

小兴安岭东段晚古生代花岗岩体的厘定及其地质意义

郭支涛¹, 梁一鸿¹, 冯 坚², 邹存铭¹, 秦 亚³, 赵东明⁴

GUO Zhitao¹, LIANG Yihong¹, FENG Jian², ZOU Cunming¹, QIN Ya³, ZHAO Dongming⁴

1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061;
2. 辽宁省地质矿产研究院, 辽宁 沈阳 110000;
3. 桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541004;
4. 吉林天池矿业股份有限公司, 吉林 和龙 133500

1. College of Earth Science/Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China;
2. Liaoning Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110000, Liaoning, China;
3. College of Earth Science/Guilin University of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China;
4. Jilin Tianchi Mining Industry Co., Ltd., Helong 133500, Jilin, China

摘要:通过LA-ICP-MS锆石U-Pb定年和岩石地球化学分析,研究了小白金河岩体的形成年代和地球化学特征。结果表明,小白金河岩体形成于 $261.7\pm 3.8\text{Ma}$,为中二叠世末期的侵入体。岩体具有高 SiO_2 、 K_2O 和ALK,低 CaO 、 Al_2O_3 和 TiO_2 的特征;具有强烈的负Eu异常;强烈亏损Sr、Ti、V、P等高场强元素,富集K、Rb、Th等大离子亲石元素。研究表明,小白金河岩体属于A型花岗岩,形成于晚古生代弧后裂陷环境。

关键词:小兴安岭东段;晚古生代花岗岩;LA-ICP-MS锆石U-Pb定年;岩石地球化学

中图分类号:P534.4;P588.12⁺1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2015)05-0877-07

Guo Z T, Liang Y H, Feng J, Zou C M, Qin Y, Zhao D M. Determination of the Late Paleozoic granite and its geological significance in the eastern of the Lesser Xing'an Range. Geological Bulletin of China, 2015, 34(5): 877-883

Abstract: In this paper, the age and geochemical characteristics of Xiaobaijinhe pluton were studied by LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geochemical analysis. The results show that the pluton formed at about $261.7\pm 3.8\text{Ma}$, being an intrusion of the Permian period. It is characterized by higher SiO_2 , K_2O , and ALK, lower CaO , Al_2O_3 and TiO_2 as well as stronger negative Eu anomalies. It is depleted in such HFSE as Nb, Ta, Zr, Hf, P and Th and enriched in LILE like K, Rb, Sr, Ba, Cs and Pb. It belongs to A-type granites and formed in the geological environment of back-arc basin in the late Paleozoic period.

Key words: The eastern of Lesser Xing'an Range; Late Paleozoic granite; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; petrogeochemistry

在吉林省、黑龙江省东部及与之毗邻的俄罗斯滨海边疆区,发育一条北东向大型左行走滑断层——敦密—阿尔昌断裂。在该断裂以南的俄罗斯滨海边疆区南西部与中国吉林省和黑龙江省东部(绥芬河—珲春—珲春—珲春一线)接壤区,发育一条南北向晚古生代构造带——老爷岭—格罗杰科岛弧。事实上,该岛

弧是晚古生代从南北向的早古生代构造带——沃茨涅先构造带分裂出来的。因此,早古生代沃茨涅先构造带大部分在晚古生代成为发育巨厚二叠纪火山岩和沉积地层的弧后盆地。在敦密—阿尔昌断裂以北,与之对应的是逊克—铁力—尚志断裂以东、牡丹江断裂以西地区——伊春—延寿早古生代

收稿日期:2014-09-09;修订日期:2014-12-19

资助项目:中国地质调查局项目(编号:1212011120329)

作者简介:郭支涛(1986-),男,在读硕士生,构造地质学专业。E-mail:41651265@qq.com

构造带。伊春—延寿早古生代构造带也与沃茨涅先构造带一样,在晚古生代成为岛弧(大致在逊克—铁力—尚志一线)和弧后盆地。

事实上,在逊克铁力—尚志断裂以东、牡丹江断裂以西地区广泛分布花岗岩体,而早古生代和晚古生代地层仅零星分布于花岗岩的海洋中^[1]。本文研究的晚古生代小白金河岩体,即位于该花岗岩带的中段(图1)。

在20世纪60—70年代的1:20万区域地质测量中,该花岗岩带中侵入于晚古生代地层,并与侏罗纪地层沉积接触的岩体,均被定义为晚古生代花岗岩——海西期花岗岩^①。由于这部分花岗岩是该花岗岩带的主体,因此人们一直倾向认为这个花岗岩带是一个以海西期花岗岩为主的花岗岩带。但是,随着同位素测年技术的普遍应用,发现以前定义的晚古生代花岗岩的年龄绝大多数分布于三叠纪^[2-4]。因此,在黑龙江省1:200万岩浆岩地

质图^①上,该区原来定义的晚古生代花岗岩几乎全部被印支期花岗岩所取代。

在从事中国地质调查局项目“锡霍特成矿带内生矿产成矿模式和成矿系列境内外对比研究”的过程中,发现了晚古生代小白金河花岗岩体。本文拟讨论该岩体的形成时期、地球化学特征及地球动力学意义。

1 地质概况及岩体特征

研究区出露下奥陶统宝泉组(O₁b)和中侏罗统太安屯组(J₂t)^②。除上述少量地层外,研究区广泛发育花岗岩类。主要是三叠纪花岗岩和花岗闪长岩,早古生代黑云母花岗岩及本文研究的晚古生代花岗岩^③。本次研究中的小白金河岩体位于小兴安岭东段。岩体总面积约25km²,呈岩株状产出。岩性主要为钾长花岗岩和文象花岗岩。该岩体岩石呈肉红色,中粒结构、似斑状结构、文象结构和花岗结

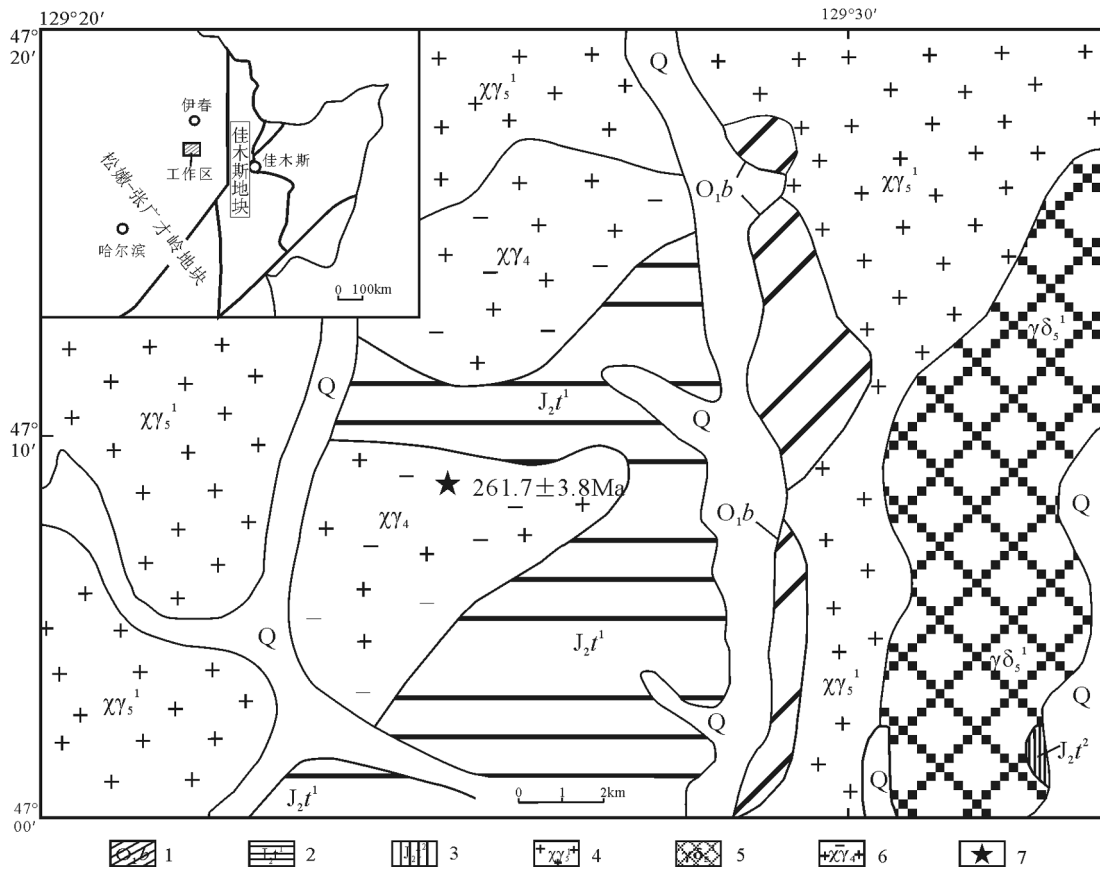


图1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the study area

- 1—宝泉组;2—太安屯组下段;3—太安屯组上段;4—印支期白岗质花岗岩;
- 5—印支期花岗闪长岩;6—海西期花岗岩;7—取样位置

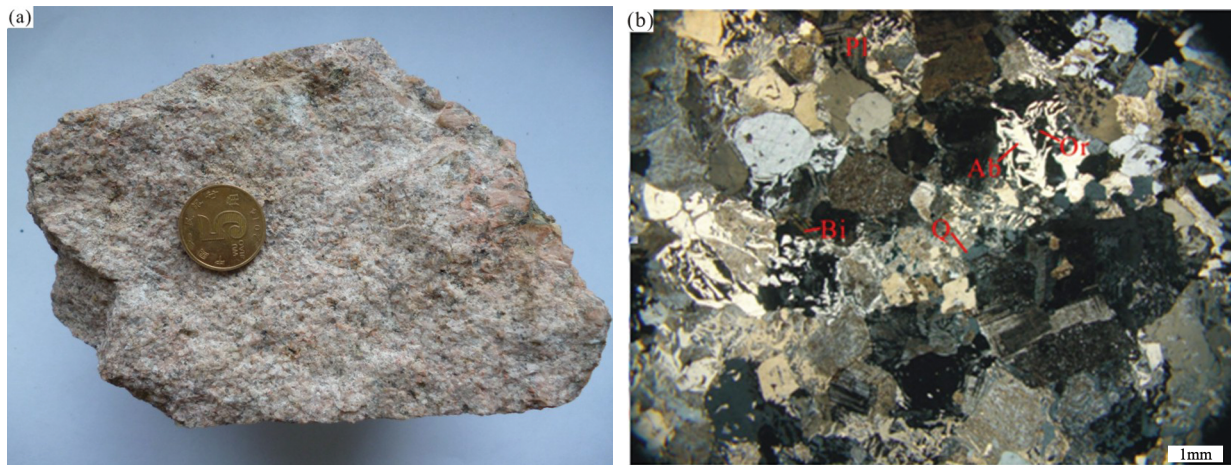


图 2 小白金河岩体手标本照片(a)和镜下照片(正交偏光4×2倍)(b)

Fig.2 Photographs(a) and microphotographs(b) of Xiaobaijinhe pluton

Q—石英, Bi—黑云母, Ab—钠长石; Qr—钾长石; Pl—斜长石

构,块状构造。主要矿物为钾长石(62%)、石英(23%)、斜长石(11%)、黑云母(3%)(图2)。

2 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素

采集野外露头较好的新鲜样品 XBJG5。岩性为钾长花岗岩。

2.1 测试方法

锆石分选在廊坊市科大岩石矿物分选技术股份有限公司完成。锆石制靶和阴极发光照相在北京锆年领航科技有限公司(奥金顿)完成。制靶过程如下:在双目镜下选择晶形较好、无裂隙、透明干净、无包裹体的锆石颗粒整齐地粘在双面胶上,然后用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂固化后进行打磨和抛光,使锆石中心部位暴露出来。

样品分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。LA-ICP-MS设备使用 Agilent 7500a, U-Th-Pb 同位素测定采用 GeoLas2005 193nm 激光发生器。用高纯氦气作为剥蚀物质的载气,利用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST610 进行仪器最佳化,用哈佛大学的标准锆石 91500 作外标。锆石测定过程中激光束斑直径为 32 μ m,脉冲频率为 6Hz。分馏校正和结果计算采用 ICPMSDataCal7.9 软件处理,锆石 U-Th-Pb 同位素测定的误差为 1 σ 。原始数据的处理和锆石 U-Pb 谐和图的绘制采用 Ludwig 博士编写的 Isoplot 程序^[5]。

2.2 测试结果

共选择 20 粒锆石进行测试。所测锆石多为黄褐色和淡褐色,呈长柱状或短柱状,粒径为 100~250 μ m,晶界平直、清晰,具有总体与晶界平行的、清晰的岩浆成因振荡生长环带(图3)。

锆石 Th 和 U 含量分别为 $441.85 \times 10^{-6} \sim 1287.40 \times 10^{-6}$ 和 $1533.44 \times 10^{-6} \sim 3569.16 \times 10^{-6}$, Th/U 值为 0.26~0.37。除个别样品外,测得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值在 250~270Ma 之间,给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $261.9 \pm 2.2\text{Ma}$,可作为岩体的侵位年龄(表1,图4)。

3 岩石地球化学特征

共取 5 个样品(001、002、003、004、005)进行岩石地球化学分析。野外取样时,避开了风化、蚀变作用的干扰。样品分析在吉林大学测试中心完成,采用仪器为 LA-ICP-MS(5200a)和原子吸收光谱仪。样品数据分析处理采用无挥发分百分比含量,以便与典型地区进行对比。岩体的主量元素用 AAS 法完成,稀土和微量元素的测定用 LA-ICP-MS 完成。

3.1 主量元素

小白金河岩体主量元素分析结果见表2。其中 SiO_2 含量为 75.38%~77.20%, Al_2O_3 为 12.05%~13.21%, Fe_2O_3 为 0.45%~1.20%, MgO 为 0.10%~0.16%, CaO 为 0.35%~0.52%, TiO_2 为 0.10%~0.13%。在 AR-SiO₂ 图解(图5)中,样品点全部落入碱性区;含铝指数 $A/\text{CNK}=0.91 \sim 1.03$, $A/\text{NK}=0.98 \sim 1.10$,在

表1 小白金河岩体钾长花岗岩(XBJG5)的LA-ICP-MS锆石U-Th-Pb同位素数据
Table 1 U-Th-Pb isotope compositions of zircons from moyite (XBJG5)
of Xiaobaijinhe pluton as measured by LA-ICP-MS

点号	Th/ 10^{-6}	U/ 10^{-6}	Th/U	年龄/Ma					
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	比值 $\pm\sigma$	比值 $\pm\sigma$	比值 $\pm\sigma$
01	626.19	2196.03	0.29	319 \pm 57	273 \pm 8	266 \pm 3	0.0528 \pm 0.0017	0.3083 \pm 0.0103	0.0422 \pm 0.0004
02	755.84	2270.30	0.33	158 \pm 66	257 \pm 9	268 \pm 4	0.0492 \pm 0.0019	0.2886 \pm 0.0114	0.0424 \pm 0.0006
03	838.44	2475.69	0.34	88 \pm 58	252 \pm 8	268 \pm 3	0.0478 \pm 0.0016	0.2813 \pm 0.0096	0.0424 \pm 0.0005
04	591.89	1893.14	0.31	243 \pm 61	258 \pm 8	259 \pm 3	0.0511 \pm 0.0019	0.2895 \pm 0.0104	0.041 \pm 0.0005
05	1287.40	3569.16	0.36	153 \pm 59	256 \pm 8	265 \pm 3	0.0491 \pm 0.0017	0.2873 \pm 0.0096	0.042 \pm 0.0004
06	630.42	2192.62	0.29	539 \pm 189	279 \pm 24	257 \pm 4	0.0583 \pm 0.0072	0.3156 \pm 0.0311	0.0407 \pm 0.0007
07	825.29	2440.64	0.34	303 \pm 120	254 \pm 15	246 \pm 4	0.0524 \pm 0.0035	0.2842 \pm 0.0188	0.0389 \pm 0.0007
08	883.28	2854.17	0.31	181 \pm 51	248 \pm 9	261 \pm 6	0.0497 \pm 0.0021	0.2766 \pm 0.0111	0.0413 \pm 0.0010
09	474.07	1805.51	0.26	118 \pm 69	246 \pm 9	260 \pm 3	0.0484 \pm 0.0021	0.2741 \pm 0.0112	0.0412 \pm 0.0006
10	718.91	2161.27	0.33	210 \pm 63	258 \pm 8	261 \pm 3	0.0503 \pm 0.0019	0.289 \pm 0.0106	0.0413 \pm 0.0005
11	890.18	2540.05	0.35	374 \pm 50	274 \pm 8	261 \pm 4	0.0541 \pm 0.0018	0.3103 \pm 0.0106	0.0414 \pm 0.0006
12	465.83	1574.07	0.30	245 \pm 83	267 \pm 11	267 \pm 4	0.0511 \pm 0.0022	0.3008 \pm 0.0143	0.0423 \pm 0.0006
13	725.19	1944.57	0.37	301 \pm 70	266 \pm 9	261 \pm 3	0.0524 \pm 0.0021	0.2993 \pm 0.0119	0.0412 \pm 0.0005
14	666.33	2379.30	0.28	323 \pm 267	259 \pm 32	251 \pm 6	0.0529 \pm 0.0082	0.2903 \pm 0.0405	0.0398 \pm 0.0010
15	522.52	1969.15	0.27	366 \pm 74	274 \pm 10	260 \pm 3	0.0539 \pm 0.0023	0.3092 \pm 0.0128	0.0412 \pm 0.0005
16	650.41	1852.81	0.35	445 \pm 65	280 \pm 10	261 \pm 3	0.0558 \pm 0.0024	0.3176 \pm 0.0124	0.0413 \pm 0.0005
17	974.34	2656.48	0.37	261 \pm 56	264 \pm 8	262 \pm 3	0.0515 \pm 0.0017	0.2966 \pm 0.0097	0.0415 \pm 0.0004
18	495.11	1533.44	0.32	347 \pm 70	270 \pm 10	260 \pm 3	0.0534 \pm 0.0023	0.3043 \pm 0.0126	0.0412 \pm 0.0005
19	692.15	1919.91	0.36	342 \pm 70	276 \pm 9	267 \pm 3	0.0533 \pm 0.0021	0.3123 \pm 0.0012	0.0423 \pm 0.0004
20	441.85	1653.95	0.27	428 \pm 75	280 \pm 11	263 \pm 3	0.0554 \pm 0.0025	0.3173 \pm 0.0136	0.0417 \pm 0.0005

A/CNK-A/NK图解(图6)中,样品点落入准铝质—弱过铝质范围^[6-9]。

3.2 稀土和微量元素

小白金河岩体稀土元素含量和微量元素含量见表2。其中稀土元素总量 ΣREE 为 $(43\sim 177)\times 10^{-6}$,

平均值为 120×10^{-6} ;轻稀土元素(LREE)含量为 $(37\sim 157)\times 10^{-6}$,重稀土元素(HREE)为 $(5\sim 20)\times 10^{-6}$,LREE/HREE=7~10.82; $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为4.71~10.13, δCe 值为0.68~1.26, δEu 值为0.03~0.10。稀土元

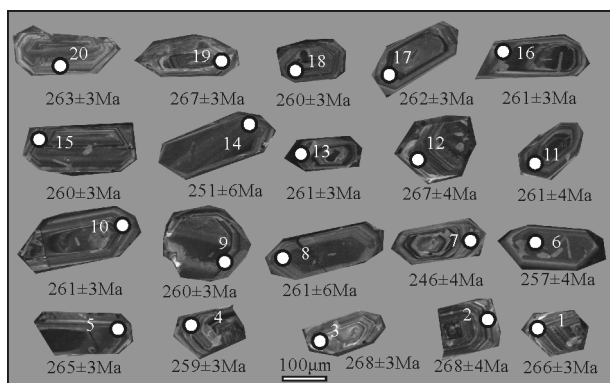


图3 小白金河岩体(XBJG5)锆石阴极发光(CL)图像及其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄

Fig. 3 CL image of Xiaobaijinhe pluton (XBJG5) and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age

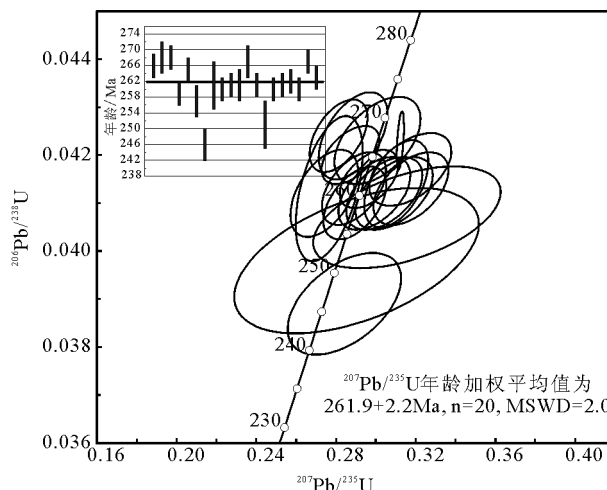


图4 小白金河岩体(XBJG5)锆石U-Pb谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagrams of Xiaobaijinhe pluton (XBJG5)

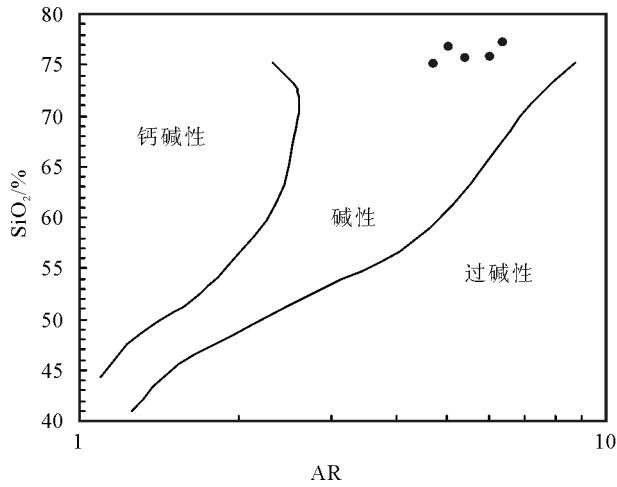


图 5 小白金河岩体 AR-SiO₂图解

Fig. 5 Diagram of AR-SiO₂ of Xiaobaijinhe pluton

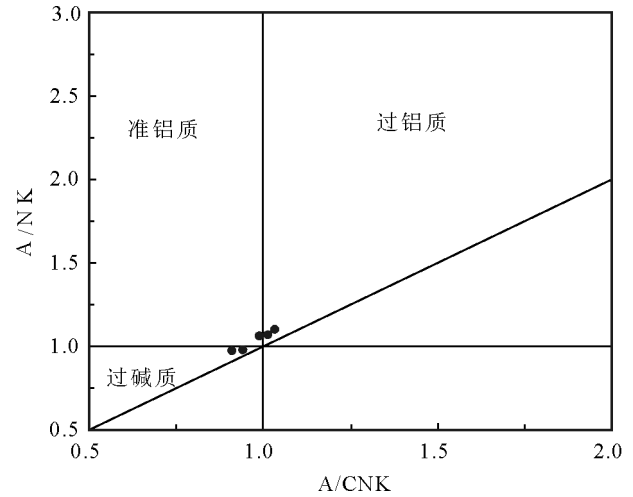


图 6 小白金河岩体 A/CNK-A/NK 图解

Fig. 6 Diagram of A/CNK-A/NK of Xiaobaijinhe pluton

素球粒陨石标准化配分模式(图 7-a)呈右倾海鸥型,并具有明显的负 Eu 异常。

微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 7-b)呈现出 Ba、Sr 等大离子亲石元素和 Nb、P、Ti 等高场强元素亏损,大离子亲石元素 Rb、K 和高场强元素 U、Th、Zr、Hf 富集的特征。

4 结论与讨论

小白金河岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 261.9 ± 2.2 Ma, 为中二叠世末期的岩体。岩石学和岩石化学特征表明,该岩体具有偏铝质—弱过铝质 A 型花岗岩的特点(表 3,图 8)。在 Y/Nb-Ce/Nb

表 2 小白金河岩体主量、微量和稀土元素含量

Table 2 Major, trace, rare earth elements values of Xiaobaijinhe pluton

样品号	001-q1	002-q2	003-q3	004-q4	005-q5	样品号	001-q1	002-q2	003-q3	004-q4	005-q5
Al ₂ O ₃	12.05	13.21	12.77	12.72	12.61	Zr	180	180.5	113.4	136.4	186.7
Fe ₂ O ₃	0.67	0.96	0.45	0.8	1.2	Nb	13.6	12.97	13.77	14.26	13.64
FeO	0.21	0.21	0.57	0.16	0.1	Cs	4.772	5.478	5.432	5.754	1.926
CaO	0.35	0.41	0.38	0.37	0.52	Ba	25.8	24.56	17.05	17.48	301
MgO	0.1	0.13	0.11	0.11	0.16	Hf	5.654	5.834	4.289	4.861	6.211
K ₂ O	4.59	4.65	4.77	4.42	4.6	Ta	1.372	1.267	1.416	1.49	1.074
Na ₂ O	4.38	4.25	4.26	4.32	4.79	Ce	80.38	78.38	25.59	20.86	59.57
TiO ₂	0.1	0.11	0.1	0.1	0.13	Pr	6.604	6.877	2.035	1.655	9.593
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	Nd	21.7	22.54	6.802	5.566	36.47
MnO	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	Sm	3.942	4.102	1.321	1.067	7.806
烧失量	0.36	0.4	0.31	0.42	0.39	Eu	0.035	0.033	0.013	0.014	0.233
合计	100.09	99.79	99.84	100.31	100.5	Gd	3.165	3.304	1.064	0.936	6.146
Sc	5.25	4.67	2.732	3.154	2.215	Tb	0.5	0.49	0.168	0.161	0.882
Ti	511.2	474.1	365.4	391	594.1	Dy	3.186	3.096	1.088	1.143	4.864
V	0.963	0.879	0.933	1.118	2.185	Ho	0.684	0.647	0.232	0.256	0.91
Cr	1.748	2.131	1.719	3.08	5.634	Er	2.502	2.351	0.831	0.967	2.905
Co	0.734	0.686	0.735	0.717	1.101	Tm	0.438	0.403	0.146	0.174	0.446
Ga	8.761	8.367	7.231	7.666	17.76	Yb	3.324	3.049	1.089	1.328	3.105
Rb	249.2	280.8	297.6	303	176.9	Lu	0.541	0.508	0.195	0.235	0.496
Sr	6.085	5.479	4.358	4.293	38.74	Th	48.67	45.21	20.14	18.36	17.86
Y	21.61	19.51	6.553	7.538	25.8	U	4.428	3.23	2.903	4.024	3.8

注:主量元素含量单位为%,稀土和微量元素为 10⁻⁶

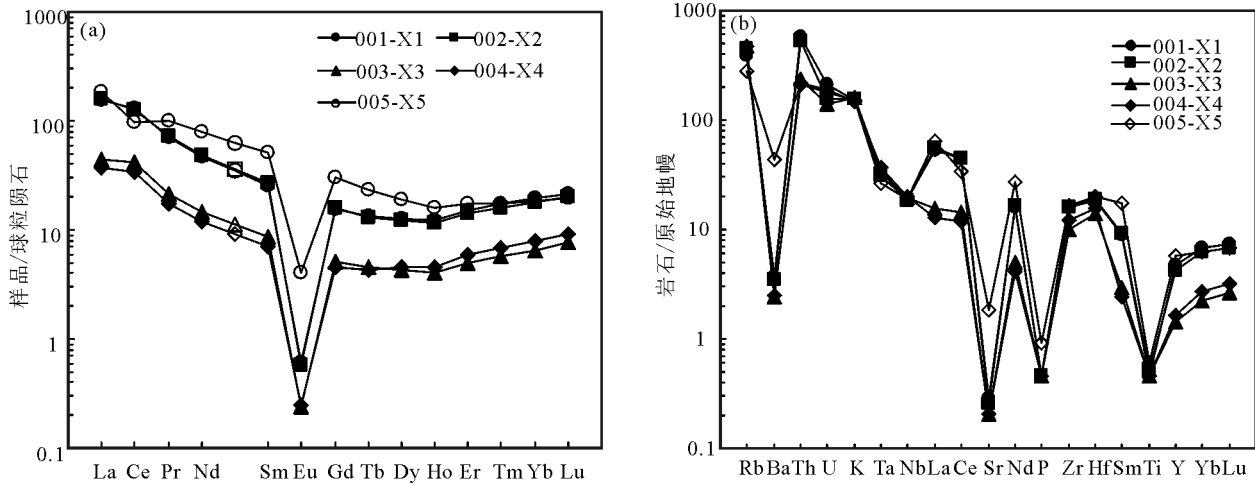


图7 小白金河岩体稀土元素球粒陨石标准化配分型式(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)^[13-14]

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spidergram (b) of Xiaobaijinhe pluton

图解(图9)中,样品点全部投入A₁型花岗岩(非造山A型花岗岩)区^[12-14]。

实验岩石学表明,A型花岗岩岩浆形成于低压环境。在实际地质条件下,对应于地壳减薄的伸展构造环境。结合地质实际,区分出非造山的板内环境与与造山带有关的后造山伸展环境的A型花岗岩^[15-19]。

如前所述,小白金河岩体位于小兴安岭东段。该地区曾经是早古生代的造山带和花岗岩带,在晚古生代成为海西期的活动大陆边缘。小白金河花岗岩的形成时期(中二叠世末期)是板块俯冲时

期,似乎不具备A型花岗岩的形成环境。

事实上,在海西期活动大陆边缘曾存在一个南北向的岛弧和弧后盆地(或弧后裂隙)。在敦密断裂以南,该岛弧位于中—俄边境一线,被俄罗斯学者命名为老爷岭—格罗杰科岛弧^[20]。以东属于弧后盆地或弧后裂隙,以发育巨厚安山岩和二叠纪海相沉积为特点^[17]。在敦密断裂以北,岛弧的位置与E128°线附近的逊克—铁力—尚志断裂一线对应。因此,小白金河岩体的位置应该对应的是弧后盆地或弧后裂隙区。所以,小白金河A型花岗岩的形成应该与海西晚期弧后裂隙有关。

表3 小白金河岩体与典型A型花岗岩对比
Table 3 A comparison between Xiaobaijinhe pluton and typical A-type granite

项目	A型花岗岩 ^[6-9]	小白金河岩体
岩石类型	碱长花岗岩、钾长花岗岩、正长花岗岩、钾长球斑花岗岩、石英二长岩、石英碱长正长岩、石英正长岩等	钾长花岗岩
产状	小型侵入体(岩株)	岩株
结构构造	添隙结构、晶洞构造	晶洞构造
岩石化学类型	碱性花岗岩、过碱性花岗岩	碱性花岗岩
主量元素	高SiO ₂ (74%~78%)、富ALK(8%~10%)、K ₂ O>Na ₂ O、低CaO(<1.8%)、贫Al ₂ O ₃ (12%~13%)	SiO ₂ 75.38%~77.20%、ALK 8.74%~9.39%、CaO 0.35%~0.52%、Al ₂ O ₃ 12.05%~13.21%
微量元素	富集高场强元素Th、Zr、Hf、Nb、Y及Rb、U等大离子亲石元素,亏损Ba、Sr、Cr、Co、Ni、V	富集Th、Zr、Hf、Y等高场强元素及Rb、U等大离子亲石元素,亏损Ba、Sr、Ta、P、Ti、V
稀土元素	ΣREE较高,大于100×10 ⁶ ;轻、重稀土元素分馏明显;富集除Eu外的稀土元素;具明显的负Eu异常	ΣREE平均值为119.75×10 ⁶ ;轻、重稀土元素分馏明显;富集除Eu外的稀土元素;具有明显的负Eu异常

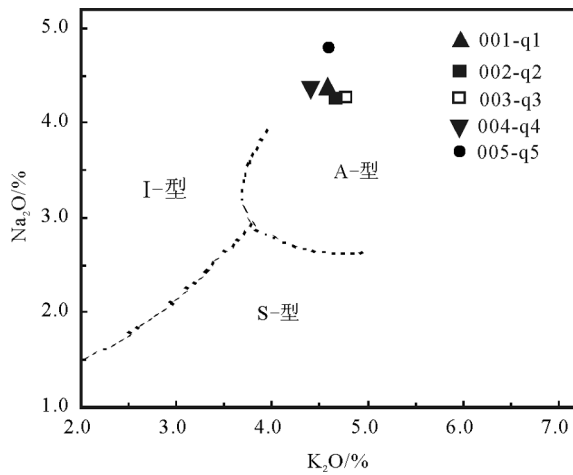


图 8 K₂O-Na₂O 图解

Fig. 8 Diagram of K₂O-Na₂O

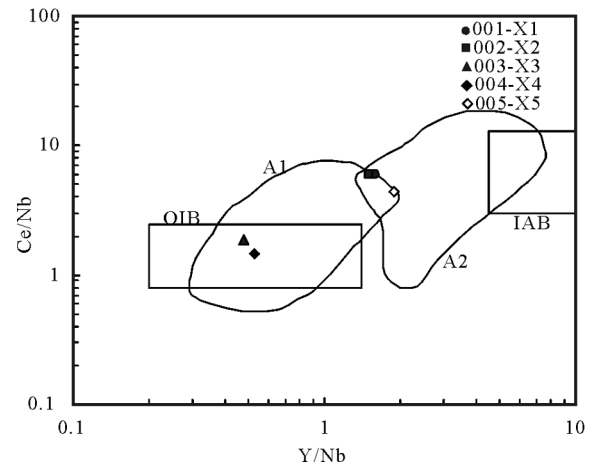


图 9 Y/Nb-Ce/Nb 图解

Fig. 9 Diagram of Y/Nb-Ce/Nb

A1—非造山;A2—造山后;OIB—板内洋岛玄武岩;
IAB—火山弧、岛弧玄武岩

致谢:感谢吉林大学测试科学实验中心和中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室的工作人员在 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素测定及岩石化学分析过程中给予的帮助。

参考文献

[1]冯坚. 伊春—延寿构造带早古生代构造属性研究[D]. 吉林大学硕士学位论文, 2012.
 [2]魏红艳. 黑龙江省伊春—鹤岗地区花岗岩的时代与成因研究[D]. 吉林大学硕士学位论文, 2012.
 [3]魏红艳, 孙德有, 叶松青, 等. 小兴安岭东南部伊春—鹤岗地区花岗质岩石锆石 U-Pb 年龄测定及其地质意义[J]. 地球科学, 2012, 37: 50-59.
 [4]孙德有, 吴福元, 高山, 等. 小兴安岭东部清水岩体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定[J]. 地球学报, 2004, 25(2): 213-218.
 [5]Ludwig K R. Using Isplot/Ex Versing 2, a geochronological toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Centre Special Publications, 1999: 1-47.
 [6]苏玉平, 唐红峰. A 型花岗岩的微量元素地球化学[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2005, 24(3): 245-251.
 [7]吴锁平, 王梅英, 戚开静, 等. A 型花岗岩研究现状及评述[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(1): 57-66.
 [8]许保良, 阎国翰, 张臣, 等. 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.
 [9]张旗, 冉焱, 李承东, 等. A 型花岗岩的实质是什么?[J]. 岩石矿物学杂志, 2012, 31(4): 621-626.
 [10]Boynton W V. Geochemistry of the rare earth element: Meteorite studies[C]//Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 1984.
 [11]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes

[J]. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42(1): 313-345.

[12]彭玉鲸, 王占福. 吉林省中部 A 型花岗岩带的确定及其构造意义[J]. 吉林地质, 1995, 14(3): 31-44.
 [13]孙德有, 吴福元, 高山, 等. 吉林中部晚三叠世和早侏罗世两期铝质 A 型花岗岩的厘定及对吉黑东部构造格局的制约[J]. 地学前缘, 2005, 12(2): 263-275.
 [14]肖本万, 谷浩. 黑龙江伊春红星地区碱性花岗岩的地球化学及其构造指示意义[J]. 华南地质与矿产, 2009, 3: 19-27.
 [15]赵振华. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 92-103.
 [16]Bateman R. On the role of diapirism in the segregation, ascent and final emplacement of granitoid magmas[J]. Tectonophysics, 1984, 110: 211-231.
 [17]Eby G N. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis[J]. Lithos, 1990, 26: 115-134.
 [18]Lolselle M C, Wones D R. Characteristics and origin of anorogenic granites[J]. Geol. Soc. Am., 1979, 11: 468.
 [19]Zhang Q, Ran H, Li C D. A-type granite: What is the Essence?[J]. Acta Petrological Et mineralogical, 2012, 31(4): 621-626.
 [20]A. И. 汉丘克. 俄罗斯远东金属矿床形成条件的古地球动力学分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 10(34): 23-35.
 ①黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
 ②龙江地质局, 汤原县幅 1:20 万地质图测量报告. 黑龙江省地质局, 1972.
 ③黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省岩石地层[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1997.