

东南亚新生代两类埃达克岩的 分布、成因和含矿性

朱章显, 杨振强

(宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003)

摘 要: 东南亚的巽他群岛-巴布亚新几内亚是新生代埃达克岩和类埃达克岩发育的地区。这些酸性岩浆岩广泛见于印度尼西亚几内亚岛、苏拉威西和巴布亚新几内亚, 零星见于苏门答腊、班达岛弧、西爪哇和中加里曼丹等地。本区埃达克岩和类埃达克岩岩石类型分别属于岛弧拉斑/钙碱性系列和高钾钙碱性系列, 以重稀土元素 Y, Yb 含量低 (分别为 $Y \leq 19 \times 10^{-6}$ 和 $Yb \leq 1.8 \times 10^{-6}$) 和高 Sr 值 ($> 355 \times 10^{-6}$) 为特征。微量元素蛛网图上有明显的 Ba、K、Sr 正异常峰和负的 Th、Nb (Ta) 异常谷。大离子亲石元素 (LILE) 和高场强元素 (HFSE) 相对富集。本区埃达克岩和类埃达克岩的构造位置为新生代缝合线附近的大洋岛弧和陆缘造山带, 可划分为两种成因类型: 第一种为岛弧拉斑/钙碱性系列, 其 REE 配分模式属于大洋岛弧型, 见于现代大洋岛弧, 称为岛弧型 (O-型) 埃达克岩; 另一种为高钾钙碱性系列, 其 REE 配分模式属于大陆型, 产于大陆板块边缘造山带, 与弧-陆碰撞和后碰撞构造环境有成因联系, 见于大陆边缘, 称为大陆型 (C-型) 埃达克岩。

研究表明: 大陆型 (C-型) 埃达克岩和类埃达克岩分布区域与世界级斑岩铜-金矿分布相一致, 而大洋岛弧型 (O-型) 主要与浅成热泉金矿和喷气型有成因联系。

关键词: 埃达克岩; 类埃达克岩; 大洋岛弧; 陆缘造山带; 弧-陆碰撞或后碰撞

中图分类号: P581

文献标识码: A

0 引言

埃达克岩一般指新生代时期形成于大陆边缘造山带和大洋岛弧 (陆缘火山弧) 环境的一种新型的火成岩。埃达克岩主要地球化学特征是: $SiO_2 \geq 56\%$, $Al_2O_3 \geq 15\%$, $MgO < 3\%$ 的中酸性岩浆岩, 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 Yb 和 Y (Yb

收稿日期: 2008-02-03

基金项目: 中国地质调查局“中国大陆周边地区主要成矿带成矿规律对比及潜力评价”项目 (项目编号: 1212010661308) 资助。

作者简介: 朱章显 (1959-), 男, 硕士, 四川省威远县人。地质矿产高级工程师。长期从事区调及矿产普查工作。现从事境外地质矿产编图工作。E-mail: zxx765000@sina.com。联系电话: 13986833460。

$\leq 1.9 \times 10^{-6}$, $Y \leq 19 \times 10^{-6}$)、高 Sr ($> 400 \times 10^{-6}$) 的特征^[1-2]。

东南亚的巽他群岛至巴布亚新几内亚(包括所罗门群岛)一带,是埃达克岩、类埃达克岩发育地区。但在前人文献中,仅于东南亚地区的菲律宾和巴布亚新几内亚的 Arid Hills 地区,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极少。近年来,笔者等在从事东南亚地区地质矿产研究工作中,系统地整理和分析了研究区内的火山岩地球化学资料,报道了巴布亚新几内亚存在埃达克岩和类埃达克岩^[3-5](包括埃达克家族岩类的富 Nb 碱性玄武岩^[6])的证据。接着又收集和发现了印度尼西亚苏拉威西岛地区的埃达克岩和类埃达克岩的地球化学资料^①。本文对巽他群岛至巴布亚新几内亚(包括所罗门群岛)一带属于埃达克岩的地球化学资料进行了较系统地整理和总结,揭示了埃茨贝格矿田埃达克岩与世界级斑岩铜、金矿床的成因关系^②。研究结果表明:巽他群岛至巴布亚新几内亚的新生代岛弧是埃达克岩和类埃达克岩极其发育地区。

研究结果表明,产出在中生代被动大陆边缘的新生代弧-陆碰撞带或陆-陆后碰撞带上的 Au、Ag、Cu、Mo 等斑岩型矿床及浅成低温热液矿床多数与埃达克岩或类埃达克岩密切共生^[7-12]。而且,许多世界级斑岩铜、金矿床成因与埃达克岩浆活动有关。埃达克岩是斑岩铜、金矿床的物质来源和极好的找矿标志^[13-14]。

1 新生代埃达克岩的分布特征

巽他群岛至巴布亚新几内亚的埃达克岩广泛分布于巴布亚新几内亚的俾斯麦岛弧、布干维尔岛弧、印度尼西亚的几内亚岛、苏拉威西岛弧、哈马黑拉岛弧、班达岛弧,并零星见于苏门答腊和爪哇等地。

从几内亚岛上的伊里安查亚到巴布亚新几内亚的中央山脉(或称为几内亚造山带),存在一条 NW—SE 向、连绵两千多公里的埃达克岩带(表1、表2及图1阴影区)。这是一条包含埃茨贝格矿田^[15]和奥克太迪矿田等世界级斑岩铜金矿在内的铜金成矿带。

巴布亚新几内亚大多数活火山和埃达克岩都分布于俾斯麦海南部和西部(表3),以及阿德默勒尔蒂群岛-塔巴尔岛-布干维尔岛-所罗门群岛弧(表4)。

苏拉威西由三个岩石构造带组成:西苏拉威西岩浆弧,中苏拉威西变质带(被构造混杂岩覆盖),北苏拉威西岩浆带(图2)。苏拉威西岛的埃达克岩和类埃达克岩分布于南苏拉威西、中苏拉威西和北苏拉威西,向北一直延伸到菲律宾棉南老岛,构成巽他古大陆边缘新生代埃达克岩岛弧分布带和铜金成矿带。

班达弧上的斯兰岛、苏拉岛、尼拉岛、特翁岛、达马尔岛^[20],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,都见有类埃达克火山岩样品岩石化学数据。

中加里曼丹的 Masupa Ria 铜金矿的火山岩中,也发现有类埃达克火山岩^[21]。

① 朱章显,赵财胜,杨振强,2009b. 苏拉威西(印尼)埃达克岩和类埃达克岩分布和特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版),待刊。

② 朱章显,杨振强,梁约翰,彭练红,湛建国,姚华舟,2009a. 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[J]. 地质通报,待刊。

表 1 埃茨贝格矿田和哈马黑拉岛弧代表性埃达克岩地球化学特征

Table 1 The geochemical characteristics of adakite and adakite-like rocks from Ertzberg area and Halmahera island arc

位置	埃茨贝格矿田							哈马黑拉岛弧	
地点	瓦内冈		埃茨贝格	格拉斯贝格	大铁帽			哈马黑拉	皮萨
样号	W4001	W4002	EB1001	GB2001	BGU9-4	BGU9-6	BGU5-1	P7	P3
化学成分									
SiO ₂	62.40	57.80	59.60	59.70	59.70	59.30	56.20	55.40	61.90
Al ₂ O ₃	16.90	17.30	16.30	16.70	15.30	16.40	16.20	18.30	17.40
MgO	1.54	2.24	2.09	2.45	2.10	1.80	2.19	4.88	2.80
Na ₂ O	4.86	3.35	3.59	4.05	4.25	4.04	4.74	3.89	4.76
K ₂ O	3.76	2.3	3.43	3.29	4.78	4.32	4.40	2.29	3.44
Nb	11.00	8	10	11				21	21.1
Sr	1197	866	842	842	780	943	1295	1069	1082
Hf	3.20	3	3.80	3.60	3.70	3.90	3.30		
Zr	152	128	154	152	121	106	119	195	176
Y	15.70	16.90	18.10	18.20	17	18	19	16.80	12.10
La	30.60	25	28.20	24.40	25.50	25.20	24.40		
Yb	1.70	1.90	1.80	2	1.70	1.80	1.70		
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		
Nb/Zr	0.10	0.12	0.13	0.15	0.15	0.15	0.13		
成因类型	C 型	C 型	C 型	C 型	C 型	C 型	C 型	C 型	C 型
参考文献	Meinert, 1997 ^[15]							Morris et al., 1983 ^[16]	

注：主元素含量为%；微量元素含量为×10⁻⁶。

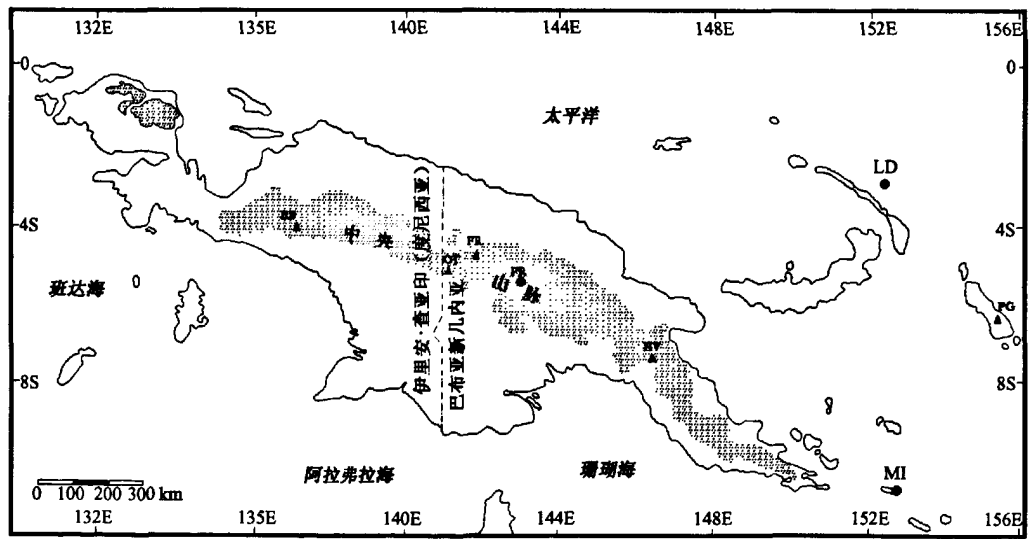


图 1 埃茨贝格矿区 (Gunung Bijih 矿床) 位于伊里安查亚的中央山脉内^[8], 细点区域表示高程大于 1000 米

Fig.1 Map showing the location of the Ertzberg mine (Gunung Bijih deposit) within the Central Ranges of Irian Java^[8]. Stippled area shows elevations of more than 1000 m

矿床的符号: ▲ = 斑岩 Au ± Cu 系统, ● = Au 矿床, EB = 埃茨贝格, OT = 奥克太迪, FR = 费里达河, HV = 海登谷, LD = 拉多拉姆 (利希岛), PG = 潘古纳 (布尔干维尔岛), MI = 米西岛, PR = 波格拉

Other deposits are shown for reference: ▲ = porphyry Au ± Cu systems, ● = Au deposits, EB = Ertzberg, OT = Ok Tedi, FR = Freida River, HV = Hidden Valley, LD = Ladolam (Lihir Island), PG = Panguna (Bougainville Island), MI = Misima Island, PR = Porgera

表 2 巴布亚新几内亚代表性埃达克岩和类埃达克岩的地球化学特征

Table 2 The geochemical characteristics of typical adakite and adakite-like rocks from Papua New Guinea

采样地点	奥克太迪	弗里达河	卡拉瓦里	阿瓦里	南牙他	波格拉	哈根山	维多利亚	多马峰
样号	Fu2	Fr	Ka 9	Aw 11	Yu 17	P 81	Heg 10	Vic 8	DP 9
化学成分									
SiO ₂	67.10	63.20	64.10	68	65.50	55	55.50	55.70	59.60
Al ₂ O ₃	17.90	16.70	17.30	17	15.60	18.80	16.80	14.30	17.30
MgO	0.85	2.56	1.80	1.45	1.68	3.38	6.22	6.98	2.75
Na ₂ O	3.48	4.81	4.54	4.86	3.76	5.16	3.57	3.37	3.65
K ₂ O	7.26	2.20	0.90	0.25	2.79	1.43	1.39	2.54	3.25
Nb	10	8	7	10	13	61	5.40	5.50	35.50
Sr	890	738	490	436	463	755	610	980	917
Hf							3.70	6.80	5.90
Zr	149	108	113	155	116	144	130	220	245
Y	13	15	14	19	18	17	19	19	22.00
La	15	15	7	10	19	32	14	50	61
Yb							1.80	1.50	1.20
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
Nb/Zr	0.07	0.07	0.06	0.06	0.11	0.42	0.04	0.03	0.14
成因类型	C 型	C 型	C 型	C 型	C 型	C 型	C 型	C 型	C 型
参考文献	Mason & McDonald, 1978 ^[17]					Richards, 1990 ^[18]	Johnson, 1982 ^[19]		

注：主元素含量为%；微量元素含量为×10⁻⁶。

区内埃达克岩类出露于新生代大洋岛弧和弧后的陆缘造山带。例如，苏拉威西岛的埃达克岩类分布于新生代苏拉威西缝合线的大陆边缘；伊里安查亚和巴布亚新几内亚内的埃达克岩类分布于新生代大洋俯冲带的大洋岛弧和弧-陆碰撞造山带中；班达弧和西爪哇近代火山岛的类埃达克火山岩为新生代印度-澳大利亚板块向欧亚板块俯冲的结果。加里曼丹中部的类埃达克火山岩出露于东加里曼丹缝合线的弧-陆碰撞带大陆边缘。

2 两类埃达克岩的地球化学特征

本区埃达克岩和类埃达克岩主元素含量为：SiO₂ 56% ~ 70.4%，Al₂O₃ > 14.5%。少数类埃达克流纹岩的 Al₂O₃ 含量 < 14.5%，一般 Na₂O > K₂O（高钾钙碱性系列中则 K₂O > Na₂O），以低 Y，Yb 含量和高 Sr 含量（一般 Sr > 350 × 10⁻⁶）为特征，少数类埃达克岩 Sr 含量小于 284 × 10⁻⁶，Sr/Y 比值绝大多数 > 20，个别 < 19。MgO 含量 < 3%。少数高 Mg 质类埃达克岩 MgO 含量为 3.20% ~ 6.60%，表明本区埃达克岩具多样性特点，可能存在着高镁埃达克岩（HMA）或高钾和镁埃达克岩（HKMA）^[23]。

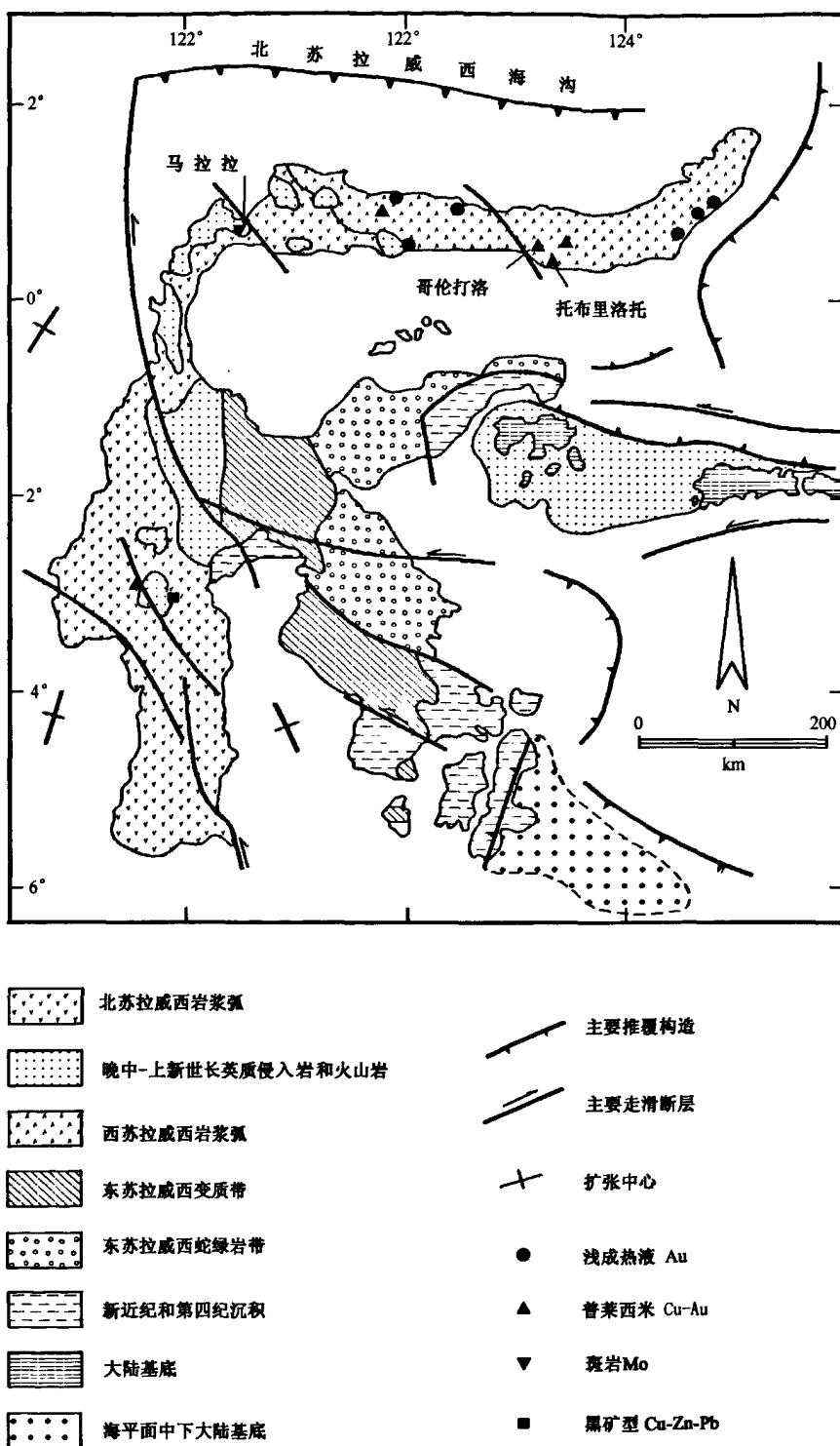


图2 苏拉威西的构造图(表示主要的岩石层序和断层)^[22]

Fig.2 Generalized tectonic map of Sulawesi, showing major lithologic sequences and faults^[22]

表 3 北新几内亚-新不列颠岛弧代表性 O-型埃达克岩和类埃达克岩的地球化学特征

Table 3 The geochemical characteristics of O-type adakite and adakite-like rocks from North New Guinea-New Britain island arc

采样 位置	新不列颠岛弧									北新几内亚		
	普莱西米侵入杂岩体						艾西斯杂岩	库卢杂岩		大洋岛弧杂岩体		
样号 化学成分	24	27	25	26	27	34	29	30	32	Bam2	Boi3	Bam5
SiO ₂	59.40	65.50	60.80	63.10	65.50	67.60	65.40	57.70	65	54.90	61.70	57
Al ₂ O ₃	17.30	16.10	17	16.00	16.00	16.10	15.70	16.80	16.40	16.50	17.20	19.80
MgO	2.51	1.85	2.50	2.21	1.85	1.04	1.61	2.19	1.33	5.40	3.20	2.40
Na ₂ O	4.56	4.30	4.42	4.65	4.30	5.19	3.02	4.02	5.02	2.25	3.35	2.70
K ₂ O	2.73	1.63	1.83	1.46	1.63	0.72	1.90	1.67	0.70	1.36	1.20	0.45
Nb		3.00	4	4.00						0.99	0.99	0.99
Sr	724	671	717	745	671	834	366	754	878	720	740	239
Hf										0.72	1.20	1.30
Zr	214	124	159	109	124	89	94	101	89	30	37	50
Y	18	10	14	12	10	8	18	9	5	11	10	15
La	17	8	14	12	8					8	6.4	1.8
Yb										1.1	1.5	1.7
Sr/Y	40.20	67.10	51.20	62.00	67.10	104	20.33	83.70	175	65.40	74.00	15.90
La/Yb										7.27	4.26	1.05
Nb/Zr			0.02	0.03						0.03	0.02	0.01
成因类型	C 型	O 型	O 型	O 型	O 型	O 型	O 型	O 型	O 型	O 型	O 型	O 型
参考资料	Hine & Mason, 1978 ^[24]									Johnson, 1982 ^[18]		

注：主要元素为%，微量元素含量为 $\times 10^{-6}$ 。

本区埃达克岩和类埃达克岩在微量元素蛛网图上有明显的 Ba、K、Sr 的峰和 Th、Nb (Ta) 的谷 (图 3)。大离子亲石元素 (LILE) 和高场强元素 (HFSE) 相对富集。Th (Ta) 含量低是大洋岛弧埃达克岩固有特征，反映其源区是俯冲的年轻大洋板片部分熔融形成。

根据本区埃达克岩和类埃达克岩地球化学特征，笔者认为，只要符合 Yb 值 $\leq 1.9 \times 10^{-6}$ ，Y 值 $\leq 19 \times 10^{-6}$ ，Sr 值 $\geq 355 \times 10^{-6}$ ， $Al_2O_3 \geq 14.5\%$ 的中性和中酸性岩，在满足于低 Yb 和 Y 以及高 Sr 值的条件下，都可认为是埃达克岩或类埃达克岩。

3 两类埃达克岩的判别标志及含矿性

3.1 两类埃达克岩成因及其判别标志

根据埃达克岩初始定义，埃达克岩可以有多种不同的成因类型。朱弟成等 (2002; 2003) 认为埃达克岩有两种基本的成因类型：一类是由俯冲的年轻大洋板片发生部分熔融形成，另一类是由新底侵的玄武质下地壳熔融而成^[25-26]。张旗等 (2001; 2004) 将埃达克岩分为 O 型和 C 型两类：O 型埃达克岩与大洋板块的消减作用或俯冲的玄武岩质板片的熔融作

表 4 阿德默勒尔蒂群岛一所罗门群岛弧代表性 O-型埃达克岩和类埃达克杂岩体的地球化学特征

Table 4 The geochemical characteristics of O-type adakite and adakite-like rocks from Admiralty-Solomon island arc

采样位置	阿德默勒尔蒂岛			布干维尔岛			所罗门群岛		
	克莲山杂岩			潘古纳杂岩体			柯劳拉侵入杂岩体		
样号 化学成分	K28	K26	Bag 1	P34	P33	40	44	43	Ton 2
SiO ₂	59.90	61.60	55.50	67	63.20	55.70	71.10	63.50	71.80
Al ₂ O ₃	17.30	16.90	17.70	16.50	16.80	16.50	14.80	16.80	14.80
MgO	2.99	2.72	3.38	1.11	1.93	5.17	0.98	2.31	1.42
Na ₂ O	4.75	4.64	3.95	4.69	4.14	2.85	3.21	3.63	3.40
K ₂ O	0.88	2.49	1.61	1.52	1.70	1.03	2.65	1.42	0.67
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
La	19	22	11	8	9	6	4	6	
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						
Nb/Zr			0.05	0.05	0.04	0.01	0.02	0.02	
成因类型	C 型	C 型	O 型	O 型	O 型	O 型	O 型	O 型	O 型
参考资料	Mason & McDonald, 1978 ^[17]		Johnson, 1982 ^[19]	Mason & McDonald, 1978 ^[17]					Chivas, 1978 ^[29]

注：主要元素为%，微量元素含量为×10⁻⁶。

用有关，C 型埃达克岩则是加厚的地壳底部的中 - 基性岩部分熔融的产物^[23,27]。将巴布亚新几内亚的岛弧安山岩（和英安岩）与典型的埃达克岩比较之后，我们发现巴布亚新几内亚埃达克岩成因类型分别属于 O-型和 C-型。苏拉威西埃达克岩和类埃达克岩（朱章显等，2009a、b）^{①②} 也存在 O-型和 C-型埃达克岩之区别，反映了埃达克岩和类埃达克岩的源区不同：O-型埃达克岩源区以俯冲的大洋玄武岩质板片熔融作用为主，C-型埃达克岩源区则以底侵玄武岩下地壳熔融为主。

根据主元素、微量元素特点及 REE 曲线类型等地球化学特征特点，本区埃达克岩可以划分为两种成因类型：第一类埃达克岩，重稀土元素不富集（La 值≤14，La/Yb 比值≤12），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，属于大洋岛弧型（相当于 O-型埃达克岩）；第二类埃达克岩，REE 配分型式与大陆板内 REE 的模式相

① 朱章显等，2009a，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 [J]．地质通报（待刊）．
② 朱章显等，2009b，苏拉威西（印尼）埃达克岩和类埃达克岩分布特征 [J]．吉林大学学报（地球科学版）（待刊）．

似, 表现为重稀土元素十分富集 (La 值 ≥ 14), 显示强烈富集 La 和 Ce (La/Yb 值 ≥ 12) (表 3), 形成于陆缘火山弧, 大陆板内或碰撞后的陆缘造山带, 为其微量元素地球化学特点表现为 Nb/Zr 比值 > 0.05 (图 3) 或 $Ta/Hf > 0.1$, 属于大陆型 (相当于 C-型埃达克岩)。

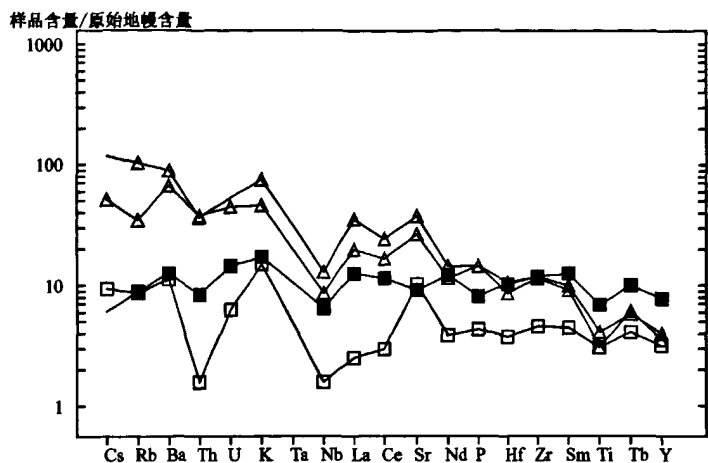


图 3 东南亚地区埃达克岩微量元素分蛛网图

Fig.3 Spider diagram for trace elements in southeastern Asia

□大洋型埃达克岩; △大陆型埃达克岩 (包括类埃达克花岗岩闪长岩); ■岛弧型安山岩

微量元素 $Th-Nb-Zr$ 是判别火山岩浆产出构造背景最可靠的判别指标之一^[28]。一般来说, 大洋板块汇聚带的 Nb/Zr 比值 (< 0.05) 较低或 Ta/Hf 比值 < 0.1 , Th/Nb 比值 > 0.11 ; 大陆板内 Nb/Zr 比值 > 0.05 (或 Ta/Hf 比值 > 0.1), Th/Nb 比值 > 0.11 。

根据 $Th-Nb-Zr$ 判别标志, 巴布亚新几内亚南俾斯麦埃达克岩的 Th/Zr 比值低于 0.01, 火山岩中含 Nb 和 Th 很低, Nb/Zr 比值较低 (< 0.05)。在 $Nb/Zr-Th/Zr$ 判别图上, 多数样品落在汇聚边缘初期大洋岛弧范围内, 说明那里的火山岩具有初期大洋弧的性质。

苏拉威西埃达克岩和类埃达克岩以 Nb/Zr 0.04 为划分界线, 明显地集中在两个范围内: 一般的 Nb/Zr 比值小于 0.05 者为大洋型埃达克岩, $Ta/Hf < 0.1$, 无论在 $Th/Zr-Nb/Zr$ 或 $Th/Hf-Ta/Hf$ 判别图上, 这些样品点都落在大洋弧范围内, 可能与早期洋壳俯冲有关; 另一种埃达克岩或类埃达克岩的微量元素地球化学特征为 Nb/Zr 比值 > 0.05 或 Ta/Hf 比值 > 0.1 , 其 REE 配分型式具大陆板内 REE 的模式, La 和 Ce 富集, 形成于陆-陆碰撞后的大陆板内大陆拉张带 (或初始裂谷), 与大规模的陆内 I-型中酸性侵入岩活动有关。马拉拉斑岩型铜-钼矿床的东都花岗岩闪长岩就为 I-型中酸性埃达克侵入体。

笔者认为, 在判别埃达克岩成因类型时, 除了 $Na/K > 2$ 的判别值外, REE 的 La 值和 La/Yb 比值及其产出的构造背景 (Nb/Zr 比值或 Th/Nb 比值) 也是重要判别因素。对于 O/C 过渡型, 可能会出现某些判别值与构造背景之间出入的现象。此时, 更多考虑的是板块构造背景的判别因素。

3.2 两类埃达克岩的含矿性

埃达克岩与 Au 、 Ag 、 Cu 和 Mo 浅成低温热液矿床及斑岩矿床密切共生。埃达克岩与斑岩铜矿和浅成金矿的时空关系已经引起关注^[7-14]。就本地区而言, 埃达克岩是世界级浅成低温热液和超大型斑岩铜-金矿的容矿岩。

本区埃达克岩和类埃达克岩可按其地理位置划归 5 个带: ①印度尼西亚的伊里安查亚至

巴布亚新几内亚内的中央山脉(几内亚造山带)至欧文-斯坦利造山带内大陆型埃达克岩带(世界级斑岩型铜-金矿成矿带)。^②北苏拉威西-哈马黑拉岛弧含埃达克岩岩浆带(浅成低温热液金矿带)。^③北新几内亚-新不列颠岛弧和阿德默勒尔蒂群岛-布干维尔岛-所罗门群岛埃达克岩和类埃达克岩(包括碱性岩)带(浅成低温热液金矿带和斑岩型铜-金矿成矿带)。^④印度尼西亚爪哇-班达弧类埃达克岩火山岩带(浅成低温热液金矿带和火山喷气型金矿带)。^⑤印度尼西亚中加里曼丹类埃达克岩火山岩带(浅成低温热液金矿带)。

一般而言,大陆型埃达克岩与世界级斑岩型铜-金矿的成矿带有密切的成因联系。例如,北苏拉威西的马拉班斑岩铜-钼矿床的东都花岗闪长岩、埃茨贝格铜-金矿田的浅成中酸性侵入岩($2.6 \sim 4.4\text{Ma}$)^[30]和奥克太迪矿床的浅成侵入岩(年龄为 1.1Ma)皆为埃达克岩。埃茨贝格矿田内4个矿区(大铁帽、瓦内冈、埃茨贝格和格拉斯贝格)的侵入岩岩石化学特征是: SiO_2 $56.21\% \sim 62.4\%$, Al_2O_3 $15.31\% \sim 17.30\%$, Y $15.7 \sim 19 \times 10^{-6}$, Yb $1.7 \sim 2 \times 10^{-6}$, Sr $780 \sim 1295 \times 10^{-6}$ 。数据表明,埃茨贝格斑岩型铜-金矿田的含矿母岩 K_2O 含量 $2.30\% \sim 4.78\%$, 属含 K 粗面安山岩-粗面英安岩系列,是一种高 K 富 Nb 的大陆型埃达克岩,岩性为石英二长岩-花岗闪长岩。含矿侵入岩的岩石性质表现为 $\text{F}_2\text{O}_3/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 比值大于 0.5, 平均 0.62。含矿埃达克岩属于高氧逸度岩浆系列,对 Cu、Au 成矿十分有利的^[31]。地震资料表明,新几内亚的俯冲消亡带距埃茨贝格矿田和奥克太迪矿床以北很远处^①,说明大洋俯冲形成的大洋型埃达克岩与矿床无直接关系,而与大陆型埃达克岩有关。

大洋岛弧型埃达克岩主要与浅成低温热液金矿成因关系密切,其次为斑岩型铜-金矿。北苏拉威西、哈马黑拉岛弧、北新几内亚-新不列颠岛弧、阿德默勒尔蒂群岛-塔巴-布干维尔岛弧的埃达克岩为浅成低温热液金矿带。其中,布干维尔岛潘古纳的斑岩金矿床的母岩与碱性岩共生;塔巴-利希尔岛弧上的拉多拉姆金矿是世界级浅成低温热液金矿。

4 结论

(1) 根据本区埃达克岩和类埃达克岩地球化学特征,在埃达克岩和类埃达克岩识别中,笔者认为:只要符合 Yb 值 $\leq 1.9 \times 10^{-6}$, Y 值 $\leq 19 \times 10^{-6}$, Sr 值 $\geq 355 \times 10^{-6}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 14.5\%$ 的中性和中酸性岩都可认为是埃达克岩或类埃达克岩;在满足于低 Yb 和 Y 以及高 Sr 值的条件下,若 Al_2O_3 含量接近或超过 14.5% 的中酸性岩,即使 Sr 值 $\leq 355 \times 10^{-6}$,但其 Sr/Y 比值接近或超过 20,仍然也可以把它们看成是类埃达克岩。

(2) 本区埃达克岩和类埃达克岩产出的构造位置与新生代缝合线的分布相一致,分别见于缝合线附近的大洋岛弧和弧后的陆缘造山带。本区埃达克岩划分为两种成因类型:大洋型(O-型)埃达克岩(Nb/Zr 比值 < 0.04 , La 值 ≤ 14 , La/Yb 值 ≤ 12)和大陆型(C-型)埃达克岩(Nb/Zr 比值 > 0.04 , La 值 ≥ 14 , La/Yb 值 ≥ 12),有时可能会出现 O/C 过渡类型,待进一步研究。

(3) 从埃茨贝格矿田一直延伸到欧文-斯坦利造山带的这条连绵两千公里的大陆型埃达克岩带^[32](包括埃达克家族的富 Nb 碱性玄武岩),是巴布亚中央造山带上的世界级斑岩型铜-金矿成矿带。大洋岛弧型埃达克岩带主要与世界级浅成低温热液金矿成因关系密切。

^① 秦克章,第二篇 全球斑岩铜矿分布及典型矿床[J].见:中国地质调查局编,国内外斑岩铜矿研究进展.北京:55~56,2002.

参 考 文 献

- [1] Defant MJ, Drummond MS. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere [J]. *Nature*, 1990, 347 (18): 662 ~ 665.
- [2] Kay RW. Aleutian magnesian andesites: melts from subducted Pacific Ocean crust [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1978, 4 (1~2): 117 ~ 132.
- [3] 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, 13.
- [4] 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.
- [5] 朱章显, 杨振强. 巴布亚新几内亚新生代埃达克岩及成矿意义 [J]. *吉林大学学报 (地球科学版)*, 2008, 38 (4): 618 ~ 623.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 王元龙, 张旗, 王强, 等. 埃达克质岩与 Cu-Au 成矿作用关系的初步探讨 [J]. *岩石学报*, 2003, 19 (3): 543 ~ 550.
- [9] 刘红涛, 张旗, 刘建明, 等. 埃达克质岩与 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 ~ 218.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Richards JP, Kerrich R. Special paper: adakite-like rocks: their diverse origins and questionable role in metallogenesis [J]. *Economic Geology*, 2007, 102 (4): 537 ~ 576.
- [14] Gow PA, Walshe JL. The role of preexisting geologic architecture in the formation of giant porphyry-related Cu + Au deposits: Examples from New Guinea and Chile [J]. *Economic Geology*, 2005, 100 (5): 819 ~ 833.
- [15] Meinert LD, Hefton KK, Mayes D, et al. Geology, zonation, and fluid evolution of the Big Gossan Cu-Au skarn deposit, Ertzberg District, Irian Jaya [J]. *Economic Geology*, 1997, 92 (5): 509 ~ 534.
- [16] Morris JD, Jezek PA, Hart SR, et al. The Halmahera island arc, Molucca Sea collision zone, Indonesia: A Geochemical Survey [A]. In: Hayes DE (ed.). *The Tectonic and Geologic Evolution of South-east Asian Seas and Islands: Part 2* [C]. Washington DC: American Geophysical Union, 1983. 373 ~ 387.
- [17] Mason DR, McDonald JA. Intrusive rocks and porphyry copper occurrences of the Papua New Guinea-Solomon Islands region: a reconnaissance study [J]. *Economic Geology*, 1978, 73 (5): 857 ~ 877.
- [18] Richards JP. Petrology and geochemistry of alkalic intrusives at the Porgera gold deposit, Papua New Guinea [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1990, 35 (1~3): 141 ~ 199.
- [19] Johnson RW. Regional distribution and character of active andesite volcanism: Papua New Guinea [A]. In: Thorpe RS (Ed.). *Andesites: Orogenic andesites and related rocks* [C]. New York: John Wiley & Sons, 1982. 225 ~ 244.
- [20] Vroon PZ. Subduction of continental material in the Banda Arc, Eastern Indonesia [M]. *Oost-Indonesia: Geologica Ultraiectina*, 1992. 1 ~ 205.
- [21] Thompson JFH, Abidin HZ, Both RA, et al. Alteration and epithermal mineralization in the Masupa Ria volcanic center, Central Kalimantan, Indonesia [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1994, 50 (1~3): 429 ~ 456.
- [22] van Leeuwen TM, Taylor R, Coote A, et al. Porphyry molybdenum mineralization in a continental collision setting at Malala, northwest Sulawesi, Indonesia [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1994, 50 (1~3): 279 ~ 315.
- [23] 张旗, 许继峰, 王焰, 等. 埃达克岩的多样性 [J]. *地质通报*, 2004, 23 (9~10): 959 ~ 965.
- [24] Hine R, Mason DR. Intrusive rocks associated with porphyry copper mineralization, New Britain, Papua New Guinea [J]. *Economic Geology*, 1978, 73 (5): 749 ~ 760.

- [25] 朱弟成, 段丽萍, 廖忠礼, 等. 两类埃达克岩 (Adakite) 的判别 [J]. 矿物岩石, 2002, 22 (3): 5~9.
- [26] 朱弟成, 潘桂棠, 段丽萍, 等. 埃达克岩研究的几个问题 [J]. 西北地质, 2003, 36 (2): 13~19.
- [27] 张旗, 王焰, 钱青, 等. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义 [J]. 岩石学报, 2001, 17 (2): 236~244.
- [28] 孙书勤, 汪云亮, 张成江. 玄武岩类岩石大地构造环境的 Th、Nb、Zr 判别 [J]. 地质论评, 2003, 49 (1): 40~47.
- [29] Chivas AR. Porphyry copper mineralization at the Koloula igneous complex, Guadalcanal, Solomon Islands [J]. *Economic Geology*, 1978, 73 (5): 645~677.
- [30] Pollard PJ, Taylor KG. Ages of intrusion, alteration, and mineralization at the Grasberg Cu-Au deposit, Papua, Indonesia [J]. *Economic Geology*, 2005, 100 (5): 1005~1020.
- [31] Rubin JN, Kyle JR. Precious Meta Mineralogy in porphyry, Skarn, and replacement-type ore deposits of the Estsberg (Gununy Bijih) district, Irian Jaya, Indonesia [J]. *Economic Geology*, 1997, 92 (5): 535~550.
- [32] Arnold GO, Griffin TJ. Intrusions and porphyry copper prospects of the Star Mountains, Papua New Guinea [J]. *Economic Geology*, 1978, 73 (5): 785~795.

DISTRIBUTION, ORIGIN AND MINERALIZATION OF TWO TYPES OF CENOZOIC ADAKITE AND ADAKITE-LIKE ROCKS IN SOUTHEASTERN ASIA

ZHU Zhang-xian, YANG Zhen-qiang

(*Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang, Hubei 443003, China*)

Abstract: The Sunda Islands of southeastern Asia is an area where Cenozoic adakite and adakite-like rocks are well developed. These intermediate-acid magmatic rocks are widespread in Guinea Island, Sulawesi (Indonesia), Papua New Guinea, and scattered in Sumatra western Java, Banda island arc and Central Kalimantan. The adakite and adakite-like rocks of the area belong respectively to island-arc tholeiitic/calc-alkaline series and high-potassium calc-alkaline series and are characterized by low HREE contents such as Y and Yb ($Y \leq 19 \times 10^{-6}$ and $Yb \leq 1.8 \times 10^{-6}$ respectively) and high Sr content ($> 355 \times 10^{-6}$). The spider diagrams show strongly positive anomalies of Ba, K and Sr and relatively negative anomalies of Th and Nb. The adakite and adakite-like rocks show enrichments in large-ion lithophilic element (LILE) and high-field strength elements (HFSE). The adakite and adakite-like rocks of Sunda Islands are tectonically distributed near the Cenozoic sutures, and can be divided into two types of origin. The first one, called oceanic type (O-type) of adakites, belongs to tholeiitic/calc-alkaline series with REE pattern of oceanic island arcs, and is seen at the oceanic island. The second type, named continental type (C-type) of adakites, belongs to high-potassium calc-alkaline series with REE patterns of continental type, often occurs in continental margin orogenic zone of continental plate and is originally related to arc-continent collision zone or post-collision. Our result reveals that the our research works reveals that the continental-type (C-type) adakite and adakite-like rocks have a similar distribution to the world-class porphyry copper-gold deposits, whereas the oceanic island arc type (O-type) adakite and adakite-like rocks are related in origin with epithermal hot-spring gold zones and chalation ore deposits.

Key words: adakite rock; adakite-like rock; oceanic island arc; continental margin orogenic zone; arc-continent collision or post-collision