第 16 卷 第 1 期
2002 年 3 月

现 代 地 质
GEOSCIENCE

Vol. 16 No. 1
Mar. 2002

内蒙古固阳县乌拉山（岩）群混合岩作用的机制及演化

谭应佳，张维杰，宋毅盛

(中国地质大学 地球科学与资源学院，北京 100083)

摘要：内蒙古固阳一带广泛出露了一套太古宙乌拉山（岩）群的高角闪岩相—麻粒岩相的岩石。通过区域地质调查及重点地段的研究，确定其在区域变质作用中总体处于高角闪岩相，但也存在局部高温高压（麻粒岩相）的地段。根据脉体特征及相互关系，划分出第一期以富钠（脉体为英云闪长岩、奥长花岗岩）为特征和第二期以富钾（脉体为钾长花岗岩）为主的两期混合岩化作用。确定第一期为前构造期的混合岩化作用，是区域变质作用的延续与发展；第二期为同构造期的混合岩化作用，随着乌拉山旋回构造运动的加强而加强、构造运动的结束而结束。

关键词：混合岩化作用；机制；固阳县；内蒙古

中图分类号：P534.2 **文献标识码**：A

文章编号：1000 - 8527(2002)01 - 0031 - 06

0 引 言

内蒙古固阳县一带广泛出露一套太古宙高角闪岩相—麻粒岩相的区域变质杂岩[1,2]，是内蒙地轴中下地壳的组成部分。中国地质大学（北京）区域地质调查所固阳区调队承担了这一地区 1∶5 万的 3 幅联测任务。研究工作中划分出了变质表壳岩和变质深成侵入体并且厘定了区域构造格架，同时也确定了这一地区非常强烈的混合岩化作用，这是本区在前人工作中非常薄弱的环节，甚至是被忽视的部分。本文着重从宏观方面对太古宙混合岩化作用与地质构造的相互关系进行研讨。

1 太古宙乌拉山（岩）群地质构造基本格架

本次研究对固阳一带太古宙变质表壳岩采用了以岩石组合（原岩组合）为基础，以构造为依据，以地质填图为验证的方法[3]，恢复了它的岩石组合层序，自下而上划分为：片麻岩岩组；夕线石榴片麻岩及浅粒岩岩组；大理岩岩组。根据前人的命名，我们将其统称为乌拉山（岩）群（Ar*wl*）。在浅粒岩、片麻岩及麻粒岩中取样，采用锆石 U-Pb 一致线法测得其同位素年龄值为2 406～2 564 Ma，据此将其时代定为太古宙。乌拉山（岩）群的区域构造总体表现为一近东西向稍向北凸出的弧形构造带。经过对若干重点地段的 1∶1 万地质填图，查明了乌拉山（岩）群在区域上以褶皱构造为主，发育一系列以轴面北倾为主的倒转-同斜褶皱及东西向、南北向、北东向和北西向 4 组断层和东卜界—红崖湾韧性剪切带（图 1）。

2 混合岩化作用及混合岩的基本类型

2.1 混合岩化作用

研究区内中深变质岩中的混合岩化现象非常普遍，各种混合岩相当发育。从脉体成分和其相互关系来看可以划分为两期：第一期长英质脉体为灰白色，长石以斜长石为主的英云闪长岩、奥长花岗岩，简称为“钠化”；第二期长英质脉体为肉红色，长石以钾长石为主的钾长花岗岩，简称为“钾化”。在区内许多地方都可观察到第二期肉红色长英质脉

收稿日期：2001 - 10 - 16

基金项目：国土资源部区域地质调查项目“内蒙古固阳地区三幅 1∶5 万联测”。

作者简介：谭应佳，男，教授，1935 年出生，构造地质学专业，主要从事前寒武纪地质学、区域地质学的教学和科研工作。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

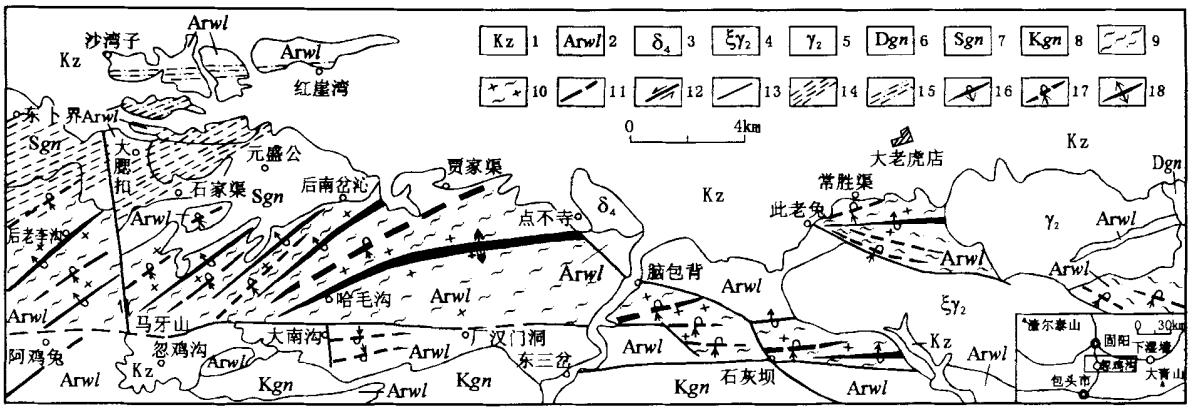


图 1 内蒙古固阳县忽鸡沟—大老虎店一带构造纲要图

Fig. 1 Tectonic sketch map of Hujigou-Dalaohudian from Guyang, Inner Mongolia

1. 新生界; 2. 太古宙乌拉山(岩)群; 3. 海西期闪长岩; 4. 吕梁期钾长花岗岩; 5. 吕梁期紫苏花岗岩, 太古宙变质深成岩; 6. 含辉角闪花岗质片麻岩; 7. 片麻状闪长岩、角闪斜长片麻岩; 8. 角闪斜长片麻岩, 第二期混合岩化作用; 9. 富钾混合岩; 10. 混合(钾长)花岗岩; 11. 实(推)测逆断层; 12. 平移断层; 13. 性质不明断层; 14. 高温麋棱岩带; 15. 中低温麋棱岩带; 16. 倒转背斜; 17. 倒转向斜; 18. 斜歪背斜

体穿切或交代第一期灰白色长英质脉体, 同样在岩石薄片镜下鉴定也可观察到微斜长石交代斜长石的现象。

2.2 混合岩的基本类型

乌拉山(岩)群中的混合岩非常发育, 常见的混合岩有下列几种: (1) 角砾状混合岩。多发育于斜长角闪岩中, 基体呈不规则的角砾状, 脉体沿基体的破裂面贯入。(2) 条带(痕)状混合岩。多发育于长英质片麻岩中, 脉体基本上沿片麻理分布。脉体与基体的边界一种是边界平整、清楚, 另一种表现为比较清楚但不很平整, 而且在脉体的一侧或两侧出现宽仅几毫米的不完全连续的暗色矿物相对集中的条带, 这说明脉体的形成前者为沿片麻理贯入, 而后者为混合交代或变质分异的不同成因。(3) 钾化浅粒岩及钾化片麻岩是浅粒岩和片麻岩最常见的混合岩, 为灰红—肉红色, 粒状变晶结构, 片麻状构造。一般情况下, 此类混合岩中, 富钾长石的脉体呈不规则团块状、脉状, 甚至呈星散状, 因而其脉体形状非常不规则, 其边界也难以确定。混合岩化强烈的部分岩石酷似细粒或中细粒钾长花岗岩, 其中保留较多的浅粒岩或片麻岩的残留体, 但在宏观上保留了浅粒岩或片麻岩的成层构造。(4) 混合(钾长)花岗岩。这是第二期强烈富钾混合岩化作用的结果。岩石为粗粒块状、片麻状。岩石中常见有片麻岩或浅粒岩, 呈不规则的残留体, 混合花岗岩中的片麻理及残留体中的片麻理与外围变质岩中的片麻理基本一致, 而且在宏观上混合花岗岩往往保留了原来的片麻岩、浅粒岩及其中所夹有的斜长角闪岩的成层构造。混合花岗岩与周围变质岩为逐渐过渡关系, 但在局部地段也可见混合(钾长)花岗岩与围岩呈侵入关系, 反映了混合花岗岩的形成与深熔作用有关。此外尚见有肠状混合岩、眼球状混合岩及阴影状混合岩及一些规模不大的片麻状云英闪长岩等, 在此不予以详述。

3 紫苏辉石带—紫苏花岗岩化的基本特征

固阳地区乌拉山(岩)群以含有紫苏辉石为标志的麻粒岩(相)变质岩, 主要在大腮扣及大南沟两个地段内出现, 在空间分布上表现为两个互不相连的地段。

3.1 大腮扣紫苏辉石带—紫苏花岗岩化基本特征

大腮扣一带广泛出露的是乌拉山(岩)群的片麻岩岩组(Ar*bh*)和浅粒岩岩组(Ar*kl*), 对这一带进行 1∶1 万地质填图, 基本上查明了这一带岩石及构造的基本特征(图 2)。大腮扣紫苏辉石带出露于大腮扣之东西两侧, 其主体位于西部。长轴为北东东—南西西向, 在大腮扣河西侧该紫苏辉石带最宽约为 2 km, 延长约 2.5 km, 总体表现为一个边界极不清楚也不规则的短轴状。在此带的靠中心部位(宽约 300 m, 长约 500 m)出露的是片麻状紫苏花岗岩, 灰褐色, 粗粒, 花岗变晶结构, 片麻状构造, 主要矿物成分为斜长石、钾长石(少量)、石英、紫苏辉石、角闪石、黑云母等, 其中紫苏辉

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

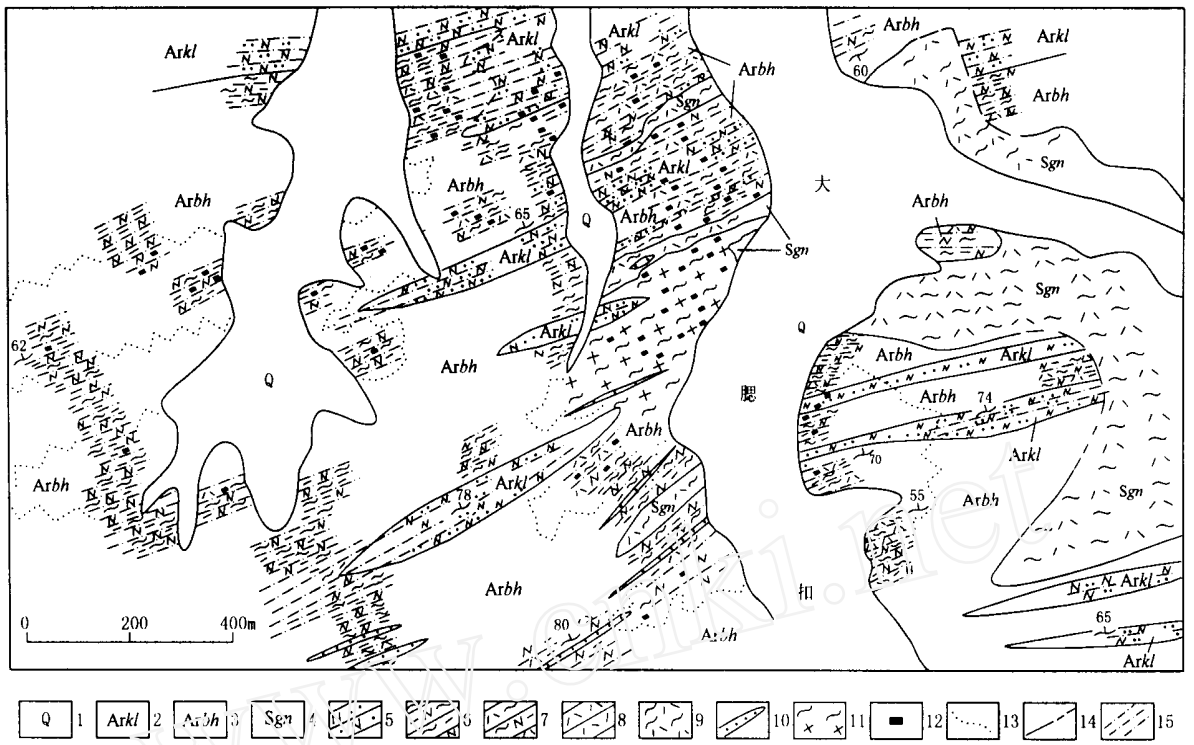


图 2　内蒙古固阳县大腮扣一带变质—地质图

Fig. 2　Metamorphic and geological map of Dasaikou from Guyang, Inner Mongolia

1. 第四系；乌拉山（岩）群；2. 浅粒岩岩组；3. 片麻岩岩组；4. 太古宙片麻状闪长岩；5. 浅粒岩；6. 黑云斜长片麻岩；7. 黑云角闪斜长片麻岩；8. 斜长角闪岩；9. 片麻状闪长岩；10. 石英岩；11. 片麻状紫苏花岗岩；12. 紫苏辉石；13. 不同变质相间的过渡分界；14. 断层；15. 糜棱岩及糜棱岩化

石含量一般为 7 %～15 %。其中还可以观察到黑云角闪斜长片麻岩的残留体，其与紫苏花岗岩之间为逐渐过渡关系，但二者的片麻理产状是一致的。由中心部位向北约 0.7 km 处，片麻岩岩组为含角闪紫苏斜长麻粒岩，紫苏辉石含量为 10 %，再向北为浅粒岩岩组，为糜棱岩化含紫苏二长麻粒岩（含紫苏浅粒岩），紫苏辉石含量约 4 %。由中心部位向南约 1 km，在浅粒岩岩组中，为含紫苏辉石钾长浅粒岩，紫苏辉石在镜下仅见到 1 粒，粒径为 0.15 mm。由中心部位向东、向西也存在岩石中紫苏辉石的含量逐渐减少的情况。

从上述研究分析可以看出：(1) 大腮扣一带的麻粒岩（以含紫苏辉石为主要标志），其与周边的高角闪岩相的片麻岩为逐渐过渡关系；(2) 紫苏辉石的出现基本上不受岩性控制，但相对而言，紫苏辉石的含量在片麻岩中要比在浅粒岩中稍高些；(3) 中心部位出现的片麻状紫苏花岗岩是位于下部层位的片麻岩岩组中，而处于靠上部的浅粒岩的岩石结构、构造就没有受到太大影响。由此可见，岩石所处的相对深度是对麻粒岩相—高角闪岩相空间展布的重要控制条件之一。

3.2　大南沟紫苏辉石带

固阳地区南部大南沟一带也存在一个紫苏辉石带，出露于大南沟附近及其东南部的沟、岭地区。实际上它由两部分组成：一部分在大南沟村附近分布的由浅粒岩岩组构成背斜和其间由大理岩岩组构成的向斜，构造线为近东西向。紫苏辉石主要产在浅粒岩中，为含紫苏辉石浅粒岩，紫苏辉石含量在 3 %～5 %左右。此地段南北宽约 400 m，向西延伸约 200 m，向东被大南沟近南北向断层所截而与大理岩相顶。另一部分在大南沟村东南约 700 m 的沟、岭地段，南北宽约 600 m，东西长约 900 m，是由浅粒岩岩组（背斜）和大理岩岩组（向斜）组成的近东西向褶皱。在含紫苏辉石浅粒岩中，紫苏辉石的含量在 3 %～5 %左右，尤其是在此地段的中部，出现有二辉斜长片麻岩，紫苏辉石含量可达 15 %，并发现有尖晶石刚玉堇青石片麻岩，经中国地质大学（北京）赖兴运副教授发现并鉴定，主要矿物组合为石榴石 15 %、黑云母 20 %、刚玉 15 %、绿色镁铁尖晶石 10 %、堇青石 5 %、条纹长

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

石 28 %。尖晶石刚玉堇青石片麻岩分布的范围都不大，说明这一地段（中心部位）在区域变质时具有极高的温度（800 ℃以上）。上述大南沟北、南两个地段相距约 700 m，经实测剖面及薄片检查，变质岩中没有见到紫苏辉石，但出现有透辉石、堇青石、夕线石，说明均属麻粒岩相范畴，它们与周围高角闪岩相的岩石之间属逐渐过渡关系。

从上述大腮扣和大南沟两个紫苏辉石带的基本特征，我们认为本区在总体上属高角闪岩相的变质条件下，存在着局部的高温、高压（麻粒岩相）地段（热点），甚至出现局部的熔融状态，形成片麻状紫苏花岗岩。局部高温、高压热点的出现来源于深部，岩石所处的相对深度是重要的控制因素之一。

4 富钠混合岩化 ——第一期混合岩化作用

乌拉山（岩）群中第一期富钠混合岩化作用比较发育（其脉体为英云闪长岩、奥长花岗岩），尤其是在片麻岩岩组中，几乎到处可见。我们重点观察了大南沟村的西南沟，这一带广泛出露的是片麻岩岩组。在长英质片麻岩中形成了以条带状、条痕状混合岩为主的各种混合岩，斜长角闪岩中多为角砾状混合岩，尚见有少量的眼球状混合岩。此外还可观察到在大约 5～10 m 距离内，沿片麻理走向出现由条痕状混合岩→条带状混合岩→阴影状混合岩→片麻状英云闪长岩的变化，其中片麻状英云闪长岩规模较小。一般情况下，脉体与基体的边界线较平整清楚，有些脉体边界较清楚但不平整，往往由于暗色矿物的相对集中而显示出来。脉体中的长英质成分与基体中的长英质成分基本上是一致的，可以认为第一期富钠混合岩化作用，脉体是以混合交代方式为主、变质分异方式为辅而出现和分布在基体中，其脉体的物质来源为基体在区域变质作用、重熔作用中长英质相对集中和以混合交代作用为主要的运移方式。同时在早期顺层偃卧小褶皱中，脉体与基体协调一致地发生变形。这说明第一期富钠混合岩化作用是在区域变质作用的晚期和早期顺层偃卧小褶皱形成之前发生的。

5 富钾混合岩化 ——第二期混合岩化作用

第二期混合岩化作用，在乌拉山(岩)群中非常发育（其脉体为钾长花岗岩），往往表现出对基体岩石具有很强的改造作用，并穿切或交代第一期的灰白色长英质脉体。虽然第二期富钾混合岩化作用较普遍，但发生更强烈的富钾混合岩化地段主要是在阿鸡兔、厂汗门洞及石灰坝以北地区。尤其是其中复式背斜和次级背斜的核部，是第二期富钾混合岩化作用更加强烈的地段，这些地段往往出现有混合（钾长）花岗岩（图 1）。

我们在厂汗门洞西北山进行了 1∶1 万地质填图。这一带主要出露的是由浅粒岩岩组构成的背斜和大理岩岩组构成的向斜（图 3）。第二期富钾混合岩化作用主要发育在含石榴石黑云斜长片麻岩、浅粒岩（属浅粒岩岩组）中，由于富钾质的强烈混合交代，岩石几乎都呈肉红色，含石榴石钾化片麻岩、钾化浅粒岩与混合（钾长）花岗岩及其中的细粒浅粒岩残留体，无论在横向上和部分纵向上都表现为相互逐渐过渡的关系，很难确定它们之间的界线，这种变化往往在数米或十几米范围内即可观察到。但在宏观上原来浅粒岩的中厚层的成层构造都保存得非常清楚。在二分子一带进行 1∶1 万地质填图，亦得到同样的结果。

哈毛沟一带是处于复背斜向西倾伏部位，在哈毛沟南村附近出露有含夕线石浅粒岩夹薄层石英岩

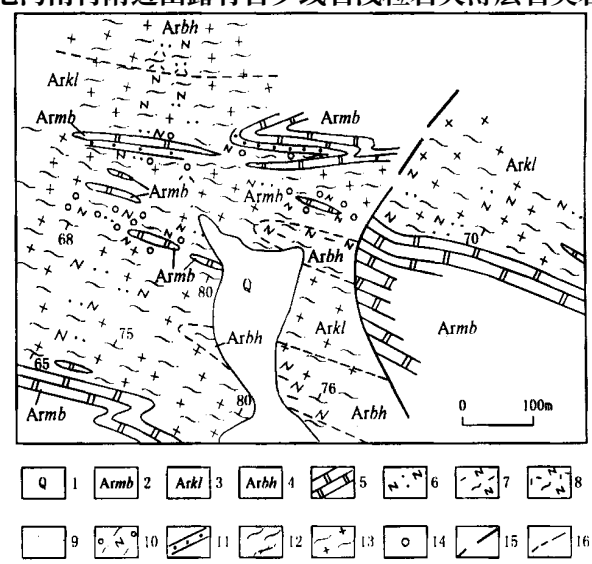


图 3 内蒙古固阳县厂汉门洞西北山变质—地质图

Fig. 3 Metamorphic and geological map of Xibeishan in Changhanmendong of Guyang, Inner Mongolia

1. 第四系；乌拉山（岩）群；2. 大理岩岩组；3. 浅粒岩岩组；4. 片麻岩岩组；5. 白云质大理岩；6. 浅粒岩；7. 黑云斜长片麻岩；8. 角闪斜长片麻岩；9. 斜长角闪岩；10. 含石榴石黑云斜长片麻岩；11. 石英岩；12. 钾化混合岩；13. 混合（钾长）花岗岩；14. 石榴石；15. 实（推）测断层；16. 实（推）测地质界线

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(属浅粒岩岩组)，沿片麻理走向，在数米内，含夕线石浅粒岩夹薄层石英岩由含少量钾长石到出现钾长石变斑晶和钾长石集合体，直至钾长石逐渐增多以至岩石成为混合（钾长）花岗岩。在哈毛沟北村附近出露有角闪黑云斜长片麻岩、黑云母变粒岩夹多层薄—中厚层斜长角闪岩（属片麻岩岩组），露头显示为片麻岩与斜长角闪岩呈互层状清楚的、整齐的成层构造。由于受到强烈富钾混合岩化的作用，片麻岩绝大部分已成为含黑云母钾长片麻岩和含角闪石、黑云母的混合（钾长）花岗岩，并可见到较多的大小不等的片麻岩残留体。但它们的片麻理产状与周围都是一致的，而黑云母或角闪石在其中呈一些大小约 1 cm 左右不规则的扁平集合体，这是由于在混合岩化作用过程中，基体岩石在流体(H_2O)的参与下发生了重熔作用，在重熔过程中暗色矿物（或基性成分）相对集中而成。

与上述现象相类似，在哈毛沟以东的脑包背、常胜渠、头道井等地及哈毛沟以西的后老李沟一带都可以观察到第二期富钾混合岩化作用，尤其是在背斜核部，往往会出现有混合（钾长）花岗岩，但即使在这些混合岩化作用强烈的地段，原来片麻岩或浅粒岩的成“层”构造都保存得很清楚，而且都可以观察到大小不等的片麻岩或浅粒岩的残留体，局部地段可看到混合（钾长）花岗岩与其外围岩石呈侵入接触。这说明在第二期混合岩化作用强烈的地段（中心），出现了递进重熔和熔浆的局部侵入活动。

在 1∶5 万地质填图工作中，我们对第二期富钾混合岩化作用采用脉体在基体中小于 50 %者不迭加符号，脉体在基体中大于 50 %而小于 85 %者以迭加“～”符号表示，脉体在基体中大于 85 %(即混合钾长花岗岩）以迭加“+～”符号表示(图 1)。

综上所述，第二期富钾混合岩化作用与乌拉山(岩)群地质构造的相互关系，可归纳如下：

(1) 第二期富钾混合岩化作用影响范围大，对基体岩石改造强烈，其中混合（钾长）花岗岩也较发育，在 1972 年 1∶20 万固阳幅区域地质调查中将其认为是燕山期花岗岩。

(2) 第二期富钾混合岩化作用，除在浅粒岩和长英质片麻岩中比较发育外，构造对它也起着非常重要的控制作用，混合钾长花岗岩往往出现在复式背斜或次级背斜的核部。

(3) 第二期富钾混合岩化作用，以大面积的渗入混合交代方式为主，部分为脉状贯入，在混合岩化作用强烈的地段，局部发生递进重熔而出现熔浆侵入。

(4) 第二期混合岩化作用以富钾为其重要特征，与基体岩石在化学成分上有较大差异，可以认为其物质主要来源于深部富钾的岩浆-热液活动。

(5) 第二期富钾混合岩，可以观察到少数脉体也发生一些塑流小褶皱，但主要的富钾混合岩发育在主期褶皱形成的复式褶皱构造中。我们认为第二期富钾混合岩作用最早发生在乌拉山旋回早期褶皱形成的晚期，并随着乌拉山旋回主期褶皱的加强而趋于强烈，到主期褶皱的晚期达到最强，标志着乌拉山旋回即将结束。

6　结　论

通过对本区太古宙乌拉山(岩)群混合岩化作用的研究，对混合岩化作用与地质构造的相互机制关系提出以下几点认识：

(1) 区域变质作用中存在有相邻两个不同变质相的过渡相。在一次区域变质作用中存在着以某一变质相为主和另一相邻变质相为次的温度、压力条件不均一的地段，因此在一次区域变质作用中可以形成两种相邻的不同变质相的岩石，但二者之间为逐渐过渡关系。

(2) 第一期富钠混合岩化作用发生在原岩经区域变质作用改造成区域变质岩时（早期构造变形之前）紧接着发生的，是区域变质作用的延续与发展，基本上属于前构造期的混合岩化作用。岩性及温度、压力条件是它的重要控制因素。

(3) 第二期富钾混合岩化作用初始出现在构造运动（主期褶皱）发生时，随着构造运动的加强第二期富钾混合岩化作用趋于强烈，并随着构造运动(主期褶皱）的结束而结束，基本上属于同构造期的混合岩化作用。在外来富钾岩浆-热液活动的基础上，岩性及构造（尤其是背斜构造）是重要的控制因素。

(4) 在一个构造旋回的发展过程中，混合岩化作用具有多期性，方式上具有多样性。一般出现由高温至中低温，由变质分异、混合-交代、递进重熔、脉体贯入（花岗岩侵入）到最后的岩脉穿插。

(5) 岩石所处的物理、化学环境（温度、压力、水流体含量、脉体物质来源等）是决定混合岩化作用方式及强度的主要因素，而岩性、构造是控制混合岩的类型及其在空间展布上的重要条件。就

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

区域范围而言，由于岩石所处的物理、化学环境和地质构造上都存在着不均一性，因此混合岩化作用在时间上及空间上也都具有不均一性。

(6) 综上所述，我们认为在太古宙地壳发展演化过程中，混合岩化作用是重要的地质作用营力之一，具有变质与岩浆作用的双重特征。

在野外工作过程中得到了王剑民、邵积东、吴之理高级工程师的帮助，本文又经游振东教授审阅并提出许多宝贵意见，在此一并致谢。

参考文献:

[1] 沈其韩，徐惠芬，张宗清，等. 中国早前寒武麻粒岩[M]. 北京：地质出版社，1992. 125—133.

[2] 李树勋，徐学纯，刘喜山，等. 内蒙古乌拉山早前寒武纪地质[M]. 北京：地质出版社，1994. 57—62，100—104.

[3] 谭应佳，王方正，赵温霞. 太行山阜平隆起南部早前寒武纪地质[M]. 武汉：中国地质大学出版社，1993. 60—65，81—86.

MECHANISM AND EVOLUTION OF THE MIGMATIZATION IN THE WULASHAN ROCK GROUP, GUYANG, INNER MONGOLIA

TAN Ying-jia, ZHANG Wei-jie, SONG Yi-sheng

(China University of Geosciences, Beijing 100083, *China)*

Abstract: A series of Archean high grade amphibolites and granulites are extensively distributed in Guyang area, Inner Mongolia. On the basis of the intensive regional mapping and studies focusing on some key geological exposures, it is found that most of the rocks in this area underwent metamorphism of amphibolite facies, but the others are occupied by high-pressure and high-temperature metamorphism (i.e. granulite facies). Two phases of migmatization can be determined based on the features of veins and the relations among them. That is, the first phase is characterized by Na-enriched vein rocks such as tonalite and trondhjemite and the second by K-enriched vein rocks such as K-feldspar granite. Moreover it is concluded that the first phase belongs to pretectonic migmatization, which is the continuation and development of the regional metamorphism, and the second phase belongs to the syntectonic migmatization, which was strengthened with the strengthening of the Wulashan tectonic cycle and diminished with the ending of the Wulashan tectonic cycle.

Key words: migmatization; mechanism; Guyang; Inner Mongolia

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net