

黑龙江霍龙门地区早石炭世花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及构造意义

李成禄 曲 晖 赵忠海 徐国战 王 卓 张俭峰

(黑龙江省地质调查研究总院, 黑龙江 哈尔滨 150036)

摘要:黑龙江霍龙门地区位于兴蒙造山带东部的兴安地块和松嫩地块接触带上,区内花岗岩类以晚古生代花岗岩为主,岩性主要为二长花岗岩、正长花岗岩、碱长花岗岩。研究区二长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年结果为 (351.5 ± 3.5) Ma, 表明其形成于早石炭世。该时代岩石的主量元素具有高硅、略富铝、富碱质、低镁和贫钙的特征;微量元素表现出 Th、Zr、Nd、Rb、K 明显富集,而 Ba、Sr、Nb、P、Ti 明显亏损;稀土元素具有明显的轻稀土元素富集、重稀土元素相对亏损的特征,有明显的负 Eu 异常,轻重稀土元素分馏程度较强。岩石总体上属于高钾钙碱性系列花岗岩。花岗岩的 R_1 - R_2 构造环境判别图解与微量元素 Rb-(Yb+Nb)、Rb-(Yb+Ta) 构造环境判别图解显示,该期发育的早石炭世花岗岩为同碰撞与造山期后的环境,结合本区所处的构造环境推测研究区内早石炭世花岗岩应为兴安地块与松嫩地块北东向拼合挤压过程由碰撞俯冲阶段向后造山阶段构造转换过程的产物。

关键词:花岗岩;锆石 U-Pb 年龄;地球化学;霍龙门地区;黑龙江

中图分类号: P588.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)03-0859-10

位于兴蒙造山带东段的大兴安岭地区主要由额尔古纳、兴安和松嫩地块组成。该区花岗岩分布规模巨大。前人对该地区发育的中生代花岗岩的岩石成因、同位素年代学、地球化学特征及其形成的构造背景^[1-8]等做了大量的研究工作,获得了一系列有意义的成果。近些年亦有学者对大兴安岭北部地区古生代花岗岩进行了报道^[9-11]。研究认为,额尔古纳地块与兴安地块沿塔源—喜桂图断裂于早古生代碰撞拼合为一体^[12]。而兴安和松嫩地块的拼合时间尚存在较大争议,主要有晚古生代拼合^[13-14]和早中生代拼合^[15]两种观点。由于上述研究区所在位置的局限性,兴安地块与松嫩地块的拼合时间尚未有统一的认识,这在一定程度上制约从整体上对东北地区古生代区域构造演化规律和相关的花岗岩成因特征的认识。本文即从大兴安岭东北部兴安地块与松嫩地块相接触的霍龙门地区花岗岩入手,通过对该区晚古

生代具有代表性的二长花岗岩进行年代学研究,并结合与其同期的正长花岗岩、碱长花岗岩的综合研究,讨论花岗岩的地球化学特征及其形成构造背景,为兴安地块与松嫩地块的拼合时间提供年代学支持,进而为东北地区的区域构造演化提供一些有益的资料。

1 地质概况

研究区位于黑龙江省嫩江县东北部 70 km 处,大地构造上位于兴蒙造山带东段的兴安地块与松嫩地块晚古生代拼合带附近(图 1)。研究区内出露的地质体主要包括古生代多宝山组、裸河组、泥鳅河组、腰桑南组和中生代、新生代火山岩及一系列时代、特征不同的花岗岩体。其中多宝山组为一套蚀变安山岩、英安岩;裸河组、泥鳅河、腰桑南组为一套互层的砂板岩;中生代火山岩主要为下白垩统龙江组、

收稿日期:2012-07-04;改回日期:2012-11-01

基金项目:中国地质调查局“黑龙江多宝山地区矿产远景调查”项目(1212010781024)资助。

作者简介:李成禄,男,1984 年生,硕士,工程师,主要从事矿产勘查研究与找矿工作;E-mail:LCL230881@163.com。

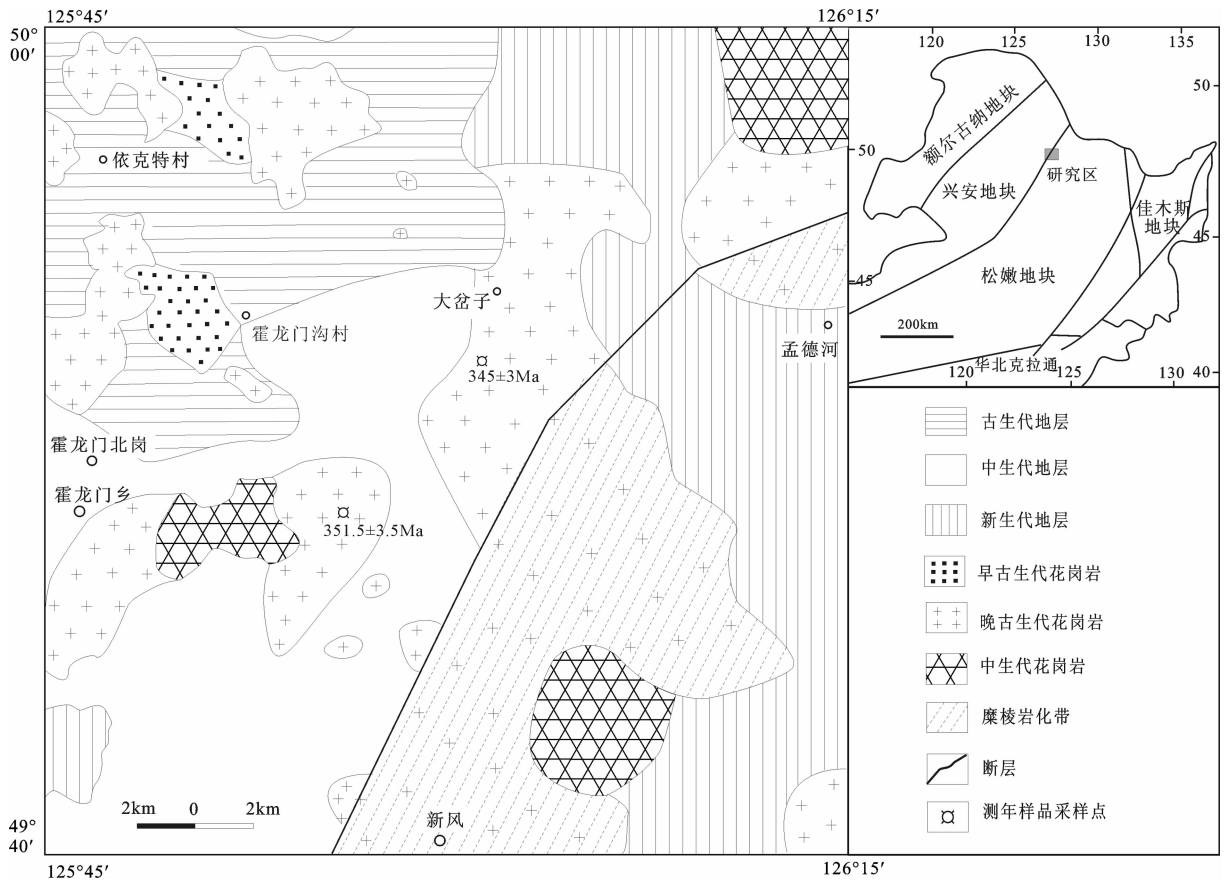


图1 霍龙门地区地质简图

Fig.1 Simplified geological map of Huolongmen area

光华组、甘河组的流纹岩、安山岩、玄武岩及火山碎屑岩等；新生代火山岩主要为大熊山气孔状玄武岩。花岗岩主要由二长花岗岩、正长花岗岩、花岗闪长岩、碱长花岗岩及二长闪长岩等组成，按照 1:20 万区域地质调查报告^①及结合本项目工作所得的最新年龄数据^②将本区侵入岩划分为 3 个侵入时期，即早古生代、晚古生代和中生代。早古生代花岗岩主要由闪长岩、二长闪长岩组成，岩体主要分布在研究区的中部霍龙门沟村西和依克特北东方向，呈岩株状侵入古生代多宝山组蚀变安山岩中，岩石发育较弱的绿泥石化、绢云母化蚀变，出露面积约为 23 km²，锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 440.6~471.3 Ma；晚古生代花岗岩主要由二长花岗岩、正长花岗岩组成，有少量的碱长花岗岩、花岗闪长岩、石英二长岩等，岩体分布范围较广，在霍龙门乡南部、霍龙门北岗北侧和依克特北部、东部大量出露，主要呈岩株产出，出露

面积约为 104 km²，岩石较新鲜，基本未发生蚀变，锆石 SHRIMP U-Pb 年龄在 291.5~351.5 Ma；中生代花岗岩主要分布在霍龙门乡东侧约 4 km 处，呈小的岩株产出，面积约为 12 km²，主要由二长花岗岩和花岗闪长岩组成，锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 175.2 Ma。

2 岩相学特征

二长花岗岩：岩石呈灰白色，中细粒二长花岗结构，岩石主要由斜长石、钾长石和石英组成。斜长石，灰白色，半自形粒状，聚片双晶发育，为更长石，晶面有绢云母化，粒径 0.2~0.8 mm，含量 30%；钾长石，灰白色，他形粒状，部分卡氏双晶发育，为条纹长石，条纹呈脉状、斑状，个别包裹斜长石小晶体，粒径 0.6~4 mm，含量 35%。石英，无色透明，浑圆粒状，波状消光，粒径 0.5~4 mm，含量 35%。副矿物有锆石、磷灰石、磁铁矿。

① 黑龙江省地质矿产局第一区域地质调查队. 1:20 万霍龙门公社幅区域地质调查报告, 1984.

② 黑龙江省地质调查研究总院. 黑龙江多宝山地区矿产远景调查项目报告, 2010.

正长花岗岩: 岩石呈浅黄灰色, 中粗粒花岗岩结构, 岩石由黑云母、斜长石、条纹长石和石英组成。黑云母: 片状, 鳞片状集合体, 红褐色, 多色性 Ng' -红褐色, Np' -浅黄色, 粒径 1 mm 以下, 含量约为 3%; 斜长石: 半自形粒状, 聚片双晶, 隐约显示环带构造, 粒径 1~3 mm, 含量约为 17%; 碱性长石: 他形粒状, 显示条纹结构, 少数可见包含斜长石小晶体, 粒径 1~2 mm, 含量约为 45%。石英: 他形粒状, 波状消光强烈, 多数动态重结晶显示缝合线状集合体, 粒径 1~4 mm, 含量约为 35%。副矿物有锆石和磷灰石。

碱长花岗岩: 中粒花岗结构, 岩石由碱性长石、斜长石和石英组成。斜长石: 半自形粒状、聚片双晶细密, 粒径 0.1~0.4 mm, 含量约 3%。碱性长石: 以条纹长石为主, 他形粒状, 颗粒表面中的条纹呈脉状, 表面较脏, 干涉色一级灰白, 个别包裹斜长石小晶体, 粒径 0.5~3 mm, 含量约 67%。石英: 他形粒状, 少数显示熔蚀现象, 波状消光强烈, 个别颗粒有裂纹, 变形条带发育, 粒径 0.5~3 mm, 含量约 30%。

3 锆石 U-Pb 年龄

3.1 分析方法

本次工作对该研究区的二长花岗岩(图 2)进行了锆石 U-Pb 年龄测试。

用自来水和刷子将原岩表面刷洗干净。然后将原岩样品破碎至能够通过 60 目筛网。将过筛后的岩石粉末进行淘洗, 去除轻矿物部分, 保留重砂部分。将所留下的重砂矿物经过电磁选, 得到纯度较高的单矿物样品, 然后在双目镜下挑选出纯的锆石晶体。将锆石晶体与标准样品 TEM 一起置于环氧树脂中制成样品靶。打磨并抛光至靶上锆石的中心部位暴露出来。对样品靶上的锆石进行透射光、反射光和阴极发光照相, 以便在进行 SHRIMP 测定时选取合适的分析部位及测定完成后进行合理的数据解释。锆石阴极发光拍摄和 U-Th-Pb 同位素分析在北京离子探针中心完成。使用 SHRIMP II 进行 U-Th-Pb 同位素分析的分析流程及常用实验参数见宋彪等^[6]。在样品测定过程中, 根据锆石可见光图像和阴极发光图像, 尽量选择无包裹体以及无裂纹, 图像大体一致的锆石部位进行测定。标准样品和未知样品按照 1:3 的比例交替测定。原始数据的处理和锆石 U-Pb 谐和图的绘制采用 Ludwig 博士编写的 Squid 程序和 Isoplot 程序^[7]。

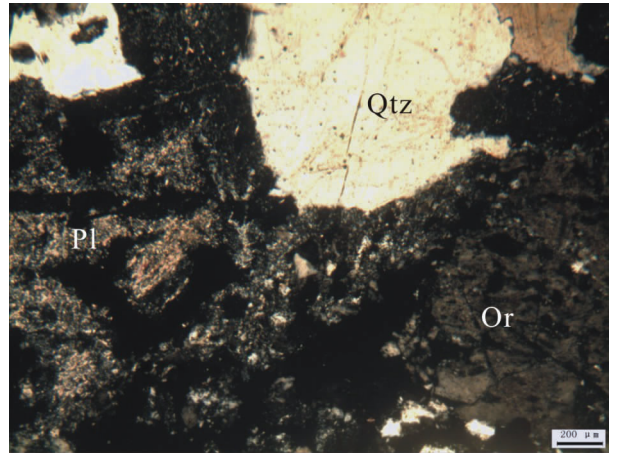


图 2 二长花岗岩(1530)显微镜下(正交偏光)照片
Fig.2 Photograph of monzogranite (1530) (crossed nicols)

3.2 锆石特征及分析结果

二长花岗岩(1530)样品采自乌力亚南(采样位置: 东经 125°56'17", 北纬 49°48'37"), 样品中挑选出来的锆石多无色透明, 金刚光泽, 晶体多为规则的自形柱状。经统计, 该类型锆石长为 100~260 μm , 宽 50~120 μm ; 长宽比多数约为 2:1 或 3:1; 透射光下可见到锆石内部发育较多的裂纹和细长条状的包裹体。阴极发光(CL)图像(图 3-a)显示, 锆石有清晰规则的韵律环带, 表明为岩浆成因。锆石其中的 U、Th 含量分别变化于 289×10^{-6} ~ 620×10^{-6} 和 148×10^{-6} ~ 515×10^{-6} 之间, Th/U 值在 0.36~1.08 (表 1)。在二长花岗岩(1530)样品中, 分析了 8 颗锆石的 8 个点, 获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $(351.5 \pm 3.5)\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 0.89$ (图 3-b)。这一年龄解释为二长花岗岩的结晶年龄, 即岩体为早石炭世侵入体。

4 岩石地球化学特征

4.1 主量元素特征

岩石 SiO_2 含量为 73.38%~78.68%; K_2O 含量为 2.09%~5.54%, 平均 4.42%, ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) 含量为 6.58%~9.61%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 平均为 1.33; Al_2O_3 含量为 11.25%~14.50%, 样品 A/CNK 主要集中于 0.98~1.24, 平均为 1.12。ACF 图、 SiO_2 - P_2O_5 -Rb-Y 等特征图解及 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位素比值(另文发表)均显示为 S 型花岗岩的特点。Fe、Mg、Ca 氧化物含量较低, 多贫磷贫钛, 但变化相对较稳定; 里特曼指数 σ 介于 1.43~2.89(表 2), 为钙碱性岩系, 与 Barbarin^[18] 花岗岩类分类标准对比, 相当于富钾钙碱性花岗岩类

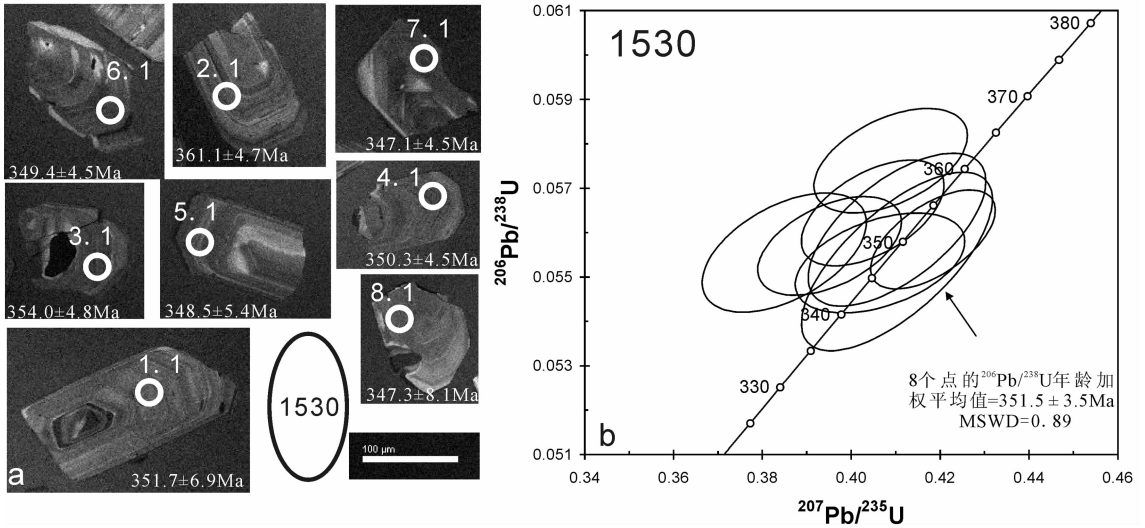


图3 霍龙门地区二长花岗岩(1530)锆石阴极发光图像(a)及U-Pb谐和图(b)

Fig.3 CL images (a) and U-Pb concordia diagram of zircons(b) from monzonitic granite (1530) in Huolongmen area

(KCG)。分异指数DI为89.85~97.93,显示岩石经历了高度的分异演化。综上所述,研究区花岗岩具有高硅、富碱、略富铝、低镁、钠、贫钙的特征。

4.2 稀土微量元素特征

岩石稀土元素总量 $\sum REE$ 为 $111.15 \times 10^{-6} \sim 356.40 \times 10^{-6}$,平均值为 215.81×10^{-6} ,明显高于大陆上地壳岩石的稀土总量 $\sum REE$ 丰度值(146.37×10^{-6}),稀土总量相对较低。轻稀土相对富集($\sum Ce / \sum Y$ 为2.74~14.45);轻重稀土分馏明显($(La/Sm)_N$ 为2.12~6.60, $(Gd/Yb)_N$ 为0.71~2.48); $\delta Eu=0.09 \sim 0.72$,表现出明显的负铕异常;稀土配分曲线显示为左高右低的右倾型(图4-a),反映轻稀土较富集、Eu强烈亏损的特征。

研究区花岗岩微量元素中的Sr含量介于 $25 \times 10^{-6} \sim 115 \times 10^{-6}$,仅有1个样品为 305×10^{-6} ,整体偏

低;Y含量为 $7.93 \times 10^{-6} \sim 49.22 \times 10^{-6}$,平均为 26.93×10^{-6} ;Zr含量为 $81 \times 10^{-6} \sim 377 \times 10^{-6}$,Nb含量为 $7.5 \times 10^{-6} \sim 45.9 \times 10^{-6}$,Sr/Ba为0.09~0.49,高场强元素(HFSE)Th、Zr、Nd和Rb、K明显富集,而大离子亲石元素(LILE)Ba、Sr和P、Ti明显亏损(图4-b),显示岩浆演化过程中存在长石类矿物或Fe-Ti氧化物等矿物的强烈结晶分异作用。

5 讨论与结论

5.1 构造环境

霍龙门地区位于兴蒙造山带东段,大小兴安岭的结合部位,为兴安地块与松嫩地块的北东向的接触部位,区域上的北东向贺根山—黑河蛇绿混杂岩带经过本区,在该研究区表现为北东向的糜棱岩化带较发育(图1)。

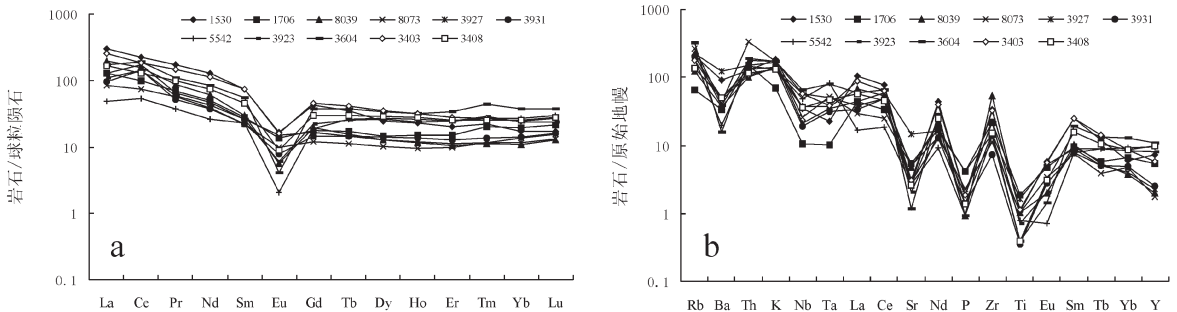


图4 霍龙门地区花岗岩稀土配分曲线(a)和微量元素蛛网图(b)

Fig.4 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spidergrams (b) of Huolongmen area

表 1 霍龙门地区花岗岩类锆石 SHRIMP U-Th-Pb 同位素数据
Table 1 SHRIMP U-Th-Pb composition of zircon samples from granite in Huolongmen area

点	$^{206}\text{Pb}/\text{Pbc}\%$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄/Ma	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 年龄/Ma	1σ	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ 比值	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ 比值	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ 比值	$\pm\%$
1.1	0.25	351	162	0.48	17.0	351.7	± 6.9	332	± 57	340.0	± 11	0.0531	2.5	0.410	3.2	0.05610	2.0
2.1	0.32	532	188	0.37	26.4	361.1	± 4.7	262	± 56	340.9	± 9.5	0.0515	2.4	0.409	2.8	0.05762	1.3
3.1	0.28	456	211	0.48	22.2	354.0	± 4.8	286	± 51	335.8	± 8.9	0.0520	2.2	0.405	2.6	0.05644	1.4
4.1	0.20	575	231	0.42	27.6	350.3	± 4.5	385	± 40	349.8	± 9.0	0.0543	1.8	0.418	2.2	0.05585	1.3
5.1	0.41	460	161	0.36	22.0	348.5	± 5.4	207	± 63	322.0	± 12	0.0503	2.7	0.385	3.2	0.05555	1.6
6.1	0.37	620	324	0.54	29.8	349.4	± 4.5	261	± 54	326.1	± 7.9	0.0514	2.4	0.395	2.7	0.05570	1.3
7.1	0.39	493	515	1.08	23.5	347.1	± 4.5	341	± 63	337.8	± 6.5	0.0533	2.8	0.406	3.1	0.05532	1.3
8.1	0.33	289	148	0.53	13.8	347.3	± 8.1	361	± 56	341.0	± 12	0.0538	2.5	0.410	3.5	0.05540	2.4

表 2 霍龙门地区花岗岩类主量元素(10⁻²)、微量元素(10⁻⁶)和稀土元素(10⁻⁶)分析结果
Table 2 Major element, trace element and REE compositions of granites in Huolongmen area

样号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOS	Total	σ	DI	A/CNK
1530	二长花岗岩	75.40	0.14	12.77	1.65	0.14	0.05	0.21	0.07	2.51	5.54	0.04	1.26	99.78	2.00	94.28	1.24
1706	二长花岗岩	73.38	0.27	14.50	2.47	0.10	0.06	0.35	0.31	4.49	2.09	0.09	1.34	97.04	1.43	89.85	1.42
3403	二长花岗岩	73.66	0.21	12.62	1.97	0.05	0.12	0.21	0.89	4.11	4.13	0.04	1.44	99.45	2.21	92.55	0.98
8039	正长花岗岩	77.36	0.19	11.78	1.14	0.30	0.03	0.38	0.24	3.20	4.19	0.02	0.86	99.70	1.59	94.38	1.15
3927	正长花岗岩	73.42	0.22	13.23	1.65	0.39	0.05	0.57	0.53	3.54	4.94	0.09	1.10	99.74	2.36	92.24	1.09
3931	正长花岗岩	76.38	0.09	12.17	1.44	0.11	0.02	0.30	0.43	3.98	4.25	0.03	0.62	99.83	2.03	94.94	1.02
5542	正长花岗岩	78.18	0.08	11.33	1.10	0.23	0.03	0.16	0.15	3.62	4.03	0.02	0.76	99.68	1.66	96.38	1.07
3604	正长花岗岩	77.78	0.05	12.10	0.47	0.62	0.04	0.19	0.32	2.27	5.14	0.02	0.78	99.78	1.58	94.20	1.23
3408	正长花岗岩	78.68	0.08	11.25	0.55	0.11	0.03	0.10	0.15	3.89	4.03	0.03	0.50	99.4	1.76	97.93	1.02
3923	碱长花岗岩	75.00	0.08	12.04	1.45	0.81	0.02	0.23	0.38	4.47	5.14	0.04	0.38	100.04	2.89	93.09	0.88
8073	碱长花岗岩	74.64	0.20	13.43	1.20	0.21	0.01	0.43	0.27	3.20	5.09	0.05	1.34	100.07	2.17	93.64	1.19
样号	岩性	Rb	Ba	Th	Nb	Ta	Sr	Zr	Hf	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
1530	二长花岗岩	133	633	10.9	251	0.94	56	377	1381	72.04	137.7	16.56	59.90	11.22	0.96	8.86	1.31
1706	二长花岗岩	41	234	12.8	7.5	0.42	115	245	2399	30.28	60.6	6.52	23.49	4.23	0.80	3.61	0.63
3403	二长花岗岩	113	323	9.1	40.9	1.58	64	364	1449	61.36	112.0	14.03	52.99	11.26	0.94	9.39	1.54
8039	正长花岗岩	77	256	8.5	26.2	1.50	99	609	1341	46.55	95.6	8.23	28.51	4.55	0.33	4.05	0.58
3927	正长花岗岩	143	868	12.7	15.3	1.42	305	166	2104	30.30	106.0	6.08	21.91	3.94	0.88	3.36	0.55
3931	正长花岗岩	127	355	11.1	13.7	1.31	60	81	456	22.78	86.6	4.93	17.47	3.45	0.46	3.03	0.54
5542	正长花岗岩	118	138	12.2	34.4	3.40	57	152	1011	11.44	32.9	3.54	12.26	3.48	0.12	3.90	0.97
3604	正长花岗岩	204	111	16.3	45.9	3.33	25	152	509	41.25	117.7	10.23	38.91	8.45	0.24	7.63	1.42
3408	正长花岗岩	87	348	9.8	25.8	1.90	54	171	505	39.16	79.6	9.39	34.19	7.00	0.51	6.18	1.13
3923	碱长花岗岩	136	267	14.9	41.1	2.09	43	247	912	26.02	86.8	5.52	19.82	3.97	0.35	4.51	0.96
8073	碱长花岗岩	166	297	28.3	18.6	2.13	108	124	1336	20.29	44.8	5.34	18.10	3.35	0.57	2.49	0.42
样号	岩性	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	ΣCe/ΣY	δEu	(La/Yb) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N	Rb/Sr	Sr/Ba	
1530	二长花岗岩	6.23	1.28	3.29	0.56	2.95	0.44	33.1	11.98	11.98	0.28	17.52	4.14	2.48	2.38	0.09	
1706	二长花岗岩	3.66	0.86	2.46	0.52	3.29	0.54	24.8	166.3	8.10	0.61	6.60	4.62	0.91	0.36	0.49	
3403	二长花岗岩	8.82	1.81	4.55	0.68	4.19	0.69	25.9	310.2	7.97	0.27	10.50	3.52	1.85	1.77	0.39	
8039	正长花岗岩	3.21	0.66	1.74	0.29	1.87	0.32	9.0	205.2	14.45	0.23	17.86	6.60	1.79	0.78	0.36	
3927	正长花岗岩	3.28	0.67	1.85	0.30	1.99	0.33	10.2	191.6	13.72	0.72	10.92	4.96	1.40	0.47	0.35	
3931	正长花岗岩	3.57	0.78	2.10	0.35	2.43	0.41	11.5	160.4	10.27	0.42	6.72	4.26	1.03	2.12	0.17	
5542	正长花岗岩	6.89	1.49	4.08	0.68	4.55	0.76	43.3	130.4	2.74	0.10	1.80	2.12	0.71	2.07	0.41	
3604	正长花岗岩	8.67	1.80	5.69	1.11	6.36	0.96	49.2	299.6	6.44	0.09	4.65	3.15	0.99	8.16	0.16	
3408	正长花岗岩	7.34	1.57	4.15	0.65	4.23	0.70	45.1	240.9	6.55	0.23	6.64	3.61	1.21	1.61	0.23	
3923	碱长花岗岩	6.59	1.34	4.07	0.74	4.04	0.61	36.1	201.5	6.23	0.25	4.62	4.23	0.92	3.16	0.20	
8073	碱长花岗岩	2.61	0.54	1.64	0.30	2.33	0.40	7.9	111.1	8.62	0.58	6.25	3.91	0.88	1.54	0.16	

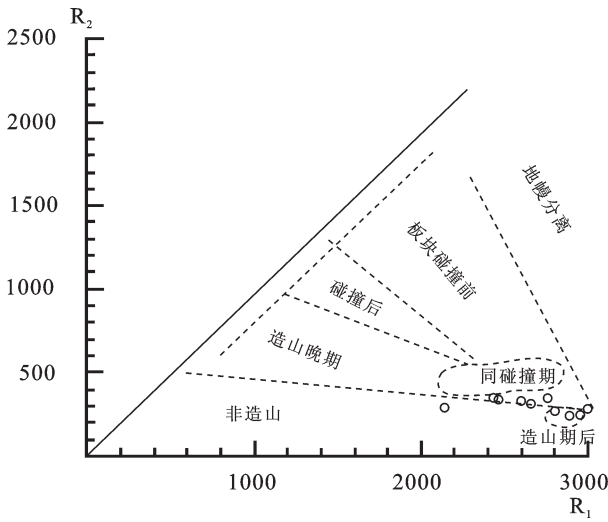


图 5 霍龙门地区花岗岩形成的构造环境图解^[24]
Fig.5 Diagram of tectonic setting for granites in Huolongmen area^[24]

余宏全等^[19]将大兴安岭中北段大量的原岩锆石 U-Pb 测年结果与研究区的主要构造事件的时间相结合,讨论了该区的构造演化过程,认为在泥盆纪—早石炭世期间,兴安地块与松嫩—佳木斯地块之间为分隔状态,其间为内蒙古中部海槽,至早石炭世末,松嫩地块与兴安地块之间的内蒙古中部海槽逐

渐闭合,两个地体碰撞拼贴在一起,兴安海槽不断萎缩,由扩张转变为强烈挤压收缩,在研究区内发现碰撞拼合的直接产物为贺根山—嫩江缝合带的蓝片岩(334 Ma)^[20]和与碰撞有关的花岗岩(305~340 Ma)。葛文春等^[21]同样认为,在早古生代,额尔古纳地块已与兴安地块拼合完成,两者的联合体在古生代晚期沿北东向贺根山—嫩江断裂与松嫩地块拼贴。

研究区内除了该二长花岗岩的时代为石炭纪(351.5 Ma)外,在其东北方向 9 km 的位置同样存在石炭纪(345 Ma)的正长花岗岩,两岩体呈明显的北东向展布,且在该岩体的西南侧发育明显的糜棱岩化(图 1),在研究区的北部多宝山地区同样存在北东向新开岭石炭纪—二叠纪碰撞型糜棱岩带^[22]。在研究区的东南部出露石炭纪二长花岗岩、花岗闪长岩(315~320 Ma)^[23],西南沿二连浩特—贺根山—黑河断裂的内蒙古境内同样存在呈北东向展布的石炭纪花岗岩(302~342Ma)^[24],显示了在研究区及周边存在大量的与碰撞有关石炭纪花岗岩,而在研究区北部发育大量的 260~290 Ma 典型的造山后 A 型花岗岩^[25]。研究区早石炭世花岗岩类在样品点 R₁-R₂ 构造环境判别图解(图 5)中比较集中,主要落在同碰撞与造山期后花岗岩区,而在微量元素(Yb+Nb)-Rb、(Yb+Ta)-Rb 构造环境判别图解(图 6)中则

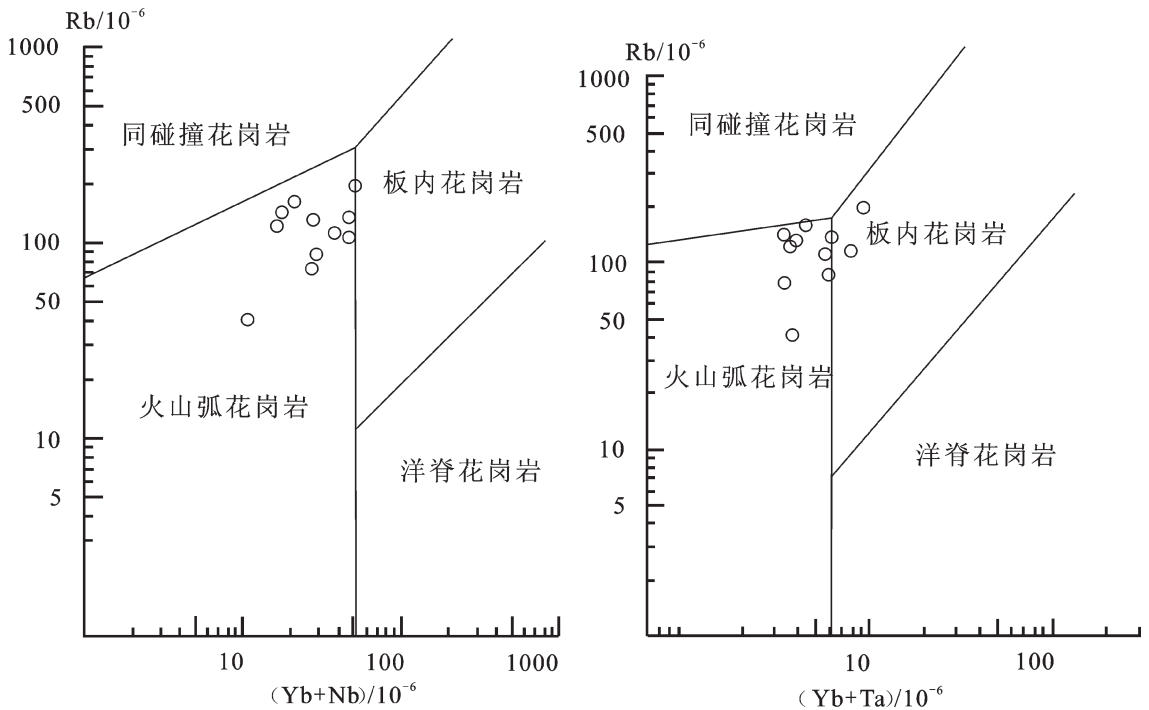


图 6 霍龙门地区花岗岩的 Rb-(Yb+Nb)和 Rb-(Yb+Ta)图解^[27]
Fig.6 Rb-(Yb+Nb) and Rb-(Yb+Ta) diagrams of granites in Huolongmen area^[27]

主要落在火山弧花岗岩区,向板内花岗岩区靠近。综合考虑认为本研究区内北东向展布的早石炭世花岗岩,应该是兴安地块与松嫩地块北东向拼合挤压过程由碰撞俯冲阶段向后造山阶段构造转换过程的产物。

5.2 结 论

(1) 霍龙门地区二长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $(351.5 \pm 3.5)\text{Ma}$,为早石炭世。该岩石具有高硅($>73.38\%$)、高钾(K_2O 含量平均值为 4.42%)、低镁和铁 ($\text{MgO}+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{TiO}_2<3.19\%$)、贫钙 ($0.07\%\sim 0.89\%$)、过铝质(A/CNK 平均为 1.12)的特征,总体属于高钾钙碱性过铝质花岗岩。

(2) 霍龙门地区花岗岩类岩石明显亏损 Ba、Sr、P、Ti,富集 Th、Zr、Nd、Rb、K 和轻稀土元素,有较显著的 Eu 负异常,显示岩浆演化过程中存在长石类矿物或 Fe-Ti 氧化物等矿物的强烈结晶分异作用。

(3) 该区早石炭世花岗岩在 R_1-R_2 、 $(\text{Yb}+\text{Nb})-\text{Rb}$ 、 $(\text{Yb}+\text{Ta})-\text{Rb}$ 的构造环境判别图解上均处于同碰撞与造山期后的环境中。结合本区的区域构造背景特点,认为该区早石炭世花岗岩应为兴安地块与松嫩地块北东向拼合挤压过程由碰撞俯冲阶段向后造山阶段构造转换过程的产物。

致谢: 锆石 SHRIMP 年龄测试过程及结果分析得到了北京离子探针中心宋彪先生、刘建辉先生的大力帮助,在此表示诚挚的感谢!

参考文献(References):

- [1] 吴福元,孙德有,林强. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生[J]. 岩石学报, 1999, 15(2): 181-189.
Wu Fuyuan, Sun Deyou, Lin Qiang. Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in Northeast China [J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15 (2): 181-189 (in Chinese with English abstract).
- [2] 邵济安,刘福田,陈辉,等. 大兴安岭-燕山晚中生代岩浆活动与俯冲作用关系[J]. 地质学报, 2001, 75(1): 56-63.
Shao Ji'an, Liu Futian, Chen Hui, et al. Relationship between Mesozoic magmatism and subduction in Da Hinggan-Yanshan area [J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75 (1): 56-63 (in Chinese with English abstract).
- [3] Fan W M, Guo F, Wang Y J et al. Late Mesozoic calcalkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China [J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2003, 121: 151-135.
- [4] 林强,葛文春,吴福元,等. 大兴安岭中生代花岗岩类的地球化学[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 403-412.

- Lin Qiang, Ge Wenchun, Wu Fuyuan, et al. Geochemistry of Mesozoic granites in Da Hinggan Ling ranges [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(3): 403-412 (in Chinese with English abstract).
- [5] 武广,陈衍景,孙丰月,等. 大兴安岭北端晚侏罗世花岗岩类地球化学及其地质和找矿意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 899-910.
Wu Guang, Chen Yanjing, Sun Fengyue, et al. Geochemistry of the Late Jurassic granitoids in the northern end area of Da Hinggan Mountains and their geological and prospecting implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(4): 899-910 (in Chinese with English abstract).
- [6] 武广,陈衍景,赵振华,等. 大兴安岭北端洛古河东花岗岩的地球化学、SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄和岩石成因 [J]. 岩石学报, 2009, 25(2): 233-247.
Wu Guang, Chen Yanjing, Zhao Zhenhua, et al. Geochemistry, zircon SHRIMP U-Pb age and petrogenesis of the East Luoguhe granites at the northern end of the Great Hinggan Range [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25 (2): 233-247 (in Chinese with English abstract).
- [7] 隋振民,徐学纯. 大兴安岭东北部侏罗纪花岗岩类 Sr-Nd 同位素特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2010, 37(1): 48-55.
Sui Zhenmin, Xu Xuechun. Sr-Nd isotopic characteristics of Jurassic granites in northeastern Da Hinggan Mountains and their geological implications[J]. Geology in China, 2010, 37(1): 48-55 (in Chinese with English abstract).
- [8] 韩振哲,金哲岩,吕军,等. 小兴安岭东南鹿鸣-兴安-前进地区早中生代含矿花岗岩成岩成矿特征[J]. 地质与勘探, 2010, 46(5): 852-862.
Han Zhenzhe, Jin Zheyuan, Lv Jun, et al. Characteristics of diagenesis and mineralization of the ore-bearing granite and its tectonic setting in the early Mesozoic Era in the Luming-Xing'an-Qianjin area, southeast of the Lesser Hinggan Mountains [J]. Geology and Exploration, 2010, 46 (5): 852-862 (in Chinese with English abstract).
- [9] 曲晖,李成禄,赵忠海,等. 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, 2011, 38(2): 292-300.
Qu Hui, Li Chenglu, Zhao Zhonghai, et al. Zircon U-Pb ages and Geochemical characteristics of the granites in Duobaoshan area, Northeast Da Hinggan Mountain [J]. Geology in China, 2011, 38 (2): 292-300(in Chinese with English abstract).
- [10] 苗来成,刘敦一,张福勤,等. 大兴安岭韩家园子和新林地区兴华渡口群和扎兰屯群锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 [J]. 科学通报, 2007, 52(5): 591-601.
Miao Laicheng, Liu Dunyi, Zhang Fuqin, et al. Zircon SHRIMP U-Pb ages of the "Xinghuadukou Group" in Hanjiayuanzi and Xinlin areas and the "Zhalantun Group" in Inner Mongolia, Da Hinggan Mountains[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(5): 591-601(in Chinese).
- [11] Wu F Y, Sun D Y, Li H M, et al. A-type granites in northeastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis [J].

- Chem. Geol., 2002, 187:143-173.
- [12] 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等. 大兴安岭北部塔河花岗岩体的时代及对额尔古纳地块构造归属的制约 [J]. 科学通报, 2005, 50(12):1239-1246.
- Ge Wenchun, Wu Fuyuan, Zhou Changyong, et al. Emplacement age of the Tahe granite and its constraints on the tectonic nature of the Ergun block in the northern part of the Da Hinggan Range [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(12):1239-1246(in Chinese).
- [13] 施光海, 苗来成, 张福勤, 等. 内蒙古锡林浩特 A 型花岗岩的时代及区域构造意义 [J]. 科学通报, 2004, 49(4):384-389.
- Shi Guanghai, Miao Laicheng, Zhang Fuqin, et al. Emplacement age and tectonic implications on the Xilinhaote A-type granites in Inner Mongolia [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(4):384-389 (in Chinese with English abstract).
- [14] 隋振民, 葛文春, 徐学纯, 等. 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, 2009, 25(10):2679-2686.
- Sui Zhenmin, Ge Wenchun, Xu xuechun, et al. Characteristics and geological implications of the Late Paleozoic postorogenic Shierzhan granite in the Great Xing'an Range [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(10):2679-2686(in Chinese with English abstract).
- [15] 苗来成, 范蔚茗, 张福勤, 等. 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, 2003, 48(22):2315-2323.
- Miao Laicheng, Fan Weiming, Zhang Fuqin, et al. Zircon SHRIMP geochronology of the Xinkailing-Keluo complex in the northwestern Lesser Xing'an Range, and its geological implications [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(22):2315-2323(in Chinese).
- [16] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论 [J]. 地质论评, 2002, 48(增刊):26-30.
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. Mount making and procedure of SHRIMP dating [J]. Geological Review, 2002, 48(Supp.):26-30 (in Chinese with English abstract).
- [17] Ludwig K R. Users manual for Isoplot/Ex rev. 2.49 [M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2001:1-56.
- [18] Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments [J]. Lithos, 1999, 46:605-626.
- [19] 余宏全, 李进文, 向安平, 等. 大兴安岭中北段原岩锆石 U-Pb 测年及其与区域构造演化关系 [J]. 岩石学报, 2012, 28(2):571-594.
- She Hongquan, Li Jinwen, Xiang Anping, et al. U-Pb ages of the zircons from primary rocks in middle-northern Daxinganling and its implications to geotectonic evolution [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(2):571-594(in Chinese with English abstract).
- [20] 叶慧文, 张兴洲, 周裕文. 从蓝片岩及蛇绿岩特点看满洲里-绥芬河断面岩石圈结构与演化 [C]//M-SGT 地质课题组编. 中国满洲里-绥芬河地学断面域内岩石圈结构及其演化的地质研究论文集. 北京:地震出版社, 1994:73-83.
- Ye Huiwen, Zhang Xingzhou, Zhou Yuwen. The texture and evolution of Manzhouli-Suifenhe lithosphere -study based on features of blueschists and ophiolites [C]//Geological Group of M-SGT (eds.). Geological Study Symposium on structure of Lithosphere and Its Evolution of Manzhouli-Suifenhe Geoscience Transect Region in China. Beijing:Seismological Press, 1994:73-83 (in Chinese with English abstract).
- [21] 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等. 兴蒙造山带东段斑岩型 Cu、Mo 矿床成矿时代及其地球动力学意义 [J]. 科学通报, 2007, 52(20):2407-2417.
- Ge Wenchun, Wu Fuyuan, Zhou Changyong, et al. Porphyry Cu, Mo oreforming age and its geodynamic implications in east of Xing-Meng orogenic belt [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(20):2407-2417 (in Chinese).
- [22] 谭成印, 王根厚, 李永胜. 黑龙江多宝山成矿区找矿新进展及其地质意义 [J]. 地质通报, 2010, 29(2-3):436-445.
- Tan Chengyin, Wang Genhou, Li Yongsheng. New progress and significance on the mineral exploration in Duobaoshan mineralization area, Heilongjiang, China [J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(2-3):436-445 (in Chinese with English abstract).
- [23] 张彦龙, 葛文春, 高妍, 等. 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, 2010, 26(4):1059-1073.
- Zhang Yanlong, Ge Wenchun, Gao Yan, et al. Zircon U-Pb ages and Hf isotopes of granites in Longzhen area and their geological implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(4):1059-1073 (in Chinese with English abstract).
- [24] 童英, 洪大卫, 王涛, 等. 中蒙边境中段花岗岩时空分布特征及构造和找矿意义 [J]. 地球学报, 2010, 31(3):395-412.
- Tong Ying, Hong Dawei, Wang Tao, et al. Spatial and temporal distribution of granitoids in the middle segment of the Sino-Mongolian border and its tectonic and metallogenic implications [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(3):395-412 (in Chinese with English abstract).
- [25] 孙德有, 吴福元, 李惠民, 等. 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, 2000, 45(20):2217-2222.
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Li Huimin, et al. Emplacement age of the postorogenic A-type granites in Northwestern Lesser Xing'an Ranges, and its relationship to the eastward extension of Suolunshan-Hegenshan-Zhalaithe collisional suture zone [J]. Chinese Sci. Bull., 2000, 45(20):2217-2222 (in Chinese).
- [26] Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multication [J]. Chemical Geology, 1985, 48(1):43-55.
- [27] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. Journal of Petrology, 1984, 25:956-983.

Zircon U–Pb ages, geochemical characteristics and tectonic implications of Early Carboniferous granites in Huolongmen area, Heilongjiang Province

LI Cheng-lu, QU Hui, ZHAO Zhong-hai, XU Guo-zhan, WANG Zhuo, ZHANG Jian-feng

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

Abstract: The Huolongmen area in Heilongjiang Province is tectonically located at the juncture between the Songnen Block and the Xing'an Block in the east of the Xingmeng orogenic belt. Large volumes of Neopaleozoic granitic rocks are distributed in this area. The granitic rocks are composed mainly of monzogranite, syenogranite and alkali-feldspar granite. The zircon U–Pb SHRIMP dating of monzonite granite yielded the concordant age of 351.5 ± 3.5 Ma. Major element analyses show high SiO_2 (73.38%~78.68%) and alkali content ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 6.58\% \sim 9.61\%$), slightly high Al_2O_3 (11.25%~14.50%) content and low MgO (0.1%~0.57%) and CaO (0.07%~0.89%) content. Trace element studies demonstrate the enrichment of Th, Zr, Nd, Rb, K and depletion of Ba, Sr, Nb, P, Ti. The samples are enriched in LREE (light rare earth elements) and depleted in HREE (heavy rare earth elements) with pronounced Eu anomalies ($\delta \text{Eu} = 0.09 \sim 0.72$), suggesting a high degree of fractionation ($(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 2.12 \sim 6.60$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 0.71 \sim 2.48$). The granites generally belong to the high-K calc-alkaline series and might have been produced by the magma that experienced a relatively high degree of crystallization differentiation. Most Neopaleozoic granites fall in the post-orogenic zone and the volcanic arc granite zone, respectively, in the R_1 – R_2 structural setting discrimination diagram and the $(\text{Yb} + \text{Nb})$ –Rb versus $(\text{Yb} + \text{Ta})$ –Rb discrimination diagram, suggesting that the Xing'an Block and Songnen Block might have experienced collision and suturing during Late Paleozoic.

Key words: granite; zircon U–Pb age; geochemical characteristics; Huolongmen area, Heilongjiang

About the first author: LI Cheng-lu, male, born in 1984, master, engineer, engages in mineral exploration and prospecting work; E-mail: LCL230881@163.com.