

小兴安岭西北部晚石炭世造山后达音河岩体的特征及其地质意义

赵院冬^{1,2}, 赵君², 王奎良², 车继英², 吴大天², 许逢明², 李世超²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034)

摘要: 小兴安岭西北部达音河岩体主要由碱长花岗岩、正长花岗岩组成。碱长花岗岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果为 304.4 ± 1.3 Ma, 时代属于晚石炭世, 而不是过去认为的晚侏罗世。该岩体化学组成以高硅、钾、钠, 低钙为特征, 富集 Rb、La、Th 等大离子亲石元素, 亏损 Ba、Sr、Eu 等大离子亲石元素和 Nb、Ta、Zr 高场强元素, 反映斜长石作为源区残留相对岩浆地球化学特征的控制。该岩体同区域上十二站、新开岭、龙镇、扎兰屯等岩体构成晚石炭世造山后伸展背景下形成的 I 型和 A 型花岗岩带, 反映了兴安、松嫩块体在晚石炭世结束块体碰撞造山, 转入造山后伸展环境。

关键词: 达音河岩体, 锆石 U-Pb 年龄, 小兴安岭, 晚石炭世, 造山后伸展

中图分类号: P595; P588.12⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2013)01-0063-10

Characteristics of the Late Carboniferous post-orogenic Dayinhe intrusion in the northwest of the Xiao Hinggan Mountains and their geological implications

ZHAO Yuan-dong^{1,2}, ZHAO Jun², WANG Kui-liang², CHE Ji-ying², WU Da-tian²,
XU Feng-ming² and LI Shi-chao²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Shenyang Geological Survey Center, CGS, Shenyang 110034, China)

Abstract: The Dayinhe intrusion, located in the northwest of the Xiao Hinggan Mountains, is mainly composed of alkali-feldspar granite and syenogranite. Zircon U-Pb age obtained by LA-ICP-MS analysis of the alkali-feldspar granite is 304.4 ± 1.3 Ma, suggesting that it intruded in the Late Carboniferous period rather than the Late Jurassic period as proposed before. Petrochemically, the Dayinhe intrusion is characterized by high Si, Na, K and low Ca. It is enriched in Rb, La, Th and depleted in Ba, Sr, Nb, Ta, Zr, implying the effect of plagioclase as the stable residual phase in the magma source. Regionally, the Dayinhe intrusion, together with the Shierzhan, Xinkailin, Longzhen and Zhalantun granites that share the same petrologic and geochemical characteristics, forms the Late Carboniferous post-orogenic I-type and A-type granite belt in the Da Hinggan Mountains, implying the end of the collision and orogen between the Hinggan block and the Songnen block and the beginning of post-orogenic extension in this region.

Key words: Dayinhe intrusion; zircon U-Pb date; Xiao Hinggan Mountains; Late Carboniferous; post-orogenic extension

收稿日期: 2012-07-02; 修订日期: 2012-11-13

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(1212011121082, 1212011085235)

作者简介: 赵院冬(1981-), 男, 汉族, 工程师, 博士研究生, 研究方向: 岩浆过程与深部作用, E-mail: zhaoyd1981@qq.com

小兴安岭西北部的嫩江-黑河断裂带是兴安地块与松嫩地块间重要的构造断裂带,不同的学者(苏养正,1996;孙德有等,2000;苗来成等,2003;周长勇等,2005;王成文等,2008,2009;赵芝等,2010)根据对该断裂带两侧古生代地层、岩浆岩、古生物特征的研究,对其闭合演化的时限提出了不同认识,但越来越多的证据表明晚泥盆世-早石炭世兴安地块与松嫩地块沿嫩江-黑河断裂带俯冲-碰撞造山(张兴洲等,2008;赵芝等,2010;赵焕利等,2011),但对于造山后伸展作用的时限还存在分歧(孙德有等,2000;Wu *et al.*,2002;赵芝等,2010;赵焕利等,2011)。笔者在对小兴安岭西北部洪业家金矿外围达音河岩体研究中发现,该岩体形成于晚石炭世,具有造山后伸展环境下形成的I型花岗岩特征,结合区域地层和构造特征,认为该岩体反映嫩江黑河地区晚石炭世碰撞造山作用结束。

元主要有新元古代-早寒武世北宽河组变质砂岩、板岩、千枚岩和片岩等,晚泥盆世根里河组变质砂岩、板岩、千枚岩等,晚二叠世五道岭组变流纹岩、变英安岩,中生代地层为早白垩世龙江组安山岩、玄武安山岩等和光华组流纹质集块岩、凝灰岩和熔岩等。晚侏罗世本区发生自北向南的逆冲推覆作用,前中生代地层受推覆构造控制呈东西向展布,形成大量的糜棱岩和构造片岩。而白垩纪火山岩整体呈北东向围绕多个火山机构串珠状展布,岩石仅发育脆性构造。

矿区的东北部发育碱(正)长花岗岩,1:5万新峰幅^①将其称之为达音河岩体。1:5万新峰幅区域调查和后期研究工作根据 155.8 ± 0.6 Ma 的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法年龄将达音河岩体厘定为形成于晚侏罗世,同洪业家岩体(主要为文象花岗岩、花斑岩组成)组成洪业家序列,将受其侵入的北宽河组和五道岭组获得的相近 K-Ar 年龄解释为构造变形峰值年龄(付俊彧等,2005)。由于 K-Ar 和 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素体系的封闭温度较低,易受构造热事件扰动影响,因此对相近年龄给予不同的成因解释需要谨慎对待,有必要采用封闭温度较高的锆石 U-Pb 法进一步确定岩体的

1 区域地质概况

洪业家金矿位于小兴安岭西北部,是一个小型与韧性剪切带有关的造山型金矿。矿区周围地层单

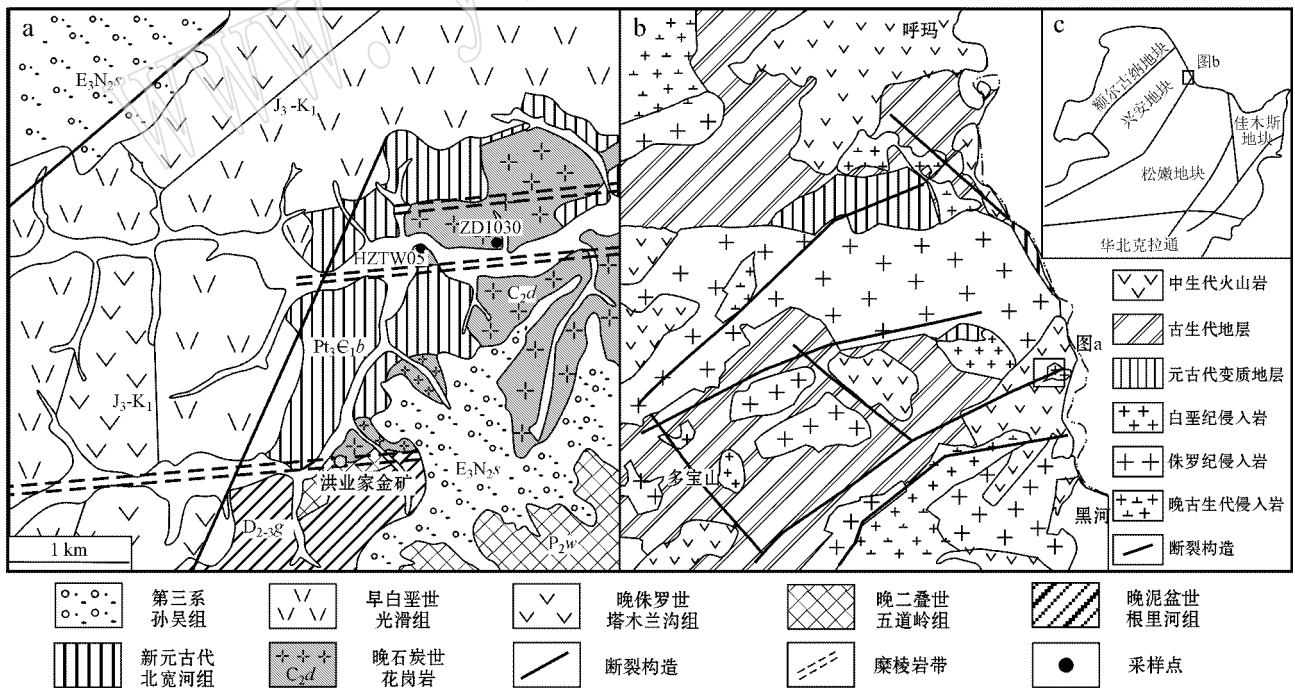


图 1 洪业家地区(a)及小兴安岭西北部区域(b)地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Hongyejia area (a) and regional geological map of the Xiao Hinggan Mountains (b)

① 黑龙江地调院. 2000. 1:5万《大平林场幅、山神府幅、达音卢幅、新峰幅》区调报告.

侵位年龄。为此,本次工作在原测年样品位置重新采集了锆石测年样品 HZTW05(正长花岗岩,位置: N50°35′05.1″, E127°12′13.1″),另在东侧采集岩石化学样品 ZD1003(碱长花岗岩,位置: N50°35′02.9″, E127°12′09.1″)进行测试研究。

2 岩相学特征

达音河岩体形态不规则,呈岩株状产出,出露面积约 2 km²,侵入新元古代北宽河组 and 晚古生代变质沉积地层。受晚侏罗世逆冲构造影响,部分侵入地层中的岩体变形为花岗质糜棱岩,局部形成石香肠构造(付俊彧等 2005)。

达音河岩体主要岩石类型为碱长花岗岩和正长花岗岩,二者空间上界线不清,其中:①碱长花岗岩(图 2a),岩石新鲜面为淡肉红色,中细粒花岗结构,块状构造,主要组成矿物有:条纹长石,半自形板状,

粒径 0.2~2 mm,弱绢云母化,含量 45%;微斜长石,自形-半自形短柱状,粒径 0.2~1.5 mm,含量 15%;石英,多呈灰白色、烟灰色,粒状,波状消光,粒径 0.2~3 mm,含量 30%左右,斜长石为更长石,自形-半自形柱状,粒径 0.2~1 mm,含量 5%左右,暗色矿物为黑云母,呈小片状集合体产出,含量小于 5%。②正长花岗岩(图 2b),岩石新鲜面灰白色-淡肉红色,中细粒花岗结构,块状构造,主要组成矿物有:条纹长石,半自形板状,粒径 0.2~2 mm,弱绢云母化,含量 40%左右;微斜长石,自形-半自形短柱状,粒径 0.2~1.0 mm,含量 10%;石英,多呈灰白色,他形粒状,波状消光,部分呈细粒集合体产出,粒径 0.2~2 mm,含量 30%左右,斜长石为更长石,自形-半自形柱状,粒径 0.2~1 mm,含量 10%左右,暗色矿物为黑云母,鳞片状,局部呈小片状集合体产出,含量 10%,受后期蚀变作用,部分转变为白云母、绿泥石,退色析出铁质。

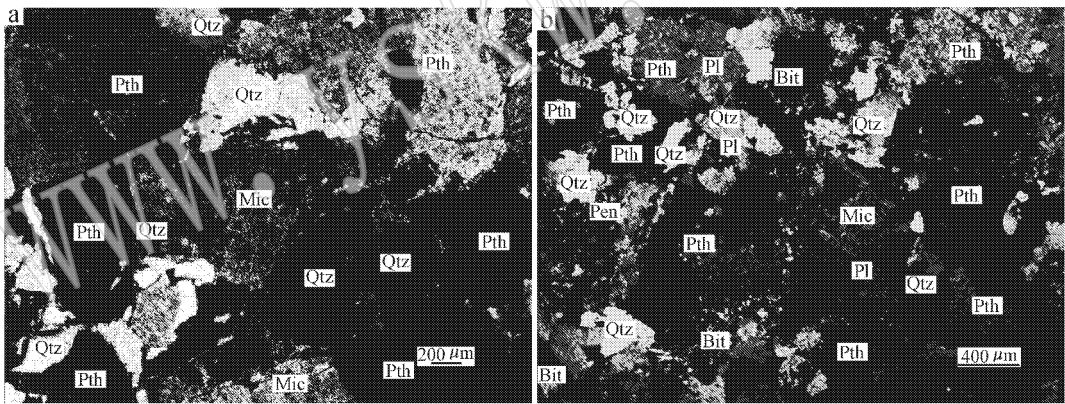


图 2 达音河岩体花岗岩显微照片(正交偏光)

Fig. 2 Microphotographs of alkali feldspar granites from Dayinhe intrusion

a—碱长花岗岩,主要由条纹长石(Pth)、石英(Qtz)、微斜长石(Mic)和少量斜长石(Pl)组成,石英波状消光,条纹长石弱绢云母化,沿矿物裂隙和接触面形成次生绢云母;b—正长花岗岩,主要由条纹长石(Pth)、石英(Qtz)、微斜长石(Mic)、斜长石(Pl)和黑云母(Bit)组成,石英波状消光,斜长石与微斜长石共生,部分黑云母发生绿泥石化

a—alkali-feldspar granite composed of perthite (Pth), quartz (Qtz), microcline (Mic) and a little plagioclase (Pl), quartz assuming undulated extinction and perthites assuming weak sericitization, the secondary sericite formed in fractures and contact surface of the mineral; b—syenogranite composed of perthite (Pth), quartz (Qtz), microcline (Mic), plagioclase (Pl) and biotite (Bit), in which quartz assumes undulated extinction, plagioclase assumes intergrowth with microcline, and part biotites show chloritization

3 分析方法

本次工作挑选新鲜无蚀变样品进行了锆石 U-Pb 年代学和全岩主量、微量、稀土元素分析。样品

HZTW05 主量元素由国土资源部东北矿产资源监督检测中心采用 X 荧光光谱仪分析,样品 ZD1003 主量元素由中国科学院地质与地球物理研究所岩矿分析实验室分析。

微量、稀土元素由核工业北京地质研究院分析

测试研究中心采用德国 Finnigan-MAT 公司造 ELEMENT I 离子体质谱仪测定, ICP-MS 主要工作条件: ICP 条件: 载气流量 0.99 L/min; 冷却气流量 13.00 L/min; 射频功率 1 350 W; 辅助气流量 0.85 L/min; 玻璃同心雾化器, 带水冷的玻璃雾室, 带膜去溶进样装置; MS 条件: 镍锥, 孔径 0.8 mm; 双聚焦磁质谱系统, 分辨率 300~10 000。

锆石样品在廊坊区域地质矿产研究所完成挑选、制靶工作和 CL 图像采集由中科院地质与地球物理研究所完成。锆石 U-Pb 同位素定年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)利用 LA-ICP-MS 分析完成。激光剥蚀系统为 GeoLas 2005, ICP-MS 为 Agilent 7500a。相关实验流程、仪器操作条件和数据处理方法见 Hu 等(2008)、Liu 等(2008, 2010)。锆石样品的 U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot/Ex-ver3(Ludwig, 2003)完成。

4 分析结果

4.1 锆石 LA-ICP-MS 年代学结果

锆石均呈自形晶, 多为短柱状, 少量为长柱状, 粒径在 150 μm 左右, 长宽比小, 为 1.5~3。具有清晰、致密的韵律环带结构(图 3)。对其进行了 22 个点测试分析, 结果见表 1。Th/U 比值较低, 介于 0.25~0.63 之间, 大部分大于 0.4, 综合来看具有岩浆成因锆石的特点。测年结果显示, 17 个测点分布集中, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 304.4 ± 1.3 Ma (MSWD=0.27), 笔者认为该年龄为岩体的侵位年龄。另外有 1 点获得 335 Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄, 谐和度较好, 推测为捕获锆石年龄。再有 4 点不落在谐和线上, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 285~305 Ma, 可能为后期热事件造成铅丢失, 影响年龄准确性(图 4)。

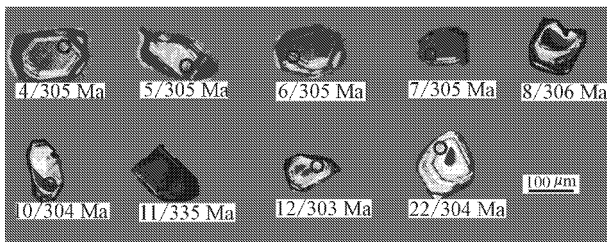


图 3 达音河岩体正长花岗岩锆石阴极发光图像

Fig. 3 CL images of dated zircon from Dayinhe intrusion

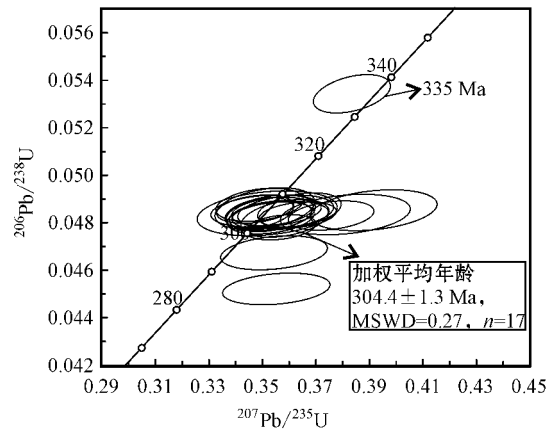


图 4 达音河正长花岗岩锆石 U-Pb 年龄和谐图

Fig. 4 U-Pb concordia diagram of zircon from Dayinhe syenogranite

4.2 岩石化学特征

通过对两个新鲜无蚀变样品进行全岩主量、微量、稀土元素分析, 结果见表 2。该岩石富硅 ($\text{SiO}_2 = 74.02\% \sim 78.03\%$)、钾 ($\text{K}_2\text{O} = 4.71\% \sim 4.90\%$)、高 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (1.25~1.26)、 $\text{TFe}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ (12.29~25.18)、低钙 ($\text{CaO} = 0.22\% \sim 0.23\%$)、镁 ($\text{MgO} = 0.07\% \sim 0.11\%$) 和铝 ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 11.93\% \sim 12.73\%$) 碱度率 (AR) = 3.98~4.25, 在 AR-SiO₂ 与碱度关系图上落在碱性岩区内; A/CNK = 1.02~1.05, 为弱过铝质花岗岩, 具有 I 型花岗岩特征。

稀土元素含量 ΣREE 为 $149.30 \times 10^{-6} \sim 209.68 \times 10^{-6}$, 富集轻稀土元素, 相对亏损重稀土元素 ($\text{La}/\text{Yb})_N = 12.05 \sim 17.16$, 且 ($\text{La}/\text{Sm})_N = 5.10 \sim 5.29$ ($\text{Ho}/\text{Lu})_N = 0.80 \sim 1.02$, 轻稀土元素分馏明显, 重稀土没有明显分馏, $\delta\text{Eu} = 0.1 \sim 0.18$, 具有明显的 Eu 负异常; 富集 Rb、La、Th、U 等大离子亲石元素, 相对亏损 Sr、Ba 和高场强元素 Nb、Ta、Zr (图 5)。上述特征与主量元素中低钙、富碱相对应, 由于 Eu^{2+} 、 Sr^{2+} 与 Ca^{2+} 具有相似的化学行为, 其含量变化受富 Ca^{2+} 矿物(如斜长石、角闪石、斜方辉石等)分离结晶或部分熔融作用的影响, 结合岩相学中长石成分以碱性长石为主, 斜长石为富 Ab 的更长石, 可推测岩浆形成过程中发生了以富 An 斜长石为残留相的部分熔融作用。

5 讨论

本次锆石 U-Pb 测年结果表明达音河岩体侵位时代为晚石炭世, 前人获得的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄记录了晚

表 1 达音河正长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学测试结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb analytical results of Dayinhe syenogranite

测点号	$w_B/10^{-6}$				同位素比值				年龄/Ma							
	Pb	^{232}Th	^{238}U	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	1σ	1σ			
HZTW-05-01	25	213	413	0.51	0.0529	0.0015	0.3538	0.0101	0.0485	0.0004	0.0154	0.0004	308	8	305	2
HZTW-05-02	12	90	212	0.43	0.0528	0.0019	0.3509	0.0123	0.0486	0.0006	0.0159	0.0005	305	9	306	4
HZTW-05-03	13	111	223	0.50	0.0574	0.0023	0.3552	0.0133	0.0452	0.0004	0.0153	0.0004	309	10	285	3
HZTW-05-04	17	128	295	0.43	0.0537	0.0018	0.3587	0.0118	0.0485	0.0005	0.0154	0.0004	311	9	305	3
HZTW-05-05	22	160	395	0.40	0.0542	0.0015	0.3639	0.0103	0.0485	0.0005	0.0153	0.0004	315	8	306	3
HZTW-05-06	16	82	291	0.28	0.0523	0.0020	0.3514	0.0137	0.0485	0.0004	0.0145	0.0005	306	10	305	3
HZTW-05-07	11	84	195	0.43	0.0587	0.0023	0.3916	0.0157	0.0485	0.0006	0.0155	0.0005	336	11	305	3
HZTW-05-08	25	190	435	0.44	0.0518	0.0016	0.3490	0.0108	0.0488	0.0005	0.0146	0.0003	304	8	307	3
HZTW-05-09	13	133	225	0.59	0.0547	0.0020	0.3544	0.0132	0.0467	0.0005	0.0146	0.0004	308	10	294	3
HZTW-05-10	22	119	386	0.31	0.0529	0.0017	0.3531	0.0110	0.0484	0.0005	0.0150	0.0004	307	8	305	3
HZTW-05-11	51	254	851	0.30	0.0517	0.0013	0.3835	0.0095	0.0534	0.0005	0.0172	0.0004	330	7	335	3
HZTW-05-12	17	78	315	0.25	0.0539	0.0017	0.3585	0.0109	0.0482	0.0005	0.0149	0.0004	311	8	303	3
HZTW-05-13	34	246	589	0.42	0.0516	0.0014	0.3473	0.0095	0.0486	0.0004	0.0148	0.0003	303	7	306	2
HZTW-05-14	29	226	494	0.46	0.0520	0.0013	0.3488	0.0084	0.0484	0.0004	0.0150	0.0003	304	6	305	3
HZTW-05-15	28	232	469	0.49	0.0543	0.0015	0.3632	0.0096	0.0483	0.0004	0.0151	0.0003	315	7	304	2
HZTW-05-16	9	55	155	0.36	0.0526	0.0025	0.3518	0.0173	0.0454	0.0006	0.0156	0.0006	306	13	305	4
HZTW-05-17	12	102	198	0.52	0.0572	0.0024	0.3811	0.0160	0.0483	0.0006	0.0155	0.0005	328	12	304	3
HZTW-05-18	24	191	405	0.47	0.0534	0.0018	0.3566	0.0119	0.0483	0.0004	0.0146	0.0003	310	9	304	2
HZTW-05-19	22	211	372	0.57	0.0530	0.0016	0.3531	0.0108	0.0482	0.0004	0.0154	0.0003	307	8	303	3
HZTW-05-20	33	343	541	0.63	0.0539	0.0014	0.3568	0.0088	0.0478	0.0004	0.0146	0.0003	310	7	301	2
HZTW-05-21	23	165	399	0.41	0.0529	0.0016	0.3530	0.0102	0.0483	0.0004	0.0154	0.0003	307	8	304	3
HZTW-05-22	25	196	425	0.46	0.0562	0.0016	0.3757	0.0106	0.0483	0.0004	0.0150	0.0004	324	8	304	3

表 2 达音河正长花岗岩主量元素($w_B/\%$)、微量元素与稀土元素($w_B/10^{-6}$)分析结果

Table 2 Major element($w_B/\%$), trace element and REE compositions($w_B/10^{-6}$) of Dayinhe syenogranite

样品号	ZD1003	HZ1W-05
SiO ₂	78.03	74.02
TiO ₂	0.10	0.16
Al ₂ O ₃	11.93	12.73
TFe ₂ O ₃	0.96	3.08
MnO	0.04	0.09
MgO	0.07	0.11
CaO	0.22	0.23
Na ₂ O	3.76	3.88
K ₂ O	4.71	4.90
P ₂ O ₅	0.01	0.02
LOI	0.34	0.53
TOTAL	100.17	99.74
AR	4.25	3.98
ACNK	1.02	1.05
Sc	2.96	4.41
Cr	2.82	16.60
Co	0.02	0.58
Ni	1.95	0.86
Cu	4.99	3.34
Zn	25.43	85.60
Ga	17.03	17.20
Rb	107.20	100.00
Sr	11.46	41.00
Y	16.91	19.50
Zr	148.86	109.00
Nb	15.13	10.20
Cs	2.31	1.36
Ba	79.10	217.00
Hf	4.76	3.28
Ta	0.99	0.67
Pb	14.84	14.90
Th	12.77	11.20
U	2.77	1.82
La	33.94	51.90
Ce	67.24	84.50
Pr	7.34	11.40
Nd	24.92	39.30
Sm	4.14	6.57
Eu	0.13	0.36
Gd	3.31	5.37
Tb	0.47	0.83
Dy	2.77	3.94
Ho	0.57	0.72
Er	1.82	2.00
Tm	0.31	0.31
Yb	2.02	2.17
Lu	0.32	0.31
ΣREE	149.3	209.68
δEu	0.10	0.18
(La/Yb) _N	12.05	17.16
(La/Sm) _N	5.29	5.10
(Ho/Lu) _N	0.80	1.02

侏罗世与蒙古-鄂霍茨克造山带形成有关的洪业家推覆剪切构造作用时代(李锦铁等, 2004; 付俊彧等, 2005; 赵海滨等, 2007)。

本次对达音河岩体的年代学工作和近年来其他学者(黑龙江地质调查研究总院^①; 隋振民等, 2009; 张彦龙等, 2010; 赵焕利等, 2011; 曲晖等, 2011; Wu *et al.*, 2011; 赵芝, 2011)的研究表明, 在研究区北部的十二站、腰卡, 南部的新开岭-罕达气-霍龙门、甘河、扎兰屯、兴安等地均分布有大面积晚石炭世花岗岩。而该期花岗岩的岩石组合以二长花岗岩、正长花岗岩和碱长花岗岩及少量的花岗闪长岩、石英闪长岩为特征(赵焕利等, 2011; 曲晖等, 2011; Wu *et al.*, 2011) 因此在大小兴安岭结合部从十二站到新开岭到扎兰屯构成一条 NNE 向展布的晚石炭世的二长花岗岩-正长花岗岩-碱长花岗岩带, 这表明晚石炭世大兴安岭东部地区发生强烈的岩浆-构造作用。岩石化学上, 上述晚石炭世花岗岩普遍富硅、碱, 贫钙、铝、镁, 属于偏铝质或弱过铝质, 微量元素方面富集 Rb、Th、U、La 而亏损 Sr、Ba 等大离子亲石元素, 高场强元素 Nb、Ta、Zr、Hf、Ga 等相对富集, 具有明显的 Eu 负异常, 但是在岩石成因分类和形成环境认识方面存在分歧。为比较, 本文将前人数数据和本次岩石化学数据共同整理分析。在岩石地球化学构造环境判别图解上, 主要落于 Nb-Y 图(Pearce *et al.*, 1984) 中的火山弧-同碰撞环境和板内环境, 在 R₁-R₂ 图(Bachelor and Bowden, 1985) 上落在同碰撞和造山后环境中(图 6)。在 A 型花岗岩判别图解上(Whalen *et al.*, 1987) 落入高分异 I 型花岗岩和 A 型花岗岩区内(图 7)。对于落入板内环境和 A 型花岗岩区的样品在 Nb-Y-Ce 和 Nb-Y-3Ga 图上(Eby, 1992) 投点, 落入伸展环境下的 A₂ 型花岗岩区内(图 8)。本次工作的达音河岩体为形成于造山后环境下的 I 型花岗岩内。所以大兴安岭东部晚石炭世花岗岩主要为形成于造山后伸展环境 I 型和 A₂ 型花岗岩。孙德有等(2000)、Wu 等(2002) 和郭奎城等(2011) 研究表明研究区在早二叠世(290~260 Ma) 形成大面积的 A₂ 型花岗岩, 代表了我国新疆北部-蒙古东南部-我国内蒙古中部巨型晚古生代 A 型花岗岩带的延伸。本次工作表明大兴安岭东部晚古生代 A 型花岗岩最早出现于晚石炭世, 具有与早二叠世 A 型花岗岩相同的大地构造背景, 这说明大兴安

① 黑龙江地质调查研究总院齐齐哈尔分院, 2009. 1:25 万黑河市等二幅区调报告.

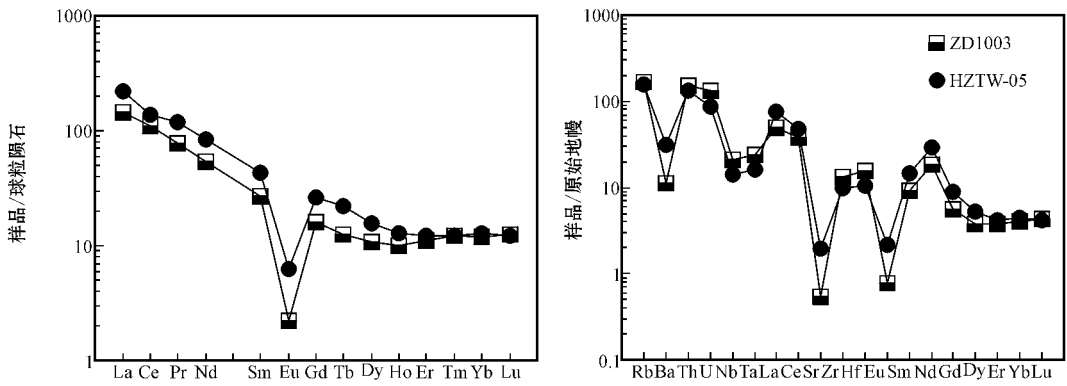


图 5 达音河正长花岗岩稀土 C1 球粒陨石标准化图和微量元素原始地幔标准化图

Fig. 5 C1 chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace element patterns of Dayinhe syenogranite

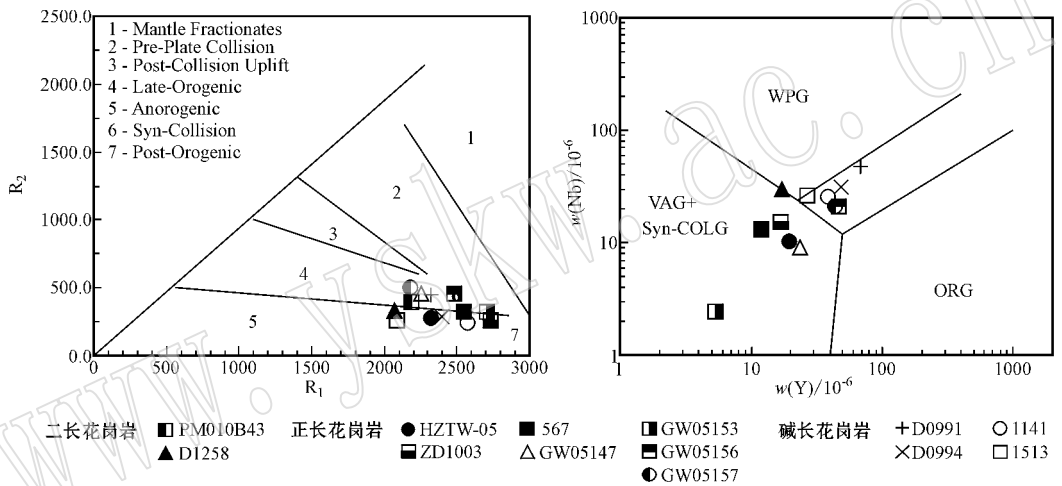


图 6 $R_1 - R_2$ (Bachelor and Bowden, 1985) 和 $Nb - Y$ (Pearce et al., 1984) 构造环境判别图
(其他岩体数据来源于隋振民等, 2009; 曲晖等, 2011; 赵焕利等, 2011)

Fig. 6 $R_1 - R_2$ diagram (after Bachelor and Bowden, 1985) and $Nb - Y$ diagram (after Pearce et al., 1984)
(data of other plutons after Sui Zhenmin et al., 2009; Qu Hui et al., 2011 and Zhao Huanli et al., 2011)

岭东部地区从晚石炭世到早二叠世一直处于造山后伸展阶段。

区域基础调查^①表明,位于兴安地块东缘的黑河地区古生代地层从奥陶纪到晚泥盆世经历多次海进海退和岛弧火山沉积,形成一套海相火山沉积地层,晚泥盆统小河里河组(D_{3x})为一套海陆交互相岩石组合,整合覆盖其上的下石炭统塔达气组(C_{1h})则转变为陆相湖盆沉积体系,且自此区内再无海相地层。与此相对应,兴安地块石炭纪岩浆岩也划分为早、晚石炭世两个阶段和两种构造环境,其中早石炭世形成活动陆缘环境的塔河辉长岩(333 Ma)、阿荣旗音

河辉长岩与石英闪长岩岩体(351 Ma)、乌尔其汗花岗闪长岩(331 Ma)、红彦地区中酸性火山岩(352 Ma)和嫩江-新开岭地区的正长岩(350 Ma)以及流纹质凝灰岩(352~353 Ma)(周长勇等,2005;赵芝等,2010,2011;赵焕利等,2011;刘阁等,2012)。晚石炭世形成前文论述的 I 型、 A_2 型花岗岩及大量流纹质碎屑凝灰岩(赵芝,2011)。进入二叠纪后兴安地块继续抬升剥蚀,缺失早中二叠统地层,并沿索伦-嫩江一线继续发育造山后碱长、碱性花岗岩(孙德有等,2000;Wu et al., 2002;郭奎城等,2011)。上述地层沉积相、岩浆岩组合的变化反映出兴安地块

① 黑龙江地质调查研究总院齐齐哈尔分院, 2009. 1:25 万黑河市等二幅区调报告。

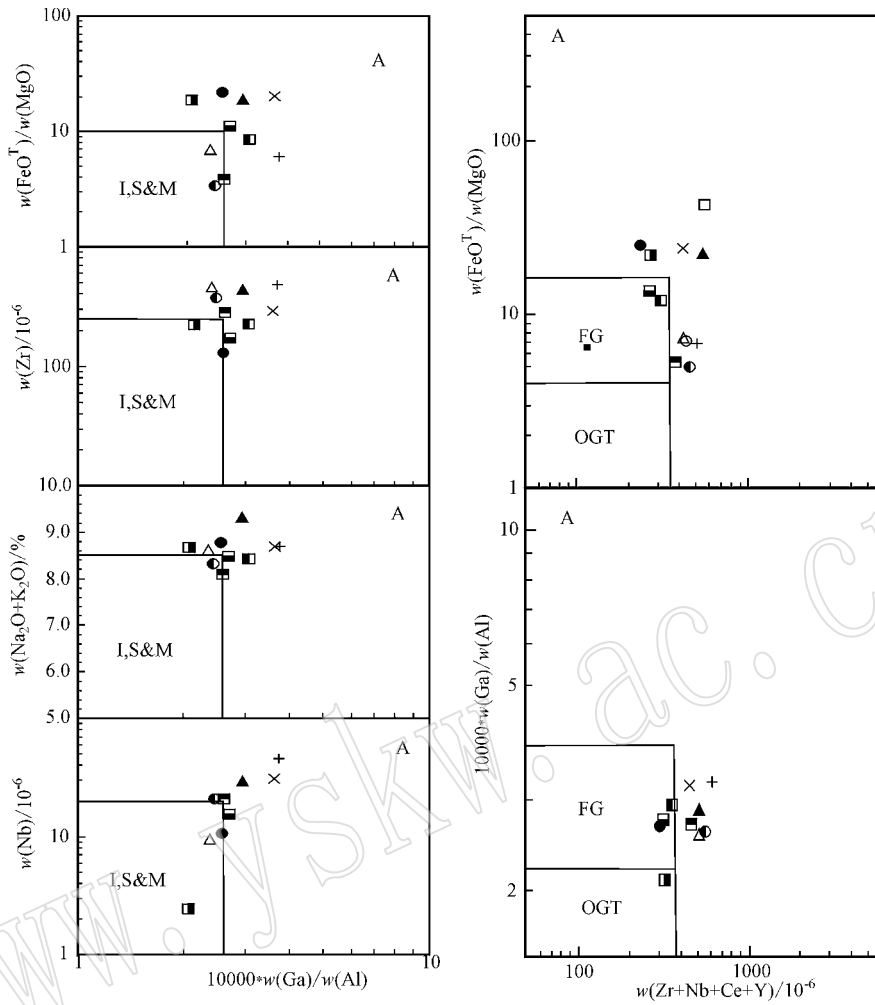


图 7 A 型花岗岩判别图解(引自 Whalen 等, 1987, 图例同图 6)

Fig. 7 Discriminant diagram of A-type granite (after Whalen *et al.*, 1987, symbols as Fig. 6)

FG—高分异花岗岩; OGT—I, S, M 型花岗岩

FG—field for fractionated I-type granitoids; OGT—field for I-, S- and M-type granitoids

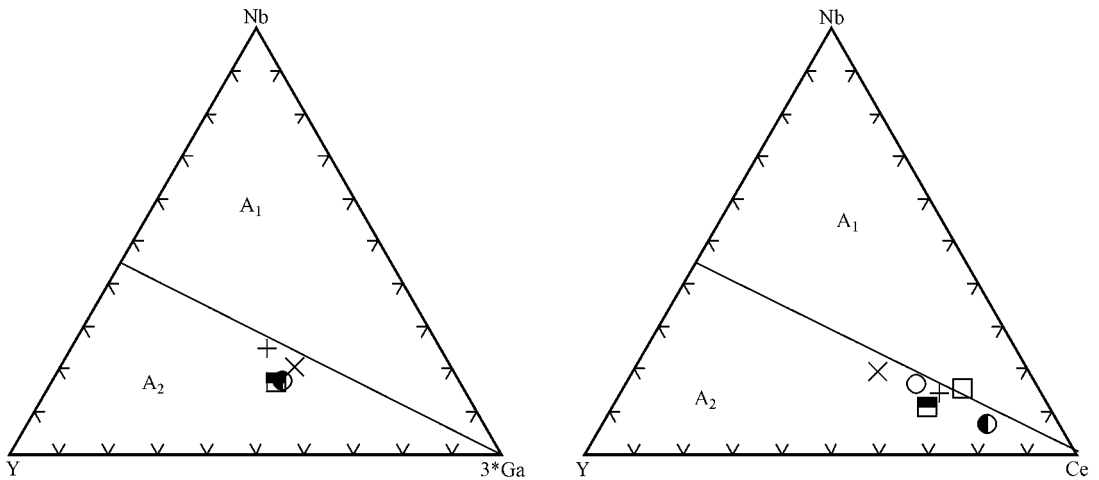


图 8 A 型花岗岩分类判别图解(引自 Eby, 1992)

Fig. 8 A₁ and A₂ subgroup discriminations of A-type granites (after Eby, 1992)

所处大地构造位置由活动大陆边缘转变为碰撞造山带,而引起上述变化的原因就是兴安地块与松嫩地块在晚古生代的拼贴碰撞。因此,晚泥盆世-早二叠世是兴安-松嫩两块体间构造演化的关键时期,完成了洋壳俯冲、陆陆拼贴碰撞和造山后伸展等一系列作用。而本次工作和前人工作厘定出的晚石炭世造山后伸展背景下的 I 型和 A₂ 型花岗岩则标志着碰撞造山转入造山后伸展构造作用。

6 结论

(1) 达音河岩体以正长花岗岩和碱长花岗岩为主,具有造山后伸展环境形成的 I 型花岗岩的特征。达音河岩体形成年龄为 304.4 ± 1.3 Ma,再次证明大兴安岭东部地区古生代岩浆岩的存在,而前人 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄 (155.8 ± 0.6 Ma) 记录的是与晚侏罗世与鄂霍茨克洋闭合有关的构造事件年龄。

(2) 兴安地块晚古生代造山后伸展环境形成起始时间为晚石炭世末期,一直持续到早二叠世的 260 Ma。

(3) 晚石炭世末期是兴安-松嫩地块构造性质由碰撞造山向造山后伸展转变的重要时期,晚石炭世造山后伸展背景下的 I 型和 A₂ 型花岗岩的出现标志着该转变的发生。

致谢 中国地质大学(武汉)国家重点实验室胡兆初教授和吉林大学孙巍博士在锆石 LA-ICPMS 测试和数据处理过程中给予大力帮助,吉林大学迟效国教授在地球化学分析中给予亲切指导,两位审稿人给予本文耐心细致的指导,在此表示诚挚谢意!

References

- Batchelor B and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[J]. *Chemical Geology*, 48: 43~55.
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of The A-Type granitoids: petrogenesis and implications[J]. *Geology*, 20: 641~644.
- Fu Junyu, Yu Rongwen, Song Yaqin, et al. 2005. Geological characteristics of the Hongyiejia thrust shear zone northwest of heihe in the Heilongjiang Rver valley and its significance[J]. *Journal of Geomechanics*, 11(2): 145~152(in Chinese with English abstract).
- Guo Kuicheng, Zhang Wenlong, Yang Xiaoping, et al. 2011. Origin of Early Permian A-type granite in the Wudaogou Area, Heihe City[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 41(4): 1077~1083(in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, Mo Shenguo, He Zhengjun, 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[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 157~168(in Chinese with English abstract).
- Liu Ge, Lü Xinxiao, Zhang Fuqin, et al. 2012. Geochemical characteristics of Early Carboniferous volcanic rocks in Hongyan area of north-western Xiao Hinggan Mountains and their geological significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(5): 641~651(in Chinese with English abstract).
- Hu Z C, Gao S, Liu Y S, et al. 2008. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas[J]. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 23: 1093~1101.
- Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 51: 537~571.
- Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 257: 34~43.
- Ludwig K R. 2003. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[J]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, California.
- Miao Laicheng, Fan Weiming, Zhang Fuqin, et al. 2003. Zircon SHRIMP geochronology of the Xinkailing-Kele complex in the northwestern Lesser Xing 'an Range and its geological implications[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(22): 2315~2323(in Chinese with English abstract).
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *J. Petrol.*, 25: 956~983.
- Qu Hui, Li Chenglu, Zhao Zhonghai, et al. 2011. Zircon U-Pb ages and geochemical characteristics of the granites in Duobaoshan area, Northeast Da Hinggan Mountains[J]. *Geology in China*, 38(2): 292~300(in Chinese with English abstract).
- Su Yangzheng. 1996. Paleozoic stratum in Xing 'an stratigraphic region[J]. *Geology of Jilin*, 15(3~4): 23~34(in Chinese with English abstract).
- Sui Zhenmin, Ge Wenchun, Xu Xuechun, et al. 2009. Characteristics and geological implications of the Late Paleozoic postorogenic Shierzhan granite in the Great Xing 'an Rang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(10): 2679~2686(in Chinese with English abstract).
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Li Huimin, et al. 2000. The age of PA-type granite in north-western Xiaoxing 'anling and the relationship with the collision belt, Suolun-Hegen-Zhalaitai mountains[J]. *Chinese Science Bulletin*, 45(20): 2217~2222(in Chinese with English abstract).
- Wang Chengwen, Jin Wei, Zhang Xingzhou, et al. 2008. New understanding of the late paleozoic tectonics in northeastern china and adjacent areas[J]. *Journal of Stratigraphy*, 32(2): 119~136(in Chinese with English abstract).

- Wang Chengwen, Sun Yuewu, Li Ning, *et al.* 2009. Tectonic implications of Late Paleozoic stratigraphic distribution in Northeast China and adjacent region [J]. *Sci. China Ser. D-Earth Sci.*, 52(5): 619~626 (in Chinese with English abstract).
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-Type granites: Geochemical characteristics discrimination and petrogenesis [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95(4): 407~419.
- Wu F Y, Sun D Y, Ge W C, *et al.* 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, (41): 1~30.
- Wu F Y, Sun D Y, Li H M, *et al.* 2002. A-type granites in northeastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis [J]. *Chemical Geology*, 187(1~2): 143~173.
- Zhang Xingzhou, Zhou Jianbo, Chi Xiaoguo, *et al.* 2008. Late Paleozoic Tectonic-Sedimentation and Petroleum Resources in Northeastern China [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 38(5): 719~725 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yanlong, Ge Wenchun, Gao Yan, *et al.* 2010. Zircon U-Pb ages and Hf isotopes of granites in Longzhen area and their geological implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(4): 1059~1073 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhi. 2011. Late Paleozoic Magmatism and Its Tectonic Significance in the Northern Great Xing 'an Range, Northeastern China [D]. PhD, Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhi, Chi Xiaoguo, Pan Shiyu, *et al.* 2010. Zircon U-Pb LA-ICP-MS dating of Carboniferous volcanics and its geological significance in the northwestern Lesser Xing 'an Range [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(8): 2452~2464 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Haibin, Mo Xuanxue, Xu Shoumin, *et al.* 2007. Composition and evolution of the Xinkailing metamorphic core complexes in Heilongjiang province [J]. *Chinese Journal of Geology*, 42(1): 176~188 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Huanli, Liu Xuguang, Liu Haiyang, *et al.* 2011. Petrological evidence of Paleozoic marine basin closure in Duobaoshan of Heilongjiang [J]. *Global Geology*, 30(1): 18~27 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Changyong, Wu Fuyuan, Ge Wenchun, *et al.* 2005. Age, geochemistry and petrogenesis of the cumulate gabbro in Tahe, northern Dahinggan Mountain [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(03): 763~775 (in Chinese with English abstract).
- 郭奎城, 张文龙, 杨小平, 等. 2011. 黑河市五道沟地区早二叠世 A 型花岗岩成因 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 41(4): 1077~1083.
- 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 [J]. *地质学前沿*, 11(3): 157~168.
- 刘 阁, 吕新彪, 张 磊, 等. 2012. 小兴安岭西北部红彦地区早石炭世火山岩地球化学特征及其地质意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 31(5): 641~651.
- 苗来成, 范蔚茗, 张福勤, 等. 2003. 小兴安岭西北部新开岭-科洛杂岩锆石 SHRIMP 年代学研究及其意义 [J]. *科学通报*, 48(22): 2315~2323.
- 曲 晖, 李成禄, 赵忠海, 等. 2011. 大兴安岭东北部多宝山地区花岗岩锆石 U-Pb 年龄及岩石地球化学特征 [J]. *中国地质*, 38(2): 292~300.
- 苏养正. 1996. 兴安地层区的古生代地壳 [J]. *吉林地质*, 15(3~4): 23~34.
- 隋振民, 葛文春, 徐学纯, 等. 2009. 大兴安岭十二站晚古生代后造山花岗岩的特征及其地质意义 [J]. *岩石学报*, 25(10): 2679~2686.
- 孙德有, 吴福元, 李惠民, 等. 2000. 小兴安岭西北部造山后 A 型花岗岩的时代及与索伦山-贺根山-扎赉特碰撞拼合带东延的关系 [J]. *科学通报*, 45(20): 2217~2222.
- 王成文, 金 巍, 张兴洲, 等. 2008. 东北及邻区晚古生代大地构造属性新认识 [J]. *地层学杂志*, 32(2): 119~136.
- 王成文, 孙跃武, 李 宁, 等. 2009. 中国东北及邻区晚古生代地层分布规律的大地构造意义 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 39(10): 1429~1477.
- 张兴洲, 周建波, 迟效国, 等. 2008. 东北地区晚古生代构造-沉积特征与油气资源 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 38(5): 719~725.
- 张彦龙, 葛文春, 高 妍, 等. 2010. 龙镇地区花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素及地质意义 [J]. *岩石学报*, 26(4): 1059~1073.
- 赵 芝. 2011. 大兴安岭北部晚古生代岩浆作用及其构造意义 [D]. 长春: 吉林大学.
- 赵 芝, 迟效国, 潘世语, 等. 2010. 小兴安岭西北部石炭纪地层火山岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及其地质意义 [J]. *岩石学报*, 26(8): 2452~2464.
- 赵海滨, 莫宣学, 徐受民, 等. 2007. 黑龙江新开岭变质核杂岩的组成及其演化 [J]. *地质科学*, 42(1): 176~188.
- 赵焕利, 刘旭光, 刘海洋, 等. 2011. 黑龙江多宝山古生代海盆闭合的岩石学证据 [J]. *世界地质*, 30(1): 18~27.
- 周长勇, 吴福元, 葛文春, 等. 2005. 大兴安岭北部塔河堆晶辉长岩体的形成时代、地球化学特征及其成因 [J]. *岩石学报*, 21(03): 763~775.

附中文参考文献

- 付俊彧, 于荣文, 宋亚芹, 等. 2005. 黑龙江黑河西北洪业家推覆剪切构造带地质特征及其意义 [J]. *地质力学学报*, 11(2): 145~