

变质作用对华北地台矽线石、蓝晶石矿床成矿的控制作用

罗相凤 赵秀德 井喜贵 金爱文

(冶金部天津地质研究院)

华北地台含矽线石、蓝晶石的变质建造,主要由斜长角闪岩类、麻粒岩类、片麻岩类、含矿岩类和大理岩类组成。矽线石、蓝晶石矿床的变质作用已达到角闪岩相—麻粒岩相,各变质相的温压条件对矿床起着控制作用。

关键词 角闪岩相 麻粒岩相 矽线石 蓝晶石 华北地台



华北地台分布的矽线石、蓝晶石矿床主要赋存于太古界和元古界中。通过对含矽线石、蓝晶石建造的变质岩类型与变质作用的研究,确认该区含矿建造的变质作用可分为两个变质相,即角闪岩相和麻粒岩相,各变质相的温压条件对矽线石、蓝晶石矿床起着控制作用。

变质岩类型

本区含矿建造的变质岩种类繁多,分布广泛,且具代表性的岩石可概括为斜长角闪岩类、麻粒岩类、片麻岩类、含矿岩类和大理岩类。

1. 斜长角闪岩类

主要分布于河北省卫鲁蓝晶石矿区的赞皇群和太行山北段刚玉矽线石矿区的阜平群。呈透镜状产出。岩石主要由角闪石和斜长石,次为石英、黑云母、石榴石组成。根据次要矿物的含量,可分为石榴黑云斜长角闪岩、石英斜长角闪岩、黑云斜长角闪岩。原岩为拉斑玄武岩。

2. 麻粒岩类

分布于集宁—大同一带集宁群中。一般为中粗粒花岗变晶结构,块状构造。主要矿物为斜长石($An_{30} \sim 50$)、钾长石、紫苏辉石、透辉石、角闪石。根据矿物组合及含量可分为紫苏斜长麻粒岩、含角闪紫苏透辉斜长麻粒岩、含黑云石榴紫苏斜长麻粒岩。原岩为玄武岩^[1]。

3. 片麻岩类

本区片麻岩种类较多,按其矿物组合及结构构造可分为二长片麻岩类、长英质片麻岩类和含矽线石(蓝晶石)片麻岩类。

(1) 二长片麻岩类 主要为辉石二长片麻岩和黑云二长片麻岩。前者呈似层状、透镜状赋存于斜长角闪岩和长英质片麻岩中,岩石为灰绿色,粒状变晶结构,片麻状构造。主要矿物为斜长石、钾长石、辉石,后者主要分布于河北卫鲁矿区,是蓝晶石矿床的直接围岩。岩石为灰白色,粒状变晶结构,片麻状构造,主要矿物为斜长石、微斜长石、石英和黑云母。原岩为中性火山岩。

(2) 长英质片麻岩类 主要分布于太行山北段团泊口组中段,是刚玉矽线石矿体

本文1993年1月收到,6月改回,范若芬编辑。

的围岩。主要矿物组合为微斜长石、反条纹长石、斜长石、石英。原岩为酸性火山岩。

4. 含矿岩类

含矿岩类是指含矽线石（少量含刚玉）和蓝晶石的两类矿石。呈层状、似层状或透镜状产出。根据矿种类别及其结构构造分述如下：

(1) 矽线石类 以片麻岩类为主，其次为片岩类。

① 矽线石片麻岩类：岩石为灰白色，纤维粒状变晶结构，片麻状构造。主要矿物有钾长石、斜长石、石英、矽线石，矽线石呈毛发状或针柱状，含量 10% ~ 50%。钾长石（多为微斜长石）含量一般 20% ~ 40%，他形板状，表面有高岭土化，有时可见被矽线石交代。斜长石含量变化较大，有些岩石含量很低。石英呈他形粒状，与矽线石排列方向一致，二者相间组成条带。次要矿物为黑云母、白云母、石榴石，有时含有刚玉、石墨。根据矿物组合及含量，可分为二云矽线片麻岩、含石墨石榴矽线片麻岩、矽线石榴片麻岩、刚玉矽线片麻岩、刚玉钾长（白云）片麻岩。

② 矽线石片岩类：纤维粒状变晶结构，片状构造。主要矿物为石英、矽线石。石英一般含量大于 50%，矽线石含量变化较大，呈针柱状或毛发状集合体平行于片理方向产出，在矽线石晶体中可见蓝晶石残留。次要矿物有黑云母、白云母、石榴石。据此分为黑云矽线片岩、石榴黑云矽线石英片岩和矽线二云石英片岩。

(2) 蓝晶石类 以片麻岩类为主，其次为片岩类和蓝晶石英岩类。

① 蓝晶石片麻岩类：岩石为灰绿色，鳞片柱状变晶结构，片麻状构造。主要矿物为蓝晶石、斜长石、钾长石、黑云母、石英。蓝晶石呈长板状自形一半自形晶，粒度一般 1 × 2 ~ 3mm 左右。次要矿物主要为石榴石。根据矿物组合及含量变化，可分

为黑云蓝晶斜长片麻岩或含石墨蓝晶黑云二长片麻岩。

② 蓝晶石片岩类：岩石为灰白带蓝绿色调，鳞片柱状变晶结构，片状构造。组成矿物有蓝晶石、白云母（绢云母）、石英、绿泥石、黑云母，有时含十字石。根据矿物的含量变化，可分为蓝晶绿泥石英片岩、蓝晶白云母（绢云母）石英片岩、十字蓝晶黑云石英片岩。

③ 蓝晶石英岩类：岩石为白色微带蓝色，粒状、柱状变晶结构，块状构造。主要矿物为石英、蓝晶石。蓝晶石晶体粗大，镜下可见双晶，有的受力弯曲或破碎，晶体内含有金红石包裹体。石英呈他形粒状，间夹于蓝晶石晶体之间。

含矿岩类的原岩为粘土质沉积岩、砂岩、粉砂岩、凝灰质火山沉积岩。

5. 大理岩类

白色或浅灰绿色，粗粒状变晶结构，块状构造。主要矿物有白云石、方解石、透闪石、白云母、石英。可分为白云母透闪石大理岩、白云石大理岩和硅质大理岩。原岩为白云岩、泥灰岩。

代表性矿床的地质特征

地台区已知矿床（点）81 个，其中矽线石矿床 54 个，蓝晶石矿床 27 个。对代表性矿床（包括典型矿点）地质特征简要叙述如下：

1. 刚玉矽线石型矿床

矿床产于太行山北段太古界阜平群中，赋存于团泊口、宋家口两个地层组中的长英质片麻岩中，矿床产状与围岩一致，矿体多呈不同规模的透镜体。规模较大的矿体则呈层状、似层状，矿体成群产出，往往由数个或数十个矿体组成一个矿带，矿带长数百米到数千米。矿体规模一般长数米到数百米，厚几十厘米到数米，最厚达 27.69 m。矿石主要由矽线钾长片麻岩、白云母（或黑云母）矽

线钾长片麻岩、含刚玉矽线钾长（或白云母）片麻岩组成。平均含矽线石 25% ~ 40%，部分矿体含刚玉 1% ~ 3%，最高 10%，含矿岩石的原岩系形成于火山喷发活动间歇期中的富铝质沉积岩。

2. 钾长片麻岩型矽线石矿床

该类矿床主要产在内蒙古自治区察右前旗、凉城、丰镇以及山西省阳高、天镇等地区的太古界集宁群中。主要含矿层为集宁群黄土窑组和沙渠村组，含矿层位稳定。黄其窑地区含矽线钾长片麻岩与其他岩层构成互层带。凉城桃花沟含矽线石岩层厚达 1000 余米，一般矽线石含量仅有百分之几，含量大于 10% 的地段连续厚度 30m 左右。察右前旗与丰镇之间含矽线石岩层厚达 2000 多米，多为条纹状矽线黑云钾长片麻岩，可见延伸长度达 10 余公里。矽线石含量多在 10% 左右。在天皮山、红沙坝东沟局部地段矽线石含量达 15% ~ 20%，含矿岩石主要为含矽线石榴钾长片麻岩，有时含石墨。

3. 片岩型矽线石蓝晶石矿点

分布于辽宁省清源县红透山—大荒沟一带，含矿地层为太古界鞍山群通什村组。其中红透山—树基沟为矽线石矿段，长 9km，矽线石矿点有树基沟、老大难、红透山、六家子等。矽线石主要产于矽线黑云石英片岩或黑云矽线斜长片麻岩中，矽线石含量大于 5% 以上的岩层一般长 100 ~ 300m。张胡子沟—大荒沟为蓝晶石矿段，长 9.5km。蓝晶石矿点有大荒沟、稗子沟、张胡子沟等，蓝晶石主要产在含十字石榴黑云（有时含斜长石）片岩带中，含蓝晶石在 5% 以上的岩层长 500 ~ 700m。含矽线石蓝晶石地层层序在区域上是一致的。底部是厚层的斜长角闪岩，其上为黑云（或角闪石）斜长片麻岩，再往上为黑云变粒岩。矽线

石、蓝晶石产于黑云斜长片麻岩段向变粒岩段过渡带内。根据原岩建造特征，两个矿段原岩形成的构造环境是相同的，即形成于同一个东西向的裂谷带中（大荒沟—张胡子沟—树基沟—红透山），蓝晶石与矽线石含量为反消长关系，且树基沟、红透山普遍见到蓝晶石转化为矽线石，蓝晶石残留量约为矽线石含量的 1/10，个别部位蓝晶石最高残留量达 50%^①。

该类型的矿点还有山西省五台地区高里，蓝晶石赋存于五台群石嘴组。矿体呈透镜状，走向长 30 ~ 240m，平均厚 1.06 ~ 3.43m，矿石为蓝晶石片岩和蓝晶绿泥片岩。含蓝晶石 6.24% ~ 15.72%，最高含量 28.01%。

4. 片麻岩型蓝晶石矿床

矿床位于河北省邢台市西北约 30km 处的卫鲁。含矿地层为太古界赞皇群放甲铺组，蓝晶石矿体赋存于黑云斜长片麻岩及黑云变粒岩中。蓝晶石工业矿体围岩主要是含蓝晶石榴黑云斜长片麻岩。矿体与围岩的划分完全依据蓝晶石含量确定，两者呈渐变过渡关系。共圈出 10 个矿体，矿体平均厚 3.81 ~ 18.63m，最厚达 40 余米，矿体长 50 ~ 700m，一般 100 ~ 250m。蓝晶石平均含量 12.22% ~ 14.25%。

5. 石英岩型蓝晶石矿床

此类矿床以江苏省沭阳县韩山蓝晶石矿床较为典型，矿床产于元古界海州群云台组，蓝晶石主要产在白云母石英片岩向石英岩过渡的偏于石英岩一侧。主要矿体由蓝晶石石英岩组成。矿体多呈透镜状，少数为似层状，长 100 ~ 900m，厚 2 ~ 6m，最大厚度 20.42m，延深 62 ~ 572m，矿石中石英 70% ~ 80%，蓝晶石 15% ~ 20%，含少量金红石、黄玉。

① 杜春辉，辽宁清源前震旦纪老变质岩系中蓝晶石矽线石成因初步探讨，1980 年。

变质作用对矿床的控制

本区是我国最古老的变质岩区, 区域变质作用基本上或完全改变了原岩的结构构造和矿物组合, 形成了截然不同的结构构造和矿物群, 根据岩石的矿物组合、矿物成分和特征变质矿物等方面的资料, 对上述典型矿床(点)进行了变质作用的研究, 将本区含矿建造划分为麻粒岩相和角闪岩相。

1. 各变质相的矿物共生组合

(1) 角闪岩相 属于角闪岩相区的含矿建造, 分布广泛, 岩石组合较复杂, 其中

分布于河北省阜平—平山、卫鲁地区和辽宁省清源红透山—大荒沟一带的主要岩石组合为斜长角闪岩、二长片麻岩、长英质片麻岩及矽线石(蓝晶石)片麻岩。有时含有大理岩。分布于吕梁地区的岩石组合为矽线石片(麻)岩、大理岩、斜长角闪岩。分布于山西省五台北缘繁峙—代县一带滹沱河以南的岩石组合为绿泥蓝晶石英片岩、黑云变粒岩和石榴蓝晶白云石英片岩。该变质相中, 特征变质矿物矽线石、蓝晶石、十字石广泛出现。将代表性岩石的矿物共生组合列入下表。

各变质相主要变质岩及矿物共生组合表

矿种	矿区	变质相	岩石名称	矿物共生组合
蓝晶石	高里	角闪岩相	矽线石片麻岩	微斜长石 + 矽线石 + 斜长石 ± 刚玉
	韩山		矽线石片岩	矽线石 + 石英 + 铁铝榴石
	卫鲁	角闪岩相	黑云蓝晶石片麻岩	蓝晶石 + 钾长石 + 斜长石 + 铁铝榴石 + 黑云母
	大荒沟		石英蓝晶石(片)岩	蓝晶石 + 石英 ± 白云母 ± 十字石
矽线石	红透山	角闪岩相	二长片麻岩	黑云母(辉石) + 钾长石 + 斜长石
	太行山北段		长英质片麻岩	钾长石 + 斜长石 + 石英
	北段		斜长角闪岩	更长石 + 角闪石 + 铁铝榴石
石	集宁地区	麻粒岩相	含榴紫苏斜长麻粒岩	紫苏辉石 + 斜长石
			含榴矽线石片麻岩	铁铝榴石 + 矽线石 + 钾长石 + 斜长石 + 石英

(2) 麻粒岩相 属于麻粒岩相区的含矿建造, 主要分布于内蒙集宁—山西省大同一带, 岩石组合较简单, 主要是紫苏斜长麻粒岩和矽线石片麻岩。特征变质矿物紫苏辉石、矽线石、条纹长石大量出现, 代表性岩石的矿物共生组合见上表。

2. 单矿物与变质程度的关系

(1) 角闪石 斜长角闪岩中角闪石的化学成分 K_2O 、 Na_2O 、 TiO_2 随变质程度的增高而增加^[3]。用本区 15 个角闪石中 K_2O 、 Na_2O 、 TiO_2 的含量作图, 其结果红透山、大荒沟、卫鲁矿区都落入角闪岩相, 太行山北段落入高角闪岩相和麻粒岩相。

角闪石中 Al^{IV} 和 Al^{VI} 的含量变化也是变

质程度的一个主要标志^[2], 一般认为 Al^{IV} 在角闪石中含量越高, 其形成时的温度也越高。 Al^{VI} 含量越高, 其形成时的压力越大。本区角闪岩相 11 个样品 Al^{IV} 含量 1.24 ~ 1.62, 平均 1.42, 麻粒岩相 3 个样品 1.65 ~ 1.89, 平均 1.77, 说明麻粒岩相的变质温度高于角闪岩相。一般来讲, 角闪岩相和麻粒岩相压力的变化不太明显。但对形成矽线石还是蓝晶石来讲, 压力的变化则是最为灵敏的条件, 本区红透山和太行山北段矽线石矿区中 Al^{VI} 0.32 ~ 0.86, 平均 0.53。大荒沟和卫鲁蓝晶石矿区中 Al^{VI} 0.88 ~ 1.04, 平均 0.96。由此可见蓝晶石形成时的压力高于矽线石, 而形成温度相对较低。

(2) 黑云母 黑云母中的 TiO_2 含量随变质温度增高而增加^[2], 本区麻粒岩相以集宁地区为代表, TiO_2 4.36%; 角闪岩相的矽线石矿区以红透山为代表, TiO_2 1.26% ~ 4.10%, 平均 3.13%; 蓝晶石矿区以大荒沟和卫鲁为代表, TiO_2 1.49% ~ 3.56%, 平均 2.68%; 高里蓝晶石矿区属于低角闪岩相, TiO_2 0.85% ~ 1.02%, 平均 0.94%。由此进一步说明矽线石形成温度高于蓝晶石。

利用黑云母的 TiO_2 对 $[Fe/(Fe+Mg)] \times 100$ 图解确定含黑云母变质岩的变质相, 结果集宁地区的麻粒岩相与红透山、卫鲁、大荒沟矿区的角闪岩相明显分开。

(3) 石榴石 根据本区 20 个石榴石的端员分子作图 (索波列夫, 1970), 结果太行山北段阜平群、集宁地区集宁群落入麻粒岩相和角闪岩相的边缘, 红透山落入角闪岩相, 大荒沟和卫鲁落入角闪岩相和绿帘角闪岩相的边缘, 高里为绿帘角闪岩相。虽然各投影点普遍偏低, 但总趋势是很有规律的, 变质程度由高 → 低为:

太行山北段	→	红透山	→	大荒沟	→	高里
集宁地区				卫鲁		
矽线石		矽线石		蓝晶石		蓝晶石

3. 矿物对温度计

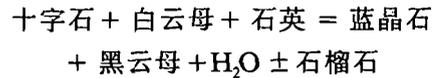
根据共生矿物对之间主要元素的分配规律作为地质温度计, 对本区 8 个石榴石—黑云母矿物对和 4 个石榴石—角闪石矿物对的研究结果为: 集宁地区 690℃, 太行山北段 640 ~ 720℃, 红透山 560 ~ 670℃, 大荒沟 550 ~ 560℃, 卫鲁 630 ~ 640℃。

4. 变质作用对矽线石蓝晶石矿床的控制

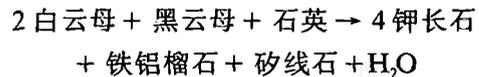
通过对典型矿床变质作用的讨论, 已清楚地表明, 矽线石和蓝晶石形成的温压条件是不同的, 它们各自都有一定的稳定区间。

蓝晶石矿床产在角闪岩相较低温度和较高的压力下, 代表性的矿床有卫鲁、大荒沟、高里, 当变质温度在 560 ~ 630℃, 中压条件下 $(3 \sim 8) \times 10^8$ MPa, 形成了蓝晶

石矿床, 反应式为^[3]:



矽线石矿床产在麻粒岩相和角闪岩相较高温度条件下, 产于麻粒岩相的矽线石矿床以集宁地区为代表, 上述矿物对确定的温度为 690℃, 包裹体测温获得的结果为 730℃, 在 690 ~ 730℃ 这一温度范围内, 富铝质原岩形成了含榴矽线钾长片麻岩, 富铝矿物变质结晶或重结晶形成粗大的矽线石晶体。根据其共生矿物组合: 钾长石 + 矽线石 + 铁铝榴石, 形成矽线石的反应式为^[3]:



产在角闪岩相的矽线石矿床, 以太行山北段和红透山为代表, 它们形成的温度高于该相中的蓝晶石矿床。在这些矿床中, 均见到矽线石晶体中有蓝晶石残留, 说明该区变质作用达到形成蓝晶石的温压条件时, 富铝原岩先形成了蓝晶石, 随着温度继续升高, 压力相应降低, 当达到相当于矽线石稳定的 P—T 区间时, 即 $T = 560 \sim 720^\circ\text{C}$, 中低压范围内, 蓝晶石则向矽线石转化, 由于反应不彻底, 蓝晶石仍残留于矽线石中。蓝晶石的残留量与变质温度有关, 太行山北段比红透山变质温度高, 蓝晶石残留偶而可见, 红透山变质温度相对较低, 蓝晶石残留体普遍可见, 残留量约为矽线石的 10%。这一现象说明蓝晶石与矽线石可能是同期变质作用不同阶段的产物。根据原岩建造特征, 由大荒沟—红透山, 原岩形成的构造环境是相同的, 前者变质压力高, 形成了蓝晶石, 后者变质温度高形成了矽线石。从矽线石中的蓝晶石残留可以推断, 由大荒沟到红透山是进变质反应。

综上所述, 矽线石、蓝晶石矿床的形成受变质作用温压条件的控制。矽线石矿床形成于麻粒岩相或角闪岩相温度较高的条件

(下转第 38 页)

与前述相似, 这里不多叙述。此外, 镜下用弗氏台同样可测定 $S-C$ 面理, 投影时注意将各数据按定向片的产状进行旋转即可。

结 语

剪切带小型变形构造的测定是研究造山带变形机制的基本手段, 如 Burg, J.P. (1981)^[9] 通过对西班牙 Coimbra-Cordoba 剪切带 $S-C$ 面理的测定, 计算出其剪切平移断距达 72km。现代新兴的构造地质平衡剖面理论^[6,11] 也是在各种构造形迹的应变参数定量基础上建立的。在成矿学研究方面, 研究控矿构造有助于扩展找矿思路, 因此, 构

造分析的定量化是基础地质理论和应用地质理论的发展趋势。

参考文献

- (1) 兰姆赛, J.G. 等 (刘瑞珣等译), 《现代构造地质学方法》, 地质出版社, 1991 年。
- (2) 王维襄, 《构造地质论丛》(1), 地质出版社, 1981 年。
- (3) Deng, Q. etc., Internal structure of fault zones, 1986, P. 203 ~ 223.
- (4) Shimamoto, T. J. Struct. Geol. Vol. 11, No. 1/2, 1989. P. 51 ~ 64.
- (5) Burg, J.P. etc., Tectonophysics, 1981, P. 161 ~ 177.
- (6) 伍德华, N.B. 等 (贾维民等译), 《平衡地质剖面》, 中国地质大学出版社, 1991 年。

Calculating Strain Parameters from Planar Deformation Elements in Shear Zone

Xie Guoyuan Yang Xinyue Li Zhichun

Measurements of small-scale shear deformation structures are basic way for studying kinematics mechanism of large-scale shear zone and also one method on rebuildment of orogenic belt balance section. Through studying small-scale brittle-ductile shear zone and ductile $S-C$ cleavage foliations, the authors introduce following methods: the first, use the attitude elements of shear zone to calculate the shear direction and stress state by means of stereonet. the second, according to simple two-dimensional finite strain principle, calculate the strain parameters and the displacement in the shear zone.

(上接第 33 页)

下, 蓝晶石矿床形成于角闪岩相压力较高的条件下。角闪岩相既有矽线石也有蓝晶石产出, 随着变质作用递进, 温度升高, 蓝晶石逐渐转化为矽线石。当变质程度达到麻粒岩相时, 蓝晶石完全转化为矽线石。因此麻粒岩相仅有矽线石矿床产出。

参考文献

- [1] 马 秀, 内蒙古地质, 1981, 第 2 期。
- [2] 从柏林等, 《矿物温度计和矿物压力计》, 地质出版社, 1983 年。
- [3] 贺同兴等, 《变质岩岩石学》, 地质出版社, 1987 年。

Metamorphism Controls on Mineralization of Silimanite and Disthene in North China Platform

Luo Xiangfeng Zhao Xiude

Jing Xigui Jin Aiwen

The metamorphic formation in North China platform, which contains silimanite and disthene, consists of amphibolite, granulite, gnesis, ore-bearing rocks and marble. Primary rocks are basic-acid igneous rocks, clayey sedimentary rock and carbonatite. The metamorphic grade of ore-bearing formation is amphibolite facies-granulite facies.