

研究论文

我国西南地区大陆溢流玄武岩的 微量元素地球化学特征

杨瑞瑛 黄忠祥 黄开年 刘秉光 刘 秋

(中国科学院高能物理研究所)(中国科学院地质研究所)(四川地矿局攀西地质大队)

峨眉山玄武岩分布于中国西南部,根据构造位置和岩石化学特征,可以分为三条岩带,我们用仪器中子活化分析测定了来自上述岩带的四十多件样品中的微量元素。通过对微量元素地球化学特征的分析,说明峨眉山玄武岩介于大陆拉斑玄武岩及大陆碱性玄武岩之间,稀土元素的分配型式为富集型,富集程度随样品产出位置而异,越向西富集程度越低。 $(Ce/Yb)_N$ 对 Ce_N 图解表明,峨眉山玄武岩岩浆可能由石榴石二辉橄榄岩部分熔融而成。其熔融程度中、东岩带约为5%,西岩带约为10%。 (La/Sm) 对 La 的图解表明西岩带的玄武岩是地幔物质经部分熔融形成的。而中、东岩带的玄武岩可能是母岩源经过了部分熔融后又经历了分离结晶作用阶段而形成的,或者是由于大陆地壳物质进入岩浆的结果。

关键词: 玄武岩 部分熔融 结晶分离 相容元素 大离子亲石元素

一、序 言

分布于我国西南部(云南、贵州西部、四川西南部)的峨眉山玄武岩覆盖面积达30多万平方公里。其规模可与西伯利亚地台的暗色岩和南非的卡鲁暗色岩相比。其主要喷发时代为晚二叠世,根据它们喷发的地质构造位置以及岩石化学特征,可分为三个岩带^[1-4],大致以管河—金河断裂以及小江断裂将其分为西、中和东三个岩带,西岩带主要分布于盐源、大理、宾川等地。中岩带主要分布于安宁河断裂和攀枝花断裂一带。沿安宁河断裂呈南北向断续出露,沿攀枝花断裂呈北北东向展布。东岩带主要分布于昭觉、峨眉、巧家、织金等地。

本文研究的样品采自各岩带中代表性的剖面,用仪器中子活化分析技术,测定了过渡金属元素、稀土元素及大离子亲石元素含量。大多数元素分析的相对标准偏差 $< \pm 5\%$,个别元素如Ba、Sr、Zr相对标准偏差约为10%。

二、微量元素的地球化学特征

1. 过渡族金属元素

峨眉山玄武岩过渡族金属元素的含量呈现出自西向东Cr、Co和Ni迅速减小,而Ti、Mn和V逐渐增加的趋势,与世界上最大前第三纪溢流玄武岩^[5]比较可以看出:西岩带玄武岩显示最高的相容元素丰度。从球粒陨石标准化的过渡金属元素分配型式(图1)可明显看出:所有的玄武岩相对于球粒陨石都显示强烈分离的过渡族元素,它们的分配曲线为“W”形,强烈亏损Cr和Ni,说明岩石受橄榄石、尖晶石和单斜辉石分离的影响。橄榄石可能是主要的分

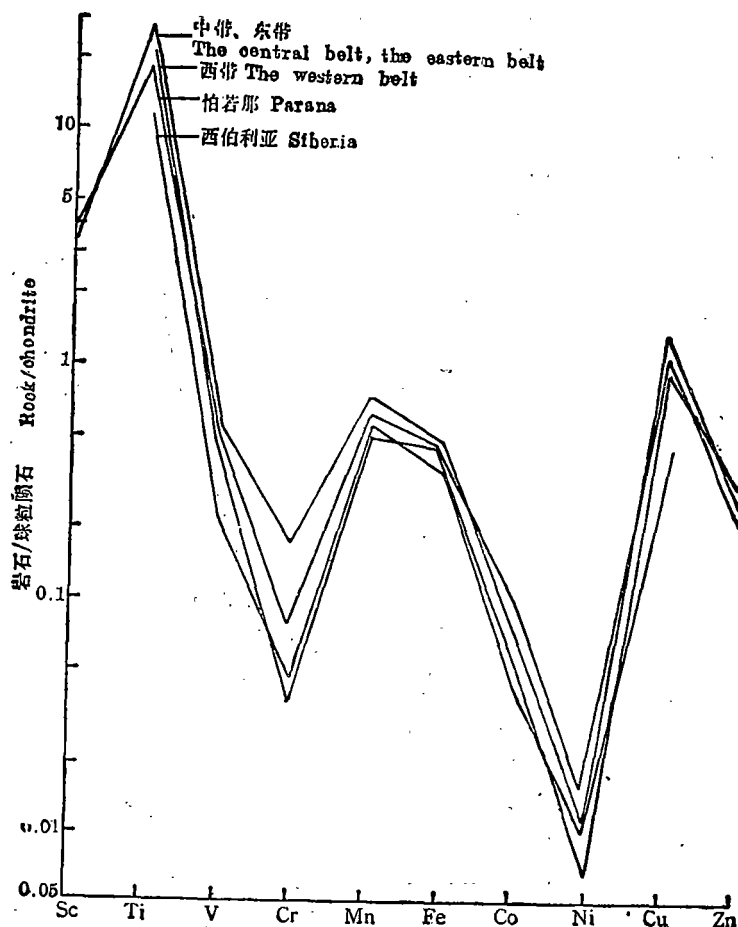


图1 玄武岩的球粒陨石标准化的过渡族金属元素丰度

Fig. 1 Chondrite-normalized transition metal abundance of basalts.

离相，但亏损的程度不一样，西岩带的亏损程度最小，暗示西岩带玄武岩可能是橄榄石结晶分离程度最低的岩浆所形成。它们又都具有高的Ti丰度，比原始地幔高10倍以上，这反映了它们的母岩浆可能是地幔低程度部分熔融而使Ti大量进入熔体的结果。中、东岩带的峨眉山玄武岩具有最高的Ti丰度，揭示了其母岩浆为地幔岩低程度部分熔融的产物。

2. 稀土元素(REE)

1) 西岩带 采自祥云和普洱的玄武岩，它们的代表性样品的REE分配型式示于图2(a)中。它们的REE型式相对于球粒陨石为轻稀土(LREE)富集的适度分离型， $(La/Yb)_{CN}$ 比值为4.75和4.94，并显示微弱的正Eu异常。

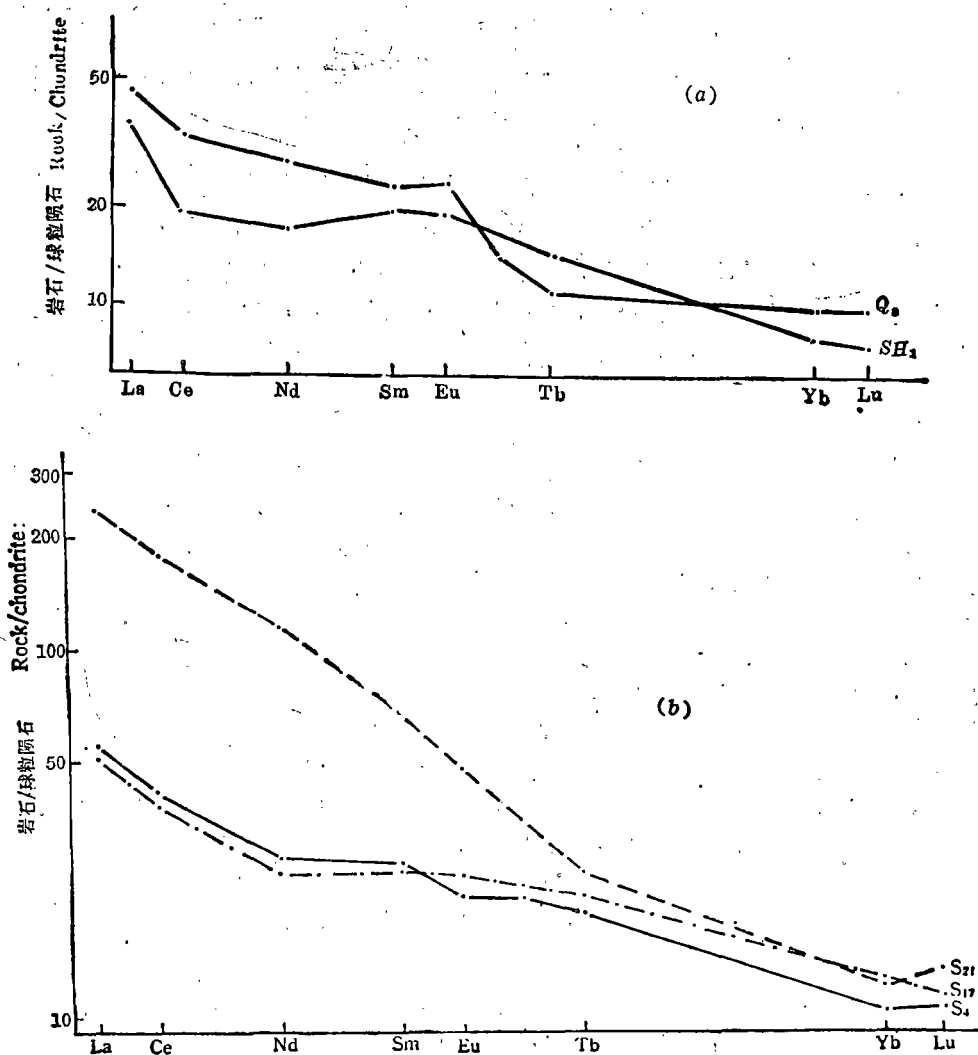
祥云玄武岩(Q_3)的MgO量为6.73%，从M值来看 $[Mg/Mg + Fe^{+2}(\text{原子数})]$ 为65.4，接近幔源原生岩浆最低的M值(65)，而普洱(SH_1)的MgO仅为5.28%，M值为46.8，表明它们的母岩浆或多或少地经历了富镁相的分离作用，才导致M值偏低。

宾川玄武岩的REE分配型式表示于图2(b)，其中 S_{21} 样品(安山玄武岩)是上部熔岩的代表，其余为下部玄武岩。两套玄武岩相对于球粒陨石为LREE富集的特征，下部熔岩的富集程度明显低，其 $(La)_{CN}$ 和 $(Yb)_{CN}$ 分别为球粒陨石的50—55和10.1—12.6倍， $(La/Yb)_{CN}$ 为

4.35—4.95, 无Eu异常。而宾川上部的安山玄武岩 $(La/Yb)_{CN}$ 高达13.3, $(La)_{CN}$ 和 $(Yb)_{CN}$ 分别为237和13.7, 因此属LREE强烈富集型。值得注意的是, 尽管两套熔岩的LREE富集程度相差很大, 而重稀土(HREE)部分则非常接近。我们知道, 在地幔岩或幔源岩浆结晶分离相中, 重稀土主要的赋存相是石榴石, 其次是角闪石。暗示它们的母岩浆可能是石榴石作为岩浆源区的重要残留相或是早期分离相。

盐源玄武岩的REE分配型式表示于图2(c)中, 它们与祥云、宾川玄武岩的REE丰度及标准化的分配型式颇为相似。它们显示相对富集LREE的适度分离型 $(La/Yb)_{CN}$ 为2.45—5.71。除YpB081具有微弱的正Eu异常外, 均无Eu异常。它们的MgO值为5.09—6.47%, M值为46.4—55.4, 说明在固结玄武岩之前, 母岩浆经历了富Mg相的结晶分离。

综上所述表明: 西岩带稀土元素的分配型式为轻稀土富集的适度分离型, $(La/Yb)_{CN}$ 值平均约为4, 除个别样品具有微弱的Eu正异常外, 大都无Eu异常, 它们的稀土元素分配型式与北美极微诺^[5]大陆溢流玄武岩中的橄榄拉斑玄武岩和过渡型玄武岩相似。



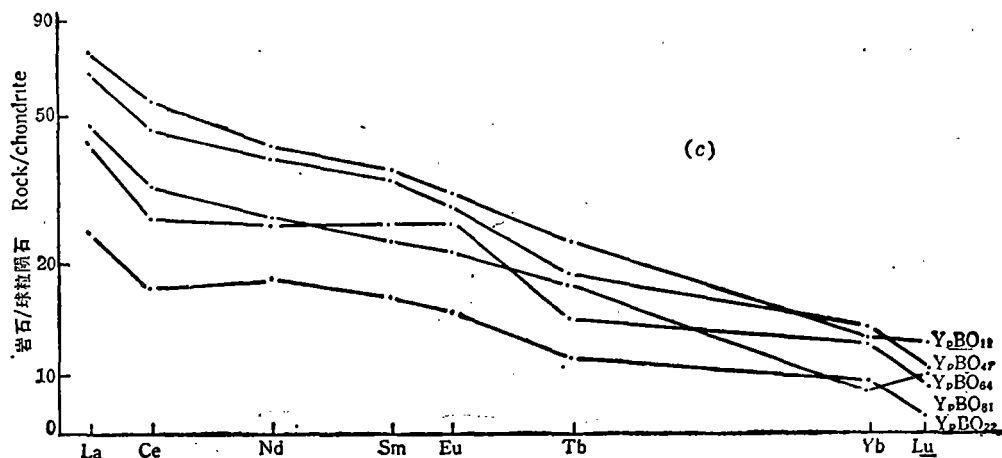


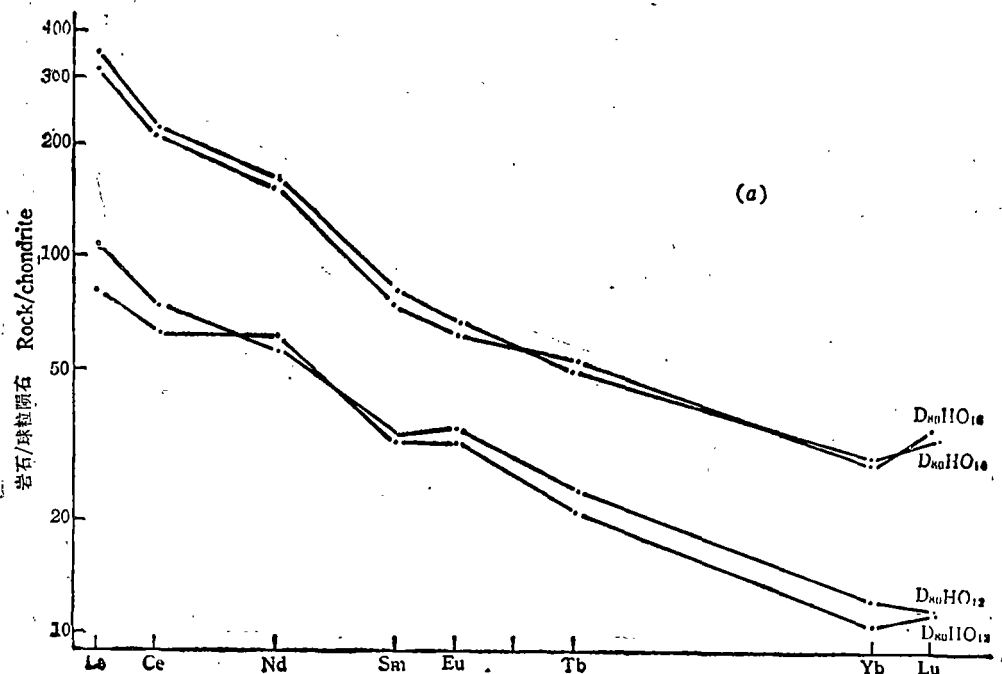
图2 西岩带峨眉山玄武岩的REE分配型式

(a) 祥云、普洱(b) 宾川(c) 盐源

Fig. 2 Chondrite—normalized REE patterns of basalts from western petrobelt

(a) Xiangyun, Puer (b) Binchuan (c) Yanyuan

2) 中岩带 攀枝花带的二滩剖面为双峰式火山岩套,由下部的玄武岩和上部的菱长斑岩所组成,它们的REE分配型式表示于图3(a)中。REE分配曲线为LREE富集的强烈分离型, $(La/Yb)_{CN}$ 值为7.46—11.9。它们的稀土总量随岩石中 SiO_2 量的增加而明显地增加,菱长斑岩的稀土总量($\Sigma REE = 413 - 449.5 ppm$)约为下伏玄武岩($\Sigma REE = 137.6 - 144 ppm$)的三倍,但两者具大致平行的分配型式,暗示前者可能是由后者所代表的母岩浆结晶分离后晚期的残余



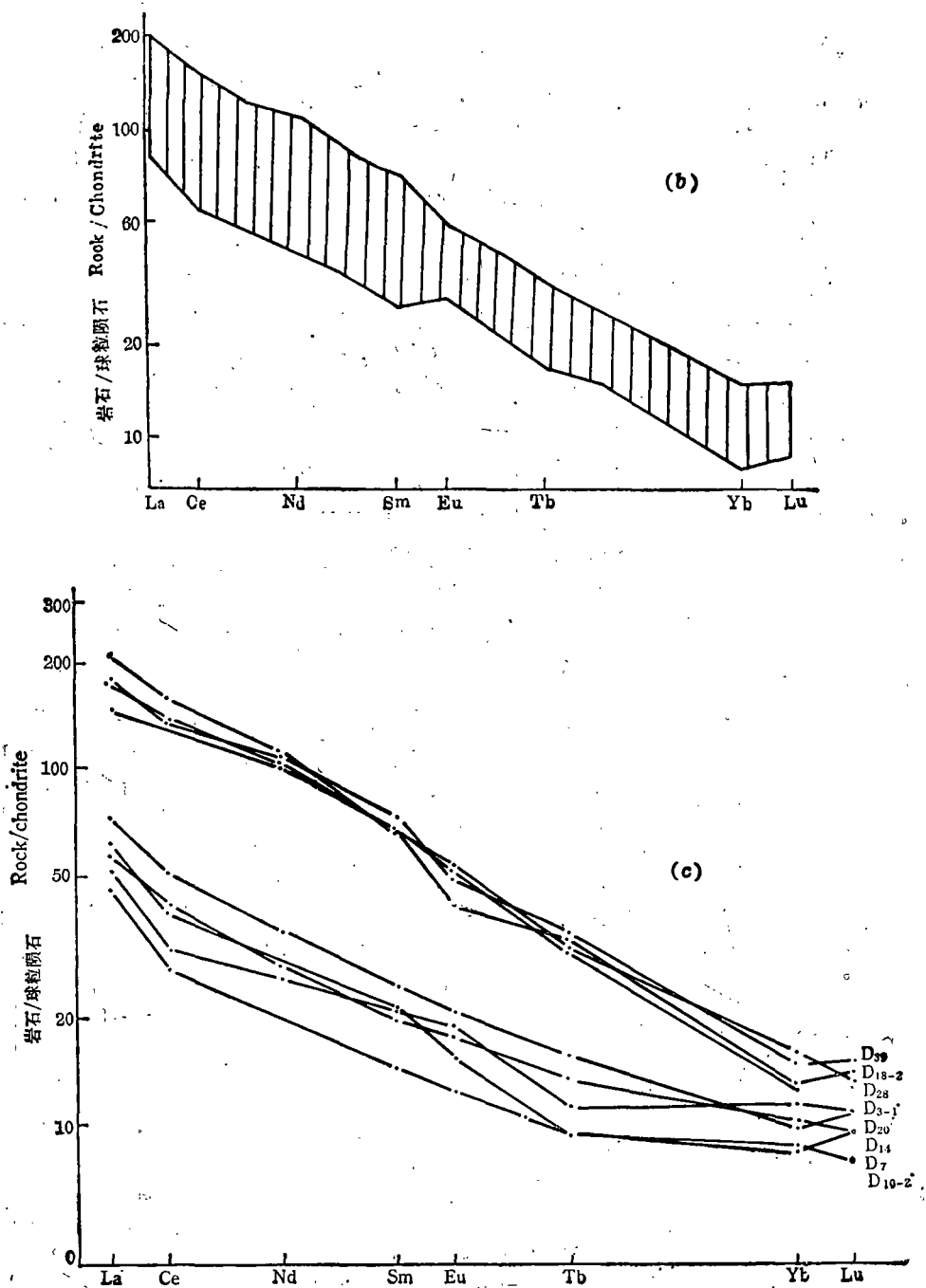


图3 中岩带玄武岩的REE分配型式

(a) 二滩 (b) 红格、渡口、米易、会东大桥 (c) 东川大坪子

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of basalts from central petrobelt

(a) Ertan (b) Hongge, Dukou, Miyi, Huidong (c) Dongchuan

熔体固结而成。因为随着结晶分离作用的进行,残余熔体愈来愈富集REE,且各阶段的结晶分离物中没有像石榴石那样的重稀土赋存相,所以玄武岩的母岩浆可能是石榴石作为重要残留相或者高压结晶分离相。

红格、渡口、米易、会东大桥剖面[图3(b)]以及东川大坪子剖面[图3(c)]上部的斜斑状玄武岩的稀土分配型式为LREE强烈富集型, $(La/Yb)_{CN}$ 值为11.2—16.9, LREE部分相对于HREE部分更为分离, $(La/Sm)_{CN}$ 为2.81—3.27, $(Tb/Lu)_{CN}$ 为1.84—2.03, 除个别样品外, 大多数样品均不显示Eu异常。

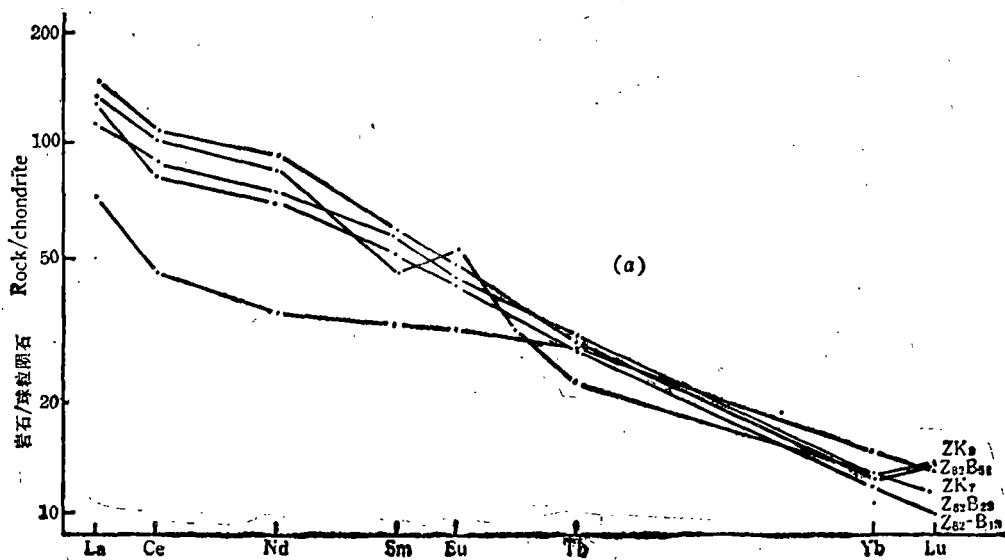
东川大坪子的碱玄武岩的稀土元素分配型式显示了与一般的碱性玄武岩不一样的特点, 它们的 Σ REE和LREE富集的程度均较上部的斜斑状玄武岩为低, $(La/Yb)_{CN}$ 值为4.52—7.45, Σ REE为55—95ppm, 比世界上其它地区的类似的碱性玄武岩的稀土总量(Σ REE=202—597ppm)低很多^[6], 它们具有较低的 TiO_2 含量(约为1.78wt%)、较高的 P_2O_5 含量和高的碱含量(平均为5wt%)。主量元素和微量元素之间出现的矛盾现象的原因可能是: ①由于高的蚀变, 使其大量REE流失; ②碱玄武岩的源岩稀土贫化; ③碱性物质(如方沸石)后期大量进入岩石气孔, 致使碱含量大大增加, 而其它成分急剧下降。哪一种原因可能性更大, 还需要进一步证实。

3) 东岩带 东岩带峨眉山玄武岩以昭觉、峨眉山、织金为例(图4), 它们的稀土元素的分配型式均显示轻稀土强烈富集型特征, 其中昭觉玄武岩的 $(La/Yb)_{CN}$ 值约为9.5, 峨眉山为9.0, 织金为13。它们具有高的 TiO_2 丰度, 低的 MgO , M 值分布于40—50, 说明它们也应是母岩浆分离结晶后残余熔体的固结物。

从上述可见, 峨眉山玄武岩的稀土元素丰度从西到东逐渐增加, 稀土元素分配型式从LREE的适度分离到强烈分离型。西岩带的玄武岩的稀土元素的特征更接近拉斑玄武岩, 而中、东岩带的玄武岩与碱性玄武岩更为相似, 说明本区玄武岩应为介于拉斑玄武岩和碱性玄武岩之间的过渡型, 这和玄武岩的岩石学和岩石化学特征的推断是相吻合的。

3. 大离子亲石元素

在峨眉山玄武岩中它们的丰度呈现了有规律的变化, 从西向东逐渐增加。用大洋中脊拉



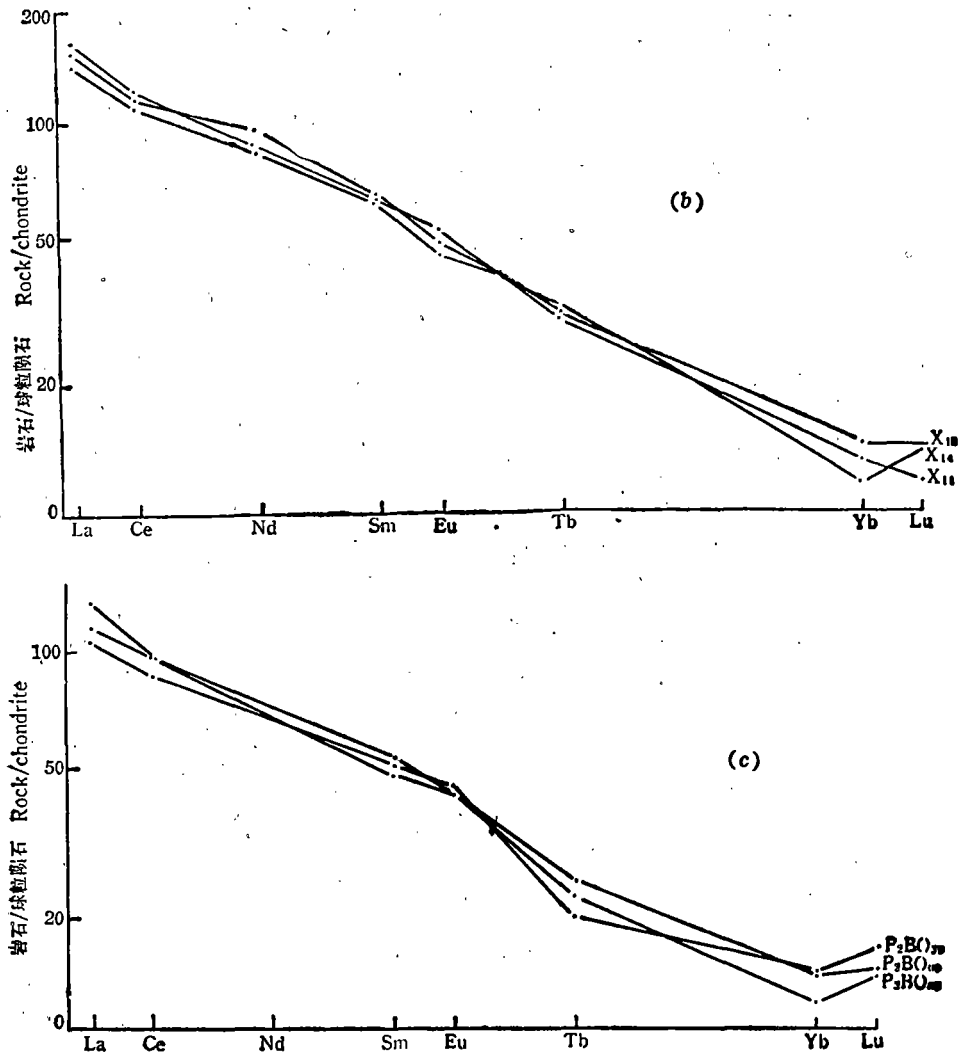


图4 东岩带峨眉山玄武岩的REE分配型式

(a) 昭觉 (b) 峨眉山 (c) 织金

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of basalts from eastern petrobelt

(a) Zhaojue (b) Emeishan (c) Zhijin

斑玄武岩(N-MORB)标准化的分配型式(图5)显示出它们与大洋中脊拉斑玄武岩有完全不同的分配型式: Sr、K、Ba、Rb、Ta、Ce、P、Zr、Hf、Sm、Ti等元素均高于大洋拉斑玄武岩, 分别为1.3—20倍。Yb、Sc、Cr明显地低于大洋拉斑玄武岩。但在总体趋势上, 本区玄武岩的大离子亲石元素相对于MORB的分配型式, 介于板内拉斑玄武岩和板内碱性玄武岩之间^[7], 西岩带的玄武岩更接近于夏威夷拉斑玄武岩, 而中、东岩带的玄武岩与亚速尔碱性玄武岩相似。

三、峨眉山玄武岩的岩石成因

将玄武岩的 $(Ce/Yb)_{CN}$ 对 $(Ce)_{CN}$ 值投影在图6上, 可以看出它们都沿曲线A分布, 这揭示

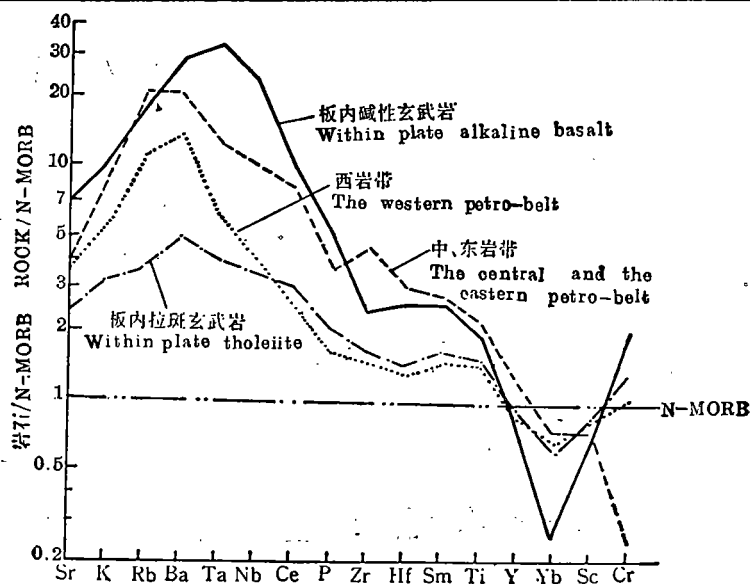


图5 峨眉山玄武岩经大洋中脊拉斑玄武岩标准化的大离子亲石元素的分配型式

Fig. 5 N-MORB normalized LILE patterns of the Emeishan basalt

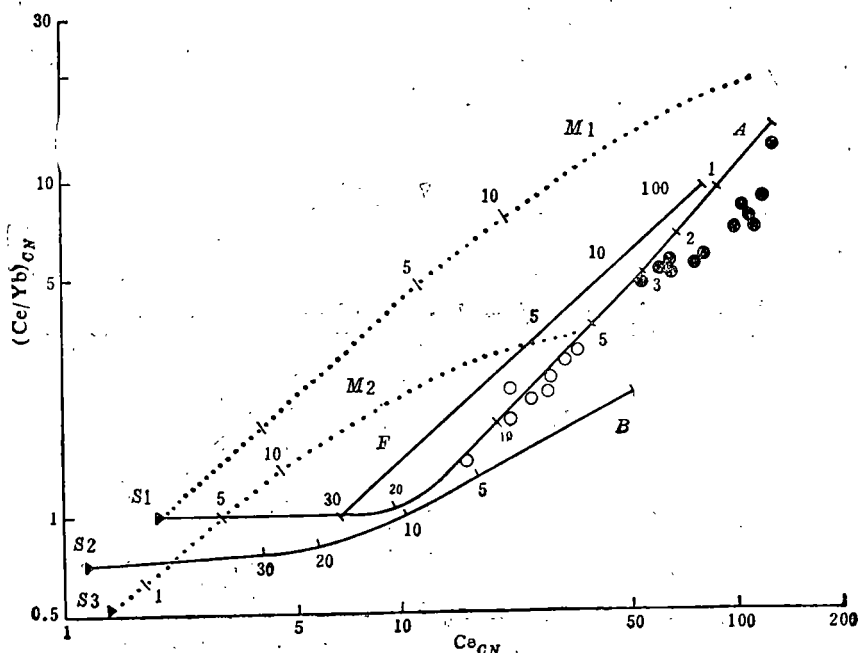


图6 峨眉山玄武岩的 $(Ce/Yb)_{CN}$ 对 Ce_{CN} 图解^[6]

○西岩带 ●中、东岩带 A. 石榴石二辉橄榄岩地幔源(S1)分批部分熔融的模式 B. 三相二辉橄榄岩地幔源(S2)分批部分熔融模式 M1和M2 ●混合岩浆 F. 高压结晶分离曲线

Fig. 6 Chondrite-normalized log-log of Ce/Yb against Ce for the Emeishan basalt from western (○) and central and eastern (●) petrobelt

Curve A stands for the in-batch melting model (S1) of the mantle of garnet lherzolite; curve B for the in-batch melting model (S2) of triple-phase lherzolite; M1 and M2 for the mixed magmas; F for the curve of high-pressure crystal fractionation

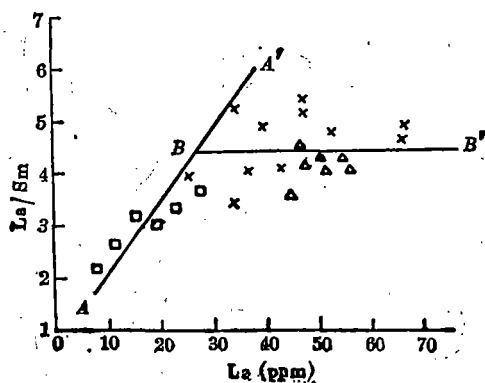


图7 峨眉山玄武岩的La/Sm对La(ppm)图解^[7]

□ 西岩带 × 中岩带 △ 东岩带
AA' 部分熔融曲线 BB' 结晶分离曲线

Fig. 7 La/Sm against La(ppm) for the Emeishan basalt from western (□) central (×) and eastern (△) petrobelts

AA' stands for the curve of partial melting, BB' for the curve of fractional crystallization.

了玄武岩岩浆可能是由石榴石二辉橄榄岩地幔源成批部分熔融形成的。但中、东岩带的玄武岩略有偏离, 暗示除部分熔融外可能还受到结晶分离作用的控制。中、东岩带的玄武岩其部分熔融程度分布于1—5%之间, 而西岩带的玄武岩其部分熔融程度约为10%。

根据火山岩部分熔融和分离结晶的模型, 将峨眉山玄武岩的稀土元素数据投影于图7上, 西岩带的玄武岩落于部分熔融的趋势线上, 而中、东岩带的大多数样品的图点落在分离结晶线上。这说明, 中、东岩带的峨眉山玄武岩可能是母源岩经过部分熔融后形成的岩浆, 在其上升并喷出地表的过程中, 又经历了结晶分离作用。

四、结 论

1. 峨眉山玄武岩是沿张性深大断裂喷溢的, 由于康滇地轴及邻区地裂运动使其上地幔物质上涌, 它像世界上著名的前第三纪大陆溢流玄武岩一样是与大陆裂谷活动伴生的。

2. 西岩带岩石以橄榄拉斑玄武岩占优势, 东岩带以石英拉斑玄武岩为主, 岩石化学变异趋势自西向东过渡元素Cr、Ni、Co以及MgO的丰度逐渐减小, 而TiO₂、FeO、K₂O+Na₂O、K₂O/Na₂O迅速增加, 揭示了西岩带的玄武岩可能直接来源于深部的地幔, 而中、东岩带可能是在较浅深度经过结晶分离作用。

3. 稀土元素和大离子亲石元素丰度中、东岩带富集程度高于西岩带的玄武岩, 反映了自西向东地幔源岩部分熔融程度的降低或结晶分离和地壳物质混杂程度的增加。

本文得到池际尚教授、郑民副教授的审阅, 在此■致谢意。

参 考 文 献

- 【1】杨瑞瑛等, 中国科学, B, 9(1985), 844.
- 【2】刘秉光等, 地质科研成果选集, 第一集, 1982年, 第208页.
- 【3】林建英, 中国地质科学院学报, 2(1982), 49.
- 【4】朱中一和刘秋, 地球科学, (1986), 11:570.

- [5] BVSP, *Basaltic volcanism on the terrestrial planets*. Pergamon Press, New York, 1981.
[6] K. C. Condie, *Earth Science Reviews*, 12 (1976), 393.
[7] J. A. Pearce, A "users guide" to basalt discrimination diagrams (manuscript), 1982.

Trace element geochemistry of the flood basalt in southwestern China

Yang Ruiying Huang Zhongxiang

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

Huang Kainian Liu Bingguang

(Institute of Geology, Academia Sinica)

Liu Di

(Panxi Geological Team of Sichuan Geological Bureau)

Abstract

The Emeishan Basalt is distributed in the southwestern part of China. Based on the tectonic setting and petrochemistry, it can be divided into three petrobelts, i. e. the western, central and eastern, with the Jingho-Bingchun and Ganlo-Kunming abyssal fracture zones roughly being the boundaries between them.

The samples studied in this paper were collected from the representative sections of the petrobelts described above. Rare earths (REE), transition metals (TME) and large ion lithophile elements (LILE) were determined by instrumental neutron activation analysis. The abundances of LILE intermediate between those of continental tholeiites and alkali basalts. The REE patterns of the basalt samples are LREE enriched type, the degree of enrichment varies with the sampling locations. The more west the sampling location, the less enriched the degree is. Based on the $(\text{Ce}/\text{Yb})_{\text{CN}}$ Vs. Ce_{CN} plot, it can be inferred that the basalts in the central and eastern petrobelts might be formed through about 5% partial melting of garnet lherzolite while those in the western petrobelt might be due to about 10% partial melting. According to the La/Sm-La figure, it was shown that the formation of the basalt from the western petrobelt was significantly controlled by the degree of partial melting and that fractional crystallization had played an important role in the petrogenesis of the central and eastern petrobelts.

Keywords: basalt partial melting fractional crystallization
compatible elements large ion lithophile elements

(1987年6月3日收到)