

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2020.06.07

引用格式: 郭峰,王盘喜,卞孝东,等.东昆仑夏日哈木地区二长花岗岩年代学、地球化学特征及地质意义[J].中国地质调查,2020,7(6): 51-60.

# 东昆仑夏日哈木地区二长花岗岩年代学、地球化学特征及地质意义

郭峰<sup>1,2,3</sup>, 王盘喜<sup>1,2,3</sup>, 卞孝东<sup>1,2,3</sup>, 冯乃琦<sup>1,2,3</sup>

(1. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 郑州 450006; 2. 国家非金属矿产资源综合利用工程技术研究中心, 郑州 450006; 3. 西北地质科技创新中心, 西安 710054)

**摘要:**东昆仑夏日哈木地区首次发现了早泥盆世二长花岗岩,对其开展年代学和地球化学特征研究,进一步探讨其岩石成因和构造地质背景。二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄为  $(412.1 \pm 5.7) \text{ Ma}$  ( $\text{MSWD} = 0.95$ ),形成于早泥盆世早期;岩石为过弱铝质亚碱性花岗岩,富  $\text{SiO}_2$  (含量为 71.41% ~ 72.46%)、 $\text{K}_2\text{O}$  (含量为 5.27% ~ 6.16%),贫  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (含量为 1.86% ~ 2.05%)、 $\text{P}_2\text{O}_5$  (含量为 0.08% ~ 0.12%),富集轻稀土元素,具明显的负 Eu 异常;在原始地幔标准化微量元素蛛网图上可以看出,岩石明显富集 Rb、Th、Zr、Hf,强烈亏损 Nb、Sr、P、Ti、Ba。夏日哈木地区二长花岗岩属于 I 型花岗岩,其源岩可能由幔源岩浆底侵加热下地壳岩石致其部分熔融而形成,处于由同碰撞向后碰撞转换的构造环境,说明东昆仑夏日哈木地区在早泥盆世早期已进入伸展阶段。

**关键词:** I 型花岗岩; 早泥盆世; 岩石成因; 同碰撞-后碰撞; 夏日哈木地区; 东昆仑

**中图分类号:** P588.121; P597.3; P595 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2020)06-0051-10

## 0 引言

东昆仑造山带位于青海省中西部地区,是一条多期次复合构造-岩浆岩带,也是中央造山带的重要组成部分<sup>[1]</sup>。该造山带主要经历了加里东期造山旋回和晚海西期-印支期造山旋回<sup>[2]</sup>,分别与原特提斯洋和古特提斯洋俯冲消减密切相关<sup>[3]</sup>,出露大量早古生代和晚古生代-早中生代侵入岩<sup>[3]</sup>。原特提斯洋壳打开和扩张发生在早寒武世以前,早寒武世末期-早志留世该区处于俯冲阶段,与后碰撞造山相关的构造-岩浆事件多发生在早泥盆世<sup>[4]</sup>。夏日哈木地区 A 型正长花岗岩锆石 U-Pb 年龄为  $(391.1 \pm 1.4) \text{ Ma}$ <sup>[5]</sup>,东昆仑冰沟 A 型正长花岗岩锆石 U-Pb 年龄为  $(391 \pm 3) \text{ Ma}$ <sup>[6]</sup>,说明早泥盆世末期是东昆仑夏日哈木地区后碰撞伸展阶段的最后时限。目前,该地区后碰撞伸展阶段的开

始时限尚不清楚。本次在东昆仑造山带昆中隆起带中部夏日哈木地区首次发现了陆陆碰撞-后碰撞伸展转换构造背景下的 I 型二长花岗岩,在野外地质调查和室内综合研究的基础上,通过锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学特征研究,结合区域地质背景,进一步探讨其岩石成因及构造环境,为研究东昆仑早古生代构造演化提供年代学和地球化学证据。

## 1 区域地质背景

东昆仑造山带位于青藏高原北部柴达木盆地和松潘-甘孜地块之间,呈 NWW 向展布,南邻巴颜喀拉,北邻柴达木盆地,西被阿尔金大型走滑断裂所截,东以温泉-赛什塘断裂与秦岭造山带相连,东西延伸约 1 500 km<sup>[7]</sup>,是横贯中国大陆的巨

收稿日期: 2020-02-29; 修订日期: 2020-07-19。

基金项目: 中国地质调查局“青海祁漫塔格金属矿集区综合地质调查(编号: DD20160073)”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。

第一作者简介: 郭峰(1991—),男,实习研究员,主要从事区域地质调查研究工作。Email: gfenl123@163.com。

通信作者简介: 王盘喜(1986—),男,高级工程师,主要从事地质勘查研究工作。Email: 4814053@qq.com。

型中央造山带的重要组成部分<sup>[8]</sup>。区域断裂以近EW向为主,由北向南依次为昆北断裂带、黑山—那陵格勒断裂带、昆中断裂带和昆南断裂带,以昆中断裂带为界可分为昆北地块和昆南地块(图1)<sup>[9]</sup>。昆北地块大面积出露前寒武纪变质基底金水口岩群和加里东期—印支期侵入杂岩<sup>[10]</sup>。金水口岩群主要为—套古老的深变质岩系,加里东期侵入岩主

要为早古生代中酸性岩体,印支期侵入岩主要为晚古生代—中三叠世中酸性岩体<sup>[11]</sup>。昆南地块基底主要为古元古代苦海群、中元古代万宝沟群和奥陶纪—志留纪纳赤台群以及少量加里东期—印支期侵入岩<sup>[6]</sup>。本文提及的夏日哈木地区位于东昆仑造山带昆北地块,临近黑山—那陵格勒断裂带,位于乌图美仁乡以南约60 km的夏日哈木河下游。

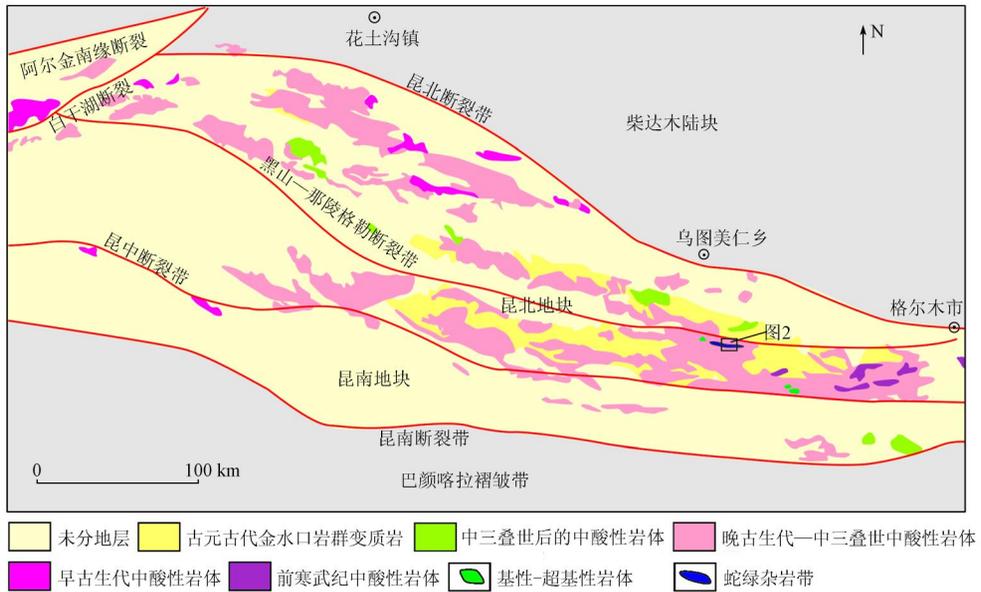


图1 东昆仑造山带地质简图<sup>[9]</sup>

Fig. 1 Simplified geological map of East Kunlun orogenic belt<sup>[9]</sup>

## 2 矿区地质特征

研究区出露的地层主要为古元古代金水口岩

群白沙河岩组,岩性为黑云斜长片麻岩、混合片麻岩、大理岩、黑云二长片麻岩和斜长角闪岩等(图2),原岩为碎屑岩—碳酸盐岩—火山岩建造,经历

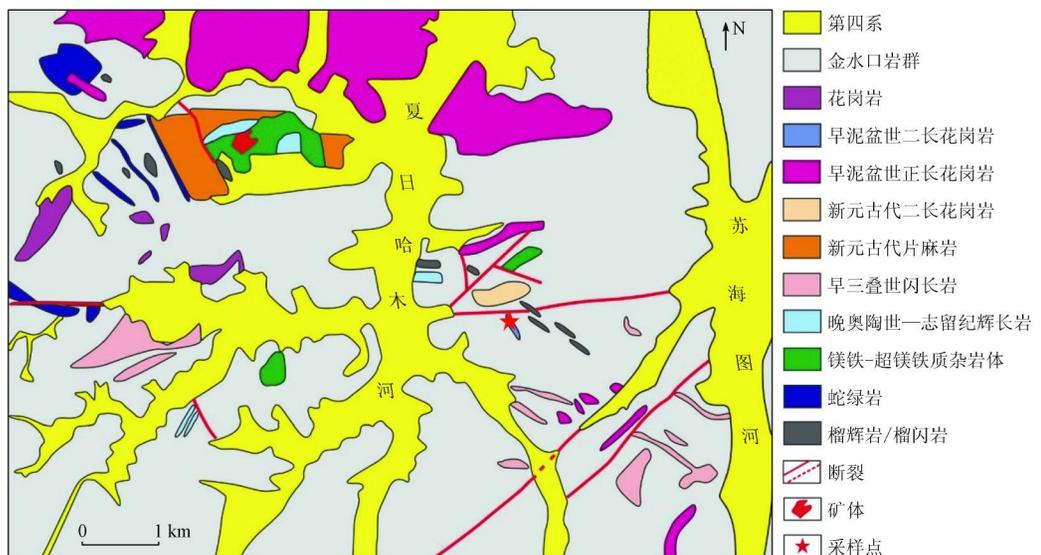


图2 东昆仑夏日哈木地区地质简图<sup>[12]</sup>

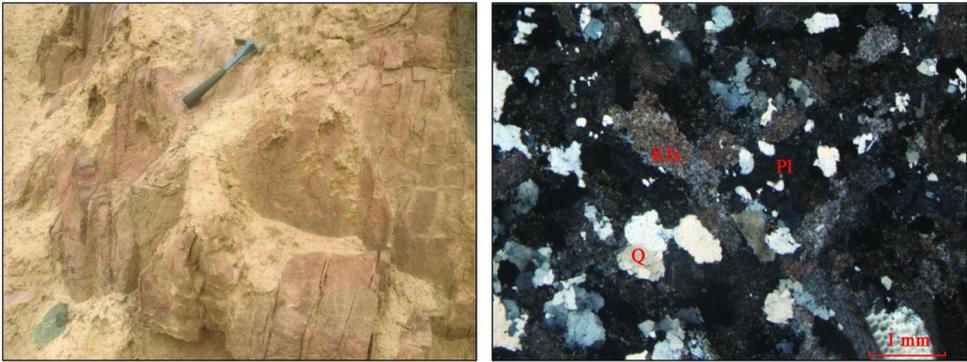
Fig. 2 Geological sketch map of Xiarhamu area in East Kunlun<sup>[12]</sup>

了角闪岩相区域变质作用。区内断裂发育,以近EW向、NW向和NE向断裂为主,其中近EW向断裂规模最大,贯穿整个研究区,NW向和NE向断裂形成时间晚于近EW向断裂。区内岩浆活动强烈,岩石主要由镁铁-超镁铁质杂岩、辉长岩、闪长岩、二长花岗岩和正长花岗岩组成。镁铁-超镁铁质杂岩在研究区北部呈岩墙状产出,锆石U-Pb年龄为 $(423 \pm 1) \text{ Ma}^{[13]}$ ;闪长岩呈小岩株状和岩脉状产出,锆石U-Pb年龄为 $(243 \pm 1) \text{ Ma}^{[14]}$ ;正长花岗岩呈岩株状产出,锆石U-Pb年龄为 $(391.1 \pm 1.4) \text{ Ma}^{[5]}$ ,铜镍硫化物矿体主要产于研究区西北

部镁铁-超镁铁质杂岩中。

### 3 样品特征

用于岩石地球化学及年代学测试的9件样品采自夏日哈木河东侧二长花岗岩岩体中,岩体呈近NS向岩株状侵入于金水口岩群变质岩中,出露面积约 $2 \text{ km}^2$ 。岩石呈浅肉红色(图3左),细粒花岗岩结构,块状构造,主要矿物为钾长石、斜长石、石英和黑云母(图3(右))。钾长石呈半自形板状,粒径为 $0.2 \sim 2 \text{ mm}$ ,杂乱分布,含量约45%;斜长石呈



Kfs. 钾长石; Pl. 斜长石; Q. 石英

图3 东昆仑夏日哈木地区二长花岗岩野外照片(左)及显微镜下照片(右)

Fig. 3 Field picture (left) and micrograph (right) of the monzogranite in Xiarihamu area of East Kunlun

半自形板状-它形粒状,粒径多为 $0.2 \sim 2 \text{ mm}$ ,少数为 $2 \sim 3 \text{ mm}$ ,部分可见聚片双晶,含量 $30\% \sim 35\%$ ;石英呈它形粒状,粒径为 $0.05 \sim 1.8 \text{ mm}$ ,杂乱分布,表面干净,部分可见波状消光,含量约 $20\%$ ;黑云母呈鳞片状,片径为 $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ ,零散分布,含量为 $2\% \sim 5\%$ 。

### 4 分析方法

岩石主量元素、微量元素和稀土元素地球化学分析在核工业北京地质研究院完成,样品粉碎至250目,缩分出适量样品。主量元素采用X荧光光谱法,测试仪器为Axios-aAX波长色散X射线荧光光谱仪,按《GB/T 14506—2010 硅酸盐岩石化学分析方法》<sup>[15]</sup>对样品进行分析测试,分析精度一般优于 $2\%$ 。微量元素和稀土元素采用等离子质谱法(ICP-MS),测试仪器为ELEMENT XR等离子体质谱仪,测试方法参照《GB/T 14506—2010 硅酸盐岩石化学分析方法》<sup>[15]</sup>,分析精度一般优于 $10\%$ 。

在北京凯德正科技有限公司完成锆石挑选工作。将岩石样品破碎后使用重液与磁选法初步分选出锆石晶体,在双目镜下人工挑纯。将锆石固定在环氧树脂上,抛光打磨至露出锆石核心,完成制靶。锆石反射光、透射光与阴极发光图像照相在核工业北京地质研究院完成,依据图像确定分析点位置。锆石U、Th和Pb同位素分析在核工业北京地质研究院分析测试研究中心CAMECA IMS-1280HR离子探针(SIMS)上完成。U、Th、Pb比值和含量相对于标准锆石Plesovice,实验流程和数据处理详见文献[16]。用强度约为 $4 \text{ nA}$ 的一次 $\text{O}_2^-$ 离子束通过 $-13 \text{ kV}$ 加速电压轰击样品表面,束斑约为 $20 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$ 。二次离子束经过 $50 \text{ eV}$ 能量窗过滤,质量分辨率约为 $5400$ ,二次离子束的强度用电子倍增器跳峰模式测量。采用实测钾长石的 $^{204}\text{Pb}$ 进行普通Pb校正,单点分析的同位素比值及年龄误差为 $1\sigma$ ,同位素比值百分误差为 $1\sigma$ ,年龄绝对误差为 $1\sigma$ ,采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,其加权平均值为 $95\%$ 的置信度,数据结果采用ISOPLOT V. 4. 15处理<sup>[17]</sup>。

### 5 分析结果

#### 5.1 锆石 U - Pb 年龄

样品 XR - 1TW 采自夏日哈木河东侧细粒二长花岗岩岩株, 锆石较单一, 晶体多数为长柱状, 少数为短柱状, 多数锆石颗粒自形程度较好, 锆石长 120 ~ 150  $\mu\text{m}$ , 宽 60 ~ 75  $\mu\text{m}$ , 长宽比多数约 2:1。锆石

内部结构清晰, 均发育明显的震荡环带(图 4), Th 含量为  $(276.3 \sim 1\ 274.8) \times 10^{-6}$ , U 含量为  $(1\ 106.5 \sim 4\ 597.1) \times 10^{-6}$ , Th/U 值为 0.09 ~ 0.52, 平均值为 0.29, 总体为岩浆成因锆石<sup>[18]</sup>。14 个测点的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为  $(443.1 \pm 12.3) \sim (399.1 \pm 13.2)$  Ma (表 1), 所有测点均位于谐和线(图 5(a))上, <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄为  $(412.1 \pm 5.7)$  Ma (图 5(b)), 属早泥盆世早期, 代表岩体侵位年龄。

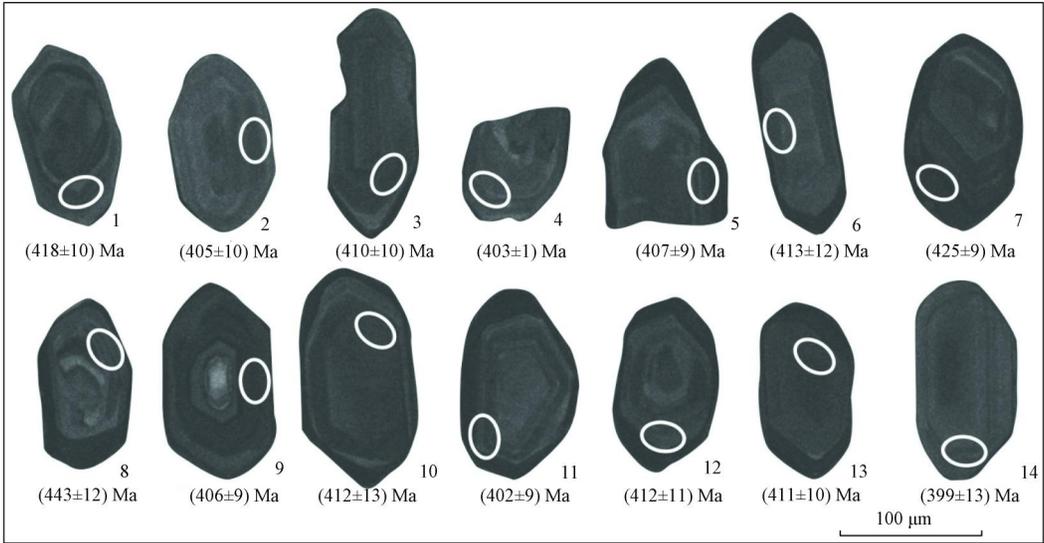


图 4 二长花岗岩锆石阴极发光图像

Fig. 4 Zircon CL images of the monzogranite

表 1 东昆仑夏日哈木地区二长花岗岩(XR - 1TW)锆石 U - Pb 同位素年龄分析结果

Tab. 1 Analysis result of zircon U - Pb ages of monzogranite (XR - 1TW) in Xiarihamu area of East Kunlun

测点 编号	元素含量/ $10^{-6}$			Th/ U	同位素比值及误差						年龄及误差/Ma					
	Pb	Th	U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	$1\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	$1\sigma$	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	$1\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	$1\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	$1\sigma$	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	$1\sigma$
1	180.7	772.5	2 320.8	0.38	0.054 0	0.833 0	0.499 9	2.708 3	0.067 1	2.577 0	371.8	18.6	411.6	9.2	418.8	10.5
2	82.3	276.3	1 124.4	0.27	0.053 8	1.803 9	0.481 2	3.256 3	0.064 9	2.711 0	361.3	40.2	398.9	10.8	405.4	10.7
3	177.8	391.5	2 443.9	0.16	0.055 3	0.757 9	0.501 7	2.653 9	0.065 8	2.543 4	423.7	16.8	412.9	9.0	410.9	10.1
4	113.9	432.6	1 554.0	0.25	0.055 0	2.618 8	0.489 6	3.925 9	0.064 6	2.924 8	410.4	57.5	404.6	13.2	403.6	11.5
5	172.2	547.1	2 338.7	0.23	0.055 1	0.764 2	0.495 8	2.591 4	0.065 2	2.476 2	418.0	17.0	408.8	8.8	407.2	9.8
6	118.1	665.1	1 493.6	0.52	0.053 6	1.141 4	0.490 1	3.195 4	0.066 3	2.984 6	354.2	25.6	405.0	10.7	413.9	12.0
7	160.4	613.6	2 042.2	0.30	0.055 5	0.873 5	0.522 6	2.516 3	0.068 3	2.359 8	433.8	19.3	426.9	8.8	425.6	9.7
8	156.9	479.0	1 961.1	0.20	0.056 9	1.130 1	0.558 2	3.077 1	0.071 1	2.862 1	487.7	24.7	450.4	11.3	443.1	12.3
9	324.3	489.2	4 597.1	0.09	0.055 4	0.804 1	0.496 7	2.637 2	0.065 1	2.511 6	426.6	17.8	409.5	8.9	406.5	9.9
10	195.9	854.9	2 561.3	0.31	0.055 5	0.784 5	0.505 6	3.411 4	0.066 0	3.320 0	434.2	17.4	415.5	11.7	412.1	13.3
11	186.7	1 274.8	2 389.0	0.46	0.055 7	1.608 1	0.494 5	2.943 9	0.064 4	2.465 9	440.2	35.4	408.0	9.9	402.3	9.6
12	129.9	391.6	1 743.1	0.22	0.055 5	1.025 2	0.505 5	2.931 0	0.066 1	2.745 9	431.1	22.7	415.4	10.0	412.6	11.0
13	103.5	397.6	1 372.7	0.26	0.055 7	1.591 4	0.506 1	3.132 3	0.065 9	2.697 9	439.7	35.0	415.8	10.7	411.5	10.8
14	84.5	532.5	1 106.5	0.43	0.055 2	1.230 4	0.486 2	3.616 3	0.063 9	3.400 5	421.0	27.2	402.3	12.1	399.1	13.2

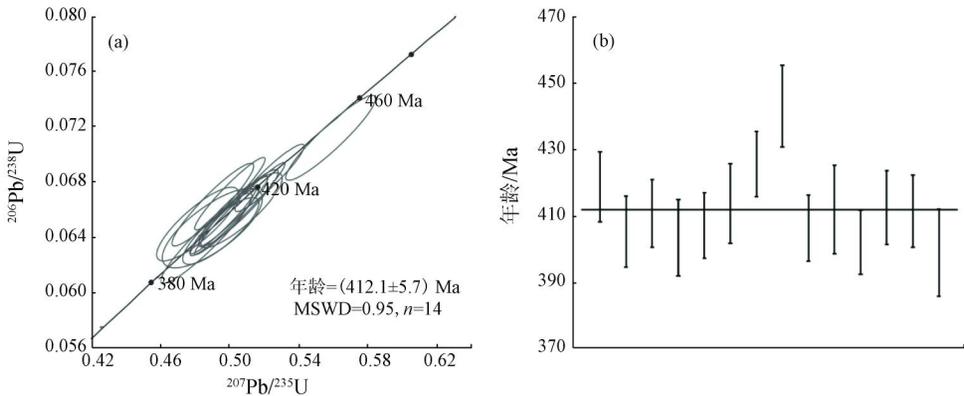


图 5 二长花岗岩锆石 U - Pb 年龄谐和图 (a) 和加权平均年龄 (b)

Fig. 5 Diagrams of U - Pb concordia (a) and weighted average ages (b) of zircons of the monzogranite

5.2 地球化学特征

5.2.1 主量元素

东昆仑夏日哈木二长花岗岩主量元素分析结果及特征参数见表 2。岩石具贫铁 ( $Fe_2O_3$  含量为 1.86% ~ 2.05%)、高硅 ( $SiO_2$  含量为 71.41% ~ 72.46%)、富碱 ( $(Na_2O + K_2O)$  含量为 8.33% ~

9.03%)、低  $P_2O_5$  ( $P_2O_5$  含量为 0.052% ~ 0.133%) 和高  $K_2O/Na_2O$  值(1.72 ~ 2.20) 的特征。在  $SiO_2 - P_2O_5$  图解(图 6(a)) 中,  $P_2O_5$  含量随  $SiO_2$  含量增高而降低。在 TAS 图解(图 6(b)) 中, 所有样品投影点均位于亚碱性系列区。在  $SiO_2 - K_2O$  图解(图 7(a)) 中, 所有样品投影点均落入钾玄岩系列区。

表 2 二长花岗岩主量、稀土、微量元素分析结果及特征参数

Tab.2 Analysis results of major elements, rare earth elements and trace elements and characteristic parameters of the monzogranite

样品编号	主量元素含量/%													特征参数		
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	烧失量	总量	K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	A/CNK	A/NK	
XR-02	71.60	13.77	2.02	0.29	0.55	1.34	2.86	6.10	0.03	0.12	1.22	99.9	8.96	1.00	1.22	
XR-04	71.81	13.75	2.05	0.33	0.55	1.25	2.75	5.87	0.03	0.08	1.45	99.92	8.62	1.04	1.26	
XR-05	71.58	13.83	1.91	0.29	0.53	1.14	2.87	6.16	0.03	0.12	1.45	99.91	9.03	1.03	1.21	
XR-06	71.41	13.53	2.03	0.33	0.57	1.24	3.16	5.52	0.02	0.08	2.03	99.92	8.68	1.01	1.21	
XR-07	71.85	13.87	1.91	0.30	0.48	1.20	2.80	6.16	0.02	0.12	1.20	99.91	8.96	1.03	1.23	
XR-08	71.50	14.04	1.88	0.31	0.49	1.28	2.86	6.13	0.02	0.13	1.28	99.92	8.99	1.03	1.24	
XR-09	72.46	13.56	1.86	0.30	0.54	1.22	3.06	5.27	0.03	0.05	1.57	99.92	8.33	1.00	1.21	
XR-10	72.37	13.41	1.87	0.29	0.50	1.24	2.97	5.40	0.02	0.05	1.79	99.91	9.03	1.05	1.26	
样品编号	稀土元素含量/ $10^{-6}$															
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	
XR-02	75.9	149	17.9	65.2	11.7	0.84	8.94	1.24	5.34	0.78	2.06	0.29	1.94	0.26	21.7	
XR-04	85.6	169	20.3	73.0	13.0	0.93	9.72	1.28	5.39	0.72	2.00	0.25	1.66	0.23	19.7	
XR-05	74.4	147	17.5	63.3	11.5	0.87	8.66	1.22	5.37	0.77	2.05	0.28	1.84	0.26	21.2	
XR-06	89.0	174	20.9	76.0	13.5	0.99	9.96	1.29	5.34	0.70	1.85	0.21	1.48	0.22	19.0	
XR-07	74.0	146	17.3	63.4	11.4	0.93	8.78	1.25	5.57	0.83	2.21	0.30	1.96	0.26	22.8	
XR-08	75.9	151	18.0	64.9	11.9	0.93	8.84	1.31	5.96	0.87	2.23	0.29	2.00	0.27	24.3	
XR-09	77.9	154	18.7	66.6	12.3	0.86	8.77	1.18	4.89	0.60	1.56	0.16	1.16	0.16	15.2	
XR-10	77.3	156	18.4	66.4	12.1	0.93	8.81	1.16	4.75	0.58	1.56	0.16	1.18	0.17	15.2	
样品编号	稀土元素含量/ $10^{-6}$			特征参数				微量元素含量/ $10^{-6}$							特征参数	
	$\Sigma$ REE	LREE	HREE	LREE/HREE	(La/Yb) <sub>N</sub>	$\delta$ Eu	Rb	Ba	Th	U	Nb	Sr	Zr	Hf	Rb/Sr	
XR-02	341.39	320.54	20.85	15.37	28.06	0.25	298	627	50.7	4.95	16.4	147	223	6.81	2.03	
XR-04	383.08	361.83	21.25	17.03	36.99	0.25	276	670	58.0	4.30	15.2	149	228	6.83	1.85	
XR-05	335.02	314.57	20.45	15.38	29.00	0.27	299	638	50.2	5.00	16.4	143	217	6.57	2.09	
XR-06	395.44	374.39	21.05	17.79	43.13	0.26	281	699	58.1	4.69	15.0	158	225	6.80	1.78	
XR-07	334.18	313.03	21.15	14.80	27.08	0.28	291	673	47.3	5.37	16.6	164	209	6.46	1.77	
XR-08	344.41	322.63	21.78	14.81	27.22	0.28	297	676	49.7	5.51	17.5	167	210	6.32	1.78	
XR-09	348.84	330.36	18.48	17.87	48.17	0.25	260	629	53.3	3.94	13.4	145	206	6.36	1.79	
XR-10	349.50	331.13	18.37	18.03	46.99	0.28	263	662	52.3	3.99	13.7	149	211	6.43	1.77	

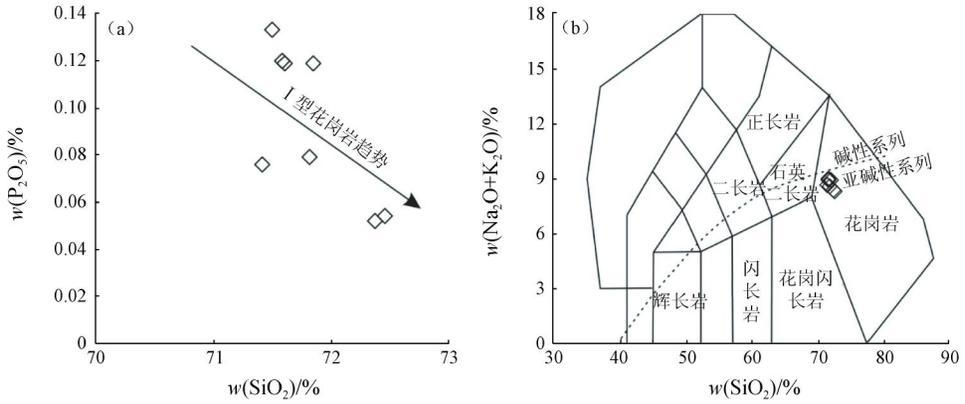


图6 二长花岗岩 SiO<sub>2</sub> - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>图解(a)和 TAS 图解(b)<sup>[19]</sup>

Fig. 6 SiO<sub>2</sub> - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> diagram (a) and TAS diagram (b) of the monzogranite<sup>[19]</sup>

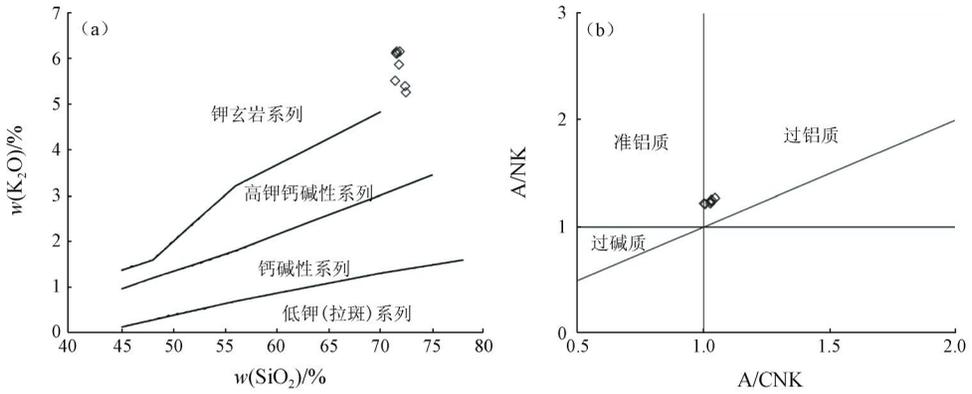


图7 二长花岗岩 SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O 图解(a)和 A/CNK - A/NK 图解(b)<sup>[20-21]</sup>

Fig. 7 SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O diagram (a) and A/CNK - A/NK diagram (b) of the monzogranite<sup>[20-21]</sup>

岩石 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 13.41% ~ 14.04%，铝饱和指数 A/CNK 为 1.00 ~ 1.05，A/NK 为 1.21 ~ 1.26，在 A/CNK - A/NK 图解(图 7(b))中，所有样品投影点均落入弱过铝质区。CIPW 标准矿物中出现刚玉(C)，平均含量为 0.52%，属于铝质花岗岩。标准矿物中未见霞石(Ne)、石榴石(Lc)、霓石(Ac)等碱性暗色矿物，反映该岩石碱不过剩，显示亚碱性弱

过铝质特征。

### 5.2.2 稀土及微量元素

二长花岗岩稀土元素总量  $\Sigma REE$  值为(334.18 ~ 395.44)  $\times 10^{-6}$ ，轻、重稀土元素分异明显(LREE/HREE 为 14.80 ~ 18.03，(La/Yb)<sub>N</sub> 为 27.08 ~ 48.17)，轻稀土元素相对富集，重稀土元素相对亏损。在球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(图 8(a))上表

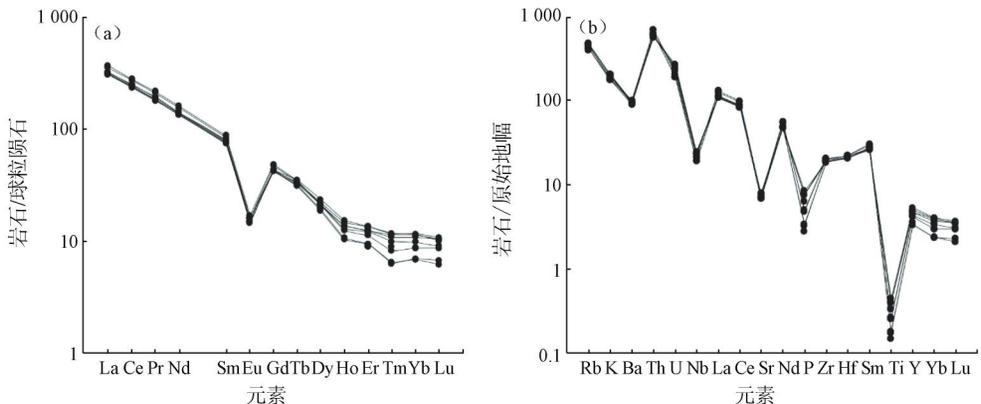


图8 二长花岗岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)<sup>[22]</sup>

Fig. 8 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized elements spider diagram (b) of the monzogranite<sup>[22]</sup>

现为明显的右倾,具有显著的负 Eu 异常( $\delta\text{Eu}$  为 0.25 ~ 0.28),暗示岩石源区残留大量斜长石。原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 8(b))显示大离子亲石元素 Rb、Th、Zr、Hf 相对富集,高场强元素 Nb、Ti、Sr、P 相对亏损。

## 6 讨论

### 6.1 岩石成因

研究表明,花岗岩成因类型可以反映岩浆源区的性质,按照花岗岩源岩性质可将花岗岩分为 I 型、S 型和 A 型花岗岩<sup>[23]</sup>。A 型花岗岩通常含有霞石(Ne)、石榴石(Lc)、霓石(Ac)等碱性暗色矿物,富硅,富碱,富 Ga、Zr、Nb、Ta 等高场强元素<sup>[24]</sup>。夏日哈木二长花岗岩在薄片及 CIPW 计算时均未发现碱性暗色矿物,主量元素地球化学特征显示其为亚碱性弱过铝质花岗岩,亏损 Nb,与 A 型花岗岩特征不符<sup>[25]</sup>。由此可以判断,夏日哈木二长花岗岩不属于 A 型花岗岩,可能属于 I 型花岗岩或 S 型花岗岩。

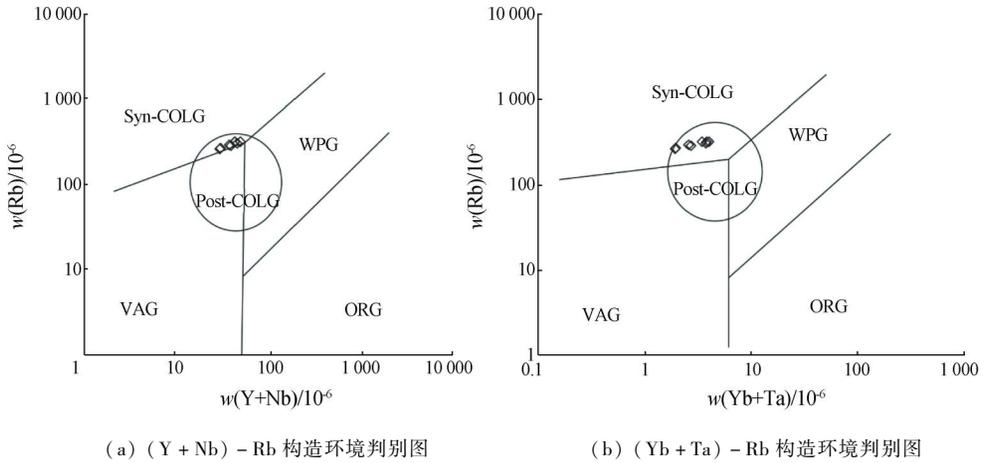
研究区二长花岗岩样品中无角闪石,具有相对较高的  $\text{SiO}_2$  含量(最高含量达 72.46%)、全碱含量( $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  含量为 8.33% ~ 9.03%) 和  $\text{FeO}/\text{MgO}$  值(3.44 ~ 4.02),表明岩石经历了较高级别的结晶分异作用<sup>[26]</sup>。研究显示:在准铝质-弱过铝质岩浆中,磷灰石溶解度很低,在岩浆分异过程中随  $\text{SiO}_2$  含量增加而降低;在强过铝质岩浆中,磷灰石溶解度变化趋势相反;磷灰石这种特性可用于区分 I 型花岗岩和 S 型花岗岩<sup>[27]</sup>。研究区二长花岗岩为弱过铝质岩石( $A/\text{CNK} < 1.1$ ),  $\text{P}_2\text{O}_5$  含量很低( $< 0.13\%$ ),随着  $\text{SiO}_2$  含量的增加, $\text{P}_2\text{O}_5$  含量降低(图 6(a)),与 I 型花岗岩演化趋势相似。综上所述,该区二长花岗岩应为 I 型花岗岩。

地球演化过程中 K、Rb 不断向上迁移进入硅铝层,上地幔越来越亏损 K、Rb,而 Sr 主要富集在斜长石中代替 Ca,所以花岗岩的 Rb/Sr 值越高,说明源岩主要来自上部陆壳,且幔源岩浆的 Rb/Sr 值  $< 0.05$ ,幔壳混合岩浆的 Rb/Sr 值为 0.05 ~ 0.5,壳

源岩浆的 Rb/Sr 值  $> 0.5$ <sup>[28]</sup>。夏日哈木二长花岗岩的 Rb/Sr 值为 1.77 ~ 2.09,反映岩浆主要来源于地壳。夏日哈木二长花岗岩的 Sr、Eu、P 和 Ti 同步亏损,暗示岩浆物质源于浅部地壳低压环境<sup>[29]</sup>。因此,该区二长花岗岩为浅部地壳发生高温熔融后形成的。该区存在晚志留世(423 Ma)镁铁-超镁铁质岩体,其源区为亏损地幔<sup>[30]</sup>,因此,浅部地壳发生高温熔融可能是深部幔源岩浆底侵导致的。综上所述,该区早泥盆世(412.1 Ma)二长花岗岩可能来自地幔岩浆底侵加热后的下地壳部分熔融。

### 6.2 构造环境

东昆仑造山带是一个经历了多旋回造山运动和岩浆活动的造山带<sup>[31]</sup>。新元古代晚期-早古生代,夏日哈木地区为原特提斯洋壳<sup>[7]</sup>,洋盆打开和扩张发生在早寒武世之前<sup>[32]</sup>。早寒武世末期,原特提斯洋壳开始俯冲消减,清水泉麻粒岩(约 507.7 Ma)暗示了该俯冲作用的存在<sup>[33]</sup>。早古生代其构造背景可能是以多岛弧和小洋盆沟-弧构造为特征,东昆仑中部鸭子泉闪长岩(约 480 Ma)<sup>[34]</sup>和大格勒蛇绿岩、辉长岩(445 Ma)<sup>[35]</sup>具有上述特征。东昆仑祁漫塔格哈拉达乌花岗岩体(428.5 Ma)形成于同碰撞汇聚环境<sup>[36]</sup>,指示早志留世东昆仑原特提斯洋盆闭合后开始进入同碰撞造山阶段。研究表明,东昆仑高压变质带榴辉岩和榴闪岩产出构造背景与原特提斯洋构造演化密切相关,榴辉岩/榴闪岩(432 Ma)的峰期变质年龄与早古生代洋盆关闭-同碰撞作用有关,而峰期变质年龄(412 Ma)与碰撞后伸展作用有关<sup>[37]</sup>。本文 I 型二长花岗岩(412.1 Ma)与夏日哈木地区退变质榴辉岩(408.8 Ma)的退变质年龄相近<sup>[7]</sup>,反映了该时期强烈的陆陆碰撞阶段已结束,开始进入后碰撞伸展阶段。在  $(Y + Nb) - \text{Rb}$  和  $(Yb + Ta) - \text{Rb}$  构造环境判别图(图 9)上<sup>[38]</sup>,样品投影点均落在同碰撞花岗岩及后碰撞花岗岩区域,指示夏日哈木二长花岗岩形成于同碰撞环境向后碰撞环境转换的构造背景。



WPG. 板内花岗岩; VAG. 火山弧花岗岩; ORG. 洋中脊花岗岩; Syn-COLG. 同碰撞花岗岩; Post-COLG. 后碰撞花岗岩

图9 二长花岗岩构造环境判别图<sup>[38]</sup>

Fig. 9 Tectonic discrimination diagrams of the monzonite<sup>[38]</sup>

### 7 结论

(1)东昆仑夏日哈木地区二长花岗岩锆石 U - Pb 年龄为(412.1 ± 5.7) Ma,为早泥盆世早期岩浆活动的产物。

(2)夏日哈木二长花岗岩为过铝质亚碱性花岗岩,具有富 SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O 和贫 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的特征。微量元素具有明显的 Eu 负异常,球粒陨石标准化稀土元素配分曲线呈明显的右倾。岩石明显富集 Rb、Th、Zr、Hf,强烈亏损 Nb、Sr、P、Ti、Ba。

(3)夏日哈木二长花岗岩属于 I 型花岗岩,其源岩可能由地幔岩浆底侵加热下地壳岩石致其部分熔融而形成。二长花岗岩形成于同碰撞向后碰撞转换的构造背景下,指示东昆仑夏日哈木地区在早泥盆世早期进入伸展阶段。

### 参考文献:

[1] 杨经绥,许志琴,马昌前,等. 复合造山作用和中国中央造山带的科学问题[J]. 中国地质,2010,37(1):1-11.

[2] 王艺龙,李艳军,魏俊浩,等. 东昆仑五龙沟地区晚志留世 A 型花岗岩成因:U - Pb 年代学、地球化学、Nd 及 Hf 同位素制约[J]. 地球科学,2018,43(4):1219-1236.

[3] 莫宣学,罗照华,邓晋福,等. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长[J]. 高校地质学报,2007,13(3):403-414.

[4] 刘彬,马昌前,张金阳,等. 东昆仑造山带东段早泥盆世侵入岩的成因及其对早古生代造山作用的指示[J]. 岩石学报,2012,28(6):1785-1807.

[5] 王冠,孙丰月,李碧乐,等. 东昆仑夏日哈木矿区早泥盆世正

长花岗岩锆石 U - Pb 年代学、地球化学及其动力学意义[J]. 大地构造与成矿学,2013,37(4):685-697.

[6] 刘彬,马昌前,郭盼,等. 东昆仑中泥盆世 A 型花岗岩的确定及其构造意义[J]. 地球科学,2013,38(5):947-962.

[7] 范亚洲,孟繁聪,段雪鹏,等. 东昆仑西段夏日哈木榴辉岩原岩属性及陆(弧)陆碰撞[J]. 地质学报,2018,92(3):482-502.

[8] 杨经绥,王希斌,史仁灯,等. 青藏高原北部东昆仑南缘德儿尼蛇绿岩:一个被肢解了的古特提斯洋壳[J]. 中国地质,2004,31(3):225-239.

[9] 张志炳,李文渊,张照伟,等. 东昆仑夏日哈木岩浆铜镍硫化物矿床铬尖晶石特征及其指示意义[J]. 矿物岩石地球化学通报,2016,35(5):966-975.

[10] 孟繁聪,崔美慧,贾丽辉,等. 东昆仑造山带早古生代的大陆碰撞:来自榴辉岩原岩性质的证据[J]. 岩石学报,2015,31(12):3581-3594.

[11] 田广阔,孟繁聪,范亚洲,等. 东昆仑早古生代造山后花岗岩的特征——以大干沟花岗岩为例[J]. 岩石矿物学杂志,2016,35(3):371-390.

[12] 王冠,孙丰月,李碧乐,等. 东昆仑夏日哈木铜镍矿镁铁质-超镁铁质岩体岩相学、锆石 U - Pb 年代学、地球化学及其构造意义[J]. 地学前缘,2014,21(6):381-401.

[13] 姜常义,凌锦兰,周伟,等. 东昆仑夏日哈木镁铁质-超镁铁质岩体岩石成因与拉张型岛弧背景[J]. 岩石学报,2014,31(4):1117-1136.

[14] 王冠,孙丰月,李碧乐,等. 东昆仑夏日哈木矿区闪长岩锆石 U - Pb 年代学、地球化学及其地质意义[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2014,44(3):876-891.

[15] 国家地质实验测试中心. GB/T 14506—2010 硅酸盐岩石化学分析方法[S]. 北京:中国标准出版社,2011.

[16] Li X H, Li Q L, Liu Y, et al. Precise Pb/Pb age determination of Phanerozoic baddeleyites by multi-collector SIMS [J]. Geochim Cosmochim Acta, 2009, 41(5):386-389.

[17] 柳小明,高山,袁洪林,等. 193 nm LA - ICP - MS 对国际地质

- 标准参考物质中 42 种主量和微量元素的分析[J]. 岩石学报, 2002, 18(3): 408–418.
- [18] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U–Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589–1604.
- [19] Middlemost E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system[J]. Earth Sci Rev, 1994, 37(3/4): 215–224.
- [20] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geol Soc Am Bull, 1989, 101(5): 635–643.
- [21] Peccerillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey [J]. Contrib Mineral Petrol, 1976, 58(1): 63–81.
- [22] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[J]. Geol Soc Spec Publ, 1989, 42(1): 313–345.
- [23] 王珍珍, 刘栋, 赵志丹, 等. 冈底斯带南部桑日高分异 I 型花岗岩的岩石成因及其动力学意义[J]. 岩石学报, 2017, 33(8): 2479–2493.
- [24] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A–type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. Contrib Mineral Petrol, 1987, 95(4): 407–419.
- [25] 吴锁平, 王梅英, 戚开静. A 型花岗岩研究现状及其述评[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(1): 57–66.
- [26] 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.
- [27] Pichavant M, Montel J M, Richard L R. Apatite solubility in peraluminous liquids: experimental data and an extension of the Harrison–Watson model [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1992, 56(10): 3855–3861.
- [28] Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution[M]. Oxford: Blackwell, 1985: 57–72.
- [29] 郝娜娜, 袁万明, 张爱奎. 东昆仑祁漫塔格晚志留世—早泥盆世花岗岩: 年代学、地球化学及形成环境 [J]. 地质论评, 2014, 60(1): 201–215.
- [30] Eby G N. Chemical subdivision of the A–type granitoids: petrogenetic and tectonic implications [J]. Geology, 1992, 20(7): 641–644.
- [31] 袁万明, 莫宣学, 喻学惠, 等. 东昆仑印支期区域构造背景的花岗岩记录[J]. 地质论评, 2000, 46(2): 203–211.
- [32] Lu S N, Yu H F, Jin W, et al. Microcontinents on the eastern margin of Tarim paleocontinent [J]. Acta Petrol Mineral, 2002, 21(4): 317–326.
- [33] 李怀坤, 陆松年, 相振群, 等. 东昆仑中部缝合带清水泉麻粒岩锆石 SHRIMP U–Pb 年代学研究[J]. 地学前缘, 2006, 13(6): 311–321.
- [34] 陈能松, 孙敏, 张克信, 等. 东昆仑变闪长岩体的<sup>40</sup>Ar–<sup>39</sup>Ar 和 U–Pb 年龄: 角闪石过剩 Ar 和东昆仑早古生代岩浆岩带证据[J]. 科学通报, 2000, 45(21): 2337–2342.
- [35] Du W, Jiang C Y, Xia M Z, et al. A newly discovered early Paleozoic ophiolite in Dagele, eastern Kunlun, China, and its geological significance[J]. Geol J, 2017, 52(S1): 425–435.
- [36] 吴少锋, 陈礼标, 任文恺, 等. 祁漫塔格地区更长环斑花岗岩的发现及其地质意义[J]. 青海大学学报: 自然科学版, 2012, 30(5): 49–54.
- [37] 国显正, 贾群子, 钱兵, 等. 东昆仑高压变质带榴辉岩和榴闪岩地球化学特征及形成动力学背景[J]. 地球科学与环境学报, 2017, 39(6): 735–750.
- [38] Pearce J. Sources and settings of granitic rocks [J]. Episodes, 1996, 19(4): 120–125.

## Geochronological and geochemical characteristics and geological significance of the monzogranite in Xiarihamu area of East Kunlun

GUO Feng<sup>1,2,3</sup>, WANG Panxi<sup>1,2,3</sup>, BIAN Xiaodong<sup>1,2,3</sup>, FENG Naiqi<sup>1,2,3</sup>

(1. Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resource, CAGS, Zhengzhou 450006, China; 2. National Research Center of Multipurpose Utilization of Non-metallic Mineral Resource, Zhengzhou 450006, China; 3. Northwest China Center for Geoscience Innovation, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The Early Devonian monzogranite was reported for the first time in Xiarihamu area of East Kunlun, so the authors investigated its geochronological and geochemical characteristics to further explore the petrogenesis and tectonic setting. The U–Pb of zircon age of the monzogranite is  $(412.1 \pm 5.7) \text{ Ma}$  (MSWD = 0.95), which formed in early Early Devonian, and the monzogranite belongs to slightly peraluminous subalkaline series. The monzogranite is characterized by high  $\text{SiO}_2$  (71.41% ~ 72.46%) and  $\text{K}_2\text{O}$  (5.27% ~ 6.16%), low  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (1.86% ~ 2.05%) and  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0.08% ~ 0.12%), and high LREE with obvious negative Eu anomalies. Rb, Th, Zr and Hf are obviously enriched, while Nb, Sr, P, Ti and Ba are strongly depleted on the primitive mantle-normalized trace element spider diagram. The monzogranite in Xiarihamu area belongs to I–type granite, and the

magma of the source rock may come from the partial melting of the lower crust materials caused by the underplating heating of mantle-derived magma. The monzogranite was formed in the tectonic environment of syn-collision converting to post-collision, suggesting that Xiarihamu area of East Kunlun had been in the post-orogenic extension stage since early Early Devonian.

**Keywords:** I-type granite; Early Devonian; petrogenesis; syn-collision to post-collision; Xiarihamu area; East Kunlu

(责任编辑: 刘永权)