

# 冈底斯带桑巴区早白垩世后碰撞花岗岩类的确定及构造意义

和钟铨, 杨德明, 王天武

(吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130026)

**摘要:** 桑巴区花岗岩体位于冈底斯带嘉黎断裂之北, 呈近东西向分布于桑巴、建多等地。岩石类型主要有巨斑黑云母花岗岩、黑云母花岗岩及斑状花岗闪长岩。其中斑状花岗闪长岩(TW1530)的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $117.2 \pm 1.6$  Ma, 黑云母花岗岩(TW1637)年龄为  $121.2 \pm 1.7$  Ma, 表明桑巴区花岗岩体形成于早白垩世。桑巴区花岗岩类为高钾钙碱性岩, 根据地球化学特征和微量元素构造判别图解, 确定该时代的花岗岩具后碰撞花岗岩特征, 形成于从挤压体制向拉张体制转变的构造环境。早白垩世后碰撞花岗岩的出现预示着班公湖-怒江缝合带主造山作用的结束, 冈底斯火山岩浆弧带至此进入造山后伸展构造环境, 并一直持续至晚白垩世竟柱山组沉积之前。

**关键词:** SHRIMP 测年 地球化学 构造意义 花岗岩类 桑巴区 西藏

中图分类号: P588.12<sup>+</sup>1; P542

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2006)03-0185-09

## The determination of early Cretaceous post-collision granitoids in Sangba area of Gangdese tectonic belt and its tectonic significance

HE Zhong-hua, YANG De-ming and WANG Tian-wu

(College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130026, China)

**Abstract:** Sangba granitoids are exposed near Sangba and Jianduo areas to the north of Jiali fault in Gangdese tectonic belt. The main rock types include granitite, porphyritic granitite and porphyritic granodiorite. The SHRIMP U-Pb dating results of zircons from porphyritic granodiorite (TW1530) and granitite (TW1637) are  $117.2 \pm 1.6$  Ma and  $121.2 \pm 1.7$  Ma, respectively, suggesting that Sangba granitoids were formed in early Cretaceous. Sangba granitoids belong to high K and calc-alkalic rocks. According to geochemistry and the trace element discrimination diagrams for tectonic interpretation, the early Cretaceous granitoids are considered to be of the post-collision type formed in a transitional tectonic setting from the compressional system to the tensional system. The appearance of the early Cretaceous Sangba granitoids marked the end of the main orogenic event in Bangonghu-Nujiang suture. From early Cretaceous, Gangdese tectonic belt entered the tensional stage until the deposition of Jingzhushan Formation in late Cretaceous.

**Key words:** SHRIMP dating; geochemistry; tectonic significance; granitoids; Sangba area; Tibet

造山带的形成过程往往伴随大量花岗岩的形成, 它们代表了造山过程不同阶段的演化产物。近年来, 已成功地将一些大陆造山带内不同成因类型

的花岗岩与碰撞造山作用的不同阶段相联系, 并将其广泛应用于探讨和恢复大陆造山带的形成过程中 (Maniar and Piccoli, 1989)。Liegeois (1998) 提出后

收稿日期: 2005-07-08; 修订日期: 2005-11-21

基金项目: 国土资源部地质调查项目(H46002002); 吉林大学“985”工程资助项目

作者简介: 和钟铨(1968-), 男, 副教授, 主要从事构造地质的教学和科研工作, E-mail: zhezhonghua@126.com。

碰撞构造环境和相关术语,认为后碰撞作用是板块构造学说中整个造山旋回的一个阶段,而后造山岩浆作用却是该过程中的一个重要构造事件,通常发育于主碰撞之后的“松弛阶段”。后碰撞岩浆作用的研究对板块构造活动过程的完整性以及花岗岩与板块构造之间关系的研究有着非常重要的意义。

桑巴区花岗岩体位于申扎-嘉黎构造带和班公湖-怒江缝合带之间,与其西侧的日土-班戈-洛隆错花岗岩体一起构成冈底斯火山岩浆弧的北部岩带(耿全如等,2001)。基于对班戈岩体的研究,以前对该岩带的构造环境提出过不同的认识:刘振声等(1989)认为它是与冈底斯岩浆弧相似的花岗岩带;金成伟(1985)认为它属于侏罗纪弧后盆地闭合引起洋壳俯冲形成的似岛弧钙碱性岩浆系列又加入造山运动中上部地壳部分熔融形成的花岗岩;杨树锋(1986)认为它形成于大陆板内环境。桑巴区花岗岩体虽与班戈岩体属同一岩带,但由于地理位置比较偏僻,研究程度相对较低,除在1:100万区调工作中对桑巴岩体进行过K-Ar测年(112.7 Ma)外(西藏自

治区地质矿产局,1993),很少对其进行专门研究。笔者在进行西藏门巴区幅(1:25万)区域地质调查中,查清了该区出露花岗岩体的范围和岩石类型,并进行了系统采样,首次对该区岩体进行地球化学分析和SHRIMP锆石U-Pb测年,所获资料和数据填补了该区花岗岩研究的空白。

### 1 地质背景及岩石学特征

桑巴区岩体位于嘉黎断裂之北,呈近东西向分布于桑巴、建多等地(图1),岩体均呈岩基状侵位于中侏罗世马里组中,出露面积都在100 km<sup>2</sup>以上。岩体的接触带附近热接触变质现象比较明显,有不同程度的硅化、绿泥石化、绢云母化,在马里组的千枚岩中发现有新生的变质矿物十字石。白垩纪花岗岩的岩石类型主要有巨斑黑云母花岗岩、(含斑)黑云母花岗岩及斑状花岗闪长岩等。巨斑花岗闪长岩呈灰色,含有钾长石和少量斜长石斑晶,斑晶多在2.0~5.0 cm之间。岩相学研究表明,岩石由石英

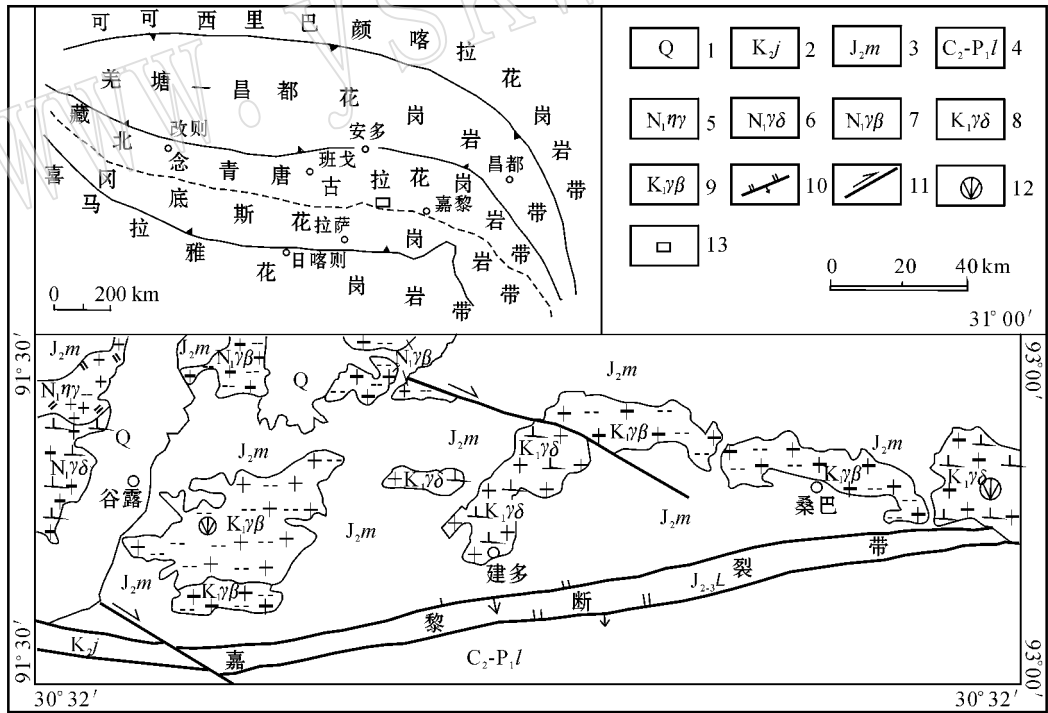


图 1 桑巴区花岗岩地质略图(据 1:25 万门巴区幅地质图)

Fig. 1 Geological sketch map of the granitoids in Sangba area

1—第四系;2—竟柱山组;3—马里组;4—来姑组;5—新近纪二云母花岗岩;6—新近纪花岗闪长岩;7—新近纪花岗岩;8—早白垩世花岗闪长岩;9—早白垩世花岗岩;10—逆断层;11—走滑断层;12—采样位置;13—研究区位置

1—Quaternary; 2—Jingzhusan Formation; 3—Mali Formation; 4—Laigu Formation; 5—Neogene binary granite; 6—Neogene granodiorite; 7—Neogene granite; 8—early Cretaceous granodiorite; 9—early Cretaceous granite; 10—reverse fault; 11—strike-slip fault; 12—sampling location; 13—study area

(28%)、钾长石(25%)、斜长石(39%)和黑云母(7%)组成,局部可见极少量的角闪石。岩石中常含有浑圆状大小不等的细粒闪长岩包体。巨斑黑云母花岗岩和含斑黑云母花岗岩呈灰白色,块状构造,矿物组成基本相同,主要有石英(27%)、钾长石(40%)、斜长石(27%)、黑云母(5%~10%),只是巨斑黑云母花岗岩所含斑晶巨大。岩石中的斑晶均为钾长石,呈半自形板状,粒度一般在2~3 cm之间,巨斑则可达8 cm左右,主要为条纹长石。基质中的钾长石主要为条纹长石和微斜长石,条纹结构和格子双晶均较发育,与斜长石接触的矿物边部可见少量交代形成的蠕英结构。大部分钾长石均有不同程度的高岭石化。斜长石呈半自形板状,多为基质矿物,双晶发育,双晶纹细密,为酸性斜长石,绢云母化作用较强。黑云母呈片状,具红褐-黄色多色性,沿解理和边部有不同程度的绿泥石化。岩石学和矿物学研究表明,桑巴区花岗岩类岩石与板块主碰撞之后应力相对松弛的后碰撞阶段形成的高钾钙碱性花岗岩(KCG)的岩性特点和矿物组合相一致(Barbarin, 1999)。

## 2 花岗岩体的年代

### 2.1 样品测试方法

所选锆石的母岩为斑状花岗闪长岩(TW1530)和黑云母花岗岩(TW1637),野外采样位置见图1。将野外所采样品破碎至80~120目,用水淘洗粉尘后,先用磁铁除去磁铁矿等磁性矿物,再用重液选出锆石,最后在双目镜下精选,将样品锆石和标准TEM(年龄为417 Ma)在玻璃板上用环氧树脂固定、抛光,然后进行反射光和透射光照射,并进行背散射图象分析以确定单颗粒锆石的形态、结构并标注测年点。SHRIMP锆石U-Pb同位素分析由北京离子探针中心完成,详细流程参见宋彪等(2002)的文献,用Isoplot软件处理数据,用 $^{204}\text{Pb}$ 进行普通铅校正,年龄加权平均值为95%置信度误差(1 $\delta$ )。

### 2.2 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年测定结果

样品TW1530采自桑巴区舍格拉附近的斑状花岗闪长岩中,分离出来的单颗粒锆石为柱状自形晶,长度150~400  $\mu\text{m}$ ,长宽比为2:1~4:1,柱面发育,在背散射照片中具明显的环带结构(图2),显示岩浆结晶成因特点(Paterson *et al.*, 1992)。分析结果见表1,年龄图谱示于图3,除4.1点年龄较大和6.1、

17.1两点年龄较小以外,其余13个点的年龄较一致,加权平均值为 $117.2 \pm 1.6$  Ma。这一年龄代表了斑状花岗闪长岩的形成年龄,证明该岩体形成于早白垩世。

样品TW1637选自谷露东侧的黑云母花岗岩中,分离出来的单颗粒锆石为短柱状自形晶,长度100~300  $\mu\text{m}$ ,长宽比为1.5:1~3:1,柱面发育,在背散射下具明显的环带结构(图2),亦显示了岩浆结晶成因特点(Paterson *et al.*, 1992)。分析结果见表1,年龄图谱见图3。15个点的加权年龄平均值为 $121.2 \pm 1.7$  Ma。

## 3 岩石地球化学特征

岩石地球化学主元素由河北省地质矿产局廊坊实验室采用聚环氧乙炔、络合物滴定法、火焰光度法、重量法、电位法等方法测定,稀土元素和微量元素由中国地质科学院地球物理地球化学勘探研究所测定,其中Ba、Ga、Rb、Sr、Zr元素由压片法X射线荧光光谱法(XRF)测定,Ge由原子荧光光谱法(AFS)测定,其余元素由等离子体质谱法(ICP-MS)测定。

### 3.1 主元素地球化学特征

岩石地球化学分析结果列于表2。从表中可以看出,区内早白垩世花岗岩富 $\text{SiO}_2$ (68.62%~78.50%)、 $\text{K}_2\text{O}$ (4.24%~6.62%)、 $\text{Na}_2\text{O}$ (2.20%~3.01%)相对贫Fe、Mg、Ca。 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 的含量在7.12%~9.24%之间, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 不低于1.47,相对富钾。在 $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图解(图4)上,岩石主要属高钾钙碱性系列或钾玄岩系列,与后碰撞构造环境形成的花岗岩特征类似。 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 在10.73%~15.59%之间,含量较高,ANCK在0.94~1.22之间,大部分大于1.0。CIPW计算结果表明,几乎所有样品都含有标准矿物刚玉分子,部分样品含量超过1.1,在ANK-ACNK图解(图5)中,该时代的黑云母花岗岩均落入过铝质花岗岩区内,而花岗闪长岩落入次铝质花岗岩区。按照Manial等(1989)的分类,其构造环境上相当于大陆碰撞花岗岩类(CCG)和后造山花岗岩类(POG)的交汇区。

### 3.2 微量元素和稀土元素特征

从表2中可以看出,早白垩世花岗岩的稀土元素总量变化较大,大部分岩石的稀土元素总量较高,大于 $181.88 \times 10^{-6}$ 。花岗岩的稀土元素配分曲线为

表 1 桑巴花岗闪长岩(TW1530)和黑云母花岗岩(TW1637)的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分析结果  
Table 1 SHRIMP U-Pb zircon analytical results of Sangba granodiorite(TW1530) and granite(TW1637)

	$^{206}\text{Pb}_c/\%$	U	Th	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		
		$\omega_B/10^{-6}$		比值		年龄/Ma							
TW1530													
17.1	0.51	720	226	10.7	0.32	0.1277	5.1	0.01712	1.8	109.4	$\pm 1.9$	95.0	$\pm 6.7$
16.1	1.44	549	309	8.53	0.58	0.136	11	0.01779	2.0	113.6	$\pm 2.2$	111	$\pm 13$
15.1	1.75	652	345	10.9	0.55	0.140	7.8	0.01925	2.0	122.9	$\pm 2.5$	127.3	$\pm 7.3$
13.1	2.73	535	123	8.30	0.24	0.146	23	0.01766	2.5	112.9	$\pm 2.8$	128	$\pm 47$
12.1	1.87	729	279	0.40	11.8	0.106	27	0.01847	2.3	118.0	$\pm 2.7$	116	$\pm 26$
11.1	2.55	579	293	9.13	0.52	0.129	20	0.01803	2.3	115.2	$\pm 2.6$	124	$\pm 19$
10.1	0.74	790	155	12.8	0.20	0.132	17	0.01860	2.1	118.8	$\pm 2.5$	89	$\pm 41$
9.1	6.79	205	64	3.77	0.32	0.196	39	0.0204	7.1	130.1	$\pm 9.2$	181	$\pm 91$
8.1	2.76	487	246	7.69	0.52	0.138	24	0.01796	2.7	114.7	$\pm 3.0$	121	$\pm 23$
7.1	0.26	427	274	6.89	0.66	0.143	7.2	0.01836	2.2	117.3	$\pm 2.5$	96	$\pm 18$
6.1	0.53	770	549	11.3	0.74	0.1231	5.6	0.01681	2.0	107.5	$\pm 2.1$	100.2	$\pm 4.0$
5.1	0.29	911	636	13.9	0.72	0.126	12	0.01758	2.5	112.3	$\pm 2.8$	105.0	$\pm 8.6$
4.1	2.08	518	137	11.8	0.27	0.257	4.7	0.02627	2.0	167.2	$\pm 3.2$	200	$\pm 14$
3.1	3.75	311	162	5.21	0.54	0.197	7.7	0.01905	4.7	121.6	$\pm 5.6$	140.7	$\pm 9.6$
2.1	—	531	480	8.21	0.93	0.146	20	0.01762	2.5	112.6	$\pm 2.7$	91	$\pm 15$
1.1	1.99	1213	166	20.2	0.14	0.167	6.7	0.01923	1.7	122.8	$\pm 2.1$	187	$\pm 15$
TW1637													
1.1	18.58	108	62	2.15	0.59	0.446	21	0.0213	5.3	135.9	$\pm 7.1$	283	$\pm 66$
2.1	2.17	1056	651	17.9	0.64	0.1647	3.4	0.01966	1.6	125.5	$\pm 2.0$	144.0	$\pm 3.9$
4.1	1.71	639	332	10.1	0.54	0.1456	4.8	0.01813	1.8	115.9	$\pm 2.0$	123.3	$\pm 5.3$
5.1	2.01	622	326	9.71	0.54	0.1385	5.7	0.01793	2.0	114.6	$\pm 2.3$	122.7	$\pm 5.2$
6.1	1.33	934	511	15.4	0.57	0.141	10	0.01904	1.7	121.6	$\pm 2.1$	126	$\pm 10$
7.1	0.85	1639	663	27.6	0.42	0.1475	3.7	0.01950	1.5	124.5	$\pm 1.8$	131.7	$\pm 4.8$
8.1	1.91	1025	541	17.0	0.55	0.155	9.2	0.01911	1.8	122.0	$\pm 2.1$	135.8	$\pm 9.5$
9.1	8.52	2065	1077	37.5	0.54	0.3525	2.8	0.02109	1.4	134.5	$\pm 1.9$	256.8	$\pm 6.9$
10.1	1.15	1250	629	21.1	0.52	0.1502	3.3	0.01956	1.5	124.9	$\pm 1.9$	133.7	$\pm 3.7$
11.1	0.60	1711	859	27.9	0.52	0.1422	3.5	0.01891	1.4	120.8	$\pm 1.7$	123.6	$\pm 3.2$
12.1	1.22	1089	594	18.3	0.56	0.1537	5.6	0.01941	1.5	123.9	$\pm 1.9$	131.8	$\pm 6.3$
13.1	1.86	1623	890	27.5	0.57	0.1858	2.8	0.01963	1.4	125.3	$\pm 1.8$	144.4	$\pm 4.0$
14.1	1.52	907	446	14.6	0.51	0.132	9.0	0.01857	1.6	118.6	$\pm 1.9$	128.4	$\pm 4.3$
16.1	1.07	1855	950	30.5	0.53	0.1413	3.2	0.01906	1.9	121.7	$\pm 2.3$	130.9	$\pm 3.6$
15.1	2.33	645	359	10.7	0.57	0.150	14	0.01900	2.0	121.3	$\pm 2.4$	126	$\pm 15$

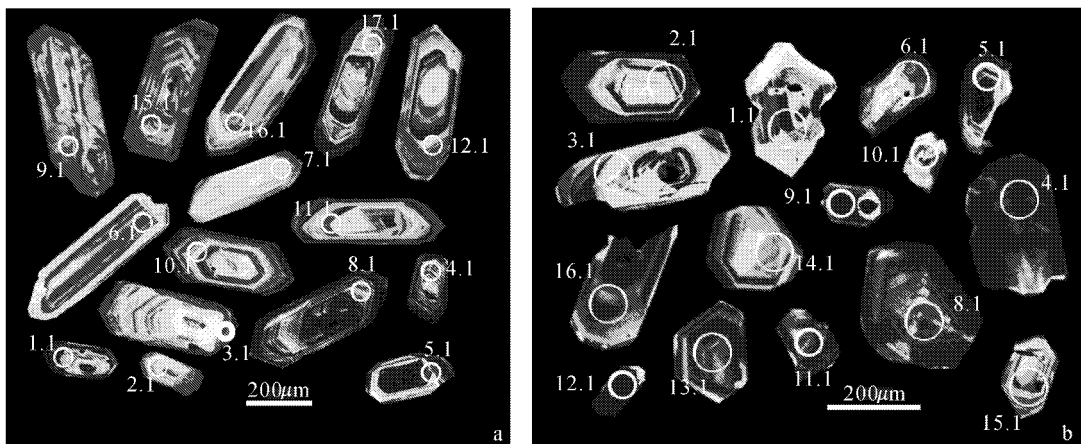


图 2 花岗闪长岩(a, TW1530)和黑云母花岗岩(b, TW1637)锆石的背散射图像

Fig. 2 BSE images of zircons from granodiorites(a, TW1530) and granite(b, TW1637)

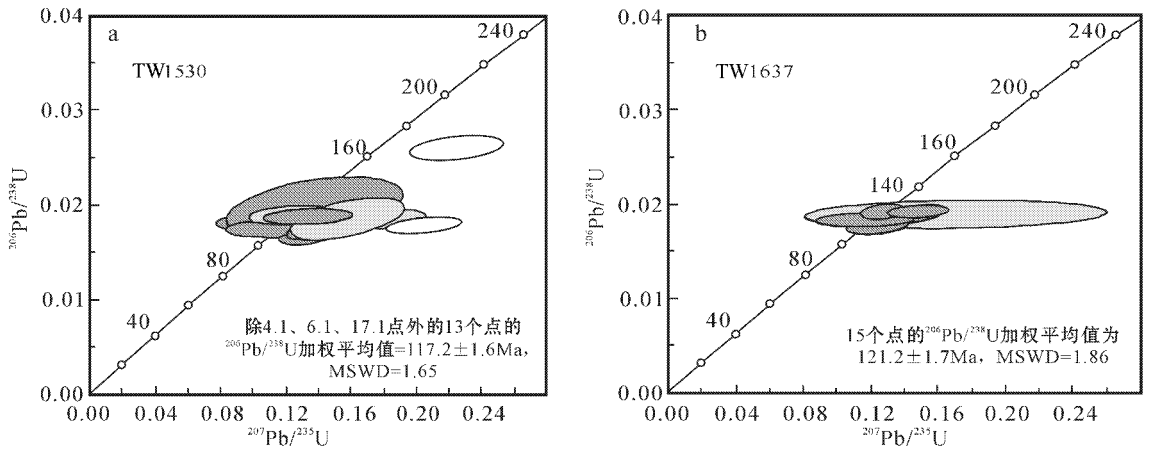


图 3 花岗闪长岩(TW1530)和黑云母花岗岩(TW1637)锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig 3 U-Pb concordia diagrams of zircons from granodiorites(TW1530) and granite(TW1637)

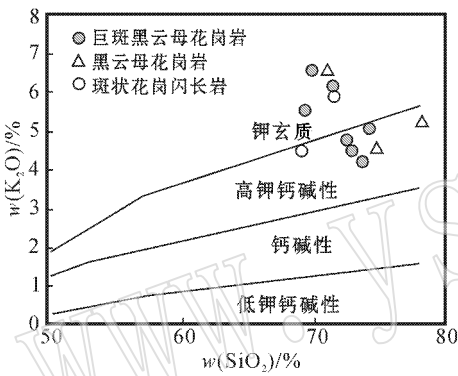


图 4 桑巴区花岗岩的  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  图解

Fig. 4  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  diagram of Sangba granitoids

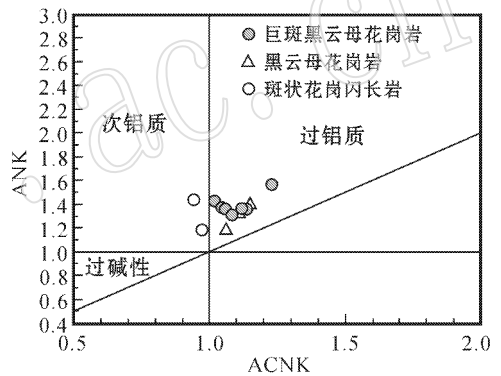


图 5 桑巴区花岗岩的 ANK-ACNK 图解

Fig. 5 ANK versus ACNK diagram of Sangba granitoids

平缓的右倾型(图 6),且斜率中等,轻稀土元素相对富集,重稀土元素相对亏损,但富集和亏损都不十分明显。 $\delta\text{Eu}$  变化于 0.22~0.67 之间,具有明显的负销异常。岩体相对富集不相容元素(LILE),贫高场强元素(HFSE),在微量元素蛛网图(图 7)上表现为 Rb、Th 富集, Nb 与 Ta 亏损, Ba、Sr 和 Ti 强烈亏损,显示后碰撞花岗岩的特征(Kister *et al.*, 1998)。

## 4 讨论

### 4.1 花岗岩形成环境

桑巴区早白垩世花岗岩主要由巨斑黑云母花岗岩、(含斑)黑云母花岗岩及斑状花岗闪长岩等组成,矿物组合为斜长石、钾长石、石英、黑云母和角闪石,与板块主碰撞之后应力相对松弛的后碰撞阶段形成的高钾钙碱性花岗岩(KCG)的岩性特点和矿物组合

相一致(Barbarin, 1999)。KCG 是混合源的钙碱性花岗岩类,既含有地壳成分也含有地幔成分。岩石富 LREE 和 LILE,亏损 Nb、Ta、Ti、Y,类似于岛弧/活动大陆边缘钙碱性岩石的特征,指示源区性质很可能与受到早期俯冲作用改造的岩石圈富集地幔有关,或是源于软流圈的基性岩浆与地壳物质混合作用的结果。其中黑云母花岗岩均含有标准矿物刚玉分子,且含量大于 1.0, A/CNK 值大于 1.0,具有过铝质花岗岩的特征,显示 S 型花岗岩特点,证明其岩浆源主要来自于地壳增厚重熔作用。而花岗闪长岩不含或含少量的刚玉分子(0~0.36), A/CNK 在 0.94~0.97 之间,为次铝质花岗岩,岩石中常含有浑圆状大小不等的细粒闪长岩包体,显示出 I 型花岗岩特征,其源岩中地幔成分是主要的。SHRIMP U-Pb 定年结果表明,黑云母花岗岩早于花岗闪长岩结晶,揭示随着扩张作用增强,早白垩世花岗岩中幔源

表 2 桑巴花岗岩体岩石主量元素 ( $w_B/\%$ )、稀土元素和微量元素 ( $w_B/10^{-6}$ ) 含量Table 2 Major element ( $w_B/\%$ ) and REE and trace element ( $w_B/10^{-6}$ ) components of Sangba granitoids

样号 岩性	S-8	p12yq17	YQ1318	YQ1590	YQ1667	YQ1677	YQ1693	YQ1405	P12YQ8	YQ1637	YQ1427	YQ1530
	巨斑状黑云母花岗岩						黑云母花岗岩			斑状花岗闪长岩		
SiO <sub>2</sub>	74.12	73.42	72.5	72.24	69.8	71.6	68.62	70.18	75.34	78.5	68.92	71.86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.15	13.27	13.39	13.36	15.59	14.68	15.58	15.22	12.75	10.73	14.33	13.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	0.55	0.73	1.18	0.44	0.47	0.68	0.5	0.48	0.51	1.03	0.53
FeO	1.78	1.84	2.16	1.94	0.68	1.37	2.32	1.63	1.37	1.17	2.44	1.75
MgO	0.39	0.4	0.63	0.48	0.66	0.71	1.03	0.88	0.43	0.14	1.22	0.46
CaO	1.14	2.02	1.66	1.55	1.35	1.11	1.51	1.35	1.07	0.63	2.85	1.31
Na <sub>2</sub> O	2.74	2.88	3	2.81	2.62	2.55	2.39	2.2	2.74	2.06	3.01	2.74
K <sub>2</sub> O	5.15	4.24	4.5	4.8	6.62	6.2	5.55	6.62	4.66	5.15	4.66	6
MnO	0.03	0.03	0.051	0.043	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.06	0.03
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.3	0.36	0.4	0.27	0.23	0.41	0.25	0.15	0.09	0.67	1.32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.16	0.06	0.07	0.15	0.15	0.25	0.16	0.07	0.01	0.09	0.07
CO <sub>2</sub>	0.12	0.08	0.24	0.1	0.25	0.42	0.26	0.31	0.15	0.08	0.09	0.26
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.68	0.9	0.8	0.93	0.78	0.74	1	0.92	0.64	0.58	0.57	0.63
总和	99.79	99.76	100.08	99.9	100.25	99.93	99.64	100.25	99.88	99.68	99.94	99.97
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	1.88	1.47	1.5	1.71	2.47	2.43	2.32	3.01	1.7	2.5	1.55	2.19
ANCK	1.08	1.02	1.04	1.05	1.21	1.13	1.22	1.15	1.11	1.06	0.94	0.97
La	47.71	46	52	44	40	36	77	45	30	106	44	38
Ce	98.49	91	105	89	82	74	158	91	61	194	88	74
Pr	12.02	10.6	12.3	10.4	9.8	8.9	19.7	11	7.2	21.3	9.3	8.7
Nd	43.33	38.7	44.4	38.2	35	32.1	70.8	39.5	25.9	71.8	33.1	31.3
Sm	8.48	8.08	9.42	8.26	7.01	6.56	14.02	7.96	5.68	10.66	6.07	6.63
Eu	0.7	0.99	0.83	0.97	0.98	1	1.29	1.13	0.43	0.72	1.12	1.13
Gd	7.62	8.2	9.7	9.2	5.6	5.2	11.4	6.3	5.9	9.1	5.8	6.5
Tb	1.14	1.29	1.54	1.67	0.64	0.59	1.3	0.7	0.97	1.03	0.78	1
Dy	6.05	7.78	9.64	11.72	2.79	2.47	5.41	3.03	5.69	5.11	4.42	6.05
Ho	1.13	1.54	1.94	2.66	0.37	0.34	0.73	0.41	1.02	0.86	0.81	1.17
Er	2.89	4.52	5.79	8.24	0.91	0.82	1.75	0.99	2.67	2.49	2.32	3.32
Tm	0.4	0.72	0.97	1.39	0.11	0.1	0.2	0.12	0.4	0.35	0.36	0.49
Yb	2.49	4.49	6.37	8.98	0.6	0.55	1.13	0.72	2.37	2.27	2.35	3.06
Lu	0.37	0.71	1.01	1.4	0.09	0.08	0.16	0.11	0.35	0.36	0.37	0.46
Y	32.12	45.2	58.4	79	12.2	10.2	21.3	12.2	33.3	24.2	24.3	33.1
ΣREE	264.92	269.62	319.31	315.09	185.9	169.37	362.89	220.17	181.88	426.05	223.1	212.91
δEu	0.26	0.37	0.26	0.34	0.22	0.51	0.3	0.47	0.23	0.05	0.57	0.56
Rb	363	224	285	246	370	357	379	331	382	225	268	289
Sr	69	96	79	101	119	120	108	128	51	43	132	110
Nb	20.4	14.8	17	17.6	17.9	16.8	30.5	18	14.8	12	14.5	13.1
Zr	159	214	217	219	132	114	202	143	137	190	207	182
Ti	1679	1798	2158	2398	1619	1379	2458	180	899	540	1798	7913
Hf	5.8	8.05	7.92	9.54	3.94	3.21	6.26	4.04	5.48	8.03	7.78	7.2
Th	38.7	27.3	34.1	30.2	27.6	25.9	45.8	36.2	26.5	36.1	22.9	21.6
U	1.8	1.1	6	5	4.6	4.7	8.3	5.5	2.4	2	2.7	4.3
Ba	263	278	206	376	356	355	79	331	131	194	268	514
Ga	28.1	20.4	19.2	20.4	19	19	21.6	18.1	20.5	15.9	18	19.2
Ta	1.8	1.53	2	1.99	2.26	1.68	3.21	1.67	2.25	1.59	1.75	1.51

组分增加。

岩体地球化学特征显示,岩石富 K<sub>2</sub>O 和 Na<sub>2</sub>O, 而相对贫铁、镁、钙,为高钾钙碱性花岗岩。在 FeO<sup>T</sup>/(FeO<sup>T</sup>+MgO)-SiO<sub>2</sub> 图解中,早白垩世花岗

岩的投影点落入后造山花岗岩区内和岛弧-大陆碰撞花岗岩区内(图 8),而在 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> 图解中,白垩纪花岗岩的投影点大部分落入后造山花岗岩区(图 9)内。花岗岩类的微量元素和稀土元素表现为

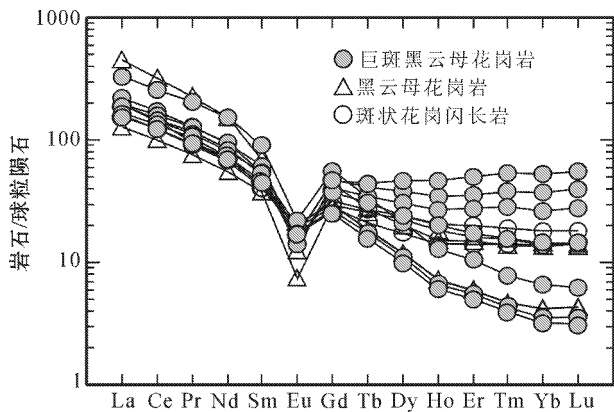


图 6 桑巴区花岗岩的稀土元素配分型式图

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of the Sangba granitoids

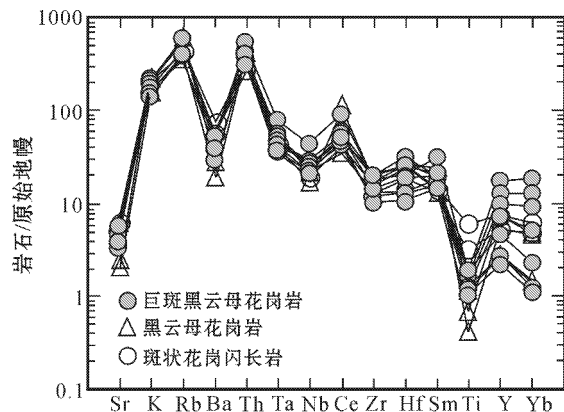


图 7 桑巴区花岗岩的微量元素蛛网图

Fig. 7 spidergram of the trace element for Sangba granitoids normalized against primitive mantle

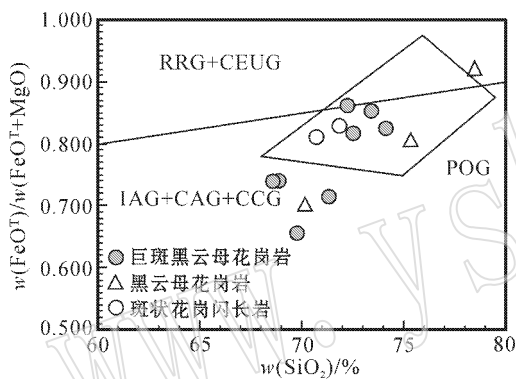


图 8  $FeO^T/(FeO^T + MgO) - SiO_2$  图解

Fig. 8  $FeO^T/(FeO^T + MgO) - SiO_2$  diagram of Sangba granitoids

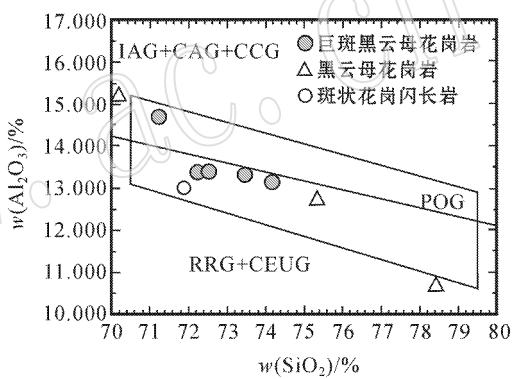


图 9  $Al_2O_3 - SiO_2$  图解

Fig. 9  $Al_2O_3 - SiO_2$  diagram of Sangba granitoids

富集大离子亲石元素和轻稀土元素,相对亏损高场强重稀土元素,也具后碰撞花岗岩的特征。在 Rb - Y + Nb (图 10) 和 Nb - Y 图解 (图 11) 中 (Pearce *et al.*, 1984), 白垩纪花岗岩的投影点均落入同碰撞花岗岩和板内花岗岩的交界线附近, 还有一部分样品投影点落入板内花岗岩区内, 说明该时期的花岗岩既有同碰撞花岗岩的特征, 又有板内花岗岩的特征。这一区域被 Pearce 等 (1984) 圈定为后碰撞花岗岩叠加的区域, 显示构造体制转换下花岗岩的地球化学特征。

#### 4.2 构造意义

冈底斯-念青唐古拉火山岩浆弧带位于班公湖-怒江缝合带和雅鲁藏布江缝合带之间, 是青藏高原上岩浆活动期次最多、规模最大、岩浆岩类型最复杂的一个构造岩浆岩带 (李廷栋, 2002)。根据多年研

究, 我国绝大多数科学家 (肖序常等, 1988; 余光明等, 1990; 钟大赉等, 1996; 潘桂棠等, 1997) 认为, 冈底斯弧及其弧后地区的地形是相当和缓的, 一直到新生代初的印藏碰撞才逐渐抬升。然而, 也有一些学者认为, 该区在白垩纪即已强烈隆升 (England, 1986; Mattauer, 1986)。Murphy 等 (1997) 通过对冈底斯弧的构造变形研究, 认为雅鲁藏布江缝合带以北包括冈底斯弧在内的青藏 (高原) 南部地区, 在早白垩世一直受到强烈的压缩作用, 在 99 Ma 时即上升到 3 km 以上并一直维持到印-亚碰撞。

Barbarin (1999) 认为高钾钙碱性花岗岩 (KCG) 可以出现在各种不同的地球动力学环境中, 既可以产生在碰撞事件的主峰期分开的张弛阶段, 也可以产生在从挤压体制转变为拉张体制的过程中, 这种类型的岩石实际上指示一种构造体制的变化而不是一个特定的地球动力学环境。桑巴区早白垩世高钾钙碱性后碰撞花岗岩的发现揭示, 在早白垩世时期

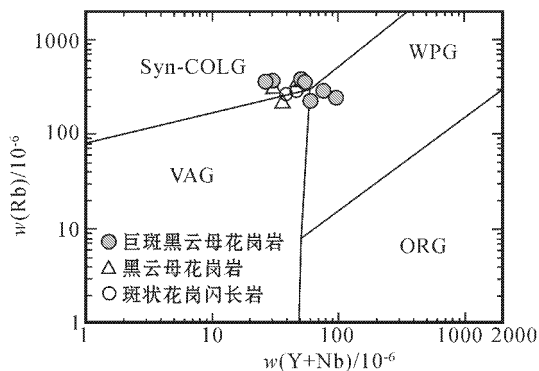


图 10 桑巴区花岗岩的 Rb - Y + Nb 图解

Fig. 10 Rb - Y + Nb diagram of Sangba granitoids

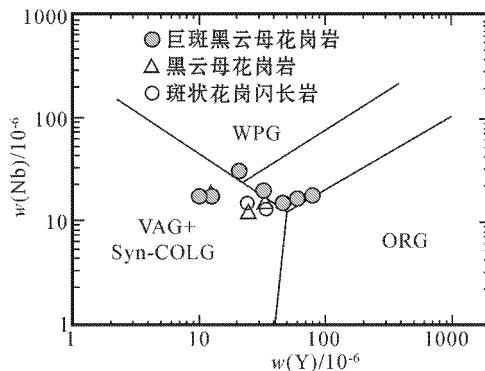


图 11 桑巴区花岗岩的 Nb - Y 图解

Fig. 11 Nb - Y diagram of Sangba granitoids

冈底斯岩浆弧带上存在一次重要的从挤压体制向拉伸体制的转换,这种体制的转换可能是冈底斯岩浆弧带北侧班公湖-怒江缝合带碰撞造山结束的标志。研究表明(赵政章等,2001)班公湖-怒江洋东段的关闭和蛇绿岩的侵位发生于中、晚侏罗世之间,由于班公湖-怒江洋的关闭和碰撞,沿班公湖-怒江带广泛分布的早、中侏罗世木嘎岗日群普遍遭受了轻度变质,构造变形强烈,具有倒转和平卧褶皱,逆冲和推覆构造发育。冈底斯地块上广泛发育的140~130 Ma 过铝质浅色花岗岩表明,在晚侏罗世时期由于新特提斯洋沿冈底斯地块南部俯冲及冈底斯地块北部班公湖-怒江洋盆的逐渐关闭碰撞已导致地壳的缩短加厚及快速隆升作用(丁林等,2003;和钟铎等,2005)。桑巴区117~121 Ma 后碰撞花岗岩的发现揭示班公湖-怒江缝合带主造山期在早白垩世也已结束,冈底斯地块进入挤压之后的应力松弛状态。前人在青藏公路附近的拉萨地体上曾发现了与桑巴花岗岩体相同时代的火山岩,尽管对它们是形成于后造山构造坍塌(Xu *et al.*, 1985)还是弧后盆地(Debon, 1986)争议颇大,但都支持早白垩世时冈底斯地块处于伸展构造环境。拉萨地体北部的早白垩世地层从上到下由川巴组、多巴组和朗山组组成,其中多巴组为碎屑岩与碳酸盐岩互层,并有火山岩和火山岩碎屑夹层。已有的火山岩夹层的K-Ar 年龄约为115 Ma,火山岩具双峰式特点,显示出伸展构造环境。张开均等(2003)根据白垩纪沉积岩特点和火山岩的地球化学特征,认为在冈底斯地块上存在早白垩世 Hauterivian 期到晚白垩世初 Cenomanian 早期的裂谷作用。晚白垩世竟柱山组为一套陆相磨拉石建造,它全方位地不整合在下伏不同时代的地

层之上,预示着在早、晚白垩世之间冈底斯地块上发生过另外一次重要的构造事件转换,结束了裂谷盆地的发育,标志着冈底斯岩浆弧的演化再次进入挤压构造环境。以上地质事实表明,冈底斯火山岩浆弧带在早白垩世并非一直处于以前普遍认为的挤压构造环境,而是处于挤压隆升后的伸展状态。

致谢:在锆石 SHRIMP 定年测试过程中得到宋彪研究员等的热情帮助,成文过程中与葛文春教授进行过有益的探讨,在此表示诚挚的感谢。

## Reference

- Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. *Lithos*, 46: 605~626.
- Debon F, Le Fort P, Sheppard S M F, *et al.* 1986. The four plutonic belts of the Transhimalaya-Himalaya: A chemical, mineralogical, isotopic and chronological synthesis along a Tibet-Nepal section[J]. *Journal of Petrology*, 27: 219~250.
- Ding Lin and Lai Qingzhou. 2003. New geological evidence of crust thickening in the Gangdese block prior to the Indo-Asian collision[J]. *Chinese Science Bulletin* 48(15): 1604~1610 (in Chinese with English abstract).
- England P and Searle M. 1986. The Cretaceous-Tertiary deformation of the Lhasa terrain and its implications for crustal thickening in Tibet[J]. *Tectonics*, 5: 1~141.
- Geng Quanru, Pan Guitang, Zheng Lailin, *et al.* 2001. The Gangdise islang arc granite zone along the Yalunzangbo Grang Canyon, Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 21(2): 16~22 (in Chinese with English abstract).
- He Zhonghua, Yang Deming and Wang Tianwu. 2005. SHRIMP U-Pb dating of zircons from two-mica granite in Baga area in Gangdise Belt[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 35(5): 302~308 (in Chinese with English abstract).



- Jin Chengwei. 1985. The Nyainqentanglha granite and its origin in Tibet [ A ] Petrology Research( 6 ) [ C ]. Beijing : Geological Publishing House , 33~44( in Chinese with English abstract ).
- Li Tingdong. 2003. New progress in the geoscience study of the Qinghai-Tibet plateau [ J ]. Geological Bulletin of China , 7 : 270~276( in Chinese with English abstract ).
- Liegeois J P. 1998. Some words on the post-collision magmatism [ J ]. Lithos , 45 : 105~107.
- Liu Zhensheng and Wang Jiemin. 1989. The oxygen and strontium isotopic characteristics of granites and its twin granites in southern Tibet [ A ]. Contribution to the Geology of the Qinghai-Xizang( Tibet ) ( 19 ) [ C ]. Beijing : Geological Publishing House , 1~15( in Chinese with English abstract ).
- Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids [ J ]. Geol. Soc. Am. Bull. , 101 : 635~643.
- Mattauer M. 1986. Intracontinental subduction , crust-mantle decollement and crustal-stacking wedge in the Himalaya and other collision belts [ J ]. Geological Society Special Publications , 19 : 37~501.
- Murphy M A , Yin A , Harrison T M , et al. 1997. Did the Indo-Asian collision alone create the Tibetan plateau [ J ]? Geology , 25 : 719~722.
- Pan Guitang , Chen Zhiliang , Li Xingzhen , et al. 1997. Geologic and Tectonic for Mationan Devolution of the Eastern Tethys [ M ]. Beijing : Geological Publishing House , 1~218( in Chinese with English abstract ).
- Paterson B A , Stephens W E , Rogers , et al. 1992. The nature of zircon inheritance in two granite plutons [ J ]. Earth Science , 83 : 459~471.
- Pearce J L A , Harris B W and Tindle A G. 1985. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [ J ]. Petrology J. , 4 : 956~983.
- Poli G , Ghezzo C and Conticelli S. 1984. Geochemistry of granitic rocks from the Hercynian Sardinia-Corsica batholith : implication for magma genesis [ J ]. Lithos , 123 : 247~267.
- Song Biao , Zhang Yuhai and Wan Yusheng. 2002. SHRIMP sampling , dating and issue on its relation [ J ]. Geol. Review , 48( sup. ) : 26~30 ( in Chinese with English abstract ).
- Xiao Xuchang , Li Tingdong , Li Guangcen , et al. 1988. Tectonic Evolution of the Himalayan Lithosphere [ M ]. Beijing : Geological Publishing House , 1~188( in Chinese with English abstract ).
- Xizang Bureau of geology and Mineral Resources Regional . 1993. Geology of Xizang Autonomous Region [ M ]. Beijing : Geological Publishing House , 346~364( in Chinese with English abstract ).
- Xu R H , Scharer U and Allegre C J. 1985. Magmatism and metamorphism in the Lhasablock( Tibet ) : a geochronological study [ J ]. Journal of Geology , 93 : 41~572.
- Yang Shufeng. 1985. Twin Granite Belt and Plate Tectonics [ M ]. Beijing : Science Press , 76~79( in Chinese with English abstract ).
- Yu Guangming and Wang Chengshan. 1990. Sedimentary Geology of the Xizang( Tibet ) Tethys [ M ]. Beijing : Geological Publishing House , 1~185( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Kaijun , Xia Bin , Xia Bangdong , et al. 2003. Sedimentologic evidence for Early Cretaceous back-arc rifting of the gangdese magmatic arc , Tibet , western China [ J ]. Acta Sedimentologica Sinica , 21( 1 ) : 31~37( in Chinese with English abstract ).
- Zhao Zhengzhang , Li Yongtie , Ye Hefei , et al. 2001. The Tectonic Feature and Basin Evolution of Qinghai-Tibet Plateau [ M ]. Beijing : Science Press , 122~127( in Chinese with English abstract ).
- Zhong Dalai and Ding Lin. 1996. Tectonic development to the Tibetan plateau [ J ]. Science in China( D ) , 26 : 289~295( in Chinese with English abstract ).

## 附中文参考文献

- 丁林, 来庆州. 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 [ J ]. 科学通报, 48( 8 ) : 836~842.
- 耿全如, 潘桂堂, 郝来林, 等. 2001. 论雅鲁藏布大峡谷地区冈底斯岛弧花岗岩带 [ J ]. 沉积与特提斯地质, 21( 2 ) : 16~22.
- 和钟铎, 杨德明, 王天武, 等. 2005. 冈底斯带巴嘎区二云母花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年 [ J ]. 吉林大学学报( 地球科学版 ), 35( 5 ) : 302~308.
- 金成伟. 1985. 西藏念唐唐古拉花岗岩类及其成因 [ A ]. 岩石学研究( 6 ) [ C ]. 北京: 地质出版社, 33~44.
- 李廷栋. 2002. 青藏地质科学研究的新进展 [ J ]. 地质通报, 7 : 270~276.
- 刘振声, 王洁民. 1989. 青藏高原南部花岗岩锶、氧同位素特征及其成因对花岗岩 [ A ]. 青藏高原地质文集( 19 ) [ C ]. 北京: 地质出版社, 1~15.
- 潘桂堂, 陈智梁, 李兴振, 等. 1997. 东特提斯地质构造形成演化 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1~218.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品制靶、年龄测定及有关现象讨论 [ J ]. 地质论评, 48( 增刊 ) : 26~30.
- 西藏自治区地质矿产局. 1993. 西藏自治区区域地质志 [ M ]. 北京: 地质出版社, 346~364.
- 肖序常, 李廷栋, 李光岑, 等. 1988. 喜马拉雅岩石圈构造演化 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1~188.
- 杨树锋. 1985. 成对花岗岩带与板块构造 [ M ]. 北京: 科学出版社, 76~79.
- 余光明, 王成善. 1990. 西藏特提斯沉积地质 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1~185.
- 张开均, 夏斌, 夏邦栋, 等. 2003. 冈底斯弧后早白垩世裂谷作用的沉积学证据 [ J ]. 沉积学报, 21( 1 ) : 31~37.
- 赵政章, 李永铁, 叶和飞, 等. 2001. 青藏高原大地构造特征及盆地演化 [ M ]. 北京: 科学出版社, 122~127.
- 钟大赉, 丁林. 1996. 青藏高原的构造发展 [ J ]. 中国科学( D ), 26 : 289~295.