

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

中国东部新生代碱性玄武岩及幔源 捕虏体中的流体组成

张铭杰 王先彬 刘刚 李立武

(中国科学院兰州地质研究所, 730000)

内容提要 中国东部新生代碱性玄武岩及其幔源二辉橄榄岩捕虏体中的流体组分存在差异, 幔源二辉橄榄岩形成于以 H_2 、 CO 等还原性气体为主的流体环境中, 其流体组分以含 H_2 高、挥发性气体总量低为特征; 碱性玄武岩中流体组分以 CO_2 、 SO_2 和挥发性气体总量高为特征, 在其形成演化过程中有 SO_2 等氧化性气体的流体加入。碱性玄武岩及二辉橄榄岩捕虏体中的流体组成表明中国东部上地幔源区存在不均一性, 碱性玄武岩浆在形成演化上存在地区差异性。中国东部大陆的上地幔中可能存在 P_{H_2} 较高的区域。

关键词 流体组分 碱性玄武岩 二辉橄榄岩捕虏体 中国东部

幔源捕虏体中的流体组分提供了地幔流体组成、性质的直接信息, 而其中的挥发性组分在地幔交代作用、部分熔融作用、岩浆演化及地幔化学非均一性地幔演化过程中的重要作用已越来越被重视^[1]。中国东部广布的新生代碱性玄武岩及地幔岩捕虏体是进行地幔流体研究最直接的样品, 其中二辉橄榄岩捕虏体已被确认为地幔岩的残留体^[2]。笔者用真空热解质谱法测定了中国东部新生代碱性玄武岩及其幔源二辉橄榄岩捕虏体中的流体组成, 对比两者中的流体组分, 讨论了中国东部上地幔流体组成的特征和碱性玄武岩浆形成演化过程中的流体组分特征及其地质意义。

1 样品及实验方法

所用样品主要为碱性玄武岩及其中的幔源二辉橄榄岩捕虏体, 分别采自黑龙江地下森林, 吉林蛟河、辉南, 河北大麻坪, 山东大方山, 江苏六合方山, 浙江西堍及福建龙海、塔庄、明溪等地, 样品非常新鲜, 未发生蚀变。样品前处理同文献^[3], 首先破碎至 20~80 目, 用 3 mol/L 的 HCl 浸泡 12 h, 然后用蒸馏水在超声波池中反复清洗干净, 在 110℃ 下烘干, 再用 CH_2Cl_2 在超声波池中清洗 30 min, 在 100℃ 下烘干后用来测试。

气体组分测定装置由一个石英分解管和一个冷阱组成, 通过阀门与 MAT-271 型质谱计相连。首先将洗净后的样品加入石英分解管中, 在 200℃ 下抽真空后通高纯氧气 1 h, 然后真空去气 4 h, 静态真空度为 10^{-2} Pa, 并用停止抽真空 5 min 来检查吸附气释放的完全度; 此时关闭与质谱计相连的阀门, 把冷阱置于液氮中, 将炉温升至 1200℃, 恒温 3 h, 待样品中的气体释放完全后, 把冷阱换入酒精液氮中, 打开阀门把样品释放出的气体除去 H_2O 后直接导入

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号 49233060, 49133090)。

本文 1998 年 4 月收到, 9 月改回, 刘淑春编辑。

MAT-271 型质谱计中进行测量,分析结果中不同气体组分的相对误差同文献[3]。

2 结果与讨论

碱性玄武岩及幔源二辉橄榄岩捕虏体中流体组成的测定结果见表1,每个样品中氧化性气体(SO_2 、 CO_2)和还原性气体(H_2 、 CO 、 CH_4 、 H_2S)的相对百分含量用图1表示,从中可以看出中国东部新生代碱性玄武岩及幔源二辉橄榄岩捕虏体中的流体组分具如下特征。

表1 中国东部碱性玄武岩及二辉橄榄岩捕虏体中的流体组成(mol%, 不计 H_2O)

Table 1 The fluid compositions of alkali basalts and lherzolite xenoliths in eastern China (mol%, except H_2O)

编号	产地	岩石类型	H_2	CO	CH_4	H_2S	N_2	SO_2	CO_2	气量 $\mu\text{l/g}$
1	黑龙江五大连池	碱性玄武岩	41.50	7.77	1.80	0.03	0.98	20.68	27.58	121.1
2	吉林蛟河	碱性玄武岩	3.04	6.43	0.49	0.13	0.89	35.63	53.13	216.2
3	吉林辉南	碱性玄武岩	7.28	12.52	1.72	0.02	0.46	3.05	75.23	162.7
4	河北大麻坪	碱性玄武岩	0.54	12.29	0.50	0.22	1.69	21.56	59.65	256.3
5	山东大方山	碱性玄武岩	0.02	3.74	0.03	0.25	0.99	58.93	36.03	487.0
6	江苏六合方山	碱性玄武岩	0.69	5.10	0.74	0.01	3.69	14.22	75.25	198.2
7	浙江西垄	碱性玄武岩	0.06	2.51	0.001	0.26	1.57	63.76	31.88	328.9
8	福建龙海	碱性玄武岩	6.72	3.69	0.82	0.02	5.74	50.66	31.89	134.5
9	福建塔庄	碱性玄武岩	1.20	6.22	0.27	0.02	0.43	24.73	67.29	486.9
10	福建明溪	碱性玄武岩	0.02	0.93	0.11	0.0001	0.32	6.75	91.87	510.3
	平均		6.11	6.12	0.65	0.10	1.68	30.00	54.98	290.4
11	黑龙江五大连池	二辉橄榄岩	52.60	16.3	1.29	0.008	1.55	0.52	27.84	38.6
12	吉林蛟河	二辉橄榄岩	69.34	9.18	1.17	0.04	0.62	0.72	18.94	56.7
13	吉林辉南	二辉橄榄岩	66.84	19.30	1.61	0.37	0.97	0.52	10.39	62.0
14	河北大麻坪	二辉橄榄岩	41.75	25.58	1.45	1.18	2.23	0.74	26.42	63.6
15	山东大方山	二辉橄榄岩	30.25	48.40	0.32	0.53	1.15	0.09	19.26	47.0
16	江苏六合方山	二辉橄榄岩	6.61	3.69	1.02	0.008	2.25	5.33	80.48	48.8
17	浙江西垄	二辉橄榄岩	8.48	3.97	1.08	0.18	1.26	40.79	44.22	55.4
18	福建龙海	二辉橄榄岩	5.09	3.64	1.64	0.007	0.73	8.18	80.36	55.1
19	福建塔庄	二辉橄榄岩	49.31	21.62	1.24	0.02	0.26	0.05	27.50	96.7
20	福建明溪	二辉橄榄岩	79.09	12.03	0.72	0.08	0.58	0.79	6.71	63.5
	平均		40.84	16.37	0.15	0.24	1.16	5.77	34.21	58.7

2.1 流体组分特征

(1) 碱性玄武岩中流体组分以 CO_2 、 SO_2 为主, H_2 、 CO 、 CH_4 、 H_2S 和 N_2 为次要成分; 二辉橄榄岩捕虏体中的流体组分以 H_2 、 CO_2 、 CO 为主, SO_2 、 CH_4 、 H_2S 和 N_2 为次要成分。说明二辉橄榄岩捕虏体与寄主碱性玄武岩形成于不同的流体介质环境中, 二辉橄榄岩捕虏体形成于 H_2 、 CO 等还原性气体(平均 58.60%) 为主的流体介质中, 即中国东部上地幔流体组分以含 H_2 高、挥发性气体总量少(平均 58.73 $\mu\text{l/g}$) 为特征; 碱性玄武岩产生于 CO_2 、 SO_2 等氧化性气体(平均 84.98%) 为主的流体环境中, 以含 SO_2 高、挥发性气体总量多(平均 290.4 $\mu\text{l/g}$) 为特征, 区别于世界其他地区的玄武岩^[4~6]。

(2) 幔源二辉橄榄岩捕虏体中的流体组分因地而异, 表明中国东部上地幔在流体组成上的不均一性。明显地分为两类: 一类为五大连池、蛟河、辉南、大麻坪、大方山及塔庄、明溪等地的二辉橄榄岩捕虏体, 其流体组分含有较高的 H_2 、 CO 等还原性气体; 另一类为方山、西垄和龙

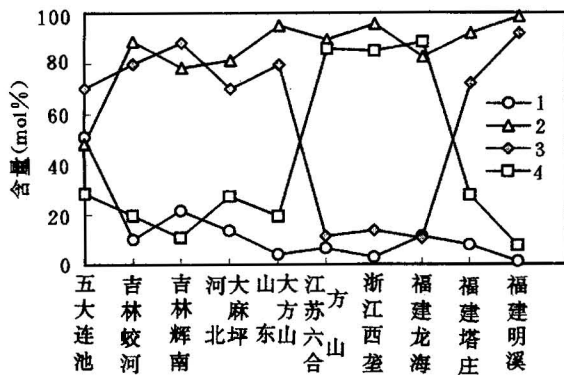


图1 碱性玄武岩及二辉橄榄岩捕虏体中流体组分的氧化还原特征示意图

Fig. 1 Redox features of fluid components in alkali basalts and lherzolite xenoliths

1—碱性玄武岩中的还原性气体(H_2 、 CO 、 CH_4 、 H_2S); 2—碱性玄武岩中的氧化性气体(SO_2 、 CO_2); 3—二辉橄榄岩中的还原性气体; 4—二辉橄榄岩中的氧化性气体

1—Reducing gases in alkali basalts; 2—oxidative gases in alkali basalts; 3—reducing gases in lherzolites; 4—oxidative gases in lherzolites

海等地的二辉橄榄岩捕虏体,其流体组分含有较高的 CO_2 、 SO_2 等氧化性气体,尤以 CO_2 的含量最高。可见前一类幔源二辉橄榄岩捕虏体形成于相对还原环境中,这与其氧逸度的计算结果相一致^[7],在其演化历程中经历过 H_2 含量较高的流体介质环境^[8]。后一类幔源二辉橄榄岩捕虏体在地幔上隆冷却过程中经历过氧逸度较高的地幔流体交代作用事件,如西垄的二辉橄榄岩捕虏体为退化的石榴石二辉橄榄岩证明了这一点;而六合方山位于混杂地幔区^[1],介于华南、华北两大陆块之间,海西期至印支期间扬子板块与中朝板块的拼合离散造成该区上地幔的混杂,并有古俯冲带物质的再循环^[1,9],这些地质事件可能改变了该区地幔岩中的流体组分;福建龙海牛头山二辉橄榄岩捕虏体中较高的氧化性气体含量可能与太平洋板块俯冲造成的地壳物质再循环有关。

(3) 碱性玄武岩中的流体组成受上地幔源区部分熔融程度、地幔交代作用、壳源混染及岩石结晶程度等因素的控制^[10]。其中的流体组分在一定程度上反映了这些深部地质作用的强弱,随各地碱性玄武岩与其幔源二辉橄榄岩中流体组分总含量差值(Δ)的增加,碱性玄武岩中 CO_2 、 SO_2 等氧化性气体的含量随之增大,而 H_2 、 CO 、 CH_4 、 H_2S 等还原性气体(特别是 H_2)的含量随之降低,如图2所示。已有的研究表明^[2],碱性玄武岩中的幔源二辉橄榄岩捕虏体为上地幔岩的残留体,故 Δ 值可代表碱性玄武岩浆形成演化过程中外来流体加入量的最小值,它在一定程度上反映了交代作用、壳源混染的强弱。因此推论,随交代作用的加强,壳源混染作用的增高,碱性玄武岩中的氧化性气体(CO_2 、 SO_2 等)随之增高,而还原性气体(H_2 、 CO 等)随之降低。碱性玄武岩中 CO_2 的氧同位素也表现出类似的规律^①。如五大连池的 Δ 值最低,其 H_2 、 CO 的含量最高,说明其交代作用、壳源物质的混染程度较低, Sr 、 Nd 、 Pb 、 O 同位素的研究结果也证明其岩浆基本未受地壳物质混染^[11]。而沿庐断裂带分布的碱性玄武岩中, Δ 值和氧化性气体 CO_2+SO_2 的含量均较高, $\delta^{18}O_{CO_2}$ 值也较大^[9],反映了陆下地幔交代作用和地壳物质再循环对流体组分的影响。

2.2 流体组分的分区特征

中国东部新生代玄武岩的微量元素、REE和Sr-Nd-Pb同位素的研究结果表明,中国东部陆下上地幔具明显的化学非均一性和区域性特征^[1,12],碱性玄武岩及其二辉橄榄岩捕虏体中的流体组成可能受相同因素的制约,也表现出类似特征;从现有数据初步划分出如下几个不同区域。

① 张铭杰. 中国东部新生代碱性玄武岩及幔源岩包体中的流体组成和稳定同位素地球化学特征. 中国科学院兰州地质研究所博士论文. 1998.

(1) 五大连池碱性玄武岩及二辉橄榄岩捕虏体中的流体组分均以含 H_2 、 CO 高, SO_2 含量低和流体挥发份总量低为特征。说明在上地幔部分熔融形成碱性玄武岩浆后, 岩浆没有经历地壳岩浆房演化阶段, 演化时间短, 壳源混染很低^[11], 直接从上地幔源区喷出地表, 形成一些玻璃质、炉渣状岩石; 且由于部分熔融程度低, 造成强不相容元素 K_2O 的富集^[10]。

(2) 大麻坪、辉南、蛟河等地的碱性玄武岩及其二辉橄榄岩捕虏体的流体组分表现出明显的差异。碱性玄武岩中的流体组分以 CO_2 、 SO_2 为主要成分, CO 、 H_2 含量较低, 挥发份总量较高; 而二辉橄榄岩捕虏体中的流体组分则以 H_2 、 CO 等还原性气体为主, SO_2 的含量低, 挥发份总量低。反映出碱性玄武岩浆在上地幔部分熔融形成原生玄武岩浆后, 经历了一定阶段 f_{O_2} 较高的演化阶段, 即在喷出地表之前经历了上地幔上部或下地壳(?) 岩浆房的演化阶段^[2]。

(3) 明溪、塔庄的碱性玄武岩及其二辉橄榄岩捕虏体中的流体组成类似于大麻坪、辉南、蛟河等地的碱性玄武岩及其二辉橄榄岩捕虏体的流体组分, 但以碱性玄武岩中的流体挥发份总量及 Δ 值最高为特征, 说明这些地区的碱性玄武岩在其形成过程中外来流体的加入量较大。

(4) 六合方山、西莒及龙海等地的碱性玄武岩及二辉橄榄岩捕虏体的流体组分均以氧化性气体 CO_2 、 SO_2 为主, 反映出这些地区的上地幔受地幔对流、地壳物质再循环等地质事件的影响, 造成其地幔流体组分以富含氧化性气体为特征, 区别于其他地区。

3 结论

通过上述讨论初步认为, 中国东部地幔流体以 H_2 、 CO 、 CO_2 等为主组成的还原性流体, 以含 H_2 高、挥发性气体总量低为特征, 不同地区在地幔上隆形成二辉橄榄岩捕虏体过程中经历了不同的构造演化历程, 导致其流体组分相对含量的变化。碱性玄武岩形成于相对氧化的流体环境中, 在地幔岩部分熔融形成碱性玄武岩浆及后来的演化过程中有 SO_2 等为主的外来氧化性流体的加入, 造成碱性玄武岩中流体组分具 SO_2 和挥发性气体总量较高的特征。不同地区的碱性玄武岩因源区流体组分的差异和演化过程中外来流体加入的不同, 形成其流体组分相对含量的差异, 碱性玄武岩中的流体组成可反映其所经历深部地质作用的强弱。纵观研究区内碱性玄武岩和幔源二辉橄榄岩捕虏体中的流体组分表明, 中国东部上地幔流体具明显的不均一性, 在中国东部大陆上地幔范围内曾经存在 P_{H_2} 较高的区域。

在本项研究过程中, 中国科学院地球化学研究所谢鸿森研究员和核工业总公司北京地质研究院杜乐天研究员提供了部分样品; 中国科学院兰州地质研究所气体地球化学国家重点实验室文启彬研究员在实验中给予了大力的帮助与指导, 在此致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 刘若新, 樊祺诚, 林卓然. 地幔流体及幔源岩石地球化学. 见: 杜乐天等编. 地幔流体与软流层(体)地球化学. 北京: 地质

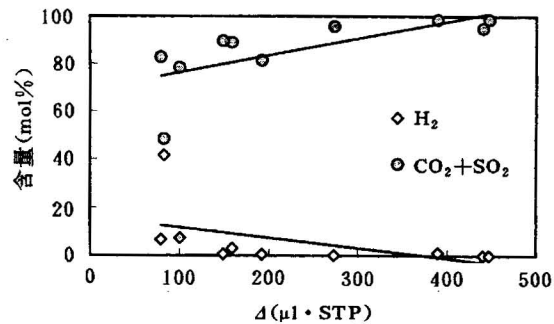


图2 碱性玄武岩中 H_2 和 CO_2+SO_2 含量与 Δ 值关系示意图

Fig. 2 Relationship between Δ with the contents of H_2 and CO_2+SO_2 in alkali basalts

- 出版社,1996.26~57.
- 2 池际尚. 中国东部新生代玄武岩及上地幔研究(附金伯利岩). 武汉:中国地质大学出版社,1988.128~200.
 - 3 刘刚,王先彬,李立武. 张家口大麻坪碱性玄武岩内地幔岩包体气体成分的初步研究. 科学通报,1996,41(19):1775~1777.
 - 4 Byers C D, Garcia M O, Muenow D W. Volatiles in pillow rim glasses from Loihi and Kilauea volcanoes. Hawaii, *Geochim. Comochim. Acta*, 1985,49:1881~1896.
 - 5 Charles D B, Michael O G, David W M. Volatiles in basaltic glasses from the East Pacific Rise at 21°N; implication for MORB sources and submarine lava flow morphology. *Earth and Planetary Science Letters*, 1986,79:9~20.
 - 6 Javoy M, Pineau F. The volatiles record of "popping" rock from the Mid-Atlantic Ridge at 14°N; chemical and isotopic composition of gas trapped in the vesicles. *Earth and Planetary Science Letters*, 1991,107:598~611.
 - 7 张毅刚,鄂莫岚. 中国东部新生代玄武岩及其地幔包体的氧逸度. 岩石学报,1994,10(2):161~170.
 - 8 Skogby H, Rossman G R. OH⁻ in pyroxene: an experimental study of incorporation mechanisms and stability. *Amer. Miner.*, 1989, 74:1059~1069.
 - 9 王德滋,任启江,邱检生. 中国东部橄榄安粗岩的火山岩特征及其成矿作用. 地质学报,1996,70(1):23~24.
 - 10 张铭杰,王先彬,刘刚. 中国东部新生代碱性玄武岩中的流体组分及碳、氧同位素特征. 地球化学,1998,27(5):452~457.
 - 11 夏林圻. 论五大连池火山岩浆演化. 岩石学报,1990,7(1):13~29.
 - 12 Basu A R, Wang J, Huang W. Major element, REE, and Pb, Nd and Sr isotopic geochemistry of Cenozoic Volcanic rocks of eastern China; implications for their origin from suboceanic-type mantle reservoirs. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1991, 105:149~169.

The Composition of the Fluids in Alkali Basalts and Mantle-Derived Xenoliths in Eastern China

Zhang Mingjie, Wang Xianbin, Liu Gang and Li Liwu

(State Key Laboratory of Gas Geochemistry, Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, 730000)

Abstract

The components of the fluids released from alkali basalts and mantle-derived lherzolite xenoliths in eastern China have been determined by the vacuum pyrolysis-mass spectrometric (MS) method in the present study. The results show that mantle-derived lherzolites formed in fluids composed mainly of reducing gases such as H₂ and CO, and their fluid composition is characterized by a higher H₂ content and a lower total content of volatiles. The fluids in alkali basalts are composed mainly of oxidizing gases such as CO₂ and SO₂ and characterized by higher contents of SO₂ and volatiles, implying that the extraneous oxidized fluids which are composed mainly of SO₂ mixed with primary alkali basaltic magmas during their formation and evolution. The fluid compositions of alkali basalts and lherzolite xenoliths show high nonhomogeneity in the upper mantle source region and difference in alkali basaltic magma evolution in different districts. It can be deduced that the regions with higher P_{H₂} could exist in the upper mantle beneath eastern China.

Key words: fluid composition; alkali basalt; lherzolite xenolith; eastern China

作者简介

张铭杰,男,1965年生。1990年于兰州大学地质系获硕士学位,1998年于中国科学院兰州地质研究所获博士学位。现任兰州大学地质系讲师,从事地球化学教学与研究工作。通讯地址:730000,兰州大学资源环境学院地质系。