

扬子板块俯冲的构造加积楔

周建波 郑永飞 李 龙 谢 智

中国科学技术大学地球和空间科学系, 合肥, 230026

内容提要 在总结大洋板块俯冲形成加积楔的基础上, 对大别—苏鲁造山带内部及北缘浅变质岩进行了系统的研究, 指出它们是扬子大陆板块俯冲的构造加积楔。这些浅变质岩既有产出在造山带北缘, 也有少量出露在超高压变质带的内部, 它们均形成于前印支期扬子板块北缘, 主体为低绿片岩相变质的复理石相沉积岩和少量侵入岩, 并遭受了与造山带超高压变质岩相同的加里东—印支期构造热事件的改造, 具有板块俯冲过程中被刮削下来的构造残片——加积楔的形成机制和特征。垂向剖面上, 这些浅变质岩原岩主要由表层浅海复理石相沉积岩系和下伏陆壳基底岩石(花岗质侵入体—变质中基性杂岩—大理岩组合)两部分组成, 而超高压变质岩原岩主要为扬子板块北缘的俯冲陆壳基底岩石。将构造加积楔形成理论纳入到印支期扬子板块俯冲过程, 通过对部分浅变质岩与超高压变质岩在地质特征上的对比, 综合探讨了扬子板块俯冲与超高压变质岩及构造加积楔形成过程的时空耦合关系, 确定了扬子板块俯冲加积楔不同构造部位浅变质岩的构造组合特点, 探讨了扬子板块俯冲过程中构造加积楔形成的动力学过程。

关键词 加积楔 板块构造 大陆俯冲 浅变质岩 大别—苏鲁造山带

加积楔是指板块在俯冲过程中被刮削下的构造岩片, 又称增生楔。板块在俯冲过程中, 其组成岩石一部分随俯冲板块带入地下深部, 遭受高压/超高压变质作用, 形成以蓝片岩/榴辉岩相岩石为代表的高压/超高压变质岩; 另一部分岩石(特别是俯冲板块上部表层的各种岩石, 以沉积物为主), 则未被俯冲板块带入地下而被刮削下来, 这些被刮削下来的构造残片呈楔形拼贴于俯冲板块前缘, 形成构造加积楔(Karig et al., 1975; Cloos, 1984; Howell, 1991; Sengor et al., 1991; Tarbuck et al., 1994)。加积楔作为板块俯冲过程中特征性产物, 其大小、形状和特点随板块俯冲速率、汇聚方向、沉积物供给和俯冲物质体积而变化, 因此其发育程度和赋存状态与板块俯冲边界性质、板块俯冲角度、板块俯冲时间连续性以及板块汇聚边缘的动力学性质等具有密切的相关性(Davis et al., 1983; Platt, 1986; Dahlen, 1990; von Huene et al., 1991)。确定构造加积楔的产出部位、发育特征及赋存状态对揭示与板块俯冲有关的地球动力学过程具有重要的指示意义。

中国境内存在一系列碰撞造山带, 例如喜马拉雅造山带、兴安造山带和秦岭大别造山带等(程裕

淇, 1994)。这些造山带大多经历了由洋陆俯冲转换到陆陆俯冲和碰撞的过程, 构造加积楔作为板块俯冲过程中的特征性产物是客观存在的, 但如何识别大陆碰撞之前板块俯冲过程中形成的构造加积楔, 则是需要重视的问题。笔者经过大量的野外地质考察和总结前人研究资料, 对大别—苏鲁造山带中的一系列浅变质岩进行了研究。这些浅变质岩的形成和就位与扬子板块俯冲的动力学过程密切相关。应用板块俯冲加积楔的有关理论对其进行研究, 不仅有助于对大别—苏鲁造山带研究的深入, 而且对与板块俯冲有关的大陆动力学研究也具有重要意义。

1 板块俯冲加积楔的一般特点

在汇聚板块边界常发育不同时代、不同成因构造混杂岩, 呈楔形产出, 是板块俯冲过程中被俯冲板块刮削下来的沉积物及其下伏岩石, 通常称为加积楔。这在美国西部 Franciscan 造山带(Cloos, 1983)、苏格兰 Southern Uplands 造山带(McKerrow et al., 1977; Leggett et al., 1979)、南蒙古构造带(Sengor et al., 1993)和俄罗斯南乌拉尔造山带(Brown et al., 1999)等典型的板块俯冲—碰撞带均有产出。由

注: 本文为中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-107)资助的成果。

收稿日期: 2000-08-31; 改回日期: 2000-12-07; 责任编辑: 任希飞。

作者简介: 周建波, 男, 1966年生。1988年毕业于中国矿业大学, 1998年在长春科技大学获博士学位。现为中国科学技术大学副教授, 从事构造地质学研究。通讯地址: 230026, 合肥市, 中国科学技术大学地球和空间科学系; 电话: 0551—3603384; Email: zhoujb@ustc.edu.cn。

于这类构造混杂岩常随大洋板块俯冲而加积到仰冲大陆板块前缘的岛弧之上,因此有时被称为弧加积杂岩(Hamilton, 1988; Moores et al., 1995; Windley, 1995),对应地出现所谓的大陆增生。

前人已对世界各地不同大洋板块俯冲加积楔的构造地质、沉积层序、岩石类型、变质变形、流体活动等进行了大量研究(Davis et al., 1983; Cloos, 1984; Cowan, 1985; Platt, 1986; Davis et al., 1989; Moore, 1989; von Heuene et al., 1991; Moore et al., 1992; Warr et al., 1991, 1996; Wakabayashi, 1992; Le Pichon et al., 1993; Wakabayashi et al., 1995; O'Hara et al., 1997; Carson et al., 1998; Giunchi et al., 1999; Ring et al., 1999; Schumann et al., 2000)。加积楔这一构造单元在现今大洋板块俯冲带内可以通过多种手段进行观测。综合前人的观察和研究成果,可将大洋板块俯冲加积楔的构造地质特征标示于图1。其主要鉴别标志可概括为如下6个方面:

(1) 加积楔组成单元:发育完整的加积楔一般由形变前锋、加积楔楔体和拆离带等部分构成。形变前锋发育于加积楔前缘,为俯冲板块表层岩石被刮削下来叠置于楔体前部的初始部分。加积楔楔体发育于俯冲板块拆离带上部与仰冲板块之间,由顶部楔状体和底增生体两部分构成。拆离带则为俯冲板块与加积楔体之间的构造边界。

(2) 加积楔组成物质:加积楔主要由俯冲板块顶部物质经刮削加积作用而形成。组成物质包括大洋沉积物(深海沉积物和/或浅海沉积物)、海沟沉积物及洋壳基岩物质(蚀变玄武岩乃至蛇绿岩)等。大洋及海沟沉积物固结程度较差,易于脱离俯冲板块被刮削下来。洋壳上部基岩物质以及海山等海底隆起由于地形凸起,在板块俯冲过程中也能被刮落残留下来而构成加积楔的组成部分。因此,加积楔的组成物质可以由不同时代,不同来源,不同成分和性质的岩

石共同叠置混杂构成。

(3) 加积楔的构造组合:板块俯冲过程中被刮削下来的沉积物通过加积方式转移至拆离带上部,因此保存下来的加积楔均为一系列构造残片状叠置的变形岩石。加积楔前锋发育由高角度逆断层组成的叠瓦状构造,而在加积楔体内部主要发育构造混杂岩、蛇绿岩和连续逆冲带。以同斜褶皱—叠瓦状断层带—构造混杂岩等强变形岩石共同构成加积楔的特征性构造组合。

(4) 动力变质作用改造:组成加积楔的主体岩石被俯冲板块带入地下的深度较小(俯冲深度小于10 km,温度低于400℃),以绿片岩相为代表,这与被带入地幔深部、形成以蓝片岩和榴辉岩相变质的俯冲板块主体岩石相比在温压条件上存在明显差异。由于加积楔岩石就位于板块俯冲带前缘,强烈挤压构造应力常造成这些岩石发生强烈褶皱变形,同时伴有低绿片岩相到低角闪岩相的动力变质作用。

(5) 楔体生长方式:加积楔主要通过楔体前锋加积作用方式生长。板块俯冲过程中沿加积楔变形前锋不断依次刮削下来较新的岩片,新岩片挤入老岩片中从而使加积楔逐渐生长。部分被带入地下一

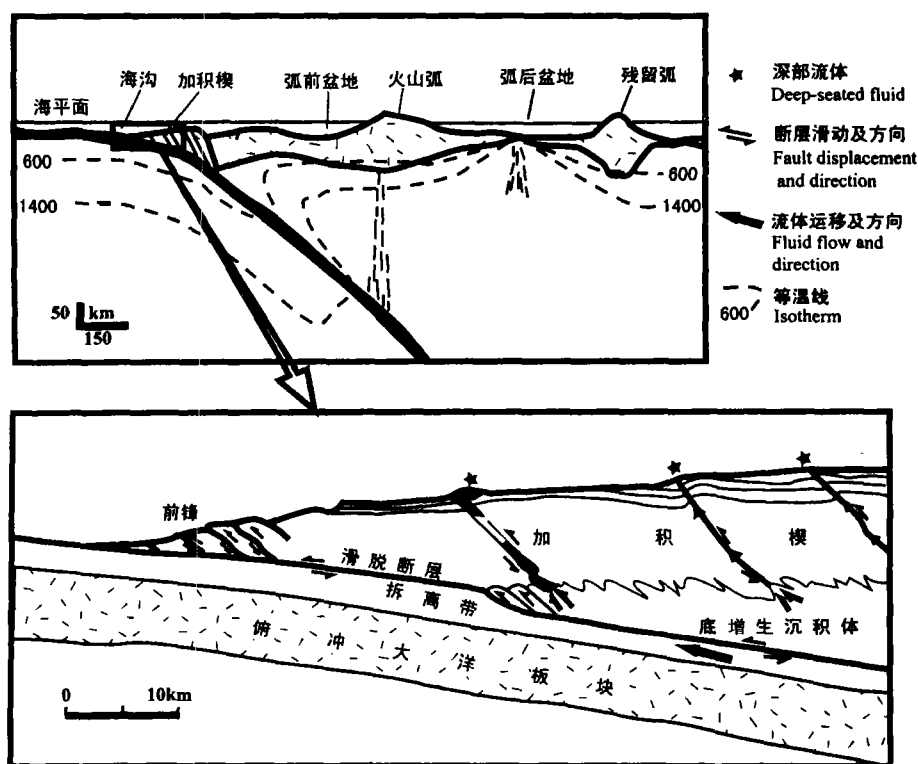


图1 大洋板块俯冲加积楔构造地质示意图

Fig. 1 Sketch map of tectonic geology for the accretionary wedge of oceanic plate subduction

定深度的岩石也可以通过隐增生作用方式上侵叠置在加积楔体的底部,造成加积楔逐渐向上拱起及楔体顶部岩石被逐渐剥蚀。加积楔的形态受沉积物的强度、流体压力和内摩擦力等因素控制,其几何形态与开动的推土机前面被铲下的雪或土一样保持相对固定的几何形态,并按相似的几何方式生长。

(6) 热液活动强烈:加积楔底部岩石经固结压实作用析出大量的泥质岩浆和流体,一方面导致泥火山、泥底辟、热泉等热液活动,它们沿加积楔内逆冲断层上侵形成泥质底辟侵位构造。另一方面形成大量的热液活动,造成加积楔岩石与流体之间发生强烈的相互作用,流体来源主要为浅部流体,包括海水和浅部岩石经过埋藏、压实作用产生的空隙水。同时,加积楔体位于流体通道拆离带附近,俯冲带流体可以沿拆离带呈沟道式向上流动并与加积楔岩石发生化学反应。

2 扬子板块俯冲加积楔存在的前提

大别苏鲁造山带是典型由扬子大陆板块向华北板块俯冲碰撞折返形成的高压超高压变质带(Wang et al., 1995; Cong, 1996; Hacker et al., 1996; Liou et al., 1996; Zhang R Y et al., 1998; Carswell et al., 2000)。构成扬子板块俯冲加积楔的岩石以产于超高压带内部和叠置于超高压带北缘的前印支期(震旦纪—古生代)浅变质岩系为代表(图2),它们应是大规模构造加积楔的残余部分。在超高压变质带内部产出的浅变质岩,主要包括大别造山带安徽岳西港河浅变质火山沉积岩、苏鲁造山带苏北赣榆石桥和胶南日照坪上浅变质沉积岩等。这些浅变质岩出露范围较小,呈构造残片状产出,构成加积楔形变前锋后部的残余部分。叠置于超高压带北缘的浅变质岩多分布在板块缝合带附近,包括大别地区北淮阳浅变质岩系(佛子岭群、杨山岩系及前印支期变质

变形侵入体)和苏鲁造山带北部浅变质岩(五莲群及前印支期变质变形侵入体),构成浅变质岩加积楔体的残余部分。综合分析表明,这些浅变质岩具有以下共同特征:① 均为经受了绿片岩相变质的复理石岩系;② 主体为前印支期扬子板块北缘沉积;③ 经历了造山带主要构造热事件的影响。

2.1 绿片岩相变质的复理石岩系

大别苏鲁浅变质岩低绿片岩相变质是其有别于高压—超高压变质围岩的重要标志。超高压带内部大别港河浅变质岩由低绿片岩相变质火山碎屑岩、绢云千枚岩、白云石英片岩组合构成(汤加富等, 1996; 钱存超, 1996; 董树文等, 1996a)。苏鲁造山带西南部苏北赣榆石桥浅变质岩亦称石桥群,主要由变质长石砂岩、白云片岩、石英岩、千枚岩及板岩等组成,变质程度属低绿片岩相二云母相带(江苏省地质矿产局, 1996; 董树文等, 1996b)。胶南日照坪上浅变质岩亦称朋河石组,主要由变质长石石英砂砾岩、二云千枚岩、板岩等为主,主体属低绿片岩相变质(山东省地质矿产局, 1996; 宋明春等, 1998)。

大别造山带北缘安徽佛子岭群以原佛子岭群为主体并包括原卢镇关群和原梅山群部分地层(安徽省地质矿产局, 1997; 马文璞等, 1997; 杜建国等, 1996),主要由石英岩、石英片岩、千枚岩、板岩、大理岩等岩石组合,主体为绿片岩相变质复理石系(徐树

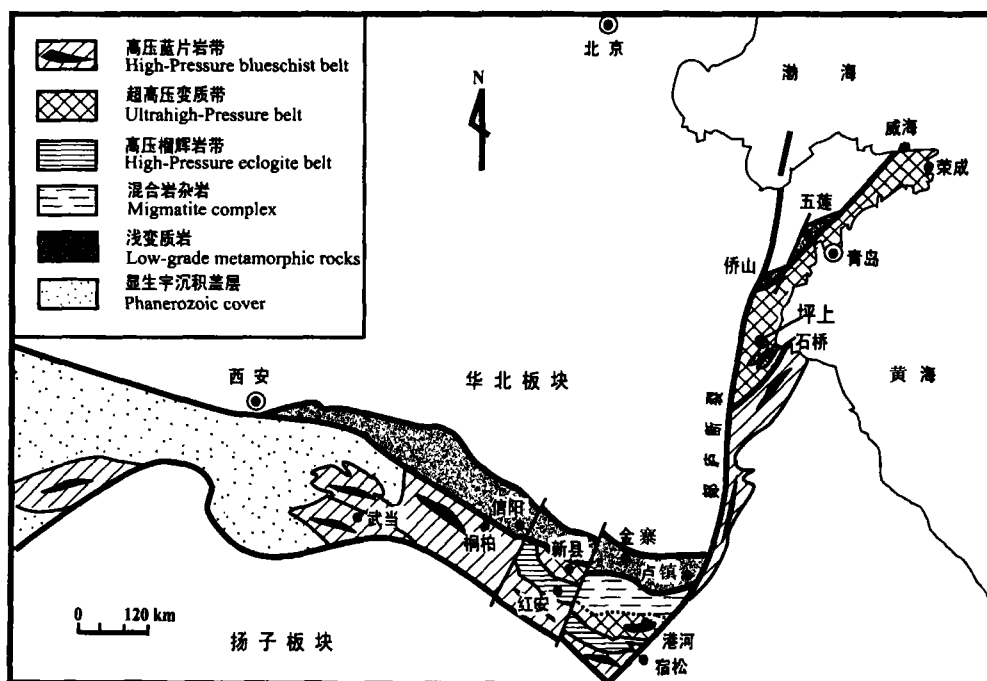


图2 大别苏鲁造山带构造地质简图

Fig. 2 Sketch map of tectonic settings in the Dabie-Sulu orogen

桐等, 1994; 安徽省地质矿产局, 1997; 杜建国等, 1996; 刘贻灿等, 1998)。杨山岩系主体出露在河南固始一带, 在安徽金寨等地零星出露, 主要由浅变质及未变质板岩、变质长石石英砂岩、粉砂岩及结晶灰岩/大理岩和煤系地层等组成(河南省地质矿产局, 1982; 安徽省地质矿产局, 1987), 在安徽境内主体为绿片岩相浅变质岩系(杜建国, 1996; 马文璞, 1991; 刘贻灿, 1998)。苏鲁造山带北缘山东五莲群浅变质岩主要由石英岩、千枚岩、板岩、大理岩/结晶灰岩组成, 主体属低绿片岩相变质。

以变质砂岩、千枚岩、碳质板岩、云母石英片岩、大理岩为代表的大别—苏鲁浅变质岩, 其矿物组合分别是: 变质砂岩为绿泥石+绢云母+石英; 千枚岩为绿泥石+绢云母+石英; 碳质板岩为绿泥石+雏晶黑云母+绢云母+石英+石墨; 云母石英片岩为绿帘石+绢云母+石英+雏晶黑云母; 大理岩为方解石+白云石; 石英岩为绿泥石+绢云母+石英; 泥质岩石的特征性矿物组合为: ① 绿泥石+雏晶黑云母+绢云母+石英; ② 绿泥石+绢云母+石英; ③ 绿帘石+绢云母+石英。这些岩石的原岩对应于复理石相建造。如果以泥质岩石的绢云母+绿泥石+石英组合为特征, 大别—苏鲁地区浅变质岩系经历了低绿片岩相的变质作用, 形成的温压区间大致为 300~400 °C 和 200~300 MPa。

同时, 在上述浅变质岩发育区存在大量的变质变形侵入体(以原卢镇关群为主), 主要包括片麻状花岗岩、变质中基性杂岩等, 主要矿物组合分别为黑云母+绿泥石+绿帘石+绢云母和斜长石+绿帘石+角闪石等, 表明这些变质变形侵入体变质程度以绿片岩相为主(局部可达角闪岩相)。另外需要说明的是, 大别—苏鲁浅变质岩在不同地区甚至相同地区不同产出部位, 其变质程度存在一定差别。浅变质岩的变质强度与变形强弱具有正相关性, 具有明显动力变质作用的特征, 应与板块俯冲过程中强烈挤压构造应力造成的动力变质有关。

大别苏鲁造山带为一典型的超高压变质带, 以含有柯石英、金刚石包体的榴辉岩为代表, 其形成的温压条件分别为 700~900 °C 和 2.8~3.8 GPa(Okay et al., 1989; Wang et al., 1989; Xu et al., 1992)。大别—苏鲁浅变质岩主体为低绿片岩相, 其与超高压变质岩形成的温压条件存在差别巨大, 说明它们不是在相同的构造条件下形成的。空间上浅变质岩与超高压变质岩叠置于同一构造单元, 就位过程应与扬子板块俯冲前后强烈构造作用有关, 与构造加

积楔的形成机制一致。

2.2 前印支期扬子板块北缘的沉积

分布于大别—苏鲁超高压内部的浅变质岩系大多含有微古生物化石。大别港河浅变质岩含有扬子型震旦纪藻类化石(*Leiosphaeridia* sp., *Trachysphaeridium* sp.)和微植物碎片(*Prototrachites* sp., *Retinaritise* sp.)(钱存超, 1996)。苏北赣榆石桥浅变质岩含有扬子型震旦纪藻类化石(*Trematosphaeridium minor* Sin et Liu, *leiopsophsphaera densa* Sin et Liu)(董树文等, 1996b)。日照坪上浅变质岩含有 *Trematosphaeridium* 等藻类化石(张增奇等, 1994)。这些藻类化石说明超高压带内部浅变质岩原岩形成于震旦纪前后。

大别—苏鲁超高压带北缘浅变质岩包括佛子岭群和杨山岩系以及五莲群等。围绕佛子岭群(包括原卢镇关群、原梅山群的部分地层)浅变质岩的形成时代及归属历来存在不同的认识(郑文武, 1964; 杨志坚, 1964; 聂宗笙, 1964; 叶伯丹等, 1991; 杜建国等, 1996; 谭应佳, 1997; 马文璞等, 1997; 刘贻灿等, 1998)。佛子岭群含有丰富的扬子型微古生物化石如 *Protosphaeridium* sp., *Trematosphaeridium* sp., *Taeniatum* sp., *Stenomarginata* sp. 等(郑文武, 1964; 安徽省地质矿产局, 1997), 其中 *Taeniatum* 属见于南方的中震旦纪末期, *Stenomarginata* 属见于鄂西灯影组及陡山沱组, 上述化石多数也可延续到早古生代, 因此其时代应以震旦纪—早古生代为主。大别造山带西部与佛子岭群相当的层位苏家河群中目前发现大量的扬子型微体化石 *Desmochitina* sp., *Rhabdochitina* sp., *Lophosphaeridium* sp., *Acanthodiaerodidum* sp. 等(张仁杰等, 1998), 时代应为早奥陶世。叶伯丹等(1991)在苏家河群大理岩中发现腕足类、海百合茎、有孔虫等化石, 时代为早奥陶世—早泥盆世。傅斌等(1998)测定出这些大理岩的碳同位素比值 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-2.6\text{‰} \sim 0.1\text{‰}$, 与显生宙正常海相灰岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值 $0 \pm 0.2\text{‰}$ 一致, 反映这些大理岩的母岩灰岩沉淀于正常海相环境。由此可见, 佛子岭群主体为扬子板块北缘浅海相沉积, 时代上可能包括自震旦纪—古生代等不同时代的地层。

杨山岩系是指主体分布在河南固始—安徽金寨一带以石炭—二叠系含煤岩系为主的浅变质—未变质岩岩系(包括花园墙组、杨山组、道人冲组、胡油坊组、杨小庄组、双石头组和原梅山群的部分地层), 以含煤系地层和腕足类化石等与佛子岭群区分开来, 时代大致为石炭—二叠纪(苏育民, 1960; 聂宗笙,

1964; 杨志坚, 1964; 马文璞, 1991; 李曰俊, 1997; 马文璞等, 1997)。杨山岩系早期以含有下扬子型早古生代海相动物化石组合(*Heliolites* cf. *anhuiensis* Deng (sp. nov.), *Panderodus unicostatus* Brason et. Mehl, *Palaworda*, *Carwoodia* sp. *Heliolites* cf. *anhuiensis*) 为代表, 到晚期逐渐出现华北型生物分子(如 *Protomonocarina* 等)(金福全等, 1987; 李曰俊, 1997), 说明其主体应形成于扬子板块北缘的海陆交互沉积环境。

五莲群浅变质岩原定义为古元古代(山东省地质矿产局, 1982), 在五莲群坤山组大理岩和石英岩中发现大量微古生物化石(*Leiopsopheara* sp., *Wulianensis* Yan sp., *Lophuminusxula* cf. *prima* Naum, *Wuliania Minor* Yan, *W. wulianensis* Yan, *Ceratophyton Vernicosum*, *Teophipolia Lacelata*, *Lophosphaeridium* sp., *Preasolenopore* sp.), 赵达(1995)研究认为这些藻类化石与具有扬子型震旦系陡山沱组至梅树村组下部的化石组合可以对比, 其形成时代以震旦纪晚期为主, 并可能延续到寒武纪早期。

大别—苏鲁地区浅变质岩的化石组合至少说明两点: ① 浅变质岩系以超高压带内部浅变质岩和超高压带北部佛子岭群、五莲群岩石为代表, 原岩主体形成于震旦纪—古生代(杨山岩系形成时代为石炭—二叠纪), 在这些浅变质岩系中均可能包括不同时代的构造混杂岩块, 但总体形成时代大致在震旦—二叠纪之间, 即形成时代均为前印支期; ② 浅变质岩的化石组合均以发育典型扬子型化石组合为特征, 并以浅海相生物化石为主, 说明形成于前印支期扬子板块北缘浅海相的沉积环境。

2.3 造山带主要构造热事件的影响

对大别超高压带内部的港河浅变质岩已有大量的同位素年代学研究。董树文等(1996a)得到的同位素年龄有 760~802 Ma(锆石 U-Pb 法)、790±19 Ma(全岩 Sm-Nd 法)、232±8 Ma(全岩 Rb-Sr 等时线法); 谢智等(1999)则得到了锆石 U-Pb 不一致下交点年龄为 471±69 Ma。结合该区的微古生物研究成果, 可以认为超高压带内部浅变质岩原岩形成时代为震旦纪或更早, 但遭受加里东—印支期构造热事件的改造。

对大别超高压带北缘的浅变质岩石, 郝杰等(1988)应用全岩 Rb-Sr 等时线和角闪石 Ar-Ar 法等获得了东段变质杂岩 202~371 Ma、393 Ma 和 484 Ma 等不同的年龄数据。叶伯丹等(1993)针对西段苏家河变质杂岩应用单矿物和全岩 Rb-Sr 等方法获

得了 225~230 Ma、236~399 Ma、405~544 Ma 等同位素年龄数据。牛宝贵等(1994)针对大别山金寨马店和霍山十八盘一带佛子岭群云母片岩应用白云母 Ar-Ar 法获得了 267 Ma 和 261 Ma 变质年龄。

上述同位素年代学数据说明, 大别造山带北缘不同地区的浅变质岩均曾遭受加里东期和印支期构造热事件的影响。对大别造山带高压—超高压榴辉岩和片麻岩的大量同位素地质年代学研究得到, 这些岩石经受了加里东期(杨巍然等, 1994, 1999; 刘若新等, 1995; 曹荣龙等, 1995; 简平等, 1997; Rowley et al., 1997; Zheng et al., 1997; 简平, 1999; 胡世玲等, 1999)和印支期(Ames et al., 1993, 1996; Li et al., 1993, 1998, 1999, 2000; Chavagnac et al., 1996; Rowley et al., 1997; Hacker et al., 1998; Webb et al., 1999; 程裕淇等, 2000)变质作用。尽管目前对部分同位素年龄数据的测定精度和地质解释尚有争议, 但总体来说, 浅变质岩系与高压—超高压变质岩在主要地质事件年龄(加里东期和印支期)上具有一致性。

2.4 小结

岩石学和古生物研究表明, 大别—苏鲁地区浅变质岩主体为前印支期扬子板块北缘的复理石相沉积, 而不是华北板块仰冲到超高压带上的构造岩片。同位素年龄测试结果反映, 这些浅变质岩曾遭受加里东期和印支期构造热事件的改造。显然, 这些浅变质岩曾参与了扬子板块俯冲的主要地质过程, 并遭受了扬子板块俯冲过程中主要构造热事件的改造, 但又以明显的绿片岩相变质而与高压—超高压变质岩相区别。实测剖面表明, 浅变质岩在区域上为叠置在超高压变质岩之上的构造单元。大量横跨大别—苏鲁造山带的层析成像及广角反射地震及深反射地震和大地电磁等深部地球物理研究成果(马杏垣等, 1985; 史大年等, 1999; 杨文采等, 1999a, 1999b)证实, 超高压变质岩在上地壳范围内连续性较好, 可以延续的深度达 1520 km, 其下 2030 km 范围内以麻粒岩相岩石为主(杨文采等, 1999a), 尚未发现大别—苏鲁造山带浅部范围内存在薄皮构造或超高压岩石之下存在浅变质岩的证据。因此浅变质岩不可能是超高压带薄皮状构造之下的浅变质岩构造窗, 而应为叠置在超高压带之上的构造残片。合理的解释是这些浅变质岩石在扬子俯冲过程中不被俯冲板块带入到地幔深度而是被刮削下来, 因此仅遭受了以绿片岩相为主的动力变质改造, 并由于长期处于板块俯冲带前缘遭受了大陆板块俯冲过程中主要

构造热事件的影响。这些特征是扬子板块俯冲加积楔构造的特征标志,也是大陆板块俯冲存在加积楔构造的前提条件。

3 超高压带内部浅变质岩—构造加积楔前缘

3.1 呈构造残片状产出在超高压带内部

对大别—苏鲁超高压带内部浅变质岩的野外地质调查发现,它们具有共同的产出特征:

(1) 均产出在典型超高压变质带内部。大别地区港河浅变质岩产出在南大别超高压变质带内,与浅变质岩接触边界围岩即为榴辉岩—片麻岩—大理岩的超高压组合,其北约3 km 即为大别造山带典型榴辉岩——碧溪岭榴辉岩,为大别山地区典型超高压

压变质岩出露区的腹地。苏北赣榆石桥浅变质岩和胶南日照坪上浅变质岩产出在苏鲁超高压带的腹地,其东南部产出青龙山榴辉岩、东北部产出梭罗树榴辉岩、西部产出洙边榴辉岩等,浅变质岩的围岩也为苏鲁造山带常见的花岗片麻岩—榴辉岩—大理岩组合,说明这些浅变质岩均发育在超高压变质岩内部。

(2) 与超高压岩石均为构造接触。大别—苏鲁浅变质岩实测剖面如图2所示,浅变质岩石出露区的底部均以逆冲型韧性变形带与超高压变质岩分隔,顶部与超高压接触界限主要为韧性剪切带(局部表现为断层),接触界限附近的糜棱岩化岩石不仅表现在片麻岩等围岩中,在浅变质岩中也有明显显示。

(3) 区域上为叠置在超高压带之上的构造残片。大别—苏鲁浅变质岩出露范围均比较小,如石桥

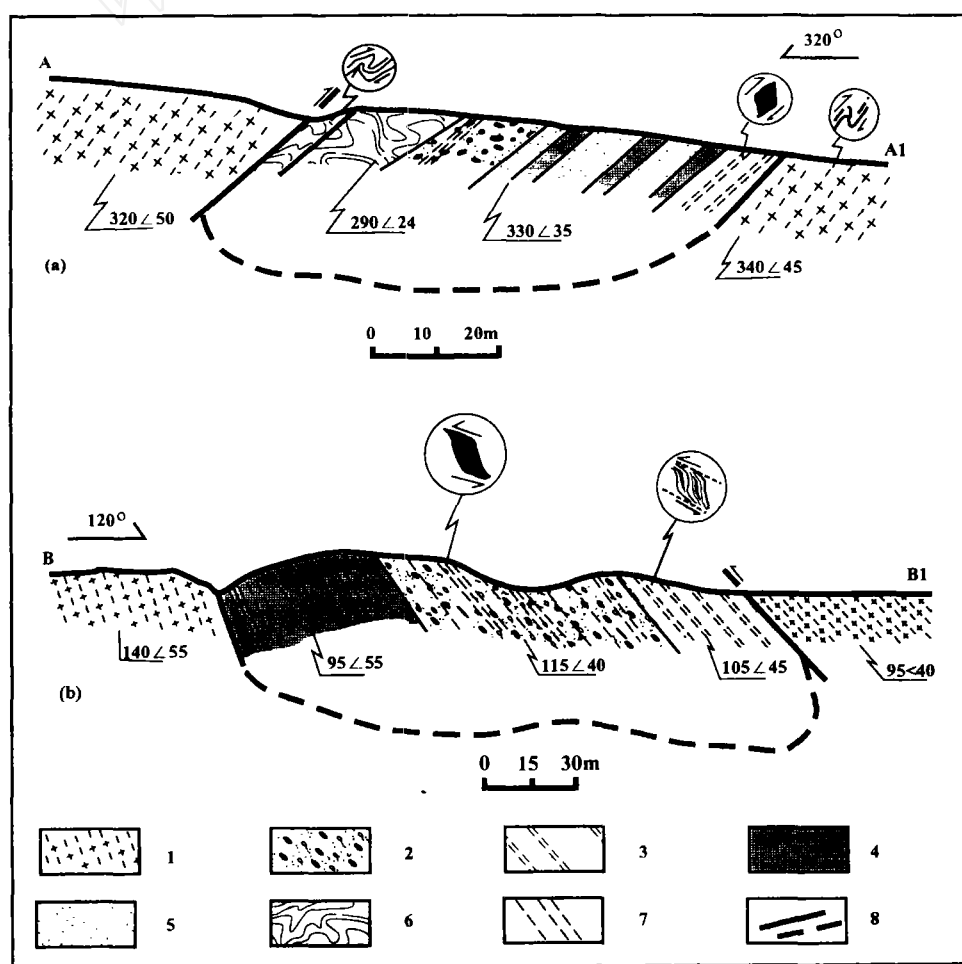


图3 大别—苏鲁造山带浅变质岩实测剖面图

Fig. 3 The measured profiles of low-grade metamorphic rocks in Dabie—Sulu orogen

(a)—苏鲁坪上剖面;(b)—大别港河剖面;1—花岗片麻岩(含榴辉岩和大理岩包体);2—变质砾岩;3—白云母构造片岩;4—千枚岩;

5—变质长石石英砂岩夹含砾粗砂岩;6—强烈褶皱的变质砂岩;7—韧性剪切带;8—实测及推测界限断裂

(a)—Profile at Pingshang in Sulu; (b)—profile at Ganghe in Dabie; 1—granitic gneiss (containing eclogite and marble lenses);

2—metaclastics; 3—muscovite schist; 4—phyllite; 5—metasandstone; 6—strongly deformed metasandstone; 7—shearing zone; 8—fault

浅变质岩出露范围 0.25 km^2 , 坪上浅变质岩出露范围 2.5 km^2 。实测剖面(图3)表明, 这些浅变质岩顶底与超高压变质岩均为构造接触, 呈构造残片状出露在超高压带内部。地球物理测量表明, 这些浅变质岩都是“无根”的构造单元(杨文采, 1999a)。因此, 浅变质岩在区域上表现为“漂浮”在超高压变质岩之上的构造残片。

3.2 强烈韧性变形作用改造

对大别港河浅变质岩变质岩野外观察表明, 韧性剪切带发育在浅变质岩内部, 由两条宽度 $2\sim 4\text{ m}$ 的强变形带(构造岩为糜棱岩化火山角砾岩和长英质糜棱岩)及夹于其间的弱变形域(弱变形及未变形的火山角砾岩)构成(周建波等, 2001), 港河浅变质岩均遭受强烈变质变形作用的改造。糜棱叶理的产状为 $95^\circ\sim 115^\circ\angle 40^\circ\sim 60^\circ$ 韧性剪切带内发育矿物拉伸线理($105^\circ\angle 50^\circ$)及 S-C 组构, 火山角砾岩的砾石呈定向性分布, 并可见不对称旋转的特点, 指示剪切带具有逆冲剪切的运动学特征(图3b)。显微域观察发现, 构成糜棱岩的基质变形明显, 主要由细小的绢云母等定向分布构成、残斑多为机械破碎, 由长石和石英集合体构成; 长英质糜棱岩中主要造岩矿物长石以脆韧性变形为主, 石英以脆韧性变形为主, 表明本区浅变质岩不同程度地遭受脆—韧性变形作用的改造, 形成具逆冲剪切性质的韧性变形带。

日照坪上浅变质岩的韧性变形特征见剖面图3a, 韧性剪切带产出在浅变质岩中, 由3条各宽 25 m 的强变形带(构造岩为糜棱岩化砂岩和长英质糜棱岩)及夹于其间的弱变形域(弱变形及未变形的砂砾岩)构成, 糜棱叶理总体走向 ENE($50^\circ\sim 70^\circ$), 倾向 NW($290^\circ\sim 330^\circ$), 倾角 $25^\circ\sim 50^\circ$ 。韧性剪切带内常见拉伸线理, 且多为倾向线理($290^\circ\sim 330^\circ\angle 30^\circ\sim 50^\circ$)。野外可见 S-C 组构, “A”型褶皱、不对称残斑等宏观指向构造标志, 指示其由 NW 向 SE 方向逆冲的运动性质(图3a)。显微域中观测发现, 本区构造岩基质韧性变形明显、残斑多为机械破碎; 长英质糜棱岩中主要造岩矿物长石以脆韧性变形为主, 石英以脆韧性变形为主。这些说明本区韧性剪切带是在温压条件相对较低的条件下形成的脆—韧性剪切变形带。

同时, 根据实测剖面及显微域观察发现, 变质作用较强的岩石多产出在韧性剪切带的强变形部位, 未变质的岩石多产出在韧性剪切带的弱变形部位, 说明本区浅变质岩的变质强弱与变形强弱具有正相关性, 表明了本区浅变质岩的形成是伴随变形而发

生的动力变质作用过程, 与板块的俯冲—碰撞过程密切相关。上述研究说明, 超高压带内部浅变质岩的韧性变形岩石具有相同的动力学特征, 它们均是在较低的温压条件下(大致为低绿片岩相)形成的, 均为脆—韧性剪切带, 运动机制以逆冲型为特征, 运动方向主体与板块俯冲方向协调(例如石桥和坪上); 局部存在背向冲断层(例如港河), 具有加积楔前锋后部的构造组合特征。

4 造山带北缘浅变质岩——构造加积楔楔体

4.1 佛子岭群和五莲群为被刮削下来的陆壳残片

北淮阳佛子岭群在区域上以发育构造混杂岩(杜建国等, 1996; 马文璞等, 1997)和逆冲推覆带(徐树桐等, 1994)为特征, 以强烈动力变质的复理石相沉积岩为主。野外调研和文献资料综合表明, 实际上佛子岭群包括两种不同成分。上部层位即狭义的佛子岭群, 经落儿岭诸佛庵响洪甸路线和金寨—晓天两条路线追索, 发现以石英岩—千枚岩—石英片岩—大理岩组合为代表的变质沉积岩多呈构造残片状分布, 广泛发育叠瓦状冲断层带和密集褶皱带, 呈构造残片状相互叠置在一起, 具有受多期次构造改造的特征。同时, 这些浅变质岩沿片理面普遍发育黄铁矿和石英脉, 在云冲等地石英脉沿片理面密集产出, 最密可达 $12\text{ 条}/\text{m}^2$, 说明这些浅变质岩曾遭受强烈的流体作用改造。在晓天磨子潭断裂以南的原大别群分布区也发现有与佛子岭群相当的岩层, 两者以低角度断层接触(魏春景等, 1996)。这一层位可与西大别苏家河群(或桐柏山信阳群)相当, 前人曾冠以不同名称, 例如前渊磨拉石沉积(Mattauer et al., 1985)、厚层碎屑楔沉积(Okay et al., 1993)、弧前复理石沉积(徐树桐等, 1994)或弧后复理石沉积(王清晨等, 1998)。

在狭义的佛子岭群之下有一层位称为卢镇关群, 两者均经历过绿片岩相动力变质作用改造, 形成区域性同斜褶皱。经燕春—庐镇及区域路线追索发现, 卢镇关群主体由强烈动力变质的晋宁期花岗质侵入体构成, 在庐镇等地见有大理岩透镜体, 在铜锣畈、郑畈等地见有中基性杂岩体, 说明佛子岭群下部层位主要为变质变形的晋宁期花岗岩—中基性侵入体和大理岩组合构成, 并广泛发育韧性剪切带和构造混杂岩带。这一层可能是佛子岭群副变质岩的结晶基底, 与大别群高压—超高压变质岩原岩相当, 但未经受大陆俯冲作用(Sengor et al., 1988)。

山东五莲群主要沿苏鲁造山带北缘的莒县崂山—五莲桑园—五莲县城北海眼口、坤山—诸城皇华店等地呈条带状分布。五莲群下部层位(海眼口组)实际上以变质变形的晋宁期花岗质侵入体为主,还发育大量的中基性变质侵入体,另有少量变质地层(以大理岩为主)的成分,说明五莲群原海眼口组实际上主要以变质变形花岗质侵入体-变质中基性杂岩-大理岩组合为主。五莲群上部层位(坤山组)则主要为浅变质地层,以石英岩-千枚岩-板岩-大理岩组合为主。区域上五莲群在苏鲁造山带北缘呈构造残片状产出,各构造块体内五莲群广泛发育逆冲推覆构造及同斜褶皱或揉皱,组成岩石不仅岩性混杂,而且变质程度也有差别,即有绿片岩相的浅变质岩也发育有角闪岩相和未变质的岩石,其形成时代和形成背景也有一定的差别,整体具有构造混杂岩的产出特征。

上述事实表明,大别—苏鲁造山带北缘以佛子岭群、五莲群为代表的浅变质岩主要由构造推覆体、强烈褶皱带等构造残片状岩石组成,整体具构造混杂岩的产出特征,因此具有俯冲加积楔的楔体内部构造组合特征。

4.2 杨山岩系为刮削下来的陆壳表层沉积物

杨山岩系作为大别造山带北缘的特征性浅变质岩,出露于桐柏—大别山北麓的信阳—舒城缝合带南侧。前人研究表明,以杨山岩系为代表的浅变质岩代表了造山带北缘的古生代前陆盆地(杜建国, 1996; 李曰俊, 1997)或晚古生代残余海槽(马文璞, 1991)。野外调查表明,杨山岩系自河南商城、固始延入安徽金寨,零星出露在大别山北麓,在金寨县全军乡等地见有含煤系地层,岩石多呈同斜褶皱状或被NW向、NE向断裂切割改造造成构造岩片状。杨山岩系岩石仅遭受低绿片岩相变质作用的改造,原岩结构保存清楚,主体为以长石石英砂岩-粉砂质泥岩-灰岩-含煤岩系为主的海陆交互相沉积,形成时代为石炭—二叠纪,局部可能延续到早三叠世早期(刘贻灿等, 1998)。杨山岩系底砾岩的灰岩砾石中已发现含有包括 *Heliolites* cf. *anhuiensis* Deng (sp. nov.), *Panderodus unicastatus* Branson et. Mehl, *Palaeodonta*, *Carwoodia* sp. *Heliolites* cf. *anhuiensis* 等下扬子型早古生代海相动物化石组合(金福全等, 1987; 李曰俊, 1997),说明在早古生代本区仍是扬子板块北缘的一部分;而杨山岩系上部含有大量的淡水动物化石组合 *Protomonocarina* sp., *Mrsiella* cf. *magniforma*, *Palaeonodonta shangchengensis* (sp.

now), *Kimerkaellina* sp., 和植物化石 *Lepidodendron* sp., *Samaropsis* sp., *Neuropteris* sp., *Archaeoclamites* sp., *Rhodea* sp., 这些化石组合中已含有大量的华北板块生物分子(如 *Protomonocarina* 等)(金福全等, 1987; 李曰俊, 1997),说明此时本区已出现华北型与扬子型生物混生的现象。

4.3 小结

上述事实说明,大别—苏鲁造山带浅变质岩系主要代表浅海相沉积,化石组合代表了扬子板块北缘震旦纪—古生代的浅海相沉积环境,并未发现扬子与华北型生物混生的现象;苏家河一带早古生代灰岩仍然沉积于正常海相环境,说明此时尚存在阻碍生物迁移的古大洋,扬子板块与华北板块应相距较远。晚古生代开始生物组合已逐渐开始混生,并出现大量的淡水型植物化石,说明分割华北板块与扬子板块之间的古大洋逐渐萎缩,华北板块与扬子板块之间的相向运动已由洋-陆俯冲转变为陆-陆俯冲,杨山岩系代表了由洋-陆俯冲向陆-陆俯冲转变过程中的陆缘盆地或前陆盆地沉积。目前保存下来的杨山岩系浅变质岩实际上是大陆板块俯冲过程中被直接刮削下来而发育在缝合带附近的表层沉积物,构成大陆板块俯冲加积楔楔体的重要组成部分。

此外,部分浅变质岩与超高压变质岩在原岩性质上具有一定的可比性。大别—苏鲁浅变质岩系作为扬子板块北缘的表层岩石组合,主要由以下两种岩石组合构成:①震旦纪—古生代浅变质沉积岩系,以超高压带内部浅变质岩及造山带北缘佛子岭群和五莲群等复理石岩系为主;②浅变质沉积岩的陆壳结晶基底,包括佛子岭群的下部层位原卢镇关群和五莲群的下部层位海眼口组,主要为晋宁期花岗岩-中基性杂岩体-大理岩组合。大别—苏鲁超高压变质岩作为扬子板块陆壳主体俯冲经过超高压变质作用的产物,以花岗片麻岩和榴辉岩以及大理岩组合为代表,原岩为花岗岩(火山岩/中基性侵入体和泥页质(碳酸盐组合)(Liou et al., 1997; Jahn, 1998; Zhang et al., 1998),这一组合岩石与浅变质岩组合②的原岩相当,并可能包括浅变质岩组合①的少量岩石。

大量的同位素年代学研究证实,大别—苏鲁造山带高压-超高压变质岩的原岩年龄大致以新元古代(650~900 Ma)为主(Ames et al., 1993, 1996; 李曙光等, 1994; Rowley et al., 1997; Hacker et al., 1998, 2000; Xie et al., 1998; 简平, 1999; 陈道公等, 2000; 程裕淇等, 2000),其中东大别与榴辉岩共生大

理岩的原岩灰岩沉积时代为晚奥陶世(Zheng et al., 1997)。这些与浅变质岩系组合②的原岩形成时代一致,并可能包含组合①的部分岩石。因此,组合②的岩石代表了扬子板块北缘的陆壳主体。而以石英岩-千枚岩-石英片岩-大理岩为主的超高压带内部浅变质岩、佛子岭群上部层位和五莲群昆山组则代表了扬子板块北缘的陆壳表层沉积岩。显然,以佛子岭群和五莲群为代表的浅变质岩组合实际上代表了被刮削下来的扬子板块北缘的陆壳残片。

5 大陆板块俯冲加积楔形成的动力学过程

大别苏鲁浅变质岩在形成背景、岩石组合、构造组合、变质变形特征以及形成与就位过程等方面与大洋板块俯冲加积楔具有明显的可对比性,这是扬子大陆板块俯冲形成构造加积楔的主要标志,也是构造加积楔有别于其他构造单元的主要特征。同时大陆板块俯冲加积楔有其独特的特点,表现在大陆板块俯冲存在后期折返过程,因此造成了被刮削下来的浅变质岩石与被带入地下一定深度又折返回地表的超高压变质岩相邻分布,这既是大洋板块俯冲加积楔研究中未曾遇到的问题,同时也为大陆板块俯冲加积楔的研究提供了可对比的条件。

通过大别—苏鲁地区浅变质岩与超高压变质岩的岩石组合对比研究发现,两者都是前印支期扬子板块北缘大陆板块的组成部分。大别—苏鲁浅变质岩包括了扬子板块的俯冲陆壳基底岩石(花岗质侵入体-变质中基性杂岩-大理岩组合)及其表层沉积物(浅变质复理石岩系)两部分,而超高压变质岩主要代表了扬子板块北缘的俯冲陆壳基底岩石。大陆板块在俯冲过程中,俯冲陆壳表层岩石和表层沉积物等由于其密度小、孔隙度大,容易在板块俯冲过程中被刮削下来,呈楔形加积在仰冲的华北板块前缘,构成大陆板块俯冲的加积楔。这些岩石在刮削作用过程中,发生了强烈的褶皱和断裂,伴有低绿片岩相到低角闪岩相的动力变质作用,形成不同类型和时代岩石的相互叠置。这些岩石一部分对应于大别苏鲁造山带北麓的浅变质岩,即现今观察到的杨山群、佛子岭群和五莲群;另一部分对应于造山带内部的浅变质岩,例如大别山港河、苏鲁石桥和坪上浅变质岩系等。而构成俯冲陆壳的主体岩石(晋宁期花岗岩-中基性侵入杂岩和泥页岩-大理岩组合)及含少量陆壳表层沉积物,则被俯冲带入地幔深部,遭受高压超高压变质作用,形成以含柯石英榴辉岩和片麻岩

为为代表的超高压变质岩。因此两者在形成时代、构造背景、构造热事件时代以及部分原岩组合特征等方面存在明显的相似性。

前人已对大别—苏鲁造山带超高压变质岩的形成和折返过程进行了大量的研究,提出了各种构造模型(Yin et al., 1993; 徐树桐等, 1994; Ernst et al., 1995; 杨巍然等, 1995; Hacker et al., 1996, 1998, 2000; Liou et al., 1996; 张国伟等, 1996; Wang et al., 1999)。就板块俯冲加积楔及其中构造混杂岩形成机制,已有不少模型可借鉴(Cloos, 1984; Platt, 1986; Ring et al., 1999)。根据本文初步研究结果并结合前人研究资料,可将大别—苏鲁浅变质岩形成和就位的地球动力学过程分为以下4

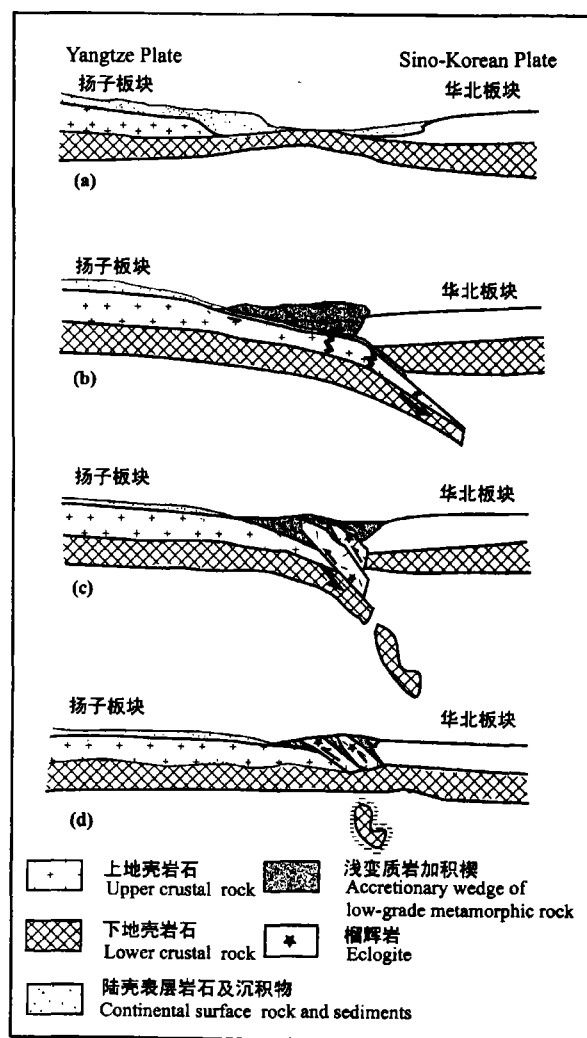


图4 扬子大陆板块俯冲形成构造加积楔的地球动力学模型

Fig. 4 Geodynamic model for formation of tectonic accretionary wedge by subduction of the Yangtze continental plate

个阶段(图4):

(1) 震旦纪一早古生代板块俯冲之前,浅变质岩和超高压岩石的原岩组合均为扬子板块北缘的陆壳岩石,包括陆壳基底岩石(对应于晋宁期花岗岩-中基性侵入杂岩和泥页岩-碳酸盐组合)及陆壳表层沉积物(对应于超高压带内部浅变质岩及佛子岭群和五莲群浅变质复理石岩系)(图4a)。

(2) 在加里东期洋-陆俯冲和印支期陆-陆俯冲和碰撞过程中,大部分陆壳表层沉积岩石(浅变质复理石岩系)和少量陆壳基底岩石(晋宁期花岗岩-中基性侵入杂岩和泥页岩-碳酸盐组合)以及俯冲过程中沉积下来的陆壳表层沉积物主体(杨山岩系)被刮削下来,这些岩石呈构造岩片状叠置,并发生强烈的褶皱和构造混杂,并伴随低绿片岩相为主的动力变质作用,形成加积楔。而扬子板块陆壳基底岩石的主体(晋宁期花岗岩-中基性侵入杂岩-碳酸盐组合)及少量表层沉积岩石(浅变质复理石岩系)则被俯冲板块带入地幔深度发生超高压变质作用(图4b)。

(3) 在晚印支期一早燕山期的陆-陆碰撞后期超高压岩石折返阶段,俯冲至地幔深度的陆壳岩石在俯冲过程中发生断离并在浮力作用下沿下地壳塑性滑脱面上冲,造成下部超高压岩石折返并底增生就位上部构造加积楔岩石中,造成超高压岩石与浅变质岩的构造混杂和毗邻分布(图4c)。

(4) 燕山晚期改造阶段,大别-苏鲁造山带整体抬升,造山带上部岩石(以加积楔岩石为主)发生剥蚀,造成下部岩石(以超高压变质岩为主)逐渐暴露地表,形成目前的构造格局(图4d)。

6 结论

针对大别-苏鲁造山带内部和北缘的浅变质岩,前人曾断续开展了50多年的专题研究,观点从传统的槽台学说现代板块构造理论,取得了许多重要地质成果。本文将新近发现的超高压变质带内部的浅变质岩与造山带北缘的浅变质岩系一起作为统一的构造单元来考虑,并将这些浅变质岩与毗邻的超高压变质岩结合起来进行综合对比研究,提出这些浅变质岩系是扬子大陆板块俯冲作用产生的构造加积楔。大别-苏鲁造山带为一典型由扬子板块向华北板块俯冲碰撞形成的超高压变质带,它在印支期发生强烈陆-陆俯冲和碰撞作用已被大量的同位素地质年代学研究所证实。在扬子板块作为俯冲盘向华北板块俯冲碰撞过程中,构成俯冲板块前缘的陆壳岩石和表层沉积物不可避免地参与了这一重大

地质过程。一方面,扬子板块北缘前印支期岩石(主要是新元古代沉积岩及其中的晋宁期岩浆岩)的大部分被带入地幔深度发生超高压变质,形成今天出露的含柯石英榴辉岩和片麻岩。另一方面,扬子板块北缘前印支期岩石的小部分及其上覆的复理石相沉积物在板块俯冲过程中被刮削下来,受到不同程度的动力变质作用和构造改造,形成目前观察到的浅变质岩,构成大陆板块俯冲形成大规模构造加积楔的残余部分。

本文得到刘德良、李曙光、尹安、张国伟、徐树桐、卢华复、李茂松、李继亮、马文璞、董树文和王清晨教授的帮助,在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 安徽省地质矿产局. 1987. 安徽省区域地质志. 北京:地质出版社.
- 安徽省地质矿产局. 1997. 安徽省岩石地层. 武汉:中国地质大学出版社.
- 曹荣龙,朱寿华. 1995. 安徽碧溪岭含柯石英榴辉岩 U-Pb 和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究. 地球化学, 24(2): 152~161.
- 陈道公, Isachsen C, 支霞臣, 周泰禧, 程昊, 夏群科. 2000. 安徽潜山片麻岩锆石 U-Pb 年龄. 科学通报, 45(2): 214~217.
- 程裕淇. 1994. 中国区域地质概论. 北京:地质出版社.
- 程裕淇, 刘敦一, Williams I S, 简平, 庄育勋, 高天山. 2000. 大别山碧溪岭深色榴辉岩和片麻状花岗质岩石 SHRIMP 分析. 地质学报, 74(3): 193~205.
- 董树文, 王小凤, 黄德志. 1996a. 大别山超高压变质带浅变质岩片的发现及意义. 科学通报, 41(9): 815~820.
- 董树文, 张勇, 黄德志. 1996b. 苏北超高压变质带石桥构造窗地质特征. 安徽地质, 6(1): 9~13.
- 杜建国, 张鹏, 姜俊峰. 1996. 安徽北淮阳地区构造岩相带的划分与对比. 安徽地质, 6(1): 19~27.
- 傅斌, 郑永飞, 肖益林, 等. 1998. 大别山苏家河地区榴辉岩和大理岩的地球化学研究. 地质学报, 72(4): 323~339.
- Howell D G. 1991. 地体构造学——山脉形成和大陆生长. 成都:四川科技出版社.
- 郝杰, 刘小汉. 1988. 桐柏-大别碰撞造山带推覆-滑脱构造及演化. 地质科学, (1): 1~9.
- 河南省地质矿产局. 1989. 河南省区域地质志. 北京:地质出版社.
- 河南省地质矿产局. 1997. 河南省岩石地层. 北京:中国地质大学出版社.
- 胡世玲, 郝杰, 李曰俊, 等. 1999. 大别山碧溪岭榴辉岩激光探针 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄. 地质科学, 34(4): 427~431.
- 简平, 杨巍然, 李志昌, 周慧芳. 1997. 大别山西部熊店加里东期榴辉岩同位素地质年代学的证据. 地质学报, 71(2): 133~141.
- 简平. 1999. 大别山东部榴辉岩同位素体系和变质作用的关系. 地球学报, 20(4): 341~348.
- 江苏省地质矿产局. 1995. 江苏省岩石地层. 武汉:中国地质大学出版社.
- 金福全, 颜怀学, 吕培基. 1987. 北淮阳地区地层研究的新进展. 合肥工业大学学报, (9): 3~10.
- 李曙光, 陈移之, 葛宁杰. 1994. 青岛榴辉岩及胶南片麻岩的锆石年龄. 科学通报, 38(20): 1773~1777.
- 李曰俊, 胡世玲, 金福全, 等. 1997. 扬山晚古生代沉积盆地成因类型及其与桐柏-大别造山带关系探讨. 地质科学, 32(1): 19~26.
- 刘若新, 樊祺诚, 李惠民, 等. 1995. 大别山碧溪岭石榴橄榄岩榴辉

- 岩体的原岩性质及同位素地质年代学启示. 岩石学报, 11(3): 243~256.
- 刘贻灿, 徐树桐, 江来利, 等. 1998. 大别山北部的变质复理石堆覆体. 中国区域地质, 17(2): 156~162.
- 马文璞. 1991. 大别山北麓的石炭系及其大地构造意义. 地质学报, 65(1): 17~26.
- 马文璞, 刘文灿, 王国胜. 1997. 梅山群的再定位、区域对比和构造含义. 现代地质, 11(1): 95~101.
- 马杏垣, 刘昌栓, 刘国栋. 1986. 江苏响水至内蒙古满都拉地学断面. 北京: 地质出版社.
- 聂宗笙. 1964. 大别山北麓石炭系划分对比问题. 地质论评, 22(6): 406~417.
- 牛宝贵, 富云莲, 刘志刚, 等. 1994. 桐柏(大别山主要构造热事件及 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 地质定年研究. 地球学报, 15(1~2): 20~33.
- 钱存超. 1996. 大别山榴辉岩带中浅变质火山碎屑岩特征及其构造背景. 安徽地质, 6(2): 15~20.
- 山东省地质矿产局. 1991. 山东省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 山东省地质矿产局. 1996. 山东省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 宋明春, 宋志勇. 1998. 对胶南造山带朋河石组的几点新认识. 山东地质, 14(1): 25.
- 史大年, 姜枚, 彭聪, 等. 1999. 大别—苏鲁造山带东部地壳结构的层析成像及广角反射的地震学研究. 地震学报, 21(4): 403~410.
- 苏育民. 1960. 大别山北麓变质岩系的时代问题. 地质论评, 20(6): 258~266.
- 谭应佳. 1997. 北淮阳梅山群的隶属及其地质构造若干问题. 现代地质, 11(2): 221~228.
- 汤加富, 钱存超, 高天山. 1995. 大别山区榴辉岩带中浅变质火山碎屑岩组合的发现及其地质意义. 安徽地质, 5(2): 29~36.
- 王清晨, 从柏林. 1998. 大别山超高压变质带的大地构造框架. 岩石学报, 14(4): 481~492.
- 魏春景, 单振刚, 张立飞, 等. 1996. 北大别榴辉岩的确定及其地质意义. 科学通报, 42(17): 1832~1835.
- 谢智, 陈江峰, 董树文. 1999. 大别造山带南部浅变质岩的锆石 U-Pb 年龄. 地球科学, 20(4): 335~340.
- 徐树桐, 刘贻灿, 江来利, 苏文, 季寿元. 1994. 大别山的构造格局与演化. 北京: 科学出版社.
- 杨巍然, 王林森, 韩郁菁, 等. 1994. 大别山蓝片岩榴辉岩年代学研究. 见: 陈好寿主编, 同位素地球化学研究. 杭州: 浙江大学出版社, 177~195.
- 杨巍然, 游振东, 韩郁菁, 张泽民, 韦必则, 刘嵘. 1995. 秦岭—大别高压超高压变质带构造特征及构造演化. 高校地质学报, 1(2): 53~64.
- 杨巍然, 杨坤光, 刘忠明, 等. 1999. 桐柏—大别造山带加里东期构造—热事件及其意义. 地学前缘, 6(4): 247~253.
- 杨志坚. 1964. 佛子岭群的地质时代问题. 地质论评, 22(5): 327~336.
- 杨文采, 程振炎, 陈国九, 等. 1999a. 苏鲁超高压变质带北部地球物理调查(1)深反射地震. 地球物理学报, 42(1): 41~52.
- 杨文采, 胡振远, 程振炎, 等. 1999b. 郯城—涟水综合地球物理剖面. 地球物理学报, 42(2): 206~217.
- 叶伯丹, 许俊文, 李志昌, 等. 1991. 桐柏—大别山地区苏家河群动物化石的发现及其意义. 中国地质, (3): 28~29.
- 叶伯丹, 简平, 许俊文, 等. 1993. 桐柏大别山北坡苏家河地体拼接带及其构成和演化. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 张国伟, 孟庆任, 于在平, 孙勇, 周鼎武, 郭安林. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. 中国科学(D辑), 26(3): 193~200.
- 张仁杰, 陈孝红. 1998. 桐柏—大别造山带苏家河群早奥陶世微体化石及其意义. 微体古生物学报, 15(2): 125~133.
- 张增奇, 迟守祥, 宋志勇, 等. 1994. 山东胶南岩群重新厘定及朋河石组的建立. 中国区域地质, 13(4): 354~356.
- 赵达, 程立人, 刘茂修. 1995. 胶南地区五莲群中管孔藻类的发现及其意义. 中国区域地质, 14(4): 379~384.
- 郑文武. 1964. 大别山东段“佛子岭群”的划分和时代问题. 地质论评, 22(5): 338~347.
- 周建波, 郑永飞, 李龙, 谢智. 2001. 大别—苏鲁超高压变质带内部的浅变质岩. 岩石学报, 17(1): 39~48.

References

- Ames L, Tilton G R, Zhou G. 1993. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites. *Geology*, 21: 339~342.
- Ames L, Zhou G, Xiong B. 1996. Geochronology and geochemistry of ultrahigh-pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons, central China. *Tectonics*, 15: 472~489.
- Anhui Bureau of Geology and Mineral Resoueces. 1987. *Regional Geology of Anhui Province*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Anhui Bureau of Geology and Mineral Resoueces. 1997. *Stratigraphy of Anhui Province*. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- Brown D, Spadea P. 1999. Processes of forearc and accretionary complex formation during arc-continent collision in the southern Ural Mountains. *Geology*, 27: 649~652.
- Cao Ronglong, Zhu Shouhua. 1995. U-Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological studies of coesite-bearing eclogite at Bixiling in Anhui. *Geochimica*, 24(2): 152~161 (in Chinese with English abstract).
- Carson B, Scream E J. 1998. Fluid flow in accretionary prisms: evidence for focused, time-variable discharge. *Rev. Geophys.*, 36: 329~351.
- Carswell D A, Wilson R N, Zhai M G. 2000. Metamorphic evolution, mineral chemistry and thermobarometry of schists and orthogneisses hosting ultra-high pressure eclogites in the Dabieshan of central China. *Lithos*, 52: 121~155.
- Chavagnac V, Jahn B-m. 1996. Coesite-bearing eclogites from the Bixiling Complex, Dabie Mountains, China: Sm-Nd ages, geochemical characteristics and tectonic implications. *Chem. Geol.*, 133: 29~51.
- Chen Daogong, Isachsen C, Zhi Xiachen, Zhou Taixi, Cheng Hao, Xia Qunke. 2000. Zircon U-Pb ages of gneiss from Qianshan in Anhui. *Chinese Sci. Bull.*, 45(2): 214~217 (in Chinese).
- Cheng Yuqi, Liu Dunyi, Williams I S, Jian Ping, et al. 2000. SHRIMP U-Pb dating of zircons of a dark-coloured eclogite and a garnet-bearing gneissic-granitic rock from Bixiling in eastern Dabie area. *Acta Geologica Sinica*, 74(3): 193~205 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Yuqi. 1994. *Regional Geology Conspectus in China*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Cloos M. 1983. Comparative study of melange matrix and metashales from the Franciscan subduction complex with the the basal Great Valley sequence, California. *Jour. Geol.*, 91: 291~306.

- Cloos M. 1984. Flow melanges and the structural evolution of accretionary wedges. In: *Melanges, Their Nature, Origin and Significance*. Special Paper of the Geological Society of America, 198: 71~79.
- Cong B L. 1996. Ultrahigh-Pressure Metamorphic Rocks in the Dabieshan-Sulu Region of China. Beijing: Science Press, 224.
- Cowan D S. 1985. Structural styles in Mesozoic and Cenozoic melanges in the western Cordillera of North America. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 96: 451~462.
- Dahlen F A. 1990. Critical taper model of fold-and-thrust belts and accretionary wedges. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 18: 55~99.
- Davis D, Suppe J, Dahlen F A. 1983. Mechanics of fold and thrust belts and accretionary wedges. *J. Geophys.*, 88: 1153~1172.
- Davis E E, Hyndman R D. 1989. Accretion and recent deformation of sediments along the northern Cascadia subduction zone. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 101: 1465~1480.
- Dong Shuwen, Wang Xiaofeng, Huang Dezhi, 1996a. Discovery of low-grade metavolcanic rock sheets within UHP belt in Dabieshan and its implications. *Chinese Sci. Bull.*, 41(9): 815~820 (in Chinese).
- Dong Shuwen, Zhang Yong, Huang Dezhi, 1996b. Geological feature of a tectonic window at Shiqiao within ultrahigh pressure metamorphic belt in North Jiangsu. *Anhui Geology*, 6(1): 9~13 (in Chinese with English abstract).
- Du Jianguo, Zhang Peng, Jiang Junfeng. 1996. The division and comparison of the Beihuaiyang tectonic facies belts. *Anhui Geology*, 6(1): 19~27 (in Chinese with English abstract).
- Ernst W G, Liou J G. 1995. Contrasting plate-tectonic styles of the Qinling-Dabie-Sulu and Franciscan metamorphic belts. *Geology*, 23: 253~256.
- Fu Bin, Zheng Yongfei, Xiao Yilin, et al. 1998. Geochemical studies of eclogites and marbles from Sujiahe in the western Dabie Mountains. *Acta Geologica Sinica*, 72(4): 323~339 (in Chinese with English abstract).
- Giunchi C, Richard Y. 1999. High-pressure/low-temperature metamorphism and the dynamics of an accretionary wedge. *Geophys. J. Intern.*, 136: 620~628.
- Hacker B R, Wang X, Eide E A, Ratschbacher L. 1996. Qinling-Dabie ultrahigh-pressure collisional orogeny. In: Yin A, Harrison T M, ed. *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge: Cambridge University Press, 345~370.
- Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, Ireland T, Walker D, Dong S. 1998. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie Orogen, China. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 161: 215~230.
- Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, McWilliams M O, Ireland T, Calvert A, Dong S, Wenk H-R, Chateigner D. 2000. Exhumation of ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Late Triassic-Early Jurassic tectonic unroofing. *J. Geophys. Res.*, B105: 13339~13364.
- Hamilton W B. 1988. Plate tectonics and island arcs. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 100: 1503~1527.
- Hao Jie, Liu Xiaohan. 1988. The large thrust-decollement structure and its evolution of Tongbai-Dabie collision type orogenic belt. *Scientia Geologica Sinica*, (1): 1~9 (in Chinese with English abstract).
- Henan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1989. *Regional Geology of Henan Province*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Henan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1997. *Stratigraphy of Henan Province*. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- Hu Shiling, Hao Jie, Li Yuejun, Dai Tongmo, Pu Zhiping. 1999. Laser probe $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isochron age of eclogite from Bixiling, Dabie UHP orogenic belt. *Scientia Geologica Sinica*, 34(4): 427~431 (in Chinese with English abstract).
- Jahn B-m. 1998. Geochemical and isotopic characteristics of UHP eclogites and ultramafic rocks of the Dabie orogen: implications for continental subduction and collisional tectonics. In: Hacker B, Liou J G, ed. *When Continents Collide: Geodynamics and Geochemistry of Ultrahigh Pressure Rocks*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishing, 203~239.
- Jian Ping, Yang Weiran, Li Zhichang, Zhou Huifang. 1997. Isotopic geochronological evidence for the Caledonian Xiongdi eclogite in the western Dabie Mountains, China. *Acta Geologica Sinica*, 71(2): 134~141 (in Chinese with English abstract).
- Jian Ping. 1999. The relationship between isotopic systems and metamorphism of the eclogites from the eastern Dabie Mountains. *Acta Geoscientia Sinica*, 20(4): 341~348 (in Chinese with English abstract).
- Jiangsu Bureau of Geology and Mineral Resources. 1997. *Stratigraphy of Jiangsu Province*. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- Jin Fuquan, Yan Huaixue, Nue Peiji. 1987. New progress in the study of stratigraphy in Beihuaiyang region. *Bulletin of Hefei University of Technology*, (9): 3~10 (in Chinese).
- Karig D E, Sharman G F. 1975. Subduction and accretion in trenches. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 86: 377~389.
- Le Pichon X, Henry P, Lallemand S. 1993. Accretion and erosion in subduction zones: the role of fluids. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 21: 307~338.
- Leggett J K, McKerrow W S, Eales M H. 1979. The Southern Uplands of Scotland: a Lower Paleozoic accretionary prism. *Jour. Geol. Soc. London*, 136: 755~770.
- Li S-G, Xiao Y-L, Liou D-L, Chen Y-Z, Ge N-J, Zhang Z-Q, Sun S-S, Cong B-L, Zhang R-Y, Hart S R, Wang S-S. 1993. Collision of the North China and Yangtze Blocks and formation of coesite-bearing eclogites: timing and processes. *Chem. Geol.*, 109: 89~111.
- Li S-G, Wang S-S, Chen Y-Z, Liu D-L, Qiu J, Zhou H-X, Zhang Z-M. 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-G, Chen Y, Ge N. 1994. U-Pb dating of zircon from eclogite

- and gneiss from South Shangdong. *Chinese Sci. Bull.*, 38(20): 1773~1777 (in Chinese).
- Li Shuguang, Han Weili, Huang Fang, et al. 1998. Sm-Nd and Rb-Sr ages and geochemistry of volcanics from the Dingyuan Formation in Dabie Mountains, Central China; Evidence for the Paleozoic magmatic arc. *Scientia Geologica Sinica*, 7(4): 461~470.
- Li S-G, Jagoutz E, Lo C-H, Chen Y-Z, Li Q-L, Xiao Y-L. 1999. Sm/Nd, Rb/Sr, and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic systematics of the ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie-Sulu Belt, Central China: A Retrospective View. *Intern. Geol. Review*, 41: 1114~1124.
- Li S-G, Jagoutz E, Chen Y-Z, Li Q-L. 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: 1077~1093.
- Li Yuejun, Hu Shiling, Jin Fuquan, et al. 1997. The genetic type of Yangshan Upper Paleozoic basin and its relation to the Tongbai-Dabie orogenic belt. *Scientia Geologica Sinica*, 32(1): 19~26 (in Chinese with English abstract).
- Liou J G, Zhang R-Y, Eide E A, Wang X M, Ernst W G, Maruyama S. 1996. Metamorphism and tectonics of high-pressure and ultrahigh-pressure belts in the Dabie-Sulu region, China. In: Harrison M T, Yin A, ed. *The Tectonics of Asia*. Cambridge: Cambridge University Press, 300~344.
- Liou J G, Zhang R Y, Jahn B-M. 1997. Petrology, geochemistry and isotope data on a ultrahigh-pressure jadeite quartzite from Shuanghe, Dabie Mountains, East-central China. *Lithos*, 41: 59~78.
- Liu Ruoxin, Fan Qicheng, Li Huimin, Zhang Qi, Zhao Dasheng, Ma Baolin. 1995. The protolith nature of garnet peridotite-eclogite intrusion at Bixiling in Dabieshan as implied by isotope geochronology. *Acta Petrologica Sinica*, 11(3): 243~256 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yican, Xu Sutong, Jiang Laili. 1998. The meta-flysch nappe in the northern part of the Dabie mountains. *Regional Geology of Chian*, 17(2): 156~162 (in Chinese with English abstract).
- Ma Wenpu. 1991. The Carboniferous at the northern foot of the Dabie mountains and its tectonic implications. *Acta Geologica Sinica*, 65(1): 17~26 (in Chinese with English abstract).
- Ma Wenpu, Liu Wencan, Wang Guosheng. 1997. Replacing of Meishan Group, north Dabie mountains and its correlation and tectonic implication. *Geoscience*, 11(1): 95~101 (in Chinese with English abstract).
- Ma Xingyuan, Liu Cangshuan, Liu Guodong. 1986. *Geoscience transect from Jiangsu Jiashan to Inner Mongolia Mandula*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Mattauer M, Matte P, Malavieille J, Tapponnier P, Maluski H, Qin X Z, Lun L Y, Qin T Y. 1985. Tectonics of the Qinling Belt: Build-up and evolution of eastern Asia. *Nature*, 317: 496~500.
- McKerrow W S, Leggett J K, Eales M H. 1977. Imbricate thrust model of the Southern Uplands of Scotland. *Nature*, 267: 237~239.
- Moore J C. 1989. Tectonics and hydrogeology of accretionary prisms: role of the decollement zone. *J. Struct. Geol.*, 11: 95~106.
- Moore J C, Vrolijk P. 1992. Fluids in accretionary prisms. *Rev. Geophys.*, 30: 113~135.
- Moores E M, Twiss R J. 1995. *Tectonics*. New York: W H Freeman and Company, 415.
- Niu Baogui, Fu Yunlian, Liu Zhigang, et al. 1994. Main tectonothermal events and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Tongbai-Dabie mts. *Acta Geoscientia Sinica*, 15(1~2): 20~33 (in Chinese with English abstract).
- Nie Zongsun. 1964. On division and comparison of Carbonaceous stratigraphy in the norther Dabie Mountains. *Geological Review*, 22(6): 406~417 (in Chinese).
- O' Hara K D, Yang X-Y, Xie G-Y, Li Z-C. 1997. Regional $\delta^{18}\text{O}$ gradients and fluid-rock interaction in the Altay accretionary complex, northwest China. *Geology*, 25: 443~446.
- Okay A I, Sengor A M C, Satir M. 1993. Tectonics of an ultrahigh-pressure metamorphic terrane: the Dabie Shan/Tongbai Shan orogen, China. *Tectonics*, 12: 1320~1334.
- Okay A I, Xu S-T, Sengor A M C. 1989. Coesite from the Dabieshan eclogites, Central China. *Eur. J. Mineral.*, 1: 595~598.
- Oliver N H S. 1996. Review and classification of structural controls on fluid flow during regional metamorphism. *J. Metamorph. Geol.*, 14: 477~492.
- Platt J P. 1986. Dynamics of orogenic wedges and the uplift of high-pressure metamorphic rocks. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 97: 1037~1053.
- Qian Cunchao. 1996. Geological features and tectonic settings of low-grade metamorphic volcanics within eclogite belt in Dabieshan. *Anhui Geology*, 6(2): 15~20 (in Chinese with English abstract).
- Ring U, Brandon M T. 1999. Ductile deformation and mass loss in the Franciscan subduction complex: implications for exhumation processes in accretionary wedges. In: Ring U, Brandon M T, Lister G S, Willett S D, ed. *Exhumation Processes: Normal Faulting, Ductile Flow and Erosion*. Geological Society Special Publications, 154: 55~86.
- Rowley D B, Xue F, Tucker R D, Peng Z X, Baker J, Davis A. 1997. Ages of ultrahigh pressure metamorphism and protolith orthogneisses from the eastern Dabie Shan; U/Pb zircon geochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 151: 191~203.
- Schulmann K, Gayer R. 2000. A model for a continental accretionary wedge developed by oblique collision: the NE Bohemian Massif. *J. Geol. Soc. London*, 157: 401~416.
- Sengor A M C, Altmer D, Cin A, Ustaomer. 1988. Origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expense of Gondwana Land. *Geol. Soc. Spec. Publ. London*, 37: 119~181.
- Sengor A M C, Natal' n B A, Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 364: 299~304.
- Sengor A M C, Okurogullari A H. 1991. The role of accretionary

- wedges in the growth of continents; Asiatic examples from Ar-gand to plate tectonics. *Ecl. Geol. Helv.*, 84: 535~597.
- Shandong Bureau of Geology and Mineral Resoueces. 1987. *Regional Geolgy of Shandong Province*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Shandong Bureau of Geology and Mineral Resoueces. 1997. *Stratigraphy of Shandong Province*. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- Shi Danian, Jiang Mei, Peng Cong, et al. 1999. Results on the crustal struture of the eastern Dabie orogenic belt from the Seismic tomography and wide-angle reflection studies. *Acta Seismologica Sinica*, 21(4): 403~410 (in Chinese).
- Song Mingchun, Song Zhiyong. 1998. Some new pointviews on Penghesi Group in Jiaonan orogen. *Shandong Geology*, 14(1): 25 (in Chinese).
- Su Yuming. 1960. On the times of metamorphic rocks in the northern Dabie Mountains. *Geological Review*, 20(6): 258~266.
- Tan Yingjia. 1997. An Attribution of Meishan group and discussion on some questions about geological structures in Beihuaiyang area. *Geoscience*, 11(2): 221~228 (in Chinese with English abstract).
- Tang Jiafu, Qian Cunchao, Gao Tianshan. 1995. Association of low-grade metamorphic volcanoclastics within eclogite belt in Dabieshan and its geological significance. *Anhui Geology*, 5(2): 29~36 (in Chinese with English abstract).
- Tarback E J, Lutgens F K. 1994. *Earth Science*. 7th Edition. New York: Macmillan College Publishing Company.
- von Huene R, Scholl D W. 1991. Observation at convergent margins concerning sediment subduction, subduction erosion, and the growth of continental crust. *Rev. Geophys.*, 29: 279~316.
- Wakabayashi J. 1992. Nappes, tectonics of oblique plate convergence, and metamorphic evolution related to 140 million years of continuous subduction, Franciscan Complex, California. *Jour. Geol.*, 100: 19~40.
- Wakabayashi J, Unruh J R. 1995. Tectonic wedging, bluescist metamorphism, and exposure of blueschists: are they compatible? *Geology*, 23: 85~88.
- Wang Qingchen, Cong Bolin. 1998. Tectonic framework of the ultrahigh-pressure metamorphic zone from the Dabie Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 14(4): 481~492 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qincheng, Cong Bolin. 1999. Exhumation of UHP terranes: a case study from the Dabie Mountains, eastern China. *Intern. Geol. Rev.*, 41: 994~1004.
- Wang X-M, Liou J G, Mao H-K. 1989. Coesite-bearing eclogites from the Dabie Mountains in central China. *Geology*, 17: 1085~1088.
- Wang X-M, Zhang R Y, Liou J G. 1995. UHP terrane in east central China. In: Coleman R, Wang X M, ed. *Ultrahigh Pressure Metamorphism*. Cambridge: Cambridge University Press, 356~390.
- Warr L N, Primmer T J, Robinson D. 1991. Variscan very low-grade metamorphism in southwest England: a diastathermal and thrust-related origin. *Jour. Metamor. Geol.*, 9: 751~764.
- Warr L N, Greiling R O, Zachrisson E. 1996. Thrust related very low grade metamorphism in the marginal part of an orogenic wedge, Scandinavian Caledonides. *Tectonics*, 15: 1213~1229.
- Webb L E, Hacker B R, Ratschbacher L, McWilliams M O, Dong S. 1999. Thermochronological constraints on deformation and cooling history of high- and ultrahigh-pressure rocks in the Qinling—Dabie orogen, eastern China. *Tectonics*, 18: 621~638.
- Windley B F. 1995. *The Evolving Continents*. 3rd Edition. Chichester: John Wiley and Sons, 526.
- Wei Chunjing, Shan Zhenggang, Zhang Lifei, et al. 1996. Occurrence of eclogite in North Dabie and its geological significance. *Chinese Science Bulletin*, 42(17): 1832~1835 (in Chinese).
- Xie Z, Chen J-F, Zhou T-X. 1998. U-Pb zircon ages of the rocks in the North Dabie terrain, China. *Scientia Geologica Sinica*, 7: 501~511.
- Xie Zhi, Chen Jiangfeng, Dong Shuwen, Li Huimin, Zhou Taixi, Zuo Yicheng, Zhou Hongying. 1999. The zircon U-Pb ages of the low-grade metamorphic rocks in the southern part of Dabie Mountains, China. *Acta Geoscientia Sinica*, 20(4): 335~340 (in Chinese with English abstract).
- Xu S T, Okay A I, Ji S Y, Sengor A M C, Su W, Liu Y-C, Jiang L-L. 1992. Diamond from the Dabie Shan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting. *Science*, 256: 80~82.
- Xu Shutong, Liu Yican, Jiang Laili, et al. 1994. Tectonic Regime and Evolution of the Dabie Mountains. Beijing: Science Press (in Chinese with English abstract).
- Yang Weiran, Wang Lisen, Han Yujing, Zhang Zemin, Liu Rong. 1994. A study on geochronology of the Dabie blueschists-eclogites in central China. In: Chen Haoshou, ed. *Studies of Isotope Geochemistry*. Hangzhou: Zhejiang University Press, 177~186 (in Chinese).
- Yang Weiran, You Zhengdong, Han Yuqing, Zhang, et al. 1995. The tectonic characteristics and evolution of the Qinling—Dabie high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic belt, Central China. *Geological Journal Unerversities*, 1(2): 53~64 (in Chinese with English abstract).
- Yang Weiran, Yang Kunguang, Liu Zhongming, et al. 1999. Caledonian tectono thermal event in Tongbal—Dabei orogenic belt and its singnificance. *Earth Science Frontiers*, 6(4): 247~253 (in Chinese with English abstract).
- Yang Wencai, Cheng Yanjiu, Chen Guojiu, et al. 1999a. Geophysical investigations in northern Sulu UHPM belt, part I: deep seismic relection. *Chinese Journal of Geophysics*, 42(1): 41~52 (in Chinese with English abstract).
- Yang Wencai, Hu Zhengyuan, Cheng Zhenjiu, et al. 1999b. Long profile of geophysical investigation from Tanchen to Lianshui, east-central China. *Chinese Journal of Geophysics*, 42(2): 206~217 (in Chinese with English abstract).
- Yin A, Nie S Y. 1993. An identation model for North and South China collision and the development of the Tan-Lu and Honam fault

- systems, eastern Asia. *Tectonics*, 12: 801~813.
- Yang Zhijian. 1964. On the geological times of Foziling Group. *Geological Review*, 22(5): 327~336 (in Chinese).
- Ye Boden, Jian Ping, Xu Junwen, et al. 1993. The Sujiahe Terrane Collage Belt and Its Constitution and Evolution along the North Hillslope of the Tongbai—Dabie Orogenic Belt. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 81 (in Chinese with English abstract).
- Ye Boden, Xu Junwen, Li Zhichang, et al. 1991. Discovery of animal fossil within Sujiahe Group in Tongbai—Dabie region and its significance. *China Geology*, (3): 28~29 (in Chinese).
- Zhang Guowei, Meng Qinren, Yu Zaiping, et al. 1996. Orogenic processes of Qinling orogenic belt and its dynamic features. *Science in China (D)*, 26(3): 193~200 (in Chinese).
- Zhang Zengqi, Chi Shouxiang, Song Zhiyong, et al. 1994. Redetermination of Jiaonan Group in Shandong and establishment of Pengshishi Group. *Regional Geology of China*, 13(4): 354~356 (in Chinese).
- Zhang R Y, Liou J G. 1998. Ultrahigh-pressure metamorphism of the Sulu terrane, eastern China: a prospective review. *Continental Dynamics*, 3: 32~53.
- Zhang Renjie, Cheng Xiaohong. 1998. The discovery of early ordovician microfossils from the Sujiahe group of Tongbo—Dabie orogenic belt and its significances. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 15(2): 125~133 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Da, Cheng Liren, Liu Maoxiu. 1995. The discovery of solenopora in the Wulian group in the Jiaonan area, Shandong, and its significance. *Regional Geology of China*, 14(4): 379~384 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Wenwu. 1964. Division of Foziling Group in eastern Dabie and its times. *Geological Review*, 22(5): 338~347 (in Chinese).
- Zheng Y-F, Fu B, Gong B, Xiao Y-L, Ge N-J. 1997. U-Pb dating of marble associated with eclogite from the Dabie Mountains, East China. *Chinese J. Geochem.*, 16(3): 193~201.
- Zhou Jianbo, Zheng Yongfei, Li Long, Xie Zhi. 2001. On low-grade metamorphic rock within Dabie—Sulu ultrahigh pressure metamorphic belt. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1): 39~48 (in Chinese with English abstract).

Accretionary Wedge of the Subduction of the Yangtze Plate

ZHOU Jianbo, ZHENG Yongfei, LI Long, XIE Zhi

Department of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, 230026

Abstract

It is well established that the accretionary wedge is a large wedge-shaped mass of sediments that has accumulated in subduction zones and accreted to overriding crustal blocks. A great deal of studies have been devoted to the accretionary wedge of oceanic plate subduction in last two decades. Its general characteristics and occurrence are summarized at first in this paper in order to identify the accretionary wedge of continental plate subduction. A number of controversial low-grade metamorphic rocks in the interior and the northern margin of the Dabie—Sulu orogen are investigated in this study, which are ascribed to a portion of the accretionary wedge due to the subduction of the Yangtze plate. The low-grade metamorphic rocks are mostly at greenschist facies and consist of two parts. One occurs in the interior of the ultrahigh pressure belt and is composed of metaclastics, phyllite and marbles, while the other occurs on the northern margin of the belt and is composed of slates, schists, phyllites, metasandstones and marble as well as strongly deformed intrusions. Palaeontological, petrological and geochronological evidence shows that most of the metasedimentary rocks were deposited at the northern passive continental margin of the Yangtze plate as a flysch facies prior to Triassic, and suffered dynamic metamorphism of greenschist-facies due to plate subduction. Both Caledonian and Indonisian events were dated, being concordant with tectonic events experienced by the ultrahigh pressure rocks in the Dabie—Sulu orogen. Obviously, the low-grade metamorphic rocks were scraped off from the subducting Yangtze continental plate and thus correspond to a part of the accretionary complexes of the Yangtze plate subduction. Within the framework of the accretionary wedge of continental plate subduction, the low-grade metamorphic rocks in the interior and northern margin of the Dabie—Sulu orogen can be unified as a whole in comparison with the ultrahigh pressure metamorphic rocks. Relationship in time and space between the low-grade and ultrahigh pressure metamorphic rocks can be studied in order to understand the geodynamics of the Yangtze plate subduction.

Key words: accretionary wedge; plate tectonics; continental subduction; low-grade metamorphic rock; Dabie—Sulu orogen