

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2017.05.07

引用格式: 陈海东,王子龙,景耀祖,等.内蒙古北山风雷山地区流纹岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及地球化学特征[J].中国地质调查,2017,4(5):48-54.

# 内蒙古北山风雷山地区流纹岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及地球化学特征

陈海东<sup>1</sup>, 王子龙<sup>2</sup>, 景耀祖<sup>1</sup>, 高勇<sup>1</sup>, 郝增元<sup>1</sup>, 鲁宁<sup>1</sup>

(1. 内蒙古地质矿产勘查院, 呼和浩特 010010; 2. 成都理工大学地球科学学院, 成都 610059)

**摘要:** 在北山地区的红石山—百合山—蓬勃山蛇绿岩带东段以南分布大量的火山岩,通过对北山风雷山地区流纹岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学研究,表明其形成年代为(318.5 ± 1.2) Ma,即晚石炭世。流纹岩的 SiO<sub>2</sub> 含量为 77.05% ~ 77.52%, K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O 含量为 6.96% ~ 7.83%; 在微量元素原始地幔标准化蛛网图中,显示 Rb、K、Th、U、Zr、Hf 明显富集,而高场强元素 Ta、Nb、Ti 明显亏损; 岩石地球化学特征表明,流纹岩为高钾钙碱性系列,具火山弧花岗岩属性。结合区域地质特征研究,在早石炭世时期,红石山—百合山—蓬勃山拉张裂解形成初始小洋盆,即类似于“红海型”海槽的环境,在大约早石炭世晚期洋壳发生向南、向北的双向俯冲,到晚石炭世继续裂解的小洋盆南缘向南俯冲,从而形成了大量的弧火山岩。

**关键词:** 锆石 U-Pb 年龄; 微量元素; 岩石地球化学特征; 构造演化; 流纹岩; 内蒙古自治区; 北山风雷山  
**中图分类号:** P588.141; P597.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2017)05-0048-07

## 0 引言

中亚造山带是世界上典型的增生型造山带,是古亚洲洋在经历了长期而复杂的俯冲消减,由不同地体碰撞、拼接而形成的<sup>[1]</sup>。北山地区位于中亚造山带南缘中段,是西伯利亚、塔里木和哈萨克斯坦 3 大板块的结合部位,是研究古亚洲洋最终闭合过程的重要区域。但一直以来对北山地区大地构造的归属存在争议,左国朝等<sup>[2]</sup>认为北山地区早古生代存在板块构造体制,以明水—石板井—小黄山缝合带为界,将早古生代北山地区分为北部哈萨克斯坦板块和南部塔里木板块; 刘雪亚等<sup>[3]</sup>通过对北山地区钙碱系列岩浆活动及其与板块构造的关系,认为由北向南分别以红石山—黑鹰山断裂带和柳园—大奇山断裂带为界,划分为西伯利亚、哈萨克斯坦和塔里木板块; 龚全胜等<sup>[4]</sup>和何世平等<sup>[5]</sup>认为以红石山—百合山—蓬勃山蛇绿混杂岩带为界,将北山地区由北向南划分为哈萨克斯坦和塔里木

板块<sup>[4-5]</sup>。因此,对分布在北山地区的岩浆岩形成时代、岩石地球化学特征以及构造环境等方面研究,有助于增进对北山地区构造演化及大地构造归属等问题的认识。笔者在 1:5 万区域地质调查的基础上,以内蒙古北山风雷山地区的白山组一段块状流纹岩为研究对象,通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、岩石学和地球化学特征的分析,揭示了风雷山地区的白山组火山岩的形成时代、成因及构造环境,从而为进一步了解北山地区晚古生代构造演化史提供了基础依据。

## 1 地质背景及样品描述

中亚造山带中南段的北山地区目前从北向南分布着 4 条蛇绿岩带,依次为红石山—百合山—蓬勃山、岌岌台子—小黄山、红柳河—牛圈子—洗肠井和辉铜山—账房山<sup>[6]</sup>。研究区位于红石山—百合山—蓬勃山蛇绿岩带东段以南的风雷山地区。研究区内主要地质体为石炭纪侵入体及火山—沉

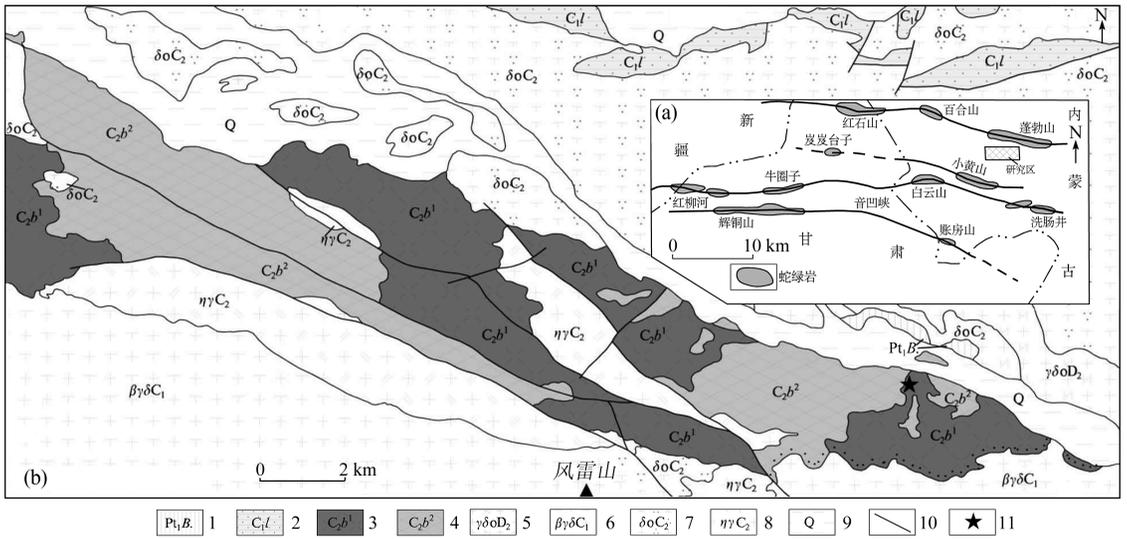
收稿日期: 2016-09-11; 修订日期: 2017-03-13。

基金项目: 中国地质调查局“1:5 万区域地质调查(编号: 1212011220462、1212011220461)”项目资助。

第一作者简况: 陈海东(1987—),男,工程师,主要从事区域地质矿产调查工作。Email: 346089923@qq.com。

积地层(图 1),这些地质体均呈 NW 向带状展布,其次出露少量古元古界北山岩群地层及中泥盆世侵入体(U-Pb 年龄 386 Ma)。古元古界北山岩群仅在区内火山岩地层以北有小面积出露,岩性为黑云母片岩、石英岩、黑云变粒岩、含石榴黑云石英片岩等,被中泥盆世和晚石炭世岩体侵入。下石炭统绿条山组主要为一套浅海相碎屑岩,分布在区内北东一带,均被晚石炭世石英闪长岩侵入;上石炭统白山组地层为本次主要研究对象,分布在研究区中部,呈 NW 向带状展布,宽约 3~4 km,长约 24 km。白山组一段岩性单一,为浅黄—浅褐红色块状流纹

岩,二段为浅灰色、灰色、浅绿灰色中—中酸性碎屑凝灰岩和碎屑凝灰岩熔岩等,岩层产状平缓,被晚石炭世石英闪长岩、二长花岗岩侵入,局部地段与晚石炭世岩体呈断层接触,南东部地段岩层喷发不整合于早石炭世黑云母花岗闪长岩(U-Pb 年龄 342 Ma)之上。早石炭世岩体为黑云母花岗闪岩,分布在研究区南西角,被晚石炭世石英闪长岩、二长花岗岩侵入。晚石炭世岩体为二长花岗岩、石英闪长岩,二长花岗岩分布于白山组南西侧,石英闪长岩主要分布在白山组北东侧,二者均侵入白山组地层。



1. 古元古界北山岩群; 2. 下石炭统绿条山组; 3. 上石炭统白山组一段; 4. 上石炭统白山组二段; 5. 中泥盆世英云闪长岩; 6. 早石炭世花岗闪长岩; 7. 晚石炭世石英闪长岩; 8. 晚石炭世二长花岗岩; 9. 第四系; 10. 断层; 11. 同位素采样位置

图 1 风雷山地区地质简图<sup>[6]</sup>

Fig. 1 Geological sketch map of Fengleishan area<sup>[6]</sup>

本次样品采集于白山组一段中,岩性为浅黄—浅褐红色块状流纹岩,斑状结构,基质隐晶状—霏细状结构,块状构造。斑晶:斜长石 0.5~3 mm,半自形板状,含量 10%~20%,绢云母化;石英 0.5~3 mm,熔蚀浑圆状,熔蚀港湾状,含量 5%~10%;钾长石少量。基质:由隐晶状长英质(30%~40%)、霏细状长英质(30%~35%)以及少量球粒状长英质(5%~10%)构成。

## 2 分析方法

在河北省区域矿产调查研究所实验室将所取的样品(样品号 D6151)粉碎至 80~100 目,用常规的重液浮选和电磁分离方法进行分选后,再在双目

镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒。将样品锆石置于环氧树脂中,待固结后抛磨至锆石粒径的大约 1/2,使锆石内部充分暴露,然后进行锆石反射光、透射光和阴极发光(CL)显微照相。在天津地质矿产研究所实验室进行 LA-ICP-MS 锆石微区 U-Pb 定年。测试点的选取首先根据锆石反射光和透射光照片进行初选,再与 CL 照片反复对比,力求避开内部裂隙和包裹体,以获得较准确的年龄信息。分析使用的激光仪器为 Thermo Finnigan Neptune 型及与之配套的 UP193-FX ArF 准分子激光器,激光斑束直径 35 μm,频率 10 Hz,以 He 为载气。样品处理、详细流程及数据处理见侯可军等<sup>[7]</sup>。另外,样品主量元素和微量元素分析由河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。

### 3 测试结果

#### 3.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

测年样品 (D6151) 取自坐标 99° 15' 24" E、

41° 57' 25" N, 岩性为块状流纹岩, 其锆石呈长、短柱状, 半自形—自形晶形。在阴极发光图像 (图 2) 上可见明显的岩浆震荡和生长环带, 具典型的岩浆锆石特征<sup>[8]</sup>。

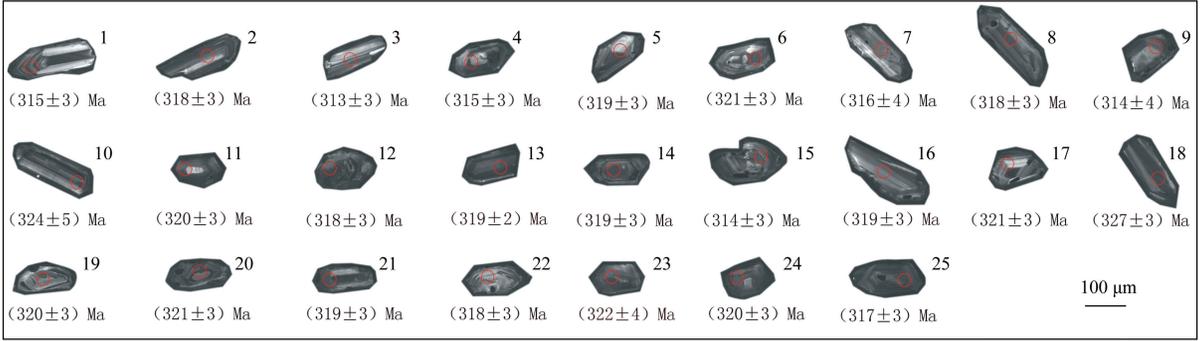


图 2 风雷山地区流纹岩的锆石阴极发光图像

Fig. 2 Cathodoluminescence images of representative zircon of rhyolite in Fengleishan area

利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年法对该样品共测试了 25 颗锆石, 数据见表 1, 结果显示 Th/U 均大于 0.4 (在 0.42 ~ 1.06 之间), 属于典型岩浆成因锆石范围<sup>[8]</sup>。<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄变化范围在 313 ~

324 Ma 之间, 在谐和图上样品基本都集中在谐和线上或谐和线附近 (图 3), 25 个分析点<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄为 (318.5 ± 1.2) Ma, MSWD = 0.95, 认为该年龄代表了流纹岩的形成时代, 为晚石炭世。

表 1 风雷山地区流纹岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果

Tab.1 LA-ICP-MS Zircon U-Pb date of rhyolite from Fengleishan area

测点号	$w_B/10^{-6}$		同位素比值												表面年龄/Ma													
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ										
1	8	143	0.050	1	0.000	5	0.374	7	0.007	6	0.054	3	0.001	0	0.021	3	0.000	2	0.658	1	0.006	5	315	3	323	7	382	43
2	5	84	0.050	6	0.000	5	0.400	2	0.011	5	0.057	4	0.001	6	0.020	9	0.000	2	0.794	9	0.008	5	318	3	342	10	506	63
3	5	85	0.049	7	0.000	5	0.370	2	0.015	5	0.054	0	0.002	2	0.021	7	0.000	5	0.790	0	0.003	1	313	3	320	13	372	92
4	13	237	0.050	0	0.000	4	0.380	7	0.005	2	0.055	2	0.000	6	0.017	7	0.000	1	0.623	5	0.004	5	315	3	328	4	419	25
5	17	295	0.050	8	0.000	5	0.379	8	0.004	6	0.054	3	0.000	5	0.017	2	0.000	1	0.809	4	0.015	1	319	3	327	4	381	21
6	7	122	0.051	0	0.000	5	0.359	5	0.009	1	0.051	1	0.001	2	0.017	9	0.000	2	0.902	8	0.014	8	321	3	312	8	244	56
7	6	102	0.050	2	0.000	6	0.361	1	0.012	4	0.052	2	0.001	7	0.017	6	0.000	3	0.644	8	0.004	6	316	4	313	11	294	76
8	9	156	0.050	6	0.000	5	0.377	3	0.007	2	0.054	1	0.000	9	0.017	3	0.000	2	0.698	7	0.008	7	318	3	325	6	376	39
9	14	254	0.049	9	0.000	6	0.367	9	0.006	0	0.053	5	0.000	8	0.016	7	0.000	2	0.609	2	0.004	1	314	4	318	5	351	32
10	13	229	0.051	6	0.000	7	0.374	7	0.006	2	0.052	7	0.000	7	0.016	0	0.000	2	0.704	7	0.004	4	324	5	323	5	315	31
11	13	216	0.051	0	0.000	5	0.383	4	0.004	9	0.054	6	0.000	6	0.015	7	0.000	1	0.931	2	0.009	2	320	3	330	4	394	23
12	23	411	0.050	6	0.000	5	0.377	1	0.004	0	0.054	1	0.000	3	0.015	2	0.000	1	0.672	6	0.004	6	318	3	325	3	374	14
13	21	355	0.050	7	0.000	3	0.397	1	0.005	1	0.056	9	0.000	6	0.016	6	0.000	1	0.959	9	0.014	4	319	2	340	4	486	24
14	16	303	0.050	7	0.000	5	0.360	6	0.004	5	0.051	6	0.000	5	0.017	2	0.000	2	0.529	4	0.003	7	319	3	313	4	268	20
15	13	223	0.049	9	0.000	5	0.371	3	0.011	2	0.054	0	0.001	5	0.017	6	0.000	5	0.758	8	0.005	8	314	3	321	10	371	65
16	6	101	0.050	7	0.000	5	0.383	3	0.011	1	0.054	9	0.001	5	0.016	9	0.000	2	1.059	2	0.009	6	319	3	329	10	407	62
17	14	256	0.051	0	0.000	5	0.385	6	0.005	5	0.054	8	0.000	6	0.016	2	0.000	1	0.690	0	0.003	8	321	3	331	5	404	25
18	17	270	0.052	0	0.000	5	0.381	6	0.004	8	0.053	2	0.000	5	0.016	9	0.000	2	0.974	0	0.010	3	327	3	328	4	337	21
19	9	161	0.050	8	0.000	4	0.366	1	0.014	7	0.052	3	0.001	9	0.019	5	0.000	5	0.522	7	0.002	0	320	3	317	13	296	82
20	14	238	0.051	1	0.000	5	0.386	9	0.005	0	0.054	9	0.000	5	0.017	3	0.000	2	0.717	1	0.007	3	321	3	332	4	410	22
21	17	288	0.050	7	0.000	5	0.385	4	0.005	4	0.055	1	0.000	6	0.017	0	0.000	2	0.798	1	0.010	7	319	3	331	5	418	22
22	11	188	0.050	6	0.000	5	0.364	9	0.007	2	0.052	3	0.000	8	0.019	7	0.000	3	0.651	1	0.005	1	318	3	316	6	299	37
23	21	365	0.051	3	0.000	6	0.387	0	0.004	3	0.054	8	0.000	4	0.018	9	0.000	1	0.616	4	0.009	7	322	4	332	4	402	16
24	15	266	0.050	9	0.000	5	0.402	6	0.005	4	0.057	3	0.000	6	0.020	7	0.000	2	0.549	3	0.005	8	320	3	344	5	504	23
25	22	412	0.050	3	0.000	5	0.382	6	0.004	2	0.055	1	0.000	4	0.022	4	0.000	2	0.420	3	0.002	6	317	3	329	4	417	16

注: 表中所有误差均为 1σ。

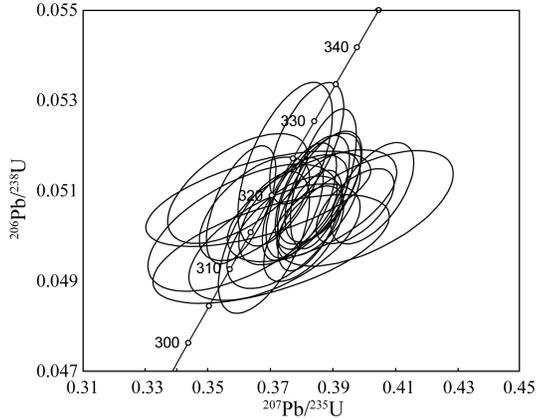
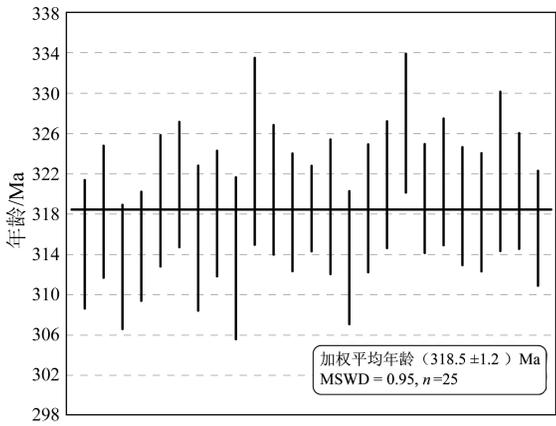


图 3 流纹岩 U-Pb 同位素年龄谐和图

Fig. 3 Zircon U-Pb concordia diagram of rhyolite

3.2 岩石地球化学特征

通过主量元素和微量元素分析数据(表 2)可以看出, SiO<sub>2</sub> 含量为 77.05% ~ 77.52%, TiO<sub>2</sub> 含量为 0.18%, K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O 值为 6.96% ~ 7.83%, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 值为 0.63 ~ 1.07。在 SiO<sub>2</sub> - (K<sub>2</sub>O +

Na<sub>2</sub>O) 图解(图 4)上样品均投于亚碱性系列的流纹岩区,在 FAM 图解上显示为钙碱性系列, SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O 图解(图 5)上主要显示为高钾钙碱性系列。A/CNK 值为 0.99 ~ 1.09, 表明为偏铝质岩石。

表 2 风雷山地区流纹岩主量元素、微量元素分析结果

Tab. 2 Whole rock analysis of major and trace elements in rhyolite in Fengleishan area

样号	w <sub>B</sub> /%														A/CNK
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	烧失量		
D6108	77.16	0.18	11.96	0.70	0.19	0.04	0.17	0.73	3.78	4.02	0.02	0.51	0.92	1.00	
D 6150	77.52	0.18	12.32	0.81	0.13	0.01	0.09	0.38	3.78	4.06	0.03	0.48	0.57	1.09	
D 6151	77.05	0.18	12.06	0.74	0.06	0.02	0.12	1.04	3.70	3.80	0.03	0.45	1.11	1.00	
PM021004Gs2	77.26	0.18	12.23	0.69	0.28	0.04	0.23	1.36	4.22	2.67	0.03	-	0.70	0.99	
样号	w <sub>B</sub> /10 <sup>-6</sup>														
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
D6108	31.20	59.14	6.93	24.42	4.33	0.88	4.05	0.65	3.81	0.79	2.53	0.46	3.30	0.54	
D6150	33.88	58.50	7.45	26.70	4.62	0.87	4.33	0.61	3.48	0.71	2.23	0.41	2.90	0.48	
D6151	27.38	51.33	6.24	22.17	3.82	0.79	3.61	0.55	3.17	0.64	2.03	0.35	2.67	0.46	
PM021004Gs2	25.97	50.43	5.79	21.17	3.75	0.80	3.31	0.63	3.76	0.79	2.54	0.43	3.05	0.54	
样号	w <sub>B</sub> /10 <sup>-6</sup>		LREE/HREE	(La/Yb) <sub>N</sub>	δEu	w <sub>B</sub> /10 <sup>-6</sup>									
	Y	ΣREE				Rb	Ba	Th	U	Nb	Ta	Sr	Zr	Hf	
D6108	24.93	143.02	7.87	6.78	0.63	149.05	767.8	16.91	3.61	10.53	0.89	96.40	97.55	3.86	
D 6150	22.39	147.16	8.72	8.39	0.58	150.48	679.2	17.00	1.96	10.88	0.81	88.22	110.05	4.08	
D 6151	21.12	125.22	8.28	7.35	0.64	142.56	771.7	17.68	2.42	11.15	0.88	104.85	109.26	4.16	
PM021004Gs2	23.68	122.95	7.17	6.10	0.68	85.39	-	13.82	2.90	9.63	0.88	121.68	111.81	4.61	

样品中稀土总量较低, ΣREE 在 122.95 × 10<sup>-6</sup> ~ 147.16 × 10<sup>-6</sup> 之间。在稀土球粒陨石标准化配分曲线图(图 6)上,配分曲线明显右倾斜,为轻稀土富集型,轻重稀土分馏明显, (La/Yb)<sub>N</sub> = 6.10 ~ 8.39, 呈明显的负铕异常, δEu 值在 0.58 ~ 0.68 之间, 铕负异常可能是地壳熔融过程中留下的斜长石作为难熔残余所致<sup>[9]</sup>。

从微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 7)可以看出,大离子亲石元素 Rb、K, 放射性元素 Th、U 和亲岩浆元素 Zr、Hf 明显富集, 而高场强元素 Ta、Nb、Ti 和 P 亏损明显。大离子亲石元素的富集、Th 含量(13.82 × 10<sup>-6</sup> ~ 17.68 × 10<sup>-6</sup>) > Ta 含量(0.81 × 10<sup>-6</sup> ~ 0.89 × 10<sup>-6</sup>) 和 Ta、Nb 亏损是岛弧火山岩突出的地球化学特征<sup>[10-16]</sup>。

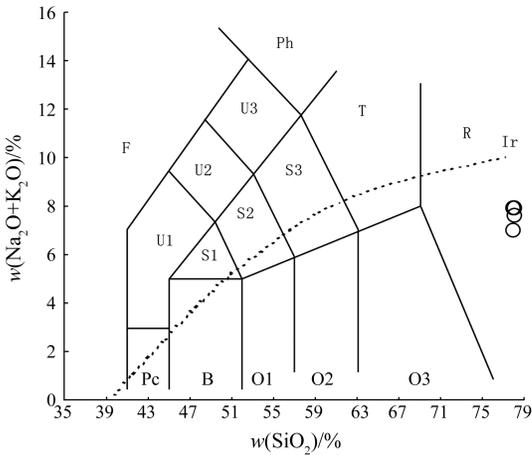


图4 风雷山地区流纹岩 SiO<sub>2</sub> - (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O) 图解  
 Fig. 4 SiO<sub>2</sub> - (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O) diagram of rhyolite in Fengleishan area

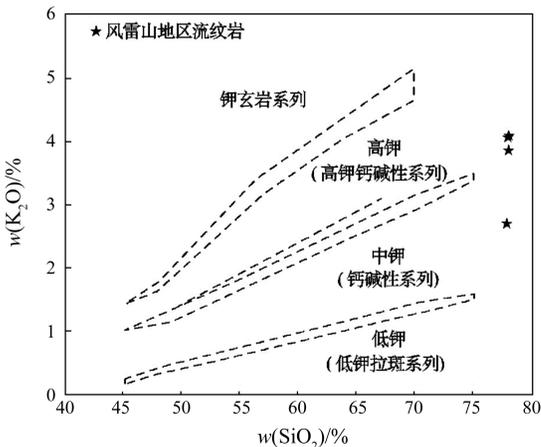


图5 流纹岩 SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O 图解  
 Fig. 5 SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O diagram of rhyolite

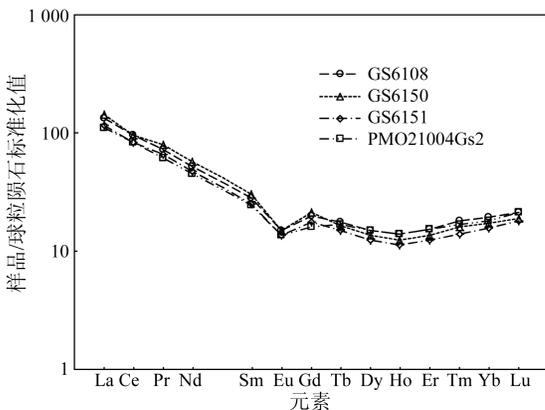


图6 球粒陨石标准化稀土配分模式<sup>[11]</sup>

Fig. 6 Chondrite normalized REE distribution patterns<sup>[11]</sup>

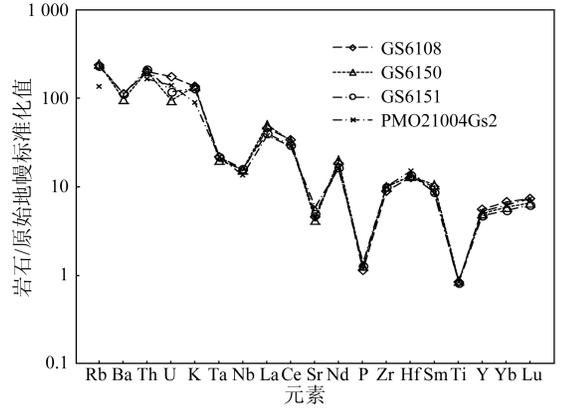


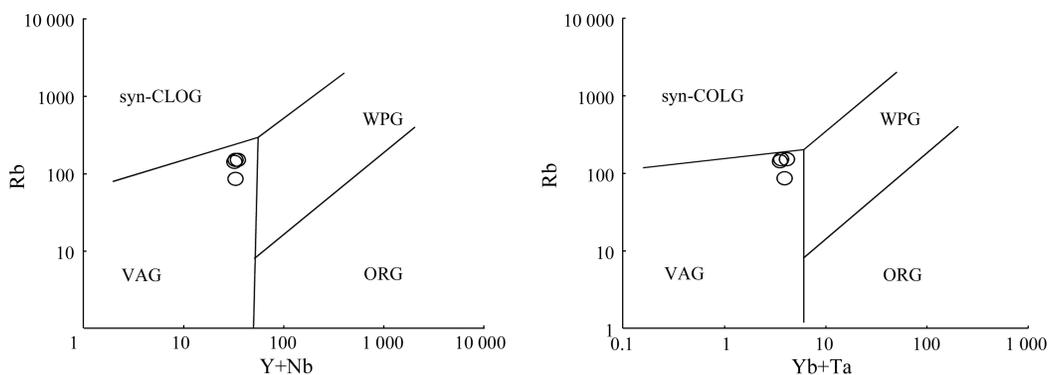
图7 原始地幔标准化蛛网图<sup>[11]</sup>

Fig. 7 Primitive mantle normalized spider diagram<sup>[11]</sup>

### 4 讨论

1: 20 万区调<sup>[17]</sup>将白山组划为早石炭世,但未获得化石、同位素年龄等以论证其时代。本次对北山风雷山地区的白山组一段流纹岩锆石 U - Pb 定年获得年龄为(318.5 ± 1.2) Ma,认为该年龄代表了流纹岩的形成时代,为晚石炭世。该流纹岩岩石地球化学主要显示为高钾钙碱性系列,具有轻稀土富集,大离子亲石元素富集,高场强元素 Ta、Nb 和 Ti 亏损, w(Th) > w(Ta) 等特征,这些特征都是岛弧火山岩突出的地球化学特征<sup>[10-16]</sup>。在 Rb - (Y + Nb) 和 Rb - (Yb + Ta) 图解(图 8)上,样品均落入火山弧环境(VAG),进一步说明了该流纹岩形成于火山弧构造环境。而风雷山地区晚石炭世火山岩和中酸性侵入岩的岩石类型组合和成分特征比较,似乎更接近大陆边缘弧,即成熟的大陆边缘弧以安山岩、英安岩和流纹岩为主<sup>[18]</sup>。

风雷山地区位于红石山—百合山—蓬勃山蛇绿岩带东段南侧,从北向南主要分布下石炭统绿条山组浅海相碎屑岩,晚石炭世石英闪长岩和二长花岗岩,上石炭统白山组火山岩,早石炭世花岗闪长岩等地质体。这些地质体总体走向为 NW—SE 向,大致与红石山—百合山—蓬勃山蛇绿岩带走向平行。目前对红石山—百合山—蓬勃山蛇绿岩带构造环境具有相对统一的认识,即该蛇绿岩带形成于大陆裂谷向大洋转化的构造环境,是早石炭世裂解形成的初始小洋盆的地质记录,形成于裂谷小洋盆环境,类似于“红海型”海槽的环境<sup>[2,5,6,19]</sup>。在红石山蛇绿岩中对辉长岩锆石 U - Pb 定年为 346Ma,代表了该蛇绿岩的形成时代<sup>[19]</sup>。在大约早石炭世晚

图8 风雷山地区流纹岩微量元素构造环境判别图解<sup>[12-13]</sup>Fig. 8 Diagrams of tectonic settings of trace elements for rhyolite in Fengleishan area<sup>[12-13]</sup>

期洋壳发生向南、向北的双向俯冲,使该蛇绿岩带北侧板块的南缘和南侧板块的北缘分别形成2个以岛弧为代表的活动大陆边缘<sup>[5]</sup>。

综合研究表明,在早石炭世沿红石山—百合山—蓬勃山拉张裂解形成初始小洋盆,即类似于“红海型”海槽的环境,同时沉积了石炭统绿条山组地层。在大约早石炭世晚期洋壳发生向南、向北的双向俯冲,到晚石炭世裂解的小洋盆南缘继续向南俯冲,从而形成了大量的陆缘弧岩浆,而风雷山地区的流纹岩应该形成于此构造环境下。

## 5 结论

(1)北山风雷山地区的白山组流纹岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $(318.5 \pm 1.2)$  Ma,认为该年龄代表了流纹岩的形成时代,为晚石炭世。

(2)风雷山地区的流纹岩地球化学特征表现出岛弧火山岩特点,结合区域地质特征,认为在早石炭世沿红石山—百合山—蓬勃山拉张裂解形成的初始小洋盆,约早石炭世晚期洋壳发生向南、向北的双向俯冲,到晚石炭世裂解的小洋盆南缘继续向南俯冲,从而形成了大量的陆缘弧岩浆,该流纹岩属于此陆缘弧岩浆的产物。

## 参考文献:

- [1] Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J, et al. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *J Geol Soc*, 2007, 164(1): 31-47.
- [2] 左国朝,张淑玲,何国琦,等. 北山地区早古生代板块构造特征[J]. *地质科学*, 1990(4): 305-314.
- [3] 刘雪亚,王荃. 中国西部北山造山带的大地构造及其演化[J]. *地质研究*, 1995(28): 37-48.
- [4] 龚全胜,刘明强,李海林,等. 甘肃北山造山带类型及基本特征[J]. *西北地质*, 2002, 35(3): 28-34.
- [5] 何世平,周会武,任秉琛,等. 甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化[J]. *西北地质*, 2005, 38(3): 6-15.
- [6] 杨合群,李英,赵国斌,等. 北山蛇绿岩特征及构造属性[J]. *西北地质*, 2010, 43(1): 26-36.
- [7] 侯可军,李延河,田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. *矿床地质*, 2009, 28(4): 481-492.
- [8] 李长民. 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述[J]. *地质调查与研究*, 2009, 33(3): 161-174.
- [9] 彭智敏,耿全如,张璋,等. 西藏那曲地区流纹岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征[J]. *地质通报*, 2011, 30(7): 1050-1059.
- [10] Barth M G, McDonough W F, Rudnick R L. Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust[J]. *Chem Geol*, 2000, 165(3-4): 197-213.
- [11] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. *Geol Soc London, Spec Publicat*, 1989, 42(1): 313-345.
- [12] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *J Petrol*, 1984, 25(4): 956-983.
- [13] Pearce J A. Sources and setting of granitic rocks[J]. *Episodes*, 1996, 19(4): 120-125.
- [14] 张旗,钱青,王焰. 造山带火成岩地球化学研究[J]. *地学前缘*, 1999, 6(3): 113-120.
- [15] 牛延宏,王兴,李旭东,等. 黑龙江省伊春地区中寒武世中粒二长花岗岩 U-Pb 定年及其地质意义[J]. *中国地质调查*, 2015, 2(6): 26-33.
- [16] 李善平,李延京,任华,等. 青海三江北段拉地贡玛地区印支期花岗岩地球化学特征及地质意义[J]. *中国地质调查*, 2016, 3(1): 35-43.
- [17] 甘肃省地质局地质力学区测队. 1:20 万路井幅地质图及报告[Z]. 1977.
- [18] Miyashiro A. Volcanitic rock series in island and active continental margins[J]. *AIS*, 1974, 274: 321-335.
- [19] 王国强,李向民,徐学义,等. 甘肃北山红石山蛇绿岩锆石 U-Pb 年代学研究及构造意义[J]. *岩石学报*, 2014, 30(6): 1685-1694.

## Geochemical characteristics and age of rhyolite LA – ICP – MS Zircon U – Pb in Fengleishan area of Beishan, Inner Mongolia

CHEN Haidong<sup>1</sup>, WANG Zilong<sup>2</sup>, JING Yaozu<sup>1</sup>, GAO Yong<sup>1</sup>, HAO Zengyuan<sup>1</sup>, LU Ning<sup>1</sup>

(1. Inner Mongolia Institute of Geological Survey and Mineral Exploration, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China;

2. Chengdu University of Technology, Earth Science Institute, Cheng' du 610059, China)

**Abstract:** There are large quantities of volcanic rocks in the south of the eastern section of Beishan area's Hongshishan – Baiheshan – Pengboshan ophiolitic belt. The age of rhyolite indicated by LA – ICP – MS zircon U – Pb is  $(318.5 \pm 1.2)$  Ma, Late Carboniferous. The rhyolite has 77.05% ~ 77.52% of  $\text{SiO}_2$ , and 6.96% ~ 7.83% of  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ . Large ion lithophile (Rb, K, Th, U, Zr, Hf) enrichment and high field strength elements (Ta, Nb, Ti) shortage are displayed in the primitive mantle normalized trace element spider diagram. The petrogeochemical features indicate that the rhyolite shows high potassium calc alkaline series, with the volcanic arc granite attribute. Combined with the study of regional geological characteristics, it indicates that Hongshishan – Baiheshan – Pengboshan extensional faulting formed the initial small ocean basin. Namely, it's similar to the Red Sea Type trough environment in Early Carboniferous. The oceanic crust subducted into the south and the north directions in late Early Carboniferous. And the southern edge of the consistently cleaving small ocean basin subducted into the south direction by the Late Carboniferous, so large amounts of arc volcanic rocks formed.

**Key words:** U – Pb zircon age; microelement; geochemical character; tectonic evolution; rhyolite; Inner Mongolia; Fengleishan area of Beishan

(责任编辑: 刘丹, 常艳)