

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

大别造山带超高压变质岩折返隆升的地层学证据

——毛坦厂组榴辉岩砾石的启示

李双应¹⁾ 岳书仓¹⁾ 王道轩¹⁾ 刘 因¹⁾ 王清晨²⁾ 李任伟²⁾ 孟庆任²⁾ 金福全¹⁾

1) 合肥工业大学资源与环境科学系,安徽,230009; 2) 中国科学院地质与地球物理研究所,北京,100029

内容提要 大别山北缘地区发育厚达近万米的中新生代碎屑岩,它们记录着大别造山带自侏罗纪以来的演化历史。在安徽省六安地区毛坦厂组中,发现多块榴辉岩砾石。砾石新鲜,质地坚硬,表明属于第一旋回砾石。榴辉岩由石榴子石、多硅白云母、绿帘石、石英、金红石等组成。具有明显的退变质作用,发育以钠长石和闪石类组成的后成合晶、以及石榴子石周边的次变边。石榴子石以铁铝榴石和钙铝榴石为主,属于C类榴辉岩。根据其特征应该属于大别山南部和北部超高压榴辉岩。毛坦厂组层位确切,古生物化石和同位素年龄都表明以晚侏罗世为主。这一发现表明,在晚侏罗世,以榴辉岩为代表的造山带根部物质,即超高压变质岩已经出露地表,并作为毛坦厂组的物源。因此,大别造山带超高压变质岩折返到地表,最迟在晚侏罗世。

关键词 超高压变质带 折返隆升 榴辉岩砾石 毛坦厂组 大别山北缘

高压—超高压变质岩系的广泛剥露,是大别造山带的重要特点,也使它成为世界上最有影响的碰撞造山带之一。自80年代以来,中外学者从岩石学、矿物学、同位素年代学、地球化学、构造地质学等对超高压变质岩进行了广泛而又深入的研究,并使之占据国际超高压研究领域的领先地位(王鸿祯等,1982;李曙光等,1989;徐树桐等,1992;董树文等,1993;王清晨等,1998;从柏林等,2000)。但是,目前的研究依然方兴未艾。特别是超高压变质岩的折返机理和折返隆升的年代近来更是引起了人们的广泛关注。超高压变质岩是如何从地球深处折返至地表的?如何确定超高压变质峰期和快速折返事件的年代?不仅是令科学家感兴趣的科学问题,也是若干研究难题之一(Cong Bolin et al., 1999)。现在这些超高压变质岩的代表榴辉岩的露头均高耸于大别山之巅,这些地壳深部的物质何时抬升到地表,成为隆起区或高峻的山脉,并作为沉积岩物源,一直是地质学家极为关注的问题。最近,在安徽六安地区晚侏罗世毛坦厂组,采获了多块榴辉岩砾石。这一发现表明,大别造山带在晚侏罗世就已经折返隆升,并遭受强烈剥蚀,以榴辉岩为代表的造山带根部物质即超高压变质岩已经出露地表,并成为毛坦厂组的物源。

1 折返年代学研究现状

近年来,人们通过区域地质、变质岩岩石学、同位素年代学、显微构造学、花岗岩的演化等对大别造山带的折返年代进行了研究,并给出了多种结论。Wang and Cong(1999)根据先前的资料,并结合变质作用 $p-t$ 轨迹、区域构造以及深部下地幔结构研究,认为大别造山带折返是多阶段的,时间230~120Ma,即晚三叠世到早白垩世。第一阶段(230~200Ma)是以塑性变形为特征,部分超高压变质岩折返到60km深度;第二阶段(200~170Ma)以塑性变形和角闪石相退变质作用为特征;第三阶段(170~120Ma)以伸展、热隆升和侵蚀作用为特征,在大别山两侧发育沉积盆地和火山岩。郭振宇等(1998)根据近期大别造山带各类变质岩地层中同位素年龄数据分析,认为这些高压、超高压变质岩石在220Ma开始折返,然后在206~178Ma快速完成角闪岩相退变质作用;北大别岛弧物质在133~122Ma间快速抬升;在120~110Ma时,大别造山带高压、超高压变质岩石运动到地壳同一深度位置,并停止了相对运动。杨巍然等(2000)认为大别造山带中、新生代主要表现为隆升作用,时间上可分为三个阶段,早燕

注:本文为国家重点基础研究发展规划(编号G1999075507)项目资助的成果。

收稿日期:2001-10-12;改回日期:2002-05-19;责任编辑:郝祥国。

作者简介:李双应,男,1956年生。1982年毕业于合肥工业大学地质系地质普查与矿床勘探专业。1987年获硕士学位。现为合肥工业大学教授,硕士生导师(在职博士生),主要从事沉积学和地球化学的教学与研究。通讯地址:230009,安徽省合肥工业大学资源与环境工程学院,电话:0551-3647852;E-mail:lsy@mail.hf.ah.cn

山期楔入-分层隆升,晚侏罗世—早白垩世拆沉均衡隆升,晚白垩世以来伸展断块隆升。大别的成山作用大致比碰撞晚 40Ma。游振东等(2000)认为高压、超高压变质岩的退变质显微构造现象是其隆升折返的岩石记录,并据此得出如下结论,中朝—扬子克拉通大陆斜向碰撞,240~210Ma 是超高压形成阶段;在 210~200Ma 超高压变质岩从地幔深度侵出于中下地壳;200~170Ma 超高压变质岩在地壳伸展体制下折返至中上地壳并伴随有花岗岩浆的形成;大致在 130Ma 左右,才有区域性的伸展造山带的垮塌和大规模的花岗岩体侵入。桑隆康等(2000)根据大别造山带核部燕山晚期花岗岩的研究,认为大别造山带核部的隆升主要发生在早白垩世,即早白垩世(124~122Ma)和早白垩世末至晚白垩世(121.5~84Ma),而且前期是迅速隆升阶段,后期是缓慢隆升阶段。索书田等(2000)认为大别—苏鲁区超高压及高压变质岩石于三叠纪碰撞后,在伸展体制控制下的折返作用发生于 200~170Ma,可能延续到 130Ma。而且在伸展构造发育阶段,超高压和高压变质岩石均还处于地壳深部。徐士进等(2000)根据变质花岗岩中钠铁云母和黑云母的⁴⁰Ar-³⁹Ar 坪年龄测定,认为大别造山带早期的快速折返运动的时段为 203.9~180.8Ma,而以变质花岗岩中的锆石和磷灰石 FT 定年,推断大别造山带的第二次快速折返运动发生在早第三纪^①。

实际上,单纯对大别造山带和岩浆-变质作用的研究难以准确地和完整地揭示造山带的折返规律和演化历史,关键因素在于造山带折返隆升而导致的强烈的剥离作用使得造山运动的信息难以从造山带本身得到恢复。相反,以造山带为物源区的周缘盆地中的沉积物却比较准确地记录着物源区的成分特征,记录着造山带的演化历史(李忠等,1999;2000)。大别山北缘地区发育厚达近万米的中新生代碎屑岩,它们记录着大别造山带自侏罗纪以来的演化历史。最近,作者在安徽六安地区晚侏罗世毛坦厂组,采获了多块榴辉岩砾石。这一发现表明,早在晚侏罗世(157Ma)之前,大别造山带就已隆升,并遭受强烈剥蚀。到晚侏罗世,以榴辉岩为代表的造山带根部物质即超高压变质岩已经出露地表,并作为毛坦厂组等地层的物源。

2 位置及地层

榴辉岩砾石露头位于安徽省六安顺河店横岭村(E:116°36'16",N:31°27'2";图 1),该区出露的地层

有毛坦厂组和凤凰台组,榴辉岩砾石发育于毛坦厂组底部。北淮阳地区中生界的三尖铺组和凤凰台组地层时代曾几经变动:杨志坚(1964)将其置于毛坦厂组之上,时代归属早白垩世;安徽区调队(1974)将其置于毛坦厂组之下,时代为中侏罗世;在 1988 年又把它们置于毛坦厂组之上,时代为晚白垩世;1997 年又重新把它们置于毛坦厂组之下,时代属晚侏罗世(安徽省地矿局,1988;1997)。最近,作者之一(王道轩等,2000)通过对三尖铺组泥岩样品的伊利石⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代学研究,其年龄为 157.7~159.5Ma,相当于中侏罗世晚期。覆于三尖铺组之上的凤凰台组则为晚侏罗世。这也是目前多数研究者的观念。

但是毛坦厂组层位确切,化石证据充分,一直以晚侏罗世为主。毛坦厂组是杨志坚(1959)最早命名。其代表性剖面取自六安县毛坦厂镇的鸡鸣岭到高牌楼一线。它是区域内典型的火山岩系组成的地层。以安山岩、粗安岩、熔岩角砾岩、凝灰质角砾岩为主,夹火山活动间歇期的凝灰质砂岩、粉砂岩等沉积岩层。毛坦厂组在区域内主要沿大别山北缘断裂带分布,以及发育在山区断陷盆地的两侧和沿庐断裂带。该组的厚度与岩性以及剖面的完整程度各地相差较大,总的有由西向东(或南)可由 5000 多米到近 1km 的变薄趋势。毛坦厂组火山沉积夹层中,含有较丰富的动、植物化石,为 *Xishanoconcha* (西山蚌)—*Probaicalia* (前贝加尔螺)—*Eosestheria* (东方叶肢介)组合,代表晚侏罗世后期产物。金寨鲜花岭地区的毛坦厂组安山岩 K-Ar 同位素年龄为 150~130Ma,所以毛坦厂组的时代可以确定为以晚侏罗世为主(杨为民等,1995;金福全等,1999)。

3 榴辉岩砾石的岩石学特征

毛坦厂组底部由岩块砾岩组成(图版 h)。砾石含量大于 70%,基质主要是凝灰质,其次是陆源碎屑。砾石成分大致可以分为三类,一是安山岩、玄武岩等;二是以片麻岩、片岩为主的变质岩砾石;三是榴辉岩。榴辉岩砾石呈浑圆状和椭球状,大小为 5×8×10cm~10×15×20cm(图版 g、h)。这些榴辉岩砾石,没有任何烘烤痕迹,有好的磨圆度,完全可以肯定是陆源成因,而不是火山角砾。按颜色和风化特征,榴辉岩砾石可以分为两类。一类呈灰绿色到深绿

^① 徐士进,王汝成,吴维平,孙海婷,方中. 2000. 大别山超高压变质带晚元古代花岗岩及其快速抬升史:U-Pb/Ar-Ar 和 FT 年龄证据(摘要). 大别山造山带(安徽)地质现场讨论会.

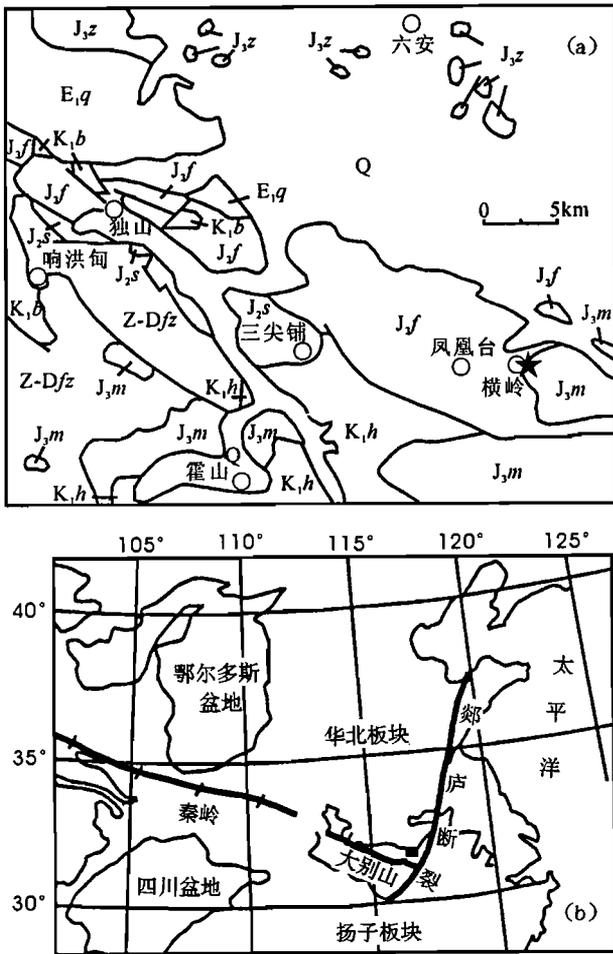


图 1 大别山造山带北缘毛坦厂组榴辉岩砾石出露地点(a)及区域构造位置(b)

Fig. 1 Location maps of eclogite gravels distribution (a) in Maotanchang Formation and studying area (b) in the north of Dabie orogen

Q—第四系; E_{1q}—威家桥组; K_{1b}—白大畈组; K_{1h}—黑石渡组; J_{3m}—毛坦厂组; J_{3f}—凤凰台组; J_{2s}—三尖铺组; J_{3z}—周公山组; Z—Dfz—佛子岭群; ★—榴辉岩砾石出露点; ■—研究区组
 Q—Quaternary; E_{1q}—Qijiaqiao Formation; K_{1b}—Baidafan Formation; K_{1h}—Heishidu Formation; J_{3m}—Maotanchang Formation; J_{3f}—Fenghuantai Formation; J_{2s}—Sanjianpu Formation; J_{3z}—Zhougongshan Formation; Z—Dfz—Fuziling Group; ★—outcrop of eclogite gravels; ■—location of the studying area

色, 粒状变晶结构, 片状或片麻状构造。质地坚硬, 矿物颗粒较细, 粒径一般小于 2mm, 以 0.1~0.5mm 为主(样品 HL03-1, 2, HL02)。主要成分有石榴子石、多硅白云母、石英、绿帘石和后成合晶等(图版 a, b, c), 此外有金红石、蓝晶石等。另一类榴辉岩砾石呈灰黄色, 中粒变晶结构, 块状构造, 岩石较疏松(样品 SHH02)。主要成分为石榴子石、多硅白云母、石英、绿帘石、后成合晶和金红石等(图版 f)。

石榴子石为粒状, 晶体自形到半自形, 浅红褐

色, 裂理发育, 内部金红石包裹体发育。边缘具退化边(图版 a, b)。根据电子探针分析, 石榴子石以铁铝榴石为主, 其次是钙铝榴石。铁铝榴石 26.00%~65.43%, 平均 56.88%; 钙铝榴石 16.63%~74.26%, 平均 28.68%; 镁铝榴石 0%~20.17%, 平均 12.63%; 锰铝榴石 0%~2.95%, 平均 1.59% (表 1)。

多硅白云母成片状, 粒径 0.1~0.5mm, 无色, 平行 001 解理完全(图版 d, f)。多硅白云母的硅阳离子数 3.42~3.49(以 O=11 为单位), 高于大别山多硅白云母 Si 平均值 3.32(3.143~3.558), 类似于美国弗兰西斯科和日本三波川, 属于高压相(吴利仁等, 1998)。取 C 类榴辉岩形成温度 $t = 450 \sim 550^\circ\text{C}$, 根据 Massonne H-J et al. (1989) 的计算公式, 压力范围大于 22kb, 即: 2.2GPa, 同样属于高压相。

绿帘石, 薄片无色, 纵切面常常呈柱状, 001 面上的解理缝发育, 正突起高, 常常见到靛蓝色的异常干涉色。多以原生矿物存在, 也有以后成合晶存在, 前者在两类榴辉岩中都发育。

后成合晶结构是一种细粒的、由两种或三种矿物组成的交织结构或蠕虫状的连生集合体, 这些矿物或作为绿辉石或石榴子石的次变边, 或出现于石榴子石和绿辉石之间。次变边乃呈放射状附生在如主晶石榴子石周边。这些次变边由各种不同矿物——包括斜长石、角闪石和(或)绿帘石组成。吴利仁等(1998)研究认为, 大别山榴辉岩的次生蚀变常见有沿石榴子石颗粒边缘的绿泥石化, 石榴子石被角闪石+绿帘石+斜长石取代, 绿辉石变成角闪石与斜长石的合晶。魏春景等(1997)在研究水竹河榴辉岩时, 发现榴辉岩中原来的绿辉石均变成了由细小角闪石和斜长石构成的后成合晶。本文榴辉岩砾石中后成合晶发育, 由斜长石和闪石类矿物交织而成, 呈淡绿色的雾状(图版 a, b, c)。在样品 HL03-2、HL03-1 中, 后成合晶的电子探针分析表明, 主要由钠长石组成, An 分子占 0.6%~7.9%, Ab 分子占 92.1%~99.2%(表 1)。角闪石(Amp), 镜下为浅绿色, 在高倍镜下显示出它与钠长石一起构成港湾结构、蚕蚀结构等, 其中有出溶的磁铁矿分布。根据 Leake(1978)的分类, 角闪石类应为浅闪石—阳起石质角闪石。次变边主要发育于石榴子石颗粒周围, 由斜长石和角闪石以及绿帘石组成, 局部有绿泥石化(图版 d)。推测后成合晶的原始矿物应该是绿辉石。榴辉岩中后成合晶发育, 代表着榴辉岩砾石的原岩

经历了角闪岩相退化变质作用阶段。

4 榴辉岩砾石来源初步讨论

目前在大别造山带已经发现的与变质岩共生的榴辉岩已有三地,即大别山南部岳西碧溪岭地区,大别山北部的舒城水竹河地区以及大别山西部熊店地

区,或分别称之为南大别榴辉岩、北大别榴辉岩和大别山西部榴辉岩。而且它们的岩石学特征、形成年代特征以及人们的认识也不尽相同。因此,大别造山带北缘晚侏罗世毛坦厂组中发现的榴辉岩砾石以及包括在凤凰台组中发现的榴辉岩砾石,究竟来自何处,是值得讨论的问题。

表 1 大别山北缘毛坦厂组榴辉岩砾石电子探针分析结果

Table 1 Electron microprobe analysis of eclogite gravels in Maotanchang Formation in Northern Dabie Mountains

样品号	矿物	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	总和	Si	Al	Ti	
HL03-1	Grt	38.10	0.25	20.99	0.11	29.11	0.66	3.83	0.38	6.68			0.14	100.3	3.02	1.96	0.02	
	Grt	38.20	0.15	20.90		28.69	0.87	3.99	0.05	6.87	0.13	0.02	0.27	100.1	3.02	1.95	0.01	
	*	Grt	37.38	0.17	24.10		26.41	0.74	5.15		6.96	0.02	0.01	100.9	3.00	2.07	0.01	
		Phe	50.26	0.66	26.95	0.10	2.76		2.73	0.21		0.15	8.44	0.08	92.34	3.42	2.17	0.03
	*	Amp	52.73	0.08	2.57		12.02	0.11	15.52		11.76	0.82	0.12		95.74	7.73	0.27	0.01
	*	Amp	49.54	0.05	5.62		10.85	0.29	15.57		11.15	1.16	0.21		94.42	7.36	0.64	0.01
	*	Pl	67.52		18.85		0.25	0.03			0.25	12.39	0.03		99.34	2.99	0.98	
	*	Pl	68.18	0.02	18.26		0.36		0.43		0.39	11.93	0.09		99.65	3.00	0.95	
		Pl	69.73		20.60	0.07	0.77		0.79	0.04	0.86	5.53		0.51	98.90	3.01	1.05	
	HL03-2	Grt	38.37	0.21	20.65	0.01	29.46	0.77	3.83	0.24	6.21			0.14	99.89	3.05	1.94	0.01
Grt		38.91	0.21	20.41	0.06	28.32	0.94	4.51		5.89		0.11	0.37	99.73	3.09	1.91	0.01	
*		Grt	39.44	0.01	24.79		10.35	0.12	0.05		23.78			98.54	3.07	2.27		
*		Grt	39.34		25.25		10.82	0.10	0.07		23.58	0.08		99.23	3.03	2.29		
*		Grt	39.18	0.13	19.74		29.11	0.62	3.29		7.62	0.10		99.78	3.11	1.85		
*		Grt	38.02		22.08		28.02	0.88	4.62		6.52	0.01		100.3	3.00	2.02	0.01	
		Rt	0.06	97.36	0.38	0.19	0.75	0.14	0.16	0.43	0.14	0.39			100.0			
		Phe	51.49	0.66	27.16	0.01	2.78	0.10	2.58	0.26	0.06	0.17	8.42	0.46	94.15	3.43	2.13	0.03
*		Amp	48.17		7.32		12.97	0.30	13.94		9.64	2.51	0.23		95.08	7.19	0.81	
*		Pl	68.82		19.96		0.42	0.02	0.00		0.14	12.05	0.03		101.4	2.97	1.02	
*		Pl	67.41		20.13		0.51		0.02		0.13	11.98	0.03		101.2	2.96	1.03	
*		Ep	37.55	0.02	27.33		8.18	0.04	0.04		22.67	0.01			95.82	2.97	2.55	
*		Ep	38.59	0.03	27.47		7.32		0.26		21.36	0.06			95.09	3.05	2.56	
HL02	Grt	38.56	0.11	20.86	0.14	29.02	1.00	3.02	0.14	7.15		0.09	0.38	100.5	3.07	1.95	0.01	
	Grt	38.64	0.18	20.55		28.75	1.31	2.82	0.07	7.70			0.40	100.4	3.07	1.93	0.01	
	Phe	51.76	0.64	26.29	0.25	2.47		2.96			0.09	7.53	0.22	92.22	3.49	2.09	0.03	
SHH02	Grt	38.07	0.07	21.03	0.15	27.57	0.79	3.68	0.15	7.32			0.15	98.98	3.04	1.98		
	Grt	38.48	0.07	21.12		26.95	0.57	3.74	0.06	7.93	0.30	0.02	0.37	99.61	3.05	1.97		
	Grt	38.82	0.09	21.04	0.08	26.90	0.65	3.53		8.62		0.01	0.33	100.1	3.07	1.96	0.01	
	Phe	52.35	0.66	27.69		3.22	0.21	2.92			0.12	7.39	0.25	94.81	3.44	2.15		
	Phe	50.68	0.82	26.96	0.22	3.43		2.41	0.03	0.11		7.76	0.02	92.48	3.42	2.15	0.04	
SHH03	Grt	37.93	0.08	20.19	0.06	27.93	1.02	3.07		7.32		0.01	0.29	97.90	3.08	1.93	0.01	
	Grt	39.48	0.18	19.91	0.08	26.51	0.64	5.14	0.10	7.11			0.28	99.43	3.12	1.86	0.01	
	Phe	51.59	0.67	26.80	0.25	3.22		2.92	0.08	0.06	0.32	7.51	0.20	93.62	3.45	2.11	0.03	
样品号	矿物	Fe ²⁺	Mg	Mn	Ca	Na	K	总和	O	Alm	Grs	Pyp	Spe	Ab	An	Or		
HL03-1	Grt	1.93	0.45	0.04	0.57			8.00	12	64.45	18.60	15.12	1.48					
	Grt	1.90	0.47	0.06	0.58	0.02		8.00	12	63.08	19.35	15.64	1.94					
	Grt	1.70	0.59	0.05	0.58			8.00	12	58.29	19.69	20.25	1.66					
	Phe	0.15	0.28				0.02	0.74	11									
	Amp	1.43	3.39	0.01	1.85	0.24	0.02	15.17	23									
	Amp	1.20	3.45	0.04	1.78	0.33	0.04	15.33	23									
	Pl	0.02			0.01	1.06		5.05	8						98.7	1.1	0.2	
	Pl	0.02			0.02	1.02	0.01	5.03	8						97.8	1.7	0.5	
Pl	0.03	0.05		0.04	0.46		4.67	8						92.1	7.9			

续表 1

样品号	矿物	Fe ²⁺	Mg	Mn	Ca	Na	K	总和	O	Alm	Grs	Pyp	Spe	Ab	An	Or	
HL03-2	Grt	1.96	0.45	0.05	0.53			8.00	12	65.43	17.64	15.16	1.73				
	Grt	1.88	0.53	0.06	0.50			8.00	12	63.13	16.63	17.92	2.12				
	*	Grt	0.67	0.01	0.01	1.98			8.00	12	25.22	74.26	0.21	0.30			
	*	Grt	0.70	0.01	0.01	1.95			8.00	12	26.00	73.00					
	*	Grt	1.94	0.39	0.04	0.65			8.00	12	64.00	22.00	13.00	1.00			
	*	Grt	1.84	0.54	0.06	0.55			8.00	12	61.61	18.33	18.06	1.97			
		Rt															
		Phe	0.15	0.25	0.01		0.02	0.72	6.74	11							
	*	Amp	1.42	3.10	0.04	1.54	0.73	0.04	15.55	23							
	*	Pl	0.01			0.01	1.01		5.03	8					99.1	0.7	0.2
*	Pl	0.01			0.01	1.01		5.03	8					99.2	0.6	0.2	
*	Ep	0.54			1.92			7.98	12.5								
*	Ep	0.48	0.03		1.81			7.93	12.5								
HL02	Grt	1.93	0.36	0.07	0.61			8.00	12	65.10	20.10	12.08	2.27				
	Grt	1.91	0.33	0.09	0.66			8.00	12	63.93	21.94	11.18	2.95				
	Phe	0.14	0.30			0.01	0.65	6.72	11								
SHH02	Grt	1.84	0.44	0.05	0.63			8.00	12	62.22	20.69	14.81	1.81				
	Grt	1.78	0.44	0.04	0.67	0.05		8.00	12	60.76	22.91	15.03	1.30				
	Grt	1.78	0.42	0.04	0.73			8.00	12	59.92	24.35	14.02	1.47				
	Phe	0.18	0.40	0.01		0.01	0.62	6.82	11								
	Phe	0.20	0.24		0.01		0.67	6.73	11								
SHH03	Grt	1.90	0.37	0.07	0.64			8.00	12	63.75	21.21	12.49	2.36				
	Grt	1.75	0.61	0.04	0.60			8.00	12	58.35	19.78	20.17	1.43				
	Phe	0.18	0.29			0.04	0.64	6.75	11								

注:表中数据由中国地质大学(北京)电子探针室分析,*为南京大学内生金属成矿国家重点实验室电子探针室完成。元素的单位为 10⁻⁶,氧化物及其它为%。Grt—石榴子石;Phe—多硅白云母;Amp—角闪石;Ep—绿帘石;pl—斜长石;Ab—钠长石;An—钙长石;Or—钾长石;Rt—金红石;Alm—铁铝榴石;Pyp—镁铝榴石;Grs—钙铝榴石;Spe—锰铝榴石。

南大别的榴辉岩,已经得到公认属于超高压变质带的产物。岩石为灰绿色、墨绿色或杂色,中—粗粒变晶结构,以含柯石英、微粒金刚石为特征。主要矿物组合为石榴子石、单斜辉石、绿辉石、金红石、石英、多硅白云母。石榴子石和绿辉石在露头上聚集形成条带(张建珍等,1998)。石榴子石中铁铝榴石 43.5%,钙铝榴石 30.1%,镁铝榴石 24.85%(30 个样品的平均值,数据来自于徐树桐等,1994)。榴辉岩中含硬玉,其中硬玉分子 72.3%~79.8%。在后成合晶或反应边中,斜长石主要是钠长石,属 Coleman 的 C 和 B 组榴辉岩(徐树桐等,1994)。榴辉岩中石榴子石矿物含镁变化较大,MgO1.33%~14.06%。不少研究者认为北大别榴辉岩与南大别榴辉岩相似(魏春景等,1997;周存亭等,2000;刘贻灿等,2000)。北大别榴辉岩经受了较强烈的退变质改造,原生组合只剩下石榴子石和金红石,退变形成的角闪石发育。石榴子石中铁铝榴石 40.6%~54.3%,钙铝榴石 21.2%~29.4%,镁铝榴石 18.5%~24.2%。绿辉石中硬玉分子为 19.1%~20.6%。后成合晶中斜长石富钙,An=51%~72%,榴辉岩中石榴子石矿

物含镁较高,4.41%~11.38%(魏春景等,1997;周存亭等,2000)。大别造山带西部榴辉岩以产于苏家河构造混杂岩带的熊店榴辉岩为代表,其重要特征是含中温变质矿物蓝晶石,属于高压中温榴辉岩(简平等,1997)。其矿物组合主要为石英、多硅白云母、石榴子石、绿辉石、角闪石等。榴辉岩中石榴子石矿物比较富镁,MgO5.13%~5.74%,属于 C 类榴辉岩(傅斌等,1998)。

根据毛坦厂组榴辉岩砾石的颜色、矿物成分和后成合晶的发育以及石榴子石中镁的低含量(0.05%~5.15%,平均 3.38%)等特征,表明它们不可能来自于大别造山带西部的榴辉岩,而更有可能是来自于南大别的超高压变质带以及北大别的榴辉岩。

5 认识和结论

毛坦厂组中榴辉岩砾石由石榴子石、多硅白云母、绿帘石、石英、金红石等组成。具有明显的次生变化,绿帘石以及由钠长石和角闪石组成的后成合晶及次变边发育。石榴子石以铁铝榴石为主,其次是钙

铝榴石,属于C类榴辉岩。其特征类似于南大别超高压变质带以及北大别的榴辉岩。所发现的榴辉岩砾石,比较新鲜,质地坚硬,表明表生风化作用不强,应该属于第一旋回砾石,因此其地层意义毋庸置疑。

李任伟等(1999)根据C-O同位素组成的分析,发现合肥盆地南缘侏罗系三尖铺组和凤凰台组的大理岩砾石既不是来自佛子岭群仙人冲组,也不是来自高压、超高压的变质带的大理岩。它们可能属于大别地块更早期抬升而被剥蚀掉的岩石。此外,李忠等(2001)发现侏罗系中有加里东期的花岗岩砾石。根据晚侏罗世砾石中混杂有前加里东期的大理岩砾石、早古生代的花岗岩砾石和印支期的榴辉岩砾石,可能支持了大别造山带超高压及高压变质岩石的折返出露地表的过程中由于挤压而导致的底辟形式起着主要作用(Maruyama,1994)。

从大别山的超高压变质岩在180Ma时仍在经受着角闪岩相变质作用(从柏林等,1999),到作为大别造山带超高压变质岩的代表产物(榴辉岩砾石)在晚侏罗世地层中发现,表明这一折返过程是迅速的。

构造运动和粗碎屑沉积作用之间的联系,近年来已经受到人们的重新评价。传统观点认为粗碎屑沉积楔是同构造期成因,但是最近的许多研究实例表明最广泛的粗碎屑沉积单元是在构造作用停止后形成的(Miall,1996)。在大别山北缘,粗碎屑广泛发育的是中晚侏罗世的三尖铺组、凤凰台组以及毛坦厂组,而且特别是原来深埋于地下100km之下且作为超高压变质岩代表的榴辉岩已经作为粗碎屑出露地表。据此,大别造山带超高压变质岩折返到地表应该结束于晚侏罗世。

研究中承蒙安徽地调院刘贻灿博士、吴维平高工、合肥工业大学资源与环境工程学院周涛发博士、袁峰博士的帮助,谨致谢意。

参 考 文 献

- 安徽省地质矿产局区域地质调查队. 1988. 安徽省地质志(白垩系分册). 合肥:安徽科学技术出版社,13~14.
- 安徽省地质矿产局. 1997. 全国地层多重划分对比研究—安徽省岩石地层. 武汉:中国地质大学出版社,198~200.
- 从柏林,王清晨. 1999. 大别山苏鲁超高压变质带研究的最新进展. 科学通报,44(11):1127~1141.
- 从柏林,王清晨. 大陆深俯冲作用研究引起的新思维. 自然科学进展,2000,10(9):777~782.
- 董树文,孙先如,张勇,黄德志,王刚,戴世坤,于邦存. 大别山碰撞造山带基本结构. 科学通报,38(6):542~545.
- 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):323~338.

- 郭振宇,董火根,郭令智. 1998. 大别造山带变质岩地层年龄及其构造意义. 地层学杂志,22(3):185~195.
- 简平,杨巍然,李志昌,等. 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):133~140.
- 金福全,刘因,王道轩,等. 1999. 关于三尖铺组—大别山北麓的侏罗纪地层问题. 安徽地质,9(4):241~249.
- 李曙光,Hart S R,郑双根,等. 1989. 中国华北、华南陆块碰撞时代的Sm-Nd同位素年龄证据. 中国科学(B辑), (3):312~319.
- 李任伟,江茂生,李忠,等. 1999. 大别山北麓侏罗系大理岩砾石的碳-氧同位素组成及地质意义. 岩石学报,15(4):623~629.
- 李忠,李任伟,孙枢,等. 1999. 合肥盆地南部侏罗系砂岩碎屑组分及其物源构造属性. 岩石学报,15(3):438~445.
- 李忠,孙枢,李任伟,等. 2000. 合肥盆地中生代充填序列及其对大别山造山作用的指示. 中国科学(D辑),30(3):256~263.
- 刘贻灿,徐树桐,李曙光,等. 2000. 大别山北部榴辉岩的地球化学特征和Sr,Nd同位素组成及其大地构造意义. 中国科学(D辑),30(增刊):99~107.
- 桑隆康,王人镜,张泽明,等. 2000. 九资河—天堂寨地区燕山晚期花岗岩与大别造山带核部隆升. 地质学报,74(3):234~246.
- 索书田,钟增球,游振东,等. 2000. 大别—苏鲁超高压和高压变质带碰撞后韧性伸展构造框架. 安徽地质,10(3):212~215.
- 王道轩,金福全,谢宪德,等. 2000. 合肥盆地三尖铺组Ar-Ar同位素年代地层学研究. 地层学杂志,24(3):236~242.
- 王鸿祯,徐成彦,周正国. 1982. 东秦岭古海域两侧大陆边缘的构造发展. 地质学报,56(3):270~280.
- 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. 1997. 北大别榴辉岩的确立及其地质意义. 科学通报,42(17):1832~1836.
- 吴利仁,徐贵忠. 1998. 东秦岭—大别山碰撞造山带的地质演化. 北京:科学出版社,177~183.
- 徐树桐,江来利,刘贻灿,等. 1992. 大别山区(安徽部分)的构造格局和演化过程. 地质学报,66(1):1~14.
- 徐树桐,刘贻灿,江来利,等. 1994. 大别山的构造格局和演化. 北京:科学出版社,34~60.
- 杨为民,杨友根. 1995. 北淮阳地区的中生界. 安徽地质,5(4):11~17.
- 杨巍然,王国灿,简平. 2000. 大别造山带构造年代学. 武汉:中国地质大学出版社,68~128.
- 游振东,索书田,钟增球,等. 2000. 大别山超高压变质岩的退变质显微构造:折返过程的启示. 地质学报,74(3):224~233.
- 张建珍,杜建国,张友联,等. 1998. 大别山榴辉岩岩石学及地球化学特征. 地质论评,44(3):255~263.
- 周存亭,高天山,汤加富,等. 2000. 安徽大别山北部榴辉岩的分布及主要特征. 中国区域地质,19(3):253~257.

References

- Bureau of Geology and Mineral Resource of Anhui Province. 1988. Annals of geology of Anhui Province (Cretaceous System). Hefei: Science and Technology Press of Anhui, 13~14 (in Chinese).
- Bureau of Geology and Mineral Resource of Anhui Province. 1997.

- Multiple classification and correlation on the stratigraphy of China (34)-stratigraphy (lithostratic) of Anhui Province. Wuhan: China University of Geosciences Press, 198~200(in Chinese).
- Cong Bolin, Wang Qingchen. 1999. New progress of ultrahigh-pressure metamorphic belt research in the Dabie-Su-lu region. Chinese Science Bulletin, 44(11):1127~1141.
- Cong Bolin, Wang Qingchen. 2000. The new thinking led by the study of continental deep subduction. Progress on Natural Science, 10(9):777~782(in Chinese).
- Dong Shuwen, Sun Xianru, Zhang Yong, Huang Dezhi, Wang Gang, Dai Shikong Yu Bangcun. 1993. The basic texture in Dabieshan collision orogen. Chinese Science Bulletin, 38(6):542~545(in Chinese).
- Fu Bin, Zheng Yongfei, Xiao Yilin, Gong Bing, Li Shuguang, Sun Weidong. 1998. Geochemical study of eclogites and marbles from Sujiahe in the Western Dabie Mountains. Acta Geologica Sinica, 72(4):323~338(in Chinese with English abstract).
- Guo Zhenyu, Dong Huogen, Guo Lingzhi. 1998. Isotopic ages of the metamorphic rocks in the Dabie orogen and their tectonic significance. Journal of Stratigraphy, 22(3):185~195(in Chinese with English abstract).
- Jian Ping, Yang Weiran, Li Zhichan, Zhou Huifang. 1997. Caledonian eclogites of Xiongdian in the Western Dabie Mountains—the evidence of isotopic age. Acta Geologica Sinica, 71(2):133~140(in Chinese with English abstract).
- Jin Fuquan, Liu Yin, Wang Daoxuan, Li Shuangying. 1999. Sanjianpu Formation—about Jurassic strata on the north margin of Dabie Mountains. Geology of Anhui, 9(4):241~249(in Chinese with English abstract).
- Leake B E. 1978. Nomenclature of amphibolites. Mineral. Mag., 42, 533~563.
- Li Shuguang, Hart S R, Zheng Shuanggeng, Guo Anlin, Liu Delian, Zhang Guowei. 1989. The Sm-Nd age for collision between the Sino-Korean and Yangtze cratons, China. Science in China (Series B), (3):312~319.
- Li Renwei, Jiang Maosheng, Li Zhong, Sun Shu, Jin Fuquan, Zhang Wenhua. 1999. Carbon and Oxygen isotopic compositions of the marble conglomerates of Jurassic age in the northern margin of Dabie Mountains, China. Acta Petrologica Sinica, 15(4):623~629(in Chinese with English abstract).
- Li Zhong, Li Renwei, Sun Shu, Jiang Maosheng, Zhang Wenhua. 1999. Detrital composition and provenance tectonic attributes of Jurassic sandstones, south Hefei basin. Acta Petrologica Sinica, 15(3):438~445(in Chinese with English abstract).
- Li Zhong, Sun Shu, Li Renwei, Jiang Maosheng. 2000. The Mesozoic packing sequences of the Hefei basin and as indication of the Dabie orogenic process. Science in China (Series D), 30(3):256~263.
- Liu Yican, Xu Shutong, Li Shuguang, Jiang Laili, Wu Weiping, Chen Guanbao, Su Wen. 2000. Geochemical characteristics and Sr, Nd isotopic composition of eclogites from Northern Dabie Mountains and tectonic significance. Science in China(Series D), 30(supplement):99~107.
- 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, Schreyer W. 1989. Stability field of the high-pressure assemblage talc + phengite and two new phengite barometers. Eur. J. Mineral, 1:391~410.
- Miall A D. 1996. The geology of fluvial deposits. Berlin: Springer, 344~367.
- Sang Longkang, Wang Renjing, Zhang Zeming, Wang Qiang, He Bin. 2000. Late Yangshanian granites in the Jiuzihe-Tiantangzhai area and uplift of the core of the Dabie orogenic belt. Acta Geologica Sinica, 74(3):234~246(in Chinese with English abstract).
- Sun Shutian, Zhong Zhenqiou, You Zhendong, Zhou Hanwen. 2000. The post-collision ductile extensional tectonic framework for the Dabieshan-Sulu ultrahigh and high pressure metamorphic belt (abstract). Geology of Anhui, 10(3):212~215(in Chinese).
- Wang Daoxuan, Jin Fuquan, Xie Xiande, Liu Yin. 2000. Studies of ^{40}Ar - ^{39}Ar isotopic chronostratigraphy of the Sanjianpu Formation in the Hefei basin, Anhui. Journal of Stratigraphy, 24(3):236~242(in Chinese with English abstract).
- Wang Hongzhen, Xu Chengyan, Zhou Zhengguo. 1982. Tectonic development on the both continental margins of ancient sea on eastern Qingling. Acta Geologica Sinica, 56(3):270~280(in Chinese with English abstract).
- 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 Qingchen, Cong Bolin. 1999. Exhumation of UHP terranes: a case study from the Dabie Mountains, Eastern China. International Geology Review, 41:994~1004.
- Wei Chunjin, Shan Ligan, Zhang Lifei, Wang Shihuan, Chang Zengguan. 1997. Definition of eclogites on Northern Dabie Mountains and geological significance. Chinese Science Bulletin, 42(17):1832~1836.
- Wu Liren, Xu Guizhong. 1998. Geological evolution of Eastern Qingling-Dabie Mountains collision orogenic belt. Beijing: Science Press, 177~183(in Chinese).
- Xu Shutong, Jiang Laili, Liu Yican, Zhang Yong. 1992. Tectonic framework and evolution of the Dabie Mountains in Anhui, eastern China. Acta Geologica Sinica, 66(1):1~14(in Chinese with English abstract).
- Xu Shutong, Liu Yican, Jiang Laili, Su Wen, Ji Shouyuan. 1994. Tectonic regime and evolution of Dabie Mountains. Beijing: Science Press, 34~60(in Chinese with English abstract).
- Yang Weimin, Yang Yougeng. 1995. The Mesozoic Group of Beihuaiyang area. Geology of Anhui, 5(4):11~17(in Chinese with English abstract).
- Yang Weiran, Wang Guocan, Jian Ping. 2000. Study of the tectonic-chronology of the Dabie orogenic belt. Wuhan: China University

of Geosciences Press, 68 ~ 128 (in Chinese with English abstract).

You Zhendong, Suo Shutian, Zhong Zengqiou, Sang Longkang, Zhang Zeming. 2000. Retrogressive microstructures in high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie Mountains: enlightenment to the exhumation process. *Acta Geologica Sinica*, 74 (3): 224 ~ 233 (in Chinese with English abstract).

Zhang Jianzhen, Du Jianguo, Zhang Youlian, Bai jinlian. 1998. Petrology and Geochemistry of eclogite in the Dabie Mountains. *Geological Review* 44 (3): 255 ~ 263 (in Chinese with English abstract).

Zhou Cunting, Gao Tianshan, Tang Jiafu, Shen Hesheng, Hu Yunqin. 2000. Distribution and main characteristics of eclogite in the northern Dabie Mountains, Anhui. *Regional Geology of China*, 19(3): 253 ~ 257 (in Chinese with English abstract).

图版说明

- a—榴辉岩中的石榴子石(Grt),后成合晶(Sy),石英(Q)和绿帘石(Ep),样品 HL03-2,视域长边 0.5mm。
 b—后成合晶(Sy)呈雾状,样品 HL03-2,视域长边 1mm。
 c—石榴子石(Grt)和后成合晶(Sy),样品 HL03-2,视域长边 0.5mm。
 d—斜长石(Pl,钠长石)和角闪石组成石榴子石边缘的合成反应边(Cap),样品 HL03-2,视域长边 0.5mm。
 e—石榴子石(Grt)呈碎裂状,大片绿帘石(Ep)发育,样品 HL02,视域长边 1mm。
 f—榴辉岩中的碎裂状石榴子石(Grt),多硅白云母(Phe)和石英(Q),样品 SHH02,视域长边 1m。
 g—榴辉岩砾石(Ecl)露头照片,镜头盖直径 56mm。
 h—含榴辉岩砾石(Ecl)、片麻岩砾石(Gne)等砾岩露头照片,笔长 140mm。

Stratigraphic Evidence of the Exhumation and Uplift of Ultrahigh-Pressure Metamorphic Rocks in the Dabie Orogenic Belt: Enlightenment from Eclogite Gravels in the Maotanchang Formation

LI Shuangying¹⁾, YUE Shucang¹⁾, WANG Daoxuan¹⁾, LIU Yin¹⁾, WANG Qingchen²⁾,
 LI Renwei²⁾, MEN Qingren²⁾, JIN Fuquan¹⁾

1) *Department of Natural Resources and Environmental Science, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui, 230009*

2) *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029*

Abstract

Mesozoic-Cenozoic clastic rocks of ten thousands metres thick, on the northern flank of the Dabie Mountains recorded the evolution of the Dabie orogenic belt since the Jurassic. Gravels composed of eclogites were founded in the Late Jurassic Maotanchang Formation in the Lu'an region, Anhui Province. The gravels are hard and without weathering, and thus belong to the first cycle. The eclogites are composed of garnet, phengite, epidote, quartz, rutile, etc., which marked retrogressive process and developed symplectites composed of albite and amphibole, etc., and symplectites around garnet crystals. The garnets consist mainly of almandine and grossularite, and belong to C-type eclogite. Petrologic features suggest that the eclogites came from ultrahigh-pressure metamorphic rocks developed in the South and North of Dabie Mountains. The Stratigraphic age of the Maotanchang Formation is certain and mainly belongs to the Late Jurassic based on fossils and isotopic ages. The discovery indicates that eclogites at the base of the Dabie orogenic belt emerged on the earth's surface in the Late Jurassic and became the provenance of the Maotanchang Formation. So, it is in the Late Jurassic that the ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie orogenic belt exhumed, uplifted to the surface, and were subject to violent denudation.

Key words: ultrahigh-pressure metamorphic rocks; exhumation and uplift; eclogite gravels; Maotanchang Formation; north margin of Dabie Mountains

