

文章编号: 1000-4734(2009)04-0481-10

滇东南薄竹山花岗岩岩石学  
及其稀土-微量元素地球化学解洪晶<sup>1,2</sup> 张乾<sup>1\*</sup> 祝朝辉<sup>1,2</sup> 范良伍<sup>1,2</sup> 王大鹏<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国科学院 研究生院 北京 100049)

**摘要:** 薄竹山花岗岩体分两期侵入, 第一期岩石类型主要为中粒黑云母二长花岗岩,  $\text{SiO}_2$  含量介于 64.82% ~ 72.01%, 平均 68.72%, 总碱度  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 5.51\% \sim 8.2\%$ , 平均 6.92%,  $A/\text{CNK}$  平均 1.14, 富集 Rb、U、Th 等微量元素和轻稀土元素, 中等的 Eu 负异常,  $\delta\text{Eu} = 0.37 \sim 0.55$ , 属过铝质花岗岩, 主要形成于同碰撞阶段; 第二期主要为细粒二长花岗岩,  $\text{SiO}_2$  含量变化范围 75.94% ~ 76.89%, 平均 76.33%, 总碱度  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 7.58\% \sim 8.82\%$ , 平均 8.22%,  $A/\text{CNK}-A/\text{NK}$  图上主要落在准铝质范围, 微量元素 Nb、Ta、Y 富集, 显著亏损 Sr、Ba, 强烈的 Eu 负异常,  $\delta\text{Eu} = 0.06 \sim 0.11$ , 形成于板内的伸展环境。第二期花岗岩 Ba、Sr 亏损明显, 这与强烈的 Eu 负异常相对应, 说明第二期花岗岩经历了高度演化。

**关键词:** 花岗岩; 岩石学; 地球化学; 薄竹山岩体; 滇东南

**中图分类号:** P581; P595 **文献标识码:** A

**作者简介:** 解洪晶, 女, 1982 生, 硕士研究生, 岩石学、矿床学专业。E-mail: jingjing\_717@163.com

滇东南地区是我国重要的锡、银、铅、锌等矿产基地, 自西向东分布着个旧、白牛厂和都龙 3 个超大型、大型银锡多金属矿床, 在这 3 个大型矿床附近各分布着一个大花岗岩体, 个旧和老君山岩体已有相当多的研究并已证明花岗岩浆活动与个旧和都龙矿床的形成有密切关系<sup>[1-5]</sup>。而对于薄竹山岩体, 由于其距离白牛厂矿床较远, 一直以来没引起研究者的重视, 研究相对薄弱, 仅张世涛和陈国昌<sup>[6]</sup>对该岩体地质特征及演化规律做过研究, 认为花岗岩为 S 型花岗岩, 形成于白垩纪-第三纪之间。近年来, 随着白牛厂矿区隐伏花岗岩体的发现, 人们逐渐注意到了薄竹山岩体的重要性, 对该岩体的研究, 无疑对于我们探讨本区花岗岩浆活动与多金属矿床的成因关系具有积极意义。本文将从岩石学和地球化学方面对该岩体进行详细研究, 探讨其形成环境。

## 1 地质背景

滇东南地区是指红河断裂以北, 文麻断裂以南, 西起建水, 东至马关、麻栗坡, 长约 230 km、宽约 120 km<sup>[7]</sup>的区域。北西以弥勒断裂与扬子地块分界, 南西以红河断裂为界与哀牢山断块毗邻, 南连越北古陆, 东部文麻断裂与南岭褶皱系连为一体(图 1)。其大地构造位置大体相当于华南褶皱系之滇东南褶皱带。

区内震旦纪主要形成类复理石建造, 寒武纪至中奥陶世形成厚层泥砂质和碳酸盐岩建造, 晚奥陶世和志留纪为隆起剥蚀区, 自泥盆纪至早二叠世广泛沉积了陆相碎屑、碳酸盐岩建造, 晚二叠世至晚三叠世部分地区沉积了巨厚的复理石建造、基性火山岩和火山碎屑岩建造, 晚三叠世末的印支运动使区域褶皱隆起成为剥蚀区, 燕山期有花岗岩浆的强烈侵入活动, 形成个旧、薄竹山、老君山 3 个主要的花岗岩体。滇东南最主要锡、银、铅、锌等多金属矿床在空间上就围绕着这 3 个花岗岩体分布。

薄竹山花岗岩体位于文山县城以西约 30 km 处, 在地表呈纺锤状沿北西向展布, 轴向 300° ~ 320°, 长约 20 km, 宽约 2 ~ 10 km, 出露面积约 120

收稿日期: 2009-02-24

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2007CB411408); 中国科学院重要方向项目(KZCX2-YW-411)

\* 通讯作者, E-mail: zhqiangel@163.com

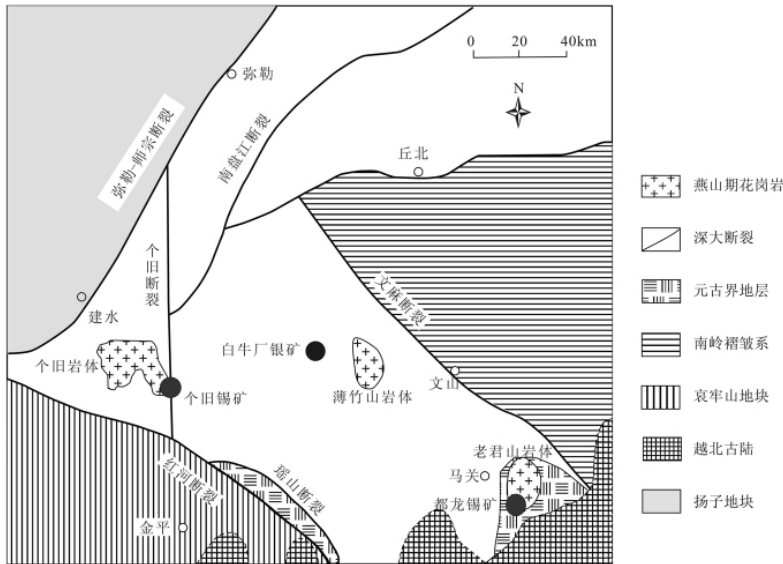
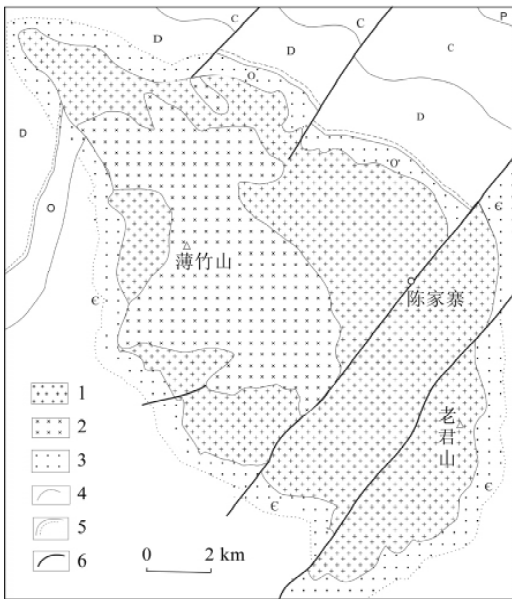


图1 滇东南地区地质简图(据文献[8])

Fig. 1. The geological sketch map of Southeastern Yunnan Province (after Chen Xue-ming et al., 1998).

km<sup>2</sup>。呈岩基沿薄竹山破背斜核部侵入于寒武系、奥陶系、泥盆系的砂岩、粉砂岩、泥岩、灰岩及白云岩之中<sup>[7]</sup>。据中华人民共和国(1:50000)老寨街幅区域地质报告得出,该岩体是在燕山期分两期侵入而成,第一期以中粒黑云母二长花岗岩为主,第二期与第一期呈侵入接触关系,岩性以细粒二长花岗岩为主。岩体产出构造环境为北东向

背斜与北西向断裂的交汇处<sup>[6]</sup>。岩浆沿着北西向张性断裂侵位,因而在西北角形成了一个向北西伸出的鼻状构造,同时在岩体外围产生了一系列环形正断层和放射状正断层,在岩体西侧岩羊坡、箐门口一带形成向东倾斜的正断层。岩体外围接触带发生了各种接触变质作用,如夕卡岩化、角岩化、大理岩化和硅化等(图2)。



1 第一期花岗岩; 2 第二期花岗岩; 3 蚀变带; 4 地层边界; 5 不整合界线; 6 断层

图2 薄竹山岩体地质图(据文献[6])

Fig. 2. The geological map of Bozhushan pluton (after Zhang shi-tao and Chen Guo-chang, 1997).

## 2 岩石学特征

薄竹山花岗岩第一期主要岩石类型为黑云母二长花岗岩(图3a),具中粒不等粒结构。主要矿物成分为石英、正长石、条纹长石、斜长石和黑云母。石英一般半自形、他形粒状,微弱波状消光,粒度0.2~2.8mm,含量30%~40%,见石英包含黑云母、长石现象;正长石板状,卡氏双晶常见,与石英构成文象结构,含量15%~25%;条纹长石具有典型的条纹结构,条纹一般较细,可见包含黑云母现象,含量10%~20%;斜长石自形、半自形板状,宽0.5~2mm,长0.5~4mm,含量30%~40%,聚片双晶、卡钠复合双晶发育,还可见穿插双晶,多数聚片双晶细密,环带构造发育,可见斜长石包含石英、黑云母等现象;黑云母呈片状,较自形,淡黄-深褐多色性,解理发育,大小在0.2~1.2mm之间,含量5%左右,少数黑云母沿解理有绿泥石化。副矿物含量较少,有磁铁矿、电气石及锆石等,锆石粒度较小,长约0.2mm,宽0.05

mm。

第二期主要为细粒二长花岗岩(图3b),少量碱长花岗岩,似斑状结构,斑晶为长石和石英。主要矿物成分石英、斜长石、正长石和条纹长石,粒度小于2 mm,石英他形粒状,含量较高,约60%;

钾长石15%左右,可见卡氏双晶;条纹长石约10%;斜长石见聚片双晶,含量10%左右;黑云母含量极少,副矿物含量极少,仅见黑云母周围析出的磁铁矿。

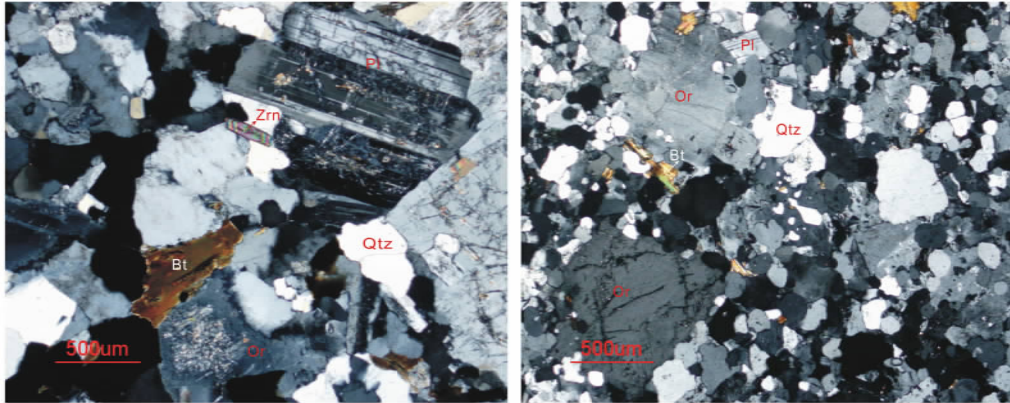


图3 a. 第一期中粒黑云母二长花岗岩; b. 第二期细粒二长花岗岩  
Fig. 3. Medium grained biotite monzogranite of the first intrusion (a);  
fine grained monzogranite of the second intrusion (b).

### 3 样品及分析方法

样品采自薄竹山岩体,选择新鲜样品粉碎至200目作主量、微量和稀土元素分析。主量元素分析在中国科学院地球化学研究所分析测试中心完成,采用常规湿化学方法分析,分析精度优于0.5%。稀土和微量元素分析在中国科学院地球化学研究所的Finnigan MAT公司ELEMENT型高分辨等离子质谱仪(ICP-MS)上进行测试,分析精度优于5%。

## 4 地球化学

### 4.1 岩石化学特征

花岗岩主量、稀土和微量元素分析结果见表1。

第一期花岗岩SiO<sub>2</sub>含量变化范围64.82%~72.01%,平均68.72%,总碱度K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=5.51%~8.2%,平均6.92%,K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O>1,相对富钾贫钠,A/CNK范围0.85到1.56,大多都大于1,平均1.14,CIPW标准矿物中多有刚玉出现,属过铝质花岗岩(图4a)。在实际矿物含量QAP分类图解中(图4b),主要落在二长花岗岩区。

第二期花岗岩SiO<sub>2</sub>含量变化范围75.94%~

76.89%,平均76.33%,总碱度K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=7.58%~8.82%,平均8.22%,CaO=0.96~1.21,MgO=0.21~0.35,A/CNK-A/NK图上主要落在准铝质范围,3-2'样品为过铝质,3-3'样品则为过碱质(图4a)。在QAP分类图解中(图4b),岩石类型有二长花岗岩、碱长花岗岩和钾长花岗岩。

两期相比,第二期花岗岩更加富硅富碱、贫钙贫镁,且更加亏损TiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>。

### 4.2 稀土元素

由表1可知,第一期侵入体稀土元素总量为218.67~375.10 μg/g,(La/Yb)<sub>N</sub>=16.47~40.99,为轻稀土富集的右倾型配分模式(图5)。(La/Sm)<sub>N</sub>=4.51~7.01,(Gd/Lu)<sub>N</sub>=2.27~4.80,显示轻稀土分馏明显,而重稀土分馏较弱。δEu=0.37~0.55,中等的Eu负异常,Eu的负异常可能指示斜长石发生了分离结晶作用,而低的HREE则表明源区可能含有残留石榴子石。

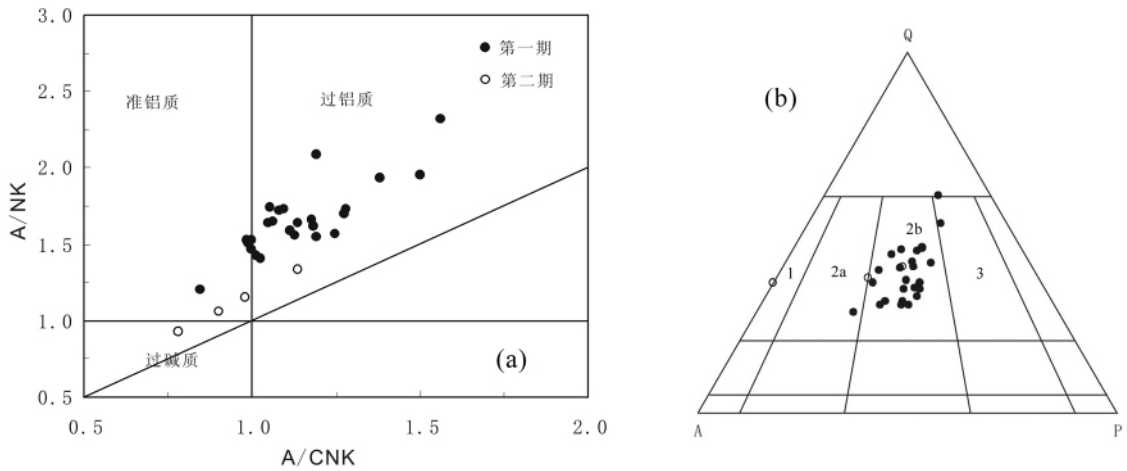
第二期侵入体稀土总量96.43~117.47 μg/g,(La/Yb)<sub>N</sub>=2.3~4.2,轻重稀土分馏不明显,(La/Sm)<sub>N</sub>=2.38~2.76,(Gd/Lu)<sub>N</sub>=0.83~1.10,轻、重稀土分馏都较弱,但具有强烈的Eu负异常,δEu=0.06~0.11,暗示花岗岩经历了高度分异演化。

表1 薄竹山岩体主量(%)、稀土( $\mu\text{g/g}$ )和微量元素( $\mu\text{g/g}$ )分析结果Table 1. The data of major (wt%), rare-earth and trace elements ( $\mu\text{g/g}$ ) of the Bozhushan pluton

样品	第一期花岗岩												
	1-1'	1-2'	1-3'	1-4'	1-5'	1-6'	1-12'	2-2'	2-4'	2-6'	2-7'	2-9'	2-11'
SiO <sub>2</sub>	67.93	68.59	67.34	69.63	68.84	67.35	64.82	65.08	65.87	68.60	70.76	71.64	72.01
TiO <sub>2</sub>	0.26	0.24	0.22	0.22	0.25	0.28	0.30	0.28	0.27	0.25	0.24	0.20	0.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.86	14.12	13.98	14.54	14.46	15.06	15.47	15.26	15.20	15.52	14.13	13.75	13.78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.66	3.28	3.92	2.65	2.93	3.56	2.88	3.02	2.31	1.73	1.56	2.40	1.88
FeO	1.76	1.58	1.81	1.42	1.50	1.70	2.16	1.15	2.63	2.08	1.88	1.36	1.76
MnO	0.07	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.07	0.09	0.09	0.08	0.10	0.07	0.06
MgO	1.01	1.34	1.80	1.05	1.37	1.44	2.46	1.59	1.46	0.81	0.71	0.74	1.18
CaO	2.83	2.70	2.59	3.02	2.72	2.76	3.05	1.74	1.74	1.32	1.90	1.84	1.25
Na <sub>2</sub> O	2.35	2.62	1.65	2.35	2.29	2.38	1.55	1.55	1.07	1.88	2.23	2.33	2.42
K <sub>2</sub> O	4.39	4.70	5.32	4.13	4.68	4.44	4.49	4.92	4.44	4.47	4.50	4.62	4.42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06
LOI	0.55	0.42	0.95	0.65	0.51	0.71	2.45	5.10	4.62	3.04	1.64	0.76	1.01
Total	99.74	99.73	99.71	99.80	99.70	99.84	99.76	99.85	99.77	99.85	99.71	99.77	100.06
A/CNK	1.08	0.99	1.06	1.05	1.05	1.10	1.19	1.38	1.56	1.50	1.18	1.13	1.25
La	62.9	58.2	64.0	52.4	64.1	67.9	79.0	97.5	91.8	74.6	56.1	60.1	81.3
Ce	113.0	106.0	121.0	96.4	117.0	114.0	129.0	150.0	150.0	126.0	108.0	112.0	134.0
Pr	12.2	11.1	13.4	10.3	12.5	13.3	14.9	17.5	17.5	15.3	11.9	11.8	16.1
Nd	42.0	38.8	47.9	36.2	42.1	46.3	51.0	58.2	58.8	55.6	41.1	41.3	54.7
Sm	7.19	6.51	8.93	6.58	6.96	7.84	8.15	8.75	8.87	9.77	7.69	7.37	9.38
Eu	1.24	1.08	1.01	1.08	1.09	1.27	1.33	1.43	1.17	1.34	1.02	0.98	1.12
Gd	6.56	5.78	7.92	5.86	6.38	6.88	7.25	7.85	7.35	8.41	6.57	6.29	8.19
Tb	0.83	0.70	1.05	0.74	0.79	0.85	0.86	0.84	0.75	0.98	0.78	0.75	0.94
Dy	4.05	3.28	5.14	3.54	3.72	3.96	3.88	3.68	3.16	4.57	3.24	3.24	3.91
Ho	0.81	0.64	1.07	0.77	0.74	0.80	0.82	0.73	0.58	0.90	0.57	0.62	0.71
Er	2.29	1.82	2.93	2.08	2.11	2.20	2.21	2.01	1.57	2.35	1.59	1.65	1.87
Tm	0.31	0.24	0.40	0.31	0.29	0.30	0.30	0.28	0.22	0.32	0.21	0.22	0.24
Yb	2.20	1.73	2.62	2.10	1.91	2.13	2.02	1.93	1.51	2.00	1.36	1.47	1.56
Lu	0.33	0.25	0.37	0.31	0.28	0.29	0.29	0.28	0.21	0.29	0.21	0.21	0.21
REE	255.92	236.12	277.74	218.67	259.97	268.02	301.00	350.97	343.49	302.43	240.33	248.01	314.23
$\delta\text{Eu}$	0.55	0.54	0.37	0.53	0.50	0.53	0.53	0.53	0.44	0.45	0.44	0.44	0.39
Li	56.5	70.1	83.9	58.8	80.1	83.0	75.6	65.6	77.4	94.2	69.6	79.1	68.7
V	60.0	54.4	72.2	51.5	56.5	63.7	66.9	62.5	64.4	48.7	43.2	42.4	54.6
Cr	10.7	18.2	34.4	25.2	21.1	18.6	14.3	24.8	24.5	69.8	21.6	25.3	24.2
Co	8.11	7.68	9.25	6.86	7.86	9.02	8.83	8.57	9.46	6.55	6.55	5.63	4.91
Ni	7.68	10.90	16.80	12.40	10.60	11.50	7.50	12.20	9.50	31.70	9.95	10.30	8.59
Cu	43.40	6.57	5.56	4.52	5.22	7.02	6.90	11.90	4.51	15.50	18.40	12.40	7.92
Ga	21.1	20.6	21.5	20.7	21.2	21.5	22.9	23	23.5	22.6	22.8	22	23.2
Rb	216	243	272	235	241	216	238	223	236	283	261	271	263
Sr	330	282	207	274	284	337	249	235	165	148	183	207	229
Y	23.1	18.5	29.8	21.8	20.6	22.7	22.3	17.5	13.9	25.0	16.6	17.1	20.0
Zr	247	159	176	188	241	285	300	167	214	188	210	186	118
Nb	31.7	27.8	39.1	29.1	29.6	30.7	29.8	31.3	44.2	25.1	19.3	23.5	23.8
Cs	16.7	41.1	33.3	43.4	47.5	15.3	18.9	13.6	15.4	24.6	23.1	21.0	20.5
Ba	934	788	803	735	811	973	1060	1050	1040	726	654	664	632
Hf	6.22	4.05	4.52	5.04	6.01	6.93	7.22	4.15	5.69	5.06	5.68	4.92	3.32
Ta	2.30	2.67	2.42	2.60	2.78	1.78	1.86	2.13	3.69	2.04	1.68	2.18	1.66
Pb	28.3	29.0	27.8	27.3	25.9	25.3	36.5	31.1	37.9	38.7	40.8	42.0	34.0
Th	34.5	30.3	44.8	34.0	30.0	47.2	36.1	44.5	40.8	38.6	31.9	31.9	34.4
U	8.47	7.90	5.95	9.89	7.30	7.53	6.46	5.03	6.12	10.40	8.86	6.46	7.86

续表 1

样品	第一期花岗岩												第二期花岗岩			
	2-13'	2-14'	2-15'	2-16'	2-dy	3-7'	3-8'	3-9'	3-10'	3-11'	3-12'	3-13'	3-1'	3-2'	3-3'	3-大样
SiO <sub>2</sub>	71.37	71.01	70.47	69.2	71.14	67.59	67.6	66.86	67.53	69.72	70.52	66.51	76.89	75.94	76.33	76.15
TiO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.24	0.26	0.21	0.26	0.26	0.28	0.29	0.28	0.2	0.25	0.18	0.19	0.17	0.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.4	13.15	14.22	14.51	13.74	14.13	14.05	14.27	14.52	14.23	12.53	14.47	11.85	13.21	10.75	11.58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.53	1.37	1.65	1.68	1.71	2.18	1.68	2.05	2.55	1.24	2.24	2.26	0.38	0.5	0.61	1.02
FeO	2.42	2.56	1.81	2.1	2.36	2.36	2.66	2.36	2.46	1.62	1.95	2.56	0.62	0.57	0.7	0.72
MnO	0.08	0.09	0.1	0.1	0.09	0.07	0.11	0.09	0.11	0.09	0.09	0.1	0.07	0.06	0.06	0.05
MgO	0.88	0.82	0.88	0.88	0.84	1.3	2.05	1.95	1.31	0.77	0.78	1.41	0.21	0.27	0.35	0.34
CaO	1.67	1.38	1.54	1.63	2.05	2.24	2.79	2.48	2.75	2.06	2.41	2.12	1	0.96	1.21	1.04
Na <sub>2</sub> O	1.96	2.22	2.18	2.08	2.35	2.4	2.51	2.55	2.64	2.65	2.74	2.15	2.8	2.97	3.54	3.21
K <sub>2</sub> O	4.67	4.5	4.4	4.59	4.4	5.52	4.68	5.14	4.8	5.31	5.46	4.91	5.24	4.61	5.28	5.22
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05
LOI	1.61	2.41	2.12	2.72	0.84	1.75	1.61	1.84	0.86	1.8	0.78	3.26	0.42	0.44	0.64	0.41
Total	99.85	99.77	99.68	99.81	99.79	99.86	100.06	99.93	99.87	99.83	99.76	100.05	99.72	99.77	99.7	99.96
A/CNK	1.18	1.19	1.28	1.28	1.11	1.01	0.99	1	1	1.03	0.85	1.14	0.98	1.14	0.78	0.9
La	58	65	60.4	66.7	63.2	75.4	92.1	101	78	56.7	56.2	88	17.1	19.4	21.3	20.5
Ce	108	119	111	124	119	135	150	163	127	104	106	141	35.1	40.6	46.8	43.7
Pr	11.7	12.9	12.2	13.3	12.8	14.4	17.6	18.7	14.9	11.3	11.4	16.7	4.1	5	5.5	5.3
Nd	40.7	45.3	43.1	46.4	44.3	49.8	60	63.1	51.1	39.2	39.7	56.9	14.4	17.3	19.3	19
Sm	7.61	8.01	7.49	8.01	7.81	8.37	9.5	9.63	8.32	6.73	7.38	9.03	4.16	5.13	4.86	5.33
Eu	1.05	1.14	1.06	1.01	0.98	1.34	1.32	1.38	1.3	0.91	0.98	1.43	0.09	0.14	0.16	0.09
Gd	6.26	7.04	6.57	7.02	6.81	7.5	8.12	8.25	7.24	5.73	6.25	7.98	4.29	5.35	4.34	5.06
Tb	0.75	0.88	0.8	0.86	0.76	0.9	0.93	0.92	0.85	0.71	0.75	0.94	0.91	1.14	0.79	1.02
Dy	3.26	3.85	3.5	3.99	3.29	4.31	4.14	3.95	4.05	3.42	3.32	4.24	5.62	7.14	4.64	6.47
Ho	0.65	0.74	0.68	0.84	0.61	0.9	0.79	0.77	0.79	0.73	0.64	0.86	1.28	1.65	1.02	1.41
Er	1.73	1.99	1.86	2.36	1.71	2.53	2.2	2.12	2.17	2.08	1.74	2.35	3.71	4.94	3.01	3.98
Tm	0.22	0.26	0.26	0.33	0.22	0.35	0.29	0.27	0.29	0.31	0.23	0.32	0.63	0.79	0.47	0.62
Yb	1.57	1.7	1.67	2.05	1.41	2.44	1.95	1.75	1.88	2.17	1.55	2.12	4.38	5.67	3.38	4.36
Lu	0.21	0.24	0.24	0.3	0.19	0.36	0.28	0.26	0.27	0.31	0.21	0.31	0.62	0.81	0.49	0.59
REE	241.71	268.04	250.82	277.17	263.08	303.6	349.21	375.1	298.15	234.31	236.34	332.18	96.43	115.07	116.04	117.47
δEu	0.46	0.46	0.46	0.41	0.41	0.52	0.46	0.47	0.51	0.45	0.44	0.52	0.07	0.08	0.11	0.06
Li	78.4	82	89.4	84.5	63.1	73.7	107	92.4	87.1	140	93.5	73.7	191	173	41.8	197
V	45.1	46.8	45.8	50.1	44.2	57.8	61.6	55.4	58.5	33.5	41.6	57	3.1	1	1.8	0.5
Cr	19.9	28	55.8	18.5	21.9	15.3	10.6	11.9	9.3	3.4	17.1	10.4	-4.4	13.6	37.2	-4.9
Co	5.8	7.16	7.82	6.77	7.47	7.07	8.72	7.98	8.15	5.06	6.55	8.25	0.37	0.66	0.97	0.54
Ni	9.82	12.8	23.8	8.34	8	11.2	5.81	6.07	4.64	3.27	9.12	5.13	0.03	5.17	27.8	12.4
Cu	13.2	13	9.7	10.8	32.5	38.2	6.68	5.6	5.09	2.57	4.38	6	1.35	3.1	3.11	2
Ga	22.2	24.3	23.9	23.3	22.9	22.8	23.3	22.8	22.5	20.1	22.8	23.2	19.8	19.2	17.7	19.9
Rb	264	264	264	265	260	249	250	234	249	279	267	237	548	505	401	500
Sr	157	173	176	159	213	293	334	320	322	175	211	273	18	20	29	12
Y	17.5	20.4	19.4	22.6	17	25.6	22.8	21.8	22.8	22.2	18	24.3	37.9	50.6	30.7	40.6
Zr	164	183	213	186	181	252	197	232	198	138	135	198	37	50	57	48
Nb	21.8	23.7	23.6	23.8	20.9	32.4	31.8	27.7	30.1	23.3	22.4	30.5	43.8	46.9	25.9	55.4
Cs	24.8	22.7	23.7	25.1	22.9	16.5	27.6	17.8	21.8	41.1	30.1	28	61.8	47.1	24.1	37.4
Ba	722	618	592	654	629	997	884	1010	975	640	642	883	58	72	92	37
Hf	4.25	4.8	5.74	4.92	4.57	6.56	4.97	5.47	4.83	3.67	3.62	4.82	1.94	2.68	2.93	2.72
Ta	1.66	1.88	1.87	1.82	1.52	2.25	1.98	1.66	1.95	2.13	2	2.12	6.82	6.81	2.75	7.25
Pb	43.3	39.3	39.8	40.9	35	27.2	30.4	29.7	31.2	35.4	36.4	28.5	74.1	104	61.3	62.9
Th	31.4	35.3	32.4	35.3	34	37.4	41.1	41.5	36.9	38.6	30.5	37.4	15.4	16.8	18.9	17.1
U	6.64	8.19	6.71	7.34	5.42	9.84	5.3	7.11	5.93	5.19	7.51	6.45	10.9	16.4	15	12



1 碱性长石花岗岩; 2a 钾长花岗岩; 2b 二长花岗岩; 3 花岗闪长岩

图 4 (a) 花岗岩 Shand 指数( 据文献 [9] ); (b) 花岗岩实际矿物含量 QAP 分类图解( 底图据文献 [10] )

Fig. 4. Shand's index of Bozhushan granites ( after Miniar and Piccoli ,1989) ( a) ;  
Diagrams of QAP( after Streckeisen ,1976) ( b) .

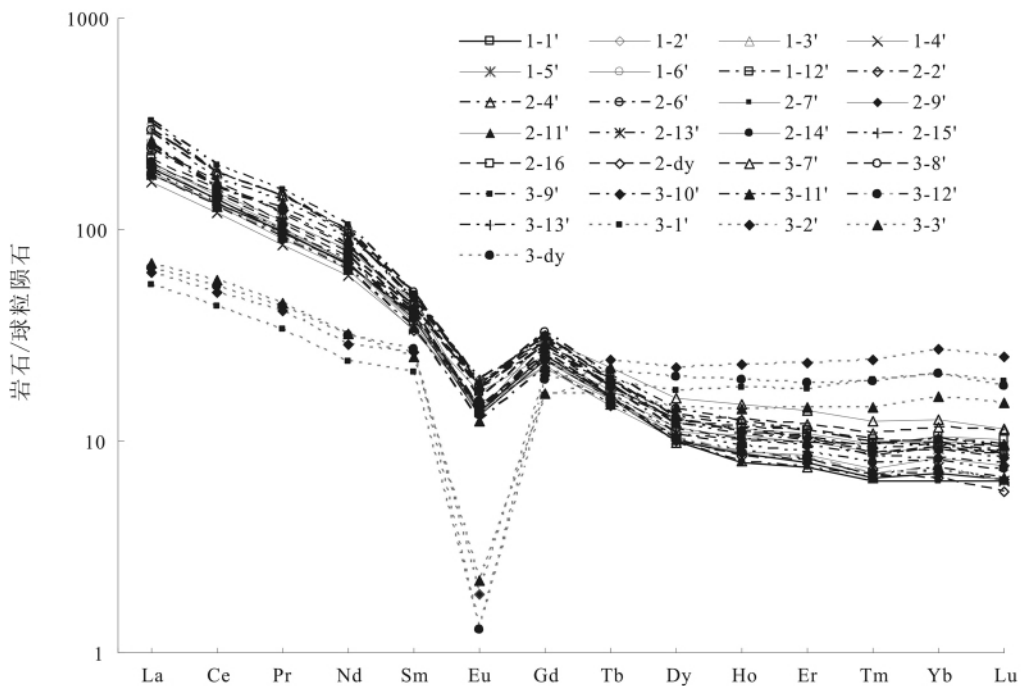


图 5 薄竹山岩体稀土元素配分曲线( 标准化数据引自文献 [15] )

Fig. 5. Chondrite-normalized REE patterns of Bozhushan granites ( normalized values after Boynton , 1984) .

与第一期相比,第二期花岗岩的稀土总量和轻稀土总量明显降低,而重稀土总量升高, Eu 由中等负异常变为强烈的负异常,暗示着第二期花岗岩经历了高度演化,斜长石分离对岩浆分异演化起了重要的支配作用。二期花岗岩 LREE 的降

低可能是岩浆中褐帘石分离结晶作用形成<sup>[11]</sup>。HREE 的富集可能是由于流体分异和氟化物的形成共同造成的<sup>[12]</sup>,实验证明岩浆晚期富 F 流体作用促使残余熔体中 HREE 富集<sup>[13]</sup>,而氟化物是 HREE 的主要载体<sup>[14]</sup>。δEu 明显降低的原因可能

是因为岩浆由第一期向第二期演化,岩浆经历高程度分离结晶作用,使得 Eu 亏损就更明显。

### 4.3 微量元素

在微量元素组成上(图 6),第一期花岗岩富含大离子亲石元素 Rb、Th、U 和稀土 La、Ce、Nd,而亏损 Ba、Nb、Ta、Sr、Tb 和 Y。Zr/Hf 和 Nb/Ta 分别为 39.1、13.4,与大陆地壳花岗岩中比值相似(大陆地壳花岗岩中 Zr/Hf 为 33~40,Nb/Ta 约为 11)<sup>[16-17]</sup>。

第二期花岗岩 Sr、Ba 亏损显著,而 Nb、Ta、Y 富集。蜘蛛图上,第二期花岗岩 Nb、Ta 没有形成

明显的亏损谷,而第一期花岗岩亏损谷则较明显。第二期花岗岩 Zr/Hf 和 Nb/Ta 分别为 18.8、7.6,明显低于大陆地壳花岗岩的对应值。

与第一期相比,第二期花岗岩 Ba、Sr、Nb/Ta 的降低和 Rb、Rb/Ba、Rb/Sr 的升高暗示了岩浆结晶分异程度的提高。随着岩浆的演化,Ba、Sr 的亏损逐渐加强,应与斜长石的分离有关,与 Eu 的负异常相对应,进一步印证了第二期花岗岩经历了高度演化。Zr/Hf 值的降低,可能由于岩浆中锆石的分离结晶作用使分异岩浆中 Zr 含量减少造成的<sup>[17]</sup>,Nb/Ta 降低则是结晶晚期富 F 流体的作用促使 Ta 含量升高而形成<sup>[18]</sup>。

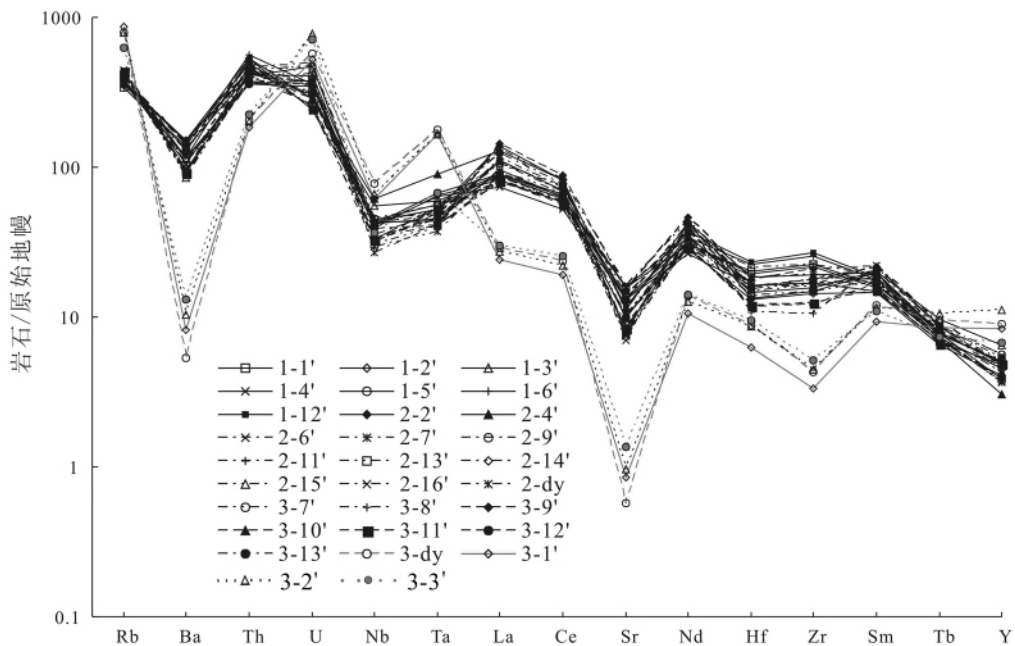


图 6 薄竹山岩体微量元素原始地幔标准化蜘蛛图(标准化数据采用据文献 [19])

Fig. 6. The spider diagram of primitive mantle-normalized trace elements of Bozhushan granites (normalized values after McDonough, 1992).

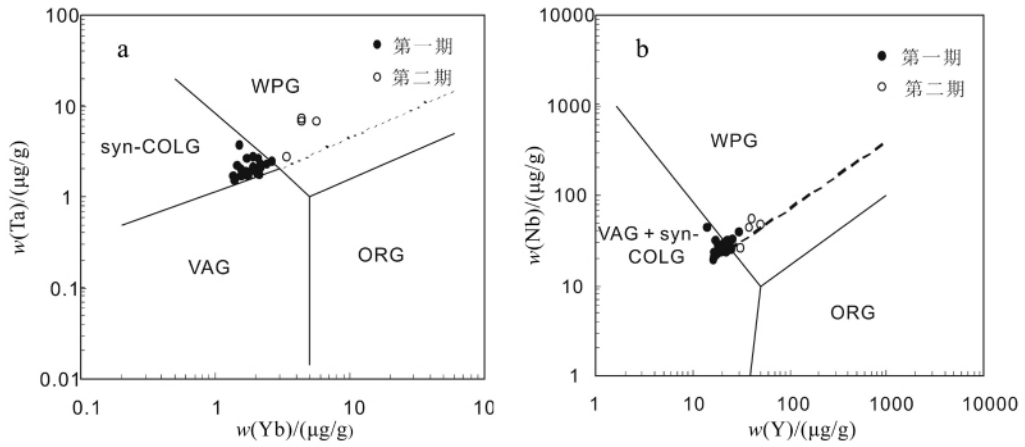
### 4.4 构造环境

不同构造环境中的酸性侵入岩地球化学特征的研究表明,在很多情况下,微量元素可用作岩浆侵入构造环境的判别标志。由 Ta-Yb 构造判别图(图 7a)可见,第一期落在了同碰撞区,第二期都在板内区;在 Nb-Y 构造判别图(图 7b)上,第一期落在火山弧和同碰撞与板内的过渡区,第二期则都在板内区。这与花岗岩的稀土、微量元素图解相对应,所以我们推断,第一期花岗岩可能形成于同碰撞环境,第二期花岗岩可能形成于板内拉张

环境。

## 5 讨论

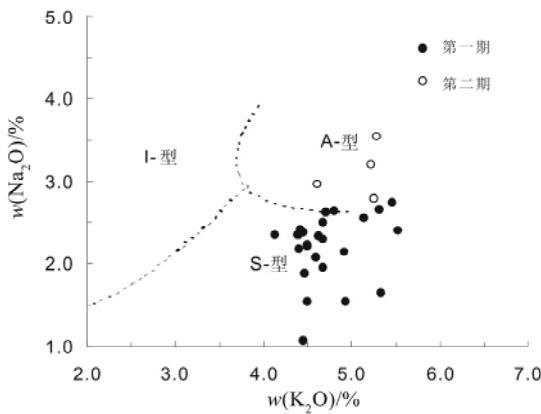
第二期花岗岩富集 Nb、Ta、Y 等 HFSE 而强烈亏损 Sr、Ba,并且 Nb、Ta 没有形成明显的亏损谷,符合 A 型花岗岩特点。稀土配分模式呈“海鸥型”,类似 A 型花岗岩,在图 8、9 上,第二期花岗岩落入 A 型花岗岩区。但由于稀土总量较低,与 A 型花岗岩又有些不符。所以,第二期花岗岩存在是 A 型花岗岩的可能性,若进一步厘定,还需要作详细研究。



WPG: 板内花岗岩; VAG: 火山弧花岗岩; ORG: 洋脊花岗岩; syn-COLG: 同碰撞花岗岩

图7 薄竹山花岗岩体 Nb-Y 和 Ta-Yb 判别图( 据文献 [20] )

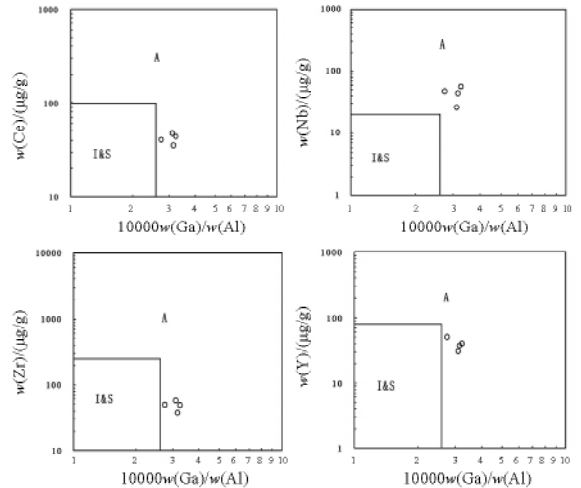
Fig. 7. Tectonic discrimination diagrams of Nb vs. Y and Ta vs. Yb for Bozhushan granites ( after Pearce et al. ,1984) .



I: I-型花岗岩; S: S-型花岗岩; A: A-型花岗岩

图8 K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O 图解( 据文献 [21] )

Fig. 8. Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O diagram of Bozhushan granites ( after Collins et al. 1982) .



A: A-型花岗岩; I: I-型花岗岩; S: S-型花岗岩

图9 第二期花岗岩 Ce、Nb、Zr、Y-Ga/Al

关系图( 据文献 [22] )

Fig. 9. Diagrams of Ce , Nb , Zr , and Y vs. Ga/Al for the second intrusion ( after Whalen et al. ,1987) .

两期花岗岩岩石类型、形成环境各不相同。第一期过铝质花岗岩形成于同碰撞环境,侵入时代大致在 97 ~ 114 Ma 之间<sup>[23]</sup>。第二期花岗岩形成于板内拉张环境,侵入时代大致在 48 ~ 79 Ma 间<sup>[23]</sup>。滇东南地区晋宁-华力西期岩浆活动不太强烈,印支期为红河大断裂强烈活动期,有基性岩浆侵入,到了燕山期,以花岗岩浆侵入为主。燕山晚期早阶段,由红河断裂、文麻断裂、弥勒-师宗断裂及南盘江断裂等切割形成的一些陆块,在此期间相互碰撞,使地壳缩短和增厚,上部地壳岩石脱水部分熔融形成第一期过铝质二长花岗岩,碰撞后期经过挤压-伸展转变期,演化为板内拉张环

境。滇东南区域地质资料显示,个旧、老君山和薄竹山三个花岗岩体附近分别发育了蒙自、文山及马关三个中生代断陷盆地,个旧花岗岩附近还发现了燕山晚期-喜山早期的基性-碱性岩,暗示了当时岩石圈可能处于伸展状态<sup>[24]</sup>。另外,在滇东南地区还发育有变质核杂岩,变质核杂岩的形成机制一般认为是在岩石圈水平伸展作用下,大规模正断层发育使得地壳较深层次的物质被拖拉至地壳浅层形成<sup>[25-26]</sup>。滇东南南温河变质核杂岩的发现亦指示强烈伸展作用下大规模的构造减薄<sup>[27]</sup>,所以燕山晚期滇东南处于伸展背景下。同时对华南区域地质的研究表明,白垩纪发生岩石



圈伸展-地壳减薄事件<sup>[28-30]</sup>,伴随岩浆作用,利于形成丰富的矿产<sup>[31-32]</sup>,薄竹山岩体第二期花岗岩就产生于这种伸展背景下,与其临近的白牛厂银多金属矿床也可能是此伸展背景下形成的,而是否与薄竹山岩体有成因联系,还有待进行继续研究。

## 6 结 论

通过本文研究得出薄竹山花岗岩体由两期侵入体组成,第一期主要由中粒黑云母二长花岗岩

组成,属于过铝质花岗岩,主要形成于同碰撞环境。第二期主要为细粒二长花岗岩,主要形成于板内的拉张环境。与第一期相比,第二期花岗岩更加富硅富碱、贫钙贫镁,稀土配分曲线显示Eu亏损更加强烈,轻稀土有下降趋势,而重稀土有升高趋势,更加富集Rb、Ta、Tb、Y,而亏损Ba、Sr、La、Ce等元素。第二期花岗岩Ba、Sr亏损明显,与强烈的Eu负异常相对应,共同印证了第二期花岗岩经历了高程度演化。

## 参 考 文 献:

- [1] 付国辉. 云南都龙锡多金属矿床地质特征及成矿规律 [J]. 西南矿产地质, 1992, (2): 26-37.
- [2] 晏建国. 云南都龙锡多金属矿床及厚大矿体控矿地质特征 [J]. 西南矿产地质, 1992, (3): 26-31.
- [3] 忻建刚, 袁奎荣. 云南都龙隐伏花岗岩的特征及其成矿作用 [J]. 桂林冶金地质学院学报, 1998, 13(2): 121-129.
- [4] 谈树成, 秦德先, 陈爱兵, 等. 个旧锡矿区域地壳演化与成矿探讨 [J]. 矿物学报, 2004, 24(2): 157-263.
- [5] 卢耀. 云南个旧矿区西区成矿条件及找矿远景探讨 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(1): 57-61.
- [6] 张世涛, 陈国昌. 滇东南薄竹山复式岩体的地质特征及其演化规律 [J]. 云南地质, 1997, 16(3): 222-232.
- [7] 张洪培, 刘继顺, 张宪润, 章霞林. 云南蒙自白牛厂银多金属矿区深部找矿的新发现 [J]. 矿产与地质, 2006, 20(4-5): 361-365.
- [8] 陈学明, 林棕, 谢富昌. 云南白牛厂超大型银多金属矿床叠加成矿的地质地化特征 [J]. 地质科学, 1998, 33(1): 115-124.
- [9] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *GSA Bull*, 1989, 101(5): 635-643.
- [10] Streckeisen A L. Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition: A provisional attempt [J]. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*, 1976, 1: 1-15.
- [11] Mittlefehldt D W, Miller C F. Geochemistry of the sweetwater wash pluton California: Implications for "anomalous" trace element behavior during differentiation of felsic magmas [J]. *Geochemi Cosmochim Acta*, 1983, 47: 109-124.
- [12] Dostal J, Chatterjee A K. Origin of topaz-bearing and related peraluminous granites of the Late Devonian Davis Lake pluton, Nova Scotia, Canada: crystal versus fluid fractionation [J]. *Chemical Geology*, 1995, 123: 67-88.
- [13] Ponader C W, Brown G E. Rare-earth elements in silicate glass melt systems, Interactions of La, Gd and Yb with halogens [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1989, 53: 2905-2914.
- [14] Ohlander B, Billstrom K, Halenius E. Behaviour of rare-earth elements in highly evolved granitic system: Evidence from Proterozoic molybdenite mineralized aplites and associated granites in northern Sweden [J]. *Lithos*, 1989, 23: 267-280.
- [15] Boynton W V. Geochemistry of the rare-earth elements: Meteorite studies [J]. *Geochem*, 1984, 2: 63-114.
- [16] Green T H. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system [J]. *Chemical Geology*, 1995, 120: 347-359.
- [17] Dostal J, Chatterjee A K. Contrasting behaviour of Nb/Ta and Zr/Hf ratios in a peraluminous granitic pluton (Nova Scotia, Canada) [J]. *Chemical Geology*, 2000, 163: 207-218.
- [18] Cerny P, Goad B E, Hawthorne F C, et al. Fractionation trends of the Nb- and Ta-bearing oxid minerals in the Greer Lake pegmatitic granite and its pegmatitic aureole, southeastern Manitoba [J]. *Am Miner*, 1986, 71: 501-517.
- [19] McDonough W F, Sun S-S, Ringwood A E, Jagoutz E and Hofmann A. W. Potassium, rubidium, and cesium in the Earth and Moon and the evolution of the mantle of the Earth [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1992, 56(3): 1001-1012.
- [20] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock [J]. *Petrol*, 1984, 25(4): 956-983.
- [21] Collins W J, Beams S D, White A J R. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1982, 80: 189-200.
- [22] Whalen J B, Carrié K L, Chappell B W. A type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 1987, 95: 407-419.
- [23] 云南省地质矿产局. 中华人民共和国区域地质报告(1:50000) 老寨街幅 [R]. 1991.
- [24] 刘玉平, 李正祥, 李惠民, 等. 都龙锡锌矿床锡石和锆石 U-Pb 年代学——滇东南白垩纪大规模花岗岩成岩-成矿事件 [J]. 岩石学报, 2007, 23(05): 967-976.

- [25] Lister G S, Davis G A. The origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during tertiary continental extension in the northern Colorado River region, USA [J]. *Journal of Structure Geology*, 1989, 11: 65-94.
- [26] 楼法生, 舒良树, 王德滋. 变质核杂岩研究进展 [J]. *高校地质学报*, 2005, 11(1): 67-76.
- [27] 张世涛, 冯明刚, 吕伟. 滇东南南温河变质核杂岩解析 [J]. *中国区域地质*, 1998, 17(4): 390-397.
- [28] 李献华, 胡瑞忠, 饶冰. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学核地球化学 [J]. *地球化学*, 1997, 26(2): 14-31.
- [29] Li X-H. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in Southeast China [J]. *Journal of Asia Earth Sciences*, 2000, 18: 293-305.
- [30] 谢桂青, 胡瑞忠, 贾大成. 赣西北基性岩脉的地质地球化学特征及其意义 [J]. *地球化学*, 2002, 31(4): 329-337.
- [31] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统 [J]. *中国科学(D辑)*, 2003, 33(4): 335-343.
- [32] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 论华南地区中生代3次大规模成矿作用 [J]. *矿床地质*, 2005, 24(2): 99-107.

## Petrology and REE-Trace Element Geochemistry of Bozhushan Granite Pluton in Southeastern Yunnan Province, China

XIE Hong-jing<sup>1,2</sup>, ZHANG Qian<sup>1</sup>, ZHU Chao-hui<sup>1,2</sup>, FAN Liang-wu<sup>1,2</sup>, WANG Da-peng<sup>1,2</sup>

(1. *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;*

2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

**Abstract:** Bozhushan granite comprises two intrusive bodies. The first intrusion is dominated by medium grained biotite monzogranite. Their SiO<sub>2</sub> and total alkaline contents are in the ranges of 64.82% - 72.01% (average 68.72%) and 5.51% - 8.2% (average 6.92%), respectively. The rocks display positive Rb, U, Th, and LREE, and medium strong negative Eu anomalies ( $\delta\text{Eu} = 0.37 - 0.55$ ). Most of rocks belong to peraluminous (average A/CNK = 1.14) granite and generated in syn-collisional setting. The second intrusion mainly consists of fine grained monzogranite, most of which belongs to metaluminous rocks and is characterized by high SiO<sub>2</sub> (75.94% - 76.89%) and total alkaline (7.58% - 8.82%). These rocks are enriched in Nb, Ta, Y, and significant depleted in Sr, Ba, and Eu ( $\delta\text{Eu} = 0.06 - 0.11$ ). This intrusion is formed in an extensional setting. Compared with the first intrusion, the second is mostly depleted in Ba, Sr, and Eu, indicating the higher evolution.

**Key words:** granite; petrology; geochemistry; Bozhushan granite; Southeastern Yunnan Province