

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

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

刘贻灿^{1,2)} 徐树桐¹⁾ 李曙光²⁾ 陈冠宝¹⁾ 江来利¹⁾ 周存亭¹⁾ 吴维平¹⁾

1) 安徽省地质科学研究所,合肥,230001; 2) 中国科学技术大学地球和空间科学系,合肥,230026

内容提要 大别山北部镁铁-超镁铁质岩带中的榴辉岩主要有两种产状,一是产于变形较强(面理化)的橄榄岩中,另一种是产于片麻岩中。其中,绿辉石中硬玉端元组分大多为 $Jd=20\text{mol}\% \sim 52\text{mol}\%$ 。产于橄榄岩和片麻岩中榴辉岩的石榴子石成分分别相当于Coleman的B型和C型榴辉岩。石榴子石成分特征及钠质单斜辉石中石英针状出溶体的出现表明,本区榴辉岩早期可能经历过超高压变质作用,且至少经历了3个变质阶段,即:①榴辉岩相峰期变质阶段,主要矿物共生组合为石榴子石+绿辉石+金红石±蓝晶石+石英(或柯石英假象?), $p \geq 2.5\text{GPa}$, $t=595 \sim 874^\circ\text{C}$;②高压麻粒岩相变质阶段,主要矿物共生组合为石榴子石+透辉石+紫苏辉石+钛铁矿+尖晶石+斜长石等, $p=1.1 \sim 1.37\text{GPa}$, $t=817 \sim 909^\circ\text{C}$;③角闪岩相变质阶段,主要矿物共生组合为角闪石+斜长石+磁铁矿等, $p=0.5 \sim 0.6\text{GPa}$, $t=500 \sim 600^\circ\text{C}$ 。该区榴辉岩独特的麻粒岩相退变质阶段,表明榴辉岩在折返初期并未能上升到中上地壳,而处于下地壳,它与南部超高压变质岩有不同的 $p-t$ 演化史,即在榴辉岩相峰期变质之后经历了近等温减压(或稍升温减压)和降温减压变质过程。

关键词 榴辉岩 变质温压条件 超高压变质作用 镁铁-超镁铁质岩带 大别山北部

大别山榴辉岩,因其含有柯石英(Xu, 1987; Okay et al., 1989; Wang et al., 1989)、金刚石(Xu et al., 1992)及石英硬玉岩(徐树桐等, 1991)等而闻名于世。大别山超高压变质岩是世界上分布最广、出露最好、超高压矿物和岩石组合齐全的超高压变质带,除榴辉岩之外,还有石英硬玉岩、含白片岩组合的蓝晶石岩、片麻岩及大理岩等;同时,出露有扬子与华北大陆板块俯冲、碰撞有关的不同构造岩石单元(徐树桐等, 1992; 徐树桐等, 1994)(图1),从南到北依次为:①前陆带;②扬子大陆板块俯冲盖层(宿松群和张八岭群);③扬子大陆板块俯冲基底(大别杂岩);④超高压变质带(榴辉岩带);⑤镁铁-超镁铁质岩带或北部杂岩带(刘贻灿, 2000);⑥变质复理石等。榴辉岩相超高压变质岩主要呈面状分布于大别山南部(即大致沿潜山县龙井关—水吼—岳西县五河一线以南),向北则为镁铁-超镁铁质岩带或北部杂岩带(以下称北部)。并且,由于北部长期未发现榴辉岩以及北部岩石组合与南部榴辉岩带有一定差异,而使不少同行将大别山造山带分成“南大别”和“北大别”(董树文等, 1993; Cong et al., 1994)。

对大别山北部镁铁-超镁铁质岩带或北部杂岩带的认识存在较大分歧(徐树桐等, 1992, 1994; Okay et al., 1992; 董树文等, 1993; Wang et al., 1993; Cong et al., 1994; Li et al., 1995; Zhang et al., 1996; Xu et al., 1996; Hackett et al., 1998),一方面与该带以前未发现榴辉岩或超高压变质岩有关,另一方面可能是该带的组成比较复杂(有来自不同构造背景条件下形成的岩石)(刘贻灿等, 1998, 1999),大多数岩石都经过多期变质、变形作用的改造,并导致地球化学特征发生一定变化而使原岩已面目全非;此外大别山北部带因燕山期大量花岗岩侵位及伴随混合岩化作用(陈廷愚等, 1991; 徐树桐等, 1992; 1994; 牛宝贵等, 1994),而使该区岩石组成及面貌复杂化。因而影响了对该带组成的正确认识,同时也影响到有关同位素年龄的解释。本区岩石类型主要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、含镁橄榄石和钛斜硅镁石大理岩(刘贻灿, 2000)等,未变质岩石类型主要有辉石岩、辉长

注:本文为国家自然科学基金项目(编号49794041)和安徽省地质矿产局资助项目的成果。

收稿日期:2000-05-12;改回日期:2001-02-08;责任编辑:郝梓国。

作者简介:刘贻灿,男,1962年生。1985年毕业于合肥工业大学地质系,1988年获该校构造地质学专业硕士学位;2000年毕业于中国科学技术大学地球与空间科学系,获博士学位。现为安徽省地质科学研究所教授级高级工程师,一直从事大别山造山带的研究。通讯地址:230001,安徽省合肥市宁国路19号,安徽省地质研究所。

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,局部出现麻粒岩相组合。尽管有人已发现该带存在榴辉岩相峰期变质线索(徐树桐等,1994;刘贻灿等,1997)及魏春景等(1997)在该带东部官庄片麻岩中发现有零星榴辉岩(未发现新鲜榴辉岩露头),但该带西部(核部)未发现真正榴辉岩。笔者等通过进一步工作,首先在磨子潭南部黄尾河

附近发现榴辉岩并首次确认它经过了麻粒岩相退变质作用(Xu et al.,1998,2000;刘贻灿,2000),后来又在该带其他地区发现多处新鲜榴辉岩露头点(大致沿磨子潭—晓天以南分布)(图1),这为正确认识大别山的构造格局和演化提供了重要依据。

本文主要讨论大别山北部榴辉岩的分布与变质特征及其大地构造意义。

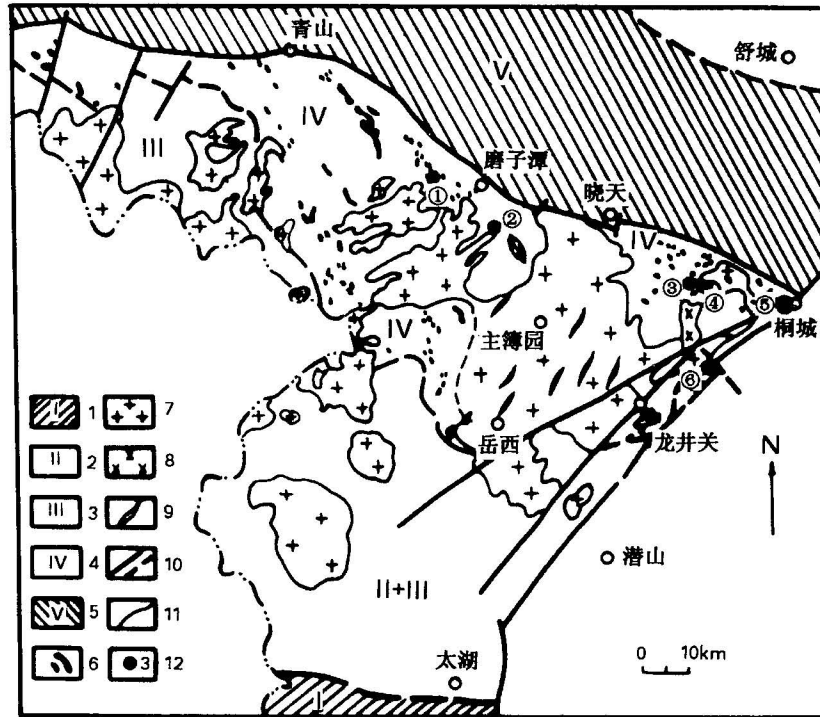


图1 大别山(安徽部分)地质简图

Fig.1 Schematic geological map of the Dabie Mountains

1—扬子板块俯冲盖层(宿松杂岩);2—超高压变质带;3—扬子板块俯冲基底(大别杂岩);4—镁铁-超镁铁质岩带或北部杂岩带;5—变质复理石推覆体;6—镁铁-超镁铁质岩;7—花岗岩;8—辉长岩;9—正长岩脉;10—断层;11—地质界线;12—新发现的榴辉岩产地及编号;①—饶钹寨,②—黄尾河,③—百丈岩,④—华庄,⑤—汪洋水库,⑥—毛花岗岩

1—Overlying strata (Susong complex) in the Yangtze plate; 2—UHP metamorphic belt; 3—basement (Dabie complex) in the Yangtze plate; 4—mafic-ultramafic rock belt or the northern rock belt; 5—metamorphic flysch nappe; 6—mafic-ultramafic rocks; 7—granite; 8—gabbro; 9—orthoclase dyke; 10—fault; 11—geological boundary; 12—locations and numbers of eclogites of new discovery: ①—Raobazhai, ②—Huangweihe, ③—Baizhangyan, ④—Huazhuang, ⑤—Wangyang reservoir, ⑥—Maohuayan

1 榴辉岩的分布及岩石学特征

1.1 分布

大别山北部榴辉岩,主要发现于岳西县黄尾河;霍山县饶钹寨;舒城县洪庙、华庄及桐城县汪洋水库、毛花岗岩等地(图1)。在该带西部地区,如金寨县燕子河、鹿吐石铺、斑竹等地也发现有退变很强的榴辉岩(表现为石榴子石斜长角闪岩或石榴辉石岩,早期绿辉石已退变为钠长石和透辉石的合晶)(刘贻灿等,2000)。

本区榴辉岩主要有两种产状,一是产于变形较强(面理化)的橄榄岩中,如黄尾河(样号为98701和98702)、饶钹寨(样号为99104-1和99104-2)等地;另一种是产于片麻岩中,如百丈岩(样号为98121)、华庄(样号为98122-3)、汪洋水库(样号为98WY)及毛花岗岩(样号为9801)等地。二者的远围岩均为正片麻岩(如英云闪长质片麻岩或条带状片麻岩及二长花岗质片麻岩等)。榴辉岩多呈构造透镜体产于围岩中,变形较强和已面理化,靠近核部较新鲜(但保存较少而给研究者带来一定困难),向透镜体边部退变

强烈(变成榴闪岩或含石榴子石斜长角闪岩等)。

1.2 岩石学特征

本区榴辉岩中矿物有石榴子石、绿辉石、金红石、蓝晶石、石英(或柯石英假象?)、单斜辉石(透辉石)、斜方辉石(紫苏辉石)、尖晶石、角闪石、斜长石和黑云母等。其中,99104-2、9801、98701 和 98702 样较新鲜,主要由石榴子石、绿辉石和金红石等组成,含少量石英、紫苏辉石、尖晶石、斜长石及角闪石等,9801 样品含有较多金红石;98121、98122-3 和 98WY 样退变较强,主要由石榴子石、非闪质角闪石和斜长石等组成,含少量绿辉石(<5%)和金红石等,而残留的绿辉石大多呈包体形式存在于石榴子石中(图版 I-1、2)。本区榴辉岩的最大特点是发育后成合晶和冠状体结构,如绿辉石退变为钠长石和透辉石的后成合晶,随压力降低,透辉石进一步分解为角闪石和钠长石的合晶;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+紫苏辉石+斜长石等组成的外环后成合晶(图版 I-2、3)。根据岩石结构和矿物之间的相互关系,大致可划分出三期变质矿物共生组合:

(1)榴辉岩相峰期变质阶段,以石榴子石和其中矿物包体为代表,其组合为石榴子石+绿辉石+金红石±蓝晶石±石英(或柯石英假象?)(图版 I-1~4);

(2)高压麻粒岩相退变质阶段,以细粒的后成合晶组合为代表,主要由石榴子石与绿辉石等矿物反应形成的: $Gt + Omp \rightarrow Di + Opx(Hy) + Pl$; $Omp(富硅) \rightarrow Na-Cpx(Di) + Qtz$; $Gt \rightarrow Pl(An) + Ol$; $Gt(Alm) + Rt \rightarrow Ilm + Spl + Qtz$ 及 $R \rightarrow Ilm$,其组合主要为石榴子石+透辉石+斜长石+紫苏辉石+钛铁矿±尖晶石±刚玉±橄榄石等(图版 I-1~5);

(3)以角闪石交代单斜辉石(透辉石)(图版 I-5、6)等为代表,其相应的退变质反应为: $Gt + Qtz + H_2O \rightarrow Hbl + Pl + Mt$; $Di \rightarrow Hbl + Pl$ 及 $Gt + Di + H_2O \rightarrow Hbl + Pl$,其组合为角闪石+斜长石+磁铁矿等(图版 I-1~4)。

2 矿物化学

2.1 石榴子石

本区榴辉岩中石榴子石成分都属于铁铝榴石-镁铝榴石系列,产于橄榄岩和片麻岩中榴辉岩分别相当于 Coleman 等(1965)的 B 型和 C 型榴辉岩(图 2)。不同地点或不同世代石榴子石成分仍有差异。其

中铁铝榴石端元组分为 25mol%~57mol%、镁铝榴石端元组分为 18mol%~57mol%和钙铝榴石端元组分 3mol%~30mol%。具代表性石榴子石的电子探针分析结果列于表 1 中。大多数石榴子石成分相近,变化不太大,但个别样品(如 99104-2)中石榴子石成分出现分带现象。对饶拔寨榴辉岩的一个石榴子石颗粒(半径为 400 μ m 左右)作较密的电子探针点分析(表 2),其中心含 Ca 较高,边部相对较低,由边缘至中心:CaO 含量由 7.60%→9.61%→10.86%→9.70%→10.33%→10.22%,MnO 含量由 0.78%→0.54%→0.43%→0.23%→0.36%→0.33%,钙铝榴石端元组分由 10.6→15.5→18.9→24.7→23.7→29.8。即石榴子石核部所受到的变质压力较高,反映了变质地体在峰期变质之后的抬升降压过程(具体见后文)。它说明石榴子石的边部组成受退变质的影响,这对榴辉岩的变质温度计算(见后文)和 Sm-Nd 年龄测定(刘贻灿等,2001)都会产生影响。

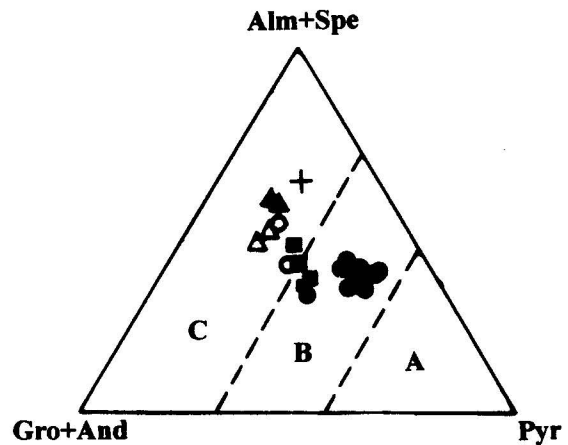


图 2 榴辉岩中石榴子石成分分类 (据 Coleman 等,1965)

Fig. 2 Classification of eclogites by using garnet compositions(after Coleman et al.,1965)

橄榄岩中的榴辉岩:●—黄尾河,■—饶拔寨;片麻岩中的榴辉岩:△—百丈岩,▲—华庄,○—汪洋水库,+—毛花岩
Eclogite in the peridotite:●—Huangweihe,■—Raobazhai; eclogite in the gneiss:△—Baizhangyan,▲—Huazhuang,○—Wangyang reservoir,+—Maohuayan

2.2 单斜辉石

主要有两种:绿辉石和透辉石。绿辉石大多以包体形式产于石榴子石中(图版 I-1、2),部分以基质形式存在(图版 I-3、4);透辉石主要以后成合晶形式与

表1 代表性石榴子石的电子探针分析(%)

Table 1 Electron probe analyses (%) of major garnets from eclogites in the northern Dabie Mountains

点号	98121-gt10	98121gt-15	99104gt-11	99104gt-11	99104gt-5	99104gt-7	99104gt-9	99104gt-3	98122-3gt-1-6
SiO ₂	37.26	38.23	39.03	38.75	38.80	38.49	37.86	38.46	37.23
TiO ₂	0.11	0.03	0.10	0.02	0.01	0.08	0.05	0.19	0.05
Al ₂ O ₃	22.22	23.16	22.83	23.46	23.22	22.40	23.30	23.04	22.03
FeO	19.91	22.25	17.74	17.76	18.28	17.25	18.88	17.30	24.12
Fe ₂ O ₃	3.45	0.44	1.65	0.24	0.82	3.97	1.34	2.39	1.99
MnO	0.18	0.28	0.36	0.33	0.46	0.53	0.23	0.44	0.53
MgO	4.37	4.65	8.47	8.51	8.02	8.92	8.03	8.77	4.42
CaO	12.60	11.43	10.32	10.22	10.35	9.61	9.70	10.06	8.67
Na ₂ O	0.14	0.07	0.07	0.00	0.03	0.02	0.03	0.10	0.22
总量	100.24	100.54	100.57	99.29	99.99	101.3	99.42	100.7	99.26
O	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.888	2.940	2.940	2.943	2.941	2.893	2.891	2.897	2.931
Al ^{IV}	0.112	0.060	0.060	0.057	0.059	0.107	0.109	0.103	0.069
Al ^{VI}	1.917	2.037	1.965	2.041	2.013	1.875	1.986	1.934	1.973
Fe ³⁺	0.201	0.025	0.094	0.014	0.047	0.224	0.077	0.135	0.118
Ti	0.006	0.002	0.005	0.001	0.001	0.005	0.003	0.011	0.003
Fe ²⁺	1.291	1.431	1.118	1.128	1.159	1.084	1.206	1.086	1.588
Mg	0.506	0.533	0.952	0.964	0.906	1.000	0.914	0.981	0.518
Mn	0.012	0.019	0.023	0.021	0.030	0.034	0.015	0.028	0.035
Ca	1.047	0.942	0.833	0.832	0.841	0.774	0.793	0.810	0.732
Na	0.021	0.011	0.010	0.000	0.004	0.003	0.005	0.014	0.034
Alm	45.2	48.9	38.2	33.2	39.5	35.7	37.3	34.6	55.3
And	10.6	1.3	4.8	0.76	2.4	12.0	4.2	7.3	6.2
Gross	26.1	30.9	23.7	29.8	26.2	15.5	24.7	21.8	19.3
Prope	17.7	18.2	32.5	35.4	30.9	35.6	33.3	35.3	18.0
Spess	0.4	0.6	0.8	0.8	1.0	1.2	0.5	1.0	1.2
样号	98122-3gt2	98122-3gt5	99104-2gt2	99104-1gt	98WY-gt19	98701-1gt	98702-2r	98702-2m	98702-2c
SiO ₂	37.30	36.64	38.67	37.85	36.74	38.30	40.27	40.67	40.85
TiO ₂	0.01	0.00	0.05	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	21.81	21.70	23.30	22.06	22.76	23.89	20.61	21.12	21.05
FeO	25.26	22.82	20.15	23.43	22.60	14.39	15.13	15.10	15.30
Fe ₂ O ₃	1.56	4.52	0.00	2.05	3.63	4.48	0.06	0.77	0.91
MnO	0.28	0.32	0.62	0.56	0.67	0.51	0.55	0.39	0.38
MgO	3.88	5.18	6.87	7.27	4.84	12.97	9.66	10.22	10.14
CaO	9.24	8.77	9.78	6.32	9.46	5.90	11.90	11.65	11.75
Na ₂ O	0.08	0.05	0.03	0.07	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
总量	99.42	100.00	99.47	99.67	100.7	100.48	98.18	99.92	100.31
O	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.943	2.868	2.966	2.933	2.851	2.836	3.072	3.047	3.050
Al ^{IV}	0.057	0.132	0.034	0.067	0.149	0.164	0.000	0.000	0.000
Al ^{VI}	1.970	1.870	2.070	1.947	1.930	1.920	1.852	1.863	1.851
Fe ³⁺	0.092	0.266	0.000	0.120	0.212	0.000	0.000	0.038	0.044
Ti	0.001	0.00	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ²⁺	1.667	1.494	1.293	1.518	1.467	1.141	0.969	0.951	0.963
Mg	0.456	0.605	0.785	0.839	0.560	1.432	1.099	1.141	1.129
Mn	0.019	0.021	0.040	0.037	0.044	0.032	0.036	0.025	0.024
Ca	0.782	0.736	0.804	0.525	0.786	0.468	0.973	0.935	0.940
Na	0.013	0.008	0.004	0.011	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000
Alm	57.0	52.3	44.2	52.0	49.6	37.1	31.5	31.2	31.5
And	4.7	14.0	0.0	6.2	11.5	0.0	0.0	2.0	2.3
Gross	22.0	11.8	27.5	11.8	17.0	15.1	31.6	28.6	28.5
Prope	15.6	21.2	26.9	28.7	20.3	46.5	35.7	37.4	36.9
Spess	0.6	0.7	1.4	1.3	1.6	1.1	1.2	0.8	0.8

紫苏辉石、斜长石和钛铁矿等共存(图版 I-2~4),少数以基质形式存在(图版 I-5~8)。电子探针分析表明,绿辉石 Na₂O 为 2.51%~8.82%、Al₂O₃ 为 4.08%~10.84%、硬玉端元组分多为 Jd=20mol%~52mol%(表 3,图 3);透辉石 Na₂O 为 0.18mol%~0.79mol%、Al₂O₃ 为 1.04mol%~4.37mol%、硬玉端元组分多为 Jd=1.0mol%~3.0mol%(表 4)。二者的区别在于前者富 Al、Na,也就是说,随着压力降低,单斜辉石中 Na₂O 和 Al₂O₃ 含量明显降低。

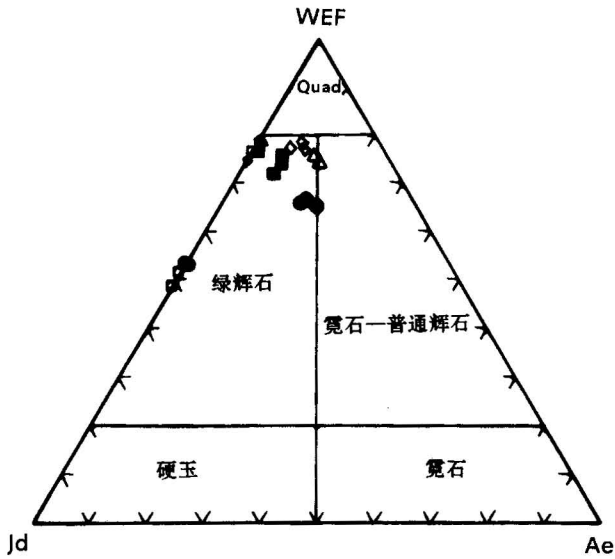


图 3 榴辉岩中绿辉石的 WEF-Jd-Ae 图解

Fig. 3 WEF-Jd-Ae diagram of omphacites from the eclogites in the northern part of the Dabie Mountains

■—饶拔寨; □—黄尾河(98701); ◇—黄尾河(98702); △—百丈岩; ●—华庄; ○—汪洋水库
■—Raobazhai; □—Huangweihe (98701); ◇—Huangweihe (98702); △—Baizhangyan; ●—Huazhuang; ○—Wangyang reservoir

2.3 斜方辉石

主要产于石榴子石边部的后成合晶中,常与斜长石、尖晶石等矿物相共生(图版 I-2~5)。所有的斜方辉石都是紫苏辉石,是石榴子石和绿辉石分解的产物。不同的样品之间,紫苏辉石的成分稍有差别(表 4);Na₂O 为 0~0.13%、硬玉端元组分为 Jd=0~1mol%、Mg/(Mg+Fe)值为 0.60~0.85;有些紫苏辉石的 Al₂O₃ 含量高,最高可达 5.3%。

2.4 角闪石类

角闪石是晚期后成合晶中主要矿物,与紫苏辉石、尖晶石、斜长石等一同形成交生结构(图版 I-1~5)。另外,广泛存在交代透辉石而形成的角闪石(图版 I-5,6)。角闪石类电子探针分析见表 4。根据 Leak

(1978)分类,本区榴辉岩中角闪石主要为钙质角闪石,并且大多数为韭闪石(Pargasite),部分为镁角闪石(Magnesian-Hbl)、镁钙闪石(Tschermakite)和镁-绿钠闪石(Magnesian-Hasingsite)等。这些角闪石绝大多数是在变质作用演化晚期形成的。

表 2 饶拔寨榴辉岩(99104-2)具有成分分带的石榴子石的电子探针分析(%)

Table 2 Electron probe analyses of zoned garnet(99104-2) from eclogite in the northern Dabie Mountains(%)

点号	99104-2-1	99104-2-2	99104-2-3	99104-2-4	99104-2-5	99104-2-6
SiO ₂	38.52	38.49	39.46	37.86	39.03	38.75
TiO ₂	0.10	0.08	0.13	0.05	0.10	0.02
Al ₂ O ₃	22.53	22.40	19.27	23.30	22.83	23.46
FeO	18.32	17.25	17.48	18.88	17.74	17.76
Fe ₂ O ₃	3.62	3.97	3.87	1.34	1.65	0.24
MnO	0.78	0.54	0.43	0.23	0.36	0.33
MgO	9.45	8.93	8.37	8.03	8.47	8.51
CaO	7.60	9.61	10.86	9.70	10.33	10.22
Na ₂ O	0.09	0.02	0.12	0.03	0.07	0.00
总量	100.92	101.29	99.99	99.42	100.58	99.29
O	12	12	12	12	12	12
Si	2.902	2.893	3.021	2.891	2.940	2.943
Al ^{IV}	0.098	0.107	0.000	0.109	0.060	0.057
Al ^{VI}	1.901	1.875	1.738	1.986	1.965	2.041
Fe ³⁺	0.205	0.224	0.223	0.077	0.094	0.014
Ti	0.001	0.005	0.007	0.003	0.005	0.001
Fe ²⁺	1.155	1.084	1.119	1.206	1.118	1.128
Mg	1.062	1.000	0.955	0.914	0.952	0.964
Mn	0.050	0.034	0.028	0.015	0.023	0.021
Ca	0.613	0.774	0.891	0.793	0.833	0.832
Na	0.013	0.003	0.019	0.005	0.010	0.000
Alm	40.1	35.7	36.4	37.3	38.2	33.2
And	10.7	12.0	11.4	4.2	4.8	0.8
Gross	10.6	15.5	18.9	24.7	23.7	29.8
Prope	36.9	35.6	32.4	33.3	32.5	35.4
Spess	1.7	1.2	0.9	0.5	0.8	0.8

注:点号 99104-2-1~99104-2-6 表示从石榴子石边缘到中心。

3 变质温、压条件与 p-t 轨迹

3.1 变质温、压条件

3.1.1 超高压变质线索

尽管大别山北部榴辉岩中尚未发现有柯石英或金刚石,但下列一些矿物或矿物组合特征表明,它们也可能经历了超高压变质作用。

(1)石榴子石成分:根据石榴子石成分,作出石榴子石成分与压力相关图(Okay, 1995),大别山北部榴辉岩中石榴子石成分大致可分出两类(图 4):一类形成压力 ≥ 2.3GPa,为榴辉岩相峰期变质形成,相当于南部超高压带榴辉岩之柯石英/石英榴辉岩变质阶段;另一类形成压力 ≤ 1.5GPa,主要为具

有成分分带石榴子石(如 99104-2 样品)的边部成分和一部分为强退变样品(如 98122-3)中的石榴子石(见表 1、2),可能为高压麻粒岩相阶段形成的。

(2) 榴辉岩相矿物共生组合: 本区榴辉岩中的石榴子石含石英、绿辉石、金红石和斜紫苏辉石等包体以及笔者在庐镇关以南与桐城之间塘湾附近大理岩中发现有含钛-斜硅镁石、镁橄榄石、金红石和文石等矿物组合(刘贻灿, 2000)[可能类似于哈萨克斯坦不含金刚石的白云石大理岩, 其形成温度、压力为 800℃和 2.5GPa (Ohta et al., 1998)]。类似大理岩在大别山北部其他地方也有分布, 如黄尾河等地。由于该大理岩含较多镁橄榄石和常伴有蛇纹石化, 此种大理岩有可能是由超基性岩经深俯冲(至地幔深度)发生碳酸盐交代作用形成的; 而且, 其中矿物组合至少也可以划分为榴辉岩相、麻粒岩相和角闪岩相三期(详细资料, 将另文发表)。

钛-斜硅镁石曾被当作一个低压矿物, 但 Thompson(2000)发现它是一个地幔深度的高密度的含水硅酸盐矿物。钛-斜硅镁石的温压实验(Engi et al., 1980)也表明, 它的形成深度大于 100km, 并

见于岳西碧溪岭的石榴橄榄岩中(Okay, 1994; Zhang et al., 1995; Xu et al., 1996)。薄片内呈现金黄色, 呈自形-半自形的粒状, 大小为 0.25~1.5 μm, 与石榴子石、透辉石、橄榄石及菱镁矿相接触, 少数则呈现包体赋存于石榴子石、透辉石或橄榄石中。太湖毛屋含钛-斜硅镁石的石榴辉石岩的温压条件约 740℃和 >4.0GPa(Okay, 1994), 由此表明大别山南部变质的镁铁-超镁铁岩曾俯冲到大于 100km 的地幔深度。由此, 推测本区榴辉岩相峰期变质压力至少应大于 2.5GPa。

(3) 钠质单斜辉石中石英出溶: 根据世界上几个超高压变质地体中石英针状体的出溶(Smith, 1984, 1988; Bakun-Czubarow, 1992; Gayk et al., 1995; Liou et al., 1999)及有关实验结果(Mao, 1971; Khanukhova et al., 1976; Wood et al., 1978; Zharikov et al., 1984; Angel et al., 1988)表明, 榴辉岩相 Ca-Na 质单斜辉石中石英出溶是早期超高压变质的最好证据(Liou et al., 1999)。Gayk 等(1995)认为 Münchberg Massif 地体高压麻粒岩之单斜辉石中石英出溶形成于 2.5 GPa。

表 3 大别山北部榴辉岩中代表性绿辉石的电子探针分析(%)

Table 3 Electron probe analyses (%) of major omphacites from eclogites in the northern Dabie Mountains

样号	98WY-1	99104-1	99104-2-1	99104-2	98122-3	98121-1	98121-2	98701-1	98701-2	9801	98702-1	98702-2	98WY-21
产状	包体	包体	包体	基质	包体	包体	包体	包体	包体	基质	包体	基质	包体
SiO ₂	55.29	52.23	54.45	54.86	54.57	53.06	54.29	55.49	55.89	53.50	53.45	54.44	53.57
TiO ₂	0.11	0.22	0.02	0.17	0.11	0.07	0.01	0.01	0.09	0.00	0.08	0.06	0.12
Al ₂ O ₃	10.84	6.26	7.53	5.88	4.89	4.29	4.08	10.78	10.68	9.52	4.85	4.60	9.13
FeO	6.18	6.50	2.54	4.20	4.00	4.02	7.79	1.64	6.39	7.44	3.92	3.45	7.30
Fe ₂ O ₃	0.00	0.00	2.05	0.65	5.10	4.74	1.03	5.71	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.15	0.00	0.00	0.01	0.00	0.06	0.03	0.01	0.06	0.04	0.09	0.00
MgO	7.88	10.51	11.24	11.98	9.51	11.32	11.70	7.29	7.29	7.84	14.23	14.11	8.02
CaO	11.58	17.7	17.66	19.35	17.04	18.64	19.15	11.71	11.78	13.14	19.91	19.17	12.85
Na ₂ O	6.58	3.07	4.28	3.30	4.84	3.31	2.51	7.91	6.98	7.85	3.79	3.60	8.82
K ₂ O	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00
总量	98.46	96.71	99.78	100.39	100.09	99.46	100.62	100.58	99.33	99.37	100.27	99.52	99.81
O	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	2.007	1.971	1.962	1.978	1.99	1.959	1.987	1.970	2.012	1.911	1.902	1.954	1.891
Al ^{IV}	0.000	0.029	0.038	0.02	0.005	0.041	0.013	0.030	0.000	0.089	0.098	0.046	0.109
Al ^{VI}	0.463	0.249	0.282	0.228	0.205	0.145	0.163	0.421	0.453	0.311	0.105	0.149	0.270
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.052	0.014	0.138	0.129	0.026	0.152	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.003	0.006	0.001	0.005	0.003	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.002	0.003
Fe ²⁺	0.188	0.205	0.080	0.130	0.125	0.126	0.241	0.049	0.193	0.222	0.117	0.103	0.215
Mg	0.426	0.591	0.604	0.644	0.518	0.623	0.638	0.386	0.391	0.417	0.755	0.755	0.422
Mn	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.002	0.001	0.003	0.000
Ca	0.450	0.718	0.682	0.748	0.667	0.373	0.751	0.445	0.454	0.503	0.759	0.737	0.486
Na	0.463	0.225	0.229	0.231	0.343	0.237	0.178	0.545	0.486	0.544	0.261	0.251	0.604
K	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
WEF	53.5	77.2	69.6	76.7	65.6	75.9	82.1	44.7	51.6	51.3	75.7	76.1	48.2
Jd	46.52	2.8	25.7	21.9	20.6	12.8	15.4	40.6	47.8	48.7	24.3	23.9	51.8
Ae	0.0	0.0	4.7	1.4	13.8	11.3	2.5	14.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0

表 4 大别山北部榴辉岩中部分斜方辉石、单斜辉石、斜长石及角闪石电子探针分析(%)
Table 4 Electron probe analyses (%) of orthopyroxenes, clinopyroxenes, feldspars and amphiboles from the eclogites in the northern part of the Dabie Mountains

样号	斜方辉石			单斜辉石		斜长石				角闪石				
	98122-3	98701	98702-2	98122-3	98701	99104-1	98121-9	98702	98122-3	99104	98701	98WY	98122	98702
SiO ₂	53.03	49.49	53.97	52.95	50.72	58.08	48.31	52.04	51.68	39.78	40.97	45.46	42.53	41.46
TiO ₂	0.00	0.06	0.09	0.16	0.60	0.00	0.00	0.00	0.05	4.45	2.57	0.32	0.04	0.43
Al ₂ O ₃	1.28	5.30	0.00	1.26	4.37	26.10	26.07	29.86	29.77	16.00	14.79	9.83	13.83	13.53
FeO	24.40	8.72	20.31	9.11	1.25	0.55	2.14	0.00	0.27	10.78	10.97	15.00	14.21	11.92
Fe ₂ O ₃	0.00	7.09	0.00	0.87	4.00									
MnO	0.55	0.23	0.49	0.27	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00	0.23	0.19	0.01	0.14	0.23
MgO	20.53	28.02	24.07	12.94	15.14	0.02	2.63	0.00	0.04	12.07	13.54	12.16	12.75	12.86
CaO	0.40	0.23	0.49	21.58	23.39	7.41	18.40	13.55	11.97	11.46	11.44	11.96	11.49	12.14
Na ₂ O	0.13	0.09	0.00	0.79	0.57	6.35	1.93	4.34	5.40	3.06	4.42	1.06	2.38	2.81
K ₂ O	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.07	0.01	0.03	0.00	0.00	0.04	0.19	0.02	0.12
总量	100.34	99.23	99.43	99.95	100.19	98.63	99.49	99.82	99.18	97.83	98.93	95.99	97.45	95.50
O	6	6	6	6	6	8	8	8	8	23	23	23	23	23
Si	1.987	1.786	2.002	1.979	1.856	10.501	9.092	9.482	9.484	5.501	5.926	6.721	6.149	5.783
Al	0.057	0.226	0.000	0.054	0.188	5.558	5.779	6.407	6.435	2.755	2.519	1.711	2.364	2.718
Fe ³⁺	0.000	0.192	0.000	0.036	0.110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.234	0.272	0.650	1.099	1.039
Ti	0.000	0.002	0.002	0.004	0.017	0.000	0.000	0.000	0.007	0.488	0.028	0.000	0.004	0.126
Fe ²⁺	0.756	0.263	0.630	0.274	0.039	0.083	0.337	0.000	0.042	1.081	1.055	1.200	0.618	0.204
Mg	1.147	1.507	1.330	0.721	0.826	0.006	0.737	0.000	0.001	2.623	2.919	2.681	2.748	3.094
Mn	0.017	0.007	0.015	0.009	0.004	0.007	0.000	0.000	0.000	0.028	0.023	0.002	0.017	0.035
Ca	0.016	0.009	0.019	0.864	0.917	1.435	3.712	2.645	2.353	1.790	1.773	1.894	1.780	1.837
Na	0.010	0.006	0.000	0.057	0.040	2.227	0.702	1.533	1.922	0.863	1.239	0.303	0.667	0.750
K	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.015	0.002	0.007	0.000	0.000	0.007	0.036	0.004	0.000
WEF	99.0	99.3	99.8	94.2	95.7									
Jd	1.0	0.0	0.0	2.9	1.2									
Ae	0.0	0.7	0.2	2.9	3.1									

注:斜长石、角闪石中的 FeO 为全铁。

本区榴辉岩中钠质单斜辉石核部常含有石英针状体出溶(大多数为 20~30μm,少数为 120μm,定向排列),并具有退变的透辉石边(图 I-7,8),Na₂O 含量从核部向边部递减(如从 3.19%→0.34%),而且透辉石边无矿物包体(刘贻灿,2000)。这可能表明,核部(早期绿辉石)代表形成于超高压条件下的硅超饱和矿物,并随压力降低和硅释放而出溶石英。

以上分析表明,本区榴辉岩可能形成于 $p \geq 2.5$ GPa 的超高压条件下。此外,美国斯坦福大学 Tsai 等(2000)虽没有在研究区发现新鲜榴辉岩,但发现榴辉岩相残留体(eclogite-facies relics),并认为它们曾经过超高压变质作用。实际上,在该带东延的威海地区曾发现含柯石英的麻粒岩(Wang et al., 1993),而该麻粒岩是由榴辉岩经过麻粒岩相退变而来的,也说明该带中榴辉岩曾经过超高压变质阶段。

3.1.2 变质温度、压力计算

以 2.5GPa 作为计算本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(Ra-

heim et al., 1974; Ellis et al., 1979; Krogh, 1988) 计算。3 种方法对同一矿物对计算的结果十分接近(见表 5), $t = 595 \sim 874^\circ\text{C}$, 似乎可分出高温($>700^\circ\text{C}$, 甚至 $800 \sim 900^\circ\text{C}$)和低温($\leq 600^\circ\text{C}$)两类榴辉岩。

表 5 大别山北部榴辉岩相峰期变质温度计算结果($p = 2.5\text{GPa}$)

Table 5 The temperature of the eclogite facies metamorphism from the eclogites in the northern part of the Dabie Mountains ($p = 2.5\text{GPa}$)

样号	石榴子石		绿辉石		温度(°C)				K _D
	Fe ²⁺	Mg	Fe ²⁺	Mg	EG	RG	K	平均	
99104-2	1.113	0.927	0.080	0.604	739	696	705	713	9.08
B98121	1.291	0.506	0.126	0.623	727	630	686	681	12.6
98122	1.673	0.462	0.125	0.518	617	599	570	595	15.0
98WY	1.467	0.560	0.188	0.426	855	796	834	828	5.9
98701	1.141	1.432	0.049	0.386	819	847	758	808	4.9
98702	0.963	1.129	0.117	0.755	908	817	897	874	5.4
9801	1.745	0.563	0.222	0.417	771	801	707	760	5.8

注:用石榴子石-绿辉石矿物对电子探针分析结果计算,其中 EG—据 Ellis et al. (1979); RG—据 Raheim et al. (1974); K—据 Krogh(1988)。

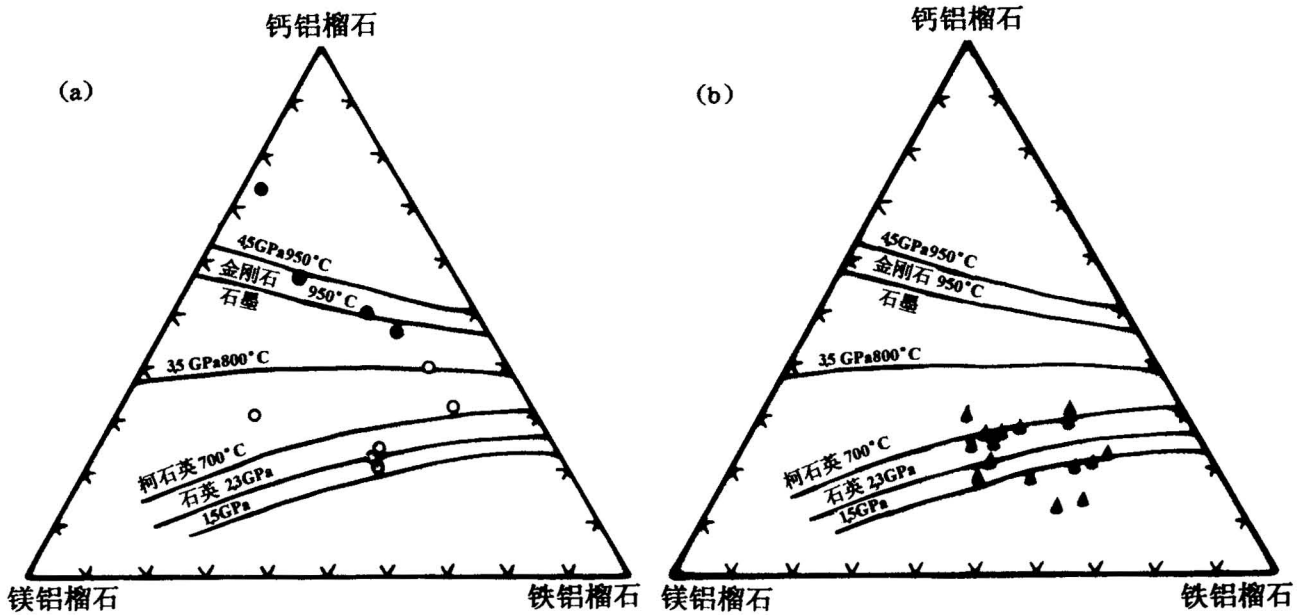


图 4 石榴子石成分与压力相关图(转引自 Okay,1995)

Fig. 4 Garnet composition-pressure diagram (after Okay,1995)

(a)一大别山南部超高压带榴辉岩中石榴子石;●—含金刚石榴辉岩,○—柯石英-石英榴辉岩;(b)一大别山北部榴辉岩中石榴子石(▲)
 (a)—Garnet in the eclogites of UHP metamorphic belt in south Dabie Mountains;●—diamond-bearing glogite;○—coesite-quartz eclogite;
 (b)—garnet in the eclogites belt in north Dabie Mountains(▲)

部分榴辉岩的温度比较低(如 98121、98122),是与它们为强退变样品有关(即受退变质影响)还是形成温度本来就比较低?还有待于进一步研究。

利用二辉石对(Wood et al.,1973)计算麻粒岩相变质温度 817~909℃,利用石榴子石-斜方辉石对(Wood,1974)计算麻粒岩相变质压力为 1.10~1.37GPa,见表 6。

表 6 大别山北部榴辉岩退变质阶段温度和压力计算结果
 Table 6 Temperature and pressure of the retrograded metamorphism from the eclogites in the Northern part of the Dabie Mountains

样号	方法	矿物对	温度(℃)	压力(GPa)
98701-1	Wood et al. (1973)	Cpx-Opx	820	
98701-1	Wood(1974)	Gt-Opx		1.22
98701-2	Wood et al. (1973)	Cpx-Opx	845	
98701-2	Wood(1974)	Gt-Opx		1.10
98122-3	Wood et al. (1973)	Cpx-Opx	909	
98122-3	Wood(1974)	Gt-Opx		1.37
98122-3	Wood et al. (1973)	Cpx-Opx	817	
99104-2	Plyusnina(1982)	Amph-Pl	600	0.6
99104-2	Brown(1997)	Amph 中 NaM ₄ -Al ^{IV}		0.6
98WY	Plyusnina(1982)	Amph-pl	500~ 600	0.5~ 0.6

根据共存的角闪石-斜长石温、压计(Plyusnina,

1982)以及角闪石中 MaM₄-Al^{IV} (Brown,1997)估算出角闪岩相变质温度、压力分别为 $t=500\sim600^{\circ}\text{C}$ 、 $p=0.5\sim0.6\text{GPa}$,见表 6。

3.2 p-t 轨迹

从以上岩石学分析及变质温压条件估算表明,本区榴辉岩至少经历了 3 个变质阶段,即:①榴辉岩相峰期变质阶段, $p\geq 2.5\text{GPa}$, $t=595\sim874^{\circ}\text{C}$;②高压麻粒岩相变质阶段, $p=1.1\sim1.37\text{GPa}$, $t=817\sim909^{\circ}\text{C}$;③角闪岩相变质阶段, $p=0.5\sim0.6\text{GPa}$, $t=500\sim600^{\circ}\text{C}$ 。据此,可以作出一条顺时针的 p-t 轨迹(图 5),它反映了本区榴辉岩在榴辉岩相峰期变质之后经历了近等温减压(或稍升温减压)和降温减压变质过程;它与南部超高压带中榴辉岩的 p-t 轨迹相比较,有所差异,表明它们变质作用条件的差异。该区榴辉岩的锆石 U-Pb 年龄为 $230\pm\text{Ma}$ (刘贻灿等,2000)及 Sm-Nd 等时线(石榴子石+绿辉石+全岩)年龄为 210Ma(刘贻灿等,2001),表明它们均形成于印支期,且与南部超高压变质岩一样都是扬子与华北两个大陆板块相碰撞的产物。

4 结论与讨论

(1)大别山北部镁铁-超镁铁质岩带中榴辉岩主要有两种产状,一是产于变形较强(面理化)的橄榄

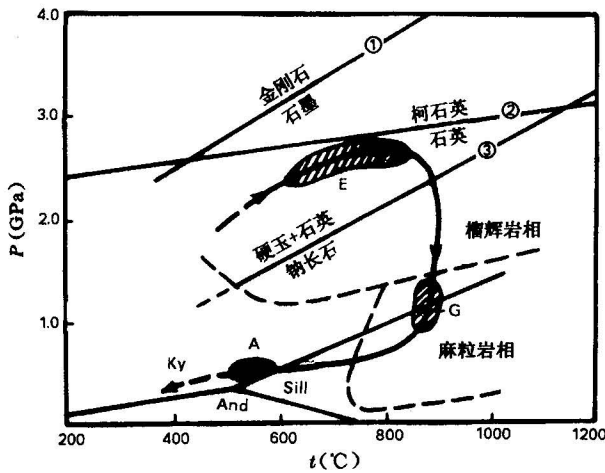


图 5 大别山北部榴辉岩的 $p-t$ 轨迹

Fig. 5 $p-t$ path of eclogite from the mafic-ultramafic belt in the northern part of the Dabie Mountains

①—金刚石-石墨转变线;②—柯石英-石英转变线(据 Chopin, 1984);③—硬玉-钠长石转变线(据 Holland, 1980);E—榴辉岩峰期变质阶段;G—高压麻粒岩相变质阶段;A—角闪岩相变质阶段
①—Diam = Graph transformed line;②—Cs = Q transformed line (after Chopin, 1984);③—Jd + Q = Ab transformed line (after Holland, 1980);E—peak metamorphic stage in the eclogites; G—metamorphic stage in the high-pressure granulite facies; A—metamorphic stage in the amphibolite facies

岩中,如黄尾河、饶钹寨等地;另一种是产于片麻岩中,如洪庙、华庄及汪洋水库等地。其中,绿辉石中硬玉端元组分大多为 $Jd=20 \text{ mol}\% \sim 52 \text{ mol}\%$ 。石榴子石的成分特征表明,产于橄辉岩和片麻岩中榴辉岩分别相当于 Coleman 的 B 型和 C 型榴辉岩。

(2)本区榴辉岩可划分出三期变质矿物共生组合:①石榴子石+绿辉石+金红石±蓝晶石+石英(或柯石英假象?);②石榴子石+透辉石+紫苏辉石+钛铁矿+尖晶石+斜长石±刚玉±橄榄石等;③角闪石+斜长石+磁铁矿等。

(3)石榴子石成分特征及钠质单斜辉石中石英针状出溶体等表明,本区榴辉岩早期可能经历过超高压变质作用,且至少经历了 3 个变质阶段:①榴辉岩相峰期变质阶段, $p \geq 2.5 \text{ GPa}$, $t = 595 \sim 874 \text{ }^\circ\text{C}$;②高压麻粒岩相变质阶段, $p = 1.1 \sim 1.37 \text{ GPa}$, $t = 817 \sim 909 \text{ }^\circ\text{C}$;③角闪岩相变质阶段, $p = 0.5 \sim 0.6 \text{ GPa}$, $t = 500 \sim 600 \text{ }^\circ\text{C}$ 。经历了一条顺时针的 $p-t$ 演化,在榴辉岩相峰期变质之后经历了近等温减压(或稍升温减压)和降温减压变质过程;它与南部超高压带中榴辉岩的变质作用条件有一定差异。

(4)大别山北部榴辉岩的发现,说明北部至少其中一部分可能属于扬子俯冲陆壳的一部分。

(5)该区榴辉岩独特的麻粒岩相退变质阶段,表

明榴辉岩在折返初期并未能上升到中上地壳,而处于下地壳,因而有较高的退变质温度。由于该麻粒岩相退变质阶段仅以细粒后合成晶形式出现,未重结晶,因而它可能在下地壳深度停留时间不很长,就又被进一步构造抬升至中上地壳。这与南部超高压变质岩有不同的 $p-t$ 演化史。

(6)研究区似乎存在高温($>700 \text{ }^\circ\text{C}$,甚至 $800 \sim 900 \text{ }^\circ\text{C}$)和低温($\leq 600 \text{ }^\circ\text{C}$)两类榴辉岩。温度较低是由退变质作用(如出现石榴子石成分分带及部分榴辉岩强退变质而引起绿辉石成分变化等)造成的,还是它们的榴辉岩相峰期变质时温度较低?以及二者之间关系如何等,还有待于进一步研究。

本文属刘贻灿博士论文的一部分,是在李曙光教授的指导下完成的;电子探针分析由南京大学王汝成教授和意大利都灵大学 Franco Rolfo 博士帮助完成;文中插图由陆益群和王晓梅女士清绘,在此一并表示感谢!

参 考 文 献

- 陈廷恩,牛宝贵,刘志刚,等. 1991. 大别山腹地燕山期岩浆作用和变质作用同位素年代学研究及其地质意义. 地质学报, 65(4): 329~336.
- 董树文,孙先如,张勇,等. 1993. 大别山造山带的基本结构. 科学通报, 38(6): 542~545.
- 刘贻灿,徐树桐,江来利,等. 1997. 大别山造山带北部麻粒岩相岩石的若干特征. 安徽地质, 7(2): 7~14.
- 刘贻灿,徐树桐,江来利,等. 1998. 大别山北部斜长角闪岩类的地球化学特征及形成构造背景. 大地构造与成矿学, 22(4): 323~331.
- 刘贻灿,徐树桐,江来利,等. 1999. 大别山北部蛇绿岩的地化学制约. 矿物岩石, 19(1): 68~73.
- 刘贻灿,徐树桐,李曙光,等. 2000. 大别山北部鹿吐石铺含石榴子石斜长角闪岩类的变质特征及 Rb-Sr 同位素年龄. 安徽地质, 10(3): 194~198.
- 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. 2001. 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.
- 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): 20~34.
- 魏春景,单振刚,张立飞,等. 1997. 北大别榴辉岩的确定及其地质意义. 科学通报, 42(17): 1834~1835.
- 徐树桐,苏文,刘贻灿,等. 1991. 大别山东段高压变质岩中的金刚石. 科学通报, 36(17): 1318~1321.
- 徐树桐,江来利,刘贻灿,等. 1992. 大别山(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, 1~175.

References

- Angel R J, Gasparik T, Ross N L, Finger L W, Prewitt C T, Hazen R M A. 1988. Silica-rich pyroxene phase with six-coordinated silicon. *Nature*, 335:156~158.
- Bakun-Czubarow N. 1992. Quartz pseudomorphs after coesite and quartz exsolutions in eclogitic omphacites of the Złoty Moun tains in the Sudetes(SW Poland). *Archiwum Mineral*, 48:3~25.
- Brown E H. 1997. The crossite content of Ca-amphibole as a guide to pressure of metamorphism. *J. of Petrol.*, 18(part 1):53~72.
- Chopin C. 1984. Coesite and pure pyrope in high-grade blueschist of the western Alps: a first record and some consequences. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 86:107~118.
- Coleman R G, Lee D E, Beatty L B, et al. 1965. Eclogites and eclogite; their differences and similarities. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 76: 483~508.
- Cong B, Wang Q, Zhai M, et al. 1994. Ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie-Su-Lu region, China; their formation and exhumation. *The Island Arc*, 3:135~150.
- 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.
- Engi M, Lindsley D H. 1980. Stability of titanian clinochomite; experiments and thermodynamic analysis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 72: 415~424.
- Gayk T, Kleinschrodt R, Langosch A, Seidel E. 1995. Quartz exsolution in clinopyroxene of high-pressure granulite from the Munchberg Massif. *Eur. J. Mineral.*, 7:1217~1220.
- Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, et al. 1998. U/Pb zircon ages contain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie orogen, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 161:215~231.
- Holland T J B. 1980. The reaction albite=jadeite+quartz determined experimentally in the range 600~1200°C. *Am. Mineral.*, 65: 125~134.
- Khanukhova L T, Zharikov V A, Ishbulatov R A, Litvin Y A. 1976. Excess silica in solid solutions of high-pressure clinopyroxenes as shown by experimental study of the system $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ at 35 kilobars and 1200°C. *Doklady Earth Sci. Sect.*, 229:170~172.
- Krogh E J. 1988. The garnet-clinopyroxene Fe-Mg geothermometer—a reinterpretation of existing experimental data. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 99:44~48.
- Leak B E. 1978. Nomenclature of amphibole. *Mineral. Mag.*, 42:533~563.
- Li S, Jagoutz E, Zhang Z, et al. 1995. Structure of high-pressure metamorphic belt in the Dabie Mountains and its tectonic implication. *Chinese Science Bulletin*, 40(supplement): 138~140.
- Liou J G, Zhang R Y, Ernst W G, Rumble D, Maruyama S. 1999. High-pressure minerals from deeply subducted metamorphic rocks. In: Hemley R J ed: *Reviews in Mineralogy*, 37:33~96.
- Mao H K. 1971. The system jadeite ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$)-anorthite ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) at high pressures. *Carnegie Inst. Year Book*, 69: 163~168.
- Ohta M, Ogasawara Y, Katayama, Maruyama S. 1998. Petrology of diamond-bearing dolomite marble and diamond-free dolomitic marble from the Kokchetav massif, northern Kazakhstan. *International Workshop on UHP Metamorphism and Exhumation. Stanford University. Abstract*, A96~98.
- Okay A I, Sengor A M C. 1992. Evidence for intracontinental thrust-related exhumation of the ultrahigh-pressure rocks in China. *Geology*, 20:411~414.
- Okay A I. 1994. Saphirine and Ti-clinohumite in ultra-high pressure garnet-pyroxenite and eclogite from Dabie Shan, China. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116:145~155.
- Okay A I. 1995. Paragonite eclogites from Dabie Shan, China; re-equilibration during exhumation? *J. Metamorphic. Geol.*, 13:449~460.
- Okay A I, Xu Shutong, Sengor A M C. 1989. Coesite from the Dabie Shan eclogites, central China. *Eur. J. Mineral.*, 1:595~598.
- Plyusnina L P. 1982. Geothermometry and geobarometry of plagioclase-hornblende bearing assemblage. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 80: 140~146.
- 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.
- Smith D C. 1984. Coesite in clinopyroxene in the Caledonides and its implications for geodynamics. *Nature*, 310:641~644.
- Smith D C. 1988. A review of the peculiar mineralogy of the Norwegian coesite-eclogite province with crystal-chemical, petrological, geochemical and geodynamical notes and an extensive Bibliography. In: Smith D C ed: *Eclogites and Eclogite-Facies Rocks*. 1~206.
- Thompson A S. 2000. Water in the Earth's upper mantle. *Nature*, 358:295~301.
- Tsai Chin-Ho, Liou J G. 2000. Eclogite-felsic and inferred ultrahigh-pressure metamorphism in the North Dabie complex, central China. *American Mineralogist*. 85:1~8.
- Wang Q, Cong B, Zhai M, et al. 1993a. A possible Paleozoic island arc; petrologic evidences from North Dabie gneiss. In: *Inst. of Geol, Academia Sinia ed: Annual Report of the Laboratory of Lithosphere Tectonic Evolution (1993~1994)*. Beijing: Seismological Press, 37~47.
- Wang Q, Ishiwatari A, Zhao Z, et al. 1993b. Coesite-bearing granulite retrograded from eclogite in Weihai, eastern China; a preliminary study. *Eur. J. Mineral.*, 5:141~152.
- Wang X, Liou J G, Mao H K. 1989. Coesite-bearing eclogites from the Dabie Mountains in central China. *Geology*, 17:1085~1088.
- Wood B J, Banno S. 1973. Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene-clinopyroxene relationship in simple and complex systems. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 42:109~124.
- Wood B J. 1974. The solubility of alumina in orthopyroxene coexisting with garnet. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 46:1~15.
- Wood B J, Henderson C M B. 1978. Compositions and unit-cell parameters of synthetic non-stoichiometric tschermakitic clinopyroxene. *Am. Mineral.*, 63:66~72.
- Xu S, Okay A, Ji S, et al. 1992. Diamonds from the Dabie Shan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting. *Science*, 256:80~82.
- Xu S, Jiang L, Liu Y, et al. 1996. *Structural Geology and Ultrahigh Pressure Metamorphic belt of the Dabie Mountains in Anhui Province*. 30th IGC Field Trip Guide T328. Beijing: Geological Publishing House, 1~40.

- Xu S, Liu Y, Su W, et al. 1998. Eclogite in the northern Dabie Mountains and its tectonic implications. International Workshop on UHP Metamorphism and Exhumation. Stanford University. Abstract, A151.
- Xu S, Liu Y, Su W et al. 2000. Discovery of the eclogite and its petrography in the Northern Dabie Mountain. Chinese Science Bulletin, 45(3):273~278.
- Xu Z. 1987. Etude tectonique et microtectonique de la chaîne paléozoïque et triasique des Qinling (Chine). These de doctorat, Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier.
- Zhang R, Liou J G, Cong B. 1995. Ultrahigh-pressure metamorphosed talc-magnesite and Ti-clinohumite-bearing mafic and ultramafic complex in the Dabie Mountains China. Journal of Petrology, 36:1011~1037.
- Zhang R Y, Liou J G, Tsai C H. 1996. Petrogenesis of a high-temperature metamorphic Terrain: a new tectonic interpretation for the north Dabie Shan, central China. J. Metamorphic Geol., 14:319~333.
- Zharikov V A, Ishbulatov R A, Chudionovskikh L T. 1984. high-pressure clinopyroxene and the eclogite barrier sov. Geol. Geophys., 25:53~61.
1. 汪洋水库榴辉岩,石榴子石(Gt)中含有绿辉石(Omp)包体,具有角闪石(Hbl)+斜长石(Pl)后成合晶,金红石(Ru)退变为钛铁矿(ilm)。视域宽度为3.3mm,单偏光。
2. 华庄榴辉岩,石榴子石(Gt)中含有绿辉石(Omp)包体,具有斜方辉石+透辉石+斜长石组成的外环后成合晶(Sy1)和角闪石+斜长石+磁铁矿等组成的内环后成合晶(Sy2),视域宽度为3.3mm,单偏光。
3. 百丈岩榴辉岩,石榴子石(Gt)中含有金红石(Ru)包体,石榴子石(Gt)与绿辉石(Omp)之间具有斜方辉石+透辉石+斜长石等组成的后成合晶(Sy1)及角闪石+斜长石组成的后成合晶(Sy2),视域宽度为3.3mm,单偏光。
4. 华庄榴辉岩,石榴子石(Gt)、绿辉石(Omp)及斜方辉石+透辉石+斜长石+角闪石+斜长石组成的后成合晶(Sy),视域宽度为3.3mm,单偏光。
5. 黄尾河榴辉岩(样号为98702),紫苏辉石+尖晶石+斜长石等组成的后成合晶(Sy)以及透辉石(Di),具有闪石(Hbl)退变边。
6. 黄尾河榴辉岩(样号为98409-2),石榴子石(Gt)及含有针状石英出溶体的透辉石(Di)具有角闪石(Hbl)退变边,视域宽度为1.4mm,单偏光。
7. 黄尾河榴辉岩(样号为98702-2),石榴子石(Gt)及含有针状石英出溶体(Qtz)的钠质单斜辉石(Na-Cpx),具有无包裹体的透辉石(Di)边,视域宽度为3.3mm,单偏光。
8. 黄尾河榴辉岩(样号为98702),钠质单斜辉石(Na-Cpx)核部有针状石英出溶体(Qtz)和边部退变为透辉石(Di),视域宽度为1.4mm,单偏光。

图 版 说 明

1. 汪洋水库榴辉岩,石榴子石(Gt)中含有绿辉石(Omp)包体,具有角

Distribution and Metamorphic *p-t* Condition of the Eclogites from the Mafic-ultramafic Belt in the Northern Part of the Dabie Mountains

LIU Yican^{1,2)}, XU Shutong¹⁾, LI Shuguang²⁾, CHEN Guangbao¹⁾, JIANG Laili¹⁾
ZHOU Cunting¹⁾, WU Weiping¹⁾

1) Anhui Institute of Geology, Hefei, 230001

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

Abstract

The eclogites from the mafic-ultramafic belt in the Northern part of the Dabie Mountains are distributed as lenses in the foliated peridotites and the ortho-gneisses. Generally, the end members of omphacites are Jd = 20 mol% ~ 52 mol%. The garnet composition, mineral assemblage of eclogite facies and oriented quartz exsolution in Na-clinopyroxene indicate the eclogites here underwent a Triassic ultrahigh-pressure metamorphism. At least the three metamorphic stages of eclogites here can be distinguished: ① the peak metamorphic stage with omphacite + garnet + rutile ± kyanite + quartz (after coesite?) mineral assemblage of eclogite facies, $p \geq 2.5$ GPa and $t = 595 \sim 874$ °C; ② the high-pressure granulite facies stage with garnet + diopside + hypersthene + ilmenite + spinel + plagioclase ± corundum ± olivine, $p = 1.1 \sim 1.37$ GPa and $t = 817 \sim 909$ °C; ③ the amphibolite facies one with amphibole + plagioclase + magnetite, $p = 0.5 \sim 0.6$ GPa and $t = 500 \sim 600$ °C. After the peak metamorphism of eclogite facies they underwent an approximate isotherm-decrease pressure and then decrease temperature-decrease pressure process with a clockwise metamorphic *p-t* evolution. The metamorphic *p-t* path of the eclogites from the northern Dabie Mountains is different from one in the southern Dabie Mountains.

Key words: eclogite; metamorphic *p-t* condition; ultrahigh-pressure metamorphism; mafic-ultramafic belt; Northern part of the Dabie Mountains

