

# 海南长塘岭矿区大坡岩体岩石学、 地球化学特征及其含矿性初探

付山岭, 胡 斌, 龚玉爽, 柳 智

中南大学 地球科学与信息物理学院, 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083

**摘 要:**海南大坡岩体位于五指山褶皱带内, 主要受昌江—琼海构造带、琼西构造带与潭斧断陷构造带控制。岩石地球化学及岩石学研究表明, 大坡岩体形成于海西-印支晚期, 岩性单一, 主要为中细粒似斑状黑云母二长花岗岩。岩体显示为 I 型花岗岩与 S 型花岗岩的混合, 主体以地壳物质部分熔融为主, 形成过程有少量地幔物质加入。元素对的比值及稀土元素配分特征说明岩体钨锡等多金属含矿性可能较差。

**关 键 词:**大坡岩体; 岩石学; 地球化学; 含矿性; 海南

**中图分类号:** P611.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2012)04-0369-08

## Petrology, Geochemistry, Ore-bearing Potential of the Dapo Lithosome in the Changtangling Mine Region, Basha County, Hainan

FU Shan-ling, HU Bin, GONG Yu-shuang, LIU Zhi

Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education School of  
Geosciences And Info-Physics, Central South University, Changsha, 410083 China

**Abstract:** The Dapo lithosome locates in the Fingers fold belt which is constrained jointly by Changjiang-Qionghai tectonic belt, Qiongxian tectonic belt. Geochemical and petrographic characteristics of the rock show that the Dapo rock formed during late Hercynian-Indosinian and is dominated by single lithology of the medium-fine grain porphyritic biotite monzogranites. In genesis, the Dapo lithosome shows mixed characteristics of I- and S-type granitoids, implying that the Dapo lithosome was formed by partial melting of the lower crust and by involving of a small amount of mantle material during the melting. Ratios of different elements and REE distribution characteristics, such as high ratio, REE distribution patterns of right type, Eu moderate loss and so on, show that the ore-bearing potential of W-Mo and other elements in the Dapo lithosome is probably poor.

**Key words:** dapo lithosome; petrology; geochemistry; ore-bearing potential; Hainan

长塘岭钨多金属矿区位于海南白沙县, 地处五指山褶皱带内, 构造上受东西向的昌江—琼海构造带和南北向的琼西构造带与北北东向潭斧断陷构造带控制, 其次受北东向南坤园褶皱构造带影响<sup>[1]</sup>。区域内岩浆活动强烈, 发育有大面积的岩浆岩, 主要有邦溪岩体、大坡岩体、长塘岭岩体、石碌岩体及三狮岭岩体等(图 1)。大坡岩体在长塘岭钨多金属矿区出露面积较大, 对矿区钨钼成矿影响较大, 岩体内可见多条含钨石英脉(部分已被民采), 另外在岩体

的云英岩化带内亦可见辉钼矿化发育。本文通过系统的野外地质调查, 并结合前人的工作, 对区内大面出露的大坡岩体的岩相学、地球化学特征、成因及其含矿性作了简单探讨, 以为长塘岭钨多金属矿区的进一步找矿工作提供指导。

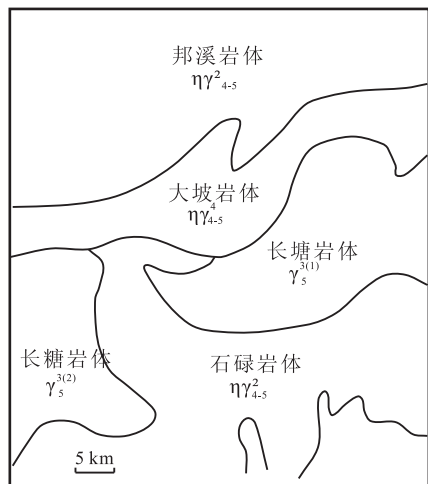
## 1 岩石学特征

大坡岩体位于邦溪岩体和石碌岩体之间, 走向北东东, 岩性较单一, 主要为中细粒似斑状黑云母二

收稿日期: 2011-08-29 收到, 11-25 改回

第一作者简介: 付山岭(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 构造与成矿、地球化学。E-mail: fushanling@163.com.

通讯作者: 胡斌(1968—), 男, 副教授, 研究方向: 成矿预测、应用地球化学研究。E-mail: hubin-d@163.com.



ηγ<sup>2</sup><sub>4-5</sub>-中粒巨斑状黑云母二长花岗岩; ηγ<sup>4</sup><sub>4-5</sub>-中细粒似斑状黑云母二长花岗岩; γ<sup>3</sup><sub>3</sub><sup>(1)</sup>-中粒似斑状黑云母二长岩钾长花岗岩; γ<sup>3</sup><sub>3</sub><sup>(2)</sup>-中粗粒黑云母二长花岗岩—钾长花岗岩  
ηγ<sup>2</sup><sub>4-5</sub>-Medium-grained porphyritic biotite monzogranite;  
ηγ<sup>4</sup><sub>4-5</sub>-Medium-fine-grained porphyritic biotite monzogranite;  
γ<sup>3</sup><sub>3</sub><sup>(1)</sup>-Medium-grained porphyritic-like biotite monzonite K-feldspar granite; γ<sup>3</sup><sub>3</sub><sup>(2)</sup>-Medium-coarse-grained biotite granite-K-feldspar granite

图1 区域岩浆岩分布简图

Fig. 1 Distribution diagram of regional igneous rocks

长花岗岩。斑晶主要为钾长石,呈肉红色;另为斜长石,呈灰白色,粒度一般在 $5 \times 10 \sim 8 \times 18$  mm。石英多为不规则细粒集合体,具波状消光。黑云母片幅1.0~2.0 mm,多呈集合体产出,局部显定向排列;有的地区风化较强烈,除黑云母外,白云母含量也较高,多为黑云母蚀变产物。岩体在长塘岭钨多金属矿区主要分布在西部、北部,出露面积约2.5 km<sup>2</sup>,被后期燕山期中细粒二云母钾长花岗岩侵入分割。岩体内石英脉、云英岩脉发育,多沿裂隙、节理充填。岩体北部有两条后期岩脉切穿,西部、东北部云英岩化带亦主要赋存于此岩体中。该岩体年龄为230~250 Ma<sup>[2,3]</sup>,晚于石碌和邦溪岩体(274.0±6.5 Ma<sup>[3]</sup>),而早于长塘岭岩体(131.7 Ma<sup>[3]</sup>),应为海西-印支期晚期的产物。

岩石镜下呈花岗结构,主要矿物为钾长石、斜长石和石英,次要矿物为黑云母。钾长石多呈半自形—它形,可见卡氏双晶,大颗粒钾长石可见有条纹状斜长石嵌晶(两者共同构成微条纹长石),粒径多为0.5~3.0 mm,个别达5.0 mm,常有泥化,钾长石占薄片的40%;斜长石多呈半自形—自形板状,具聚片双晶,粒径多为0.5~3.0 mm,个别达4.0 mm,见有绢云母化和泥化,斜长石占薄片的30%;石英呈它形,粒径多为0.2~2.0 mm,占薄片的23%;黑云

母呈自形一半自形板片状,粒径多为0.5~2.0 mm,占薄片的6%,磁铁矿等不透明矿物占1%。

## 2 岩石地球化学特征

有关大坡岩体的地球化学特征前人已有较多研究<sup>[2,4~6]</sup>,但大多对其成矿作用探讨较少,尤其是对长塘岭钨多金属矿区的成矿影响没有太多研究。本文系统搜集前人已经报道的数据,对其地球化学特征进行了总结。

由表1可知,大坡岩体的SiO<sub>2</sub>含量为64.32%~78.07%(仅HN16样品为58.83%,可能其内含少量基性包体有关),平均70.17%,与中国花岗岩平均值基本一致(72.26%)<sup>[7]</sup>;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>变化于12.20%~17.05%,平均14.60%,含铝指数ACNK分布在0.88~1.11,多数小于1,平均1.02,在ACNK-ANK图解上多数样品落在准过铝质—弱过铝质范围内(图2);而根据Chappell和White<sup>[8]</sup>以ACNK=1.1对花岗岩类型划分,大坡岩体显示S型花岗岩特征,另含有I型花岗岩成分。Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O含量分别为2.28%~3.23%、2.10%~5.98%,平均为3.14%和4.43%,K<sub>2</sub>O含量明显高于Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O值在0.70~2.28,多数在1.5以上,显示出演化程度较高的壳源花岗岩特征。碱度率(AR)为1.71~2.95,平均2.08,在SiO<sub>2</sub>-AR图解(图3)上,大多落入钙碱性系列;里特曼指数σ在1.54~3.19,平均2.04,在SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O图解上,多数样品落入高钾钙碱性系列(图4)。

由图5可知,大坡岩体整体富集大离子亲石元素和高场强元素,与徐克勤等<sup>[9]</sup>提出的同融型和改造型花岗岩、Hine等<sup>[10]</sup>报道的I型和S型花岗岩及

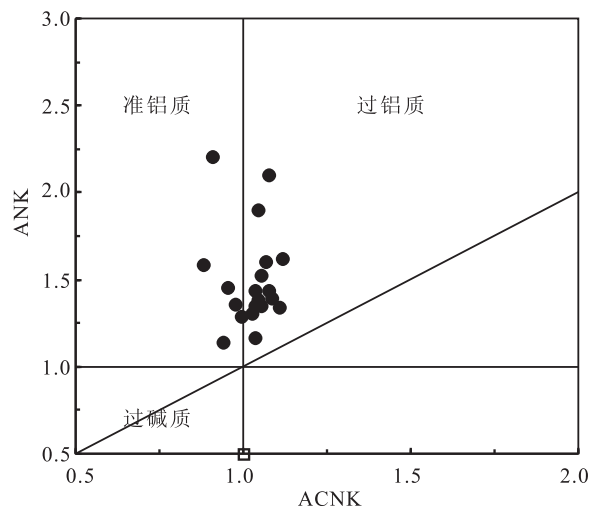


图2 大坡岩体 ANK-ACNK 图解

Fig. 2 Diagram of ANK-ACNK of the Dapo rock

表 1 大坡岩体地球化学各元素含量及其参数  
Table 1 Geochemical compositions and parameters of the Dapo lithosome

样号	HN01	HN02	HN03	HN04	HN05	HN06	HN07	HN08	HN09	HN10	HN11	HN12	HN13	HN14	HN15	HN16	HN17	HN18	HN19	HN20	HN21	AVE
SiO <sub>2</sub>	67.79	71.85	69.53	69.67	66.16	78.07	71.39	64.97	67.82	64.32	66.54	73.50	74.57	71.50	75.99	58.63	71.13	69.46	69.93	69.71	72.05	69.74
TiO <sub>2</sub>	0.48	0.35	0.43	0.46	0.75	0.21	0.37	0.59	0.60	0.79	0.88	0.17	0.13	0.28	0.16	1.40	0.19	0.36	0.45	0.48	0.29	0.47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.50	14.20	15.09	14.41	14.69	14.32	14.54	17.05	15.79	15.46	13.08	14.17	13.76	14.32	12.20	16.05	13.91	14.42	14.29	14.31	14.07	14.51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.26	0.18	0.23	0.13	2.15	0.82	0.14	0.50	0.21	0.77	1.55	0.31	0.02	0.21	0.71	1.16	1.25	0.40	1.27	1.05	0.57	0.66
FeO	2.87	2.08	2.52	2.73	2.43	0.67	1.73	3.57	2.97	4.67	4.93	0.93	1.13	1.83	1.02	6.68	2.25	3.24	2.48	2.24	1.96	2.62
MnO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.02	0.04	0.08	0.04	0.12	0.18	0.05	0.04	0.04	0.02	0.14	0.04	0.00	0.05	0.09	0.06	0.06
MgO	0.71	0.79	0.83	1.08	1.14	0.45	0.60	1.59	1.31	1.12	1.18	0.51	0.44	0.90	0.31	2.48	0.51	0.59	1.04	0.96	0.83	0.92
CaO	2.09	2.07	2.81	2.40	1.96	1.50	2.02	4.37	3.87	3.32	3.77	1.90	1.77	2.10	1.04	5.76	1.78	2.16	2.46	2.53	2.43	2.58
Na <sub>2</sub> O	2.83	2.63	2.51	2.90	2.62	3.04	2.56	2.81	2.57	2.80	2.28	3.23	3.09	2.81	2.52	2.99	3.87	3.32	3.22	3.56	3.08	2.92
K <sub>2</sub> O	5.23	4.79	4.63	3.59	5.98	4.84	5.60	3.11	3.62	5.24	3.94	4.41	4.11	4.92	5.37	2.10	4.79	4.82	3.50	3.92	4.03	4.41
ANK	60.44	60.78	61.95	61.92	60.09	60.44	60.38	65.13	63.60	61.42	60.86	60.53	60.56	60.59	58.31	64.96	59.25	60.28	61.57	60.83	60.96	61.18
ACNK	1.03	1.07	1.06	1.11	1.02	1.10	1.04	1.07	1.04	0.95	0.88	1.05	1.08	1.04	1.03	0.91	0.94	0.99	1.05	1.14	1.14	11.83
AR	8.49	10.52	10.04	11.60	10.48	12.16	10.24	11.24	10.28	11.20	9.12	12.92	12.36	11.24	10.08	11.96	15.48	13.28	12.88	14.24	12.32	11.53
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	2.40	2.16	2.12	0.69	3.36	1.80	3.04	0.30	1.05	2.44	1.66	1.18	1.02	2.11	2.85	0.89	0.92	1.50	0.28	0.36	0.95	1.49
σ	2.42	1.90	1.92	1.58	3.19	1.77	2.35	1.60	1.54	3.03	1.64	1.91	1.64	2.10	1.89	1.66	2.67	2.50	1.68	29.24	21.50	4.27
Ba	756.0	349.0	536.0	270.0	1084.0	386.0	675.0	378.0	526.0	1268.0	931.0	398.0	238.0	421.0	205.0	585.0	—	—	—	680.00	380.00	559.22
Rb	261.0	264.0	163.0	163.0	234.0	223.0	262.0	173.0	164.0	149.0	109.0	214.0	220.0	150.0	448.0	115.0	—	—	—	154.49	191.82	203.24
Sr	102.0	157.0	289.0	274.0	364.0	188.0	247.0	285.0	252.0	418.0	373.0	225.0	123.0	200.0	78.0	395.0	—	—	—	279.97	215.48	248.08
Zr	309.0	151.0	158.0	221.0	455.0	131.0	173.0	156.0	201.0	472.0	595.0	88.00	74.0	53.0	261.0	193.0	—	—	—	252.00	211.00	230.78
Nb	19.20	13.60	7.90	13.10	23.10	10.50	12.80	10.30	11.40	20.20	22.00	12.00	9.60	11.00	41.00	19.00	—	—	—	35.50	21.00	17.40
Th	85.00	36.00	11.00	31.00	35.00	17.00	31.00	12.00	17.00	14.00	11.00	12.00	17.00	20.00	17.00	8.40	—	—	—	4.60	2.90	21.22
Pb	58.00	45.00	23.00	26.00	46.00	36.00	43.00	19.00	24.00	26.00	21.00	41.00	49.00	105.00	29.00	45.00	—	—	—	—	—	39.75
Ga	21.00	19.00	17.00	21.00	24.00	18.00	20.00	21.00	20.00	20.00	20.00	17.00	15.00	17.00	19.00	23.00	—	—	—	—	—	19.50
V	25.00	23.00	18.00	29.00	43.00	10.00	17.00	48.00	36.00	30.00	43.00	15.00	8.00	36.00	21.00	154.00	—	—	—	41.70	31.94	34.98
Hf	9.00	5.00	3.00	5.00	12.00	3.00	5.00	3.00	4.00	10.00	12.00	3.00	2.00	4.20	7.60	4.10	—	—	—	6.09	5.69	5.76
Cs	9.10	15.30	4.10	6.00	7.00	2.00	12.00	14.00	2.00	2.00	1.60	5.00	14.00	—	—	—	—	—	—	—	—	7.24
Sc	5.20	4.20	5.40	4.50	9.90	1.00	4.90	10.60	8.30	11.40	10.90	3.00	2.80	—	—	—	—	—	—	1.24	4.63	5.86
Ta	1.80	1.80	0.80	1.60	1.30	1.40	1.50	0.90	0.60	1.10	1.20	1.40	1.80	2.30	1.70	1.60	—	—	—	2.00	3.00	1.54
Co	4.20	2.90	3.00	4.00	4.40	1.50	2.30	7.20	5.60	5.80	6.50	1.80	1.20	3.80	5.00	21.00	—	—	—	—	—	5.01
U	9.20	14.00	3.00	11.90	3.70	3.30	5.40	3.40	1.10	2.90	2.50	10.80	12.80	12.00	6.00	1.60	—	—	—	—	—	6.48
Zr/Hf	300.00	146.00	155.00	216.00	443.00	128.00	168.00	153.00	197.00	462.00	583.00	85.00	72.00	48.80	253.40	188.90	—	—	—	245.91	205.31	224.94

续表 1

样号	HN01	HN02	HN03	HN04	HN05	HN06	HN07	HN08	HN09	HN10	HN11	HN12	HN13	HN14	HN15	HN16	HN17	HN18	HN19	HN20	HN21	AVE
Nb/Ta	17.40	11.80	7.10	11.50	21.80	9.10	11.30	9.40	10.80	19.10	20.80	10.60	7.80	8.70	39.30	17.40	—	—	—	33.50	18.00	14.62
Rb/Sr	159.00	107.00	126.00	111.00	130.00	35.00	15.00	112.00	88.00	269.00	264.00	11.00	97.00	50.00	370.00	280.00	—	—	—	125.48	23.66	41.13
Ba/Rb	495.00	85.00	373.00	107.00	850.00	163.00	413.00	205.00	362.00	1119.00	822.00	184.00	18.00	271.00	243.00	470.00	—	—	—	525.51	188.18	355.88
Rb/Nb	241.80	250.40	155.10	149.90	210.90	212.50	249.20	162.70	152.60	128.80	87.00	202.00	210.40	139.00	407.00	96.00	—	—	—	118.99	170.82	190.96
La	84.20	51.00	26.70	39.30	193.00	35.50	55.00	30.00	60.10	64.70	55.00	17.90	19.50	38.80	79.00	40.00	—	—	—	35.81	25.58	52.84
Ce	180.30	100.90	55.00	79.96	367.60	63.03	105.10	62.17	112.90	130.00	119.10	33.68	38.62	77.40	164.60	88.70	—	—	—	52.92	40.70	104.04
Pr	19.84	11.61	6.33	9.10	39.04	7.00	12.39	7.13	12.33	16.81	14.32	3.77	4.41	8.97	20.14	10.91	—	—	—	8.28	5.55	12.11
Nd	72.30	39.71	23.80	32.14	129.95	23.59	44.10	25.21	40.98	62.56	55.85	13.20	15.09	28.50	64.90	42.00	—	—	—	28.29	19.72	42.33
Sm	11.82	7.28	4.92	5.75	18.57	3.70	7.26	5.23	6.91	11.89	10.74	2.46	3.71	5.28	12.15	8.42	—	—	—	4.05	3.62	7.43
Eu	1.37	0.84	1.30	0.92	2.28	0.77	1.07	1.20	1.41	2.98	2.50	0.56	0.59	0.81	0.57	1.93	—	—	—	0.71	0.63	1.25
Gd	8.19	4.91	4.69	5.29	12.95	2.81	5.48	4.99	5.25	12.30	10.91	2.11	4.71	3.60	9.27	7.38	—	—	—	2.60	2.26	6.09
Tb	1.10	0.62	0.67	0.68	1.71	0.30	0.67	0.69	0.57	1.67	1.51	0.34	0.86	0.48	1.47	1.15	—	—	—	0.49	0.63	0.87
Dy	5.05	2.88	3.64	3.41	8.34	1.23	3.06	3.75	2.59	9.21	8.26	1.95	5.53	2.11	7.01	6.07	—	—	—	1.74	1.83	4.31
Ho	0.97	0.52	0.69	0.66	1.46	0.19	0.54	0.70	0.46	1.79	1.63	0.43	1.13	0.39	1.35	1.13	—	—	—	0.20	0.40	0.81
Er	2.67	1.47	1.92	1.86	3.80	0.46	1.51	1.81	1.08	5.01	4.64	1.32	3.14	0.93	3.69	3.06	—	—	—	0.71	1.92	2.28
Tm	0.38	0.21	0.27	0.28	0.50	0.06	0.22	0.26	0.13	0.71	0.64	0.22	0.45	0.15	0.56	0.49	—	—	—	0.09	0.21	0.32
Yb	2.36	1.37	1.72	1.93	3.02	0.34	1.44	1.58	0.79	4.58	4.22	1.66	2.98	0.88	3.48	2.84	—	—	—	0.58	1.49	2.07
Lu	0.33	0.19	0.24	0.28	0.43	0.04	0.23	0.22	0.11	0.66	0.64	0.28	0.43	0.13	0.50	0.41	—	—	—	0.07	0.23	0.30
Y	24.90	14.70	18.20	19.50	38.50	5.10	15.10	18.80	10.80	45.40	41.00	13.10	35.10	10.50	38.60	30.80	—	—	—	5.43	17.32	22.38
$\Sigma Ce/\Sigma Y$	323.88	184.47	86.01	133.28	679.73	123.06	196.67	98.14	212.85	207.61	184.06	50.16	27.59	140.59	275.43	138.63	—	—	—	118.15	69.51	180.55
(La/Yb) <sub>N</sub>	81.71	49.50	24.85	37.24	189.85	35.03	53.43	28.29	59.18	59.99	50.65	16.11	16.39	37.79	75.39	37.03	—	—	—	35.10	23.96	50.64
(La/Sm) <sub>N</sub>	72.26	43.60	21.66	33.43	174.31	31.68	47.62	24.65	53.07	52.69	44.14	15.32	15.67	33.40	66.73	31.46	—	—	—	31.64	21.84	45.29
(La/Lu) <sub>N</sub>	83.58	50.52	26.17	38.73	192.28	35.17	54.48	29.49	59.70	63.75	54.07	17.33	18.78	38.38	78.21	39.30	—	—	—	35.45	25.06	52.25
(Ce/Yb) <sub>N</sub>	177.19	98.78	52.53	77.28	363.83	61.94	102.91	59.84	111.36	124.67	114.13	31.27	34.89	75.77	160.37	85.11	—	—	—	51.59	38.46	101.22
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	5.71	3.42	2.85	3.24	9.81	2.35	3.92	3.29	4.34	7.60	6.57	0.33	1.61	2.60	5.67	4.42	—	—	—	1.90	0.65	3.90
$\delta Ce$	0.90	0.84	0.86	0.86	0.84	0.79	0.81	0.86	0.83	0.81	0.87	0.82	0.84	0.84	0.84	0.87	—	—	—	0.62	0.69	0.82
$\delta Eu$	0.40	0.40	0.80	0.50	0.43	0.86	0.45	0.71	0.68	0.75	0.86	0.73	0.43	0.54	0.16	0.73	—	—	—	0.73	0.73	0.61
$\Sigma REE$	416.00	238.30	150.00	201.10	821.30	144.10	253.10	163.80	256.60	370.40	331.10	93.00	136.30	178.90	407.00	245.00	—	—	—	141.97	119.45	259.30

注: HN01~HN16 数据来源于文献[2], HN17、HN18 来源于文献[4], HN19 来源于文献[5], HN20、21 来源于文献[6], 本文重新排了样号, 各种参数是根据上述文献的原始数据重新计算的。其中, ANK =  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ , ACNK =  $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$  (摩尔比), AR =  $(Al_2O_3+CaO+2Na_2O)/(Al_2O_3+CaO-2Na_2O)$  (wt, %); 22 个球粒陨面平均值转引自文献[7]; — 表示无相关数据

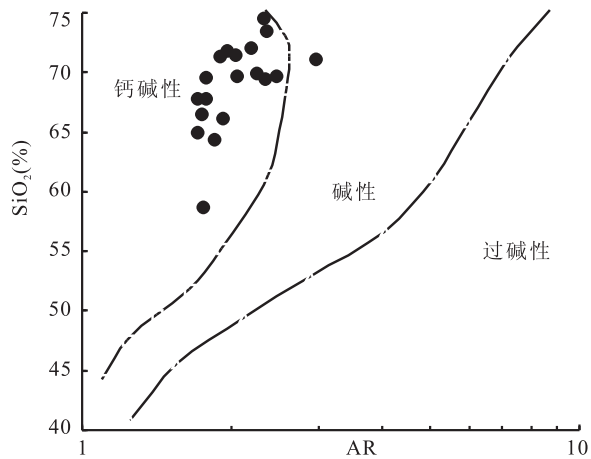


图3 大坡岩体 SiO<sub>2</sub>-AR 图解  
Fig. 3 Diagram of SiO<sub>2</sub>-AR of the Dapo rock

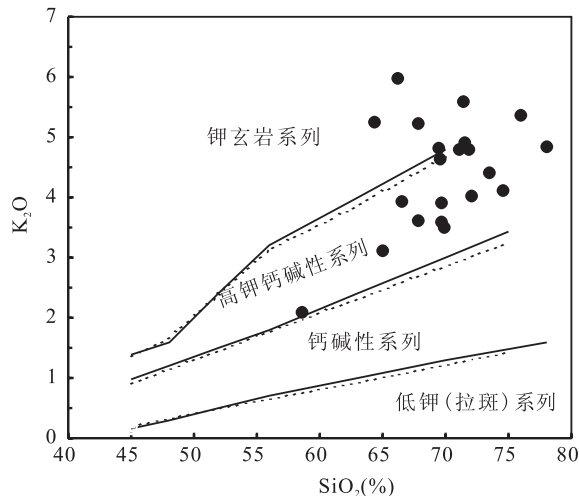


图4 大坡岩体 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 图解  
Fig. 4 Diagram of SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O of the Dapo rock

Whalen 等<sup>[12]</sup>报道的 A 型花岗岩进行对比,该岩体的微量元素特征介于 I 与 S 型之间。将所有样品投于(Al-Na-K)-Ca-(Fe<sup>2+</sup> + Mg)三角图<sup>[11]</sup>(图略),可见大多数样品落在 I 型和 S 型之间。其 Ba、Rb、Sr、Zr、Nb、Th、Pb、Ga、V 含量和 Nb/Ta、Rb/Nb 值较高,而 Hf、Cs、Sc、Ta、Co、U 含量和 Rb/Sr、Rb/Ba 值较低,与板块汇聚边缘岩浆岩固有的 Ta 和 Nb 的贫化的同碰撞花岗岩<sup>[12]</sup>一致,而其富集大离子亲石元素和高场强元素的特征又与产于成熟度较低的正常的钙碱性大陆边缘弧花岗岩有一定相似性<sup>[13]</sup>,上述反映了该岩浆形成构造环境的特殊性。其 Zr/Hf 值为 29.33~52.67,平均 39.81,变化范围较大,明显不同于正常花岗岩的(36~39)<sup>[14,15]</sup>,而介于 I 型与 S 型花岗岩之间;Rb/Nb 值为 4.35~22.92,平均 14.55,显著高于地壳平均值(5.36)<sup>[16]</sup>及铝质 A 型花岗岩的值,而与世界 S 型花岗岩的值相似<sup>[11]</sup>,显示其主要由地壳物质熔融而成<sup>[17]</sup>。

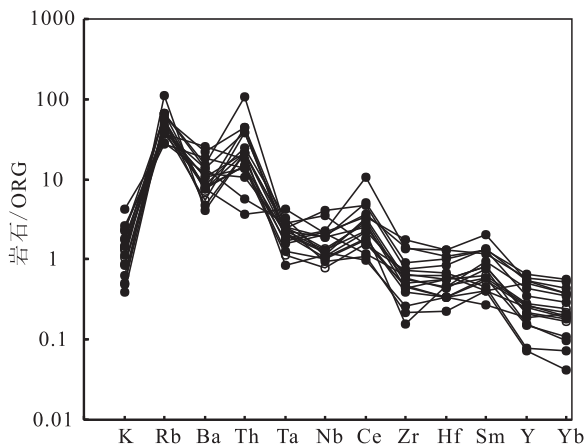


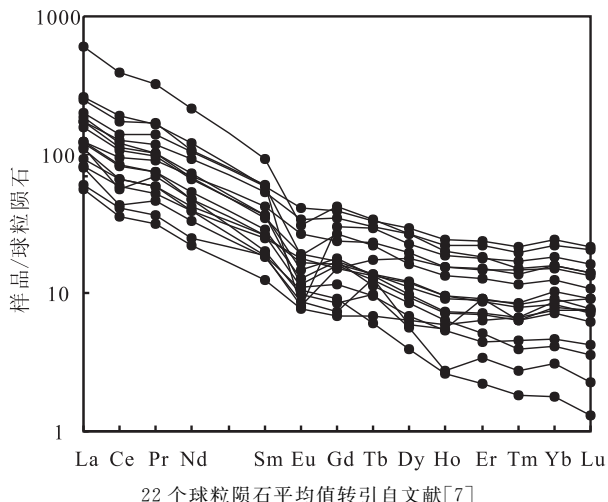
图5 大坡岩体微量元素洋中脊标准化蛛网图  
Fig. 5 Spider diagram of trace elements standardized

by the ocean ridge granite

由表 1 可知,大坡岩体的稀土元素含量较高,其  $\Sigma REE$  为  $(93.00 \sim 821.30) \times 10^{-6}$ ,变化范围较大,平均值  $(259.30 \times 10^{-6})$  则与世界花岗岩稀土元素的平均值  $(250 \times 10^{-6})$  一致<sup>[18]</sup>。Eu 负异常较发育,  $\delta Eu$  在 0.40~0.86,平均 0.61,与同融型花岗岩 ( $\delta Eu > 0.60$ ) 一致<sup>[9,19]</sup>,个别样品如 HN15 则显示较强烈的 Eu 负异常,反映其分异演化程度较高。 $\epsilon Ce/\epsilon Y$  值一般在 1.52~12.96,平均 6.34,反映轻稀土相对富集、重稀土相对亏损,与同融型花岗岩 ( $\epsilon Ce/\epsilon Y$  为 5~10) 一致<sup>[9]</sup>。 $(La/Yb)_N$ 、 $(La/Sm)_N$  均较高,分别为 3.89~61.99(平均 20.27)、2.97~6.95(平均 4.37), $(Gd/Yb)_N$  为 0.78~5.07(平均 2.12),大多在 1 以上,说明轻重稀土元素有强烈的分馏。稀土元素总体配分模式整体表现为右倾型(图 6),具有造山带中钙碱性花岗岩的普遍特征,同时也与研究区附近抱板地区变质沉积岩稀土元素配分模式和特征参数相似<sup>[20]</sup>。

### 3 成因浅析

花岗岩的成因一直是地质学界研究的焦点,尤其是“多源物质混合成因”<sup>[21~23]</sup>及花岗岩“走滑扩容泵吸定位机制”<sup>[24]</sup>的提出进一步扩展了花岗岩成因的范围。岩石学及地球化学研究表明,大坡岩体具有明显的钙碱性演化趋势,既具有不成熟火山弧花岗岩地球化学特征,又具有同碰撞和碰撞后造山带花岗岩特征;高 Si(平均值 69.74%)、富 K 低 Na ( $K_2O/Na_2O$  比值平均 1.54)、弱过铝质的性质和高 ( $^{87}Sr/^{86}Sr$  为  $0.72053 \pm 70 \sim 0.74410 \pm 8$ )<sup>[25]</sup>,



Standardized values is the average of 22 moaified from Herman [7]

图 6 大坡岩体稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

Fig. 6 Diagram of distribution pattern of REE standardized by chondrites

表现出一定的 S 型花岗岩的特征<sup>[26,27]</sup>。然而该岩体并非典型的 S 型花岗岩,如花岗岩中缺少一些典型的强过铝矿物如堇青石、白云母等,却出现较多的角闪石、榍石、磁铁矿等高氧逸度矿物以及反映岩浆混合作用的闪长质淬冷包体、环斑结构<sup>[28]</sup>,还存在一些同时期的辉长岩类小岩体(如矿区的西南部)等。此外,云平等<sup>[2]</sup>研究表明,海南岛内大面积出露的花岗岩可能与地幔热源有关或者是加厚的地壳拆沉作用导致地幔岩浆上涌而加热下地壳,导致下地壳部分熔融。如某些岩体  $\epsilon_{Nd}(t)$  较大,但  $t_{DM}$  却较小,可能显示了该时期有地幔岩浆活动。上述特征表明,大坡岩体形成过程中其原始壳源岩浆可能有一定量的地幔物质加入,使岩石具有 I-S 过渡型花岗岩型特征,与夏邦栋等<sup>[6]</sup>、许德如等<sup>[29]</sup>、马大栓

等<sup>[4]</sup>的研究结果一致。上述大坡岩体的主量、微量和稀土元素特征表明其兼具 I 型和 S 型花岗岩的特点,在 Whalen<sup>[11]</sup>的花岗岩成因判别图解(图 7)上显示多数样品落在 I 型和 S 型花岗岩混合区域内,而只有少数落在 A 型花岗岩区域内。上述分析表明,该岩体主体的形成以地壳物质部分熔融为主,但在形成过程有少量地幔物质的加入,即该岩体是以地壳物质部分熔融为主,又有少量幔源组分加入的混合成因。

#### 4 含矿性初步探讨

地质体含矿与否是找矿和勘探工作中最为重要的问题之一。目前用于地质体含矿性评价的地球化学方法较多,如全岩地球化学法、矿物-地球化学法以及数理统计(多元统计)法等。无论采用那种方法,其基本前提是有大量精确的分析数据,其中微量元素分析数据又是最重要的依据之一。本文在系统搜集前人已发表数据的基础上,简单采用元素对比值(如微量元素对常能为地质体的含矿性研究提供一些信息)结合稀土元素的分布特征,对大坡岩体的含矿性做一些初步探讨。

赵振华等<sup>[30~33]</sup>在对我国南方大面积出露的花岗岩的微量元素、稀土元素地球化学研究过程中发现,与 Be、W、Sb、Nb、Ta 等稀有金属有关的花岗岩,其 K/Rb 值较低,一般都在 100 以下,明显低于花岗岩类平均值(167),而且 K/Rb 值与稀有金属含量呈明显的负消长关系<sup>[34]</sup>,因此 K/Rb 值可作为花岗岩矿化的指标。由表 1 中的数据计算可知,大坡岩体的 K/Rb 值分布在 120~328,平均 232,大多在 200 以上,说明岩体的含矿性可能较差。此外,稀有

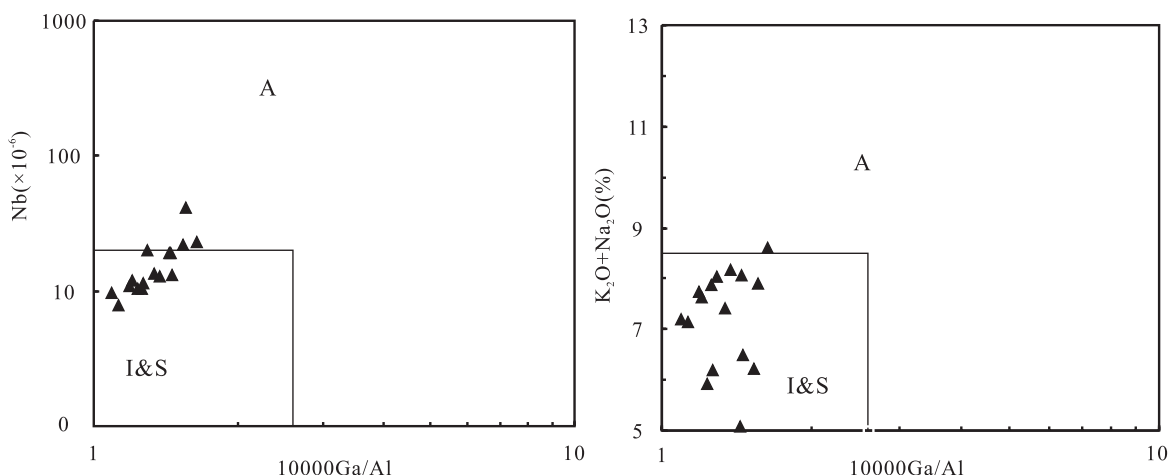


图 7 大坡岩体成因的 Whalen 判别图解

Fig. 7 Diagram of granite genesis-discrimination of Whalen on the Dapo rock

金属矿化的花岗岩具有稀土含量较低,变化范围较大;相对富含重稀土元素,  $(La/Yb)_N \sim 1$ ,甚至小于1,有强烈Eu亏损( $\delta Eu < 0.20$ )。上述特点反映出矿化花岗岩形成近水平的“V”型稀土元素分布模式,这种特殊的稀土元素组成构成了典型的“M”型四分组效应,即(La、Ce、Pr、Nd)、(Pm、Sm、Eu、Gd)、(Gd、Th、Dy、Ho)、(Er、Tm、Yb、Lu)分别构成四条上凸曲线<sup>[31~33]</sup>。这种配分模式与普通花岗岩(右倾型,Eu中等亏损)明显不同,可作为矿化花岗岩的识别标志。由表1可知,大坡岩体的稀土元素含量较高,相对富集轻稀土,  $(La/Yb)_N$  值为4~62,平均20,弱Eu负异常( $\delta Eu$ 平均值为0.61),且其稀土元素配分模式为右倾型(图6),这与稀有金属矿化花岗岩明显不同,亦说明该岩体含矿性可能较差,当然更深入的评价需要做进一步的研究工作。

## 5 结 论

(1)大坡岩体岩性较单一,为中细粒似斑状黑云母二长花岗岩。斑晶主要为钾长石,呈肉红色,有的为斜长石,呈灰白色,粒度一般在  $5 \times 10 \sim 8 \times 18$  mm。石英多为不规则细粒集合体,具波状消光,黑云母片幅1.0~2.0 mm,多呈集合体出现,局部显定向排列。

(2)岩石地球化学特征表明,大坡岩体显示有I型与S型花岗岩的混合型特征;在Whalen等<sup>[11]</sup>的判别图解上可明显看出,多数样品落在I型和S型花岗岩混合区,而只有少数落在A型花岗岩区。该岩体主体是以地壳物质部分熔融为主,形成过程有少量地幔物质的加入,即以地壳物质部分熔融为主,又有少量幔源组分加入的混合成因。

(3)元素对比值及稀土元素配分特征,如高K/Rb值,右倾型、中等Eu亏损的稀土元素配分模式均说明,大坡岩体的钨锡等多金属含矿性可能较差。

## 参考文献 (References):

- [1] 张树准,符国祥,郭真民,刘超美,甘金木,杨杰华. 海南岛地质—构造地质[M]. 北京:地质出版社,1991.  
Zhang Shuzhun, Fu Guoxiang, Guo Zhenming, Liu Chaomei, Gan Jinmu, Yang Jiehua. Hainan island geology-structural geology[M]. Beijing: Geology Publishing House, 1991. (in Chinese)
- [2] 云平,雷裕红,吕嫦艳. 海南岛中北部三叠纪花岗岩源区的锶、钕同位素制约及其意义[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(2): 234—241.  
Yun Ping, Lei Yuhong, Lv Changyan. Sr and Nd isotopic constraints on the source regions of the Triassic granitoids in central northern Hainan Island and their significance[J]. Geotect. Metallogenia, 2005, 29(2): 234—241. (in Chinese with English abstract)
- [3] 刘公民. 海南岛花岗质侵入岩研究的新进展[J]. 广东地质, 1991, 6(4): 87—94.  
Liu Gongming. New advance of granitic intrusive rock of Hainan island[J]. Guangdong Geology, 1991, 6(4): 87—94. (in Chinese)
- [4] 马大铨,康先继,赵之杰,程德琼,滕富文,袁春林,张旺驰,付建民. 海南岛地质-岩浆岩[M]. 北京:地质出版社,1991.  
Ma Daquan, Kang Xianji, Zhao Zhijie, Chen Deqiong, Teng Fuwen, Yuan Chunlin, Zhang Wangchi, Fu Jianming. Hainan island geology-igneous petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991. (in Chinese)
- [5] 付建明,赵子杰,曾波夫. 海南岛邦溪—芙蓉田地区花岗岩类单元特征及其形成环境[J]. 广东地质, 1996, 11(4): 22—29.  
Fu Jianming, Zhao Zijie, Zeng Bofu. Characteristics and environment of formation of granitoids units in the Bangxi-Furongtian Area, Hainan Island[J]. Guangdong Geology, 1996, 11(4): 22—29. (in Chinese with English abstract)
- [6] 夏邦栋,于津海,方中,王赐银,楚雪君. 海南岛海西-印支期花岗岩的地球化学特征及成因[J]. 地球化学, 1990, (4): 365—373.  
Xia Bangdong, Yu Jinhai, Fang Zhong, Wang Ciyin, Chu Xuejun. Geochemical characteristics and origin of the Hercynian-Indosinian granites of Hainan Island, China[J]. Geochimica, 1990, (4): 365—373. (in Chinese with English abstract)
- [7] 史长义,鄢明才,刘崇民,迟清华,胡树起,顾铁新. 中国不同岩石类型花岗岩类元素丰度及特征[J]. 物探化探技术, 2005, 27(3): 256—273.  
Shi Changyi, Yan Mingcai, Liu Chongmin, Chi Qinghua, Hu Shuqi, Gu Tiexin. Abundance chemical elements in different rock types of the granitoids of China and its characteristics[J]. Comp. Tech. Geophy. Geochem. Explor., 2005, 27(3): 256—273. (in Chinese with English abstract)
- [8] Chappell B W, White A J R. Two contrasting granite types: 25 years later[J]. Au. Earth Sci., 2001, (48): 489—499.
- [9] 徐克勤,涂光焱. 花岗岩地质与成矿关系[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1986.  
Xu Keqin, Tu Guangzhi. Geology and mineralization of granite [M]. Nanjing: Jiangsu Sci. Tech Press, 1986. (in Chinese)
- [10] Hine R, Williams I S, Chappell B W, White A J. Contrasts between I-and S-type granitoids of the Kosciusco Batholith [J]. J. Geol. Sci. Aus., 1978, 25(4): 219—234.
- [11] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1987, (95): 407—419.
- [12] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. J. Petrol., 1984, (25): 956—983.
- [13] 张旗,钱青,王焰. 造山带火成岩地球化学研究[J]. 地学前沿, 1999, 6(3): 113—120.  
Zhang Qi, Qian Qing, Wang Yan. Geochemical study on ig-

- neous rock of orogenic belts[J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(3): 113-120. (in Chinese with English abstract)
- [14] Taylor S R, McLemann S M. The continental Crust: Its composition and evolution[M]. Blackwell; Oxford Press, 1985.
- [15] Dostal J, Chatterjee A K. Contrasting behavior of Nb/Ta and Zr/Hf ratios in a peraluminous granitic pluton Nova Scotia, Canada[J]. *Chemical Geology*, 2000, 163: 207-218.
- [16] Rudnick R L. Nature and composition of the continental crust: A lower crustal perspective[J]. *Rev. Geophys.*, 1995, (33): 267-309.
- [17] Hildreth W H, Halliday A N, Christiansen R L. Isotopic and chemical evidence concerning the genesis and contamination of basaltic and rhyolitic magma beneath the Yellow Plateau volcanic field[J]. *J. Petrol.*, 1991, (110): 46-56.
- [18] Wedepohl K H. Handbook of geochemistry(Vol. II -2)[M]. Springer-Verlag, 1970.
- [19] 赵德潜, 陈刚. 实用稀土元素地球化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990.  
Zhao Deqian, Chen Gang. The utility of rare earth element geochemistry[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1990. (in Chinese)
- [20] 许德如, 梁新权, 唐红峰. 琼西抱板群变质沉积岩地球化学研究[J]. *地球化学*, 2002, 31(2): 153-160.  
Xu Deru, Liang Xinquan, Tang Hongfeng. Geochemical characteristics of Baoban Group metasedimentary rocks in western Hainan, China[J]. *Geochimica*, 2002, 31(2): 153-160. (in Chinese with English abstract)
- [21] 王涛. 花岗岩混合成因研究及其大陆动力学意义[J]. *岩石学报*, 2000, 16(2): 161-168.  
Wang Tao. Origin of hybrid granitoids and the implications for continental dynamics[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2000, 16(2): 161-168. (in Chinese with English abstract)
- [22] Barbarian B A. Review of the relations between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. *Lithos*, 1999, (46): 605-626.
- [23] Castro A. H-Type(hybrid)granitoids: A proposed revision of the granite type classification and nomenclature[J]. *Earth Science Review*, 1991, 31(3-4): 237-253.
- [24] Brown M. The generation, segregation, ascent and emplacement of granite magma[J]. 1994, (36): 83-230.
- [25] 方中, 夏邦栋, 于津海. 海南岛古生代岩石 Rb-Sr 年代学和氧同位素研究[J]. *岩石学报*, 1992, 8(3): 297-302.  
Fang Zhong, Xia Bangdong, Yu Jinhai. Study on geochronology and their oxygen isotope of paleozoic rocks on Hainan Island[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1992, 8(3): 297-302. (in Chinese with English abstract)
- [26] 查佩尔, 怀特. 澳大利亚南部莱克兰褶皱带的 I 型和 S 型花岗岩, 花岗岩地质与成矿关系[M]. 南京: 江苏科技出版社, 1986: 58-68.  
Chappell B W, White A J R. I type and S type granite of Lakeland fold belt in Australia South[M]. Nanjing: Jiangsu Sci. Tech. Press, 1986: 58-68. (in Chinese)
- [27] Pitcher W J. The nature and origin of granite[M]. Glasgow: Blackie, 1993.
- [28] 方中, 陶仙聪. 海南岛海西-印支期花岗岩和暗色包体的 Sm-Nd 同位素特征[J]. *南京大学学报*, 1995, 31(2): 338-343.  
Fang Zhong, Tao Xiancong. Sm-Nd isotopic characteristics of Hercynian-Indosinian granites and xenoliths in Hainan Island South China[J]. *J. Nanjing Univ.*, 1995, 31(2): 338-343. (in Chinese with English abstract)
- [29] 许德如, 范蔚茗, 梁新权, 唐红峰. 海南岛元古宙变质基底性质和地壳增生的 Nd, Pb 同位素制约[J]. *高校地质学报*, 2001, 7(2): 146-156.  
Xu Deru, Fan Weiming, Liang Xinquan, Tang Hongfeng. Characteristics of proterozoic metamorphic basement in Hainan Island and its implications for crustal growth: Nd and Pb isotope constraints[J]. *Geol. J. China Univ.*, 2001, 7(2): 146-156. (in Chinese with English abstract)
- [30] 王一先, 赵振华, 王中刚. 西藏南部花岗岩类中微量元素的某些地球化学特征[J]. *地球化学*, 1981, (1): 26-35.  
Wang Yixian, Zhao Zhenhua, Wang Zhonggang. Some geological characteristics of traces elements in granitoids rocks in Southern Xizang[J]. *Geochimica*, 1981, (1): 26-35. (in Chinese with English abstract)
- [31] 王中刚, 赵振华, 赵蕙兰. 华南花岗岩的稀土元素分布模式[J]. *地球化学*, 1980, (1): 1-12.  
Wang Zhonggang, Zhao Zhenhua, Zhao Huilan. REE distribution patterns of granites in South China[J]. *Geochimica*, 1980, (1): 1-12. (in Chinese with English abstract)
- [32] 赵振华. 花岗岩中发现稀土元素四重分布效应的初步报道[J]. *地质地球化学*, 1988, (1): 71-72.  
Zhao Zhenhua. Initial report on tetrad effect of REE distribution in granites[J]. *Geology-Geochemistry*, 1988, (1): 71-72. (in Chinese)
- [33] 赵振华. 稀土的四重分布—水(流体)与岩体(熔体)相互作用的重要地球化学标志[A]. 全国第三届矿物岩石地球化学学术交流会议论文摘要汇编[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1988: 47-48.  
Zhao Zhenhua. Tetrad distribution of REE: Significant geochemical signs of water (fluid)-rock(melt) interaction[A]. Abstracts of the third national academic conference on mineral-rock-geochemistry[M]. Beijing: China Sci. Tech. Press, 1988, 47-48. (in Chinese)
- [34] 赵振华, 增田彰正, 夏巴尼. 稀有金属花岗岩的稀土元素四分组效应[J]. *地球化学*, 1992, (3): 221-233.  
Zhao Zhenhua, Zengtian Zhangzheng, Xia Bani. Tetrad effect of rare-Earth elements in rare-metal granites [J]. *Geochimica*, 1992, (3): 221-233. (in Chinese with English abstract)
- [35] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1997.  
Zhao Zhenhua. Trace element geochemistry principle[M]. Beijing: Science Press, 1997. (in Chinese)