

大青山造山带中 基底再造杂岩的特征及其指示意义

刘喜山

(长春地质学院地质系 长春 130061)

摘要 大青山造山带中基底再造杂岩主要由高温韧性剪切变形变质作用的糜棱片麻岩类、部分重熔作用形成的混合岩化糜棱片麻岩类及太古宙地壳残块三部分组成。进一步研究表明该基底再造杂岩不仅可以作为一个特定的构造岩性单元,属于造山带根部地壳的一部分,而且其中前两部分既不属于太古宙变质上壳岩和侵入岩系,也不属于早元古代变质上壳岩,而是早元古代造山带演化过程中,变形变质作用和部分重熔作用对太古宙基底综合改造作用的产物。基底再造杂岩的研究为进一步探讨前寒武纪克拉通内硅铝壳造山作用的性质、规模和成因机制提供了极为重要的地质证据和信息。

主题词 造山带 基底 再造作用 再造岩系

1 概述

在论述内蒙古中部及大同-宣化地区早前寒武纪高级变质岩系的组成特点时,许多研究者尽管在具体划分上存在有某些分歧,但他们中大多数人基本上认为高级变质地壳由下部的基性麻粒杂岩和上部的孔兹岩系二部分组成,两者均属于太古宙(董启贤等 1984; 沈其韩 1987; 李树勋等^②; 卢良兆等 1992; 贺高品等 1992)。其分布特点是孔兹岩系分布在中部和西部地区,而基性麻粒岩杂岩主要分布在东部地区。李树勋等(1986)首次在大青山北侧固阳-武州一带发现了有石榴辉石麻粒岩-紫苏花岗岩组成的太古宙高级变质区。其物质组成、构造样式、侵入岩组合及变质作用演化历史等方面与辽西-冀东-密云地区的石榴辉石麻粒岩-紫苏花岗岩区极为相似。这一研究结果清楚地表明孔兹岩系产出在两个麻粒岩相地块之间。金巍等^③提出孔兹岩系属于早元古代变质岩系,并系统地论证了太古宙和早元古代高级变质岩系,在原岩建造特征、形成的构造环境、侵入岩组合类型、变质作用以及起始和结束的构造环境等方面存在着根本的区别。这深化了人们对这两类高级变质系的认识。在论述本区变质作用演

• 本文于1993年3月7日收到,1994年2月9日改回。

本文是国家自然科学基金重点资助项目(49132670)研究成果之一。

作者简介:刘喜山 男 49岁 教授 岩石学专业

② 李树勋,刘喜山,徐学纯. 1988. 华北陆台北缘麻粒岩相区的基本特征. 国际变质作用与地壳演化学术讨论会论文摘要, 13~13

③ 金巍. 1989. 华北陆台北缘(中段)早前寒武纪地质演化及变质动力学研究, 博士学位(1991).

化特征及期次时,沈其韩等(1987; 1989; 1990)根据变质岩组合及同位素年代学的研究,指出本区遭受了早元古代麻粒岩相变质作用的影响。卢良兆等(1991; 1992)论述了本区太古宙麻粒岩和孔兹岩系所经历的两期麻粒岩相变质作用特征和成因机制,指出第一期麻粒岩相变质作用发生在太古宙末期,结束于 2400Ma 左右;第二期发生在 1800~2000Ma,叠加于中部和西部的孔兹岩系分布区。刘喜山等(1990)根据对本区变质作用、深成侵入作用和构造变形作用之间的关系研究,提出本区存在有两种不同类型的高级变质作用。第一类高级变质作用发生在晚太古宙,具逆时针演化趋势的近等压冷却(IBC)的 PTt 轨迹,第二类高级变质作用发生早元古代,具顺时针演化趋势的近等温降压(IBC)的 PTt 轨迹,后者具有造山带变质作用特点。刘喜山等(1992)进一步论证孔兹岩系是早元古代造山事件晚期出现的麻粒岩相低压变质作用的产物,并认为这次麻粒岩相低压变质作用的起因是由于增厚的地壳,在热松弛阶段出现的拉伸而引起的地壳减薄作用。同时指出在大腮扣和包头东侧一带太古宙石榴辉石麻粒岩遭受了早元古代麻粒岩相低压变质作用的叠加改造。这表明有一部分太古宙麻粒岩相变质地壳卷入了早元古代造山事件。集宁地区(卢良兆 1991)和怀安地区(翟明国等 1992)的石榴辉石麻粒岩,其变质作用演化具 ITD 类型的 PTt 轨迹。这说明在集宁和大同-怀安-宣化一带的石榴辉石麻粒岩中也记录有 ITD 的演化历史。值得特别指出的是其附近有孔兹岩系产出。这些结果为本文的研究提供了极为重要的信息。

2 构造岩性单元划分

本次研究中,笔者在大同-怀安-宣化地区发现同一块石榴辉石麻粒岩中除记录有 ITD 性 PTt 轨迹的反应结构外,还保存有 IBC 型 PTt 轨迹的反应结构。其变晶序列特点是 IBC 型反应结构在前,而 ITD 型反应结构在后,构成一种双环反应结构。这一重要的发现(结合上述研究结果)提出一个极有意义的问题。如果华北北部麻粒岩相带都属于太古宙,而且是由两类高级麻粒岩组成的话,为什么固阳-武川地区和辽西-冀东-密云地区的石榴辉石麻粒岩只记录有晚太古宙的逆时针演化的近等压冷却的(ITD 型) PTt 轨迹,乌拉山-大青山-蛮汉山一带的孔兹岩系却只记录有顺时针演化的近等温降压的(IBC 型) PTt 轨迹,而大腮扣及包头东侧和大同-怀安-宣化一带的石榴辉石麻粒岩残块中除记录有 IBC 型 PTt 轨迹外,还记录叠加的 ITD 型 PTt 轨迹。本文认为固阳-武川地区和辽西-冀东-密云地区代表晚太古宙麻粒岩相中-高压变质地区,乌拉山-大青山-蛮汉山一带代表早元古代造山晚期麻粒岩相低压变质地区,而大腮扣及包头东侧和大同-怀安-宣化一带则代表太古宙基底遭受早元古代造山事件叠加改造的地区。从探讨早前寒武纪地壳结构演化规律出发,以往简单地划分为下部基性麻粒杂岩和上部孔兹岩系已显不足。本文将华北北部麻粒岩相划分为三个基本的构造岩性单元:

I: 太古宙石榴辉石麻粒岩-紫苏花岗岩区(简称 AGGC 区),包括固阳-武川地区和辽西-冀东-密云地区。

II: 早元古代孔兹岩-S 型花岗岩区(简称 EPKSG)包括乌拉山-大青山-蛮汉山地区及贺兰山北段和千里山地区。

III: 基底再造杂岩区(简称 BRWC 区),包括大腮扣、包头东侧和大同-怀安-宣化地区。各构造岩性单元的分布如图 1 所示。不同构造岩性单元之间的基本差别列于表 1。划分的结

果获得如下认识:(1)EPKSG区与BRWC两者共同组成一个近东西向展布的条带夹在两块AGGC之间,代表早元古造山带根部地壳出露的范围。(2)早元古代造山作用不仅使早元古代沉积地层发生前进变形变质作用,最终形成麻粒相低压变质的孔兹岩系,还使太古宙基底遭受了韧性剪切变形作用、略增温降压到近等温降压变质作用和重深混合岩化作用的改造,形成一个具有特定研究意义的构造岩性单元。(3)前寒武纪硅铝壳造山作用这种双重性(包含盖层和基底)可能具有一定的普遍性。

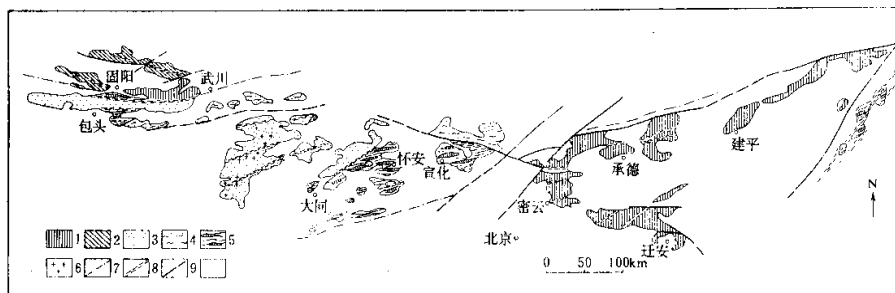


图1 研究地区简化地质图

1. 太古宙石榴辉石麻粒岩-紫苏花岗岩; 2. 太古宙花岗岩-绿岩带; 3. 早元古代麻粒岩相级孔兹岩系;
4. 早元古代高角闪岩相级孔兹岩系; 5. 基底再造杂岩; 6. 早元古代S型花岗岩;
7. 早元古代造山带边界; 8. 韧性剪切高应变带; 9. 脆性断裂

Fig. 1 Simplified geological map of studied area

3 基底再造杂岩

继刘喜山^①在大青山南坡及贺兰山地区发现有含紫苏辉石、或含堇青石、夕线石等高温糜棱岩和糜棱片麻岩之后,又在大腮扣一带识别出一套近东西向展布的带状杂岩。该杂岩与AGGC区相对比,具有以下特征:(1)尽管岩石中也含有辉石、石榴石和普通角闪石等高温矿物,但岩石组合和构造样式明显不同于AGGC区。该带状杂岩主体部分是由含辉石(±普通角闪石)糜棱片麻岩类和混合岩化糜棱片麻岩组成。而太古宙石榴石麻粒岩、紫苏花岗岩、条带状磁铁石英岩及英云闪长质片麻岩呈大小不等的残块镶在上述糜棱片麻岩中。其构造样式如同一块由旋转变斑晶(或残斑)与基质组成的片麻岩或者片岩的微观组构样式。(2)主体剪切叶理构造在空间上呈近东西向走向,而且明显地切割和置换AGGC区岩石中近南北走向的成分条带和片麻理构造(刘喜山 1992)(本文使用片麻理构造仅指压剪性结晶面理)。(3)变质作用总的表现为近等温降压作用的叠加,但不均匀性及复杂性明显,如大腮扣一带,变质作用演化具有从麻粒岩相→高角闪岩→麻粒岩相→角闪岩相。(4)含有大量的剪切变形组构。如S-C组构、a型生长线理、旋转构造及残斑结构等。(5)混合岩化现象明显。据作者(1992b)的研究,除本区外,在其它一些地方(如广东河台、辽南董家沟、辽西锦州及冀北平泉等),也发现

^① 刘喜山, 1988. 华北陆台北缘含堇青石片麻岩的特征及地质意义. (国际变质作用与地壳演化学术讨论会论文集摘要)124~126.

表 1 三个构造岩性单元基本特征对比简表

Table 1 Characteristics of three high-grade tectono-lithologic units

岩性单元	太古宙石榴麻粒岩区	基底再造杂岩区	早元古代孔兹岩区
岩石组合	石榴辉石麻粒岩、榴英岩—BIF, 紫苏花岗岩系	高温变晶麻粒片麻岩类—重熔脉状花岗岩—石榴麻粒岩残块	堇青夕线石榴片麻岩、大理岩—S型花岗岩
构造变形	紧密近等斜褶皱、岩石片麻理、褶皱轴面及成分条带走向近南北向(或北北东向)	a型褶皱、走向近东西向的剪切叶理、明显切割和置换近南北向的片麻理构造及成分条带、剪切变形组构发育	大型平卧—斜卧褶皱, 岩石片麻理, 成分条带走向近东西, 局部转北东。
变质作用	具面型分布, 比较均匀, 麻粒岩相中—高压变质作用	不均匀叠加改造彻底而表现为比较“简单”, 而改造不彻底的石榴麻粒岩残块却表现的十分复杂。	具分带性、高角闪岩相低压变质作用与麻粒岩相低压变质作用平行展布
变晶序列	Hb+Pl(呈残晶)→ Opx+Cpx+Pl(主体)→ Grt+Qz±Cpx ₂ (后成合晶 构成反应边)→“红眼圈”→ Hb ₂ +Pl ₂ (局部出现)	Opx+Cpx+Pl(残晶, 呈石榴石的 包体)→Grt+Qz±Cpx ₂ (后成合晶, 构成反应→“红眼圈”或石榴石变 斑晶)→Opx ₂ +Pl ₂ ±Cpx (后成合晶构成反应边)→“白眼圈”→ Hb、Pl ₃ (退变质普遍)	Ky+Bi+Pl+Sp(残晶, 石榴石 包体)→Grt+Or+Sill+Pl ₂ + (Bi ₂ 和Qz)旋转变斑晶 Cord+Sill ₂ +(Bi ₃ 和Qz) 后成合晶构成反应边→“白眼圈”
变质反应	Opx+Pl±(Cpx ₁)→ Grt+Qz±(Cpx ₂) Mat+Pl→Grt+Qz	Cpx ₁ +Opx ₂ +Pl→Grt+Qz Grt+Qz→Opx ₂ +Pl ₂ ±Cpx Grt+Qz→Pl ₂ +Hb	Grt+Sill+Qz→Cord Crt+Sill+Qz→An
变形-变质关系	近南北向主期变形出现在 峰期变质及紫苏石英闪长岩— 紫苏花岗岩侵入之后	区域性拉伸作用与第二 次峰期变质作用同时出现	构造加厚作用出现在峰期变 质作用之前, 晚期拉伸作用 与峰期变质作用同时出现
PT _t 轨迹	仅具单一的逆时针演化 轨迹由增温增压转为近 等压降温的演化轨迹	逆时针演化轨迹与顺时针演 化轨迹并存, 在逆时针近等压 降温轨迹基础上叠加近等温 (或略增温)降压的演化轨迹	仅具单一的顺时针演化轨迹 由中—低温中压经高温中压 转为近等温降压的演化轨迹
变质旋回	太古宙变质旋回	太古宙旋回叠加有 早元古代变质旋回	早元古变质旋
出露地区	内蒙固阳—武山地区, 密云—冀东—辽西地区	内蒙古大部和包头东测, 大同—怀安—宣化地区	乌拉山—大青山主体 及蛮汉山地区, 贺兰 山及千里山地区
构造环境	克拉通	造山带的一部分	造山带主体

中-深层次的韧性剪切变形变质作用总是伴随有混合岩化作用发生。上述特点很清楚地表明该带状杂岩是原来高级变质地壳, 后又经历了不同地质作用综合性的改造, 每一种改造作用又进行的不彻底而形成目前这套特殊的岩石组合。对这种特征也很难用某一类岩石学名词或者组合名词(如孔兹岩—S型花岗岩类等)来表述。因此本文使用“再造作用”和基底再造杂岩“术语。再造作用是指在硅铝壳造山过程中, 变形-变质作用和部分重熔作用对结晶基底改造作用的总和。这一术语具体表述结晶基底在造山带演化过程中, 受到那些地质作用的改造以及它们的特征、性质及相互联系。在本区这种再造作用具体表现为在早元古代造山带根部带演化过程中, 韧性剪切变形作用、降压变质作用及重熔混合岩化作用对太古宙麻粒岩相基底

的综合改造作用。而“基底再造杂岩”一词来概述这类地区一套不同成因类型岩石组合的总特征。值得指出的是本文采用的糜棱片麻岩,尽管由于结晶程度很高,具有片麻岩的特点,由于含有大量剪切变形组构,特别是发育有剪切叶理构造,表明属韧性剪切变形变质作用产物。另外细粒化现象不明显,而同剪切期混合岩化作用却较普遍(刘喜山等 1992b),这又明显地不同于彭罗斯会议(1981)所定义的糜棱岩的那些特征。本文没有采用目前部分文献中使用的“构造片麻岩”、“构造岩”等,因它们所含变质内容模糊,更不含有任何部分重熔作用的内容。至于用什么岩石学名词来表述这类在地壳深处由韧性剪切变形-变质-重熔作用改造所形成的岩石,本文不想做更多讨论,仍采用“糜棱”和“混合岩化糜棱”做词冠加以修饰。

3.1 基底再造杂岩成分特征

基底再造杂岩的主体部分主要由糜棱片麻岩类和混合岩化糜棱片麻岩类组成,如辉石糜棱片麻岩、条痕状辉石糜棱岩、混合岩化辉石糜棱片麻岩及角闪石化辉石糜棱片麻岩等。岩石具有花岗变晶结构、旋转组构、拔丝结构。变质反应结构及部分重熔结构常见。最突出的特点是含有一组极发育的剪切叶理构造。在某些地段,由强烈的剪切作用,使之表现为明暗相间的条带或条痕状结构。该类岩石所具有的这种特殊组构,在露头上或者在手标本上,使之易与常见的区域变质岩区分开。在另一方面,由于高温的变质结晶作用和重结晶作用的结果,反而使这类岩石在显微镜下,其微观组构特征与区域变质岩几乎没有什么区别。另外由于强烈的改造、置换及分异作用,使岩石在个别露头上,呈现出层状变质岩系的外貌——假层理构造。但链条状辉石、定向生长的普通角闪石、长石集合体呈透镜体状、拔丝的石英或豆荚状石英等平行产出组成的剪切叶理构造,均可证明其属于非层状变质岩系的性质。

在基底再造杂岩中,早期地壳残块的存在是确定该类岩石属非层状变质岩系的重要标志之一。本区基底再造杂岩中存在有大小不等、成分不同的太古宙地壳残块。较大的太古宙地壳残块可达 $n \times 10 \text{ km}^2$ 。如在大腿扣、包头东侧及怀安地区(翟明国等 1992),太古宙麻粒岩或者麻粒岩-紫苏花岗岩残块出露面积近 10 km^2 ,小的残块不足 1 m^2 。如大青山北坡的大腿扣至武川一带,多数残块大小多在 0.2×0.8 (照片 1),残块的成分常见有石榴辉石麻粒岩和(或)紫苏花岗岩残块(照片 2)、角闪质英云闪长岩(照片 1)、角闪石化辉石麻粒岩(照片 3)和条带状磁铁石英岩等。此外,由于变形变质反应进行的不彻底,使糜棱片麻岩中常含有数量不等残晶矿物。最常见的残晶矿物有石榴石、辉石及斜长石等。这些矿物呈包体包裹在剪切变形变质作用期间形成的新生矿物中,或者呈椭圆状镶在韧性剪切变晶基质中。

部分重熔作用形成的花岗质岩石构成混合岩化糜棱片麻岩的脉体部分,约占岩石的 5%~30%。岩石中主要矿物成分为斜长石+角闪石+石英+黑云母,具细粒状花岗变晶结构。这些花岗质脉状体沿剪切叶理面整合的贯入,同时又卷入了韧性剪切变形,而构成韧性剪切变晶基质的一部分。在某些地段,可以见到重熔的花岗质岩石沿麻粒岩残块的边缘或者两个麻粒岩残块之间产出(照片 4)。与前一类脉状体相比较,该类花岗质岩石具有以下特点:(1)岩石变形不明显,具半自形粒状结构,粒度较粗,以至于出现斜长石巨晶;(2)岩石中石英含量比较低(一般小于 10%),而斜长石中钙长石分子含量较高($An > 50$);(3)在花岗质脉体与麻粒岩残块接触,粗粒角闪石化现象明显。这种角闪石与斜长石的集合体构成麻粒岩残块的熔融边(照片 4)。

3.2 基底再造杂岩的变形构造

发育在基底再造杂岩中的变形构造根据所包含的内容、构造样式、空间组合和置换关系可以划分为三类：仅被圈闭在太古宙地壳残块中的变形构造、糜棱片麻岩中的变形构造及具运动指向的变形构造。

圈闭在太古宙地壳残块内的变形构造，不论其构造样式和变形构造本身发育程度如何，在空间展布上均截止于残块的边缘，而被糜棱片麻岩中剪切叶理构造所截(照片1、2、3)。在中小型残块内，仅保留的变形构造是岩石的片麻理构造和条带状构造。在较大的残块内，还保留有褶皱构造。上述这些变形构造包含了石榴辉石麻粒岩、紫苏花岗岩、角闪石化辉石麻粒岩、角闪英云闪长岩-斜长花岗岩杂岩。有时可见有条带状磁铁石英岩、石榴斜长角闪岩。在大青山地区，对残块中片麻理、条带和褶皱轴面走向的测量，以及通过一些小型褶皱包络面的恢复结果表明其走向基本上为近北向($90^{\circ} \pm 20^{\circ}$)，这与固阳-武川地区的AGGC区杂岩的构造走向基本一致(金巍 1989; 刘喜山等 1992)。

糜棱片麻岩中最明显的变形构造是发育有一组平行产出的剪切叶理。这组剪切叶理构造主要由粒状矿物斜长石集合体和豆荚状、薄板状石英组成的浅色条带为主体，而暗色矿物辉石(常见有角闪石化或者黑云母化)及普角闪石集合体呈条痕沿剪切叶面分布。辉石链条和角闪石生长线理明显(a型线理)。剪切叶理面平直(照片1)，走向稳定，呈近东西向展布。但在武川县的纳冷沟一带及大同地区，其剪切叶理走向转为北东向。在空间上，这组剪切叶理构造与大青山山脉走向基本一致。值得特别指出的是这组剪切叶理构造还具有以下特点：(1)剪切叶理构造主要由紫苏辉石、透辉石及普通角闪石等高温矿物组成。这表明在高温条件下，韧性剪切变形变质作用通过构造置换作用和变质反应使太古宙地壳大量消耗而转变为糜棱片麻岩类。在空间上把残余的太古宙地壳分割成大小不等的岩块呈透镜体镶在糜棱片麻岩中，构成一种独特的构造样式。(2)在这组剪切叶理与太古宙地壳残块接触处，明显地置换或者切割了太古宙残块中的片麻理构造(刘喜山等 1992)。(3)这组剪切叶理构造与上覆的早元古代孔兹岩系内的片麻理构造、成分条带的产状基本一致，但倾角有些变化。在局部地段，由于强烈的平行化作用的结果，使糜棱片麻岩与孔兹岩系在露头上呈现一种“整合”接触的外貌，以至于在某些地段，如卓资和黄土窑一带，由于褶皱作用的叠加，又使其接触界面发生了褶皱，使两者在露头上呈“互层”状。而在平面上这种“互层”性变得模糊不清或呈透镜状接触。然而糜棱片麻岩中含有太古宙地壳残块这一特点则有力地说明两者之间的接触关系仍属于韧性剪切构造接触，而不是正常的整合沉积接触。

由残晶或者残块以不同的方式与基质相结合构成的剪切变形组构，不仅能证明曾发过剪切变形作用，而且也具有重要运动学指向意义。本区这类变形构造主要有：旋转残斑系、旋转残块、旋转石香肠、S-C组构及斜列式构造等。其中旋转的残块不仅具有指向意义，而且还保留了原岩的某些特点。在大鹏扣至武川和包头东侧一带，旋转的残块主要有条带状(或片麻状)角闪英云闪长岩及斜长花岗岩、麻粒岩、条带状斜长角闪岩和石榴斜长角闪岩等。在雪海沟一带发育有由斜长角闪岩组成的斜列式构造及旋转团块。在包头东北侧(1512高地)紫苏长英质糜棱岩中发育有由麻粒岩组成的石香肠构造。对上述各种旋转变形组构观察表明，大青山地区早期高温韧性剪切变形作用普遍具有右旋的特点，表明由北向南逆冲(刘喜山等

1992)。

从上面描述的变形构造特征可以看出,发育在本区的这组近东西平行产出的剪切叶理构造,其形成时代应在早元古代,而不是在太古宙。这一认识还得到以下证据的支持:(1)在固阳-武川一带,这组韧性剪切叶理构造不仅明显地切割了北侧 AGGC 区的晚太古宙麻粒岩-紫苏花岗岩及其所具有的近南北走向的片麻理构造和同斜褶皱构造,而且同时也切割了侵入其中的角闪英云闪长岩-斜长花岗岩杂岩及其片麻理构造。该侵入杂岩体的锆石 U-Pb 年龄为约 2447Ma(李树勋等 1987);(2)角闪石糜棱片岩中,细粒自形锆石的 U-Pb 年龄约为 2045Ma(刘喜山等 1988);(3)在空间上,该糜棱片岩又被约 1770Ma 的钾长花岗岩所侵入,同时该岩体边部含有糜棱片岩捕虏体(李树勋等 1987)。

3.3 基底再造杂岩的变质作用

基底再造杂岩的变质作用总的特点是表现为叠加变质作用。本次研究中,把基底再造杂岩中石榴辉石麻粒岩残块所记录的变质作用特点与 AGGC 区和 EPKSG 区的变质作用特点同时进行对比,初步确定了叠加变质作用的性质、时代及类型。

根据卢良兆等(1979; 1984)和麦延庆(1988)对北京密云地区、陈曼云(1989)和贺高品等(1991)对冀东地区、崔文元等(1989)对辽西建平地区以及刘喜山等(1990; 1992)和金巍等(1980; 1991)对内蒙古固阳-武川地区的太古宙麻粒岩变质作用的研究,尽管他们在有关变质作用期次、演化阶段和成因解释等方面存在有某种分歧,但在讨论有关石榴辉石麻粒岩、石榴斜长辉石岩、含石榴紫苏石英闪长岩和石榴紫苏花岗岩中矿物组合演化时,对形成石榴石的变质反应结构的描述和认识则完全一致。他们都描述了在含石榴石高级变质岩中(成分从基性到酸性),在斜长石与斜方辉石颗粒之间,单斜辉石与斜长石之间,或者在由斜长石和辉石组合的团块周围,以至于磁铁矿颗粒的周围,都发育有由细粒的石榴石+石英±单斜辉石组成的交生体,构成了一种反应边结构(图 2-a)。不论在岩石的手标本上,还是在显微镜下,其岩相学特点是均可以见到由细粒玫瑰红色的石榴石呈环状分布在斜长石和辉石颗粒之间,或者呈环状分布在斜长石矿物单颗粒的周围,构成一种“红眼圈”结构。尽管在某些局部地段,由于反应进行的比较彻底,这种“红眼圈”结构不很明显,代之出现的是石榴石变斑晶,这种石榴石变斑晶内仍可见到有斜长石、斜方辉石及单斜辉石等矿物包体(卢良兆等 1979; 麦延庆 1988; 贺高品 1991; 陈曼云 1989; 刘喜山等 1989; 1992)。其代表性的变质反应:



反应(3)及(4)发生在 Fe 含量比较高的岩石中。

由于这种“红眼圈”结构,在华北北部麻粒岩相带中普遍存在,笔者称之为“红眼圈事件”。这一“红眼圈事件”发生的时间是在麻粒岩相峰期变质之后(卢良兆等 1984; 刘喜山等 1980)。在地质上,这一事件发生在第一期 TTG 杂岩(紫苏石英闪长岩-紫苏斜长花岗岩杂岩)侵位之后,其证据是该侵入杂岩不仅遭受了在麻粒岩相条件下的变形-变质作用改造,而

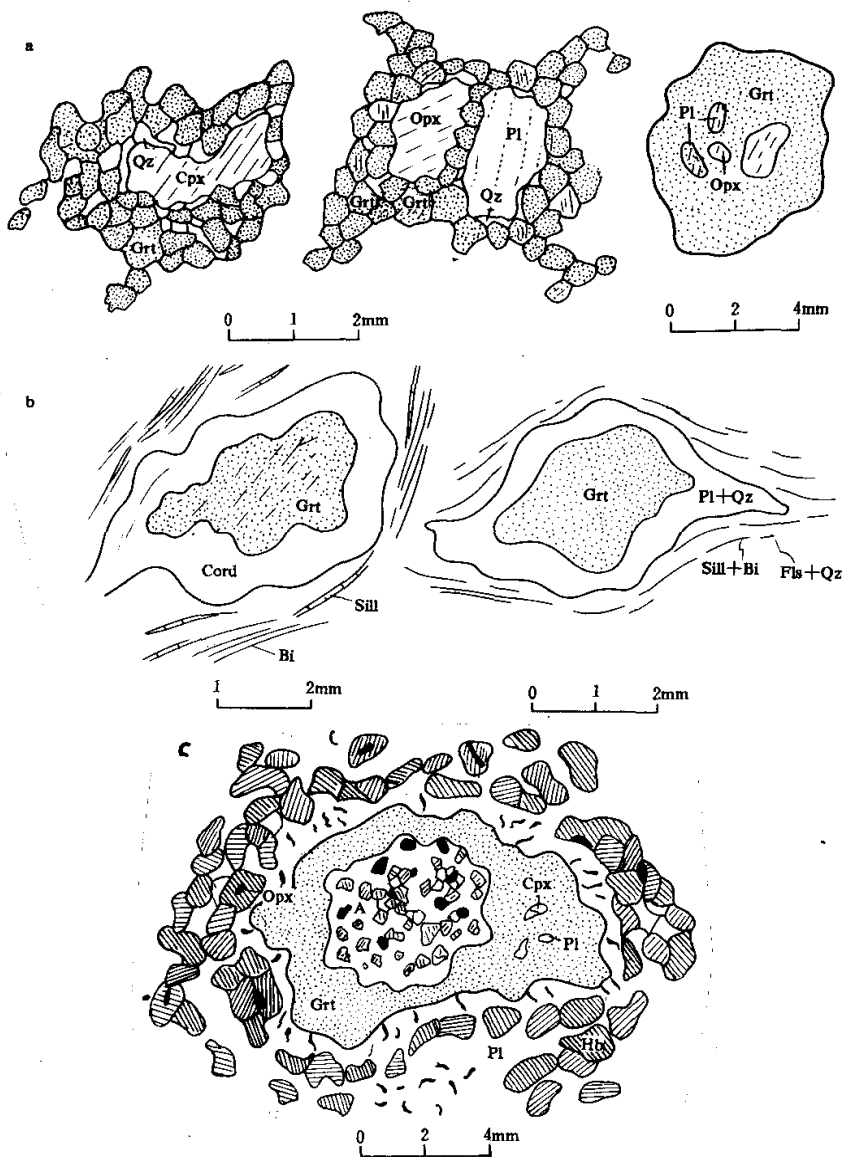


图 2 太古宙麻粒岩、早元古代孔兹岩系和基底再造杂岩中的反应结构

a. 太古宙石榴辉石麻粒岩-紫苏花岗岩中形成石榴石的反应结构; b. 早元古代孔兹岩系中石榴石分解反应结构; c. 基底再造杂岩内太古宙石榴辉石麻粒岩残块中双环反应结构; A. 石榴石环内斜方辉石(黑点)+单斜辉石(斜线)+斜长石(空白)组合; Bi. 黑云母; Cpx. 单斜辉石; Cord. 堇青石; Fls. 两种长石; Grt. 石榴石; Hb. 普通角闪石; Opx. 斜方辉石; Pl. 斜长石; Qz. 石英; Sill. 夕线石

Fig. 2 Corona textures of Archean granulites, Proterozoic khondalites and reworked complex

且含有形成石榴石的反应边结构(刘喜山等 1992),该侵入杂岩的锆石 U-Pb 年龄约 2500Ma。同时这一事件也应发生在第二期 TTG 杂岩(角闪石英闪长岩-斜长花岗岩)侵位之前,其证据是该期杂岩侵入到第一期 TTG 杂岩中,而本身仅遭受到角闪岩相条件下的变形变质作用,其锆石 U-Pb 年龄为 2440~2470Ma。

矿物地质温度计、压力计和变作用 PTt 轨迹研究结果表明(详见另文),形成石榴石+石英±单斜辉石的变质反应是在一种近等压冷却(IBC)的环境下进行的,其演化构成一种逆时针的 PTt 轨迹(刘喜山等 1990;贺高品 1991;崔文元等 1991)(图 3b)。

根据卢良兆等(1991)、贺高品等(1991)、阎月华(1991)、金巍等(1991)及刘喜山等(1988; 1990; 1992)对内蒙古中部集宁-卓资地区、大青山-乌拉山地区西部千里山-贺兰地区的孔兹岩系(尽管在冀东和辽北地区也产出有少量的薄层富铝片麻岩,根据其岩石组合和地质产状特点,笔者未将其列入孔兹岩系来处理)的研究结果,在孔兹岩系中,石榴石做为一种特征变质矿物广泛分布,常以变斑晶形式产出。在大青山-乌拉山地区,石榴石变斑晶内常含有细小鳞片状黑云母、浑圆状尖晶石和石英、针状夕线石或粒状蓝晶石包体。包体矿物之间相互不直接接触。岩石的反应结构特点是由堇青石±夕线石±黑云母或者斜长石±石英组成的集合体,环绕变斑晶石榴石生长,显示一种“白眼圈”环绕玫瑰红色石榴石“红眼圈”特点,即“白眼圈”结构(图 2-b)。同样由于这一反应结构在上述地区的孔兹岩系中广泛发育,因而本文称之为“白眼圈事件”,代表的变质反应有:



根据矿物成因网系图(图 3)和矿物测温压(图 3)的研究以及结合在夕线石榴黑云片麻岩中蓝晶石转变为夕线石,和斜长角闪岩中,在普通角闪石和粗粒斜长石颗粒之间发育有细粒的斜方辉石+单斜辉石+斜长石交生体的岩相学特点,上述反应(5)和(6)是在一种升温降压到近等温降压的环境下进行的,构成一种顺时针演化的 PTt 轨迹(图 3c)。具有造山带变质作用 PTt 轨迹的特点(England et al. 1984)。这种“白眼圈事件”代表造山作用晚期,地壳热松弛阶段所发生的拉伸作用(卢良兆 1991;刘喜山等 1992)。这一事件发生的时间,不论用全岩或者矿物的 Rb-Sr 年龄,还是锆石的 U-Pb 年龄,不论是在富铝片麻岩、“S”型花岗岩、钾长花岗岩中取的样,还是在贺兰山、千里山、乌拉山-大青山和卓资-凉城地区,所获得的年龄数据非常集中,在 1800~2000Ma 之间(阎月华 1983;沈其韩等 1987; 1989;刘喜山等 1987;陈亚东等 1989;王知足等^①)很明显,这种“白眼圈事件”发生在早元古代。

基底再造杂岩中的叠加变质作用情况比较复杂。本文的研究结果表明只有在既有叠加,而叠加之前变质作用记录保留得又比较多的情况下,这种叠加变质作用的性质、起始状态和演化才较清楚。在本区,只有在较大的太古宙石榴辉石麻粒岩残块中,这种叠加变质作用才表现得十分清楚。原因是叠加之前的变质矿物共生组合或者反应结构不同程度地保存下来。相反地在糜棱片麻岩中,或者在一些小型的残块中,由于叠加变质作用进行得比较彻底,叠加之前的变质作用记录保留的很少,或者变得模糊,以至于完全消失。这时叠加变质作用的性质和状态反而难以识别,而主要记录着叠加变质作用之后的历史。在角闪石化辉石糜棱片麻

① 王知足,杨易福,张建新及张小妹. 1991. 贺兰山北段太古宙金矿成矿条件研究(研究报告).

岩和混合岩化辉石麻粒片麻岩中,岩石主要记录了叠加变质作用之后,所发生的降压变质作用和重熔作用的演化历史,而叠加变质作用的性质则不清楚。如叠加变质作用表现为退变还是进变?是升压还是降压都不很清楚。目前叠加变质作用比较清楚的地段有大青山地区的大腮扣和包头一带、集宁地区、怀安及宣化地区。总的特点是岩石中“红眼圈”结构和“白眼圈”结构并存,且红先白后,构成双环反应结构(图 2c)。

在包头东侧的石榴辉石麻粒岩残块中,石榴石变斑晶内含有斜长石、斜方辉石或单斜辉石、磁铁矿等矿物包体。包体呈细粒浑圆状,彼此间互不直接接触。在石榴石变斑晶颗粒的边上,又发育有细粒“牙状”的斜方辉石和斜长石的交生体。在大腮扣一带的含辉石石榴斜长角闪岩的残块中,个别棕色普通角闪石内可见有细粒单斜辉石的包体。在棕色普通角闪石颗粒的边上又发育有细粒“牙状”的斜方辉石、斜长石和单斜辉石的交生体。粒状石榴石颗粒被细粒粒状的斜方辉石和细粒斜长石的集合体环绕,构成反应边结构(刘喜山等 1991; 图 3e 和 f)。在怀安一带的石榴辉石麻粒岩残块中,双环反应结构十分清楚。由细粒石榴石+石英组成的集合体构成了红色的环,圈闭了中-细粒斜长石+斜方辉石+单斜辉石组成的二辉麻粒岩。而在红色石榴石环的外侧,又套有由细粒“牙状”斜方辉石+斜长石交生体构成的白色环。白色环外侧为由细粒粒状变晶结构的斜方辉石+斜长石构成紫苏辉石麻粒岩(图 2-c)。角闪石化作用比较发育。这种罕见的环套环结构清楚地表明角闪石榴辉石麻粒岩的变质作用演化经历了如下过程:二辉麻粒岩的矿物组合的形成→该组合不稳定反应形成含石榴石的矿物组合→石榴石组合不稳定分解为斜长石+斜方辉石组合→普通角闪石化作用。代表性的变质反应为:



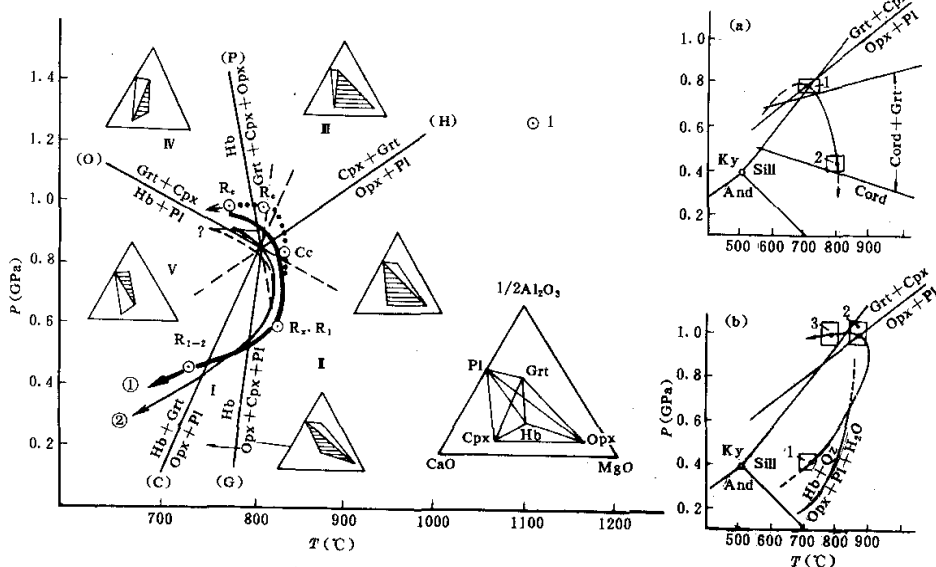
其中 Pl_2 比 Pl_1 更富含钙长石。在相同地区含石榴石变斑晶的辉石麻粒岩中,在手标本上,“红眼圈”结构不明显,但“白眼圈”结构仍十分清楚。在镜下,仍可见到石榴石变斑晶内含有斜长石、单斜辉石(或而辉石)的包体,互不直接接触,这些特点,在岩相学上与包头东侧麻粒岩残块中的结构相似。

把这种双环反应结构与 AGGC 区和 EPKSG 区的反应结构对比,本文认为内环(红色环)属于保留下来的晚太古宙“红眼圈事件”的记录,而外环(白色环)是早元古代造山事件对基底叠加变质作用改造的记录(“白眼圈事件”)。在 P - T 图上呈现出一种复杂的 PTt 轨迹(图 3)。

4 结 论

(1) 本区基底再造杂岩主要由高温麻粒片麻岩类和混合岩化麻粒片麻岩类及太古宙地壳残块组成,构成一个特定的构造岩性单元。其中前两部分既不属于太古宙变质上壳岩和侵入岩,也不属于元古代变质上壳岩,而是早元古代造山事件对太古宙基底再造作用的产物。

(2) 基底再造杂岩和早元古代孔兹岩系-S 型花岗岩共同组成一个近东西向展布的条带,夹在两个太古宙石榴辉石麻粒岩-紫苏花岗岩区之间,代表早元古代造山带根部地壳出露的范围。

图3 基底再造杂岩变质作用演化的 $P-T-t$ 轨迹

1. 实测数据投影点; 粗点线为叠加之前 PT_t 轨迹的一部分; 实线为叠加变质作用本身的 PT_t 轨迹; (a) 和 (b)

分别为早元古代和晚太古变质作用的 PT 轨迹(根据刘喜山等 1990; 1992): 1. 怀安地区; 2. 大青山地区

Fig. 3 Diagram for metamorphic PTt path of basement reworked complex

(3) 基底再造杂岩中的石榴辉石麻粒岩残块不仅保存有太古宙地壳的岩石组合和构造样式, 记录有晚太古宙近等压冷却的反应结构, 而且又叠加有早元古代造山事件晚期的略增温降压到近等温降压的反应结构。

(4) 早元古代造山事件不仅使早元古代沉积地层发生前进变形变质作用, 最终形成麻粒岩相低压变质的孔兹岩系和 S 型花岗岩, 还使一部分太古宙基底遭受了韧性剪切变形变质作用和部分重熔作用的改造。前寒武纪硅铝壳造山作用这种双重性可能具有一定的普遍性。说明 Kroner(1981) 和 Ellis(1992) 有关前寒武纪硅铝壳造山作用包括了盖层和基底的论述适合本区情况, 但成因模式则有待于进一步研究。

参 考 文 献

- 卢良兆, 郑松彦, 叶慧文. 1979. 密云高岭地区麻粒岩相石榴石-单斜辉石矿物对的特征及其成因讨论. 长春地质学院学报, (3), 10~26
- 卢良兆, 靳是琴, 叶慧文, 叶慧文. 1984. 北京密云群变质作用的温度压力研究. 地球化学, (1): 50~59
- 卢良兆. 1991. 内蒙集宁地区太古宙麻粒岩相变质作用的 PT 轨迹及其大地构造意义. 岩石学报, (4): 1~12
- 卢良兆, 靳是琴, 徐学纯, 刘福来. 1992. 内蒙古东南部早前寒武纪孔兹岩系成因及其含矿性. 长春: 吉林科学技术出版社
- 李树勋, 刘喜山, 张履桥. 1987. 内蒙古色尔腾山地区花岗岩-绿岩地质特征. 长春地质学院学报, 《变质地质学专辑》, 81

~102

- 刘喜山, 李树勋, 刘俊来. 1992. 变形变质作用及成矿, 北京: 中国科学技术出版社
- 刘喜山, 金巍, 李树勋. 1992. 内蒙中部早元古代造山事件中麻粒岩相低压变质作用. 地质学报, (3): 244~255
- 沈其韩, 张荫芳. 1987. 内蒙古南部早、中前寒武系变质作用的某些特征. 长春地质学院学报, 《变质地质学专辑》, 45~53
- 沈其韩, 张荫芳, 高吉凤, 王平. 1989. 内蒙古中南部太古宙变质岩. 中国地质学院地质研究所刊, (21): 3~21
- 沈其韩. 1990. 华北陆台前寒武纪变质作用及其演化特征. 北方前寒武纪地质及成矿论文选集, 地质出版社, (6): 1~7
- 陈亚东, 钱祥麟, 刘金中. 1989. 华北克拉通北缘中段太古代变质杂岩序列. 见: 岩石圈科学, 北京: 北京大学出版社. 53~69
- 陈曼云. 1989. 冀东太平寨-金厂地区石榴子石成因研究. 长春地质学院学报, (4): 375~384
- 麦延庆. 1987. 北京密云太古宙高级区岩石组合及变形-变质作用. 世界地质《构造地质专辑》, 59~68
- 金巍, 李树勋, 刘喜山. 1991. 内蒙古大青山地区早前寒武纪高级变质岩系特征及变质动力学. 岩石学报, (4): 27~35
- 贺高品, 卢良兆, 叶慧文, 靳是琴, 叶挺松. 1992. 冀东和内蒙古东南部早前寒武纪变质作用演化, 长春: 吉林大学出版社
- 钱祥麟, 崔文元, 王时麒. 1985. 内蒙、冀东太古界麻粒岩相岩带的演化. 地质研究论文集, 北京: 北京大学出版社. 20~29
- 崔文元, 王长秋, 王时麒. 1991. 辽西太古代建平变质杂岩的地球化及变质作用的 $P-T-t$ 轨迹. 岩石学报, (4): 13~26
- 阎月华. 1983. 内蒙千里山群变质岩岩石学研究 (1981届硕士学位论文文集). 北京: 北京科学技术出版社. 220~230
- 董启贤, 周俊昌. 1984. 内蒙古乌拉山区原乌拉山群地层划分新议. 中国区域地质, (10): 19~37
- Ellis D J. 1992. Precambrian tectonics and the physicochemical evolution of the continental crust. II. lithosphere delamination and ensialic orogeny. Precambrian Research. 55: 507~524
- England P and Thompson A. 1984. Pressure-temperature-time paths of regional metamorphism I. Heat transfer during the evolution of regions of thickened continental crust. Journal of Petrology. (25): 894~928
- Kroner A. 1981. Precambrian plate tectonics. Elsevier, Amsterdam. 57~90
- Liu Xishan, Jin Wei, Xu Xuechun and Li Shuxun. 1990. Evolutions of two-types of high-grade metamorphism and tectonism in North China Platform-An example from Inner Mongolian-Ningxia areas. Abstracts of the 15th General Meeting of the International Mineralogical Association. (2): 873~875

CHARACTERISTICS OF BASEMENT REWORKED COMPLEX AND IMPLICATION FOR DAQINGSHAN OROGENIC BELT

Liu Xishan

(Department of Geology, Changchun University of Earth Sciences, Changchun, 130061)

Key words: Daqingshan orogenic belt; Basement reworked complex; Two-ring texture; Metamorphic overprinting

Abstract

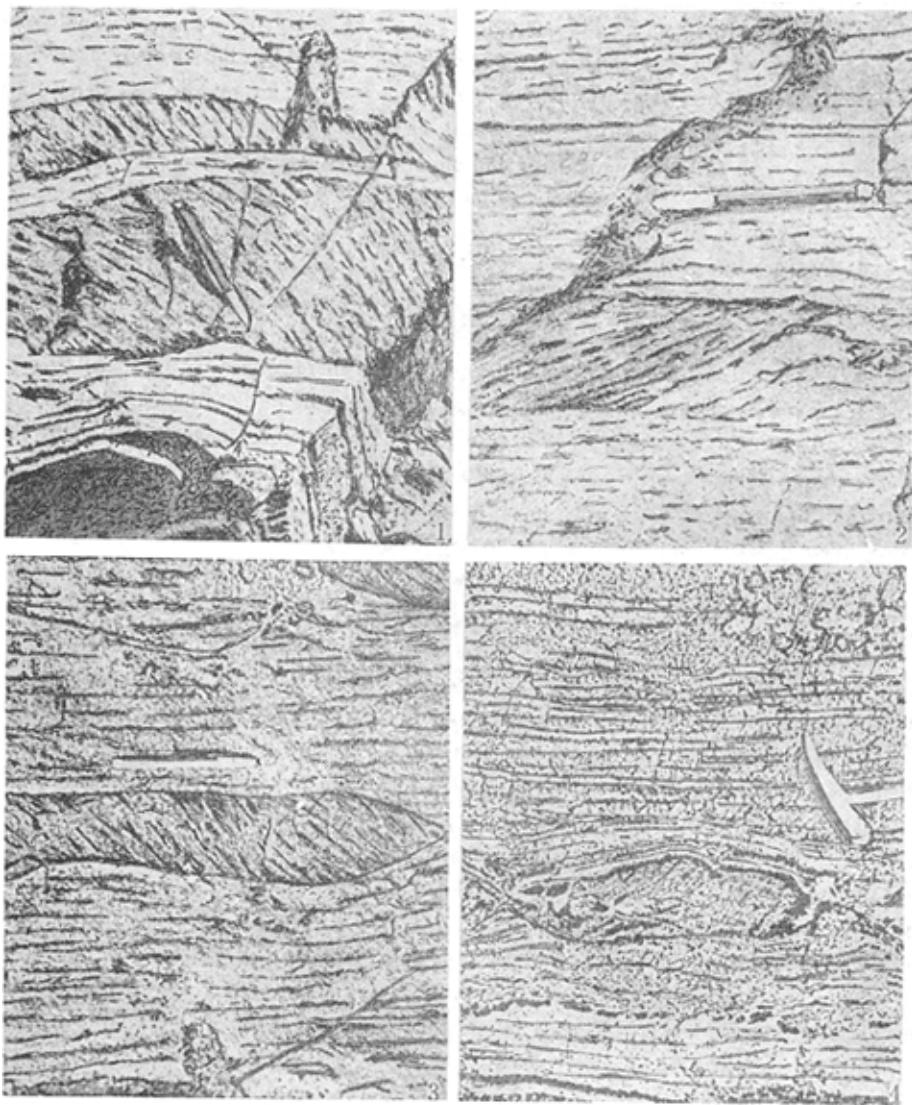
By this study, the basement reworked complex (BRWC) is considered as one tecto-

lithologic unit besides the Archean garnet pyroxene granulite-charnockite and early Proterozoic khondalite-S-type granite units (Fig. 1). The BRWC is mainly composed of high temperature mylonite gneisses, partial anatexitic granitic rocks and relict blocks of Archean crust in Daqingshan orogenic belt. Studies on the characteristics of compositions, deformation structures and overprinted reaction textures indicate that the first two-parts of the BRWC do not belong to both Archean supracrustal and plutonic rocks and early Proterozoic metamorphic supracrustal rocks. The existence of the Archean relict blocks in the BRWC indicates that by early Proterozoic reworking, the Archean crust had been reworked and most of the crust had been changed into pyroxene-mylonite gneisses and migmatized mylonite gneisses within ensailic orogenic belt.

There are two-type reaction textures in the large Archean relict blocks of the BRWC complex. One represents the IBC tectonic regime and is characterized by the corona texture that fine grained symplectite of $\text{Grt} + \text{Qz} \pm \text{Cpx}$ surrounds the medallion grained aggregates of $\text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Pl}$ (Fig. 2) or occurs in the interfaces of the minerals above (Fig. 2a, c). The characteristics of the corona texture looks like the "red-eye ring" on the hand specimen. Because the "red-eye" texture can be found in the Guyang-Wucuan and Miyun-Jidong-Liaoxi areas where the Archean granulites have not been reworked by early Proterozoic ensailic orogenic event, it is called "red-eye ring" event which took place at the later Archean. Another represents the decompression with heating or ITD tectonic regime and is characterized by the fine grained symplectite of $\text{Opx}_2 + \text{Pl}_2$ which surrounds the corona composed of garnet + quartz or garnet porphyroblast (Fig. 2). The inclusions of plagioclase with clinopyroxene or orthopyroxene can be found in the garnet porphyroblast. The feature of this corona texture looks like "white-eyering" on the hand specimen. The "white-eye ring" texture can be only found in the granulite relict blocks of the BRWC and is similar to those textures developing in overlying Al-rich gneisses (khondalite series) of early Proterozoic. In khondalite series, however, the "white-eye ring" texture is characterized by the cordierite or aggregates of $\text{Pl} + \text{Qz}$ surrounding the garnet porphyroblast (Fig. 2b). It can be called "white-eye ring" event which took place at the early Proterozoic.

It is clear that the "white-eye ring" event is overprinted on the "red-eye ring" event, only within the ensailic orogenic belt, that is the ITD event of the early Proterozoic overprinted on the Archean IBC event. The early Proterozoic ensailic orogeny involves both the early Proterozoic cover and Archean basement.

The action involving both progressive deformation-metamorphism for cover and reworking for basement can be implication for interpreting the evolution of Precambrian ensailic orogeny.



照片说明：1. 角闪糜棱片麻岩中英云闪长质片麻岩残块，大腮扣东红泥湾。2. 角闪石化糜棱片麻岩中辉石麻粒岩残块，大腮扣东厂门洞。3. 紫苏辉石糜棱岩中麻粒岩-紫苏花岗岩残块，大腮扣东厂门洞。4. 发育在角闪石化麻粒岩残块边部的部分重熔结构，固阳县与武川县分界处，其比例尺如图中彩笔及地质锤所示。