

# 大兴安岭查巴奇地区中生代侵入岩岩石地球化学特征及构造背景

戴慧敏<sup>1,2</sup> 杨忠芳<sup>1</sup> 马振东<sup>3</sup> 官传东<sup>4</sup>

(1.中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083;2.沈阳地质矿产研究所,辽宁 沈阳,110033;  
3.中国地质大学地球科学学院,湖北 武汉 430074;4.沈阳有色冶金设计研究院,辽宁 沈阳,110032;)

**摘要:**大兴安岭查巴奇地区中生代侵入岩位于嫩江断裂带西侧,其东侧为隆起带与断陷盆地连结处,该区构造研究可为大兴安岭的隆升造山研究提供信息。研究区花岗质岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测试结果表明,这些侵入岩主要形成于早侏罗世和晚侏罗世,重新修正了前人把研究区二长花岗岩划归晚二叠世的观点。岩石化学特征表明,研究区侵入岩均属于钙碱性岩,具有属于高钾、硅饱和或过饱和岩石;依据系列判别图解显示研究区不同时期的花岗质岩石均为壳幔混熔的 I 型花岗岩,均形成于长期稳定环境下,两期花岗岩形成环境又存在差异,早期石英和英云闪长岩为挤压型,形成压力较高的深源,晚期二长花岗岩为挤压-引张过渡型,形成于压力相对较小的浅源,形成过程中可能存在花岗岩时空上的演化不均一性,该区中生代侵入岩的形成与地壳厚度的关系可作为大兴安岭中生代地壳乃至岩石圈的减薄及伸展造山过程的辅证。

**关键词:**中生代侵入岩;构造背景;大兴安岭;岩石地球化学特征

**中图分类号:**P585.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)01-0232-16

由于地球各圈层及圈层内不同结构层均为化学成分差异的物质库或源区,所以特定构造和构造环境就沟通着不同的物质库(源区)及其组合,使岩石在一定程度上继承源区的化学特征,而且从元素在岩石变质过程中的稳定性来看,REE、HFSE 及 Cr、Ni、Co 较为惰性,适合于在大陆岩石多受变质的条件下用花岗岩来判别构造环境问题<sup>[1]</sup>。因此,花岗岩与大地构造环境关系问题是当今花岗岩研究的热点,并且取得了丰硕的成果<sup>[2-7]</sup>。目前对大兴安岭形成机制存在诸多分歧<sup>[8-15]</sup>,大兴安岭地区花岗岩的成因类型与源区特征是探讨大兴安岭造山与隆升问题的依据<sup>[16-20]</sup>,也是讨论兴蒙造山带构造演化的重要依据。大兴安岭北段东坡大部分地区属于空白区,地质工作开展得少,研究程度较低,区内大面积分布的

花岗质侵入岩体没有可靠的同位素年代学资料,相关的岩石地球化学及构造环境研究也相对较少。阿荣旗—黑河构造带及北侧的蒙古—鄂霍次克造山带内发现的呈北东向展布的大量花岗质岩石均形成于中生代<sup>[2]</sup>,它们可能有成因上的联系。因此,研究这些花岗质岩石的形成时代、成因类型及其反映的构造环境可为更深入探讨大兴安岭隆升问题及从整体上把握大兴安岭花岗岩成因、构造演化及东北地区区域构造演化提供信息。

## 1 地质概况

研究区属于大兴安岭山地与松嫩平原过渡区,伊尔施早华力西地槽褶皱带与东乌珠穆沁旗晚华力西地槽褶皱带接触部位,被大兴安岭中生代火山岩

收稿日期:2012-07-09;改回日期:2013-01-30

基金项目:中国地质调查局矿调项目“内蒙古查巴奇地区矿产远景调查”(矿调[2004]10-2号)资助。

作者简介:戴慧敏,女,1979年生,博士生,高级工程师,地球化学专业;E-mail: daihuimin78@126.com。

①中国地质调查局. 1:25万黑河市幅区域地质调查报告,2008.

②中国地质调查局. 1:25万卧都河幅区域地质调查报告,2008.

带切割,属兴安地槽褶皱系;位于嫩江断裂带的西侧,发育各个时期的 NE 压性-压扭性构造和 NNW 向脆性断裂,东侧为隆起带与断陷盆地相联结处,即嫩江—八里罕断裂带,沿嫩江河谷延伸。区内出露较老的地层为晚二叠世林西组陆相碎屑岩系和早三叠世老龙头组沉积-火山岩系,具有浅变质和强烈的板理(片理)化。区域上侵入岩体均呈 NE 向展布,均侵入于林西组和老龙头组地层中,被早白垩世光华组中酸性火山岩角度不整合覆盖,其出露面积 349.43 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 36.41%,主要分布于北部、中部和南部(图 1),以中深成的花岗岩岩基为主,主要为中酸性岩类,包括为英云闪长岩、石英闪长岩、二长花岗岩及小面积碱长花岗岩,形成时代均为中生代。

## 2 年代学特征

### 2.1 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年方法

SHRIMP 锆石 U-Pb 测年在北京离子探针中心测试完成。从重约 10 kg 新鲜岩石样品中分选出锆石,并与标样(TEM)一起制靶,在电子显微镜下进行光学照相,并进行阴极发光照相,最后镀金,完成测试前的准备。具体分析流程及原理参见简平等<sup>[20]</sup>文献。本次所研究的岩体形成于显生宙,测试样品年龄计算均采用 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄,为了测试岩体的侵入年龄,首先根据锆石电子显微镜图像选择结晶程度好的颧



图 1 查巴奇地区侵入岩分布及采样点位图

Fig.1 Distribution of Mesozoic intrusive rocks and sampling locations in Chabaqi area

表 1 查巴奇地区花岗岩质岩石 SHRIMP U-Pb 同位素测试数据  
Table 1 SHRIMP U-Pb zircon analytical data of granitoids from Chabaqi area

岩石	测点	<sup>206</sup> Pb/% U/10 <sup>-6</sup>	Th/10 <sup>-6</sup>	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/10 <sup>-6</sup>	同位素原子比率				年龄/Ma						
						<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±2σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±2σ			
英云闪长岩	D1308TW-1.1	1.8	418	155	0.38	10.9	0.0514	7.1	0.211	7.7	0.02984	2.8	189	±5	257	±160
	D1308TW-2.1	1.73	414	187	0.47	11.2	0.0526	5.9	0.225	6.6	0.03102	2.8	197	±5	310	±140
	D1308TW-3.1	0.93	594	213	0.37	15.9	0.0516	4.5	0.219	5.3	0.03084	2.8	196	±5	268	±100
	D1308TW-4.1	0.91	463	314	0.7	12.5	0.0555	5.2	0.238	5.9	0.03104	2.8	197	±5	433	±120
	D1308TW-5.1	1.65	656	385	0.61	15.5	0.0459	6.8	0.171	7.4	0.02696	2.8	172	±5	-5	±160
	D1308TW-6.1	2.28	470	620	1.36	13	0.0474	8.4	0.205	8.9	0.03144	2.8	200	±5	69	±200
	D1308TW-7.1	1.83	356	502	1.46	9.77	0.0536	6.9	0.232	7.4	0.03138	2.8	199	±5	356	±160
	D1308TW-8.1	1.74	497	254	0.53	12.9	0.0511	6.1	0.209	6.7	0.02967	2.8	189	±5	246	±140
石英闪长岩	D1198TW-1.1	1.03	743	754	1.05	17.5	0.0495	3.7	0.185	4	0.02711	1.7	173	±2.8	170	±86
	D1198TW-6.1	1.71	785	857	1.13	19.2	0.0515	4.5	0.199	4.8	0.02812	1.7	178	±2.9	265	±100
	D1198TW-7.1	2.08	481	379	0.81	10.7	0.0569	5.8	0.201	6.1	0.02544	1.7	162	±2.7	487	±130
	D1198TW-8.1	1.35	569	459	0.83	13.2	0.0533	5.5	0.196	5.8	0.02663	1.7	169	±2.8	342	±120
	D1198TW-9.1	2.29	481	372	0.8	11.5	0.0536	6.3	0.201	6.5	0.02723	1.7	173	±2.9	354	±140
	D1198TW-10.1	1.42	492	353	0.74	11.9	0.0575	5.1	0.221	5.4	0.02782	1.7	177	±3.0	512	±110
	D1198TW-11.1	1.33	271	215	0.82	6.15	0.0566	6.6	0.203	6.8	0.02601	1.8	166	±2.9	475	±150
	D1198TW-12.1	2.44	319	187	0.61	7.5	0.0505	8.9	0.186	9.1	0.02673	1.8	170	±3.0	220	±210
中细粒 二长花岗岩	D1235TW-1.1	4.34	130	69	0.55	2.76	0.0431	24.1	0.138	24.1	0.02354	2.2	150	±3	-187	±590
	D1235TW-2.1	0.79	1134	862	0.79	24.2	0.0491	3	0.167	3.4	0.02468	1.6	157	±3	153	±70
	D1235TW-3.1	9.1	74	48	0.68	1.57	0.045	44	0.141	44	0.02254	3.2	144	±5	-40	±1100
	D1235TW-4.1	2.07	327	163	0.52	6.01	0.0549	9.1	0.159	9.3	0.02096	1.8	134	±2	406	±200
	D1235TW-5.1	0.33	2337	5884	2.6	43.3	0.0508	1.7	0.15	2.4	0.02147	1.6	137	±2	232	±40
	D1235TW-6.1	0.65	2843	5562	2.02	59.7	0.0493	1.9	0.165	2.5	0.02429	1.6	155	±3	160	±44
	D1235TW-7.1	4.43	167	93	0.58	3.53	0.0435	11	0.141	11	0.02356	2.1	150	±3	-139	±280
	D1235TW-8.1	2.04	412	571	1.43	8.98	0.0567	6.6	0.194	6.9	0.02484	1.7	158	±3	480	±150
中粗粒 二长花岗岩	D1235TW-9.1	2.51	470	362	0.8	10.6	0.0446	10	0.157	10	0.02557	1.9	163	±3	-78	±240
	D1236TW-1.1	7.71	158	105	0.69	3.4	0.0322	38	0.102	38	0.02318	3.2	148	±5	-960	±1100
	D1236TW-2.1	3.8	249	248	1.03	5.57	0.0553	13	0.191	14	0.02506	3	160	±5	412	±300
	D1236TW-3.1	10.03	120	99	0.85	2.71	0.0371	45	0.123	46	0.02375	3.7	151	±6	-590	±1200
	D1236TW-4.1	6.7	120	66	0.57	2.32	0.047	28	0.137	28	0.02097	3.3	134	±4	74	±660
	D1236TW-5.1	5.74	196	211	1.12	4.14	0.0405	22	0.131	23	0.02321	3.1	148	±5	-319	±580
	D1236TW-6.1	6.14	219	155	0.73	4.98	0.0413	21	0.142	21	0.02483	3	158	±5	-266	±550
	D1236TW-7.1	3.95	83	57	0.71	1.88	0.0852	13	0.297	13	0.02525	3.3	161	±5	1322	±250

注：<sup>206</sup>Pbc 指普通铅中的 <sup>206</sup>Pb 占全铅 <sup>206</sup>Pb 的百分数；\* 表示放射成因铅；应用实测 <sup>206</sup>Pb 校正普通铅；所有分析误差为 1σ，加权平均年龄为 2σ。

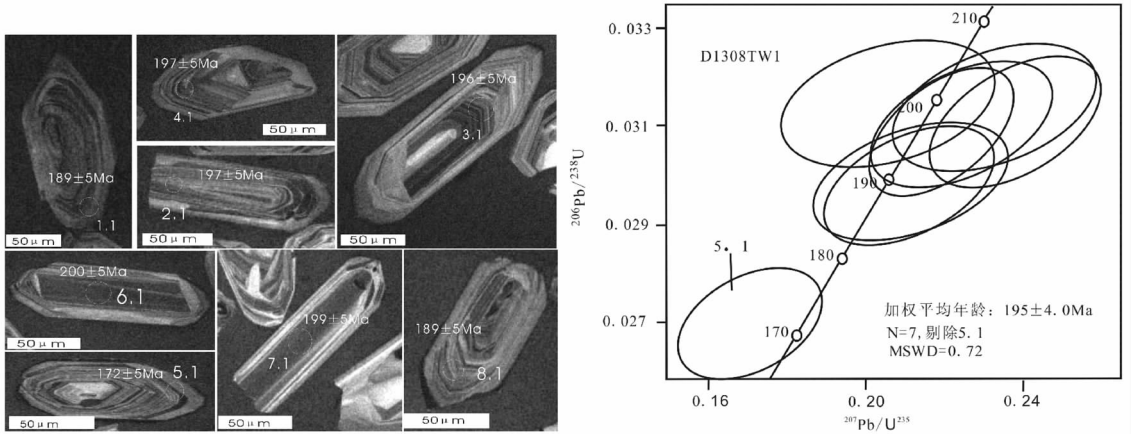


图 2 英云闪长岩锆石阴极发光及 SHRIMP 锆石 U-Pb 一致曲线

Fig.2 Cathodoluminescence images of zircons and concordia plot of zircon SHRIMP U-Pb data from tonalite samples

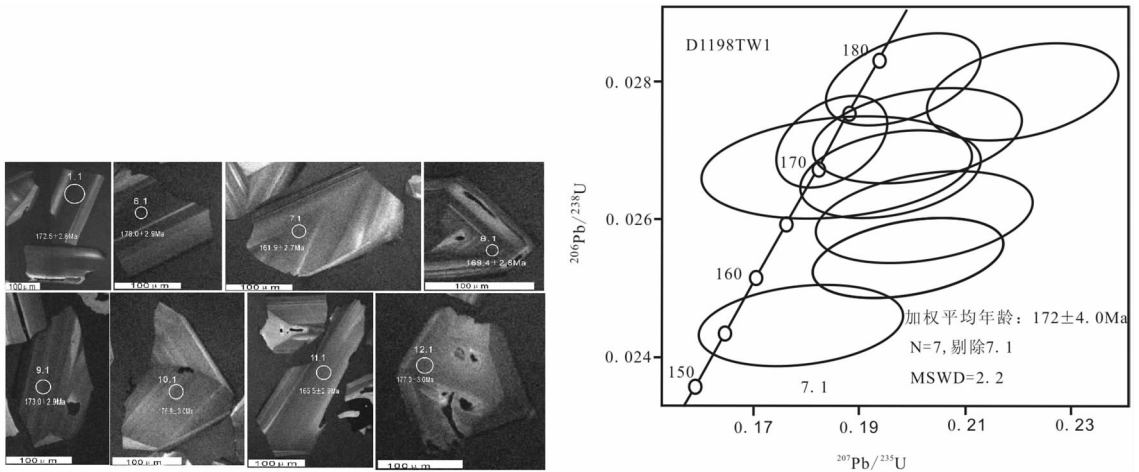


图 3 石英闪长岩锆石阴极发光及 SHRIMP 锆石 U-Pb 一致曲线

Fig.3 Cathodoluminescence images of zircons and concordia plot of zircon SHRIMP U-Pb data of quartz-diorite

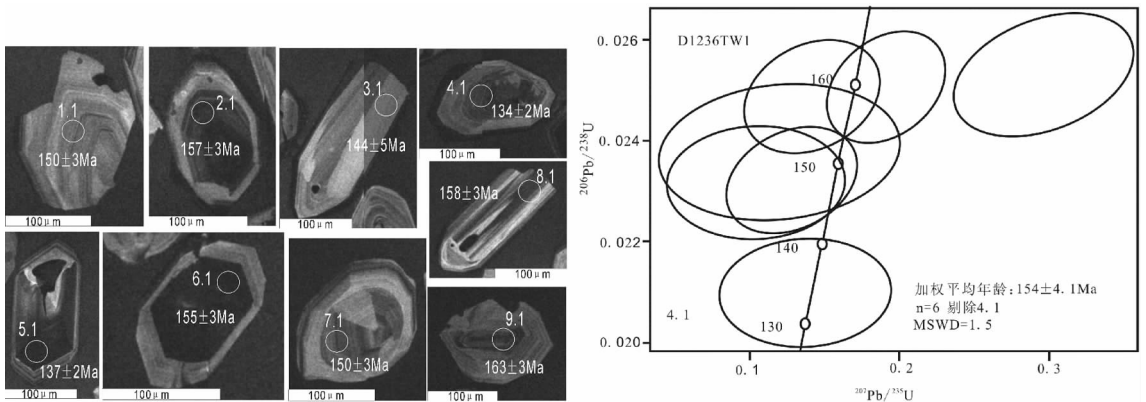


图 4 中粗粒二长花岗岩锆石阴极发光及 SHRIMP 锆石 U-Pb 一致曲线

Fig.4 Cathodoluminescence images of zircons and SHRIMP U-Pb data of medium-coarse-grained monzogranite

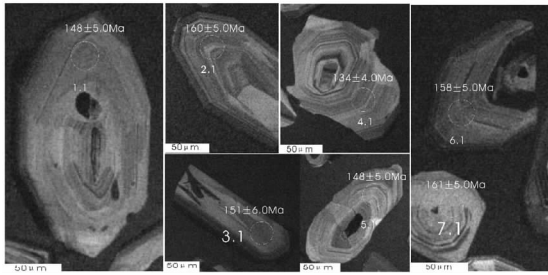


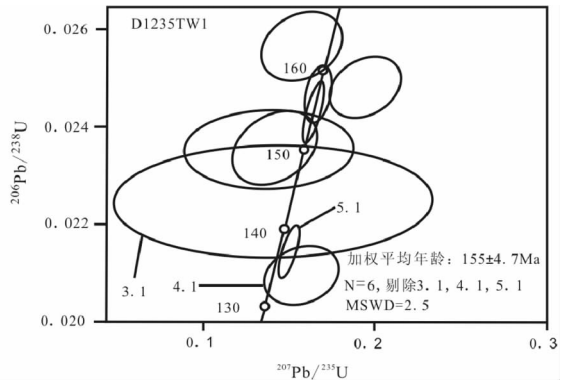
图5 中细粒二长花岗岩锆石阴极发光及 SHRIMP 锆石 U-Pb 一致曲线

Fig.5 Cathodoluminescence images of zircons and concordia plot of zircon SHRIMP U-Pb data of fine-medium-grained monzogranite

粒, 再在阴极发光图像上选择不同晶体结晶位置和相对较高 U 含量的部位进行测试。分析过程中, 应用澳大利亚国立大学地学院标准锆石 SL13 (572 Ma) 标定 TEM 标准锆石和样品的 U、Th 及 Pb 含量, 应用 TEM 标样 (417 Ma) 进行元素间分馏校正并计算样品年龄。采用澳大利亚国立大学 PRAWN 程序进行数据处理。表 1 中数据误差值为  $1\sigma$ , 年龄值的加权平均值为  $2\sigma$ 。

## 2.2 侵入岩年代学特征

研究区侵入岩形成时代见表 1 及图 2~5, 早侏罗世英云闪长岩形成时代为  $(195 \pm 4.0)\text{Ma}$  (表 1), 主要出露于中北部和西南部, 呈 NE 向展布。早侏罗世石英闪长岩形成时代为  $(172 \pm 4.0)\text{Ma}$  (表 1), 主要出露于东北部, 呈 NE 向展布, 出露面积  $33.92\text{ km}^2$ , 占研究区总面积的 4.95%。前人资料均把该地区的二长花岗岩划归晚二叠世, 本次通过对中粗粒和中细粒二长花岗岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定, 获得中细粒二长花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $(155.8 \pm 4.7)\text{Ma}$ , 中粗粒二长花岗岩的年龄为  $(154 \pm 4.0)\text{Ma}$ 。根据同位素年龄, 结合野外特征: 其侵入于晚二叠世林西组和早三叠世老龙头组地层中, 岩石新鲜未见变形, 将二长花岗岩类的形成时代重新厘定为晚侏罗世。二长花岗岩基出露于研究区南北两侧, 早侏罗世英云闪长岩和石英闪长岩沿二叠纪基底两侧出露, 与二叠纪基底密切伴随, 两者均侵入于二叠纪林西组中。晚侏罗世主要发育大型岩基, 岩石类型以二长花岗岩为主, 少量碱长花岗岩出露。晚侏罗世中细粒二长花岗岩 ( $J_3\eta\gamma^1$ ) 出露区域南北两侧, 出露面积  $116.54\text{ km}^2$ , 占 17.01%; 晚侏罗世中



粗粒二长花岗岩 ( $J_3\eta\gamma^2$ ), 出露于研究区北部, 出露面积  $35.56\text{ km}^2$ ; 晚侏罗世碱长花岗岩 ( $J_3\kappa\gamma$ ) 呈小岩株状、岩脉、岩瘤串株状分布, 主要出露于测区中部三兴店附近, 出露面积  $1.53\text{ km}^2$ , 占总面积的 0.22%。

## 3 岩石学特征

早侏罗世英云闪长岩主要由斜长石 55%~70%, 钾长石, 半自形-他形, 多为后期钾化产物, 含量 5%~15% 不等, 石英含量 25% 左右。暗色矿物为黑云母、角闪石, 见有绿泥石交代, 副矿物主要为锆石、磷灰石、磁铁矿、黄铁矿等, 岩体内有少量闪长质包体。早侏罗世石英闪长岩 ( $J_1\delta o$ ) 主要由斜长石 (58%~82%)、钾长石 (5%~15%)、石英 (5%~15%) 组成, 暗色矿物为黑云母、角闪石, 黑云母含量 3%~20%, 角闪石含量 3%~10%, 副矿物主要为锆石、磷灰石、磁铁矿、黄铁矿等, 岩体内有少量微细粒斑状石英二长闪长岩呈脉状分布, 显微镜照片见图 6。

晚侏罗世粗中粒二长花岗岩主要由斜长石 (20%~36%)、钾长石 (25%~45%) 和石英 (23%~40%) 组成 (图 7), 暗色矿物为黑云母, 含量很少, 副矿物主要为锆石、磷灰石、磁铁矿和楣石。晚侏罗世碱长花岗岩 ( $J_3\kappa\gamma$ ) 主要由钾长石 (58%~70%)、斜长石 (1%~8%) 和石英 (20%~35%) 组成, 黑云母呈不规则片状充填于长石之间, 主要副矿物为锆石、磷灰石、磁铁矿、褐铁矿; 岩体内有少量微细粒多斑状碱长花岗岩呈脉状侵入。晚侏罗世细中粒二长花岗岩 (图 8), 主要由斜长石 (22%~40%)、钾长石 (25%~52%)、石英 (20%~40%) 组成, 暗色矿物为黑云母很少, 呈规则片状, 个别褪色为白云母, 副矿物主要为锆石、磷灰石、

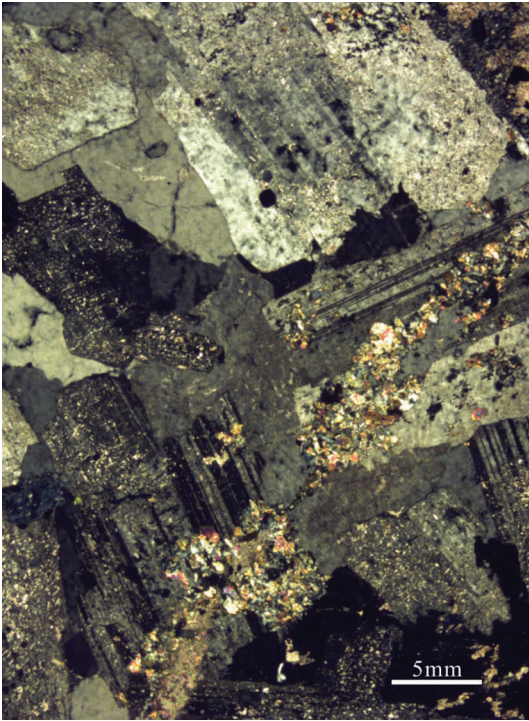


图 6 石英闪长岩显微镜照片

Fig.6 Microscope pictures of quartz diorite

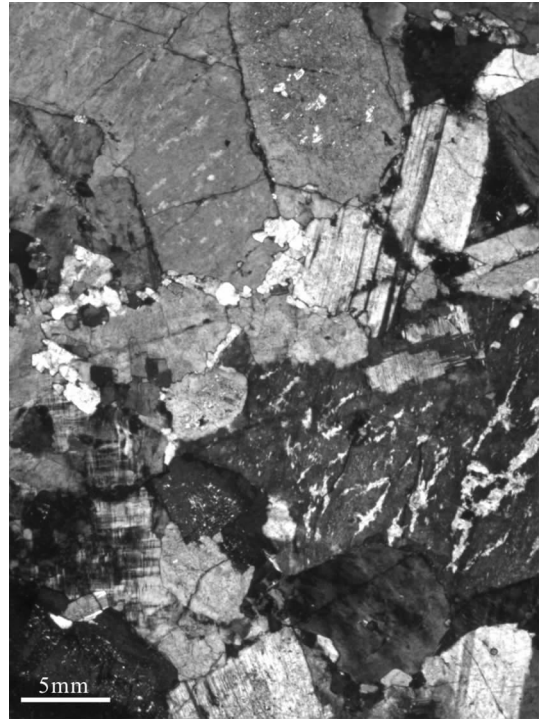


图 7 中粗粒二长花岗岩显微镜照片

Fig.7 Microscope pictures of medium- and coarse-grained monzogranite

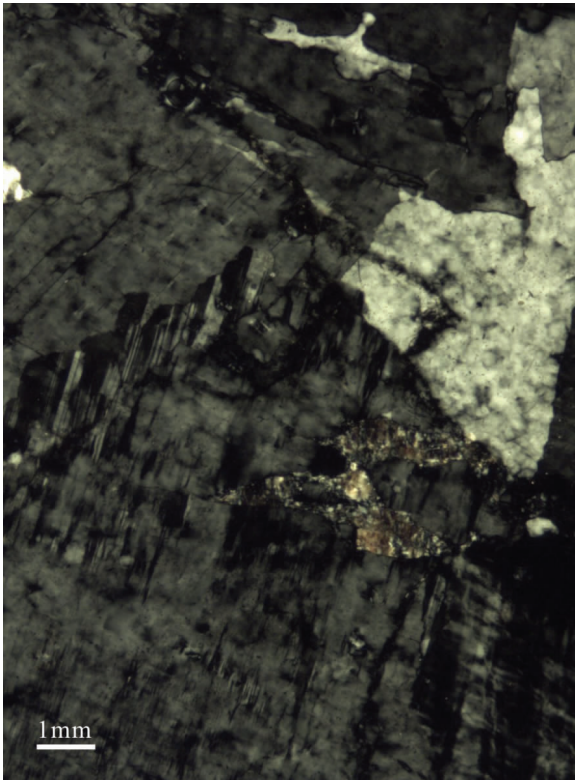


图 8 中细粒二长花岗岩显微镜照片

Fig.8 Microscope pictures of medium- and fine-grained monzogranite

磁铁矿和榍石;局部含 1%~2% 的白云母,呈无色、片状,闪突起,一组极完全解理,平行消光,分布于长石之间,应为岩浆晚期结晶产物;岩体中见少量细粒闪长质包体,形态各异,局部已被后期改造成花岗质碎裂岩、糜棱岩。

## 4 地球化学特征

### 4.1 主量元素化学特征

早侏罗世侵入岩  $\text{SiO}_2$  含量为 62.78%~70.78%, 平均 74.11%, 基本上属于中酸性岩类, 在  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  图解(图 9)上主要显示为高钾钙碱性系列岩石; 在 CIPW 标准矿物上 Q 为 9.08~38.2, 属于硅饱和或过饱和, 钙碱性岩石系列, DI (分异指数) 为 59.87~91.17, DI 平均值为 84.53; 晚侏罗世侵入岩  $\text{SiO}_2$  含量为 66.48%~78.78%, 平均 72.69%, 属于中酸性岩类,  $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$  图解(图 9)显示为高钾钙碱性系列岩石。反映在 CIPW 标准矿物上 Q 为 19.59~54.64, 为硅饱和或过饱和, 属钙碱性岩石系列; DI (分异指数) 为 79.01~95.57, DI 平均值为 88.42。这两期花岗质岩石均区别于 Petro 等<sup>[2]</sup>张性环境花岗岩 (DI 在 88.87~91.97)。

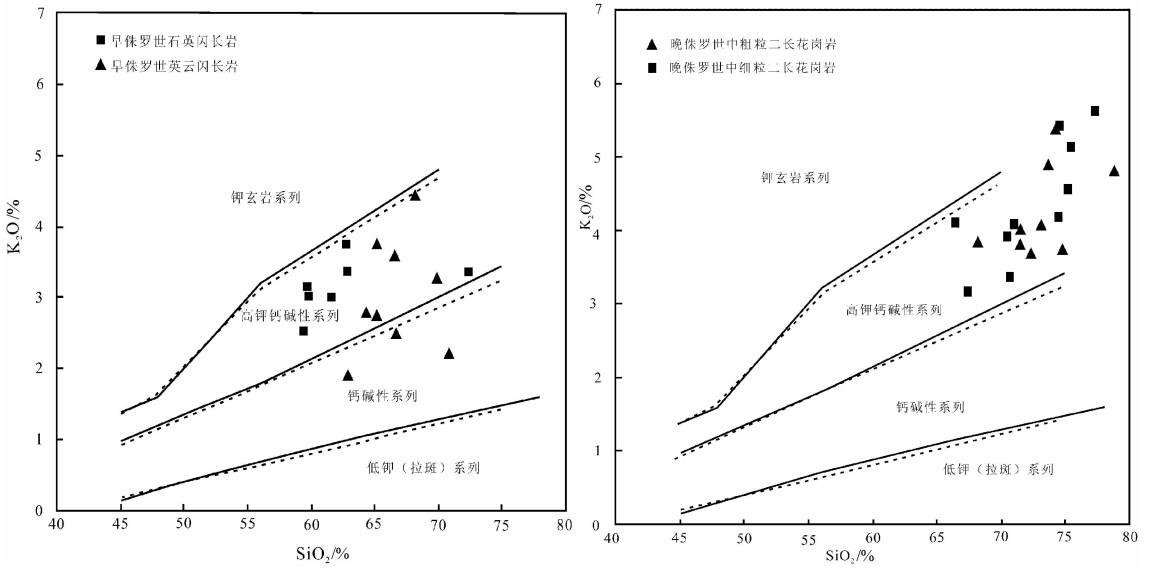


图 9 查巴奇地区侵入岩系列  $K_2O-SiO_2$  判别图解  
 Fig.9 Discrimination diagrams of  $K_2O-SiO_2$  for intrusive rock series from Chabaqi area

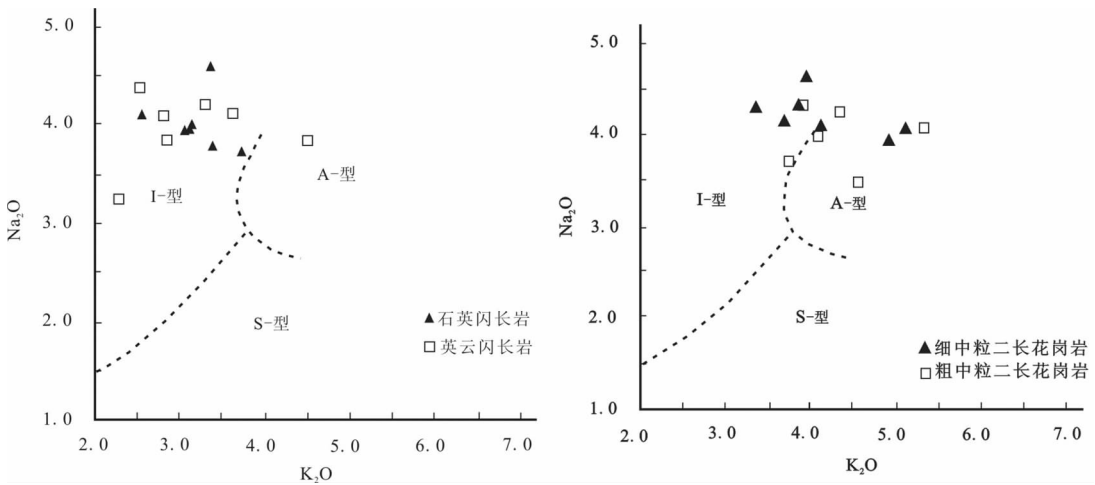


图 10 查巴奇地区侵入岩系列  $Na_2O-K_2O$  判别图解  
 Fig.10 Discrimination diagrams of  $Na_2O-K_2O$  for intrusive rock series from Chabaqi area

早侏罗世石英闪长岩和英云闪长岩在  $K_2O-Na_2O$  图解上落于 I 型花岗岩区(图 10)。石英闪长岩和英云闪长岩均为钙碱性系列, 岩体具有强烈的钾化现象, 成因类型为 I 型花岗岩。晚侏罗世二长花岗岩岩石在  $Na_2O-K_2O$  图解上 I 型花岗岩和 A 型花岗岩区均有分布(图 10)。

角闪石、堇青石、暗色碱性矿物的出现及  $Ga/Al$  比值被认为是判别花岗岩成因类型的有效标志或工具<sup>[23-27]</sup>。根据  $10000Ga/Al$  比值进一步判别花岗岩成因类型, 结果(图 11)显示早侏罗世和晚侏罗世

花岗岩  $10000Ga/Al$  比值均在 1.1~2.1, 低于 A 型花岗岩的下限值(2.6); 样品点均落在 I 型或 S 型花岗岩区。综合上述特征, 笔者认为晚侏罗世二长花岗岩为 I 型花岗岩。

$SiO_2-lg[CaO/(K_2O+Na_2O)]$  图解(图 12)显示: 侏罗世早期的石英闪长岩和英云闪长岩是一套板内挤压性环境花岗岩, 晚侏罗世二长花岗岩是在挤压和引张过渡环境形成的; 在  $R_1-R_2$  花岗岩构造环境关系图(图 13)中, 研究区晚侏罗世花岗质岩样品主要落在壳幔熔融花岗岩区。晚侏罗世时期大兴安岭处

表 2 研究区侏罗世早期花岗岩类岩石化学(%)分析结果  
Table 2 Petrochemical composition of early Jurassic granitoids from the study area

岩石类型 样品号	早侏罗世石英闪长岩													
	DI1011Y1	DI198Y6	DI290Y1	PM-B83	B1030B <sub>2</sub>	PM-B35	PM <sub>11</sub> LT43	DI289Y1	DI299Y1	DI0269Y1	DI086Y1	DI306Y1	DI308Y1	DI0506
SiO <sub>2</sub>	59.74	59.83	62.66	62.8	61.58	59.44	72.32	65.07	68.1	62.78	65.1	66.5	64.3	66.6
TiO <sub>2</sub>	0.95	1	0.79	0.86	1	0.9	0.35	0.58	0.5	0.41	0.62	0.58	0.64	0.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.72	16.05	15.06	14.79	16.09	16.24	14.2	15.92	14.24	19.28	16.55	15.62	16.08	16.51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.49	2.58	2.25	2.19	2.54	2.32	2.53	1.83	2.37	1.11	2.44	2.21	2.06	1.76
FeO	4.31	3.95	3.59	3.5	3.6	4.14	0.56	3.3	1.8	1.62	1.44	1.98	2.97	2.5
MnO	0.11	0.092	0.094	0.08	0.06	0.1	0.02	0.12	0.071	0.12	0.11	0.06	0.12	0.1
MgO	3.23	2.84	2.31	2.96	3.16	3.8	0.42	1.4	1.22	0.78	1.07	1.38	1.63	1.42
CaO	5.1	5.65	4.53	3.88	3.58	4.81	0.44	3.75	2.51	2.86	2.43	2.11	3.37	3.05
Na <sub>2</sub> O	4.01	3.96	3.73	3.81	3.95	4.1	4.6	4.09	3.86	8.41	5.11	4.13	3.86	4.4
K <sub>2</sub> O	3.14	3.09	3.74	3.37	3.05	2.54	3.35	2.79	4.5	1.93	3.78	3.63	2.83	2.53
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.21	0.21	0.16	0.17	0.25	0.2	0.1	0.18	0.13	0.14	0.19	0.17	0.2	0.2
LOS	0.74	3.51	0.69	1.52	1.38	1.7	1.5	0.56	0.34	0.32	0.91	1.37	1.57	1.1
Total	99.75	102.76	99.6	99.93	100.24	100.29	100.39	99.59	99.64	99.76	99.75	99.74	99.63	100.77
DI	62.07	61.87	68.46	68.23	66.01	59.87	91.17	71.15	81.85	82.96	81.11	79.7	71.31	74.54

表 3 研究区侏罗世晚期花岗岩类岩石化学(%)分析结果  
Table 3 Petrochemical composition of late Jurassic granitoids from the study area

岩石类型 样品号	晚侏罗世中粗粒二长花岗岩												
	PM <sub>16</sub> TC98	DI1611	PM <sub>16</sub> LT111	DI2364	PM <sub>16</sub> LT151	PM <sub>13</sub> LT55	PM <sub>13</sub> TC159	DI284Y1	DI285Y1	DI288Y1	DI256Y1	PM <sub>16</sub> LT142	DI2032
SiO <sub>2</sub>	75.52	71.46	70.6	67.54	66.48	75.22	74.42	78.78	74.2	68.09	72.35	72.28	73.66
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.25	0.35	0.5	0.6	0.1	0.25	0.12	0.1	0.45	0.3	0.4	0.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.08	14.34	14.82	15.27	14.49	13.45	13.55	10.83	13.06	14.45	13.65	14.05	13.61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	0.94	1.16	1.65	1.42	0.51	0.72	0.17	0.65	1.16	0.72	1.16	0.8
FeO	0.76	1.16	1.52	3.2	3.76	1.44	1.33	1.53	1.62	2.34	1.89	1.78	1.3
MnO	0.02	0.04	0.04	0.05	0.08	0.02	0.03	0.027	0.044	0.079	0.076	0.01	0.02
MgO	0.18	0.49	0.5	1.23	1.02	0.13	0.33	0.07	0.19	0.9	0.51	0.75	0.21
CaO	0.55	1.65	1.93	2.07	2.16	1.1	0.5	0.34	0.32	1.93	1.52	1.9	0.5
Na <sub>2</sub> O	4.06	4.64	4.32	4.49	4.09	3.48	4.01	2.9	4.09	4.31	4.25	4.15	3.94
K <sub>2</sub> O	5.13	3.94	3.36	3.15	4.1	4.54	4.19	4.84	5.32	3.86	4.33	3.69	4.9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.1	0.2	0.2	0.2	0.05	0.08	0.013	0.028	0.18	0.09	0.1	0.1
LOS	0.38	0.1	0.46	0.32	0.66	0.52	0.52	99.62	99.62	97.75	99.69	100.79	99.82
Total	99.82	99.11	99.26	99.67	99.06	100.56	99.93	99.62	99.62	97.75	99.69	100.79	99.82
DI	95.57	88.56	85.07	79.01	79.36	90.48	92.27	94.96	94.5	83.14	88.32	85.04	93.22



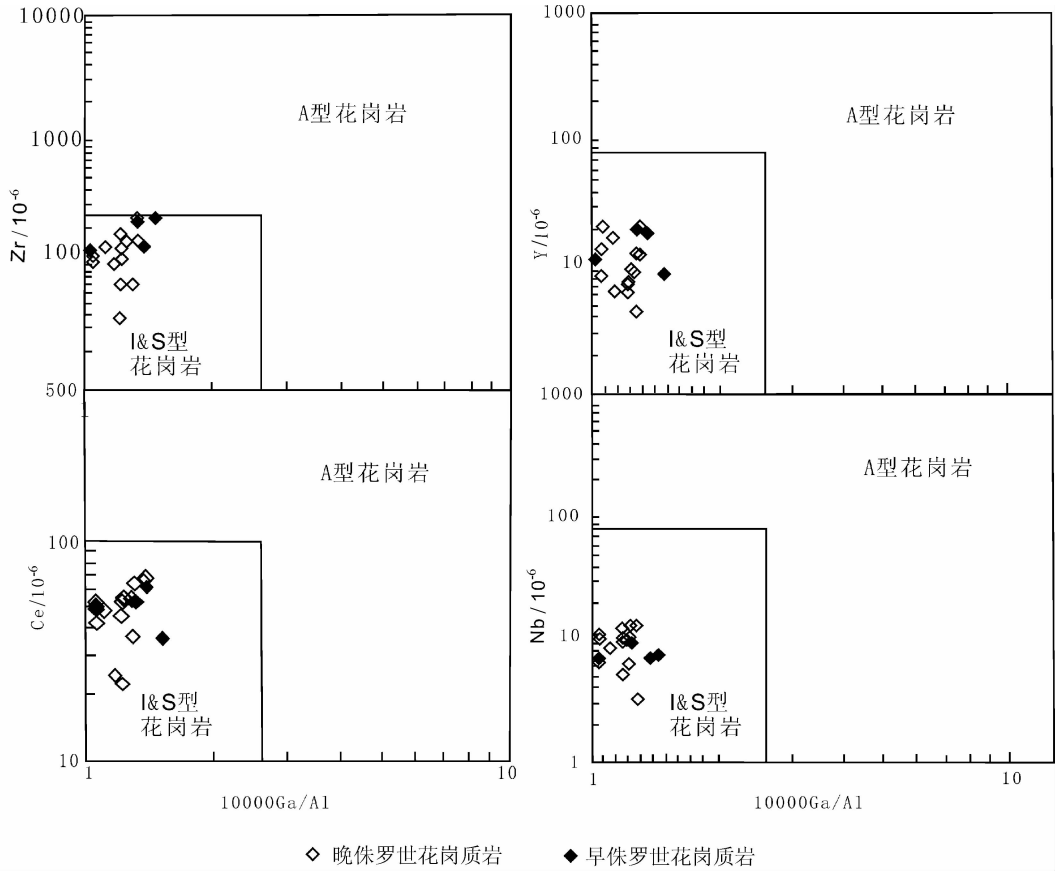


图 11 查巴奇地区花岗质岩石成因判别图解  
 Fig.11 Genetic discrimination diagram of granitoids in Chabaqi area

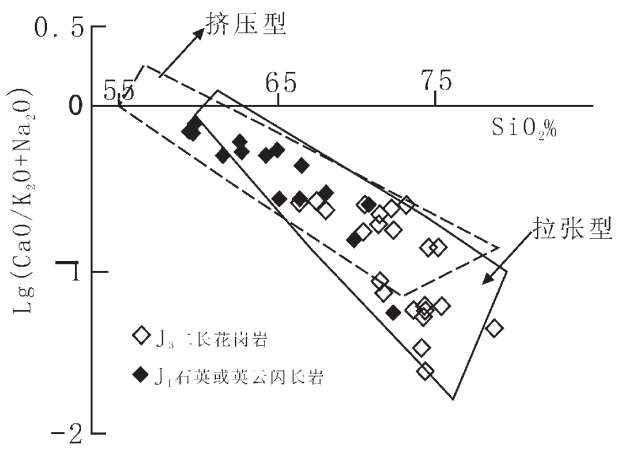


图 12 查巴奇地区侵入岩构造环境  $\lg\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$  判别图解

Fig.12 Discrimination diagrams of  $\lg\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$  tectonic setting for intrusive rock series from Chabaqi area

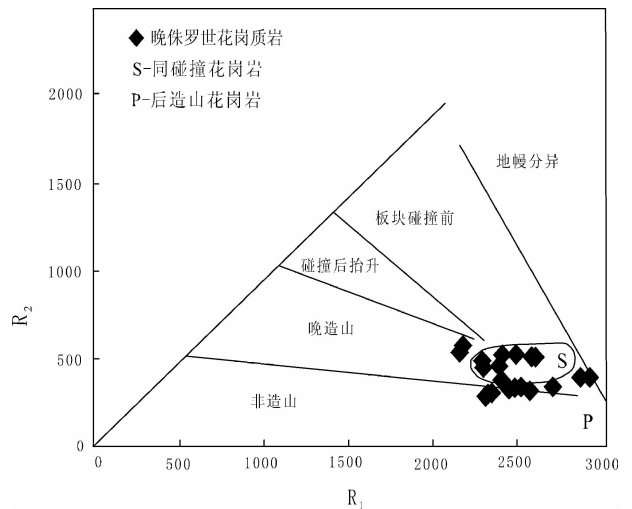


图 13 研究区晚侏罗世侵入岩  $R_1-R_2$  图  
 Fig.13 Discrimination diagrams of  $R_1-R_2$  tectonic setting for late Jurassic intrusive rocks from the study area

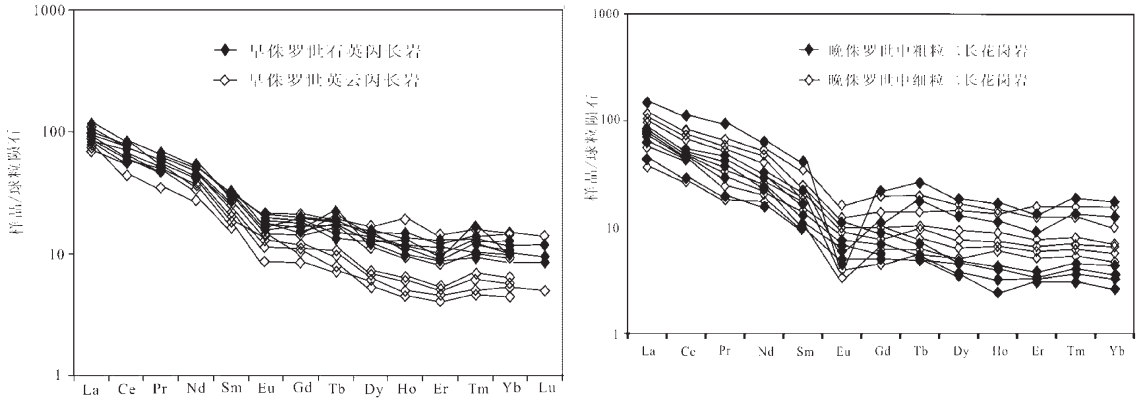


图 14 研究区侵入岩稀土元素配分曲线(球粒陨石标准化值据 Boynton,1984)

Fig.14 Chondrite-normalized REE patterns of intrusive rocks from the study area (normalization values after Boynton,1984)

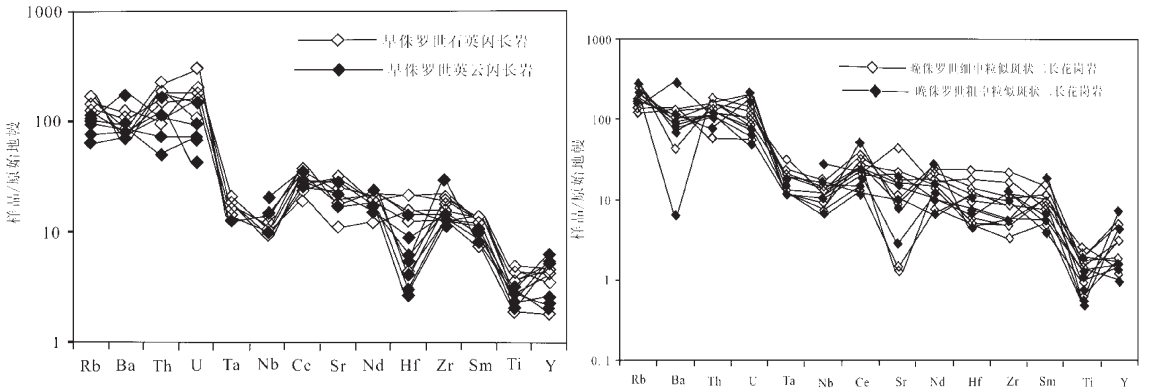


图 15 研究区侵入岩微量元素蛛网图  
(原始地幔标准化值据 McDonough,1992)

Fig.15 Primitive mantle-normalized patterns of trace elements from intrusive rocks  
(normalization values after McDonough,1992)

于构造伸展期,地球化学特征上二长花岗岩的挤压和引张过渡特点可能是由于花岗岩在时空演化上的不均一性,还可能是由于软流体活动的涌动性,导致幔源物质的供给的间歇性造成挤压-引张过渡型。

#### 4.2 稀土元素及微量元素地球化学特征

早侏罗世侵入岩稀土元素总量  $98.83 \times 10^{-6} \sim 185.22 \times 10^{-6}$ ,平均值为  $152.39 \times 10^{-6}$ ,晚侏罗世侵入岩稀土总量为  $63.42 \times 10^{-6} \sim 249.1 \times 10^{-6}$ ,平均值为  $8.76 \times 10^{-6}$ ,其变异程度较大。稀土元素配分曲线结果(图 14)显示:早侏罗世英云闪长岩和石英闪长岩均呈现轻稀土元素向右微倾,重稀土元素分馏不明显, Eu 呈弱的负异常;晚侏罗世二长花岗岩轻稀土元素向右微倾,重稀土元素分馏不明显, Eu 呈弱-中等的负异常,两期花岗质岩均呈重稀土的平坦型分布。

微量元素蛛网图(图 15)显示:早侏罗世花岗岩

大离子亲石元素富 Rb、贫 Ba;高场强元素(HFSE) Th、U 高度富集, 贫 Ta、Nb、Ti、Y 等,具有 Nb、Hf 的负异常。晚侏罗世二长花岗岩大离子亲石元素(LILE)富集 Rb 贫 Sr、Ba,高场强元素 Th、U 富集;具有 Sr、Ba、Ti、Nb 的明显负异常,暗示具有强烈分异的分离结晶作用存在,即岩石形成于长期较稳定的环境<sup>[28]</sup>,非挤压造山环境。Sr 主要赋存于斜长石等含钙矿物中,故 Sr 的亏损与源区残留相斜长石有关。晚侏罗世二长花岗岩 Sr 元素负异常相对于早期花岗质岩石负异常更明显,暗示岩浆源区存在斜长石残留相越来越多,发生了以斜长石为主的分离结晶作用,源区越来越浅。早侏罗世花岗质岩石多数样品中尤以英云闪长岩均具有明显的 Hf 负异常特征,而晚侏罗世花岗质岩样品基本不具有 Hf 负异常特征。

表 4 研究区侏罗纪早期花岗岩类微量元素 ( $10^{-6}$ ) 分析结果  
 Table 4 Trace element ( $10^{-6}$ ) composition of early Jurassic granitoids from the study area

岩石类型 样品号	早侏罗世石英闪长岩														早侏罗世英闪长岩														
	D1011Y1	D1198Y6	D1290Y1	PM <sub>1</sub> B83	B1030B <sub>2</sub>	PM <sub>1</sub> B35	PM <sub>1</sub> LT43	D1289Y1	D1299Y1	D0269Y1	D1086Y1	D1306Y1	D1308Y1	D0506	D1011Y1	D1198Y6	D1290Y1	PM <sub>1</sub> B83	B1030B <sub>2</sub>	PM <sub>1</sub> B35	PM <sub>1</sub> LT43	D1289Y1	D1299Y1	D0269Y1	D1086Y1	D1306Y1	D1308Y1	D0506	
Rb	82	82.6	117	111	82.4	79	103	57.6	116	39.5	71.5	99.6	47.7	65.7	82	82.6	117	111	82.4	79	103	57.6	116	39.5	71.5	99.6	47.7	65.7	
Ba	605	865	533	487	706	542	613	616	623	508	1241	726	581	633	605	865	533	487	706	542	613	616	623	508	1241	726	581	633	
Th	9.4	8.6	15.9	15.7	12.5	12	18.9	6.05	15.3	8.8	9.2	15.2	4.2	12.6	9.4	8.6	15.9	15.7	12	12	18.9	6.05	15.3	8.8	9.2	15.2	4.2	12.6	
U	3.15	4.07	2.29	3.67	3.33	3.33	6.33	1.39	3.71	1.95	0.88	3.14	1.53	3.5	3.15	4.07	2.29	3.67	3.33	3.33	6.33	3.71	1.95	0.88	3.14	1.53	3.5	3.5	
Ta				0.65	0.82	0.75	0.57							0.52				0.65	0.82	0.75	0.57								0.52
Nb	6.8	7.1	8.2	8.94	7.34	6.98	7.07	10.2	7.3	14.2	8.4	6.8	9.7	9.49	6.8	7.1	8.2	8.94	6.98	6.98	7.07	7.3	14.2	8.4	6.8	9.7	9.7	9.49	
Ce	58.6	57.8	67.5	58.6	49.2	49	35.4	59.5	50.2	66.8	51.2	53.6	45.8	61.6	58.6	57.8	67.5	58.6	49.2	49	35.4	59.5	50.2	66.8	51.2	53.6	45.8	61.6	
Sr	517	492	396	392	628	643	235	438	455	355	531	596	498	420	517	492	396	392	643	643	235	438	455	355	531	596	498	420	
Nd	28.5	29	30.5	29.1	26.1	25.4	16.5	26.8	21.4	25.6	21.8	24.2	25.4	30.4	28.5	29	30.5	29.1	26.1	25.4	16.5	26.8	21.4	25.6	21.8	24.2	25.4	30.4	
Hf	1.75	1.47	1.56	6.51	6.73	3.82	4.76	0.93	2.71	1.29	1.67	1.93	0.83	4.44	1.75	1.47	1.56	6.51	6.73	3.82	4.76	2.71	1.29	1.67	1.93	0.83	4.44		
Zr	218	141	224	219	240	142	138	138	149	167	339	169	124	158	218	141	224	219	240	142	138	138	149	167	339	169	124	158	
Sm	5.89	5.9	5.97	6.18	5.41	5.49	3.21	5.06	3.88	4.96	3.49	4.26	5.5	6.08	5.89	5.9	5.97	6.18	5.41	5.49	3.21	3.88	4.96	4.26	3.49	4.26	5.5	6.08	
Ti	5689	6001	4748	4700	5600	5300	2300	3483	2968	2434	3687	3492	3861	3100	5689	6001	4748	4700	5600	5300	2300	3483	2968	2434	3687	3492	3861	3100	
Y	21.1	21	21.8	20.6	15.4	19.5	8.57	18.8	11.2	22.2	8.46	10.2	27.2	23.6	21.1	21	21.8	20.6	15.4	19.5	8.57	11.2	22.2	22.2	8.46	10.2	27.2	23.6	
Pb	109	37	56.1	15.5	5	11	11	34.1	38.3	21.1	31.6	18.1	42.5	3	109	37	56.1	15.5	5	11	11	38.3	21.1	21.1	31.6	18.1	42.5	3	
La	29	26.8	35.6	29.2	26.3	25.8	23.1	30.8	24.8	30.4	26	27.4	21.5	33.8	29	26.8	35.6	29.2	26.3	25.8	23.1	30.8	24.8	30.4	26	27.4	21.5	33.8	
Ce	58.6	57.8	67.5	58.6	49.2	49	35.4	59.5	50.2	66.8	51.2	53.6	45.8	61.6	58.6	57.8	67.5	58.6	49.2	49	35.4	59.5	50.2	66.8	51.2	53.6	45.8	61.6	
Pr	7.55	7.37	8.15	7.39	6.36	6.03	4.2	7.08	5.89	7.05	6.03	6.6	6.16	7.24	7.55	7.37	8.15	7.39	6.36	6.03	4.2	7.08	5.89	7.05	6.03	6.6	6.16	7.24	
Nd	28.5	29	30.5	29.1	26.1	25.4	16.5	26.8	21.4	25.6	21.8	24.2	25.4	30.4	28.5	29	30.5	29.1	26.1	25.4	16.5	26.8	21.4	25.6	21.8	24.2	25.4	30.4	
Sm	5.89	5.9	5.97	6.18	5.41	5.49	3.21	5.06	3.88	4.96	3.49	4.26	5.5	6.08	5.89	5.9	5.97	6.18	5.41	5.49	3.21	3.88	4.96	4.26	3.49	4.26	5.5	6.08	
Eu	1.46	1.27	1.14	1.19	1.35	1.4	0.63	1.35	0.83	1.01	1	0.95	1.29	1.49	1.46	1.27	1.14	1.19	1.35	1.4	0.63	0.83	1.01	1	0.95	1.29	1.49		
Gd	4.05	3.95	4.29	5.14	4.68	4.87	2.18	3.7	2.82	3.79	2.72	3.16	3.82	5.23	4.05	3.95	4.29	5.14	4.68	4.87	2.18	2.82	3.79	2.72	3.16	3.82	5.23		
Tb	1.04	0.85	0.82	0.83	0.63	0.71	0.34	0.71	0.48	0.77	0.37	0.48	0.91	0.88	1.04	0.85	0.82	0.83	0.63	0.71	0.34	0.48	0.48	0.77	0.37	0.48	0.91	0.88	
Dy	4	4.04	4.1	5.13	4.19	4.45	1.92	3.59	2.27	4.02	1.72	2.24	4.83	5.32	4	4.04	4.1	5.13	4.19	4.45	1.92	3.59	2.27	4.02	1.72	2.24	4.83	5.32	
Ho	0.93	0.81	0.81	0.96	0.7	0.81	0.35	0.71	0.44	0.83	0.33	0.42	1	1.36	0.93	0.81	0.81	0.96	0.7	0.81	0.35	0.44	0.44	0.83	0.33	0.42	1	1.36	
Er	1.92	1.9	1.96	2.68	1.95	2.39	1.01	1.74	1.11	2.12	0.84	1.06	2.49	3.1	1.92	1.9	1.96	2.68	1.95	2.39	1.01	1.11	1.11	2.12	0.84	1.06	2.49	3.1	
Tm	0.54	0.39	0.38	0.43	0.3	0.33	0.16	0.32	0.22	0.43	0.15	0.2	0.5	0.48	0.54	0.39	0.38	0.43	0.3	0.33	0.16	0.22	0.22	0.43	0.15	0.2	0.5	0.48	
Yb	2.09	2.08	2.2	2.44	1.76	2.15	1.1	1.94	1.3	2.65	0.91	1.18	3.03	3.09	2.09	2.08	2.2	2.44	1.76	2.15	1.1	1.3	1.3	2.65	0.91	1.18	3.03	3.09	
Lu				0.38	0.28	0.3	0.16							0.44				0.38	0.28	0.3	0.16							0.44	
Y	21.1	21	21.8	20.6	15.4	19.5	8.57	18.8	11.2	22.2	8.46	10.2	27.2	23.6	21.1	21	21.8	20.6	15.4	19.5	8.57	11.2	22.2	22.2	8.46	10.2	27.2	23.6	
ΣREE	166.67	163.16	185.22	170.25	144.61	148.63	98.83	162.1	126.84	172.63	125.02	135.95	149.43	184.11	166.67	163.16	185.22	170.25	144.61	148.63	98.83	162.1	126.84	172.63	125.02	135.95	149.43	184.11	

表 5 研究区侏罗纪晚期花岗岩类微量元素(10<sup>-6</sup>)分析结果  
Table 5 Trace element (10<sup>-6</sup>) composition of early Jurassic granitoids from the study area

岩石类型	晚侏罗世中细粒二长花岗岩										晚侏罗世中粗粒二长花岗岩															
	PM <sub>16</sub> TC98	DI611	PM <sub>10</sub> LT111	DI364	PM <sub>4</sub> LT151	PM <sub>13</sub> LT55	PM <sub>5</sub> TC159	DI284V1	DI285Y1	DI288Y1	DI286Y1	PM <sub>4</sub> LT24a	D2032	PM <sub>16</sub> TC98	DI611	PM <sub>10</sub> LT111	DI364	PM <sub>4</sub> LT151	PM <sub>13</sub> LT55	PM <sub>5</sub> TC159	DI284V1	DI285Y1	DI288Y1	DI286Y1	PM <sub>4</sub> LT24a	D2032
Rb	124	88	78.2	80.3	144	172	112	91.8	173	96.5	117	121	133	124	88	78.2	80.3	144	172	112	91.8	173	96.5	117	121	133
Ba	42.8	931	896	909	662	298	692	2022	473	794	689	716	781	42.8	931	896	909	662	298	692	2022	473	794	689	716	781
Th	14.4	12.1	12.1	5.02	9.82	13.1	13	9.6	10.6	8.7	13.5	9.35	6.42	14.4	12.1	12.1	5.02	9.82	13.1	13	9.6	10.6	8.7	13.5	9.35	6.42
U	3	2.67	4	1.28	2.22	2.09	1.82	0.95	4.2	1.4	4.24	1.68	3.71	3	2.67	4	1.28	2.22	2.09	1.82	0.95	4.2	1.4	4.24	1.68	3.71
Ta	0.5	0.86	0.5	0.5	1	1.31	0.84					0.5	0.81	0.5	0.86	0.5	0.5	1	1.31	0.84					0.5	0.81
Nb	5.28	9.47	6.49	8.76	12.3	9.55	10	5.4	20	6.5	9	7.27	11.1	5.28	9.47	6.49	8.76	12.3	9.55	10	5.4	20	6.5	9	7.27	11.1
Ce	23.6	54.1	52.1	45.2	63.8	40.5	49.5	93	39.2	44.6	39.8	36.5	24.3	23.6	54.1	52.1	45.2	63.8	40.5	49.5	93	39.2	44.6	39.8	36.5	24.3
Sr	31.2	358	478	930	229	27	185	161	59.9	342	320	445	211	31.2	358	478	930	229	27	185	161	59.9	342	320	445	211
Nd	10.4	24.3	22.2	22.6	33.4	18.8	29.3	38.1	17.6	18.9	13.7	13.9	9.35	10.4	24.3	22.2	22.6	33.4	18.8	29.3	38.1	17.6	18.9	13.7	13.9	9.35
Hf	1.58	3.83	2.98	5.67	7.13	1.74	4.29	1.44	2.29	1.75	1.73	2.38	3.63	1.58	3.83	2.98	5.67	7.13	1.74	4.29	1.44	2.29	1.75	1.73	2.38	3.63
Zr	37	112	105	185	242	53.8	124	63	59.6	138	127	67.5	103	37	112	105	185	242	53.8	124	63	59.6	138	127	67.5	103
Sm	2.22	4.83	3.53	3.76	6.82	4.16	4.56	7.85	4.22	3.22	2.15	2.36	1.81	2.22	4.83	3.53	3.76	6.82	4.16	4.56	7.85	4.22	3.22	2.15	2.36	1.81
Ti	800	1800	2100	3250	2560	2680	1180	795	618	2680	1829	1910	1230	800	1800	2100	3250	2560	2680	1180	795	618	2680	1829	1910	1230
Y	8.66	13.9	8.29	6.32	22.6	22.8	14.2	32	23.6	7.52	6.39	4.51	6.44	8.66	13.9	8.29	6.32	22.6	22.8	14.2	32	23.6	7.52	6.39	4.51	6.44
Pb	32	12	13	9	14	27.5	22	34.9	38.9	54.4	26.2	12	31	32	12	13	9	14	27.5	22	34.9	38.9	54.4	26.2	12	31
La	11.9	33.5	30.2	26.9	34.2	23.3	39.6	45.8	20.2	23.7	24.5	26.1	13.5	11.9	33.5	30.2	26.9	34.2	23.3	39.6	45.8	20.2	23.7	24.5	26.1	13.5
Ce	23.6	54.1	52.1	45.2	63.8	40.5	49.5	93	39.2	44.6	39.8	36.5	24.3	23.6	54.1	52.1	45.2	63.8	40.5	49.5	93	39.2	44.6	39.8	36.5	24.3
Pr	2.39	6.26	5.41	4.85	7.56	4.9	6.32	10.9	5.03	5.17	4.09	3.38	2.32	2.39	6.26	5.41	4.85	7.56	4.9	6.32	10.9	5.03	5.17	4.09	3.38	2.32
Nd	10.4	24.3	22.2	22.6	33.4	18.8	29.3	38.1	17.6	18.9	13.7	13.9	9.35	10.4	24.3	22.2	22.6	33.4	18.8	29.3	38.1	17.6	18.9	13.7	13.9	9.35
Sm	2.22	4.83	3.53	3.76	6.82	4.16	4.56	7.85	4.22	3.22	2.15	2.36	1.81	2.22	4.83	3.53	3.76	6.82	4.16	4.56	7.85	4.22	3.22	2.15	2.36	1.81
Eu	0.28	0.81	0.89	0.86	1.15	0.27	0.67	0.33	0.44	0.79	0.55	0.52	0.35	0.28	0.81	0.89	0.86	1.15	0.27	0.67	0.33	0.44	0.79	0.55	0.52	0.35
Gd	1.7	3.49	2.55	2.36	5.25	3.33	3.02	5.69	2.93	2.34	1.84	1.48	1.34	1.7	3.49	2.55	2.36	5.25	3.33	3.02	5.69	2.93	2.34	1.84	1.48	1.34
Tb	0.28	0.55	0.34	0.37	0.87	0.69	0.51	1.22	0.81	0.33	0.25	0.23	0.23	0.28	0.55	0.34	0.37	0.87	0.69	0.51	1.22	0.81	0.33	0.25	0.23	0.23
Dy	1.73	3.33	1.9	1.83	5.99	4.8	3.19	5.95	4.09	1.47	1.21	1.2	1.5	1.73	3.33	1.9	1.83	5.99	4.8	3.19	5.95	4.09	1.47	1.21	1.2	1.5
Hb	0.35	0.57	0.31	0.35	1.03	0.96	0.54	1.18	0.8	0.28	0.24	0.18	0.31	0.35	0.57	0.31	0.35	1.03	0.96	0.54	1.18	0.8	0.28	0.24	0.18	0.31
Er	0.97	1.66	0.94	0.82	3.03	3.28	1.44	2.9	1.93	0.68	0.62	0.67	0.8	0.97	1.66	0.94	0.82	3.03	3.28	1.44	2.9	1.93	0.68	0.62	0.67	0.8
Tm	0.15	0.26	0.15	0.13	0.46	0.51	0.22	0.61	0.43	0.13	0.12	0.1	0.15	0.15	0.26	0.15	0.13	0.46	0.51	0.22	0.61	0.43	0.13	0.12	0.1	0.15
Yb	1.14	1.46	1.01	0.71	2.8	3.5	1.27	3.57	2.57	0.69	0.76	0.55	0.9	1.14	1.46	1.01	0.71	2.8	3.5	1.27	3.57	2.57	0.69	0.76	0.55	0.9
Lu	0.18	0.24	0.15	0.01	0.4	0.5	0.17					0.08	0.12	0.18	0.24	0.15	0.01	0.4	0.5	0.17					0.08	0.12
Y	8.66	13.9	8.29	6.32	22.6	22.8	14.2	32	23.6	7.52	6.39	4.51	6.44	8.66	13.9	8.29	6.32	22.6	22.8	14.2	32	23.6	7.52	6.39	4.51	6.44
ΣREE	65.95	149.26	129.97	117.07	189.36	132.3	154.51	249.1	123.85	109.82	96.22	91.76	63.42	65.95	149.26	129.97	117.07	189.36	132.3	154.51	249.1	123.85	109.82	96.22	91.76	63.42

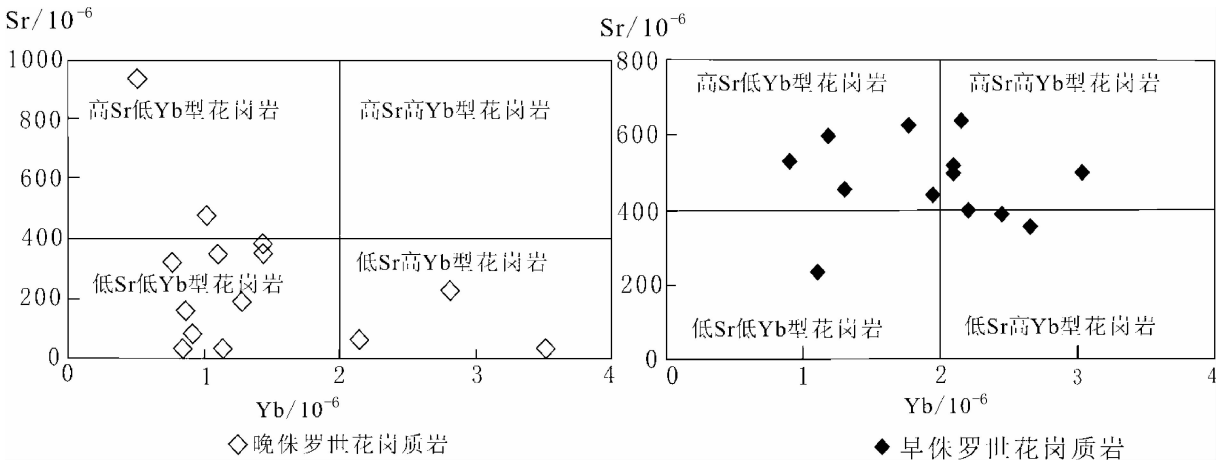


图 16 研究区侵入岩 Sr-Yb 分类图

Fig.16 Classification of intrusive rocks based on Yb and Sr content of the study area

花岗岩按照  $Sr=400 \mu g/g$  和  $Yb=2 \mu g/g$  标志<sup>[29]</sup> 将研究区花岗岩按照压力进行分类,分为不同压力情况的岩石(图 16),早侏罗世英云闪长岩和石英闪长岩分布于高 Sr 低 Yb 及高 Sr 高 Yb 区,说明其成因比较复杂,高 Sr 低 Yb 花岗岩具有弱的 Eu 负异常属于高压力的形成环境,属于埃达克岩型<sup>[30]</sup>,贫 Sr 表示源区同时还具有斜长石残留,属于喜马拉雅型花岗岩<sup>[31]</sup>,Sr 元素负异常加强说明早侏罗世花岗质岩形成于幔源物质上涌底侵于下地壳的深度更大,晚侏罗世花岗质岩形成深度相对小。

## 5 花岗岩成因及构造环境

岩石化学分析数据及各种判别图解表明,研究区侵入岩主要为钙碱性系列岩,属于大兴安岭地区侏罗世底侵作用为主岩浆活动的壳幔同熔 I 型花岗岩。侏罗世早期花岗质岩成因较复杂,lg[CaO/(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)]-SiO<sub>2</sub> 图解判别为挤压型,反映其构造环境具有相对高压特征,源区深度较大,形成环境较为复杂;晚侏罗世花岗质岩石属于喜马拉雅型,形成中等压力环境下。研究区花岗质岩石均富集大离子亲石元素 Rb 而贫 Ba, 具有 Ba、Nb、Sr、Ti 的负异常,又说明本区二长花岗岩经过了强烈的岩浆分异结晶作用。稀土元素和微量元素特征显示早侏罗世花岗质岩石弱 Eu 负异常到晚侏罗世花岗质岩的 Eu 弱-中等的负异常说明源区斜长石残留相更多,岩浆来源越浅,花岗岩贫 Yb 表示源区具有石榴子石残留,从晚侏罗世开始到早白垩世,大兴安岭处于对称

伸展状态,软流圈隆起,下地壳被熔融的壳源物质与上地幔渗入的幔源物质混熔形成壳-幔混熔岩浆<sup>[32]</sup>,其压力相对小,地壳厚度较小,晚侏罗世二长花岗岩低 Sr 低 Yb 反映的构造环境与上述构造环境吻合。燕山期诱发岩浆活动的断裂以 NNE 向为主,及在晚中生代由于古太平洋板块相对于亚洲板块向北运动造成大规模的左旋剪切作用,形成大量密集的、深切的走滑断裂<sup>[33-34]</sup>,断裂的剪切走滑活动主要发生在 145~100 Ma<sup>[35]</sup>,即在本区侵入岩形成后开始的大规模的断裂构造,是造成研究区侵入岩呈北东向分布的直接原因。研究区侏罗世早期到侏罗世晚期花岗质岩石的形成背景与大兴安岭地区地幔物质上涌底侵地壳,地壳及岩石圈伸展减薄过程相吻合。

## 6 结论

(1)大兴安岭查巴奇地区二长花岗岩形成于晚侏罗世,修正了前人资料把该地区的二长花岗岩划归晚二叠世观点,为大兴安岭构造演化等研究提供了年代学上的可靠资料。

(2)岩石化学特征表明,研究区侵入岩属于钙碱性岩,具有属于高钾、硅饱和或过饱和岩石的特征;形成于中生代侏罗纪不同时期的花岗质岩均形成于长期稳定环境下,成因类型为壳幔同熔的 I 型花岗岩。

(3)晚侏罗世二长花岗岩诸多特征表明其形成压力相对更小,岩浆来源更浅,反映地壳厚度较小,进一步佐证了大兴安岭从晚侏罗世开始处于对称伸展状态,软流圈隆起,下地壳被熔融的壳源物质与上

地幔渗入的幔源物质混熔形成壳-幔混熔岩浆。

(4)研究区侏罗纪不同时期的花岗质岩石虽形成于长期稳定的环境下,但又存在差别。早侏罗世花岗质岩表现为挤压特征,成因比较复杂;晚侏罗世二长花岗质岩形成压力相对低,为挤压-引张过渡型,属于喜马拉雅型花岗岩,早侏罗世花岗质岩弱Eu负异,晚侏罗世花岗质岩的Eu弱-中等的负异常,说明岩浆源区斜长石残留相越多,岩浆来源越浅,晚侏罗世二长花岗岩则形成于地壳厚度相对小的环境下,上述特征说明在侏罗世早期幔源岩浆上涌至地壳底部形成花岗质岩的深度相对于晚侏罗世花岗岩的形成深度更大,即地壳厚度较大,两期花岗质岩时空演化是大兴安岭中生代伸展造山过程中岩石圈减薄的反映。

#### 参考文献(References):

- [1] 张本仁. 大陆造山带地球化学研究——岩石构造环境地球化学判别的改进[J]. 西北地质, 2001, 34(3):1-17.  
Zhang Benren. Geochemical study of continental orogenic belts on improvement of geochemical discriminatio of tectonic settings of rocks[J]. Northwestern Geology, 2001, 34(3):1-17(in Chinese with English abstract).
- [2] 王岳军, 沈远超, 林舸, 等. 中昆仑花岗岩类岩石地球化学特征的初步研究[J]. 大地构造与成矿学, 1999, 23(3):210-221.  
Wang Yuejun, Shen Yuanchao, Lin Ke, et al. Preliminary geochemical research of granitoids in the central Kunlun [J]. Geotectonica et Metallogenia, 1999, (3):210-221 (in Chinese with English abstract).
- [3] Pitcher W S. Granite type and tectonic environment [C]//Hsu K (eds.). Mountain Building Processes. London: Academic Press, 1985: 19-40.
- [4] 蔡剑辉, 阎国翰, 许保良, 等. 太行山-大兴安岭中麓晚中生代碱性侵入岩岩石地球化学特征及其意义[J]. 地球学报, 2006, 27(5): 447-459.  
Cai Jianhui, Yan Guohan, Xu Baoliang, et al. The late Mesozoic alkaline intrusive rocks at the east foot of the Taihang-Da Hinggan Mountains: litho-geochemical characteristics and their implications[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2006, 27 (5):447-459 (in Chinese with English abstract).
- [5] 资锋, 王强, 刘新华, 等. 扬子东部冶山和山里陈埃达克质侵入岩年代学与地球化学: 岩石成因和动力学意义[J]. 矿物学报, 2011, 31(2):185-200.  
Zi Feng, Wang Qiang, Liu Xinhua, et al. Geochronology and geochemistry of the Yeshan and Shanlichen Adakitic intrusive rocks in the eastern Yangtze block: petrogenesis and its geodynamic implications[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2011, 31(2):185-200(in Chinese with English abstract).
- [6] 牛漫兰, 朱光, 刘国生, 等. 郯庐断裂带中生代岩浆活动的构造背景与深部过程[J]. 地质科学, 2002, 37(4):393-404.  
Niu Manlan, Zhu Guang, Liu Guosheng, et al. Tectonic setting and deep processes of Mesozoic magmatism in middle-south segment of the Tan-Lu fault[J]. Scientia Geologica Sinica, 2002, 37(4):393-404(in Chinese with English abstract).
- [7] 肖庆辉, 邓晋福, 邱瑞照, 等. 花岗岩类与大陆地壳生长初探——以中国典型造山带花岗岩类岩石的形成为例[J]. 中国地质, 2009, 36(3):594-622.  
Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Qiu Ruizhao, et al. A preliminary study of the relationship between granitoids and the growth of continental crust: a case study of the formation of key orogen granitoids in China[J]. Geology in China, 2009, 36(3):594-622(in Chinese with English abstract).
- [8] 邵济安, 韩庆军, 张履桥, 等. 陆壳垂向增生的两种方式: 以大兴安岭为例[J]. 岩石学报, 1999, 15(4):600-606.  
Shao Ji'an, Han Qingjun, Zhang Lvqiao, et al. Two kinds of vertical accretion of the continental crust: an example of the Da Hinggan Mts[J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(4):600-606(in Chinese with English abstract).
- [9] 李四光. 地质力学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1973.  
Li Siguang. Introduction to Geomechanics [M]. Beijing: Science Press, 1973(in Chinese).
- [10] Lee J S. The Geology of China[M]. London: Thomas Murby and Co., 1939.
- [11] 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等. 中国大地构造及其演化[M]. 北京: 科学出版社, 1981.  
Huang Jiqing, Ren Jishun, Jiang Chunfa, et al. Geotectonic Evolution of China[M]. Beijing: Science Press, 1981(in Chinese).
- [12] 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等. 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[J]. 岩石学报, 1999, 15(3):396-407.  
Ge Wenchun, Wu Fuyuan, Zhou Changyong, et al. Geochemistry of Mesozoic basalt in Da Hinggan Ling ranges: evidence of the mantle-crust interaction[J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(3): 396-407(in Chinese with English abstract).
- [13] 周新华, 张国辉, 杨进辉, 等. 华北克拉通北缘晚中生代火山岩 Sr-Nd-Pb 同位素填图及其构造意义 [J]. 地球化学, 2001, 30 (1):10-23.  
Zhou Xinhua, Zhang Guohui, Yang Jinhui, et al. Sr-Nd-Pb isotope mapping of Late Mesozoic volcanic rocks across northern margin of North China Craton and implications to geodynamic processes [J]. Geochimica, 2001, 30 (1):10-23 (in Chinese with English abstract).
- [14] 邵济安, 张履桥, 牟保磊, 等. 大兴安岭的隆起与地球动力学背景[M]. 北京: 地质出版社, 2007.  
Shao Ji'an, Zhang Lvqiao, Mu Baolei, et al. Upwelling of Da Hinggan Mountains and its Geodynamic Background[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007(in Chinese).
- [15] 陈根文, 夏煥, 陈绍清. 华北地区晚中生代重大构造转折的地质

- 证据[J]. 中国地质, 2008, 35(6):1162-1177.
- Chen Genwen, Xia Huan, Chen Shaoqing. The geological evidence for the tectonic transition in late mesozoic in north China [J]. *Geology in China*, 2008, 35(6):1162-1177 (in Chinese with English abstract).
- [16] 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).
- [17] Chen B, Jahn B M, Wilde S, et al. Two contrasting Paleozoic-magmatic belts in northern Inner Mongolia [J]. *China Petrogenesis and tectonic implications*[J]. *Tectonophysics*, 2000, 328:157-182.
- [18] 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).
- [19] Liu W, Siebel W, Li X J, et al. Petrogenesis of the Linxi granitoids northern Inner Mongolia of China constraints on basaltic under plating[J]. *Chemical Geology*, 2005, 219:5-35.
- [20] 葛文春, 隋振民, 吴福元. 大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义 [J]. 岩石学报, 2007, 23(2):423-440.
- Ge Wenchun, Sui Zhenmin, Wu Fuyuan. Zircon U-Pb ages, Hf isotopic characteristics and their implications of the Early Paleozoic granites in the northeastern Da Hinggan Mts., northeastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(2):423-440 (in Chinese with English abstract).
- [21] 简平, 刘敦一, 张旗, 等. 蛇绿岩及蛇绿岩中浅色岩的 SHRIMP U-Pb 测年[J]. 地学前缘, 2003, 10(4):439-455.
- Jian Ping, Liu Dunyi, Zhang Qi, et al. Shrimp dating of ophiolite and leucocratic rocks within ophiolite [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(4):439-455.
- [22] Petro W L, et al. 挤压性和拉张性板块边缘深成岩套主要元素地球化学[J]. 国外地质科技, 1981, 7:47-57.
- Petro W L, et al. Major element geochemistry of plutonic suite on the compression and tension plate edge[J]. *Foreign Geological Science and Technology*, 1981, 7:47-57 (in Chinese with English abstract).
- [23] 周漪, 葛文春, 王春海. 大兴安岭中部乌兰浩特地区中生代花岗岩的成因——地球化学及 Sr-Nd-Hf 同位素制约 [J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(5):901-923
- Zhou Yi, Ge Wenchun, Wang Chunhai. Petrogenesis of Mesozoic granite in Wulanhaote region, central Da Hinggan Mountains: constraints from geochemistry and Sr-Nd-Hf isotope [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2011, 30(5):901-923 (in Chinese with English abstract).
- [24] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1987, 95:407-419 (in Chinese with English abstract).
- [25] Eby G N. The type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis [J]. *Lithos*, 1990, 26:115-134.
- [26] 邱检生, 胡建, 王孝磊, 等. 广东河源白石岗岩体: 一个高分异地 N 型花岗岩[J]. 地质学报, 2005, 79(4):503-514.
- Qiu Jiansheng, Hu Jian, Wang Xiaolei, et al. The Baishigang pluton in Heyuan, Guangdong Province: A highly fractionated I-type granite [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(4):503-514 (in Chinese with English abstract).
- [27] 邱检生, 肖娥, 胡建, 等. 福建北东沿海高分异 I 型花岗岩的成因: 锆石 U-Pb 年代学、地球化学和 Nd-Hf 同位素制约[J]. 岩石学报, 2008, 24(11):2468-2484.
- Qiu Jiansheng, Xiao E, Hu Jian, et al. Petrogenesis of highly fractionated I-type granites in the coastal area of northeastern Fujian Province: Constraints from zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Nd-Hf isotopes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(11):2468-2484 (in Chinese with English abstract).
- [28] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992:
- Li Changnian. Trace Element in Igneous Rock Petrology [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992 (in Chinese).
- [29] 张旗, 王焰, 李承东, 等. 花岗岩按照压力的分类 [J]. 地质通报, 2006, 25(11):1274-1278.
- Zhang Qi, Wang Yan, Li Chengdong, et al. A granite classification based on pressures [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(11):1274-1278 (in Chinese with English abstract).
- [30] 张旗. 埃达克岩研究的回顾与前瞻 [J]. 中国地质, 2008, 35(1):32-29.
- Zhang Qi. Adakite research: retrospect and prospect [J]. *Geology in China*, 2008, 35(1):32-39 (in Chinese with English abstract).
- [31] 张旗, 王元龙, 金惟俊, 等. 造山前、造山和造山后花岗岩的识别 [J]. 地质通报, 2008, 27(1):1-18.
- Zhang Qi, Wang Yuanlong, Jin Weijun, et al. Criteria for the recognition of pre-, syn- and post orogenic granitic rocks [J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(1):1-18 (in Chinese with English abstract).
- [32] 邵济安, 张履桥. 大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用 [J]. 地学前缘, 1999, 6(4):339-346.
- Shao Ji'an, Zhang Lvqiao. Magmatism in the Mesozoic extending orogenic process of Da Hinggan Mts [J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(4):339-346 (in Chinese with English abstract).
- [33] 邵济安, 唐克东, 等. 中国东北地体与东北亚大陆边缘演化 [M]. 北京: 地震出版社, 1995.
- Shao Ji'an, Tang Kedong, et al. Terranes in Northeast China and evolution of Northeast Asia Continental Margin [M]. Beijing: Seismological Press, 1995.
- [34] Xu Jiawei, Zhu Guang, et al. Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system, a major shear system to the

northwest of Pacific Ocean [J]. *Tectonophysics*, 1987, 134:273-310(in Chinese with English abstract).

[35] 邵济安, 刘福田, 陈辉. 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. Relationship between Mesozoic magmatism and Subduction in Da Hinggan-Yanshan Area[J]. *Acta Geological Sinica*, 2001, 75 (1):56-63 (in Chinese with English abstract).

## The petrogeochemical characteristics and tectonic setting of Mesozoic intrusive rocks in Chabaqi area of the Da Hinggan Mountains

DAI Hui-min<sup>1,2</sup>, YANG Zhong-fang<sup>1</sup>, MA Zhen-dong<sup>3</sup>, GONG Chuan-dong<sup>4</sup>

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*; 2. *Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110033, Liaoning, China*; 3. *China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China*; 4. *Shenyang Design and Research Institute of Nonferrous Metals, Shenyang 110003, Liaoning, China*)

**Abstract:** The Mesozoic intrusive rocks in Chabaqi area are located in the west of Nenjiang fault zone, and the east side of the study area is the joint between apophysis and graben basin. Hence the study of the structure of the study area can provide the information for the orogenic uplift of the Da Hinggan Mountains. The result of SHRIMP U-Pb zircon dating shows that the intrusive rocks were mainly formed in the early Jurassic and late Jurassic period, and the petrogeochemical characteristics show that the intrusive rocks are high-potassium and Si-saturated rocks, belonging to calc-alkaline series. Discrimination diagrams show that the intrusive rocks belong to I-type granite of crust-mantle miscibility, and they were formed in a prolonged stable environment but under different formation conditions. The early Jurassic quartz diorite and tonalite have the characteristics of extrusion type, so that they should be formed in a relatively high pressure environment, whereas the late Jurassic monzonitic granites belong to the transition type of extension-extrusion, and hence they should be formed in a high differentiation environment of relative low pressure. The spatial and temporal granite evolution heterogeneity was probably existent in the formation process. Therefore, the relationship between the formation of Jurassic granites and the thickness of the earth's crust can serve as the supporting evidence for the thinning of the earth's crust and lithosphere as well as the stretching orogenic process of the Da Hinggan Mountains.

**Key words:** Mesozoic intrusive rocks; tectonic setting; Da Hinggan Mountains, petrogeochemical characteristics

---

**About the first author:** DAI Hui-min, female, born in 1979, Candidate of doctor, Senior engineer, majors in geochemistry; E-mail: daihuimin78@126.com.