苏胶地体内榴辉岩的成因环境探讨

亓润章^① 郑济林 钱雪明

(南京地质矿产研究所,210016)

内容提要本文重点论述了苏胶地体内榴辉岩的四种产出形态,从岩石化学特点,微量 元素的分馏及稀土元素富集或亏损等规律用六种以上的方法判别了不同产状榴辉岩的原岩性 质;同时从区域变质环境、共生矿物、阳离子配位系数的相关性等方面,分析估算了榴辉岩相变 质事件的 Pt 条件,以及后成碱性闪石榴辉岩产生的 Pt 条件,并同世界各地碱性闪石榴辉岩的成 因作了广泛对比,概括了榴辉岩的成因环境等重大地质问题。

关键词 榴辉岩产状 原岩判别 温压条件 苏胶地体

1 苏胶地体的大地构造位置

作者等于 1991 年提出了苏胶地体的认识^②,它包括苏北一胶南地区的中深变质基底, 近年来有人提出为"聚合带"的观点,或认为属秦岭一大别变质带东延部分,并沿郑庐断裂往 北推移(图 1)。由图可知,除地体东缘为海域外,其北、西、南三面均以大断裂为其边界。其北 缘具划界性的郝戈庄断裂,南起临沭,NE-NEE 向断续延展约 400km,它在遥感影象图上 形迹明显,重磁异常突出,断层泥砾带宽数十米至 180m 不等,种种迹象表明,该断裂具有地 体边界的特点。

该地体组成的重要特点之一是广布着一系列不同成因的大小不一的榴辉岩体,各类榴 辉岩体几乎无例外的同中一高级变质相带有明显的共存关系。主要分布在地体中央的高角 闪岩相带和铁铝榴石角闪岩相带内,或叠加的蓝闪石片岩相带内,相反,在地体两侧的绿帘 角闪岩相及叠加绿片岩相带内,均未发现榴辉岩体。

2 地体内榴辉岩的产状

① 收稿日期:1996-07-05 改回日期:1996-10-06

江苏省自然科学基金资助项目

第一作者简介 亓润章,男,1933 年生,1956 年毕业于南京大学地质系。研究员,岩石学。主要论文:"华东地区 前寒武纪含铁建造地质特征","霍邱群的矿物岩石学研究","山东山相家一郝戈庄断裂带金 的地质成矿条件及找矿方向研究"、"苏胶地体碱质闪石柯石英榴辉岩的意义"。

② 亓润章等,"山东山相家一都戈庄断裂带金的地质成矿条件及找矿方向研究报告",1991,南京地质矿产研究所

2.1 榴辉岩的产出特征及产状类型 榴辉岩是地体的重要组成部分,出露面积与变质岩相比虽微不足道,但其成因和所处大地构造环境以及同地体的演化有不可分割的联系。其分布有成群成带产出的规律,如苏北最大的阿湖毛北岩体(图 2)岩带的总体方向与区域构造线方向吻合;但具体到每个岩体的产状不一定都成整合关系。它同榴辉岩的成因、原岩起源有关,大体可概括为四种产状:



图 1 苏胶地体构造位置略图 Fig. 1 Sketch of location of the Su-Jiao Terrain ↓华北地块,Ⅱ大别群,Ⅲ下扬子坳陷,Ⅳ苏胶地体 ①山相家一郝戈庄断裂,②响水一嘉山断裂,③桐柏断裂,④襄阳一广济断裂,⑤高城断裂

2.1.1 团块状囊状等似侵入体 它同围岩局部呈小角度不整合接触,如东海青龙山含碱性 闪石帘石榴辉岩,整个岩体类似大构造岩块;山东日照梭罗树富辉石榴辉岩,岩体边部保留 有侵人现象。

2.1.2 包体状 主要产在超基性岩中,见于阿湖蒋马蛇纹石化橄榄岩、蛇纹岩中以小豆荚状包体产出,包体的产状同蛇纹岩的叶理呈一致,叶理随包体形态而略呈弧形突出;

2.1.3 透镜状或条带状 地体内绝大多数榴辉岩都属这种产状,尤其成群成带出露的榴辉岩体的空间展布形式类似串珠状,无论带状延伸方向,还是每个大小不等的透镜状榴辉岩体同片麻岩的产状都吻合,这种产状乃至秦岭大别山区也不例外,估计80%以上的榴辉岩体都呈透镜状,在某种程度上反映了其成因和构造环境。

这种透镜状榴辉岩的矿物组成,从核部向边缘表现为逐步过渡,如赣榆花庄曾见透镜体 核心为块状榴辉岩→向外过渡为白云母榴辉岩→角闪榴辉岩→黑云母片麻岩等一系列过渡 现象。

2.1.4 层状或似层状 区内榴辉岩除透镜状外,以层状或似层状产出的频率最高,层状榴

辉岩主要夹在中一高级变质的片麻岩中,如山东诸城桃行,围岩为含榴石白云母片麻岩,夹 白云母榴辉岩薄层(10-50cm 不等),最厚>1m,山东胶南坪上演马厂一带的榴辉岩多以似 层状产出。



图 2 毛北榴辉岩带分布示意图

Fig. 2 Distributing sketch of eclogites in the Maobe, E-榴辉岩;wo-蛇纹岩;MsE-白云舟榴辉岩;KyE-蓝晶石榴辉岩;

2.2 榴辉岩的围岩类型 上述榴辉岩的直接围岩基本有四种:

2.2.1 片麻岩或白云母石英片岩 成分与榴辉岩矿物组合有相似之处,如图3所示,白云 母榴辉岩的围岩为白云帘石榴石石英片岩,在矿物共生组合上很相似,只是含量多少不同。
2.2.2 角闪变粒岩或斜长角闪岩类 如山东日照一带的角闪质岩中常见榴辉岩产出;
2.2.3 蛇纹岩 榴辉岩产在蛇纹岩中;

2.2.4 条带状大理岩 偶夹含角闪榴辉岩条带,其中莒南一带大理岩中也有类似发现。

3 榴辉岩的矿物组成及特征

3.1 各类榴辉岩的矿物组成

目前榴辉岩的分类,主要采用 Coleman (1965)提出的 A、B、C 三类成因分类法,这种分 类主要根据榴石成分,不考虑其他矿物组合,对榴辉岩命名意义不大。作者据榴辉岩的矿物

74

定量和一般岩石学命名原则,将区内榴辉岩的种类归纳如下(表1)。

表 1 各类榴辉岩的矿物含量

Table 1 Minerals percent of various eclogites

		矿物含量									
代表样品号	岩石名称	Omp	Co.	Ms	Ep-	шь 		Kv	Glau	Chi	
			Gai	(phe)	Zoi	110	Ku	Кy	Оща	C III	
J ₃ -1	白云绿帘榴辉岩	10-15	15-20	20-30	$\sim \! 15$	20	3	-	_	<5	-
J ₃ -2	穈檨化白云绿帘樀辉 岩	25	15	10	50	少	2		_	_	
To-1	块状榴辉 岩	70	15	10	5	少	2	_	-	3	_
то3—6	白云绿帘角闪榴辉岩	15-25	30	25	10-5	15-20	-	_	—	5	—
P14	白云榴辉岩	30-25	65-60	10	少	_	3	3	_	_	
苏阿湖	蓝晶白云榴辉岩	25	30	10-15	<10	10-15	-	5	_		_
S4-1	碱质闪石柯石英榴辉岩	20-25	20-10	10	5-10	10 —2 5	2	_	8 - 5	少	<õ
苏 1-5	角闪 榴 辉岩	40	40-50		—	~10	少	-	-	少	

Omp一録解石;Gar一榴石;Ms一白云母;Ep一绿帘石;Zoi一黝帘石;Hb一角闪石;Ru一金红石;Ky一蓝晶石;Glau-蓝闪石;Chl一绿泥石;O一石英;Phe一硅白云母;



图 3 山东莒南李家沟透镜状榴辉岩产状剖面图

Fig. 3 Geological section map of the lens-like eclogites in Ju-Nan of Shandong province 1-含解石榴石帘石白云母片岩;2-片麻状绿帘白云母榴辉岩;3-黑云母片床岩;4-含白云母绿 帘粗变岩;5-角闪变粒岩;6-黑云变粒岩;7-糜棱化榴辉岩;8-白云母绿帘含角闪榴辉岩

3.2 代表性榴辉岩的特征

3.2.1 碱性闪石柯石英榴辉岩 该类榴辉岩国内尚少见,作者已有专文论述^[1]。碱质闪石 以晚期变斑晶为特点,从矿物世代关系看出,它至少经历了三个成因阶段;

a. 以榴石包裹早期矿物组合为标志,如 Cpx、Hb、Ru、Q、Ms 等(代号详见表 2 注解);

b. 以 Alm、Ep、Hb、Ms、Q 组合为代表;

c. 以碱质闪石的形成为代表,它是晚期构造运动机制导致的高压相特征矿物,这类榴辉 岩在国外报道也不多,据我们不完全统计世界上发现有六处^{[3][8][9]},其中蓝闪石多为退变质 或叠加交代变质而成。

研究程度较高的美国加里福尼亚 Word Creek 地区的榴辉岩划为两种类型,I 型榴辉岩

一认为是典型变质基性岩的构造岩块(Structural block)^[4], I型榴辉岩可能是弗朗西斯科 (Franciscon)变质作用期形成的原地榴辉岩。矿物组成为 Gar+Ch1+Act+Ep+Glau+phe +Ru+Q 等。形成条件 t=380-540℃,P=950-1400Mpa, I 型榴辉岩具片麻状构造并有 角闪岩相的残余结构。形成的 Pt 条件为,温度 480-540℃,P>1000-1500MPa,有六个变 质阶段,第四阶段以 Glau+Ep+Phe+Gar 高蓝片岩相为特点^{[3][5]}。

区内碱性闪石榴辉岩是后期高压蓝片岩相退变质作用叠加的结果,具逆向变质的特点, 矿物组合,蓝闪石形成机制等,都可同上述加里福尼亚 I 型榴辉岩对比,Pt 条件为,t480-540℃,P>1000-1150MPa。

表 2 区内碱质闪石榴辉岩与世界各地蓝闪石榴辉岩对比

序号	地点	主要矿物组合	特征	 资料来源
1	加里福尼亚 Wordcreek	Gar+Omp+Ep+ Glau+Phe+Ru+Q+Barro	蓝闪石为蓝片岩相退变质 产物, 榴辉岩属构造岩块	C. W. Oh and J. G. liou, Lithos. Vol. 25. 1990. P25-41
2	希腊 cyclades 群岛	Ep+Gar+Glau+Qmp +Act+Ap	<u>高压变质基性岩带中榴辉</u> 岩	M. Schliestedt. 1986, Joun. of petrol. Vol27, P1437
3	西挪威	Gar+Omp+Hb+Glau+ Phe+Ep+Bi+Ru+Sp	瘤解岩的形成演化分5个 阶段 Glau 在 IB 阶段	E. J. Krogh 1980, Lithos. 13,P355-380
4	ltaly 西阿 尔卑斯 Verre VoldAsta	Gar+Omp+Ru, 晚期 Glau+Hb	蓝闪石呈变斑晶,蛇绿岩一 榴辉岩组合,叠加绿片岩相 阶段形成	C. Baldelli, et al., 1985. Lithos. 50, No 1/3 P65–87
5	N-W 西班牙	Omp+Gar+Hb+Glau+Q+Ru	变基性岩,Glau 产 于 EpーChlーQ 片岩中	J. I. Gil lbarguch1, et al, 1990 lithos, 25, P133—162
6	日本三波川	Gar+Omp+Glau+Barro+ Ru+Phe+Para+Ky+Zoi	钙碱性或过碱性片麻岩 含变基性岩,层状或透镜 状长 1KM,Glau 为变斑	都城秋穆"变质作用与变 质带"P383384,地质出版 社,1979
7	苏胶地体	Omp+Gar+Ghou+Hb+ Ep+Ms+Ru+Q+Ph1	碱性闪石呈变斑晶,含 Gar、 Gpx、Hb、Ep 等早期矿物	本文

Table 2 Comparison of eclogites with alkali-amphible in the world

注:Para 钠云母(PA)。Omp一绿辉石;Gar一榴石;Ms一白云母;Ep一绿帘石;Zoi一鹅帘石;Hb一角闪石;Ru一金红石;Ky一蓝晶石;Glau一蓝闪石;Q一石英;Phe一寻硅白云母;Act一阳起石;Ap一磷灰石;Sp一尖晶石

3.2 **白云绿帘榴辉岩** 粒状变晶结构,片麻状构造,主要矿物为绿辉石、石榴石、大量帘石 类。白云母多沿叶理面平行分布,帘石呈条带状集合体,在成因上与 I 型榴辉岩类似。

3.3 块状榴辉岩 中粗粒似花岗状结构,矿物成分几乎仅由石榴石与粒状绿辉石组成,岩石艳丽美观,绿辉石富集处呈翠绿色;局部可成单矿物绿辉石岩。榴石呈浅玫瑰红色,一般2-3mm;可包含辉石,但主要呈嵌状结构,少量白云母沿叶理面分布。有的学者认为二矿物 榴辉岩可能由富铁辉长岩经变质而成(Ugopognante,1985)。

3.4 白云母石英蓝晶石榴辉岩 粒状变晶结构,片状构造,白云母沿叶理面分布,主要矿物为绿辉石、石榴石及少量蓝晶石和角闪石,蓝晶石呈自形变晶结构,个别呈变斑晶,大者>lcm;它明显晚于辉石和榴石,偶含少量石英。蓝晶石多时可呈条带状定向分布,如东海碱场及新沂凤凰屯等地所见。

某些榴辉岩以碎裂或糜棱构造为特点,如李家沟透镜状榴辉岩,呈糜棱残斑结构,大部 分矿物在强剪应力下已成丝团状、云雾状及强绿泥石化、碳酸盐化、榴石已成糜棱残斑状。区 内榴辉岩受强糜棱化作用是其特点之一。赣榆堰水房剖面最为典型,大部分透镜状榴辉岩被 挤碎或辗磨成带状拖曳现象的构造岩块。所以榴辉岩的后期受构造运动的改造说明,整个地 体始终处于强构造活动中。

4 榴辉岩的化学成分及原岩判别

4.1 化学成分 对苏胶地体内不同类型榴辉岩做了化学成分、微量元素以及稀土分析(表 3),不难看出,其SiO₂含量从52-46.73%,大多为48%,11个样平均48.98%;(K₂O+ Na₂O)总量从5.86-1.44%,11个样平均为为4.07%;MgO含量一般5.7%,平均6.36%, 略低于碱性玄武岩,Al₂O₃一般>15%,最高21.9%,具有高铝特点。如投在全碱对SiO₂的 火山岩分类图上(M.J.lebas,1986图略),大部分落在玄武岩同碱性玄武岩区,部分落在玄 武粗面岩区。其FeO/MgO比值0.78-1.84,平均1.65,该比值在某种程度上反应了原岩的 分异程度(Miyashiro,1974)。弗利普(Phillippe Thelin,1990)等认为,原岩相当洋中脊玄武岩 的榴辉岩,其FeO/MgO值为1.21,因此可见,区内榴辉岩的原岩来源于中洋脊玄武岩的可 能性极小。

正确判别榴辉岩的源岩是研究其成因的根本问题之一,自 Coleman 提出按产状划分三 种不同类型的观点,迄今已广为采纳。其中 A 类榴辉岩常与超基性岩共生,或以其包体产 出,是来自上地幔的深源岩石,这类榴辉岩在区内尚未发现。B、C 两类成因复杂,区分也较困 难。区内层状、似层状榴辉岩基本属 C 类,其原岩可能是富镁铁质一钙泥质沉积岩变质而 成、其变质级、矿物共生组合同围岩基本协调。

经六种岩石化学方法恢复原岩的判别,各方法所得结果总有相悖之处。只有部分岩石的 趋势较明显,如李家沟榴辉岩显示正变质为主,在地体构造定位前可能成层状,在苏胶地体 变位迁移的过程中,被挤压成构造透镜体。

学分布模式,同典型洋中脊玄武岩 对比后看出(图 4),Sr、K、Rb、Ba、 Ta、Nb、Ce 等不相容元素明显富 集,高于洋中脊玄武岩的 10 倍,尤 其 Ba 含量特高;而 Ti、Y、Sc、Cr 等 相容元素则显亏损,而 Sm 显富 集,标准化曲线的总形式呈人字 型。经对比后发现部分样品为介于 洋中脊玄武岩与拉斑质板内玄武 岩之间的过渡类型。

 4.3 稀土元素地球化学 地体内 部分榴辉岩的稀土分析表明,除个 别样品外,大部分样品的 ΣREE 在 187.7-120×10⁻⁶之间,轻稀土富



集, 无 Eu 异常, 标准化曲线向右平滑的倾斜。La/Yb 比值一般>10, Eu/Sm1从 0.43-0.26, 重稀土无明显分馏。

这些特征表明,相当于大陆拉斑玄武岩与岛弧玄武岩间的过渡型。与微量元素地球化学 特点基本吻合。

									· · · ·					
化学	J3-2	J3-6	J3-8	P-14	Tn2 —1	Tn2-3	To-34	To≛ <u>3</u> 4	C1-36	du.*.37	均值	(1)	(2)*	(3)*
<u></u>	50.01	10.00	51.00	10.00	(0.0)	50.05	F1 00	17.00	10 55	10 70	10.00	17 10	40.05	10.05
S102	50. 64	48.98	51.96	48. 38	40.01	50. 07	51.38	47.82	47.55	40.73	48.98	47.40	49.95	48.25
TiO₂	0.96	1.12	0.85	1.45	0.38	0.64	/	/	2.29	1.75	1. 25	1.99	1.28	2.03
Al ₂ O ₃	15. 78	16.15	17.66	17.01	18.64	21.97	17.50	18.24	16.06	15.61	17.44	15.07	16.13	14.9
Fe ₂ O ₃	3.29	4.25	2.78	2. UĴ	2.31	1.14	2.36	1.96	2.50	1.92	2.60	2.54	3.04	4.17
FeO	5.34	6.80	4.42	9.82	5.70	5.74	9.52	11.05	11.01	11. 51	8.06	11.51	5.87	7.61
MnO	0.15	0.20	0.13	0.20	0.13	0.11	0.18	0.19	0.26	0.31	0.19	0.21	0.15	0.21
MgO	6.00	6.00	5.65	6.70	11.20	5.28	5.21	6.00	6.84	7.34	6.36	6.50	7.09	6.93
CaO	10.46	9.76	9.20	8.83	13.09	11.68	9.97	9. 39	9.06	9.64	9.84	9.35	9.45	8.27
Na ₂ O	4.39	3. 58	2.25	2.99	1.40	2.06	2.48	2.82	3.14	2.81	2.84	3.56	3. 43	3. 30
K₂O	1.10	1.13	2.15	0. 90	0.04	0.06	0.34	0.55	0.43	0.53	0. 91	0.71	1.08	1.72
P2O5	0.30	0.20	0.31	0.42	0.06	0.19	0.18	1.04	0.32	0.41	0.39	0.61	0.16	0.56
CO2	0.04	0. 08	0.11	0.21	0. 08	0. 09	1	1	0.06	0.17	0.12	0.087	0.18	1. 47
H ₂ O	1.34	1.56	2.24	1. 05	0.67	0.87	1	/	0.44	0.42	1.11	0.79	1.69	
灼烧量							0.90	0.94		0. 80				
v	208	265	163	12	128	173	343	100	225	143	158.82		22 1	•
Cr	295	59	68	2	548	187	29.4	44	65	100	126.76		329	
Ni	44	43	37	2	196	61.8	30.6	46	125	90	59.31		46.75	
Co	27	32	26	7	48.9	24.1	34.6	47.5	70	41	30.01		42.5	
Rb	24	37	70	13. 9	1.9	3.1					87		29	
Sr	767	900	924	22	118	329	729	169	200	400	438		134.8	
Ba	528	925	1462	510	46.7	150	326	278	750	51 7	486.1			
Y	17.1	18.6	14.62	4. 30	6.0	10.8	14.8		25		1232		27	
Zr					7.6	6.5	7.8	32.8	125	100	26.06		126.3	
Sc	34.9	26.8	29. 2	0. 62	28.5	24.5	39.1	13.8	40	83	44.46			
Nb	0.º001	0.001	0. 001		9.7	9.1	4.8				3		3. 39	
Се	39.6	69.2	38.6	55.6	5.3	13.6	49.3						29. 74	
Au	1.20	1.0	1.4	136										
Ag	0.17	0.12	< 0. 03	5.0						0.5	0.4			
Cu	53	29	52	55					124	150	117			
X,	+	+	+	_	+	+				_	+			
X,	, +	.+	+	_	+	, +				+	+		,	
X.	_		_	+	_	_				+	, +			
											•			

表 3 区内榴辉岩类化学成分及微量元素

Table 3 The compositions of chemical and trace elements of various eclogites in the area

①*引自莒南、三界首 1/5 万报告, 胶南群 10 个榴辉岩均值, 其他为本课题资料

②*引自 Philippe Thelin (1990), Lithos, Vol. 25, P71-88. App2A(4个 Eclo,平均值)

③*中国基性岩平均值(据黎彤等,1963). J3,为莒南李家沟榴辉岩,围岩中 Au. 0.7×10-9

To-桃行,Ci-下六谷,du-独乐沟、三个样摘自 20 万日照幅区调报告中表 II-3 及表-7,To3-4 的微量元素为 8 个样均值,X1-3 为肖(D. M. Shaw) X 函数判别式

表 4 榴辉岩类及单矿物稀土含量

Table 4 REE contents of eclogites and minerals

序号	编号	La	Ce	Рт	Nd	Sm	Eu	Gđ	Тb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Y	∑ree	L/HREE	La/Yb	Eu/Sm
1	J3-2	20. 2	39.6	4.9	20.6	4.6	1. 3	3.6	0.49	3. 3	0.69	1. 9	2.0	0.30	17.1	120. 58	3 . 104	10.10	0.28
2	6	33.7	69.2	8.3	34.1	7.3	1. 9	5.3	0. 70	4.2	0. 77	1.8	1.8	0.27	18.6	187.74	4.614	18.722	0.26
3	-8	19.6	38.6	4.6	19. 2	4.3	1. 2	3. 2	0. 57	2.9	0.55	1.6	1.6	0.25	14.3	112.47	350.4	12.25	0. 28
4	P-14	27.4	55.6	7.4	32. 0	7.5	2.3	6.4	0.94	0.91	0.15	0. 37	0.31	0.04	4.3	179. 54	2. 792	10. 148	0.31
5	Tn2-1	2.4	5.3	0.7	3.5	1.3	0.56	1.3	0.21	1. 30	0. 26	0. 67	0.60	0.09	6.0	56.012	4. 703	4.00	0.43
6	То-3	23.4	49.3	6.3	24. 5	5.2	1.4	3. 8	0.53	3. 0	0. 58	1.8	1.5	0.21	14. 5	136.03	5. 100	1. 56	0. 27

注:编号见表3注解

5 榴辉岩的主要矿物化学特点

区内榴辉岩的矿物组成相当复杂,不同类型 榴辉岩的矿物组成差异较大,从矿物形成的构造 环境分析,成因意义较大的有碱质闪石柯石英榴 辉岩及蓝晶石榴辉岩。对其辉石族、榴石族、角闪 石族、云母族矿物均做了成分研究,除有专文^[1]论 述外,还对蓝晶石、帘石类、绿泥石、长石族矿物做 了成分研究。

5.1 榴石类矿物 区内榴石的化学成分显示^[1], 其端员组成以铁铝榴石·为主,每 Alm 多大于 60%,其次是镁铝榴石(平均 27 16%)和钙铝榴石 端员组分。其中镁铝榴石端员组分最高可达 59.97%。一般 20-30%,个别为零,Xmg 从 0-0.39,其成分多投在 C 类榴辉岩区。李家沟榴辉岩 中榴石单矿物 X 光衍射晶胞参数:a:11.6005,b: 11.6005,c:11.6005,a:90.0000,β:90.0000,γ: 90.0000属铁铝及锰铝榴石。



图 5 某些榴辉岩的稀土元素标准化曲线 Fig. 5 REE patterns for eclogites

5.2 单斜辉石 区内榴辉岩中的辉石成分, Na/(Na+Ca)比值除个别小于 0.4,绝大部分 介于 0.4-0.74 之间,基本都属绿辉石,在 Essene(1967)的分类图上也投在的绿辉石区, 个 别点落在暗硬玉区(翡翠)。Al^M较高,从 0.537-0.119; Na₂O 从 10.78-5.7%, 很明显具有 高铝高钠之特点。碱质闪石榴辉岩中的绿辉石,其中硬玉分子达 45.8%, 而寬石与透辉石含 量近似。

5.3 碱质闪石 仅见于地体南侧某些榴辉岩中,区内碱质闪石的化学成分特点是 FeO 低 (成分见文献^[1])。三个碱质闪石的化学通式:(Na+K)_{0.078-0.37}、(Na^{M4}_{1.34-1.353}、(Ca_{0.6446-0.658}) (Mg_{3.054-3.142}、Fe_{0.8068-0.885} Al^M_{0.9513-1.113})(Si_{3.901-7.051} Al^M_{0.9494-1.0983})O₂₂(OH)₂,由该式看出,Na^{M4} 在 1.34-1.35 之间,如全铁作 Fe²⁺计算,Fe²⁺/(Fe²⁺+Mg)≈0.22-0.28,Fe³⁺/(Fe³⁺+ Al[■])<0.3 时则为蓝闪石。因目前尚无合理的方法将其中 Fe³⁺和 Fe²⁺区分开。所以我们将 冻蓝闪石、蓝闪石、或青铝闪石统称为碱质闪石。

5.4 帘石族矿物 绿帘石族矿物是区内榴辉岩中常见矿物之一;同时也是变质基底岩系分

布最广的矿物之一,从低级变质相带到高级变质相带均有,并同叠加蓝闪石共生。对各类岩性中的帘石类做了成分研究(表 5)。由 Ep+Glau+Qmp+Gar+Phe 组成的榴辉岩,可同上述 I 型榴辉岩晚期的高蓝片岩相变质的典型矿物组合对比。

顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	90PX1	90PX1	90PX1	bit 3 1	1-3-6	苏 52	* 5-2	* 5 2	★ 5-3	苏 5 3
小编与	-2(2)	-1(4)	-4(3)	176 0 1		<u> </u>	· ,, · · · ·	<u> </u>		,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
SiO ₂	38.92	38. 59	34.11	37.53	41.72	36.47	37.51	36.72	36.82	36.38
TiO2	0.11	0.11	0.13	0.06	0. 08	0.03	0. 02	0.01	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	25. 32	28.04	28.43	33.61	31.39	61.02	62.22	60.22	62.88	62.89
FeO	12.79	8.76	6.97	1.99	6.90	0.48	0.543	0.26	0.39	0.30
MnO	0.26	0.10	0.12	0.00	0.03	0.01	0. 00	0.02	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.05	0.00	0.15	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10	0.13	0. 03
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.06	0.07	0.03	0. 02
CaO	22. 23	23. 32	23. 23	23.89	22. 53	0.02	0.00	0.06	0.01	0.01
Na ₂ O	0.00	0.00	0.13	0. 31	0.03	0.15	0.00	0.07	0.17	0.17
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.02	0. 01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01
Σ	99.68	100.78	98. 26	97.41	102.69	98.31	100.35	97.55	100. 43	99. 81
矿物名称	Ер	C1-Zoi	C1-Zoi	Zoi	Cl-Zoi	Ку	Ку	Ку	Ку	Ку
	1	, 2	3	. 4	5	6	7	8	9	10
Si	3. 0171	2.9807	3. 0218	2.8837	3. 0498	1.0017	1.0003	1.0169	0.9887	0.982
Ti	0.0064	0.0064	0. 0076	0.0035	0.0044	0.0006	0.0004	0.0002	0.000	0.000
A1 ^N	2. 3128	2.5520	2.5884	3.0430	2. 7039	1. 9748	1.9747	1.965	1.9894	2.0002
Al ^M										
Fe ³⁺	0.7459	0.5090	0.4051	0.1150	0.3794	/	/	/	/	/
Fe ²⁺	1	1	1	/	1	0.011	0.0121	0.006	0.0087	0.0068
Min	0.0171	0.0065	0.0079	0.0000	0.0019	0.0002	0.000	0.0005	0.000	0.000
Cr	0.0031	0.000	0.0092	0.0000	0.0000	0. 0022	0.000	0. 0022	0.0028	0. 0006
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0024	0.0029	0.0012	0. 0008
Ca	1.8456	1.9290	1.9222	1.9659	1.7639	0.0006	0.000	0.0018	0.0003	0. 0003
Na	0.0000	0.0000	0. 0195	0.0462	0.0042	0. 008	0.000	0. 0038	0.0088	0. 0089
К	0.0000	0.0000	0.0000	0. 0020	0. 0009	0. 0004	0.000	0. 0007	0.000	0.0003
$Fe^{3+}/Fe^{3+}+Al$	24. 4	16.4	13.5	12. 3						

表 5 帘石、蓝晶石的电子探针分析数据 Table 5 Electron probing analysis results of epidotes and kyanites

Fe/Fe+Mg

注:编号1、2、3为含帘石片麻岩;4、5为榴辉岩中的黝帘石;6一10为榴辉岩的蓝晶石;Ep-绿帘石;Cl-Zoi-斜黝帘 石;Ky-蓝晶石

区内变质围岩及榴辉岩中帘石的 Ps 值(Fe³⁺/(Fe³⁺+A1)变化有明显的规律, 榴辉岩中 黝帘石 Ps 值分别为 3. 6、12. 3; 片麻岩中绿帘石及黝帘石 Ps 值 13. 5-16. 4, 叠加绿片岩相 带中帘石的 Ps 值为 24. 2, 很显然, Ps 值随变质程度的增强而递减, 据 Shigenor、Maruyama (1983)等人的研究, 绿片岩相带中的帘石 Ps 值从 30-34; 如西太平洋 Yap 群岛和日本 Kasuga 地区绿片岩相中绿帘石的 Ps 值为 30-34。其他共生矿物也相应发生变化, 而过渡到角 闪岩相时,钙质闪石系列从阳起石突变成阳起石一角闪石对;长石也从钠长石转变成更一中长石(An12-50),随变质程度的加深,绿帘石渐变为黝帘石^[9](Miyashiro & Keki W.G. Erust 1972)。

6 变质环境及榴辉岩的成因

地体内不同变质相带的 P-t 条件各不相同。仅简要给予论述。

6.1 区域变质温度的估算

6.1.1 绿帘角闪岩相带 主要分布在地体的北缘,采用二长温度计法,求得四组温度数据 t为333-485℃,一般认为绿帘角闪岩相与铁铝榴石角闪岩相的界线是450℃。在该相岩石 中常见绿帘石和角闪石共生,以钠长石为主。计算结果与实际地质情况相符,但也存在向角 闪岩相过渡的现象。

表 6 区内变质岩 Pt 条件初步计算结果

Table 6 Computation results of Pt in the area metamorphic rocks

序号	原样号	岩性	采用计算法	温度で	所处相带	注(括弧内为样号)
1 2	坪~14 J3-6	檜 辉岩 白云母绿帘檜辉岩	单斜辉石榴石温度计 同上(歐西埃法)	652—760 822	〔檜解岩相带	3号样为铁铝榴石 角闪岩样,4号为绿 帘角闪岩相
3	J90PX ■ -2(2)	含云母欄石片麻岩	黒云母ー石檜石 对 图 解法	570	Ⅰ 铁铝榴 石角 闪岩相带	
4	J90P X ■ -1(4)	含云母檀石片麻岩	二长温度计(斯托默	485-437		kf(10-1),P1(19-7)探针样品
5	同上	同上	和鲍威尔法)	465-416	■攀帘角闪岩	kf(10 -1), PI(9-4)
6	同上	同上	7	395345	相帶	kf(10 -1),P1(9-7)
7	枕 3—6	含白云母片麻岩	"	384333		kf(2.5),Pl(2.1)
8	苏 31	含覚石片麻石	π	378 326	I-(i)檜解岩相帶 藍晶石亚相帶	kf(]4-2),P1(14-9)
9 10	苏 41 苏 41 包体	含碱性闪石榴辉岩 含碱性闪石榴辉岩	角闪石ー黒云母図解法 角闪石ー石榴石对図解法	600 1000	Ⅳ后成叠加蓝 片岩相带	Hb(4-1-12),Alm(4-1 -7)>0.7GPa(图解法)

6.1.2 铁铝榴石角闪岩相带 该带中主要以更一中长石为主,在片麻岩中几乎普遍见角闪 石与榴石共生,这是苏胶地体内岩石的主相带。除地体两侧外,大部分岩石都受到铁铝榴石 角闪岩相带的变质改造。用黑云母一榴石对图解法求得温度为 570℃,表中 3 号样,从采样 位置看,实际上已处于榴石角闪岩相带的边缘,该带中长石为更长石(*An* ~13)也说明这一 点。

6.1.3 榴辉岩相带 据单斜辉石及表中辉石一榴石对计算了三个榴辉岩体的温度,营南一 坪上榴辉岩的温度 652-760℃,李家沟榴辉岩的温度 822℃,江苏东海碱质闪石柯石英榴辉 岩的温度 600℃;同样用该矿物对 Pt 函数式求得的 t 为 750℃, P=28.5×10⁸pa 及 t= 980℃, P=31.50×10⁸0pa。

6.2 压力估算

利用碱质闪石的 Na^{M4}及 A1^N的相关图解对其形成的压力做了估测,投在(图 6)5×10⁸pa 高压线之上,属超高压区,如把区内榴辉岩中闪石的 A1^M及 Si 阳离子系数投在图 6,都落在 高压区>7×10⁸pa 以上区间,它比日本三波川高压带(7×10⁸pa)及英格兰阿帕拉契山冻蓝 闪石所形成的压力更高。有些学者曾提出,高压相系的闪石约在(9±2)×10⁸pa,450±100℃ 的温压条件下隐定。同日本三波川矿物生成条件对比可知,区内闪石的形成条件应在 7× 10⁸pa 以上,据榴辉岩中柯石英的存在,其形成压力大约为(18-34)×10⁸pa(Harley 1984)。



图 6 闪石 Na^{M4}与 Al^M相关图解(E.H. Brown 1977)

Fig. 6 Na^{M4} and Al^N correlation graph of amphibole 7kb 区为日本三波川高压区闪石;5kb 为美国俄塔岗中压带闪石。点 1.2 为海州祥中闪石,4、10、13 为苏 北榴辉岩中碱质闪石,其他为胶南群的闪石。kb=100Mpa

7 结 语

综上所述,区内榴辉岩的形成明显地经历了前进和退反两期变质事件的复杂过程,第一 期为区域性前进变质事件,即从绿帘角闪岩相一高角闪岩相一榴辉岩相,这期变质事件的结 果是,使地体内大面积岩石普遍受到了中一高级变质作用的改造,产生了不同矿物组合的榴 辉岩,因此,或称榴辉岩相变质事件。其顶峰期产物以柯石英榴辉岩为代表;最明显的岩石学 标志是,榴辉岩中绿辉石及榴石中残存有柯石英假象。而同苏胶地体可对比的大别山东段变 质岩中金刚石变晶的发现^[2],更进一步说明变质顶峰的压力应大于 30×10⁸pa。同样与本区 榴辉岩形成条件相似的北挪威柯石英榴辉岩的形成压力为 32×10⁸pa±5×10⁸pa,温度约 700-900℃。

据报导(丛柏林,1991),区内榴辉岩的年龄为195-220Ma,代表了榴辉岩顶峰期形成 的时代,这个数据同我们采自地体拼贴边界一郝戈庄断裂带内辉绿岩脉所测得的时代一致, 相当燕山早期造山运动旋回。

榴辉岩后成退变质事件与前一事件在矿物组合及变质经迹方面恰恰呈返向递变。它从 榴辉岩相开始,退变为相当于蓝片岩相的碱质闪石柯石英榴辉岩^[6],其中包体状柯石英变为 多晶石英集合体假像。典型矿物组合为:Ep(Zoi)+Omp+Gar+Ms+Glan+Q,压力从($32\pm$ 5)×10⁸pa 的超高压,转变为(7-20)×10⁸pa 的中高压环境。温度从 800℃降到 430±50℃, 同希腊昔蓝壳群岛的蓝片岩相变质顶峰期的温压条件类似,那里的压力为(12-20)×10⁸pa,t 为 450-550℃(Michael Brocker,1990)。

碱质闪石柯石英榴辉岩形成的时间,根据榴辉岩中共生矿物的时序推断,蓝闪石应是榴辉岩后成变质事件最晚期的产物,因此,它应晚于苏胶地体与华北块地拼贴的时间,也应晚于榴辉岩生成的时间,大体相当区内大规模糜棱岩化的时间,可籍地体北界(拼贴带)糜棱带中角闪岩透镜体的年龄(130.3±1.5Ma,表7)给予说明。

表7 新裂带碎裂岩 K-Ar 年龄

Table 7	K — Ar	isotopic ages	of breaking	z rocks in	the structural	zone
---------	--------	---------------	-------------	------------	----------------	------

	样品名称	位置	KーAr 年齡值 Ma
康-3	糜棱化蚀变角闪岩透镜体	断裂带内	1 30 . 3±1. 5
康-4	绿泥石化辉绿岩脉	断裂带内	220.1 \pm
Pxi-2(2)	绿泥石化角闪岩构造透镜体	上康家内	515.7

以上所述,涉及区内变质径迹的问题,尚待今后深入工作,这里只根据有限数据提出了 某些推断,仍需进一步工作后证实。

以上三个年龄值,同时也说明了地体边界这条大断裂是多期活动的。反应了地体从迁移 →抬升→拼贴→压扭等一系列构造运动形式,碱质闪石柯石英榴辉岩仅代表了地体定位过 程中最后一幕高压变质事件的产物。

参考文献

[1] 亓润章等, 苏胶地体碱质闪石柯石英榴辉岩的意义.火山地质与矿产, 1994, Vol. 15. No 1 P51-61.

[2]徐树桐等,大别山东段高压变质中的金刚石.科学通报,1991,Vol. 17,P1318-1321.

[3]Bermard W. Evans, Eclogite-Blueschist facies relationships. Lithos 25. 1990, P3-23.

- [4] Chang-Whan Oh and J. G. Liou Metamorphic evolution of two different eclogites in the Franciscon conpler, Califonia, U.
 S. A, Lithos, 25(1990)P41-53.
- [5]Manfred Schliesledt, Eclogite-blueschist relationship as evidenced by mineral epuilibria in the high-pressure metabasic rocks of sifnos (Cycladicisland), Greece, Joun Petrol. 27, 1986, P1437-1459.
- [6] Michael Brother, Blueschist to greenschist transition in metabarosites from Tions Island, Cycladles, Greece: Compositional control on fluid infiltration, Lithos 25,1990, P25-39.
- [7] P. Raase, Al And Ti contend of homblende, indicators of pressure and temperatrue of regional metamorphism. Contr. Mineral, and Petrol. 45, 1974, P231-236.
- [8] Philippe Thelin, Mario Sartori et al, Eclogites of Paleozoic or early Alpine age in the basement of the penninic siviez-Mischebel nappe, Wallis, Switzerland, Lithos Vol. 25, 1990, No1-3.
- [9]Shigenor Maruyana & J. G. Liou et al. Greenschist-amphibolite transition equilibria at low pressuer. Journ of Petrol. 24, 1983, No. 4.

RESEARCH ON GENESIS OF ECLOGITES IN THE SU-JIAO TERRAIN

Qi Runzhang Zheng Jilin Qian Xueming (IGMR, Nanjing, 210016)

Abstract

In this paper we focus discussion on four occurrences of eclogite which are massive or sack-like, enclave-like, lenticulated or banded and stratiform or banded and stratiform or stratoid ones in the Su-Jiao Terrain and try to distinguish protolith of eclogites from characteristics of petrochemistry, fractionation of trace elements and enriching or depleting rare earth elements; and analyze for P-T conditions of metamorphic events of different eclogite facies and deuterogenic alkali-amphibole eclogites from environment of regional metamorphism relative with paragentic association and cation coordinate coefficient of minerals. The results indicated that forming of eclogites in the area underwent a complicated process which is progressive and retrogressive metamorphic events, i. e; regional progressive metamorphism of first stage represented from epidote amphibolite facies, amphibolite facies to eclogite facies, and formed eclogites of different mineral association and coesite eclogite at peak stage of metamorphism; regional retrogressive metamorphism that changed eclogite facies to alkali-amphibotite pseudo-coesite eclogite. The alkali-amphiboite pseudo-coesite eclogite is only representative of product of high-pressure metamorphic events at last phase during locating of the terrain.

Key words genesis eclogite Su-Jiao terrain