

钙铝-钙铁系列石榴子石的特征 及其交代机理*

梁祥济

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

主题词 交代作用实验 钙铝-钙铁系列石榴子石特征 成因机理

提要 本文作者在全国14个典型矿区的野外工作基础上, 进行了超基性-酸性侵入岩与碳酸盐岩的接触交代实验; 火山气热液与火山岩的相互交代实验; 区域沉积变质和混合岩化过程中的交代作用实验。实验结果表明, 在350—700℃和 300×10^5 — 1400×10^5 Pa的温度、压力条件下, 在 $\log f_{O_2} = -28.637$ — -16.514 的氧逸度范围内, 在 $pH = 4.0$ — 11.0 的含不同浓度Na、K卤化物的溶液中, 形成了水榴石、水钙铝榴石、钙铝榴石、钙铁榴石以及水榴石-水钙铝榴石、水钙铝榴石-钙铝榴石和钙铝榴石-钙铁榴石的过渡性矿物。用显微镜、X射线衍射和红外光谱等分析方法, 测定了它们的主要光学特征。最后, 通过物理化学条件的分析, 揭示了它们形成的交代机理。

钙铝-钙铁石榴子石是连续固溶体系列的矿物, 是矽卡岩及其有关矿床中分布最广的标型造岩矿物。Д. В. Калинин (1969)^[1]曾用化学试剂在有限的温度和压力等物理化学条件下, 合成了钙铝榴石和钙铁榴石, 但离这些石榴子石所产出的实际地质条件相差很远。近年来, R. R. George等 (1991)^[2]利用红外吸收光谱成功地鉴定出石榴子石成分中的 H_2O 和OH及其含量, 对指导正确确定出钙铝-钙铁系列石榴子石的名称作出了贡献。

近20年来, 在侵入接触交代^[3,4]、沉积变质作用^[5]、火山气热液作用于火山岩^[6]和混合岩化过程^[7]的近3000次实验的产物中, 大都出现了水榴石、水钙铝榴石、钙铝榴石、钙铁榴石以及它们之间的过渡性矿物。有的晶形发育甚好, 呈典型的菱形十二面体和四角三八面体。它们常常与硅灰石、钙铁辉石、透辉石、透闪石、磁铁矿、方柱石、铝黄长石和符山石等其它矽卡岩矿物共生^[8-10]。现对与其有关的实验资料作一总结, 这对充实和发展矿物学理论有着重要的意义。

1 实验的过程和结果

本节仅对实验过程和结果作一概述, 详情请见参考文献3—7。

1.1 实验样品

(1) 侵入接触交代实验的样品分别采自四川红格橄辉岩、福建马坑辉绿岩、湖北大冶黑云母辉石闪长岩和石英闪长岩、广东尖山黑云母钾长花岗岩、湖南柿竹园中细粒斑状花岗

* 本文系地质行业基金资助的《交代作用和成矿关系的实验研究》项目的部分成果。
本文于1994年4月15日收到, 1994年6月16日改回。

岩, 内蒙古黄岗(东段)花岗岩, 以及相应矿区的灰岩、大理岩、白云质大理岩等。

(2) 沉积变质交代实验的样品分别采自海南石碌的绢云母石英片岩、白云岩和黑龙江孟家岗的黑云母石英片岩、含硅白云质大理岩。

(3) 火山气热液交代火山岩-次火山岩的实验样品分别采自新疆雅满苏安山质凝灰岩、内蒙古黄岗(西段)安山岩和新疆磁海由玄武岩过渡而来的辉绿岩。

(4) 混合岩化作用交代实验的样品分别采自黑龙江西麻山、河南桐柏山的花岗岩化片麻岩, 以及根据黑龙江天宝山磁铁矿透辉角闪斜长麻粒岩的岩石化学成分用化学试剂配制的样品。它们的岩石化学成分列于表1。

1.2 反应溶液

根据上述矿区岩石化学成分和矿物包裹体成分的特征, 配制相应的 $\text{pH}=1.0-14.0$ 的含Na、K的Cl和F卤化物或含Ca、Mg、Si的Cl和F卤化物的水溶液作为反应溶液(或催化剂), 用精密pH试纸测其酸碱度。

1.3 实验温度、压力和实验持续时间

根据上述矿区的不同地质特征以及矿物包裹体的测温、矿物对压力计和地静压的估算, 考虑实验温度为 $250-750^{\circ}\text{C}$, 实验压力为 $250 \times 10^5-1400 \times 10^5\text{Pa}$, 实验持续时间为 $72-168$ 小时。部分实验采用 $\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Fe}_3\text{O}_4$ 缓冲剂控制其氧逸度。

1.4 实验产物的鉴定

取出淬火后高压釜中金、银试管内的固相产物, 首先在显微镜下用油浸法^{*(11,12)}观察它们的晶形、大小和主要光学特征, 测出它们的折光率, 然后用X射线、红外吸收光谱进行分析, 相互验证, 最后定出钙铝-钙铁系列石榴子石的正确名称。

所有的实验都在冷封自紧式高压釜和快速淬火装置中进行。实验样品和反应溶液焊封在金、银试管内, 然后将金、银试管放在高压釜的反应腔中, 高压釜的反应腔恰好置于实验炉的恒温区内。温度由DWK精密自动控温仪控制, 一级标准热电偶(LB-3)测温, 误差 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。压力根据G. C. 肯尼迪的 $P-V-T$ 表上填充度计算或直接从压力表上读出。实验结果证明, 石榴石、水钙铝榴石、钙铝榴石和钙铁榴石以及它们的过渡性矿物是在 $350-700^{\circ}\text{C}$ 和 $300 \times 10^5-1400 \times 10^5\text{Pa}$ 的温度、压力条件下, 在 $\log f\text{O}_2 = -28.637-16.514$ 氧逸度范围内, 在 $\text{pH}=4.0-11.0$ 的含K、Na为主的Cl(F)卤化物溶液中形成的。

2 钙铝-钙铁系列石榴子石的特征

在自然界, 连续固溶体系列的钙铝-钙铁石榴子石以纯端员组分出现的不多, 在交代实验产物中也是如此。通常以水榴石-水钙铝榴石、水钙铝榴石-钙铝榴石和钙铝榴石-钙铁榴石出现。由于纯的钙铝榴石或纯的钙铁榴石罕见, 故一般把含有少量的另一端员的石榴子石成分忽略不计, 而称为纯端员石榴子石即钙铝榴石或钙铁榴石。

实验形成的钙铝-钙铁系列石榴子石的X射线衍射、红外吸收光谱和显微照片分别反映于图1、2、3和图版I。现将它们主要的光学和产出特征分述如下:

* 浸油系云南省地矿局中心实验室在室温 $16 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$, 在钠光下用阿贝折射仪测定配制, 有效数据为小数点后四位。但由于实验形成的矿物很小, 因而, 测定它们的折光率难度很大, 估计误差为 ± 0.0005 。

表1 实验样品

Table 1 Chemical compositions

类别	采样 矿区名称	样品名称	化 学							
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
侵入 接触 交代	四川红格	橄辉岩	37.44	3.58	7.08	12.92	13.36	15.34	0.06	0.41
		灰岩	9.06	0.22	0.19	0.13	41.61	10.40	0.00	0.21
	福建马坑	辉绿岩	47.36	14.05	0.75	9.45	11.80	8.18	0.80	1.58
		大理岩	0.63	0.64	0.56	0.67	53.65	1.36	0.04	0.11
	湖北大冶	黑云母辉石闪长岩	52.52	14.75	4.01	3.95	10.61	3.99	1.88	4.76
		石英闪长岩	63.58	15.83	1.06	2.80	4.18	1.66	3.02	5.20
		大理岩	0.34	0.15	0.02	0.04	54.77	0.36	0.04	0.03
	广东尖山	黑云母钾长花岗岩	73.37	11.74	0.15	0.42	1.66	0.64	4.31	2.61
		结晶灰岩	2.32	0.40	0.38		52.60	1.16	0.12	0.03
	湖南柿竹园	黑云母斑状花岗岩	74.17	12.56	0.75	1.10	0.97	0.31	5.02	2.57
		灰岩	3.90	0.66	0.01	0.13	51.68	1.10	0.15	0.01
	内蒙古 黄岗(东段)	花岗岩	74.90	12.54	0.76	0.75	1.30	0.08	3.75	3.45
		大理岩	0.46	0.11	0.15	0.00	53.82	0.91	0.016	0.01
	沉积 变质 作用	海南石碌	绢云母石英片岩	72.88	11.47	2.25	1.81	0.10	3.30	3.83
白云岩			4.37	0.25	0.33	0.00	29.97	21.70	0.031	0.02
黑龙江孟家岗		黑云母石英片岩	64.40	14.21	0.20	5.58	0.90	3.16	4.76	1.90
		白云质大理岩	1.86	0.081	0.22	0.00	50.11	3.69	0.044	0.02
火山 气热 液作 用	新疆磁海	辉绿岩	49.16	14.08	0.33	6.46	9.77	4.08	0.94	4.49
	新疆雅满苏	安山质凝灰岩	51.02	16.48	0.99	9.06	2.20	4.79	4.40	4.31
	内蒙古 黄岗(西段)	安山岩	52.48	16.59	0.62	5.67	8.86	5.13	0.82	4.49
		凝灰质砂岩	64.00	15.67	0.22	3.26	3.33	1.82	4.21	3.16
混化 作用	黑龙江西麻山	花岗岩化片麻岩	71.90	14.07	0.07	1.38	1.38	0.55	6.88	1.85
	黑龙江天宝山	磁铁矿透辉角 闪斜长麻粒岩	41.54	14.23	5.93	12.12	12.59	7.10	1.06	0.96
		河南桐柏山	混合岩化片麻岩	74.53	13.97	0.63	2.03	0.68	0.46	5.87

测试单位：中国地质科学院岩矿测试技术研究所

石榴石 [Ca₃Al₂Si₂(OH)₄O₈] 无色透明，一般结晶不好，常呈浑圆状，颗粒很细 (< 0.0005mm)，均质。主要在辉绿岩与大理岩相互交代（福建马坑）、火山气热液作用于火山岩-次火山岩（新疆磁海、雅满苏和内蒙古黄岗西段）等实验产物中出现，常与透闪石、硅灰石、透辉石和铝黄长石等矿物共生（图版 I-5）。

水钙铝石榴石 [Ca₃Al₂(SiO₄)_{3-n}(OH)_{4n}] 无色透明，常呈浑圆状、四角三八面体，大小约 0.0005—0.001mm，均质。在实验产物中普遍可见，但在酸性岩与碳酸盐岩相互交代（如

的 化 学 成 分
of the experimental samples

成 分 (wt%)											总 计	
TiO ₂	MnO	CuO	ZnO	CO ₂	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	SO ₃	F	Cl	P ₂ O ₅		SrO
6.74	0.17	0.63	0.30	0.09	0.60	0.32	0.17	0.25	0.03			99.49
0.01	0.008	0.11	0.054	34.60	2.90	0.32	0.17	0.23	0.04			100.26
1.60	0.22	2.11		0.45	1.12	0.12		0.22	0.06	0.10		99.97
0.07	0.30	0.40		39.95	1.68	0.08	0.00	0.20	0.02	0.03		100.39
0.80	0.11			0.11	0.43	0.09	0.19	0.14	0.026	0.89	0.33	99.59
0.65	0.06	烧失量 0.43		0.20	0.09	0.13	0.09	0.10	0.035	0.30	0.14	99.56
0.04	0.01			43.15	0.00	0.09	0.54	0.25	0.014	0.01	0.64	100.49
0.29	0.08	0.88	0.40	1.21	0.70	0.38	0.50	0.30	0.03			99.67
0.07	0.015			41.59	0.48	0.09		0.03	0.01			99.30
0.22	0.06			0.25	1.38		0.11	0.24	0.012	0.06		99.78
0.03	0.15			41.42	0.50					0.03		99.77
0.064	0.014	0.35	0.06	0.19	0.60	0.06	0.00	1.00	0.03			99.90
0.005	0.026			43.48	0.38	0.03	0.05	0.042	0.008			99.50
0.49	0.014	0.28	0.15	0.09	2.24	0.10	0.05	0.50	0.03	0.00		99.65
0.008	0.05			43.98	0.81	0.09		0.004	0.002	0.10		101.72
0.84	0.14	0.86	0.39	0.09	0.98	0.18	0.52	0.28	0.03			99.42
0.02	0.10			42.42	0.88	0.12		0.031	0.006	0.06		99.69
2.38	0.12	3.03	1.38	1.60	1.32	0.24	0.05	0.11	0.06			99.60
0.73	0.18	1.87	0.86		2.42	0.11	0.52	0.30	0.04			100.28
1.73	0.13	1.41	0.14		0.60	0.06	0.17	0.74	0.035			99.70
0.77	0.014	0.95	0.11	0.09	0.28	0.18	1.92	0.28	0.05			100.31
0.10	0.03	0.40	0.15	0.09	0.46	0.04	0.00	0.076	0.03			99.46
0.82	0.23	0.25	0.15	0.00	1.06	0.20	0.05	0.67	0.05			99.01
0.09	0.02	0.11	0.13	0.07	0.25	0.02		0.06	0.03			100.49

广东尖山、湖南柿竹园等) 实验中更显特征。常与硅灰石、透闪石、透辉石、钙铝榴石和磁铁矿等矿物共生(图版 I-6)。

钙铝榴石($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) 无色至略带淡褐色, 透明。常呈浑圆状、菱形十二面体、四角三八面体或后两者的聚形。小者一般为0.0005—0.001mm, 通常结晶不好; 大者为0.02—0.05mm, 晶体发育良好。均质。在实验产物中普遍出现, 但以混合岩化作用(如黑龙江天宝山)、沉积变质作用(黑龙江孟家岗) 实验产物中出现的晶体最佳。常与硅灰石、透闪石、

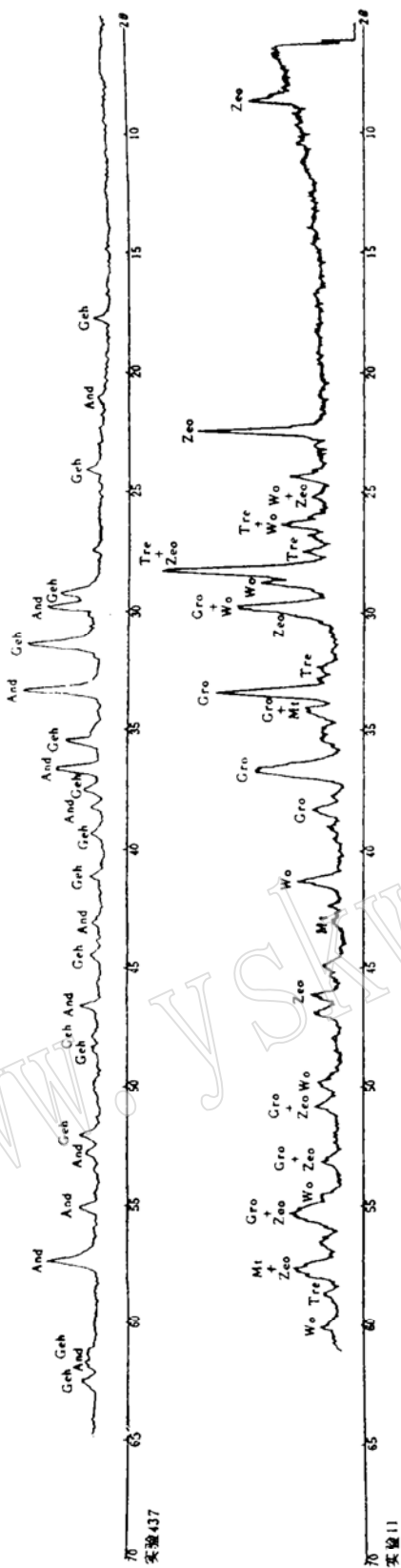


图 1 钙铝榴石和钙铁榴石及其共生矿物的X射线衍射图

Fig. 1 X-ray diffraction patterns of grossular and andradite as well as their

paragenetic minerals

实验11—福建马坑实验产物; (测试条件: $\text{CuK}\alpha$, 20kV, 16mA); 实验437—湖北大冶实验产物

(测试条件: $\text{CuK}\alpha$, 40kV, 30mA)

And—钙铁榴石; And-Gro—钙铁榴石-钙铝榴石; Di—透辉石; Geh—铝黄长石; Gro—钙铝榴石;
Mic—微斜长石 (试样中残留物); Mt—磁铁矿; Trc—透闪石; Wo—硅灰石; Zeo—沸石

测试者: 中国地质科学院地质研究所 梁祥济

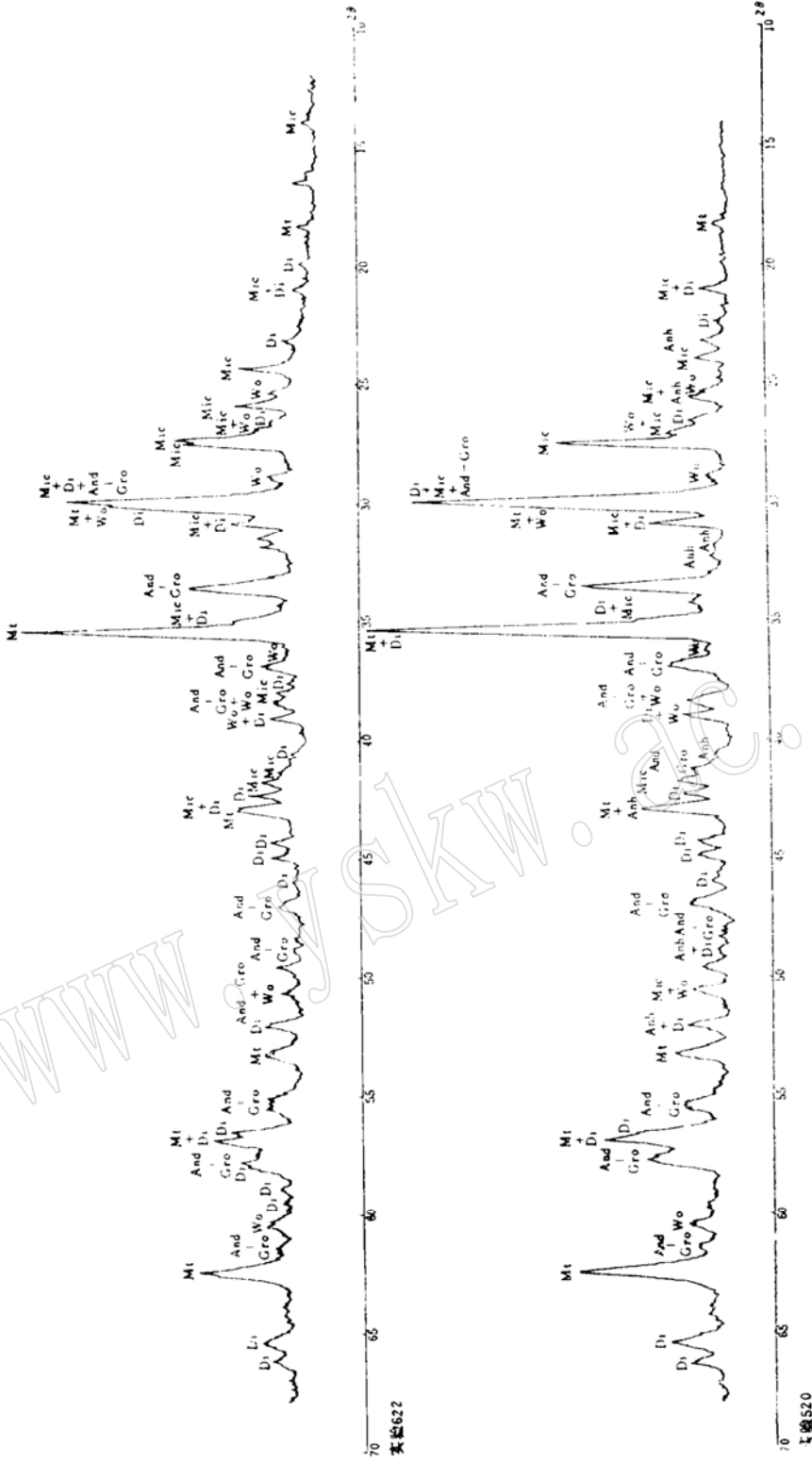


图 2 钙铝石榴石-钙铁石榴石及其共生矿物的X射线衍射图

Fig. 2 X-ray diffraction patterns of grossular-andradite and their paragenetic minerals

实验520—新疆雅满苏实验产物 (测试条件: CuK α , 50kV, 40mA); 实验622—内蒙古黄岗实验产物

(测试条件: CuK α , 40kV, 30mA)

测试者及图中矿物代号同图1

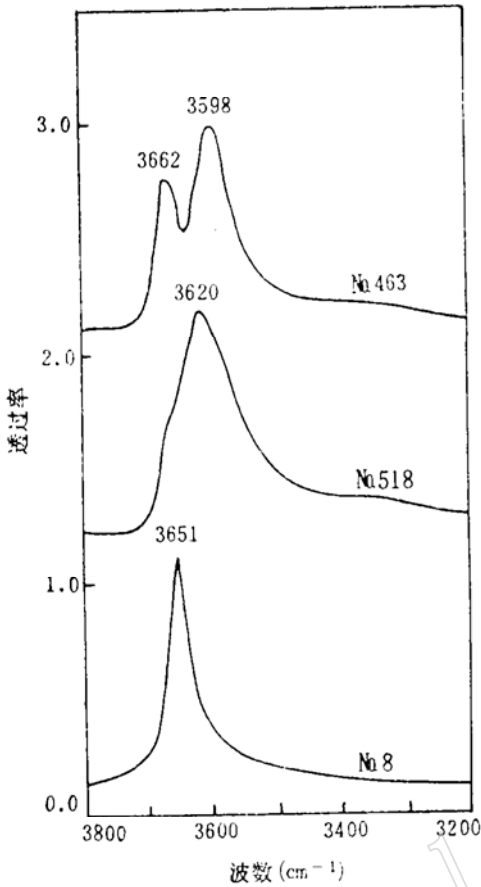


图3 石榴石 (No. 8) 和水钙铝榴石 (No. 518, No. 463) 的红外吸收光谱图
Fig. 3 Infrared absorption spectra of hibschite (No. 8) and hydrogrossular (No. 518, No. 463)

测试单位: 煤炭科学研究院红外组

钙铁榴石、符山石、方柱石等矿物共生 (图版 I-1)。

钙铁榴石 ($\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) 浅黄绿、浅绿、浅棕、棕褐或深褐色; 浅色者透明, 深色者半透明。晶体一般发育良好, 通常呈典型的菱形十二面体、四角三八面体或两者的聚形。细粒者 0.0005—0.002mm, 粗粒者 0.01—0.08mm。在实验产物中常呈集体出现, 但细粒者常多于粗粒者, 而后者结晶却比前者好。在粗粒晶体中还可见到磁铁矿包裹体。均质。常与钙铁辉石、磁铁矿、硅灰石、钙铝榴石、锥辉石、符山石和方柱石等矿物共生 (图版 I-2)。

此外, 在实验产物中还常见到钙铝-钙铁系列石榴子石的其它过渡性矿物, 即石榴石-水钙铝榴石、水钙铝榴石-钙铝榴石 (图版 I-3) 和钙铝榴石-钙铁榴石 (图版 I-4)。其中钙铝榴石-钙铁榴石常出现非均质的光性异常, 干涉色为一级灰色。这些过渡性石榴子石常与硅灰石、透闪石、石榴石、钙铝榴石、钙铁榴石、钙铁辉石、透辉石、磁铁矿和方柱石等标型矽卡岩矿物共生。但钙铝-钙铁系列石榴子石中的钙铝榴石、水钙铝榴石和石榴石一般不与硅镁质矿物一起出现^[13]。

交代实验所形成的钙铝-钙铁系列石榴子石的折光率见表 2。

表 2 钙铝-钙铁系列石榴子石的折光率

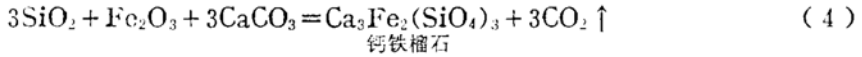
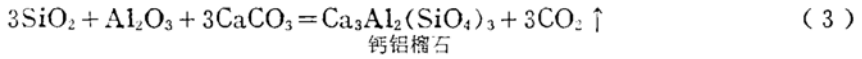
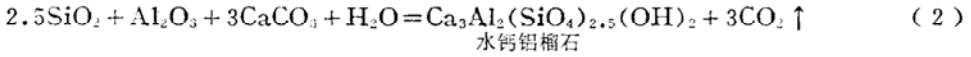
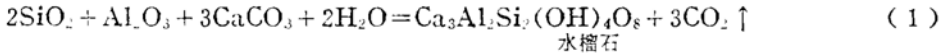
Table 2 Refractive indices of garnets of grossular-andradite series

矿物名称	折光率	矿物名称	折光率
石榴石	1.673—1.675	钙铝榴石	1.733—1.735
石榴石-水钙铝榴石	1.676—1.725	钙铝榴石-钙铁榴石	1.736—1.820
水钙铝榴石	1.726—1.728	钙铁榴石	1.821—1.890
水钙铝榴石-钙铝榴石	1.729—1.732		

* 在白光下用油浸法测定

3 钙铝-钙铁系列石榴子石形成的物理化学条件

无论是侵入接触交代的实验、沉积变质作用的实验, 还是火山气热液作用于火山岩-次火山岩的实验、混合岩化作用的实验, 所形成的钙铝-钙铁系列石榴子石都可以归纳于下列四个平衡反应式:



它们的形成与下述物理化学条件密切相关。

3.1 试料的物质成分

钙铝-钙铁系列石榴子石的形成, 首先取决于试料中有Si, Al, Fe, Ca和H₂O等成分的存在, 而且它们之间比例要合适。例如, 用10%的马坑辉绿岩(含Si, Al, Fe)和90%的大理岩(含Ca)作为试料, 在适宜的温度和压力等条件下进行实验, 结果在实验产物中仅偶见钙铝榴石。在用25%的辉绿岩和75%的大理岩为试料的实验中, 出现了少量的钙铝榴石。只有在以75%辉绿岩和25%大理岩为试料时, 才形成晶体又好、数量又多的钙铝榴石-钙铁榴石、钙铝榴石和钙铁榴石。在其他条件具备的情况下, Fe是形成钙铁榴石不可缺少的成分。在含TFe极少的内蒙古黄岗花岗岩与大理岩相互交代的实验产物中, 未见钙铁榴石, 而在含Fe₂O₃+FeO=7.96%的大冶黑云母辉石闪长岩与灰岩相互交代的实验中, 出现了大量结晶完善的钙铁榴石。H₂O既是水榴石、水钙铝榴石的主要成分, 又是反应溶液的重要组成部分。在其他物理化学条件适宜时, 在温度较低的水热体系实验中, 一般都会出现水榴石、水钙铝榴石。当Si大量过剩时, 会妨碍这两种含H₂O石榴子石的产出, 而Ca多却有利它们的形成。

3.2 温度和压力

在试料物质成分确定后, 温度和压力则是影响钙铝-钙铁系列石榴子石形成的重要外界因素。例如, 在大冶黑云母辉石闪长岩和灰岩的交代实验中, 在600×10⁵Pa恒压下, 400℃时未出现钙铁榴石; 500℃时出现了少量粒度约为0.0005—0.001mm的钙铁榴石; 600℃时形成了大量的粒度约为0.02—0.05mm的钙铁榴石。当温度>700℃时, 钙铁榴石晶出量减少, 粒度变小(0.001—0.008mm)。又如在600℃恒温下, 尖山黑云母钾长花岗岩和白云质灰岩的交代实验中, 在400×10⁵Pa压力时, 钙铝榴石-钙铁榴石未出现; 在500×10⁵Pa压力时, 钙铝榴石出现较多, 晶体为无色、透明的菱形十二面体或四角三八面体, 粒度约0.009—0.01mm; 当压力增加到600×10⁵Pa时, 钙铝榴石出现更多, 晶体发育良好, 粒度变大(0.01—0.02mm)。当压力>800×10⁵Pa时, 钙铝榴石显著减少, 粒度也变小(0.0005—0.002mm)。

钙铝-钙铁系列石榴子石随温度变化的总特征是: 350—500℃, 以水榴石和水钙铝榴石

为主; 450—600℃, 以钙铁榴石为主; 550—700℃, 钙铝榴石占主导。其中常是过渡性石榴子石占优势, 而纯端员组分的石榴子石则不多。

3.3 反应溶液的成分和pH值

反应溶液的成分及其酸碱度直接影响着钙铝-钙铁系列石榴子石能否形成、形成的速率和晶体特征等方面。例如, 在其他物理化学条件相似的情况下, 用蒸馏水作反应溶液的马坑辉绿岩和大理岩相互交代的实验, 在500℃下经过168小时后才出现水钙铝榴石(实验5、40、56); 而在西麻山混合岩化作用实验中, 用0.4MNaCl+0.4MNaF+0.2MKF溶液作为反应溶液, 在350℃下只经过了120小时或更短的时间, 就形成了钙铁榴石(实验646、649)。显然, K, Na卤化物溶液在钙铝-钙铁系列石榴子石的形成过程中起着降低温度和加快结晶速率的作用^[14], 因此, 常使钙铝榴石-钙铁榴石固溶体矿物的光性出现异常, 成为非均质体。

在钙铝-钙铁系列石榴子石中, 不同的石榴子石对反应溶液pH值的要求也不相同。例如, 大冶黑云母辉石闪长岩和灰岩在500℃和 600×10^5 Pa条件下, 在不同pH值的Na、K卤化物溶液中相互交代, 实验结果表明: 在反应溶液pH=9.0时, 未出现石榴子石; 当pH=8.0时, 仅出现少量钙铁榴石; 只有当pH=6.0时, 才形成略带黄棕色的菱形十二面体、四角三八面体或两者聚形的钙铝榴石-钙铁榴石和钙铁榴石。又如磁海火山气热液作用于次火山岩的实验, 在500℃和 500×10^5 Pa条件下, 在不同pH值的Na、K卤化物溶液中相互反应, 结果表明: 在pH=11.0的碱性溶液中形成了颗粒粗大的钙铁榴石, 而在pH=2.5的情况下, 实验产物内只出现少量浑圆状(<0.001 mm)的钙铝榴石。再如, 在混合岩化作用的实验中, 只有pH=4.5—6.5的K、Na卤化物溶液, 才能产生浅黄绿色、透明、晶形发育完善的钙铁榴石、钙铝榴石和钙铝榴石-钙铁榴石。一般说来, 钙铝榴石在中-酸性反应溶液中晶出, 而钙铁榴石在pH=4.5—11.0范围内的溶液中都可以形成。

3.4 氧化-还原环境

氧化-还原环境是形成钙铝-钙铁系列石榴子石不可缺少的条件。在笔者所做的实验中, 除了以超基性-基性岩作试料外, 其余实验样品都要加入一定量(10—15mg)的 Fe_2O_3 才能形成钙铁榴石、钙铝榴石-钙铁榴石。否则, 实验产物中只出现结晶程度不好的水榴石、水钙铝榴石和少量钙铝榴石。这说明钙铝-钙铁系列石榴子石在氧化-弱氧化环境中形成。海南石碌和黑龙江孟家岗沉积变质实验中氧逸度的研究结果表明^[5]: $\log fO_2 = -21.763 - 11.066$, $Eh = 0.13 - 0.97V$ 的氧化-弱氧化环境有利于钙铁榴石的形成; 而钙铝榴石则在 $\log fO_2 = -28.637 - 16.514$, $Eh = -1.15 - 0.27V$ 的弱氧化-弱还原条件下容易生成。

4 结论

20多年来, 通过14个矿区近3000次的交代作用实验, 其结果表明:

(1) 在350—700℃和 $300 \times 10^5 - 1400 \times 10^5$ Pa的温、压条件下, 在 $\log fO_2 = -28.637 - 16.514$ 的氧化-弱还原的环境内, 在pH值为4.0—11.0的含不同浓度Na、K卤化物的反应溶液中, 接触交代、沉积变质、火山作用和混合岩化的实验都形成了钙铝-钙铁系列石榴子石。它们常与硅灰石、透闪石、透辉石、钙铁辉石、磁铁矿、铝黄长石、方柱石、符山石和硬石膏等标型矽卡岩矿物共生。

(2) 交代实验所形成的钙铝-钙铁系列石榴子石的主要物理光学特征是: 无色、浅黄、浅绿、浅棕和深棕色。透明至半透明。结晶好的呈菱形十二面体、四角三八面体或两者的聚形, 结晶差的呈浑圆状。均质体。但在钙铝榴石-钙铁榴石固溶体矿物中常见到一级灰干涉色的光性异常。它们的折光率如表2所示。

(3) 钙铝-钙铁系列石榴子石随温度变化的特征是: 350—500℃, 以水榴石和水钙铝榴石为主; 450—600℃, 以钙铁榴石为特征; 550—700℃, 钙铝榴石占优势。压力只对这些产物的产出量、粒度有一定的影响。钙铝榴石在中-酸性溶液、弱氧化-弱还原环境中容易晶出; 而钙铁榴石则在pH=4.0—11.0的溶液、氧化-弱氧化环境中形成。K、Na卤化物溶液加快了钙铝-钙铁系列石榴子石的结晶速率, 但也使钙铝榴石-钙铁榴石固溶体矿物出现光性异常, 成为非均质体。

在X射线衍射和红外吸收光谱分析以及钙铝-钙铁系列石榴子石的鉴定中, 承蒙中国地质科学院矿床地质研究所高级工程师[黄家山]、林月英和煤炭科学研究院红外组的指导和帮助, 在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Каливин Д В. Экспериментальные исследования физико-химических условий скарнирования. Издательство Наука, Москва, 1969.
- 2 George R R and Roger D A. The hydrous compositions in garnets: grossular-hydrogrossular. American Mineralogist, 1991, 76: 1153—1156.
- 3 梁祥济、程莱仙等. 福建马坑矽卡岩分带的模拟实验. 长春地质学院院报, 1981, (2): 11—25.
- 4 梁祥济、李德兴、张仲明. 侵入岩与碳酸盐岩接触形成交代岩的实验研究. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1986, (15): 166—183.
- 5 梁祥济、乔莉. 沉积变质中交代岩和有关铁矿形成机理的实验研究. 中国地质科学院院报, 1988, (18): 159—194.
- 6 梁祥济、乔莉. 火山岩中交代岩和铁矿的实验研究. 岩石矿物学杂志, 1991, 10(4): 300—314.
- 7 梁祥济. 混合岩化作用中交代岩和铁矿形成的实验研究. 矿床地质, 1993, 12(4): 356—369.
- 8 梁祥济. 方柱石在热液中形成的物理化学条件的实验研究. 地质学报, 1982, 56(2): 136—147.
- 9 梁祥济、曲国林等. 透辉石-锥辉石在交代岩中形成的物理化学条件. 岩石矿物及测试, 1983, 2(1): 35—43.
- 10 梁祥济、乔莉. 水热交代实验形成的铝黄长石的特征和物理化学条件. 地质论评, 1988, 34(2): 145—156.
- 11 王德滋. 光性矿物学. 上海: 上海科学技术出版社, 1965.
- 12 中国地质科学院地质矿产所. 透明矿物显微鉴定表. 北京: 地质出版社, 1977.
- 13 梁祥济、乔莉. 交代实验形成的硅镁石族矿物的特征和物理化学条件. 岩石矿物学杂志, 1990, 9(4): 340—350.
- 14 梁祥济、程莱仙、曲国林. 在高温高压下卤素和钾、钠卤化物在铁矿形成中的作用和影响. 地球科学, 1982, (3): 87—98.

Garnets of Grossular-Andradite Series: Their Characteristics and Metasomatic Mechanism

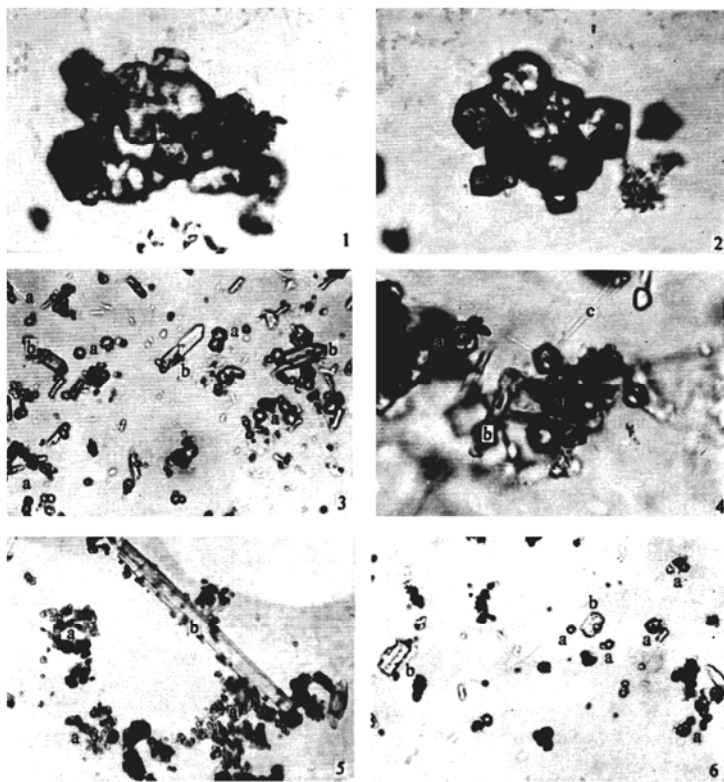
Liang Xiangji

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Key words: experimentation on metasomatism; characteristics of garnets of grossular-andradite series; genetic mechanism

Abstract

Based on field work in fourteen typical ore districts of China, the author made experiments on contact metasomatism of ultrabasic-acid intrusive rocks with carbonate rocks, interaction between volcanic pneumatolyto-hydrothermal solution and volcanic rocks, and metasomatism in the process of sedimentary metamorphism and migmatization. The results show that hibschite, hydrogrossular, grossular, andradite and their transitional minerals hibschite-hydrogrossular, hydrogrossular-grossular and grossular-andradite might be formed in aqueous solution with K, Na halides of different concentrations and pH 4.0—11.0 under the conditions of 350—700°C, 300×10^5 — 1400×10^5 Pa and $\log f_{\text{O}_2}$ —28.637—-16.514. The main optical properties of these minerals were determined by such methods as microscopy, X-ray diffraction analysis and infrared absorption spectrometry. Finally, their formation mechanism was revealed through an analysis of physicochemical conditions.



- 1 钙铝榴石集合体 (黑龙江天宝山) 实验596 油浸 单偏光 $\times 880$
- 2 钙铁榴石集合体 (湖北大冶) 实验428 油浸 单偏光 $\times 730$
- 3 水钙榴石 钙铝榴石 (a) - 方柱石 (b) (福建马坑) 实验71 油浸 单偏光 $\times 800$
- 4 钙铝榴石 钙铁榴石(a) + 透辉石(b) + 透闪石(c) (海南石碌) 实验550 油浸 单偏光 $\times 900$
- 5 水榴石 (a) + 透闪石 (b) (福建马坑) 实验8 油浸 单偏光 $\times 250$
- 6 水钙榴石 (a) + 透闪石 (b) (内蒙古黄岗东段) 实验518 油浸 单偏光 $\times 480$