

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2019.02.011

巴颜喀拉地块当俄花岗岩体地球化学特征 及锆石年龄

邓金贤,冯平,周云龙,彭健,齐兵德,邓良武,沙浩

(四川省核工业地质局二八三大队,四川 达州 635000)

摘要: 巴颜喀拉地块夹持于昆南缝合带、金沙江缝合带及龙门山断裂带之间,出露了较多的花岗岩体。当俄花岗岩体的岩石地球化学特征表明,当俄岩体具有较高 SiO_2 含量($w(\text{SiO}_2)=65.78\%\sim 70.22\%$)、过铝质($A/\text{CNK}=1.58\sim 1.95,>1.1$)特征,属过铝质高钾钙碱性 A 型花岗岩;该岩体总体形成温度为 $700^\circ\text{C}\sim 800^\circ\text{C}$,总体形成压力为 $0.05\text{ GPa}\sim 0.2\text{ GPa}$,为低压高温环境;岩石具有 Rb、Th 强正异常,Ba、Nb、Sr、P、Ti 强烈亏损,轻稀土强烈富集特征,且具有一定的负 Eu 异常,显示出有壳源的特征;花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年为 $211.9\text{ Ma}\pm 1.9\text{ Ma}$,表明岩浆侵位时代为中生代晚三叠世。当俄花岗岩体形成于碰撞造山后期地壳减薄环境中,属于印支晚期岩浆活动的产物。

关键词: 巴颜喀拉地块;A 型花岗岩;地球化学;SHRIMP 锆石 U-Pb 测年;碰撞造山后期;青海省

中图分类号: P588.1 **文献标识码:** A

0 引言

巴颜喀拉地块夹持于昆南缝合带和金沙江缝合带及龙门山断裂带之间(图 1a),向北西西方向展布,构造位置十分独特。受古特提斯造山作用的影响,巴颜喀拉地块内发育大量的三叠纪花岗岩浆岩体。前人对巴颜喀拉地块岩体大概划分为三带一区^[1]:东昆仑岩带、阿尼玛卿岩带、玉树岩带及巴颜喀拉岩区。其中,巴颜喀拉岩区的岩体主要呈分散的岩株、岩基状产出^[1-2];已有学者对区内出露的羊壤岩体、坡不弄玛岩体、下日乎岩体、决格宗岩体、则洛岩体、日查岩体、索乎日麻岩体、年保玉则岩体、塔音山岩体进行过地球化学特征、年龄等方面较为系统的研究工作,而对当俄花岗岩体的研究甚少。

当俄花岗岩体自上世纪 90 年代发现以来,仅有青海省地矿局及四川省地质调查院分别在《下红科

乡幅、班玛县幅 20 万区域地质调查报告》及《色达县幅 25 万区域地质调查报告》中对该岩体的岩体特征、岩石特征等进行过较为简单的介绍,而未对该岩体进行系统的地球化学、年代学等方面的研究。因此,本文基于在青海省班玛县吉卡地区开展 1:5 万区域地质矿产调查(I47E019017、I47E019018、I47E020017、I47E020018 四幅项目)野外工作的基础上,结合所采样品的室内鉴定、测试分析工作,力图对当俄花岗岩体进行系统的岩石地球化学及年代学研究,以期探讨该岩体形成的构造环境,从而为揭示巴颜喀拉造山带内的岩浆活动机制、壳幔作用过程、造山带演化等问题提供参考。

1 岩石学特征

当俄花岗岩体位于青海省班玛县达卡乡当俄沟内,出露面积大约 2.3 km^2 (图 1b)。岩体形态较为

收稿日期: 2018-01-25; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 中国地质调查局项目(编号:121201011000150005-10)资助。

作者简介: 邓金贤(1991—),男,硕士,助理工程师,2016年毕业于成都理工大学矿产普查与勘探专业,从事区域地质调查、矿产勘查研究等工作。通信地址:四川省达州市通川区肖公庙路 375 号,四川省核工业地质局 283 大队;邮政编码:635000;E-mail:776888095@qq.com

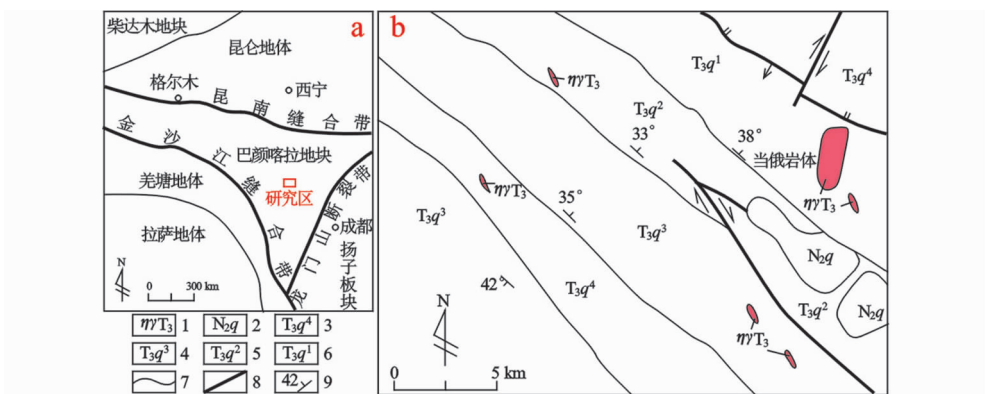


图 1 研究区大地构造位置及当俄花岗岩体所在区域地质简图

Fig. 1 Geotectonic location of the study area and geological sketch of the area where the Dang'e granites body occurs

1. 岩体;2. 曲果组;3. 清水河组四段;4. 清水河组三段;5. 清水河组二段;
6. 清水河组一段;7. 地质界线;8. 断层;9. 产状

规则,平面上呈似椭圆状,总体呈岩株状及岩脉状产出,围岩为上三叠统清水河组一段(T_3q^1)的变质细砂岩,侵入接触关系明显,岩体边部见有围岩(变砂岩)捕虏体(一般长 5~10 cm,宽略小)。

当俄花岗岩体岩性以斜长花岗岩、二长花岗岩为主,岩石多见程度不一的绿泥石化现象。斜长花岗岩组成矿物(体积分数)有斜长石(58%~66%)、石英(22%)、钾长石(8%~16%)、黑云母(4%)等,岩石具有花岗结构。二长花岗斑岩为斑状结构,斑晶($\varnothing$ 2.4~11 mm)由斜长石(16%)、钾长石(7%)及石英(5%)组成,基质($\varnothing$ 0.16~1.6 mm)由石英(20%)、斜长石(10%)、钾长石(35%)、黑云母(7%)及少量副矿物组成。

2 岩石地球化学特征

2.1 主量元素特征

本次研究在当俄岩体不同位置采集了 6 块花岗

岩石样品,并将这 6 件样品送往西南冶金地质测试所分别进行主量、微量及稀土元素测试分析,采用的测试方法为 X 荧光法、质谱法、等离子发射光谱法。

由表 1 可知,岩石普遍含有较高的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 含量。其中, SiO_2 含量为 $w(SiO_2)=65.78\% \sim 70.22\%$,属酸性岩范畴。岩石的里特曼指数 $\delta=1.86 \sim 2.14$,小于 3.3,岩石属高钾钙碱性岩石;在 $w(SiO_2)-w(K_2O)$ 图解(图 2a)中,样品投点落在高钾区,属高钾钙碱性岩石系列;岩石 $w(K_2O) > w(Na_2O)$, $A/NK=1.91 \sim 2.19$, $A/CNK=1.58 \sim 1.95 (>1.1)$,岩石样品投点在 $A/CNK-A/NK$ 图解(图 2b)中落入过铝质花岗岩区,属于过铝质花岗岩;岩石样品投点在 $w(Na_2O)-w(K_2O)$ 图解(图 3a)中落入 A 型花岗岩区域,且 $w(K_2O + Na_2O)/w(Al_2O_3)$ 及 $w(TFeO)/w(MgO)$ 值高,符合 A 型花岗岩的化学特征^[3-4]。因此,当俄花岗岩体为过铝质高钾钙碱性 A 型花岗岩。

表 1 当俄花岗岩体主量元素分析结果

Table 1 Major element analysis of Dang'e granite body

样品号	$w_B/\%$											
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	LOSS
PM08-02-XT1	66.67	0.57	15.38	1.08	3.12	0.060	0.76	1.73	3.11	4.10	0.17	2.69
PM08-04-XT1	69.19	0.54	15.42	1.20	1.63	0.040	0.09	0.83	2.84	4.21	0.16	3.15
PM08-05-XT1	70.02	0.35	14.68	0.89	1.86	0.033	0.45	1.30	2.94	4.72	0.13	1.97
PM08-07-XT1	69.05	0.43	14.92	1.31	2.40	0.048	0.47	1.50	3.00	4.31	0.14	1.77
PM08-11-XT1	70.22	0.35	14.34	0.91	1.44	0.034	0.34	1.54	2.78	4.62	0.13	2.60
PM08-12-XT1	65.78	0.62	15.29	0.51	4.72	0.073	1.13	2.70	3.22	3.74	0.18	1.41

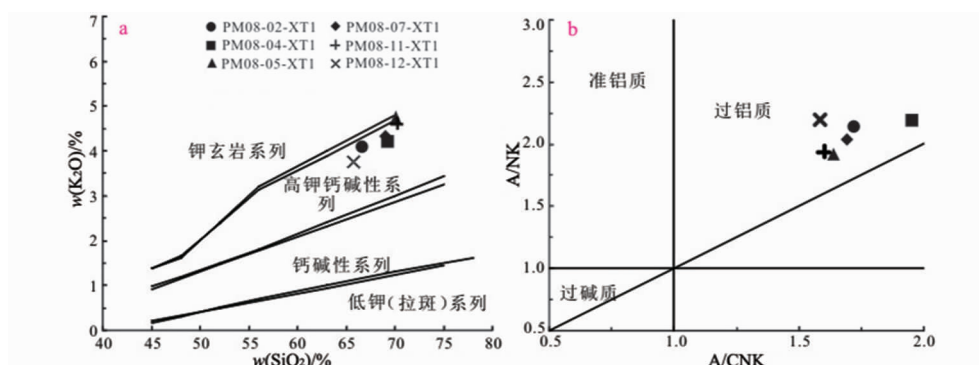


图 2 当俄花岗岩体 $w(\text{SiO}_2)$ — $w(\text{K}_2\text{O})$ 图解 (a) 及 A/CNK — A/NK 图解 (b)

Fig. 2 $w(\text{SiO}_2)$ — $w(\text{K}_2\text{O})$ diagram (a) and A/CNK — A/NK diagram (b) of Dang'e granite body

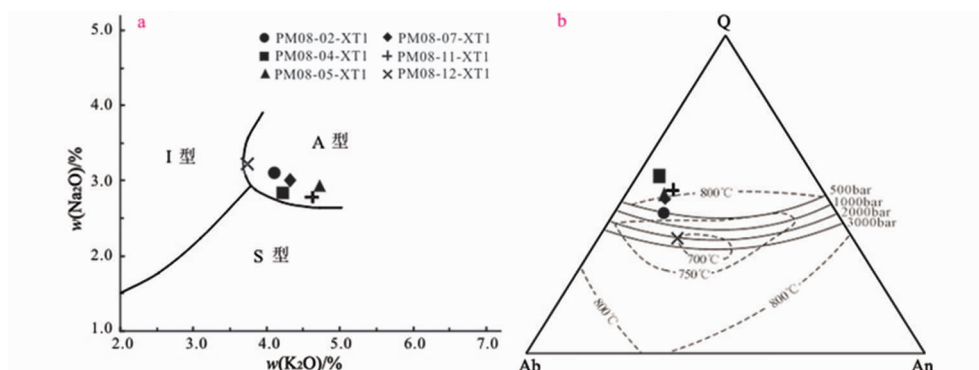


图 3 当俄花岗岩体 $w(\text{Na}_2\text{O})$ — $w(\text{K}_2\text{O})$ 图解 (a) 及 Q - Ab - An 等温等压力线 (b)

Fig. 3 $w(\text{Na}_2\text{O})$ — $w(\text{K}_2\text{O})$ diagram (a) and Q - Ab - An isothermal and isopressure diagram (b) of Dang'e granite body

利用花岗岩类 Q - Ab - An 等温等压力线图对当俄花岗岩体进行温度及压力的判断,从图 3b 可以看出该岩体总体形成温度在 700°C — 800°C 之间,总体形成压力在 0.05 GPa — 0.2 GPa 之间,与 A 型花岗岩相关实验岩石学中得到的 A 型花岗岩形成的温度 (640°C — 870°C) 及压力 ($<0.2\text{ GPa}$) 相近一致^[5-10]。因此,可以认为当俄花岗岩体形成于低压高温环境。

2.2 微量元素特征

当俄花岗岩体的微量元素分析结果(表 2)表明, Hf 、 Ti 、 Co 相对富集, Ba 、 Th 、 Ta 、 Nb 、 Sr 、 Zr 、 Ni 、 Ta 、 V 相对贫化;在原始地幔标准化的微量元素蛛网图中(图 4a),曲线呈右倾的锯齿状型式;其中 Rb 、 Th 强正异常, Ba 、 Nb 、 Sr 、 P 、 Ti 强烈亏损,符合 A 型花岗岩的微量元素化学特征^[11]。

2.3 稀土元素特征

当俄花岗岩的稀土元素分析结果,如表 3 所述。

花岗岩稀土总量 $w(\Sigma\text{REE}) = 127.94 \times 10^{-6} \sim 165.52 \times 10^{-6}$, $w(\text{LREE})/w(\Sigma\text{REE})$ 集中于 $0.85 \sim 0.8$ 之间,轻稀土强烈富集; $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N = 7.84 \sim 12.98$,轻稀土陡倾、分馏强烈,重稀土相对平坦(图 4b); δEu 值 $0.62 \sim 0.92$,具有一定的负 Eu 异常。岩石总体显示出上地壳源特征,当俄花岗岩体可能为地壳重熔型花岗岩。

3 岩体侵位时代

3.1 样品采集与分析

本次工作采集了 1 件花岗岩锆石 U-Pb 同位素测年样品,样品编号为 PM08-11-U-Pb1 。样品送至北京离子探针中心进行锆石 SHRIMP U-Pb 同位素测年。

表 2 当俄花岗岩体微量元素分析结果
Table 2 Trace element analysis of Dang'e granite body

样品号	$w_B/10^{-6}$																
	Ba	Bi	Co	Cr	Cu	Hf	Nb	Ni	Rb	Sr	Ta	Th	Ti	U	V	W	Zr
PM08-02-XT1	430	0.16	8.3	23	10	5.5	17.6	6.64	204	194	1.70	14.3	3533	3.83	37.9	4.51	189
PM08-04-XT1	431	0.19	8.5	20	12	5.5	15.6	5.73	206	183	1.65	16.5	3424	4.69	38.3	6.30	188
PM08-05-XT1	425	0.39	5.5	26	8.1	4.5	9.86	5.94	261	151	1.07	16.8	2159	3.83	24.7	6.28	139
PM08-07-XT1	409	1.63	6.7	19	16	4.8	15.5	6.14	225	166	2.04	15.2	2562	4.52	30.3	6.18	158
PM08-11-XT1	361	7.38	4.3	20	10	4.8	11.5	4.25	257	137	1.20	18.1	2136	4.70	22.1	35.9	147
PM08-12-XT1	412	0.76	10.2	33.5	14.1	5.75	19	9.2	192	213	1.7	14	3984	2.4	43	6.4	203

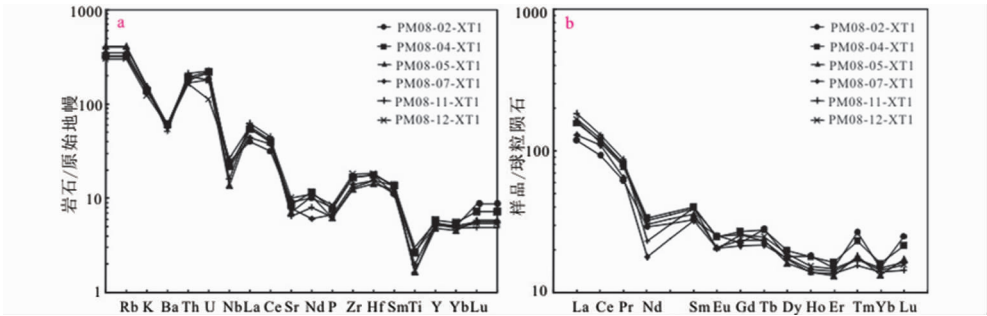


图 4 原始地幔标准化的微量元素蛛网图(a)和球粒陨石标准化配分曲线图(b)
Fig. 4 Primitive mantle-normalized trace element patterns (a) and Chondrite-normalized REE patterns (b)

表 3 当俄花岗岩体稀土元素分析结果
Table 3 REE analysis of Dong'e granite body

样品号	$w_{\text{B}}/10^{-6}$							
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
PM08-02-XT1	27.83	56.74	5.82	13.60	4.97	1.47	4.61	1.04
PM08-04-XT1	37.30	70.95	7.63	15.63	6.12	1.42	5.52	1.04
PM08-05-XT1	38.69	69.79	7.32	14.21	5.44	1.21	4.77	0.87
PM08-07-XT1	30.65	66.83	6.11	8.32	4.91	1.19	4.39	0.81
PM08-11-XT1	43.21	79.32	8.23	10.84	6.08	1.18	5.25	0.86
PM08-12-XT1	39.73	74.28	7.77	14.97	5.95	1.44	5.27	0.92

样品号	$w_{\text{B}}/10^{-6}$							
	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	
PM08-02-XT1	4.51	1.02	2.45	0.67	2.55	0.64	23.42	
PM08-04-XT1	5.03	1.01	2.69	0.59	2.76	0.54	26.90	
PM08-05-XT1	4.09	0.79	2.16	0.46	2.26	0.43	21.95	
PM08-07-XT1	4.39	0.82	2.35	0.44	2.53	0.42	24.55	
PM08-11-XT1	4.37	0.79	2.24	0.39	2.39	0.36	24.19	
PM08-12-XT1	4.78	0.86	2.42	0.44	2.43	0.40	25.29	

样品号	特征参数							
	$w(\Sigma\text{REE})$	$w(\text{LREE})$	$w(\text{HREE})$	$w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$	$w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$	$w(\text{Sm})/w(\text{Nd})$	δEu	δCe
PM08-02-XT1	127.94	110.44	17.50	6.31	7.84	0.37	0.92	1.04
PM08-04-XT1	158.24	139.06	19.18	7.25	9.71	0.39	0.73	0.98
PM08-05-XT1	152.50	136.66	15.84	8.63	12.28	0.38	0.71	0.95
PM08-07-XT1	134.15	118.01	16.14	7.31	8.68	0.59	0.77	1.13
PM08-11-XT1	165.52	148.86	16.66	8.93	12.98	0.56	0.62	0.96
PM08-12-XT1	161.66	144.14	17.52	8.22	11.71	0.40	0.77	0.97

样品处理采用常规的破碎、浮选和电磁选方法选出锆石,之后在双目镜下挑选晶形完好的锆石颗粒并进行了制靶、阴极发光照相。本次挑选了晶形完好的锆石颗粒 20 颗进行制靶、阴极发光照相(图 5)。

锆石 U-Pb 同位素测年使用仪器为高灵敏度高分辨率离子探针(SHRIMP),测试分析流程及原理见文献[12-15]。测试数据处理采用 Squid 和 Isoplot 程序,所有测点的误差均为 1σ ;所采用的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄误差为 2σ ,与文献[16-17]中的实验误差一致。当俄岗岩体(PM08-11-U-Pb1)锆石 SHRIMP U-Pb 测试结果,如表 4 所述。

3.2 岩体锆石 U-Pb 同位素年龄

锆石颗粒阴极发光图像(图 5)显示,其中大多数锆石呈长柱状,核部具有较好的振荡型环带,或发育平行晶体的韵律性生长环带,具有岩浆结晶锆石的重要特征。

从锆石 U-Pb 年龄谐和图(图 6a)及 U-Pb 年龄直方图(图 6b)可知,锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $211.9 \text{ Ma} \pm 1.9 \text{ Ma}$,其时代相当于中生代晚三叠世。该岩体年龄与巴颜喀拉地块的羊壤岩体、坡不弄玛岩体、下日乎岩体等其他花岗岩体获得的年龄基本一致^[1,18]。

表 4 当俄花岗岩体(PM08-11-U-Pb1)锆石 SHRIMP U-Pb 测试结果
Table 4 SHRIMP U-Pb zircon data from Dang'e granites (PM08-11-U-Pb1)

点号	$w_B/10^{-6}$		同位素比值						表面年龄/Ma					
	Th	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	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	
1	259	969	0.03275	0.2245	0.05306	0.0106	0.28	207.7	3.3	193	7	182	50	
2	138	600	0.03305	0.222	0.05774	0.0129	0.24	209.6	3.4	193	17	132	110	
3	317	969	0.03357	0.2228	0.05362	0.0113	0.34	212.8	3.4	198	8	106	72	
4	234	740	0.03354	0.232	0.0561	0.0113	0.33	212.7	3.5	195	10	199	100	
5	172	873	0.03153	0.2317	0.05587	0.0114	0.20	200.1	3.2	208	18	341	60	
6	331	1047	0.03441	0.2406	0.05383	0.0117	0.33	218.1	3.5	217	7	227	65	
7	199	846	0.03370	0.2416	0.05522	0.0116	0.24	213.6	3.4	211	12	286	66	
8	301	1323	0.03390	0.2383	0.0576	0.0130	0.24	214.9	3.4	212	12	240	70	
9	308	1141	0.03334	0.2238	0.0536	0.0116	0.28	211.4	3.4	203	8	133	72	
10	389	1591	0.03663	0.275	0.07024	0.0192	0.25	231.9	3.7	265	18	389	86	
11	155	753	0.03355	0.2317	0.05819	0.0132	0.21	212.7	3.5	198	17	199	86	
12	202	790	0.03334	0.2403	0.05933	0.0139	0.26	211.4	3.5	233	17	297	85	
13	210	848	0.03405	0.225	0.0587	0.0133	0.26	215.9	3.5	191	17	92	120	
14	196	850	0.03326	0.2205	0.05456	0.0125	0.24	210.9	3.4	203	13	104	89	
15	297	935	0.03483	0.2335	0.05479	0.0124	0.33	220.7	3.7	215	13	130	77	
16	88	505	0.03275	0.212	0.0593	0.0149	0.18	207.7	3.5	183	27	51	150	
17	134	685	0.03275	0.233	0.0575	0.0133	0.20	207.7	3.8	216	17	269	110	
18	226	892	0.03341	0.237	0.0590	0.0133	0.26	211.9	3.4	217	14	265	120	
19	233	863	0.03245	0.231	0.0604	0.0133	0.28	205.9	3.4	213	15	266	120	
20	215	763	0.03295	0.216	0.0760	0.0171	0.29	209.0	3.8	173	41	82	380	

注:样品测试单位为北京离子探针中心;表中所列误差均为 1σ 误差。

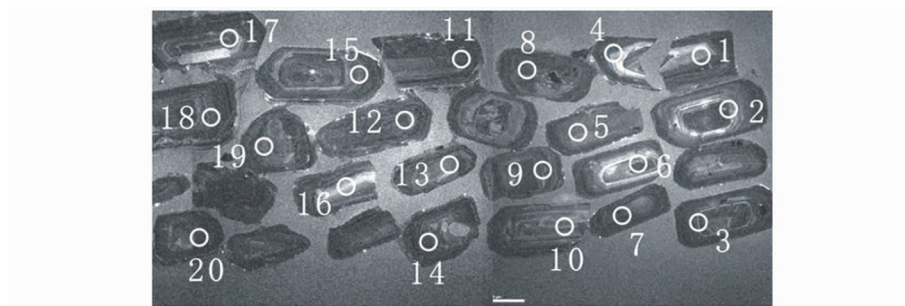


图 5 当俄花岗岩体锆石阴极发光图

Fig. 5 Cathodoluminescence images of zircons from Dang'e granites

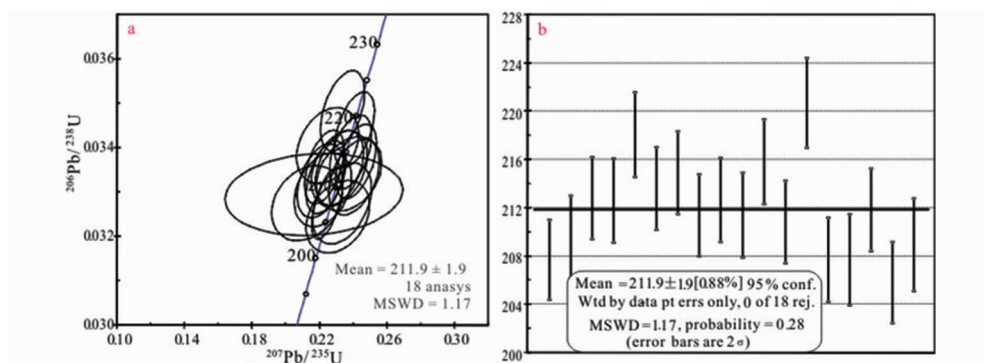


图 6 当俄花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图(a)及 U-Pb 年龄直方图(b)

Fig. 6 Zircon SHRIMP U-Pb isotopic concordia (a) and U-Pb isotopic histogram (b)

4 讨论与结论

当俄花岗岩体的岩石地球化学特征已经表明,该岩体为过铝质高钾钙碱性 A 型花岗岩。然而, A 型花岗岩又可细分为非造山型和后造山型两个亚类^[19-20]。本次利用 $w(\text{Hf})-w(\text{Rb})/30-w(\text{Ta}) \times 3$ 构造环境判别图解对当俄花岗岩体的形成构造环境进行判别,从图 7 可知,该岩体的 6 个岩石样品投点均落入碰撞后花岗岩区边界附近,表明该岩体为碰撞后形成的花岗岩体。

当俄花岗岩体所处的巴颜喀拉地块的北部为昆南缝合带及昆仑地体,南部为金沙江缝合带和羌塘地体。前人对两者之间的洋壳俯冲时间进行了厘定,认为北部的昆南缝合带及昆仑地体之间的洋壳由南向北俯冲大约开始于 243 Ma,俯冲、碰撞造山

持续大于 20 Ma;南部的金沙江缝合带和羌塘地体之间的洋壳由北向南俯冲开始于 227 Ma,结束于 218 Ma^[1,21]。而本次针对当俄花岗岩体的岩浆锆石测年所得到的岩浆侵位时间为 $211.9 \text{ Ma} \pm 1.9 \text{ Ma}$,基本符合巴颜喀拉岩区花岗岩类岩浆侵位年龄为 220 Ma—212 Ma 之间,属碰撞造山后期及不久形成,属于印支晚期岩浆活动的产物^[1]。

目前, A 型花岗岩产于地壳减薄、伸展的构造环境中的观点得到了普遍的认同^[11,22]。据色达县幅 1/25 万区调资料^①,在三叠世晚期,巴颜喀拉复理石盆地褶皱隆起及地壳的拆离、挤出、推覆而沿拆离面磨擦增温产生区域性小规模下部地壳重熔或壳幔混熔,形成呈带零星分布的钙碱性花岗岩。

综上,三叠世晚期在巴颜喀拉地块内形成的当俄花岗岩体是在碰撞造山后期的地壳减薄环境下形成的,属于印支晚期岩浆活动的产物。

注释:

- ① 四川省地质调查院. 色达县幅 1/25 万区域地质调查报告[R]. 成都:四川省地质调查院, 2005.

参考文献:

- [1] 陈文, Arnau N. 巴颜喀拉地体 POG 型花岗岩同位素年代学研究[J]. 地球学报: 中国地质科学院院报, 1997, 18(3): 261-266.
- [2] 雷裕红, 马昌前, 王国灿. 巴颜喀拉沉积盆地基底为扬子地台西缘的一部分: 来自花岗岩的证据[J]. 高校地质学报, 2006, 12(3): 298-309.
- [3] Collins W J, Beams S D, White A J R, et al. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1982, 80: 189-200.
- [4] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granites: geochemical characteristics, discriminations and Petrogenesis [J].

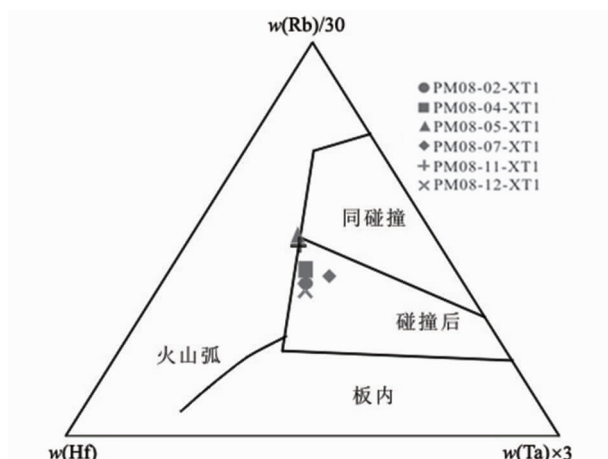


图 7 $w(\text{Hf})-w(\text{Rb})/30-w(\text{Ta}) \times 3$ 构造环境判别

Fig. 7 $w(\text{Hf})-w(\text{Rb})/30-w(\text{Ta}) \times 3$ tectonic setting discrimination diagram

- Contributions to Mineralogy and Petrology, 1987, 95: 407 – 419.
- [5] Anderson J L. Proterozoic anorogenic granite plutonism of North America in Medaris [C]//Jr L G, Byers C W, Mickelson D M and hanks W C (eds). Proterozoic Geology Selected Papers from an International Proterozoic Symposium. Geol Soc Am Memoir, 1983, 161: 133 – 152.
- [6] Clemens J D, Holloway J R, White A J R. Origin of A-type granites: Experimental constraints [J]. Am Mineral, 1986, 71: 317 – 324.
- [7] R. DALL' AGNOL, B. SCAILLET, M. PICHAVANT. An Experimental Study study of a Lower Proterozoic A-type Granite from the Eastern Amazonian Craton, Brazil [J]. Journal of Petrology, 1999, 40(11): 1673 – 1698.
- [8] Klimm K, Holtz F, Johannes W, et al. Fractionation of metaluminous A-type granites: An experimental study of the Wangra Suite, Lachlan Fold Belt, Australia [J]. Precambrian Res, 2003, 124: 327 – 341.
- [9] Scailliet B, Macdonald R. Phase relations of peralkaline silicic magmas and petrogenetic implications [J]. Journal of Petrology, 2001, 42: 825 – 845.
- [10] Scailliet B, Macdonald R. Experimental constraints on the relationships between peralkaline rhyolites of the Kenya Rift Valley [J]. Journal of Petrology, 2003, 44(10): 1867 – 1894.
- [11] 张旗, 冉白皋, 李承东. A 型花岗岩的实质是什么? [J]. 岩石矿物学杂志, 2012, 31(4): 621 – 626.
- [12] Williams I S, Cleasson S. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragenesis from the Seve Nappes, Scandinavian caledonides, II: for microprobe zircon U-Th-Pb [J]. Contrib Mineral Petrology, 1987, 97: 205 – 217.
- [13] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, Zhang Z, Guo gan M A. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale [J]. Journal of Geol Soc, 1992, 149: 171 – 184.
- [14] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论 [J]. 地质论评, 2002, 48(增刊): 26 – 30.
- [15] 简平, 刘敦一, 孙小猛. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年: 古特提斯洋盆演化的同位素年代学制约 [J]. 地质学报, 2003, 77(2): 217 – 228.
- [16] 付建明, 程顺波, 卢友月, 等. 湖南锡田云英岩-石英脉型钨锡矿的形成时代及其赋矿花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年 [J]. 地质与勘探, 2012, 48(2): 313 – 320.
- [17] 陈娟, 马润则, 张腊梅, 等. 龙门山北段水磨地区辉绿岩锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征 [J]. 地质与勘探, 2015, 51(1): 133 – 142.
- [18] 沙淑清, 王宗秀, 郭通珍, 等. 巴颜喀拉山东段花岗岩锆石 SHRIMP 定年及其地球化学特征 [J]. 地球学报, 2007, 28(3): 261 – 269.
- [19] Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implication [J]. Geology, 1992, 20: 641 – 644.
- [20] 洪大卫, 王式洸, 韩宝福, 等. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志 [J]. 中国科学 B 辑, 1995, 25(4): 418 – 426.
- [21] Chen Wen, Li Haibin, Xu Zhiqin. Using the laser microprobe $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ dating technique and the $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ stepwise incremental heating technique to date the ages of Xidatan shear zone (Kunlun Terrane, Tibetan Plateau) [J]. Acta Geoscientia Sinica, Special Issue, 1996: 228 – 232.
- [22] 贾小辉, 王强, 唐功建. A 型花岗岩的研究进展及意义 [J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(3): 465 – 480.

Geochemical characteristics and zircon dating of Dang'e granites in the Bayanhar terrain

DENG Jinxian, FENG Ping, ZHOU Yunlong, PENG Jian,

QI Bingde, DENG Liangwu, SHA Hao

(Brigade 283 of the nuclear industry geological survey in Sichuan province, Dazhou 635000, Sichuan, China)

Abstract: Bayanhar terrain is held by the Southern Kunlun suture and Jinshajiang suture and Longmenshan fault. There are many granite outcrops in the terrain and Dang'e granite body is one of them. Geochemical analysis shows that Dang'e granite body is characterized by higher SiO_2 contents (65.78% to 70.22%) and peraluminous ($A/CNK=1.58$ to $1.95 > 1.1$) belonging to the peraluminous-high K calc-alkaline A-type granites. It is formed under the low pressure (0.05 GPa—0.2 GPa) and high temperature (700°C—800°C) environment with strong Rb, Th positive anomaly, strong Ba, Nb, Sr, P, Ti depletion, strong LREE enrichment and a certain negative Eu anomaly. All this are the characteristic of the crustal source. The zircon SHRIMP U-Pb dating ($211.9 \text{ Ma} \pm 1.9 \text{ Ma}$) indicates that emplacement age of the granite body is the Mesozoic Late Triassic Epoch. It is formed during the crust thinning of late to post orogenic collision, and is the product of late Indo-China magmatic activity.

Key Words: the Bayanhar terrain; A-type granites; geochemistry; zircon SHRIMP U-Pb dating; late to post orogenic collision; Qinghai province