

# 阿拉善地块中元古代诺尔公群的构造变形特征

王东升<sup>1</sup>, 宫江华<sup>1</sup>, 张建新<sup>2</sup>, 于胜尧<sup>2</sup>

- (1. 中国地质科学院 矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;  
2. 中国地质科学院 地质研究所 大陆构造与动力学国家重点实验室, 北京 100037)

**摘要:** 阿拉善地块作为华北板块的重要组成部分及关键的构造单元, 经历了不同时期构造热事件的叠加作用。本文选取阿拉善地块巴音诺尔公地区出露的中元古代诺尔公群进行研究, 总结了这些前寒武纪岩石的几何学、运动学及显微构造特征, 并对其构造格架、变形期次进行了初步划分。研究表明, 中元古代诺尔公群内部至少存在两期变形, 早期变形表现为原始层理的片理化过程, 形成了区域走向近 NE-SW 向的片理; 而晚期变形则表现为顺片理走向的右行走滑剪切作用。结合前人已有研究成果及年代学资料, 认为中元古代诺尔公群的内部变形主要受到石炭纪-二叠纪查干础鲁弧后盆地向阿拉善微陆块之下俯冲作用的控制, 俯冲作用造成了 NW-SE 向的挤压, 从而发生了早期片理化, 而随后顺俯冲带走向的走滑作用则调节了挤压造成的缩短。

**关键词:** 阿拉善地块; 巴音诺尔公; 中元古代诺尔公群; 构造变形

中图分类号: P542

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2016)02-0306-15

## Tectonic deformation characteristics of the Mesoproterozoic Nuergong Group in the Alxa block

WANG Dong-sheng<sup>1</sup>, GONG Jiang-hua<sup>1</sup>, ZHANG Jian-xin<sup>2</sup> and YU Sheng-yao<sup>2</sup>

- (1. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. State Key Laboratory for Continental Tectonics and Dynamics, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The Alxa block constitutes the westernmost part of the North China Block (NCB). This block has experienced polyphase tectonothermal events and hence serves as a key tectonic unit of the NCB. In this paper, Mesoproterozoic Nuergong Group in Bayinnuergong area of eastern Alxa block was selected for studying the tectonic framework and deformation stages of the Alxa block. Based on geometry, kinematics and microstructural characteristics of the Mesoproterozoic Nuergong Group, the authors recognized two deformation stages. At the first stage, original bedding structure reflected by the ribbon was transformed into foliation, striking in the NE-SW direction. At the late stage, dextral strike-slip shear occurred along the strike of foliation. In combination with previous research results and geochronological data, the authors hold that the deformation structures were controlled by the subduction of Chaganchulu back-arc basin beneath the Alxa block during Carboniferous-Permian period. Due to the intense NW-SE-trending contraction during the subduction, foliation formed and transformed the original bedding structure. After that, dextral strike-slip shear occurred along the strike of the subduction zone and accommodated intense contraction.

收稿日期: 2015-10-20; 接受日期: 2016-02-01

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(K1403)

作者简介: 王东升(1988-), 男, 助理研究员, 构造地质学专业, E-mail: 472352821@qq.com; 通讯作者: 宫江华(1984-), 男, 助理研究员, 构造地质学专业, E-mail: ba-ma521@163.com.

**Key words:** Alxa block; Bayinnuoergong; Mesoproterozoic Nuoergong Group; tectonic deformation

**Fund support:** Fundamental Scientific Research Separate Funds for Central Public Welfare Research Institutes (K1403)

阿拉善地块是华北板块西部一个重要的构造单元。一方面,它是连接华北和塔里木板块的微陆块,构造位置特殊(图 1a);另一方面,它被多个造山带和断裂围限,受显生宙以来的多期造山事件影响,具有复杂的演化历史。阿拉善地块西南缘与祁连地块在早古生代的碰撞拼合,形成祁连山-河西走廊典型“沟-弧-盆”体系(张建新等, 1997, 1998; 裴先治等, 1999; 汤中立等, 1999, 2000; Song *et al.*, 2013);阿拉善地块东南缘可能在晚古生代-早中生代与华北板块(鄂尔多斯地块)碰撞拼合(李锦轶等, 2012; 张进等, 2012; 杨振宇等, 2014; Yuan and Yang, 2015);而研究最深入的阿拉善地块北缘,它作为中亚造山带(兴蒙造山带)的一部分,经历了古亚洲洋在古生代的俯冲-增生作用并最终与华北板块碰撞拼合(吴泰然等, 1992, 1993; 王廷印等, 1992; Feng *et al.*, 2013)。阿拉善地块北缘两条重

要的板块缝合带——恩格尔乌苏蛇绿混杂带和查干楚鲁蛇绿混杂带近年被识别出来(图 1b),据此划分的构造单元得到地质学家们的广泛认同(吴泰然等, 1992, 1993; 王廷印等, 1992, 1993a, 1994a, 1998a; Zhang *et al.*, 2013; Zheng *et al.*, 2014)。

目前对阿拉善地块北缘的研究工作主要集中在地质演化及构造单元的划分上,对已划分的蛇绿混杂岩、岛弧/陆弧等构造单元的岩石组合(王廷印等, 1992, 1993b, 1994a; 吴泰然等, 1992, 1993; 吴茂炳, 1993; 许保良等, 2001; 王行军, 2012)、火成岩成岩时代、地化特征及构造属性(Feng *et al.*, 2013; 耿元生等, 2012; 史兴俊, 2012; 史兴俊等, 2014; Shi *et al.*, 2014; 徐东卓等, 2014; 杨奇荻等, 2014; 张文等, 2013; Zheng *et al.*, 2014)、古生代地层时代、化石及碎屑物源分析(陈登超等, 2010a, 2010b; 卜建军等, 2012; 谢力等, 2014)等方面都进行了详细的

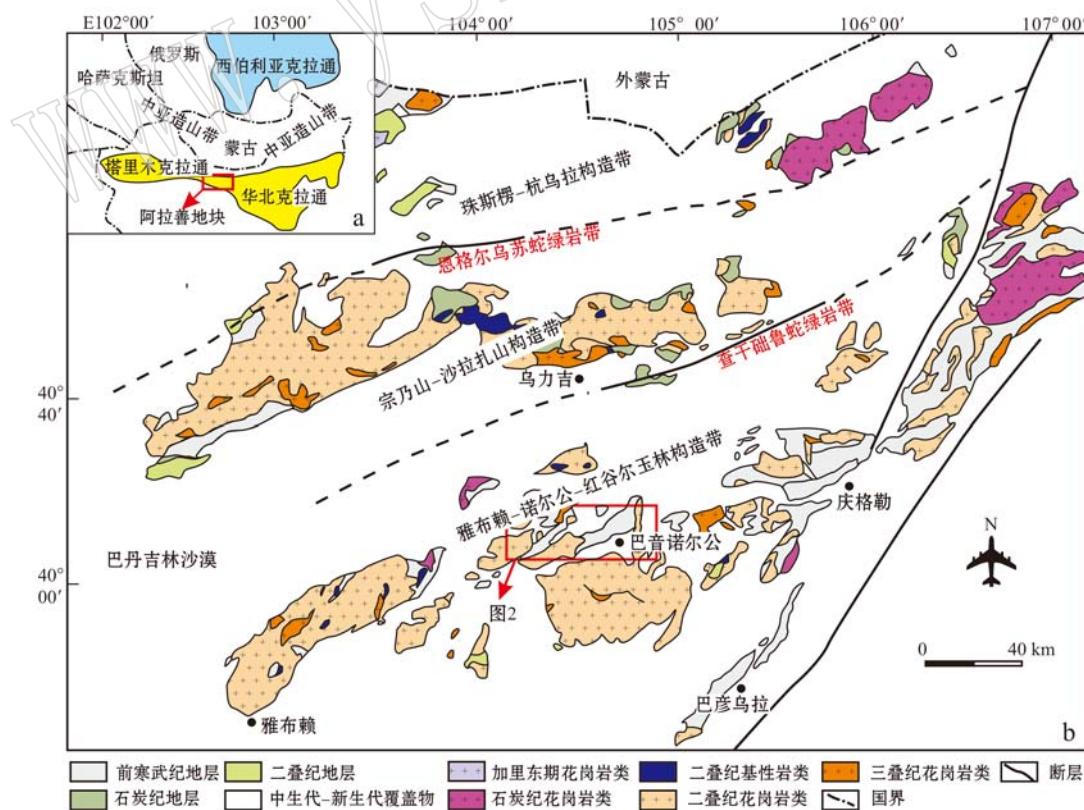


图 1 阿拉善地块构造位置 (a) 及其北缘区域地质简图 (b) (据史兴俊等, 2014)

Fig. 1 Tectonic location (a) and geological sketch map (b) of northern Alxa block (after Shi Xingjun *et al.*, 2014)

研究,并获得较多进展,然而对于造山过程相关的构造变形研究非常薄弱。构造变形作为岩石最直观的表现,能够清楚的反映运动学特征并进一步指示动力学机制。阿拉善地块北缘的前寒武纪基底岩石经历了显生宙以来陆壳拉张-洋壳俯冲到最终洋盆闭合的完整造山过程。因此,它的构造变形特征对于认识中亚造山带的演化历史具有重要意义。本文以阿拉善地块巴音诺尔公地区出露的中元古代地层为研究对象,从岩石的变形特征入手,阐述其构造变形特点,进而对区域构造演化进行初步讨论。

## 1 大地构造背景

阿拉善地块是一个被造山带和断裂围限的微陆块,它南邻祁连-秦岭造山带、北接中亚造山带,向西通过北山造山带与塔里木板块分隔,东侧为华北板块(图1a),由于受多期造山事件的影响,它的构造位置及属性非常复杂。阿拉善地区大多为沙漠、戈壁覆盖区,自然环境恶劣,导致以往研究程度较低。

多数研究者认为,阿拉善地块北缘存在两条重要地质界线,自北向南分别为恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带及查干础鲁蛇绿混杂岩带(王廷印等,1992;吴泰然等,1993)。早古生代至晚古生代早期,以恩格尔乌苏蛇绿岩带为代表的古亚洲洋向南俯冲,在阿拉善地块北缘形成了弧盆体系,即宗乃山-沙拉扎山弧及查干础鲁弧后盆地(图1b)。俯冲引起的拉张作用表现为雅布赖山-巴彦淖尔市-宝音图的基性岩墙群的出现以及区域大规模的混合岩化、热变质和花岗岩的形成(吴泰然等,1993)。到石炭纪,大洋最终闭合,形成了恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带(王金荣等,1995;王廷印等,1998a;张文等,2013)。石炭纪-二叠纪,由于古亚洲洋壳整体相对向南的推挤作用,查干础鲁弧后盆地向南俯冲于阿拉善地块之下而消减衰亡(李俊建,2006;赖新荣等,2007;张拴宏等,2010),最终使得宗乃山-沙拉扎山弧和阿拉善地块发生了拼合。在此过程中,阿拉善地块的北缘大规模发育岩浆作用形成雅布赖-诺尔公-红谷尔玉林陆缘弧,其中代表性岩体为巴音诺尔公、红古尔玉林、牙马图、叠布斯格等岩体(王廷印等,1993a;李俊建,2006;史兴俊,2012)。而到晚二叠世-早三叠世,塔里木板块最终完成了与华北板块的碰撞对接(王廷印等,1998a;张永清等,2002;Windley *et al.*, 2007;张拴宏等,2010)。

研究区位于内蒙古阿拉善左旗巴音诺尔公地区,构造位置上属于雅布赖-巴音诺尔公陆缘弧构造单元(图1b)。耿元生等(2006,2007)将阿拉善地块东部出露的早前寒武纪变质基底划分为新太古代叠布斯格岩群、古元古代巴彦乌拉山岩组和波罗斯坦庙杂岩、古中元古代阿拉善岩群、新元古代毕及格台杂岩。近年来的研究也主要针对这些早前寒武纪变质基底(如:Dan *et al.*, 2013; Wu *et al.*, 2014)。但对覆盖在早前寒武纪变质基底上的中新元古代沉积盖层的研究相对较少。内蒙古自治区地质矿产局(1991)通过区域对比,将巴音诺尔公地区的中、新元古代地层从下到上分为“长城系”诺尔公群、“蓟县系”巴音西别群和“青白口系”乌兰哈夏群。诺尔公群总体由石英岩、浅粒岩、碳酸盐岩和碎屑岩组成,为一套浅变质的海相碎屑岩建造;巴音西别群主要由富含叠层石的白云岩和泥灰岩、灰岩、板岩等浅海相沉积岩组成,夹中基性火山岩;乌兰哈夏群分为两个岩组,下部的海生哈拉组主要为杂色板岩夹泥灰岩;上部的朱拉扎嘎毛道组主要由白云岩、灰岩、粉砂岩、泥灰岩夹板岩等组成,是著名的朱拉扎嘎大型金矿的赋存层位(江思宏等,2000,2001)。一些学者认为,巴音诺尔公地区的中、新元古代地层是狼山地区中元古界渣尔泰山群的西延,同属于狼山-渣尔泰裂谷沉积(沈存利等,2004,2009;陈志勇等,2004)。以往主要通过叠层石化石确定这套沉积盖层的时代为长城-蓟县纪(内蒙古自治区地质矿产局,1991),即中元古代。李俊建(2006)对朱拉扎嘎毛道组中一件粉砂岩的碎屑锆石进行年代学分析,认为朱拉扎嘎毛道组地层的沉积时代最老不会超过1 100 Ma;杨岳清等(2001)获得朱拉扎嘎毛道组中火山岩的Sm-Nd年龄为1 187 Ma和1 293 Ma,认为属中元古代。最近,课题组获得了诺尔公群不同层位沉积岩的碎屑锆石测年结果,基本上可以确定诺尔公群的沉积时限为中元古代(数据另文发表)。

本文主要针对阿拉善左旗巴音诺尔公附近的中元古代诺尔公群开展构造变形分析,包括巴音诺尔公北部的布牙图和巴彦噶顺地区、西部的沙布格次和踏木斯格地区(图2)。

## 2 中元古代诺尔公群构造变形特征

研究区内出露的诺尔公群石英岩、浅粒岩总体呈北东-南西走向延伸,岩石内部发育多条脆性断层,

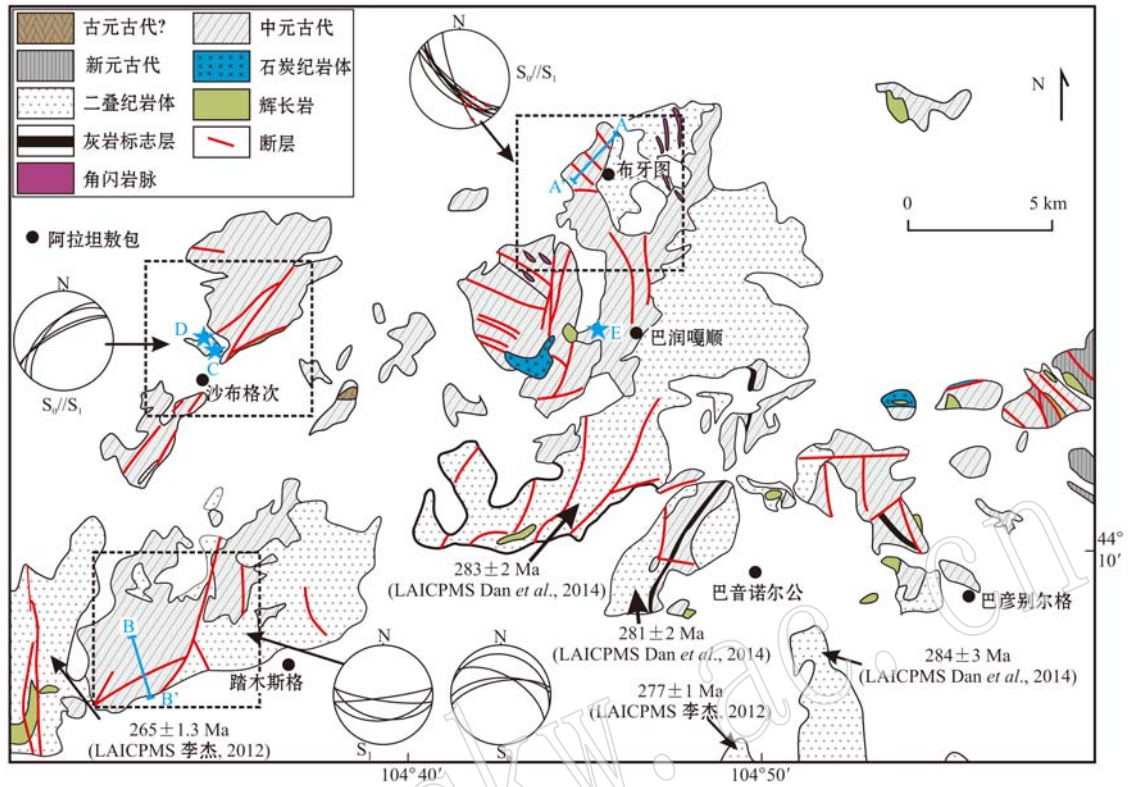


图 2 阿拉善地块巴音诺尔公地区区域地质图(底图据宁夏回族自治区地质局, 1980<sup>①</sup>修改)(赤平投影图中黑色实线为面理, 红点为拉伸线理)

Fig. 2 Geological map of the Bayinnuoergong area, northern Alxa block (after Geological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, 1980<sup>①</sup>) (black lines represent stereograms of the foliation, whereas red dots signify stretching lineation for observing sites in the study area)

同时也遭受不同程度的剪切变形改造。岩石内部片理发育, 倾角较大(50°~80°, 图 2), 但由于受后期构造变形的改造, 不同地区片理的走向和倾向却并不统一。除发育强烈的面理外, 可见各类岩石中云母、石英等矿物的拉长定向排列形成拉伸线理, 线理倾伏向随片理而变化, 倾伏角较小(10°~30°, 图 2)。另外, 在整个研究区内都可以看到原始条带的残余, 在研究区北东布牙图地区, 岩石遭受的剪切作用更强, 对原始层理改造较彻底。本文重点以巴音诺尔公-阿拉坦敖包之间的诺尔公群为研究对象, 野外观测选择 3 处露头较好的地段进行, 各点具体变形特征如下:

巴音诺尔公北部布牙图地区的中元古代诺尔公群出露岩性为石英岩、板岩及其间呈透镜体产出的斜长角闪岩, 并有后期未变形的岩体侵入(图 3)。该地区的中元古代石英岩呈片状, 片理倾角较大, 局部

近直立, 大体走向近 130°~310°。根据片状石英岩内部发育的线状、面状构造及其构造变形关系, 将该地区的构造事件分为早期原始层理阶段及之后的两个变形阶段: 早期原始层理阶段, 在石英岩内部发育明暗相间的条带状构造, 主要由灰白色石英颗粒和云母等暗色矿物的强烈定向而表现出来(图 4a), 指示出早期的原始层理(S<sub>0</sub>)。第 1 期变形(D1)主要表现为强烈的挤压作用, 该期变形导致了岩石发生广泛的片理化(图 5a), 通过薄(1~2 cm)、厚(20~30 cm)相间的片状石英岩表现出来, 由于能干性差异, 在风化作用下厚层石英岩得以保留形成了山顶处透镜体状断续分布的“山脊”。片理之间的石英脉受到垂直于片理的挤压发生侧向流动, 形成香肠体(图 4b); 片状石英岩的横截面上, 原始条带受到改造形成了紧闭褶皱, 褶皱核部明显变厚, 翼部变薄, 具相似褶皱的特点(图 4a), 是塑性条件下岩石受左行

① 宁夏回族自治区地质局. 1980. 1:200 000 阿拉坦敖包幅地质图.

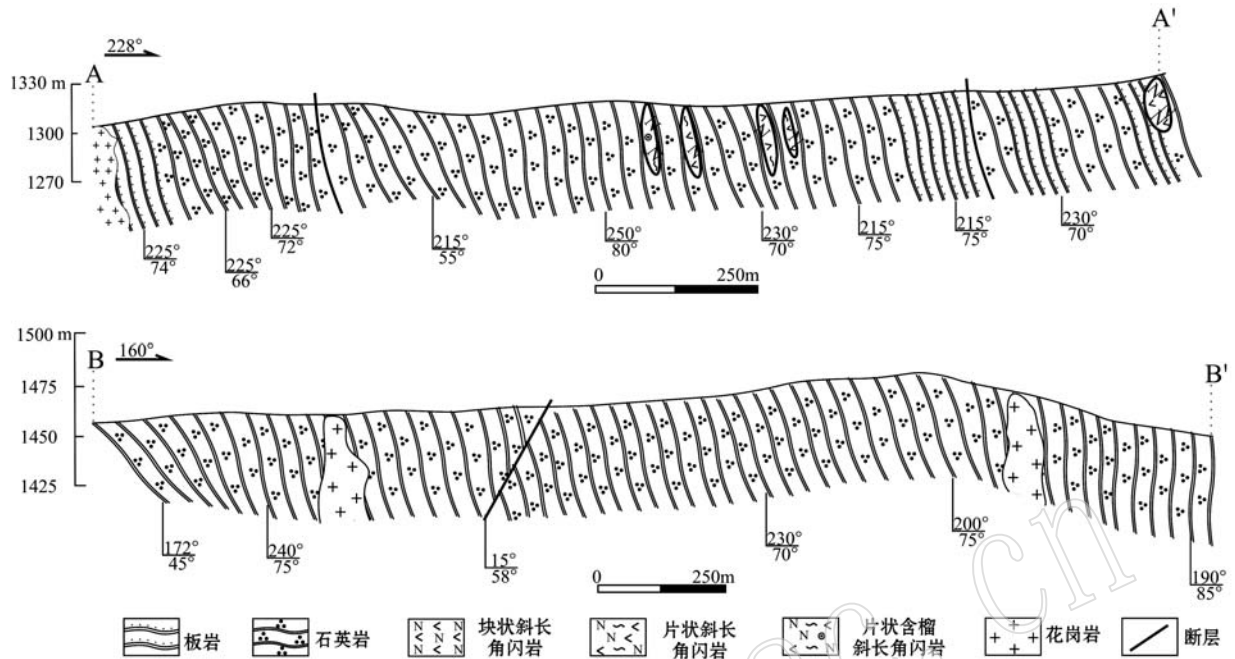


图3 中元古代诺尔公群野外地质剖面(具体剖面位置见图2)

Fig. 3 Cross-section of the Mesoproterozoic Nuogong Group (locations of the sections shown in Fig. 2)

剪切的结果,指示出区域上南西向北东的剪切作用。

镜下观察,砂质板岩中的石英颗粒或其集合体也发生明显定向拉长,成为单晶条带(图5b)或透镜状,根据定向薄片石英旋转碎斑的形态(图5c),判断其受到了由南西向北东的逆冲剪切作用。在片理化强烈的地方,原始层理被彻底改造,片理内部仍可以看到原始层理的残余,但其产状与片理一致。在薄层片状石英岩中还夹有灰绿色含石榴石斜长角闪岩(图5d),后者呈透镜状产出(图4c)。斜长角闪岩透镜体长轴平行于石英岩片理走向,内部呈块状,局部片理化明显,片理产状与石英岩片理一致,这也指示出斜长角闪岩为片理化之前侵位的产物,在片理化过程中受到挤压而拉断,并被伴生的剪切作用改造为透镜状。第2期变形(D2)主要表现为顺片理走向的走滑作用。片状石英岩发育缓倾伏的拉伸线理(图4d),主要通过石英颗粒的定向拉长表现出来,产状为 $145^{\circ}\angle 30^{\circ}$ 左右。而片理化的斜长角闪岩内也可以见有缓倾伏的拉伸线理发育(图4e),通过暗色的角闪石等定向拉长表现出来,产状约为 $135^{\circ}\angle 26^{\circ}$ 。野外露头上,薄层的石英岩受到顺其走向的剪切,其产状发生了变化形成了不对称褶皱(图4f),指示出顺 $130^{\circ}\sim 310^{\circ}$ 走向的左行剪切作用,与片理面上广泛发育的拉伸线理指示的运动方式一致。

踏木斯格附近仍出露大规模的诺尔公群石英岩,内部可以识别出两阶段的构造特征:原始层理阶段,石英岩内部隐约可见暗色矿物定向构成的原始层理,大致产状为 $S_0: 30^{\circ}\angle 58^{\circ}$ (图2);第1期变形(D1)阶段,主要表现为石英岩的强烈片理化,呈厚层状,局部夹有薄层石英片岩,总体倾向南(图3, B—B'),靠近剖面南侧,岩石片理逐渐变陡并近于直立。局部可见片理与原始层理为高角度相交(图6a),两者结合判断,该地区剪切方向仍为由南向北的剪切。在片理面上(图6a)或显微镜下都可以看到石英颗粒定向排列形成的拉伸线理,指示出顺片理发生的逆冲作用。剖面南侧石英岩被二长花岗岩侵入,镜下观察二长花岗岩内部矿物无定向性(图6b, 6e),表明其并未受到构造作用改造,属于明显的构造后侵入岩。

沙布格次附近发育的诺尔公群石英岩多被第四系沉积物覆盖,仅在局部可见小规模露头。该地区可识别出3阶段的构造特征:原始层理阶段,石英岩内部仍可见较明显的原始层理残余(图6c),其主体产状倾向北西,通过暗色条带表现出来;第1期变形(D1)阶段,石英岩遭受片理化,呈中-厚层状,该期变形过程对原始层理进行了强烈改造,使其平行于片理排列或在片理之间呈紧闭褶皱的形态,片理产状

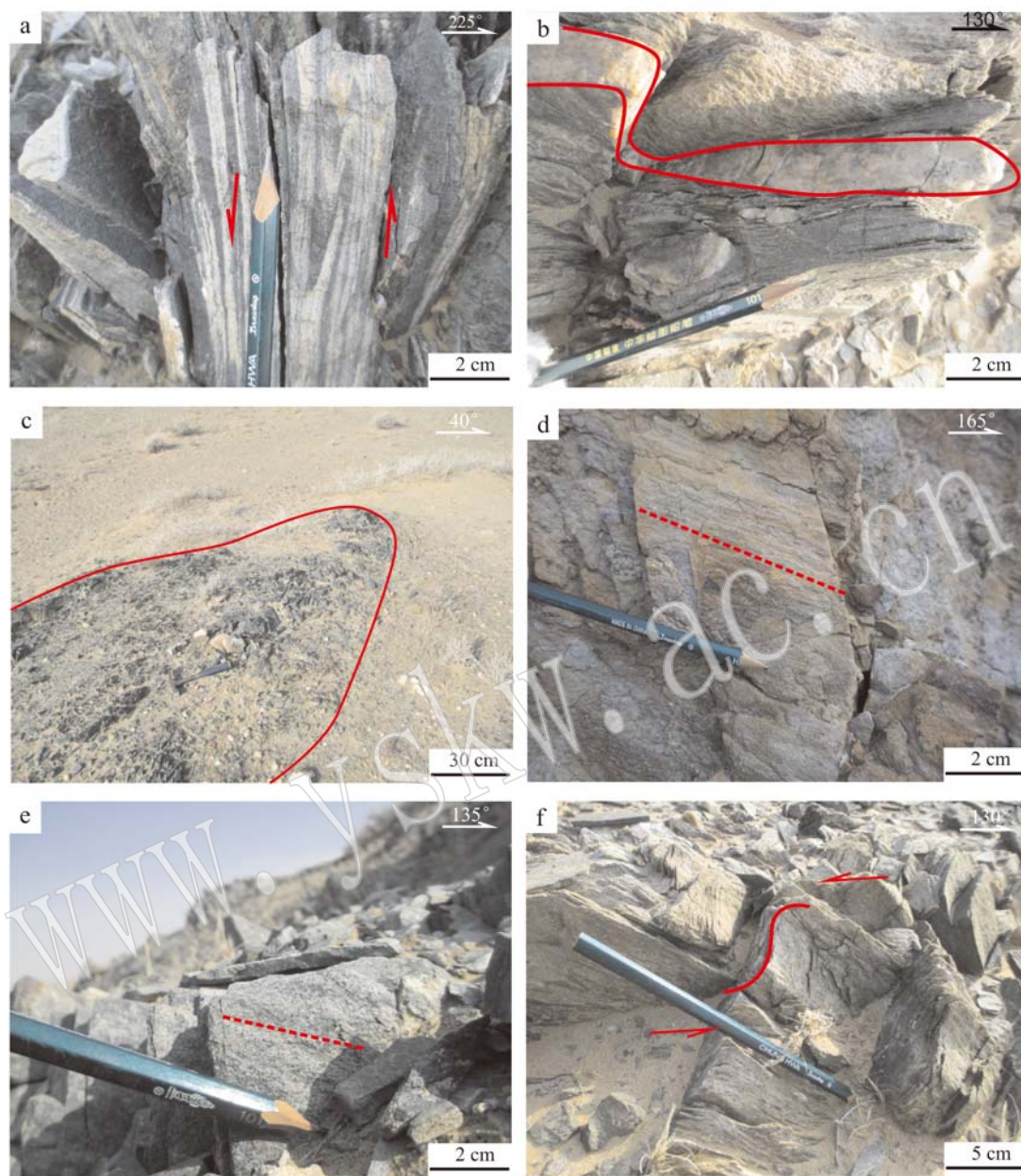


图 4 布牙图地区中元古代地层露头尺度构造变形特征

Fig. 4 Outcrop structural characteristics of Mesoproterozoic strata in Buyatu area

a—原生层理形成的紧闭褶皱；b—厚层状石英岩呈透镜体形态；c—透镜状斜长角闪岩；d—石英岩片理面上发育的拉伸线理；  
e—斜长角闪岩内部发育的拉伸线理；f—薄层石英岩内部的不对称褶皱

a—original bedding structure sheared to tight fold; b—quartz veins transformed to boudinage; c—lenticular amphibolite; d—stretching lineation developed on the foliation of quartzite; e—stretching lineation developed on the foliation of amphibolite; f—asymmetrical fold in thin-bed quartzite

与原始层理或原始层理形成的紧闭褶皱的轴面产状一致，为  $320^\circ \angle 56^\circ$ 。片理面上发育石英颗粒组成的拉伸线理，镜下观察，石英颗粒具有弱定向排列(图 6f)，属于顺片理面发生逆冲作用的产物；第 2 期变形(D2)阶段，在沙布格次的北西部阿拉坦敖包附近

(图 2)，发育花岗质片麻岩，前人通过年代学将其定为新元古代( $921 \pm 7$  Ma, 耿元生等, 2010)。强烈的片理化表明岩石也受到了第一期变形阶段的改造，但该地区总体岩石为  $130^\circ \sim 310^\circ$  走向，与布牙图地区岩石走向大体一致(图 2)，花岗质片麻岩的走向截

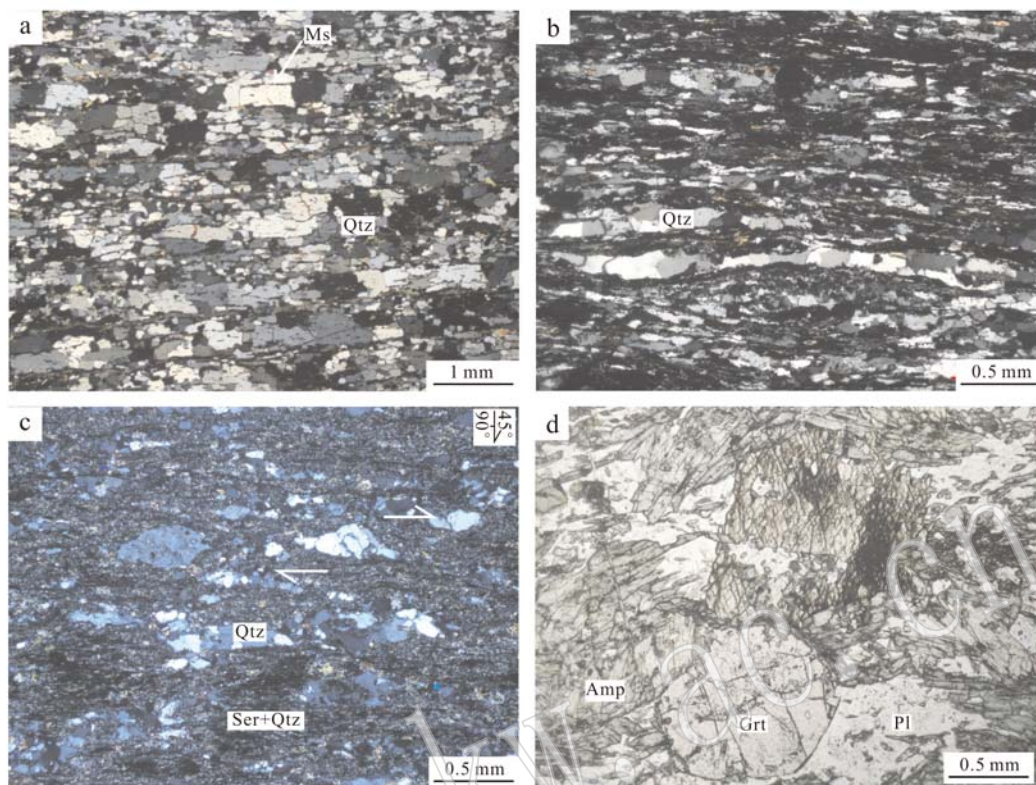


图 5 布牙图地区中元古代地层显微变形特征

Fig. 5 Microstructural characteristics of Mesoproterozoic strata in Buyatu area

a—具有定向性的石英颗粒；b—石英片岩内部的单晶石英条带；c—炭质板岩内部石英颗粒结合体呈透镜体形态；d—斜长角闪岩内部的粒状石榴子石；Grt—石榴子石；Bt—黑云母；Ms—白云母；Pl—斜长石；Qtz—石英；Amp—角闪石；Ser—绢云母  
a—oriented quartz parallel to each other；b—individual quartz ribbons in the schist；c—lens-shaped quartz aggregate in slate；d—round garnet porphyroblast in the amphibolites；Bt—biotite；Grt—garnet；Ms—muscovite；Pl—plagioclase；Qtz—quartz；Amp—amphibole；Ser—sericite

面上可以看到微斜长石斑晶经变形成为眼球状，在斑晶的两端形成由细粒长石、石英组成的拖尾，它们共同组成了“ $\delta$ 型”的旋转碎斑(图 6d)，指示出沿  $130^{\circ}\sim 310^{\circ}$  方向上的左行剪切作用，表明在片理化作用之后该地区也发生了一定的走滑作用。

### 3 变形期次划分

综合上述构造特征认为，研究区内总体可以划分为 3 个阶段：早期原始层理阶段(S<sub>0</sub>)、第 1 期挤压变形阶段(D<sub>1</sub>)、第 2 期走滑变形阶段(D<sub>2</sub>)，各阶段具体变形特征为：

早期原始层理阶段(S<sub>0</sub>)：研究区石英岩的不同露头处均可以看到岩石内部出露的原始层理，主要为明暗相间的条带，镜下观察，条带主要由石英等浅色矿物和云母等暗色矿物被拉长，并顺其长轴平行排列组成。但原始层理在后期的变形过程中大多被

改造成为平行于片理或在片理间以紧闭褶皱的形式存在。

第 1 期挤压变形阶段(D<sub>1</sub>)：挤压作用造成了强烈的片理化，它们对原始层理进行了一定程度的改造，踏木斯格能干性较强的厚层石英岩中，片理对原始层理的改造并不完全，两者为斜交关系，据其改造关系可以判断，区域发生了由南向北的逆冲剪切作用。在布牙图能干性较弱的薄层状石英砂岩中，片理对原始层理的改造较彻底，片理平行于原始条带(S<sub>0</sub>//S<sub>1</sub>)。片理内部的石英脉体也受到挤压作用形成了石香肠构造；镜下观察，片岩中的石英矿物也沿最大主应力方向被拉长成单晶条带。另外，挤压还伴随层间剪切作用，在片理的横截面上可以看到原始层理被改造，形成层间紧闭褶皱，其轴面平行于片理，结合褶皱形态及其他运动学标志，判断岩石在该期变形阶段遭受了由南西向北东的压剪性作用。虽然是同期变形的产物，但布牙图地区与踏木斯格地

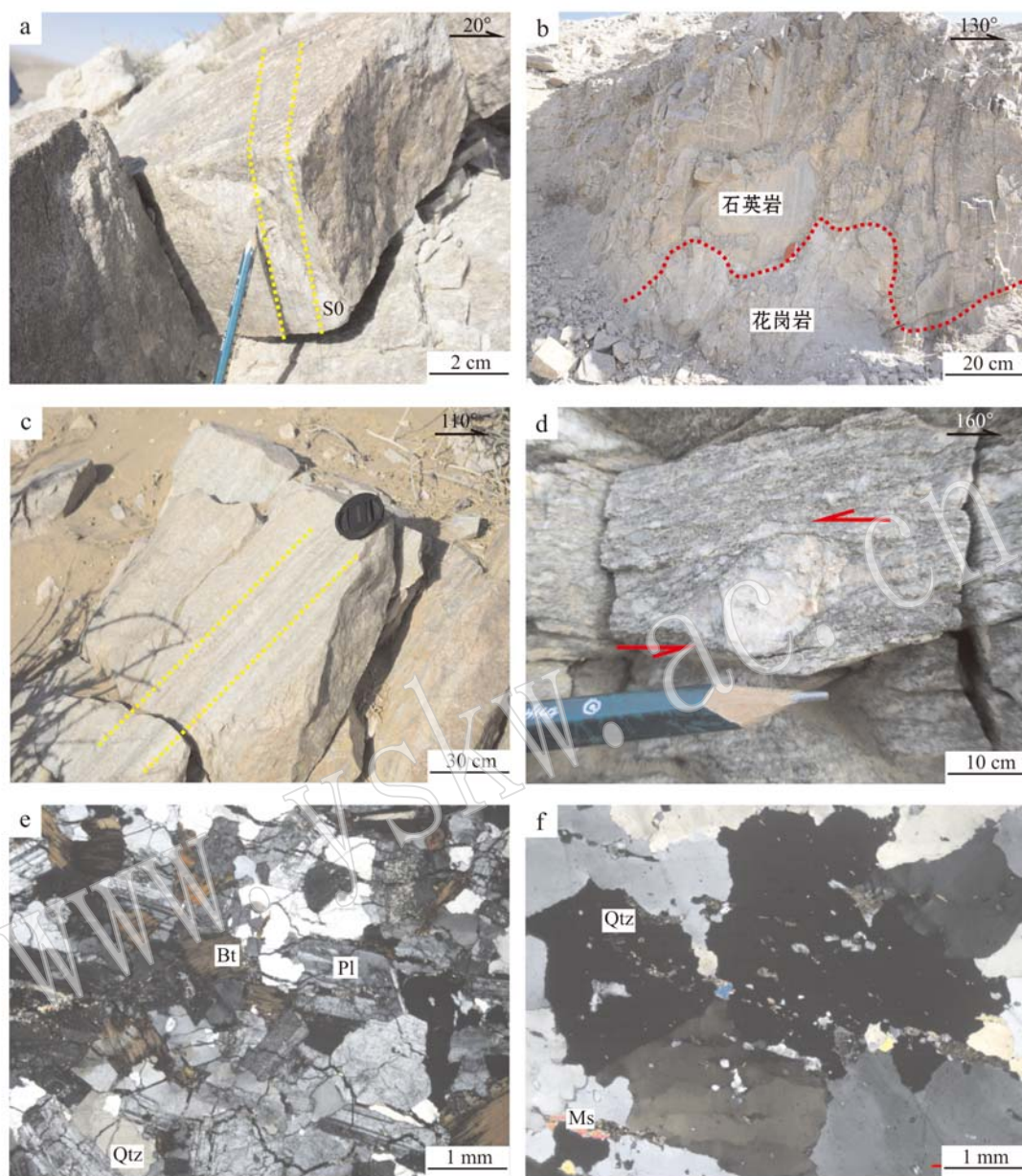


图 6 踏木斯格和沙布格次地区中元古代地层露头尺度构造变形特征

Fig. 6 Outcrop structural characteristics of Mesoproterozoic strata in Tamusige and Shabugeci area

a—厚层石英岩中片理改造了原始层理；b—未变形花岗岩侵入到石英岩中；c—明暗相间条带表现出的原始层理；d—元古代花岗质片麻岩内部的旋转碎斑；e—后期花岗岩内部矿物无定向分布；f—厚层状石英岩内部颗粒弱变形；Bt—黑云母；Ms—白云母；Pl—斜长石；Qtz—石英  
 a—original bedding structure transformed by foliation in thick-bed quartzite；b—quartzite intruded by undeformed granite；c—original bedding structure shown by the ribbons；d—porphyroblast in the Proterozoic granitic gneiss；e—non-oriented materials in the granite；f—slightly deformed quartz grains in thick-bed quartzite；Bt—biotite；Ms—muscovite；Pl—plagioclase；Qtz—quartz

区得出的却是不同方向的逆冲剪切作用，这表明它们受到了第 2 期变形作用(D2)的改造。综合上述构造特征认为，该期变形导致区域岩石受到了强烈挤压作用，并伴随有顺片理倾向的剪切作用。

第 2 期走滑变形阶段(D2)：布牙图地区，片理

化石英岩及斜长角闪岩内部，缓倾伏的拉伸线理，指示出片理化作用之后的一期走滑作用，结合片理内部的不对称褶皱，指示出顺 130°~310°方向的左行走滑作用。但综合布牙图地区的片理产状可以发现，S<sub>1</sub> 片理的产状多变(图 7)，在平面图上表现为



右行剪切形成的不对称褶皱的形态,但由于第四系强烈覆盖,无连续露头观察。但在巴润噶顺附近(点 E),片状石英岩的一个露头显示,平面上其产状发生了连续的变化,中间无断层出露,总体表现为一个不对称的褶皱形态(图 7b)。研究区中不同露头(图 2,点 A~D)的产状在此处均有体现,它代表了区域构造格架的一个缩影,指示出研究区片理受到了右行剪切形成的不对称褶皱的改造。而布牙图地区石英岩可能位于区域大规模不对称褶皱的翼部,指示出层间的滑动作用。同样的,在阿拉坦敖包附近,花岗质片麻岩内部的长石旋转碎斑也指示出顺  $130^{\circ}\sim 310^{\circ}$  方向的左行走滑作用,它也代表了层间滑动的产物。

因此,剔除第 2 期走滑变形的影响之后,第 1 期变形表现为区域上北北西-南南东向的挤压作用,使得研究区内原始层理发生片理化,但在挤压作用造成片理化的同时,还伴随有沿北东-南西方向的右行剪切作用,它造就了研究区内(点 A—A', C, D, E)片理产状的变化,形成了不对称褶皱的样式(图 7)。其中沙布格次地区(点 C, D)位于褶皱的一翼,而布牙图地区(A—A')和巴润噶顺地区(点 E)位于褶皱

的核部附近,尤其是点 E 处,发育完整的露头,显示出片理产状的逐渐变化,指示出区域上右行剪切不对称褶皱的存在(图 7b)。而阿拉坦敖包附近则处于不对称褶皱的下一个转折部位,类似于布牙图地区,其中岩石为  $130^{\circ}\sim 310^{\circ}$  走向,且发育顺走向的左行剪切标志。

结合宏观与微观的特点,认为原始层理形成之后,区域变形作用表现为北北西-南南东向挤压而形成的片理化和晚期沿北东-南西向的右行走滑,而在走滑形成的不对称褶皱的翼部还存在层间滑动。

## 4 区域构造指示意义

### 4.1 变形时代

研究区内,巴音诺尔公岩体以花岗岩-花岗闪长岩-闪长岩为主,内部无变形现象,矿物分布均匀且不发育拉伸线理等线状构造(谢奋全, 2014)。李俊建(2006)获得巴音诺尔公花岗岩体单颗粒锆石 TIMS 法 U-Pb 年龄为 305 Ma。笔者最近也获得踏木斯格地区侵入中元古代诺尔公群的未变形花岗岩时代为 300 Ma (未发表数据)(图 3)。以上证据表明,

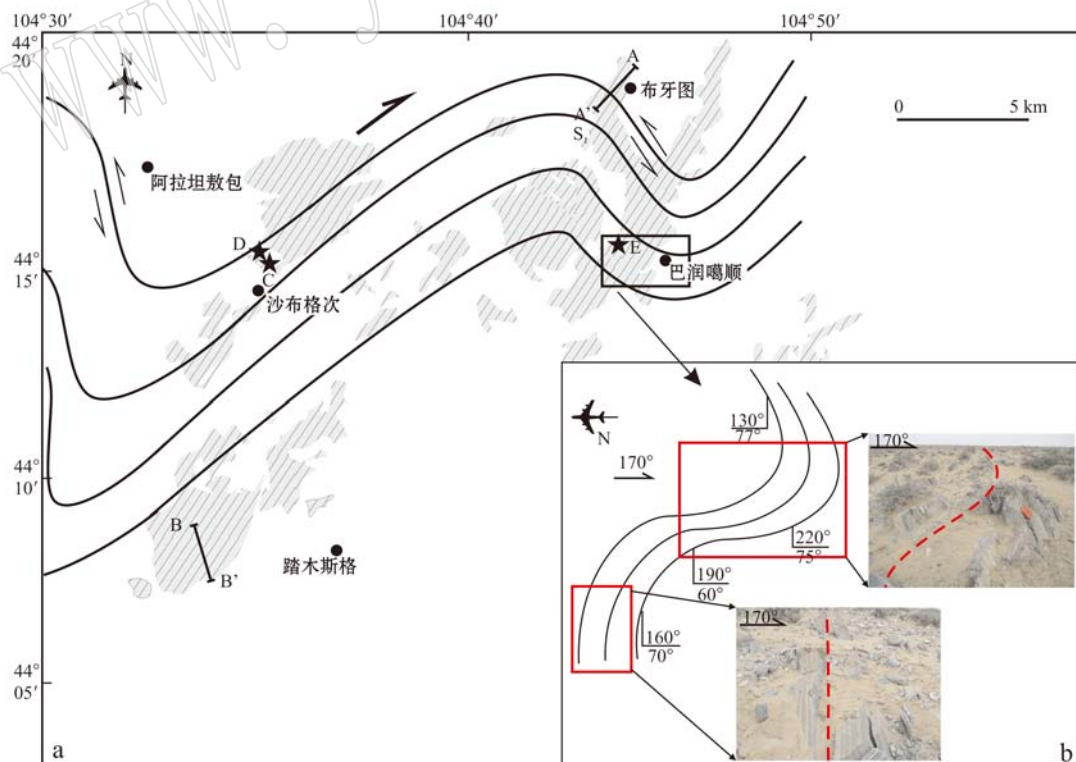


图 7 中元古代地层剪切模式及片理改造关系

Fig. 7 Shearing and transform model of foliation in Mesoproterozoic strata

石英岩内部变形时代应至少早于 305 Ma。

在研究区的东部古元古代波罗斯坦庙杂岩中,前人报道了其中发育一期条带状花岗质片麻岩,其锆石逐层蒸发法年龄为  $381 \pm 6$  Ma 到  $480 \pm 7$  Ma,属于古生代岩浆作用的产物,并受到了变形作用的改造,同时被印支期未变形花岗岩侵入(耿元生等,2006,2007)。这指示出,区域构造变形事件应晚于其中的最小形成年龄 381 Ma。而该期花岗质片麻岩总体产状与中元古代石英岩大体一致,且两者内部均含有长轴平行于片理的透镜状斜长角闪岩。结合上述特点,认为两者应在同一构造作用控制下发生了变形,因此,中元古代诺尔公群内部的变形作用也应晚于 381 Ma。

吴素娟(2014)对巴彦乌拉山-狼山断裂带内的岩石变形特征进行了详细研究。认为其中渣尔泰山群(狼山群)的石英岩经历了一期韧性变形,造成了走向 NE-NNE 向的片理,同时还伴随有倾伏向近水平的拉伸线理,构成拉伸线理的定向白云母的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄为  $356.7 \pm 2.5$  Ma~ $379 \pm 4.7$  Ma,同时获取相应的同构造变形花岗岩年龄为  $330.8 \pm 2.8$  Ma。这就表明,区域内存在海西期的一期韧性变形。巴音诺日公地区中元古代地层的岩石组合、变形性状、不整合界面和地质事件与内蒙古中部狼山地区、色尔腾山地区中元古代渣尔泰山群非常相似,两者属于可对比地层(陈志勇等,2004;吴素娟,2014)。结合上述证据认为,研究区中元古代地层北东-南西右行走滑剪切的变形时代也应属海西期。

#### 4.2 诺尔公群构造格架对阿拉善地块演化的指示意义

查干础鲁缝合带的发现及其属性的确定,使得学者认识到了其作为华北板块和火山弧的最终闭合界线,具有重要的地质意义(吴泰然等,1992)。但是目前对于阿拉善地块的演化过程仍然存在分歧,有学者认为其北部大洋向南的俯冲作用开始于晚志留纪或者更早(王廷印等,1998b),也有学者认为该俯冲作用于石炭纪末开始(任康绪等,2005;李俊建,2006;史兴俊,2012;张伟等,2014),并一直持续到二叠纪(赖新荣等,2007)。而根据巴音诺日公地区中元古代地层的变形特征,并结合其变形时代讨论,笔者认为时代可能为石炭纪晚期,查干础鲁弧后盆地向南部的阿拉善地块俯冲,造成了北西-南东向的挤压,导致区域地层的横向缩短。在挤压作用控制下,中元古代地层发生了强烈的片理化,原生层理形

成了紧闭的层间褶皱或在进一步的改造作用下变成与片理方向一致。

早古生代晚期-晚古生代早期,阿拉善地块东南缘与华北板块发生碰撞直至最终结合成为一体(李锦轶等,2012; Zhang *et al.*, 2013),南部的祁连地块与阿拉善地块在此期间发生碰撞而形成了祁连造山带(宋述光等,2009),而北侧的古亚洲洋也开始了向南的俯冲(张文等,2013)。不同方向的大力挤压通过刚性地块传递到阿拉善地块内部,而构造应力的汇聚只有通过走滑运动才能进行释放。在此过程中,阿拉善地块东南缘沿着北东向的巴彦乌拉山-狼山构造带发生了大规模左行剪切运动(Zhang *et al.*, 2013)。而恩格尔乌苏构造带和查干础鲁构造带作为阿拉善地块内部最重要的两条构造带,对于调节阿拉善地块内部的应力起到至关重要的作用。恩格尔乌苏构造带附近发育拉伸线理、不对称褶皱、S-C 组构、斜列构造等一系列剪切构造,它们指示出近东西向的右行剪切滑移运动(王廷印等,1998b)。而后,在查干础鲁盆地消亡阶段,王廷印等(1994b)报道了在雅布赖-巴音诺尔公陆缘弧附近发育一条 1 000 余米宽的那仁哈拉韧性剪切带,内部石英碎斑也指示为右行剪切,它们代表了查干础鲁构造带及其附近发生的一系列的剪切作用。研究区内巴音诺尔公地区的中元古代地层的走滑变形是海西期阿拉善地块北缘弧后盆地受到北部的推动而发生俯冲作用的响应,进一步印证了在查干础鲁构造带附近发生的走滑作用,这种走滑作用一定程度上调节了刚性地块的接触部位挤压导致的缩短作用,且造成了片理在平面上发生弯曲形成了不对称的样式。

## 5 结论

(1) 中元古代诺尔公群内部原始层理阶段之后,至少经历两期变形:第 1 期变形为北北东-南南西方向的挤压导致的片理化过程,岩石内部的原生层理形成了层间紧闭褶皱或被改造而平行于片理;第 2 期变形表现为垂直于挤压方向的区域右行走滑作用,但在剪切形成的不对称褶皱的翼部,层间滑动表现为左行走滑。

(2) 结合前人研究成果及已有年代学资料,认为研究区内中元古代地层的变形特征记录了石炭纪北部大洋向南的俯冲作用,内部两期变形分别为俯冲挤压及右行走滑作用的直接反映。

## References

- Bu Jianjun, Niu Zhijun, Wu Jun, *et al.* 2012. Sedimentary characteristics and age of Amushan Formation in Ejin Banner and its adjacent areas, western Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 31(10): 1 669~1 683(in Chinese with English abstract).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. 1991. Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~725(in Chinese with English abstract).
- Chen Dengchao, Zhao Xingmin and Deng Jian. 2010a. U-Pb dating of Carboniferous sandstone detrital zircon from the North of the Bogda Mountains, Eastern Xinjiang, and its geological significances[J]. Acta Geological Sinica, 84(12): 1 770~1 780(in Chinese with English abstract).
- Chen Dengchao, Zhao Xingmin and Deng Jian. 2010b. Redefinition of Upper Triassic strata on the northern margin of Alxa block: constraints from Laser ICP-MS detrital zircon U-Pb ages[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 29(3): 258~270(in Chinese with English abstract).
- Chen Zhiyong, Yang Shuaishi, Meng Ergen, *et al.* 2004. Revision of Precambrian stratigraphic units in the Bayan Nuru area, Alxa Zuoqi, Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 23(4): 345~351(in Chinese with English abstract).
- Dan Wei, Li Xianhua, Guo Jinghui, *et al.* 2013. Paleoproterozoic evolution of the eastern Alxa Block, westernmost North China: evidence from in situ zircon U-Pb dating and Hf-O isotopes[J]. Gondwana Research, 21: 838~864.
- Feng Jianyun, Xiao Wenjiao, 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[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 78: 114~142.
- Geng Yuansheng and Zhou Xiwen. 2010. Early Neoproterozoic granite events and their geological significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 29(6): 779~795(in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng and Zhou Xiwen. 2012. Early Permian magmatic events in the Alxa metamorphic basement: evidence from geochronology[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(9): 2 667~2 685(in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan, *et al.* 2006. Redefinition of the Alxa Group of Precambrian metamorphic basement in Alax region, Inner Mongolia[J]. Geology in China, 33(1): 138~145(in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan, *et al.* 2007. Chronology of the Precambrian metamorphic series in the Alax, Inner Mongolia[J]. Geology in China, 34(2): 251~261(in Chinese with English abstract).
- Jiang Sihong, Yang Yueqing and Nie Fengjun. 2000. Studies on mineralization of the Zhulazhaga gold deposit in Inner Mongolia, China[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 19(4): 229~230(in Chinese).
- Jiang Sihong, Yang Yueqing, Nie Fengjun, *et al.* 2001. Studies on the sulfur and lead isotopic geology of the Zhulazhaga gold deposit in the Alxa district, Inner Mongolia, China[J]. Geological Review, 47(4): 438~445(in Chinese with English abstract).
- Lai Xinrong, Jiang Sihong, Qiu Xiaoping, *et al.* 2007.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  age and geochemical features of Hercynian intermediate acidity rock in Beidashan rock belt, Alxa[J]. Acta Geologica Sinica, 81(3): 370~380(in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, Zhang Jin and Qu Junfeng. 2012. Amalgamation of North China Craton with Alxa Block in the Late of early Paleozoic: evidence from sedimentary sequences in the Niushou Mountain, Ningxia Hui Autonomous Region, NW China[J]. Geological Review, 58(2): 208~214(in Chinese with English abstract).
- Li Junjian. 2006. Regional metallogenic system of Alashan Block in Inner Mongolia Autonomous Region[D]. China University of Geosciences, Beijing(in Chinese with English abstract).
- Pei Xianzhi, Wu Hanquan and Zuo Guochao. 1999. Deformation features and tectonic evolution of Early-Paleozoic subductive complex belt in the North Qilian Mountains, China[J]. Journal of Xi'an Engineering University, 21(1): 9~17(in Chinese with English abstract).
- Ren Kangxu, Yan Guohan, Mu Baolei, *et al.* 2005. Rb-Sr age and geological implication of the Alxa alkaline-rich intrusive rocks, western Inner Mongolia[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 41(2): 204~211(in Chinese with English abstract).
- Shen Cunli, Wang Shouguang, Su Xinxu, *et al.* 2004. Regional metallogenic characteristics in Proterozoic Chaertaishan group, Inner Mongolia[J]. Earth Science Frontiers(China University of Geosciences, Beijing), 11(1): 279~286(in Chinese with English abstract).
- Shen Cunli, Zhang Mei and Yang Shuaishi. 2009. The geological evi-

- dences and significance of westward extension of langshan-zhaertaishan rift system, northern margin of north China Terrane[J]. *Geology and Exploration*, 45(6): 661~668(in Chinese with English abstract).
- Shi Xingjun, Wang Tao, Zhang Lei, *et al.* 2014. Timing, petrogenesis and tectonic setting of the Late Paleozoic gabbro-granodiorite-granite intrusions in the Shalazhashan of northern Alxa: constraints on the southernmost boundary of the Central Asian Orogenic Belt [J]. *Lithos*, 208~209: 158~177.
- Shi Xingjun, Zhang Lei, Wang Tao, *et al.* 2014. Geochronology and geochemistry of the intermediate-acid intrusive rocks from Zongnaishan area in northern Alxa, Inner Mongolia, and their tectonic implications[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(6): 989~1 007 (in Chinese with English abstract).
- Shi Xingjun. 2012. The Geochronology, geochemistry and petrogenesis of granitoid in Qinggele area, northern Alax[D]. Beijing, China University of Geosciences(in Chinese with English abstract).
- Song Shuguang, Niu Yaoling, Su Li, *et al.* 2013. Tectonics of the North Qilian orogen, NW China[J]. *Gondwana Research*, 23: 1 378~1 401.
- Song Shuguang, Niu Yaoling, Zhang Lifei, *et al.* 2009. Time constraints on orogenesis from oceanic subduction to continental subduction, collision, and exhumation: An exmple from North Qilian and North Qaidam HP-UHP belts[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(9): 2 067~2 077(in Chinese with English abstract).
- Tang Zhongli and Bai Yunlai. 1999. Geotectonic framework and metallogenic system in the southwest margin of north china paleocontinent [J]. *Earth Science Frontiers*, 6(2): 271~283(in Chinese with English abstract).
- Tang Zhongli and Bai Yunlai. 2000. The geotectonic setting of the large and superlarge mineral deposits in the southwest margin of North China paleoplate[J]. *Acta Geologica Gansu*, 9(1): 1~15(in Chinese with English abstract).
- Wang Jinrong, Song Chunhui, Gao Junping, *et al.* 1995. The original mechanism of the Engger Us ophiolitic mélange, North Alaxa[J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 31(2): 140~147(in Chinese with English abstract).
- Wang Tingyin, Gao Junping, Wang Jinrong, *et al.* 1998a. Magmatism of collisional and post-orogenic period in Northern Alaxa Region in Inner Mongolia[J]. *Acta Geologica Sinica*, 72(2): 126~137(in Chinese with English abstract).
- Wang Tingyin, Liu Jinkun, Wang Shizheng, *et al.* 1993a. Late Paleozoic extension and tectonomagmatic evolution in the sino-mongolia border region in the northern part of Alxa[J]. *Regional Geology of China*, 4: 317~327(in Chinese with English abstract).
- Wang Tingyin, Wang Jinrong and Wang Shizheng. 1992. Discovery of the Engger Us ophiolite mélange zone in North Alxa and its tectonic significances[J]. *Journal of Lanzhou University (Nature Sciences)*, 28(2): 194~196 (in Chinese).
- Wang Tingyin, Wang Jinrong, Liu Jinkun, *et al.* 1994a. Igneous rock associations and geochemical characteristics of volcanic arc with continental crustal basement in Zongnaishan-Shalazhashan [J]. *Geochimica*, 23(S1): 163~172(in Chinese with English abstract).
- Wang Tingyin, Wang Jinrong, Wang Shizheng, *et al.* 1993b. Geological and geochemical characteristics of the ophiolitic mélange zone for Chaganchulu-Huoersen, North of Alaxa[J]. *Acta Geological Gansu*, 2(1): 46~53(in Chinese with English abstract).
- Wang Tingyin, Wang Shizheng and Wang Jinrong. 1994b. The Formation and Evolution of the Continental Crust of Paleozoic of Alxa[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 9~134(in Chinese).
- Wang Tingyin, Zhang Mingjie, Wang Jinrong, *et al.* 1998b. The characteristics and tectonic implications of the thrust belt in Eugerwusu, China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 33(4): 385~394(in Chinese with English abstract).
- Wang Xingjun. 2012. The geochemical characters and its tectonic implications of ophiolites in Alax area, Inner Mongolia[D]. Beijing, China University of Geosciences(in Chinese with English abstract).
- Windley B F, Alexeiev D, Xiao Wenjiao, *et al.* 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Journal of the Geological Society, London*, 164: 31~47.
- Wu Maobing. 1993. The gbolgical and geochemicaleeature of igneous rocks and the tectonic evolution of the continental margin arc zone in northern Alashan, Neimenggu[J]. *Acta Geological Gansu*, 2(2): 23~33(in Chinese with English abstract).
- Wu Sujuan, Hu Jianmin, Ren Minghua, *et al.* 2014. Petrography and zircon U-Pb isotopic study of the Bayanwulashan Complex: constraints on the Paleoproterozoic evolution of the Alxa Block, westernmost North China Craton[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 94: 226~239.
- Wu Sujuan. 2014. Metamorphism and deformation history of the basement rocks from the northeastern Alxa Block and their tectonic implications[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese with English abstract).

- Wu Tairan and He Guoqi. 1992. Ophiolitic melange belts in the Northern margin of the Alashan block[J]. *Geoscience*, 6(3): 286~296 (in Chinese with English abstract).
- Wu Tairan and He Guoqi. 1993. Tectonic units and their fundamental characteristics on the northern margin of the Alxa block[J]. *Acta Geologica Sinica*, 67(2): 97~108 (in Chinese with English abstract).
- Xie Fenquan. 2014. Study of granites rock mass of Zongnai, Sha laza and Bayinnuoergong[D]. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Xie Li, Yin Haiquan, Zhou Hongrui, *et al.* 2014. Permian radiolarians from the Engeerwusu suture zone in Alxa area of Inner Mongolia and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 33(5): 691~697 (in Chinese with English abstract).
- Xu Baoliang, Yan Guohan, Lu Fengxiang, *et al.* 2001. Petrology of rich-alkaline and alkaline intrusive complexes in Beishan-Alxa Region [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3): 263~272 (in Chinese with English abstract).
- Xu Dongzhuo, Zhang Weijie, Zhou Haitao, *et al.* 2014. Characteristics, zircon dating and tectonic significance of the gabbros along the north-central segments of the Alxa Block, Inner Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 33(5): 661~671 (in Chinese with English abstract).
- Yang Qidi, Zhang Lei, Wang Tao, *et al.* 2014. Geochemistry and LA-ICP-MS zircon U-Pb age of Late Carboniferous Shalazhashan pluton on the northern margin of the Alxa Block, Inner Mongolia and their implications[J]. *Geological Bulletin of China*, 33(6): 776~787 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yueqing, Zhang Jianhua, Liu Yan, *et al.* 2001. Discovery of volcanic rocks in the Zhulazhaga gold deposit, Inner Mongolia, China [J]. *Geology in China*, 28(9): 13~18 (in Chinese).
- Yang Zhenyu, Yuan Wei, Tong Yabo, *et al.* 2014. Tectonic Affinity Reconnaissance of the Alxa Block in the Pre-Mesozoic[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 35(6): 673~681 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Wei and Yang Zhenyu. 2015. The Alashan Terrane was not part of North China by the Late Devonian: Evidence from detrital zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes[J]. *Gondwana Research*, 27: 1270~1282.
- Zhang Jianxin, Gong Jianguo, Yu Shengyao, *et al.* 2013. Neoproterozoic-Paleoproterozoic multiple tectonothermal events in the western Alxa block, North China Craton and their geological implication: evidence from zircon U-Pb ages and Hf isotopic composition[J]. *Precambrian Research*, 235: 36~57.
- Zhang Jianxin, Xu Zhiqin, Chen Wen, *et al.* 1997. A tentative discussion on the ages of the subduction-accretionary complex/volcanic arcs in the middle sector of North Qilian Mountain[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 16(2): 111~118 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jianxin, Xu Zhiqin, Xu Huifen, *et al.* 1998. Framework of North Qilian Caledonian subduction-accretionary wedge and its deformation dynamics[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 33(3): 290~299 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jin, Li Jinyi, Liu Jianfeng, *et al.* 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[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(9): 2912~2934 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jin, Li Jinyi, Xiao Wenxia, *et al.* 2013. Kinematics and geochronology of multistage ductile deformation along the eastern Alxa block, NW China: new constraints on the relationship between the North China Plate and the Alxa block[J]. *Journal of Structural Geology*, 57: 38~57.
- Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Liu Jianmin, *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[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 824~842 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wei, Wang Jinrong, Chen Wanfeng, *et al.* 2014. The discovery of the Carboniferous adakite and its tectonic implications in AlxaY-ouqi[J]. *Geological Journal of China Universities*, 20(3): 378~387 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wen, Wu Tairan, Feng Jicheng, *et al.* 2013. Time constraints for the closing of the Paleo-Asian Ocean in the Northern Alxa Region: Evidence from Wuliji granites. *Science China: Earth Sciences*, 43(8): 1299~1311 (in Chinese).
- Zhang Yongqing, Han Jianguo and Hu Fengxiang. 2002. Characteristics and tectonic significance of granites of Middle Triassic in Bayinnuoergong area, Inner Mongolia[J]. *Geology of Inner Mongolia*, 105(4): 15~20 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Rongguo, Wu Tairan, Zhang Wen, *et al.* 2014. Late Paleozoic subduction system in the northern margin of the Alxa block, Altaids: geochronological and geochemical evidences from ophiolites [J]. *Gondwana Research*, 25(2): 842~858.

## 附中文参考文献

- 卜建军,牛志军,吴俊,等. 2012. 内蒙古西部额济纳旗及邻区上石炭统-下二叠统阿木山组的沉积特征和时代[J]. 地质通报, 31(10): 1669~1683.
- 陈登超,赵省民,邓坚. 2010a. 新疆东部博格达山北侧石炭系碎屑锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质学报, 84(12): 1770~1780.
- 陈登超,赵省民,邓坚. 2010b. 阿拉善地块北缘乌兰敖包上三叠统地层的厘定——来自激光 ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年龄的制约[J]. 岩石矿物学杂志, 29(3): 258~270.
- 陈志勇,杨帅师,孟二根,等. 2004. 内蒙古阿拉善左旗巴音诺日公地区前寒武系的厘定[J]. 地质通报, 23(4): 345~351.
- 耿元生,周喜文. 2010. 阿拉善地区新元古代岩浆事件及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 29(6): 779~795.
- 耿元生,周喜文. 2012. 阿拉善变质基底中的早二叠世岩浆热事件——来自同位素年代学的证据[J]. 岩石学报, 28(9): 2667~2685.
- 耿元生,王新社,沈其韩,等. 2006. 内蒙古阿拉善地区前寒武纪变质基底阿拉善群的再厘定[J]. 中国地质, 33(1): 138~145.
- 耿元生,王新社,沈其韩,等. 2007. 内蒙古阿拉善地区前寒武纪变质岩系形成时代的初步研究[J]. 中国地质, 34(2): 251~261.
- 江思宏,杨岳清,聂凤军,等. 2001. 阿拉善地区朱拉扎嘎金矿床硫、铅同位素研究[J]. 地质论评, 47(4): 438~445.
- 江思宏,杨岳清,聂凤军. 2000. 内蒙古朱拉扎嘎金矿成矿作用研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 19(4): 229~230.
- 赖新荣,江思宏,邱小平,等. 2007. 阿拉善北大山岩带海西期中酸性岩 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地球化学特征[J]. 地质学报, 81(3): 370~380.
- 李锦轶,张进,曲军峰. 2012. 华北与阿拉善两个古陆在早古生代晚期拼合——来自宁夏牛首山沉积岩系的证据[J]. 地质论评, 58(2): 208~214.
- 李俊建. 2006. 内蒙古阿拉善地块区域成矿系统[D]. 中国地质大学(北京).
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1~725.
- 裴先治,吴汉泉,左国朝. 1999. 北祁连早古生代俯冲杂岩带的变形特征与构造演化[J]. 西安工程学院学报, 21(1): 9~17.
- 任康绪,阎国翰,牟保磊,等. 2005. 阿拉善断块富碱侵入岩 Rb-Sr 年龄及其地质意义[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 41(2): 204~211.
- 沈存利,王守光,苏新旭,等. 2004. 内蒙古中元古界渣尔泰山群区域成矿特征研究[J]. 地学前缘, 11(1): 279~286.
- 沈存利,张梅,杨帅师. 2009. 华北陆块北缘西段狼山-渣尔泰山裂陷槽西延的地质依据及其意义[J]. 地质与勘探, 45(6): 661~668.
- 史兴俊,张磊,王涛,等. 2014. 内蒙古阿拉善盟北部宗乃山中酸性侵入岩年代学、地球化学及构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 33(6): 989~1007.
- 史兴俊. 2012. 阿拉善北部庆格勒地区花岗岩年代学、地球化学及岩石成因[D]. 中国地质大学(北京).
- 宋述光,牛耀龄,张立飞,等. 2009. 大陆造山运动: 从大洋俯冲到大陆俯冲、碰撞、折返的时限——以北祁连山、柴北缘为例[J]. 岩石学报, 25(9): 2067~2077.
- 汤中立,白云来. 1999. 华北古大陆西南边缘构造格架与成矿系统[J]. 地学前缘, 6(2): 271~283.
- 汤中立,白云来. 2000. 华北板块西南边缘大型、超大型矿床的地质构造背景[J]. 甘肃地质学报, 9(1): 1~15.
- 王行军. 2012. 内蒙古阿拉善地区蛇绿岩的地球化学特征及其构造意义[D]. 中国地质大学(北京).
- 王金荣,宋春晖,高军平,等. 1995. 阿拉善北部恩格尔乌苏蛇绿混杂岩的形成机制[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 31(2): 140~147.
- 王廷印,高军平,王金荣,等. 1998a. 内蒙古阿拉善北部地区碰撞期和后造山期岩浆作用[J]. 地质学报, 72(2): 126~137.
- 王廷印,刘金坤,王士政,等. 1993a. 阿拉善北部中蒙边界地区晚古生代拉伸作用及构造岩浆演化[J]. 中国区域地质, 4: 317~327.
- 王廷印,王金荣,刘金坤,等. 1994a. 宗乃山-沙拉扎山陆壳基底火山弧火成岩组合及地球化学特征[J]. 地球化学, 23(增刊): 163~172.
- 王廷印,王金荣,王士政,等. 1993b. 阿拉善北部查干础鲁-霍尔森蛇绿混杂岩带地质地球化学特征[J]. 甘肃地质学报, 2(1): 46~53.
- 王廷印,王金荣,王士政. 1992. 阿拉善北部恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带的发现及其构造意义[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 28(2): 194~196.
- 王廷印,王士政,王金荣. 1994b. 阿拉善地区古生代陆壳的形成和演化[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 9~134.
- 王廷印,张铭杰,王金荣,等. 1998b. 恩格尔乌苏冲断带特征及大地构造意义[J]. 地质科学, 33(4): 385~394.
- 吴茂炳. 1993. 内蒙古阿拉善北缘陆缘弧区火成岩的地质地球化学特征及构造演化[J]. 甘肃地质学报, 2(2): 23~33.
- 吴素娟. 2014. 阿拉善地块东北缘变质变形研究及其大地构造意义

- [D]. 中国地质科学院.
- 吴泰然, 何国琦. 1992. 阿拉善地块北缘的蛇绿混杂岩带及其大地构造意义[J]. 现代地质, 6(3): 286~296.
- 吴泰然, 何国琦. 1993. 内蒙古阿拉善地块北缘的构造单元划分及各单元的基本特征[J]. 地质学报, 67(2): 97~108.
- 谢奋全. 2014. 阿拉善宗乃山、沙拉扎与巴音诺尔公花岗岩体研究[D]. 中国地质大学(北京).
- 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[J]. 地质通报, 33(5): 691~697.
- 徐东卓, 张维杰, 周海涛, 等. 2014. 内蒙古阿拉善地块中北部地区辉长岩岩体特征、锆石定年及其构造意义[J]. 地质通报, 33(5): 661~671.
- 许保良, 阎国翰, 路凤香, 等. 2001. 北山-阿拉善地区二叠-三叠纪富碱侵入岩的岩石学特征[J]. 岩石矿物学杂志, 20(3): 263~272.
- 杨奇荻, 张磊, 王涛, 等. 2014. 内蒙古阿拉善地块北缘沙拉扎山晚石炭世岩体地球化学特征与 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 33(6): 776~787.
- 杨岳清, 张建华, 刘妍, 等. 2001. 内蒙古朱拉扎嘎金矿床中火山岩的发现[J]. 中国地质, 28(9): 13~18.
- 杨振宇, 袁伟, 全亚博, 等. 2014. 阿拉善地块前中生代构造归属的新认识[J]. 地球学报, 35(6): 673~681.
- 张建新, 许志琴, 陈文, 等. 1997. 北祁连中段俯冲-增生杂岩/火山弧的时代探讨[J]. 岩石矿物学杂志, 16(2): 111~118.
- 张建新, 许志琴, 徐惠芬, 等. 1998. 北祁连加里东期俯冲-增生楔结构及动力学[J]. 地质科学, 33(3): 290~299.
- 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[J]. 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[J]. 岩石矿物学杂志, 29(6): 824~842.
- 张伟, 王金荣, 陈万峰, 等. 2014. 阿拉善右旗地区晚石炭世埃达克岩的发现及其大地构造意义[J]. 高校地质学报, 20(3): 378~387.
- 张文, 吴泰然, 冯继承, 等. 2013. 阿拉善地块北缘古大洋闭合的时间制约: 来自乌力吉花岗岩体的证据[J]. 中国科学: 地球科学, 43(8): 1299~1311.
- 张永清, 韩建刚, 胡凤翔. 2002. 内蒙古阿拉善盟巴音诺尔公地区中三叠世花岗岩特征及构造意义[J]. 内蒙古地质, 105(4): 15~20.