

内蒙古阿巴嘎旗北部晚奥陶世 A 型 二长花岗岩研究及地质意义

江胜国¹, 杨振毅², 李旭平³, 王西玉¹, 田 麒¹, 牛 磊¹, 詹 健¹

(1. 天津市地质研究和海洋地质中心, 天津 300170; 2. 山东省地质调查院, 山东 济南 250014;

3. 山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要:在内蒙古乌里雅斯太活动边缘带的阿巴嘎旗北部发现长约 12 km、宽约 3 km 的花岗岩。对该花岗岩进行了详细的岩相学、元素地球化学和岩石年代学特征分析, 表明岩石为二长花岗岩, 具有富硅、偏铝到过铝质和高钾特征, 属高钾钙碱性岩石系列。二长花岗岩显示高的 K_2O/Na_2O (1.24~1.40)、 FeO_T/MgO (0.82~0.93)、 $Zr+Sr+Y$ 、 Rb/Nb 和 Y/Nb 值, 表现出 A2 型花岗岩的特征。岩石大离子亲石元素总体富集, 高场强元素中 Ti 和 Nb 亏损, 但 Zr、Ta 和 Hf 富集。稀土元素总量偏低, LREE/HREE (1.66~6.99) 变化较大, δEu 为 0.04~0.39, 表明该岩石是在相对低压、高温条件下由原有地壳物质部分熔融形成的。两个样品的锆石 U-Pb 定年显示其年龄分别为 444.8 ± 1.5 Ma 和 445.2 ± 1.1 Ma, 表明其形成时代为晚奥陶世, 是兴蒙造山带由碰撞挤压的构造环境向碰撞后伸展体制的转变过程。

关键词: A 型二长花岗岩; 地球化学; 锆石 U-Pb 定年; 晚奥陶世; 阿巴嘎旗北部

中图分类号: P612

文献标志码: A

Late Ordovician A-type monzogranites in north of Abaga Banner, Inner Mongolia, and their geological implications

JIANG Shengguo¹, YANG Zhenyi², LI Xuping³, WANG Xiyu¹, TIAN Qi¹, NIU Lei¹, ZHAN Jian¹

(1. Tianjin Geology Research and Marine Geological Center, Tianjin 300170, China;

2. Shandong Provincial Institute of Geological Survey, Jinan 250014, China;

3. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: Late Ordovician A-type granites with the length of 12 km and width of 3 km have been discovered in the north of Abaga Banner in the Uliastai active continental margin, Inner Mongolia. According to the analysis of regional geology, petrography, geochemistry and geochronology, the studied rock is proved to be monzogranites rich in silicon, aluminic-peraluminous and high potassic, belonging to high-K calc-alkaline rock series. With high K_2O/Na_2O (1.24~1.40), FeO_T/MgO (0.82~0.93), $Zr+Sr+Y$, Rb/Nb and Y/Nb values, the monzogranites show characteristics of A2-type granites. The rocks are enriched in large ion lithophile element (LILE) while Ti and Nb are depleted but Zr, Ta and Hf are enriched in light of high field strength element (HFSE). The total quantity of rare earth elements (REEs) is relatively low; the ratio of light rare earth element (LREE)/heavy rare earth element (HREE) (1.66~6.99) varies greatly; and δEu is 0.04~0.39. All these indicate that the rocks were formed by the partial melting of the crustal materials under relatively low pressure. The zircon U-Pb dating of the two samples

收稿日期: 2022-09-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(41802173); 内蒙古 1:50 000 查干楚鲁廷阿查等 6 幅区调项目(基[2010]矿评 01-09-08)

作者简介: 江胜国(1982—), 男, 山东济宁人, 高级工程师, 硕士, 主要从事矿产地质勘查研究工作。

李旭平(1959—), 女, 江苏常州人, 教授, 博士生导师, 主要从事岩石地球化学方面的教学与科研工作, 本文通信作者。E-mail: lixuping@sdu.edu.cn

shows that they are 444.8 ± 1.5 Ma and 445.2 ± 1.1 Ma respectively, indicating that they were formed in the Late Ordovician as a result of the transition from collision-compression tectonic environment to post-collision-extension system of the Xingmeng Orogenic Belt.

Key words: A-type monzonitic granites; geochemistry; zircons U-Pb age; Late Ordovician; north of Abaga Banner

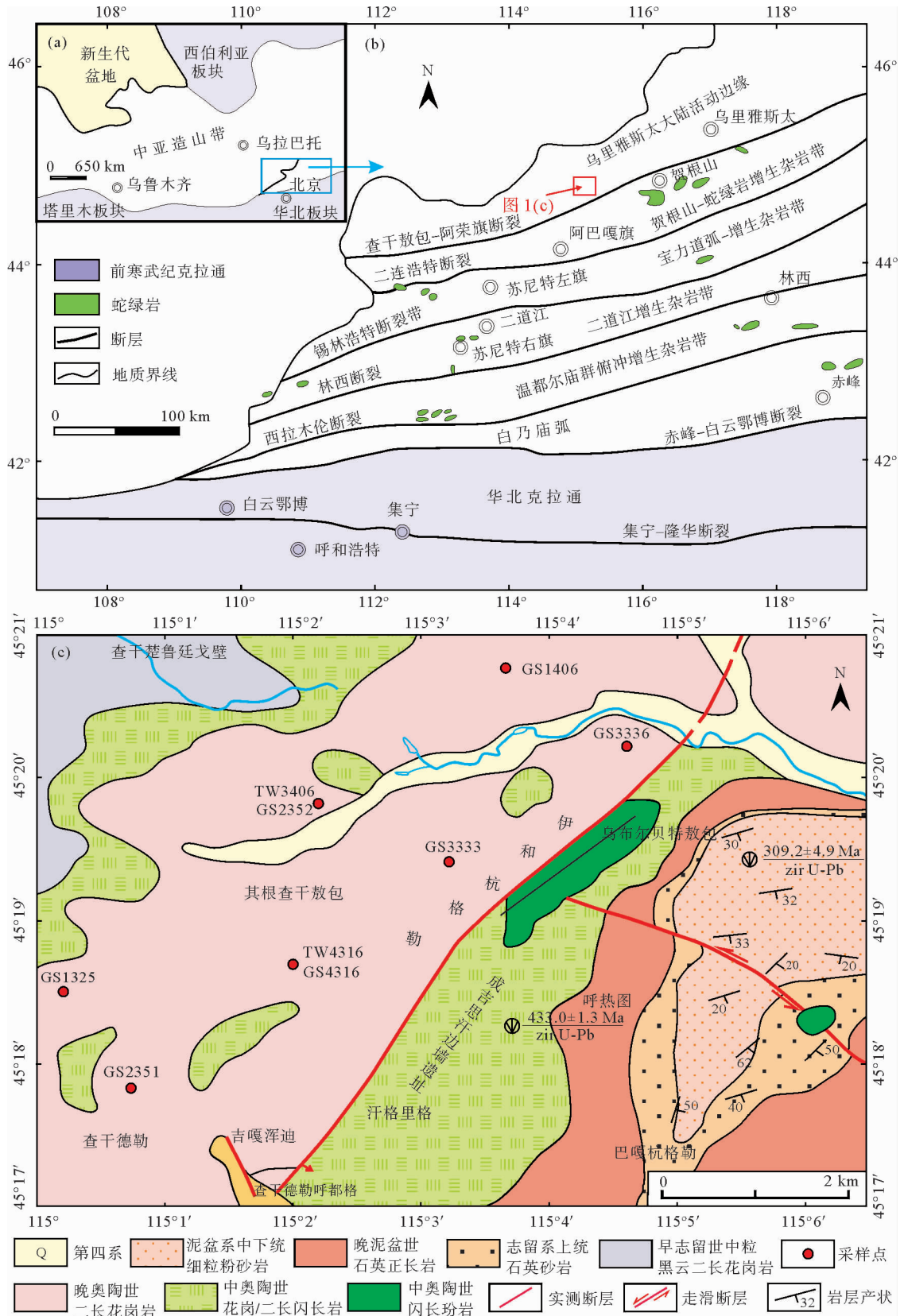
兴蒙造山带位于西伯利亚克拉通与华北克拉通之间(图 1(a)),属于中亚造山带的中东部,代表了显生宙以来最大的增生造山带之一,是研究显生宙地壳生长的重要场所^[1]。中亚造山带东部,以古生代造山带、前寒武纪微大陆及其大陆边缘拼合为特征(图 1(a)、1(b))。前人研究表明,古亚洲洋在早古生代经历了南北两侧双向俯冲,形成了兴蒙造山带,但俯冲在泥盆纪—早石炭纪之前停止^[1-3],晚石炭纪之后又重新开始^[2]。内蒙古西部可识别出 6 个构造单元,从北到南分别为乌拉雅斯太大陆活动边缘、贺根山蛇绿岩增生杂岩带、宝力道弧增生杂岩带、二道江增生杂岩带和温都尔庙群俯冲增生杂岩带^[2](图 1(b))。古生代以来,该造山带经历了西伯利亚板块南东缘的俯冲以及与古亚洲洋板块的碰撞拼合,是西伯利亚板块南缘和华北板块北缘的缝合带^[1,3-5]。

研究区位于南蒙古洋南部,早古生代开始向华北-塔里木板块和西伯利亚板块发生俯冲作用,470~430 Ma 期间,产生了早古生代岛弧-弧后盆地岩浆-沉积完整的演化体系^[1-2,4]。来自古亚洲洋的板片俯冲事件在内蒙古北部的二连-东乌旗地区引发大量早古生代岩浆活动^[6-10]。主要包括南侧的苏左旗-锡林浩特-大石寨岛弧岩浆带和北侧的二连浩特-东乌旗岩浆岩带。南带主要为苏尼特左旗地区火山岩和侵入岩(490~420 Ma)、锡林浩特南变质花岗岩(457~421 Ma)和大石寨地区基性火山岩(439 ± 3 Ma),表现出从原始岛弧向正常大陆弧到碰撞-后碰撞岩浆活动的三个演化阶段^[10]。研究区所在北带包括阿巴嘎二长花岗岩(449 ± 3.0 Ma),可能与苏尼特左旗南侧俯冲事件有关,属于弧后盆地带^[11];阿巴嘎旗北部吉尔嘎郎图的花岗闪长岩($455.0 \sim 495.6$ Ma)代表了俯冲板片流体交代引发地壳部分熔融的产物^[7];乌拉盖辉长闪长岩(499.6 ± 1.2 Ma)代表俯冲物质交代的板片熔体为主的产物^[8];东乌旗辉长岩、闪长岩和花岗闪长岩(446~461 Ma),其岛弧和洋中脊玄武岩 N-MORB 的地球化学特征指示了弧后盆地背景^[6,11]。因此,研究区所在的北带虽然记录了洋脊玄武岩、俯冲岩浆作用到碰撞岛弧岩浆作用的洋壳产生到闭合的过程,但在乌拉雅斯太大陆活动边缘带,对板块碰撞到后碰撞造山过程的记录鲜有报道,本次工作选取东乌旗地区阿巴嘎旗早古生代二长花岗岩为研究对象,通过岩石学、岩石地球化学和锆石 U-Pb 年代学研究,结合区域岩浆作用和地质背景资料,探讨二连浩特-东乌旗地区早古生代岩浆岩的成因演化,特别是后碰撞造山过程中的岩浆作用特征。

内蒙古阿巴嘎旗位于兴蒙造山带北部,属于二连-贺根山构造缝合带北侧的乌拉雅斯太活动边缘^[4]。乌拉雅斯太活动边缘东西延伸约 600 km,带内主要出露奥陶系和泥盆系岩石,是额尔古纳地块的古生代大陆边缘^[1-2]。古生代以来该地区经历了西伯利亚板块东南缘的俯冲、碰撞和增生等地质演化过程,受构造-岩浆活动影响,形成了大规模的古生代和中生代花岗岩带。花岗岩在造山带广泛分布,在俯冲、碰撞和造山后过程中均有发现,其成因类型、岩浆物质来源、形成时代以及构造环境已成为造山带研究的重要内容,且与造山带镁铁质岩石共生的花岗岩研究可为深入探讨区域构造、岩浆演化和深部岩浆作用过程提供重要线索。迄今为止,研究区广泛分布的早古生代花岗岩的成因性质以及花岗岩岩浆作用与区域构造演化及其成矿作用之间的关系尚不明确,且针对该区广泛发育的晚奥陶世二长花岗岩体的地球化学特征及构造岩浆活动等的研究较少^[3,9,11]。因此,对该区花岗岩在地球化学和年代学方面开展深入研究,对理解兴蒙造山带从形成到闭合过程具有重要地质意义。本研究在内蒙古 1:50 000 查干楚鲁廷阿查等图幅区域地质调查的基础上^[12],选取阿巴嘎旗北部查干德勒-伊和杭格勒一带的二长花岗岩体进行了岩相学、地球化学、构造背景及形成年代等研究,分析该区花岗岩的成因类型及其形成的构造环境,探讨早古生代古亚洲洋的形成和演化过程,为兴蒙造山带的构造岩浆演化及古亚洲洋闭合时限研究提供佐证。

1 地质背景

乌拉雅斯太大陆活动边缘沿中蒙边界延伸(图 1(b)),出露的地层有奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系—



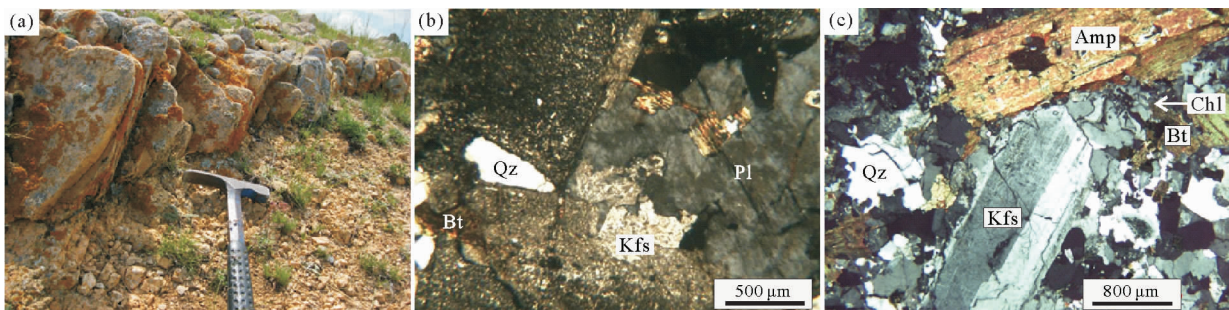
(a) 中亚造山带^[3]; (b) 内蒙古阿巴嘎旗及邻区大地构造简图^[2]; (c) 阿巴嘎旗北部查干德勒-伊和杭格勒地区区域地质简图^[12]

图 1 研究区地质构造背景图

Fig. 1 Geological maps showing the location and tectonic setting of the study area

下二叠统、侏罗系和白垩系火山-沉积岩以及第三系和第四系沉积物^[2-3,12]。带内中生界岩浆活动频繁,主要有辉长岩、闪长岩、花岗闪长岩等侵入岩以及中基性、酸性火山岩,上述岩石的锆石 U-Pb 年龄主要分布在 452~430 Ma^[3,6-7,9]。研究区阿巴嘎旗地处乌拉雅斯太活动大陆边缘带中、南部,二连-贺根山构造带北侧,发育大量晚古生代花岗岩,主要为二长花岗岩(图 1(b)、1(c))。区内地层主要包括古生界志留系上统卧都河组和泥盆系中下统泥鳅河组、第四系全新统冲洪积物(图 1(c))。卧都河组主要为白色石英砂岩、褐灰色长石石英砂岩、粉砂岩、钙质细砂岩夹生物碎屑灰岩,含腕足类化石;泥鳅河组主要为深灰色、灰绿色粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩夹生物碎屑灰岩、介壳灰岩,含腕足类化石。研究区晚华力西期断裂构造发育,其中北东向断裂代表主体构造线方向,多形成左行走滑断层和高角度正断层,北西向断裂以张扭性为主。研究区主要发育北东向展布的奥陶统侵入岩,岩性主要为黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩及闪长玢岩,其次为早志留世二长花岗岩和晚泥盆世肉红色石英正长岩,二者以岩墙的形式侵位于卧都河组和泥鳅河组之上(图 1(c))。

研究样品均为晚奥陶世中、细粒黑云母二长花岗岩,出露于阿巴嘎旗北部查干德勒-伊和杭格勒一带,侵入中奥陶世花岗/二长闪长岩中,出露面积约 19.6 km²,长 12.5 km,宽 0.6~3.1 km,呈北东向条带状产出,不同粒度花岗岩差异风化现象明显,发育次生节理(图 1(c)、图 2(a))。黑云母二长花岗岩呈浅灰色和浅肉红色,块状构造,中细粒结构,局部似斑状结构;主要矿物为斜长石(25%~35%)、钾长石(25%~40%)、石英(>25%)、黑云母(5%~10%)和少量角闪石;斜长石呈半自形板状,因次生蚀变发生绢云母化、钠黝帘石化,局部被绢云母、黝帘石交代保留斜长石假象;钾长石呈半自形-它形粒状,土化,表面污灰,局部与石英交生呈文象结构;石英呈半自形-它形粒状,表面新鲜干净;黑云母片状,局部被绿泥石交代,裂隙中见褐铁矿充填(图 2(b)、2(c))。



(a)野外露头照片;(b)、(c)正交偏光显微镜照片;Qz—石英;Kfs—钾长石;Bt—黑云母;Amp—角闪石;Pl—斜长石;Chl—绿泥石

图 2 阿巴嘎旗北部二长花岗岩野外露头 and 正交偏光显微镜照片

Fig. 2 Field outcrop and microphotographs under crossed polars of monzonitic granites in the north of Abaga Banner

2 实验方法

本研究采集 7 件二长花岗岩样品进行岩石地球化学全分析,由河北省地矿局区调研究所实验室完成。主量元素分析采用 X 射线荧光光谱法(X ray fluorescence, XRF)测定,仪器型号为 PanalyticalAxios XRF,检测下限 0.01%,分析精度优于 5%。稀土元素和微量元素采用电感耦合等离子质谱仪(inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)分析测定,仪器型号为 ThermoICP-MS(Series II),检测下限为 0.05×10^{-6} ,分析精度优于 5%~10%。采集 2 件中细粒黑云母二长花岗岩样品(TW4316 和 TW3406)进行锆石 U-Pb 年代学测试,由河北省地矿局区调研究所实验室先对锆石进行分选预处理,再进行 LA-ICP-MS 分析,仪器型号为 Nu AttoM 高分辨电感耦合等离子质谱仪,锆石标样为 TEMORA 标准锆石,数据处理采用 ICP-MS DateCal 程序^[13]。

3 测试结果

3.1 主量元素特征

根据岩石化学成分数据分析,研究样品为二长花岗岩。其中, SiO_2 含量为 74.14%~77.68%(质量分数,下同), K_2O 含量为 4.38%~5.44%, Na_2O 含量为 3.43%~3.92%(表 1)。 Al_2O_3 含量为 11.47%~13.42%,表明岩石具有富硅和过铝质特征。 K_2O 明显高于 Na_2O ,且全碱含量平均 7.52%,表明岩石具有高钾和亚碱性特征(图 3(a)、3(b))。 FeO_T 和 MgO 含量较低,二者比值 1.25~4.00,平均 2.58,反映岩石铁镁质暗色矿物含量低,与岩石野外和镜下特征一致。 CaO 含量 0.16%~1.10%,平均 0.64%,含量相对较低,指示岩石富钠和钾斜长石。 A/NK 为 0.78~1.07,铝饱和指数 A/CNK 为 0.91~1.08,为准铝质-过铝质花岗岩。里特曼指数 σ 为 1.92~2.50,为钙碱性系列。分异指数 DI (90.38~97.81)和固结指数 SI (0.53~3.88)反映岩浆分异程度高。长英指数 FL (87.78~98.32)和铁镁指数 MF (81.69~92.78)表明岩浆分离结晶作用程度高。

表 1 阿巴嘎旗北部二长花岗岩的全岩主量元素(%)和微量元素组成($\times 10^{-6}$)
Table 1 Whole rock major element compositions (%) and trace elements ($\times 10^{-6}$)
of monzonitic granites in the north of Abaga Banner

指标	GS1325	GS2351	GS2352	GS3333	GS3336	GS1406	GS4316	指标	GS1325	GS2351	GS2352	GS3333	GS3336	GS1406	GS4316
SiO_2	75.73	77.68	77.32	77.02	77.44	74.14	75.52	Rb	502.00	304.00	383.00	339.00	518.00	179.00	233.00
TiO_2	0.03	0.10	0.03	0.02	0	0.24	0.18	Sr	16.10	21.70	9.85	8.68	4.78	33.10	17.70
Al_2O_3	12.77	11.47	11.82	11.91	12.16	13.42	12.73	Ba	92.10	186.00	40.10	24.80	13.70	398.00	230.00
Fe_2O_3	0.72	0.34	0.27	0.23	0.07	0.87	0.70	Nb	12.50	7.16	12.20	5.32	13.20	8.78	9.11
FeO	0.10	0.10	0.26	0.20	0.19	0.77	0.67	Ta	4.55	1.28	2.28	1.10	2.74	1.58	1.77
MnO	0.09	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	Zr	161.00	254.00	349.00	289.00	176.00	146.00	120.00
MgO	0.07	0.08	0.07	0.05	0.06	0.38	0.27	Hf	2.13	2.02	3.64	2.61	2.68	15.20	13.90
CaO	0.42	0.16	0.76	0.62	0.60	1.10	0.79	Th	7.72	15.00	25.10	22.00	8.51	9.91	11.10
Na_2O	3.77	3.88	3.59	3.92	3.55	3.43	3.53	V	15.50	15.60	15.70	10.10	3.40	16.90	15.20
K_2O	4.97	5.44	4.84	5.09	4.63	4.45	4.38	P	349.00	131.00	44.00	87.00	87.00	349.00	393.00
P_2O_5	0.08	0.03	0.01	0.02	0.02	0.08	0.09	La	4.06	11.80	19.90	17.30	4.97	21.70	23.70
LOI	0.87	0.80	0.59	0.38	0.84	1.02	0.99	Ce	8.83	22.40	24.10	30.90	10.20	35.50	39.90
Total	99.62	100.09	99.58	99.48	99.59	99.93	99.90	Pr	1.46	2.83	4.83	3.92	1.56	4.60	4.55
DI	96.21	97.56	96.38	97.81	96.19	90.38	92.83	Nd	5.57	10.00	17.00	13.10	5.55	17.70	16.30
SI	0.77	0.85	0.81	0.53	0.68	3.88	2.81	Sm	2.04	2.02	4.02	2.71	2.19	3.87	3.42
FL	92.78	85.66	88.89	90.11	81.69	82.05	84.28	Eu	0.10	0.21	0.12	0.11	0.03	0.49	0.29
σ	2.33	2.50	2.07	2.39	1.94	1.99	1.92	Gd	1.74	1.69	3.53	2.34	1.85	3.67	3.33
MF	92.78	85.66	88.89	90.11	81.69	82.05	84.28	Tb	0.47	0.30	0.83	0.50	0.54	0.74	0.69
A/NK	0.91	1.07	0.94	1.00	0.89	0.78	0.83	Dy	3.01	1.75	5.58	3.31	3.75	4.52	4.50
A/CNK	1.03	0.91	0.94	0.91	1.02	1.08	1.06	Ho	0.62	0.37	1.29	0.76	0.77	0.91	0.95
δEu	0.16	0.34	0.10	0.13	0.04	0.39	0.26	Er	1.89	1.08	4.03	2.41	2.45	2.94	3.22
ΣREE	54.20	67.80	137.00	107.00	65.90	131.00	138.00	Tm	0.42	0.20	0.81	0.50	0.57	0.53	0.60
ΣLREE	22.10	49.20	69.90	68.00	24.50	83.90	88.10	Yb	3.23	1.39	5.44	3.50	4.21	3.43	3.99
ΣHREE	11.90	7.00	22.30	13.90	14.80	17.30	17.90	Lu	0.48	0.26	0.82	0.55	0.64	0.54	0.64
$(\text{Gd}/\text{Yb})_N$	0.44	0.99	0.53	0.54	0.35	0.87	0.68	Y	20.30	11.60	45.10	24.70	26.60	29.60	32.30
$(\text{La}/\text{Yb})_N$	0.85	5.72	2.47	3.34	0.80	4.28	4.01	$(\text{La}/\text{Sm})_N$	1.25	3.66	3.11	4.01	1.43	3.54	4.36

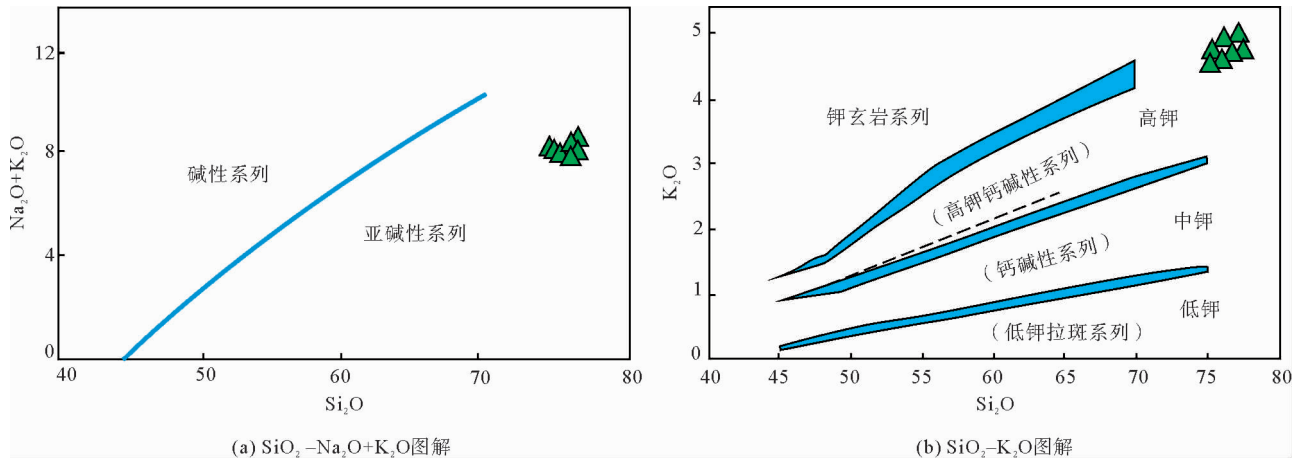


图3 阿巴嘎旗北部二长花岗岩主要元素变异图

Fig. 3 Variation diagrams of major elements of monzonitic granites in the north of Abaga Banner

3.2 微量元素和稀土元素特征

由表1可知,稀土元素总量(total content of rare earth element, ΣREE)为 $54.16 \times 10^{-6} \sim 138.35 \times 10^{-6}$,其中轻稀土元素(light rare earth element, ΣLREE)为 $22.06 \times 10^{-6} \sim 88.13 \times 10^{-6}$,平均值为 57.96×10^{-6} ;重稀土元素(heavy rare earth element, ΣHREE)为 $7.04 \times 10^{-6} \sim 22.03 \times 10^{-6}$,平均 15.01×10^{-6} 。LREE/HREE 为 $1.66 \sim 6.99$,平均 4.04 ; $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 $0.85 \sim 5.72$,平均 3.07 ; $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 为 $1.25 \sim 4.36$,平均 3.05 ; $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 为 $0.44 \sim 0.99$,平均 0.63 ,反映轻重稀土存在明显的分馏^[9]。与燕山期和晚石炭世钙碱性花岗岩类岩石比较^[14-16],稀土元素总量偏低且变化较大,可能与缺少富含稀土元素的矿物有关,如榍石和磷灰石等^[17]。 δEu 为 $0.04 \sim 0.39$,平均 0.20 ,说明成岩过程中岩体可能存在一定程度的斜长石结晶分离作用。从球粒陨石标准化稀土配分图解(图4(a))可以看出,图解总体右倾,具明显负Eu异常($\delta\text{Eu} = 0.04 \sim 0.39$),表明岩浆具有轻稀土相对富集、中稀土相对亏损的特征,且在成岩过程中经历了一定程度的结晶分异作用。

由标准化蛛网图(图4(b))可以看出,富集大离子亲石元素(large ionic lithophile element, LILE) K 和 Rb;亏损 Ba、Sm;高场强元素(high field strength element, HFSE) Hf、Nb、Ti 亏损,Zr、Ta 富集。微量元素 Ba、Sr、Eu 亏损可能与斜长石的分离结晶有关,而 P 亏损可能与磷灰石的分离结晶有关。

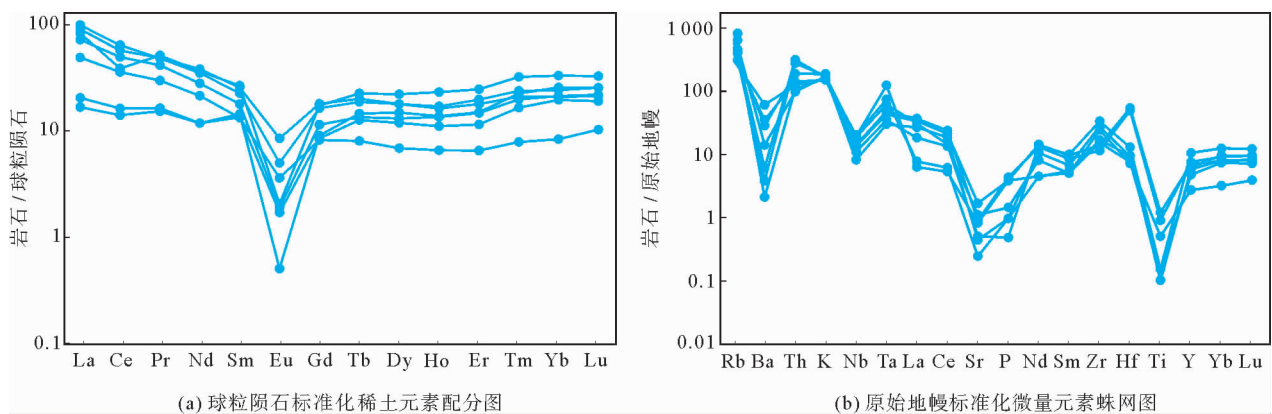


图4 阿巴嘎旗北部二长花岗岩稀土元素和微量元素特征^[18]

Fig. 4 Normalized REEs and trace elements of monzonitic granites in the north of Abaga Banner

3.3 锆石 U-Pb 年代学

研究样品中细粒黑云二长花岗岩(TW4316 和 TW3406)锆石颗粒形态较好,自形程度较高,以长柱状和

柱状为主,长轴 50~120 μm ,短轴 15~60 μm ,锆石颗粒长宽比 2.0~3.3,阴极发光图像可见明显震荡环带结构,部分锆石颗粒具有核边结构。TW4316 和 TW3406 的 Th/U 比值分别为 2.39~4.71 和 0.88~6.21,结合 CL 结构特征,显示其具有典型的岩浆成因锆石特征^[19]。

结合锆石 CL、透射光和反射光图像特征,选择锆石环带发育、无裂隙、无包体的部位进行 U-Pb LA-ICP-MS 年代学测试,U、Pb 同位素和 Th/U 比值数据见表 2。其中:TW4316 样品共选取 5 个锆石颗粒进行测试,Th/U 比值 2.39~4.71,平均值 3.39,U、Pb 含量分别为 26.86×10^{-6} ~ 308.42×10^{-6} 和 33.49×10^{-6} ~ 71.07×10^{-6} (表 2), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 444~445 Ma, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄为 444.8 ± 1.5 Ma(平均标准权重偏差 MSWD 为 6.5, $N = 5$)(图 5);TW3406 样品共选取 8 个锆石颗粒进行测试,Th/U 比值 0.88~6.21,平均值 3.14,U、Pb 含量分别为 58.71×10^{-6} ~ 611.49×10^{-6} 、 190.99×10^{-6} ~ 2884.80×10^{-6} (表 2), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 410~465 Ma, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄为 445.2 ± 1.1 Ma(MSWD=3.8, $N=8$)(图 5)。

表 2 阿巴嘎旗北部二长花岗岩的锆石 U-Pb 同位素年龄

Table 2 Zircon U-Pb isotopic age of monzonitic granites in the north of Abaga Banner

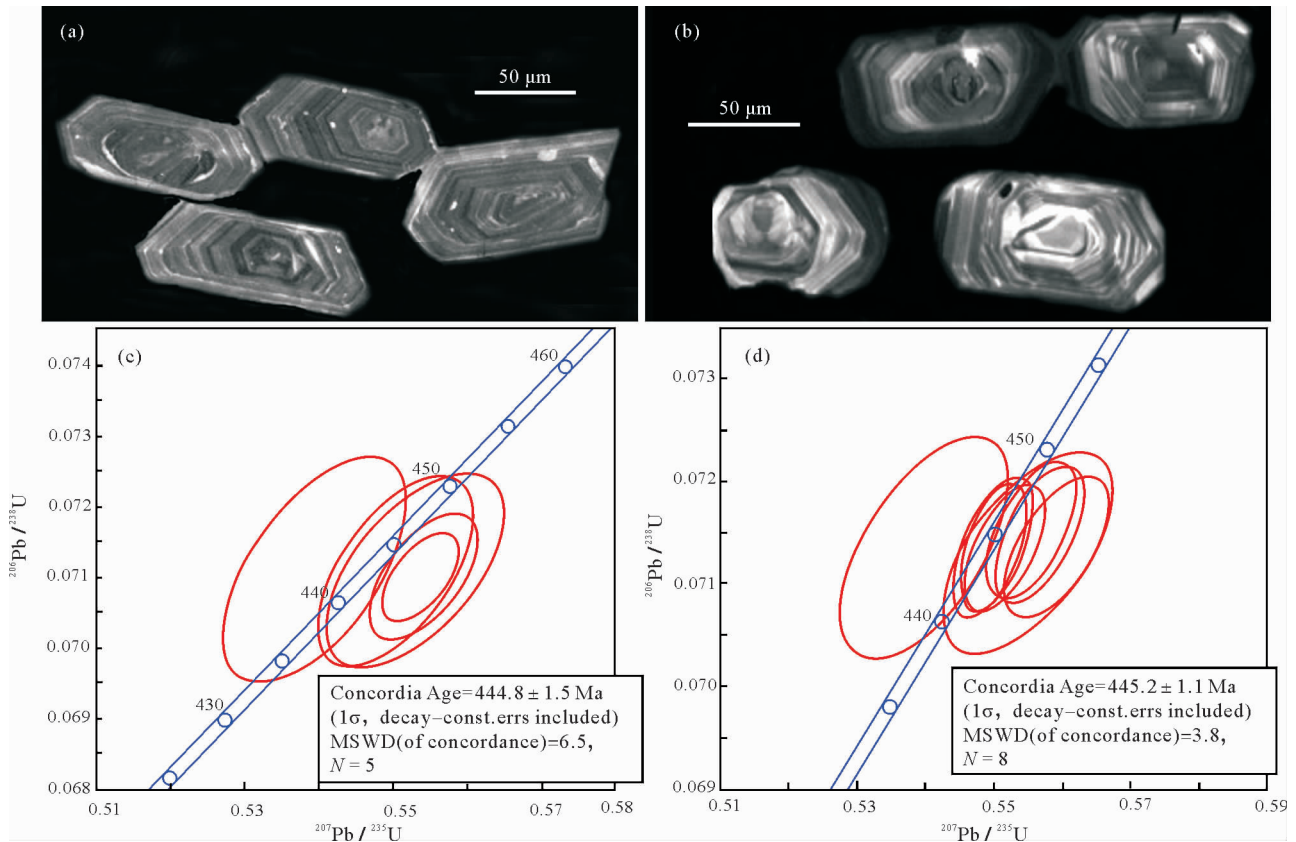
样品点号	含量/ 10^{-6}		Th/U	同位素比值			年龄/Ma		
	Pb	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
W4316-1	71.07	308.42	2.39	0.061 5	0.552 4	0.072 1	456	445	444
W4316-2	41.83	26.86	4.31	0.060 0	0.557 0	0.070 0	478	448	444
W4316-3	33.49	148.46	2.55	0.063 5	0.551 1	0.072 5	457	446	444
W4316-4	39.87	121.96	4.71	0.062 1	0.565 0	0.071 6	465	449	445
W4316-5	58.41	56.46	2.97	0.051 1	0.543 5	0.073 4	409	438	444
W3406-1	536.19	372.39	5.39	0.060 4	0.562 8	0.078 2	476	448	442
W3406-2	679.63	251.70	2.05	0.064 2	0.551 3	0.073 2	457	445	443
W3406-3	244.79	113.36	6.21	0.061 2	0.570 7	0.081 3	428	458	465
W3406-4	190.99	58.71	5.98	0.063 7	0.613 1	0.080 7	589	485	465
W3406-5	693.50	306.55	2.09	0.065 5	0.552 5	0.073 1	476	447	442
W3406-6	206.73	65.51	0.88	0.062 1	0.532 7	0.071 2	539	431	411
TW3406-7	2884.80	163.01	1.57	0.063 7	0.546 1	0.071 1	417	438	443
TW3406-8	994.34	611.44	0.98	0.060 1	0.550 5	0.072 6	465	447	443

4 讨论

4.1 岩石成因分析

研究区二连-东乌旗地区发育中奥陶世辉长闪长岩和晚奥陶世中基性及酸性火山岩和侵入岩^[6,9,12]。辉长闪长岩属富钠的钙碱性系列,稀土配分曲线以及 Sr-Nd-Hf 同位素研究表明为岛弧环境下的钙碱性岩,是在俯冲作用下形成的^[7-8];中基性及酸性火山岩可进一步分为两类:第一类侵入岩为石英闪长岩、花岗闪长岩和花岗斑岩,地化特征与前述中奥陶世岩浆岩相似,属富钠的钙碱性系列,与岛弧环境俯冲作用相关^[6,9,11];第二类以钾质含量较高区别于第一类岩石组合,如酸性火山岩、黑云母二长花岗岩等,地球化学特征指示碰撞环境花岗岩的特征,或接近 A 型花岗岩特征^[2-3]。前述研究表明,研究区中奥陶世岛弧型特征的岩浆岩和具 A 型特征的花岗岩在区域上共存^[8-9,11]。

与典型的 A 型花岗岩相比^[20-21],研究区阿巴嘎二长花岗岩以高 SiO_2 、高 K_2O 和高 Al_2O_3 为特征,属于偏铝到过铝质、钙碱性岩浆系列;全碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)、硅、铝和钙氧化物之间的关系表明阿巴嘎二长花岗岩形成于大陆碰撞环境,其成分落在大陆造陆隆升花岗岩、裂谷型花岗岩和造山后花岗岩的叠置区域(图 6(a))^[20-22]。由于岩石具有高的 FeO_T/MgO 比值,结合微量元素、主量元素相关图解进一步证明,阿巴嘎二长花岗岩具有 A 型花岗岩的特征^[23-25](图 6(b))。

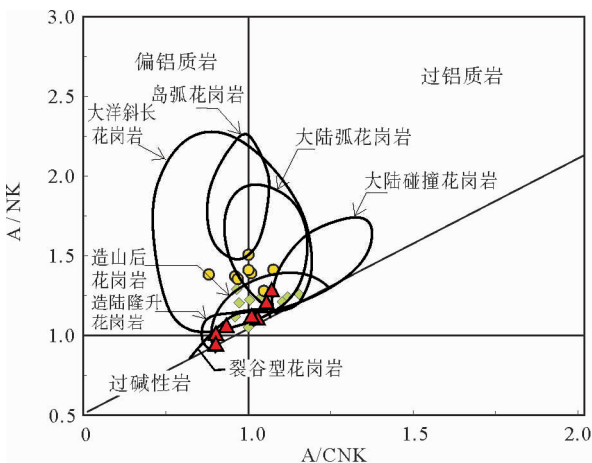


(a) TW4316 锆石阴极发光图像; (b) TW3406 锆石阴极发光图像; (c) TW4316 锆石 U-Pb 谐和图; (d) TW3406 锆石 U-Pb 谐和图

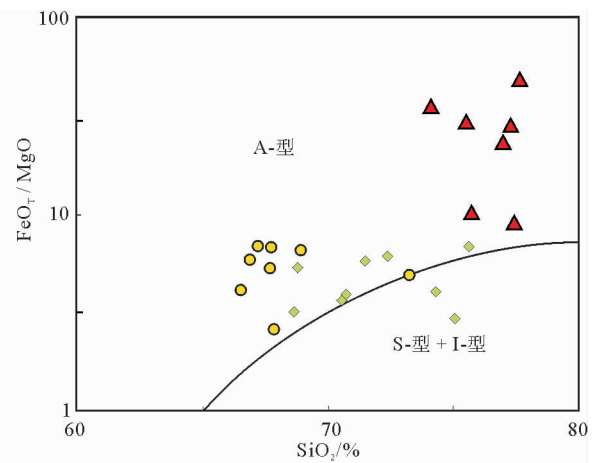
图 5 阿巴嘎旗北部二长花岗岩锆石 U-Pb 年代学谐和图

Fig. 5 Concordia diagrams of zircons U-Pb age of monzonitic granites in the north of Abaga Banner

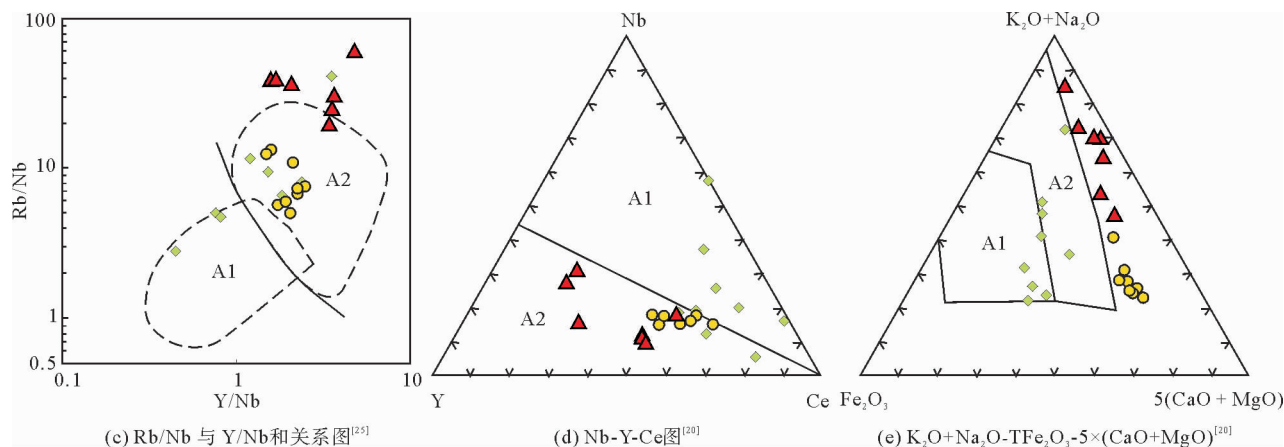
A 型花岗岩形成于非造山或裂谷环境, 主要由造山花岗岩形成后残留在下地壳的麻粒岩经局部交代、发生部分熔融形成^[26], 或形成于板块内部到板块边界的构造环境^[25]。根据化学成分又可将 A 型花岗岩进一步细分为 A1 型和 A2 型^[20, 24]。以往研究多认为 A1 型花岗岩类与洋岛玄武岩(oceanic-island-basalt, OIB)有亲缘关系, 表明其形成于大陆裂谷或板内等造山环境; A2 型花岗岩类的地球化学性质类似岛弧玄武岩和大陆地壳特征, 可能是俯冲作用或陆-陆碰撞造山的产物^[20-21, 25-26]。阿巴嘎二长花岗岩具有较高的 Y/Nb 和 Rb/Nb 比值, 类似于典型的 A2 型花岗岩(图 6(c)), 可能由高温、低压条件下原地壳物质的部分熔融所致^[26]。此外, 二长花岗岩具有较高的碱性(Na₂O+K₂O)和低的 Nb 含量, 也表现出明显的 A2 型花岗岩特征(图 6(d)、6(e))。



(a) A/NK 与 A/CNK 关系图^[22]



(b) TFeO/MgO 与 SiO₂关系图^[24]



▲阿巴嘎旗北部二长花岗质(本研究); ◆大青山A1型-A2型共存二长花岗岩^[20]; ●大青山A2型花岗岩^[21]

图6 阿巴嘎旗北部二长花岗岩岩石成因类型判别图

Fig. 6 Discriminant diagrams of monzonitic granites in the north of Abaga Banner

4.2 岩石形成时代分析

研究区位于乌拉雅斯太大陆活动边缘带的二连-东乌旗地区(图1(b)),阿巴嘎二长花岗岩东北200 km外,发育早古生代(470~430 Ma)和晚古生代(370~260 Ma)岩浆岩,以侵入岩浆活动为主^[3]。前人研究表明,晚奥陶世岩浆作用事件极其活跃,在整个二连-东乌旗地区均发育晚奥陶世侵入岩^[8-9]。

晚奥陶世侵入岩主要分布在二连-东乌旗的吉尔嘎朗图和道特淖尔以北、满都胡宝力格北西及沙麦等地区,岩体呈北东向展布,岩石类型包括辉长岩、闪长岩、闪长玢岩、石英二长闪长岩、花岗闪长岩及二长花岗岩等,侵入中一下奥陶统中。东乌旗乌拉盖地区出露的辉长闪长岩为富 Na_2O 、贫 K_2O 、高 Al_2O_3 的钙碱性系列,具岛弧和大陆边缘的高铝玄武岩特征,锆石 LA-ICP-MS 的 U-Pb 定年显示其形成年龄为早奥陶世 499 Ma,岩石地球化学主、微量元素和同位素及锆石 Hf 同位素研究表明,东乌旗乌拉盖辉长闪长岩是俯冲流体交代的地幔楔部分熔融的产物^[8]。乌东地区的辉长岩、闪长岩以及花岗闪长岩具有明显的成因相关性,是岩浆演化过程中发生结晶分异作用的岩浆系列^[6];锆石 U-Pb 年龄为 461~446 Ma,地球化学特征显示与弧相关并具有 N-MORB 特征,表明该套岩石形成于弧后盆地^[6]。杨泽黎等^[9]对东乌旗乌拉盖的中基性及酸性火山岩进行锆石定年,年龄为晚奥陶世 452 Ma 和 430 Ma;结合岩石地球化学研究表明基性火山岩源区为软流圈或岩石圈地幔,并受到俯冲板片流体交代作用的影响^[9];而酸性火山岩岩性主要为流纹岩,是地幔或初生地壳物质熔融的产物^[6,9]。

前人对研究区附近 5 km 范围内的中酸性侵入岩的研究主要针对花岗闪长岩和黑云母二长花岗岩。杨泽黎等^[7]对研究区东部的英云闪长岩和花岗闪长岩进行了年代学和地球化学研究,得到锆石 U-Pb 年龄为 479~455 Ma^[7],认为英云闪长岩和花岗闪长岩是受俯冲流体交代影响的新生下地壳部分熔融的产物。此外,赵利刚等^[11]对研究区西部的格日敖包岩体黑云母二长花岗岩进行研究,锆石 U-Pb 定年结果表明形成于晚奥陶世 449 Ma;格日敖包黑云母二长花岗岩亦为高钾钙碱性系列,轻稀土元素富集和微量元素分布特征均表明岩石形成于活动大陆边缘。研究区两件二长花岗岩的锆石年龄分别为 444.8 ± 1.5 Ma 和 445.2 ± 1.1 Ma,形成于晚奥陶世,侵入中奥陶世花岗/二长闪长岩,与前述两个相邻中酸性侵入岩的年龄相近,地球化学特征显示研究区二长花岗岩具有 A2 型花岗岩特征(图 6(c)、6(e))。

4.3 晚奥陶世阿巴嘎旗北部花岗岩岩浆演化过程与构造意义

古元古代时期,东欧、西伯利亚、华北板块可能为统一的大陆,在中一新元古代时期(约 1 350 Ma 之后)统一大陆分裂,在西伯利亚和华北板块之间形成了古亚洲洋,之后古亚洲洋持续扩张,长达 1.1 Ga 时期古亚洲洋的打开与闭合过程中产生了中亚造山带^[12]。区域上,苏尼特左旗中元古代岩体发育,近期又在阿巴嘎旗南部发现 A 型片麻状正长花岗岩,锆石年龄为 1 377~1 385 Ma^[27],进一步证实锡林浩特微地块的存在,

反映了中元古代裂解时间的岩浆记录,这可能与 Columbia 超大陆裂解有关^[28]。

晚古生代早期,研究区位于西伯利亚板块南缘。从晚奥陶世至晚古生代末,古亚洲洋向南北两侧俯冲,分别在西伯利亚板块南缘和华北板块北缘形成相应的沟-弧-盆体系^[1-2,6]。二连-东乌旗北部的南蒙古洋,早古生代开始向华北-塔里木板块和西伯利亚板块发生俯冲作用,使其边缘成为乌拉雅斯太活动型陆缘,持续强烈的板块俯冲作用导致大规模火山喷发,在莱克、额尔德仁、巴伊塔格、古尔万赛罕和曼达尔敖包等形成巨厚的海相火山-沉积岩和部分加里东期花岗岩类侵入岩,进而构成早古生代岛弧岩浆岩带^[1-2]。这一事件也对二连-东乌旗地区造成影响。中奥陶世以来,来自古亚洲洋的板片俯冲引起增生岩石的部分熔融,形成安山质岛弧钙碱性岩浆岩,乌东地区主要由辉长岩、闪长岩和花岗闪长岩组成,形成于 461~446 Ma,具有弧相关和洋中脊玄武岩 N-MORB 地球化学特征,指示弧后盆地背景^[6];晚奥陶世,南蒙古洋的演化仍在继续,岩浆活动的强度较中奥陶世明显减弱,在二连-东乌旗地区形成浅海相碎屑沉积的同时,形成了晚奥陶世富钠钙碱性侵入岩^[6,9]与钾质偏碱性侵入岩的岩浆岩组合^[6,11](图 3(b)),早-中奥陶世火山喷溢活动时有发生,被晚奥陶世二长花岗岩侵入^[12](图 1(c))。

在乌拉雅斯太大陆活动边缘火山岩带,本研究的 A2 型二长花岗岩具有较高的 Rb 和中等程度的 Y+ Nb,在关系图解中落入碰撞后构造环境(图 7(a)),并且具有高铁指数特征,因此在 $FeO_T/(FeO_T+MgO)$ 与 SiO_2 关系图解中也表现出碰撞后构造环境和 A 型花岗岩的特征(图 7(b))。但在研究区附近吉尔嘎郎图的

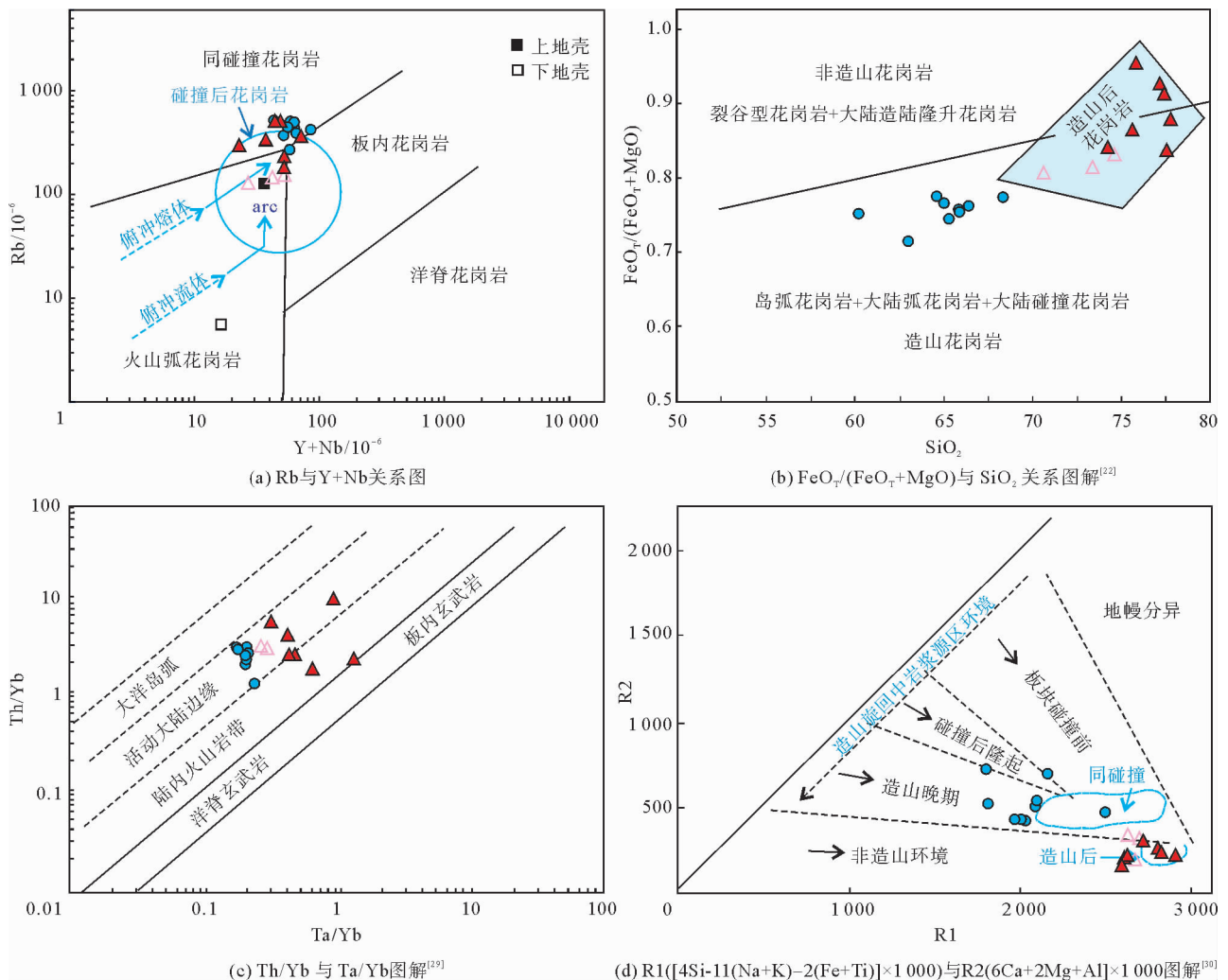


图 7 阿巴嘎旗北部花岗质岩石成因类型判别图

Fig. 7 Discriminant diagrams of granitoid rocks in the north of Abaga Banner

花岗闪长岩表现出同碰撞和造山带岩石特征(图 7(a)、7(b))。根据 $Mg^{\#}$ ($[Mg/(Mg+Fe)]$) 与 SiO_2 的成分关系,研究区阿巴嘎旗北部的闪长岩和黑云母花岗岩为熔融变质镁铁质岩石特征,而研究区二长花岗岩富铁(图 7(b)),不在变质镁铁质岩石熔融区域,可能是偏酸性地壳的低压部分熔融产物(图 7(a))^[26]。一般认为,富铁花岗岩类形成于伸展构造环境,这种地质背景具有较薄的地壳和热的地幔,玄武岩浆可形成于接近地表处^[26]。较高的微量元素比值 Ta/Yb 和 Th/Yb 显示二长花岗岩具有活动大陆边缘和陆内火山岩带特征,而吉尔嘎郎图的花岗闪长岩表现出活动大陆边缘特征(图 7(c))。此外,主量元素关系图解显示吉尔嘎郎图的花岗闪长岩形成于碰撞后隆起和晚期造山过程,而研究区的二长花岗岩表现出造山后的岩浆作用特征(图 7(d))。研究区二长花岗岩可能代表了碰撞后到造山后的岩浆活动(图 7(a)、7(d))。A 型造山后花岗岩体与碱性-过碱性非造山期阶段性事件侵位的岩体不同^[26,30]。前人研究表明,大青山 A1 型和 A2 型共存的二长花岗岩,可能代表了阴山与鄂尔多斯地块碰撞后挤压构造向裂隙构造过渡过程中的碰撞后和晚期造山花岗岩^[20];而大青山金盆 A2 型花岗岩是在相对低压和高温条件下,由地壳物质部分熔融而成,标志着华北克拉通岩石圈初始稳定阶段进入克拉通阶段的开始^[21]。造山后花岗岩类是在造山运动的最后阶段侵入的岩石,通常是在该地区的变形停止后形成的;因而这些花岗岩类岩石在时间和空间上都与造山运动有关,代表了大陆地壳在造山运动后到稳定的过渡阶段^[22,26]。因此,认为研究区晚奥陶世二长花岗岩形成于区域造山运动后由碰撞向碰撞后伸展的转变阶段。

5 结论

通过内蒙古阿巴嘎旗北部晚奥陶世 A 型二长花岗岩的岩相学、岩石地球化学和年代学的研究,得出如下主要结论:

1) 在兴蒙造山带乌里雅斯太大陆活动边缘带,阿巴嘎旗北部的二长花岗岩具有偏铝质到过铝质和高钾质特征,属于高钾钙碱性岩石系列,具有 A 型花岗岩的岩石学特征,属于 A2 型花岗岩。

2) 二长花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 $^{206}Pb/^{238}Pb$ 年龄为 445 Ma,表明乌里雅斯太大陆活动边缘存在晚奥陶世岩浆事件。

3) 研究区阿巴嘎旗北部的 A 型二长花岗岩是继中奥陶世古亚洲洋板片俯冲形成的安山质岛弧钙碱性岩浆岩,形成于晚奥陶世富钠钙碱性侵入岩与钾质偏碱性侵入岩之后,代表了兴蒙造山带由碰撞造山向碰撞后伸展阶段的转变。

参考文献:

- [1] XU B, ZHAO P, WANG Y Y, et al. The pre-Devonian tectonic framework of Xing'an-Mongolian orogenic belt (XMOB) in north China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 97: 183-96.
- [2] XIAO W J, WINDLEY B F, HAO J, et al. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt[J]. *Tectonics*, 2003, 22: 1069-1088.
- [3] HU F, HUANG W, YANG Z L, et al. Geochemistry and zircon U-Pb-Hf isotopes of the Mante Aobao granite porphyry at East Ujimqin Banner, Inner Mongolia: Implications for petrogenesis and tectonic setting[J]. *Geological Magazine*, 2020, 157: 1068-1086.
- [4] WINDLEY B F, ALEXEIEV D, XIAO W J, et al. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Journal of Geological Society*, 2007, 164(1): 31-47.
- [5] KRÖNER A, KOVACH V, BELOUSOVA E, et al. Reassessment of continental growth during the accretionary history of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Gondwana Research*, 2014, 25(1): 103-125.
- [6] LI H Y, ZHOU Z G, LI P J, et al. Ordovician intrusive rocks from the eastern Central Asian Orogenic Belt in Northeast China: Chronology and implications for bidirectional subduction of the early Palaeozoic Palaeo-Asian Ocean[J]. *International Geology Review*, 2016, 58(10): 1175-1195.
- [7] 杨泽黎, 王树庆, 胡晓佳, 等. 内蒙古吉尔嘎郎图早古生代岩体成因: 年代学、地球化学及 Nd-Hf 同位素制约[J]. *地质通报*, 2017, 36(8): 1369-1384.

- YANG Zeli, WANG Shuqing, HU Xiaojia, et al. Petrogenesis of the Early Paleozoic Jiergalangtu pluton in Inner Mongolia: Constraints from geochronology, geochemistry and Nd-Hf isotopes[J]. Geological Bulletin of China, 2017, 36(8): 1369-1384.
- [8] 杨泽黎, 王树庆, 胡晓佳, 等. 内蒙古东乌珠穆沁旗早古生代辉长闪长岩年代学和地球化学特征及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2018, 37(3): 349-365.
- YANG Zeli, WANG Shuqing, HU Xiaojia, et al. Geochronology and geochemistry of Early Paleozoic gabbroic diorites in East Ujimqin Banner of Inner Mongolia and their geological significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2018, 37(3): 349-365.
- [9] 杨泽黎, 胡晓佳, 王树庆, 等. 内蒙古东乌旗北部早古生代火山岩年代学、地球化学特征及地质意义[J]. 岩石学报, 2020, 36(4): 1107-1126.
- YANG Zeli, HU Xiaojia, WANG Shuqing, et al. Geochronology, geochemistry and geological significance of Early Paleozoic volcanic rocks in northern East Ujimqi Banner, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 2020, 36(4): 1107-1126.
- [10] 那福超, 伍月, 宋维民, 等. 东乌旗地区早古生代中-基性杂岩锆石 U-Pb 年代学及地球化学特征[J]. 岩石学报, 2022, 38(9): 2762-2780.
- NA Fuchao, WU Yue, SONG Weimin, et al. Geochronology, petrogenesis, and tectonic implications of Early Paleozoic intermediate-basic complex of East Ujimqin Banner area[J]. Acta Petrologica Sinica, 2022, 38(9): 2762-2780.
- [11] 赵利刚, 冉焱, 张庆红, 等. 内蒙古阿巴嘎旗奥陶纪岩体的发现及地质意义[J]. 世界地质, 2012, 31(3): 451-461.
- ZHAO Ligang, RAN Hao, ZHANG Qinghong, et al. Discovery of Ordovician pluton in Abaga Banner, Inner Mongolia and its geological significance[J]. Global Geology, 2012, 31(3): 451-461.
- [12] 田麒, 鲁庆伟, 詹健, 等. 内蒙古 1:5 万幸福公社(L50E018005)等 6 幅区域地质调查报告[R]. 呼和浩特: 内蒙古自治区地质调查院, 2014.
- TIAN Qi, LU Qingwei, ZHAN Jian, et al. Geological survey report of six regions including 1:50,000 Xinfu Commune (L50E0188005) in Inner Mongolia[R]. Hohhot: Geological Survey of Inner Mongolia Autonomous Prefecture, 2014.
- [13] LIU Y S, HU Z C, ZONG K Q, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55: 1535-1546.
- [14] 梁平, 祝培刚, 祝德成, 等. 胶西北大尹格庄斑状花岗岩地球化学特征及地质意义[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2018, 37(4): 22-34.
- LIANG Ping, ZHU Peigang, ZHU Decheng, et al. Geochemical characteristics and geological significance of porphyritic granite in Dayingezhuang, northwestern Jiaodong[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2018, 37(4): 22-34.
- [15] 迟乃杰, 韩作振, 单伟, 等. 胶东郭家岭序列北截杂岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学、岩石学、地球化学特征及构造意义[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2021, 40(5): 30-42.
- CHI Naijie, HAN Zuozheng, SHAN Wei, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology, petrology, geochemical characteristics and tectonic significance of Beijie complex of Guojialing sequence in Jiaodong Peninsula[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2021, 40(5): 30-42.
- [16] 宋红伟, 赵民, 刘坤朋, 等. 内蒙古牙尔盖地区哈布楚浑地隆起晚石炭世花岗岩类岩石化学特征及其构造环境[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2019, 38(5): 9-20.
- SONG Hongwei, ZHAO Min, LIU Kunpeng, et al. The petrochemical characteristics and tectonic environment of Late Carboniferous granitoids of the Habchuhudi's uplift in Yalgai area, Inner Mongolia[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2019, 38(5): 9-20.
- [17] ROLLINSON H R. Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation[M]. New York: Routledge, 1993.
- [18] MCDONOUGH W F, SUN S S. The composition of the Earth[J]. Chemical Geology, 1995, 120: 223-253.
- [19] RUBATTO D. Zircon: The metamorphic mineral[J]. Reviews in Mineralogy & Geochemistry, 2017, 83(1): 261-295.
- [20] WANG X, LI X P, ZHANG J, et al. Paleoproterozoic A1- and A2-type coexisting monzogranites in the Daqingshan Complex, Khondalite Belt, North China Craton and its tectonic implications[J/OL]. Precambrian Research, 2022, 369. DOI: 10.1016/j.precamres.2021.106518.
- [21] OUYANG D J, GUO J H, PENG L, et al. Petrogenesis and tectonic implications of 2.45 Ga potassic A-type granite in the Daqingshan area, Yinshan Block, North China Craton[J/OL]. Precambrian Research, 2020, 336. DOI: 10.1016/j.precamres.

2019.105435.

- [22] MANIAR P D, PICCOLI P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 1989, 101: 635-643.
- [23] WHALEN J B, CURRIE K L, CHAPPELL B W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1987, 95: 407-419.
- [24] EBY G N. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis[J]. Lithos, 1990, 26: 115-134.
- [25] EBY G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications[J]. Geology, 1992, 20: 641-644.
- [26] KAMAUNJI V D, WANG L X, AHMED H A, et al. Coexisting A1 and A2 granites of Kudara Complex: Implications for genetic and tectonic diversity of A-type granite in the Younger Granite province, north-central Nigeria[J]. International Journal of Earth Sciences, 2020, 109: 511-535.
- [27] 孙立新, 张云, 李艳峰, 等. 内蒙古阿巴嘎旗中元古代片麻状花岗岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及大地构造意义[J]. 岩石学报, 2020, 36(3): 781-798.
SUN Lixin, ZHANG Yun, LI Yanfeng, et al. Zircon U-Pb age and geochemistry of the Mesoproterozoic gneissic granite from Abaga Banner, Inner Mongolia and its tectonic significances[J]. Acta Petrologica Sinica, 2020, 36(3): 781-798.
- [28] ZHANG S H, ZHAO Y, YANG Z Y, et al. The 1.35 Ga diabase sills from the northern North China Craton: Implications for breakup of the Columbia (Nuna) supercontinent[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2009, 288(3/4): 588-600.
- [29] GORTON M P, SCHANDL E S. From continents to island arcs: A geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks[J]. The Canadian Mineralogist, 2000, 38: 1065-1073.
- [30] BATCHELOR R A, BOWDEN P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[J]. Chemical Geology, 1985, 48: 43-55.

(责任编辑:高丽华)