

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2021.082>



内蒙古额济纳旗雅干地区北山岩群的厘定及其地质意义

王振义^{1,2}, 李钢柱^{3*}, 丁海生¹, 于洋⁴, 闫振军¹, 黄磊³

1. 中国地质调查局呼和浩特自然资源综合调查中心, 内蒙古呼和浩特 010010
2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037
3. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 内蒙古呼和浩特 010018
4. 中国地质大学地质调查研究院, 湖北武汉 430074

摘要: 北山岩群是中亚造山带南缘中段明水—旱山地块的主要组成部分, 研究其展布特征和形成时代对探讨带内地块前寒武纪基底构造演化、造山增生过程有着十分重要的意义。首次报道了在雅干南部少木尚德地区原划二叠系地层中新识别出的北山岩群的岩石组合、变质变形、剖面特征和碎屑锆石年龄特征, 并将其与甘新蒙北山地区的北山岩群进行了对比。在其中的石英岩中运用 LA-ICP-MS 法获得了 2 个碎屑锆石年龄, 其年龄值介于 1 075.7~2 708.1 Ma, 多集中在 1 100~1 900 Ma, 本区的北山岩群最大成岩年龄限定为 1 075.7 Ma。根据物源区时代特征对比, 珠斯楞—杭乌拉构造带与北山地区微陆块、蒙古地块具有相近的亲缘性, 与北山地区微陆块可能源于一个统一陆块。该发现证实了阿拉善北部地区与北山地区具有相同的前寒武纪褶皱基底, 间接证明了雅干断裂带与红石山—百合山蛇绿构造混杂岩带在构造分化意义上可对比。

关键词: 雅干南部; 北山岩群; 碎屑锆石; 中新元古代; 基底归属; 构造。

中图分类号: P56

文章编号: 1000-2383(2022)04-1177-17

收稿日期: 2021-05-17

Determination and Geological Significance of Beishan Group in Yagan Area, Ejiana, Inner Mongolia

Wang Zhenyi^{1,2}, Li Gangzhu^{3*}, Ding Haisheng¹, Yu Yang⁴, Yan Zhenjun¹, Huang Lei³

1. Hohhot Natural Resources Comprehensive Survey Center of China Geological Survey, Hohhot 010010, China
2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China
3. Institute of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China
4. Institute of Geological Survey, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Beishan Group is the main part of Mingshui-Hanshan block in the middle part of the southern margin of Central Asia orogenic belt, which is of great significance to the study of the tectonic evolution of Precambrian basement and the process of orogenic accretion. In this paper, it reports for the first time the rock association, metamorphic deformation, section characteristics and detrital zircon age of the Beishan Group in the original Permian strata in the Shaomushangde area, southern Yagan, and compares it with the Beishan Group in the Beishan area. Two detrital zircon ages were obtained by LA-ICP-MS in the quartzites.

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (No. DD2016007806); 国家自然科学基金 (No. 51969023); 内蒙古自治区科技计划项目 (No. 2020GG0076); 内蒙古自然科学基金 (No. 2021MS04024)。

作者简介: 王振义 (1990—), 男, 硕士, 主要从事区域地质调查工作。ORCID: 0000-0001-7505-436X。E-mail: amanant@163.com

* **通讯作者:** 李钢柱, ORCID: 0000-0003-3565-2861。E-mail: gli@imau.edu.cn

引用格式: 王振义, 李钢柱, 丁海生, 于洋, 闫振军, 黄磊, 2022. 内蒙古额济纳旗雅干地区北山岩群的厘定及其地质意义. 地球科学, 47(4): 1177—1193.

Citation: Wang Zhenyi, Li Gangzhu, Ding Haisheng, Yu Yang, Yan Zhenjun, Huang Lei, 2022. Determination and Geological Significance of Beishan Group in Yagan Area, Ejiana, Inner Mongolia. *Earth Science*, 47(04): 1177—1193.

The ages range from 1 075.7 to 2 708.1 Ma, mostly from 1 100 to 1 900 Ma, and the maximum depositional age of Beishan Group in this area is 1 075.7 Ma. The provenance analyses show tectonic affinity among microcontinent of the Beishan orogenic belts and Mongolia block, and may originate from a unified block with Beishan area. The discovery confirms that the northern Alxa area and Beishan area have the same Precambrian folded basement, and indirectly proves that the Yagan tectonic belt and Hongshishan-Baiheshan ophiolite tectonic melange belt are comparable in the sense of tectonic differentiation.

Key words: southern Yagan; Beishan Group; detrital zircon; Meso-Neoproterozoic; basement provenance; tectonics.

位于塔里木—华北板块与西伯利亚板块之间的中亚造山带是世界上最大的复合型增生造山带之一,是全球显生宙地壳增生改造最显著的地区(Şengör *et al.*, 1993; Jahn, 2004; Windley *et al.*, 2007; Xiao *et al.*, 2010). 中亚造山带中分布着大量具有前寒武纪基底的微陆块或大陆残块,研究其物质组成、形成时代和亲缘性等特征对于揭示中亚造山带构造格局和演化历程具有重要意义(Kröner *et al.*, 2011; Zhou *et al.*, 2018; 周海等, 2018).

恩格尔乌苏蛇绿构造混杂岩带以北至中蒙边境的阿拉善北部地区,构造位置位于中亚造山带南缘中段,西接北山造山带、与天山造山带相连,东接兴蒙造山带,是连接中亚造山带东西构造单元的关键位置(图 1)(吴泰然和何国琦, 1993; Wu *et al.*, 1998; 郑荣国等, 2013; Chen *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2019; Song *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2020). 然而由于恶劣的自然条件和较差的露头,前人一直关注较少,基础地质研究程度较低. 现有的关于本区研究重点多在古生代岩浆作用(王廷印等, 1993a, 1998; 郑荣国等, 2013; Zhang *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2020; Song *et al.*, 2020; 史兴俊等, 2020)和古生代构造演化方面(吴泰然和何国琦, 1992, 1993; 王廷印等, 1992, 1993b, 1994; 党犇等, 2013; Liu *et al.*, 2019; 陈智斌等, 2020; Song *et al.*, 2021), 对前寒武纪地质体研究很少,仅有零星的新元古代岩浆事件报道(Wang *et al.*, 2001; 周印章等, 2013; Zhang *et al.*, 2016), 而对前寒武纪副变质岩的归属和成岩时代鲜有报道,对其亲缘性的探讨(Chen *et al.*, 2019)还具有争议.

北山岩群原在甘肃北山地区创名(修泽雷, 赵祥生, 1964, 1:100 万玉门幅地质图及说明书), 多与“北山杂岩”混用, 然而两者无论在含义、范围和形成时代上均存在差异. “北山杂岩”指北山地区不含化石的花岗岩—变质岩系, 分为深变质岩系和浅变质岩系上下两个部分(转引自左国朝和何国琦(1990))——既有副变质岩又有正变质岩. 因其概念较为宽泛, 加之后来的造山作用改造使得前寒武

系岩石与古生界岩石较难区分(周海等, 2018), 其时代较为混乱: 既有新太古或古元古代(左国朝和何国琦, 1990; 梅华林等, 1998; 魏学平等, 2000; 孙新春等, 2005)、中新元古代(左国朝等, 1992; 梅华林等, 1999; 姜洪颖等, 2013; 叶晓峰等, 2013; Liu *et al.*, 2015; Yuan *et al.*, 2015; 贺振宇等, 2015; Zheng *et al.*, 2018; 周海等, 2018), 又有古生代(Song *et al.*, 2013a, 2013b, 2016; Zheng *et al.*, 2018, 2021)等多种成岩年龄. 混乱宽广的成岩年龄使得对于北山造山带的结晶基底的认识存在较大分歧: 一部分学者认为“北山杂岩”是北山地区的前寒武纪基底(左国朝和何国琦, 1990; 左国朝等, 1992; 魏学平等, 2000; 代双儿, 2001); 一些学者认为北山杂岩形成于古生代造山增生过程, 北山造山带没有统一的结晶基底(Song *et al.*, 2013a, 2013b, 2015, 2016). 结晶基底的分歧关系对造山演化模式的不同认识(Xiao and Santosh, 2014; Kröner *et al.*, 2017). 另外, 北山造山带中前寒武纪地质体的亲缘性也存在分歧(姜洪颖等, 2013; 贺振宇等, 2015; Liu *et al.*, 2015; Yuan *et al.*, 2015; Song *et al.*, 2016; 周海等, 2018; Zheng *et al.*, 2018).

鉴于“北山杂岩”含义较为宽泛, 成岩年龄较分散, 争议颇多. 笔者在此采用狭义的北山岩群概念, 即《内蒙古自治区岩石地层》中规定的副变质岩系——“中低级变质程度的碎屑岩及碳酸盐岩岩系, 以各种片岩和大理岩为主”.

虽然前人指出在雅干地区也存在北山岩群(李文国, 1996), 但其出露位置、岩石组合、变质变形特征和形成时代一直未有明确报道. 近年来的报道多集中在甘新蒙北山地区(赵如意等, 2011; 范志伟, 2015; 杨富林等, 2016; 张正平等, 2017; 徐旭明等, 2018), 在弱水断裂以东地区鲜有报道. 现在学界普遍认为恩格尔乌苏蛇绿混杂岩带以北至中蒙边境的阿拉善北部地区是北山造山带的东延(转引自Liu *et al.*(2019)), 然而两者是否具有相同的前寒武纪变质基底还存有疑问. 而且, 部分学者对于雅干断裂西延持不同意见: 一部分学者认为雅干断裂带

应与白云山—洗肠井蛇绿混杂岩带相连(吴泰然和何国琦, 1993; Liu *et al.*, 2019); 一部分学者认为雅干断裂带应与红石山—百合山蛇绿构造混杂岩带相连(邵积东等, 2011; 潘桂棠和肖庆辉, 2015). 变质基底厘定有望对雅干断裂的延伸对比提供依据, 从而为大地构造划分提供佐证. 另外, 关于北山岩群的年龄, 既有古元古代晚期的认识(张正平等, 2017; 徐旭明等, 2018), 又有中新元古代的认识(范志伟, 2015; 杨富林等, 2016). 本次厘定的北山岩群为探讨其时代特征增添了新的依据.

本文依托1:5万区域地质矿产调查工作, 在雅干南部少木尚德地区(图1), 依据岩石组合、变质变形和碎屑锆石同位素年龄, 在原1:20万区域地质调查(甘肃省地质局地质力学区域测量队, 1981, 雅干幅、拐子湖幅1:20万区域地质调查报告)所划的“上二叠统下岩组地层”中新识别出新元古界北山岩群, 为区域地层对比、大地构造划分和区域构造演化提供了新的依据.

1 区域地质背景

研究区位于雅干断裂带以南恩格尔乌苏蛇绿

构造混杂岩带以北, 其构造位置属北山弧盆系(II级)—辉森乌拉—都热岛弧(III级)(潘桂棠和肖庆辉, 2015), 亦即珠斯楞—杭乌拉构造带(吴泰然和何国琦, 1993)(图1b). 原1:20万区域地质调查将区内古生代地层均划为上二叠统, 后经本次1:5万区域地质调查工作, 将其重新厘定为以片岩、片麻岩、大理岩、透辉岩、石英岩等中级变质岩系为主的北山岩群, 以变质砂岩和粉砂质板岩为主的上石炭统一二叠统绿条山组, 以中酸性、酸性火山岩为主的下二叠统白山组, 下部以细碎屑岩为主、上部以复理石为主的下二叠统双堡塘组, 双峰式火山岩组合的中下二叠统金塔组以及复理石沉积组合的上三叠统珊瑚井组. 岩浆岩主要在中北部发育: 北部可见早二叠世钙碱性岩浆弧, 以中酸性、酸性侵入岩及其喷出岩为主; 原1:20万区域地质调查认为中部发育的侵入岩是华力西晚期第4次侵入的均一岩体, 王廷印等(1998)调查该岩体的锆石U-Pb平均年龄为251.3 Ma, 经本次工作将其重新划分为由中泥盆世二长花岗岩、花岗闪长岩以及晚三叠世二长花岗岩组成的复式岩体, 侵入北山岩群中. 工作区整体受华力西晚期查黑林嘎顺复式背斜影响, 褶

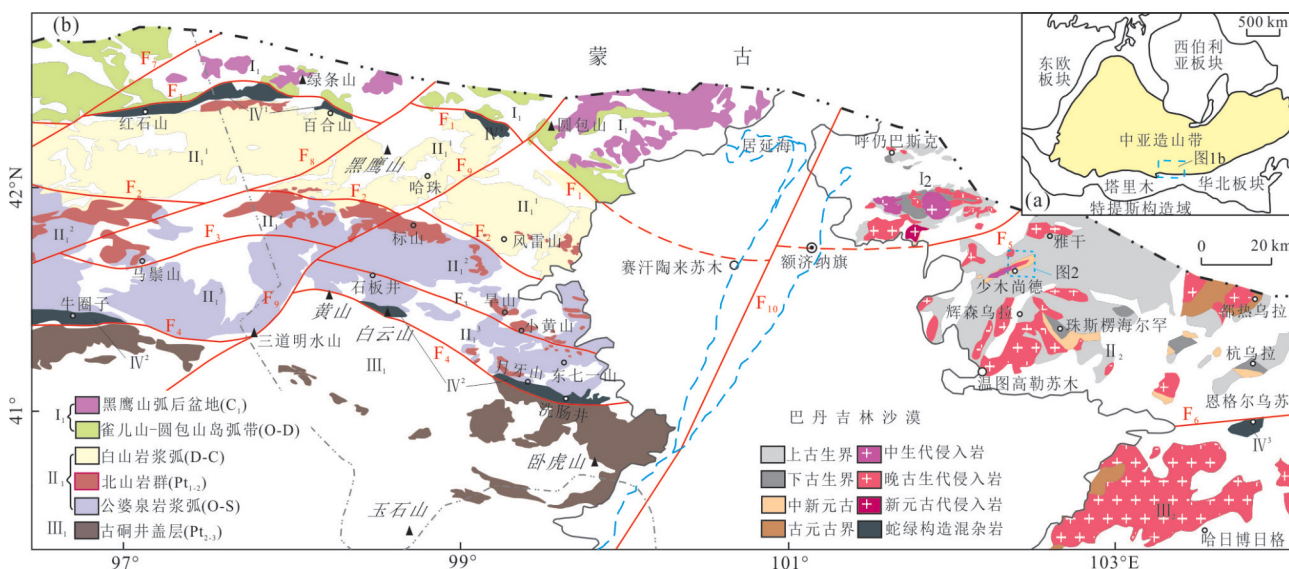


图1 阿拉善北部位置简图(a)及甘肃内蒙古北山地区和阿拉善北部地区大地构造划分(b)

Fig.1 Simplified geological map showing the tectonic location of northern Alxa (a) and simplified tectonic division map of the Beishan region and northern Alxa area in Gansu and Inner Mongolia (b)

图a据 Xiao *et al.* (2010)修改, 图b据辛后田等(2020)、潘桂棠和肖庆辉(2015)、Chen *et al.* (2019)、邵和明主编(2001)内蒙古自治区1:150万成矿区带图、原中国人民武装警察部队黄金第二支队(2019)生格嘎顺、霍布哈尔幅1:5万地质图、原中国人民武装警察部队黄金第二支队(2019)呼仍巴斯克等四幅1:5万地质图等修改. I₁. 绿条山—圆包山岛弧带; II₁. 白山晚古生代岩浆弧; II₂. 明水—旱山地块; II₃. 公婆泉早古生代岩浆弧; III₁. 敦煌陆块; I₂. 呼仍巴斯克复合岩浆弧; II₂. 辉森乌拉—都热岛弧; III₂. 阿拉善陆块北缘; IV¹(F₁). 红石山—百合山蛇绿构造混杂岩带; IV²(F₄). 牛圈子—洗肠井蛇绿构造混杂岩带; IV³(F₆). 恩格尔乌苏蛇绿构造混杂岩带; F₂. 白梁—三个井构造带; F₃. 石板井—小黄山构造带; F₅. 雅干断裂带; F₇. 星星峡走滑断裂; F₈. 清河沟走滑断裂; F₉. 红梁子走滑断裂; F₁₀. 弱水断裂; 图2所示范围即研究区.

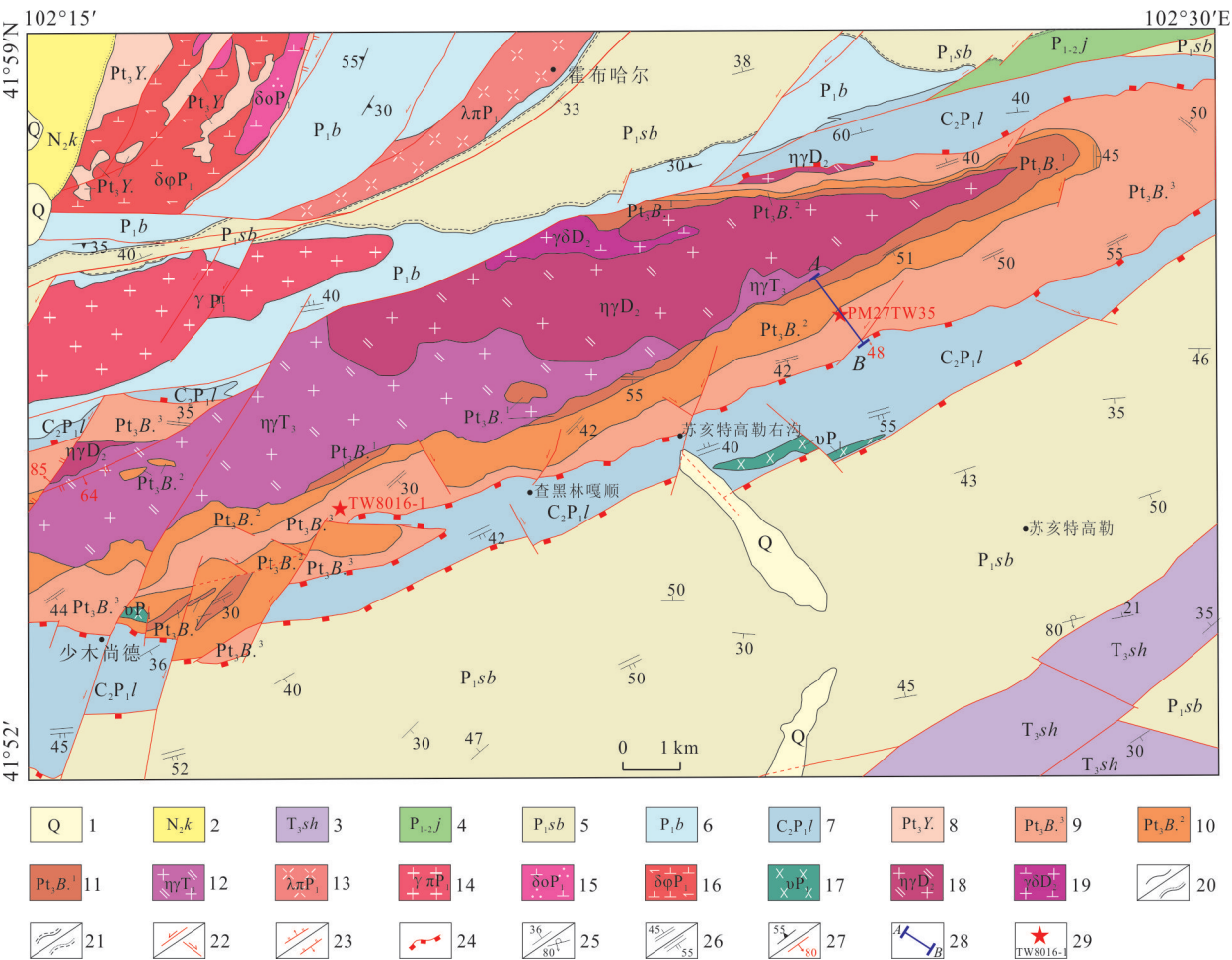


图2 雅干南部少木尚德地区地质图(据原中国人民武装警察部队黄金第二支队(2019)霍布哈尔幅 1:5万地质图修改)

Fig. 2 Geological map of Shaomushangde area in southern Yagan (revised according to 1 : 50 000 geological map of Hobuhal)

1. 第四系;2. 新近系上统苦泉组;3. 上三叠统珊瑚井组;4. 中下二叠统金塔组;5. 早二叠世双堡塘组;6. 下二叠统白山组;7. 上石炭统一下二叠统绿条山组;8. 新元古界圆藻山群;9. 新元古界北山岩群三岩组;10. 新元古界北山岩群二岩组;11. 新元古界北山岩群一岩组;12. 晚三叠世二长花岗岩;13. 早二叠世流纹斑岩;14. 早二叠世花岗斑岩;15. 早二叠世石英闪长岩;16. 早二叠世辉石闪长岩;17. 早二叠世辉长岩;18. 中泥盆世二长花岗岩;19. 中泥盆世花岗闪长岩;20. 整合或侵入或第四系覆盖接触界线/角度不整合接触界线;21. 平行不整合界线/火山喷发不整合界线;22. 左行/右行走滑断层;23. 正断层/逆断层;24. 拆离断层;25. 岩层产状/倒转产状;26. 片理/劈理;27. 流纹面理/断层面产状;28. 剖面位置;29. 采样位置

皱十分发育,核部为北山岩群,两翼为绿条山组和双堡塘组,多见层间褶皱;受中生代伸展构造影响,发育北东东向南倾拆离断层,北山岩群与上覆绿条山组呈断层接触;区内新生代之前地质体多受中新世代左行走滑断裂系影响,表现为被北北东向左行走滑和少量北西向右行走滑断层错断(图2)。

2 地质特征

2.1 岩石组合特征

本区北山岩群主要为低角闪岩相至高绿片岩相变质的碎屑岩和碳酸盐岩岩系,根据其岩石组合特征,可分为3个岩组:底部一岩组以含富铝质特征

变质矿物的片岩、变粒岩为主,局部含少量片麻岩,主要可见十字二云石英片岩、十字堇青红柱片岩(图3a)、矽线黑云石英片岩(图3b)、蓝晶二云片岩、含十字石榴云母石英片岩、黑云斜长角闪变粒岩、斜长片麻岩等;二岩组主要为变质的碳酸盐岩和钙镁硅酸盐类变质岩,可见石英方解大理岩、含透闪石白云石大理岩、透辉方解大理岩、含黑云斜长大理岩以及透辉钾长变粒岩、透辉二长黑云片岩、钾长黑云方柱片岩、二长透辉岩等;上部三岩组以大段的含少量石榴石的石英岩为特征,偶夹石英片岩、透辉变粒岩等(图4)。局部夹脉状、透镜状斜长角闪岩。各岩组之间为整合接触。

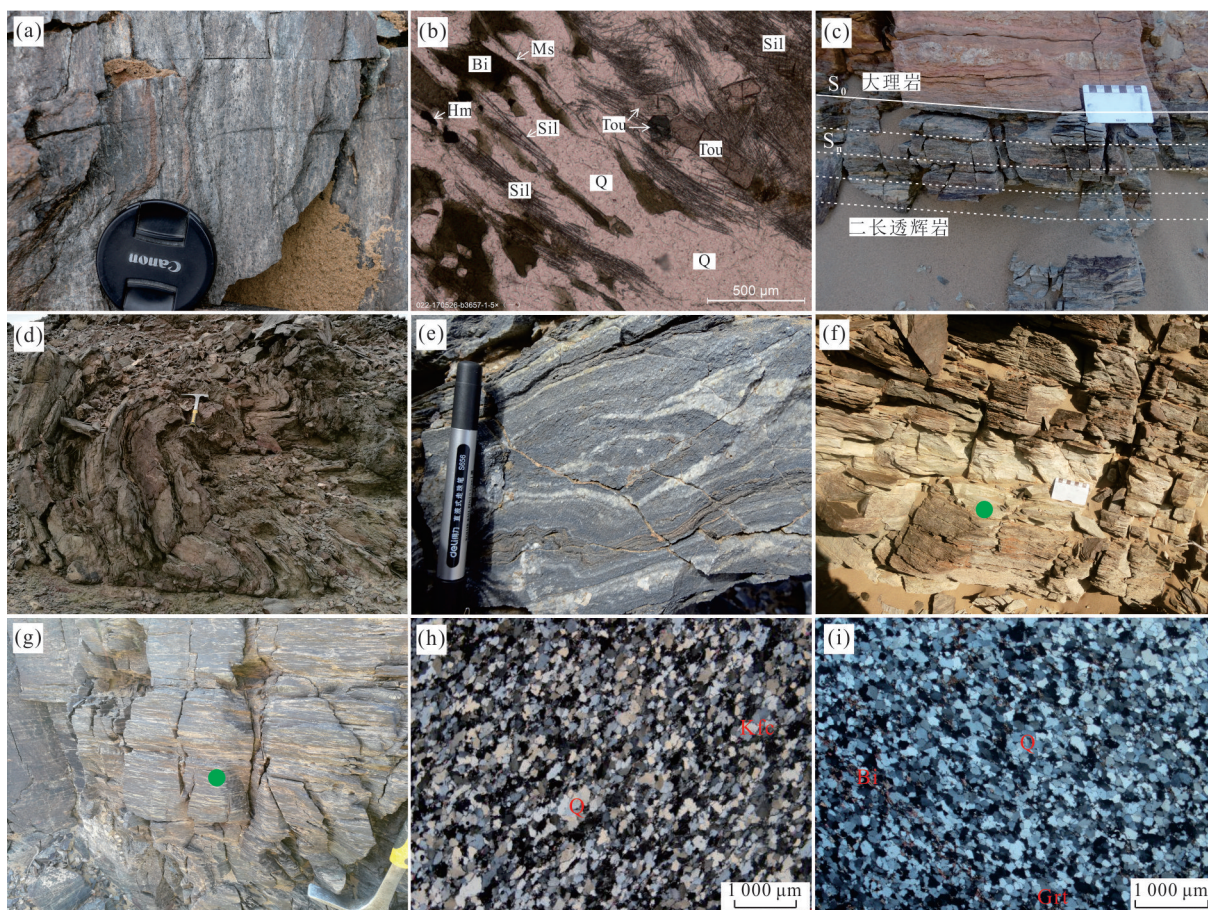


图3 北山岩群野外露头特征及显微镜下特征

Fig. 3 Field outcrop characteristics and microscopic characteristics of Beishan Group

a. 灰黑色十字堇青红柱岩野外露头特征,黑色斑点为十字石,白色斑点为红柱石,在片理面上可见高角度拉伸线理发育;b. 矽线黑云石英片岩单偏光显微镜下照片(Sil. 矽线石, Tou. 电气石, Q. 石英, Bi. 黑云母, Ms. 白云母),矽线石和白云母共生显示了低角闪岩相特征;c. 灰黑色二长透辉岩与粉色大理岩野外露头照片,可见二长透辉岩中的暗色条带代表的片理(S_0)与两者接触面代表的层理(S_1)平行;d. 北山岩群三岩组中云母石英片岩和石英岩中发育的平卧褶皱野外露头特征,照片方向西;e. 北山岩群二岩组方解大理岩中发育的碳酸盐岩脉形成的鞘褶皱(YZ面);f. 石英岩(PM27TW35)野外露头照片,次生面理发育,绿色圆点处为采样位置;g. 黑云石英岩(TW8016-1)野外露头照片,可见交面线理发育,绿色圆点处为采样位置;h. PM27TW35正交显微镜下照片(Q. 石英;Kfs. 钾长石);i. TW8016-1正交显微镜下照片(Q. 石英;Bi. 黑云母;Grt. 石榴子石)

2.2 变质变形特征

研究区的北山岩群变质岩类型丰富,可见泥质类、长英质类、钙质类、钙镁硅酸盐类和镁铁质变质岩类;变质矿物组合多样.根据变质岩石组合、变质矿物组合,结合野外地质特征和室内岩相学分析,研究区的北山岩群主要发生了低角闪岩相变质(如含十字蓝晶白云母片岩的变质矿物组合为:十字石+蓝晶石+白云母+黑云母+石英+斜长石;矽线黑云红柱片岩变质矿物组合为:红柱石+矽线石+黑云母+白云母+石英,图3b),局部达高角闪岩相变质(如透辉钾长变粒岩的变质矿物组合为钾长石+斜长石+石英+透辉石+透闪石+黑云母;含辉石钾长黑云片岩变质矿物组合为钾长石+斜

长石+单斜辉石+黑云母),部分变质矿物组合特征显示为高绿片岩相(含黑云石英岩、黑云变粒岩等),其变质等级应为高绿片岩相至低角闪岩相,局部达高角闪岩相.局部受中泥盆世二长花岗岩、花岗闪长岩以及晚三叠世二长花岗岩侵入影响,发育热接触变质作用.

岩石普遍发生强烈变形,片理、拉伸线理十分发育,片理已完全置换原始的层理,表现为层片一致(图3c),各岩组接触部位产状一致,未见明显不整合界面或断层迹象,为整合接触.受查黑林嘎顺复背斜影响,片理亦发生褶皱变形.受热穹窿伸展构造影响,局部可见平卧褶皱(图3d)、鞘褶皱(图3e)和南东向陡倾拉伸线理(图3a).

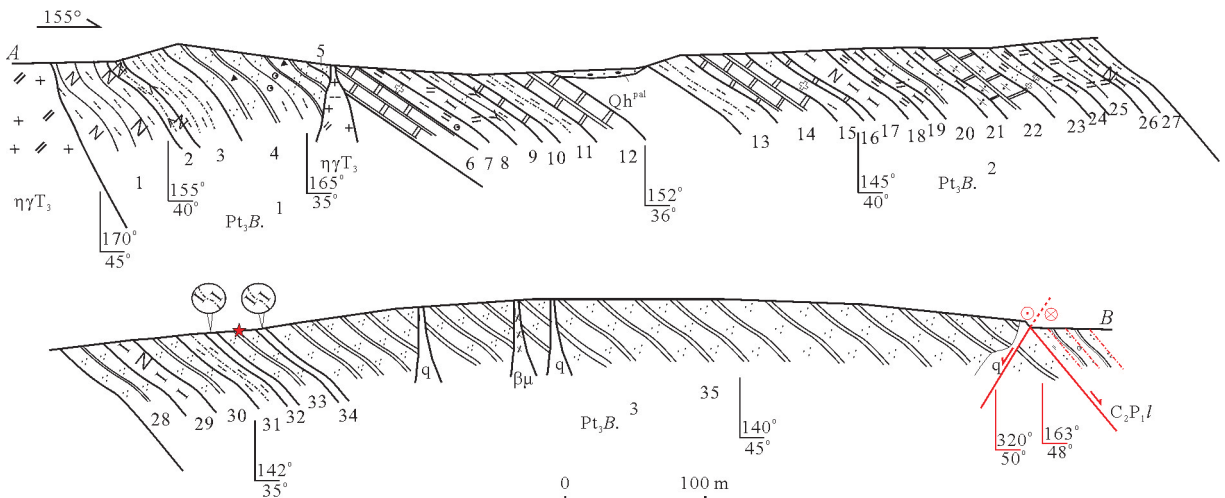


图4 北山岩群实测剖面图

Fig.4 The measured section of Beishan Group

剖面位置见图2,红星为石英岩(PM27TW35)采样层位,各层岩性内容见文内2.3节剖面描述

2.3 剖面特征

区内北山岩群主要呈北东东向沿背斜核部展布,南翼地层出露较全,以苏亥特高勒右沟东3 km的剖面PM27最为典型(图4).为方便区域地层对比,现将该剖面列述如下:

上覆:上石炭统一下二叠统绿条山组:灰黑色糜棱岩化含石榴石粉砂质板岩

——断层接触——

北山岩群三岩组: >404 m

35.青灰色含石榴子石石英岩(石英脉侵入) >305.4 m

34.灰绿色黑云透辉变粒岩 2.5 m

33.灰白色石英岩 20.2 m

32.灰绿色透闪透辉变粒岩 3.5 m

31.浅灰白色黑云变粒岩 13.9 m

30.青灰色长石石英岩 20.2 m

29.灰绿色含黑云透闪透辉变粒岩 15.2 m

28.青灰色石英岩 23.1 m

北山岩群二岩组: >262.1 m

27.灰黑色阳起黑云变粒岩 6.5 m

26.灰绿色斜长透辉岩 5.8 m

25.黑云二长变粒岩 18.5 m

24.灰绿色二长透辉岩 5.2 m

23.灰黑色含十字石二云绿帘石英片岩 14.9 m

22.乳白色含透闪白云石大理岩 22.0 m

21.灰绿色透辉透闪变粒岩 6.5 m

20.灰黑色片理化黑云石英岩夹灰绿色厚层二长透辉岩 19.5 m

19.灰绿色二长透辉岩 6.8 m

18.灰黑色二云片岩 6.8 m

17.灰绿色含方解长石透辉岩 20.3 m

16.灰白色白云石大理岩 2.5 m

15.灰黑色含黑云十字石英片岩 11.1 m

14.深灰色细晶大理岩 24.6 m

13.灰黑色黑云变粒岩,第四系洪冲积物覆盖 10.6 m

12.灰绿色方解大理岩 21.4 m

11.灰黑色黑云变粒岩 13.9 m

10.灰白色含石英大理岩 4.0 m

9.灰黑色砂线黑云片岩 14.2 m

8.灰绿色二长透辉岩 12.7 m

7.灰色石榴十字二云片岩 7.6 m

6.乳白色方解大理岩(二长花岗岩侵入) >6.1 m

北山岩群一岩组: >119.7 m

5.灰黑色含云母石英岩(二长花岗岩侵入) >5.3 m

4.含电气石英岩夹含石榴黑云石英片岩 55.7 m

3.浅灰绿色黑云变粒岩 28.1 m

2.浅灰绿色黑云斜长角闪变粒岩 3.5 m

1.灰绿色黑云长石片岩(二长花岗岩侵入,未见底) >27.1 m

3 同位素年代学

3.1 样品采集

本次工作在北山岩群三岩组中采集了石英岩(PM27TW35)和黑云石英岩(TW8016-1)两件样品.采样位置分别为41°56'38"N,102°25'15.38"E;41°54'29.85"N,102°18'58.14"E.

石英岩主要由石英(约85%)、长石(约10%)及少量的方解石和白云母组成.石英呈他形粒状,粒径为0.05~0.80 mm不等,镶嵌状分布,粒间呈齿状

接触,长轴略定向排列,表面干净,部分粒内可见波状、带状消光.长石多为钾长石,被高岭土轻微交代(图3f).

黑云石英岩由石英(约80%)、长石(<5%)、黑云母(约5%~10%)、绢云母(<5%)、石榴石(<5%)组成.石英和长石多已重结晶,呈他形粒状,呈粒间弯曲或不规则镶嵌状分布,部分可见三接点120°的三边镶嵌平衡结构,粒度一般0.05~0.40 mm,具方向性排列;长石主为斜长石,具绢云母化,黑云母、绢云母呈微鳞片状,片径一般<0.20 mm,部分似填隙状分布于长英质粒间,少部分集合体相对富集呈断续线痕状分布,定向排列,石榴石呈他形粒状,粒度一般0.1~0.3 mm,零散分布(图3g).

3.2 分析测试方法

锆石单矿物分选由河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成,在无污染设备中,先将样品进行机械粉碎至80~100 μm ,再经淘洗、重力及磁选分选出单矿物.锆石制靶及透反射光、阴极发光图像拍摄由北京锆年领航科技有限公司完成,在双目显微镜下挑选出晶形较完好、代表性较强的锆石与标准样一起放入环氧树脂中,待冷却固化后进行抛光,然后在阴极发光(CL)上拍摄锆石显微图像.根据锆石反射光、透射光与CL图像进行分析对比,以

避开锆石内部裂隙和包裹体为原则选择同位素测试点.

石英岩和黑云石英岩的U-Pb同位素LA-ICPMS测试工作分别在西安地质调查中心国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室和天津地质调查中心实验室完成.仪器参数和实验流程见李艳广等(2015)和Yuan *et al.*(2004);对分析数据的处理分别采用Glitter 4.4(Achterberg *et al.*, 2001)和ICPMSData程序(Liu *et al.*, 2008)完成;U-Pb年龄谐和图绘制和年龄直方图绘制采用Isoplot/Ex_ver 3(Ludwig, 2003)完成.

3.3 分析结果

两件样品的锆石多为无色,其形态以长椭圆状、次圆状为主,说明锆石经历了长距离的搬运,表现了碎屑锆石的特征.其长轴大小多为60~120 μm ,短轴多为40~75 μm ,长短轴比介于1.1:1~3:1.CL图像(图5)显示绝大多数锆石环带韵律明显,少部分呈不规则状.少数具有核-幔-边结构:核部环带较弱;幔部较宽,具有明显振荡环带;边部较窄,多小于10 μm .部分锆石发育裂纹,说明经历了后期强烈的应力作用.

两个样品共获得130个测点数据,其中PM27TW35获得数据84个(谐和数据79个),TW8016-1获得数据46个(谐和数据34个).测试数

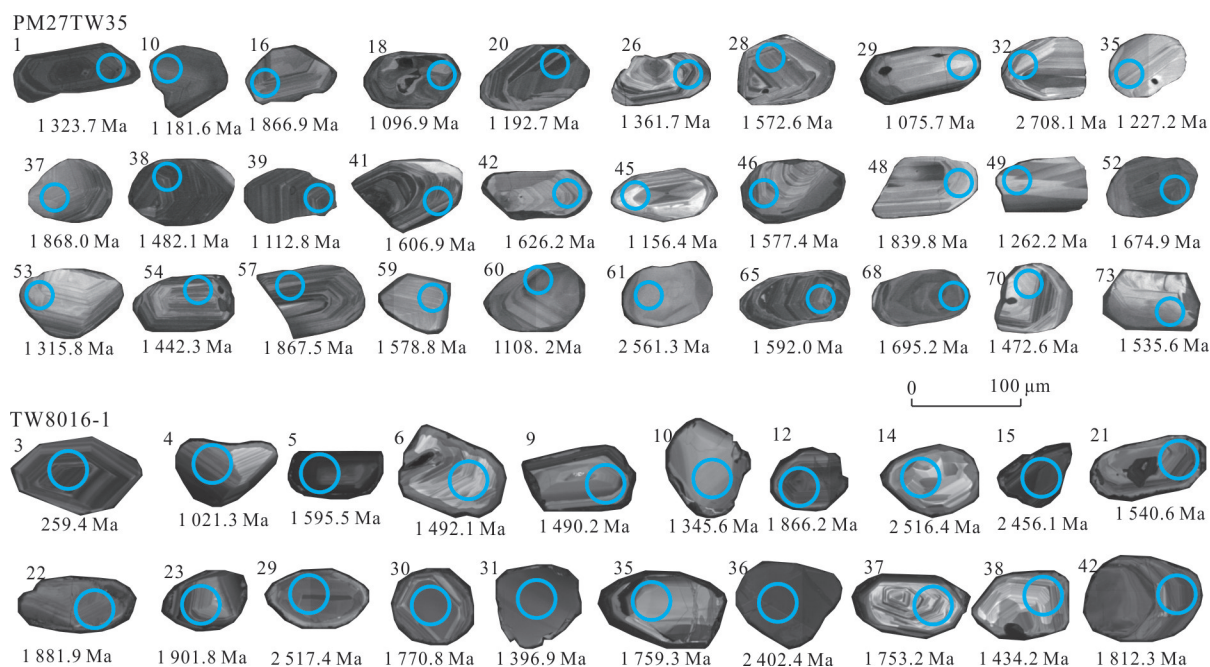


图5 北山岩群石英岩、黑云石英岩部分锆石阴极发光图像及测点位置年龄

Fig.5 Cathodoluminescence images of zircons from quartzite and biotite quartzite of Beishan Group and their ages at measuring points

据见附表 1. 两个样品的锆石 Th/U 值除 4 个 (PM27TW35 测点 21、-77、-84 及 TW8016-1 测点 44) <0.2 外, 其余均大于 0.2, 绝大多数测点 >0.4, 介于 0.21~1.75. 结合 CL 图像锆石振荡环带明显特征说明这些锆石具有岩浆锆石特征 (吴元保和郑永飞, 2004).

两个样品的年龄频谱如图 6 所示, 除少数几个测点 (PM27TW35 测点 30 和 38; TW8016-1 测点 1 和 29) 稍偏离谐和线外, 其他所有测点均落在谐和线上或其附近, 说明不存在明显的 Pb 丢失. 所有年龄数据大于 1 000 Ma 的均采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄, 小于 1 000 Ma 采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 (Black *et al.*, 2003). 所有测试数据中, 仅有一个测点年龄小于 1 000 Ma, 为 259.4 Ma, 其余测点均大于 1 000 Ma, 介于 1 075.7~2 708.1 Ma, 多集中在 1 100~1 900 Ma 之间.

PM27TW35 样品年龄范围较为离散, 具有

1 196 Ma (1 179.6~1 230.5 Ma, $n=10$)、1 320 Ma (1 301.2~1 334.4 Ma, $n=7$)、1 476 Ma (1 470.0~1 486.6 Ma, $n=6$) 和 1 610 Ma (1 564.6~1 593.2 Ma, $n=7$; 1 620.6~1 643.5 Ma, $n=6$) 4 个频率近一致的峰值, 1 610 Ma 峰值略高; 另外在 1 866 Ma (1 866.9~1 869.0 Ma, $n=3$) 有一个相对较弱的峰值 (图 6a, 6b).

TW8016-1 样品年龄则具有 1 753 Ma (1 734.7~1 771.2 Ma, $n=9$) 一个主峰值和 1 544 Ma (1 532.0~1 553.5 Ma, $n=3$)、1 881 Ma (1 866.2~1 901.8 Ma, $n=5$) 两个较高的峰值, 在 2 517 Ma 和 1 409 Ma 也有峰值显示 (图 6c, 6d).

两个样品中均存在新太古代锆石年龄信息, 主要集中在 2 700 Ma 和 2 500 Ma 附近, 另有少量的古元古代早期年龄信息. 259.4 Ma 的年龄信息, 结合 CL 图像中环带清晰 (图 5) 以及透、反射光中显示的清晰的棱角状特征, 其可能为晚二叠世的脉体成因

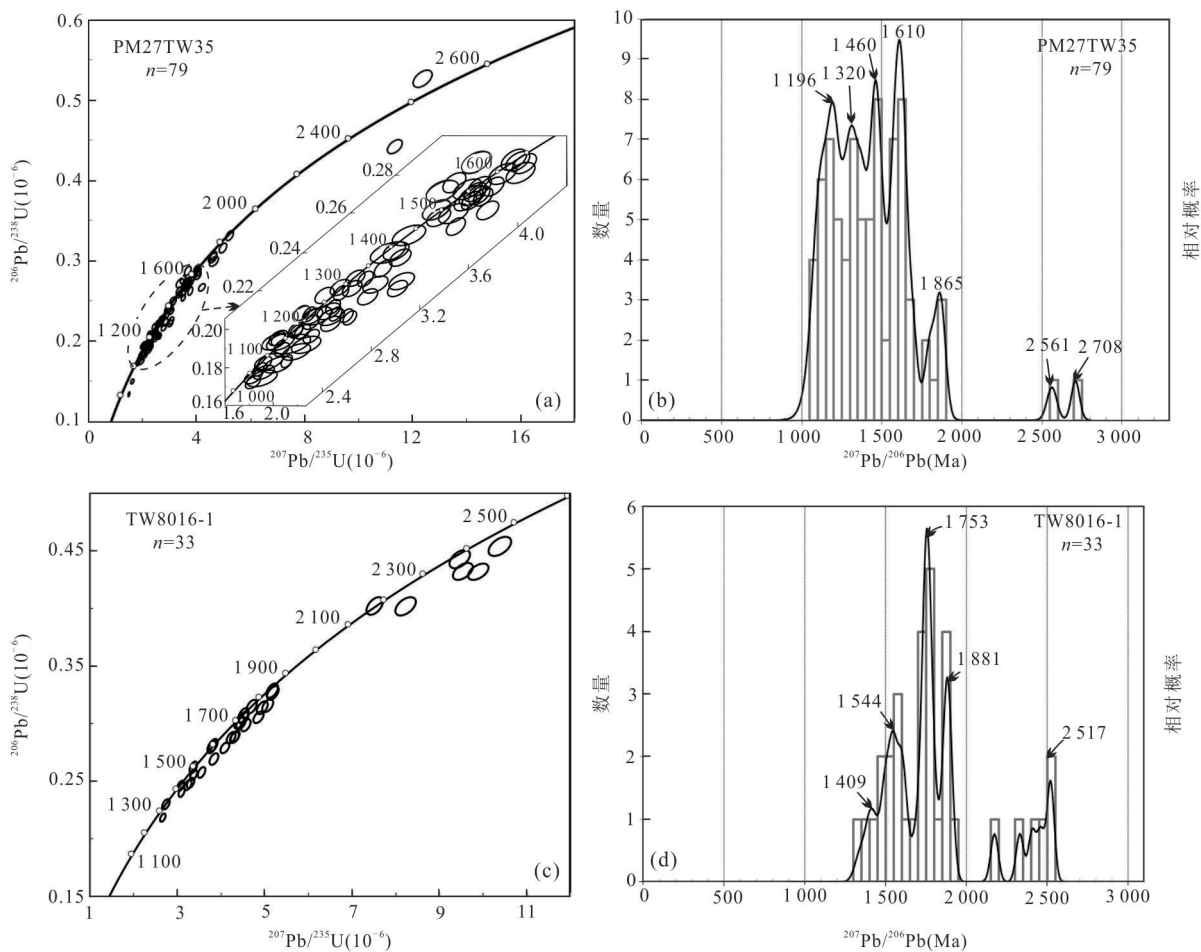


图 6 北山岩群石英岩、黑云石英岩锆石年龄谐和图 (a, c) 及年龄直方图 (b, d)
Fig. 6 Zircon age concordia diagrams (a, c) and age histograms (b, d) of quartzite and biotite quartzite

的锆石混入。

4 讨论

4.1 年龄讨论

近年来,LA-ICP-MS法进行锆石U-Pb测年得到了广泛应用,得到了一批较为可信的北山岩群测年数据。徐旭明等(2018)在标山地区北山岩群中的石英岩获得碎屑锆石年龄为 $1\,782\sim 3\,302\text{ Ma}$ ($n=112$),张正平等(2017)在标山地区北山岩群中的斜长角闪岩(原岩为基性脉岩)中获得锆石加权平均年龄为 $1\,623\pm 21\text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=2.9$, $n=14$),从而限定标山地区的北山岩群形成年龄为 $1\,623\sim 1\,782\text{ Ma}$ (徐旭明等, 2018);范志伟(2015)在东七一山的石英岩中获得北山岩群碎屑锆石年龄为 $1\,301\sim 2\,769\text{ Ma}$ ($n=64$);杨富林等(2016)在风雷山获得石英岩碎屑锆石核部年龄为 $921\sim 3\,011\text{ Ma}$,主要峰值年龄为 $1\,329\text{ Ma}$,认为该区的北山岩群年龄不早于 921 Ma 。不难发现,前人报道的北山岩群既有古元古代晚期成岩年龄,亦有中新元古代最早成岩年龄。本次工作获得的晚二叠世锆石形态呈棱角状,不似碎屑锆石具有磨圆较好的特征,可能为后期其他成因的锆石混入其中。结合 Song *et al.* (2021)在本区所测试的显生宙碎屑锆石均具有古生代峰值特征,而该样品只有一个古生代年龄,不具有统计学意义,可排除该测点所指示的最大成岩年龄为晚二叠世的可能。而且若为 259 Ma 之后成岩,其变质变形与其他古生代地层不相符。故此认为,本区北山岩群的最大成岩年龄应为 $1\,076\text{ Ma}$ 。

4.2 地层对比

研究区发育的这套中级变质岩系,原1:20万区域地质调查将其厘定为上二叠统下岩组,然而经野外调查其岩石组合和变质变形特征明显有别于本区二叠系地层,可与区域上的北山岩群进行对比。岩石组合方面,一岩组以石英片岩、云母片岩、变粒岩为主,夹少量斜长片麻岩,原岩主要为含长石、石英等矿物的砂岩;二岩组为变质的碳酸盐岩和钙镁硅酸盐变质岩,原岩主要为灰岩、白云岩和泥灰岩、砂质灰岩等;三岩组则以石英岩为主,原岩为纯净的石英砂岩;局部夹透镜状、脉状斜长角闪岩,指示原岩可能为基性脉岩。这套岩石组合以变质碎屑岩、碳酸盐岩等为主,代表了被动大陆边缘滨浅海沉积环境,其岩石组合与北山岩群定义(李文国, 1996)基本相同。与内蒙古北山中带标山地区的北

山岩群(张正平等, 2017;徐旭明等, 2018)相比:本区一岩组的片岩、变粒岩组合可与标山地区的第三岩组对比;二岩组可与标山地区的第四岩组硅化大理岩对比。与北山中带风雷山地区的北山岩群(杨富林等, 2016)相比,其二岩组含矽线石榴石黑云片岩可与本区的一岩组相对比,不同的是所夹的斜长角闪岩在本区厚度较薄、呈透镜状产出;其三岩组的白云石大理岩可与本区的二岩组对比。与内蒙古北山中带的东七一山地区的北山岩群(范志伟, 2015)相比,其下部的黑云角闪斜长片麻岩、黑云斜长变粒岩在本区的一岩组中均有出露,其中所夹的透镜状大理岩可与本区的二岩组对比,上部的厚层石英岩、黑云石英岩等可与本区的北山岩群三岩组对比,岩石组合和层位等较为吻合。

变质方面,前人将北山造山带内变质程度较高、达到高绿片岩相的岩石均划入“北山杂岩”(周海等(2018)),李文国(1996)指出北山岩群为中低级变质。本区的这套副变质岩系发生了低角闪岩相—高绿片岩相变质,其变质等级和变质类型与区域上其他地区的北山岩群(赵如意等, 2011;范志伟, 2015;杨富林等, 2016;张正平等, 2017;徐旭明等, 2018)亦相同。变形方面,该套变质岩系主要是片理面的褶皱变形,明显区别于本区古生代地层层理褶皱特征,表明其形成的构造层次更深。在其次生面理上多见陡倾的拉伸线理亦区别于古生代地质体。

4.3 亲缘性探讨

碎屑锆石对于探讨理解源区构造演化历史和基底亲缘性都具有重要意义(Andersen, 2005;Cawood *et al.*, 2012;Gehrels, 2014)。我们选取了Chen *et al.*(2019)在珠斯楞海尔罕地区所采的以前寒武纪年龄为主的碎屑锆石一同分析本区的碎屑锆石频谱特征(图7a)。雅干南部地区的碎屑锆石年龄主要集中于 $\sim 1.1\sim 1.9\text{ Ga}$,主峰值为中元古代($\sim 1.45\text{ Ga}$),在早元古代晚期($\sim 1.8\sim 1.6\text{ Ga}$)和中元古代晚期($\sim 1.07\sim 1.20\text{ Ga}$)峰值较弱,新元古早期($\sim 0.9\text{ Ga}$)和晚太古代晚期($\sim 2.7\text{ Ga}$ 、 $\sim 2.5\text{ Ga}$)也有较弱的峰值出现(图7a)。其中, 1.4 Ga 的岩浆活动在研究区周边的北山南带、阿拉善地块北缘以及中天山和锡林浩特地块均有发现,认为是Nuna(Columbia)超大陆由挤压到伸展的转换时期(Yuan *et al.*, 2019及其中的参考文献)。早元古晚期($\sim 1.8\sim 1.6\text{ Ga}$)的峰值可能与Columbia超大陆汇

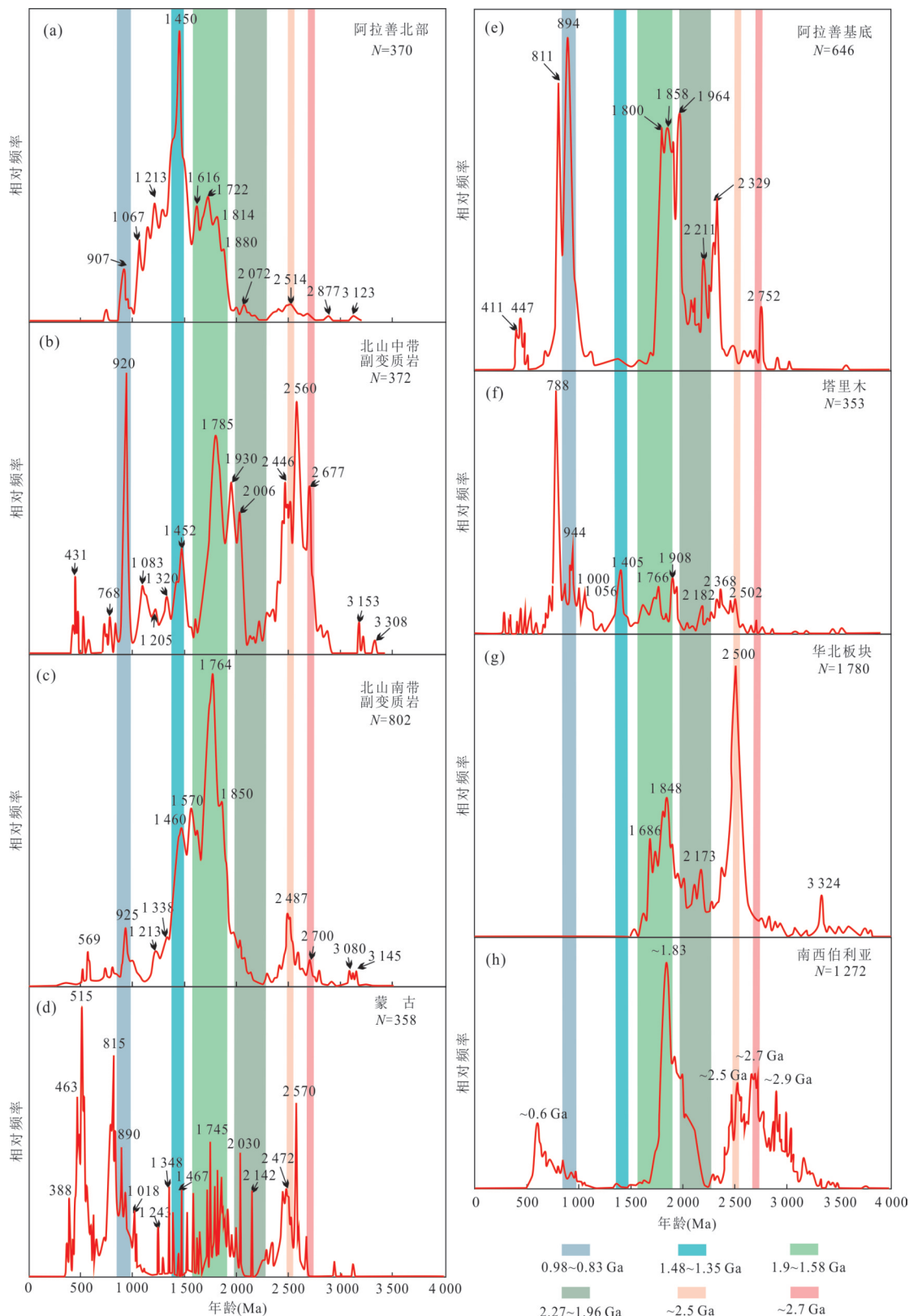


图 7 雅干南部地区前寒武纪副变质岩年龄频谱(a)与临近地块、板块年龄频谱(b-h)对比图

Fig. 7 The age spectrum of Beishan Group in Yagan area (a) comparing with that of adjacent blocks /plates (b-h)

图 a 据本文和 Chen *et al.* (2019); 图 b 和 c 北山造山带分带以牛圈子—洗肠井以及红石山百合山两条蛇绿构造混杂岩带进行划分, 所有数据均为碎屑锆石年龄, 图 b 据 Song *et al.* (2013c)、周海等 (2018)、Ao *et al.* (2016)、徐旭明等 (2018)、杨富林等 (2016)、范志伟 (2015), 图 c 数据据 Ao *et al.* (2016)、Song *et al.* (2013c)、余吉远等 (2018)、程海峰等 (2017)、Zheng *et al.* (2018) 等; 图 d、f 和 g 据 Rojas-Agramonte *et al.* (2011); 图 e 据张进等 (2012); 图 h 据 Wang *et al.* (2020)

聚有关(Zhao *et al.*, 2004; Rogers and Santosh, 2009);中元古代晚期($\sim 1.20 \sim 1.07$ Ga)以及新元古代早期(~ 0.9 Ga)的年龄峰值可能与Rodinia超大陆汇聚有关(Li *et al.*, 2008).而晚太古代的微弱峰值(~ 2.5 Ga和 ~ 2.7 Ga)在世界范围内的古老克拉通里均有踪可寻(Condie *et al.*, 2009).

前人认为雅干和珠斯楞—杭乌拉弧是北山造山带的东延(王廷印等, 1994; Wu *et al.*, 1998; Liu *et al.*, 2019).故此,本文重点将本区与北山造山带进行对比.而北山造山带是否具有相同的前寒武基底还存在争议(代双儿, 2001; 代文军和谈松, 2008; Song *et al.*, 2013a; 牛文超等, 2019).为此,我们以牛圈子—洗肠井、红石山—百合山两条蛇绿混杂岩带为界,分别与代表马鬃山微陆块的北山中带和代表敦煌地块北缘的北山南带(辛后田等, 2020)进行对比.所选取的对比数据主体为前寒武时期的碎屑锆石年龄.通过对比,无论在北山中带(图7b)或北山南带(图7c),晚太古代晚期(~ 2.7 Ga和 ~ 2.5 Ga)、早元古代晚期(~ 1.7 Ga、 ~ 1.9 Ga)、中元古代(~ 1.45 Ga、 ~ 1.3 Ga、 ~ 1.2 Ga)、新元古代早期(~ 0.9 Ga)等峰值均可与本区对比,但相对频率有所差异.值得注意的是,北山中带和北山南带两者的碎屑锆石峰值多处一致,暗示两者可能具有一致的前寒武纪结晶基底.张振法等(1997)认为阿拉善北部与北山地区具有一致的负磁场异常和高重力背景,且具有与华北克拉通相似的地壳电性结构和地壳层速度结构,认为阿拉善—敦煌是在前寒武纪就已形成陆壳的刚性块体.我们推测雅干地区的微陆块可能与北山地区的微陆块具有相同的结晶基底,或为统一大陆的不同残片.

与蒙古地块(图7d)的年龄峰值进行对比,两者在中元古代末期之前多数峰值相似,指示了两者具有相近的演化历程,这可能指示两者物源相同,与北山造山带类似,经历了晚太古至中元古末期相似的构造热事件.

王廷印等(1994)认为前寒武纪时期本区属塔里木古陆的一部分.通过对比,本区与塔里木(图7f)主要在晚太古晚期(~ 2.5 Ga)、早元古代晚期(~ 1.9 Ga和 ~ 1.7 Ga)峰值大致相同,在中元古代仅有一个1405 Ma的较弱峰值,但中元古代的其他峰值差异较大,与其亲缘性较弱.而且,Chen *et al.* (2019)根据珠斯楞海拉尔地区的Hf同位素特征认为本区与塔里木地块的亲缘性较差.

与阿拉善基底(图7e)、华北板块(图7g)、南西伯利亚(图7h)等相比,则因本区富集中元古代年龄峰值在这些古陆块中均无显现,所以可以排除与他们的亲缘性.值得说明的是在阿拉善地块北缘的宗乃山—沙拉扎山造山带,却有本区峰值年龄实体出露,表现出与阿拉善地块截然不同的特点,暗示二者之间的巴丹吉林断裂带可能是分割两个一级构造单元的边界,这也得到了Zhang *et al.* (2015)的印证.

通过以上对比,雅干地区北山岩群与阿拉善地块、塔里木、华北和西伯利亚等古陆块亲缘性较差,与北山地区的微陆块、蒙古地块具有相近的源区,结合重磁场证据,可能与后两者源自一个统一陆块.

4.4 地质意义

多年来,阿拉善北部地区普遍认为是北山造山带的东延(王廷印等, 1994; Wu *et al.*, 1998; Liu *et al.*, 2019),但各构造带与北山造山带何带进行对比还尚未有定论.例如,关于雅干断裂的西延还存在争议:吴泰然和何国琦(1993)认为雅干断裂带应与白云山—洗肠井蛇绿构造混杂岩带相对比,而潘桂棠和肖庆辉(2015)、邵积东等(2011)认为雅干断裂带可与红石山—百合山蛇绿构造混杂岩带相连.本次在雅干断裂带南发现了北山岩群,其岩石组合、变质变形和形成时代、碎屑锆石峰值年龄可与北山中带的标山、风雷山、东七一山的北山岩群对比,印证了珠斯楞—杭乌拉构造带与北山中带具有相同的前寒武纪变质基底.而雅干构造带以北的洪古尔吉乌拉早中生代岛弧带、呼仍巴斯克早石炭世弧后盆地等可与北山北带的雀儿山—圆包山早中生代岛弧带、黑鹰山晚古生代弧后盆地(图1b)相对比.这可能暗示了雅干断裂带在构造分区意义上可与红石山—百合山蛇绿混杂岩带相对比,但遗憾的是雅干断裂带至今尚无蛇绿岩残留证据,两处四地的具体岩石组合、形成时代、物质组成及形成环境等详细对比还需要进一步研究.

5 结论

(1)通过岩石组合、变质变形、碎屑锆石同位素年龄限定了雅干南部少木尚德地区原划上二叠统地层中发育的一套低角闪岩相变质陆源碎屑岩和碳酸盐岩组合为北山岩群,其碎屑锆石最小年龄即最大沉积年龄为1075.7 Ma.

(2)通过碎屑锆石峰值对比,雅干地区与北山

地区、蒙古地块具有相近的源区,很可能与北山地区源自一个统一陆块。

(3)雅干南部地区北山岩群的发现证实了阿拉善北部珠斯楞—杭乌拉构造带与北山中带具有相同的前寒武基底,间接证明了雅干构造带与红石山—百合山蛇绿构造混杂岩带构造分化意义上可对比,但两地四处具体对比有待进一步工作。

致谢:感谢中国地质调查局天津地质调查中心谷永昌、辛后田教授级高级工程师、中国地质大学(北京)王根厚教授在野外指导期间提供的建设性意见。感谢两位审稿人的中肯意见,为本文增色不少。感谢中国地质调查局西安地质调查中心实验室的靳梦琪、汪双双老师和中国地质调查局天津地质调查中心实验室的涂家润老师对实验分析和数据处理提供的指导和帮助。

附表见本刊官网(<http://www.earth-science.net>)。

References

- Achterberg, E.V., Ryan, C.G., Jackson, S.E., et al., 2001. Data Reduction Software for LA-ICP-MS. *Laser Ablation ICP-MS in the Earth Science*, 29:239–243.
- Andersen, T., 2005. Detrital Zircons as Tracers of Sedimentary Provenance: Limiting Conditions from Statistics and Numerical Simulation. *Chemical Geology*, 216(3–4): 249–270. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.11.013>
- Ao, S.J., Xiao, W.J., Windley, B.F., et al., 2016. Paleozoic Accretionary Orogenesis in the Eastern Beishan Orogen: Constraints from Zircon U-Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology. *Gondwana Research*, 30: 224–235. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.03.004>
- Black, L.P., Kamo, S.L., Williams, I.S., et al., 2003. The Application of SHRIMP to Phanerozoic Geochronology; A Critical Appraisal of Four Zircon Standards. *Chemical Geology*, 200(1/2): 171–188. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(03\)00166-9](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(03)00166-9)
- Cawood, P.A., Hawkesworth, C.J., Dhuime, B., 2012. Detrital Zircon Record and Tectonic Setting. *Geology*, 40(10): 875–878. <https://doi.org/10.1130/g32945.1>
- Chen, Y., Wu, T.R., Gan, L.S., et al., 2019. Provenance of the Early to Mid-Paleozoic Sediments in the Northern Alxa Area: Implications for Tectonic Evolution of the Southwestern Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research*, 67: 115–130. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2018.10.017>
- Chen, Z.B., Yu, Y., Bo, H.J., 2020. Geochemical Characteristics and Geological Significance of the Ordovician Volcanic Rock in Ejiana, Inner Mongolia. *Earth Science*, 45(2): 503–518(in Chinese with English abstract).
- Cheng, H.F., Xu, X.M., Liu, G., et al., 2017. LA-ICP-MS U-Pb Geochronology of Detrital Zircons from the Gudongjing Complex-Group in Pantuoshan Area of Beishan Region within Inner Mongolia during Changchengian Period and Its Geological Significance. *Geological Bulletin of China*, 36(8): 1385–1392(in Chinese with English abstract).
- Condie, K.C., Belousova, E., Griffin, W.L., et al., 2009. Granitoid Events in Space and Time: Constraints from Igneous and Detrital Zircon Age Spectra. *Gondwana Research*, 15(3/4): 228–242. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2008.06.001>
- Dai, S.E., 2001. The Evolution of Plate Tectonic and Its Copper and Multi-Metal Metallogenic Series in Beishan Region. *Journal of Lanzhou University*, 37(6): 112–120 (in Chinese with English abstract).
- Dai, W.J., Tan, S., 2008. The Properties and Tectonic Significance of Ophiolite and Related Volcanic Rocks in Gansu Beishan Yemajie-Mazongshan Structural Belt. *Xinjiang Geology*, 26(3): 305–313(in Chinese with English abstract).
- Dang, B., Zhao, H., Lin, G.C., et al., 2013. Petrogenesis and Tectonic Significance of Carboniferous Volcanic Rocks in Northern Alxa and Its Neighboring Areas, Inner Mongolia, China. *Earth Science*, 38(5): 963–974(in Chinese with English abstract).
- Fan, Z.W., 2015. Formation Period of Quartzite of Beishan Group in Ejina Banner, Inner Mongolia—LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating Evidence. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 30(4): 575–581(in Chinese with English abstract).
- Gehrels, G., 2014. Detrital Zircon U-Pb Geochronology Applied to Tectonics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 42(1): 127–149. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-050212-124012>
- He, Z.Y., Sun, L.X., Mao, L.J., et al., 2015. Zircon U-Pb and Hf Isotopic Study of Gneiss and Granodiorite from the Southern Beishan Orogenic Collage: Mesoproterozoic Magmatism and Crustal Growth. *Chinese Science Bulletin*, 60(4): 389–399(in Chinese).
- Jahn, B.M., 2004. The Central Asian Orogenic Belt and Growth of the Continental Crust in the Phanerozoic. *Geological Society, London, Special Publications*, 226(1): 73–100. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.2004.226.01.05>

- Jiang, H. Y., He, Z. Y., Zong, K. Q., et al., 2013. Zircon U-Pb Dating and Hf Isotopic Studies on the Beishan Complex in the Southern Beishan Orogenic Belt. *Acta Petrologica Sinica*, 29(11): 3949—3967(in Chinese with English abstract).
- Kröner, A., Demoux, A., Zack, T., et al., 2011. Zircon Ages for a Felsic Volcanic Rock and Arc-Related Early Palaeozoic Sediments on the Margin of the Baydrag Microcontinent, Central Asian Orogenic Belt, Mongolia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(5): 1008—1017. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2010.09.002>
- Kröner, A., Kovach, V., Alexeev, D., et al., 2017. No Excessive Crustal Growth in the Central Asian Orogenic Belt: Further Evidence from Field Relationships and Isotopic Data. *Gondwana Research*, 50: 135—166. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.04.006>
- Li, W. G., 1996. Stratigraphy (Lithostratic) of Nei Mongol Autonomous Region. China University of Geosciences Press, Wuhan, 64—65 (in Chinese).
- Li, Y. G., Wang, S. S., Liu, M. W., et al., 2015. U-Pb Dating Study of Baddeleyite by LA-ICP-MS: Technique and Application. *Acta Geologica Sinica*, 89(12): 2400—2418 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z. X., Bogdanova, S. V., Collins, A. S., et al., 2008. Assembly, Configuration, and Break-up History of Rodinia: A Synthesis. *Precambrian Research*, 160(1/2): 179—210. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.04.021>
- Liu, Q., Zhao, G. C., Han, Y. G., et al., 2018. Geochronology and Geochemistry of Paleozoic to Mesozoic Granitoids in Western Inner Mongolia, China: Implications for the Tectonic Evolution of the Southern Central Asian Orogenic Belt. *The Journal of Geology*, 126(4): 451—471. <https://doi.org/10.1086/697690>
- Liu, Q., Zhao, G. C., Han, Y. G., et al., 2019. Timing of the Final Closure of the Middle Segment of the Paleo-Asian Ocean: Insights from Geochronology and Geochemistry of Carboniferous-Triassic Volcanosedimentary Successions in Western Inner Mongolia, China. *GSA Bulletin*, 131(5/6): 941—965. <https://doi.org/10.1130/b32023.1>
- Liu, Q., Zhao, G. C., Sun, M., et al., 2015. Ages and Tectonic Implications of Neoproterozoic Ortho- and Paragneisses in the Beishan Orogenic Belt, China. *Precambrian Research*, 266: 551—578. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.05.022>
- Liu, Y. S., Hu, Z. C., Gao, S., et al., 2008. In Situ Analysis of Major and Trace Elements of Anhydrous Minerals by LA-ICP-MS without Applying an Internal Standard. *Chemical Geology*, 257(1/2): 34—43. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.08.004>
- Ludwig, K. R., 2003. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Berkeley, California.
- Mei, H. L., Li, H. M., Lu, S. N., et al., 1999. The Age and Origin of the Liuyuan Granitoid, Northwestern Gansu. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 18(1): 14—17(in Chinese with English abstract).
- Mei, H. L., Yu, H. F., Li, Q., et al., 1998. The First Discovery of Eclogite and Palaeoproterozoic Granitoids in the Beishan Area, Northwestern Gansu Province, China. *Chinese Science Bulletin*, 43(19): 2105—2111 (in Chinese).
- Niu, W. C., Ren, B. F., Ren, Y. W., et al., 2019. Neoproterozoic Magmatic Records in the North Beishan Orogenic Belt: Evidence of the Gneissic Granites from the Hazhu Area, Inner Mongolia. *Earth Science*, 44(1): 284—297 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G. T., Xiao, Q. H., 2015. Instructions of China Tectonics Map. Geological Publishing House, Beijing, 57—58(in Chinese).
- Rogers, J. J. W., Santosh, M., 2009. Tectonics and Surface Effects of the Supercontinent Columbia. *Gondwana Research*, 15(3/4): 373—380. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2008.06.008>
- Rojas-Agramonte, Y., Kröner, A., Demoux, A., et al., 2011. 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*, 19(3): 751—763. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2010.10.004>
- Şengör, A. M. C., Natal'in, B. A., Burtman, V. S., 1993. Evolution of the Altaid Tectonic Collage and Palaeozoic Crustal Growth in Eurasia. *Nature*, 364(6435): 299—307. <https://doi.org/10.1038/364299a0>
- Shao, J. D., Wang, H., Zhang, M., et al., 2001. The Division of Tectonic Units in Inner Mongolia and Its Geological Characteristics. *Western Resources*, (2): 51—56(in Chinese).
- Shi, X. J., Zhang, L., Zhang, C. G., et al., 2020. Zircon Geochronology and Geochemistry of the Granitoids in Yagan Area, Northern Alxa and Their Tectonic Implications. *Earth Science*, 45(7): 2469—2484(in Chinese with English abstract).
- Song, D. F., Xiao, W. J., Han, C. M., et al., 2013a. Progressive Accretionary Tectonics of the Beishan Orogenic Collage, Southern Altai: Insights from Zircon U-Pb and Hf Isotopic Data of High-Grade Complexes. *Precambrian*

- an Research*, 227: 368–388. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.06.011>
- Song, D.F., Xiao, W.J., Han, C.M., et al., 2013b. Geochronological and Geochemical Study of Gneiss-Schist Complexes and Associated Granitoids, Beishan Orogen, Southern Altaids. *International Geology Review*, 55 (14): 1705–1727. <https://doi.org/10.1080/00206814.2013.792515>
- Song, D.F., Xiao, W.J., Han, C.M., et al., 2013c. Provenance of Metasedimentary Rocks from the Beishan Orogenic Collage, Southern Altaids: Constraints from Detrital Zircon U-Pb and Hf Isotopic Data. *Gondwana Research*, 24(3/4): 1127–1151. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.02.002>
- Song, D.F., Xiao, W.J., Windley, B.F., et al., 2015. A Paleozoic Japan-Type Subduction-Acretion System in the Beishan Orogenic Collage, Southern Central Asian Orogenic Belt. *Lithos*, 224/225: 195–213. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.03.005>
- Song, D.F., Xiao, W.J., Windley, B.F., et al., 2016. Metamorphic Complexes in Accretionary Orogens: Insights from the Beishan Collage, Southern Central Asian Orogenic Belt. *Tectonophysics*, 688: 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.09.012>
- Song, D.F., Xiao, W.J., Windley, B.F., et al., 2020. Carboniferous to Early Triassic Magmatism and Accretion in Alxa (NW China): Implications for Accretionary Orogenesis of the Southern Altaids. *Journal of the Geological Society*, 177(5): 997–1012. <https://doi.org/10.1144/jgs2020-046>
- Song, D.F., Xiao, W.J., Windley, B.F., et al., 2021. Provenance and Tectonic Setting of Late Paleozoic Sedimentary Rocks from the Alxa Tectonic Belt (NW China): Implications for Accretionary Tectonics of the Southern Central Asian Orogenic Belt. *GSA Bulletin*, 133(1–2): 253–276. <https://doi.org/10.1130/b35652.1>
- Sun, X.C., Zhang, H.J., Wei, Z.J., et al., 2005. Time of Definition and Geological Meaning for Metamorphic Intrusive Rock Body in Xiaohongshan Region, Beishan Area of Gansu and Inner Mongolia. *Northwestern Geology*, 38(3): 61–67(in Chinese with English abstract).
- Wang, P., Zhao, G.C., Liu, Q., et al., 2020. Zircons from the Tarim Basement Provide Insights into Its Positions in Columbia and Rodinia Supercontinents. *Precambrian Research*, 341: 105621. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105621>
- Wang, T., Zheng, Y.D., Gehrels, G.E., et al., 2001. Geochronological Evidence for Existence of South Mongolian Microcontinent: A Zircon U-Pb Age of Grantoid Gneisses from the Yagan-Onch Hayr-Han Metamorphic Core Complex. *Chinese Science Bulletin*, 46(23): 2005–2008. <https://doi.org/10.1007/BF02901917>
- Wang, T.Y., Gao, J.P., Wang, J.R., et al., 1998. Magmatism of Collisional and Post-Orogenic Period in Northern Alaxa Region in Inner Mongolia. *Acta Geologica Sinica*, 72(2): 126–137(in Chinese with English abstract).
- Wang, T.Y., Liu, J.K., Wang, S.Z., et al., 1993a. Late Paleozoic Extension and Tectonomagmatic Evolution in the Sino-Mongolia Border Region in the Northern Part of Alxa. *Regional Geology of China*, 12(4): 317–327(in Chinese with English abstract).
- Wang, T.Y., Wang, J.R., Liu, J.K., et al., 1993b. Relationships between the North China and Tarim Plates. *Acta Geologica Sinica*, 67(4): 287–300, 387(in Chinese with English abstract).
- Wang, T.Y., Wang, J.R., Wang, S.Z., 1992. Discovery of the Engger Us Ophiolite Mélange Zone in North Alxa and Its Tectonic Significances. *Journal of Lanzhou University*, 28(2): 194–196(in Chinese).
- Wang, T.Y., Wang, S.Z., Wang, J.R., 1994. The Formation and Evolution of Paleozoic Continental Crust in Alxa Region. Publishing House of Lanzhou University, Lanzhou (in Chinese).
- Wei, X.P., Gong, Q.S., Liang, M.H., et al., 2000. Metamorphic-Deformational and Evolutionary Characteristics of Pre-Changcheng Dunhuang Terrain Occurring on Mazongshan Upwelling Area. *Acta Geologica Gansu*, 9(1): 36–43(in Chinese with English abstract).
- Windley, B.F., Alexeiev, D., Xiao, W.J., et al., 2007. Tectonic Models for Accretion of the Central Asian Orogenic Belt. *Journal of the Geological Society*, 164(1): 31–47. <https://doi.org/10.1144/0016-76492006-022>
- Wu, T.R., He, G.Q., 1992. Ophiolitic Melange Belts in the Northern Margin of the Alashan Block. *Geoscience*, 6 (3): 286–296(in Chinese with English abstract).
- Wu, T.R., He, G.Q., 1993. Tectonic Units and Their Fundamental Characteristics on the Northern Margin of the Alxa Block. *Acta Geologica Sinica*, 67(2): 97–108(in Chinese with English abstract).
- Wu, T.R., He, G.Q., Zhang, C., 1998. On Palaeozoic Tectonics in the Alxa Region, Inner Mongolia, China. *Acta Geologica Sinica*, 72(3): 256–263. <https://doi.org/10.1111/j.1755-6724.1998.tb00402.x>
- Wu, Y.B., Zheng, Y.F., 2004. Genesis of Zircon and Its Constraints on Interpretation of U-Pb Age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589–1604(in Chinese).

- Xiao, W.J., Mao, Q.G., Windley, B.F., et al., 2010. Paleozoic Multiple Accretionary and Collisional Processes of the Beishan Orogenic Collage. *American Journal of Science*, 310(10): 1553—1594. <https://doi.org/10.2475/10.2010.12>
- Xiao, W.J., Santosh, M., 2014. The Western Central Asian Orogenic Belt: A Window to Accretionary Orogenesis and Continental Growth. *Gondwana Research*, 25(4): 1429—1444. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.01.008>
- Xin, H.T., Niu, W.C., Tian, J., et al., 2020. Spatio-Temporal Structure of Beishan Orogenic Belt and Evolution of Paleo-Asian Ocean, Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 39(9): 1297—1316 (in Chinese with English abstract).
- Xu, X.M., Cheng, H.F., Duan, B.X., et al., 2018. The LA-ICP-MS U-Pb Geochronology of Detrital Zircons from Quartzite in the Beishan Complex-Group in Biaoshan Area in Beishan Region during Changchengian Period and Its Geologic Significance. *Xinjiang Geology*, 36(3): 393—398 (in Chinese with English abstract).
- Yang, F.L., Zhao, Z.X., Jia, W.Y., et al., 2016. Discussion on the Forming Age of the Beishan Group in the Beishan Area, Inner Mongolia. *Geological Survey and Research*, 39(2): 89—94 (in Chinese with English abstract).
- Ye, X.F., Zong, K.Q., Zhang, Z.M., et al., 2013. Geochemistry of Neoproterozoic Granite in Liuyuan Area of Southern Beishan Orogenic Belt and Its Geological Significance. *Geological Bulletin of China*, 32(2): 307—317 (in Chinese with English abstract).
- Yu, J.Y., Ji, B., Guo, L., et al., 2018. Geological Characteristics and Age Determination of the Palaeoproterozoic Gudongjing Group Complex in the Beishan Mountain, Gansu Province. *Geological Bulletin of China*, 37(4): 704—715 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, H.L., Gao, S., Liu, X.M., et al., 2004. Accurate U-Pb Age and Trace Element Determinations of Zircon by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28(3): 353—370. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908x.2004.tb00755.x>
- Yuan, Y., Zong, K.Q., Cawood, P.A., et al., 2019. Implication of Mesoproterozoic (~1.4 Ga) Magmatism within Microcontinents along the Southern Central Asian Orogenic Belt. *Precambrian Research*, 327: 314—326. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2019.03.014>
- Yuan, Y., Zong, K.Q., He, Z.Y., et al., 2015. Geochemical and Geochronological Evidence for a Former Early Neoproterozoic Microcontinent in the South Beishan Orogenic Belt, Southernmost Central Asian Orogenic Belt. *Precambrian Research*, 266: 409—424. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.05.034>
- Zhang, J., Li, J.Y., Liu, J.F., 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. *Acta Petrologica Sinica*, 28(9): 2912—2934 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J.J., Wang, T., Zhang, L., et al., 2015. Tracking Deep Crust by Zircon Xenocrysts within Igneous Rocks from the Northern Alxa, China: Constraints on the Southern Boundary of the Central Asian Orogenic Belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 108: 150—169. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.04.019>
- Zhang, W., Pease, V., Meng, Q.P., et al., 2016. Discovery of a Neoproterozoic Granite in the Northern Alxa Region, NW China: Its Age, Petrogenesis and Tectonic Significance. *Geological Magazine*, 153(3): 512—523. <https://doi.org/10.1017/S0016756815000631>
- Zhang, W., Pease, V., Meng, Q.P., et al., 2017. Age and Petrogenesis of Late Paleozoic Granites from the Northernmost Alxa Region, Northwest China, and Implications for the Tectonic Evolution of the Region. *International Journal of Earth Sciences*, 106(1): 79—96. <https://doi.org/10.1007/s00531-016-1297-0>
- Zhang, Z.F., Li, C.Y., Niu, Y.Z., 1997. Role, Significance, Characteristics and Range of Alashan-Dunhuang Land Block. *Geology of Inner Mongolia*, 85(2): 1—14 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z.P., Duan, B.X., Meng, Q.T., et al., 2017. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Amphibolites of the Beishan Group in the Beishan Area, Inner Mongolia and Its Geological Significance. *Geology and Exploration*, 53(6): 1129—1139 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, G.C., Sun, M., Wilde, S.A., et al., 2004. A Paleo-Mesoproterozoic Supercontinent: Assembly, Growth and Breakup. *Earth-Science Reviews*, 67(1—2): 91—123. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.02.003>
- Zhao, R.Y., Hu, N.G., Chen, Y.J., et al., 2011. Geology Characteristics and Tectonic Setting of Beishan Group in Heishanliang Area, in Ruoqiang County of Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 29(4): 398—402 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, X.C., Liu, C.Y., Wang, J.Q., et al., 2020. Geochemistry, Geochronology and Hf Isotope of Granitoids in the Northern Alxa Region: Implications for the Late Paleozoic Tectonic Evolution of the Central Asian Orogenic

- Belt. *Geoscience Frontiers*, 11(5): 1711–1725. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.01.009>
- Zheng, R. G., Li, J. Y., Xiao, W. J., et al., 2018. Nature and Provenance of the Beishan Complex, Southernmost Central Asian Orogenic Belt. *International Journal of Earth Sciences*, 107(2): 729–755. <https://doi.org/10.1007/s00531-017-1525-2>
- Zheng R. G., Li J. Y., Zhang J., et al., 2021. A Prolonged Subduction-Accretion in the Southern Central Asian Orogenic Belt: Insights from Anatomy and Tectonic Affinity for the Beishan Complex. *Gondwana Research*, 95: 88–112. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.02.022>
- Zheng, R. G., Wu, T. R., Zhang, W., et al., 2013. Geochronology and Geochemistry of the Yagan Granite in the Northern Margin of the Alxa Block: Constraints on the Tectonic Evolution of the Southern Altaids. *Acta Petrologica Sinica*, 29(8): 2665–2675 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, H., Chen, L., Sun, Y., 2018. Zircon U-Pb Chronology and Hf Isotopic Study on the Mesoproterozoic Metasedimentary Rocks: Insight into the Evolution of Precambrian Materials in the South Section of Beishan Orogen. *Acta Geologica Sinica*, 92(5): 928–945 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, J. B., Wilde, S. A., Zhao, G. C., et al., 2018. Nature and Assembly of Microcontinental Blocks within the Paleo-Asian Ocean. *Earth-Science Reviews*, 186: 76–93. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.01.012>
- Zhou, Y. Z., Han, B. F., Xu, Z., et al., 2013. The Age of the Proterozoic Rocks in Yingba Area in Western Inner Mongolia: Constraints on the Distribution of the South Gobi Micro-Continent in the Central Asian Orogenic Belt. *Geological Bulletin of China*, 32(Z1): 318–326 (in Chinese with English abstract).
- Zuo, G. C., Feng, Y. Z., Liu, C. Y., et al., 1992. Old Continental Crust Feature of Pro-Terozoic Era and Crust Type of Early Palaeozoic Era in Gansu-Menggu Beishan Area and Easten Xinjiang Tianshan Mts. *Acta Geologica Gansu*, 1(1): 55–67 (in Chinese with English abstract).
- Zuo, G. C., He, G. Q., 1990. Beishan Plate Tectonics and Metallogenic Regularity. Peking University Press, Beijing, 13–15 (in Chinese).
- 附中文参考文献
- 陈智斌, 于洋, 薄海军, 2020. 内蒙古额济纳地区奥陶纪火山岩地球化学特征及其地质意义. *地球科学*, 45(2): 503–518.
- 程海峰, 徐旭明, 刘广, 等, 2017. 内蒙古北山地区盘陀山一带长城纪古铜井群碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义. *地质通报*, 36(8): 1385–1392.
- 代双儿, 2001. 甘蒙北山地区板块构造演化与铜多金属矿成矿系列研究. *兰州大学学报*, 37(6): 112–120.
- 代文军, 谈松, 2008. 甘肃北山野马街—马鬃山构造带蛇绿岩与相关火山岩性质及构造意义. *新疆地质*, 26(3): 305–313.
- 党犇, 赵虹, 林广春, 等, 2013. 阿拉善北部地区石炭纪火山岩岩石成因及构造意义. *地球科学*, 38(5): 963–974.
- 范志伟, 2015. 内蒙古额济纳旗北山岩群中石英岩岩组形成时代: LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年的证据. *地质找矿论丛*, 30(4): 575–581.
- 贺振宇, 孙立新, 毛玲娟, 等, 2015. 北山造山带南部片麻岩和花岗闪长岩的锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素: 中元古代的岩浆作用与地壳生长. *科学通报*, 60(4): 389–399.
- 姜洪颖, 贺振宇, 宗克清, 等, 2013. 北山造山带南缘北山杂岩的锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素研究. *岩石学报*, 29(11): 3949–3967.
- 李文国, 1996. 内蒙古自治区岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 李艳广, 汪双双, 刘民武, 等, 2015. 斜锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年方法及应用. *地质学报*, 89(12): 2400–2418.
- 梅华林, 李惠民, 陆松年, 等, 1999. 甘肃柳园地区花岗质岩石时代及成因. *岩石矿物学杂志*, 18(1): 14–17.
- 梅华林, 于海峰, 李铨, 等, 1998. 甘肃北山地区首次发现榴辉岩和古元古花岗质岩石. *科学通报*, 43(19): 2105–2111.
- 牛文超, 任邦方, 任云伟, 等, 2019. 北山北带新元古代岩浆记录: 来自内蒙古哈珠地区片麻状花岗岩的证据. *地球科学*, 44(1): 284–297.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 2015. 全国重要矿产成矿地质背景研究系列: 中国大地构造图(1:2 500 000). 北京: 地质出版社.
- 邵积东, 王惠, 张梅, 等, 2011. 内蒙古大地构造单元划分及其地质特征. *西部资源*, (2): 51–56.
- 史兴俊, 张磊, 张辰光, 等, 2020. 阿拉善北部亚干地区花岗岩锆石年代学、地球化学特征及其构造意义. *地球科学*, 45(7): 2469–2484.
- 孙新春, 张红军, 魏志军, 等, 2005. 甘蒙北山地区小红山一带变质侵入岩体的时代厘定及其地质意义. *西北地质*, 38(3): 61–67.
- 王廷印, 高军平, 王金荣, 等, 1998. 内蒙古阿拉善北部地区碰撞期和后造山期岩浆作用. *地质学报*, 72(2): 126–137.
- 王廷印, 王金荣, 刘金坤, 等, 1993b. 华北板块和塔里木板块之关系. *地质学报*, 67(4): 287–300, 387.
- 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. *中国区域地质*, 12(4): 317–327.
- 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. 兰州大学学报, 28(2): 194—196.
- 王廷印, 王士政, 王金荣, 1994. 阿拉善地区古生代陆壳的形成和演化. 兰州: 兰州大学出版社.
- 魏学平, 龚全胜, 梁明宏, 等, 2000. 马鬃山隆起区前长城系敦煌岩群变质变形和演化特征. 甘肃地质学报, 9(1): 36—43.
- 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. 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. 地质学报, 67(2): 97—108.
- 吴元保, 郑永飞, 2004. 锆石成因矿物学研究及其对U-Pb年龄解释的制约. 科学通报, 49(16): 1589—1604.
- 辛后田, 牛文超, 田健, 等, 2020. 内蒙古北山造山带时空结构与古亚洲洋演化. 地质通报, 39(9): 1297—1316.
- 徐旭明, 程海峰, 段炳鑫, 等, 2018. 内蒙古北山地区标山一带北山岩群长石石英岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义. 新疆地质, 36(3): 393—398.
- 杨富林, 赵志雄, 贾文艳, 等, 2016. 内蒙古北山地区北山岩群形成时代探讨. 地质调查与研究, 39(2): 89—94.
- 叶晓峰, 宗克清, 张泽明, 等, 2013. 北山造山带南缘柳园地区新元古代花岗岩的地球化学特征及其地质意义. 地质通报, 32(2): 307—317.
- 余吉远, 计波, 过磊, 等, 2018. 甘肃北山地区古铜井群地质特征与时代厘定. 地质通报, 37(4): 704—715.
- 张进, 李锦轶, 刘建峰, 等, 2012. 早古生代阿拉善地块与华北地块之间的关系: 来自阿拉善东缘中奥陶统碎屑锆石的信息. 岩石学报, 28(9): 2912—2934.
- 张振法, 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. 内蒙古地质, 85(2): 1—14.
- 张正平, 段炳鑫, 孟庆涛, 等, 2017. 内蒙古北山地区北山岩群斜长角闪岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义. 地质与勘探, 53(6): 1129—1139.
- 赵如意, 胡能高, 陈云杰, 等, 2011. 新疆若羌县黑山梁地区北山岩群地质特征及构造环境. 新疆地质, 29(4): 398—402.
- 郑荣国, 吴泰然, 张文, 等, 2013. 阿拉善地块北缘雅干花岗岩体地球化学、地质年代学及其对区域构造演化制约. 岩石学报, 29(8): 2665—2675.
- 周海, 陈亮, 孙勇, 2018. 北山造山带南带中元古代副变质岩的锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素研究: 对北山造山带南带前寒武纪物质演化的探索. 地质学报, 92(5): 928—945.
- 周印章, 韩宝福, 徐钊, 等, 2013. 中蒙边界英巴地区元古宙杂岩的时代及其对南戈壁微陆块分布范围的限定. 地质通报, 32(Z1): 318—326.
- 左国朝, 冯永忠, 刘春燕, 等, 1992. 甘蒙北山—东疆天山元古代古陆壳特征及其早古生代地壳类型. 甘肃地质学报, 1(1): 55—67.
- 左国朝, 何国琦, 1990. 中国北方板块构造丛书: 北山板块构造及成矿规律. 北京: 北京大学出版社.