

山东诸城地区榴辉岩成因岩石学研究

苏尚国 顾德林 张春林

(中国地质大学, 北京 100083)

主题词 榴辉岩 成因岩石学 变质作用 山东诸城

提要 山东诸城地区榴辉岩出露在构造混杂带西北缘, 榴辉岩呈大小不等的透镜体分布于片麻岩之中。经矿物学、岩石学及地球化学研究得出, 榴辉岩原岩为玄武质岩浆晚期分异产物, 其形成环境为岛弧。榴辉岩形成的温压条件为: $T = 788.35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 2.5\text{ GPa}$ 。榴辉岩的形成与华北板块、扬子板块的俯冲碰撞作用有关。

榴辉岩是地壳上分布极少的一种高温高压条件下形成的岩石。因其形成往往与构造运动有密切联系, 近年愈来愈受到地质工作者的重视。我国境内主要有两条榴辉岩带, 即秦岭—大别—胶南榴辉岩带和秦岭—祁连榴辉岩带。前人对该区榴辉岩在岩石学、地球化学、形成时代及成因诸方面都做过研究^[1-4]。山东区调队在日照幅 1:20 万区调时, 将其划归元古代侵入岩, 认为是冷侵位的结果(见山东省地矿局区调队, 1982 年, 日照幅 1:20 万区调报告)。杨建军研究了苏北—鲁东的榴辉岩和超基性岩后认为: 鲁东、苏北一带的榴辉岩和超基性岩体与秦岭褶皱带东端的同类岩体可能是晚古生代以来华北地台和扬子地台之间的古洋壳及上地幔物质在俯冲过程中变质而来的, 并在中生代早期古海盆关闭, 华北地台和扬子地台碰撞, 在深部形成的超基性岩、榴辉岩先后在一定条件下俯冲到大陆地壳岩石中, 形成一系列变质基性、超基性岩体^[1]。其他学者的认识和杨建军相似。本文将从产状、岩石学、地球化学等几方面讨论榴辉岩的特征, 并对榴辉岩的成因进行探讨。

1 榴辉岩的地质特征

区内已发现榴辉岩体 26 个, 主要分布在下六谷、桃竹、上崖家沟、吕乐沟及崔家沟等地, 总体呈北东东向带状分布, 有些地方呈群体出现, 如万家沟村北一带。其平面形态大都呈规模不等的透镜状, 大者 $800\text{m} \times 300\text{m}$, 小者 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 。一般长约百米, 宽数十米。石榴黑云变粒岩中的榴辉岩呈似层状, 其厚度仅几厘米。其围岩有二种, 一为石榴黑云二长片麻岩及石榴暗硬玉片麻岩; 另一种为胶南群邱官庄岩组的石榴黑云变粒岩及蓝晶石石英岩等。榴辉岩和围岩界限截然, 其内外接触带均无蚀变现象。且接触处的围岩既无冷凝边, 也无粒度变细现象。榴辉岩透镜体的长轴方向基本和区域片麻理平行, 个别地段可见榴辉岩呈指状插入围岩。榴辉岩已普遍片麻理化, 其片麻理产状和围岩线理产状基本一致。榴辉岩内可看出两期强烈的褶皱变形, 早期的褶皱变形面为榴辉岩内成分条带面, 褶皱形态为紧闭褶皱。

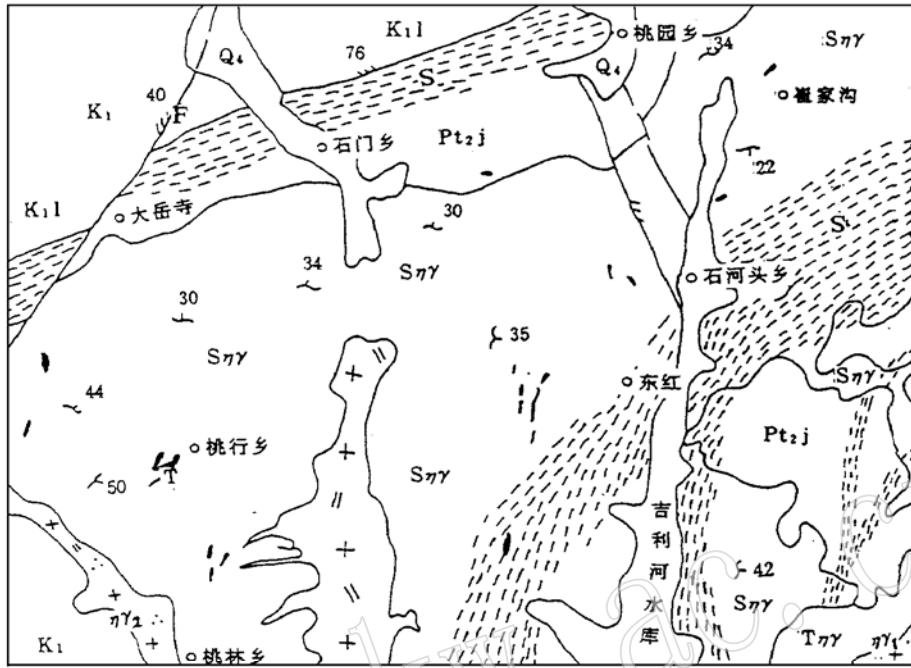


图1 山东榴辉岩分布略图

Fig. 1 Schematic map showing distribution of eclogites in Shandong

Q- 第四系; K₁- 白垩系; Pt_{2j}- 是元古代胶南群; r₁- 燕山期二长花岗岩; r₂- 燕山期石英二长花岗岩;
T₇₇- 加里东期二长花岗岩; S₇₇- 晋宁期二长花岗岩; T- 榴辉岩; S- 糜棱岩带; F- 脆形断裂; H- 产状

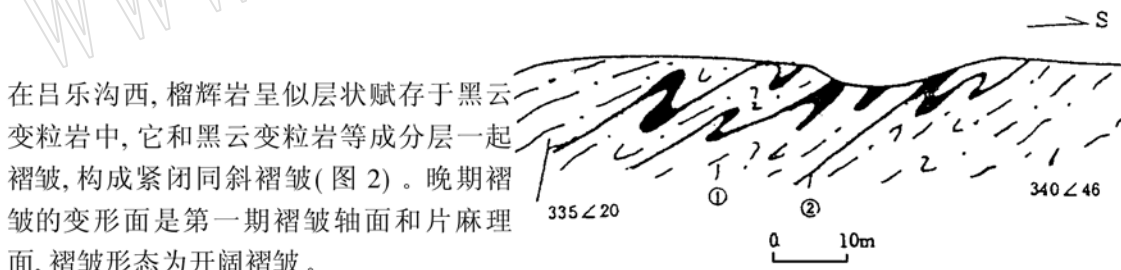


图2 榴辉岩早期褶皱形态示意图

Fig. 2 Early fold form of eclogites

1- 石榴黑云变粒岩; 2- 榴辉岩

在吕乐沟西, 榴辉岩呈似层状赋存于黑云变粒岩中, 它和黑云变粒岩等成分层一起褶皱, 构成紧闭同斜褶皱(图2)。晚期褶皱的变形面是第一期褶皱轴面和片麻理面, 褶皱形态为开阔褶皱。

2 榴辉岩岩石学特征

榴辉岩呈翠绿带暗红色, 致密块状、条带状及片麻状构造, 中粗粒—中细粒等粒变晶结构。岩石呈块状时, 主要矿物石榴石和绿辉石均匀分布, 且二者含量大致相等; 呈条带状时, 主要矿物石榴石和绿辉石二者含量互为消长渐变过渡, 最后分别富集成条带。由于主要矿物含量不同, 构成一系列过渡类型岩石, 如含石榴绿辉岩、含绿辉石榴石岩等。由于退变质作用, 形成角闪榴辉岩、石榴角闪岩、钠长角闪岩等。从榴辉岩透镜体的边部到中央, 斜长角闪岩逐渐过渡到榴辉岩。镜下榴辉岩呈粒状、柱状变晶结构及指状结构, 主要矿物为石榴石和绿辉石, 还可出现不等的石英、斜长石、角闪石、多硅白云母、蓝晶石及金红石、钛铁矿等。其中石榴石呈粒状, 粒径0.4—0.6mm, 玫瑰红色正高突起, 均质体。据电子探针分析结果计算, 其镁铝榴石(pyrr)含量在12%—53mol%之间, 多集

中于 20%—40mol% 之间, 铁铝榴石含量在 40%—50mol% 之间。绿辉石呈柱状, 浅绿—无色的多色性, 辉石式解理, 斜消光, $N_g \wedge C = 38^\circ$ 。据电子探针分析结果计算, 其硬玉分子含量多在 30%—40mol% 之间, 最高可达 50mol%。在榴辉岩的石榴石中可见有柯石英假象, 主要由多晶石英集合体构成, 且具张裂构造。

本区的榴辉岩经历了两期退变质作用。在显微镜下可见到角闪石和斜长石组成石榴石和绿辉石的后成合晶结构。而绿泥石沿角闪石的边部生长, 黝帘石和钠长石组成斜长石的假象。可以看出, 榴辉岩所经历的三期变质作用的矿物共生组合为:

第一期: $\text{Grt} + \text{Omp} + \text{Rut} \pm \text{Cos} \pm \text{ky}$;

第二期: $\text{Pl} + \text{Amp} + \text{Q} \pm \text{Pg}$;

第三期: $\text{Chl} + \text{Ep} + \text{Ab} + \text{Q}$

3 榴辉岩地球化学特征

本区榴辉岩岩石化学成分显示它相当于基性岩类 (表 1)。 SiO_2 含量 42.69%—47.84%, TiO_2 含量为 0.28%—2.62%, 一般在 1%—2%, 与世界各地榴辉岩相比, TiO_2 含量偏高, Na_2O 含量一般在 1.84%—4.37% 之间; K_2O 一般在 0.11%—1.90%, $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ 显示出具正变质特征, 在 $(\text{al} + \text{fm}) - (\text{c} + \text{alk}) - \text{si}$ 图解中, 本区榴辉岩均落入正变质岩区及附近。在 $\text{La}/\text{Yb} - \text{REE}$ 图解中多落入正变质岩区。

榴辉岩稀土元素总量一般在 $40 - 100 (\times 10^{-6})$ 之间, 样品 (D304—10GS2) 稀土元素总量较高, 达 199.8×10^{-6} (表 2)。稀土元素配分曲线 (图 3), $\text{LREE}/\text{HREE} = 2.82 - 7.40$, 显示出轻稀土元素相对富集、重稀土元素亏损的分馏型, Eu 异常不明显, $\text{Eu} = 0.92 - 1.07$, Eu/Sm 值在 0.31—0.46 之间, 与玄武岩的 Eu/Sm 值相当。稀土配分型式与大陆拉斑玄武岩及洋岛玄武岩相当。在 $\text{La}/\text{Yb} - \text{REE}$ 图解中多落入拉斑玄武岩区。 Y/Nb 值在 1.6—5.0 之间, 也显示具拉斑玄武岩的特征。在 $\text{Cr} - \text{Y}$ (图 6) 及 $\text{Ni} - \text{Y}$ 图解 (图 7) 中本区榴辉岩均落入岛弧玄武岩区。

表 1 榴辉岩岩石化学成分

Table 1 Petrochemical compositions of eclogites

序号	岩体名称	样品原号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O^+	CO_2	H_2O^-	总量
1	桃行	P ₁₁ —2GS ₁	46.66	0.28	15.14	3.48	7.82	0.24	7.47	10.39	3.84	0.55	0.24	0.14		0.30	99.99
2	桃行	P ₁₁ —6GS ₁	47.81	0.44	16.87	4.05	10.22	0.25	6.43	10.29	2.32	0.18	0.05	0.65		0.16	99.78
3	下六谷	2S ₅₀	47.55	2.29	16.06	2.50	11.01	0.26	6.84	9.06	3.14	0.43	0.32	0.44	0.06		99.96
4	吕乐沟	2S ₇₀	46.73	1.75	15.61	1.92	11.51	0.31	7.34	9.64	2.81	0.53	0.47	0.42	0.17	0.80	99.21
5	上崔家沟	D304—10GS ₁	47.84	1.46	15.01	6.39	5.75	0.22	6.29	8.78	2.93	1.16	0.24	2.51		1.06	99.64
6	上崔家沟	D304—10GS ₂	45.15	2.62	13.12	7.10	10.05	0.31	5.80	10.06	3.02	0.86	0.29	1.16		0.18	99.72
7	上崔家沟	D304—10GS ₁	42.69	0.94	20.15	2.69	11.87	0.25	5.51	10.90	2.39	0.33	1.13	0.82		0.27	99.94
8	上崔家沟	D304—10GS ₂	46.41	0.85	17.19	2.12	12.24	0.36	7.16	10.29	2.87	0.11	0.21	0.31		0.13	100.25
9	崔家沟	D306—7GS ₁	47.52	0.99	15.68	3.27	7.89	0.16	7.84	10.78	2.30	0.61	0.17	1.77		0.56	99.54
10	崔家沟	D306—7GS ₂	47.50	0.71	17.94	1.69	12.84	0.29	6.71	9.73	1.84	0.14	0.09	0.00		0.11	99.59

中国地质大学(北京)化学分析室测试。

表2 榴辉岩稀土元素含量及特征参数

Table 2 REE contents and characteristic parameters of eclogites

序号	1	2	3	4	5	6	7	
样品号	P11-2GS ₁	D304-10GS ₁	D304-10GS ₂	D304-11GS ₁	D304-11GS ₂	D304-7GS ₁	D304-7GS ₂	
稀 土 元 素 含 量 (10 ⁻⁶)	La	9.2	11.2	30.4	15.6	7.20	15.8	2.44
	Ce	16.8	22.0	72.2	36.0	17.2	32.2	7.60
	Pr	2.0	2.8	11.4	5.6	2.0	3.4	1.56
	Nd	7.20	11.60	46.4	16.8	9.60	12.2	3.80
	Sm	1.70	3.80	11.90	5.30	3.30	3.07	2.03
	Eu	0.64	1.31	3.72	1.64	1.83	1.14	1.06
	Gd	2.05	3.60	8.80	4.80	4.22	3.72	4.00
	Tb	0.33	0.58	1.27	0.76	0.66	0.52	0.73
	Dy	2.00	3.19	6.43	4.00	4.13	3.22	4.01
	Ho	0.39	0.68	1.30	0.80	0.83	0.69	0.84
	Er	1.12	1.78	3.10	1.95	2.15	1.85	2.30
	Tm	0.17	0.26	0.42	0.27	0.30	0.28	0.27
	Yb	0.98	1.49	2.05	1.51	1.70	1.57	1.50
	Lu	0.21	0.26	0.405	0.25	0.36	0.305	0.27
Y	10.7	17.2	30.2	20.10	21.60	17.60	18.80	
ΣREE	44.88	64.55	199.79	95.32	54.98	79.96	32.68	
La/Yb	9.39	7.52	14.83	10.83	4.24	10.06	1.63	
La _N /Yb _N	6.32	5.07	10.0	6.97	3.09	6.79	1.10	
δEu	4.43	3.82	9.11	6.17	2.58	5.31	1.31	

由地质大学(北京)化学分析室测试。

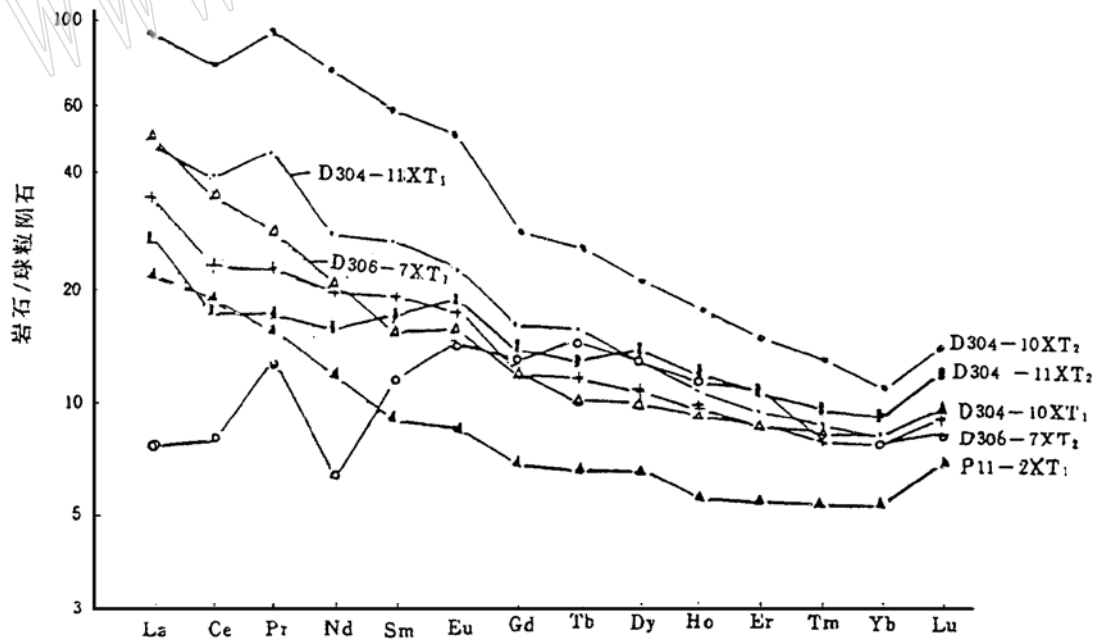


图3 榴辉岩稀土元素配分型式

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of eclogites

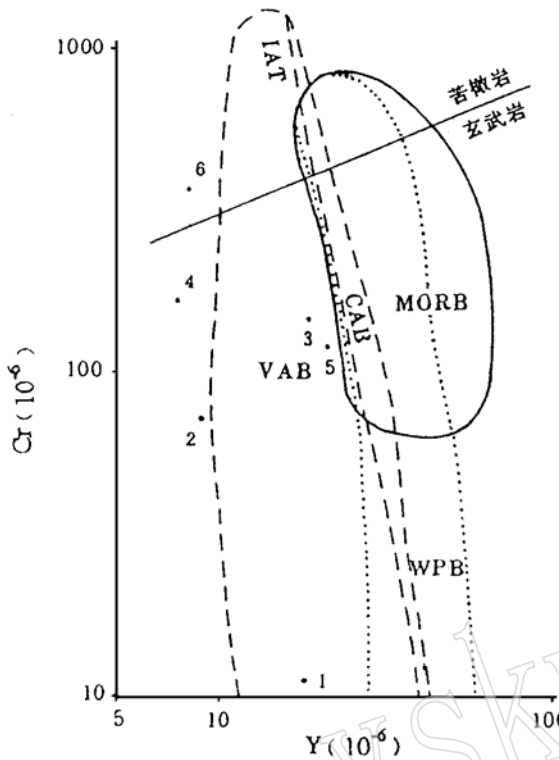


图 4 Cr-Y 图解

Fig. 4 Cr-Y diagram

VAB- 火山弧玄武岩(虚线圈定), 其内部又分为岛弧拉斑玄武岩(IAT)和碱性玄武岩(CAB); MORB- 洋中脊拉斑玄武岩(实线圈定); WPB- 板块内玄武岩(点线圈定)(据 J. A 皮尔斯, 1982)

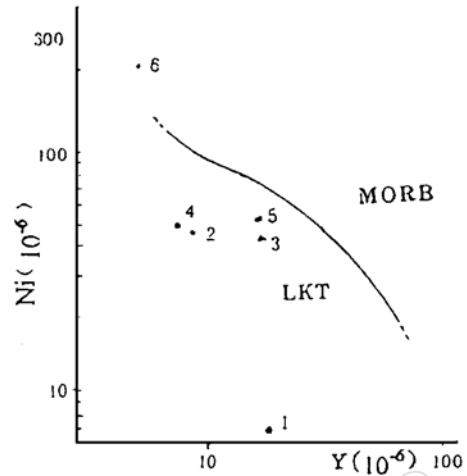


图 5 Ni-Y 图解

Fig. 5 Ni-Y diagram

MORB- 洋中脊拉斑玄武岩; LKT- 岛弧低钾拉斑玄武岩(据卡特里等人, 1980)

从以上分析可以看出, 本区榴辉岩原岩为拉斑玄武岩, 其形成环境为洋岛区。在 CaO- MgO- Σ FeO 图解中, 投影点偏离榴辉岩区(图 6a), 相当贫镁而富铁。在 CaO- Al₂O₃- (Σ FeO+ MgO) 图解中全部落入榴辉岩区(图 6b)。说明榴辉岩的原岩为岩浆晚期分异的产物。胶南地区榴辉岩中单斜辉石⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值为 0.707-0 之间(表 4), 与地壳成因的榴辉岩相一致。故本区榴辉岩原岩为地壳成因的岩浆分异晚期的洋岛拉斑玄武岩。

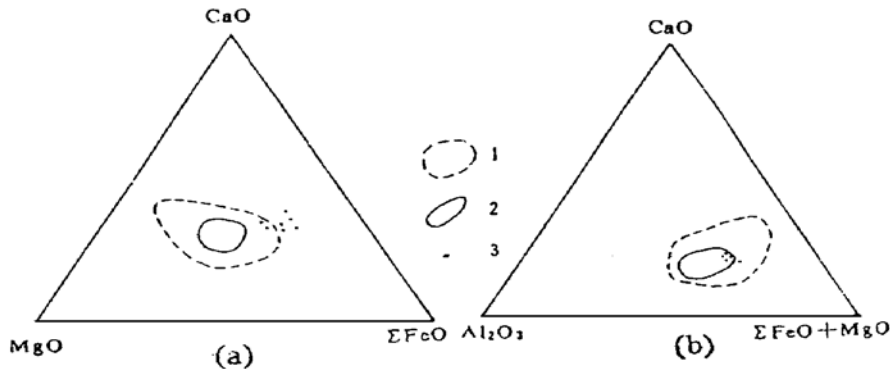


图 6 榴辉岩化学成分 CaO- MgO- Σ FeO(a) 和 CaO- Al₂O₃- (Σ FeO+ MgO)(b) 图解

Fig. 6 CaO- MgO- Σ FeO(a) and CaO- Al₂O₃- (Σ FeO+ MgO)(b) diagram of eclogites

1- 榴辉岩区; 2- 碱性榴辉岩区; 3- 本区榴辉岩投影点

表 3 胶南隆起榴辉岩微量元素含量表(10^{-6})Table 3 Contents of trace elements in eclogites from the Southern Shandong uplift(10^{-6})

	Rb	Ni	Co	Cr	V	Nb	Zr	Y	Sr
P7-2-2*	47	7	11	13	166	8	160	19	430
31-2	21	50	32	67	302	2	56	10	355
43-1	19	48	26	162	280	10	115	21	66
44-6	18	51	15	176	306	5	3	8	806
P8-9-1	23	58	29	140	275	6	121	24	399
P9-7-2	19	217	37	359	288	2	12	9	103

* 鲁东榴辉岩地质, 山东省地矿局区调队, 青岛海洋大学, 1991, 12。

表 4 胶南榴辉岩中单斜辉石的锶同位素分析结果(10^{-6})

Table 4 Sr isotope analyses of clinopyroxene from eclogites in Southern Shandong

	Rb	Sr	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
P7-2-2*	3.491	555.69	0.710189 ± 59
33-1	21.856	182.78	0.707383 ± 47
P9-7-4	12.851	196.47	0.708325 ± 97

* 鲁东榴辉岩地质, 山东省地矿局区调队, 青岛海洋大学, 1991, 12。

4 榴辉岩形成的温压条件的估算及 $P-T$ 演化趋势

从榴辉岩岩相学特征可知, 榴辉岩中石榴石可见柯石英及柯石英假象, 因此榴辉岩形成时的压力 $> 2.5\text{GPa}$ 。在有些薄片中也可见到金红石具榭石反应边, 由此可推测榴辉岩经历了下列降压反应: $\text{Grt} + \text{Rt} + \text{Cos} + \text{H}_2\text{O} = \text{Czo} + \text{Spi}$ 。下面利用石榴石和绿辉石的电子探针分析结果, 对榴辉岩的温压条件进行估算。

榴辉岩中石榴石和绿辉石的化学成分及参数分别列于表 5 及表 6。利用 Ellis 和 Green (1979) 及 Krogh (1988) 的石榴石-单斜辉石温度计^[5], 结合 Ghent 等 (1988) 的辉石中硬玉分子压力计^[8]:

$$O = -86 + 7.73T - 0.406P(\text{bar}) + RT \ln a_{\text{jd}} \quad (\text{其中 } R = 1.987)$$

得本区榴辉岩形成的温压条件为 $T = 788.35\text{ }^\circ\text{C}$, $P = 1.415\text{GPa}$ (表 7, 11 个样品平均)。榴辉岩在经受主期的变质作用后, 又经历了退变质作用, 其中 $\text{Omp} = \text{Amp} + \text{Ab}$ 这一退变质反应, 几乎在所有榴辉岩中均可见到。在有些蓝晶榴辉岩中, 可见蓝晶石(Ky)具钠云母的退变边。因此可作出本区榴辉岩形成演化的 $P-T$ 趋势(图 7)。

表 5 榴辉岩中石榴石电子探针分析结果

Table 5 Electron microprobe analyses of garnets from eclogites

	304- 10b ₂	304- 11b ₃	92- 1	92- 2	92- 3	92- 4	92- 5	92- 6	92- 7	92- 8	94
SiO ₂	39.08	38.80	39.260	39.718	39.783	39.660	39.422	39.836	39.529	39.380	38.63
TiO ₂	0.18	-	0.000	0.007	0.000	0.012	0.038	0.057	0.009	0.009	0.000
Al ₂ O ₃	22.31	21.79	22.502	22.551	22.650	22.669	22.383	22.747	22.518	22.212	22.420
FeO	20.98	23.53	18.290	18.376	18.470	19.177	18.714	18.257	18.285	18.305	20.550
MnO	0.34	0.38	0.276	0.197	0.319	0.197	0.218	0.318	0.284	0.295	0.370
MgO	5.67	6.10	10.907	10.264	10.295	10.034	10.148	10.628	10.946	9.975	8.150
CaO	11.17	8.68	8.772	8.905	8.152	8.263	8.467	8.718	8.504	9.765	9.440
Na ₂ O	0.14	0.37	0.007	0.023	0.000	0.011	0.008	0.010	0.000	0.019	0.090
K ₂ O	-	0.06	0.019	0.031	0.000	0.023	0.000	0.032	0.000	0.000	0.010
Cr ₂ O ₃	0.07	0.17	0.040	0.000	0.160	0.000	0.130	0.020	0.056	0.000	0.000
NiO	0.06	-	0.029	0.000	0.000	0.080	0.036	0.042	0.016	0.000	0.270
合计	100.00	99.71	100.088	100.071	99.828	100.127	99.564	100.666	100.147	99.960	99.930

以 12 个氧原子计算的阳离子数

Si ⁴⁺	2.999	2.994	2.9518	2.984	2.991	2.9835	2.9810	2.9730	2.9660	2.9730	2.9530
Ti ⁴⁺	0.010	0.004	0.000	0.0005	0.0000	0.0005	0.0002	0.0030	0.0005	0.0005	0.0000
Al ³⁺	2.018	2.025	1.9953	1.997	2.0075	2.010	1.9950	2.0010	1.9915	1.9765	2.0197
Fe ³⁺	0	0.006	0.0504	0.017	0.0000	0.0065	0.0130	0.0220	0.0385	0.0500	0.0263
Fe ²⁺	1.346	1.145	1.1001	1.1375	1.1615	1.2000	1.1705	1.1175	1.1090	1.1050	1.2874
Mn ²⁺	0.022	0.013	0.0176	0.0125	0.0205	0.0125	0.0140	0.0200	0.0180	0.0190	0.0239
Mg ²⁺	0.649	1.123	1.2233	1.1495	1.1540	1.1250	1.1440	1.1825	1.2245	1.1225	0.9291
Ca ²⁺	0.918	0.665	0.7069	0.7170	0.6570	0.6660	0.6860	0.6970	0.6835	0.7900	0.7730
Na ⁺	0.021	0.026	0.0005	0.0035	0.0000	0.0015	0.0010	0.0015	0.0000	0.0030	0.0138
K ⁺	0	0	0.0018	0.0030	0.0000	0.0002	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000	0.0009
Cr ³⁺	0.004	0	0.0025	0.0000	0.0090	0.0000	0.0080	0.0010	0.0035	0.0000	0.0000
Ni ²⁺	0.004	0	0.002	0.0000	0.0000	0.0050	0.0020	0.0025	0.0010	0.0000	0.0165
$\frac{Mg}{Mg+Mn+Fe^{2+}}$	0.322	0.492	0.5226	0.499	0.4940	0.4813	0.4913	0.5097	0.5207	0.4996	0.4147

中国地质大学(北京)化学分析室测试。

表 6 绿辉石电子探针分析结果

Table 6 Electron microprobe analyses of omphacite

	304- 11b ₂	304- 11b ₃	92- 1	92- 2	92- 3	92- 4	92- 5	92- 6	92- 7	92- 8	94
SiO ₂	55.24	57.17	54.470	53.424	54.361	54.409	54.325	54.454	54.283	54.328	54.690
TiO ₂	0.13	0.32	0.067	0.090	0.037	0.084	0.066	0.080	0.009	0.029	0.110
Al ₂ O ₃	7.35	11.09	8.952	9.308	9.100	9.207	8.773	9.368	8.859	9.334	10.210
FeO	6.28	4.42	3.639	3.431	3.267	3.285	3.372	3.360	3.384	3.415	4.280
MnO	0.20	0.17	0.036	0.000	0.000	0.012	0.000	0.040	0.068	0.020	0.010
MgO	9.15	6.99	10.406	10.415	10.415	10.317	10.378	10.466	10.298	9.220	8.820
CaO	16.73	12.33	15.981	15.620	16.062	16.264	16.059	16.100	16.042	16.264	15.000
Na ₂ O	4.78	7.67	5.029	5.067	5.093	5.123	5.114	5.328	5.228	5.141	4.820
K ₂ O	0.05	0.01	0.000	0.005	0.000	0.005	0.000	0.005	0.000	0.005	0.000
Cr ₂ O ₃	0.07	-	0.042	0.068	0.100	0.005	0.021	0.094	0.036	0.079	0.170
NiO	-	-	0.091	0.062	0.039	0.000	0.071	0.023	0.055	0.000	0.000
合计	100.59	100.17	98.732	97.491	98.473	98.712	98.179	99.316	98.262	98.835	98.710

以氧原子数为 6 计算的阳离子数

Si ⁴⁺	1.954	2.026	1.9737	1.9590	1.9718	1.9695	1.9780	1.9622	1.9760	1.9658	1.9850
Ti ⁴⁺	0	0.009	0.0017	0.0025	0.0010	0.0003	0.0018	0.0023	0.0003	0.0008	0.0029
Al ^{IV}	0.046	0	0.0263	0.0410	0.0282	0.0305	0.0220	0.0378	0.0240	0.0342	0.0150
Al ^{VI}	0.433	0.463	0.3560	0.3615	0.3608	0.3623	0.3545	0.3600	0.3733	0.3638	0.4221
ΣFe ²⁺	0.139	0.131	0.1102	0.1053	0.0990	0.0995	0.1028	0.1013	0.0955	0.1033	0.1299
Mn ²⁺	0.002	0	0.0011	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0013	0.0000	0.0005	0.0000
Mg ²⁺	0.431	0.369	0.5623	0.5693	0.5630	0.5568	0.5633	0.5620	0.5503	0.5513	0.4775
Ca ²⁺	0.551	0.468	0.6209	0.6318	0.6243	0.6308	0.6265	0.6213	0.6408	0.6305	0.5834
Na ²⁺	0.432	0.527	0.3532	0.3603	0.3583	0.3595	0.2408	0.3720	0.3480	0.3608	0.3390
K ⁺	0	0	0.0000	0.0003	0.0000	0.0003	0.0000	0.0003	0.0000	0.0003	0.0000
Cr ³⁺	0.004	0	0.0012	0.0020	0.0026	0.0003	0.0005	0.0028	0.0035	0.0023	0.0047
Ni ⁺	0.007	0	0.0022	0.0018	0.0009	0.0000	0.0020	0.0008	0.0015	0.0000	0.0000
$\frac{Na}{Ca+Na^{2+}}$	0.439	0.530	0.3626	0.3632	0.3646	0.3630	0.2781	0.3745	0.3491	0.3640	0.3675
$\frac{Al^{VI}}{Al^{VI}+Fe}$	0.757	0.779	0.7636	0.7744	0.7867	0.7845	0.7752	0.7804	0.7963	0.7788	0.7729

由中国地质大学(北京)化分室测试。

表 7 榴辉岩形成温压条件估算

Table 7 Estimated P-T conditions for the formation of eclogites

样号	(Fe ²⁺ /Mg ²⁺) ^{Gt}	(Fe ²⁺ /Mg ²⁺) ^{Cpx}	X _{Gt} ^{Gt}	Jd ^{Cpx}	温压条件			
					T ₁ [*] (°C)	P ₁ (Gpa)	T ₂ (°C)	P ₂ (Gpa)
304- 10b ₂	2.07	0.245	0.315	0.428	760.5	1.519	853.9	1.438
304- 11b ₃	2.03	0.355	0.252	0.488	822.4	1.681	780.1	1.575
92- 1	0.899	0.196	0.233	0.387	874.3	1.632	783.0	1.008
92- 2	0.99	0.185	0.239	0.356	826.1	1.518	628.1	1.141
92- 3	1.006	0.176	0.221	0.358	789.5	1.469	644.5	1.177
92- 4	1.067	0.179	0.223	0.358	763.2	1.454	625.5	1.152
92- 5	1.023	0.183	0.229	0.271	797.9	1.336	729.4	1.290
92- 6	0.954	0.180	0.233	0.359	827.3	1.524	529.0	1.013
92- 7	0.906	0.174	0.227	0.351	804.3	1.480	895.3	1.488
92- 8	0.984	0.187	0.262	0.360	869.1	1.583	895.3	1.552
94	1.386	0.272	0.259	0.363	860.6	1.577	868.0	1.515

* T₁—Ellies(1979); T₂—Krogh, 1983; P—Ghent, 1986。

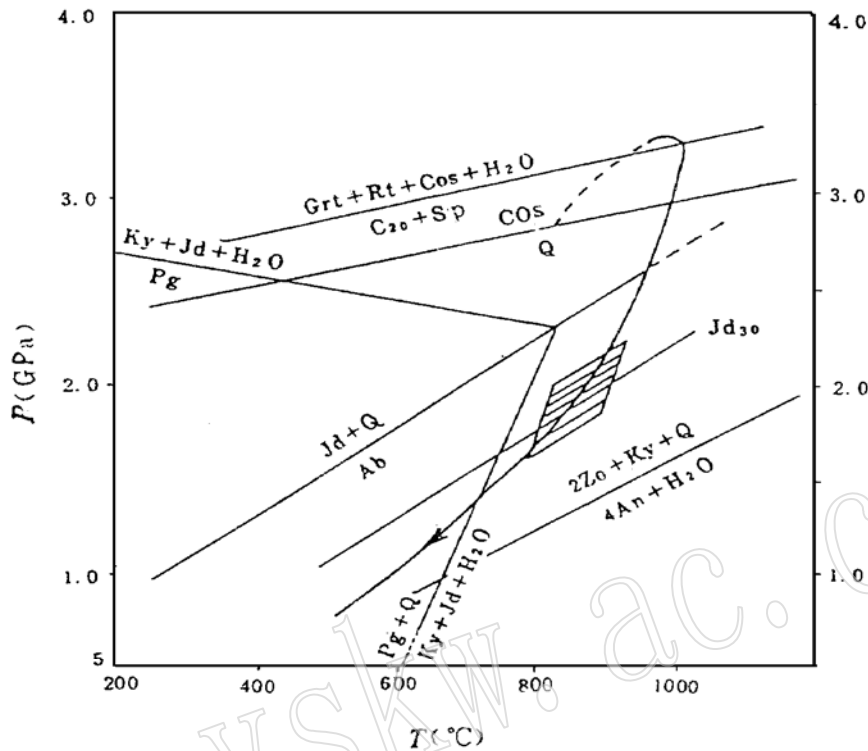


图 7 山东石门—理务关地区榴辉岩演化的 P - T 趋势

Fig 7 P - T trend map for evolution of eclogites in Shimen-Liwuguan area of Shandong
 矿物代号: Crt- 石榴石; Jd- 硬玉; Cos- 柯石英; Sp- 榍石; Rt- 金红石; Czo- 斜黝帘石; Ky- 蓝晶石; Pg- 钠云母; An- 钙长石

5 榴辉岩形成时代讨论

胶南隆起区榴辉岩形成时代是各家研究者争论的问题之一。叠宝良(1987), 李曙光(1989)等^[2]认为大别—苏北—胶南榴辉岩形成于海西—印支期(211Ma)。杨建军(1987)认为区内“榴辉岩类的形成和重结晶作用是多次发生的, 时间上跨度很大(266—51Ma); 以重结晶改造作用为主”。笔者则认为, 胶南—诸城一带的榴辉岩形成于中—晚元古代, 可能为晋宁运动早期的产物。主要依据为: (1) 榴辉岩赋于中元古代变质地层和变质的晋宁期二长花岗岩中, 而在中生代地层和岩体中则无榴辉岩, 且这些中生代地层均没有经历变质作用, 说明它不是中生代及其以后的产物; (2) 榴辉岩在中元古界胶南群中呈似层状, 其产状和围岩协调一致; 在花岗质片麻岩中则呈透镜状包体出现, 其长轴和区域片麻理走向一致, 有些地段可见到围岩片麻理绕开榴辉岩通过, 在万家沟北可见花岗质片麻岩呈脉状穿入榴辉岩之中, 说明榴辉岩的形成应早于花岗质片麻岩。该区花岗质片麻岩形成年龄为 862—831Ma; (3) 榴辉岩经历的变形作用和胶南群经历的变形作用一样; (4) 榴辉岩的围岩经历了三次变形作用, 前两期为高压变质作用, 即第一期为榴辉岩相, 第二期为角闪岩相, 第三期为绿片岩相, 而榴辉岩也经历了相

同的三期变质作用,其后两期则为退变质作用。它和围岩变质作用的温压条件则是基本一致的。

上述资料说明,本区榴辉岩形成时代应和其围岩之一—胶南群中榴辉岩相变质作用时代相当;花岗质片麻岩则为晋宁期原地或半原地深熔型花岗岩。

6 榴辉岩成因探讨

榴辉岩的成因也是研究榴辉岩的学者们探讨的问题之一。综合国内外资料,主要有两种观点:一种认为榴辉岩与围岩—片麻岩一起经过高温高压变质作用形成的,即“原地变质模式”(Brghni, 1970; Graffinetal, 1985; 张儒缓, 1993);另一种则认为,榴辉岩形成于上地幔(Lappin和Smith, 1978, 1981)或其它源区之后在构造变动过程中挤入到片麻岩内,即“外来挤入模式”,对于诸城地区榴辉岩的成因,许多学者都认为“是由洋壳物质俯冲于一定深度发生变质作用转变而来的”。笔者通过研究,认为榴辉岩的成因应为原地变质而成,主要依据有:(1)该区榴辉岩一部分呈似层状赋存于原地深熔而形成的二长花岗岩(二长片麻岩)中,二长花岗岩的原岩也可能为原胶南群地层;(2)榴辉岩的原岩为拉斑玄武岩,可能为大陆拉斑玄武岩,也可能为岛弧拉斑玄武岩;(3)榴辉岩及其围岩经历了同样的高温高压变质作用;(4)榴辉岩及其围岩都经历了同样的两次退变质作用,其温压条件也大体相同。

参 考 文 献

- 1 刘晓春,胡克.超高压变质作用.地质科技情报,1991,3(1):45-52.
- 2 李曙光等.中国华北、华南陆块碰撞时代的钐-钕同位素年龄证据.中国科学,B辑,1989,312-319.
- 3 杨建军.苏鲁榴辉岩及其有关超基性岩.北京:地质出版社,1991.
- 4 张儒缓等.苏鲁超高压变质地体及其成因解释.岩石学报,1993,9(3):21-22.
- 5 Ellis and Green. An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange thermometer equilibria. Contrib Mineral Petrol. 1979, 101: 87-103.
- 6 Ghent E D, Black P M. Eclogites and associated albite-epidote-garnet paragenesis between Yambe and Colnett, New Caledonia. J. Petrology. 1988, 28: 627.
- 7 苏尚国,王仁民等.山东诸城地区胶南群榴辉岩围岩高压变质作用特征.现代地质,1992,8(1):65-72.
- 8 苏尚国,赖兴运等.高压变质作用估算的热力学方法.地质科技情报,1994,13(2):62-68.

Petrogenesis of Eclogites in Zhucheng Area, Shandong Province

Su Shangguo, Gu Delin, Zhang Chunlin
(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Key words: petrogenesis, eclogite, Zhucheng area, Shandong Province

Abstract

The petrogenesis of eclogites scattered in gneisses on the northwestern margin of the Southern Shandong– Northern Jiangsu tectonic melange zone has been studied in this paper by petrological, mineralogical and petrochemical methods. Through our study, we have reached the conclusion that the protolith of eclogite is tholeiite formed in an island-arc environment.

Geothermometry and geobarometry show that the $P - T$ conditions for the formation of eclogites are T 788.35 °C and P 2.5 GPa. The formation of the eclogites is related to the subduction collision orogeny between the North China and the Yangtze plate.