

鞍山和歪头山前寒武纪铁建造中普通辉石—阳起石组合的成因研究

蒋永年

(天津地质矿产研究所)

提 要 鞍山和歪头山前寒武纪铁建造中普通辉石和阳起石共存。经镜下、化学成份和矿物相律的综合研究,作者认为,它们是平衡共生关系。这一共生组合的形成取决于两个因素:(1)原岩成份中的 $\text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ ^① 比值高,(2)角闪岩相下限的变质条件。因此它们形成的范围较窄,在自然界分布极为有限。

关键词 普通辉石—阳起石组合 平衡共生成分 变质条件

一. 前 言

本区前寒武纪铁建造的矿物组成主要是石英,磁铁矿和阳起石,通称阳起石磁铁矿石岩。但有的矿层中,除了上述的矿物成分外,尚有普通辉石。一般认为普通辉石的变质程度较高,属角闪岩相或麻粒岩相,而阳起石的变质程度一般较低,多在绿片岩相变质条件下形成。这样就提出问题:普通辉石和阳起石是否平衡共生?如果是共生关系,它们在什么条件下形成?关于这类问题,国内尚未报导。国外有关这方面的研究也不多见。现据手头资料简述如下:

1. Robert F. Mueller (1960)^[1] 研究魁北克变质铁建造矿物组合的成分特征和平衡关系,其中涉及钙辉石—阳起石矿物对。他从 Mg 、 Fe^{2+} 规律分配,相律对矿物数目和类型的限制等方面,证明它们是非常接近化学平衡的。

2. Hietanen, A. (1971)^[2] 报导了爱达荷岩基西北部前寒武纪 Wallace 建造的变质白云质砂岩中的透辉石—阳起石组合。除了 Ca 外,其余元素都是等分配的。他指出在角闪岩相的温压条件下,单独形成透辉石或阳起石,还是透辉石—阳起石主要取决于原岩中 $\text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ 的比值。^①

3. 都城 (1972)^[3] 提到在低压下角闪岩相开端形成单斜辉石—阳起石(或透闪石)共生的实例:

(1)日本阿武隈地区变质基性岩和石灰岩中有单斜辉石—阳起石。

^① $\text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ 中 Fe^{2+} 指扣除形成磁铁矿的 Fe^{2+} 的剩余部分

2. 日本盐尻地区变质石灰岩中有单斜辉石—阳起石。

3. 西班牙南部阿拉赛纳地区的变质基性岩和石灰岩中分别有单斜辉石—阳起石和透辉石—透闪石。

遗憾的是他没有进一步阐述这些矿物共生组合的机理。

由上述可见单斜辉石—阳起石(或透闪石)共生问题的研究程度较低,有进一步探讨的必要。

但是本区磁铁石英岩中的普通辉石含量有限,不可能分选出足够的样品。阳起石含量虽多,可是它们都经受了不同程度的交代作用,也难以分离出较纯的样品。这样研究工作就要受到限制。只能发挥电子探针微区测试的优势,测得主要组成元素,结合镜下观察,基本满足鉴定矿物的一般要求。当然,从矿物学角度来说,这远远是不够的。但由于上述条件所限,其它测试项目也就只好付诸阙如了。

二. 产 状

鞍山本溪一带前寒武纪地层比较发育,据辽宁省区测队的资料,广泛出露的地层是晚太古代鞍山群,早元古代辽河群和震旦系等,混合岩广泛分布。

鞍山附近,樱桃园—西大背和歪头山铁建造属上、中鞍山群。据前人资料,铁建造的矿物组成主要是石英,磁铁矿(假象赤铁矿)和阳起石,局部还有镁铁闪石—铁闪石。但经作者观察,除了上述矿物组成外,还发现了普通辉石。

普通辉石多呈粗粒状、不规则的短柱状。除了易受碳酸盐化作用外,一般比较新鲜。阳起石呈长柱状,定向分布。两者的接触界限清楚。它们和石英,磁铁矿以不同的含量组成相间分布的疏铁条带和密铁条带。

三. 普通辉石和阳起石的基本特征

(一)普通辉石

1. 形态和矿物概述。如前所述,普通辉石多呈粗粒状,不规则的短柱状,与阳起石的接触界线清楚,平直,且两者之间没有交代作用的迹象(照1, 2和3),是平衡共生的标志之一。

镜下呈无色或淡绿色,多色性不明显。正高突起。二级橙,绿,红干涉色。解理//{110},交角为 93° 和 87° 。 $Ng \wedge C = 41-43^\circ$ 。二轴(+).

2. 化学成分特点,表1列出了三个样品电子探针分析数据和计算的离子数,其中 Fe^{3+} 是按电价差值法估算的。按 $CaMgSi_2O_6 - CaFeSi_2O_6 - Mg_2Si_2O_6 - Fe_2Si_2O_6$ 体系中单斜辉石命名法,它们都应定为普通辉石。 CaO 和 MgO 的含量比较稳定,但 $(FeO)^\circ$ 变化较大,个别样品的 (FeO) 含量低至6%。此种差异似与 MgO 含量呈反消长关系。至于碱质,总的来说是偏高的,并且 Na_2O 总是大于 K_2O 。

普通辉石和阳起石的分析结果

Table 1. Chemical analysis of augite and actinolite

组 份	序号 样号 矿物	1		2		3		产 出 岩 石
		84BZ-29-1M		84BZ-47M		84BZ-72M		
		普通辉石	阳起石	普通辉石	阳起石	普通辉石	阳起石	
SiO ₂		47.82	53.77	50.61	53.60	49.39	55.08	1. 普通辉阳起磁铁石 英岩(胡家庄子) 2. 阳起普通辉磁铁石 英岩(歪头山) 3. 普通辉阳起磁铁石 英岩(歪头山)
TiO ₂		1.28	0.45	0.35	0.39	1.65	0.93	
Al ₂ O ₃		6.55	2.62	1.79	2.22	6.71	0.44	
Cr ₂ O ₃		—	—	—	—	0.01	0.07	
< FeO >		14.01	13.20	12.99	13.17	6.21	14.24	
MnO		0.01	0.77	—	0.80	0.37	0.12	
MgO		10.93	15.04	11.44	15.81	15.06	14.07	
CaO		16.44	11.58	19.81	11.27	19.47	13.75	
Na ₂ O		2.78	0.44	1.66	0.82	0.33	0.35	
K ₂ O		0.32	0.51	0.34	0.41	0.31	0.13	
总和		100.14	98.38	98.99	98.49	99.51	98.28	
按阳离子 4 (普通辉石)和 13 (阳起石)计算的离子数								
Si		1.7720	7.6559	1.9138	7.5930	1.8225	8.0758	
Al _{IV}		0.2280	0.3441	0.0800	0.3711	0.1775	0.0000	
Fe _{IV} ⁺		0.0000	0.0000	0.0000	0.0359	0.0000	0.0500	
Al _{VI}		0.0584	0.0957	0.0000	0.0000	0.1143	0.0758	
Cr ³⁺		—	—	—	—	0.0004	0.0088	
Ti		0.0356	0.0479	0.0100	0.0417	0.0459	0.0035	
Fe _{VI} ⁺		0.3133	0.3665	0.2104	0.6020	0.0093	0.0000	
Fe ²⁺		0.1209	1.2052	0.2004	0.9224	0.1823	1.7463	
Mn		0.0002	0.0933	—	0.0962	0.0115	0.0150	
Mg		0.6037	3.1914	0.6447	3.3377	0.8282	3.0749	
Ca		0.6529	1.7668	0.8026	1.7110	0.7699	2.1604	
Na		0.2000	0.1215	0.1218	0.2247	0.0235	0.0987	
K		0.0151	0.0924	0.0164	0.0749	0.0146	0.0247	
OH			2.0000		2.0000		1.3124	
Mg		33.70		34.70		45.98		
ΣFe		25.69		22.11		11.28		
Ca		38.61		43.19		42.74		

ΣFe = Fe²⁺ + Fe³⁺ + Mn 中国地质科学院矿床地质研究所陈克楫分析

据前人研究,样品产区的铁建造变质程度属绿帘角闪岩相—角闪岩相^①,普通辉石的形成条件差别不大,因此,它们之间的成分变化主要受原岩成分的控制^②。

(二) 阳起石

本区阳起石分两个世代。世代 I 是区域变质作用形成的,产于阳起石磁铁石英岩或普通辉石阳起石磁铁石英岩中。世代 II 系热液交代的产物,故多见于磁铁富矿和蚀变岩中。本文研究的普通辉石—阳起石组合中的阳起石只涉及世代 I。

1. 形态和物性概述:阳起石晶体呈长柱状,一般定向分布,故与热液交代成因的阳起石(II)的形态完全不同,后者多呈非定向的纤柱状集合体。

镜下无色,有的带浅绿,浅灰绿色调,多色性不明显。 $NgAc = 20^\circ$,二级干涉色。两组柱式解理,但有的不发育。二轴(一)。

2. 化学成分特点:表 1 列出三个阳起石的电子探针分析结果和计算的离子数。由于电子探针不能给出 Fe^{4+} , 则 Fe^{3+} 是按公式 $(Na + K)^4 + Al^VI + Fe^{3+} + 2Ti^IV = Al^IV + N^{M+}$ 计算的。三个样品特点是富钙,镁和铁,并含量比较稳定,惟 Fe^{3+} 和碱质的含量变化比较大,并且多数样品的相应含量也偏高。表 2 列出本区阳起石(包括本文研究的三个样品)的部分成分。从中不难看出多数阳起石的 Fe^{3+} (尤其是 Fe^{3+}/Fe^{2+} 比值)和碱质的含量都是偏高的。值得注意的是这种成分特点也表现在同一薄片上。现举两个实例说明之。

(1) 84B—67M 薄片中有两种阳起石,一为柱状,一为纤柱状,两者的 Fe^{3+} 和碱质的含量相差较多(见表 2)。

(2) 84BZ—98M 薄片中的一个晶体,中部无色为阳起石, Fe^{3+} 和碱质含量低(见表 2),晶体边缘呈蓝绿色,据电子探针分析结果计算,应定为亚铁普通角闪石,其中 $Fe^{3+} 1.3757$, $Na 0.2741$, $K 0.0609$ 。以上两个实例说明,阳起石的成分变化是热液交代的结果。 Fe^{3+} 和碱质参加晶格主要是补偿 Al^{VI} 代替 Si 所产生的负电价。图 1 就大致显示了它们之间的相关关系。因此,作者推断,区域变质作用形成的阳起石经受了后期热液作用,使之化学成分发生了不同程度的变化。如交代强烈,阳起石转变成为浅色普通角闪石亚种,如交代微弱,化学成分变化不大,按 Leake (1978) 的角闪石分类命名原则,仍属于阳起石之列,但它们已不是原来的阳起石了。

四. 平衡共生讨论

普通辉石和阳起石是平衡共生关系,值得一提的证据如下:

1. 普通辉石呈粗粒状,短柱状,它与阳起石的接触界线比较清楚,平直,未见到阳起石交代普通辉石的迹象。

2. 本区普通辉石的后期蚀变主要是碳酸盐化,未曾发现蚀变成阳起石的情况。

^①全铁以 (FeO) 表示,以下同。

^②王联魁等,1980,鞍山本溪一带前寒武纪铁矿地质地球化学特征。

3. 阳起石(I)呈长柱状,与石英、磁铁矿和普通辉石构成条带,分布与层理一致,这是区域变质岩中常见的结构、构造。如果是钙辉石蚀变形成的阳起石,其形态往往是非定向的纤柱状集合体。

4. 矿物组合中的矿物数目和类型受矿物相律的限制,是变质作用中接近化学平衡的标志之一。按矿物相律 $K \leq \Phi$, 即在一定的温、压条件范围之内,同时稳定存在的矿物数目(Φ)等于或少于该岩石的独立组分数(K)。

据镜下观察,本区铁建造中的矿物组合有四个类型:

- (1) Q—Mt,
- (2) Q—Mt—Act,
- (3) Q—Mt—Act—Aug,
- (4) Q—Mt—Cum,

上述组合中共出现五种矿物(交代,蚀变及构造后热液迭加的除外),各组合中矿物最大数目为四。按上述矿物相律,独立组分数(K)亦应为四,这要从各矿物的化学组成来分析。五个矿物的化学组成如下:

Q SiO_2

Mt $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$

Act $2\text{CaO} \cdot 5(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Aug $\text{CaO} \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$

Cum $7(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

上述矿物的化学组成中共有六个组分,即 SiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , H_2O 和 FeO , 其中 SiO_2 为石英和硅酸盐矿物的组分。 MgO 和 FeO 在辉石和闪石中以类质同象方式存在,故可作为一个组分; $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O}$, Fe_2O_3 主要作为各组合中磁铁矿的组分,有 Fe_2O_3 必然就有磁铁矿晶出。 CaO 是辉石和角闪石的组分。 H_2O 为活动组分, H_2O 参加与否不会改变相数(Φ),故不作为独立组分。这样有效的独立组分只有四个,即 SiO_2 , Fe_2O_3 , $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O}$ 和 CaO , 共生矿物的最大数目限于四,故组合3中的普通辉石和阳起石是接近化学平衡的,是平衡共生关系。

5. 已有的资料表明,如果两个含镁,铁硅酸盐矿物共生,它们中的镁铁应显示规律的分配(即正相关性)。如魁北克东—中部铁建造中的钙辉石—阳起石就具镁,铁规律分配的特点

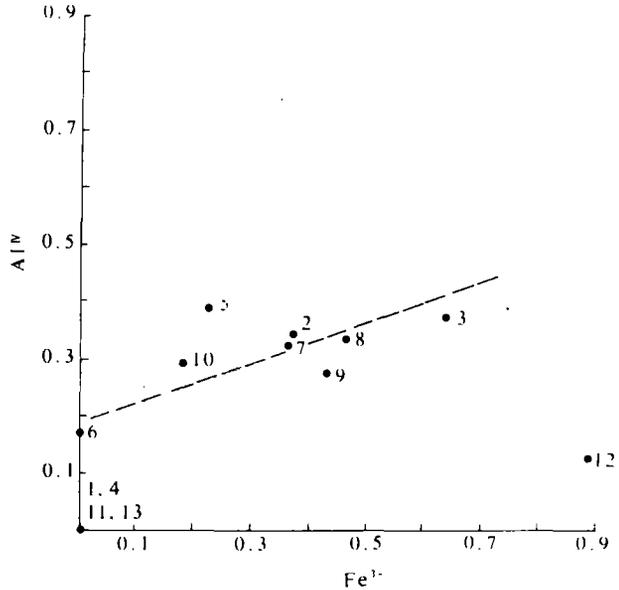


图1 阳起石的 Al^{IV} , Fe^{3+} 图解

Fig. 1. Al^{IV} , Fe^{3+} plot for actinolite.

阳起石的部分组分

表 2

Table 2. Partial composition of actinolite

序号	样号	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Na	K	Fe ³⁺ /Fe ²⁺
1	84BZ—19M	0.0000	0.5233	0.0000	3.2668	0.2653	0.0018	0.00
2	84BZ—29—1M	0.3441	0.0957	0.3665	1.2052	0.1215	0.0924	0.30
3	84BZ—47M	0.3711	0.0000	0.6379	0.9224	0.2247	0.0749	0.69
4	84BZ—72M	0.0000	0.0758	0.0000	1.7463	0.0987	0.0247	0.00
5	84BZ—89M	0.3877	0.0000	0.2224	1.2843	0.1016	0.0203	0.12
6	84BZ—98M	0.1804	0.2344	0.0000	1.6741	0.0642	0.0243	0.43
7	84B—52 M*	0.3244	0.0451	0.3607	1.2268	0.0898	—	0.41
8	84B—53 M*	0.3348	0.0000	0.4555	1.1147	0.1648	0.0085	0.39
9	84B—54 M*	0.2653	0.0000	0.4271	1.4536	0.1283	0.0211	0.29
10	84B—67M (1)	0.2759	0.0660	0.1744	1.2807	0.1941	0.0172	0.40
11	84B—67M (2)	0.0000	0.0493	0.0000	1.0475	0.0546	0.0194	0.00
12	79A—32	0.1259	0.0000	0.8899	1.2423	0.0466	0.0052	0.72
13	79A—47	0.0000	0.1156	0.0000	1.2533	0.1244	0.0368	0.00

* 为碳酸盐蚀变岩中的阳起石,碳酸盐蚀变岩的原岩为普通辉阳起磁铁石英岩。其余均为(普通辉石)阳起磁铁石英岩中的阳起石。

(Robert F. Mueller, 1960)。但是本区的普通辉石和阳起石的镁、铁分配却出现反常现象。作者认为,这种反常现象主要是阳起石的化学成分发生某些变化的结果。前面已经提到,阳起石(1)是区域变质作用的产物,但在其形成后遭受不同程度的热液交代作用,化学成分发生某些变化,例如 Fe₂O₃ 和碱质明显偏高。尽管它们仍属阳起石之列,但已不具备原始阳起石的特点,故普通辉石—阳起石的镁、铁分配出现反常现象(图 2)。

综上所述,本区普通辉石和阳起石是区域变质作用的产物,在热液作用迭加以前应是平衡共生的。

五. 形成条件讨论

这里主要探讨铁建造中普通辉石—阳起石共生组合的形成条件。

一般认为,变质岩中的单斜辉石在角闪岩相—麻粒岩相条件下形成,而阳起石是绿片岩相的特征矿物,在较高温度下便处于不稳定状态,趋向转变为辉石。所以人们通常认为它们是不共生的。但是也应看到,它们的形成除了上述的温、压条件外,还受其它因素的影响。例如原岩成分中的钙含量或 (Ca/Mg + Fe²⁺) 比值和形成环境中的 P_{co} 对它们的形成均有一定的影

响。

(1)普通辉石 都城(1972)^[1]指出,在钙质变质沉积岩或变质基性岩含有和钙质闪石在一起的方解石和石英,钙质辉石就在靠近角闪岩相的开端开始形成。

Metz 和 Winkler (1964)^[2]研究了在 1kb 总压和 300°—600°C 温度范围内,通过透闪石,方解石和石英反应形成透辉石的情况。形成透辉石的温度取决于气相平衡成分中 CO₂ 克分子数(XCO₂)。XCO₂ = 0 时辉石形成的温度为 350°±20 C,但随着气相中 CO₂ 的含量增加,辉石形成的温度迅速提高。所以当 XCO₂ = 0.12 时,其形成温度是 500°C, XCO₂ = 0.75 时辉石的形成温度是 540°±10 C。

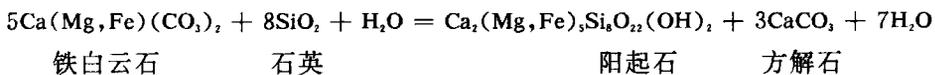
Weeks (1956a) 利用热力学参数对 CaMg (CO₃)₂ + 2SiO₂ ⇌ CaMgSi₂O₆ + CO₂

反应的 P_{CO₂}—T 曲线进行了计算,该平衡曲线与白云岩区域变质作用的证据是一致的。在该曲线上估测的大致形成条件:0 大气压,310°C;1000 个大气压,436°C;2000 个大气压,480°C;3000 个大气压,509°C;4000 个大气压,545°C;5000 个大气压,554 C。

以上实验证明,单斜辉石在富碳酸盐岩地体中的形成范围是比较广泛的,只是温度高低受 P_{CO₂} 的影响,当 P_{CO₂} 低时,单斜辉石可在较低温下形成。

现在谈谈本区普通辉石的形成问题。据研究,本区变质铁建造的原岩含有大量的硅、铁胶体沉积物,也有碳酸盐沉积物,但数量不多。所以铁建造中普通辉石的晶出,显然与原岩是否富含碳酸盐无关。它的形成主要取决于 Ca 对 (Mg + Fe²⁺) 的高比值,即在变质作用中,硅,铁主要分别形成石英和磁铁矿,钙与镁和剩余的硅,铁(主要是 Fe²⁺) 形成硅酸盐矿物,如 Ca (Mg + Fe²⁺) 比值高则可形成普通辉石。如形成时的 P_{CO₂} 低,就可在角闪岩相对较低温度的条件下晶出。

2. 阳起石 都城指出,绿片岩相地体中,如果 P_{H₂O} 和 P_{CO₂} 是高的,阳起石的形成温度就会增加。这样,在前进变质作用中阳起石推迟形成。在有些变质地体中,无阳起石的绿片岩同含阳起石的绿片岩混合产出。这从下列反应式中可以看出,在相同温度和相同的岩压条件下,



铁白云石

石英

阳起石

方解石

阳起石出现与否与 P_{CO₂} 高低有关。当 P_{CO₂} 低时反应向右进行,有利于阳起石的形成。当 P_{CO₂} 很高的情况下,方程式的左边是很稳定的,推迟了阳起石的结晶,提高了它们的结晶温度。由此可见,阳起石也可以在稍高的温度下形成,并不局限于绿片岩相的变质条件。

由上面分析可知,满足普通辉石和阳起石共同结晶的条件是存在的,只是温度范围较窄,

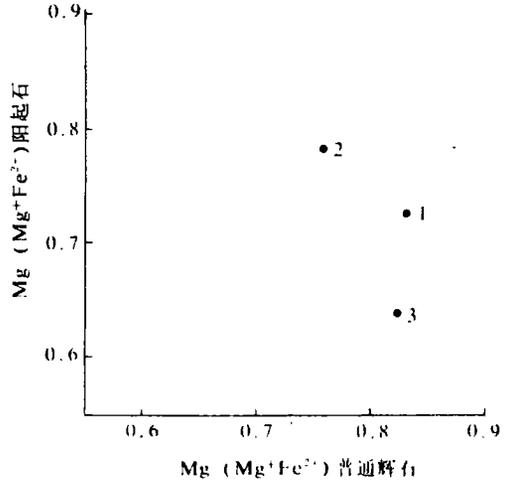
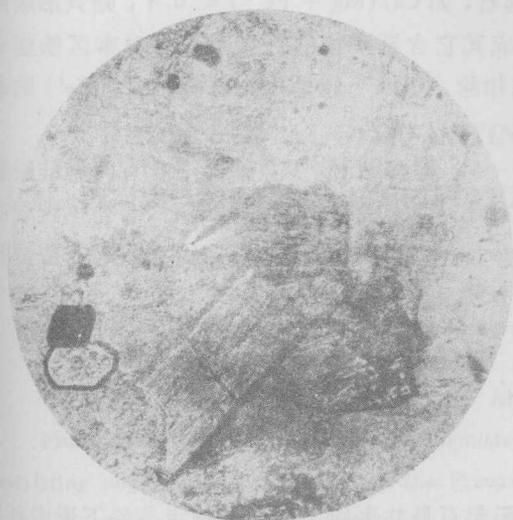


图 2. 普通辉石和阳起石成分图解

Fig. 2. Mg-Fe distribution between augite and actinolite.



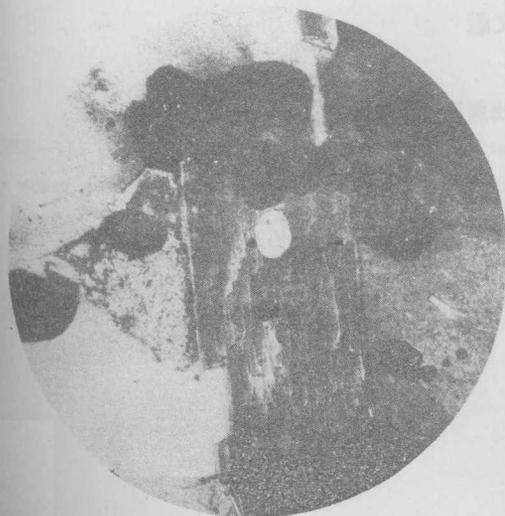
照片 1. 阳起普通辉磁铁矿石英岩。普通辉石(深灰色)与阳起石(柱状、浅灰色)的接触界线平直。其余矿物为石英(灰白色)和磁铁矿(黑色)。

平行偏光×250 84BZ-17M



照片 2. 普通辉阳起磁铁矿石英岩。普通辉石(深灰色、不规则柱状)与阳起石(灰色、柱状)的接触界线清楚。

平行偏光×63 84BZ-72M (t)



照片 3. 普通辉阳起磁铁矿石英岩。普通辉石(灰白色、高突起)与阳起石(深灰色、柱状)的接触界线清楚。

正交偏光×250 84BZ-72M (2)

相当于低角闪岩相。

(二)原岩成分的控制 除了温、压条件外,原岩成分对形成普通辉石和阳起石具有重要意义。

Hietanen (1971)⁽²⁾ 指出,钙质辉石和钙质闪石化学成分的主要区别,除了闪石中存在(OH)外,钙质辉石中的钙含量高。因此他推断,在角闪岩相的温、压条件下形成什么产物应与原岩中钙的相对含量有关。如 $Ca/(Mg + Fe^{2+}) > 1$, 只形成钙辉石,如

$1 > \text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) > 0.4$, 形成钙辉石和阳起石, 如 $\text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) < 0.4$, 则只形成阳起石。 $\text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ 中的 Ca 指扣除参与形成其它含钙矿物的钙剩余量。对本区铁建造来说, 因没有其它的主要含钙矿物。不需按上述扣除, 但 Fe^{2+} 应是扣除磁铁矿中的 Fe^{2+} 的剩余量。

本区铁建造中硅酸盐矿物, 多数情况下只有一种, 即阳起石, 少数情况下含有两种硅酸盐矿物, 即普通辉石和阳起石。研究单独形成阳起石还是形成普通辉石和阳起石, 同样也应取决于 $\text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ 的比值, 只是不能完全符合 Hietanen 提出的限定数值。因为阳起石曾受热液交代, 化学成份已经发生了不同程度的变化。

六. 结 论

根据以上分析, 作者认为, 本区普通辉石和阳起石是共生的。它们是特定条件下形成的: (1) PT 条件相当于低角闪岩相。(2) 原岩的 $\text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ 比值应较高。因此, 它们平衡共生的范围较窄。尽管它们在自然界产出的实例不多, 但是研究它们的成因还是具有一定的理论意义, 也有助于理解本区铁建造的变质程度。

参考文献

- [1] 都城秋穗 《变质作用与变质带》(周云生译) 地质出版社 1979。
- [2] Hietanen, A. Diopside and tremolite from skarn, Clearwater county Idaho, Am. Mineral, 1971, 36, 234—239。
- [3] Metz, P. and Winkler, H. G. F., Experimental investigation of the formation of diopside from tremolite, calcite and quartz, Geochemistry Intern., 1964, 2, 388—389。
- [4] Robert F. Mueller, Compositional characteristics and equilibrium relations in mineral assemblages of a metamorphosed iron formation, Am. J. Sci., 1960 258, 449—497。

ORIGIN OF AUGITE-ACTINOLITE ASSEMBLAGES FROM PRECAMBRIAN IRON FORMATION IN ANSHAN AND WAITOUSHAN

Jiang Yongnian

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources)

Abstract

From a comprehensive study of chemistry and microscope, the author considers that the coexisting augite and actinolite from the Precambrian iron formation in Anshan and Wai-toushan areas approach to mineral equilibrium during metamorphism. It is concluded that under PT conditions of the epidote amphibolite facies, the augite and actinolite crystallize in layers with higher ratio of $\text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$

Undoubtedly, the conclusion mentioned above is of a certain significance in determining the metamorphic grade of iron formation in these areas.