

· 基础地质 ·

大兴安岭北段中生代火山岩形成的动力学环境*

张 宏 马俊孝 权 恒 金成洙

(沈阳地质矿产研究所)

(东北大学资土学院)

对大兴安岭北段中生代火山岩新的岩石化学、微量元素、构造等方面的分析表明,该地区中生代火山岩形成于明显的挤压环境。再结合区域构造、区域岩浆作用、稳定同位素、古地磁特征等的分析,得出以下认识:该区中生代火山岩来源较深,具幔源特征;岩浆总体形成在挤压的环境中,是“减压”-“剪切”作用的产物,而不是裂谷环境中的产物,从而使得岩浆在演化过程中混入了大量的壳源物质。

关键词 大兴安岭北段 中生代火山岩 动力学环境

大兴安岭北段中生代火山岩一直受到众多地质学者的关注,其主要的火山活动期间为晚侏罗纪至早白垩世(约 150~100 Ma),并与有色贵金属成矿密切相关,所以,对该地区中生代火山岩进行深入的研究至关重要。

前人在大兴安岭北段作了较多的工作,蒋国源、权恒^[1]认为该地区中生代火山岩的形成与裂谷作用有关;段国正^[1]等认为塔木兰沟组(J₁t)火山岩来自上地幔,并发生了地壳物质的严重混染,上库力组(K₁s)火山岩与板内拉伸-走滑作用有关;赵一鸣等^[2]、内蒙地矿局、黑龙江地矿局等也分别对该地区中生代火山岩成因等问题做了研究。

本文内容源于“九五计划”期间对大兴安岭北段的额尔古纳和呼中-上黑龙江拗陷两地区的研究成果。根据新的资料,研究区中生代主要火山岩地层的划分见表 1。

表 1 大兴安岭北段中生代火山岩划分情况一览

Table 1 Division of Mesozoic volcanic rocks in NDM

时 代	额尔古纳地区	呼中-上黑龙江拗陷地区
100 Ma 左右	伊列克得组(K ₁ y)火山岩	伊列克得组(K ₁ y)火山岩
126~104 Ma	上库力组(K ₁ s)火山岩	上库力组(K ₁ s)火山岩
?	木瑞组(J ₃ -K ₁)碎屑岩	吉祥峰组(J ₃ j)火山岩 木瑞组(J ₃ -K ₁)碎屑岩
约 150~145 Ma	塔木兰沟组(J ₃ t)火山岩	塔木兰沟组(J ₃ t)火山岩

原地矿部 95-02-008 项目的阶段性成果。

① 段国正,等. 内蒙古得尔布干成矿带中段黑山头-莫尔道嘎河地区有色贵金属成矿条件、成矿规律、成矿预测及找矿突破研究. 地科定 95-01 研究报告, 1997.

收稿日期: 1998-12-08. 张哲编辑.

1 大兴安岭北段中生代火山岩形成环境

1.1 火山岩概述

塔木兰沟组(J₃t)火山岩在大兴安岭北段很具有代表性,主要分布在满洲里-新右旗地区、根河-海拉尔盆地的边缘部位和大兴安岭中脊隆起地带及呼中-上黑龙江拗陷的部分地区,以中性火山熔岩为主,底部有少量基性岩,上部有部分酸性岩。本组火山岩地层不整合覆于南平组(J₃n)碎屑岩及其他老地层之上,代表了本地区及大兴安岭北段中生代火山岩的底部层位。研究区主要分布在得尔布干断裂两侧和呼中-上黑龙江拗陷的部分地区,总厚度约 609 m。

吉祥峰组(J₃j)火山岩主要分布在大兴安岭主峰带、大兴安岭东坡带,研究区主要分布在呼中-上黑龙江拗陷的部分地区,主要由酸性熔岩和火山碎屑岩组成,总厚度大于 1000 m。

上库力组(K₂s)火山岩主要由酸性熔岩和火山碎屑岩组成,底部有少量中性岩。该组火山岩分布很广,在大兴安岭北段的满洲里-新右旗地区、根河-海拉尔盆地、大兴安岭中脊隆起区和东南部阿荣旗、布特哈旗一带均有出露。研究区内主要分布在得尔布干断裂东侧的根河盆地(额尔古纳地区)和呼中-上黑龙江拗陷的部分地区,总厚度大于 1000 m。

伊列克得组(K₁y)火山岩主要由中基性熔岩组成。本组岩石出露较零星,受断裂控制明显,在额尔古纳地区主要沿近南北向裂隙贯入,在上黑龙江拗陷地区主要沿北东向断裂产出,与上库力组之间为平行不整合接触,但两组火山岩在地球化学特征方面有明显不同。总厚度约 306 m。

1.2 火山岩岩石地球化学特征

在(Na₂O+K₂O)-SiO₂的 TAS 分类图解中,塔

木兰沟组火山岩以玄武质粗面安山岩、粗面安山岩等中性岩为多数, 其次为粗面英安岩、玄武安山岩、流纹岩; 吉祥峰组火山岩主要为粗面英安岩、流纹岩、粗安岩; 上库力组火山岩主要为流纹岩、粗面英安岩、粗安岩; 伊列克得组火山岩主要为粗面安山岩和玄武质粗面安山岩, 少部分为玄武安山岩和玄武岩。大兴安

岭北段地区中生代火山岩是一套偏碱的火山岩系列。在火山岩的分类图中, 它们跨居 Macdonald^[3]和 Irvine 等^[4]划的碱性和亚碱性火山岩的分界线, 它们在不同的火山岩分类图解中表现不尽相同。研究区有关岩石化学参数见表 2。

在 A. Rittmann 的 $\lg f_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解中 (图 1), 本区火

表 2 额尔古纳和呼中—上黑龙江拗陷地区中生代火山岩有关参数

Table 2 Some parameters of Mesozoic volcanic rocks from Ergun and Huzhong-Upper Heilongjiang River depression

参 数	额尔古纳地区			呼中—上黑龙江拗陷地区			
	Jt	K1s	K1y	Jt	Jj	K1s	K1y
SI	4~ 27	2~ 10	7~ 25	16~ 30	3~ 18	4~ 13	15~ 26
AR	1.5~ 2.5	2.5~ 5	< 2	1.5~ 1.9	1.6~ 1	2~ 4	1.7~ 22
e	2.5~ 5.3	2~ 1	2.3~ 3.5	1.5~ 3.5	2.3~ 1	1.6~ 5	2.5~ 4
FeO [*] /MgO	> 2	> 2	> 2(SiO ₂ > 57) < 2(SiO ₂ 51~ 57)	> 2	> 2	1.5~ 2.5	> 2
K ₂ O /Na ₂ O	0.6~ 1(SiO ₂ > 57) 0.25~ 0.7(SiO ₂ 51~ 57)	> 0.66	0.45~ 0.8	0.6~ 1(SiO ₂ > 57) < 0.6(SiO ₂ 51~ 57)	> 0.6	> 0.6	0.6~ 1.1
SiO ₂ %	主值 53~ 59	60~ 77	53~ 60	60~ 75	60~ 76	53~ 61	56~ 75

山岩反映的构造环境总体是一致的。本区火山岩多数落入 B 区, 即消减区, 反映形成在挤压环境中。但是也存在一定的差异, 塔木兰沟组火山岩的投影点部分落在 C 区, 而 C 区是 A、B 区演化的碱性火山岩, 其中钾质多者与消减有关, 而钠质多者与板内区有关。塔木兰沟组火山岩为高钾系列, 但是 K₂O /Na₂O 比值多小于 1, 钠的含量也较高, 在本组火山岩中部分岩石 Na₂O 的含量可高达 5%~ 7%, 所以落入 C 区的塔木兰沟组火山岩的构造环境在本图解中应解释为深源特征。吉祥峰组火山岩、上库力组火山岩投影点落在消减区 (B 区), 反映形成在挤压环境中。伊列克得组火山岩主体落入消减区 (B 区), 也有少数落入陆内稳定区 (A 区), 反映此时也以挤压作用为主。

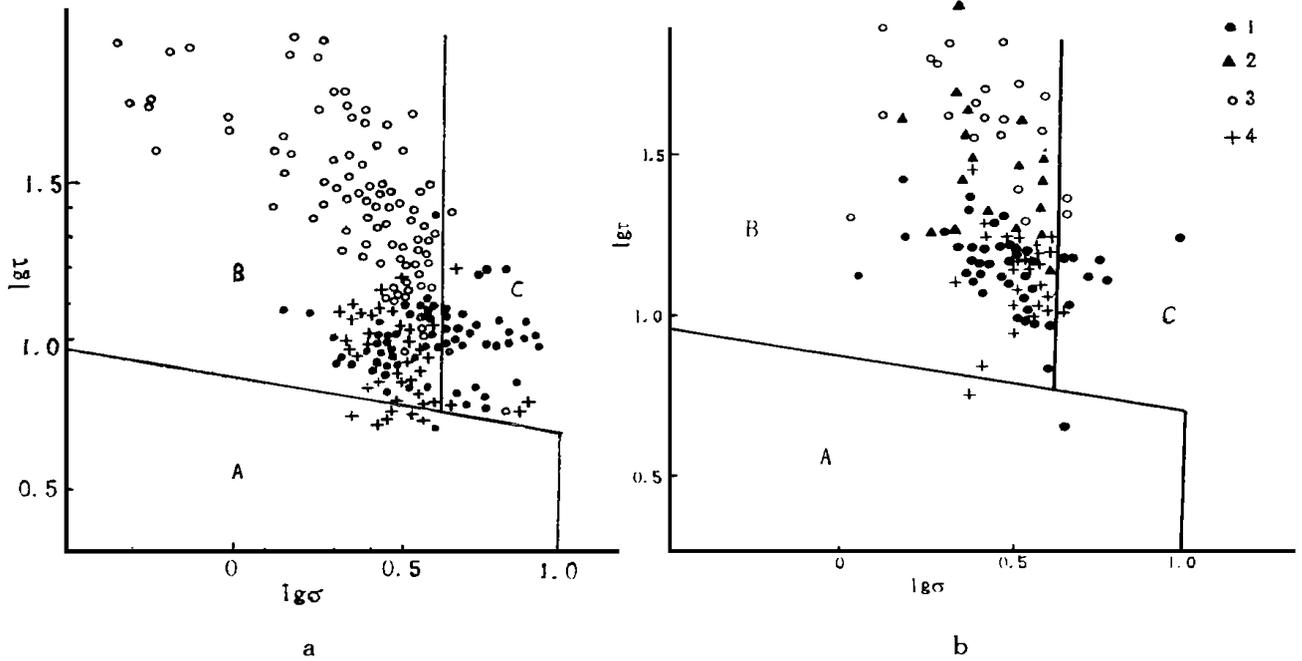
在 K₂O—Na₂O 图解中 (图 2), 研究区火山岩的投影点主要落在 K₂O 为 1.2%~ 6.5%, Na₂O 为 3.0%~ 4.7% 的区间内, 反映以 K₂O 的变化为主, 而 Na₂O 的含量相对稳定。这种 K₂O—Na₂O 的变化特征与世界上典型活动陆缘火山岩 K₂O—Na₂O 演化特征一致, 如图 2 中南安第斯、中安第斯、伊朗和新西兰的活动陆缘火山岩, 其演化过程中 K₂O 的变化范围较大, 而 Na₂O 的含量相对稳定。这说明本区火山岩具有活动陆缘火

山岩的特点, 反映形成在挤压环境。相反, 在裂谷区的火山岩演化中, 如在埃塞俄比亚、肯尼亚裂谷火山岩演化过程中, 以 Na₂O 的范围变化为特征, 这与额尔古纳地区中生代火山岩正好相反。在岛弧区, Na₂O 的变化范围大, 且 K₂O、Na₂O 的含量均较低, 这与额尔古纳地区明显不同, 说明额尔古纳地区当时与岛弧区环境相距甚远, 这是与事实相符的。

在 R₁—R₂ 图解中 (本文略), 研究区塔木兰沟组 (Jt) 火山岩的主要投影点落入 3、4 区, 上库力组 (K1s) 火山岩的主要投影点落入 6 区和靠近 6 区的 4 区, 说明上库力组 (K1s) 火山岩中混入了比塔木兰沟组 (Jt) 火山岩更大量的壳源物质。

在 FeO^{*}—MgO—Al₂O₃ 图解中 (图 3), 研究区基中性火山岩 (SiO₂ 为 51%~ 56%) 的投影点主要落在 3 区, 即造山区, 也反映研究区火山岩是形成在挤压环境中。

应指出的是, 火山岩的岩石化学特征是岩浆某一演化时段的热力学、化学作用结果的反映, 是形成环境的集中体现: 当岩浆处在引张环境 (相对开放体系) 中, 其岩石化学特征表现为洋中脊 (在大洋中) 或大陆裂谷特征 (在陆上); 当岩浆处在挤压环境 (相对封闭体系) 中, 则其岩石化学特征应表现为岛弧 (俯冲带附近) 或

图 1 $\lg f - \lg \sigma$ 图解

(据 A. Rittman, 1970)

Fig. 1 $\lg f - \lg \sigma$ diagram

(after A. Rittman, 1970)

a- 额尔古纳地区 (Ergun region); b- 呼中- 上黑龙江拗陷地区 (Huzhong-Upper Heilongjiang River depression); A- 板内稳定区火山岩 (volcanic rocks of inner-plate stable area); B- 消减带火山岩 (volcanic rocks of subduction zone); C- A B区演化的火山岩, 其中钾质多者与消减有关, 钠质多者与板内区有关 (volcanic rocks evolved from A and B areas); 1- 塔木兰沟组火山岩 (volcanic rocks of Tamulangou group); 2- 吉祥峰组火山岩 (volcanic rocks of Jixiangfeng group); 3- 上库力组火山岩 (volcanic rocks of Shangkuli group); 4- 伊列克得组火山岩 (volcanic rocks of Yilekede group)

活动陆缘特征 (在活动缘或陆-陆挤压造山区), 所以根据岩石化学特征, 大兴安岭北段中生代火山岩是形成在陆上的挤压环境中。

1.3 火山岩微量元素地球化学特征

大兴安岭北段中生代火山岩微量元素特征如下: 大离子活动性亲氧元素如 K Rb Ba 等高度富集, 并且具有从中性→酸性 (即从塔木兰沟组火山岩到上库力组火山岩) 逐渐增强的特点; 具有非常高的 LILE/HFSE (大离子亲氧元素/高场强元素) 比值, 例如安山岩中的 K/Ta 达 1250~2570 Ba/Ta 值高达 40~100, 安山岩中 K/Nb 值为 200~400 流纹岩中 K/Nb 值为 650~1500, 说明岩浆中有大量壳源物质的混入; Cr Co Ni 等亲硫元素亏损, 并且从塔木兰沟组 (Jt) 到上库力组 (Kis) 火山岩亏损趋势增强, 这也说明了它们为同一岩浆演化序列的产物。

微量元素的有关参数表明, 该地区安山岩与大陆边缘安山岩或安第斯安山岩的参数特征非常相近 (表 3), 也说明大兴安岭北段中生代火山岩是形成在挤压环境中的火山岩。

表 3 大兴安岭北段安山岩和不同构造环境安山岩的微量元素特征对比

Table 3 Correlation of trace element characteristics between andesites of NDM and other tectonic settings

元素	原始安山岩	岛弧安山岩	大陆边缘安山岩	安第斯安山岩	大兴安岭北段安山岩
La/10 ⁻⁶	2~5	5~15	10~25	20~40	15~25
La/Yb	≤ 0.8	0.5~3	1~4	3~7	20~30
Zr/Y	≤ 3	3~7	4~12	12~50	12~32
Hf/Yb	≤ 1	1~3	1~3	≥ 3	4~27
Ti/Zr	> 50	40~50	40~50	≤ 40	20~46

据 Condie, 1989

1.4 中生代燕山期侵入岩地球化学特征

在大兴安岭北段地区的中生代侵入岩中, 侵位时间与本地区中生代火山岩形成时间相近岩体的主要岩石类型有钾长花岗岩、二长花岗岩, 其次为斜长花岗岩、花岗斑岩。本期侵入岩 SiO₂ 含量较高, 多数超过 70%, Na₂O+K₂O 较高, 在 8% 左右, K₂O/Na₂O 比值多大于 1, 为富钾型, A/CNK 值多在 1~1.2 之

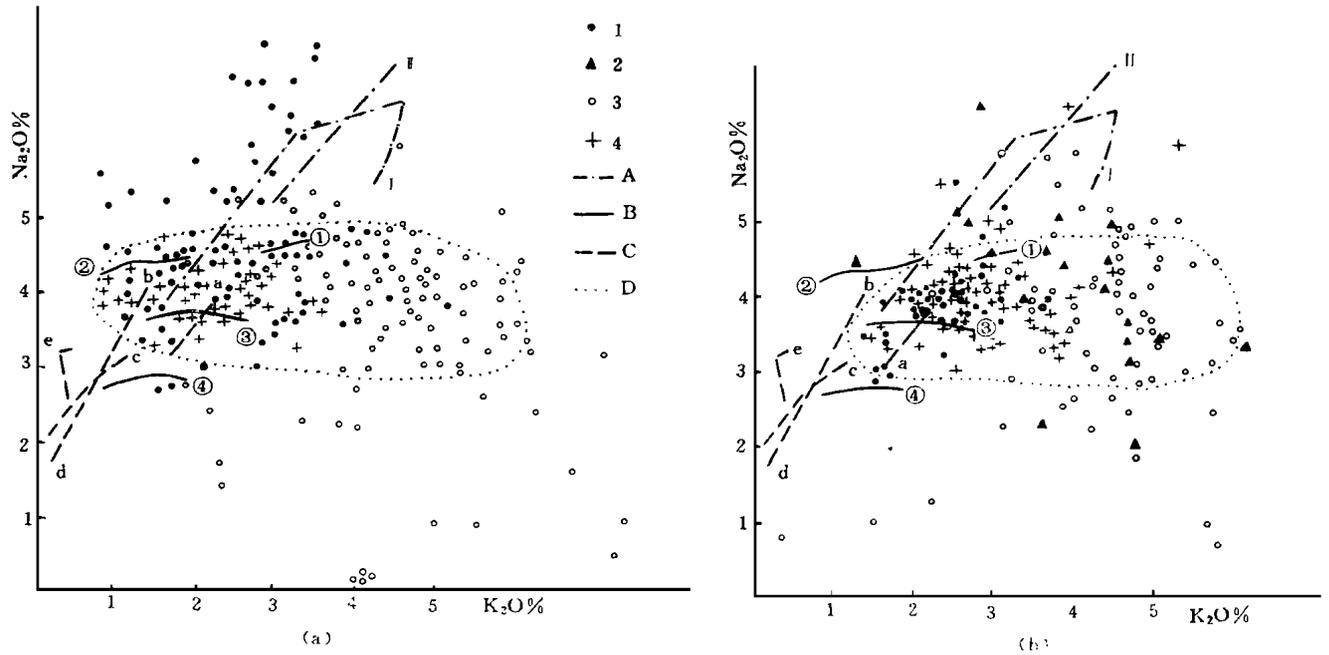


图 2 $K_2O - Na_2O$ 图

(据贾承造等, 1988)

Fig. 2 Diagram of K_2O vs. Na_2O

(after Jia CZ et al., 1988)

(a) 额尔古纳地区 (Ergun region); (b) 呼中 - 黑龙江拗陷地区 (Huzhong-Upper Heilongjiang River depression); A- 裂谷火山岩 (volcanic rocks of rifts): I - 埃塞俄比亚 (Ethiopia), II - 肯尼亚 (Kenya); B- 活动陆缘火山岩 (volcanic rocks of active continental margins): ① - 伊朗 (Iran) ② - 南安第斯 (south Andes Mts.) ③ - 中安第斯 (middle Andes Mts.) ④ - 新西兰 (New Zealand); C- 岛弧 (island arcs): a- 印尼 (Indonesia), b- 阿留申 (Aleutian Is.), c- 日本 (Japan island arc), d- 汤加 (Tonga Is.), e- 马里亚纳 (Marianas Is.); D- 大兴安岭北段地区中生代火山岩主要分布区 (Mesozoic volcanic rocks of NDM): 1- 塔木兰沟组火山岩 (Tamulangou group), 2- 吉祥峰组火山岩 (Jixiangfeng group), 3- 上库力组火山岩 (Shangkuli group), 4- 伊列克得组火山岩 (Yiliekedegou group)

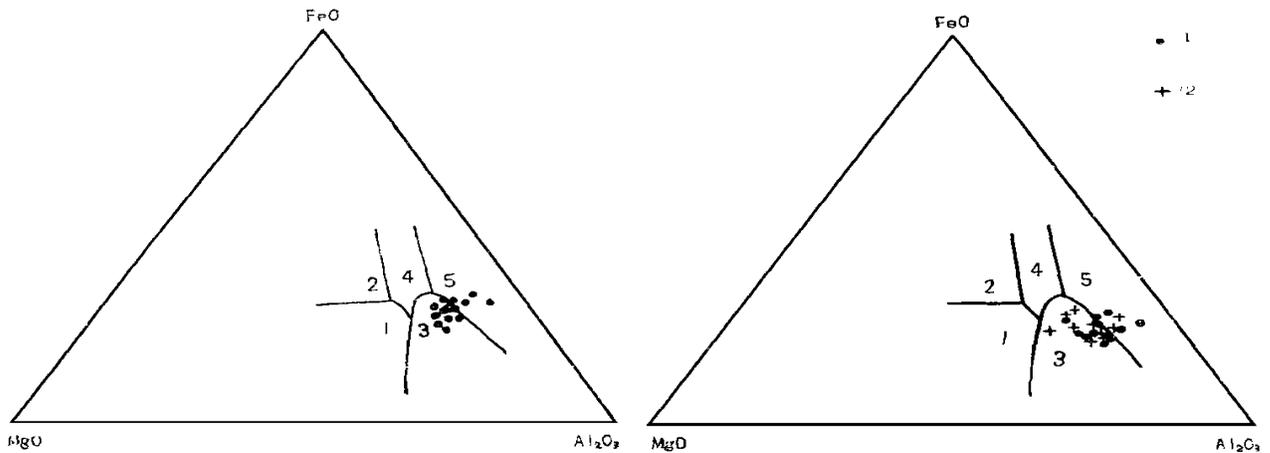


图 3 $FeO - MgO - Al_2O_3$ 图解

(据 T. H. Pearce, 1977)

Fig. 3 $FeO^* - MgO - Al_2O_3$ diagram

(after T. H. Pearce, 1977)

a- 额尔古纳地区 (Ergun region); b- 呼中 - 上黑龙江拗陷地区 (Huzhong-Upper Heilongjiang River depression); 1- 洋中脊及洋底 (midian ridge and ocean floor); 2- 大洋岛屿 (oceanic island); 3- 造山带 (orogenic belt); 4- 大洋板块内部 (oceanic mid-plate); 5- 扩张中心岛屿 (冰岛) (Iceland, island at spreading center)

间, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值在 0.7028~0.7096 左右^[2]; 在侵入岩的相关图解中, 该期花岗岩明显反映出同熔了大量的壳源物质^①, 赵一鸣^[2]认为“大兴安岭北段地区燕山早期晚阶段 (155~140 Ma) 及燕山晚期 (135~100 Ma) 花岗岩是典型具有 S 型岩石特征的 I 型花岗岩”, 并称其为“SI 型花岗岩”。研究区中生代花岗岩的上述特征是与同期火山岩地球化学特征相吻合的, 说明岩浆在向上的缓慢运移过程中, 混入了更大量的壳源物质, 所以本地区该时段花岗岩既具有 I 型花岗岩的特征, 也具有 S 型花岗岩的特征, 这也正是挤压环境的反映。只有在挤压环境下深源岩浆才可以和壳源物质充分混熔-同熔, 形成的侵入岩和火山岩才可能发生大规模壳源物质的混入, 这是引张环境下不可能形成的。

1.5 中生代应力场特征

在大兴安岭北段地区的中生代火山岩中, 各组火山岩的构造特征明显不同, 这种现象在额尔古纳地区尤其明显。在额尔古纳地区, 伊列克得组 (K_{ly}) 火山岩中节理、劈理均不发育, 只见稀疏的北北东 (20° 左右) 劈理, 岩石以球状风化为特征; 上库力组 (K_{ls}) 火山岩中较伊列克得组 (K_{ly}) 火山岩明显多了一套共轭剪节理, 走向分别为 $20^\circ\sim 40^\circ$ 和 $340^\circ\sim 350^\circ$, 其中 $20^\circ\sim 40^\circ$ 走向的一组发育, 而另一组不发育; 塔木兰沟组 (J_t) 火山岩除了具有上库力组 (K_{ls}) 火山岩中的构造特征外, 还多了一套很发育的共轭剪节理, 产状分别集中在 $60^\circ\sim 90^\circ$ 和 $320^\circ\sim 340^\circ$, 所以塔木兰沟组 (J_t) 火山岩中北西、北东及近南北向的节理、劈理、断层等均较发育。在理清了上述构造关系以后, 通过对该地区共轭剪节理的大量测量分析, 进行火山岩构造要素的层层剥离, 再结合构造与成矿的关系等方面的分析, 从而确定了塔木兰沟期 (J_t) 应力场为 $e_1: 282^\circ\sim 298^\circ\angle 35^\circ\sim 36^\circ$, $e_2: 94^\circ\sim 102^\circ\angle 55^\circ$, $e_3: 193^\circ\sim 214^\circ\angle 2^\circ\sim 3^\circ$, 上库力期 (K_{ls}) 应力场 $e_1: 201^\circ\sim 19^\circ\angle 19^\circ$, $e_2: 72^\circ\angle 62^\circ$, $e_3: 282^\circ\angle 18^\circ$ 。可见不论是塔木兰沟期 (J_t) 还是上库力期 (K_{ls}), 该地区的主压应力 e_1 均是近水平的, 反映区内处在一个近水平挤压的环境中, 而不是洋中脊及大陆裂谷环境下 e_1 近直立的引张环境。所以构造分析的结论也支持研究区中生代火山岩形成在挤压环境中。

综上所述, 额尔古纳地区中生代火山岩是形成在明显的挤压环境中。

2 大兴安岭北段中生代火山岩形成的动力学背景

从以上的分析可以看出, 大兴安岭北段中生代火山岩形成在挤压环境中。那么, 在压性条件下, 整个大兴安岭北段地区形成如此大规模的火山岩似乎是令人难以理解的。笔者从区域大地构造背景出发, 结合区域构造、岩浆岩地球化学等的分析结果, 得出整个大兴安

岭北段中生代火山岩是形成在强挤压后的“减压”和“剪切”背景下的挤压环境中。

2.1 侵入岩的地球化学分析

在东南沿海地区, 形成了一定数量的 165~155 Ma 的花岗岩。虽然对这些花岗岩的成因有不同的解释^[9~12], 但是, 公认的结论是这些岩体形成于挤压环境中, 而且谢家莹等^[10]认为在 190~160 Ma 中国东南部处在强挤压环境中。这和下面的构造分析结果是一致的。

在东北地区, 存在众多 180~150 Ma 的花岗岩, 它们主要分布在辽西、大兴安岭、小兴安岭、吉中地区、张广才岭等^[13~16]。应注意的是此时的岩浆活动为该地区燕山早期岩浆活动的高峰期^[15, 16], 并且以 I 型花岗岩为主^[14, 17], 反映此时东北地区处在挤压环境中。再者, 东北地区 180~150 Ma 的岩浆活动是很强烈的, 但却是以侵入岩为主, 火山岩并不发育; 相反在晚侏罗世晚期-早白垩世 ($J_3^3-K_1$) 的岩浆活动中火山岩占据主导地位, 这反映相对于晚侏罗世晚期-早白垩世 ($J_3^3-K_1$) 而言, 在 180~150 Ma, 东北地区处在更封闭的挤压环境中, 这与以下构造分析结果也是一致的。

2.2 区域构造分析

180~150 Ma, 我国的东北地区乃至整个欧亚大陆东缘均受到了强大的北西西 (北西) 向挤压, 形成了众多的矿物线理为北西西 (北西) 向的大规模逆冲推覆构造。如在东南沿海地区的大型推覆构造主要形成于燕山早期 (186~158 Ma)^[18]; 在下扬子地区也形成了众多的推覆构造和断裂作用, 其中的推覆构造主要是燕山早期形成的^[19, 20]; 在朝鲜半岛, 大宝运动 (Daebo Orogeny, 约 180~150 Ma) 被认为是朝鲜半岛中生代以来最强的造山运动, 该运动期推覆构造、断裂作用甚发育, 它使沃川构造带产生强烈的走向为北北东, 运动方向为近东西向的推覆构造^[21]; 在东北的大连地区, 著名的矿物线理为北西西向的北北东向大型韧性剪切构造构造主要是燕山早期形成的 (180~127 Ma)^[22], 其中韧性剪切带中钾长石时钟的封闭年龄为 152.9 Ma (Ar-Ar)^②, 崔克英等认为它们是燕山早期形成的推覆构造^[23]; 在黑龙江的那丹哈达地区, 北北东走向推覆构造发育, 大型紧闭褶皱繁多, 张世红等^[24]认为该地区最新的外来地层是上侏罗统龙爪沟群的云山组; 邵济安等^[25]认为那丹哈达岭是一个晚侏罗世晚期以前完成的增生杂岩体; 孙革等^[26]认为在饶河北的东安镇及东侧俄罗斯的比金均有晚侏罗世晚期到早白垩

① 张宏. 额尔古纳地区中生代构造-岩浆演化特征及其成矿环境. 博士论文, 1998.

② 王小凤, 等. 郯庐断裂带的形成演化及其对地质发展的控制作用. 地矿部 85-02-210 研究报告.

世早期的稳定海相盖层沉积覆盖下部的推覆体。可见前人的研究表明,那丹哈达岭地区的推覆构造主要形成于 150 Ma 左右及以前,另外 A. И. 汉丘克^[27]的研究表明,在与那丹哈达比邻的俄罗斯比金地区同性质的推覆构造主要形成在 150 Ma 左右。

可见,欧亚大陆东缘强大的由南东东(南东)向北西西(北西)的推覆作用的主要时间是在 150 Ma 及以前的中侏罗世(J),即 180~150 Ma。另外万天丰^[28]、张宏^[29]认为此时中国东部正处在强大的北西西向挤压环境中,赵春荆等^[30]认为在中侏罗世(180~150 Ma)我国东北地区处在相对的构造活动期。所以构造研究结果表明,在 180~150 Ma 中国东部处在强大的北西西(北西)向挤压环境中。

150 Ma 以后,欧亚大陆东部虽然继续受到太平洋板块挤压的影响,但是此时并未使欧亚大陆东缘众多的推覆构造进一步发展。研究表明,晚侏罗世(J)中、晚期是这些推覆构造中绝大多数的结束时间,这说明在晚侏罗世中、晚期太平洋板块的挤压作用已明显减弱。丸山茂德^[31]认为,145~135 Ma 到 135~100 Ma,作为原始太平洋板块一部分的 Izanaqi 板块的运动方向由北西转为近北向的高速运动;在 135~100 Ma 运动方向为 $348^{\circ}\sim 2^{\circ}$,这种运动方向与欧亚大陆东缘形成小的交角,这就使得洋壳在俯冲的同时对欧亚大陆形成强烈的北向剪切分力,从而对欧亚板块的北西向挤压作用明显减弱。Izanaqi 板块运动方向的改变正解释了太平洋板块对欧亚大陆东部挤压应力减小的原因。

另外,在研究区北侧的蒙古—鄂霍次克海由西向东的剪刀式封闭过程是在中生代早期(J以前)^[32]。从中侏罗世(J)到早白垩世(K₁)该地区为进一步挤压收缩的过程:在上黑龙江拗陷地区,中生代形成了众多的近东西向推覆构造,这种推覆构造可贯穿于中侏罗世的二十二站组(J₂)到早白垩世的上库力组(K_{1s})火山岩,反映整个蒙古—鄂霍次克海地区一直处在挤压环境中。蒙古—鄂霍次克海中生代由西向东的剪刀式封闭及收缩作用,反映了西伯利亚板块中生代一直处在向南的相对运动中。在晚侏罗世晚期(J₃)—早白垩世(K₁),Izanaqi 板块的向北运动和西伯利亚板块的相对向南运动恰恰使得我国东北地区受到强烈的“左行剪切”分力和“减压”的双重作用,使得我国东北地区受到减压背景下的左行剪切。但是,由于所处地域的不同,其构造岩浆作用也不同:我国东北的东部地区,由于濒临太平洋,仍受到较强的太平洋板块的挤压,所以火山作用较弱;大兴安岭北段地区由于远离西伯利亚板块和太平洋板块,不受该两板块的直接挤压,同时又是构造活动带,所以是岩浆活动的有利部位。

从以上的区域构造背景、岩浆活动特征分析可知,

从晚侏罗世晚期(J₃)到早白垩世(K₁),我国东北地区处在“减压—剪切”的背景中。从力学的角度上讲,对于刚性体而言,强压应力减弱的过程本身就是“减压—相对松弛”的过程,这正如钢丝弹簧一样,在受到强压应力时,弹簧被压得很紧,当强压应力减弱时,弹簧会相对松弛。地壳是一个刚—塑性体,在强压应力场减弱时,也会产生相对松弛,加上剪切应力的促进作用,从而在“相对的松弛区”出现火山活动。大兴安岭北段地区火山岩正是在这种“减压—剪切”的挤压环境中沿构造的活动部位产出形成的。

2.3 古地磁研究成果

在古地磁方面,前人已做了较多的工作^[33~35]。通过对比我国的东北地区(包括内蒙)蒙古东部、西伯利亚板块晚古生代末至中生代的古地磁特征,可以看出以下特点:

① 在石炭纪,我国的北部尚不是统一体,华北板块、内蒙槽区、外蒙槽区的古地磁极存在一定距离,而它们与西伯利亚板块相距更远;② 在晚二叠世,华北板块、内蒙槽区、外蒙槽区之间位置日趋接近,但它们与西伯利亚板块仍有较大距离;③ 在早三叠世,华北板块、内蒙槽区、外蒙槽区的古地磁极基本重合,并且与西伯利亚板块的古地磁极逐渐接近;④ 在晚侏罗世—早白垩世,华北板块和内外蒙地区成为一体,并且与西伯利亚板块的古地磁极基本一致。

反映了西伯利亚板块、华北板块、内外蒙槽区真正成为一体的整体运动是在晚侏罗世—早白垩世完成的,而在晚侏罗世以前各个块体处在逐渐接近聚合的调整过程中,说明西伯利亚板块和华北板块在晚古生代后期碰撞后,两大板块的相对运动及构造调整并未随之结束;这一调整过程本身是聚合挤压的过程,是挤压背景的反映,而不是离散引张作用的反映。

2.4 火山岩的来源

大兴安岭北段地区中生代火山岩锶的初始比($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)为 0.706 左右^[1]。在周边地区,与本区中生代火山岩形成于相同构造背景的同期火山岩,同源花岗岩的锶的初始比($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)在 0.705~0.708 之间^[2,36,37],反映其岩浆的幔源特征。在大兴安岭北段地区及其邻区,与该期中生代火山岩有直接成因联系的 Pb—Zn—Ag—Cu 矿床中的金属硫化物 W³⁴S 值集中在 1‰~5‰,这也反映了该火山岩的幔源特征。

在标准矿物计算中,塔木兰沟组火山岩(J_t)中的玄武质粗面安山岩多为正常类型:其中有一部分为 SiO₂ 极不饱和,形成的标准矿物组合为 O_F—Ab—An—Ne—Di—Ol,反映岩浆为幔源,塔木兰沟组火山岩(J_t)中的粗面安山岩分为正常类型和铝过饱和型,而上库力组(K_{1s})火山岩多为铝过饱和型,这也反映了从塔木

兰沟组 (J_1t)到上库力组 (K_1s)火山岩壳源物质的大量混入。

在 $Ab-Q-O_r-H_2O$ 图解中,上库力组 (K_1s)火山岩的粗面英安岩主要位于 1 GPa附近,其流纹岩主要位于 0.4~1 GPa之间,表明该组火山岩岩浆主体来源深度为距地表 10~30 km。研究区中生代火山岩的硅酸盐微量元素分析结果表明,塔木兰沟组 (J_1t)火山岩和上库力组 (K_1s)火山岩是同一岩浆亚旋回不同阶段的产物,并且塔木兰沟组火山岩是早期的产物,所以塔木兰沟组 (J_1t)火山岩的源区应大于 30 km,即来自幔源,而上库力组 (K_1s)火山岩应主要源于次生岩浆房 (30~10 km)

3 大兴安岭北段中生代火山岩形成模式

综合以上分析,笔者对该地区中生代火山岩的形

成提出了如下模式。

1)中侏罗世 (J_2)至晚侏罗世中期 (J_3^2 , 180~150 Ma),东北部受到太平洋板块的北西西(北西)向强挤压,此时西伯利亚板块作相对的向南运动。大兴安岭北段地区受到的主压应力为北西西(北西)向,此时以得尔布干断裂带为代表的北东向断裂因受到强正向挤压而被封闭(图 4A A)。

2)晚侏罗世晚期 (J_3^3 , 150 Ma以后)大兴安岭北段地区受到太平洋板块运动方向改变的影响,所受的北西向挤压减小,从而使以得尔布干断裂带为代表的北东向断裂带“相对减压”,深源(幔源)岩浆沿断裂带溢出,形成以中性岩为主的塔木兰沟组 (J_1t)火山岩;同时形成次生岩浆房,并且发生了大量的壳源物质的混入(图 4B B)。

3)早白垩世 (K_1 , 120 Ma左右)大兴安岭北段地区

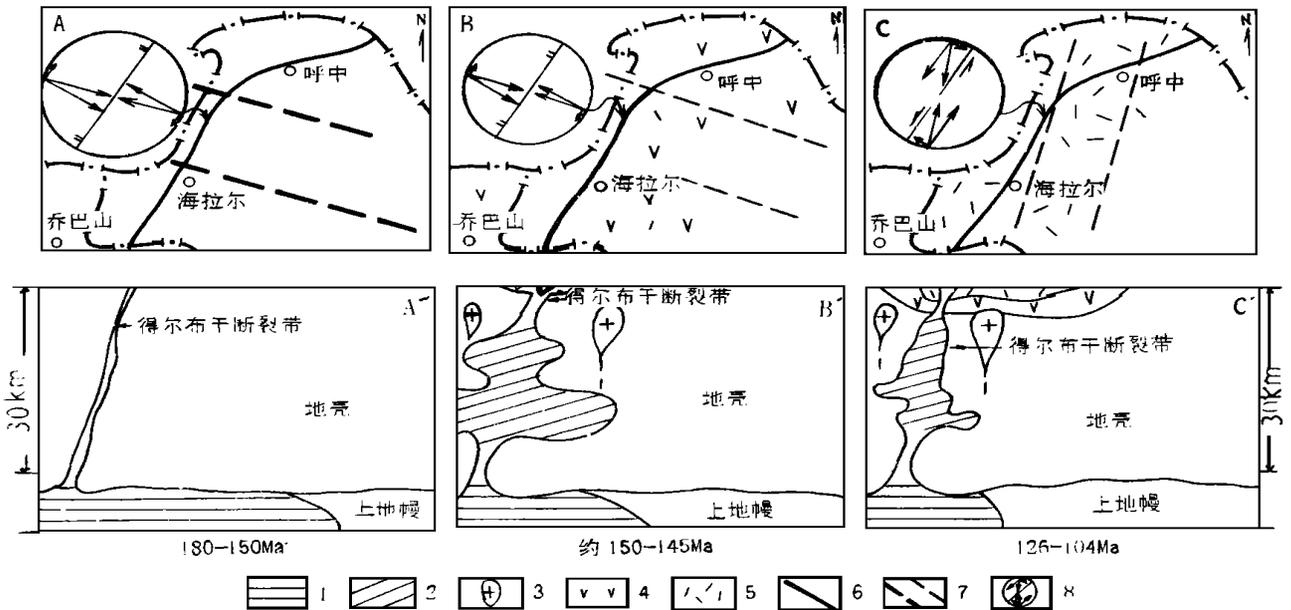


图 4 大兴安岭北段地区中生代火山岩形成模式

Fig. 4 Forming model of the Mesozoic volcanic rocks in NDM

A, B, C—平面图 (plan view); A; B; C—剖面图 (profile); 1—幔源岩浆房 (mantle-source magma chamber); 2—次生岩浆房 (secondary magma chamber); 3—花岗岩 (granite); 4—中性火山岩 (intermediate volcanic rock); 5—酸性火山岩 (acid volcanic rock); 6—得尔布干断裂带 (Derbugan fault zone); 7—主压应力及轴迹线 (principal stress and axial trace); 8—点应力分解图 (point stress analysis)

虽然仍处在挤压环境中,但是主压应力 σ_1 为 $NNE19^\circ$ 左右,这使得以得尔布干断裂带为代表的北东向断裂带受到的北西向挤压应力明显减小,同时由于受到 Iza naqi 板块向北运动和西伯利亚板块相对向南运动的影响使得该地区受到“左行剪切”分力和“减压”的双重作用,从而使以得尔布干断裂带为代表的北东向断裂处在进一步“相对松弛”的挤压环境中,使得次生岩浆房的岩浆在与地壳物质混熔之后,喷发形成以酸性岩为主的上库力组 (K_1s)火山岩(图 4G C)。

另外,分析表明塔木兰沟组 (J_1t)和上库力组 (K_1s)火山岩是同一岩浆亚旋回不同阶段的产物,所以从塔木兰沟组 (J_1t)火山岩到上库力组 (K_1s)火山岩的火山作用期间不会有大的间断期,即在这两组火山岩之间的吉祥峰组火山岩或木瑞组碎屑岩所代表的时限并不长,是对塔木兰沟组 (J_1t)火山岩和上库力组 (K_1s)火山岩火山活动间歇期不同区段不同环境的反映。

这里,笔者一再强调本地区火山岩形成在“减压—剪切”的挤压环境中,而不是东南沿海的“弱引张”或

“引张”环境^[9,10],这首先是根据上述综合分析的结果,同时该地区是远离大洋板块的内陆区,与东南沿海地区不同.东南沿海地区同时代火山岩的形成是由于洋壳俯冲后,在陆壳区幔源物质上涌,使陆壳处在主动的引张环境中,在下部构造体系中 ϵ_1 应表现为近直立.并且在 125~100 Ma 期间,东南沿海地区形成了低钛的双峰式火山岩^[9,10].大兴安岭北段地区不存在东南沿海的上述动力源,火山岩也不具有双峰式火山岩的特征,所以根本谈不上引张,而是在“减压”和“剪切”背景下的挤压环境中,深源岩浆房中的岩浆在板底垫托效应下沿构造的活动带喷出,同时由于是在挤压环境中,岩浆运移的过程中发生了强烈的壳源物质的混熔.

4 有关问题讨论

1) 大兴安岭北段的塔木兰沟组 (J_1t)、上库力组 (K_{1s}) 火山岩,大兴安岭中南段的满克头鄂博组 (J_1m)、玛尼吐组 (J_1mn)、白音高老组 (J_1b) 火山岩,辽西的义县组 (K_{1y}) 火山岩构成了辽西-大兴安岭中生代火山岩带的主体,形成的火山岩规模巨大,说明辽西-大兴安岭在晚侏罗世-早白垩世 (J_1-K_1) 处在一个特殊的地质环境中.其中大兴安岭北段的火山岩是以中(基)性岩(即塔木兰沟组火山岩)开始,大兴安岭南段的火山岩是以酸性岩(即满克头鄂博组火山岩)开始,在辽西又缺少与塔木兰沟组 (J_1t)、满克头鄂博组 (J_1m) 在时代上相对应的火山岩.说明该巨型火山岩带的形成不是一个简单的时空迁移的问题,也不是一个普通的弧形火山构造的问题.

2) 辽西-冀北的早、中侏罗世火山岩与辽西的义县组 (K_{1y}) 及相应火山岩的形成环境及背景有较大的区别,应分别对待.

3) 辽西-大兴安岭中生代 (J_1-K_1) 火山岩带的岩浆源问题一直为地质工作者所重视,它是源于古亚洲的原始地幔,还是源于太平洋板块的俯冲地幔?是地幔柱、地幔的主动上涌,还是地壳的“减压-相对松弛”后幔源物质的被动灌入?这些均是值得深入研究的问题.笔者发现该地区有些现象与地幔柱、地幔的主动上涌相矛盾.

4) 辽西-大兴安岭中生代 (J_1-K_1) 强烈的火山作用的动力源在现今是否存在,是否将对人类生存造成重大影响?这也是一个值得研究的问题.

5 参考文献

- 1 蒋国源,权桓. 大兴安岭根河、海拉尔盆地上中生代火山岩. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所刊, 17号, 1988.
- 2 赵一鸣,张德全,等. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价. 北京:地震出版社, 1997.
- 3 Macdonald G A, Katstura T. Chemical composition of Hawaiian

- lavas. J Petro. 1964, (5): 82~133.
- 4 Irvine I N. A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci., 1971, (8): 532~548.
- 5 邱家骧,林景任. 岩石化学. 北京:地质出版社, 1991.
- 6 Rittman A. Note to contribution by V. Gottini on the “serial character of volcanic rocks of Pantelleria”. Bull. Volcano, 1970, (33): 979~981.
- 7 贾承造,等. 东秦岭板块构造. 南京:南京大学出版社, 1988.
- 8 Condie K C. Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean-Proterozoic boundary: identification and significance. Lithos, 1988, 23: 1~18.
- 9 毛建仁,陶奎元,杨祝良,等. 中国东部中生代陆内岩浆作用的动力学背景. 火山地质与矿产, 1997, 18(2): 95~104.
- 10 谢家莹,陶奎元,尹家衡,等. 中国东部大陆中生代火山岩地质及火山侵入杂岩. 北京:地质出版社, 1996.
- 11 李兆薰. 中国东部燕山期岩浆作用和深部过程. 见:欧阳自远,编. 中国矿物岩石地球化学研究新进展. 兰州:兰州大学出版社, 1994.
- 12 尹家衡,阮宏宏,谢家莹,等. 中国东部大陆中生代火山旋回、火山构造及其控矿意义. 北京:地质出版社, 1991.
- 13 李之彤,赵春荆. 我国东北北部花岗岩类的时空分布规律. 见:徐克勤,涂光炽,编. 花岗岩地质和成矿关系国际学术会议论文集, 南京:江苏科学技术出版社, 1984.
- 14 方文昌. 吉林省花岗岩类及成矿作用. 长春:吉林科技出版社, 1992.
- 15 吉林省地质矿产局. 吉林省区域地质志. 北京:地质出版社, 1988.
- 16 辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志. 北京:地质出版社, 1989.
- 17 李之彤,赵春荆. 小兴安岭-张广才岭花岗岩带的形成和演化. 见:中国北方花岗岩及其成矿作用论文集. 北京:地质出版社, 1991.
- 18 高俊,等. 福建长乐-东山构造带变形特征及其动力学特征. 地质论评, 1993, (1): 57~63.
- 19 王永江. 论庐断裂带(嘉山-庐江段) A型推覆作用. 中国区域地质, 1992, (3).
- 20 刘少峰,等. 下扬子凹陷印支-燕山期层滑构造研究. 地球科学, 1992, (3): 555~559.
- 21 Lee D S. Geology of Korea. The Kyohah-sa Publishing Co., 1987.
- 22 许志琴. 辽南地壳的收缩作用及伸展作用. 地质论评, 1991, (3).
- 23 崔克英,庞庆邦,等. 论辽南韧性推覆构造的基本特征. 辽宁地质学报, 1986, (2): 45~59.
- 24 张世红,施央申,等. 黑龙江完达山带及其与那丹哈达地体的关系. 南京大学学报(地球科学), 1991, (3): 287~294.
- 25 邵济安,王成源,唐克东. 乌苏里地区构造新探索. 地质论评, 1992, 38(1): 34~39.
- 26 孙革,等. 黑龙江东部侏罗-白垩系界线附近地层研究新进展. 地层学杂志, 1992, 16(1): 48~54.
- 27 汉丘克 AI, 里波夫 A H. 那丹哈达山脉和相邻的锡霍特阿林地区的古洋沉积的地层资料. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所集刊, 第2号, 1993.
- 28 万天丰. 中国东部中、新生代板内变形构造应力场及其应用. 北京:地质出版社, 1993: 1~9.
- 29 张宏. 郯-庐断裂系的两期左行平移及其中生代时期演化史. 辽宁地质, 1994, 1~2(合刊): 131~143.
- 30 赵春荆,等. 吉黑东部构造格架及地壳演化. 沈阳:辽宁大学出版社, 1996.
- 31 Maruyama S. Torogeng and relative plate motions example of the Japanese Island. Tectono-physics, 1986, (127): 305~329.
- 32 Natal I B. History and modes of Mesozoic accretion in Southeast-

- em Russia. The Island Arc, 1993, 2(1).
- 33 Zhao X, Coe R S, Zhou Y, et al. New paleomagnetic results from northern China collision and suturing with Siberia and Kazakhstan. Tectonics, 1990, 18: 43~ 81.
- 34 刘海山,等. 辽西中生界古地磁特征. 见: 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所集刊, 第 2号, 1993 218~ 234.
- 35 唐克东,等. 中朝板块北侧褶皱带构造演化及成矿作用. 北京: 北京大学出版社, 1994.
- 36 张理刚,等. 东亚岩石圈块体地质——上地幔、基底和花岗岩同位素地球化学及其动力学. 北京: 科学出版社, 1995.
- 37 赵国龙,等. 大兴安岭中南部中生代火山岩. 北京: 科学技术出版社, 1989.

THE DYNAMIC BACKGROUND OF MESOZOIC VOLCANIC ACTIVITY IN NORTHERN PART OF DAXING ANLING MOUNTAINS

Zhang Hong Ma Junxiao Quan Heng
(Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources)

Jin Chengzhu
(Department of Geology, Northeastern University)

Abstract

The Mesozoic volcanic activity in northern Daxing anling Mts. (NDM) is very violent, in which a lot of geologists are interested. The volcanic rocks, formed mainly in Late Jurassic to Early Cretaceous (150~ 100 Ma), are divided into the Tamulangou formation (Jt), Jixiangfeng formation (Jj), Shangkuli formation (Ks) and Yilikede formation (Ky).

The lg f-Hg^e diagram of Rittmann reflects the volcanic rocks of NDM to be formed in compressional environment. In K₂O-Na₂O diagram, the K₂O content of volcanic rocks in NDM is 1.2% ~ 6.3%, Na₂O 3.0% ~ 4.7%; showing the content of K₂O in a relatively wide range, while the Na₂O relatively stable. The characteristics of K₂O and Na₂O are just like those in active continental margins, confirming the volcanic rocks' compressional forming environment. The intermediate-basic volcanic rocks (SiO₂ ≈ 51% ~ 56%) of NDM are distributed within orogenic region in FeO* -MgO-Al₂O₃ diagram, which also suggests the forming environment should be compressional background.

The trace element characteristics of volcanic rocks of NDM reflect that a lot of crust-source materials have added in the volcanic rocks, and indicate that the volcanic rocks were formed in a compressional background. Stable isotope data show a deep source characteristics of the volcanic rocks. The stress analysis suggests that the stress field background of volcanic active period in Ergun is different from that in continental rift and median ridge. Palaeomagnetic features reflect that with the ending of the collision between Siberian plate and North China plate in Late Paleozoic Era, the together-ward adjustment of the two plates was not finished soon, and the process of adjustment was just convergence, other than extension.

The geochemical characteristics of intrusive rocks show that eastern China was strongly compressed from Middle Jurassic to the early-middle stage of Late Jurassic (180~ 150 Ma). Tectonic analysis reflects the strong compression of NWW (NW) orientation to be gradually reduced in eastern China from the period of 180~ 150 Ma to 150~ 100 Ma. During 180~ 150 Ma, a lot of NNE (NE)-striking overthrusts or nappes with mineral lineations striking NWW (NW) were formed in eastern China, showing that eastern China was in strongly compressional background, and the primary stress was nearly NWW (NW) oriented. The overthrusting action was ended in the age of about 150 Ma.

Therefore, the Mesozoic volcanic rocks of NDM were formed in the compressional background with a "reduced pressure" and "shearing" process. That is why there are so many crust-source materials added in the Mesozoic volcanic rocks.

Key words Northern Daxing anling Mts. (NDM) Mesozoic volcanic activity dynamic background

作者简介 张宏男 1965年生, 1991年毕业于合肥工业大学地质系, 获构造地质学专业硕士学位, 1998年9月毕业于东北大学, 获矿产普查与勘探专业博士学位, 现任沈阳地质矿产研究所副研究员. 通讯地址: 沈阳市北陵大街25号; 邮政编码 110032.