

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2021.05.10

引用格式: 王红杰, 郭峰, 冯乃琦, 等. 甘肃北山新元古代侵入岩的厘定及其对北山盆山演化格局的制约[J]. 中国地质调查, 2021, 8(5): 84–94. (Wang H J, Guo F, Feng N Q, et al. Confirmation of the granite during Neoproterozoic in Beishan of Gansu Province, and its constraints on the tectonic – evolutional pattern of Beishan orogen[J]. Geological Survey of China, 2021, 8(5): 84–94.)

甘肃北山新元古代侵入岩的厘定及其对北山盆山演化格局的制约

王红杰^{1,2,3}, 郭 峰^{1,2,3}, 冯乃琦^{1,2,3}, 刘 佳^{1,2,3}

(1. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 河南 郑州 450006; 2. 自然资源部多金属矿综合开发利用评价重点实验室, 河南 郑州 450006; 3. 西北地质科技创新中心, 陕西 西安 710054)

摘要: 北山地区是中亚造山带的组成部分, 记录了重要的新元古代构造演化信息。对甘肃北山咸水沟原1:25万区域地质调查所划的泥盆纪侵入岩开展研究, 新解体出新元古代二长花岗岩体, 对该二长花岗岩进行LA-ICP-MS锆石U-Pb测年, 其²⁰⁶Pb/²³⁸U加权年龄为(787 ± 15) Ma。岩石富SiO₂、低TiO₂、高Al₂O₃、富碱, 里特曼指数σ和铝饱和指数A/CNK均大于1.05, 轻稀土相对于重稀土富集, (La/Yb)_N值为15.20 ~ 23.28, 表明轻重稀土高度分异, (La/Sm)_N比值为3.14 ~ 4.22, 指示轻稀土分馏较大, 具明显的负Eu异常, 富集Rb、Th、La, 亏损Nb、P、Ti、Sr, 表现出S型花岗岩特征。北山地区的新元古代二长花岗岩形成于大陆碰撞构造环境, 位于Rodinia超大陆边缘, 该期岩浆事件反映了新元古代北山地区发生了板块碰撞。

关键词: 北山; 新元古代; S型花岗岩; 大陆碰撞

中图分类号: P588.121; P542

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2021)05-0084-11

0 引言

新元古代—古生代, 中亚造山带由多个造山带经过多次汇聚和增生演化而成, 是典型的增生型造山带^[1-3], 北山地区是中亚造山带的重要组成部分, 北临西伯利亚板块南缘, 南属塔里木板块北缘, 西有哈萨克斯坦板块嵌入, 大地构造位置十分特殊^[4-6]。该区广泛发育古生代不同期次的花岗岩类侵入岩体, 类型众多, 为揭示甘肃北山造山带构造演化提供了重要信息。近年来, 众多学者多围绕北山造山带花岗岩进行探讨, 争论焦点在于北山造山带盆山演化各时期的构造格局, 但对新元古代北山造山带古陆裂解演化的研究较少^[7-19]。北山地区发育多个前寒武纪微陆块, 其中明水—旱山地块作为北山地区前寒武纪重要的结晶基底, 其归属问

题是相关研究关注的焦点, 针对该地质科学问题, 前人多从前寒武纪结晶基底变质岩方面进行讨论, 但基底岩石多受后期变质作用影响, 地层原有序列特征多数已被破坏, 缺乏高精度的测年数据^[20-24]。

本文依托1:5万区域地质调查项目, 在北山造山带明水—旱山地块原划泥盆纪侵入岩中厘定出了新元古代侵入岩, 深入研究这套侵入岩的年代学、地球化学特征对讨论北山造山带新元古代盆山演化和构造格局重建都具有重要的指示意义。

1 区域地质背景

明水—旱山地块由太古宙结晶岩系和中元古代变质岩系组成, 古生代基本为一微陆块, 接受剥蚀作用和沉积作用, 在华力西期被卷入造山运动, 之后局部发生裂谷作用, 形成了二叠纪裂谷, 晚期

收稿日期: 2020-08-01; 修订日期: 2021-06-07。

基金项目: 中国地质调查局“东天山昌吉—双沟山地区区域地质调查(中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所)(编号: DD20190067)”和“长江中游黄石—萍乡—德兴矿山集中区综合地质调查(编号: DD20190269)”项目联合资助。

作者简介: 王红杰(1990—), 男, 助理研究员, 主要从事区域地质调查和造山带研究。Email: cugbhongjie@163.com。

形成坳陷盆地,发育中生代—新生代陆内盆地沉积。在明水—旱山地块内部及周围产出有大量侵入岩体,时代分布从新元古代到二叠纪,侵入岩种类也比较多样,从基性到中酸性侵入岩均有出露。

研究区位于明水—旱山地块南侧,马鬃山镇咸水沟附近,产出有新元古代侵入岩和泥盆纪侵入岩,其中新元古代侵入岩由本研究新厘定,命名为咸水沟新元古代侵入体,岩性主要为二长花岗岩,

前人认为其形成时代为泥盆纪^[25],本研究通过锆石U-Pb同位素年,将其厘定为新元古代。咸水沟新元古代侵入岩体呈不规则状出露,长轴近东西向展布,岩体侵入界线不明显,不发育冷凝边、烘烤边,有花岗岩岩脉和石英脉体侵入其中。由于受后期多期构造作用改造导致岩体破碎,其构造面理(弱片麻理)与主构造线方向一致,呈NE向,表明岩体的侵位、构造改造和再改造均受控于基底构造(图1)。

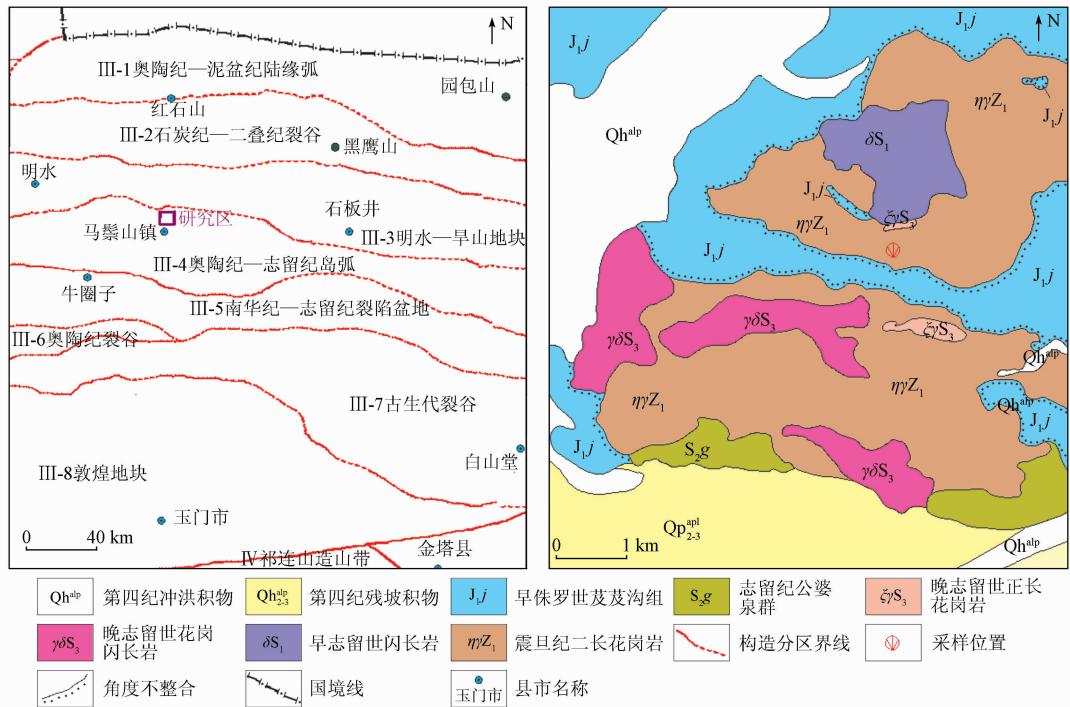


图1 研究区大地构造位置(左)及地质简图(右)^[26]

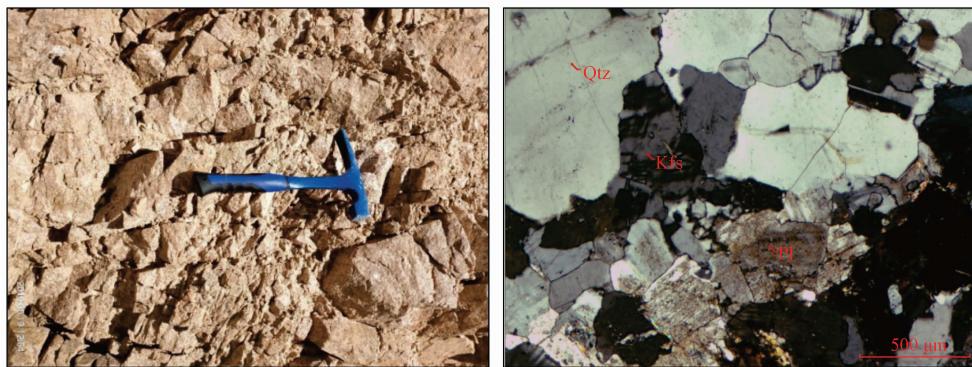
Fig. 1 Geotectonic location (left) and geological sketch (right) of the study area^[26]

2 岩石学特征

咸水沟新元古代侵入岩体出露在肃北蒙古族自治县马鬃山镇北部咸水沟附近,岩体周围发育泥盆纪侵入岩,岩体内部脉体发育。本研究对象为前人所划泥盆纪侵入岩^[25]中解体出的一套具有弱片麻状构造的细粒二长花岗岩。

咸水沟新元古代二长花岗岩呈灰色,细粒花岗结构,块状构造(图2),主要矿物成分为钾长石(38%~40%)、斜长石(33%~35%)、石英(20%~23%)、黑云母(1%~2%)和白云母(1%~2%)。钾长石呈它形粒状,粒径0.2~

2.0 mm,多数表面较干净,个别发生轻微土化;斜长石呈半自形柱状,粒径0.2~1.0 mm,斜长石表面发生强烈绢云母化和轻微土化,表面较浑浊,多数斜长石发育聚片双晶;石英呈它形粒状,粒径多数为0.2~2.0 mm,个别粒径达2.0~4.5 mm,石英表面干净无色,多见石英边缘镶嵌长石,构成嵌晶结构;黑云母呈半自形片状,片径0.05~0.4 mm,具浅黄至浅褐色多色性;白云母呈半自形片状,片径0.05~0.25 mm;岩石内部发育少量显微裂隙,裂隙宽0.01~0.25 mm不等,裂隙内多被石英、黑云母和氧化铁质集合体充填。副矿物有黄铁矿、磷灰石、锆石,次生矿物为高岭土、绢云母。



Kfs. 钾长石; Qtz. 石英; Pl. 斜长石

图 2 咸水沟二长花岗岩野外照片(左)与正交显微镜下照片(右)

Fig. 2 Field (left) and microscopic (right) photos of the monzogranite in Xianshuigou area

3 年代学特征

选取新鲜的咸水沟二长花岗岩进行锆石 U-Pb 测年, 样品编号 PM001-28TW。锆石 U-Pb 测年工作在中国地质调查局西安地质调查中心岩浆作用成矿与找矿重点实验室完成, 选择没有明显裂痕和包裹体的锆石样品, 采用 Geolas 193nm ArF 准

分子激光剥蚀系统, ICP-MS 为 Agilent7700, 激光束斑直径 24 μm, 同位素标样选择 915 作为主标, GJ 作为监控, 用 SRM610 为元素含量标样进行校正, 数据处理使用 ICPMSDataCal(9.2)软件, 年龄计算及投图使用 ISOPLOT 软件。从样品的锆石阴极发光图像可以看出新元古代咸水沟二长花岗岩锆石呈深褐色或无色透明, 柱状, 自形程度高, 玻璃光泽, 锆石颗粒轻微破碎, 粒径 80~150 μm, 锆石的振荡环带清晰, 岩浆型锆石特征明显(图 3)。

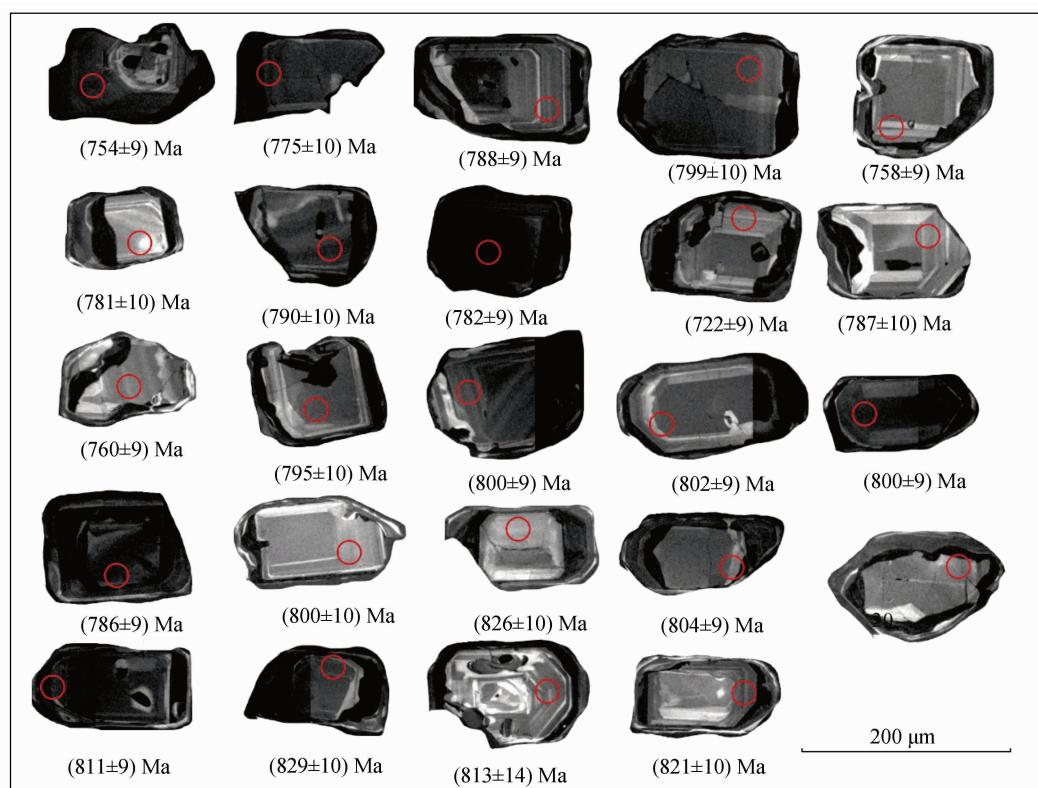


图 3 二长花岗岩锆石阴极发光图像及年齡值

Fig. 3 CL images and ages of zircon from the monzogranite

咸水沟新元古代二长花岗岩锆石 Th 含量为 $(90.43 \sim 560.18) \times 10^{-6}$, U 含量为 $(221.42 \sim 759.3) \times 10^{-6}$, Th/U 值为 $0.41 \sim 0.84$ (表 1)。选取 24 颗锆石进行测点, 其中 23 个为有效测点,

1 个测点的锆石谐和度在 90 ~ 110 之外, 其余 23 个测点谐和度较高且年龄较集中, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 (787 ± 15) Ma, MSWD = 0.48 (图 4)。

表 1 咸水沟二长花岗岩 (PM001-28TW) 锆石 U-Pb 定年数据

Tab. 1 U-Pb isotopic data of zircon from the monzogranite (PM001-28TW) in Xianshuiogou area

测点 编号	同位素比值及误差						年龄及误差/Ma						谐和 度/%		
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	
01	0.0652	0.0018	1.1163	0.0299	0.1240	0.0016	0.0385	0.0007	780	35	761	14	754	9	100.9
02	0.0660	0.0031	1.1608	0.0526	0.1277	0.0018	0.0390	0.0005	805	102	782	25	775	10	100.9
03	0.0654	0.0016	1.1746	0.0284	0.1300	0.0016	0.0399	0.0007	788	30	789	13	788	9	100.1
04	0.0640	0.0017	1.1653	0.0311	0.1319	0.0017	0.0373	0.0007	740	35	784	15	799	10	98.1
05	0.0659	0.0016	1.1362	0.0271	0.1249	0.0015	0.0387	0.0006	803	30	771	13	758	9	101.7
06	0.0652	0.0022	1.1603	0.0378	0.1288	0.0018	0.0407	0.0008	781	46	782	18	781	10	100.1
07	0.0677	0.0019	1.2201	0.0336	0.1305	0.0017	0.0407	0.0008	860	36	810	15	790	10	102.5
08	0.0640	0.0016	1.1397	0.0285	0.1290	0.0016	0.0403	0.0007	741	32	772	14	782	9	98.7
09	0.0626	0.0020	1.0252	0.0318	0.1186	0.0016	0.0351	0.0008	695	43	717	16	722	9	99.3
10	0.0642	0.0020	1.1515	0.0357	0.1298	0.0017	0.0410	0.0008	749	43	778	17	787	10	98.9
11	0.0653	0.0019	1.1296	0.0331	0.1252	0.0016	0.0365	0.0007	784	40	768	16	760	9	101.1
12	0.0631	0.0018	1.1437	0.0320	0.1312	0.0017	0.0375	0.0007	712	38	774	15	795	10	97.4
13	0.0645	0.0016	1.1759	0.0286	0.1321	0.0016	0.0402	0.0007	756	31	789	13	800	9	98.6
14	0.0636	0.0015	1.1635	0.0275	0.1325	0.0016	0.0382	0.0006	728	30	784	13	802	9	97.8
15	0.0646	0.0012	1.1786	0.0214	0.1321	0.0015	0.0387	0.0005	761	20	791	10	800	9	98.9
16	0.0669	0.0015	1.1984	0.0265	0.1296	0.0016	0.0377	0.0006	835	26	800	12	786	9	101.8
17	0.0647	0.0017	1.1809	0.0309	0.1322	0.0017	0.0377	0.0007	764	34	792	14	800	10	99.0
18	0.0640	0.0018	1.2081	0.0337	0.1367	0.0018	0.0389	0.0008	741	37	804	15	826	10	97.3
19	0.0643	0.0016	1.1791	0.0292	0.1328	0.0017	0.0373	0.0006	750	32	791	14	804	9	98.4
20	0.1009	0.0021	1.2870	0.0261	0.0923	0.0011	0.0849	0.0014	1641	20	840	12	569	7	147.6
21	0.0645	0.0012	1.1941	0.0229	0.1341	0.0016	0.0379	0.0005	757	22	798	11	811	9	98.4
22	0.0625	0.0018	1.1841	0.0340	0.1372	0.0018	0.0381	0.0007	691	39	793	16	829	10	95.7
23	0.0673	0.0038	1.2497	0.0687	0.1344	0.0025	0.0405	0.0013	847	83	823	31	813	14	101.2
24	0.0634	0.0017	1.1902	0.0315	0.1359	0.0017	0.0375	0.0007	721	35	796	15	821	10	97.0

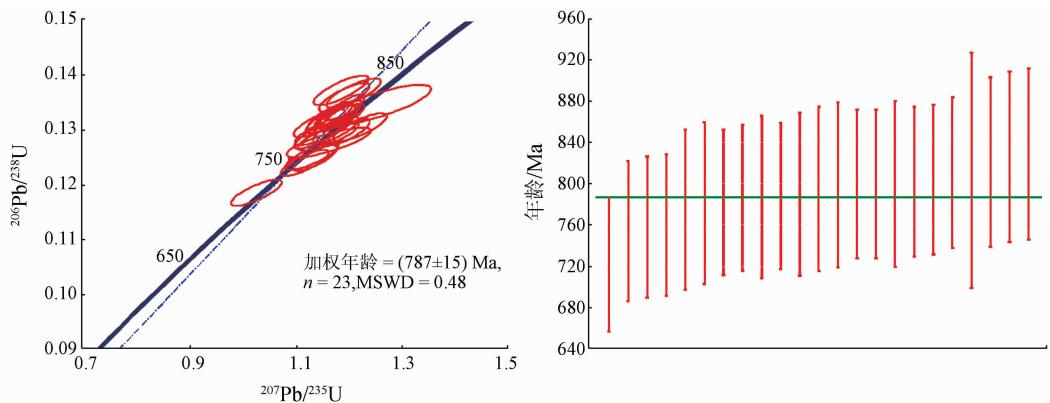


图 4 二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐和图(左)和加权平均年龄(右)

Fig. 4 U-Pb concordia diagram (left) and weighted average age (right) of zircon from the monzogranite

4 岩石地球化学特征

采集 5 件新鲜的咸水沟新元古代二长花岗岩样品进行岩石地球化学分析, 分析工作在中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所多金属矿综合利用评价重点实验室完成, 结果见表 2。样品高 SiO_2 , 属酸性岩类, 低 TiO_2 , 富 Al_2O_3 , 里特曼指数 σ 为 1.21 ~ 2.24, 富碱, 低镁。 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 图解(图 5)显示出钙碱性 - 高钾钙碱性系列特征, $\text{A/CNK} - \text{A/NK}$ 图解(图 6)表现为过铝质的特征。综上新

表 2 二长花岗岩全岩主量元素、微量元素分析结果及特征参数

Tab. 2 Major elements, trace elements data and characteristic parameters of the monzogranite

样品编号	主量元素含量/%											特征参数		
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	烧失量	全碱	A/CNK
PM001-28	76.58	0.11	12.00	1.80	0.69	0.01	0.14	0.60	3.05	4.73	0.02	0.56	7.78	1.07
PM001-29	74.56	0.33	13.20	2.79	1.25	0.05	0.99	1.03	3.75	2.44	0.08	1.13	6.19	1.24
PM001-30	73.44	0.28	14.22	2.29	0.96	0.03	0.75	0.87	3.68	4.07	0.07	0.94	7.75	1.18
PM001-31	78.50	0.10	10.99	1.82	0.78	0.01	0.14	0.32	2.83	4.26	0.04	0.41	7.09	1.12
PM001-32	73.50	0.30	14.00	2.11	0.52	0.06	0.43	0.92	3.38	4.89	0.07	0.60	8.27	1.12

样品编号	特征参数				微量元素含量/ 10^{-6}											
	A/NK	$\text{Mg}^{\#}$	σ	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
PM001-28	1.18	0.10	1.80	0.07	39.1	76.7	8.43	36.9	6.80	0.55	4.65	0.57	2.88	0.49	1.35	0.18
PM001-29	1.50	0.32	1.21	0.09	37.3	74.2	7.62	32.2	5.62	0.93	3.85	0.52	2.76	0.48	1.27	0.17
PM001-30	1.36	0.31	1.97	0.14	31.2	59.9	6.13	25.9	4.65	0.78	3.22	0.42	2.14	0.36	0.96	0.13
PM001-31	1.19	0.09	1.41	0.08	49.6	103.0	10.60	48.3	9.95	0.65	6.70	0.82	4.42	0.73	2.01	0.28
PM001-32	1.29	0.24	2.24	0.22	33.7	77.9	7.01	30.2	5.20	1.06	3.48	0.44	2.21	0.37	1.10	0.12

样品编号	微量元素含量/ 10^{-6}													特征参数	
	Yb	Lu	Y	W	Sn	Cu	Pb	Zn	Nb	Ta	Rb	Sr	Ni	Co	
PM001-28	1.14	0.19	13.4	0.59	1.99	6.76	46.0	15.20	9.88	1.06	101.0	37.3	215.00	3.28	
PM001-29	1.08	0.16	15.4	0.58	2.25	29.60	22.5	43.00	15.80	1.37	67.4	259.0	201.00	6.05	
PM001-30	0.91	0.13	11.9	0.90	4.30	7.80	22.1	28.50	9.16	0.50	97.9	217.0	4.40	2.97	
PM001-31	2.20	0.29	25.9	0.81	1.76	13.40	30.3	8.68	10.00	1.02	86.8	47.9	263.00	4.16	
PM001-32	1.12	0.10	11.5	1.15	1.55	3.74	37.3	33.60	7.18	0.34	117.0	250.0	3.26	2.07	

样品编号	微量元素含量/ 10^{-6}												特征参数			
	V	U	Zr	As	Th	Hf	Ga	Sc	Sb	ΣREE	ΣLREE	ΣHREE	LREE/HREE	δEu	$(\text{La}/\text{Sm})_N$	$(\text{La}/\text{Yb})_N$
PM001-28	6.18	1.06	240	6.23	11.7	10	15.4	2.18	0.21	179.93	168.48	11.45	14.71	0.28	3.62	23.12
PM001-29	36.60	1.72	240	6.72	14.9	0	15.9	5.73	0.13	168.16	157.87	10.29	15.34	0.58	4.17	23.28
PM001-30	24.50	0.91	280	6.68	16.1	10	13.7	4.28	0.06	136.83	128.56	8.27	15.55	0.59	4.22	23.12
PM001-31	9.49	1.83	310	6.14	28.7	10	16.6	2.41	0.10	239.55	222.10	17.45	12.73	0.23	3.14	15.2
PM001-32	16.10	1.40	290	6.09	11.8	10	15.4	4.01	0.01	164.01	155.07	8.94	17.35	0.72	4.08	20.29

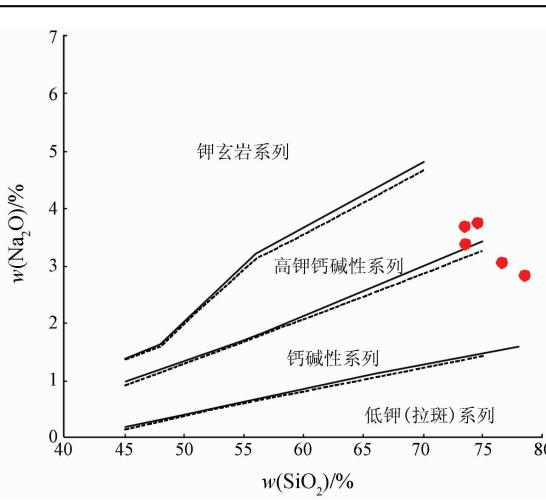


图 5 二长花岗岩 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 图解^[27-28]

Fig. 5 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ diagram of the monzogranite^[27-28]

用评价重点实验室完成, 结果见表 2。样品高 SiO_2 , 属酸性岩类, 低 TiO_2 , 富 Al_2O_3 , 里特曼指数 σ 为 1.21 ~ 2.24, 富碱, 低镁。 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 图解(图 5)显示出钙碱性 - 高钾钙碱性系列特征, $\text{A/CNK} - \text{A/NK}$ 图解(图 6)表现为过铝质的特征。综上新

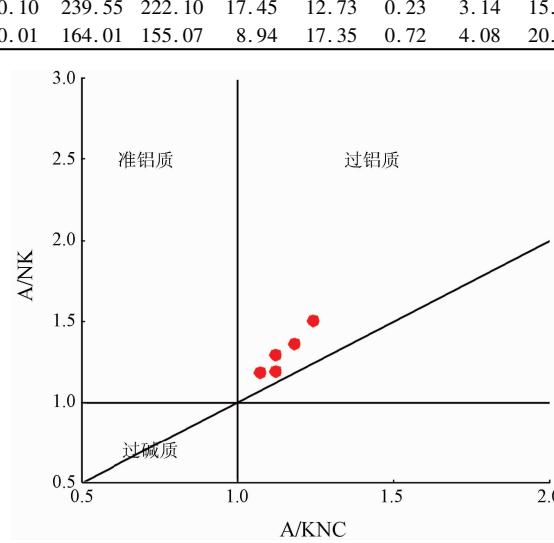


图 6 二长花岗岩 $\text{A/CNK} - \text{A/NK}$ 图解^[29]

Fig. 6 $\text{A/CNK} - \text{A/NK}$ diagram of the monzogranite^[29]

元古代咸水沟二长花岗岩体具有高硅、富碱、低镁、铝质的钙碱性花岗岩特征。

样品均具有相似的稀土配分模式(图7),模式曲线显示LREE相对于HREE富集,LREE/HREE值为12.73~17.35,(La/Yb)_N值为15.20~23.28,轻重稀土高度分异,(La/Sm)_N比值为3.14~4.22,轻稀土分馏较大。 δEu 值为0.23~0.72,为负Eu异常。样品的原始地幔标准化微量元素蛛网图(图8)具有明显的右倾特征,可以看出Rb、Th、La富集,Nb、P、Ti、Sr亏损。

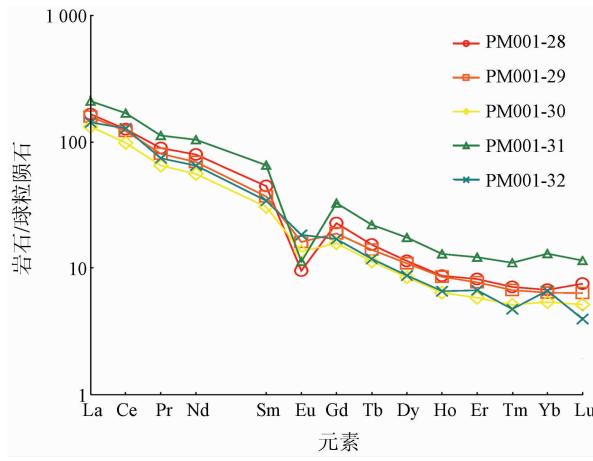


图7 二长花岗岩球粒陨石标准化稀土元素配分型式图^[30]

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns of the monzogranite^[30]

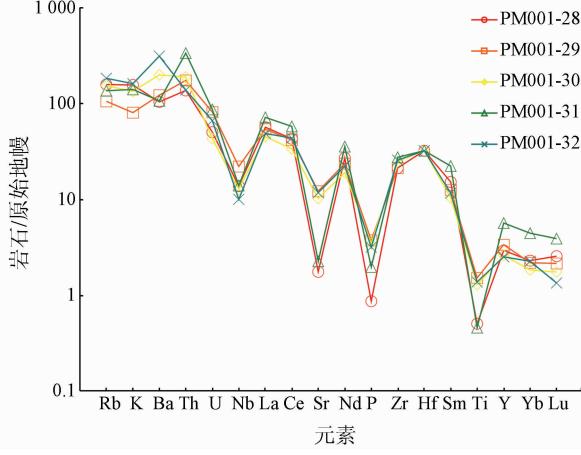


图8 二长花岗岩原始地幔标准化微量元素蛛网图^[31]

Fig. 8 Primitive mantle-normalized trace elements spider diagram of the monzogranite^[31]

5 讨论

5.1 岩石成因

花岗岩成因类型通常分为I型、S型、A型和

M型,本研究的样品没有表现出过碱性特征,不同于A型花岗岩^[32],具有高硅、过铝、低钛、贫镁、钙碱性-高钾钙碱性系列特征,A/CNK>1.05,说明新元古代咸水沟二长花岗岩属S型花岗岩^[33],在ACF图解中样品也多落在S型花岗岩区域(图9),A/MF-C/MF图解(图10)显示样品多来源于变质杂砂岩和变质泥岩的部分熔融,与基性岩的部分熔融没有关系,这与样品具有低的Mg[#]值相一致,也反映出样品具有以沉积岩为源岩的S型花岗岩特征。低Mg[#]值与明显的负Eu异常,可能与斜长石的分离结晶作用有关^[34]。

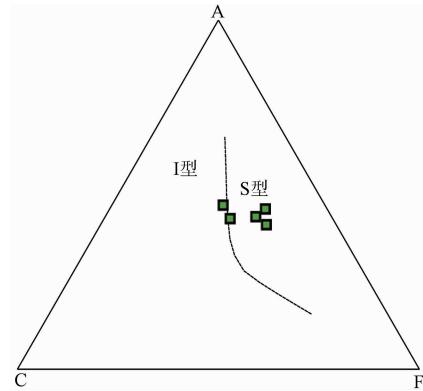


图9 二长花岗岩 ACF 图解^[33]

Fig. 9 ACF diagram of the monzogranite^[33]

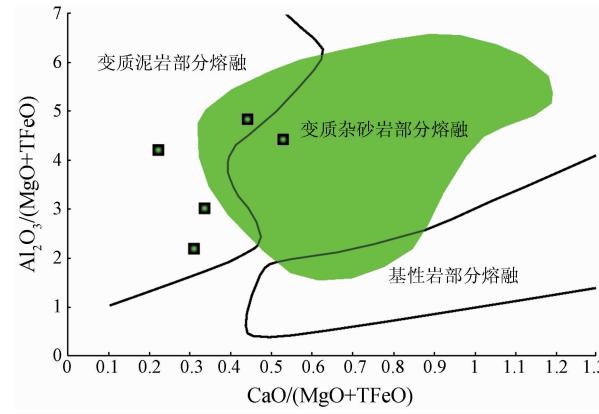


图10 二长花岗岩 A/MF-C/MF 图解^[35]

Fig. 10 A/MF-C/MF diagram of the monzogranite^[35]

综上,咸水沟二长花岗岩为S型花岗岩,其岩浆源区为古老下地壳杂砂岩和泥质岩。

5.2 构造环境分析

北山地区位于西伯利亚板块、塔里木板块和哈萨克斯坦板块接触部位,大地构造位置十分特殊。研究区北部为红石山蛇绿岩带,南部为红柳河-洗

肠井—牛圈子蛇绿岩带,既发育有前寒武纪大陆基底,也有板块俯冲造山作用形成的花岗岩。咸水沟二长花岗岩属 S 型花岗岩,一般认为 S 型花岗岩产生于同碰撞和后碰撞的构造背景,但是没有相关高级变质作用指示新元古代该地区发生过碰撞造山作用,因此,咸水沟二长花岗岩产生的构造环境应该不是同碰撞或后碰撞背景下的伸展环境^[36]。花岗岩的主要化学成分可以有效判定其形成的大地构造环境。Maniar 等^[37]按花岗岩形成时的构造环境,将花岗岩分为岛弧花岗岩类、大陆弧花岗岩类、大陆碰撞花岗岩类、造山后花岗岩类、与裂谷有关的花岗岩类、陆内造陆抬升花岗岩类和大洋斜长花岗岩类,其中前 4 类为造山花岗岩类,其余为非造

山花岗岩类。在 $K_2O - SiO_2$ 图解(图 11(a))中,样品投影点落入非大洋斜长类型花岗岩区域;在 $(TFeO + MgO) - CaO$ 图解(图 11(b))中,样品投点落在造山花岗岩区域;在山德指数图解(图 11(c))中样品投影点 2 个落入大陆碰撞花岗岩区域,3 个落入大陆碰撞花岗岩、大陆弧花岗岩和造山后花岗岩的重合区域,综上认为新元古代咸水沟二长花岗岩属于 Maniar 花岗岩分类中的大陆碰撞花岗岩;在 $R_1 - R_2$ 构造环境判别图解(图 11(d))中,样品投影点落入同碰撞和造山后区域,但其亏损 Nb、Ta、Sr 等,与板内形成的 A 型花岗岩又明显不同,本研究认为新元古代咸水沟二长花岗岩形成于大陆碰撞构造环境。

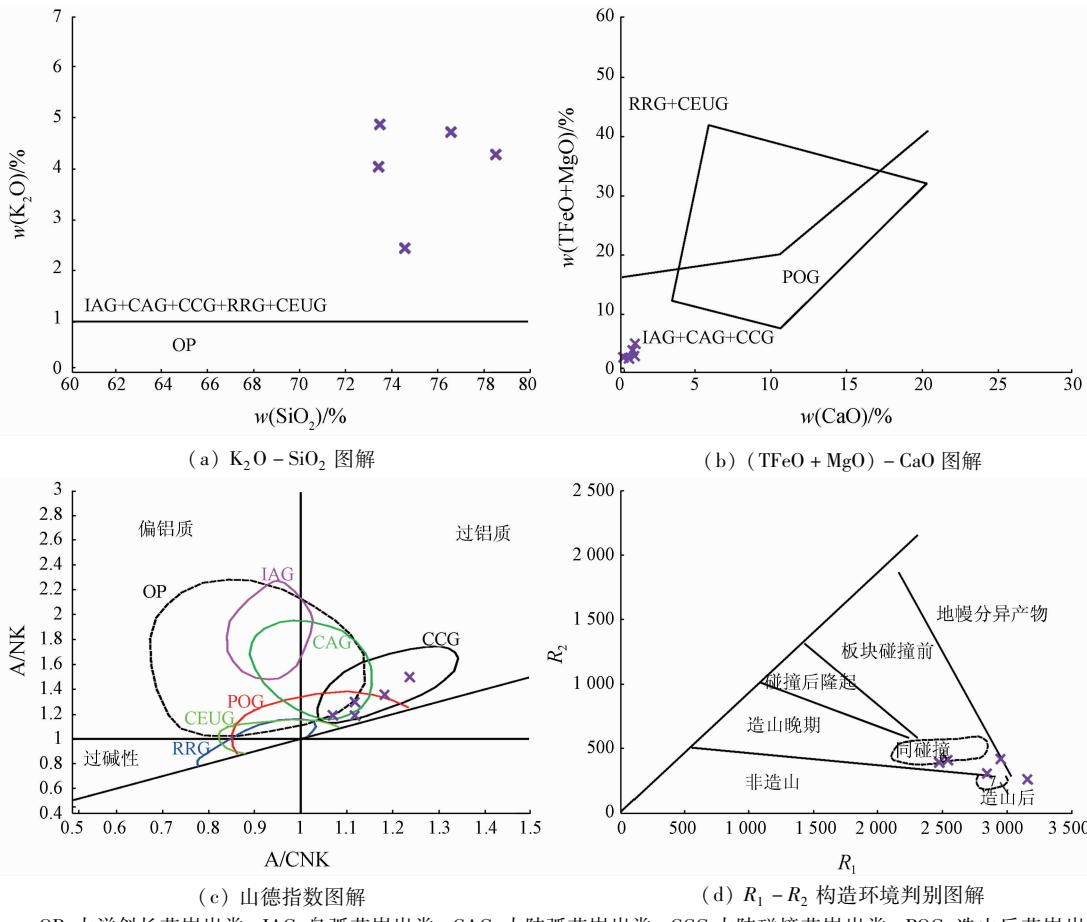


图 11 二长花岗岩构造判别图解^[37-38]

Fig. 11 Structural discrimination diagrams of the monzogranite^[37-38]

5.3 形成时代及地质意义

1:25 万马鬃山幅区域地质调查工作认为咸水沟侵入岩体时代为泥盆纪^[25],本文对其中的二长花岗岩进行锆石 U-Pb 测年,获得²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄

加权平均值为 (787 ± 15) Ma,指示咸水沟二长花岗岩形成于新元古代。

在东天山—北山地区已有部分新元古代花岗岩的报道(表 3),对比发现,新元古代花岗岩在整

个东天山—北山地区广泛发育,该时期花岗岩在天山、塔里木周缘、柴达木北缘、祁连、准噶尔周缘也有发现,同时该期岩浆活动也可以在全球范围内对比^[45],综合认为包括明水—旱山地块在内,北山地区在新元古代属于 Rodinia 超大陆的一部分,位于 Rodinia 超大陆边缘,可能代表了 Rodinia 超大陆裂解后,西伯利亚、塔里木和哈萨克斯坦板块发生汇聚碰撞作用对应的构造—岩浆—热事件。

表 3 东天山—北山地区部分新元古代
花岗岩类年龄统计^[39–46]

Tab. 3 Some ages of Neoproterozoic granite in
East Tianshan Beishan area^[39–46]

采样位置	样品岩性	年代学方法	年龄/Ma
甘肃马鬃山咸水沟	二长花岗岩	LA – ICP – MS 锆石 U – Pb	787 ± 15
北山古堡泉	花岗质片麻岩	LA – ICP – MS 锆石 U – Pb	902 ± 5
北山古堡泉	花岗质片麻岩	LA – ICP – MS 锆石 U – Pb	880 ± 31
内蒙古北山哈珠南山	片麻状花岗岩	LA – ICP – MS 锆石 U – Pb	891.9 ± 6.5
甘肃北山白墩子	片麻岩	LA – ICP – MS 锆石 U – Pb	881 ± 9
甘肃北山勒巴泉	花岗闪长质片麻岩	Rb – Sr 全岩等时线	727 ± 50
甘肃北山勒巴泉	花岗闪长质片麻岩	LA – ICP – MS 锆石 U – Pb	766 ± 49
东天山星星峡	花岗片麻岩	LA – ICP – MS 锆石 U – Pb	923 ± 6
东天山星星峡	花岗片麻岩	LA – ICP – MS 锆石 U – Pb	930 ± 4
东天山星星峡	花岗片麻岩	SHRIMP 锆石 U – Pb	942 ± 7
东天山大白石头	花岗片麻岩	LA – ICP – MS 锆石 U – Pb	922.7 ± 7.9
内蒙古北山哈珠地区	片麻状花岗岩	LA – ICP – MS 锆石 U – Pb	885 ± 4

6 结论

(1) 北山咸水沟二长花岗岩的时代应为新元古代,锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄值为(787 ± 15) Ma。

(2) 二长花岗岩具有高硅、富碱、低镁、贫钛、过铝质的钙碱性—高钾钙碱性系列特征,岩石地球化学指示其属于 S 型花岗岩,其岩浆源区应为古老下地壳杂砂岩和泥质岩。

(3) 新元古代二长花岗岩形成于大陆碰撞构造

环境下,位于 Rodinia 超大陆边缘,该时期北山地区发生了板块碰撞。

致谢: 本论文研究工作的开展和撰写得到了中国地质调查局西安地质调查中心、甘肃省地质调查院等单位专家的指导和帮助,审稿专家和编辑对本文提出了宝贵的建议,一并表示感谢。

参考文献(References):

- [1] Şengör A M C, Natalíñ B A, Burtman V S. Evolution of the Altai tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia [J]. Nature, 1993, 364 (6435): 299 – 307.
- [2] Xiao W J, Windley B F, Sun S, et al. A tale of amalgamation of three Permo – Triassic collage systems in Central Asia: Oroclines, sutures, and terminal accretion [J]. Annu Rev Earth Planet Sci, 2015, 43 (1): 477 – 507.
- [3] Şengör A M C, Natalíñ B A, Sunal G, et al. The tectonics of the Altaiids: Crustal growth during the construction of the continental lithosphere of Central Asia between ~ 750 and ~ 130 Ma ago [J]. Annu Rev Earth Planet Sci, 2018, 46 (1): 439 – 494.
- [4] 李春昱,王荃. 我国北部边陲及邻区的古板块构造与欧亚大陆的形成[G]//唐克东. 中国北方板块构造文集(第一集). 北京: 地质出版社, 1983: 3 – 17.
Li C Y, Wang Q. The paleo – plate tectonics of northern China and adjacent regions and the origin of Eurasia [G]// Tang K D. Contributions for the Project of Plate Tectonics in Northern China (No. 1). Beijing: Geological Publishing House, 1983: 3 – 17.
- [5] Xiao W J, Mao Q G, Windley B F, et al. Paleozoic multiple accretionary and collisional processes of the Beishan orogenic collage [J]. Am J Sci, 2010, 310 (10): 1553 – 1594.
- [6] 蔡志慧,许志琴,何碧竹,等. 东天山—北山造山带中大型韧性剪切带属性及形成演化时限与过程[J]. 岩石学报, 2012, 28 (6): 1875 – 1895.
Cai Z H, Xu Z Q, He B Z, et al. Age and tectonic evolution of ductile shear zones in the eastern Tianshan Beishan orogenic belt [J]. Acta Petrol Sin, 2012, 28 (6): 1875 – 1895.
- [7] 王红杰,郭峰,赵海波,等. 甘肃北山马鬃山地区志留纪侵入岩的厘定及其构造意义[J]. 甘肃地质, 2020, 29 (S2): 13 – 21.
Wang H J, Guo F, Zhao H B, et al. Determination of Silurian intrusive rocks in Mazongshan area, Beishan, Gansu and its tectonic significance [J]. Gansu Geol, 2020, 29 (S2): 13 – 21.
- [8] 李伍平,王涛,李金宝,等. 东天山红柳河地区晚加里东期花岗岩类岩石锆石 U – Pb 年龄及其地质意义 [J]. 地球学报, 2001, 22 (3): 231 – 235.
Li W P, Wang T, Li J B, et al. The U – Pb age of zircon from Late Caledonian granitoids in Hongliuhe area, East Tianshan Mountains, Northwest China and its geological implications [J]. Acta Geosci Sin, 2001, 22 (3): 231 – 235.

- [9] 范洪海,闵茂中,陈佳,等.甘肃北山野马泉岩体同位素地球化学特征[J].地球学报,2005,26(S1):78–83.
Fan H H,Min M Z,Chen J,et al. Isotopic geochemical characteristics of Yemaquan granitic intrusions in Beishan area, Gansu Province[J]. Acta Geosci Sin,2005,26(S1):78–83.
- [10] 何世平,周会武,任秉琛,等.甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化[J].西北地质,2005,38(3):6–15.
He S P,Zhou H W,Ren B C,et al. Crustal evolution of Palaeozoic in Beishan area, Gansu and Inner Mongolia, China[J]. Northwestern Geol,2005,38(3):6–15.
- [11] 刘明强.甘肃北山造山带红石山地区埃达克质花岗岩类的发现及其地质意义[J].岩石矿物学杂志,2007,26(3):232–238.
Liu M Q. Geochemical characteristics and geological significance of adakitic granitoids in Hongshishan area of the Beishan orogenic belt, Gansu Province[J]. Acta Petrol Mineral,2007,26(3):232–238.
- [12] 杨合群,李英,李文明,等.北山成矿构造背景概论[J].西北地质,2008,41(1):22–28.
Yang H Q,Li Y,Li W M,et al. General discussion on metallogenic tectonic setting of Beishan mountain Northwestern China[J]. Northwestern Geol,2008,41(1):22–28.
- [13] 张文,吴泰然,贺元凯,等.甘肃北山西涧泉子富碱高钾花岗岩体的锆石 LA – ICP – MS 定年及其构造意义[J].岩石矿物学杂志,2010,29(6):719–731.
Zhang W,Wu T R,He Y K,et al. LA – ICP – MS zircon U – Pb ages of Xijianquanzi alkali – rich potassium – high granites in Beishan, Gansu Province, and their tectonic significance[J]. Acta Petrol Mineral,2010,29(6):719–731.
- [14] 张文,冯继承,郑荣国,等.甘肃北山音凹峡南花岗岩体的锆石 LA – ICP MS 定年及其构造意义[J].岩石学报,2011,27(6):1649–1661.
Zhang W,Feng J C,Zheng R G,et al. LA – ICP MS zircon U – Pb ages of the granites from the south of Yin'aoxia and their tectonic significances[J]. Acta Petrol Sin,2011,27(6):1649–1661.
- [15] Lei R X,Wu C Z,Gu L X,et al. Zircon U – Pb chronology and Hf isotope of the Xingxingxia granodiorite from the Central Tianshan zone (NW China): Implications for the tectonic evolution of the southern Altaiids[J]. Gondwana Res,2011,20(2/3):582–593.
- [16] 李向民,余吉远,王国强,等.甘肃北山红柳园地区泥盆系三个井组和墩墩山群 LA – ICP – MS 锆石 U – Pb 测年及其意义[J].地质通报,2011,30(10):1501–1507.
Li X M,Yu J Y,Wang G Q,et al. LA – ICP – MS zircon U – Pb dating of Devonian Sangejing Formation and Dundunshan Group in Hongliuyuan,Beishan area, Gansu Province[J]. Geol Bull China,2011,30(10):1501–1507.
- [17] 王磊,杨建国,王小红,等.甘肃北山营毛沱地区花岗岩类 LA – ICP – MS 锆石 U – Pb 定年及地质意义[J].矿物岩石地球化学通报,2015,34(3):583–591.
Wang L,Yang J G,Wang X H,et al. LA – ICP – MS zircon U – Pb dating and its geological implications of Yingmaotuo granitic rocks[J]. Bull Mineral Petrol Geochem,2015,34(3):583–591.
- [18] 王国强,李向民,徐学义,等.甘肃北山墩墩山一带泥盆系三个井组和墩墩山群火山岩地球化学特征及形成环境[J].地质论评,2015,61(S1):730–732.
Wang G Q,Li X M,Xu X Y,et al. Geochemical characteristics and forming environment of Sangejing Group of Devonian and volcanic rocks of Dundunshan Group in Dundunshan area, Beishan, Gansu Province[J]. Geol Rev,2015,61(S1):730–732.
- [19] 王国强,李向民,徐学义,等.甘蒙北山志留纪公婆泉群火山岩的地球化学及其对岩石成因和构造环境的制约[J].地质学报,2016,90(10):2603–2619.
Wang G Q,Li X M,Xu X Y,et al. Geochemistry of Gongpoquan Group in the Beishan area, Gansu Province: Constraints on petrogenesis and tectonic setting[J]. Acta Geol Sin,2016,90(10):2603–2619.
- [20] Zuo G C,Zhang S L,He G Q,et al. Plate tectonic characteristics during the Early Paleozoic in Beishan near the Sino – Mongolian border region, China[J]. Tectonophysics,1991,188(3/4):385–392.
- [21] Ao S J,Xiao W J,Han C M,et al. Geochronology and geochemistry of Early Permian mafic – ultramafic complexes in the Beishan area, Xinjiang, NW China: Implications for late Paleozoic tectonic evolution of the southern Altaiids[J]. Gondwana Res,2010,18(2/3):466–478.
- [22] Ao S J,Xiao W J,Han C M,et al. Cambrian to Early Silurian ophiolite and accretionary processes in the Beishan collage, NW China: Implications for the architecture of the Southern Altaiids[J]. Geol Mag,2012,149(4):606–625.
- [23] Su B X,Qin K Z,Sakyi P A,et al. U – Pb ages and Hf – O isotopes of zircons from Late Paleozoic mafic – ultramafic units in the southern Central Asian Orogenic Belt: Tectonic implications and evidence for an Early – Permian mantle plume[J]. Gondwana Res,2011,20(2/3):516–531.
- [24] 姜洪颖,贺振宇,宗克清,等.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[J].岩石学报,2013,29(11):3949–3967.
Jiang H Y,He Z Y,Zong K Q,et al. Zircon U – Pb dating and Hf isotopic studies on the Beishan complex in the southern Beishan orogenic belt[J]. Acta Petrol Sin,2013,29(11):3949–3967.
- [25] 龚全胜,梁明宏,刘明强,等.甘肃 1:25 万马鬃山幅 (K47 C 003001 幅) 区域地质调查报告[R].兰州:甘肃省地质调查院,2012:210–358.
Gong Q S,Liang M H,Liu M Q,et al. Geological Survey Report of 1:250 000 Mazong Shan (K47 C 003001) in Gansu Province[R]. Lanzhou: Geological Survey Institute of Gansu Province,2012:210–358.
- [26] 王红杰,郭峰,刘佳,等.炭窑子幅 (K47E013005) 1:5 万区域地质图[R].郑州:中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所,2019:1–1.
Wang H J,Guo F,Liu J,et al. Regional Geological Map of Tan-yaozi (K47E013005) 1:50 000[R]. Zhengzhou: Zhengzhou Insti-

- tutes of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, China Academy of Geological Sciences, 2019; 1 - 1.
- [27] Peccerillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc - alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey [J]. *Contr Mineral Petrol*, 1976, 58(1): 63 - 81.
- [28] Middlemost E A K. *Magmas and Magmatic Rocks* [M]. London: Longman, 1985; 1 - 266.
- [29] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *GSA Bull*, 1989, 101(5): 635 - 643.
- [30] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. *Geol Soc Lond Spec Publ*, 1989, 42(1): 313 - 345.
- [31] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *J Petrol*, 1984, 25(4): 956 - 983.
- [32] 叶天竺, 张智勇, 肖庆辉, 等. 成矿地质背景研究技术要求 [M]. 北京: 地质出版社, 2010: 180 - 185.
- Ye T Z, Zhang Z Y, Xiao Q H, et al. Technical Requirements of Metallogenetic Geological Setting Research [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010: 180 - 185.
- [33] Nakada S, Takahashi M. Regional variation in chemistry of the Miocene intermediate to felsic magmas in the outer zone and the Setouchi Province of Southwest Japan [J]. *J Geol Soc Japan*, 1979, 85(9): 571 - 582.
- [34] 朱弟成, 莫宣学, 王立全, 等. 西藏冈底斯东部察隅高分异 I 型花岗岩的成因: 锆石 U - Pb 年代学、地球化学和 Sr - Nd - Hf 同位素约束 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39(7): 833 - 848.
- Zhu D C, Mo X X, Wang L Q, et al. Petrogenesis of highly fractionated I - type granites in the Chayu area of eastern Gangdese, Tibet: Constraints from zircon U - Pb geochronology, geochemistry and Sr - Nd - Hf isotopes [J]. *Sci China Ser D: Earth Sci*, 2009, 52(9): 1223 - 1239.
- [35] Altherr R, Holl A, Hegner E, et al. High - potassium, calc - alkaline I - type plutonism in the European Variscides: Northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J]. *Lithos*, 2000, 50(1/2/3): 51 - 73.
- [36] He Z Y, Zhang Z M, Zong K Q, et al. Metamorphic $P-T-t$ evolution of mafic HP granulites in the northeastern segment of the Tarim Craton (Dunhuang block): Evidence for early Paleozoic continental subduction [J]. *Lithos*, 2014, 196/197: 1 - 13.
- [37] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *GSA Bull*, 1989, 101(5): 635 - 643.
- [38] Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters [J]. *Chem Geol*, 1985, 48(1/2/3/4): 43 - 55.
- [39] 叶晓峰, 宗克清, 张泽明, 等. 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 [J]. 地质通报, 2013, 32(2/3): 307 - 317.
- Ye X F, Zong K Q, Zhang Z M, et al. Geochemistry of Neoproterozoic granite in Liuyuan area of southern Beishan orogenic belt and its geological significance [J]. *Geol Bull China*, 2013, 32(2/3): 307 - 317.
- [40] 于海峰, 陆松年, 修群业, 等. 甘肃北山西部新元古代陆块汇聚与裂解事件的岩石记录 [J]. 前寒武纪研究进展, 2000, 23(2): 98 - 102.
- Yu H F, Lu S N, Xiu Q Y, et al. Assembly and crack events of Neoproterozoic continental blocks in western Beishan Mountain, Gansu Province, China [J]. *Prog Precamb Res*, 2000, 23(2): 98 - 102.
- [41] 牛文超, 任邦方, 任云伟, 等. 内蒙古北山地区发现新元古代片麻状花岗岩: 锆石 U - Pb 定年证据 [J]. 中国地质, 2017, 44(2): 409 - 410.
- Niu W C, Ren B F, Ren Y W, et al. Discovery of Neoproterozoic gneissic granite from the Beishan area, Inner Mongolia; Zircon U - Pb chronologic evidence [J]. *Geol China*, 2017, 44(2): 409 - 410.
- [42] 汤志敏, 孟凡敏. 甘肃北山勒巴泉南一带新元古代变质侵入岩的地质地球化学特征及成因探讨 [J]. 甘肃地质, 2014, 23(1): 35 - 40, 46.
- Tang Z M, Meng F M. Geochemistry and genesis of Neoproterozoic metamorphic intrusion in the south to Labaquan, Beishan region of Gansu [J]. *Acta Geol Gansu*, 2014, 23(1): 35 - 40, 46.
- [43] 黄博涛. 东天山新元古代花岗片麻岩的成因及其他地壳演化意义 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.
- Huang B T. Early Neoproterozoic Granitic Gneiss in the Chinese Eastern Tianshan: Petrogenesis and Implications for Crustal Evolution [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2014.
- [44] 胡霭琴, 韦刚健, 江博明, 等. 天山 0.9 Ga 新元古代花岗岩 SHRIMP 锆石 U - Pb 年龄及其构造意义 [J]. 地球化学, 2010, 39(3): 197 - 212.
- Hu A Q, Wei G J, Jiang B M, et al. Formation of the 0.9 Ga Neoproterozoic granitoids in the Tianshan Orogen, NW China: Constraints from the SHRIMP zircon age determination and its tectonic significance [J]. *Geochimica*, 2010, 39(3): 197 - 212.
- [45] 孟勇, 唐淑兰, 王凯, 等. 东天山大白石头南新元古代片麻状花岗岩锆石 U - Pb 年代学、岩石地球化学及地质意义 [J]. 地球科学, 2018, 43(12): 4427 - 4442.
- Meng Y, Tang S L, Wang K, et al. Zircon U - Pb age, geochemistry and tectonic implications of Neoproterozoic granite from South of Dabaishitou, East Tianshan [J]. *Earth Sci*, 2018, 43(12): 4427 - 4442.
- [46] 牛文超, 任邦方, 任云伟, 等. 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 [J]. 地球科学, 2019, 44(1): 284 - 297.
- Niu W C, Ren B F, Ren Y W, et al. Neoproterozoic magmatic records in the North Beishan Orogenic Belt: Evidence of the gneissic granites from the Hazhu area, Inner Mongolia [J]. *Earth Sci*, 2019, 44(1): 284 - 297.

Confirmation of the granite during Neoproterozoic in Beishan of Gansu Province, and its constraints on the tectonic – evolutional pattern of Beishan orogen

WANG Hongjie^{1,2,3}, GUO Feng^{1,2,3}, FENG Naiqi^{1,2,3}, LIU Jia^{1,2,3}

(1. Zhengzhou Institutes of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, China Academy of Geological Sciences, Henan Zhengzhou 450006, China; 2. Key laboratory of Evaluation and Multipurpose Utilization of Polymetallic Ore, Ministry of Natural Resources, Henan Zhengzhou 450006, China; 3. Northwest China Center for Geoscience Innovation, Shaanxi Xi'an 710054, China)

Abstract: Beishan is located in Central Asia Belt, and records significant information of the Neoproterozoic tectonic evolution. The Neoproterozoic monzogranite was newly confirmed by studying the 1:250 000 Devonian intrusive pluton in Xianshuigou area, Beishan, Gansu Province. LA – ICP – MS zircon U – Pb dating of the monzonitic granite was carried out, the weighted age of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ is (787 ± 15) Ma. The monzogranite is characterized by high SiO_2 , low TiO_2 , high Al_2O_3 , rich alkali, and σ and A/CNK is higher than 1.05. LREE is high relative to HREE. $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ value is 15.20 – 23.28, which indicates LREE and HREE are highly differentiated, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ value is 3.14 – 4.22, which indicates LREE fractionation is large, δEu is negative. Rb, Th, La are high, Nb, P, Ti, Sr are depleted, showing the characteristics of S – type granite. The Neoproterozoic monzonitic granite was formed in the continental collision tectonic environment and located on the edge of Rodinia supercontinent. This magmatic event reflects the continental collision during Neoproterozoic in Beishan.

Keywords: Beishan; Neoproterozoic; S – type granite; continental collision

(责任编辑: 魏昊明, 刘丹)