

“罗田穹隆”中的下地壳俯冲成因 榴辉岩及其地质意义

刘贻灿¹, 徐树桐², 李曙光¹, 陈冠宝², 彭练红³

1. 中国科学技术大学地球和空间科学学院, 安徽合肥 230026

2. 安徽省地质调查院, 安徽合肥 230001

3. 湖北省地质调查院, 湖北武汉 430022

摘要: 在“罗田穹隆”中发现了下地壳俯冲成因榴辉岩。榴辉岩呈透镜状或板状产于含石榴子石条带状片麻岩中。新鲜的榴辉岩主要由石榴子石、绿辉石、金红石等组成, 含少量退变质的角闪石、斜长石、紫苏辉石、透辉石、(钛)磁铁矿和石英等。研究区榴辉岩以保留早期麻粒岩相变质矿物残留体以及经受晚期麻粒岩相和角闪岩相退变为特征, 指示它们由扬子镁铁质下地壳麻粒岩相岩石俯冲到深部发生变质并形成榴辉岩, 然后折返至下地壳发生麻粒岩相退变, 由于麻粒岩相退变质阶段仅以后成合晶形式出现, 因而它们可能在下地壳停留时间不长, 就又进一步被构造抬升至中上地壳而发生角闪岩相退变。大别山造山带乃至扬子板块北缘现今缺乏厚层镁铁质下地壳, 它们也很少出露地表, 推测这些俯冲的镁铁质下地壳可能已拆离再循环进入地幔。从而为“罗田穹隆”的形成和演化以及大别山高压—超高压岩石的形成与折返机制等研究提供了关键性的岩石学证据。

关键词: 榴辉岩; 麻粒岩相; 下地壳; 罗田穹隆; 大别山。

中图分类号: P581

文章编号: 1000-2383(2005)01-0071-07

收稿日期: 2004-12-24

Eclogite from the Subducted Lower Crust of the Yangtze Plate within the Luotian Dome and its Geological Implication

LIU Yi-can¹, XU Shu-tong², LI Shu-guang¹, CHEN Guan-bao², PENG Lian-hong³

1. School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

2. Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001, China

3. Geological Survey of Hubei Province, Wuhan 430022, China

Abstract: The eclogite produced from the subducted mafic lower crust of the Yangtze continental plate is a new finding within the Luotian dome in northern Dabie Mountains. The eclogites occur as lens in garnet-bearing banded gneisses. The mineral assemblage of the eclogite is garnet, omphacite, rutile and quartz; secondary minerals are hornblende, plagioclase, hypersthene, diopside and ilmenite. The eclogites from the Luotian dome have typical characteristics with relics of earlier hypersthene and plagioclase minerals of granulite-facies and latter overprinting of granulite-facies. No aqueous mineral formed during peak metamorphism may be related to their protoliths, which come from the lower crust. Petrologic evidence suggests that the eclogites studied were produced from the mafic lower crust of the Yangtze continent and suffered from granulite- and amphibolite-facies retrogressive metamorphism. At present, mafic rocks from the lower crust in the Dabie Mountains or even in the northern Yangtze plate have been scarce, which may be delaminated and recycled into underlying convecting mantle. These provide key petrologic evidence for formation and evolution of the Luotian dome, and formation and exhumation processes and uplift of high-grade metamorphic rocks such as eclogite in the northern Dabie Mountains.

基金项目: 国家“973”专项项目(2003CB716500); 国家重点基础研究发展规划项目(G1999075503); 国家自然科学基金项目(No. 40172079)。
作者简介: 刘贻灿(1962—), 男, 博士, 教授, 主要从事岩石学、岩石地球化学、同位素年代学及大地构造学等方面的研究。

E-mail: liuyc@ustc.edu.cn

Key words: eclogite; granulite-facies; lower crust; Luotian dome; northern Dabie Mountains.

大别—苏鲁碰撞造山带是世界上出露面积最大的超高压变质带。铅同位素研究(李曙光等, 2001; 张宏飞等, 2001)及有关岩石学研究表明, 大别山南部 UHP 带中榴辉岩具有上地壳性质; 并且, 这些榴辉岩是侏罗纪时因岩石圈拆离导致超高压变质岩的第 2 次快速抬升而逆冲折返至地表的(李曙光和杨蔚, 2002)。但是, 大别山是否存在镁铁质下地壳俯冲成因榴辉岩, 仍缺乏直接的岩石学方面的证据。

近年来, 大别山造山带北部研究的一个重要进展就是在其东部发现了榴辉岩(Wei *et al.*, 1998; Xu *et al.*, 2000)或榴辉岩相残留体(Tsai and Liu, 2000; Xiao *et al.*, 2001), 并证明它们大多数为印支期(刘贻灿等, 2000; 刘贻灿等, 2001a)扬子陆壳俯冲变质成因(Liu *et al.*, 2000)并经过了麻粒岩相退变质作用(Xu *et al.*, 2000; 刘贻灿等, 2001b)。此外, 大别山北部木子店附近也发现石榴辉石岩, 并证明其经过榴辉岩相变质作用(张泽明等, 2000)。但是, 东大别北部杂岩带中经过麻粒岩相退变的榴辉岩向西如何展布是一个令人关注的问题。到目前为止, “罗田穹隆”中没有榴辉岩的确切报道。因此, 对于“罗田穹隆”中是否存在榴辉岩是大别山造山带中值得进一步深入研究的关键性科学问题之一。

笔者等通过对“罗田穹隆”进行详细的野外调研, 确定了其中榴辉岩的存在并首次从岩石学方面证明它们为镁铁质下地壳岩石俯冲变质成因。该成果将对研究大别山 HP—UHP 岩石的形成与折返机制具有重要意义, 而且, 将为深入探讨“罗田穹隆”的形成和演化以及大别山造山带的构造格架和演化历史等提供重要资料。

1 区域地质特征及榴辉岩的产状

大别山位于扬子与华北 2 个大陆板块之间, 从南到北, 大致可分为宿松变质带、南部超高压变质带、北部杂岩带、变质复理石等构造岩石单位(图 1)。北部杂岩带东段位于安徽境内, 其中分布有主簿源和岳西花岗岩体以及大量镁铁—超镁铁质岩。该带中变质岩的岩石类型有英云闪长质片麻岩、(花岗)闪长质片麻岩及二长花岗质片麻岩和少量的方辉橄榄岩、纯橄岩、石榴辉石岩、石榴二辉麻粒岩、紫苏磁铁矿石英岩、斜长角闪岩类、榴辉岩、含镁橄榄石和钛

斜硅镁石大理岩, 未变质岩石类型主要有辉石岩、辉长岩、花岗岩类等。该带变质变形强烈, 以角闪岩相区域变质作用为主, 局部出现麻粒岩相和榴辉岩相组合。北部杂岩带西段即罗田及其以北地区(商城—麻城断裂以东), 因一直未发现榴辉岩和局部存在古老的麻粒岩包体(如黄土岭), 以及其周围的面理产状一般向外倾斜, 常被称为“罗田穹隆”或“罗田片麻岩穹隆”。笔者等通过进一步野外调研, 在罗田附近(如三里畈、金家铺等地)发现若干榴辉岩露头并开展了岩石学方面的研究工作。

研究区榴辉岩大多呈透镜状或板状产于含石榴子石条带状片麻岩中, 一般大小为几十厘米至数米, 最大的见于金家铺镇西部, 达到 $1\text{ m} \times 5\text{ m}$ 。

2 岩石学特征

新鲜的榴辉岩主要由石榴子石、绿辉石、金红石等组成, 含少量早期紫苏辉石和斜长石等矿物残留以及与退变质作用有关的斜长石、角闪石、透辉石、紫苏辉石、(钛)磁铁矿、石英等。代表性矿物的电子探针分析见表 1 和表 2。研究区榴辉岩大多退变强烈, 石榴子石呈变斑晶, 绿辉石呈包体形式存在于石榴子石中(图 2a, 2b)或锆石的边部, 少量残晶存在于基质中, 早期绿辉石大多数因折返初期减压而形成具有针状石英出溶体的晚期绿辉石或钠质透辉石。以包体形式存在于石榴子石或锆石中早期绿辉石的 Na_2O 含量为 $4.75\% \sim 6.5\%$, 硬玉端元组分为 $34\% \sim 44\%$, 部分可能因后期减压退变而形成具有较低的 Na_2O 含量(如 $2.7\% \sim 3\%$ 左右)和硬玉端元组分(如 $17\% \sim 20\%$)的绿辉石(作为石榴子石包体存在时, 主晶石榴子石常伴有放射状裂纹, 见图 2b), 具有针状石英出溶体的钠质透辉石的硬玉端元组分一般为 $5\% \sim 10\%$ 。

岩石中最具特征的退变质显微结构是发育后成合晶和冠状体结构, 如绿辉石退变为钠质透辉石, 随压力和温度降低, 透辉石进一步分解为角闪石和钠长石的合晶(图 2c, 2d); 石榴子石的冠状体结构主要由细粒的角闪石+斜长石等组成的内环后成合晶以及非常细粒的透辉石+斜方辉石+斜长石等组成的外环后成合晶所构成(图 2a, 2e)。除前文所述的钠质透辉石(晚期绿辉石)的透辉石退变边外, 透辉

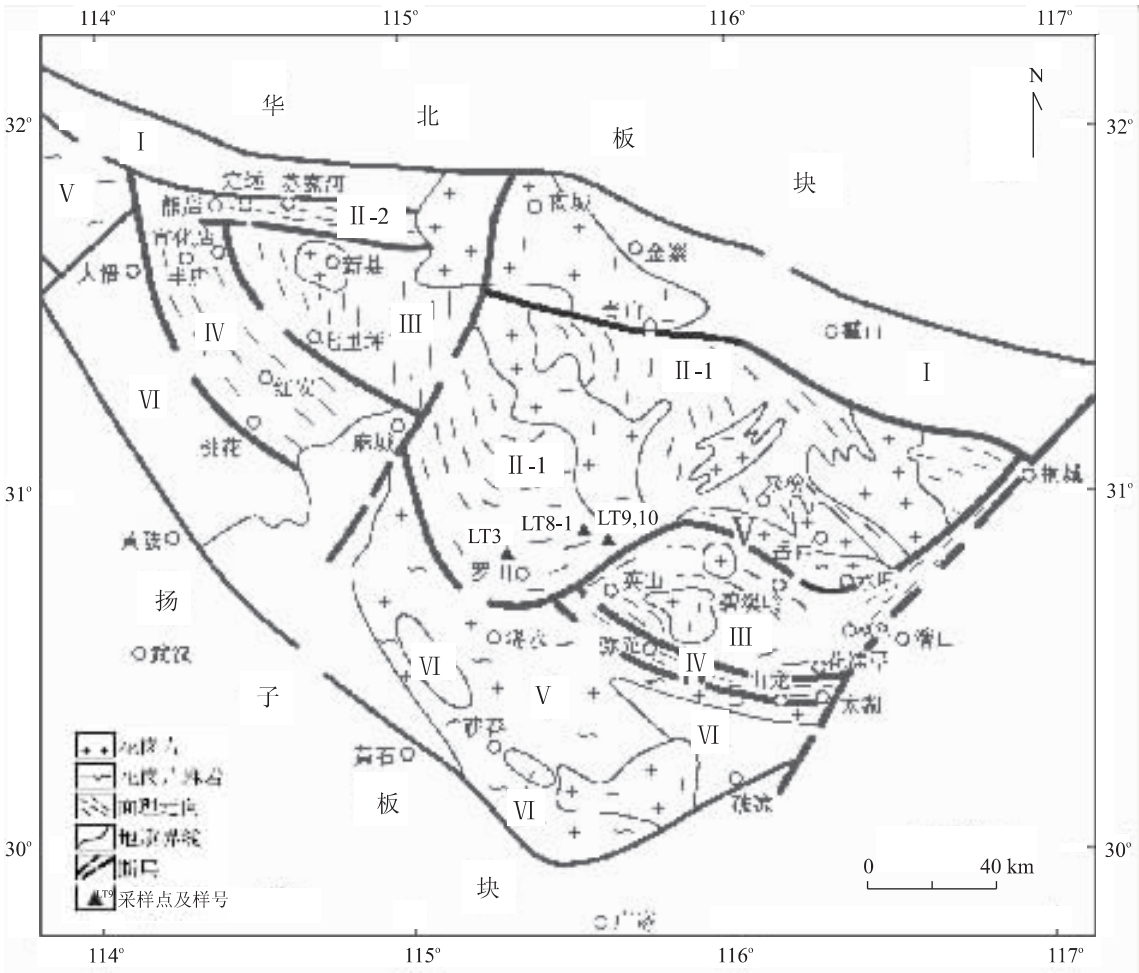


图 1 大别山造山带地质简图(据徐树桐等,2002 修改)

Fig. 1 Schematic geological map of the Dabie Mountains orogen

I. 变质复理石; II-1. 北部杂岩带; II-2. 苏家河变质带; III. 南部超高压变质带; IV. “冷”榴辉岩带; V. 大别杂岩; VI. 宿松变质带

石常具有紫苏辉石或角闪石的退变边(图 2c, 2d), 金红石常具有钛铁矿的退变边. 与以往在北大别发现的榴辉岩不同的是该榴辉岩中的紫苏辉石常发育有 2 期: 一种是早期紫苏辉石, 常与斜长石等共生并同时呈包体形式存在于石榴子石中或呈残晶存在于基质中(图 2e)或锆石的核部(图 2f); 另一种是晚期紫苏辉石, 常与透辉石、斜长石等共生, 并以后成合晶形式存在(图 2a, 2e)或者呈钠质透辉石的退变边(图 2d). 存在于锆石核部并与斜长石共生的紫苏辉石, 只有 2 种成因可能性: 一是晚期退变质成因, 另一种是早期变质成因. 第 1 种解释, 由于锆石核部只有紫苏辉石和斜长石 2 种矿物共生, 如果是退变成因, 它只能由石榴子石退变而来, 但是考虑到与紫苏辉石共生的斜长石为中长石($An=33-47$) (富钠)(表 2), 它们不可能由石榴子石退变而来; 而且, 锆石中没有裂隙, 晚期流体也不能进入以及不会造成

压力释放而引起石榴子石减压、退变. 第 2 种解释, 与下面 2 个事实一致: (1) 紫苏辉石和斜长石密切共生并存在于锆石核部, 为麻粒岩相变质成因, 而且, 锆石边部常含有石榴子石+绿辉石等榴辉岩相矿物组合(表 2); (2) 含紫苏辉石和斜长石等矿物包体的变质锆石核部年龄为晚元古代, 而含有石榴子石+绿辉石等矿物包体的锆石边部年龄为印支期(详细资料将另文讨论). 因此, 第 2 种解释是合乎实际地质情况的.

榴辉岩中石榴子石、绿辉石等主要矿物的成分较均一、未见明显的成分环带, 仅较少数石榴子石斑晶具有微弱成分环带(表 2). 具有微弱成分环带的石榴子石, 从核部→幔部→边部: CaO 及钙铝榴石端元组分(X_{Gross}) 分别为 $7.22\% \rightarrow 8.27\% \rightarrow 7.55\%$ 和 $17.66\% \rightarrow 20.02\% \rightarrow 18.56\%$, 指示压力由低→高→低的变化, 而且, 高 CaO 的幔部常含有绿辉石

表 1 “罗田穹隆”中榴辉岩代表性矿物的电子探针分析

Table 1 Electro-probe analyses of major minerals from the eclogites in the Luotian dome

$w_B/\%$

矿物	石榴子石		绿辉石		透辉石		紫苏辉石		斜长石	角闪石
样品号	LT8-1Gtc	LT9Gt	LT10OmpI	LT8-1Omp	LT8-1Dic	LT10Sy-Di	LT9Hy-I	LT10Sy-Hy	LT10Sy-Pl	LT10Hb
产状	基质	基质	包体	包体	基质	合晶	包体	合晶	合晶	合晶
SiO ₂	39.51	39.95	56.75	54.13	52.82	54.24	52.31	54.90	56.67	45.35
TiO ₂	0.01	0.00	0.00	0.17	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.46
Al ₂ O ₃	22.26	21.79	0.10	6.65	3.65	2.15	0.61	0.68	25.66	13.17
FeO	22.08	21.82	3.26	5.64	5.93	5.47	30.02	19.21	0.60	9.27
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.19
MnO	0.31	0.23	0.00	0.00	0.00	0.05	0.28	0.30	0.02	0.00
MgO	8.35	5.26	9.61	12.00	14.41	14.43	16.15	23.72	0.92	14.33
CaO	7.47	10.74	13.76	19.28	22.04	23.28	0.61	0.52	10.26	11.95
Na ₂ O	0.00	0.00	6.50	2.69	1.13	0.76	0.00	0.00	6.43	2.07
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
总量	99.99	99.99	99.98	100.56	99.98	99.99	99.98	99.33	100.56	96.75
O	12	12	6	6	6	6	6	6	8	23
Si	3.013	3.084	2.008	1.958	1.932	1.993	2.029	2.034	2.549	6.552
Al ^{IV}	0.000	0.000	0.000	0.042	0.068	0.007	0.000	0.000	1.359	1.448
Al ^{VI}	1.999	1.981	0.421	0.242	0.089	0.086	0.028	0.030		0.792
Fe ³⁺	0.070	0.007	0.008	0.000	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000	0.167
Ti	0.001	0.000	0.000	0.005	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.050
Fe ²⁺	1.338	1.338	0.089	0.171	0.123	0.168	0.974	0.595	0.023	0.953
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.022
Mg	0.949	0.605	0.507	0.647	0.786	0.790	0.934	1.310	0.062	3.086
Mn	0.020	0.015	0.000	0.000	0.000	0.002	0.009	0.009	0.001	0.000
Ca	0.610	0.905	0.522	0.747	0.864	0.896	0.025	0.021	0.495	1.850
Na	0.000	0.003	0.446	0.189	0.080	0.054	0.000	0.000	0.561	0.580
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028

注:表中数据由中国地质大学(武汉)测试中心电子探针室分析.

包体(图 2a),因此,它对应于榴辉岩的变质演化过程即从麻粒岩相→榴辉岩相→麻粒岩相变质演化.

以上所述退变质结构以及矿物之间的相互关系表明,本区榴辉岩经历了 2 个重要变质事件,即麻粒岩相变质事件(图 2e,2f)和榴辉岩相及其退变质事件.后者可分为 3 个变质阶段,即:(1)榴辉岩相变质阶段,以石榴子石及其中矿物包体为代表(图 2a,2b),主要矿物共生组合为石榴子石+绿辉石+金红石+石英;(2)高压麻粒岩相退变质阶段,主要矿物共生组合为石榴子石+透辉石+紫苏辉石+斜长石+钛铁矿等(图 2a,2d,e);(3)角闪岩相退变质阶段,主要矿物共生组合为角闪石+斜长石+磁铁矿等(图 2a,2c,2d,2e).

此外,石榴子石中常含有石英包体(主晶伴有放射状裂纹)(图 2b),是否由早期柯石英经高温麻粒岩相退变而来(因减压、高温退变,由柯石英转变石英过程中,体积膨胀,造成主晶石榴子石产生放射状裂纹)?而且,晚期绿辉石(或钠质透辉石)中普遍发育针状石英出溶体,类似于北部杂岩带东段中榴辉

岩,它表明由早期超硅绿辉石退变而来.这些是否证明“罗田穹隆”中榴辉岩也经过超高压变质成因?还有待于进一步研究.

3 变质温度、压力计算

以 2.0 GPa 作为计算研究区榴辉岩峰期变质温度的压力值,利用石榴子石—单斜辉石地质温度计(Raheim and Green, 1974; Ellis and Green, 1979; Krogh, 1988),根据与石榴子石接触的绿辉石或者具有成分环带石榴子石的幔部成分与绿辉石计算,3 种方法对同一石榴子石—绿辉石对计算的结果十分一致,分别为 824 ℃、864 ℃和 836 ℃,平均为 841 ℃.利用二辉石地质温度计(Wood and Banno, 1973; Wells, 1977),根据麻粒岩相退变质后成合晶中共生的紫苏辉石和透辉石计算晚期麻粒岩相退变质温度为 804~857 ℃;利用石榴子石—斜方辉石地质压力计(Wood, 1974),根据具有成分环带石榴子

表 2 榴辉岩锆石中代表性矿物包体及一个具成分环带石榴子石的电子探针分析

Table 2 Electro-probe analyses of major mineral inclusions in zircon and a zoned garnet from the eclogites in the Luotian dome

$w_B/\%$

矿物	石榴子石			绿辉石		石榴子石 *		紫苏辉石		斜长石
样品号	LT10Gt★	LT9Gt	LT9Omp	LT10Omp	LT10Gtc★	LT10Gtm★	LT10Gtr★	LT10Hy	LT10Pl1	LT10Pl2★
产状	Zir—R	Zir—C	Zir—R	Zir—R	基质	基质	基质	Zir—C	Zir—C	Zir—C
SiO ₂	40.78	36.68	54.51	56.76	41.51	40.84	41.36	55.91	62.50	56.73
TiO ₂	0.00	0.00	0.07	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	22.97	21.14	9.13	9.49	22.78	22.95	23.11	1.69	22.89	27.44
FeO	18.88	24.57	7.14	1.89	17.24	17.17	17.87	16.11	0.17	0.02
Cr ₂ O ₃	0.01	0.02	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
MnO	0.57	1.91	0.06	0.03	0.26	0.55	0.49	0.40	0.01	0.00
MgO	10.28	3.06	9.20	10.59	11.07	10.86	10.33	25.67	0.53	0.00
CaO	6.48	10.18	15.13	15.06	7.22	8.27	7.55	0.79	6.55	9.77
Na ₂ O	0.00	0.02	4.75	5.84	0.00	0.02	0.00	0.20	7.37	5.96
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05
总量	99.97	99.61	99.99	99.77	100.08	100.66	100.71	100.80	100.05	99.97
O	12	12	6	6	12	12	12	6	8	8
Si	3.067	3.055	1.974	2.011	3.097	3.031	3.080	2.010	2.769	2.546
AlⅣ	0.000	0.000	0.026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.194	1.450
AlⅥ	2.034	1.966	0.363	0.396	2.002	2.006	2.027	0.072		
Fe ³⁺	0.059	0.081	0.000	0.000	0.054	0.053	0.056	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ²⁺	1.128	1.542	0.216	0.056	1.022	1.013	1.057	0.484	0.006	0.001
Cr	0.001	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	1.153	0.360	0.497	0.559	1.231	1.202	1.147	0.928	0.035	0.000
Mn	0.036	0.128	0.002	0.001	0.016	0.035	0.031	0.012	0.000	0.000
Ca	0.522	0.861	0.587	0.572	0.577	0.658	0.602	0.030	0.311	0.470
Na	0.000	0.003	0.333	0.401	0.000	0.003	0.000	0.014	0.633	0.519
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003

标有★的数据由中国地质大学(武汉)测试中心电子探针室分析,其余由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室分析。标有*者为具有微弱成分环带石榴子石,其余为锆石中包体,其中,Zir—C和Zir—R分别表示锆石的核部和边部。

石的边部成分与麻粒岩相退变质后成合晶中紫苏辉石计算晚期麻粒岩相退变质压力为 1.1~1.4 GPa,根据具有成分环带石榴子石的核部成分与石榴子石中或锆石核部与斜长石共生的紫苏辉石包体估算早期麻粒岩相变质压力为 0.8 GPa。利用角闪石中 Al 压力计(Schmidt, 1990)估算角闪岩相变质压力为 0.6~0.7 GPa;利用角闪石—斜长石地质温度计(Blundy and Holland, 1990),根据石榴子石或透辉石退变后成合晶中共生的角闪石+斜长石计算角闪岩相变质温度为 706~777 ℃。

因此,榴辉岩及其退变质阶段的温度、压力为:(1)榴辉岩相变质阶段, $p=2.0\text{ GPa}$ 、 $T=824\sim 864\text{ }^{\circ}\text{C}$;(2)高压麻粒岩相退变质阶段, $p=1.1\sim 1.4\text{ GPa}$ 、 $T=804\sim 857\text{ }^{\circ}\text{C}$;(3)角闪岩相退变质阶段, $p=0.6\sim 0.7\text{ GPa}$ 、 $T=706\sim 777\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。至于早期麻粒岩相阶段,变质温度不容易估算,变质压力估算为 $p=0.8\text{ GPa}$ 。研究区榴辉岩类似于北部杂岩带东

段榴辉岩,以独特的麻粒岩相退变质作用为显著特征,并由此区别于南部榴辉岩。峰期变质矿物组合中无含水矿物形成以及含有早期麻粒岩相变质矿物组合残留体,指示“罗田穹隆”中榴辉岩的原岩是俯冲的镁铁质下地壳岩石。

4 地质意义

(1)确定了“罗田穹隆”中榴辉岩的存在,并首次从岩石学方面证明它们由镁铁质下地壳岩石俯冲变质成因;(2)“罗田穹隆”中榴辉岩经历了 2 个重要变质事件即麻粒岩相变质事件和榴辉岩相及其退变质事件。后者包括榴辉岩相变质、麻粒岩相退变质和角闪岩相退变质等 3 个阶段。类似于北部杂岩带东段(位于安徽境内)榴辉岩,具有相同的退变质演化过程,都经过了麻粒岩相退变过程,均属于印支期扬子俯冲陆壳的一部分,但是,它们不同于南部超高压榴

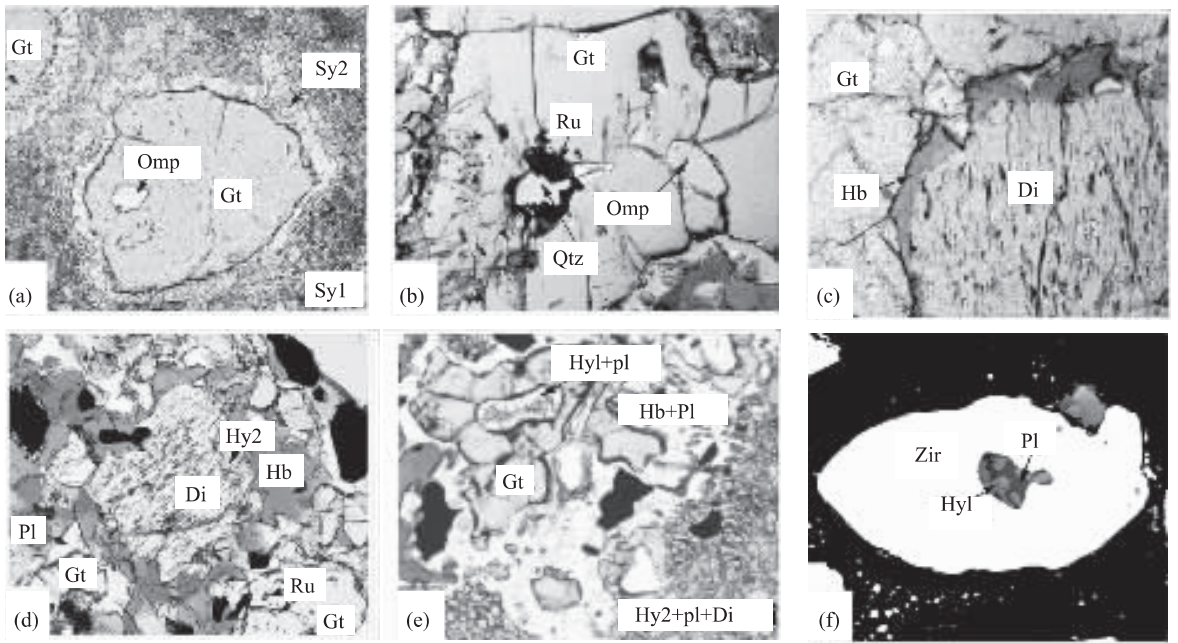


图 2 “罗田穹隆”中榴辉岩的显微照片

Fig. 2 Micro photographs of the eclogites from the Luotian dome in the Dabie Mountains

a. 石榴子石中绿辉石包体及其两期退变后成合晶, 样品号 LT10; b. 石榴子石中绿辉石、金红石和石英包体, 样品号 LT8-1; c. 含针状石英出溶体的钠质透辉石有角闪石退变边, 样品号 LT8-1; d. 含针状石英出溶体的钠质透辉石有紫苏辉石退变边, 样品号 LT8-1; e. 石榴子石中早期紫苏辉石+斜长石矿物包体组合以及麻粒岩相(Hy2+Pl+Di)和角闪岩相(Hb+Pl)退变质矿物组合, 样品号 LT3; f. 含紫苏辉石+斜长石包体的锆石的背散射图像, 样品号 LT10; Gt. 石榴子石; Omp. 绿辉石; Ru. 金红石; Zir. 锆石; Pl. 斜长石; Qtz. 石英; Hy1. 早期紫苏辉石; Hy2. 晚期紫苏辉石; Sy1. 由晚期紫苏辉石+透辉石+斜长石组成的麻粒岩相退变后成合晶; Sy2. 由角闪石+斜长石+磁铁矿组成的角闪岩相后成合晶. 除 e 照片的视域宽度为 0.2 mm 外, 其余照片的视域宽度均为 3 mm.

辉岩,二者之间具有不同的 $P-T-t$ 演化,从而为探讨“罗田穹隆”的形成和演化以及大别山造山带的构造格架和演化历史等提供了新的关键性岩石学证据;(3)正如前文所述,大别山南部 UHP 带中的上地壳榴辉岩是侏罗纪时因岩石圈拆离导致超高压变质岩的第 2 次快速抬升而逆冲折返至地表的,而“罗田穹隆”中的下地壳俯冲成因榴辉岩的出露是否与大别山燕山期穹隆构造有关,以及它们与北部杂岩带东段(位于安徽境内)榴辉岩是否具有类似的冷却史,这些还有待于进一步研究.

致谢:本文的研究工作中,曾与刘福来研究员、游振东教授等进行过多次讨论,颇受启发和鼓舞.矿物的电子探针分析得到中国地质大学(武汉)刘惠芳工程师以及中国地质科学院矿产资源研究所陈振宇博士的支持和帮助;此外,部分野外研究工作得到湖北省地质调查院王建新总工程师的支持和帮助.在此一并向他们表示衷心感谢!

References

- Blundy, J. D., Holland, T. J. B., 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 104: 208–224.
- Ellis, D. J., Green, D. H., 1979. An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibration. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 71: 13–22.
- Krogh, E. J., 1988. The garnet-clinopyroxene Fe-Mg geothermometer—A reinterpretation of existing experimental data. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 99: 44–48.
- Li, S. G., Huang, F., Zhou, H. Y., et al., 2001. U-Pb compositions of the ultrahigh pressure metamorphic (UHPM) rocks from Shuanghe and gneisses from northern Dabie zone in the Dabie Mountains, central China: Constraint on the exhumation mechanism of UHPM rocks. *Chinese Science Bulletin*, 31: 977–984 (in Chinese).
- Li, S. G., Yang, W., 2002. Decoupling of surface and subsurface sutures in the Dabie orogen and a continent-collisional lithospheric-wedging model: Sr-Nd-Pb isotopic evidences of Mesozoic igneous rocks in eastern China. *Chinese Science Bulletin*, 47: 1898–1905 (in Chinese).

- Liu, Y. C., Li, S. G., Xu, S. T., et al., 2000. U-Pb zircon ages of the eclogite and tonalitic gneiss from the northern Dabie Mountains, China and multi-overgrowths of metamorphic zircons. *Geological Journal of China Universities*, 6(3): 417—423 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. C., Li, S. G., Xu, S. T., et al., 2001a. Sm-Nd dating of eclogites from northern Dabie Mountains and its constraints on the timing of granulite-facies retrogression. *Geochimica*, 30(1): 79—87 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. C., Xu, S. T., Li, S. G., et al., 2001b. Distribution and metamorphic P-T condition of the eclogites from the mafic-ultramafic belt in the northern part of the Dabie Mountains. *Acta Geologica Sinica*, 75(3): 385—395 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. C., Xu, S. T., Li, S. G., et al., 2000. Eclogites from the northern Dabie Mountains, eastern China: Geochemical characteristics, Sr-Nd isotopic compositions and tectonic implications. *Science in China (Series D)*, 43(suppl.): 178—188.
- Raheim, A., Green, D. H., 1974. Experimental determination of the temperature and pressure dependence of the Fe-Mg partition coefficient for coexisting garnet and clinopyroxene. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 48: 179—203.
- Schmidt, M. W., 1990. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110: 304—310.
- Tsai, Chin-Ho, Liu, J. G., 2000. Eclogite-facies relics and inferred ultrahigh-pressure metamorphism in the North Dabie complex, central China. *American Mineralogist*, 85: 1—8.
- Wei, C. J., Shan, Z., Zhang, L., et al., 1998. Determination and geological significance of the eclogites from the northern Dabie Mountains, central China. *Chinese Science Bulletin*, 43: 253—256.
- Wells, R. A., 1977. Pyroxene thermometry in simple and complex systems. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 62: 129—139.
- Wood, B. J., 1974. The solubility of alumina in orthopyroxene coexisting with garnet. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 46: 1—15.
- Wood, B. J., Banno, S., 1973. Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene-clinopyroxene relationship in simple and complex systems. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 42: 109—124.
- Xiao, Y., Hoefs, J., van den Kerkhof, A. M., et al., 2001. Geochemical constraints of the eclogite and granulite facies metamorphism as recognized in the Raobazhai complex from North Dabie Shan, China. *J. Metamorphic Geol.*, 19: 3—19.
- Xu, S. T., Liu, Y. C., Jiang, L. L., et al., 2002. Architecture and kinematics of the Dabie Mountains orogen. University of Science and Technology of China Press, Hefei, 1—133 (in Chinese with English abstract).
- Xu, S. T., Liu, Y. C., Su, W., et al., 2000. Discovery of the eclogite and its petrography in the northern Dabie Mountain. *Chinese Science Bulletin*, 45(3): 273—278.
- Zhang, H. F., Gao, S., Zhang, B. R., et al., 2001. Pb isotopic study on crustal structure of Dabie Mountains, central China. *Geochimica*, 30(4): 395—401 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z. M., Zhong, Z. Q., You, Z. D., et al., 2000. Granulite-facies retrograde metamorphism of garnet pyroxenite in Muzidian, northern Dabie Mountains. *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*, 25(3): 295—301 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 李曙光, 黄方, 周红英, 等, 2001. 大别山双河超高压变质岩及北部片麻岩的 U—Pb 同位素组成——对超高压岩石折返机制的制约. *科学通报*, 31: 977—984.
- 李曙光, 杨蔚, 2002. 大别造山带深部地缝合线与地表地缝合线的解耦及大陆碰撞岩石圈楔入模型: 中生代幔源岩浆岩 Sr—Nd—Pb 同位素证据. *科学通报*, 47: 1898—1905.
- 刘贻灿, 李曙光, 徐树桐, 等, 2000. 大别山北部榴辉岩和英云闪长质片麻岩锆石 U—Pb 年龄及多期变质增生. *高校地质学报*, 6(3): 417—423.
- 刘贻灿, 李曙光, 徐树桐, 等, 2001a. 大别山北部榴辉岩的 Sm—Nd 年龄测定及其对麻粒岩相退变质时间的制约. *地球化学*, 30(1): 79—87.
- 刘贻灿, 徐树桐, 李曙光, 等, 2001b. 大别山北部镁铁—超镁铁质岩带中榴辉岩的分布与变质温压条件. *地质学报*, 75(3): 385—395.
- 徐树桐, 刘贻灿, 江来利, 等, 2002. 大别山造山带的构造几何学和运动学. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1—133.
- 张宏飞, 高山, 张本仁, 等, 2001. 大别山地壳结构的 Pb 同位素地球化学示踪. *地球化学*, 30: 395—401.
- 张泽明, 钟增球, 游振东, 等, 2000. 北大别木子店石榴辉石岩的麻粒岩相退变质作用. *地球科学——中国地质大学学报*, 25(3): 295—301.