

吉黑东部花岗岩类中副矿物锆石、磷灰石、榍石的初步研究

李俊杰

(沈阳地质矿产研究所,辽宁 沈阳 110033)

摘 要 :吉黑东部花岗岩中副矿物种类繁多,特别是锆石、磷灰石、榍石广泛分布。它们在不同成因类型花岗岩中有些标型特征彼此有别,如锆石的颜色、晶形和群型特征,磷灰石的两种晶形 REE 分布模式及 Sr 值和榍石的不同世代、成因等,这些均有助于查明不同成因花岗岩的形成条件。因此,可以利用锆石、磷灰石、榍石的标型特征作为判别和划分花岗岩成因的辅助标志。

关键词 :副矿物;锆石;磷灰石;榍石;花岗岩类;吉黑东部

吉林、黑龙江两省东部地区花岗岩类分布广泛^[1-6],笔者在参加吉黑东部花岗岩类项目研究中,查阅和积累了大量的副矿物资料^[7],特别是对锆石、磷灰石、榍石做了较多的观察和样品测试,取得了一些初步成果。吉黑东部花岗岩中不仅副矿物种类繁多,而且不同类型花岗岩中的锆石、磷灰石、榍石的某些标型特征也不同,这对查明不同类型花岗岩的形成条件,判别成因类型有重要意义。现分述如下。

1 锆石

锆石是花岗岩类岩石中分布广泛、性质稳定的副矿物,也是研究得较多较深入的副矿物。锆石的标型特征对于揭示花岗岩浆的形成、演化,判别花岗岩的成因系列和成矿作用具有重要意义。

1.1 颜色与透明度

吉黑东部地区不同类型或不同成因的花岗岩中锆石的颜色是不同的。在伊春地区,一些加里东期混染花岗岩类,成因上属 S 型^[5],其锆石颜色一般较暗,多数呈棕色、褐色或棕褐色;而吉林南部加里东期花岗岩以 I 型为主,其锆石多数呈浅黄色。方文昌在描述吉林省花岗岩时也指出有同样现象^[6],其判定为 S 型的泉眼沟、梨树、大石头、卧龙、苇子沟等岩体中锆石绝大多数为黄褐、褐、棕褐及紫色,极少数为淡黄或无色;而判定为 I 型的花岗岩体,如黄泥岭、孟山、大蒲柴河、棉田、扇车山、荞麦楞、鹤岗砬子等岩体中的锆石以淡黄、浅粉乃至无色者占绝大多数。这种情况在南岭花岗岩中亦如此^[8]。另外,黑龙江省北部三叠纪 A 型花岗岩^[9]中的锆石与二叠纪 I 型花岗岩中的锆石比较,其颜

色亦略深,多呈浅棕或浅褐的色调。吉林中部燕山期碱性花岗岩(A 型)中的锆石亦显淡棕色。

锆石的透明度与颜色有关,一般颜色越深透明度越低,甚至不透明,颜色浅则透明度高。另外,锆石中其他矿物包晶的种类和数量对其透明度亦稍有影响。

1.2 晶形和浑圆度

锆石晶体属四方晶系,由柱面{100}、{110}和正锥面{111}、偏锥面{131}、{311}、{331}等组成各种聚形,晶体或为长柱状双锥体,或为短柱状双锥体,或无柱面及柱面极不发育的四方双锥体。有时则因各柱面发育程度不同而呈板状晶体。

纵观吉黑东部不同时代不同成因类型花岗岩中锆石的晶形,发现其中大多数岩体的锆石,主要是由柱面{100}、{110}、和正锥面{111}、偏锥面{131}、{311}组成的复杂聚形,呈柱状或长柱状晶体,其长宽比多在 2 以上;其次是由柱面{100}、{110}和正锥面{111}组成的简单聚形,呈柱状或短柱状晶体。这类岩体主要是 I 型花岗岩类。这在吉林的黄泥岭岩体(γ_3)、大蒲柴河岩体(γ_4^2)、骆驼山岩体(γ_4^3)、荞麦楞岩体(γ_5^{1-1})、周家屯岩体(γ_5^{1-1})、红石砬子岩体(γ_5^2)和在黑龙江的东风岩体(γ_4^3)、苇河岩体(γ_4^3)、七十二顶子岩体(γ_4^3)、闹枝沟岩体(γ_5^{1-3})、蜂蜜山岩体(γ_5^{1-3})、西北河岩体(γ_5^2)中均可见及。少数岩体的锆石则主要是由柱面{100}和正锥面{111}组成的简单聚形,呈柱状或短柱状锆石,长宽比则多小于 2,其次也有由上述各种柱面和正锥面、偏锥面组成的复杂聚形柱状锆石。这类岩体是 S 型花岗岩类,如黑龙江的五星岩体(γ_3)、关山镇岩体(γ_3)、柴河岩体(γ_4^3)、吉林的泉眼沟岩体(γ_3)、横道河岩体(γ_4^3)、大石头岩体(γ_5^{1-1})和东清岩体

收稿日期:2005-01-06。张哲编辑。

基金项目:吉黑东部花岗岩成因演化及其与成矿关系的研究。(参加研究人员还有李之彤、赵春荆、朱群等。)

(γ_5^{1-3}) 中锆石晶形多如此。再者,极少数碱性花岗岩中锆石多为变生锆石,其晶形主要由柱面 {110} 和正锥面 {111} 组成的简单聚形柱状晶体,这是较典型的 A 型花岗岩类的锆石特征,如吉林的白石砬岩体 (γ_5^2) 和寒葱沟岩体 (γ_5^3) 均如此。但黑龙江的一些中生代早期 A 型花岗岩 (γ_5^{1-1})^[10] 中锆石晶形特征更类似于 I 型花岗岩。

总的来看,本区 I、S、A 型 3 类花岗岩的锆石晶形特征大致可与南岭的 I、II、III 组合类型花岗岩中的锆石相类比,不过不如其典型,显得复杂些。

近年,人们利用普平 (J. P. Pupin, 1980) 提出的划分锆石群型方法,把研究锆石的晶形特征与探讨花岗岩的成因和形成环境结合起来,取得了较好效果^[11,12]。马志伟对吉林中南部花岗岩的研究表明,该地区泉眼沟白云二长花岗岩体、莫里青黑云二长花岗岩体和横道河二长花岗岩体为地壳型花岗岩,其他岩体则为壳-幔过渡型花岗岩,其中石场屯、后庙岭、梨树、热闹街、大寒葱顶、窝棚屯、卧龙等花岗岩体中地幔物质组分相对较多,而高尔洛、杏山、香水园和望远楼等花岗岩体中地壳物质组分相对较多。他用岩石地球化学资料得出的上述结论^[13]与他用锆石群型分析方法所做的判断是一致的,二者相互印证。

区内有些花岗岩中锆石晶形一部分呈浑圆状、半浑圆状和微浑圆状。一般认为,浑圆锆石是经过风化、搬运、磨蚀的结果,它在花岗岩中出现则说明成岩物质可能来自沉积岩。崔立朝^①在天岗花岗岩中发现有强熔蚀的浑圆状锆石,经测定其单点年龄 $t(206/238) = 1933.5 \text{ Ma}$, $t(207/235) = 2055.6 \text{ Ma}$, $t(207/206) = 2180.3 \text{ Ma}$, 说明是古老锆石残留下来的。孙白云^[14]在研究黑龙江省东南部前寒武纪花岗岩类成因时认为,浑圆状锆石中除一部分是原沉积残留外,尚有一部分是再结晶的。这种锆

石的浑圆形外壳是再结晶的,内部的细小圆形锆石核才是原沉积残留组分。并进一步指出,这种再结晶的浑圆状锆石可以在花岗岩化过程中,由于碱质交代作用的加强,稀土元素浓度增高,在温度、压力加大时,可能继续结晶而成长为自形柱状晶体。

1.3 密度和晶胞参数

只测定了少数花岗岩体中锆石密度和晶胞参数(表 1)。其中早古生代兰花顶子岩体中锆石密度较大,两个早中生代花岗岩体中锆石密度相近。晶胞参数 $a_0 = 6.598 \sim 6.6053$, $c_0 = 5.9610 \sim 6.0100$, 与南岭地区花岗岩对比相近。

表 1 吉黑东部花岗岩中某些锆石的晶胞参数

Table 1 Cell parameters of some zircons from granitoids in Eastern Jilin and Heilongjiang Provinces

| 岩体 | 岩石类型 | 成因类型 | 样品号 | a_0 | c_0 | 密度 |
|------|-------|------|----------------|--------|--------|------|
| 闹枝沟 | 二长花岗岩 | I 型 | γ_{221} | 6.6025 | 5.9707 | 4.32 |
| 闹枝沟 | 花岗闪长岩 | I 型 | γ_{224} | 6.6017 | 5.961 | 4.29 |
| 闹枝沟 | 二长花岗岩 | I 型 | γ_{226} | 6.6053 | 5.9754 | |
| 蜂蜜山 | 二长花岗岩 | I 型 | γ_{245} | 6.604 | 5.9766 | 4.28 |
| 兰花顶子 | 正长花岗岩 | S 型 | γ_{249} | 6.5982 | 6.01 | 4.44 |

测定者:仲崇明,唐淑兰。

1.4 化学成分

表 2 列出了吉黑东部不同时代不同成因花岗岩中锆石化学成分。由表可见,锆石的主要化学成分 ZrO_2 和 SiO_2 多小于理论值,这是正常的。少数岩体稍高于理论值,如青林子岩体中的 ZrO_2 和寒葱沟、黄泥河及兰花顶岩体中的 SiO_2 。与北京地区相比,花岗岩中锆石的 ZrO_2 、 HfO_2 含量普遍偏低^[15],而 TiO_2 、 MgO 、 FeO 含量高;与桐柏山-大别山花岗岩中的锆石对比, ZrO_2 、 HfO_2

表 2 吉黑东部花岗岩中锆石化学成分

Table 2 Chemical compositions of zircon from granitoids in Eastern Jilin and Heilongjiang Provinces

| 岩体 | 岩石类型 | 成因类型 | 时代 | 样品号 | SiO_2 | ZrO_2 | HfO_2 | TiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | REE | MgO | CaO | ThO_2 | UO_2 | P_2O_5 | Σ |
|------|-------|------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|------|-------|-------|---------|--------|----------|----------|
| 兰花顶子 | 二长花岗岩 | S 型 | γ_5^2 | 249 | 33.40 | 62.33 | 1.07 | 0.16 | - | 0.74 | 0.22 | 0.2 | 0.6 | 0.06 | 0.36 | | 99.14 |
| 黄泥河 | 花岗闪长岩 | I 型 | γ_5^2 | 46055* | 34.05 | 64.62 | | | 0.05 | | 0.21 | 0.02 | | | | 0.04 | 98.99 |
| 闹枝沟 | 二长花岗岩 | I 型 | γ_5^{1-3} | PE-4 | 32.40 | 62.22 | 1.08 | 0.24 | - | 0.68 | 0.62 | 0.2 | 2.2 | 0.08 | 0.34 | | 100.06 |
| 闹枝沟 | 二长花岗岩 | I 型 | γ_5^{1-3} | 221 | 29.40 | 63.29 | 1.09 | 0.2 | - | 0.36 | 0.62 | 0.24 | 1.4 | 0.04 | 0.48 | | 97.12 |
| 闹枝沟 | 花岗闪长岩 | I 型 | γ_5^{1-3} | 224 | 32.00 | 61.27 | 1.13 | 0.14 | - | 0.74 | 0.46 | 0.2 | 1.6 | 0.12 | 0.27 | | 97.93 |
| 闹枝沟 | 二长花岗岩 | I 型 | γ_5^{1-3} | 226 | 32.40 | 62.85 | 1.15 | 0.34 | - | 0.56 | 1.16 | 0.2 | 2 | 0.08 | 0.29 | | 101.03 |
| 蜂蜜山 | 二长花岗岩 | I 型 | γ_5^{1-3} | 245 | 32.00 | 61.27 | 1.13 | 0.14 | - | 0.02 | 0.62 | 0.4 | - | - | - | | 95.58 |
| 荒沟 | 二长花岗岩 | I 型 | γ_5^{1-3} | (3)* | 34.68 | 64.16 | | | | 0.14 | 0.66 | 0.02 | - | - | - | | 99.66 |
| 寒葱沟 | 碱性花岗岩 | A 型 | γ_5^2 | 37183* | 34.88 | 65.75 | | | 0.03 | | 0.26 | 0.02 | | | | 0.08 | 101.02 |
| 青林子 | 碱性花岗岩 | A 型 | γ_5^2 | III 13* | 31.73 | 67.01 | | | 0.04 | | 0.28 | 0.03 | | | | 0.08 | 99.17 |

*据方文昌(1992),含量单位: 10^{-2} 。

①崔立朝,天岗地区花岗岩类成岩作用, 1989。

含量均偏低。有关锆石中的锆铪比值(Zr/Hf)普遍较高,变化范围为22.3~86.4,大多数都大于40,这反映出本区花岗岩浆碱度较高,而演化程度较低。应当指出,黄泥河子和青林子两岩体中不同锆石的铪(Hf)含量变化较大,反映出铪(Hf)分布的不均匀性或锆石成因的复杂性。再者,表2中各花岗岩体虽属I、S、A三种成因类型,但在 Zr/Hf 比值上基本未有明显区别,这可能与锆石样品数量过少有关。

2 磷灰石

磷灰石是花岗岩类岩石中最常见的副矿物之一,本区3种成因类型花岗岩中均有磷灰石,但含量不同,以S型花岗岩中居多,I型次之,A型较少。

2.1 产出特征

区内花岗岩中磷灰石基本上呈两种晶形产出。一种为六方柱状或六方双锥组成的聚晶,多无色透明或半透明,柱体长宽比一般为1:2~1:5。这种磷灰石最常见,在岩石中多与暗色矿物伴生,同时还常见它与锆石、榍石、磁铁矿等共生,尚见有少数晶体包在斜长石或钾长石中。另一种为针状或细长柱状,见于钾长石中,更多的出现于岩石包体中。针状磷灰石晶体最长可达4mm,一般为0.5~1mm,其长宽比为1:10~1:40,它们往往可以跨过几个矿物边界显示晶出较晚的迹象。看来它并非同源包体所独有的特点^[16]。

2.2 稀土元素

近年,有人利用磷灰石稀土元素含量和分布特征判别花岗岩的成岩成矿系列^[17],将花岗岩类成因类型划分标志的研究推进了一步,取得了较好效果。对吉黑东部花岗岩类中磷灰石稀

土元素进行了分析(表3),将它与华南花岗岩的磷灰石作对比,确实可得到一些重要信息。从表3可见,吉黑东部花岗岩中磷灰石稀土元素总量在 $2124.58 \times 10^{-6} \sim 9149.72 \times 10^{-6}$,变化较大,与华南相比($1770.94 \times 10^{-6} \sim 17706.45 \times 10^{-6}$),高值较高,低值略低。但其I型花岗岩磷灰石稀土元素含量低于S型岩石,而华南花岗岩的长江系列(相当于I型)高于南岭系列(相当于S型)。

磷灰石的球粒陨石标准化分布型式曲线亦呈两种类型:I型岩石中磷灰石稀土分布模式均为向右倾斜曲线,铕异常相对较小(图略),从总体特征看,其与华南长江系列花岗岩中磷灰石稀土分布模式完全相似;而S型岩石中磷灰石稀土分布模式则呈近于对称的“V”形曲线,铕异常相对较大,其特征则类似于华南南岭系列(图略)。若将磷灰石的稀土分布模式与其寄主花岗岩的稀土分布模式比较,两者大同小异。本区前撮落含矿花岗岩闪长斑岩为一明显实例(图略),斑岩和磷灰石两者均为右倾曲线,只是斑岩的曲线斜度略陡;斑岩铕基本无异常,磷灰石铕异常最小。前撮落含矿斑岩的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值为0.7056,属I型花岗岩,而磷灰石稀土分布模式亦反映为I型(长江系列)特征,因此为利用本区花岗岩中磷灰石稀土分布模式判别花岗岩成岩成矿物质来源提供了依据。

研究表明,花岗岩体中岩浆成因的原生磷灰石,其 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值可以表征相应岩体的初始锶同位素比值^①,因此,磷灰石的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值亦可以提供花岗岩成岩物质来源的信息。我们仅在吉林南部早古生代大玉山黄泥河花岗岩中测定了磷灰石的锶同位素比值,其 Sr_{11} 值介于0.7039~0.7057之间,与现代大洋玄武岩锶的平均初始很相近,基本上反映其成岩物质可能来自

表3 吉黑东部花岗岩类磷灰石的稀土元素组成

Table 3 The REE composition of apatite from granitoids in Eastern Jilin and Heilongjiang Provinces

| 岩体 | 成因类型 | 样品号 | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Y | ΣREE |
|------|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|---------|
| 钓鱼屯 | S型 | 113 | 245.7 | 782.1 | 115.2 | 666.1 | 253.1 | 28.66 | 320.8 | 55.64 | 290.57 | 54.01 | 156.15 | 26.42 | 154.4 | 25.18 | 1991.9 | 5165.93 |
| 孟山 | I型 | 176 | 439.3 | 1257 | 143 | 610 | 105.5 | 15.61 | 81.13 | 11.12 | 52.66 | 9.36 | 25.55 | 3.74 | 19.51 | 2.93 | 273.4 | 3049.81 |
| 苇河 | I型 | 373 | 525.2 | 1163 | 104.3 | 390.4 | 63.12 | 10.59 | 46.11 | 6.33 | 28.48 | 5.16 | 14.94 | 2.5 | 14.94 | 2.95 | 169.7 | 2547.72 |
| 黄泥河 | I型 | II-2-4 | 302.4 | 673.5 | 121.2 | 734.5 | 243.6 | 33.44 | 317.6 | 47.59 | 283 | 51.1 | 159.7 | 21.43 | 123.7 | 15.58 | 168 | 3296.34 |
| 仲坪 | I型 | I-4-9 | 1736 | 3897 | 468 | 1789 | 277.3 | 23.86 | 168.2 | 25.3 | 110.1 | 19.39 | 51.6 | 7.81 | 35.6 | 5.36 | 535.2 | 9149.72 |
| 骆驼山 | S型 | I-4-19 | 484.7 | 1291 | 201.6 | 1388 | 347.7 | 10.87 | 378.8 | 50.95 | 404.7 | 73.93 | 244 | 30.32 | 218.3 | 29.56 | 24.8 | 5179.23 |
| 荞麦楞子 | I型 | II-3-6 | 822.4 | 1605 | 171.6 | 762.2 | 107.2 | 13.02 | 81.2 | 8.96 | 54.8 | 9.28 | 27.3 | 2.59 | 20.7 | 2.98 | 306.4 | 3995.63 |
| 东清 | S型 | I-2-19 | 211 | 410.8 | 72.3 | 505.4 | 127.6 | 22.72 | 122 | 11.98 | 72.6 | 11.26 | 32.1 | 3.38 | 28.2 | 4.84 | 488.4 | 2124.58 |
| 东清 | S型 | I-2-20 | 655.2 | 1364 | 184.5 | 10.39 | 325.2 | 16.31 | 412.8 | 72.04 | 383.2 | 70.62 | 97 | 30.88 | 162 | 30.18 | 2142 | 5956.32 |
| 鹤鹑砬子 | I型 | I-4-3 | 1522 | 3174 | 307.4 | 1071 | 157.2 | 16.89 | 118.9 | 19.6 | 100.8 | 21.84 | 74.4 | 12.99 | 99.1 | 20.07 | 727.4 | 7443.59 |
| 前撮落 | I型 | ZK841 | 322.3 | 891.3 | 133.6 | 612.1 | 155.3 | 30.37 | 153 | 24.32 | 127.3 | 24.58 | 69.4 | 10.34 | 58.6 | 8.66 | 629.3 | 3250.5 |
| 前撮落 | I型 | ZK842 | 310 | 720.5 | 102.5 | 464.5 | 112.7 | 29.22 | 125.9 | 20.15 | 115.5 | 21.58 | 57.8 | 9.01 | 51.3 | 7.6 | 598.1 | 2754.4 |

注:前3个样品为作者自测,前撮落岩体2个样品据阮德(1986),余皆引用方文昌(1992)资料。含量单位:10⁻⁶。

①伍勤生,等.磷灰石在锶同位素地质研究中的应用.南京花岗岩地质和成矿关系国际学术会议论文集(II).1982.

下地壳或上地幔。这与根据其岩石地球化学特征判断属于 I 型花岗岩是一致的^[18]。

再者,区内两种类型花岗岩磷灰石中稀土元素组成亦有明显差别,I型岩石的磷灰石中高峰元素为 Ce(少数为 Nd),次高峰元素为 La、Nd;而 S 型岩石的磷灰石中,高峰元素为 Y,次高峰元素为 Ce。特征参数 $\Sigma Ce / \Sigma Y$ 比值,I型岩石磷灰石中较高,多数大于 2,而 S 型岩石磷灰石中则较低,多数小于 2。其他如 La/Sm、La/Yb 亦有类似趋势。但 Sm/Nd 比值却是 I 型岩石的磷灰石较低,一般小于 0.3,而 S 型岩石中较高,一般大于 0.3。总之,利用这些特征参数亦可区分两类成岩物质来源不同的花岗岩。

3 榍石

榍石是吉黑东部花岗岩类岩石中最特征的矿物之一,以分布广、晶体粗大、含量较多为特点。在 3 类花岗岩中,以 I 型中最多,A 型次之,S 型较少甚至没有。

3.1 产出特征

榍石在本区花岗岩中有 3 种赋存状态:①作为副矿物与锆石、磷灰石、磁铁矿等共生,在花岗岩中往往与暗色矿物(黑云母、角闪石)相伴生,其晶体多为自形程度很高的信封状,在薄片内长菱形、菱形切面是最常见的形态。②作为同化混染作用或交代作用的反应产物而出现,如在黑龙江省密山市兴凯湖北的晚古生代花岗岩体与下寒武统金银库组大理岩接触,同化混染作用形成大量榍石,含量可达 2%~3%,且晶体粗大,一般 1 mm 左右,少数达 3~5 mm。由于岩体遭受强烈风化作用,榍石得以富集而形成钛砂矿。又如黑龙江省亚布力东苇河花岗闪长岩中,暗色岩石包体周边被交代形成的钾长石晶体(大小在 1~3 cm)所包围(占 10%以上)。观察表明,这些钾长石晶体内外或接触边上均可见榍石晶体(大小 1 mm 左右),且含量较多(占 10%以上)。显微镜下观察,这些交代形成的钾长石斑晶中有许多斜长石、黑云母及角闪石捕虏晶,其晶形呈多残留状,而榍石呈极好自形晶,同时还见有细小自形榍石交代不规则状榍石的现象,这表明交代成因钾长石内外的自形榍石是一种岩浆交代反应产物。类似地还看到两种更有趣的现象,其一在吉林省蛟河县白石山采石场英云闪长岩中的一种微粒包体,呈深灰褐色,

不规则浑圆状,呈细粒镶嵌结构,其中有很多斜长石聚合斑晶,外形似米粒状,其中心往往有一个自形榍石晶体,极为特殊。镜下观察,包体主要由斜长石和黑云母组成,聚合斑晶则由自形一半自形斜长石微晶组成,榍石居其中。榍石或为自形晶或为未发育完全的骸晶状自形晶体,榍石晶体比斜长石微晶大 10~20 倍,为反应产物。榍石骸晶可解释为反应过程短暂或物质来源不充足所致。其二在黑龙江省尚志帽儿山岩体中微粒包体的边缘有交代形成的钾长石斑晶,在接触边界围绕钾长石晶体界面垂直排布着众多榍石,且排列方向随钾长石晶体界面弯曲而改变,非常特征。显然,众多榍石小晶体这种取向关系是受钾长石交代生长过程与微粒包体发生反应导致钛、钙等的活化释放而形成的。③第三种状态是作为岩浆期后热液蚀变产物出现的,遭受蚀变的矿物有黑云母、角闪石及斜长石。这种榍石往往是他形集合体存在,亦有少数呈细小自形晶。

3.2 化学成分

将区内花岗岩中榍石化学分析结果(表 4)与榍石的理论化学成分(SiO_2 30.6%、 TiO_2 40.8%、 CaO 28.6%)比较, SiO_2 含量与理论值接近, TiO_2 和 CaO 普遍低于理论值,而以 TiO_2 尤甚。其中 036 号样品比较特殊, SiO_2 含量偏高, TiO_2 和 CaO 偏低。与北京地区花岗岩中榍石对比,其 CaO (24.4%~28.32%) 和 TiO_2 (36.13%~40.45%) 含量均高于吉黑东部(CaO : 21.25%~27.78%, TiO_2 : 29.3%~36.88%)。与桐柏山—大别山地区花岗岩相比,其 TiO_2 多偏低,而 CaO 多偏高。若与福建沿海中生代花岗岩中榍石比较^[19],则本区榍石的 SiO_2 含量与其相近, TiO_2 略低,而 CaO 略高。

3.3 稀土元素

由表 5 可见,区内花岗岩中榍石的稀土元素含量较高,达到 $5459.9 \times 10^{-6} \sim 16225.7 \times 10^{-6}$,多高于磷灰石中含量。其球粒陨石标准化分布模式与寄主岩石相近,只是负锶异常稍明显些。有意义的是,榍石中 ΣREE 与寄主岩石的 SiO_2 含量呈正相关。

4 结语

综上所述,有关吉黑东部不同时代、不同成因花岗岩类的锆石、磷灰石、榍石等副矿物特征可以作出如下初步总结:

(1) 吉黑东部花岗岩中锆石、磷灰石、榍石 3 种副矿物的某

表 4 吉黑东部花岗岩中榍石的化学成分

Table 4 Chemical compositions of sphene from granitoids in Eastern Jilin and Heilongjiang Provinces

| 岩体 | 岩石类型 | 成因类型 | 时代 | 样品号 | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | Los | Σ |
|-----|-------|------|-----------------------------|-------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-------|
| 孟山 | 花岗闪长岩 | I 型 | γ ₃ ² | 170 | 30.6 | 33.92 | 1.65 | 2.43 | 1.28 | 0.15 | 25.65 | 0.22 | 0.10 | 0.33 | | 96.39 |
| 红旗 | 花岗闪长岩 | S 型 | γ ₃ ² | 036 | 36.1 | 29.30 | 4.00 | 1.80 | 0.14 | 0.20 | 21.25 | 1.26 | 0.60 | 1.06 | | 95.85 |
| 石灰窑 | 花岗闪长岩 | I 型 | γ ₄ ¹ | 007 | 30.81 | 36.88 | 2.10 | 1.89 | 0.25 | 0.20 | 23.7 | 0.43 | 0.10 | 0.23 | | 96.68 |
| 高岭 | 花岗闪长岩 | I 型 | γ ₄ ³ | 880 | 30.20 | 35.50 | 1.50 | 1.72 | 0.64 | 0.36 | 26.42 | 0.05 | 0.15 | 0.39 | 1.30 | 98.38 |
| 柴河 | 花岗闪长岩 | S 型 | γ ₄ ³ | 047 | 30.81 | 35.64 | 1.75 | 1.98 | 0.11 | 0.20 | 26.34 | 0.54 | 0.10 | 0.66 | | 98.30 |
| 兴凯湖 | 花岗闪长岩 | S 型 | γ ₄ ³ | 244 | 31.00 | 36.38 | 1.45 | 1.40 | 0.54 | 0.15 | 25.91 | 0.36 | 0.15 | 0.41 | | 97.89 |
| 白石山 | 闪长质包体 | I 型 | γ ₄ ³ | 901-3 | 30.09 | 35.95 | 1.50 | 1.15 | 0.49 | 0.06 | 27.78 | 0.05 | 0.05 | 0.42 | 0.61 | 98.31 |

含量单位:10⁻²。

表 5 吉黑东部花岗岩中榍石的稀土元素含量

Table 5 The REE compositions of sphene from granitoids in Eastern Jilin and Heilongjiang Provinces

| 岩体 | 岩石类型 | 成因 | 时代 | 样品号 | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Y | ΣREE |
|------|-------|-----|------------------|----------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|--------|---------|
| 石灰窑 | 花岗闪长岩 | I 型 | γ_4^1 | 007 | 1275.0 | 1295.0 | 321.0 | 1257.0 | 254.0 | 61.3 | 187.0 | 24.9 | 110.0 | 25.0 | 68.7 | 8.1 | 47.5 | 6.4 | 519.0 | 5459.9 |
| 榆树川 | 二长花岗岩 | S 型 | γ_4^2 | I-2-7* | 2067.0 | 5914.0 | 766.7 | 3004.0 | 556.9 | 109.2 | 389.9 | 51.0 | 287.4 | 48.9 | 128.5 | 16.3 | 107.8 | 13.5 | 1523.0 | 14984.1 |
| 柴河 | 花岗闪长岩 | S 型 | γ_4^3 | 047 | 1495.0 | 1487.0 | 371.0 | 1179.0 | 331.0 | 56.2 | 254.0 | 43.6 | 208.0 | 47.5 | 111.0 | 15.1 | 92.5 | 13.8 | 1109.0 | 6813.7 |
| 兴凯湖 | 花岗闪长岩 | S 型 | γ_4^3 | 244 | 1201.0 | 3100.0 | 348.0 | 1500.0 | 278.0 | 61.2 | 208.0 | 29.4 | 134.0 | 30.3 | 63.8 | 9.8 | 62.5 | 9.9 | 709.0 | 7744.9 |
| 白石山 | 闪长质包体 | I 型 | γ_4^3 | 901-3 | 1048.0 | 2587.0 | 294.0 | 1147.0 | 186.0 | 38.8 | 175.0 | 23.8 | 110.0 | 22.8 | 54.6 | 7.6 | 48.8 | 6.5 | 633.0 | 6328.9 |
| 石门 | 花岗闪长岩 | I 型 | γ_4^3 | I-2-5* | 720.1 | 2242.0 | 392.4 | 2358.0 | 555.8 | 67.7 | 456.0 | 59.3 | 385.8 | 61.3 | 179.0 | 18.4 | 143.3 | 19.2 | 1954.0 | 9612.3 |
| 石门 | 花岗闪长岩 | I 型 | γ_4^3 | I-2-6-1* | 1041.0 | 33.8 | 481.6 | 2410.0 | 497.1 | 88.2 | 362.8 | 42.8 | 309.0 | 51.2 | 157.3 | 16.7 | 155.9 | 22.2 | 1837.0 | 7506.6 |
| 扇车山 | 二长花岗岩 | I 型 | γ_5^{1-1} | II-3-5* | 1782.0 | 5493.0 | 812.2 | 3445.0 | 627.8 | 79.0 | 479.1 | 69.4 | 460.4 | 78.1 | 234.5 | 13.7 | 218.4 | 29.1 | 2404.0 | 16225.7 |
| 荞麦楞子 | 石英闪长岩 | I 型 | γ_5^{1-1} | II-3-6* | 1007.0 | 3208.0 | 363.4 | 1472.0 | 245.8 | 57.8 | 189.5 | 32.1 | 188.7 | 32.3 | 96.8 | 13.7 | 93.2 | 13.9 | 1013.0 | 8027.2 |

* 据方文昌(1922). 含量单位: 10^{-6} .

些标型特征可以揭示花岗岩的形成条件、演化历史,且对判别花岗岩的成因类型具有重要意义.

(2) 副矿物锆石的颜色、晶形和群型,磷灰石的两种晶形稀土元素分布模式及 Sr 值和榍石的不同世代、成因等可作为划分和判别花岗岩成因类型的重要标志.

参考文献:

- [1] 李之彤, 赵春荆. 我国东北北部花岗岩类的时空分布规律[A]. 见: 徐克勤, 涂光炽, 编. 花岗岩地质和成矿关系[C]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1984. 128—135.
- [2] 李之彤, 赵春荆. 小兴安岭—张广才岭花岗岩带的形成与演化[A]. 见: 李之彤, 编. 中国北方花岗岩及其成矿作用论文集[C]. 北京: 地质出版社, 1991. 76—82.
- [3] 李之彤, 赵春荆, 朱群. 吉黑东部花岗岩类的形成和演化[A]. 见: 中国地质学会, 编. “七五”地质科技重要成果学术交流论文集[C]. 北京: 北京科学技术出版社, 1992. 237—240.
- [4] 陈作文, 赵春荆, 李之彤, 等. 吉林南部加里东期花岗岩带[J]. 沈阳地质矿产研究所所刊, 1982, (3).
- [5] 栾慧敏, 等. 黑龙江省伊春—延寿地区加里东期花岗岩的发现及其成因和构造模式探讨[A]. 见: 李之彤, 编. 中国北方花岗岩及其成矿作用论文集[C]. 北京: 地质出版社, 1991. 76—82.
- [6] 方文昌. 吉林省花岗岩类及成矿作用[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1992.
- [7] 李俊杰. 吉黑东部花岗岩类的副矿物组合特征[J]. 地质与资源, 2005, 14(1): 8—11.
- [8] 地质矿产部南岭项目花岗岩专题组. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1989. 145—175.
- [9] 李之彤, 赵春荆. 东北北部三叠纪 A 型花岗岩的初步研究[A]. 见: 沈阳地质矿产研究所集刊(第 1 号)[C]. 北京: 地震出版社, 1992. 96—108.
- [10] 李之彤, 赵春荆, 朱群. 吉黑东部花岗岩类的形成和演化[A]. 见: 中国地质学, 编. “七五”地质科技重要成果学术交流论文集[C]. 北京: 北京科学技术出版社, 1992. 237—240.
- [11] 李石, 王彤. 桐柏山—大别山花岗岩类地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991. 43—48.
- [12] 马志伟. 吉林省西南部地区花岗岩中锆石晶体形态特征[A]. 见: 李之彤, 编. 中国北方花岗岩及其成矿作用论文集[C]. 北京: 地质出版社, 1991. 176—179.
- [13] 马志伟. 吉林省西南部地区花岗岩类的构造环境[J]. 吉林地质, 1991, (4): 34—43.
- [14] 孙白云. 黑龙江省东南部勃利—牡丹江一带前寒武纪花岗岩及花岗岩体成因探讨[J]. 沈阳地质矿产研究所所刊, 1983, 6: 68—79.
- [15] 郁建华, 傅会芹, 张凤兰, 等. 北京地区岩浆深成作用[M]. 北京: 地质出版社, 1994. 106—127.
- [16] 广东省地质局南岭区域地质测量普查大队火山岩组. 南岭侵入岩[M]. 北京: 地质出版社, 1959.
- [17] 张绍立, 等. 用磷灰石中稀土元素判别花岗岩成岩系列[J]. 地球化学, 1985, (1).
- [18] 李之彤, 李长庚. 吉林磐石—双阳地区金银多金属矿床地质特征成矿条件和找矿方向[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1994.
- [19] 洪大卫, 等. 福建沿海晶洞花岗岩类的岩石学和成因演化[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1987.

(下转第 102 页)

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND TECTONIC SIGNIFICANCE OF GONGHUDUGE GRANITE ROCK BODY IN SIZIWNAGQI, INNER MONGOLIA

LI Lan-ying

(*Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110033, China*)

Abstract: The Gonghuduge granite rock body, which is tectonically located in the north margin of Sino-Korean platform, intruded Ordovician strata and was intruded by late Late Paleozoic granite. The K-Ar dating (306.4 Ma) of biotite shows that the rock is formed in the middle stage of Late Paleozoic era. The rock body is composed of mainly granodiorite and quartz-mica diorite. It is characterized by peraluminous rock, with high-Fe biotite. The Gonghuduge rock body belongs to crust-derived granite of S-type, formed in the post-collision-epirogenic movement in the later stage of the convergence of Sino-Korean and Siberian plates. The occurrence of the Gonghuduge granite is controlled by deep fault.

Key words: granite; S-type; the middle stage of Late Paleozoic; post-collision; Central Inner Mongolia

作者简介:李兰英(1960—),女,副研究员,1983年毕业于长春地质学院,现从事地质情报研究工作,通讯地址 沈阳市北陵大街25号,邮政编码 110033.

(上接第 107 页)

PRELIMINARY STUDY ON THE ACCESSORY MINERALS IN GRANITOIDS IN EASTERN JILIN AND HEILONGJIANG PROVINCES

LI Jun-jie

(*Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110033, China*)

Abstract: The accessory minerals in granitoids in the east of Jilin and Heilongjiang Provinces are various in types. Among them zircon, apatite and sphene are broadly distributed. Their characters distinguish themselves in different types of granites. The color, crystal forms and group types of zircons, the REE distribution models and Sr_1 values of apatites, as well as the generations and origins of sphenes are helpful to identify the forming conditions of granites with different origins. Thus the typomorphic characteristics can be subsidiary signs to distinguish and classify the genesis of granites.

Key words: accessory minerals; zircon; apatite; sphene; granitoids; Eastern Jilin and Heilongjiang Provinces

作者简介:李俊杰(1962—),女,高级工程师,1986年毕业于长春地质学院,现从事地质调查项目管理工作,通讯地址 沈阳市北陵大街25号,邮政编码 110033.