

## 内蒙古狼山中中部糜棱岩化硅质条带状灰岩地球化学特征研究

刘绍昌<sup>1</sup>, 周 洋<sup>1</sup>, 李 昊<sup>2</sup>, 代博洋<sup>1</sup>, 明小娜<sup>1</sup>, 杨建强<sup>1</sup>

1. 云南省地震局, 云南 昆明 650224; 2. 云南黄金矿业集团股份有限公司, 云南 昆明 650224

**摘 要:** 狼山构造带是华北地台北缘巨型造山带的重要组成部分, 韧性剪切带是狼山构造带内的主要构造形式之一, 是地壳深层次构造的反映。对狼山 II 号韧性剪切带西南缘糜棱岩化硅质条带状灰岩进行地球化学特征研究, 以探讨不同变形强度的糜棱岩化硅质条带状灰岩与原岩的成分变异规律。常量元素、微量元素和稀土元素分析结果表明, 与原岩中常量元素和微量元素含量相比较, 变形强度不同的硅质条带状灰岩存在着差异变化。变形岩石中常量元素仅 CaO 为带出组分, 其他均为带入组分; 微量元素中富集 Rr、Sr、Ba、Pb、Ti、Cr、Cu、Nb、Ta、Zr、Hf 元素, Ni 元素相对亏损。变形的硅质条带状灰岩与原岩的稀土元素配分模式图基本一致, 表现为轻稀土元素富集、重稀土元素亏损的右倾斜曲线, 具有明显的负 Eu 异常特征, 表明稀土元素在韧性剪切过程中具有一定的相对稳定性和同源性。

**关键词:** 糜棱岩化; 硅质条带状灰岩; 韧性剪切带; 地球化学; 狼山构造带; 内蒙古

开放科学标志码(OSID):



DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2020.04.003

## GEOCHEMISTRY OF THE MYLONITIZED SILICEOUS BANDED LIMESTONE IN CENTRAL LANGSHAN AREA, INNER MONGOLIA

LIU Shao-chang<sup>1</sup>, ZHOU Yang<sup>1</sup>, LI Hao<sup>2</sup>, DAI Bo-yang<sup>1</sup>, MING Xiao-na<sup>1</sup>, YANG Jian-qiang<sup>1</sup>

1. Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, China; 2. Yunnan Gold Mining Group Co., Ltd., Kunming 650224, China

**Abstract:** The Langshan tectonic belt is an important part of the giant orogenic belt in the north margin of North China Platform, with ductile shear zone as one of the major structural styles, reflecting deep structure of the crust. The geochemical characteristics of the mylonitized siliceous banded limestone in the southwest of Langshan II ductile shear zone are discussed to study the composition changes of the mylonitized rock from protolith in different deformation strength. The analysis results show that, compared with the content of the protolith, there are differences of major and trace elements in the siliceous banded limestone by deformation strength. Among the major elements of deformed rocks, only CaO is the exported component, all the others are imported ones. The trace elements such as Rr, Sr, Ba, Pb, Ti, Cr, Cu, Nb, Ta, Zr and Hf are enriched and Ni relatively deficient. The REE distribution patterns of deformed siliceous banded limestone and protolith are basically consistent, which are characterized by right-dipping curves with enrichment of LREEs and depletion of HREEs, and obvious negative Eu anomaly, indicating the REEs have relative

收稿日期: 2020-01-07; 修回日期: 2020-04-02. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地震局工程力学研究所基本科研业务费专项资助项目“云南保山市地震灾害情景构建及示范”(2017QJGJ05); 云南省地震局科研资助项目“龙陵-瑞丽断裂带北段断层泥石英微形貌特征研究”(2020k01).

作者简介: 刘绍昌(1987—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事构造地质、震害防御研究工作, 通信地址 云南省昆明市盘龙区北辰大道 148 号, E-mail//857347512@qq.com

通信作者: 周洋(1986—), 男, 工程师, 主要从事震害防御、活动构造研究工作, 通信地址 云南省昆明市盘龙区北辰大道 148 号, E-mail//19695535@qq.com

stability and homology during ductile shearing.

**Key words:** mylonitization; siliceous banded limestone; ductile shear zone; geochemistry; Langshan tectonic belt; Inner Mongolia

### 0 前言

狼山构造带位于阿拉善地块和华北克拉通之间(图1),是华北地台北缘巨型造山带的重要组成部分<sup>[1-5]</sup>.狼山构造带在其漫长的地质演化过程中,不仅记录了新元古代—晚古生代华北板块与西伯利亚板块的俯冲—增生—拼合—碰撞造山的演化历史<sup>[6-10]</sup>,而且还记录了新太古代地壳生长与再造、古元古代碰撞造山与中元古代被动大陆边缘裂解等重大构造热事件<sup>[11-14]</sup>.

狼山构造带位于华北克拉通北缘西段,在狼山构造带内有着不同的构造形式,而韧性剪切带是主要的构造形式之一.韧性剪切带作为一种线性流变带,既

是矿物应力转化作用发生的场所(伴随矿物应力转化作用,可以促使物质迁移和重新调整,从而引起成分的变化),也是流体活动的通道<sup>[15]</sup>.通过对狼山中部(Ⅱ号)韧性剪切带西南缘中具有明显塑性流变特征的糜棱岩化硅质条带状灰岩进行地球化学特征研究,以探讨不同变形强度的糜棱岩化硅质条带状灰岩与原岩的成分变异规律,为研究狼山中部(Ⅱ号)韧性剪切带的形成与演化提供可靠的基础资料,并为认识狼山构造带的形成与演化提供依据.

### 1 区域地质背景

狼山构造带出露新太古界乌拉山群和下阿拉善

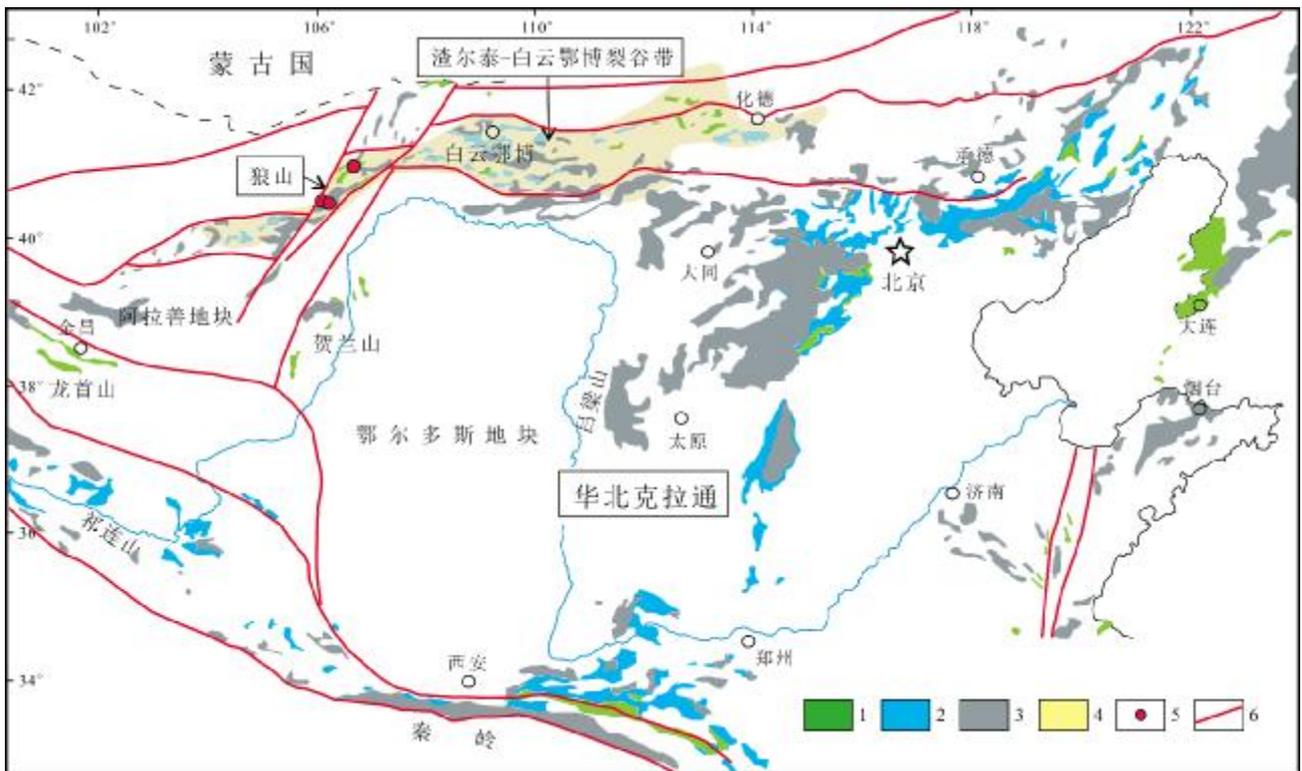


图1 华北准地台西部构造分区略图  
(据文献[12])

Fig. 1 Tectonic division of the western North China Platform  
(From Reference [12])

1—新元古界(Neoproterozoic); 2—中元古界(Mesoproterozoic); 3—太古宙—古元古代基底(Archeozoic-Paleoproterozoic basement); 4—中—新元古代裂谷(Meso-Neoproterozoic rift valley); 5—样品位置(sampling position); 6—主要断裂(major fault)

群,新元古界狼山群,中生代侏罗系,白垩系、新生界第四系沉积(图 2)。其中新太古界乌拉山群、阿拉善群构成了狼山的基底岩系;新元古界狼山群及中生代侏罗系、白垩系,新生界第四系构成了狼山的盖层岩系。阿拉善群主要为黑云角闪斜长片麻岩、石榴石黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩及少量的大理岩夹层,经历了角闪-麻粒岩相变质作用<sup>[16]</sup>;狼山群为一套浅变质的火山-沉积岩组合,火山岩夹层的锆石 U-Pb 年龄为 0.8 Ga 左右<sup>[17-18]</sup>,狼山群中发育了霍各乞、炭窑口、东升庙等铜、铅、锌、金、铁多金属矿床<sup>[19-20]</sup>;侏罗系为一套粉

砂岩、砂岩、砾岩组合,仅在狼山局部发育<sup>[21]</sup>;白垩系为一套紫红色砂砾岩,在狼山西北部大面积展布。该区发生了多期岩浆事件,发育加里东期、海西期、印支期和燕山早期不同类型的花岗岩<sup>[22]</sup>。

根据遥感解译图像、航磁梯变带和重力梯度带资料,狼山山前南北两侧发育两条区域性的岩石圈断裂,山体内部一系列北东向顺造山带展布的韧性剪切变形带以及数条叠瓦式逆冲推覆构造形成了狼山地区的基本构造格架<sup>[16]</sup>。

经实测地质剖面、路线地质调查及遥感地质解译,

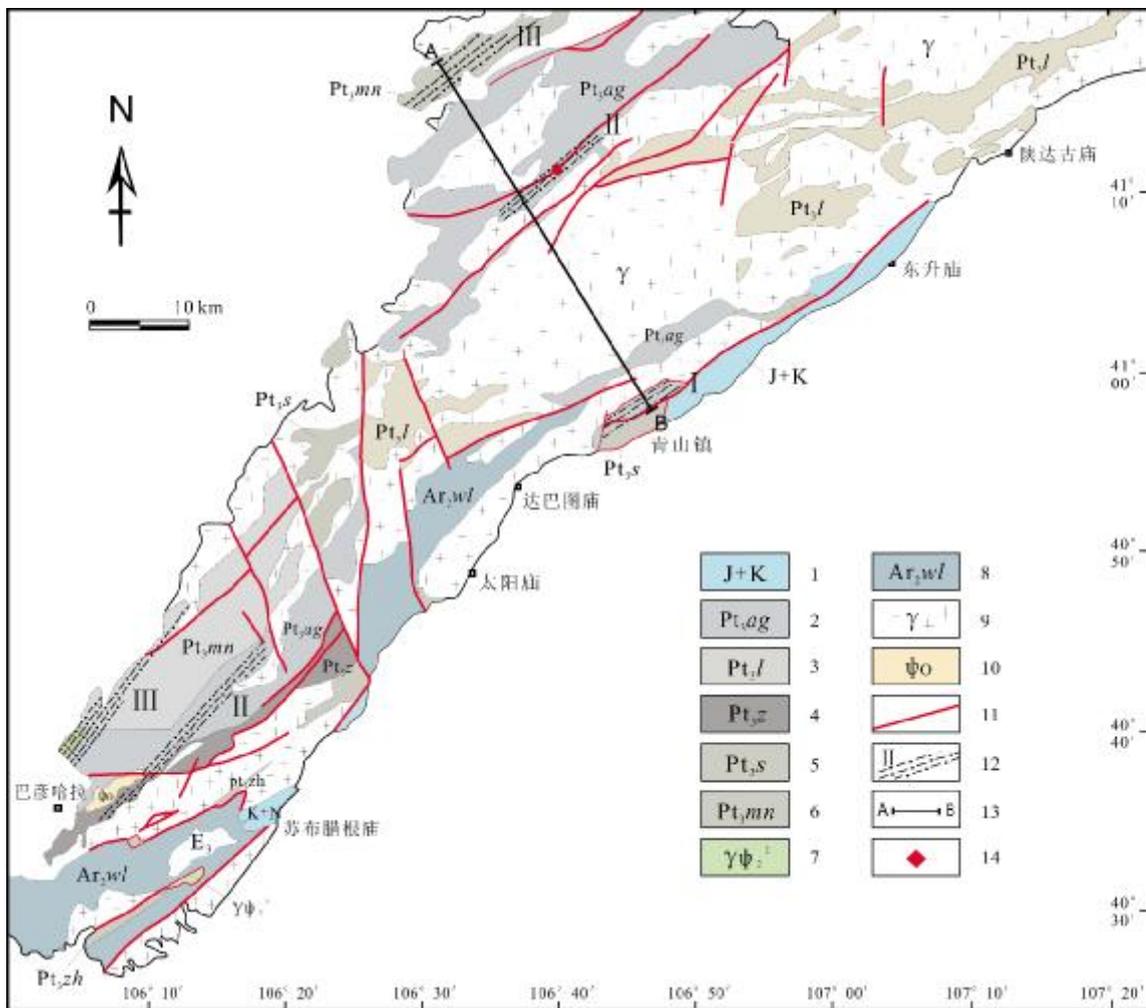


图 2 内蒙古狼山地区地质图

Fig. 2 Geological map of Langshan area, Inner Mongolia

1—中生代沉积岩(Mesozoic sedimentary rock); 2—新元古代狼山群第四岩组(the 4th rock fm. of Langshan gr., Neoproterozoic); 3—狼山群第三岩组(the 3rd rock fm. of Langshan gr.); 4—狼山群第二岩组(the 2nd rock fm. of Langshan gr.); 5—狼山群第一岩组(the 1st rock fm. of Langshan gr.); 6—新元古界马尼图拉群(Neoproterozoic Manitula gr.); 7—新元古代变质流纹岩(Neoproterozoic metarhyolite); 8—太古宇乌拉山群(Archean Wulashan gr.); 9—显生宙侵入岩(Phanerozoic intrusive rock); 10—加里东期角闪岩(Caledonian hornblende); 11—断裂(fault); 12—韧性剪切带及编号(ductile shear zone and number); 13—剖面位置(section position); 14—采样点(sampling site)

狼山构造带内可划分出3条规模较大的韧性剪切带(图2)和数条次级韧性剪切带. 野外观测显示, 狼山3条规模较大的韧性剪切带主要发育在狼山群与围岩接触界线及狼山群不同岩组之间.

## 2 韧性剪切带糜棱岩化硅质条带状灰岩构造特征

狼山中部(Ⅱ号)韧性剪切带沿狼山山脉中央分布于新元古界狼山群的第二、三岩组(深灰色条带状灰岩、碳质板岩、绢云母片岩)中, 在玻璃庙以西、四盘、红山沟、达拉盖中部、东乌盖沟、格花寺等地断续出露, 呈北东向展布, 宽约1~3 km<sup>[16]</sup>(图2). 剪切带中发育有窗棂构造(图3a)、紧闭鞘褶皱(图3b)、“Ω”型褶皱(图3c)、石香肠(图3d)等构造.

糜棱岩化硅质条带状灰岩分布于狼山中部(Ⅱ号)韧性剪切带西南缘, 出露长约数千米, 宽约100 m(图4a), 其中发育有不对称揉皱(图4b)和不对称石香肠构造(图4c). 硅质条带状灰岩定向薄片显微构造发育

核幔构造(图4d), 核部由方解石构成, 云母和长石等矿物围绕核部定向排列形成不对称幔部. 上述宏观构造和显微构造均显示Ⅱ号韧性剪切带为左行剪切构造.

## 3 糜棱岩化硅质条带状灰岩地球化学

按糜棱岩化强弱, 将糜棱岩化硅质条带状灰岩划分为初糜棱岩、糜棱岩及超糜棱岩. 采样剖面垂直剪切带走向, 沿剖面分别采集未变形的围岩、初糜棱岩、糜棱岩及超糜棱岩4件岩石地球化学样品(图5). 样品由北京核工业地质研究院测试, 测试结果见表1~3.

根据叠加强度系数 $K$ ( $K$ =构造岩中元素的丰度/围岩(原岩)元素丰度)的大小, 来确定元素在韧性剪切带构造岩中的聚散性<sup>[23]</sup>.  $K>1$ 为富集(带内)元素,  $K<1$ 为分散(带外)元素,  $K=1$ 时为不变元素<sup>[23]</sup>.

样品常量元素化学分析及相关的成分变异计算见表1. 从测试结果及叠加强度系数和常量元素变化曲

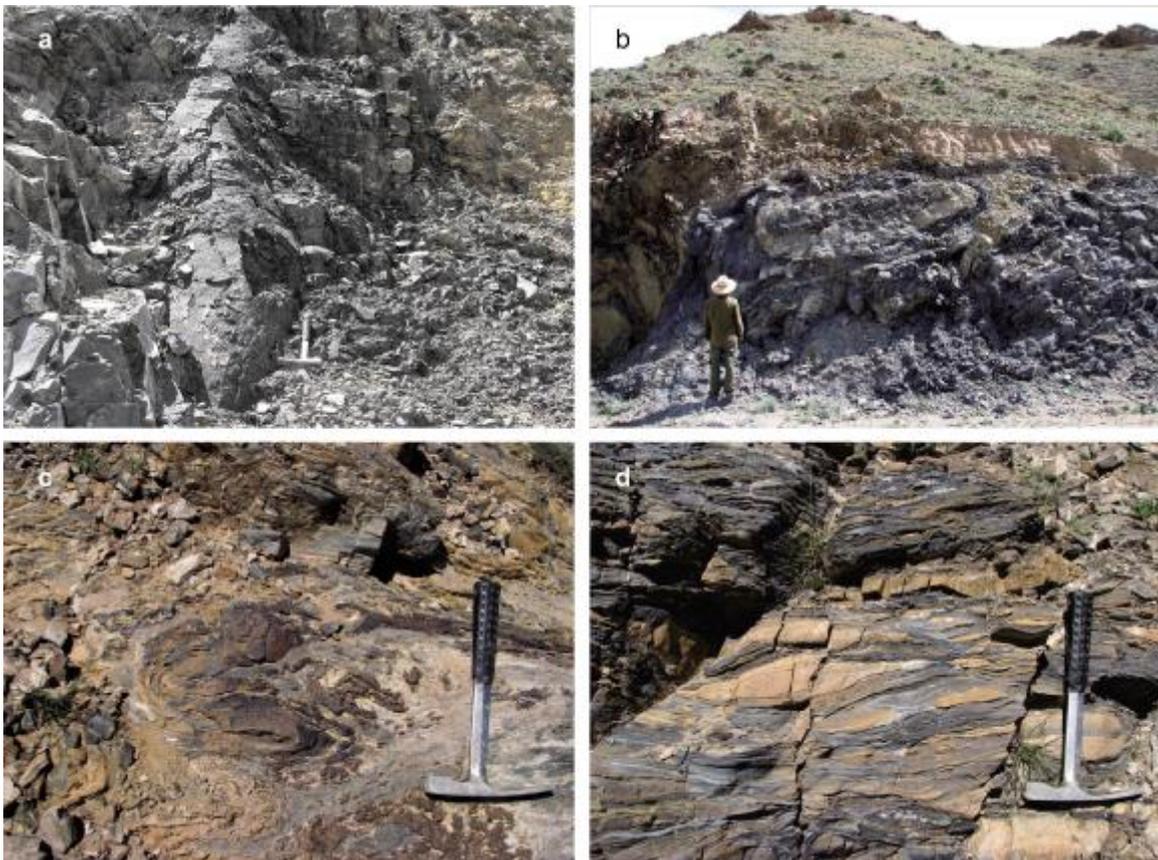


图3 狼山中部韧性剪切带的宏观构造

Fig. 3 Macroscopic structures of the central Langshan ductile shear zone

a—窗棂构造(mullion structure); b—紧闭鞘褶皱(tight sheath fold); c—“Ω”型鞘褶皱(Ω-shaped sheath fold); d—石香肠构造(boudinage)



图 4 狼山中中部韧性剪切带硅质条带状灰岩及构造特征

Fig. 4 Siliceous banded limestone and structural characteristics in central Langshan ductile shear zone

a—条带状硅质灰岩 (banded siliceous limestone); b—条带状硅质灰岩中发育的不对称揉皱 (asymmetric corrugation developed in banded siliceous limestone); c—条带状硅质灰岩中发育的不对称香肠构造 (asymmetric boudinage in banded siliceous limestone); d—正交偏光下条带状硅质灰岩的核幔构造 (core-mantle structure of banded siliceous limestone by polarizing microscope)

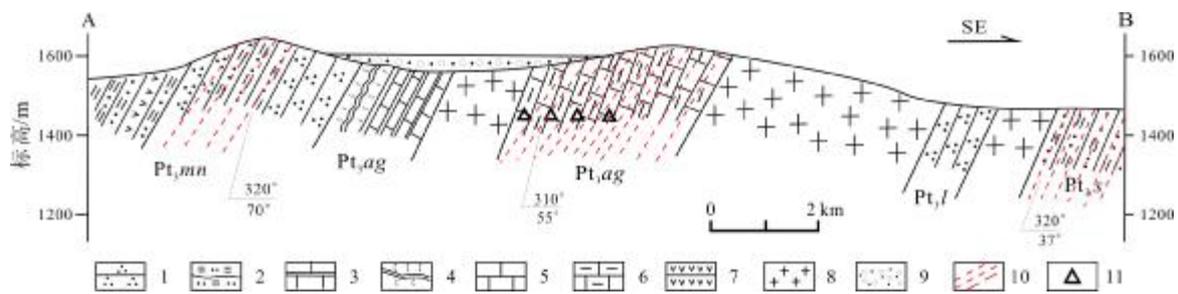


图 5 狼山中中部韧性剪切带野外采样位置剖面图

Fig. 5 Profile of field sampling position in the central Langshan ductile shear zone

1—石英岩 (quartzite); 2—云母片岩 (mica schist); 3—大理岩 (marble); 4—碳质板岩 (carbonaceous slate); 5—灰岩 (limestone); 6—条带状灰岩 (banded limestone); 7—火山岩 (volcanic rock); 8—花岗岩 (granite); 9—砾岩 (conglomerate); 10—剪切带 (shear zone); 11—采样点 (sampling site)

线图(图 6)可以看出,常量元素中仅 CaO 为带出组分,其他常量元素均为带入组分. CaO 在未变形的原岩中含量最高,随着变形程度的增强而减少; SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O、MnO、TiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、FeO 等成分在未变形的原岩中含量最低,随着变形程度的增强而增高,在糜棱岩与超糜棱岩中的含量最高.

表 1 硅质条带状灰岩样品常量元素分析结果表  
**Table 1 Major element contents in siliceous banded limestone samples**

| 岩石                             | 未变形条带状灰岩 |   | 初糜棱岩   |      | 糜棱岩    |      | 超糜棱岩   |       |
|--------------------------------|----------|---|--------|------|--------|------|--------|-------|
|                                | 含量/%     | K | 含量/%   | K    | 含量/%   | K    | 含量/%   | K     |
| SiO <sub>2</sub>               | 7.55     | 1 | 11.84  | 1.56 | 15.49  | 2.05 | 44.74  | 5.92  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.571    | 1 | 2.44   | 4.27 | 3.43   | 6    | 3.26   | 5.71  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.347    | 1 | 1.49   | 4.29 | 2.82   | 8.12 | 2.92   | 8.41  |
| MgO                            | 1.07     | 1 | 3.93   | 3.67 | 1.35   | 1.26 | 2.34   | 2.19  |
| CaO                            | 51.14    | 1 | 43.68  | 0.85 | 42.66  | 0.83 | 26.02  | 0.51  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.028    | 1 | 0.113  | 4.03 | 0.16   | 5.71 | 0.185  | 6.6   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.055    | 1 | 0.757  | 1.5  | 1.24   | 22.5 | 1.05   | 19.01 |
| MnO                            | 0.02     | 1 | 0.051  | 2.5  | 0.059  | 2.95 | 0.338  | 16.9  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.051    | 1 | 0.179  | 3.5  | 0.374  | 7.3  | 0.247  | 4.84  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.048    | 1 | 0.051  | 1.06 | 0.086  | 1.79 | 0.095  | 1.98  |
| FeO                            | 0.28     | 1 | 1.3    | 4.64 | 2.52   | 9    | 2.38   | 8.5   |
| 烧失量                            | 38.03    | 1 | 34.14  |      | 29.07  |      | 16.4   |       |
| 总量                             | 99.19    | 1 | 99.971 |      | 99.259 |      | 99.975 |       |

测试单位:北京核工业地质研究院,2015.

对狼山中部(Ⅱ号)韧性剪切带中不同变形程度糜棱岩化硅质条带状灰岩与未经剪变形的围岩进行了包括大离子亲石元素(Rr、Sr、Ba、Pb)、过渡族元素(Ti、Cr、Ni、Cu)和非活动性元素(Nb、Ta、Zr、Hf)在内的微量元素分析.从分析测试结果(表2)、强度系数K和微量元素变化曲线图(图7)可以看出,大离子亲石元素Rr、Sr、Ba、Pb的强度系数变化范围较大,均为富集元素,带入元素含量往往随着变形程度的增强而增高;过渡族元素Ti、Cr、Cu为富集元素,含量呈递增趋势,Ni为亏损元素,随变形程度的增强而减少;非活动性元素Nb、Ta、Zr、Hf均为富集元素,且强度系数变化不明显.

对狼山中部韧性剪切带中不同变形程度糜棱岩化硅质条带状灰岩与未经剪变形的围岩进行了稀土元素分析.从分析结果(表3)可看出,稀土元素总量ΣREE为21.96×10<sup>-6</sup>~74.69×10<sup>-6</sup>,LREE为18.71×10<sup>-6</sup>~62.12×10<sup>-6</sup>,HREE为3.25×10<sup>-6</sup>~12.57×10<sup>-6</sup>,LREE/HREE=4.92~8.07,(La/Yb)<sub>N</sub>=4.84~11.85,具有明显的轻稀土元

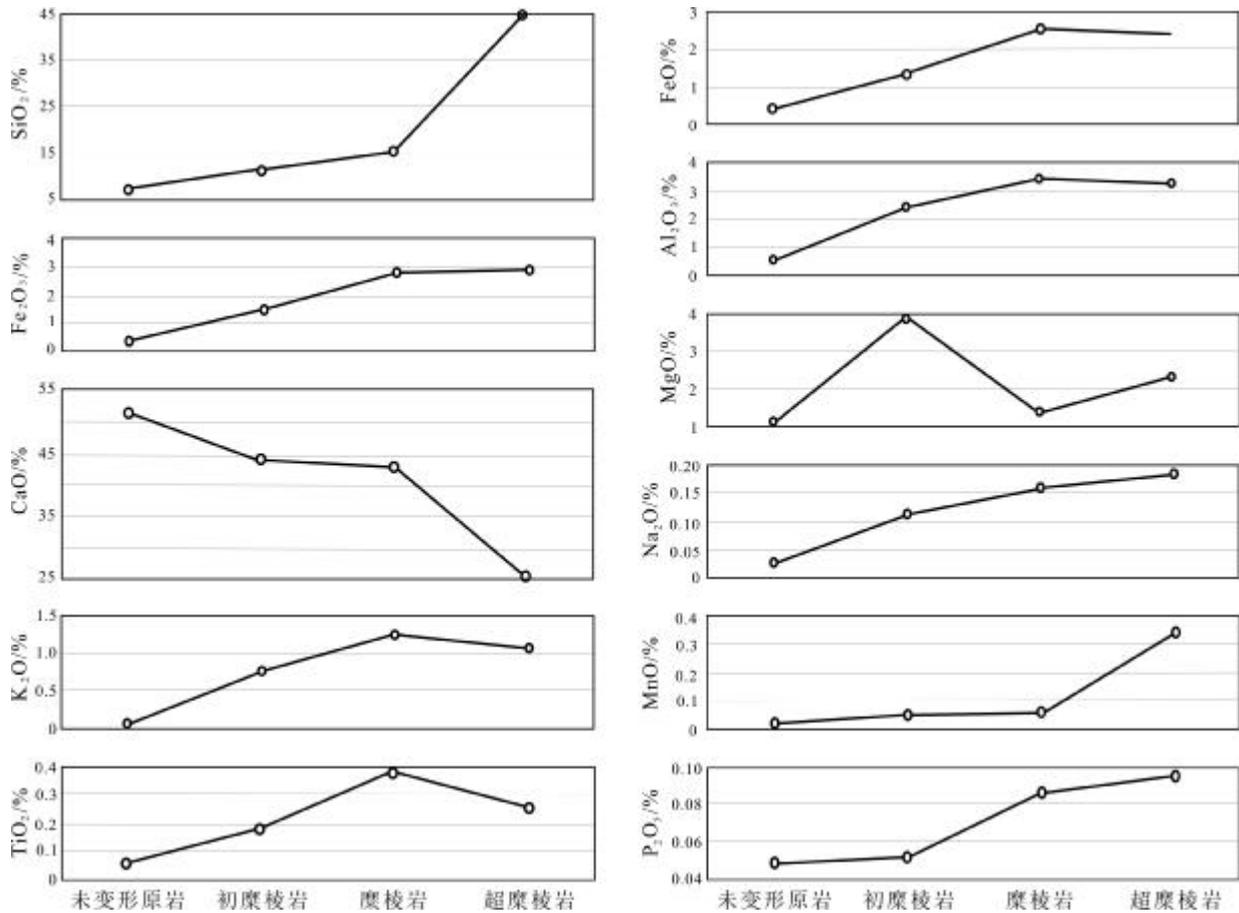


图 6 狼山中部韧性剪切带各岩石类型中常量元素变化曲线图

Fig. 6 Variation curves for major element contents by rock types in the central Langshan ductile shear zone

表 2 硅质条带状灰岩样品微量元素分析结果表  
Table 2 Trace element contents in siliceous banded limestone samples

| 岩石 | 未变形条带状灰岩      |   | 初糜棱岩          |        | 糜棱岩           |       | 超糜棱岩          |       |
|----|---------------|---|---------------|--------|---------------|-------|---------------|-------|
|    | 含量/ $10^{-6}$ | K | 含量/ $10^{-6}$ | K      | 含量/ $10^{-6}$ | K     | 含量/ $10^{-6}$ | K     |
| Rb | 0.208         | 1 | 32            | 153.0  | 34.2          | 164.4 | 37.8          | 181.7 |
| Sr | 0.612         | 1 | 657           | 1073.5 | 414           | 676.5 | 263           | 429.7 |
| Ba | 4.81          | 1 | 404           | 84.0   | 267           | 55.6  | 251           | 52.2  |
| Pb | 2.09          | 1 | 4.39          | 2.1    | 15.2          | 7.3   | 8.83          | 4.2   |
| Ti | 0.004         | 1 | 0.16          | 40     | 0.159         | 39.75 | 0.214         | 53.5  |
| Cr | 5.67          | 1 | 11.1          | 1.96   | 13.6          | 2.4   | 15.6          | 2.75  |
| Ni | 24            | 1 | 21.6          | 0.9    | 19.1          | 0.79  | 23.1          | 0.96  |
| Cu | 2             | 1 | 3.66          | 1.83   | 9.41          | 4.705 | 14.7          | 7.35  |
| Nb | 0.785         | 1 | 5.3           | 6.75   | 5.8           | 7.39  | 16.5          | 21.02 |
| Ta | 0.048         | 1 | 0.403         | 8.4    | 0.941         | 19.6  | 0.31          | 6.46  |
| Zr | 20.3          | 1 | 38.6          | 1.9    | 40            | 1.97  | 80.2          | 3.95  |
| Hf | 0.547         | 1 | 1.1           | 2.01   | 1.4           | 2.56  | 1.93          | 3.53  |

测试单位:北京核工业地质研究院,2015.

素富集、重稀土元素亏损的特征。δEu=0.44~0.84,球粒陨石标准化模式显示明显的负 Eu 异常特征(图 8)。各稀土元素含量随剪切变形的增强而增高,在糜棱岩与超糜棱岩中表现为强富集。从稀土元素分布模式图(图 8)可看出:硅质条带状灰岩内未经剪切变形的围岩(原岩)与不同变形程度糜棱岩化硅质条带状灰岩的稀土元素分配曲线均为右倾斜,且分配曲线的起伏程度、斜率、轻稀土与重稀土的亏损或富集程度基本一致,表明稀土元素在剪切过程中具有一定的相对稳定性,并且也具有一定的同源性。

#### 4 讨论及结论

1)狼山中中部(II号)韧性剪切带中糜棱岩化硅质条带状灰岩从未变形原岩—初糜棱岩—糜棱岩—超糜棱岩,岩石中常量元素组分 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O、MnO、TiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、FeO 均为富集(带入)成分,随着

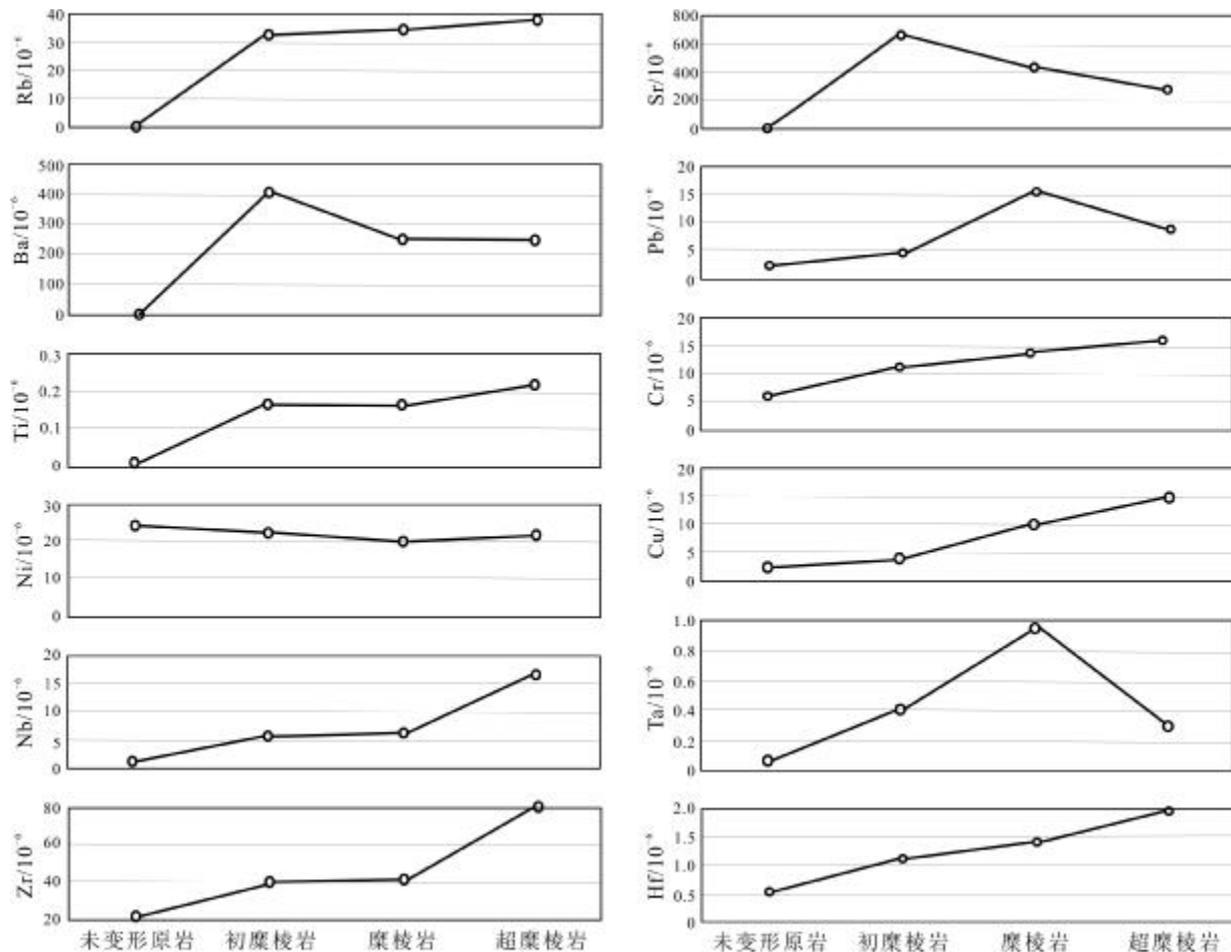


图 7 狼山中中部韧性剪切带各岩石类型中微量元素变化曲线图

Fig. 7 Variation curves for trace element contents by rock types in the central Langshan ductile shear zone

表3 硅质条带状灰岩样品稀土元素分析结果表

Table 3 REE contents in siliceous banded limestone samples

| 岩石                   | 未变形条带状灰岩      |   | 初糜棱岩          |      | 糜棱岩           |      | 超糜棱岩          |      |
|----------------------|---------------|---|---------------|------|---------------|------|---------------|------|
|                      | 含量/ $10^{-6}$ | K | 含量/ $10^{-6}$ | K    | 含量/ $10^{-6}$ | K    | 含量/ $10^{-6}$ | K    |
| La                   | 5.05          | 1 | 14.2          | 2.81 | 15.6          | 3.08 | 13.5          | 2.67 |
| Ce                   | 7.4           | 1 | 24.2          | 3.27 | 32.7          | 4.42 | 26.5          | 3.58 |
| Pr                   | 1.06          | 1 | 2.96          | 2.79 | 4.13          | 3.89 | 3.42          | 3.20 |
| Nd                   | 4.26          | 1 | 11.7          | 2.75 | 17.7          | 4.15 | 14.7          | 3.45 |
| Sm                   | 0.819         | 1 | 2.19          | 2.67 | 4.29          | 5.24 | 3.34          | 4.07 |
| Eu                   | 0.125         | 1 | 0.478         | 3.82 | 1.17          | 9.36 | 0.659         | 5.27 |
| Gd                   | 0.931         | 1 | 2.22          | 2.38 | 4.2           | 4.51 | 3.55          | 3.81 |
| Tb                   | 0.13          | 1 | 0.363         | 2.79 | 0.802         | 6.17 | 0.648         | 4.98 |
| Dy                   | 0.853         | 1 | 1.73          | 2.03 | 3.77          | 4.42 | 3.49          | 4.09 |
| Ho                   | 0.158         | 1 | 0.377         | 2.37 | 0.665         | 4.21 | 0.68          | 4.03 |
| Er                   | 0.512         | 1 | 1.01          | 1.97 | 1.75          | 3.42 | 1.78          | 3.48 |
| Tm                   | 0.08          | 1 | 0.156         | 1.95 | 0.241         | 3.01 | 0.288         | 3.6  |
| Yb                   | 0.527         | 1 | 0.935         | 1.77 | 1.48          | 2.81 | 1.88          | 3.57 |
| Lu                   | 0.057         | 1 | 0.114         | 2.00 | 0.181         | 3.16 | 0.257         | 4.51 |
| Y                    | 6.15          | 1 | 11.4          | 1.85 | 19.7          | 3.20 | 19.8          | 3.22 |
| $\Sigma$ REE         | 21.962        | 1 | 62.63         | 2.85 | 88.68         | 4.03 | 74.69         | 3.40 |
| LREE                 | 18.714        | 1 | 55.73         | 2.98 | 75.59         | 4.04 | 62.12         | 3.32 |
| HREE                 | 3.248         | 1 | 6.90          | 2.12 | 13.09         | 4.03 | 12.57         | 3.87 |
| LREE/HREE            | 5.762         | 1 | 8.07          |      | 5.78          |      | 4.94          |      |
| (La/Yb) <sub>N</sub> | 6.48          | 1 | 10.26         |      | 7.12          |      | 4.85          |      |
| $\delta$ Eu          | 0.44          | 1 | 0.66          |      | 0.84          |      | 0.58          |      |
| $\delta$ Ce          | 0.75          | 1 | 0.87          |      | 0.95          |      | 0.914         |      |

测试单位:北京核工业地质研究院,2015.

变形程度的增强而增高,仅CaO为分散(带出)成分,随着变形程度的增强而减少.

2)微量元素大离子亲石元素Rr、Sr、Ba、Pb的强度系数K变化范围较大,均为富集元素,随着变形程度的增强而带入;过渡族元素Ti、Cr、Cu为富集元素,含量呈递增趋势,Ni为亏损元素,随变形程度的增强而减少;非活动性元素Nb、Ta、Zr、Hf均为富集元素,且强度系数变化不明显.

3)稀土元素及稀土元素总量随韧性剪切变形的增强而增高,在糜棱岩与超糜棱岩中表现为强富集,且不同变形程度糜棱岩与原岩的稀土元素配分模式基本一致,表明稀土元素在韧性剪切过程中具有一定的相对

稳定性和同源性.

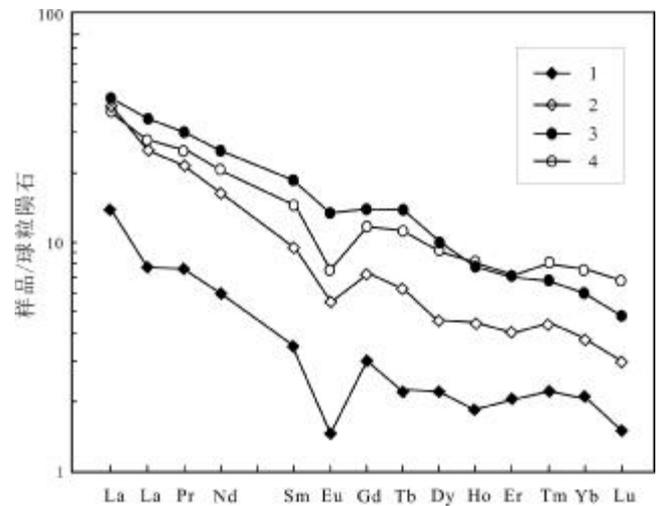


图8 狼山中中部韧性剪切带糜棱岩化硅质条带状灰岩与原岩的稀土元素配分模式图

Fig. 8 Chondrite-normalized REE patterns of mylonitized siliceous banded limestone and protolith in the central Langshan ductile shear zone

1—未变形原岩(undeformed protolith); 2—初糜棱岩(protomylonite); 3—糜棱岩(mylonite); 4—超糜棱岩(ultramylonite)

#### 参考文献:

- [1]内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [2]任纪舜,姜春发,张正坤,等. 中国大地构造及其演化[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [3]李春昱,王荃,刘雪亚,等. 亚洲大地构造图(1:800万)及其说明书[M]. 北京:地图出版社,1982.
- [4]田健,滕学建,刘洋,等. 内蒙古狼山地区早二叠世花岗岩的年龄学、地球化学特征及其构造背景[J]. 中国地质,2020,47(3):767-781.
- [5]赵衡,张进,李岩峰,等. 内蒙古狼山地区新生代断层活动特征:对正断层生长的限定[J]. 中国地质,2019,46(6):1433-1453.
- [6]彭润民,翟裕生,王建平,等. 内蒙狼山新元古代酸性火山岩的发现及其地质意义[J]. 科学通报,2010,55(26):2611-2620.
- [7]胡晓,许传诗,牛树银. 华北地台北缘早古生代大陆边缘演化[M]. 北京:北京大学出版社,1990.
- [8]Chen Y P, Wei C J, Zhang J R, et al. Metamorphism and zircon U-Pb dating of garnet amphibolite in the Baoyintu Group, Inner Mongolia [J]. Science Bulletin, 2015,60(19):1698-1707.
- [9]Wang Z Z, Han B F, Feng L X, et al. Geochronology, geochemistry and origins of the Paleozoic-Triassic plutons in the Langshan area, western Inner Mongolia, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015,97:337-351.

(下转第318页/Continued on Page 318)

于  $165.71 \pm 0.83$  Ma, 属中侏罗世。

2) 地球化学分析显示, 流纹岩为地壳物质经部分熔融作用而成, 属非造山 A 型流纹岩。

3) 流纹岩构造环境研究表明, 大兴安岭火山岩带于中侏罗世处于张性构造环境。

4) 区域上新民组在大兴安岭火山喷发带呈 NE 向发育, 强烈的火山喷发和一系列小型断陷盆地的发育, 形成了这一时期盆岭构造格局。

### 参考文献:

- [1] 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 中国大地构造及其演化——1:400 万中国大地构造图简要说明[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 1-124.
- [2] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 10-11.
- [3] 黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 142-149.
- [4] 刘凯, 吴涛涛, 刘金龙, 等. 大兴安岭北段图里河地区满克头鄂博组火山岩年代学及地球化学[J]. 中国地质, 2018, 45(2): 367-376.
- [5] 杨海星, 高利东, 高玉石, 等. 内蒙古霍林河地区晚石炭世本巴图组火山岩年代学、地球化学特征及构造背景[J]. 中国地质, 2020, 47(4): 1173-1185.
- [6] 秦涛, 崔天日, 李林川, 等. 大兴安岭北段扎兰屯地区林西组碎屑锆石 U-Pb 年代学特征及其地质意义[J]. 地质与资源, 2018, 27(4): 337-348, 359.
- [7] 陈会军, 崔天日, 钱程, 等. 大兴安岭北段巴升河岩体锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 地质与资源, 2019, 28(5): 405-412.
- [8] 周其林, 王献忠, 吉峰, 等. 大兴安岭中生代火山岩地层对比[J]. 地质论评, 2013, 59(6): 1077-1084.
- [9] 丁秋红, 王杰, 李晓海, 等. 大兴安岭东南部中侏罗统新民组研究新进展[J]. 地质与资源, 2017, 26(5): 425-438.
- [10] 周国武, 林敏, 丘国春, 等. 内蒙古科右中旗扎木钦地区新民组地层的厘定及其地质意义[J]. 地质通报, 2018, 37(9): 1579-1587.
- [11] 耿建珍, 李怀坤, 张健, 等. 锆石 Hf 同位素组成的 LA-MC-IP-MS 测定[J]. 地质通报, 2011, 30(10): 1508-1513.
- [12] Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. Reappraisal and Refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535-1546.
- [13] Ludwig K R. User's manual for isoplot (ver.3.0): A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, 2003: 1-55.
- [14] 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.
- [15] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1987, 95(4): 407-419.
- [16] 李杰, 吕新彪, 陈超, 等. 大兴安岭中段塔尔气地区流纹岩年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质通报, 2016, 35(6): 906-918.
- [17] 苟军, 孙德有, 赵忠华, 等. 满洲里南部白音高老组流纹岩锆石 U-Pb 定年及岩石成因[J]. 岩石学报, 2010, 26(1): 333-344.
- [18] 葛文春, 林强, 孙德有, 等. 大兴安岭中生代两类流纹岩成因的地球化学研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(2): 172-178.
- [19] 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.
- [10] 王楫, 李双庆, 王保良, 等. 狼山-白云鄂博裂谷系[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992: 1-136.
- [11] Zhai M G, Santosh M. The early Precambrian odyssey of the North China Craton: A synoptic overview[J]. Gondwana Research, 2011, 20(1): 6-25.
- [12] Zhao G C, Cawood P A, Li S Z, et al. Amalgamation of the North China Craton: Key issues and discussion[J]. Precambrian Research, 2012, 222-223: 55-76.
- [13] Wang Z Z, Han B F, Feng L X, et al. Tectonic attribution of the Langshan area in western Inner Mongolia and implications for the Neoproterozoic-Paleoproterozoic evolution of the western North China Craton: evidence from LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Langshan basement[J]. Lithos, 2016, 261: 278-295.
- [14] 初航, 王惠初, 魏春景, 等. 内蒙古狼山巴音前达门地区黑云斜长片麻岩年代学研究及板块归属[J]. 地质学报, 2018, 92(12): 2410-2419.
- [15] 周建波, 胡克, 孙加鹏, 等. 韧性剪切带的地球化学变异研究——以胶南造山带北缘剪切带为例[J]. 地质地球化学, 1994(4): 27-32.
- [16] 杨福新. 内蒙狼山地区糜棱岩岩石特征及构造意义[J]. 西北地质, 1998, 19(1): 1-8.
- [17] 彭润民, 翟裕生, 韩雪峰, 等. 内蒙古狼山造山带构造演化与成矿响应[J]. 岩石学报, 2007, 23(3): 679-688.
- [18] Hu J M, Gong W B, Wu S J, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Langshan Group in the northeast margin of the Alxa block, with tectonic implications[J]. Precambrian Research, 255: 756-770.
- [19] 彭润民. 内蒙东升庙矿区狼山群中石英角斑岩的发现及意义[J]. 矿床地质, 1993, 12(3): 273-283, 286.
- [20] Peng R M, Zhai Y S, Wang Z G, et al. Discovery of double-peaking potassic volcanic rocks in Langshan Group of the Tanyaokou hydrothermal-sedimentary deposit, Inner Mongolia, and its indicating significance[J]. Science China Series D: Earth Sciences, 2005, 48(6): 822-833.
- [21] Darby B J, Ritts B D. Mesozoic structural architecture of the Lang Shan, North-Central China: Intraplate contraction, extension, and synorogenic sedimentation[J]. Journal of Structural Geology, 2007, 29(12): 2006-2016.
- [22] Dan W, Li X H, Wang Q, et al. An Early Permian (ca. 280 Ma) silicic igneous province in the Alxa Block, NW China: A magmatic flare-up triggered by a mantle-plume? [J]. Lithos, 2014, 204: 144-158.
- [23] 刘耀荣. 湘中雪峰坡脆韧性剪切构造岩地球化学特征[J]. 中国区域地质, 1997, 16(1): 3-8.

(上接第 326 页 /Continued from Page 326)