

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

内蒙古大青山太古宙麻粒岩带的 板块构造演化模式

甘盛飞 钱祥麟
(沈阳黄金学院) (北京大学)



太古宙末期在全球范围内出现的麻粒岩带是地壳早期地质演化历史中的一个重大事件,可能意味着地壳构造演化机制的重大转变。越来越多的地质事实表明,太古宙晚期大陆地壳已具有足够的刚性和稳定性。太古宙时期地幔存在强烈的热对流,具备发生板块运动的条件。太古宙麻粒岩带就是太古宙地壳发生刚性板块运动的直接产物。内蒙古大青山太古宙麻粒岩带呈东西向连续出露于大青山地区达230余公里,由中晚太古代乌拉山群麻粒岩相组成,其变质原岩形成于活动大陆边缘环境。晚太古代时期乌拉山群岩石发生了麻粒岩相变质作用和韧性构造变形。太古宙末,在南北向挤压力作用下,华北克拉通与古蒙古陆块发生板块碰撞,深部的乌拉山群麻粒岩相岩石沿着一系列高温韧性剪切带被逆掩推覆至地表,形成了呈东西向的大青山太古宙麻粒岩带。

关键词 太古宙 板块构造 麻粒岩带 乌拉山群 大青山 内蒙古

在地球的早期地质演化历史中,一个引人注目的事件就是太古宙末期麻粒岩相变质岩带在地壳上的广泛出现。这是地壳构造样式发生转变的重要标志^[1],还可能意味着地壳地质演化机制的重大改变。因此,太古宙麻粒岩带的研究已成为当前太古宙地质研究领域的一个重要基础理论课题。在我国华北克拉通北缘出露的东西向延伸达千余公里的太古宙麻粒岩带^[2]构成了华北克拉通上一个特殊的构造单元,对于认识华北克拉通的早期地质演化历史具有十分重要的意义。这条麻粒岩带的西段就分布于内蒙古乌拉山-大青山地区,作者称其为大青山太古宙麻粒岩带^{[3,4]①}。

近些年来,华北麻粒岩带的地质研究成果已加深了人们对华北克拉通早期地壳性质及演化特征的认识。一批学术专著^[5,6]及文集^[7]的出版更是对这种学术认识的深化起到了积极的推动作用。本文通过对大青山麻粒岩带地质演化特征的分析,对太古宙末期华北克拉通的性状提出个人的看法。

1 大青山太古宙麻粒岩带的基本地质特征

大青山太古宙麻粒岩带分布于内蒙古乌拉山-大青山地区,西起包头以西,向东经石拐子、

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号8400007)。

① 甘盛飞. 内蒙古太古代麻粒岩带的地质特征与构造演化. 北京大学博士学位论文. 1988.

本文1995年10月收到,1996年3月改回,郝梓国编辑。

五当召、旗下营延至呼和浩特,呈东西走向,延长约 230km,最宽处约 35km,由中晚太古代乌拉山群高级变质岩系组成(图 1),构成了华北麻粒岩带的西段。

对于乌拉山群的成岩年龄,学术界有着不同的看法。金魏和李树勋将大青山地区早前寒武纪岩石,即乌拉山群(包括部分集宁群)一分为三,即太古宙岩系,早元古代岩系和再造岩系^[7]。刘喜山倾向于把乌拉山群的形成时代归入早元古代^[8]。沈其韩等和李树勋等^[5]则认为乌拉山群主要形成于中晚太古代。本文作者基于野外实际调查,认为乌拉山群岩石是中晚太古代时期在下集宁群基底之上形成的,其层位与上集宁群相当^[10]。在大青山地区,乌拉山群地层层序总体上为南老北新,但其中因一系列褶皱作用而被复杂化^[11]。

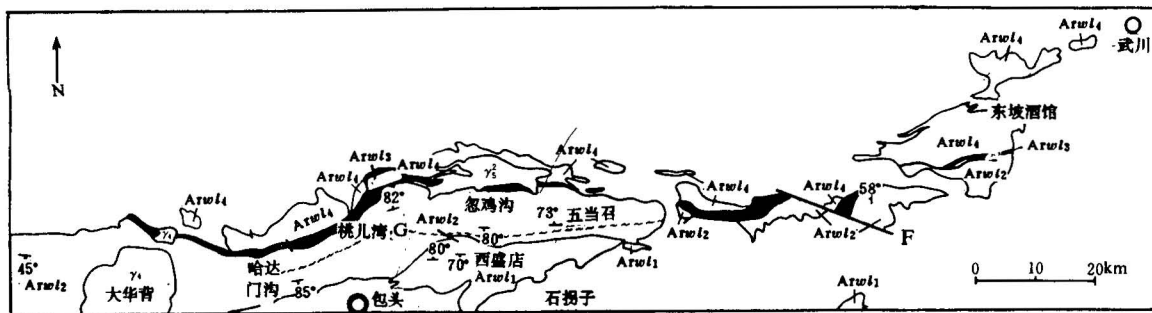


图 1 内蒙古大青山太古宙麻粒岩带地质略图

Fig. 1 A geological map of the Archean granulite belt of the Daqing Mountains, Inner Mongolia

Q 第四系; Arwl₄ 乌拉山群第 4 岩组; Arwl₃ 乌拉山群第 3 岩组; Arwl₂ 乌拉山群第 2 岩组; Arwl₁ 乌拉山群第 1 岩组; Y_s 燕山期花岗岩; Y₄ 海西期花岗岩; G 眼球状片麻糜棱岩带; F 后期断层

Q Quaternary; Arwl₄ No. 4 formation complex of the Wulashan Group; Arwl₃ No. 3 formation complex of the Wulashan Group; Arwl₂ No. 2 formation complex of the Wulashan Group; Arwl₁ No. 1 formation complex of the Wulashan Group; Y_s Yanshanian granites; Y₄ Hercynian granite; G Augen gneissic mylonite zone; F fault

1.1 变质岩石组合及其产状

乌拉山群岩系,依照其矿物组合及结构构造等特征,可分为麻粒岩类、片麻岩类、大理岩类和片岩类、角闪岩类。其中前三类岩石为乌拉山群的主体,后两类岩石所占比例甚小。

麻粒岩类 以含紫苏辉石等暗色矿物为特征,可进一步分为暗色麻粒岩和浅色麻粒岩,包括磁铁二辉麻粒岩,二辉斜长麻粒岩,黑云角闪紫苏斜长麻粒岩,含紫苏钾长石英麻粒岩,紫苏角闪长英质麻粒岩等。其中二辉石的最高含量可达 27%—30%。紫苏辉石多呈斜消光,最大消光角可达 16°。有时可见红棕色黑云母、棕色角闪石与二辉石共生。

麻粒岩在乌拉山群岩石中约占 20%—30%,呈厚层状稳定产出,片麻理较发育,主要分布在乌拉山群的下部层位,在哈达门沟南头、石拐子、五当召等地出露较多。

片麻岩类 该类岩石出露最广,在乌拉山群中约占 60%—70%,可进一步分为石榴黑云斜长片麻岩,长英质片麻岩(含黑云长英质片麻岩、石英钾长片麻岩、含黑云石榴长英质片麻岩等),角闪斜长(二长)片麻岩,辉石角闪(石榴)黑云片麻岩等亚类。其中的暗色矿物以角闪石、黑云母、石榴石为主。浅色矿物中,钾长石的含量在长英质片麻岩中最高可达 70%,以微斜长石和条纹长石为主。这类岩石在大青山地区大面积出露,沿其走向稳定分布,矿物粒度较粗,片

麻理十分发育,常构成一些厚层状岩层。其中石榴黑云斜长片麻岩多分布在大青山南麓。长英质片麻岩类在各地都有出露,而且其 REE 地球化学特征显示这类岩石可能代表了一类太古宙高级岩区的特征岩石^[12]。

大理岩类 包括蛇纹石化橄榄石大理岩、含透辉石大理岩、含方柱石大理岩。位于乌拉山群上部层位第三岩组,约占 10%。野外多呈厚层块状,东西向分布于哈达门沟北头、桃儿湾、固阳县大南沟、卓资县聚宝盆、武川县李齐沟等地,产状十分稳定,是地层划分的重要标志。

1.2 变质矿物的组合及变质作用

乌拉山群麻粒岩类岩石的变质矿物组合包括 Hy-Cpx-Qz-Mt; Hy-Cpx-Pl-Qz-Kf-(Mt); Hy-Pl-Qz-Kf-Gt; Hy-Cpx-Pl-Gt-Bi-Mt; Hy-Cpx-Pl-Qz-Hb-Bi-Mt; Hy-Pl-Qz-(Kf)-Hb-Bi-(Mt)。片麻岩类岩石的矿物组合有 Cpx-Gt-Pl-Mt; Cpx-Pl-Kf-Bi-Hb-Qz; Gt-Pl-Kf-Bi-Qz-(Ep); Gt-Pl-Bi-(Hb)-(Qz)-(Ep); Kf-Bi-Hb-Qz; Pl-Kf-Qz; Pl-Bi-Hb-Qz-(Ep)-(Mt)。从中可以划分出四种特征的变质矿物组合:(1)紫苏辉石-单斜辉石-斜长石-石英-(黑云母)-(角闪石);(2)单斜辉石-钾长石-石榴石-石英-(斜长石或单斜辉石)-黑云母-角闪石-石英;(3)红棕色黑云母-石榴石-钾长石-石英或红棕色黑云母-棕黄色角闪石-斜长石-石英以及铁铝榴石-钾长石-石英;(4)绿色黑云母-绿色角闪石-斜长石-石英-(钾长石)。其中组合(1)为典型的麻粒岩相变质矿物组合,组合(4)为退变质矿物组合。野外观察表明,组合(1)和(2)主要分布于大青山南麓乌拉山群的下部层位,组合(3)则主要分布于乌拉山群上部层位岩石之中。

利用二辉石地质温度计,石榴石-黑云母地质温度计和压力计计算结果表明^[13],大青山太古宙麻粒岩带岩石的变质温度为 750—850℃,变质压力为 0.7—0.9GPa,地温梯度为 25—28℃/km,属于低—中压麻粒岩相。变质矿物的空间分布和变质矿物的标型特征^[10]都一致反映,在大青山地区,大青山南麓乌拉山群下部层位岩石的变质程度高于北麓乌拉山群上部层位岩石的变质程度。据此,由南向北,在大青山太古宙麻粒岩带岩石中,可进一步划分出二辉麻粒岩相和角闪麻粒岩相两个变质带。

元古宙时期,在大青山及其以北地区,接受元古宙二道洼群及其上覆岩层沉积时,乌拉山群岩石受到了第二次升温作用的影响^[10,13],发生了绿帘角闪岩相的退变质作用。

1.3 构造变形特征

大青山太古宙麻粒岩带岩石中片理或片麻理十分发育,产状很稳定,东西走向,北倾或南倾,倾角很陡。294 组片理的产状统计显示(图 2a),整个大青山地区乌拉山群岩石片理的产状具有两个明显的优势方位:174°∠83°和 352°∠88°。按其形成的先后关系可分为两期片理:S₁和 S₂。第一期片理 S₁ 通过矿物的定向排列及岩石的成分分层显示出来。第二期片理 S₂ 为 S₁ 的褶皱轴面片理或剪切置换片理。在露头范围内,两组片理相互平行,难以严格区分开^[14]。

大青山太古宙麻粒岩带岩石中存在三期褶皱构造(F₁, F₂ 和 F₃)。F₁ 为一系列小型板内无根褶皱和相似褶皱,晚于 S₁ 或与 S₁ 相伴出现。F₂ 为大青山太古宙麻粒岩带的主体褶皱,多为相似褶皱或顶厚复式褶皱,规模数米至数十米不等。轴面直立,褶皱轴呈东西走向,倾伏角 10°—15°。野外实测 46 组 F₂ 褶皱轴的产状优势方位为 248°∠8°(图 2b)。而片理的优势产状所反映的 F₂ 褶皱轴的总体产状为 262°∠13°,两者基本一致。F₃ 为后期叠加背形或向形,褶皱轴陡倾,规模较小,一般对地层层序没有影响。

大青山太古宙麻粒岩带岩石中的矿物线理可分为两组(L₁ 和 L₂)。由长石、石英等浅色矿物拉长平行定向排列构成了 L₁,由角闪石、黑云母等暗色矿物及其集合体定向分布构成了 L₂,

均相当于“a”线理,平行于运动方向,产状十分稳定。整个大青山太古宙麻粒岩带岩石中 112 组矿物线理的产状显示出两个明显的优势方位,即 $88^\circ \angle 34^\circ$ (L_1) 和 $250^\circ \angle 40^\circ$ (L_2)。其中 L_1 以五当召一带发育最好, L_2 多出现在哈达门沟、包头—白云鄂博铁路沿线等地。

变形量计算结果表明,大青山太古宙麻粒岩带岩石在平行片理方向上被拉长了 67%—86% 或 175%, 在垂直于片理方向上被压缩了 48%—68%^[3,14]。岩石的显微变形特征和高温石英组构特征^[10]反映,本区麻粒岩带岩石广泛的塑性变形发生在 700—800℃ 或 650—750℃ 的条件下,亦即是在高峰麻粒岩相变质作用之后的麻粒岩相至高级角闪岩相温度条件下发生的。

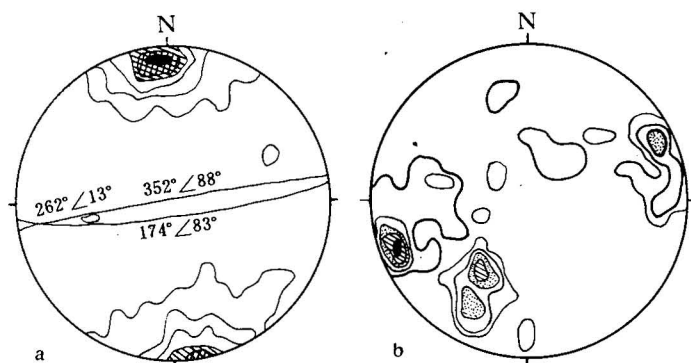


图2 大青山太古宙麻粒岩带岩石的片理产状(a)和 F_1 褶皱轴产状(b)统计图

(等值线 1%—3%—5%—7%—9%—11%)

Fig. 2 Stereographic projections of schistosity attitudes of the rocks (a) and F_1 fold axes (b) in the Daqingshan granulite belt (isopleth line 1%—3%—5%—7%—9%—11%)

2 太古宙麻粒岩带与太古宙板块构造问题

太古宙末期在地壳上麻粒岩相变质岩带的广泛出现是地壳早期地质演化历史时期中的重大事件。前苏联著名地质学家哈茵(B. E. Хаин)将地壳构造型式的演变归纳为大型冲击环形构造→花岗岩片麻岩穹隆→麻粒岩带→推覆→褶皱构造^[1]。可见太古宙麻粒岩带是地壳构造演变机制发生转变的一个重要标志。

这些年,在世界上已陆续识别出了不少规模不一的太古宙麻粒岩带,如巴西境内的大西洋麻粒岩带和 Goias 麻粒岩带^[15]①,非洲的林波波带(Limpopo Belt)^[16],印度南部的 Khondanite 麻粒岩带^[17],芬兰和挪威等地的 Lapland 麻粒岩带^[18],以及我国的华北麻粒岩带。

这些太古宙麻粒岩带一般都连续出露于地表,沿其走向稳定延伸数百公里至千余公里。同一麻粒岩带各地段的岩石组合、变质作用、构造变形特征及构造线方向等都具有明显的统一性,成为太古宙地壳中独具一格的构造单元,也是地壳上最早出现的较大规模的、具稳定产状的线状或带状构造,因而引起了前寒武纪地质学家的普遍注意。

Katz 最早将板块构造与太古宙麻粒岩带联系起来^[19]。他认为太古宙麻粒岩带是在早期转换断层基础之上发育起来的。Barbey 等认为芬兰和挪威境内的 Lapland 麻粒岩带是由于一个相对较厚的大陆壳与一个大洋壳相碰撞而形成的^[20]。Windley 通过岩石学特征的对比,认为太古宙麻粒岩-片麻岩带相当于中生代—新生代科迪勒拉褶皱带主弧的根部岩基出露体^[21]。Van

① 甘盛飞. 巴西太古宙麻粒岩带地质特征. 内蒙古自治区地质矿产局科技情报室编:地质科技情报,1989(3):47—67.

Reenen 等^[16]和 Roering 等^[22]建立起了 Limpopo 带早期构造演化的板块构造模式。钱祥麟等也较早将板块构造应用于华北太古宙麻粒岩带的构造演化分析^[2]。

因此,太古宙麻粒岩带的出现实际上代表了地壳板块构造演化机制的早期产物。而关于太古宙时期地球的热状态(地幔对流)和地壳的刚性程度的研究成果也为板块构造机制提供了有力证据。

Campell 认为地幔对流可能存在于地球的整个地质历史时期,这种对流的活度以瑞利值表示,对于某一单层,瑞利值为^[23]:

$$R = \frac{ga\Delta Td^3}{kv}$$

其中 R 为瑞利值; g 为重力加速度; a 为热膨胀系数; ΔT 为单层上下的温差; d 为单层的厚度; k 为热扩散系数; v 为动力粘度。

当 R 超过某一临界值 R_c 时,如果从单层的底部加热,就会产生热对流循环。当 $R/R_c \geq 50$ 时,有很活跃的热对流;当 $R/R_c \geq 5 \times 10^5$ 时,热对流的边界就很不稳定了,变为无序。Jarvis 和 Piltier 认为^[24],现代地幔的 $R/R_c \approx 5000$,上地幔的 $R/R_c \approx 200$,因而当今地幔对流是强烈的。

现代洋中脊玄武岩中 MgO 的最高含量约为 18%,其液相温度相当于 1350—1400℃^[25];分布于太古宙的科马提岩的 MgO 的最高含量可达 32%,其液相温度超过 1650℃^[26],亦即太古宙时期地幔温度比现在约高 250—300℃,其 $R/R_c > 5000$ 。因此,太古宙地幔的热对流应当是相当强烈的。

另一方面,太古宙地壳的刚性亦通过一系列太古宙地体的产状特征而得以证实。太古宙麻粒岩带呈明显的线性长条状构造带出露,其构造线十分稳定。若当时地壳没有足够的刚性,要形成这种构造单元恐怕是较困难的。在非洲津巴布韦克拉通上,2.46Ga 前侵位的著名的“大岩墙”很少变形^[27]。Barton J R 和 Key 的研究表明^[28],津巴布韦克拉通和 Kapvaal 克拉通在 2.6Ga 年之前就已成为稳定的板块。Moralev 的资料显示^[26],太古宙时期阿尔丹(Aldan)地盾上可能存在相对刚性的微板块。

Groves 等根据世界上金刚石和 Pt-Pd 矿床的产出特征,也认为在 3.0Ga 之前地球上局部地区就已经存在厚的硅铝地壳和刚性岩石圈^[29]。

由此看来,太古宙时期的确具备板块运动的条件。但考虑到当时地幔的快速的小规模对流,板块间的俯冲作用可能并不明显,岩浆板下底垫作用(underplating)可能是地壳增厚的一种重要方式,从而显示出与现代板块运动的差异。

3 大青山太古宙麻粒岩带的形成环境和太古宙地壳的刚性

根据岩石的化学成分特征、稀土元素地球化学特征和锆石的标型特征,对乌拉山群变质岩系的原岩及其形成环境进行了分析^[10,12]。结果显示,乌拉山群中麻粒岩类岩石的原岩,主要为玄武岩和安山质凝灰岩,片麻岩类岩石的原岩包括粘土质杂砂岩、安山质凝灰岩和玄武岩,组成了一套以各种粉砂岩、杂砂岩为主,包括凝灰岩、玄武岩、安山岩等在内的砂质沉积火山岩和火山熔岩组成的巨厚火山岩-沉积岩建造,另有少量原岩,以高铝系列(钙碱系列)和碱性系列

为主,玄武岩具大陆型玄武岩性质;安山岩基本上属于大陆内部的碱钙质系列^①。而长石砂岩、粉砂岩、泥质杂砂岩、粘土质杂砂岩以及高铝的粘土质岩(变质成夕线石榴斜长片麻岩)等组成一套陆源碎屑沉积建造,具有快速堆积的特点,同时又经历了一定距离的搬运,使其中沉积的锆石具有明显的磨圆和刻蚀特征^[10]。另外,还有镁质含量较高的碳酸盐岩建造。这些特征表明,乌拉山群岩石主要是在相当于活动大陆边缘的环境中形成的,有较多的陆源碎屑物质沉积,伴有一定的火山活动及侵入作用。碱性系列玄武岩与钙碱性玄武岩系列同等发育表明,该活动带当时已具有一定的稳定性,地壳已具有相当的厚度,大致相当于现代活动大陆边缘靠大陆一侧的浅水边缘盆地,与 Windley^[30]和 Burke^[31]所认为的太古宙高级岩区的形成环境相似。

乌拉山群岩石的稀土元素地球化学特征^[10]还表明,杂砂岩类岩石的沉积物可能来自火山岛弧的安山岩或酸性火山岩,变质角闪斜长片麻岩类岩石的稀土特征与太古宙亏损型拉斑玄武岩相似。所以,整个大青山太古宙麻粒岩带形成于活动大陆边缘岛弧靠近大陆一侧的环境。

变质温压条件测试结果显示^[13],乌拉山群岩石发生麻粒岩相变质时的变质压力为 0.7—0.9GPa,相当于 25—30km 的埋藏深度,这意味着太古宙时期内蒙古地区大陆地壳的厚度与显生宙地壳的厚度已基本相当了。这与原岩恢复结果和岩石稀土元素地球化学特征所反映的情况是一致的。

研究工作中,我们还首次在乌拉山群岩石中发现了形成于太古宙的黑云母击像(图 3)^②。击像出现在深棕色或红棕色的早期黑云母之上,具有击象的黑云母的退变质现象普遍,颗粒的边缘多被绿帘石绿泥石或绿色黑云母取代(图 3)。在后期的绿色黑云母晶体中不出现击像。因此,黑云母击像应当是在乌拉山群岩石发生太古宙麻粒岩相变质期间或之后、元古宙退变质作用之前,伴随大青山眼球状片麻糜棱岩带的形成而出现的。

黑云母击像是快速受力、脆性变形的产物。含有这种具击像的黑云母的岩石在受力发生变形时必然具有足够的刚性,表现为弹性或弹塑性行为。因此,乌拉山群岩石中太古宙黑云母击像的存在,表明当时的地壳已具有足够的刚性,能够急速传递应力,使其内部的矿物(黑云母)在外力急速作用下能发生脆性变形。华北克拉通北缘太古宙麻粒岩带能沿其走向稳定延伸达千余公里,而且构造线方位基本不发生显著变化,这也要求当时地壳块体具有较高的刚性程度。所以,可以认为,在大青山太古宙麻粒岩带形成之时,地壳的厚度和刚性稳定足以适应板块构造的整体运动及其有关的变形。

4 大青山太古宙麻粒岩带的演化模式

除了上述基本地质特征之外,下面这样一些地质事实对于建立大青山太古宙麻粒岩带的演化模式也能提供一些启示。

(1) 乌拉山群岩石中铀、钍含量较低, K/Rb 值较高, 锶、钡含量较高^[10], 表明这套岩石曾处于地壳的较深部位。在发生麻粒岩相变质作用期间, 有富含 CO₂ 的流体加入^[5]。

(2) 乌拉山群岩石变质作用的顺时针近环形 P-T 轨迹显示^[10], 太古宙时期乌拉山群岩石在 25—30km 深部地壳发生变质时, 温度和压力的变化具不一致性。在麻粒岩相变质期间, 岩

① 内蒙古第一区域地质调查队等. 内蒙古区域变质作用研究(供审稿). 1985.

② 甘盛飞. 内蒙古大青山地区太古代麻粒岩带中的黑云母击像及其构造意义. 国际变质作用与地壳演化学术讨论会论文摘要, 长春地质学院, 1988, 15.

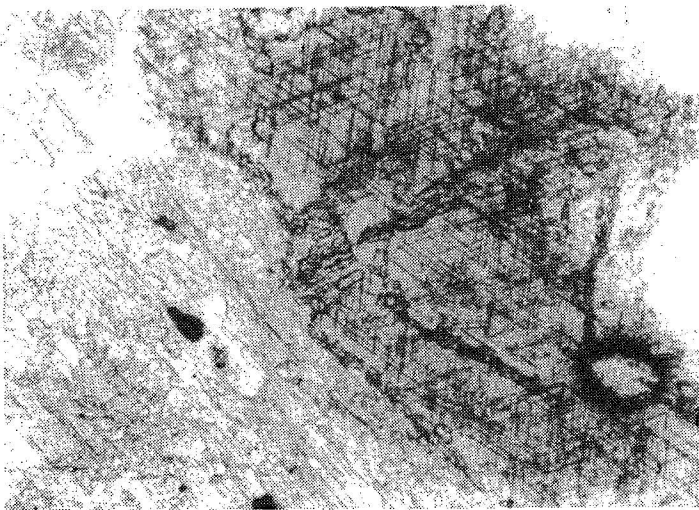


图 3 内蒙古乌拉山群岩石中存在的太古宙黑云母击像

Fig. 3 Archean biotite percussion figure in the rocks of Wulashan group in Inner Mongolia

石经历了升压升温—降压升温—等压降温—降压降温的复杂演变过程,反映当时地壳活动的多变性。乌拉山群沉积变质岩中岩性韵律变化特征^[11]也反映了这一点。

(3) 乌拉山群岩石中一些被改造成与早期片理平行的基性岩墙受到了麻粒岩相变质作用的改造,表明变质作用是在 S_1 形成的同时或稍后发生的。

(4) 我国华北北部太古宙岩区的同位素年龄多集中在 2.4—2.55Ga 之间。董启贤收集了内蒙古太古宙岩区的 139 件同位素年龄资料^①,其中多数分布在 2.4—2.6Ga 和 1.88—2.07Ga 这样两个年龄组。表明 2.4—2.6Ga 期间华

北北部发生了一次重要的地质热事件。乌拉山群岩石麻粒岩相变质和变形作用可能就是在这一期间发生的。另外,有人在乌拉山群岩石中得到了 3.108Ga 的 Rb-Sr 等时线年龄值。这可能代表了乌拉山群的成岩年龄。

(5) 矿物和岩石的显微变形特征、石英组构特征反映,乌拉山群岩石强烈的构造变形是在高温条件($>650^{\circ}\text{C}$ 或 $>700^{\circ}\text{C}$)与麻粒岩相变质作用同时或稍后发生的。

(6) 在乌拉山群变质岩系之上,不整合有浅变质的下元古界二道洼群岩石,其底部砾岩中沉积锆石的 U-Th-Pb 年龄为 2.35Ga^[2]。往东,在大同—张家口一带,形成于早元古代的五台裂谷中的一套浅变质岩石穿切了太古宙麻粒岩带。这表明,华北太古宙麻粒岩带在太古宙末或早元古代初已上升出露于地表。

(7) 在大青山地区,后期脆性推覆断裂构造发育,这对太古宙麻粒岩带的现今产状有一定影响。大青山北侧的古生代地层普遍北倾,反映该区地壳自中生代以来有不均匀抬升。

综合上述地质资料,作者提出大青山太古宙麻粒岩带的板块构造演化模式(图 4)如下。

早太古代末期(Ar_3)古洋壳形成 内蒙古地区可能存在最早期的小型洋盆。当时地热流值高,火山活动频繁。薄的硅铝质地壳处于重力均衡漂浮状态,并且具有一定的稳定性。地壳中有一些早期基性岩墙的侵入。这种基底大致与下集宁群相当(图 4-A)。

中太古代晚期(Ar_2)乌拉山群形成 从地幔不断分异出的花岗岩浆注入到地壳下部,通过板下底垫作用使地壳加厚。在大陆边缘出现长轴近东西向的浅水沉积盆地——古蒙古洋,开始了乌拉山群岩石的沉积。这时期的火山活动也较强烈,逐渐形成了乌拉山群下部层位的以砂、

① 董启贤·内蒙古太古宙同位素地质年龄资料及浅析·内蒙古地质,1987(1):1—13.

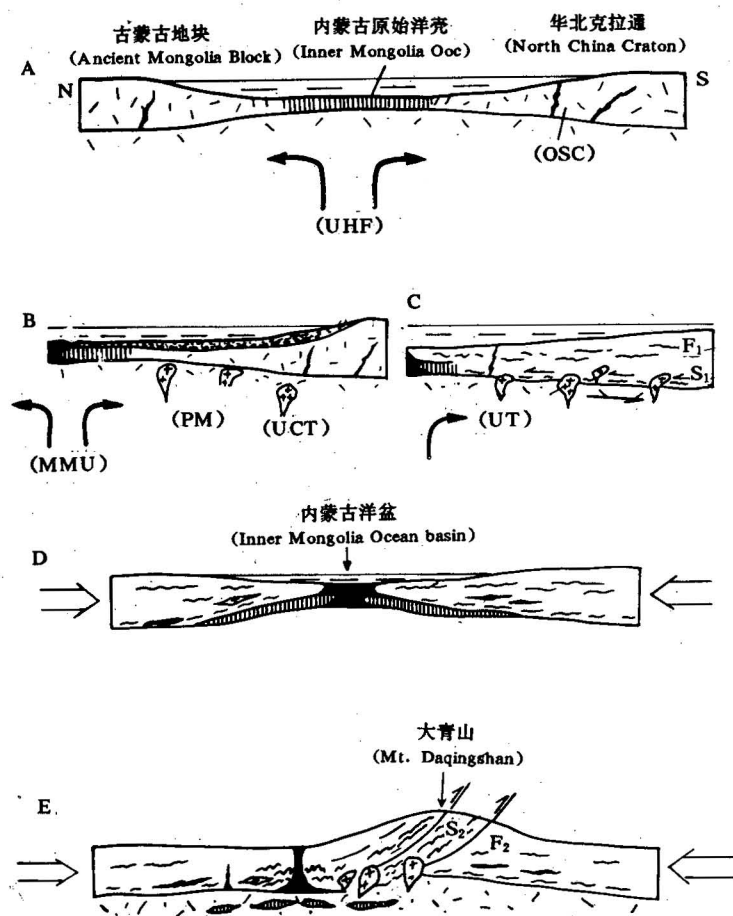


图4 内蒙古大青山太古宙麻粒岩带的演化模式图

Fig. 4 Geological evolution model of the Daqingshan granulite belt

A 早太古代末期:处于重力均衡漂浮状态的原始硅铝质陆壳开始出现洋壳;B 中太古代晚期:呈东西向展布的浅水沉积盆地沉积了乌拉山群;C 晚太古代早期:地壳下部发生麻粒岩相变质作用和近水平的韧性剪切变形,形成 F_1 , S_1 及早期线理;D 晚太古代晚期:南北向挤压,洋壳向陆壳作低角度俯冲,古洋开始关闭;E 晚太古代末—早元古代初:南北向挤压,古陆壳碰撞形成 S_2 , F_2 和眼球状片麻岩带;麻粒岩带逆掩上升出露于地表;OOC 原始洋壳;UHF 上升热液;OSC 原始硅铝壳;PM 部分熔融物质;MMU 地幔物质上升;UCT 底板增厚;UT 板下增厚

A Ar_3 : Formation of original ocean crust in salic continental crust which was in a status of gravity-balanced drifting; B Ar_3 : beginning of deposition of Wulashan Group sediments in shallow-water basin whose long axis was in an E-W direction along the northern margin of the North China Craton; C Ar_3 : in the lower crust, Wulashan Group rocks started granulite facies metamorphism and horizontal ductile deformation, F_1 - S_1 and one set of mineral lineation were formed; D Ar_3 : under N-S pressure, the ocean crust began to subduct towards continental crust with a low angle, the ancient ocean was closed gradually; E Ar_3 - Pt_1 : under continuous N-S pressure, the continental crustal blocks collided with each other, S_2 , F_2 and the augen gneissic mylonite zone were formed, granulite facies rocks of the Wulashan Group were thrust up to the surface of the earth, forming the Daqingshan granulite belt in Inner Mongolia; OOC original ocean crust; UHF uplifting heat-flow; OSC original salic crust; PM partial melting; MMU mantle material uplift; UCT underplating and crust thickening; UT underplate thickening

泥质砂岩、海底火山沉积岩、流纹岩、玄武岩为主的火山岩-沉积岩建造,并有一些花岗闪长岩类岩浆侵入。同时,由于地壳的轻度振荡运动,形成了乌拉山群沉积岩系中的岩性韵律层。一些基性岩浆发生深层侵位,形成了乌拉山群的早期基性岩墙(图4-B)。

晚太古代早期(Ar_3)发生麻粒岩相变质及韧性剪切 乌拉山群岩石继续接受沉积,形成了上部层位的粉砂岩、碳酸盐岩建造。而深部岩石(25—30km深处)在温度升高、压力加大的影响下,开始发生麻粒岩相的变质。在这期间,下地壳近水平的剪切运动在乌拉山群岩石中形成了 S_1, F_1 及矿物线理。韧性剪切逆掩作用使部分地层叠置加厚。地幔分异物质上涌,地壳底部部分熔融,一些花岗质岩浆不断在板底产生垫托作用,导致地壳轻度上隆拱起,压力降低而温度继续增加。当上升到一定高度,达到重力均衡,则停止隆起,压力保持不变而温度开始降低,出现等压降温过程;接着,地幔物质分异减弱,热流供应量减少,板底垫托减弱,而上部在接受火山-沉积物质的堆积,致使下部地壳岩石移向更深部位,出现增压降温过程;这之后,下部地壳有轻微抬升,变质温度又再度升高,出现降压升温过程,从而产生了乌拉山群麻粒岩相变质作用的顺时针环状 $P-T$ 轨迹(图4-C)。

晚太古代晚期(Ar_3)古洋盆闭合 由于古蒙古地块和华北克拉通的相向作用,内蒙古东西向的沉积小洋盆在南北向挤压力作用下逐渐缩小,洋壳开始向两侧大陆作低角度的逆掩俯冲。地壳下部的乌拉山群岩石仍处于麻粒岩相变质条件,岩石发生广泛的近水平的韧性剪切变形,形成了由拉长矿物定向排列而成的另一组矿物线理。早期基性岩墙也被剪切改造而与片理平行(图4-D)。

晚太古代末至早元古代初($Ar_3-Pt_1, 2.4-2.5Ga$)麻粒岩带逆冲于地表 华北克拉通与北侧的古蒙古地块发生板块对接,古蒙古洋最后封闭。此时华北克拉通地壳已具有相当的厚度和一定的刚性。当两大板块碰撞,其内部能够迅速传递应力。象黑云母这种对应力作用敏感的矿物则出现击像。在南北向挤压力的持续作用下,发生强烈褶皱、片理化,形成了大青山太古宙麻粒岩带中的 F_2, S_2 。随后,在地壳深部发育一系列向北倾、由北向南推覆的逆掩型高温韧性剪切带——大青山眼球状片麻糜棱岩带^[5,8,10]。下部地壳的乌拉山群麻粒岩相岩石就沿着这些高温韧性剪切带逆掩上升而出露于地表,构成东西向的造山隆起带,并遭受剥蚀。至此,内蒙古就出现了东西向展布的太古宙麻粒岩带——大青山麻粒岩带,从而结束了其早期演化历史(图4-E)。

到早元古代时期,内蒙古太古宙麻粒岩带又一次下沉,其上不整合形成了元古宙二道洼群火山沉积岩组合,下沉的乌拉山群岩石受到第二次升温作用的影响而发生绿帘角闪岩相的退变质。同时,出现一些小型韧性剪切带、鞘褶曲和小型叠加褶皱(F_3)。古生代、中生代时期,本区地壳又几度上升剥蚀和下降沉积^[32]。中生代时期的燕山运动使本区形成了一系列冲断推覆构造,太古宙岩石逆冲到侏罗纪地层之上。同时,大青山山脉形成,地壳不均匀抬升,太古宙麻粒岩带的片理和眼球状片麻糜棱岩带的倾角变大甚至出现倒转。形成了内蒙古大青山太古宙麻粒岩带现今的地质产状特征。

参 考 文 献

- 1 Хаин В.Е. Современная структура континентов и океанов и основные этапы ее формирования. Геомекмонака, 1985(3): 77—78.
- 2 钱祥麟,崔文元,王时麟. 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. 1985, 20—20

- 3 甘盛飞. 内蒙古大青山太古宙麻粒岩带地质构造特征. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所刊, 1991, 23: 39—54.
- 4 Gan Shengfei, Tectonic evolution of the Archean granulite belt of Mt. Daqingshan in Inner Mongolia, China. Third International Archean Symposium, Perth, 1990 Extended Abstracts Volume. 223—225. Geoconferences (W. A.) Inc., Perth, 1990.
- 5 李树勋, 徐学纯, 刘喜山, 孙德育. 内蒙古乌拉山地区早前寒武纪地质. 北京: 地质出版社, 1994, 1—140页.
- 6 钱祥麟, 王仁民(主编). 华北北部麻粒岩带地质演化. 北京: 地震出版社, 1994. 1—234页.
- 7 金 魏, 李树勋. 内蒙古大青山地区早元古造山带的岩石组成及特征. 见: 钱祥麟, 王仁民(主编). 华北北部麻粒岩带地质演化. 北京: 地震出版社, 1994. 32—42页.
- 8 刘喜山. 大青山造山带中基底再造杂岩的特征及其指示意义. 岩石学报, 1994, 10(4): 413—425.
- 9 沈其韩, 高吉凤, 张荫芳, 董启贤, 李永森. 内蒙南部太古代麻粒岩—片麻岩岩石学及稀土地球化学特征. 见: 国际前寒武纪地壳演化讨论会议文集, 第二集. 变质岩地球化学和成矿作用. 北京: 地质出版社, 1986, 107—124页.
- 10 甘盛飞. 内蒙古大青山太古宙麻粒岩带的变质构造演化及金的成矿. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992.
- 11 甘盛飞, 钱祥麟. 内蒙古大青山地区乌拉山群的岩性韵律与地层层序. 见: 岩石圈地质科学, 北京: 北京大学出版社, 1990, 69—77页.
- 12 甘盛飞, 钱祥麟. 内蒙古太古代乌拉山群岩石的稀土地球化学特征及其所反映的成岩环境. 北京大学学报(自然科学版), 1991, 11(2): 11—18.
- 13 甘盛飞. 内蒙古乌拉山群麻粒岩相岩石的变质温压条件. 矿物岩石, 1991, 11(2): 11—18.
- 14 Gan S. Structural deformation of the Daqingshan granulite belt, North China Craton J. Southeast Asian Earth Sciences, 1994. 10, 191—204.
- 15 Wernick E. The Atlantic granulite belt, Brazil. In: J. E. Glover and D. I. Groves (Eds), Archean geology, Spec. Publ. Geol. Soc. Aust., 1981, 7: 133—142.
- 16 Van Reenen D D, Barton J M, Jr Roering C, Smit C A, Van Schalkwyk J F. Deep-crustal response to continental collision: The Limpopo belt of Southern Africa. Geology, 1987, 15, 11—14.
- 17 Chacko T et al. Metamorphic *P-T* conditions of the superacrustal terrain. J. Geol. 1987, 95: 343—358.
- 18 Raith M and Raase P. High grade metamorphism in the granulite belt of Finnish Lapland. Geol. Soc. Spec. Publ., 1986, 24: 283—295.
- 19 Katz M B. Paired metamorphic belts in Precambrian granulite rocks in Gondwanaland. Geology, 1974, 2: 237—241.
- 20 Barbey P et al. 拉普兰(芬兰斯堪的亚)太古代地壳的花岗片麻岩区, 绿岩带和麻粒岩带的关系. 国外前寒武纪地质, 1982(1): 38—45.
- 21 Windley B F. Precambrian rocks in the light of the plate-tectonic concept. In: A. Kroner (Ed), Precambrian plate tectonics, Elsevier, Amsterdam. 1981, 1—20.
- 22 Roering C, van Reenen D D, Smit, C A, Barton J M, Jr, De Beer J H, De Wit M J, Stettler E H, Stevens G & Pretorius S. Tectonic model for the evolution of the Limpopo Belt, Precambrian Res, 1992, 55, 539—552.
- 23 Campell I H. Mantle convection and early crustal evolution. Precambrian Res. 1984, 26: 15—56.
- 24 Jarvis G T and Peltier W R. Mantle convection as a boundary layer phenomenon. Geophys. J. R. Astron. Soc. 1982, 68: 389—427.
- 25 Bickle M J et al. The petrogenesis of periodotitic komatitites: evidence from high pressure melting experiments. Earth Planet. Sci. Lett. 1977, 37: 97—106.
- 26 Moralev V M. Tectonics and petrogenesis of early Precambrian complexes of the Aldan Shield, Siberia. In: A. Kroner (Ed), Precambrian plate tectonics, Elsevier, Amsterdam. 1981, 237—260.
- 27 Nisbet E G et al. The evolution of the Rhodesian craton and adjacent Archean terrain: tectonic models. In: A. Kroner (Ed), Precambrian plate tectonics, Elsevier, Amsterdam. 1981, 161—183.
- 28 Barton JR J M, Key R M. The tectonic development of the Limpopo mobile belt and the evolution of the Archean cratons of southern Africa. In: A. Kroner (Ed), Precambrian plate tectonics, Elsevier, Amsterdam. 1981, 185—212.
- 29 Groves D I et al. Archean craton, diamond and platinum: evidence for coupled long-lived crustal systems, Geology, 1987, 15: 801—805.

- 30 Windley B F. The evolving continents. John Wiley & Sons, New York. 1984.
- 31 Burke K et al. Dominance of horizontal movements, arc and microcontinental collisions during later Permian Cegime. In: B F. Windley (Ed), The early history of the Earth, John Wiley & Sons, New York. 1976, 113—129.
- 32 陈琦, 仇甘霖, 薛林福, 邹新民, 周和平, 杜玉申. 内蒙古造山带南部古板块构造演化. 地质论评, 1993, 39(6), 477—483.

A PLATE-TECTONIC MODEL FOR THE EVOLUTION OF THE DAQINGSHAN GRANULITE BELT IN INNER MONGOLIA, CHINA

Gan Shengfei

(Department of Geology, Shenyang Institute of Gold Technology, Shenyang, Liaoning)

and Qian Xianglin

(Department of Geology, Beijing University, Beijing)

Abstract

One of the most important events in the early geological evolutionary history of the Earth was the wide occurrence of granulite belts at the end of the Archaean in the world, which means a possible transformation of evolution mechanism of the crust. More and more geological evidence shows that the Archaean continental crust was rigid and stable enough to start plate-tectonic movement. Archaean granulite belts are just the product of plate-tectonic movement of rigid Archaean crust. The Daqingshan granulite belt, which extends continuously for 230 km in an E-W direction in the Daqing Mountains of Inner Mongolia, is composed of granulite facies metasedimentary and metavolcanic rocks of the Late Archaean Wulashan Group which were formed under conditions of active continental margins. During the Late Archaean, Wulashan Group rocks underwent granulite facies metamorphism and ductile deformation at temperatures of 750—850°C and pressures of 0.7—0.9GPa, resulting in the formation of a series of folds (F_1 and F_2) and schistosity (S_1 and S_2) as well as mineral lineations. At the end of the Archaean, the North China Craton collided with the ancient Mongolian continental block under N-S pressure. The granulite facies rocks of the Wulashan Group were thrust onto the surface of the earth from the depth through a series of high-temperature ductile shear zones, i. e., the augen gneissic mylonite zone in the Daqing Mountains area. As a result, the Daqingshan granulite belt appeared along the northern margin of the North China Craton.

Key words: Archaean, plate tectonics, granulite belt, Wulashan Group, Daqing Mountains, Inner Mongolia

作者简介

甘盛飞,男,1961年7月出生于四川省广安县,1982年毕业于成都地质学院,1984年获东北工学院矿产普查与勘探专业硕士学位,1985年至1988年在北京大学学习,获构造地质学博士学位,1989—1993为沈阳黄金学院地质系副教授。1993—1995年在南非 Rand Afrikaans University 从事博士后研究。现为南非 Iscor 公司主任地质师。通讯处: Business Development, ISCOR Mining, P. O. Box 9229, Pretoria 0001, South Africa。