

# 兴蒙造山带南部图古日格地区徐尼乌苏组 沉积相、物源分析及其构造意义

田英杰<sup>1</sup> 徐备<sup>1,2,†</sup> 张焱杰<sup>1</sup> 杨振宁<sup>1</sup> 姚仲伟<sup>3</sup>

1. 河北地质大学区域地质与成矿作用重点实验室, 河北地质大学资源学院, 石家庄 050031; 2. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 3. 内蒙古自治区矿业科技研究院有限公司, 呼和浩特 010050; † 通信作者, E-mail: bxu@pku.edu.cn

**摘要** 研究内蒙古西部图古日格地区徐尼乌苏组复理石建造的沉积相, 揭示其普遍具有不同厚度、不同类型的鲍玛序列, 属于浊流沉积相。参照浊积相模式, 将其归为中扇亚相, 包括辫状水道、辫状水道间和中扇前缘等3种微相。根据区域地层对比和最年轻锆石年龄峰值(437.9±2.7 Ma), 推测徐尼乌苏组的形成时代为早中志留世。物源分析发现, 徐尼乌苏组碎屑物质主要来自变质岩区的石英岩和火成岩区, 推测分别来自其北边的早古生代岛弧带和其南边的华北板块基底。图古日格、达茂旗和白乃庙3个地区的地层建造对比表明, 在南造山带东西方向约400 km范围内, 广泛发育以徐尼乌苏组和塔林宫群为代表的弧后盆地, 表明早古生代古亚洲洋的俯冲曾形成宽阔的沟弧盆体系, 因此推测华北板块北缘属于安第斯型活动大陆边缘。

**关键词** 兴蒙造山带; 图古日格; 徐尼乌苏组; 弧后盆地; 物源分析

## Sedimentary Facies and Provenance Area Analysis of Xuniwusu Formation in Tugurige Area, Southern Xing-Meng Orogenic Belt and Their Tectonic Significance

TIAN Yingjie<sup>1</sup>, XU Bei<sup>1,2,†</sup>, ZHANG Yanjie<sup>1</sup>, YANG Zhenning<sup>1</sup>, YAO Zhongwei<sup>3</sup>

1. Key Laboratory of Regional Geology and Mineralization, College of Resources, Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031; 2. School of Earth and Space Science, Peking University, Beijing 100871; 3. Mining Science and Technology Institute Limited Company, Hohhot 010050; † Corresponding author, E-mail: bxu@pku.edu.cn

**Abstract** Sedimentary facies studies on flysch formation of Xuniwusu Formation in Tugurige area, western Inner Mongolia reveal that the formation generally shows Bouma sequences with different thickness and types, in line with turbidity current sedimentary facies. According to turbidite facies model, it can be categorized into middle fan subfacies and contains three micro facies such as braided channel, inter-braided channel and central fan front margin microfacies. Xuniwusu Formation is speculated as the early-middle Silurian according to the regional stratigraphic correlation and the youngest peak of detrital zircon ages (437.9±2.7 Ma). Provenance analysis of Xuniwusu Formation reveals that it comes from the early Paleozoic island arc belt in the north and the basement of North China plate in the south, respectively. In addition, the strata comparison of Tugurige, Damaoqi and Bainaimiao areas suggests that a Back-arc Basin, representative of prevailing Xuniwusu Formation and Talingong Group, located in the south orogenic belt and extended about 400 km in East-West direction. Such a wide trench-arc-basin system in early Paleozoic might be formed in relation to Paleo-Asia Ocean subduction and thus determines an Andean type active continental margin along the north edge of North China plate.

**Key words** Xing-Meng orogenic belt; Tugurige; Xuniwusu Formation; back-arc basin; provenance analysis

国家重点研发计划(2017YFC0601302)、国家自然科学基金(41672214)和内蒙古自治区科技厅“兴蒙造山带构造演化、成矿信息与成矿作用”项目资助

收稿日期: 2019-03-09; 修回日期: 2019-07-06

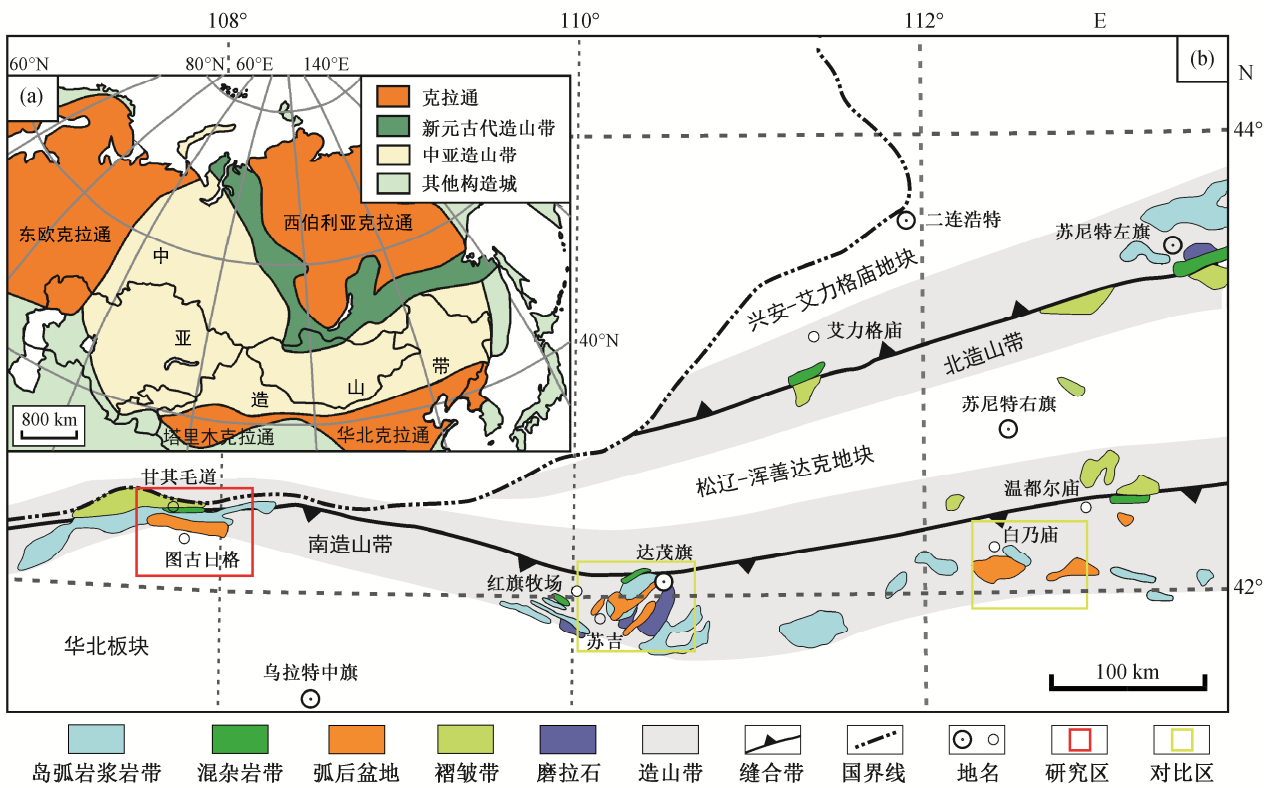
中亚造山带位于西伯利亚板块与华北板块及塔里木板块之间,是由岛弧系统、蛇绿岩带及微陆块组成的典型增生型造山带<sup>[1-8]</sup>(图1(a))。兴蒙造山带处于中亚造山带东部,位于内蒙古自治区及东北地区,是古亚洲洋在中国境内的重要组成部分。正是古亚洲洋东部的消减闭合,导致兴蒙造山带的形成<sup>[10-11]</sup>。

根据已有研究,兴蒙造山带西段从北至南分为兴安-艾力格庙地块、松辽-浑善达克地块和华北板块,其间为两个造山带,分别称为北造山带和南造山带<sup>[12]</sup>(图1(b))。南造山带自西向东沿图古日格-达茂旗-白乃庙-吉中-延吉一线分布<sup>[15-17]</sup>,学者们一致认为南造山带发育早古生代沟弧盆体系。徐备等<sup>[11]</sup>通过1:5万地质填图,对图古日格地区划分褶皱带、混杂岩带、岛弧带和弧后盆地等构造单元。Xiao等<sup>[4]</sup>、张维等<sup>[18]</sup>及李锦轶等<sup>[19]</sup>认为白乃庙-翁牛特旗一带存在岛弧带-弧后盆地构造单元。

弧后盆地的典型代表,是出露在图古日格-达茂旗-白乃庙地区的大面积早古生代复理石、火山

岩以及碳酸盐岩建造,称为徐尼乌苏组及塔林宫群<sup>[20-21]</sup>。前人对本研究区以东达茂旗地区的沉积序列和时代进行了一系列研究,将其归结为形成于早志留世弧后盆地的典型浊流沉积产物<sup>[18-21]</sup>;有学者对白乃庙地区徐尼乌苏组中火山岩夹层进行分析,查明其锆石U-Pb年龄为440.9±1.7 Ma,属早志留世<sup>[22]</sup>。

尽管对南造山带内早古生代沟弧盆体系已取得基本上一致的认识,但对弧后盆地的沉积序列和时代,尤其是物源方面的研究还很薄弱,对南造山带弧后盆地的沉积特征、物质来源以及早古生代古大陆边缘的性质等重要问题尚未给予精确的约束。内蒙古自治区西部图古日格地区大面积出露早古生代徐尼乌苏组复理石建造,是研究上述问题的理想地区。本文将其作为研究对象,利用沉积剖面实测、沉积相分析和锆石年代学分析等方法,查明其地层序列、沉积环境、物源区及形成时代,并通过与达茂旗和白乃庙地区的对比,进一步探讨早古生代古亚洲洋的古地理环境及演化过程。



(a)据文献[9]修改, (b)据文献[12-14]修改

图1 兴蒙造山带西段构造单元

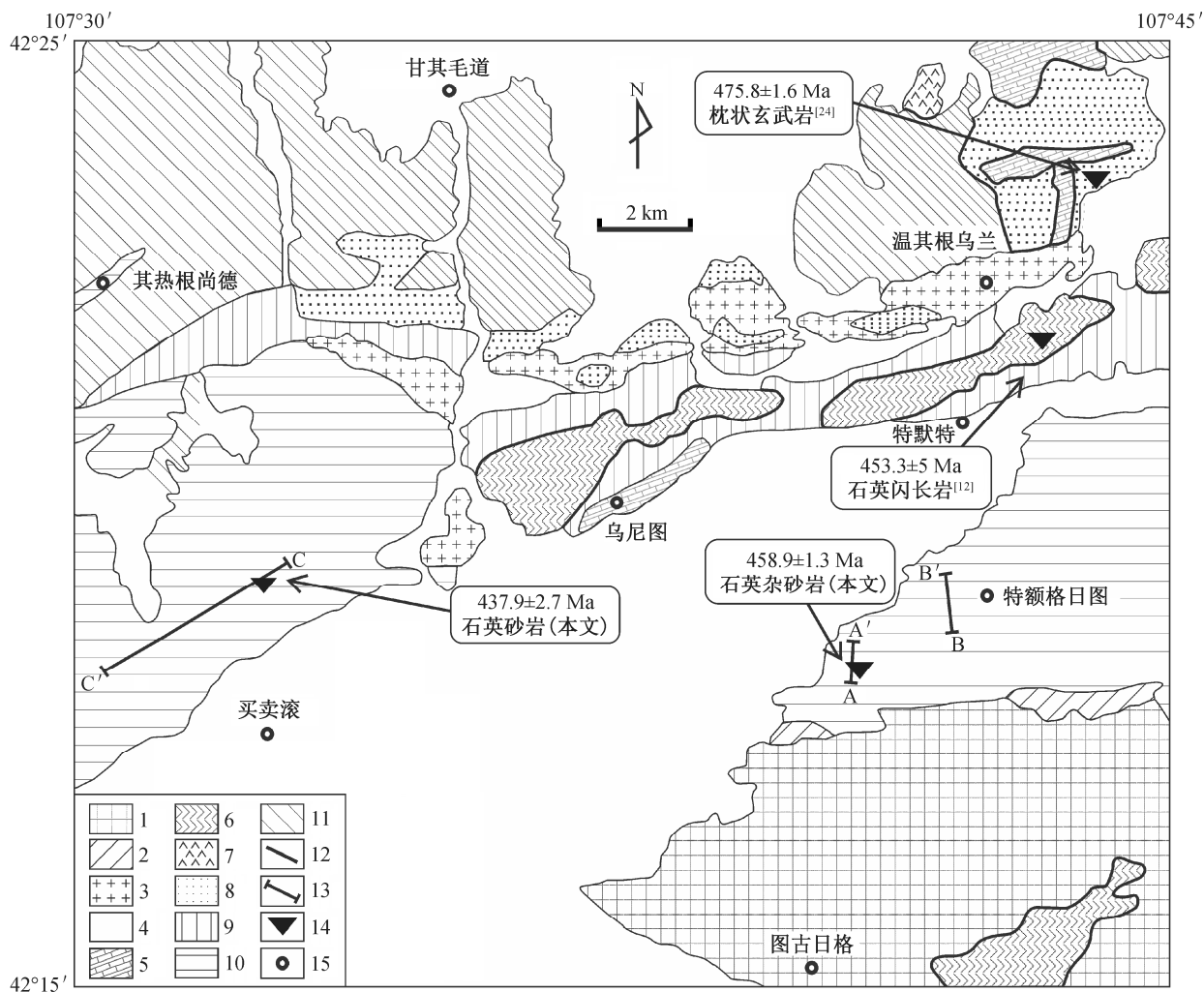
Fig. 1 Tectonic units of the western Xing-Meng orogenic belt

# 1 构造背景

研究区位于内蒙古自治区乌拉特中旗北部甘其毛道-图古日格地区,属南造山带的西端。该地区造山带二级构造单元包括褶皱带、混杂岩带、岛弧带和弧后盆地(图 2)。

褶皱带由温都尔庙群组成,岩石均遭受两期以上的褶皱变形,原始层理已被片理置换,变质程度为绿片岩相至低角闪岩相。混杂岩带总体上呈东西向展布,断续出露约 10 km,露头最大可达 2 km×4 km<sup>[23]</sup>。带内岩石为枕状玄武岩、橄榄岩、硅质岩和浅变质粉砂质碎屑岩等。混杂岩中枕状玄武岩的成岩年龄为 475.8±1.6 Ma,属早古生代奥陶纪,岩

石地球化学特征指示其属于大洋深海拉斑玄武岩,为俯冲-消减作用的产物<sup>[24]</sup>。岛弧带由变形强烈的火山岩和深成岩组成,前者为早-中奥陶世包尔汗图群火山岩,以断块形式出露于研究区东北部东西长约 15 km,南北宽约 3 km 的范围内,由玄武岩、英安岩和流纹岩等火山岩及次火山岩组成,各种构造环境判别图解显示其中基性火山岩与岛弧岩浆分异趋势一致<sup>[12]</sup>。深成岩出露于包尔汗图群火山岩以南,东西长约 12 km,南北宽约 2 km,由断续出露的闪长岩组成,其形成年代为 453±5 Ma<sup>[12]</sup>。弧后盆地由徐尼乌苏组复理石建造组成,分布于特默特-乌尼图一线以南地区、图古日格东北部、买卖滚西北部、其热根尚德北中部及巴腊特中部的广阔地



1. 下元古界; 2. 石炭纪闪长岩; 3. 中生代深成岩; 4. 新生界; 5. 基性-超基性岩; 6. 岛弧深成岩; 7. 岛弧火山岩; 8. 混杂岩带; 9. 弧前变形带; 10. 弧后盆地; 11. 褶皱带; 12. 断层; 13. 剖面位置; 14. 采样点; 15. 地名

图 2 研究区构造单元(据文献[12,23-24]修改)  
Fig. 2 Tectonic units in study area (after Ref. [12,23-24])

区,总面积达180 km<sup>2</sup>以上。地层出露连续,层序清楚,发育区域性大规模开阔或紧闭褶皱。

## 2 地层序列及沉积相分析

### 2.1 地层序列

本研究完成徐尼乌苏组3条剖面(pm01, pm02, pm03)的实测,并根据岩性组合将其划分为上、下两段。下段主要见于图古日格东北部、特额格日图西南部及其热根尚德北中部,由剖面pm01和pm02(图2中A-A', B-B')相连接组成,共25层,出露厚度大于1600 m,局部为倒转层序(图3)。上段主要见于买卖滚西北部及巴腊特中部,共8层(剖面pm03,

图2中C-C'),出露厚度约348 m(图4)。因出露不完整,上下两段均未见顶和底。

### 2.2 沉积相

徐尼乌苏组地层的标志性特征是普遍具有不同厚度、不同类型的鲍玛序列(图5(c)~(e),图6(a), (c)和(d)),故可判断其总体上属于浊积岩相。根据Walker<sup>[25]</sup>建立的海底扇相模式以及徐尼乌苏组的岩性、层序和鲍玛序列组合特征,可将徐尼乌苏组浊积岩相划归中扇亚相,并可进一步划分出辫状水道、辫状水道间和中扇前缘等3种微相<sup>[26]</sup>。

#### 2.2.1 辫状水道微相

辫状水道微相以厚层砾岩与具有鲍玛序列的砂岩、粉砂岩和泥岩互层为特征<sup>[27]</sup>。徐尼乌苏组辫状水道微相包括下段pm01剖面第1~8层和pm02剖

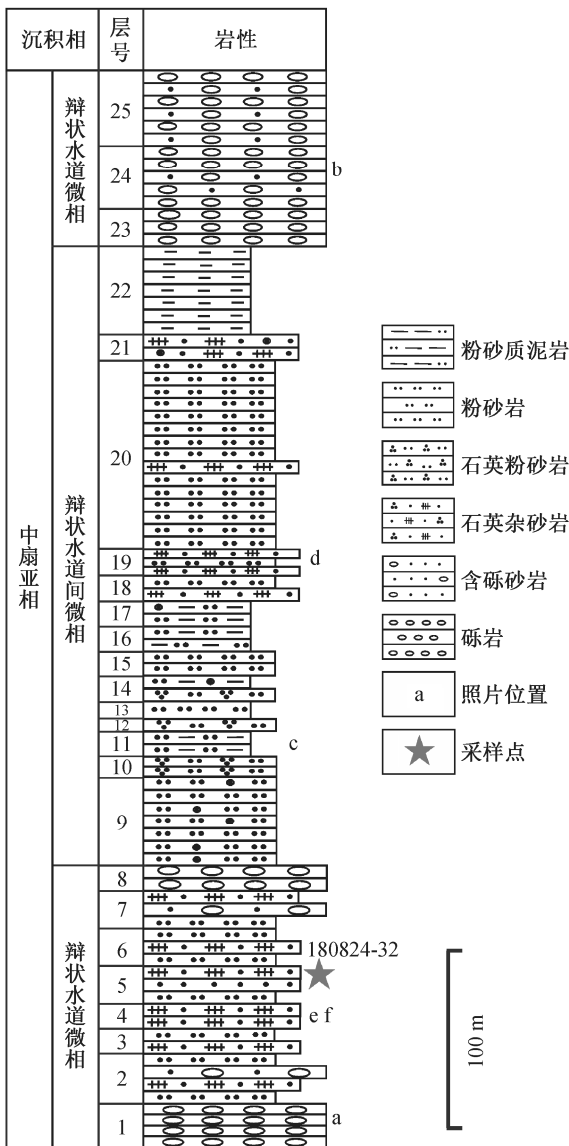


图3 徐尼乌苏组下段地层柱状图

Fig. 3 Petrological column of the lower part of Xuniwusu Formation

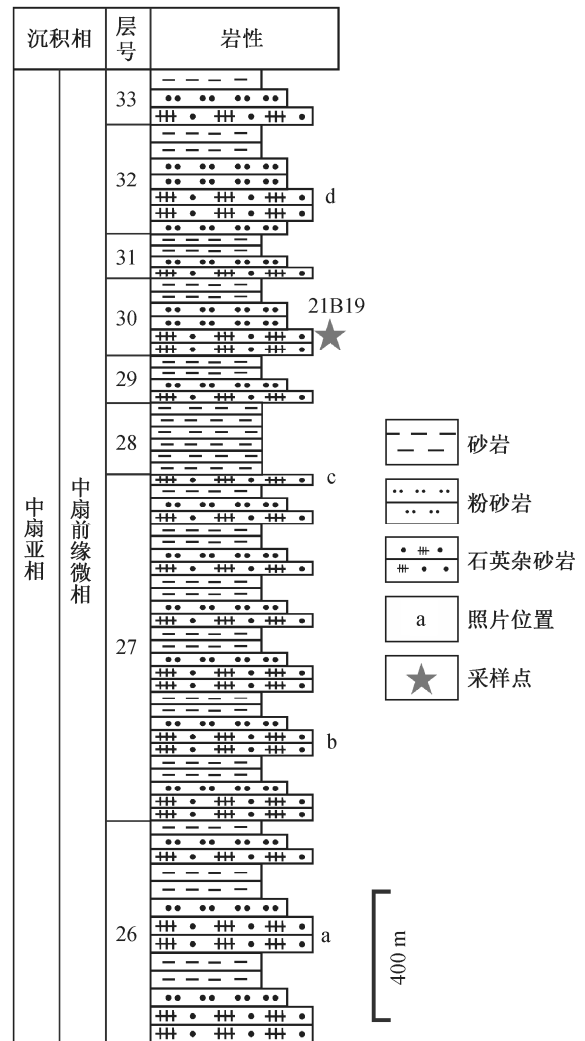
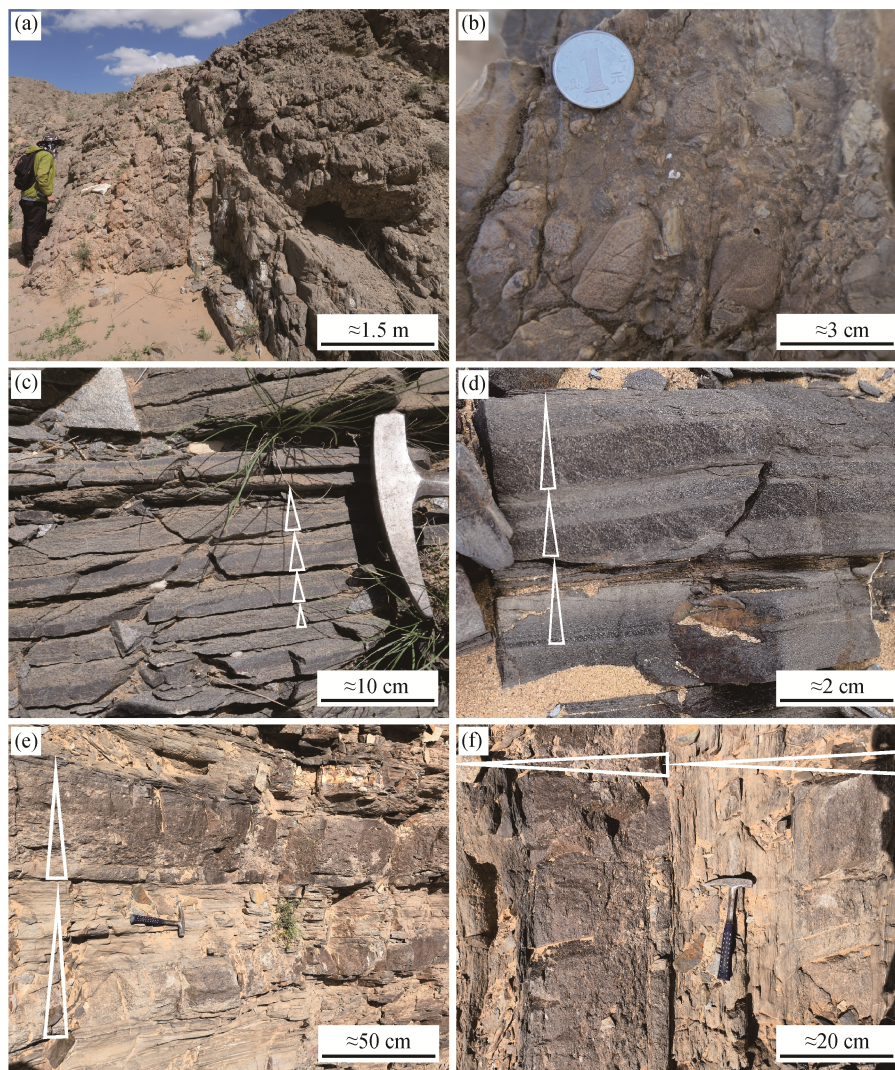


图4 徐尼乌苏组上段地层柱状图

Fig. 4 Petrological column of the upper part of Xuniwusu Formation



(a)~(f)的照片拍摄位置分别对应图3中a~f

图 5 徐尼乌苏组下段典型沉积特征

Fig. 5 Typical sedimentary characteristics of the lower part of Xuniwusu Formation

面第 23~25 层, 由厚层状复成分砾岩层和具有中厚及厚层状鲍玛序列的含砾砂岩及砂岩组成, 其中砾岩层占总厚度的 22%。

砾岩呈砾状结构, 厚层块状构造, 成分复杂, 砾径从二三十厘米到几毫米不等, 最常见者为 1~3 cm, 次棱角状, 磨圆度中等, 分选性较差, 填隙物为粗砂岩(图 5(a)和(b))。含砾砂岩具粒序层理, 其中砾石的成分与砾岩一致, 砾径一般为几毫米到 1 厘米, 磨圆度较好。中厚层状砂岩中常发育 Tabde 型鲍玛序列(图 5(e)和(f))。鲍玛序列 a 段由厚层含砾砂岩或砂岩组成, 具明显的递变层理, b 段具平行层理, d 段为薄层层纹状粉砂岩, e 段由薄层泥岩组成(图 5 中长三角形宽端至尖端)。这些厚层砾岩及

砂岩具有近源和快速搬运的沉积特征, 反映浊流沉积环境下辫状水道微相的特点<sup>[28-29]</sup>。由于该地区未出露完整的鲍玛序列, 因此未识别出鲍玛序列的 c 段(多为具小波痕、交错层理和变形层理的粉砂岩段)。

### 2.2.2 辫状水道间微相

辫状水道间微相位于内扇的各辫状河道之间, 为浊流溢出辫状水道后沉积而成, 主要由细砂岩、粉砂岩及泥岩组成, 泥岩中常含砂和细砾。砂岩的厚度、粒度和鲍玛序列的厚度向外扇方向逐渐变小、变细和变薄<sup>[25]</sup>。徐尼乌苏组辫状水道间微相为下段剖面第 9~22 层, 在剖面上分布于两期辫状水道微相沉积之间, 以薄层状砂岩、粉砂岩及泥岩

互层为主(图5(c)),粉砂岩发育水平纹层,与泥岩构成Tde型鲍玛序列(图5中长三角形宽端至尖端),厚度多在5 cm以下(图5(d)),反映沉积物主要为悬浮搬运,应形成于辫状水道间天然堤及其外侧低平地区。

### 2.2.3 中扇前缘微相

中扇前缘微相位于中扇辫状水道的前缘,由浊流物质流出辫状水道后进入中扇位置沉积而成<sup>[25]</sup>。徐尼乌苏组的中扇前缘微相见于上段剖面第26~33层,由砂岩与粉砂岩单调互层组成连续的薄层(图6(d)和(e))或中厚层鲍玛序列(图6(a)和(c))。砂岩段具粒序层理,横向连续发育,单层厚度稳定。常见Tabde型(图6(a))和Tae型(图6(b)和(d))鲍玛序列(图6中长三角形宽端至尖端),厚3~50 cm。a段由粒序砂岩层组成,块状构造,碎屑颗粒分选度中等,胶结物为泥质;b段砂岩多具平行纹层;d段为粉砂岩;e段为泥岩。这些序列组成厚度巨大而稳定的复理石地层(图6(c)),指示浊积沉积体系的稳定发育,应属中扇前缘微相建造。

上述分析表明,辫状水道微相具有层厚大、粒度粗和分选性差的特点,多呈块状构造,以厚层

Tae序列为主,代表快速搬运和近源特征;辫状水道间微相以薄层Tde序列为特征,纹层明显,表明水道间相对低能的浊流沉积环境;中扇前缘微相发育相对均一的薄层Tae, Tde和Tade序列,是浊流沉积末端的典型代表。

## 3 年代学研究

本文分别选取徐尼乌苏组下段和上段的石英杂砂岩样品180824-32和21B19进行年代学测定,样品180824-32采自剖面第5层,样品21B19采自剖面第30层。

样品的锆石分选与制靶在廊坊诚信地质技术服务公司进行。制靶后依据透射光、反射光和阴极发光图像综合选取测试点(图7)。锆石U-Pb同位素定年测试在河北地质大学区域地质与成矿作用重点实验室完成,采用RESolution-LR型高能量ArF2准分子激光剥蚀系统以及iCAP RQ型等离子体质谱仪进行联机测试。使用国际标准锆石91500作为外部标样进行同位素比值校正,国际标准锆石GJ\_1和



(a)~(d)的照片拍摄位置分别对应图4中a~d

图6 徐尼乌苏组上段典型沉积特征

Fig. 6 Typical sedimentary characteristics of the upper part of Xuniwusu Formation

Plešovice 作为监控盲样。元素含量以国际标样 NIST610 为外标, Si 为内标进行计算, NIST612 作为监控盲样<sup>[30]</sup>。采用 Iolite v3.1 软件<sup>[31]</sup>计算同位素比值和元素含量。采用 Isoplot/Ex\_ver 3<sup>[32]</sup>完成样品的 U-Pb 年龄谐和图绘制、年龄权重平均计算及年龄概率分布图绘制。使用 ComPbCorr#3.18 程序进行普通 Pb 校正。

从样品 21B19 得到 75 个年龄数据, 去掉不谐和度大于 10% 的样品, 得到 63 个有效年龄数据, 如表 1 所示。CL 图像(图 7(a))显示锆石晶体多呈粒状, 自形至半自形, 长宽比为 2:1。大部分锆石具有清晰的震荡环带或扇状分区等结构, 为岩浆成因; 小部分表现出增生边、弱环带或无环带的特征, 为变质成因。年龄数据可分为 5 组: 最年轻一组( $n=5$ )的峰值年龄为  $437.9 \pm 2.7$  Ma (图 8(a)), 代表样品形成时代的上限; 其余年龄段依次为 446~480 Ma ( $n=15$ ), 512~947 Ma ( $n=9$ ), 1010~1859 Ma ( $n=30$ ) 和 2543~3008 Ma ( $n=4$ ) (图 8(c))。

从样品 180824-32 得到 90 个年龄数据, 剔除不谐和度过高的样品后, 得到 80 个有效年龄数据, 见表 2。CL 图像(图 7(b))显示锆石多为自形, 长宽比为 2:1~3:1, 具有清晰的震荡环带结构, 结合 Th/U 值, 可知锆石以岩浆成因为主。碎屑锆石年龄谱(图 8(b)和(d))显示, 数据可分为 4 组: 429~495.8 Ma ( $n=60$ ), 500~722 Ma ( $n=7$ ), 1049~1804 Ma ( $n=12$ ) 和 2988 Ma ( $n=1$ )。除缺少最年轻一组( $437.9 \pm 2.7$  Ma)数据外, 样品 180824-32 的其他年龄数据分布与样品 21B19 较相似。

## 4 讨论

### 4.1 徐尼乌苏组形成时代

如前所述, 碎屑锆石样品 21B19 的最年轻锆石年龄的峰值为  $437.9 \pm 2.7$  Ma, 说明徐尼乌苏组浊积岩的形成晚于该时期。在达茂旗苏吉地区, 塔林宫群弧后盆地浊积岩和奥陶纪岛弧岩浆岩被西别河组底砾岩和其上的灰岩不整合覆盖(图 1)<sup>[20-21,33]</sup>, 灰岩中含晚志留世化石, 表明徐尼乌苏组的沉积时代早于晚志留世。根据区域地层对比和最年轻锆石年龄峰值, 我们推测徐尼乌苏组的形成时代应为早中志留世。

### 4.2 物源分析及其意义

研究区徐尼乌苏组碎屑锆石中最年轻一组样品的年龄区间为 438~459 Ma (图 8(b)), 与徐尼乌苏组以北岛弧带出露的多个石英闪长岩体以及包尔汗图群火山岩的年龄区间相似<sup>[12]</sup>(图 9(a)), 因此, 弧后盆地以北的岛弧带可能代表徐尼乌苏组主要的蚀源区。在本研究区以东的白乃庙地区, 徐尼乌苏组弧后盆地沉积岩中最年轻的锆石年龄组也为 440~460 Ma (图 9(d)), 说明白乃庙地区也存在同时期的岛弧物源区<sup>[22]</sup>。

本研究区 1.8~1.0 Ga 和 2.5~2.8 Ga 的年龄数据(图 9(b))与华北板块(图 9(c))的对比有助于揭示另一个蚀源区, 即 1.8~1.0 Ga 的年龄数据可能反映弧后盆地以南华北板块北缘元古代末期发生的多期岩浆事件, 例如吕梁地区花岗岩岩浆侵入事件的年龄为 1806 Ma<sup>[35-36]</sup>; 1.6 Ga 的峰值年龄对应华北板块克拉通化之后开始的古元古代-新元古代多期裂谷事件

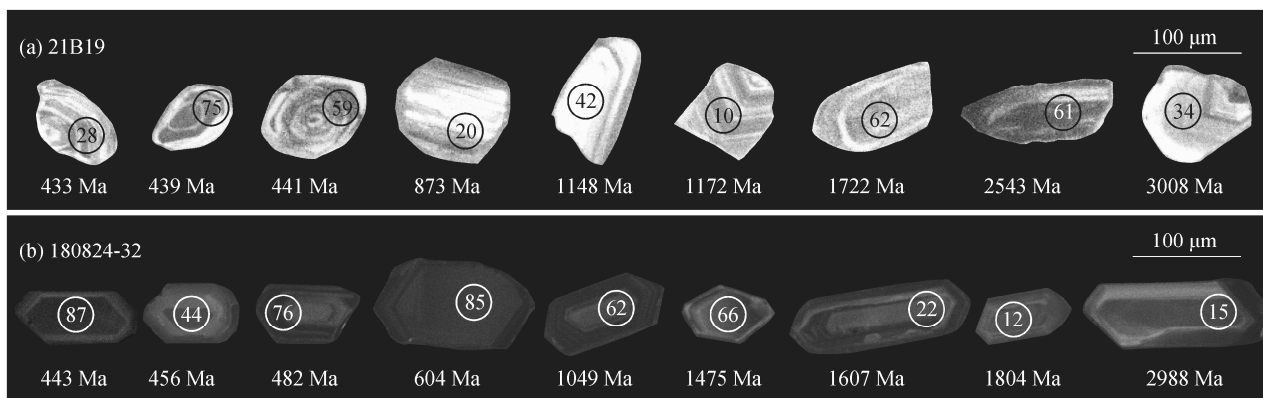


图 7 锆石样品阴极发光图像  
Fig. 7 CL images of zircon chronological samples

表 1 样品 21B19 锆石年代学 LA-MC-ICP-MS 测试数据  
Table 1 Zircon chronological data from LA-MC-ICP-MS dating for sample 21B19

测点号	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$			$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			不谐和度/%
	比值	误差(1 $\sigma$ )	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	误差(1 $\sigma$ )	年龄/Ma	误差(1 $\sigma$ )	误差(1 $\sigma$ )	年龄/Ma	误差(1 $\sigma$ )	误差(1 $\sigma$ )	年龄/Ma	误差(1 $\sigma$ )	误差(1 $\sigma$ )	
21B19-2	0.06032	0.00191	0.02615	0.09970	0.00134	0.00134	615	45	613	15	15	613	8	0		
21B19-3	0.05831	0.00236	0.02374	0.07329	0.00100	0.00100	541	64	470	15	15	456	6	3.07		
21B19-4	0.18111	0.00490	0.34586	0.50968	0.00670	0.00670	2663	28	2660	26	26	2655	29	0.30		
21B19-5	0.08282	0.00230	0.06893	0.21682	0.00282	0.00282	1265	34	1265	20	20	1265	15	0		
21B19-6	0.05520	0.00168	0.01729	0.07456	0.00099	0.00099	420	44	456	11	11	464	6	-1.72		
21B19-7	0.05591	0.00302	0.03011	0.07269	0.00102	0.00102	449	95	452	20	20	452	6	0		
21B19-8	0.05831	0.00430	0.04060	0.06997	0.00107	0.00107	542	167	453	26	26	436	6	3.90		
21B19-9	0.08353	0.00234	0.06736	0.20777	0.00270	0.00270	1282	35	1240	20	20	1217	14	5.34		
21B19-10	0.09221	0.00255	0.08473	0.24028	0.00310	0.00310	1472	33	1421	21	21	1388	16	6.05		
21B19-11	0.11078	0.00351	0.14698	0.30588	0.00429	0.00429	1812	37	1762	26	26	1720	21	5.35		
21B19-13	0.05621	0.00202	0.02054	0.07375	0.00099	0.00099	461	56	459	13	13	459	6	0		
21B19-14	0.07436	0.00228	0.05633	0.17993	0.00241	0.00241	1051	40	1062	20	20	1067	13	-1.50		
21B19-17	0.05802	0.00232	0.02727	0.08557	0.00117	0.00117	531	63	530	16	16	529	7	0.19		
21B19-18	0.08080	0.00240	0.06938	0.20955	0.00278	0.00278	1217	38	1223	21	21	1226	15	-0.73		
21B19-20	0.06802	0.00319	0.06345	0.14497	0.00207	0.00207	869	73	872	27	27	873	12	-0.11		
21B19-21	0.05623	0.00205	0.02074	0.07402	0.00103	0.00103	461	55	460	13	13	460	6	0		
21B19-22	0.10761	0.00328	0.14976	0.33260	0.00449	0.00449	1759	36	1808	26	26	1851	22	-4.97		
21B19-23	0.05620	0.00174	0.01763	0.07369	0.00097	0.00097	460	45	459	11	11	458	6	0.22		
21B19-24	0.09894	0.00303	0.11095	0.26629	0.00354	0.00354	1604	37	1557	24	24	1522	18	5.39		
21B19-25	0.10508	0.00313	0.13457	0.31251	0.00413	0.00413	1716	35	1736	25	25	1753	20	-2.11		
21B19-26	0.07059	0.00214	0.05005	0.16965	0.00224	0.00224	946	40	990	19	19	1010	12	-6.34		

续表

测点号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		不谐和度/%
	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	年龄/Ma	误差(1 $\sigma$ )	年龄/Ma	误差(1 $\sigma$ )	年龄/Ma	误差(1 $\sigma$ )	
21B19-28	0.05547	0.00185	0.53081	0.01759	0.06941	0.00094	431	50	432	12	433	6	-0.23
21B19-29	0.05647	0.00260	0.59782	0.02740	0.07678	0.00108	471	76	476	17	477	6	-0.21
21B19-30	0.05628	0.00183	0.69219	0.02241	0.08920	0.00119	463	48	534	13	551	7	-3.09
21B19-31	0.09314	0.00299	3.35015	0.10709	0.26088	0.00353	1491	40	1493	25	1494	18	-0.20
21B19-32	0.05564	0.00223	0.54298	0.02163	0.07078	0.00099	438	64	440	14	441	6	-0.23
21B19-33	0.10809	0.00341	4.89461	0.15352	0.32841	0.00444	1767	38	1801	26	1831	22	-3.50
21B19-34	0.22370	0.00676	18.33664	0.55243	0.59448	0.00786	3008	31	3008	29	3008	32	0
21B19-35	0.05689	0.00410	0.59177	0.04163	0.07544	0.00118	487	164	472	27	469	7	0.64
21B19-36	0.19119	0.00583	14.03558	0.42647	0.53241	0.00703	2752	33	2752	29	2752	30	0
21B19-38	0.07740	0.00244	2.04479	0.06428	0.19160	0.00255	1132	41	1131	21	1130	14	0.18
21B19-39	0.05657	0.00200	0.60293	0.02117	0.07730	0.00106	475	53	479	13	480	6	-0.21
21B19-40	0.10071	0.00333	4.04816	0.13272	0.29151	0.00401	1637	40	1644	27	1649	20	-0.73
21B19-41	0.05629	0.00207	0.58500	0.02132	0.07537	0.00104	464	56	468	14	468	6	0
21B19-42	0.07803	0.00327	2.09924	0.08737	0.19510	0.00275	1148	60	1149	29	1149	15	-0.09
21B19-44	0.06126	0.00247	0.65579	0.02604	0.07764	0.00113	648	60	512	16	482	7	6.22
21B19-45	0.08629	0.00279	2.70272	0.08677	0.22716	0.00302	1345	41	1329	24	1320	16	1.89
21B19-46	0.05764	0.00221	0.65732	0.02495	0.08270	0.00115	516	59	513	15	512	7	0.20
21B19-48	0.10190	0.00338	4.00955	0.13211	0.28537	0.00386	1659	41	1636	27	1618	19	2.53
21B19-49	0.10111	0.00339	4.14920	0.13802	0.29759	0.00406	1645	41	1664	27	1679	20	-2.03
21B19-50	0.07099	0.00241	1.54862	0.05206	0.15820	0.00214	957	47	950	21	947	12	0.32
21B19-51	0.09235	0.00302	3.31203	0.10750	0.26008	0.00346	1475	41	1484	25	1490	18	-1.01
21B19-52	0.09538	0.00346	3.57482	0.12796	0.27180	0.00388	1536	46	1544	28	1550	20	-0.90

续表

测点号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		不谐和度/%
	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	年龄/Ma	误差(1 $\sigma$ )	年龄/Ma	误差(1 $\sigma$ )	年龄/Ma	误差(1 $\sigma$ )	
21B19-53	0.09504	0.00316	3.61477	0.11941	0.27583	0.00370	1529	42	1553	26	1570	19	-2.61
21B19-54	0.09722	0.00328	3.57397	0.11952	0.26661	0.00360	1571	42	1544	27	1524	18	3.08
21B19-55	0.05590	0.00198	0.55272	0.01944	0.07171	0.00098	448	54	447	13	446	6	0.22
21B19-56	0.06393	0.00237	0.65117	0.02387	0.07386	0.00102	739	54	509	15	459	6	10.89
21B19-58	0.10457	0.00365	4.35556	0.15069	0.30207	0.00415	1707	43	1704	29	1702	21	0.29
21B19-59	0.05668	0.00213	0.59899	0.02229	0.07664	0.00107	479	57	477	14	476	6	0.21
21B19-60	0.06081	0.00352	0.86573	0.04960	0.10324	0.00158	633	97	633	27	633	9	0
21B19-61	0.16856	0.00579	11.30231	0.38458	0.48627	0.00665	2543	39	2548	32	2555	29	-0.47
21B19-62	0.10545	0.00370	4.13441	0.14348	0.28434	0.00389	1722	44	1661	28	1613	20	6.76
21B19-64	0.05660	0.00252	0.59802	0.02622	0.07661	0.00116	476	70	476	17	476	7	0.00
21B19-65	0.05573	0.00251	0.54614	0.02435	0.07106	0.00101	442	74	442	16	443	6	-0.23
21B19-67	0.08854	0.00335	2.85329	0.10649	0.23370	0.00332	1394	50	1370	28	1354	17	2.95
21B19-68	0.07231	0.00280	1.71973	0.06576	0.17248	0.00247	995	54	1016	25	1026	14	-3.02
21B19-69	0.05588	0.00220	0.55726	0.02166	0.07231	0.00103	448	61	450	14	450	6	0
21B19-70	0.05808	0.00241	0.75162	0.03073	0.09385	0.00137	533	64	569	18	578	8	-1.56
21B19-71	0.07907	0.00288	2.35321	0.08460	0.21583	0.00298	1174	49	1229	26	1260	16	-6.83
21B19-72	0.05650	0.00218	0.58946	0.02247	0.07565	0.00106	472	59	471	14	470	6	0.21
21B19-73	0.09230	0.00345	3.28135	0.12103	0.25782	0.00363	1474	48	1477	29	1479	19	-0.34
21B19-74	0.06542	0.00237	1.06444	0.03805	0.11799	0.00161	788	52	736	19	719	9	2.36
21B19-75	0.05568	0.00215	0.54173	0.02064	0.07055	0.00099	440	60	440	14	439	6	0.23

说明: 当  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \leq 1000$  时, 不谐和度 =  $[(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) / (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1] \times 100\%$ ; 当  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} > 1000$  时, 不谐和度 =  $[(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) / (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1] \times 100\%$ 。样品 21B19 的 Th, U 元素含量数据缺失。

表 2 样品 180824-32 锆石年代学 LA-MC-ICP-MS 测试数据  
Table 2 Zircon chronological data from LA-MC-ICP-MS dating for sample 180824-32

测点号	含量/( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		不谐和度/%
	Th	U		比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	年龄/Ma	误差(1 $\sigma$ )	年龄/Ma	误差(1 $\sigma$ )	
180824-32-1	128.0	256.0	0.50	0.0550	0.0045	0.575	0.049	0.0739	0.0013	380	180	455	31	460	8	-1.04
180824-32-2	172.4	322.0	0.54	0.0522	0.0032	0.537	0.039	0.0727	0.0017	310	160	440	24	453	10	-2.87
180824-32-3	160.3	344.0	0.47	0.0548	0.0034	0.564	0.041	0.0742	0.0019	390	150	451	26	462	11	-2.38
180824-32-4	97.5	205.0	0.48	0.0569	0.0042	0.564	0.044	0.0729	0.0019	420	180	457	32	456	10	0.22
180824-32-5	278.0	453.0	0.61	0.0558	0.0045	0.584	0.035	0.0757	0.0024	410	150	466	22	470	14	-0.85
180824-32-6	209.0	522.0	0.40	0.0618	0.0034	0.659	0.044	0.0768	0.0017	630	140	510	27	477	10	6.92
180824-32-9	265.0	550.0	0.48	0.0595	0.0034	0.597	0.040	0.0731	0.0016	490	140	471	25	455	10	3.56
180824-32-10	579.0	734.0	0.79	0.0568	0.0030	0.575	0.031	0.0729	0.0012	440	110	459	19	453	7	1.24
180824-32-11	150.0	272.0	0.55	0.0581	0.0051	0.610	0.100	0.0753	0.0032	430	340	472	66	468	19	0.85
180824-32-12	82.9	218.0	0.38	0.1169	0.0039	5.240	0.150	0.3231	0.0071	1890	63	1857	25	1804	35	4.77
180824-32-13	94.6	166.0	0.57	0.0855	0.0050	2.790	0.140	0.2320	0.0051	1320	100	1346	38	1344	27	-1.79
180824-32-14	127.9	309.0	0.41	0.0555	0.0043	0.561	0.042	0.0738	0.0012	340	160	447	28	459	7	-2.61
180824-32-15	38.8	60.1	0.65	0.2155	0.0079	17.64	0.610	0.5910	0.0160	2937	54	2963	34	2988	63	-1.71
180824-32-16	93.6	237.0	0.39	0.0602	0.0055	0.674	0.058	0.0816	0.0024	480	190	515	35	505	14	1.98
180824-32-17	53.4	103.1	0.52	0.0566	0.0057	0.585	0.060	0.075	0.0023	350	210	459	38	466	14	-1.50
180824-32-18	131.6	143.7	0.92	0.0990	0.0048	3.990	0.220	0.2975	0.0068	1550	120	1623	45	1678	34	-7.63
180824-32-19	173.0	216.0	0.80	0.0992	0.0037	3.860	0.230	0.2873	0.0054	1560	110	1596	50	1628	27	-4.18
180824-32-20	172.0	375.0	0.46	0.0624	0.0045	0.619	0.054	0.0722	0.0019	610	200	484	34	449	12	7.80
180824-32-22	68.1	204.0	0.33	0.0596	0.0079	4.160	0.220	0.2832	0.0088	1741	78	1659	44	1607	44	8.34
180824-32-23	249.0	609.0	0.41	0.0586	0.0031	0.595	0.046	0.0724	0.0018	560	160	471	29	450	11	4.67
180824-32-24	130.0	346.0	0.38	0.0543	0.0033	0.559	0.043	0.0734	0.0017	390	170	447	28	456	10	-1.97
180824-32-25	151.0	237.0	0.64	0.0557	0.0053	0.542	0.064	0.0733	0.0022	270	230	432	41	456	13	-5.26
180824-32-26	79.8	167.0	0.48	0.0483	0.0053	0.502	0.056	0.0727	0.0021	150	230	413	41	452	13	-8.63
180824-32-28	39.9	82.6	0.48	0.0534	0.0074	0.550	0.072	0.0758	0.0027	200	280	430	48	471	16	-8.70
180824-32-30	119.4	347.0	0.34	0.0559	0.0034	0.618	0.045	0.0763	0.0017	510	160	485	28	474	10	2.32
180824-32-31	156.1	183.0	0.85	0.0578	0.0057	0.582	0.067	0.0739	0.0021	390	240	457	43	460	12	-0.65

续表

测点号	含量( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		不谐和度/%	
	Th	U		比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	年龄/Ma	误差(1 $\sigma$ )		年龄/Ma
180824-32-32	81.7	118.6	0.68	0.0532	0.0074	0.528	0.070	0.0741	0.0028	140	260	417	461	17	-9.54
180824-32-33	427.0	1029.0	0.41	0.0565	0.0027	0.617	0.042	0.0795	0.0012	440	140	486	493	7	-1.42
180824-32-35	242.0	677.0	0.36	0.0554	0.0030	0.555	0.036	0.0737	0.0016	380	150	446	458	10	-2.71
180824-32-36	690.0	844.0	0.82	0.0888	0.0016	2.970	0.097	0.2455	0.0035	1388	62	1398	1415	18	-1.91
180824-32-37	325.0	577.0	0.56	0.0581	0.0035	0.575	0.038	0.0745	0.0013	410	140	458	463	8	-1.06
180824-32-38	78.5	162.1	0.48	0.0893	0.0038	2.920	0.130	0.2388	0.0042	1380	100	1391	1380	22	0
180824-32-39	170.0	194.0	0.88	0.0531	0.0045	0.535	0.049	0.0738	0.0019	310	210	438	459	12	-4.58
180824-32-40	109.7	299.0	0.37	0.0551	0.0040	0.528	0.046	0.0726	0.0017	290	180	427	452	10	-5.53
180824-32-41	207.2	216.1	0.96	0.0566	0.0054	0.542	0.062	0.0738	0.0021	260	240	432	459	13	-5.88
180824-32-42	101.8	193.0	0.52	0.0525	0.0054	0.547	0.066	0.0773	0.0027	230	280	434	480	16	-9.58
180824-32-43	417.0	737.0	0.57	0.0557	0.0025	0.527	0.031	0.0688	0.0014	410	130	428	429	8	-0.21
180824-32-45	132.9	296.4	0.45	0.0590	0.0059	1.040	0.160	0.1120	0.0120	730	240	702	683	66	2.78
180824-32-46	471.0	746.0	0.63	0.0601	0.0034	0.598	0.038	0.0698	0.0018	660	150	474	435	11	8.97
180824-32-47	564.0	738.0	0.76	0.0555	0.0031	0.549	0.035	0.0723	0.0014	400	150	442	450	8	-1.76
180824-32-48	145.2	222.0	0.65	0.0554	0.0045	0.553	0.058	0.0736	0.0027	360	240	452	457	16	-1.09
180824-32-49	189.8	472.0	0.40	0.0543	0.0030	0.539	0.040	0.0726	0.0017	310	170	435	452	10	-3.76
180824-32-50	105.9	246.0	0.43	0.0556	0.0041	0.584	0.052	0.0754	0.0018	380	190	461	469	11	-1.71
180824-32-51	103.5	214.0	0.48	0.0542	0.0040	0.530	0.043	0.0712	0.0019	340	180	434	443	12	-2.03
180824-32-52	160.0	310.0	0.52	0.0543	0.0048	0.526	0.052	0.0734	0.0019	240	200	424	456	12	-7.02
180824-32-53	277.0	404.0	0.69	0.0571	0.0032	0.562	0.053	0.0734	0.0018	410	210	449	456	11	-1.54
180824-32-55	20.95	70.7	0.30	0.0550	0.0100	0.560	0.100	0.0753	0.0039	140	360	423	467	23	-9.42
180824-32-56	109.0	202.0	0.54	0.0528	0.0045	0.515	0.061	0.0711	0.0021	240	240	416	443	13	-6.09
180824-32-57	30.63	72.8	0.42	0.0532	0.0073	0.618	0.093	0.0806	0.0030	290	310	471	500	18	-5.80
180824-32-58	93.2	177.3	0.53	0.0550	0.0056	0.538	0.055	0.0734	0.0020	270	220	430	456	12	-5.70
180824-32-59	187.0	358.0	0.52	0.0572	0.0039	0.583	0.038	0.0736	0.0016	470	160	463	457	9.8	1.22
180824-32-60	90.8	219.0	0.41	0.0522	0.0045	0.591	0.048	0.0772	0.0019	400	200	477	479	11	-0.42
180824-32-61	132.0	305.0	0.43	0.0561	0.0039	0.614	0.044	0.0784	0.0022	430	170	483	486	13	-0.62

续表

测点号	含量 ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		不谐和度/%		
	Th	U		比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	年龄/Ma	误差(1 $\sigma$ )		年龄/Ma	误差(1 $\sigma$ )
180824-32-63	160.0	277.0	0.58	0.0553	0.0049	0.615	0.069	0.0739	0.0020	500	250	480	43	460	12	4.35
180824-32-64	127.9	366.0	0.35	0.0538	0.0031	0.548	0.043	0.0739	0.0013	340	160	441	28	460	8	-4.05
180824-32-65	74.0	131.0	0.56	0.0570	0.0073	0.580	0.076	0.0739	0.0026	330	260	450	48	459	15	-1.96
180824-32-66	52.7	71.4	0.74	0.0881	0.0054	3.120	0.200	0.2573	0.0065	1350	120	1421	51	1475	33	-8.47
180824-32-67	72.4	141.9	0.51	0.0584	0.0062	0.664	0.075	0.0773	0.0019	590	260	508	47	480	11	5.83
180824-32-68	31.6	71.8	0.44	0.0933	0.0066	3.300	0.220	0.2593	0.0062	1520	110	1480	48	1485	32	2.36
180824-32-69	434.0	435.0	1.00	0.0558	0.0039	0.564	0.041	0.0752	0.0014	360	170	451	27	467	9	-3.51
180824-32-70	84.8	153.1	0.55	0.0590	0.0063	0.622	0.070	0.0766	0.0023	430	230	479	44	476	14	0.63
180824-32-71	230.0	302.0	0.76	0.0560	0.0036	0.576	0.036	0.0745	0.0014	410	140	458	23	463	8	-1.08
180824-32-72	129.5	165.0	0.78	0.0547	0.0058	0.554	0.060	0.0724	0.0021	320	230	437	40	450	13	-2.89
180824-32-73	36.7	76.2	0.48	0.0631	0.0091	0.660	0.110	0.0764	0.0028	500	360	495	69	475	17	4.21
180824-32-74	25.87	68.8	0.38	0.0579	0.0085	0.580	0.110	0.0744	0.0041	300	360	445	69	462	25	-3.68
180824-32-75	128.0	240.0	0.53	0.0579	0.0046	0.589	0.052	0.0747	0.0020	410	200	465	34	464	12	0.22
180824-32-76	85.0	164.0	0.52	0.0599	0.0056	0.631	0.069	0.0776	0.0031	490	240	489	43	482	19	1.45
180824-32-77	158.0	192.7	0.82	0.0566	0.0058	0.545	0.057	0.0700	0.0018	350	210	433	38	436	11	-0.69
180824-32-78	590.0	698.0	0.85	0.0616	0.0032	0.612	0.036	0.0725	0.0013	600	130	482	23	451	8	6.90
180824-32-79	559.0	586.0	0.95	0.0569	0.0030	0.568	0.031	0.0720	0.0014	500	130	455	20	448	8	1.59
180824-32-80	174.5	366.0	0.48	0.0555	0.0037	0.551	0.057	0.0759	0.0019	240	210	441	37	471	11	-6.37
180824-32-81	252.0	551.0	0.46	0.0587	0.0032	0.619	0.029	0.0779	0.0012	510	120	487	18	484	7	0.68
180824-32-82	56.4	110.7	0.51	0.0592	0.0065	0.577	0.087	0.0725	0.0045	390	290	449	56	450	27	-0.22
180824-32-83	111.3	180.5	0.62	0.0582	0.0069	0.591	0.070	0.0745	0.0023	370	240	459	44	463	13	-0.86
180824-32-84	190.0	335.0	0.57	0.0559	0.0038	0.587	0.054	0.0800	0.0016	320	190	464	35	496	9	-6.41
180824-32-85	74.3	208.0	0.36	0.0524	0.0072	0.950	0.200	0.0990	0.0100	600	300	627	98	604	61	3.81
180824-32-86	329.0	577.0	0.57	0.0566	0.0030	0.589	0.044	0.0745	0.0010	480	160	467	27	463	6	0.86
180824-32-87	183.0	216.0	0.85	0.0561	0.0055	0.536	0.051	0.0712	0.0023	330	210	428	34	443	14	-3.39
180824-32-89	285.0	298.0	0.96	0.0583	0.0043	0.569	0.049	0.0722	0.0016	460	200	453	32	450	9	0.78
180824-32-90	134.4	332.0	0.40	0.0545	0.0035	0.557	0.040	0.0750	0.0018	360	170	446	26	466	11	-4.29

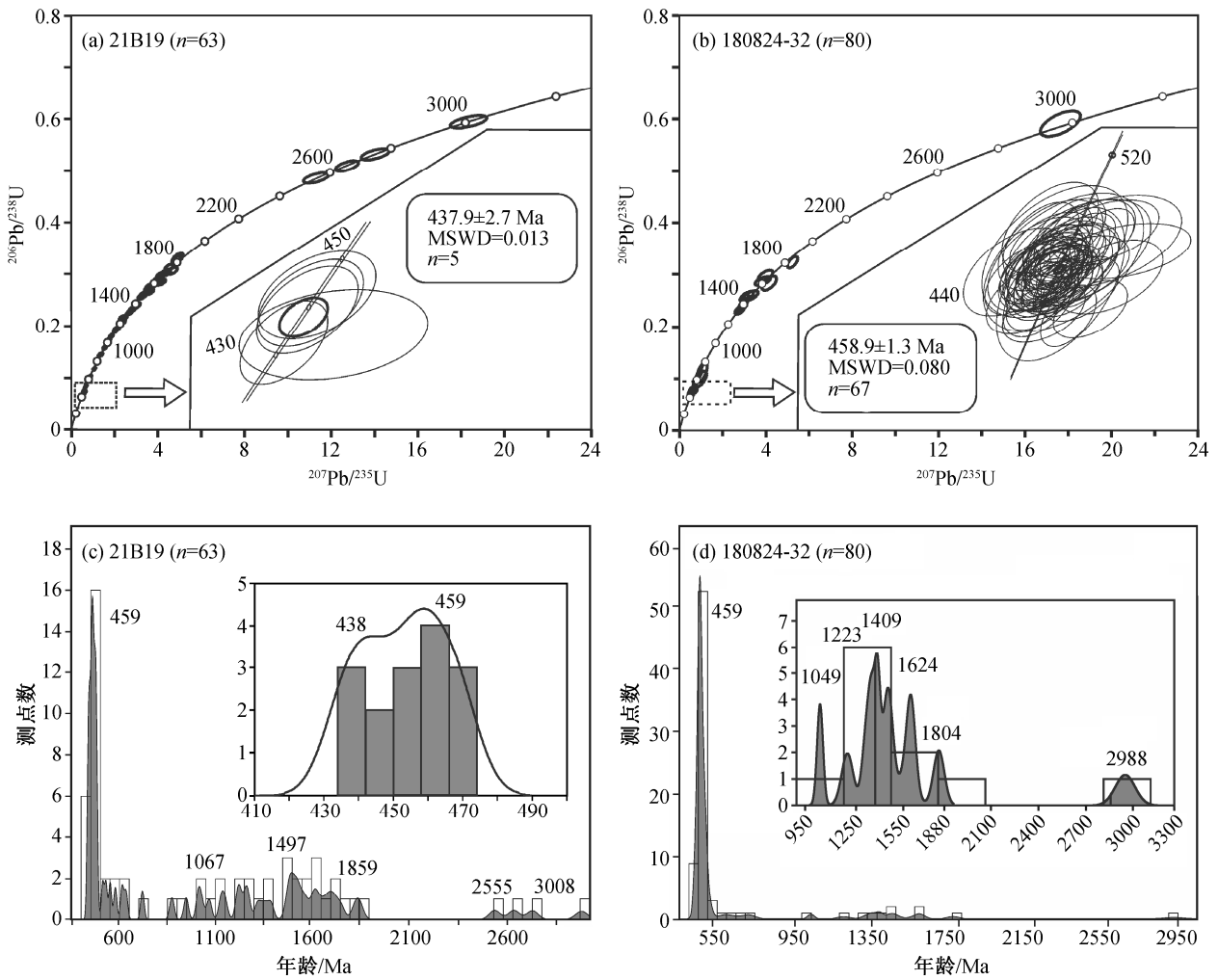


图 8 徐尼乌苏组样品锆石年代学测试结果

Fig. 8 Zircon chronological dating result of samples from the Xuniwusu Formation

和基性岩墙事件<sup>[37]</sup>; 1.4 Ga 的峰值年龄与侵入白云鄂博群的火成碳酸岩脉的锆石 U-Pb 年龄(1416±77 Ma)<sup>[38]</sup>相当。另一组 2.5~2.8 Ga 的年龄与华北板块的古老基底年龄<sup>[34,39]</sup>相符, 例如研究区南部华北板块狼山地区宝音图群具有 2.8 Ga 和 2.5 Ga 的特征峰值年龄<sup>[40]</sup>, 表明华北板块北部基底地区可能是徐尼乌苏组的蚀源区。

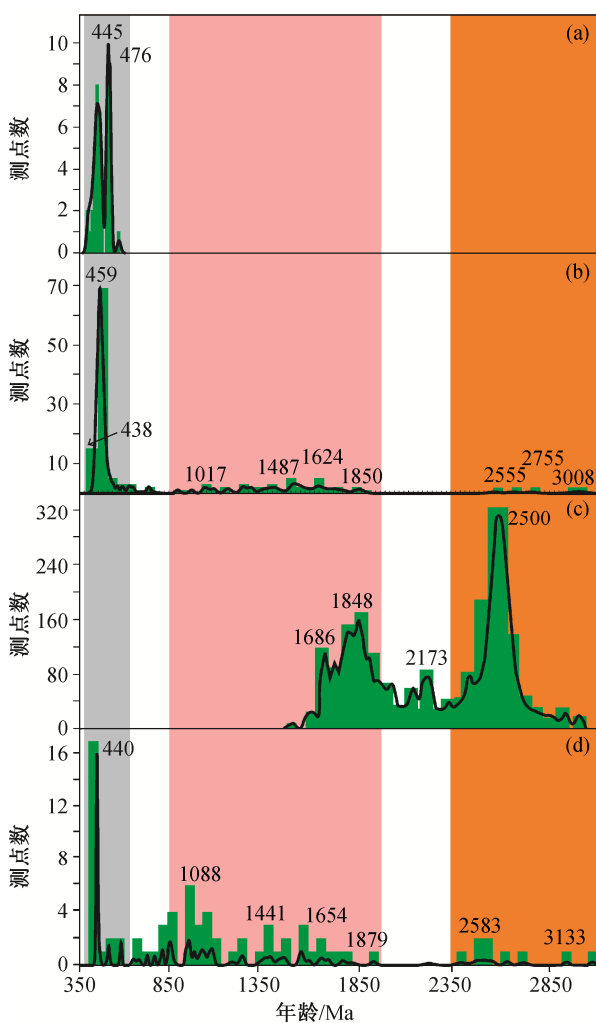
综上所述, 徐尼乌苏组的物源应分别来自其北的早古生代岛弧带和其南的华北板块基底。

### 4.3 内蒙古西部早古生代大陆边缘性质

在本研究区以东约 200 km 的达茂旗地区, 发育代表弧后盆地的塔林宫群堆积岩和代表岛弧岩浆岩的多个岩体以及包尔汗图群火山岩(图 1)<sup>[20-21,33]</sup>。在再向东 150 km 的白乃庙地区, 也存在一套同时代的碎屑岩-火山岩建造——徐尼乌苏组, 代表白乃

庙地区志留纪弧后盆地沉积(图 1)<sup>[22,41-42]</sup>。根据岩性组合, 将其划分为 3 个沉积旋回及演化阶段: 1) 早期快速堆积阶段(452~441 Ma), 为成熟度较低的粗碎屑岩建造; 2) 中期火山喷发阶段(441~440 Ma), 以火山-沉积作用为主, 夹碳酸盐岩和碎屑岩建造, 其中安山质火山凝灰岩形成时代为 440.9 Ma, 碎屑物质主要来源于该时期的火山活动; 3) 晚期稳定沉积阶段(440 Ma 之后), 形成细碎屑岩-碳酸盐岩建造, 此时物源广泛, 分别来自华北板块基底、兴蒙造山带和白乃庙早古生代火山弧<sup>[22]</sup>。

对图古日格、达茂旗和白乃庙 3 个地区的对比分析表明, 在南造山带东西约 400 km 的范围内, 广泛发育以徐尼乌苏组和塔林宫群为代表的弧后盆地, 构成早古生代古亚洲洋的重要古地理单元, 揭



(a) 图古日格岛弧闪长岩 ( $n=30$ )<sup>[12]</sup>, 温其根乌兰枕状玄武岩 ( $n=19$ )<sup>[24]</sup>; (b) 徐尼乌苏组石英杂砂岩 ( $n=143$ ) (本文); (c) 华北克拉通 ( $n=1780$ )<sup>[34]</sup>; (d) 白乃庙变质长石英细砂岩 ( $n=77$ )<sup>[22]</sup>

图 9 徐尼乌苏组与潜在物源区碎屑锆石年龄谱对比  
Fig. 9 Comparison of detrital zircon age spectrums from Xuniwusu Formation and potential provenance terranes

示早古生代古亚洲洋的俯冲过程中曾形成东西向宽阔的沟弧盆体系, 表明华北板块北缘属于安第斯型活动大陆边缘。

综合本文与前人的研究结果, 我们推断华北板块北缘早古生代沟弧盆体系的格局如下: 早古生代松辽-浑善达克地块与华北板块之间存在古亚洲洋, 以温都尔庙群为代表; 古亚洲洋向南俯冲至华北板块之下, 形成加积楔; 俯冲作用在华北板块北缘西部图古日格地区产生岛弧带, 由奥陶纪包尔汉图群火山岩及同时期侵入岩组成; 岛弧带以南发育弧后盆地, 接受岛弧岩浆岩与华北板块的双向物源, 形成徐尼乌苏组浊流沉积(图 10)。向东在达茂旗地区也发育弧后盆地, 沉积形成塔林宫群浊积岩系; 在更东部的白乃庙地区, 弧后盆地的沉积以滨浅海相火山-碎屑岩为特征。

### 5 结论

1) 图古日格地区徐尼乌苏组复理石建造应属浊流沉积, 可归为中扇亚相, 并可进一步划分出辫状水道、辫状水道间和中扇前缘 3 种微相, 其形成时间为早中志留世。

2) 图古日格地区徐尼乌苏组主要物源是来自其北方的岛弧带岩浆岩的剥蚀物质, 也有部分来自其南方华北板块变质基底, 因此徐尼乌苏组反映弧后盆地的双向物源特征。

3) 图古日格、达茂旗和白乃庙 3 个地区的弧后盆地沉积建造对比分析表明, 在南造山带东西约 400 km 范围内, 早古生代古亚洲洋的俯冲曾形成宽阔的沟弧盆体系, 暗示华北板块北缘属于安第斯型活动大陆边缘。

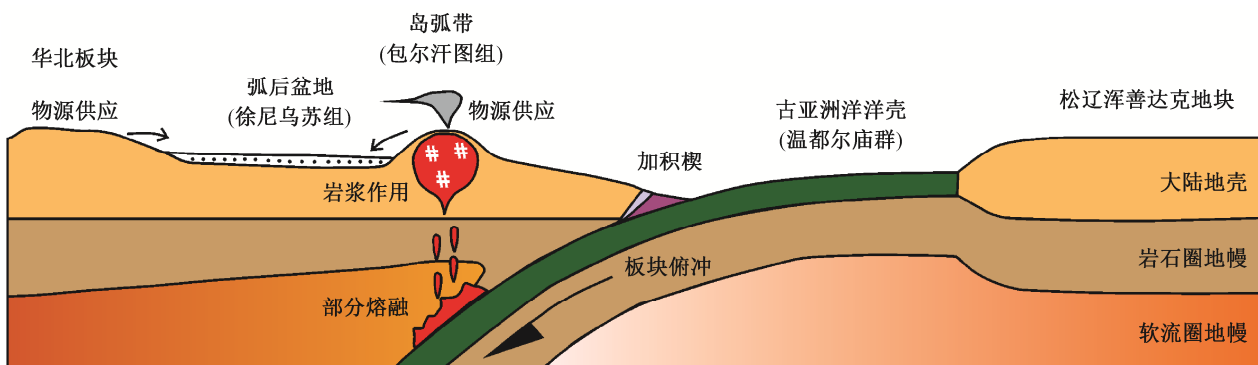


图 10 南造山带沟弧盆体系  
Fig. 10 Schematic model map of back-arc basin in the south orogenic belt

致谢 研究工作得到河北地质大学王志伟老师和李艳广老师及翟鹏和唐军同学的帮助,在此表示衷心感谢。

### 参考文献

- [1] Jahn B M. The Central Asian Orogenic Belt and growth of the continental crust in the Phanerozoic. Geological Society, London, Special Publications, 2004, 226(1): 73–100
- [2] Jahn B M, Litvinovskiy B A, Zandvilevich A N, et al. Alkaline granitoid magmatism in the Mongolian-Transbaikalian Belt: evolution, petrogenesis and tectonic significance. *Lithos*, 2009, 113(3/4): 521–539
- [3] Windley B F, Alexeiev D, Xiao W, et al. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt. *Journal of the Geological Society*, 2007, 164(12): 31–47
- [4] 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): 1069–1088
- [5] Xiao W J, Windley B F, Huang B C, et al. 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*, 2009, 98(6): 1189–1217
- [6] Xiao W J, Windley B F, Sun S, et al. A tale of amalgamation of three Permo-Triassic Collage Systems in Central Asia: oroclinal sutures, and terminal accretion. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2015, 43(1): 477–507
- [7] Li J Y. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2006, 26(3): 207–224
- [8] Li J Y, Zhang J, Yang T N, et al. Crustal tectonic division and evolution of the southern part of the North Asian orogenic region and its adjacent areas. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2009, 39(4): 584–605
- [9] Şengör A M C, Natal'in B A, Burtman V S. Evolution of the Altiid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 1993, 364: 299–307
- [10] Xu B, Chen B. Framework and evolution of the middle Paleozoic orogenic belt between Siberian and North China Plates in northern Inner Mongolia. *Science in China: Ser D*, 1997, 40(5): 463–469
- [11] 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
- [12] 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
- [13] Zhou J B, Wilde S A, Zhang X Z, et al. The onset of Pacific margin accretion in NE China: evidence from the Heilongjiang high-pressure metamorphic belt. *Tectonophysics*, 2009, 478(3/4): 230–246
- [14] Zhou J B, Wilde S A. The crustal accretion history and tectonic evolution of the NE China segment of the Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research*, 2013, 23(4): 1365–1377
- [15] 徐备, 赵盼, 鲍庆中, 等. 兴蒙造山带前中生代构造单元划分初探. *岩石学报*, 2014, 30(7): 1841–1857
- [16] 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
- [17] 胡晓. 华北地台北侧古生代大陆边缘的构造演化及成矿作用. *石家庄经济学院学报*, 1988, 11(2): 5–25
- [18] 张维, 简平. 内蒙古达茂旗北部早古生代花岗岩类 SHRIMP U-Pb 年代学. *地质学报*, 2008, 82(6): 778–787
- [19] 李锦轶, 高立明, 孙桂华, 等. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩的确定及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束. *岩石学报*, 2007, 23(3): 565–582
- [20] 张允平, 苏养正, 李景春. 内蒙古中部地区晚志留世西别河组的区域构造学意义. *地质通报*, 2010, 29(11): 1599–1605
- [21] 张永清, 孟二根, 巩智镇, 等. 内蒙古中部中-晚志留世西别河组的划分和时代. *地质通报*, 2004, 23(4): 352–359
- [22] 张金凤, 刘正宏, 关庆彬, 等. 内蒙古苏尼特右旗白乃庙地区徐尼乌苏组的形成时代及其地质意义. *岩石学报*, 2017, 33(10): 3147–3160
- [23] 廖闻, 徐备, 鲍庆中, 等. 兴蒙造山带西南缘早古

- 生代晚期变形带的变形特征与白云母 Ar-Ar 年龄. 岩石学报, 2015, 31(1): 80-88
- [24] 张宏宝, 张洋, 高雄, 等. 内蒙古温其根乌兰蛇绿混杂岩中枕状玄武岩特征及锆石 U-Pb 年龄. 地质通报, 2015, 34(10): 1878-1883
- [25] Walker R G. Facies models. Ottawa: Geoscience Canada Reprint Series, 1979
- [26] 朱筱敏, 王英国, 钟大康, 等. 济阳拗陷古近系储层孔隙类型与次生孔隙成因. 地质学报, 2007, 81(2): 197-204
- [27] 唐海发, 彭仕宓, 蔡圣权, 等. 湿地扇扇中辫状水道沉积微相-岩石相划分方法. 成都理工大学学报(自然科学版), 2008, 35(1): 22-27
- [28] Bouma A. Turbidites. *Developments in Sedimentology*, 1964, 3: 247-256
- [29] Shanmugam G. The Bouma Sequence and the turbidite mind set. *Earth Science Reviews*, 1997, 42: 201-229
- [30] 李艳广, 汪双双, 刘民武, 等. 斜锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年方法及应用. 地质学报, 2015, 89(12): 2400-2418
- [31] Paton C, Woodhead J D, Hellstrom J C, et al. Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction. *Geochim Geophys Geosyst*, 2010, 11: Q0AA06
- [32] Ludwig K R. User's Manual for isoplot 3.0: a geochronological, toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003, 4: 1-71
- [33] Cai C Y, Ouyang S, Wang Y, et al. An early Silurian vascular plant. *Nature*, 1996, 379: 592-592
- [34] Rojas-Agramonte Y, Kröner A, Demoux A, et al. Detrital and xenocrystic zircon ages from Neoproterozoic to Palaeozoic arc terranes of Mongolia: Significance for the origin of crustal fragments in the Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research*, 2011, 19(3): 751-763
- [35] 于津海, 王德滋, 王赐银, 等. 山西吕梁山中段元古代花岗质岩浆活动和变质作用. 高校地质学报, 2004, 10(4): 500-513
- [36] 耿元生, 万渝生, 沈其韩, 等. 吕梁地区早前寒武纪主要地质事件的年代框架. 地质学报, 2000, 74(3): 216-223
- [37] 胡波, 翟明国, 郭敬辉, 等. 华北板块北缘化德群中碎屑锆石的 LA-ICP-MSU-Pb 年龄及其构造意义. 岩石学报, 2009, 25(1): 193-211
- [38] 范宏瑞, 杨奎锋, 胡芳芳, 等. 内蒙古白云鄂博地区基底岩石锆石年代学及对构造背景的指示. 岩石学报, 2010, 26(5): 1342-1350
- [39] Zhai Mingguo, Guo Jinghui, Liu Wenjun. Neoproterozoic to Paleoproterozoic continental evolution and tectonic history of the North China Craton: a review. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2005, 24(5): 547-561
- [40] 孙立新, 赵凤清, 王惠初, 等. 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, 2013, 87(2): 197-207
- [41] 李刚, 刘正宏, 徐仲元, 等. 内蒙古白乃庙逆冲推覆构造的组成及其构造特征. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(增刊 2): 309-319
- [42] 周志广, 张达, 谷永昌, 等. 内蒙古白乃庙逆冲推覆构造特征及其地质意义. 大地构造与成矿学, 2018, 42(1): 1-17