

doi:10.3799/dqkx.2012.S1.006

小兴安岭东南部伊春—鹤岗地区花岗质岩石 锆石 U-Pb 年龄测定及其地质意义

魏红艳¹, 孙德有^{1*}, 叶松青¹, 杨言辰¹, 刘志宏³, 柳小明², 胡兆初⁴

1. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061
2. 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 陕西西安 710069
3. 江苏省地质调查研究院, 江苏南京 210046
4. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

摘要: 小兴安岭地区花岗质岩浆的活动期次, 对讨论东北地区的构造演化具有重要意义。锆石 U-Pb 年龄测定结果表明, 小兴安岭东南部伊春—鹤岗地区花岗质岩浆活动可分为 4 期: 寒武纪—奥陶纪(508~447 Ma)、中—晚二叠世(266~259 Ma)、早—中三叠世(244~231 Ma)、晚三叠世(222~200 Ma)。根据花岗质岩石的 Sr、Yb 地球化学特征, 结合兴安造山带东端构造演化历史, 认为该区中—晚二叠世花岗质岩石多属于喜马拉雅型花岗岩, 可能形成于华北板块与西伯利亚板块碰撞过程中; 早—中三叠世花岗岩属于埃达克质岩石, 岩浆起源于加厚地壳, 形成于两大板块碰撞后的继续挤压造山阶段; 晚三叠世花岗质岩石多属浙闽—南岭型花岗岩, 与古亚洲洋闭合造山后岩石圈的伸展体制有关。

关键词: 花岗岩; 锆石 U-Pb 定年; 小兴安岭; 构造环境; 地球化学。

中图分类号: P597.3

文章编号: 1000-2383(2012)S1-0050-10

收稿日期: 2011-05-27

Zircon U-Pb Ages and Its Geological Significance of the Granitic Rocks in the Yichun-Hegang Region, Southeastern Xiao Hingan Mountains

WEI Hong-yan¹, SUN De-you^{1*}, YE Song-qing¹, YANG Yan-chen¹, LIU Zhi-hong³,
LIU Xiao-ming², HU Zhao-chu⁴

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China
2. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, China
3. Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210046, China
4. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The stages of the granitoid in the Xiao Hingan Mountains is the key to the tectonic evolution of Northeast China. Using zircon U-Pb dating results by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometer (LA-ICP-MS), the granitoids from Yichun-Hegang regional in the east Xiao Hingan Mountains can be grouped into Cambrian-Ordovician (508—447 Ma), Middle-Late Permian (266—259 Ma), Early-Middle Triassic (244—231 Ma), and Late Triassic (222—200 Ma). Considering the evolution history of Xing'an-Mongolia orogenic belt (XMOB), the granitoids can be divided into different types on the basis of their Sr and Yb contents. The Middle Permian granitoids shows the characteristics of Himalayan-type granite, and was related to collision of North China craton with the Siberian craton. The Early-Middle Triassic granitoids shows the characteristics of Adakite, which originated from the thickened crust. Late Triassic granitoids shows the characteristics of Zhem'in-Nanling-type granite. The formations of Triassic granitoids are related to the continued collision and extension after closure of the Paleo-Asian Ocean, respectively.

Key words: granite; zircon U-Pb dating; Xiao Hingan Mountains; tectonic setting; geochemistry.

基金项目: 黑龙江两岸金、多金属成矿带成矿地质条件与成矿规律对比研究项目(No. 1212010786005); 吉黑东部矿化集中区岩浆岩序列与地质成矿事件研究项目(No. 1212010070301); 国家自然科学基金项目(No. 41172058).

作者简介: 魏红艳(1985—), 女, 硕士研究生, 主要从事火成岩研究。E-mail: hongyan19851129@163.com

* **通讯作者:** 孙德有, E-mail: sundy@jlu.edu.cn

0 引言

小兴安岭地区位于西伯利亚板块和华北板块之间的中亚造山带东段,隶属松嫩地块(张兴洲等, 2006),与其南部的张广才岭构成了中国大陆东部极为醒目的地质景观,即“花岗岩海”(吴福元等, 1999). 近年来,有关这些大面积花岗岩的时代、成因及与地壳生长关系的研究取得了重要进展(吴福元等, 1999; Jahn *et al.*, 2000; 孙德有, 2005; Wu *et al.*, 2011):一是认为该区大面积花岗岩主体形成于中生代;二是花岗岩浆源区主要是底侵的基性岩石,并鉴别出了高分异 I 型花岗岩;三是通过花岗岩的研究提出,研究区乃至中亚造山带在新元古代—显生宙时期发生了地壳大规模垂向生长事件. 这些研究主要集中在面上和大范围的尺度上,小范围内详细解剖花岗岩基的工作还未见报道. 此外,为探讨中亚造山带东段的构造演化历史提供岩浆岩证据,该区原确定的大量晚古生代花岗岩究竟是否存在需要更多高精度同位素年代学资料支持. 基于上述问题,本文选择研究相对薄弱、但花岗岩分布广泛、出

露较好的伊春—鹤岗一线作为研究目标,在详细测制了美溪—鹤林林场长约 80 km 的花岗岩岩基大剖面的同时,对剖面两侧花岗岩也进行了面上调查研究,并对研究区不同岩石类型进行了锆石年龄测定和地球化学研究,建立研究区花岗质岩浆活动期次,结合区域地质研究成果讨论了不同期次花岗质岩石与区域构造演化的关系.

1 地质概况

研究区位于黑龙江省东北部的伊春市—鹤岗市之间,属小兴安岭东南部,以嘉荫—牡丹江断裂为界与东侧的佳木斯地块相接(图 1). 区内出露的地层有西林群,二叠系土门岭组、红山组和五道岭组,以及侏罗系友好组(黑龙江省地质局区域地质测量队 1:20 万金山屯幅地质图, 1971;黑龙江省地质矿产局, 1993). 花岗岩主要呈大岩基状产出,少量为岩株状,闪长玢岩岩脉较为发育;其次有少量花岗斑岩脉和微晶闪长岩脉,侵入体出露面积占地体的 90% 以上. 大致以丰茂林场为界,其东侧为晚海西期斑状

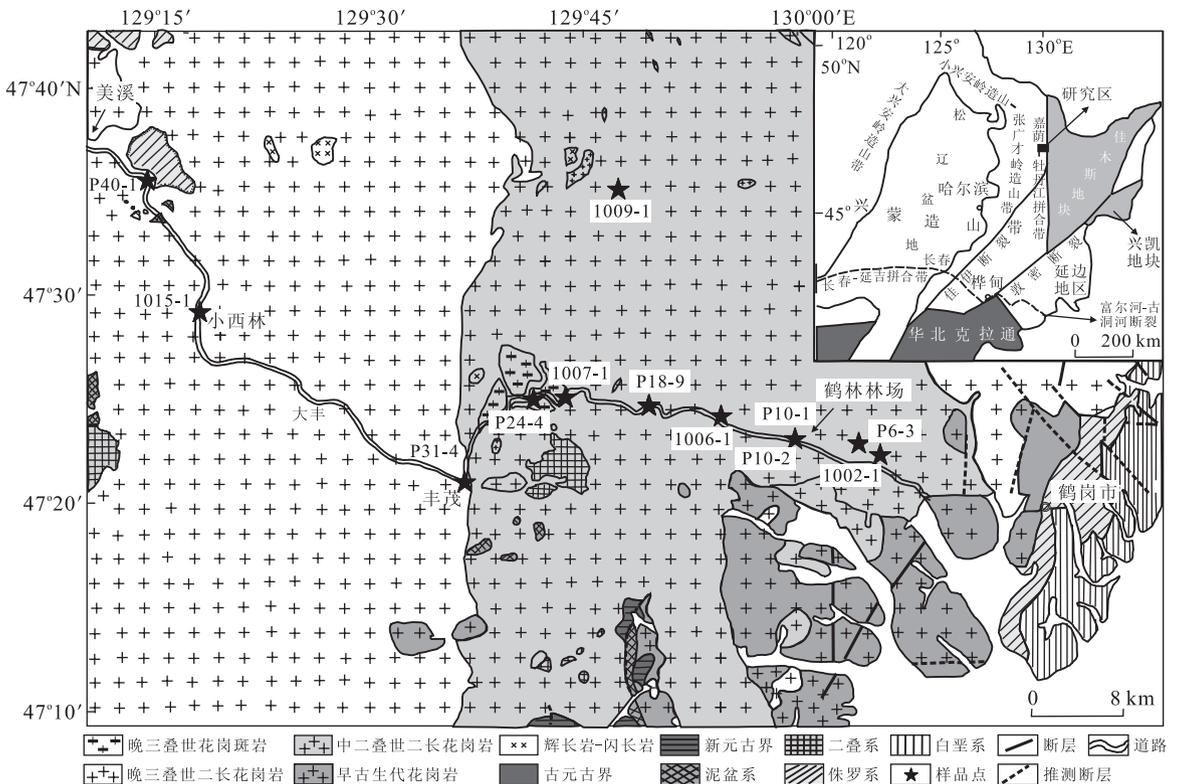


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Sketch geological map of the study area

据黑龙江省地质局区域地质测量队(1971)的 1:20 万金山屯幅和黑龙江省地质局第一区测量队(1979)的 1:20 万萝北县幅地质图修订

黑云母花岗岩,西侧为晚海西期白岗质花岗岩(黑龙江省地质局区域地质测量队 1:20 万金山屯幅地质图,1971);其后经过综合研究认为丰茂林场以东的花岗岩形成于加里东期,以西为印支期(黑龙江省地质矿产局,1993)。本文认为丰茂林场以东为含斑—似斑状中细粒黑云母二长花岗岩,少量中细粒黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩、斑状花岗岩、中—酸性岩脉和花岗斑岩岩株、石英闪长岩岩株;以西主体岩性为似斑状中粗粒—粗粒黑云母二长花岗岩,少量石英二长岩,花岗岩被闪长玢岩、花岗斑岩岩脉穿切。

2 测年样品特征

本文选取 12 件典型代表性岩石进行锆石 U-Pb 年龄测定和 27 件样品进行地球化学分析,所测样品特征总体概述如下:

(1)中细粒黑云母二长花岗岩—似斑状中细粒黑云母二长花岗岩:出露于丰茂林场以东,岩石为灰白色、淡红色,块状构造,部分为片麻状构造。主要矿物为斜长石(35%~45%)+钾长石(30%~40%)+石英(20%~25%)+黑云母(3%~8%)±角闪石,副矿物有磁铁矿、榍石、绿帘石、褐帘石、磷灰石和锆石。似斑状岩石中中长石为斑晶,片麻状似斑状中细粒黑云母二长花岗岩中见细粒闪长质包体,且岩石中黑云母的含量达 15%~20%。

(2)片麻状细粒角闪黑云母石英闪长岩:出露于丰茂林场以东,岩石为灰黑色,细粒半自形结构,片麻状构造。主要矿物有斜长石(60%±)+石英(10%±)+黑云母(15%~20%)+角闪石(5%~10%),副矿物有褐帘石、绿帘石、锆石。

(3)细粒黑云母花岗闪长岩:出露于丰茂林场以东,岩石为深灰色,细粒半自形结构,块状构造。主要组成矿物有斜长石(55%~60%)+石英(20%±)+钾长石(10%~15%)+黑云母(5%~8%),副矿物有磷灰石、锆石。

(4)似斑状中细粒黑云母花岗闪长岩:出露于丰茂林场以东,岩石为灰白色,似斑状结构,基质中细粒半自形结构,呈脉状侵入到细粒花岗闪长岩中。主要矿物为斜长石(60%~65%)+石英(20%±)+钾长石(10%)+黑云母(5%±),部分斜长石和钾长石为斑晶,副矿物有榍石、绿帘石、磷灰石和锆石。

(5)似斑状中细粒黑云母二长花岗岩:出露于丰茂林场以东,岩石多为淡红色,似斑状结构,基质中细粒半自形结构,主要矿物为钾长石(40%~

45%)+石英(20%~25%)+斜长石(30%~35%)+黑云母(3%±),斑晶多为钾长石,少量斜长石,副矿物有绿帘石、磷灰石和锆石。

(6)花岗斑岩:出露于丰茂林场以东,呈岩株状侵入似斑状中细粒黑云母二长花岗岩。岩石为淡灰色,斑状结构,基质微晶—细晶结构,块状构造。斑晶多为斜长石,少量的钾性长石、石英和黑云母;基质由石英、斜长石、钾长石、黑云母和少量的角闪石组成,局部可见蠕虫结构;副矿物有锆石、磷灰石、绿帘石和磁铁矿。

(7)似斑状中粗粒黑云母二长花岗岩—粗粒黑云母二长花岗岩:出露于丰茂林场以西,二者呈相变关系。岩石多为肉红色,主要矿物为斜长石(25%~30%)+钾长石(35%~40%)+石英(25%±)+黑云母(5%±),副矿物有磷灰石和锆石。似斑状中粗粒黑云母二长花岗岩中的斑晶为钾长石。

(8)中粗粒黑云母角闪石英二长岩:出露于丰茂林场以西,灰红色,中粗粒半自形结构,块状构造。主要矿物为斜长石(30%~35%)+钾长石(40%~45%)+石英(5%±)+角闪石(10%±)+黑云母(3%~5%);副矿物有磷灰石、锆石和磁铁矿,岩石中可见大量细粒闪长质包体。

3 锆石 U-Pb 分析及测定结果

3.1 分析方法

锆石分选工作由河北省廊坊诚信地质服务有限公司完成,U-Pb 年龄测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室和中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。对测年样品的锆石进行透射光、反射光和阴极发光图像的观察和采集,以此确定锆石的内部结构和成因。采用波长 193 nm 的 ComPex102 ArF 准分子激光器和 Agilent7500a 型 ICP-MS 进行锆石 U 和 Pb 测定,用高纯 He 气作为剥蚀物质的载气,利用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST610 进行仪器最佳化,用哈佛大学国际标准锆石 91500 作外标,锆石测定过程中激光束斑直径为 30 μm。分析数据通过 GLITTER 软件计算,数据的普通 Pb 校正采用 Andersen(2002)的方法进行,详细实验测试过程及仪器参数参见袁洪林等(2003)。应用 Isoplot3.0 程序进行年龄计算及谐和图绘制。

3.2 锆石 U-Pb 年龄测定结果

研究区 12 件样品的 U-Pb 年龄谐和图如图 2 所

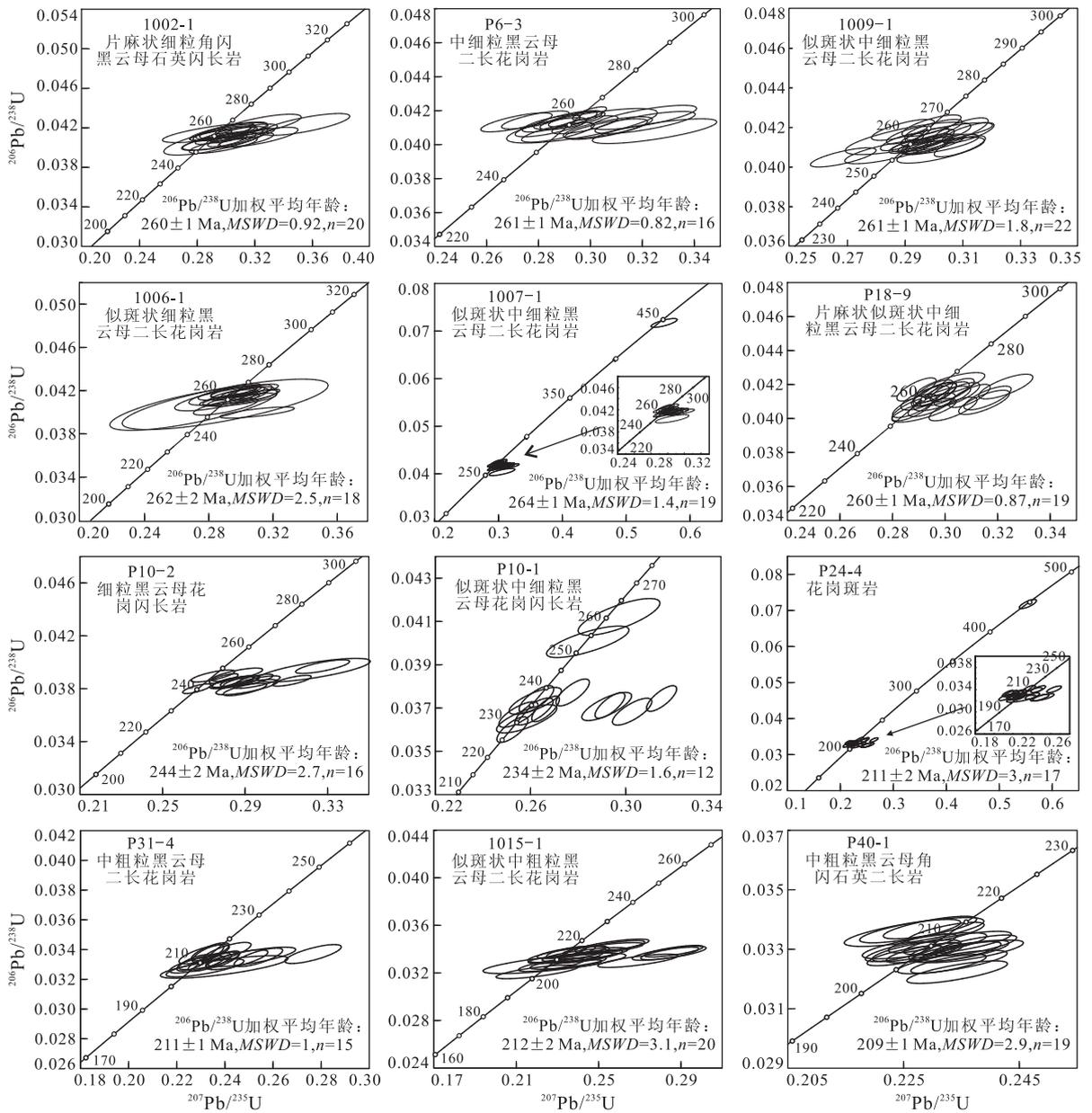


图 2 研究区花岗质岩石锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 2 Concordia U-Pb plots of zircons from granitoids in study area

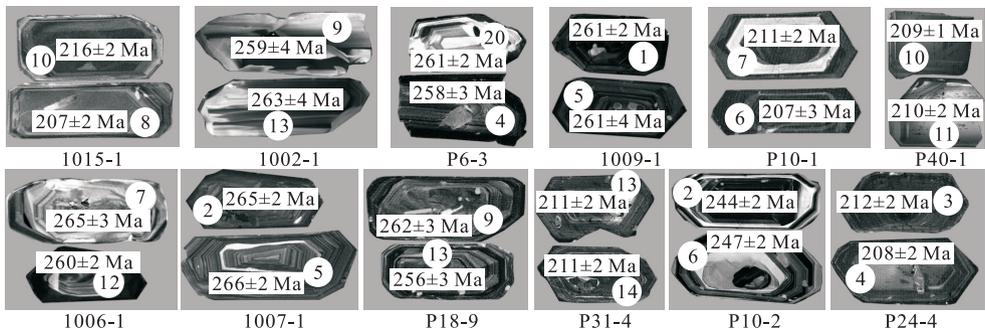


图 3 锆石 CL 图像

Fig. 3 Zircons CL diagrams

表 1 研究区花岗质岩石锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb data of granitoids in study area

样品测点	含量			同位素比值			年龄(Ma)	
	²³² Th	²³⁸ U	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U±1σ
1002-1-01	252.76	443.69	0.57	0.053 37±0.001 55	0.302 04±0.008 58	0.041 05±0.000 38	268±7	259±2
1002-1-02	101.99	195.32	0.52	0.052 31±0.002 37	0.297 18±0.013 21	0.041 43±0.000 48	264±10	262±3
1002-1-03	33.39	124.14	0.27	0.061 68±0.003 71	0.355 36±0.020 23	0.042 34±0.000 73	309±15	267±5
1002-1-04	60.71	123.63	0.49	0.052 73±0.002 79	0.297 80±0.015 23	0.041 50±0.000 55	265±12	262±3
1002-1-05	339.88	422.30	0.80	0.053 77±0.001 58	0.308 12±0.008 97	0.041 52±0.000 36	273±7	262±2
1002-1-06	205.16	395.76	0.52	0.050 94±0.001 71	0.289 54±0.009 56	0.041 24±0.000 35	258±8	261±2
1002-1-07	402.27	446.88	0.90	0.053 67±0.001 56	0.300 87±0.008 96	0.040 67±0.000 39	267±7	257±2
1002-1-08	374.29	481.31	0.78	0.056 15±0.001 74	0.319 67±0.009 20	0.041 39±0.000 37	282±7	261±2
1002-1-09	60.83	116.15	0.52	0.057 70±0.003 23	0.322 80±0.017 96	0.041 05±0.000 66	284±14	259±4
1002-1-10	44.65	115.54	0.39	0.055 58±0.003 54	0.322 30±0.019 74	0.042 24±0.000 75	284±15	267±5
1002-1-11	174.70	244.73	0.71	0.056 05±0.002 27	0.313 80±0.012 71	0.040 75±0.000 49	277±10	257±3
1002-1-12	54.34	120.42	0.45	0.053 29±0.002 93	0.303 85±0.016 34	0.041 71±0.000 58	269±13	263±4
1002-1-13	69.72	156.46	0.45	0.053 08±0.002 34	0.300 63±0.012 50	0.041 69±0.000 51	267±10	263±3
1002-1-14	52.58	127.77	0.41	0.062 43±0.004 11	0.359 09±0.022 30	0.042 08±0.000 66	261±19	262±4
1002-1-15	62.03	125.81	0.49	0.052 32±0.004 26	0.292 80±0.023 77	0.040 69±0.000 96	261±19	257±6
1002-1-16	42.57	102.54	0.42	0.054 11±0.003 31	0.296 76±0.018 23	0.040 62±0.000 60	264±14	257±4
1002-1-17	288.63	408.37	0.71	0.052 06±0.001 66	0.292 43±0.009 07	0.040 92±0.000 39	260±7	259±2
1002-1-18	67.93	145.07	0.47	0.054 53±0.002 84	0.311 03±0.016 26	0.041 51±0.000 57	275±13	262±4
1002-1-19	97.46	222.54	0.44	0.054 54±0.003 00	0.298 08±0.015 56	0.040 23±0.000 54	265±12	254±3
1002-1-20	147.76	204.22	0.72	0.053 67±0.003 20	0.295 31±0.016 75	0.040 63±0.000 58	263±13	257±4
P40-1-1	253.28	382.82	0.66	0.052 14±0.001 41	0.236 74±0.005 93	0.032 93±0.000 25	216±5	209±2
P40-1-2	475.73	555.59	0.86	0.051 92±0.001 08	0.232 77±0.004 31	0.032 51±0.000 21	212±4	206±1
P40-1-3	342.07	475.49	0.72	0.050 43±0.001 08	0.228 68±0.004 38	0.032 88±0.000 22	209±4	209±1
P40-1-4	252.31	407.51	0.62	0.051 95±0.001 16	0.237 34±0.004 76	0.033 13±0.000 23	216±4	210±1
P40-1-5	153.85	313.47	0.49	0.051 97±0.001 50	0.233 41±0.006 28	0.032 57±0.000 26	213±5	207±2
P40-1-7	239.80	437.63	0.55	0.051 88±0.001 19	0.235 75±0.004 92	0.032 95±0.000 23	215±4	209±1
P40-1-8	460.37	591.31	0.78	0.049 85±0.000 97	0.228 27±0.003 89	0.033 20±0.000 21	209±3	211±1
P40-1-9	404.23	594.35	0.68	0.052 70±0.001 40	0.234 27±0.005 74	0.032 23±0.000 25	214±5	204±2
P40-1-10	192.92	304.39	0.63	0.051 57±0.001 24	0.234 08±0.005 14	0.032 91±0.000 23	214±4	209±1
P40-1-11	303.36	475.04	0.64	0.050 05±0.001 64	0.228 62±0.007 10	0.033 12±0.000 29	209±6	210±2
P40-1-12	339.55	460.16	0.74	0.049 35±0.001 24	0.229 58±0.005 33	0.033 73±0.000 25	210±4	214±2
P40-1-13	201.08	315.03	0.64	0.048 97±0.001 80	0.226 83±0.007 97	0.033 58±0.000 32	208±7	213±2
P40-1-14	178.47	282.07	0.63	0.048 79±0.001 33	0.226 14±0.005 76	0.033 61±0.000 26	207±5	213±2
P40-1-15	220.31	364.41	0.60	0.050 01±0.001 21	0.227 23±0.005 04	0.032 95±0.000 24	208±4	209±1
P40-1-16	1694.19	1226.15	1.38	0.050 70±0.000 78	0.230 30±0.002 90	0.032 94±0.000 19	210±2	209±1
P40-1-17	331.03	504.26	0.66	0.049 46±0.001 00	0.224 49±0.004 03	0.032 92±0.000 22	206±3	209±1
P40-1-18	183.40	289.10	0.63	0.051 16±0.001 43	0.234 32±0.006 15	0.033 21±0.000 26	214±5	211±2
P40-1-19	275.19	514.77	0.53	0.050 19±0.001 05	0.232 28±0.004 39	0.033 56±0.000 23	212±4	213±1
P40-1-20	239.41	410.44	0.58	0.049 86±0.001 07	0.225 35±0.004 39	0.032 78±0.000 22	206±4	208±1

示。所测样品锆石多为无色或褐色，晶形较好，呈长柱状或短柱状，具岩浆成因振荡生长环带结构(图 3)，锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 分析数据见魏红艳(2012; 表 1)，其 Th/U 比值几乎全部大于 0.1(魏红艳, 2012; 表 1)，为岩浆成因锆石(Belousova *et al.*, 2002)。岩浆结晶年龄以²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄代表，误差为 2σ(表 2)。年龄测定结果显示，在丰茂林场以东的中一晚二叠世花岗岩中有 1 054 Ma 和 446 Ma、早一中三叠世花岗岩中存在 253~260 Ma、晚三叠世花岗岩中存在 447 Ma 的捕获锆石，这些捕获锆石无论是晶形、内部结构，还是 Th/U 比值均显示为岩浆结晶锆石。这与目前在该区及张广才岭地区确定存在的中元古代和

加里东期岩浆活动是一致的(孙德有等, 东北地区区域构造—热事件格架与盆地形成演化的关系, 2007; 王枫, 2010; Meng *et al.*, 2010; 孟恩, 2011); 而早一中三叠世花岗岩中的 253~260 Ma 捕获锆石应该是来自本文所研究的中一晚二叠世花岗岩。

4 花岗质岩浆活动期次

小兴安岭东南部伊春—鹤岗地区出露的花岗质岩石年代学研究表明，该区花岗质岩石形成的时代为 264~260 Ma、244~234 Ma、212~209 Ma，岩浆活动

表 2 研究区花岗质岩石年龄测定结果
Table 2 Zircon U-Pb data of granitoids in study area

样品号	采样位置	岩性	表面年龄 (Ma)	加权平均年龄 (Ma)
1002-1	47°22.548'N, 130°03.872'E	片麻状细粒角闪黑云母石英闪长岩	254~263	260±1
P6-3	47°22.060'N, 130°04.000'E	中细粒黑云母二长花岗岩	257~264	261±1
1009-1	47°34.875'N, 129°47.293'E	似斑状中细粒黑云母二长花岗岩	256~266	261±1
1006-1	47°23.964'N, 129°54.369'E	似斑状细粒黑云母二长花岗岩	253~265	262±2
1007-1	47°24.941'N, 129°43.466'E	似斑状中细粒黑云母二长花岗岩	255~268	264±1
P18-9	47°24.512'N, 129°49.172'E	片麻状似斑状中细粒角闪黑云母二长花岗岩	256~265	260±1
P10-2	47°22.842'N, 129°59.455'E	细粒黑云母花岗闪长岩	240~251	244±2
P10-1	47°22.842'N, 129°59.455'E	似斑状中细粒黑云母花岗闪长岩	228~239	234±2
P24-4	47°24.883'N, 129°40.958'E	花岗斑岩	205~217	210±2
P31-4	47°20.902'N, 129°36.360'E	中粗粒黑云母二长花岗岩	208~215	211±1
1015-1	47°29.157'N, 129°17.941'E	似斑状中粗粒黑云母二长花岗岩	204~217	212±2
P40-1	47°35.453'N, 129°14.385'E	中粗粒黑云母角闪石英二长岩	204~214	209±1

主要集中在中一晚二叠世和三叠纪。中一晚二叠世花岗岩(264~260 Ma)分布在丰茂林场以东靠近佳木斯地块,与佳木斯地块西缘的柴河、楚山、石场、青山等花岗岩体的形成年龄 270~254 Ma(吴福元等,2001)一致,同时在研究区南部也有该期花岗岩出露(266~259 Ma)(孙德有,未发表资料)。早一中三叠花岗岩(244~234 Ma)出露于二叠纪花岗岩体内,在 1:25 万鹤岗市幅区调工作(2005)中也识别出了 234~231 Ma 的花岗岩(赵寒冬,2009),但其产状和面积暂时还无法确定,有待进一步工作。晚三叠世花岗岩(212~209 Ma)主要分布在丰茂林场以西或以岩株的形式出露于丰茂林场以东,岩性为似斑状中粗粒黑云母二长花岗岩—粗粒黑云母二长花岗岩和花岗斑岩;此外还有 A 型花岗岩出露,如清水岩体 222 Ma(孙德有等,2004b)。结合本区已报道的小西林岩体(200 Ma)、大丰岩体(201 Ma)(Wu *et al.*, 2011),认为本期花岗岩主要形成于 222~200 Ma。由此可见,黑龙江省地质矿产局(1993)所确定的大型伊春—延寿加里东期花岗岩带并不存在。但加里东期花岗岩在该区确实有少量出露,如在伊春的美溪、小西林以及铁力的鸡岭等地厘定出 490~450 Ma 的早古生代花岗岩(孙德有等,东北区域构造—热事件格架与盆地形成演化的关系,2006),2010 年还在伊春市北部厘定出奥陶纪花岗岩(孙德有,未发表资料),刘建峰等(2008)在小兴安岭东部也发现了形成时代为 508~471 Ma 的早古生代花岗岩,但加里东期花岗岩分布零星。根据本文和已有的年代学资料可以将小兴安岭东南部的花岗岩详细划分成 4 期,即寒武纪—奥陶纪(508~450 Ma)、中一晚二叠世(266~259 Ma)、早一中三叠世(244~231 Ma)和晚三叠世(222~200 Ma),主体应

为晚古生代和三叠纪。

5 花岗岩形成的构造环境

限于篇幅和实际研究内容,本文仅讨论研究区晚古生代和三叠纪花岗质岩石的构造环境。研究区有二叠纪海陆交互相碎屑沉积的土门岭组、中酸性火山岩夹正常沉积岩的五道岭组以及河湖相的红山组,缺失早一中三叠世地层(黑龙江省地质矿产局,1993),意味着该时期小兴安岭东南部—张广才岭地区处于陆壳造山抬升作用阶段。研究区不同期次花岗质岩石在 Sr-Yb 分类图(张旗等,2008)中分别落入了不同区域内(图 4a),暗示不同期次岩石可能形成于不同的构造环境;在 Zr-(Nb_N/Zr_N)构造环境判别图上,位于碰撞带和俯冲带岩浆岩之间(图 4b)。以上特征表明,研究区中二叠世—晚三叠世花岗质岩石的形成可能与俯冲碰撞造山作用密切相关。古生物和古地磁资料也显示吉林延边地区,在早二叠世—晚三叠世期间经历了强烈的造山作用(武仁,1987;崔革等,1991;孙革,1993;张艳斌,2002;黄宝春等,2008)。

5.1 中一晚二叠世花岗质岩石

关于古亚洲洋最终闭合的地点和时间存在不同认识。近年来多数研究者通过花岗岩、变质岩、超镁铁质岩和地层古生物的综合研究,认为华北板块与北侧块体(兴安地块、松嫩地块、佳木斯地块)的最终碰撞拼合位置为西拉木伦河—长春—延吉一带;碰撞时间在晚古生代,主要集中在二叠纪,可持续到早一中三叠世(孙德有等,2004a; Zhang *et al.*, 2004; 尚庆华,2004; Wu *et al.*, 2007; 章永梅等,2009; 刘永江等,2010)。李锦轶(2007)结合区域地质

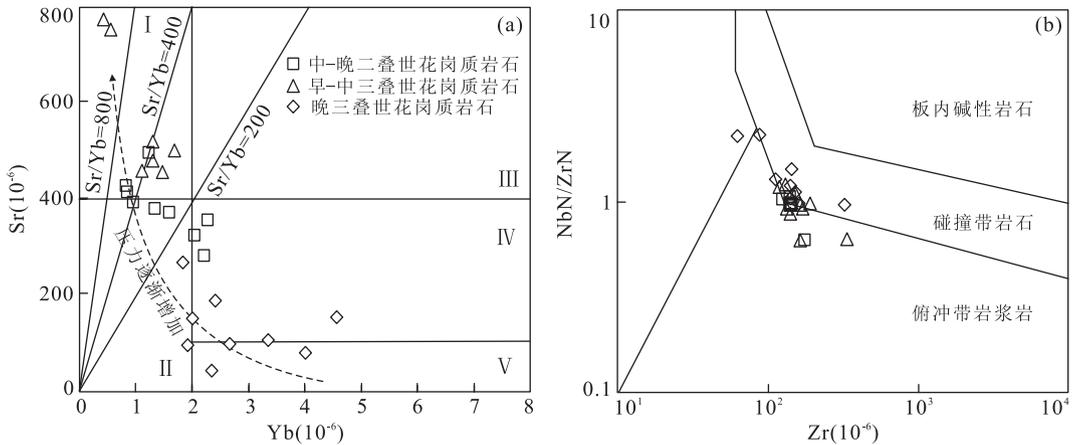


图 4 花岗岩类型地球化学判别图解(图 a 底图据张旗等, 2008; 图 b 据 Thieblemont and Tegyey, 1994)

Fig. 4 Discrimination diagrams for geochemistry

图 a 中: I. 埃达克型花岗岩; II. 喜马拉雅型花岗岩; III. 广西型花岗岩; IV. 浙闽型花岗岩; V. 南岭型花岗岩

资料和前人研究成果, 认为西伯利亚与中朝古板块之间沿西拉木伦缝合带的碰撞始于二叠纪中期(约 270 Ma), 结束于三叠世中期. 中国东北在早侏罗世末期才结束古亚洲洋构造域的影响, 并转为环太平洋构造域(赵越等, 1994; Isozaki, 1997). 而研究区位于西伯利亚板块和华北板块之间的兴蒙造山带东段, 中一晚二叠世花岗质岩石形成于 266~259 Ma 之间, 笔者认为与这两大板块碰撞演化有关.

中一晚二叠世花岗质岩石多落在喜马拉雅型花岗岩区及其附近(图 4a), 该型花岗岩主要出现在造山前和造山阶段. 地球化学特征显示其为 I 型, 微量元素和稀土元素具有(活动大陆边缘)火山弧型花岗岩的特点, 并且在 Nb-Y 及 Rb-(Y+Nb) 构造判别图解中落入火山弧和同碰撞区域内, 而在 Hf-(Rb/30)-(3Ta) 图解中有由火山弧向同碰撞花岗岩演化的趋势, 且有同期的磨拉石建造(Wu *et al.*, 2007, 开山屯组和解放村组). 以上特征似乎反映了存在一次拼合过程. 因本期花岗岩与佳木斯-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对称分布, 有人认为其形成于大洋岩石圈(沿长春-延吉)向往木斯-兴凯地块俯冲的同时, 北侧的松嫩-张广才岭地块发生陆内块体间的碰撞作用(赵寒冬, 2009), 从两处花岗岩的地球化学特征对比以及空间分布来看, 的确存在这种可能性. 但这一时期花岗岩十分发育, 如内蒙古中部、延边地区以及研究区南部依兰和铁力(章永梅等, 2009; Wu *et al.*, 2011; 孙德有, 未发表资料). 还有同期闪长岩(六颗松岩体)(张艳斌, 2002)和火山岩作用(孟恩等, 2008), 它们应形成于统一的构造背景

下. 从大的区域构造演化角度来看, 本文更倾向于其形成可能与华北板块和西伯利亚板块的碰撞有关.

5.2 早一中三叠世花岗岩

早一中三叠世花岗岩的地球化学显示出华北型埃达克质岩石的特征(图 4a, SiO₂ = 65.71%~73.05%, Al₂O₃ = 15.04%~16.66%, Yb = 0.44 × 10⁻⁶~1.69 × 10⁻⁶, Y = 6.06 × 10⁻⁶~16.25 × 10⁻⁶, Sr = 456 × 10⁻⁶~773 × 10⁻⁶, La/Yb = 14.0~93.5, Sr/Y = 28.0~127.6, δEu = 0.68~1.38), 是加厚的下地壳(深度 > 50 km) 熔融形成. 埃达克岩被认为是造山阶段的产物, 不可能出现在造山后阶段(张旗等, 2008). 如前所述, 研究区地层发育特征显示早一中三叠世处于隆起剥蚀阶段(黑龙江省区域地质志, 1993); 已有的研究(孙德有等, 2005; Wu *et al.*, 2011)表明, 兴蒙造山带东段西伯利亚板块与华北板块最后碰撞拼合发生在二叠纪末期(250 Ma 左右), 而造山后伸展作用出现在 230 Ma 之后(造山后 A 型花岗岩时代为 230~200 Ma). 因此, 在 245~230 Ma 这一期间, 研究区应处于南、北两大板块碰撞后的继续陆内挤压叠覆作用阶段, 导致早期加厚的地壳熔融形成该期埃达克质岩石.

除此之外, 在内蒙古中部索伦山缝合带附近也有同期埃达克质花岗闪长岩(245 ± 1 Ma)(张维等, 2010); 吉林辽源-辽宁清源一带的兴蒙造山带南缘也形成了与南、北两大板块碰撞后挤压叠覆形成的早一中三叠世花岗岩体, 如小四平(242 ± 7 Ma)、尖山子(243 ± 5 Ma)和松树咀子(243 ± 5 Ma)等花岗岩体(孙德有, 2005).

综上所述, 认为 244~231 Ma 的中三叠世花岗

岩可能形成于两大板块碰撞后继续挤压造山阶段。

5.3 晚三叠世花岗质岩石

晚三叠世花岗质岩石多为浙闽型和南岭型(图 4a),形成的深度相对较浅、压力相对较低,多形成于减薄地壳或正常地壳,是造山后处于伸展构造背景下花岗质岩石的代表(张旗等,2008),暗示该期花岗质岩石可能形成于伸展背景下;这与造山后 A 型花岗岩的研究得出大约在 230 Ma 之后,研究区已结束碰撞拼合历史且进入造山后伸展阶段的认识一致;且在兴凯地块西缘也有同期 A 型流纹岩存在,同样形成于陆内伸展环境(孟恩,2011)。所以笔者认为晚三叠世花岗质岩石是在古亚洲洋消失,南、北两大板块是在晚二叠世—早中三叠世碰撞拼合后的构造背景下形成的,属于造山后伸展构造环境,与前人认识一致(张艳斌,2002;孙德有,2005)。

综上所述,研究区不同期次花岗质岩石很好的演绎了板块碰撞拼合、致使地壳加厚造山、以及造山后岩石圈伸展、造山带崩塌的地质演化过程。

6 结论

(1) 锆石 U-Pb 年龄测定结果表明,小兴安岭东南部伊春—鹤岗地区花岗质岩浆活动可分为 4 期:寒武纪—奥陶纪(508~447 Ma)、中—晚二叠世(266~259 Ma)、早—中三叠世(244~231 Ma)和晚三叠世(222~200 Ma)。

(2) 根据花岗质岩石的地球化学特征,结合兴蒙造山带东端构造演化历史,认为该区中—晚二叠世花岗质岩石多属于喜马拉雅型,可能形成于华北板块与西伯利亚板块碰撞过程;早—中三叠世花岗岩属埃达克质岩石,岩浆起源于加厚地壳,形成于两大板块碰撞后的继续挤压造山阶段;晚三叠世花岗质岩石多属浙闽—南岭型,与古亚洲洋闭合造山后岩石圈伸展体制有关。

致谢:感谢研究生郭佳、张苏江和苟军参加本项目研究的野外工作,感谢西北大学大陆动力学国家重点实验室和中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室在样品制备和分析测试中给予的大力支持与帮助,本项目研究还得到吉林大学“985 工程”和“211 工程”三期建设项目的支持。

References

Andersen, T., 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192

- (1—2): 59—79. doi:10.1016/j.jcrs.2004.06.047
- Belousova, E. A., Griffin, W. L., O'Reilly, S. Y., et al., 2002. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143(5): 602—622. doi:10.1007/s00410-002-0364-7
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province, 1993. Regional geology of Heilongjiang Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Cui, G., Yu, J. Q., Gao, Y. Q., et al., 1991. Paleomagnetic features and their geological significance of the Late Carboniferous-Late Cretaceous stratum in the east of Heilongjiang Province. *Heilongjiang Geology*, 2(2): 41—49 (in Chinese with English abstract).
- Fu, C. L., Sun, D. Y., Zhang, X. Z., et al., 2010. Discovery and geological significance of the Triassic high-Mg diorites in Hunchu area, Jilin Province. *Acta Petrologica Sinica*, 26(4): 1089—1102 (in Chinese with English abstract).
- Huang, B. C., Zhou, Y. X., Zhu, R. X., 2008. Discussions on Phanerozoic evolution and formation of continental China, based on paleomagnetic studies. *Earth Science Frontiers*, 15(3): 348—359 (in Chinese with English abstract).
- Isozaki, Y., 1997. Jurassic accretion tectonics of Japan. *The Island Arc*, 6(1): 25—51. doi:10.1111/j.1440-1738.1997.tb00039.x
- Jahn, B. M., Wu, F. Y., Hong, D. W., 2000. Important crustal growth in the Phanerozoic: isotopic evidence of granitoids from east-central Asia. *Earth System Science*, 109(1): 5—20. doi:10.1007/BF02719146
- Li, J. Y., Gao, L. M., Sun, G. H., et al., 2007. Shuangjingzi Middle Triassic syn-collisional crust-derived granite in the east Inner Mongolia and its constraint on the timing of collision between Siberian and Sino-Korean paleo-plates. *Acta Petrologica Sinica*, 23(3): 565—582 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J. F., Chi, X. G., Dong, C. Y., et al., 2008. Discovery of Early Paleozoic granites in the eastern Xiao Hingan Mountains, northeastern China and their tectonic significance. *Geological Bulletin of China*, 27(4): 534—544 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. J., Zhang, X. Z., Jin, W., et al., 2010. Late Paleozoic tectonic evolution in Northeast China. *Geology in China*, 37(4): 943—951 (in Chinese with English abstract).
- Meng, E., Xu, W. L., Yang, D. B., et al., 2008. Permian volcanisms in eastern and southeastern margins of the Jiamusi massif, northeastern China: zircon U-Pb chronology, geochemistry and its tectonic implications. *Chinese Science Bulletin*, 53(8): 1231—1245 (in Chinese with

- English abstract).
- Meng, E., Xu, W. L., Pei, F. P., et al., 2010. Detrital-zircon geochronology of Late Paleozoic sedimentary rocks in eastern Heilongjiang Province, NE China: implications for the tectonic evolution of the eastern segment of the Central Asian orogenic belt. *Tectonophysics*, 485 (1—4): 42—51. doi:10.1016/j.tecto.2009.11.015
- Meng, E., 2011. Late Paleozoic-Early Mesozoic tectonic evolution in the eastern Heilongjiang Province, NE China: constraints from detrital zircons and volcanical events (Dissertation). Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Shang, Q. H., 2004. Occurrences of Permian radiolarians in central and eastern Nei Mongol (Inner Mongolia) and their geological significance for the northern China orogen. *Chinese Science Bulletin*, 49(24): 2574—2579 (in Chinese with English abstract).
- Sun, D. Y., Wu, F. Y., Zhang, B. Y., et al., 2004a. The final closing time of the west Lamulun River-Changchun-Yanji plate suture zone—evidence from the Dayushan granitic pluton, Jilin Province. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 34(2): 174—181 (in Chinese with English abstract).
- Sun, D. Y., Wu, F. Y., Gao, S., 2004b. LA-ICPMS Zircon U-Pb age of the Qingshui pluton in the east Xiao Hinggan Mountains. *Acta Geoscientica Sinica*, 25(2): 213—218 (in Chinese with English abstract).
- Sun, D. Y., 2005. Chronology, geochemistry and tectonic setting of the Phanerozoic granites in central Jilin-northern Liaoning (Postdoctoral Research Report). Northwest University, Xi'an (in Chinese with English abstract).
- Sun, G., 1993. Late Triassic flora from Tianqiaoling of Jilin, China. Jilin Science & Technology Press, Changchun (in Chinese).
- Thiéblemont, D., Tegye, M., 1994. Une discrimination géochimique des roches différenciées témoin de la diversité d'origine et de situation tectonique des magmas calco-alcalins. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 319(1): 87—94.
- Wei, H. Y., 2012. The geochronology and petrogenesis of granite in Yichun-Hegang area, Heilongjiang Province (Dissertation). Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Wang, F., 2010. The Xinxing Formation from Zhangguangcai Range Group in eastern Heilongjiang Province: rock association, geochronology and tectonic implications (Dissertation). Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Wu, F. Y., Zhao, G. C., Sun, D. Y., et al., 2007. The Hulan Group: its role in the evolution of the Central Asian orogenic belt of NE China. *Asian Earth Sciences*, 30 (3—4): 542—556. doi:10.1016/j.jseas.2007.01.003
- Wu, F. Y., Sun, D. Y., Ge, W. C., et al., 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China. *Asian Earth Sciences*, 41(1): 1—30. doi:10.1016/j.jseas.2010.11.014
- Wu, F. Y., Sun, D. Y., Lin, Q., 1999. Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in Northeast China. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 181—189 (in Chinese with English abstract).
- Wu, F. Y., Wilde, S., Sun, D. Y., 2001. Zircon SHRIMP U-Pb ages of gneissic granites in Jiamusi massif, northeastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 17(3): 443—452 (in Chinese with English abstract).
- Wu, R., 1987. The Xiaoyingzi Formation in the Hunjiang coal field of Jilin. *Journal of Stratigraphy*, 11(3): 218—223 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, H. L., Wu, F. Y., Gao, S., et al., 2003. Determination of U-Pb age and rare earth element concentrations of zircons from Cenozoic intrusions in northeastern China by laser ablation ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 48 (14): 1511—1520 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Wang, Y. L., Jin, W. J., et al., 2008. Criteria for the recognition of pre-, syn- and post-orogenic granitic rocks. *Geological Bulletin of China*, 27(1): 1—18 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W., Jian, P., Liu, D. Y., et al., 2010. Geochemistry, geochronology and Hf isotopic compositions of Triassic granodiorite-diorite and shoshonite from the Damaoqi area, central Inner Mongolia, China. *Geological Bulletin of China*, 29(7): 821—832 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. Z., Yang, B. J., Wu, F. Y., et al., 2006. The lithosphere structure in the Hingmong-Jihe (Hinggan-Mongolia-Jilin-Heilongjiang) region, northeastern China. *Geology in China*, 33(4): 816—823 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. B., 2002. The isotopic geochronologic frame of granitic magmatism in Yanbian area (Dissertation). Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. B., Wu, F. Y., Wilde, S., et al., 2004. Zircon U-Pb ages and tectonic implications of “Early Paleozoic” granitoids at Yanbian, Jilin Province, Northeast China. *Island Arc*, 13(4): 484—505. doi:10.1111/j.1440-1738.2004.00442.x
- Zhang, Y. M., Zhang, H. F., Liu, W. C., 2009. Timing and petrogenesis of the Damiao granodiorite, Siziwangqi, In-

- ner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 25(12): 3165—3181 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, H. D., 2009. Paleozoic igneous rock assemblages and tectonic evolution in southern Xiaoxing'anling-northern Zhangguangcailing, Northeastern China (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y., Yang, Z. Y., Ma, X. H., 1994. Geotectonic transition from paleoasian system and paleotethyan system to paleopacific active continental margin in eastern Asia. *Scientia Geologica Sinica*, 29(2): 105—119 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 崔革, 于静秋, 高艳秋, 等, 1991. 黑龙江省东部晚石炭—早白垩世地层的古地磁特征及其地质意义. *黑龙江地质*, 2(2): 41—49.
- 付长亮, 孙德有, 张兴洲, 等, 2010. 吉林珲春三叠纪高镁闪长岩的发现及地质意义. *岩石学报*, 26(4): 1089—1102.
- 黑龙江省地质矿产局, 1993. 黑龙江省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 黄宝春, 周焯秀, 朱日祥, 2008. 从古地磁研究看中国大陆形成于演化过程. *地学前缘*, 15(3): 348—359.
- 李锦铭, 高立明, 孙桂华, 等, 2007. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束. *岩石学报*, 23(3): 565—582.
- 刘建峰, 迟效国, 董春艳, 等, 2008. 小兴安岭东部早古生代花岗岩的发现及其构造意义. *地质通报*, 27(4): 534—544.
- 刘永江, 张兴洲, 金巍, 等, 2010. 东北地区晚古生代区域构造演化. *中国地质*, 37(4): 943—951.
- 孟恩, 许文良, 杨德彬, 等, 2008. 佳木斯地块东缘及东南缘二叠纪火山作用: 锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其构造意义. *科学通报*, 53(8): 956—965.
- 孟恩, 2011. 黑龙江省东部晚古生代—早中生代构造演化: 碎屑锆石与火山事件的制约 (博士学位论文). 长春: 吉林大学.
- 尚庆华, 2004. 北方造山带内蒙古中、东部地区二叠纪放射虫的发现及意义. *科学通报*, 49(24): 2574—2579.
- 孙德有, 吴福元, 张艳斌, 等, 2004a. 西拉木伦河—长春—延吉板块缝合带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩体的证据. *吉林大学学报(地球科学版)*, 34(2): 174—181.
- 孙德有, 吴福元, 高山, 2004b. 小兴安岭东部清水岩体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定. *地球学报*, 25(2): 213—218.
- 孙德有, 2005. 吉中—辽北地区显生宙花岗岩的时代、地球化学特征与研究背景 (博士后研究报告). 西安: 西北大学.
- 孙革, 1993. 中国吉林天桥岭晚三叠世植物群. 长春: 吉林科学技术出版社.
- 魏红艳, 2012. 黑龙江省伊春—鹤岗地区花岗岩的时代与成因研究 (硕士学位论文). 长春: 吉林大学.
- 王枫, 2010. 黑龙江省东部张广才岭群新兴组: 岩石组合、时代及其构造意义 (硕士学位论文). 长春: 吉林大学.
- 吴福元, 孙德有, 林强, 1999. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生. *岩石学报*, 15(2): 181—189.
- 吴福元, Wilde, S., 孙德有, 2001. 佳木斯地块片麻状花岗岩的锆石离子探针 U-Pb 年龄. *岩石学报*, 17(3): 443—452.
- 武仁, 1987. 吉林浑江煤田小营子组. *地层学杂志*, 11(3): 218—223.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 等, 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. *科学通报*, 48(14): 1511—1520.
- 张旗, 王元龙, 金惟俊, 等, 2008. 造山前、造山和造山后花岗岩的识别. *地质通报*, 27(1): 1—18.
- 张维, 简平, 刘敦一, 等, 2010. 内蒙古中部打茂旗地区三叠纪花岗岩和钾玄岩的地球化学、年代学和 Hf 同位素特征. *地质通报*, 29(6): 821—832.
- 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.
- 张艳斌, 2002. 延边地区花岗质岩浆活动的同位素地质年代学格架 (博士学位论文). 长春: 吉林大学.
- 章永梅, 张华锋, 刘文灿, 等, 2009. 内蒙古中部四子王旗大庙岩体时代及成因. *岩石学报*, 25(12): 3165—3181.
- 赵寒冬, 2009. 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 (博士学位论文). 北京: 中国地质大学.
- 赵越, 杨振宇, 马醒华, 1994. 东亚大地构造发展的重要转折. *地质科学*, 29(2): 105—119.