

# 内蒙古红山子复式岩体地质时代的厘定及其地质意义

祝洪涛<sup>1</sup>, 吴仁贵<sup>2</sup>, 姜山<sup>1</sup>, 巫建华<sup>2,3</sup>, 刘洋<sup>1</sup>, 赵博<sup>1</sup>, 王常东<sup>1</sup>

(1. 核工业二四三大队, 内蒙古赤峰 024000; 2. 东华理工大学地球科学学院, 江西南昌 330013; 3. 核资源与环境国家重点实验室(东华理工大学), 江西南昌 330013)

**摘要:** 通过岩相学研究和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年, 对红山子岩体的主要侵入期次和侵入岩形成时代进行了厘定, 明确了红山子岩体为复式岩体并探讨了其地质意义。岩相学研究表明, 红山子复式岩体由粗粒碱长花岗岩、斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母碱长花岗岩和花岗斑岩等组成; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果显示: 粗粒碱长花岗岩的年龄为  $153.6 \pm 1.2$  Ma, 斑状黑云母花岗岩年龄为  $151.4 \pm 1.1$  Ma, 与周边火山盆地赋矿火山岩的年龄一致, 属晚侏罗世早期; 细粒黑云母碱长花岗岩的年龄为  $131.5 \pm 1.8$  Ma, 花岗斑岩年龄为  $133.3 \pm 1.4$  Ma, 与侵入红山子盆地的花岗斑岩的年龄一致, 属早白垩世早期。因此, 红山子岩体是由燕山期 2 个相隔 20 Ma 的不同期次侵入体组成的复式岩体。研究表明, 红山子铀矿床赋存在早白垩世早期花岗斑岩与晚侏罗世火山岩的内、外接触带中, 暗示复式岩体早白垩世早期细粒黑云母花岗岩、花岗斑岩与晚侏罗世粗粒碱长花岗岩、斑状黑云母花岗岩的内、外接触带是有利的找矿部位, 并得到了铀矿勘查实践的初步证实。

**关键词:** 红山子复式岩体; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 晚侏罗世早期; 早白垩世早期; 地质意义

中图分类号: P597+.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2019)04-0453-12

## The definition and geological significance of Hongshanzi complex rock in Inner Mongolia

ZHU Hong-tao<sup>1</sup>, WU Ren-gui<sup>2</sup>, JIANG Shan<sup>1</sup>, WU Jian-hua<sup>2,3</sup>, LIU Yang<sup>1</sup>, ZHAO Bo<sup>1</sup> and  
WANG Chang-dong<sup>1</sup>

(1. No. 243 Geological Party, China National Nuclear Corporation, Chifeng 024000, China; 2. School of Earth Science, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 3. State Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** Through the study of lithology and LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, the main invasion period of Hongshanzi rock and the age of intrusive rock formation were determined. It is clear that Hongshanzi rock is a complex rock. The authors discussed its geological significance. The study of petrography indicates that Hongshanzi complex rock is composed of middle coarse grained alkali feldspar granite, porphyritic biotite granite, fine biotite granite and granite porphyry. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results show that the age is  $153.6 \pm 1.2$  Ma for middle coarse grained alkali feldspar granite, and  $151.4 \pm 1.1$  Ma for porphyritic biotite granite, which are in accordance with the data obtained around the ore-bearing volcanic basin, and belong to the early period of Late Jurassic. The age of

收稿日期: 2018-06-12; 接受日期: 2019-06-12; 编辑: 尹淑苹

基金项目: 中国地质调查局矿产地质调查专项(DD20160136); 中国核工业地质局铀矿地质勘查项目(2018-01)

作者简介: 祝洪涛(1983-), 男, 高级工程师, 主要从事铀矿地质勘查工作, E-mail: 122550259@qq.com。

finebiotite granite is  $131.5 \pm 1.8$  Ma and that of granite porphyry is  $133.3 \pm 1.4$  Ma, consistent with the age of the granite porphyry which invaded Hongshanzi Basin and belonging to the early period of Early Cretaceous. Therefore, Hongshanzi Yanshanian complex rock is composed of two different periods in Yanshanian epoch, whose time span is 20 Ma. Studies show that the Hongshanzi uranium ore deposit occurs along the contact zone of granite porphyry of early Early Cretaceous and volcanic rocks of Late Jurassic, which indicates that the contact zone between complex rock of middle coarse grained alkali feldspar granite, porphyritic biotite granite and fine biotite granite and granite porphyry is the best place for mineral exploration, and this conclusion was verified by the uranium ore exploration.

**Key words:** Hongshanzi complex rock; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; early Late Jurassic; early Early Cretaceous; geological significance

**Fund support:** Special Project of Mineral Geology Survey of China Geological Survey (DD20160136); Uranium Geology Exploration Project of China Geological Bureau of Nuclear Industry (2018-01)

沽源-红山子铀成矿带位于大兴安岭火山岩带南端,属滨太平洋成矿域华北陆块铀成矿省,是我国5个与火山活动有关的热液型铀成矿带之一,也是我国“十二五”、“十三五”重点勘查的铀成矿带(马国祥等,2009;张金带等,2012;祝洪涛等,2014;黎伟等,2017)。成矿带北东段的红山子-广兴铀成矿亚带,不仅发育红山子、芝瑞、万合永等多个晚侏罗世早期火山盆地(巫建华等,2013,2016;纪宏伟,2015;解开瑞等,2016)和红山子、上马架子等火山岩型铀矿床,而且发育红山子复式岩体及以花岗岩为赋矿围岩的铀矿床(黎伟等,2017)。基础地质研究和铀矿勘查成果表明,红山子-广兴铀成矿亚带的铀矿化不仅与晚侏罗世早期中酸性火山岩有关(巫建华等,2013,2016;蔡煜琦等,2015;纪宏伟,2015;解开瑞等,2016),还与晚二叠世花岗闪长岩、晚侏罗世早期流纹斑岩、早白垩世早期花岗斑岩有关(江小均等,2011;丁辉等,2016;巫建华等,2017b)。红山子复式岩体位于红山子-广兴铀成矿亚带南部,东、西侧分别与抬升剥蚀较强烈的芝瑞、红山子火山盆地毗邻,具有良好的找矿前景(吴仁贵等,2011;黎伟等,2017)。近年来的铀矿勘查过程中,红山子复式岩体对火山盆地内铀矿化的重要性日益得到关注,且在不同侵入体的内、外接触带中也揭露到工业铀矿化(黎伟等,2017)。以往虽然已认识到红山子岩体是由不同岩性岩相的侵入体构成的复式岩体,并认为不同的侵入体是燕山期一个连续侵入活动过程形成的,但缺乏直接的年龄证据。本文以红山子岩体为研究对象,通过岩相学、同位素年代学等研究,结合地质剖面观察和钻探工程揭露结果,进一步查明了红山子复式岩体是由晚侏罗世早期和早白垩世早期两个不同时期的侵入体构成的复

式花岗岩体。

## 1 地质背景

红山子岩体位于西拉木伦河-长春缝合带以南、华北陆块北缘断裂带以北的辽源地块上,处于大兴安岭中生代火山-侵入岩带的南部(覃锋等,2009;陈衍景等,2012),属沽源-红山子铀成矿带北东段。岩体大体呈三角形,面积约  $290 \text{ km}^2$ ,主体由碱长花岗岩、黑云母花岗岩组成,有后期花岗斑岩等脉岩的侵入。岩体周边分布有多个中生代产铀火山盆地或火山岩区,西北部为红山子盆地、东部为芝瑞盆地、西南部为中生代晚侏罗世新民组( $J_3x$ )火山岩区、东南部为新近系汉诺坝组( $N_1h$ )火山岩区(图1)。岩体内部和边缘分布有大量的放射性异常点(带),同一侵入岩内部以偏钼型异常为主,不同侵入岩接触带以偏铀型异常为主,如小坝沟铀矿点、164 铀矿点、HF5-1 铀异常点等。与岩体接触的火山盆地内分布着多个铀矿床(点),其中红山子盆地内分布有红山子中型铀矿床,芝瑞盆地内分布有南窝铺、灶火沟门2个小型铀矿床和52、25、4002等铀矿点和大量铀矿化点(黎伟等,2017),表明红山子岩体具备良好的铀成矿背景(丁辉等,2016)。

## 2 岩相学特征

红山子复式岩体由不同岩相、不同岩性的侵入体组成,主要由细粒黑云母碱长花岗岩、花岗斑岩、粗粒碱长花岗岩和斑状黑云母花岗岩4种岩性组成(图2),野外露头表现为粗粒碱长花岗岩大面积分布,被其他3种岩性侵入其中;细粒黑云母碱长花岗

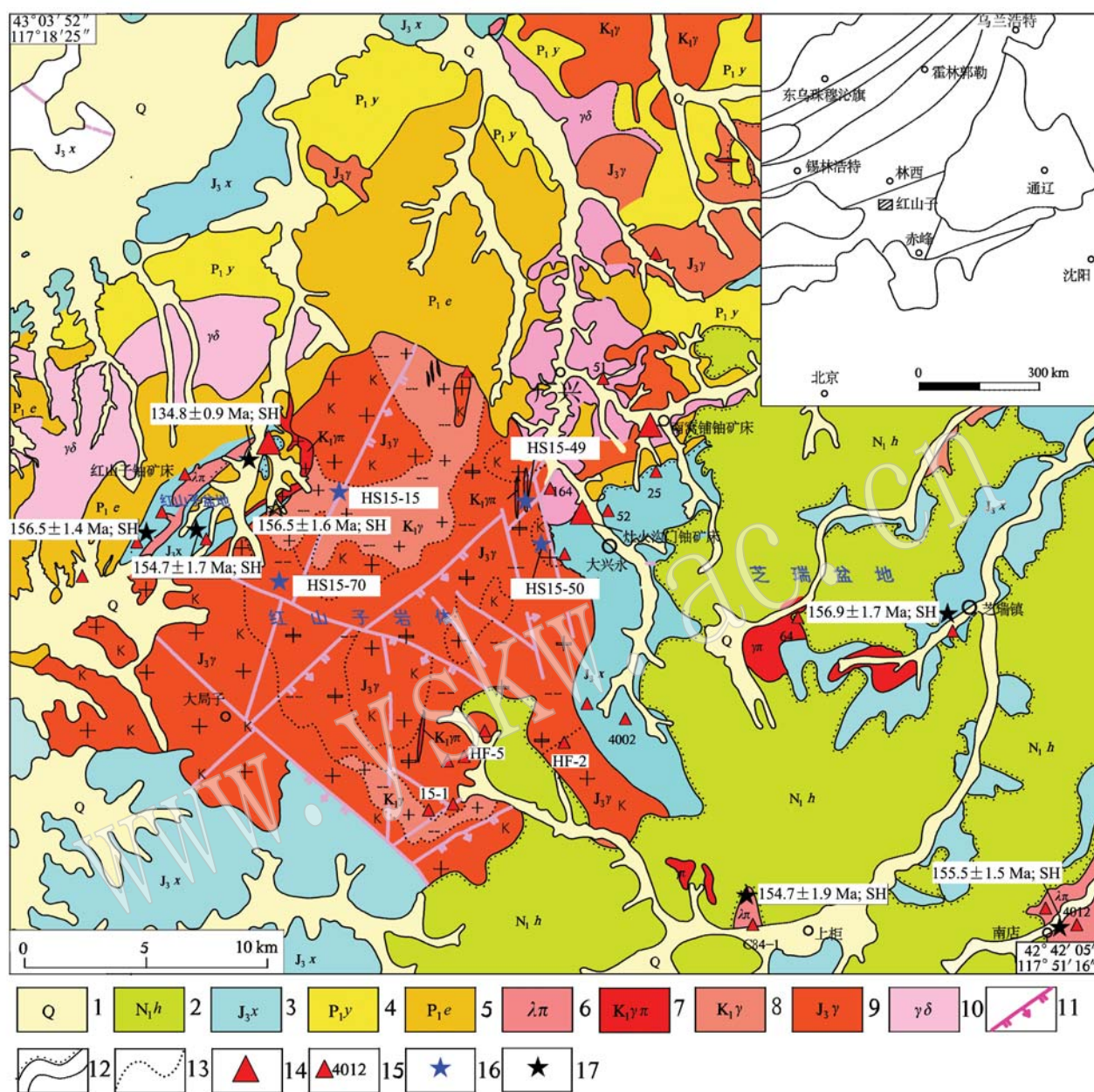


图1 红山子岩体地质图

Fig. 1 Geological map of Hongshanzi rock mass

1—第四系; 2—新近系汉诺坝组; 3—上侏罗统新民组; 4—下二叠统于家北沟组; 5—下二叠统额里图组; 6—流纹斑岩; 7—早白垩世花岗岩斑岩; 8—早白垩世细粒黑云母碱长花岗岩; 9—晚侏罗世粗粒碱长花岗岩、斑状黑云母花岗岩; 10—海西期花岗闪长岩; 11—断层; 12—整合及不整合地质界线; 13—侵入期次界线; 14—铀矿床; 15—铀矿化点、异常点; 16—本次年龄样取样位置; 17—前人年龄样取样位置

1—Quaternary; 2—Neogene Hanoba Formation; 3—upper Jurassic Xinmin Formation; 4—lower Permian Yujiabeigou Formation; 5—lower Permian Elitu Formation; 6—rhyolitic porphyry; 7—early Cretaceous granitic porphyry; 8—early Cretaceous fine-grained biotite alkali feldspar granite; 9—late Jurassic coarse-grained alkali feldspar granite and porphyritic biotite granite; 10—Hercynian granodiorite; 11—fault; 12—geological boundaries of conformity and unconformity; 13—boundary of the invasion stage; 14—uranium deposit; 15—uranium mineralization spot and anomaly spot; 16—sampling location of the age sample; 17— sampling locations of previous age samples

岩侵入斑状黑云母花岗岩与粗粒碱长花岗岩的接触带,或直接侵入斑状黑云母花岗岩中;花岗斑岩则多

以岩脉形式侵入到其他岩性中,各种岩性主要特征如下:



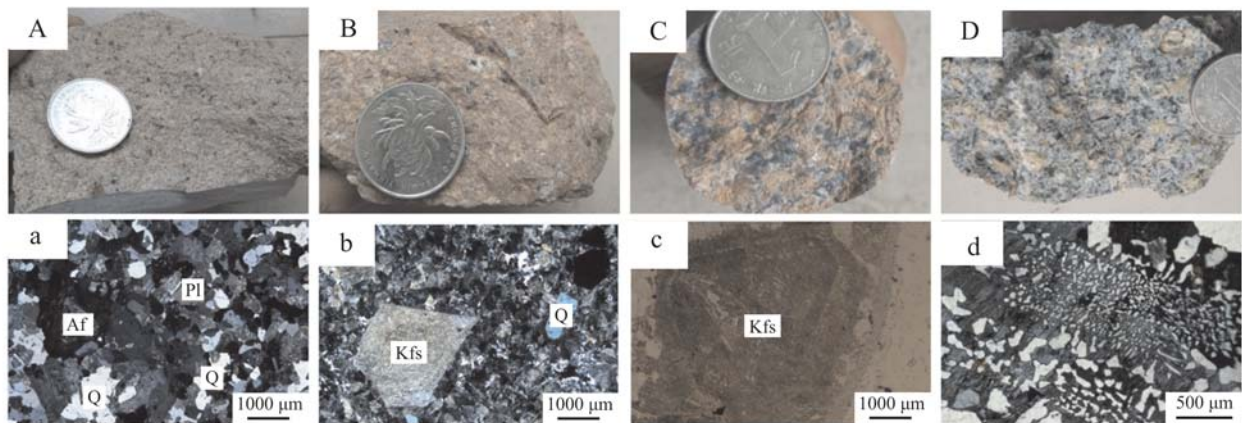


图2 样品手标本及镜下特征(+)

Fig. 2 Specimens and microscopic photos(+)

A、a—细粒黑云母碱长花岗岩及细粒花岗结构；B、b—花岗斑岩及斑状结构（石英、钾长石斑晶）；C、c—粗粒碱长花岗岩及钾长石环带结构；D、d—斑状黑云母花岗岩及文象结构；Af—碱性长石；Kfs—钾长石；Pl—斜长石；Q—石英  
A, a—fine-grained biotite alkali feldspar and fine-grained granite structure；B, b—granitic porphyry and porphyritic structure (quartz, potassium feldspathic phenocryst)；C, c—coarse alkali feldspar and potassium feldspar ring structure；D, d—porphyritic biotite granite and graphic structure；  
Af—alkaline feldspar；Kfs—potassium feldspar；Pl—plagioclase；Q—quartz

(1) 细粒黑云母碱长花岗岩：分布于红山子岩体中北部和南部。呈灰白色，块状构造，全晶质结构，细粒花岗结构；矿物成分为石英、钾长石、斜长石、黑云母及少量辉石，石英呈他形粒状、不规则状，具波状消光，粒度多为0.3 mm，含量25%；钾长石呈板柱状或不规则状，具条纹构造，卡式双晶，条纹呈不规则状或平行条带状，矿物粒度在1 mm左右，含量45%；斜长石为板状，具聚片双晶，粒度0.5 mm，含量约15%；黑云母为细小鳞片状集合体，粒度1 mm，含量10%；辉石为自形晶，约占5%。斜长石发育较强的粘土化，部分黑云母发育绿泥石化及绿帘石化。

(2) 花岗斑岩：主要分布于红山子岩体东北、西北部，多呈脉状。整体呈肉红色，块状构造，斑状结构；斑晶主要为石英、钾长石，石英斑晶为无色正低突起，他形粒状，港湾状，粒度1 mm，含量为15%；钾长石斑晶为板柱状或不规则状，粒度以1 mm为主，具条纹构造，卡式双晶，含量为20%；基质由微粒状钾长石、斜长石、石英、黑云母等组成，矿物粒度<0.1 mm，以钾长石为主，不透明矿物星散分布于基质中。

(3) 粗粒碱长花岗岩：大面积出露于岩体西南—南部，东北部有小片出露。整体呈肉红色，块状构造，全晶质结构，花岗结构；矿物成分为石英、钾长石、斜长石以及黑云母，石英为无色正低突起，他形

粒状，粒度3 mm左右，含量27%；钾长石呈板柱状或不规则状，粒度5.2~8.5 mm，具条纹构造，含量45%；斜长石为板柱状，粒度3.8~5.5 mm，具聚片双晶，含量25%；黑云母为片状，棕褐—浅黄色多色性，粒度3.5~5.6 mm左右，平行消光，含量约3%。

(4) 斑状黑云母花岗岩：主要出露于岩体西南部，整体呈暗灰色，块状构造，似斑状结构；斑晶主要为石英、钾长石，石英斑晶为无色正低突起，他形粒状，粒度1.5~3.5 mm大小不等，含量为20%；钾长石呈板柱状或不规则状，粒度3~5 mm之间，具条纹构造，卡式双晶，含量为35%；基质为微细粒花岗结构，其中钾长石粒度0.15~0.5 mm，具条纹构造，含量为15%；石英粒度0.1~0.5 mm，含量10%；斜长石为板柱状，粒度0.2 mm左右，具聚片双晶，含量约15%；黑云母为片状，深棕—浅黄色多色性，粒度0.1~0.45 mm，平行消光，含量约5%。

### 3 年代学特征

#### 3.1 分析方法

选取细粒黑云母碱长花岗岩(HS15-15)、花岗斑岩(HS15-49)、粗粒碱长花岗岩(HS15-50)、斑状黑云母花岗岩(HS15-70)4个样品各5 kg，采用常规方法粉碎至80~100目，先将样品用常规浮选和电磁



选方法分选,然后在显微镜下挑出锆石颗粒,并将锆石制靶和打磨,再拍摄阴极发光(CL)显微图像和反射光、透射光照片。

年龄测试之前,利用反射光照片选择表面光洁的锆石颗粒、利用透射光照片选择没有裂隙和包裹体的锆石颗粒、利用 CL 显微图像选择环带清晰的岩浆锆石颗粒作为待测锆石。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年在中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室激光烧蚀等离子质谱(LA-ICP-MS)微区分析实验室完成,激光剥蚀系统为美国 Coherent 公司的 GeoLasPro 193 准分子固体进样系统,ICP-MS

为美国 Thermo Fisher 公司的 X Series 2 型四极杆等离子体质谱仪。

采用标准锆石 91500(Wiedenbeck *et al.*, 1995)作为定年外标,采用标准锆石 Mud Tank(Black and Gulson, 1978)作为监控样品,在样品测试过程中每测定 5 个样品点测定 2 次标准锆石 91500,每个样品的前 20 s 为背景信号采集时间,样品信号采集时间为 50 s。锆石 U-Pb 同位素定年样的同位素比值和元素含量数据处理采用 ICPMSDataCAL(9.7)软件完成,年龄计算及谐和图采用 ISOPLOT(3.7)软件完成,分析结果见表 1。

表 1 红山子岩体侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年数据  
Table 1 U-Pb dating data of LA-ICP-MS zircons in Hongshanzi rock mass

测点号	Th/U	同位素比值				年龄/Ma			
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	误差/ $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	误差/ $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	误差/ $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	误差/ $\sigma$
HS15-15: 细粒黑云母碱长花岗岩									
1.1	0.97	0.142	0.01	0.021 38	0.000 7	134.6	12.4	136.3	4.3
2.1	1.41	0.138	0.03	0.021 18	0.000 9	130.8	23.4	135.1	5.4
3.1	0.99	0.135	0.03	0.020 32	0.000 8	128.8	27.7	129.7	5.2
4.1	1.08	0.136	0.02	0.020 31	0.000 7	129.7	14.9	129.6	4.6
5.1	0.99	0.138	0.01	0.020 72	0.000 8	131.5	13.0	132.2	5.0
6.1	0.90	0.141	0.01	0.021 01	0.000 5	133.8	12.9	134.1	3.3
7.1	1.00	0.145	0.03	0.021 82	0.001 6	137.5	24.0	139.2	10.0
8.1	1.07	0.138	0.01	0.018 93	0.000 5	135.8	11.4	136.6	3.1
9.1	1.28	0.139	0.01	0.021 28	0.000 5	132.1	12.1	135.7	3.5
10.1	0.88	0.138	0.01	0.020 60	0.000 5	131.3	10.7	131.4	3.0
11.1	0.93	0.138	0.01	0.020 83	0.000 5	131.2	10.7	132.9	3.2
12.1	0.97	0.138	0.02	0.019 87	0.000 7	131.5	20.0	126.8	4.7
13.1	1.27	0.328	0.05	0.023 75	0.001 2	288.0	40.2	151.3	7.4
14.1	1.06	0.175	0.02	0.020 10	0.000 5	163.5	13.3	128.3	3.1
15.1	0.81	0.137	0.01	0.020 23	0.000 6	130.4	10.3	129.1	4.1
16.1	0.82	0.276	0.01	0.021 41	0.000 4	131.8	8.9	131.1	2.8
17.1	0.87	0.141	0.01	0.020 31	0.000 6	133.7	12.2	129.6	3.8
18.1	0.83	0.139	0.03	0.020 88	0.000 8	132.5	25.7	133.2	5.4
19.1	1.16	0.136	0.02	0.019 66	0.000 9	129.3	18.8	125.5	5.6
20.1	1.14	0.129	0.02	0.020 14	0.000 6	123.6	14.9	128.5	3.8
21.1	0.87	0.136	0.01	0.020 41	0.000 5	129.9	11.7	130.2	3.3
22.1	1.31	0.146	0.03	0.021 86	0.001 0	138.3	25.8	139.4	6.3
23.1	1.58	0.137	0.01	0.020 44	0.000 6	130.6	11.3	130.5	3.8
HS15-49: 花岗斑岩									
1.1	0.69	0.137	0.01	0.021 67	0.000 6	130.4	10.4	138.2	3.8
2.1	0.91	0.254	0.02	0.020 29	0.000 4	229.4	17.3	129.5	2.7
3.1	0.73	0.143	0.01	0.021 36	0.000 4	135.9	7.1	136.3	2.5
4.1	1.33	4.436	0.40	0.054 77	0.003 2	1719.1	74.2	343.7	19.5
5.1	0.62	0.140	0.01	0.020 28	0.000 5	133.4	9.9	129.5	3.2
6.1	1.17	0.251	0.03	0.021 99	0.000 8	227.3	20.9	140.2	5.1
7.1	0.91	0.138	0.01	0.019 64	0.000 6	131.6	10.5	125.4	3.7
8.1	0.98	3.473	0.57	0.047 69	0.004 6	1521.2	129.5	300.3	28.5
9.1	0.81	0.147	0.02	0.021 46	0.000 6	139.5	13.6	136.9	3.8
10.1	0.83	0.135	0.01	0.020 83	0.000 4	128.3	11.0	132.9	2.5
11.1	1.37	0.871	0.18	0.026 80	0.001 5	636.1	98.7	170.5	9.4
12.1	0.75	0.144	0.01	0.020 79	0.000 5	136.4	12.7	132.6	3.0
13.1	0.62	0.143	0.01	0.021 46	0.000 5	136.0	11.9	136.9	2.9
14.1	0.84	0.140	0.01	0.020 85	0.000 3	133.1	7.1	133.0	1.9
15.1	0.97	0.137	0.01	0.020 36	0.000 5	130.8	12.9	130.0	2.9

续表 1  
Continued Table 1

测点号	Th/U	同位素比值				年龄/Ma			
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	误差/ $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	误差/ $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	误差/ $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	误差/ $\sigma$
16.1	0.68	0.140	0.01	0.020 75	0.000 3	133.5	8.1	132.4	2.2
17.1	0.63	0.136	0.01	0.019 94	0.000 5	129.3	9.9	127.3	2.9
18.1	0.99	0.142	0.01	0.021 07	0.000 7	135.1	13.1	134.4	4.1
19.1	0.94	0.143	0.01	0.021 26	0.000 5	135.4	10.5	135.6	2.9
20.1	0.98	0.636	0.05	0.023 57	0.000 6	499.8	30.8	150.2	3.7
21.1	0.91	0.143	0.01	0.020 60	0.000 5	136.1	9.1	131.4	2.9
22.1	0.78	30.661	5.27	0.268 99	0.042 4	3 508.2	169.0	1 535.7	215.6
23.1	0.70	0.139	0.01	0.020 87	0.000 4	132.5	8.4	133.2	2.2
24.1	0.72	0.207	0.02	0.020 26	0.000 5	191.1	15.3	129.3	2.9
25.1	0.84	0.426	0.11	0.023 53	0.001 1	360.5	75.8	149.9	7.2
HS15-50:粗粒碱长花岗岩									
1.1	0.48	0.158	0.01	0.020 32	0.000 4	152.4	9.4	151.7	2.6
2.1	0.45	0.161	0.01	0.020 88	0.000 4	152.4	7.9	152.7	2.3
3.1	0.42	0.163	0.01	0.021 64	0.000 4	154.2	9.9	151.7	2.8
4.1	0.41	0.177	0.01	0.029 74	0.000 6	167.8	11.8	166.5	3.6
5.1	0.42	0.182	0.01	0.019 86	0.000 4	167.7	9.1	154.9	2.4
6.1	0.39	0.163	0.01	0.020 93	0.000 5	150.6	12.9	146.0	3.1
7.1	0.44	0.172	0.01	0.020 53	0.000 5	155.4	10.7	154.8	3.4
8.1	0.40	0.160	0.01	0.020 83	0.000 3	147.7	7.3	153.1	2.1
9.1	0.42	0.163	0.01	0.021 57	0.000 3	151.8	8.4	150.0	2.0
10.1	0.37	0.162	0.01	0.019 93	0.000 4	152.8	7.6	158.8	2.3
11.1	0.40	0.159	0.01	0.020 34	0.000 4	151.6	10.4	156.4	2.6
12.1	0.38	0.158	0.01	0.020 61	0.000 4	147.1	7.2	147.0	2.4
13.1	0.45	0.170	0.01	0.021 73	0.000 4	155.6	8.0	151.2	2.4
14.1	0.46	0.173	0.01	0.020 83	0.000 4	155.5	9.6	153.8	2.6
15.1	0.42	0.172	0.01	0.020 62	0.000 4	155.6	9.1	155.2	2.7
16.1	0.43	0.158	0.01	0.021 67	0.000 4	154.0	7.3	154.6	2.3
17.1	0.42	0.158	0.01	0.021 83	0.000 3	152.2	6.9	153.8	2.1
18.1	0.40	0.162	0.01	0.019 94	0.000 4	153.2	8.1	153.1	2.3
19.1	0.43	0.179	0.01	0.020 45	0.000 4	163.9	8.1	156.6	2.3
20.1	0.39	0.162	0.01	0.020 82	0.000 4	150.3	8.2	151.1	2.3
21.1	0.60	0.161	0.01	0.021 82	0.000 4	149.2	7.0	150.4	2.5
22.1	0.48	0.173	0.01	0.021 89	0.000 3	156.3	7.1	156.4	2.0
23.1	0.42	0.171	0.01	0.022 04	0.000 4	157.1	8.1	158.2	2.3
24.1	0.71	0.152	0.02	0.019 72	0.000 6	145.4	13.7	144.8	3.8
25.1	0.52	0.159	0.01	0.021 14	0.000 4	149.8	9.2	149.1	2.4
HS15-70:斑状黑云母花岗岩									
1.1	0.91	0.622	0.09	0.030 00	0.000 8	493.0	53.4	181.2	5.1
2.1	0.48	0.161	0.01	0.022 76	0.000 5	148.8	9.2	153.7	3.2
3.1	0.45	0.168	0.01	0.029 84	0.000 3	163.5	8.2	162.4	2.1
4.1	0.39	0.161	0.01	0.020 23	0.000 4	148.7	9.2	152.8	2.4
5.1	0.35	0.163	0.01	0.020 95	0.000 4	152.7	9.9	148.8	2.3
6.1	0.37	0.162	0.01	0.021 76	0.000 4	155.0	9.3	151.2	2.5
7.1	0.43	0.161	0.01	0.022 78	0.000 4	149.5	8.3	153.7	2.3
8.1	0.43	0.378	0.03	0.020 92	0.000 7	330.0	22.4	151.9	4.2
9.1	0.42	0.162	0.01	0.020 89	0.000 4	154.6	9.1	153.2	2.7
10.1	0.45	0.159	0.01	0.022 87	0.000 4	153.5	7.5	152.1	2.2
11.1	0.42	0.157	0.01	0.020 76	0.000 4	153.1	8.4	152.2	2.6
12.1	0.33	0.152	0.01	0.020 34	0.000 3	142.1	5.2	147.5	1.9
13.1	0.35	0.160	0.01	0.022 45	0.000 4	154.1	7.9	152.8	2.3
14.1	0.38	0.162	0.01	0.021 64	0.000 4	150.8	7.9	149.7	2.7
15.1	0.37	0.152	0.01	0.021 74	0.000 4	146.1	7.7	148.6	2.2
16.1	0.38	0.168	0.01	0.020 65	0.000 4	161.1	7.8	154.3	2.4
17.1	0.37	0.172	0.01	0.021 78	0.000 5	156.0	9.5	148.7	3.0
18.1	0.44	0.161	0.01	0.021 87	0.000 3	151.3	6.9	149.3	2.1
19.1	0.44	0.162	0.01	0.022 85	0.000 4	151.6	8.4	147.3	2.2
20.1	0.40	0.182	0.01	0.019 56	0.000 5	165.6	12.1	151.0	3.3
21.1	0.46	0.161	0.01	0.022 86	0.000 4	151.0	7.3	149.8	2.2
22.1	0.42	0.162	0.01	0.020 94	0.000 3	146.6	7.1	152.4	2.1
23.1	0.46	0.168	0.01	0.020 56	0.000 4	161.0	7.7	151.7	2.4
24.1	0.46	0.162	0.01	0.023 42	0.000 4	150.5	9.5	151.5	2.5
25.1	0.39	0.163	0.01	0.022 86	0.000 4	149.5	7.5	155.3	2.5

### 3.2 分析结果

细粒黑云母碱长花岗岩(HS15-15)、花岗斑岩(HS15-49)、粗粒碱长花岗岩(HS15-50)、斑状黑云

母花岗岩(HS15-70)的锆石颗粒长60~120  $\mu\text{m}$ , 长宽比为2~2.5, 大部分具有清晰的环带结构(图3、图4), 细粒黑云母碱长花岗岩Th/U=0.81~1.58、



图3 样品部分锆石 CL 图像、测定点编号

Fig. 3 Partial zircon CL image and determination point number of the sample



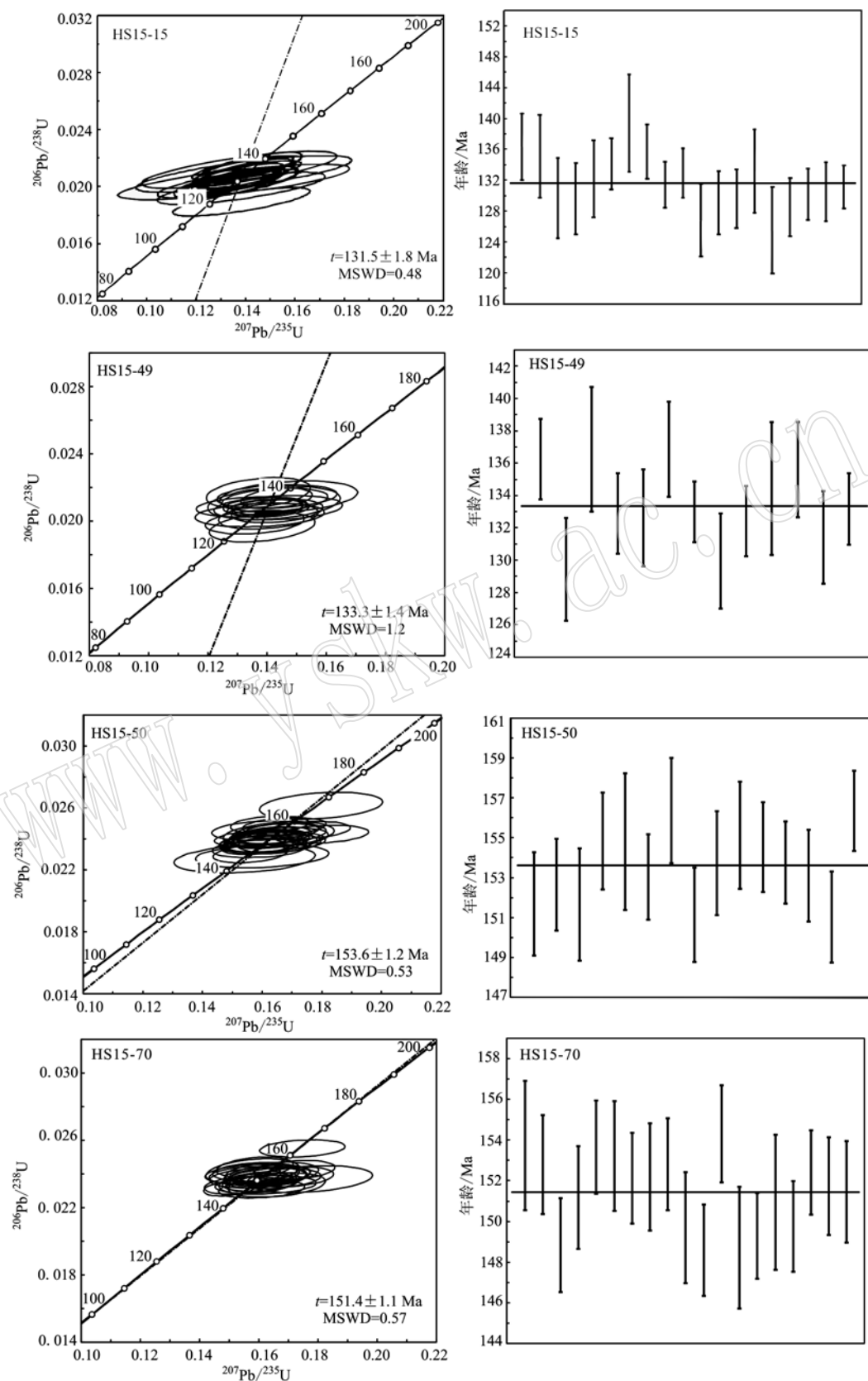


图4 样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄谐和图

Fig. 4 U-Pb isotopic age data diagrams of LA-ICP-MS zircons

花岗斑岩  $\text{Th}/\text{U} = 0.62 \sim 1.37$ 、粗粒碱长花岗岩  $\text{Th}/\text{U} = 0.37 \sim 0.71$ 、斑状黑云母花岗岩  $\text{Th}/\text{U} = 0.35 \sim 0.91$ , 具典型岩浆锆石的成分特征(吴元保等, 2004), 少数锆石具有继生核。

HS15-15 细粒黑云母碱长花岗岩共分析 23 个点, 其中 1 个分析点(点 13.1,  $151.3 \pm 7.4 \text{ Ma}$ )为离群值, 故剔除; 其余 22 个分析点的年龄在  $126.8 \sim 139.4 \text{ Ma}$  之间, 其中有 3 个分析点偏离谐和曲线, 其中点 7.1、点 22.1 可能存在裂隙, 点 19.1 可能存在包裹体, 予以剔除; 剩下 19 个分析点均位于锆石边部的环带上,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄集中在谐和曲线附近, 加权平均值为  $131.5 \pm 1.8 \text{ Ma}$ ,  $\text{MSWD} = 0.48$  (图 4), 属早白垩世早期, 代表细粒黑云母碱长花岗岩的形成年龄。

HS15-49 花岗斑岩共分析 25 个点, 其中 6 个分析点(点 22.1,  $1535.7 \pm 215.6 \text{ Ma}$ ; 点 4.1,  $343.7 \pm 19.5 \text{ Ma}$ ; 点 8.1,  $300.3 \pm 28.5 \text{ Ma}$ ; 点 11.1,  $170.5 \pm 9.4 \text{ Ma}$ ; 点 20.1,  $150.2 \pm 3.7 \text{ Ma}$ ; 点 25.1,  $149.9 \pm 7.2 \text{ Ma}$ )为离群值, 故剔除; 其余 19 个分析点中有 6 个分析点的数据偏离谐和曲线, 其中点 1.1、2.1、7.1、17.1、24.1 可能存在裂隙, 点 6.1 位于环带和核部结合部位, 予以剔除; 剩下 13 个分析点均位于锆石边部的环带上,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄集中在谐和曲线附近, 加权平均值为  $133.3 \pm 1.4 \text{ Ma}$ ,  $\text{MSWD} = 0.66$ , 属早白垩世早期, 代表花岗斑岩的形成年龄。

HS15-50 粗粒碱长花岗岩共分析 25 个点, 其中 1 个分析点(点 4.1,  $166.5 \pm 3.6 \text{ Ma}$ )为离群值, 故剔除; 其余 24 个分析点中有 9 个分析点偏离谐和曲线, 其中点 2.1、8.1、11.1、14.1、20.1、22.1、25.1 可能存在裂隙, 点 6.1、24.1 可能存在包裹体, 予以剔除; 剩下 15 个分析点均位于锆石边部的环带上,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄集中在谐和曲线附近, 加权平均值为  $153.6 \pm 1.2 \text{ Ma}$ ,  $\text{MSWD} = 0.53$ , 属晚侏罗世早期, 代表粗粒碱长花岗岩的形成年龄。

HS15-70 斑状黑云母花岗岩共分析 25 个点, 其中 1 个分析点(点 1.1,  $181.2 \pm 5.1 \text{ Ma}$ )为离群值, 故剔除; 其余 24 个分析点中有 5 个分析点偏离谐和曲线, 其中点 8.1、12.1、19.1 可能存在裂隙, 点 3.1 位于核部, 点 25.1 可能存在包裹体, 予以剔除; 剩下 19 个分析点均位于锆石边部的环带上,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄集中在谐和曲线附近, 加权平均值为  $151.4 \pm 1.1 \text{ Ma}$ ,  $\text{MSWD} = 0.57$ , 属晚侏罗世早期, 代表斑状黑云母花岗岩的形成年龄。

上述 LA-ICP-MS 锆石  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄结果显示, 红山子岩体由 2 期侵入体组成: 第 1 期为晚侏罗世早期, 由粗粒碱长花岗岩( $153.6 \pm 1.2 \text{ Ma}$ )、斑状黑云母花岗岩( $151.4 \pm 1.1 \text{ Ma}$ )组成; 第 2 期为早白垩世早期, 由细粒黑云母碱长花岗岩( $131.5 \pm 1.8 \text{ Ma}$ )、花岗斑岩( $133.3 \pm 1.4 \text{ Ma}$ )组成。因此, 红山子岩体是由燕山构造阶段两次相隔  $20 \text{ Ma}$  的侵入体组成。

## 4 地质意义

### 4.1 研究区存在两个不同的岩浆活动时期

红山子岩体粗粒碱长花岗岩( $153.6 \pm 1.2 \text{ Ma}$ )和斑状黑云母花岗岩( $151.4 \pm 1.1 \text{ Ma}$ )比岩体周边的红山子盆地流纹岩( $156.5 \pm 1.6 \text{ Ma}$ )和碱性流纹岩( $156.5 \pm 1.4 \text{ Ma} \sim 154.7 \pm 1.7 \text{ Ma}$ )(巫建华等, 2013)、万合永盆地流纹岩(彭啟辉, 2015)、芝瑞盆地流纹岩( $156.9 \pm 1.7 \text{ Ma}$ )(解开瑞等, 2016)和流纹斑岩( $155.5 \pm 1.5 \text{ Ma} \sim 154.7 \pm 1.9 \text{ Ma}$ )(巫建华等, 2017b)、托河盆地流纹岩( $158.5 \pm 1.3 \text{ Ma}$ )(姜山等, 2018)的形成时代稍晚(图 5), 但基本一致, 构成晚侏罗世岩浆活动期; 红山子岩体细粒黑云母碱长花岗岩( $131.5 \pm 1.8 \text{ Ma}$ )、花岗斑岩( $133.3 \pm 1.4 \text{ Ma}$ )比红山子盆地的花岗斑岩( $134.79 \pm 0.92 \text{ Ma}$ )(丁辉等, 2016)的形成时代稍晚, 但也基本一致, 构成早白垩世岩浆活动期。可见, 红山子-广兴铀成矿亚带存在晚侏罗世早期和早白垩世早期两个不同的岩浆活动时期。

结合西拉木伦河-长春缝合带以北、华北陆块北缘断裂带以南地区有大量的早白垩世早期火山岩出露(Zhang *et al.*, 2008, 2010; 巫建华等, 2016; 张雅菲等, 2016; 夏应冰等, 2016)和红山子-广兴铀成矿亚带缺失下白垩统-古近系的地质情况, 认为红山子岩体周边红山子、芝瑞等火山盆地的早白垩世早期火山岩可能是在形成后因强烈抬升被剥蚀殆尽(成矿亚带北部的万合永等火山盆地有早白垩世早期火山岩残留), 而岩体内部的早白垩世侵入岩是该期抬升剥蚀得以保存的一部分。

### 4.2 红山子岩体内部不同岩性接触带及找矿意义

我国东部与花岗岩有关的铀矿田赋矿岩体均为不同阶段侵入体构成的复式岩体, 已知铀矿赋存在晚期侵入体的内外接触带中(巫建华等, 2017a)。我国东部与花岗岩有关的铀矿床虽然赋矿花岗岩的地

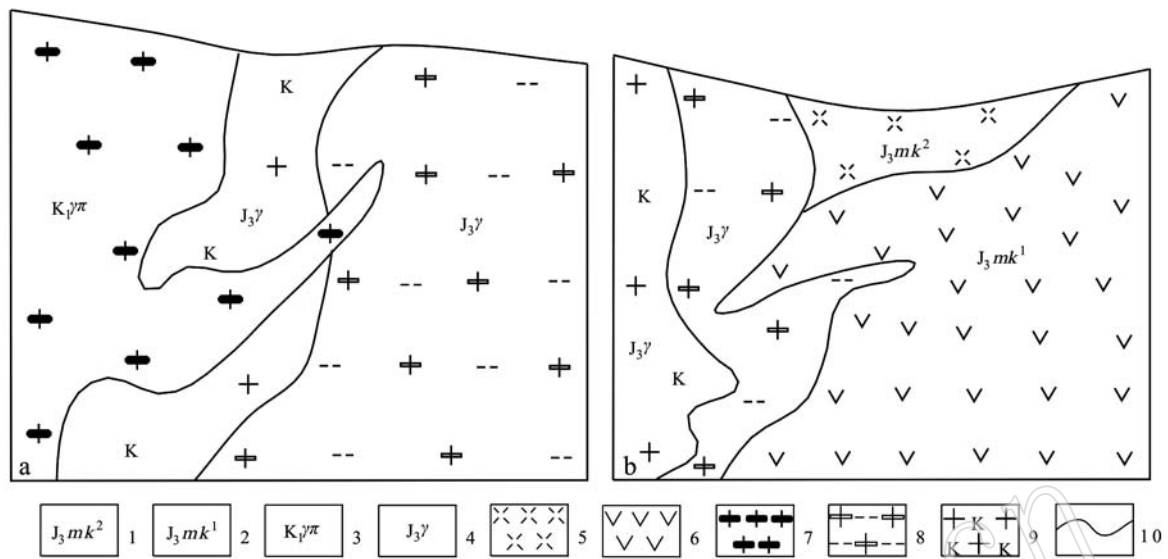


图5 红山子岩体及周边侵入接触关系剖面示意图

Fig. 5 Generalized section of Hongshanzi rock mass and its intrusive contact relationships with surrounding areas

a—早白垩世、晚侏罗世侵入岩接触关系；b—晚侏罗世侵入岩与火山岩接触关系；1—上侏罗统满克头鄂博组二段；2—上侏罗统满克头鄂博组一段；3—早白垩世花岗岩；4—晚侏罗世花岗岩；5—流纹岩；6—安山岩；7—花岗斑岩；8—斑状黑云母花岗岩；9—粗粒碱长花岗岩；10—接触界线

a—contact relationship between early Cretaceous and late Jurassic intrusive rocks; b—contact relationship between late Jurassic intrusive rocks and volcanic rocks; 1—2nd member of upper Jurassic Manketouebo Formation; 2—1st member of upper Jurassic Manketouebo Formation; 3—early Cretaceous granitic porphyry; 4—late Jurassic granite; 5—rhyolite; 6—andesite; 7—granite porphyry; 8—porphyritic biotite granite; 9—coarse-grained alkali feldspar granite; 10—contact boundary

质时代存在差异,但不同时期的花岗岩体接触带却是成矿部位。红山子复式岩体由燕山期两个相隔 20 Ma 的侵入体组成,早、晚两期岩体的接触带应该是铀矿赋存的有利部位。近年来实施的钻探工程中,在晚侏罗世早期粗粒碱长花岗岩与早白垩世早期花岗斑岩内外接触带中发现铀工业孔 5 个、铀异常孔 4 个,矿体厚度 0.4 ~ 1.7 m(黎伟等, 2017),显示出良好的找矿前景。

#### 4.3 红山子岩体与火山岩接触带及找矿意义

我国东部主要与火山岩有关的铀矿田,铀矿主要赋存在斑岩与同期火山岩的内外接触带中,如相山铀矿田北部的铀矿床都赋存在早白垩世早期中粗斑石英二长斑岩的内、外接触带中;张麻井铀矿主要矿体赋存在早白垩世早期流纹斑岩的内接触带中,少数矿体赋存在外接触带的早白垩世早期流纹岩中(巫建华等, 2016)。红山子-广兴铀成矿亚带存在晚侏罗世早期和早白垩世早期两期火山-侵入活动,已有的勘查结果显示,红山子盆地内的红山子铀矿床,其西部的 9、5、7 等矿带和东部的 2、3、4 矿带均围绕盆地中部北东向条带状展布的晚侏罗世早期流

纹斑岩(纪宏伟, 2015)内、外接触带分布,内接触带以铀矿化和钼工业矿化为主,外接触带以工业铀矿化为主(马国祥等, 2009;祝洪涛等, 2014);芝瑞盆地西北部的南窝铺地段铀矿化主要产于靠近盆地边部的早白垩世早期正长斑岩内、外接触带中(黎伟等, 2017),芝瑞盆地南部的上柜晚侏罗世早期流纹斑岩体、东南部的南店晚侏罗世早期流纹斑岩体的接触带也有铀矿化产出。

## 5 结论

(1) 岩矿鉴定结果显示,红山子复式岩体可分出粗粒碱长花岗岩、斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母碱长花岗岩和花岗斑岩 4 种类型,它们的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年分别为  $153.6 \pm 1.2$  Ma、 $151.4 \pm 1.1$  Ma、 $131.5 \pm 1.8$  Ma 和  $133.3 \pm 1.4$  Ma,指示红山子复式岩体由晚侏罗世早期、早白垩世早期两期侵入体组成,具有多种岩性。

(2) 红山子复式岩体内晚侏罗世早期侵入体与周边火山岩的形成时代基本一致,早白垩世早期侵



入体与侵入火山岩中的花岗斑岩形成时代一致,表明整个红山子-广兴铀成矿亚带存在两个主要的岩浆活动期。

(3) 红山子复式岩体由相隔 20 Ma 的两期侵入体组成, 和我国东部与花岗岩有关的铀矿田有类似的特征, 结合不同期次侵入体的内、外接触带中已经发现铀矿床, 认为红山子复式岩体内部不同岩性的内外接触带以及岩体与火山岩的接触带具有重要的找矿意义。

## References

- Black L P and Gulson B L. 1978. The age of the Mud Tank earhonatite, Strangways Range, Northern Territory[J]. BMR J. Aust. Geol. Geophys, 3 : 227 ~ 232.
- Cai Yuqi, Zhang Jindai, Li Ziyang, *et al.* 2015. Outline of Uranium resources characteristics and metallogenic regularities in China[J]. Journal of Geology, 89(6): 1 051 ~ 1 069(in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing, Zhang Cheng, Li Nuo, *et al.* 2012. Geology of the Mo deposits in Northeast China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 42(5): 1 223 ~ 1 268(in Chinese with English abstract).
- Ding Hui, Wu Jianhua, Zhu Hongtao, *et al.* 2016. SHRIMP zircon U-Pb dating and geochemistry characteristics of granite-porphyry from Hongshanzi basin and its geological significance in south Great Hingan Range[J]. Journal of East China University of Technology (Natural Science Edition), 31(1): 1 ~ 9(in Chinese with English abstract).
- Ji Hongwei. 2015. Study on the mineralization of Hongshanzi Uranium-Molybdenum Deposit in Hexigten Banner, Inner Mongolia[D]. Dissertation of Beijing Research Institute of Uranium Geology (in Chinese).
- Jiang Shan, Wu Jianhua, Wang Changdong, *et al.* 2018. Chronology, geochemical characteristics and geological significance of the rhyolite from Tuohe Basin, in Chifeng[J]. Geological Journal of China Universities, 24(6): 896 ~ 906(in Chinese with English abstract).
- Jiang Xiaojun, Liu Yongqing, Peng Nan, *et al.* 2011. Geochemistry and SHRIMP U-Pb dating of the Guangxingyuan composite pluton in Hexigten Qi, Inner Mongolia and its geological implication[J]. Acta Geologica Sinica, 85(1): 114 ~ 128(in Chinese with English abstract).
- Li Wei, Zhu Hongtao, Wu Jianhua, *et al.* 2017. Discussion on ore controlling factors and the validation of optimal prospecting target area in Hongshanzi-Guangxing Uranium ore-field Inner Mongolia[J]. Journal of East China Institute of Technology (Natural Science Edition), 40(2): 115 ~ 125(in Chinese with English abstract).
- Ma Guoxiang, Li Changhua, Yu Zhenqing, *et al.* 2009. Preliminary study on geological features and genesis of U-Mo Deposit No. 470[J]. World Nuclear Geological Science, 6(2): 91 ~ 95(in Chinese with English abstract).
- Qin Feng, Liu Jianming, Zeng Qingdong, *et al.* 2009. Petrogenetic and metallogenic mechanism of Xiaodonggou porphyry molybdenum deposit in Hexigten Banner, Inner Mongolia[J]. Journal of Petrology, 12: 3 357 ~ 3 368(in Chinese with English abstract).
- Peng Qihui. 2015. Chronological and geochemical characteristics of rhyolite from Xiamajia to Liujiayingzi Area, Chifeng[D]. Nanchang: Master's Thesis of East China Institute of Technology (in Chinese).
- Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, *et al.* 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 19: 1 ~ 23.
- Wu Jianhua, Guo Guolin, Guo Jialei, *et al.* 2017a. Spatial-temporal distribution of Mesozoic igneous rocks and their relationship with hydrothermal Uranium Deposits in Eastern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 33(5): 1 591 ~ 1 614(in Chinese with English abstract).
- Wu Jianhua, Guo Jialei, Zhu Hongtao, *et al.* 2017b. Geochronology, geochemical characteristics and its geological significance of the rhyolite porphyry in Zhirui Basin, Southeastern Inner Mongolia Autonomous Region[J]. Geological Journal of China Universities, 23(3): 383 ~ 396(in Chinese with English abstract).
- Wu Jianhua, Wu Jun, Zhu Hongtao, *et al.* 2013. Lithostratigraphic correlation of the volcanic rock series in Hongshanzi Basin in Great Xing'an Range[J]. Geological Journal of China Universities, 19(3): 472 ~ 483(in Chinese with English abstract).
- Wu Jianhua, Xie Kairui, Zhu Hongtao, *et al.* 2016. Petrogenesis of rhyolite from Hongshanzi Basin in southern Greater Xing'an Range: Element and Sr-Nd-Pb isotope constraints[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 46(6): 1 724 ~ 1 739(in Chinese with English abstract).
- Wu Rengui, Yu Zhenqing, Shen Kefeng, *et al.* 2011. The relational of Mesozoic volcanism to uranium mineralization in Guyuan-Hongshanzi area[J]. Uranium Geology, 27(4): 200 ~ 205(in Chinese with English abstract).
- Wu Yuanbao and Zheng Yongfei. 2004. Genetic mineralogy of zircon and its constraints on U-Pb age interpretation [J]. Scientific Bulletin, 49(16): 1 588 ~ 1 604(in Chinese).

- Xia Yingbing, Wu Jianhua, Jiang Shan, *et al.* 2016. Geochronology, geochemical characteristics and genesis of Trachyte in Datan Basin, Northern Hebei [J]. Geological Journal of China Universities, 22 (4): 608 ~ 620 (in Chinese with English abstract).
- Xie Kairui, Wu Jianhua, Zhu Hongtao, *et al.* 2016. Petrogenesis of Early Late Jurassic rhyolite from the Zhirui Basin in Southern Daxing'an Range: Their chronologic and geochemical constrains [J]. Geochimica, 45 (3): 249 ~ 267 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J H, Gao S, Ge W C, *et al.* 2010. Geochronology of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, northeastern China: Implications for Subduction-induced Delamination [J]. Chemical Geology, 276: 144 ~ 165.
- Zhang J H, Ge W C, Wu F Y, *et al.* 2008. Large-scale Early Cretaceous volcanic events in the northern Great Xing'an Range, Northeastern China [J]. Lithos, 102: 138 ~ 157.
- Zhang Jindai, Li Ziyang, Cai Yuqi, *et al.* 2012. The main advance and achievements in the potential evaluation of Uranium Resources in China [J]. Uranium Geology, 28 (6): 321 ~ 326 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yafei, Wu Jianhua, Jiang Shan, *et al.* 2016. SHRIMP U-Pb geochemistry and Sr-Nd isotopes of the uranium-(molybdenum) related rhyolite and granite porphyry, Datan, Northern Hebei [J]. Acta Petrologica Sinica, 32 (1): 193 ~ 211 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Hongtao, Li Jimu, Zhao Bo, *et al.* 2014. Exploration progress of Hongshanzi Basin in Daxinganling and its prospecting significance [J]. Journal of East China Institute of Technology (Natural Science Edition), 37 (4): 360 ~ 366 (in Chinese with English abstract).
- 906.
- 江小均, 柳永清, 彭楠, 等. 2011. 内蒙古克什克腾旗广兴源复式岩体 SHRIMP U-Pb 定年及地质意义讨论 [J]. 地质学报, 85 (1): 114 ~ 128.
- 黎伟, 祝洪涛, 巫建华, 等. 2017. 内蒙古红山子-广兴铀矿田控矿因素探讨和找矿靶区优选 [J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 40 (2): 115 ~ 125.
- 马国祥, 李长华, 于振清, 等. 2009. 470 铀钼矿床地质特征及成因初步探讨 [J]. 世界核地质科学, 6 (2): 91 ~ 95.
- 覃锋, 刘建明, 曾庆栋, 等. 2009. 内蒙古克什克腾旗小东沟斑岩型钼矿床成岩成矿机制探讨 [J]. 岩石学报, 12: 3 357 ~ 3 368.
- 彭啟辉. 2015. 赤峰下马架-刘家营子流纹岩年代学与地球化学特征 [D]. 南昌: 东华理工大学硕士论文.
- 巫建华, 郭国林, 郭佳磊, 等. 2017a. 中国东部中生代岩浆岩的时空分布及其与热液型铀矿的关系 [J]. 岩石学报, 33 (5): 1 591 ~ 1 614.
- 巫建华, 郭佳磊, 祝洪涛, 等. 2017b. 内蒙古东南缘芝瑞盆地流纹斑岩年代学、地球化学特征及地质意义 [J]. 高校地质学报, 23 (3): 383 ~ 396.
- 巫建华, 武珺, 祝洪涛, 等. 2013. 大兴安岭红山子盆地火山岩系岩石地层对比 [J]. 高校地质学报, 19 (3): 472 ~ 483.
- 巫建华, 解开瑞, 祝洪涛, 等. 2016. 大兴安岭南端红山子盆地流纹岩的成因: 元素和 Sr-Nd-Pb 同位素制约 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 46 (6): 1 724 ~ 1 739.
- 吴仁贵, 于振清, 申科峰, 等. 2011. 沽源-红山子地区中生代火山作用与铀成矿关系 [J]. 铀矿地质, 27 (4): 200 ~ 205.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约 [J]. 科学通报, 49 (16): 1 588 ~ 1 604.
- 夏应冰, 巫建华, 姜山, 等. 2016. 冀北大滩盆地粗面岩的年代学、地球化学特征及成因研究 [J]. 高校地质学报, 22 (4): 608 ~ 620.
- 解开瑞, 巫建华, 祝洪涛, 等. 2016. 大兴安岭南端芝瑞盆地流纹岩年代学、地球化学及岩石成因 [J]. 地球化学, 45 (3): 249 ~ 267.
- 张金带, 李子颖, 蔡煜琦, 等. 2012. 全国铀矿资源潜力评价工作进展与主要成果 [J]. 铀矿地质, 28 (6): 321 ~ 326.
- 张雅菲, 巫建华, 姜山, 等. 2016. 冀北大滩盆地铀(钼)成矿流纹岩-花岗斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年、地球化学及 Sr-Nd 同位素特征 [J]. 岩石学报, 32 (1): 193 ~ 211.
- 祝洪涛, 李继木, 赵博, 等. 2014. 大兴安岭红山子盆地铀矿勘查新进展及其找矿意义 [J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 37 (4): 360 ~ 366.

## 附中文参考文献

- 陈衍景, 张成, 李诺, 等. 2012. 中国东北钼矿床地质 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 42 (5): 1 223 ~ 1 268.
- 蔡煜琦, 张金带, 李子颖, 等. 2015. 中国铀矿资源特征及成矿规律概要 [J]. 地质学报, 89 (6): 1 051 ~ 1 069.
- 丁辉, 巫建华, 祝洪涛, 等. 2016. 大兴安岭南端红山子盆地花岗斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义 [J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 31 (1): 1 ~ 9.
- 纪宏伟. 2015. 内蒙古克什克腾旗红山子铀钼矿床成矿作用研究 [D]. 核工业北京地质研究院博士学位论文.
- 姜山, 巫建华, 王常东, 等. 2018. 赤峰托河盆地流纹岩年代学、地球化学特征及其地质意义 [J]. 高校地质学报, 24 (6): 896 ~