

山东大疃榴辉岩和石榴透辉石岩的成因

周秀仲

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京 100037)

主题词 榴辉岩 石榴透辉石岩 成因 大疃

提 要 山东大疃迟家店石榴二辉橄榄岩中榴辉岩与石榴透辉石岩呈过渡关系,前者位于中心,后者为边缘带。在边缘带的透辉石中出现不规则状和条纹状绿辉石。通过对两类岩石的岩石学、矿物学特征及岩石平衡温压条件的研究,并与国内外不同地区、不同产状同类岩石进行了对比后认为,二者的关系虽然基本符合常见的蚀变规律,即中心的榴辉岩中绿辉石蚀变成透辉石,从而形成石榴透辉石岩边缘带,但是根据榴辉岩、石榴透辉石岩的 REE 特征和岩石平衡温压条件的分析,结合近年来国外一些学者的实验研究证明,榴辉岩可以由玄武质岩石(如辉长岩)转变而来,石榴透辉石岩是转变过程中的产物,即在高温下 Jd 和 Di 呈混合的二元系,来自上地幔的玄武质岩石由于压力增高 Jd 成分增加,经固溶体分离,在透辉石中形成绿辉石。由于压力再增高, Jd 成分继续增加,逐渐形成绿辉石,从而形成榴辉岩。无论哪种解释,两种岩石的原岩是相同的,应来自上地幔,属地幔成因。

山东荣成大疃地区与超基性岩伴生或直接产于其中的榴辉岩多处可见。迄今为止,据已报道资料统计,各研究者都认为大疃迟家店石榴二辉橄榄岩中主要是绿辉石+石榴石组成的榴辉岩,个别为呈夹层状的石榴透辉石岩[●],日照梭罗树超基性岩中主要为石榴透辉石岩。大多数研究者认为,上述榴辉岩、石榴透辉石岩是地幔成因,但对二者的物质来源看法不同,特别是对同一地点两种岩石的关系,有的认为二者物质来源不同,有的则认为石榴透辉石岩是由榴辉岩蚀变而成。笔者在迟家店石榴二辉橄榄岩中发现有榴辉岩与石榴透辉石岩呈过渡关系,岩体中心为榴辉岩,边缘逐渐过渡为石榴透辉石岩,而且透辉石中有不规则状的绿辉石和条纹状成分介于绿辉石和透辉石之间的单斜辉石。本文将重点对大疃地区迟家店石榴二辉橄榄岩中的榴辉岩及其边缘带的石榴透辉石岩的岩石学、矿物学特征,二者的关系及成因进行讨论,并对日照梭罗树超基性岩中的石榴透辉石岩和荣成片麻岩中的有关榴辉岩作初步讨论,以资对比。

1 地质产状及岩石学特征

1.1 地质产状

荣成大疃地区的超基性岩与榴辉岩大多呈透镜状、似层状产于胶东群片麻岩中,有些榴

● 按 J. B. Dawson(1980)广义的榴辉岩定义,将绿辉石+石榴石和透辉石+石榴石二矿物岩统称为榴辉岩。本文为叙述方便,按狭义榴辉岩定义,前者称榴辉岩,后者称石榴透辉石岩。

本文于 1995 年 10 月收到,1995 年 12 月改回。

辉岩直接产于超基性岩中。该区超基性岩主要是石榴二辉橄榄岩。榴辉岩(D5-1)和石榴辉石岩(D5-2)呈透镜状出露于石榴二辉橄榄岩(D4-2)中,位于荣成大疃地区以北迟家店村西北方约200—300m处(图1)。

迟家店榴辉岩出露长数米,宽0.5—2m,向边缘过渡为石榴透辉石岩,后者与石榴二辉橄榄岩的界线清楚。

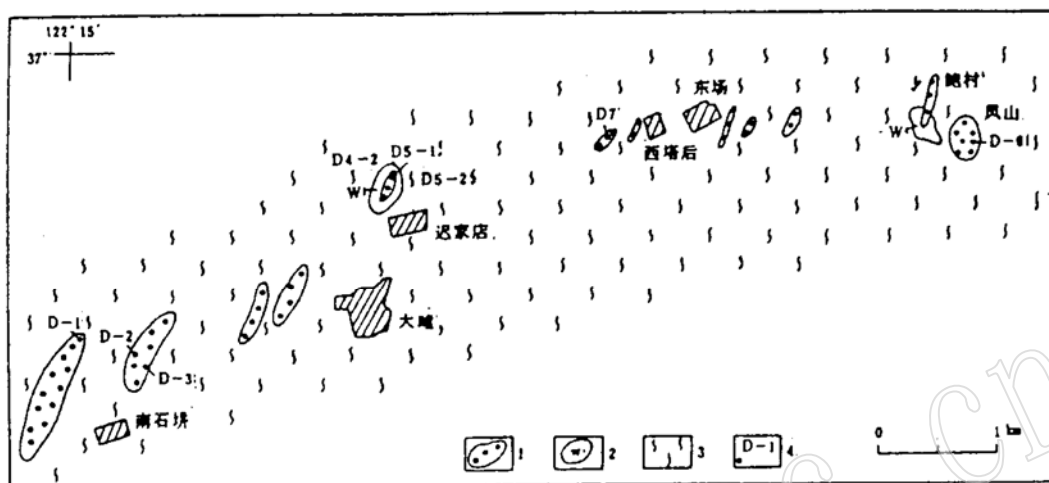


图1 荣成大疃地区榴辉岩、超基性岩的分布
(据山东省地矿局区域地质调查队地质图简化,1992年)

Fig. 1 Distribution of eclogite and ultrabasic rocks in Datian area, Rongcheng county

1—榴辉岩;2—超基性岩;3—片麻岩;4—样品号及采样地点

梭罗树石榴透辉石岩(S2-1), S2-2), 位于日照梭罗树村以西约1.5km的胡子山上。呈团块状、间层状等与超基性岩伴生。超基性岩已完全蚀变成蛇纹岩。构造上属于由胶南群大山沟组、甄家沟组构成的梭罗树背斜之鸽子山—滑石击向斜轴部^[1]。

荣成大疃地区片麻岩中榴辉岩分布广泛,以北石坪(D-2)和滕家南巷(T-1)为例,榴辉岩呈透镜状、夹层状等出露于胶东群及相当地层中^[2]。大部分榴辉岩与围岩产状相同,透镜体和夹层的延伸方向与片麻理走向一致。

1.2 岩石学特征

大疃迟家店石榴二辉橄榄岩(D4-2)呈黑灰色,具块状构造,中—粗粒结构,粒径0.2—0.5mm。主要组成矿物有橄榄石(70%—80%),已强烈蚀变为蛇纹石,仅保留少量橄榄石残晶(照片1)。石榴石(20%—25%),单斜辉石和斜方辉石少量。斜方辉石蚀变为绢石,可见有原生矿物的残留(照片2)。

石榴二辉橄榄岩中的榴辉岩(D5-1)和石榴透辉石岩(D5-2)具块状构造,中—粗粒变晶结构,石榴石和辉石变形拉长而略呈定向排列(照片3)。颗粒长约0.5—2mm。榴辉岩呈深绿褐色,主要由绿辉石和石榴石组成,金红石、石英等少量。边部的石榴透辉石岩颜色变浅,带蓝绿色调,石榴石含量由中心的40%—50%增至边部的50%—60%。榴辉岩和石榴透辉石岩均经受过较强的退化变质作用。沿绿辉石、透辉石的边缘、裂隙生成由纤维状、蠕虫状绿泥石、石英和绿帘石等组成的后成合晶,在透辉石和石榴石中常包裹石英集合体。

梭罗树蛇纹岩体中的石榴透辉石岩,具块状构造、斑状变晶结构,变斑晶为石榴石,粒径可达2—5mm,含量变化较大,10%—30%不等。基质为他形粒状的石榴石、透辉石,粒径0.05—

0.2mm(照片4)。主要组成矿物有石榴石、透辉石,含少量尖晶石、钛铁矿等。

大疃北石坪和滕家南巷片麻岩中榴辉岩具块状、条带状或条纹状构造,他形一半自形粒状变晶结构。主要组成矿物有石榴石(30%—50%),绿辉石(40%—60%),金红石、石英等(少量),有的含蓝晶石(T-1)、柯石英(假象)(D-2)。岩石强烈蚀变,蚀变产物有绿泥石、闪石等,与石英、绿帘石构成后成合晶。

1.3 岩石化学特征

不同地区、不同产状的榴辉岩、石榴透辉石岩和石榴石二辉橄榄岩的岩石化学分析结果列于表1。

表1 榴辉岩、石榴透辉石岩、石榴二辉橄榄岩代表性样品化学分析结果

Table 1 Chemical analyses of representative samples of eclogite, garnet diopsidite and garnet lherzolite

序号 样号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		D5-1	Ec2-2	D5-2	Cp-1	S2-1	D-1	Ec13-1	Ec2-1	Ec2-4
REE										
SiO ₂	46.12	46.40	48.66	42.51	46.80	48.41	46.52	39.62	41.82	45.01
TiO ₂	0.92	0.27	0.34	1.03	1.78	1.41	1.68	0.14	0.14	0.20
Al ₂ O ₃	14.76	17.95	16.67	16.14	6.91	15.83	13.95	2.96	3.48	4.59
Fe ₂ O ₃	3.86	0.44	3.77	2.06	1.96	4.35	0.69	6.09	5.46	
FeO	7.55	8.28	3.77	10.08	5.58	8.37	11.80	2.20	3.29	7.88
MnO	0.25	0.16	0.11	0.33	0.13	0.18	0.21	0.11	0.13	0.20
MgO	10.85	13.02	12.35	16.70	13.99	5.74	6.96	36.46	35.12	38.02
CaO	11.93	11.51	12.34	8.55	21.15	10.57	12.40	1.57	1.87	3.09
Na ₂ O	2.61	1.24	2.16	0.55	0.48	4.87	1.20	0.28	0.17	0.40
K ₂ O	0.08	0.24	0.03	0.03	0.09	0.04	0.28	0.00	0.20	0.02
P ₂ O ₅	0.14	0.05	0.02	0.71	0.02	0.10	0.04	0.05	0.08	0.02
H ₂ O ⁺	0.38	0.28	0.34	0.00	0.44	0.36	1.10	10.83	8.71	0.30
CO ₂	0.19	0.08	0.09	烧失 1.52	0.16	0.16	3.04	0.12	0.24	0.10
总计	99.64	100.81	100.65	100.28 [*]	99.49	100.39	99.87	100.43	100.71	99.83
岩石类型	榴辉岩		石榴透辉石岩			榴辉岩		石榴二辉橄榄岩		平均地幔岩
产状	超基性岩中					片麻岩中				
产地	大疃迟家店			大疃 梭罗树		大疃 滕家集		大 疃		

1、3、5、6—国家地质测试中心分析;2、7、8、9—引自山东省地矿局区域地质调查队和青岛海洋大学1991年资料;4—引自叶凯等(1992)^[3]资料,*包括Cr₂O₃ 0.03, NiO 0.04;10—引自A. E. Ringwood(1975)^[4]资料。

由表1可看出,石榴二辉橄榄岩的主要化学成分接近(略低)于平均地幔岩^[4],MgO(35.12%—36.46%)含量高,CaO(1.57%—1.87%)、Al₂O₃(2.96%—3.48%)含量低;迟家店石榴二辉橄榄岩中的榴辉岩和石榴透辉石岩的主要化学成分相近,与石榴二辉橄榄岩相比,MgO(10.85%—16.70%)低而CaO(8.55%—12.34%)、Al₂O₃(14.76%—17.95%)高。梭罗树超基性岩中的石榴透辉石岩较迟家店的石榴透辉石明显的Al₂O₃(6.91%)低而CaO(21.15%)高。

片麻岩中的榴辉岩与超基性岩中的榴辉岩相比,MgO的含量(5.74%—6.96%)明显低。

榴辉岩、石榴透辉石岩和石榴二辉橄榄岩的稀土元素(REE)丰度($\mu\text{g/g}$)列于表 2, REE 球粒陨石标准化型式如图 2 所示。

表 2 榴辉石、石榴透辉石岩、石榴二辉橄榄岩代表性样品 REE 丰度($\mu\text{g/g}$)

Table 2 REE abundances of representative samples of eclogite, garnet diopsidite and garnet lherzolite($\mu\text{g/g}$)

序号 样号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
REE	D5-1	D5-2	Cp-1	S2-1	D-1	T-1	D4-2	Ec2-1	Ec2-4
La	6.04	0.33	24.17	2.71	9.31	25.73	0.61	1.14	0.79
Ce	11.57	1.21	40.80	7.68	15.28	54.24	1.56	2.28	1.70
Pr	1.45	0.19		1.11	1.83	7.44	0.16	0.28	0.22
Nd	8.03	1.06	18.40	8.09	7.07	29.73	0.62	0.95	0.86
Sm	2.48	0.38	4.18	2.80	2.13	6.16	0.16	0.23	0.23
Eu	1.07	0.276	1.10	1.08	0.80	1.49	0.05	0.08	0.07
Gd	3.14	0.35		3.12	2.88	7.41	0.177	0.27	0.26
Tb	0.50	0.06	0.558	0.47	0.53	0.63	0.028	0.05	0.06
Dy	3.46	0.40		1.99	2.23	3.15	0.16	0.34	0.36
Ho	0.70	0.084		0.32	0.70	0.61	0.028	0.08	0.08
Er	2.00	0.219		0.68	1.83	1.69	0.092	0.21	0.21
Tm	0.28	0.079		<0.10	0.25	0.21	0.014	0.03	0.03
Yb	1.85	0.252	1.81	0.37	1.64	1.32	0.099	0.20	0.20
Lu	0.26	0.04	0.261	<0.10	0.26	0.20	0.016	0.03	0.03
ΣREE	42.83	4.89	91.28	30.62	47.74	140.01	3.774	6.17	5.10
ΣLREE	30.64	3.45	88.65	23.47	36.42	124.79	3.16	4.96	3.87
ΣHREE	12.19	1.43	2.63	7.15	11.32	15.22	0.614	1.21	1.23
δEu	1.17	2.31		1.20	0.99	0.67	0.91	0.98	0.87

注: 1、2、4、5、6、7—由国家地质测试中心分析(等离子质谱法); T-1—滕家南巷片麻岩中榴辉岩; D4-2—大疃地区迟家店石榴二辉橄榄岩; 其余样品号、岩石类型、产状、产地及资料来源等同表 1。

由表 2、图 2 可见, 石榴二辉橄榄岩(D4-2、Ec2-1、Ec2-4)的 REE 丰度低于原始地幔, 显示出(LREE)较富集的近平坦型 REE 分配型式。

不同地区不同产状的榴辉岩、石榴透辉石岩的 REE 球粒陨石标准化型式不同。大疃地区迟家店石榴二辉橄榄岩中的榴辉岩(D5-1)显示出 LREE 略富集的近平坦型 REE 分配型式, 具有不显著的正 Eu 异常。REE 丰度高于原始地幔。而榴辉岩边缘的石榴透辉石岩(D5-2), REE 丰度低于中心的榴辉岩和原始地幔, 与石榴二辉橄榄岩相近, REE 分配型式为中稀土(MREE)略富集的近平坦型, 并具有十分显著的正 Eu 异常。迟家店石榴二辉橄榄岩中的石榴透辉石岩夹层(Cp-1)的 REE 分配型式为 LREE、HREE 分异程度较高的右倾曲线, REE 丰度明显高于原始地幔、石榴二辉橄榄岩及与其伴生的榴辉岩和石榴透辉石岩。

梭罗树蛇纹岩中的石榴透辉石岩(S2-1)的 REE 分配型式为 LREE, 特别是 MREE 富集的上凸右倾曲线。

片麻岩中榴辉岩(D-2, T-1)REE 丰度均高于原始地幔且变化范围较大, 为 LREE 富集型, LREE、HREE 分异程度较高的右倾曲线。

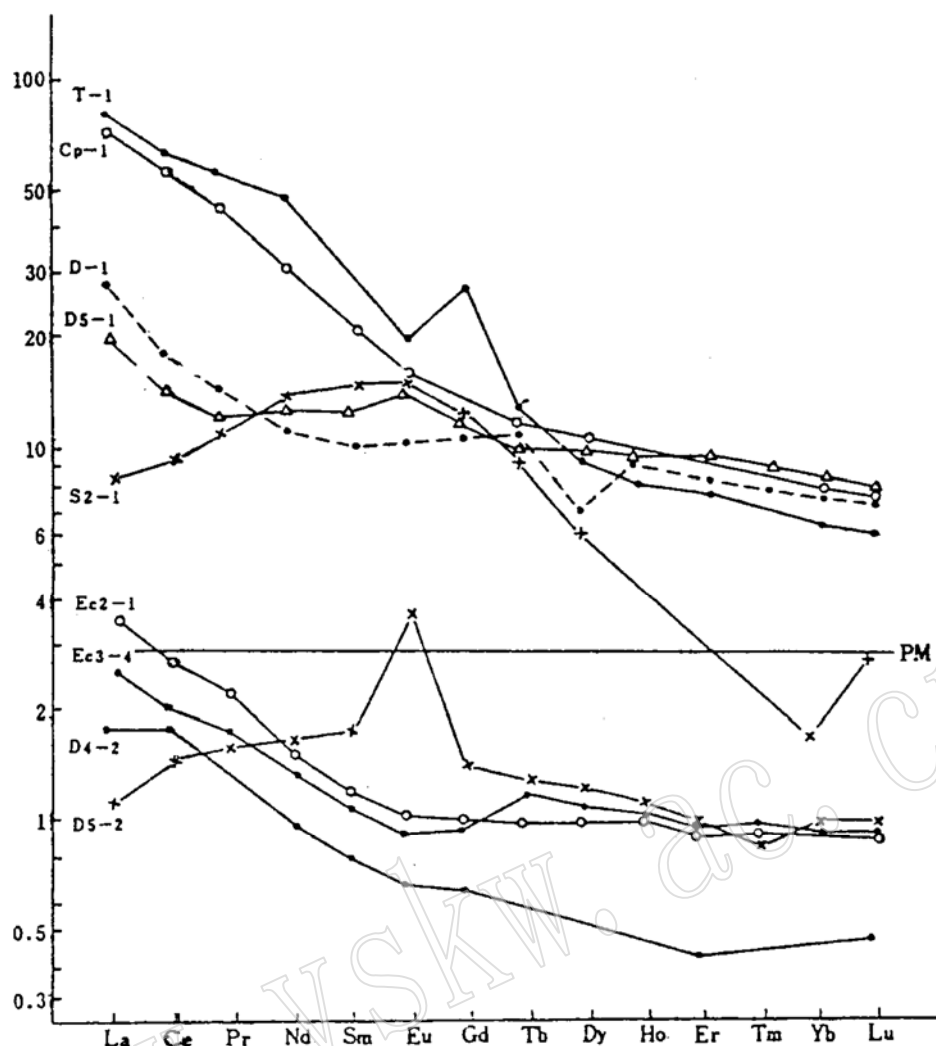


图2 榴辉岩、石榴透辉石岩和石榴二辉橄榄岩
REE 球粒陨石标准化型式

Fig. 2 Chondrite - normalized REE patterns of eclogite,
garnet diopsidite and garnet lherzolite

样品号同表2; PM—原始地幔^[5]

2 矿物学特征

大磡地区迟家店的榴辉岩、石榴透辉石岩和石榴二辉橄榄岩的主要组成矿物有绿辉石、透辉石、石榴石,石榴二辉橄榄岩中有橄榄石、斜方辉石残晶。此外,有少量金红石、石英、蓝晶石、绿帘石等。下面对其中的主要矿物绿辉石、透辉石和石榴石做重点讨论,并与不同地区、不同产状的榴辉岩、石榴透辉石岩中的相应矿物做简要对比。

2.1 光学性质

绿辉石 显微镜下为淡绿色,自形一半自形柱状和他形粒状,常见挤压拉长现象,一般柱长1—2mm,个别达5mm,有的与石榴石形成大致定向排列的相间条带,除具绿辉石的一般光学数据外,其X射线粉晶衍射曲线如图3所示[●]。绿辉石的主要粉晶谱线:2.887

● 分析者:地质矿产部矿床地质研究所张汉卿。

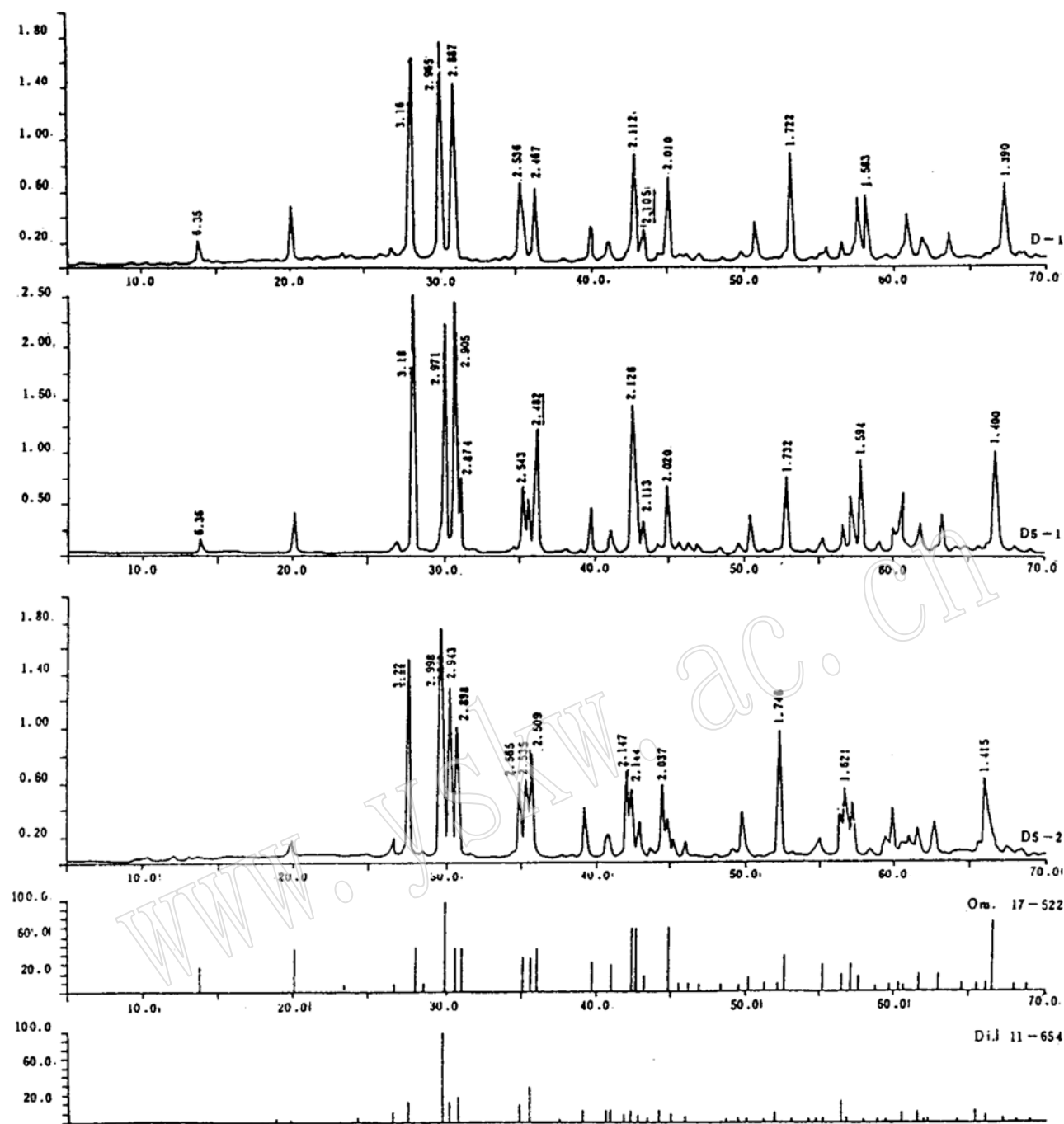


图3 绿辉石、透辉石的X射线粉晶衍射曲线

Fig. 3 X-ray powder diffraction curves of omphacite and diopside

D-1、D5-1—绿辉石; D5-2—透辉石; Om—绿辉石; Di—透辉石;

(样品号、产地、产状等同表1)

(100), 2.965(75), 2.112(43), 2.467(36), 2.105(35), 1.583(34), 1.390(28), 6.35(10) (D-1); 2.905(100), 2.971(82), 2.126(56), 2.482(43), 2.113(30), 2.543(23), 1.594(33), 1.400(38), 6.36(5) (D5-1)。

透辉石 显微镜下无色, 有的呈自形一半自形柱状(D5-2), 有的呈他形粒状(S2-1)。在透辉石中常见不规则状和定向排列的条纹状绿辉石, 二者具相同的光性方位, 而与主体透辉石明显不同(照片5)。主体部分除光学数据与透辉石相同外, 其X射线粉晶衍射曲线见图3。主要粉晶谱线: 2.998(100), 2.943(75), 2.898(61), 2.509(47), 2.147(37), 2.535(35),

2.565(35), 2.144(34), 2.037(33), 1.747(57), 1.621(30), 1.415(25)。

由图3可看出,绿辉石(D-1, D5-1)均具有一定强度的6.35和6.36谱线,而透辉石(D5-2)没有,其他主要粉晶谱线也有较明显的差别。

石榴石 粉红色,他形粒状。大滩地区榴辉岩及其边缘带中石榴石有挤压拉长现象,其中可见金红石、绿辉石、石英等包裹体。梭罗树石榴透辉石岩的石榴石有两种,一种呈变斑晶,粒径2—5mm;另一种呈他形细粒集合体,粒径0.05—0.2mm(照片4)。有的石榴石中可见浑圆状透辉石包裹体(照片6)。石榴二辉橄榄岩中的石榴石强烈蚀变(照片1)。

金红石 红褐色,他形粒状,一般粒径0.02—0.2mm,通常呈包裹体出现在绿辉石、透辉石和石榴石中或矿物的间隙中。

另外,少量石英或石英集合体呈包裹体分布在石榴石、绿辉石、透辉石中或与绿泥石、闪石、绿帘石等矿物构成后成合晶。滕家南巷榴辉岩(T-1)中有长柱状蓝晶石。

2.2 矿物化学

不同地区、不同产状的代表性样品中单斜辉石、石榴石的电子探针分析结果列于表3、表4。

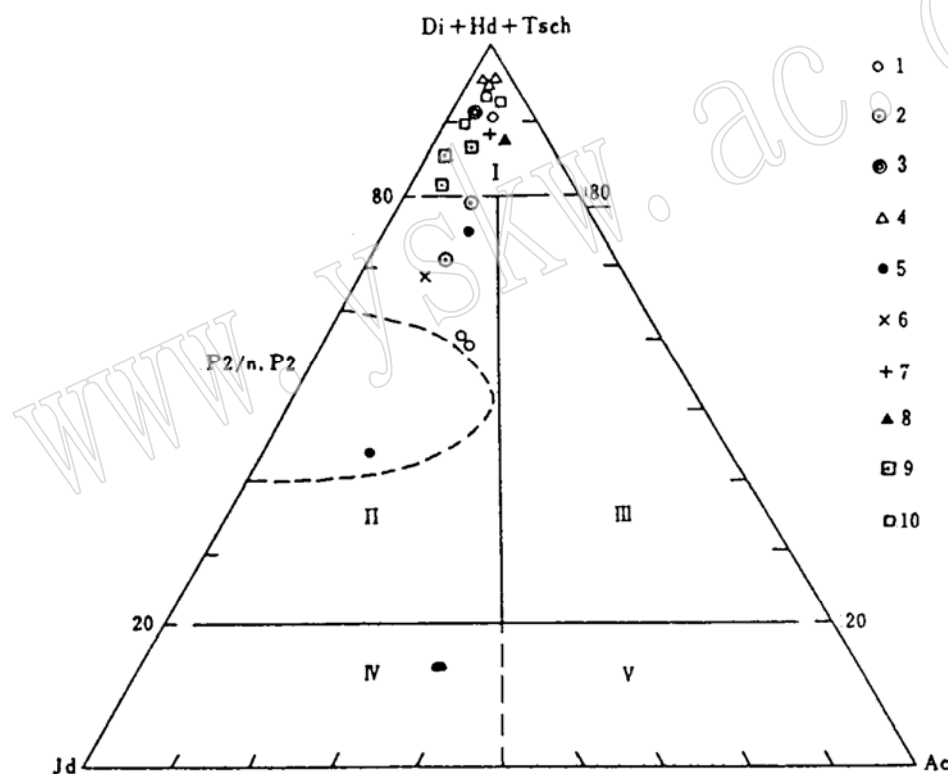


图4 Ca—Mg—Fe, Ca—Na 和 Na 辉石组的成分范围

(据 Clark 等, 1968)^[8]

Fig. 4 Compositional range of Ca—Mg—Fe, Ca—Na and Na pyroxene groups

I: Ca—Mg—Fe 辉石组; II、III: Ca—Na 辉石组 (II: 绿辉石, III: 霓辉石); IV、V: Na 辉石组 (IV: 硬玉, V: 霓石)

虚线范围内是空间群为 P2/n, P2 的绿辉石成分范围^[8,9];

虚线范围以外是空间群为 C2/C 的绿辉石成分范围

1—D5-1(Om); 2、3—D5-2(2—Di 中的 Om, 3—主体 Di); 4—S2-1, S2-2(Di); 5—D-1, D-2(Om); 6—T-1(Om);

7—Cp-1(Di); 8—D4-2(Di); 9、10—分别为 168, 198.2, 198.7 号样的核部(Om)和边部(Di)

(样品号、产地、产状及资料来源等详见表3、表4)

按国际矿物学会新矿物和矿物命名委员会通过的辉石族矿物的分类命名法^[7]将表3中

单斜辉石分为两组:Ca—Mg—Fe 组和 Ca—Na 组,前者用 Wo—En—Fs 三角图解^[7]和 Di + Hd + Tsch—Jd—Ac[●] 系统^[8,9]端员分子三角图解(图4)分类,Ca—Na 组辉石均属绿辉石。

表3 绿辉石透辉石和石榴石代表性样品电子探针分析(wt%)

Table 3 Electron microprobe analyses of representative samples of omphacite, diopside and garnet

样品号	D5-1		D5-2		Ec2-2		Cp-1		S2-1		S2-2		D-1	
矿物名称	Om	Gr	Di	Gr	Om	Gr	Di	Gr	Di	Gr	Di	Gr	Om	Gr
SiO ₂	54.85	41.10	54.28	38.53	55.64	41.63	54.99	41.35	54.62	39.02	54.30	40.79	54.84	39.97
TiO ₂	0.15	0.44	0.05	0.03	0.01	0.00	0.03	0.07	0.04	0.17	0.18	0.19	0.09	0.12
Al ₂ O ₃	7.07	22.77	3.93	22.56	7.27	23.50	1.59	22.74	0.85	19.43	1.96	19.79	12.53	22.48
Cr ₂ O ₃	0.18	0.14	0.05	0.10	0.22	0.05	0.06	0.10	0.00	0.36	0.19	0.43	0.13	0.00
FeO	4.19	14.39	3.32	13.88	1.70	12.08	3.73	13.71	1.92	13.45	2.00	11.37	4.90	20.65
MnO	0.06	0.38	0.05	0.08	0.09	0.16	0.03	0.30	0.00	0.07	0.23	0.32	0.00	0.47
MgO	11.64	11.33	15.70	16.09	11.49	12.46	16.15	17.65	16.67	9.25	16.32	7.80	6.85	4.90
CaO	16.22	10.33	21.98	8.70	8.80	9.95	21.93	3.49	24.67	17.42	24.80	19.09	11.70	12.40
Na ₂ O	5.43	0.03	0.42	0.24	4.02	0.02	1.75	0.06	0.46	0.00	0.48	0.02	8.15	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
总计	99.79	100.91	99.78	100.21	99.27	99.86	100.26	99.47	99.23	99.17	100.45	99.80	99.19	100.99
Si	1.955	3.023	1.982	2.797	2.006	3.043	1.99	3.00	1.997	2.946	1.964	3.065	1.952	3.050
Ti	0.004	0.024	0.001	0.002	0.003	0.000	0.00	0.00	0.001	0.009	0.005	0.011	0.002	0.007
Al	0.297	1.947	0.169	1.931	0.309	2.025	0.07	1.95	0.037	1.723	0.084	1.753	0.526	2.022
Cr	0.005	0.008	0.001	0.006	0.006	0.003	0.00	0.07	0.000	0.018	0.006	0.025	0.003	0.000
Fe ³⁺	0.125	0.000	0.000	0.466	0.000	0.000	0.08	0.04	0.001	0.346	0.010	0.070	0.126	0.000
Fe ²⁺	0.000	0.886	0.209	0.376	0.096	0.764	0.02	0.79	0.059	0.503	0.051	0.644	0.020	1.330
Mn	0.002	0.024	0.001	0.005	0.002	0.010	0.00	0.02	0.000	0.005	0.007	0.020	0.000	0.030
Mg	0.620	1.238	0.854	1.741	0.617	1.357	0.87	1.91	0.906	1.043	0.880	0.874	0.363	0.555
Ca	0.621	0.812	0.860	0.677	0.726	0.779	0.84	0.27	0.966	1.409	0.963	1.537	0.446	1.009
Na	0.375	0.004	0.030	0.032	0.281	0.003	0.12	0.01	0.033	0.000	0.034	0.003	0.562	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ac Ura	11.08	0.45		0.31		0.15	4.0		0.05	0.92	0.20	1.40	10.82	
Jd And	26.81	0.00	8.35	23.87	31.78	0.00	8.0		3.21	17.54	3.18	1.90	45.47	
Tsch Pyr	4.50	41.94	4.73	62.20		46.63		63	0.23	35.38	3.00	32.20	4.64	19.20
Hd Spe	0.20	0.75	16.63	0.18	9.65	0.34	8.8		5.79	0.15	5.43	0.75	1.99	1.04
Di Gro	57.80	27.01	68.14	0.00	62.26	27.95		Gro +	90.54	29.39	86.84	53.10	36.37	34.70
Wo Alm	45.41	29.85	47.32	13.45	51.98	26.26		And = 10	49.98	16.61	50.39	10.60	46.70	45.10
En	45.33		47.03		44.19			Alm +	46.98		46.13		38.04	
Fs	9.26		5.65		3.83			Spe = 27	3.04		3.47		15.27	
Na/(Na + Ca)	0.380		0.034		0.279		0.125		0.033		0.034		0.558	

分析者:地矿部矿床地质研究所王文瑛、余静。

● 为叙述方便,将 Ae 和 Ac 统一用 Ac 表示。

续表 3

T-1		D4-2				Ec2-1				D2-2		备 注
Om	Gr	Di	Opx	Gr	Ol	Di	Opx	Gr	Ol	Om	Gr	
53.52	40.11	52.52	58.98	38.59	41.32	55.62	59.50	42.32	41.50	52.59	38.59	S2-2 同 S2-1, D-2 同 D-1; 样品号、岩石类型、产状、产地、资料来源等同表 1、表 2。 Om—绿辉石; Di—透辉石; Gr—石榴石; Opx—斜方辉石; Ol—橄榄石; Ac、Jd、Tsch、Hd、Di、Wo、En、Fs—辉石的端员分子百分数; Ura、And、Pyr、Spe、Gro、Alm—分别为钙铬、钙铁、镁铝、锰铝、钙铝、铁铝榴石的端员分子百分数。
0.22	0.38	0.04	0.06	0.12	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.12	
6.86	21.82	1.15	0.23	22.13	0.09	1.66	0.26	23.27	0.05	7.20	22.13	
0.20	0.14	1.42	0.13	0.00	0.05	1.58	0.14	2.10	0.04	0.03	0.00	
2.71	15.64	2.24	4.26	17.55	7.82	2.43	5.38	10.73	8.00	5.06	17.55	
0.22	0.22	0.03	0.07	0.29	0.05	0.09	0.16	0.52	0.59	0.00	0.29	
12.64	7.85	17.85	36.14	6.20	49.70	15.13	34.20	18.01	49.61	11.49	6.20	
18.12	13.03	23.52	0.22	14.52	0.00	21.77	0.10	3.27	0.02	20.57	14.52	
4.31	0.06	1.53	0.03	0.03	0.00	1.39	0.03	0.04	0.02	3.46	0.03	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	
98.81	99.24	100.35	100.48	99.42	99.09	99.69	99.79	98.86	99.85	100.49	99.42	
1.982	3.048	1.880	2.008	2.942	1.010	2.030	2.057	3.023	1.915		2.942	
0.006	0.022	0.002	0.002	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000		0.002	0.007	
0.291	1.954	0.047	0.009	1.980	0.003	0.072	0.011		1.959	0.309	1.980	
0.006	0.008	0.031	0.004	0.000	0.003	0.046	0.004	0.119		0.001	0.000	
0.082	0.000	0.067	0.000	0.164	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.164	
0.000	0.994	0.000	0.162	0.955	0.160	0.155	0.282	0.713		0.004	0.955	
0.007	0.014	0.001	0.002	0.019	0.001	0.002	0.004	0.031		0.000	0.019	
0.682	0.889	0.968	1.834	0.705	1.811	0.824	1.763	1.917		0.616	0.705	
0.699	1.061	0.905	0.008	0.803	0.000	0.852	0.004	0.285		0.803	1.186	
0.303	0.009	0.108	0.002	0.044	0.000	0.099	0.002	0.004		0.214	0.044	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.001	0.001	0.000		0.000	0.000	
6.60	0.47	4.80						6.04		7.89		
24.01		6.35		8.64		12.29		0.00		16.27	8.64	
3.94	30.23	2.60		24.64				65.07		10.66	24.64	
	0.47			0.64		14.14		1.07		0.38	0.64	
64.32	35.50	86.07		32.80		75.08		7.29		61.66	32.80	
47.73	33.33	46.93	0.41			48.62	0.192	24.20		50.79	33.28	
46.32			92.85	33.28		47.01	91.53			39.46		
5.95			6.74			4.37	8.28			9.75		
0.302		0.100				0.100				0.21		

表4 单斜辉石核部与边部的电子探针分析

Table 4 Electron microprobe analyses of the core and the margin of clinopyroxene

样品号	D5-2			168		198.2		199.7		备 注
	Core ①	Core ②	Rim	Core	Rim	Core	Rim	Core	Rim	
SiO ₂	52.43	52.81	54.28	54.80	54.30	54.30	53.30	55.60	52.70	D5-2:由地矿部矿床地质研究所王文瑛、余静分析;168, 198.2, 199.7, 引自参考文献[6]。 Core—核部; Rim—边部。 Core①—透辉石中不规则状绿辉石; Core②—透辉石中条纹状绿辉石。
TiO ₂	0.00	0.00	0.05	0.21	0.18	0.52	0.44	0.16	0.81	
Al ₂ O ₃	5.67	5.66	3.93	2.21	0.98	2.52	0.88	2.16	1.36	
Cr ₂ O ₃	0.47	0.00	0.05	2.03	2.34	1.95	2.21	2.34	2.41	
FeO	3.69	3.98	3.32	2.65	2.33	2.82	2.55	2.56	2.58	
MnO	0.06	0.00	0.05	0.11	0.06	0.10	0.06	0.11	0.14	
MgO	21.80	22.31	15.70	16.20	17.10	17.80	18.60	16.10	16.50	
CaO	13.47	13.89	21.98	18.60	20.20	17.30	19.70	17.70	21.20	
Na ₂ O	2.99	1.88	0.42	2.24	1.41	2.05	1.32	2.51	0.99	
K ₂ O	0.10	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01	0.31	0.00	
Ni				0.03	0.11	0.06	0.00	0.04	0.06	
总计	100.69	100.53	99.78	99.10	99.00	99.40	99.07	99.59	98.75	
Si	1.851	1.858	1.982	1.994	1.986	1.961	1.941	2.011	1.946	
Ti	0.000	0.000	0.001	0.006	0.005	0.014	0.012	0.004	0.023	
Al	0.236	0.235	0.169	0.095	0.042	0.107	0.038	0.092	0.059	
Cr	0.013	0.000	0.001	0.058	0.068	0.056	0.064	0.067	0.070	
Fe ³⁺	0.109	0.117	0.000	0.005	0.009	0.032	0.078	0.0004	0.005	
Fe ²⁺	0.000	0.000	0.209	0.076	0.063	0.054	0.000	0.077	0.075	
Mn	0.002	0.000	0.001	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003	0.004	
Mg	1.147	1.170	0.854	0.879	0.932	0.958	1.009	0.868	0.908	
Ca	0.509	0.524	0.860	0.725	0.792	0.669	0.769	0.686	0.839	
Na	0.205	0.128	0.030	0.158	0.100	0.144	0.093	0.176	0.071	
K	0.005	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.014	0.000	
Ni				0.001	0.003	0.002	0.000	0.001	0.002	
Ac	6.61	4.33		0.52	0.74	2.37	4.10	0.04	0.27	
Jd	15.12	8.69	8.35	15.36	9.28	12.22	5.35	16.24	6.90	
Tsch	3.03	11.35	4.73	0.58	1.43	3.92	5.52	0.44	5.50	
Hd			16.63	5.75	5.13	3.46		5.74	6.13	
Di	45.14	41.81	68.14	66.19	72.67	59.88	71.87	63.68	72.90	
Wo	28.83	28.92	47.32	42.96	43.98	38.99	41.38	41.95	45.79	
En	64.92	64.62	47.03	52.05	51.80	55.81	54.36	53.08	49.57	
Fs	6.25	6.47	5.65	4.99	4.22	5.21	4.26	4.97	4.64	
Na/(Na+Ca)	0.286	0.196	0.034	0.179	0.112	0.177	0.108	0.204	0.078	

Clarck 和 Papike^[8]提出绿辉石的 Ca 和 Na 之比为 $0.2 \leq \text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca}) \leq 0.8$, $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca}) \leq 0.2$ 为透辉石。绿辉石、透辉石的 $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca})$ 比值列于表 3, 其结果与图 4 一致, 绿辉石的 $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca}) = 0.210 - 0.558$, 透辉石 $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca}) = 0.033 - 0.100$ 。表 4 显示出, 边部的透辉石 $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca}) = 0.034 - 0.112$, 而核部的绿辉石有的为 $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca}) > 0.2$ 的绿辉石, 但半数以上 $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca}) = 0.177 - 0.196$ 之间, 略低于绿辉石的 $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca})$ 比值, 结合光学性质分析仍为绿辉石, 只是 Ca 含量略高。空间群为 P2/n, P2 的绿辉石 $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca})$ 近于 0.5^[8], 由表 3、图 4 可见, 只有大磡地区北石镜(D-1)榴辉岩中的绿辉石 $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca}) = 0.558$, 落入 P2/n, P2 区, 其余均落入 C2/C 区。绿辉石的高温 C2/C 及低温 P2/n(P2)两种变体均在自然界出现^[8]。据此可以推测, 上述不同地区、不同产状的绿辉石大部分应为高温 C2/C 绿辉石, 个分别为低温 P2/n(P2)绿辉石, 但需用实测的空间群来证实。

在加拿大安大略柯克兰湖附近金伯利岩中地幔捕虏体(石榴二辉橄榄岩)中的单斜辉石为透辉石, 从颗粒的边部至核部具不同程度的“蠕虫状”或“海绵状”蚀变现象, 有少量趋向于硬玉(Jd)的固溶体^[6]; 边部较核部明显富 Ca, Al 和 Na 较低(表 4)。由前述矿物光学特征和矿物化学特征(表 4)可看出, 迟家店榴辉岩边缘的透辉石与上述地幔捕虏体中透辉石的特点非常相似。边部为 Jd 成分很低的透辉石, 核部不规则状绿辉石 Jd 成分最高, 而条纹状绿辉石 Jd 减少, Ca 含量增高, 逐渐过渡到富 Ca、贫 Al、Na 的透辉石。类似的结构和化学特征在世界其他地区也有报道^[10, 11]。这些作者认为透辉石边缘的蚀变可能表明在快速降压过程中矿物试图达到化学平衡的反应。

表 5 绿辉石、透辉石和石榴石的 REE 丰度($\mu\text{g/g}$)

Table 5 REE abundances of omphacite, diopside and garnet

样品号 矿物 REE	D5-1		D5-2	S2-1		D-1		T-1	
	Om	Gr	Di	Di	Gr	Om	Gr	Om	Gr
La	3.62	2.20	7.44	2.12	0.35	1.50	1.15	12.57	3.61
Ce	8.98	2.91	19.33	9.42	1.33	2.80	1.77	31.64	5.45
Pr	1.10	0.39	2.05	1.69	0.44	0.36	<0.50	4.08	<1.00
Nd	6.08	2.34	6.49	7.60	7.25	1.58	1.78	16.71	6.06
Sm	1.73	2.27	0.82	1.24	5.98	0.53	2.36	3.70	3.96
Eu	0.41	1.38	0.27	0.24	2.78	0.14	1.43	0.80	1.82
Gd	0.95	4.19	0.65	0.61	8.77	0.40	4.36	1.64	4.90
Tb	0.086	0.84	0.054	0.06	1.26	0.04	0.90	0.133	1.12
Dy	0.36	6.42	0.18	0.18	7.81	0.244	7.53	0.462	7.41
Ho	0.053	1.40	0.032	0.03	1.46	0.03	1.60	0.068	1.58
Er	0.10	3.78	0.066	0.06	2.82	0.04	4.36	0.12	3.70
Tm	0.012	0.56	0.010	0.01	0.29	0.005	0.63	0.016	0.54
Yb	0.074	3.74	0.038	0.04	1.69	0.04	3.96	0.094	3.44
Lu	0.012	0.63	0.014	0.01	0.30	0.007	0.64	0.014	0.58
ΣREE	23.57	33.05	37.44	23.30	2.44	7.72	32.97	72.05	45.17

分析者: 国家地质测试中心(等离子质谱法), 样品号同表。

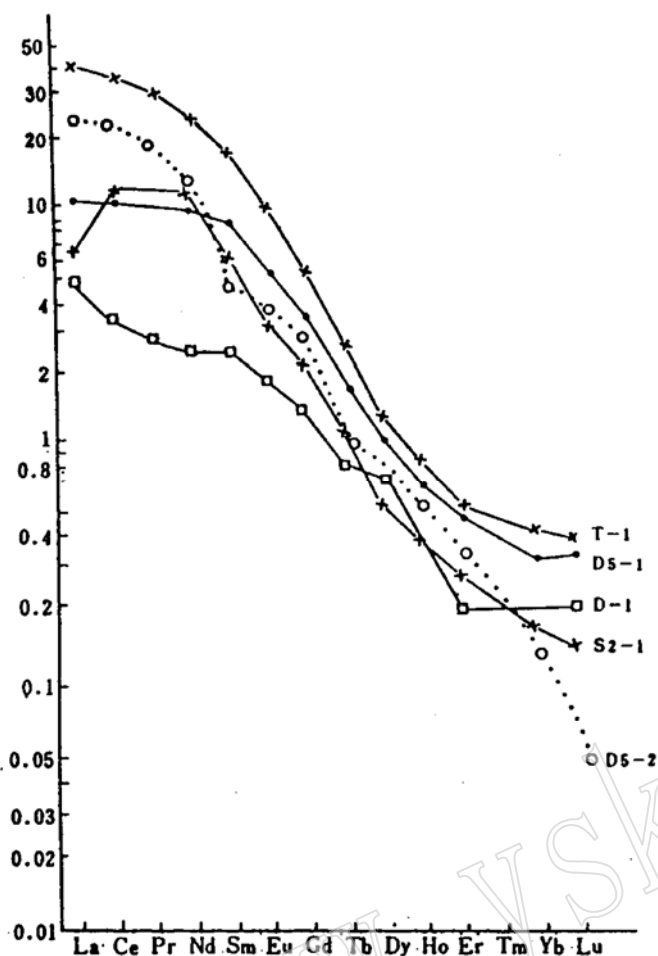


图5 绿辉石、透辉石 REE 球粒陨石标准化型式

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of omphacite and diopside

样品号同表5; D5-1, D-1, T-1 为绿辉石;
D5-2, S2-1 为透辉石

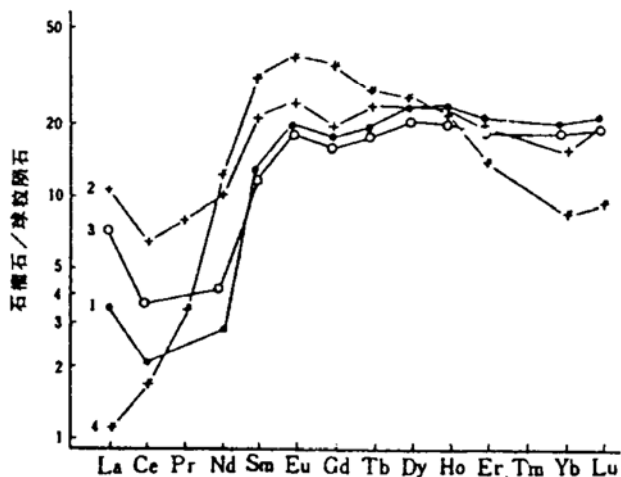


图6 石榴石 REE 球粒陨石标准化型式

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of garnet

1—D-1; 2—T-1; 3—D5-1; 4—S2-1
(样品号同表5)

绿辉石和透辉石的 REE 丰度及 REE 球粒陨石标准化型式如表 5、图 5 所示。表 5、图 5 显示,不同地区、不同产状的绿辉石、透辉石的 REE 分配型式基本相同,均为 LREE 富集型。只有梭罗树透辉石(S2-1)La 明显低于 Ce、Nd 形成 La—Nd 间凸型。同时可看出,超基性岩中的榴辉岩、石榴透辉石岩中的绿辉石、透辉石 REE 丰度都较低,片麻岩中的榴辉岩的绿辉石 REE 变化范围较大。

石榴石 石榴石的电子探针分析结果列于表 3。由表 3 可见,超基性岩及与其伴生的

榴辉岩、石榴透辉石岩中的石榴石一般 MgO 含量较高,以镁铝榴石端员为主;片麻岩中榴辉岩的石榴石 MgO 含量较低,FeO、CaO 相对较高,以铁铝榴石和钙铝榴石端员为主。国内许多研究者根据石榴石的化学成分将榴辉岩分为 A 类(地幔成因)和 B、C 类(地壳成因)。笔者将上述不同产状、不同地区的石榴石投入几种分类图解,超基性岩及与其伴生的榴辉岩、石榴透辉石岩的石榴石多属 A 类,片麻岩中榴辉岩的石榴石多属 B、C 类,个别样品例外。代表性样品中石榴石的 REE 丰度和球粒陨石标准化型式如表 5、图 6 所示。

由图 6 可见,大埠地区不同产状石榴石(图 6 之 1, 2, 3)的 REE 球粒陨石标准化型式基本一致,为 LREE 亏损的左倾曲线, LREE 部分呈凹型,且均具弱的正 Eu 异常。梭罗树的石榴石(图 6 之 4)为 MREE 富集的凸型曲线,总体仍为 LREE 亏损, HREE 较富集。

3 榴辉岩、石榴透辉石岩的平衡温压条件

应用 Wood-Banno(1973)、Wells(1977)的地质温压计,估算迟家店石榴二辉橄榄岩的平衡温度为 1319—1351℃,压力 4.2—4.9GPa,相当于深度 120—150km,与白文吉等^[12]估算的胶东—苏北石榴二辉橄榄岩的平衡温压条件基本一致。

Ellis 和 Green^[13]的实验证明,在高温条件下,Jd 和 Di 可构成近理想混合的二元系。相比之下,石榴石中的 Ca 含量对分配系数 KD 的影响很显著。在 1100℃ 以下,Jd 在较低温度下对 KD 的影响不容忽视。一般认为辉石中 Jd 含量与温度具负相关关系^[1]。所以许多研究者在估算榴辉岩的平衡温压条件时考虑了 Jd、 KD 的影响编制了榴辉岩演化的 $P-T$ 途径图等。笔者对荣成大疃地区不同产状榴辉岩的单斜辉石的 Jd 组份进行了统计,Na/(Na+Ca)在 0.21—0.558 之内的绿辉石,Jd 变化范围为 16.27%—50.01%。在考虑到 Jd、 KD 对 $P-T$ 影响的情况下,对几个代表性样品的平衡温压条件估测^[2]的结果列于表 6。

表 6 榴辉岩的平衡温压条件

Table 6 Equilibrium $T-P$ conditions of eclogite

	Jd	KD	$T(^{\circ}\text{C})$	$P(\text{GPa})$
D5-1	26.81	3.55	810	1.6
Ec2-2	31.78	6.55	710	1.6
D-1	50.01	8.75	600	1.5
D-2	16.27	6.61	700	1.6
T-1	24.01	8.31	610	1.4

注:样品号同表 3。

Holland^[14]的实验研究证明,在温度 600℃,压力约 1.4—1.5GPa 时绿辉石的结构发生变化,形成一个狭长的 $P2/n$ 稳定区,800℃ 以上转变成 $C2/C$ 绿辉石,在这个稳定区以外的其他部分均为 $C2/C$ 绿辉石。结合图 4、表 6 分析,落入 $P2/n(P2)$ 稳定区的 D-1 号样品的形成温压条件与表 6 估算结果十分吻合。

迟家店榴辉岩边缘带的石榴透辉石岩中透辉石的 Jd 较低(15.12%),应用 Raheini-Green(1974)、Ellis-Green(1979)和 Powell(1985)的地质温压计估算其形成温度为 902—1360℃,压力为 1.5—4.5GPa。不同方法计算结果差别较大,可能透辉石中 Jd 对其仍有一定影响。但无论用上述哪种方法计算还是考虑到 Jd、 KD 影响估算结果其温度均大于 900℃,由此推则迟家店榴辉岩(D5-1)的形成温度应低于边缘带的石榴透辉石岩(D5-2)。

国内外一些研究者^[15]对梭罗树石榴透辉石岩的形成 $P-T$ 条件进行了较深入的探讨,认为该岩石经历了三个变质演化阶段:(I) $P = 2.2-3\text{GPa}$, $T = 850-1100^{\circ}\text{C}$; (II) $P = 1.8-2.2\text{GPa}$, $T = 700-850^{\circ}\text{C}$; (III) $P = 1\text{GPa}$, $T = 400-650^{\circ}\text{C}$,深度可达 90—120km。笔者用 Raheini-Green(1974)、Ellis-Green(1979)和 Powell(1985)三种地质温压计估算的结果为 $P = 1-3\text{GPa}$, $T = 624-1148^{\circ}\text{C}$,因此分析样品应为不同变质阶段的产物。

4 讨论

通过对岩石学、矿物学及岩石平衡温压条件的讨论,可以看出,大埠迟家店石榴二辉橄榄岩是来自上地幔的地幔岩,其源岩特征基本代表了原始地幔岩^[12],但受到了强烈蚀变作用。

对产于石榴二辉橄榄岩中的榴辉岩及其边缘带的石榴透辉石岩,及其中的绿辉石与透辉石的关系,国外许多学者进行了研究。Eskola^[16]第一个详细描述了绿辉石的硬玉组分出溶形成透辉石—斜长石后成合晶。Davridson^[17]曾描述过透辉石和斜长石的细粒后成合晶对绿辉石的交代作用。他们认为由于绿辉石的硬玉组分出溶形成透辉石+斜长石,或者是绿辉石分解成透辉石+斜长石,是一种常见的蚀变现象。迟家店榴辉岩与其边缘的石榴透辉石岩,也可以看做是中心榴辉岩中绿辉石蚀变成透辉石,从而形成边缘的石榴辉石岩,由于多次变质作用,斜长石已强烈蚀变。

但是,根据榴辉岩(D5-1)、石榴透辉石岩(D5-2)的REE特征和岩石平衡温压条件分析,结合近年来国外一些学者的实验研究证明,榴辉岩可以由玄武质岩石(如辉长岩)转变而来,石榴透辉石岩是转变过程中的产物。这两种岩石的REE丰度均较低,分配型式为LREE略富集的平坦型,与原始地幔的REE特征类似。尤其是石榴透辉石岩具有非常显著的正Eu异常,可能是由斜长石引起。

Ringwood^[4]指出,许多研究者为了说明玄武岩和有关体系中辉长岩—榴辉岩转变的性质,曾在高温高压下进行了300多次实验。在各种玄武岩成分中,当压力增大到一定值时,矿物组合中都出现石榴石,随着压力进一步增大,斜长石比例相应地减低,得到一个石榴石、辉石和斜长石共存区,也叫石榴石粒变岩区。国内许多研究者对胶东—苏北等地不同产状榴辉岩研究后提出,这些榴辉岩都经历了三个变质阶段^[2,15]:(I)榴辉岩相前变质阶段,被认为是榴辉岩变质作用顶峰期;(II)榴辉岩相主变质期;(III)榴辉岩相退变质期。石榴石粒变岩区可能相当(I)阶段的产物。这个区中的辉石富 Al_2O_3 ,呈Mg和Ca的契尔马克分子形式。随着压力进一步增大,这些组份被排出,并结晶为石榴石,因而石榴石/辉石比值增高。石榴透辉石岩可能是这一阶段的产物。最初该体系中以Di组分为主,随压力进一步增高,Jd组份增加,透辉石逐渐变成绿辉石。斜长石当其丰度降低时,变得更富钠质,在最高压力下钠质斜长石分解成硬玉,后者进入固溶体形成绿辉石。当岩石的二氧化硅达到饱和后形成游离的石英。当辉石的契尔马克分子成分下降到低水平时,石榴石/辉石比值进一步增大,开始出现榴辉岩矿物组合,石榴石(镁铝榴石)+绿辉石质辉石+石英^[16],相当于榴辉岩相的主变质期(II)。迟家店榴辉岩和石榴透辉石岩都显示强烈的蚀变现象,发育绿帘石、石英、闪石和绿帘石等构成的后成合晶,这应属于榴辉岩相退变质期(III)的产物。

Deer等^[18]通过实验研究指出,绿辉石基本上是一种硬玉和透辉石的固溶体,但辉石的含量一般可达10%(重量),契尔马克分子($\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$)也是重要的组分。Wikstrom^[19]曾报道过用 $\text{Di}_{70}\text{Jd}_{30}$ 、 $\text{Di}_{60}\text{Jd}_{40}$ 和 $\text{Di}_{50}\text{Jd}_{50}$ 作原料,在450—650℃温度和1000—5000大气压的条件下实验,当压力增高和温度下降时,辉石的硬玉质组分增多。Deer等^[18]还指出,在2GPa和2.8GPa时,在单斜辉石+石榴石+斜长石+石英成分范围内,计算出单斜辉石固溶体成分

分别是 $\text{Di}_{75.1}\text{Jd}_{7.9}\text{Ca-Tsch}_{17.0}$ 和 $\text{Di}_{61.1}\text{Jd}_{27}\text{Ca-Tsch}_{11.9}$, 在 3.6 GPa 时, 单斜辉石固溶体成分变得比较富含 Jd, 而 $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$ 组分则变少, 说明 Jd 成分随压力增大而增加。

Ellis 和 Green^[13] 的实验证明, 在高温条件下 Jd 和 Di 可构成近理想的混合的二元系。Zoltai 等^[20] 提出, 在足够高的温度下, 两端员组分之间可以出现完全的固溶体, 由于温度、压力或两者同时改变分离为两个不同的矿物。所以, 绿辉石也可以是由于透辉石在压力增大的情况下 Jd 组分增加而形成, 或是 Di-Jd 固溶体因温压条件变化分离成透辉石、绿辉石两种矿物, 最初以透辉石为主, 随压力增大, Jd 组份增加逐渐形成绿辉石。

总之, 无论是绿辉石蚀变成透辉石, 还是透辉石在压力增大的情况下 Jd 组分增加而形成绿辉石, 它们的原岩是相同的, 应来自上地幔, 属地幔成因。

从岩石学、矿物学特征分析, 大疃地区石榴二辉橄榄岩中的石榴透辉石岩夹层(Cp-1)与上述榴辉岩边缘带的石榴透辉石岩有许多相似之处, 只是前者更富 LREE, 因此认为二者物质来源可能相同, 只是所经历的变质阶段、地幔交代作用和蚀变程度等不同。

日照梭罗树的石榴透辉石岩与迟家店石榴透辉石岩有明显的差异, 一般认为是由原岩超镁铁质岩石变质而成。

荣成片麻岩中榴辉岩, 从岩石学、矿物学特征分析, 均与超基性岩中榴辉岩不同, 属地壳成因。

参 考 文 献

- 1 杨建军. 苏鲁榴辉岩及有关超基性岩. 北京: 地质出版社, 1991.
- 2 张儒媛, 从柏林, 刘忠光. 苏鲁超高压变质地体及其成因解释. 岩石学报, 1993, 9(3): 211—224.
- 3 叶凯, 徐平. 山东荣成大疃榴辉岩成因岩石学研究. 岩石学报, 1992, 8(1): 28—38.
- 4 Ringwood A E 著, 杨美娥, 何永年, 胥怀济, 施良骥等译. 地幔的成分与岩石学. 北京: 地震出版社, 1981.
- 5 McDonough W F, Frey F A. Rare earth elements in upper mantle rocks. In Reviews in mineralogy (ed. P H Ribbe). Mineralogical Society of America. 1990, 21: 99—145.
- 6 Meyer H O A. Mantle xenoliths from kimberlite near kirkland Lake, Ontario. The Canadian Mineralogist. 1994, 32: 295—306.
- 7 Morimoto N 等. 黄婉康译. 辉石命名法. 矿物学报, 1988, 8(4): 289—305.
- 8 Clark J R, Papike J J. Crystal-chemical characterization of omphacites. The American Mineralogist. 1968, 53: 840—867.
- 9 王濮, 潘兆橹, 翁玲宝等编著. 系统矿物学, 中册. 北京: 地质出版社, 1984.
- 10 Ehrenberg S N. Petrogenesis of garnet lherzolite and megacrystalline nodules from The Thumb, Navajo Volcanic Field. J. Petrol. 1982, 23: 507—547.
- 11 Hops J J, Gurney J J, Harte B and Winterburn P. Megacrysts and high temperature nodules from the Jagersfontein Kimberlite pipe. In Proc. Fourth Int. Kimberlite Conf. Kimberlites and Related Rocks, Vol. 2, Geol. Soc. Aust Spec. publ. 1989, 14: 759—770.
- 12 白文吉, 胡旭峰, 周美付. 胶东—苏北石榴石二辉橄榄岩形成条件及年代. 岩石矿物学杂志, 1992, 11(4): 299—304.
- 13 Ellis D J and Green D H. An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria. Contrib Mineral. Petrol. 1979, 71: 13—22.
- 14 Holland T J B. The Experimental Determination of Activities in Disordered and Short-Range Ordered Jadeitic Pyroxenes. Contrib. Mineral. Petrol. 1983, 82: 214—220.
- 15 葛宁洁, 沈洁, 李曙光, 刘德良, 张志敏. 苏北东海—胶南日照两种不同成因榴辉岩的 P-T 轨迹及构造意义. 安徽

地质. 1993, 3(1): 25—33.

16 Eskola P. On the eclogites of Norway. Vidensk. Skr. I, Mat - Naturv. kl. 1921, 8.

17 Davidson C F. The Archaean rocks of the Rodil district, South Harris, Outer Hebrides. Trans Roy. Soc. Edinburgh. 1943. 61: 71—112.

18 Deer W A, Howie R A, Zussman J 著, 谢宇平, 李鸿超, 贺义兴等译校. 造岩矿物, 二卷 A(第二版). 北京: 地质出版社, 1983.

19 Wikstrom A. Hydrothermal experiments in the system jadeite - diopside. Norsk. Geol. Tidsskr. 1970, 50: 1—14.

20 Zoltai T, Stout J H 著, 施倪承, 马生等译. 矿物学原理. 北京: 地质出版社. 1992.

The Genesis of Eclogite and Garnet Diopsidite in Datan, Shandong Province

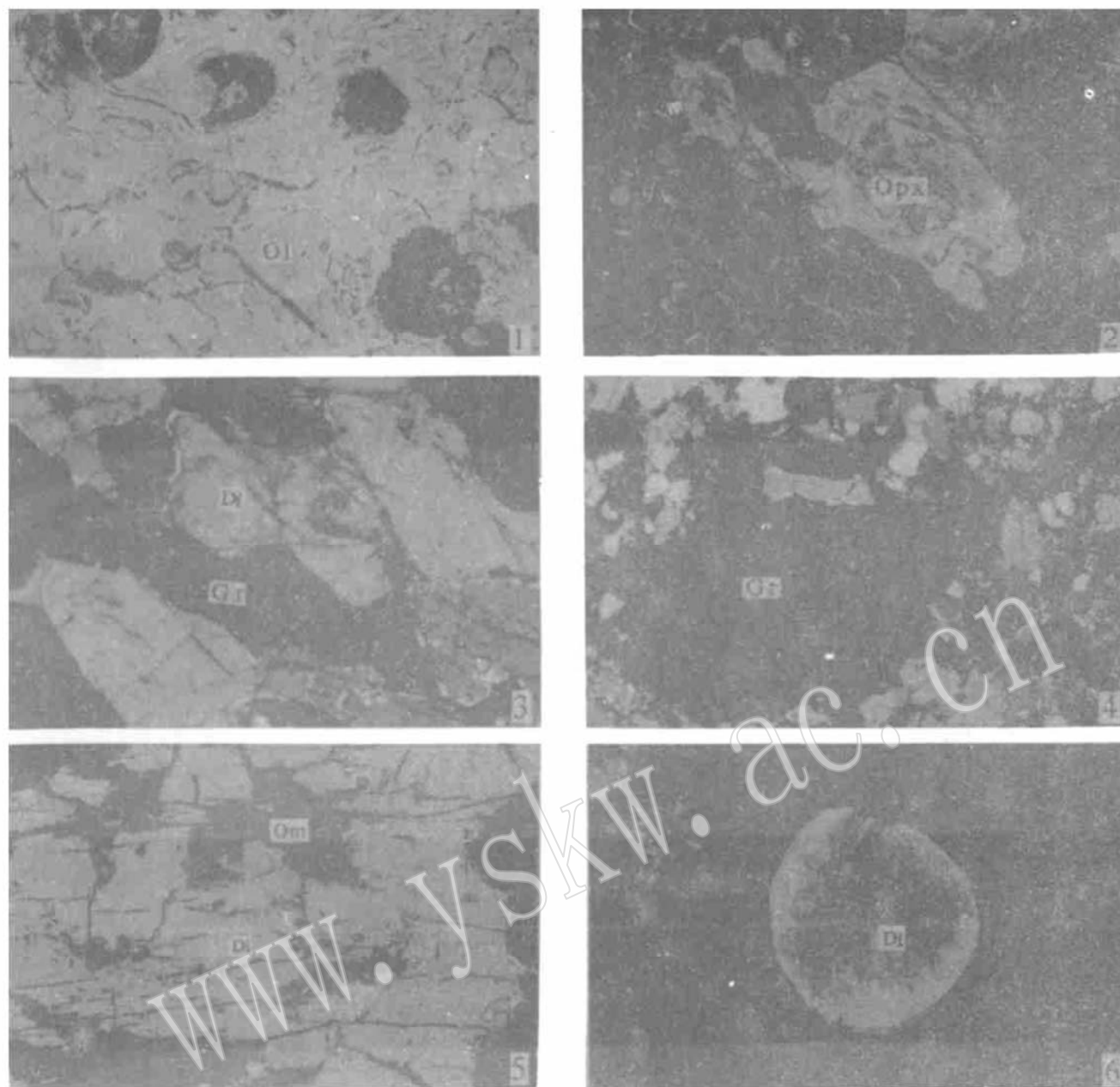
Zhou Xiuzhong

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Key words eclogite, garnet diopsidite, genesis, Datan

Abstract

Most researchers consider that Chijiadian garnet lherzolite in Datan of Shandong Province includes mainly eclogite composed chiefly of omphacite + garnet, with small amounts of intercalated garnet diopsidite. There exists controversy on relationship and material sources of eclogite and garnet diopsidite. Some geologists hold that the two sorts of rocks were derived from different sources, and some believe that garnet diopsidite was formed through alteration of eclogite. The author observed the existence of transitional relationship between eclogite and garnet diopsidite in garnet lherzolite of this area, with the former at the center, and the latter making up the fringe; in diopside of the fringe there appears irregular and lamellar omphacite. Based on investigations into petrological and mineralogical features as well as equilibrium T - P conditions of rocks together with a comparison with the same sorts of rocks in different areas, the author holds that the two sorts of rocks are both basaltic rocks (e.g. gabbro) derived from the upper mantle. The elevation of pressure led to the appearance of garnet and the reduction of plagioclase, forming the garnet, pyroxene and plagioclase assemblage. At that time, pyroxene was dominated by Di, and at high temperature, Jd and Di made up a mixed binary system. Further elevation of pressure resulted in unmixing of solid solution, forming omphacite in diopside. At the same time, the ratio of garnet to pyroxene increased, and plagioclase became more enriched in sodic materials, leading to the formation of garnet diopsidite assemblage. Under the highest pressure, sodic plagioclase was decomposed into jadeite and entered solid solution to form omphacite. Moreover, Jd in diopside also increased and was gradually converted into omphacite, thus forming the mineral assemblage of eclogite.



图版说明

1. 蚀变橄榄石 (Ol) 残留体 石榴二辉橄榄岩 (D4-2) 正交偏光 $d = 8 \text{ mm}$
2. 绢石中斜方辉石 (Opx) 残晶 石榴二辉橄榄岩 (D4-2) 正交偏光 $d = 8 \text{ mm}$
3. 石榴石 (Gr)、透辉石 (Di) 拉长定向排列 (D5-2) 正交偏光 $d = 8 \text{ mm}$
4. 石榴石 (Gr) 变斑晶 (S2-4) 正交偏光 $d = 8 \text{ mm}$
5. 透辉石 (Di) 中不规则状、条纹状绿辉石 (Om) (D5-2) 正交偏光 $d = 2 \text{ mm}$
6. 石榴石中浑圆状透辉石 (Di) (S2-1) 正交偏光 $d = 2 \text{ mm}$