

大别山地区榴辉岩的特征矿物研究

谢寅克 马承安 史鸿歧 蒋永材

(中国地质科学院南京地质矿产研究所)

冯锦江

(国家地震局地质研究所)

大别山地区的“大别群”，在湖北和安徽境内呈近东西—北西西向出露。这套变质杂岩为一套蓝闪片岩相、铁铝榴石角闪岩相、麻粒岩相和榴辉岩相所组成。它们不整合伏于浅变质岩系之下。“大别群”的时代，经湖北区测队用锆石铀-钍-铅定年法获得四组年龄数值，其变化在1952—2424万年之间，采用韦瑟里尔谐和图法，对数据进行的回归分析，获得上交点年龄值为29亿年。“大别群”的上限及代表的年龄值为20亿年左右*。安徽区测队获上覆宿松群大兴组下部同位素年龄值为18.5亿年（图1）。

在研究榴辉岩的绿辉石及石榴石的同时，亦研究了这套岩系的角闪片岩及云母片岩中的角闪石、多硅白云母、蓝晶石。角闪石有：青铝闪石($Na=1.62-1.63, Mg/Mg+Fe^{2+}=0.56-0.51$)；纤铁蓝闪石；冻蓝闪石及高Al^{III}钙闪石。榴辉岩中普遍出现3T型和2M型多硅白云母， $Si=2.74-3.54$ ，Mg量0.22—0.70， b_0 值为9.046—9.053。这些高压低温矿物与弗兰西斯科、三波川、阿尔卑斯的高压变质地体中矿物特征相似。

一、矿物系

1) 绿辉石 A) 光性及结构特征：镜下绿辉石为翠绿色或深绿色。绿辉石常呈较自形的短柱状与石榴石均匀镶嵌而形成花岗变晶结构及柱状绿辉石组成定向排列的粒状变晶结构。次生变化有次变边结构及破碎花岗变晶结构。次变边为冻蓝闪石、斜黝帘石等形成蠕状共结共生。其特征数据列于表1。

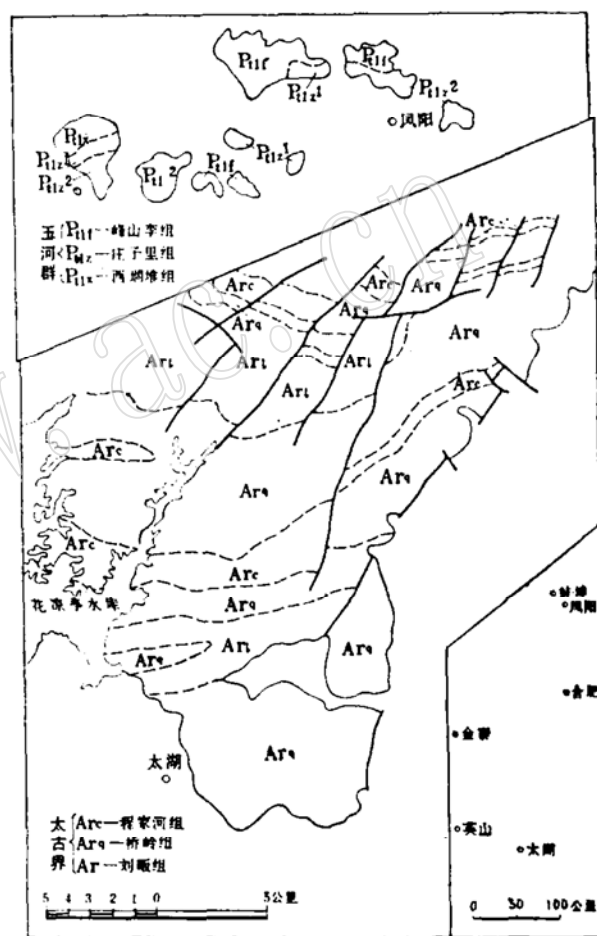


图1 大别山地区太湖凤阳地区前震旦系地质略图

B) 晶体结构：绿辉石的空间群测定为C2/C，它表现了较大的畸变特征，M₂位几乎全被大阳离子Na、Ca所占据。绿辉石系列的晶胞参数见表2。它与成分的相互关系，根据关阳太郎，大贯仁（1967）^[23]的硬玉-透辉石矿物系列的晶胞参数变化规律，绿辉石随着a₀

表 1

编号	矿物名称	结晶形态	消光角	折射率	光轴角
石 2	绿辉石	翠绿色柱状	$C \wedge Ng 44^\circ$	N_p 1.664 N_m 1.676 N_g 1.689	$2V = 75^\circ$
石 4	绿辉石	绿色柱状	$C \wedge Ng 43^\circ$	N_p 1.687 N_m 1.696 N_g 1.707	$2V = 85^\circ$
石17	绿辉石	绿色柱状		N_p 1.678 N_m 1.689 N_g 1.703	$2V = 75^\circ$
石21	绿辉石	黄绿色柱状	$C \wedge Ng 40^\circ$	N_p 1.683 N_g 1.711	
宝 6	透辉石 钙铁辉石	褐墨绿色柱状	$C \wedge Ng 42^\circ$	N_p 1.689 N_m 1.697 N_g 1.707	$2V = 85^\circ$
宝16	透辉石 钙铁辉石	棕绿色柱状	$C \wedge Ng 46^\circ$	N_p 1.696 N_g 1.721	$2V = 70^\circ$

绿辉石的X光晶胞参数测定 表 2

样品编号	空间群	a	b	c
石 4	C2/C	9.555	8.738	5.246
石17	C2/C	9.526	8.719	5.238

与 b_0 变小,硬玉组份增加(图2)。其硬玉组份与单矿物化学成分的变化相吻合。C) 化学分析(见后附表8):大别山南侧榴辉岩中绿辉石是一复杂的固溶体。端员以硬玉、透辉石、钙铁辉石分子为主,硬玉分子平均为49%, $Di_{25.7\%}$ 。将这些端员投到Coleman (1965)的端员特征三角图上,均投在C类榴辉岩区(图3)。与弗兰西斯科和三波川的C类榴辉岩相似。

这些辉石在Clarke和Papike(1968)单斜辉石系的分类中, $Na/(Na+Ca)$ 近于0.5, $Al^{IV}/(Al^{IV}+Fe^{3+})$ 大于0.8,投在绿辉石区,为富Na、 Al^{IV} 的绿辉石(表3)。

它的另一重要特点是Ti含量低。Verhoogen认为结晶温度高有利于Ti的加入^[21]。在低温缓慢冷却的结晶过程中,Ti进入晶格极少。

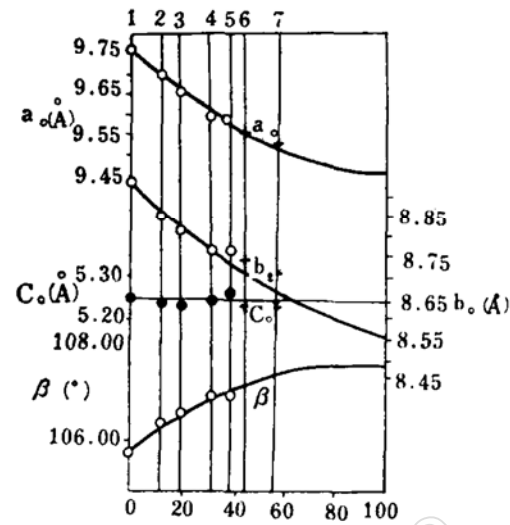


图 2 大别山地区绿辉石中硬玉分子%与晶胞大小相互关系图

1—5为榴辉岩中辉石样; 6—7为大别山地区石4、石17测试样

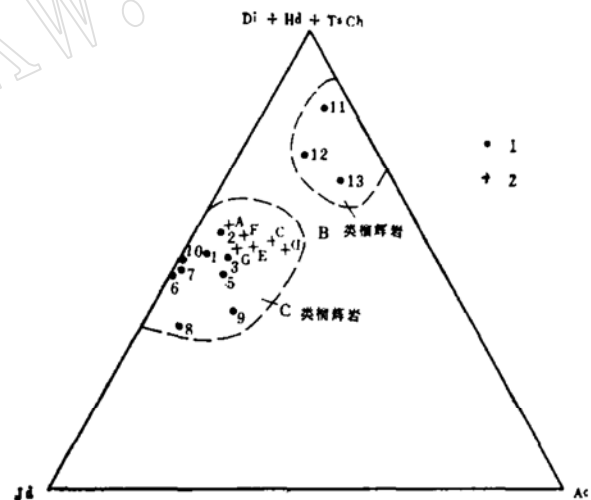


图 3 大别山地区榴辉岩中单斜辉石端员三角图

1—本文资料; 2—R. G. Coleman的榴辉岩 SANFRANCISCO(1965)

经穆斯堡尔谱研究,大别山南侧绿辉石呈多相谱,大多数可拟合为五对峰(包括 Fe^{3+} 峰),并取得了与Bancroft等人工作相一致的参数。充分说明本区绿辉石为多相固溶体序列,与化学分析的离子配位相符合(表4、图4)。

绿辉石Na、Ca、Al^{IV}特征数值 表3

样品编号	Na/Na + Ca	Al ^{IV} /Al ^{IV} + Fe ³⁺
石2	0.55	0.895
石4	0.55	0.780
石8	0.48	0.910
石17	0.55	0.870
石21	0.44	0.833
石23	0.54	0.899
石35	0.42	0.978
石49a	0.53	0.930

根据穆斯堡尔谱定量测定Fe³⁺的位置分布和Fe³⁺/总铁,进一步探讨了阳离子在晶体结构中的分布情况。从7个绿辉石中Fe²⁺和Mg位置的分布研究,其位置占据因子表明有序程度较高。Fe²⁺在M₁位上相对富集,而M₂位则被大阳离子Na、Ca所占据(表5)。绿辉石序列Fe²⁺占据M₁的一套等效点系位置,反映了绿辉石是在低温高压下缓慢结晶的变物。另一特点是绿辉石的四极分裂明显增大,这一物理特性可能系受变质的绿辉石

大别山南侧绿辉石的穆斯堡尔参数

表4

样品编号	Fe ²⁺ /Fe ²⁺ + Fe ³⁺	11'			22'			33'			44'		
		I.S	Q.S	r	I.S	Q.S	r	I.S	Q.S	r	I.S	Q.S	r
石2A	0.61	1.142	2.874	0.27	1.128	2.60	0.26	1.109	2.28	0.29	1.097	1.94	0.34
石4	0.41	1.169	2.880	0.38	1.190	2.25	0.40	1.150	1.95	0.31	1.360	1.25	0.42
石8	0.69	1.147	2.830	0.27	1.121	2.54	0.37	1.115	2.08	0.40	1.187	1.91	0.27
石17	0.44	1.150	2.710	0.41	1.140	2.03	0.49						
石21	0.62	1.141	2.639	0.38	1.132	2.02	0.42						
石23	0.72	1.143	2.820	0.30	1.124	2.55	0.39	1.093	2.15	0.42	1.153	1.86	0.32
石49a	0.76	1.135	2.870	0.28	1.243	2.58	0.31	1.080	2.28	0.44	1.090	1.92	0.41

I.S为同质异能位移,毫米/秒,相对于2-Fe;Q.S为四极分裂,毫米/秒;r为谱线半高宽。

在高压下,高自旋Fe²⁺离子配位位置轻微的歪曲引起3d轨道组小的分裂。因此,第六个3d电子在三个t_{2g}轨道中的几率不等,导致了绿辉石有大的四极分裂。它的变化也反映出高压下的晶体结构中位置歪曲的变化(表6)。

2) 透辉石-钙铁辉石:

大别山北侧榴辉岩中的辉石大多以透辉石-钙铁辉石为特征,硬玉组份只9—15%,表现了一个压力相对低的环境。A) 光性:褐墨绿色,晶形柱状。镜下为淡绿、常见有横切面近于正方形及柱状集合体。常变为硬绿泥石。光性特征数值见表7。B) 化学分析(表8):化学组份的配位计算,端员以透辉石和钙铁辉石为主,Di平均38%,Hd32%,Jd只10—15%,而契尔马克分子含量较高,达9—15%。它是由于压力的增加,斜长石的An组份不断加入到辉石中去,导致了含有

契尔马克分子(Ca、Mg)Al₂SiO₆的高铝辉石形。压力再增加,斜长石逐渐减少,以致于消失,辉石的契尔马克分子分解,形成另外的石榴石^[25]。反映了北侧的压力低于南侧。然而,比较明显的特点是Al₂O₃、Na₂O低,FeO、Mg、Ti、Mn高,反映出因压力相对降低、温度偏高。而Al^{IV}的含量较高,亦明显的说明仍属高压区产物。

Na/Na + Ca低于0.2, Al^{IV}/Al^{IV} + Fe³⁺在0.7—0.8之间。这一特征数值在分类图上,在透辉石-钙铁辉石区。

用穆斯堡尔谱对透辉石-钙铁辉石的研究,Fe²⁺明显的仅出现四个峰,与大别山南侧的多相谱不尽相同。它们在M₂位形成相对富集,占据了一套等效点系位置,清楚的显示出较高的有序性。在穆斯堡尔参数中的四极分裂亦偏大,亦与压力的增加密切相关

大别山地区绿辉石位置分布的测定 表 5

绿辉石中 Fe^{2+} 的位置分布					
石2A	M_2	$M_{2(1)}$	M_{2H}	$M_{2(1)H}$	总量
Ca	0.1187	0.1257	0.1257	0.1046	0.4748
Na	0.0935	0.1035	0.0985	0.0985	0.3938
	M_1	$M_{1(1)}$	M_{1H}	$M_{1(1)H}$	
Mg	0.2165			0.2165	0.4330
Fe^{2+}	0.0204			0.0295	0.0949
Fe^{2+}		0.0200	0.025		
Al		0.1999	0.1998		0.3997
石4	M_2	$M_{2(1)}$	M_{2H}	$M_{2(1)H}$	总量
Ca	0.1093	0.1049	0.1013	0.1049	0.4198
Na	0.1163	0.1188	0.1265	0.1444	0.5060
	M_1	$M_{1(1)}$	M_{1H}	$M_{1(1)H}$	
Mg	0.1965			0.1965	0.3930
Fe^{2+}	0.0317			0.0080	0.0863
Fe^{2+}		0.0250	0.0210		
Al		0.2050	0.2050		0.4100
石8	M_2	$M_{2(1)}$	M_{2H}	$M_{2(1)H}$	总量
Ca	0.1101	0.1171	0.1031	0.1101	0.4403
Na	0.1834	0.0174	0.0174	0.1886	0.4068
	M_1	$M_{1(1)}$	M_{1H}	$M_{1(1)H}$	
Mg	0.1500			0.1500	0.3000
Fe^{2+}	0.0189			0.0137	0.1327
Fe^{2+}		0.0430	0.0560		
Al		0.2849	0.2849		0.5689
石17	M_2	$M_{2(1)}$	M_{2H}	$M_{2(1)H}$	总量
Ca	0.1608		0.1688		0.3296
Na	0.2072		0.1912		0.3984
	M_1	$M_{1(1)}$	M_{1H}	$M_{1(1)H}$	
Mg	0.1459		0.1458		0.2917
Fe^{2+}	0.0470		0.0550		0.1020
Al	0.2534		0.2535		0.5069
石21	M_2	$M_{2(1)}$	M_{2H}	$M_{2(1)H}$	总量
Ca	0.2829		0.2829		0.5657
Na	0.2348		0.2052		0.4400
	M_1	$M_{1(1)}$	M_{1H}	$M_{1(1)H}$	
Mg	0.0785		0.0785		0.1572
Fe^{2+}	0.0445		0.0740		0.1185
Fe^{2+}					
Al	0.2323		0.2323		0.4646

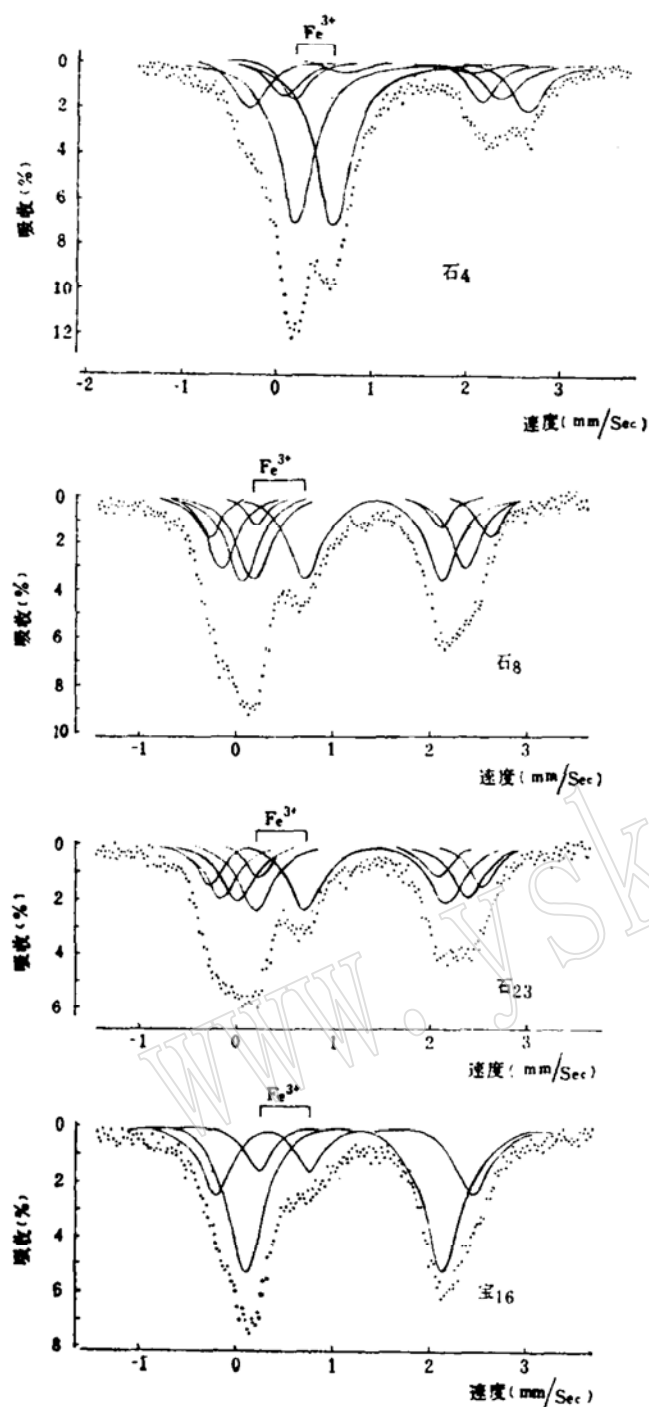


图 4 绿辉石的穆斯堡尔效应

(表 9、10、11)。

因此, 大别山地区南北两侧榴辉岩中辉石的变质条件, 表现出明显的差异。南侧以富Na、 Al^{IV} 的高压型绿辉石为特征, 北侧则以高 Fe^{2+} 、Mg、Ti为特征。它们的离子数曲线图已显示得很清楚(图5、6)。

3) 石榴石: 石榴石为红色、淡红色至

续表 5

绿辉石中 Fe^{2+} 的位置分布						
石23		M_2	$M_{2(1)}$	M_{2H}	$M_{2(1)H}$	总量
	Ca	0.1649	0.0218	0.1218	0.1028	0.4112
	Na	0.1420	0.1214	0.0158	0.2080	0.4870
		M_1	$M_{1(1)}$	M_{1H}	$M_{1(1)H}$	
	Mg	0.1042			0.1042	0.2083
	Fe^{2+}	0.0223			0.0184	0.1185
	Fe^{2+}		0.0360	0.0416		
	Al		0.2543	0.2543		0.5086
石49a		M_2	$M_{2(1)}$	M_{2H}	$M_{2(1)H}$	总量
	Ca	0.1069	0.1042	0.1055	0.1055	0.4221
	Na	0.1588	0.0600	0.0623	0.1867	0.4678
		M_1	$M_{1(1)}$	M_{1H}	$M_{1(1)H}$	
	Mg	0.1859			0.1860	0.3719
	Fe^{2+}	0.0496			0.0218	0.1473
	Fe^{2+}		0.0396	0.0360		
	Al		0.2962	0.2962		0.5924

红褐色。有较好的菱形十二面体晶形。少数有蜕变为斜黝帘石、绿泥石的现象。端员组份总的以铁铝榴石为主, 平均为51%。大别山南侧则以较高组分的钙铝榴石为特征, 而北侧则以镁铝榴石相对增高为特征。将端员投到(Aln+Sp)-Gro-Pyr三角图中, 其Py大多数小于30%, 落到Coleman (1965)^[3]所划分的C类榴辉岩区(图7)。用共存的单斜辉石-石榴石对的分子百分数投到CFM图(图8)中, 大多数接近于弗兰西斯科的C类榴辉岩(表12)。

分析数据表明出, 总的表现出 Al_2O_3 、 MgO 、 Na_2O 偏高。而大别山南侧的 CaO 量比北侧高, MgO 则比北侧低(图9)。石榴石中的 Ca^{2+} 量主要取决于形成时的压力, 压力愈高, Ca^{2+} 量也就愈大。另外, 石榴石形成的温度与含镁量有关,

大别山地区绿辉石位置占据因子的计算

表 6

样品 编号	$Fe^{3+}/\text{总铁}$		$Fe^{2+}/Fe^{2+} + Mg$	M_1 位置上 Fe^{2+} 占总铁比			
	穆斯堡尔谱	化学分析		11'	22'	33'	44'
石2A	0.060	0.047	0.18	0.215	0.210	0.260	0.311
石 4	0.138	0.116	0.18	0.368	0.291	0.243	0.098
石 8	0.060	0.054	0.31	0.142	0.330	0.424	0.103
石17	0.121	0.079	0.26	0.460	0.540		
石21	0.072	0.093	0.43	0.376	0.624		
石23	0.047	0.057	0.36	0.189	0.351	0.305	0.155
石49a	0.054	0.036	0.28	0.337	0.245	0.269	0.148

表 7

编号	矿物名称	结晶形态	消光角	折射率	光轴角
宝 6	透辉石	褐墨绿色 柱状	$C \wedge Ng 46^\circ$	NP 1.689 Nm 1.696 Ng 1.707	$2V = 85^\circ$
宝16	透辉石	棕一绿色 柱状	$C \wedge Ng 49^\circ$	NP 1.695 Ng 1.721	$2V = 70^\circ$

形成温度愈高, 含镁量也高。因为石榴石是一种固溶体, 主要的二价阳离子(Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mn^{2+})的离子半径、电离势之间化

学属性彼此相近, 在固溶体中它们更易彼此交代, 任何温压条件下都趋于理想混溶。但实验表明, 钙铝榴石随温度增高更易从固溶体中分解出来, 在高压下易进入固溶体, 压力愈高, 钙铝榴石和镁铝榴石混溶程度愈高。因此, 用大别山地区石榴石的 Ca^{2+} 对 $Mg/(Mg + Fe^{2+} + Mn)$ 来作投影相关图, 客观上反映了大别山南北两侧石榴石形成的温压关系, Ca^{2+} 量与压力呈正比关系, 而 $Mg/(Mg + Fe^{2+} + Mn)$ 与温度呈正消长关系^[6, 26]。

大别山地区榴辉岩中辉石化学分析

表 8

	石2A	石2	石4	石8	石17	石21	石23	石35	石49a	宝6	宝16
SiO ₂	58.06	57.93	55.83	55.60	59.00	55.85	58.71	59.43	52.46	51.09	50.43
TiO ₂	2.53	0.21	0.21	0.23		0.49	0.24			0.65	0.85
Al ₂ O ₃	12.03	9.67	10.09	13.62	12.29	10.98	12.25	10.07	13.96	5.27	7.36
Fe ₂ O ₃	1.99	1.77	4.32	2.01	2.99	3.46	2.16	0.43	1.31	1.42	1.52
FeO	3.93	3.67	3.65	4.66	4.93	3.24	3.66	3.65	5.51	10.73	9.59
MnO	0.06	0.05	0.02	0.09	0.09	0.10	0.06	0.13	0.99	0.14	0.14
CaO	11.68	12.63	11.01	11.58	8.79	14.71	10.88	14.16	10.94	18.26	18.72
MgO	4.46	8.28	7.41	5.67	5.59	2.94	3.96	5.28	6.93	9.48	9.68
K ₂ O	0.49	0.48	0.23	0.66	0.76	0.49	0.35	0.40	0.45	0.21	0.18
Na ₂ O	6.70	5.79	7.33	5.91	5.87	6.32	7.12	5.63	6.70	1.97	1.29
P ₂ O ₅	0.30	0.39	0.35	0.38	0.08	0.96	0.21	0.62	0.51	0.65	0.98
总计	100.26	100.87	100.47	100.42	100.73	99.54	99.60	99.80	99.85	99.87	100.74

以六个氧为基础的阳离子数

Si	2.0121	2.0328	1.9870	1.9734	2.0655	2.0046	2.0710	2.0939	1.8890	1.9124	1.8572
Al ^{IV}			0.0130	0.0266					0.1110	0.0876	0.1428
Al ^{VI}	0.4914	0.3997	0.4100	0.5432	0.5069	0.4646	0.5086	0.4182	0.4814	0.1449	0.1762
Ti	0.0329	0.0055	0.0056	0.0062		0.0132	0.0063			0.0182	0.0235
Fe ³⁺	0.0521	0.0468	0.1159	0.0054	0.0787	0.0931	0.0572	0.0093	0.0355	0.0400	0.0421
Fe ²⁺	0.1139	0.1077	0.1086	0.1384	0.1443	0.0973	0.1079	0.1075	0.1659	0.3358	0.2954
Mn	0.0018	0.0015	0.0006	0.0028	0.0025	0.0030	0.0017	0.0038	0.0300	0.0045	0.0042
Ca	0.4335	0.4748	0.4198	0.4403	0.3296	0.5657	0.4112	0.5345	0.4221	0.7323	0.7386
Mg	0.2305	0.4330	0.3930	0.3000	0.2917	0.1572	0.2083	0.2773	0.3719	0.5290	0.5315
K	0.0216	0.0216	0.0102	0.0298	0.0340	0.0224	0.0156	0.0178	0.0346	0.0098	0.0084
Na	0.4502	0.3938	0.5060	0.4068	0.3984	0.4400	0.4870	0.3844	0.4678	0.1430	0.0920
P	0.0052	0.0114	0.0105	0.0023	0.0025	0.1466	0.0064	0.0186	0.0155	0.0208	0.0305

大别山北翼硬玉—透辉石的穆斯

堡尔参数

表 9

编号	Fe ²⁺ /Fe ²⁺ + Fe ³⁺	外 峰			内 峰		
		I.S	Q.S	r	I.S	Q.S	r
宝16	0.89	1.126	2.74	0.35	1.138	2.03	0.37

大别山地区单斜辉石位置分布的

测定

表 11

透辉石—钙铁辉石中 Fe ²⁺ 的位置分布		Fe ³⁺ /总铁	
M ₁	M ₂	穆斯堡尔谱	化学分析
Fe ²⁺ 0.081	Fe ²⁺ 0.202		
Mg 0.523	Na 0.092		
Mn 0.004	K 0.008	0.0542	0.0421
Ca 0.041	Ca 0.097		
Ti 0.024			

大别山地区单斜辉石位置占据因子计算 表10

编号	Fe ²⁺ /Fe ²⁺ + Mg	M位置上Fe ²⁺ 占总铁比	
		M ₁ (A ₁ /A ₁ + A ₂)	M ₂ (A ₂ /A ₁ + A ₂)
宝16	0.348	0.286	0.714

本区石榴石大多投在 ZC 线之下的 VI 区, 为壳成变质成因的高 Al^{VI}、Na 角闪岩相至蓝闪片岩相榴辉岩 (图10)。

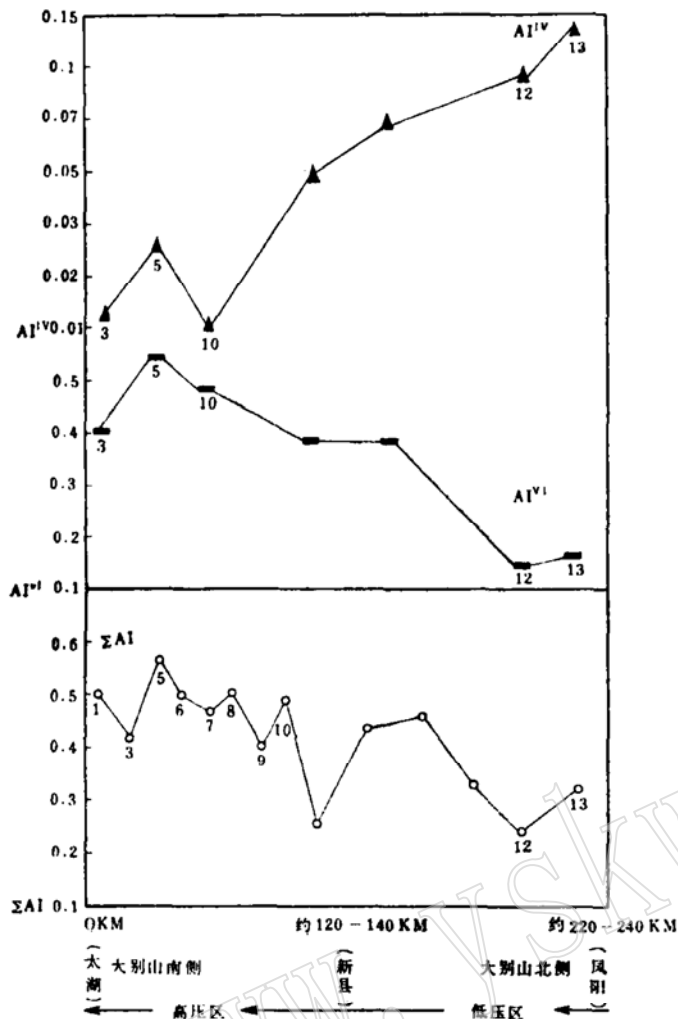


图 5 大别山地区榴辉岩中单斜辉石 Al^{IV} 、 Al^{VI} 、 ΣAl 量演化趋势图

样品产地及编号：1—10为安徽太湖大别群石2、石4、石8、石17、石23、石35、石49；12—13为安徽凤阳五河群宝6、宝16；未编号为叶大年等1979年资料。

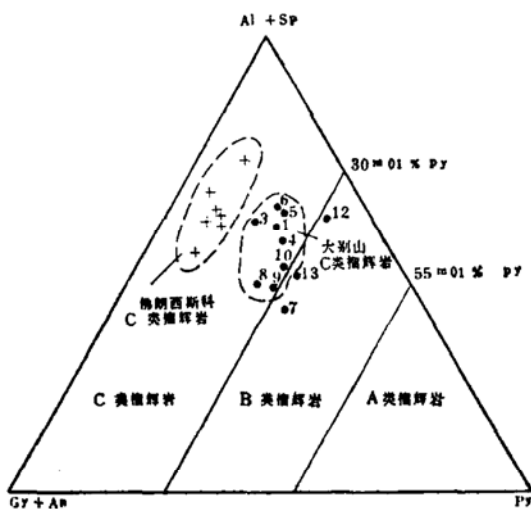


图 7 大别山地区榴辉岩中石榴石端员三角图

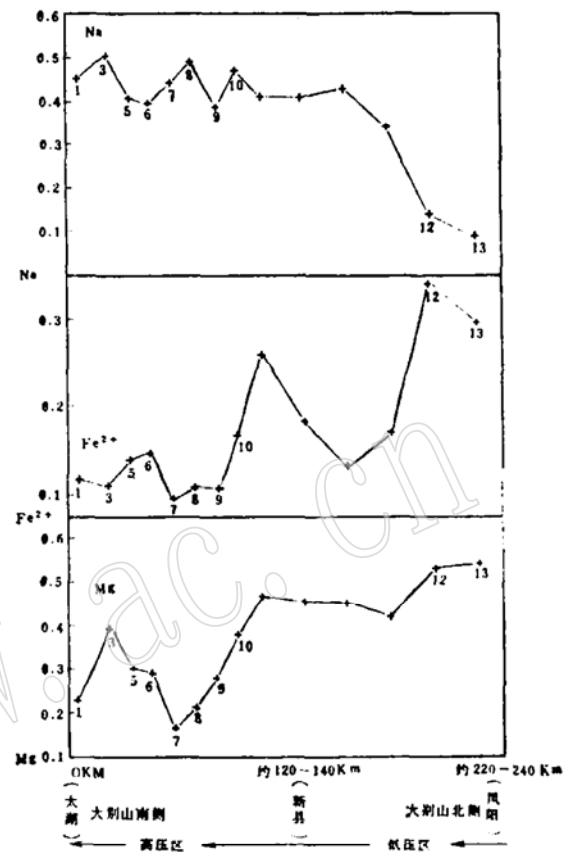


图 6 大别山地区榴辉岩中单斜辉石 Na、Mg、 Fe^{2+} 量演化趋势图

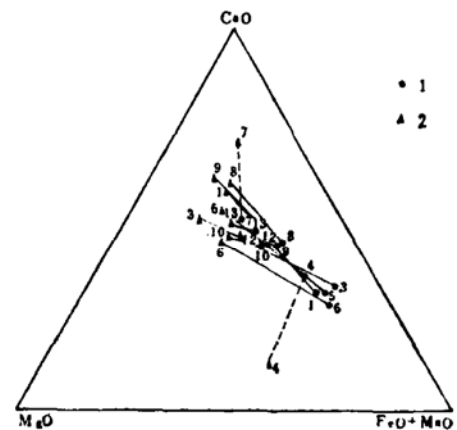


图 8 大别山地区榴辉岩中单斜辉石-石榴石共生对CFM三角投影图

样品产地及编号：1—10为安徽太湖大别群石2、石4、石7、石8、石17、石21、石23、石35、石49，11—12为安徽凤阳五河群宝6、宝16。

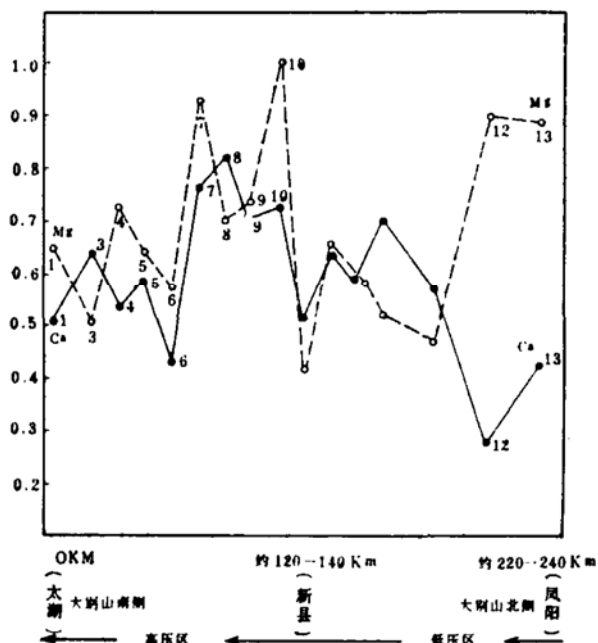


图9 大别山地区榴辉岩中石榴石Ca、Mg量演化趋势图

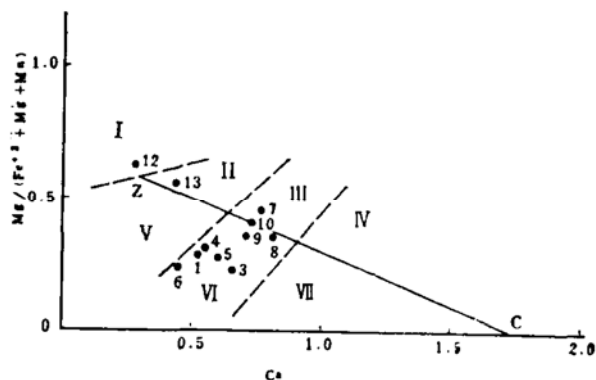


图10 大别山地区榴辉岩中石榴石Mg、Ca量投影图

1) 慢成榴辉岩 I、II、III—金伯利岩榴辉岩；IV—刚玉榴辉岩；2) 壳成榴辉岩 V—变粒岩相榴辉岩；VI—角闪岩相榴辉岩；VII—蓝闪片岩相榴辉岩。(从柏林等, 1977)

大别山地区榴辉岩中石榴石化学分析

表 12

	石2	石4	石7	石8	石17	石21	石23	石35	石49a	宝6	宝16
SiO ₂	37.72	37.78	38.42	35.28	40.65	39.01	39.15	40.47	35.96	38.13	40.17
TiO ₂	0.37	0.70	0.28	0.29	0.15	0.54	0.95	0.58	0.28	0.36	0.32
Al ₂ O ₃	21.99	21.43	21.96	22.16	20.44	21.80	21.49	20.01	22.84	22.03	21.99
Fe ₂ O ₃		0.16	0.40	0.13	0.21			0.56	0.70		
FeO	25.24	24.44	23.50	25.50	25.50	17.63	19.78	19.88	20.63	25.87	20.51
MnO	0.75	0.64	0.79	0.64	0.61	0.32	0.44	0.61	0.51	0.68	1.97
CaO	6.05	7.60	6.55	6.90	5.20	9.40	10.00	8.65	8.55	3.40	5.25
MgO	5.60	4.35	6.30	5.40	5.10	8.20	6.20	6.50	8.55	7.80	7.85
K ₂ O	0.47	0.48	0.47	0.49	0.36	0.45	0.49	0.48	0.52	0.34	0.44
N ₂ O	1.68	1.66	1.31	1.86	1.10	1.26	1.43	1.54	1.04	1.00	1.15
P ₂ O ₅	0.56	0.63	0.26	0.79	0.66	0.81	0.77	0.92	0.80	0.50	0.50
总计	100.43	99.87	100.24	99.44	99.98	99.42	100.72	100.20	100.38	100.11	100.17

以 12 个氧为基础的离子数

Si	2.9289	2.9540	2.9675	2.7962	3.1352	2.9649	2.9751	3.0800	2.8399	2.9435	3.0455
Ti	0.0214	0.0411	0.0162	0.0171	0.0085	0.0308	0.0249	0.0331	0.0166	0.0208	0.0182
Al ^{IV}	0.0711	0.0049	0.0163	0.1867		0.0043			0.1436	0.0357	
Al ^{VI}	1.9414	1.9699	1.9827	1.8833	1.8580	1.9484	1.9248	1.7948	1.9822	1.9680	1.9647
Fe ³⁺		0.0093	0.0232	0.0076	0.0120			0.0320	0.0411		
Fe ²⁺	1.6390	1.5978	1.5176	1.6900	1.6447	1.1202	1.2570	1.2654	1.3623	1.6697	1.2999
Mn	0.0489	0.0422	0.0515	0.0428	0.0393	0.0205	0.0283	0.0388	0.0336	0.0440	0.1261
Ca	0.5029	0.6366	0.5416	0.5857	0.4296	0.7653	0.8141	0.7052	0.7231	0.2810	0.4263
Mg	0.6480	0.5069	0.7253	0.6376	0.5862	0.9288	0.7022	0.7372	1.0064	0.8975	0.8868
K	0.0450	0.0469	0.0450	0.0495	0.0352	0.0429	0.0474	0.0457	0.1043	0.0330	0.0419
Na	0.2528	0.2443	0.1958	0.2857	0.1640	0.1854	0.2100	0.2268	0.3130	0.1539	0.1684
P	0.0367	0.0414	0.0168	0.0529	0.0430	0.0520	0.0494	0.0592	0.0533	0.0326	0.0320

二、铁镁矿物之间的 Fe^{2+} 和Mg的分配

当研究岩石成因时,均考虑到矿物形成时的物质成份、压力、温度和氧逸度。Banno(1970)^[28]研究了榴辉岩中单斜辉石和石榴石之间的 Fe^{2+} -Mg分配系数

$$K_{D(\text{Fe})}^{\text{Gt-Cpy}} = X_{(\text{Fe})}^{\text{Gt}} \cdot (1 - X_{(\text{Fe})}^{\text{Cpy}}) / (1 - X_{(\text{Fe})}^{\text{Gt}}) \cdot X_{(\text{Fe})}^{\text{Cpy}}$$

对榴辉岩进行分类,表明了共存Gt和Cpy之

间 Fe^{2+} 分布的有序性。我们用石榴石-单斜辉石共生对及石榴石-角闪石共生对求 $K_{D(\text{Fe})}$ 。后者的

$$X_{(\text{Fe})}^{\text{Gt}} = \text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} / (\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Mg}),$$

$X_{(\text{Fe})}^{\text{Amp}}$ 角闪石克分子率为

$$\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} / (\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Mn} + \text{Ti} + \text{Al}^{\text{IV}}).$$

大别山地区的 $K_{D(\text{Fe})}$ 列于表13。

表 13

样品编号	辉石—石榴石对的分配系数			石榴石—角闪石对的分配系数		
	$(\text{Fe}^{2+}/\text{Mg})^{\text{Cpy}}$	$(\text{Fe}^{2+}/\text{Mg})^{\text{Gt}}$	$K_{D(\text{Fe})}^{\text{Cpy-Gt}}$	$X_{(\text{Fe})}^{\text{Gt}}$	$X_{(\text{Fe})}^{\text{Amp}}$	$K_{D(\text{Fe})}^{\text{Gt-Amp}}$
石 2	0.249	2.529	10.169	0.716	0.444	3.164
石 4	0.276	3.152	11.409			
石 8	0.461	2.650	5.745	0.727	0.459	3.148
石17	0.495	2.806	5.672	0.739	0.487	2.972
石21	0.619	1.206	1.949	0.547	0.341	2.330
石23	0.518	1.790	3.455	0.642	0.328	2.669
石35	0.388	1.716	4.428	0.638	0.279	4.552
石49a	0.446	1.354	3.035	0.582	0.284	3.511
宝 6	0.635	1.883	2.966			
宝16	0.555	1.466	2.641	0.594	0.380	2.391

Banno在讨论榴辉岩的 $K_{D}^{\text{Gt-Cpy}}$ 时,提出分配系数随压力增加而增加, K_D 降低则温度增高。大别山南侧的 K_D 平均值约为8, $K_{D}^{\text{Gt-Cpy}}$ 在下层位11.4,其 Fe^{2+} 的有序度也大,为1.5—4。向上 $K_{D}^{\text{Gt-Cpy}}$ 逐渐减小到3—4,有序度也减小到2左右。表明了 $K_{D}^{\text{Gt-Cpy}}$ 的变化与 Fe^{2+} 的有序度密切相关。大别山北侧 $K_{D}^{\text{Gt-Cpy}}$ 的值小,其有序度也低,相应温度增高压力降低。

三、变质条件的探讨

为了探讨本区榴辉岩形成的温压条件,我们用单斜辉石、角闪石、石榴石共生矿物对作为地质温压计。

绿辉石-石榴石地质温度计:当获得 K_D 之后,压力一定,用Raheim和Green的方

法估算的平衡温度列于表14。从计算所得的温度,客观的反映了变质环境。总的说来,大别山南侧的剖面温度大多在500℃左右,

单斜辉石—石榴石地质温度计的主要参数和温度

表 14

编号	$(\text{FeO}/\text{MgO})^{\text{Gt}}$	$(\text{FeO}/\text{MgO})^{\text{Cpy}}$	K_D	$T^{\circ}\text{C}$
石 2	0.88	4.50	5.12	536
石 4	0.49	5.60	11.43	290
石 8	0.82	4.70	5.70	497
石17	0.88	5.00	5.70	497
石21	1.10	3.50	3.13	732
石23	0.92	3.15	3.40	697
石35	0.69	3.10	4.43	591
石49a	0.80	2.40	3.00	750
宝 6	1.13	3.30	2.90	751
宝16	0.99	2.60	2.64	804

(据Raheim)

北侧的变质温度都高于750℃。而南侧剖面的下部层位,由于紧靠消减带,变质温度偏低,为300°—540℃;上部层位升高至600°—750℃。

角闪石-单斜辉石地质温度计:用 Perchuk-相图获得的变质温度(表15),与上述估算的结果接近,显示出在共存矿物间高压环境下,热力学条件相似。与 Raheim 和 Green (1974) 的榴辉岩石榴石-单斜辉石 K_D 的温度和压力函数相一致,温度在550°—600℃、压力在10千巴左右。根据变质作用相的特征矿物组合:绿辉石+铁铝榴石+石英;黧帘石+冻蓝闪石;蓝闪石+钠长石+绿泥石;滑石+方解石+白云石等。估测温度的最低限在400℃以上,压力在11千巴左右(图11)。这些低级变质相是出现在汇聚岩石圈板块的接合处,在消减带上产生的。靠近消减带的地热梯度9℃/公里,上部层位约12℃/公里。这些资料都充分反映了大别山地区的高压低温变质相带为古板块边界产物。

用Perchuk相图获得的温度估计值 表 15

	石2	石8	石21	石23	石35	石49a	宝12
X_{Mg}^{Cpy}	0.5787	0.6717	0.4483	0.5553	0.6969	0.6164	0.6086
X_{Mg}^{Amp}	0.4408	0.3869	0.5150	0.4861	0.5768	0.5254	0.5058
$Cpy-Amp$	520°	750°	440°	510°	600°	535°	700°

四、几点看法

大别山地区榴辉岩以高硬玉辉石、透辉石-钙铁辉石、冻蓝闪石、铁铝榴石-镁铝榴石、石英为主组成。南侧的太湖、潜山、蕲春一带剖面所出现的绿辉石以富Na高Al^{IV}为特征,向北逐渐降低,至安徽凤阳一带Na、Al^{IV}均低,而Ca、Mg量高。这些绿辉石铁镁分配系数平均高达8以上,Fe²⁺占据了M₁位的一套等效点系位置,有序较高。由于高压环境下形成,能级之间进一步分裂,引起四

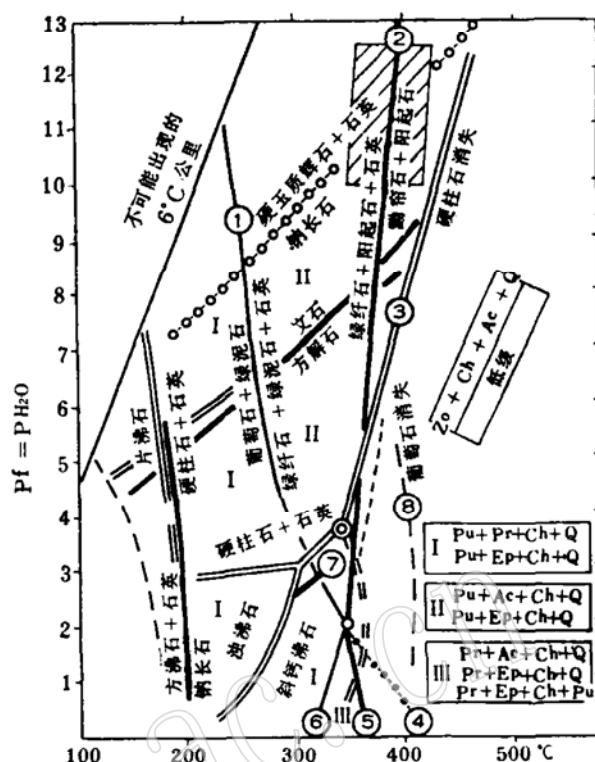


图 11 大别山地区很低级变质相的相关图

(据G. F. Winkler, 1980) H_2O 等于总压。Ac—阳起石; Ch—绿泥石; Ep—绿帘石; Pr—葡萄石; Pu—绿纤石; Q—石英; Zo—黧帘石

极分裂增大。矿物中Mg、Ca、Ti比的变化,充分显示了大别山南侧为高压低温古变质环境,而北侧则压力相对较低,温度较高。它们与古变质相结合考虑,蓝闪片岩相、铁铝榴石-角闪岩相、方解石-文石相等特征矿物组合,所估测的温压条件,变质温度总的说来在500℃左右,压力最低限为10千巴以上。

这次变质事件发生的时代是晋宁旋迴。是古华夏大洋板块向北部古中朝板块俯冲时的产物。因此,可以认为在中国大陆上确有一条古构造边界存在:大别山—秦岭构造带。大别山南侧是古构造边界向洋一侧,而北侧的凤阳—新县—倍阳一带相对压力降低,为古构造边界向大陆一侧。

参 考 文 献

- [1] Winkler, G. F., Petrogenesis of metamorphic rock (fifth edition) 1979;
- [2] Reverdatto, V. V. & Sobolev, V. S., the

facies of contact metamorphism 1973;

[3] Coleman, R. G., Lee, D. E., Beatty, L. B., Brannock, W. W., *geol. soci. Am. Bull.*, 76 (1965);

[4] Perchuk, L. L., *intern. geol. Rev.*, 11 (1969), 875-901;

[5] Thompson, R. N., *Contr. mineral. & petrol.* 45, 317-341 (1974);

[6] Saxena, S. K., *Amer. mineral.*, 53 (1968), 994-1014;

[7] Boyd, F. R., *geochim. Cosmochim. Acta.* 37 (1975), 2533-2546;

[8] Wilson, A. F., *contrib. mineral. petrol.*, 56 (1976), 255-277;

[9] Holdaway, M. J., *Am. J. sci.*, 271 (1971), 97-131;

[10] Deer, W. A., & Howie, R. A., *Zussman, J.*, single-chain silicates. Vol 2A. second edition;

[11] Raheim, A., & Geen, D. H., *contrib. mineral. Petrol.*, 48 (1974), 179-203;

[12] Sobolev, N. V., JR., Kuznetsova, I. K., Zyuzin, N. I., *jour. of. petrol.*, 9 (1968), 253-280;

[13] Binns, R. A., & Sc, B., FH. D., *mineral magaz.*, 35 (1965), 562-587;

[14] Morse, S. A., *jour of petrol.* 11 (1970), 221-250;

[15] Lindsley, D. H., & Dixon, S. A., *Am. jour. sci.* 276 (1976);

[16] Hewins, R. H., *contrib. mineral. petrol.* 50 (1976), 205-209;

[17] Borg, I. Y., & Smith, D. K., *Am. mineral.*, 53 (1968);

[18] Nehru, C. E., *Am. mineral.*, 61 (1976), 578-581;

[19] Mori, T., & Geen, D. H., *Am. mineral.* 61 (1976), 616-625;

[20] Saxena, S. K., *Am. mineral.*, 61 (1976), 643-652;

[21] Capedri, S., *earth planet. sci. Lett.*, 43 (1979), 61-73;

[22] 都城秋穗、变质作用与变质带, 地质出版社, 1979;

[23] 中国科学院贵阳地化所 科学出版社 1978;

[24] 应育浦、李哲 地质出版社 1977

[25] Green, D. H., & Ringwood, A. E., *geochim. cosmochim. Acta.* 31 (1967), 767-833;

[26] 从柏林、张雯华, 科学通报 1977, 413-416页

[27] Dempsey, M. J., *contrib. mineral. petr.*, 71 (1980), 3;

[28] Banno, S., *phys. earth. planet. interiors.* 3 (1970), 405-421;

[29] Hirschberg, A., & Winkler, H. G. F., *contr. mineral. petrol.* 18 (1968), 17-42;

[30] 叶大年等, 科学通报, 5 (1979), 217-220页

[31] Bancroft, G. M., Burns, R. G. and Maddock, A. G., *geochim. cosmochim. Acta.* 31 (1967), 2219.

STUDY ON THE MINERALOGY OF ECLOGITES IN THE DABIESHAN

Xie Douke, Ma chengan, Shi Hongqi, Liang Yongchai, Fong Jingjiang

Abstract

The tectonic environments of Dabieshan have long been discussed among geologists. In 1976, We raised the opinion that there perhaps may be a "fossil subduction" trending E. W. Recently we have systematically studied the minerals from this metamorphic terrain of Dabie group in Hubei and Anhui,

and their P-T Conditions. The lower proterozoic Wuhe group in Anhui is also considered. Phanerozoic formation discordantly overlies on these metamorphosed terrains. The radioactive age of zircon in Machao group are 1328, 1578 my., the age of biotite in Wuhe group are 1650, 1767, 1810 my.

High P-Low T minerals, such as omphacite, garnet, crossite, barroisite, phengite, of barroisite-eclogite, amphibole-schist and granulite facies are the main subjects of this study. According to the study of minerals in Dabieshan metamorphic terrain we suggest that the Dabieshan was a plate boundary of paleoceanic plate in jinning cycle Low T-High P metamorphic belt was found in the southern side of the mountain, i. e., the oceanic side. Pressure decreased northward.

www.yskw.ac.cn