

透辉石—锥辉石在交代岩中形成的物理化学条件

梁祥济

(中国地质科学院地质研究所)

曲国林 林月英

(中国地质科学院矿床地质研究所)

透辉石是岩浆岩、变质岩和交代岩中最常见的矿物之一。锥辉石在一些传统的矿物学书中都归入霓石一栏内,笼统地谈到产在碱性岩中。但是,锥辉石产出比霓石广的多。原生锥辉石在美国科罗拉多、怀俄明和犹他州 Green—River 的一些岩系中普遍可见^[1],它还可在蚀变的含铁片岩和角闪岩中出现^[2],有的还产在含有 Na、Fe 的蚀变围岩之中,它的产出与辉石和闪石类矿物密切相关。然而,透辉石—锥辉石这一对矿物作为气成高温蚀变产物究竟在什么样的物理化学条件下共存呢?它们又与哪些矿物密切共生呢?这是本文将要论及的问题。

透辉石—锥辉石是一对不完全互溶的固溶体。在干体系中有透辉石的实验做得很多,如:透辉石—钙铁辉石、透辉石—钙长石、透辉石—硬玉、透辉石—霓石和顽火石—硅灰石体系中的透辉石等,它们绝大多数是常压(1 atm)高温($\geq 1000^\circ\text{C}$)和高压(1千巴)高温($\geq 1000^\circ\text{C}$)的实验产物^[3,4,5]。而透辉石—锥辉石固溶体熔融实验,仅见到 R. H. 卡赛伊(Cassie, 1971)做的 $P=1\text{ atm}$, $T=1100-1500^\circ\text{C}$ 和 $P=1-4$ 千巴, $T=1000-1600^\circ\text{C}$ 的实验资料,其中透辉石—锥辉石固溶体(DiAc_{ss})范围很小^[6]。至于在水热体系中,形成透辉石或透辉石—钙铁辉石的实验资料也不少。像 I. A. 弗拉西尔(Fraser 1955)^[7]、M. C. 米舍

利—列维(michel—Levy, 1957)^[8]、E. 希尔尼尔(Hellner, 1966)^[9]、Д. В. 加里宁(Калинин, 1969)^[10]、V. A. 扎里科夫(Zharikov, 1977)^[11],他们利用天然的岩石或化学试剂在 $T=400-950^\circ$ 、 $P_{\text{H}_2\text{O}}=500-1000$ 巴、 $P_{\text{CO}_2}=50$ 巴(或 CO_2 克分子分数为 0.01—0.4 范围内)条件下的中性介质溶液内形成了透辉石等。我国赵斌、曹荣龙(1975)^[12]在 $300-800^\circ\text{C}$ 和 $200-2000\text{ atm}$ 范围内进行了有关透辉石等矿物变化的实验研究。实验结果表明,透辉石在碱性条件下不稳定,变成了透闪石和方解石。正路彻也(1980)^[13]实验证明了透辉石—钙铁辉石在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 流体压力为 2000 巴和氧逸度限于 FMQ 的条件下,在 450°C 、 CO_2 克分子 10%— 300°C 、 CO_2 克分子 0.3% 的范围内是稳定的。然而,在水热体系中形成透辉石—锥辉石的实验资料国内外均尚未见到。但有趣的是,作者在模拟马坑铁矿形成的物理化学条件中却出现了透辉石—锥辉石这一对共存的矿物。本文总结了实验资料,对于探讨这对矿物的生成条件和解释交代岩及其接触变质作用的一些地质现象是有意义的。

实验在带黄金衬套的外热冷封自紧式的高压釜中进行。实验温度由控温仪控制,误差为 $\pm 5^\circ\text{C}$,实验压力按填充度(在给定温度下)计算,而填充度又根据肯尼迪的 $P-V-T$ 表查得,这样算出来的压力是近似的。

实验样品一辉绿岩和大理岩采自马坑矿区，前者主要由50%±的辉石（几乎全变为角闪石）*和48%±斜长石(An=50—55)组成，

后者主要是方解石。它们的化学成分见表1。实验固相产物主要用显微镜鉴定和X光分析方法研究。

原始辉绿岩和大理岩的化学成分（重量%）

表 1

化学成分 (%) 样品名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O*	H ₂ O*	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	CO ₂	CuO	F	Cl	总和
辉绿岩	47.36	14.05	0.75	9.45	8.18	11.80	1.58	0.80	1.12	0.12	1.60	0.22	0.10	0.45	2.11	0.22	0.06	99.97
大理岩	0.63	0.64	0.56	0.67	1.36	53.65	0.11	0.04	1.68	0.08	0.07	0.30	0.03	39.95	0.04	0.27	0.02	100.10

分析者：中国地质科学院岩矿测试技术研究所 谢秀英等

不同比例的天然辉绿岩和天然大理岩（图版 II—1、2）在 T=500—650℃，P_{H₂O}=400—650巴下的酸性—中性—弱碱性介质水溶液中，经过持续168小时的实验，只有在一定的物质组分、P、T、pH和X_{CO₂}的范围内，才能形成晶体完好的透辉石—锥辉石，而且含量常常是以透辉石为主，而锥辉石却很少。它们在显微镜下的主要特征是：

透辉石：常见短柱状，有的晶体发育良好，大小约(0.008—0.02)×(0.02—0.06)毫米，略带淡绿色，透明，正延长，C∧Ng=38°—44°，干涉色为二级橙黄，折光率Ng'=1.670—1.728，Np'=1.663—1.702（图版 II—3）。

锥辉石：常见锐角锥状体，大小约(0.016—0.02)×(0.06—0.08)毫米，淡棕色—浅绿色，略带多色性，有的柱面上可见一组纵解理，负延长，近平行消光(C∧Np=3—5°)，干涉色二级黄，折光率Ng'=1.802—1.815，Np'=1.768—1.775（图版 II—4）。

透辉石—锥辉石在实验固相产物中常与石榴石、符山石、方柱石、透闪石和磁铁矿等矿物共生（图版 II—3、4、5、6b）。它们及其主要共生矿物和原始样品（辉绿岩和大理岩）X光衍射特征谱线见图。

下面我们从实验结果的资料中分析透辉

石—锥辉石形成的物理化学条件，并着重讨论组分、温度、压力和介质溶液pH值，以及它们之间的相互关系。

一、透辉石—锥辉石形成的物质组分和温度的关系

90%辉绿岩（180毫克）10%大理岩（20毫克）—40%辉绿岩（80毫克）60%大理岩（120毫克）在 P_{H₂O}=500巴，T=450—650℃范围内的蒸馏水（pH=5.8）中，经过持续168小时的实验，其结果见表2、图2。在500℃以上的实验产物相互之间的化学反应基本达到平衡。

从图2可以看出，透辉石—锥辉石在500巴的压力下只能由90%辉绿岩10%大理岩—50%辉绿岩50%大理岩在500℃以上的中性水溶液中经交代作用而形成。但随着原始组分90%辉绿岩10%大理岩向50%辉绿岩50%大理岩方向变化，则其共生矿物组合演变是：透辉石—锥辉石、硅灰石、透闪石、符山石、钙铝榴石→透辉石—锥辉石、石榴石、符山石、硅灰石、透闪石、磁铁矿→透

* 马坑矿区的辉绿岩几乎均遭受不同程度的蚀变，该样品已遭轻度蚀变，但原岩特征清晰，考虑到整个马坑矿床研究课题的统一性，故仍称为辉绿岩。

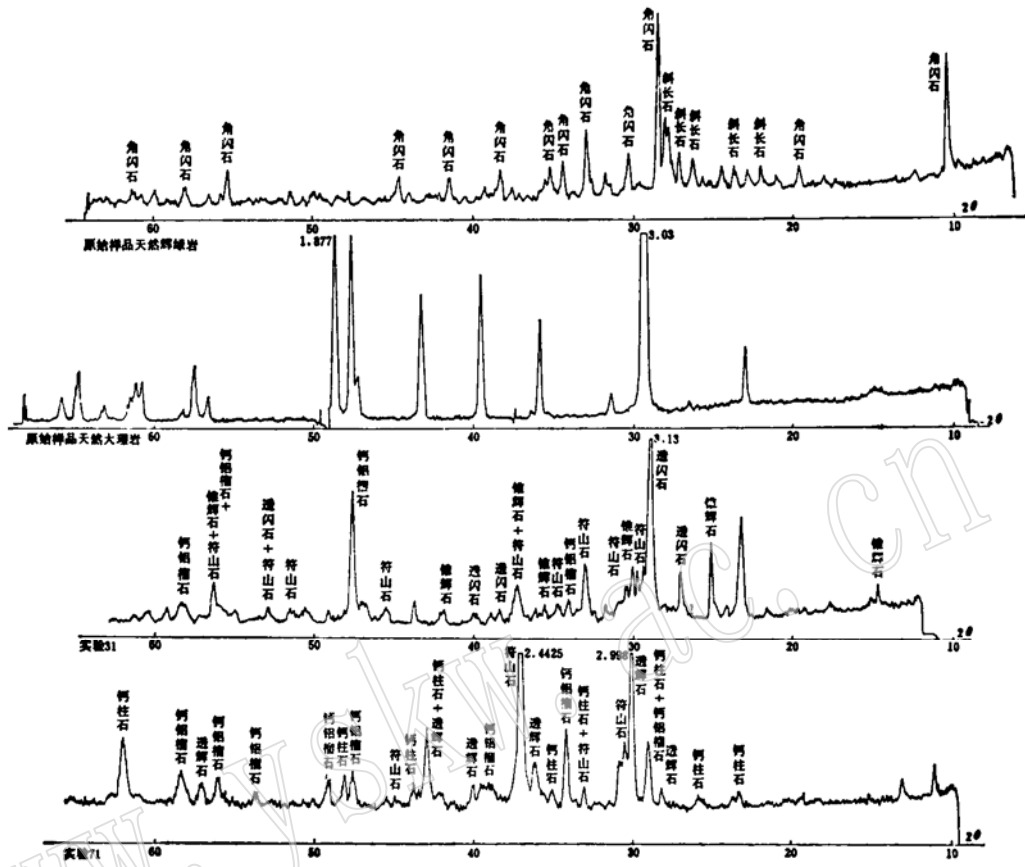


图 1. 天然辉绿岩、天然大理岩和含透辉石、锥辉石的实验固相产物X光衍射曲线

Cu射线、Ni滤波、28千伏、16毫安、单色器

1. 原始实验样品——天然辉绿岩；
2. 原始实验样品——天然大理岩；
3. 实验31, 60%辉绿岩40%大理岩在 550℃、500巴下的中性介质水溶液 (pH=5.8) 中经过持续 168 小时实验后的固相产物；
4. 实验 71, 50%辉绿岩 50%大理岩在500℃、500巴下的中性介质水溶液 (pH=5.8) 中经过持续 168小时实验后的固相产物

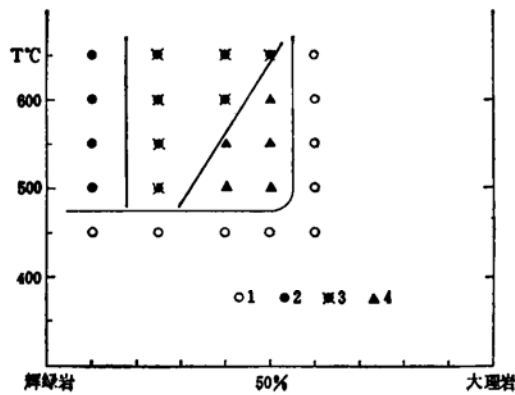


图 2 、在500巴的压力下形成透辉石—锥辉石的原始组分和温度的关系

- 1—实验产物中未见到透辉石—锥辉石；
- 2—透辉石—锥辉石+硅灰石+透闪石+符山石+钙钼榴石组合；
- 3—透辉石—锥辉石+钙钼榴石—钙铁钙钼榴石+硅灰石+符山石+透闪石+磁铁矿组合；
- 4—透辉石—锥辉石+钙钼榴石—钙铁钙钼榴石+硅灰石+符山石+透闪石+磁铁矿+方柱石组合。

在500巴下不同比例的辉绿岩和大理岩在不同的温度范围内的实验固相产物

表2

试料组分 (毫克)	实验号	实验温度 (T°C)	实验后的 介质pH值	新形成的固相产物 **
辉绿岩 180	44	450	6.0	Hib + Act + Wo*
	48	500	6.0	Tre + Ve + Wo + Di - Acn
	43	550	6.5	Tre + Ve + Wo + Di - Acn
大理岩 20	47	600	6.5	Di - Acn + Tre + Wo + Gro
	45	650	8.5	Tre + Ve + Di - Acn + Gro
辉绿岩 150	13	450	6.0	Hib + Act + Wo + Di + Mt
	5	500	6.5	Gro + Tre + Wo + Ve + Di - Acn + Mt
	10	550	6.8	Gro + Tre + Wo + Ve + Di - Acn + Mt
大理岩 50	6	600	6.5	Gro + Wo + Di - Acn + Tre + Mt
	11	650	6.7	Gro - And + Di - Acn + Tre + Ve + Wo + Mt
辉绿岩 120	25	450	6.2	Can + Wo + Tre + Act + Mt
	24	500	6.4	Gro + Tre + Wo + Mt
	31	550	6.5	Gro + Di - Acn + Tre + Sca + Wo + Mt
大理岩 80	30	600	6.2	Gro + Ve + Di - Acn + Tre + Wo + Mt
	29	650	7.0	Gro + Ve + Di - Acn + Tre + Wo + Mt
辉绿岩 100	8	450	7.0	Hib + Tre + Wo + Can + Mt
	71	500	6.2	Gro + Wo + Tre + Di - Acn + Ve + Mt + Sca
	3	550	7.0	Gro - And + Wo + Ve + Tre + Mt + Sca + Di - Acn
大理岩 100	2	600	6.7	Gro - And + Wo + Ve + Di - Acn + Tre + Sca + Mt
	4	650	8.8	Gro - And + Wo + Ve + Di - Acn + Tre + Mt
辉绿岩 80	36	450	6.5	Hib + Tre + Wo + Can + Mt + Ep + Act
	40	500	6.0	Gro - And + Tre + Wo + Mt
	35	550	8.0	Gro + Ve + Sca + Tre + Wo + Mt
大理岩 120	39	600	6.5	Gro - And + Sca + Ve + Tre + Wo + Mt
	38	650	6.7	Sca + Mt + Tre + Wo + Ve + Gro - And

*表中矿物代号分别为: Hib—水榴石, Gro—钙铝榴石, And—钙铁榴石, Di—透辉石, Wo—硅灰石, Ve—符山石, Tre—透闪石, Sca—方柱石, Mt—磁铁矿, Can—钙霞石, Acn—锥辉石, Act—阳起石, Flu—萤石, Sod—方钠石, Ep—绿帘石, Bi—黑云母, Anl—方沸石, Zeo—沸石, Cl—Am—含氯角闪石。以下诸表同。

** 表中新形成的固相产物一栏内, 其矿物相对含量, 前者多, 依次递减, 而后者最少。()中的矿物为偶见。以下各表同。

辉石—锥辉石、石榴石、硅灰石、符山石、透闪石、磁铁矿和方柱石。这里应该指出的是, 试料辉绿岩中的一部分斜长石, 随着温

度升高 (450°C—650°C) 逐渐演变为钙长石。

二、透辉石—锥辉石形成的温度和压力的关系

辉绿岩和大理岩各为100毫克的实验样品,在不同温度、压力下的蒸馏水(pH=5.8)中,经过持续168小时的恒温,其实验产物见表3、图3。基于500℃以上的实验产物的化学反应进行的彻底,则透辉石—锥辉石形成的反应可能是:

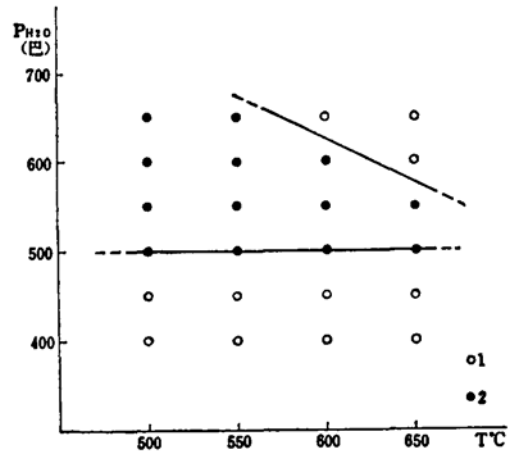
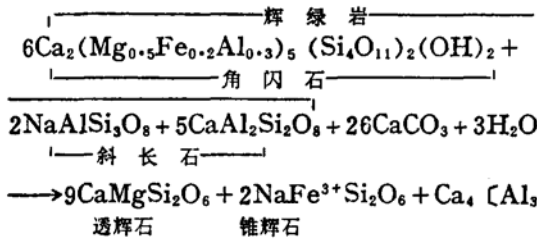
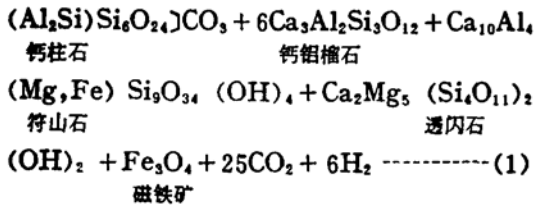


图3、50%辉绿岩和50%大理岩在中性介质水溶液中透辉石—锥辉石形成的温度和压力的关系
1、—实验产物中未出现透辉石—锥辉石;
2、—实验产物中出现了透辉石—锥辉石。

50%辉绿岩(100毫克)和50%大理岩(100毫克)在不同温度压力下的实验固相产物 表3

实验号	实验温度 (T℃)	实验压力 (巴)	实验后介质pH值	新形成的固相产物
102	500	400	6.4	Gro + Tre + Wo + Mt + Ve
140	500	450	6.5	Gro + Wo + Di + Ve + Mt
1	500	500	6.2	Gro + Ve + Sca + Wo + Tre + Di - Acn + Mt
119	500	550	6.5	Gro + Tre + Sca + Di - Acn + Ve + Mt
78	500	600	6.5	Gro + Tre + Sca + Ve + Di - Acn + Mt
113	500	650	6.5	Gro + Ve + Sca + Tre + Di - Acn
124	550	400	6.5	Gro - And + Wo + Tre + Ve + Mt
141	550	450	6.7	Gro - And + Wo + Tre + Di + Sca + Mt
3	550	500	7.0	Gro - And + Wo + Ve + Sca + Tre + Mt + Di - Acn
110	550	550	6.4	Gro + Ve + Sca + Di - Acn + Tre + Mt
116	550	600	6.7	Gro + Tre + Ve + Sca + Di - Acn + Mt
111	550	650	6.5	Gro + Ve + Sca + Mt + Di - Acn
101	600	400	6.5	Sca + Tre + Wo + Mt + (Flu) + And
160	600	450	6.5	Sca + Di + Wo + Ve + Tre + Gro + Mt
2	600	500	6.7	Gro - And + Wo + Ve + Di - Acn
118	600	550	6.5	Gro + Sca + Ve + Tre + Mt + Di - Acn
112	600	600	6.4	Gro - And + Ve + Sca + Di - Acn
77	600	650	6.5	Gro - And + Sca + Ve + Di + Mt
121	650	400	6.5	Gro - And + Ve + Sca + Tre + Di + Wo
162	650	450	7.0	Gro - And + Di + Wo + Sca + Tre + Ve
4	650	500	8.8	Gro - And + Wo + Ve + Di - Acn + Tre + Mt
108	650	550	6.7	Gro - And + Ve + Sca + Di - Acn + Mt
117	650	600	6.7	Gro - And + Ve + Di + Ep
109	650	650	6.5	Gro - And + Ve + Sca + Ep

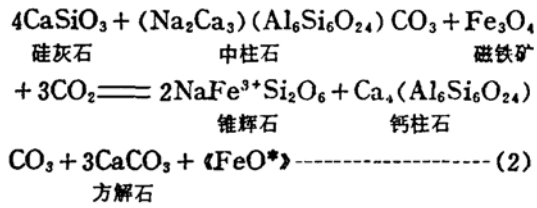


从图3和表3可以看出:

(1)透辉石—锥辉石在500巴以上的500—650℃范围内形成。并随着温度升高,透辉石—锥辉石形成的稳定区逐渐变窄。推测到700℃时,这对共存的矿物将会消失。

(2)500巴压力下的共生矿物组合和500巴压力以上的共生矿物组合对比,除了共同存在的石榴石、符山石、透辉石和透闪石外,其中硅灰石(图版II—6a)在500巴压力以上消失了,代替它出现的是锥辉石;方柱石由中柱石变为钙柱石;磁铁矿的含量却明显地减少。因此,作者认为在500巴压

力的条件下存在着下列单变反应:



这个单变反应也证明了500巴的压力是形成透辉石—锥辉石的压力的下限。

三、透辉石—锥辉石形成的温度和介质水溶液pH值的关系

将100毫克辉绿岩和100毫克大理岩放在500巴压力、400—600℃的酸性—中性—弱碱性介质水溶液中,经过持续168小时的实验,其实验产物列于表4。

表4清楚地说明了透辉石—锥辉石只有

50%辉绿岩(100毫克)50%大理岩(100毫克)在500巴条件下,在不同介质水溶液中与不同温度范围内的实验固相产物对比

表4

实验号	介质溶液的组成	介质溶液 pH		实验温度 (T℃)	新形成的固相产物
		实验前	实验后		
82	0.5MNaF+0.5MKCl加几滴HF、HCl	2.5	7.0	400	Tre + Wo + Act + Mt + Cl - Am
7	H ₂ O	5.8	7.0	400	Hib + Wo + Act + Can + Anl
92	0.25MNaF+0.25MKCl 水溶液	6.8	7.5	400	Wo + Can + Mt
88	0.5MNaF+0.5MKCl 水溶液	7.5	11.0	400	Can + Tre + Act + Mt
84	0.5MNaF+0.5MKCl 加几滴 HF、HCl	2.5	7.5	500	Wo + Flu + Ve + Mt + Sod
1	H ₂ O	5.8	6.2	500	Gro + Ve + Sca + Wo + Tre + Di - Acn + Mt
140	0.25MNaF+0.25MKCl 水溶液	6.8	8.0	500	Gro + Can + Sod + Tre + Mt
86	0.5MNaF+0.5MKCl 水溶液	7.5	9.0	500	Wo + Flu + Zeo + Mt
85	0.5MNaF+0.5MKCl 加几滴HF、HCl	2.5	7.5	600	Wo + Ve + Flu + Sod
2	H ₂ O	5.8	6.7	600	Gro - And + Wo + Ve + Di - Acn + Tre + Sca + Mt
90	0.25MNaF+0.25MKCl 水溶液	6.8	8.0	600	Mt + Sca + Flu + Sod
87	0.5MNaF+0.5KCl 水溶液	7.5	9.0	600	Sod + Zeo + Bi + Flu

50%辉绿岩和50%大理岩在500巴的压力、500—600℃的温度条件下的中性热水溶液中才能共存。由此可见,透辉石—锥辉石这对

* <FeO>不成独立组分的矿物存在,而呈Fe²⁺、O²⁻形式游离在介质水溶液中^[14]。我们把实验后的介质水溶液进行化学分析,也证实了其中含有一定量的Fe²⁺。

矿物形成过程中所要求的介质溶液酸碱度的范围是很小的。

四、透辉石—锥辉石形成的温度、压力和CO₂的关系

根据梁祥济(1982)《方柱石在热液中形成的物理化学条件》^[15]一文中表4查出本文图2上透辉石—锥辉石共存区内的CO₂克分子分数即 $X_{CO_2}=0.0104-0.002$ 。也就是说,在 $T=500-650^{\circ}C$ 、 $P_{H_2O}=500-650$ 巴条件下的H₂O—CO₂混合流体中, X_{CO_2} 在0.0104—0.002范围内有利透辉石—锥辉石这对矿物的形成。

众所周知,透辉石是常见的矿物,实验数据也多,而有关锥辉石的单独的实验资料甚少。所以对于后者形成的某些问题有必要进一步给予分析和讨论:

1、锥辉石的颜色 实验所形成的锥辉石呈淡棕色(在显微镜下),比天然锥辉石的颜色(棕褐色)浅得多,这可能是其中微量元素不同和含量多少所致。因为天然锥辉石中常含有Mn、Zr、Ce和其他稀土元素, Mn^{2+} 、 Mn^{3+} 呈红棕色、 Zr^{4+} 与 Si^{4+} 、 O^{2-} 结合常呈棕褐色,所以它呈棕褐色或深褐色^[16]。而作者所用的实验始料—辉绿岩和大理岩中未含Zr、Ce等稀土元素的微量成分(根据39个辉绿岩样品和10个大理岩样品作微量元素分析均未发现Zr、Ce等稀土元素*),仅含少量的Mn。因此,实验所形成的锥辉石可能仅有微量的Mn参加,故呈淡棕色(由于实验产生的锥辉石小而少,且混在大量的其他共生矿物之中,难以挑出,无法作单矿物成分分析)。

2、锥辉石形成的钠、铁来源 从本文化学反应式(1)、(2)来看,锥辉石形成有两条途径:①在500巴压力以上,由辉绿岩和大理岩直接交代而成。显然,它所需要的

Na和Fe从辉绿岩和大理岩中来;②由500巴压力以下的实验产物—中柱石和磁铁矿等在压力转变为500巴以上时单变反应而成,其中的Na、Fe由中柱石和磁铁矿提供。当然,磁铁矿和中柱石中的Fe、Na也来自于辉绿岩和大理岩。通过化学平衡近似地计算,辉绿岩和大理岩(主要是前者)中的Na和Fe(除了形成磁铁矿外)提供形成少量的锥辉石是完全足够的。

3、锥辉石形成的介质条件 实验业已证明,透辉石—锥辉石只在近中性的介质条件一起出现,而在碱性介质中却被其它矿物所代替。这对透辉石来说,作者实验的结果与前人实验的资料^[12]一致表明:透辉石难以在碱性环境中形成。而锥辉石为什么未能在碱性介质中出现,代替它的是方钠石、方沸石和钙霞石呢(表4)?从实验结果来看,碱性环境有利于方钠石、方沸石和钙霞石优先形成。其根本原因很可能是它们晶体结构不同而引起。因为锥辉石($NaFe^{3+}(Si_2O_6)$)是链状结构的硅酸盐矿物,方钠石($Na_8[AlSiO_4]_6 \cdot Cl_2$)、方沸石($Na[AlSi_2O_6] \cdot H_2O$)和钙霞石($Na_3Ca[Al_3Si_3O_{12}][CO_3(OH)_2]$)系架状结构的硅酸盐矿物。而架状结构的硅酸盐矿物的一个主要特点是络阳离子即硅氧四面体 $[SiO_4]^{4-}$ 中一部分 Si^{4+} 被 Al^{3+} 所替代,而且当中空隙又较大,所以,它要求配位数高、半径大的一价或二价阳离子进入晶格去平衡负电价,这种阳离子主要是 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Ba^{2+} 等^[17]。因此,从辉绿岩中交代出来有限的 Na^+ 和溶液中的 Na^+ 自然地与架状结构的硅氧四面体相结合,形成了方钠石、方沸石和钙霞石。锥辉石则难以产生。由此可见,在适宜的温度、压力和 X_{CO_2} 范围内,只有在含适量的 Na^+ 、 Fe^{3+} 的近中性介质条

* 根据原中国地质科学院地质矿产所第三铁矿队湖南矿床组的资料。

条下,才有利于锥辉石的形成。传统的一些认识应该给予修正和完善。

通过实验和综合分析,我们可以得出以下几点结论:

(1)透辉石—锥辉石在90%辉绿岩10%大理岩—50%辉绿岩50%大理岩范围内,在 $T=500-650^{\circ}\text{C}$ 、 $P_{\text{H}_2\text{O}}=500-650$ 巴的条件下,在 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 流体的 $X_{\text{CO}_2}=0.0104-0.002$ 的近中性介质中形成。

(2)在透辉石—锥辉石形成的温度、压力、介质pH值和 X_{CO_2} 范围内,随着原始物质组分—辉绿岩含量的减少,大理岩含量的增多(即由90%辉绿岩、10%大理岩逐渐向50%辉绿岩、50%大理岩方向变化),透辉石—锥辉石的含量逐渐减少。当辉绿岩含量小于50%而大理岩含量大于50%时,这一对矿物消失。

(3)在透辉石—锥辉石形成的温度、压力、介质pH值和 X_{CO_2} 范围内,随着温度的升高($500-650^{\circ}\text{C}$),透辉石—锥辉石形成的稳定区域逐渐变窄,推测在 700°C 时尖灭。

(4)在物质组分和温度适宜的情况下,500巴的压力是透辉石—锥辉石形成的压力下限,近中性的介质溶液和 $X_{\text{CO}_2}=0.0104-0.002$ 是透辉石—锥辉石形成的必要的物理化学条件。在透辉石—锥辉石形成的过程中,物质组分、温度、压力、介质溶液pH和 X_{CO_2} 这五个因素互相促进,又互相抑制,缺一不可。如果其中有某一条件不适宜,则透辉石—锥辉石就难以同时形成。

由于透辉石—锥辉石这对矿物共存的温度、压力、介质溶液pH和 X_{CO_2} 范围小,所以在自然界里它们一起出现在交代岩中的现象不多。即使其它物理化学条件具备,而 X_{CO_2} 不适合,它们也不能出现,福建马坑铁矿床中的交代岩就是其中一例。

实验中承蒙武汉地质学院北京研究生部苏良赫教授、邓晋福副教授指导,中国地质

科学院岩矿测试技术研究所谢秀英等同志做了原始实验样品化学全分析,文中插图由中国地质科学院矿床地质研究所王晓红同志清绘,在此一并表示谢意。由于受仪器设备和水平所限,文中错误和不妥之处,敬请批评指正。

参 考 文 献

[1] Crout, F. F., 1946, Actmite occurrences in the Cuyna Range, Minnesota, *Am. Mineral.*, V 31, 125,

[2] Milton, C., Eugster, H. P., 1959, Mineral assemblages of the Green River formation, in *Researches in Geochemistry*, John Wiley, New York,

[3] Дир, У. А., Хауи, Р. А., Зусман, Дж., 1965, Породообразующие минералы. Том 2. Издательство «МИР», Москва.

[4] Liu, L., 1978, Phase relations in the system diopside at high pressures and high temperatures. *Earth planet. Sci. Lett.* V47, No3.

[5] Liu, I. G., 1979, The system enstatite-walstonite at high pressures and temperatures, with emphasis on diopside, *Phys. Earth planet Inter.* V 19, No 3.

[6] Cassie, R. M., 1969-70, The melting behaviour of diopside-actmite pyroxenes at high pressure. *Carneyite Inst. Washington, Ann. Rept. Dir. Geophys. Lab.*

[7] Frases, I. A., 1955, The hydrothermal synthesis of hydrogarnet, sphene and related silicates. *Doct. diss., Univ. Miner.*

[8] Michel-Levy, M. C., 1957, Formation de tremolite et de diopside. *Bull. Soc. Franc. Miner. Crist.*

[9] Hellner, E., Schürmann, K., 1966, Stability of metamorphic amphiboles: the tremolite-ferroactinolite series. *J. of Geol.* No 3.

[10] Калинин, Д. В., 1969, Экспериментальные исследования физико-химических условий скарнирования. Издательство «Наука», сибирское отделение, Новосибирск.

[11] Zharikov, V. A., Shmulovich, K. I., Bulatov, V. K., 1979, Experimental studies in the system $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ and conditions of high-temperature metamorphism. *Tectonophysics*, V43, No1-2.

[12] 赵斌, 曹荣龙, 1975, 钙铁辉石、透辉石和钙铁榴石变化的实验研究, *地球化学*, No1.

[13] 正路彻也, 1980, $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 混合流体中における透辉石—ハデン輝石系単斜輝石の安定領域, *岩石鉱床学会志*, 第75卷, 第7号

[14] Томсон, Дж. Б., 1979 Замещение

яермака и реакции в пелитовых сланцах. Проблемы физико-химической петрологии. Издательство «Наука», Том 1.

〔15〕 梁祥济, 1982, 方柱石在热溶中形成的物理化学条件, 地质学报, 第 2 期。

〔16〕 Лип, У. А., Хауп, Р. А., Зусман, Д. Ж., 1975, Породообразующие минералы. То 2 89—100, издательство «МНП», Москва.

〔17〕 西北大学地质系矿物教研室, 1981, 矿物学, 第146页, 地质出版社。

PHYSICO-CHEMICAL CONDITIONS FOR THE FORMATION OF THE DIOPSIDE-ACMITE PARAGENESIS IN METASOMATIC ROCKS

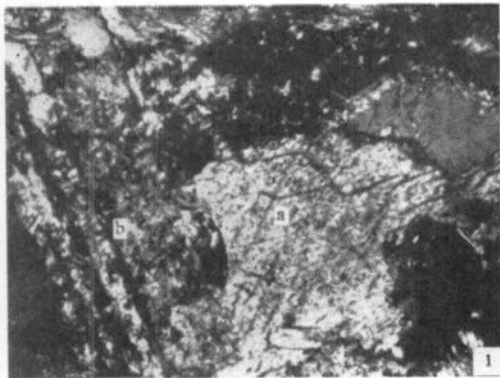
Liang Xiangji, Qu Guolin, Lin Yueyeng

Abstract

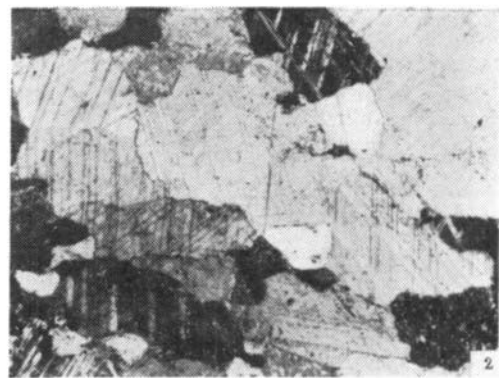
Diopside-acmite is a pair of coexistent minerals in a solid solution which dissolves imperfectly. Sometimes they are associated with each other in metasomatic rocks. But under what physico-chemical conditions can this pair of minerals actually occur together? Author has summarized the experimental data on the diopside-acmite paragenesis obtained from the modeling of the formation of the Makeng iron deposit, which is undoubtedly significant for the study of the formation of this pair of minerals.

Author used natural diabasa and marble as starting test materials. The experiments were carried out in a cold-seal high-pressure vessel with a gold lining. The experimental results show that the diopside-acmite paragenesis is formed within the range of 90% diabase and 10% marble to 50% diabase and 50% marble, under the temperature of 500—650°C and the pressure of 500—650 bar., and in a nearly neutral medium of $X_{CO_2} = 0.0104 - 0.002$ within the $H_2O - CO_2$ fluid.

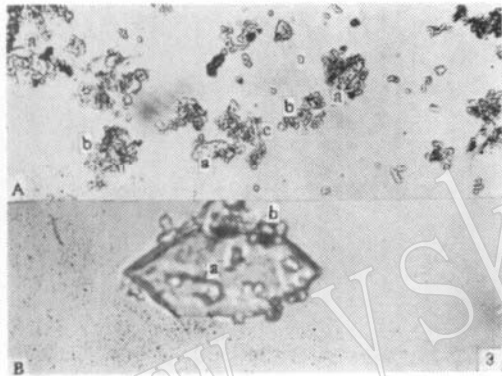
Some of the diopside-acmite solid solution produced in our tests has a perfect crystal form. It is found that in this solid solution, the diopside is always more and the acmite less. This pair of minerals is often associated with garnet, tremolite, vesuvianite, and magnetite, etc. Because of the small ranges of temperature, pressure, pH of the medium solution and X_{CO_2} for the coexistence of this pair of minerals, they seldom occur together in metasomatic rocks in nature.



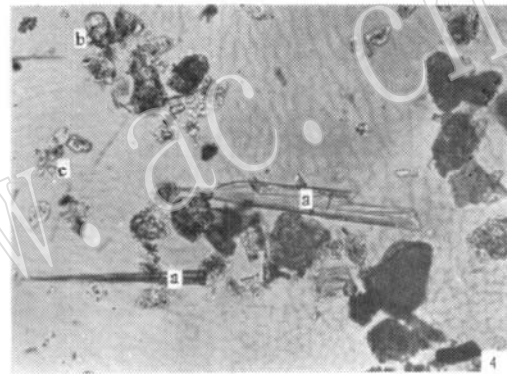
原始辉绿岩, 薄片, 正交偏光 ×100
a—角闪石, b—斜长石



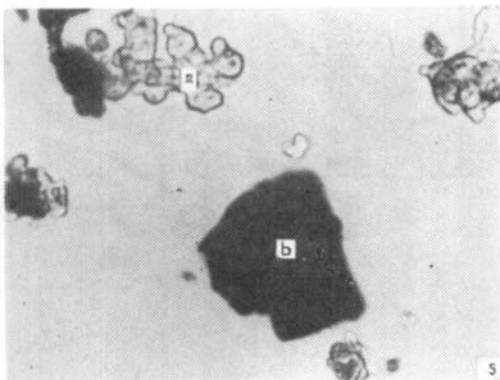
原始大理岩, 薄片, 正交偏光 ×100



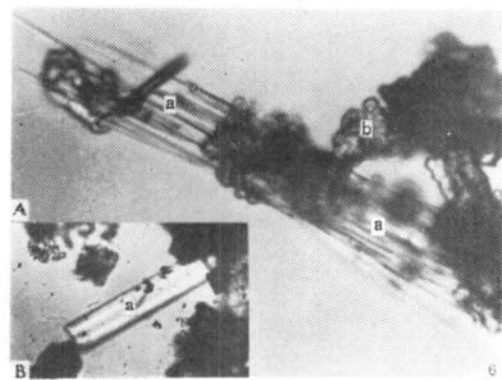
实验71. 油浸透光, A×250, B×800
A: a—透辉石, b—钙铝榴石, c—透闪石
B: 透辉石a单体放大, b—钙铝榴石 (实验条件: 50%
辉绿岩, 50%大理岩, T=500℃ P_{H₂O}=500巴,
pH=5.8, t=168小时)



实验29 油浸透光×250
a—锥辉石, b—符山石, c—钙铝榴石 (实验条件:
辉绿岩60%, 大理岩40%, T=650℃ P_{H₂O}=500巴,
pH=5.8 t=168小时)



实验3. 油浸透光×800
a—磁铁矿, b—钙铝榴石
(实验条件: 50%辉绿岩, 50%大理岩, T=550℃
P_{H₂O}=500巴, pH=5.8 t=168小时)



实验2(A)油浸透光 ×800 a—束状硅灰石, b—石榴石
集合体 (实验条件50%辉绿岩, 50%大理岩, T=600℃
P_{H₂O}=500巴, pH=5.8, t=168小时)
实验35(B)油浸透光 ×250, a—方柱石 (实验条件: 40
%辉绿岩, 60%大理岩, T=550℃, P_{H₂O}=500巴.
pH=5.8, t=168小时)