

巴布亚新几内亚新生代埃达克岩的 地球化学证据^①

朱章显, 杨振强

(宜昌地质矿产研究所, 湖北宜昌 443003)

摘要: 本文根据对新几内亚火山岩的10个化学分析数据与典型埃达克岩进行对比, 讨论了巴布亚新几内亚埃达克岩的地球化学特征。结果表明: 巴布亚新几内亚埃达克岩微量元素特征为高铈(一般大于 400×10^{-6}), Sr/Y 比值平均 >41.7 ; 在微量元素蛛网图上有 Sr 、 Ba 正异常峰和明显的 Nb 、 Th 负异常。 Y 和重稀土元素 Yb 含量很低(分别为 $\leq 20 \times 10^{-6}$ 和 1.9×10^{-6})。稀土元素表现为LREE富集模式, La/Yb 比值平均为 $9.3 \sim 27.8$ 。巴布亚新几内亚埃达克岩的 $\text{Mg}\#$ 值 >0.45 ; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 一般小于 0.7045 。

巴布亚新几内亚埃达克岩分别位于弧—陆碰撞带大地构造环境中的大洋岛弧和大陆边缘造山带中。埃达克岩的分布区域与世界级斑岩铜—金矿和浅成热泉金矿成矿带的分布相一致。

关键词: 埃达克岩; 安山岩; 微量元素; 弧—陆碰撞; 斑岩铜—金矿; 浅成热泉金矿

中图分类号: P588

文献标识码: A

1 前言

埃达克岩是一种新型的火山岩套。它首先被命名于Adak岛^[1-2], 是在火山弧环境中, 由俯冲的年轻($\leq 25 \text{ Ma}$)大洋板片熔融所形成的一种岛弧火成岩, 与洋壳板片俯冲有成因关系。按照埃达克岩的原始定义, 应该是一套以低重稀土元素 Yb 和 Y ($\text{Yb} \leq 1.9 \times 10^{-6}$ 和 $\text{Y} \leq 18 \times 10^{-6}$)含量和高的 Sr/Y 比值($>20 \sim 40$)为特征的中酸性火成岩, 岩石组合为岛弧安山岩、英安岩、钠质流纹岩及相应的侵入岩; 主要矿物组合为斜长石、角闪石、黑云母、辉石和不透明矿物。埃达克岩的概念提出后, 引起地学界广泛关注^[3-10], 并将其研究从新生代火成岩拓展到更古老的岩系, 例如太古宙高铝TTD^[3](高-Al奥长花岗岩—英云闪长岩—英安岩)。随着对埃达克岩研究的不断深入, 对其认识也在逐渐完善。人们从对其单一成因的认识, 发展到多成因的认识, 并对其进行了不同成因的岩石分类。埃达克岩的研究和认识是一个不断深入的过程, 各种不同观点、认识的出现, 研究领域的不断拓展, 都将对埃达克岩的研究起到极大的促进作用。

① 收稿日期: 2007-03-26

基金项目: 中国大陆周边地区主要成矿带成矿规律对比及潜力评价。项目编号: 1212010661308。

第一作者简介: 朱章显(1959~), 男, 硕士, 长期从事区调、矿产普查工作。现从事境外地质矿产编图工作。

埃达克岩产出的大地构造位置位于大洋板块与大陆板块汇聚带中。据文献报导,东南亚的菲律宾和巴布亚新几内亚的 Arid Hills 地区^[11-13]是新生代埃达克岩和类埃达克岩分布的地区之一。

最近笔者等在有关东南亚地质矿产研究工作过程中,收集和整理了巴布亚新几内亚的部分火山岩资料。按埃达克岩原始定义来衡量,对已发表的化学分析结果进行重新认识,发现其中大多数安山岩的地球化学特点与文献中发表的埃达克岩和类埃达克岩的性质十分相似,可以进行比较。研究认为,巴布亚新几内亚的新生代火山岩中,应该存在着具有与埃达克岩地球化学特征很相似的安山岩或埃达克质安山岩。我们相信,巴布亚新几内亚以及东南亚其它地区(例如印度尼西亚岛弧区)可能还会有更多的埃达克岩或类埃达克岩将被识别出来。

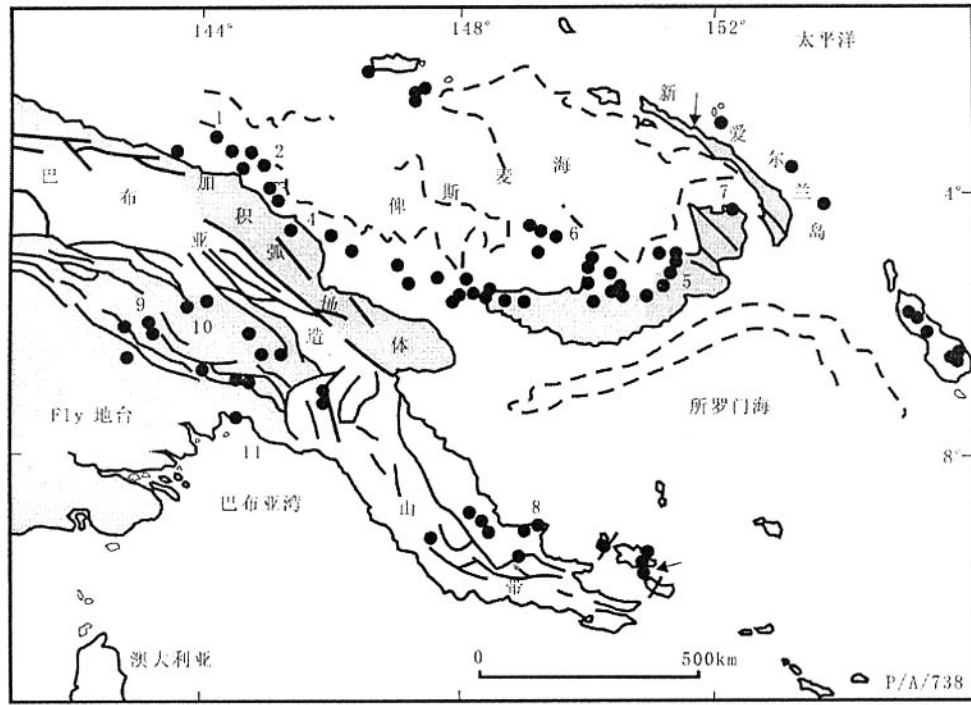


图1 巴布亚新几内亚晚新生代火山(圆黑点)分布图
(Johnson,1982,见文献 14)

Fig.1 Distribution map of Late Cenozoic volcanos (shown as solid circles) in Papua New Guinea
(Johnson,1982)^[1]

火山编号:1-Bagana;2-Bam;3-Boisa;4-Karkar; 5-Bamus; 6-Garove; 7-Rabaul; 8-Victory;9-Doma;10-Hnage;11-Aird Hills

2 巴布亚新几内亚新生代火山岩的分布

巴布亚新几内亚是新生代弧—沟型火山岩(安山岩—英安岩—流纹岩)发育的地区。这些安山岩和英安岩位于太平洋板块和印度洋—澳大利亚板块汇聚和碰撞带附近,与太平洋板块俯冲下沉有密切的成因关系。各板块的运动方向及其相互关系非常复杂(图1)。随着所罗门海的海底扩张和该新生海洋板块向北俯冲,以及俾斯麦海海底扩张,形成了一系列新生代大陆边缘岛弧和大洋岛弧。巴布亚新几内亚大多数活火山都分布于俾斯麦海南部和

西部。众多的埃达克质火山岩分布于这条火山岛弧带中。布尔干维尔和新爱尔兰岛火山规模较小。此外,由于岛弧与大陆板块之间在新近纪以来曾经发生过弧—陆碰撞,在新几内亚岛上形成一条规模巨大的NW—SE走向的高地造山带。该造山带基底岩石是白垩纪欧文斯坦利变质岩被莫罗比(Morobe)花岗闪长岩侵入,见有粗玄岩型安山岩和埃达克岩,其中包括有花岗闪长岩、安山岩、英安岩等组合。

巴布亚新几内亚的埃达克岩的岩石学特征按其大地构造分布不同而略有不同,可分为两组;第一组为钙碱性系列, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值较低,为0.7034~0.7037,分布于南俾斯麦海岛弧带上;第二组为高钾钙碱性系列(原来称为粗面安山岩),含有角闪石和少量黑云母,分布于高地造山带内,有较高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值(0.7039~0.7049)。

3 巴布亚新几内亚埃达克岩的地球化学特征

我们把新几内亚10个安山岩的化学分析数据(Johnson, 1982^[14])与典型的埃达克岩^[1-2]进行对比,发现其中8个为埃达克岩,2个为安山岩(表1)。

本区埃达克岩主元素的特征表现为: SiO_2 含量为54.9%~59.6%, Al_2O_3 较高(16.4%~17.3%), MgO 为2.4%~6.98%,富钠(2.25%~3.95%),一般 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ 。在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解(图2c)中,高地造山带内的埃达克岩表现为高钾钙碱性系列,而南俾斯麦火山岛弧则落在钙碱系列中。

本区埃达克岩微量元素的特征为高铯(一般大于 400×10^{-6}),具有正Sr异常, Sr/Y 比值平均 >41.7 ,在微量元素丰度图上有Sr、Ba正异常峰。Y和重稀土元素Yb含量很低(分别为 $\leq 20 \times 10^{-6}$ 和 1.9×10^{-6}),高场强元素(HFSE)和Nb、Zr、Hf、Ti和P含量较低,具明显的Nb、Th负异常。稀土元素表现为REE富集(图2a), La/Yb 比值平均为9.3~27.8。 $\text{Mg\#}$ 值 >0.45 。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 一般小于0.7045。本区埃达克岩与典型埃达克岩不同之处在于其Cr和Ni含量很低,具强烈负异常(图2b)。在南俾斯麦火山岛弧上的7个火山岩样品中,有5个样品可定为埃达克岩。南俾斯麦火山岛弧上埃达克岩的各项特征值都符合Adak岛上埃达克岩的特征值^[1],唯有 La/Yb 比值稍低于典型的埃达克岩。高地造山带上的3个火山岩样品平均的地球化学特征值与Adak岛上标准的埃达克岩相比,各项数据都符合,唯有Y平均值略高($Y=20$)。相反,在南俾斯麦火山岛弧上的拉包尔火山和Garove火山所采集的2个安山质火山岩样品中,其Sr正异常不明显(Sr值较低,为 295.5×10^{-6}),Y和Yb含量明显高于埃达克岩(分别为 34.5×10^{-6} 和 4.1×10^{-6}), Sr/Y 平均比值为8.57,显然小于埃达克岩。其 $\text{Mg\#}$ 值小于0.43,也小于埃达克岩(>0.5)的标准值,与典型的岛弧钙碱性火山岩相近,显然不属于埃达克岩。因此,这两个火山的火山岩样品仍然属于岛弧安山岩的地球化学特征无疑。

4 构造环境和找矿意义讨论

4.1 东南亚地区埃达克岩形成的构造环境

随着研究工作的深入,人们发现符合埃达克岩初始定义的埃达克岩有多种不同的成因类型。朱弟成等认为埃达克岩有两种成因类型^[7-8]:一类是由俯冲的年青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。张旗^[8-9]等将埃达克岩分为O型和C型两类:O型埃达克岩与板块的消减作用或玄武岩底侵作用有关,C型埃达克岩则是

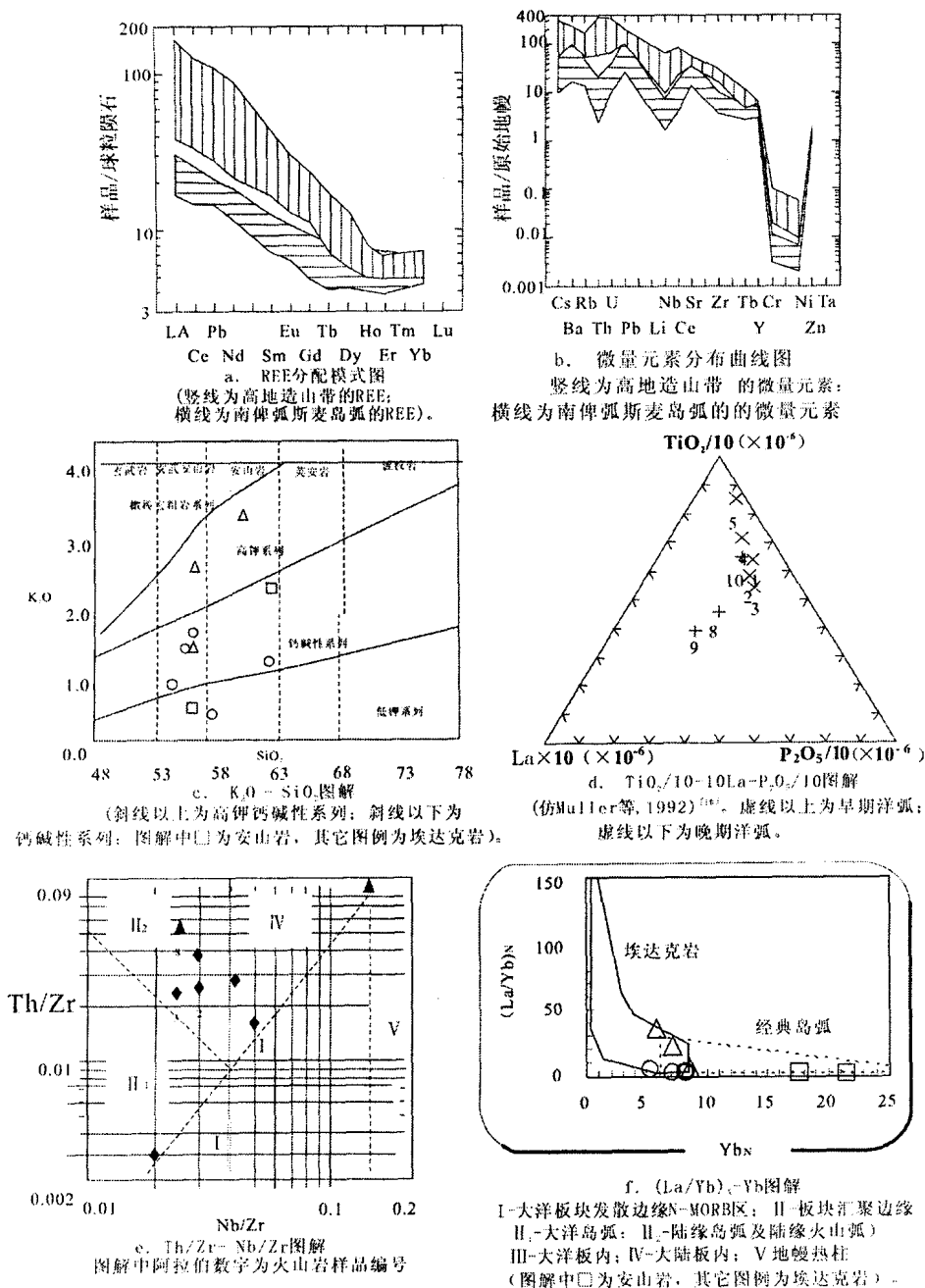


图2 巴布亚新几内亚埃达克岩的地球化学图解

Fig. 2 Geochemical diagrams for adakites in Papua New Guinea

加厚的地壳底部的中—基性岩部分熔融的产物。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,发现巴布亚新几内亚岛确实存在埃达克岩,而且其构造环境属于O型埃达克岩。

既然典型埃达克岩是一种形成于火山弧环境的新型的、由俯冲的年轻(≤ 25 Ma)大洋板片熔融所形成的一套由中酸性岩石组合而成的岛弧火成岩,那么,西南太平洋地区新生代以来板块俯冲消减带环境应该是埃达克岩发育的有利部位,而且应该是O型埃达克岩产出

地区。

4.2 不同构造环境埃达克岩的地球化学特征差异性

微量元素特征是判别火山岩浆产出环境的有效依据之一^[15]。利用各种火成岩构造判别图可知,本区埃达克岩形成的构造环境为大洋火山岛弧和大陆后碰撞弧部位,例如在 $3Zr - 50Nb - (Ce/P_2O_5)$ 的判别图上,多数样品落在后碰撞弧的范围内(图略),而在 $TiO_2/10 - 10La - P_2O_5/10$ 判别图上也显示大多数样品落在后碰撞弧和大陆弧的范围内,只有个别样品落在初期洋弧的范围内(图 2d)。这种情况与本区火山岩的产出大地构造部位的实际情况完全吻合。

表 1 巴布亚新几内亚火山岩的地球化学特征与典型埃达克岩对比

Table 1 Comparison of geochemical characteristics between volcanic rocks of Papua New Guinea and typical adakites

	巴布亚新几内亚火山岩			阿留申群岛, adak 岛	
	埃达克岩		安山岩	埃达克岩	
	南俾斯麦岛弧 (5 个样平均)	高地造山带 (3 个样平均)	南俾斯麦岛弧 (2 个样平均)	Adak 型	Pip 型
SiO ₂	56.58	56.93	58.68	56 ~ 59	56 ~ 69
Al ₂ O ₃	18.16	16.13	16.36	>15	16 ~ 18
MgO	3.51	5.32	3.28	4.50	1.3 ~ 6.6
Na ₂ O	2.95	3.53	4.10	3.60	3.3 ~ 5.6
K ₂ O	1.10	2.39	1.39	2.00	1 ~ 1.8
Sr	596.80	835.67	295.50	>400	302 ~ 548
Y	13.60	20.00	34.50	15 ~ 18	
Yb	1.54	1.50	4.1	≤1.9	
Sr/Y	43.88	41.78	8.57	20 ~ 40	
La/Yb	4.32	27.78	2.68	20.00	
Mg#	0.45	0.59	0.43	0.5 ~ 0.71	0.49 ~ 0.75
Sr	正异常	正异常	正异常	正异常	正异常
Eu	正异常/无异常	无异常	无异常	正异常	正异常
Cr	17.8	199	11	165	16 ~ 564
Ni	8.6	64	10	125	8 ~ 132

微量元素 Th - Nb - Zr 是构造环境有效的判别指标^[15]。一般来说,板块汇聚带的 Nb/Zr 比值较低(小于 0.04),Th/Nb 比值 >0.11。本区火山岩含 Nb 和 Th 很低,Nb/Zr 比值较低(小于 0.05)。在 Nb/Zr - Th/Zr 判别图上,多数样品落在汇聚边缘的范围内(图 2e),而南俾斯麦的拉包尔火山的安山岩和 Bamus 火山的埃达克岩的 Th/Zr 比值低于 0.01,落在初期岛弧的范围内,说明那里的火山岩仍然具有初期大洋岛的性质,与实际的构造环境相符合。

由此可见,巴布亚新几内亚岛的埃达克岩确实属于 O 型埃达克岩,并可以划分出两类埃达克岩:大洋岛弧型埃达克岩和大陆碰撞(和大陆边缘弧)边缘型埃达克岩。

4.3 埃达克岩的找矿意义

研究本区埃达克岩具有巨大的经济意义。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的现象值得关注,不论埃达克岩本身成矿的可能性如何,这种与大型矿床密切共生的岩类本身就是一种极好的找矿标志。

在最近的研究中发现^[16-18], Au、Ag、Cu、Mo 等浅成低温热液矿床及斑岩矿床多与埃达克岩或埃达克质岩密切共生, 且世界级斑岩铜矿多与 O 型埃达克岩有关, 如智利的 Cku-quicamata, 铜金属量 6935 万吨, La Escondida, 2880 万吨, El Abra, 1450 万吨。

巴布亚新几内亚高地造山带是最重要的世界级斑岩铜—金矿床成矿带。例如, 著名的波格拉金矿就位于此后碰撞弧的范围内, 与成矿作用有关的火山岩为高钾的钙碱性火山岩和橄榄粗玄岩^[19-20]。而本区造山带内的埃达克岩恰恰是以高钾为特征, 例如, Victory 和 Doma 具有埃达克岩的火山岩都是高钾的埃达克岩(图 2c)。因此, 高钾埃达克岩出现在高地造山带内, 对于寻找斑岩铜—金矿床具有的一定的指示意义。

另一方面, 位于南俾斯麦火山岛弧和太平洋岛弧布尔干维尔岛上的埃达克岩和埃达克质安山岩则是以钙碱性系列为特征, 这种系列多数与世界级的热泉金矿和斑岩铜—金矿的成矿作用有关。例如, 布尔干维尔岛上的 Bagana 金矿, 产于洋壳—火山岛弧带火山机构中, 矿区内第三纪火山岩为埃达克岩, 矿床产于火山岩之下的石英闪长岩内, Cu、Au、Ag、Mo 矿化与石英密切伴生。南俾斯麦火山岛弧上的 Wild Dog 金矿是浅成热泉金矿的典型矿床, 位于埃达克岩分布岩带之内, 与埃达克质安山岩有密切成因关系, 离它不远的 Bamus 火山就是埃达克岩火山。

5 结论

本区埃达克岩形成于汇聚边缘内弧—陆碰撞的大地构造环境中, 分布于高地造山带的埃达克岩具有更为明显的后碰撞弧和大陆弧的特征, 而南俾斯麦火山岛弧的埃达克岩则具有较多的大洋岛弧性质。

埃达克岩的分布区与世界级斑岩铜—金矿和浅成热泉金矿的成矿带的分布相一致, 因此, 研究本区埃达克岩具有深远的理论和实际意义。

本文得到饶家光研究员、梁约翰研究员及谌建国研究员的大力帮助和指导, 在此表示感谢!

参考文献

- [1] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young sub ducted lithosphere [J]. Nature, 1990, 347(18): 662-665.
- [2] Kay R W. Aleutian magnesium andesites: melts from sub ducted Pacific Ocean crust [J]. J Volcano Geothermal Res, 1978(4): 117-132.
- [3] 王强, 许继峰, 赵振华. 一种新的火成岩—埃达克岩的研究综述[J]. 地球科学展, 2001, 16(2): 201-208.
- [4] 罗照华, 柯珊, 谌宏伟. 埃达克岩的特征、成因及构造意义[J]. 地质通报, 2002, 21(7): 436-440.
- [5] 王焰, 张旗, 钱青. 埃达克岩(adakite)的地球化学特征及其构造意义[J]. 地质科学, 2000, 35(2): 251-256.
- [6] 董申保, 田伟. 埃达克岩的原义、特征与成因[J]. 地学前缘, 2004, 11(4): 585-594.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Smith TEM, Taylor S R, Johnson R W. Ree-fractonated trachytes and dacites from Papua New Guinea and their relationship to andesite petrogenesis [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1979, 69: 227-233.

- [12] Sajona F G, Maury R C, Bellon H, et al. Initiation of subduction and the generation of slab melts in western Mindano, Philippines [J]. *Geology*, 1993, 21:1007-1010.
- [13] Sajona F G, Bellon H, Maury R C, et al. Magmatic response to abrupt changes in geodynamic settings: Pliocene-Quaternary calc-alkaline and Nb-enriched lavas from Mindano (Philippines) [J]. *Tectonophysics*, 1994, 237:47-72.
- [14] Thorpe R S (Editor) Andesites. Orogenic andesites and related rocks [M]. John Wiley & Sons, 1982:225-244.
- [15] 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.
- [16] 张静. 埃达克岩及其成矿作用和相关问题的讨论[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2003, 22(4): 365-371.
- [17] 张旗, 王元龙, 张福勤, 等. 埃达克岩与斑岩铜矿[J]. *华南地质与矿产*, 2002(3): 85-90.
- [18] 廖宗廷. 埃达克岩研究及斑岩铜矿找矿新方向[J]. *铜业工程*, 2004(2): 1-6.
- [19] Fleming, A. W. 等. 巴布亚新几内亚的波格拉金矿床[J]. *地质科技情报*, 1989, 8(1): 69-75.
- [20] Muller D & D I Grove. 钾质火山岩、橄榄粗玄岩与金矿的直接与间接的关系[J]. *世界地质*, 1994, 13(2): 6-16, 64.

A primary discussion on geochemical evidence and significance of Cenozoic adakites, Papua New Guinea

ZHU Zhang-xian, YANG Zhen-qiang

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

Abstract

The geochemical characteristics of adakites in Papua New Guinea are reviewed and discussed on the basis of the data of chemical analysis of volcanic rocks and compared to the typical adakites in this paper. The result shows that the trace elements of adakites for Papua New Guinea are characterized by high Sr content ($>400 \times 10^{-6}$) and average Sr/Y ratio >41.7 . There are strongly positive Sr and Ba anomaly peaks and relatively negative Nb and Th anomaly on the spider diagrams of trace elements. However, both Y and Yb of heavy REE contents are very low ($Y \leq 20 \times 10^{-6}$ and $Yb \leq 1.9 \times 10^{-6}$ respectively). The REE patterns exhibit LREE enrichment mode with average La/Yb ratios from 9.3 to 27.8. Meanwhile, adakites in Papua New Guinea have lower Mg# values >0.45 and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (<0.7045) like most typical adakites.

The adakites of Papua New Guinea are respectively located at the oceanic island arcs and continental margin orogenic zone within the tectonic setting of arc-continent collision zone and their distribution districts are corresponding to the world-class porphyry copper-gold as well as hot spring gold zones.

Key words: adakite; andesite; trace element; arc-continent collision; porphyry Cu-Au and hypabyssal spring Au zones