

内蒙古科右前旗树木沟地区黑云母二长花岗岩特征及构造意义

冯欣¹, 郝森¹, 曹元宝¹, 薛彦萍¹, 何建宁²

¹中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊

²中国地质调查局海口海洋地质调查中心, 海南 海口

Email: fengxin01305105@163.com

收稿日期: 2021年6月23日; 录用日期: 2021年7月22日; 发布日期: 2021年7月29日

摘要

科右前旗树木沟所处大地构造位置为天山 - 兴蒙造山系之大兴安岭弧盆系, 三级构造单元是锡林浩特岩浆弧。本论文在详细野外调查基础上, 对岩石学、岩石地球化学和年代学特征进行分析, 对研究区侵入岩的成因进行了探讨, 认为黑云母二长花岗岩的锆石U-Pb年龄为 222 ± 2.5 Ma, 形成于中三叠世印支期, 且具有相对富钾, 过铝质的特点, 属于过铝质的高钾钙碱性岩石系列。黑云母二长花岗岩岩石类型为I型, 分异程度较低, 为印支期造山后 - 后碰撞的伸展构造环境下所形成的产物。

关键词

黑云母二长花岗岩, 地质特征, 构造意义, 树木沟, 内蒙古

Characteristics and Tectonic Significance of Biotite Adamellite in Shumugou, Keyouqianqi, Inner Mongolia

Xin Feng¹, Sen Hao¹, Yuanbao Cao¹, Yanping Xue¹, Jianning He²

¹Langfang Center for Integrated Natural Resource Survey, China Geological Survey, Langfang Hebei

²Haikou Center for Marine Geologic Survey, China Geological Survey, Haikou Hainan

Email: fengxin01305105@163.com

Received: Jun. 23rd, 2021; accepted: Jul. 22nd, 2021; published: Jul. 29th, 2021

Abstract

The tectonic position of Shumugou, Keyouqianqi is located in the Daxing'anling arc-basin system of Tianshan-Xingmeng orogenic system, and the third-order tectonic unit is Xilinhaote magmatic arc. Based on the detailed field investigation, this paper studies the petrology, rock geochemical characteristics and chronological characteristics. We discuss the origin of the intrusive rocks. The zircon U-Pb age of biotite adamellite is 222 ± 2.5 Ma, which is the product of Middle Triassic magmatism and is characterized by relatively rich potassium and peraluminous. It belongs to peraluminous high potassium calc-alkaline rock series. The biotite adamellite is the type of I, and with a low degree of differentiation, which is the product of post-orogenic-post-collision (relaxation) extensional tectonic setting.

Keywords

Biotite Adamellite, Geologic Feature, Tectonic Significance, Shumugou, Inner Mongolia

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

科右前旗树木沟大地构造位置为天山 - 兴蒙造山系的大兴安岭弧盆系, 三级构造单元是锡林浩特岩浆弧。前人对兴蒙造山带中岩浆岩开展了部分研究, 认为林西地区的黑云母二长花岗岩具铝质 A 花岗岩特征, 可能形成于中二叠世弧陆碰撞后伸展的环境中[1]; 乌拉特中旗石哈河地区分布的黑云母二长花岗岩具有钙碱性偏铝质弱过铝质 I 型花岗岩特征, 可能形成于早二叠世晚期的活动大陆边缘环境中[2]; 四子王旗地区二长花岗岩具 S 型或 A 型特征, 可能形成于中、晚三叠纪造山后伸展作用和岩石圈拆沉过程中[3], 因此对兴蒙造山带构造演化还没有统一认识。本次工作在树木沟西北部发现了三叠纪的黑云母二长花岗岩, 结合地质调查成果, 本文着重对其开展了岩石学、岩石地球化学及年代学的研究, 探讨了其形成的时代、成因及所处的构造背景, 取得了一系列成果, 以为兴蒙造山带侵入岩的研究工作提供新的基础资料。

2. 地质特征

三叠纪侵入岩出露面积不大, 分布于树木沟幅北部 648.5 高地, 呈岩株状展布, 岩性为黑云母二长花岗岩, 长轴约 400 m, 纵轴 150~250 m。长轴呈 NE 向展布, 北侧侵入大石寨组地层, 局部呈断层接触, 断层破碎带具有多次错动特征, 破碎带宽十余米, 角砾直径大小约 2~5 cm, 磨圆度差, 见少量断层泥; 南部与林西组地层呈断层接触, 部分林西组岩石可见热接触变质特征, 发育有黄铁矿化, 岩性为空晶堇青变质碳质泥岩。本次工作测制剖面 PM14 (图 1)。

3. 岩石学特征

黑云母二长花岗岩: 岩石新鲜面呈红褐色, 细粒花岗结构, 块状构造。岩石成分主要由钾长石、斜长石和石英等组成, 粒径一般 0.15~1.75 mm。岩石经受弱绢云母化、弱泥化。

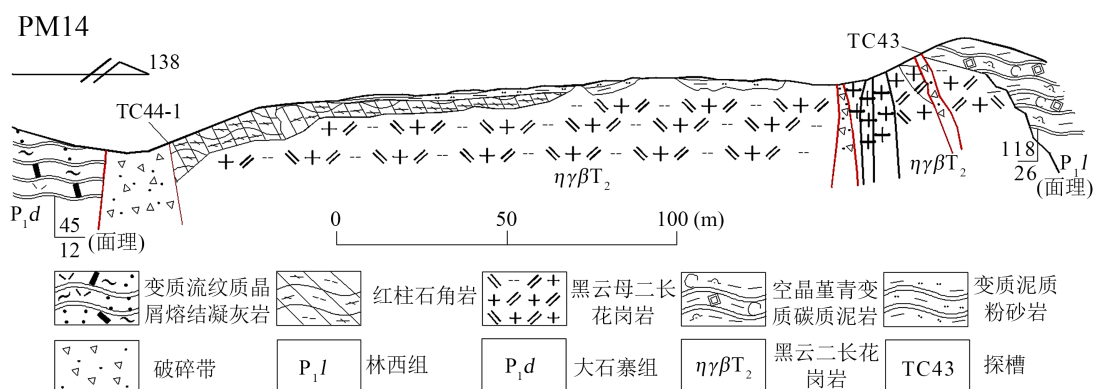


Figure 1. Measured section of biotite monzogranite in shumugou

图 1. 树木沟黑云母二长花岗岩实测剖面

镜下特征观察：钾长石，主要为正长石、条纹长石，较弱泥化、零星绢云母化。土褐色，半自形为主，少量它形，板条状，一级灰干涉色。斜长石，弱绢云母化，淡褐色，半自形，板条状，一级灰干涉色，聚片双晶。石英，表面干净，它形，粒状，一级灰干涉色。成分含量：石英 25%~30%；钾长石 30%~35%；斜长石 30%~40%；黑云母 10%。

副矿物类型(图 2)：由锆石、磷灰石、黄铁矿、金红石、白铅矿、方铅矿、白钛石、榍石、赤褐铁矿、绿帘石、金属球粒、磁铁矿组成。锆石，主要粉黄色，微铁染，自半自形双锥柱状、破碎块状，可见晶内裂纹，晶棱、晶锥略钝化，常见锥柱不对称的歪晶，可见凹坑、沟槽等溶蚀痕迹，本样品中锆石颜色单一，晶群较集中，说明其改造程度比较相近，是同源产物。

样品号	矿物名称	含量 (mg)	有用矿物及副矿物特征描述 (粒径 mm)	标型矿物特征描述	
				名称	锆石
PM14b 34	锆石	96	粉黄色，微铁染，自半自形双锥柱状、破碎块状，可见晶内裂纹，晶棱、晶锥略钝化，常见锥柱不对称的歪晶，可见凹坑、沟槽等溶蚀痕迹，本样品中锆石颜色单一，晶群集中，改造程度相近，为同源产物。	颜色	粉黄色
	磷灰石	6	无色、灰色，半自形柱状、次浑圆半自形柱状，透明，玻璃-似毛玻光泽，中硬度，粒径 0.02-0.2 主、0.2-0.3 少。	光泽	金刚-似毛玻光泽
	黄铁矿	++	铜黄色，棱角-次棱角块状、半自形立方体状，不透明，金属光泽，高硬度，粒径 0.02-0.25。	透明度	透明
	金红石	++	褐红色、红色，次棱角块状、半自形柱状、粒状，透明，油脂光泽，高硬度，粒径 0.02-0.2 主、0.2-0.4 少。	包裹体	可见黑色固相包体和气态、液态包体
	白铅矿	++	铅灰色，棱角-次棱角块状，不透明，金属光泽，低硬度，粒径 0.05-0.45。	粒径 (mm)	0.02-0.2 主、0.2-0.4 少
	方铅矿	+	钢灰色，半自形立方体状，不透明，金属光泽，低硬度，粒径 0.01-0.25。	伸长系数	1.2-2.5 主、2.5-4.2 少
	白钛石	2	驼色、灰色，次浑圆扁粒状，不透明，油脂光泽，中硬度，粒径 0.02-0.2。	聚型组成	由 (110) (100) (111) (131) (311) 组成。
	榍石	20	黄色，棱角-次棱角块状、半自形信封状，透明，油脂光泽，中高硬度，粒径 0.2-0.4 主、0.02-0.2 少，有蚀变。	标型矿物晶型	
	赤褐铁矿	1654	黑色，棱角-次棱角块状、保留黄铁矿外型，不透明，金属光泽，高硬度，部分被造岩矿物粘附，粒径 0.2-0.8 主、0.02-0.2 少。		
	绿帘石	-	黄绿色，次棱角块状，透明，玻璃光泽，高硬度，粒径 0.1-0.25。		
	金属球粒	-	黑色，浑圆球粒状，不透明，金属光泽，高硬度，粒径 0.25。		
	磁铁矿	8	黑色，棱角-次棱角块状主、自半自形八面体状，不透明，金属光泽，高硬度，粒径 0.02-0.2 主、0.2-0.4 少。		
	其余	157	蚀变矿物、长石、石英及云母等。		

Figure 2. Types and contents of accessory minerals in biotite monzogranite in shumugou (unit: mg)

图 2. 树木沟黑云母二长花岗岩副矿物类型及含量(单位: mg)

4. 岩石地球化学特征

黑云母二长花岗岩的 QAP 分类图解显示, 其主要落在二长花岗岩区域(图 3(a)), 在 TAS 图解上投在石英二长岩和花岗岩区域(图 3(b))。黑云母二长花岗岩 SiO_2 含量变化较小, 介于 68.46%~70.38%之间, 全碱含量 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 介于 9.02%~9.39%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 介于 0.90~1.54, 多数样品显示岩体相对富钾。样品 Al_2O_3 含量介于 15.74%~16.26%, Fe_2O_3 含量介于 1.20%~2.32%, FeO 含量介于 0.62%~1.68%, CaO 含量介于 0.25%~1.63%, MgO 含量介于 0.60%~0.80%。里特曼指数 δ [4]变化介于 3.09~3.40, 为钙碱性岩石。在 SiO_2 - K_2O 图解上, 多数落入钾玄岩 - 高钾钙碱性岩石区域(图 3(d)); 在 A/CNK - A/NK 图解上, 铝饱和指数介于 1.02%~1.27%, 显示具有过铝质的特点(图 3(c))。综上所述, 岩体应属于过铝质的高钾钙碱性岩石系列[5]。

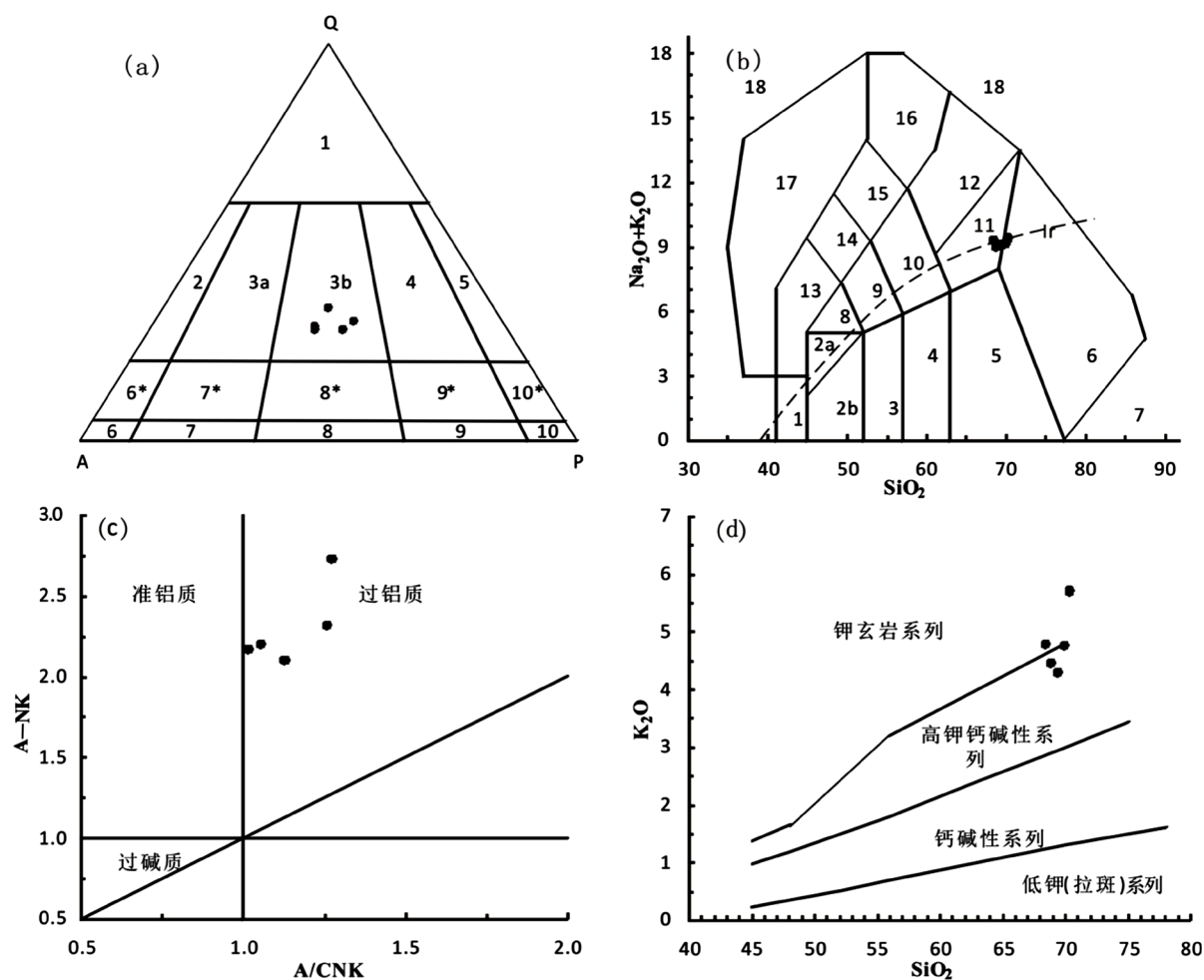


Figure 3. QAP diagram (a), TAS diagram (b) of biotite monzogranite, A/NK - A/CNK diagram (c), K_2O - SiO_2 diagram (d)
图 3. 黑云母二长花岗岩 QAP 图解(a), TAS 图解(b), A/NK - A/CNK 关系图(c), K_2O - SiO_2 关系图(d)

测试样品稀土元素总量含量介于 180.99×10^{-6} ~ 240.13×10^{-6} , 轻稀土(LREE)含量介于 163.55×10^{-6} ~ 226.55×10^{-6} , 重稀土(HREE)含量介于 11.96×10^{-6} ~ 21.67×10^{-6} , LREE/HREE 介于 9.38~16.68。球粒陨石标准化配分图解中, 曲线明显呈右倾, 轻重稀土的分异明显(图 4(a)), $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 介于 10.45~27.93, $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 介于 1.60~2.64。样品中 Eu/Eu^* 介于 0.74~0.81, 显示较弱的负 Eu 异常。微量元素显示大离子亲

石元素(Rb、K)富集,高场强元素(Nb、Zr)相对较亏损,在原始地幔标准化蛛网图上(图 4(b)),原始地幔标准化蛛网图具 Rb、Th、K、La 正异常, Ba、Ta、Nb、Sr、Ti、P 负异常特征,曲线总体呈较平缓右倾。

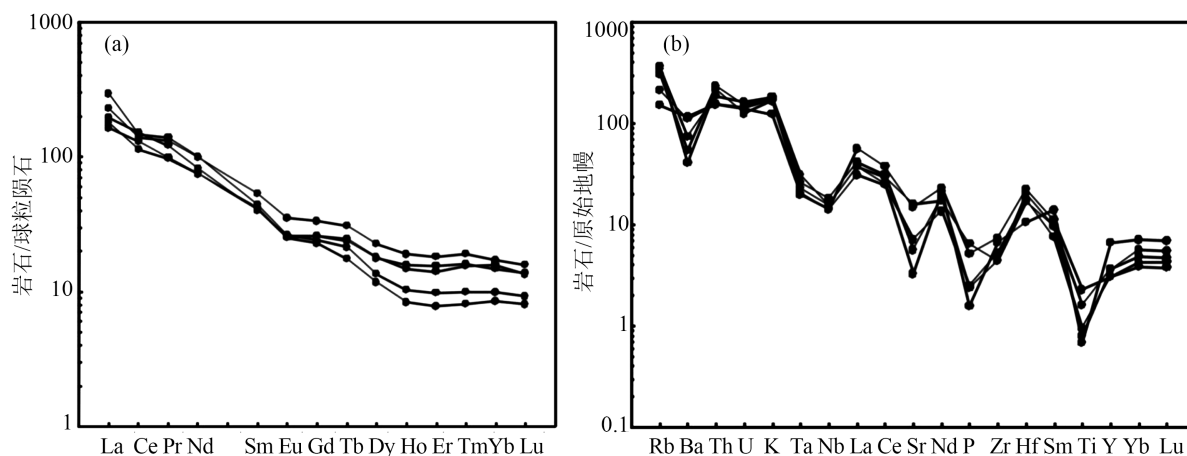


Figure 4. (a) Normalized REE chondrite distribution of biotite monzogranite; (b) Normalized spider web map of trace element primitive mantle

图 4. (a) 黑云母二长花岗岩稀土元素球粒陨石标准化配分图; (b) 微量元素原始地幔标准化蛛网图

5. 年代学特征

黑云母二长花岗岩进行了 21 个点的定年分析,其锆石阴极发光(CL)图像见图 5。所测锆石 Th 和 U 含量分别为 $(30\sim 227) \times 10^{-6}$ 和 $(55\sim 253) \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.52~1.02, 一致于岩浆成因锆石的 Th/U 比值 [6]。在锆石 U-Pb 谐和图上(图 6), 数据点均落在谐和线上, 说明锆石形成后处在较封闭的环境。单颗粒锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 216~230 Ma, 其加权平均年龄为 222 ± 2.5 Ma (MSWD = 0.26), 其中 PM14b34-9 年龄为 230 ± 11 Ma、PM14b34-12 年龄为 222 ± 4 Ma、PM14b34-18 年龄为 224 ± 7 Ma, 的和谐度达到 90%, 其余样品未达到 90%, 但与三个样品年龄接近, 具有可信度, 故参与年龄计算。该年龄表明岩体形成于中三叠世。

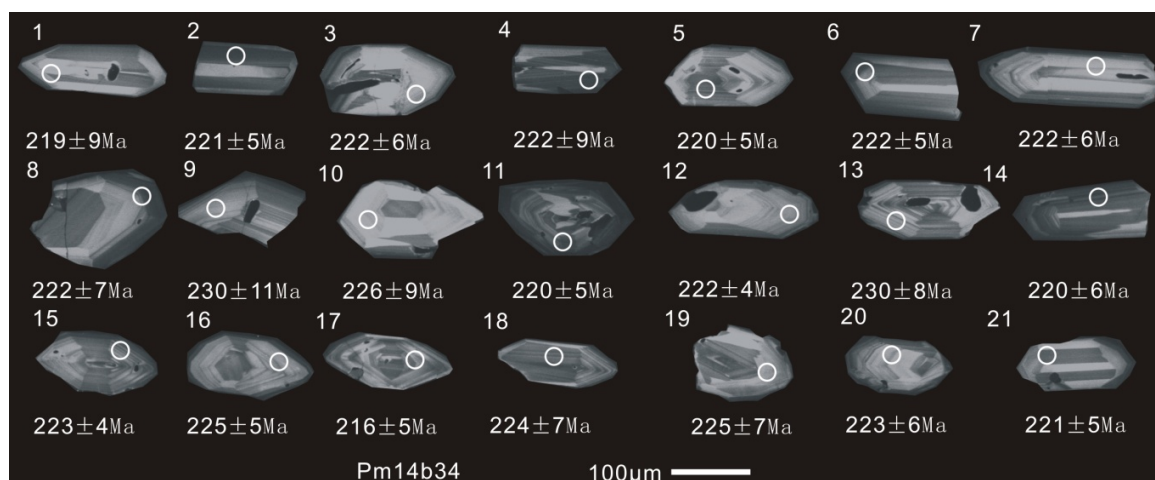


Figure 5. CL image of zircon from biotite monzogranite

图 5. 黑云母二长花岗岩锆石 CL 图像

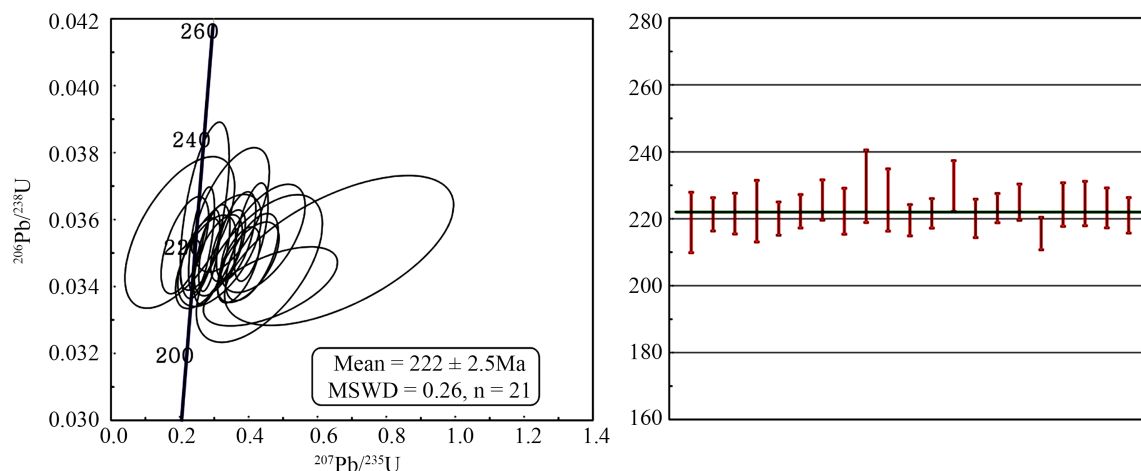


Figure 6. Zircon U-Pb ages concordance of biotite monzogranite

图 6. 黑云母二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

6. 岩石类型及构造环境

6.1. 岩石类型

在 $10,000 \times \text{Ga}/\text{Al}$ 对 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 主要元素的图解中(图 7(a)), 黑云母二长花岗岩落入 A 型花岗岩区域。在 $10,000 \times \text{Ga}/\text{Al}$ 对 TFeO/MgO 主要元素的图解中(图 7(b)), 其落入 I&S 型花岗岩区域。根据 Whalen 等[7]给出的 A 型花岗岩地球化学特征建议值, TFeO/MgO 大多数小于 10, 黑云母二长花岗岩 TFeO/MgO 小于 10。 $10,000 \times \text{Ga}/\text{Al}$ 为 2.10~2.32, 低于标准值 2.60。黑云母二长花岗岩 $\text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y}$ 介于 $144.10 \sim 197.20 \times 10^{-6}$, 低于 350×10^{-6} , 岩石不具有 A 型花岗岩特征[8] [9]。在 $10,000 \times \text{Ga}/\text{Al}$ 对 Nb 和 Y (Agpaitic Index)图解上(图 7(c)、图 7(d)), 岩石样品都落入 I&S 型花岗岩范围内。在 $\text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y}$ 对 TFeO/MgO 图解中(图 7(e)), 岩石样品大部分落入分异的 I 型花岗岩和未分异的 I 型花岗岩区间。

锆石饱和温度范围为 $650.94^\circ\text{C} \sim 721.20^\circ\text{C}$, 低于 800°C 。黑云母二长花岗岩的锆石饱和温度平均值为 702.3°C (表 1), 低于 I 型花岗岩形成的均值温度(764°C) [10], 也低于隋振民等统计的大兴安岭地区 I 型花岗岩锆石饱和温度均值(769°C), 显著区别于其统计的大兴安岭地区 A 型花岗岩的形成温度均值(897°C) [11]。

Table 1. Calculation results of zircon saturation temperature of biotite monzogranite

表 1. 黑云母二长花岗岩锆石饱和温度计算结果

岩性	黑云母二长花岗岩				
样号	PM14_GXW34	D7124-1	D7124-2	D7124-3	D7124-4
温度/ $t^\circ\text{C}$	650.94	716.07	707.68	715.59	721.20
	总温度平均值/ $t^\circ\text{C}$			702.3	

6.2. 构造环境

本区黑云母二长花岗岩为过铝质 - 高钾钙碱性系列岩石, 成因类型为 I 型。Liegeois 等(1998)认为高钾钙碱性岩石岩浆源区与早期俯冲作用有关, 是同碰撞岩石圈加厚后的伸展垮塌向非造山板内的过渡阶段的产物。在 R1-R2 图解中(图 8(a)), 样品均落入造山晚期区域附近。在 $\text{SiO}_2\text{-TFeO}/\text{TFeO} + \text{MgO}$ 构造判别图解[12] [13]中(图 8(b)), 岩体基本落入 POG 附近, 主要为后造山花岗岩类。在 $\text{Rb}/10\text{-Hf-3Ta}$ 构造判

别图解(图 9(a))中, 样品落于碰撞大地构造背景花岗岩, Rb/30-Hf-3Ta 构造判别图解(图 9(b))则显示出该岩体具有同碰撞向后碰撞过渡的特点, 在(Y + Nb)-Rb 图解和(Yb + Ta)-Rb 构造判别图(图 9(c)、图 9(d))中, 样品主要属于岛弧花岗岩。微量元素判别图解与主量元素判断的结果, 共同反映了当时大兴安岭地区处于伸展构造环境[14]。普遍认为东北地区在古生代期间, 经历了古亚洲洋构造体系的演化, 数个微陆块拼合以及中生代早期的古亚洲洋的最终闭合[15] [16], 中生代以后则受到了环太平洋构造体系的叠加, 又遭受了蒙古 - 鄂霍茨克构造体系的改造[17] [18]。综合以上分析研究认为, 区内黑云母二长花岗岩系印支期造山后 - 后碰撞(松弛)的伸展构造环境形成的产物。

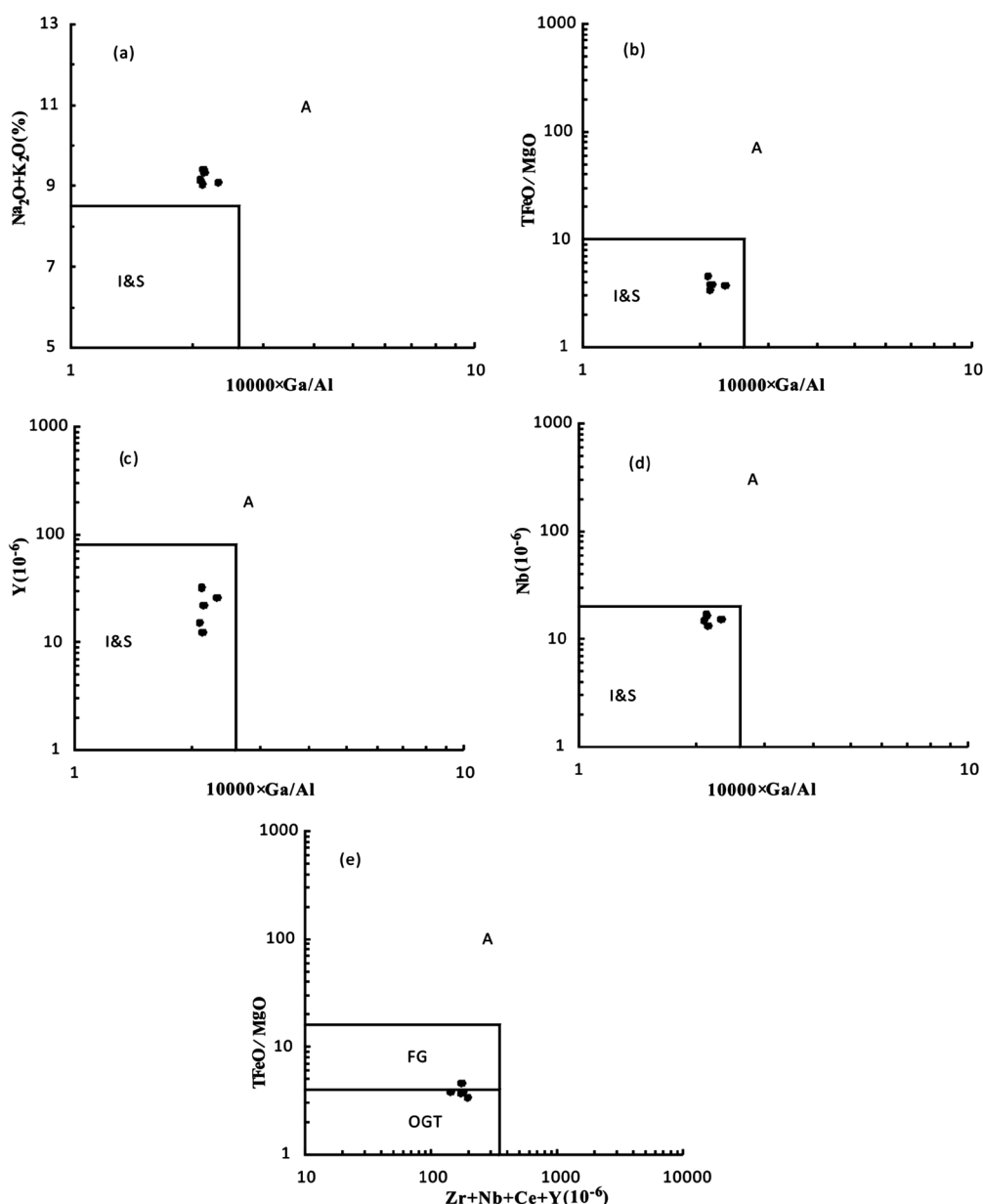


Figure 7. $10,000 \times \text{Ga}/\text{Al}$ and $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ diagram (a), FeOT/MgO (b), Y (c), Nb (d) diagram, Zr + Nb + Ce + Y and TFeO/MgO diagram of biotite monzogranite

图 7. 黑云母二长花岗岩 $10,000 \times \text{Ga}/\text{Al}$ 对 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (a), FeOT/MgO (b), Y (c), Nb (d)图解, 以及 Zr + Nb + Ce + Y 对 TFeO/MgO 图解

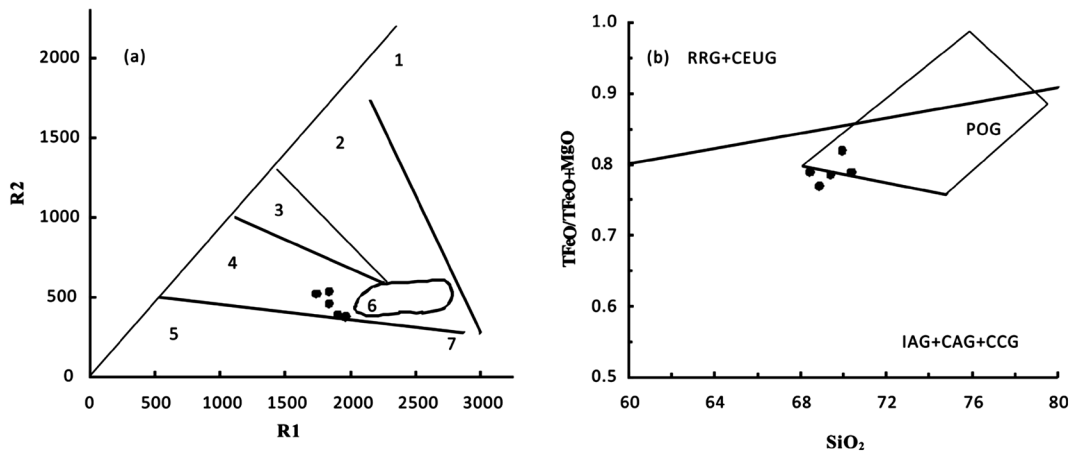


Figure 8. R1-R2 discriminant diagram of biotite monzonitic granite (a), diagram for distinguishing tectonic environment of major elements (b)

图 8. 黑云母二长花岗岩岩体 R1-R2 判别图解(a), 主量元素构造环境判别图解(b)

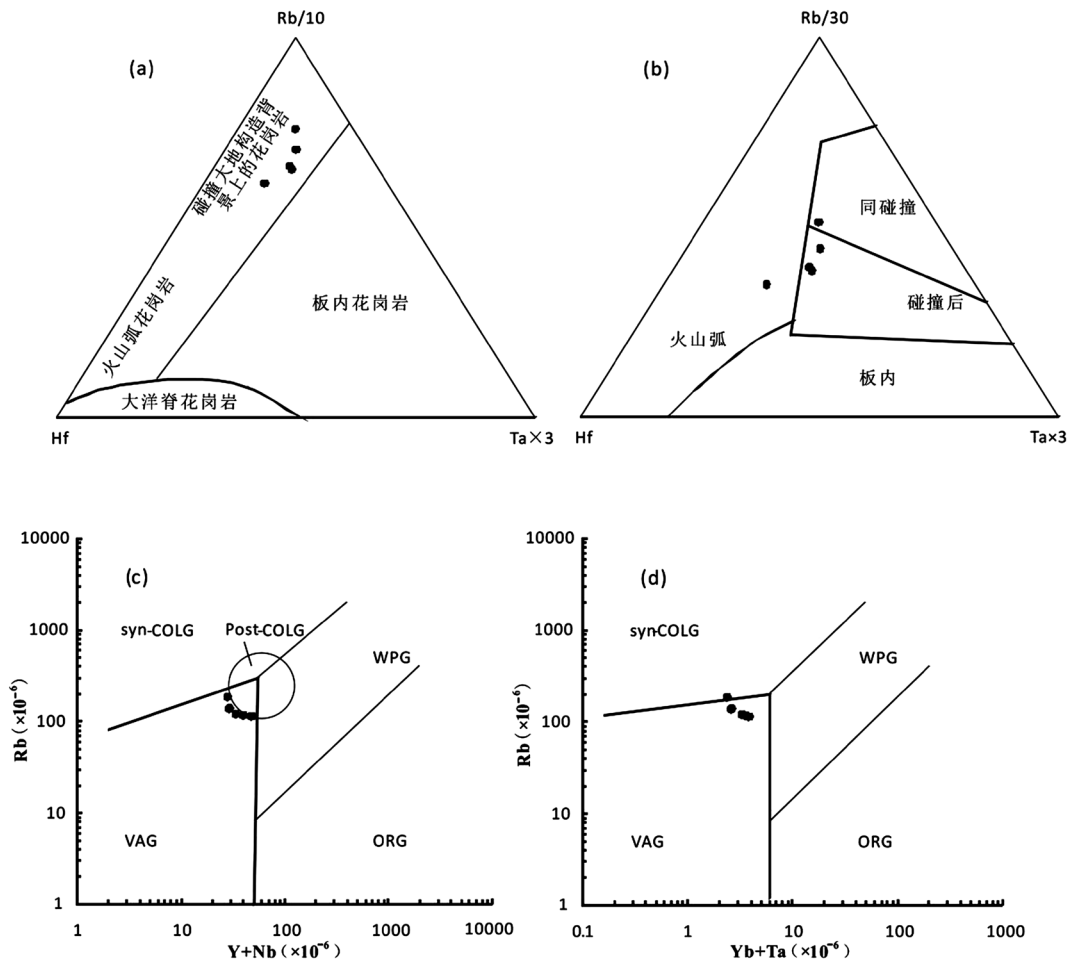


Figure 9. Rb/10-Hf-3Ta diagram (a), Rb/30-Hf-3Ta diagram (b), (Y + Nb)-Rb Structural discrimination diagram (c), (Yb + Ta)-Rb Structural discrimination diagram (d)

图 9. Rb/10-Hf-3Ta 图解(a)和 Rb/30-Hf-3Ta 图解(b), (Y + Nb)-Rb 构造判别图(c), (Yb + Ta)-Rb 构造判别图(d)

7. 结论

1) 科右前旗树木沟黑云母二长花岗岩相对富钾, 显示具有过铝质的特点, 属于过铝质高钾钙碱性岩石系列。轻重稀土分异明显, 总体显示较弱负 Eu 异常; 微量元素显示富集大离子亲石元素 Rb、K, 相对亏损高场强元素 Nb、Zr, 曲线总体呈较平缓右倾。

2) 通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年, 年龄为 222 ± 2.5 Ma, 代表科右前旗黑云母二长花岗岩的侵入年龄, 是中三叠世岩浆活动的产物。

3) 综合分析确定黑云母二长花岗岩岩石类型为 I 型, 显著区别于大兴安岭地区 A 型花岗岩的形成温度平均值, 且分异程度较低; 通过构造环境判别图解分析, 认为黑云母二长花岗岩为印支期造山后 - 后碰撞的伸展构造环境下所形成的产物, 反映了当时大兴安岭地区处于伸展构造环境。

地调项目

中国地质调查局项目(编号 12120115041901)。

参考文献

- [1] 关庆斌, 刘正宏, 陈煜嵩. 内蒙古林西地区西耳子黑云母二长花岗岩成因及其地质意义[J]. 地质论评, 2017, 63(s1): 249-250.
- [2] 郝增元, 牛永峰, 陈萌超, 高勇, 陈海东, 牛雪妮. 内蒙古石哈河地区黑云母二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 中国地质, 2016, 43(1): 72-80.
- [3] 柳长峰, 刘文灿, 周志广. 内蒙古四子王旗地区古生代-早中生代侵入岩活动期次、特征及构造背景[J]. 地质学报, 2014, 88(6): 992-1002.
- [4] Loffler, H.K. 含 SiO₂ 低于 43% 的岩石的里特曼“系列指数”的修正[J]. 地质地球化学, 1980(10): 48-50.
- [5] 许保良, 阎国翰, 张臣, 李之彤, 何中甫. A 型花岗岩的岩石学亚类及其物质来源[J]. 地学前缘, 1998, 5(3): 113-124.
- [6] 隋振民, 陈跃军. 大兴安岭东部花岗岩类锆石饱和温度及其地质意义[J]. 世界地质, 2011, 30(2): 162-172.
- [7] Whalen, J.B., Currie, K.L. and Chappell, B.W. (1987) A-Type Granites: Geochemical Characteristics, Discrimination and Petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **95**, 407-419. <https://doi.org/10.1007/BF00402202>
- [8] Batchelor, R.A. and Bowden, P. (1985) Petrogenetic Interpretation of Granitoid Rock Series Using Multicationic Parameters. *Chemical Geology*, **48**, 43-55. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(85\)90034-8](https://doi.org/10.1016/0009-2541(85)90034-8)
- [9] Davis, G.A., Xu, B., Zheng, Y.D. and Zhang, W.J. (2004) Indosinian Extension in the Solonker Suture Zone: The Sonid Zuoqi Metamorphic Core Complex, Inner Mongolia, China. *Earth Science Frontiers*, **11**, 135-144.
- [10] Maniar, P.D. and Piccoli, P.M. (1989) Tectonic Discrimination of Granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, **101**, 635-643. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)101%3C0635:TDOG%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)101%3C0635:TDOG%3E2.3.CO;2)
- [11] 隋振民. 大兴安岭东北部花岗岩类锆石 U-Pb 年龄, 岩石成因及地壳演化[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [12] 李锦轶, 高立明, 孙桂华, 李亚萍, 王彦斌. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩的确定及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束[J]. 岩石学报, 2007, 23(3): 565-582.
- [13] 郑月娟, 公繁浩, 陈树旺, 黄欣, 张立君, 张健. 内蒙古西乌珠穆沁旗地区下二叠统原寿山沟组碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及地质意义[J]. 地质通报, 2013(8): 1260-1268.
- [14] 张旗, 王元龙, 金惟俊, 贾秀勤, 李承东. 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.
- [15] Nimkovich, D.N. (1972) Mediterranean Island Ares and Origin of High Potash Volcanoes. *Earth and Planetary Science Letters*, **16**, 331-345. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(72\)90151-3](https://doi.org/10.1016/0012-821X(72)90151-3)
- [16] Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G. (1984) Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, **25**, 956-983. <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>
- [17] Pearce, J.A. and Norry, M.J. (1979) Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y and Nb Variations in Volcanic Rocks, Contrib. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **69**, 33-47. <https://doi.org/10.1007/BF00375192>
- [18] Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989) Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society, London, Special Publications*, **42**, 313-345.