

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2016.02.011

卡而却卡地区新元古代变质侵入 岩体的发现及其地质意义

魏小林^{1,2}, 张得鑫², 甘承萍³, 陈礼标⁴

(1. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061; 2. 青海省地质调查局, 西宁 810001;
3. 青海省第三地质矿产勘查院, 西宁 810029; 4. 青海省第四地质矿产勘查院, 西宁 810029)

摘要: 卡而却卡地区地处东昆仑祁漫塔格成矿带内。通过对卡而却卡地区花岗片麻岩的岩石学、地球化学、同位素年代学的研究表明, 区内原厘定的花岗片麻岩应为新元古代花岗岩。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年研究结果显示岩体侵位时代为 $910 \text{ Ma} \pm 3 \text{ Ma}$, 时代为新元古代青白口纪; 岩石具高 SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O , 贫 FeO 、 MgO 、 CaO 特点; 稀土元素分布模式为轻稀土富集, Eu 中等亏损; 岩石中不相容微量元素 K、Rb、Ba、Th 等强烈富集, Nb、Zr、Ce、Ta、Hf 等富集一般, Y 弱亏损。以上特征表明, 岩石属于高钾钙碱性 S 型花岗岩, 岩浆来源于陆壳部分熔融, 形成于同碰撞环境, 是东昆仑地区响应 Rodinia 超大陆汇聚事件的物质记录。

关键词: 卡而却卡地区; 花岗片麻岩; 地球化学; 新元古代; Rodinia; 东昆仑; 青海省

中图分类号: P588.121 **文献标识码:** A

0 引言

东昆仑地区作为中国中央造山带西段的重要组成部分^[1-2], 其地质构造位置与成岩成矿作用突出显著, 历来都是有关地质工作者重点关注的地区之一。花岗片麻岩(正片麻岩)是造山带中常出现的高级变质岩之一, 常与副片麻岩(变沉积岩)共生, 野外很难将二者区分, 容易误归为变质沉积岩^[3]。花岗片麻岩通常是早期形成的花岗岩经历后期的构造改造而形成。因此, 花岗片麻岩可以记录造山带的形成和演化历史。

东昆仑祁漫塔格地区出露的前寒武系金水口群变质岩是该区最老的变质基底, 近年来前人对金水口群变质岩时代、成因、形成环境等方面进行了大量研究, 认为该岩群形成于太古代—古元古代^[4-6]或中元古代^[7-8], 并在其中识别出新元古代花岗岩^[3,9-14]。本文将通过对卡而却卡地区花岗片麻岩的岩石学、岩石

化学、稀土及微量元素特征和 U-Pb 同位素定年研究, 力图阐述卡而却卡地区新元古代变质侵入岩体发现及其地质意义。

1 区域地质背景及花岗片麻岩

1.1 区域地质背景

研究区位于青藏高原东北部, 那陵格勒河南岸。该区至少经历了元古宙古陆形成、早古生代(加里东期)裂解及造山、晚古生代—早中生代(晚华力西—印支期)裂解造山和晚中生代—新生代叠复造山 4 个构造旋回^[15], 地壳结构复杂, 构造演化历史悠久。区内出露地层有新太古界—古元古界金水口岩群白沙河岩组(Pt_1b)、下古生界奥陶—志留系滩间山群(O-ST)及第四系(图 1)。区域构造活动强烈, 褶皱构造以轴向 EW 的背、向斜构造为主; 断裂十分发育, NW 向和近 EW 向深断裂对地层分布、岩浆岩和变质作用及矿产等都起着主要的控制作用。岩浆活动十分强烈, 岩

收稿日期: 2016-02-02; 改回日期: 2016-03-15; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 中国地质调查局“青海省东昆仑祁漫塔格地区铜多金属地质矿产调查”项目(编号: 1212010818044)资助。

作者简介: 魏小林(1981—), 男, 工程师, 吉林大学在读硕士研究生, 主要从事矿床地质研究。E-mail: 65329650@qq.com

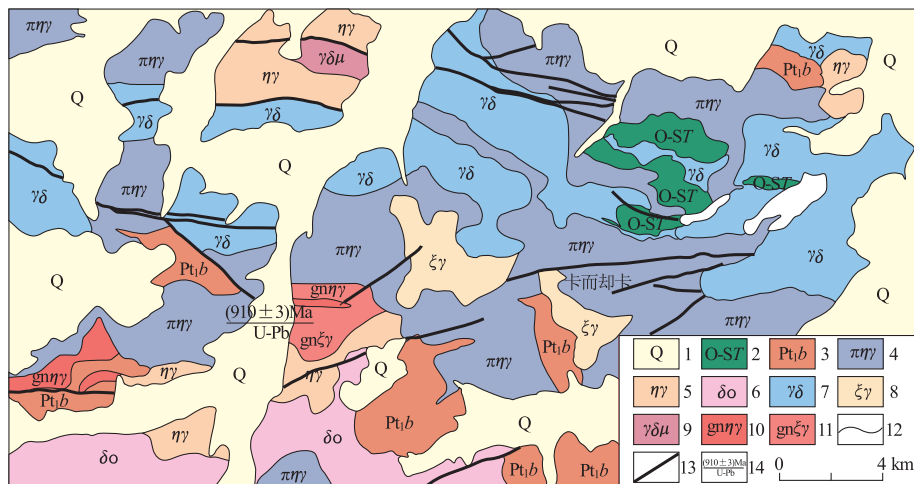


图1 东昆仑卡而却卡地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch of Kaerqueka area, East Kunlun mountain

1. 第四系; 2. 滩间山群; 3. 金水口群白沙河岩组; 4. 似斑状二长花岗岩; 5. 二长花岗岩;
6. 石英闪长岩; 7. 花岗闪长岩 8. 钾长花岗岩; 9. 花岗闪长玢岩; 10. 二长花岗片麻岩;
11. 钾长花岗片麻岩; 12. 地质界线; 13. 断层; 14. 同位素点位

浆岩分布广泛,时代上包括新元古代、加里东期、华力西期、印支期和燕山期,且以华力西期和印支期为主,总体呈 NW 向展布,与区域构造线方向基本一致。

1.2 花岗片麻岩

卡而却卡地区的花岗片麻岩分布于卡而却卡东、西两侧古元古界金水口岩群中,出露面积较小,由 11 个呈小岩株状的岩体组成;其平面形态为带状、不规则状,总体呈 NW 向展布。岩石经历了强烈的变质变形作用改造,不同程度地改变了岩石的原始组构和面貌,其与围岩之间多以韧性剪切带相接触。岩石普遍发育眼球状构造、条带状构造,眼球主要由钾长石构成,少量为斜长石。虽然大多数长石变大为较大的眼球,但仍能见到结晶很好的板柱状长石晶体,反映出其原有的火成结构。根据岩性特征其岩石类型可划分为二长花岗片麻岩和正长花岗片麻岩,其原岩恢复为二长花岗岩和正长花岗岩。

(1) 二长花岗片麻岩

岩石呈灰—浅肉红色,鳞片粒状变晶结构,变余中粗粒花岗结构,片麻状构造,眼球状构造。岩石由微斜长石(30%~32%),石英(24%~28%),更长石(15%~24%),黑云母(10%~12%),白云母(1%~5%),以及少量铁铝榴石(部分岩石中铁铝榴石2%~6%)、磁铁矿和微量磷灰石、锆石等组成。微斜长石呈粒状变晶,大小相近,定向排列,格子状双晶发育,被绢云母、高岭土次生交代。石英呈粒状变晶,大小不等,定向排列,具动态重结晶现象,波状消光明显。

更长石呈粒状变晶,大小相近,有的呈板状晶体,聚片双晶发育,双晶带细而密,被绢云母、高岭土次生交代,长轴排列方向与岩石构造方向一致。黑云母呈褐色板状晶体,Ng'—红褐,Np'—黄色,与粒状矿物相间,断续定向排列,构成片麻状构造。铁铝榴石呈不规则粒状,单偏光下为淡红色,粒径介于0.03~0.2 mm,包嵌在更长石和微斜长石晶体中。磷灰石呈自形短柱状和六边形,包嵌在石英和长石晶体中,磁铁矿和锆石零星分布。

(2) 正长花岗片麻岩

岩石呈肉红色,中细粒半自形粒状结构、不等粒鳞片粒状变晶结构,片麻状构造,眼球状构造。岩石由微斜长石(48%~56%),石英(20%~25%),更长石(5%~13%),黑云母(8%~16%),少量铁铝榴石、白云母和磁铁矿以及微量磷灰石等组成。微斜长石呈粒状变晶,大小相近,定向排列,条纹构造和格子状双晶发育,被高岭土次生交代。石英呈粒状变晶,大小不等,定向排列,与长石紧密接触。更长石呈粒状变晶,大小相近,定向排列,聚片双晶发育,双晶带细而密,被绢云母和高岭土轻微次生交代。黑云母呈褐色鳞片状晶体,Ng'—红褐,Np'—黄色,沿晶体边缘被白云母和绿泥石轻微交代,与粒状矿物相间,断续定向排列。铁铝榴石呈不规则轮廓,单偏光下为淡红色,裂纹发育,定向排列,被绿泥石轻微交代。磁铁矿、磷灰石和锆石零星分布。

2 研究方法

2.1 化学全分析

本次研究工作选择了 16 件花岗片麻岩(二长花岗片麻岩和正长花岗片麻岩)的新鲜岩石样品进行岩石化学全分析。样品的分析测试由国土资源部华北矿产资源监督检测中心天津地质矿产研究所实验测试室完成,分析了主量元素、微量元素及稀土元素含量。除 H_2O 用重量法和 FeO 用容量滴定法测定外,其余主量元素都用 X 荧光光谱仪测定,分析精度(相对误差)优于 1%;微量元素和稀土元素采用电感耦合等离子体质谱仪(TJA-PQ-ExCell ICP-MS)测定,分析误差小于 5%。

2.2 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年

野外采集新鲜的二长花岗片麻岩样品约 10 kg;分选锆石之前,首先用水将样品清洗并晾干,然后粉碎至 80 目,经过分选、细淘之后,在实体显微镜下手工挑选出锆石。锆石分选工作在河北省廊坊市宇能岩石矿物分选技术服务有限公司完成。

锆石 U-Pb 年龄在天津地质矿产研究所实验测试室进行,采用激光烧蚀多接收器电感耦合等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定^[16]。质谱仪为 Thermo Fisher 公司制造的 Neptune,其离子光学通路采用能量聚焦和质量聚焦的双聚焦设计,并采用动态变焦(ZOOM)使质量色散达到 17%。与等离子体质谱仪配套的进样设备激光器为美国 ESI 公司生产的 UP193-FX ArF 准分子激光器,利用 193 nm FX 激光器对锆石进行剥蚀,激光斑束直径为 35 μm 或 50 μm 。采用 TEMORA 和 GJ-1 作为外部锆石年龄标准进行 U、Pb 同位素分馏校正。原始数据处理、年龄计算和绘图使用 ICPMSDataCal^[17] 和 ISOPLOT^[18] 软件。同位素比值误差为 1 σ ,年龄值选 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄,加权平均年龄误差为 95%置信度误差。

3 分析结果

3.1 岩石地球化学特征

3.1.1 主量元素特征

花岗片麻岩的岩石化学分析结果显示,岩石具有明显的高 SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O , 贫 FeO 、 MgO 、 CaO 的特

点。 SiO_2 含量较高, $w(SiO_2)$ 值介于 70.97%~76.88%(平均为 73.16%),正长花岗片麻岩的 $w(SiO_2)$ 值高于二长花岗片麻岩,其均属酸性岩范畴。 Al_2O_3 的含量为 $w(Al_2O_3)=11.84\%\sim 15.24\%$ (平均为 13.85%), A/CNK 值(铝过饱和指数 ASI)介于 1.05~1.31 之间(平均为 1.16), A/NK 值介于 1.30~1.75 之间(平均为 1.49),且在矿物成分中出现有石榴石、白云母等原生矿物,CIPW 标准矿物计算中又出现刚玉(含量 0.86%~3.68%,平均 2.3%),属于过铝质。岩石碱含量高, NK 值介于 6.09%~10.99%之间(平均为 9.20%),其中 $w(Na_2O)=1.79\%\sim 3.05\%$ (平均为 2.45%), $w(K_2O)=3.55\%\sim 5.55\%$ (平均为 5.07%), $w(Na_2O)/w(K_2O)=1.16\sim 3.04$,具有高钾低钠的特征。

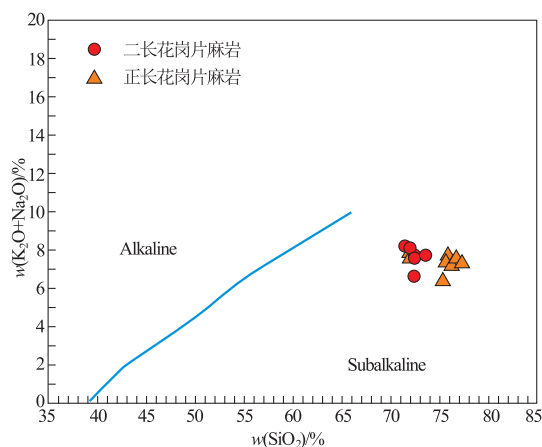


图 2 $w(SiO_2)$ — $w(K_2O+Na_2O)$ 图解

Fig. 2 $w(SiO_2)$ — $w(K_2O)+w(Na_2O)$ diagram

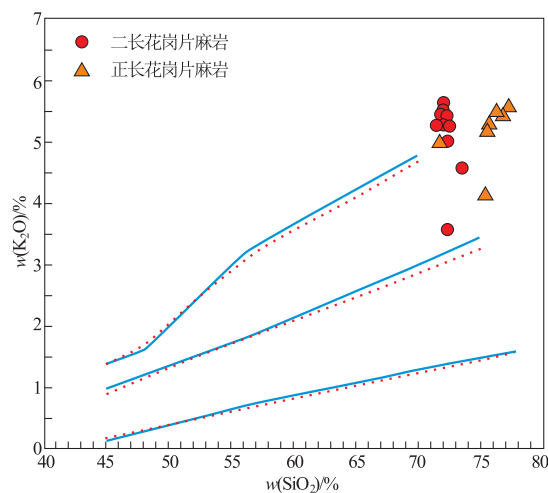


图 3 $w(SiO_2)$ — $w(K_2O)$ 图解

Fig. 3 $w(SiO_2)$ — $w(K_2O)$ diagram

表 1 花岗片麻岩稀土元素分析结果

Table 1 Analytical results of REE in the granitic gneiss

送样号	岩性	稀土元素含量($w_B/10^{-6}$)													
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
PM113GS8-1	二长花岗片麻岩	49.7	99.5	12.6	47.2	9.4	1.46	8.74	1.44	8.38	1.72	4.99	0.72	4.32	0.62
PM113GS12-1		5.87	0.86	54.6	110	14	53	11	1.61	10.3	1.85	11	2.18	6.27	0.95
GS0301		0.76	52.4	102	13.1	49.7	10.5	1.71	9.85	1.75	10.1	2.02	5.68	0.81	5.1
GS0302		49	97.8	12.1	46.2	9.69	1.54	9.43	1.59	9.08	1.81	5.35	0.75	4.95	0.72
GS0312		48.6	96.7	12.5	46.8	9.83	1.62	9.28	1.66	10.1	2.08	6.32	0.96	6.14	0.9
PM118GS6-1		61.6	118	14.4	52.8	10	1.75	9.32	1.45	8.46	1.63	4.57	0.67	3.96	0.58
PM118GS10-1		55.7	111	13.8	51.5	10.9	1.4	9.88	1.78	10.2	1.94	5.6	0.81	4.87	0.69
PM118GS14-1	正长花岗片麻岩	29	53.4	5.98	21	4.38	1.27	4.22	0.78	4.8	0.91	2.46	0.36	2.12	0.3
PM127GS8		54.3	109	13.5	50.7	10.3	1.59	9.39	1.44	6.89	1.15	3.11	0.42	2.64	0.38
GS4501		26.1	54.3	7.27	27.9	7.17	0.83	6.51	1.48	9.53	1.97	5.69	0.87	5.23	0.75
GS4502		19.2	41.8	5.65	21.2	6	0.45	5.96	1.46	11.2	2.38	7.46	1.3	8.69	1.29
GS5511		47.1	90.7	11.5	43.4	9.17	1.34	8.04	1.48	8.6	1.68	4.8	0.69	4.51	0.65
PM113GS13-1		51.6	102	12.9	48.8	10	1.62	9.69	1.62	9.24	1.82	5.17	0.76	4.76	0.7
DM07GS2333		80.7	173	19.5	69.8	13.8	1.4	11.0	1.7	10.4	2.2	6.6	0.88	6.1	0.77
PM122GS8	正长花岗片麻岩	80	154	18.8	66.3	10.8	0.58	9.59	1.39	6.76	1.16	3.44	0.5	3.01	0.48
II GS2125		24.72	63.7	7.84	30.53	6.99	0.78	6.68	1.09	5.14	0.73	1.58	0.19	0.93	0.11

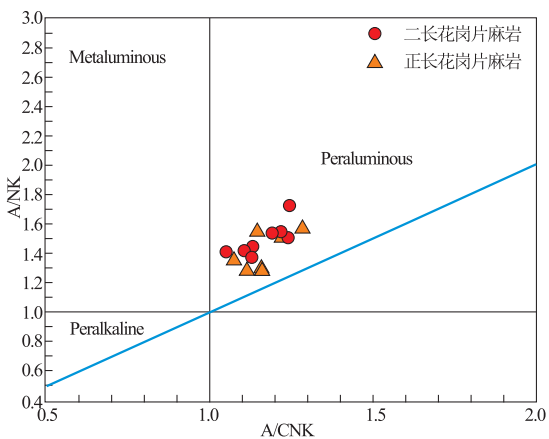


图 4 A/CNK—A/NK 图解

Fig. 4 A/CNK—A/NK diagram

里特曼指数(系列指数) $\sigma=1.5\sim 2.35$,属钙碱性系列。 $w(\text{SiO}_2)-w(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 图解显示,样品集中分布于钙碱性花岗岩范围(图 2); $w(\text{SiO}_2)-w(\text{K}_2\text{O})$ 图解显示,样品落在高钾钙碱性系列和钾玄岩系列范围(图 3);A/CNK—A/NK 图解(图 4)反映属于过铝质花岗岩。

综上所述,卡而却卡地区的花岗片麻岩原岩应为过铝质高钾钙碱性岩花岗岩。

3.1.2 稀土和微量元素特征

岩石中稀土总量较高(表 1), $w(\Sigma\text{REE})$ 值介于 $130.98\times 10^{-6}\sim 356.81\times 10^{-6}$ 之间,轻重稀土比值 $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})=2.37\sim 12.55$,显示轻稀土富集的特点。稀土元素标准化配分图中曲线右倾

(图 5),为轻稀土富集型;轻稀土部分呈明显右倾斜,重稀土部分呈较平坦, Eu 处“V”字型谷明显。 $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$ 值 $1.58\sim 19.06$,远大于 1; δEu 值 $0.17\sim 0.55$,Eu 中等亏损,表明变质侵入岩物源来自于上地壳物质的重熔。

花岗片麻岩微量元素分析结果如表 2 所述。岩石中不相容元素 K、Rb、Ba、Th 等强烈富集,Nb、Zr、Ce、Ta、Hf 等中等不相容元素富集一般,弱不相容元素 Y 弱亏损;其它有益元素大部分不显示或显低丰度值,无富集或矿化特征。在球粒陨石标准化蛛网图中(图 6),显示 Nb、Ta、P、Ti、Rb、Sr 亏损显示“谷”形,而 Ba、Th、Nd 呈“峰”形,表明其物源与地壳有关,反映其与大陆碰撞、地壳增厚密切相关。

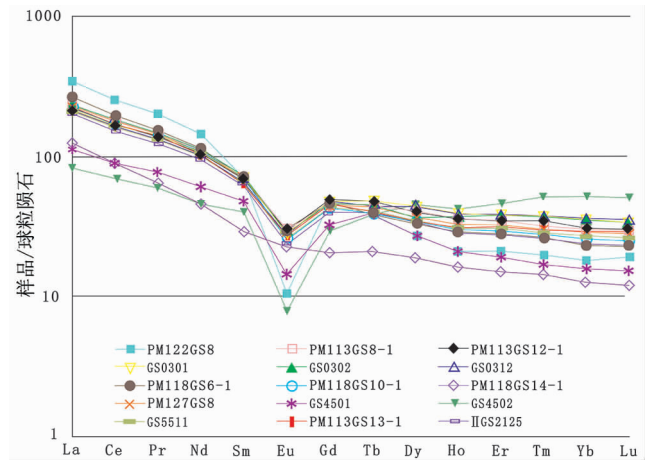


图 5 稀土元素配分图

Fig. 5 REE pattern

表 2 花岗片麻岩微量元素分析结果

Table 2 Analytical results of trace elements in the granitic gneiss

样号	岩性	微量元素含量($w_B/10^{-6}$)															
		Sr	Rb	Ba	Th	Ta	Nb	Zr	Hf	Cr	Ni	Co	Y	Sc	Be	Li	Cu
PM113GS8-1	正长 花岗 片麻 岩	126	246	902	21.00	1.08	12.40	136.8	4	12.1	6.35	3.42	42.2	7.22	3.85	52.3	3.44
PM113GS12-1		134	289	868	23.50	1.21	15.70	197.9	6.2	9.59	5.73	3.78	56.7	7.87	3.07	32.2	4.23
GS0301		121	284	1050	25.30	1.15	14.50	234.7	6.6	14.5	6.45	3.65	51.5	6.55	2.91	31.1	
GS0302		120	270	957	36.80	1.21	14.50	202.7	5.6	17.4	16.1	4.31	46.8	6.78	2.97	30.2	
GS0312		125	270	967	21.90	1.18	13.50	208.8	5.7	18.5	7.46	4.04	53.2	8.13	2.95	30.3	
PM118GS6-1		118	188	1160	23.10	0.92	11.20	154.7	3.4	26.8	8.8	3.74	46.3	7.52	1.6	17.4	1.2
PM118GS10-1		123	252	839	25.20	1.34	13.60	146	4.3	14.4	7.46	3.22	53.2	7.94	3.08	34.8	3.6
PM118GS14-1		163	189	696	5.11	0.46	5.64	46.2	1.2	13.5	5.39	1.81	26	4.61	2.11	84.4	2.68
PM127GS8		89.6	255	1210	24.50	1.21	10.50	135.2	3	9.6	6.33	5.72	31.9	3.87	2.56	48	3.21
GS4501		62.9	295	489	13.30	0.82	9.41	83.7	3.2	5.96	3.93	2.36	51.4	5.09	1.08	33.3	1.59
GS4502	正长 花岗 片麻 岩	37.3	299	257	18.00	0.74	7.73	112.8	4.6	10.7	3.36	1.58	61.9	5.87	0.32	13.9	2.35
GS5511		78.2	279	800	22.00	1.98	15.80	189.5	5.6	9.8	5.88	3.8	43.7	6.34	4.88	54.4	4.8
PM113GS13-1		127	236	998	22.30	0.88	12.10	152.5	4.4	17.4	16.4	4.3	46.4	8.03	2.88	33.6	2.25
DM07GS2333		13.53	28.35	116.44			95.07	34.79					61.1				
PM122GS8		28.1	266	175	52.40	0.68	8.88	236	9.5	7.7	2.64	1.12	31.3	4.03	1.42	20.3	2.71
II GS2125		75	256	521	18.3	1.3	13.5	110	4.2	4.1	7.9	5.1					

表 3 二长花岗片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果表

Table 3 LA-ICP-MS Zircon U-Pb isotopic dating of monzonitic granite gneiss

序号	$w_B/10^{-6}$		同位素比值					年龄/Ma					
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
1	70.19	472.15	0.15	1.45	0.07	0.04	0.23	909	5.57	908	3.76	907	0
2	79.02	547.32	0.15	1.41	0.07	0.04	0.21	888	5.14	892	3.33	902	0
3	73.04	493.65	0.15	1.45	0.07	0.04	0.21	910	5.34	910	3.43	910	0
4	80.24	544.53	0.15	1.48	0.07	0.04	0.18	911	7.07	920	5.71	943	0
5	46.48	292.61	0.15	1.45	0.07	0.04	0.52	909	5.58	908	4.02	905	0
6	93.10	631.41	0.15	1.47	0.07	0.04	0.18	911	6.53	917	5.04	933	0
7	77.20	522.81	0.15	1.47	0.07	0.04	0.19	911	6.08	916	4.49	929	0
8	59.11	382.44	0.15	1.46	0.07	0.04	0.38	909	6.24	914	4.44	924	0
9	38.63	269.72	0.14	1.42	0.07	0.04	0.36	855	5.75	899	4.37	1010	0
10	36.30	227.95	0.15	1.55	0.07	0.05	0.43	909	5.52	951	5.31	1048	0
11	50.50	327.40	0.15	1.61	0.08	0.05	0.29	911	6.49	974	9.98	1120	0
12	79.50	581.82	0.14	1.33	0.07	0.04	0.18	846	5.31	858	3.96	888	0
13	54.71	363.39	0.15	1.45	0.07	0.04	0.27	909	5.92	910	4.46	912	0
14	32.84	278.67	0.11	1.09	0.07	0.04	0.32	696	4.01	749	3.70	911	0
15	103.71	782.77	0.14	1.30	0.07	0.04	0.14	831	6.18	844	5.10	878	0
16	135.23	924.04	0.15	1.45	0.07	0.04	0.16	910	5.68	910	3.96	910	0
17	63.63	457.35	0.14	1.33	0.07	0.04	0.24	846	5.44	859	4.22	892	0
18	44.23	293.19	0.15	1.45	0.07	0.04	0.28	911	6.25	910	4.97	909	0
19	51.14	330.45	0.15	1.45	0.07	0.04	0.38	911	6.22	912	5.14	913	0
20	43.32	280.47	0.15	1.46	0.07	0.04	0.36	911	6.45	913	5.38	919	0
21	52.47	343.77	0.15	1.48	0.07	0.04	0.31	910	6.62	921	5.29	947	0
22	71.36	463.85	0.15	1.68	0.08	0.07	0.21	911	7.28	1001	5.05	1204	0
23	64.46	427.72	0.15	1.46	0.07	0.04	0.27	909	6.01	913	4.72	923	0
24	47.11	316.82	0.15	1.46	0.07	0.04	0.22	911	5.98	913	4.47	920	0
25	108.68	745.05	0.15	1.45	0.07	0.04	0.15	911	5.80	910	4.05	910	0

3.2 锆石 U-Pb 年龄

在眼球状二长花岗质片麻岩中采集的 25 颗锆石 U-Pb 同位素年龄测试结果如表 3、图 7 所述,其

中 19 颗锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值非常接近,同位素年龄为 $910\text{ Ma}\pm 3\text{ Ma}$ (MSWD=0.023),表明变质侵入体的时代为新元古代青白口纪。

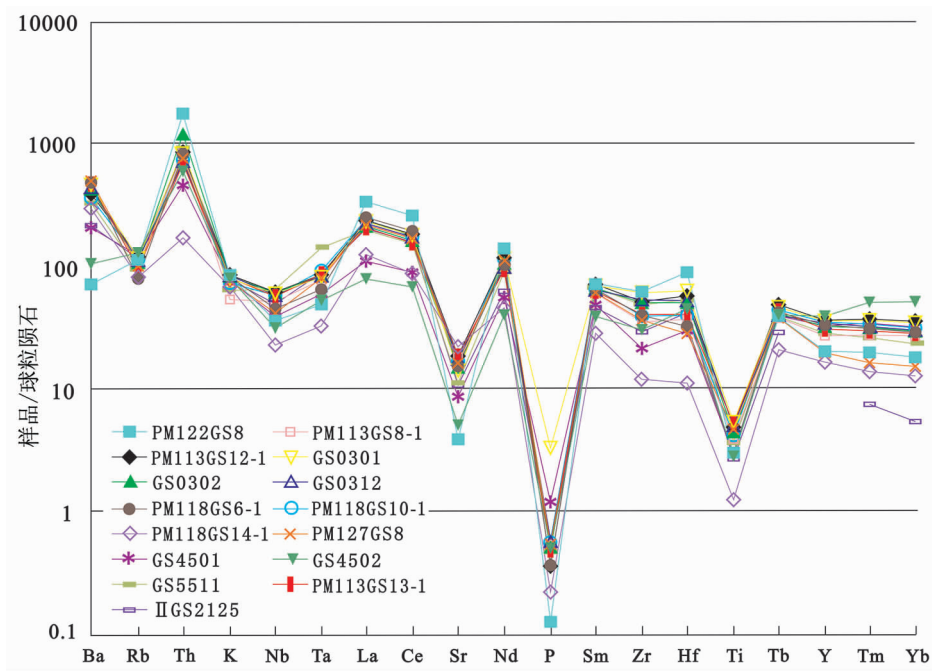


图 6 微量元素蛛网图

Fig. 6 spider diagram of trace elements

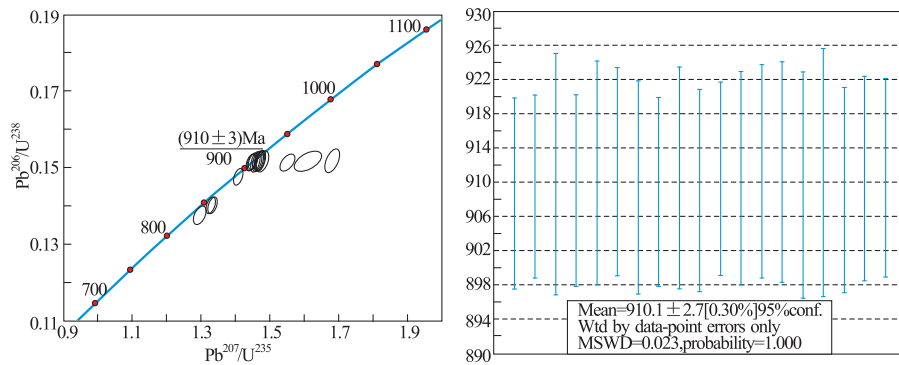


图 7 二长花岗片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图及表面年龄权重值图

Fig. 7 LA-ICP-MS zircon U-Pb age harmony map and surface age weight value of Monzonitic granite gneiss

4 讨论

4.1 岩石成因

卡而却卡地区的花岗片麻岩出露不多,分布较分散,平面形态呈带状、不规则状,总体呈 NW 向展布,其原岩为过铝质高钾钙碱性岩花岗岩。虽然原始侵入接触关系特征多已不太清楚,但变质侵入岩体呈岩株状产出的特征基本明显。变质侵入岩(体)的原岩为二长花岗岩+正长花岗岩组合。岩石的 SiO_2 含量高达 70.97%~76.876%,属酸性岩;NK 值介于 6.09%~10.99%之间(平均为 9.20%),N/K

值为 1.16~3.04,属高钾低钠质; Al_2O_3 含量达 11.842%~15.239%,铝过饱和指数 ASI 在 1.05~1.31 之间(均值 1.16),为典型的过铝质花岗岩。以上表明,变质侵入岩物源来自于上地壳物质的重熔,属高钾的钙碱性岩,具 S 型花岗岩特征。

4.2 形成环境

有些学者^[19-21]认为,花岗岩与大地构造环境之间存在密切的联系,利用地球化学标志可以判别花岗岩形成的大地构造环境。Pearce 等^[19]将花岗岩分为 4 种基本类型:洋脊花岗岩(ORG)、火山弧花岗岩(VAG)、板内花岗岩(WPG)和碰撞花岗岩(COLG),并认为微量元素 Rb、Y(Yb)和 Nb(Ta)是

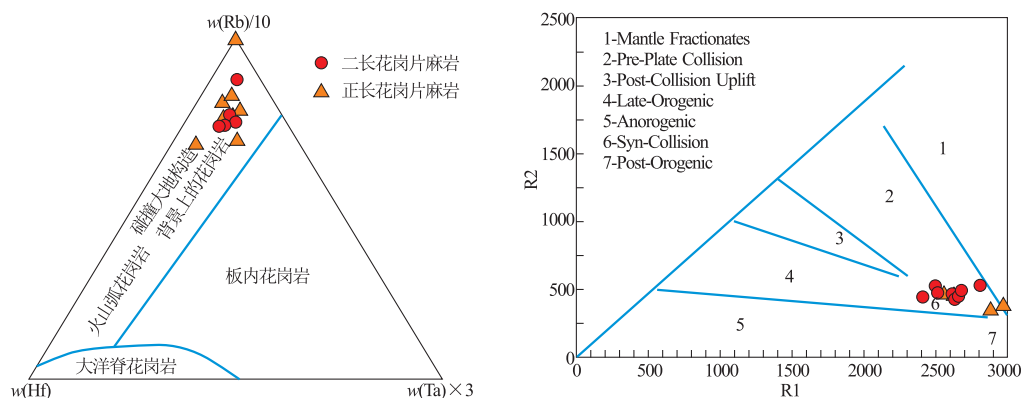
图8 卡而却卡花岗质片麻岩构造环境判别图解^[20,22]

Fig. 8 Diagrams of the tectonic setting discrimination for granitic gneiss in Kaerqueka area

花岗岩最有效的判别指标,可以将上述四种花岗岩区分开来。Harris 等^[20]利用 Rb—Hf—Ta 三元图来区分碰撞带中不同构造演化阶段的花岗岩。Bararlin^[21]则根据花岗岩类的矿物组合、野外出露和岩石特性、定位特点以及地球化学和同位素特征,将花岗岩类分为 7 种类型,不同类型的花岗岩分别对应于不同的地球动力学环境和源区(幔源、壳源和壳幔混合源)。

根据矿物组合特征不同,可以将 $A/CNK \geq 1$ 的过铝质花岗岩分为含白云母过铝花岗岩类和含堇青石过铝花岗岩类^[21]。含白云母过铝花岗岩主要来源于地壳,形成于大型地壳剪切或逆掩构造所影响的造山带。卡而却卡地区的花岗片麻岩属于过铝质 S 型花岗岩,含有石榴石和白云母等富铝矿物, A/CNK 平均值为 1.16,表明源区主要来自地壳。微量元素特征显示,岩石具有较低的 Nb、Ta、P、Ti、Rb、Sr,与火山弧花岗岩和同碰撞花岗岩比较相似;在 Rb—Hf—Ta 判别图解中(图 8 左图),数据点主体落入与碰撞作用相关的火山弧花岗岩区域;在 R_1 — R_2 图解(图 8 右图)中,投影点集中在 6 区(同碰撞花岗岩区),反映其与大陆碰撞、地壳增厚密切相关,表明新元古代青白口纪本区发育一期强烈的陆—陆碰撞事件,形成了新元古代陆—陆碰撞花岗岩。

以上表明,卡而却卡地区的花岗质片麻岩形成于同碰撞构造环境,岩石经历强烈变形作用,发育片麻理;岩体变形主要形成于碰撞造山过程,后期又经历构造作用的叠加改造。

4.3 构造意义

近年来相关邻区的有关研究表明,区内的新元古代花岗岩是记录中国西部响应全球 Rodinia 超大陆的形成。在新元古代早期发生汇聚碰撞,导

致大陆边缘沉积物发生部分熔融形成花岗岩^[4,22-24],因此,该期花岗岩就是在陆—陆碰撞环境下形成的。

在东昆仑、柴达木北缘、塔里木东缘以及祁连山带均有大量新元古代早期(1 000~870 Ma)岩浆事件的报道^[3,7,14,23,25-28],其中一些研究显示的岩浆活动同样具有同碰撞性质^[3,13-14,29-30],这些研究均认为是与 Rodinia 超大陆形成有关的碰撞造山事件的记录,说明东昆仑及邻区在新元古代存在陆—陆汇聚碰撞。因此,我们认为新元古代早期的花岗岩形成与碰撞挤压环境,而新元古代晚期的花岗岩可能形成于拉张环境^[22,31-32]。

本次研究发现,东昆仑卡而却卡地区古元古界金水口群白沙河组($P_{t1}b$)中发育的一套花岗片麻岩形成时代为新元古代,岩石经历强烈变形,片麻理发育,且具有眼球状构造。地球化学研究结果显示,花岗片麻岩属过铝质高钾钙碱性岩,具有 S 型花岗岩特征,形成于碰撞造山环境;综合分析本文与前人研究成果,结果表明东昆仑卡而却卡地区在新元古代早期($910 \text{ Ma} \pm 3 \text{ Ma}$)存在构造岩浆事件——响应 Rodinia 超大陆汇聚事件,进一步说明祁漫塔格存在一条新元古代的花岗岩深成侵入岩带,从而对祁漫塔格岩浆侵入活动及构造演化方面提供新的信息与依据。

5 结论

(1)在卡而却卡地区发现了 11 个大小不等的变质侵入体,岩性为二长花岗片麻岩和正长花岗片麻岩,其原岩恢复为中粗粒—似斑状二长花岗岩和正长

花岗岩。

(2) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄主要在 909 Ma~911 Ma, 表面年龄加权平均值为 910 Ma $\pm$ 3 Ma, 代表了岩浆结晶年龄, 表明花岗岩形成于新元古代早期。

(3) 岩石明显具高 SiO₂、Al₂O₃、K₂O, 贫 FeO、MgO、CaO 的特点。稀土总量较高 ($w(\Sigma\text{REE}) = 130.98 \times 10^{-6} \sim 356.81 \times 10^{-6}$), 轻稀土富集, $\delta\text{Eu} = 0.17 \sim 0.55$, Eu 中等亏损。岩石中不相容元素 K、Rb、Ba、Th 等强烈富集; Nb、Zr、Ce、Ta、Hf 等中等不相容元素富集一般; 弱不相容元素 Y 弱亏损等特点。以上特征表明, 岩浆来源于陆壳的部分熔融。

(4) 卡而却卡地区的花岗片麻岩具有同碰撞花岗岩特征, 表明东昆仑造山带响应了 Rodinia 超大陆汇聚事件, 其为东昆仑造山带早期演化提供了新的地质信息。

参考文献:

- [1] 高晓峰, 校培喜, 谢从瑞, 等. 祁漫塔格地区构造—岩浆作用与成矿[J]. 西北地质, 2010, 43(4): 119–123.
- [2] 丰成友, 王雪萍, 舒晓峰, 等. 青海祁漫塔格虎头崖铅锌多金属矿区年代学研究及地质意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011, 41(6): 1806–1812.
- [3] 孟繁聪, 崔美慧, 吴祥珂, 等. 东昆仑祁漫塔格花岗岩片麻岩记录的岩浆和变质事件[J]. 岩石学报, 2013, 29(6): 2107–2122.
- [4] 王云山, 陈基娘. 青海省及毗邻地区变质地带与变质作用[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [5] 王国灿, 王青海, 简平, 等. 东昆仑前寒武纪基底变质岩系的锆石 SHRIMP 年龄及其构造意义[J]. 地学前缘, 2004, 11(4): 481–490.
- [6] 王国灿, 魏启荣, 贾春兴, 等. 关于东昆仑地区前寒武纪地质的几点认识[J]. 地质通报, 2007, 26(8): 929–937.
- [7] 陈能松, 李晓彦, 张可信, 等. 东昆仑山香山日德南部白沙河岩组的岩石组合特征和形成年代的锆石 Pb-Pb 定年启示[J]. 地质科技情报, 2006, 25(6): 1–7.
- [8] 陆松年, 李怀坤, 王惠初, 等. 秦-祁-昆造山带元古宙副变质岩层碎屑锆石年龄谱研究[J]. 岩石学报, 2009, 25(9): 2195–2208.
- [9] 谈生祥, 拜永山, 常革红, 等. 祁漫塔格地区晋宁期变质侵入岩(体)的发现及其地质意义[J]. 西北地质, 2004, 37(1): 69–73.
- [10] 陈能松, 李晓彦, 王新宇, 等. 柴达木地块南缘昆北单元变质新元古代花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2006, 25(11): 1311–1314.
- [11] 陆松年, 于海峰, 李怀坤, 等. 中国前寒武纪重大地质问题研究—中国西部前寒武纪重大地质事件群及其全球构造意义[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- [12] 张金明, 王钦元, 许海全, 等. 喀拉克登塔格地区古元古代金水口变质侵入岩(体)的发现及其地质意义[J]. 西北地质, 2012, 45(3): 13–19.
- [13] 马文, 丁玉进, 李社宏, 等. 祁漫塔格中部元古代高钾(变质)侵入岩体的发现及其地质意义[J]. 西北地质, 2013, 46(1): 32–39.
- [14] 陈有圻, 裴先治, 李佐臣, 等. 东昆仑东段巴隆花岗岩片麻岩年代学、地球化学特征及地质意义[J]. 岩石学报, 2015, 31(8): 2230–2244.
- [15] 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等. 昆仑开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992: 1–35.
- [16] 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 等. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2009, 28(增刊): 77.
- [17] LIU Yongsheng, HU Zhaochu, ZONG Keqing, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS [J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535–1546.
- [18] Ludwig K R. ISOPLOT 3: a User Manual, a Geochronological Toolkit for Microsoft excel [M]. California, Geochronology Centre Berkeley, Special Publication, 2003, 4: 74.
- [19] Pearce JA, Harris NBW, Tindle AG. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. Journal of Petrology, 1984, 25(4): 956–983.
- [20] Harris NBW, Pearce JA, Tindle AG. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism [C] // Coward MP, Reis AC (eds). Collision Tectonics. Geological Society, London, Special Publications, 1986, 19(1): 67–81.
- [21] Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments [J]. Lithos, 1999, 46(3): 605–626.
- [22] Pearce JA. Sources and setting of granitic rocks [J]. Episodes, 1996, 19(4): 120–125.
- [23] 陆松年, 于海峰, 金巍, 等. 塔里木古大陆东缘的微小大陆块体群[J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21(4): 317–326.
- [24] 葛肖虹, 刘俊来. 被肢解的“西域克拉通”[J]. 岩石学报, 2000, 16(1): 59–66.
- [25] 陈能松, 王勤燕, 陈强, 等. 柴达木和欧龙布鲁克陆块基底的组成和变质作用及中国中西部古大陆演化关系初探[J]. 地学前缘, 2007, 14(1): 43–55.
- [26] 郭进京, 赵凤清, 李怀坤. 中祁连山晋宁期碰撞型晃啊感言及其地质意义[J]. 地球学报, 1999, 20(1): 10–15.
- [27] 林慈鑫, 陈丹玲, 孙勇, 等. 柴北缘鱼卡河花岗岩片麻岩的地球化学特征和锆石 LA-ICP-MS 定年[J]. 地球化学, 2006, 35(5): 489–505.
- [28] 徐娅玲, 巴金, 王勤燕, 等. 青海都兰东北部哈莉哈德山花岗岩片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及构造意义[J]. 地质通报, 2011, 30(7): 1037–1042.
- [29] WAN YS, ZHANG JX, YANG JS, et al. Geochemistry of high-grade metamorphic rocks of the North Qaidam Mountains and their geological significance [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2006, 28(2-3): 174–184.
- [30] 王超, 刘良, 车自成, 等. 阿尔金南缘榴辉岩带中花岗岩片麻

- 岩的时代及构造环境探讨[J]. 高校地质学报, 2006, 12(1): 74-82.
- [31] 李怀坤, 陆松年, 王惠初, 等. 青海柴北缘新元古代超大陆裂解的地质记录——全吉群[J]. 地质调查与研究, 2003, 6(1): 27-37.
- [32] 任军虎, 张琨, 柳益群, 等. 东昆仑金水口南变余辉长岩地球化学及锆石定年[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2011, 41(1): 100-106.

Discovery and geological significance of Neoproterozoic intrusive body in the Kaerqueka area of the East Kunlun mountain

WEI Xiaolin^{1,2}, ZHANG Dexin², GAN Chenpin³, CHEN Libiao⁴

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China; 2. Qinghai Bureau of Geology Survey, Xining 810001, China; 3. No. 3 Institute of Geology Mineral Exploration of Qinghai Province, Xining 810029, China; 4. No. 4 Institute of Geology Mineral Exploration of Qinghai Province, Xining 810029, China)

Abstract: Kaerqueka area is located at the Qimantage metallogenic belt in the East Kunlun mountain area. The formerly defined granitic gneiss in the area is the Neoproterozoic granites according to study on the petrology, geochemistry and isotope chronology. Zircon LA-ICP-MS U-Pb isotope dating show that the granite body emplaced at 910 ± 3 Ma corresponding to Qingbaikou period of the Neoproterozoic era. The granite is characterized by rich SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , poor FeO , MgO and CaO , REE pattern showing LREE enrichment, medium depletion of Eu, strong enrichment of incompatible trace element of K, Rb, Ba, Th, ordinary enrichment of Nb, Zr, Ce, Ta, Hf, weak depletion of Y. All this show that the granite is the high K, Ca alkaline S-type granite. The magma is from syn-collisional partial melting of continental crust. It is the material record of convergence of Rodinia super-continent.

Key Words: Kaerqueka area; granitic gneiss; Geochemistry; Neoproterozoic era; Rodinia; East Kunlun mountain area; Qinghai province