https://doi.org/10.3799/dqkx.2019.080



大兴安岭早白垩世火山岩的时空分布特征

杨晓平,江 斌*,杨雅军

中国地质调查局沈阳地质调查中心,辽宁沈阳110034

摘 要:为进一步了解大兴安岭早白垩世火山岩与古太平洋构造关系,通过大兴安岭地区1:100万地质编图工作,对大兴安岭 中生代火山地层进行了重新厘定.依据岩石组合、古生物、接触关系及区域对比,结合年代学(锆石 U-Pb、40Ar/39Ar测年数据、 古生物)资料在原晚侏罗世火山岩中解体出大量的早白垩世早期火山岩(145~130 Ma).通过岩石组合、时空展布分析,探讨了 大兴安岭地区145~100 Ma形成的早白垩世火山岩与古太平洋构造的成因关系.研究表明,早白垩世早期火山岩(145~130 Ma)和早白垩世晚期火山岩(130~100 Ma)均呈NNE向展布,空间上具有密切的共生关系.火山岩时代总体具有由北西向南 东变新趋势,与古太平洋板块早白垩世向东亚大陆下的后退式俯冲作用吻合,记录了早白垩世伊泽奈岐板块向东亚大陆俯冲 事件,表明大兴安岭早白垩世火山岩(145~100 Ma)主要形成于伊泽奈岐板块向东亚大陆俯冲背景下. 关键词:大兴安岭;早白垩世;火山岩;古太平洋构造;岩石学.

中图分类号: P581; P587 **文章编号:** 1000-2383(2019)10-3237-15 **收稿日期:** 2019-04-15

Spatial-Temporal Distribution Characteristics of Early Cretaceous Volcanic Rocks in Great Xing 'an Range Area

Yang Xiaoping, Jiang Bin*, Yang Yajun

Shenyang Center of Geological Survey, China Geological Survey, Shenyang 110034, China

Abstract: In order to further understand the relationship between the Mesozoic volcanic rocks and the Paleo-Pacific tectonics in the Great Xing'an Range area, in this study, it redetermines the Mesozoic volcanic strata in the Great Xing'an Range area through the regional 1:1 000 000 scale geological mapping work. A large number of Early Cretaceous volcanic rocks were identified from previous Late Jurassic volcanic units according to the rock association, paleontology, contact relationships and regional comparison, combining with geochronology files (including zircon U-Pb, ⁴⁰Ar/³⁹Ar and paleontology information). The relationship between the Early Cretaceous volcanic rocks formed within 145–100 Ma in the Great Xing' an Range area and Paleo-Pacific Tectonics is discussed by rock association and spatial-temporal distribution characteristics. It is found that both Early Cretaceous volcanic rocks of the early stage(145–130 Ma) and the later stage(130–100 Ma) are distributed in NNE direction, and with close special spatial co-existence relationship. The geochronology trend of the volcanic rocks becomes increasingly younger from northwest to southeast, which is in accordance with the backward subduction process of the Paleo-Pacific plate beneath the East Asian continent since the Early Cretaceous, recording the subduction event of Izanagi plate to the East Asian continent as well, indicating that the Early Cretaceous volcanic rocks (145–100 Ma) in the Great Xing' an Range area formed under the subduction setting dominated by the Izanagi plate beneath the East Asian continent.

Key words: Great Xing'an Range; Early Cretaceous; volcanic rock; Paleo-Pacific tectonics; petrology.

引用格式:杨晓平,江斌,杨雅军,2019.大兴安岭早白垩世火山岩的时空分布特征.地球科学,44(10):3237-3251.

基金项目:科技部"深地资源勘查开采"重点专项项目(No.2017YFC0601305);中国地质调查局项目(No.DD20160345-17).

作者简介:杨晓平(1969-),男,教授级高级工程师,主要从事区域地质调查及研究工作.ORCID:0000-0003-0248-8313.E-mail:yangxiaoping0452@163.com

^{*} 通讯作者:江斌(1979-),ORCID:0000-0003-3258-8294. E-mail: 310941224@qq.com





1.蒙古一鄂霍茨克缝合带;2.侏罗纪增生杂岩;3.早白垩世增生杂岩;4.晚侏罗世一早白垩世增生杂岩;5.早白垩世晚期沉积岩;6.早白 垩世早期沉积岩;7.早白垩世晚期火山岩;8.早白垩世早期火山岩;9.早白垩世侵入岩;10.研究区位置.①蒙古一鄂霍茨克断裂带;②黑 河一八里罕断裂;③华北缘断裂;④依兰一伊通断裂;⑤敦化一密山断裂;⑥牡丹江断裂;⑦锡霍特一阿林断裂.据李三忠等(2017)修改

大兴安岭地区位于兴蒙造山带东段,夹持于西 伯利亚板块、华北板块和西太平洋板块交汇地带 (李锦轶等,2004;张兴洲等,2006)(图1),古生代经 历了古亚洲洋构造体系的演化,形成了以多个微陆 块之间的拼合碰撞为主体的造山体系,中生代期间 经历了环太平洋构造体系和蒙古一鄂霍茨克构造 体系的叠加与改造(林强等,2003;孟恩等,2011;许 文良等,2013;张丽等,2017),形成了大规模的构 造一岩浆活动(Wu et al.,2000).

大兴安岭中生代火山岩带主要分布在大兴安 岭主脊及两侧,是东亚大陆边缘巨型火山岩带的主 要组成部分(林强等,2003).大兴安岭中生代火山岩 带内伴生有丰富的矿产资源,特定的构造背景和成 矿地质条件使其成为环太平洋构造域研究的热点 地区.关于大兴安岭中生代火成岩的构造背景一直 是地质学家所关注的焦点问题之一,先后形成了众 多认识,如与太平洋板块的俯冲作用有关(徐公愉, 1983;赵国龙等,1989;Wang et al.,2006;Zhang et al.,2008;孟恩等,2011;徐美君等,2011)、与地幔 柱岩浆活动有关(葛文春等,1999;林强等,2003)、 与蒙古一鄂霍茨克洋有关(Fan et al.,2003;孙德有 等,2011;赵忠华等,2011;Zhang,2014)、与陆内造 山有关(邵济安等,2007)、与裂谷作用有关(蒋国源 和权恒,1988)、边缘陆块型火山岩(夏军等,1993)、 与大陆根--柱构造有关(邓晋福等,1996)等.

近年来不同学者针对东北地区中生代构造与

滨太平构造域演化做了进一步研究,提出了一些更 为具体的认识,如许文良等(2013)认为环太平洋构 造体系对东亚大陆下的俯冲始于早侏罗世,中生代 期间存在早侏罗世、早白垩世晚期和晚白垩世3次 俯冲事件,其影响的空间范围主要在松辽盆地及其 以东地区,蒙古一鄂霍茨克构造体系经历了中生代 早期的俯冲事件和中侏罗世及早白垩世早期两次 陆内推覆事件,其影响的空间范围主要在松辽盆地 以西地区和华北地块北缘;周建波等(2016)认为那 丹哈达地体为古太平洋板块向东亚大陆俯冲增生 的直接证据,记录了古太平洋板块向欧亚大陆俯冲 增生的整个过程,指示了黑龙江东部那丹哈达地区 为古太平洋板块向东亚大陆俯冲增生带位置,解释 了中生代太平洋西向的俯冲带远离大兴安岭近千 千米令人质疑的问题;索艳慧等(2017)通过中国东 部各盆地内部反转构造与太平洋板块关系研究,提 出了太平洋板块在中新代向东亚大陆不断作后退 式俯冲作用,认为西部沉降带(包括大兴安岭西坡 海拉尔盆地)是伊泽奈崎板块在160 Ma左右拆沉并 折返及岩石圈减薄机制下形成的,暗示伊泽奈崎板 块俯冲影响到了大兴安岭西坡一带;李三忠等 (2017)研究认为古太平洋板块可能于晚三叠世末 期开始启动俯冲,那丹哈达地体于早白垩世就位于 现今位置,就位时间在136~131 Ma之间,印证了古 太平洋板块早白垩世早期西向俯冲作用的存在;李 三忠等(2018)提出古太平洋板块早期的俯冲为平 板俯冲,俯冲所波及的区域西界大体为大兴安岭-太行山一武陵山重力梯度带;唐杰等(2018)认为松 辽盆地和大兴安岭等地早白垩世晚期火成岩形成 于古太平洋板块向东亚大陆俯冲导致的伸展环境, 松辽盆地以西中侏罗世一早白垩世早期的火成岩 主要与蒙古-鄂霍茨克洋闭合有关等;孟凡超等 (2014)研究认为大兴安岭地区早白垩世早期火山 活动形成于蒙古一鄂霍茨克洋闭合造山后伸展环 境,早白垩世晚期火山岩主要分布在松辽盆地内 部,为伊泽奈崎板块俯冲引起的弧后拉张、软流圈 上涌导致年轻地壳熔融的产物;Zhang(2014)认为 晚中生代大兴安岭地区火成岩主要形成于晚侏罗 世一早白垩世(150~110 Ma),火山活动与蒙古一 鄂霍茨克洋俯冲有关;周新华等(2009)认为大兴安 岭西北地区晚中生代火山活动与鄂霍茨克洋闭合 后的伸展作用有关;朱光等(2018)通过郯庐断裂带 在晚中生代经历的压扭性平移与伸展活动的多次

交替研究,认为早白垩世初和早白垩世末伊泽奈崎 板块向北北西向作高速低角度俯冲,早白垩世期间 和晚白垩世期间大洋板片作后撤俯冲,这种交替构 造变化特征反映了伊泽奈崎板块在早白垩世一晚 白垩世西向俯冲作用的存在.目前认识的分歧主要 是蒙古一鄂霍茨克洋和古太平洋对大兴安岭地区 的影响范围和活动时间:部分研究者认为大兴安岭 及以西地区中生代主要受蒙古一鄂霍茨克洋俯冲 作用影响(周新华等,2009;孟凡超等,2014;Zhang, 2014),多数学者(周新华等,2009;许文良等,2013; 孟凡超等,2014;Zhang,2014;唐杰等,2018;李三忠 等,2018)认为大兴安岭及以西地区在侏罗世一早 白垩世主要受蒙古-鄂霍茨克洋俯冲作用影响,仅 早白垩世晚期开始(133~106 Ma)古太平洋板块俯 冲作用才影响到大兴安岭一带(许文良等,2013;索 艳慧等,2017;李三忠等,2018;唐杰等,2018).有几 个问题值得讨论,一是大兴安岭及以西地区早白垩 世早期火山岩发育程度尚有不同认识,原因之一是 以往由于工作程度低、测年数据方法新旧偏差大、 侏罗纪与白垩纪界线多采用135 Ma等因素将大部 分属于早白垩世早期的火山岩归入了晚侏罗世,认 为早白垩世早期火山岩很少,并多与侏罗纪火成岩 组合一起探讨成因,归属为蒙古一鄂霍茨克洋俯冲 作用产物;近年来获得了很多高精度同位素测年数 据,显示存在有大量的早白垩世早期的火山岩和侵 入岩,因其多与晚侏罗世火山岩共生(连续喷发), 且远离古太平洋板块向东亚大陆边缘运动的俯冲 带,也多将其与蒙古一鄂霍茨克构造带相联系,但 仍有部分学者认为早白垩世晚期古太平洋板块俯 冲作用影响到了大兴安岭一带.二是以往工作多将 早白垩世早期火山岩与晚侏罗世合并研究,缺少对 早白垩世与晚侏罗世火山地层的上下关系的研究, 存在很多晚侏罗世火山地层中同位素测年与古生 物时代矛盾和同位素年代延入早白垩世的情况(穿 时性),如上侏罗统满克头鄂博组、玛尼吐组的同位 素测年中有很多是在145~130 Ma之间(早白垩世 早期),地层和火山岩的时代归属存在矛盾,原因主 要是基础地质资料的更新和整合不足,这也导致了 早白垩世早期火山岩的空间分布上模糊,也影响了 对其构造背景的研究.三是蒙古一鄂霍茨克洋东南 向俯冲作用是否在早白垩世早期活动最为强烈,其 形成的构造应力机制是否与大兴安岭地区早白垩 世早期火山岩带展布吻合.四是古太平洋板块在早 白垩世早期向东亚大陆的俯冲作用已得到共识,但 其影响范围能否到达大兴安岭及以西地区尚存在 分歧.基于上述问题,笔者等通过大兴安岭地区1: 100万地质编图工作,在大兴安岭地区厘定出大量 的早白垩世早期(145~130 Ma)火山岩,发现其与 早白垩世晚期(130~100 Ma)火山岩带均呈NNE向 展布,具有很好的共生关系,火山岩的时代由北西 向南东变新,与古太平洋板块向东亚大陆作后退式 俯冲作用机制吻合.因此本文主要从早白垩世火山 岩的时空分布特征上探讨其与古太平洋板块的成 因关系.

1 资料来源

笔者等以典型矿集区三维地质结构与矿体定 位课题和大兴安岭区域地质调查片区总结与服务 产品开发项目(大兴安岭地质志)为依托,系统地收 集了大兴安岭地区早白垩世火山岩和侵入岩的锆 石 U-Pb、40Ar/39Ar 测年数据,主要包括 2010 年以来 开展的1:5万和1:25万区域地质调查成果、大兴安 岭地区综合研究项目和课(专)题成果、大兴安岭成 矿带地质矿产调查项目成果、专著和期刊论文、硕 博论文、本文资助项目获得的数据资料等.地质图 件引自大兴安岭地质志的成果图件;锆石U-Pb测 年结果主要为LA-MC-ICP-MS数据(1173个),少 部分为SHRIMP数据(34个),此外也选用少量 的⁴⁰Ar/³⁹Ar测年结果(10个),测年数据虽分布不是 很均匀,但基本上覆盖了大兴安岭地区的早白垩世 各期次火山岩,且主要岩石类型均有测年数据.因 文献过多,不能全部列出,数据主要来源引用大兴 安岭区域地质调查片区总结与服务产品开发项目 成果.

2 地质背景及岩石组合特征

大兴安岭早白垩世(145~100 Ma)岩浆活动非 常强烈,火山喷溢、火山喷发交替出现,同时伴有断 陷盆地的沉积作用.早白垩世火山岩主要分布于大 兴安岭主脊及其两侧(图2),是中生代大兴安岭火 山岩带的主要物质组成.岩石类型主要有玄武岩、 安山岩、英安岩、流纹岩及其火山碎屑岩,夹少量沉 积岩等.由于以往地质工作程度低、古物化石资料 少、同位素测年样品少及测试方法相对陈旧(多为 K-Ar法)及侏罗纪与白垩纪界线年代值(原采用 135 Ma,现采用145 Ma)变化等原因,对中生代火山 岩解体不够充分,导致晚侏罗世与早白垩世早期火 山地层划分不尽合理.笔者等通过大兴安岭地区1: 100万地质编图工作,系统地收集了近十年来的基 础地质和科研成果,依据岩石组合、古生物、接触关 系及区域对比,结合同位素测年资料对大兴安岭中 生代火山地层进行了重新厘定,将下白垩统划分了 6个组级火山岩岩石地层单位(图3).其中从原中上 侏罗统塔木兰沟组和上侏罗统玛尼吐组中解体出 一部分下白垩统梅勒图组(年龄值130~145 Ma)、 龙江组(年龄值120~128 Ma),从上侏罗统满克头 鄂博组中解体出一部分下白垩统白音高老组(年龄 值129~145 Ma)、光华组(年龄值118~128 Ma),从 原下白垩统光华组中解体出一部分下白垩统孤山 镇组(年龄值100~118 Ma).

(1)早白垩世早期白音高老组.主要分布在大 兴安岭火山岩带的中部和西缘(图2),是大兴安岭 火山岩带中最为发育的地层单位,主要由灰白色、 灰紫色流纹岩与流纹质火山碎屑岩组成,夹沉凝灰 岩和凝灰质细砂岩,底部常发育一套泥质粉砂岩、 砂砾岩、凝灰质粉砂岩,夹火山碎屑岩组合.与下伏 上侏罗统玛尼吐组之间多为整合接触,但区域上与 下伏玛尼吐组之间发育有厚度较大的沉积岩层(白 音高老组底部层序及木瑞组),说明两者之间存在 火山喷发间断;上部被梅勒图组整合覆盖,区域上 被龙江组平行不整合覆盖.含 Nestoria 叶肢介等化 石.其锆石 U-Pb 同位素年龄多在 129~145 Ma之 间,主体年龄为 133~138 Ma(大兴安岭区域地质调 查片区总结与服务产品开发项目成果).

(2)早白垩世早期梅勒图组.主要分布在大兴 安岭火山岩带的中部,多与白音高老组伴生,是早 白垩世最早的中基性火山活动产物,主要由安山 岩、安山质碎屑岩组成,夹玄武安山岩、玄武岩,以 气孔状、致密块状安山岩组成,夹少量沉积岩,含 Nestoria叶肢介化石.整合在白音高老组之上,上部 被光华组、大磨拐河组平行不整合覆盖.锆石U-Pb 同位素年龄为128~145 Ma,主体年龄132~142 Ma (大兴安岭区域地质调查片区总结与服务产品开发 项目成果).

(3)早白垩世晚期龙江组.主要分布于大兴安 岭火山岩带的东缘,是大兴安岭东缘火山喷发带 (盆地)的下部层位.由安山岩、英安岩、安山一英安 质火山碎屑岩夹沉积碎屑岩组成,不整合在白音高



图 2 大兴安岭地区早白垩世火山岩分布 Fig.2 Distribution of the Early Cretaceous volcanic rocks in the Great Xing 'an Range area

老组之上,上部被光华组整合覆盖.沉积夹层中产 有 Eosestheria-Lycoptera-Ephemeropsis trisetalis 和 Cypridea 介形虫等化石.锆石U-Pb同位素年龄为 120~128 Ma,⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为125 Ma,主体年龄 121~128 Ma(大兴安岭区域地质调查片区总结与 服务产品开发项目成果).

(4) 早白垩世晚期光华组.主要分布在大兴安岭火山岩带的东缘,是大兴安岭东缘火山喷发带的

年代地层		岩石地层		岩石组合特征	典型动物群	主体年龄
		孤山镇组	$\begin{array}{c} & & & \\ \Delta & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ \Delta & \Delta &$	流纹岩、流纹质凝灰岩、流纹质凝灰角砾岩		110~118 Ma
		大磨拐河组		砾岩、砂砾岩、粉砂岩、泥岩、凝灰岩 、凝灰质粗砂岩,含丰富动植物化石		
白垩	下	甘河组		玄武岩、气孔杏仁状玄武岩、凝灰岩及砂质泥岩		110~120 Ma
		九峰山组		砾岩、砂砾岩、粗砂岩夹粉砂岩及煤层, 含丰富的动、植物化石		
		光华组		光华组:流纹岩、流纹质凝灰岩、凝灰质粉砂岩、 泥岩,含Eosetheria、Cypridea、Lycoptera等化石	<i>Lycoptera</i> 群	光华组 119~127 Ma
系	统	龙江组		龙江组:安山岩、英安岩、安山质火山碎屑岩、凝灰岩、 粉砂岩等,含Eoeshteria、Cypridea、Lycoptera等化石	Cypridea 群	龙江组 121~128 Ma
		梅勒图组		梅勒图组:玄武岩、玄武安山岩、粗面岩夹砂岩, 含叶肢介 Nestoria 及植物化石		梅勒图组 132~142 Ma
		白音高老组		白音高老组:流纹岩、流纹质火山碎屑岩夹 粉砂岩及砾岩,含 Nestoria、介形类及植物化石	Nestoria 群	白音高老组 133~138 Ma
		木瑞组开库康组	0 ⁰ 0 ⁺ 0	砾岩、含砾砂岩、砂岩夹少量的粉砂岩, 含叶肢介Nestoria及植物化石		
侏罗系上统		玛尼吐组	$\begin{array}{c c} V & \vdots & V & \Delta \\ \hline & & & & & \\ \hline V & \vdots & \Delta & m \end{array}$	安山岩、英安岩及其火山碎屑岩夹少量的砂岩		145~155 Ma

图 3 大兴安岭地区早白垩世火山地层柱状图

Fig.3 Distribution of Early Cretaceous volcanic rocks in Great Xing 'an Range area

主要物质组成,也是大兴安岭早白垩世晚期最发育的火山地层单位,为火山盆地的上部层位.由流纹岩、珍珠岩、流纹英安岩、流纹质火山碎屑岩夹沉凝灰岩、凝灰质砂岩组成.整合于龙江组之上,被早白垩世晚期甘河组喷发不整合覆盖.多与龙江组伴生,含*Eosestheria*叶肢介等化石.其LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为118~128 Ma,主体年龄为119~127 Ma(大兴安岭区域地质调查片区总结与服务产品开发项目成果).

(5)早白垩世晚期甘河组.广泛分布在大兴安 岭火山岩带内,但规模多较小,多呈"孤岛状"发育 在火山喷发带(盆地)的上部,是中生代大兴安岭火 山岩带中最晚一期中基性火山活动的产物.不整合 于白音高老组、龙江组、光华组之上,被早白垩世晚 期孤山镇组喷发不整合覆盖.主要由玄武岩、玄武 安山岩组成,夹少量安山岩和火山碎屑岩.锆石U-Pb同位素年龄为108~121 Ma,主体年龄为110~ 120 Ma(大兴安岭区域地质调查片区总结与服务产 品开发项目成果).

(6)早白垩世晚期孤山镇组.零星分布在大兴 安岭火山岩带中东部,规模较小,呈"孤岛状"产出 在火山盆地的上部,是中生代大兴安岭火山岩带中 最晚期火山活动产物.主要由流纹质火山碎屑岩、 流纹岩及少量英安岩、英安质火山碎屑岩和珍珠岩 组成.与下伏甘河组呈喷发不整合接触,上部被新 生界不整合覆盖. 锆石 U-Pb 同位素年龄为100~118 Ma, 主体年龄110~118 Ma(大兴安岭区域地质 调查片区总结与服务产品开发项目成果).

大兴安岭早白垩世火山岩虽然从基性到酸性 均有不同程度产出,但总体上以酸性火山岩为主, 中性火山岩次之,基性火山岩很少.本文在收集的 678个火山岩年龄数据中选择了537个火山地层中 的年龄数据(剔除了141个潜火山岩年龄数据)编制 了早白垩世火山地层同位素测年分布曲线图(图 4),从图4中可见,中基性火山岩和酸性火山岩的形 成时代具有很好的同步性,3个阶段的中基性火山 岩与3个阶段的酸性火山岩的形成时间基本对应, 火山活动具有准同时喷发特点.大兴安岭早白垩世 酸性火山岩主要为钙碱性系列,中基性火山岩主要 为钾玄岩系列,与裂谷环境的火山岩岩石组合不 同,总体反映了与板块俯冲作用相关的特点,其成 因可能与板块俯冲过程中的伸展作用有关(孟凡超 等,2014).

早白垩世火山活动同时伴生有岩浆侵入活动, 形成一系列大小不一的侵入体,主要分2个期次,早 白垩世早期和早白垩世晚期,分别侵入早白垩世早 期和早白垩世晚期的(火山)地层,但早白垩世早期 的侵入岩局部被早白垩世晚期的(火山)地层不整 合覆盖,说明早白垩世早期和早白垩世晚期之间存 在着快速隆升作用.侵入岩的岩石类型主要有闪长





岩、石英(二长)闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、 正长和碱长花岗岩及花岗斑岩等,与同期侵入岩的 化学成分基本相同,与同期火山岩具有相同岩浆源 区和构造背景.早白垩世火山活动同期伴生有较弱 的沉积作用,也主要分为2个阶段,早白垩世早期和 早白垩世晚期.早白垩世早期的沉积作用主要形成 于早白垩世早期火山喷发作用之前,以小型山间盆 地河湖相沉积的砾岩、砂岩、粉砂岩为主(开库康 组、木瑞组),夹有少量酸性火山碎屑岩,含Nestoria 叶肢介等化石,该期沉积作用介于晚侏罗世和早白 垩世早期火山活动之间,说明两期火山活动之间存 在间断;早白垩世晚期沉积作用主要以含煤断陷盆 地沉积作用为主,分布于早白垩世晚期火山地层内 部与早白垩世早期火山地层之间,与上下火山地层 均为整合接触,佐证了早白垩世晚期伸展构造背景.

大兴安岭地区中生代的构造作用十分强烈,发 育大量的断裂、节理和裂隙构造.笔者为了研究与 中生代火山作用有关的区域性断裂构造,利用重力 相干滤波方法对大兴安岭地区中生代火山线性构 造进行了提取(图1),推断出一系列断裂构造,断裂 多呈北北东向、北东向,少量为北西向、近南北向和 近东西向,这些区域性的断裂构造多沿火山喷发带 和火山盆地的边界分布,尤其是北北东向断裂系与 早白垩世火山岩带的空间展布非常相似,显示了对 早白垩世火山喷发的控制作用,可能是控制中生代 火山活动的基底断裂.深大断裂系多表现左旋走滑 特征,其左旋走滑拉分作用可能是形成早白垩世菱 形火山盆地的主要因素,深大断裂系空间展布与古 太平洋板块在早白垩世向东亚大陆俯冲形成的北 北东向构造线方向基本相同,反映了古太平洋板块 在早白垩世向东亚大陆的俯冲作用已经影响到了 大兴安岭西坡一带.据朱光等(2018)对郯庐断裂带 的研究,认为郯庐断裂带在早白垩世初和早白垩世 末发生的2次左行平移活动与伊泽奈崎板块向北北 西向高速低角度俯冲作用有关,而在早白垩世期间 和晚白垩世期间郯庐断裂的伸展活动主要与俯冲 大洋板片后撤作用有关.郯庐断裂带早白垩世初期 的左行平移活动基本印证了大兴安岭地区的北北 东向断裂在早白垩世具有左旋走滑特征,而在早白 垩世期间伸展活动印证了火山盆地的走滑拉分作 用,暗示大兴安岭地区深大断裂系左旋走滑拉分作 用与伊泽奈崎板块北北西向俯冲作用有关.

3 早白垩世火山岩的时空分布

笔者等在文章资助项目开展过程中依据最新 成果资料编制了大兴安岭地区1:100万地质图,并 在最新1:100万地质图中提取了早白垩世火山岩和 同期侵入岩的分布,利用早白垩世火成岩中大量的 锆石 U-Pb 测年数据编制了大兴安岭地区早白垩世 火成岩锆石 U-Pb 同位素测年数据平面等值线图 (图5).本文旨在研究早白垩世火山岩的时空分布, 考虑到火山岩的年龄数据偏少(678个),图面中分 布不均,特引用了539个同期侵入岩测年数据,以便 增加图面的信息量和提高年龄分布的规律性.从图 2中可见,大兴安岭地区早白垩世火成岩中以火山 岩的分布为主,侵入岩虽测年数据较多,但分布面 积较小,且早白垩世侵入岩与火山岩具有密切的共 生关系,曾有很多学者将同期侵入岩与火山岩组合 一起研讨构造背景(邓晋福等,1996;许文良等, 2013; 唐杰等, 2018). 因此, 本文主要根据图2中火 山岩的实际分布,结合图5中火成岩时代的分布规 律重点论述早白垩世火山岩的时空分布.图5的编

制采用 Mapgis 软件的空间分析和 DTM 分析功能, 从 Excel 表中提取同位素样品点的坐标和年龄数据,生成三角剖分网和追踪剖分网等值线,手动平 滑剔出非火成岩分布区后造区成图,基本能够客观 地反映早白垩世火山岩的时代分布趋势.本文采用 130 Ma(129.4 Ma为 Hauterivian 阶和 Barremian 阶 分界线)作为早白垩世早期与早白垩世晚期的界 线,讨论早白垩世火山岩的时空分布特征.



图5 大兴安岭地区早白垩世火成岩锆石U-Pb同位素测年数据平面等值线图

Fig.5 Plane contour map of zircon U-Pb isotopic data of Early Cretaceous igneous rocks in the Great Xing'an Range area

大兴安岭地区早白垩世火山岩呈北北东向带 状展布(图1,图2,图5),地表上由南向北贯穿整个 大兴安岭,东西遍布大兴安岭主脊及两侧,在海拉 尔盆地和松辽盆地底部断陷中也有广泛产出(唐杰 等,2018). 早白垩世早期火山岩(145~130 Ma)主 要出露大兴安岭主脊及西侧(图2,图5),空间上由2 条火山喷发带构成.大兴安岭主脊一带的火山喷发 带沿林西一博克图一盘古一线呈北北东向展布,贯 穿大兴安岭南北,不整合于晚侏罗世及更老地质体 之上,与晚侏罗世地质体之间发育有早白垩世早期 沉积岩系;两侧被早白垩世晚期火山岩带、早白垩 世晚期一新生代沉积层不整合覆盖.该火山喷发带 主要由早白垩世早期白音高老组酸性火山岩和梅 勒图组中基性火山岩组成,火山岩的年龄在130~ 145 Ma之间,130~140 Ma的火山岩集中分布,构成 了大兴安岭早白垩世早期火山岩带的主体.该时段 火山岩主要分布在大兴安岭主脊线一带和松嫩盆 地、海拉尔盆地和二连一贺根山盆地边缘(图2),可 能与早白垩世晚期及以后的盆岭构造的隆升剥蚀 作用有关,即地势较高和构造活动较强地区的上覆 较新火山岩层被相继剥蚀到盆地中,下伏较老的火 山岩出露在地表,年龄值较大的火山岩(140~ 145 Ma)分布规律(图5)和盆地周围出露的侵入岩 都证实了隆升剥蚀作用的存在(图2);年龄具正丰 值的火山岩多分布于正地貌单元内,年龄偏小一些 的火山岩主要分布于地貌平缓地带和与早白垩世 晚期火山盆地相邻地区.大兴安岭主脊线中南段火 山岩的年龄值(135~140 Ma)略大于北段火山岩的 年龄值(130~135 Ma),说明南段的隆升作用略强 于北段,这与现今中南段地势高于北段和北段发育 更多早白垩世晚期火山盆地(伸展作用强)事实相 符;大兴安岭东坡火山岩年龄值高于大兴安岭西坡 火山岩年龄值,且大兴安岭东坡出露的侵入岩多于 西坡,表明大兴安岭东坡剥蚀作用强于西坡,这进 一步印证了大兴安岭东坡松嫩盆地西缘的隆升沉 降幅度强于大兴安岭西坡海拉尔盆地、二连盆地隆 升沉降幅度.

锡林浩特-东乌珠穆泌旗-满洲里-满归-漠河一带的早白垩世早期火山岩带分布于二连-贺根山盆地、海拉尔-根河盆地的西缘,呈北北东 向展布,火山岩带西缘不整合于前早白垩世地质体 之上,东缘被早白垩世晚期火山岩、早白垩世晚 期-新生代沉积岩不整合覆盖.该火山喷发带实际

与大兴安岭主脊一带的火山喷发带是一个统一的 巨型火山喷发带,之间被早白垩世晚期火山盆地和 早白垩世晚期一新生代沉积盆地覆盖,因此,地表 分布面积偏小,且分布不连续.主要由白音高老组 酸性火山岩和梅勒图组中基性火山岩组成,火山岩 的年龄集中在130~140 Ma.该火山喷发带中的火 山岩年龄值也具有中南段高于北段的特征(图5), 实际地势南高北低,北部叠加有早白垩世晚期火山 盆地,显示南段的隆升作用略强于北段;另外,火山 岩年龄值在靠近早白垩世晚期火山盆地位置有变 新趋势,反映了与早白垩世晚期火山活动具有一定 连续性:在靠近早白垩世晚期一新生代沉积盆地位 置有变老趋势,反映了盆缘位置剥蚀作用强,从海 拉尔盆地和二连一贺根山盆地的西北缘和东南缘 分布的火山岩年龄值来看,西北缘的火山岩年龄值 高于东南缘,表明西北缘隆升剥蚀作用强烈,有大 量的早白垩世火山岩补给了盆地沉积.总体上大兴 安岭早白垩世早期火山岩在大兴安岭主脊及以东 地区出露多于大兴安岭西坡,一是说明东南部隆升 剥蚀作用强于西北部,二也反映了东南部火山活动 可能强于西北部,暗示大兴安岭早白垩世早期火山 活动由大兴安岭主脊一线向西逐渐减弱,这也反映 了东部古太平洋板块的西向俯冲作用影响的大致 范围.

早白垩世晚期火山岩(130~100 Ma)主要出露 大兴安岭主脊两侧(图2,图5),尤其以东侧最为发 育,在大兴安岭主脊中零星产出,空间上形成2条明 显的火山喷发带.大兴安岭西坡锡林浩特一海拉 尔一根河一呼中一带的早白垩世晚期火山岩带呈 北北东向"S"形展布,两侧叠加在早白垩世早期火 山岩及前早白垩世地质体之上,局部被早白垩世晚 期-新生代沉积岩不整合覆盖,有少量的120~ 110 Ma火山岩;从火山岩出露面积和时间变化上 看,南段面积小、时代老,北段面积大、时代新,中南 段地表分布有海拉尔盆地和二连一贺根山沉积及 少量侵入岩,北段主要为根河火山盆地,侵入岩很 少出露,显示南段的隆升剥蚀作用强于北段.大兴 安岭东坡扎鲁特一乌兰浩特一加格达奇一带的早 白垩世晚期火山岩带规模较大,呈北北东向带状展 布,主要由早白垩世晚期龙江组中性火山岩、光华 组酸性火山岩、甘河组中基性火山岩和孤山镇组酸 性火山岩组成,西侧叠加在早白垩世早期火山岩及 前早白垩世地质体之上,东部被早白垩世晚期一新 生代沉积岩不整合覆盖,形成时代在130~100 Ma 之间,火山岩主体年龄在130~120 Ma之间;西部地 势高,火山岩出露面积偏小,地表伴生侵入岩较多, 年龄偏大(130~125 Ma),且与早白垩世早期火山 岩的时代具有连续过渡特征;东部地势偏低,火山 岩出露面积偏大,以发育火山盆地为主,地表伴生 侵入岩较少,火山岩年龄偏小(125~100 Ma),显示 西部隆升剥蚀作用强、东部隆升作用弱且火山活动 强的特征.

大兴安岭早白垩世晚期火山岩总体呈北北东 向带状展布,其中大兴安岭东坡早白垩世晚期火山 岩分布面积远大于西坡,从地势、地表侵入岩出露 情况上分析东坡遭受隆升剥蚀作用强于西坡,但东 坡分布的早白垩世晚期火山岩更多,其不仅保存了 大面积火山岩,同时也伴有较多的侵入岩出露,说 明东坡的岩浆活动更强,而且向东火山岩的形成时 间逐渐变新,显示火山活动向东迁移特征,大兴安 岭地区早白垩世早期火山岩(145~130 Ma)与早白 垩世晚期火山岩(130~100 Ma)在空间上具有密切 的共生关系,2个时段的火山岩带均呈北北东向展 布, 目晚期火山岩多沿早期火山岩带边部和火山盆 地中心地带叠加,继承性特征明显;时间上也具有 很好的连续性,其间虽存在一些喷发不整合面,但 没有明显的时间间断,多为产状不协调的喷发不整 合.大兴安岭地区早白垩世早期火山岩与早白垩世 晚期火山岩的岩石类型和地球化学特征具有相似 性,形成时间具有连续性,空间上具有共生关系,因 此,两者可能形成于同一构造背景.大兴安岭地区 早白垩世早期火山岩分布具有由东向西火山活动 减弱特点,指示古太平洋板块在早白垩世早期西向 俯冲作用影响至大兴安岭主脊一带开始减弱;早白 垩世晚期火山岩具有由西向东火山活动增强变新 特点,指示古太平洋板块在早白垩世晚期西向俯冲 开始回撤,火山作用逐渐从大兴安岭主脊一带向东 迁移.总体反映了古太平洋板块向东亚大陆边缘俯 冲的多阶段、多速率特征,响应了古太平洋板块向 东亚大陆边缘的后退式俯冲作用.

4 早白垩世火山岩的时空分布与古 太平洋板块西向俯冲关系讨论

大兴安岭地区产出的大面积早白垩世火山岩 (145~100 Ma)主要为钙碱性火山岩和少量钾玄 岩,具有板块俯冲系列岩石组合特征,总体呈北北

东向展布,指示了太平洋板块西向俯冲的存在(舒 良树和周新民, 2002; Wang et al., 2006; Li et al., 2012a, 2012b, 2012c). 关于大兴安岭地区中生代火 山岩与大洋板块俯冲作用关系研究较多,多数学者 认为早白垩世晚期火山岩(133~106 Ma)与古太平 洋板块俯冲作用有关,晚侏罗世一早白垩世早期火 山岩与蒙古-鄂霍茨克洋闭合有关(许文良等, 2013:唐杰等,2018).本文与以往认识的不同之处在 于145~133 Ma的火山岩的分布与成因,以往工作 认为这一时期火山活动弱,分布较少,与晚侏罗世 火山岩共生,认为其属于蒙古一鄂霍茨克构造域产 物.笔者等在大兴安岭地区1:100万地质图编制过 程中从原晚侏罗世火山岩中解体出大面积145~ 130 Ma的火山岩,从其岩石组合和时空分布上与早 白垩世晚期火山岩具有很好的继承和共生关系,北 北东的展布方向更符合古太平洋板块俯冲机制(图 1),而大兴安岭地区的中晚侏罗世火山岩呈北东向 展布,与蒙古-鄂霍茨克构造带的方向具-致性. 大兴安岭地区早白垩世早期火山岩带(北北东向) 与中晚侏罗世火山岩带(北东向)在空间展布上有 明显的交角,两个构造域转换阶段发育晚侏罗世-早白垩世早期的陆相类磨拉石沉积(土城子组、木 瑞组、开库康组),代表两个构造域转换阶段的火山 活动间断.大兴安岭早白垩世(145~100 Ma)酸性 火山岩与中基性火山岩年代学上具同步性,岩石组 合上表现为双峰式(Wang et al., 2006; Zhang et al., 2010).自陆缘向陆内,火山岩的碱性成分具有增高 的变化特征,表明来自东部板块俯冲作用的发生 (唐杰等,2018).据索艳慧等(2017)研究,中国东部 各盆地内部反转构造表现为东强西弱、自东向西的 迁移规律,反映了构造反转的动力来自东部,证实 了古太平洋或太平洋板块的西向俯冲影响至大兴 安岭西坡(海拉尔盆地).

曾有人将大兴安岭中生代火山岩带与滨太平 洋板块相联系,认为太平洋板块俯冲带在日本岛弧 东侧,距大兴安岭地区大于1500km,如此大的距离 无法影响到大兴安岭地区.但值得注意的是,现在 的日本海沟是新生代太平洋板块俯冲增生位置,中 生代古太平洋板块俯冲位置不太可能与新生代太 平洋板块俯冲增生位置相同.周建波等(2016)通过 对那丹哈达地体研究,认为那丹哈达地体是中国境 内古太平洋板块俯冲增生的直接证据,其记录了古 太平洋板块向欧亚大陆俯冲增生的整个过程.那丹

哈达地区饶河陆缘增生杂岩在147~130 Ma的构造 就位证实了古太平洋板块于早白垩世早期向欧亚 大陆下俯冲作用的发生(Zhou et al., 2014, 2015: Wang et al., 2015),也证实了早白垩世古太平洋板 块向东亚大陆下俯冲作用可能发生在东北东部饶 河地区 尽管饶河地区俯冲增生杂岩与大兴安岭火 山岩带的距离比相距日本海沟的距离明显缩小,但 位移仍大于600 km,基于这一点,Li and Li(2007)和 Li et al.(2012a, 2012b, 2012c)提出了古太平洋板块 早期的平板俯冲模式,合理地解释了中国东部宽阔 岩浆岩带的展布和早白垩世挤压变形.张旗等 (2009)用早期平板俯冲转变为晚期高角度俯冲观 点,解释了127 Ma之后的NW-SE方向的区域性大 规模伸展及构造迁移等,这与大兴安岭早白垩世早 期火山活动向西减弱、早白垩世晚期火山活动向东 迁移的规律和时间吻合,证实了早白垩世大兴安岭 地区受到了古太平洋板块西向俯冲作用的影响.

古太平洋板块主要包括泛太平洋板块中法拉 隆板块、伊泽奈岐板块、库拉板块(Maruyama et al., 2012),中生代中国东部主要受伊泽奈岐板块(库拉 板块)作用(杨海斌等,2016).关于古太平洋板块向 中国东部的运动方向和速度得到了众多的研究数 据.Maruyama and Send(1986)和 Maruyama et al. (2012)对日本岛古地理研究认为,145 Ma伊泽奈岐 板块(库拉板块)开始由南向北逐渐作用于中国大 陆东缘(图 6a), 145~135 Ma 伊泽奈岐板块以 5.3 cm/a 速度北西向运移,135~127 Ma以 30 cm/a 高速北北西向运动,127~119 Ma以 21.1 cm/a速度 北北西向运动,119~110 Ma以 20.5 cm/a速度北向 运动; Engebretson et al. (1985)研究认为, 伊泽奈岐 板块约145 Ma以30 cm/a高速正北向运动,斜向俯 冲于欧亚大陆之下,至120 Ma保持北向俯冲,以 20.7 cm/a速度俯冲至欧亚大陆之下; Müller et al. (2016)研究认为伊泽奈岐板块 150~100 Ma以 10 cm/a速度北西向运动(图 6c);杨海斌等(2016) 研究认为约145 Ma 伊泽奈岐板块由 NW 向低速 (4.7 cm/a)俯冲变为北向高速(30 cm/a)斜向俯冲, 东北地区发生板块俯冲作用,并且不断北行,东北 地区发生了由先前的挤压应力到拉张应力环境转 变,岩浆活动由内陆向大陆边缘后撤.尽管研究数 据不尽相同,但从145 Ma开始,伊泽奈岐板块向北 或北西向运动斜向俯冲于东亚大陆之下基本得到 了共识,以低速起动,高速运移,再减速运动,其间 运动方向有小角度变化,但总体对东亚大陆边缘表 现为斜向俯冲特征.

从大兴安岭早白垩世火山岩的分布、形成时间 (图2,图5,图6)上分析,145~135 Ma的火山岩分 布较多,说明这一时段火山活动较强,显示受伊泽 奈岐板块俯冲作用影响较大,据Engebretson *et al.* (1985)、杨海斌等(2016)研究这一时期伊泽奈岐板



図6 百太半洋板英运功示息图(a,b)与人兴安崎平日至世火田岩 U-PD 年龄分布直方图(c) Fig.6 Schematic diagrams of Paleo-Pacific plate motion(a,b)and distribution histogram for Early Cretaceous igneous rock ages in the Great Xing'an Range area(c)

图 a 据 Maruyma and Send(1986);图 b 据 Müller et al.(2016)

块斜向俯冲速度较高(由NW向4.7 cm/a变为北向 30 cm/a斜向俯冲),伊泽奈岐板块NW向高速运移 必将对东亚大陆造成较强的俯冲作用,相对大兴安 岭地区而言,俯冲远程效应主要表现为俯冲伸展作 用(许文良等,2013;唐杰等,2018),相继诱发了早 白垩世火山喷发和岩浆侵入,其间火山岩发育程度 和年龄出现小的峰值(图 6b),可能与板块的运移速 度和方向变化有关:134~126 Ma的火山岩出露最 多,显示这一时段火山活动最强,说明大兴安岭地 区遭受的俯冲伸展作用也是最强,对应伊泽奈岐板 块运动也是运移速度最快、斜向俯冲作用最强,与 Engebretson et al. (1985) Maruyama and Send (1986)、Maruyama et al.(2012)和杨海斌等(2016)研 究数据(30 cm/a高速北北西向运动)吻合,133~ 134 Ma、126 Ma火山岩的年龄值出现2次低谷,可 能与伊泽奈岐板块运动方向发生变化(北向)而对 东亚大陆边缘俯冲作强度减弱有关;126~121 Ma 的火山岩产出明显减少,显示这一时段火山活动变 弱,反映伊泽奈岐板块斜向俯冲速度减小,对大兴 安岭地区的俯冲作用影响减弱,与Engebretson et al. (1985), Maruyama and Send (1986), Maruyama et al.(2012)、Müller et al.(2016)和杨海斌等(2016) 研究数据(127~119 Ma以 21.1 cm/a速度北北西向 运动)吻合;121~100 Ma的火山岩产出最少,反映 伊泽奈岐板块运动方向北偏移导致对东亚大陆边 缘的斜向俯冲作用减弱和俯冲速度减小,与 Maruyama and Send (1986) Maruyama et al. (2012) Engebretson et al. (1985) Müller et al. (2016)研究数据(119~110 Ma以 20.5 cm/a速度北 向运动)吻合.

综上所述,大兴安岭地区早白垩世火山岩的时 空分布规律与伊泽奈岐板块向北或北西向运动的 速度和斜向俯冲作用的变化特征具有很好的同步 性和一致性,记录了早白垩世伊泽奈岐板块向东亚 大陆俯冲变化过程.大兴安岭地区早白垩世早期强 烈的火山活动对应伊泽奈岐板块西向高速俯冲,早 白垩世晚期偏弱的火山活动对应伊泽奈岐板块西 向降速俯冲,早白垩世火山岩总体上由西向东迁移 特征,暗示了伊泽奈岐俯冲板块的回撤,响应了伊 泽奈岐板块在早白垩世早期至晚期后退式西向俯 冲作用.大兴安岭早白垩世钙碱性火山岩伴生有同 期的I-型花岗岩和埃达克质岩石(唐杰等,2018),指 示了古太平洋板块向西向俯冲作用的发生,暗示大 兴安岭早白垩世火山岩(145~100 Ma)形成于伊泽 奈岐板块向东亚大陆俯冲背景.同时,大兴安岭地 区早白垩世火山岩具双峰式特征(林强等,2003), 伴生A-型花岗岩、碱性岩及断陷沉积盆地,表明形 成于古太平洋板块俯冲下的陆内伸展环境(许文良 等,2013;唐杰等,2018),这种伸展型岩石组合进一 步印证了伊泽奈岐板块西向减速俯冲形成的弧后 松弛伸展背景.大兴安岭地区早白垩世火山岩的岩 石组合与时空分布印证了早白垩世伊泽奈岐板块 低角度俯冲作用的发生,早白垩世火山活动广泛分 布在大兴安岭地区,表明早白垩世古太平洋板块俯 冲作用影响的空间范围达到了大兴安岭地区.

5 结论

(1) 厘定出大量北北东向展布的早白垩世早期 火山岩(145~130 Ma), 早白垩世早期强烈的火山 活动响应了伊泽奈岐板块西向高速俯冲作用, 向西 减弱的火山活动规律记录了伊泽奈岐板块西向俯 冲的影响范围.

(2) 北北东向展布的早白垩世晚期火山岩 (130~100 Ma)与早白垩世早期火山岩具有很好的 继承和共生关系,由西向东火山活动增强变新的特 点记录了伊泽奈岐板块西向低速俯冲阶段板块逐 渐向北运动导致斜向俯冲作用减弱过程.

(3)早白垩世早期火山岩(145~100 Ma)的时 空分布规律与伊泽奈岐板块向北或北西向运动的 速度和斜向俯冲作用的变化特征具有很好的同步 性和一致性,记录了早白垩世伊泽奈岐板块向东亚 大陆俯冲的过程.早白垩世火山岩由西向东迁移特 征响应了伊泽奈岐板块在早白垩世早期至晚期后 退式西向俯冲作用.早白垩世火山活动广泛分布在 大兴安岭地区,表明早白垩世古太平洋板块俯冲作 用影响到了大兴安岭地区.

致谢:沈阳地质调查中心朱群、张立东研究员 审阅了全稿并提出了修改意见和建议;汪岩教授级 高工在成文过程中给予诸多指导;编委及审稿人审 阅了全文,提出了宝贵的修改意见,在此一并致以 诚挚的感谢.

References

Deng, J.F., Liu, H.X., Zhao, H.L., et al., 1996. Yanshanian Igneous Rocks and Orogeny Model in Yanshan-Liaoning Area. Geoscience, 10(2): 137-148(in Chinese with English abstract).

- Engebretson, D. C., Cox, A., Gordon, R. G., 1985. Relative Motions between Oceanic and Continental Plates in the Pacific Basin. In: Engebretson, D.C., Cox, A., Gordon, R. G., eds., Geological Society of America Special Papers. *Geological Society of America*, 206(Suppl.): 1-60
- Fan, W.M., Guo, F., Wang, Y.J., et al., 2003. Late Mesozoic Calc-Alkaline Volcanism of Post-Orogenic Extension in the Northern Da Hinggan Mountains, Northeastern China. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 121(1-2): 115-135. https://doi.org/10.1016/s0377-0273(02)00415-8
- Ge, W.C., Lin, Q., Sun, D.Y., et al., 1999. Geochemical Characteristics of the Mesozoic Basalts in Da Hinggan Ling: Evidence of the Mantle-Crust Interaction. Acta Petrologica Sinica, 15(3): 396-407(in Chinese with English abstract).
- Jiang, G.Y., Quan, H., 1988.Mesozoic Volcanic Rocks of Genhe and Hailaer Basin in Da Hinggan Ling. Bulletin of Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources of Chinese Academy of Geology Sciences, 3: 23-100(in Chinese with English abstract).
- Li, J. Y., Mo, S. G., He, Z. J., et al., 2004. The Timing of Crustal Sinistral Strike-Slip Movement in the Northern Great Khing'an Ranges and Its Constraint on Reconstruction of the Crustal Tectonic Evolution of NE China and Adjacent Areas since the Mesozoic. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 157–168(in Chinese with English abstract).
- Li, S.Z., Santosh, M., Zhao, G.C., et al., 2012a. Intracontinental Deformation in a Frontier of Super-Convergence: A Perspective on the Tectonic Milieu of the South China Block. *Journal of Asian Earth Sciences*, 49: 313-329. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.07.026
- Li, S.Z., Zhao, G.C., Dai, L. M., et al., 2012b. Cenozoic Faulting of the Bohai Bay Basin and Its Bearing on the Destruction of the Eastern North China Craton. *Journal* of Asian Earth Sciences, 47: 80-93. https://doi.org/ 10.1016/j.jseaes.2011.06.011
- Li, S.Z., Zhao, G.C., Dai, L.M., et al., 2012c. Mesozoic Basins in Eastern China and Their Bearing on the Deconstruction of the North China Craton. *Journal of Asian Earth Sciences*, 47: 64-79. https://doi.org/10.1016/j. jseaes.2011.06.008
- Li, S.Z., Suo, Y.H., Li, X.Y., et al., 2018. Mesozoic Plate Subduction in West Pacific and Tectono-Magmatic Response in the East Asian Ocean-Continent Connection Zone. *Chinese Science Bulletin*, 63(16): 1550-1593(in Chinese with English abstract).

- Li, S.Z., Zhang, Y., Guo, L.L., et al., 2017. Mesozoic Deformation and Accretionary Orogenic Processes around the Nadanhada Terrane. *Earth Science Frontiers*, 24(4): 200-212(in Chinese with English abstract).
- Li, Z.X., Li, X.H., 2007. Formation of the 1 300-km-Wide Intracontinental Orogen and Postorogenic Magmatic Province in Mesozoic South China: A Flat-Slab Subduction Model. *Geology*, 35(2): 179-182. https://doi.org/ 10.1130/g23193a.1
- Lin, Q., Ge, W.C., Cao, L., et al., 2003. Geochemistry of Mesozoic Volcanic Rocks in Da Hinggan Ling: The Bimodal Volcanic Rocks. *Geochimica*, 32(3): 208-222(in Chinese with English abstract).
- Maruyama, S., Isozaki, Y., Kimura, G., et al., 2012. Paleogeo-Graphic Maps of the Japanese Islands: Plate Tectonic Synthesis from 750 Ma to the Present. *Island Arc*, 6(1): 121-142.
- Maruyama, S., Send, T., 1986. Orogeny and Relative Plate Motions: Example of the Japanese Islands. *Tectonophysics*, 127(3-4): 305-329. https://doi. org/10.1016/ 0040-1951(86)90067-3
- Meng, E., Xu, W.L., Yang, D.B., et al., 2011. Zircon U-Pb Chronology, Geochemistry of Mesozoic Volcanic Rocks from the Lingquan Basin in Manzhouli Area, and Its Tectonic Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 27(4): 1209-1226(in Chinese with English abstract).
- Meng, F.C., Liu, J.Q., Cui, Y., et al., 2014. Mesozoic Tectonic Regimes Transition in the Northeast China: Constriants from Temporal - Spatial Distribution and Associations of Volcanic Rocks. Acta Petrologica Sinica, 30 (12): 3569-3586(in Chinese with English abstract).
- Müller, R.D., Seton, M., Zahirovic, S., et al., 2016. Ocean Basin Evolution and Global - Scale Plate Reorganization Events since Pangea Breakup. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 44(1): 107-138. https://doi. org/10.1146/annurev-earth-060115-012211
- Shao, J.A., Zhang, L.Q., Mou, B.L., et al., 2007. The Uplift of Daxinganling and Its Geodynamic Setting. Geological Publishing House, Beijing, 222-234 (in Chinese).
- Shu, L. S., Zhou, X. M., 2002. Late Mesozoic Tectonism of Southeast China. *Geological Review*, 48(3): 249-260 (in Chinese with English abstract).
- Sun, D.Y., Gou, J., Ren, Y.S., et al., 2011. Zircon U-Pb Dating and Study on Geochemistry of Volcanic Rocks in Manitu Formation from Southern Manchuria, Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 27(10): 3083-3094 (in Chinese with English abstract).
- Suo, Y. H., Li, S. Z., Cao, X. Z., et al., 2017. Mesozoic -

Cenozoic Inversion Tectonics of East China and Its Implications for the Subduction Process of the Oceanic Plate. *Earth Science Frontiers*, 24(4): 249-267(in Chinese with English abstract).

- Tang, J., Xu, W.L., Wang, F., et al., 2018. Subduction History of the Paleo-Pacific Slab beneath Eurasian Continent: Mesozoic - Paleogene Magmatic Records in Northeast Asia. Science China Earth Sciences, 48(5): 549-583 (in Chinese).
- Wang, F., Zhou, X.H., Zhang, L.C., et al., 2006. Late Mesozoic Volcanism in the Great Xing' an Range (NE China): Timing and Implications for the Dynamic Setting of NE Asia. *Earth and Planetary Science Letters*, 251(1-2): 179-198. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.09.007
- Wang, F., Xu, W.L., Xu, Y.G., et al., 2015. Late Triassic Bimodal Igneous Rocks in Eastern Heilongjiang Province, NE China: Implications for the Initiation of Subduction of the Paleo - Pacific Plate beneath Eurasia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 97: 406-423.
- Wu, F. Y., Jahn, B. M., Wilde, S., et al., 2000. Phanerozoic Crustal Growth: U-Pb and Sr-Nd Isotopic Evidence from the Granites in Northeastern China. *Tectonophysics*, 328(1-2): 89-113. https://doi. org/10.1016/ s0040-1951(00)00179-7
- Xia, J., Wang, C.S., Li, X.H., et al., 1993. Characteristics of Mesozoic Volcanic Rocks in Hailaer and Its Adjacent Areas and Discussion on Volcanic Rocks of Marginal Block Type. *Journal of Chengdu University of Technology*, 20 (4): 67-80(in Chinese with English abstract).
- Xu, G.Y., 1983. Continental Volcanic Rocks in the Greater Khingan Mountains and Their Mineralization. *Regional Geology of China*, 2(3): 39-50, 151(in Chinese with English abstract).
- Xu, M.J., Xu, W.L., Meng, E., et al., 2011. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Chronology and Geochemistry of Mesozoic Volcanic Rocks from the Shanghulin-Xiangyang Basin in Ergun Area, Northeastern Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 30(9): 1321-1338(in Chinese with English abstract).
- Xu, W.L., Wang, F., Pei, F.P., et al., 2013. Mesozoic Tectonic Regimes and Regional Ore-Forming Background in NE China: Constraints from Spatial and Temporal Variations of Mesozoic Volcanic Rock Associations. Acta Petrologica Sinica, 29(2): 339-353(in Chinese with English abstract).
- Yang, H.B., Tian, X.B., Bai, Z.M., et al., 2016. Discussion on the Relationship between Pan Pacific Plate Movement and Mesozoic Geological Evolution of Eastern Chi-

nese Continent. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 46(3): 781-797(in Chinese with English abstract).

- Zhang, J.H., Gao, S., Ge, W.C., et al., 2010. Geochronology of the Mesozoic Volcanic Rocks in the Great Xing'an Range, Northeastern China: Implications for Subduction-Induced Delamination. *Chemical Geology*, 276(3-4): 144-165. https://doi. org/10.1016/j. chemgeo.2010.05.013
- Zhang, J.H., Ge, W.C., Wu, F.Y., et al., 2008. Large-Scale Early Cretaceous Volcanic Events in the Northern Great Xing'an Range, Northeastern China. *Lithos*, 102(1-2): 138-157. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.08.011
- Zhang, K. J., 2014. Genesis of the Late Mesozoic Great Xing'an Range Large Igneous Province in Eastern Central Asia: A Mongol-Okhotsk Slab Window Model. International Geology Review, 56(13): 1557-1583. https://doi.org/10.1080/00206814.2014.946541
- Zhang, L., Liu, Y.J., Feng, Z.Q., et al., 2017. Basement Structural Features of Mesozoic Volcanic Basins in Erguna Massif: Implications from Lingquan Basin. *Earth Science*, 42(12): 2229-2242(in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Jin, W. J., Li, C. D., et al., 2009. Yanshanian Large - Scale Magmatism and Lithosphere Thinning in Eastern China: Relation to Large Igneous Province. *Earth Science Frontiers*, 16(2): 21-51(in Chinese with English abstract).
- Zhang, X.Z., Yang, B.J., Wu, F.Y., et al., 2006. The Lithosphere Structure in the Hingmong - Jihei (Hinggan -Mongolia-Jilin-Heilongjiang) Region, Northeastern China. *Geology in China*, 33(4): 816-823(in Chinese with English abstract).
- Zhao, G.L., Yang, G.L., Fu, J.Y., 1989. Mesozoic Volcanic Rocks in Central and Southern Da Xing' an Range. Beijing Science and Technology Publishing House, Beijing(in Chinese).
- Zhao, Z.H., Sun, D.Y., Gou, J., et al., 2011. Chronology and Geochemistry of Volcanic Rocks in Tamulangou Formation from Southern Manchuria, Inner-Mongolia. *Journal* of Jilin University(Earth Science Edition), 41(6):1865– 1880(in Chinese with English abstract).
- Zhou, J.B., Cao, J.L., Wilde, S.A., et al., 2014. Paleo-Pacific Subduction-Accretion: Evidence from Geochemical and U-Pb Zir con Dating of the Nadanhada Accretionary Complex, NE China. *Tectonics*, 33 (12): 2444-2466.
- Zhou, J.B., Wang, B., Wilde, S.A., et al., 2015. Geochemistry and U-Pb Zircon Dating of the Toudaoqiao Blue-

schists in the Great Xing' an Range, Northeast China, and Tectonic Implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 97: 197-210.

- Zhou, J.B., Shi, A.G., Jing, Y., 2016. The Combined NE China Blocks: Tectonic Evolution and Supercontinent Reconstructions. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 46(4): 1042-1055(in Chinese with English abstract).
- Zhou, X.H., Ying, J.F., Zhang, L.C., et al., 2009. The Petrogenesis of Late Mesozoic Volcanic Rock and the Contributions from Ancient Micro-Continents: Constraints from the Zircon U-Pb Dating and Sr-Nd-P-Hf Isotopic Systematics. *Earth Science*, 34(1): 1-10(in Chinese with English abstract).
- Zhu, G., Liu, C., Gu, C.C., et al., 2018. Oceanic Plate Subduction History in the Western Pacific Ocean: Constraint from Late Mesozoic Evolution of the Tan - Lu Fault Zone. Science China Earth Sciences, 48(4): 415-435(in Chinese).

附中文参考文献

- 邓晋福,刘厚祥,赵海玲,等,1996. 燕辽地区燕山期火成岩与 造山模型.现代地质,10(2):137-148.
- 葛文春,林强,孙德有,等,1999.大兴安岭中生代玄武岩的
 地球化学特征:壳幔相互作用的证据.岩石学报,15
 (3):396-407.
- 蒋国源,权恒,1988.大兴安岭根河海拉尔盆地中生代火山 岩.中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊,3: 23-100.
- 李锦轶,莫申国,和政军,等,2004.大兴安岭北段地壳左行 走滑运动的时代及其对中国东北及邻区中生代以来地 壳构造演化重建的制约.地学前缘,11(3):157-168.
- 李三忠,索艳慧,李玺瑶,等,2018. 西太平洋中生代板块俯 冲过程与东亚洋陆过渡带构造一岩浆响应. 科学通报, 63(16):1550-1593.
- 李三忠,张勇,郭玲莉,等,2017.那丹哈达地体及周缘中生 代变形与增生造山过程.地学前缘,24(4):200-212.
- 林强,葛文春,曹林,等,2003.大兴安岭中生代双峰式火山 岩的地球化学特征.地球化学,32(3):208-222.
- 孟恩,许文良,杨德彬,等,2011. 满洲里地区灵泉盆地中生 代火山岩的锆石U-Pb年代学、地球化学及其地质意义. 岩石学报,27(4):1209-1226.
- 孟凡超,刘嘉麒,崔岩,等,2014.中国东北地区中生代构造 体制的转变:来自火山岩时空分布与岩石组合的制约. 岩石学报,30(12):3569-3586.
- 邵济安,张履桥,牟保磊,等,2007.大兴安岭的隆起与地球 动力学背景.北京:地质出版社,222-234.
- 舒良树,周新民,2002.中国东南部晚中生代构造作用.地质

论评,48(3):249-260.

- 孙德有,苟军,任云生,等,2011. 满洲里南部玛尼吐组火山 岩锆石 U-Pb 年龄与地球化学研究. 岩石学报,27 (10): 3083-3094.
- 索艳慧,李三忠,曹现志,等,2017.中国东部中新生代反转 构造及其记录的大洋板块俯冲过程.地学前缘,24 (4):249-267.
- 唐杰,许文良,王枫,等,2018.古太平洋板块在欧亚大陆下的 俯冲历史:东北亚陆缘中生代一古近纪岩浆记录.中国 科学:地球科学,48(5):549-583.
- 夏军,王成善,李秀华,等,1993.海拉尔及其邻区中生代火 山岩的特征与边缘陆块型火山岩的提出.成都地质学 院学报,20(4):67-80.
- 徐公愉,1983.大兴安岭的大陆火山岩及其矿化作用.中国 区域地质,2(3):39-50,151.
- 徐美君,许文良,孟恩,等,2011.内蒙古东北部额尔古纳地 区上护林一向阳盆地中生代火山岩LA-ICP-MS锆石 U-Pb年龄和地球化学特征.地质通报,30(9):1321-1338.
- 许文良, 王枫, 裴福萍, 等, 2013. 中国东北中生代构造体制 与区域成矿背景:来自中生代火山岩组合时空变化的 制约. 岩石学报, 29(2): 339-353.
- 杨海斌,田小波,白志明,等,2016. 浅谈中国大陆东缘中生 代地质演化与泛太平洋板块活动的关系.吉林大学学 报(地球科学版),46(3):781-797.
- 张丽,刘永江,冯志强,等,2017.额尔古纳地块中生代火山 岩盆地基底构造特征:来自灵泉盆地的启示.地球科 学,42(12):2229-2242.
- 张旗,金惟俊,李承东,等,2009.中国东部燕山期大规模岩 浆活动与岩石圈减薄:与大火成岩省的关系.地学前 缘,16(2):21-51.
- 张兴洲,杨宝俊,吴福元,等,2006.中国兴蒙-吉黑地区岩 石圈结构基本特征.中国地质,33(4):816-823.
- 赵国龙,杨桂林,傅嘉友,等,1989.大兴安岭中南部中生代火 山岩.北京:科学技术出版社.
- 赵忠华,孙德有,苟军,等,2011.满洲里南部塔木兰沟组火山 岩年代学与地球化学.吉林大学学报(地球科学版),41 (6):1865-1880.
- 周建波,石爱国,景妍,2016.东北地块群:构造演化与古大陆 重建.吉林大学学报(地球科学版),46(4):1042-1055.
- 周新华,英基丰,张连昌,等,2009.大兴安岭晚中生代火山 岩成因与古老地块物质贡献:锆石U-Pb年龄及多元同 位素制约.地球科学,34(1):1-10.
- 朱光,刘程,顾承串,等,2018. 郑庐断裂带晚中生代演化对 西太平洋俯冲历史的指示.中国科学:地球科学,48 (4):415-435.