

大陆溢流玄武岩的地球化学特征及起源

张鸿翔,徐志方,马英军,刘丛强

(中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100101)

摘要:快速上涌的大陆溢流玄武岩(CFB),与大陆裂开存在密切的成因联系。CFB总体岩石及地球化学成分均一,富集同位素及不相容元素,但一些样品含有明显的亏损成分,反映出普遍的地幔不均一性。来自上下地幔边界及软流圈的地幔柱提供了CFB所需的主要物质和能量来源,地壳混染作用对CFB的成分影响不大,而受俯冲带脱水流体以及热地幔柱自身与围岩发生的交代作用影响。交代岩石圈地幔对CFB产生重要影响,很好地解释了CFB所具备的微量元素和同位素特征。

关键词:大陆溢流玄武岩(CFB);大陆裂开;大陆岩石圈地幔(CLM);地幔柱;交代作用。

中图分类号:P597 文献标识码:A

文章编号:1000-2383(2001)03-0261-08

作者简介:张鸿翔(1972),男,1996年毕业于中国地质大学,现为中科院地质与地球物理研究所在职博士生,从事地幔地球化学研究。

极短时间大量喷溢的大陆溢流玄武岩(CFB)基本局限于显生宙,通常与大陆裂开和板块运动方向的改变有关,是新洋壳产生的前奏。对于研究与之关系密切的大陆岩石圈地幔(CLM)和起源于软流圈/下地幔的地幔柱,以及壳幔循环的动力学机制意义重大。

1 CFB与大陆裂开的关系

岩石圈拉伸、大陆裂开、地幔柱与CFB之间关系密切,但其因果关系存有争议。一些学者认为CFB发生在岩石圈裂开之前,是岩石圈基底地幔柱抬升的产物,与大陆裂开无关^[1]。随着板块构造研究的深入,发现CFB与代表区域不稳定性的大陆裂开存在着相当密切的关系。以下为具体实例(图1):30 Ma年前爆发的Ethiopian/Aden CFB与红海亚丁湾的裂开、60 Ma年前的Greenland CFB与北大西洋张开、65 Ma年前的Deccan CFB与西北印度洋的裂开、美国西部CFB(12~4 Ma)与Rio Grande裂开均有因果关系;250 Ma年前的Siberian CFB,17 Ma年前的Columbia River CFB,258 Ma年前的峨眉山

(Emeishan)CFB虽未发育明显洋盆,但与夭折的大陆裂谷有关^{[2,3]①}。

关于大陆裂开存在活跃论与被动论两种假说:活跃论即地幔在大陆裂开过程中起主动作用,地幔柱上涌使岩石圈裂解;被动论即板块水平运动使岩石圈拉张,诱导大陆裂开及地幔柱上涌。根据地球物理资料,板块沿经度方向漂移,由于地球椭圆率而产生表面张力,可导致大陆裂开。而实际地质环境,地幔柱抬升与大陆裂开很难加以区分先后,如果缺乏应力薄弱面,上百km的致密岩石圈将阻止地幔柱的上涌;而如果没有地幔柱底侵,使岩石圈减薄,大规模裂开也不可能形成。因此,地幔柱必然沿着先存应力薄弱通道上升,同时驱使裂谷进一步张开,这也符合自然界所遵循的正反馈原理。

2 CFB的地球化学特征

文中统计了世界范围10个最主要的CFB火山岩省,分别为新生代的Deccan(41),Ethiopian(9),Karoo(26),Antarctic(20),Australia(24),Columbia River(149),British Tertiary Igneous Province(BTIP)(17),Greenland(84)(包括东部和东北部)

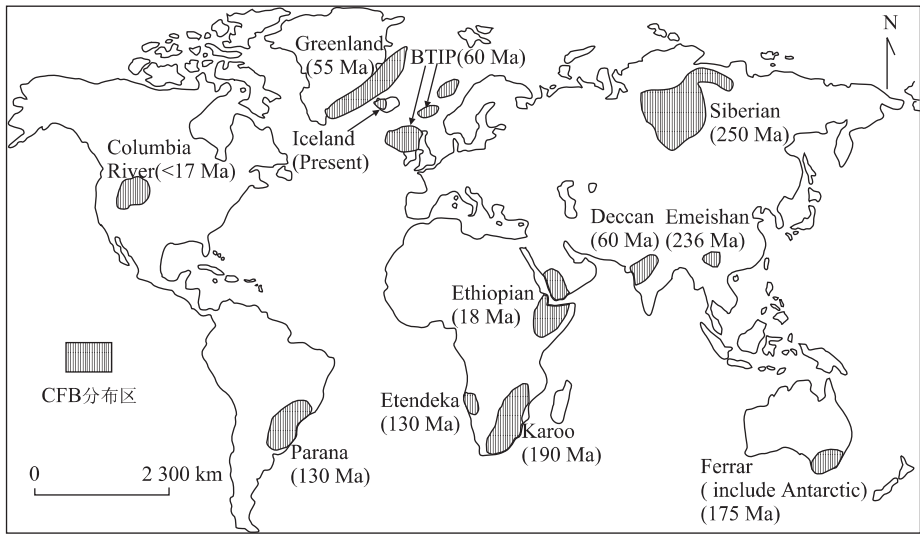
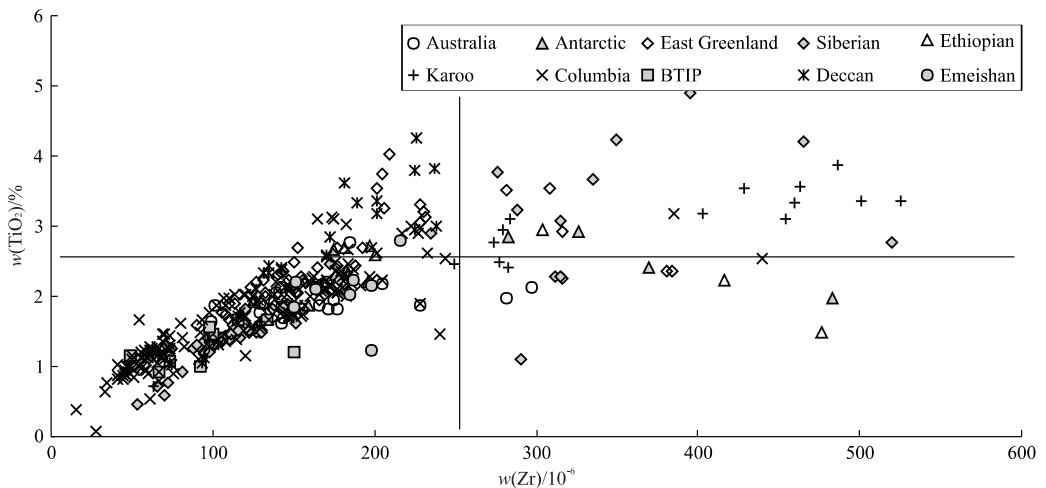


图 1 世界范围主要的 CFB 分布

Fig. 1 Distribution map of major continental flood basalts in world

图 2 CFB 的 $w(\text{TiO}_2) - w(\text{Zr})$ 图解Fig. 2 $w(\text{TiO}_2) - w(\text{Zr})$ diagram of continental flood basalts

以及晚古生代的 Siberian(83), Emeishan(24) 等, 除 Emeishan 为自测数据^①, 其他样品均为近年发表的数据, 括弧内为统计数据数目。

2.1 常量元素特征及分类

低 Ti 和高 Ti 是 CFB 最基本的分类, 常用参数为: $w(\text{TiO}_2) = 2.5\%$, $w(\text{Zr}) = 250 \times 10^{-6}$ 。低 Ti 玄武岩以南半球的 Ferrar 火山岩省最为典型(包括 Antarctic, Australia, Karoo, Parana), 而北半球的 Greenland, Ethiopian, Deccan 的大部分样品为高 Ti, 反映了地幔源区的不均一性(图 2)。Emeishan ($w(\text{TiO}_2) < 2.5\%$, $w(\text{Zr}) < 250 \times 10^{-6}$ ($150 \times 10^{-6} \sim 215 \times 10^{-6}$)) 为低 Ti 玄武岩。

在 $w(\text{Alk}) - w(\text{SiO}_2)$ 图解(图 3) 及 $w(\text{Nb}) / w(\text{Y}) - w(\text{Zr}) / w(\text{TiO}_2)$ 图解^[4](图 4) 中, 绝大多数样品碱元素 $w(\text{Alk}) < 4\%$ (Antarctic 和 Ethiopian 较高), 多数样品为拉斑玄武岩, 少量样品落在碱玄武岩范围, 而 Deccan 的部分样品落在碧玄武岩区域。

2.2 稀土元素

(1) 所有 CFB 的球粒陨石标准化稀土元素图解表现相当一致, 均为 LREE 弱富集平缓右倾模式, 以 Emeishan 为例(图 5)。除 Antarctic 碱性玄武岩有明显 Ce 负异常(海水蚀变作用影响), 均无明显的 Ce 和 Eu 异常。

(2) $w(\text{La})_N / w(\text{Nd})_N$ 非常低, 最高的 Karoo 为

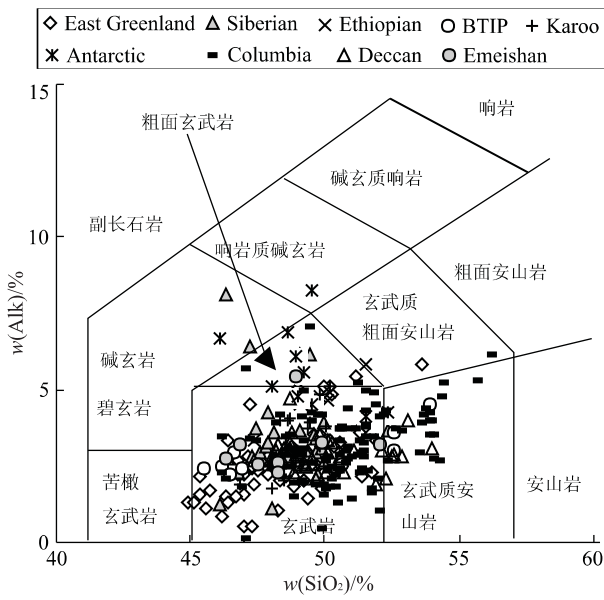


图 3 CFB 的 $w(\text{Alk})-w(\text{SiO}_2)$ 图解

Fig. 3 $w(\text{Alk})-w(\text{SiO}_2)$ diagram of continental flood basalts

17.5, 它表明所有 CFB 均未经历明显分异过程, 这与 CFB 快速喷发而无分异时间有关。

(3) LREEs 平均富集程度小于 150 (最高的 Karoo 为 145), HREEs 的富集程度等于或略高于原始地幔。由于 HREEs 在岩浆作用过程中分配系数接近于 1, 浓度接近源区, 因此, CFB 源区成分以原始地幔为主, 与 N-MORB 不同。然而像 Columbia River CFB, 它的 $w(\text{Lu})_N$ 高达 60.31, 表明来自富集源区。

2.3 不相容元素

(1) 不相容元素 (IEs) 原始地幔标准化曲线分布

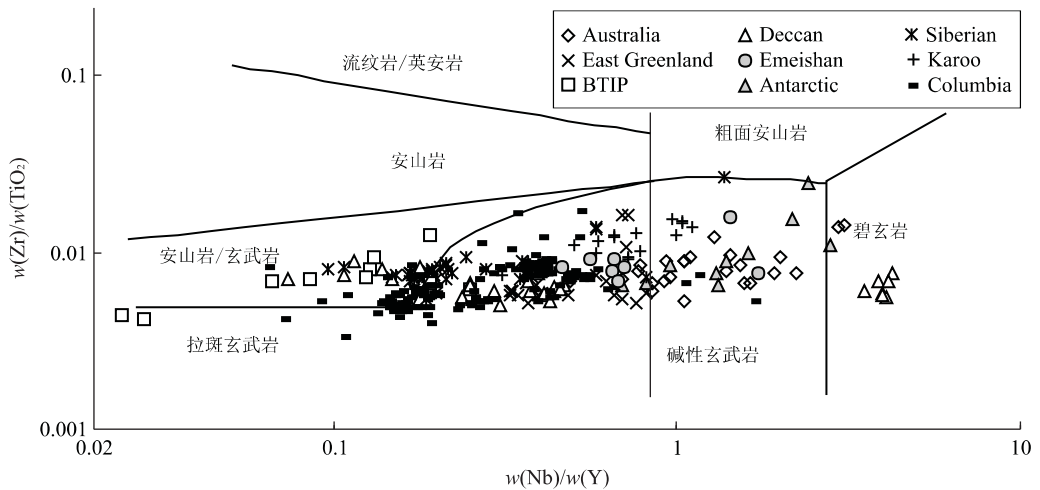


图 4 CFB 的 $w(\text{Nb})/w(\text{Y})-w(\text{Zr})/w(\text{TiO}_2)$ 图解

Fig. 4 $w(\text{Nb})/w(\text{Y})-w(\text{Zr})/w(\text{TiO}_2)$ diagram of continental flood basalts

相似(图 6), 因此, 每个岩体的平均值可代替总体微量元素分配特征。IE 富集, LREEs 与大离子亲石元素 (Rb, Ba, Th, U) 正异常, 高场强元素 (Nb, Ta, Hf) 负异常。但 Nb-Ta 异常程度有所差异, 最明显的位于 Karoo 的 Nuanetsi picrites^[5], 而在 Deccan, Nb-Ta 异常很小甚至不存在^[6]。

(2) 一些 CFB 在某些元素位置显示出特性, Emeishan 有 Ba 的负异常, 可能与岩浆过程中一些特殊矿物结晶有关。

(3) Pb 富集特征差异最大。Emeishan 和 Columbia River 有明显 Pb 正异常, 可能反映板块俯冲作用卷入了陆源物质, 而且 Pb 异常还表明富集地幔的不同, 即混染物的差异^[7]。

(4) 强弱不同的 Ti 负异常, 即使高 Ti 玄武岩 (Karoo) 也表现出弱负 Ti 异常。

2.4 同位素

(1) CFB 拥有较洋岛玄武岩 (OIB) 更宽的变化范围(图 7), 但也清晰地表现出由 OIB 所定义的几个富集地幔端员: Antarctic CFB 几乎与代表 HIMU (高 U/Pb 比值地幔) 的 OIB 分布完全吻合 (以中大西洋的 St. Helena 和南太平洋 Cook-Austarl 群岛中 Mangaia, Rurutu, Tubuaii 和 Rimatara 为代表)^[8]; BTIP 与 Greenland CFB 位于地幔系列的 N-MORB 与富集地幔 (EM) 之间; Karoo 接近于 EMI (以 Walvis Ridge 为代表^[1]); Siberian 和 Emeishan 有明显的 EMII 成分 (以 Samoa, Society, Marquesas 和 Kerguelen 岛为代表^[9])。

(2) CFB 有较宽的 $\epsilon(\text{Nd})$ 与 $\epsilon(\text{Sr})$, 表明具有不

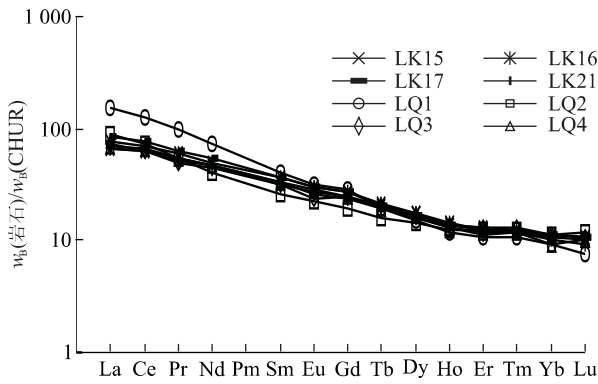


图 5 峨眉山玄武岩稀土元素球粒陨石标准化图解

Fig. 5 Chondrite-normalized pattern of REE of Emeishan basalt

同的 $w(\text{Sm})/w(\text{Nd})$, $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 比值长期存在的独立源区。

2.5 控制 CFB 成分的因素

控制 CFB 成分有 3 个因素: 岩石圈厚度、围岩混染和地球化学不均一性。

2.5.1 岩石圈厚度 岩石圈厚度影响地幔源区部分熔融发生的深度及程度, 因此影响岩浆成分。岩石圈地幔橄榄岩部分熔融形成的熔体均是高 MgO (25%~20%), 但微量元素不同。当岩石圈厚的时候, 源区为高压, 部分熔融程度较低, 石榴石为主要残留矿物相, 引起 Y 和 HREEs 在熔浆中亏损, 强不相容元素浓度较高, 富 Ti, MgO, 这种类型岩浆演化成高 Ti 玄武岩; 当岩浆上升到较浅部位, 压力减低, 部分熔融程度增加, 岩浆仍为高 MgO (部分熔融程度的增高补偿了压力降低的影响), 石榴石耗尽, IEs 富集程度降低^[10], 岩浆形成低 Ti 玄武岩。

2.5.2 围岩混染 岩浆在岩浆房及上升过程中, 可能与围岩(地壳或上地幔)连续发生同化混染作用使得 CFB 成分具有一定的围岩特征。

2.5.3 地球化学不均一性 这是最主要的制约因素。大多数 CFB 源区相对于 MORB 源区富集 IEs 和同位素, 然而, 许多 CFB 同位素特征表明它们源区至少包含着部分长时间亏损成分, 其亏损程度近似于 N-MORB 的源区。Siberian 火山岩系列下部苦橄岩有明显亏损特征 ($\epsilon(\text{Nd}) = 4 \sim 7.3$, $w(\text{La})_N / w(\text{Sm})_N < 1.3$ ^[11]); Nuanetsi 富集苦橄玄武岩是来自岩石圈地幔小部分富集熔体与具有类似 MORB 成分地幔柱 ($\epsilon(\text{Nd}) = +10$) 的混合产物^[5]。以上事例证明地幔柱源区的强烈不均一性。

地幔柱获得亏损成分的机理存有争议: (1) 从上地幔 MORB 的源区获得; (2) 由下地幔亏损物质获得, 下地幔有可能是亏损物质的潜在储库, 这一点已为金刚石包裹体中发现的亏损物质所证实^[12,13]; (3) 来自俯冲板块亏损物质, 俯冲洋壳携带大量的深海及陆源沉积物, 这是形成 EMI 和 EMII 的最根本原因。而洋壳主成分 MORB 为亏损玄武岩, 同时随洋壳一起进入俯冲带的还有下伏大洋地幔, 由堆积岩和部分熔融残留体组成。它们相对于洋壳更亏损^[14], 而且由于它们更难熔, 也就较洋壳更容易进入到下地幔中, 因此, 这种物质加入到地幔柱源区, 会使地幔柱包含亏损成分。

3 CFB 的起源

CFB 的起源存在激烈争议, 已有大量模

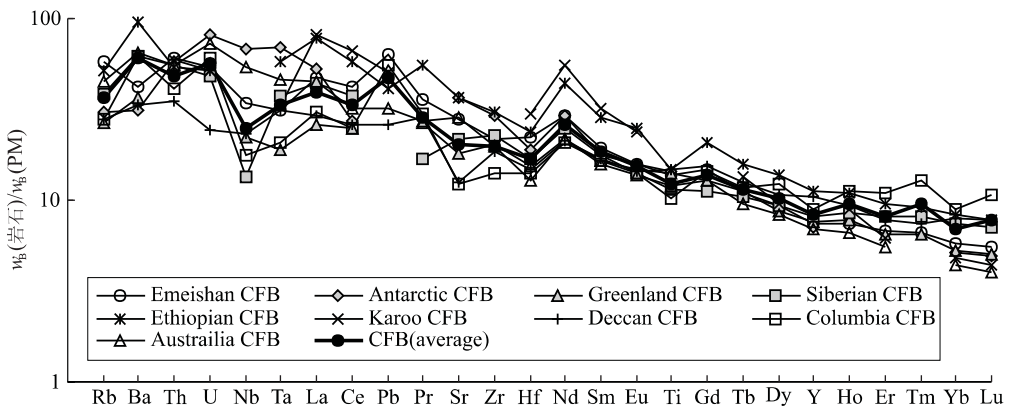


图 6 主要 CFB 的不相容元素原始地幔标准化图解

Fig. 6 Primitive mantle-normalized pattern of incompatible elements of major continental flood basalts CFB(average)为所有参与统计的 CFB 样品的平均值, 由于分配样式的相似性, 其平均值可在总体上代表 CFB 的元素特征

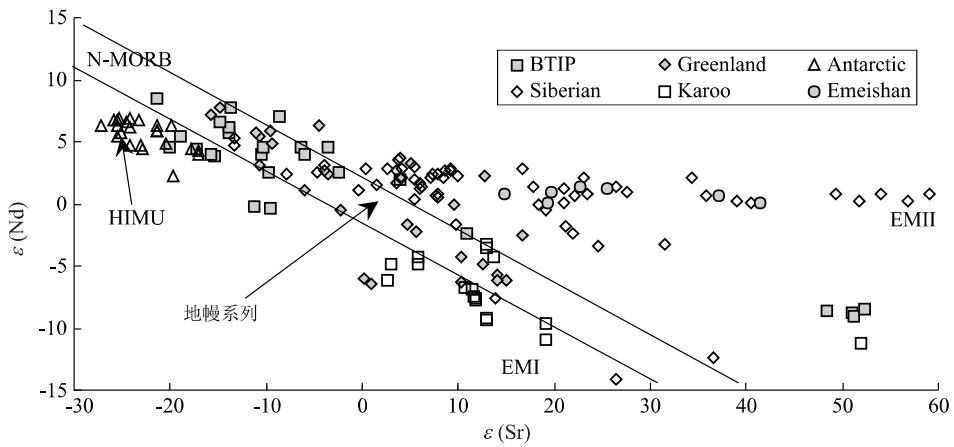


图 7 CFB 的同位素相关图解

Fig. 7 Isotope relation diagram of continental flood basalts

型^[11,15~22],但关键问题在于地幔柱、地壳混染和 CLM 在 CFB 形成过程中所起的作用,众多的争议总体可划分为两种观点:与地幔柱是否相关。

3.1 非地幔柱观点

一些学者认为部分熔融作用发生在无水的 CLM 橄榄岩固相线条件下,显然,干 CLM 不可能是 CFB 的源区。Gallagher 等^[18]认为 CLM 如果含有足量的水就能够解释这个问题,他们假定岩石圈地幔含有 0.3% H₂O (+0.7% CO₂),橄榄岩固相线可降低 500 °C,在这种条件下,岩石圈地幔部分熔融,可作为 CFB 主源区。

然而,通过对金伯利岩和玄武岩所含捕虏体的研究,表明岩石圈的橄榄岩主要由橄榄石、辉石和石榴石组成^[23]。地幔交代作用虽可提高岩石圈的水含量,但还没有证据表明,对于 CFB 这种大规模喷发的玄武岩存在一个足够大连续的含水富集源区,含水熔体也不可能产生像苦橄岩这种 CFB 中常见的高镁成分。同时,含水地幔由于水的应力弱化,不可能和上覆地壳长期相连,而对于建立一个同位素异常储库需要相当长的稳定时间。而且,大多数玄武岩是陆下喷发,如果富挥发份,火成碎屑岩应为主要类型,但除了 Siberian,这种类型岩石很少在 CFB 中发现。尽管熔岩在侵位时会发生脱水作用,那么它同样适用于同岩浆源的深成岩墙,如果母岩浆富水,应有含水矿物结晶,但这种矿物在深成侵位岩墙中并未发现。

另外 CFB 成分与 CLM 部分熔融的产物也不同,CLM 没有 CFB 所具有的 Nb-Ta 负异常,而表现出明显的正异常(图 8)。

以上分析表明,CLM 不可能构成 CFB 的独立源区,因此,更深源地幔有可能为其喷发提供物质和动力条件,而这种来源毫无疑问应该是地幔柱。

3.2 地幔柱观点

30 年前,Morgan^[24]指出链状分布的 OIB(Hawaii 或 Cape Verdes 岛)与地幔柱之间的关系,近些年,地幔柱论点已得到长足发展^[25~28]。地幔柱在现代和古地壳的形成中起着至为关键的作用,CFB 中大约 96% 的熔体被认为是地幔柱来源^[29]。

地幔柱由两部分组成,大的球状头部和一个相当狭窄的尾部。其起源于核幔或上、下地幔之间的热力学交界^[20]以及软流圈^[3]。来自地核的热流使地幔柱密度下降,导致它可以上升。

然而,具有相当均一成分(低 $\tau_w(^{87}\text{Sr})/\tau_w(^{86}\text{Sr})$,高 $\epsilon(\text{Nd})$)的软流圈不可能演绎出如此复杂 CFB 特征,因此,单一软流圈不能解释 CFB 的不均一性,依赖于构造条件的地幔柱必然受到外界条件的影响。

3.3 地壳混染

CFB 微量元素和同位素特征在很多方面类似花岗岩类和沉积岩^[29],因此 CFB 是否受到上陆壳(富 IEs,高 $\tau_w(^{87}\text{Sr})/\tau_w(^{86}\text{Sr})$,低 $\tau_w(^{143}\text{Nd})/\tau_w(^{144}\text{Nd})$)的混染。但这种观点在解释 CFB 成因时遇到以下一些问题:(1)CFB 与上、下地壳的微量元素分配样式类似(图 8),但下地壳的微量元素丰度太低,显然不能提供 CFB 所需的物质来源。(2)由于 Nd 同位素受地壳混染影响很大,如果发生混染,它应与地壳高丰度元素(Ba, Th, U, SiO₂)成正相关,但这种现象在 CFB 中很少发现。(3)如果地壳混染的原因造成 CFB 富集(IEs 和同位素),那么 CFB 的成分演化将

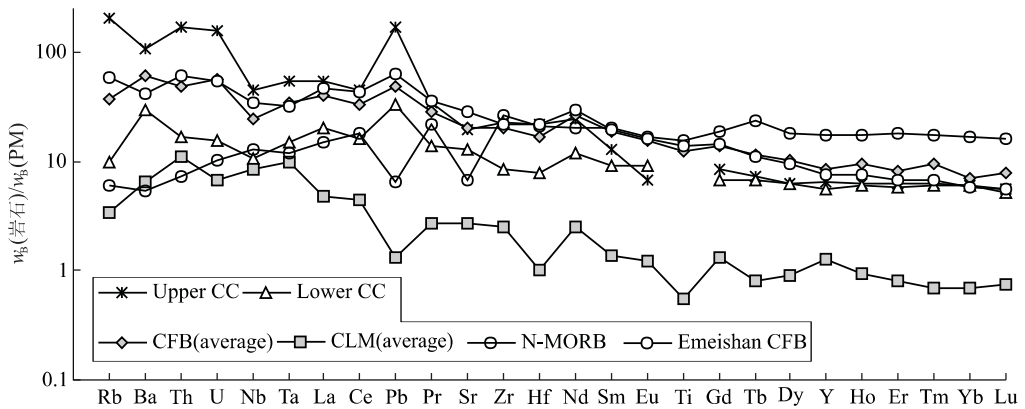


图 8 主要地质单元微量元素原始地幔标准化图解

Fig. 8 Primitive mantle-normalized pattern of incompatible elements of major geological units CLM(average). 大陆岩石圈地幔的平均值^[30]; N-MORB. 正常大洋中脊玄武岩; CC. 大陆地壳

不会局限在玄武岩如此均一的范围内,它应该表现出更为广泛的成分范围。

因此,同位素与微量元素的相关关系以及主元素的成分分析基本排除了地壳混染的可能,至少大规模快速喷发的 CFB 主体上并没有受到地壳物质的强烈混染。

3.4 交代大陆岩石圈地幔的作用

前文已论述 CLM 不具备单独构成 CFB 源区的条件,但 CLM 对 CFB 的影响不能忽视,尤其是交代 CLM 的混染^[31]。在俯冲带,根据 IEs 的迁移量计算,俯冲蚀变洋壳及携带沉积物部分熔融产生的岛弧火山岩所抽提的 IEs 不到俯冲板块的一半,可能仅仅是洋壳最上端 < 1 km 的部分卷入了岛弧火山岩,而其他俯冲部分脱离了部分熔融过程而继续俯冲到更深地幔^[32],并在地幔条件下脱水释放流体,对 CLM 产生交代作用,使 CLM 富集 IEs 和同位素。

Nb—Ta 负异常是困扰 CFB 来源的关键问题,因为 LILEs 和 HFSEs 在岩浆作用过程中分配系数相差无几,它们并不强烈分异。但在 CFB 的形成过程中,可能有其他机制影响了 Nb, Ta 与 LILEs 的分异:(1)交代地幔橄榄岩,IEs 主要存在于角闪石、云母、磷灰石和氧化物等矿物相及矿物颗粒的边界空隙中。当地幔柱上升经过交代 CLM 时,矿物在熔体中溶解率受阳离子从晶体中扩散速率的影响,像金红石、钛铁矿等富 Ti 氧化物,具有高电荷阳离子,结构与硅酸盐不同,溶解速率低于硅酸盐矿物(尤其是含水硅酸盐,如角闪石和金云母)。高度交代的地幔岩石含有倾向于富集 HFSEs 的钛铁矿和金红

石,它们与含水硅酸盐的溶解速率差将导致 LREEs, LILEs 优于 HFSEs 而进入熔体中,这一过程已得到实验证实^[33]。(2)除了矿物相影响, HFSEs 和 LILEs, LREEs 在熔体中溶解度本身存在差异,其溶解度主要受元素离子半径与电离势控制,具有大离子半径和电离势(3~12)的离子在流体中容易迁移,而小离子半径和中等电离势的离子不易活动^[33]。LILEs 有大离子半径和小于 1.7 的电离势,因此在熔体中高度溶解,而 HFSEs 不易溶解,因此交代地幔部分熔融产物具有高 LILEs/HFSEs 比。当地幔柱混染了交代 CLM 成分时,亏损地幔柱将富集同位素和 IEs,并具有明显的 Nb—Ta 负异常。

上述讨论表明,CFB 往往来自一个混合源,地幔柱提供主要物质和热来源,当地幔柱上升通过岩石圈地幔时,交代 CLM 将对其成分产生影响。地幔交代事件也不完全受俯冲带所控制,热地幔柱本身就可以产生交代作用。尽管地壳的混染作用对大多数 CFB 并没有明显的影响,但受局部构造条件的控制,一些 CFB 的早期样品表现出壳源特征。

参考文献:

- [1] Richardson S G, Erlank A J, Duncan A R, et al. Correlated Nd, Sr and Pb isotope variation in Walvis Ridge basalts and implications for the evolution of their mantle source [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1982, 59: 327—342.
- [2] Coffin M F, Eldholm O. Volcanism and continental break-up: a global complication of igneous provinces [A]. In: Storey B C, Alabaster T, Pankhurst R J, eds. *Magmatism and the causes of continental break-up* [C]. London: Geological Society, 1992. 17—30.

- [3] Gibson S A, Thompson R N, Leat P T, et al. Asthenosphere-derived magmatism in the Rio Grande rift, western USA: implications for continental break-up [A]. In: Storey B C, Alabaster T, Pankhurst R J, eds. Magmatism and the causes of continental break-up [C]. London: Geological Society, 1992. 61—89.
- [4] Meschede M. A method of discrimination between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram [J]. Chem Geol, 1986, 56: 207—218.
- [5] Ellam R M, Cox K G. An interpretation of Karoo picritic basalts in terms of interaction between asthenospheric magmas and mantle lithosphere [J]. Earth Planet Sci Lett, 1991, 105: 330—342.
- [6] Lightfoot P C, Hawkesworth C J, Devey C W, et al. Source and differentiation of Deccan trap lavas: implications of geochemical and mineral chemical variation [J]. J Petrol, 1990, 31(5): 1165—1200.
- [7] Weaver B L. The origin of ocean island basalt end-member compositions: trace element and isotopic constraints [J]. Earth Planet Sci Lett, 1991, 104: 381—397.
- [8] Palacz Z A, Saunders A D. Coupled trace element and isotope enrichment in the Cook-Austral-Samaa islands, southwest Pacific [J]. Earth Planet Sci Lett, 1986, 79: 270—280.
- [9] Wright E, White W M. The origin of Samoa: new evidence from Sr, Nd and Pb isotopes [J]. Earth Planet Sci Lett, 1987, 81: 151—162.
- [10] Arndt N T, Czamanske G K, Wooden J L, et al. Mantle and crustal contributions to continental flood volcanism [J]. Tectonophysics, 1993, 223: 39—52.
- [11] Lightfoot P C, Hawkesworth C J, Hergt J. Remobilisation of the continental lithosphere by a mantle plume: major-, trace-element, and Sr-, Nd-, and Pb-isotope evidence from picritic and tholeiitic lavas of the Noril'sk district, Siberian Trap, Russia [J]. Contrib Mineral Petrol, 1993, 114: 171—188.
- [12] Griffiths R W, Campbell I H. Stirring and structure in mantle starting plumes [J]. Earth Planet Sci Lett, 1990, 99: 66—78.
- [13] Hauri E H, Whitehead J A, Hart S R. Fluid dynamic and geochemical aspects of entrainment in mantle plumes [J]. J Geophys Res, 1994, 99: 24275—24300.
- [14] Saunders A D, Storey M, Kent R W, et al. Consequence of plume-lithosphere interactions [A]. In: Storey B C, Alabaster T, Pankhurst R J, eds. Magmatism and the causes of continental break-up [C]. Geological society special publication No 68. London: Geological Society, 1992. 41—60.
- [15] McKenzie D. Some remarks on the movement of small melt fractions in the mantle [J]. Earth Planet Sci Lett, 1989, 95: 53—72.
- [16] Fitton J G, James D, Leeman W P. Basic magmatism associated with the Late Cenozoic extension in the western United States; compositional variations in space and time [J]. J Geophys Res, 1991, 96: 13963—13711.
- [17] Menzies M A. Petrology and geochemistry of the continental mantle: an historical perspective [A]. In: Menzies M A, ed. Continental mantle [C]. Oxford: Oxford Science Publications, 1990. 31—54
- [18] Gallagher K, Hawkesworth C. Dehydration melting and the generation of continental flood basalts [J]. Nature, 1992, 358: 57—59.
- [19] Hill R I. Starting plumes and continental break-up [J]. Earth Planet Sci Lett, 1991, 104: 398—416.
- [20] Campbell I H. The mantle's chemical structure: insights from the melting products of mantle plumes [A]. In: Jackson I N S, ed. The earth's mantle: composition, structure and evolution [C]. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. 259—310.
- [21] Courtillot V, Jaupart C, Manighetti I, et al. On causal links between flood basalts and continental breakup [J]. Earth Planet Sci Lett, 1999, 166 (3—4): 177—195.
- [22] Anderson D L. Isotopic evolution of the mantle: a model [J]. Earth Planet Sci Lett, 1982, 57: 13—24.
- [23] Boyd F R. Compositional distinction between oceanic and cratonic lithosphere [J]. Earth Planet Sci Lett, 1989, 96: 15—26.
- [24] Morgan W J. Convection plumes in the lower mantle [J]. Nature, 1971, 230: 42—43.
- [25] Kerr A C, Saunders A D, Tarney J, et al. Depleted mantle-plume geochemical signatures: no paradox for plume theories [J]. Geology, 1995, 23: 843—846.
- [26] Arndt N T, Kerr A C, Tarney J. Dynamic melting in plume heads: the formation of Gorgona komatiites and basalts [J]. Earth Planet Sci Lett, 1997, 146: 289—301.
- [27] Class C, Goldstein S L. Plume-lithospheric interaction in the ocean basin: constraints from the source mineralogy [J]. Earth Planet Sci Lett, 1997, 150: 245—260.
- [28] Jackson I N S. The earth's mantle: composition, structure and evolution [M]. Cambridge: Cambridge Uni-

- versity Press, 1998. 1—309.
- [29] Arndt N T, Christensen U. The role of lithospheric mantle in continental flood volcanism: thermal and geochemical constraints [J]. *J Geophys Res*, 1992, 97: 10967—10981.
- [30] McDonough W F. Constraints on the composition of the continental lithospheric mantle [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1990, 101: 1—18.
- [31] Furman T. Melting of metasomatized subcontinental lithosphere: undersaturated mafic lavas from Rungwe, Tanzania [J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1995, 122: 97—115.
- [32] Ringwood A E. Slab-mantle interactions 3, petrogenesis of intraplate magmas and structure of the upper mantle [J]. *Chem Geol*, 1990, 82: 187—207.
- [33] Munker C. Nb/Ta fractionation in a Cambrian arc/back arc system, New Zealand: source constraints and application of refined ICPMS techniques [J]. *Chem Geol*, 1998, 144 (1—2): 23—45.

GEOCHEMICAL FEATURES AND ORIGIN OF CONTINENTAL FLOOD BASALTS

Zhang Hongxiang, Xu Zhifang, Ma Yingjun, Liu Congqiang

(*Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

Abstract: A close genetic relationship is present between the rapidly-upwelling continental flood basalts (CFB) and the continent rift. On the whole, the petrologic and geochemical compositions are homogeneous and enriched with isotopes and incompatible trace elements. However, some samples contain conspicuous depleted compositions, reflecting a general mantle heterogeneity. The mantle plume originating from upper/lower mantle boundary or asthenosphere might have served as the major materials and energies required for CFB that has not been fully assimilated by the crust. The metasomatism between the dehydrated fluid in the subduction zone or the thermal mantle plume itself and its wall rocks determines that the metasomatic lithosphere mantle with a great effect on the formation of CFB, is a major cause of the trace elements and isotope characteristics of CFB.

Key words: continental flood basalt (CFB); continent rift; continent lithosphere mantle (CLM); mantle plume; metasomatism.