

大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用

邵济安

张履桥

(北京大学,北京,100871)

(内蒙古地质研究所,呼和浩特,010020)

牟保磊

(北京大学,北京,100871)

摘要 概括地介绍了大兴安岭中生代伸展造山过程,重点讨论了晚中生代火山岩、深成岩的岩石学及同位素地球化学特征:存在一套板内拉张环境下的A型花岗岩,火山岩为一套钾质粗面质岩石,大多数花岗岩和火山岩具有低的 $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ 值(0.704~0.708)和正的 (Nd, t) (1~4)值,据此认为这是底侵作用形成的一套壳-幔混熔岩浆的产物,结合岩浆喷发与侵位过程中的伸展构造分析,认为这是大陆内部伸展造山的重要证据。此外,笔者还在该区发现早中生代的一套幔源镁铁质堆晶岩和侵入岩、早一中侏罗世及早白垩世的基性岩墙群、早白垩世(130~120 Ma)超基性的角闪岩、玻基橄辉岩和碱性橄榄玄武岩。由此可以证明,大兴安岭晚中生代的花岗岩-火山岩活动只是伸展背景下的岩浆演化的一个阶段。

关键词 陆内造山 伸展造山 底侵作用 岩浆作用 大兴安岭

CLC P542, P588

80年代初美国盆岭省的研究者首先提出了伸展造山带这个名词。造山带的伸展构造引起了地学界的广泛关注。Howell (1989)从力学机制角度划分了八种类型造山带^[1],其中一种是热隆引起的造山作用,例如夏威夷由洋底火山活动形成的山脉。Wilson (1990)从变形的角度划分了三种类型造山带^[2],其中一种是垂直抬升形成的山脉,包括热点上方的山脊、裂谷或地堑旁侧的山系、洋中脊以及某些已抬升尚未裂开的山脉。尽管人们已经把造山带理解为岩石圈的一种变形构造带,挤压褶皱可以成山,伸展、走滑、火山活动同样可以成山^[3],但目前伸展造山的研究大多集中在大洋板内、大陆边缘或大陆裂谷地区。近年来,有人注意到中国华南中生代的拉伸环境^[4],或称之为华南盆岭省^[5],本文试图通过大兴安岭的岩浆活动对陆内造山,特别是大陆板内在幔隆背景下伸展造山的模式做一些讨论。

大兴安岭以其鲜明的NE走向横跨在古亚洲域不同构造单元之上,它从晚侏罗世进入强烈的火山喷发阶段,继之是大规模的岩浆侵位,早白垩世是它隆升的主要时期。导致隆升的伸展作用不仅形成了变质核杂岩,也形成了对称的盆岭格局。底侵作用引起的岩浆活动贯穿于晚三叠世-早白垩世,本文将重点讨论晚中生代的岩浆作用。由于赤峰以南的喀喇

收稿日期:1998-10-05 修改稿收到日期:1999-01-04

作者简介:邵济安,女,1940年生,教授,博士生导师,构造地质学专业。

本研究受国家自然科学基金项目(编号:49672156)资助。

沁旗-宁城地区中生代的构造演化与大兴安岭相近,因此本文讨论范围也包括该区。

1 大兴安岭隆升前后的构造演化

为了更清楚地了解大兴安岭隆升机制,有必要从构造演化继承性的角度将其隆升前后的构造热演化历史作一介绍。

晚二叠世-早三叠世本区结束了最后阶段的河湖相沉积之后,开始大面积隆升,同时造成了以二叠系为主的褶皱,并形成一条延长上百公里的白云母、二云母花岗岩带(242.8 Ma, K-Ar), $w(\text{REE})$ 低($19.41 \times 10^{-6} \sim 22.14 \times 10^{-6}$), Eu 为 0.36, $w(\text{A})/w(\text{CNK}) > 1.1$,是一套泥质岩石发生部分熔融生成的铝过饱和的花岗岩^[6]。二叠纪地层大多为一套中温、低压的绿片岩系岩石。

近年来在大兴安岭中、南部的林西、林东地区,一直到赤峰以南的喀喇沁旗-宁城地区陆续发现一些被闪长质岩石包裹的堆晶杂岩捕虏体,侵位于二叠纪地层中的镁铁质-超镁铁质岩石中,其中 7 个不同岩性、不同地点的堆晶杂岩捕虏体样品时代集中在晚三叠世(237 ~ 214 Ma, Rb-Sr, ^{39}Ar - ^{40}Ar 年龄),北部岩带呈 NE 走向,至宁城大营子一带从 NE 转为 NEE 走向,与承德高寺台、丰宁红石砬子、河北矾山、阳原、内蒙包头等地相连,构成一以 NEE 走向并斜切华北克拉通的基性-超基性构造岩浆岩带。这一构造转折在不同尺度的现象上都有表现,通过详查前中生代花岗岩中的糜棱岩带、早中生代堆晶杂岩捕虏体的分布以及该区莫霍面、康氏面的等值线展布(据张尔匡,1981),都清楚地显示由 NE40°~50°向 NEE70°方向转折的现象,其间 Al_2O_3 对 Sr 的正相关关系及 Al_2O_3 对 Sm-Nd 和 SiO_2 对 REE 的负相关关系,可以认为是这一个新的构造演化阶段的开始,以其新的构造格局和岩浆的幔源特征显示了它们的新生性^[7]。上述堆晶杂岩捕虏体除了特征的层状构造外,典型的地幔岩交代矿物组合——韭闪石、金云母、磷灰石以及高铝辉石($w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 13\%$)表明岩浆来源于上地幔,堆晶岩各组分还有 $w(\text{Zr})$ 值基本不变而 $w(\text{Ni})$ 值变化大的特点,均表明了它们分离结晶的特点,它们是幔源岩浆进入下地壳在堆晶岩浆房分离结晶的产物,后来被闪长岩作为捕虏体带上来^[8]。此外,八楞山辉长岩(228 Ma, Rb-Sr 等时线年龄)、海苏坝辉石岩、辉长岩(202 Ma, Rb-Sr 等时线年龄)、甘珠尔庙纯橄岩、辉长岩(241 Ma, U-Pb 年龄)都直接侵入二叠系中。总之这些幔源岩石的存在反映了早中生代岩石圈深部处于活跃的伸展状态,使得幔源物质得以渗入地壳。

大兴安岭中南段林西县一带分布了一套颇具规模的辉绿岩岩墙群,分布面积近百平方公里,形成时代为早侏罗世(199 Ma)、中侏罗世(170 Ma)和早白垩世(100 Ma)。三个时期岩墙走向依次从 NW330°, NW350°转向 NE10°,表明岩墙群侵位过程中,中、上部地壳变形在左旋剪切作用的控制下,应力场发生转变。辉绿岩的 $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ 为 0.703 6 ~ 0.704 8, $w(\text{REE})$ 低($70 \times 10^{-6} \sim 102 \times 10^{-6}$),采用 $w(\text{Zr})/w(\text{Y})-w(\text{Zr})$ 和 F1 ~ F2 关系判别图,辉绿岩属于典型的大陆拉斑玄武岩,物质来源于上地幔^[9]。岩墙群的侵位反映这一时期中上部岩石圈处于伸展状态。

大兴安岭经历了晚中生代($J_3 - K_1$)强烈的构造-岩浆作用之后,又经历了晚白垩世和古新世的长期剥蚀夷平。始新世之后(8.86 ~ 4.79 Ma)随着大面积玄武岩喷发,本区又进入一个快速抬升的阶段,如昭盟双井地区白岔河北侧第四纪松散的河床相砂、砾石现已相对抬

升了 110 m。大兴安岭西侧的阿巴嘎 - 达里诺尔地区和东侧的辽西地区广泛分布了新生代含幔源包体的溢流玄武岩,以碱性玄武岩为主,夹有拉斑玄武岩,是典型的大陆裂谷作用产物^[10,11],显示上地幔大面积隆升。根据中国东部大范围玄武岩的喷发,邓晋福等人推测有地幔热柱的存在,大兴安岭和阿巴嘎分别被划作为两个新第三纪 - 第四纪的亚热柱^[12]。伴随中 - 新生代地幔柱的逐渐上升,岩石圈也经历了不断减薄的过程,地学断面资料显示松辽盆地安达附近岩石圈厚度仅有 60 km^[13],大兴安岭只有 70 ~ 90 km,在上地壳 8 km 和下地壳 30 km 处各存在一个低阻层^[14,15],软流圈顶面呈现上凸的现象。与此相应,该区处于地热异常区,西拉木伦河以北的大兴安岭大地热流值平均为 66.06 mW/m²,局部高达 79.55 mW/m²,而华北克拉通平均为 46.83 mW/m²^[16]。表明大兴安岭是一热流值比较高的现代伸展区。据 Smithson 研究,现代伸展区下地壳的底侵作用正在进行,同时导致麻粒岩相的变质作用^[17]。汉诺坝新生代玄武岩中发现了中生代麻粒岩捕虏体,这是中生代底侵作用的重要证据,据樊祺诚认为,它不同于华北克拉通的麻粒岩,可能具有现今下地壳的组成特点^[18]。

综上所述,早中生代岩石圈处于初始伸展的阶段,新生代岩石圈伸展减薄,大面积玄武岩喷发,下文将论述处于二者之间的晚中生代构造演化特征。

2 晚中生代大兴安岭的隆升

大兴安岭 75 % 的面积被火成岩占据,沿着黄岗梁 - 甘珠尔庙的主峰带布格重力异常图上呈现一 NE 向延伸的椭圆形重力低值区^[19],与地表大面积出露的中生代花岗岩 - 次火山岩一致。同时这一地带在莫霍面等深图上呈现一 NE 向平缓的慢洼,结合前文提到的大兴安岭下方软流圈上凸的现象,可以认为这里的岩石圈地幔部分具有细颈化的趋势。从热传递的角度看,岩石圈现存的结构特征至少可以向前推 100 Ma^[20],因此可以认为正是这一“细颈化”的结构特征为大兴安岭晚中生代的底侵作用和活跃的壳 - 幔交换作用提供了必要的条件,是大兴安岭晚中生代伸展造山的重要背景。

2.1 大兴安岭中生代的火山活动

大兴安岭中生代(J₂ - K₁)的火山活动以酸性火山岩为主,有少量中基性熔岩。中 - 晚侏罗世和早白垩世中基性熔岩中的玄武岩,据 $w(\text{TiO}_2) - 10w(\text{MnO}) - 10w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 和 $w(\text{TiO}_2) - w(\text{K}_2\text{O}) - w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 图解(图 1a, b) 分析,属板内碱性玄武岩及少量大陆拉斑玄武岩。晚侏罗世火山活动最活跃,具有中酸性 - 中基性 - 酸性火山喷发旋回,火山溢流 - 爆发交替,间夹河、湖相沉积。晚侏罗世长英质火山岩的 $w(\text{La})/w(\text{Yb}) - w(\text{Yb})$ 图解(图 1c) 表明其形成于伸展盆地环境。岩石化学分析表明整个中生代火山岩是一套钾质粗面质岩石(图 2)。火山岩锶、钕同位素表明岩浆来源深, $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ 为 0.7044 ~ 0.7059, (Nd, t) 大多为正值(0.4 ~ 3.9),大兴安岭东南天山县(即阿鲁科尔沁旗)有些负值(表 1)。上述资料说明大兴安岭中生代火山岩具有明确的地幔组分,反映未分异、未亏损的源区特征,这正是大陆岩石圈内部伸展背景下幔源岩浆积极参与地壳演化的证据,而与活动大陆边缘俯冲体制下的岩浆活动无关。

此外在二连盆地额合宝力格(阿 1 井钻孔岩心)和喀喇沁旗,早白垩世出现了碱性橄榄玄武岩和玻基橄辉岩(详文待刊),林西大乃林沟晚侏罗世火山颈中贯入了早白垩世((138.6

±3) Ma) 角闪岩 ($w(\text{SiO}_2) = 38.50\%$, $w(\text{TFe}) = 33.51\%$), 可以看到晚中生代随时间演变, 岩浆来源不断加深, 地壳有逐渐基性化的趋势。

2.2 大兴安岭中生代的深成岩侵入

大兴安岭深成岩与火山岩紧密伴生, 它们是同源岩浆作用的两种表现, 只是深成岩侵入

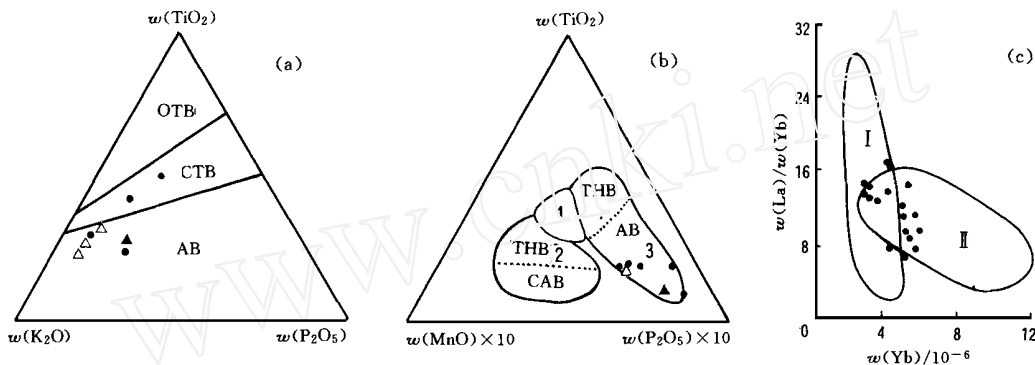


图 1 侏罗纪火山岩构造环境判别图

Fig. 1 Discretionary diagram of tectonic settings for the Jurassic volcanic rocks

a-OTB: 大洋拉斑玄武岩; CTB: 大陆拉斑玄武岩; AB: 碱性玄武岩 (据从柏林, 1982). 图中圆点、三角、方块分别代表三个阶段 (K_1 , J_3 , J_2) 玄武岩; b-1: 洋中脊玄武岩; 2: 火山弧玄武岩 (THB 拉斑玄武岩; CAB 钙碱性玄武岩); 3: 洋

岛玄武岩, 板内玄武岩 (AB: 碱性玄武岩) (据 Mullen, 1983), 图例同 a; c-I: 火山岩弧;

II: 伸展盆地火山岩 (据 Condie, 1986)

稍晚于火山岩, 主要活动于晚侏罗 - 早白垩世, 二者构成火山-深成岩带。深成岩的主要类型

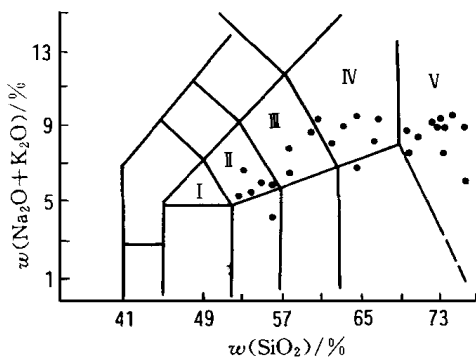


图 2 中生代火山岩的 TAS 图

(据 M. J. Le Bas 等, 1986)

Fig. 2 The TAS diagram of the Mesozoic volcanic rocks

I-粗面玄武岩; II-玄武质粗面安山岩; III-粗面安山岩; IV-粗面岩、粗面英安岩; V-流纹岩

型为: 花岗闪长岩-石英正长岩-钾长花岗岩; 角闪二长花岗岩-二长花岗岩-钾长花岗岩; 晚期有碱性钠闪花岗岩和少量的超基性岩。从中 - 晚侏罗世到早白垩世, 花岗岩类的 DI 和 An 值分别从 74, 87 变到 7, 25 及 94, 2, AK 值变化由 0.44 ~ 0.77 0.84 ~ 0.92 0.93 ~ 1.23, 花岗岩由钙碱性演化为亚碱性、碱性。采用微量元素 Rb, Yb, Ta, Nb, Ce, Y 和 $\lg [w(\text{CaO}) / w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})] - w(\text{SiO}_2)$ 等图解分析, 可判别其主要是一套板内张性环境下的 A_1 型花岗岩 (图 3)。但并不排除某些阶段的挤压, 或者是由于花岗岩在时空演化上的不均一性, 更可能是由于软流体活动的涌动性, 导致幔源物质供给的间歇性所造成的。该区也有一些典型浅源、壳熔的花岗岩, 如黄岗梁等地区的花岗岩。

此外, 从大兴安岭花岗岩的锶、钕、铅、氧同位素来看, 和火山岩一样, 源区有地幔物质的参与, 具壳-幔混熔花岗岩特征, (Nd, t) 集中在 0 ~ 3 之间, (Sr) 大多集中在 0 ~ 20 之间 (表 1)。通过对花岗质岩石的 (Nd)- (Sr) 的关系图 (据 . . . , 1982) 分析, 说明组成花岗岩的部分物质来源于铷未亏损的上地幔。通过对一些矿区, 特别是大型铅、锌矿床的铅同位素的分析, 铅主要来源于地幔^[21]。大兴安

岭中南段早中生代中、基性岩的 ^{18}O 值比同类岩石低 $1\text{‰} \sim 2\text{‰}$, 中生代的花岗岩类岩石的 ^{18}O 显示出某些时、空变化趋势, 早期 ^{18}O 值近正常 ($5.6\text{‰} \sim 8.6\text{‰}$), 晚期 ^{18}O 值降低

表 1 晚中生代火山岩、花岗岩锶、钕同位素值

Table 1 Composition of isotopic Sr and Nd in Late Mesozoic volcanic and granitic rocks

样品编号	产地	岩 性	时代 t/Ma	$N(^{87}\text{Sr})/$ $N(^{86}\text{Sr})$	(Nd, t)	(Sr)
GI1-23(a)	哲里木盟	碱性玄武岩、粗安岩、粗面质酸性凝灰岩	121.9 ± 3.9	0.7047	$3.8 \sim 3.3$	4.8
B2103- B2113(a)	鲁北县	粗面英安质凝灰岩、流纹岩、安山岩	121.3 ± 2.1	0.7045	$1.05 \sim 3.88$	$1.7 \sim 22$
X01-09(a)	林东县	辉石安山岩、粗面质流纹岩	142.4 ± 3.4	0.7054	$0.39 \sim 0.40$	7.6
T2201-2209(a)	天山县	流纹质凝灰岩、粗面质英安岩	142.6 ± 4.4	0.7048	$-3.02 \sim 3.73$	$6.6 \sim 11.1$
B06(b)	白塔子	钾长花岗岩	115.1 ± 4.1	0.7049	1.93	9
B01(b)	白塔子	似斑状花岗岩	117.3 ± 7.1	0.7087	0.82	62.9
BL(a)	巴尔哲	碱性花岗岩	125.0	< 0.705	$1.88 \sim 2.47$	
LF2(a)	老房身	斑状钾长花岗岩	127.5 ± 4.2	0.7056	0.82	18.2
LF1(a)	老房身	粗粒花岗岩闪长岩	136.6 ± 8.6	0.7049	1.35	7.8
J(a)	九连山	黑云母二长花岗岩	137.5 ± 4.7	0.7042	1.6	1.8
Xh(a)	老黑山	黑云母花岗岩闪长岩	213.6 ± 8.4	0.7049	1.47	9.54
B09(c)	曙光	白云母花岗岩	242.8 ± 5.8		2.17	

注: B, T 样品引自陈义贤等人^[11], 除 BL 样品引自王一先外, 其它各组样品均由中国科学院地质研究所乔广生、张任估测定。年龄测量方法: Rb-Sr, U-Pb, K-Ar。

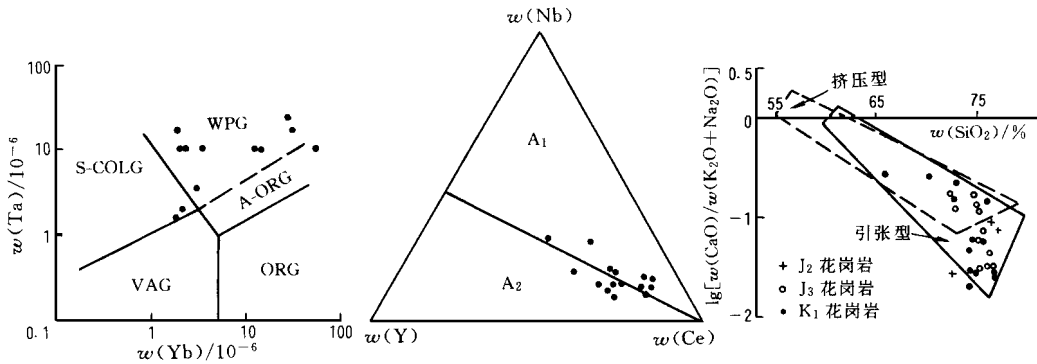


图 3 大兴安岭中生代花岗岩构造环境判别图

Fig. 3 Discriminatory diagram of tectonic settings for Mesozoic granites of Da Hinggan Mts
左图为花岗岩类的 $w(\text{Ta})-w(\text{Yb})$ 图解: S-COLG 碰撞花岗岩; VAG 火山弧花岗岩; WPG 板内花岗岩; A-ORG 异常洋中脊花岗岩; ORG 洋中脊花岗岩 (据 Pearce 等, 1984); 中图为花岗岩类的 $w(\text{Nb})-w(\text{Y})-w(\text{Ce})$ 图解: A_1 非造山的 A 型花岗岩; A_2 后造山的 A 型花岗岩 (据 Eby, 1992); 右图为花岗岩类的 $\lg[w(\text{CaO})/w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]-w(\text{SiO}_2)$ 图解 (据 Brown, 1982)

($2.5\text{‰} \sim 5.5\text{‰}$), 特别在一些环状花岗岩体 (如新林镇岩体、好布诺岩体等) 的内环中出现了负值 ($-7\text{‰} \sim -1\text{‰}$)。此外, 在空间上显示东部 ^{18}O 值比西部低的趋势。通过研究^[22], 笔者认为大兴安岭花岗岩低 ^{18}O 值的原因可能与岩浆源区有亏损 ^{18}O 的地幔物质参与有关, 而不能简单地用天水参与来解释。

2.3 晚中生代岩浆活动的构造背景

大兴安岭地区早、中侏罗世以煤系地层为主,夹有少量中基性、酸性火山岩,小型的陆相沉积盆地走向为 NEE-NE。中、上侏罗统之间角度不整合。中侏罗统普遍发生低亚绿片岩相变质,褶皱变形,特别是层间滑动的拖曳褶皱比较发育。晚侏罗世火山岩活动十分强烈,火山岩系厚度巨大(1 958.3 ~ 16 073.6 m),火山岩带总体走向为 NNE,火山岩盆地呈 NE 向展布,构成斜列式排列。侏罗纪和白垩纪的花岗岩带也显示由 NE 向 NNE 方向旋转,表明岩浆侵位的同时中、上部地壳发生左旋剪切运动,其应力场控制了岩浆岩的展布方向。火山活动主要发生在晚侏罗世,火山机构呈串珠状分布。沿大兴安岭主峰多处可见晚三叠世-晚侏罗世-早白垩世的花岗岩由外向里呈环状产出,例如新林镇环状岩体由外向里的年龄依次为 213 Ma, 136 Ma, 127 Ma^[6]。有人注意到卫星照片上 EW, NE, NW 三组呈 120° 相交的线性构造,认为这与上隆构造有关^[19]。此外平行大兴安岭火山岩带可划分出三条火山基底隆起带和相间的断陷盆地,宽约 200 km,两侧是早白垩世形成的含油气盆地(图 4)。东、中、西三个火山岩带的全碱含量分别为 8.06, 9.00, 8.81, 火山爆发指数比为 0.65 : 1 : 0.86,这种对称性暗示中带是岩浆上升的主要通道,而对称的格局显示了对称伸展的特征。晚侏罗世由于伸展作用引起大规模的火山爆发,而火山爆发又进一步提高了上部地壳的渗透性,为以后的岩浆侵位和大量脉岩的形成提供条件。

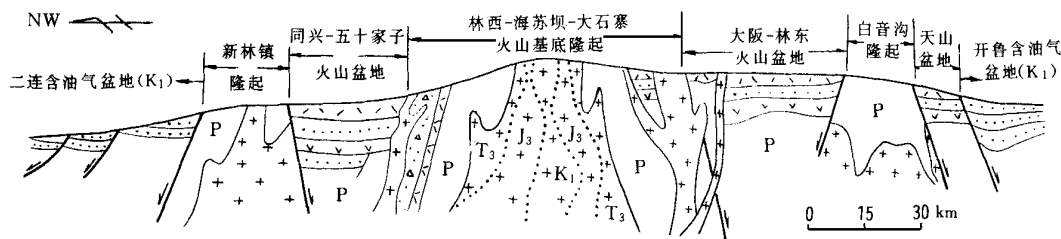


图 4 大兴安岭晚中生代火山堑垒构造示意图

(据赵国龙资料^[19]修改)

Fig. 4 Late Mesozoic graben-horst system of volcanoes in the Da Hinggan Mts

早白垩世大兴安岭进入快速隆升阶段,在幔源岩浆上涌体作用下开始了岩石圈的伸展减薄,以北部主峰带上的甘珠尔庙变质的二叠系片岩(270 Ma)为核;浅变质的中侏罗统砂、板岩作为中间层;未变质的晚侏罗统火山岩作为上覆拆离的滑覆岩片,共同组成一个对称的变质核杂岩^[23]。同时,沿大兴安岭主脊发生了 NW-SE 向的对称伸展,大兴安岭两坡二叠系绿片岩相变质的地层中形成一系列低角度滑动面理,拖曳褶皱等变形组构多指示主峰两侧岩层分别对称下滑,而主峰通过的曙光、五十家子、五四公社等地,上二叠统林西组地层发生中温低压的伸展变质,堇青石角岩化的板岩中发育水平劈理并取代了层理。南部喀喇沁地区也是一个由太古宙基底、浅变质的中侏罗统砂、板岩和晚侏罗-早白垩世低角度拆离面发育的花岗岩组成的变质核杂岩。在变质核杂岩形成之后,大兴安岭两侧出现了对称的断陷盆地,即西部的二连-海拉尔盆地和东部的开鲁-松辽含油气盆地(图 4),在开鲁盆地西缘可见高角度脆性正断层切断与变质核杂岩有关的低角度糜棱面理。二连盆地的古地热梯度很高,达 4.9 °C/100 m,高温底辟构造普遍发育及火山熔岩台地油藏的发现,堪称该盆地的一大特点^[24]。沉积地层中可见沿盆缘高角度断层贯入的玄武岩台地,也有人称之为裂谷

盆地。综上所述,从晚侏罗世到早白垩世,大兴安岭处于对称伸展的状态。

3 关于伸展造山模式的讨论

从大兴安岭中生代壳-幔混熔的岩浆来看,中生代在软流圈隆起背景下地壳底部存在大面积的底侵作用,包括来自上地幔部分熔融产生的玄武质岩浆添加到下地壳,或者以岩墙群方式贯入中、上部地壳,也包括 Furlong 所称的“幔源地壳物质”^[25]添加到下地壳底部,这一过程称之为大陆地壳底侵作用。下地壳被熔融的壳源物质与上地幔渗入的幔源物质以不同的比例混合在一起,存在于下地壳底部的岩浆池中,从这里或从这里派生的岩浆房中供给的岩浆成为晚中生代岩浆活动的主要来源。岩浆活动的阶段性或脉动性可能表明底侵作用的阶段性。由于幔源物质供给的差异、岩浆来源深度的不同、构造活动性质的局部改变都可以造成部分 I 型、S 型与 A 型花岗岩共生的现象。钙碱性-碱钙性-碱性岩浆演化的趋势清楚地记录了岩石圈不断伸展的过程,稳定同位素更准确地反映了幔源物质的参与,它们是岩石圈在伸展背景下底侵作用的证据。

正是上述底侵作用使大兴安岭的地壳经历了一个垂向增生的过程,再加上陆内造山模式中不可忽略的均衡作用的影响,使得晚中生代大兴安岭隆起成山。从早白垩世开始,一直到新生代在幔隆背景下持续的底侵作用,最终造成大兴安岭的地壳乃至岩石圈的减薄。

笔者衷心感谢参加了本项工作的赵国龙教授和内蒙古第十地质矿产勘查开发院王忠、贾文等同志。

参 考 文 献

- 1 Howell D G. 地体构造学——山脉的形成和大陆生长. 王成善, 钱奕中, 崔秉荃, 等译. 成都: 四川科学技术出版社, 1991. 6 ~ 12
- 2 Wilson J T. On the building and classification of mountains. *J G R*, 1990, 95B(5): 6611 ~ 6628
- 3 张国伟, 周鼎武, 于在平. 大陆造山带成因研究. 见: 肖庆辉主编. 当代地质科学前沿. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993. 145 ~ 153
- 4 Chen Q, Dickinson W. Contrasting nature of petroliferous Mesozoic-Cenozoic Basins in eastern and western China. *Am Assoc Petroleum Geol Bull*, 1986. 70: 263 ~ 275
- 5 Gilder S A, Keller G R, Luo M, et al. Timing and spatial distribution of rifting in China. *Tectonophysics*, 1991, 197: 225 ~ 243
- 6 邵济安, 张履桥, 牟保磊. 大兴安岭中南段中生代的构造热演化. 中国科学(D 辑), 1998, 28(3): 193 ~ 200
- 7 邵济安, 牟保磊, 何国琦, 等. 华北北部在古亚洲域与古太平洋域构造叠加过程中的地质作用. 中国科学(D 辑), 1997, 27(5): 390 ~ 394
- 8 邵济安, 韩庆军, 张履桥, 等. 内蒙古东部早中生代堆积岩捕虏体的发现. 科学通报, 1999, 44(5): 478 ~ 485
- 9 Shao Ji'an, Gai Fengying, Zhang Luqiao. Coupling of mantle upwelling and shearing - Mesozoic dyke swarms in Da Hinggan Mountains, Northeast China. *Episodes*, 1998, 21(2): 99 ~ 103
- 10 刘若新, 陈文寄, 孙建中, 等. 中国新生代火山岩的 K-Ar 年代学与构造环境. 见: 刘若新主编, 中国新生代火山岩的年代学与地球化学. 北京: 地震出版社, 1992. 1 ~ 43
- 11 陈义贤, 陈文寄. 辽西及邻区中生代火山岩. 北京: 地震出版社, 1997. 241 ~ 248
- 12 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙. 北京: 地质出版社, 1992. 49 ~ 53
- 13 程振森, 吴祥云. 满绥地学断面岩石圈电性结构研究. 见: 金旭, 杨宝骏主编. 中国满绥地学断面地球物理场及深部构造特征研究. 北京: 地震出版社, 1994. 45 ~ 58
- 14 邵济安, 臧绍先, 牟保磊, 等. 造山带的伸展构造与软流圈隆起——以兴安造山带为例. 科学通报, 1994, 39(6): 533 ~ 537
- 15 卢造勋, 夏怀宽. 内蒙古东乌珠穆沁旗—辽宁东沟地学断面. 地球物理学报, 1993, 36(6): 765 ~ 772
- 16 史书林, 徐常芳, 王继军, 等. 辽宁义县 - 内蒙古东乌珠穆沁旗剖面深部电性研究. 地震地质, 1991, 13(2): 118

~ 125

- 17 Smiths S B. The nature of the granulitic crust based on seismic reflection profiling. *Terra Cognita*, 1988, 8(3):273
- 18 樊祺诚, 刘若新, 李惠民, 等. 汉诺坝捕虏体麻粒岩锆石年代学与稀土元素地球化学. *科学通报*, 1998, 43(2): 133 ~ 137
- 19 赵国龙, 杨桂林, 王忠, 等. 大兴安岭中南部中生代火山岩. 北京: 科学技术出版社, 1989. 10 ~ 12
- 20 孙继源, 邢集善, 叶志光, 等. 华北地区板内构造及深部过程初探. *地质科技情报*, 1992, 11(1): 4 ~ 13
- 21 赵一鸣, 王大畏, 张德全, 等. 内蒙古东南部铜多金属成矿地质条件及找矿模式. 北京: 地震出版社, 1994. 193 ~ 197
- 22 牟保磊, 邵济安, 王关玉, 等. 与低¹⁸O 岩浆有关的夕卡岩型铅锌矿床. *科学通报*, 1997, 42(15): 1158 ~ 1161
- 23 张履桥, 邵济安, 郑广瑞. 内蒙古甘珠尔庙变质核杂岩. *地质科学*, 1998, 33(2): 140 ~ 146
- 24 王冰, 高增海. 二连盆地局部构造成因类型及其特征. *石油地震地质*, 1986, 2(1): 11 ~ 21
- 25 Furlong K P, Fountain D M. Continental crustal underplating: thermal consideration and seismic-petrologic consequences. *J Geophys Res*, 1986, 91(B8): 8285 ~ 8294

MAGMATISM IN THE MESOZOIC EXTENDING OROGENIC PROCESS OF DA HINGGAN MTS.

Shao Ji' an

(Peking University, Beijing, 100871)

Zhang L üjiao

(Inner-Mongolia Institute of Geology, Huhhot, 010020)

Mu Baolei

(Peking University, Beijing, 100871)

Abstract This paper explains briefly the Mesozoic extending orogenic process of Da Hinggan Mts., concentrating especially in petrologic and geochemical features of the late Mesozoic volcanic and plutonic rocks. There exists a suite of intraplate A-type granites formed in an extensional environment. The volcanic rocks are potassic and trachytic. The granites and volcanic rocks have low $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ values (0.704 ~ 0.708) and positive (Nd, t) values (1 ~ 4). All of these are suggested as the results from the crust-mantle miscible magma, which is created by underplating. These rocks, analyzed jointly with the extending structures formed in the process of magmatic eruption and emplacement, can be considered as an important evidence of intracontinental extending orogeny. Moreover, other evidences have been found by the authors in the area, including early Mesozoic mantle-source mafic cumulate complex and intrusive rocks, Lower—Middle, Jurassic and Lower Cretaceous basic swarm dykes, and ultramafic hornblendite, limburgite, and alkaline olivine basalts of the Lower Cretaceous (130 ~ 120 Ma). Thus it is demonstrated that the late Mesozoic granite-volcanic-rock activity in the Da Hinggan Mts. is only a stage of the whole magmatic evolution in an extensional settings.

Key words intracontinental orogeny, extending orogeny, underplating, magmatism, Da Hinggan Mts.