

·专题研究·

东阿拉善地块诺尔公群石英岩的碎屑锆石年龄特征 ——物源区制约及其地质意义

宫江华¹, 张建新², 王宗起¹, 王东升¹, 杜显峰¹

(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, 北京 100037)

摘要: 传统上将阿拉善地块东部变质基底“阿拉善岩群”之上的一套以石英岩、浅粒岩、碳酸盐岩及碎屑岩为主的浅变质地层称为诺尔公群, 并根据区域地层对比及叠层石化石将其归为“长城纪”。为进一步限定地层时代, 对诺尔公群底部3件石英岩进行LA-MC-ICP-MS锆石U-Pb测年, 获得的年龄主要集中在2 530~2 500 Ma和1 950~1 850 Ma两个年龄段内, 另外还获得少量年龄为~1.69 Ga、~2.0 Ga、~2.15 Ga、~2.35 Ga、~2.7 Ga和~3.4 Ga的锆石。其中, 最年轻的碎屑锆石年龄限定了诺尔公群底部石英岩的沉积时代晚于1.69 Ga, 结合上覆地层的年龄数据将诺尔公群的沉积时代大致限定为1.69~1.29 Ga, 肯定了阿拉善地块存在中元古代地层。石英岩中~2.5 Ga和~1.95 Ga两个显著的碎屑锆石年龄峰符合典型的华北克拉通物源区特征, 因此认为, 阿拉善地块在太古代-中元古代具有与华北克拉通相似的构造环境, 是华北克拉通的一部分。

关键词: 阿拉善地块; 中元古代; 诺尔公群; 石英岩; 碎屑锆石; LA-MC-ICP-MS

中图分类号: P597⁺.3; P588.34⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2017)01-0001-19

Detrital zircon age characteristics of quartzites from Nuorgong Group in eastern Alxa Block: Provenance and geological significance

GONG Jiang-hua¹, ZHANG Jian-xin², WANG Zong-qi¹, WANG Dong-sheng¹ and DU Xian-feng¹

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

Abstract: The Nuorgong Group, a suite of low-grade metamorphic strata composed mainly of quartzite, leucoleptite, carbonate and clastic rocks, was traditionally considered overlying directly the metamorphic basement named “Alxa Group” in eastern Alxa Block. Its formation age was identified as Changchengian based on regional stratigraphic correlation and stromatolites fossils. In order to precisely constrain the stratigraphic time, the authors present LA-MC-ICP-MS zircon U-Pb dating results for samples of three quartzite bodies from the lower Nuorgong Group. These zircon ages are mainly concentrated in the 2 530~2 500 Ma and 1 950~1 850 Ma, while a few zircons have ~1.69 Ga, ~2.0 Ga, ~2.15 Ga, ~2.35 Ga, ~2.7 Ga and ~3.4 Ga ages. The youngest zircon grain of 1.69 Ga indicates that the lower Nuorgong Group was accumulated after ~1.69 Ga. In combination with previously obtained ages of overlying strata, the authors have reached the conclusion that the deposition age of Nuorgong Group is between 1.69 Ga and 1.29 Ga and there exist the Meso-proterozoic

收稿日期: 2016-10-08; 接受日期: 2016-12-12

基金项目: 基本科研业务费专项基金(K1403)

作者简介: 宫江华(1984-), 助理研究员, 构造地质学专业, E-mail: ba-ma521@163.com。

strata in Alxa Block. The most prominent ~ 2.5 Ga and ~ 1.95 Ga age peaks suggest its affinity with the North China Craton. Therefore, it is held that they have similar tectonic environments and the Alxa Block was a part of North China Craton from Archean to Mesoproterozoic.

Key words: Alxa Block; Mesoproterozoic; Nuorgong Group; quartzite; detrital zircon; LA-MC-ICP-MS

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

阿拉善地块位于华北克拉通最西部,是认识华北克拉通与塔里木克拉通相互关系的关键地区。近年来,基于对阿拉善地块出露的早前寒武纪变质基底、新元古代岩浆岩和早古生代地层的研究,就阿拉善地块的归属主要形成两种观点:①亲华北:认为阿拉善地块自新太古代(~ 2.5 Ga)以来就是华北克拉通的一部分(任纪舜等,1980;张振法等,1997;万渝生等,2003;Zhai *et al.*, 2005);或认为它是阴山陆块的西延,在古元古代末(~ 1.95 Ga)与鄂尔多斯地块碰撞形成华北克拉通西部陆块(如:Zhao *et al.*, 2005);②亲扬子或塔里木:认为阿拉善地块至少在新元古代之前不属于华北克拉通,而是亲扬子或塔里木克拉通(葛肖虹等,2000;陆松年等,2002;李锦轶,2004;段吉业等,2005;王惠初等,2005;李锦轶等,2009;Dan *et al.*, 2014),它可能与华北克拉通自显生宙以来才碰撞拼合(黄宝春等,2000;李锦轶等,2012;张进等,2012;Yuan and Yang, 2015a, 2015b; Zhang *et al.*, 2016)。从前人

研究成果来看,阿拉善地块在新太古代-古元古代具有与华北克拉通相似的演化过程(如: Zhang *et al.*, 2013a; Gong *et al.*, 2016),而在新元古代则与塔里木或扬子克拉通相似(如: Dan *et al.*, 2014),不同时期构造属性的明显差异反映了阿拉善地块可能在中-新元古代经历了重要的构造体制转换,但是,目前对阿拉善地块中-新元古代时期构造演化的认识不足,制约了对阿拉善地块整个前寒武纪构造演化历史及其归属问题的解读。

阿拉善地块的中-新元古界不整合覆盖于早前寒武纪变质基底之上,传统上认为它是一套与华北克拉通中-新元古界类似的稳定盖层沉积,其地层时代以往主要根据岩性对比及叠层石化石来确定,缺乏可靠的年代学数据(内蒙古自治区地质矿产局, 1991)。近年有学者提出,阿拉善地块东部的中元古界可以对比狼山-渣尔泰山地区的狼山群和渣尔泰山群(邵和明, 1999; 陈志勇等, 2004; 沈存利等, 2009),认为它们可能形成于相同的构造背景,这意

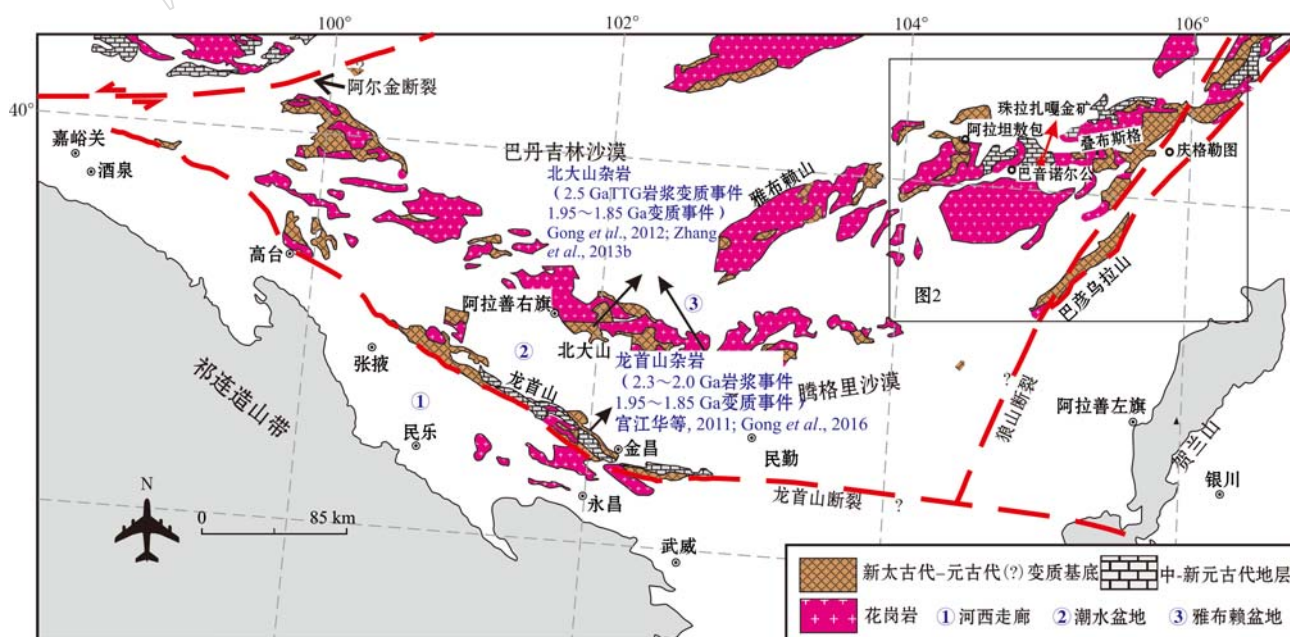


图1 阿拉善地块区域地质图

Fig. 1 Regional geological sketch map of the Alxa Block

味着阿拉善地块在中元古代是华北克拉通的一部分。但 Dan 等(2012, 2014)近年对阿拉善地块东部早前寒武纪变质基底和新元古代岩浆事件的研究,认为阿拉善地块在古元古代为独立陆块,在新元古代又类似华夏陆块,否定了阿拉善地块在中元古代与华北克拉通具有亲缘关系。最近,肖志斌等(2015)对原认为是中元古界下伏变质基底-阿拉善岩群中的石英岩进行了碎屑锆石年龄分析,限定了阿拉善岩群的沉积时限为晚中-新元古代,这显然与上覆沉积盖层时代为中元古代的认识相矛盾。此外,他认为碎屑物质并非来自华北克拉通,支持阿拉善地块为独立陆块。因此,如何认识阿拉善地块东部这套“中元古代”沉积盖层的沉积时限、物源及其性质,进而确定它与阿拉善岩群、甚至与邻区狼山群、渣尔泰山群之间的关系,是探讨中元古代时期阿拉善地块和邻区的构造演化及归属问题的关键。

本次工作以阿拉善地块东部的诺尔公群为研究对象(图1),通过对其底部石英岩进行碎屑锆石 U-Pb 年龄测试,一方面限定地层的沉积时代,另一方面通过探讨碎屑物质来源,为解决阿拉善地块的构

造演化及归属问题提供依据。

1 区域地质概况

阿拉善地块位于华北克拉通最西端,北邻中亚造山带,南为祁连造山带,西以阿尔金断裂为界与敦煌地块(塔里木克拉通)相隔,东以狼山断裂带为界与华北克拉通主体相接。根据早前寒武纪变质基底的分布,以腾格里沙漠为界,将阿拉善地块分为东、西两部分,本次工作区为东阿拉善地块(图1)。

东阿拉善地块的早前寒武纪变质基底分布较广,地层划分也比较混乱。耿元生等(2006, 2007)将原被统称为阿拉善群的前寒武变质基底解体为新太古代叠布斯格群、古元古代巴彦乌拉山群、古-中元古代阿拉善岩群以及古元古代波罗斯坦庙杂岩和新元古代毕及格台杂岩(图2)。但近年的研究进展对这些变质地层的时代不断提出质疑(如, Dan *et al.*, 2012, 2014; 肖志斌等, 2015)。研究区分布最广的阿拉善岩群,是一套中深变质的以碎屑岩、碳酸盐岩为主的浅海相沉积。耿元生等(2007)将其划分

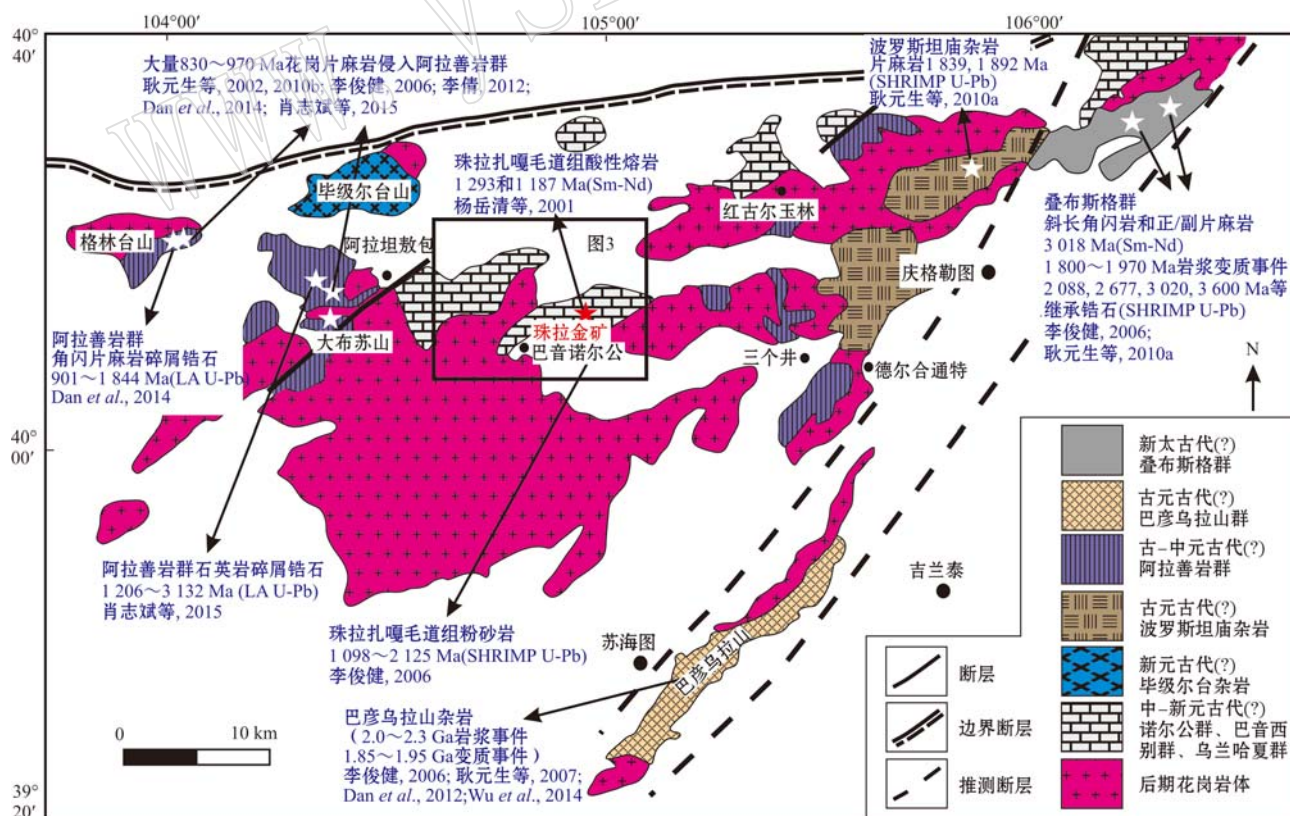


图2 东阿拉善地块前寒武纪变质地层分布图(据耿元生等, 2007 修改)

Fig. 2 Distribution of Precambrian basement rocks in eastern Alxa Block (after Geng Yuansheng *et al.*, 2007)

为下部的德尔和通特组和上部的祖宗毛道组。德尔和通特组主要由各类片岩、片麻岩、石英岩、变粒岩夹大理岩等组成,原岩为一套碎屑-泥沙质建造;祖宗毛道组主要由石英片岩、变质砾岩、砂砾岩、大理岩、灰岩等,原岩为一套硅质碎屑-碳酸盐岩建造。阿拉善岩群最早被认为形成于早元古代(霍福臣等, 1987),后被定为古-中元古代(耿元生等, 2007)。但最近,肖志斌等(2015)将其上部祖宗毛道组的沉积时代限定为晚中元古-新元古代。

传统被认为不整合覆于阿拉善岩群之上的中-新元古代地层主要分布于巴音诺尔公、阿拉坦敖包、红古尔玉林等地区(图 2),前人将其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。诺尔公群为一套浅变质滨浅海相碎屑岩建造,分为两个岩组,下部沙布根次组由石英岩和浅粒岩组成,石英岩下部以具薄层理和含白云母为主要特征,上部塔克林敖包组以碳酸盐岩夹碎屑岩为主;巴音西别群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,局部夹中基性火山岩;乌兰哈夏群分为两个岩组,下部海生哈拉组主要为杂色板岩夹泥灰岩;上部珠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(内蒙古自治区地质矿产局, 1991)。陈志勇等(2004)将这套中-新元古代地层与狼山-渣尔泰山地区的渣尔泰山群进行对比,自下而上划分为书记沟组(原沙布根次组)、增隆昌组(包括原塔克林敖包组和巴音西别组)和阿古鲁沟组(包括原海生哈拉组和珠拉扎嘎毛道组)。本文为便于对比,仍采用前者命名。由于以往缺乏精确定年手段,仅依靠地层对比及叠层石化石将这套浅变质地层时代限定为中-新元古代。随着珠拉扎嘎大型金矿的发现,近年对珠拉扎嘎毛道组的研究逐渐重视,陆续有新数据发表。杨岳清等(2001)和李俊健(2006)分别对珠拉扎嘎毛道组中的火山岩和粉砂岩进行锆石年代学分析,支持其沉积时代为中-新元古代。但目前对下伏地层诺尔公群和巴音西别群的研究工作极少。

2 样品描述

3 件石英岩样品(ALS21、ALS26 和 ALS28)分别取自东阿拉善地块巴音诺尔公西部的踏木斯格和沙布格次地区(图 3),在地层层位上属于诺尔公群沙布根次组。两处岩石露头相对较好,野外可见石英

岩呈块状、条带状(图 4)。区域上大量二叠纪(280~270 Ma)花岗岩侵入到该套地层中,本次工作在踏木斯格地区也清楚见到晚石炭纪花岗岩(~300 Ma,未发表数据)侵入到石英岩中(图 3),说明这套变质地层遭受了多期晚古生代花岗岩的侵入。

样品 ALS21(GPS: N40°8.67', E104°33.199')和 ALS26(GPS: N40°7.55', E104°33.708')取自踏木斯格剖面(图 3),岩性均为石英岩。显微镜下显示岩石为粒状变晶结构,主要由 95% 以上的石英组成,石英颗粒之间具有齿状边界,ALS21 中还可可见少量斜长石和黑云母(图 4a, 4b)。样品 ALS28(GPS: N40°14.28', E104°35.299')取自沙布格次地区,岩性为白云母石英岩。显微镜下显示岩石呈粒状变晶结构,由石英(95%)和白云母(5%)组成,石英粒径较前两件样品小,石英颗粒之间呈镶嵌粒状结构,白云母分布于石英颗粒之间,无明显定向性(图 4c)。

3 锆石 U-Pb 测年方法

锆石分选工作由河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。选取均一、新鲜、无脉体穿插的样品,破碎到适当大小(一般为 80~100 目)、淘洗,然后经人工重砂、电磁分选等多种方法分离锆石,并在双目镜下手工挑选。随机挑选锆石 100~150 粒粘到双面胶上,加注环氧树脂进行制靶,待固化后,将靶内锆石打磨至原尺寸一半大小,抛光之后在光学显微镜下拍摄锆石反射光和透射光照片。详细制靶流程及注意事项见宋彪等(2002)。为查明锆石内部结构及成因,又对锆石进行了阴极发光(CL)图像采集,该工作在北京离子探针中心完成。

锆石 U-Pb 测年由天津地质矿产研究所同位素实验室完成。所用仪器为 Thermo Fisher 的 Neptune 多接收电感耦合等离子体质谱仪和 New Wave 的 193 nm 激光剥蚀取样系统(LA-MC-ICP-MS)。实验根据锆石 CL 照片、反射光和透射光照片选择测点位置,利用激光器对锆石进行剥蚀,本次分析所用的激光剥蚀的斑束为 35 μm ,能量密度为 13~14 J/cm²,频率为 8 Hz,激光剥蚀物质以 He 为载气送入 Neptune,利用动态变焦扩大色散使质量数相差很大的 U、Pb 同位素可以同时接收,从而进行 U-Pb 同位素测定。锆石标样采用 TEMORA 标准锆石和 GJ-1 作为外部锆石年龄标准进行 U、Pb 同位素分馏校正(Black *et al.*, 2003)。数据处理采用 ICPMS Data Cal

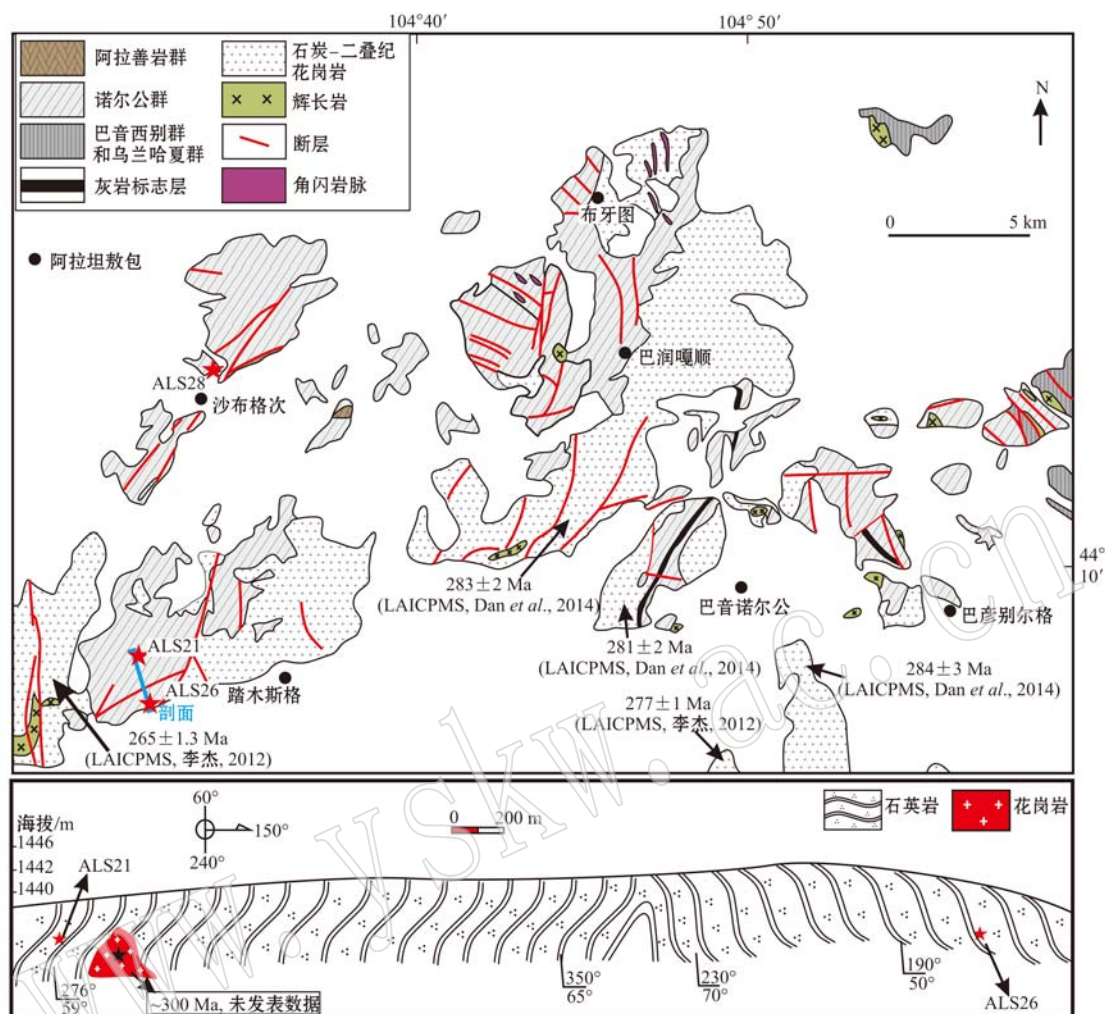


图3 研究区地质图及采样点

Fig. 3 Geological map of the study area and sampling locations

程序(Liu *et al.*, 2010)和 ISPLIT 程序(Ludwig, 2005)进行分析和作图,采用 ^{208}Pb 进行普通铅校正(Andersen, 2002),利用 NIST612 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。

4 测年结果

3件石英岩样品(ALS21、ALS26和ALS28)中的锆石大多磨圆较好,少数呈自形柱状,其他均呈他形浑圆状和次圆状,显示经历了长距离搬运磨蚀。锆石长轴通常为 $100\sim 200\ \mu\text{m}$,长宽比介于 $1:1\sim 3:1$ (图5)。CL图像显示,锆石的阴极发光强度不同、内部结构各异,反映了锆石成因的复杂及源区岩石类型的多样。一些锆石呈现比较清晰的生长环带,为单一的岩浆成因;少数锆石具典型“核-边”结

构,核部具有岩浆成因的生长环带,而边部与核部CL强度明显不同,无环带或弱环带,为变质增生或重结晶成因;一些锆石环带不明显,呈补丁状或无内部结构。本次测年的全部测点均位于生长环带、补丁状结构上或无内部结构的锆石上,绝大多数为岩浆成因。

对样品ALS21中30粒锆石进行U-Pb测年(表1),全部锆石的Th/U值介于 $0.05\sim 9.19$ (多数 > 0.2)。获得的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄全部分布于谐和线上,介于 $1689\pm 21\ \text{Ma}\sim 3417\pm 22\ \text{Ma}$ 。在年龄谐和图上可见3个明显的年龄群(图5a),其中,13个测点数据集中于 $1.95\ \text{Ga}$ 左右,加权平均值为 $1956\pm 12\ \text{Ma}$ (MSWD=0.84);另外10个测点数据集中在 $2.5\ \text{Ga}$ 左右,加权平均值为 $2524\pm 19\ \text{Ma}$ (MSWD=1.7);3个测点数据集中在 $1.88\ \text{Ga}$ 左右,加权平均

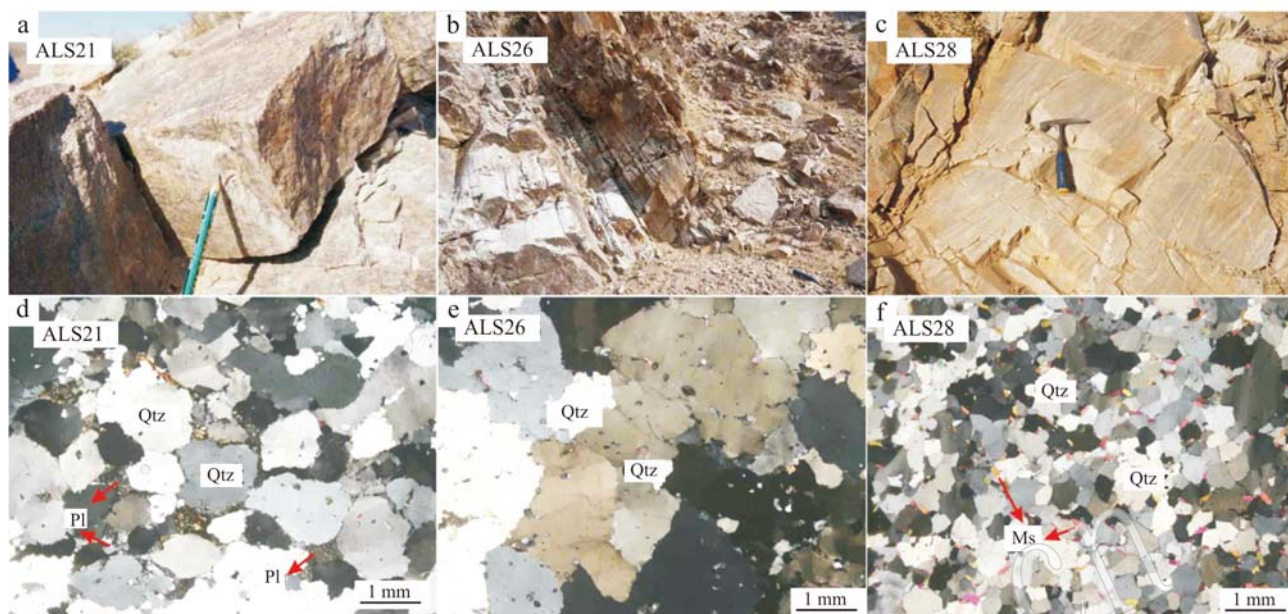


图 4 石英岩的野外及镜下特征(+)

Fig. 4 Field phenomena and microscopic characteristics of the quartzite(+)

Qtz—石英; Pl—斜长石; Ms—白云母

Qtz—quartzite; Pl—plagioclase; Ms—muscovite

值为 $1\,883 \pm 31$ Ma。另外 4 个测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄分别为 $1\,689 \pm 21$ Ma, $2\,372 \pm 20$ Ma, $2\,690 \pm 23$ Ma 和 $3\,417 \pm 22$ Ma。

对样品 ALS26 中 30 粒锆石进行 U-Pb 测年(表 2), 全部锆石的 Th/U 值介于 $0.07 \sim 1.38$ (多数 > 0.2)。获得的年龄大多分布于谐和线上, 少数位于谐和线下方, 可能为 Pb 丢失。所有锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄介于 $1\,825 \pm 21$ Ma $\sim 2\,691 \pm 19$ Ma, 年龄谐和图上同样可见 3 个明显的年龄群(图 5b), 其中 6 个测点数据构成的不一致线上交点年龄为 $1\,934 \pm 25$ Ma (MSWD = 0.38); 16 个测点数据构成的不一致线上交点年龄为 $2\,514 \pm 24$ Ma (MSWD = 1.8); 4 个测点数据集中于 1.85 Ga 左右, 加权平均年龄为 $1\,853 \pm 19$ Ma。其余 4 个测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄分别为 $2\,000 \pm 21$ Ma、 $2\,154 \pm 20$ Ma、 $2\,602 \pm 19$ Ma 和 $2\,691 \pm 19$ Ma。

对样品 ALS28 中的 50 粒锆石进行 U-Pb 测年(表 3), 全部锆石的 Th/U 值介于 $0.04 \sim 0.87$ (多数 > 0.2)。获得的年龄大多数分布于谐和线上, 仅少数测点年龄由于 Pb 丢失而偏离谐和线。全部锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄介于 $1\,875 \pm 22$ Ma $\sim 2\,556 \pm 21$ Ma, 年龄谐和图上可见 2 个明显的年龄群(图 5c), 小的年龄群中谐和的测点数据集中在 1.9 Ga 左右,

加权平均年龄为 $1\,883 \pm 11$ Ma (MSWD = 0.3); 大的年龄群中谐和的测点数据集中在 2.5 Ga 左右, 加权平均年龄为 $2\,428 \pm 11$ Ma (MSWD = 0.22); 另外还有 3 个测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 谐和年龄分别为 $2\,019 \pm 21$ Ma, $2\,346 \pm 20$ Ma 和 $2\,556 \pm 21$ Ma。

5 讨论

5.1 诺尔公群的沉积时限及与邻区狼山群、渣尔泰山群的时代对比

前人将东阿拉善地块的中-新元古代地层自下而上划分为“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, 以往判别这些地层时代的依据主要为叠层石。本次工作获得诺尔公群 3 件石英岩中 110 个碎屑锆石年龄, 其中最小的谐和年龄为 $1\,689 \pm 21$ Ma, 限定了其沉积时代晚于 1.69 Ga。对于诺尔公群之上的乌兰哈夏群, 杨岳清等 (2001) 获得其中珠拉扎嘎毛道组中 2 件火山岩 Sm-Nd 模式年龄分别为 1 293 Ma 和 1 187 Ma; 李俊健 (2006) 利用 SHRIMP 方法对珠拉扎嘎毛道组中粉砂岩进行测年, 获得的 26 个年龄数据介于 1 098 $\sim$ 2 125 Ma, 认为其沉积时限晚于 1.1 Ga, 为中-新元古代。综合碎屑锆石及前人获得的火山岩年龄, 可

表 1 石英岩样品 ALS21 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果
Table 1 LA-MC-ICP-MS zircon isotope data of quartzite sample ALS21

测点号	$w_B/\%$		Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
	Pb	U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
1	208	626	0.16	5.523 4	0.076 7	0.327 4	0.003 5	0.122 3	0.001 4	1 826	20	1 904	26	1 991	21
2	66	183	0.22	5.888 1	0.082 4	0.350 9	0.003 8	0.121 7	0.001 4	1 939	21	1 959	27	1 981	21
3	84	145	0.76	11.388 2	0.159 8	0.486 0	0.005 3	0.169 9	0.002 0	2 553	28	2 555	36	2 557	20
4	137	232	0.84	11.326 8	0.156 6	0.487 4	0.005 1	0.168 5	0.002 0	2 559	27	2 550	35	2 543	20
5	71	202	0.05	5.963 5	0.088 9	0.356 0	0.004 0	0.121 5	0.001 5	1 963	22	1 971	29	1 978	22
6	118	211	0.40	12.468 4	0.221 2	0.491 4	0.005 2	0.184 0	0.002 5	2 577	27	2 640	47	2 690	23
7	204	576	0.09	5.913 8	0.087 7	0.356 4	0.004 0	0.120 4	0.001 5	1 965	22	1 963	29	1 962	22
8	63	162	0.55	5.837 8	0.088 9	0.353 3	0.004 0	0.119 9	0.001 6	1 950	22	1 952	30	1 954	23
9	64	160	0.66	5.828 9	0.085 6	0.358 8	0.003 8	0.117 8	0.001 5	1 977	21	1 951	29	1 923	23
10	94	249	0.46	5.927 3	0.096 7	0.353 0	0.004 4	0.121 8	0.001 5	1 949	24	1 965	32	1 982	22
11	35	85	0.75	5.943 2	0.099 4	0.356 3	0.003 6	0.121 0	0.001 9	1 965	20	1 968	33	1 970	29
12	55	144	0.71	5.302 5	0.076 3	0.336 5	0.003 8	0.114 3	0.001 5	1 870	21	1 869	27	1 869	24
13	98	271	0.12	5.982 7	0.086 1	0.360 5	0.003 7	0.120 4	0.001 5	1 984	20	1 973	28	1 962	22
14	57	102	0.58	11.262 2	0.172 4	0.487 5	0.004 8	0.167 6	0.002 3	2 560	25	2 545	39	2 533	23
15	147	290	0.23	10.814 7	0.146 6	0.476 0	0.004 8	0.164 8	0.002 0	2 510	26	2 507	34	2 505	20
16	176	311	0.72	11.108 5	0.153 8	0.482 3	0.004 7	0.167 0	0.002 1	2 537	25	2 532	35	2 528	21
17	86	226	0.43	5.731 5	0.087 2	0.351 4	0.004 2	0.118 3	0.001 4	1 941	23	1 936	29	1 931	22
18	219	409	0.45	10.872 8	0.147 3	0.478 9	0.004 7	0.164 7	0.002 0	2 522	25	2 512	34	2 504	20
19	60	168	0.19	5.722 2	0.102 7	0.348 8	0.003 4	0.119 0	0.002 0	1 929	19	1 935	35	1 941	30
20	629	571	9.19	27.812 6	0.484 7	0.695 7	0.010 1	0.290 0	0.004 0	3 404	49	3 413	59	3 417	22
21	54	93	0.70	10.634 7	0.219 1	0.471 7	0.008 7	0.163 5	0.001 9	2 491	46	2 492	51	2 492	20
22	53	108	1.75	5.946 4	0.097 1	0.359 6	0.004 1	0.119 9	0.001 6	1 980	23	1 968	32	1 955	24
23	533	1 763	0.20	4.256 0	0.076 6	0.298 0	0.004 6	0.103 6	0.001 2	1 681	26	1 685	30	1 689	21
24	55	85	1.12	11.639 0	0.170 0	0.498 8	0.005 0	0.169 2	0.002 4	2 609	26	2 576	38	2 550	24
25	74	176	0.81	5.771 2	0.079 0	0.355 0	0.003 7	0.117 9	0.001 4	1 958	21	1 942	27	1 925	21
26	394	711	0.55	10.880 8	0.153 0	0.485 1	0.005 4	0.162 7	0.001 9	2 549	28	2 513	35	2 484	19
27	192	367	0.39	11.011 1	0.145 6	0.472 2	0.004 8	0.169 1	0.001 9	2 493	25	2 524	33	2 549	19
28	188	382	0.44	9.347 5	0.129 2	0.445 2	0.004 8	0.152 3	0.001 7	2 374	25	2 373	33	2 372	20
29	50	139	0.41	5.412 5	0.074 4	0.338 5	0.003 5	0.116 0	0.001 4	1 879	20	1 887	26	1 895	21
30	112	274	0.71	5.948 8	0.081 0	0.359 7	0.003 7	0.120 0	0.001 4	1 981	21	1 968	27	1 956	21

Table 2 LA-MC-ICP-MS zircon isotope data of quartzite sample ALS26

测点号	$w_B/\%$		Th/U	同位素比值						年龄/Ma					
	Pb	U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
				1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ
1	76	130	0.75	11.255 6	0.154 7	0.481 0	0.005 0	0.169 7	0.002 0	2.532	26	2.545	35	2.555	20
2	132	264	0.18	10.742 2	0.149 1	0.469 3	0.005 0	0.166 0	0.001 9	2.481	26	2.501	35	2.518	20
3	341	641	0.71	10.196 8	0.138 2	0.443 9	0.004 5	0.166 6	0.001 9	2.368	24	2.453	33	2.524	19
4	116	220	0.32	11.571 4	0.166 6	0.480 7	0.005 2	0.174 6	0.002 0	2.530	27	2.570	37	2.602	19
5	246	729	0.30	5.213 5	0.069 7	0.322 7	0.003 2	0.117 2	0.001 4	1.803	18	1.855	25	1.913	21
6	161	282	0.86	10.798 5	0.144 9	0.468 8	0.004 7	0.167 1	0.001 9	2.478	25	2.506	34	2.528	19
7	150	449	0.34	5.113 1	0.070 4	0.316 7	0.003 3	0.117 1	0.001 4	1.774	19	1.838	25	1.912	21
8	236	536	0.36	8.949 5	0.120 7	0.398 2	0.003 9	0.163 0	0.001 9	2.161	21	2.333	31	2.487	20
9	174	310	1.04	10.232 2	0.139 7	0.450 9	0.004 6	0.164 6	0.001 9	2.399	24	2.456	34	2.503	20
10	125	301	0.83	6.051 6	0.083 2	0.356 9	0.003 7	0.123 0	0.001 4	1.968	20	1.983	27	2.000	21
11	103	213	1.14	7.275 4	0.102 1	0.393 2	0.004 3	0.134 2	0.001 6	2.137	23	2.146	30	2.154	20
12	213	354	1.03	11.326 6	0.157 6	0.488 8	0.005 3	0.168 1	0.001 9	2.565	28	2.550	35	2.538	19
13	265	525	0.72	9.603 4	0.134 4	0.432 2	0.004 7	0.161 1	0.001 9	2.316	25	2.397	34	2.468	20
14	95	171	0.20	13.110 4	0.178 1	0.516 2	0.005 3	0.184 2	0.002 1	2.683	27	2.688	37	2.691	19
15	94	215	1.38	5.289 2	0.074 1	0.336 2	0.003 6	0.114 1	0.001 4	1.868	20	1.867	26	1.866	22
16	106	292	0.38	5.538 8	0.078 3	0.343 6	0.003 7	0.116 9	0.001 4	1.904	20	1.907	27	1.910	21
17	220	372	0.94	11.095 1	0.158 0	0.481 1	0.005 2	0.167 3	0.002 0	2.532	28	2.531	36	2.530	20
18	276	820	0.11	5.361 6	0.075 8	0.340 1	0.003 7	0.114 4	0.001 3	1.887	21	1.879	27	1.870	21
19	68	181	0.44	5.750 6	0.082 9	0.349 7	0.003 9	0.119 3	0.001 4	1.933	21	1.939	28	1.945	21
20	88	185	0.47	9.274 8	0.139 0	0.423 2	0.005 1	0.159 0	0.001 9	2.275	27	2.366	35	2.445	20
21	88	226	0.86	5.186 1	0.074 5	0.332 2	0.003 7	0.113 2	0.001 4	1.849	21	1.850	27	1.852	22
22	152	296	0.42	10.351 1	0.167 6	0.467 0	0.006 2	0.160 7	0.001 9	2.471	33	2.467	40	2.463	20
23	174	326	0.51	10.676 8	0.150 2	0.473 2	0.004 9	0.163 6	0.002 0	2.498	26	2.495	35	2.493	20
24	122	354	0.07	5.695 6	0.084 4	0.349 9	0.003 9	0.118 0	0.001 5	1.934	22	1.931	29	1.927	22
25	78	140	0.51	11.246 0	0.159 2	0.490 6	0.004 8	0.166 2	0.002 1	2.573	25	2.544	36	2.520	21
26	311	581	0.59	10.275 9	0.151 2	0.466 7	0.005 3	0.159 7	0.001 9	2.469	28	2.460	36	2.452	20
27	276	574	0.11	10.337 4	0.145 7	0.465 3	0.005 1	0.161 1	0.001 9	2.463	27	2.465	35	2.467	20
28	104	292	0.12	5.834 9	0.078 4	0.354 6	0.003 4	0.119 3	0.001 4	1.957	19	1.952	26	1.946	21
29	66	180	0.54	5.213 3	0.084 5	0.333 5	0.004 6	0.113 4	0.001 3	1.855	26	1.855	30	1.854	21
30	87	237	0.57	5.072 5	0.067 9	0.329 7	0.003 2	0.111 6	0.001 3	1.837	18	1.833	25	1.825	21

表 3 石英岩样品 ALS28 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果
Table 3 LA-MC-ICP-MS zircon isotope data of quartzite sample ALS28

测点号	$w_B/\%$		Th/U	同位素比值				年龄 /Ma			
	Pb	U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
1	72	139	0.48	10.443 5	0.150 1	0.454 1	0.005 0	0.166 8	0.002 0	2.413	27
2	157	304	0.40	10.364 1	0.146 7	0.456 7	0.005 0	0.164 6	0.001 9	2.425	26
3	58	163	0.28	5.449 1	0.079 7	0.338 6	0.003 9	0.116 7	0.001 5	1.880	21
4	114	324	0.21	5.413 7	0.074 7	0.342 3	0.003 4	0.114 7	0.001 4	1.898	19
5	178	337	0.49	10.484 4	0.150 9	0.454 0	0.005 2	0.167 5	0.001 9	2.413	28
6	136	249	0.58	10.603 6	0.155 3	0.456 9	0.004 6	0.168 3	0.002 1	2.426	25
7	53	142	0.40	5.488 6	0.093 5	0.341 5	0.004 0	0.116 6	0.001 6	1.894	22
8	214	635	0.06	5.736 6	0.088 9	0.340 5	0.004 3	0.122 2	0.001 4	1.889	24
9	49	142	0.14	5.552 4	0.088 5	0.338 9	0.004 2	0.118 8	0.001 4	1.881	24
10	112	216	0.59	10.387 3	0.169 2	0.461 8	0.005 9	0.163 1	0.001 9	2.448	31
11	170	513	0.04	5.624 1	0.077 5	0.337 2	0.003 7	0.121 0	0.001 4	1.873	20
12	339	642	0.65	10.402 6	0.139 5	0.457 9	0.004 8	0.164 8	0.001 9	2.430	25
13	230	443	0.41	10.353 5	0.243 8	0.458 0	0.008 1	0.163 9	0.002 1	2.431	43
14	194	588	0.04	5.487 8	0.083 5	0.336 9	0.004 1	0.118 1	0.001 4	1.872	23
15	70	198	0.28	5.605 3	0.085 3	0.339 1	0.004 2	0.119 9	0.001 4	1.882	23
16	270	536	0.40	10.519 4	0.138 2	0.456 6	0.004 6	0.167 1	0.001 9	2.424	25
17	206	403	0.48	10.535 4	0.149 0	0.454 4	0.005 1	0.168 2	0.001 9	2.415	27
18	127	232	0.20	11.639 4	0.172 3	0.521 5	0.005 7	0.161 9	0.001 9	2.705	30
19	135	401	0.11	5.598 5	0.077 2	0.338 0	0.003 6	0.120 1	0.001 4	1.877	20
20	144	421	0.18	5.762 8	0.102 3	0.336 2	0.005 0	0.124 3	0.001 4	1.868	28
21	196	374	0.55	10.290 6	0.136 2	0.459 1	0.004 6	0.162 6	0.001 9	2.436	24
22	332	704	0.09	10.402 8	0.145 7	0.456 9	0.004 9	0.165 1	0.001 9	2.426	26
23	241	440	0.82	10.409 4	0.188 5	0.460 0	0.007 0	0.164 1	0.001 9	2.440	37
24	197	593	0.08	5.561 5	0.078 8	0.337 0	0.003 6	0.119 7	0.001 4	1.872	20
25	243	474	0.79	9.130 4	0.125 2	0.441 4	0.004 5	0.150 0	0.001 8	2.357	24
26	101	294	0.16	5.683 7	0.077 6	0.337 9	0.003 4	0.122 0	0.001 5	1.877	19
27	75	154	0.25	10.207 2	0.142 6	0.455 5	0.004 9	0.162 5	0.001 9	2.420	26

测点号	$w_B/\%$		Th/U	同位素比值				年龄/Ma							
				$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$					
	Pb	U	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ		
28	125	234	0.62	10.588 6	0.151 5	0.463 5	0.004 6	0.165 7	0.002 1	2.455	24	2.488	36	2.514	22
29	85	250	0.11	5.591 8	0.080 2	0.340 0	0.003 4	0.119 3	0.001 5	1.887	19	1.915	27	1.946	22
30	114	233	0.87	9.386 9	0.125 8	0.433 1	0.004 4	0.157 2	0.001 8	2.320	24	2.377	32	2.426	20
31	133	296	0.12	9.365 4	0.123 5	0.434 1	0.004 3	0.156 5	0.001 8	2.324	23	2.374	31	2.418	20
32	70	122	0.59	11.704 1	0.162 4	0.499 9	0.004 9	0.169 8	0.002 1	2.613	26	2.581	36	2.556	21
33	39	99	0.75	5.635 8	0.146 4	0.344 4	0.003 5	0.118 7	0.003 2	1.908	19	1.922	50	1.936	48
34	150	292	0.47	10.268 7	0.136 5	0.457 5	0.004 6	0.162 8	0.001 9	2.428	24	2.459	33	2.485	20
35	71	136	0.54	10.504 9	0.145 5	0.452 6	0.004 8	0.168 4	0.002 0	2.407	26	2.480	34	2.541	20
36	50	82	0.60	12.015 5	0.167 6	0.523 8	0.005 7	0.166 4	0.002 0	2.715	30	2.606	36	2.521	20
37	149	273	0.65	10.490 7	0.136 3	0.462 4	0.004 6	0.164 5	0.001 9	2.450	25	2.479	32	2.503	19
38	72	202	0.08	5.977 2	0.086 8	0.354 4	0.003 5	0.122 3	0.001 6	1.956	19	1.973	29	1.990	23
39	72	150	0.22	10.322 2	0.189 4	0.455 0	0.007 3	0.164 5	0.001 9	2.418	39	2.464	45	2.503	20
40	336	629	0.66	10.236 2	0.140 3	0.457 9	0.004 8	0.162 1	0.001 9	2.430	25	2.456	34	2.478	20
41	159	456	0.25	5.538 9	0.098 6	0.337 0	0.003 6	0.119 2	0.001 6	1.872	20	1.907	34	1.944	24
42	438	841	0.56	10.152 4	0.152 7	0.459 7	0.005 6	0.160 2	0.001 9	2.438	30	2.449	37	2.457	20
43	100	190	0.54	10.463 5	0.144 5	0.454 8	0.004 7	0.166 8	0.002 0	2.417	25	2.477	34	2.526	20
44	131	361	0.37	5.423 8	0.072 9	0.339 0	0.003 6	0.116 0	0.001 4	1.882	20	1.889	25	1.896	21
45	62	178	0.25	5.495 0	0.079 6	0.334 5	0.003 3	0.119 1	0.001 6	1.860	18	1.900	28	1.943	24
46	107	321	0.06	5.571 7	0.079 5	0.336 2	0.003 7	0.120 2	0.001 4	1.868	21	1.912	27	1.959	21
47	174	351	0.25	10.497 3	0.149 2	0.456 0	0.005 4	0.167 0	0.001 9	2.422	29	2.480	35	2.527	19
48	462	1331	0.21	5.436 3	0.077 9	0.340 0	0.003 9	0.116 0	0.001 3	1.887	22	1.891	27	1.895	21
49	135	255	0.47	10.283 8	0.149 3	0.460 0	0.005 4	0.162 2	0.001 9	2.439	29	2.461	36	2.478	20
50	25	43	0.80	10.429 3	0.193 2	0.456 4	0.004 9	0.165 7	0.002 6	2.424	26	2.474	46	2.515	27

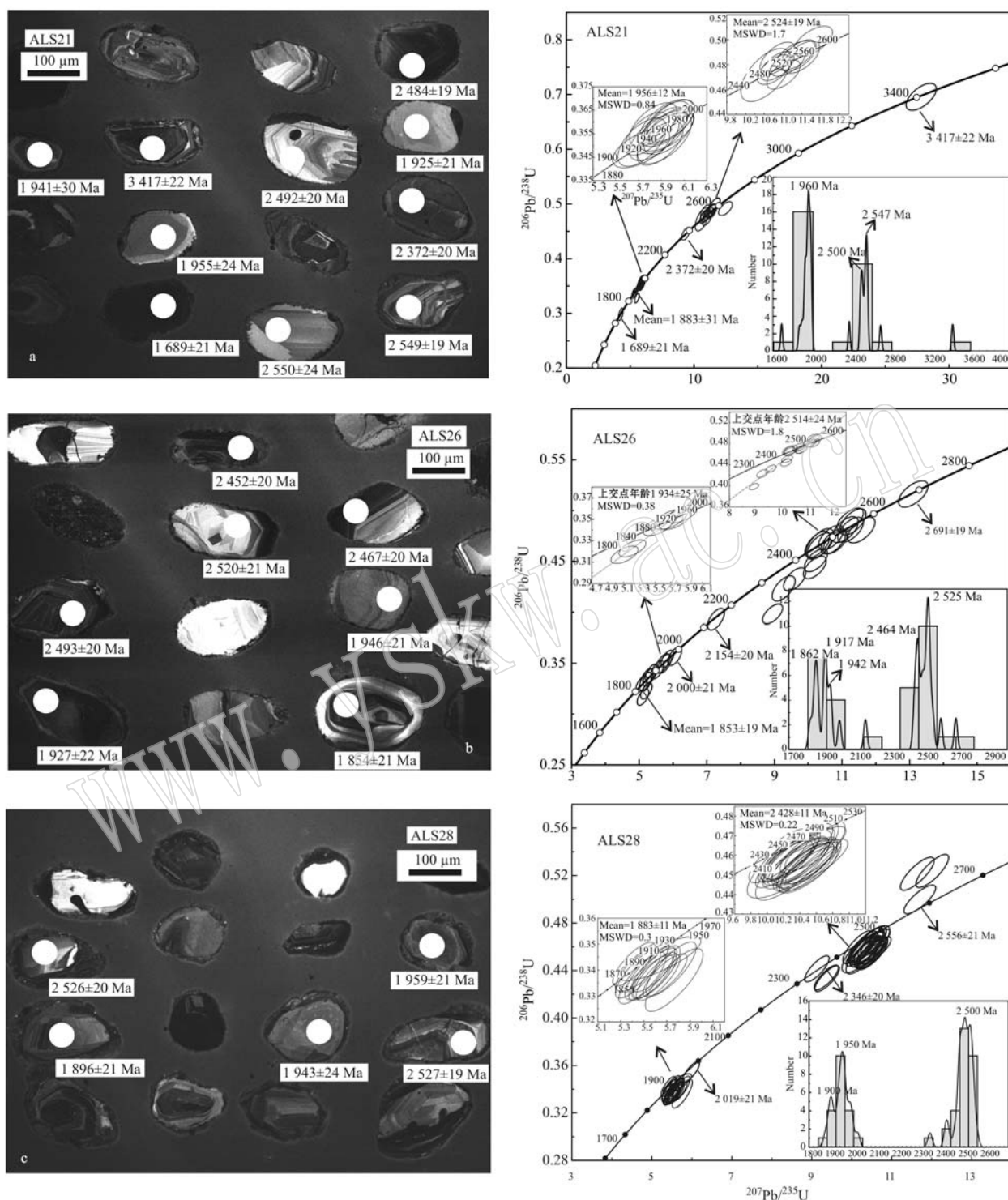


图 5 3 件石英岩中锆石的阴极发光特征及年龄谱和图

Fig. 5 Cathodoluminescence characteristics of zircons from three quartzite samples and their U-Pb concordia diagrams

大致将诺尔公群的沉积时代限定于 1.69~1.29 Ga, 为中元古代, 肯定了东阿拉善地块存在中元古代地层。

位于研究区东北部的狼山地区, 同样出露一套不整合于早前寒武变质基底之上的绿片岩相变质碎屑岩、碳酸盐岩夹少量火山岩组合, 被称为狼山群,

以往认为它是与渣尔泰山群相当的中元古代地层(胡晓等, 1992; 沈存利等, 2009)。近年来, 狼山群中发现大量新元古代火山岩(816.9 ± 4.5 Ma 和 805 ± 5 Ma, 彭润民等, 2010; 804.1 ± 3.5 Ma, Hu *et al.*, 2014), 另外, Hu 等(2014)对狼山群中变沉积岩的碎屑锆石研究获得其最小年龄峰为 $1\ 187 \sim 810$ Ma, 将其时代定为新元古代, 这显然不同于诺尔公群。

位于狼山东部渣尔泰山地区的渣尔泰山群, 为一套浅变质碎屑岩-碳酸盐岩组合, 自下而上被划分为书记沟组、增隆昌组、阿古鲁沟组和刘鸿湾组, 其时代被认为属中元古代(内蒙古自治区地质矿产局, 1991)。Li 等(2007)获得渣尔泰山群中基性火山岩年龄 $1\ 743$ Ma, 认为它的沉积时代始于 ~ 1.75 Ga。最近, 公王斌等(2016)分别对渣尔泰山群不同层位变沉积岩进行碎屑锆石测年, 获得年龄集中于 $1.9 \sim 1.8$ Ga 和 ~ 2.5 Ga, 认为渣尔泰山群可与长城系对比, 属于中元古代早期沉积。这与本次工作获得诺尔公群石英岩的碎屑锆石年龄特征一致(图 6a, 6b), 从年龄数据上支持阿拉善地块的中元古代诺尔公群可以对比渣尔泰山群, 二者可能形成于相同的构造背景。前人将乌兰哈夏群对比渣尔泰山群中的阿古鲁沟组(陈志勇等, 2004), 但目前获得乌兰哈夏群的年龄数据(杨岳清等, 2001; 李俊健, 2006), 与渣尔泰山群阿古鲁沟组获得的年龄数据差别较大(公王斌等, 2016), 并不具有可比性。

5.2 诺尔公群与“变质基底”阿拉善岩群的时空关系

传统上认为阿拉善岩群是东阿拉善地块中-新元古界的下伏变质基底, 耿元生等(2007)将其从下到上划分为德尔和通特组和祖宗毛道组, 并分别取样进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年, 获得德尔和通特组中含榴二云母片岩中的碎屑锆石年龄多数介于 $1\ 635 \sim 1\ 107$ Ma, 获得祖宗毛道组中二云斜长石英片岩中的碎屑锆石年龄大多都不谐和, 仅有一个谐和年龄 $1\ 617$ Ma, 同时获得较多古生代年龄, 他认为阿拉善岩群为古-中元古代, 而古生代年龄与后期花岗岩侵位有关。近年, Dan 等(2014)对原德尔和通特组中的角闪片麻岩进行测年, 获得的碎屑锆石年龄大多数介于 $1\ 844 \sim 901$ Ma, 将其沉积时代限定为新元古代(图 6d); 肖志斌等(2015)对祖宗毛道组中的石英岩进行测年, 获得的碎屑锆石年龄介于 $3\ 132 \sim 1\ 206$ Ma, 结合侵入到该组中 893 Ma 花岗岩片麻岩, 他认为沉积时限为晚中元古-新元古代早期(图

6c)。此外, 区域上大量新元古代($970 \sim 830$ Ma)花岗岩侵位到阿拉善岩群中(图 2; 耿元生等, 2002, 2010b; 李俊健, 2006; 李倩, 2012; Dan *et al.*, 2014; 肖志斌等, 2015), 也进一步将阿拉善岩群的沉积上限限定为新元古代早期。

前述对诺尔公群和乌兰哈夏群的测年结果, 表明它们的沉积时代为中-新元古代, 这与阿拉善岩群目前获得的沉积时代明显矛盾, 尤其是 Dan 等(2014)获得德尔和通特组的沉积年龄为新元古代, 与诺尔公群及上覆地层的沉积时代显著不同, 出现这种情况的原因, 一种可能是该样品不属于真正的阿拉善岩群, 作者也将这套地层单独划为新元古界, 不属于阿拉善岩群(Dan *et al.*, 2014)。真正的阿拉善岩群与诺尔公群存在上下叠置关系, 时代也老于诺尔公群; 另一种可能是阿拉善岩群与诺尔公群及上覆地层之间并没有上下叠置关系, 它们彼此独立, 形成于不同的构造环境。所谓的“阿拉善岩群”需要解体, 其沉积时代可能部分为古-中元古代, 部分为新元古代。陈志勇等(2004)根据地层对比将原阿拉善岩群中祖宗毛道组上部厚层状结晶灰岩、方解石大理岩和石英岩置于乌兰哈夏群之上, 也说明原先的地层划分还存在较大问题, 需要更多研究工作。

本次工作支持诺尔公群与阿拉善岩群彼此独立, 不存在层序上的叠置关系, 主要依据: ① 从野外证据上看, 诺尔公群未见底, 与阿拉善岩群没有发现上下叠置关系, 以往的不整合接触关系为推测(内蒙古自治区地质矿产局, 1991)。另外, 阿拉善地块的前寒武纪地层普遍经历了多期变形变质, 原生层理已完全被改造为片理、片麻理, 不能作为地层产状来判断层序的上下关系; ② 从变质程度和岩石组合上看, 阿拉善岩群是一套中深变质的碎屑岩为主夹少量碳酸盐岩组合, 诺尔公群为一套浅变质石英岩、浅粒岩和碳酸盐岩组合, 其上覆地层则以碳酸盐岩夹碎屑岩为主。但变质程度并不是判断地层新老关系的决定因素(如吴昌华, 2007), 不能简单地把阿拉善岩群当结晶基底、诺尔公群当沉积盖层; ③ 阿拉善岩群中有大量新元古代岩浆岩侵位, 主要集中在格林台山、大布苏山附近, 而诺尔公群及上覆地层中至今没有任何相关新元古代岩浆岩报道, 说明它们形成的构造环境完全不同; ④ Dan 等(2014)和肖志斌等(2015)获得阿拉善岩群不同层位中碎屑锆石年龄特征与本文获得诺尔公群中碎屑锆石年龄特征差别较大(图 6a, 6b, 6c), 显示它们的沉积环境、时代及

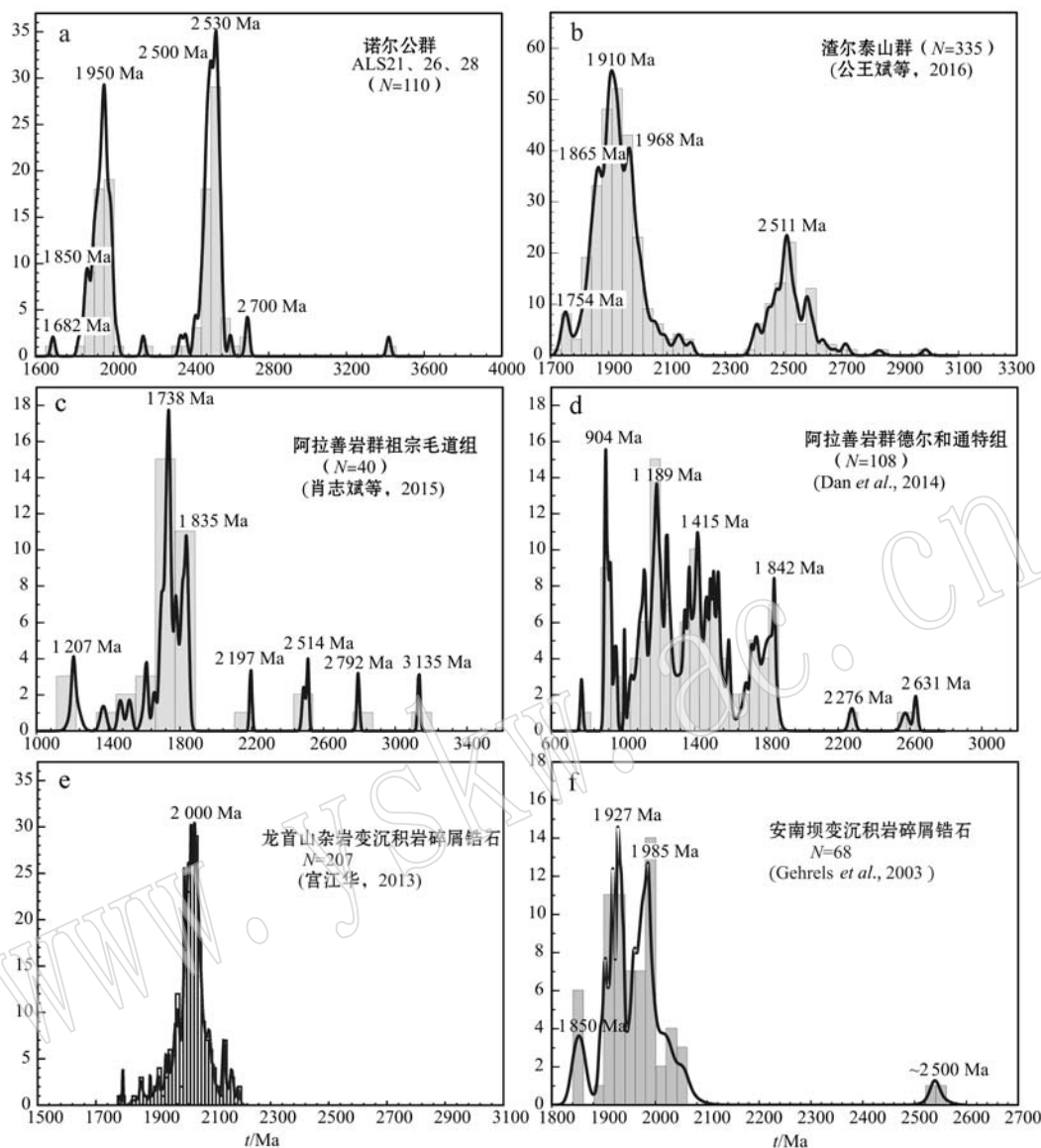


图6 东阿拉善地块与邻区前寒武纪地层碎屑锆石年龄对比

Fig. 6 Comparison of detrital zircon U-Pb age patterns of sedimentary rocks from eastern Alxa Block and its neighboring areas

碎屑物源有较大差异。

5.3 碎屑物源及阿拉善地块在中元古代的构造归属

诺尔公群作为东阿拉善地块中元古界的下部沉积,其碎屑锆石来源及源区的岩浆热事件特征是揭示阿拉善地块中元古代构造归属的重要依据。3件石英岩中的锆石部分自形程度较好,部分磨圆较好,说明碎屑物质包括近源、远源或再循环的古老变沉积岩基底。CL图像显示部分锆石具有复杂的多期生长特征(图5),表明这些锆石经历了古老陆壳的多次循环。除石英岩样品 ALS21 发现一粒 1689 ± 21 Ma 谐和年龄锆石外(测试数据较少,不排除另外两

件样品中没有),3件诺尔公群石英岩碎屑锆石几乎显示了相同的年龄特征,构成 ~ 2.5 Ga 和 $1.9 \sim 1.8$ Ga 两个显著的年龄峰,并含有少量的 $2.3 \sim 2.0$ Ga 古元古代和 ~ 2.7 Ga 太古代锆石,最老的谐和锆石年龄为 3417 ± 22 Ma(图6c)。

近年来,阿拉善地块的早前寒武纪变质基底中获得大量高质量的年龄数据。如西阿拉善地块北大山地区 ~ 2.5 Ga TTG 岩浆-变质事件、龙首山地区 $2.3 \sim 1.9$ Ga 多期岩浆活动及普遍经历 $1.95 \sim 1.85$ Ga 变质事件(图1;修群业等,2002;宫江华等,2011,2012; Zhang *et al.*, 2013a; Gong *et al.*,

2016);龙首山地区古元古代变沉积岩的碎屑锆石年龄集中在2.2~1.8 Ga,峰值为~2.0 Ga(图6e;董国安等,2007;宫江华,2013);东阿拉善地块巴彦乌拉山地区2.3~2.0 Ga多期岩浆活动,庆格勒图、叠布斯格地区2.0~1.8 Ga岩浆事件及普遍经历2.0~1.8 Ga变质事件(图2;李俊健,2006;周红英等,2007;耿元生等,2007,2010a; Dan *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2014);叠布斯格群的变沉积岩中有不同成因的>3.0 Ga、2.75~2.45 Ga和1.9~1.8 Ga碎屑锆石报道(李俊健,2006;耿元生等,2007,2010a);尽管目前在阿拉善地块还没有1.7~1.6 Ga岩浆活动报道,但耿元生等(2007)对阿拉善岩群的测年结果中获得~1.6 Ga年龄的锆石。另外,在狼山北侧发现有1.67 Ga片麻状二长花岗岩(孙立新等,2013),说明区域上存在这一期岩浆活动。以上数据说明阿拉善地块的变质基底可以提供诺尔公群几乎全部年龄的碎屑锆石,因此诺尔公群的碎屑物质最可能来自阿拉善地块本身。

阿拉善地块西邻的敦煌地块近年获得~2.5 Ga TTG 岩浆-变质年龄、~1.85 Ga 麻粒岩相变质年龄和2.7~2.8 Ga 陆壳生长年龄,这些数据与阿拉善地块变质基底中获得的数据非常相似,因此有学者认为敦煌地块在新太古代-古元古代可能与阿拉善地块相连,后被左行走滑的阿尔金断层切割(如, Zhang *et al.*, 2012, 2013b)。此外,敦煌地块的变质基底还有大量3.1~2.5 Ga、~2.3 Ga、2.1~1.9 Ga、1.9~1.8 Ga、1.61 Ga 岩浆-变质事件报道,支持敦煌地块在太古代-古元古代与阿拉善地块有亲缘性(辛后田等,2011;赵燕等,2013, 2015;王忠梅等,2013; Zhao *et al.*, 2015; Zong *et al.*, 2013)。另外,覆盖于塔里木东南缘早前寒武纪变质基底之上的中元古代安南坝群的碎屑锆石年龄谱也与诺尔公群类似,尽管获得的~2.5 Ga 锆石相对较少,但2.0~1.8 Ga 年龄峰非常显著(图6f),显示它们可能具有相似的物源区。因此,从年龄数据上看,敦煌地块可能与阿拉善地块在太古代-古元古代是统一陆块,是中元古代诺尔公群的潜在物源区。

阿拉善地块东邻的华北克拉通西部陆块中,阴山陆块中大量出露2.7~2.5 Ga 太古代变质基底岩石(Jian *et al.*, 2012; 马铭株等,2013);鄂尔多斯地块目前已报道有~2.0 Ga 岩浆事件(胡健民等,2012);古元古代孔兹岩带中的碎屑锆石年龄主要为2.3~2.0 Ga,并记录了大量1.95~1.85 Ga 变质年

龄(如: Yin *et al.*, 2009, 2011);贺兰山地区的花岗杂岩记录了~2.05 Ga 和1.95~1.92 Ga 岩浆事件,而且华北北缘已证实存在一条古元古代多期侵位的花岗杂岩带(>2.0 Ga、2.0~1.87 Ga 和1.85~1.80 Ga)(如耿元生等,2009)。此外,千里山地区变质基底之上的新元古代盖层中的碎屑锆石年龄以2.78~1.88 Ga 为主,显示明显的华北克拉通物源区特征(Darby and Gehrels, 2006),这与本文获得的碎屑锆石年龄具有一定的相似性。因此,西部陆块的早前寒武纪变质基底中已获得的年龄同样可以构成诺尔公群碎屑锆石的主要年龄峰,华北克拉通西部陆块也是阿拉善地块诺尔公群的潜在物源区。

Wan 等(2011)搜集了整个华北克拉通(包括东部陆块、西部陆块和中部带)变质基底中7586个岩浆、变质及碎屑锆石年龄数据,获得两个显著的年龄峰值2.55~2.48 Ga 和1.95~1.80 Ga;另外还获得燕山地区中-新元古代盖层(长城、蓟县和青白口系)中342个碎屑锆石年龄同样集中在2.55~2.48 Ga 和1.95~1.80 Ga,这与东、西阿拉善地块近年来获得的岩浆-变质事件基本一致。因此认为阿拉善地块在新太古代-古元古代与华北克拉通具有相似的构造热事件(耿元生等, 2010a; 宫江华等, 2011, 2012; Zhang *et al.*, 2013a; 宫江华, 2013; Gong *et al.*, 2016)。本次在东阿拉善地块诺尔公群中获得的碎屑锆石同样显示与华北克拉通相同的~2.5 Ga 和~1.95 Ga 年龄峰值(图6c),此外,少量2.3~2.0 Ga 和>2.7 Ga 碎屑锆石也都可以在阿拉善地块及邻区找到相关物源,或直接来自原岩,或来自再循环的陆壳。

综合以上认识,诺尔公群的碎屑锆石不仅可以来自阿拉善地块的早前寒武纪变质基底,也可能来自敦煌地块和华北克拉通西部陆块,由此显示阿拉善地块在新太古代-古元古代可能与敦煌地块、西部陆块就是统一块体,它们共同的变质基底构成诺尔公群石英岩的碎屑物质来源。诺尔公群的碎屑锆石年龄明显具有华北克拉通物源区特征,支持阿拉善地块在新太古代-中元古代一直是华北克拉通的一部分。

6 结论

(1) 诺尔公群中3件石英岩碎屑锆石的最小谐和年龄为 1689 ± 21 Ma,结合前人对诺尔公群上部

地层中火山岩的测年结果,大致将诺尔公群的沉积时代限定为 1.69~1.29 Ga,为中元古代;

(2) 诺尔公群与阿拉善岩群不存在地层上的叠置关系,阿拉善岩群至少部分并不是变质基底,其地层划分及时代需要重新厘定。诺尔公群与渣尔泰山群的碎屑锆石特征类似,是可以对比的同期地层,但与狼山群显著不同;

(3) 诺尔公群的碎屑锆石不仅可以来自阿拉善地块的早前寒武纪变质基底,同样可以来自敦煌地块和华北克拉通西部陆块。锆石年龄峰集中在 1.9~1.8 Ga 和 ~2.5 Ga 2 个年龄峰,显示出典型的华北克拉通物源区特征,支持太古代-中元古代时期阿拉善地块一直是华北克拉通的一部分。

References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192(1): 59~79.
- Black L P, Kamo S L, Allen C M, *et al.* 2003. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology[J]. *Chemical Geology*, 200: 155~170.
- Bureau of Geological Mineral Resources of Inner Monolia Autonomous Region. 1991. Regional Geology of Inner Monolia Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- 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.* 2012. 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(4): 838~864.
- Dan Wei, Li Xianhua, Wang Qiang, *et al.* 2014. Neoproterozoic S-type granites in the Alxa Block, westernmost North China and tectonic implications: In situ zircon U-Pb-Hf-O isotopic and geochemical constraints[J]. *American Journal of Science*, 314(1): 110~153.
- Darby B J and Gehrels G. 2006. Detrital zircon reference for the North China block[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(6): 637~648.
- Duan Jiye and Ge Xiaohong. 2005. Stratigraphic and paleobiogeographic affinities between different units in northwestern China-With a discussion of the tectonic framework of northwestern China[J]. *Geological Bulletin of China*, 24(6): 558~563(in Chinese with English abstract).
- Gehrels George E, Yin An and Wang Xiaofeng. 2003. Detrital-zircon geochronology of the northeastern Tibetan plateau[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 115(7): 881~896.
- Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan, *et al.* 2002. The discovery of Neoproterozoic Jinningian deformed granites in Alxa area and its significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(4): 412~420(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 Alxa, Inner Mongolia [J]. *Geology in China*, 34(2): 251~261(in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Wu Chunming, *et al.* 2010a. Late-Paleoproterozoic tectonothermal events of the metamorphic basement in Alxa area: Evidence from geochronology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(4): 1 159~1 170(in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng, Zhou Xiwen, Wang Xinren, *et al.* 2009. Late-Paleoproterozoic granite events and their geological significance in Helan-shan area, Inner Mognolia: Evidence from geochronology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(8): 1 830~1 842(in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng and Zhou Xiwen. 2010b. Early Neoproterozoic granite events in Alxa area of Inner Mongolia and their geological significance: Evidence from geochronology[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 779~795(in Chinese with English abstract).
- Gong Jianghua, Zhang Jianxin, Wang Zongqi, *et al.* 2016. Origin of the Alxa Block, western China: New evidence from zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes of the Longshoushan Complex[J]. *Gondwana Research*, 36: 359~375.
- Gong Jianghua, Zhang Jianxin, Yu Shengyao, *et al.* 2012. Ca.2.5 Ga TTG rocks in the western Alxa Block and their implications[J]. *Chinese Science Bulletin*, 57(31): 4 064~4 076.
- Gong Jianghua, Zhang Jianxin and Yu Shengyao. 2011. The origin of Longshoushan Group and associated rocks in the southern part of the Alxa block: constraint from LA-ICP-MS U-Pb zircon dating [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 30(5): 795~818(in Chi-

- nese with English abstract).
- Gong Jianghua. 2013. Compositions, characteristics, chronological framework and origin of Early-Precambrian metamorphic basement in western Alxa block[D]. Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English abstract).
- Gong Wangbin, Hu Jianmin, Li Zhenhong, *et al.* 2016. Detrital zircon U-Pb dating of Zhaertai Group in the North margin rift of North China Craton and its implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32(7): 2151~2165 (in Chinese with English abstract).
- Hu Jianmin, Liu Xinshe, Li Zhenhong, *et al.* 2012. SHRIMP zircon U-Pb dating of the metabasic rocks and granite in Ordos basin[J]. *Chinese Science Bulletin*, 57(26): 2482~2491 (in Chinese with English abstract).
- Hu Jianming, Gong Wangbin, Wu Sujuan, *et al.* 2014. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Langshan Group in the northeast margin of the Alxa block, with tectonic implications[J]. *Precambrian Research*, 255: 756~770.
- Hu Xiao and Niu Shuyin. 1992. Middle Proterozoic tectonic deformation and evolution of the Langshan-Zhaertai mountains in Inner Mongolia [J]. *Regional Geology of China*, 1: 75~82 (in Chinese with English abstract).
- Huang Baochun, Otofuiji Yo-ichiro, Yang Zhengyu, *et al.* 2000. Preliminary results and its tectonic implications of Middle Cambrian Paleomagnetism in the Alashan and Hexi Corridor Terrane[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 43(3): 393~401 (in Chinese with English abstract).
- Huo Fuchen, Cao Jingxuan, Dong Yansheng, *et al.* 1987. The division and correlation, metamorphism and mineralization features of the lower and middle Precambrian in the Helanshan Mountain-Alashan region, China[J]. *Journal of the Changchun Geological Institute*, 17(1): 35~46 (in Chinese with English abstract).
- Jian Ping, Kröner Alfred, Windley Brian F, *et al.* 2012. Episodic mantle melting-crustal reworking in the late Neoarchean of the north-western North China Craton: zircon ages of magmatic and metamorphic rocks from the Yinshan Block[J]. *Precambrian Research*, 222~223: 230~254.
- Li Jie. 2012. Characteristics and Tectonic Significance of Late Palaeozoic Intrusive Rocks along the Yabulai-Bayan Noel of Alxa, Inner Mongolia[M]. China University of Geoscience(Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi. 2004. Structural characteristics of crustal "mosaicking and superimposition" of the continent of China and its evolution[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(9): 986~1004 (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 Jinyi, Zhang Jin, Yang Tiannan, *et al.* 2009. Crustal Tectonic Division and Evolution of the Southern Part of the North Asian Orogenic Region and Its Adjacent Areas[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 39(4): 584~605 (in Chinese with English abstract).
- Li Junjian. 2006. Regional Metallogenic system of Alxa Block in Inner Mongolia Autonomous Region[D]. China University of Geoscience (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Li Qian. 2012. Study of the Precambrian metamorphic plutonic in Altengaobao region of Alxa Youqi, Inner Mongolia[D]. China University of Geoscience(Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Li Qiuli, Chen Fukun, Guo Jinghui, *et al.* 2007. Zircon ages and Nd-Hf isotopic composition of the Zhaertai Group (Inner Mongolia): evidence for early Proterozoic evolution of the northern North China Craton[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30(3): 573~590.
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Zong Keqing, *et al.* 2010. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535~1546.
- Lu Songnian, Yu Haifeng, Jin Wei, *et al.* 2002. Microcontinents on the eastern margin of Tarim paleocontinent[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(4): 317~326 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2005. SQUID 1.12 A User's Manual. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[J]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 1~22.
- Ma Mingzhu, Xu Zhongyuan, Zhang Lianchang, *et al.* 2013. SHRIMP dating and Hf isotope analysis of zircons from the Early Precambrian basement in the Xi Ulanbulang area, Wuchuan, Inner Mongolia [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(2): 501~516 (in Chinese with English abstract).
- Peng Runmin, Zhai Yusheng, Wang Jianping, *et al.* 2010. Discovery of Neoproterozoic acid volcanic rock in the western section of Langshan, Inner Mongolia, and its geological significance[J]. *Chinese Science Bulletin* 55: 2611~2620 (in Chinese).

- Ren Jishun, Jiang Chunfa, Zhang Zhengkun, *et al.* 1980. The Tectonics of China and its Evolution[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- Shao Heming. 1999. Exploring Gold Prospect in Middle Upper Proterozoic Era Stratigraphic in Inner Mongolia[J]. *Geology of Inner Mongolia*, 96(1): 2~5(in Chinese with English abstract).
- Shen Cunli, Zhang Mei and Yang Shuaishi. 2009. The geological evidences and significance of westward extension of Langshan-Zhaartaishan rift system, northern margin of north China Terrane[J]. *Geology and Exploration*, 45(6): 661~668(in Chinese with English abstract).
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, *et al.* 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP Dating[J]. *Geological Review*, 48: 26~30(in Chinese with English abstract).
- Sun Lixin, Ren Bangfang, Zhao Fengqing, *et al.* 2013. Zircon U-Pb dating and Hf isotopic compositions of the Mesoproterozoic granitic gneiss in Xilinhot Block, Inner Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 232(2): 327~340(in Chinese with English abstract).
- Tung Kuoan, Yang Hounyi, Liu Dunyi, *et al.* 2007. SHRIMP U-Pb geochronology of the detrital Zircons from the Longshoushan Group and its tectonic significance[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(10): 1414~1425.
- Wan Yusheng, Liu Dunyi, Wang Wei, *et al.* 2011. Provenance of Meso-to Neoproterozoic cover sediments at the Ming Tombs, Beijing, North China Craton: an integrated study of U-Pb dating and Hf isotopic measurement of detrital zircons and whole-rock geochemistry[J]. *Gondwana Research*, 20(1): 219~242.
- Wan Yusheng, Xu Zhiqin, Yang Jingsui, *et al.* 2003. The Precambrian high-grade basement of the Qilian Terrane and neighboring areas: its ages and compositions[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(4): 319~324(in Chinese with English abstract).
- Wang Huichu, Lu Songnian, Zhao Fengqing, *et al.* 2005. The Paleoproterozoic Geological Records in North China Craton and Their Tectonic Significance[J]. *Geological Survey and Research*, 28(3): 129~143(in Chinese with English abstract).
- Wang Zhongmei, Xiao Wenjiao, Han Chunming, *et al.* 2013. Metamorphism, zircon U-Pb dating and tectonic implications of garnet amphibolites from Hongliuxia, Dunhuang, Gansu Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(5): 1685~1697(in Chinese with English abstract).
- Wu Changhua. 2007. Meta-Sedimentary Rocks and Tectonic Division of the North China Craton[J]. *Geological Journal of China Universities*, 13(3): 442~457(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.
- Xiao Zhibin, Kang Jianli, Wang Huichu, *et al.* Formation Age of Alxa Group-complex (Special) in Alxa Area, Inner Mongolia[J]. *Geological Survey and Research*, 38(3): 182~191(in Chinese with English abstract).
- Xin Houtian, Zhao Fengqing, Luo Zhaohua, *et al.* 2011. Determination of the Paleoproterozoic geochronological framework in Aqtashtagh area in southeastern Tarim, China, and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(12): 1977~1993(in Chinese with English abstract).
- Xiu Qunye, Lu Songnian, Yu Haifeng, *et al.* 2002. The Isotopic age evidence for main Longshoushan Group Contributing to Paleoproterozoic[J]. *Progress in Precambrian Research*, 25(2): 93~96(in Chinese with English abstract).
- Yang Yueqing, Zhang Jianhua, Liu Yan, *et al.* 2001. The volcanic rocks in Zhualazhaga gold deposit in Inner Mongolia[J]. *Chinese Geology*, 28(9): 13~18(in Chinese with English abstract).
- Yin Changqing, Zhao Guochun, Guo Jinghui, *et al.* 2011. U-Pb and Hf isotopic study of zircons of the Helanshan Complex: constraints on the evolution of the Khondalite Belt in the Western Block of the North China Craton[J]. *Lithos*, 122(1~2): 25~38.
- Yin Changqing, Zhao Guochun, Sun Min, *et al.* 2009. LA-ICP-MS U-Pb zircon ages of the Qianlishan Complex: constraints on the evolution of the Khondalite Belt in the Western Block of the North China Craton[J]. *Precambrian Research*, 174(1): 78~94.
- Yuan Wei and Yang Zhenyu. 2015a. 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(3): 1270~1282.
- Yuan Wei and Yang Zhenyu. 2015b. The Alashan Terrane did not amalgamate with North China block by the Late Permian: evidence from Carboniferous and Permian paleomagnetic results[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 104: 145~159.
- Zhai Mingguo, Guo Jinghui and Liu Wenjun. 2005. Neoproterozoic to Paleoproterozoic continental evolution and tectonic history of the North China Craton: a review[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24(5): 547~561.

- Zhang Jianxin, Gong Jianghua and Yu Shengyao. 2012. c. 1.85 Ga HP granulite-facies metamorphism in the Dunhuang block of the Tarim Craton, NW China: evidence from U-Pb zircon dating of mafic granulites [J]. *Journal of the Geological Society*, 169(5): 511~514.
- Zhang Jianxin, Gong Jianghua, Yu Shengyao, *et al.* 2013a. 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, Yu Shengyao, Gong Jianghua, *et al.* 2013b. The latest Neoproterozoic-Paleoproterozoic evolution of the Dunhuang block, eastern Tarim craton, northwestern China: evidence from zircon U-Pb dating and Hf isotopic analyses [J]. *Precambrian Research*, 226: 21~42.
- 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, Zhang Beihang and Zhao Heng. 2016. Timing of amalgamation of the Alxa Block and the North China Block: Constraints based on detrital zircon U-Pb ages and sedimentologic and structural evidence [J]. *Tectonophysics*, 668: 65~81.
- Zhang Zhenfa, Li Chaoying and Niu Yingzhi. 1997. Role, Significance, Characteristics and range of Alshan-Dunhuang land Block [J]. *Inner Mongolia Geology*, 2: 1~14 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Guochun, Sun Min, Wilde Simon A, *et al.* 2005. Late Archean to Paleoproterozoic evolution of the North China Craton: key issues revisited [J]. *Precambrian Research*, 136(2): 177~202.
- Zhao Yan, Diwu Cunrong, Sun Yong, *et al.* 2013. Zircon geochronology and Lu-Hf isotope compositions for Precambrian rocks of the Dunhuang complex in Shuixiakou area, Gansu Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(5): 1698~1721 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yan, Diwu Cunrong, Ao Wenhao, *et al.* 2015. 3.06 Ga granodioritic gneiss in Dunhuang block [J]. *Chinese Science Bulletin*, 60(1): 75~87 (in Chinese).
- Zhao Yan, Sun Yong, Yan Jianghao, *et al.* 2015. The Archean-Paleoproterozoic crustal evolution in the Dunhuang region, NW China: Constraints from zircon U-Pb geochronology and in situ Hf isotopes [J]. *Precambrian Research*, 271: 83~97.
- Zhou Hongying, Mo Xuanxue, Li Junjian, *et al.* 2007. The U-Pb Isotopic Dating Age of Single Zircon from Biotite Plagioclase Gneiss in the Qinggetu Area, Alashan, Western Inner Mongolia [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 26(3): 221~223 (in Chinese with English abstract).
- Zong Keqing, Liu Yongsheng, Zhang Zeming, *et al.* 2013. The generation and evolution of Archean continental crust in the Dunhuang block, northeastern Tarim craton, northwestern China [J]. *Precambrian Research*, 235: 251~263.

附中文参考文献

- 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.
- 董国安, 杨宏仪, 刘敦一, 等. 2007. 龙首山岩群碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义 [J]. *科学通报*, 52(6): 688~697.
- 段吉业, 葛肖虹. 2005. 中国西北地区各构造单元之间地层和生物古地理的亲缘关系——兼论西北地区构造格局 [J]. *地质通报*, 24(6): 558~563.
- 葛肖虹, 刘俊来. 2000. 被肢解的西域克拉通 [J]. *岩石学报*, 16(1): 59~66.
- 耿元生, 王新社, 沈其韩, 等. 2002. 阿拉善地区新元古代晋宁期变形成花岗岩的发现及其地质意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 21(4): 412~420.
- 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): 251~260.
- 耿元生, 王新社, 吴春明, 等. 2010a. 阿拉善变质基底古元古代晚期的构造热事件 [J]. *岩石学报*, 26(4): 1159~1170.
- 耿元生, 周喜文. 2010b. 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, 王新社, 等. 2009. 内蒙古贺兰山地区古元古代晚期的花岗岩浆事件及其地质意义: 同位素年代学的证据 [J]. *岩石学报*, 25(8): 1830~1842.
- 公王斌, 胡健民, 李振宏, 等. 2016. 华北克拉通北缘裂谷渣尔泰群 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 测年及地质意义 [J]. *岩石学报*, 32(7): 2151~2165.
- 宫江华. 2013. 西阿拉善地块早前寒武纪变质基底组成、性质、年代格架及归属 [D]. 中国地质科学院, 北京: 博士学位论文.
- 宫江华, 张建新, 于胜尧. 2011. 阿拉善地块南缘龙首山岩群及相关岩石的起源和归属——来自 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄的制约 [J]. *岩石矿物学杂志*, 30(5): 795~818.

- 宫江华, 张建新, 于胜尧, 等. 2012. 西阿拉善地块~2.5 Ga TTG 岩石及地质意义[J]. 科学通报, 57(28): 2 715~2 728.
- 胡健民, 刘新社, 李振宏, 等. 2012. 鄂尔多斯盆地基底变质岩与花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J]. 科学通报, 57(26): 2 482~2 491.
- 胡 晓, 牛树银. 1992. 内蒙古狼山-渣尔泰山中元古界的构造变形与演化[J]. 中国区域地质, 1: 75~82.
- 黄宝春, Otofui Y I, 杨振宇, 等. 2000. 河西走廊和阿拉善东缘地区中寒武世古地磁研究的初步结果[J]. 地球物理学报, 43: 393~401.
- 霍福臣, 曹景轩, 董燕生, 等. 1987. 贺兰山-阿拉善地区下, 中前寒武系的划分对比及其变质, 成矿作用特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 17(1): 35~46.
- 李 杰. 2012. 内蒙古阿拉善地区雅布赖-巴音诺尔公晚古生带侵入岩特征及其大地构造意义[D]. 中国地质大学(北京), 硕士学位论文.
- 李锦轶. 2004. 中国大陆地壳“镶嵌与叠覆”的结构特征及其演化[J]. 地质通报, 23(9): 986~1 004.
- 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.
- 李锦轶, 张 进, 杨天南, 等. 2009. 北亚造山区南部及其毗邻地区地壳构造分区与构造演化[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 39(4): 584~605.
- 李俊健. 2006. 内蒙古阿拉善地块区域成矿系统[D]. 中国地质大学(北京), 博士学位论文.
- 李 倩. 2012. 内蒙古阿拉善右旗阿拉腾敖包一带前寒武纪变质深成岩研究[D]. 中国地质大学(北京) 硕士学位论文.
- 陆松年, 于海峰, 金 巍, 等. 2002. 塔里木古大陆东缘的微小陆块体群[J]. 岩石矿物学杂志, 21(4): 317~326.
- 马铭株, 徐仲元, 张连昌, 等. 2013. 内蒙古武川西乌兰不浪地区早前寒武纪变质基底锆石 SHRIMP 定年及 Hf 同位素组成[J]. 岩石学报, 29(2): 501~516.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古区域地质志[J]. 北京: 地质出版社.
- 彭润民, 翟裕生, 王建平, 等. 2010. 内蒙狼山新元古代酸性火山岩的发现及其地质意义[J]. 科学通报, (26): 2 611~2 620.
- 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 1980. 中国大地构造及其演化[M]. 北京: 科学出版社.
- 邵和明. 1999. 内蒙古中-上元古界地层的找金远景[J]. 内蒙古地质, 96(1): 2~5.
- 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.
- 宋 彪, 张玉海, 万渝生, 等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作, 年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 48(1): 26~30.
- 孙立新, 赵凤清, 王惠初, 等. 2013. 内蒙古狼山地区宝音图地块变质基底的锆石 U-Pb 年龄及构造意义[J]. 地质学报, 87(2): 197~207.
- 万渝生, 许志琴, 杨经绥, 等. 2003. 祁连造山带及邻区前寒武纪深变质基底的时代和组成[J]. 地球学报, 24(4): 319~324.
- 王惠初, 陆松年, 赵凤清, 等. 2005. 华北克拉通元古代地质记录及其构造意义[J]. 地质调查与研究, 28(3): 129~143.
- 王忠梅, 肖文交, 韩春明, 等. 2013. 甘肃敦煌红柳峡地区石榴石斜长角闪岩的变质特征, 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 岩石学报, 29(5): 1 685~1 697.
- 吴昌华. 2007. 华北克拉通的变质沉积岩及其克拉通的构造划分[J]. 高校地质学报, 13(3): 442~457.
- 肖志斌, 康健丽, 王惠初, 等. 2015. 内蒙古阿拉善地区阿拉善群(狭义)的形成时代[J]. 地质调查与研究, 3: 182~191.
- 辛后田, 赵凤清, 罗照华, 等. 2011. 塔里木盆地东南缘阿克塔什塔格地区元古代精细年代格架的建立及其地质意义[J]. 地质学报, 85(12): 1 977~1 993.
- 修群业, 陆松年, 于海峰, 等. 2002. 龙首山岩群主体划归元古代的同位素年龄证据[J]. 前寒武纪研究进展, 25(2): 93~96.
- 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.
- 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): 2 912~2 934.
- 张振法, 李超英, 牛颖智. 1997. 阿拉善-敦煌陆块的性质, 范围及其构造作用和意义[J]. 内蒙古地质, 2(6): 1~14.
- 赵 燕, 第五春荣, 敖文昊, 等. 2015. 敦煌地块发现~3.06 Ga 花岗闪长质片麻岩[J]. 科学通报, 60(1): 75~87.
- 赵 燕, 第五春荣, 孙 勇, 等. 2013. 甘肃敦煌水峡口地区前寒武纪岩石的锆石 U-Pb 年龄, Hf 同位素组成及其地质意义[J]. 岩石学报, 29(5): 1 698~1 712.
- 周红英, 莫宣学, 李俊健, 等. 2007. 内蒙古阿拉善庆格勒图黑云斜长片麻岩的单颗粒锆石 U-Pb 法年龄[J]. 矿物岩石地球化学通报, 26(3): 221~223.