

地质科技在发展中

(26-66)

矽卡岩接触反应生成论 及其现状

王 书 凤

中国地质科学院矿床地质研究所

矽卡岩遍布在世界的各个地区，见之于不同地质时代不同生成方式的地质体中，是不依人的主观意志为转移的客观实体。许久以来，中外地质学家对之进行了大量描述，提供了丰富的实际资料，归纳出一系列的经验规律，并根据各自占有的材料和当时的科学水平，从不同侧面对这些经验规律给出了解释。最近这三十年来，在矽卡岩方面的文献中，起支配作用的是矽卡岩的接触反应生成论。本文旨在概略介绍矽卡岩接触反应生成论的主要侧面及其现状。

柯尔任斯基在研究若干矽卡岩矿床的基础上，全面地分析了他的理论问世以前的各种观点，继承前人理论的合理部分，提出矽卡岩以接触反应方式生成的理论^[1]。根据这个理论，矽卡岩是由钙镁铁的硅酸盐及铝硅酸盐组成的交代岩，它通常出现在碳酸盐岩层与岩浆、岩浆岩及其它铝硅酸盐岩* 的高温接触晕内，是这两类化学性质明显不同的岩石在溶液作用下相互反应的产物^[2]。

这一概念强调指出，矽卡岩所处的地质环境是在化学成分有明显差别的两相邻介质的接触带；它不是任意类型的交代岩，而是以接触反应方式生成的交代岩。在两种岩石接触带附近，以接触热变质方式生成的岩石不是矽卡岩，而是角岩。由矽卡岩经后期蚀变而成的岩石也不能称之为矽卡岩，最好叫做由矽卡岩变来的岩石^[3]。

矽卡岩的接触反应生成论，目前已被多数有关的地质学家所接受，在地质学文献中得到广泛传播。矽卡岩的接触反应生成论，与任何学科的任何概念一样，在确定的时间内具有确定的含义，也将随着研究的深入不断地充实自己的内容，或者会改变叙述的方式。

五十年代以来，许多地质学家在这一理论的指导下，进行了大量的地质观察和实验研究，使矽卡岩形成的接触反应理论受到进一步考验，得到了充实。

矽卡岩，按有效情性组份的不同，分为镁矽卡岩和钙矽卡岩；按形成过程中组份迁移方式的不同，有渗透型矽卡岩与扩散型矽卡岩之分。

扩散型矽卡岩，产生在碳酸盐岩层与火成岩及其它铝硅酸盐岩的接触带，是各自的组份反应的产物。在习惯上也称之为双交代矽卡岩。

* 这里所说的铝硅酸盐岩，包括片麻岩类、片岩类、火山岩类、砂岩类等。

渗透型矽卡岩的产生,是由于溶液中的有效组份作单向迁移,其形成与碳酸盐岩层接触带附近的渗透反应作用有关。这种矽卡岩,一般叫做接触渗透矽卡岩;其规模比扩散型矽卡岩大得多。

还有一种矽卡岩,其形成不是由于碳酸盐岩层与铝硅酸盐岩相互间的接触反应,而是超基性岩、碱性超基性岩及辉长岩类等经钙质交代的产物。由于已经把矽卡岩限定为碳酸盐岩与铝硅酸盐岩接触带的反应岩,因此,从形式上讲,也许不应将它列入矽卡岩;但考虑它与接触渗透矽卡岩在成分及共生矿物方面的相似性,成因上的接近性,矿化上的同类性,称它为矽卡岩又似乎是言之成理的。为区别起见,可名之曰自反应矽卡岩。

近十年来,有些人在概括世界各地大量资料的基础上,将矽卡岩分为三个建造:岩浆阶段镁矽卡岩、岩浆期后阶段镁矽卡岩、钙矽卡岩^[2]。

由此可见,矽卡岩的类型就归结为:

镁矽卡岩:接触渗透型

接触扩散型(双交代型);

钙矽卡岩:接触渗透型

渗透型

自反应型

接触扩散型。

岩浆阶段镁矽卡岩,形成在白云岩及其它镁质碳酸盐岩层的花岗岩化或岩浆交代的前锋上,是白云岩与来自液态岩浆或结晶着的岩浆的溶液相互反应的产物。它成于岩浆固结之前的地质标志为:①与镁矽卡岩相接触的岩浆岩本身未发生镁矽卡岩化;②镁矽卡岩被未发生镁矽卡岩化的岩枝及岩脉穿切;③与镁矽卡岩有关的岩浆岩,在与镁矽卡岩直接相邻的地段存在宽度不大的碱度增高边,这个碱度增高边的矿物共结关系,较之于碱度正常部位的岩石,已有明显的变化^[3]。

控制镁矽卡岩形成的地质条件是:①在围岩中存在白云岩或其它镁质碳酸盐岩(钙质白云岩、菱镁矿岩);②围岩的花岗岩化或岩浆交代作用强烈。

由于老地盾及前寒武纪褶皱区、地槽中期阶段地质产物很发育的地区,普遍存在着镁质碳酸盐岩层,花岗岩化或岩浆交代现象也很强烈;所以这两类地区应该是镁矽卡岩最发育的地区^[2]。

岩浆阶段镁矽卡岩的固有矿物为镁橄榄石、镁尖晶石、深绿辉石*、紫苏辉石、磁铁矿、斜长石等。其矿物组合依矽卡岩化过程铁与钙化学势的不同而发生规律性变化(图1)。

这类镁矽卡岩全属接触渗透型,一般分为两个深度相:深成相和浅深相。在浅深相的镁矽卡岩中,只存在外矽卡岩,没有内矽卡岩,不出现紫苏辉石;与外矽卡岩相邻的斑花大理岩,

* 在过去的文献中,它一直被当作透辉石,近20多年来多已采用本名。深绿辉石含 Al_2O_3 2~15%,通常在4~9%。此外,还存在一些其它特征^[4]。

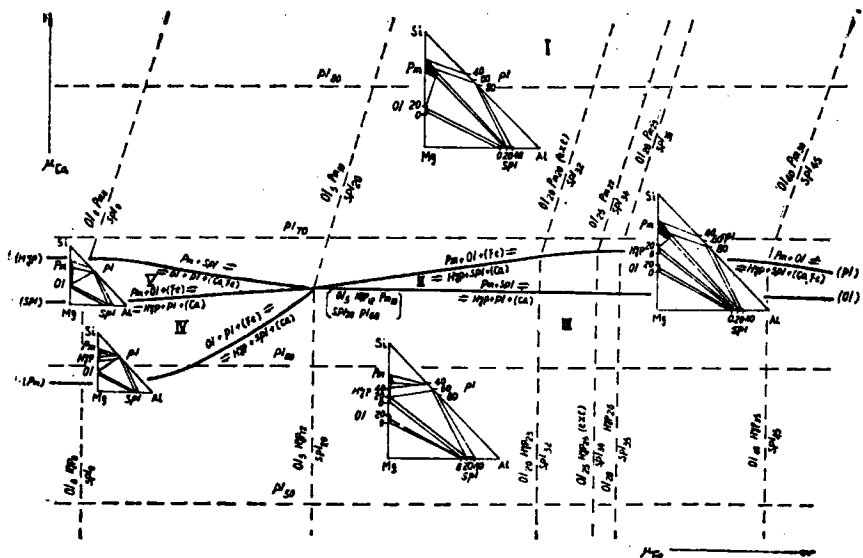


图1. 镁砂卡岩的共生组合对 μ_{Fe} 和 μ_{Ca} 的依从性^[2]

往往含有方镁石。深成相镁砂卡岩在矿物成分上的突出特征是存在紫苏辉石。深成相镁砂卡岩不仅有外带，而且还有内带；在与内砂卡岩相邻的砂卡岩旁的岩石中，生成顽火辉石、正长石矿物。

许多研究者越来越一致地认为，镁砂卡岩的共生矿物对存在极值相应。比方说，在极值成分下，共生矿物对的含铁率* 一致。

图1从理论上指明了岩浆阶段镁砂卡岩可能有的矿物组合。由此可知，它的矿物组合是比较单一的。统观现有资料得知，与图1中I、II、III区相对应的矿物组合，在岩浆阶段镁砂卡岩中是常见的，而IV、V两区所示的共生组合至今仍未见到。I区的矿物组属浅深相；II、III两区的组合属深成相。

岩浆阶段镁砂卡岩的交代柱* 有10多种，但主要的只有4种^[2]：

- | | | |
|-----|------------------------------------|--------------------|
| (1) | 0. Dol | } $\pm Ka, \pm Mt$ |
| | 1. $For_1^{**} + Spl_1 + Dol(per)$ | |
| | 2. $For_2 + Spl_2$ | |
| | 3. $Pm + Spl_3$ | |
| | 00. 岩浆 | |

* 含铁率通常用 f 表示，其数学表达为 $f = \frac{FeO}{FeO + MgO} \times 100$

*'在同一交代岩中，各交代带的总和叫交代柱。

*'同名矿物代号右下角注以不同数字，表示它们在成份上有差别。

- (2) 0. Dol
1. $\text{For}_1 + \text{Spl}_1 + \text{Dol(per)} + \text{Ka}$
 2. $\text{For}_2 + \text{Spl}_2 + \text{Ka}$
 3. $\text{Pm} + \text{For}_3 + \text{Spl}_3$
 4. $\text{Pm}_4 + \text{Spl}_4$
00. 岩浆
- (3) 0. Dol
1. $\text{For}_1 + \text{Spl}_1 + \text{Dol}$
 2. $\text{For}_2 + \text{Spl}_2$
 3. $\text{Pm}_1 + \text{Spl}_3$
 4. $\text{Pm}_2 + \text{Pl}_4$
00. 岩浆、片麻岩
- (4) 0. Dol
1. $\text{For}_1 + \text{Spl}_1 + \text{Ka} \pm \text{Dol}$
 2. $\text{For}_2 + \text{Spl}_2$
 3. $\text{Hyp}_1 + \text{Spl}_3$
 4. $\text{Hyp}_2 + \text{pl}$
00. 岩浆、片麻岩

上述交代柱的各带中,除了它的固有矿物外,可以出现该交代柱右边括号外所示的矿物。雅里柯夫指出,岩浆阶段镁矽卡岩形成过程的化学作用,有如下特征^[2]。

(1) 白云岩发生顺序性改造,其结果是把白云岩的成分改造成与岩浆的成分相近似。在此过程中,溶液把岩浆所含的硅和铝带入白云岩,这是作用的主要方向。

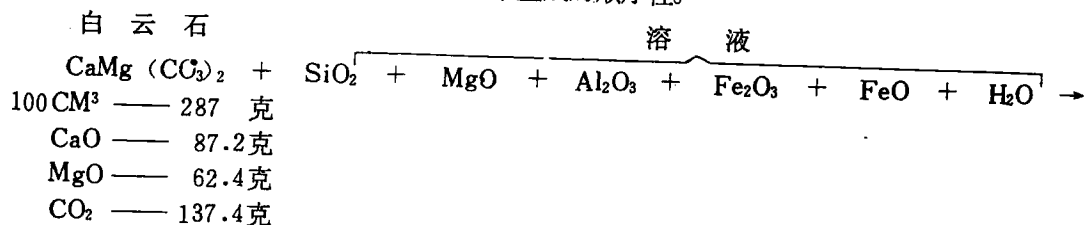
(2) 从岩浆中带入的铁,多数沉淀在交代柱的中部。

(3) 镁从白云岩被岩浆交代的地段带走。其中的一部份镁,在从矽卡岩被岩浆交代的地段向外迁移的途中,积聚在镁矽卡岩的外带,使之在这里的含量高于原始白云岩。

(4) 钙和 CO_2 从矽卡岩带及白云岩被岩浆交代的地段带出。

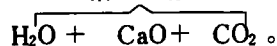
(5) 铝在整个交代柱中基本上保持恒定的含量,仅仅在过渡为岩浆的地段才呈现明显降低。

现引一实例^[3],直观地说明各矽卡岩带生成的顺序性。



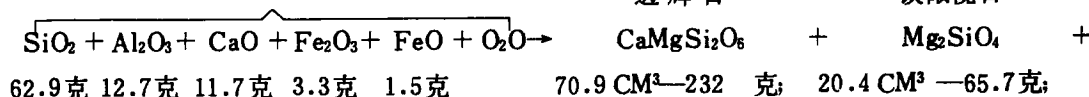
镁橄榄石	方解石	镁尖晶石	磁铁矿	
Mg_2SiO_4	$+ CaCO_3$	$MgAl_2O_4$	$+ Fe_3O_4$	$+$
61.4 CM^3 — 197.5克*;	31.8 CM^3 — 86.5克;	5.2 CM^3 — 19.5克;	1.6 CM^3 — 8.3 克	
MgO — 112.8克;	CaO — 48.4克;	MgO — 5.5克;	Fe_2O_3 — 5.7 克	
SiO_2 — 84.7克;	CO_2 — 38.1克;	Al_2O_3 — 14.4克;	FeO — 2.6 克	

溶 液



38.8克 99.3克

镁橄榄石	方解石	镁尖晶石	磁铁矿	
Mg_2SiO_4	$+ CaCO_3$	$+ MgAl_2O_4$	$+ Fe_3O_4$	$+$
61.4 CM^3 — 197.5克;	31.8 CM^3 — 86.5克;	5.2 CM^3 — 19.5克;	1.6 CM^3 — 8.3克;	
MgO — 112.8克;	CaO — 48.4克;	MgO — 5.5克;	Fe_2O_3 — 5.7克;	
SiO_2 — 84.7克;	CO_2 — 38.1克;	Al_2O_3 — 14.4克;	FeO — 2.6克;	



62.9克 12.7克 11.7克 3.3克 1.5克 70.9 CM^3 — 232 克; 20.4 CM^3 — 65.7克;

CaO — 60.1克; MgO — 37.5克;

MgO — 43.2克; SiO_2 — 28.2克;

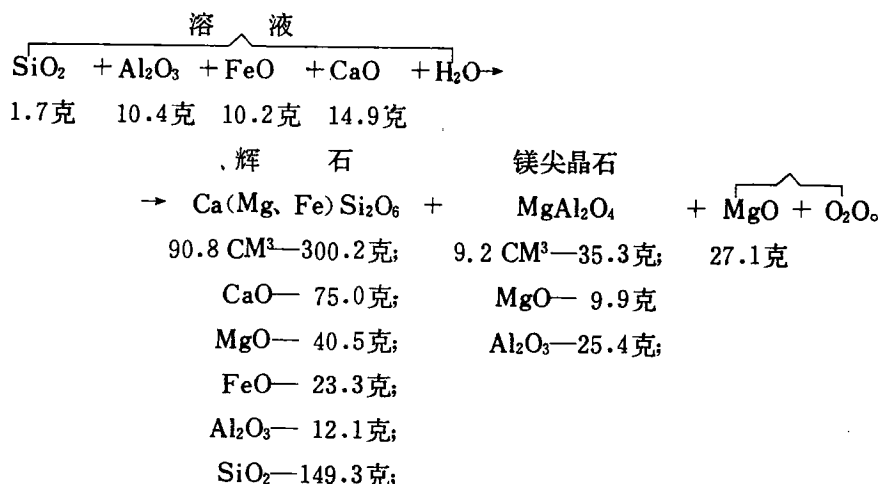
Al_2O_3 — 9.3克;

SiO_2 — 119.4克;

镁尖晶石	磁铁矿	溶 液
$MgAl_2O_4$	$+ Fe_2O_3$	$+ H_2O + MgO + CO_2 \rightarrow$
6.4 CM^3 — 24.6克;	2.3 CM^3 — 13.1克;	30.8克 38.1克
MgO — 6.8克;	Fe_2O_3 — 9.0克;	
Al_2O_3 — 17.8克;	FeO — 4.1克;	

$CaMgSi_2O_6$	Mg_2SiO_4	$MgAl_2O_4$	Fe_3O_4	
70.9 CM^3 — 232 克;	20.4 CM^3 — 65.7克;	6.4 CM^3 — 24.6 克;	2.3 CM^3 — 13.1克;	
CaO — 60.1克;	MgO — 37.5克	MgO — 6.8克;	Fe_2O_3 — 9.0克;	
MgO — 43.2克;	SiO_2 — 28.2克;	Al_2O_3 — 17.8克;	FeO — 4.1克;	
Al_2O_3 — 9.3克;				
SiO_2 — 119.4克;				

* 指矿物在岩石中的体积百分数及与之对应的重量。



关于岩浆阶段镁矽卡岩形成的温度问题，现在谈论它还为时过早。根据有关的实验矿物学及实验岩石学方面的资料估算，其温度区间最大可能为650°C~1000°C。

岩浆期后阶段镁矽卡岩形成在白云岩与花岗岩及其它铝硅酸盐岩接触带的有利地段，是这两类岩石在沿接触带渗流的高温岩浆期后溶液作用下相互反应的产物^[2]。它既交代白云岩，也交代铝硅酸盐岩。这种镁矽卡岩成于岩浆期后的主要标志是，与之相邻的花岗岩普遍地受到镁矽卡岩化。

岩浆期后阶段镁矽卡岩的主要矿物有镁橄榄石、单斜辉石*、镁尖晶石、金云母、韭角闪石、方柱石、斜长石、正长石，有时还存在青金石、蓝方石及霞石等。很明显，它的固有矿物比岩浆阶段镁矽卡岩要多一些；其矿物组合也比较多样化。

岩浆期后阶段镁矽卡岩有三个深度相。由于在中、浅深条件下，这类镁矽卡岩主要而且仅仅以迭加方式发生在岩浆阶段镁矽卡岩所在的部位上，或者在后中形成镁橄榄石辉石脉状体，或者引起后者的固有矿物发生蚀变，因而通常没有独立意义。只有在深成相的环境里，才见到独立的规模较大的岩浆期后阶段镁矽卡岩体。

岩浆期后阶段镁矽卡岩，既有接触扩散型，也有接触渗滤型。前者规模小，内矽卡岩与外矽卡岩几乎同等发育。后者规模较大，虽然也有内矽卡岩与外矽卡岩之分，但二者的发育程度并不等量齐观。

越来越多的事实显示出，除了深度因素外，溶液的碱度及铁度，对岩浆期后阶段镁矽卡岩的形成及矿物组合的规律性递变起很大作用（图2）。与此相对应，通常将岩浆期后阶段镁矽卡岩分为四个相：

- （1）辉石镁尖晶石相（低碱度、低铁度相）；
- （2）镁尖晶石韭角闪石相（低碱度、高铁度相）；
- （3）金云母相（中碱度、中铁度相）；

* 通常是含Al₂O₃ 1—2%的透辉石、次透辉石。

(4) 金云母-角闪石相 (中碱度、高铁度相)。

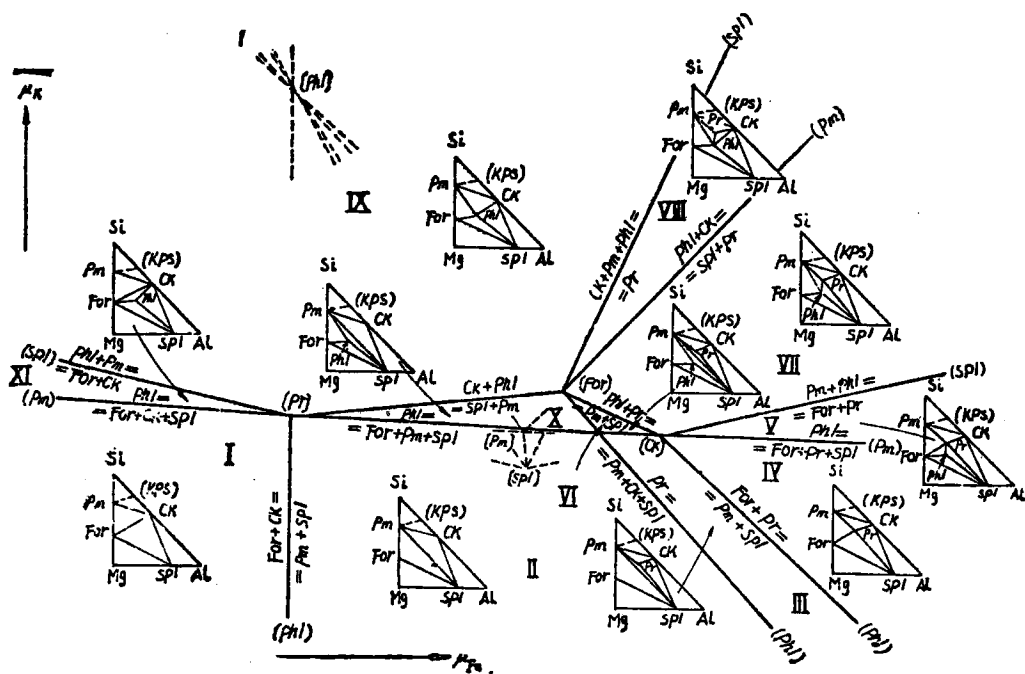


图2. 岩浆期后镁砂卡岩的矿物共生组合对 μ_K 和 μ_{Fe} 的依从性^[2]

与这些交代相相对应的代表性交代柱^[2]为:

- A. 01 02 03 2 1 0
 铝硅酸盐岩 | $Pm_1 + Pl + Ck_1$ | $Pm_2 + Ck_2$ | $Pm_3 + Spl$ || Pm_4 | For + Ka | Dol
 或
 Or
- B. 01 02 03 04 2 1 0
 铝硅酸盐岩 | $Pm_1 + Pl + Ck_1$ | $Pm_2 + Ck_2$ | $Pm_3 + Pr$ | $Pm_4 + Spl$ || Pm_5 | For + Ka | Dol
 或
 Or
- C. 00 01 02 03 04 2 1 0
 铝硅酸盐岩 | $Pm_1 + Pl + Ck_1$ | $Pm_2 + Ck_2$ | $Pm_3 + Phl_1$ | Phl_2 || Pm_4 | For + Ka | Dol
 或
 Or
- D. 00 01 02 03 04 05 2 1 0
 铝硅酸盐岩 | $Pm_1 + Pl + Ck_1$ | $Pm_2 + Ck_2$ | $Pm_3 + Pr$ | $Pm_4 Phl_1$ | Phl_2 || Pm_5 | For + Ka | Dol
 或
 Or

外矽卡岩

补偿型外矽卡岩

非补偿型外矽卡岩

面型矽卡岩

脉状矽卡岩

接触扩散型 矽卡岩旁岩石 (旁矽卡岩)

内矽卡岩

外矽卡岩

似矽卡岩

补偿型接触渗滤矽卡岩的突出特征, 是内矽卡岩与外矽卡岩并存, 尽管二者在空间上可以是彼此隔开的。在这种情况下, 一种介质在矽卡岩化过程中释放出来的组份, 消耗在另一岩石的矽卡岩化上。非补偿型接触渗滤矽卡岩与此相反, 其主要特征是内矽卡岩与外矽卡岩不同时并存。

外矽卡岩是交代碳酸盐岩而成的反应岩。似矽卡岩出现在外矽卡岩带中, 是交代含铝硅酸盐杂质的碳酸盐岩而成的反应岩, 含有两种或三种反应矿物, 不存在矿物的反应分带。矿物的此种分布特征决定于铝硅酸盐杂质在碳酸盐岩中的非均匀分布。原岩中的铝硅酸盐杂质被石榴石交代, 钙质部份则被辉石替换。似矽卡岩在外表上颇似角岩, 可以认为是介于角岩与矽卡岩之间的反应岩。

内矽卡岩是交代铝硅酸盐岩而成的反应岩。矽卡岩旁岩石位在内矽卡岩与轻蚀变的铝硅酸盐岩之间, 以交代铝硅酸盐岩的方式而成, 是以长石为主的内矽卡岩; 在这类岩石中, 以矽卡岩旁的辉石斜长石岩最常见。

钙矽卡岩形成的温度区间较宽 (图3), 约为400~1000°C, 可分为五个温度相^[2]。

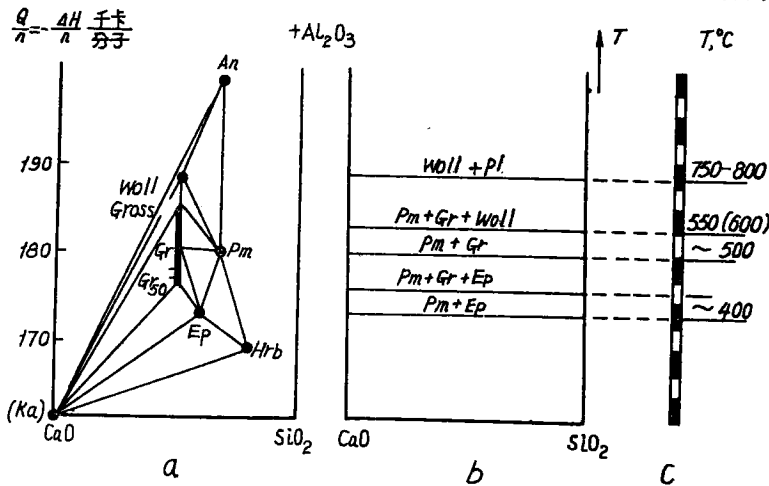


图3. 钙矽卡岩的温度相^[2]

硅灰石斜长石相, 高于750~800°C;

辉石石榴石硅灰石相, 550(600)~750(800) °C;

辉石石榴石相, 500~550(600) °C;

石榴石绿帘石相, 400(450) ~500°C;

辉石绿帘石相, 350(400)~400(450)°C。

事实表明, 辉石石榴石硅灰石相、辉石石榴石相、石榴石绿帘石相, 在钙矽卡岩中占有重要地位。硅灰石斜长石相很少见。辉石绿帘石相在原生双交代钙矽卡岩中不普遍, 但对接触渗透型外矽卡岩则是一种常见的共生组合。

钙矽卡岩的形成是在溶液中活动组份、尤其是碱金属为各种地球化学性状下进行的。活动组份的不同性状, 对钙矽卡岩矿物组合的递变有很大影响; 据此, 可将它分为几个碱度相。

为了直观地说明钙矽卡岩碱度相的特征, 现以高温的辉石石榴石相为例, 揭示它的矿物组合对 μ_{Na} 、 μ_K 的依从关系(图4)。可根据钙矽卡岩的矿物组合对 μ_{Na} 、 μ_K 的依从关系, 把高温钙矽卡岩相(辉石石榴石相)分为四个碱度相:

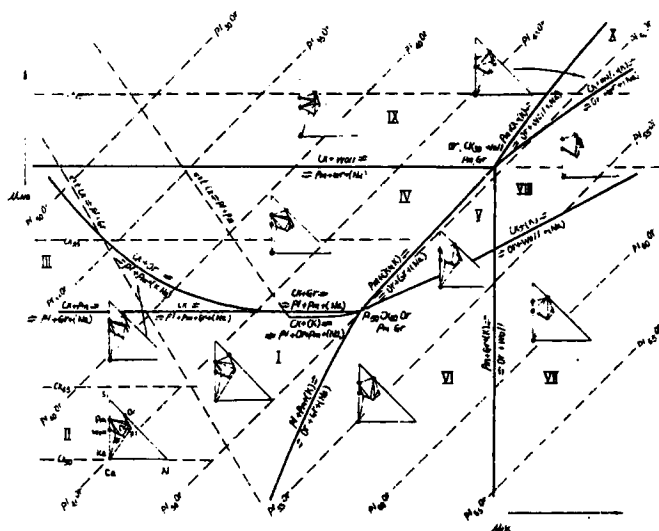


图4. 高温钙矽卡岩的共生组合对 μ_{Na} 和 μ_K 的依从性^[2]

辉石斜长石相, 简称斜长石相, 在图4中与I区相对应;

辉石方柱石相, 简称方柱石相, 在图4中包括Ⅲ区和Ⅳ区;

正长石石榴石相, 简称正长石相, 包括图4中的Ⅵ区和Ⅶ区。

高碱度相, 包括图4中的Ⅷ—8区。

将上述方法用于所有的温度相, 都可以把它们区分为上述四个碱度相。

在同一地区、同一矿田乃至同一矿床, 钙矽卡岩一般属于同一碱度相。

镁、锰、铁等活动组份在地球化学性状上的差别, 对钙矽卡岩矿物组合的递变也可以有很大的影响。与之对应, 可根据 μ_{Mg} 、 μ_{Fe} 、 μ_{Mn} 值的不同, 把钙矽卡岩分为几个铁度相。仍以高

温的辉石石榴石相为例，探索钙矽卡岩的矿物组合对 μ_{Mg} 、 μ_{Fe} 值的依从关系（图5），并以此为依据，分为五个铁度相：硅灰石相；透辉石相；次透辉石相；钙铁辉石相；钙铁石榴石相。这五个相在所有碱度条件下都可以出现。

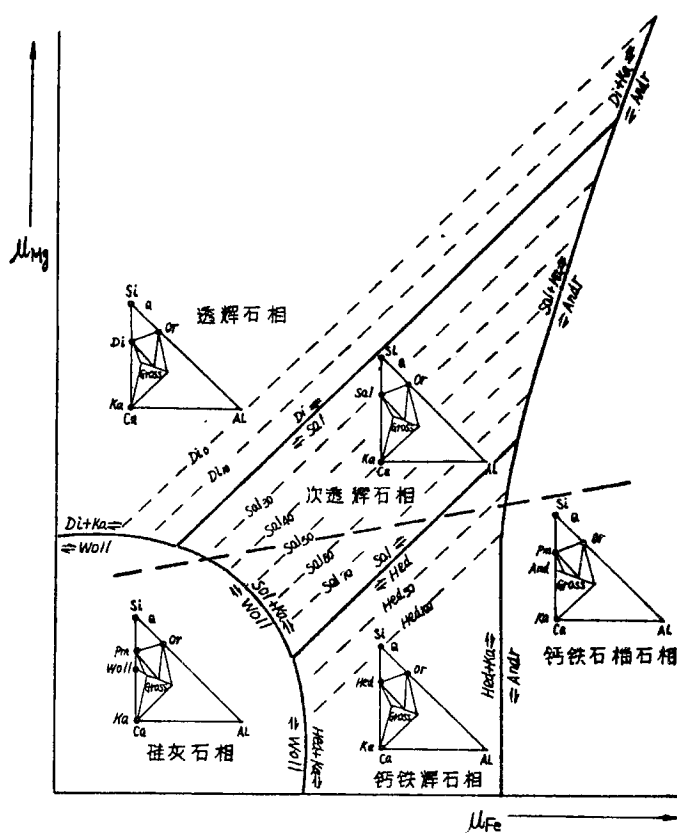


图5. 高温钙矽卡岩的共生组合对 μ_{Mg} 和 μ_{Fe} 的依从性^[2]

钙矽卡岩的分带结构比较复杂。兹以接触扩散型矽卡岩的辉石斜长石相、绿帘石正长石相为例说明之：

辉石斜长石相钙矽卡岩主要有 5 种交代柱：

- | | | | | | |
|-----------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------|----|
| 00 | 1 | 2 | 3 | 0 | |
| I、铝硅酸盐岩 | Pm + Pl | Sal | Woll | Ka | |
| 00 | 1 | 2 | 0 | | |
| II、铝硅酸盐岩 | Pm + Pl | Sal | Ka | | |
| 00 | 1 | 2 | 3 | 4 | 0 |
| III、铝硅酸盐岩 | Pm ₁ + Pl | Pm ₂ + Gr ₁ | Gr ₂ | Sal - Hed | Ka |

00 1 2 3 0
IV、铝硅酸盐岩 | $Pm_1 + Pl_1$ | $Pm_2 + Gr_1$ | Gr_2 | Ka

00 1 2 3 0
V、铝硅酸盐岩 | $Pm + Pl_1$ | $Gr_1 + Pl_2$ | Gr_2 | Ka

绿帘石正长石相钙矽卡岩有 6 种交代柱:

00 1 2 0
I、铝硅酸盐岩 | $Or + Ep$ | Pm | Ka

00 1 2 3 0
II、铝硅酸盐岩 | $Or + Ep_1$ | $Pm_1 + Ep_2$ | Pm_2 | Ka

00 1 2 3 4 5 6 0
III、铝硅酸盐岩 | $Or + Ep_1$ | Ep_2 | $Pm_1 + Ep_3$ | $Pm_2 + Gr_1$ | Gr_2 | Pm_3 | Ka |

00 1 2 3 4 5 0
IV、铝硅酸盐岩 | $Or + Ep_1$ | Ep_2 | $Pm_1 + Gr_1$ | Gr_2 | Pm_2 | Ka

00 1 2 3 4 0
V、铝硅酸盐岩 | $Or + Ep_1$ | Ep_2 | Gr | Pm | Ka

00 1 2 3 0
VI、铝硅酸盐岩 | $Or + Ep_1$ | Ep_2 | Gr | Ka

接触扩散型钙矽卡岩的交代柱远不止这些。接触渗滤型钙矽卡岩的交代柱主要为:

A

B

I、辉石斜长石相

00、铝硅酸盐岩

1、 $Pm_1 + Pl_1 + Or$

或 $Pm_1 + Pl_1 + Hrb$

2、 $Pm_2 + Pl_2$

3、 $Pm_3 + Gr$

4、 Gr

II、辉石方柱石相

00、铝硅酸盐岩

1、 $Pm_1 + Pl_1 + Or$

或 $Pm_1 + Pl_1 + Ck_1$

2、 $Pm_2 + Ck_2$

3、 $Pm_3 + Gr_1$

4、 Gr_2

00、铝硅酸盐岩

1、 $Pm_1 + Pl_1 + Or$

或 $Pm_1 + Pl_1 + Hrb$

2、 $Pm_2 + Pl_2$

3、 $Gr_1 + Pl_3$

4、 Gr_2

00、铝硅酸盐岩

1、 $Pm_1 + Pl_1 + Or$

或 $Pm_1 + Pl_1 + Ck_1$

2、 $Pm_2 + Ck_2$

3、 $Gr_1 + Ck_3$

4、 Gr_2

Ⅲ、正长石石榴石相

00、铝硅酸盐岩

- 1、 $Pm_1 + Pl_1 + Or_1$
- 2、 $Pm_2 + Or_2$
- 3、 $Pm_3 + Gr_1$
- 4、 Gr_2

00、铝硅酸盐岩

- 1、 $Pm_1 + Pl_1 + Or_2$
- 2、 $Pm_2 + Or_2$
- 3、 $Gr_1 + Or_3$
- 4、 Gr_2

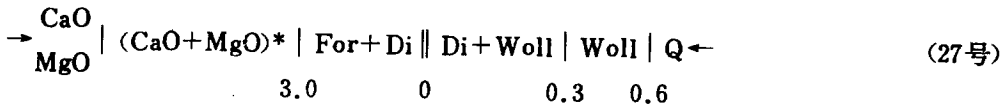
同一碱度相的接触渗滤型钙矽卡岩其所以产生A类交代柱与B类交代柱，是由于铝的迁移特征不同。如果铝在迁移过程中发生富集，形成B类交代柱；反之产生A类交代柱。

在某一特定的钙矽卡岩中，矿物的种类也不止于前面说过的这些。在一般情况下，总可以见到别的矿物，例如角闪石类、绿泥石、硅镁石、碳酸盐类、云母类、葡萄石、黄玉、萤石、石英、符山石、钙镁橄榄石、黄长石、斧石、电气石、等等。矿物共生分析表明，所有这些矿物，不是钙矽卡岩矿物所固有的。其中有的是钙矽卡岩化对镁矽卡岩改造时形成的特征性矿物，例如符山石^[6]、钙镁橄榄石；有的则是云英岩化、青盘岩化、黄铁细晶岩化对钙矽卡岩改造的产物，例如角闪石类、萤石、石英之类。

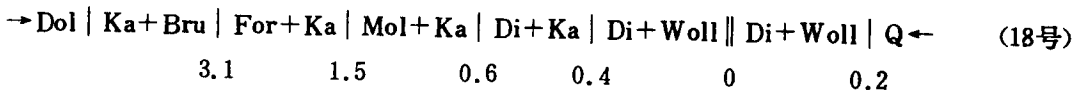
在自然界，不会存在没有后期改造的镁矽卡岩，也不能设想有纯净的钙矽卡岩。纵观所有矽卡岩矿床的矿物、岩石学资料，人们一次又一次地发觉，镁矽卡岩矿物、钙矽卡岩矿物及这两种矽卡岩矿物的后期蚀变产物，总是交织在一起，这是绝对的。问题是哪一类产物为主。

以上所述的，是矽卡岩接触反应生成论问世以来，在矿物学、岩石学及矿物共生分析等方面所经历的充实与发展概况。至于实验研究，主要在双交代（接触扩散）矽卡岩的模拟实验方面取得了极为宝贵的进展。

纵观实验文献资料，得知在双交代矽卡岩的模拟实验方面已选行了56次成功实验。其中钙、镁质氧化物与石英接触反应的实验22次，所得到的代表性交代柱（27号）为^[7]：

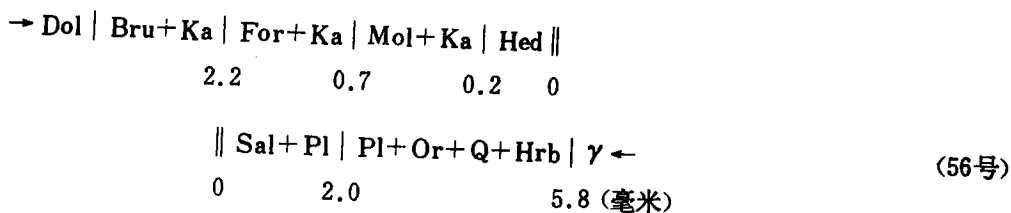


钙、镁质碳酸盐与石英接触反应的实验8次，所得到的代表性交代柱（18号）为^[7]：

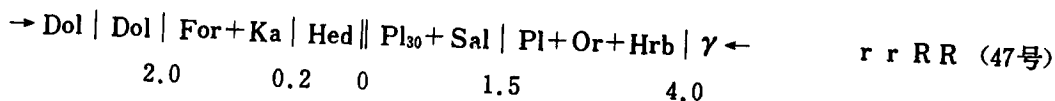


钙、镁质氧化物与钠长石、微斜长石混合物接触反应的实验15次，所得到的代表性交代柱（56号）为^[8]：

* $(\text{CaO} + \text{MgO})$ 表示氧化物混合物原先所在的位置上形成一些未定名物质。



钙、镁质碳酸盐与花岗岩类岩石接触反应11次，所得到的代表性交代柱（47号）为^[8]：



这些实验是在温度为600℃、压力为1000千克/厘米²的条件下进行的，辅以不同浓度不同成份的试剂*，。尽管这些实验的配料不同，产物各异，但每次实验的产物都按确定的顺序出现，各带之间具有清晰的界限，构成完整的交代柱。

实验结果证明，关于双交代是两种化学性质截然不同的固态介质在热液作用下相互反应的概念是正确的，有根据的。交代柱的各带，皆由反应矿物组成。各带的总成份，依组份的扩散方向及活度不同而呈现规律性递变。各交代带在反应开始的时刻即已产生，随着时间的推移，各带按比例增长，其速度为 $n \cdot 10^{-9} \sim n \cdot 10^{-10}$ 厘米/秒。在交代柱增长的全过程中，其总的分带结构不发生变化。

实验得到的所有交代柱，都具有局部平衡的全部标志。各带之间显示清晰的界限；各带的前沿与后尾，矿物成份是完全一致的；组份数与相数之间完全服从于吉布斯相律；在交代柱的范围内，矿物的成份不因实验时间的长短而变。

总而言之，这56次实验结果证明，矽卡岩接触反应生成论关于双交代矽卡岩形成的物理化学模型是正确的。

至于接触渗滤矽卡岩的模拟实验结果，迄今仍未见到，但已有渗滤效应系数*'方面的实验报导^[9]。实验确定：渗滤效应现象是存在的；渗滤效应系数与离子半径及其荷电量、溶液浓度及酸度、滤器的成份及孔径有关，其数学关系为：

$$\varphi_i = \exp \left(- \frac{\text{Li}^{\text{DP}} \text{ViP} + \text{L}^{\text{DE}} \text{ZF} \varphi}{\text{Li}^{\text{D}} \text{RT}} \right)$$

即 φ_i 是T的指数函数。

* 27号实验在为1.0M CaCl₂溶液的作用下，历291小时；18号实验在1.0M NaCl溶液作用下，历810小时；56号实验在CaCl₂、MgCl₂各为0.1M、NaCl为0.8M溶液作用下，历388小时；47号实验在1.0M NaCl溶液作用下，历330小时。

*' 根据渗滤交代分带的基本方程之 $-\frac{dmi}{dv} = \varphi_i C_i$ ，此 φ_i 即为渗滤效应系数。

矽卡岩总是与某些种类的矿石紧密相联。矽卡岩化过程与导致矿石堆积在矽卡岩体内的矿化过程彼此迭合,是矽卡岩矿床形成的重要因素。凡是矿石基本上处在矽卡岩及矽卡岩旁岩石内的矿床,都是矽卡岩矿床。这类矿床,广泛地分布在世界各地,是一种客观的地质实体;它的存在不依人的意志为转移。古今矿床学家从不同角度对它进行了广泛研究,总结出许多宝贵经验,概括成矽卡岩矿床的成因理论。这些经验及理论,在矿产普查与勘探的实践中发挥了很大的指导作用。

矿化有倾向地发生在矽卡岩体内这一现象深刻反映着两者的成因联系。矽卡岩接触反应生成论认为,矽卡岩矿床的形成,是同一热液旋回在过程的不同发展阶段发生的两个作用规律性结合的结果^[2]。

根据大量地质事实及反映这些事实的物理化学原理,可以把矽卡矿化分为三种类型,与之对应,其矿石有三种成因类型:同时型;跟随型;迭加型。

在这三类矿化中,以迭加型矿化研究得最多,进展也较大。目前,主要从溶液本身性质的演化^[10]及酸—盐基相互作用^[11]的角度解释矽卡岩矿石的主要现象,并提出用矿物酸—盐基特征值作为反映矿化特征的尺度^[12]。

同时型矿化,是指金属矿物沉淀与矽卡岩的形成同时进行。根据迄今为止的实际资料,这种矿化仅见于岩浆阶段镁矽卡岩;由于分布不广,又不构成工业堆积规模,实际上没有任何经济价值。

跟随型矿化,金属矿物的沉淀尾随在矽卡岩形成之后,是岩浆期后溶液酸度增高引起的矿物形成作用的重要表现之一。跟随型矿化产生的矿石多属镁矽卡岩矿床,有四个矿石建造:金云母建造;磁铁矿建造;硼酸盐建造;硫化物建造。其矿物组合的突出特征是没有或很少出现锡石、辉钨矿及石英之类的亲酸矿物;各矿物组合的理想电离势*一般为195~200千卡/克分子。跟随型矿石形成时,溶液大体上长时期维持在中等酸度的水准上。

迭加型矿化,发生在岩浆期后过程的酸性淋滤阶段。金属矿物的沉淀,是载有某些金属组份的酸性溶液与基性的矽卡岩介质相互作用时所引起的矿物形成过程的一部份。迭加型矿化所产生的矿石为钙矽卡岩矿床所特有,它的突出特征是矿石有倾向地堆积在一定的矽卡岩带里。在镁矽卡岩中有酸性阶段性质显示的情况下,其迭加型矿化总是发生在钙矽卡岩化改造作用之后,同时还使镁矽卡岩本身也受到改造。

迭加型矿化的化学机理为:矽卡岩矿物易被载有某些金属组份的酸性溶液溶解,在矽卡岩的溶解前锋上,形成一个利于某些金属矿物沉淀的低压带^[2];酸性溶液在与基性的矽卡岩相互作用下,本身的酸性程度被中和,在酸性溶液的中和前锋上,造成宜于金属矿物沉淀的酸碱度环境。

* 矿物的理想电离势 $y = \frac{\sum n_K \cdot I_K + \sum n_A \cdot E_A}{\sum n_K + \sum n_A}$ 千卡/克分子^[12],它是矿物酸性程度的特征值。目前假定

$y = 200$ 千卡/克分子相当于中性,低于200者为基性,高于200者为酸性。

矽卡岩的迭加型矿化，按与之伴随的交代作用性质不同，主要有四大类：与石英长石质交代作用有关的矿化；与云英岩化有关的矿化；与青盘岩化有关的矿化；与石英绢云母质交代作用及黄铁细晶岩化有关的矿化。

石英长石质交代作用迭加在矽卡岩上时，在后者蚀变的过程中，除了产生由矽卡岩变成的辉钨矿白钨矿矿石及白钨矿硫化物矿石等之外，还形成窝状或脉状石英长石交代岩、石英石榴石交代岩、石英长石石榴石交代岩、石英长石黑云母交代岩，或者引起矽卡岩的石英化、角闪石化、长石化、绿帘石化、石榴石化等。在一般情况下，这些产物呈现出一定的交代分带结构，例如：

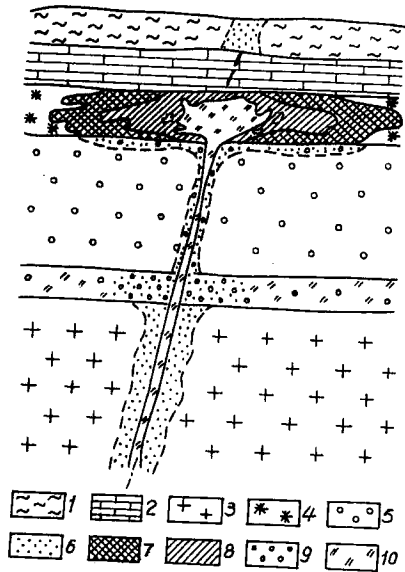
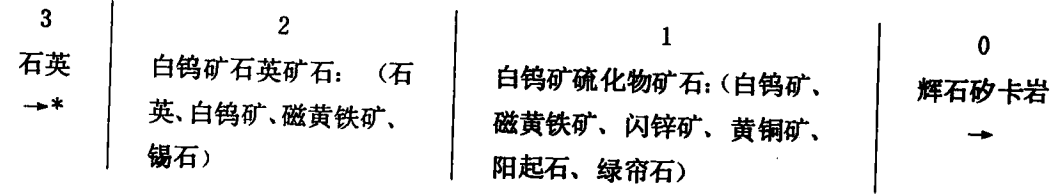


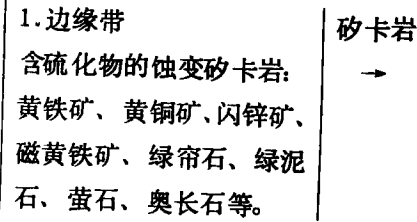
图6. 与石英长石质交代作用有关的迭加型矿石分带^[2]

- 1.页岩
- 2.灰岩
- 3.花岗岩类（已蚀变）；
- 4.辉石矽卡岩；
- 5.石榴石矽卡岩；
- 6.石英长石交代岩；
- 7.白钨矿硫化物矿石；
- 8.含硫化物的石英白钨矿矿石；
- 9.浸染状矿石；
- 10.石英。

当云英岩化迭加在矽卡岩上时，往往形成由矽卡岩变成的多金属矿石及稀有金属多金属矿石。这类矿石也显示出分带性。例如：

2. 中心带

→由矽卡岩变成的矿石（含矿的石英萤石白云母交代岩）：绿柱石、日光石榴石、硅铍石、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿及其它硫化物；石英、萤石、白云母、奥长石或钠长石等。在该交代岩中还可有白云母脉及石英金属矿物脉。



* 箭头表示矽卡岩溶解前锋移动的方向（下同），数字表示交代带形成的顺序（下同）。