

# 东南亚巽他群岛埃达克岩的分布及斑岩型铜(金)矿成矿预测的地质准则

朱章显, 杨振强, 姚华舟, 梁约翰, 彭练红, 谌建国

ZHU Zhang-xian, YANG Zhen-qiang, YAO Hua-zhou,

LIANG Yue-han, PENG Lian-hong, CHEN Jian-guo

中国地质调查局宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003

Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Yichang, 443003, Hubei, China

**摘要:** 东南亚巽他群岛是新生代埃达克岩、类埃达克岩极其发育的地区。这些中酸性岩浆岩广泛见于几内亚岛上的中央山脉、巴布亚新几内亚的欧文-斯坦利推覆带、俾斯麦岛弧、布干维尔岛-所罗门岛弧、印度尼西亚苏拉威西、加里曼丹中部、班达岛弧, 零星见于苏门答腊、爪哇等地。根据微量元素特征及 REE 曲线类型的特点, 本区埃达克岩可以明显地划分为 2 种类型: 第一种埃达克岩类型属于拉斑/钙-碱性系列, 具有大洋岛弧的 REE 曲线特征(相当于 O 型埃达克岩); 第二种埃达克岩属于高钾钙-碱性系列, 归于大陆埃达克岩(相当于 C 型埃达克岩), 形成于弧-陆碰撞带或碰撞后造山带。埃达克岩与浅成热液金属矿床和斑岩矿床的成矿作用有密切的关系, 是世界级浅成热液和斑岩铜-金矿的容矿岩石。

**关键词:** 埃达克岩; 弧-陆碰撞带; 浅成热液和斑岩矿床; O 型埃达克岩; C 型埃达克岩; 碰撞后造山带

中图分类号: P618.41; P612

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2009)02/03-0333-10

Zhu Z X, Yang Z Q, Yao H Z, Liang Y H, Peng L H, Chen J G. Distribution of Adakite and Adakite-like rocks and geochemical criteria for exploration in epithermal and porphyry deposits, Sunda Islands, Southeast Asia. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(2/3):333-342

**Abstract:** Adakite and Adakite-like rocks are widespread and well-developed in Sunda Islands, Southeast Asia. These intermediate-acid magmatic rocks widely occur within the Central Range of Guinea Island and Owen Stanley thrust belt, northern New Guinea-Bismarck island arc, Bougainville-Solomon island arc, Sulawesi (Indonesia), Central Kalimantan, Banda island arc, as well as rare in Sumatra and western Java. Based on trace elements feature and REE curve type, the adakites and adakite-like rocks of Sunda Islands can obviously be divided into two types: the First one belongs to tholeiitic/calc-alkaline series with characterized REE curve of oceanic island arcs (O type-adakites); the second one belongs to high potassium calc-alkaline series, which can be concluded into continental type (C type-adakites), these rocks are located at arc-continent collision zone or post-collision orogenic zone. Adakites is considered to closely linked to mineralization of epithermal and porphyry deposits and is the host rocks for world-class epithermal and porphyry deposits.

**Key words:** Adakites; arc-continent collision zone; epithermal and porphyry ore deposits; O type-adakites; C type-adakites; post-collision orogenic zone

埃达克岩形成于大陆边缘火山弧环境, 是由俯冲的年轻( $\leq 25$  Ma)的大洋板片熔融所形成的一种新型的火成岩。埃达克岩的主要地球化学特征是:

$\text{SiO}_2 \geq 56\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15\%$ 、 $\text{MgO} < 3\%$ , 与正常的岛弧安山岩-英安岩-流纹岩相比, 具有低重稀土元素 Y ( $\text{Yb} \leq 1.9 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Y} \leq 18 \times 10^{-6}$ ) 和高 Sr ( $> 400 \times 10^{-6}$ )

收稿日期: 2008-10-30; 修订日期: 2008-12-08

地质项目: 中国地质调查局项目《中国大陆周边地区主要成矿带成矿规律对比及潜力评价》(编号: 1212010661308)资助

作者简介: 朱章显(1959-), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 从事区域地质调查、矿产普查和境外地质矿产编图工作

E-mail: zzx765000@sina.com

的特征。

近年来,笔者等在从事东南亚地区地质矿产研究的工作中,对研究区内的火山岩资料进行了广泛收集、系统整理和研究,结果表明:巽他群岛是埃达克岩和类埃达克岩极其发育的地区之一。但是在前人的文献中,仅零星有关于东南亚地区的菲律宾和巴布亚新几内亚的 Arid Hills 地区新生代埃达克岩的报道,可以说已发表的有关巽他群岛埃达克岩和类埃达克岩的资料甚少。

研究表明,金、银、铜、钼等斑岩型矿床、浅成低温热液矿床多数与埃达克岩或埃达克质岩密切共生,而且许多世界级的斑岩铜、金矿床的成因与埃达克质岩浆侵入有关<sup>[1-7]</sup>,埃达克岩是斑岩铜、金矿床一种极好的找矿标志。毫无疑问,研究埃达克岩(或埃达克质火山岩)及埃达克岩族的分布特征,对于指导本区矿床成因研究与找矿无疑具有很大的科学意义和经济价值。

# 1 巽他群岛新生代埃达克岩的分布特征

巽他群岛的埃达克岩广泛分布于印度尼西亚的几内亚岛,巴布亚新几内亚的俾斯麦岛弧、布干维尔

岛弧和印度尼西亚的苏拉威西岛、班达岛弧,零星见于苏门答腊、爪哇等地。

在印度尼西亚的伊里安查亚至巴布亚新几内亚的中央山脉(几内亚造山带)内,自北西—东南方向存在一条连绵逾 2000 km 的埃达克岩带(图 1 中的阴影区),包括埃茨贝格矿田内 16 个浅成岩体(表 1)<sup>[8-9]</sup>、巴布亚新几内亚境内富比兰山岩体(奥克太迪矿床)的安粗斑岩、弗里达河矿区的闪长斑岩、Karawari 岩基的云英闪长岩、Awari 岩基的云英斑岩、南 Yuat 岩基的花岗闪长岩和扬得拉矿区的云英闪长斑岩<sup>[10]</sup>,它们皆是以 Y 值在  $7 \times 10^{-6} \sim 18 \times 10^{-6}$ 、Sr 值在  $436 \times 10^{-6} \sim 890 \times 10^{-6}$  之间为特征的埃达克质中酸性岩。此外,巴布亚新几内亚的哈根山、多马峰、维多利山等地的高钾安山岩皆为埃达克岩(表 2)。

从查阅到的大量的、已经发表的外文文献中登载的有关印度尼西亚苏拉威西岛的 137 个岩石化学数据中,查得属于埃达克岩和埃达克质岩(或类埃达克岩)的岩石样品有 25 个。分布于南苏拉威西、中苏拉威西、北西苏拉威西和苏拉威西北分支,向北一直延伸到菲律宾棉兰老岛,构成巽他古大陆边缘的新生代埃达克岩岛弧分布带(表 2)。

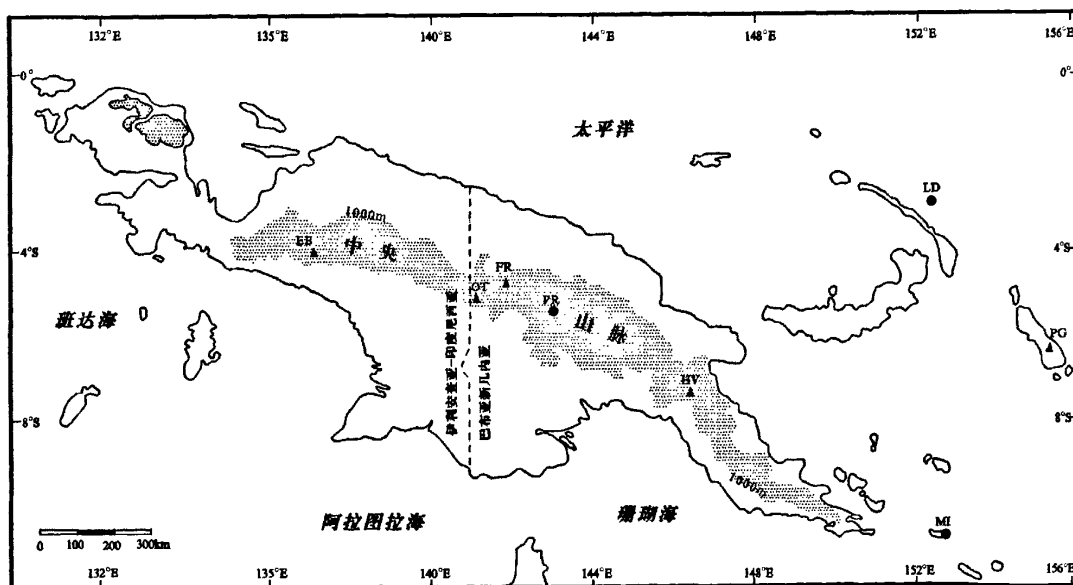


图 1 埃茨贝格矿区(Gunung Bijih 矿床)的位置

Fig. 1 Location of the Ertzberg region(Gunng Bijih deposit)

此矿区位于伊里安查亚的中央山脉内,细点区域表示高程大于 1000m。其他金±铜矿床的符号:▲=斑岩金±铜系统,

●=金矿床,EB=埃茨贝格,OT=奥克太迪,FR=弗里达河,HV=海登谷,LD=拉多拉姆(希希岛),

PG=潘古纳(布尔干维尔岛),MI=米西岛,PR=波格拉<sup>[11]</sup>

表 1 埃茨贝格矿田和哈马黑拉岛弧埃达克岩带样品的主量元素、微量元素和稀土元素分析结果<sup>8)</sup>

Table 1 Analysis results of major element, trace element and REE of adakite and adakite-like rock samples from the Ertzberg region and the Halmahera island arc

采样 位置 样号	埃 茨 贝 格 矿 田 <sup>[8]</sup>							哈马黑拉岛弧 <sup>[18]</sup>	
	Wanagon		埃茨贝格	格拉茨贝格	Big Gossan			哈马黑拉	Pisang
	W4001	W4002	EB1001	GB2001	BGU9-4	BGU9-6	BGU5-1	P7	P3
SiO <sub>2</sub>	62.4	57.8	59.6	59.7	59.7	59.3	56.2	55.4	61.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.9	17.3	16.3	16.7	15.3	16.4	16.2	18.3	17.4
MgO	1.54	2.24	2.09	2.45	2.1	1.8	2.19	4.88	2.8
Na <sub>2</sub> O	4.86	3.35	3.59	4.05	4.25	4.04	4.74	3.89	4.76
K <sub>2</sub> O	3.76	2.3	3.43	3.29	4.78	4.32	4.4	2.29	3.44
Cs					2	4.99	2.3	2.43	3.14
Rb	75	89	115	98	156	145	119	85.8	62.2
Ba	803	675	603	603	598	660	727	1030	1089
Th	5.9	3.5	8.2	7.9	11.3	9.1	7.5		
Nb	11	8	10	11				21	21.1
Sr	1197	866	842	842	780	943	1295	1069	1082
Hf	3.2	3	3.8	3.6	3.7	3.9	3.3		
Zr	152	128	154	152	121	106	119	195	176
Y	15.7	16.9	18.1	18.2	17	18	19	16.8	12.1
Ni	8.6	3.9	6.4	6.3	7	4	6	32.4	54.8
Cr	9.4	11.7	7.2	5.7	17	17	20	74.8	47.5
Sc	8.9	12.2	12.8	12.6	12	12	12		
La	30.6	25	28.2	24.4	25.5	25.2	24.4		
Ce	50	47	50	46	47	47	48		
Pr									
Nd	21	19	21	20	18	24	22		
Sm	3.7	3.5	3.7	3.8	3.5	3.6	3.8		
Eu	1.4	1.2	1.3	1.3	1.1	1.3	1.2		
Gd									
Tb	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6		
Dy									
Ho									
Er									
Tm									
Yb	1.7	1.9	1.8	2	1.7	1.8	1.7		
Sr/Y	76.24	51.24	46.52	46.26	45.88	52.39	68.16	63.61	89.40
La/Yb	18.00	13.16	15.67	12.20	15.00	14.00	14.35		

注:主量元素含量为%;微量和稀土元素含量为 10<sup>-6</sup>

巴布亚新几内亚大多数活火山都分布于俾斯麦海的南部、西部(表 3)和阿德默勒尔蒂群岛-塔巴尔岛-布干维尔岛-所罗门群岛岛弧(表 4)。

众多的埃达克质火山岩分布于俾斯麦海南部和

西部这条火山岛弧带中,包括 Bam 岛、Boisa 岛、Karkar 岛、Bmus 岛火山侵入岩,以及新不列颠岛上的 Kulu、Plesyumi、Esis-Sai 杂岩体中的埃达克质侵入岩(表 5)<sup>[12]</sup>。

表 2 巴布亚新几内亚埃达克岩样品的主量元素、微量元素和稀土元素分析结果  
Table 2 Analysis results of major ,trace element and REE of adakite  
and adakite-like rock samples from Papua New Guinea

采样 位置 样号	奥克太迪 Fu2 <sup>[13]</sup>	弗里达河 Fr <sup>[13]</sup>	Kara wari Ka 9 <sup>[13]</sup>	Awari Aw 11 <sup>[13]</sup>	南 Yuat Yu 17 <sup>[13]</sup>	波格拉 P 81 <sup>[20]</sup>	哈根山 Heg 10 <sup>[19]</sup>	维多利 Vic 8 <sup>[19]</sup>	多马峰 DP 9 <sup>[19]</sup>
SiO <sub>2</sub>	67.1	63.2	64.1	68	65.5	55	55.5	55.7	59.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.9	16.7	17.3	17	15.6	18.8	16.8	14.3	17.3
MgO	0.85	2.56	1.8	1.45	1.68	3.38	6.22	6.98	2.75
Na <sub>2</sub> O	3.48	4.81	4.54	4.86	3.76	5.16	3.57	3.37	3.65
K <sub>2</sub> O	7.26	2.2	0.9	0.25	2.79	1.43	1.39	2.54	3.25
Cs							0.97	1.5	5.4
Rb	131	27	12	2	77	24	30		92
Ba	836	387	187	60	505	44	500	1150	915
Th	8.4	6.6	1.9	3.2	10.1	9	3.6	12	22
Nb	10	8	7	10	13	61	5.4	5.5	35.5
Sr	890	738	490	436	463	755	610	980	917
Hf							3.7	6.8	5.9
Zr	149	108	113	155	116	144	130	220	245
Y	13	15	14	19	18	17	19	19	22
Ni	2	10	6	8	2	11	119	54	19
Cr						16	237	300	60
Sc						20	18	24	15
La	15	15	7	10	19	32	14	50	61
Ce	29	35	23	27	45	58	32	120	110
Pr							3.8	15	10
Nd							15	63	34
Sm							3.8	10	4.5
Eu							1.1	2.6	1.3
Gd							3.6	7.1	3.4
Tb							0.57	1	0.42
Dy							3	5	2.2
Ho							0.57	0.68	0.42
Er							1.7	1.5	1.2
Tm							0.25	0.21	0.17
Yb							1.8	1.5	1.2
Sr/Y	68.46	49.20	35.00	22.95	25.72	44.41	32.11	51.58	41.68
La/Yb							7.78	33.33	50.83

注:主量元素含量为%;微量和稀土元素含量为 10<sup>-6</sup>

阿德默勒蒂群岛-塔巴尔群岛-布干维尔岛-所罗门群岛岩石化学分析结果表明(表 4),这是一条大洋岛弧型埃达克质侵入岩分布带。布干维尔岛潘古纳的斑岩金矿床的母岩,即花岗闪长岩和石英闪长岩为埃达克质侵入岩及埃达克岩族<sup>[13]</sup>。

印度尼西亚班达弧上的斯兰岛、苏拉岛、尼拉岛、特翁岛、达马尔岛<sup>[14]</sup>,爪哇的松巴岛、巴厘岛上的巴图火山、中爪哇的默拉皮火山,以及西爪哇的帕图哈火山岛都是近代火山,有埃达克质火山岩(或类埃达克岩)样品岩石化学数据的报道。

印度尼西亚的加里曼丹中部 Masupa Ria 铜金矿的火山岩中也发现有埃达克质火山岩<sup>[5]</sup>。

2 地球化学特征

将巴布亚新几内亚安山岩的化学分析数据与典

型埃达克岩进行对比,结果表明:巴布亚新几内亚埃达克岩的微量元素特征为高 Sr(一般大于  $400\times10^{-6}$ ), Sr/Y 比值平均大于 41.7,重稀土元素 Y 和 Yb 含量很低(分别为  $\leq 20\times10^{-6}$  和  $1.9\times10^{-6}$ )<sup>[16-17]</sup>。埃达克岩在微量元素蛛网图上有 Sr、Ba 正异常峰和明显的

表 3 苏拉威西埃达克岩和类埃达克岩代表性样品的主量元素、微量元素和稀土元素分析结果

Table 3 Analysis results of major element, trace element and REE for representative adakite and adakite-like samples from Sulawesi

采样位置	北苏拉威西万鸦老 <sup>[21]</sup>	北西苏拉威西帕卢地区 <sup>[23]</sup>				南苏拉威西乌戎潘当地区 <sup>[21]</sup>		中苏拉威西 Masabo 铜区之西北	
样品号	MIN34	NWS357	NWS322	NWS557	LBT15	LBT2	POL22 <sup>[22]</sup>	NWS760 <sup>[25]</sup>	NWS676 <sup>[25]</sup>
SiO <sub>2</sub>	59.21	70.4	58	65	61.92	63.24	69.8	63.94	56.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.91	14.8	17	17.72	17.14	17.25	15.17	16.87	19.79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.14	1.32	5.8	3.12	0.71	0.63		6.38	5.93
MgO	3.77	0.54	4.5	1.6	2.62	1.6	1.94	0.76	1.19
MnO	0.16	0.03	0.15	0.06	0.06	0.06	0.02	0.05	0.015
CaO	6.72	1.19	7.48	4.33	4.89	4.3	1.19	0.96	7.29
Na <sub>2</sub> O	4.02	4.82	3.24	4.48	4.88	4.9	3.75	8.32	2.69
K <sub>2</sub> O	1.16	5.53	0.29	1.18	3.1	3.82	6.2	0.31	2.08
TiO <sub>2</sub>	0.69	0.13	0.49	0.49	0.69	0.63	0.28	0.59	1.12
Ba	143.00	2028.00	62.00	104.00	853.00	1171.00	399.00	51.00	153.00
Rb	20.30	171.00	3.00	36.00	88.60	110.50	406.90	6.00	63.00
Sr	364.80	1039.00	530.00	501.00	1132.7	1064.70	284.40	381.00	269.00
Ta		1.73	0.07	0.30			3.20	0.20	0.30
Nb	1.30	19.00	0.70	2.00	16.45	19.46	25.30	3.00	3.00
Hf	1.65	5.00	2.19	2.90			6.46	2.70	2.40
Zr	69.30	124.00	64.00	113.00	228.50	244.80	228.30	114.00	101.00
Y	19.05	11.00	15.00	10.00	17.50	16.60	10.20	6.00	2.00
Th	0.68	51.00	0.45	3.50	17.34	23.82	48.20	2.20	1.00
La	4.64	19.30	5.27	7.50	36.90	45.41	59.30	9.30	2.30
Ce	11.53	48.80	13.66	16.00	70.76	85.94	117.80	15.80	3.70
Pr	1.69	4.93	1.67	1.96	8.56	9.62	12.9	1.8	0.37
Nd	7.82	20.2	9.16	8.1	30.99	33.76	42.2	6.5	1.4
Sm	2.18	4	2.17	1.8	5.56	5.91	6.54	1.2	0.3
Eu	0.76	1.93	0.77	0.74	1.50	1.66	0.74	0.68	0.82
Gd	2.51	3.7	2.24	1.8	4.63	4.59	3.45	1.1	0.3
Tb	0.43	0.4	0.37	0.3	0.61	0.61	0.41	0.2	0.1
Dy	2.77	1.9	2.37	1.7	2.99	2.98	1.84	1.1	0.4
Ho	0.62	0.3	0.48	0.4	0.57	0.57	0.32	0.2	0.1
Er	1.8	1.1	1.59	1	1.45	1.42	0.9	0.7	0.3
Tm	0.28	0.12	0.22	0.15	0.21	0.22	0.74	0.13	0.06
Yb	1.86	0.80	1.68	1.10	1.36	1.36	0.74	0.90	0.50
Lu	0.29	0.13	0.30	0.17	0.21	0.21	0.11	0.14	0.08
Sr/Y	19.15	94.45	35.33	50.10	64.73	64.14	27.88	63.50	134.50
La/Yb	2.49	24.13	3.14	6.82	27.13	33.39	80.14	10.33	4.60
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	0.704804			0.7039	0.704252	0.704394	≥0.710		
成因类型	O 型	C 型	O 型	O 型	C 型	C 型	C 型	O 型	O 型

续表 3

采样 位置 样品号	Garove 岛 弧安山岩 G6 <sup>[19]</sup>	苏 拉 威 西 北 支 ( 托 利 托 利 马 拉 拉 ) 地 区								
		NWS40 <sup>[23]</sup>	MLP4 <sup>[23]</sup>	NWS942 <sup>[26]</sup>	NG12 <sup>[27]</sup>	NO15 <sup>[27]</sup>	M6 <sup>[24]</sup>	D3 <sup>[24]</sup>	NWS737 <sup>[23]</sup>	M21 <sup>[23]</sup>
SiO <sub>2</sub>	55.4	62	57.61	75.5	64.8	67.8	69.07	70.2	55.7	70.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.4	16.6	14.86	13.5	15.65	15.52	14.28	14.4	18.1	14.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	4.3	6.6	1.58	3.67	2.42	3.2	0.86	6.39	2.14
MgO	4.35	2.24	6.6	0.46	1.97	1.18	0.88	3.9	2.91	0.76
MnO	0.2	0.1	0.12	0.02	0.04	0.04	0.03	4.18	0.1	0.03
CaO	8.1	3.96	2.34	1.32	4.3	3.01	2.01	3.9	5.64	1.97
Na <sub>2</sub> O	3.8		6.6	5.24	3.77	3.95	3.53	139	3.64	3.93
K <sub>2</sub> O	0.53	1.2	2.94	1.5	2.7	3.32	4.18	1459	4.59	4.08
TiO <sub>2</sub>	1.38		0.63	0.12	0.49	0.37	0.26	25.5	0.72	0.29
Ba	95	218	1165	312	960	1040	1525	8	2270	1196
Rb	7.6	19	119	47	78	99	119	632	88	133
Sr	210	380	674	173	695	630	605	4.7	1310	558
Ta			0.36	0.50			0.50	135	0.50	0.75
Nb	4		10.57	1.00	6.80	6.10	8.00	18	7.30	9.00
Hf	3.6	1.51	4.06	2.70			4.40	8	2.80	4.50
Zr	130	44	132	96	77	53	140	18	106	152
Y	37	7	19	10	17	10.50	17	4.6	8	14
Th	0.8	1.17	17.98	9.80			17.00	33.4	4.21	19.50
La	9	4.25	40.93	27.60	27.20	27.00	32.50	59.2	10.80	29.90
Ce	22	9.20	74.46	52.10			57.50		17.50	61.60
Pr	3.2	1.08	6.67	5.57				22	2.12	5.53
Nd	16	4.9	27.72	20	23.5	20	20.2	4	8.6	21.4
Sm	4.9	1.2	5.27	3.6			3.8	0.9	1.86	3.9
Eu	1.6	0.50	1.23	0.82	1.20	0.85	0.80		0.76	1.43
Gd	5.7	1.23	4.32	2.4				0.7	1.75	4.4
Tb	1	0.21	0.59	0.3			0.5		0.28	0.5
Dy	6.7	1.27	3.42	1.7	3.1	2		0.8	1.57	2.4
Ho	1.6	0.027	0.66	0.3			0.7		0.32	0.5
Er	4.8	0.78	1.89	0.1				0.2	0.91	1.5
Tm	0.66	0.11	0.29	0.16			0.2	1.5	0.13	0.2
Yb	4.5	0.79	1.87	1.00	1.30	0.80	1.3	35.11	0.91	1.40
Lu		0.13	0.29	0.14			0.2	22.27	0.14	0.22
Sr/Y	5.68	54.29	35.47	17.30	40.88	60.00	35.59		163.75	39.86
La/Yb	2	5.38	21.89	27.60	20.92	33.75	25.00		11.87	21.36
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr		0.706114					0.709470		0.707444	0.710127
成因类型	正常岛弧型	O 型	C 型	C 型	C 型	C 型	C 型		O 型	C 型

注:主量元素含量为%,微量和稀土元素含量为 10<sup>-6</sup>

Nb、Th 负异常。稀土元素表现为 LREE 富集模式, (La/Yb)比值平均为 2.19~18.69(图 2)。巴布亚新几内亚埃达克岩的 Mg<sup>#</sup> 值大于 0.45, <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 值一般小于 0.7045,与典型的埃达克岩相一致。

苏拉威西埃达克岩和埃达克质岩主量元素 SiO<sub>2</sub> 含量为 55.7%~70.4%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>14.8%。少数埃达克质流纹岩 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub><14.5%,一般 Na<sub>2</sub>O>K<sub>2</sub>O,但高钾钙碱性系列中则 K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O。MgO<3%,少数高镁

质埃达克质岩 MgO 含量为 3.20%~6.6%。苏拉威西埃达克岩以低 Y、Yb 含量和高 Sr 含量(一般 Sr>350×10<sup>-6</sup>)为特征,少数埃达克岩 Sr 含量小于 284×10<sup>-6</sup>, Sr/Y 比值绝大多数大于 20,个别小于 19。这些低 Sr 值的埃达克岩岩石类型,除个别样品以外,多属于岛弧或弧后盆地低钾碱性系列(钠质的玄武质安山岩、钠质流纹-英安岩和个别的古生代片麻岩)。造成这些岩石 Sr 值偏低的真正原因还不太清楚,可能

表 4 阿德默勒尔蒂群岛-所罗门岛弧埃达克岩和埃达克质杂岩体样品的  
主量元素、微量元素和稀土元素分析结果

Table 4 Analyses results of major element, trace element and REE for representative  
adakite and adakite-like samples from the Admiralty - Solomon island arc

采样 位置 样号	阿 德 默 勒 尔 蒂 岛 Mt.Kren 杂岩			布 干 维 尔 岛 潘古纳杂岩体			所 罗 门 群 岛 Koloula 侵入杂岩体		
	K28 <sup>[13]</sup>	K26 <sup>[13]</sup>	Bag1 <sup>[19]</sup>	P34 <sup>[13]</sup>	P33 <sup>[13]</sup>	40 <sup>[13]</sup>	44 <sup>[13]</sup>	43 <sup>[13]</sup>	Ton.2 <sup>[28]</sup>
SiO <sub>2</sub>	59.9	61.6	55.5	67	63.2	55.7	71.1	63.5	71.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.3	16.9	17.7	16.5	16.8	16.5	14.8	16.8	14.8
MgO	2.99	2.72	3.38	1.11	1.93	5.17	0.98	2.31	1.42
Na <sub>2</sub> O	4.75	4.64	3.95	4.69	4.14	2.85	3.21	3.63	3.4
K <sub>2</sub> O	0.88	2.49	1.61	1.52	1.7	1.03	2.65	1.42	0.67
Cs			0.26						
Rb	12	38	25	17	22	22	38	24	12
Ba	154	269	250	348	299	202	482	287	320
Th	5.2	4.6	1.3	1.9	0.6	0.9	2.2	1.6	
Nb			4	5	4	1	2	1	
Sr	1002	830	810	707	678	494	395	593	522
Hf			2.2						
Zr	188	177	81	94	103	79	73	64	55
Y	18	17	17	12	17	19	7	13	9
Ni	13	14	6	3	2	20	1	5	13
Cr			9			20			11
Sc			16						
La	19	22	11	8	9	6	4	6	
Ce	44	50	24	13	20	13	6	15	
Pr			2.9						
Nd			13						
Sm			2.9						
Eu			0.93						
Gd			2.9						
Tb			0.47						
Dy			2.9						
Ho			0.64						
Er			1.8						
Tm			0.25						
Yb			1.7						
Sr/Y	55.67	48.82	47.65	58.92	39.88	26.00	56.43	45.62	58.00
La/Yb			6.47						

注:主量元素含量为%;微量和稀土元素含量为 10<sup>-6</sup>

与弧后扩张盆地钠质环境有关。苏拉威西埃达克岩在微量元素蛛网图上有明显的 Th、Sr 的峰和 Nb、Ta 的谷,属于活动大陆边缘型。大离子亲石元素(LILE)和高场强元素(HFSE)相对富集<sup>[29]</sup>。

根据本区埃达克岩和类埃达克岩的地球化学特征,笔者建议,只要符合  $Yb \leq 1.9 \times 10^{-6}$ 、 $Y \leq 19 \times 10^{-6}$ 、 $Sr \geq 355 \times 10^{-6}$ 、 $Al_2O_3 \geq 14.5\%$  的中性和中酸性岩,在满足低 Yb、Y 和高 Sr 值的条件下,都可认为是埃达

克岩或类埃达克岩;  $Al_2O_3$  含量接近或超过 14.5%的中酸性岩,即使  $Sr \leq 355 \times 10^{-6}$ ,但其  $Sr/Y$  比值接近或超过 20,仍然可以将其看成是埃达克质岩石或类埃达克岩<sup>[29]</sup>。

3 埃达克岩形成的构造环境及找矿意义

根据巴布亚新几内亚、苏拉威西埃达克岩和埃达克质岩微量元素的特征、REE 曲线类型的特点,

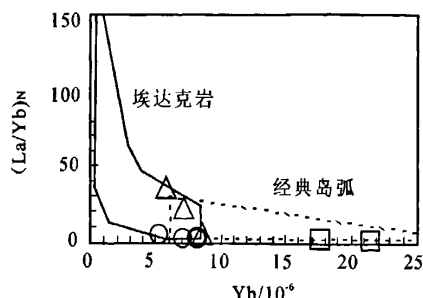
表 5 北新几内亚-新不列颠岛弧埃达克岩和类埃达克质岩样品的主量元素、微量元素和稀土元素分析结果

Table 5 Analyses results of major element, trace element and REE for representative adakite and adakite-like samples from North Guinea-Britain island arc

采样位置	新 不 列 颠 岛 岛 弧 <sup>[12]</sup>									北新几内亚岛弧杂岩体 <sup>[19]</sup>			
样号	Plesyumi	侵入	杂岩体			Esis	Kulu	杂岩		Bam2	Boi3	Kar4	Bam5
SiO <sub>2</sub>	59.4	65.5	60.8	63.1	65.5	67.6	65.4	57.7	65	54.9	61.7	53.8	57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.3	16.1	17	16.	16.	16.1	15.7	16.8	16.4	16.5	17.2	19.6	19.8
MgO	2.51	1.85	2.5	2.21	1.85	1.04	1.61	2.19	1.33	5.4	3.2	3.15	2.4
Na <sub>2</sub> O	4.56	4.3	4.42	4.65	4.3	5.19	3.02	4.02	5.02	2.25	3.35	2.5	2.7
K <sub>2</sub> O	2.73	1.63	1.83	1.46	1.63	0.72	1.9	1.67	0.7	1.36	1.2	0.88	0.45
Cs										0.51	0.34	1.8	0.18
Rb	90	46	67	54	46	16	32	29	18	18.6	15.8	16.6	7.4
Ba	181	176	148	162	176	131	477	235	106	145	355	980	85
Th	3	10	3	3	5	2	1	3	1	0.76	0.87	1.3	0.15
Nb		3	4	4						0.99	0.99	1	0.99
Sr	724	671	717	745	671	834	366	754	878	720	740	475	239
Hf										0.72	1.2	1.2	1.3
Zr	214	124	159	109	124	89	94	101	89	30	37	34	50
Y	18	10	14	12	10	8	18	9	5	11	10	15	15
Ni	10	13	15	15	13			12	6	14	9	10	4
Cr							0	9	2	35	22	14	9
Sc										31	16	25	22
La	17	8	14	12	8					8	6.4	6.1	1.8
Ce	34	15	31	24	15					16	14	14	5.6
Pr										2	2.1	2	0.9
Nd										8.3	9.1	9	5
Sm										1.7	2.1	2	1.7
Eu										0.55	0.63	0.74	0.63
Gd										1.5	2	2.4	2.3
Tb										0.24	0.31	0.39	0.4
Dy										1.6	1.9	2.5	2.5
Ho										0.34	0.41	0.56	0.6
Er										0.97	1.3	1.7	1.8
Tm										0.15	0.2	0.24	0.24
Yb										1.1	1.5	1.7	1.7
Sr/Y	40.22	67.10	51.21	62.08	67.10	104.2	20.33	83.78	175.6	65.45	74.00	31.67	15.93
La/Yb										7.27	4.26	3.58	1.05

注:主量元素含量为%;微量和稀土元素含量为 10<sup>-6</sup>



图 2 巴布亚新几内亚埃达克岩  $(La/Yb)_N$ -Yb 判别图<sup>[20-21]</sup>Fig. 2  $(La/Yb)_N$ -Yb discrimination diagram for adakite rocks in Papua New Guinea

本区埃达克岩可以明显地划分为 2 种成因类型: 第一种埃达克岩类型属于大洋岛弧(相当于 O 型埃达克岩)和陆缘岛弧, 以布干维尔岛潘古纳的斑岩金矿床的母岩(即花岗闪长岩和石英闪长岩)为代表; 第二种埃达克岩形成于陆缘火山弧、大陆板内或碰撞后的陆缘造山带, 表现为其微量元素地球化学特征为  $Nb/Zr > 0.04$  或  $Ta/Hf > 0.1$ , 其 REE 配分型式与大陆板内 REE 的模式相似, 更强烈富集 La 和 Ce。第二种埃达克岩为弧-陆碰撞后或陆-陆碰撞后的产物, 并与大规模的陆内 I 型中酸性岩浆侵入活动有关, 例如位于苏拉威西北西分支的马拉拉斑岩型铜-钼矿床的东都花岗闪长岩和埃茨贝格矿田的中酸性侵入岩皆为此类埃达克岩类型的典型代表。

埃达克岩与金、银、铜、钼浅成低温热液矿床及斑岩矿床密切共生的现象值得关注, 埃达克岩对斑岩-矽卡岩矿床有专属性<sup>[1-7]</sup>。中国对埃达克岩的研究起步较晚, 关于埃达克岩与成矿作用的相关问题引起了许多学者的兴趣。埃达克岩是一种十分有利的成矿母岩。埃达克岩与斑岩铜矿和浅成金矿的时空成因联系是肯定的事实, 就本地区而言, 埃达克岩是世界级浅成低温热液超大型斑岩铜-金矿的容矿岩石也是不言而喻的。可以认为, 伊里安岛上的绝大多数大型和超大型的铜-金矿斑岩的母岩是埃达克岩。这就为探讨该成矿区内的成矿规律和找矿远景提供了可靠的理论依据。例如位于本成矿带西部的埃茨贝格矿田内 16 个浅成岩体的黑云母 K-Ar 同位素年龄平均为 3.22 Ma(年龄变化范围为 2.6~4.4 Ma)<sup>[9]</sup>。根据该矿田内 4 个矿区(Big Gossan、Wanagon、埃茨贝格和格拉茨贝格)的侵入岩分析结果, 其岩石化学特征是:  $SiO_2$  含量为 56.21%~62.4%,  $Al_2O_3$  15.31%~

17.30%, Y  $15.7 \times 10^{-6}$ ~ $19 \times 10^{-6}$ , Yb  $1.7 \times 10^{-6}$ ~ $2 \times 10^{-6}$ , Sr  $780 \times 10^{-6}$ ~ $1295 \times 10^{-6}$ 。所有的分析数据都表明, 埃茨贝格矿田斑岩的含矿母岩皆为典型的埃达克岩,  $K_2O$  含量为 2.30%~4.78%, 属于含 K 粗面安山岩-粗面英安岩系列, 是一种高 K 富 Nb 的埃达克岩, 其岩性为石英二长岩-花岗闪长岩。含矿侵入岩的岩石性质为氧化性质, 表现为  $F_2O_3/(FeO+Fe_2O_3)$  全岩比值大于 0.5, 平均 0.62。据研究, 含矿埃达克岩属于高氧逸度岩浆系列, 显然对 Cu、Au 成矿十分有利。

从埃茨贝格矿田一直延伸到巴布亚新几内亚的欧文-斯坦利造山带的这条连绵逾 2000 km 的埃达克岩带(包括埃达克家族岩带, 例如富 Nb 碱性玄武岩<sup>[20,30-31]</sup>)是巴布亚造山带上的世界级铜-金矿的成矿带所在地<sup>[8,10,32]</sup>。巴布亚新几内亚的欧文-斯坦利造山带内成矿的同位素年龄为 6~7 Ma 和 10~7 Ma<sup>[33]</sup>。

#### 4 巽他群岛斑岩型铜(金)矿成矿预测的地质准则

巽他群岛斑岩型铜(金)矿储量十分可观, 巴布亚新几内亚铜矿石储量为  $9.44 \times 10^6$  t, 铜金共生矿石储量约  $4 \times 10^6$  t; 印度尼西亚铜矿石储量曾排名世界第九位, 主要集中在上述的伊里安岛成矿带和苏门答腊-爪哇成矿带。

笔者把研究区斑岩型铜(金)矿已知的成矿地质条件、成矿规律转变成预测与其条件相似未知区的地质准则。

(1) 发育新近纪中新世—第四纪更新世弧-陆碰撞俯冲作用形成的浅成埃达克(包括埃达克家族岩带, 例如富 Nb 碱性玄武岩)侵入岩和火山岩, 侵位深度 2~5 km。

(2) 在上述侵入岩和火山岩复式岩体的安山角砾岩、闪长岩、闪长玢岩、二长闪长斑岩、二长斑岩、矽卡岩、大理岩中, 注意寻找蚀变带, 特别是钾化蚀变带和网脉状(石英脉长几米, 宽几毫米到几厘米)、浸染状、细脉浸染状铜(金)矿化, 并进一步寻找斑岩型-矽卡岩型(石英脉型和浸染型)铜(金)矿床。

(3) 铜(金)矿床, 副产品有金、钼, 向外分带有锌、铅、银。其矿石矿物主要赋存于火山碎屑岩单元中, 原生矿物主要有黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、黝铜矿(呈细脉状)、自然金(其成色很高且与铜呈正相关关系, 常呈包裹体产于黄铜矿和石英中); 脉石矿物有石英、黄铁矿、方解石、萤石; 次生富集矿物有辉铜矿/

蓝辉铜矿、铜蓝;氧化带矿物有孔雀石、蓝铜矿、赤铜矿、自然铜、赤铁矿/镜铁矿和针铁矿/褐铁矿铁帽。

(4)注意寻找在长期热带气候条件下,侵蚀与风化产生的次生富集和氧化作用,发育程度不一的“淋滤帽”。“淋滤帽”本身是否成矿,还取决于元素地球化学特性、地形切割等条件。

据此,在研究区内初步圈定了8个Ⅰ级勘查与开发选区和5个Ⅱ级勘查与开发选区。

## 参考文献

- [1]王强,许继峰,赵振华.强烈亏损重稀土元素的中酸性火成岩(或埃达克岩质岩)与Cu、Au成矿[J].地学前缘,2003,10(4):561-572.
- [2]王元龙,张旗,王强,等.埃达克岩与Cu-Au成矿作用关系的初步探讨[J].岩石学报,2003,19(3):543-550.
- [3]刘红涛,张旗,刘建明,等.埃达克岩与Cu-Au成矿作用:有待深入研究的岩浆成矿关系[J].岩石学报,2004,20(2):205-2018.
- [4]侯增谦.斑岩Cu-Mo-Au矿床:新认识与新进展[J].地学前缘,2004,11(1):131-144.
- [5]芮宗瑶,侯增谦,李光明,等.俯冲、碰撞、深断裂和埃达克岩与斑岩铜矿[J].地质与勘探,2006,42(1):1-6.
- [6]侯增谦,潘小菲,杨志明,等.初论大陆环境斑岩铜矿[J].现代地质,2007,21(2):332-351.
- [7]Richards J P. Special paper: adakite-like rocks: their diverse origins and questionable role in metallogenesis[J]. Econ. Geol., 2007, 102(4): 537-576.
- [8]Meinert L D, Hefton K K, Mayes D, et al. Geology, zonation and fluid evolution of the Big Gossan Cu-Au skan deposit, Ertzberg Distrit, Irian Jaya[J]. Econ. Geol., 1997, 92(5):509-533.
- [9]Pollard P J, Taylor K G. Ages of intrusion, alteration, and mineralization at the Grasberg Cu-Au deposit, Papua, Indonesia [J]. Econ. Geol., 2005, 100(5):1000-1020.
- [10]Arnold G O, Griffin T J. Intrusions and porphyry copper prospects of the Star Mountains, Papua New Guinea[J]. Econ. Geol., 1978, 73(5):785-795.
- [11]Rubin J N, Kyle J R. Precious Meta Mineralogy in porphyry-, Skarn-, and replacement-type ore deposits of the Ertzberg(Gununy Bijih) district, Irian Jaya, Indonesia[J]. Econ. Geol., 1997, 92(5):535-550.
- [12]Hine R & Mason D R. Intrusive rocks associated with porphyry copper mineralization, New Britain, Papua New Guinea[J]. Econ. Geol., 1978, 73(5):749-760.
- [13]Mason D R, McDonald J A. Intrusive rocks and porphyry copper occurrences of the Papua New Guinea-Solomon Islands Region: A reconnaissance study[J]. Econ. Geol., 1978, 73(5):857-877.
- [14]Vroon. Subduction of continental material in the Banda Arc, Eastern Indonesia[M]. Oost-Indonesia: Geologica Ultraeictina, 1992:1-205.
- [15]van Leeuwen T M, Leach T, Hawke A A, et al. The Kelian disseminated gold deposit, East Kalimantan, Indonesia[J]. Jour. Geochem. Explor., 1990, 35(1/3):1-61.
- [16]朱章显,杨振强,姚华舟.巴布亚新几内亚新生代两类埃达克岩的构造环境意义[J].华南地质与矿产,2007,(2):1-6.
- [17]朱章显,杨振强.巴布亚新几内亚新生代埃达克岩的地球化学证据[J].资源调查与环境,2007,28(4):249-255.
- [18]Morris J D, Jezek P A, Hart S R, et al. The Halmahera island arc, Molucca Sea collision zone, Indonesia: A geochemical survey [C]// Hayes D E. The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands: Part 2[M]. Washington D C: American Geophysical Union, 1983:373-387.
- [19]Johnson R W. New Guinea[C]//Thorpe R S. Andesites: Papua New Guinea Orogenic andesites and related rocks. New York: John Wiley & Sons, 1982:225-244.
- [20]Richards J P. Petrology and geochemistry of alkalic intrusives at the Porgera gold deposit, Papua New Guinea[J]. Jour. Geochem. Explor., 1990, 35(1/3):141-191.
- [21]Elburge M A, van Leeuwen T M. Temporal changes in arc magma geochemistry, northern Sulawesi, Indonesia[J]. Earth and Plan. Scien. Lett., 1998, 163:381-398.
- [22]Elburge M A, Foden J. Sources for magmatism in Central Sulawesi geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic constrains[J]. Chemical Geology, 1999, 156:67-93.
- [23]Elburge M A, van Leeuwen T, Foden J, et al. Spatial and temporal isotopic domains of contrasting igneous suites in Western and Northern Sulawesi, Indonesia[J]. Chemical Geology, 2003, 199: 243-276.
- [24]van Leeuwen T M, Taylor R, Coote A, et al. Porphyry molybdenum mineralization in a continental collision setting at Malala, northwest Sulawesi, Indonesia[J]. Jour. Geochem. Explor., 1994, 50(1/3):279-315.
- [25]van Leeuwen T M, Muhardjo. Stratigraphy and tectonic setting of the Cretaceous and Paleogene volcanic-sedimentary succession in northwest Sulawesi, Indonesia: implications for the Cenozoic evolution of Western and Northern Sulawesi[J]. Jour. of Asian Ear. Scie., 2005, 25:481-511.
- [26]van Leeuwen T M, Allen C M, Kadarusman, et al. Petrologic, isotopic, and radiometric age constraints on the origin and tectonic history of the Malino metamorphic complex, N W Sulawesi, Indonesia[J]. Jour. of Asian Ear. Scie., 2006, 26:1-24.
- [27]Polve M, Maury R C, Bellon H, et al. Magmatic evolution of Sulawesi (Indonesia): Constraints of the Cenozoic geodynamic history of the Sundaland active margin[J]. Tectonophysics, 1997, 272: 69-92.
- [28]Chivas A R. Porphyry copper mineralization at the Koloula igneous complex, Guadalcanal, Solomon islands[J]. Econ. Geol., 1978, 73(5):645-677.
- [29]朱章显,赵财胜,杨振强.苏拉威西(印尼)埃达克岩和埃类埃达克岩分布和特征[J].吉林大学学报(地质科学版),2009,39(1):80-88.
- [30]Richards J P. Petrology and geochemistry of alkalic intrusives at the Porgera gold deposit, Papua New Guinea[J]. Jour. Geochem. Explor., 1990, 35(1/3):141-191.
- [31]朱章显,杨振强.巴布亚新几内亚波格拉斑岩型铜-金矿床富Nb碱性火成岩成因新解[J].资源调查与环境,2007,28(3):171-178.
- [32]朱章显,杨振强.东南亚新生代两类埃达克岩的分布、成因和含矿性[J].地质力学学报,2008,14(4).印刷中.
- [33]Titly SR, Heidrick T L. Intrusion and fracture styles of some mineralized porphyry system of the Southwestern Pacific and their relationship to plate interactions[J]. Econ. Geol., 1978, 73(5): 891-903.