

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

大别山东段榴辉岩的成分特征及其成因意义*

葛宁洁 李曙光 彭中华 刘德良

(中国科学技术大学地球和空间科学系, 合肥)



大别山东段北部和南部榴辉岩的矿物组成和形成的温压条件有明显差异。北部榴辉岩有两种产状: 一种产于超基性岩体内, 另一种产于片麻岩内; 它们均为石榴石-透辉石组合, 不含石英, 形成温度为 600—740℃。南部榴辉岩均产于大别群片麻岩或大理岩中, 为石榴石-绿辉石组合, 含石英, 形成温度为 650—800℃。这些差异反映了它们形成环境不同, 前者可能是俯冲洋壳在较深部位变质而成, 后者可能与俯冲陆壳有关。

关键词 碰撞造山带 南北大别榴辉岩 温压条件

1 前言

秦岭—大别造山带是华北陆块与扬子陆块的碰撞造山带。该带地跨湖北、河南和安徽等三省, 且地处中国东部两大陆块之间。该造山带的东延部分(苏北—胶南隆起)被郯庐断裂截断, 并产生了位移。在该带大别山段及苏北—胶南地区, 出露有含柯石英假象、柯石英和金刚石的超高压、高压榴辉岩带, 蛇绿混杂岩带以及高压片麻岩类, 它们越来越受到中、外地质学家的重视^[1-4]。对该区榴辉岩带的深入研究, 对探讨华北—扬子两大陆块的对接及造山带构造演化, 具有十分重要的意义。叶大年曾对大别山西段的信阳榴辉岩做过较为详细的研究, 并指出该段榴辉岩为 C 类榴辉岩。论证这是低温高压变质作用的产物。其形成温压条件, 平均温度为 550℃, 压力为 1.0 GPa^[5]。土耳其学者 Okay 等 (1989), 和 Wang 等 (1989) 分别报导了在大别山东段南部的横冲和石马产出的榴辉岩中发现柯石英, 从而确定俯冲陆壳(大别群)曾下冲到近 100 km (>2.7 GPa) 深, 榴辉岩形成温度为 750℃^[6-7]。目前在大别山东段南部的潜山县横冲、五庙, 太湖县的石马, 岳西县菖蒲等地, 已确定有含柯石英的榴辉岩, 并都做了详细的研究。然而对大别山东段北部饶拔寨、高坝岩所出露的榴辉岩, 目前尚未见研究报导。事实上, 大别山南北大别群在岩石组合上, 有着明显差异, 榴辉岩的产状及矿物组合也不相同。因此, 将大别

* 国家自然科学基金资助项目(项目代号 4870188)。

本文 1991 年 10 月收到, 1992 年 6 月改回, 郝梓国编辑。

山东段南、北部两地榴辉岩进行对比研究,对认识造山带根部的结构和演化具有重要意义。

2 地质背景与样品

图 1 显示了大别山地区的地质构造轮廓及采样地点。徐树桐等根据不同世代的矿物共生组合及不同构造-岩石组合的特征和分布,划分了大别山地区的构造格局^[8]。已有研究表明,大别群为扬子陆块的俯冲基底,主要由云母斜长片麻岩,二长片麻岩和花岗片麻岩及似斑状花岗片麻岩组成。其大别山北部的桐柏—磨子潭断裂为扬子陆块与华北陆块的地缝合线,北淮阳的佛子岭群基本为华北陆块南缘的类复理石建造^[9]。目前有的研究

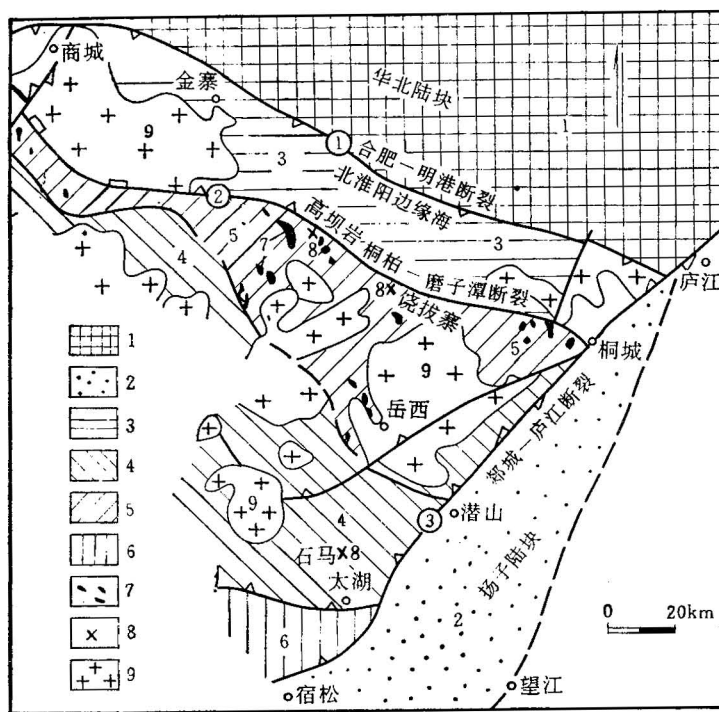


图 1 大别山地质构造略图(据徐树桐、李曙光等修编)

Fig. 1 Sketch map showing the geology and major tectonic units in the Dabie Mountain area (modified from Xiu Shutong, Li Shuguang et al.)

1. 华北陆块; 2. 扬子陆块; 3. 佛子岭群为主组成的北淮阳边缘海; 4. 南大别高压榴辉岩带(位于角闪岩相-高绿片岩相变质杂岩中); 5. 北大别角闪岩相片麻岩-混合岩带; 6. 宿松群绿片岩相含磷变质带; 7. 超镁铁岩体; 8. 榴辉岩采样点; 9. 花岗岩。

① 合肥—明港断裂; ② 桐柏—磨子潭断裂; ③ 郯城—庐江断裂

1. North China landmass; 2. Yangtze landmass; 3. North Huaiyang marginal sea composed mainly of the Foziling Group; 4. South Dabie high-pressure eclogite belt (in the amphibolite facies-high greenschist facies metamorphic complex); 5. North Dabie amphibolite facies gneiss-migmatite belt; 6. Greenschist facies phosphate-bearing metamorphic belt of the Xiusong Group; 7. ultramafic rock bodies; 8. eclogite sampling site; 9. granite.

① Hefei-Minggang fault; ② Tongbai-Mezitan fault; ③ Tancheng-Lujiang fault

者把缝合线位置放在信阳-舒城一线,我们不持异议。但从我们工作出发,目前证据还不足。因此我们现在仍把缝合线的位置放在桐柏-磨子潭断裂一线。因为大别群与佛子岭群是完全不同的构造-岩石组合特征以及有不同的变质作用。大别山地区所出露的所有榴辉岩及超镁铁岩均作为碰撞混杂岩产于大别群中,但其产状和分布,南北大别有着明显的差异。大别山南部是以麻城-岳西一线为界,图 1 中已大致标出南北大别的位置。大别山南部以糜棱岩带与宿松群相接触,而大别山北部则被认为是碰撞混杂岩带的根部。

大别山东段榴辉岩主要分布在麻城-岳西县城一线以北的大别山北部(桐柏-磨子潭缝合线以南)和岳西-太湖之间的大别山南部。在大别山北部的大别群中,有大量构造侵位的镁铁、超镁铁岩块。榴辉岩产状有两类:一种是产在超镁铁岩中;另一种产在片麻岩中。本文所列出的产于超镁铁岩体中的榴辉岩样品(No 9—12)采自大别山北部的饶拔寨超镁铁岩体中。该榴辉岩仅以团块状分布在靠近岩体边部的角闪岩脉中。其主要矿物组成为石榴石、单斜辉石、角闪石、斜长石及少量金属矿物。其中斜长石及部分角闪石为退变质产物,它们交代石榴石及单斜辉石。该岩石的石榴石-辉石相形成时代,经 Sm-Nd 同位素年龄测定为 $244 \text{ Ma}^{[10]}$ 。大别山北部产于大别群片麻岩中的样品采自高坝岩,该榴辉岩(No 1—8)以团块状构造侵位于角闪斜长片麻岩中,附近有小的超镁铁岩体。该样品辉石多已蚀变。利用石榴石由 Sm-Nd 同位素年龄测定其生成年龄为 $224 \text{ Ma}^{[11]}$ 。

大别山南部的大别群主要分布于岳西-太湖地区,为浅色斜长片麻岩。榴辉岩多以大小不等的透镜体或似层状产于其中。超镁铁岩分布较少。本文大别山南部榴辉岩(No 13—16)采自太湖石马及附近,并以似层状产于黑云母斜长片麻岩中。该斜长片麻岩因受南北向挤压作用而使得东西向片理极发育。榴辉岩主要由石榴石、绿辉石及少量黑云母、角闪石、金红石、石英组成,另外还有斜长石、绿泥石、方解石等。镜下可见辉石切割,包含角闪石和石榴石边缘网格绿泥石化等现象。从这些蚀变与残晶的相互关系看,该榴辉岩有可能是偏基性的角闪片麻岩或斜长角闪岩经前进变质作用而成,而后经退变质作用生成绿泥石、黑云母等矿物。该榴辉岩形成年龄由 Sm-Nd 同位素年龄测定也为 $221 \text{ Ma}^{[1]}$ 。

3 榴辉岩类型

选取榴辉岩中的石榴石和绿辉石、透辉石单矿物样品进行电子探针分析。电子探针分析值 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的计算采用郑巧荣^[12]介绍的 3 种计算方法并和 R. J. Ryburn^[13]提出的方法分别进行比较。4 种方法得出完全一致的结果。原始数据处理结果见表 1、2。

根据表 1 和表 2 计算的结果,我们根据 Coleman^[13],从柏林^[14]和葛宁洁等^[15]提出的不同分类方法对榴辉岩进行了分类,并进行了比较。根据葛宁洁等所提出的用石榴石中 Mg 量对单斜辉石中的 Al^{VI} 作图的分类表明:产于大别山南部太湖石马及附近的榴辉岩属 C 型榴辉岩,而产于大别山北部饶拔寨和高坝岩的榴辉岩属 B 型榴辉岩(见图 2)。在从柏林 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn})-\text{Ca}$ 图上,大别山南部榴辉岩(No 13—16)和大别山北部的饶拔寨榴辉岩(No 9—12)落在 Z-C 线之上,属地幔成因,而大别山北部高坝

1) 李曙光,刘德良,陈移之,张国伟,张宗清. 秦岭-大别造山带主要构造事件同位素年表及其意义. (论文集), 1991.

表 1 榴辉岩中石榴石的电子探针分析结果 (%)

Table 1 Microprobe analysis of the garnet from eclogites (%)

岩性	大别山北部榴辉岩					
采样地点	高坝岩	高坝岩	高坝岩	高坝岩	高坝岩	高坝岩
顺序号	1	2	3	4	5	6
原编号	h-ga-1-1	h-ga-1-2	ga-2-1	ga-2-2	ga-4-1	ga-4-2
SiO ₂	39.440	39.840	39.920	39.310	40.100	39.530
Al ₂ O ₃	21.430	21.480	22.040	21.080	31.630	20.890
Fe ₂ O ₃	2.050	0.650	0.340	1.740	1.560	0.410
FeO	21.300	21.790	22.190	20.470	20.940	20.680
(FeO)	23.150	22.380	22.500	22.030	22.350	21.050
MnO	0.490	0.460	0.480	0.550	0.410	0.490
CaO	7.640	7.620	7.070	7.380	8.300	8.280
MgO	8.740	8.760	8.970	9.210	8.940	8.650
K ₂ O	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na ₂ O	0.010	0.010	0.000	0.020	0.020	0.030
CuO	0.010	0.060	0.020	0.030	0.000	0.000
TiO ₂	0.070	0.110	0.010	0.010	0.080	0.080
SUM	101.180	100.780	101.040	99.800	101.980	99.040
Si	2.984	3.014	3.006	3.001	3.006	3.046
Al(IV)	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al(VI)	1.894	1.915	1.956	1.897	1.911	1.897
Fe ³⁺	0.117	0.037	0.019	0.100	0.088	0.024
Fe ²⁺	1.348	1.379	1.398	1.307	1.313	1.333
Mn	0.031	0.029	0.031	0.036	0.020	0.032
Ca	0.619	0.618	0.570	0.604	0.667	0.684
Mg	0.986	0.988	1.007	1.048	0.999	0.994
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.001	0.001	0.000	0.003	0.003	0.004
Cu	0.001	0.003	0.001	0.002	0.000	0.000
Ti	0.004	0.006	0.001	0.001	0.005	0.005
And	5.734	1.759	0.863	4.914	4.245	1.213
Gro	15.059	19.441	18.445	15.337	18.054	22.620
Alm	45.249	44.009	45.743	43.499	43.432	40.615
Bpe	0.861	0.880	0.864	1.085	0.850	0.910
Pyr	33.097	33.911	34.085	35.165	33.420	34.643

续表 1

岩性	大别山北部榴辉岩					
采样地点	高坝岩	高坝岩	饶拔寨	饶拔寨	饶拔寨	饶拔寨
顺序号	7	8	9	10	11	12
原编号	h-ga-5-1	h-ga-5-2	ga-7-1	ga-7-2	ga-9-1	ga-9-2
SiO ₂	39.360	39.620	39.500	39.530	39.480	40.610
Al ₂ O ₃	22.450	21.980	20.570	21.910	21.080	20.750
Fe ₂ O ₃	2.550	2.800	2.100	3.990	2.080	0.800
FeO	19.990	20.340	20.570	14.060	16.570	14.750
(FeO)	22.280	22.860	22.460	17.650	20.440	15.470
MnO	0.470	0.460	0.690	0.360	0.390	0.310
CaO	8.090	7.190	8.480	5.830	14.090	16.280
MgO	9.110	9.720	8.420	14.270	5.700	7.160
K ₂ O	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na ₂ O	0.000	0.010	0.020	0.000	0.000	0.020
CuO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060	0.010
TiO ₂	0.000	0.020	0.000	0.070	0.020	0.250
SUM	102.020	102.140	100.350	100.020	101.470	100.940
Si	2.938	2.957	3.016	2.924	3.000	3.045
Al(IV)	0.062	0.043	0.000	0.076	0.000	0.000
Al(VI)	1.912	1.890	1.851	1.834	1.888	1.833
Fe ³⁺	0.143	0.157	0.121	0.222	0.119	0.045
Fe ²⁺	1.248	1.270	1.313	0.870	1.180	0.925
Mn	0.030	0.029	0.045	0.023	0.025	0.020
Ca	0.647	0.575	0.694	0.462	1.147	1.308
Mg	1.014	1.081	0.958	1.574	0.646	0.800
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.001	0.003	0.000	0.000	0.003
Cu	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001
Ti	0.000	0.001	0.000	0.004	0.001	0.014
And	7.193	7.999	6.139	11.179	5.755	2.408
Gro	14.902	11.499	17.391	4.184	32.487	43.879
Alm	42.423	42.969	42.644	29.733	39.445	24.570
Spe	0.864	0.858	1.316	0.645	0.648	0.678
Pyr	34.619	36.676	32.509	33.759	21.665	28.465

续表 1

岩性	大别山南部榴辉岩			
采样地点	太湖石马	太湖石马	太 湖	太 湖
顺序号	13	14	15	16
原编号	h-ga-10-1	h-ga-10-2	ga-12-1	ga-12-2
SiO ₂	39.930	39.480	39.960	40.180
Al ₂ O ₃	22.020	21.960	21.880	21.590
Fe ₂ O ₃	3.110	3.630	2.220	1.560
FeO	15.610	15.280	16.330	16.640
(FeO)	18.410	18.350	18.320	18.040
MnO	0.440	0.440	0.350	0.350
CaO	4.830	6.400	6.830	6.190
MgO	14.320	13.060	12.570	11.500
K ₂ O	0.000	0.000	0.000	0.000
Na ₂ O	0.000	0.010	0.000	0.010
CuO	0.000	0.000	0.000	0.050
TiO ₂	0.030	0.050	0.060	0.040
SUM	100.290	100.310	100.200	100.110
Si	2.954	2.933	2.969	2.999
Al(IV)	0.046	0.067	0.031	0.001
Al(VI)	1.873	1.856	1.885	1.898
Fe ³⁺	0.173	0.203	0.124	0.088
Fe ²⁺	0.966	0.949	1.015	1.039
Mn	0.028	0.028	0.022	0.022
Ca	0.383	0.569	0.544	0.655
Mg	1.579	1.447	1.392	1.280
K	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.001	0.000	0.001
Cu	0.000	0.000	0.000	0.003
Ti	0.002	0.003	0.003	0.002
And	8.774	10.342	6.233	4.264
Gro	4.202	7.111	12.136	17.837
Alm	32.715	32.355	34.217	34.078
Spe	0.850	0.862	0.638	0.640
Pyr	53.458	49.329	46.776	43.191

表 2 榴辉岩中单斜辉石的电子探针分析结果 (%)

Table 2 Microprobe analysis of the clinopyroxene from eclogites (%)

岩 性	大别山北部榴辉岩			大别山南部榴辉岩		
采样地点	高坝岩	饶拔寨	饶拔寨	太湖石马	太湖石马	太湖
顺序号	1	2	3	4	5	6
原编号	di-6-1	di-8-1	di-8-2	di-11-1	di-11-2	di-13-1
SiO ₂	52.520	51.040	53.460	56.640	56.480	56.060
Al ₂ O ₃	2.750	5.200	4.960	8.130	8.550	8.650
Fe ₂ O ₃	2.370	0.200	0.880	1.030	1.530	3.700
FeO	4.910	7.360	5.040	2.790	2.550	0.580
(FeO)	7.040	7.540	5.830	3.720	3.930	3.910
MnO	0.060	0.120	0.060	0.020	0.010	0.020
CaO	21.300	20.970	19.470	14.840	13.890	14.350
MgO	14.780	13.470	13.740	10.940	11.010	10.910
K ₂ O	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
Na ₂ O	0.950	0.580	2.040	5.700	5.960	6.170
CuO	0.080	0.010	0.000	0.020	0.000	0.040
TiO ₂	0.310	0.030	0.080	0.050	0.090	0.080
SUM	100.030	98.980	99.730	100.160	100.070	100.570
Si	1.934	1.905	1.951	2.010	2.004	1.981
Al(IV)	0.066	0.095	0.049	0.000	0.000	0.019
Al(VI)	0.053	0.133	0.165	0.340	0.358	0.341
Fe ³⁺	0.066	0.006	0.024	0.028	0.041	0.098
Fe ²⁺	0.151	0.230	0.154	0.083	0.076	0.017
Mn	0.002	0.004	0.002	0.001	0.000	0.001
Ca	0.840	0.838	0.761	0.564	0.528	0.545
Mg	0.811	0.749	0.748	0.579	0.582	0.575
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.068	0.042	0.144	0.392	0.410	0.425
Cu	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001
Ti	0.009	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002
Total	4.002	4.003	4.000	3.998	4.002	4.002
Jd	6.790	4.200	14.450	34.680	36.060	36.050
Ac	0.000	0.000	0.000	2.805	4.120	6.300
Ts + Wo + En + Fs	93.210	95.800	85.550	62.515	59.820	57.650

岩榴辉岩 (No 1—8) 则落在 Z-C 之下, 属地壳成因。这两种榴辉岩可能来源于地壳下部或地幔顶部 (见图 3)。

表 1、2 和图 2、3 可以看出, 大别山南、北部两侧榴辉岩, 由于生成环境不一样, 故在成分上有较大差异。北部榴辉岩中的石榴石具有橙红色和粉红色两种, 而南部榴辉岩中的石榴石的颜色比较均一呈橙红色。南部榴辉岩中辉石的 Ca^{2+} 量为 0.57, 而北部则高达 0.83; Na 量南部为 0.42, 而北部仅为 0.04—0.14; 进入 M_1 位置的 Al 量 (Al^{VI}) 也由南部的 0.35 减小到北部的 0.14 以下, 且歪曲度明显变小。这是压力的反应, 表明大别山南部榴辉岩的形成压力高于大别山北部。并可以认为大别山南部榴辉岩中的辉石, 是

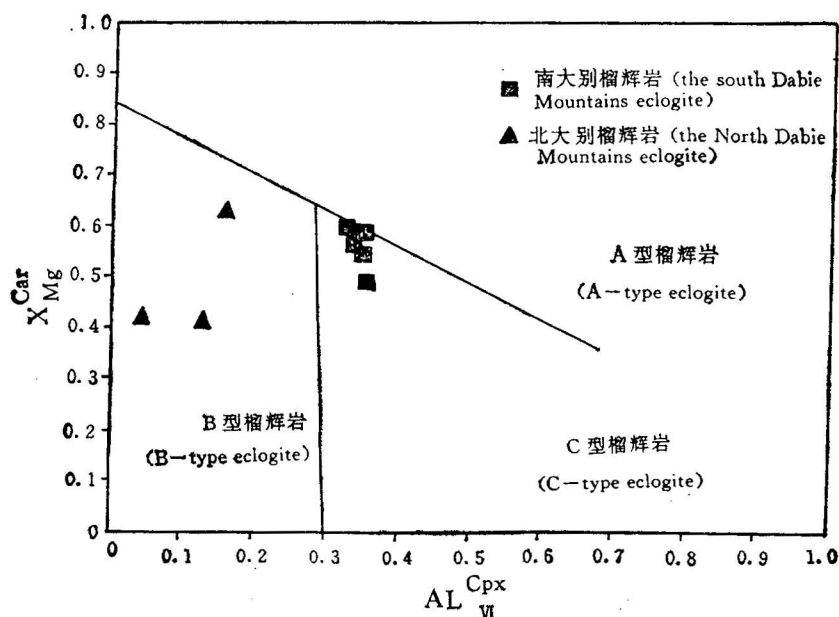
图 2 $X_{Mg}^{Gar}-Al_{VI}^{Cpx}$ 榴辉岩成分分类图Fig. 2 Classification diagram of eclogite $X_{Mg}^{Gar}-Al_{VI}^{Cpx}$ based on chemical compositions.

表 3 大别山榴辉岩中石榴石成分相关分析

Table 3 The composition correlation analysis of garnet in eclogite from the Dabie Mountains

	Si	Al ^{VI}	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Ca	Mg	Na
Si								
Al ^{VI}	0.188							
Fe ³⁺	-0.89	-0.54						
Fe ²⁺	0.44	0.72	-0.56					
Mn	0.17	0.14	0.08	0.63				
Ca	0.59	-0.22	-0.41	0.05	0.25			
Mg	-0.69	-0.29	0.63	-0.61	-0.22	-0.76		
Na	0.69	-0.16	-0.45	0.30	0.37	0.30	-0.39	

在巨大压力下使大量的 Na 进入 M_2 位置换 Ca, 而在 M_1 位, Al 置换 Mg、Fe 而造成南北大别 Na、Ca、Al 量上的差异。通过对大别山南北两侧榴辉岩中辉石进行分类, 按最新分类原则, 在 Q-J 图上, 可以看出大别山北部单斜辉石属 Ca-Mg-Fe 辉石组, 为富铁镁透辉石。而大别山南部单斜辉石则属 Ca-Na 辉石组, 为富钠铝绿辉石(见图 4)^[16]。为了探讨造成大别山南北部榴辉岩成分上差异的原因, 我们对本区榴辉岩中的石榴石进行了元素间相关分析, 结果见表 3。从表 3 可以看出, Si^{4+} 与 Fe^{3+} 、 Mg^{2+} 呈负相关, 而与 Ca^{2+} 、 Na^{2+} 正相关; Al^{VI} 与 Fe^{2+} 正相关; Mg^{2+} 与 Ca^{2+} 负相关。由这些元素的相关性表明大别山榴辉岩成分上的差异主要是受原岩的性质和形成的温压条件影响的。即原

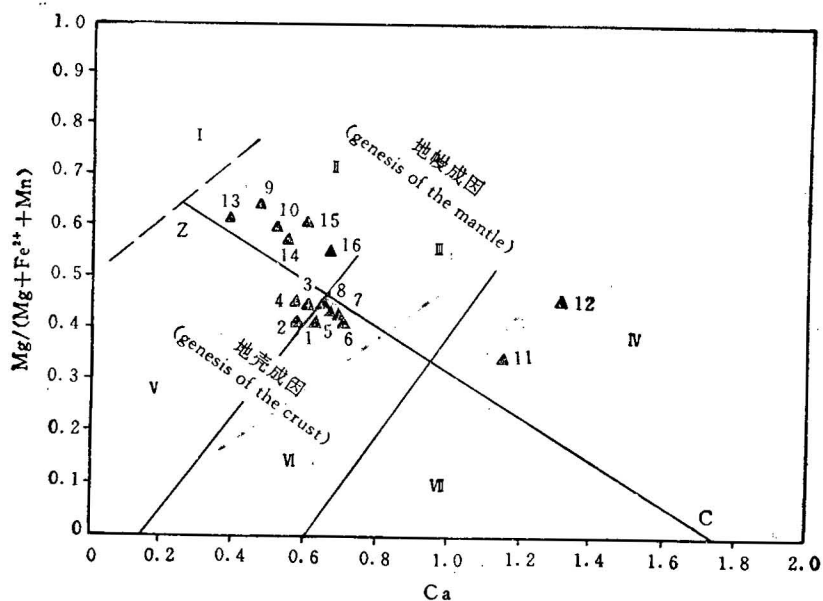


图 3 榴辉岩分类图(据从柏林, 1977)

Fig. 3 Classification diagram of eclogite (after Cong Bolin, 1977)

I, II. 金伯利岩中榴辉岩; III. 蓝晶石榴辉岩; IV. 刚玉榴辉岩; V. 麻粒岩相榴辉岩; VI. 角闪岩相榴辉岩; VII. 蓝闪石片岩相榴辉岩; No 1—8 北大别高坝岩榴辉岩; No 9—12 北大别饶拔寨榴辉岩; No 13—16 南大别榴辉岩。

I, II. eclogite in kimberlite; III. kyanite eclogite; IV. corundum eclogite; V. granulite facies eclogite; VI. amphibolite facies eclogite; VII. glaucophane schist facies eclogite; No 1—8, Gaobayan eclogite in the north Dabie Mountain; No 9—12, Raobazhai eclogite in the north Dabie Mountain; No 13—16, Shima eclogite in the south Dabie Mountain.

岩越基性, 则 Mg、Fe 含量越高, 而 Na、Ca²⁺、Si 含量越低。李曙光、葛宁洁等人对本区榴辉岩的年龄由 Sm-Nd 同位素定年结果 (221—224 Ma) 表明: 产于大别山北部高坝岩、饶拔寨处的榴辉岩与大别山南部太湖石马及附近的榴辉岩是同时形成, 即由同一构造作用所致。

4 大别山榴辉岩形成温度、压力条件的确定

4.1 热力学计算

榴辉岩的形成以斜长石不稳定为特征。大别山南部榴辉岩中的绿辉石含硬玉分子 34%—36%, 由此组分出发, 参照应思准的计算方法来求大别山南北部榴辉岩形成的温度、压力条件。

4.1.1 生成绿辉石的状态方程: 由应思准的计算^[7]:

$$\text{Jd40: } P(\text{GPa}) = 0.018T(^{\circ}\text{C}) + 1.15$$

$$\text{Jd30: } P(\text{GPa}) = 0.018T(^{\circ}\text{C}) + 0.8$$

4.1.2 榴辉岩的相边界:

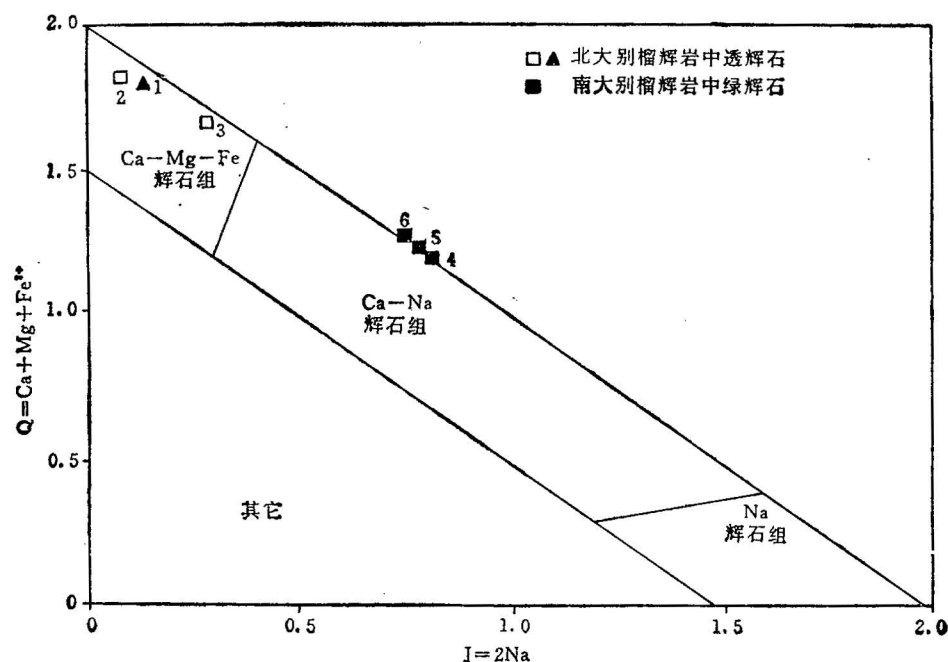
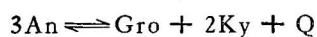


图 4 单斜辉石分类图

Fig. 4 Classification of Clinopyroxene Q-J.

(图中编号见表 2, For numbers in the figure see Table 2)



$$\Delta G^\circ = -7022 \text{ Cal/mol}, \Delta H^\circ = -16923 \text{ Cal/mol}$$

$$\Delta S^\circ = -33.21, \Delta V^\circ = -51.32 \text{ cm}^3/\text{mol}$$

假定 $\Delta V = \Delta V^\circ, \Delta S = \Delta S^\circ$, 有 $dP/dT = \frac{\Delta S}{\Delta V} = 27.07$ 据 Newton R. C 的实验曲线知

$T = 700^\circ\text{C}$ 时, P 为 1.5 (GPa), 从而得到:

$$P(\text{GPa}) = 0.027T(^{\circ}\text{C}) - 3.949$$

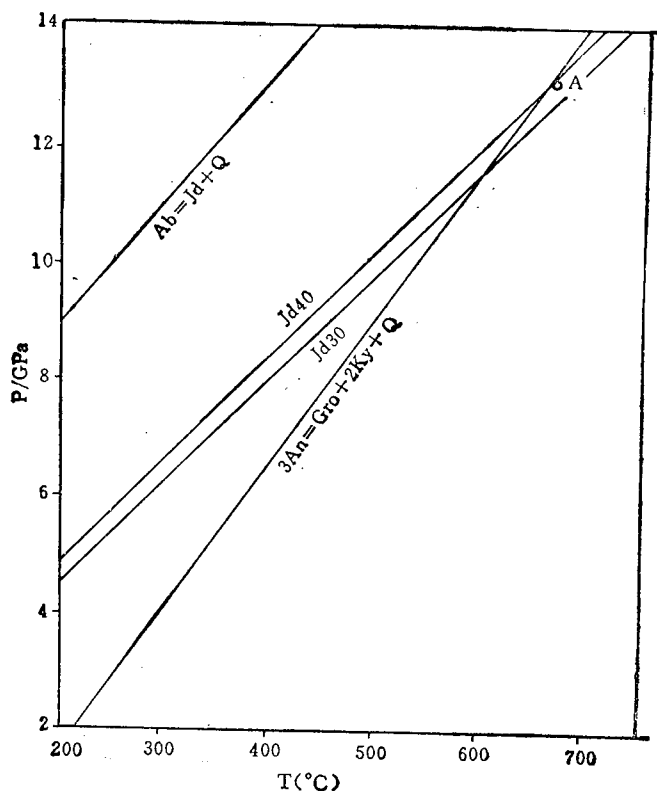
4.1.3 另一条榴辉岩的相边界:



表 4 榴辉岩的形成

Table 4 Estimated formation

样品号	石榴石					单斜辉石			K_D
	Mg	Fe ²⁺	Ca	Mn	$X_{\text{Ca}}^{\text{gr}}$	Mg	Fe ²⁺	Na	
高坝岩	0.999	1.313	0.667	0.026	0.222	0.811	0.151	0.068	7.05
饶拔寨	0.953	1.313	0.694	0.045	0.231	0.748	0.154	0.144	6.69
太湖石马	1.447	0.949	0.509	0.028	0.174	0.582	0.076	0.410	5.02

图 5 榴辉岩形成 T - P 的热力学图解Fig. 5 T - P condition diagram of eclogite

$$\Delta G^{\circ} = 21.36 \text{ Cal/mol}, \quad \Delta S^{\circ} = -8.4 \text{ Cal/mol} \cdot R$$

$$\Delta V^{\circ} = -16.98 \text{ cm}^3/\text{mol}, \quad \Delta G^{\circ} = -0.12$$

$$\Delta H^{\circ} = -375 \text{ Cal/mol}$$

$$\Delta S(T) = \Delta S^{\circ} + \int \Delta C P^{\circ} / T dT$$

$$\Delta S(800^{\circ}\text{K}) = -8.6 \text{ Cal/mol} \cdot R$$

从而 $dP/dT = \Delta S/\Delta V = 21.2$, 而 $P^{\circ} = \Delta G^{\circ}/\Delta V^{\circ} = 5.26 \text{ (GPa)}$

$$\therefore P = 0.0212T(^{\circ}\text{C}) + 4.73$$

温度($^{\circ}\text{C}$)估算结果

temperature ($^{\circ}\text{C}$) of eclogite

Ellis 法平衡温度		Raheim 法平衡温度		本文作者公式平衡温度	
$P = 1.1 \text{ GPa}$	$P = 2.0 \text{ GPa}$	$P = 1.1 \text{ GPa}$	$P = 2.0 \text{ GPa}$	$P = 1.1 \text{ GPa}$	$P = 2.0 \text{ GPa}$
722.31	747.70	660.40	720	595.8	645
743.40	769.20	671.90	732.30	650.70	700.70
775.70	803.50	740.80	805.50	656.50	720.20

计算结果作于图 5。

4.2 绿辉石的空间群

将绿辉石 (No 4—6) 投在绿辉石端员组成与空间群的三角图上 (见图 6), 可见 No 4—6 号样品均落在空间群为 P_2/n 的区域。据 Fleet 等^[18]的实验得出绿辉石 $P_2/n \rightleftharpoons C_2/c$ 有序-无序转换的临界温度为 $725 \pm 20^\circ\text{C}$, 并且这一转换反应也是突变的。由此可见大别山南部榴辉岩的形成温度上限不会超过 725°C (本文作者所提出的公式), 而有别于大别山北部榴辉岩的形成温度, 这个推论并被我们的工作所证实。

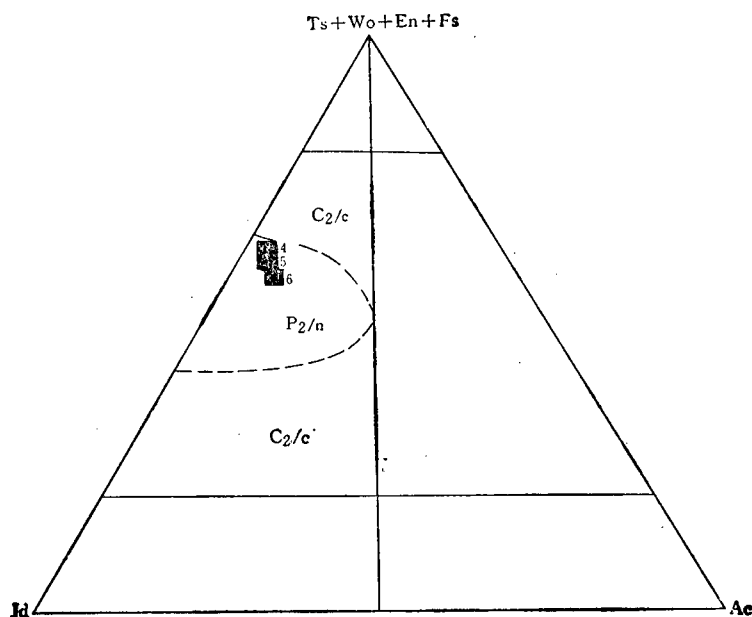


图 6 绿辉石端员组成与空间群关系

Fig. 6 Relationship between end member components and space groups in omphacite

(图中数字见表 2 For numbers in the figure see Table 2)

4.3 石榴石-单斜辉石地质温度计的应用

根据本文作者所提出的计算公式^[19]:

$$RT \ln KD = 2117 + 21.6(\text{GPa}) + 1800(X_{\text{Fe}} - X_{\text{Mg}})^{\text{Car}} \\ + 3494X_{\text{Ca}}^{\text{Grt}} + 2476X_{\text{Mn}}^{\text{Grt}} + 1277X_{\text{Jd}}^{\text{Px}}$$

并与 Raheim and Green^[20], Krogh^[21], Granguly^[22] 温度计进行了比较, 计算结果见表 4。

5 讨论

5.1 上述研究表明, 大别山南北两带榴辉岩的组成有明显差别。大别山北部榴

辉岩,无论是产在橄榄岩体中还是产在片麻岩中,均由富 Fe、Mg 的透辉石和相对富 Mg 的石榴石组成。它们明显以构造侵位形式进入大别群片麻岩中;而大别山南部片麻岩中的榴辉岩由富 Ca、Na 的绿辉石和富 Ca 的石榴石组成,并含有石英。这说明大别山北部榴辉岩来源较深,原岩基性度也较高。根据石榴石-单斜辉石温度计计算得到它们的形成温度均在 600—740℃ 范围内,这说明北部榴辉岩是由较冷的镁铁质俯冲洋壳在较深部位形成;而南部榴辉岩可能与大别群长英质俯冲陆壳有关。这一研究还支持了 Okay 等(1989)和徐树桐等(1992)将大别群划分成南北两带的意见。我们认为北部带是俯冲陆壳与仰冲壳楔之间的碰撞混杂岩带;而南部榴辉岩带可能为俯冲陆壳内部滑脱逆冲所形成的混杂岩带。

5.2 我们计算的大别山东段南部榴辉岩形成温压条件与叶大年等所计算出大别山西段榴辉岩形成温压条件相当一致,基本都在温度 650—800℃,压力 1.1—2.0 GPa 的范围内。但是该区柯石英的发现说明榴辉岩深度曾达到 100 km 左右(压力 >2.7 GPa)。在大别山至今我们尚未能根据所有石榴石-单斜辉石共生关系测出如此高的压力,这一矛盾,很可能说明我们现在所见到的榴辉岩矿物共生组合并不代表陆壳俯冲到最大深度时的矿物组合特征,它仅代表榴辉岩上升到约 40 km 左右时的最后稳定相。再则,柯石英的形成所反应的压力不是静压力,而是在碰撞、挤压过程中瞬间应力。显然,为了证实这一推测还需作进一步深入的研究。

参 考 文 献

- 1 周导之,葛宁洁. 大别山-胶东地区高压低温变质矿物学研究. 中国科技大学学报增刊, 1987, 95—102.
- 2 许志琴. 扬子板块北缘的大型深层滑脱构造及动力学分析. 中国区域地质, 1987(4): 289—300.
- 3 张勇,江来利,刘贻灿. 大别山超高压榴辉岩带榴辉岩的特征和变质作用. 岩石学报, 1991, (3): 1—13.
- 4 潘国强,荆延仁,夏木林,梁万通,王小民,刘忠光,丸山茂德,毛河光. 大别山区含柯石英榴辉岩的发现. 地质论评, 1990, 36(4): 359—363.
- 5 叶大年,李达周,董光复,邱秀文. 信阳变质带的 3T 型多硅白云母和 C 类榴辉岩及其大地构造意义, 华北断块的形成与演化. 北京: 科学出版社, 1980, 122—131.
- 6 Okay A I, Xu S T, Sengor A A C. Coesite from the Dabie Mountains eclogites, central China. Journal of European J. Mineral, 1989, (1): 595—598.
- 7 Xiao ming Wang, Liou J G and Mao H K. Coesite bearing eclogite from Dabie Mountain in central China. Geology, 1989, 17: 1085—1088.
- 8 徐树桐,江来利,刘贻灿,张勇. 大别山区(安徽部份)的构造格局和演化过程. 地质学报, 1992, 66(1): 1—14.
- 9 郝杰,刘小汉. 桐柏-大别碰撞造山带大型推覆滑脱构造及其演化. 地质科学, 1988, (1)5—10.
- 10 李曙光,葛宁洁,刘德良,张宗清,叶笑江,郑双根,彭长权. 大别山北翼大别群中 C 型榴辉岩的 Sm-Nd 同位素年龄及其构造意义. 科学通报, 1989, (7): 522—525.
- 11 李曙光, S. R. Hart, 郑双根,郭安林,刘德良,张国伟. 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), 1989, (2): 312—319.
- 12 郑巧荣. 由电子探针分析值计算 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} . 矿物学报, 1983, 3(4): 55—62.
- 13 Coleman R G, Lee D E, Beatty L B, Brannock W. Eclogites and eclogites, their differences and similarities. Bull. Geol. Soc. America, 1965, 7(5): 483—506.
- 14 从柏林,张雯华. 榴辉岩的石榴石. 科学通报, 1977, 220: 413—416.
- 15 葛宁洁,彭中华,李曙光. 榴辉岩的成分分类法. 岩石学报, 1992, (1): 87—89.
- 16 Morimoto N. 辉石分类命名法. 矿物学报, 1988, (4): 289—304.
- 17 应思淮. 江苏东海红土山、青龙山榴岩的变质作用和成因问题. 地震地质, 1981, 3(3): 17—30.
- 18 Fleet M E. Omphacite Studies, I. The $p_2/n \rightarrow C_2/n$ transformation. American Mineralogist, 1978, 63(4): 1100—1106.
- 19 葛宁洁,彭中华,李曙光. 石榴石-单斜辉石地质温度计. 科学通报, 1991, (2): 110—113.

- 20 Raheim A, Green D H. P-T paths of natural eclogites during metamorphism—a record of subduction. *Lithos*, 1975, 8: 317—328.
- 21 Krogh E J. Compatible P-T conditions for eclogites and surrounding gneisses in the Dristiansund area, western Norway. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1980, 7: 387—393.
- 22 Ganguly J. Garnet and clinopyroxene solid solutions and geothermometry based on Fe-Mg distribution coefficient. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1979, 43: 1021—1029.

MINERAL COMPOSITION AND METAMORPHIC P-T CONDITIONS OF THE ECLOGITIC ROCKS IN THE EASTERN PART OF THE DABIE MOUNTAINS AND THEIR GENETIC IMPLICATION

Ge Ningjie, Li Shuguang, Peng Zhonghua and Liu Deliang

(Department of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui)

Abstract

There are obvious differences in the mineral assemblage and metamorphic P-T conditions between the eclogitic rocks from the Northern and Southern Dabie Mountains. Those from the Northern Dabie Mountains are developed in Alpine peridotite and gneiss. Their mineral assemblage consists of garnet+diopside with no quartz, formed at temperatures of 600°—740°C. Those from the Southern Dabie Mountains are developed in gneiss and marble. Their mineral assemblage consists of garnet+omphacite+less quartz, metamorphosed in the range of 650°—800°C. These differences suggest that the former may be formed during the metamorphism of the subducted oceanic crust, whereas the latter may be genetically related to the subduction of the continental crust in this area.

Key words : collisional orogen, eclogitic rocks of the Southern and Northern Dabie Mountains, T-P conditions

作 者 简 介

葛宁洁, 1956年8月生, 1978年毕业于中国科学技术大学地球与空间科学系, 并一直从事于教学和科研工作, 现为地球与空间科学系办公室主任, 工程师。通讯地址: 安徽省合肥市: 中国科技大学七系, 邮政编码 230026。