

文章编号: 1009-3850(2011)04-0086-11

班公湖-怒江成矿带西段材玛花岗岩体岩石 地球化学及年代学

张 璋 耿全如 彭智敏 丛 峰 关俊雷

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

摘要: 材玛花岗岩体为班公湖-怒江成矿带西段日土-多不杂岩浆弧带的成矿岩体之一。对材玛岩体的中粒黑云二长花岗岩进行锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测试, 结果为 $165.1 \pm 1.5\text{Ma}$ ($n=17$, $\text{MSWD}=0.86$); 全岩 Rb-Sr 同位素年龄为 $163.5 \pm 2\text{Ma}$ ($n=5$), 材玛岩体的形成年龄为 $163 \sim 165\text{Ma}$ (中侏罗世)。材玛岩体属于高钾钙碱性系列, $\Sigma\text{REE} = 109.5 \sim 225.2 (10^{-6})$, LREE 富集, $\text{LREE}/\text{HREE} = 2.37 \sim 7.77$ 并伴随 Eu 的亏损。微量元素特征表现为强烈的 Ba、Nb、P、Ti 亏损和 Th、U、Pb 富集, 以及 Zr 的弱亏损。材玛岩体为班-怒带向北俯冲作用的产物, 为岛弧型岩浆岩, 物质来源为俯冲带之上的地幔部分熔融, 并有地壳物质混融。

关键词: 班公湖-怒江成矿带西段; 材玛岩体; 锆石 LA-ICP-MS U-Pb; 地球化学

中图分类号: P588.12⁺¹

文献标识码: A

班公湖-怒江成矿带(后简称班-怒带)沿东西方向横贯青藏高原中部, 长达2000余公里。近年来的国土资源大调查和专题研究发现, 班-怒带不仅是一条重要的板块缝合带, 对南羌塘南缘和冈底斯北缘的岩浆活动、构造演化有直接的控制作用, 同时也是一条重要的多金属成矿带^[1-4]。为此, 中国地质调查局在已经完成的1:25万区域地质调查和正在实施的重点地区1:5万地质、矿产调查的基础上, 在“十二五”~“十四五”的“地质资源保障工程”中仍将班-怒带作为重点地区开展地质、矿产调查和综合研究。

班-怒带西段的日土、羌多至改则北部的多龙地区发现一条近东西向展布, 长约300km的燕山期岩浆弧^[5, 6], 有学者将此作为班-怒带特提斯洋壳向北俯冲、消减的岩浆岩响应^[7, 8]。近年来, 在该岩浆弧的多不杂-波龙地区发现大型斑岩铜金矿, 在弗野、材玛地区发现矽卡岩型铁多金属矿, 在拉热拉新地

区发现磁铁矿等等。表明该带具有良好的成矿地质条件。

材玛岩体位于日土-多不杂岩浆弧西段、南羌塘南缘。对于该岩体时代, 冯国胜认为属早白垩世^[9], 而田毅则认为该岩体在早侏罗世至早白垩世均有活动^[10]。笔者在参加班公湖-怒江成矿带地质矿产调查和综合研究项目的过程中, 对材玛成矿岩体进行了野外研究, 并对该岩体化学成份、微量元素进行了测定, 同时利用 LA-ICP-MS(激光剥蚀等离子体质谱)和 MAT-261(可调多接收质谱计), 分别采用锆石原位微区 U-Pb 定年分析法和全岩 Rb-Sr 同位素稀释质谱法对岩体的年龄进行了测定, 同时探讨了材玛岩体的物质来源和大地构造意义。

1 区域地质背景

材玛岩体位于日土县热帮乡扎普村北西约20km, 构造位置位于北部的南羌塘断隆带和南部的

收稿日期: 2010-06-20; 改回日期: 2010-08-24

资助项目: 中国地质调查局青藏专项项目《西藏班公湖-怒江构造带基础地质综合研究》(编号: 1212010818017)、《班公湖-怒江成矿带基础地质综合研究》(编号: 1212011086068) 和国家自然科学基金项目《喜马拉雅东构造结地区雅鲁藏布江蛇绿岩地质年代学研究》(编号: 40773001)

作者简介: 张璋(1985-) 男, 助理工程师, 从事区域地质调查工作。E-mail: hzxzjlg@sina.com

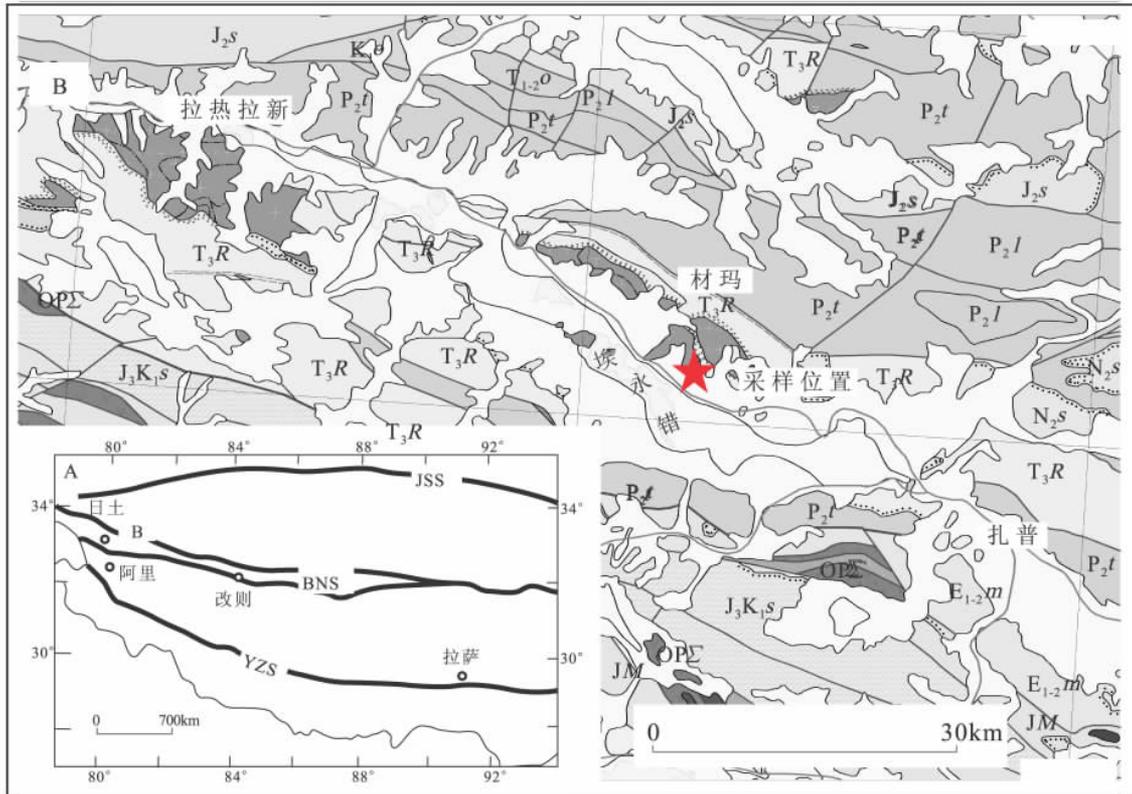


图1 研究区地质简图及采样位置

JSS: 金沙江缝合带; BNS: 班公湖-怒江缝合带; YZS: 雅鲁藏布江缝合带; OPΣ: 蛇绿混杂岩; P₂t: 吞龙共巴组; P₂l: 龙格组; T₃R: 日干配错群; JM: 木嘎岗日群; J₂s: 色哇组; J₃K₁s: 莎木罗组; K₁o: 欧利组; N₂s: 唢呐湖组; E₁₋₂m: 美苏组

Fig. 1 Simplified geological map and sampling site in the study area

JSS = Jinshajiang suture zone; BNS = Bangong-Nujiang suture zone; YZS = Yarlung Zangbo suture zone; OPΣ = ophiolitic mélangé; P₂t = Tunlonggongba Formation; P₂l = Longge Formation; T₃R = Rigain Punco Group; JM = Muggar Kangri Group; J₂s = Sewa Formation; J₃K₁s = Shamuluo Formation; K₁o = Ouli Formation; N₂s = Suona Lake Formation; E₁₋₂m = Meisu Formation

班公湖蛇绿混杂岩带之间,主体呈东西向展布,岩体宽50~300m,长300~12000m,总面积约10km²(图1)。岩体的岩性为闪长岩和花岗岩。围岩为日干配错群(T₃R)、吞龙共巴组(P₂t)和龙格组(P₂lg),岩性以碳酸盐岩为主。

2 岩相学特征

野外观察表明,材玛岩体大致可分为两期。早期为中细粒角闪黑云母花岗岩,晚期为宽约0.2~1m的细晶钾长花岗岩脉。材玛磁铁矿矿体位于早期岩体与日干配错群(T₃R)的接触带中(图2A, B),断续产出。露头可见孔雀石化,黄铁矿化等。围岩蚀变强烈,发育矽卡岩化、大理岩化、角岩化、硅化等。矿石中TFe含量为44%~63%。外接触带见锑锰矿点(江西地调院,2004,1:25万日土县幅区调报告)。

材玛岩体早期岩石为中细粒角闪黑云母花岗岩。呈浅灰色,中-细粒花岗结构,块状构造。矿物

组成为:斜长石(更-中长石)约35%、钾长石(条纹长石)约25%、石英约30%、黑云母约5%、角闪石约3%、磁铁矿约2%。斜长石呈柱状,可见宽板状,弱绢云母化,发育细而密的钠长石双晶,同样发育标志性的中长石的环带结构;钾长石呈不规则状,似等轴板柱状,有粘土化现象,单偏光镜下为浅灰褐色,内部含有稀疏斑点状条纹嵌晶;石英呈它形粒状(集合体),粒度0.2~2mm;黑云母,呈棕色,间隙分布于长英质矿物间,局部呈集合体;角闪石呈(细)柱状或不规则集合体;磁铁矿多与黑云母伴生。

后期的钾长花岗岩细晶岩为灰褐-浅褐色,细粒花岗结构,块状构造。矿物组成为钾长石(条纹长石)约60%、斜长石(钠更长石)约5%、石英约30%、黑云母约3%、磁铁矿约2%。钾长石呈它形粒状、条带状,粒度小于1mm,有粘土化现象,单偏光镜下为浅灰褐色,内部含条纹嵌晶和卡氏双晶;斜长石呈柱状,有不同程度的绢云母化,可见钠长石双晶;石英呈它形-集合体,粒度0.5~1mm;黑云母呈鳞片状。

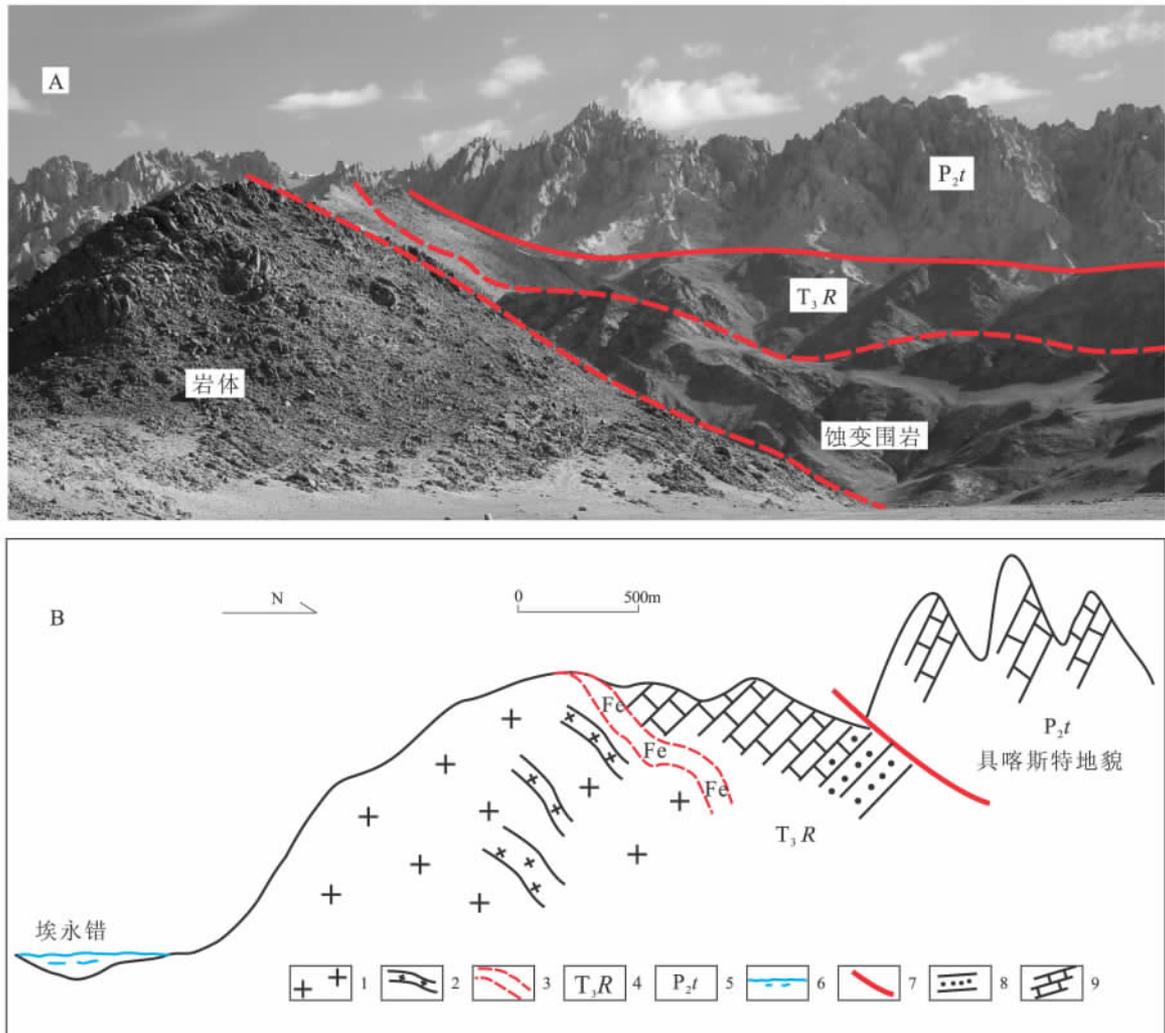


图2 材玛岩体野外照片及剖面图

1. 岩体; 2. 晚期细晶岩脉; 3. 蚀变围岩; 4. 日干配群; 5. 吞龙共巴组; 6. 湖泊; 7. 断层; 8. 砂岩; 9. 灰岩

Fig. 2 Field picture (A) and cross section (B) through the Caima granites

1 = Caima granites; 2 = late fine-crystalline veins; 3 = altered wall rocks; 4 = Rigain Puncu Group; 5 = Tunlonggongba Formation; 6 = lake; 7 = fault; 8 = sandstone; 9 = limestone

3 地球化学特征

笔者选取代表性岩石类型,对材玛岩体进行了岩石地球化学测试。主量元素分析在国土资源部西南矿产资源监督检测中心分析报告完成。使用X射线荧光(XRF)光谱分析技术,测试仪器为AXIOS-X荧光光谱仪,分析精度好于5%。微量元素分析在中国科学院广州地球化学研究所元素和同位素重点实验室完成。测试仪器为Perkin-ElmerSciexELAN6000型电感耦合等离子体质谱(ICP-MS),仪器工作条件、分析精度和分析方法见文献^[11]。文中图件制作采用geokit软件^[12]和isoplot软件^[13];数据处理使用Microsoft excel程序,参数设置及数据处理参考陈忠良等的方法^[14-20]。

岩石地球化学讨论同时参考了冯国胜等(2006)发表的数据^[9]。

材玛岩体的全岩地球化学数据见表1。 SiO_2 含量69.43%~77.58%,平均值为75.14%; Al_2O_3 含量12.08%~14.96%,平均为12.88%; MgO 含量0.06%~0.92%,平均为0.21%; Na_2O 含量2.81%~3.52%,平均为3.08%; K_2O 含量3.82%~5.70%,平均为5.34%。 $\text{Mg}^\#$ 为11.87~36.06,平均值为20.97;分异指数(DI)=79.18~95.26,平均值为92.25。在 $\text{SiO}_2-(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ (TAS)图解(图3)中,全部样品都属于亚碱性,并以花岗岩为主,个别样品为花岗闪长岩和花岗岩的过渡相。冯国胜等(2006)发表ADDIN NE. Ref. {0BC28BE8-7F3D-4948-A099-900139202810}^[9]的材玛岩体样品数据

分别投入花岗闪长岩和石英二长岩区域^[9]。在 SiO₂-K₂O 图解中(图 4) 样品全部属于高钾钙碱性系列,但本文样品 SiO₂ 含量普遍较高。

在原始地幔标准化的微量元素分配模式图中,材玛岩体亏损 Ba、Nb、P 和 Ti,而 Th、U、Pb 显示富集(图 5)。ΣREE = 109.5 × 10⁻⁶ ~ 225.2 × 10⁻⁶,

LREE/HREE = 2.37 ~ 7.77, (La/Yb)_n = 5.46 ~ 11.85, δEu = 0.13 ~ 0.62。在稀土元素球粒陨石标准化配分模式图解(图 6)上,表现出较为平滑右倾。LREE 较富集,而 HREE 属较平坦, Eu 存在负异常,部分样品中 Lu 有小幅上扬。综合判断材玛花岗岩体为地壳物质熔融产物。

表 1 材玛岩体全岩地球化学数据

Table 1 Whole-rock geochemical data for the Caima granites

样品号	PBN-53-3	PBN-53-7	PBN-53-8	PBN-53-9	PBN-54-1	PBN-54-4	PBN-54-6	PBN-54-7
主量元素(wt%)								
SiO ₂	74.83	75.00	75.28	75.08	69.43	77.17	76.76	77.58
TiO ₂	0.05	0.07	0.06	0.06	0.34	0.07	0.08	0.08
Al ₂ O ₃	13.30	12.84	12.80	12.78	14.96	12.14	12.16	12.08
Fe ₂ O ₃	0.54	0.32	0.37	0.32	0.72	0.35	0.40	0.38
FeO	0.52	0.79	0.66	0.46	2.26	0.38	0.35	0.31
MnO	0.02	0.02	0.03	0.03	0.07	0.01	0.01	0.01
MgO	0.08	0.13	0.13	0.12	0.92	0.10	0.14	0.06
CaO	0.91	0.95	0.95	1.23	2.70	0.66	0.85	0.67
Na ₂ O	3.20	3.03	3.06	3.08	3.52	2.86	2.81	3.04
K ₂ O	5.58	5.62	5.70	5.66	3.82	5.52	5.70	5.12
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09	0.01	0.01	0.01
LOI	0.76	1.02	0.77	1.00	0.58	0.45	0.52	0.34
Total	99.80	99.80	99.83	99.83	99.40	99.72	99.79	99.68
TFeO	1.01	1.08	0.99	0.75	2.91	0.70	0.71	0.65
Mg#	11.87	17.70	18.92	22.24	36.06	20.09	26.01	14.90
CIPW 标准矿物计算(wt%)								
石英(Q)	32.86	33.57	33.44	33.21	26.21	38	36.8	38.91
钙长石(An)	4.54	4.69	4.4	4.38	13.15	3.23	3.76	3.27
钠长石(Ab)	27.34	25.96	26.14	26.37	30.13	24.38	23.95	25.89
正长石(Or)	33.29	33.62	34	33.84	22.84	32.86	33.93	30.46
刚玉(C)	0.35	0.08	0	0	0.27	0.29	0	0.35
透辉石(Di)	0	0	0.27	1.48	0	0	0.35	0
紫苏辉石(Hy)	0.74	1.46	1.05	0.09	5.47	0.57	0.5	0.46
硅灰石(Wo)	0	0	0	0	0	0	0	0
钛铁矿(Il)	0.1	0.13	0.12	0.12	0.65	0.14	0.15	0.15
磁铁矿(Mt)	0.74	0.47	0.54	0.47	1.06	0.5	0.51	0.46
磷灰石(Ap)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.21	0.03	0.03	0.03
锆石(Zr)	0.02	0	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02
铬铁矿(Cm)	0	0	0	0	0	0	0	0
合计	100.01	100	100	100.01	100.03	100.01	99.99	100.01

(接表1) Table 1 Continued

分异指数(DI)	93.49	93.15	93.58	93.42	79.18	95.24	94.68	95.26
微量元素(ppm)								
Sc	1.48	/	0.26	0.18	4.74	0.07	0.09	0.04
Ti	216.40	/	296.20	296.50	1748.50	320.50	388.60	395.80
V	1.46	/	1.74	2.08	23.55	4.58	5.17	4.01
Cr	15.52	/	13.79	13.57	8.45	4.74	3.33	0.10
Mn	89.25	/	225.10	204.70	512.80	59.90	61.62	59.34
Co	0.35	/	0.44	0.30	4.84	1.32	1.58	0.84
Ni	1.26	/	1.45	0.87	3.37	0.62	0.70	1.14
Cu	5.70	/	8.58	7.18	2.67	33.61	41.72	48.70
Zn	36.80	/	36.71	35.50	47.71	11.30	12.90	17.14
Ga	15.96	/	16.11	16.15	18.49	13.38	13.38	14.02
Ge	1.27	/	1.44	1.42	1.10	1.38	1.11	1.55
Rb	191.80	/	175.50	173.80	137.80	281.40	288.60	291.00
Sr	73.68	/	64.11	72.54	224.20	34.22	38.19	20.76
Y	18.80	/	23.25	24.30	15.59	15.13	17.47	10.90
Zr	94.05	/	106.20	97.94	124.60	65.54	74.38	81.88
Nb	16.50	/	14.09	14.83	14.53	8.64	9.16	12.07
Cs	4.20	/	1.00	0.93	6.54	5.66	5.91	5.80
Ba	236.60	/	76.37	80.05	589.90	40.90	47.60	26.77
La	17.54	/	28.30	26.01	36.30	59.70	53.12	41.07
Ce	34.30	/	53.84	51.52	61.42	101.80	91.14	71.47
Pr	4.43	/	6.91	6.55	6.94	9.60	8.42	6.40
Nd	16.61	/	24.59	23.46	23.76	25.18	23.07	16.50
Sm	3.76	/	4.98	4.90	3.94	3.11	3.03	2.20
Eu	0.44	/	0.38	0.37	0.81	0.19	0.20	0.11
Gd	3.47	/	4.53	4.37	3.42	2.56	2.69	1.80
Tb	0.61	/	0.78	0.73	0.52	0.37	0.41	0.28
Dy	3.75	/	4.67	4.54	2.92	2.30	2.58	1.73
Ho	0.77	/	0.98	0.93	0.59	0.51	0.59	0.39
Er	2.14	/	2.69	2.64	1.60	1.65	1.96	1.32
Tm	0.33	/	0.43	0.42	0.24	0.31	0.36	0.25
Yb	2.29	/	2.87	2.81	1.67	2.41	2.90	2.07
Lu	0.36	/	0.46	0.44	0.26	0.42	0.49	0.37
Hf	4.35	/	4.77	4.33	4.06	4.07	4.43	5.59
Ta	1.62	/	1.61	1.58	1.07	2.12	2.20	2.93
Pb	16.21	/	18.06	19.31	17.94	19.92	19.67	19.25
Th	19.59	/	26.37	24.38	18.83	59.25	56.49	35.78
U	4.41	/	5.56	5.24	4.31	11.50	12.26	8.52

注: LOI为烧失量; 分异指数(DI) = $Qz + Or + Ab + Ne + Lc + Kp$

表2 材玛岩体LA-ICP-MS锆石U-Pb定年数据
Table 2 Zircon LA-ICP-MS and U-Pb age determinations of the Caima granites

分析点号	Pb (total) ppm	²³² Th ppm	²³⁸ U ppm	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U Age (Ma)	1 σ
PBN-54-2-01	6.7	220	207	0.0563	0.0036	0.2042	0.0132	0.0264	0.0005	168.2	3.3
PBN-54-2-02	5.6	151	187	0.0666	0.0036	0.2429	0.0134	0.0264	0.0005	168.1	2.9
PBN-54-2-03	5.8	142	204	0.0552	0.0038	0.1983	0.0140	0.0264	0.0005	168.2	3.2
PBN-54-2-04	4.5	132	151	0.0744	0.0064	0.2581	0.0213	0.0257	0.0006	163.4	3.5
PBN-54-2-05	4.2	98	148	0.0713	0.0048	0.2532	0.0164	0.0263	0.0006	167.6	3.5
PBN-54-2-06	5.4	167	178	0.0664	0.0045	0.2273	0.0132	0.0265	0.0005	168.5	3.4
PBN-54-2-09	5.7	171	195	0.0636	0.0047	0.2183	0.0145	0.0256	0.0005	163.0	3.0
PBN-54-2-10	3.8	104	131	0.0830	0.0116	0.2576	0.0206	0.0265	0.0008	168.5	4.7
PBN-54-2-13	9.1	294	296	0.0564	0.0041	0.2037	0.0147	0.0264	0.0004	168.0	2.5
PBN-54-2-15	7.5	234	251	0.0607	0.0039	0.2072	0.0128	0.0255	0.0005	162.5	3.0
PBN-54-2-16	5.8	186	195	0.0625	0.0043	0.2152	0.0139	0.0257	0.0005	163.4	3.2
PBN-54-2-19	5.0	154	168	0.0742	0.0070	0.2441	0.0199	0.0260	0.0005	165.2	3.2
PBN-54-2-20	8.1	169	296	0.0485	0.0036	0.1762	0.0134	0.0260	0.0004	165.3	2.7
PBN-54-2-21	3.4	88	118	0.0684	0.0059	0.2300	0.0200	0.0251	0.0006	160.1	3.8
PBN-54-2-22	2.6	66	91	0.0853	0.0082	0.2751	0.0221	0.0258	0.0006	163.9	4.0
PBN-54-2-23	5.9	187	198	0.0646	0.0051	0.2162	0.0144	0.0252	0.0005	160.4	2.8
PBN-54-2-24	4.1	106	146	0.0560	0.0040	0.1912	0.0134	0.0253	0.0006	161.2	3.6

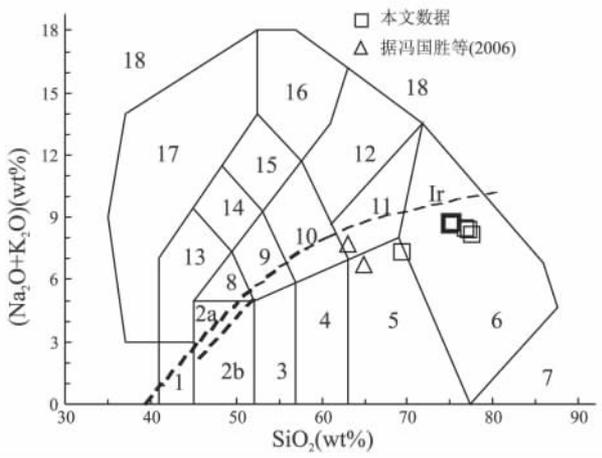


图3 材玛岩体 TAS 图解(底图资料据文献^[21])

Ir. Irvine 分界线,上方为碱性,下方为亚碱性。1. 橄辉长岩; 2a. 碱性辉长岩; 2b. 亚碱性辉长岩; 3. 辉长闪长岩; 4. 闪长岩; 5. 花岗闪长岩; 6. 花岗岩; 7. 石英岩; 8. 二长辉长岩; 9. 二长闪长岩; 10. 二长岩; 11. 石英二长岩; 12. 正长岩; 13. 副长石辉长岩; 14. 副长石二长闪长岩; 15. 副长石二长正长岩; 16. 副长正长岩; 17. 副长深成岩; 18. 霓方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩

Fig. 3 TAS diagram for the Caima granites (base diagram from Eric, 1994)

□ = data in this study; △ = data from Feng Guosheng et al., 2006. Ir = Irvine boundary: alkaline series above it and subalkaline series below it. 1 = olivine gabbro; 2a = alkaline gabbro; 2b = subalkaline gabbro; 3 = gabbro diorite; 4 = diorite; 5 = granodiorite; 6 = granite; 7 = quartzolite; 8 = monzogabbro; 9 = monzodiorite; 10 = monzonite; 11 = quartz monzonite; 12 = syenite; 13 = feldspathoid gabbro; 14 = feldspathoid monzodiorite; 15 = feldspathoid monzosyenite; 16 = feldspathoid syenite; 17 = feldspathoid plutonite; 18 = tawite/urtite/italite

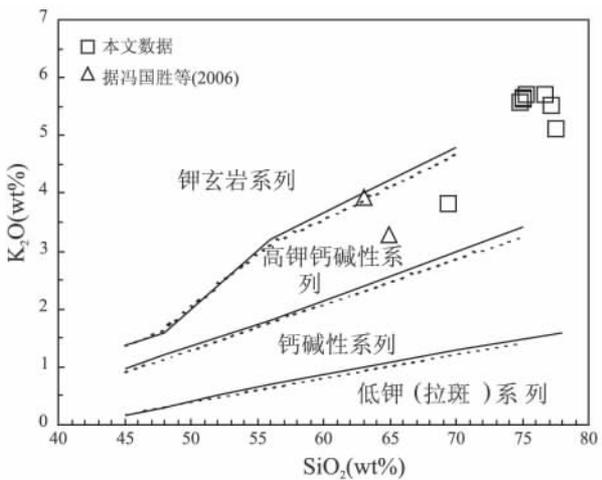


图4 材玛岩体 SiO₂-K₂O 图解

(底图实线据文献^[22]; 虚线据文献^[23])

Fig. 4 SiO₂ vs. K₂O diagram for the Caima granites (solid lines from Peccerillo et al., 1976; dashed lines from Middlemost, 1985). □ = data in this study; △ = data from Feng Guosheng et al., 2006

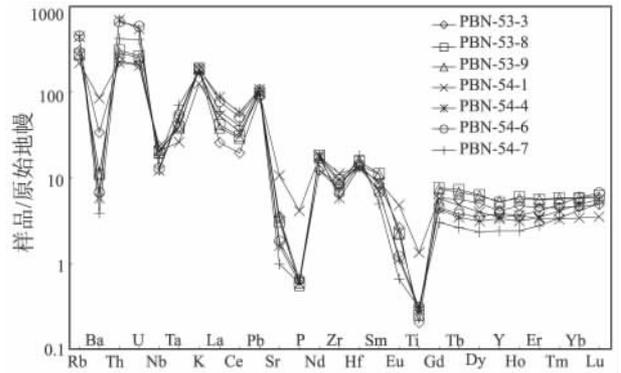


图5 材玛岩体原始地幔标准化微量元素蛛网图

(原始地幔标准数据据文献^[24])

Fig. 5 PM-normalized trace element spidergrams for the Caima granites (primitive mantle data from Sun et al., 1989)

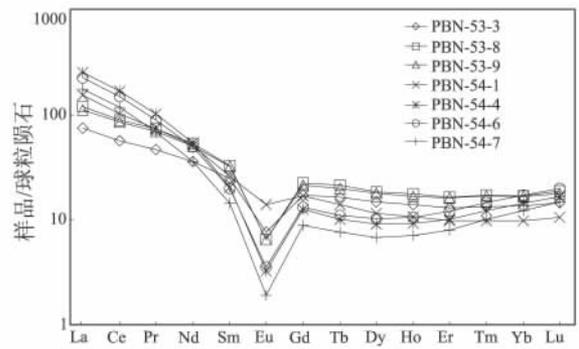


图6 材玛岩体球粒陨石标准化稀土元素配分图

(球粒陨石标准数据据文献^[24])

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution patterns for the Caima granites (chondrite data from Sun et al., 1989)

4 年代学

在材玛成矿岩体中,选取主要岩性进行锆石分选和年代测试。样品 54-2 号采自材玛磁铁矿附近,岩性为中粒黑云二长花岗岩。锆石样品用常规方法将其从全岩中分离并制靶。从大约 5kg 样品中分选出锆石 1000 颗。

锆石阴极发光 (CL) 研究在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。LA-ICP-MS(激光剥蚀等离子体质谱)锆石原位微区 U-Pb 定年分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。ICP-MS 为 Agilent 7500a 激光剥蚀系统为配备有 193 nm ArF 准分子 (Excimer) 激光器的 GeoLas 2005。仪器工作条件、分析精度和分析方法见文献 [25-27]。具体锆石测定点的 Pb 同位素比值、U-Pb 表面年龄采用 ICPMSDataCal 6.4 程序计算^[25]。

全岩 Rb-Sr 同位素年龄测定由国土资源部中南矿产资源监督检测中心同位素地球化学研究室测定。⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位素比值分析用 MAT-261 可调多接收质谱计完成,Rb、Sr 含量采用同位素稀释质谱法测定,分析过程中用 NBS987 和 GBW04411 标准物质对仪器和分析流程进行监控。Rb-Sr 等时线年龄和锆石加权平均年龄的计算及谐和图的绘制采用 ISOPLOT 程序^[13]。

样品 54-2 中锆石 CL 图像显示短柱状的自形到

半自形晶形 粒径为 120 ~ 250 μ m,可见明显的震荡环带(图 7)。17 个测点 Th/U 比值介于 0.57 ~ 1.06 之间(表 1),为岩浆锆石^[28,29]。其²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄范围为 160 ~ 168Ma,在置信度 95% 时,²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 165.1 \pm 1.5Ma(n = 17,MSWD = 0.86)(图 8),代表了该成矿岩体的形成时代。

笔者选取 54-2 号样品进行全岩 Rb-Sr 同位素测定,测得等时线年龄(n = 5)为 163.5 \pm 2Ma,与微区测年结果一致(表 3,图 9)。

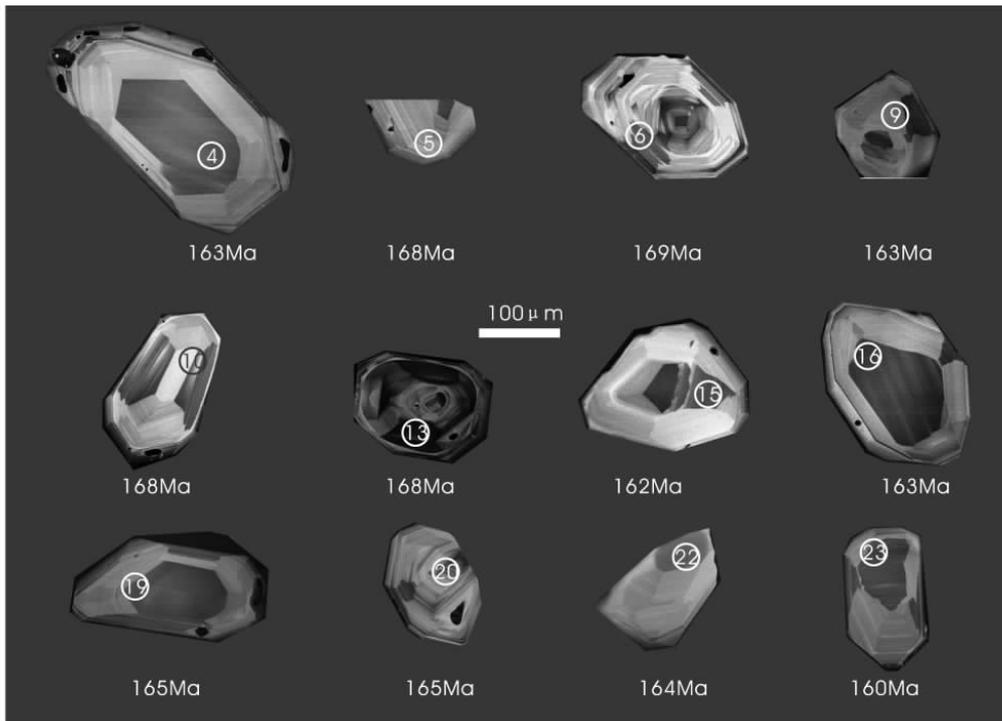


图 7 材玛岩体 54-2 锆石 CL 图像、测试点位及年龄

Fig. 7 Cathodoluminescence images, analytical spots and ages of No. 54-2 sample from the Caima granites

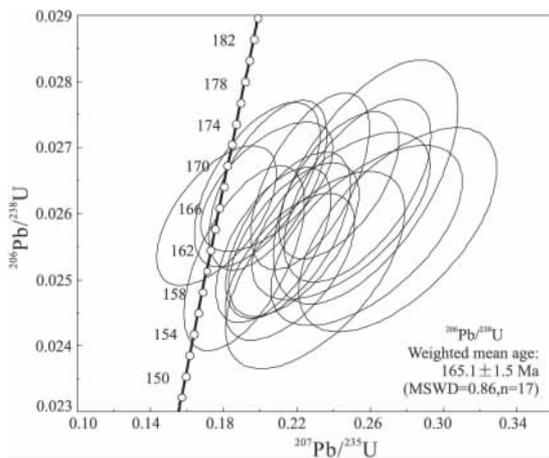


图 8 材玛岩体 54-2 锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 8 Zircon U-Pb concordia diagram for No. 54-2 sample from the Caima granites

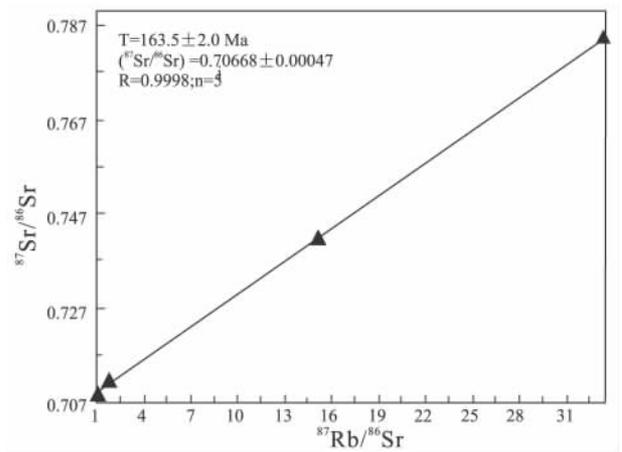


图 9 材玛岩体全岩 Rb-Sr 同位素年龄等时线图

Fig. 9 Whole-rock Rb-Sr isochron diagram for the Caima granites

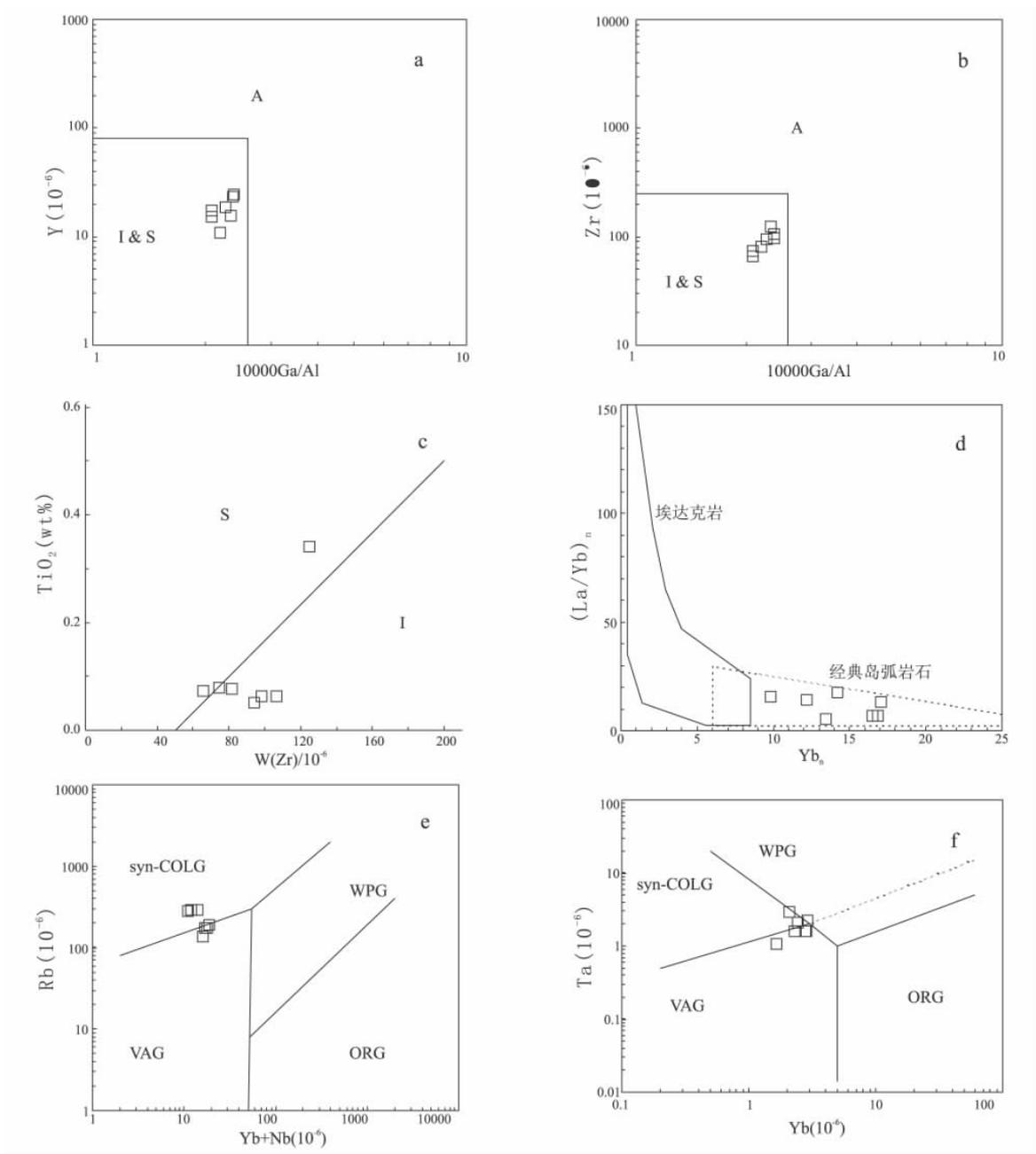


图 10 材玛岩体岩浆岩成因判别图(a b c) 及构造环境判别图(d e f)

(图 10-a ,10-b 底图据 Whalen 文献 [30] ; 图 10-d 底图据文献 [31] ; 图 10-e ,10-f 底图据文献 [32]

Fig. 10 Discrimination plots for the magmatic origin (a , b , c) and tectonic settings (d , e , f) of the Caima granites (base plots a and b from Whalen et al. , 1987; base plot d from Defant et al. , 1990; base plot e and f from Pearce et al. , 1984)

5 讨论

5.1 岩体的年代

材玛岩体的年代问题目前研究较少。冯国胜等(2006) 在研究材玛铁矿时对岩体进行过全岩 Rb-Sr 同位素测定 , 得到 $138.3 \pm 6.9\text{Ma}$ 的岩浆岩侵位时间^[9]。田毅(2009) 对材玛岩体进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 测定 , 得到 3 组年龄 , 分别是 $173.8 \pm 2.2\text{Ma}$, $MSWD = 32$; $153.8 \pm 1.9\text{Ma}$, $MSWD = 12$; 123.4

$\pm 13\text{Ma}$, $MSWD = 8.0$ ^[10]。测试结果 MSWD 值普遍偏高 , 且点位偏少(3 组年龄 , 共 20 个点位) , 同时文中未附锆石 ²³⁸U、²³²Th、Pb 含量值和锆石 U-Pb 年龄谐和图 , 不能判定测试结果的可靠性。此外 , 笔者采集的材玛岩体另一样品(54-3) 分析时发现 , 部分典型岩浆锆石由于 Th 含量较高且波动范围达 10 倍以上(含量 $45000 \sim 400 \times 10^{-6}$) , 导致锆石自身封闭性受到破坏 , 使得测试结果波动范围较大(该样品测出 $143 \sim 183\text{Ma}$ 的年龄值 , 仅具有参考意义)。

表3 材玛岩体全岩 Rb-Sr 同位素测试结果

Table 3 Whole-rock Rb-Sr isotopic age determinations for the Caima granites

样品号	W(Rb) /10 ⁻⁶	W(Sr) /10 ⁻⁶	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)
54-1	133.4	218.3	1.763	0.71195
54-6	287.2	54.71	15.18	0.74183
54-7	278.1	24.17	33.42	0.78439
54-8	131.8	354.6	1.072	0.70859
54-9	126.3	345.8	1.053	0.70865

笔者对材玛岩体锆石样品进行的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试结果为 $165.1 \pm 1.5\text{Ma}$ ($n = 17$, $\text{MSWD} = 0.86$), 同时对材玛岩体全岩样品进行 Rb-Sr 同位素测试的结果为 $163.5 \pm 2\text{Ma}$ ($n = 5$, $R = 0.9998$)。两种测试手段结果一致, 说明材玛成矿岩体的形成年龄为 163 ~ 165Ma, 属于中侏罗世。

5.2 岩体成因及构造意义

材玛岩体为高分异度高钾钙碱性系列, 富集轻稀土元素, 稀土元素分馏程度较高, 重稀土相对亏损, 分馏程度较低, Eu 亏损。原始地幔标准化微量元素蛛网图显示右倾模式, 强烈的 Ba、Nb、P 和 Ti 亏损, Th、U、Pb 富集, 以及 Zr 弱亏损。这些特征表明材玛岩体的形成可能与俯冲作用有关, 可能在地壳物质熔融混入。

在岩浆岩成因判别图(图 10a, b) 上, 全部样品投入了 I 型和 S 型岩浆岩区域。进一步的 Zr-TiO₂ 判别图(图 10c) 结果显示有 1 件样品投入 S 型花岗岩区域, 3 件样品投入 I 型花岗岩区域, 另外 3 件投入两者混合区域。这一结果支持了前面蛛网图的讨论, 该岩体可能伴有地壳物质的混入。

在 Defant 的埃达克岩判别图(图 10d) 上^[31], 本文样品落在岛弧岩石区域。而在 Pearce 的花岗岩构造环境判别图(图 10e, f) 上^[32], Rb-(Yb + Nb) 微量元素判别图显示 3 件样品为同碰撞花岗岩, 1 件为火山弧花岗岩, 其余 3 件为同碰撞花岗岩与火山弧花岗岩的过渡类型。Ta-Yb 微量元素判别图显示 5 件样品为同碰撞花岗岩与火山弧花岗岩的过渡类型, 1 件为火山弧花岗岩, 1 件样品为同碰撞花岗岩、火山弧花岗岩和板内花岗岩三者的过渡类型。

对材玛岩体主量元素、稀土元素和微量元素的特征分析表明, 该岩体可能形成于班-怒特提斯洋向北的俯冲作用。岩体的物质来源主要为俯冲带幔源岩浆并部分混入了地壳物质, 为洋陆汇聚时期的岛弧型岩浆岩。

5 结论

(1) 材玛成矿岩体年龄为中侏罗世(163 ~ 165Ma)。

(2) 材玛岩体可能形成于班-怒特提斯洋向北的俯冲作用, 其物质来源主要为俯冲带幔源岩浆并部分混入了地壳物质, 为洋陆汇聚时期的岛弧型岩浆岩。

本文在成文过程中得到了成都地调中心陈华安研究员, 王保弟工程师, 黄翰萧助理工程师和王冬兵助理工程师的帮助, 在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 芮宗瑶, 李光明, 王龙生. 青藏高原的金属矿产资源[J]. 地质通报, 2004, 23(1): 20-23.
- [2] 冯晔, 廖六根, 徐平. 西藏班公湖蛇绿岩地质特征及形成时代[J]. 资源调查与环境, 2005, 26(3): 185-192.
- [3] 李光明, 李金祥, 秦克章, 等. 西藏班公湖带多不杂超大型富金斑岩铜矿的高温高盐高氧化成矿流体: 流体包裹体证据[J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 935-952.
- [4] 李德威. 青藏高原及邻区三阶段构造演化与成矿演化[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2008, 33(6): 723-742.
- [5] 廖六根. 西藏日土地区岩浆岩特征及构造环境与成因探讨[D]. 武汉: 中国地质大学, 2005.
- [6] 曹圣华, 邓世权, 肖志坚, 等. 班公湖-怒江结合带西段中特提斯多岛弧构造演化[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(4): 25-33.
- [7] 曲晓明, 王瑞江, 辛洪波, 等. 西藏西部与班公湖特提斯洋盆俯冲相关的火成岩年代学和地球化学[J]. 地球化学, 2009, 38(6): 523-535.
- [8] 张玉修. 班公湖-怒江缝合带中西段构造演化[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2007.
- [9] 冯国胜, 廖六根, 陈振华, 等. 西藏西部日土县材玛铁多金属矿地质特征及找矿意义[J]. 地质通报, 2006, 25(1-2): 267-272.
- [10] 田毅. 西藏班公湖-怒江成矿带西段铜(金)、铁矿床岩石地球化学特征研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [11] 刘颖, 刘海臣, 李献华. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素[J]. 地球化学, 1996, 25(6): 552-558.
- [12] 路远发. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J]. 地球化学, 2004, 33(5): 459-464.
- [13] LUDWIG K R. Userps manual for Isoplot 3.0: A geochronological toolkit for Microft excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication, No. 4, 2003, 1-70.
- [14] 陈良忠. 岩浆岩分类命名的袖珍计算机程序设计[J]. 地质与勘探, 1989, 25(2): 23-28.
- [15] 刘宝良. CIPW 标准矿物计算法应用时存在问题的探讨[J]. 地质与资源, 2001, 10(3): 180-184.
- [16] 赵珊茸, 边秋娟, 凌其聪. 结晶学及矿物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [17] 曾广策. 简明光性矿物学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社

- 社 2004.
- [18] 常丽华, 曹林, 高福红. 火成岩鉴定手册 [M]. 北京: 地质出版社 2009.
- [19] 路凤香, 桑隆康, 邬金华, 等. 岩石学 [M]. 北京: 地质出版社 2002.
- [20] 刘昌实. 岩石化学与多元统计 [M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [21] ERIC A K M. Naming materials in the magma/igneous rock system [J]. *Earth-Science Reviews*, 1994, 37: 215 - 224.
- [22] PECCERILLO R, TAYLOR S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1976, 58: 63 - 81.
- [23] MIDDLEMOST E A K. *Magmas and Magmatic Rocks* [M]. London: Longman, 1985. 1 - 266.
- [24] SUN S S, MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. *Geological Society*, 1989, 42: 313 - 345.
- [25] LIU Y S, HU Z C, GAO S et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. *Chemical Geology*, 2008, 257(2008): 34 - 43.
- [26] YUAN H L, GAO S, DAIA M N et al. Simultaneous determinations of U-Pb age, Hf isotopes and trace element compositions of zircon by excimer laser-ablation quadrupole and multiple-collector ICP-MS [J]. *Chemical Geology*, 2008, 247(1-2): 100 - 118.
- [27] YUAN H L, GAO S, LIU X M et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2007, 28(3): 353 - 370.
- [28] RUBATTO D. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism [J]. *Chemical Geology*, 2002, 184: 123 - 138.
- [29] 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 - 1605.
- [30] WHALEN J B, CURRIE K L, CHAPPELLE B W. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1987, 95: 407 - 419.
- [31] DEFANT M J, DRUMMOND M S. Derivation of some modern arc magmas by of young subducted lithosphere [J]. *Nature*, 1990, 347: 662 - 665.
- [32] PEARCE J A, HARRIS N B W, TINDLE A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25: 956 - 983.
- [33] 冯国胜, 陈振华, 廖六根, 等. 西藏日土地区弗野玢岩铁矿的地质特征及找矿意义 [J]. *地质通报*, 2007, 26(8): 1041 - 1047.
- [34] 李金祥, 李光明, 秦克章, 等. 班公湖带多不杂富金斑岩铜矿床斑岩-火山岩的地球化学特征与时代: 对成矿构造背景的制约 [J]. *岩石学报*, 2008, 24(3): 531 - 543.
- [35] 余宏全, 李进文, 马东方, 等. 西藏多不杂斑岩铜矿床辉钼矿 Re-Os 和锆石 U-Pb SHRIMP 测年及地质意义 [J]. *矿床地质*, 2009, 28(6): 737 - 746.
- [36] 谢国刚, 谢琳, 曹圣华, 等. 西藏西部班公湖铁铜多金属矿床的成矿特征与远景评估 [J]. *地质通报*, 2009, 28(4): 538 - 545.
- [37] 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 等. 班公湖-怒江带-羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景 [J]. *地质通报*, 2011, 30(8): 1261 - 1274.

Geochemistry and geochronology of the Caima granites in the western part of the Bangong Lake-Nujiang metallogenic zone, Xizang

ZHANG Zhang, GENG Quan-ru, PENG Zhi-min, CONG-Feng, GUAN Jun-lei

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The caima granites are delineated as important metallogenic rock masses in the Rutog-Dobza magmatic arc zone in the western part of the Bangong Lake-Nujiang metallogenic zone, Xizang. The zircon LA-ICP-MS and U-Pb isotopic values of the medium-grained biotite adamellite were determined for the Caima granites, indicating an age of 165.1 ± 1.5 Ma ($n = 17$, MSWD = 0.86). The whole-rock Rb-Sr isotopic ages are dated at 163.5 ± 2 Ma ($n = 5$). The analytical results suggest that the ages of the Caima granites should be traced back to the Middle Jurassic (163 to 165 Ma) rather than the formerly dated the Early Cretaceous. The Caima granites belonging to the high-K calc-alkaline series have the following characteristics: the enrichment of LREE, $\Sigma\text{REE} = 109.5 \times 10^{-6} - 225.2 \times 10^{-6}$, LREE/HREE ratios = 2.37 - 7.77, depletion of Eu, highly depletion of Ba, Nb, P and Ti, enrichment of Th, U and Pb, and slightly depletion of Zr. It is inferred that the Caima granites may be the products of the northward subduction of the Bangong Lake-Nujiang oceanic crust and originated from partly melting of the mantle above the subduction zone and the melting and mixing of the crustal matter.

Key words: western part of the Bangong Lake-Nujiang metallogenic zone; Caima granites; zircon LA-ICP-MS and U-Pb dating; geochemistry