

## 毛主席語錄

抓革命、促生产、促工作、促战备。

人类的历史，就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史。这个历史永远不会完結。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。

# 目 录

|                  |    |
|------------------|----|
| 一、前言             | 1  |
| 二、变质建造和混合杂岩的区域分布 | 2  |
| 1. 变质建造及含矿建造的划分  | 2  |
| 2. 混合杂岩的分布       | 6  |
| 三、混合交代型硼矿床的成矿作用  | 7  |
| 1. 含硼变粒岩建造       | 7  |
| 2. 混合岩化和成矿       | 10 |
| 3. 硼的迁移和富集       | 16 |
| 四、混合交代型富铁矿床的成矿作用 | 17 |
| 1. 含铁石英岩建造       | 17 |
| 2. 混合岩化和成矿       | 21 |
| 五、结语             | 25 |
| 1. 变质建造及含矿性      | 25 |
| 2. 混合岩化作用中组分的活动性 | 27 |
| 3. 混合岩化成矿作用的几个类型 | 28 |
| 附录：岩石化学图解说明      | 30 |
| 参考文献             | 32 |

# 辽东半岛前震旦纪混合岩化成矿作用

## 一、前言

辽东半岛是我国的重要工业基地之一。解放后,辽宁省地质局、东北地质科学研究所和其它生产、科研单位,“抓革命,促生产”,在本区进行了大量的地质勘探和科研工作。1958年以来,长春地质学院广大师生,遵循伟大领袖毛主席“教育必须为无产阶级政治服务,必须同生产劳动相结合”的教导。在本区进行了1:200,000区域地质测量和科研工作。本文是以这些工作为基础,对某些混合岩化矿床所作的初步总结。

本区的结晶基底由前震旦纪的变质岩系所组成,地层顺序划分为鞍山群(老)和辽河群(新),二者成整合接触,地质年龄早于十九亿年。变质岩系的主要岩石类型有片岩、变粒岩、片麻岩、斜长角闪岩和大理岩等。此外,各种类型的混合杂岩在本区分布也比较广泛。

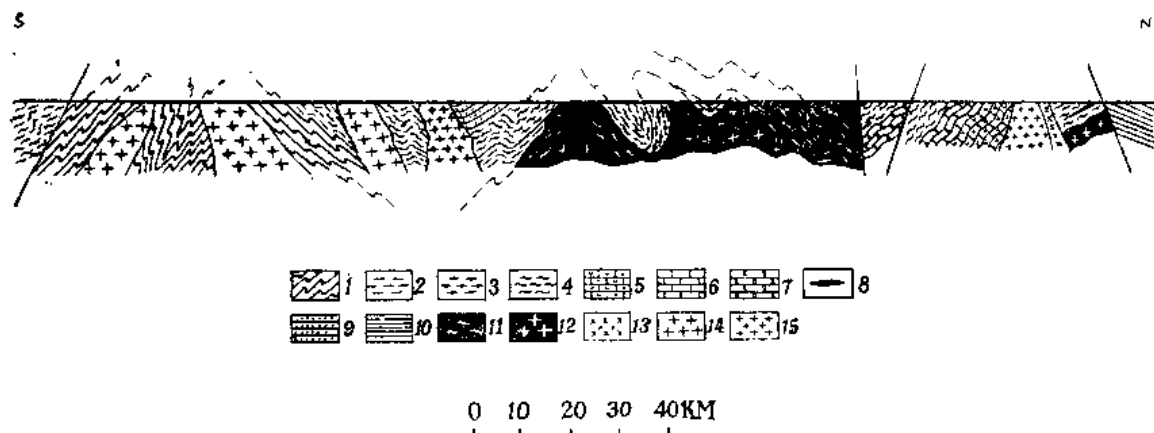


图 2 辽东半岛前震旦纪基底构造示意图

1—黑云母角闪质岩建造; 2—含钠变粒岩角闪质岩建造; 3—电气石变粒岩建造; 4—含透镜状大理岩建造; 5—变质火山岩; 6—大理岩; 7—镁质大理岩; 8—含铁石英岩; 9—震旦系(?)石英岩; 10—震旦系及震旦系后岩层; 11—混合片麻岩; 12—混合花岗岩; 13—前震旦纪变质基性岩; 14—前震旦纪花岗岩; 15—中生代燕山期花岗岩。

结晶基底构造较为复杂,构造运动主要发生于十九亿年左右。小型柔皱和混合岩区的流变构造都比较发育,它们往往与大型构造相一致,表现为脊线起伏较大,倾角较陡的倾伏褶皱,在一些混合岩穹窿附近,这些变化尤其明显。整体说来,区域构造线大致成近东西向,由北向南分别组成了几个具有倾伏性质的复式背斜和向斜(见图1及图2)。它们往往受后期断裂和岩浆活动的影响,形成为比较复杂的构造型式,但从野外观察上,仍可以看出本区基底构造具有古老地壳的塑性形变的特点,不能用一般所谓地槽活动带的构造形态的概念来解释它。

前震旦纪造山运动后期,在本区南部沿 $N60^{\circ}E$ 方向呈现了较大面积的造山运动同期的

混染花岗岩和其它岩石。在中生代燕山运动以及印支运动（或海西晚期）的断裂活动影响下，出现了各种类型的花岗质岩石。它们使结晶基底产生了一定的再造作用。

结晶基底中赋存着大量的铁、硼、菱镁矿、（磷）、滑石、石棉、金（银）、黄铁矿、铜、铅、锌、镍、钴、砷、锆以及稀有、稀土、放射性元素等矿床，其中大部分形成矿床的元素都赋存于变质建造中，而它们形成的矿床往往与混合岩化作用有关。从对几个矿床的研究，可以说明，混合岩化矿床和一般岩浆矿床和沉积矿床（包括沉积变质矿床）都有着较大的区别，成矿的物质成分来源于变质建造中某些含矿层位或岩石（含矿建造），而这些物质的迁移、聚集或成矿则和混合岩化作用有关，受其演化过程所产生的混合岩化岩浆和热液及与之有关的构造所控制。因此混合岩化矿床可以看成是古老地壳中的含矿物质成分的一种运动形式。原有含矿建造在混合岩化作用的条件下，构成矛盾的事物互相转化，一部分不活动的组分转化为活动组分，由“水成”转化为“火成”，经过交代变化、迁移和富集，最后形成新的矿床。

## 二、变质建造和混合杂岩的区域分布

### 1. 变质建造及含矿建造的划分

在本文中，变质建造是指结晶片岩的区域性的有规律的自然组合。变质建造是由这样一组结晶片岩所组成，它们在区域上有着一定的分布，在物质成分、组构和产状上都显示出某些共同的特点或一致的变化，表明它们是在相同的成岩（原岩）环境下形成，并且相当于古老地壳中某一大地构造发展阶段，同时也反映出一定的变质作用程度。含矿建造则是变质建造中的一个组成部分，它们含有组成某种矿床的物质组分，但本身并不都已成为具有工业价值的矿床。

通过野外实践和对几个变质建造的研究，本区的变质建造，按发展顺序自下而上划分如下（见图1）：

5. 含透镜状大理岩片岩建造，
4. 黑云母片麻岩、黑云母变粒岩建造，
3. 含钠变粒岩、角闪质岩建造，
2. 含透镜状大理岩变粒岩建造，
1. 黑云母角闪质岩建造。

其中4和5具有横向变化特点，本区东北部宽甸、桓仁一带出露为黑云母片麻岩、黑云母变粒岩建造，而在其它地区如鞍山、岫岩、丹东一带，与之相应的部位，则出现为含透镜状大理岩片岩建造。

大体上看，1、2和3相当于鞍山群，4和5相当于辽河群，此外，在鞍山、岫岩一带、新金北部、旅大等地，辽河群以上震旦系钓鱼台石英岩以下还出现另一套岩系，它们岩性比较不太一致，有些地方为磨拉石建造（新金北部），有些地方为石英岩夹千枚岩（鞍山、岫岩、旅大一带，）在图上用Z<sup>?</sup>表示。

上述变质建造的主要特点见表 I:

表 I. 变质建造的主要特征

| 名 称                | 变 质 岩 石 组 合                                                                                | 变 质 相           | 原 岩 建 造 特 点                                                  | 含 矿 建 造                                                  |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 5. 含透镜状大理岩片岩建造     | 以二云母片岩和千枚岩为主的粘土质片岩系, 上部为厚层石英岩, 中部含钙镁质透镜状大理岩, 下部夹有含铁石英岩(鞍山式铁矿)。分布广泛, 横向变化较大, 厚度达 4.000m 以上。 | 绿色片岩相及铁铝石榴石角闪岩相 | 含透镜状钙、镁碳酸盐的粘土、半粘土质建造, 部分夹有中、(酸)性及基性火山岩及凝灰岩, 具有海底火山和陆源火山活动特点。 | 1. 鞍山式含铁石英岩建造。<br>2. 富镁建造。<br>3. 含磷建造。<br>4. 铜铁硫化物建造(?)。 |
| 4. 黑云母片麻岩、黑云母变粒岩建造 | 含有黑云母片麻岩和黑云母变粒岩的互层状岩系, 含有少量小透镜状大理岩, 分布比较局限, 厚度在 4.000m 以上。                                 | 铁铝石榴石角闪岩相       | 含有中性凝灰质岩石及粘土质岩石的陆源火山岩建造。                                     | 1. 含石墨建造。<br>2. 含铁石英岩建造。                                 |
| 3. 含钠变粒岩、角闪质岩建造    | 以钠长石英岩为主, 夹有斜长角闪岩的互层状岩系, 含透镜状富镁大理岩, 局部富含微斜长石和电气石。分布较广泛, 厚度达 3.600m。                        | 铁铝石榴石角闪岩相       | 富含硷性组分的似花岗岩, 角闪岩建造, 局部富含硼组分。                                 | 1. 含硼建造。<br>2. 铜铁硫化物建造(?)。<br>3. 含磷建造。                   |
| 2. 含透镜状大理岩变粒岩建造    | 以黑云母变粒岩为主, 夹有各种变粒岩的互层状岩系, 有时有斜长角闪岩的互层, 含有透镜状镁质大理岩, 最厚达 5.000m 左右。                          | 铁铝石榴石角闪岩相       | 中酸性为主(夹有基性火山岩)含有陆源成分的火山沉积建造, 局部富含硷性和硼组分, 具有海底火山活动特点。         | 1. 富镁建造。<br>2. 含硼建造。                                     |
| 1. 黑云母角闪质岩建造       | 以黑云母角闪片麻岩和斜长角闪岩为主组成的互层状岩系, 上部渐变为黑云母斜长片麻岩, 含有透镜状磁铁矿石英岩和蛇纹石大理岩。分布广泛, 厚度达 6.000m。             | 铁铝石榴石角闪岩相       | 古老地壳中的, 中、基性火山沉积建造, 以基性火山作用为主。                               | 1. 含磷建造。<br>2. 含铁石英建造。<br>2. 含铁建造。                       |

各变质建造中主要岩石类型的岩石化学分析及其图解见表 2 和图 3, 4, 5, 6。图 3, 4, 5, 6, 是采用尼格里数值而制订出的各种图表, 它们是以  $al-alk$  和  $c$  值为基础来划分各个原岩区, 以  $al$  和  $alk$  及  $mg$  和  $k$  值为辅助, 并用  $al-alk$  和  $si$  值为参考用以区别不同变质岩石的原岩类型。(详见附录)

在黑云母角闪质岩建造中, 角闪质岩石广泛发育, 它们可分为条带状, 芝麻点状斜长角闪岩、黑云母角闪片麻岩以及角闪石岩等类型, 一般成层状产出, 并见有火山角砾构造和层间侵入岩相。主要矿物为普通角闪石和斜长石 ( $An_{55-40}$ )。岩石化学分析表明 (表 2, №1—12), 片麻状角闪石岩等的化学成分相当于含硷质稍高的角闪岩, 斜长角闪岩的成分相当于玄武岩或安山玄武岩, 其中部分岩石的硷性组分稍偏高, 黑云母角闪片麻岩的成分相当于玄武岩或安山玄武岩, 其中  $mg$  值较高。此外, 黑云母斜长片麻岩可能相当于中性(英安质?)的凝灰质岩石。从这一建造的岩石产状、矿物和化学成分来看, 它们相当于中、基性火山沉积型建造, 中性和基性火山物质相间成层, 具有周期性的喷发旋回特点, 钙硷指数  $c' = 55.8$ , 属硷钙系列, 可能代表古老地壳的基性火山活动的特点。含矿建造诸如磷、锆和含铁石英岩等都和这一基性火山活动有着密切的联系。

含透镜状大理岩变粒岩建造中的岩石类型较为复杂, 主要是变粒岩类, 包含有黑云母、角闪石、微斜长石以及电气石等各种类型的变粒岩。从镜下研究和与其它建造的同种岩石对比来看, 它们大部分相当于中性、酸性的凝灰岩或凝灰质岩石, 微斜长石和电气石变粒岩相当于富钾、富硼的酸性凝灰岩, 而黑云母和角闪石变粒岩则相近于中性(安山质或粗面质)凝灰质岩石。斜长角闪岩在这一建造中占有一定比重, 说明基性火山活动仍占重要位置。大理岩出现较多, 以镁质为主, 其中往往含有硅质条带和透辉石、金云母结核, 它们和变粒岩

成互层组合，表明大理岩是在海底火山喷发环境下形成的，因此这一建造可能是具有一定海底火山活动特点以中、酸性为主的火山沉积建造。

含钠变粒岩、角闪质岩建造的主要岩石类型是钠长变粒岩和斜长角闪岩。钠长变粒岩中有钠长石、钠长石——透闪石、钠长石——电气石，黑云母——钠长石等类型以及微斜长石变粒岩。它们的岩石化学成分与细碧、角斑岩系列类似，但更富于硷性组分。斜长角闪岩与变粒岩成互层，或成厚层状层间侵入体存在，主要矿物一般为普通角闪石和斜长石（ $An_{29-30}$ ），岩石化学分析表明，它们绝大部分与细碧岩相近似，个别与大理岩共生，属泥质白云岩类型。从这一建造的岩石特性来看，它们可能是具有海底火山活动特点的富硷质似细碧、角斑岩建造。在建造中，局部富含有硼组分，成为本区硼矿床的物质来源。此外它们的酸性成员中还可能含有黄铜矿、黄铁矿等组合的铜、铁硫化物。

在黑云母片麻岩、黑云母变粒岩建造中普遍含有石墨，局部富集形成为含石墨建造。它们的片麻岩及变粒岩，长石成分大部都是斜长石， $An$ 一般为31—35，含量约在33—40%左右。根据岩石化学分析（表2. №. 55—62），除少数片麻岩属粘土质岩石外，黑云母变粒岩和一部分片麻岩相当于安山质或英安质的凝灰质岩石。因此整个建造属于含有粘土质岩石及安山质或英安质凝灰质岩石的陆源火山沉积建造。在这一建造底部局部出露有磁铁石英岩建造，但规模一般都较小。

在含透镜状大理岩片岩建造中，粘土质片岩是主要岩石类型，它们的化学成分和一般粘土质岩石相比较，以含 $FeO$ 较高为特点，一般常在5.5—6%。建造上部为厚层石英岩，中部含有大小不等的大理岩透镜体，局部地区为镁质大理岩，富含菱镁矿体，成为富镁建造，有时底部还与磷矿共生。辽阳地区在大理岩下部见有碧玉质的酸性火山熔岩夹层多层，说明它们形成时仍与海底火山活动有关。本区北部鞍山、本溪地区，片岩建造下部出现鞍山式磁铁石英岩建造，它们是本区重要的含矿建造，成因与中、基性火山活动有密切的关系（详情见后）。总的说来，整个建造属于粘土质、半粘土质岩建造，局部地区出现有陆源和海底火山活动交替，以中（基）性火山活动为主的陆源火山沉积建造，部分地区还见有酸性岩浆活动。在这一建造中，除了鞍山式铁矿及大石桥菱镁矿等重要的含矿建造外，还可能存在着与酸性岩浆活动有关的铜、铁硫化物建造。

图7，8概略地表示出各类变质建造的空间分布，从图上可看出它们在纵向及横向上都存在变化，这种现象不是一般沉积建造中所见的超覆，而是古老地壳中某些火山活动及其沉积的变化所致。本区结晶基底的早期阶段具有周期性喷发特点，以基性火山作用为主的火山沉积建造具有较广泛的分布，从它们的喷发形式、产状和物质成分以及含矿性来看，诸如大面积的喷发，中基性火山沉积岩相的互相交替以及一些磁铁条带石英岩的出现等，它们更多地代表着古老地壳的火山活动的特点。中期阶段在它们的基础上，出现了不同的海底火山和陆源火山活动的各种火山沉积类型，岩浆物质成分也有着明显的演化特点，其中如富含硷质的类似细碧、角斑岩系列的变质建造可能代表这一阶段的古老地壳的特殊火山活动的类型。随着时间和空间的变化，火山活动的形式（海底和陆源）、物质成分的变化（岩浆成分和陆源碎屑）都在发生着转变，因此各个地段的火山沉积建造出现了纵向和横向的变化。到了晚期阶段，以粘土质为主的陆源碎屑沉积居于主导地位，火山活动逐渐减弱，但在局部地区，仍有一定的酸性和中（基）性火山活动出现，一些重要矿床都和它们有着成因上的联系。

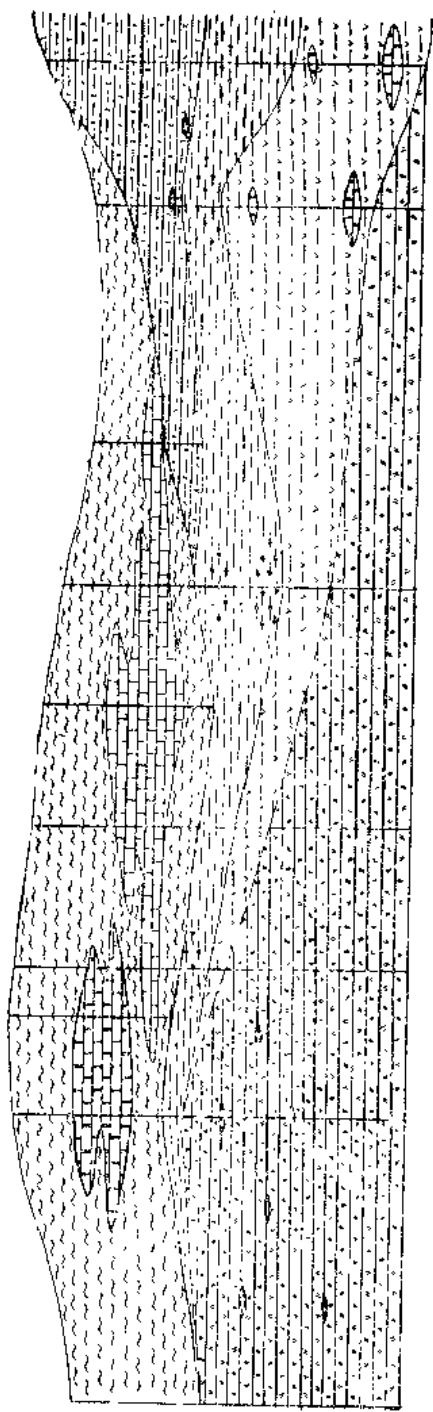


图 7 辽东半岛前震旦纪变质建造东西方向岩相变化示意图  
 1—黑云母角闪质岩建造；2—含透镜状大理岩变粒岩建造；3—含钠变粒岩角闪质岩建造；4—黑云母片麻岩、黑云母变粒岩建造；5—含透镜状大理岩片岩建造；6—大理岩；7—镁质大理岩；8—电气石变粒岩；9—含铁石英岩。

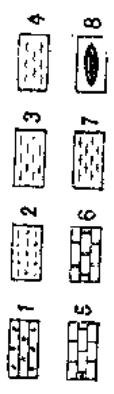
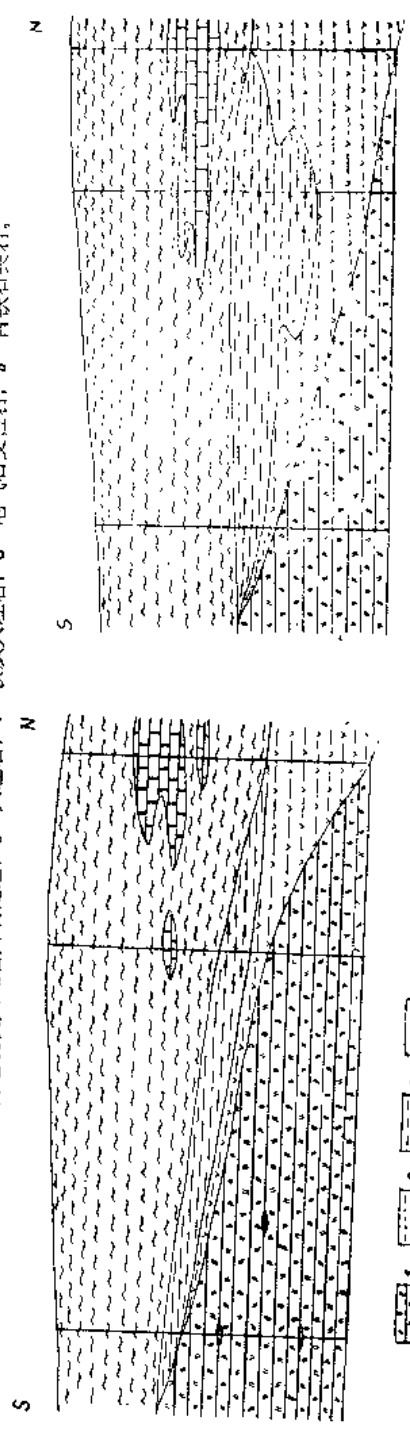


图 8 辽东半岛前震旦纪变质建造南北方向岩相变化示意图  
 1—黑云母角闪质岩建造；2—含透镜状大理岩变粒岩建造；3—含钠变粒岩角闪质岩建造；4—含透镜状大理岩片岩建造；5—大理岩；6—镁质大理岩；7—电气石变粒岩；8—含铁石英岩。

目前初步查明的含矿建造, 诸如铁、硼、磷、镁、锆等都直接或间接与火山作用有关, 一些放射性元素矿床, 某些稀土元素和稀有元素的矿化都有迹象说明它们可能存在于一定含矿建造中, 一些地区的铜铁硫化物矿床也可能和酸性岩浆活动有关, 因此研究本区的变质建造的含矿性及其分布, 进一步明确结晶基底中的找矿方向仍是一个当前重要的任务。

## 2. 混合杂岩的分布

混合岩在本区广泛出露, 主要岩石类型有条带状混合岩、花岗质混合片麻岩、混合花岗岩以及伴随这些混合岩的各期交代型长英质伟晶岩脉、热液蚀变产物及矿床, 并由它们组成不同类型的混合杂岩。

从区域分布上看, 混合杂岩自北而南大致可分为三个混合杂岩带和一个混合杂岩区, 它们在产状上, 在和围岩的关系上, 在交代作用方式上都有着联系和区别。

### ① 北部混合杂岩带

主要分布于鞍山、本溪一带, 位于片岩建造和含铁石英岩建造中, 它们是由混合花岗岩、花岗质混合片麻岩和与磁铁石英岩在一起的各种注入交代混合岩所组成, 形成一个东西向线形延伸, 长达 100 公里左右的花岗岩化交代带。杂岩带中以混合花岗岩为主, 含有各种岩石的残留体, 雾迷构造明显, 交代结构清楚。混合岩化早期交代作用主要是钾长石的交代, 以微斜长石溶蚀斜长石的交代结构和交代斑晶出现。杂岩体内部伟晶岩化现象比较发育, 中、晚期混合岩化热液蚀变现象明显, 磁铁石英岩的富矿化及其它矿化作用都与之有密切联系。

混合花岗岩主要是钾微斜长石花岗岩, 它们的化学成分见表 3 (№.1—25), 以富碱、低钙、 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (7.70—9.90),  $\text{CaO}$  (0.38—0.80) 为特点, 与正常花岗岩比较, 主要是钾值较高  $\text{K}_2\text{O}$  (4.60—5.21), 形成时交代作用显著。

### ② 中部混合杂岩带

分布于岫岩、宽甸一带, 广泛出现于含钠变粒岩、角闪质岩建造中, 形成以花岗质混合片麻岩为主的混合杂岩带, 呈东西向分布, 断续延伸达 250 公里左右。在东部宽甸、桓仁一带, 花岗质混合片麻岩成为层状, 交代变粒岩和斜长角闪岩, 在西部地区岫岩、凤城一带, 它们则成为大小不等的片麻岩穹窿。

花岗质混合片麻岩内部含有各种岩石的残留体, 特别是角闪质岩石的残存结构较多。交代作用以钾微斜长石的交代为主, 并往往伴随有角闪石被交代分解后的磁铁矿细颗粒。混合花岗岩一般少见, 它们零星分布于花岗质混合片麻岩中, 与后者不易区分。此外, 它们和岫岩西北营口地区出露的长石化斑状花岗岩在成因上有着密切的联系。它们的化学成分见表 3 (№.26—28), 以富钾和高铁  $\text{K}_2\text{O}$  (4.91—5.76),  $\text{FeO}$  (2.05—2.46) 为特点, 这一方面也反映出花岗岩形成时和原岩的密切关系。

杂岩带中, 伟晶岩脉广泛发育, 呈现出多期交代特点, 中、晚期热液蚀变也较显著, 它们和硼矿床的形成和稀土、放射性元素的矿化有着密切的关系。

### ③ 南部混合花岗岩带

分布于丹东北部到岫岩南部, 出现于含透镜状大理岩变粒岩建造和含钠变粒岩、角闪质岩建造内, 形成以  $\text{N}60^\circ\text{E}$  延伸的交代花岗岩带。岩石主要由混合花岗岩所组成, 与围岩成混合交代接触, 混合花岗岩中似文象交代结构、雾迷构造以及肠形褶曲都较发育, 主要岩



性为含条纹长石的二云母花岗岩,钾交代作用明显,原有斜长石( $An_{30-35}$ )和黑云母都局部为条纹长石和白云母所交代,并部分析出矽线石。它们的化学成分见表3. №.32,以富钙和铝为特点, $Al_2O_3(15.38)$ , $CaO(1.51)$ 。一部分岩性与花岗闪长岩更接近。这一花岗岩与上述的两种类型有着比较明显的区别,可能是在硷性交代较弱的条件下形成的。

杂岩体中后期岩脉较为发育,并伴有含金石英脉和稀土矿化(?)的出现。

#### ④ 南端混合杂岩区

出露于新金附近及沿海一带,成大面积分布。顺层注入现象明显,往往表现为宽约1cm左右或更细的白色条带成层状注入于黑云母角闪质岩石中,形成各种条带状混合岩,并伴有局部钾长石化斑晶和角闪石的黑云母化作用。混合花岗岩出露很少。从它们的大面积的分布,以注入为主的交代形式和硷性交代作用不太发育等方面上看,它们和其它混合杂岩有着一定的区别,在成因上,它们可能和交代重熔的再生岩浆更有密切的联系。

综上所述,本区的混合杂岩的基本特征可初步归纳如下:

① 本区的混合杂岩大部系由花岗质混合片麻岩和混合花岗岩所组成,一般呈现为带状分布,或成片麻岩穹窿构造,它们往往具有明显的外来物质组分的注入交代和渗透交代作用的特征。

② 在混合岩化作用中,以钾交代为主的硷性交代作用居有重要地位,主要表现是长石化斑晶,及由硷性长石影响而产生的各种溶蚀交代结构,以及一些铁镁硅(铝)酸盐矿物的云母化现象。混合花岗岩属交代成因,它们可能是外来的(半原地特点)的混合岩化岩浆和原岩中的物质成分进行交代而形成的。它们的岩石化学成分(表3)具有某些共同特点,一般是高si,富alk及ak,和较低fm及c,si(353—444,一般在400左右), $al^-(41-52)$ ,alk(34—41),fm(5—20,一般小于15),c(3—6),说明它们形成时的总的趋向,与一般花岗岩有所不同,但在fm、c及k值上,各种花岗岩仍有一定的区别,这一区别可能更多地反映出原岩成分对于它们的影响和钾、钠组分的交代程度。一般说来,这些成分都没有反映出共结岩浆的某些特点,因此不太可能是就地重熔所产生的。

③ 在混合杂岩中存在着不同阶段形成的产物,主期形成以硷性交代为主的各种混合岩石和部分长英质伟晶岩脉,中期和晚期则形成各种伟晶岩脉、矿物脉和混合岩化热液蚀变等产物,整个阶段都可形成不同的混合岩化矿床和矿化。

关于本区混合岩形成的时期和期数问题,过去虽然积累了较多的地质年龄鉴定的数据,但它们与野外地质观察还存在着矛盾,数据本身也有不一致的地方,目前还不能作出结论,仍需进一步研究,加以解决。

### 三、混合交代型硼矿床的成矿作用

混合交代型硼矿床赋存于含钠变粒岩、角闪质岩建造内,在区域中呈近东西向线形分布,矿床周围一般都发育有含电气石的变粒岩和混合片麻岩、混合花岗岩,它们和硼矿床的形成有极其密切的关系。

#### 1. 含硼变粒岩建造

含硼变粒岩建造是硼矿床物质来源的原岩,它们在含钠变粒岩、角闪质岩建造中成为沿横向变化易尖灭的不规则的层状分布。凤城翁泉沟地区的整个含钠变粒岩、角闪质岩建造的

剖面自下而上出露如下:

5. 含电气石微斜长石变粒岩.....390—450米
4. 互层状黑云母变粒岩, 变质钙硅酸盐岩..... 700米
3. 电气石变粒岩, 钠长变粒岩..... 440米
2. 互层状斜长角闪岩、黑云母变粒岩, 变质钙硅酸盐岩夹大理岩 (局部混合岩化) .....>1000米
1. 电气石变粒, 钠长变粒岩夹镁质大理岩.....>1000米  
(底部强烈混合岩化)

从这一剖面中可以看出, 它们是以含电气石、钠长石变粒岩为主, 并与斜长角闪岩、大理岩及钙硅酸盐岩成互层的一套岩系。

变粒岩类的岩石主要有钠长变粒岩、微斜长石变粒岩、黑云母变粒岩及电气石变粒岩。

钠长变粒岩是本类中的主要岩石, 呈细粒结构 (0.1—0.2mm, 个别0.04mm), 条带状构造, 浅色条带是钠长石——(石英), 暗色条带则以电气石——钠长石为主, 其次尚有榍石——钠长石及透闪石——钠长石。它们的宽度为 1.5—3mm, 微显层理。按主要组成矿物的相对含量, 基本上可划分为三个岩石类型, 即钠长变粒岩, 电气石钠长变粒岩, 透闪石钠长变粒岩。它们的矿物含量如下:

| 岩 石             | 钠 长 石<br>An <sub>5-6</sub> | 石 英        | 电 气 石        | 透 闪 石  | 榍 石    | 其 他        |
|-----------------|----------------------------|------------|--------------|--------|--------|------------|
| 钠 长 石 变 粒 岩     | 89.0                       | 6.0        | —            | —      | —      | 5.0        |
| 电 气 石 钠 长 变 粒 岩 | 63.0<br>78.0               | 5.0<br>9.5 | 31.5<br>10.5 | —<br>— | —<br>— | 0.5<br>2.0 |
| 透 闪 石 钠 长 变 粒 岩 | 68.0                       | 2.5        | —            | 27.0   | —      | 2.5        |
| 含 榍 石 钠 长 变 粒 岩 | 80.0                       | 12.00      | —            | 3.5    | 3.5    | 1.0        |

岩石中钠长石经常含量在 60% 以上, 甚至可达 90%, 其成分稳定在 An<sub>5-6</sub>, 一般呈变均粒镶嵌结构, 颗粒边界平直, 其中常见有电气石, 石英包裹物。

从岩石化学成分来看 (表 2. №. 13—15), Na<sub>2</sub>O 高达 12.09%, 但 k 值很小, 一般在 0.03—0.04 左右, 说明这类岩石富含钠质, 为一般岩石所少有。

此外, 微斜长石变粒岩在建造中具有一定的分布范围, 钾微斜长石 (Or<sub>95</sub>Ab<sub>5</sub>) 含量较高, 最多时可达 90% 以上, K<sub>2</sub>O 达 12.06%, k 值 > 0.81 说明这是一种少见的富钾岩石, 其中常常含有较多量的电气石。

斜长角闪岩在建造中有二种不同产状, 变粒岩中呈透镜状及大理岩中呈似层状。其矿物含量如下:

| 岩 石       | 斜 长 石                                                            | 角 闪 石        | 磁 铁 矿      | 透 辉 石  | 蚀 变 矿 物    | 其 他        |
|-----------|------------------------------------------------------------------|--------------|------------|--------|------------|------------|
| 变粒岩中斜长角闪岩 | 4.50<br>(An <sub>29-31</sub> )<br>3.50<br>(An <sub>29-31</sub> ) | 42.0<br>60.0 | 6.0<br>0.5 | —<br>— | 5.0<br>4.0 | 2.0<br>0.5 |
| 大理岩中斜长角闪岩 | 41.0<br>(An <sub>39-41</sub> )                                   | 54.0         | 1.0        | 1.0    | —          | 3.0        |

变粒岩中斜长角闪岩呈片麻状构造，与邻岩界线清晰，角闪石具明显的方向性，从其化学成分（表2. №. 49—52）及微量元素分布特点来看，它们属于玄武岩——细碧岩范围，斜长石成分一般为  $An_{29-31}$ 。但与电气石钠长变粒岩共生时，斜长石的成分下降到  $An_{10-21}$ ，这一现象初步说明它们在含钠方面有相近性，可能存在着同源关系。

大理岩中似层状斜长角闪岩为细粒片麻状构造，一般平均厚度为1—1.5米，与大理岩交互成层，其中还常夹有透镜状透辉石大理岩，属白云质泥灰岩。

建造中另一种常见的岩石为变质钙硅酸盐岩，它是一套矿物成分复杂，条带状构造明显，主要由普通角闪石和透辉石所组成的岩石，与薄层状大理岩及黑云母变粒岩呈交互层状

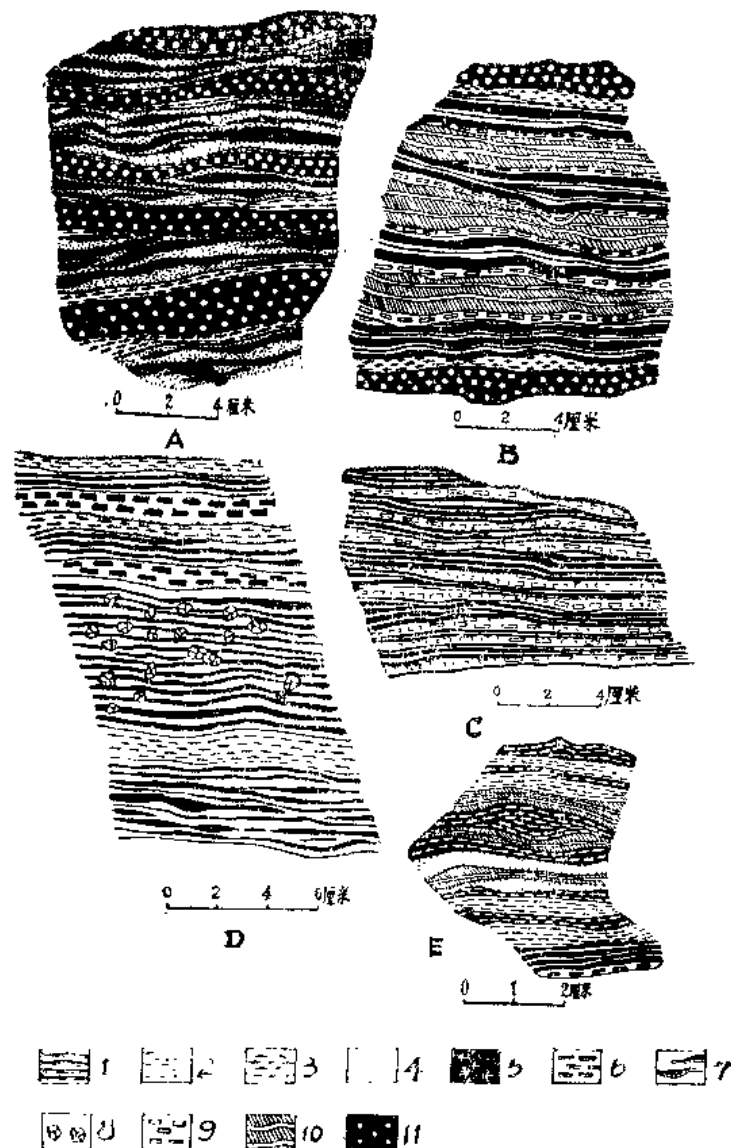


图9 变质钙硅酸盐岩石组构图

1—普通角闪石——透辉石——微斜长石；2—普通角闪石——微斜长石；3—普通角闪石——微斜长石——黑云母；4—普通角闪石——透辉石——方解石；5—普通角闪石——透辉石；6—普通角闪石——透辉石——微斜长石——绿帘石；7—普通角闪石；8—铁铝石榴石；9—方柱石；10—方解石（大理岩）11—钠长石——黑云母（变粒岩）

产出，可见到五个不同类型的岩石组合（图9）。它们可能是成分介于凝灰质和钙镁碳酸盐之间的海底火山活动的产物。

建造中以富硼为特点，主要表现为含电气石的各种变粒岩，在变粒岩中，电气石以彼此镶嵌的细粒状（0.2—0.02mm）为主，其中见有乳滴状石英和钠长石包裹体，而有时电气石又成为钠长石、石英、微斜长石颗粒中的包裹物。其含量一般>10%，常常为30—40%，个别达90%以上。它们的化学成分如下：

| 成分<br>矿物 | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | CaO  | MgO  | Na <sub>2</sub> O | B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | f <sub>m</sub> * <sub>1</sub> | cm* <sub>2</sub> |
|----------|--------------------------------|------|------|------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|
| 电气石（I）   | 7.46                           | 3.07 | 0.75 | 7.63 | 2.58              | 10.11                         | 19                            | 14               |
| 电气石（II）  | 7.94                           | 3.54 | 0.76 | 7.33 | 2.59              | 10.30                         | 22                            | 14               |
| 电气石（III） | 5.87                           | 2.65 | 0.58 | 8.60 | 2.62              | 10.22                         | 15                            | 11               |

\*<sub>1</sub> f<sub>m</sub>=Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>2+</sup>+Mg

\*<sub>2</sub> cm=Ca/Ca+Na

一般特点是：f<sub>m</sub><22、cm（11—14）。因此，电气石属贫钙富钠类型。当钠长石超过80%时，电气石则往往不出现。此外，局部地区还见有与石英共生的“电英岩”。在无电气石的透闪变粒岩中，硼含量也可达400p.p.m，由此可见，硼在建造中广泛存在。

富硼变粒岩建造的变质作用相当于铁铝石榴石角闪岩相中十字石、石英亚相。

组成这一建造的岩石具有明显的层状构造，其中大部分的变粒岩都是细粒岩石（0.1—0.2mm），显微镜下它们的主要矿物呈现了互相包裹的情形，说明这些矿物都属于变质作用中的重结晶矿物，因此这些岩石可能是富含钾、钠和硼的凝灰岩的变质产物，整个建造属火山沉积类型。

根据钠长变粒岩、透闪钠长变粒岩、斜长角闪岩等岩石化学资料（表2，№.13—25, 49—52）和它们的图解（图3, 4, 5, 6），在一些基本特性上，它们和细碧角斑岩系列有一致的地方。钙硷指数c'=52.2，属硷钙系列。钠长浅粒岩及黑云母变粒岩与石英角斑岩——粗面安山岩相当。透闪钠长变粒岩与系列中的中间类型粗面安山岩——细碧玢岩相当；斜长角闪岩与玄武岩（辉绿岩）——细碧岩相当，因此可以认为它们是古老地壳中类似细碧——角斑岩系列中的一个组成部分，但岩浆成分更富含碱性组分，这一现象在它们的酸性成员中更为显著，并有大量硼的出现。

综上所述，这一建造属于似细碧——角斑岩系列的一个部分，以富硼为特点。它们相当于含有少量陆源物质，具有间歇性和周期性喷发旋回的海底火山沉积建造。B组分来源于火山喷发作用，可能与凝灰质物质有关。

## 2. 混合岩化和成矿

在本区岫岩、凤城、宽甸和桓仁一带，中部混合杂岩带中及混合杂岩穹窿内部都出现有大小不等的硼镁石或硼镁铁矿床。现以凤城地区翁泉沟硼矿床为例，来说明它们的成矿作用。

本区混合杂岩呈不规则形状的穹窿构造（图10）。它是由混合花岗岩，花岗质混合片麻岩，注入交代型的混合岩以及伟晶脉，粗晶暗色矿物脉所组成，出露面积达100公里以上，它们与围岩成过渡的注入交代接触。近中心部位分布有长英质伟晶岩脉，远离中心，石英脉

较为发育，近核心内侧部位，出现磷矿床、铁矿床、云母矿床和稀土、石棉、金红石、石膏的矿化。局部地区还见有花岗质混合片麻岩的顺层注入和混合交代的现象。

根据杂岩体产状、交代作用和矿物世代关系等特点，可分为主期、中期及晚期三个阶段。主期形成杂岩体的主体，包括混合花岗质岩石（花岗岩及花岗片麻岩）和中心及边缘注入的斜长石、微斜长石伟晶岩脉；中期形成交代型硼镁——铁矿床等及大量受古老构造控制的粗晶暗色矿物脉；晚期则在核心部位出现零星分布的钠长石伟晶岩和黑云母透辉石脉。

组成杂岩的主要岩石类型是花岗质混合片麻岩，其中含有少量不规则分布的混合花岗岩，由于二者性质相近，以下均称为混合花岗岩。它们中间夹有斜长角闪岩和变粒岩的残留体，其中以斜长角闪岩为主，它们呈条带状分布，并与混合花岗岩成渐变接触，残留体本身结构亦往往受混合岩化影响，有所改造。从原有结构到似片麻状或聚集结构，最后在花岗岩中角闪石呈条痕状结构以及黑云母化的现象。（图11）

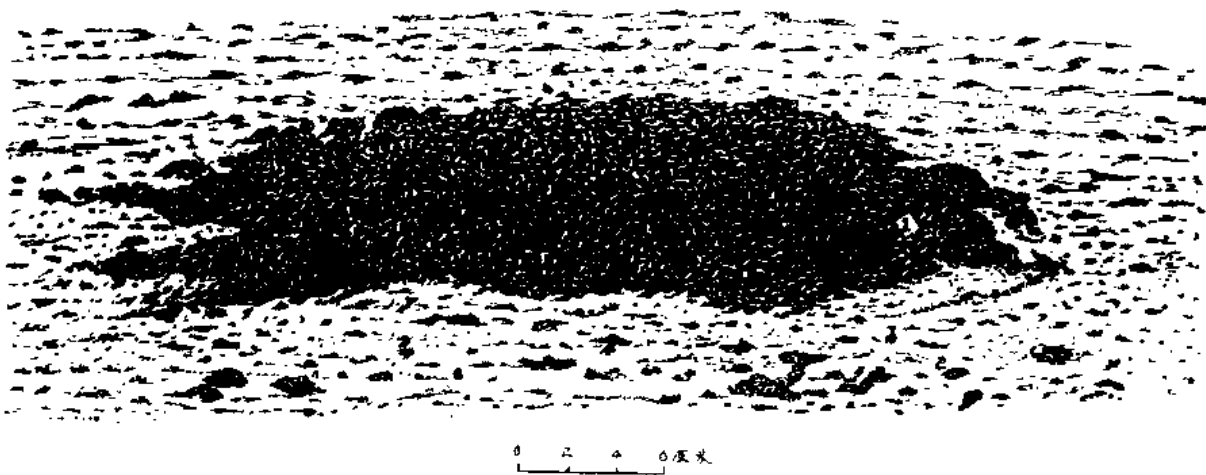


图 11 混合岩中斜长角闪岩残留体  
1—似片麻状斜长角闪岩；2—角闪石条痕状混合岩

混合花岗岩一般呈均质结构，微具片麻理，局部有似文象交代结构。矿物成分主要有钾微斜长石、（条纹长石）、钠长石、石英，其次为角闪石、磁铁矿、锆英石和榍石等，含量变化较大。

它们的岩石化学成分见表 3。（№ 26—28）。其主要特点是  $K_2O$  值和  $FeO$  值较高， $K_2O$ （4.91—5.76）， $FeO$ （2.05—2.46），而且  $k > 0.50$ 。与一般花岗岩相比以富钾、高铁为特点，这一化学特征实际上也是反映了某些混合交代成因的特点。

野外和室内研究说明杂岩体中花岗质岩石形成时具有明显的碱性交代作用，其中主要是钾微斜长石化。交代作用进行时，各种长石含量及成分变化见下表。

| 岩石<br>矿物 | 变粒岩                                           | 斜长角闪岩                            | 混合花岗岩                                           |
|----------|-----------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|
| 斜长石      | 80—95%<br>(An <sub>5-6</sub> )                | 30—45%<br>(An <sub>29-31</sub> ) | 10—36%<br>(An <sub>5-6</sub> )                  |
| 钾微斜长石    | 0.3—3%<br>(Or <sub>95</sub> Ab <sub>5</sub> ) | —                                | 24—25%<br>(Or <sub>78</sub> —Ab <sub>22</sub> ) |

表中钾微斜长石和斜长石数量上的变化，基本上反映了杂岩中的钾交代作用特点，钾微斜长

石主要是交代钠长石及斜长石而形成的，在不规则形状的微斜长石晶体周围和内部散布有细小石英和斜长石的残留体，随着混合岩化作用的加强，钾、钠长石不断有所变化，最后形成以钾微斜长石为主要成分的混合花岗岩。

在钾长石交代作用过程中，原岩中 Na 组分有所活动，并不断进入溶液，它们一方面交代斜长石，使斜长石基性程度降低，一方面进入新生的钾微斜长石，使其中钠分子增多，同时见有纯钠长石呈乳滴状、细脉状穿切残留的斜长石和新生的钾微斜长石颗粒。进入溶液的其余 Na 组分，则部分转入伟晶岩中形成钠长石伟晶。此外钾交代作用还往往表现为角闪石中的黑云母化。

随着碱性交代作用的进行，铁镁硅酸盐矿物不断被交代和分解，其中一个主要方面反映在混合花岗岩中的磁铁矿的形成。

磁铁矿在部分混合花岗岩中呈细粒均匀分布，它们含  $TiO_2$  较高，有时可达 3.45%。野外和室内观察，混合花岗岩中磁铁矿和角闪石共生，随着混合岩化作用的发展，原岩中角闪石含铁系数不断增加，由  $fm_{35}$  增加到  $fm_{95}$ 。形成铁富钠闪石以至最后析出磁铁矿，此外磁铁矿也可直接沿解理交代角闪石成为角闪石假象（图 12）。交代过程中，原岩的部分 Fe、Mg 组分进入溶液，其中镁较铁更为活动，更易被带出。



图 12 混合岩中磁铁矿交代角闪石演化图

1—磁铁矿沿角闪石解理交代呈细条状；2—斑杂状磁铁矿化角闪石；3—磁铁矿，其中含有孤岛状的角闪石交代残留；4—磁铁矿边部剩有角闪石；5—磁铁矿呈角闪石假象。

用巴尔特法对比钠长变粒岩和斜长角闪岩的组分在混合岩化过程的变化见下表：

| 化<br>学<br>式<br>岩<br>石 | 岩<br>石<br>化<br>学<br>式                                                           | 组 分 变 化                             |                              |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
|                       |                                                                                 | 带 入                                 | 带 出                          |
| 钠长变粒岩                 | $K_6Na_{199}Ca_{12}Mg_2Fe^{++}Fe^{+++}_4Al_{188}Si_{561}B_{0.5}$                | K—45<br>Si—205                      | Na—140<br>Ca—94              |
| 透闪钠长变粒岩               | $K_6Na_{101}Ca_{45}Mg_{96}Fe^{++}_{23}Fe^{+++}_2Al_{124}Si_{510}B_1P_1$         |                                     | Fe <sup>n</sup> —32<br>B—0.9 |
| 斜长角闪岩                 | $K_{16}Na_{71}Ca_{103}Mg_{118}Fe^{++}_{46}Fe^{+++}_{25}Al_{141}Si_{447}B_1P_1$  | Mg—4<br>Fe <sup>n</sup> —8<br>Al—10 | —112<br>—32<br>—54           |
| 混合花岗岩(平均值)            | $K_{51}Na_{59}Ca_9Mg_6Fe^{++}_{14}Fe^{+++}_{10}Al_{134}Si_{642}B_{<0.1}P_{0.5}$ |                                     |                              |

从表中可看出，在混合交代过程中，K、Si 属于带入成分，Na、Mg、Ca、Fe<sup>++</sup>、B 为带出成分，Al、Fe<sup>+++</sup> 的变化由原岩成分决定，斜长角闪岩中 Fe<sup>+++</sup> 为带出成分，钠长石变粒岩中 Al 为带出成分。

综上所述,混合杂岩的主期交代作用主要是钾交代作用,在岩石交代中,K为带入成分,它们往往表现为微长石化和部分铁镁矿物的黑云母化。在交代过程中,Na、Ca、Fe、Mg和B为带出成分,多量钡的析出,似与原岩的富含钡组分有关。Fe、Mg组分来源于原岩的铁镁硅酸盐的交代和分解。Mg组分在交代过程中易于带出,Fe组分在交代反应中部分分解为简单的氧化物,残存在混合岩中,部分则转入于热液中,它们在中期交代作用中和B组分一起在一定地质条件下,形成各种类型的硬矿床。

| 矿化阶段                       | 第一阶段                                         | 第二阶段                                         | 第三阶段                          | 第四阶段                 |
|----------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 原岩                         |                                              |                                              |                               |                      |
| 镁云<br>橄质<br>石大<br>化理<br>白岩 | (矿化)<br>遂安石、板柱状<br>硼 镁 石<br>(蚀 变)<br>金 云 母 一 | ——硼镁铁矿<br>(fm: 36)<br><br>绿 泥 石 化<br>磁 铁 矿 化 | ——纤维硼镁石<br>磁铁矿<br><br>蛇 纹 石 化 | 脉状富铁硼镁铁矿<br>(fm: 56) |
| 透长<br>辉变<br>石粒<br>化岩<br>钠  | 富 镁 电 气 石<br>(fm: 29)<br><br>透闪石、金云母         | 铁 镁 电 气 石<br>(fm: 41)<br><br>磷 灰 石 ——        | —— 钠 硼 硅 石<br><br>—— 独 居 石    |                      |

硼镁铁矿——透安石矿床主要与蛇纹石、金云母化岩石有关（图13）。

近矿围岩蚀变现象如图 14 所示:

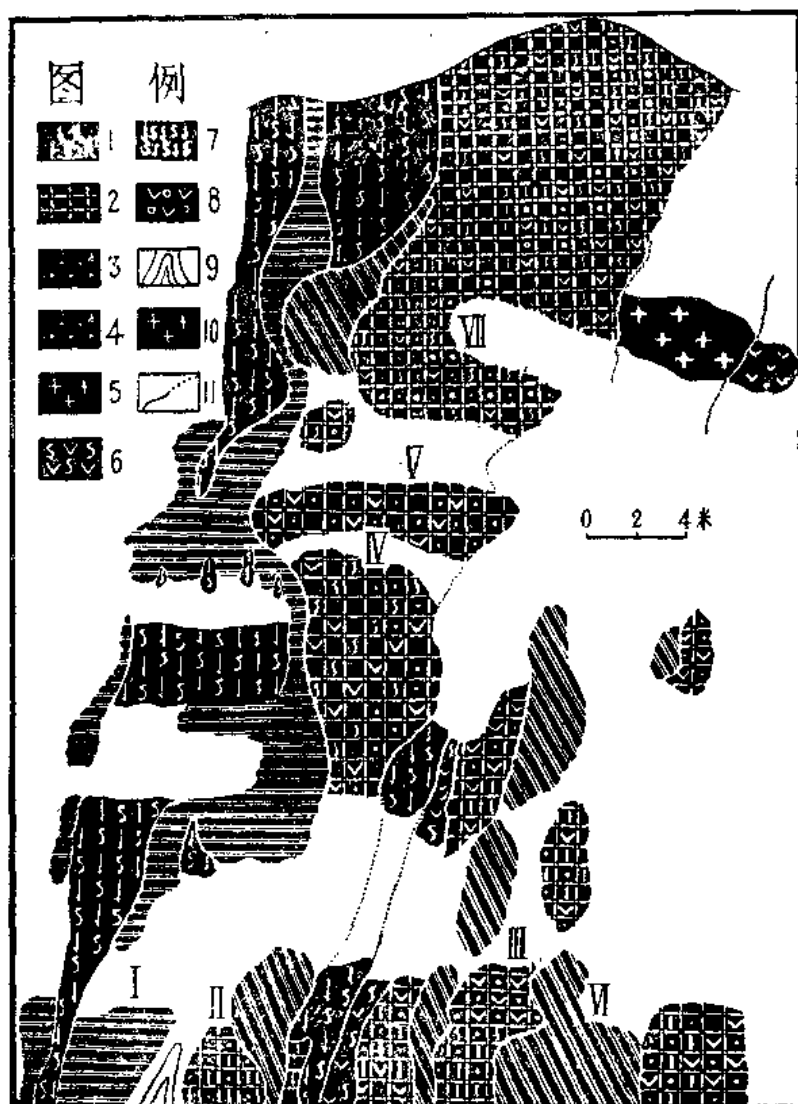


图 13 硼镁铁矿床的采矿场素描图

1—透闪石化；2—早期硼镁铁矿；3—早期硼矿分解；4—晚期硼镁铁矿；5—氧化带；6—金云母蛇纹石；7—金云母透闪石；8—蛇纹石、磁铁矿；9—蚀变岩，（金云母、透闪石、透辉石、斜长石、电气石）；10—闪长岩脉；11—地质界线；I—金云母透闪石硼镁铁矿矿石；II—透闪石透闪石假象硼镁石、硼镁铁矿；III—金云母、蛇纹石透闪石假象硼镁石、硼镁铁矿；IV—金云母蛇纹石硼镁铁矿贫矿；V—硼镁铁矿蛇纹石化；VI—氧化矿石；VII—强烈分解的硼镁铁矿（硼镁石、磁铁矿）

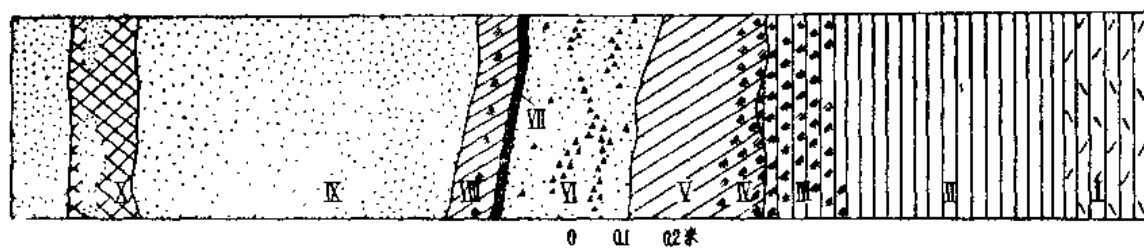


图 14 硼镁铁矿体边部接触变质带剖面

I—透闪石硼镁铁矿蛇纹岩；II—磁铁矿蛇纹石化大理岩；III—金云母蛇纹石化大理岩；IV、V—透闪石—阳起石脉（IV金云母增多）；VI—电气石化钠长变粒岩；VII—阳起石脉；VIII—金云母化透闪岩；IX—透辉石化钠长变粒岩；X—金云母化阳起石脉



| 名 称               | 岩 石 化 学 式                                                                      | 组 分 变 化                                    |                                              |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                   |                                                                                | 带 入                                        | 带 出                                          |
| 蛇纹石化大理岩           | $K-Na_1Ca_{109}Mg_{378}Fe^{2+}_{57}Fe^{3+}_{77}Al_6Si_{119}B_{36}P_{0.5}$      | Fe—3                                       | Ca—106                                       |
| 磁铁矿化金云母蛇纹石大理岩 (I) | $K_5Na_4Ca_{238}Mg_{514}Fe^{2+}_{55}Fe^{3+}_{82}Al_{16}Si_{274}B_{35}P_1$      | Fe <sup>2+</sup> —106(152)<br>P—109<br>P—1 |                                              |
| 磁铁矿化镁锂大理岩 (II)    | $K_1Na_2Ca_8Mg_{508}Fe^{2+}_{91}Fe^{3+}_{197}Al_{12}Si_{259}B_{77}P_1$         | Fe <sup>2+</sup> —48                       | —(72)                                        |
| 磁铁矿化金云母蛇纹岩 (I)    | $K_{19}Na_2Ca_{14}Mg_{489}Fe^{2+}_{11}Fe^{3+}_{37}Al_{39}Si_{319}B_{66}P_1$    | Mg—91                                      | —(45)                                        |
| (金云母化) 磁铁矿        | $K-Na_4Ca_5Mg_{469}Fe^{2+}_{163}Fe^{3+}_{125}Al_{21}Si_{80}B_{145}P_{1.5}$     | Al—15<br>Si—(239)                          | —(18)<br>—39                                 |
| 透辉石钠长变粒岩 (IX)     | $K_4Na_{18}Ca_{118}Mg_{233}Fe^{2+}_{22}Fe^{3+}_{55}Al_{116}Si_{470}B_{66}P_1$  | Na—83                                      | Mg—128<br>Ca—79                              |
| 电气石化钠长变粒岩 (X)     | $K_4Na_{101}Ca_{39}Mg_{105}Fe^{2+}_{10}Fe^{3+}_{4}Al_{116}Si_{580}B_{>100}P_1$ | Si—160<br>B—>94                            | Fe <sup>2+</sup> —12<br>Fe <sup>3+</sup> —51 |

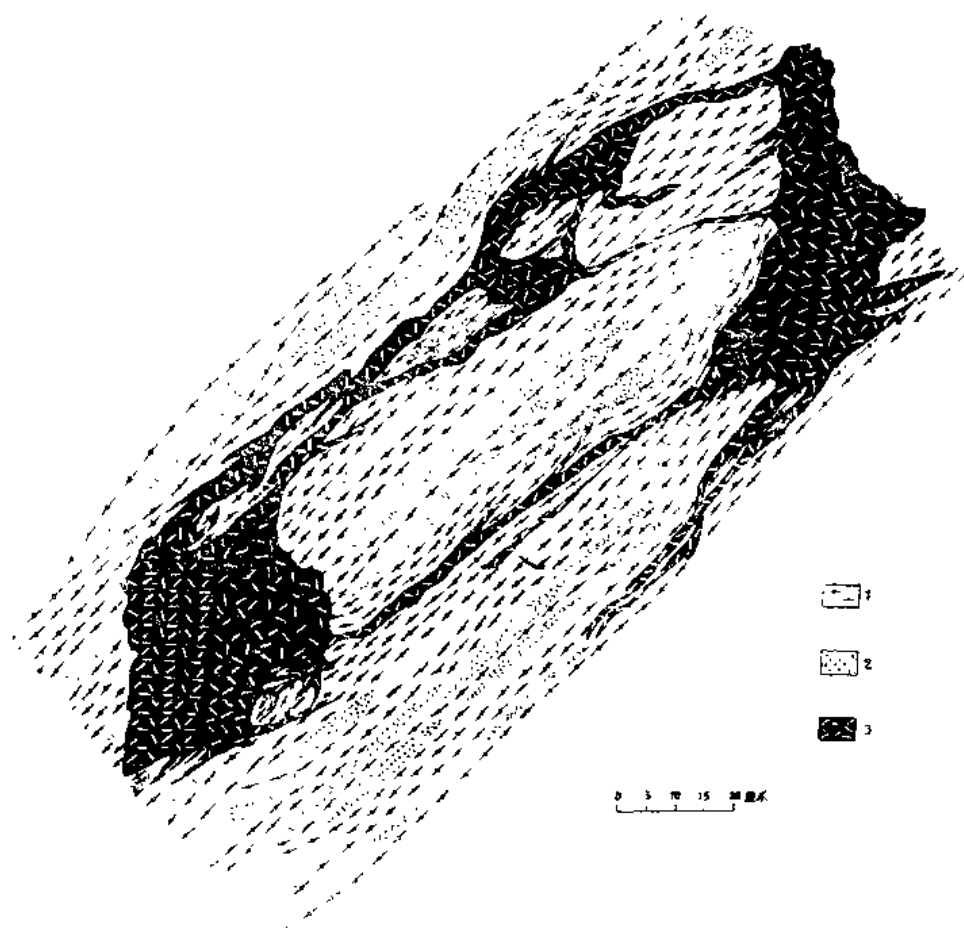


图 15 黑云母化透辉石阳起石脉

1—一条带状透闪钠长变粒岩 (部分透辉石化); 2—聚集透闪石条带; 3—黑云母化透辉石阳起石岩脉