

西秦岭地区钙碱质火山岩中石榴石的发现及其地质意义

王松产 丁毅

(中国地质科学院地质研究所)

关键词: 西秦岭; 火山岩; 石榴石

摘要: 在西秦岭钙碱质火山岩中首次发现富铁铝成分的石榴石, 成分与国外已有资料相比明显地富Ca。有证据表明, 区内火山岩中石榴石不是外来捕获晶或残留相, 而是偏“干”的岩浆处于早期高压环境下的结晶相。石榴石晶体周边生长的斜长石晶环并不是岩浆反应产物, 而是岩浆在温压突变条件下以被消融残留的石榴石为中心从岩浆中直接晶出的。依据地质和实验岩石学资料推断, 西秦岭中生代含石榴石钙碱质火山岩浆可能起源于50km以下的地壳基底。

钙碱质火山岩中石榴石斑晶矿物的存在就全球范围来说并不常见, 迄今仅在澳大利亚、美国、英国、苏联、日本、意大利、西班牙、捷克斯洛伐克和南极半岛等的局部地区有过报导, 而国内尚属首次。由于钙碱质火山岩分布广泛, 又不同于某些玄武岩, 很少有高压斑晶矿物以证实其具有深层位的生成特点。因此, 火山岩中石榴石晶体的出现引起岩石学界的极大兴趣, 一度对其在岩石中的赋存性质、矿物学特征, 成分变化及成因展开过热烈的讨论。一些实验岩石学家如格林、林伍德、亨森(Henson)等对火山岩中石榴石的生成和稳定性作过多次的岩石学实验研究。直到现今, 对钙碱质火山岩中石榴石在成因上仍有同源岩浆结晶相和异源捕获晶的不同认识。

本次发现的含石榴石火山岩出露在甘肃南部的合作镇和青海同仁县黄南州的麦秀林中生代陆相火山岩盆地中。盆地置于西秦岭印支地槽褶皱带及前印支期构造变形地层之上。

一、含石榴石火山岩的基本特征

含石榴石火山岩主要是安山岩、安山质角砾熔岩和安山质火山角砾岩。构成岩石的斑晶矿物有环带斜长石(含量12%), 不透明矿物(7%), 少量石英和黑云母(<3%)以及石榴石(<1%)。其中不透明矿物从晶体形态判别可能是暗化分解了的角闪石, 也许有少量辉石。副矿物有磷灰石、锆石、磁铁矿和黄铁矿。基质由微晶斜长石组成, 呈显微交织结构。全岩普遍遭受碳酸盐化。对斑晶环带斜长石的内环(核部)、外环及边环4个点成分测定结果(表2), An值分别为61、56、52和48; 微晶斜长石An为28。总的成分趋势呈正环带结构。

含石榴石安山岩的化学成分(表1)与普通安山岩无明显差别, 仅里特曼指数(σ)

偏低, 为1.09, $\langle \text{FeO} \rangle / \text{MgO} = 1.72$; 标准矿物分子中没有刚玉分子, 这一点与国外一些地区含石榴石安山岩为铝过饱和系列有所不同。

安山岩的稀土元素特征(表1, 图1)是, 稀土总量较高, 达135ppm; 轻稀土组和重稀土组均有明显的分馏现象, $(\text{La}/\text{Sm})_N = 3.70$, $(\text{Ga}/\text{Yb})_N = 2.12$, $(\text{La}/\text{Yb})_N = 20.07$; 元素Eu略显亏损, δEu 为0.80。球粒标准化图式呈右倾富集型。这些特征与在同一盆地中共生产出的不含石榴石的火山岩稀土元素特点是一致的。

表1 含石榴石安山岩的化学成分和含量

Table 1 Chemical composition (wt%) and REE content (ppm) of Garnet-bearing andesite

化 学 成 分 (%)													
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅			
60.36	0.81	17.83	2.37	3.71	0.16	3.40	7.15	2.23	1.85	0.13			
REE 含 量 (ppm)													
La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
25.49	52.84	5.27	21.26	4.31	1.04	4.40	0.64	2.95	0.58	1.43	0.20	1.27	0.15

注: 化学成分为去水和挥发后重新换算的百分比, 由中国地质科学院岩矿测试所分析。

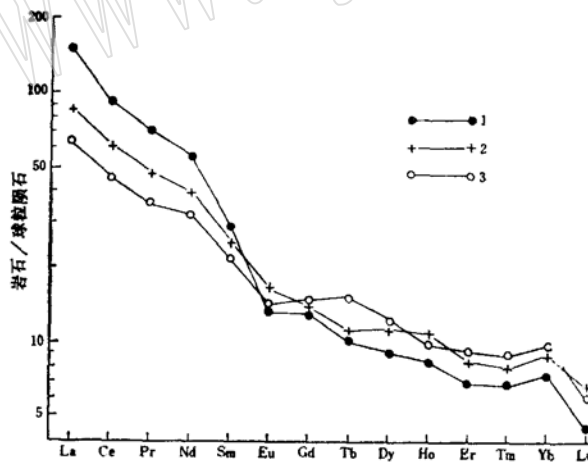


图1 安山岩的稀土模式

Fig 1 REE patterns of the andesites

1—含石榴石安山岩; 2、3—不含石榴石的安山岩和玄武安山岩

二、石榴石在岩石中的赋存状态

石榴石呈深红色等粒状(照片1), 常见粒径为0.5—2 mm, 所见最大者4 mm。晶体裂纹发育并常为铁绿泥石充填。熔岩中石榴石普遍受到熔蚀, 但其周边未发现国外所报导的堇青石—紫苏辉石反应边(Green等, 1968)或堇青石—黑云母反应边(Miyashiro, 1955), 也没有见到绿泥石和磁铁矿反应边(Fitton, 1972), 却常见存在一个

宽窄程度不等的由斜长石构成的晶体

环(下称“晶环”)。“晶环”或由自形一半自形的细斑斜长石集合体构成(照片2)或为若干个具清晰环带结构的粗斑斜长石联晶组成, 而石榴石成了联晶的核心部分(照片3)。也有“晶环”即是一个完整自形的斜长石斑晶(照片4), 一些学者, 如Oliver(1956)^[1]、

Hamer (1982)^[2]将发育于石榴石晶体周边的斜长石视为石榴石与熔体在不平衡条件下生成的一种反应物。我们根据构成“晶环”的斜长石特征,特别是上述环带斜长石联晶和单个自形斜长石斑晶,认为,这些构成“晶环”的斜长石是以早期结晶的石榴石为结晶中心从岩浆中正常晶出的造岩矿物。对以石榴石为核心的联斑斜长石环带进行自内环向边环 6 个点的成分分析(见表 2),其 An 值分别为 51、53、50、53、54 和 60。成分总趋势与前述斑晶斜长石环带成分趋势恰好相反,呈反环带结构。而且其外环成分与前述内环成分相当。在 An—Ab—Or 三角图(图 2)上可看出两者成分似乎构成连续演变趋势。

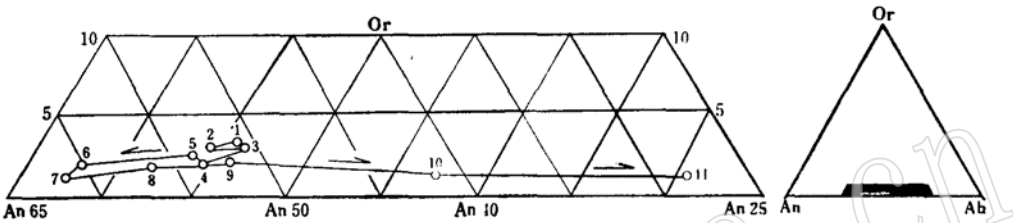


图 2 环带斜长石的成分变化趋势
Fig. 2 Evolutional trend of composition for zoning plagioclase
图中小圆符号及数字为表 2 所列斜长石成分顺序号及投点位置,实线及箭头为成分演变趋势和方向

表 2 斜长石环带成分测定结果
Table 2 zonary compositions of plagioclases
(electron probing analysis)

成分		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	An	Ab	Or
部位	序号	石榴石周边的环带斜长石												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
内环 ↓ 边环	1	55.76	0.05	28.52	0.14	0.02	0.02	9.99	4.94	0.53	0.02	51.08	45.71	3.21
	2	56.45	0.05	28.36	0.09	/	0.03	9.92	4.66	0.43	/	52.57	44.69	2.74
	3	56.36	0.03	28.59	0.11	0.04	0.03	9.45	4.82	0.49	0.07	50.37	46.51	3.12
	4	55.47	0.01	28.51	0.15	0.03	/	10.55	4.85	0.38	0.05	53.34	44.40	2.26
	5	55.59	/	28.89	0.12	/	0.03	10.26	4.66	0.39	0.05	53.57	44.03	2.40
	6	53.57	0.07	29.96	0.10	/	0.04	11.82	4.11	0.27	0.05	60.37	37.97	1.66
内环 ↓ 边环	安山岩中斑晶环带斜长石													
	7	52.60	/	30.03	0.14	/	/	12.50	4.18	0.20	0.08	61.40	37.44	1.16
	8	53.83	0.04	29.14	0.12	0.03	0.04	11.21	4.93	0.30	0.03	56.26	41.93	1.81
	9	54.56	/	28.58	0.14	/	0.03	10.73	5.15	0.39	/	52.23	45.45	2.32
	10	56.01	0.02	27.53	0.04	/	0.03	9.62	5.74	0.64	0.08	47.76	51.40	0.84
	安山岩基质微晶斜长石													
	11	60.37	0.03	25.01	0.09	/	0.02	5.85	8.13	0.22	0.10	28.10	70.67	1.23

数据均为电子探针测定值,由中国地质科学院矿床所周剑雄分析。

从图中反映出岩石中斜长石成分的演变始终保持在An—Ab线附近,也就是说通过岩石中斜长石成分的演变轨迹可反映出岩浆中的碱质组分趋向于富钠,而钾基本保持不变,这对安山岩中角闪石的结晶是有利的。因为实验资料表明,在 Na_2O 含量低于3%的液相中角闪石并不结晶。

在一些石榴石晶体内部见有针状磷灰石雏晶(照片5)和很多细微玻璃质包裹体(照片6),但未见气液相包裹体。

火山碎屑岩中的石榴石均呈棱角状碎屑(照片5)

三、石榴石化学成分及同源结晶相证据

表3列出了石榴石成分及端员分子组成的百分含量。为便于对比,同时列有部分国外文献中的分析数据。

表3 石榴石化学成分及端员组分百分含量
Table 3 Chemical composition (wt%) and end-member
of Garnets electron probing analysis

序号 成分	1	2 中部	3 边缘	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	37.34	37.62	37.61	36.87	37.15	37.39	37.52	37.90	38.45	37.30
TiO_2		0.29	0.20	0.22	0.22	0.22	0.13	0.20		
Al_2O_3	21.28	21.39	21.62	21.41	22.09	21.60	21.33	21.30	21.46	21.59
FeO	29.73	27.61	26.84	29.36	27.16	27.22	32.97	32.60	31.88	35.13
MnO	1.91	1.75	1.83	1.68	1.71	0.76	1.75	1.80	1.77	2.95
MgO	4.08	3.74	3.92	4.29	3.24	5.42	3.69	5.10	6.36	3.32
CaO	5.63	7.62	6.83	5.94	8.18	6.73	2.74	1.70	1.71	1.29
Na_2O	0.03	0.08	0.06	0.05	0.10	0.10				
K_2O		0.02	0.01	0.02	0.02	0.02				
Cr_2O_3		0.10		0.15	0.03	0.08				
总量	100.00	100.22	98.92	99.99	99.90	99.54	100.13	101.00	101.63	101.58

矿物端元组分(%)

Alm	64	60	60	63	60	59	74	71	68	77
Pyr	16	15	16	17	13	21	15	20	24	13
Gro	16	21	20	16	23	19	9	5	5	4
Spe	4	4	4	4	4	2	4	4	4	7

数据均由电子探针测定。

1—5—甘肃合作镇样品,(其中1—3为安山岩中石榴石,4、5—火山角砾岩中石榴石);6—青海麦秀林安山质角砾

熔岩石榴石；7—南极圣三主半岛安山岩中石榴石（A. B. Moyes等1983, 表1）；8—澳大利亚、维多利亚，流纹英安岩中石榴石（T. H. Green等, 1968, 表3, 124个平均值）；9、10—分别为北英格兰安山岩和英安岩中石榴石（J. G. Fittou, 1972, 表3）；Alm、Pyr、Gro、Spe 分别为石榴石中铁铝榴石、镁铝榴石、钙铝榴石和锰铝榴石分子。

1由中国地质科学院矿床所杨明明分析，2—6由中国科学院地质所电子探针室分析。

结果表明，西秦岭中生代钙碱质火山岩内的石榴石端员组分中含铁铝榴石分子为59—64%，镁铝榴石为13—21%，钙铝榴石和锰铝榴石分别为16—21%和2—4%。不难看出它们属于富铁铝成分的石榴石，以低MgO、贫MnO为特征。这一成分特点与国外钙碱质火山岩中的石榴石基本一致，只是区内的含铁铝榴石分子略低而钙铝榴石分子偏高。石榴石从中部（序号2）到边缘（序号3）成分上无分带现象。需要指出的是甘肃合作镇安山岩和火山碎屑岩中的样品，成分相当稳定，而青海麦秀林安山质角砾熔岩中样品较前者稍富Mg而更贫Mn。

石榴石穆斯堡尔谱线图呈现一对峰，且几乎全部由 Fe^{2+} 组成（表4、图3），说明石榴石结晶于一种低氧逸度的深源环境。

表 4 熔岩中石榴石的穆斯堡尔谱参数

Table 4 Mössbauer Parameters of Garnet in volcanic rock

中心位移 (mm/s) ①			四极分裂 (mm/s)			线 宽 (mm/s)			面积百分数		
Fe^{2+} (外峰)	Fe^{2+} (内峰)	Fe^{3+}	Fe^{2+} (外峰)	Fe^{2+} (内峰)	Fe^{3+}	Fe^{2+} (外峰)	Fe^{2+} (内峰)	Fe^{3+}	Fe^{2+} (外峰)	Fe^{2+} (内峰)	Fe^{3+}
1.30	/	/	3.58	/	/	0.25	/	/	接近 100	/	/

①中心位移相对于 $\alpha\text{-Fe}$ 。

分析者：中国地质科学院地质所穆斯堡尔谱实验室。

条件：国产（261厂）等加速穆斯堡尔谱仪， Co^{57} 源，速度2.4 mm/s。

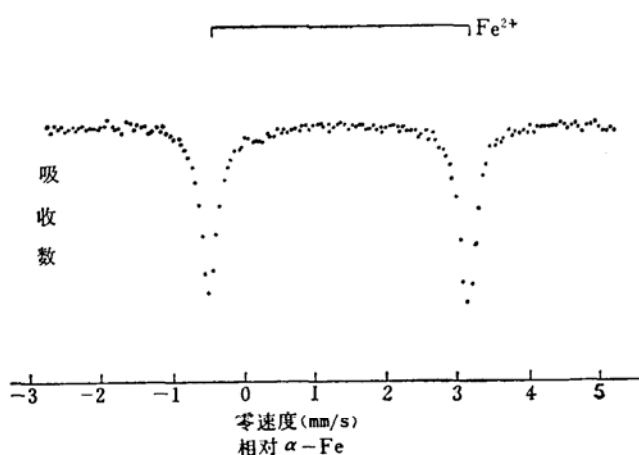


图 3 石榴石穆斯堡尔谱线图

Fig 3 Mössbauer parameters of garnet

众所周知，石榴石矿物既可在中—高级变质岩中出现，也可在花岗质深成侵入岩内晶出。因此，单就火山岩中的石榴石而言，除了从火山岩浆中结晶外，也有可能通过火山作用从早期已生成的变质岩或深成岩中捕获。当然也可作为安山质岩浆源区岩石部分熔融的残留相矿物被迅速上升的熔浆带出地表。通过研究，有下述理由使我们认为西秦岭钙碱质火山岩中的石榴石既不是异源捕获晶也不是源区残留相，而是火山岩浆早期同源结晶产物。

1. 火山岩分布地区或邻近地区出露最老地层主要是古生代未受变质或受轻微变质的灰岩、长石石英砂岩和板岩等。假如石榴石来自地壳深处的高级变质岩,如麻粒岩或深成岩,那么理应在含石榴石的火山岩类中存在相应岩相的碎屑或与石榴石同一成因的伴生矿物。然而在岩石中仅见有少量砂岩岩屑而无其它碎屑存在。

2. 石榴石晶体中包裹有雏晶磷灰石和硅酸盐玻璃包裹体,证明石榴石经历过硅酸盐熔体的液相环境。

3. 石榴石普遍存在的熔蚀现象及其周边发育的斜长石晶环,不仅反映了岩浆早期晶出的石榴石从一个深成的高压结晶条件被转移到浅部低压环境后遭受岩浆的消融,而且残留的石榴石成了低压结晶矿物斜长石的结晶中心。构成“晶环”的自形斜长石,晶形完整无碎裂迹象,表明石榴石与其周边的“晶环”不是岩浆生成以前即已存在的结晶碎块。

4. Hamer (1982)^[2]等,对南极圣三主半岛火山岩中不同成因类型的石榴石成分研究后,认为,变质成因者Mg含量偏高,Ca偏低,而深成侵入岩中者Mn含量较高,Mg较低。区内石榴石成分与南极圣三主半岛火山成因的石榴石相当(图4)。

5. 实验研究表明,在 $9-36 \times 10^8 \text{ Pa}$ 压力, $1400-800^\circ\text{C}$ 条件下从流纹英安岩和安山岩液相中可晶出石榴石(Gill, 1981)^[3], (Green等1968)^[4],这就为火山成因石榴石提供了实验依据。

6. 含石榴石火山岩的REE图式(见前)间接地反映出岩浆结晶过程中经历过石榴石的结晶分异作用。因为从组成该岩石的主要实际矿物来看,斜长石的REE分配系数 DL_{REE} 略大于 DH_{REE} ,而角闪石的REE分配系数 $DM_{REE} > DH_{REE} > DL_{REE}$ 。为此,由斜长石和角闪石的结晶分离不能产生目前所见的岩石REE图式,只有石榴石($DH_{REE} \gg DL_{REE}$)参与结晶分离才能较合理地解释岩石右倾富集型的

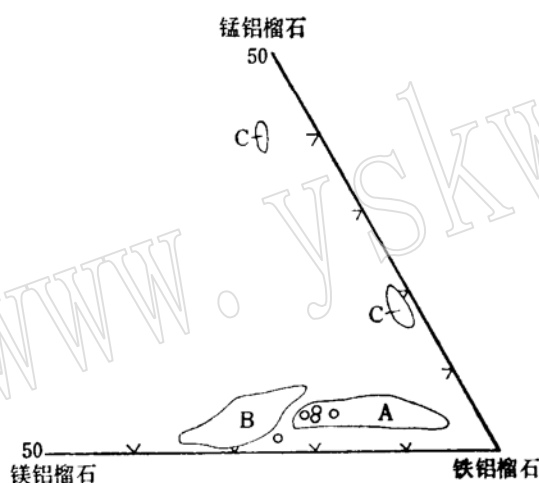


图4 石榴石组分的三角图(引自Hamer等, 1982)
Fig 4 Triangular variation diagram of garnet composition

A—火山岩浆中晶出的石榴石组分; B—变质成因的石榴石组分; C—深成侵入岩浆中晶出的石榴石组分 符号圈为本区石榴石组分投影

REE模式特点。

四、石榴石对成岩过程的指示意义

实验岩石学结果表明,石榴石成分与其结晶时的介质温度、压力和水含量有着一定的制约关系。图5概括了 $18-36 \times 10^8 \text{ Pa}$, $800-1175^\circ\text{C}$ 实验条件下从安山质液相中晶出的石榴石成分变化趋势(Gill, 1981)^[3]和钙碱质熔岩中天然石榴石的成分范围。从图下

方人工合成石榴石的成分趋势线可看出,随着压力和含水量的增大,石榴石中Ca含量趋向增加(箭头更偏向钙铝榴石一端),而温度的增高将导致Mg含量的增高。

据本次发现的部分石榴石晶体内存有多量的玻璃包裹体而缺少气液相推断,该石榴石结晶于相对偏“干”的硅酸盐体系。Brousse等(1972)^[5]在研究斯洛伐克安山岩中石榴石成因时认为,如果石榴石组分中钙铝榴石和钙铁榴石接近于20克分子,此类石榴石结晶于无水介质和压力大于 $18 \times 10^8 \text{ Pa}$ 的条件下。本区石榴石的钙铝榴石达16—21%。Green(1982)^[6]在以拉斑玄武岩和安山岩为试料的实验基础上认为,安山岩浆是在高压含水不饱和(0.5—5%)条件下产生的。该实验不仅为区内晶出石榴石时的安山质岩浆可能属偏“干”的硅酸盐体系的推断提供实验依据,同时对岩浆可能起源于镁铁质下地壳的部分熔融给予了启示。因为西秦岭地区于元古代末是处于扩张演化阶段的秦祁昆古海的一部分,优地槽型的火山喷发活动十分频繁(李春昱1979)^[7],

这些火山堆积物构成了西秦岭印支褶皱带地壳基底的一部分。地球物理资料表明,甘肃、宁夏、青海部分地区的平均地壳厚度约 $62 \pm 2.5 \text{ km}$ (张诚等1979)^[8]。考虑到西秦岭地区经印支运动后除局部地区因断块活动沉积了中生代晚期和新生代地层外,地壳基本处于稳定。如此,现今的地壳厚度应接近于印支期后的地壳厚度。依据本区地质背景,火山岩中石榴石特征和已有的实验岩石学资料推断,西秦岭中生代陆相钙碱质火山岩浆起源于50km以上深度(约 $18 \times 10^8 \text{ Pa}$ 左右压力条件)的下地壳底部环境。

图5上方的天然石榴石成分投影可划分成二个成分区,A区为安山岩中的石榴石成分区;B区为英安岩和流纹岩中石榴石成分区。可以看出,A区较B区富Mg。可见天然石榴石成分与岩石成分有一定关系,这一点Fitton(1972)^[9]对北英格兰Borrowdele含石榴石火山岩研究时有过详细的阐述。将区内石榴石成分投影图5中可见,甘肃合作镇样品基本位于B区,青海麦秀林样品位于A区。青海麦秀林和甘肃合作镇两个北西向相距120km的火山盆地,在生成时代,所处地质构造部位和岩相组合等方面完全一致,无疑是同一地质构造环境的产物。因此两地相同安山质岩类中所含石榴石组分(Mg)的差别可

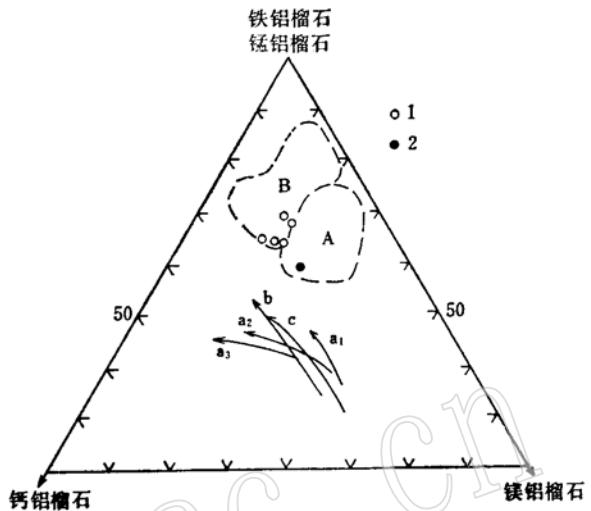


图5 钙碱质熔岩中天然石榴石成分范围和实验条件下的石榴石成分趋势(仿Gill 1981)

Fig 5 Composition range of natural garnets in calcalkaline lavas and composition trend of garnets precipitated at experimental conditions

a— $18 \times 10^8 \text{ Pa}$; b— $30 \times 10^8 \text{ Pa}$; c—27和 $36 \times 10^8 \text{ Pa}$
其中 a_1 、 a_2 、 a_3 分别为2%、5%、10%的含水量;A区●为安山质熔岩中天然石榴石成分;B区为英安岩和流纹岩中天然石榴石成分;1—甘肃合作镇样品;2—青海麦秀林样品

●A、B两区成分范围,据资料(Gill, 1981)由笔者圈定。

能暗示前一地区比后一地区岩浆形成深度更大一些。地球物理资料反映出青海东部和甘肃一带地壳厚度自东向西变厚^[8]。

关于石榴石周边发育的斜长石晶环以及“晶环”中斜长石的反环带结构,可作如下解释。当起源于下地壳的深层岩浆向地壳浅部转移时,早期高压环境下结晶的石榴石因压力条件的改变而与硅酸盐熔体失去平衡被消融,与此同时也增高了石榴石周边岩浆组分中的Ca和Al浓度。在新的温压条件下有利于斜长石晶芽沿石榴石周边发育生长,构成了目前所见的自形程度较好的斜长石结晶环。“晶环”类似于一层“保护壳”阻隔了石榴石与岩浆的直接接触,使其免遭彻底消融而保存下来。

另一方面,当岩浆上升至某一深度的岩浆库时,温度、压力条件突然改变后将会出现一个等温、等压的结晶期。正如Smith等(1983)^[10]在斜长石环带构造的分析和实验研究中曾指出过,在此期间生长的斜长石具有反环带结构。这就为区内安山岩中熔蚀状石榴石及其周边生长的反环带斜长石的密切伴生关系,在时间上和物化条件上提供了实验解释的基础。当然,两种环带结构截然不同的斜长石共存于同一岩石中也可能是不同斑晶结构的岩浆混合所致。

通过上述的研究分析,可获得如下的结论和推断。

1. 西秦岭中生代钙碱质火山岩中的石榴石不是异源捕获晶。而是高温高压条件下,火山同源岩浆早期的结晶相。石榴石晶出于偏“干”的硅酸盐熔体。
2. 石榴石周边发育的斜长石晶环不是非平衡条件下发生的反应边产物,而是当深部岩浆进入地壳浅部层位后,由于温压的突变导致早期晶出的石榴石消融,同时增高了石榴石周边熔体的Ca和Al浓度,从而在新的温压条件下以石榴石为中心结晶出具反环带构造为特征的斜长石。
3. 西秦岭中生代含石榴石钙碱质安山岩岩浆可能发生于深度大于50km的下部地壳,而且自甘肃向青海岩浆形成的深度有增大的趋势。

参 考 文 献

- [1] Oliver, R.L., 1956, The origin of garnets in the Borrowdale volcanic series and associated rocks, English Lake District, Geol. Mag. Vol. 93, 121—139.
- [2] Hamer, R.D., and Moyes, A.B., 1982, Composition and origin of garnet from the Antarctic Peninsula volcanic group of Trinity Peninsula, J. Geol. Soc. London, Vol. 139, 713—720.
- [3] Gill, J.B., 1981, Orogenic andesites and plate tectonics, Springer—Verlag Berlin Heidelberg New York.
- [4] Green, T.H., and Ringwood, A.E., 1968, Origin of garnet phenocrysts in calc-alkaline rocks, Contr. Miner. Petrol. Vol. 18, 163—174.
- [5] Brousse, R., et Bizouard, H., 1972, Grenats des andesites et des rhyolites de Slovaquie, origine des grenats dans les series andesitiques, Contr. Miner. Petrol., Vol. 35, 201—213.
- [6] Green, T.H., 1982, Anatexis of mafic crust and high pressure crystallization of andesite magma: an approach from synthetic systems, Earth Planet Sci. Lett., Vol. 42, 294—299.

- [7] 李春昱、刘仰文、朱宝清、冯益民、吴汉泉, 1979, 秦岭及祁连山发展史, 国际交流地质学术论文集, 地质出版社。
- [8] 张诚、张伶、邓齐赞、葛建华, 1979, 甘肃及邻近地区的地壳厚度, 西北地震学报, vol.1, 22-26.
- [9] Fitton, J.G., 1972, The genetic significance of almandinepyrope phenocrysts in the calc-alkaline Borrowdale volcanic group, Northern England. Contr. Miner. Petrol., Vol.36, 231-248.
- [10] Smith, R.K. and Lofgren, G.E., 1983, An analytical and experimental study of zoning in plagioclase, Lithos, Vol.16, 153-168.

The Discovery of Garnet in Calc-alkaline Volcanic Rocks of Western Qinling and Its Geological Significance

Wang Songchan Ding Yi

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences)

Key words: Garnet, calc-alkaline volcanic rocks, western Qinling

Abstract

This is the first time when garnet was discovered in calc-alkaline volcanic rocks of Mesozoic era in western Qinling, the composition of which is almost in coincidence with that in data reported from abroad, that is, the garnet is an almandine characterized by abundant Fe, less Mg and rare Mn, but of higher proportion of Ca.

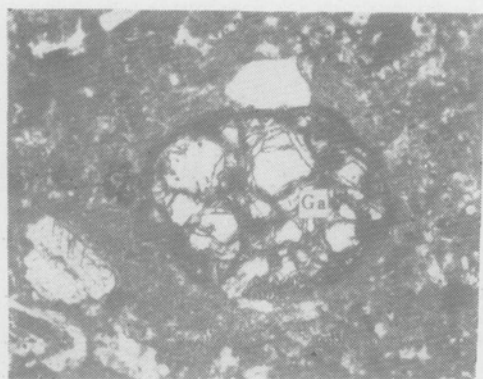
Almost all of the garnet in the rocks are the corroded ones and surrounded by euhedral-subhedral plagioclases (some are with zonary structure), which makes us believe that these plagioclases are not the reaction rims between garnet and magma, but the products of magmatic crystallization. The crystallizing mechanism is that while the uprising magma was corroding early crystallized garnet, Ca and Al contents increased around it so that it helped to form the plagioclases around the residual garnet.

In the volcanic rocks there are no xenoliths of metamorphic,
(下转第36页)

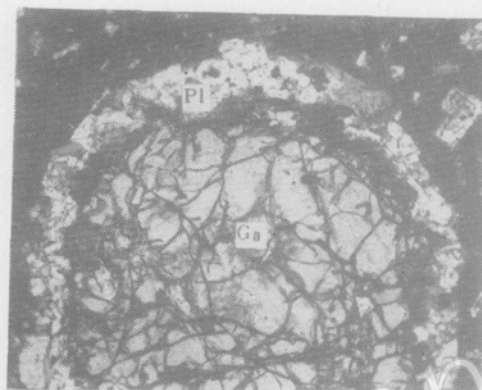
www.yskw.ac.cn

(上接第21页)

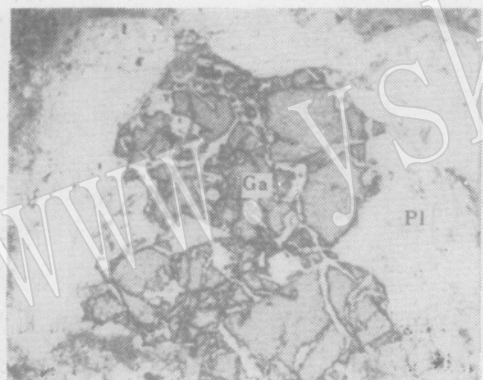
plutonic rocks and other minerals with the same crystallizing conditions as garnet, and in the garnet crystal there are some silicate glass inclusions, etc, and considering the data which have been published and the geologic background of the Mesozoic volcanic rocks, we think that the garnet is not the xenolith crystal of the magma, but the early-crystallized mineral of the same magma as the mother rock. And based on that we infer that the magma which formed the rock originated from the bottom of the lower crust at a depth of more than 50 km.



照片 1 熔蚀粒状石榴石 单偏光 $\times 25$



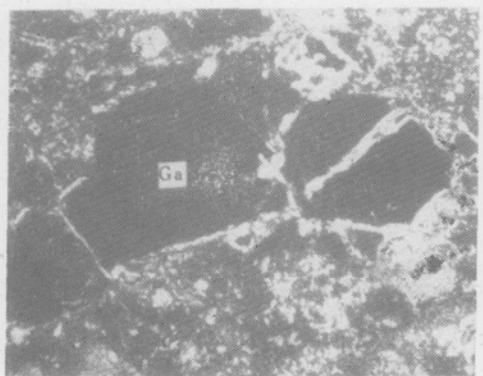
照片 2 石榴石周边的斜长石晶环 单偏光 $\times 15$



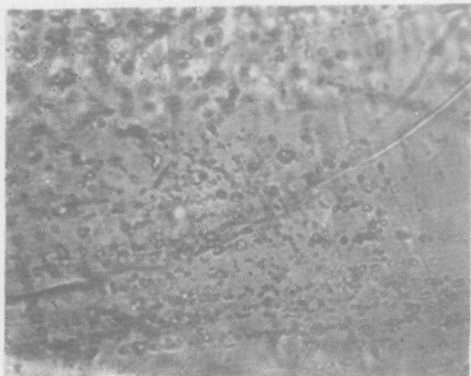
照片 3 石榴石居于斜长石联斑中心 单偏光 $\times 20$



照片 4 石榴石位于自形环带斜长石的核部 正交偏光 $\times 25$



照片 5 碎屑状石榴石及其包裹的针状磷灰石纤维 正交偏光 $\times 85$



照片 6 石榴石的玻璃包裹体群 单偏光 $\times 800$