

# 黑龙江省漠河县洛古河含电气石花岗岩 地质特征及意义

钟 辉, 王希今, 王宏博, 李之彤, 李广远, 庞庆邦

(沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110034)

**摘 要:** 洛古河地区含电气石花岗岩为二长花岗岩类, 普遍碎裂或糜棱岩化, 属高钾钙碱性岩系。SiO<sub>2</sub> 含量介于 65.08%~73.18% 之间, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 含量范围为 5.49%~7.22%, K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量在 14.42%~16.64% 之间, 铝饱和指数(A/CNK)为 1.18~1.31, 均大于 1.1, CIPW 标准矿物计算均出现刚玉分子, 显示为强过铝质 S 型花岗岩的特点。稀土总量(∑REE)变化范围为 97.4×10<sup>-6</sup>~250.9×10<sup>-6</sup> (La/Yb)<sub>N</sub>=5.85~21.95, 平均 12.2, δEu=0.37~0.59, 平均为 0.47, 具有中等到强的负铕异常。微量元素反映其类似弧火山岩, 但又有某些差别。地球化学特征反映其岩浆可能来源于盆地基底的砂质岩石部分熔融, 形成于同碰撞构造环境, 为同碰撞花岗岩。

**关键词:** 电气石, 花岗岩, 同碰撞, 强过铝, 地球化学, 额尔古纳地块

中图分类号: P588.12<sup>+</sup>; P595

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)01-0023-09

## Geological characteristics of Luoguhe tourmaline-bearing granites in Mohe County, Heilongjiang Province, and their implications

ZHONG Hui, WANG Xi-jin, WANG Hong-bo, LI Zhi-tong, LI Guang-yuan and PANG Qing-bang  
(Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110034, China)

**Abstract:** The Luoguhe area along the southern part of the Heilong River is located in northwestern Mohe County, Heilongjiang Province. Many copper, lead, zinc, tungsten-molybdenum ore bodies and Early Paleozoic granites were found in recent years. Moreover, the Luoguhe tourmaline-bearing granites (TLTG) that had never been reported before were also discovered. On the basis of petrological and petrogeochemical characteristics of the Luoguhe tourmaline-bearing granites, this paper studied the probable provenance and tectonic setting of these rocks. The Luoguhe tourmaline-bearing granites are cropped out in the western part of the upper Heilongjiang basin within Ergun block. The basement rocks of this basin are composed mainly of Paleoproterozoic Xinghuadukou Rock Group, Early Cambrian Ergun Formation and Early Paleozoic granites, and the cap rocks consist of Early-Middle Jurassic sedimentary formation and Late Jurassic-Early Cretaceous volcanic rocks. Tectonically, the study area is predominated by faults, with well-developed thrust-nappes and ductile shear belts. The Luoguhe tourmaline-bearing granites should be assigned compositionally to monzonitic granite, which comprises perthite (30%~40%), plagioclase (20%~28%), quartz (30%~40%) and biotite (1%~3%) with minor accessory tourmaline (2%~5%), zircon and apatite. Due to fragmentation and mylonitization, most of the studied rocks display porphyroclastic texture. The accessory mineral tourmaline which occurs both in the porphyroclast and in the matrix displays bamboo joint texture in the former case and allotriomorphic granular texture

收稿日期: 2009-02-04; 修订日期: 2009-11-09

基金项目: 矿产资源补偿费矿产勘查项目“黑龙江省大兴安岭地区漠河县洛古河铜金矿普查”(2003)

作者简介: 钟 辉 (1964-), 女, 教授级高级工程师, 从事岩石矿物学研究, E-mail: zh7123@163.com

in the latter case. The analyses of samples show that the studied rocks should be classified as adamellite in the Q-ANOR diagram, belonging to the high-K calc-alkaline series. The Luoguhe tourmaline-bearing granites have the following characteristics:  $\text{SiO}_2 = 65.08\% \sim 73.18\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 5.49\% \sim 7.22\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 14.42\% \sim 16.64\%$ , and  $\text{A}/\text{CNK} = 1.18 \sim 1.31 (> 1.1)$ . Moreover, corundum can be found in the CIPW norm minerals, possessing some features of strongly peraluminous granites. Chondrite-normalized REE patterns of the tourmaline-bearing granites are characterized by  $\sum \text{REE} 97.4 \times 10^{-6} \sim 250.9 \times 10^{-6}$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} 5.85 \sim 21.95$  (12.2 on average) and pronounced negative Eu anomalies ( $\delta\text{Eu} = 0.37 \sim 0.59$ ), consistent well with REE patterns of basement metasandstone in the study area. Primitive mantle-normalized element concentration patterns show remarkable negative anomalies of Ba, Sr, Ta, Nb, Ti, P and positive anomalies of Rb, Th, U, La, Ce, Nd, Zr, Hf, Sm. Likewise, the patterns with some characteristics of island arc volcanic rocks are very similar to the patterns of basement metasandstone in the study area. According to the experiment on the provenance of strong peraluminous granites, it is most probable that the studied rocks (5 samples) whose  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$  ratios are equal to  $0.41 \sim 4.68 (> 0.3)$  on average can be genetically attributed to partial melting of basement metasandstone in the upper Heilongjiang basin, because the two different kinds of rocks have similar normalized patterns. In the  $\text{R}_1 - \text{R}_2$  and  $\text{Rb} - \text{Yb} + \text{Ta}$  discrimination diagrams, most of the studied rocks fall in the syn-collisional field and can thus be regarded as syn-collisional granites. Combined with zircon U-Pb dating ( $485 \pm 6 \text{ Ma}$ ) of the Luoguhe tourmaline-bearing granites, zircon SHRIMP dating ( $504 \sim 517 \text{ Ma}$ ) of the Luoguhe pluton, zircon crystallization age ( $480 \sim 494 \text{ Ma}$ ) and corresponding xenolith zircon ages ( $517 \sim 531 \text{ Ma}$ ) of Tahe pluton, it is thought that there existed two stages of granitic magmatic events in the Ergun block in Early Paleozoic, being  $504 \sim 531 \text{ Ma}$  and  $480 \sim 494 \text{ Ma}$  in age respectively. Accordingly, the first magmatic event occurred in the late stage of collision between the Ergun block and the Siberia block, and the second magmatic event might have led to the formation of Luoguhe tourmaline-bearing granites in response to the southeastward movement of Xing'an block towards the Ergun block, which had been collaged with the Siberia block. Due to subsequent compression, the crust was thickened and resulted in the remelting of metasandstone and the formation of the Luoguhe tourmaline-bearing granites with some features of strongly peraluminous syn-collisional S type granite.

**Key words:** tourmaline; granite; syn-collisional; peraluminous; geochemistry; Ergun block

洛古河地区位于黑龙江漠河县西北角, 滨临黑龙江, 该区至今尚未开展区域地质调查工作。近年来, 沈阳地质矿产研究所在该区从事金属矿产普查工作, 已发现铜、铅、锌、钨钼矿体或矿化。并发现和确立了早古生代和中生代花岗岩, 认为洛古河早古生代二长花岗岩属后碰撞花岗岩(武广等, 2005; 葛文春等, 2005; 秦秀峰等, 2007)。2007年又在矿区发现有含电气石花岗岩的出露, 且与二长花岗岩相伴生。此前在矿区已发现了含电气石变质砂岩和热液蚀变产物电英岩, 而在大兴安岭早古生代花岗岩中却未见含电气石花岗岩的相关报道。因此查明本区含电气石花岗岩的岩石地球化学特征、成因及其动力学背景, 进而探讨其与成矿作用的关系, 具有重要的意义。

## 1 区域地质背景与岩体地质概述

洛古河含电气石花岗岩体出露在额尔古纳地块上黑龙江盆地西段, 该盆地北邻蒙古-鄂霍茨克造山带, 并被称为此造山带东南缘的前陆盆地(李锦轶等, 2004a)(图1)。

区内构造以断裂为主。在中生代, 伴随蒙古-鄂霍茨克洋盆的闭合, 蒙古-华北大陆与西伯利亚大陆发生碰撞, 上黑龙江盆地的侏罗系沉积物发生褶皱变形和冲断, 形成宽达 70 km 的近东西向前陆褶冲带(武广等, 2006), 漠河巨型逆冲推覆构造几乎贯穿整个盆地。在早白垩世, 蒙古-鄂霍茨克造山带转入晚期后碰撞阶段, 盆地又发生了向东的挤压和逃逸, 形成漠河左行走滑韧性剪切带(李锦轶等, 2004b)。

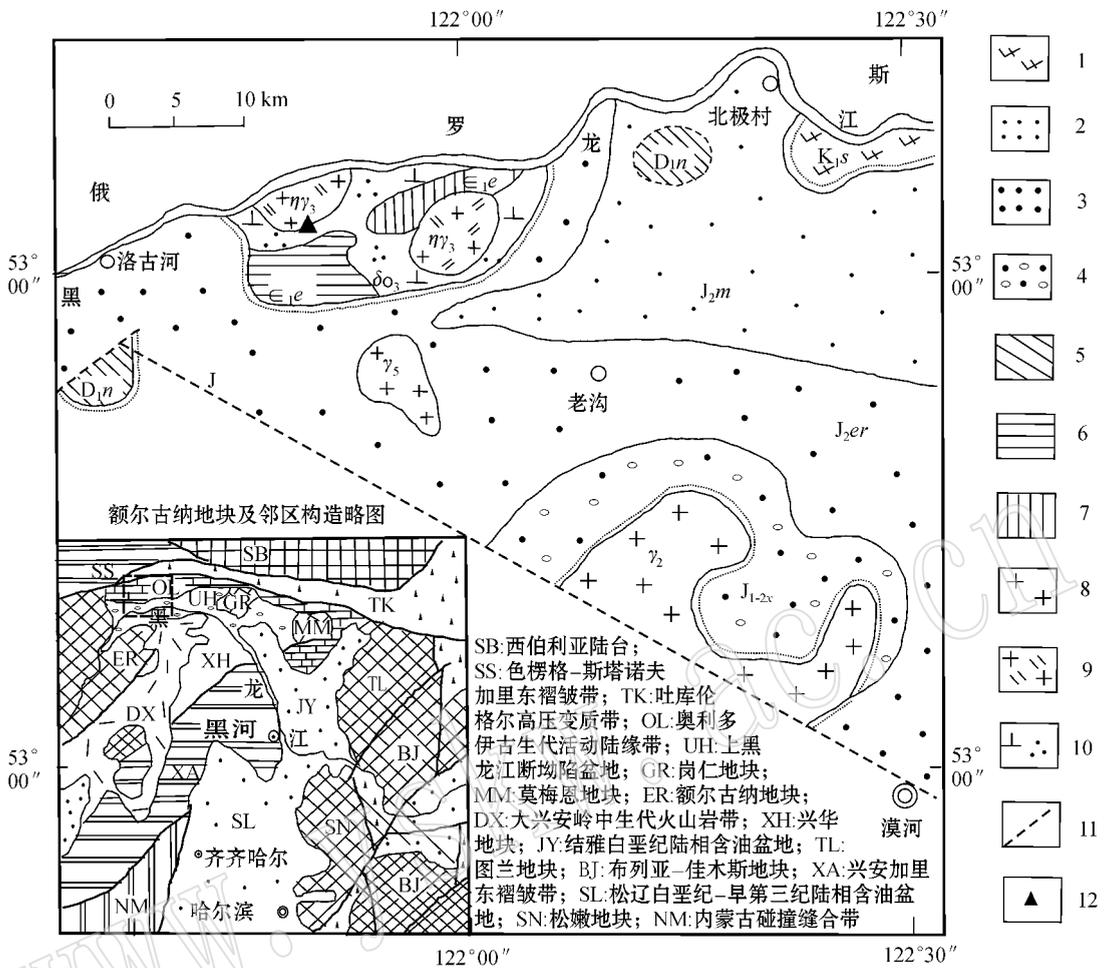


图 1 漠河县洛古河地区地质简图(据武广等 2005)

Fig. 1 Simplified geological map of Luoguhe area of Mohe County( after Wu Guang et al. ,2005 )

1—安山岩; 2—粉砂岩; 3—砂岩; 4—砂岩、砾岩; 5—泥灰岩、板岩; 6—大理岩; 7—二云母石英片岩、千枚岩及板岩; 8—花岗岩; 9—二长花岗岩; 10—石英闪长岩; 11—断层; 12—取样地点;  $K_{1s}$ —上库力组;  $J_{2m}$ —漠河组;  $J_{2er}$ —二十二站组;  $J_{1-2x}$ —绣峰组;  $D_{1n}$ —泥讷河组

组;  $\epsilon_{1e}$ —额尔古纳河组;  $\gamma_2$ —晋宁期花岗岩;  $\eta\gamma_3$ —早古生代二长花岗岩;  $\delta O_3$ —早古生代石英闪长岩;  $\gamma_5$ —燕山期花岗岩

1—andesite; 2—siltstone; 3—sandstone; 4—sandstone, conglomerate; 5—marl, slate; 6—marble; 7—two-mica quartz schist, phyllite and slate; 8—granite; 9—adamellite; 10—quartz diorite; 11—fault; 12—sampling site;  $K_{1s}$ —Shangkuli Formation;  $J_{2m}$ —Mohe Formation;  $J_{2er}$ —Ershierzhan Formation;  $J_{1-2x}$ —Xiufeng Formation;  $D_{1n}$ —Niquihe Formation;  $\epsilon_{1e}$ —Eergunahe Formation;  $\gamma_2$ —Jinninian granite;  $\eta\gamma_3$ —Early Paleozoic adamellite;  $\delta O_3$ —Early Paleozoic quartz diorite;  $\gamma_5$ —Yanshanian granite

上黑龙江盆地基底由古元古界兴华渡口群(Pt<sub>1</sub>xh)变质岩系、下寒武统额尔古纳河组( $\epsilon_{1er}$ )大理岩、板岩、变质砂岩和早古生代二长花岗岩类组成(武广等,2005);盖层为早-中侏罗世沉积建造和晚侏罗世-早白垩世火山岩。沉积建造自下而上为绣峰组( $J_{1-2x}$ )、二十二站组( $J_{2er}$ )和漠河组( $J_{2m}$ )，由河湖相的砾岩、砂岩、粉砂岩及泥岩等组成;火山岩系自下而上分为塔木兰沟组( $J_{3t}$ )、上库力组( $K_{1s}$ )和伊列克得组( $K_{1y}$ )，主要为基性、中酸性火山熔岩、火山碎屑岩。此外，局部出露泥盆系灰岩-

泥灰岩，呈飞来峰覆于侏罗系碎屑岩之上。

侵入岩类有早古生代花岗岩类和燕山期花岗岩类(武广等,2008)。早古生代花岗岩类出露于洛古河矿区，以二长花岗岩为主，SHRIMP 锆石年龄 504~517 Ma(武广等,2005)燕山期花岗岩类主要分布在洛古河、龙沟河、马林和二十一站等地，呈岩株、岩枝等较小岩体产出，主要岩性为花岗闪长岩、二长花岗岩类和花岗斑岩类。本文所述含电气石花岗岩与上述早古生代二长花岗岩相伴生，最近测得其锆石表面年龄加权平均值  $485 \pm 6$  Ma(测试单位:天津地

质矿产研究所同位素年代学中心,采用激光剥离等  
离子体质谱法(测试者:张勇清,将另文发表),属加  
里东期的产物。

洛古河含电气石花岗岩是在洛古河铜金矿普查  
区内发现的。该区属大兴安岭林区,覆盖严重,所见  
含电气石花岗岩集中出露于普查区西半部,均为探  
槽和钻孔岩芯所揭露。到目前为止,已经在10个探  
槽和钻孔中见到含电气石花岗岩,出露范围超过  
1 500 m×500 m(还有扩大的可能)。这些出露点均  
在区内早古生代二长花岗岩分布区,但未见二者直  
接接触,整个含电气石花岗岩体的形态和产状尚未  
查明。此外,在普查区东半部580线至640线的探  
槽内见在花岗质脉和石英脉中含有电气石。

本文将对在240线和280线的探槽和K15钻孔  
中所采集的样品,进行较系统的岩石学观察和地球  
化学分析。

## 2 含电气石花岗岩的岩石学特征

通过系统的岩石学观测,本区含电气石的花岗  
岩都经历了脆性变形作用或韧性变形作用,有的表  
现为脆性变形和韧性变形的过渡类型,可划分为糜  
棱岩化花岗岩(或花岗质糜棱岩)和碎裂岩化花岗  
岩(或花岗质碎裂岩)。含电气石花岗岩发生动力变质  
作用的原因,可能与区内中生代形成的漠河左行走  
滑韧性剪切带作用的结果有关。

### 2.1 糜棱岩化花岗岩或花岗质糜棱岩

岩石主要由斜长石(20%~25%)、钾长石(35%  
~40%)、石英(30%~40%)、黑云母(1%~3%)、白  
云母(2%~3%)和电气石(2%)组成。

岩石呈残斑结构,残斑含量约占25%~30%,成  
分为斜长石、钾长石、少量黑云母和白云母。长石长  
轴显著定向,粒径2~3 mm。斜长石残斑呈不规则圆  
粒状或楔状,聚片双晶隐约显示,微弱波状消光。残  
斑钾长石成分为条纹长石,可见不规则书斜式构造。  
黑云母和白云母呈较大片状,边缘轻微细粒化。碎基  
为糜棱结构,组成矿物为少量黑云母、白云母及斜长  
石、钾长石和石英。云母已重结晶,均匀细小鳞片状  
集合体环绕残斑略呈流状分布。长石类呈细粒化集  
合体。石英呈条状,或集合体呈条带状与残斑延长方  
向相同。电气石作为副矿物产出,且在碎斑和基质中  
均可出现,粒径0.2~1.2 mm,约占1%~2%。碎斑  
中的电气石被碎裂呈竹节状,基质中的电气石为碎斑

细粒化成分,呈他形粒状。多色性明显, $i_{Ne}$ 浅黄, $i_{No}$   
黄褐、黄绿、蓝绿几种颜色不均匀分布(图2)。

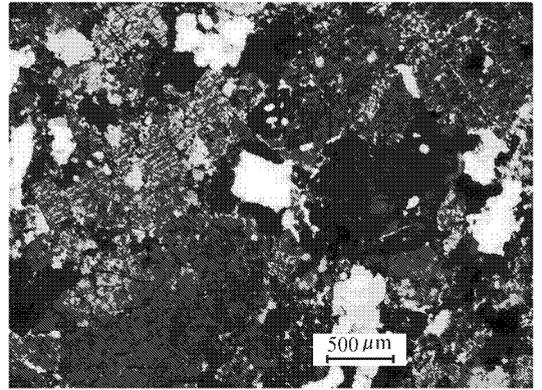


图2 花岗岩中电气石的显微特征(正交偏光)  
Fig.2 Microscopic features of tourmaline in granite  
(crossed polars)

### 2.2 碎裂岩化花岗岩或花岗质碎裂岩

岩石主要由斜长石(25%~28%)、钾长石(30%  
~35%)、石英(30%~35%)、云母类(2%~3%)和  
电气石(3%~5%)组成。碎裂岩化花岗岩和糜棱岩  
化花岗岩均属二长花岗岩(图3A)。

岩石呈碎斑结构,碎斑成分为钾长石和斜长石。  
钾长石呈不规则圆粒状,边缘齿状,成分为条纹长  
石,条纹细脉状,部分发育卡氏双晶,包捕斜长石小  
晶体交代残留结构和交代净边结构,包捕圆粒状石  
英交代穿孔结构,粒径0.8~4.0 mm。斜长石不规  
则粒状,边缘齿状,双晶多不显示,表面模糊,被绢云  
母鳞片密集交代,粒径3~5 mm。碎基呈碎粒结构,  
颗粒较细,其中的斜长石表面模糊,蚀变较强,泥化  
或绢云母化,部分环带发育,钾长石呈粒状集合体,

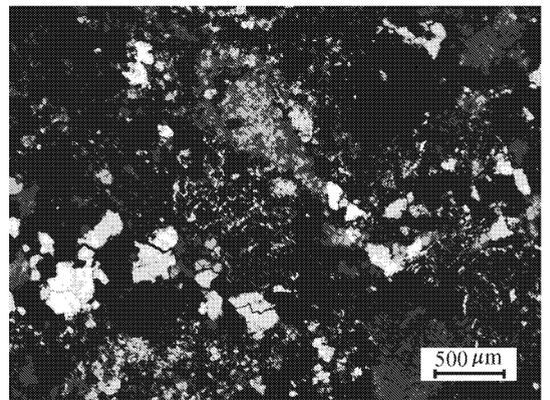


图3 含电气石花岗岩的岩相学特征(正交偏光)  
Fig.3 Petrographic features of the tourmaline-bearing granite  
(crossed polars)

为条纹长石,条纹隐约显示。石英碎裂呈他形粒状集合体,部分重结晶,彼此粒状镶嵌,粒径 0.2~0.6 mm。云母类呈长条片状,亦见放射状集合体,无方向性。副矿物电气石含量较高,部分碎裂呈竹节状。锆石、磷灰石少许。

### 3 含电气石花岗岩的地球化学特征

主量元素、稀土元素和微量元素(分析结果见表 1)均在东北矿产资源监督检测中心(沈阳地质调查中

表 1 含电气石花岗岩主量元素( $w_B/\%$ )、稀土元素及微量元素( $w_B/10^{-6}$ )分析结果

Table 1 Major elements( $w_B/\%$ ), REE and trace elements( $w_B/10^{-6}$ ) compositions of the tourmaline-bearing granite

样号	M-72	Zk75	Zk152	Zk111	Zk68.7	410Tc2B1*
SiO <sub>2</sub>	73.18	69.84	71.83	72.19	65.08	76.22
TiO <sub>2</sub>	0.17	0.13	0.33	0.27	0.82	0.68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.56	16.64	14.82	14.95	14.42	11.28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.79	0.66	0.43	1.16	0.72	0.87
FeO	1.53	1.46	2.03	1.74	5.90	3.18
MnO	0.034	0.032	0.058	0.045	0.100	0.060
MgO	0.35	0.34	0.64	0.57	2.86	1.47
CaO	1.50	1.59	1.83	1.22	2.22	0.79
Na <sub>2</sub> O	3.19	0.34	2.74	3.01	1.64	1.07
K <sub>2</sub> O	4.03	5.15	4.22	3.82	4.47	2.64
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	0.08	0.14	0.14	0.13	0.08
LOS	0.31	0.42	0.55	0.56	1.59	1.16
Total	99.74	96.68	99.62	99.68	99.95	99.50
A/CNK	1.18	1.18	1.19	1.31	1.25	1.88
CaO/Na <sub>2</sub> O	0.47	4.68	0.67	0.41	1.35	0.74
Q	35.04	25.88	34.22	36.42	26.03	55.25
Or	23.97	30.67	25.20	22.81	26.88	15.88
Ab	27.12	29.01	23.38	25.68	14.09	9.20
An	6.95	7.47	8.34	5.28	10.43	3.51
C	2.42	2.74	2.73	3.97	3.16	5.48
La	24.10	16.10	41.50	38.00	44.80	48.60
Ce	47.70	31.60	84.30	76.50	89.30	97.90
Pr	5.25	3.58	9.36	8.50	10.20	11.40
Nd	20.80	14.40	37.00	33.00	41.90	46.10
Sm	4.63	3.25	6.81	5.94	7.86	8.84
Eu	0.55	0.57	0.79	0.63	1.38	1.05
Gd	3.53	2.51	4.87	4.27	6.22	7.06
Tb	0.75	0.56	0.79	0.67	1.15	1.33
Dy	3.89	3.06	3.51	2.77	6.09	7.45
Ho	0.79	0.63	0.69	0.51	1.32	1.65
Er	1.96	1.61	1.75	1.27	3.50	4.38
Tm	0.32	0.28	0.26	0.19	0.57	0.72
Yb	2.01	1.86	1.67	1.17	3.63	4.45
Lu	0.27	0.26	0.22	0.16	0.52	0.63
Y	21.60	17.10	17.60	13.20	32.50	40.70
∑REE	138.2	97.4	211.1	186.8	250.9	282.3
δEu	0.40	0.59	0.40	0.37	0.58	0.39
(La/Yb) <sub>N</sub>	8.10	5.85	16.79	21.95	8.34	7.38
Sr	120.00	163.00	113.00	111.00	97.40	62.30
Rb	265.00	271.00	353.00	263.00	377.00	215.00
Ba	351.00	411.00	358.00	319.00	452.00	679.00
Y	21.60	17.10	17.60	13.20	32.50	40.70
Nb	11.20	8.60	10.20	6.10	16.20	12.10
Ta	0.91	1.59	1.30	1.27	0.98	0.42
Zr	103.00	69.10	155.00	138.00	227.00	196.00
Hf	3.01	1.78	3.90	3.42	6.00	5.69
Th	13.40	8.08	25.40	25.30	17.20	21.20
U	4.10	17.70	17.80	12.70	2.71	5.07

\* 为变质砂岩。

心实验室)测定。其中在用滴定法与重量法测出 FeO 与烧失量后,其余主量元素用 XRF 方法测试,相对标准样品的偏差,所有氧化物均低于 1%,稀土元素和微量元素采用 ICP-MS 方法测试,相对标准偏差均小于 10%。

### 3.1 主量元素特征

5 个含电气石花岗岩样品 SiO<sub>2</sub> 含量的变化范围为 65.08%~73.18%;Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 含量的变化范围为 5.49%~7.22%,K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O 的含量;CaO/Na<sub>2</sub>O 比值介于 0.41~4.68 之间;岩石均表现为低 TiO<sub>2</sub> (多介于 0.13%~0.33%)、低 CaO、高 K<sub>2</sub>O 的特征。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量的变化范围 14.42%~16.64%,铝饱和

指数(A/CNK)介于 1.18~1.31 之间,均大于 1.1,为强过铝质花岗岩;CIPW 标准矿物计算,均出现刚玉分子(C,含量变化范围在 2.42%~5.48%),而未透辉石,显示为过铝质‘S’型花岗岩的特点。

在实际矿物含量 QAP 分类图(图 4a)中,5 件含电气石花岗岩样品均落入 3b 区域,即岩石类型均为二长花岗岩。用 CIPW 标准矿物计算法,计算的各种标准矿物含量,将其投入深成岩的 Q'-ANOR 分类图(图 4b)样品点多落入 3b 区域,这与 QAP 图解的结果完全相符。在 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 图解中,大部分样品进入高钾钙碱性系列,有两个样品进入钾玄岩系列(图 5)。

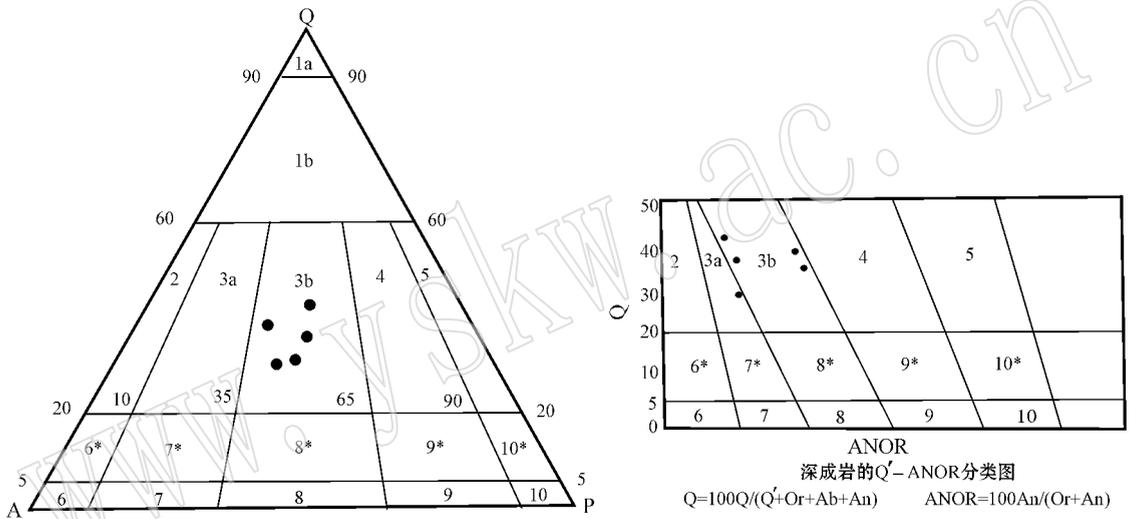


图 4 含电气石花岗岩 QAP 分类图(左)和 Q-ANOR 分类图(右)

Fig. 4 QAP(left) and Q-ANOR(right) diagram of the tourmaline-bearing granite

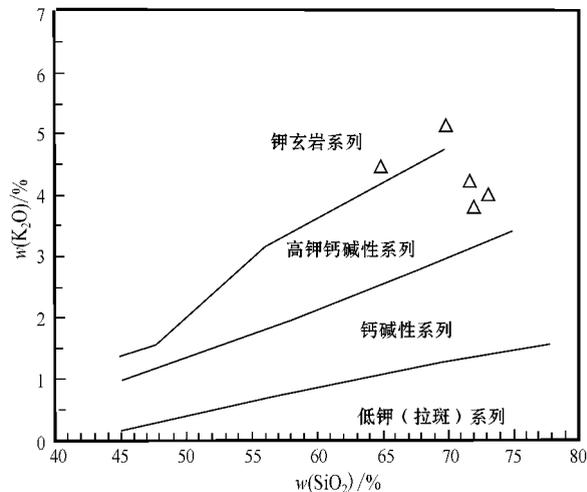


图 5 含电气石花岗岩 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 关系图(据 Rickwood, 1989)

Fig. 5 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> diagram of the tourmaline-bearing granite (after Rickwood, 1989)

### 3.2 稀土元素特征

含电气石花岗岩代表性全岩样品的稀土总量( $\Sigma$ REE)变化范围为  $97.4 \times 10^{-6} \sim 250.9 \times 10^{-6}$ ,平均  $176.80 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE = 2.9~6.7,平均 4.27 ( $La/Yb$ )<sub>N</sub> = 5.85~21.95,平均 12.2,显示轻重稀土有较大的分馏。 $\delta Eu = 0.37 \sim 0.59$ ,平均为 0.47。具有中等到强的铈亏损。与涂光炽(1984)关于花岗岩分类方案中的壳型花岗岩中二长花岗岩类类似(王中刚等,1989)。从球粒陨石标准化的稀土元素模式图中可观察到,本区含电气石的花岗岩与盆地基底的变质砂岩的稀土元素配分模式表现出高度的一致性,均表现为 Eu 中度负异常,轻稀土部分曲线右倾斜,轻稀土元素较富集,重稀土元素之间分馏特征不明显,显示含电气石花岗岩与变质砂岩具有亲缘性(图 6a)。

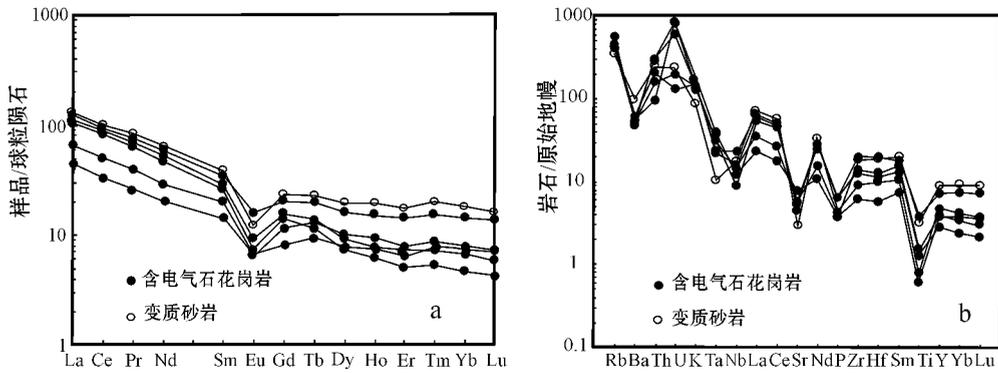


图 6 含电气石花岗岩稀土元素配分曲线 (a) 和微量元素原始地幔标准化蛛网图 (b, 原始地幔数据据 McDonough 等, 1992 )  
Fig. 6 Chondrite-normalized REE (a) and primitive mantle-normalized spidergrams patterns (b) of the tourmaline-bearing granite (primitive mantle values form McDonough *et al.*, 1992)

### 3.3 微量元素特征

在原始地幔标准化微量元素蛛网图解上, 含电气石花岗岩表现为强烈亏损 Ba、Sr、Ta、Nb、Ti、P 等元素, 富集 Rb、Th、U、La、Ce、Nd、Zr、Hf 和 Sm 等元素的特点 (图 6b)。高场强元素 Nb、Ta 的亏损及大离子亲石元素的富集特征, 与弧火山岩的特征相似 (韩吟文等, 2007), 但其又同时亏损某些大离子元素, 如 Ba、Sr, 富集个别高场强元素, 又与弧火山岩有着差别。5 件样品元素亏损及富集特征, 都与武广等 (2005) 报道的洛古河岩体 (石英闪长岩-二长花岗岩岩体) 很相似, 可能反映二者间某种内在关系。然而, 岩石化学分析结果, 前者却表现为强过铝质, A/CNK 指数大于 1.1, 为 S 型花岗岩, 而后者却表现为准铝质, A/CNK 指数小于 1, 为 I 型花岗岩, 反映二者岩浆源区明显的不同。含电气石花岗岩与变质砂岩曲线分馏特征相似, 亦表明二者具有某种亲缘性。

## 4 讨论

### 4.1 岩浆源区讨论

前述主量元素分析研究表明, 研究区含电气石花岗岩为强过铝质花岗岩, 具有 S 型花岗岩特征。现代熔融实验的成果, 为我们更趋于正确认识地史时期形成的各类地质现象提供了类比依据。Sylvester (1998) 在对过铝质花岗岩的研究中, 把最新实验成果与全球 5 个强过铝花岗岩发育地带进行对比, 认为  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$  与  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  的关系, 可能较好地地区分了岩浆源区原岩的性质 (邓晋福等 2004),

普遍认为它们的源区虽具有多样性, 但变质沉积岩 (如泥质岩、砂屑岩和杂砂岩等) 是主要的源区 (Chappell and White, 1992; Harris and Inger, 1992; Williamson *et al.*, 1996; Sylvester, 1998; 许东青等 2008)。利用  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$  比值是判断源区成分的一个极其重要的指标, 以泥质岩为源岩生成的过铝质花岗岩的  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O} < 0.3$ , 而以砂屑岩为源岩形成的过铝质花岗岩  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O} > 0.3$ 。研究区 5 件含电气石花岗岩样品的  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O} = 0.41 \sim 4.68$  之间, 全部大于 0.3, 说明其物源区为砂质岩的可能性大。

从稀土元素及微量元素配分模式图中可看出, 5 个含电气石花岗岩样品的稀土配分曲线与变质砂岩的样品稀土配分曲线较一致, 微量元素分馏特征也很相似, 暗示着含电气石花岗岩与变质砂岩的亲缘关系。

基于上述岩石化学及地球化学资料的分析, 认为含电气石花岗岩的岩浆来源, 与盆地基底以变质砂岩为主的岩石部分熔融有密切关系。

### 4.2 形成的构造环境讨论

研究区含电气石花岗岩出露于额尔古纳地块东北缘, 在花岗岩类构造环境判别图  $R_1 - R_2$  和  $Rb - Yb + Ta$  图解中, 大部分样品落入同碰撞花岗岩区 (图 7)。

近年来, 不少学者对额尔古纳地块的构造属性及演化进行了研究, 探讨了其早古生代岩浆作用特征, 其与北侧西伯利亚板块及南侧兴安地块的拼贴作用时期。葛文春等 (2005) 在对额尔古纳地块南缘的塔河岩体进行研究时发现, 塔河岩体不同岩性样

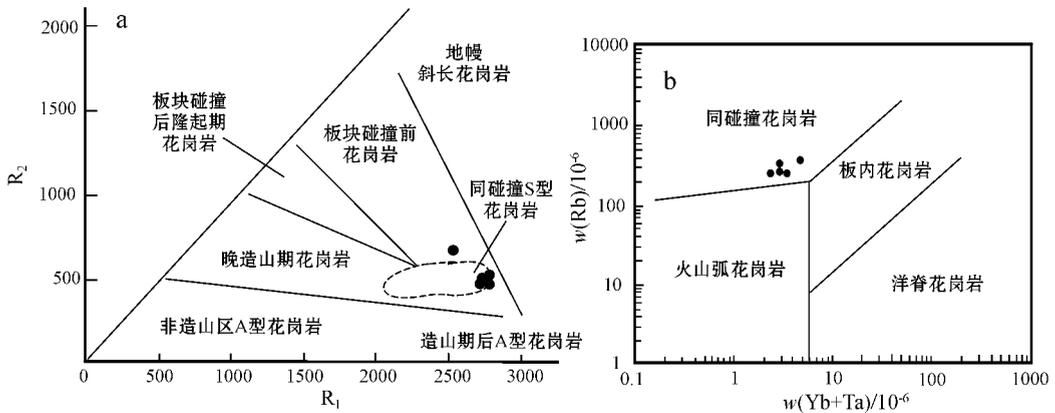


图 7 含电气石花岗岩构造环境判别图解 (a 据 Batchelor 和 Bowden(1985); b 据 Pearce 等(1984))

Fig. 7 Discrimination diagrams of the tectonic setting of the tourmaline-bearing granite (a after Batchelor and Bowden, 1985; b after Pearce *et al.*, 1984)

品均具有一致的年龄,其岩浆结晶年龄介于 480~494 Ma 之间,岩体中捕虏锆石具有花岗岩中锆石的特征,这种捕虏锆石的年龄为 517~531 Ma(葛文春等 2005),武广等(2005)在研究洛古河岩体(石英闪长岩-二长花岗岩)时获得锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 504~517 Ma,认为是后碰撞或后造山花岗岩。最近在洛古河地区,在与洛古河二长花岗岩相伴生的含电气石花岗岩中获得锆石表面年龄加权平均值  $485 \pm 6$  Ma(王希今等将另文发表)。对比位于额尔古纳地块南缘的塔河岩体及位于地块北缘的洛古河岩体及含电气石花岗岩的年龄值,可见,早古生代在额尔古纳地块上可能存在两期花岗岩岩浆作用事件,即 504~531 Ma 和 480~494 Ma。但在 480~494 Ma 期间,额尔古纳地块的南缘和北缘,在构造性质上可能存在着差别。在地块南缘的塔河一带,此间形成以二长花岗岩、正长花岗岩为主,含少量碱长花岗岩和辉长岩的塔河杂岩体,形成于后造山构造背景(葛文春等 2005),可能为后造山-造山后的伸展塌陷时期,反映此间在额尔古纳地块南缘开始由挤压向伸展体制转换,而在北缘的洛古河一带,形成研究区的含电气石花岗岩类,具有富铝、富钾、强过铝特征,显示具有 'S' 型花岗岩特征,反映此间,地块北缘陆块进一步会聚,致使陆壳增厚,使盆地基底的以砂质岩为主的岩石发生部分熔融,地块北缘仍处于挤压体制中。

同位素测年资料显示,塔河杂岩体形成较洛古河地区含电气石花岗岩形成略早。如果说洛古河岩体(石英闪长岩-二长花岗岩) 504~517 Ma 形成于额尔古纳地块与西伯利亚板块碰撞造山的晚期(武

广等 2005),也就是说在 480~494 Ma 含电气石花岗岩形成之前,额尔古纳地块已和西伯利亚地块拼贴在一起,那么洛古河地区,与洛古河岩体伴生的含电气石花岗岩( $485 \pm 6$  Ma)的形成,可能是额尔古纳地块东南的兴安地块向业已拼贴入西伯利亚板块的额尔古纳地块拼贴的响应,因而位于地块南缘的塔河杂岩体先形成,而位于地块北缘的洛古河地区由于远程效应形成较晚,并由于后缘刚性的西伯利亚地块的阻挡造成持续的挤压,使陆壳进一步会聚而增厚,从而形成含电气石花岗岩表现为强过铝的同碰撞 'S' 型花岗岩的特征。

## 5 结论

(1) 洛古河地区出现的含电气石花岗岩为高钾钙碱性岩系,为强过铝 'S' 型花岗岩类。岩浆源岩可能主要来自盆地基底的砂质岩石的部分熔融。

(2) 洛古河含电气石花岗岩与洛古河岩体(石英闪长岩-二长花岗岩)尽管相伴产出,且后者也为高钾钙碱性岩系,但后者为准铝质的 'I' 型花岗岩,形成于后碰撞阶段,而前者形成于同碰撞构造环境。

(3) 洛古河岩体(石英闪长岩-二长花岗岩)的形成与额尔古纳地块向西伯利亚板块拼贴有关,而洛古河地区的含电气石花岗岩的形成,则可能是兴安地块向额尔古纳地块拼贴的响应。

致谢 在成文的过程中,沈阳地调中心教授级高级工程师付俊或同志提出了宝贵的意见,在此表示感谢。

## References

- Batchelor R A and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[J]. Chem. Geol., 48: 43~55.
- Chappell B W and White A J R. 1992. I- and S-type granites in the Lachlan fold belt[J]. Trans. R. Soc. Edinb.: Earth Sci., 83: 1~26.
- Deng Jinfu, Luo Zhaohua, Su Shangguo, et al. 2004. The Petrogenesis, Tectonic Setting and Mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Ge Wenchun, Wu Fuyuan, Zhou Changyong, et al. 2005. The granitoid pluton in north Dahungan: Age and tectonic constraints on Ergun Terrane[J]. Chinese Sci. Bull., 50(12): 1239~1247 (in Chinese with English abstract).
- Han Yinwen and Ma Zhendong. 2007. Geochemistry[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Harris N B W and Inger S. 1992. Trace element modeling pelite-derived granites[J]. Contrib. Petrol., 110: 46~56.
- Li Jinyi, He Zhengjun, Mo Shenguo, et al. 2004a. The age of conglomerates in the lower part of the Xiufeng Formation in the northern Da Hinggan Mountains, NE China, and their tectonic implications[J]. Geological Bulletin of China, 23(2): 120~129 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, He Zhengjun, Mo Shenguo, et al. 2004b. 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): 157~167 (in Chinese with English abstract).
- McDonough W F, Stosch H G, Ware N G, et al. 1992. Distribution of titanium and the rare earth elements between peridotitic minerals[J]. Contribution to Mineralogy and Petrology, 110: 321~328.
- Qin Xiufeng, Yin Zhigan, Wang Yan, et al. 2007. Early Paleozoic adakitic rocks in Mohe area at the northern end of the Da Hinggan Mountains and their geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(6): 1501~1511 (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]. Journal of Petrology, 25: 956~983.
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[J]. Lithos, 22: 247~263.
- Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites[J]. Lithos, 45: 29~44.
- Tu Guangzhi. 1984. Geochemistry[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House (in Chinese).
- Williamson B J, Shaw A, Downes H, et al. 1996. Geochemical constraints on the genesis of Hercynian two micas leucogranites from the Massif Central[J]. France Chemgeol, 127: 25~42.
- Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua, et al. 1989. REE Geochemistry[M]. Beijing: Science Publishing House (in Chinese).
- Wu Guang, Chen Yanjing, Sun Fengyu, et al. 2008. 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, 24(4): 899~910 (in Chinese with English abstract).
- Wu Guang, Sun Fengyue, Zhao Caisheng, et al. 2005. Discovery of the Early Paleozoic post-collisional granites in the northern margin of the Erguna massif and its geological significance[J]. Chinese Sci. Bull., 50(20): 2278~2288 (in Chinese with English abstract).
- Wu Guang, Sun Fengyue, Zhu Qun, et al. 2008. Geological characteristics and genesis of gold deposits in Upper Heilongjiang Basin[J]. Mineral Deposits, 25(3): 215~230 (in Chinese with English abstract).
- Xu Dongqing, Nie Fengjun, Jiang Sihong, et al. 2008. Yanshanian peraluminous granite in Sumochagan area, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 27(2): 89~100 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 邓晋福, 罗照华, 苏尚国, 等. 2004. 岩石成因、构造环境与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 42~49.
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等. 2005. 大兴安岭北部塔河地区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, 50(12): 1239~1247.
- 韩吟文, 马振东. 2007. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 279~290.
- 李锦轶, 和政军, 莫伸国, 等. 2004a. 大兴安岭北部绣纹峰组下部砾岩的形成时代及其大地构造意义[J]. 地质通报, 23(2): 120~129.
- 李锦轶, 和政军, 莫伸国, 等. 2004b. 大兴安岭北段地壳左行走滑运动的时代及其对中东北及邻欧区中生代以来地壳构造演化重建的制约[J]. 地学前缘, 11(3): 157~167.
- 秦秀峰, 尹志刚, 汪岩, 等. 2007. 大兴安岭北端漠河地区早古生代埃达克质岩特征及地质意义[J]. 岩石学报, 23(6): 1501~1511.
- 涂光炽. 1984. 地球化学[M]. 上海: 上海科技出版社, 90~97.
- 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 1989. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 215~225.
- 武广, 陈衍景, 孙丰月, 等. 2008. 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, 24(4): 899~910.
- 武广, 孙丰月, 赵财胜, 等. 2005. 额尔古纳地块北缘早古生代后碰撞花岗岩的发现及其地质意义[J]. 科学通报, 50(20): 2278~2288.
- 武广, 孙丰月, 朱群, 等. 2006. 上黑龙江盆地金矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿床地质, 25(3): 215~230.
- 许东青, 聂风军, 江思宏, 等. 2008. 内蒙古苏莫查干地区燕山期过铝质花岗岩研究[J]. 岩石矿物学杂志, 27(2): 89~100.