

文章编号: 1007-3701(2012)02-107-08

苏门答腊(印度尼西亚)的火山岩及其地球化学 - 构造环境判别

高小卫, 吴秀荣, 杨振强

(武汉地质调查中心, 武汉 430205)

摘要:本文介绍了苏门答腊(印度尼西亚)火山岩的时代、分布和产状。根据火山岩的岩石化学资料,应用 PetroGraph 和 Minpet2.0 岩浆岩地球化学作图软件对 60 多个中、新生代火山岩岩石化学分析数据进行处理,并对其地球化学 - 构造环境判别图解释的解释,探讨新生代火山岩盆地及其中生代 - 古生代基底的火山岩形成构造环境。根据这些判别图,认为苏门答腊新生代火山岩盆地基底为大陆边缘裂谷(初始裂谷),并在渐新世以后转化为大陆边缘火山弧。高钾橄榄玄粗岩系列和埃达克岩与苏门答腊火山岩体系共生,显示该区具有寻找斑岩 - 低温热液型铜 - 金矿找矿远景。

关键词:苏门答腊(印度尼西亚)火山岩;地球化学 - 构造环境判别图;高钾橄榄玄粗岩系列和埃达克岩;斑岩 - 低温热液型铜 - 金矿

中图分类号:P595 **文献标识码:**A

印度尼西亚是一个火山岛国,自晚古生代以来,火山活动频繁。其中,有 120 座为活火山,其主要分布地苏门答腊岛、爪哇岛和努沙登加拉群岛有“灯火走廊”的美称。

苏门答腊岛在构造上被划分为东苏门答腊地块和西苏门答腊地块(图 1)。前者为“泰缅马苏”地块(Sibumasu 为暹罗-缅甸-马来西亚-苏门答腊的简称)的南延部分,属于冈瓦纳大陆北部古特提斯。后者属于中特提斯,是从冈瓦纳大陆北部边缘分裂出来的小板片与“泰缅马苏”地块在中生代时拼合的产物。梅迪亚-构造带(Medial tectonic zone)是两者之间的板块拼合结合带。新生代火山岩是苏门答腊斑岩型铜、金和热液型锡、铅锌矿床的含矿母岩,而含火山岩的第三纪盆地则是重要的含油盆地,因此,研究苏门答腊火山岩形成时代及构造环境具有重要的理论意义和潜在的经济价值。

本文以 Crow(2005)所提供的 60 多个苏门答腊中、新生代火山岩的岩石化学分析结果为依据(表 1,2)^[1-2],应用 PetroGraph 和 Minpet 2.0 岩浆岩

地球化学作图软件^[3-4],对数据进行处理,做成主量元素和微量元素的各种构造环境图解,目的在于详细地分析和对比苏门答腊古生代以来的火山岩构造环境,从而对中生代火山活动及新生代火山岩盆地形成的构造变质基底性质提出新的成因观点,以便进一步对该区的地质构造演化史和成矿规律进行总结。

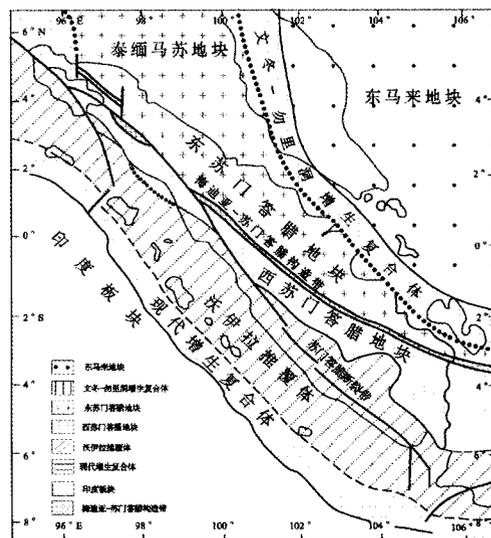


图1 苏门答腊的地质-构造图

Fig. 1 Terrane-tectonic map of Sumatra

收稿日期:2011-09-28;修回日期:2011-11-18
基金项目:印尼中苏门答腊岛铜金等多金属矿产成矿规律研究(国际合作研究项目;科[2011]01-71-14)
作者简介:高小卫(1968—),男,高级工程师,长期从事地质矿产勘查与研究,E-mail:574006680@qq.com

2 火山岩的时代和产状

划分苏门答腊火山岩时代的主要依据是与其共生的沉积地层的古生物时代和火山岩同位素定年数据。能够直接确定本区新生代以前火山岩的时代很少,只见有个别的同位素定年资料,其时代主要还是根据沉积地层组的古生物的研究成果。中、新生代的火山岩时代划分依据比较充分,主要根据 K-Ar, Rb-Sr, 和少数 Ar-Ar 法同位素年龄数值^[1-2]。91 个本区共有同位素年龄数值,多数分布在西苏门答腊,少数分布在东苏门答腊。据此,本区火山岩可划分为:古生代、中生代和新生代。

前新生代火山岩包括古生代的基性火山岩,和中、新生代的基性火山岩。岩石类型为玄武岩、安山岩和英安岩及少数流纹岩,以及碱性岩(橄榄玄粗岩-橄榄安粗岩-富钠粗面玄武岩-橄榄粗安岩-粗面安山岩)等,局部见有蛇绿岩套和细碧岩^①。

2.1 古生代-中生代火山岩

2.1.1 石炭-二叠纪火山岩(290~256 Ma)

本区最老的火山岩为上古生界石炭系关丹火山岩,产于东苏门答腊的阿拉斯组和西苏门答腊的“关丹组火山岩系”下部千枚状板岩段中。“关丹组

火山岩系”下部灰岩之下为火山岩夹层和凝灰岩;上部以石英砂岩中的安山岩和玄武岩为代表。

在东苏门答腊的二叠纪火山岩-侵入岩带,根据塞提提(Setiti)岩基的 Rb-Sr 法同位素年龄(298±30 Ma 和 276±10 Ma)推断蒂加普鲁山的门图图组的康东火山岩段,也属于二叠纪,但实际上并没有火山岩的同位素年龄依据。

西苏门答腊的火山岩-侵入岩带沿着苏门答腊走滑断裂分布。其中,西波加(Sibolga)花岗岩的同位素年龄为 264.6 Ma(早二叠世)。晚古生代火山岩以泗纶康组和帕莱帕特组两个火山岩组最为重要。前者出露于辛卡拉克(Singkarak)湖的南侧, K-Ar 法年龄为 248±10 Ma, 其形成时代与二叠纪地层时代相一致。后者出露于麻拉邦鄂的南西面,没有同位素年龄依据。

2.1.2 晚三叠纪-早侏罗世侵入-火山岩

(224~180 Ma)

西苏门答腊晚三叠世-早侏罗世火山岩-侵入岩带不发育。晚三叠世火山岩仅见于库巴达克(Cubadak)组,是一套暗绿色火山质瓦克岩,与泥岩、粉砂岩互层,含有 Habobia 化石,是位于麻拉西邦基(Muarasipongi)岩基(K-Ar 法同位素年龄 197±2 Ma)之上的一个岩盖。

表1 选择的中侏罗-早白垩世沃伊拉群火山岩石化学分析结果^[1]

Table 1 Selected chemical analyses of volcanics for the Mid-Jurassic—Early Cretaceous Wayla Group

地层组	萨			林		打巴端		纳巴纳	本塔洛	
样品号	100A	102A	104A	121A	114A	120F	R27	R2762	R2773	R5
岩石类型	凝灰岩	玄武岩	玄武岩	安山岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩和安山岩	细碧岩	玄武岩	玄武岩
主量元素 (%)										
SiO ₂	75.38	84.97	48.73	47.9	62.04	44.73	51.55	54.3	48.4	49.8
TiO ₂	0.51	0.35	1.34	0.67	0.92	0.62	1.24	1.12	1	0.86
Al ₂ O ₃	14.72	8.29	21.47	17.12	16.25	9.8	13.39	13.4	14.4	11.7
Fe ₂ O ₃	3.14	1.16	7.78	7.56	7.59	9.93	2.11	5.8	3.8	5.1
FeO							7.5	5.2	7	6
MgO	0.29	0.19	2.77	8.04	2.01	17.83	5.38	2.77	2.24	7.16
Na ₂ O	0	3.12	4.95	1.43	5.34	0.08	4.11	4.96	1.54	3.42
K ₂ O	1.14	0.71	0.47	4.66	0.85	1.34	0.32	0.3	4.28	0.84
微量元素 (x10 ⁻⁶)										
Rb	38	21	8	81	18	38				
Sr	13	162	616	907	406	162				
Nb	4	3	4	4	4	3				
Zr	176	97	82	42	72	44				
Y	39	28	27	14	27	12				
Th	13	9	1	0	5	2				

2.1.3 中侏罗世 - 白垩纪火山岩(169 ~ 75 Ma)

中侏罗世-白垩纪火山岩及其侵入岩产于沃伊拉群。该群包括洋岛火山弧(本塔洛弧)、沃伊拉(Woyla)增生复合体(洋底物质)、前陆盆地、中侏罗-早白垩世侵入-火山弧和晚白垩世侵入岩弧等五个岩块单元:

1. 中侏罗-早白垩世侵入-火山岩和晚白垩世侵入岩弧:东苏门答腊的中侏罗-早白垩世 I-型侵入岩,构成了与海洋板块俯冲有关的大陆边弧。该弧呈 NW-SE 向分布,在帕兰基(Palanki)所见的晚白垩世安山岩年龄为 143±4 Ma。

2. 前陆盆地:在苏门答腊断裂带中出露的锡乌腊克(Siulak)组,包括英安质熔岩、凝灰岩、500 m 厚的含白垩纪化石灰岩和夹于走滑断裂带中的陆相安山岩,代表前弧沉积。

3. 沃伊拉增生复合体:该增生复合体中的火山岩,属洋壳和远洋型,自北向南分布在以下地区:

(1) 亚齐省:在班达亚齐地区^②和塔肯贡(Tak-
engon)区测图幅^③范围内,由叠置的玄武质熔岩、凝灰岩、火山质砂岩与灰岩、放射虫燧石和泥岩构成

沃伊拉洋壳增生体。洋壳岩石变形并变质成为片岩,而增生复合体的洋壳上地幔的方辉橄榄岩变质为蛇纹岩和滑石片岩。

(2) 纳塔尔地区:在该地区洋壳岩石剖面上,由许多叠置的块状灰岩、蛇纹岩、火山碎屑岩以及少量混积岩、枕状玄武岩、放射虫燧石和混杂岩组成两个火山岩组:帕伦姆蓬甘(Parlum-pungan)组和纳巴纳岩组。前者被解释为不典型的火山弧的碎片^④,后者为多孔的细碧岩,并被橄榄岩脉侵入。

(3) 巴东地区:该地区的戈洛克凝灰岩组结晶凝灰岩的 K-Ar 法同位素年龄为 105±3 Ma,与所在的含放射虫燧石地层的时代相一致(中侏罗-早白垩世)。

4. 洋岛火山弧:洋岛火山弧碎片与沃伊拉增生复合体一起,为冈瓦纳大陆的板片,起源于早侏罗世的中特提斯。在亚齐地区有三个大的洋岛火山弧板片(本塔洛、打巴端和西塞)。在南苏门答腊的古迈(Gumai)-加尔巴线,连成一条岛弧线(萨林岛弧),其岩石化学特征见表 1(萨林组)。亚齐地区本塔洛岛弧被断裂、推覆和晚白垩世-第三纪花岗岩

表 2 选择的新生代火山岩石化学分析结果^②

Table 2 Selected chemical composition of the Cenozoic volcanics

时代 地层组 样品号 岩石类型	始新世晚期-中新世中期 (46 ~ 8 Ma)							始新世晚期-晚渐新世 (38 ~ 24 Ma)		
	拉哈特 75246 凝灰岩	塔拉汉 75218 凝灰岩	胡鲁辛姆邦 75247 凝灰岩	阿勒姆 BAT13A 玄武岩	BAT15	萨耶恩 CUT45 粗面玄武岩	卡兰 WOY3 流纹岩	NR128 橄榄粗安岩	NT198 兰萨特	R6029 富辉石玄武岩
主量元素 (%)										
SiO ₂	67.92	79.75	57.54	56.5	57.33	50.16	77.71	52.56	49.8	47.9
TiO ₂	0.47	1	0.7	0.716	0.758	0.71	0.167	0.88	0.84	0.49
Al ₂ O ₃	16.1	12.42	14.42	21.1	19.18	18.26	14.65	16.27	14.31	10.4
Fe ₂ O ₃	3.79	0.75	5.83	6.43	6.32	9.18	1.14	9.9	10.69	11.6
FeO										5.00
MgO	0.18	0.4	0.48	1.78	2.81	8.88	0.23	6.85	8.77	13.2
Na ₂ O	4.53	0.01	4.12	4.05	3.35	2.6	5.19	1.65	2.16	2.85
K ₂ O	4.76	4.11	2.24	2.898	1.425	0.26	3.641	4.6	3.57	0.6
微量元素 (×10 ⁻⁶)										
Ba	693	266	344	386.2	222.1	63.3	551.6			
Rb	107		100	82.4	37.3	2.1	103.2	35	51	
Sr	274		286	282.9	311.5	243.2	96.9	623	587	
Nb	15		5	3.8	2	1.3	13.2	2	1	
Zr	376		169	151	101	5.2	137	82	58	
Y	39		43	28.8	23.7	18.9	24.4	29	18	
Th		18	5	10.2	3	0.2	8.7			
时代 地层组	渐新世晚期-中新世 (30 ~ 5 Ma) (北苏门答腊)									
样品号	平	那	潘	托拉	安	戈拉	登格拉	卡兰	布拉万	
SiO ₂	R1448 50	R67 65.03	R21 60.02	R36 59.36	R36 59.36	R5038 62.9	R3098 53.5	R512 49.67	R76 53.05	R137 55.8
TiO ₂	0.77	0.32	0.53	0.67	0.67	0.71	1.02	0.68	0.57	0.44
Al ₂ O ₃	18.23	17.03	18.49	16.87	16.87	16.8	17.50	19.85	16.54	16.1
Fe ₂ O ₃	3.09	1.67	2.00	2.92	2.92	2.74	3.14	3.54	3.03	0.06
FeO	4.8	1.7	2.70	3.7	3.7	2.6	6.20	5.6	4.9	3.4
MgO	6.07	2.51	2.26	2.96	2.96	1.8	3.74	3.56	4.14	2.83
Na ₂ O	2.48	4.03	6.16	2.47	2.47	3.87	3.20	3.8	3.18	3.54
K ₂ O	0.13	1.49	4.03	2.69	2.69	2.16	1.11	1.01	0.8	2.08

注: *样品号NR128 和NT198的Fe₂O₃为TFe

类侵入。该岛弧中的侏罗系打巴端火山岩组出露于克卢依特(Kluet)断裂之南西,为该岛弧火山岩组的主要组成部分,并被含晚侏罗-早白垩世的礁灰岩和黑色灰岩覆盖。在古迈山,侏罗系沃伊拉群因其包含了早白垩世萨林(Saling)组,实际上是侏罗纪至早白垩世的产物。

2.2 新生代火山岩时代和产状

2.2.1 古新世(65~50 Ma)

古新世火山岩(65~50Ma)见于南苏门答腊,称为基金姆(Kikim)火山岩组,主要为玄武岩和少量安山岩及凝灰岩。在50~46 Ma之间的火山活动间歇期,印度板块和澳大利亚板块逐步靠拢、拼合、形成印度-澳大利亚联合板块,并沿印度-南极洋中脊扩张。

2.2.2 中始新世晚期-早中新世(46~24 Ma)

1.中始新世晚期火山岩(46~40 Ma)沿苏门答腊西海岸分布。北苏门答腊亚齐地区的塞梅立特(Semelit)组和基恩梅(Kieme)组火山岩为弧后盆地层系。纳塔尔地区的玄武岩、安山岩和橄榄玄粗岩岩墙的K-Ar同位素年龄为41~45.8 Ma^[7]。

2.始新世晚期至早中新世火山岩(38~24 Ma)为玄武岩和少量安山岩、英安岩,见于南苏门答腊和巴里散山。兰萨特火山岩组(表2)时代为晚始新世至晚渐新世,是镁质玄武岩、基性橄榄玄粗岩和橄榄安粗岩(absarokite),主要集中分布于苏门答腊断裂带的东南侧。该组橄榄安粗岩岩与美国西部黄石公园和怀俄明州的橄榄安粗岩的化学成分、产状和成因相似,代表拉斑玄武质的岛弧型基性火山岩或者是弧后盆地玄武岩^①。

3.晚渐新世-早中新世火山岩(30~24 Ma),称为巴东南东的“老安山岩”(派南组),为火山岛弧,由安山岩、玄武岩、安山玄武岩和火山凝灰岩组成,主要沿苏门答腊断裂带西南侧分布。其中,巴东地区南部玄武岩流的同位素年龄为24 Ma。

原始巴里散山隆起形成始于在晚渐新世(28 Ma),标志看古近纪一次大的构造事件。该构造事件使其两侧前弧盆地与弧后盆地发生分离。晚渐新世-早中新世火山岩(30~24 Ma)主要分布在西苏门答腊巴里散山上升陆块西侧的派南-胡鲁辛姆邦火山弧轴部以及弧前岛弧(尼亚斯-西比路岛弧),少量延伸至弧后地区。这些火山岩是西苏门答腊晚渐新世开始的火山活动鼎盛时期的产物。派南火山岩组是许多热液金矿床的含矿赋存层位。

2.2.3 早中新世晚期-中新世中期(22~8 Ma)

早中新世晚期-中新世中期(22~14 Ma)伴随着巴厘散山脉上升,有强烈的火山活动。火山岩和火山熔岩呈断续线状分布在北苏门答腊和多巴湖南侧。其中,在西波尔加地区火山岩定年为20~17 Ma。在卡兰(Calang)地区安山岩、玄武岩岩墙为21.4~18.3 Ma(K-Ar法)。萨耶恩(Sayeung)组火山岩和玄武岩为17.7~15.9 Ma。派南组中的火山岩和玄武岩为19.2~14.3 Ma。胡鲁辛姆邦组中的安山岩和流纹岩脉、岩墙为16.9~13.2 Ma。出露于纳塔尔地区的一个高K系列橄榄粗安岩流为18.2±0.4 Ma。

2.2.4 中新世晚期-上新世(6~1.6 Ma)

中新世晚期-上新世为新近纪火山活动的最后阶段。该火山岩组合称为开赛(Kasai)组。见于北苏门答腊亚齐地区东部的上新世火山岩流,定年为2~1.76 Ma^[6]。多巴地区玄武岩岩墙为1.9 Ma。广泛分布在苏门答腊南西明古鲁地区的玄武岩岩流和玄武-安山岩流定年为5.5~2.4 Ma。

3 火山岩岩石地球化学特征

3.1 古生代-中生代火山岩岩石地球化学

古生代的基性火山岩岩石地球化学分析数据极少,中、新生代火山岩分析数据较为丰富。

上古生界二叠系泗纶康组和帕莱帕特组火山岩的岩石类型为玄武岩和安山岩,化学分析结果表明其组分十分相似:前者SiO₂变化范围为48%~58%(一个含量为85%的流纹岩样品除外),而后者变化范围为47%~62%。在AFM图(图略)上,下二叠统火山岩显示以钙碱性系列为主,拉斑玄武岩系列为次。帕莱帕特组的K₂O含量高于泗纶康组,落在高钾钙碱性系列和橄榄玄粗岩(shoshonite)系列的范围内。

中生代火山岩岩石类型显示拉斑玄武岩系列和钙碱性系列分异的趋势。少数侏罗系沃伊拉群火山岩的K₂O含量较高,为橄榄玄粗岩系列(图2a)。该火山岩的REE模式图表现为弱的右倾型,具有Eu负异常。在微量元素蛛网图(图略)上,显示Th, Rb, Ba, K, Sr富集隆起和Nb负异常的特征,表示其岩浆MORB分馏、分离和混杂作用,与陆缘火山弧和岛弧环境相似,可能与其处在大陆边缘断裂部位有关。

3.2 新生代火山岩岩石地球化学

上始新统-上渐新统的兰萨特组、拉哈特组和塔拉汉(Tarahan)组火山岩属橄榄玄粗岩系列,而中-上中新统火山岩属中-高钾系列。

有关苏门答腊新生代火山岩的微量元素资料不完整,但显示低的 Nb 活动性和高的 Sr 活动性。高场强元素(Nb、Zr、Ti、Y、Sc 和 Cr)相对亏损,而大离子亲岩元素(Rb、Ba、K、Th 和 Sr)相对富集。某些证明表明,苏门答腊火山岩的形成明显地加入了俯冲沉积物熔融的作用。在 MgOZr/Nb 图解上(图略)^[6],很显然,能确定出源自沉积物的熔融物质叠加在熔融的正常洋中脊玄武岩地幔楔之上。中新世的萨耶恩、米拉赫(Mirah)和卡兰火山岩组(北苏门答腊)的 Zr/Nb 比值低于正常洋中脊,可能反映这种俯冲沉积物的加入。

新生代火山岩以“正常”的钙碱性岩浆类型为主(图 2b),少数火山岩的 K₂O 含量较高,为橄榄粗玄岩系列(图 2a),但也出现富 Na 变种(SiO₂>56%)和十分低的重稀土元素(HREE)和 Y 含量的埃达克岩。Bellon 等(2004)在本区内鉴定出许多新生代埃达克侵入体(56 ~ 15Ma)^[7],这是本区新生代火山岩岩浆活动的显著特征。根据对西南太平洋带和东太平洋带埃达克岩对比研究结果,笔者认为环太平洋带埃达克岩浆与海洋板块平缓俯冲作用有关,其物质来源与变质的俯冲海洋板块的熔融和加厚的地壳底部新底侵的玄武质下地壳部分熔融过程的 MASH(熔融-混染-储存-均一化)和 AFC(混染-分异-结晶)作用有关^[8-9]。

4 火山活动构造环境探讨

4.1 古生代火山活动的地球化学-构造环境判别

二叠系泗纶康组和帕莱帕特组火山岩火山岩的 REE 模式为平缓右倾型,具有中等的负异常,表示某些长石的分异作用。泗纶康组火山岩在微量元素蛛网图上显示为平缓的 MORB 模式,而帕莱帕特组则表现为 Ba、Rb、Th、K、Sr 的富集和 Nb 负异常(图略)。有证据表明,泗纶康组可能为 MORB 型的玄武-安山岩系列,而帕莱帕特组火山岩浆则可能具有明显的分馏、分异、混染的过程,与大陆边缘岛弧和火山弧的地球化学特点相似。

4.2 中生代火山活动的地球化学-构造环境判别

中生代火山岩在主量元素 FeO_t-MgO-Al₂O₃ 图

解上,主要分布在扩张中心岛和洋岛玄武岩上,个别落在大陆溢流玄武岩范围内,并非分布在洋中脊玄武岩 MORB 范围内(图 2c)。

大多数中生代火山岩样品在微量元素 Zr/Y-Zr 图解(图 2d)上,集中在大陆板内玄武岩和岛弧玄武岩的范围内。在 Rb-Y+Nb 图解中,多数样品落在火山弧花岗岩的范围,少数样品落在板内花岗岩和火山弧花岗岩的界线上或其附近(图 2e)。

微量元素 Th-Nb-Zr 及其比值是区分板块汇聚带(陆缘岛弧及陆缘火山弧)火山岩和大陆板块火山岩的有效标志^[10]。一般来说,前者 Nb/Zr 比值<0.04,而后的 Nb/Zr 比值>0.04 和 Th/Nb 比值>0.11。在 Th/Zr-Nb/Zr 图解上(图 2f),中生界沃伊拉群大多数火山岩样品落在大陆拉张带初始裂谷及其附近的板块汇聚边缘的陆缘岛弧及陆缘火山弧的范围内,个别样品为大陆板内裂谷。少数火山岩样品(例如样品号为 121A)Th/Zr 比值为零,落在大洋板内玄武岩,缺少洋中脊玄武岩样品。因此,认为该群火山岩不具备洋中脊玄武岩 MORB 的特征。

4.3 新生代火山活动的地球化学-构造环境判别

在新生代火山岩主量元素 FeO_t-MgO-Al₂O₃ 图解上,多数显示为岛弧火山岩,与上述资料吻合。渐新世晚期至中新世早期火山岩样品在微量元素 Zr/Y-Zr 图解上为板内玄武岩,少数其它新生代火山岩样品落在岛弧玄武岩或洋中脊玄武岩的范围内(图 2d)。在 Rb-Y+Nb 图解中,全部新生代火山岩样品落在火山弧花岗岩的范围(图 2e)。而在 Th/Zr-Nb/Zr 图上,多数新生代火山岩样品落在板块汇聚边缘的陆缘岛弧及陆缘火山弧区范围内,少数样品为大陆拉张带(初始裂谷)玄武岩,但有个别火山岩(样品 Cut 号为 45)则落在大陆板内裂谷及陆缘裂谷玄武岩区范围内(表 2),与上所述大陆边缘火山岛弧的产状相一致。

5 讨论和结论

1) 西苏门答腊的石炭系关丹火山岩组可能与古特提斯海底扩张有密切关系,形成于活动大陆边缘裂谷环境;二叠系泗纶康组和帕莱帕特组有三种可能:即①代表一个外来的洋岛弧地块,②与俯冲有关的大陆边缘弧,③或者是冈瓦纳大陆分裂时的含火山岩地块。总的来说,晚古生代西苏门答腊的火山岩岩石化学、REE 模式和微量元素蛛网(图略)

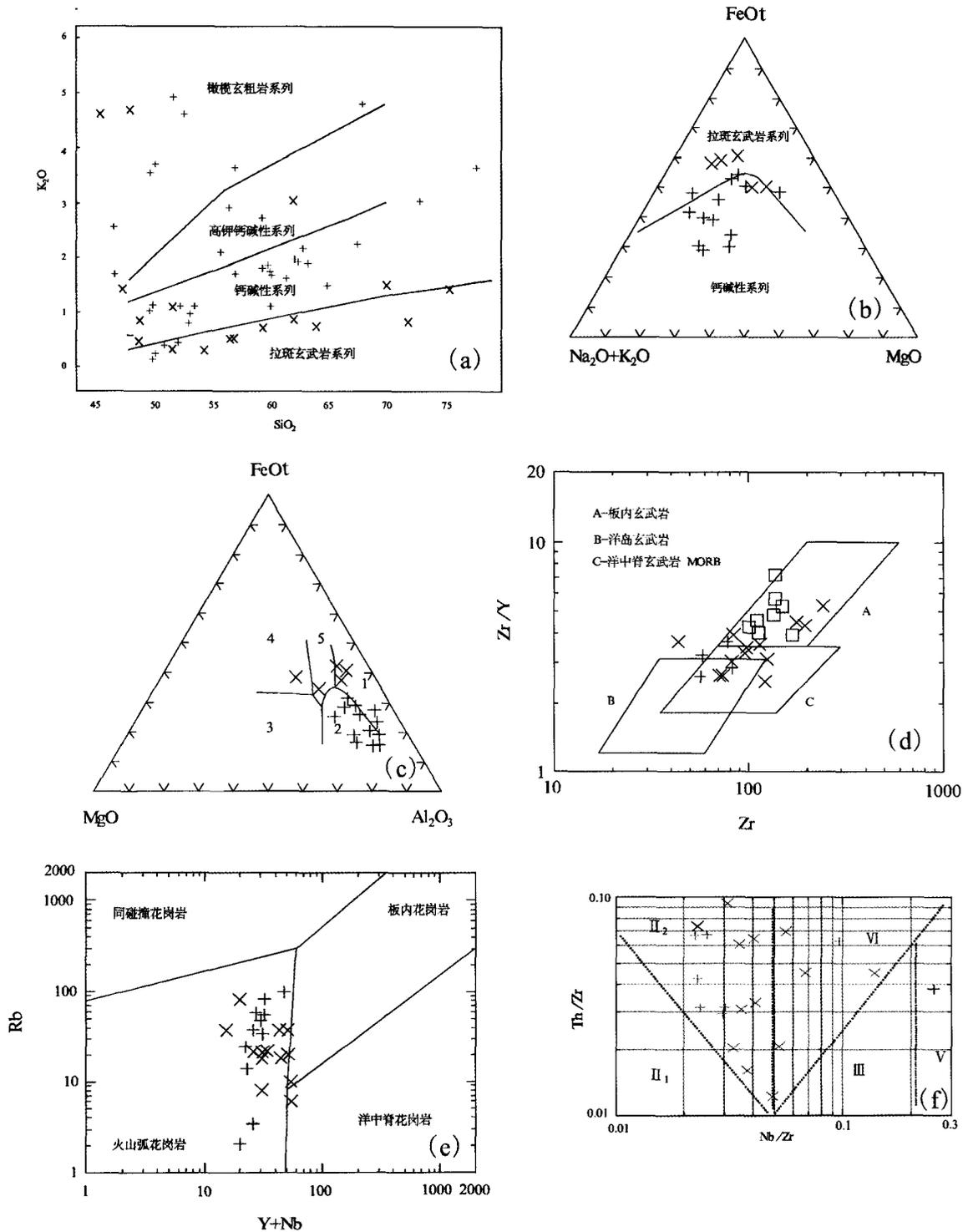


图2 中、新生代火山岩的地球化学-构造环境判别图解

Fig. 2 Geochemic- tectonic setting discrimination diagrams for Mesozoic-Cenozoic volcanics

×: 前第三系沃伊拉组火山岩; +: 古近纪和新近纪火山岩; □: 始新世晚期至中新世早期火山岩

(a) K_2O-SiO_2 图解; (b) $FeOt-MgO-Na_2O+K_2O$ 三角图解; (c) $FeOt-MgO-Al_2O_3$ 三角图解: 1-扩张中心岛, 2-弧火山岩, 3-洋中脊玄武岩 MORB, 4-洋岛玄武岩, 5-大陆溢流玄武岩; (d) $Zr/Y-Zr$ 图解; (e) $Rb-Y+Nb$ 图解; (f) $Th/Zr-Nb/Zr$ 图解 ^[9]: I-大洋板块离散边界MORB (图外), II-板块汇聚边缘 (II₁-大洋岛弧, II₂-陆缘岛弧及陆缘火山弧), III-大洋板内, IV-大陆板内 (IV₁-板内裂谷及陆缘裂谷; IV₂大陆拉张带(初始裂谷)玄武岩区), V-地幔热柱.

皆显示为冈瓦纳大陆分裂时所具有的活动大陆边缘陆内初始裂谷的特征。

2) 东苏门答腊地块与印度支那地块的对接发生于三叠纪,因此,苏门答腊岛上的三叠纪火山岩不发育。中侏罗世以后,西苏门答腊变成一个扩张的大陆边缘侵入岩-火山岩带。尽管基性火山岩具有高 Ti(>1%)和低 Ti (<1%)之分(表 1),但是多数显示为陆缘岛弧及陆缘火山弧性质,少数为洋岛玄武岩,并非为洋中脊玄武岩 MORB 成因。沃伊拉群增生复合体中的蛇绿岩体,可能是海台的底部隆起与俯冲带碰撞的结果,其中纳巴纳火山岩组岩的细碧岩更像是洋岛弧后扩张的产物(Troodos-型蛇绿岩^[11]),而不是洋中脊玄武岩(图 2c)。强烈变形的西加拉加拉(Si, Gala Gala)片岩是大陆火山弧与增生体边缘碰撞的产物。总的看来,西苏门答腊的中生代火山岩多数具有洋岛弧后扩张中心(弧后裂谷)的特征。

3) 古新世-渐新世火山岩主要分布于东、西苏门答腊地块结合带——梅迪亚构造带两侧。渐新世晚期火山岩才沿着巴里散山两侧发育。苏门答腊古近纪火山岩是典型的大陆岛弧火山岩,并伴生有少量埃达克岩,显示海洋板块平缓俯冲和陆内走滑深断裂的作用,其岩石类型属于钙碱性拉斑系列,微量元素地球化学-构造环境判别图显示板块汇聚边缘岛弧及陆缘火山岛弧的特征(图 2f)。

4) 苏门答腊中生代和新生代火山岩中高钾橄榄玄武岩系列和埃达克岩,具有重要的潜在地质找矿意义。众所周知,高钾橄榄玄武岩系列和埃达克岩是世界级浅成低温热液金矿和超大型斑岩铜-金矿的容矿岩石,形成于板块汇聚边缘的大地构造环境,与斑岩型和低温热液型铜-金矿有密切的成因关系^[12-13]。因此,苏门答腊岛具有值得高度重视的找矿远景和潜力。

注释:

- ① HARTONO H M S. 苏门答腊 1:25 万卢布西卡平地质图. 印尼地质研究与发展中心, 1983.
- ② HARTONO H M S. 苏门答腊 1:25 万班达亚齐地质图. 印尼地质研究与发展中心, 1983.
- ③ HARTONO H M S. 苏门答腊 1:25 万塔肯贡地质图. 印尼地质研究与发展中心, 1983.

参考文献:

- [1] Crow M J, Pre-tertiary volcanic rocks [M]. In: Barker A J, Crow M J, and Milson J S (eds), Sumatra - Geology, Resources and Tectonics. Geological Society, London, Memoir, 2005, 31: 63-86.
- [2] Crow M J, Tertiary volcanicity [M]. In: Barker A J, J, Crow M J, and Milson J S (eds), 2005. Sumatra - Geology, Resources and Tectonics. Geological Society, London, Memoir, 31: 98-119.
- [3] Petrelli M, Poli G, Perugini D, et al., PetroGraph: A new software to visualize, model, and present geochemical data in igneous petrology [J]. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 2005, 6 (Q07011): 1-15.
- [4] Richard L R. Minpet version 2.02 - Mineralogical and petrological data processing system for windows. Quebec (Canada), 1995.
- [5] 朱章显, 杨振强. 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, 23(2): 1-6.
- [6] Barker A J, Crow M J. Evaluation of Plate Tectonic models for the development of Sumatra [J]. *Gondwanan Research*, 2003, 20: 1-28.
- [7] Bellon H, Maury R C, Sutano Soeria-Atmadia R, et al. 65 m. y.-long magmatic activity in Sumatra (Indonesia) from Palaeocene to Recent. *Bulletin de la Societe geologique de France*, 2004, 175: 61-72.
- [8] Richards J P and Kerrich R. Adakite-like rocks: their diverse origins and questionable role in metallogenesis [J]. *Economic Geology*, 2007, 102(4): 537-576.
- [9] 杨振强, 朱章显. 新生代埃达克岩两种成因类型埃达克岩的含矿性和源区: 西南太平洋带与东太平洋带对比[J]. *华南地质与矿产*, 2010, 26(3): 1-11.
- [10] 孙书勤, 张成江, 黄润秋. 板块汇聚边缘玄武岩大地构造环境的 Th、Nb、Zr 判别 [J]. *地球科学进展*, 2006, 21(6): 593-598.
- [11] Robertson A H F. The Moni Melange, Cyprus: an olistostrome formed at a destructive plate margin [A]. In: McCall G J H (ed.), *Ophiolitic and Related Melanges*. Benchmark Papers in Geology, 1983, 66: 163-181.
- [12] Muller D & D I Grove. 钾质火山岩、橄榄玄武岩与金矿的直接与间接的关系[J]. *世界地质*, 1994, 13(2): 61-64.
- [13] Aftabi A and Atapour H. Regional aspect of shoshonitic volcanism in Iran. *Episodes*, 2000, 23(2): 119-125.

The Volcanical Rocks and Their Geochemical–Tectonic Setting Discrimination of Mesozoic to Cenozoic Sumatra (Indonesia)

GAO Xiao-wei, WU Xiu-Rong, YANG Zhen-Qiang

(Wuhan Institute of Geology and Mineral Resources, Wuhan 430205)

Abstract: This paper introduces the volcanical ages, distribution and occurrences at Sumatra island (Indonesia), and presents a lot of geochemical–tectonic setting discrimination diagrams by using the new geochemical software of PetroGraph 2 beta and Minpet 2.0 processing petrologic data of igneous petrology, and then discusses tectonic environments about Cenozoic volcanic basins as well as their Paleozoic – Mesozoic basement through the volcanically chemical analyses. Based on these discrimination diagrams, therefore, the authors suggest that the Cenozoic (Pre–tertiary) volcanic basement in Sumatra may belong to continental margin rift (initial rift), and then became a volcanic arc of the continental margin after Oligocene. And the association of the shoshonitic and adakitic rocks with volcanics gives significant indications in searching for porphyry–hydrothermal Cu–Au mineralization.

Key words: volcanical rocks in Sumatra; geochemical–tectonic setting discrimination diagrams; high–K shoshonitic and adakitic rocks; porphyry–hydrothermal types of Cu–Au mineralization

更 正

一、2012年第28卷第1期第18页,表6第1行第7列“ $\Delta?$ ”应为“ $\Delta\gamma$ ”。

二、2012年第28卷第1期第24页,图4横坐标为“ $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ”。

三、2012年第28卷第1期第55页,右栏第29行公式应为“ $r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{(i,j)|_{h_j \approx h}} [Z(i) - Z(j)]^2$ ”。

四、2012年第28卷第1期第82页,表1第1行第二列“下凹程度?”应为“下凹程度 θ ”。