

# 内蒙古苏尼特左旗早古生代乌华敖包弧前盆地的识别及其古地理意义

颜林杰<sup>1</sup> 徐备<sup>1,2,†</sup> 张佳明<sup>1</sup> 王炎阳<sup>1</sup>

1. 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871;

2. 河北地质大学区域地质与成矿作用重点实验室, 石家庄 050031;

† 通信作者, E-mail: bxu@pku.edu.cn

**摘要** 通过野外观察和剖面测量、锆石年代学分析及沉积相分析等方法, 对新发现的苏尼特左旗乌华敖包地区浅变质岩系进行研究, 并探讨其古地理意义。结果表明, 该套浅变质岩系以变质火山岩、变质砂岩与大理岩互层为特征, 构成3个沉积旋回, 代表弧前盆地中-晚期向上变浅的海相火山喷发-沉积环境; 多层火山岩的出现揭示持续的岩浆活动; 火山岩锆石 U-Pb 定年结果为  $454.4 \pm 4.1$  Ma, 与北部早古生代宝力道岛弧带的岩浆岩年龄相近, 表明该套浅变质岩系与早古生代岛弧岩浆活动有关。由于该岩系位于北部宝力道岛弧岩浆岩带与南部混杂岩带之间, 因此其古地理位置应属早古生代弧前盆地。乌华敖包浅变质岩系的层序、成分、时代和位置特征揭示研究区曾存在弧前盆地。根据早古生代地层、岩浆岩和变质特征, 认为弧前盆地经历了俯冲及碰撞两个阶段。

**关键词** 兴蒙造山带; 苏尼特左旗; 弧前盆地; 古地理

## Recognition of the Early Paleozoic Wuhuaaobao Forearc Basin and Its Paleogeographic Significance in Sunid Zuoqi, Inner Mongolia

YAN Linjie<sup>1</sup>, XU Bei<sup>1,2,†</sup>, ZHANG Jiaming<sup>1</sup>, WANG Yanyang<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution (MOE), School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871; 2. Key Laboratory of Regional Geology and Mineralization, Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031;

† Corresponding author, E-mail: bxu@pku.edu.cn

**Abstract** Analysis of sedimentary sequence, material composition and geochronology are used to study a newly discovered epimetamorphic rock series in Wuhuaaobao area of Sunid Zuoqi, Inner Mongolia, and its paleogeographic significance is also discussed. The epimetamorphic rock serie is characterized by the interbedded sequence of metavolcanic rock, metasandstone and marble, which contains three cycles and represents an upward-shallowing marine volcanic-sedimentary environment. The presence of multilayer volcanic rocks indicates that they formed during continuous magmatic activity. Zircon U-Pb age of the metavolcanic rock is  $454.4 \pm 4.1$  Ma, which is coincided with the magmatic rock ages of early Paleozoic Bolidao island arc belt in the north. Because the serie is located between the Baolidao arc magmatic belt in the north and the mélangé belt in the south, its paleogeographic position should be an early Paleozoic forearc basin. Sequence, composition, age and position characteristics of the Wuhuaaobao epimetamorphic rock serie reveal the presence of the forearc basin in the study area. Two evolutionary stages of the forearc basin have been suggested during subduction and collision, respectively, according to the early Paleozoic strata, magmatic rocks and metamorphic events.

**Key words** Xing-Meng Orogenic Belt; Sunid Zuoqi; forearc basin; paleogeography

兴蒙造山带位于中亚造山带东段,包括我国内蒙古自治区和东北地区,是研究古亚洲洋俯冲闭合及中亚造山带形成的关键地区。近年来,对兴蒙造山带内构造单元的划分、造山带的结构及其时空演化等方面开展了系统的研究,将其自北向南依次划分为兴安-艾力格庙地块、北造山带、松辽-浑善达克地块、南造山带和华北克拉通北缘等几个次级构造单元(图 1)<sup>[1-2]</sup>。随着研究的深入,又识别出弧背前陆盆地<sup>[1,3-11]</sup>(图 2),相当于俯冲阶段的弧后盆地,暗示古亚洲洋向北俯冲时曾发育沟-弧-盆体系。但是,对该体系古地理格局的精细描述(如是否存在弧前盆地)尚欠缺。

我们在苏尼特左旗西南的乌华敖包地区,从 1:20 万地质图划定的温都尔庙群中识别出一套晚奥陶世的浅变质岩系。本文通过野外观察和剖面测量、锆石年代学分析及沉积相分析方法,对其地层序列、形成时代和沉积环境进行较详细的研究,并讨论这套地层的古地理意义。

## 1 区域地质概况

研究区位于内蒙古自治区中部苏尼特左旗县城西南,属于兴蒙造山带的北造山带范围。根据前人的研究,可将苏尼特左旗地区北造山带划分为 6 个二级构造单元,由南往北依次为前陆变形带、混杂岩带、周缘前陆盆地、岛弧岩浆岩带、同碰撞花岗岩带和弧背前陆盆地(图 2)。

前陆变形带位于苏尼特左旗南部查干乌拉地区,分布在混杂岩带的南侧,由温都尔庙群变质增生杂岩组成,下部为桑达尔音呼都格组,为一套石英岩、含铁石英岩、铁矿层和绿泥石片岩组合,偶夹透镜状大理岩;上部为哈尔哈达组,由绢云母石英片岩和石英岩组成,局部夹碳酸盐沉积<sup>[13-15]</sup>。哈拉干附近温都尔庙群变质基性火山岩的 SHRIMP 锆石年代测定结果为  $460 \pm 4$  Ma, 长英质千枚岩碎屑锆石的加权平均年龄为  $463 \pm 2$  Ma<sup>[13-14]</sup>。该套地层发育两期褶皱,第一期的轴面片理北倾,褶皱总体形态向南倒转;第二期褶皱的枢纽为 NEE-SWW 向。前陆变形带内还发育一系列北倾逆冲断层。这些褶皱和片理构成总体上向南逆冲的前陆变形带,反映温都尔庙群代表的古亚洲洋的俯冲变形过程<sup>[5]</sup>。

混杂岩带见于艾里格庙、脑木浑尼至和洪格尔、哈拉干和二道井地区,东西向延伸约 400 km,由超基性岩、石英岩、大理岩、绿片岩和蓝片岩的岩块以及温都尔庙群绢云石英片岩的基质组成<sup>[13]</sup>,基质发育透入性变形,与岩块之间为断层接触<sup>[1]</sup>。脑木浑尼地区蓝片岩钠质闪石的  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年龄为  $383 \pm 13$  Ma, 指示该区发生高压变质的年龄,代表早古生代温都尔庙群洋壳向北俯冲消减的时代<sup>[7]</sup>。

周缘前陆盆地位于苏尼特左旗南部脑木浑尼地区,以色列巴彦敖包组为典型代表,岩性以碎屑岩为主,夹少量火山碎屑岩,角度不整合地覆盖在温都尔庙群之上<sup>[12]</sup>。正层型剖面底部为复成分砾岩,

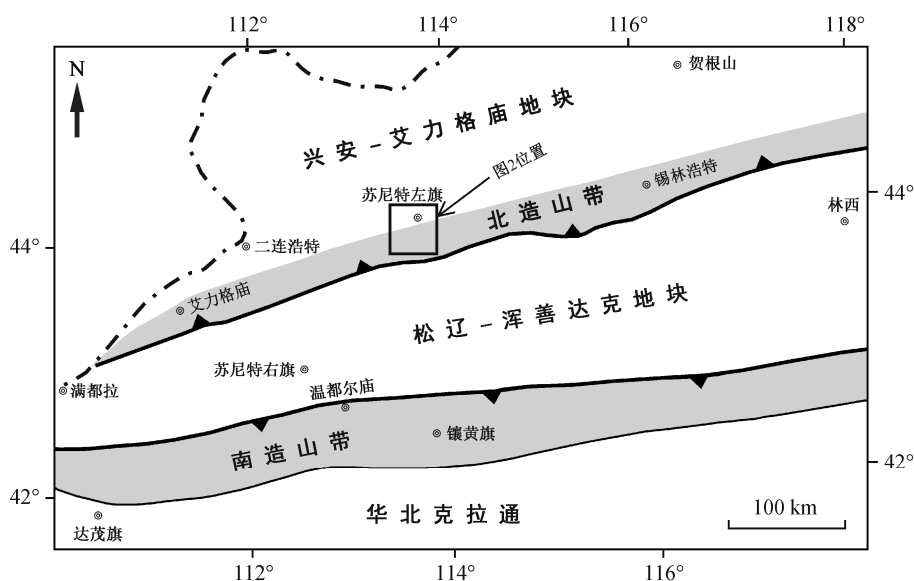


图 1 兴蒙造山带早古生代大地构造单元图(据文献[1-2]修改)

Fig. 1 Early Paleozoic tectonic unit map of Xing-Meng orogenic belt (after Ref. [1-2])

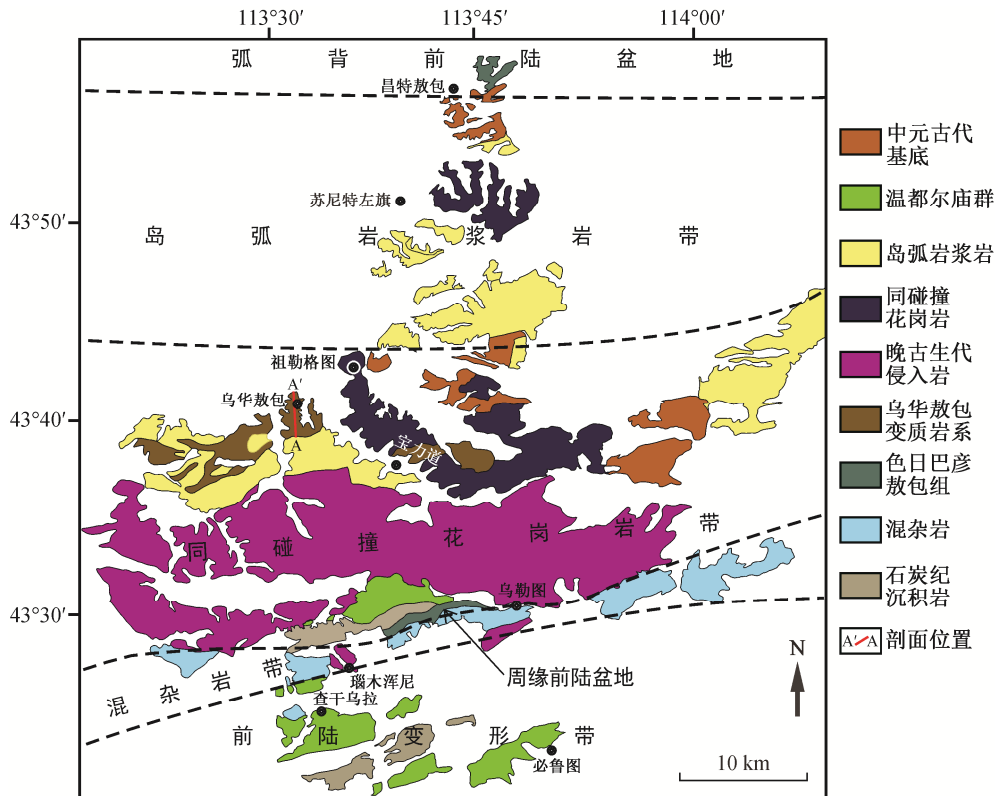


图 2 苏尼特左旗地区造山带构造单元及乌华敖包剖面位置(据文献[5,11-12]修改)

Fig. 2 Tectonic units of orogenic belt in Sunid Zuoqi and the location of Wuhuaobao section (after Ref. [5,11-12])

砾石成分为温都尔庙群的石英岩和绿泥石片岩等；下部的砂岩和灰岩中化石丰富，含植物化石 *Leptophloeum rhombicum*<sup>[1,12]</sup>；中部为砂岩与粉砂岩、页岩互层，夹少量火山碎屑岩，产珊瑚和腕足等动物化石<sup>[12]</sup>；上部为长石砂岩和石英砂岩，偶夹薄层灰岩。剖面由下而上的结构和构造特征反映从陆相到海相的沉积过程，亦显示沉积环境趋于稳定的过程<sup>[12]</sup>。

岛弧岩浆岩带见于苏尼特左旗县城至南部的祖勒格图一带，呈东西向带状分布，以白音宝力道岛弧岩浆岩为代表，岩石组合包括辉长-闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩、英安岩、安山岩和流纹斑岩等，这些岛弧岩浆岩被认为是早古生代古亚洲洋向北侧兴安-艾力格庙地块俯冲的产物<sup>[1-3,5,10,16-21]</sup>。前人的研究表明，白音宝力道花岗岩可以分为两个序列，其中白音宝力道序列属于富钠的岛弧型花岗岩(I型)，其形成时代为414~418 Ma<sup>[5,6,18,22]</sup>。有学者认为白音宝力道岩体是一个多期次侵入的复式岩体，早期(479~464 Ma)富钠质花岗岩类具有埃达克岩的地球化学特征，属于洋壳俯冲产物<sup>[8]</sup>。另外一些学者则将苏尼特左旗地

区岩浆作用划分为3期，即初始岛弧阶段(490~464 Ma)、成熟大陆弧阶段(449~439 Ma)和碰撞-后碰撞阶段(429~423 Ma)<sup>[10,21]</sup>。

同碰撞花岗岩带出露在苏尼特左旗南部的白音宝力道苏木至昌图锡力苏木一带，位于岛弧岩浆岩带的南侧，呈东西向展布，但比岩浆岩带分布更广泛，由花岗闪长岩、二长花岗岩和钾长花岗岩等组成，常侵入混杂岩带、前陆变形带和岛弧岩浆带中，形成时代为429~423 Ma<sup>[8,21-23]</sup>。

弧背前陆盆地沉积见于苏尼特左旗县城以北的昌特敖包附近，由色日巴彦敖包组组成，为一套碎屑岩夹火山岩组合。沉积环境分析表明其主要为冲积扇相沉积，包含两个由砾岩-含砾砂岩-粉砂岩组成的旋回。根据上部火山岩夹层和下部岩屑质长石砂岩的锆石年代测定结果，限定其时代为晚泥盆世至早石炭世<sup>[11]</sup>。

## 2 地层岩性组合及其沉积环境

本研究新识别的浅变质岩系见于苏尼特左旗县城西南乌华敖包地区，位于岛弧岩浆带以南，混杂岩带以北，包括绢云石英片岩、绿泥石片岩、阳起

石片岩、变质碎屑岩、片理化的火山碎屑岩和灰岩, 1:20万区域地质报告中称为温都尔庙群<sup>①</sup>, 1:5万区域地质调查资料中归属花敖包特岩组<sup>②</sup>(图2), 本文将其称为乌华敖包浅变质岩系。

乌华敖包浅变质岩系南部与早古生代花岗闪长岩体以断层方式接触, 北部被第四纪覆盖<sup>[24]</sup>, 实测剖面如图3所示。剖面从南向北可分为3个旋回, 第1~3层构成第一旋回, 下部为变质泥岩和变质砂岩组合(图4(a)), 上部为大理岩; 第4~10层构成第二旋回, 下部为阳起石片岩和角闪片石岩(图4(b)), 中部为变质砂岩、变质泥岩和片理化凝灰岩组成的变质火山-沉积岩组合, 上部为角闪片石岩和二云母片岩, 原岩应为中基性火山岩(图4(c)和(d)), 以顶部出现的大理岩为第二旋回结束(图4(e)); 第三旋回下部为变火山凝灰岩(图4(f)), 向上过渡到阳起石片岩, 顶部为变质泥岩和变质砂岩(图3)。

### 3 样品采集及岩相学特征

本研究采集剖面第11层(130505-06)和下部第6层(130505-09)两个样品进行锆石 U-Pb 年代学分析。样品 130505-06 为片理化沉凝灰岩, 呈浅灰色, 片理发育(图 5(a)), 火山碎屑物由长石(20%~25%)、石英(25%~30%)及少量岩屑(5%~10%)组成, 粒径小于 0.2 mm, 火山灰胶结, 含少量外来碎屑, 构成沉凝灰结构(图 5(b)), 显微镜下还观察到变质矿物绿泥石, 原岩应为沉凝灰岩。样品 130505-09 为片理化凝灰岩, 风化面灰色, 片理发育(图 5(c)), 显微镜下呈凝灰结构, 晶屑由长石(20%~25%)、石英(30%~40%)和少量黑云母(约 5%)组成, 属于流纹质晶屑凝

灰岩(图 5(d))。

## 4 样品测试与年龄分析

### 4.1 分析方法

采用常规方法对样品进行破碎。经浮选和磁选后, 在双目显微镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒, 制成样品靶。锆石样品靶的制备与 SHRIMP 定年锆石样品制备方法<sup>[25]</sup>相同。锆石的阴极发光(CL)显微照相以及锆石 LA-ICP-MS 原位 U-Pb 同位素年龄分析在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室完成, 采用 GLITTER4.4.2 程序计算样品的同位素比值和元素含量, 使用 Anderson 等<sup>[26]</sup>的程序进行普通铅校正, 使用 Isoplot/Ex (3.0)<sup>[27]</sup>完成加权平均年龄计算及谐和图的绘制。分析数据及锆石 U-Pb 谐和图的误差为  $1\sigma$ , 置信度为 95%。

### 4.2 测试结果

沉凝灰岩样品 130505-6 的锆石颗粒为自形-半自形, 长 50~100  $\mu\text{m}$ , 宽 30~50  $\mu\text{m}$ , 发育良好的岩浆震荡环带(图 6), TH/U 值为 0.28~1.64, 显示典型的岩浆锆石特征。共选取 31 颗锆石进行 U-Pb 年代学测试, 结果见表 1。其中, 有 5 个测点(8, 11, 15, 27, 28)的数据因不谐和度大于 10% 而被剔除, 其余 26 个测点的有效年龄值都位于谐和线上, 年龄范围为 455 $\pm$ 9~2379 $\pm$ 19 Ma, 主要在 500~650 Ma 之间; 最年轻的两颗锆石年龄分别为 455 $\pm$ 9 和 456 $\pm$ 8 Ma, 谐和年龄为 455 $\pm$ 6 Ma(图 7(a)和(b)), 应代表形成年龄的最大值。

凝灰岩样品 130505-9 的锆石颗粒为自形-半自形, 长 60~120  $\mu\text{m}$ , 宽 40~90  $\mu\text{m}$ , 发育良好的岩浆震

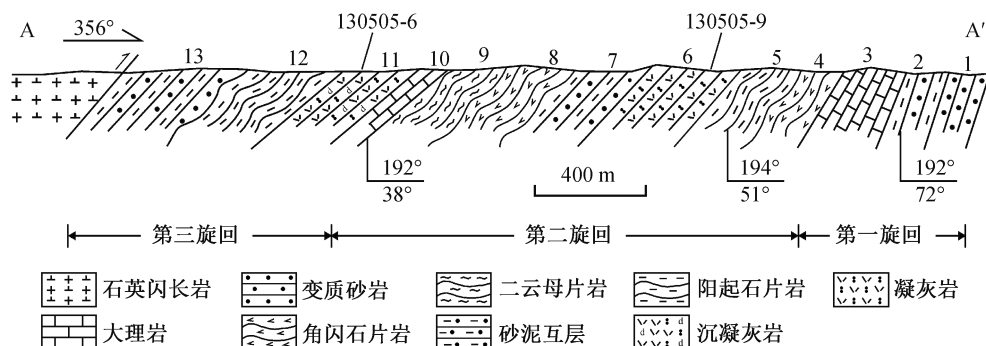
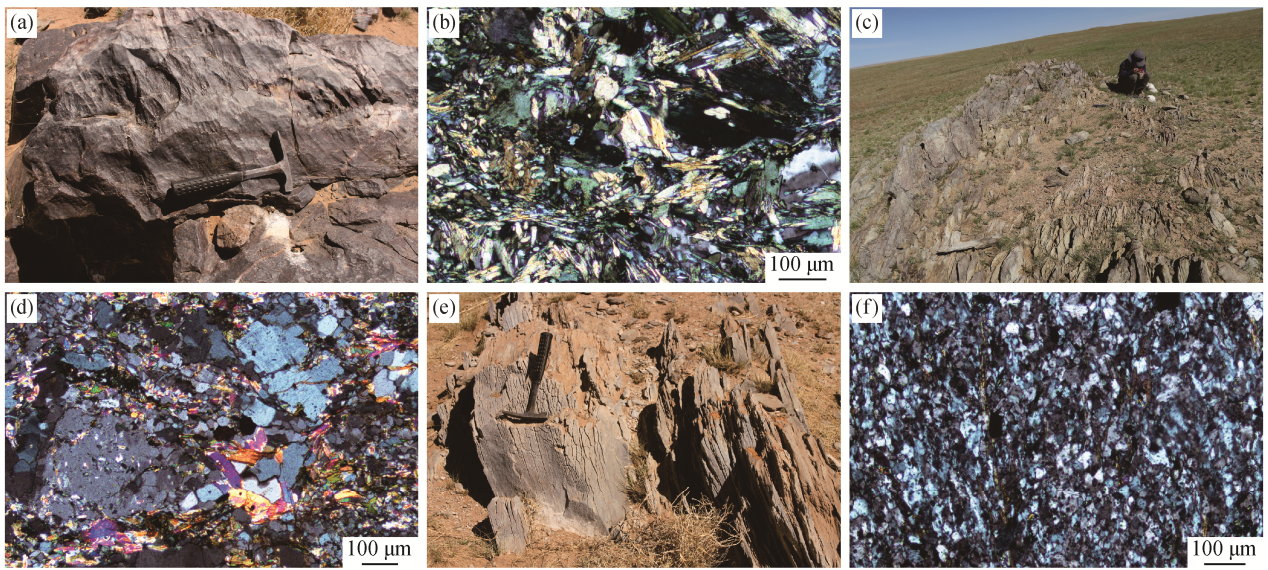


图3 乌华敖包浅变质岩系实测地层剖面  
Fig. 3 Stratigraphic section of the Wuhuaobao epimetamorphic rock series

① 内蒙古自治区地质局. 1:20 万苏尼特左旗区域地质调查报告, 1965

② 中国地质大学(北京)内蒙区调队. 1:5 万祖勒格图幅地质调查报告, 1992

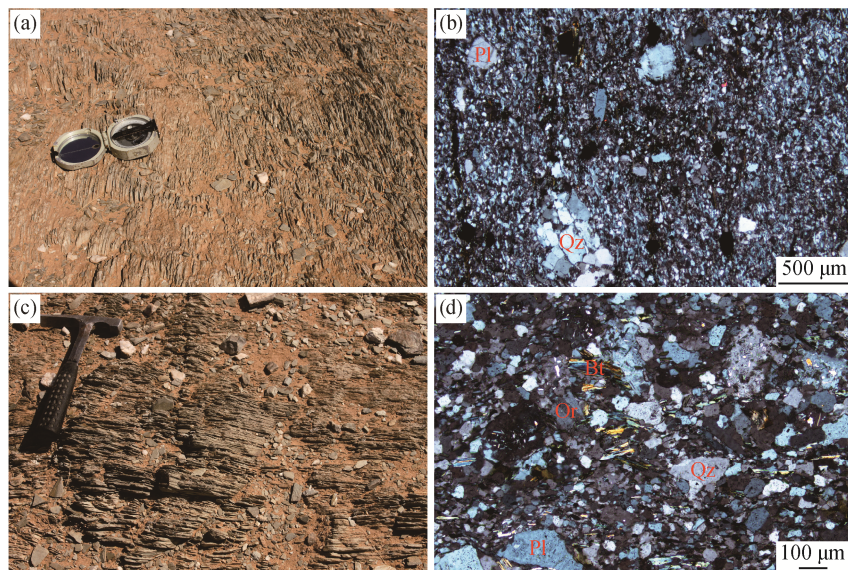




(a) 变质砂岩; (b) 角闪片岩; (c)和(d) 二云母片岩; (e) 大理岩; (f) 流纹质晶屑凝灰岩

图 4 乌华敖包浅变质岩系野外照片和正交偏光显微镜下照片

Fig. 4 Field photos and microscopic photos of the Wuhuaaobao epimetamorphic rock series



(a)和(b) 130505-06; (c)和(d) 130505-09。Bt: 黑云母; Or: 正长石; Pl: 斜长石; Qz: 石英

图 5 定年样品野外照片和正交偏光显微镜下显微照片

Fig. 5 Field photographs and microscopic photographs of dated sample

荡环带(图 6), TH/U 值为 0.21~0.99, 显示典型的岩浆锆石特征。共选取 75 颗锆石进行 U-Pb 年代学测试, 结果见表 1。其中, 有两个测点(42, 55)的数据因不谐和度大于 10%而被剔除, 其余 73 个测点的有效年龄值都位于谐和线上, 年龄范围为  $455 \pm 9 \sim 1219 \pm 18$  Ma, 其中 68 个介于 415~496 Ma 之间, 加权平均年龄为  $454.4 \pm 4.1$  Ma (图 7(c)和(d)), 代表样品的形成年龄。

## 5 讨论

### 5.1 形成时代和物源分析

徐备等<sup>[24]</sup>曾获得本文剖面中阳起石片岩的 Sm-Nd 同位素等时线年龄  $1910 \pm 71.9$  Ma, 并将其解释成原始形成年龄。本研究得到沉凝灰岩的最大沉积年龄及凝灰岩的形成年龄分别为  $455 \pm 6$  Ma 和  $454 \pm 4$  Ma, 两者时代一致, 由此可以限定浅变质岩系的原

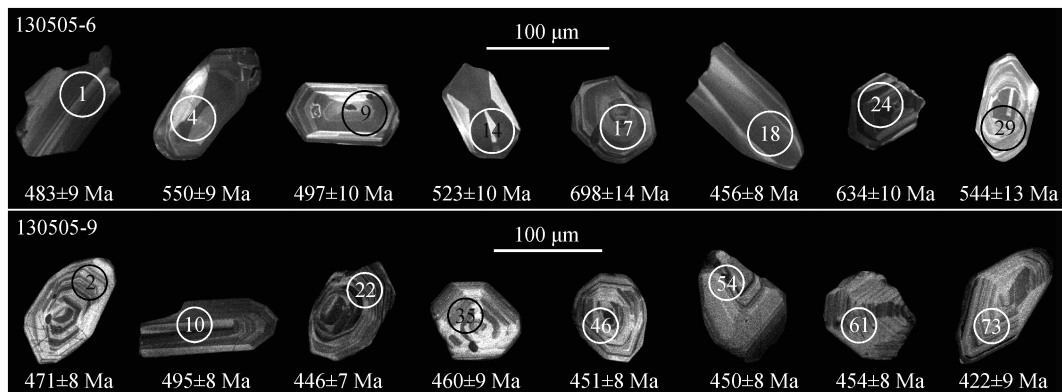


图 6 锆石阴极发光图像  
Fig. 6 CL images of selected zircons

岩形成于晚奥陶世,而非之前认为的古元古代。

对苏尼特左旗宝力道岛弧岩浆岩已有大量的测年工作,表明其形成时代介于 420~490 Ma 之间。本文中浅变质岩系剖面沉凝灰岩的最大沉积年龄及凝灰岩的形成年龄在此范围之内,表明浅变质岩系原岩的形成时代与岛弧带的岩浆岩(英云闪长岩  $464 \pm 8$  Ma<sup>[8]</sup>,花岗岩  $441 \sim 449$  Ma<sup>[21]</sup>)相近,据此可推断浅变质岩系与早古生代岛弧岩浆活动有关。值得注意的是,样品 130505-06 中含大量 500~650 Ma 以及个别更老的元古代锆石,应属于捕获锆石或沉积来源的碎屑锆石,暗示早古生代岩浆活动曾穿过元古代地层,因此该区域应存在元古代变质基底。上述推测与已有研究结果一致,例如孙立新<sup>[9]</sup>等曾报道元古代二长花岗岩和花岗片麻岩的年龄分别为  $1516 \pm 31$  Ma 和  $1390 \pm 17$  Ma。

除时代及火山物质与宝力道岛弧岩浆岩一致外,变质岩系中阳起石片岩的 Nd 同位素特征也可说明其岩浆来源。徐备等<sup>[24]</sup>曾对本岩系中的阳起石片岩进行全岩 Sm-Nd 同位素分析,并按 1910 Ma 的年龄值计算得到  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = 3.87 \sim 4.07$ 。本文根据新得到的年龄 455 Ma,重新计算得到  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = 3.99 \sim 6.60$ ,与宝力道岛弧岩浆活动的  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值 ( $2.5 \sim 6.2$ <sup>[17]</sup>) 相近,表明基性岩浆起源于亏损地幔,属于被交代的壳下岩石圈地幔,因此弧后盆地与岛弧带的岩浆岩具有一致的岩浆来源。

## 5.2 盆地类型

从大洋向大陆一侧,大陆弧通常发育岛海沟、增生楔、弧前盆地、火山弧、弧间盆地,褶皱逆冲带和弧后前陆盆地等构造单元<sup>[28]</sup>。弧前盆地位于岛弧前部与增生楔之间,其下部为变质砾岩、砂岩

粉砂岩及碳酸盐岩,代表海水深度快速加大的过程;其上部为火山熔岩、火山碎屑岩及长石砂岩夹碳酸盐岩,代表向上变浅的充填过程<sup>[29-31]</sup>。例如,对美国加州 El Paso 地区二叠系沉积的分析表明,从 280 Ma 开始经历早期快速沉降,之后大部分时间一直缓慢抬升,晚期 270~260 Ma 以火山碎屑岩为主,夹各类砂岩和碳酸盐岩,代表典型的弧前盆地<sup>[31]</sup>。

乌华敖包浅变质岩系以变质火山岩、变质砂岩与大理岩互层为特征,构成 3 个沉积旋回。剖面中出现多层火山岩,表明火山作用的连续发育;并且,两套厚层碳酸盐岩(大理岩)的存在说明盆地处于向上变浅的海相沉积环境。这些成分、建造和演化特征符合弧前盆地中-晚期发育阶段的地层序列。

## 5.3 古地理意义

前人已对苏尼特左旗地区早古生代沟弧盆体系的构造单元以及岛弧带的分布、成分及成因进行详细的研究,识别出代表俯冲洋壳的混杂岩带、白音宝力道岛弧及弧后盆地等 3 个构造单元<sup>[1-2,11]</sup>。本文则识别出另一个构造单元——乌华敖包弧前盆地,补充和完善了苏尼特左旗地区早古生代沟-弧-盆体系的板块构造格局,也为兴蒙造山带所属的北造山带构造演化提供了新的沉积学约束。

乌华敖包浅变质岩系的原岩由火山岩、火山碎屑岩、陆源碎屑岩和浅海相碳酸盐岩组成,火山岩样品的最年轻时代与宝力道岛弧的岩浆岩基本上一致,说明乌华敖包火山-沉积地层与宝力道岛弧是同时期产物。乌华敖包浅变质岩系处于北部岛弧岩浆岩带和南部混杂岩带之间(图 2),显然其构造古地理单元应属于弧前盆地,其形成与改造过程可分为俯冲和碰撞两个阶段。

表 1 苏尼特左旗乌华敖包样品锆石 U-Pb 测年结果  
Table 1 Results of La-ICP-MS zircon U-Pb age dating of wuhuaobao samples in Sunid Left Banner

测点	含量/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )		Th/U	同位素比值 $\pm 1\sigma$			年龄 $\pm 1\sigma$			不谐和度/%
	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
130505-6										
1	96.78	105.55	0.92	$0.05673\pm 0.00211$	$0.60935\pm 0.02286$	$0.07788\pm 0.00144$	$481\pm 51$	$483\pm 14$	$483\pm 9$	0.00
2	73.10	108.41	0.67	$0.05586\pm 0.00227$	$0.56283\pm 0.02266$	$0.07306\pm 0.00146$	$447\pm 54$	$453\pm 15$	$455\pm 9$	-0.44
3	154.55	144.15	1.07	$0.15465\pm 0.00278$	$9.41173\pm 0.19260$	$0.44128\pm 0.00727$	$2398\pm 16$	$2379\pm 19$	$2356\pm 33$	1.78
4	185.90	176.85	1.05	$0.05861\pm 0.00159$	$0.72035\pm 0.02037$	$0.08912\pm 0.00155$	$553\pm 33$	$551\pm 12$	$550\pm 9$	0.18
5	289.48	219.35	1.32	$0.05745\pm 0.00156$	$0.65297\pm 0.01850$	$0.08241\pm 0.00143$	$509\pm 33$	$510\pm 11$	$510\pm 9$	0.00
6	45.10	159.38	0.28	$0.05743\pm 0.00175$	$0.65608\pm 0.02054$	$0.08284\pm 0.00147$	$508\pm 39$	$512\pm 13$	$513\pm 9$	-0.19
7	87.10	118.57	0.73	$0.05756\pm 0.00240$	$0.64528\pm 0.02684$	$0.08129\pm 0.00159$	$513\pm 57$	$506\pm 17$	$504\pm 9$	0.40
9	103.08	92.86	1.11	$0.05961\pm 0.00287$	$0.65935\pm 0.03117$	$0.08021\pm 0.00171$	$589\pm 66$	$514\pm 19$	$497\pm 10$	3.42
10	249.70	265.82	0.94	$0.05716\pm 0.00157$	$0.63706\pm 0.01826$	$0.08081\pm 0.00140$	$498\pm 34$	$500\pm 11$	$501\pm 8$	-0.20
12	143.80	152.45	0.94	$0.05833\pm 0.00178$	$0.70354\pm 0.02193$	$0.08746\pm 0.00156$	$542\pm 38$	$541\pm 13$	$540\pm 9$	0.19
13	421.90	257.24	1.64	$0.05901\pm 0.00138$	$0.74151\pm 0.01851$	$0.09112\pm 0.00153$	$567\pm 27$	$563\pm 11$	$562\pm 9$	0.18
14	73.65	99.08	0.74	$0.05791\pm 0.00227$	$0.67465\pm 0.02654$	$0.08447\pm 0.00161$	$526\pm 53$	$524\pm 16$	$523\pm 10$	0.19
16	743.40	480.08	1.55	$0.06038\pm 0.00130$	$0.64844\pm 0.01524$	$0.07788\pm 0.00128$	$617\pm 25$	$508\pm 9$	$483\pm 8$	5.18
17	63.07	54.87	1.15	$0.06351\pm 0.00323$	$1.00184\pm 0.05027$	$0.11438\pm 0.00243$	$725\pm 70$	$705\pm 25$	$698\pm 14$	1.00
18	114.33	122.44	0.93	$0.05587\pm 0.00209$	$0.56453\pm 0.02124$	$0.07327\pm 0.00138$	$447\pm 51$	$454\pm 14$	$456\pm 8$	-0.44
19	182.08	118.79	1.53	$0.06527\pm 0.00236$	$0.79716\pm 0.02889$	$0.08856\pm 0.00170$	$783\pm 45$	$595\pm 16$	$547\pm 10$	8.78
20	170.58	127.97	1.33	$0.05997\pm 0.00184$	$0.81999\pm 0.02585$	$0.09915\pm 0.00177$	$602\pm 38$	$608\pm 14$	$609\pm 10$	-0.16
21	90.68	75.42	1.20	$0.05873\pm 0.00318$	$0.72614\pm 0.03846$	$0.08965\pm 0.00205$	$557\pm 76$	$554\pm 23$	$553\pm 12$	0.18
22	309.47	194.52	1.59	$0.05932\pm 0.00162$	$0.76260\pm 0.02172$	$0.09322\pm 0.00161$	$579\pm 33$	$576\pm 13$	$575\pm 9$	0.17
23	247.94	186.41	1.33	$0.05881\pm 0.00158$	$0.72906\pm 0.02035$	$0.08990\pm 0.00156$	$560\pm 32$	$556\pm 12$	$555\pm 9$	0.18
24	316.88	224.25	1.41	$0.06097\pm 0.00153$	$0.86862\pm 0.02299$	$0.10331\pm 0.00178$	$638\pm 29$	$635\pm 12$	$634\pm 10$	0.16
25	529.21	353.23	1.50	$0.05758\pm 0.00136$	$0.66352\pm 0.01669$	$0.08356\pm 0.00141$	$514\pm 28$	$517\pm 10$	$517\pm 8$	0.00
26	377.12	263.17	1.43	$0.05785\pm 0.00143$	$0.68032\pm 0.01781$	$0.08527\pm 0.00145$	$524\pm 30$	$527\pm 11$	$528\pm 9$	-0.19
29	38.49	52.82	0.73	$0.05833\pm 0.00353$	$0.70854\pm 0.04177$	$0.08808\pm 0.00211$	$542\pm 87$	$544\pm 25$	$544\pm 13$	0.00
30	51.38	67.95	0.76	$0.05804\pm 0.00275$	$0.68932\pm 0.03238$	$0.08612\pm 0.00176$	$531\pm 67$	$532\pm 19$	$533\pm 10$	-0.19
31	266.23	179.11	1.49	$0.06129\pm 0.00183$	$0.90519\pm 0.02782$	$0.10710\pm 0.00191$	$649\pm 37$	$654\pm 15$	$656\pm 11$	-0.30
130505-9										
1	114.49	290.66	0.39	$0.05673\pm 0.00124$	$0.59341\pm 0.01282$	$0.07583\pm 0.00125$	$481\pm 22$	$473\pm 8$	$471\pm 7$	0.42
2	55.01	73.05	0.75	$0.05645\pm 0.00227$	$0.59065\pm 0.02322$	$0.07585\pm 0.00139$	$470\pm 55$	$471\pm 15$	$471\pm 8$	0.00
3	187.83	460.72	0.41	$0.05597\pm 0.00095$	$0.56953\pm 0.00975$	$0.07378\pm 0.00118$	$451\pm 17$	$458\pm 6$	$459\pm 7$	-0.22
4	148.20	224.21	0.66	$0.06123\pm 0.00135$	$0.69257\pm 0.01501$	$0.08200\pm 0.00136$	$647\pm 22$	$534\pm 9$	$508\pm 8$	5.12
5	159.67	161.04	0.99	$0.05721\pm 0.00145$	$0.62415\pm 0.01550$	$0.07909\pm 0.00134$	$500\pm 27$	$492\pm 10$	$491\pm 8$	0.20

续表

测点	含量/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )		Th/U	同位素比值 $\pm 1\sigma$			年龄 $\pm 1\sigma$			不谐和度/%
	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
6	123.10	127.93	0.96	$0.05709\pm 0.00149$	$0.62534\pm 0.01598$	$0.07941\pm 0.00136$	$495\pm 28$	$493\pm 10$	$493\pm 8$	0.00
7	126.80	233.93	0.54	$0.05684\pm 0.00126$	$0.60644\pm 0.01321$	$0.07735\pm 0.00128$	$485\pm 23$	$481\pm 8$	$480\pm 8$	0.21
8	49.74	84.34	0.59	$0.05827\pm 0.00236$	$0.64230\pm 0.02515$	$0.07990\pm 0.00154$	$540\pm 52$	$504\pm 16$	$496\pm 9$	1.61
9	698.79	824.86	0.85	$0.05565\pm 0.00087$	$0.55558\pm 0.00885$	$0.07237\pm 0.00114$	$438\pm 16$	$449\pm 6$	$450\pm 7$	-0.22
10	109.77	118.95	0.92	$0.05722\pm 0.00187$	$0.63048\pm 0.02004$	$0.07987\pm 0.00142$	$500\pm 40$	$496\pm 12$	$495\pm 8$	0.20
11	94.34	280.24	0.34	$0.05604\pm 0.00122$	$0.58213\pm 0.01249$	$0.07531\pm 0.00125$	$454\pm 22$	$466\pm 8$	$468\pm 7$	-0.43
12	61.93	126.22	0.49	$0.05785\pm 0.00182$	$0.67520\pm 0.02062$	$0.08461\pm 0.00153$	$524\pm 37$	$524\pm 12$	$524\pm 9$	0.00
13	178.27	305.85	0.58	$0.05615\pm 0.00116$	$0.56448\pm 0.01154$	$0.07287\pm 0.00119$	$458\pm 21$	$454\pm 7$	$453\pm 7$	0.22
14	239.23	427.20	0.56	$0.05602\pm 0.00114$	$0.56597\pm 0.01137$	$0.07324\pm 0.00119$	$453\pm 20$	$455\pm 7$	$456\pm 7$	-0.22
15	122.49	300.68	0.41	$0.05595\pm 0.00122$	$0.56335\pm 0.01215$	$0.07299\pm 0.00119$	$450\pm 23$	$454\pm 8$	$454\pm 7$	0.00
16	237.59	399.89	0.59	$0.05648\pm 0.00106$	$0.58984\pm 0.01101$	$0.07570\pm 0.00122$	$471\pm 18$	$471\pm 7$	$470\pm 7$	0.21
17	130.90	409.74	0.32	$0.05621\pm 0.00114$	$0.57192\pm 0.01153$	$0.07376\pm 0.00120$	$461\pm 20$	$459\pm 7$	$459\pm 7$	0.00
18	71.00	115.60	0.61	$0.05651\pm 0.00177$	$0.58836\pm 0.01790$	$0.07548\pm 0.00135$	$472\pm 37$	$470\pm 11$	$469\pm 8$	0.21
19	119.21	256.65	0.46	$0.05650\pm 0.00138$	$0.59599\pm 0.01424$	$0.07646\pm 0.00129$	$472\pm 26$	$475\pm 9$	$475\pm 8$	0.00
20	54.33	81.44	0.67	$0.05670\pm 0.00225$	$0.59117\pm 0.02285$	$0.07558\pm 0.00141$	$480\pm 53$	$472\pm 15$	$470\pm 8$	0.43
21	362.16	625.04	0.58	$0.05561\pm 0.00100$	$0.53990\pm 0.00975$	$0.07038\pm 0.00112$	$437\pm 18$	$438\pm 6$	$438\pm 7$	0.00
22	98.64	214.82	0.46	$0.05564\pm 0.00156$	$0.54995\pm 0.01505$	$0.07165\pm 0.00122$	$438\pm 32$	$445\pm 10$	$446\pm 7$	-0.22
23	50.83	83.15	0.61	$0.05661\pm 0.00233$	$0.58378\pm 0.02322$	$0.07475\pm 0.00147$	$476\pm 54$	$467\pm 15$	$465\pm 9$	0.43
24	74.47	103.58	0.72	$0.05566\pm 0.00250$	$0.54852\pm 0.02402$	$0.07144\pm 0.00136$	$439\pm 64$	$444\pm 16$	$445\pm 8$	-0.22
25	65.58	308.16	0.21	$0.07027\pm 0.00129$	$1.47032\pm 0.02691$	$0.15169\pm 0.00244$	$936\pm 17$	$918\pm 11$	$910\pm 14$	0.88
26	47.16	73.36	0.64	$0.05661\pm 0.00274$	$0.59952\pm 0.02840$	$0.07677\pm 0.00147$	$476\pm 71$	$477\pm 18$	$477\pm 9$	0.00
27	200.34	423.86	0.47	$0.05637\pm 0.00127$	$0.57464\pm 0.01273$	$0.07390\pm 0.00121$	$467\pm 23$	$461\pm 8$	$460\pm 7$	0.22
28	119.44	259.11	0.46	$0.05945\pm 0.00162$	$0.59553\pm 0.01583$	$0.07262\pm 0.00123$	$584\pm 30$	$474\pm 10$	$452\pm 7$	4.87
29	73.26	210.52	0.35	$0.08135\pm 0.00153$	$2.33619\pm 0.04353$	$0.20817\pm 0.00338$	$1230\pm 16$	$1223\pm 13$	$1219\pm 18$	0.90
30	164.39	219.24	0.75	$0.05725\pm 0.00172$	$0.57311\pm 0.01689$	$0.07256\pm 0.00124$	$501\pm 36$	$460\pm 11$	$452\pm 7$	1.77
31	158.42	312.83	0.51	$0.05620\pm 0.00127$	$0.57178\pm 0.01267$	$0.07375\pm 0.00121$	$460\pm 23$	$459\pm 8$	$459\pm 7$	0.00
32	171.60	318.93	0.54	$0.05651\pm 0.00141$	$0.58230\pm 0.01420$	$0.07470\pm 0.00126$	$472\pm 27$	$466\pm 9$	$464\pm 8$	0.43
33	47.65	80.51	0.59	$0.05883\pm 0.00316$	$0.56747\pm 0.02966$	$0.06993\pm 0.00144$	$561\pm 78$	$456\pm 19$	$436\pm 9$	4.59
34	88.26	162.17	0.54	$0.05534\pm 0.00362$	$0.58038\pm 0.03626$	$0.07606\pm 0.00147$	$426\pm 150$	$465\pm 23$	$473\pm 9$	-1.69
35	57.80	67.67	0.85	$0.05601\pm 0.00262$	$0.57092\pm 0.02587$	$0.07390\pm 0.00149$	$453\pm 65$	$459\pm 17$	$460\pm 9$	-0.22
36	239.55	546.56	0.44	$0.05612\pm 0.00116$	$0.54659\pm 0.01116$	$0.07060\pm 0.00114$	$457\pm 21$	$443\pm 7$	$440\pm 7$	0.68
37	72.55	136.01	0.53	$0.06514\pm 0.00194$	$0.82000\pm 0.02360$	$0.09125\pm 0.00160$	$779\pm 32$	$608\pm 13$	$563\pm 9$	7.99
38	53.24	80.52	0.66	$0.05635\pm 0.00268$	$0.58012\pm 0.02677$	$0.07463\pm 0.00149$	$466\pm 67$	$465\pm 17$	$464\pm 9$	0.22
39	69.89	108.70	0.64	$0.05512\pm 0.00207$	$0.56076\pm 0.02039$	$0.07374\pm 0.00138$	$417\pm 48$	$452\pm 13$	$459\pm 8$	-1.53

续表

测点	含量/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )		Th/U	同位素比值 $\pm 1\sigma$			年龄 $\pm 1\sigma$			不谐和度/%
	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
40	229.69	331.98	0.69	$0.05782\pm 0.00143$	$0.60148\pm 0.01453$	$0.07541\pm 0.00127$	$523\pm 26$	$478\pm 9$	$469\pm 8$	1.92
41	63.43	114.06	0.56	$0.05621\pm 0.00188$	$0.56883\pm 0.01844$	$0.07336\pm 0.00132$	$461\pm 41$	$457\pm 12$	$456\pm 8$	0.22
43	82.41	133.56	0.62	$0.05926\pm 0.00204$	$0.613330\pm 0.0205$	$0.07503\pm 0.00135$	$577\pm 42$	$486\pm 13$	$466\pm 8$	4.29
44	65.47	191.64	0.34	$0.05741\pm 0.00176$	$0.57412\pm 0.01707$	$0.07249\pm 0.00127$	$507\pm 36$	$461\pm 11$	$451\pm 8$	2.22
45	138.40	289.25	0.48	$0.05575\pm 0.00138$	$0.56050\pm 0.01347$	$0.07288\pm 0.00122$	$442\pm 26$	$452\pm 9$	$453\pm 7$	-0.22
46	78.82	98.80	0.80	$0.05577\pm 0.00229$	$0.55714\pm 0.02201$	$0.07243\pm 0.00140$	$443\pm 54$	$450\pm 14$	$451\pm 8$	-0.22
47	392.96	577.26	0.68	$0.05800\pm 0.00135$	$0.56465\pm 0.01277$	$0.07057\pm 0.00116$	$530\pm 24$	$455\pm 8$	$440\pm 7$	3.41
48	160.20	280.57	0.57	$0.05685\pm 0.00159$	$0.56739\pm 0.01535$	$0.07235\pm 0.00125$	$486\pm 31$	$456\pm 10$	$450\pm 8$	1.33
49	97.33	171.84	0.57	$0.05655\pm 0.00181$	$0.58222\pm 0.01805$	$0.07464\pm 0.00131$	$474\pm 39$	$466\pm 12$	$464\pm 8$	0.43
50	170.31	311.99	0.55	$0.05615\pm 0.00142$	$0.56985\pm 0.01404$	$0.07357\pm 0.00122$	$458\pm 27$	$458\pm 9$	$458\pm 7$	0.00
51	204.47	504.65	0.41	$0.05684\pm 0.00127$	$0.55158\pm 0.01196$	$0.07035\pm 0.00115$	$485\pm 23$	$446\pm 8$	$438\pm 7$	1.83
52	58.67	93.82	0.63	$0.05636\pm 0.00239$	$0.57482\pm 0.02358$	$0.07395\pm 0.00141$	$467\pm 57$	$461\pm 15$	$460\pm 8$	0.22
53	207.87	335.58	0.62	$0.05583\pm 0.00140$	$0.55489\pm 0.01350$	$0.07206\pm 0.0012$	$446\pm 27$	$448\pm 9$	$449\pm 7$	-0.22
54	51.08	87.67	0.58	$0.05791\pm 0.00266$	$0.57729\pm 0.02577$	$0.07227\pm 0.00138$	$526\pm 64$	$463\pm 17$	$450\pm 8$	2.89
56	157.35	239.66	0.66	$0.05617\pm 0.00151$	$0.57745\pm 0.01499$	$0.07454\pm 0.00126$	$459\pm 30$	$463\pm 10$	$463\pm 8$	0.00
57	159.05	263.03	0.60	$0.06153\pm 0.00183$	$0.62453\pm 0.01793$	$0.07359\pm 0.00128$	$658\pm 33$	$493\pm 11$	$458\pm 8$	7.64
58	68.35	144.03	0.47	$0.05709\pm 0.00217$	$0.61090\pm 0.02241$	$0.07759\pm 0.00145$	$495\pm 48$	$484\pm 14$	$482\pm 9$	0.41
59	140.45	312.45	0.45	$0.05639\pm 0.00155$	$0.55835\pm 0.01479$	$0.07179\pm 0.00122$	$468\pm 30$	$450\pm 10$	$447\pm 7$	0.67
60	336.84	551.08	0.61	$0.05612\pm 0.00139$	$0.52618\pm 0.01260$	$0.06798\pm 0.00113$	$457\pm 26$	$429\pm 8$	$424\pm 7$	1.18
61	57.43	75.45	0.76	$0.05924\pm 0.00299$	$0.59661\pm 0.02913$	$0.07302\pm 0.00147$	$576\pm 71$	$475\pm 19$	$454\pm 9$	4.63
62	192.27	353.98	0.54	$0.05688\pm 0.00141$	$0.57175\pm 0.01367$	$0.07289\pm 0.00121$	$487\pm 26$	$459\pm 9$	$454\pm 7$	1.10
63	246.86	428.23	0.58	$0.05645\pm 0.00148$	$0.55097\pm 0.01388$	$0.07077\pm 0.00119$	$470\pm 28$	$446\pm 9$	$441\pm 7$	1.13
64	439.82	628.63	0.70	$0.05685\pm 0.00138$	$0.53759\pm 0.01257$	$0.06857\pm 0.00114$	$486\pm 25$	$437\pm 8$	$428\pm 7$	2.10
65	181.72	313.53	0.58	$0.05904\pm 0.00156$	$0.57322\pm 0.01458$	$0.07041\pm 0.00119$	$569\pm 28$	$460\pm 9$	$439\pm 7$	4.78
66	98.63	156.20	0.63	$0.05609\pm 0.00218$	$0.57263\pm 0.02150$	$0.07404\pm 0.00137$	$456\pm 51$	$460\pm 14$	$460\pm 8$	0.00
67	179.50	285.31	0.63	$0.05784\pm 0.00171$	$0.57796\pm 0.01639$	$0.07246\pm 0.00126$	$524\pm 33$	$463\pm 11$	$451\pm 8$	2.66
68	81.14	108.22	0.75	$0.05610\pm 0.00218$	$0.56874\pm 0.02120$	$0.07352\pm 0.00140$	$456\pm 49$	$457\pm 14$	$457\pm 8$	0.00
69	152.35	508.89	0.30	$0.05628\pm 0.00149$	$0.52947\pm 0.01342$	$0.06823\pm 0.00115$	$463\pm 28$	$431\pm 9$	$425\pm 7$	1.41
70	96.59	178.92	0.54	$0.05592\pm 0.00184$	$0.55251\pm 0.01749$	$0.07166\pm 0.00126$	$449\pm 40$	$447\pm 11$	$446\pm 8$	0.22
71	188.06	385.57	0.49	$0.05560\pm 0.00158$	$0.50994\pm 0.01386$	$0.06652\pm 0.00114$	$436\pm 32$	$418\pm 9$	$415\pm 7$	0.72
72	320.05	629.36	0.51	$0.05730\pm 0.00148$	$0.55123\pm 0.01363$	$0.06977\pm 0.00117$	$503\pm 27$	$446\pm 9$	$435\pm 7$	2.53
73	32.97	57.72	0.57	$0.05874\pm 0.00391$	$0.54794\pm 0.03552$	$0.06765\pm 0.00149$	$557\pm 103$	$444\pm 23$	$422\pm 9$	5.21
74	275.89	454.76	0.61	$0.05790\pm 0.00158$	$0.54351\pm 0.01417$	$0.06809\pm 0.00115$	$526\pm 29$	$441\pm 9$	$425\pm 7$	3.76
75	465.75	649.25	0.72	$0.05561\pm 0.00145$	$0.54014\pm 0.01342$	$0.07045\pm 0.00118$	$437\pm 28$	$439\pm 9$	$439\pm 7$	0.00



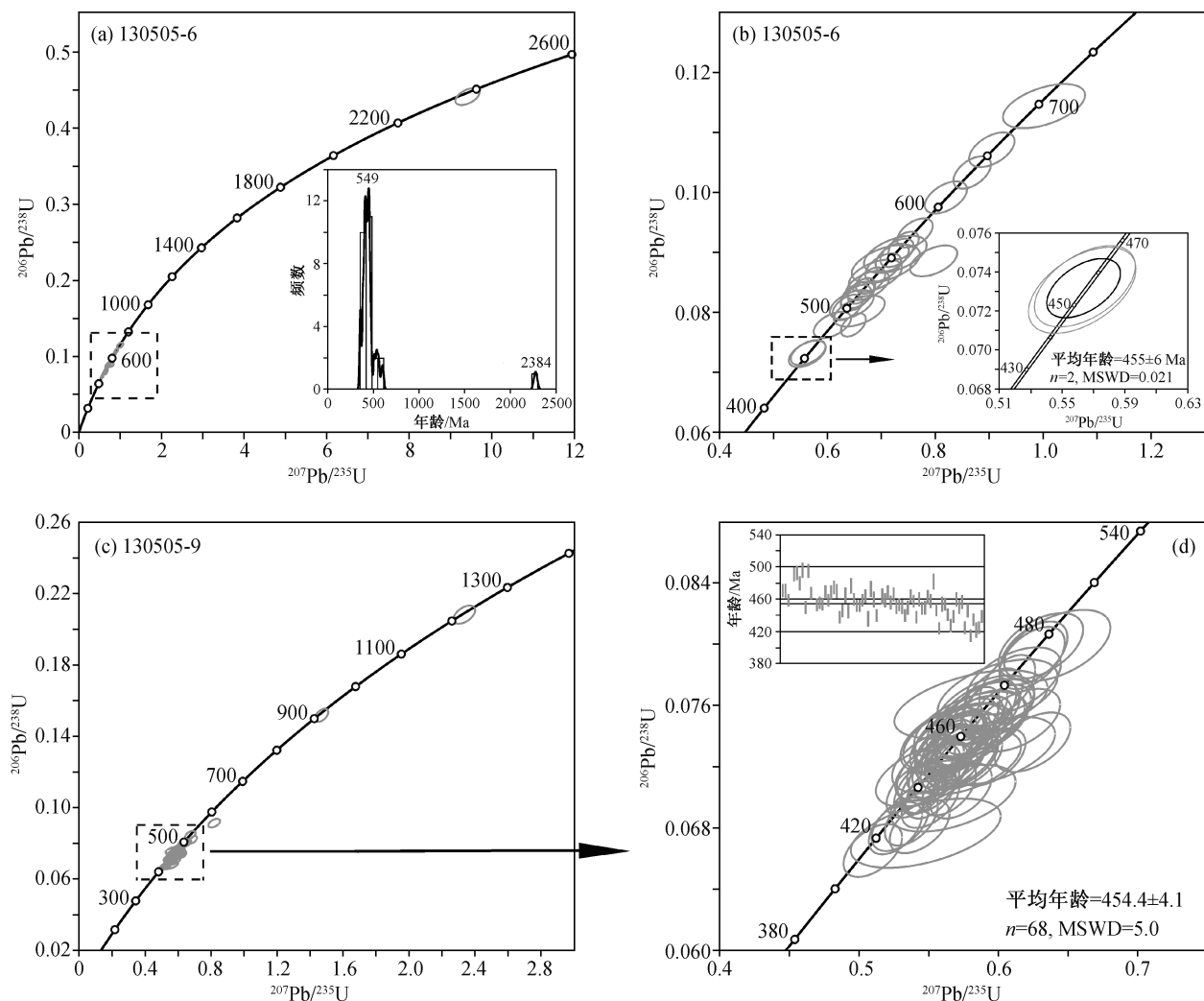


图7 样品锆石 U-Pb 谐和图  
Fig. 7 U-Pb concordia diagram of zircon from samples

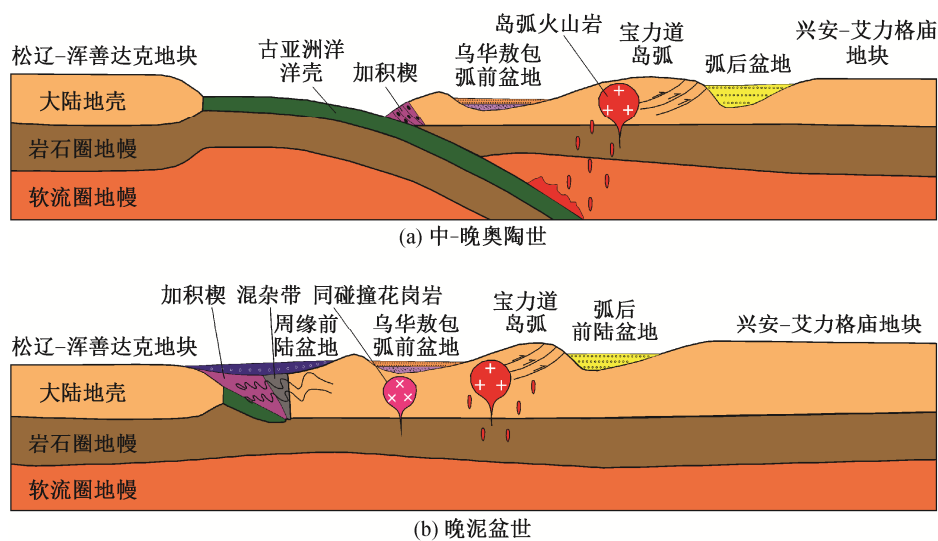


图8 乌华敖包弧前盆地形成与改造过程(据参考文献[11]修改)  
Fig. 8 Formation and reformation process of the Wuhuaobao forearc basin (after Ref. [11])

1) 俯冲阶段(图 8(a))。中-晚奥陶世, 松辽-浑善达克地块北缘的古亚洲洋向北俯冲、消减, 在兴安-艾力格庙地块南缘形成沟弧盆体系, 从南向北依次为俯冲加积楔、乌华敖包弧前盆地、宝力道岛弧带及弧后盆地。俯冲加积楔由早古生代温都尔庙群组成, 下段为桑达尔音呼都格组石英岩、含铁石英岩、铁矿层和绿泥石片岩组合, 上段为哈尔哈达组绢云石英片岩、石英岩及碳酸盐岩沉积; 乌华敖包弧前盆地发育火山岩、火山碎屑岩及浅海相的碳酸盐岩; 宝力道岛弧带形成以闪长岩、石英闪长岩和花岗闪长岩等为代表的岛弧侵入岩; 弧后盆地发育冲积扇相的碎屑岩夹火山岩。

2) 碰撞阶段(图 8(b))。晚泥盆世古亚洲洋闭合, 松辽-浑善达克地块与兴安-艾力格庙地块发生碰撞, 形成北造山带。在造山带外侧, 由于原来的温都尔庙群褶皱变形而形成周缘前陆盆地, 在弧前地区则发育大规模同碰撞岩浆作用, 产生同碰撞花岗岩带, 并侵入弧前盆地。同时, 由于强烈的造山作用, 弧前盆地及弧后盆地均遭受变质与变形过程, 在弧前盆地形成乌华敖包浅变质岩系及其变形构造, 弧后盆地转变为弧后前陆盆地。

## 6 结论

1) 乌华敖包浅变质岩系以变质火山岩、变质砂岩与大理岩互层为特征, 构成 3 个沉积旋回, 代表弧前盆地中-晚期向上变浅的海相火山喷发-沉积环境。

2) 火山岩锆石 U-Pb 定年结果为  $454.4 \pm 4.1$  Ma, 属于中-晚奥陶世, 与北部早古生代宝力道岛弧带的岩浆岩年龄相近, 表明该套浅变质岩系具有弧前盆地的时代特征。

3) 由于该套浅变质岩系位于北部宝力道岛弧岩浆岩带与南部混杂岩带之间, 其古地理位置应属早古生代弧前盆地。早古生代地层、岩浆岩和变质特征表明, 弧前盆地经历了俯冲和碰撞两个阶段。

致谢 北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室马芳高级工程师在锆石年龄测试方面给予指导, 野外工作得到北京大学地球与空间科学学院硕士研究生王世超的帮助, 在此一并致谢。

## 参考文献

[1] Xu B, Charvet J, Chen Y, et al. Middle Paleozoic

convergent orogenic belts in western Inner Mongolia (China): framework, kinematics, geochronology and implications for tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research*, 2013, 23 (4): 1342-1364

- [2] 徐备, 赵盼, 鲍庆中, 等. 兴蒙造山带前中生代构造单元划分. *岩石学报*, 2014, 30(7): 1841-1857
- [3] Jian P, Liu D, Kröner A, et al. 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*, 2008, 101: 233-259
- [4] Zhao P, Xu B, Tong Q L, et al. Sedimentological and geochronological constraints on the Carboniferous evolution of central Inner Mongolia, southeastern Central Asian Orogenic Belt: Inland sea deposition in a post-orogenic setting. *Gondwana Research*, 2016, 31: 253-270
- [5] 徐备, 陈斌. 内蒙古北部华北板块与西伯利亚板块之间中生代造山带的结构及演化. *中国科学(D 辑)*, 1997, 27(3): 227-232
- [6] 陈斌, 赵国春, Wilde S. 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. *地质论评*, 2001, 47(4): 361-367
- [7] 徐备, Charvet J, 张福勤. 内蒙古北部苏尼特左旗蓝片岩岩石学和年代学研究. *地质科学*, 2001, 36(4): 424-434
- [8] 石玉若, 刘敦一, 张旗, 等. 内蒙古苏左旗地区闪长-花岗岩类 SHRIMP 年代学. *地质学报*, 2004, 78 (6): 789-799
- [9] 孙立新, 任邦方, 赵凤清, 等. 内蒙古锡林浩特地块中元古代花岗片麻岩的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素特征. *地质通报*, 2013, 32(2): 327-340
- [10] Chen Y, Zhang Z C, Li K, et al. Geochemistry and zircon U-Pb-Hf isotopes of Early Paleozoic arc-related volcanic rocks in Sonid Zuoqi, Inner Mongolia: implications for the tectonic evolution of the southeastern Central Asian Orogenic Belt. *Lithos*, 2016, 264: 392-404
- [11] 贺跃, 徐备, 张立杨, 等. 内蒙古苏尼特左旗晚泥盆世弧前陆盆地的发现及构造意义. *岩石学报*, 2018, 34(10): 3071-3082
- [12] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1991
- [13] 徐备, 徐严, 栗进, 等. 内蒙古西部温都尔庙群的时代及其在中亚造山带中的位置. *地学前缘*, 2016,



- 23(6): 120–127
- [14] 李承东, 冉皞, 赵利刚, 等. 温都尔庙群锆石的 LA-MCICPMS U-Pb 年龄及其构造意义. 岩石学报, 2012, 28(11): 3705–3714
- [15] 徐备. 内蒙北部温都尔庙群北带沉积环境及构造意义. 地质科学, 1998, 33(4): 406–411
- [16] Xiao W J, Windley B F, Hao J, et al. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: termination of the central Asian orogenic belt. *Tectonics*, 2003, 22(6): 1–18
- [17] Chen B, Jahn B M, Tian W. Evolution of the Solonker suture zone: constraints from zircon U-Pb ages, Hf isotopic ratios and whole-rock Nd-Sr isotope compositions of subduction- and collision- related magmas and forearc sediments. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 34: 245–257
- [18] Chen B, Jahn B M, Wilde S, et al. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: petrogenesis and tectonic implications. *Tectonophysics*, 2000, 328: 157–182
- [19] 刘敦一, 简平, 张旗, 等. 内蒙古图林凯蛇绿岩中埃达克岩 SHRIMP 测年: 早古生代洋壳消减的证据. 地质学报, 2003, 77(3): 317–327
- [20] Shi Y R, Jian P, Kröner A, et al. Zircon ages and Hf isotopic compositions of Ordovician and Carboniferous granitoids from central Inner Mongolia and their significance for Early and Late Paleozoic evolution of the Central Asian Orogenic Belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, 117: 153–169
- [21] 唐建洲, 张志诚, 陈彦, 等. 内蒙古中部苏尼特左旗地区早古生代火成岩年代学、地球化学、锆石 Hf 同位素特征及其构造意义. 岩石学报, 2018, 34(10): 2973–2994
- [22] 陈斌, 徐备. 内蒙古苏左旗地区古生代两类花岗岩类的基本特征和构造意义. 岩石学报, 1996, 12(4): 546–561
- [23] 石玉若, 刘敦一, 简平, 等. 内蒙古中部苏尼特左旗富钾花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄. 地质通报, 2005, 24(5): 424–428
- [24] 徐备, 陈斌, 张臣, 等. 中朝板块北缘乌华敖包地块 Sm-Nd 同位素等时线年龄及其意义. 地质科学, 1994, 29(2): 168–172
- [25] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评, 2002, 48(增刊 1): 26–30
- [26] Andersen T, Griffin W L. Lu-Hf and U-Pb isotope systematics of zircons from the Storgangen intrusion, Rogaland Intrusive Complex, SW Norway: implications for the composition and evolution of Precambrian lower crust in the Baltic Shield. *Lithos*, 2004, 73(3/4): 271–288
- [27] Ludwig K R. Isoplot/Ex, a geochronological toolkit for Microsoft Excel version 3.00. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, 2003
- [28] Condie K C. Plate tectonics and crustal evolution, 4th ed. Butterworth-Heinemann, Oxford: Pergamon Press, 1997: 80–87
- [29] 李继亮, 陈隽璐, 白建科, 等. 造山带沉积学系列之一——弧内造山带的弧前沉积. 西北地质, 2013, 46(1): 11–21
- [30] Draut A E, Clift P D. Sedimentary processes in modern and ancient oceanic arc settings: evidence from the Jurassic Talkeetna Formation of Alaska and the Mariana and Tonga arcs, western Pacific. *Journal of Sedimentary Research*, 2006, 76: 493–514
- [31] Rains J L, Marsaglia K M, Dunne G C. Stratigraphic record of subduction initiation in the Permian meta-sedimentary succession of the El Paso Mountains, California. *Lithosphere*, 2012, 4(6): 533–552