

编号: 0258-7106(2011)03-0504-07

# 内蒙古莫若格钦地区二长闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义\*

云 飞<sup>1</sup>, 聂凤军<sup>1</sup>, 江思宏<sup>1</sup>, 刘 妍<sup>1</sup>, 张万益<sup>2</sup>

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

**摘 要** 内蒙古莫若格钦铅锌矿预查区是中蒙边界地区南戈壁-东乌旗铜多金属成矿带中部新发现的一处铅锌矿化区。矿床地质特征研究表明, 区内发育的二长闪长岩与铅锌多金属矿床的形成有密切的时空、成因关系。为了揭示成矿规律, 笔者对二长闪长岩进行单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 定年, 获得<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄为(312.6 ± 4.1)Ma (MSWD=0.76), 该年龄与二连-东乌地区晚石炭世岩浆活动事件(介于300~315 Ma)相对应, 与白音乌拉-东乌珠穆沁旗岩带的花岗岩年龄(300~315)Ma一致。结合区域地质研究成果, 初步确定莫若格钦二长闪长岩是晚石炭世弧间裂谷伸展作用下地壳挤压增厚局部熔融的产物。上述成果为研究南戈壁-东乌旗地区晚石炭世岩浆侵位活动以及铅锌铜钼多金属矿产找矿方向研究提供了重要证据。

**关键词** 地球化学; 二长闪长岩; 锆石 U-Pb 年龄; 莫若格钦; 中蒙边界

中图分类号: P597+.3

文献标志码: A

## Zircon SHRIMP U-Pb age of Monuogechin monzodiorite of Inner Mongolia and its geological significance

YUN Fei<sup>1</sup>, NIE FengJun<sup>1</sup>, JIANG SiHong<sup>1</sup>, LIU Yan<sup>1</sup> and ZHANG WanYi<sup>2</sup>

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China)

### Abstract

Located in the South Gobi-Dong Ujimqin Banner metallogenic belt of the China-Mongolia border and its neighboring areas, the Monuogechin lead-zinc pre-investigation area is a newly-discovered lead-zinc polymetallic deposit. The exposed monzodiorite has an intimate relationship with the Monuogechin lead-zinc pre-investigation area. In order to determine the accurate age of the Monuogechin monzodiorite, the authors employed the zircon SHRIMP U-Pb isotope dating technology and obtained the age of (312.6 ± 4.1) Ma (MSWD=0.76), indicating Hercynian. This age is essentially in agreement with the event of magmatism in the east of the Erenhot-Dong Ujimqin Banner volcanic-magmatic belt (from 300 Ma to 315 Ma) and the age of granites in the South Gobi-Dong Ujimqin Banner copper polymetallic ore-forming belt. Combined with regional data, it is suggested that the Erenhot-Dong Ujimqin Banner Late Carboniferous monzodiorite resulted from the crustal thickening melting of the intraarc rift tensional system. This age provides important evidence for Late Carboniferous magmatism and helps guide the work related to lead-zinc molybdenum-copper polymetallic ore exploration in China-Mongolia border and its neighboring areas.

\* 本文由国家自然科学基金项目(编号:40573025)资助

第一作者简介 云 飞,男,1981年生,博士研究生,主要从事地质找矿及矿床学研究。Email: fling0518@sina.com

收稿日期 2010-11-28; 改回日期 2011-04-03。张绮玲编辑。

**Key words:** geochemistry, monzodiorite, zircon SHRIMP U-Pb dating, Monuogechin, China-Mongolia border and its neighboring areas

莫若格钦地区铜多金属矿预查区位于中蒙边界南戈壁-东乌旗铜多金属成矿带的中部。该成矿带呈北东东—北东向展布,处于古亚洲成矿域北部。南戈壁—东乌旗铜多金属成矿带西段蒙古国南戈壁地区,金属矿化类型以铜、铁、钼、铅-锌、钨和锡等多金属为主,其中察干苏布尔加铜-钼-银矿床、欧玉陶勒盖铜-金-钼矿床和纳林呼都格铜矿床均是称著于世的大型铜多金属矿床,其地质和地球化学特征为国内外地质工作者所关注(聂凤军等,2007;陈斌等,2001)。前人对该成矿带东段中国境内的二连—东乌旗一带与成矿有关的花岗岩体进行了年代学研究,如格勒敖包黑云母花岗岩的钾-氩同位素年龄变化范围为 $300 \sim 315$  Ma(洪大卫等,1994;1995);扎那乌拉和白音乌拉岩体的铷-锶同位素等时线年龄值分别为 $(286 \pm 3)$  Ma和 $(277 \pm 3)$  Ma(洪大卫等,1994)。除了在莫若格钦铅锌多金属预查区进行了基本的勘查工作外,科研工作开展较少。本文采用单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 法对莫若格钦矿区的二长闪长岩进行定年,补充完善了区域花岗岩类侵入体的定年资料,为区域找矿提供重要依据。

## 1 地质背景及样品特征

莫若格钦地处内蒙古自治区锡林浩特市北西,地处二连-贺根山板块对接带北侧、西伯利亚板块东南大陆边缘,位于南戈壁-东乌旗铜多金属成矿带的中部,阿巴嘎深大断裂北侧。区内广泛发育中新元古界、古生界和中生界火山-沉积岩地层,其中,奥陶系、泥盆系碳酸盐岩和细碎屑岩是二连—东乌旗成矿带铜多金属矿床的重要赋矿围岩。区域地层由古至新为:中奥陶统汗乌拉组,下泥盆统敖包亭浑组,下二叠统宝力格组,上二叠统,上侏罗统布拉根哈达组,上白垩统二连达布苏组,第三系上新统宝格达乌拉组和第四系(图1)。其中,中奥陶统汗乌拉组为一套浅海相碎屑岩沉积建造,是铅锌多金属矿的主要围岩。侵入岩主要是花岗闪长岩、细粒二长闪长岩和闪长岩,侵入于中奥陶统汗乌拉组第一岩性段沉积岩内,呈岩株状产出。与莫若格钦铅-锌-银矿点成矿密切的岩浆热事件是二长闪长岩,为限定成

矿时代,揭示成矿动力学背景,选择矿点东北部的钻孔深部的二长闪长岩进行了精细年代学和元素地球化学研究。

实验样品采自莫若格钦铅-锌-银矿点东北部的钻孔深部,呈浅肉红色,岩性为二长闪长岩,细粒花岗结构,块状构造。主要矿物成分为石英、钾长石和斜长石以及少量黑云母。石英呈他形粒状,粒径为 $1 \sim 3$  mm,含量约25%;钾长石和斜长石呈半自形粒状,粒径为 $1 \sim 2$  mm,含量约为35%;黑云母粒径小于1 mm,含量约为2%。局部见有高岭土化、绿泥石化和绢云母化。

## 2 样品处理方法

将原岩样品通过破碎、淘洗和重液分离,初步分选出锆石。然后进行电磁分离,分为无磁、电磁和强磁等不同部分,最后对锆石进行手工挑纯。将所选锆石样品与标准样品(TEM)固定在直径为25 mm的环氧树脂靶上,并且将其研磨至一半暴露出锆石的中心部分,对待测锆石和标准锆石样品进行镀金,然后进行光学照相和拍摄阴极发光图像。阴极发光照相和 SHRIMP 年龄测定在北京离子探针中心完成。

SHRIMP 分析的详细流程和原理参见文献(Williams et al.,1987;宋彪等,2002,2006)。一次离子流强度约7.4 nA,加速电压约10 kV,样品靶上的离子束斑直径约 $25 \sim 30$   $\mu\text{m}$ ,质量分辨率约5 000(1%峰高)。用于澳大利亚的标准锆石 TEM(417 Ma)进行 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄校正,用于斯里兰卡的宝石级标准锆石 SL13 校正待测锆石 U 含量。数据处理和谐和图绘制采用 Ludwig SQUID 1.0 及 ISO-PLOT 3.0 程序(Ludwig,2001,2003),单个数据点的误差为 $1\sigma$ ,测试结果见表1,详细的实验原理及流程见文献(袁洪林等,2004)。

主量元素和微量元素分析在中国地质科学院国家地质实验测试中心完成。主量元素用飞利浦 PW2404 型 X 射线荧光光谱仪分析。微量元素及稀土元素在 ICP-MS(USA Thermo Electron Co. X7 型)上测试。

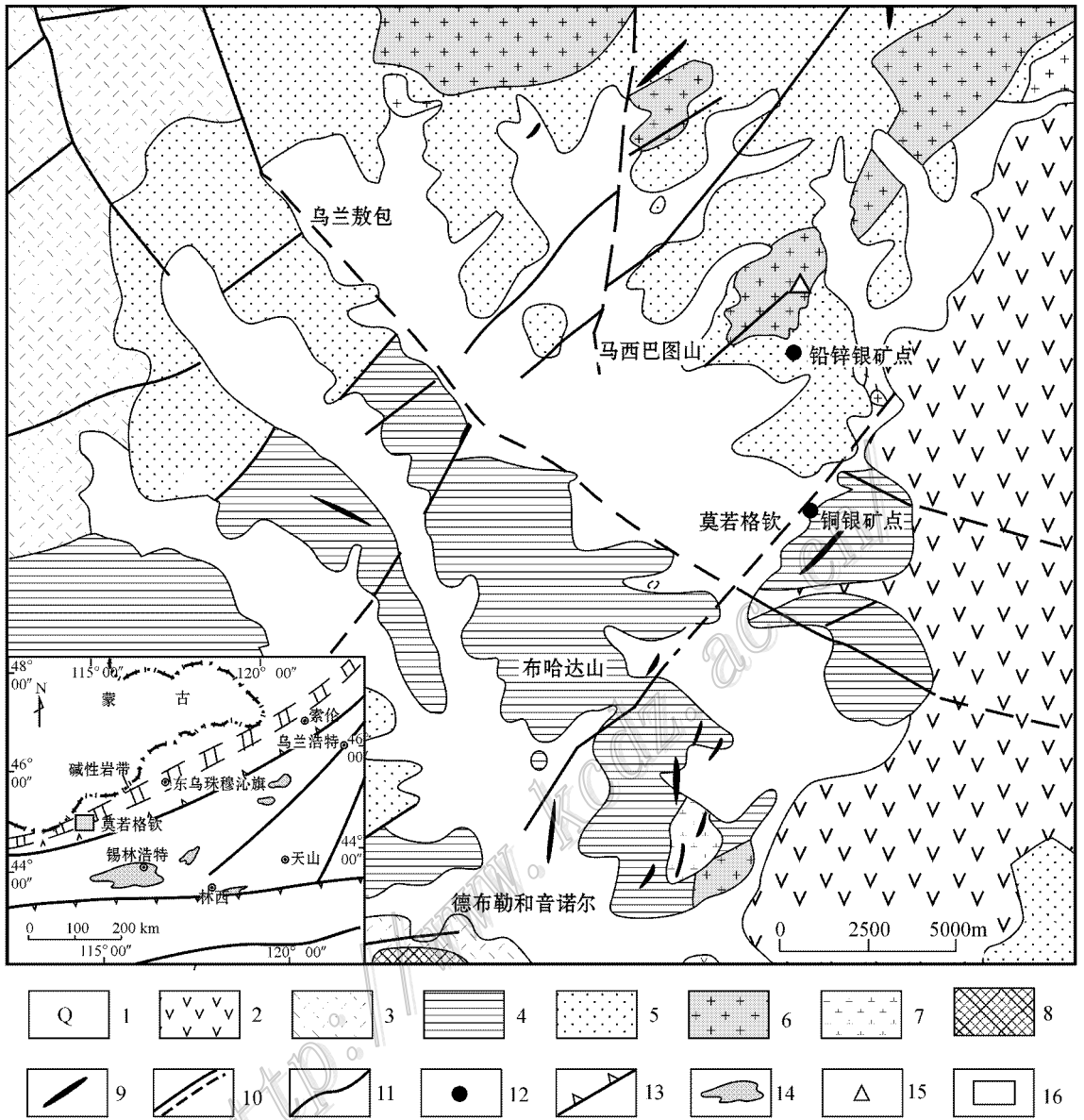


图 1 内蒙古莫若格钦铅-锌预查区地质简图(插图据洪大卫等,1994;聂凤军等,2007 修改)

1—第四系;2—第四系橄榄玄武岩;3—二叠系沉积岩;4—泥盆系沉积岩;5—奥陶系沉积岩;6—莫若格钦二长闪长岩;7—海西期闪长岩;8—海西期正长斑岩;9—煌斑岩脉;10—实测与推测断层;11—地质界线;12—矿床(点)位置;13—板块缝合线;14—前寒武纪中间地块;15—采样位置;16—研究区位置

Fig. 1 Simplified geological map of the Monuogechin Pb-Zn ore district (map at the corner modified after Hong et al., 1994; Nie et al., 2007)

1—Quaternary; 2—Quaternary olivine basalts; 3—Permian sedimentary rocks; 4—Devonian sedimentary rocks; 5—Ordovician sedimentary rocks; 6—Monzodiorite; 7—Diorites; 8—Syenite porphyry; 9—Lamprophyre dykes; 10—Measured and inferred fault; 11—Geological boundary; 12—Location of ore deposit (ore spot); 13—Suture zone; 14—Precambrian intermediate massif; 15—Sampling location; 16—Study area

### 3 分析结果

#### 3.1 锆石特征和 SHRIMP 定年结果

莫若格钦二长闪长岩(BYTG03)的 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果见表 1,由阴极发光(CL)图像(图

2)和 U-Pb 年龄谐和图(图 3)。图 2 可知,莫若格钦二长闪长岩样品中的锆石呈长柱状自形半自形晶形,内部发育清晰的韵律生长或震荡环带成分。所有测点 Th/U 比值均大于 0.1(0.50~1.49),为典型的岩浆成因锆石(Hoskin et al., 2003)。在谐和图上,样品点均投影在谐和线上或谐和线附近,这一

表 1 内蒙古莫若格钦二长闪长岩(BYTG03)锆石 SHRIMP U-Th-Pb 测年分析结果  
Table 1 SHRIMP U-Th-Pb zircon data from Monugechin monzodiorite Inner Mongolia

测点	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ %	U/ $10^{-6}$	Th/ $10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm$ %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm$ %	Total $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$\pm$ %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma
BYTG-03-1.1	0.48	245	107	0.45	0.055	2.9	0.32	4.8	0.0151	3.3	287.8 $\pm$ 5.8
BYTG-03-2.1	0.50	480	279	0.60	0.051	2.0	0.32	4.6	0.0162	3.2	315.4 $\pm$ 6.1
BYTG-03-3.1	0.46	344	120	0.36	0.055	2.4	0.36	3.7	0.0170	3.1	317.1 $\pm$ 6.2
BYTG-03-4.1	0.34	279	142	0.52	0.059	2.4	0.38	3.5	0.0163	2.9	308.5 $\pm$ 6.1
BYTG-03-5.1	0.55	492	221	0.46	0.054	2.0	0.33	4.2	0.0159	3.3	306.8 $\pm$ 5.9
BYTG-03-6.1	0.31	311	129	0.43	0.055	2.8	0.36	3.7	0.0161	3.0	310.3 $\pm$ 6.1
BYTG-03-7.1	0.47	467	254	0.56	0.053	2.0	0.33	4.2	0.0158	2.6	309.1 $\pm$ 6.2
BYTG-03-8.1	0.55	485	248	0.53	0.054	1.9	0.34	4.4	0.0158	2.7	314.6 $\pm$ 6.1
BYTG-03-9.1	1.67	377	165	0.45	0.078	3.9	0.43	10.2	0.0198	4.9	309.7 $\pm$ 7.0
BYTG-03-9.1-1	0.50	550	450	0.84	0.060	1.7	0.34	3.0	0.0142	2.3	283.5 $\pm$ 5.4
BYTG-03-10.1	0.79	321	205	0.66	0.059	2.8	0.33	5.0	0.0145	3.8	289.0 $\pm$ 6.6
BYTG-03-11.1	0.21	577	440	0.79	0.053	1.9	0.32	3.1	0.0146	3.1	288.7 $\pm$ 5.6
BYTG-03-12.1	0.45	478	272	0.59	0.056	2.1	0.37	4.3	0.0166	2.6	323.9 $\pm$ 6.3

表 2 内蒙古莫若格钦二长闪长岩岩体化学成分

Table 2 Geochemical composition of Monugechin monzodiorite Inner Mongolia

组分	B-1	B-2	B-3	B-4	组分	B-1	B-2	B-3	B-4
	$\omega(\text{B})\%$					$\omega(\text{B})10^{-6}$			
SiO <sub>2</sub>	66.5	54.61	66.18	66.18	Tb	0.48	0.69	0.44	0.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.6	14.62	14.72	14.78	Dy	2.95	4.20	2.70	2.85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.8	6.67	2.61	2.12	Ho	0.60	0.89	0.57	0.56
FeO	2.84	3.59	2.07	2.67	Er	1.81	2.59	1.62	1.65
CaO	3.58	2.37	3.09	2.83	Tm	0.26	0.37	0.24	0.24
MgO	2.5	6.35	2.45	2.51	Yb	2.00	2.83	1.83	1.83
K <sub>2</sub> O	1.34	0.43	1.26	1.28	Lu	0.29	0.39	0.25	0.26
Na <sub>2</sub> O	3.88	2.95	3.98	3.93	(La/Yb) <sub>N</sub>	6.90	5.44	7.32	7.27
TiO <sub>2</sub>	0.56	1.17	0.59	0.57	$\delta\text{Eu}^*$	0.33	0.27	0.34	0.33
MnO	0.11	0.14	0.1	0.11	$\Sigma\text{REE}$	63.81	77.22	61.45	61.32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.17	0.12	0.13	Rb	120.00	84.60	122.00	118.00
烧失量	1.93	6.5	2.6	2.67	Ba	361.00	319.00	377.00	438.00
总和	99.78	99.57	99.77	99.78	Sr	533.00	372.00	557.00	511.00
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	5.22	3.38	5.24	5.21	Th	3.04	3.85	2.80	2.77
K <sub>K</sub> O/Na <sub>2</sub> O*	0.35	0.15	0.32	0.33	U	0.87	1.36	0.81	0.87
A/CNK*	1.64	2.75	1.86	1.88	Nb	8.50	8.14	8.15	7.76
$\sigma^*$	1.03	0.98	1.15	1.18	Ni	30.20	48.90	26.60	25.00
	$\omega(\text{B})10^{-6}$								
La	13.80	15.40	13.40	13.30	Ta	0.71	0.62	0.66	0.65
Ce	25.20	30.30	24.60	24.70	Zr	180.00	235.00	163.00	160.00
Pr	3.42	4.19	3.27	3.27	Hf	5.61	6.63	5.08	4.93
Nd	14.30	18.00	13.50	13.40	Y	15.60	21.40	14.50	15.10
Sm	2.96	3.99	2.75	2.80	Rb/Sr*	0.23	0.23	0.22	0.23
Eu	0.99	1.11	0.96	0.94	Nb/Ta*	11.95	13.09	12.44	11.96
Gd	3.14	4.23	2.97	2.91	Zr/Hf*	32.09	35.44	32.09	32.45

\* 单位为 1。

特征也指示被测锆石为遭受明显地后期热事件的影响。根据锆石的 CL 图像和年龄特征分析,可将分析点分为两组(图 4)第一组的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄加权平

均值为(312.6 $\pm$ 4.1)Ma(MSWD=0.76) 9 个分析点,表 1 中的 BYTG-03-2.1 ~ BYTG-03-9.1 和 BYTG-03-12.1)笔者认为这个年龄代表了二长闪

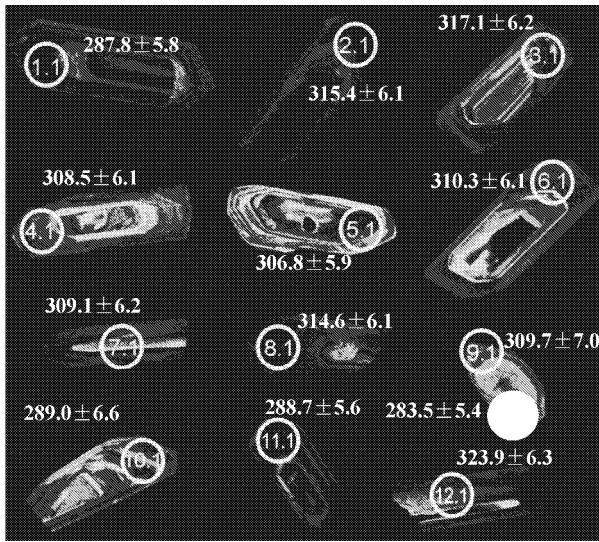


图 2 内蒙古莫若格钦二长闪长岩锆石阴极发光图像

Fig. 2 Cathodoluminescent images of some zircon grains from Monuogechin monzodiorite, Inner Mongolia

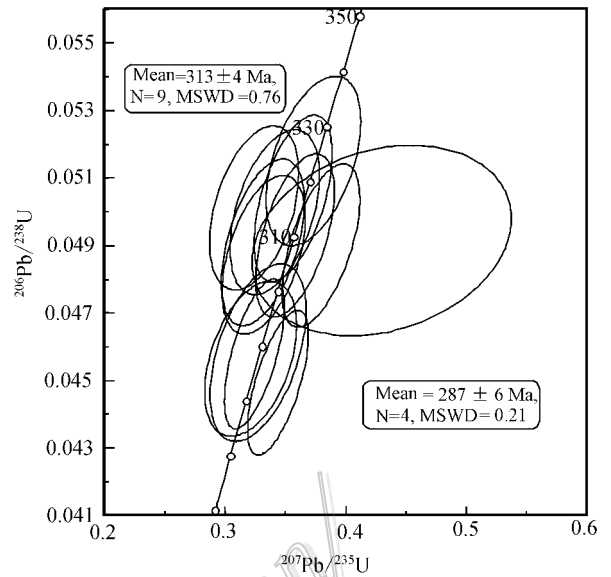


图 3 内蒙古莫若格钦二长闪长岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 3 U-Pb concordia diagram of zircon from Monuogechin monzodiorite, Inner Mongolia

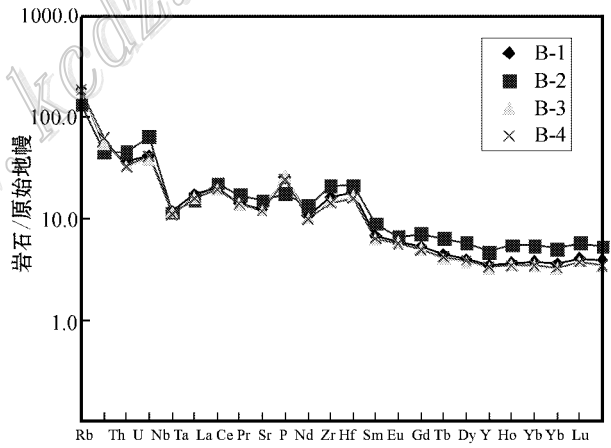
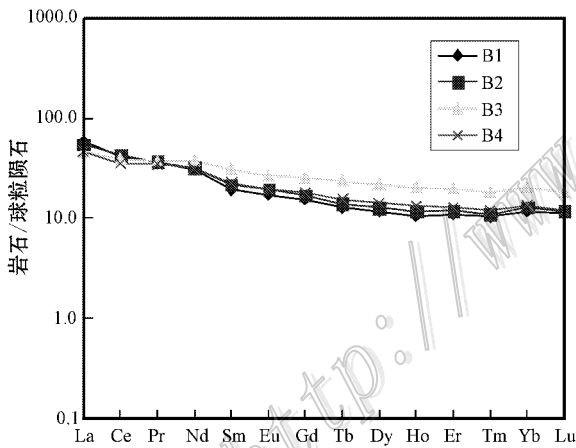


图 4 内蒙古莫若格钦二长闪长岩稀土元素配分图(左)和微量元素蛛网图(右)球粒陨石、原始地幔标准化数值分别引自 Boynton, 1984 和 Sun et al., 1989)

Fig. 4 REE patterns and trace elements spider diagrams of Monuogechin monzodiorite, Inner Mongolia (after Boynton, 1984; Sun et al., 1989)

长岩的结晶年龄,应属于海西期岩浆活动的产物;第二组的年龄值变化范围为(283.5 ± 5.4) Ma ~ (289.0 ± 6.6) Ma (4个分析点,表1中的BYTG-03-1.1和BYTG-03-9.1-1~BYTG-03-11.1),加权平均值为(286.9 ± 5.8) Ma (MSWD = 0.21),因此认为(287 ± 6) Ma可能代表了晚期的一次热事件。

### 3.2 元素地球化学

由莫若格钦二长闪长岩4件样品主量元素测试结果(表2)可以发现,主量元素变化范围较小,

$\alpha(\text{SiO}_2)$ 在54.61% ~ 66.50%之间;铝含量高, $A/CNK$ 为1.64 ~ 2.75,属于弱过铝质到过铝质岩石,里特曼指数为0.98 ~ 1.18之间;全碱 $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 为3.38% ~ 5.24%, $w(\text{K}_2\text{O}) > w(\text{Na}_2\text{O})$ ,为中低钾钙碱性系列。从表2可以看出,稀土元素总量较高,在(61.32 ~ 77.22) × 10<sup>-6</sup>之间。样品具有中等或轻微的Eu异常, $\delta\text{Eu}$ 值变化范围为0.27 ~ 0.34,轻、重稀土元素分异较明显( $\text{La}/\text{Yb}$ )<sub>N</sub>变化于之间5.44 ~ 7.32,但样品B-3与其他样品相比其重

稀土元素相对富集。样品中微量元素 Nb、Ta、P 明显亏损,除样品 B-2 外,其他 3 件样品的含量变化较小,而样品 B-2 与其他 3 件样品相比,只有 Ba 的正异常表现更为明显。样品的稀土元素配分曲线较为相似,总体呈右倾状态(图 4)。

## 4 讨论和结论

本文通过对莫若格钦二长闪长岩 SHRIMP U-Pb 定年,获得  $(312.6 \pm 4.1)$  Ma 加权平均年龄。结合锆石的矿物学和阴极发光特征,确定该二长闪长岩形成于晚石炭世,属于海西期。与同构造带上的白音宝力道石英闪长岩锆石  $(309 \pm 8)$  Ma(鲍庆中等, 2007a; 2007b), 乌兰敖包二长花岗岩和格勒敖包花岗岩闪长岩全岩 K-Ar 年龄为 315 Ma(洪大卫等, 1994), 白音高勒石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄为  $(313 \pm 5)$  Ma(鲍庆中等, 2007a; 2007b) 等花岗岩年龄范围基本一致,表明区域上存在早石炭世末到晚石炭世的岩浆活动。

受查干敖包-奥尤特-朝不楞洋壳俯冲消减的影响,西伯利亚板块南缘从晚志留世进入岛弧阶段,早泥盆世开始闭合、碰撞,于晚二叠世中期结束了主碰撞造山过程,进入造山后伸展演化阶段,反映在岩浆活动上就是各种类型钙碱性和碱性花岗岩构成一个完整的演化系列,反映了构造环境由挤压向拉张的演变过程,均属古大陆碰撞后的造山后期岩浆活动的产物(聂凤军等, 2007)。

莫若格钦二长闪长岩具有过铝质中钾钙碱性的特征,富集大离子亲石元素,亏损高场强元素。在图 5 (Nb + Y-Rb 图解)上,投影于火山弧花岗岩区,具有洋壳俯冲过程中释放的流体及熔体与地幔楔系统相互作用所形成的火山弧岩浆岩的特点。一般认为过铝质花岗岩是同碰撞早期的地壳缩短(Guillot et al., 1995; Benevi et al., 1996)或后碰撞阶段地壳快速隆升和伸展拆离的背景下因减压增温引起的部分熔融的结果。在岛弧演化晚期由挤压转换为伸展过程中,在不稳定的应力场及构造减压熔融过程中完全可能造成上地幔不同程度的部分熔融,常形成基性至酸性火山岩(Andrew et al., 2005)。成熟岛弧可发生周期性伸展—裂谷作用,在弧间伸展阶段,形成中酸性火山岩喷发或溢流,伸展末期酸性熔结凝灰岩喷发,弧间裂谷阶段,形成大规模岩脉,基性火山岩喷发(Busby, 2004)。结合莫若格钦所处的裂谷

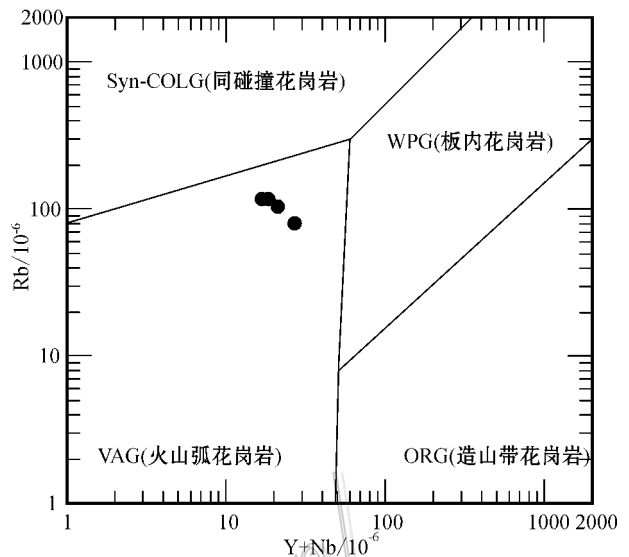


图 5 内蒙古莫若格钦二长闪长岩 Rb/(Y+Nb) 图解  
Fig. 5 Rb/(Y+Nb) diagrams of Monogeochin monzodiorite, Inner Mongolia

地质背景以及过铝质地壳重熔型二长闪长岩的特点,推断莫若格钦二长闪长岩可能是在晚石炭世弧间裂谷伸展作用下,地壳挤压增厚局部熔融而形成,其与古蒙古洋壳与华北板块和西伯利亚板块之间的双向俯冲有关(聂凤军等, 2007)。

## References

- Andrew G., Conly J. M., Brennan H. B. and Scott S. D. 2005. Arc to rift transitional volcanism in the Santa Zosalla region, Baja California Sur, Mexico [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 14(34): 303-341.
- Bao Q. Z., Zhang C. J., Wu Z. L., Wang H., Li W., Sang J. H. and Liu Y. S. 2007a. SHRIMP U-Pb Zircon geochronology of a carboniferous quartz-diorite in Baiyingaole area, Inner Mongolia and its implication [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 37(1): 15-23 (in Chinese with English abstract).
- Bao Q. Z., Zhang C. J., Wu Z. L., Wang H., Li W., Sang J. H. and Liu Y. S. 2007b. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granitoids in a Late Paleozoic rift area, southeastern Inner Mongolia, and its implications [J]. *Geology in China*, 34(5): 790-798 (in Chinese with English abstract).
- Benevi G., Cavazzini G., Fioretti A. M., Peccerillo A. and Zantedeschi P. 1996. The Cima di Vi/a Zinsnock-intrusion eastern Alps: evidences for crustal melting acid-magma mingling and wall-rock fluid effects [J]. *Mineral Petrology*, 56: 125-146.
- Boynnton W. V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies [A]. In: Henderson P., ed. *Rare earth element geochemistry* [C]. Amsterdam: Elsevier. 63-114.

- Busby C. 2004. Continental growth at convergent margins facing large ocean basins : A case study from Mesozoic convergent margin basins of Baja California , Mexico [ J ]. *Tectonophysics* , 392( 4 ): 241-277.
- Chen B , Zhao G C and Simon W. 2001. Subduction- and collision-related granitoids from southern Sonidzuqi , Inner Mongolia : Isotopic ages and tectonic implications [ J ]. *Geological Review* , 47( 4 ): 361-367 ( in Chinese with English abstract ).
- Claoue-Long J C , Compston W and Roberts J. 1995. Two carboniferous ages : A comparison of SHRIMP zircon dating with conventional zircon ages and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  analysis [ A ]. ( 4 ): 3-21.
- Guillot S and Le Fort P. 1995. Geochemical constrains on the bimodal origin of Himalayan leucogranites [ J ]. *Lithos* , 35 : 221-234.
- Hong D W , Huang H Z , Xiao Y J and Xu H M. 1994. The Permian alkaline granites in central Inner Mongolia and their geodynamic significance [ J ]. *Acta Geologica Sinica* , 68( 3 ): 219-230 ( in Chinese with English abstract ).
- Hong D W , Wang S G , Xie X L and Zhang J S. 2000. Genesis of positive  $\epsilon_{\text{Nd}}( t )$  granitoids in the Da Hinggan Mts. Mongolia orogenic belt and growth continental crust [ J ]. *Earth Science Frontiers* , 7( 2 ): 441-456 ( in Chinese with English abstract ).
- Hoskin P W O and Schaltegger U. 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis [ J ]. *Reviews of Mineralogy and Geochemistry* , 53 27-62.
- Ludwig K R. 2001. Squid 1. 02 : A user manual [ A ]. Berkeley geochronological center special publication [ C ]. 2 : 19.
- Ludwig K R. 2003. User 's manual for isoplot 3. 1 , a geochronological tool kit for Microsoft Excel [ M ]. Berkeley : Berkeley Geochronological Center Special Publication. 4 : 25-32.
- Nie F J , Jiang S H , Bai D M , Zhang W Y and Xu D Q. 2007. Metallogenic studies and prospecting orientation in central and eastern segment along China and Mongolia Border [ M ]. Beijing : Geol. Pub. House. 1-574 ( in Chinese ).
- Song B , Zhang S H , Wang Y B and Zhao Y. 2006. Avoidance of systematic bias of SHRIMP zircon U-Pb dating : Necessity of staged calibrations [ J ]. *Rock and Mineral Analysis* , 25( 1 ): 9-14 ( in Chinese with English abstract ).
- Song B , Zhang Y H , Wan Y S and Jian P. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating [ J ]. *Geological Review* , 48 ( Supp. ) : 26-30 ( in Chinese with English abstract ).
- Sun S S and Mcdonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts : Implications for mantle composition and processes [ A ]. In : Sanuder A D , Norry M J , eds. *Magmatism in the Ocean basin* [ C ]. Geological Society Special Publication. 42 : 313-345.
- Williams I S and Claesson S. 1987. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high-grade paragneiss from the Steve Nappes , Scandinavian Caledonides , II . Ionmicroprobe zircon U-Th-Pb [ J ]. *Contrib. Mineral. Petrol.* , 97 : 205-217.
- Yuan H L , Gao S and Liu X M. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry [ J ]. *Chinese Science Bulletin* , 28( 3 ) : 353-370 ( in Chinese ).

### 附中文参考文献

- 鲍庆中,张长捷,吴之理,王宏,李伟,桑家和,刘永生. 2007a. 内蒙古白音高勒地区石炭纪石英闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及其意义 [ J ]. *吉林大学学报(地球科学版)* , 37( 1 ): 15-23.
- 鲍庆中,张长捷,吴之理,王宏,李伟,桑家和,刘永生. 2007b. 内蒙古东南部晚古生代裂谷区花岗质岩石锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义 [ J ]. *中国地质* , 34( 5 ): 790-798.
- 陈斌,赵国春,Simon Wilde. 2001. 内蒙古苏尼特左旗南两类花岗岩同位素年代学及其构造意义 [ J ]. *地质论评* , 47( 4 ): 361-367.
- 洪大卫,黄怀曾,肖宜君,徐海明. 1994. 内蒙古中部二叠纪碱性花岗岩及其地球动力学意义 [ J ]. *地质学报* , 68( 3 ): 219-230.
- 洪大卫,王式,谢锡林,张季生. 1995. 试析地幔来源物质成矿域——以中亚造山带为例 [ J ]. *矿床地质* , 22( 1 ): 41-55.
- 聂凤军,江思宏,白大明,刘妍,张万益,许东青. 2007. 中蒙边境中东段金属矿床成矿规律和找矿方向 [ M ]. 北京:地质出版社. 1-574.
- 宋彪,张玉海,万渝生,简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论 [ J ]. *地质论评* , 48( 增刊 ): 26-30.
- 宋彪,张拴宏,王彦斌,赵越. 2006. 锆石 SHRIMP 年龄测定数据处理是系统偏差的避免标准锆石分段校正的必要性 [ J ]. *岩矿测试* , 25( 1 ): 9-14.
- 袁洪林,高山,柳小明. 2004. 锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素分析 [ J ]. *科学通报* , 28( 3 ): 353-370.