

华北地台北缘鞍山白家坟奥长花岗岩地球化学特征、锆石U-Pb年龄及意义

温德娟

WEN Dejuan

辽宁省地质矿产调查院, 辽宁 沈阳 110031

Liaoning Survey Academy of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110031, Liaoning, China

摘要:太古宙TTG岩石的成因及年代学研究是理解前板块构造和板块构造开始及其演化过程的关键,是陆壳增生的重要标志,为太古宙地质体研究的热点和难点之一。对鞍山地区的白家坟岩体进行了地球化学研究和锆石U-Pb测年。数据结果显示,该岩体具有正片麻岩特征, Si、Na含量高, TFeO、MgO、CaO含量低, 轻、重稀土元素分异程度低, 且具有一定变化。稀土元素总量偏低($12.6 \times 10^{-6} \sim 119.34 \times 10^{-6}$), LREE/HREE值为8.98~13.11。微量元素富集K、Rb、Ba, 亏损Nb、Ce、Zr、Sm、Ti、Y、Yb; K/Rb平均值为229.37, Rb/Sr平均值为0.58, Ba/Sr平均值为3.28, Y/Nb平均值为3.36。表明该岩体为岩浆作用的产物, 也有部分为壳内再循环的产物或受到陆壳物质影响。测得 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄加权平均值为 $3816 \pm 14\text{Ma}$, 锆石具有清晰的振荡环带结构, 所有核部锆石分析点的Th/U值在0.05~0.54之间, 具有岩浆锆石的特点, 代表了白家坟奥长花岗岩质岩石的结晶时代。3613~3651Ma和3331Ma两组年龄数据代表早太古代的一次岩浆事件及重要的陆壳增生时期的热事件。

关键词: 奥长花岗岩; TTG岩石; 锆石U-Pb测年; 白家坟; 鞍山

中图分类号: P588.12⁺1; P597⁺.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2019)10-1711-07

Wen D J. Geochemical characteristics and zircon U-Pb geochronology of the Baijiafen augamite granite in Anshan of the North China platform and its significance. *Geological Bulletin of China*, 2019, 38(10):1711-1717

Abstract: The genesis and chronology of Archaean TTG rocks is the key to understanding the problems concerning the beginning of the pre-plate tectonics and plate tectonics and their evolution process. It is an important sign of continental crust accretion and one of the hotspots and difficulties in the study of Archaean geologic bodies. Geochemical characteristics and zircon U-Pb dating of Baijiafen intrusion were studied in Anshan area. The data show that the rock mass has the characteristics of orthogneiss, with high Si, Na content, low TFeO, MgO, CaO content, low light and heavy REE content and some changes. The REE content of rocks is low, REE is $12.6 \times 10^{-6} \sim 119.34 \times 10^{-6}$ and LREE/HREE ratio is 8.98~13.11. Trace elements of rocks are characterized by enrichment of K, Rb and Ba and depletion of Nb, Ce, Zr, Sm, Ti, Y and Yb; K/Rb mean ratio is 229.37, Rb/Sr mean ratio is 0.58, Ba/Sr mean ratio is 3.28, and Y/Nb mean ratio is 3.36, suggesting that the rock mass is the product of magmatism, with a part being the product of intracrustal recycling or being affected by continental crustal materials. The weighted average age of $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ is $3816 \pm 14\text{Ma}$. The zircon has clear oscillating zonal structure. Th/U ratios of all core zircon analytical points range from 0.05 to 0.54. It has the characteristics of magmatic zircon and represents the crystallization age of Baijiafen trondhjemite. The age data of 3613~3651Ma and 3331Ma represent a magmatic event in the early Archaean and a thermal event in the important period of continental crust accretion.

Key words: trondhjemite; TTG rock; zircon U-Pb dating; Baijiafen; Anshan

收稿日期: 2018-07-15; 修订日期: 2018-09-16

资助项目: 中国地质调查局项目《鞍山-本溪铁矿整装勘查区矿产调查与找矿预测》(编号: 121201004000150017-29)

作者简介: 温德娟(1981-), 女, 硕士, 高级工程师, 从事固体矿产勘查、基础地质调查等工作。E-mail: wendejuan@126.com

辽宁鞍山是全球已发现岩体锆石年龄大于3.8Ga的仅有的几个地区之一。白家坟奥长花岗岩位于鞍山市城东白家坟村,是国内研究华北克拉通太古宙岩浆演化和早期地壳演化的热点之一,万渝生等对白家坟奥长花岗岩的锆石U-Pb年龄、地球化学特征、区域对比和Nd、Sr同位素组成及其地质意义进行了较系统的研究^[1-3],为研究早期地壳演化提供了重要线索和依据。在前人工作的基础上,本次对鞍山地区白家坟奥长花岗岩质岩石的地球化学特征、锆石年龄及其地质意义进行讨论。

1 区域地质背景

鞍山地区地层区划属华北地层区,是太古宙变质表壳岩发育的典型地区。区域上出露地层自下

而上有太古宙变质表壳岩茨沟岩组、大峪沟岩组、樱桃园岩组(“鞍山式”铁矿赋矿层位)、古元古界辽河岩群及新元古界青白口系,其中以樱桃园岩组变质岩系为主,其余岩组不发育,变质建造为磁铁石英岩、绢云二长变粒岩、石英片岩、绢云石英片岩的岩石组合。前台岩组与下伏太古宙表壳岩或变质深成岩之间为韧性剪切滑脱关系,与上覆新元古界为角度不整合或韧性剪切滑脱关系(图1)。

2 岩相特征

白家坟奥长花岗岩质侵入体分布在鞍山市东部白家坟一带,呈北西—南东向展布,长约500m,宽约50m,岩体出露面积约0.02km²,为一规模不大的无根残片^[3]。西南侧与陈台沟花岗岩(3.3Ga)呈断层接

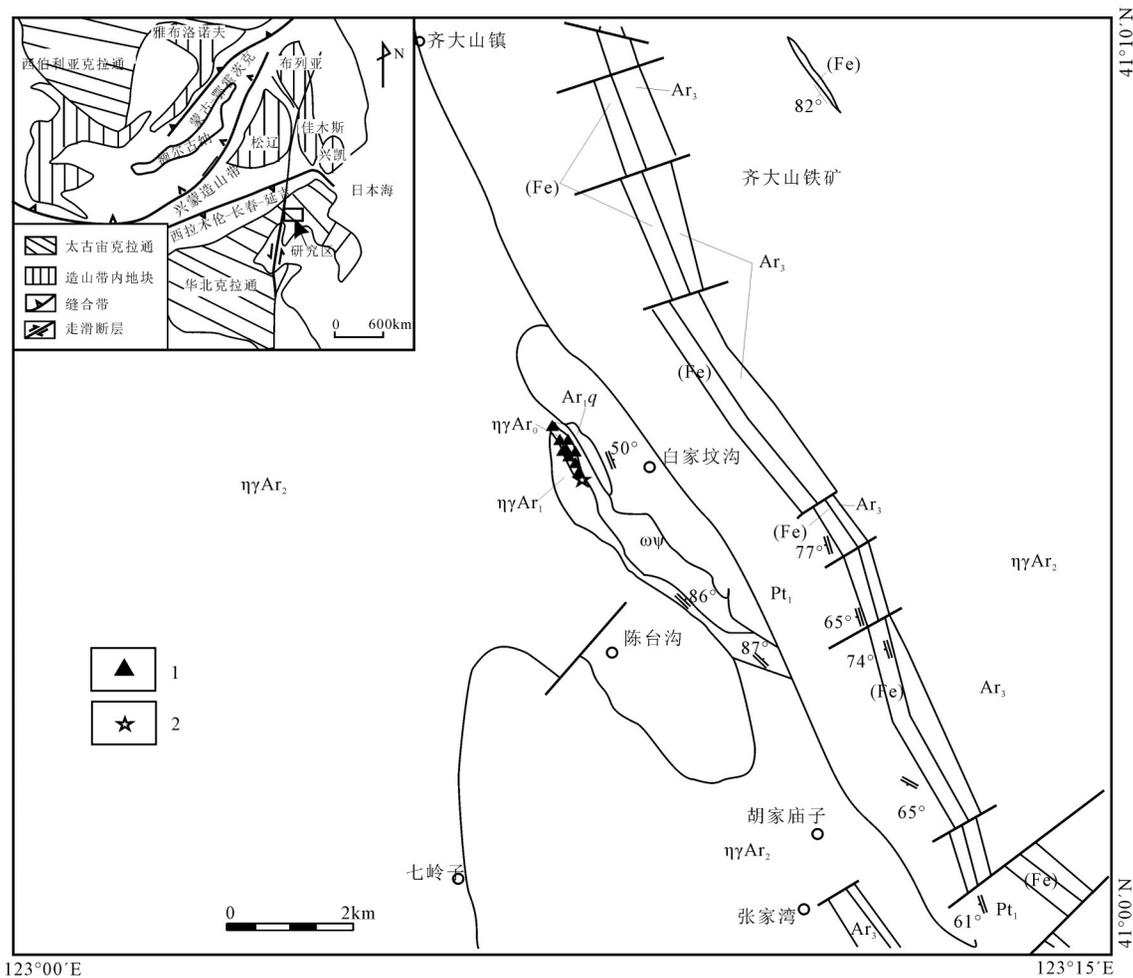


图1 研究区地质简图

Fig.1 Simplified geological map of the study area

Ar_{1q}—前台岩组; ηγAr₀—糜棱岩化二长花岗岩; ηγAr₁—奥长花岗岩; ηγAr₂—中细粒二长花岗岩; ηγAr₃—片麻状二长花岗岩;
ωψ—蛇纹岩脉; 1—地球化学样品采样位置; 2—锆石U-Pb样品采集位置

触,东北侧与前台表壳岩(3.3Ga)呈断层接触,由于后期构造热液作用的强烈改造,岩石具较明显的糜棱构造,糜棱岩化后又遭受了帘石化、绢云母化等轻微蚀变^[4],呈均匀分布(图2-a、b)。

奥长花岗岩具有变余半自形粒状结构、变余似斑状结构,片麻状构造,岩石主要由斜长石(64%,发育聚片双晶,具绢云母化及黝帘石化)、石英(21%)、条纹长石(10%,发育条纹双晶)、黑云母(5%,部分蚀变为白云母)等矿物组成;见良好的糜棱岩结构,主要由定向钾长石、斜长石碎斑组成;变形拉长的石英颗粒呈条纹状平行排列,构成平行构造,斜长石及少量钾长石相间出现于石英颗粒条纹间;岩石经强烈的糜棱岩化作用后,又叠加较强烈的纳黝帘石和绢云母化,几乎所有的斜长石均为微粒纳黝帘石和绢云母微片包围,仅保留原斜长石晶形(图2-c、d)。岩石副矿物含量不高,主要为磷灰石,锆石很少。

3 岩石地球化学特征

白家坟奥长花岗岩以相对高 SiO₂、Na₂O,低 TFeO、MgO、CaO 为特征(表1)。K₂O/Na₂O 值主要

在 0.48~0.84 之间。经 CIPW 标准矿物计算结果,DI 变化在 86.46~95.96 之间,说明了该岩体的分异程度较高,SI 变化在 0.2~6.74 之间,A/CNK 在 1.04~1.25 之间,属于铝饱和型, σ 在 1.24~2.73 之间,属于钙碱性系列。在 An-Ab-Or(图3)图解中,多数样品投入奥长花岗岩区,个别 K₂O 含量较高的样品投入花岗岩区,具有明显的正片麻岩性质。前人推断,该岩石是由更早期的 TTG 花岗质岩石部分熔融形成的^[9]。从野外产状和矿物组合看,K₂O 含量增高与微斜长石增多有关,是后期钾交代作用的结果。

岩石稀土元素含量偏低(表1),稀土元素总量(\sum REE)为 $12.6 \times 10^{-6} \sim 119.34 \times 10^{-6}$,LREE/HREE 值为 8.98~13.11,La_N/Yb_N 值为 9.57~16.04;稀土元素配分曲线(图4-a)呈较缓右倾型,轻、重稀土元素分异程度较低。稀土元素总量低,轻重稀土元素分离不强但有一定变化的稀土元素模式反映了岩石自身的组成特征^[6]。岩石微量元素(表1)N-MORB 标准化蛛网图(图4-b)显示,富集 K、Rb、Ba,亏损 Nb、Ce、Zr、Sm、Ti、Y、Yb 的特点;K/Rb 平均值为 229.37,Rb/Sr 平均值为 0.58,Ba/Sr 平均值为 3.28,

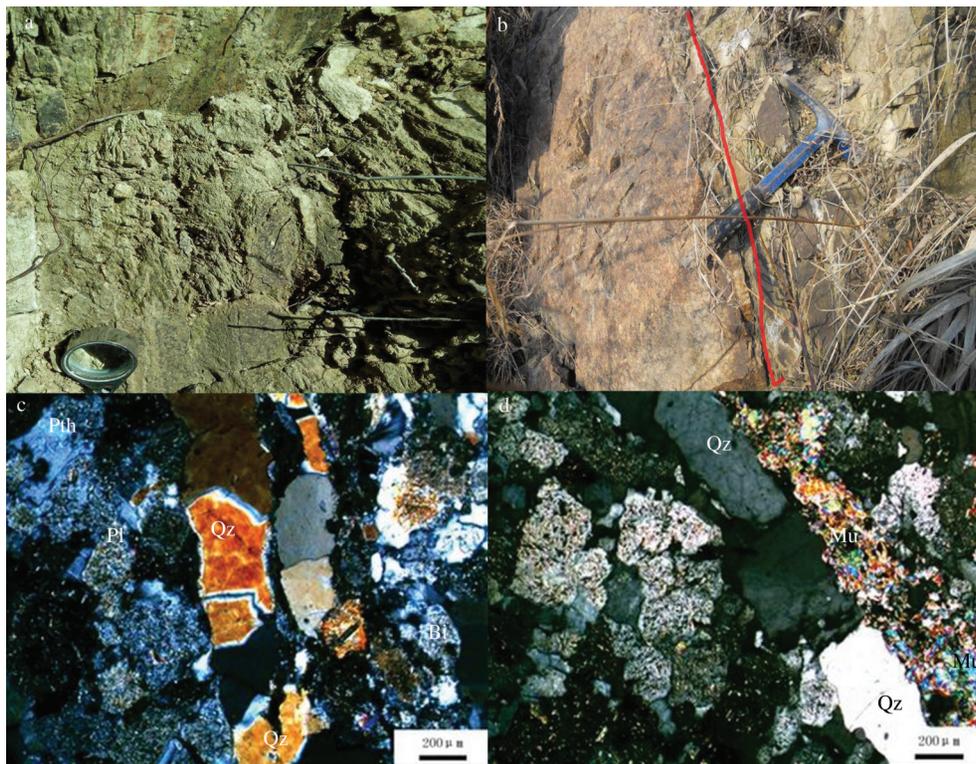


图2 白家坟奥长花岗岩野外(a、b)和(c、d)镜下照片

Fig. 2 Field (a,b) and microscopic (c,d) photographs characteristics of Baijiafen trondhjemites

Qz—石英;Pl—斜长石;Pth—条纹长石;Bi—黑云母;Mu—白云母

表1 白家坟奥长质花岗岩元素组成

Table 1 Element composition of Baijiafen trondhjemites

样号	9011 ^[5]	A9158 ^[5]	A9303 ^[5]	A9505-2 ^[5]	A9505-3 ^[5]	CH28 ^[5]	A9616C ^[5]	PM030TY004 ^[1]	3105	3106
SiO ₂	74.29	76.59	74.4	73.43	75.84	73.59	73.61	73.12	77.07	74.24
TiO ₂	0.41	0.47	0.51	0.34	0.80	0.59	0.90	0.99	1.49	1.20
Al ₂ O ₃	15.62	13.79	14.66	14.05	13.77	14.59	14.69	13.38	11.80	13.00
Fe ₂ O ₃	0.21	0.81	0.85	0.82	0.34	0.54	0.35	1.64	0.89	1.06
FeO	0.92	0.43	0.18	0.22	0.13	0.56	0.66	0.93	1.03	1.13
MnO	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.06	0.04	0.04	0.05
MgO	0.22	0.41	0.14	0.13	0.02	0.34	0.25	0.97	0.35	0.46
CaO	1.48	0.33	0.82	1.19	0.44	1.08	1.01	1.14	0.43	0.80
Na ₂ O	4.72	4.25	4.28	5.20	3.79	4.20	5.22	4.04	3.65	3.95
K ₂ O	1.88	2.22	4.71	1.79	5.68	3.52	2.50	2.69	3.13	3.6
P ₂ O ₅	0.00	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.03	0.044	0.05	0.07
K ₂ O/Na ₂ O	0.40	0.52	1.10	0.34	1.50	0.84	0.48	0.67	0.86	0.91
DI	86.97	91.76	93.12	90.71	95.96	90.12	90.82	86.46	92.01	90.38
A/CNK	1.25	1.38	1.07	1.11	1.04	1.15	1.12	1.15	1.26	1.09
K	15600	18421	39082	14853	47131	29208	20744	22321	25243	19998
AR	2.26	2.69	3.77	2.69	5.00	2.94	2.93	2.73	2.49	2.42
σ	1.39	1.24	2.58	1.59	2.74	1.94	1.94	1.50	1.35	1.82
Sr	376	109	192	272	73	213	292	209	208	311
Rb	70	107	103	68	96	173	101	116	112	99
Ba	729	625	541	521	377	888	941	710	687	901
Th	5.00	10.00	2.40	5.00	7.00	5.00	7.00	12.20	6.00	6.50
Nb	2.00	3.00	5.60	2.00	2.00	2.00	2.00	6.85	2.00	2.00
Ce	9.59	19.46	4.32	3.53	7.50	22.83	24.05	39.50	19.86	23.1
Zr	103	101	35	41	31	42	25	112	38	29
Y	3.00	5.00	5.60	5.00	11.00	3.00	10.00	8.06	3.00	3.00
Yb	0.41	0.47	0.51	0.34	0.80	0.59	0.90	0.99	0.78	0.56
La	6.55	10.44	2.62	3.19	5.14	13.19	12.01	21.3	14.86	13.55
Pr	2.45	1.63	0.30	0.50	0.87	1.75	1.86	3.31	1.55	1.68
Nd	5.40	5.85	1.90	2.03	3.39	8.47	5.85	11.4	7.88	10.45
Sm	1.78	1.09	0.51	0.40	0.89	1.86	1.44	2.06	1.77	1.65
Eu	0.46	0.49	0.26	0.23	0.27	0.59	0.76	0.71	0.59	0.40
Gd	1.56	1.35	0.79	0.56	0.93	1.37	1.87	1.86	1.23	1.81
Tb	0.30	0.30	0.08	0.30	0.30	0.30	0.32	0.26	0.30	0.26
Dy	0.76	0.93	0.75	0.46	1.18	1.06	0.95	1.45	0.96	0.94
Ho	0.20	0.20	0.17	0.10	0.12	0.10	0.12	0.29	0.10	0.13
Er	0.49	0.37	0.33	0.33	0.81	0.71	0.69	0.82	0.86	0.41
Tm	0.10	0.10	0.09	0.10	0.12	0.10	0.12	0.15	0.15	0.10
Lu	0.10	0.10	0.09	0.10	0.10	0.30	0.15	0.15	0.10	0.12
Σ REE	30.15	42.78	12.72	12.17	22.42	53.22	51.09	84.25	42.32	75.64
LREE/ HREE	6.69	10.20	3.53	4.31	4.14	10.75	8.98	13.11	8.45	11.63
La _N /Yb _N	11.46	15.93	3.68	6.73	4.61	16.04	9.57	15.43	14.21	12.56
δ Eu	0.83	1.23	1.25	1.49	0.90	1.08	1.42	1.09	1.02	1.41
La _N /Sm _N	2.38	6.18	3.32	5.15	3.73	4.58	5.38	6.68	3.86	5.11
Gd _N /Yb _N	3.15	2.38	1.28	1.36	0.96	1.92	1.72	1.55	1.86	1.42

注:主量元素含量单位为%,微量和稀土元素含量单位为10⁻⁶

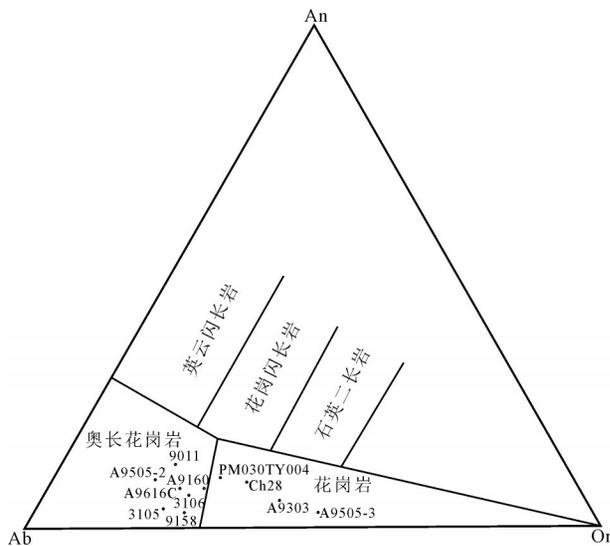


图 3 白家坟奥长花岗质岩石 An-Ab-Or 图解

Fig. 3 An-Ab-Or diagram of Baijiafen trondhjemites

Y/Nb 平均值为 3.36。与万渝生等的研究成果进行对比,认为岩石主要为新生地壳,也有部分为壳内再循环的产物或受到陆壳物质影响^[7-9]。

4 锆石 U-Pb 年龄

样品 D3104TW1 的锆石 U-Pb 同位素定年利用中国科学院地质与地球物理研究所的 SIMS 1280 U-Pb 定年方法完成。U、Th、Pb 的测定在法国生产的 CAMECA SIMS 1280 二次离子质谱仪上完成。

结合前人研究成果及经验,本次测得数据分为以下几组。

(1) 形成于 3.8Ga 的古老锆石共 10 个点(图 5),

锆石晶形多为长柱状,长度 110~240 μm 、长宽比为 2:1~3:1,部分核部锆石具有清晰的振荡环带结构,少量锆石核部结构模糊。所有核部锆石分析点的 Th/U 值为 0.05~0.54,大部分大于 0.2,具有岩浆锆石的特点。第一组数据剔除 5 个点,主要原因为铅丢失,在图上偏离谐和线。其余 5 个点的 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$ 年龄加权平均值为 $3816\pm 14\text{Ma}$ (MSWD=2.7,图 7),与前人研究结果相近^[4],代表了白家坟奥长花岗质岩石的结晶时代。

(2) 形成于 3.6Ga 左右的锆石(4 个点),锆石晶形为短柱状或粒状,长度 110~180 μm 、长宽比为 1:1~2:1,局部发育环带,可见变质增生边,其年龄介于 3613~3651Ma 之间(样品 TW1-4、TW1-7、TW1-8、TW1-17),与前人研究结果对比发现,与万渝生等^[9]提到白家坟杂岩中有 3.6Ga 左右的地质体吻合。同时,从野外调查看,奥长花岗质岩石呈捕虏体形态存在,围岩为早太古代陈台沟二长花岗岩,因此笔者推测,这 4 颗锆石的形成可能与陈台沟岩体的侵入相关,代表了早太古代一次岩浆事件。

(3) 形成于 330Ma 左右的锆石(1 个点),对比前人的研究成果可知,张家辉等^[10]认为存在 3.36~3.30Ga 的混合杂岩体。已有研究表明,3.3Ga 是鞍山地区一重要的陆壳增生时期^[11-12]。因此,判断此类锆石的形成很可能与此次热事件相关。后两次热事件造成锆石铅丢失。

5 结论

(1) 早期形成的岩石经强烈的糜棱岩化作用后,显微镜下见糜棱岩结构,主要由定向的钾长石

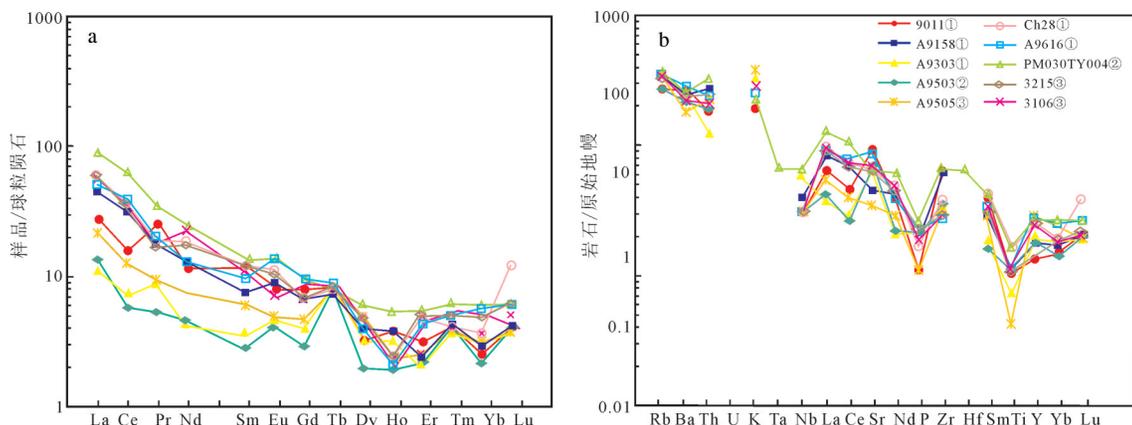


图 4 白家坟奥长花岗质岩石稀土元素配分模式图(a)和微量元素蛛网图(b)

Fig. 4 REE patterns (a) and trace elements spider diagrams (b) of Baijiafen trondhjemites

表2 白家坟奥长花岗岩锆石 U-Th-Pb 测年数据
Table 2 U-Th-Pb dating data of zircons from Baijiafen trondhjemites

样品及 分析点号	Th U		Th/U	同位素比值						同位素年龄/Ma					
	10 ⁶			²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
38亿年的古老锆石															
TW1-19	45	161	0.277	0.3737	0.6220	40.0998	0.2494	0.7783	0.0118	3806	5	3773	15.5	3710	42.9
TW1-5	97	220	0.440	0.3795	0.6808	41.086	0.2797	0.7853	0.0121	3830	9.3	3797	16.6	3736	43.7
TW1-14	18	342	0.052	0.3788	0.6631	41.2076	0.2732	0.7889	0.0119	3827	8.5	3800	16.1	3749	43
TW1-6	72	245	0.292	0.3783	0.6741	41.5578	0.2801	0.7967	0.0125	3825	6.1	3809	16.2	3777	45.1
TW1-16	136	309	0.440	0.3739	0.6649	41.2792	0.2745	0.8008	0.0121	3807	8.5	3802	16.1	3792	43.4
TW1-1	168	312	0.537	0.3465	0.4730	29.2678	0.1384	0.6126	0.0093	3692	8.9	3463	16	3080	37
TW1-15	76	249	0.306	0.3683	0.6384	39.3841	0.2514	0.7756	0.0117	3784	8.9	3755	16.2	3701	42.7
TW1-12	47	162	0.289	0.3630	0.6158	36.9265	0.2274	0.7377	0.0115	3763	9	3692	16.6	3562	42.8
TW1-18	85	328	0.258	0.3606	0.5455	33.1948	0.1811	0.6676	0.0101	3752	9.8	3586	16.3	3297	39.1
TW1-11	38	392	0.097	0.3600	0.5255	33.5527	0.1763	0.676	0.0102	3750	6.5	3597	15.6	3329	39.3
36亿年的锆石															
TW1-8	185	354	0.523	0.3292	0.6700	40.09981	0.2687	0.7783	0.0118	3613	10.2	3009	16	2190	28
TW1-4	67	457	0.146	0.3318	0.4700	41.08603	0.1931	0.7853	0.0121	3625	7.1	3144	15.4	2447	30.7
TW1-7	64	340	0.187	0.3372	0.6400	41.20755	0.2637	0.7889	0.0119	3650	9.7	3261	16	2666	32.9
TW1-17	51	250	0.204	0.3375	0.5900	41.55782	0.2452	0.7967	0.0125	3652	8.9	3665	16.1	3688	42.6
33亿年的锆石															
TW1-3	109	215	0.509	0.2744	0.4000	26.02707	0.1041	0.6881	0.0104	3331	6.3	3348	15.4	3375	39.8

和斜长石碎斑组成。后期又叠加较强烈的钠黝帘石和绢云母化,几乎所有的斜长石均被微粒钠黝帘石和绢云母微片包围,仅保留原斜长石晶形。表明岩石为深层次环境下变质-深熔作用的产物,具有残留包体特征。

(2)地球化学数据显示,白家坟奥长质花岗岩具有正片麻岩的特征, Si、Na 含量高, TFeO、MgO、CaO 含量低, 轻、重稀土元素分异程度低, 且有一定变化; 锆石中可见密集环带结构, 表明该岩体为岩浆作用的产物, 也有部分为壳内再循环的产物或受到陆壳物质影响。

(3)白家坟奥长质花岗岩的成岩年龄为 3823±

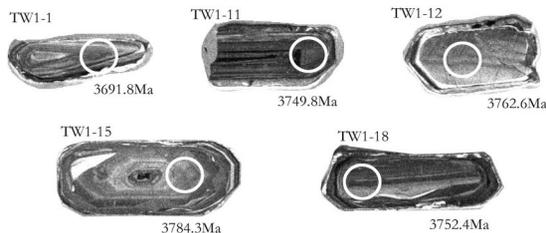


图5 锆石阴极发光图像及同位素年龄

Fig. 5 Zircon cathodoluminescence photos and isotopic ages

18Ma, 是目前研究区岩石最老的成岩年龄; 岩石至少存在2次铅丢失热事件, 分别为3.6Ga和3.3Ga左右, 表明早太古代至少存在3.6Ga和3.3Ga两个期次的构造-岩浆热事件, 其中3.3Ga年龄代表了陈台沟岩体的侵位时间。

致谢: 野外工作得到中国地质调查局发展研究

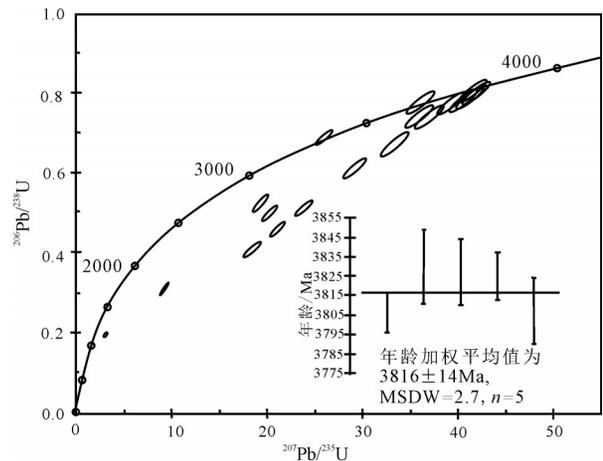


图6 白家坟奥长花岗岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 6 U-Pb concordia diagram of the zircons from Baijiafen trondhjemites

中心于晓飞主任、辽宁省地矿集团付海涛总工程师及辽宁省地质矿产调查院田义、彭游博、杨仲杰等同事的指导,审稿专家提出了宝贵修改意见,实验测试过程得到中国科学院地质与地球物理研究所离子探针实验室王长乐博士的指导,在此一并致谢。

参考文献

- [1]万渝生,董春艳,颀顽强,等.华北克拉通太古宙研究若干进展[J].地球学报,2015,(6):685-700.
- [2]刘敦一,万渝生,伍家善,等.华北克拉通太古宙地壳演化和最古老的岩石[J].地质通报,2007,26(9):1131-1138.
- [3]万渝生,宋志勇,王来明,等.华北克拉通太古宙典型地区栖霞县幅1:5万地质图修编——野外地质调查和SHRIMP锆石U-Pb定年[J].地质通报,2017,36(11):1927-1941.
- [4]刘敦一.中国38亿年古陆壳的发现[J].地质新知,1991:30.
- [5]伍家善,耿元生,沈其韩,等.中朝古大陆太古宙地质特征及构造演化[M].北京:地质出版社,1998:3.
- [6]万渝生,刘敦一,董春艳,等.中国最古老岩石和锆石[J].岩石学报,2009,25(8):1794-1804.
- [7]万渝生,宋彪,伍家善,等.鞍山3.8Ga奥长花岗岩岩石的地球化学和Nd、Sr同位素组成及其意义[J].地质学报,1999,73(1):25-36.
- [8]万渝生,宋彪,刘敦一,等.鞍山东山风景区3.8~2.5Ga古老岩带的同位素地质年代学和地球化学[J].地质学报,2001,75(3):363-370.
- [9]万渝生,董春艳,任鹏,等.华北克拉通太古宙TTG岩石的时空分布、组成特征及形成演化:综述[J].岩石学报,2017,33(5):1405-1419.
- [10]张家辉,金巍,王亚飞,等.鞍山地区太古宙早期地壳生长及重熔——来自始—古太古代片麻岩杂岩的岩石学及年代学证据[J].地质学报,2015,89(7):1195-1209.
- [11]万渝生,伍家善,刘敦一,等.鞍山3.3Ga陈台沟花岗岩地球化学和Nd、Pb同位素特征[J].地球学报,1997,18(4):382-388.
- [12]李斌,金巍,张家辉,等.鞍山陈台沟地区太古宙花岗岩组成与构造特征[J].世界地质,2013,32:192-199.
- ①辽宁省地质矿产调查院.1:25万辽阳市幅区域地质调查报告.2003.