第45卷 第4期 地质学报 Vol. 45, No. 4
1965年11月 ACTA GEOLOGICA SINICA Nov., 1965

我国某地工业白云母成因类型、控制矿化因素及其矿物学的研究

許殿琇 黄典豪

工业白云母的成因类型、控制矿化因素及其矿物学特征的研究，有助于白云母矿床的工业评价。作者根据三年的室内外工作所获实际资料对本区上述问题作一探讨。不当之处，敬希指正。

在野外工作期间，得到张克安、刘人俊工程师和队上领导及其他同志的帮助；本文完成后蒋溶先生提了宝贵意见；绝对年龄由地质部地质研究所于荣炳测定；化学分析、X-光粉晶分析、差热分析由地质部矿床地质研究所有关研究室协助完成，图件由朱念秀清绘，在此一并致谢。

一、区域和矿床地质概况

本区大地构造单元属地槽褶皱带[6]，白云母矿床分布于其次一级的地背斜褶皱带中。地背斜轴部混合岩化和花岗岩化剧烈，广泛分布着混合岩和花岗岩，并有结晶片岩残体存在。地背斜两翼为各种结晶片岩和变质砂岩组成。这些变质岩变质程度由地背斜轴向两翼递减，顺序为：硅线石铁铝榴石黑云母斜长片岩（和十字石铁铝榴石黑云母斜长片岩互层，局部夹有蓝晶石铁铝榴石白云母斜长片岩），十字石黑云母石英片岩，红柱石黑云母石英片岩和绿泥石绢云母石英片岩。硅线石铁铝榴石黑云母斜长片岩，经钾-氩法测定（黑云母）绝对年龄为228百万年，相当于二迭纪时变质作用的产物。

含云母伟晶岩多分布于中深变质的硅线石铁铝榴石黑云母斜长片岩，十字石铁铝榴石黑云母斜长片岩和片麻状花岗岩之中。在片岩中者沿片理和节理分布；在片麻状花岗岩中的多受节理控制。伟晶岩脉一般长100—300米，宽1—5米。矿物成分有微斜长石，微斜条纹长石、更长石、钠长石、石英、白云母、黑云母、铁铝-锰铝榴石、电气石、磷灰石、绿柱石等。伟晶岩主要结构为细晶结构，细粒结构，文象一不清文象结构，中一粗粒结构，块体结构和石英-云母等交代集合体。伟晶岩构造有块状，带状和块段状构造等。

本区含云母伟晶岩经钾-氩法测定（白云母）绝对年龄为219百万年，可见其生成时代与变质岩基本一致。

二、白云母的成因类型

本区伟晶岩中的白云母矿化是多阶段的，这一特点主要是受伟晶作用的地球化学制约。因此，对白云母的成因分类应建立在矿化作用与地球化学阶段关系的基础上，并考虑矿物共生组合和产状等因素。

通过对本区各主要矿田含云母伟晶岩脉的观察，初步将本区工业白云母划分为五个

主要成因类型。而一些细小鳞片状白云母因无实用价值未予讨论。

I. 中粗粒结构水解型白云母 在伟晶岩发育过程中，当文象结构生成后，由于熔体-溶液中挥发分（特别是水）的增加，促使分结作用发生，这种作用的特点是矿物呈个体晶出，这就是伟晶作用地球化学的第 I 次水解阶段（表 1）。 这次水解作用又可分为两种不同情况。首先是熔体-溶液中微斜长石分子被水解，如：

$$\underset{\text{微斜长石}}{3KAlSi_3O_8} + H_2O \rightleftharpoons \underset{\text{白云母}}{KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2} + \underset{\text{石英}}{6SiO_2} + K_2O.$$

所谓微斜长石分子水解，就是水解熔体-溶液中尚未结晶的微斜长石分子。 从反应式可见，由于微斜长石分子被水解而不能晶出，从而转向生成白云母和石英。在水分浓度不大的情况下，斜长石分子不被水解，因此中粗粒结构中可见到大量的更长石与白云母和石英共生。当水蒸气继续增加时，不仅妨碍斜长石结晶，而且已经晶出的斜长石也要受到水解，即发生后一情况的水解作用。在上述微斜长石分子水解时所析出的钾组分参加下，生成了白云母。其反应式：

$$\underset{\text{斜长石}}{6NaAlSi_3O_8} + K_2O + 2H_2O \longrightarrow \underset{\text{白云母}}{2KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2} + \underset{\text{石英}}{12SiO_2} + 3Na_2O.$$

这种反应恰与伟晶岩的中粗粒结构以更长石为主（对微斜长石而言），同时又见到其被水解呈残体的对立客观现象相符合。

这前后两种情况所产生的白云母都是水解型云母。 它们均产于中粗结构伟晶岩中。本类型白云母工业价值较大。

II. 块体结构间隙气成型白云母 在伟晶岩的块体长石（多为微斜长石）生成后，气态溶液进一步富集，同时铝组分增多，并有微斜长石结晶后剩余的钾和大量的硅酸溶液。这些组分由于水作用的结果开始形成白云母和石英。这种作用相当于伟晶作用地球化学的

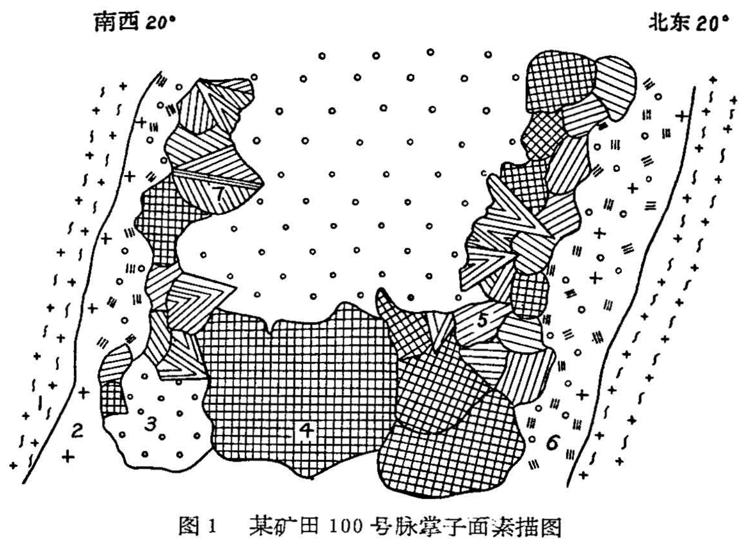

图 1 某矿田 100 号脉掌子面素描图

1——片麻状二云母花岗岩
2——中粒结构伟晶岩
3——块体石英
4——块体微斜条纹长石
5——块体更长石
6——石英-白云母交代集合体
7——楔状针丛构造白云母

第II次钾阶段的末期（表 1）。白云母多沿微斜条纹长石的裂隙，或石英核与块体长石的间隙富集(图 1)。应该指出，这种云母实质上也是以所谓分子水解作为它形成的前提。因为在气态水增加的情况下，微斜长石停止结晶，并为白云母生成创造了条件，只是铝和钾组分不是全部由水解长石而来。实际上当上述二组分不平衡时，就会导致微斜长石晶体被水解，从而夺取缺少的某一种组分形成白云母。在本类型白云母中见到有微斜长石残体存在，证实了这一情况。该类型云母发育不甚广泛，且均具针丛和楔形构造，铁质斑点发育，故工业价值不大。

III. 石英-云母交代集合体型白云母　在伟晶岩的基本结构单元形成后，挥发性组分(H_2O, B.F.P 等)越趋富集，于是开始了伟晶作用地球化学的第 II 次水解阶段（表 1）。本阶段的特点是水解和交代作用一起发生。在由前些阶段转入成矿溶液中的钾组分，和水一起交代早先形成的矿物，夺取铝组分形成白云母。当钾组分耗尽时，便开始水解长石生成白云母和石英，其反应如：

$$\underset{\text{斜长石}}{2NaAlSi_3O_8} + \underset{\text{微斜长石}}{KAlSi_3O_8} + H_2O \longrightarrow \underset{\text{白云母}}{KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2} + \underset{\text{石英}}{6SiO_2} + Na_2O$$

在 B,F,Be,P,Mg 和 Fe 组分参加下，不仅可生成石英-云母集合体，还可出现黑云母，电气石，绿柱石，石榴石和磷灰石等矿物（图 2），因此，在伟晶岩中白云母有时呈单矿物堆积，有时呈石英-云母交代集合体，或矿物共生复杂的集合体。本成因类型白云母具很大的工业价值。

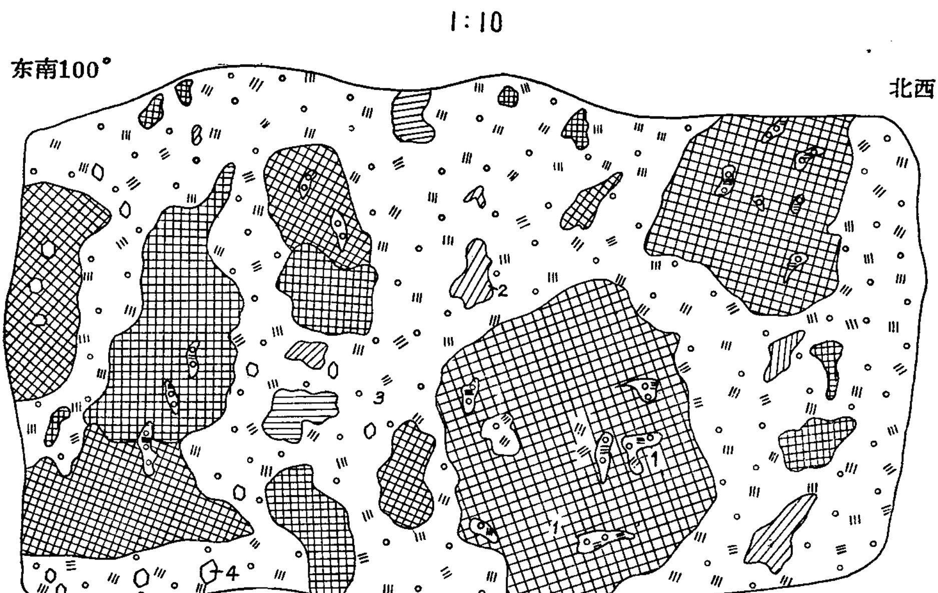

图 2　某矿田 10 号脉石榴石-石英-白云母交代集合体素描图

IV. 裂隙填充型黑、白云母　它们多赋存在不清文象和中粒结构（或准文象结构)伟晶岩中，亦有少量出现在文象结构伟晶岩里。必须指出，在个别伟晶岩脉里它切割了石英块体，但在有长石块体的伟晶岩中它只切割中粗粒结构，尚未见切割长石块体，表明它

有两期矿化作用。根据观察和分析，它们属于伟晶作用地球化学两次水解作用阶段的末期(表 1)。在长石水解形成大量白云母和石英后,溶液中铝组分已贫乏,而铁组分相对增加,同时只有铝被铁类质同象置换时才可生成黑云母。随着成矿期构造活动作用,这种含有黑云母和白云母组分的成矿溶液沿构造裂隙系统发生沉淀和结晶,形成黑、白云母连晶体。它们与裂隙呈平直的接触关系，说明是以填充结晶作用为主。本类型云母的成因尚有争论,有人[5]认为是围岩捕掳体的云母重结晶的产物。但正如上述,它明显地切割了石英块体和中粗粒结构的其他矿物，不允许作出这样的结论。但这并不否定在伟晶岩边部和围岩接触部位有围岩重结晶生成的马刀状黑云母，只要仔细观察和分析它们的产状和与伟晶岩结构、矿物的相互关系,两者是完全可以区别的。

裂隙填充型黑、白云母,在本区各矿田的矿脉中都很发育,但由于矿化分散,又多与黑云母连晶,故工业价值较小。

V．钠长石-白云母交代集合体型白云母 伟晶作用经过上述阶段后，已发展到较晚期的气成-热液的钠阶段，此时钠组分逐渐富集形成钠的硅酸盐溶液。 在水解作用情况下,硅酸钠便被水解，形成氢氧化钠。当氢氧化钠和微斜长石作用，则生成钠长石和白云母。其生成过程如下:

$$\underset{\text{硅酸钠}}{Na_2SiO_3} + H_2O \longrightarrow 2NaOH + \underset{\text{石英}}{SiO_2}$$

$$\underset{\text{微斜长石}}{5KAlSi_3O_8} + 2NaOH \longrightarrow \underset{\text{钠长石}}{2NaAlSi_3O_8} + \underset{\text{白云母}}{KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2} + \underset{\text{石英}}{6SiO_2} + 2K_2O$$

当有 B, Be, Li, F 等组分参加,还可生成绿柱石，黑色电气石和锂云母等矿物。本类型白云母呈浅绿色,片度较少,但在个别矿脉中晶体较大,且具工业价值,可和其他类型白云母同时开采。

三、控制含云母伟晶岩白云母矿化和富集的地质因素及其主要評价准則

本区不同矿田或同一矿田不同伟晶岩里的白云母矿化和富集有很大差异。白云母矿化的特点是,各成因类型的白云母矿化发育于伟晶岩中,在一条矿脉里虽可见几种成因的白云母,但其中某一、二种才具有工业价值。这一特点和伟晶作用的地球化学阶段、围岩性质及成矿期构造活动等因素有关。而伟晶岩的矿物共生组合和结构构造是白云母矿床的主要评价准则。

（一）含云母伟晶岩形成的地球化学

我们根据本区含云母伟晶岩形成的地球化学过程中主导元素的转换关系，矿物成分和共生组合特征,综合地提出本区含云母伟晶岩形成的地球化学阶段简表（表 1)。这里对伟晶作用整个地球化学的演化过程不作详细讨论，只就其主要地球化学阶段和白云母形成的关系加以分析。

表 1 各地球化学阶段中,值得注意的是羟基(OH)作用阶段,因为其发育与否往往是工业白云母形成的前提，而它在发育完全的含云母伟晶岩脉中呈现两次。第一次形成中

表 1　本区含云母伟晶岩发育过程的主要地球化学阶段

作用阶段		Ca-Na	I-K	I-OH	II-K	Si	II-OH	Na
组分变化			↓K　↑H_2O	↓H_2O B Fe Mg　↑K Na	↓H_2O K Na　↑Si Ba	↓Si Be　↑H_2O Na	↓H_2O K Na Fe Mn Mg U B F P　↑H_2O K Na	↓H_2O K Na Be Li B F
溶液酸碱性		弱碱性	碱　性	中　性	碱　性	酸　性	中　性	碱　性
云母矿化类型	I			▬▬▬				
	II				▬			
	III						▬▬▬	
	IV			▬			▬	
	V							▬▬▬

注　带入 ↓　带出 ↑

I——中粗粒结构水解型白云母；
II——块体结构间隙气成型白云母；
III——石英-云母交代集合体型白云母；
IV——裂隙填充型黑、白云母；
V——钠长石-白云母交代集合体型白云母。

粗粒结构水解型白云母，第二次伴随交代作用形成石英—云母交代集合体型白云母。同时在两次水解阶段中，当有成矿期构造活动时，则有裂隙填充型云母产生。此外，在第 II 次钾阶段末期也富集了较多的气态水溶液，促使块体结构间隙里的白云母的形成。强烈的碱交代作用主要表现在整个地球化学阶段的末期（钠阶段），它形成了钠长石—白云母交代集合体型白云母。由此可见，水解作用、水解-交代作用和交代作用是白云母在花岗伟晶岩中形成的主要地球化学作用。这些作用除钠交代是在碱性介质中进行外，其它都是在中性介质里发育。因此，不同成因类型白云母的矿化和一定的地球化学阶段有关。

（二）伟晶岩成矿期构造活动

这一因素对白云母的形成和富集有一定意义。特别是对裂隙填充型云母、石英-云母交代集合体型白云母和钠长石-白云母交代集合体型白云母在脉体中富集的位置有明显

的控制作用。

云母矿化经常沿着伟晶岩的构造裂隙进行，然后逐渐扩大形成矿巢，进而组成有许多矿巢的矿化带。在含云母伟晶岩脉里这种矿化带，实际上是特定阶段的成矿作用和构造活动的综合产物。因此，当伟晶岩中某一地段连续出现云母矿巢时，很可能沿脉体走向或倾向形成一定规模的矿化带。这种矿化带有时和伟晶岩脉产状一致，有时则斜交，查明这一特点对勘探工作有一定意义。

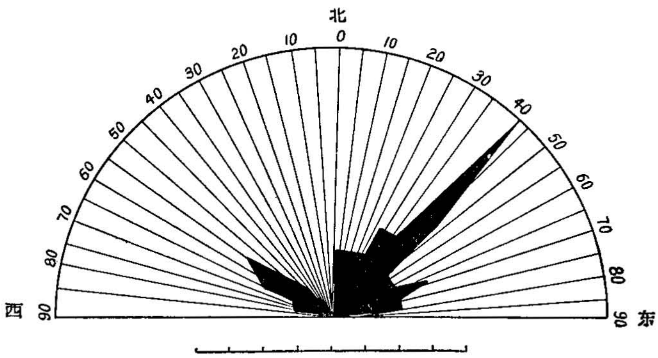

图 3a 某矿田 5 号伟晶岩脉裂隙填充型黑、白云母产状图解

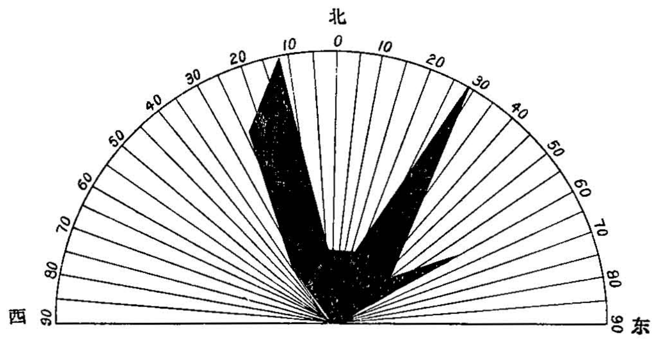

图 3b 某矿田 46 号伟晶岩脉裂隙填充型黑、白云母产状图解

在对大量伟晶岩脉中裂隙填充型云母和其它作"脉状"产出的矿物产状统计和分析后，可以识别在伟晶岩脉中有三种成矿期构造裂隙，即纵节理、横节理和剪切节理。本区某矿田 5 号和 46 号脉的裂隙填充型黑、白云母产状玫瑰图解(图 3a、3b)说明了本类型云母主要是沿剪切节理形成的。因此，由于伟晶岩和其围岩的应变机理不同，伟晶岩脉本身便成为一个独立的形变单位，形成自己应力系统的各种性质的节理裂隙。因此不同形态的伟晶岩脉，各种性质裂隙在其中发育的部位亦有所差异。对这些特点的研究有利于对裂隙型云母和其它有用矿物的评价。

（三）围岩性质及其变质作用

由于围岩的化学成分不同，伟晶岩同化的组分就有明显的差异。这里主要讨论围岩中钾和铝的含量对伟晶岩中不同成因类型的白云母形成的影响。

钾和铝在伟晶岩形成过程中几乎在每一地球化学阶段都较稳定，但是它们对白云母的矿化和富集确有一定的控制作用。因为伟晶岩脉中大部分云母是水解作用形成的，而这种反应结果势必析出不少钾组分，如果同化了围岩大量的钾，会使水解反应减弱或停止，不利于水解型白云母形成。而铝则相反，

$$\text{从}\quad \underset{\text{微斜长石}}{3KAlSi_3O_8} + H_2O \longrightarrow \underset{\text{白云母}}{KAl_2(Si_3AlO_{10})(OH)_2} + \underset{\text{石英}}{6SiO_2} + K_2O$$

可见，只有水解三个微斜长石分子才能得到足以生成一个白云母分子所需的铝，因而铝是不足元素。如果伟晶岩从围岩中同化一定数量的铝，对白云母的生成是有利的。对于交代作用生成的白云母，钾和铝也有同样的作用。基于此种原理，我们对本区含云母伟晶岩不同围岩中钾和铝的含量作了对比（图 4a. 4b）。由图可见，片岩的铝含量高，花岗岩则低，而钾则相反，并且不同种类的片岩和花岗岩本身也有一定差异。这就解释了本区主要工业白云母矿床为什么产于高铝贫钾片岩中的事实。亦证实了这种性质的围岩（硅线石十字石黑云母石英斜长片岩、石榴石黑云母石英斜长片岩）是白云母矿化的有利围岩。

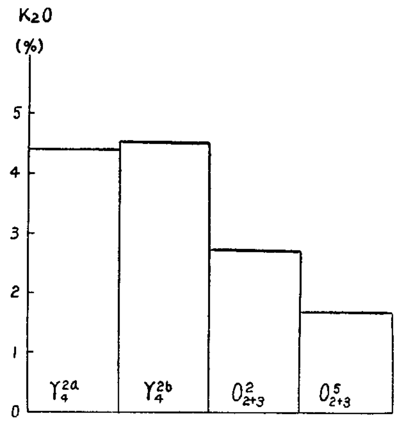

图 4a　含云母伟晶岩不同围岩的 K_2O 含量变化图

γ_4^{2a}——片麻状黑云母花岗岩
γ_4^{2b}——弱片麻状二云母花岗岩
O_{2+3}^2——石榴石黑云母石英斜长片岩
O_{2+3}^5——硅线石十字石黑云母石英斜长片岩

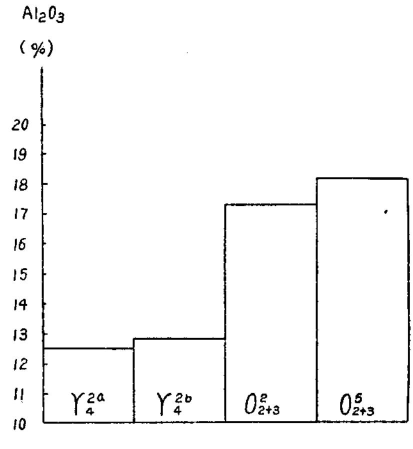

图 4b　含云母伟晶岩不同围岩的 Al_2O_3 含量变化图

γ_4^{2a}——片麻状黑云母花岗岩
γ_4^{2b}——弱片麻状二云母花岗岩
O_{2+3}^2——石榴石黑云母石英斜长片岩
O_{2+3}^5——硅线石十字石黑云母石英斜长片岩

本区的变质作用较为复杂，可分为区域动力变质，区域接触变质和局部接触变质作用，而且混合岩化和花岗岩化也很剧烈。变质作用的多次重迭，形成了各种各样的变质岩。我们初步认为这些岩石应属于角闪岩变质相，其中又可分为红柱石十字石亚相，蓝晶石白云母亚相和硅线石铁铝榴石亚相（图 5a. 5b. 5c），而后者在本区分布最高，属中深变质岩石。这种变质程度的变质水和分异作用有利于伟晶岩的形成和白云母的矿化与富集。

从上述可见，在区测或普查中准确划分各变质相和亚相的变质岩和不同成因的花岗

岩，对白云母矿床普查评价和成矿远景的予测将起很大作用。

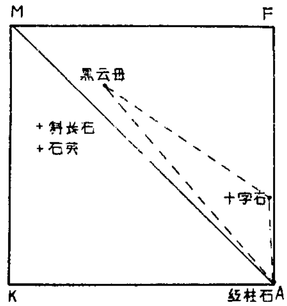

图 5a 红柱石十字石亚相的矿物共生图解

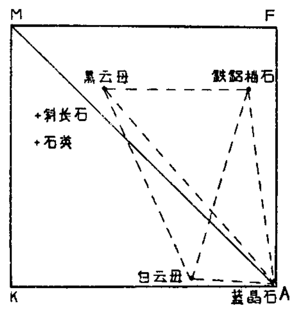

图 5b 蓝晶石白云母亚相的矿物共生图解

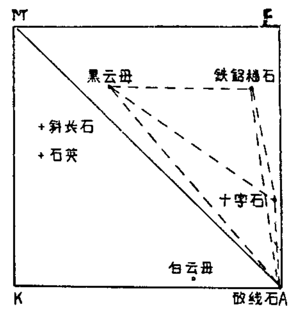

图 5c 矽线石铁铝榴石亚相的矿物共生图解

（四）伟晶岩的矿物共生组合

由于伟晶岩发育阶段不同，因此各阶段形成的白云母具有不同的矿物共生组合特点。如中粗粒结构水解型白云母的特征是与斜长石共生；块体结构间隙气成型白云母与块体石英和微斜条纹长石在一起；裂隙填充型白云母多与黑云母连晶；石英-云母交代集合体型白云母密切与石英共生；而钠长石-白云母交代集合体型白云母则与钠长石共生为特征等。此外，每一类型的次要矿物和付矿物也不尽相同（表 2)。由此可见，了解矿物共生组合特点有助于查明白云母的成因类型。在以矿物共生组合特点评价矿床时，必须对不同成因类型白云母分别对待。目前有人认为以斜长石为主的伟晶岩脉白云母矿化好，亦有人认为微斜长石多的伟晶岩脉矿化好。实际上不同类型白云母矿化地段两种长石的含量是不同的，因而以某种长石的含量多少评价矿床，必须说明是指那一成因类型白云母而言，不能一概而论。本区中粗粒结构水解型白云母和石英-云母交代集合体型白云母最为发育，后者又多存在于中粗粒结构之中，因此产生白云母多和斜长石共生的概念。“以斜长石为主的伟晶岩白云母矿化好”这句话在本区相对地说是正确的，并可作为相应类型白云母的评价准则。

表 2 不同成因类型白云母的矿物共生组合

共生矿物 / 白云母成因类型	主 要 矿 物	次 要 矿 物	副 矿 物
中粗粒结构水解型	白云母、斜长石、石英	微斜条纹长石、黑云母	石榴石、电气石、磷灰石、綠柱石
块体结构间隙气成型	白云母、微斜条、纹长石、石英	—	綠柱石、电气石
石英云母交代集合体型	白云母、石英	微斜条纹长石、斜长石、黑云母	石榴石、电气石、磷灰石、綠柱石
裂隙填充型	白云母、黑云母	微斜条纹长石、斜长石	—
钠长石白云母交代集合体型	白云母、钠长石	石英、微斜条纹长石、斜长石	綠柱石、石榴石、锂云母

（五）伟晶岩脉的结构、构造

伟晶岩脉的结构和构造也可作为评价白云母矿床的一个准则，因为不同成因的白云母产在一定的结构单元之中，虽然同一类型的白云母可以赋存于两个以上的结构单元里，但在一条矿脉中，它主要受一种结构所控制。如中粗粒结构水解型白云母和块体结构间隙气成型白云母产在相应的结构里，在其它结构中根本不能富集成工业矿床。裂隙填充型，石英-云母交代集合体型和钠长石-白云母交代集合体型白云母，虽然矿化经常早于自己生成的结构里，但往往在时间和空间上与最邻近的结构有关。实际上后两种成因类型的白云母，除呈小矿巢出现于距离较远的结构单元外，它们大多数存在于被其交代生成的中粗粒结构之中，而细粒和文象结构伟晶岩中有工业价值者罕见。当伟晶岩文象结构十分发育时，云母只能在局部地段富集，或造成一盘或某一枝脉的矿化现象，而文象结构成为非工业地段。

本区中粗粒结构水解型白云母和石英-云母交代集合体白云母发育，因而分结作用形成的中粗粒结构和交代生成的中粗粒结构，特别是两者迭加一起的产物是工业白云母富集的最良好结构。

本区含云母伟晶岩脉可分为块状、带状、块段状和树枝状构造。其中以块段状和带状构造发育较好，白云母经常伴随这两种构造的形成而产生。水解和交代作用生成的块段状构造往往富集有工业价值的白云母。

白云母矿床形成的地质条件是复杂的，控制白云母生成和富集的地质因素很多，上述的是主要和显见的。这些地质因素在白云母矿床形成中的作用也不尽相同。其中最主要的是含云母伟晶岩各地球化学阶段有利于白云母形成的物理化学作用。围岩性质及其变质程度和成矿期构造活动与成矿地球化学阶段比较，它们居于从属地位。但这种情况不是固定不变的，在某一类型白云母形成时也可起主导作用，如中粗粒结构水解型白云母的生成时同化围岩铝和钾组分的多少；裂隙填充型白云母形成时构造活动的发生就是如此。

四、白云母矿物学

（一）白云母的化学组成

我们对本区不同成因类型的白云母作了化学分析和光谱半定量分析。根据各种氧化物的重量百分比，按氧原子为12算出各元素的原子数，从而求得不同类型白云母的晶体化学式。现将化学分析结果和晶体化学式列于表 3。

从表 3 可见，本区不同成因类型白云母的化学组成，呈现某些共同性和差别性。

共同性有：1）不同成因类型白云母的主要氧化物百分含量，或其晶体化学式中主要元素的原子数很接近，如 SiO_2 为 44.67—45.48％（Si 原子数 3.00—3.05）；Al_2O_3 为 32.39—34.95％（Al 原子数 2.55—2.76）；K_2O 为 9.30—10.28％（K 原子数 0.80—0.86）等。2）各晶体化学式，大原子 K 均被 Na 和 Ca 类质同象置换；3）各类型白云母晶体的四面体层中均有约 1/4 的 Si 原子被 1 个 Al 原子类质同象置换；4）不同类型白云母晶体的八面体层中均呈现 Al 原子被 Fe^{3+}，Fe^{2+}，Mg 和 Ti 的类质同象置换，置换后的 Al 原子

表 3　不同成因类型白云母的化学成分和晶体化学式

矿化类型 \ 成分(%)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	H_2O^+	F	总和
中粗粒结构水解型白云母	45.34	33.45	1.42	0.86	0.002	1.09	0.57	0.85	9.46	0.29	3.65	0.05	97.032
块体结构间隙气成型白云母	44.80	34.95	3.69	0.56	—	0.71	0.53	0.98	9.30	0.12	4.15	0.03	99.85
	$(K_{0.80}Na_{0.12}Ca_{0.04})_{0.96}(Al_{1.70}Fe^{3+}_{0.19}Fe^{2+}_{0.03}Mg_{0.07}Ti_{0.01})_{2.00}[Si_{3.01}Al_{1.06}]_{4.07}O_{10.13}(OH_{1.81}F_{0.01})_{1.87}$												
石英-云母交代集合体型白云母	45.07	34.10	1.99	0.69	0.04	1.19	0.48	0.94	9.30	0.18	4.53	0.07	98.59
	$(K_{0.80}Na_{0.12}Ca_{0.03})_{0.95}(Al_{1.73}Fe^{3+}_{0.10}Fe^{2+}_{0.04}Mg_{0.12}Ti_{0.01})_{2.00}[Si_{3.04}Al_{0.98}]_{4.02}O_{9.95}(OH_{2.04}F_{0.01})_{2.05}$												
裂隙填充型黑、白云母*	44.67	32.39	2.71	1.30	0.04	0.86	0.08	0.92	10.28	0.23	4.92	—	99.40
	$(K_{0.86}Na_{0.12}Ca_{0.01})_{0.99}(Al_{1.71}Fe^{3+}_{0.13}Fe^{2+}_{0.07}Mg_{0.08}Ti_{0.01})_{2.00}[Si_{3.00}Al_{0.84}]_{3.84}O_{9.38}(OH)_{2.62}$												
钠长石-白云母交代集合体型白云母	45.48	32.83	2.56	1.85	0.32	0.38	0.38	0.81	9.30	0.07	4.95	0.57	99.65
	$(K_{0.80}Na_{0.12}Ca_{0.03})_{0.95}(Al_{1.60}Fe^{3+}_{0.13}Fe^{2+}_{0.10}Mn_{0.02}Mg_{0.04}Ti_{0.01})_{2.00}$ $[Si_{3.05}Al_{0.98}]_{4.03}O_{4.68}(OH_{2.20}F_{0.12})_{2.32}$												

* 据队分析资料

数很接近（1.60—1.73）；5）各成因类型白云母所含的微量元素的种类和数量基本相同（Ba、Be、Ga，Nb、Sn 等）。这反映了同一地区白云母形成地质环境的近似性，但由于不同类型白云母的生成方式和晶出早晚的不同，这无疑在其成分上有所反映。

差异性有：1）钠长石-白云母交代集合体型白云母的FeO 含量（%）比其他类型较高，同时在八面体层中 Al 原子不仅被 Fe^{3+}，Fe^{2+}，Mg，Ti 类质同象置换，而且也被 Mn 置换。2）Li 仅见于钠长石-白云母交代集合体类型白云母中，说明该类型白云母形成时期稍晚于其他类型，也是它生成与钠长石化有关的标志。因此，白云母中某些特征微量元素的查明，有助于判断白云母的生因。

（二）白云母的物理性质

1. 物理光学性质。本区各类型白云母的物理光学性质列于表 4。

表　4

矿化类型 \ 物理光学性质	颜色	比重	光泽 (%)	透明度 (%)	折光率 Ng	折光率 Nm	折光率 Np	光轴角 (−2V)	备注
中粗粒结构水解型白云母	浅棕红色	2.81	35.8	76.4	1.593	1.590	1.559	39°44′	比重用静力称量法测定；光泽、透明度用 ΦM-1 型光度计测定；折光率在自然光下用油浸法测定；光轴角用弗氏台测定。
块体结构间隙气成型白云母	同上	2.80	28.5	71.7	1.591	1.589	1.560	41°0′	
石英-云母交代集合体型白云母	同上	2.80	34.6	73.2	1.590	1.588	1.559	40°58′	
钠长石-白云母交代集合体型白云母	浅綠色	2.86	28.4	78.8	1.593	1.589	1.559	40°24′	

从表 4 可见，钠长石-白云母交代集合体型白云母呈浅绿色和较高的比重，这是它含较多铁氧化物之故。四个类型的白云母的光泽、透明度的数值近似。不同成因类型白云

母光学性质(折光率，光轴角)的差别不大，反映了上述化学成分的共同性。

2. 热处理后物理光学性质的变化。

云母热性质的研究是云母类矿物学研究方向之一。白云母耐热性能的研究不仅有理论意义，而且也有很大实用价值。我们对上述四个类型白云母用马弗炉加热(每到一指定温均保持恒温半小时)，然后将热处理后的样品进行物理光学性质的测定，实验所得结果叙述如下。

1）热处理后物理性质的变化。四个类型白云母样品经 100°—600℃ 热处理后，弹性和表面性质几乎不变，经 600℃ 煅烧后普遍有退色现象，700℃ 后多呈银白色，具金属光泽，弹性减弱。光泽，透明度经 100°—700℃ 煅烧后，总的变化趋势是随温度的升高而减小。到 700℃ 弹性消失，变脆，晶面稍有不平整现象，光泽、透明度急速降低(图 6a、6b)。900℃以后上述物理性质受到严重破坏。

2）热处理后光学性质的变化 (见表 5)。

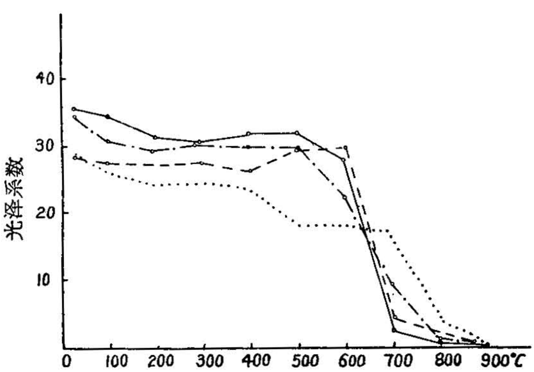

图 6a　热处理后白云母光泽变化曲线

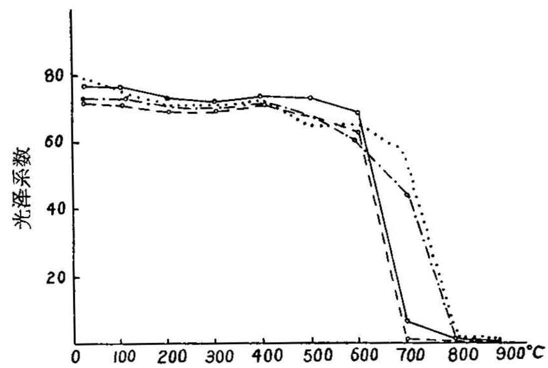

图 6b　热处理后白云母透明度变化曲线

表 5 表明，四个类型白云母的折光率，光轴角，在 100°—700℃ 热处理后其数值稍有变化。钠长石-白云母交代集合体型白云母，在 700℃ 折光率的明显升高可能是由于其 FeO 含量较高，因它氧化成 Fe_2O_3 后致使其折光率升高。各类型云母在 800°—900℃ 折光率、光轴角都普遍明显下降(图 7a、7b)。折光率降低是白云母大量脱水的结果，这与差热曲线上 870°—970℃ 之间有一明显吸热反应相符合。光轴角的减小是氧化作用造成的，因为在 800°—900℃，白云母一方面大量脱水，另一方面氧化作用最強烈，分布在 Nm 轴上较多的铁完全被氧化，Nm 相对 Ng 增加，因之 2V 减小。曾有人[1]做过 2V 减小与脱水无关，而与铁氧化有关的试验，也得出过同样的结论。

从白云母热处理后，上述物理和光学性质变化的资料分析中可看出，本区白云母物理光学性质在 700℃ 以后有明显的变化，这说明用白云母作电绝缘材料时，只适用低于 700℃ 的温度。

3. 白云母的差热分析。对本区各类型白云母均作了差热分析，现以钠长石-白云母交

表 5

矿化类型	温度 / 光学常数	室 温	100℃	200℃	300℃	400℃	500℃	600℃	700℃	800℃	900℃
中粗粒结构水解型白云母	Ng	1.593	—	1.593	—	1.589	—	1.587	1.591	1.587	1.547
	Nm	1.590		1.591		1.588		1.585	1.589	1.585	1.547
	Np	1.559		1.568		1.569		1.570	1.578	1.568	1.523
	(−)2V	39°44′	40°6′	—	40°22′	—	39°58′	40°26′	41°15′	19°0′	16°0′
块体结构间隙气成型白云母	Ng	1.591	—	1.593	—	1.593	—	1.591	1.592	1.585	1.551
	Nm	1.589		1.590		1.592		1.589	1.590	1.582	1.549
	Np	1.561		1.567		1.568		1.571	1.577	1.567	1.527
	(−)2V	40°0′	41°16′	—	41°40′	—	41°44′	41°12′	41°46′	40°0′	25°0′
石英-云母交代集合体型白云母	Ng	1.590	—	1.594	—	1.591	—	1.587	1.589	1.587	1.547
	Nm	1.588		1.592		1.590		1.587	1.588	1.585	1.546
	Np	1.559		1.565		1.563		1.570	1.572	1.569	1.520
	(−)2V	40°58′	41°0′	—	41°44′	—	41°16′	41°58′	41°34′	36°40′	25°0′
钠长石-白云母交代集合体型白云母	Ng	1.593	—	1.595	—	1.590	—	1.589	1.595	1.587	1.555
	Nm	1.589		1.594		1.590		1.588	1.591	1.585	1.553
	Np	1.559		1.567		1.569		1.573	1.574	1.573	1.523
	(−)2V	40°24′	40°38′	—	41°58′	—	41°12′	41°32′	41°7′	28°0′	—

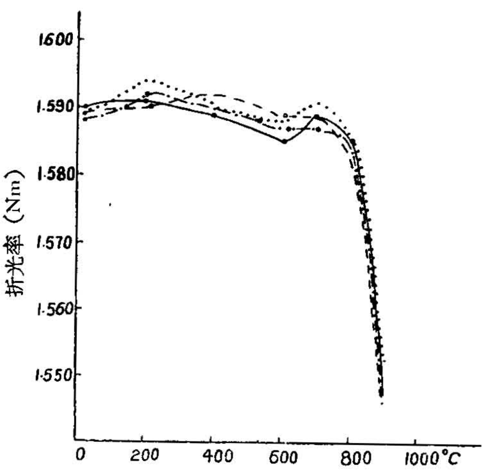

图 7a　热处理后白云母折光率(Nm)变化曲线

—— 中粗粒结构水解型白云母
---- 裂隙填充型黑白云母
-·-·- 石英-云母交代集合体型白云母
···· 钠长石-白云母交代集合体型白云母

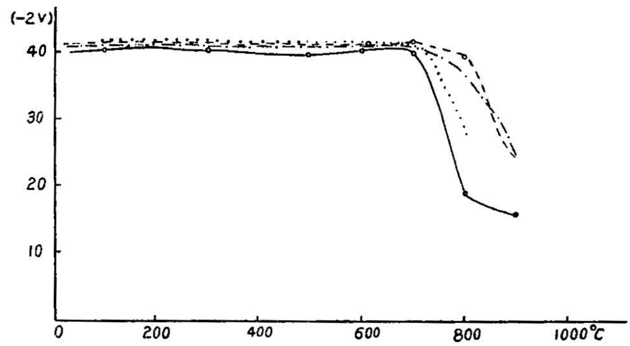

图 7b　热处理后白云母光轴角变化曲线

—— 中粗粒结构水解型白云母
---- 裂隙填充型黑白云母
- · - 石英-云母交代集合体型白云母
···· 钠长石-白云母交代集合体型白云母

代集合体型白云母的差热曲线(图 8)为例，作一简要说明。曲线上在 300°—400℃之间有一放热反应，是其中部分 FeO 被氧化所致；在 870°—970℃ 间有一明显吸热谷，是结构水被排除的反映；在 1100°—1200℃ 之间有一较窄的吸热谷，表明了白云母的结晶格架发生破裂并产生相变。应该指出的是，该白云母的差热效应特点和一般白云母基本一致，只不过其第一次吸热效应的温度比一般白云母的有些偏高而已。

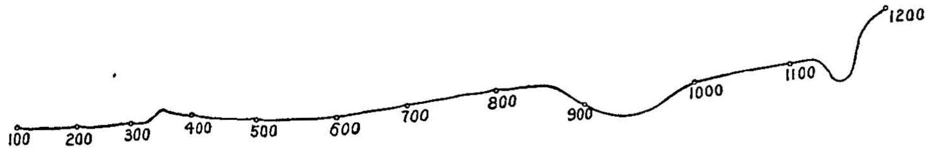

图 8　钠长石白云母交代集合体型白云母的差热曲线

4. 白云母的 x-光粉晶分析。根据上述，钠长石-白云母交代集合体白云母在物理性质和化学成分上和其他类型白云母有些差异，故对其作了 x-光粉晶分析，以便了解其是否也是二八面体型云母。x-光粉晶数据列于表 6。

表 6　钠长石-白云母交代集合体型白云母的 x-光粉晶数据

hkl	*d*	I/I₀	hkl	*d*	I/I₀
002	10.00	10		1.555	3
	5.10	1		1.51	2
	4.92	5	060	1.50	7
	4.25	6		1.45	2
	3.86	4		1.42	2
	3.70	1		1.35	6
	3.50	4		1.335	5
	3.30	10		1.295	4
	3.19	5		1.267	1
	2.97	5		1.245	4
	2.85	5		1.22	1
	2.75	4		1.18	1
	2.55	8		1.155	2
	2.49	2		1.125	1
	2.39	4		1.115	1
	2.25	2		1.104	1
	2.19	2		1.075	1
	2.14	4		1.065	1
	2.06	1		1.056	1
	1.982	9		1.050	2
	1.94	1		1.040	1
	1.88	1		1.010	1
	1.80	2		0.999	1
	1.72	2		0.990	2(宽)
	1.64	6(宽)		0.982	2(宽)
	1.595	2			

实验条件：相机直径 57.3 毫米，射线 FeKα，电压 30 千伏，电流 8.0 毫安，曝光 8 小时.

由表 6 可见，在该白云母的粉晶数据中对于鉴别白云母类型有价值的 4.4—2.6 Å 的反射线均具备。其 $d_{060} = 1.50$ Å。此外，根据云母类矿物（060）反射的面网间距与八面体配位的阳离子的平均半径成正比关系[9]，和按八面体阳离子平均半径的计算公式：$R_{平均} = K_1\frac{R_{Al}}{2} + K_2\frac{R_{Fe^{3+}}}{2} + K_3\frac{R_{Mg}}{3} + K_4\frac{R_{Fe^{2+}}}{3} + K_5\frac{R_{Ti}}{1.5} + \cdots\cdots$（其中 R_{Al}，$R_{Fe^{3+}}$ 等是八面体配位的阳离子—Al，Fe^{3+} 等的离子半径，K_1，K_2 等是晶体化学式中的离子数），求得该白云母的八面体阳离子的平均半径 $R_{平均} = 0.547$ KX，而其（060）面网间距 $d_{060} = 1.50$ Å $= 1.491$ KX（1KX $= 1.00202$ Å）。将其投入图 9 中，投点落在白云母区直线的左侧。因此该白云母属于二八面体型云母。

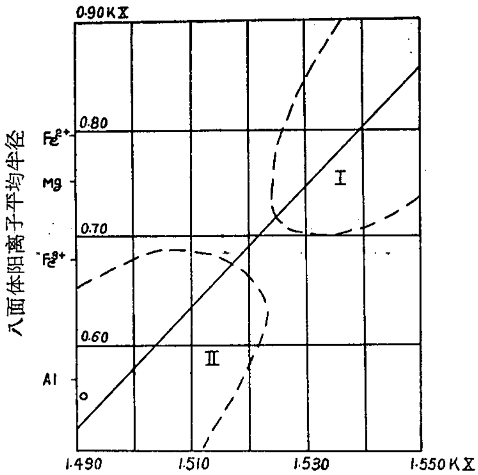

图 9　云母矿物中八面体阳离子平均半径与（060）面网间距之间的关系
（按 B. H. 米海耶夫）

I——黑云母区　II——白云母区
○——钠长石白云母交代集合体型白云母按米氏阳离子的半径：
Al 0.57KX；Mg 0.75KX；Fe^{3+} 0.67KX；
Fe^{2+} 0.79KX；Ti 0.68KX；Mn^{2+} 0.80KX

参　考　文　献

[1] 叶大年　1964　几个云母矿物在加热过程中的某些实验研究。地质科学，4 期。
[2] 许殿琇、黄典豪　1962　工业白云母的成矿地质特征。中国地质，2 期。
[3] 台尔纳 E. J.　1963　变质岩矿物和构造演变。中国工业出版社。
[4] 别乌斯 A. A.　1955　伟晶岩类型绿柱石矿床评价问题。地质出版社。
[5] 别梁金娜 E. Д. 等　1962　工业白云母的成因和物理性能。科学出版社。
[6] 程裕淇等　1963　变质岩的一些基本问题和工作方法。中国工业出版社。
[7] Великославинский, Д. А., Казаков, А. Н., Соколов. Ю. М., 1963 Мамский комплекс северобайкальского нагорья. Москва-Ленинград.
[8] Михеев, В. И. 1954 Влияние изоморфного замещения в слюдах на характер дебаграмм. Минер. сборн. Ливов, Геол. о-ва. № 8.
[9] Михеев, В. И. 1957 Рентгенометрический определитель минералов, Москва.

ON GENETIC TYPES, FACTORS OF MINERALIZATION AND MINERALOGY OF AN INDUSTRIAL MUSCOVITE DEPOSIT OF CHINA

Hsü Tien-hsiu　　Huang Dien-hao

(**Summary**)

The Present muscovite deposit, in accordance with the geochemical development of its host pegmatite, the occurrence of muscovite, the mineral paragenesis and other characteristics, can be divided into five genetic types:

1. Hydrolytic muscovite of medium- and coarse-grained texture.
2. Porous pneumatic muscovite of massive texture.
3. Muscovite of metasomatic quartz-micaceous aggregate.
4. Fissure-filling biotite and muscovite.
5. Muscovite of metasomatic albite-muscovite-aggregate. The 1st and 3rd of them possess the most largest economic value.

For the control of mineralization and enrichment of muscovite in the pegmatite the main geological factors here are:

1. Geochemical evolution of pegmatization among which the twice hydrolysis and replacement are the chief geochemical stages of the economic muscovite mineralization. 2. The structural movement in the metallogenetic period of pegmatite. This controls the enrichment and distribution of the following types of deposits, vizi, fissure-filling biotite and muscovite type, the muscovite of metasomatic quartze-micaceous aggregate type and the metasomatic albite-muscovite aggregate Type. 3. Lithology and metamorphism of the wall-rocks. The aluminum-rich and polassium-poor mesometamorphic sillimanite-staurolite-biotite-quartz-plagioclase-schists, and the mesometamorphic garnet-biotite-quartz-plagioclese-schists are the favourable wallrocks for the formation of micaceous pegmatite and muscovite, mineralization.

The main criteria for the valuation of muscovite deposit are: 1. Mineral paragenesis. Oligaclase, microperthite, quartz, biotite and albite are the main paragenetic minerals of five corresponding types. 2. Texture and structure. Medium-coarse-grained texture, massive texture, quartz-micaceous metasomatic aggregates and block structure are the chief characteristic textures and structures for the occurrence of economic muscovite.

The chemical composition, physical and optical properties of the economic muscovites of each type are similar to those of the general muscovite. After heating at a temperature of 700°C, the physical and optical properties of the muscovite change apparently. Therefore, it is advisable to test it at a lower temperature during industrial application.