1000-0569/ 2001/ 017(02) -0283-90 *Acta Petrologica Sinica* 岩石学报

内蒙古喀喇沁变质核杂岩及其隆升机制探讨*

邵济安[1] 张履桥[2] 贾文[3] 王佩瑛[1]

SHAO JiAn[1], ZHANG L Qiao[2], JIA Wen[3] and WANG PeiYing[1]

1. 北京大学地质学系, 北京 100871; 2. 内蒙古地质研究所, 呼和浩特 010020; 3. 内蒙古第十地勘院, 赤峰 024005

1. *Department of Geology, Peking University, Beijing* 100871, *China*

2. *Geological Bureau of Inner Mongolia, Huhhot* 010020, *China*

3. *Geoexploration Bureau of Inner Mongolia, Chifeng* 024005, *China*

2000-12-29 收稿, 2001-03-04 改回.

Shao JA, Zhang LQ, Jia W and Wang PY. 2001. Harkin metamorphic core complex in Inner Mongolia and its upwelling mechanism. *Acta Petrologica Sinica*, 17(2): 283- 290

Abstract The metamorphic core complex in Harkin area, Inner Mongolia is studied. Its core consist of Archaeozoic and Proterozoic metamorphic complexes undergoing ductile deformation, Its median layers Middle Jurassic undergoing plastic deformation with low-pressure metamorphism, and Its overlays Upper Jurassic - Low Cretaceous and mass of magmatic rocks underwent minor brittle deformation without metamorphism. The composition and texture of the metamorphic core complex show features of symmetrical extension and asymmetric uplifting and a rapid uplifting period within 130 to 100 Ma. In light of long run thermal evolution of the concerned area, the Harkin metamorphic core complex can be considered as a typical example of crust extension caused by thermal upwelling of mantle and intrusion of magma. The Harkin area can become a window to look into the structure and evolution of the North China lithosphere.

Key words Metamorphic core complex, Magma diapir, Thermal upwelling, Extensional tectonics, Harkin, Inner Mongolia

摘 要 内蒙古喀喇沁地区的变质核杂岩是由韧性变形的太古宙、元古宙变质岩系组成的核; 由脆-韧性变形和经受了低压变质的中侏罗统地层组成的中间层; 由少量脆性变形和未变质的上侏罗-下白垩统地层和岩体组成盖层。变质核杂岩的组成与结构显示了它对称伸展和不对称隆升的特征, 130 ~100Ma 是其快速隆升的时期。从该区长期的热演化历史以及同构造的岩浆活动来看, 可以认为喀喇沁变质核杂岩是地幔热隆及岩浆侵入引起地壳伸展的典型实例。喀喇沁地区可以作为研究华北岩石圈结构和演化的窗口地区。

关键词 变质核杂岩; 岩浆底辟; 热隆; 伸展构造; 喀喇沁; 内蒙古

中图法分类号 P588. 35

1 引言

变质核杂岩是大陆伸展构造的重要表现形式之一, 是研究大陆岩石圈板内构造的重要窗口。变质核杂岩的隆升机制始终是人们关注的问题, 是地壳伸展引起核杂岩上升和岩浆侵位? 还是地幔上隆、加热与岩浆侵入引起地壳伸展(宋鸿林, 1995)。

近十几年来, 人们陆续报道了华北地区的中生代早白垩世形成的变质核杂岩, 例如, 云蒙山变质核杂岩(Davis *et al*., 1988); 房山变质核杂岩(宋鸿林, 1996); 赞皇、阜平变质核杂岩(雷世和等, 1994) 等。与此同时, 由于岩浆底辟作用形成的热隆构造在华北分布也是很普遍的, 例如张宣(李红阳等, 1996); 都山、涞易(傅朝义, 1999) 等热(穹) 隆构造。

* 本文属国家自然科学基金资助项目(49872079, 40072073) 的研究成果.

第一作者简介: 邵济安, 女, 1940 年出生, 教授, 构造地质专业.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

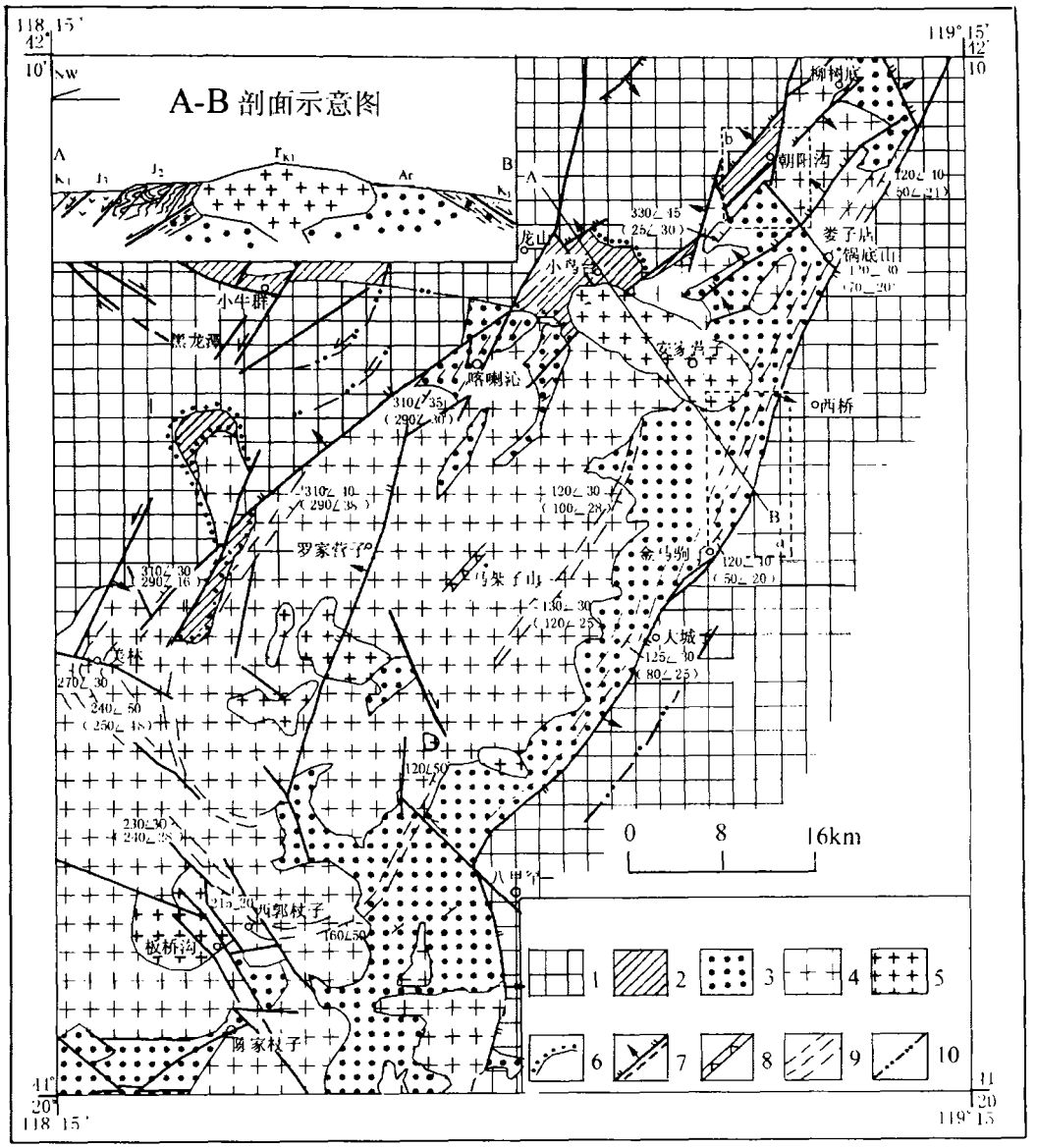


图 1 喀喇沁变质核杂岩地质简图

1. 白垩系–上侏罗统; 2. 中侏罗统; 3. 前寒武系变质岩、深成岩; 4. 早二叠世–中侏罗世侵入岩; 5. 早白垩世花岗岩; 6. 不整合界限; 7. 剥离断层或正断层; 8. 断层破碎带; 9. 韧性变形带; 10. 卫片解译断层。图中数字为面理产状, 括弧中数字为线理产状, 虚线方框 a 为图 2–1 的位置; b 为图 2–2 的位置

Fig. 1 Geological sketch map of Harkin metamorphic core complex

实际上, 人们已经注意了热隆与变质核杂岩的形成关系(Zheng *et al.*, 1988), 许志琴等(1992)在研究松潘–甘孜造山带时明确提出挤压造山后, 由于地壳或古老变质杂岩重熔, 出现以深熔花岗岩上隆、上部地壳伸展减薄的热隆构造。本文通过内蒙古喀喇沁地区变质核杂岩和同构造的岩浆底辟侵位以及与核杂岩形成前后连续的岩浆热演化之间的关系, 阐述内蒙古喀喇沁变质核杂岩的热隆成因。这对深入研究华北地区中生代构造运动及其深部背景是有意义的。

喀喇沁地区的伸展构造早已引起人们关注, 王玉芳等(1994)通过对本研究区东部娄子店–大城子拆离断层的详细显微构造研究, 认为拆离断层以上是侏罗–白垩系地层, 以下是变质核杂岩, 晚期的伸展运动致使变质核杂岩和糜棱岩出露地表, 即前一种伸展导致变质核杂岩上升的观点。

2 变质核杂岩的组成

Lister and Divis (1989)在总结科迪勒拉变质核杂岩时, 提出了两层结构的问题。宋鸿林等在研究房山变质核杂岩时

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

提出三层结构的看法(Lister *et al.*, 1989), 强调了核和盖层之间存在中间层, 在中间层以上是层间剥离断层, 以下是基底剥离断层。笔者在研究内蒙古大兴安岭的甘珠尔庙变质核杂岩(张履桥等, 1998) 和喀喇沁变质核杂岩过程中支持了后一种观点, 本文采用 "韧性变形", "脆-韧性变形" 和 "脆性变形" 等术语描述这三层变形特征。其中 "脆-韧性变形" 指宏观的永久变形迹象比较多, 而微观的永久变形迹象比较少的变形。本文为避免混乱, 也采用 "基底剥离断层" 和 "层间剥离断层" 代替通常用的拆离断层和滑脱断层。

喀喇沁变质核杂岩呈 NE 向长垣状出露于赤峰市南部地区, 长约 160km, 宽约 35km。核部由太古代(2500Ma) 低角闪岩相-高绿片岩相的角闪斜长片麻岩、大理岩及 TTG 岩石、早元古代低绿片岩相片岩、大理岩和晚元古代的明安山群板岩、结晶灰岩等组成; 核部杂岩的上部为一个由糜棱岩类岩石构成的韧性剪切带, 在韧性剪切带顶部的基底剥离断层之上是中侏罗统新民组和土城组地层, 中侏罗统地层顶部通过层间剥离断层与上覆盖层-晚侏罗世火山岩和早白垩世地层或花岗岩接触(图 1)。变质核杂岩范围内的前晚侏罗世花岗质岩石均不同程度地经历了变形变质作用, 而晚侏罗世和早白垩世花岗质岩石除了少量脆性变形外, 没有发生明显的变形变质作用。

变质核杂岩西北侧和南东侧分别出露了低角度(∠20°～∠35°) 的锦山-美林韧性剪切带和娄子店-大城子韧性剪切带, 它们是深部伸展剪切活动的产物。沿韧性剪切带顶部发育了大规模的低角度剥离断层。该断层将变质核或中间层与上部盖层分隔开了。

娄子店-大城子基底剥离断层(F1) 是红山-八里罕断裂带的一段, 长约 100km, 地表断续出露的主断面产状为 110～130∠20～40°; 下伏太古代变质杂岩, 上覆晚侏罗-早白垩纪的火山-碎屑岩, 沿平双公路两侧偶见平缓波状、具褐铁矿动力薄膜的主断面, 钉头擦痕指示正断层活动。主断面之上有 20 余米断层泥, 之下有数十米的角砾岩带, 角砾大多由下伏的糜棱岩或糜棱片麻岩组成。拆离断层之下的韧性剪切带宽出露约 5～7km。如果忽略其它变形的因素, 前人曾按主断面倾角 30°估算, 沿这个基底剥离断层面将在 18～20km 的深度(即相当于绿帘石-角闪石相变质深度) 的变质核杂岩 "抽拉" 到地表, 剪切位移量约 31～35km(王玉芳, 1994)。

锦山-美林层间剥离断层(F2) 是赤峰-锦山断裂带的一段(锦山即喀喇沁, 是喀喇沁旗旗政府所在地), 长约 50km, 朝阳沟西 3km 出露的主断面产状为 320∠30°; 下伏前晚侏罗世地质体, 以中侏罗世地层为主, 上覆晚侏罗-早白垩纪的火山-碎屑岩。柳树底-美林一带主断面以下的韧-脆性剪切带宽出露比较窄, 约 2～3km。

喀喇沁变质核杂岩的一个重要特征是在核杂岩形成前和形成过程中均伴有强烈的构造岩浆活动, 变质核杂岩的 60% 面积被岩体所占据。分布较广的前晚侏罗世花岗质岩石遭受了脆-韧性剪切变形, 分布在变质核杂岩中心的早白垩世花岗岩体的长轴呈 NW 向或 NW、NE 两个方向, 它们未经受任何脆-韧性变形的改造。

此外, 喀喇沁变质核杂岩东侧被晚期的左旋走滑断层(红山-八里罕断裂带) 所改造, 伴随这期走滑断层也形成一套相对中-高角度的糜棱面理(110～120∠40～50°), 其上发育一套近水平的滑动线理。从锅底山至大城子一带都可以看到这套高角度晚期面理切割早期与变质核杂岩剥离作用有关的低角度面理的现象(图 2-1)。在喀喇沁变质核杂岩隆升后期, 在东、西两侧均形成晚期的正断层, 东侧红山-八里罕断裂以东是西桥断陷盆地, 在这一早白垩世断陷的盆地中沉积了一套煤系地层。西侧锦山-美林断裂以西是赤峰-小牛群盆地。由于这些后期构造的多次改造, 给喀喇沁变质核杂岩的恢复带来一定困难。

3 变质核杂岩的变形特征

3.1 对称伸展和不对称隆升

喀喇沁变质核杂岩的变形总体显示了向北西和南东两侧对称下滑的特点。例如, 南东侧楼子店-大城子低角度大城子一带韧性剪切带稳定的糜棱面理产状为 120～130∠20～30°; 拉伸线理 100～130∠20～30°; 侧俯角大于 45°; 娄子店北东锅底山一带糜棱面理产状 120∠20～40°; 拉伸线理 50～80∠15～35°; 拉伸线理均指示该正断层具有左型下滑的运动方式。金马驹子沟太古宙的表壳岩中见到非常发育的透入性糜棱面理(120∠40°) 拉伸线理 50∠20°), 面理表面有许多新生的白云母。另外, 变质核杂岩内马架子山晚三叠世二长花岗岩中发育了一系列密集的破裂面(120∠12°～∠20°), 花岗岩具有一定的韧性变形。

核杂岩北西侧层间剥离断层的产状为 325∠30°; 局部较陡。锦山-美林一段拉伸线理产状为 290∠20～30°; 指示左型下滑的特点, 断层北段的个别拉伸线理显示了右型下滑的运动。锦山西南的晚二叠世花岗岩体顶部一系列产状为 330∠24°的平缓面理, 其间距为 3～20cm, 这些滑动面上发育的小阶步指示上盘依次向北西方向滑落, 形成阶梯状构造。伸展过程中伴有一定程度的斜向的剪切作用是本区变质核杂岩的一个重要特点。

从图 1 中还可以看到, 变质核杂岩东侧核部的太古宙地层出露的比较多, 西侧作为中间层的中侏罗统及盖层的上侏罗统地层出露比较多。此外东侧盆地的规模和沉降幅度也比西侧大, 东侧以早白垩世含煤盆地为主, 西侧以火山岩盆地为主。因此推测在对称伸展过程中, 可能存在着非对称的抬升, 东侧抬升更明显。

3.2 不同层次的变形特征

(1) 变质核的韧性变形

变质核的韧性变形在太古代地层中表现得更为明显, 以变质核杂岩东侧娄子店-大城子一带的变形-变质带为例, 在

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基底剥离断层之下普遍发育透入性糜棱面理, 经王玉芳研究, 变形岩石有长英质糜棱岩, 糜棱片麻岩和黑云千糜岩。长英质糜棱岩中常见长石碎斑的阶步结构、核幔构造、压力影、不对称云母鱼构造以及石英条带内的石英斜列式结构。这些结构构造提供了正断式剪切滑动标志。在平行 C 面理、厚达数公分的石英脉中, 或者在较粗大的带状石英之间经常存在微细的带状石英, 其拉长的细粒石英显示出的形态组构相当于 Boullier 等提出的 II 型带状石英(王时麒等, 1994)。利用定向薄片恢复其产状后, 这种不对称的形态组构反映了正断式的剪切滑动。

(2) 中间层的脆-韧性变形

喀喇沁变质核杂岩两侧往往可以看到沿中、晚侏罗统之间的不整合面发育起来的层间剥离断层, 其下伏的下、中侏罗统绢云母化、绿泥石化的砂板岩中发育有厚度不等的脆-韧性变形带, 这套地层中往往以层间滑动形成的不对称褶皱及各种迹象为主(图 2-2), 喀拉沁旗龙山东的小鸟台和朝阳沟为例, 小鸟台出露一套具植物碎片的煤系地层, 层理产状 320 ∠40°; 砂岩中顺层劈理十分发育, 面间距 2～3mm, 面上可见碳质薄膜和铁质薄膜。朝阳沟地层变质程度比小鸟台深, 形成一套棍状板岩, 伴随一组产状 310 ∠25 滑动面上的线理产状 250 ∠20°。绢云母化、绿泥石化的碎裂岩在镜下可以看到碎裂的长石和初融的石英呈不连续定向排列。在一些长英质岩石表面常可以看到变形过程的新生矿物—绢云母或白云母。

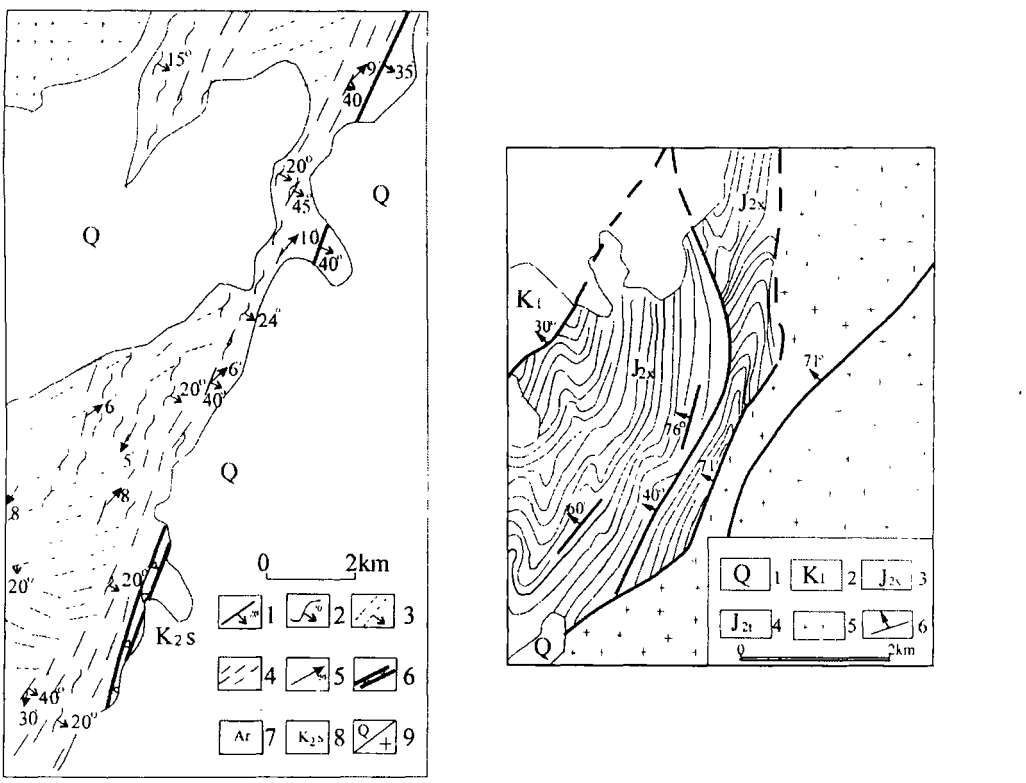


图 2 喀喇沁变质核杂岩的变形构造

2-1 太古代变质岩系中叠加的三期面理 1. 正断层; 2. 滑覆为主的糜棱面理; 3. 片麻理; 4. 走滑为主的糜棱面理; 5. 线理, 数字代表倾角; 6. 断层破碎带; 7. 太古代变质岩、深成岩; 8. 上白垩统孙家湾组; 9. 第四系

2-2 中侏罗统地层中发育的脆-韧性变形带 1. 第四系; 2. 早白垩世花岗岩; 3. 中侏罗统新民组; 4. 中侏罗统土城子组; 5. 花岗岩; 6. 正断层

Fig. 2 Deformation structures of Harkin metamorphic core complex

上文讨论了核部和中间层的变形特征, 这里还要提到喀喇沁变质核杂岩一个重要而有趣的现象: 该区大面积 1∶50000的地质填图揭示, 前晚侏罗世地质体中普遍发育脆-韧性变形构造, 它以棒槌山-安家营子的 J_2- K_1 花岗岩体为核心, 在它们的外围形成一个由两条规模较大的韧性剪切变形带, 其圈闭形态与变质核杂岩相似的, 图 1 展示了产状递变规律, 值得注意的是美林至西郭杖子一带, 剪切带面理产状从 270 ∠35 转向 240 ∠50°; 215 ∠20°; 再转向 160 ∠50°, 构成一完美的向外倾的弧形构造。在核杂岩的东北端向北东倾的面理不发育, 代之的是向北东倾斜的正断层。这一长垣状脆-韧性变形带的存在, 一则表明这些早期侵位的岩体受到了变质核杂岩伸展隆升作用的改造, 变质核杂岩形成在中侏罗世以后; 二则表明喀喇沁变质核杂岩形成过程中尽管存在一定程度的左型剪切, 但它仍以垂向上的隆升和向四周

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的伸展下滑为主。正是这一现象排除了喀喇沁变质核杂岩是由水平剪切走滑作用形成的可能；也排除了它是差异升降造成盆岭型构造的可能。

(3) 盖层的脆性变形

变质核杂岩西侧由上侏罗统及少量下白垩统地层组成的滑覆岩块沿产状 325∠30°的层间剥离面向 NW 方向下滑，而在东侧则沿着产状 140°∠20°的基底剥离面向 SE 方向下滑。例如在喀喇沁大西沟乡庙沟，见到层间剥离断层面之上的上侏罗统马尼吐组地层中发育的一系列正断层，产状为 340°∠50°；上盘下滑形成的擦痕产状为 290°∠40°指示上盘下滑同时具有左旋剪切作用。

综上所述，断层面上、下经历了完全不同的变形过程，反映了下盘岩层在岩浆底辟热伸展过程中不断抽拉并隆升至地表。

3.3 变质核杂岩的伸展变质

从喀喇沁变质核杂岩的变质作用来看，它们属于一套偏低压的伸展变质产物，区别于挤压造山过程的变质作用。变质杂岩核部伴随早期伸展剪切形成的糜棱岩，其形成温度为 450～550℃，压力约 0.54GPa（王时麒等，1994），它们在变质相及变质相系的 P-T 图解中的投影点表明，为低压相系的低角闪岩相-低绿片岩相的变质岩石。中间层的中侏罗统绢云母化、绿泥石化砂板岩明显是一套低绿片岩相的变质岩石，小鸟台中侏罗统地层出露比较完整，在大约 100m 的剖面中，从顶到底采集 10 块标本，通过对其中 6 块绢云母化砂板岩标本滑动面上的的白云母进行 X 光衍射测定，可以看出其 b_0 值（表 1）从上到下压力递增。

表 1 中侏罗统砂板岩白云母 X 光衍射的 b_0 值

Table 1 b_0 values by X-ray diffraction analysis for phengite in Middle Jurassic sandy slates

标本号	b_0 值(nm)	内标物石英 b_0 值(nm)
1	0.89826	0.15423
2	0.89964	0.15437
3	0.89844	0.15424
4	0.89970	0.15424
6	0.90000	0.15423
8	0.90450	0.15420

数据由北京大学地质系 X 光衍射实验室王佩瑛副教授测定

根据实验岩石学的资料，当 b_0 值为 0.8990nm 时，岩石不出现绿泥石，当 b_0 值为 0.8995nm 时，岩石可出绿泥石，当 b_0 值为 0.9010nm 时，岩石变质相当于绿泥石-黑云母-铁铝榴石的低-中压变质相，当 b_0 值为 0.9020～0.9025nm 时，反映岩石达到中压变质，当 b_0 值为 0.9055nm 时，岩石达到高压变质（叶大年等，1984）。由此可见，上述中间层下部只有一个样品达到中压变质，大部分都属低压变质。从小鸟台中侏罗统新民组含煤地层的热变质程度看，小煤窑开采的煤质已达到烟煤，相比外区同时代煤变质要深，反映局部的变质温度较高。通常从褐煤变质成为烟煤的温度至少要在 70℃以上。总之，在中侏罗统新民组沉积之后，本区在特定的热演化背景下，经历了低压相系的变质作用，代表了一个伸展变质环境。中侏罗统地层发生强烈的褶皱变形也多数与上层面下滑的伸展剪切作用有关。综合变质-变形作用的研究，可以对喀喇沁变质核杂岩形成过程中的物理条件有一初步认识。

3.4 变质核杂岩的隆升时期

从组成变质核杂岩盖层的时代看，晚侏罗世可以被认为是变质核杂岩隆升的下限时间，马尼吐组（J_3mn）火山岩的时代（142Ma±）。在喀喇沁变质核杂岩西侧断陷盆地中见到的晚白垩世孙家湾组砾岩，砾石成分复杂，分选、胶结差，分布受断层控制，主要分布于隆起两侧，盆地内部逐渐消失，属于一套快速堆积产物。在十家子以北的砾岩中就可以看到许多下面将要讨论的黑山坡似斑状二长花岗岩（133Ma）的砾石，按晚白垩世下限 95Ma 计，大体可以认为 130～100Ma 是快速隆升的时期。

3.5 变质核杂岩的隆升机制的讨论

从喀喇沁变质核杂岩的地质简图看，在核杂岩形成之前，从晚古生代起该区就有强烈的岩浆作用，形成二叠纪、三叠纪和早、中侏罗世花岗岩。这些岩体中存在的两条规模较大呈圈闭状的韧性剪切变形带（图 1），表明这些早期侵位的岩体受到了变质核杂岩伸展隆升作用的改造。早白垩世的花岗岩体的轴长呈 NW 或 NW、NE 两个方向，反映岩体侵位时存在 NW 和 NE 两个方向的构造带，其中以 NW 向为主，并具有张性的特点，形成椭圆形的环状岩体。两组控岩构造的存在暗示岩体侵位时存在左旋剪切作用派生的变形构造。前述与喀喇沁变质核杂岩形成有关的面理、线理产状也证实变质核杂岩伸展过程中同时伴有左旋剪切作用。由此推断，受到上述两组构造控制的早白垩世岩体属于同构造期的岩体。这一事实也表明，岩石圈的伸展减薄与岩浆底辟热隆，是喀喇沁变质核杂岩形成的两个重要的地质因素。然而，从变质核杂岩形成前后岩浆长期活动的历史来看，变质核杂岩隆升只是其中的一段过程，因此岩浆底辟作用的研究将进一步揭示变质核杂岩热隆的构造背景。

以安家营子地区出露的早白垩世椭圆状的环状花岗岩系为例（图 3），该岩体不仅出露面积最大，而且它的形成与变质核杂岩有密切关系。该岩体由不完整外环——宫家营子角闪黑云石英二长闪长岩（141.4Ma）、中环的雁池沟黑云母石英二长岩和内环的黑山坡二长花岗岩（132.8Ma）组成，在这几期岩体中普遍存在暗色的闪长质包体，一般直径 15cm ±，厚 5cm±，暗色矿物平行包体面定向排列，而包体的扁平面又平行于岩体边界，扁平状的包体显示岩浆形成过程中明显

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

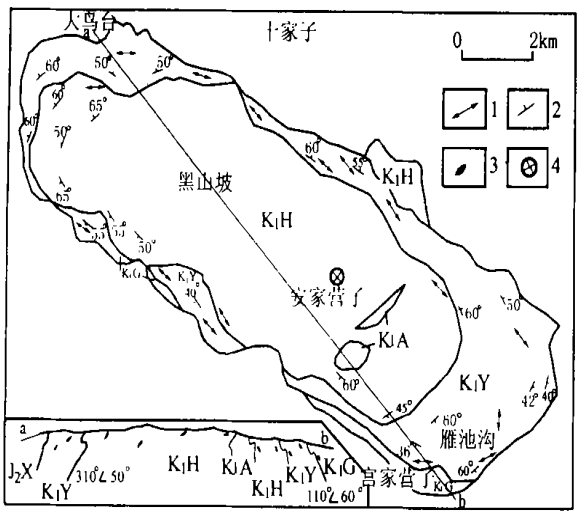


图 3 安家营子环状花岗岩体的平-剖面图

1. 长石斑晶延长方向; 2. 流面产状; 3. 角闪质包体; 4. 金矿。左下角为大鸟台至宫家营子的岩体剖面

Fig. 3 The plan and section map of ring anjiayingzi granite series

的流动变形, 有的被明显伸展拉长, 从包体的形态和物质组成特征看, 它们很可能代表了岩浆不混熔作用的产物(另文讨论)。除了包体的定向排列外, 岩体中的长石斑晶和流面产状均定向排列。岩体出露地表的边界均向外倾, 内蒙古自治区第二区域地质研究院测制的 1∶50000 十家子幅区调报告采用"热气球"模式概括了这种岩浆底辟的形态特征和形成机制①。三期岩体反映了伸展背景下的深部岩浆房的不断涌动。花岗岩成分如下: SiO_2 60.8%～69%, 平均 65.8%, Na_2O+K_2O= 9.14%, $K_2O>Na_2O$, 是一套富碱高钾的中酸性岩类(表 2)。花岗岩 Sr 初始值为 0.7059～0.7067, δEu 平均为 0.80, 本文测试的雁池沟岩体和闪长质包体的 Na_2O+K_2O 分别为 8.43 和 6.58, δEu 分别为 0.71～0.80, 铕异常不十分明显, $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值分别为 0.7077～0.7074, 参照内外相邻两环的宫家营子岩体(141.4Ma)和黑山岩体(132.8Ma)的年龄, 将雁池沟岩体设为 135Ma±, 根据实测的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值计算的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 值为 0.7060 和 0.7059。从这一系列花岗岩的锶初始比值与岩体年龄的关系图来看, 投点落在玄武岩区附近(图 4), 远离大陆壳, 推测岩浆具有壳幔混熔特征。为了进一步讨论这一问题, 本文列举了雁池沟岩体及其所携带的闪长质包体的 Sm-Nd 同位素值(表 3), 这一环状岩体侵位于太古宙黑云长英片麻岩中, 其微粒锆石 U-Pb 法年龄为 2579Ma(年龄样品取自娄子店南下窝铺)(王时麒等, 1994)。利用 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值与年龄的关系图(图 5), 可以看出, 135Ma±形成的雁池沟岩体及其所携带的闪长质包体的两条钕同位素演化线与华北克拉通钕同位素演化线并不重合, 可以推测, 本区花岗岩可能是古老地壳与地幔混合熔融的产物, 而不纯粹由太古宙地壳重熔形成的。

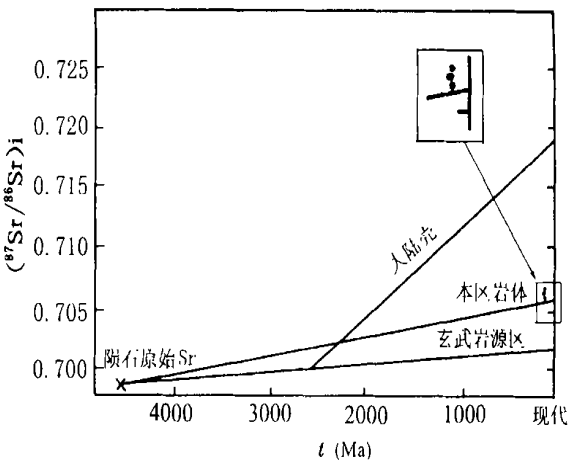


图 4 锶的初始比值与岩体年龄的关系图

(据 Faure et al., 1972)

Fig. 4 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ vs. ages diagram of the granites

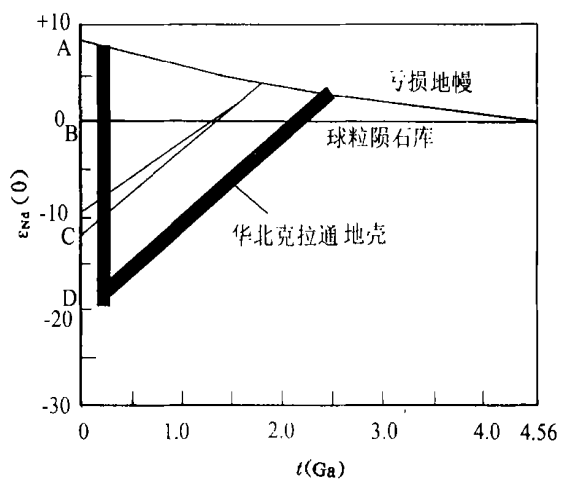


图 5 花岗岩类岩石的 ϵ_{Nd} 年龄图解 (据 Depaolo, 1988)

A. 亏损地幔; B. 球粒陨石库; C. 本区早白垩世雁池沟岩体钕同位素演化线; D. 华北克拉通地壳钕同位素演化线

Fig. 5 The ϵ_{Nd} dating diagram of the granites

本区早、中侏罗世的罗家营花岗闪长岩(181Ma)和板桥沟钾长花岗岩(167Ma) Sr 初始值为 0.7072～0.7086, 有较为明显的 Eu 异常, δEu= 0.57～0.59, 壳源特征更为明显。从表 2 的资料来看, 该区花岗岩从早、中侏罗世演化到早白垩世, Sr 初始值逐渐降低, δEu 和 $M^{\#}$ 值逐渐升高, 壳幔混熔特征逐渐显示。而火山岩(二道沟安山岩)则从中侏罗世起就显示了这一特征(表 2)。有关岩浆演化的年代学资料将另文讨论。

① 内蒙古自治区第二区域地质研究院. 1995. 十家子幅地质图(1∶50000)说明书(内部资料)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2 喀喇沁变质核杂岩内的中生代火成岩年龄及元素地球化学数据

Table 2 The dating and geochemical data of elements

采样地点	岩性	同位素年龄(Ma)	$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$	δEu	Na_2O	K_2O	$M^{\#}$
罗家营	花岗闪长岩 (J_1)	180±6.05(Rb-Sr 等时线)	0.7072	0.57	3.26	4.94	32
二道沟	安山岩 (J_2)	178.8±7.6(Rb-Sr 等时线)	0.7059	0.88	3.24	1.90	33
板桥沟	钾长花岗岩 (J_2)	166.8±4.5(Rb-Sr 等时线)	0.7086	0.59	3.66	5.43	22
宫家营子	角闪黑云石英二长闪长岩 (K_1)	141.4±0.8(锆石 U-Pb)*	0.7066	0.74	4.41	4.54	49
雁池沟	黑云母石英二长花岗岩(K_1)	130.7 (黑云母 K-Ar)	0.7060	0.76	4.01	4.95	51
	闪长质包体		0.7059	0.80			49
黑山坡	似斑状二长花岗岩(K_1)	132.8(U-Pb)*	0.7067	0.88	3.99	5.54	58
龙潭西沟	橄榄玄武岩				3.88	3.28	51
	玻基橄辉岩(K_1)	124.4±3.7(K-Ar)	0.7070	0.90	3.04	2.08	62

同位素测定由中科院地质地球物理研究所同位素室乔广生、张任怙测定。 $M^{\#} = Mg \times 100/(Mg + Fe)$ 按原子数计算

雁池沟岩体的$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$值详见正文; * 数据由内蒙古地勘十院提供, 雁池沟岩体年龄见文献(王时麒等, 1994)。

表 3 雁池沟岩体及其所含包体的锶-钕同位素数据

Table 3 The Sr-Nd isotopic data of granites and its enclosures in Yanchigou

样品	$Sm \times 10^{-6}$	$Nd \times 10^{-6}$	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$ (2σ)	$\varepsilon_{Nd}(0)$	ε_{Nd} (135Ma)	ε_{Sr} (135Ma)	$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$
闪长质包体	5.609	30.70	0.1105	0.512028±8	-11.9	-10.4	23.0	0.7059
黑云母石英二长岩	4.541	26.83	0.1024	0.512137±9	-9.8	-8.15	23.1	0.7060

同位素测定由中科院地质与地球物理研究所乔广生、张任怙测定。$\varepsilon_{Nd}(t)$ 和 $\varepsilon_{Sr}(t)$ 值是计算的, 详见正文讨论

在上述这套 140～133Ma 的花岗岩侵位后不久, 该区就发生早白垩世义县组玄武岩的喷发、流溢, 笔者在义县组玄武岩的古火山口中发现富含地幔流体的玻基橄辉岩(124Ma)(Shao *et al.*, 2000a)。从变质核杂岩形成前后的岩浆演化趋势来看, 反映岩浆来源不断加深, 岩浆的前锋面却不断抬高, 地壳渗透度不断加大, 成熟度逐渐度降低的趋势。这个期间形成的喀喇沁变质核杂岩自然和深源岩浆的上涌引起的热隆有着不可分割的关系。Lister 等在讨论变质核杂岩隆升原因时, 也提出由于连续的席状侵入体的加入可能引起核杂岩的差异性隆升, 以及在岩浆热作用下的围岩在应力作用下可以发生糜楞岩化和韧性剪切(Lister, 1993)。

3.6 变质核杂岩与流体成矿作用

伴随岩浆底辟侵位的喀喇沁变质核杂岩, 其流体作用是十分活跃的, 正是这种流体的萃取、交代作用, 使得喀喇沁地区晚中生代岩体与太古宙地层接触带附近小型金矿点很多。为了证实这一设想, 笔者选取了出露面积最大的黑山二长花岗岩和金马驹子太古宙的黑云角闪斜长片麻岩的标本, 进行 Au 元素的中子活化分析, 其结果显示片麻岩与二长花岗岩的 Au 元素相差一个数量级, 片麻岩 Au 含量 0.27×10^{-9}, 而花岗岩 Au 含量 2.90×10^{-9}, Au 含量的差异表明由于流体的萃取、交代作用, 使相对活跃的元素 Au 进入晚中生代花岗岩中。

3.7 大地构造意义

变质核杂岩以及活跃的岩浆作用反映晚中生代该区经历了一次重要的底侵作用。笔者近年在喀喇沁地区发现了早中生代的堆晶岩和麻粒岩包体(Shao *et al.*, 1999, 2000b)认为早中生代该区还存在更早一次底侵作用。早、中侏罗世相对平静, 地表出现一些含煤的断陷盆地, 局部有中酸性火山喷发, 区内存在 180～160Ma±这期岩浆活动。晚中生代(J_3 - K_1)在持续岩浆活动背景下, 中侏罗统顶部普遍存在的不整合面标志该区进入构造活跃阶段。在 130Ma±底侵作用出现一次高峰, 从中酸性火山喷发到早白垩世双峰式火山喷发, 从以地壳物质重熔为主到壳幔混熔为主的花岗岩侵位, 喀喇沁变质核杂岩就是在这样一个壳-幔隆升的热演化背景下形成的, 是热隆导致了引起地壳的伸展减薄。再联系到该区晚侏罗-早白垩世盆岭结构的形成以及早白垩到第三纪玄武岩的溢流, 可以认为该区中、新生代伸展构造活动是占主导地位的, 伸展作用在该区的构造演化中占有不容忽视的重要作用。笔者认为研究区从早中生代以来基本处于伸展状态下, 这主要与大陆岩石圈板内的软流物质上涌有关, 与太平洋板块的俯冲可能无直接联系(邵济安等, 2001)。不论对伸展作用的地球动力学背景作何解释, 喀喇沁地区具有如此活跃的壳幔相互作用, 可以将它看作为研究华北岩石圈结构和演化的窗口地区。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

感谢一起参加过野外工作的赵国龙高工、王硕工程师,感谢中科院协助同位素和金元素研究的郭敬辉、乔广生、李晓林研究员,感谢中国地质大学索书田教授的指点。

References

Davis GA and Zheng Y. 1988. A possible Cordilleran-type metamorphic core complex beneath the Great Wall near Hefangkou, Huairou County, northern China. Geol. Soc. Am. Abs., 20: A324

Depalo DJ. 1988. Neodymium Isotope Geochemistry — An Introduction. Berlin: Spring-Verlag

Faure G and Powell L. 1972. Strotinium Isotope Geology, Springer-Velon berlin-Heidelberg-New Youk

Fu Chaoyi. 1999. metamorphic core complex in Hebei province. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 14(3): 10- 16 (in Chinese with English abstract)

Lei Shihe, Hu Shengjun and Zhao Zhanyuan. 1994. The structure and genetic model of metamorphic core complex in Fuping and Zanhuang, Hebei province. Journal of Hebei College of Geology, 17(1): 43- 53 (in Chinese with English abstract)

Li Hongyang, Yan Shenghao, Wang Jinsuo *et al*. 1996. Hotspot and metallogensis: the crust-mantle metallogenic mechanism of the Au-Ag polymetallic mineralization area in Northwest Hebei. Geological Exploration for Non-Ferrous Metals, 5(2): 81- 88 (in Chinese with English abstract)

Lister GS, Divis GA. 1989. The origin of metamorphic core complex and detachment faults formed during Tertiary continental extension in the northern Colorado Region, U.S.A. J. Struct. Geol., 11: 65- 94

Lister GS, Baldwin SL. 1993. Plutonism and the origin of metamorphic core complexes. Geology, 21: 607- 610

Shao Ji'an, Han Qingjun, Zhang L qiao and Mu Baolie. 1999. Cumulate complex xenoliths in the Early Mesozoic in eastern Inner Mongolia. Chinese Science Bulletin, 44(14): 1272- 1279

Shao Ji'an, Zang Qijia, Han Qingjun *et al*. 2000a. Discovery of molecular water in fluid inclusion of olivine. Acta Petrologica Sinica, 16(1): 127- 133 (in Chinese with English abstract)

Shao Ji'an, Han Qingjun, Li Huimin. 2000b. Discovery of the Early Mesozoic granulite xenoliths in North China Craton. Science in China (Series D), 43 (Supplement): 245- 252

Shao Ji'an, Liu Futian, Chen Hui, Han Qingjun. 2001. Geodynamic setting of the Mesozoic tectono-magmatism in the east Asian continental margin. Acta Geologica Sinica, 75(1): 1- 9

Song Honglin. 1995. An overview of metamorphic core complex- characteristics and origin. Earth Science Frontiers, 2(1): 103- 111 (in Chinese with English abstract)

Song Honglin. 1996. Metamorphic core complex —— characteristics and origin in Fangshan, Beijing. Geoscience, 10(2): 149- 158 (in Chinese with English abstract)

Wang Shiqi, Sun Chengzhi, Cui Wenyuan. 1994. Geology of gold deposits in Chifeng region, Inner Mongolia, China. Huhhot: Inner Mongolia Peoples Publishing House (in Chinese)

Wang Yufang Cui Wenyuan and Sun Chengzhi. 1994. The louzidian-Dachengzi detachment fault and its tectonic evolution, south of Chifeng, Inner Mongolia. In: Qian Xianglin (ed.). Reserch on extensional tectonics. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)

Xu Zhiqin, Hou Liwei, Wang Zongxiu *et al*. 1992. Orogenic processes of the Songpan - Garze orogenic belt of China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)

Ye Danian, Jin Chengwei. 1984. X-ray powder method and its application on petrology. Beijing: Science Press (in Chinese)

Zhang L qiao, Shao Ji'an, Zheng Guangrui. 1998. Metamorphic core complex in Ganzhuermiao, Inner Mongolia. Scientia Geologica Sinica, 33(2): 140- 146 (in Chinese with English abstract)

Zheng Yadong, Wang Yufang, Liu, Ruisun *et al*. 1988. Sliding-thrusting tectonics causde by thermal uplift in the Yunmeng Mountains, Beijing, China. J. Strut. Geol., 10: 135- 144

附中文参考文献

傅朝义. 1999. 河北省变质核杂岩. 地质找矿论丛, 14(3): 10- 16

雷世和, 胡胜军, 赵占元. 1994. 河北阜平、赞皇变质核杂岩构造及成因模式. 河北地质学院学报, 17(1): 43- 53

李红阳, 阎升好, 王金锁等. 1996. 热点与成矿——试论冀西北金、银多金属成矿区壳幔成矿机制. 矿产与勘查, 5(2): 81- 88

邵济安, 臧启家, 韩庆军等. 2000a. 橄榄石流体包裹体中分子水的发现. 岩石学报, 16(1): 127- 133

宋鸿林. 1995. 变质核杂岩研究进展、基本特征及成因探讨. 地学前缘, 2(1): 103- 112

宋鸿林. 1996. 北京房山变质核杂岩的基本特征及其成因探讨. 现代地质, 10(2): 149- 158

王时麒, 孙承志, 崔文元等. 1994. 内蒙古赤峰地区金矿地质. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 138- 156

王玉芳, 崔文元, 孙承志. 1994. 内蒙赤峰南部娄子店-大城子拆离断层及其构造演变. 见: 钱祥麟主编. 伸展构造研究. 北京: 地质出版社, 99- 108

许志琴, 侯立玮, 王宗秀等. 1992. 中国松潘-甘孜造山带的造山过程. 北京: 地质出版社, 176- 178

叶大年, 金成伟. 1984. X射线粉末法及其在岩石学中的应用. 北京: 科学出版社, 205- 206

张履桥, 邵济安, 郑广瑞. 1998. 内蒙古甘珠尔庙变质核杂岩. 地质科学, 33(2): 140- 146

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net