

皮尔斯比率图解在腾冲新生代火山岩研究中的应用

李 静

(云南省地质矿产局区调所, 玉溪 653100)

主题词 皮尔斯比率图解 新生代火山岩 分离结晶作用 构造—岩浆类型

提 要 腾冲新生代火山岩属钙碱性系列, 可分为四个喷发期, 构成两个岩浆旋回: N_2-Q_1 为玄武岩—英安岩; Q_3-Q_4 为玄武岩—安山岩。应用皮尔斯比率图解对其进行研究表明: 分离结晶作用是岩石化学成分变异的主要因素; 第一旋回的玄武岩浆可能起源于上地幔的部分熔融, 经 $(Pl + Cpx \pm Ol \pm Mt)$ 矿物组合的分离结晶而形成英安岩浆。英安岩浆在形成或演化过程中受到了地壳物质的轻度混染。该旋回具有张性构造环境中双峰式火成岩套的特点。第二旋回的玄武岩浆可能起源于早期俯冲洋壳的部分熔融, 经 $(Mt + Pl + Cpx \pm Opx)$ 矿物组合的分离结晶而形成安山岩浆, 为安山岩成因的分离结晶模式提供了一个良好的实例。该旋回具有典型的弧火山岩的特点。

1 引言

皮尔斯比率图解是近年来应用较广、发展较快的一种岩石化学成分研究方法。由于该图解中消除了常用的哈克图解中不变总和效果的影响, 图解上岩石成分直线的线性趋势就真实地反映了岩浆系统中主要造岩组分之间的变化趋势^[1]。笔者最近还提出了应用皮尔斯比率图解上“岩石成分直线的截距值是否在零点附近”来判别分离结晶作用及部分熔融作用, 以及应用皮尔斯比率图解对同化混染作用进行定性研究^①。

2 火山地质概况及火山岩岩相学

2.1 火山地质概况

腾冲新生代火山岩出露于云南省高黎贡山西侧、龙川江弧形断裂带及其以西的广大地区, 出露面积约 724 km², 总体上呈南北向展布^[2]。火山活动自上第三纪上新世至近代的整个地史时期均有喷发。可划分为四个主要喷发时期, 构成两个正序的岩浆喷发旋回: N_2-Q_1 为橄榄玄武岩—英安岩; Q_3-Q_4 为橄榄中长玄武岩—安山岩。属大陆内部的中心式火山喷发。近年来赵崇贺等认为其属滞后型的弧火山活动^[4]。

本文于 1993 年 2 月收到, 1995 年 3 月改回。

① 李静, 判别分离结晶作用及部分熔融作用的一种新方法, 待刊。

2.2 火山岩岩相学

本文的重点是火山岩的岩石化学成分研究,岩相学的资料主要来自参考文献2。

第一期火山岩(N_2)的主要岩石类型为橄榄玄武岩,晚期见少量安山玄武岩。橄榄玄武岩呈深黑色,结晶程度高,具间粒、拉斑及嵌晶含长结构。斑晶矿物以橄榄石为主,含量8%—15%,常呈熔蚀状;次为斜长石,普遍为聚片双晶,少数有环带, An 60—65;辉石常见粗大嵌晶(高压巨晶?),主要种属为易变辉石及钛辉石。基质由微晶斜长石、单斜辉石及少量黑云母、磁铁矿组成。安山玄武岩与橄榄玄武岩相似,但橄榄石斑晶明显减少(约2%—8%),斜长石斑晶在数量上有所增加。

第二期火山岩(Q_1)的主要岩石类型为英安岩,岩石呈浅灰色—灰色,部分深灰色,层状及致密块状,玻基斑状结构。斑晶矿物有紫苏辉石、单斜辉石、斜长石(斑晶常具正环带,中心 An 55—58,边缘 An 37—46)、角闪石,黑云母斑晶也较常见。基质为玻璃及少量微晶斜长石、辉石。该期火山岩中以含大量的紫苏辉石斑晶与其余三期火山岩相区别。

第三期火山岩(Q_3)主要为安山玄武岩,早期见少量橄榄中长玄武岩。橄榄中长玄武岩与前述橄榄玄武岩相似,但橄榄石斑晶呈自形柱状,斜长石斑晶具环带、反环带及环状分布的尘点状包裹体环,辉石斑晶的主要种属为紫苏辉石。安山玄武岩与第一期火山岩的同种岩石相似,但斜长石斑晶常具反环带,分别为中心 An 39—45、52—57,边缘 An 44—52、53—66 两种。辉石斑晶为普通辉石及斜方辉石。常见微量深部结晶的强熔蚀状石英颗粒。

第四期火山岩(Q_4)主要为安山岩,与安山玄武岩呈过渡关系。斑晶矿物有斜长石(An 48—55,具反环带者中心 An 40—42,边缘 An 50—52)辉石(古铜辉石及单斜辉石)。基质为微晶状斜长石、辉石、磁铁矿及玻璃。同样可见微量深部结晶的强熔蚀状石英颗粒。

3 岩石化学及岩浆演化

3.1 岩石化学特征

由参考文献2、3提供的48件岩石化学分析资料看,该区火山岩的岩石化学成分具有以下几个特点:1)由 N_2 — Q_1 、 Q_3 — Q_4 构成两个明显的基性—酸性、基性—中性的岩浆旋回。2)同一旋回中随 SiO_2 含量的升高, K_2O 含量表现为连续升高,二者大致呈线性关系。3)岩石

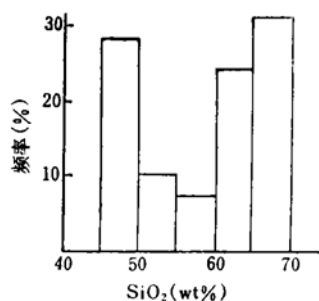


图1 第一旋回火山岩 SiO_2 频率直方图

Fig. 1 Histogram of SiO_2 from volcanics of the first cycle

的富铝特征明显,一般 $Al_2O_3 = 15\%—18\%$,特别是在第二旋回中更为显著。4)同一旋回中 Fe_2O_3/FeO (分子数比)由早到晚逐渐升高,但两个旋回之间的比值迥然不同, $N_2: 0.34—Q_1: 0.89$, $Q_3: 0.26—Q_4: 0.33$,可能暗示了两个旋回的火山岩浆形成于明显不同的氧逸度环境。5)橄榄玄武岩及橄榄中长玄武岩的 $[Mg]$ 指数 ($[Mg] = MgO / (MgO + FeO)$, 分子数比)及 SI 指数 ($SI = 100MgO / (MgO + Fe_2O_3 + FeO + Na_2O + K_2O)$) 都低于原始岩浆的相应指数,表明它们都是经过一定的结晶分异形成的派生岩浆。6)由第一旋回中的29个化学分析成果看,明显缺乏 $SiO_2 = 50\%—60\%$ 之间的样品(如图1所示),具有双峰式火成岩套的特点。

3.2 岩浆演化

本文主要应用皮尔斯比率图解研究各期火山岩浆的演化。笔者按标准的矿物分子式设计了各图解的坐标轴。即橄榄石 (Ol):(Mg、Fe)₂SiO₄、斜方辉石 (Opx):(Mg、Fe)SiO₃、单斜辉石 (Cpx):Ca(Mg、Fe)Si₂O₆、斜长石 (Pl):NaAlSi₃O₈(Ab)—CaAl₂Si₂O₈(An)、磁铁矿 (Mt):FeO·Fe₂O₃、石英 (Q):SiO₂。易变辉石按斜方辉石考虑,并选取K作为恒量元素。

在各期火山岩的一系列皮尔斯比率图解中,岩石成分的投影点具有明显的线性趋势,除第二期火山岩外,投影点的相关系数均较高。除图 4-d 及图 5-f 外,岩石成分直线均远离坐标原点。故可认为各期火山岩浆化学成分的变化主要受分离结晶作用控制。

第一期火山岩浆中 (Pl + Cpx) 是分离固相中最主要的硅酸盐矿物 (图 2-a); 另有少量的 Ol 和 Mt 也参与了结晶,但 Opx 没有参与结晶(图 2-b、d); 分离固相中 Pl:Cpx = 2:1 (图 2-c) (摩尔数比,下同); 其中 Pl 的平均 An 值为 58, 并比母岩浆中的平均 An 值约高 8 个牌号(图 2-e), 与斑晶矿物的 An 值 60—65 十分接近。有趣的是在图 2-d 中 13 个样品的投影点构成两条斜率明显不同的岩石成分直线。可能暗示了岩浆分离结晶过程中, 由于局部的物理化学条件不同,使得分离固相中 Mt 或 Ol 所占比例略有差异。如氧逸度升高将有利于 Mt 的结晶。

第二期火山岩的一系列皮尔斯比率图解中,样品投影点尽管仍有明显的线性趋势,但相关

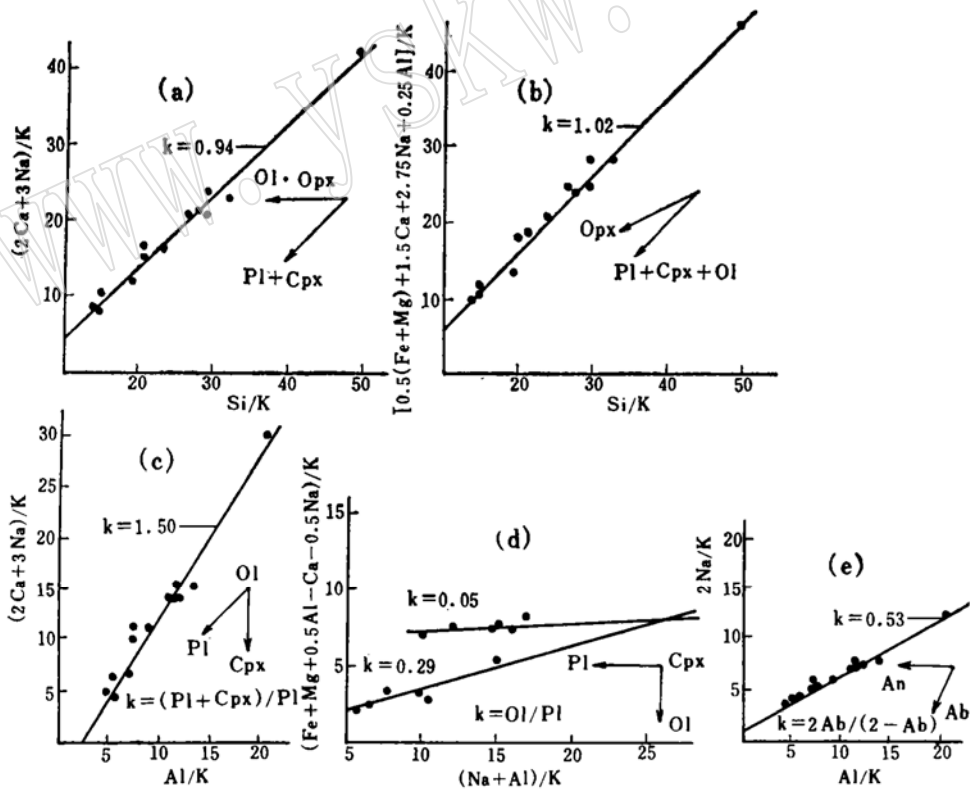


图 2 第一期火山岩的部分皮尔斯比率图解
Fig. 2 Part of Pearce ratio diagram of 1st stage volcanics

系数较低,表明岩浆演化的晚期,K已不再是理想的恒量组分。但仍可得出如下很有意义的结论: Mg、Fe 矿物的结晶已经停止(图 3-a、b); Pl 仍然继续结晶,但 Q 的结晶显得更为重要,二者的量比为 $Pl:Q = 32:68$ (图 3-a、b、c); 分离固相中 Pl 的平均 An 值为 57 (图 3-d); 这与斜长石斑晶中心的 An 值(55—58)一致。

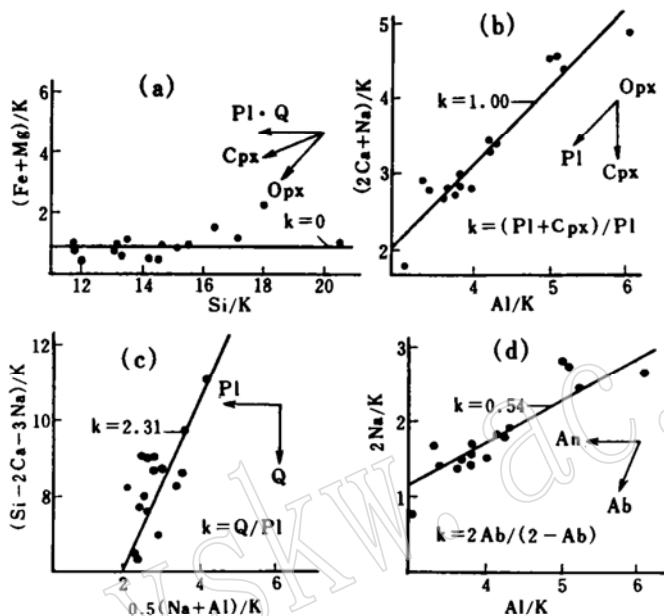


图 3 第二期火山岩的部分皮尔斯比率图解

Fig. 3 Part of Pearce ratio diagram of 2nd stage volcanics

第三期火山岩中 $(Pl + Cpx)$ 是分离固相中最主要的硅酸盐矿物(图 4-a); 二者的量比为 $Pl:Cpx = 1:0.35$ (图 4-c); Mt 的分离结晶显得尤为重要,且 $Pl:Mt = 1:1.46$ (图 4-b)。即 $(Mt + Pl + Cpx)$ 矿物组合的分离结晶是第三期火山岩岩浆化学成分变异的主要因素,三者的量比为 $Mt:Pl:Cpx = 52:36:12$,分离固相中 Pl 的平均 An 值为 51,并与母岩浆中 Pl 的平均 An 值一致(图 4-d)。

第四期火山岩浆中 $(Pl + Cpx)$ 仍然是分离固相中主要的硅酸盐矿物,二者的量比为 $Pl:Cpx = 1:0.30$ (图 5-a、b),但少量的 Opx 也开始结晶(图 5-a); Mt 的结晶仍然十分重要,且分离固相中 $Pl:(Mt + Opx) = 1:1.5$ (图 5-c、d); $Pl:Opx = 1:0.2$ (图 5-e)。即 $(Mt + Pl + Cpx + Opx)$ 矿物组合的分离结晶是第四期火山岩岩浆化学成分变异的主要因素,分离固相中 $Mt:Pl:Cpx:Opx = 46:36:11:7$ 。且 Pl 的平均 An 值为 50,并与母岩浆中 Pl 的平均 An 值一致(图 5-f); 与斑晶的 An 值(48-55)及反环带外环的 An 值(50-52)一致。

从上述皮尔斯比率图解可以看出,同一旋回的皮尔斯比率图解有较大的相似性,特别是分离固相中 Pl 的 An 值表现出惊人的一致。同名皮尔斯比率图解上,同一旋回的岩石成分直线表现出明显的连续性,如图 2-c 与图 3-b,图 4-c 与图 5-b 等等。结合前述岩相学及 Fe_2O_3/FeO 比值分析,可以认为这两个旋回的火山岩浆有着各自独立的起源与演化方式。第二旋回中 Mt 的大量结晶是形成安山岩浆的重要因素。为安山质岩浆成因的分离结晶模式^[4]提

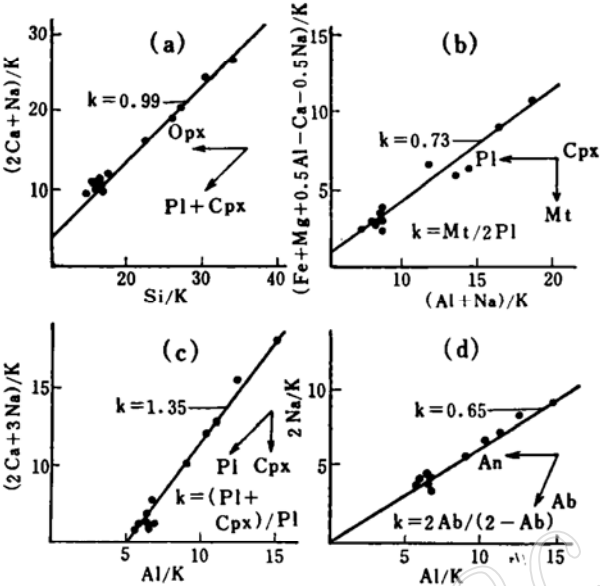


图 4 第三期火山岩的部分皮尔斯比率图解
Fig. 4 Part of Pearce ratio diagram of 3rd stage volcanics

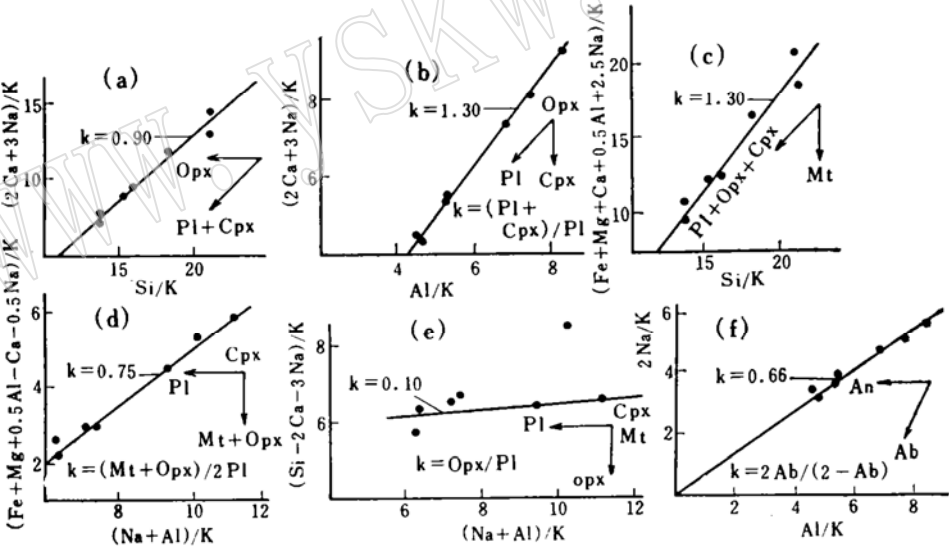


图 5 第四期火山岩的部分皮尔斯比率图解
Fig. 5 Part of Pearce ratio diagram of 4th volcanics

供了一个良好的实例。

4 讨论

4.1 第一旋回中双峰式火成岩套的成因

世界上已知的许多双峰式火成岩套均产于张性构造环境中。且基性端员常为碱性系列。

该地区火山岩浆产出的构造环境也不例外。赵崇贺等还根据火山盆地第一期玄武岩分布与盆地内部第四期火山岩分布的距离及喷发时间间隔估算出该地区的平均拉张速率为 $v = 1.6 \text{ cm/a}^{[3]}$ 。但其基性端员却属亚碱性系列的钙碱性系列。

从理论上讲碱性系列与亚碱性系列均源于上地幔的部分熔融,二者的差异主要是部分熔融程度的不同。前者的熔融程度较低($5\% \pm 1\%$),后者较高($15\% - 20\% \pm 5\%$)。亚碱性系列在较低氧逸度条件下的结晶分异将出现明显的富铁趋势;在较高氧逸度条件下,由于Mt、Hb等富铁矿物的结晶,派生岩浆便不能向富铁方向演化。据此又进一步分出拉斑系列及钙碱性系列。显然它们之间应该存在一系列的过渡岩类。由于橄榄玄武岩中常见碱性系列中常见的钛辉石斑晶;在里特曼-戈蒂尼指数图解中,其投影点可由B区(板块边缘造山区)跨越到C区(派生的碱性、偏碱性岩区)^[3]。据此笔者认为该区橄榄玄武岩的原始岩浆属向碱性系列过渡的钙碱性系列;是上地幔中等程度部分熔融的产物。

双峰式火成岩套的成因主要有同源和异源两种观点。同源观点认为基性端员和酸性端员通过部分熔融和结晶分异、不混溶作用等相继形成。异源观点认为基性端员源于上地幔,酸性端员源于下地壳。

笔者认为上述的双峰式火成岩套是由橄榄玄武岩浆经分离结晶作用所形成。主要证据有:1)二者在时间上相继喷发就位,存在明显的先后关系。2)二者的同名皮尔斯比率图解具有良好的连续性,如图2-c与图3-b,表明两期火山岩浆的分离结晶过程实际上是同一岩浆作用过程中紧密相随的两个阶段。它们的分离固相中Pl的平均An值相同也说明了这一点。3)在橄榄玄武岩浆的分离结晶过程中,斜方辉石(包括易变辉石)没有参与结晶,而在英安岩浆中斜方辉石大量出现(其中包括岩浆演化晚期,由易变辉石不稳定^[4]而分解形成的斜方辉石)。

但是由两期火山岩的Sr同位素初始比值变化 $N_2: ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7064$, $Q_1: ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7075 - 0.7103^{[3]}$ 及第二期火山岩的皮尔斯比率图解中投影点的相关系数降低分析,英安岩浆的形成过程中除正常的分离结晶外,也有少量地壳的轻度混染。即以分离结晶为主导的AFC机制。

4.2 构造—岩浆类型

近年来,应用岩石的化学成分及微量元素的地球化学特征来判别岩浆活动时的构造环境已成为确定构造—岩浆类型的重要手段。但在引用不同的判别图解时,往往出现前后矛盾的现象,甚至出现与区域地质构造条件不相符的构造—岩浆类型。从理论上讲,影响岩石化学成分及微量元素的因素较多,如源区性质、部分熔融程度以及岩浆的结晶分异作用、同化混染作用、岩浆形成及演化过程中的物理化学条件等等。因此任何判别图解和方法都有一定的局限性。

腾冲新生代火山岩无疑产于大陆内部的张性构造环境中。第一旋回火山岩浆的特点也与张性构造环境相协调。但第二旋回的火山岩浆却表现出典型的弧火山岩的特点^[3]。显然,在同一地区,大致同一时代、同一构造环境中产出了两套性质迥异的火山岩。笔者认为这一现象的产生可能暗示了它们的源区性质有较大差异。结合岩相学资料,笔者将赵崇贺等关于腾冲火山作用模式的第三阶段^[3]稍加修改如下:新生代时期上地幔上隆,造成区域性的拉张环境,地温增高,率先使上地幔发生中等程度的部分熔融,形成具有某些碱性玄武岩特点的亚碱性玄

武岩浆。原始岩浆在上升侵位或岩浆房中发生了($Pl + Cpx \pm Ol \pm Mt$)矿物组合的分离结晶。并显示出钙碱性系列的演化趋势。这些派生岩浆一部分喷出地表形成第一期火山岩。而大部分派生岩浆可能停留在地壳中的某一部位形成高位岩浆房,并同化了少量地壳物质;在高位岩浆房中岩浆发生了($Q + Pl$)矿物组合的分离结晶,形成的英安岩浆大量喷出地表,形成了分布广泛的第二期火山岩。随着时间的推移,地温增高的结果,使得更深部位、早期俯冲到冷地幔中的冷洋壳也发生了熔融,其原始岩浆在上升侵位或岩浆房中发生了($Mt + Pl + Cpx \pm Opx$)矿物组合的分离结晶,从而形成安山岩浆。这些岩浆在穿过前述的高位岩浆房时可能发生了轻微的岩浆混合作用,并捕虏了岩浆演化晚期结晶的石英及低牌号的斜长石,形成了斜长石中普遍发育的反环带结构。这些岩浆先后喷出地表,形成了具有洋壳残余成分特征的弧火山岩。

笔者首次将皮尔斯比率图解应用到腾冲新生代火山岩岩石化学成分的研究中,取得了较好的效果,并结合岩相学及部分微量元素、同位素资料将其分为张性构造环境中的双峰式火成岩套和滞后型的弧火山岩。显示了皮尔斯比率图解良好的应用前景。

参 考 文 献

- 1 许继锋. 皮尔斯比率图解在岩浆岩研究中的应用. 地质科技情报, 1991, 10(2).
- 2 云南省地质局. 中华人民共和国区域地质调查报告. 1982. 1/20 万腾冲幅、盈江幅.
- 3 赵崇贺、陈廷方. 腾冲新生代火山作用构造—岩浆类型的探讨——一种滞后型的弧火山. 现代地质, 1992, 6(2).
- 4 林景仟. 岩浆岩成因导论. 1987. 地质出版社.
- 5 路凤香. 俯冲带的模式与岩浆活动——介绍威利教授讲学的内容之一. 地质科技情报, 1985, 4(2).
- 6 孙敏、周德进. 岩浆岩主元素定量研究的一种新方法: 皮尔斯元素比值的矢量分析. 岩石学报, 1992, 8(3).
- 7 张毅刚、鄂莫岗. 皮尔斯元素比率法在研究中国东部新生代火山岩浆演化中的应用. 岩石学报, 1992, 8(3).

The Application of Pearce Ratio Diagram to the Study of Cenozoic Volcanics from Tengchong Area, Yunnan Province

Li Jing

(Regional Geological Surveying Institute, Yunnan Bureau of
Geology and Mineral Resources, Yuxi 653100)

Key words: Pearce ratio diagram, Cenozoic volcanics, fractional crystallization, tectono-magmatic type

Abstract

The Cenozoic volcanics in Tengchong area are of calc-alkaline series and might be divided into four eruption stages (N_2 , Q_1 , Q_3 and Q_4), which make up two magmatic cycles composed of basalt→dacite (N_2 → Q_1) and basalt→andesite (Q_3 → Q_4) respectively. Studies by means of Pearce ratio diagram show that fractional crystallization seems to be the major cause for variation in petrochemical composition. Basalts of the first cycle might have originated from partial melting of the upper mantle. The fractional crystallization of the $(Pl+Cpx±Ol±Mt)$ assemblage was the main factor responsible for the formation of dacite and the assimilation of small amounts of crustal materials. This cycle shows features of bimodal igneous suite in a tensional tectonic environment. Basalts in the second cycle might have resulted from partial melting of the early subducted oceanic crust, with the fractional crystallization of the $(Mt+Pl+Cpx±Opx)$ assemblage being the main factor for the formation of andesite. This cycle has characteristics of island arc volcanics, being real post-collision arc volcanics.