作用的研讨会。自 1996 年起,美国 AGU 的年会也专门设立超高压变质作用的特别研讨会。1996 年和 2000 年召开的第 30 届和 31 届国际地质大会均专门设立了超高压变质作用的分会场。特别值得指出的是,第 3 届国际榴辉岩野外学术讨论会于 1995 年在我国大别山举行,国际大陆科学钻探计划委员会于 1999 年批准了中国大陆科学钻探计划(CCSDB),世界上第一口穿透超高压变质带的 5000m 深钻于 2001 年 8 月在我国江苏省东海县开钻。广泛的国际合作和学术交流,大大地促进了该研究领域的进展,并使之成为国际固体地球科学最热门的研究对象之一。

自有关超高压研究的国际岩石圈计划启动以后,国内外超高压变质作用研究取得了很大进展,可概括为如下六方面:

1) 新的高压-超高压露头不断在世界各地被发现,包括东格林兰榴辉岩省,吉尔吉斯斯坦北天山,中国西天山(张立飞等,2000),坦桑尼亚莫桑比克造山带,印度尼西亚含柯石英地体,德国艾斯博格地块等(Massonne, 2001)。在岩石种类方面,不仅发现了经历过超高压变质作用的榴辉岩,而且发现了超高压硬玉石英岩、大理岩、片岩、花岗质片麻岩、超镁铁质岩等(Hirajima et al., 1990; Xu et al., 1992; Wang and Liou, 1991, 1993; Yang et al., 1993; Cong et al., 1995; Zhang et al., 1995; Cong, 1996)。同时,在花岗质片麻岩的锆石中发现了柯石英或金刚石包体,表明超高压变质带中的多数岩石可能普遍经历了超高压变质(Ye et al., 2000; Liu et al., 2001)。这些发现表明高压和超高压变质岩的时空分布远超出以往人们的认知范围。

2) 除发现了超高压变质生成的柯石英、金刚石外,还发现了在极高压下发生的矿物固溶体出溶,如橄榄石中钛铁矿和铬铁矿出溶(10~15GPa)、透辉石出溶斜顽辉石(~8GPa)、石榴子石中出溶单斜辉石、金红石和磷灰石(>7GPa)。其中,石榴子石中单斜辉石的出溶指示了早期镁铁榴石质石榴子石(majoritic garnet)的存在,表明大陆壳物质已经被俯冲到大于 200km 的地幔深处(Dobrzhinetskaya et al., 1996; Ye et al., 2000)。

3) 发现超高压榴辉岩的多硅白云母含大量过剩氩,解决了它们的 Ar-Ar 和 K-Ar 年龄与其他同位素年龄矛盾的问题(Li et al., 1994)。另一方面,尽管在低温榴辉岩中发现高压变质矿物之间的 Nd 同位素不平衡,但高压变质矿物的 Sm-Nd, Rb-Sr 体系可达到平衡(Li et al., 2000)。采用多种同位素定年方法(Sm-Nd, Rb-Sr, U-Pb),确定了超高压变质岩及其围岩的原岩和变质时代,发现同一地质单元的超高压变质岩及其围岩具有相同的变质时代和冷却史(Li et al., 2000),确定了超高压变质作用的全球不同时期性,如挪威是古生代、大别山-苏鲁地区是中生代、阿尔卑斯是新生代。对超高压变质岩变质演化进行了相当精确的 $P-T-t$ 途径研究,而且确认超高压变质作用是在低的地温梯度下进行的,超高压变质岩从 100~200km 的深度折返至地表的速率非常快,例如,西阿尔卑斯山超高压变质岩从地幔深处折返至地壳浅部仅需 5Ma(Gebauer et al., 1997);然而不同构造带的超高压变质岩的折返和冷却历史不完全相同,例如,大别山超高压变质岩从地幔深处折返至上地壳时,在三叠纪和侏罗纪经历两次快速冷却和抬升事件(Li et al., 2000)。

4) 微量元素和同位素地球化学研究得到了以下重要信息:①Sr、Nd 同位素地球化学研究表明超高压变质岩大多具有相当低的 ϵ_{Nd} 值(-6~-20),它们的原岩已在大陆壳中滞留了很长时间,超高压变质岩是古老陆壳深俯冲变质而成(Li et al., 1993);②叠加麻粒岩相

变质的威海柯石英榴辉岩保存了地球上最高的全岩 ε_{Nd} 值 (+170 ~ +264) 以及极强的 Sm/Nd 分馏 ($f_{\text{Sm}/\text{Nd}} = 4.6 \sim 6.2$) (Jahn et al., 1996); ③中国江苏青龙山榴辉岩保存了世界变质岩中最低的氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 值 (-10 ~ -12, SMOW), 表明表壳岩中大气水的氧同位素成分在俯冲到地幔深处时没有受到改造 (Yui et al., 1995; Zheng et al., 1996)。

5) 早在 1982 年 Roecker 就宣称, 根据帕米尔下面的地震波速度可识别出消减的大陆地壳可达 100km 深, 而且根据地震资料分析, 全球现代正在发生大陆俯冲的地方有 7 处。对大别山-苏鲁地区的层析成像和反射地震测深研究表明, 在发育超高压变质带的碰撞造山带下可识别出俯冲的大陆残片 (Xu et al., 2000)。

6) 关于超高压变质岩的折返过程具有重要的地球动力学意义, 迄今已有数种假说发表, 仅对大别山-苏鲁超高压变质岩而言, 就已达四类之多, 分别强调浮力、剥蚀、挤出楔及板块断离机制 (Ernst et al., 1994; Nie et al., 1994; Maruyama et al., 1994; Davies and von Blanckenburg, 1995)。另一方面, 我国科学家通过对岩石学、矿物学、年代学、构造地质学、地球物理学等多学科资料的综合研究, 提出了多阶段折返模式, 指出超高压变质地体是经过同碰撞挤出、浮力底辟、热隆起剥蚀等三个阶段才出露地表的 (Wang and Cong, 1996, 1999)。

令人欣喜的是, 在上述研究中, 我国大别山-苏鲁碰撞造山带已被公认为世界上规模最大、出露最好的超高压变质带。国家自然科学基金委员会不失时机地抓住这一国际前沿问题, 于 1992 年启动了“八五”重点项目“大别山-苏北-胶东南超高压变质岩带及其大地构造意义”。之后, 又于 1997 年启动了重大项目“超高压变质作用与碰撞造山带动力学 (No. 49794040)”。本书即为对这一重大项目研究成果的初步总结。

该项目旨在以大别山-苏鲁碰撞造山带为基地, 抓住超高压变质作用研究这一国际前沿性科学问题, 发挥我国拥有大别山-苏鲁超高压变质岩带这一地理优势, 通过地质、地球化学、地球物理等学科的综合研究, 厘定大别山碰撞造山带的构造格局与三维结构, 探讨超高压变质作用与碰撞造山的动力学机制, 力求在固体地球科学基础理论上有所突破和创新。本项目共设 5 个课题, 其主要研究内容为:

第 1 课题 大别山造山带的构造几何学和运动学

课题负责人: 徐树桐、游振东

通过综合研究, 确定镁铁-超镁铁质岩的构造背景; 进行路线填图和典型地区的大比例尺填图, 研究重要构造岩石单位及其间的韧性剪切带, 分析其构造几何学、运动学和岩石在不同构造层次的流变学特征, 确定大别山构造几何学和运动学特征及超高压变质带的折返机制和演化历史。

第 2 课题 大别山-苏鲁地区超高压变质作用与形成环境

课题负责人: 从柏林、王清晨

通过精细的岩石学、矿物学、同位素地球化学和年代学研究, 查明大陆岩石圈超高压变质作用过程, 测定超高压变质岩及其围岩的 P - T 轨迹, 重建冷却史, 探讨地壳和地幔间相互作用过程, 查明超高压变质作用发生的构造环境及地球动力学背景。

第 3 课题 大别山造山带结构、形成和演化的地球化学约束

课题负责人: 张本仁、高山

开展岩石高温高压下物性和元素行为的实验研究, 发挥地球化学示踪壳幔物质交换和

深部过程的优势,研究大别山造山带各结构层的化学组成及热结构,探讨造山带的构造格架与发展过程,为阐明超高压变质岩的形成与碰撞造山作用提供约束。

第4课题 碰撞造山带的岩石圈细结构研究

课题负责人:袁学诚、刘福田

选择横穿大别山造山带的地质断面以深反射地震为主,地震层析成像为辅,结合重、电、磁等地球物理手段,研究大别山超高压变质带的深部构造与碰撞造山带的岩石圈细结构。

第5课题 超高压变质作用与碰撞造山动力学综合研究

课题负责人:孙枢

在第1至4课题基础上,进行跨学科综合研究,协调地质、地球化学和地球物理综合地质断面研究,编制大别山造山带地质图(比例尺:1/50万)和大别山造山带构造纲要图(比例尺:1/50万);确定华北、扬子板块间缝合带的位置;在碰撞造山过程的格架中考察超高压变质岩的形成-折返过程,建立统一的地球动力学模型。

为保障项目的顺利进行,在国家自然科学基金委员会领导下成立了学术领导小组,由孙枢院士任组长,其他组员包括从柏林研究员,高山教授、李曙光院士、刘福田研究员、索书田教授、王清晨研究员(兼任秘书)、徐树桐高级工程师(教授级)、袁学诚高级工程师(教授级)和张本仁院士。

共有96名科研骨干先后参加了该项目的研究,他们分别来自中国科学院地质与地球物理研究所、安徽地质调查院、中国地质大学(武汉)、中国地质勘查技术院和中国科技大学地球与空间科学系。几年来,项目组成员以“创新、求实”的精神,兢兢业业,踏踏实实,野外考察不畏艰苦,室内测试精益求精,取得了大量第一手资料。本书将要展现的就是项目组全体成员辛勤耕耘的成果。

关于本书的署名,我们采用“《大别山超高压变质作用与碰撞造山动力学》编写组”的形式。这主要是考虑到书中的成果是项目所属5个课题共同努力所致。当然,书中除绪论和结语外的各章都有具体署名,他们都是相应领域的专家,既可担负文责,又便于成果引用。

参 考 文 献

- 王鹤年. 1963. 苏北榴辉岩的特征及成因探讨. 南京大学学报(地质学), (1): 109 ~ 122
- 张立飞, 高俊, 艾克拜尔, 王宗秀. 2000. 新疆西天山低温榴辉岩相变质作用. 中国科学(D辑), 30: 345 ~ 355
- Chopin, C. 1984. Coesite and pure pyrope in high-grade blueschists of the western Alps: a first record and some consequences. Contrib. Mineral. and Petrol., 86: 107 ~ 118
- Coleman, R G, Wang X. 1995. Ultrahigh-Pressure Metamorphism. Cambridge University Press. 528p
- Cong Bolin (ed). 1996. Ultrahigh-pressure Metamorphic Rocks in the Dabieshan-Sulu Region of China. Science Press, Beijing, China, Kluwer Academic Publishers. 224p
- Cong B, Zhai M, Carswell D A, Wilson R H, Wang Q, Zhao Z, Wnidley B F. 1995. Petrogenesis of ultrahigh-pressure rocks and their country rocks in Shuanghe of Dabieshan Mountains, Central China. Eur. J. Mineral., 7: 119 ~ 138
- Davies J H., von Blanckenburg F. 1995. Slab breakoff; a model of lithosphere detachment and its test in the magmatism and deformation of collisional orogens. Earth & Planet. Sci. Let., 129: 85 ~ 102
- Dobrzhiestetskaya L, Green H W, Wang S. 1996. Alpe Arami: A peridotite massif from depths of more than 300 kilometers. Science, 271: 1841 ~ 1845
- Enami M, Zang Q. 1990. Quartz pseudomorphs after coesite in eclogites from Shandong Province, east China: Amer. Mineral.

75: 381 ~ 386

- Ernst W G, Liou J G, Hacker B R. 1994. Petrotectonic significance of high- and ultrahigh-pressure metamorphic belts: inferences for subduction-zone histories. *International Geology Review*, 36: 213 ~ 237
- Gebauer D, Schertl H -P, Brix M, Schreyer W. 1997. 35Ma old ultrahigh-pressure metamorphism and evidence for very rapid exhumation in the Dora Maira Massif, Western Alps. *Lithos*, 41: 5 ~ 24
- Hacker B, Liou J G (ed). 1998. *When Continents Collide: Geodynamics and Geochemistry of Ultrahigh-Pressure Rocks*. Chapman & Hill.
- Hirajima T, Ishiwatari A, Cong B, Zhang R, Banno S, Nozaka T. 1990. Coesite from Mengzhong eclogite at Donghai county, northeastern Jiangsu province, China. *Mineralogical Magazine*, 54: 579 ~ 583
- Jahn B -M, Cornichet J, Cong B, Yui T-F. 1996. Ultrahigh- ϵ Nd eclogites from an ultrahigh-pressure metamorphic terrane of China. *Chemical Geology*, 127: 61 ~ 79
- Li S, Jagoutz E, Chen Y, Li Q. 2000. 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. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64(6): 1077 ~ 1093
- Li S, Wang S, Chen Y, Zhou H, Zhang Z, Liu D, Qiu J. 1994. Excess argon in phengite from eclogite: Evidence from dating of eclogite minerals by Sm-Nd, Rb-Sr and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ methods. *Chem. Geol.*, 112: 343 ~ 350
- Li S, Xiao Y, Liu D, Chen Y, Ge N, Zhang Z, Sun S S, Cong B, Zhang R, Hart S R, Wang S. 1993. Collision of the North China and Yangtze blocks and formation of coesite-bearing eclogites: Timing and processes. *Chem. Geol.*, 109: 89 ~ 111
- Liou J G, Banno W, Ernst W G. 1995. Ultrahigh-pressure metamorphism and tectonics. *The Island Arc*, 4: 233 ~ 383
- Liou J G, Cong B, Maruyama S. 1998. Geodynamics for High and Ultrahigh-Pressure Metamorphism. *The Island Arc*, 7
- Liu J, Ye K, Maruyama S, Cong B, Fan H. 2001. Mineral inclusions in zircon from gneisses in the ultrahigh-pressure zone of the Dabie Mountains, China. *The Journal of Geology*, 109: 523 ~ 535
- Maruyama S, Liou J G, Zhang R. 1994. Tectonic evolution of the ultrahigh-pressure and high-pressure metamorphic belts from central China. *The Island Arc*, 3: 112 ~ 121
- Massonne H J. 2001. First find of coesite in the ultrahigh-pressure metamorphic region of the Central Erzgebirge, Germany. *Eur. J. Mineral.*, 13: 565 ~ 570
- Nie S, Yin A, Rowley D B, Jin Y. 1994. Exhumation of the Dabie Shan ultrahigh-pressure rocks and accumulation of the Songpan-Ganzi flysch sequence, central China. *Geology*, 11: 999 ~ 1002
- Okay A I, Xu S, Sengor A M C. 1989. Coesite from the Dabie Shan eclogites, central China. *Eur. Jour. Mineral.* 1: 595 ~ 598
- Smith D C. 1984. Coesite in clinopyroxene in the Caledonides and its implications for geodynamics. *Nature*, 310: 641 ~ 644
- Wang Q, Cong B. 1996. Tectonic implication of UHP rocks from the Dabie Mountains. *Science in China (Series D)*, 39: 311 ~ 318
- Wang Q, Cong B. 1999. Exhumation of UHP terranes: a case study from the Dabie Mountains, Eastern China. *International Geology Review*, 41: 994 ~ 1004
- Wang X, Liou J G. 1991. Regional ultrahigh-pressure metamorphic terrane in central China: Evidence from coesite-bearing eclogite, marble, and metapelite. *Geology*, 19: 933 ~ 936
- Wang X, Liou J G. 1993. Ultrahigh-pressure metamorphism of carbonate rocks in the Dabie Mountains, central China. *Journal of Metamorphic Geology*, 11: 575 ~ 588
- Wang X, Liou J, Mao H K. 1989. Coesite-bearing eclogite from the Dabie mountains in central China. *Geology*, 17: 1085 ~ 1088
- Xu P, Sun R, Liu F, Wang Q, Cong B. 2000. Seismic tomography showing subduction and slab break off of the Yangtze block beneath the Dabie-Sulu orogenic belt. *Chinese Science Bulletin*, 45: 70 ~ 73
- Xu S, Okay A I, Ji S, Sengor A M C, Su W, Liu Y, Jiang L. 1992. Diamond from the Dabie Shan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting. *Science*, 256: 80 ~ 82
- Xu Z. 1987. Etude tectonique et microtectonique de la chaîne paleozoïque et triasique des Quilings (Chine). These de doctorat,

Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier

- Yang J, Smith D C. 1989. Evidence for a former sanidine-coesite-eclogite at Lanshantou, east China, and the recognition of the Chinese "Su-Lu coesite-eclogite province". Third International Eclogite Conference; Oxford; Blackwell scientific Publications. 26
- Yang J, Godard G, Kienast J R, Lu Y, Sun J. 1993. Ultrahigh-pressure (60 kbar) magnesite-bearing garnet peridotites from northeastern Jiangsu, China. *J. Geol.*, 101: 541 ~ 554
- Ye K, B Cong D Ye. 2000. The possible subduction of continental material to depths greater than 200km. *Nature*, 407: 734 ~ 736
- Yui T F, Rumble D, Lo C H. 1995. Unusually low $\delta^{18}\text{O}$ ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Sulu terrain, eastern China. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59: 2859 ~ 2864
- Zhang R Y, Hirajima T, Banno S, Ishiwatari A, Li J, Cong B, Nozaka T. 1989. Coesite-eclogite from Donghai area, Jiangsu Province in China: The 15th General Meeting of the Int'l Mineral. Assoc. Abs. , 2: 923 ~ 924
- Zhang R Y, Liou J G, Cong L. 1995. Ultrahigh-pressure metamorphosed talc- magnesite- and Ti-clinohumite-bearing mafic-ultramafic complex, Dabie Mountains, east central China. *Journal of Petrology*, 36: 1011 ~ 1038
- Zheng Y F, Fu B, Gong B, Li S. 1996. Extreme ^{18}O depletion in eclogite from the Su-Lu terrane in East China, *Eur. J. Mineral.* , 8: 317 ~ 323

第二章 大别山碰撞造山带的地质构造

徐树桐 索书田 钟增球 刘贻灿 陈冠宝

摘要: 根据构造-岩石单位的划分,大别山造山带的三维几何结构可在平面上分为东、中、西三段,剖面上分为四层,自南向北分为八个单位,简称为“三、四、八”结构。青山-英山一线以东为东段,商-麻断裂以西为西段,两者之间为中段。八个构造岩石单位为:①后陆盆地;②变质复理石;③幔源物质较多的变质构造混杂岩带(以下简称幔源构造混杂岩带)+苏家何构造混杂岩带(缝合带);④碰撞变质构造混杂岩带,或潜山-英山-新县榴辉岩带;⑤俯冲变质构造混杂岩带,或太湖-红安-宣化店榴辉岩带;⑥扬子大陆俯冲基底(大别杂岩);⑦扬子大陆俯冲盖层(宿松群和张八岭群);⑧前陆带。在八个单位中,③、④和⑤都是变质构造混杂岩带。剖面上的四层自下向上为:地幔、俯冲的扬子基底与盖层、以陆壳成因榴辉岩为主的构造混杂岩带及含洋壳成因榴辉岩的构造混杂岩带。对包括三叠纪大陆碰撞及其碰撞后的变形构造在内的中小型和宏观运动学标志研究表明,在折返初期的榴辉岩相变形阶段,大别山造山带的运动学体制是北部向南逆冲的强烈缩短应变,角闪岩相条件下变形的运动体制转变为上盘向北滑动的伸展体制。中生代有强烈的岩浆活动,伴有大型穹隆构造及局部伸展和走滑运动。

关键词: 大别山造山带;构造岩石单位;几何结构;构造形迹;运动学

Chapter 2 GEOLOGICAL STRUCTURES OF THE DABIESHAN COLLISION-TYPE OROGENIC BELT

Xu Shutong Suo Shutian Zhong Zengqiu Liu Yican Chen Guanbao

Abstract: The Dabieshan Orogenic Belt is geometrically subdivided into a “3-4-8” structure, i. e., three segments from east to west, four layers from top to bottom, and eight tectono-lithologic units from north to south. The eight units are ①hinterland basin sequence; ②metamorphosed flysch; ③metamorphosed melange with mantle materials and Sujiahe suture melange; ④metamorphosed collisional melange (Qianshan-Yingshan-Xinxian eclogite zone); ⑤metamorphosed subduction melange (Taihu-Hong'an-Xuanhuadian eclogite zone); ⑥subducted basement of the Yangtze continent (the Dabie Complex); ⑦subducted cover of the Yangtze continent (the Susong and Zhangbaling Complexes); ⑧foreland belt. Among those units, ③, ④ and ⑤ are all of met-

amorphosed melange. The four layers are mantle, subducted basement and cover of the Yantze continent, melange with eclogite metamorphosed from continental crust, and melange with eclogite metamorphosed from oceanic crust. Structures of various scales have been studies. It is demonstrated that southward thrust and crust shortening prevailed in the Dabieshan orogenic belt when eclogites began to exhume, while top-to-north extension prevailed during amphibolite-facies metamorphism. Extensive Mesozoic magmatism is accompanied by doming structure with local extension and strike-slip motion.

Key words: the Dabieshan orogenic belt; tectono-lithologic units; geometric architecture; deformation structure; kinematics

大别山几何结构和运动学的研究是薄弱环节,已发表的诸多论文对大别山造山带的几何结构意见纷纭(Okay et al., 1993; Maruyama et al., 1994; Eide, 1995; Wang, 1996; Zhang et al., 1996; Michel et al., 1999; Suo et al., 1999; 徐树桐等, 1994),主要是由于对构造-岩石单位划分和缝合带位置的看法不同造成的。在为数不多的运动学研究中,虽然对大别山造山带运动体制的演化过程有大致相同的认识,但是对于何种是主导体制则有不同的看法(Zhong et al., 1999, 2000)。在本项目研究过程中,我们编制了试图反映造山带特点的大别山造山带地质图,并编制了相应的构造纲要图(见本书附图)。本章在编图基础上对大别山造山带的构造-岩石单位、几何结构、运动学特征及变形构造进行描述和探讨。

2.1 大别山造山带的构造-岩石单位和几何结构

2.1.1 大别山造山带的构造-岩石单位

正确划分构造-岩石单位是认识造山带几何结构的前提,是造山带构造分析的第一步。俯冲造山带和碰撞造山带各有其不同的构造-岩石单位。一个典型的俯冲造山带中有蛇绿岩或蛇绿混杂岩、海沟沉积、构造混杂岩、岛弧火山岩、弧后盆地和前陆盆地等单位。不同的碰撞造山带而有不同的划分方案(Condie, 1989)。就大别山造山带而言,与阿尔卑斯造山带较为相似,不过大别山造山带缝合带之上的未变质或浅变质盖层已完全被剥蚀,因而见不到仰冲壳楔。在划分构造岩石单位的研究中,鉴别缝合带是最重要的工作。

构造-岩石单位强调的是“反映特殊构造背景的岩石组合(或单位)”。按照这一原则,我们将大别山造山带划分为八个构造-岩石单位,从北到南为:①后陆盆地;②变质复理石;③幔源变质构造混杂岩带的根带(包括东、中段的超镁铁质岩带和西段的苏家河构造混杂岩带);④碰撞变质构造混杂岩带,或潜山-英山-新县榴辉岩带;⑤俯冲变质构造混杂岩带,或太湖-红安-宣化店榴辉岩带(高压榴辉岩带,包括原红安群中的含榴辉岩部分);⑥扬子大陆俯冲基底或大别杂岩;⑦扬子大陆俯冲盖层或宿松群(图 2-1);⑧前陆带。

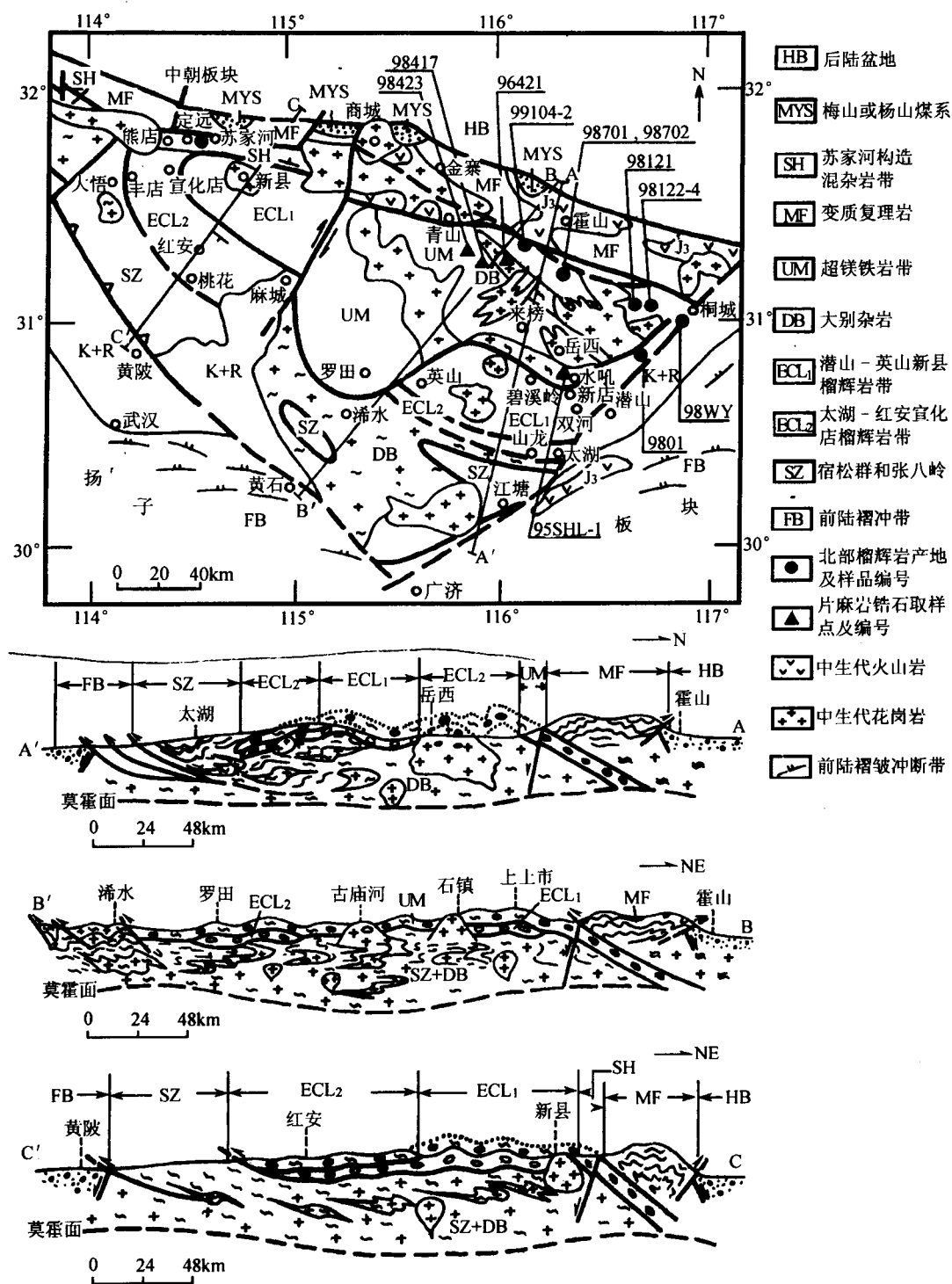


图 2-1 大别山造山带地质构造略图

A-A', B-B', C-C' 分别为东、中、西段解释性剖面图, 无垂向比例尺

2.1.1.1 后陆盆地

后陆盆地指大别山以北的合肥盆地,由中-新生界沉积岩(物)组成。下侏罗统的岩层只在大别山北麓、肥西县防虎山以及淮南舜耕山有零星露头。在淮南局部地区有陆相三叠纪石千峰组出露。最南缘的大别山麓,只有中侏罗统-白垩系岩石。中侏罗统的三尖铺组和上侏罗统的凤凰台组出露在龙河口响洪甸一线以北,岩性为厚层巨砾岩夹薄层砂砾岩。砾石呈次圆到次棱角状,砾径大小悬殊,有相当部分的砾径大于 50cm,接触式胶结,为典型的磨拉石建造;砾石成分有变质砂岩、板岩、千枚岩、石英岩、大理岩、脉石英、花岗岩等。最近在金寨独山镇附近的凤凰台组中发现有退变的榴辉岩砾石(王道轩等,2001;Wang et al., 2003),表明晚侏罗世时期大别山已经隆起并受到剥蚀,超镁铁岩带及其中的榴辉岩成为上侏罗统沉积物的物源之一。上侏罗统还包括毛坦厂组和黑石渡组,分布在晓天盆地、龙河口水库以东以及响洪甸水库周围,岩性为安山质、英安质的中酸性火山岩及火山-沉积岩。白垩系称为白大畈组,是一套粗面质或粗面安山质火山岩。下第三系红砂岩和蒸发岩出露在盆地的北部,盆地南北两侧有零星的第三纪玄武岩,合肥附近的大蜀山就是一个玄武岩火山口。从石炭系到三叠系表现为由浅海相经海陆交互相到陆相的变化,表明当时陆壳不断抬升,而晚侏罗世到白垩纪火山岩的碱性增强则表明陆壳在逐渐加厚。

沉积于盆地南缘局部地段并不整合在变质复理石之上的上泥盆统-下石炭统花园墙组及其上的石炭系杨山煤系(河南境内)和梅山群(安徽境内),特别是其底部的砾岩层,可能是与古生代洋壳俯冲有关的、由海相向陆相过渡的磨拉石建造。花园墙组灰岩砾石中产出扬子型 *heliolites* 化石(陆光森等,1987),表明泥盆纪时期扬子和中朝大陆之间的海水相通。这与大别山周围地质一致,因为到早石炭世,两大陆之间的深海虽然消失,但是有广阔的浅海相通,并因而有了岩相一致的地质面貌(Xu et al., 2001)。侏罗系则是与大陆碰撞有关的陆相磨拉石建造。

2.1.1.2 变质复理石

变质复理石包括前人文献中的庐镇关群和佛子岭群以及西段河南境内的信阳群(南湾组和龟山组)。佛子岭群和信阳群都沿桐柏-桐城断裂北缘分布。按 1974 年 1/20 万区调报告^①,我们将庐镇关群之上的复理石称为佛子岭群。佛子岭群包括原祥云寨组、潘家岭组和诸佛庵组。诸佛庵组是一套由变质砂岩、板岩和千枚岩组成的韵律层,出露厚度 224 ~ 1700m,含微古植物化石。最高变质作用为绿片岩或低级绿片岩相。

根据西部南湾组的微古化石(高连达等,1988)和龟山组的化石(商庆芳等,1992)以及河南西部对应岩层中有奥陶纪化石(刘印怀等,1995),佛子岭群应属早古生代(徐树桐等,1994)。变质复理石底部的庐镇关群尚无化石证据,也不能与西部已定为混杂岩的苏家河群(叶伯丹等,1993)对比,片麻岩中的锆石 U-Th-Pb 年龄为 627 ~ 721 Ma(安徽省地质矿产

① 安徽省地质局,1974,区域地质调查报告(1:200000),六安幅,岳西幅(地质部分)。

局,1987),结合庐镇关群位于佛子岭群之下,可将庐镇关群时代定为震旦纪。

由于变质复理石南部的超镁铁岩带被认定为岛弧杂岩(见后文),Wang等(1994)将佛子岭群称为弧后盆地沉积。Okay和Sengör(1993)根据成熟度和缺少放射虫硅质岩,认为佛子岭群是扬子大陆被动边缘沉积。不过,榴辉岩在超镁铁岩带中的出现说明它不是一个岛弧杂岩,因而佛子岭群也不是弧后沉积。化学分析和薄片研究也表明,佛子岭群有由相当数量成熟度不高的杂砂岩和火山碎屑岩(Xu et al., 2001)。祥云寨石英岩可能相当于放射虫硅质岩建造,放射虫化石则可能因石英的重结晶而被破坏。

从层序看,佛子岭群可与苏格兰早古生代弧前序列(Leggett, 1982)对比。庐镇关群的片麻岩类和斜长角闪岩类相当于杂砂岩和玄武岩建造,仙人冲组石墨片岩和含石墨云母-石英片岩相当于黑色页岩建造,祥云寨组石英岩相当于放射虫硅质岩建造,潘家岭和诸佛庵组相当于上部复理石。从区域地质条件分析,这套变质复理石也不能与桐柏山区的弧后序列二郎坪群对比。因此,它应属于早古生代弧前海沟复理石建造。目前它表现为向南北两个方向逆冲的突起构造(pop-up structure)。

2.1.1.3 变质构造混杂岩

在八个构造-岩石单位中,有三个都是变质构造混杂岩带,即:幔源变质构造混杂岩带的根带、潜山-英山-新县榴辉岩带和太湖-红安-宣化店榴辉岩带。严格地说,它们实际上都是构造单位而不是构造-岩石单位。这三个变质构造混杂岩带的共同特点是:①都由构造岩块和基质两部分组成;②具明显的混杂性,特别是岩块的混杂性。例如,按构造背景有幔源岩块、陆壳和洋壳成因的榴辉岩岩块和表壳岩岩块,按变质等级有榴辉岩相、麻粒岩相、角闪岩相和绿片岩相岩块(不包括退变质的),说明这些岩块来自不同构造背景和不同地壳层次,岩块的大小从露头到填图规模(图2-2A,B,C,D);③受到广泛的剪切作用,所有变质构造混杂岩带内的基质都发育了不同规模的与弱变形域相间的糜棱岩带。糜棱岩带有不同的变质等级,有榴辉岩相、麻粒岩相和角闪岩相的糜棱岩,也有少数绿片岩相糜棱岩(图2-2E,F)。

这三种变质构造混杂岩带的重大差异是:①物质组分不同。幔源变质构造混杂岩带的根带内有大量的幔源岩块,特别是与洋壳地幔有关的二辉橄榄岩岩块(Bucher, Frey, 1994),基质以类似元古宙-太古宙陆壳的条带状片麻岩为主。太湖-红安-宣化店榴辉岩与潜山-英山-新县榴辉岩带中榴辉岩的岩石学特征不同。前者的石榴子石有较多含水矿物包体,大部分绿辉石退变为角闪石,石榴子石重结晶并有成分环带,榴辉岩的 ε_{Nd} 为正值(简平等, 1994, 1997)。这些特征都可能与其原岩是富含水分的大洋玄武岩有关。相反,潜山-英山-新县榴辉岩带中的榴辉岩的石榴子石中含水矿物包体较少, ε_{Nd} 为负值,应为陆壳成因。两个榴辉岩带中的幔源超镁铁岩都很少。基质以云母斜长片麻岩为主,都有较多的陆壳重熔碱性花岗质片麻岩(徐树桐等, 1998)。②超高压矿物的差异。幔源变质构造混杂岩带内的超高压标志为金红石、磷灰石和单斜辉石沿石榴子石〈111〉的出溶(Ye et al., 2000; Xu et al., 2001),单矿物有钛斜硅镁石(刘贻灿, 2000),高Si石榴子石(Irifune et al., 1986; Ono and Yasuda, 1996; Okamoto and Maruyama, 1998; 徐树桐等, 2002);碰撞变质构造混杂岩带内的超高压矿物有微粒金刚石,柯石英,钛斜硅镁石,菱镁矿以及针状含钛铬磁铁