

文章编号:1004-4116(2021)02-0023-07

阿拉善地块南缘古生代花岗岩类研究进展

于 锴,武 磊,王二腾,郭志昂,王 赞,王金荣

(兰州大学地质科学与矿产资源学院,甘肃省西部矿产资源重点实验室,甘肃 兰州 730000)

摘 要:阿拉善地块处于华北克拉通、塔里木克拉通和祁连造山带的交汇处,其南缘古生代花岗岩广泛分布。结合近年来阿拉善南缘古生代花岗岩研究成果,从锆石U-Pb年代学和地球化学等方面进行分析总结,认为阿拉善南缘早古生代花岗岩主要受控于祁连造山带的构造演化,其岩浆活动可分为两期,中奥陶世—早志留世和中志留世—早泥盆世,前者处于俯冲环境,后者为后碰撞伸展环境;晚古生代花岗岩仅零星出露于龙首山地区,岩石地球化学特征与宗乃山—沙拉扎山构造带花岗岩相似,与中亚造山带的构造演化相关。并对目前研究中存在的问题和未来研究的方向提出了建议。

关键词:阿拉善南缘;古生代;花岗岩类;岩浆成因;构造演化

中图分类号:P588.12

文献标志码:A

威尔逊造山旋回理论^[1]中指出,形成花岗岩的构造环境可大致分为3种,一是在大陆地壳裂解形成大洋过程中产生的非造山花岗岩类,二是大洋开始闭合阶段沿大陆边缘弧形成岩浆弧内的钙碱性花岗岩类,三是形成于碰撞加厚或后造山伸展滑塌过程中陆壳间花岗岩类。不同时期形成的花岗岩具有不同的岩石组合和成因类型,通过对它们的研究我们可以探讨造山带形成的深部动力学过程。阿拉善地块处于中亚造山带和祁连造山带之间,其广泛发育的古生代花岗岩是研究祁连造山带和祁连造山带构造演化的重要载体,由于其特殊的地理构造位置,多年来阿拉善地块的地质构造演化一直是国内外研究的重点和热点,但关于其区内花岗岩岩浆来源、岩浆演化和构造环境仍争议不断,本文就上述问题简要介绍近年来阿拉善南缘花岗岩研究进展^[2-5]。

1 地质概况

阿拉善地块是华北克拉通的西延,北邻中亚造山带,南接北祁连造山带,呈倒三角型位于华北克拉通,中亚造山带和祁连造山带之中。其北侧持续受到古亚洲大洋的俯冲,直至晚古生代晚期形成了世界上最大的增生型造山带;西南缘早古生代受到北祁

连洋的俯冲,形成祁连造山带;东南缘晚古生代经历了与华北板块的碰撞拼合事件^[6-9]。因不同时间的构造事件相互叠加,阿拉善地区岩浆岩极为发育,成因复杂,且伴随岩浆岩产出大量的矿产资源。

阿拉善地块南缘位于北祁连造山带与阿拉善地块的结合部^[10],广泛出露各时期花岗岩,其中以古生代花岗岩最为发育^[11]。依据此处花岗岩时空分布特征可划分为3个带^[3,12-14](图1),分别为分布在北祁连北缘断裂带之北的莲花山—冷龙岭花岗岩(南带),时代主要为早古生代,部分为中—新元古代;龙首山岩带(中带),时代主要为中—新元古代和早古生代,少量晚古生代;北大山—阿拉善右旗花岗岩带(北带),时代主要为元古宙和晚古生代组成。莲花山古生代花岗岩侵位于寒武纪大黄山群,岩体呈椭圆状,岩性以花岗闪长岩为主,中细粒花岗结构,块状构造。岩性变化不大,相对均一;龙首山中—新元古代花岗岩侵位于元古代龙首山岩群、墩子沟岩群和韩母山岩群之中,岩性以斜长花岗岩、二长花岗岩为主,此外还发育有花岗闪长岩,钾长花岗岩,多呈块状构造,花岗结构,局部岩体可见发育似斑状结构。岩体多呈长条状岩株、岩基,走向与区域构造线一致;北大山古生代花岗岩侵位于前震旦纪北大山群,总体形态表现为呈近东西向展布的岩基,岩性以英

收稿日期:2021-02-06

作者简介:于锴(1997~),男,甘肃平凉人,兰州大学在读硕士研究生,从事岩石圈演化与成矿研究。E-mail:yuk18@lzu.edu

云闪长岩,石英闪长岩,花岗闪长岩为主,局部出露少量二长花岗岩,正长花岗岩^[8,12-14]。由于龙首山地区古生代花岗岩中发育有交代岩型铀矿床^[15-16],因此前人大量研究也多集中于此。

2 构造环境

阿拉善地块南缘古生代岩浆活动大致可分为奥陶纪—泥盆纪和石炭纪—二叠纪两大阶段,大多数研究者认为石炭纪—二叠纪岩浆活动主要受控于中亚造山带南缘的构造演化,奥陶纪—泥盆纪岩浆活动主要受控于祁连山造山带的构造演化,与北祁连洋的俯冲密切相关^[17-19]。

古生代祁连造山带经历了复杂的构造演化,目前关于北祁连洋的俯冲极性仍存在较大争议,夏林圻等^[20]、许志琴等^[21]认为北祁连洋盆向北持续俯冲;左国朝等^[22]认为存在双向俯冲;还有一部分学者认为北祁连洋先向南俯冲,之后发生极性转变从而向北俯冲,如吴才来等^[23-24]、秦海鹏^[25]等。但关于北祁连洋盆的初始闭合时间在晚奥陶世末期(~ 440 Ma)均无较大争议^[14,25]。Song等^[26]对北祁连出露的蛇绿岩、变质岩以及侵入岩进行了综合研究,认为北祁连洋存在向北俯冲,进一步将北祁连岩浆作用分为大洋俯冲阶段(520 ~ 490 Ma),弧后盆地发展(490 ~ 440 Ma),洋壳闭合(~ 440 Ma)及碰撞后阶段。在中奥陶世—早志留世初期,阿拉善地块南缘出露的花岗岩以钙碱性—高钾钙碱性 I 型花岗岩为主^[27-29],岩石地球化学特征均显示出富集轻稀土和大离子亲石元素,亏损高场强元素,具有明显的 Nb、Ta 负异常,但无明显的 Zr、Hf 异常。这些特征表明在奥陶纪—早志留世初期阿拉善南缘的岩浆作用受俯冲环境影响。宫江华、张建新等^[4]对龙首山地区晚奥陶世出露的不同岩石组合进行 Sr、Nd 同位素研究,发现

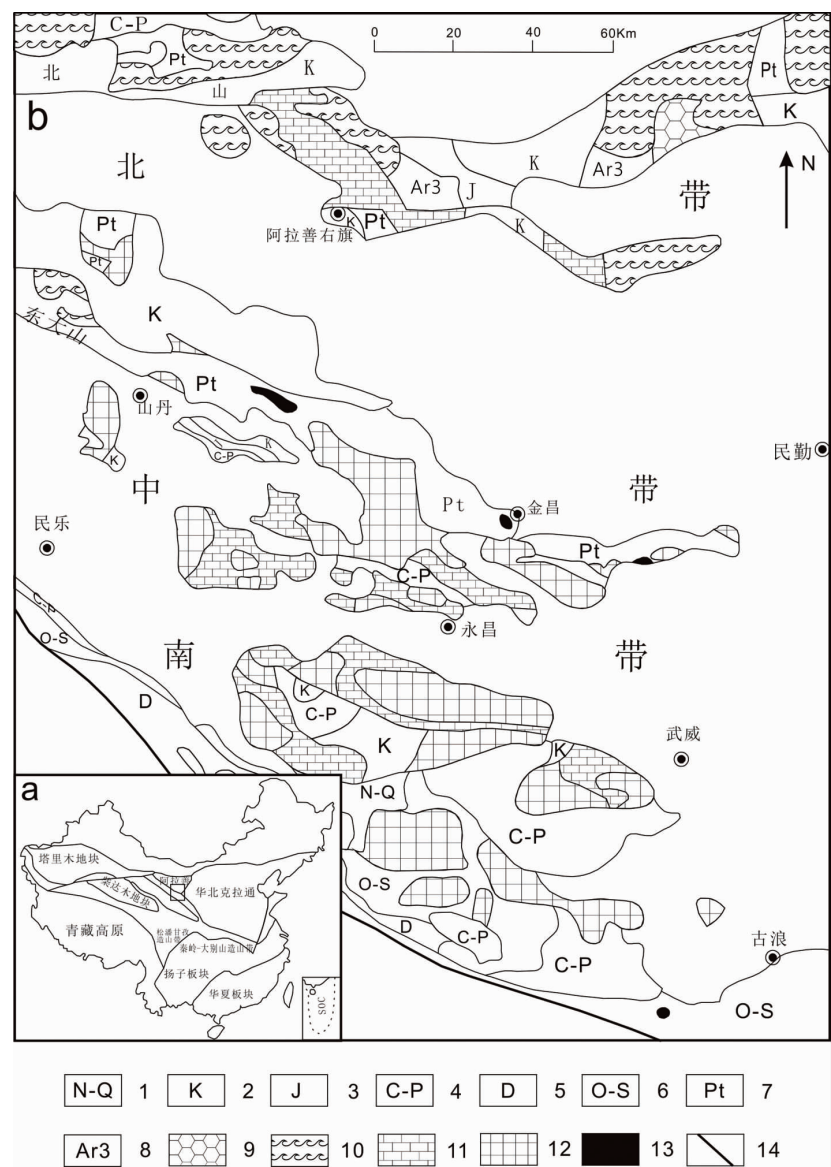


图 1 阿拉善南缘地质简图

Fig. 1 Geological map of the southern margin of Alxa area

1—第三—第四系;2—白垩系;3—侏罗系;4—石炭—二叠系;5—泥盆系;6—奥陶系—志留系;
7—元古宇;8—上太古界;9—中生代花岗岩;10—晚古生代花岗岩;11—新元古代花岗岩;
12—早古生代花岗岩;13—古—中元古代超镁铁质岩;14—北祁连北缘断裂带

其分析结果与北祁连同期岩浆岩一致,进一步说明龙首山地区晚奥陶世—泥盆纪岩浆岩与祁连造山事件相关。到中志留世—早泥盆世期间,阿拉善南缘以中酸性花岗岩为主,表现为钙碱性—高钾钙碱性—钾玄岩系列和铝质 A2 型花岗岩同时代产出。其岩浆源区 Sr-Nd 同位素表现为富集特征,指示岩浆来源为早—中元古代地壳物质的部分熔融^[5]。根据王增振、陈宣华等^[5]研究,阿拉善南缘中志留世—早泥盆世花岗岩类型为弧花岗岩、同碰撞花岗岩、板内花岗岩和后碰撞花岗岩,指示后碰撞伸展环境。笔者对

表 1 阿拉善南缘到北祁连地区花岗岩年龄分布情况

Table 1 Age distribution of granite from the southern margin of Alxa to Qilian

位 置	岩 性	年龄(Ma)	测试方法	参考文献
北大山	花岗岩	408 ± 3	LA-ICP-MS	Zhou et al.,2016
北大山	二长花岗岩	411 ± 3	LA-ICP-MS	Zhou et al.,2016
芨 岭	花岗岩	437 ± 5	LA-ICP-MS	陈云杰等,2015
苏海图	花岗闪长岩	450 ± 3	LA-ICP-MS	Liu et al.,2016
苏海图	石英闪长岩	407 ± 3	LA-ICP-MS	Liu et al.,2016
巴彦努如	二长花岗岩	443 ± 3	LA-ICP-MS	Liu et al.,2016
金佛寺	花岗岩	424 ± 3	SHRIMP	吴才来等,2010
牛心山	花岗岩	477 ± 7	SHRIMP	Wu et al.,2011
民乐窑沟	花岗闪长岩	463 ± 5	SHRIMP	Wu et al.,2011
西格拉	花岗闪长岩	466 ± 7	LA-ICP-MS	秦海鹏等,2014
西格拉	花岗闪长岩	443 ± 5	LA-ICP-MS	秦海鹏等,2014
西格拉	花岗岩	457 ± 2	LA-ICP-MS	Yu et al.,2015
大佛寺	花岗岩	426 ± 2	LA-ICP-MS	王增振等,2020
张家窑	花岗闪长岩	406 ± 4	LA-ICP-MS	王增振等,2020
青山堡	花岗岩	441 ± 4	LA-ICP-MS	刘文恒等,2019
莲花山	花岗闪长岩	441 ± 4	LA-ICP-MS	张丽琪等,2019
河西堡	花岗岩	444 ± 2	LA-ICP-MS	魏俏巧等,2013

阿拉善南缘到北祁连早古生代的花岗岩锆石年龄做以统计分析(表 1),我们可以发现在中志留世存在 ~ 10 Ma 岩浆活动静默期,王增振等^[5]认为阿拉善南缘早古生代岩浆活动分为两期,分别为中奥陶世—早志留世初期和中志留世—早泥盆世,并在中奥陶世—早志留世初期处于俯冲环境,中志留世—早泥盆世处于后碰撞伸展环境,受控于祁连造山带的构造演化。Pitcher 等^[30]、Bonin 等^[31]认为,同碰撞阶段板块汇聚造成的强烈挤压环境不利于岩浆的形成、上升和侵位,这恰好与上述观点不谋而合,证明早志留世—中志留世期间阿拉善南缘处于同碰撞阶段。

晚古生代阿拉善南缘岩浆活动相对较弱,主要分布在北大山地区,从空间分布上看,北大山北部岩浆活动集中在石炭纪到二叠纪,岩性以花岗岩,石英闪长岩,花岗闪长岩,二长花岗岩,黑云母花岗岩为主。北大山南部岩浆活动主要集中在奥陶纪到志留纪,以酸性侵入岩为主,伴有少量二叠纪基性侵入岩,岩性主要为石英闪长岩,二长花岗岩,二者存在明显差异^[8,12]。且石炭纪—二叠纪期间祁连造山运动早已结束,由此可见,北大山北侧石炭纪—二叠纪期间岩浆活动与中亚造山带有关。据史兴俊等^[32]、Liu 等^[33]研究,宗乃山—沙拉扎构造带中花岗岩主要形成于晚石炭世到早三叠世初期,锆石 Hf 同位素和全岩 Nd 同位素表现为亏损的特征;霍雨佳^[12]对北大山北侧花岗岩进行分析,得到了与之相似的结果。史

兴俊等^[32]、Zhang 等^[34-35]认为北大山北部和宗乃山—沙拉扎山地区的古生代中酸性侵入岩的源区以新生地壳物质为主,与中亚造山带内发育的古生代中酸性侵入岩相似,表明此阶段阿拉善南缘岩浆活动主要受中亚造山带影响。

3 岩浆成因

花岗岩主要发育于造山带及其边缘,是大陆地壳的重要组成部分。对花岗岩成因及岩浆源区的探讨有助于理解该地区大地构造演化和动力学背景。在花岗岩分类上,不同学者从不同角度对花岗岩提出了十余种分类方案,但目前主要为人们所接受的分类方案是以岩浆源区性质为划分依据的 I 型、S 型花岗岩^[36-37],以及后来广受关注的 A 型、M 型花岗岩^[38-42]。A 型花岗岩反映特定的构造环境,指形成于非造山环境中无水的碱性花岗岩^[43]。Eby^[44]将 A 型花岗岩进一步划分为 A₁ 和 A₂ 两个亚类,A₁ 型指源区以地幔为主,地球化学性质与洋岛玄武岩相似,产生于大陆裂谷、地幔热柱、热点等非造山环境;A₂ 型指物质来源以地壳为主,且与陆—陆碰撞或者岛弧岩浆作用有关,反映后碰撞环境。I 型花岗岩是由未发生地表风化作用的岩浆岩发生部分熔融作用形成的,通常被认为是在岛弧或活动大陆边缘环境下生成,是岩石圈板块俯冲、消减和碰撞的场所^[45]。据不

同学者研究,阿拉善南缘早古生代花岗岩主要以 A 型花岗岩和 I 型花岗岩为主。孙宝璐等^[46]、王增振等^[5]测得龙首山西段大佛寺花岗岩为 A 型花岗岩 (~ 426 Ma), 表现为高硅, 富碱, 贫 CaO 和 MgO, HREE 含量较高且呈平坦型, 具有强烈的 Eu 和 Sr 负异常, 表明部分熔融残留中斜长石稳定存在而石榴石缺失, 二阶段 Nd 模式年龄约 1 500 Ma, $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值为负。一般来说, $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值以 0 为界, 正值代表岩浆来源于亏损地幔, 负值代表岩浆来源于地壳或富集地幔^[47]。因此, 大佛寺花岗岩可能源于中元古代地壳物质的高温缺水部分熔融^[46]; 张家窑花岗岩属于高钾钙碱性 I 型花岗岩, 表现为 Nd、Ta 负异常, Zr、Hf 正异常, Nb/U 比值较低, 指示壳源成因, 岩浆来源可能为中元古代地壳物质的部分熔融^[5]。刘文恒等^[28]对龙首山青山堡花岗岩 (~ 441 Ma) 进行研究, 认为青山堡花岗岩类岩浆应起源于古元古代龙首山群古老基底地壳物质的重熔, 但也有部分地幔物质的贡献。张丽琪^[14]、秦海鹏^[25]等测得莲花山岩体花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄为 ~ 440 Ma, 时代为晚奥陶世—早志留世。莲花山花岗闪长岩具有高 Sr、低 Y 和 Yb, 相对较高的 K₂O 含量; Cr、Ni 和 MgO 含量较低, 这些地球化学特征表明莲花山岩体 (~ 441 Ma) 可能形成于陆—陆碰撞造山阶段后期, 可能形成于加厚的下地壳部分熔融^[14]。熊子良、张宏飞等^[27-28]对冷龙岭毛藏寺花岗闪长岩 (~ 424 Ma) 进行分析, 表明该岩石属于 I 型花岗岩, 岩浆主要来源于地壳中火成物质的部分熔融, 岩石中具有较高的 Mg[#] 值和 Cr、Ni 含量, 表明岩浆在形成过程中有少量幔源物质的加入, 相比于毛藏寺花岗岩, 黄羊河钾长花岗岩 (~ 402 Ma) 表现为富碱质、富 Rb、REE 和高场强元素, 低 Ca、Mg, 在稀土元素组成模式上存在明显的负 Eu 异常, 属于铝质 A 型花岗岩, 其具有较高的 Sr 初始值 (0.710 3 ~ 0.711 3) 和较低的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值 (-6.7 ~ -6.0), 表明岩浆主要来自成熟度较高的地壳物质的部分熔融, 结合区域地质背景分析, 毛藏寺岩体和黄羊河岩体在内的碰撞后花岗岩类的岩浆产生标志着加里东早期的挤压构造体制向晚期伸展构造体制的转变。

阿拉善南缘晚古生代花岗岩出露较少, 主要分布在北大山北侧, 龙首山零星出露。腰泉黑云母花岗岩和沙枣泉黑云母花岗岩是北大山主要出露的晚古生代花岗岩, 腰泉黑云母花岗岩形成时代为 261.8 ± 1.3 Ma, 相当于中二叠纪岩浆活动产物。沙枣泉黑云母花岗岩与形成年代为 303.8 ± 1.6 Ma, 相当于

晚石炭纪岩浆活动产物, 两个岩体均属于华力西期岩浆活动的产物^[8,12]。据顾贵龙^[8]、霍雨佳等^[12]研究, 腰泉黑云母花岗岩和沙枣泉黑云母花岗岩岩石组合和地球化学特征都符合 I 型花岗岩特征, 其同位素特征及二阶模式年龄表明岩浆以亏损地幔或新生地壳物质为主。

4 总结及展望

据前人研究总结, 阿拉善南缘古生代构造演化具体过程如下(图 2), 中寒武世—早奥陶世, 北祁连早古生代洋盆向北俯冲^[24,48], 奥陶纪时北祁连洋盆持续向北俯冲、消减, 直至晚奥陶世末期 (~ 440 Ma) 发生闭合碰撞, 形成大量钙碱性火山岩^[49]。此时南北两侧的挤压应力仍在持续, 使碰撞板片不断加厚, 晚奥陶世—早志留世加厚的下地壳由于密度增加, 发生了岩石圈根部拆沉作用, 软流圈物质上涌, 形成了龙首山、西井地区辉长岩 (~ 440 Ma); 上涌的软流圈地幔物质为下地壳底部提供热源, 加

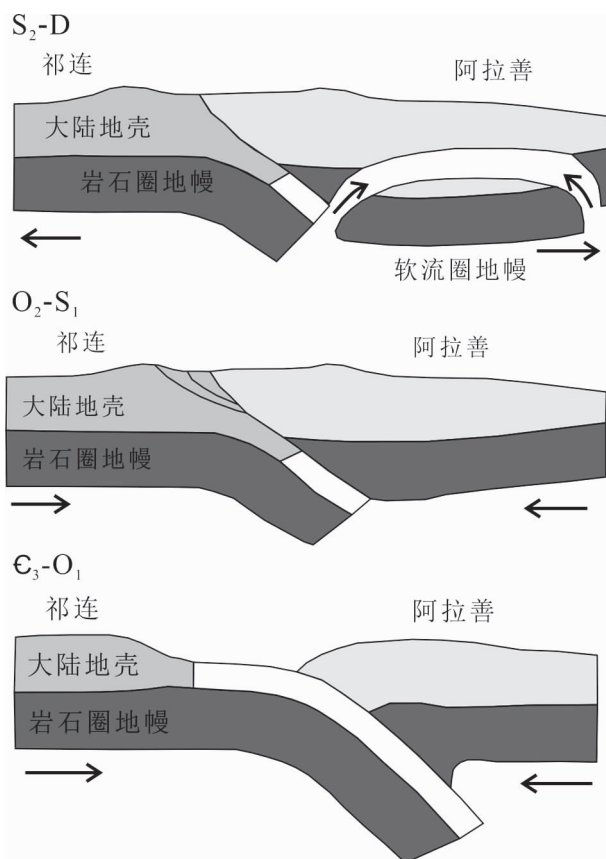


图 2 阿拉善南缘古生代构造演化示意图

Fig. 2 Paleozoic tectonic evolution models of the southern margin of Alxa area

厚的下地壳发生部分熔融,形成如莲花山高 Sr/Y 花岗岩闪长岩(~ 441 Ma)^[14,50];中志留世后进入碰撞作用晚期阶段,随着软流圈物质的上涌和大量岩浆作用的产生,大陆岩石圈处于拉伸减薄状态,此阶段形成大量 I 型和 A 型花岗岩,如大佛寺花岗岩(~ 426 Ma)等^[46]。石炭纪北祁连造山运动已经结束,晚石炭世北祁连到阿拉善地块南缘花岗岩地球化学特征与宗乃山—沙拉扎山构造带花岗岩相似,被认为这一阶段研究区域主要受控于中亚造山带构造影响,与查干楚鲁弧后盆地发展有关^[8,12,14]。源区的深度可以影响大陆地壳熔融形成的花岗岩类的 Sr/Y 比值, Sr/Y 比值越低暗示其源区深度越浅, Sr/Y 比值越高暗示其源区深度越深^[51],而区域上花岗岩类的 Sr/Y 比值随着时间的分布呈现先上升(~ 490 Ma ~ 450 Ma),在晚奥陶世—早志留世达到最高峰,之后下降(~ 430 Ma 之后)的趋势,也符合我们的构造演化模型。

目前关于阿拉善南缘构造演化及岩浆成因问题仍存在诸多争议,如阿拉善地块的归属性问题,北祁连洋盆俯冲极性,研究区域岩浆成因及构造演化问题。对阿拉善地块岩浆活动的研究大多集中在阿拉善地块内部,相比于花岗岩研究较为完善区域,阿拉善南缘花岗岩研究显得极为薄弱,在未来的研究中,我们还需要对阿拉善南缘不同时期的岩浆成因和构造背景进行详细的、系统的厘定。且阿拉善南缘龙首山地区是我国重要的铀矿基地之一^[15-16],我国花岗岩岩浆作用与铀成矿作用相关研究较为薄弱,此处恰好作为研究的最佳窗口。

参 考 文 献

- [1] Kinny P D, Strachan R A, Kocks H, et al. U - Pb geochronology of late Neoproterozoic augen granites in the Moine Supergroup, NW Scotland: dating of rift -related, felsic magmatism during supercontinent break-up? [J]. *Journal of the Geological Society*, 2003, 160(6): 925-934
- [2] 张建新, 宫江华. 阿拉善地块性质和归属的再认识[J]. *岩石学报*, 2018, 34(004): 940-962
- [3] 张北航. 阿拉善地块南缘古生代构造属性 [D]. 中国地质科学院, 2019
- [4] 宫江华, 张建新, 王宗起, 等. 阿拉善地块晚奥陶世—石炭纪的构造演化历史——来自北大山地区多期岩浆—变质—变形事件的约束[J]. *岩石矿物学杂志*, 2018, 37(05): 771-798
- [5] 王增振, 陈宣华, 邵兆刚, 等. 甘肃龙首山—合黎山晚志留世—早泥盆世花岗岩类的成因及其对阿拉善地块西南缘早古生代构造演化的约束[J]. *地质学报*, 2020, 94(08): 2243-2261
- [6] Guochun Zhao, Min Sun, Simon A. Wilde et al. Late Archean to Paleoproterozoic evolution of the North China Craton: key issues

- revisited [J]. *Precambrian Research*, 2004, 136(2): 177-202
- [7] 苏静. 阿拉善地块龙首山岩群碎屑锆石年代学及其地质意义 [D]. 兰州大学, 2017
- [8] 顾贵龙. 阿拉善地块西南缘早中生代花岗岩成因及构造背景的初步研究 [D]. 兰州大学, 2012
- [9] 史兴俊. 阿拉善北部宗乃山—沙拉扎山构造带构造属性及意义 [D]. 中国地质科学院, 2015
- [10] 袁伟. 河西走廊带古生代古地磁学和碎屑锆石 U-Pb 年代学, Hf 同位素研究及其构造意义 [D]. 南京大学, 2012
- [11] 赵亚云. 龙首山中段古生代花岗岩岩石学, 地球化学特征及地质意义 [D]. 东华理工大学, 2016
- [12] 霍雨佳. 阿拉善北大山乌布日布特地区晚古生代侵入岩的地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素特征及其地质意义 [D]. 中国地质大学(北京), 2019
- [13] 马泽民. 阿拉善地块南缘北大山地区下盐滩岩体岩石成因与地质意义 [D]. 长安大学, 2019
- [14] 张丽琪. 北祁连—阿拉善地块南缘古生代碰撞后岩浆作用及深部过程 [D]. 中国地质大学, 2019
- [15] 张志强. 甘肃龙首山及岭铀矿床蚀变岩及矿物地球化学特征研究 [D]. 东华理工大学, 2019
- [16] 张志强, 王凯兴, 王刚, 等. 甘肃龙首山及岭地区古生代正长岩成因及构造意义 [J]. *地质论评*, 2018, 64(04): 1017-1029
- [17] Jianjun Zhang, Tao Wang, Lei Wang, et al. 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 [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 108: 150-169
- [18] Shi G, Song G, Wang H, et al. Late Paleozoic tectonics of the Solonker Zone in the Wuliji area, Inner Mongolia, China: Insights from stratigraphic sequence, chronology, and sandstone geochemistry [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, 127: 100-118
- [19] 郑荣国, 李锦铁, 肖文交, 等. 阿拉善地块北缘恩格尔乌苏地区发现志留纪侵入体 [J]. *地质学报*, 2016, 90(08): 1725-1736
- [20] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 北祁连山海相火山岩岩石成因 [M]. 地质出版社, 1996
- [21] 许志琴, 徐惠芬, 张建新, 等. 北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体及其动力学 [J]. *地质学报*, 1994(1): 1-15
- [22] 左国朝, 吴汉泉. 北祁连中段早古生代双向俯冲—碰撞造山模式剖析 [J]. *地球科学进展*, 1997, 12(4): 315-315
- [23] 吴才来, 姚尚志, 杨经绥, 等. 北祁连洋早古生代双向俯冲的花岗岩证据 [J]. *中国地质*, 2006, 33(6): 1197-1208
- [24] 吴才来, 徐学义, 高前明, 等. 北祁连早古生代花岗质岩浆作用及构造演化 [J]. *岩石学报*, 2010, 26(04): 1027-1044
- [25] 秦海鹏. 北祁连造山带早古生代花岗岩岩石学特征及其与构造演化的关系 [D]. 中国地质科学院, 2012
- [26] Song S, Niu Y, Su L, et al. Tectonics of the North Qilian orogen, NW China [J]. *GONDWANA RESEARCH*, 2013, 23(4): 1378-1401
- [27] 熊子良, 张宏飞, 张杰. 北祁连东段冷龙岭地区毛藏寺岩体和黄羊河岩体的岩石成因及其构造意义 [J]. *地学前缘*, 2012, 19(03): 214-227

- [28] 刘文恒,潘家永,刘晓东,等. 甘肃龙首山青山堡花岗岩成因及其构造意义:元素地球化学、锆石 U-Pb 年龄和 Sr-Nd 同位素约束[J]. 矿物岩石,2019,39(04):26-40
- [29] Zhang L, Zhang H, Zhang S, et al. Lithospheric delamination in post-collisional setting: Evidence from intrusive magmatism from the North Qilian orogen to southern margin of the Alxa block, NW China[J]. Lithos, 2017, 288:20-34
- [30] Wallace Spencer Pitcher. The Nature and Origin of Granite[M]. Springer, Dordrecht, 1997
- [31] Bonin B. Do coeval mafic and felsic magmas in post-collisional to within-plate regimes necessarily imply two contrasting, mantle and crustal, sources? A review-ScienceDirect[J]. Lithos, 2004, 78(1-2):1-24
- [32] 史兴俊,张磊,王涛,等. 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, 2014,33(06):989-1007
- [33] Qian Liu, Guochun Zhao, Min Sun, et al. Early Paleozoic subduction processes of the Paleo-Asian Ocean: Insights from geochronology and geochemistry of Paleozoic plutons in the Alxa Terrane[J]. LITHOS, 2016,262:546-560
- [34] Zhang J, Wang T, Zhang L, et al. 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 [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015,108 (aug. 15):150-169
- [35] 李承泽. 阿拉善宗乃山花岗岩类地球化学特征及构造意义 [D]. 兰州大学,2018
- [36] B. W. Chappell and A. J. R. White. Two contrasting granite types: 25 years later [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 2001,48(4):489-499
- [37] B. W. Chappell and A. J. R. White. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt [J]. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences, 1992,83(1-2):1-26
- [38] Joseph B. Whalen, Kenneth L. Currie, Bruce W. Chappell. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1987,95(4):407-419
- [39] P. L. King, B. W. Chappell, C. M. Allen, et al. Are A-type granites the high-temperature felsic granites? Evidence from fractionated granites of the Wangrah Suite[J]. Australian Journal of Earth Sciences, 2001,48(4):501-514
- [40] Bernard Bonin. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects [J]. LITHOS,2006,97(1):1-29
- [41] Castro A. , Moreno-Ventas I, de la Rosa J. D. H-type (hybrid) granitoids: a proposed revision of the granite-type classification and nomenclature[J]. 1991,31(3-4):237-253
- [42] 吴福元,李献华,杨进辉,等. 花岗岩成因研究的若干问题[J]. 岩石学报,2007(06):1217-1238
- [43] Loiselle M and Wones D. Characteristics and origin of anorogenic granites. Geological of Society of America, 1979,11(7):468
- [44] Eby, Nelson G. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications[J]. Geology,1992,20(7):641
- [45] 周涛发,袁峰,侯明金,等. 江南隆起带东段皖赣相邻区燕山期花岗岩类的成因及形成的地球动力学背景 [J]. 矿物岩石, 2004,24(3):65-71
- [46] 孙宝璐,钱青,张建新. 甘肃大佛寺,金佛寺花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄, Hf-O 同位素和全岩地球化学特征及地质意义[J]. 岩石学报,2017,33(010):3091-3108
- [47] 陈道公. 地球化学. 第 2 版[M]. 北京:中国科学技术大学出版社,2009
- [48] Song S, Niu Y, Su L, et al. Tectonics of the North Qilian orogen, NW China [J]. GONDWANA RESEARCH, 2013,23 (4):1378-1401
- [49] 熊子良. 北祁连造山带东段武威地区花岗岩类成因及其构造意义[D]. 中国地质大学(武汉),2012
- [50] Tseng C Y, Yang H J, Yang H Y, et al. Continuity of the North Qilian and North Qinling orogenic belts, Central Orogenic System of China: Evidence from newly discovered Paleozoic adakitic rocks[J]. Gondwana Research, 2009,16(2):285-293
- [51] Haschke M, Andreas Günther. Balancing arc crustal thickening: Magmatic underplating versus transpressional shortening [C]. European Geophysical Society. 2002

RESEARCH PROGRESS OF PALEOZOIC GRANITOIDS IN THE SOUTHERN MARGIN OF ALXA BLOCK, NW CHINA

YU Kai, WU Lei, WANG Er-teng, GUO Zhi-ang, WANG Yun, WANG Jin-rong

(School of Earth Sciences, Lanzhou University/Key Laboratory of Mineral

Resources in Western China, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Alxa block is located at the intersection of the North China craton, Tarim craton and Qilian orogenic belts, and the Paleozoic granites are widely distributed in the southern margin of the Alxa. Based on zircon U-Pb geochronology and geochemistry, we conclude that the Early Paleozoic granitoids in the southern margin of Alxa are mainly controlled by the tectonic evolution of the Qilian orogenic belt. The magmatic activity can be divided into the Early Ordovician to the Early Silurian and the Middle Silurian to the Early Devonian. The former is a subduction environment and the latter is a post-collision extensional environment. The Late Paleozoic granites are only sporadically exposed in the Longshoushan area, and the petrogeochemistry characteristics are similar to the granites in the Zongnaishan-shalazhashan tectonic belt, which is related to the tectonic evolution of the Central Asian orogenic belt. And we also make suggestions for the future direction of research of granitoids at the southern margin of Alxa.

Key words: southern margin of Alxa; Paleozoic; granitoids; magmatic origin; tectonic evolution