

兴蒙造山带东段火成岩构造组合、构造岩浆阶段及大地构造演化

沈 龙,李 媿,赵寒冬

(黑龙江省地质调查研究总院,黑龙江 哈尔滨 150036)

摘 要:以火成岩构造组合的概念和方法为指导,以近几年在嘉荫、伊春、鹤岗、鸡西、牡丹江等地区开展的 1:5 万、1:25 万区调研究为基础,基于侵入岩锆石 U-Pb 年龄,建立了研究区古生代构造岩浆阶段划分的初步方案。划分出与洋壳俯冲事件有关的火成岩构造组合 5 期,分别为加里东期早寒武世、早中奥陶世、中志留世,华力西期晚石炭世和晚二叠世。与大陆碰撞有关的火成岩构造组合有两期,分别为加里东期早寒武世和华力西期中二叠世。造山后 A 型花岗岩二期。据此划分出加里东构造岩浆阶段和中华力西—印支构造岩浆阶段。指出其与传统观点不同,为重新认识该区大地构造演化提供了新的思路。并在此基础上讨论了大地构造演化。

关键词:火成岩构造组合;构造岩浆阶段;加里东期;中华力西—印支期;兴蒙造山带;古亚洲洋

THE PALEOZOIC-EARLY MESOZOIC IGNEOUS ROCKS IN THE EAST SECTION OF XING'AN-MONGOLIAN OROGENIC BELT: Tectonic assemblage, division of tectonomagmatic stages and tectonic evolution

SHEN Long, LI Ti, ZHAO Han-dong

(Heilongjiang Institute of Geological Survey, Harbin 150036, China)

Abstract: Based on the 1:50000 and 1:250000 regional geological survey in Jiayin, Yichun, Hegang, Jixi and Mudanjiang areas in recent years, with the concept of tectonic assemblage of igneous rocks, a preliminary plan on the division of Paleozoic tectonomagmatic stage is put forward, according to the zircon U-Pb age of the intrusive rocks. The igneous rocks that are related to oceanic crust subduction are divided into five stages, which are Caledonian Early Cambrian, Early-Middle Ordovician, Middle Silurian, Variscan Late Carboniferous and Late Permian. The igneous rocks that are related to continental collision is divided into two stages: Caledonian Early Cambrian and Variscan Middle Permian. The post-orogenic A-type granite is recognized as two stages. On this basis, the Caledonian tectonomagmatic stage and Middle Variscan-Indosinian tectonomagmatic stage are set up. The point, which is different from the traditional view, will provide a new access to understand the tectonic evolution of this region.

Key words: tectonic assemblage of igneous rocks; tectonomagmatic stage; Caledonian stage; Middle Variscan-Indosinian stage; Xing'an-Mongolian orogenic belt; Paleasian Ocean

0 引言

王鸿祯院士指出,地壳的构造发展包括两个方面。从空间上说,地壳是一个非均质体,地表的不均一性

是普遍的。不同级别的稳定区与活动区的相互间列是大陆地壳结构的基本特征,也是划分不同构造单元的主要依据。从时间上说,地壳的任何空间分异都是历史

收稿日期:2011-05-03;修回日期:2011-06-21。编辑:李兰英。

基金项目:国家基础地质调查(200213000025、200313000035)东北地区基础地质调查及数据更新黑龙江省 1:25 万鹤岗市幅、嘉荫县幅、乌云镇幅、太平沟幅修测数字化区域地质调查等项目资助。

作者简介:沈龙(1983—),男,从事 1:5 万区域地质及矿产调查研究及管理工作,通信地址 黑龙江省哈尔滨市香坊区新乡里街 9 号, E-mail/myemail_sl@163.com

发展的产物. 在一个阶段内, 由主要的构造单元的分布状况构成的构造格局具有相对的稳定性, 而在相对集中的短暂变革期, 这些单元从相对位置和它们发展的某些形式将发生重要的改变, 从而形成新的地壳构造格局, 进入新的构造发展阶段. 同时强调, 由地壳或岩石圈的构造分异所形成的地表构造格局和构造单元的相对位置是不断变化的, 也即全球构造的“活动论”观点. 构造格局的演变过程是可以根据某些时期急剧的大规模的变革更新而分成不同阶段的, 也即地壳发展的“阶段论”观点^[1]. 基于这种思想, 重新审视古亚洲构造域兴蒙造山带的构造演化历史, 科学合理地划分构

造演化阶段将具有极大的现实指导意义.

1 地质概况及研究现状

兴蒙造山带横亘于华北板块和西伯利亚板块之间, 是我国诸多造山带中已知发展历史最长、构造岩浆活动最为复杂的一条巨型造山带. 其内分布有众多的微板块或地块, 而东段则主要有额尔古纳-兴安地块(向北与俄罗斯境内的额尔古纳地块和岗仁地块相连)、松嫩-张广才岭地块(向北与俄罗斯境内的马门地块相连)、佳木斯-兴凯地块(向北与俄罗斯境内的布列亚地块相连)(图1). 其特殊的大地构造位置和复

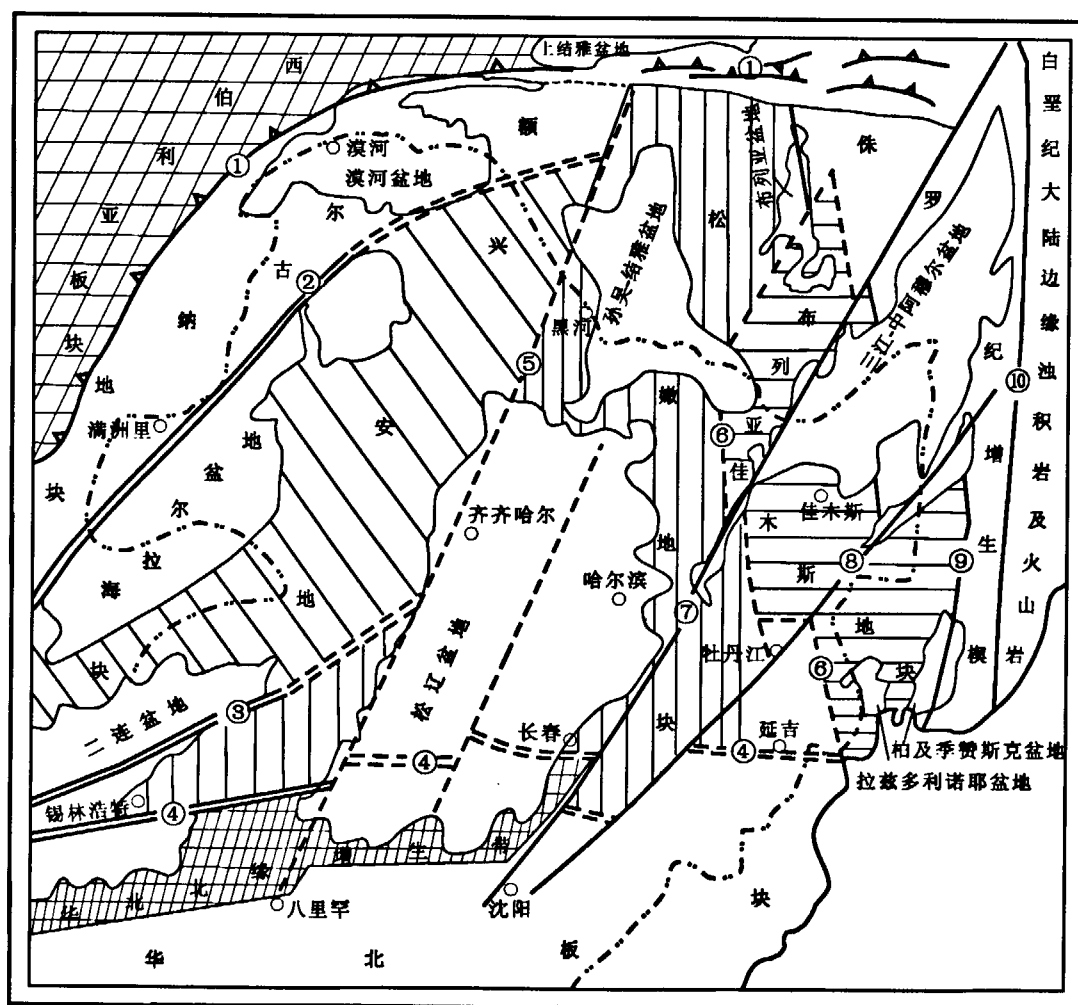


图1 中国东北区域构造略图

(据刘永江, 2009, 略有修改)

Fig. 1 Sketched regional tectonic map of Northeast China

(modified from LIU Yong-jiang, 2009)

- ①—蒙古-鄂霍茨克构造带(Mongolian-Okhotsk tectonic belt); ②—德尔布干断裂(Derbugan fault); ③—贺根山断裂(Hegenshan fault); ④—西拉木伦断裂(Xilamulun fault); ⑤—嫩江-八里罕断裂(Nenjiang-Balihan fault); ⑥—牡丹江断裂(Mudanjiang fault); ⑦—佳木斯-伊通断裂(Jiamusi-Yitong fault); ⑧—敦化-密山断裂(Dunhua-Mishan fault); ⑨—锡霍特-阿林中央断裂带(Shikhot-Alin central fault belt); ⑩—松辽盆地中央断裂带(Songliao basin central fault belt)

杂漫长的地质构造演化历史,一直备受中外地质学家的关注和瞩目。黑龙江境内传统上按构造旋回分期将显生宙一直划分为时代清晰、界线截然的加里东期、华力西期、印支期、燕山期及喜马拉雅期5个独立的构造旋回或期次^[2],并分别代表不同的构造演化阶段。这在很多科技论文和研究报告中屡见不鲜。笔者重视了这样一些事实,即本区是大量出露的花岗岩岩基区,受后期构造运动的强烈改造和隆升剥蚀,现今所保存下来的沉积、变质和火山岩盖层记录多已残缺不全,所剩无几,在这样一个特殊的环境下如何开展造山带研究?如何识别造山运动的期次?造山作用的方式又是怎样?显然火成岩研究是一个全新的途径。而在本区研究大量出露的岩基状花岗岩则又是一个不可或缺的载体。因此,笔者从火成岩构造组合的研究入手,在总结不同时代、不同环境火成岩构造组合的基础上,以造山后A型花岗岩的出现作为造山运动结束的标志,提出了研究区构造岩浆阶段划分的初步方案,同时结合区域地层、古生物的分布特征,进而讨论了区域大地构造演化。

2 火成岩构造组合

自 Dickinson (1971) 提出“岩石构造组合”概念以来,便引起国内外学者越来越来地关注。邓晋福等^[3]研究认为,火成岩构造组合主要表征区域性构造环境,它是指在某一特定的构造背景下,共生在一起的一整套岩石。组合和系列是岩浆源区、局部熔融条件与岩浆演化机理的一个综合反映或表现,是重建古构造的最有效途径之一。因此通过火成岩构造组合的研究,可以重建区域大地构造环境。据笔者研究^[4],区内可划分出以下火成岩构造组合。

2.1 加里东期火成岩构造组合

研究区内加里东期构造形迹以牡丹江断裂为界,在松嫩-张广才岭地块和佳木斯-兴凯地块均有表现。

(1) 与大洋俯冲有关的火成岩构造组合

①早寒武世(ϵ_1)组合:为产于活动大陆边缘弧环境下、具高钾钙碱性(HK-CA)-钾玄岩系列(SHO)特征的过铝质二长花岗岩(副矿物中见石榴石),出露于小兴安岭伊春市嘉荫县乌拉嘎老沟林场一带。锆石 U-Pb 年龄 500.4 Ma ^①。相关的配套火成岩主要为分布于松嫩-张广才岭地块上的下寒武统西林群($\epsilon_{2,3}$)中基性、酸性火山岩组合——变流纹质晶屑玻屑凝灰岩、变火山灰凝灰岩、凝灰岩及安山岩。

②早-中奥陶世(O_{1-2})组合:出露于松嫩-张广才岭地块上,以尚志群(O_{1-2})岛弧-大陆边缘弧钙碱性火山岩为代表,岩石组合为玄武岩、安山岩、英安岩和流纹岩,是典型的岛弧-大陆边缘弧火成岩构造组合,与其相关配套的侵入岩目前还没有可靠的同位素资料予以证实。

③中志留世(S_2)组合:为一套偏铝质钙碱性火成岩,岩石组合包括角闪辉长岩、(石英)闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩。区内尚未见有同期的火山岩组合出现。该组合闪长岩中高镁闪长岩的识别,无疑更有力地确证了与俯冲有关的弧火成岩属性。

(2) 与大陆碰撞有关的火成岩构造组合

仅分布于佳木斯地块之上,时代为早寒武世(ϵ_1)。岩石组合为一套过铝质石榴石二长花岗岩,锆石 SHRIMP 年龄 $507 \pm 12 \text{ Ma}$ 、 $502 \pm 10 \text{ Ma}$ ^[5],是晚泛非期佳木斯地块与兴凯地块陆陆碰撞造山、陆壳叠置、地壳加厚及过铝质泥质源岩局部熔融而形成的。表明此时佳木斯地块和兴凯地块可能正处于碰撞拼贴和焊合的过程。

(3) 造山后 A 型花岗岩

时代为志留纪末期(S_3),分布于松嫩-张广才岭地块上的伊春市美溪区朝鲜屯,岩石类型为过碱性晶洞花岗岩,锆石 SHRIMP 年龄 $417 \pm 2 \text{ Ma}$ ^[6],它的出现标志着加里东运动在本区的结束和松嫩-张广才岭地块与佳木斯-兴凯地块的拼合组装完成。

2.2 中华力西-印支期火成岩构造组合(C_2-T_3)

(1) 与大洋俯冲有关的火成岩构造组合

①晚石炭世(C_2)组合:主要见于松嫩-张广才岭地块上,是一套偏铝质、钙碱性的岩石组合。岩石类型有片麻状石英(二长)闪长岩、片麻状花岗闪长岩、片麻状二长花岗岩和碱长花岗岩等。其二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄 317.7 Ma ^②。区域上与之同时代的火山岩还有分布于张广才岭北段的唐家屯组(C_2)钙碱性酸性、中酸性火山岩^[2]。该组合岩石的形成均与造山作用有关,是洋壳俯冲造山晚期阶段的产物,为形成于造山带并与板块俯冲体制有关的岛弧-大陆边缘弧环境下的 I 型花岗岩。

②二叠纪(P)组合:在松嫩-张广才岭地块和佳木斯-兴凯地块均有出露,空间上大致呈南北向展布。从早到晚由岩石组合相似、特征相近的一套高钾钙碱性系列的中性、中酸性火山岩和一套具钙碱性过铝质 I 型花岗岩类组成。其中花岗闪长岩和二长花岗岩 U-Pb

①黑龙江省地质矿产局第一区域地质调查大队。1:5 万南沟幅等区域地质调查报告。1992。

年龄(278.4~253)±5 Ma,由此说明,至晚二叠世时,该区仍存在着弧盆体系,造山运动仍在进行。

(2)与大陆碰撞有关的火成岩构造组合

①中二叠世(P_2)组合:发育于松嫩-张广才岭地块鹤岗市北大驾山,岩石类型为S型强过铝二云母二长花岗岩,同位素锆石 U-Pb(SHRIMP)年龄为 260±2 Ma(资料未刊,个人交流,2006)。它与佳木斯-兴凯地块内的石场-柴河-楚山一带发育的大陆边缘弧I型花岗岩类空间上呈成对分布,暗示南侧的大洋岩石圈(长春-延吉一线)向佳木斯-兴凯地块俯冲的同时,北侧的松嫩-张广才岭地块内发育陆内块体间的碰撞作用。

②晚三叠世(T_3)组合:据张昱研究^[7],印支期伊春-延寿岩浆构造带(松嫩-张广才岭地块),主要由早中生代辉长岩-闪长岩组合、花岗闪长岩-二长花岗岩组合(锆石 U-Pb SHRIMP 年龄 231~234 Ma)●、正长花岗岩(锆石 U-Pb SHRIMP 年龄 208Ma)^[6]-碱长花岗岩组合构成。其岩石组合、岩石地球化学特征分别反映并代表了陆-陆碰撞初始造山的抬升、峰期造山同碰撞、晚期造山碰撞减压的陆-陆碰撞造山构造背景。

(3)造山后A型花岗岩

时代为晚三叠世(T_3),分布于松嫩-张广才岭地块上的伊春市五营区清水岩体,岩石类型为含钠闪石碱性花岗岩,锆石 U-Pb SHRIMP 年龄 213~222 Ma^[6,8]。它的出现标志着华力西-印支构造岩浆阶段的结束,也标志着华力西-印支运动在本区的结束。

3 构造岩浆阶段初步划分

年代划分方案采用2000年第三十一届国际地质大会上国际地质科学联合会公布的国际地层表划分方案。本文在建立研究区构造格架并赖以讨论的时代依据均是以近年来花岗岩所获得的最新U-Pb锆石年龄数据,部分年龄数据采用了火山岩(如奥陶纪)K-Ar年龄,是基于其与有可靠生物化石的地层时代相吻合,故而为讨论方便起见而引用(表1)。

上述讨论表明,本区可以识别的与洋壳俯冲事件有关的火成岩组合有5期,分别为加里东期早寒武世、早中奥陶世、中志留世和华力西期晚石炭世、晚二叠世。与大陆碰撞有关的火成岩构造组合有两期,分别为加里东期早寒武世和华力西期中二叠世。造山后A型花岗岩有2期,分别为加里东期晚志留纪和印支期晚三叠世。据此笔者认为,研究区古生代一早中生代构造旋回或构造期次可划分为加里东期、中华力西期-印

支期。由此也可以看出,本研究区加里东期是一个独立完整的造山运动旋回,而印支期则是华力西期造山运动的继续或华力西运动一直持续到晚三叠世。

4 佳木斯-兴凯地块和松嫩-张广才岭地块的构造演化与东北统一大陆的形成及演化

从具有不同构造属性火成岩构造组合分析表明,两地块自早古生代初期就开始了不同的构造演化历程。

佳木斯地块早寒武世过铝质石榴石花岗岩的出现,表明此时佳木斯地块和兴凯地块正处于碰撞拼贴并焊合的过程,此后二者的演化均是在统一的稳定陆块上发生并进行的。这与张兴洲等(1999)认为佳木斯地块与兴凯地块于早泥盆世碰撞拼合的认识略有不同^[6]。这一方面可能说明古亚洲洋域内块体间的碰撞当时是“焊而未合”,另一方面也许表明佳木斯地块与古亚洲洋域内某个不知名或至今尚未识别的小地块发生了碰撞。与此不同的是,在早寒武世同一时期松嫩-张广才岭地块尚存在洋壳俯冲机制。从具岛弧-大陆边缘弧属性的早中奥陶世火成岩直至中志留世高钾钙碱性岩系,均表明松嫩-张广才岭地块仍处于弧盆体系控制之下。不言而喻,志留纪末期过碱性A型花岗岩的出现,标志着加里东造山运动结束,同时也表明松嫩-张广才岭地块与佳木斯-兴凯地块的拼合组装至此完成。这与张兴洲等(1999)(转引自孙德有^[6])认为的佳木斯地块与松嫩-张广才岭地块沿嘉荫-牡丹江缝合带于志留纪末完成对接的观点不谋而合。

继加里东运动之后,华力西期火成岩构造组合在松嫩-张广才岭地块均有分布,但不同时期不同阶段又有所差异和不同。晚石炭世具岛弧-活动大陆边缘弧属性的偏铝质高钾钙碱性岩系只出现于松嫩-张广才岭地块,此时佳木斯-兴凯地块则处于相对稳定的陆内环境。进入二叠纪,松嫩-张广才岭地块和佳木斯-兴凯地块均普遍不同程度地发育高钾钙碱性具岛弧-大陆边缘弧属性的火成岩构造组合。从区域上早二叠世大黑山过碱性花岗岩的出现分析,它可能标志着松嫩-张广才岭地块、佳木斯-兴凯地块之联合地块与额尔古纳-兴安地块碰撞焊合的完成,也表明东北统一大陆至此形成。从区域范围晚华力西期地层的展布分析^[9],也验证了上述相同的结论。但造山运动并未削减,可谓此起彼伏、波澜壮阔。

不同的认识是:在二叠纪之前,兴蒙造山带东段的

●黑龙江省地质矿产局. 1:25万鹤岗市幅区域地质调查报告. 2005.

表 1 基于侵入岩锆石 U-Pb 年龄建立的构造岩浆阶段划分的初步方案

Table 1 Division of the stage of tectonomagmatic stages based on the zircon U-Pb age of intrusive rocks

时代	地区	地点	岩体及岩石名称	年龄/Ma	测年方法	资料来源	构造岩浆阶段	
三叠纪	松嫩-张广才岭地块	哈尔滨市方正县会发镇	正长花岗岩	208	锆石 SHRIMP	孙德有(2001)	中华力西-印支构造岩浆阶段	后造山
		哈尔滨市通河县毛家屯	过碱性花岗岩	213 ± 14	锆石 U-Pb	孙德有(2001)		
		伊春市红星镇清水	过碱性花岗岩	222 ± 5	锆石 U-Pb	孙德有(2004)		
		鹤岗市鹤北镇高峰林场	二长花岗岩	231	锆石 U-Pb	1:25 万鹤岗市幅区调(2005)		印支碰撞造山
		伊春市金山屯丰林林场	二长花岗岩	231	锆石 U-Pb	1:25 万鹤岗市幅区调(2005)		
		伊春市美溪对青山	二长花岗岩	234	锆石 U-Pb	1:25 万鹤岗市幅区调(2005)		
二叠纪	佳木斯地区	牡丹江市林口县楚山	花岗闪长岩	253 ± 5	锆石 SHRIMP	吴福元(2001)	中晚华力西俯冲造山	
		牡丹江市柴河	二长花岗岩	254 ± 5	锆石 SHRIMP	吴福元(2001)		
		鸡西市石场	花岗闪长岩	258 ± 9	锆石 SHRIMP	吴福元(2001)		
	松嫩-张广才岭地块	鹤岗市大驾山	白云母二长花岗岩	260 ± 2	锆石 SHRIMP	未刊, 个人交流(2006)		
		鹤岗市大岭	二长花岗岩	261 ± 1	锆石 U-Pb	1:25 万鹤岗市幅区调(2005)		
	佳木斯地块	鸡西市青山	花岗闪长岩	270 ± 4	锆石 SHRIMP	吴福元(2001)		
	松嫩-张广才岭地块	萝北杜家河	二长花岗岩	275.1	锆石 U-Pb	隋雷(1991)		
		萝北杜家河	二长花岗岩	278.4	锆石 U-Pb	隋雷(1991)		
石炭纪	松嫩-张广才岭地块	伊春市新青南沟	二长花岗岩	317.7	锆石 U-Pb	1:5 万南沟幅区调(1992)		
泥盆纪		—	—				?	?
志留纪	松嫩-张广才岭地块	伊春市朝鲜屯	过碱性花岗岩	417 ± 2	锆石 U-Pb	孙德有(2002)	加里东构造岩浆阶段	后造山
		鹤岗市王家店	二长花岗岩	419	锆石 U-Pb	1:25 万鹤岗市幅区调(2005)		
伊春市双河		二长花岗岩	427 ± 3	锆石 U-Pb	未刊, 个人交流(2008)	俯冲造山		
奥陶纪		尚志市黑龙宫	安山岩	441.8Ma	K-Ar			黑龙江省区域地质志(1993)
		嘉荫县乌拉嘎老沟林场	二长花岗岩	500.4	锆石 U-Pb			1:5 万南沟幅区调报告(1992)
寒武纪	佳木斯地块	鸡西市柳毛	石榴石花岗岩	502 ± 10	锆石 SHRIMP	Simon A Wilde, 吴福元等(2001)	碰撞造山	
		鸡西市西麻山	石榴石花岗岩	507 ± 12	锆石 SHRIMP	Simon A Wilde, 吴福元等(2001)		

表中所列各时代界线均依据 2000 年第 31 届国际地质大会上国际地质科学联合会公布的国际地层表划分方案。

额尔古纳-兴安地块、松嫩-张广才岭地块、佳木斯地块和兴凯地块均游移于华北板块和西伯利亚板块之间,随着古亚洲洋的不断收缩,这些地块向西伯利亚板块和华北板块靠拢并导致其间先后碰撞拼合,最终于早石炭世末形成一个整体,并谓之黑龙江板块群(张兴洲等,1999)(转引自孙德有^[6])。显然,关于此研究仍待深入。

中二叠世在小兴安岭中南段鹤岗一带出现了 S 型

强过铝二云母花岗岩类,它与佳木斯-兴凯地块内的石场-柴河-楚山一带发育的大陆边缘弧 I 型花岗岩类空间上呈成对分布,暗示南侧的大洋岩石圈(长春-延吉一线)向佳木斯-兴凯地块俯冲的同时,北侧的松嫩-张广才岭地块内发育陆内块体间的碰撞作用。晚二叠世具活动大陆边缘属性的侵入岩和具岛弧-大陆边缘弧属性的火山岩大面积分布于松嫩-张广才岭地块和佳木斯-兴凯地块之上,暗示着松嫩-张广才岭地

块、佳木斯-兴凯地块已焊合为一个整体,具有统一的地球动力学背景.这与大多学者^[10-14]认为的南北两大板块及其间所夹持的微板块于中石炭世(或泥盆纪)一早二叠世沿着艾比湖-伊林哈别尔尕-康古尔塔格-索伦山-西拉木伦河-长春-敦化-延吉一线由西向东逐渐碰撞拼合,在兴蒙造山带东段于早二叠世末期完成对接的观点大同小异,也与佳木斯地块黑龙江杂岩研究获得锆石 U-Pb 年龄(LA-ICP-MS)274.7±3.6 Ma 所反映的早二叠世末期碰撞造山事件指示与晚古生代古亚洲洋闭合有关的观点不谋而合^[15].区域上看,此时造山过程仍没有停止,一直持续到三叠纪.晚三叠世发育的后造山花岗岩组合,表明华北-东北大陆拼合组装至此完成.

需要指出,本文论点主要是基于火成岩信息所讨论之成果,随着资料的积累和研究的深入,有关古亚洲洋构造演化的认识将会更加丰富.

参考文献:

- [1] 邓晋福, 赵国春, 苏尚国, 等. 地球史中的构造活动论和发展阶段论[J]. 地学前缘, 2006, 13(6): 14—21.
- [2] 黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [3] 邓晋福, 莫宣学, 罗照华, 等. 火成岩构造组合与壳幔成矿系统[J]. 地学前缘, 1999, 6(2): 259—270.
- [4] 赵寒冬. 东北地区小兴安岭南段-张广才岭北段古生代火成岩组合与构造演化. 北京: 中国地质大学, 2009.
- [5] Simon A W, 吴福元, 张兴洲. 中国东北麻山杂岩晚泛非期变质的锆石 SHRIMP 年龄证据及全球大陆再造意义[J]. 地球科学, 2001, 30(1): 35—50.
- [6] 孙德有. 张广才岭中生代花岗岩成因及其地球动力学意义[D]. 吉林大学博士论文, 2001.
- [7] 张昱. 黑龙江省东部早中生代火成岩构造组合及其大地构造演化[D]. 中国地质大学(北京)博士论文, 2008.
- [8] 孙德有, 吴福元, 高山. 小兴安岭东部清水岩体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定[J]. 地球学报, 2004, 25(2): 213—218.
- [9] 黑龙江省地矿局. 黑龙江省岩石地层[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [10] 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 中国大地构造及其演化[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [11] 王荃, 刘雪亚, 李锦轶. 中国华夏与安哥拉古陆间的板块构造[M]. 北京: 北京大学出版社, 1991.
- [12] 邵济安. 中朝板块北缘中段地壳演化[M]. 北京: 北京大学出版社, 1991.
- [13] 王东方, 陈从云, 杨森, 等. 中朝陆台北缘构造地质[M]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [14] 程裕祺, 编. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地震出版社, 1994.
- [15] 李旭平, 焦丽香, 郑庆道, 等. 黑龙江桦南地区黑龙江杂岩锆石 U-Pb 定年[J]. 岩石学报, 2009, 25(8): 1909—1916.