

https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.243



# 内蒙古狼山西北缘乌兰敖包地区“阿木山组” 沉积时限、物源特征及其地质意义

郭 硕,滕学建,刘 洋,滕 飞,何 鹏,田 健,王文龙,段霄龙

中国地质调查局天津地质调查中心,天津 300170

**摘要:** 沉积盆地的研究对于理解造山带的构造演化具有重要意义。内蒙古狼山地区位于中亚造山带中段,构造演化历史复杂,晚古生代沉积盆地的大地构造背景存在争议。在对狼山西北缘乌兰敖包地区出露的“阿木山组”岩性特征、沉积构造及沉积环境的系统研究基础上,将该组分为3个岩性段。一段主要为粗碎屑岩,交错层理发育,沉积环境为辫状河三角洲;二段底部主要为粗碎屑岩,向上沉积物粒度变细,顶部出现生物碎屑灰岩,在岩屑石英砂岩中新发现芦木 *Calamites* sp.,座延羊齿 *Alethopteris* sp.,带科达 *Cordaites principalis* Gein 等植物化石,沉积环境由辫状河三角洲向滨海环境过渡;三段主要岩性为结晶灰岩,含生物碎屑,沉积环境为滨—浅海环境。“阿木山组”一、二段砂岩碎屑锆石年龄可分为 $\sim 2.5$  Ga、 $\sim 1.8\sim 1.2$  Ga、 $\sim 826$  Ma、 $461\sim 440$  Ma 和  $313\sim 273$  Ma 五个时间段,其中最年轻年龄为 273 Ma,结合植物化石鉴定结果以及上覆火山岩地层年代,确定“阿木山组”沉积时代为 265 $\sim$ 273 Ma。研究区内同时代的岩浆岩指示该区在早中二叠世处于古亚洲洋向华北板块俯冲的岩浆弧环境,结合“阿木山组”的沉积特征、沉积时代及所处构造位置,对其地层划分与对比方案提出建议。

**关键词:** 狼山西北缘;阿木山组;碎屑锆石;U-Pb 年龄;地层区划;年代学。

**中图分类号:** P56; P597

**文章编号:** 1000-2383(2019)01-0193-13

**收稿日期:** 2018-04-29

## The Age and Potential Provenance Information of Amushan Formation in Wulanaobao Area, Northwestern of Langshan, Inner Mongolia and Its Geological Significance

Guo Shuo, Teng Xuejian, Liu Yang, Teng Fei, He Peng, Tian Jian, Wang Wenlong, Duan Xiaolong

Tianjin Center of China Geological Survey, Tianjin 300170, China

**Abstract:** The study of sedimentary basins is important for understanding the tectonic evolution of orogenic belts. The Langshan region of Inner Mongolia is located in the middle central Asian orogenic belt and has a complicated structural evolutionary history. The tectonic setting of Late Paleozoic sedimentary basin is still in controversy. Based on the study of the lithology, sedimentary structure and sedimentary environment of Amushan Formation in Wulanaobao area in the northwestern of Langshan, we divide the Formation into three members. The first member is mainly composed of coarse clastic rocks with cross-bedding developed, and the sedimentary environment is braided river delta. The bottom of the second member is mainly composed of coarse clastic rocks with increasingly finer grain-size in the upper sediments and the bioclastic limestone at the top of second member, and the depositional environment is from braided river delta to littoral circumstances. At the same time, we firstly discovered plant fossils such as *Calamites* sp., *Alethopteris* sp., *Cordaites principalis* Gein from the lithic quartz sandstone of the second member. The third member consists of crystalline limestone and bioclastic limestone, and the sedimentary facies type is littoral-neritic facies. The detrital zircon ages of sandstone from the first and second members of Amushan Formation are divided into five groups of about  $\sim 2.5$  Ga,  $\sim 1.8\sim 1.2$  Ga,  $\sim 826$  Ma,  $461\sim 440$  Ma and  $313\sim 273$  Ma, respectively. The youngest age of Amushan Formation is 273 Ma. Combining the results of plant fossils and the age of overlying volcanic

**基金项目:** 中国地质调查局地质调查项目 (Nos.121201006000160902, 12120113056300)。

**作者简介:** 郭硕 (1989—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事区域地质及岩石地球化学研究。ORCID: 0000-0003-3752-0205. E-mail: shuoguo89@sina.com

**引用格式:** 郭硕,滕学建,刘洋,等,2019.内蒙古狼山西北缘乌兰敖包地区“阿木山组”沉积时限、物源特征及其地质意义.地球科学,44(1): 193–205.

rocks, the age of “Amushan Formation” is limited between 265 Ma and 273 Ma. The contemporaneous magmatic rocks in the study area were formed in the continental marginal arc. With the research of sedimentary characteristics, sedimentary age and tectonic position of Amushan Formation, we propose the method of stratigraphical divisions and correlation.

**Key words:** northwestern of Langshan; Amushan Formation; detrital zircon; U-Pb age; stratigraphic regionalization; geochronology.

狼山地区地处内蒙古西部,构造位置处于中亚造山带中段南缘,华北板块西北缘,其形成与古亚洲洋及周围板块演化关系密切.关于中亚造山带的构造发展历史研究成果丰硕,在中亚造山带东段,关于古亚洲洋最终闭合时代及缝合带的位置,虽有不同观点(Cao *et al.*, 2013; 邵济安等, 2015),但是越来越多的证据表明,古亚洲洋持续向华北板块俯冲到早中二叠世(张拴宏等, 2010),到二叠纪末—三叠纪初最终闭合,西拉木伦为古亚洲洋最终的缝合带(Jian *et al.*, 2008; Xiao *et al.*, 2009; Wilde, 2015; Liu *et al.*, 2017).在中亚造山带中段阿拉善地区,恩格尔乌苏蛇绿岩被认为是古亚洲洋最终的缝合带(Zheng *et al.*, 2014),在该带以南,广泛分布有早石炭世晚期—中二叠世的岩浆活动,岩石组合主要为闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩及花岗岩.这套岩石的形成与古亚洲洋向华北板块的俯冲作用有关,并构成了安第斯型大陆边缘弧(Feng *et al.*, 2013).

“阿木山组”分布十分广泛,东起科尔沁旗南部,西至阿拉善中部恩格尔乌苏以南.东部索伦—西乌旗蛇绿混杂岩带以南的“阿木山组”为稳定浅海相碳酸盐台地环境,并富含大量的海相生物化石,沉积盆地类型属于周缘前陆盆地(方曙等, 2013).而西部阿拉善地区的“阿木山组”从沉积环境到岩石类型及化石组成与东部有较大差异.西部地区的“阿木山组”底部普遍发育火山岩或火山碎屑岩、辫状河三角洲或扇三角洲相的砂砾岩,向上发育碳酸盐岩,碳酸盐岩内普遍含有海百合、珊瑚、腕足等浅海生物(赵省民等, 2011; 韩伟等, 2012),在克克呼都格—尚丹地区可见陆相植物和海相动物化石共生的现象(张玉清和张婷, 2016).“阿木山组”内部的火山岩夹层地球化学特征显示,其形成于伸展体制下的裂谷环境中(尹海权, 2016).但是对西部地区“阿木山组”的地层时代、物源区特征以及沉积盆地基底性质缺乏相关研究.本文选择内蒙古狼山西北缘乌兰敖包地区“阿木山组”为研究对象,通过野外调查及碎屑锆石年龄特征研究并结合前人科研成果,来分析其形成时代、沉积环境、物源特征及沉积盆地构造背景,为中亚造山带和古亚洲洋古生代沉积—构造演化过程的研究提供资料和证据.

## 1 研究区地质概况

研究区位于内蒙古乌拉特后旗狼山西北缘的乌兰敖包地区,大地构造位置位于华北板块、塔里木板块和西伯利亚板块之间的汇合地带.研究区东南侧为狼山山脉,西北侧为巴丹吉林断裂以及恩格尔乌苏断裂(图 1b).区内地层时代跨度较大,包括中元古代宝音图岩群(孙立新等, 2013),晚石炭世阿木山组,早中二叠世大石寨组,早白垩世巴音戈壁组,晚白垩世乌兰素海组以及第四系.研究区内岩浆活动强烈,岩浆岩分布广泛,包括中奥陶世黑云母二长花岗岩、早志留世角闪石英闪长岩以及早二叠世石英闪长岩.

笔者通过 1/5 万区域地质调查,对乌兰敖包地区的“阿木山组”进行了系统研究.“阿木山组”主要分布在那仁宝力格公社幅,出露面积约 110 km<sup>2</sup>,呈南北向带状分布,顶部被早中二叠世火山岩覆盖,底部角度不整合在宝音图岩群之上.岩石整体出露较好,风化程度中等,多为物理风化.

## 2 乌兰敖包地区“阿木山组”沉积特征

根据岩性岩相特征、化石分布情况、沉积环境分析及野外可识别性,笔者将“阿木山组”划分为 3 个岩性段(图 2).

一段主要分布在苏海音高勒—车日和一带,南北向分布,与下伏的宝音图岩群和早古生代花岗岩呈角度不整合接触关系.岩性主要为长石砂岩、石英砂岩及砾岩等,整体粒度较粗.岩石中碎屑成分主要为石英、岩屑和少量长石,分选中等—差,次圆状—次棱角状,以接触式胶结为主,颗粒支撑,胶结物含量较少,硅质胶结为主.该段底部为不等粒砾岩,向上以含砾岩屑石英粗砂岩为主,发育平行层理、粒序层理以及板状交错层理(图 3c),并可见植物根茎和少量叶片化石;上部岩石中碎屑成分主要为石英,成分成熟度较底部有所提高,结构成熟度较差,岩石发育平行层理及小型交错层理.根据岩性组合、沉积构造及植物化石,笔者推断该段沉积环境为扇三角洲—辫状河三角洲的三角洲平原环境.

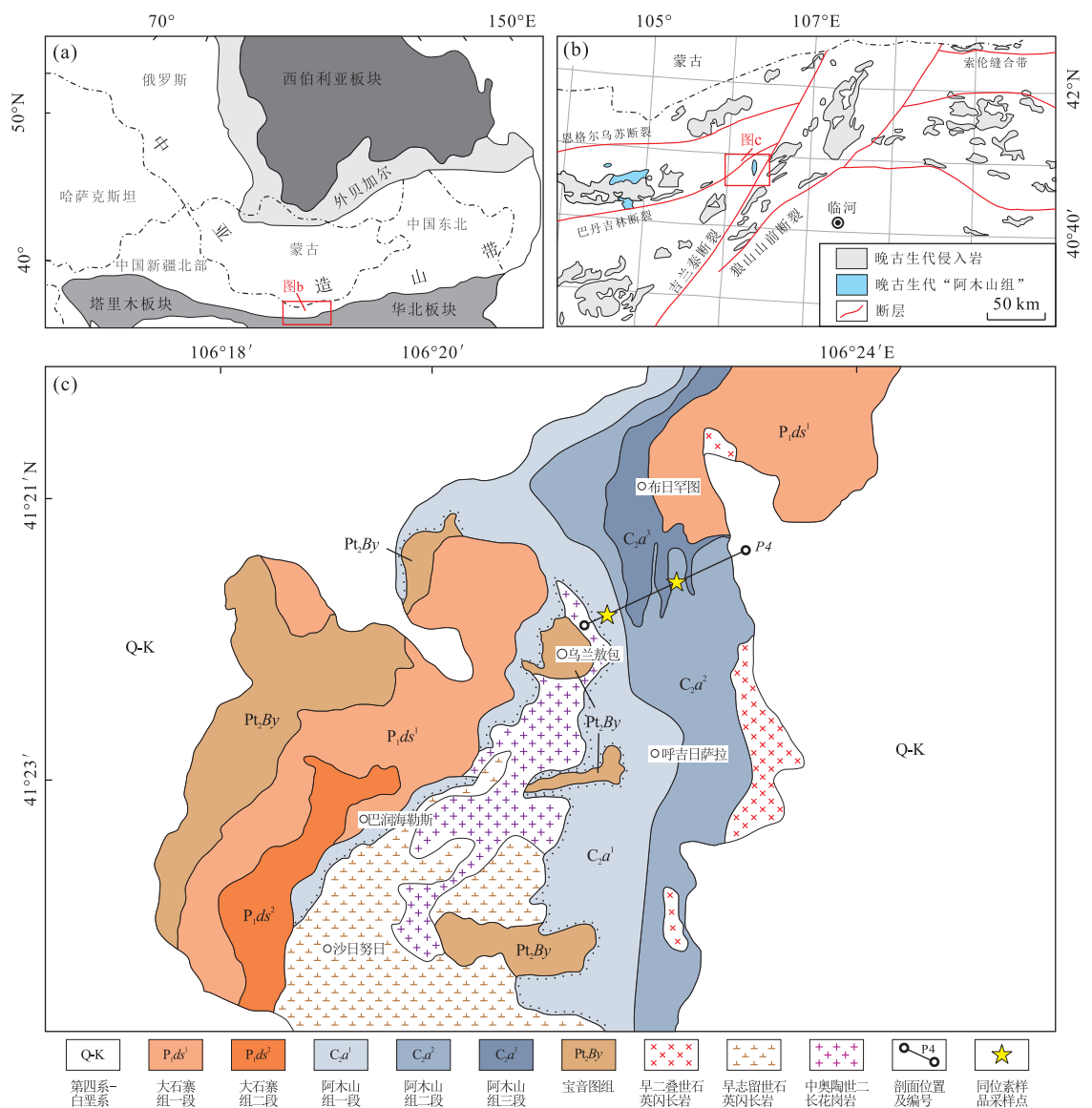


图 1 乌兰敖包地区构造位置及区域地质略图

Fig.1 Simplified geological map of Wulanaobao area and tectonic location

a.中亚造山带构造纲要图,据 Jahn *et al.*(2000)修改;b.狼山地区构造纲要图,据 Liu *et al.*(2016)修改

二段整合在一段之上,分布在一段的东侧,岩层厚度分布不均,岩性上变化不大.下部主要岩石类型为浅灰红色中薄层粗砂质(不等粒)砾岩、浅紫红色中薄层长石岩屑中砂岩、薄层长石岩屑细砂岩,岩石中碎屑分选中等—差,次圆状,硅质胶结,发育平行层理和粒序层理,造成这种现象的主要原因是碎屑物源的变化和搬运距离较近;该段上部砾岩层减少,沉积物粒度相对变细,发育平行层理(图 3d),生物碎屑灰岩层(图 3f)开始出现,砂岩层中出现植物化石碎片(图 3e,3g),岩石类型在粗砂质砾岩、岩屑石英中砂岩、岩屑石英细砂岩、结晶灰岩局部夹泥质粉砂岩之间变化,碎屑岩中岩屑逐渐减少,石英占主要

成分,灰岩层略微增厚,生物碎屑含量增加.根据岩性组合、沉积构造及古生物化石特征,判断该段沉积环境由三角洲前缘向滨海—浅海之间变化,并具有海陆交互沉积的特征.

三段出露面积较小,仅在布日罕图一带有部分出露.该段发育层内同斜褶皱,褶皱轴面倾向近似正东,枢纽倾向北北东,倾伏角较小,出露厚度为 49.1 m.下部岩性为薄层褐灰、灰紫色中薄层长石石英细砂岩、粉砂岩;上部主要岩性为灰岩,发育平行层理,内部见有珊瑚碎片、筳类化石以及生物扰动痕迹.本层受构造影响,岩石较破碎,镜下具碎裂构造,可见缝合线构造.筳类以底栖为主,主要生存环

| 岩石地层 |    | 室内编号 | 层厚(m) | 柱状图 | 主要岩性                                                              | 化石                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 沉积构造   | 沉积环境                       | 采样位置  |
|------|----|------|-------|-----|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------------|-------|
| 阿木山组 | 三段 | 21   | 17.30 |     | 青灰色中厚层含生物碎屑结晶灰岩                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 块状层理   | 浅海                         | B030  |
|      |    | 20   | 7.30  |     | 青灰色薄层泥灰岩                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 水平层理   |                            |       |
|      |    | 19   | 19.30 |     | 青灰色中厚层含生物碎屑结晶灰岩                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 块状层理   |                            |       |
|      |    | 18   | 5.20  |     | 灰紫色中薄层长石石英细砂岩                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 平行层理   |                            |       |
|      | 二段 | 17   | 24.00 |     | 浅灰色薄层石英细砂岩                                                        | 17层产:<br>芦木<br><i>Calamites</i> sp.,<br>科达<br><i>Cordaites</i> sp.,<br>带科达<br><i>Cordaites principalis</i> Gein,<br>座延羊齿<br><i>Alethopteris</i> sp.<br>16层产:<br>假横肋螺<br><i>Pseudozygopleura</i> sp.<br>星星茎<br><i>Pentagonopentagonalis</i> sp.<br>星圆茎<br><i>Pentagonocyclicus</i> sp.<br>圆圆茎<br><i>Cyclocyclicus</i> sp.<br>似栅珊瑚<br><i>Arachnolasma</i> sp. | 平行层理   | 滨海                         |       |
|      |    | 16   | 9.50  |     | 青灰色中厚层含生物碎屑结晶灰岩                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 块状层理   | 浅海                         |       |
|      |    | 15   | 6.70  |     | 砖红色薄层泥质粉砂岩                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 水平层理   | 滨海                         |       |
|      |    | 14   | 17.30 |     | 灰白色中薄层岩屑石英中砂岩、<br>灰白色中薄层岩屑石英细砂岩                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 平行层理   |                            |       |
|      |    | 13   | 11.70 |     | 灰白色中薄层粗砂质砾岩                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |                            |       |
|      |    | 12   | 38.00 |     | 灰白色中薄层岩屑石英中砂岩、<br>灰白色中薄层岩屑石英细砂岩                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 平行层理   |                            |       |
|      |    | 11   | 4.40  |     | 浅灰白色中薄层岩屑石英中砂岩                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 平行层理   |                            |       |
|      |    | 10   | 10.30 |     | 青灰色中厚层结晶灰岩                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 块状层理   | 浅海                         |       |
|      |    | 9    | 47.40 |     | 浅紫红色中薄层长石岩屑中砂岩、<br>薄层长石岩屑细砂岩                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 平行层理   | 滨海                         |       |
|      |    | 8    | 3.10  |     | 浅灰红色中薄层粗砂质砾岩                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |                            |       |
|      |    | 7    | 28.90 |     | 浅紫红色中薄层长石岩屑粗砂岩<br>中薄层长石岩屑中砂岩.                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 平行层理   |                            |       |
|      |    | 6    | 7.30  |     | 浅灰红色中薄层粗砂质砾岩                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |                            |       |
|      | 一段 | 5    | 15.60 |     | 灰白色中厚层含砾石英粗砂岩、<br>灰白色中薄层石英粗砂岩                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 平行层理   | 寒武系<br>阿木山组<br>寒武系<br>阿木山组 | P4-89 |
|      |    | 4    | 2.10  |     | 灰白色薄层粗砂质砾岩                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 粒序层理   |                            |       |
|      |    | 3    | 27.90 |     | 下部为灰白色砾质岩屑石英粗砂岩、<br>含砾岩屑石英粗砂岩局部夹有<br>紫红色薄层粉砂岩。<br>向上为灰白色中薄层石英粗砂岩。 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 平行层理   |                            |       |
|      |    | 2    | 10.10 |     | 灰红色中薄层含砾长石中砂岩、<br>灰黄色中薄层长石中砂岩                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 板状交错层理 |                            |       |
|      |    | 1    | 3.80  |     | 灰白色不等粒砾岩                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 粒序层理   |                            |       |
|      |    |      |       |     |                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |                            |       |

图 2 乌兰敖包地区“阿木山组”地层柱状图

Fig.2 Stratigraphy stratum of Amushan Formation from Wulanaobao area

境为浅海—斜坡环境,以浅海为主.结合沉积构造及古生物化石特征,推测该段为浅海相沉积环境.

3 样品特征与分析方法

3.1 样品特征

用于测试的样品采自“阿木山组”一段和二段,

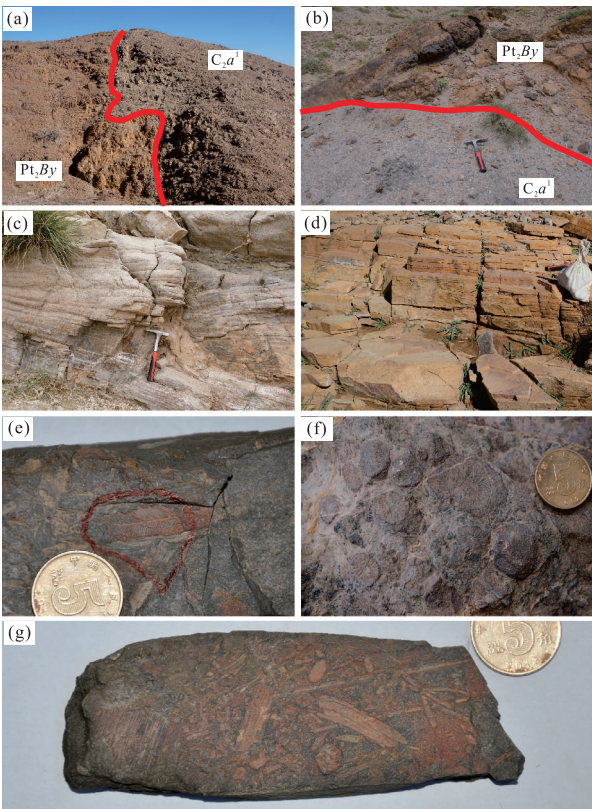


图 3 乌兰敖包地区“阿木山组”野外照片  
Fig. 3 Outcrop photos of Amushan Formation in Wulanaobao area  
a、b.阿木山组一段砂岩角度不整合在宝音图岩群大理岩之上;c.阿木山组一段砂岩中板状交错层理;d.阿木山组二段砂岩中平行层理;e.二段细砂岩中座延羊齿 *Alethopteris* sp.(未定种);f.二段灰岩中珊瑚化石;g.二段细砂岩中带科达 *Cordaites principalis* Gein

岩性分别为灰白色岩屑石英粗砂岩(P4-89)和浅紫红色长石岩屑粗砂岩(B030)(图 4)。

灰白色岩屑石英粗砂岩(P4-89)呈粗粒砂状结构,块状构造,由陆源碎屑和填隙物组成。陆源碎屑由石英(75%)、岩屑(22%)组成,磨圆一般,分选一般,次棱角状一次圆状常见,粒度以 0.5~2.0 mm 的粗砂为主。石英主要为单晶石英,粒内具波状消光,常见次生加大边;岩屑成分为花岗岩、火山岩、大理岩、千枚岩、硅质蚀变岩等,局部见叶片状白云母、黑云母。填隙物(3%)由硅质胶结物及新生绢云母组成,属于颗粒支撑,接触式胶结。硅质重结晶为石英的次生加大边;新生绢云母呈微鳞片状,绕砂粒边缘定向分布。

浅紫红色长石岩屑粗砂岩(B030)呈粗粒砂状结构,块状构造,由陆源碎屑和填隙物组成。陆源碎屑由岩屑(45%)、石英(30%)以及长石(20%)组成,次棱角状一次圆状常见,分选较差,粒度以 0.5~2.0 mm 的粗砂为主,部分 0.25~0.50 mm 的中砂。石

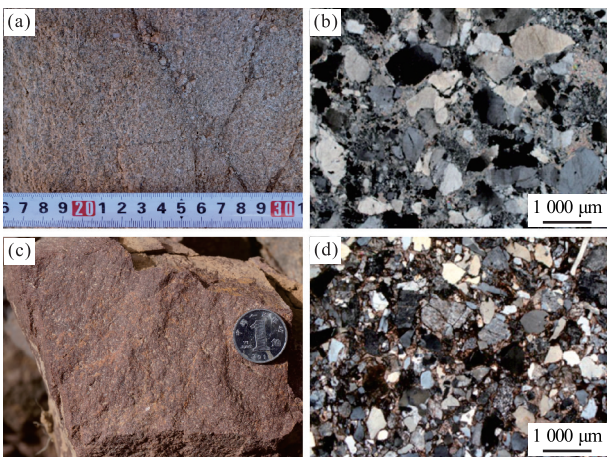


图 4 乌兰敖包地区“阿木山组”中砂岩样品野外和镜下特征  
Fig.4 Characteristics of sandstone from Amushan Formation in Wulanaobao area  
a、b.阿木山组一段岩屑石英粗砂岩(P4-89);c、d.阿木山组二段长石岩屑粗砂岩(B030)

英主要为单晶石英,粒内具波状消光;长石具碳酸盐化、粘土化,以斜长石为主;岩屑见花岗岩、花岗闪长岩、流纹岩、二云石英片岩、千枚岩等,局部见叶片状白云母、黑云母。填隙物(5%)由钙质胶结物及新生绢云母组成,属于颗粒支撑,孔隙式胶结。钙质成分为方解石,他形粒状,填隙状分布,粒度一般为 0.05~0.70 mm,轻微褐铁矿化;新生绢云母呈微鳞片状,相对聚集填隙于砂粒间。

3.2 分析方法

将砂岩样品清洗干净后,破碎至 80 目,经分选之后,在显微镜下手工挑选出锆石,锆石挑选在河北省区域地质矿产调查研究所实验室进行。然后将锆石粘贴在环氧树脂表面,并进行抛光,之后进行阴极发光照相。锆石制靶及阴极发光照相在北京锆年领航科技有限公司完成。锆石原位 U-Pb 年龄测试在天津地质调查中心同位素实验室利用 193 nm 激光剥蚀系统和多接受器电感耦合等离子质谱仪(LA-MC-ICP-MS, Neptune)完成。具体实验方法参见李怀坤等(2010)。数据处理利用 ICP-MS Data Cal 程序(Liu *et al.*, 2010)和 Isoplot 程序(Ludwig, 2003)完成。

4 分析结果

2 件砂岩样品的碎屑锆石测试结果见附表 1。由于放射性成因 Pb 含量较低和 Pb 校正的不确定性,所以用<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄来代表大于 1 000 Ma 的锆

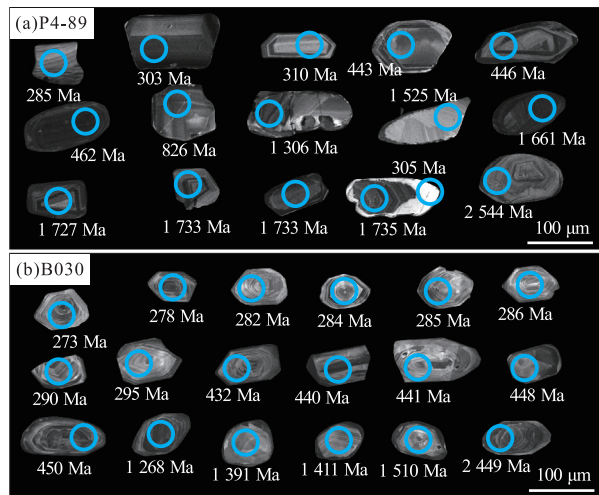


图 5 乌兰敖包地区砂岩部分碎屑锆石阴极发光图像  
Fig.5 CL images and ages of partial detrital zircons from Amushan Formation sandstone in Wulanaobao area

石年龄,用<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄来代表小于 1 000 Ma 的锆石年龄(Gehrels *et al.*, 2006).同时选取谐和度 90% 以上的数据进行分析.

灰白色岩屑石英粗砂岩(P4-89)数据点共 52 个,谐和度在 92%~100%之间.多数锆石具有较清晰的岩浆振荡环带,少数具有变质边或复杂的内部结构(图 5a).从年龄分布直方图上来看,该样品主峰值为 304 Ma,同时还有 445 Ma 和 1 708 Ma 等若干个小峰(图 6a),反映锆石源区较复杂,其中最小年龄为 285 Ma,谐和度为 94.61%.

浅紫红色长石岩屑粗砂岩(B030)数据点共 50 个,谐和度在 91%~100%之间.多数锆石具有较清晰的岩浆振荡环带(图 5b).从年龄分布直方图上来看,该样品主峰值为 281 Ma,同时还有 438 Ma 等若干个小峰(图 6b),锆石源区较复杂,其中最小年龄为 273 Ma,谐和度为 99.70%.

## 5 讨论

### 5.1 “阿木山组”沉积时代

本次研究通过对该套地层中的化石鉴定、砂岩中碎屑锆石年龄并结合上覆火山岩的年龄,综合限定其沉积时代.

野外地质调查在“阿木山组”二段的砂岩中新发现古植物化石,经中国科学院南京地质古生物研究所鉴定,其为芦木(未定种)*Calamites* sp.,科达(未定种)*Cordaite* sp.,带科达 *Cordaite principalis* Gein(图 3e),座延羊齿(未定种)*Alethopteris* sp.(图 3d),其时代为晚石炭世—中二叠世;二段的灰岩夹层中发现了腹足类化石,鉴定名称为假横肋螺(未定种)*Pseudozygopleura* sp.,时代为石炭纪—二叠纪;海百合茎化石样品:星星茎(未定种)*Pentagonopentagonalis* sp.,星圆茎(未定种)*Pentagonocyclicus* sp.,圆圆茎(未定种)*Cyclocyclicus* sp.,鉴定时代均为奥陶纪—三叠纪;珊瑚化石碎片,似棚珊瑚(未定种)*Arachnolasma* sp.,鉴定时代为石炭纪;筳类化石,扭曲厉害的筳类碎片,见蜂巢层和致密层,根据筳类旋壁构造,初步判断这两件样品的地质时代为中二叠世早期.

同时笔者获得的“阿木山组”一段灰白色岩屑石英粗砂岩中碎屑锆石最小年龄为 285 Ma;二段浅紫红色长石岩屑中砂岩中碎屑锆石最小年龄为 273 Ma.另外上覆在该地层顶部的火山岩年龄为 265 Ma(郭硕等,2017),由此可以确定乌兰敖包地区晚古生代的沉积地层时代为早二叠世晚期—中二叠世早期.

### 5.2 碎屑锆石物源分析及其记录的地质事件

本次研究用于测年的碎屑锆石为随机挑选,大部分锆石呈棱角状,说明搬运距离较近.从图 6 中可见本次研究测得 2 件样品的碎屑锆石年龄反映的源区具相似的地质特征,所以笔者将其放在一起进行

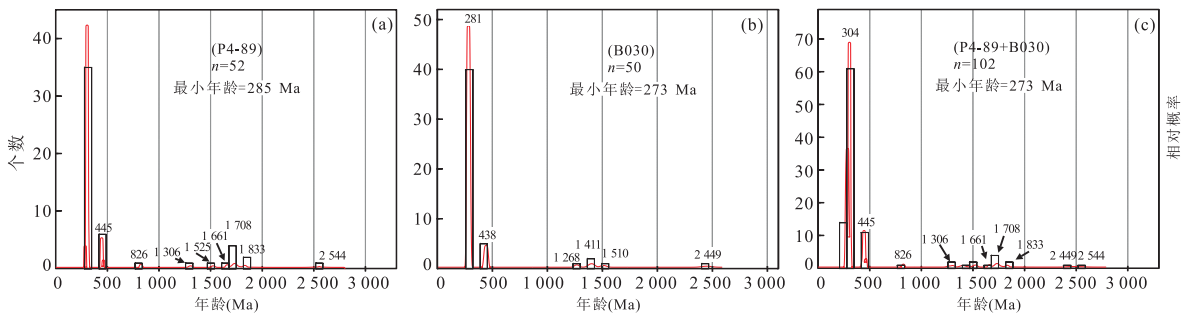


图 6 乌兰敖包地区“阿木山组”中砂岩碎屑锆石年龄相对频数

Fig.6 Frequency chart of detrital zircon ages from Amushan Formation sandstone in Wulanaobao area

总结。碎屑锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(大于1 000 Ma 采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄)可以分为一个明显的主峰和次峰,年龄范围分别为:313~273 Ma(晚石炭世—早二叠世)和461~440 Ma(中奥陶世—早志留世),以及若干个小峰,具体到时间段可分为:~2.5 Ga(新太古代末期)、~1.8~1.2 Ga(古元古代末期—中元古代)以及826 Ma(新元古代)。

新太古代末期(~2.5 Ga)的碎屑锆石共有2颗,占有有效数据的2%。锆石颗粒的大小以及阴极发光图像亮度较一致,形态呈短柱状,锆石内部岩浆振荡环带清晰(图5),Th/U比值大于0.3,说明其源区直接或间接为岩浆岩区。~2.5 Ga的岩浆作用在华北克拉通内较为常见,该时期被认为是新太古微陆块拼合及克拉通化的时期(Zhai and Santosh, 2011; Zhai, 2014; 曹正琦等, 2016; Zhong *et al.*, 2018),构造—岩浆作用形成的岩浆岩是乌兰敖包地区“阿木山组”砂岩中新太古代末期碎屑锆石的潜在物源区。

古元古代末期—中元古代(~1.8~1.2 Ga)的碎屑锆石共有13颗,占有有效数据的12.7%。锆石颗粒的大小不一,阴极发光图像亮度较不一致,长柱状和短柱粒状形态均有,变质边结构发育,多数锆石内部岩浆振荡环带较清晰(图5)。锆石Th/U比值大于0.3或略小于0.3,说明其源区直接或间接为岩浆岩区。该年龄段的碎屑锆石可细分为:~1.8 Ga、~1.2~1.7 Ga,2个时期。其中~1.8 Ga与哥伦比亚超大陆形成演化的时间相当,同时期(~1.8~1.9 Ga)的岩浆事件(变质事件)在华北克拉通西北部的孔兹岩带广泛分布(蔡佳等, 2015);~1.2~1.7 Ga碎屑锆石与华北克拉通的多期裂谷事件(翟明国等, 2014)时间上一致,~1.7 Ga的基性岩墙群(胡国辉等, 2010)代表裂谷事件开始,狼山北缘侵入宝音图岩群的1 672 Ma变质花岗岩可能为该期事件的响应(孙立新等, 2013),燕辽裂谷带以及渣尔泰—白云鄂博—化德裂谷带的裂谷沉积(公王斌等, 2016; Zhou *et al.*, 2017)和~1.7~1.3 Ga岩浆作用(Zhang *et al.*, 2009b, 2012; 周志广等, 2016)均在伸展体制下形成,该时期形成的基性岩墙、火山岩以及火成碳酸岩可能与哥伦比亚超大陆的裂解有关(Zhang *et al.*, 2009b, 2012)。上述华北克拉通构造—岩浆作用形成的岩浆岩是乌兰敖包地区“阿木山组”砂岩里古元古代末期—中元古代碎屑锆石的潜在物源区。同时在“阿木山组”下部的渣尔泰群(狼山群)以及宝音图岩群中碎屑锆石分布特征与“阿木山组”砂岩碎屑锆石的新太古代末期和古元古代末

期—中元古代的特征基本一致(孙立新等, 2013; Hu *et al.*, 2014),所以渣尔泰群(狼山群)和宝音图岩群也是“阿木山组”砂岩碎屑锆石的潜在物源区。

新元古代(826 Ma)的碎屑锆石仅有1颗,占有有效数据的1%,虽然数据少,但仍具有地质意义且意义重大。该时期锆石颗粒不完整,阴极发光图像显示锆石内部结构均匀,岩浆振荡环带清晰(图5),Th/U比值为0.81,具有典型岩浆锆石的特征。新元古代的构造—岩浆活动在华北板块内记录很少,仅北京西山侏罗系火山岩中继承锆石有记录(胡波等, 2013);而阿拉善地区有较多报道(耿元生和周喜文, 2011; Song *et al.*, 2017)。耿元生和周喜文(2011)对阿拉善右旗阿拉腾敖包乡大布苏山和可克托勒盖的新元古代花岗岩及花岗质片麻岩地球化学特征进行分析,发现该时期的花岗岩与A型花岗岩地球化学特征相似,可能形成于拉张环境。前人在研究区的东部出露的渣尔泰群(狼山群)中发现有814~872 Ma的变质酸性火山岩(彭润民等, 2010; Hu *et al.*, 2014),其地球化学特征表明其形成于张性裂谷环境(彭润民等, 2010),同时代的基性侵入岩(辉长岩)墙的发现佐证了该想法。年代学及地球化学证据表明该时期构造—岩浆活动与Rodinia超大陆裂解相关(彭润民等, 2010)。研究区附近新元古代的岩浆岩是“阿木山组”砂岩中碎屑锆石的潜在源区。

中奥陶世—早志留世(461~440 Ma)的碎屑锆石共有11颗,占有有效数据的10.8%。锆石颗粒的大小较均一,多在110~140  $\mu\text{m}$ 之间,阴极发光图像亮度较一致,个别颗粒颜色较暗,形态多数呈长柱状,未见继承核,少数具有变质边结构(图5)。多数锆石内部岩浆振荡环带较清晰,相应的Th/U比值大于0.3或略小于0.3,平均值为0.33;少数锆石样品内部结构复杂,呈扇状,可能受到后期构造热事件影响,相应的Th/U比值为0.08。该时期的岩浆作用在华北板块少见,在中亚造山带(Jian *et al.*, 2008; 王树庆等, 2016)和阿拉善地块(张进等, 2012)已有报道。研究区南部有早古生代角闪石英闪长岩和片麻状二长花岗岩出露,其时代分别为 $443.9 \pm 2.4$  Ma(Wang *et al.*, 2016)和 $468.4 \pm 1.7$  Ma(未发表数据),形成于古亚洲洋向华北板块俯冲的大陆边缘弧环境,为“阿木山组”砂岩中碎屑锆石的潜在源区。

晚石炭世—早二叠世(313~273 Ma)的碎屑锆石共有75颗,占有有效数据的73.5%。锆石颗粒的大小较均一,多在90~120  $\mu\text{m}$ 之间,阴极发光图像亮度较一致,形态多数呈短柱状,内部岩浆振荡环带较

清晰(图 5),仅一颗锆石有继承核,所有锆石的 Th/U 比值均大于 0.3,平均值为 0.47,具有岩浆锆石的特征。该年龄峰值与阿拉善地块北缘(Wang *et al.*, 2015; 郑荣国等, 2017)乃至华北北缘晚石炭世—早二叠世强烈的构造—岩浆活动(Zhang *et al.*, 2009a; 张拴宏等, 2010; 王树庆等, 2018)在时间上具有一致性。岩石类型以中酸性岩浆岩为主,基性岩分布较少,岩性组合为闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩,少量辉长岩,反映在晚石炭世—早二叠世时阿拉善北缘及华北北缘为一个整体的大陆边缘弧环境。研究区内出露有该时期的石英闪长岩、花岗闪长岩和少量辉长岩(Wang *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2016),应为“阿木山组”砂岩中碎屑锆石的潜在源区。

### 5.3 沉积盆地类型及大地构造位置

本文参考程裕淇等(1994)以及刘池洋等(2015)对沉积盆地类型的划分方案,主要通过沉积盆地的大地构造背景和位置、盆地基底类型、沉降动力环境以及沉积相等,来判断狼山西北缘“阿木山组”的沉积盆地类型。

狼山西北缘的“阿木山组”沿着乌力吉—乌兰敖包一线呈条带状分布。如前文所述,乌兰敖包地区“阿木山组”沉积时代为 273~265 Ma;恩格尔乌苏地区的“阿木山组”中化石特征表明地层时代为晚石炭世—早二叠世(尹海权, 2016);沙拉扎山地区的“阿木山组”底部火山岩时代为晚石炭世,上部的碎屑岩含有 *Pseudoschwagerina* 带化石的重要分子 *Pseudoschwagerina*, *Quasifusulina*, *Rugosofusulina* 等,时代应为早二叠世(郑荣国等, 2017)。晚石炭世—早(中)二叠世研究区的大地构造背景为大陆边缘弧环境(Xiao *et al.*, 2017),且“阿木山组”出露的南北两侧均有晚古生代的弧岩浆岩出露(Liu *et al.*, 2016),所以从空间位置上来说,该时期的盆地位于华北北缘的陆缘弧之上。

从野外的接触关系上来看,乌兰敖包地区的“阿木山组”角度不整合在宝音图岩群和早古生代花岗岩上,而宝音图岩群和研究区内的早古生代花岗岩分别为华北陆缘中元古代沉积增生和早古生代俯冲增生的产物(孙立新等, 2013; Wang *et al.*, 2016),晚古生代已属华北陆壳的一部分,所以该盆地基底的类型为增生陆壳。

狼山西北缘的“阿木山组”底部多含有火山岩或火山碎屑岩,碎屑岩粒度粗大,向上碎屑岩粒度变细,并开始出现碳酸盐岩,为退积型沉积序列,该组底部的砂砾岩中含有大量同期的岩浆岩砾石和碎

屑,反映该区强烈抬升和伸展的构造背景(姜亭等, 2011; 卢进才等, 2011; 赵省民等, 2011)。同时岩性组合、化石特征以及沉积构造背景揭示了该区域的“阿木山组”沉积环境由早期的扇三角洲、辫状河三角洲到中晚期滨—浅海环境变化,经历了海侵,记录了裂谷盆地发育的早期到晚期。

在狼山西北缘以及华北北缘分布的早二叠世—中二叠世的镁铁质岩和超镁铁质岩带,具有交代型地幔的地球化学特征(彭润民等, 2012),额济纳旗及邻区的“阿木山组”底部的玄武岩兼具岛弧和板内的地球化学特征(姜亭等, 2011),考虑到阿拉善北缘以及华北北缘广泛分布的晚石炭世—早(中)二叠世的弧岩浆岩,笔者认为这些基性—超基性岩石的形成可能受与板块俯冲活动有关的弧间或弧后区域伸展影响,即可能与狼山西北缘乃至华北北缘的晚石炭世—早二叠世的张性裂谷沉积盆地相关。

综合上述特征可以推测,“阿木山组”的沉积盆地是俯冲背景下,华北北缘岩浆弧间的裂谷盆地。晚石炭世由于古亚洲洋向华北板块俯冲,在狼山西北缘形成岩浆弧,地貌上已经开始隆升,早二叠世早期开始出现基性—超基性岩浆岩,可能代表局部伸展的环境,早二叠世晚期—中二叠世早期隆升速率加快,区域上大规模出现带状裂谷盆地,同时期岩浆作用产物开始剥蚀风化并进入盆地内部,沉积环境主要为扇三角洲以及辫状河三角洲,之后盆地继续扩大并伴随海水侵入,沉积环境逐渐向滨浅海转变。

### 5.4 “阿木山组”地层区划的探讨

“阿木山组”由地质部 241 队于 1955 年在达尔罕茂明安联合旗阿木山一带命名,原始定义为海相沉积地层,按岩性分两个岩段:一段下部为灰岩夹页岩,上部为石英砂岩夹灰岩透镜体;二段为杂砂岩夹灰岩。内蒙古岩石地层中定义“阿木山组”为分布于内蒙古草原地区的晚石炭世海相碳酸盐岩为主的岩石地层序列,由生物灰岩、白云质灰岩、角砾灰岩、砂质灰岩和结晶灰岩组成,局部夹硅质条带、钙质砂岩及其他碎屑岩,含有大量的筳、珊瑚和腕足类化石。

“阿木山组”的分布范围较广,东起科尔沁旗南部,西至阿拉善中部恩格尔乌苏以南,但是东西部的岩性组合及特征差别明显。东部“阿木山组”主要分布在贺根山蛇绿岩带与西拉木伦河蛇绿岩带之间。沉积环境相对稳定,为浅海滨岸—碳酸盐台地相沉积,碎屑分选好,结构及成分成熟度高,物源相对较远,碎屑中石英所占比率高。杨臻元等(2015)通过对白云鄂博地区“阿木山组”碎屑岩中锆石年龄谱进行

分析得出,其物源来自于佳蒙地块,而非华北板块,并将内蒙古草原地层区划归佳蒙地层大区,而非华北地层大区。这与近年来区调工作中将“阿木山组”置于西拉木伦结合带以北相吻合。

西部的“阿木山组”主要分布在狼山西北缘,恩格尔乌苏蛇绿岩带以南。沉积环境下部以扇三角洲—辫状河三角洲为主,上部为滨浅海环境,且底部普遍发育有火山岩,碎屑分选和磨圆差,成分成熟度低,物源相对较近,前文分析表明,乌兰敖包地区的“阿木山组”物源来自华北板块。同时恩格尔乌苏蛇绿岩带被认为是塔里木板块和华北板块的结合带(谢力等,2014),与西拉木伦河蛇绿岩带类似,是划分华北板块与北部板块的构造边界。西部的“阿木山组”分布于恩格尔乌苏以南,也就是华北板块北部晚古生代大陆边缘裂谷的沉积产物,应属于华北地层大区。

所以无论从沉积相还是所处的大地构造位置来看,西部的“阿木山组”与建组剖面和东部广泛分布的“阿木山组”差异较大。西拉木伦河以南,河北康保县三面井组层型剖面上的三面井组上段火山岩夹层年龄为  $268.7 \pm 2.0$  Ma,下伏片麻状石英闪长岩年龄为  $462.7 \pm 4.3$  Ma,沉积环境为滨浅海—浅海(朱俊宾,2015);向东至赤峰南部小建昌营子一带,三面井组沉积环境为河流—湖泊三角洲环境,属于陆缘裂谷沉积(方曙等,2013)。内蒙中东部的三面井组与狼山西北缘乌兰敖包地区的“阿木山组”在时代、沉积环境、沉积盆地类型及所处大地构造位置均可对比。建议将狼山西北缘的“阿木山组”取消,并建立新的地层单位。

## 6 结论

(1)狼山西北缘乌兰敖包地区的“阿木山组”中新发现芦木 *Calamites* sp.,科达 *Cordaite* sp.,带科达 *Cordaite principalis* Gein,座延羊齿 *Alethopteris* sp.等古植物化石,其时代为晚石炭世—中二叠世;砂岩中碎屑锆石最小年龄为 273 Ma,上覆“阿木山组”之上的火山岩年龄为 265 Ma,综合限定了其沉积时代在早二叠世晚期—中二叠世早期。

(2)“阿木山组”砂岩的碎屑锆石由新太古代末期( $\sim 2.5$  Ga)、古元古代末期—中元古代( $\sim 1.8 \sim 1.2$  Ga)、新元古代(826 Ma)、中奥陶世—早志留世(461~440 Ma)和晚石炭世—早二叠世(313~273 Ma)的锆石组成,其物源主要来自阿拉善地块

和华北克拉通,记录了古元古代以来研究区内发生的重要岩浆热事件。

(3)狼山西北缘“阿木山组”的沉积盆地是在俯冲背景下,华北北缘岩浆弧间的裂谷盆地,沉积环境为早期的扇三角洲、辫状河三角洲到中晚期滨—浅海环境。

(4)狼山西北缘的“阿木山组”与建组剖面及其东部地区的“阿木山组”差异较大,与西拉木伦河蛇绿岩带以南的“三面井组”可对比。

致谢:野外工作期间,得到天津地质调查中心孙宏伟工程师和孙大鹏工程师的帮助;匿名审稿人也给出了诸多建设性意见,在此一并表示衷心的感谢! 附补充信息表见: <http://www.earth-science.net/WebPage/view.aspx?id=20190117070118.pdf>

## References

- Cai, J., Liu, F. L., Liu, P. H., et al., 2015. Geochronology of the Paleoproterozoic Khondalite Rocks from the Wulashan-Daqingshan Area, the Khondalite Belt. *Acta Petrologica Sinica*, 31(10): 3081—3106 (in Chinese with English abstract).
- Cao, H. H., Xu, W. L., Pei, F. P., et al., 2013. Zircon U-Pb Geochronology and Petrogenesis of the Late Paleozoic-Early Mesozoic Intrusive Rocks in the Eastern Segment of the Northern Margin of the North China Block. *Lithos*, 170—171: 191—207. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.03.006>
- Cao, Z. Q., Zhai, W. J., Jiang, X. F., et al., 2016. About 2.5 Ga Tectono-Metamorphic Event in Southern Margin of North China Craton and Its Significance. *Earth Science*, 41(4): 570—585 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.047>
- Cheng, Y. Q., Shen, Y. H., Cao, G. Q., et al., 1994. Regional Geological Introduction of China. Geological Publishing House, Beijing, 396—405 (in Chinese).
- Fang, S., Zhang, Z., Yu, H. Y., et al., 2013. The Tectonic of Eastern Inner Mongolia. Geological Publishing House, Beijing, 23—29 (in Chinese).
- Feng, J. Y., Xiao, W. J., Windley, B., et al., 2013. Field Geology, Geochronology and Geochemistry of Mafic-Ultramafic Rocks from Alxa, China: Implications for Late Permian Accretionary Tectonics in the Southern Altaids. *Journal of Asian Earth Sciences*, 78(12): 114—142. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2013.01.020>
- Gehrels, G. E., DeCelles, P. G., Ojha, T. P., et al., 2006. Geologic and U-Pb Geochronologic Evidence for Early Paleozoic Tectonism in the Dadeldhura Thrust Sheet, Far-

- West Nepal Himalaya. *Journal of Asian Earth Sciences*, 28(4–6): 385–408. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2005.09.012>
- Geng, Y. S., Zhou, X. W., 2011. Characteristics of Geochemistry and Zircon Hf Isotope of the Early Neoproterozoic Granite in Alax Area, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 27(4): 897–908 (in Chinese with English abstract).
- Gong, W. B., Hu, J. M., Li, Z. H., et al., 2016. Detrital Zircon U-Pb Dating of Zhaertai Group in the North Margin Rift Zone of North China Craton and Its Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 32(7): 2151–2165 (in Chinese with English abstract).
- Guo, S., Teng, X. J., Liu, Y., et al., 2017. Geochemistry, Chronology and Hf Isotope Features of the Permian Intermediate-Basic Volcanic Rocks in Wulanaobao Area, Urad Houqi, Inner Mongolia and Its Geological Significance. *Journal of Geomechanics*, 23(3): 397–410 (in Chinese with English abstract).
- Han, W., Liu, X., Li, J. C., et al., 2012. Sedimentary Environment of Carboniferous-Permian Amushan Formation in Wulanaobao Area of Urad Rear Banner, Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 31(10): 1684–1691 (in Chinese with English abstract).
- Hu, B., Zhai, M. G., Peng, P., et al., 2013. Late Paleoproterozoic to Neoproterozoic Geological Events of the North China Craton: Evidences from LA-ICP-MS U-Pb Geochronology of Detrital Zircons from the Cambrian and Jurassic Sedimentary Rocks in Western Hills of Beijing. *Acta Petrologica Sinica*, 29(7): 2508–2536 (in Chinese with English abstract).
- Hu, G. H., Hu, J. L., Chen, W., et al., 2010. Geochemistry and Tectonic Setting of the 1.78 Ga Mafic Dyke Swarms in the Mt. Zhongtiao and Mt. Song Areas, the Southern Margin of the North China Craton. *Acta Petrologica Sinica*, 26(5): 1563–1576 (in Chinese with English abstract).
- Hu, J. M., Gong, W. B., Wu, S. J., et al., 2014. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of the Langshan Group in the Northeast Margin of the Alxa Block, with Tectonic Implications. *Precambrian Research*, 255: 756–770. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2014.08.013>
- Jahn, B. M., Wu, F. Y., Chen, B., 2000. Massive Granitoid Generation in Central Asia: Nd Isotope Evidence and Implication for Continental Growth in the Phanerozoic. *Episodes*, 23(2): 82–92.
- Jian, P., Liu, D. Y., Kröner, A., et al., 2008. Time Scale of an Early to Mid-Paleozoic Orogenic Cycle of the Long-Lived Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia of China: Implications for Continental Growth. *Lithos*, 101(3–4): 233–259. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.07.005>
- Jiang, T., Li, Y. H., Chen, G. C., et al., 2011. Geochemical Characteristics of Carboniferous-Permian Amushan Formation Volcanic Rocks in Ejin Banner and Its Vicinities, Western Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 30(6): 932–942 (in Chinese with English abstract).
- Li, H. K., Zhu, S. X., Xiang, Z. Q., et al., 2010. Zircon U-Pb Dating on Tuff Bed from Gaoyuzhuang Formation in Yanqing, Beijing: Further Constraints on the New Sub-division of the Mesoproterozoic Stratigraphy in the Northern North China Craton. *Acta Petrologica Sinica*, 26(7): 2131–2140 (in Chinese with English abstract).
- Liu, C. Y., Wang, J. Q., Zhao, H. G., et al., 2015. The Classification of Sedimentary Basins and Discussion on Relevant Issues. *Earth Science Frontiers*, 22(3): 1–26 (in Chinese with English abstract).
- Liu, M., Zhang, D., Xiong, G. Q., et al., 2016. Zircon U-Pb Age, Hf Isotope and Geochemistry of Carboniferous Intrusions from the Langshan Area, Inner Mongolia: Petrogenesis and Tectonic Implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 120: 139–158. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2016.01.005>
- Liu, Y. J., Li, W. M., Feng, Z. Q., et al., 2017. A Review of the Paleozoic Tectonics in the Eastern Part of Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research*, 43: 123–148. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.03.013>
- Liu, Y. S., Gao, S., Hu, Z. C., et al., 2010. Continental and Oceanic Crust Recycling-Induced Melt-Peridotite Interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb Dating, Hf Isotopes and Trace Elements in Zircons from Mantle Xenoliths. *Journal of Petrology*, 51(1–2): 537–571. <https://doi.org/10.1093/petrology/egp082>
- Lu, J. C., Chen, G. C., Wei, X. Y., et al., 2011. Carboniferous-Permian Sedimentary Formation and Hydrocarbon Generation Conditions in Ejin Banner and Its Vicinities, Western Inner Mongolia: A Study of Carboniferous-Permian Petroleum Geological Conditions (Part 1). *Geological Bulletin of China*, 30(6): 811–826 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig, K. R., 2003. Isoplot/Ex: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel Version 3.00. Berkeley Geochronology Center, Berkeley.
- Peng, R. M., Zhai, Y. S., Wang, J. P., et al., 2010. Discovery of Neoproterozoic Acid Volcanic Rock in the South-Western Section of Langshan, Inner Mongolia. *Chinese Science Bulletin*, 55(26): 2611–2620 (in Chinese).
- Peng, R. M., Zhai, Y. S., Wang, S. G., et al., 2012. Zircon

- SHRIMP Dating Characteristics of Mafic-Ultramafic Rocks from Ebutu Nickel Ore, Northern Margin of North China Platform and Its Indicating Significance. *Mineral Deposits*, 31(S1): 595—596 (in Chinese).
- Shao, J. A., He, G. Q., Tang, K. D., 2015. The Evolution of Permian Continental Crust in Northern Part of North China. *Acta Petrologica Sinica*, 31(1): 47—55 (in Chinese with English abstract).
- Song, D. F., Xiao, W. J., Collins, A. S., et al., 2017. New Chronological Constrains on the Tectonic Affinity of the Alxa Block, NW China. *Precambrian Research*, 299: 230—243. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.07.015>
- Sun, L. X., Zhao, F. Q., Wang, H. C., et al., 2013. Zircon U-Pb Geochronology of Metabase Rocks from the Baoyintu Block in the Langshan Area, Inner Mongolia, and Its Tectonic Significance. *Acta Geologica Sinica*, 87(2): 197—207 (in Chinese with English abstract).
- Wang, S. Q., Hu, X. J., Yang, Z. L., et al., 2018. Geochronology, Geochemistry, Sr-Nd-Hf Isotopic Characteristics and Geological Significance of Carboniferous Yuejin Arc Intrusive Rocks of Xilinhot, Inner Mongolia. *Earth Science*, 43(3): 672—695 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.510>
- Wang, S. Q., Xin, H. T., Hu, X. J., et al., 2016. Geochronology, Geochemistry and Geological Significance of Early Paleozoic Wulanaobaotu Intrusive Rocks, Inner Mongolia. *Earth Science*, 41(4): 555—569 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.046>
- Wang, Z. Z., Han, B. F., Feng, L. X., et al., 2015. Geochronology, Geochemistry and Origins of the Paleozoic-Triassic Plutons in the Langshan Area, Western Inner Mongolia, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 97: 337—351. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2014.08.005>
- Wang, Z. Z., Han, B. F., Feng, L. X., et al., 2016. Tectonic Attribution of the Langshan Area in Western Inner Mongolia and Implications for the Neoproterozoic Evolution of the Western North China Craton: Evidence from LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of the Langshan Basement. *Lithos*, 261: 278—295. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.03.005>
- Wilde, S. A., 2015. Final Amalgamation of the Central Asian Orogenic Belt in NE China: Paleo-Asian Ocean Closure Versus Paleo-Pacific Plate Subduction—A Review of the Evidence. *Tectonophysics*, 662: 345—362. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.05.006>
- Xiao, W. J., Windley, B. F., Han, C. M., et al., 2017. Late Paleozoic to Early Triassic Multiple Roll-Back and Oroclinal Bending of the Mongolia Collage in Central Asia. *Earth Science Reviews*, Online. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.09.020>
- Xiao, W. J., Windley, B. F., Huang, B. C., et al., 2009. End-Permian to Mid-Triassic Termination of the Accretionary Processes of the Southern Altaids: Implications for the Geodynamic Evolution, Phanerozoic Continental Growth, and Metallogeny of Central Asia. *International Journal of Earth Sciences*, 98(6): 1189—1217. <https://doi.org/10.1007/s00531-008-0407-z>
- Xie, L., Yin, H. Q., Zhou, H. R., et al., 2014. Permian Radiolarians from the Engeerwusu Suture Zone in Alxa Area of Inner Mongolia and Its Geological Significance. *Geological Bulletin of China*, 33(5): 691—697 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Z. Y., Liu, H., Zhang, D. J., et al., 2015. Detrital Zircon U-Pb Dating of Upper Carboniferous-Lower Permian Amushan Formation in Bayan Obo Area, Inner Mongolia and Its Geological Implications. *Global Geology*, 34(2): 259—272 (in Chinese with English abstract).
- Yin, H. Q., 2016. Late Paleozoic Sedimentary Characteristics and Its Tectonic Evolution in Northern Alax Area, Inner Mongolia (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing, 94—96 (in Chinese with English abstract).
- Zhai, M. G., 2014. Multi-Stage Crustal Growth and Cratonization of the North China Craton. *Geoscience Frontiers*, 5(4): 457—469. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2014.01.003>
- Zhai, M. G., Hu, B., Peng, P., et al., 2014. Meso-Neoproterozoic Magmatic Events and Multi-Stage Rifting in the NCC. *Earth Science Frontiers*, 21(1): 100—119 (in Chinese with English abstract).
- Zhai, M. G., Santosh, M., 2011. The Early Precambrian Odyssey of the North China Craton: A Synoptic Overview. *Gondwana Research*, 20(1): 6—25. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.02.005>
- Zhang, J., Li, J. Y., Liu, J. F., 2012. The Relationship between the Alxa Block and the North China Plate during the Early Paleozoic: New Information from the Middle Ordovician Detrital Zircon Ages in the Eastern Alxa Block. *Acta Petrologica Sinica*, 28(9): 2912—2934 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. H., Zhao, Y., Liu, J. M., et al., 2010. Geochronology, Geochemistry and Tectonic Setting of the Late Paleozoic-Early Mesozoic Magmatism in the Northern Margin of the North China Block: A Preliminary Review. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 824—842 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. H., Zhao, Y., Santosh, M., 2012. Mid-Mesoproterozoic Bimodal Magmatic Rocks in the Northern North

- China Craton: Implications for Magmatism Related to Breakup of the Columbia Supercontinent. *Precambrian Research*, 222 — 223; 339 — 367. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2011.06.003>
- Zhang, S. H., Zhao, Y., Song, B., et al., 2009a. Contrasting Late Carboniferous and Late Permian-Middle Triassic Intrusive Suites from the Northern Margin of the North China Craton: Geochronology, Petrogenesis, and Tectonic Implications. *Geological Society of America Bulletin*, 121(1—2): 181—200. <https://doi.org/10.1130/b26157.1>
- Zhang, S. H., Zhao, Y., Yang, Z. Y., et al., 2009b. The 1.35 Ga Diabase Sills from the Northern North China Craton: Implications for Breakup of the Columbia (Nuna) Supercontinent. *Earth and Planetary Science Letters*, 288(3—4): 588—600. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2009.10.023>
- Zhang, Y. Q., Zhang, T., 2016. Amushan Formation in Inner Mongolia. *Geology in China*, 43(3): 1000—1015 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, S. M., Chen, D. C., Deng, J., et al., 2011. Depositional Characteristics and Their Geological Implications of the Permian Carboniferous Carbonate Rocks from Yingen-Ejinaqi and Their Surrounding Areas, Inner Mongolia, China. *Earth Science*, 36(1): 62—72 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2011.007>
- Zheng, R. G., Li, J. Y., Liu, J. F., 2017. The Age of Volcanic Rocks of Amushan Formation on the Northern Margin of Alxa Block: Evidence from Zircon U-Pb Data. *Geology in China*, 44(3): 612—613 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, R. G., Wu, T. R., Zhang, W., et al., 2014. Late Paleozoic Subduction System in the Northern Margin of the Alxa Block, Altaids: Geochronological and Geochemical Evidences from Ophiolites. *Gondwana Research*, 25(2): 842—858. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.05.011>
- Zhong, Y. T., He, C., Chen, N. S., et al., 2018. Tectonothermal Records in Migmatite-Like Rocks of the Guandi Complex in Zhoukoudian, Beijing: Implications for Late Neoproterozoic to Proterozoic Tectonics of the North China Craton. *Journal of Earth Science*, 29(5): 1254—1275. <https://doi.org/10.1007/s12583-018-0856-7>
- Zhou, Z. G., Hu, M. M., Wu, C., et al., 2017. Coupled U-Pb Dating and Hf Isotopic Analysis of Detrital Zircons from Bayan Obo Group in Inner Mongolia: Constraints on the Evolution of the Bayan Obo Rift Belt. *Geological Journal, Online*. <https://doi.org/10.1002/gj.3102>
- Zhou, Z. G., Wang, G. S., Zhang, D., et al., 2016. Zircon Ages of Gabbros in the Siziwangqi, Inner Mongolia and Its Constrains on the Formation Time of the Bayan Obo Group. *Acta Petrologica Sinica*, 32(6): 1809—1822 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, J. B., 2015. The Upper Carboniferous-Lower Triassic Sedimentary Environment and Tectonic Setting of Southeast Inner Mongolia (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing, 107—108 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 蔡佳, 刘福来, 刘平华, 等, 2015. 内蒙古孔兹岩带乌拉山—大青山地区元古代孔兹岩系年代学研究. *岩石学报*, 31(10): 3081—3106.
- 曹正琦, 翟文建, 蒋幸福, 等, 2016. 华北克拉通南缘约 2.5 Ga 构造变质事件及意义. *地球科学*, 41(4): 570—585.
- 程裕淇, 沈永和, 曹国权, 等, 1994. 中国区域地质概论. 北京: 地质出版社, 396—405.
- 方曙, 张忠, 于海洋, 等, 2013. 内蒙古东部大地构造. 北京: 地质出版社, 23—29.
- 耿元生, 周喜文, 2011. 阿拉善地区新元古代早期花岗岩的地球化学和锆石 Hf 同位素特征. *岩石学报*, 27(4): 897—908.
- 公王斌, 胡健民, 李振宏, 等, 2016. 华北克拉通北缘裂谷渣尔泰群 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 测年及地质意义. *岩石学报*, 32(7): 2151—2165.
- 郭硕, 滕学建, 刘洋, 等, 2017. 内蒙古乌拉特后旗乌兰敖包地区二叠纪中—基性火山岩地球化学、年代学、Hf 同位素特征及其地质意义. *地质力学学报*, 23(3): 397—410.
- 韩伟, 刘溪, 李金超, 等, 2012. 内蒙古乌拉特后旗乌兰敖包地区石炭系—二叠系阿木山组沉积环境. *地质通报*, 31(10): 1684—1691.
- 胡波, 翟明国, 彭澎, 等, 2013. 华北克拉通元古代末—新元古代地质事件——来自北京西山地区寒武系和侏罗系碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学的证据. *岩石学报*, 29(7): 2508—2536.
- 胡国辉, 胡俊良, 陈伟, 等, 2010. 华北克拉通南缘中条山—嵩山地区 1.78 Ga 基性岩墙群的地球化学特征及构造环境. *岩石学报*, 26(5): 1563—1576.
- 姜亨, 李玉宏, 陈高潮, 等, 2011. 内蒙古西部额济纳旗及邻区上石炭统—下二叠统阿木山组火山岩的地球化学特征. *地质通报*, 30(6): 932—942.
- 李怀坤, 朱士兴, 相振群, 等, 2010. 北京延庆高干庄组凝灰岩的锆石 U-Pb 定年研究及其对华北北部中元古界划分新方案的进一步约束. *岩石学报*, 26(7): 2131—2140.
- 刘池洋, 王建强, 赵红格, 等, 2015. 沉积盆地类型划分及其相关问题讨论. *地质前缘*, 22(3): 1—26.
- 卢进才, 陈高潮, 魏仙样, 等, 2011. 内蒙古西部额济纳旗及邻区石炭系—二叠系沉积建造与生烃条件——石炭系—二叠系油气地质条件研究之一. *地质通报*, 30(6):

811—826.

彭润民,翟裕生,王建平,等,2010.内蒙狼山新元古代酸性火山岩的发现及其地质意义.科学通报,55(26): 2611—2620.

彭润民,翟裕生,王守光,等,2012.华北地台北缘西段额布图镍矿超镁铁质岩岩体锆石的 SHRIMP 年龄特征及其示踪意义.矿床地质,31(S1): 595—596.

邵济安,何国琦,唐克东,2015.华北北部二叠纪陆壳演化.岩石学报,31(1): 47—55.

孙立新,赵凤清,王惠初,等,2013.内蒙古狼山地区宝音图地块变质基底的锆石 U-Pb 年龄及构造意义.地质学报,87(2): 197—207.

王树庆,胡晓佳,杨泽黎,等,2018.兴蒙造山带中段锡林浩特跃进地区石炭纪岛弧型侵入岩:年代学、地球化学、Sr-Nd-Hf 同位素特征及其地质意义.地球科学,43(3): 672—695.

王树庆,辛后田,胡晓佳,等,2016.内蒙古乌兰敖包图早古生代侵入岩年代学、地球化学特征及地质意义.地球科学,41(4): 555—569.

谢力,尹海权,周洪瑞,等,2014.内蒙古阿拉善地区恩格尔乌苏缝合带二叠纪放射虫及其地质意义.地质通报,33(5): 691—697.

杨臻元,刘欢,张德军,等,2015.内蒙古白云鄂博上石炭—下二叠统阿木山组碎屑锆石年代学特征及其地质意义.世界地质,34(2): 259—272.

尹海权,2016.内蒙古阿拉善地区北部古生代沉积及其大地构造演化特征(博士学位论文).北京:中国地质大学,94—96.

翟明国,胡波,彭澎,等,2014.华北中—新元古代的岩浆作用与多期裂谷事件.地学前缘,21(1): 100—119.

张进,李锦轶,刘建峰,等,2012.早古生代阿拉善地块与华北地块之间的关系:来自阿拉善东缘中奥陶统碎屑锆石的信息.岩石学报,28(9): 2912—2934.

张拴宏,赵越,刘建民,等,2010.华北地块北缘晚古生代——早中生代岩浆活动期次、特征及构造背景.岩石矿物学杂志,29(6): 824—842.

张玉清,张婷,2016.内蒙古阿木山组.中国地质,43(3): 1000—1015.

赵省民,陈登超,邓坚,等,2011.银根—额济纳旗及邻区石炭—二叠纪碳酸盐岩的沉积特征及其地质意义.地球科学,36(1): 62—72.

郑荣国,李锦轶,刘建峰,2017.阿拉善地块北缘地区阿木山组火山岩时代:锆石 U-Pb 定年证据.中国地质,44(3): 612—613.

周志广,王果胜,张达,等,2016.内蒙古四子王旗地区侵入白云鄂博群辉长岩的年龄及其对白云鄂博群时代的约束.岩石学报,32(6): 1809—1822.

朱俊宾,2015.内蒙古东南部上石炭统一下三叠统的沉积环境和构造背景(博士学位论文).北京:中国地质大学,107—108.