西藏崩错似斑状正长花岗岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义

魏永峰[1,2)],肖渊甫[2)],肖倩茹[2)],罗巍[1,2)],刘涓[1)],林静[2)],杨亚民[2)]

1)四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队,成都,610213;

2)成都理工大学地球科学学院,成都,610059

内容提要:崩错似斑状正长花岗岩构造上处于北冈底斯东段,岩体侵位的最新地层为中—晚侏罗世拉贡塘组。其中似斑状正长花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石$^{206}Pb/^{238}U$年龄为 116.7±1.2 Ma,时代为早白垩世中期。岩石具高 SiO_2、富 Al_2O_3和 K_2O,贫 TiO_2、MgO、CaO 特征,A/CNK=0.94~1.91(平均 1.16),属于高钾钙碱性—钾玄岩系列过铝质岩石。$(La/Yb)_N$为 1.22~9.62,δEu=0.04~0.38,球粒陨石标准化稀土元素分布型式为轻稀土轻度富集的 U 亏损型。大离子亲石元素及高场强元素 Rb、K、Th、Ta、Ce 相对富集,Nb 相对亏损,Ba、Sr、P、Ti 强烈亏损,显示具同碰撞型花岗岩特征,成岩岩浆源自地壳。结合最新资料及本文研究成果,初步认为崩错地区似斑状正长花岗岩可能形成于冈底斯带与羌塘地块陆—陆碰撞构造背景,是碰撞过程中下地壳增厚并部分发生熔融的产物,同时也表明班公湖—怒江新特提斯洋俯冲结束的时间应早于 116 Ma。结合本区域年龄成果,在崩错地区班公湖—怒江新特提斯洋俯冲结束,并开始发生冈底斯带与羌塘地块陆—陆碰撞的时间为 120 Ma 左右。

关键词:似斑状花岗岩;锆石 U-Pb 年龄;地球化学;早白垩世;北冈底斯带;西藏崩错

冈底斯带(也称拉萨地块)横亘于青藏高原中南部,是夹持于印度河—雅鲁藏布缝合带(IYZSZ)与班公湖—怒江缝合带(BNSZ)之间的一条巨型构造—岩浆带(莫宣学等,2003;朱弟成等,2008a),北冈底斯带内岩浆侵位时代大致在 175~75 Ma(莫宣学等,2005)。中生代的岩浆岩成因有冈底斯与羌塘增厚的下地壳重熔(Pearce et al.,1988;Harris et al.,1990)、新特提斯洋的低角度平板俯冲(Kapp et al.,2007)、班公湖—怒江洋向南俯冲(康志强等,2008,2009;刘伟等,2010)及断离(潘桂棠等,2006;朱弟成等,2006,2008b,2008c;Zhu Dicheng et al.,2009,2011)等观点。据岩石成因的不同,对于中北冈底斯带地质构造属性迄今存在着不同的认识有:侏罗纪受班公湖—怒江洋壳的向南消减而处于沟弧盆演化阶段,早白垩世进入碰撞或后碰撞阶段(Coulon et al.,1986;Pearce et al.,1988;Harris et al.,1990);该区在整个侏罗纪—早白垩世处于弧盆系演化阶段,晚白垩世表现为冈底斯地块与羌塘地块之间的碰撞(潘桂棠等,2006;康志强等,2008,2009);早—中侏罗世冈底斯中北部发育弧盆演化阶段,中侏罗世中晚期—早白垩世早期进入碰撞阶段,早白垩世中晚期为后造山演化阶段(李奋其等,2014)。此种情况制约着冈底斯乃至青藏高原南部地质构造演化的研究。随着 1∶25 万及本次 1∶5 万区域地质调查在北冈底斯带的开展,获得了较多的高质量的年龄数据和地球化学成果。在野外调查的基础上,根据锆石 U-Pb 年龄,结合地球化学特征,笔者探讨了崩错似斑状正长花岗岩的成因和大地构造背景,为认识冈底斯北部早白垩世岩浆—构造演化提供基础资料,同时为研究整个冈底斯中生代构造演化提供新的证据和重要约束条件。

1 地质概况及岩石学特征

北冈底斯(NG)位于班公湖—怒江缝合带(BNSZ)以南,狮泉河—拉果错—永珠—纳木错—嘉黎蛇绿混杂岩带(SLYNJOMZ)以北(图 1a),基于沉积—变质地层及岩浆活动从东向西被划分为伯舒拉岭、班戈、昂龙岗日和兴都库什火山—岩浆弧(潘桂

注:本文为中国地质调查局西藏班公湖—怒江成矿带地质矿产调查计划项目(编号:1212011221083)的成果。

收稿日期:2018-06-13;改回日期:2019-01-14;责任编辑:章雨旭。Doi:10.16509/j.georeview.2019.02.011

作者简介:魏永峰,男,1974 年生,硕士,高级工程师,主要从事区域地质调查与矿产勘查工作,Email:39387530@qq.com。通讯作者:肖渊甫,男,1957 年生,教授,主要从事岩石学及矿产资源评价研究,Email:xyf@cdut.edu.cn。

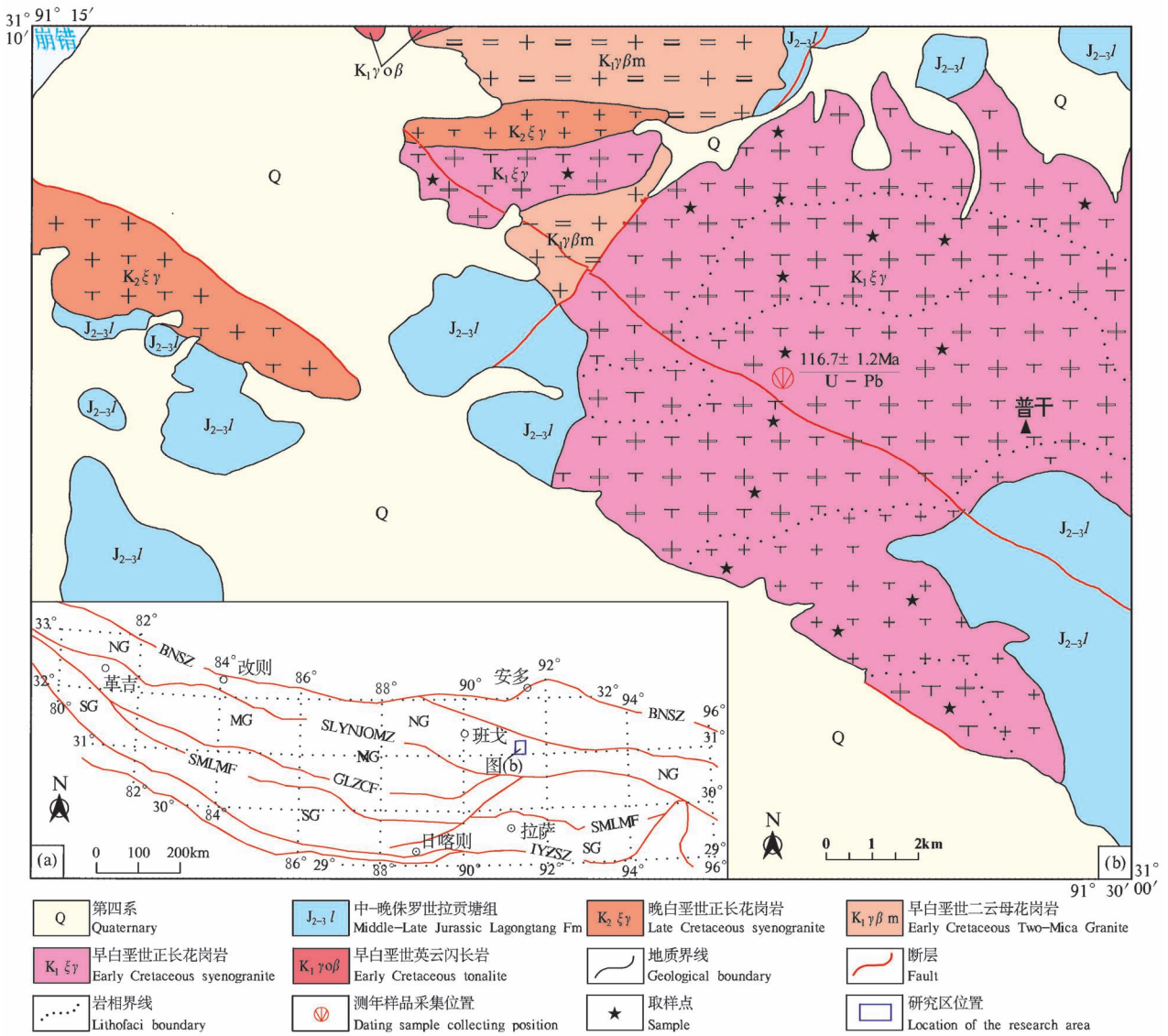


图 1 冈底斯构造单元划分地质简图(a,据朱弟成等,2008a)及班戈崩错地区地质简图(b,据赵玉鹏等,2015)

Fig. 1 Geological sketch map of tectonic units of Gangdese(a,after Zhu Dicheng et al., 2008a&) and Geological sketch map of Bengco Lake,Bange County(b,after Zhao Yupeng et al., 2015#)

NG—北冈底斯;MG—中冈底斯;SG—南冈底斯;SMLMF—沙莫勒—麦拉—洛巴堆—米拉山断裂;GLZCF—噶尔—隆格尔—扎日南木错—措麦断裂带;SLYNJOMZ—狮泉河—拉果错—永珠—纳木错—嘉黎蛇绿混杂岩带;BNSZ—班公湖—怒江缝合带;IYZSZ—印度河—雅鲁藏布缝合带

NG—North Gangdese; MG—Middle Gangdese; SG—South Gangdese; SMLMF—Shamole—Maila—Luobadui—Milashan Fault; GLZCF—Geer—Longgeer—Zharinancuo—Cuomai Fault; SLYNJOMZ—Shiquanhe—Laguocuo—Yongzhu—Namco—Jiali Ophiolitic Melange zone; BNSZ—Bangong lake—Nujiang Suture zone; IYZSZ—Indus—Yarlung Zangbu Suture zone

棠等,2006)。本文涉及班戈火山—岩浆弧,其构造上处于北冈底斯东段,当雄—那曲走滑断裂带的西部,主体沿班戈—雄梅—尼玛一带呈北西西向展布,带内奥陶系—泥盆系主体为被动盆地中以浅海相碳酸盐为主夹碎屑岩的稳定沉积;晚古生代石炭纪开始表现为被动边缘向活动边缘盆地转化的过渡性质,石炭系—二叠系为一套碎屑岩、碳酸盐岩夹中基性火山岩沉积;三叠系属于活动边缘盆地中的含火山岩沉积组合;侏罗系—下白垩统为海陆交互—滨浅海相中酸性火山岩—碎屑岩和碳酸盐岩组合,属于典型岛弧边缘海盆地沉积;上白垩统主要为一套前陆盆地中以含中酸性火山岩的碎屑岩为主的陆相

(局部可能含海相夹层)磨拉石建造,其标志着北侧班公湖—怒江特提斯洋盆消亡、弧—陆碰撞造山作用的开始。区内北西向断裂发育;中生代岩浆活动强烈,为碰撞作用为主的岛弧型花岗岩类侵入体;新生代花岗岩类侵入岩浆活动较弱,属后碰撞造山环境下的"S"型花岗岩。

崩错地区中—酸性岩体位于念青唐古拉山和扎日玛—下尔玛一带及崩错南断裂北东一侧,侵入岩主要呈北西—南东及北东—南西向条带状展布,岩体产出形态主要为大型岩基状,内部岩体呈岩株状产出,侵入时代主要为燕山晚期,其中早白垩世侵入岩主要为英云闪长岩、正长花岗岩和二云母花岗岩,晚白垩世主要为正长花岗岩。本文所研究的崩错似斑状正长花岗岩体位于当雄县香茂乡崩错南东约 15 km 处(图 1b),研究区面积约 109 km^2,岩体为不规则椭圆形,内部显示分带现象,由岩体边缘至中心粒度具有较明显的由粗变细特征,即边缘为细粒似斑状正长花岗岩,中心为中—细粒似斑状正长花岗岩,岩性(侵入体)之间渐变过渡,岩体边缘脉岩及灰黑色微细粒闪长岩包体较为发育。岩体侵入于中—晚侏罗世拉贡塘组砂板岩中,局部见有残留顶盖,围岩与岩体界限清楚,岩体外接触带上发生较明显的红柱石化、黑云母化、硅化、绿泥石化等热接触变质现象。岩石呈灰白色,似斑状结构,基质主要为细粒花岗结构、中—细粒花岗结构、细—中粒花岗结构和文象结构,由石英、斜长石及条纹长石组成(图 2),其中石英(18%~30%)为他形粒状,斜长石(6%~20%)主要为更长石,呈半自形板状环带发育,条纹长石(40%~62%)呈他形粒状—半自形板状,粒径一般为 0.2~5.0 mm,大者可达 9.5 mm,黑云母(2.5%~10%)、白云母(~3.5%)为片状,含少量锆石、磷灰石、磁铁矿等副矿物。岩石风化中等见有弱

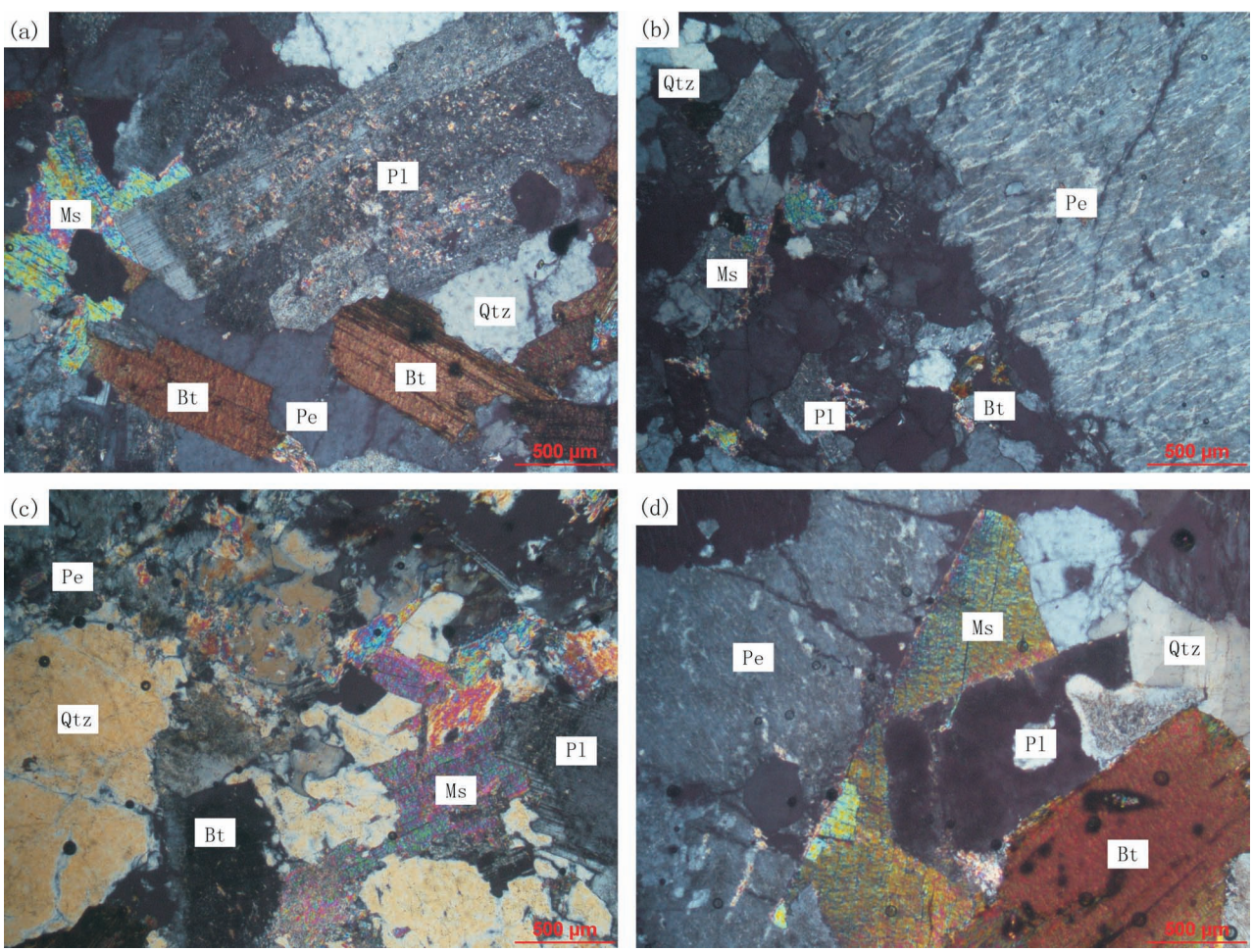


图 2 班戈崩错似斑状正长花岗岩镜下照片

Fig. 2 Micrographs of porphyritic syenogranites in Bengco Lake, Bange County

Pl—斜长石;Pe—条纹长石;Bt—黑云母;Ms—白云母;Qtz—石英

Pl—plagioclase; Pe—perthite; Bt—biotite; Ms—Muscovite; Qtz—quartz

黏土矿化、绢云母化。

2 分析方法

主量元素、稀土及微量元素样品加工由华阳地矿检测中心实验室完成,测试由国土资源部成都矿产资源监督检测中心完成,主量元素、微量元素、稀土元素检测采用 ICP-MS 法、ICP-AES 法、重量法等,分析精度优于 5%。锆石单矿物分选由四川华阳岩矿测试中心完成,国土资源部中南矿产资源监督检测中心进行阴极发光(CL)图像采集及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年。分析前,采用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST610 进行仪器最佳化,为了控制仪器的稳定性及控制测试精度,每测试 6 个未知样后测定 1 次标样 91500 和标样 NIST610,采用标准锆石 91500 校正 Pb/U 同位素分馏。数据处理采用 GLITTER(ver4.0, Macquarie University)和 ISOPLOT(ver3.0)软件程序(Ludwing,2003)。

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 年龄

锆石 U-Pb 测年样品[P12(22)]采集于似斑状正长花岗岩体中部,其位置为北纬 31°05′52″、东经 91°25′11″,见图 1b。样品选取 20 颗锆石进行 LA-ICP-MS 法 U-Pb 测年,分析锆石均为无色—浅黄色透明,颗粒形状规则,长柱状自形晶,粒径多为 120~300 μm,长宽比为 1~3。CL 图像表现出典型的岩浆韵律环带和明暗相间的条带结构(图 3)。

表 1 班戈崩错似斑状正长花岗岩锆石 U-Pb 定年数据

Table 1 Results of zircon U-Pb isotopic dating of porphyritic syenogranites in Bengco Lake, Bange County

测点号	元素含量(×10⁻⁶)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度(%)
	Pb	Th	U		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		
					测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	
1	14	169	663	0.26	0.04837	0.00231	0.12268	0.00589	0.01827	0.00027	117	-83.3	118	5.3	117	1.7	99
2	5	74	235	0.31	0.05280	0.00409	0.12961	0.00970	0.01801	0.00059	320	143.5	124	8.7	115	3.7	92
3	5	37	259	0.14	0.05433	0.00914	0.12912	0.01713	0.01866	0.00074	383	340.7	123	15.4	119	4.7	96
4	12	188	531	0.35	0.04963	0.00369	0.12999	0.00902	0.01900	0.00037	176	166.6	124	8.1	121	2.3	97
5	48	97	670	0.14	0.30650	0.01934	1.66824	0.13955	0.03321	0.00130	3503	97.8	997	53.2	211	8.1	-31
6	25	216	1277	0.17	0.04853	0.00251	0.12330	0.00629	0.01839	0.00028	124	118.5	118	5.7	117	1.8	99
7	10	128	490	0.26	0.05093	0.00522	0.12770	0.01241	0.01869	0.00086	239	218.5	122	11.2	119	5.5	97
8	35	259	1810	0.14	0.05026	0.01247	0.12395	0.03079	0.01808	0.00148	206	492.5	119	27.8	116	9.4	97
9	21	351	985	0.36	0.05013	0.00393	0.12636	0.00916	0.01872	0.00042	211	181.5	121	8.3	120	2.7	98
10	29	490	1598	0.31	0.04908	0.00521	0.12456	0.01691	0.01789	0.00100	150	233.3	119	15.3	114	6.3	95
11	22	168	1126	0.15	0.04951	0.00195	0.12191	0.00442	0.01810	0.00027	172	92.6	117	4.0	116	1.7	98
12	12	217	609	0.36	0.05049	0.00354	0.12323	0.00793	0.01805	0.00036	217	158.3	118	7.2	115	2.3	97
13	6	81	365	0.22	0.08635	0.02790	0.13145	0.01144	0.01534	0.00054	1346	693.5	125	10.3	98	3.4	75
14	16	203	805	0.25	0.04910	0.00215	0.12462	0.00581	0.01827	0.00025	154	99.1	119	5.2	117	1.6	97
15	22	234	1239	0.19	0.05280	0.00601	0.12198	0.01495	0.01731	0.00074	320	261.1	117	13.5	111	4.7	94
16	10	265	496	0.53	0.05122	0.00294	0.12185	0.00611	0.01789	0.00032	250	133.3	117	5.5	114	2.0	97
17	7	194	337	0.58	0.04984	0.00483	0.12997	0.01360	0.01859	0.00056	187	211.1	124	12.2	119	3.6	95
18	9	89	188	0.48	0.11702	0.00837	0.66666	0.05796	0.03644	0.00229	1922	129.2	519	35.3	231	14.3	23
19	12	210	603	0.35	0.05051	0.00310	0.12089	0.00640	0.01796	0.00030	217	137.9	116	5.8	115	1.9	99
20	12	189	701	0.27	0.05854	0.01067	0.11946	0.01949	0.01542	0.00076	550	402.7	115	17.7	99	4.9	85

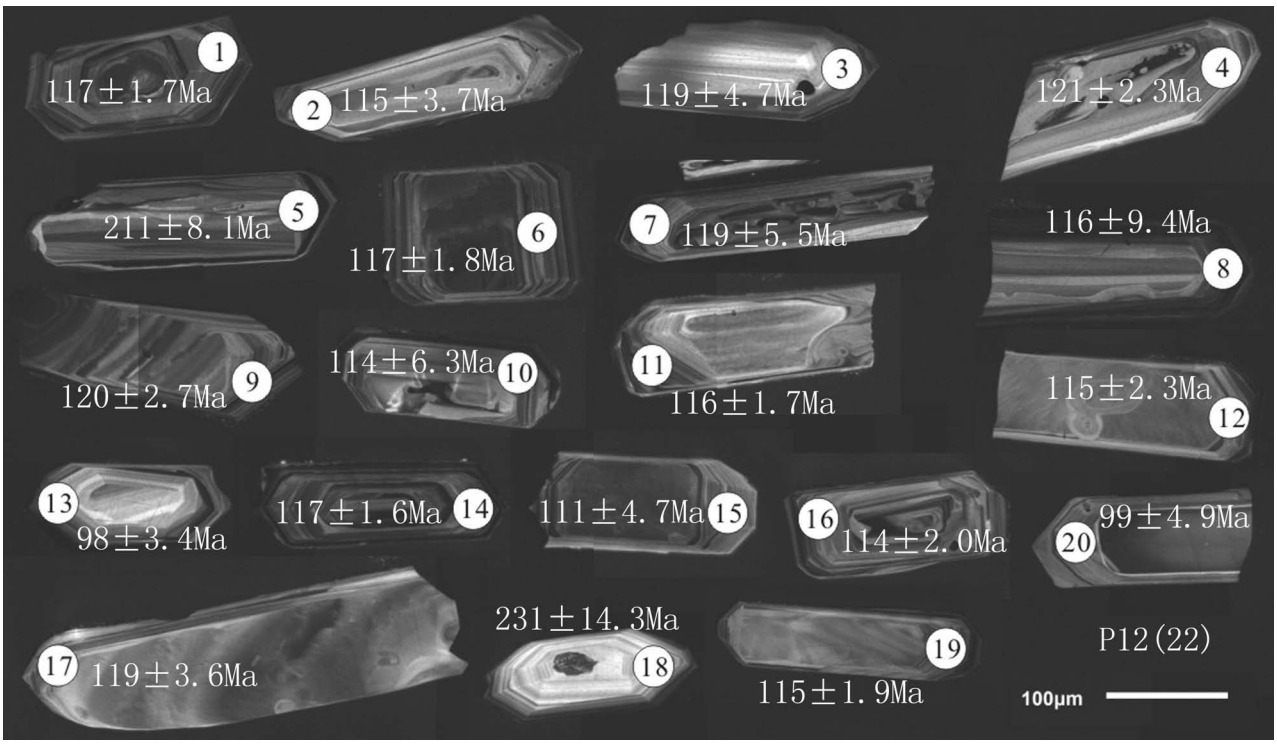


图 3 班戈崩错似斑状正长花岗岩锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 3 Cathodoluminescences(CL) images of zircons of porphyritic syenogranites in Bengco Lake, Bange County

Th/U 值为 0.14~0.58,大于 0.1,Th、U 间具良好正相关,说明其与岩浆结晶作用有关,属典型的岩浆成因锆石(Moeller et al.,2003),可代表岩石成岩年龄。获得的 20 个测点数据见表 1,其中 15 个测点(1~4、6~12、14、16、17、19)$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄介于 114~121 Ma,在置信度 95%时,给出的加权平均值为 116.7±1.2 Ma(MSWD=0.69),见图 4,可代表似斑状正长花岗岩的结晶时代,时代为早白垩世中期。

3.2　岩石地球化学特征

似斑状正长花岗岩主量元素、稀土及微量分析结果见表 2。

3.2.1　主量元素

在 TAS 分类图(图略)中所有样品均落入花岗岩范围。SiO_2 含量高,为 72.55%~76.56%(平均 74.67%),富 Al_2O_3(11.84%~13.59%,平均 12.99%),富碱(Alk=7.01%~8.67%,平均

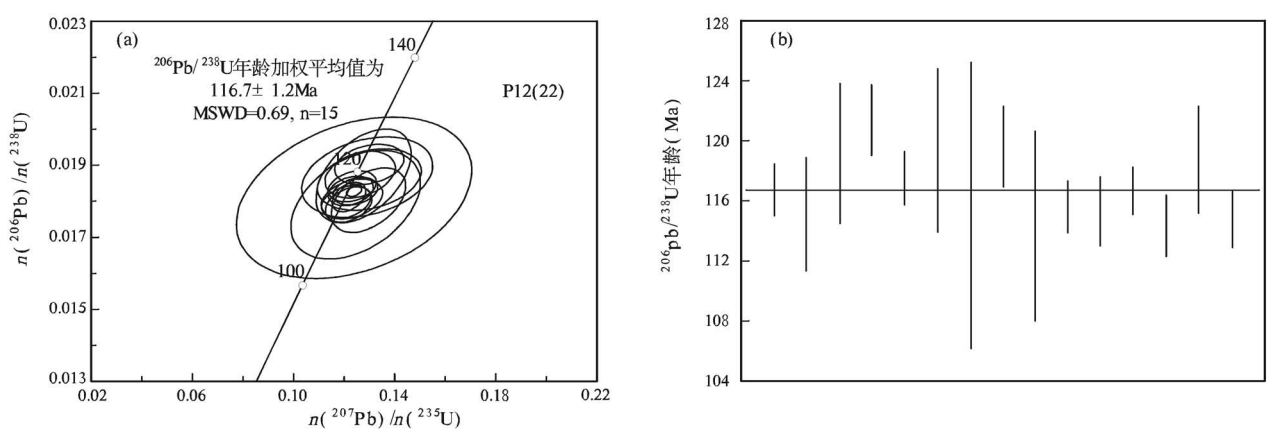


图 4 班戈崩错似斑状正长花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 Concordia diagrams of zircons of porphyritic syenogranites in Bengco Lake, Bange County

表 2 班戈崩错似斑状正长花岗岩主量元素(%)、稀土及微量元素($\times10^{-6}$)分析结果

Table 2 Major elements(%), REE and trace elements($\times10^{-6}$) analyses of porphyritic syenogranites in Bengco Lake, Bange County

样品号	D8121	D5516	D5536	D5587	D4587	D4620	D4612	D9095	D9126	D9137	D4626	P12(1)	P12(4)	P12(7)	P12(15)	P12(21)	P12(22)	P12(25)	P04(4)	P04(7)	P04(14)	P04(17)
SiO_2	74.44	74.73	75.39	75.1	75.46	74.9	75.6	74.66	72.55	73.12	74.42	73.33	74.62	75.29	76.56	76.24	75.01	73.84	76.28	73.18	72.63	75.33
TiO_2	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.12	0.15	0.09	0.28	0.27	0.14	0.26	0.17	0.18	0.11	0.14	0.22	0.29	0.28	0.34	0.44	0.29
Al_2O_3	12.94	13.10	12.91	13.19	13.01	13.08	12.69	13.24	13.48	13.19	13.16	13.47	13.02	13.00	12.41	12.54	12.79	13.33	11.84	13.59	13.15	12.58
Fe_2O_3	0.92	0.72	0.95	0.86	0.80	0.62	0.77	0.20	0.94	0.66	1.13	0.62	0.60	0.45	1.56	0.73	0.58	0.56	0.70	0.64	0.61	0.68
FeO	0.46	0.70	0.37	0.45	0.47	0.93	0.83	0.98	1.51	1.64	0.55	1.17	1.14	1.24	0.24	0.77	1.22	1.23	1.47	1.93	2.37	1.46
MnO	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.04	0.04	0.03	0.05	0.03	0.04	0.03	0.03	0.05	0.06	0.03	0.05	0.04	0.04
MgO	0.22	0.12	0.12	0.11	0.15	0.22	0.20	0.18	0.43	0.43	0.20	0.37	0.18	0.15	0.09	0.13	0.28	0.41	0.33	0.38	0.54	0.37
CaO	0.76	0.65	0.64	0.48	0.53	0.56	0.43	0.54	1.13	0.94	0.47	0.71	0.69	0.67	0.30	0.43	0.63	1.29	0.82	1.25	1.88	1.20
Na_2O	2.91	3.12	2.97	3.12	3.12	3.13	2.65	2.95	2.71	2.72	2.80	2.57	2.99	2.97	2.56	2.72	2.76	2.78	2.41	2.83	2.73	2.88
K_2O	5.39	5.54	5.31	5.38	5.43	5.30	5.76	5.23	4.82	5.18	5.61	5.74	4.85	4.81	5.25	5.19	4.96	4.97	4.6	4.84	4.28	4.18
P_2O_5	0.24	0.22	0.24	0.16	0.15	0.12	0.10	0.19	0.20	0.19	0.11	0.11	0.07	0.08	0.04	0.04	0.08	0.10	0.08	0.12	0.15	0.08
烧失	0.99	0.72	0.82	0.74	0.91	0.79	0.83	0.87	0.94	1.12	1.04	1.25	1.20	0.94	0.95	0.84	1.04	0.91	0.79	0.93	0.98	0.90
H_2O^+	0.56	0.41	0.56	0.57	0.62	0.58	0.76	0.40	0.53	0.81	0.80	0.91	0.76	0.75	0.88	0.65	0.75	0.65	0.61	0.69	0.53	0.64
H_2O^-	0.15	0.07	0.07	0.13	0.08	0.09	0.21	0.08	0.18	0.12	0.15	0.15	0.084	0.17	0.21	0.18	0.21	0.16	0.11	0.11	0.12	0.12
CO_2	0.50	0.21	0.33	0.09	0.21	0.13	0.31	0.19	0.37	0.37	0.19	0.24	0.46	0.18	0.29	0.18	0.18	0.18	0.40	0.35	0.13	0.13
总计	99.39	99.75	99.83	99.73	100.16	99.81	100.06	99.16	99.05	99.51	99.67	99.63	99.57	99.8	100.08	99.78	99.62	99.75	99.64	100.08	99.8	99.98
AR	2.48	2.66	2.56	2.68	2.71	2.7	2.36	2.50	2.18	2.25	2.39	2.14	2.55	2.54	2.35	2.44	2.4	2.23	2.23	2.23	2.14	2.44
A/CNK	1.08	1.06	1.09	1.12	1.09	1.10	1.12	1.15	1.15	1.12	1.14	1.15	1.14	1.15	1.19	1.15	1.16	1.08	1.13	1.12	1.05	1.1
A/NK	1.22	1.18	1.21	1.20	1.18	1.20	1.20	1.26	1.39	1.31	1.23	1.29	1.28	1.29	1.25	1.24	1.29	1.34	1.32	1.37	1.44	1.36
V	8.76	8.02	7.88	9.45	8.40	10.50	10.70	7.31	20.60	19.70	11.50	15.50	5.99	4.94	3.03	4.66	10.70	15.90	13.20	15.50	24.30	14.10
Co	7.51	7.60	8.54	7.50	6.03	6.94	11.40	4.80	10.70	13.90	9.03	15.10	16.00	24.90	21.60	19.50	26.60	25.80	28.40	32.20	22.00	23.30
Ni	1.24	1.41	1.63	3.07	1.45	3.53	3.00	1.27	14.50	11.20	2.89	4.66	1.76	0.93	0.39	1.47	2.37	3.75	3.06	2.86	4.52	3.09
Cu	2.33	2.43	2.35	3.36	4.91	4.49	2.25	4.11	21.60	11.4	2.77	4.98	3.99	5.27	7.44	10.20	7.08	6.02	9.11	8.63	5.82	4.57
Zn	24.2	24.4	20.4	27.3	22.3	21.7	29.4	14.8	49.6	56.5	32.9	26.9	33.6	36.8	30.6	33.7	42.3	37.9	40.9	59.9	49.9	31.4
Rb	587	604	553	592	597	466	427	598	358	352	509	367	325	310	544	533	438	358	378	380	276	323
Sr	19.5	15.4	18.3	18.2	16.0	27.6	26.6	17.6	71.0	70.1	31.5	100.0	59.1	61.6	22.8	23.0	44.5	86.0	46.9	47.6	83.9	70.9
Sb	0.22	0.28	0.27	0.23	0.22	0.16	0.22	0.26	0.45	0.31	0.38	1.36	1.38	1.23	0.29	0.33	0.66	0.48	0.33	0.31	0.69	0.68
Cs	32.0	37.6	24.4	31.5	26.0	22.7	13.9	33.5	28.8	18.5	24.2	13.1	9.2	9.1	19.6	35.3	24.4	26.6	27.2	21.8	25.9	19.7
W	109	112	130	98.7	86.7	78.7	148	74.1	96.9	151	119	173	211	304	295	257	319	293	341	368	240	263
Pb	34.1	37.4	33.0	37.6	34.1	36.3	42.0	34.6	41.3	35.1	40.0	31.1	37.0	44.3	39.4	46.3	42.3	38.3	40.0	44.2	33.2	35.8
Bi	2.72	1.96	4.22	2.02	0.54	0.29	0.46	2.20	0.30	0.45	0.94	0.34	0.84	0.73	2.02	2.48	4.22	0.22	0.74	0.43	0.30	0.28
U	9.78	10.80	7.11	8.69	10.9	3.59	8.01	8.61	3.32	2.95	5.54	2.80	6.30	6.43	7.84	5.25	3.57	2.54	2.94	2.88	1.97	2.07

样品号	D8121	D5516	D5536	D5587	D4587	D4620	D4612	D9095	D9126	D9137	D4626	P12（1）	P12（4）	P12（7）	P12（15）	P12（21）	P12（22）	P12（25）	P04（4）	P04（7）	P04（14）	P04（17）
Ag	0.053	0.056	0.051	0.050	0.057	0.055	0.076	0.057	0.056	0.058	0.046	0.047	0.042	0.042	0.053	0.052	0.062	0.052	0.046	0.075	0.036	0.051
Sn	6.2	4.7	5.1	3.5	5.0	3.9	4.3	4.9	7.5	8.2	3.7	9.6	7.0	5.9	4.0	3.6	5.2	4.6	7.9	5.3	5.0	4.4
Au	0.65	0.64	0.58	1.47	0.90	0.52	0.50	0.65	0.89	0.60	0.53	2.07	2.01	1.41	1.62	1.86	1.28	1.18	0.81	0.85	0.77	0.72
Ba	10.8	10.1	10.3	10.6	10.4	42.8	35.9	10.5	283.0	246.0	78.9	295.0	521.0	476.0	27.6	51.5	119.0	262.0	117.0	117.0	241.0	145.0
Cr	11.7	12.7	12.6	11.9	12.4	13.8	14.3	12.3	18.0	18.0	13.1	19.1	16.1	15.9	13.9	14.7	16.0	18.1	18.6	15.9	21.9	19.4
Nb	15.1	15.5	14.9	13.8	14.8	10.2	13.3	15.5	12.3	12.8	13.1	11.7	15.3	15.0	12.1	13.5	12.9	11.0	13.6	13.3	16.6	13.3
Ta	0.9	3.2	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3	1.5	1.4	2.5	1.7	3.6	4.2	3.7	2.1	1.1	1.1	0.9	2.2	1.4	2.4	1.9
Zr	16.7	16.4	20.8	20.3	32.0	44.6	60.6	14.7	136.0	133.0	56.0	103.0	78.6	78.7	29.6	41.8	76.3	113.0	103.0	102.0	205.0	126.0
Th	24.6	24.7	25.3	26.4	23.5	18.6	30.1	23.7	23.6	24.0	28.5	24.3	18.4	17.5	22.2	23.5	25.9	22.5	22.2	22.7	25.6	21.1
Hf	1.6	1.2	1.2	0.9	0.7	1.0	1.6	0.8	4.4	3.2	3.0	3.1	2.6	2.2	0.8	1.7	1.4	3.1	2.9	2.6	6.1	2.8
Y	117.0	98.4	101.0	93.5	121.0	58.7	80.4	92.4	41.6	47.3	73.1	30.8	40.8	40.9	49.6	39.8	45.1	30.5	34.8	42.8	55.8	36.0
La	30.0	28.5	29.5	27.2	25.6	25.4	35.5	29.2	44.9	48.0	30.9	36.0	39.9	33.4	25.4	34.7	36.1	44.1	40.3	47.0	54.3	34.3
Ce	68.8	67.9	65.8	60.6	60.4	59.0	77.5	67.8	87.6	93.1	71.4	86.1	81.4	70.9	58.1	62.5	77.5	84.9	80.1	92.8	106.0	70.0
Pr	9.41	9.16	9.05	8.18	8.09	7.11	8.96	9.21	10.80	11.20	8.38	8.37	10.50	9.15	7.55	9.52	9.39	10.00	9.70	11.20	12.40	8.46
Nd	36.0	34.6	33.41	31.5	30.8	26.5	33.1	34.0	41.0	42.5	31.9	30.0	39.5	34.9	27.3	35.0	34.4	35.9	36.1	41.6	46.5	30.4
Sm	11.20	10.60	9.86	9.31	10.30	7.01	8.16	10.60	8.74	9.21	8.13	6.31	9.83	9.07	7.53	8.20	8.19	7.22	7.82	8.82	9.40	6.68
Eu	0.15	0.14	0.13	0.13	0.13	0.24	0.28	0.13	0.83	0.72	0.32	0.75	1.03	0.96	0.21	0.34	0.48	0.77	0.56	0.69	1.00	0.59
Tb	2.85	2.51	2.48	2.33	2.85	1.53	1.96	2.34	1.49	1.59	1.90	1.06	1.68	1.56	1.44	1.33	1.49	1.06	1.23	1.54	1.77	1.15
Gd	12.5	11.5	10.8	10.4	12.3	6.8	8.88	10.6	7.92	8.33	8.63	5.70	8.61	7.92	6.54	6.78	6.88	5.78	6.32	7.63	8.69	5.91
Dy	19.50	16.40	16.50	15.50	19.80	9.94	12.70	15.10	7.97	8.82	12.20	5.76	8.04	7.95	8.50	7.10	8.19	5.74	6.44	8.16	9.85	6.40
Ho	4.34	3.65	3.71	3.52	4.49	2.22	3.07	3.41	1.58	1.79	2.78	1.20	1.98	1.41	1.81	1.58	1.68	1.16	1.24	2.10	1.97	1.28
Er	12.40	10.30	10.60	10.00	12.50	6.16	8.48	9.56	4.01	4.91	7.72	3.26	3.55	3.20	5.12	3.94	4.83	2.84	3.20	3.97	5.10	3.39
Tm	2.10	1.76	1.82	1.70	2.21	1.10	1.43	1.64	0.65	0.78	1.30	0.62	0.62	0.55	0.93	0.69	0.84	0.51	0.56	0.70	0.83	0.62
Yb	13.30	11.10	11.50	10.80	13.9	7.25	9.04	10.30	3.91	4.83	8.35	3.89	4.04	3.35	5.46	4.38	5.11	3.02	3.39	4.22	4.78	3.91
Lu	1.83	1.55	1.56	1.46	1.91	1.00	1.26	1.41	0.54	0.68	1.15	0.49	0.49	0.37	0.68	0.53	0.67	0.43	0.43	0.52	0.59	0.51
∑REE	224.31	209.6	206.66	192.54	205.29	161.22	210.36	205.23	221.97	236.40	195.10	189.55	211.23	184.68	156.53	176.56	195.76	203.40	197.37	230.86	262.80	173.61
δEu	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.11	0.10	0.04	0.30	0.25	0.12	0.38	0.34	0.34	0.09	0.14	0.19	0.36	0.24	0.25	0.34	0.28
$(La/Yb)_N$	1.49	1.70	1.70	1.67	1.22	2.30	2.59	1.87	7.57	6.54	2.44	6.10	6.50	6.57	3.07	5.21	4.66	9.62	7.82	7.33	7.49	5.78

7.96%),富钾(K_2O/Na_2O=1.5~2.2,平均 1.8),贫 CaO(0.30%~1.88%,平均 0.77%),贫 MgO(0.09%~0.54%,平均 0.26%),贫 TiO_2(0.09%~0.44%,平均 0.19%)。岩石很高的 K 含量及高 K/Na 值,普遍被理解为在部分熔融的过程中,受控于源区较高的钾含量(Gunnarsson et al.,1998;Thy et al.,1990),或者是较低的分熔程度(丁烁等,2011)。AR—SiO_2图解中(图略),样品落在钙碱性—碱性区域。在 SiO_2—K_2O 图解中(图 5a),样品主要落入高钾钙碱性—钾玄岩系列,钾玄岩系列岩石的出现是拉萨地块上陆内岩浆作用的重要标志(莫宣学等,2003)。A/CNK=1.06~1.19(平均 1.12),所有样品普遍含有 CIPW 标准矿物刚玉分子(0.98~2.27),在 A/NK—A/CNK 图上(图 5b),样品均落入过铝质区,为强过铝质花岗岩系列,过铝质的花岗质岩石是壳源的(Barbarin,1999),主要是与大陆碰撞中沉积岩的重熔作用有关(Pearce et al.,1984)。

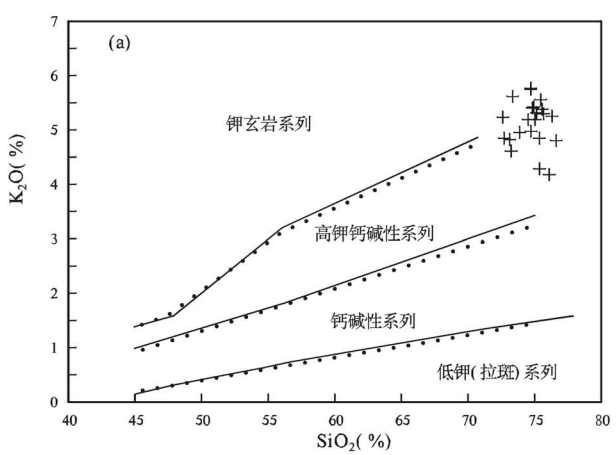
3.2.2 稀土及微量元素

崩错似斑状正长花岗岩 $\sum REE = 156.53\times10^{-6}$~$262.80\times10^{-6}$(平均 202.32×10^{-6}),在球粒陨石标准化稀土元素分布型式图(图 6a)上,稀土元素表现出轻稀土(LREE)轻度分馏,重稀土元素(HREE)基本无分馏;$(La/Yb)_N$为 1.22~9.62(平均 4.60),轻、重稀土分馏程度变化较大,δEu=0.04~0.38(平均 0.19),具 LREE 轻度富集的 Eu 强烈亏损型配分特征,这可能与斜长石分离结晶或在部分熔融过程中斜长石作为难熔残余相存在有关。在原始地幔标准化蛛网图上(图 6b)可以看出,微量元素中岩石大离子亲石元素(Rb、K)及高场强元素(Th、Ta、Ce)相对富集,高场强元素(Nb)相对亏损,大离子亲石元素(Ba、Sr)及高场强元素(P、Ti)强烈亏损。微量元素蛛网图中 Nb、Ti 亏损通常被理解为与俯冲作用有关的火成岩的特征(Condie,2001),但在大陆背景(古俯冲消减环境)中也可能出现这种成分的火山岩,其可能的解释是岩浆源区存在角闪石、金红石难熔残余,在部分深融过程中,Nb 优先进入角闪石晶格,Ti 进入金红石,从而使岩浆中的 Nb、Ti 亏损(Rollinson,1993)。

4 讨论

4.1 岩石源区及岩石成因

地球化学特征显示,崩错似斑状正长花岗岩具有高硅、富铝、富碱、贫 CaO、贫 MgO 的特征,为高钾钙碱性—钾玄岩系列、强过铝质花岗岩。实验岩石学研究表明地壳中只有泥砂质沉积岩类部分熔融才可能形成强过铝质花岗岩(Sylvester,1998)。对于 SiO_2含量在 67%~77%之间的强过铝质花岗岩,其 CaO/Na_2O 值可以反映其源区成分特征,由泥岩生成的强过铝质花岗岩的 CaO/Na_2O 值一般小于 0.3,而砂屑岩、正片麻岩生成的强过铝质花岗岩的 CaO/Na_2O 值一般大于 0.3。崩错似斑状正长花岗岩的 CaO/Na_2O 值为 0.12~0.69,平均 0.28,小于 0.3,表明其很可能为地壳泥岩部分熔融的产物。微量元素 Rb、K、Th、Ta、Ce 相对富集,Ba、Sr、P、Ti 强烈亏损,暗示岩浆可能来源于地壳熔融。元素 Cr(12×10^{-6}~22×10^{-6})、Ni(1×10^{-6}~15×10^{-6}))与上陆壳(Cr(35×10^{-6})、Ni(19×10^{-6})(迟清华等,2007)比较,显示 Cr、Ni 更低的特点。La/Nb 值为 1.73~4.01,明显不



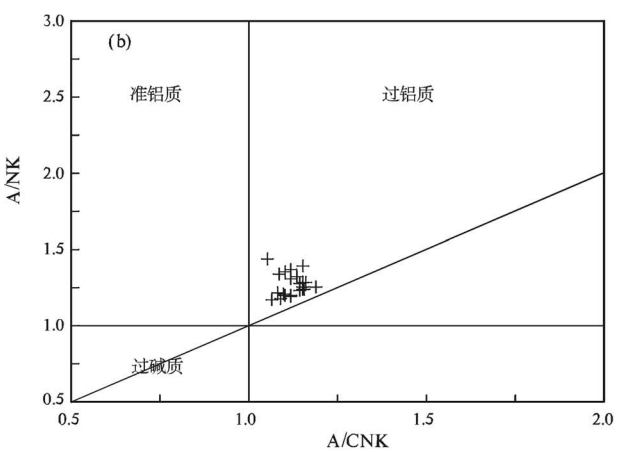


图 5 班戈崩错似斑状正长花岗岩 SiO_2—K_2O(a)和 A/CNK—A/NK 图解(b)

Fig. 5 SiO_2—K_2O(a) and A/CNK—A/NK(b) diagrams of porphyritic syenogranites in Bengco Lake, Bange County

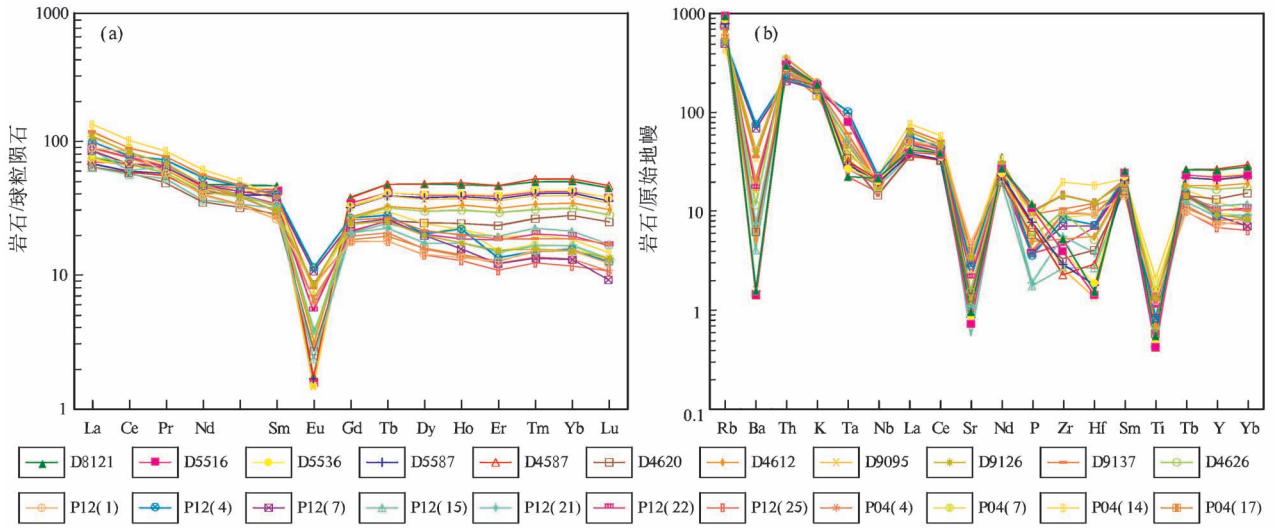


图 6 班戈崩错似斑状正长花岗岩稀土元素球粒陨石标准化分布曲线(a,球粒陨石标准化值据 Masuda et al.,1973)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b,原始地幔标准化值据 Sun et al.,1989)

Fig. 6 Chondrite- normalized REE patterns(a, Chondrite data from Masuda et al., 1973) and primitive mantle- normalized trace element patterns(b, Primitive mantle data from Sun et al., 1989) of the porphyritic syenogranites in Bengco Lake, Bange County

同于地幔来源的岩浆(La/Nb≈0.96)(肖庆辉等,2002)。岩石 Rb/Sr、Ti/Y 和 Ti/Zr 值分别为 3.3~39.2、4.7~51.5 和 12.3~37.3(平均 19.5),位于壳源岩浆(Rb/Sr(>0.5、Ti/Y<100、Ti/Zr<20)范围(Wedepohl,1995)内,说明似斑状正长花岗岩为地壳岩石部分熔融的产物。似斑状正长花岗岩 $Mg^{\#}$ 值在 9~30 之间,均小于 45,表明母岩浆未与地幔相互作用(程银行等,2016)。Nb/Ta=3~17(平均 9),明显低于幔源岩浆值(17±1)(Green,1995);Nd/Th(1~2)与壳源岩石值(≈3)相近,明显低于幔源值(>15)(Bea et al.,2001),同样暗示岩浆不可能是地幔橄榄岩部分熔融或玄武质岩浆分离的结果。结合 La—La/Sm 图解(图 7),可认为区内似斑状正长花岗岩的岩浆可能来自地壳不断增厚背景下地壳泥质的部分熔融,且分离结晶不明显。

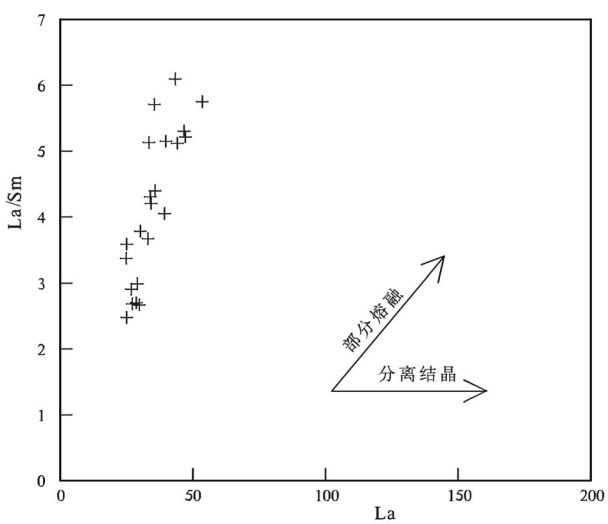


图 7 班戈崩错似斑状正长花岗岩 La—La/Sm 图

Fig. 7 La—La/Sm diagram of porphyritic syenogranites in Bengco Lake, Bange County

4.2　构造环境

北冈底斯白垩纪岩浆构造环境,一般认为新特提斯班公湖—怒江洋形成于晚三叠世—早侏罗世,中侏罗世洋壳开始俯冲消减,在晚侏罗世—早白垩世闭合(Yin et at.,2000;潘桂棠等,2004)。潘桂棠等(2006)认为班公湖—怒江洋在早白垩世中晚期并没有完全消亡,还存在洋壳,在晚白垩世班公湖—怒江洋才最终消亡,亚洲大陆与冈底斯复合岛弧发生强烈的弧—陆碰撞;康志强等(2009)认为,在白垩世中期拉萨地块的北部由于班公湖—怒江洋俯冲消减的结束而演变成非海相的环境,多尼组的中基性和酸性火山岩主要是班公湖—怒江洋的关闭和羌塘地块与拉萨地块碰撞的产物。

通过对崩错地区似斑状正长花岗岩样品的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年,得到了岩石形成年龄为 116.7±1.2 Ma,为早白垩世中期。在 Rb/30—Hf—3Ta 图解(图 8a)中,本次采集似斑状正长花岗岩样

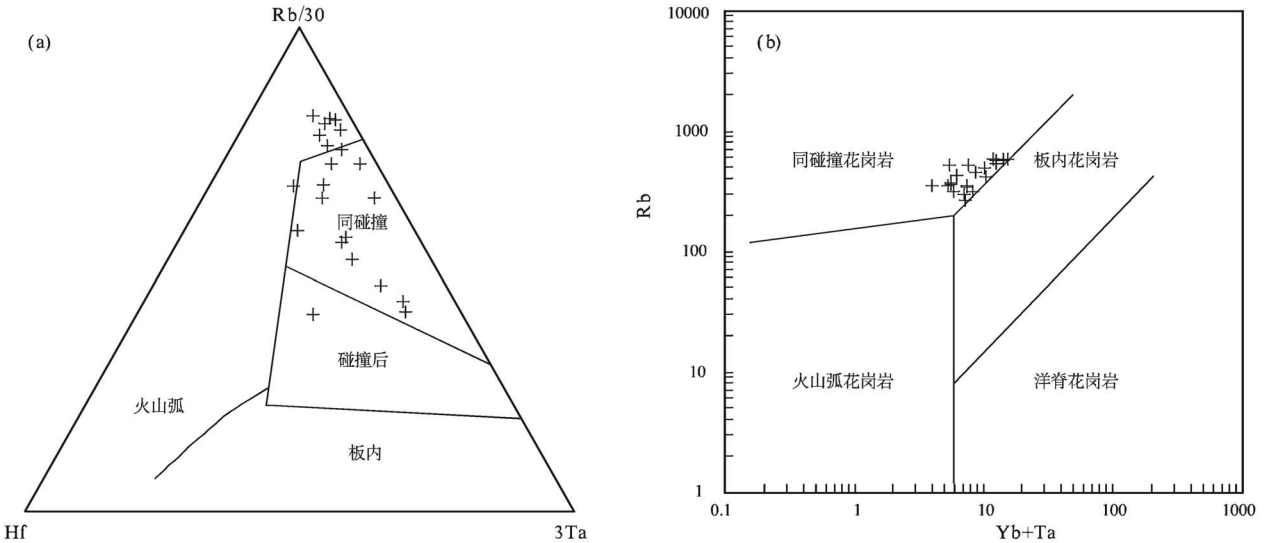


图 8 班戈崩错似斑状正长花岗岩 Rb/30—Hf—3Ta 图解(a)和 Yb+Ta—Rb 图解(b)

Fig. 8 Rb/10—Hf—3Ta(a) and (Yb+Ta)—Rb(b) diagrams of porphyritic syenogranites in Bengco Lake, Bange County

品主要落入同碰撞花岗岩区或附近,在(Yb+Ta)—Rb 图解(图 8b)中,样品集中落入碰撞花岗岩区域。综合认为,崩错地区似斑状正长花岗岩具有同碰撞型花岗岩的特征,这与纳木错卧荣沟组流纹岩(120~112 Ma,魏永峰等,2018)、多尼组酸性火山岩(116~115 Ma)及南冈底斯带的林子宗群酸性火山岩所表现的特征相似(康志强等,2009)。林子宗群火山岩被认为是雅鲁藏特提斯洋从俯冲向印度与亚洲大陆碰撞转变过程的火山活动产物(莫宣学等,2003),纳木错卧荣沟组流纹岩与多尼组火山岩也可能指示了早白垩世中期班公湖—怒江特提斯洋的关闭以及陆—陆碰撞的开始。这种成分上的相似性,可能代表其形成环境的相似性。早白垩世被认为与俯冲有关的岩浆活动在纳木错—崩错地区发生于 124~118 Ma❶、131~121 Ma❷,同碰撞型花岗岩则形成于 123~110 Ma❸,本区域内的上白垩统竟柱山组(K_2)为班公湖—怒江结合带闭合后碰撞造山阶段的一套山间红色磨拉石建造,可能暗示在早白垩世中期(120 Ma 左右)崩错地区发生了一次重大的构造转换事件,即新特提斯班公湖—怒江洋的关闭和羌塘地块与冈底斯带陆—陆碰撞的开始。

值得关注的是,在 116~108 Ma,北冈底斯西段改则地区尚有班公湖—怒江洋南向俯冲岩浆活动记录,110 Ma 左右北冈斯西段新特提斯班公湖—怒江洋还未完全关闭,班公湖—怒江洋南向俯冲还在继续❹(周华等,2016;魏永峰等,2017),这可能说明新特提斯班公湖—怒江洋的关闭时间东段早于西段,从而进一步证明了在晚侏罗世—早白垩世之间,班公湖—怒江洋东段已关闭并发生碰撞,并导致了地壳的缩短加厚及快速隆升(丁林等,2003;莫宣学等,2005;杨德明等,2005;和钟铧等 2005)。因此,笔者等初步认为在纳木错—崩错地区班公湖—怒江新特提斯洋关闭的时间为 120 Ma 左右,紧随其后发生的冈底斯带与羌塘地块碰撞,碰撞过程中,下地壳增厚并部分发生熔融,该岩浆岩就是碰撞后部分熔融的产物,但不排除此时依然有班公湖—怒江洋壳残片存在,即碰撞发生在残留洋壳与羌塘地块之间。

5 结论

(1)崩错似斑状正长花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 116.7±1.2 Ma(MSWD=0.69,n=15),时代为早白垩世中期。

(2)据地球化学特征分析,岩石为高钾钙碱性—钾玄岩系列、强过铝质花岗岩,具有壳源特征。

(3)岩体形成于同碰撞环境,指示在 116 Ma 之前,在崩错地区班公湖—怒江新特提斯洋俯冲已经结束,开始发生冈底斯带与羌塘地块陆—陆碰撞,崩错似斑状正长花岗岩是碰撞过程中下地壳增厚并部分发生熔融的产物。结合本区域年龄成果,在纳木错—崩错地区班公湖—怒江新特提斯洋俯冲结束,并开始发生冈底斯带与羌塘地块陆—陆碰撞的时间为 120 Ma 左右。

致谢:成文过程中得到了四川省地矿局区域地质调查队同志们的野外工作支持,锆石 U-Pb 测年得到了国土资源部中南矿产资源监督检测中心的大力支持,定稿过程中章雨旭研究员对稿件提出了宝贵的修改意见,在此一并表示诚挚的感谢!

注　释　/　Notes

❶ 西藏自治区地质调查院.2002.1:25 万班戈县幅区域地质调查报告.

❷ 中国地质科学院地质力学研究所.2003.1:25 万当雄幅区域地质调查报告.

❸ 四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队.2015.1:5 万尼玛幅、孔玛幅、弄清幅、果业多幅区域地质调查报告.

❹ 四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队.2016.1:5 万文布当桑幅、物玛错幅、阿里淌幅、绒玛幅幅区域地质调查报告.

参　考　文　献　/　References

(The literature whose publishing year followed by a "**&**" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "**#**" is in Chinese without English abstract)

程银行,李影,刘永顺,滕学建,李艳锋,杨俊泉,奥琮.2016.松辽盆地西盆早白垩世伸展事件:流纹岩锆石 U~Pb 年龄、地球化学研究.地质学报,90(12):3492~3507.

迟清华,鄢明才.2007.应用地球化学元素丰度数据手册.北京:地质出版社:103~104.

丁林,来庆洲.2003.冈底斯地壳碰撞前增厚及隆升的证据:岛弧拼贴对青藏高原隆升及扩展历史的制约.科学通报,48(8):836~842.

丁烁,黄慧,牛耀龄,赵志丹,喻学惠,莫宣学.2011.东昆仑高 Nb—Ta 流纹岩的年代学、地球化学及成因.岩石学报,27(12):3603~3614.

和钟铧,杨德明,王天武,郑常青.2005.冈底斯带巴嘎区二云母花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年.吉林大学学报(地球科学版),35(3):302~307.

康志强,许继峰,董彦辉,王保弟.2008.拉萨地块中北部白垩纪则弄群火山岩:Slainajap 洋南向俯冲的产物? 岩石学报,24(2):303~314.

康志强,许继峰,王保弟,董彦辉,王树庆,陈建林.2009.拉萨地块北部白垩纪多尼组火山岩的地球化学:形成的构造环境.地球科学,34(1):89~104.

李奋其,刘伟,张士贞,李勇.2014.冈底斯中北部及邻区中侏罗世—早白垩世地球动力背景转换的证据.地质论评,60(6):1297~1308.

刘伟,李奋其,袁四化,卓皆文,张万平,梁婷.2010.西藏中冈底斯带措勤地区则弄群熔结凝灰岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄.地质通报,29(7):1009~1016.

莫宣学,赵志丹,邓晋福,董国臣,周肃,郭铁鹰,张双全,王亮亮.2003.印度—亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应.地学前缘,10(3):135~148.

莫宣学,董国臣,赵志丹,周肃,王亮亮,邱瑞照,张风琴.2005.西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息.高校地质学报,11(3):281~29.

潘桂棠,莫宣学,侯增谦,朱弟成,王立全,李光明,赵志丹,耿全如,廖忠礼.2006.冈底斯造山带的时空结构造及演化.岩石学报,22(3):521~523.

潘桂棠,王立全,朱弟成.2004.青藏高原区域地质调查中几个重大科学问题的思考.地质通报,23(1):12~19.

魏永峰,邓泽锦,赵志强,曾伟,陈大健,林美英,罗巍.2017.冈底斯带别若则错地区早白垩世晚期闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年、地球化学及地质意义.新疆地质,35(3):227~234.

肖庆辉,邓晋福,马大铨,洪大卫,莫宣学,卢欣祥,李志昌,汪雄武,马昌前,吴福元,罗照华,王涛.2002.花岗岩研究思维与方法.北京:地质出版社:12~20.

杨德明,黄映聪,戴琳娜,赵亮.2005.西藏嘉黎县措麦区含石榴子石二云母花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义.地质通报,24(3):235~238.

周华,邱检生,喻思斌,王睿强.2016.西藏措勤地区火山岩的年代学与地球化学及其对岩石成因的制约.地质学报,90(11):3173~3191.

朱弟成,潘桂棠,莫宣学,王立全,廖忠礼,赵志丹,董国臣,周长勇.2006.冈底斯中北部晚侏罗世—早白垩世地球动力学环境:火山岩约束.岩石学报,22(3):534~546.

朱弟成,潘桂棠,王立全,莫宣学,赵志丹,周长勇,廖忠礼,董国臣,袁四化.2008a.西藏冈底斯带侏罗纪岩浆作用的时空分布及构造环境.地质通报,27(4):458~468.

朱弟成,潘桂棠,王立全,莫宣学,赵志丹,周长勇,廖忠礼,董国臣,袁四化.2008b.西藏冈底斯带中生代岩浆岩的时空分布和相关问题的讨论.地质通报,27(9):1535~1550.

朱弟成,莫宣学,赵志丹,许继峰,周长勇,孙晨光,王立全,陈海红,董国臣,周肃.2008c.西藏冈底斯带措勤地区则弄群火山岩锆石 U-Pb 年代学格架及构造意义.岩石学报,24(3):401~412.

Barbarin B.1999.A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments.Lithos,46(3):605~626.

Bea F, Arzamastsev A, Montero P, Arzamastseva L. 2001. Aonmalous alkaline rocks of Soustov, Kola: evidence of mantle-derived matasomatic fluids affecting crustal materials.Contrib Mineral Petrol, 140:554~566.

Cheng Yinhang, Li Ying, Liu Yongshun, Teng Xuejian, Li Yanfeng, Yang Junquan, Ao Cong.2016**&**.The tectonic extensional event during the Early Cretaceous in the west margin of Songliao Basin:U-Pb dating, geochemistry and petrogenesis of rhyolites.Acta Geologica Sinica,90(12):3492~3507.

Chi Qinghua, Yan Mingcai.2007.Handbook of Elemental Abundance for Applied Geochemistry .Beijing:Geological Publishing House:103~148.

Condie K C.2001.Mantle Plume and Their Record in Earth History.London:Cambridge University Press.

Coulon C, Maluski H, Bollinger C, Wang S.1986.Meszoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet:$^{39}Ar/^{40}Ar$ dating, Petrological characteristics and geodynamical significance.Earth and Planetary Science Letters,79(3~4):281~302.

Ding Lin, Lai Qingzhou.2003**&**.The evidence of uplifting and thickening of Gangdese crust before collision: The restriction of island arc pastiche to uplift and expansion history of Tibetan Plateau.Chinese Sci. Bull.,48(8):836~842.

Ding Shuo, Huang Hui, Niu Yaoling, Zhao Zhidan, Yu Xuehui, Mo Xuanxue.2011**&**. Geochemistry, geochronology and petrogenesis of East Kunlun high Nb—Ta rhyolites. Acta Petrologica Sinica, 27(12):3603~3614.

Green T H.1995.Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust~mantle system.Chemical Geology,120(3):347~359.

Gunnarsson B, Marsh B D, Taylor Jr H P.1998.Generation of Icelandic rhyolites:silicic lavas from the Torfajökull central volcano.Journal of Volcanology and Geothermal Research,83(1~2):1~45.

Harris N B W, Inger S, Xu R. 1990. Cretaceous plutonism in Central Tibet: An example of post-collision magmatism. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 44: 21~32.

He Zhonghua, Yang Deming, Wang Tianwu, Zheng Changqing. 2005&. SHRIMP U-Pb dating of zircons from two-micagranite in Baga area in Gangdese Belt. Journal of Jilin University (Earth science edition), 35(3): 302~307.

Kang Zhiqiang, Xu Jifeng, Dong Yanhui, Wang Baodi. 2008&. Cretaceous volcanic rocks of Zenong Group in north—middle Lhasa block: products of southward subducting of the Slainajap Ocean ? Acta Petrologica Sinica, 24(2): 303~314.

Kang Zhiqiang, Xu Jifeng, Wang Baodi, Dong Yanhui, Wang Shuqing, Chen Jianlin. 2009&. Geochemistry of Cretaceous volcanic rocks of Duoni Formation in northern Lhasa block: Discussion of tectonic setting. Earth Science, 34(1): 89~104.

Kapp P, DeCelles P G, Gehrels G E, Heizler M, Ding L. 2007. Geological records of the Lhasa—Qiangtang and Indo—Asian collisions in the Nima area of central Tibet. Geological Society of America Bulletin, 119(7~8): 917~933.

Li Fenqi, Liu Wei, Zhang Shizheng, Li Yong. 2014&. The evidence of Earth dynamic background conversion in the north—central Gangdese and its adjacent regions during Middle Jurassic—Early Cretaceous. Geological Review, 60(6): 1297~1308.

Liu Wei, Li Fenqiang, Yuan Sihua, Zhon Jiewen, Zhang Wanping, Liang Ting. 2010&. Zircon LA-ICP-MS U-Pb age of ignimbrite from Zenong Group in Coqen area of the central Gangdese belt, Tibet, China. Geological Bulletin of China, 29(7): 1009~1016.

Ludwing K R. 2003. Isoplot/Ex version 3.00: A Geochronnlogical Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center: Special Publication: 1~70.

Masuda A, Nakamura N, Tanaka T. 1973. Fine structures of mutually normalized rare-earth patterns of chondrites. Geochimica et Cosmochimica Acta, 37(2): 239~248.

Moeller A, Brien P J O, KennedyA, KrönerA. 2003. Linking growth episodes of zircon and metamorphic textures to zircon chemistry: an example from the ultrahigh~temperature granulites of Rogaland (SW Norway). Geological Society London Special Publications, 220(1): 65~81.

Mo Xuanxue, Dong Guochen, Zhao Zhidan, Zhou Su, Wang Liangliang, Qiu Ruizhao, Zhang Fengqin. 2005&. Spatial and temporal distribution and characteristics of granitoids in the Gangdese, Tibet and implication for crustal growth and evolution. Geological Journal of China Universities, 11(3): 281~29.

Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Deng Jinfu, Dong Guochen, Zhou Su, Guo Tieying, Zhang Shuangquan, Wang Liangliang. 2003&. Response of volcanism to the India—Asia Collision. Earth Science Frontiers, 10(3): 135~148.

Pan Guitang, Mo Xuanxue, Hou Zengqian, Zhu Dicheng, Wang Liquan, Li Guangming, Zhao Zhidan, Geng Quanru, Liao Zhongli. 2006&. Spatial—temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution. Acta Petrologica Sinica, 22(3): 521~523.

Pan Guitang, Wang Liquan, Zhu Dicheng. 2004&. Thoughts on some important scientific problems in regional geological survey of the Qinghai—Tibet Plateau. Geological Bulletin of China, 23(1): 12~19.

Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Joumal of petrology, 25(4): 956~983.

Pearce J A, Mei H J. 1988. Volcanic rocks of the 1985 Tibet Geotraverse: Lhasa to Golmud. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A: Mathematical and Physical Sciences, 327(1594): 169~201.

Rollinson H R. 1993. Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation. Longman Group U K Ltd, New York, 352.

Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D and Norry M J. eds. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, Special Publication, 42: 313~345.

Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites. Lithos, 45(1~4): 29~44.

Thy P, Beard J S, Lofgren G E. 1990. Experimental constraints on the origin of Icelandic rhyolites. The Journal of Geology, 98: 417~421.

Wedepohl K H. 1995. The composition of the continental crust. Geochim Cosmochim Acta, 59(7): 1217~1232.

Wei Yongfeng, Deng Zejin, Zhao Zhiqiang, Zeng Wei, Chen Dajian, Lin Meiying, Luo Wei. 2017&. LA-ICP-MS ziron U-Pb dating, geochemistry and geoglogical implication of Gandese belf Bieruozecuo area late Early Cretaceous diorite. Xinjiang Geology, 35(3): 227~234.

Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Dashuan, Hong Dawei, Mo Xuanxue, Lu Xinxiang, Li Zhichang, Wang Xiongwu, Ma Changqian, Wu Fuyuan, Luo Zhaohua, Wang Tao. 2002 #. The Thoughts and Methods of Granites Research. Beijing: Geological Publishing House: 12~20.

Yang Deming, Huang Yingcong, Dai Linna, Zhao Liang. 2005&. SHRIMP ziron U-Pb age of garnet-bearing two-mica granite at Comai Township, Lhari County, Tibet, and its significance. Geol. Bull. China, 24(3): 235~238 .

Yin A, Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan—Tibetan orogen. A nnual Review of Earth and Planetary Sciences, 28: 211~280.

Zhou Hua, Qiu Jiansheng, Yu Sibin, Wang Ruiqiang. 2016&. Geochronology and geochemistry of volcanic rocks from Coqen district of Tibet and their implications for petrogenesis. Acta Geologica Sinica, 90(11): 3173~3191.

Zhu D C, Chung S L, Mo X X, Zhao Z D, Niu Y L, Biao S, Yang Y H. 2009. The 132 Ma Comei—Bunbury large igneous province: Remnants identified in present-day southeastern Tibet and southwestern Australia. Geology, 37(7): 583~586.

Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, Mo X X, Chung S L, Hou Z Q, Wang L Q, Wu F Y. 2011. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth. Earth and Planetary Science Letters, 301(1): 241~255.

Zhu Dicheng, Mo Xuanxue, Xu Jifeng, Zhou Changyong, Sun Chenguang, Wang Liquan, Chen Haihong, Dong Guochen, Zhou Su. 2008a&. Zircon U-Pb geochronology of Zenong Group volcanic rocks in Coqen area of the Gangdese, Tibet and tectonic significance. Acta Petrologica Sinica, 24(3): 401~412.

Zhu Dicheng, Pan Guitang, Mo Xuanxue, Wang Liquan, Liao Zhongli, Zhao Zhidan, Dong Guochen, Zhou Changyong. 2006&. Late Jurassic—Early Cretaceous geodynamic setting in middle—northern Gangdese: New insights from volcanic rocks. Acta Petrologica Sinica, 22(3): 534~546.

Zhu Dicheng, Pan Guotang, Wang Liquan, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Zhou Changyong, Liao Zhongli, Dong Guochen, Yuan Sihua. 2008b&. Spatial—temporal distribution and tectonic setting of Jurassic magmatism in the Gangdise belt, Tibet, China. Geological Bulletin of China, 27(4): 458~468.

Zhu Dicheng, Pan Guitang, Wang Liquan, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Zhou Changyong, Liao Zhongli, Dong Guochen, Yuan Sihua. 2008c&. Tempo-spatial variations of Mesozoic magmatic rocks in the Gangdese

belt, Tibet, China, with a discussion of geodynamic setting- related issues. Geological Bulletin of China, 27(9): 1535~1550.

Zircon U-Pb age and geochemical characteristics of the Early Cretaceous porphyritic syenogranite in Bengco Lake, Xizang (Tibet) and its geological significance

WEI Yongfeng[1,2], XIAO Yuanfu[2], XIAO Qianru[2], LUO Wei[1,2], LIU Juan[1], LIN Jing[2], YANG Yamin[2]

1) *Regional Geological Surveying Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources Development, Shuangliu, Sichuan*, 610213;
2) *College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan*, 610059

Objectives: The geological tectonic properties of the central and northern Gangdese belts have different understandings so far. Therefore, magmatic rock petrology, zircon U-Pb geochronology and geochemical research in the belt are of great significance. The purpose of this paper is to investigate the genesis and geodetic background of the Bengco Lake plaque-like syenogranite in order to provide basic data for the Early Cretaceous magma—tectonic evolution in the northern Gangdese, and to provide new evidence and important restraints for studying the Mesozoic tectonic evolution of the entire Gangdese.

Methods: The processing of major elements, rare earths and trace elements was completed by the Huayang Mine Testing Center. The test was completed by the Chengdu Mineral Resources Supervision and Testing Center of the Ministry of Land and Resources. The main elements, trace elements and rare earth elements were detected by ICP-MS, ICP-AES, gravimetric method, etc. The analytical precision is better than 5% . Zircon single mineral separation was completed by Sichuan Huayang Rock Mine Testing Center. The Central South Mineral Resources Supervision and Inspection Center of the Ministry of Land and Resources embarked on cathodoluminescence (CL) image acquisition and LA-ICP-MS zircon U-Pb dating. Before the analysis, the instrument was optimized by the synthetic silicate glass standard reference material NIST610 which developed by the American National Institute of Standards and Technology. In order to control the stability of the instrument and control the test accuracy, one Sample 91500 and standard NIST 610 test were performed after testing 6 unknown samples using standard zircon 91500 to calibrate Pb/U isotope fractionation. The data processing uses the GLITTER (ver4.0, Macquarie University) and ISOPLOT (ver 3.0) software programs.

Results: The Bengcuo plaque-like syenogranite is located in the eastern section of the northern Gangdese, and the latest stratum of the rock mass emplacement is the Middle—Late Jurassic Lagongtang Formation. The LA-ICP-MS zircon $^{206}Pb/^{238}U$ age of the plaque-like syenogranite is 116.7±1.2 Ma, and the age is the early Cretaceous. The rock has high SiO_2, rich Al_2O_3 and K_2O, and is lack of TiO_2, MgO and CaO. A/CNK equals 0.94~1.91 (average 1.16), belonging to the high potassium-calcium-alkaline potassium series of aluminous rocks. $(La/Yb)_N$ is 1.22~9.62, δEu is 0.04~0.38, and the rare earth element distribution pattern of chondrite is U-loss type with light enrichment of light rare earth. Large ion lithophile elements and high field strength elements Rb, K, Th, Ta, Ce are relatively enriched and Nb is relatively depleted and Ba, Sr, P, Ti are strongly depleted, showing the characteristics of colliding granite, diagene magma originating from the earth's crust .

Conclusions: Based on the latest data and the research results of this paper, it is preliminarily believed that the Bengcuo plaque-like syenogranite in the fault-disrupted area may be formed in the land—land collisional tectonic setting of the Gangdese belt and the Qiangtang block, which is the partial melting of the thickening lower crust during the collision. The results also indicate that the end of the Bangong Lake—Nujiang New Tethys subduction should be earlier than 116 Ma. Combined with the aging results of the region, when the Bangong Lake—Nujiang New Tethys subduction ended, the time of the Gangdese belt and the Qiangtang block land—land collision was around 120 Ma.

Keywords: plaque-like granite; zircon U-Pb age; geochemistry; Early Cretaceous; Gangdese belt; Bengco Lake, Xizang (Tibet)

Acknowledgements: In the process of writing, thanks to the support of the field work of the regional geological survey team of Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources and the zircon U-Pb dating by the Central South Mineral Resources Supervision and Inspection Center of the Ministry of Land and Resources. In the finalization process, Zhang Yuxu has provided valuable suggestions for the manuscript. I would like to express my sincere gratitude to them

First author: WEI Yongfeng, male, born in 1974, master's candidate, senior engineer. He is mainly engaged in regional geological and mineral investigations and mineral exploration. Postal Code: 610213, Address: No. 198, Tongjiqiao Xiajie, Huayang Street, Tianfu New District, Chengdu. Email: 39387530@qq.com

Corresponding author: XIAO Yuanfu, male, born in 1957, professor. He is mainly engaged in petrology and mineral resources evaluation research. Email: xyf@cdut.edu.cn

Manuscript received on: 2018-06-03; Accepted on: 2019-01-14; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2019.02.011

中国地质学会 2018 年度十大地质科技进展

(项目排名不分先后)

1 松辽盆地大陆深部科学钻探工程(松科二井)完井与重大地质科技创新

由自然资源部中国地质调查局勘探技术研究所王稳石为负责人钻探完成的松科二井,深 7018 m,是亚洲国家最深的大陆科学钻井和国际大陆科学钻探计划(ICDP)成立 22 年来实施的最深钻井工程。项目研发的超深井大口径取心技术体系,攻克了超高温钻井技术等地球深部探测重大技术难题,创造了四项世界纪录。发现了松辽盆地深部页岩气和盆地型干热岩等两种具有良好的勘探开发前景清洁能源;并在全球首次实现了对白垩纪最完整最连续陆相地层厘米级高分辨率的精细刻画,重建了白垩纪陆相百万年至十万年尺度气候演化历史,发现了白垩纪气候波动重大事件;建立了地层对比的"金柱子"和松辽盆地演化新模式,丰富了白垩纪陆相生油理论,取得了基础地质研究的重大进展。

2 陕西蓝田黄土—古土壤序列与 2.10 Ma 前古人类活动历史新纪录

由中国科学院广州地球化学研究所朱照宇及古脊椎动物与古人类研究所黄慰文联合国内外科研人员组成的团队在陕西蓝田地区历经了 17 年综合地质研究,发现了秦岭山前黄土侵蚀面,将公王岭直立人头盖骨年代从距今 1.15 Ma 推前到距今 1.63 Ma;在上陈一带发现了新的连续黄土—古土壤序列剖面,并在早更新世层段发现了 17 层旧石器埋藏文化层,年代为距今 1.26~2.12 Ma,使蓝田地区成为世界上非洲以外最早的古人类活动遗迹地点之一,该成果发表在《Nature》和《Journal of Human Evolution》上。在蓝田连续黄土—古土壤序列中发现世界罕见的含多层旧石器文化层,拓展了已经处于世界领先地位的中国黄土研究的新方向。

3 我国首套《中国自然资源图系》编制完成

由中国地质调查局水环部郝爱兵为首席专家牵头组织编制的首套中国自然资源图系,是十九大提出"设立国有自然资源资产管理和自然生态监管机构"后提交的第一份自然资源系列成果。图系分全国卷、省区市卷和专题卷 3 个系列,涵盖水、土、矿、林、草、湿地、海洋等 8 个类别,2316 张图件。图系凸显三大创新:一是系统梳理了全国自然资源数量、质量、开发利用现状、潜力等内容,着重体现山水林田湖草是生命共同体和绿色发展理念,形成类型齐全、数据详实的首套中国自然资源图系;二是构建了全国和分省自然资源空间数据库和信息平台,完成了各类自然资源数据标准化、矢量化和空间化,有力促进了信息化技术水平提高;三是突出成果的应用服务导向,创新了图件表达形式,全面提升了地质科技成果的显示度和社会服务能力。相关成果得到国家和相关部门的高度重视。

4 胶东金矿深部探测取得重大突破

山东省地质科学研究院于学峰科研团队长期致力于胶东地区金矿勘查研究和深部探测。首次在胶西北金矿集区开展以深反射地震为主的深部探测应用研究,通过多参数方法试验,验证了反射地震测量在花岗岩分布区固体矿产勘查中对深部地质体探测的有效性。结合深钻验证,查清了三山岛断裂、焦家断裂、招平断裂带等重要构造的深部特征,揭示了胶西北矿集区深部地质结构及其控矿因素。成功实施了 3266 m 金矿勘查科学钻探,在焦家金矿带斜深 7000 m、垂深 3000 m 处发现 25 m 厚的金矿体,最高品位达 13.65×10^{-6},为"中国岩金第一见矿深钻"。该成果为实现胶东地区 35 km 以浅地球物理控制、3000m 尺度钻探控制的地质体结构"透明化"奠定了基础,实现了我国金矿深部找矿的重大突破。

5 新一轮省级区域地质志编撰完成

由中国地质科学院地质研究所李廷栋院士和丁孝忠研究员组织实施的新一轮《中国区域地质志》编制工作,全面、系统总结了我国近 30 多年来海量区域地质、地球物理、地球化学、遥感地质等调查新成果和新资料。该书有三大亮点:一是全面梳理了我国地层—岩石—构造格架,建立了中国岩石圈构造单元分区及中国东部岩石圈三维结构模型,使各地区的地质成果协调一致,便于社会各界使用;二是首次突出了城市地质成果,确立了京津冀地区全新世海陆演化和雄安地区全新世环境演变进程,服务雄安新区建设;三是突出了海洋地质研究成果,

(下转第 437 页)