

地幔捕虏体中的流体-熔体包裹体

刘艳¹, 徐九华¹, 储雪蕾^{2,3}

(1. 北京科技大学 资源工程学院, 北京 100083; 2. 中国科学院 矿物资源
探查研究中心, 北京 100101; 3. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要:地幔流体的研究现已成为国内外前沿课题。地幔岩捕虏体中的流体-熔体包裹体是地幔流体的直接证据,通过对它们的研究可以直接获取地幔流体的信息。包裹体按相态特征主要有三类:二氧化碳流体包裹体、二氧化碳-硅酸盐熔体包裹体、硫化物-熔体流体包裹体。本文总结了地幔岩中流体-熔体包裹体的基本特征、微量元素地球化学、硫化物-熔体包裹体和二氧化碳流体包裹体稳定同位素特征的研究进展状况。讨论认为:地幔流体是由C、H、O、S等元素的挥发份和硅酸盐熔体组成;上地幔流体在化学成分上明显富含CO₂、硫化物、LILE和REE,它引起地幔交代作用和地幔部分熔融;上地幔流体的分布存在不均匀性,其组成也存在地区性差异。

关键词:地幔捕虏体 流体-熔体包裹体 研究进展

中图分类号: P588.14⁺ 5 P599 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2000)03-0188-05

人类对地球内部的认识,最初来自地震波随深度的变化和某些深度上的不连续性,产生了对地球内部的主要分层认识。20世纪50年代,开始通过源于上地幔的橄榄岩捕虏体和岩浆岩来直接研究上地幔,60年代国际上地幔研究计划和80~90年代国际岩石圈动力学计划的提出和实施促进了对上地幔的认识和研究。自70年代以来,我国学者通过对中国东部新生代火山岩及其中的地幔岩捕虏体的岩石学、地球化学、地幔流体地球化学以及地幔流变学研究,也取得了大量宝贵的有关我国东部大陆上地幔的信息^[1]。

随着研究深层次的展开,中外学者现在已达成一个基本的共识:发生于地壳中的所有物质和能量运动都是上地幔软流层(体)活动的派生现象;地壳运动和作用的真正决定因素并非固体而是流体^[2]。近年来研究结果证明,岩浆乃是地球深部流体与固相地幔岩石和地壳岩石相互反应的派生产物,地幔岩浆和地壳岩浆是地球内部整个岩浆体系不可分割

的深浅组成部分,共同受地幔流体活动和反应的控制^[3]。

目前普遍认为,以火山活动或构造活动方式被搬运到地壳上部的某些超镁铁质岩,可视为来自上地幔的岩石样品。它们包括赋存于金伯利岩和碱性镁铁质-超镁铁质熔岩及碎屑岩中的石榴石二辉橄榄岩、尖晶石二辉橄榄岩以及少量的石榴石辉石岩和榴辉岩等捕虏体,某些超镁铁质深成岩体,以及紧密地与富石榴石的橄榄岩体伴生在高级变质基底杂岩中的榴辉岩块体^[4]。在捕虏体地幔矿物中,不少含有流体-熔体包裹体,它们是研究地幔流体性质的很好的地质样品^[5]。通过对流体-熔体包裹体及流体的研究可以探讨上地幔演化、软流层及大陆动力学等有关问题。

1 二氧化碳流体-熔体包裹体研究

在组成上地幔橄榄岩的橄榄石、单斜辉石、斜方辉石及角闪石等主要矿物中均发现流体-熔体包裹

体^[6]。通过对其基本特征,包括流体-熔体包裹体出现的寄主矿物类型、包裹体形态、分布、成分,以及类型、填充物相态、类型与组成等研究,可以确定包裹体的成因并探讨地幔流体的性质。

在对世界 72 个地区玄武岩的纯橄榄岩、橄榄岩、辉石岩及辉长质岩石捕虏体的研究中, Roedder^[7]在 1965 年首次报道在地幔捕虏体中发现有原生和次生二氧化碳流体包裹体存在,并且指出这类流体包裹体一般都含有玻璃相,其 CO_2 密度为 0.7 至 0.89 g/cm³。夏林圻^[8]1984 年首次对我国新生代玄武岩中橄榄岩捕虏体的二氧化碳流体包裹体做了报道。在江苏省六合县、河北省张家口两个碱性玄武岩内二辉橄榄岩捕虏体中,观察到二氧化碳流体包裹体,并根据填充物的性质把包裹体分为二氧化碳包裹体和含二氧化碳熔融包裹体;根据包裹体在主矿物中分布的位置及其形态特征又分为早期包裹体和晚期包裹体;测得早期包裹体的均一温度为 23.5~44.6,晚期包裹体为 29.9~19.7;据此计算包裹体的形成温度为 1 260~1 300 和捕获时压力为 90~1 330 MPa。电子探针分析表明,加热均一后包裹体中均一的玻璃充填物的化学成分与碱性玄武岩的成分相当,而未经均一的包裹体中子矿物的化学成分是经受了一定程度结晶作用后的残余熔体。刘英俊等^[9]初步研究了我国东部新生代玄武岩中橄榄石和辉石内的包裹体,系统分析了包裹体的相态特征、相比例和成分,并以此为依据把包裹体划分为固体包裹体和熔融包裹体两大类。成岩温度测定结果表明,不同产地的玄武岩形成温度不同。熔融包裹体分析发现,它所捕虏的熔融体物质与原岩岩浆成分一致,且具早期岩浆的性质。彭礼贵^[10,11]报道了新疆西准噶尔阿尔卑斯型橄榄岩中全晶化硅酸盐包裹体,其中的硅酸盐矿物种类和化学成分均与寄主岩石(二辉橄榄岩或方辉橄榄岩)相当,表明其硅酸盐熔体为超镁铁质的,并认为,如果这类包裹体可以用来表明地幔橄榄岩曾经历过岩浆阶段,则多半是地幔岩石中保存的一种古老的原生包裹体。夏林圻、曹荣龙^[12]研究了浙江西莒地区橄榄霞石岩中所含退化石榴子石二辉橄榄岩捕虏体中的二氧化

碳流体(及岩浆)包裹体,指出上地幔中富二氧化碳流体相与熔体相共存,在流体中除 CO_2 外,尚有少量 H_2O 、 CH_4 、 H_2 、 N_2 、 SO_2 和 C_2H_6 ;岩浆包裹体均一后,其化学成分具有由地幔岩部分熔融产生的、但未演化的原生岩浆的特点。夏林圻等^[13]依据幔源二辉橄榄岩捕虏体的岩石学特征、包裹体特征及其矿物成分,初步研究了安徽女山幔源二辉橄榄岩中的地幔流体的性质和作用。研究结果表明,初始的地幔流体除富含 CO_2 外,尚含有 H_2O 和少量 CO 、 CH_4 、 S 、 Cl 、 F ,此流体在深部溶解于地幔橄榄岩的高压固体矿物相中,地幔上隆减压条件下出溶,形成细小的最早期流体包裹体。这些自由流体相在一定部位聚集,使得地幔固相线(和液相线)下降,引起上地幔发生减压部分熔融。最初的部分熔融主要发生于矿物边界,形成矿物边缘的海绵状部分熔融带。在剪切流动中,熔体珠滴联合,扩大并相连成脉状网络,晚期二氧化碳岩浆包裹体和填隙玻璃即为其代表。由于剪切作用,熔体由岩墙状通道在上地幔某些低压区汇集成岩浆库。刘若新等^[14,15]初步研究了东南沿海地区新昌和明溪两地的二氧化碳流体包裹体,分析了包裹体的成分及性质,也指出上地幔流体的主要成分为 CO_2 ,其余组分呈现出地区间的不均一性,岩浆包裹体是在地幔结晶过程中被包裹于矿物晶体中并保存至今,晶质子矿物种类、百分含量大体相当于地幔岩主矿物,具有原始地幔岩浆特点。温压测定表明,包裹体被捕获的深度超过 40 km。他们基于玻璃包裹体的电子探针分析,证实了地幔存在一种富 SiO_2 和 K 、 Na 的中-酸性硅酸盐岩浆,这表明中国东部大陆岩石圈地幔可能存在迁移性很强的富硅、碱硅酸盐交代流体,极大影响了上地幔的地球化学状态^[16]。

2 流体-熔体包裹体的微量元素研究

地幔橄榄岩流体包裹体中微量元素及稀土元素的分析数据还比较少。刘若新等^[17]基于激光探针二次离子质谱对地幔橄榄岩中单个二氧化碳流体包裹体进行爆破分析,发现富含二氧化碳流体包裹体的橄榄岩及其矿物与不含二氧化碳流体包裹体样品

中的稀土元素含量相差很大,高出数倍到数十倍,轻稀土富集和 CO_2 关系密切。并认为现在所看到的不同地球化学特点的地幔橄榄岩,实际上是经历了从原始地幔阶段到以后的多次作用叠加的结果,是多体系的混合物。樊祺诚等^[18]对富含二氧化碳流体包裹体和不含二氧化碳流体包裹体的全岩和单矿物稀土元素进行中子活化分析,进一步证实 LREE 在二氧化碳流体包裹体中的富集,并指出富 LREE 的地幔流体向岩石圈地幔渗透引起了地幔交代作用与富集作用,并可能导致地幔部分熔融的发生。周德进等^[19]进行的雷琼地区新生代玄武岩中地幔捕虏体的单矿物稀土元素中子活化分析,对比同一地幔捕虏体中含包裹体与不含包裹体相同矿物的微量元素组成,发现雷琼地幔矿物中的流体-熔体包裹体富含 REE 尤其是 LREE;也发现不同产地的地幔捕虏体不同矿物中包裹体的丰度及其 REE 含量有明显差异,这表明地幔流体本身存在不均一性。

微量元素的研究发现二氧化碳流体包裹体中富集不相容元素,橄榄岩 LREE 的富集程度与其中所含二氧化碳流体包裹体的密度呈正相关关系;富含二氧化碳流体包裹体的橄榄岩捕虏体和其中的单矿物和不含二氧化碳流体包裹体的橄榄岩捕虏体相比,前者 REE 总量明显高于后者,且高度富集 LREE, $\text{LREE}/\text{HREE} > 1$ 。这表明地幔流体富集 REE,尤其是富集 LREE,因此地幔的交代作用是由地幔流体造成的,甚至可能造成地幔的部分熔融。另外,地幔流体的分布是很不均匀的。

3 硫化物熔体包裹体研究

硫化物熔体包裹体是指在地幔矿物中被捕获的、与硅酸盐熔体相共存并有出溶硫化物相的那些包裹体。国内外这方面的研究还比较薄弱,近来日益受到重视,因为它对全面认识地幔流体的性质,地幔流体对金属成矿物质的搬运、富集和成矿作用都有重要意义。

黄婉康^[20]报道了我国一些地区玄武岩包裹的辉石巨晶中的硫化物球泡(0.02~0.05 mm)呈点阵式、散布式、定向带状或微裂隙羽状分布。硫化物矿物的组合是磁黄铁矿-镍黄铁矿-黄铜矿,其中以磁

黄铁矿为主(约 90%)。根据硫化物的规则排布及高温矿物组合推测点阵式、散布式硫化物形成于地幔,是溶解了约 1% 硫的硅酸盐熔体在上升过程中析出饱和的硫所致。刘若新等^[25]对福建明溪等地地幔捕虏体中流体包裹体内玻璃相的透射电镜分析,发现了包裹体中的亚微米级多种硅酸盐玻璃和硫化物,硫化物为 Fe-Ni-S 系的镍黄铁矿,不同包裹体中硫化物成分变化不大,并提出地幔流体成因演化的初步设想:早期 CO_2 、硅酸盐和硫化物的不混溶

硅酸盐和硫化物的局部混溶 晚期硅酸盐分离结晶。徐九华等^[26,27]初步研究了河北省汉诺坝和浙江新昌地幔捕虏体中的硫化物包裹体。对玄武岩中二辉橄榄岩等捕虏体的地幔矿物中硫化物熔体包裹体的电子探针分析查明了硫化物包裹体的主要成分为镍黄铁矿,其次为磁黄铁矿,其 Ni/Fe 比值与原寄生地幔岩有关。同一包裹体的硫化物相成分不均一,自中心至边缘硫化物的 Ni/Fe、(Fe + Ni)/S 值和 Ni 含量均呈增加趋势;区域对比分析表明硫化物包裹体成分存在差异。二氧化碳包裹体的激光喇曼探针表明硫($\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2$)在气相中含量普遍高于 20% (摩尔百分数),是硫化物熔体包裹体大量出现的原因之一。储雪蕾等^[28]认为中国东部新生代碱性玄武岩中巨晶、辉石岩和橄榄岩等地幔捕虏体的硫化物包裹体在矿物和化学组成上主要受两方面控制:一是接近上地幔平均硫丰度的熔体在冷却期间受 Fe-Ni-S 体系相图变化的制约;二是地幔部分熔融造成的熔体与残余地幔岩之间的 Fe/Ni 比值变化,即 Ni 在橄榄石和辉石中分配系数的差异所控制。

Szabo 等人^[21-24]对 Nograd-Gomor 火山玄武岩中上地幔捕虏体中流体包裹体的研究表明,大多数硫化物包裹体和混合包裹体(硫化物+玻璃,硫化物+玻璃+ CO_2)都是呈无规律蠕虫状出现在愈合的破碎带中,一般原始成因的纯硫化物包裹体呈大的孤立状,小的球形和圆锥形纯硫化物颗粒也可能出现在上地幔捕虏体的边界。硫化物包裹体成分主要为镍黄铁矿和单硫化物固熔体(Mss),少量为黄铜矿, Ni/Fe 值为 0.16~2.67。Shaw^[29]对德国 West Eifel 地幔捕虏体的研究反映出尖晶石二辉橄榄岩的硫化物包裹体 Ni/Fe 值为 0.36~0.81,橄榄辉石岩的为 0.24~0.33,

而单斜辉石岩的为 0.008~0.061。辉石岩远比橄榄岩贫 Ni。Guo 等人^[30]对中国广东麒麟地区的地幔矿物硫化物包裹体研究也表明,橄榄岩中硫化物包裹体比辉石岩中的富 Ni、Cu 和 PGE,前者以镍黄铁矿为主,而后者以磁黄铁矿为主。

硫化物包裹体研究表明:地幔是一个重要的硫的源区,地幔矿物中捕获的硫化物包裹体代表了与硅酸盐玻璃共生的熔体中的硫,它的出溶反映了熔体中硫的过饱和和与硅酸盐熔体的不混溶现象。说明地幔流体广义上应该包括熔体,这种地幔流体为富 C、O、H、S 等挥发组分的硅酸盐熔体。在上升过程中,由于温度和压力的下降硅酸盐达到饱和,就可以出现硅酸盐玻璃和(或)子矿物。同样,达到硫饱和时就会出现出溶的硫化物,因此随出溶温度变化出溶的硫化物成分也呈有规律的变化。

4 二氧化碳包裹体的稳定同位素研究

富 CO₂ 的流体在地幔各种过程中起重要作用,对 CO₂ 稳定同位素研究有助于揭示地幔流体的来源和演化。Nadeau 等^[31]发表了北美大陆板块西北缘上地幔超镁铁质捕虏体的碳同位素数据,他们采用在一定的氧分压(由加热至 950 的 CuO 提供)下的分步加热爆裂,以 200 为间隔,最高到样品几乎熔融的 1400 以上(加助熔剂)。他们认为不同温度提取的 CO₂ 实际反映了地幔捕虏体中不同形式的含碳物质,低于 800 提取的具较大负值(-28‰~-23‰)的碳是地幔岩矿物表面和裂隙间的石墨和有机物称为 LC,即同位素轻的碳;而高于 800 提出的 CO₂ 主要来自地幔矿物中的流体包裹体,¹³C 值为 -4‰~-10‰。

储雪蕾等^[32,33]对中国东部新生代玄武岩中超镁铁质捕虏体的二氧化碳包裹体的碳同位素初步研究表明,这些捕虏体捕获的流体的 CO₂ 碳同位素组成差别很大,由 -9.9‰到 -35.7‰。他们认为地幔流体的碳同位素组成变化远远超过 -2‰~-10‰,这可能反映了地球深处的流体的碳同位素组成的不均一。张铭杰、刘刚等^[34,35]利用热分解质谱法测定了中国东部新生代玄武岩中流体挥发份的组成,测定

了不同温度释放的 CO₂ 气体碳、氧同位素比值。结果表明:¹³C 值的分布范围较大(-4.7‰~-35.6‰),主要分布在 -17.0‰~-28.0‰;¹⁸O 值具有明显的地区差异性,同一产地的样品在不同温度点释放的 CO₂ 的 ¹⁸O 值也明显不同。汉诺坝包体中 CO₂、CO 和 CH₄ 碳同位素组成测定结果表明,在 400~1140 时 CO₂ 和 CO 的 ¹³C 值为 -22‰~-27‰,CH₄ 的 ¹³C 值为 -30‰~-50‰,这可能反映了该地区上地幔部分熔融作用产生的岩浆经多阶段去气作用后的残余 CO₂、CO 和 CH₄ 的碳同位素组成;表明中国东部上地幔源区的不均一性和大陆裂谷玄武岩在演化过程中可能存在的壳幔交代作用。

二氧化碳流体包裹体碳稳定同位素分析表明,上地幔 ¹³C 值变化范围很大,为 -2‰~-36‰,这可能说明地幔碳同位素存在大范围非均一性。这种不均一性是由于原始地幔碳同位素本身不均一,还是由于地幔去气造成,或是由于俯冲作用造成表生的有机碳污染?以哪种因素为主,目前还没有一致的看法。

从地幔捕虏体中观察到的流体-熔体包裹体来看,不应把地幔流体研究局限于气、液成分,尽管流体包裹体中的气、液组分是地幔流体重要组成。越来越多的国内外学者认识到包括熔体和硫化物相的流体-熔体包裹体反映了地幔流体基本特征。看来,Roedder 定义^[5]的上地幔流体是正确的,它应该由挥发分和熔体组成,主要由 CO₂、硅酸盐和硫化物熔体等构成。上地幔的流体在成分上也明显富含 LILE 和 REE。

上地幔流体分布很不均匀。实际上各处的流体组成也会有很大的变化,而且流体本身在运动过程中也在演变,成分在不断变化。我们在地幔捕虏体中所观察到的流体-熔体包裹体的变化反映了流体运动期间的混溶和不混溶,即使在流体被捕获及其后的上升冷却过程中它们也会发生相变化。地幔捕虏体中的流体-熔体包裹体实际记录了上地幔流体的活动和踪迹,是我们研究上地幔流体和各种地幔作用(如地幔交代等)的窗口,因此越来越受到人们的重视。

参考文献:

- [1] 刘若新. 中国东部大陆上地幔的基本状况[J]. 地球物理学进展, 1994, (4): 40~52.
- [2] 杜乐天. 地幔流体研究的某些新进展[J]. 矿物岩石地球化学通讯, 1993, (1): 38~40.
- [3] 中国地球物理学会流体科学委员会. 我国地幔流体研究与展望[J]. 地球物理学报, 1997, 40(增刊): 60~70.
- [4] 鄂莫岚, 赵大升. 中国东部新生代玄武岩及深源岩石包体[J]. 北京: 科学出版社, 1987. 1.
- [5] Roedder E. Fluid Inclusion[M]. Mineral. Soc. Am. Rev. Mineral., 1984. 12.
- [6] 赵海玲. 上地幔岩石学和地球化学的新进展[J]. 地球科学, 1993, (4): 517~521.
- [7] Roedder E. Liquid CO₂ inclusion in olivine-bearing and phenocrysts from basalts[J]. Am. Mineral., 1965, 50: 1746~1786.
- [8] 夏林圻. 我国六合、张家口碱性玄武岩内橄榄岩包体中的高密度二氧化碳流体包裹体[J]. 矿物学报, 1984, (3): 133~143.
- [9] 刘英俊, 李兆麟, 吴启志, 等. 中国东部若干玄武岩矿物中包裹体研究[J]. 地球化学, 1985, (3): 216~226.
- [10] 彭礼贵. 阿尔卑斯型超基性岩矿物中硅酸盐熔体包裹体的发现及其地质意义[J]. 科学通报, 1986, (4): 293~297.
- [11] 彭礼贵. 蛇绿岩中上地幔构造橄榄岩成因——岩浆包裹体证据. 中国上地幔特征与动力学论文集[M]. 北京: 地震出版社, 1990. 151~156.
- [12] 夏林圻, 曹荣龙. 浙江西堃地区上地幔流体的性质的研究[J]. 科学通报, 1990, (11): 844~847.
- [13] 夏林圻, 夏祖春, 张诚. 上地幔流体的性质和作用——从女山幔源二辉橄榄岩捕虏体获得的证据[J]. 西北地质, 1992, 13(2): 7~20.
- [14] 刘若新, 樊祺诚, 彭礼贵, 林卓然. 地幔流体包裹体——地幔部分熔融和化学非均一性的新证据[A]. 中国新生代火山岩年代学与地球化学[C]. 北京: 地震出版社, 1992. 392~399.
- [15] 樊祺诚, 刘若新, 彭礼贵. 我国东南沿海地区地幔流体性质及其意义[J]. 科学通报, 1992, (17): 1584~1587.
- [16] 樊祺诚, 刘若新, 徐平, 林卓然. 中国东部大陆地幔存在中酸性硅酸盐熔体[J]. 科学通报, 1996, (16): 1535~1536.
- [17] 刘若新, 林卓然, 樊祺诚. 地幔橄榄岩流体包裹体中的微量元素[J]. 岩石学报, 1992, 8(2): 185~188.
- [18] 樊祺诚, 刘若新, 杨瑞英. 地幔橄榄岩矿物中富稀土元素的CO₂流体包裹体及其地球化学意义[J]. 岩石学报, 1993, 9(4): 411~415.
- [19] 周德进, 鄂莫岚, 徐平. 雷琼新生代玄武岩中地幔岩包体矿物中的流体——熔体包裹体的REE组成特征[J]. 岩石学报, 1995, 11(4): 434~440.
- [20] 黄婉康. 辉石巨晶中的硫化物及其成因[J]. 矿物学报, 1987, 7(2): 121~127.
- [21] Szabo Cs, Bodnar R J. Fluid inclusion in mantle xenolith from Nograd-Gömr volcanic Field (North Hungary/South Slovakia) (abst.) [A]. PACROFI IV[C], 1992. 80.
- [22] Szabo Cs, Bodnar R J. Fluid inclusion in olivines and clinopyroxenes of alkali basalts from Nograd-Gömr volcanic Field (North Hungary/South Slovakia) (abst.) [A]. IAVCEI[C], 1993. 111.
- [23] Szabo Cs, Bodnar R J. Sulfide inclusions in Crdiopside xenoliths from alkali basalts and bansanites, Nograd-Gömr volcanic Field (North Hungary/South Slovakia) (abst.) [A]. IMA[C], 1994. 4-9.
- [24] Szabo Cs, Solberg TN, Bodnar RJ. Geochemical study of silicate melt inclusions in upper mantle xenolith from Nograd-Gömr volcanic Field (North Hungary/South Slovakia) (abst.) [A]. PACROFI IV[C], 1994. 103.
- [25] 刘若新, 樊祺诚, 林卓然, 等. 地幔流体包裹体中的多种固相充填物的发现及其意义[J]. 科学通报, 1993, 38(23): 2177~2180.
- [26] 徐九华, 储雪蕾, 邹一民, 杜元福. 汉诺坝地幔捕虏体中的硫化物包裹体[J]. 科学通报, 1998, 43(13): 1438~1442.
- [27] 徐九华, 储雪蕾, 谢玉玲, 等. 浙江新昌地幔岩捕虏体中的硫化物包裹体初步研究[J]. 地质论评, 1999, 45(6): 640~645.
- [28] 储雪蕾, 徐九华, 赵善仁. 地幔矿物中硫化物熔体包裹体的成因[J]. 地球物理学报, 1998, 41(增刊): 153~160.
- [29] Shaw CJ S. Origin of sulfide blebs in metasomatized mantle xenoliths, quaternary West Eifel volcanic field, Germany [J]. Canadian Mineralogist, 1997, 35: 1453~1463.
- [30] Guo J, Griffin WL, O'reilly S Y. Geochemistry and Origin of sulfide minerals in mantle xenoliths, Qilin, Southeastern China [J]. J. anr. Petrol, 1999, 40(7): 1125~1149.
- [31] Nadeau S, Pineau F, Javoy M, et al. Carbon concentrations and isotopic ratios in fluid-inclusion-bearing upper-mantle xenoliths along the north-western margin of North America [J]. Chem. Geol., 1990, 81: 271~297.
- [32] 储雪蕾. 地幔的碳同位素[J]. 地球科学进展, 1996, 11(5): 446~452.
- [33] 储雪蕾, 樊祺诚, 刘若新, 霍卫国. 中国东部新生代玄武岩中超镁铁质的CO₂包裹体的C、O同位素初步研究[J]. 科学通报, 1995, 40(1): 62~64.
- [34] 刘刚, 王先彬, 文启彬. 张家口大麻坪碱性玄武岩内深源包体流体的碳同位素组成[J]. 科学通报, 1998, 43(19): 2098~211.
- [35] 张铭杰, 王先彬, 刘刚, 文启彬, 李斌. 中国东部新生代碱性玄武岩中的流体组成及其C、O同位素地球化学特征[J]. 地球化学, 1998, 27(5): 452~457.

Fluid-Melt Inclusions in Mantle Xenoliths

LIU Yan¹, XU Jiu-hua¹, CHU Xue-lei^{2,3}

(1. School of Resource Engineering, University of Science and Technology of Beijing, Beijing 100083, China; 2. The Research Center of Mineral Resources Exploration, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China, 3. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The research of mantle fluids has become a significant geological project. Fluid-melt inclusions in mantle xenoliths bear the direct evidence of mantle fluids. We can obtain some information about mantle fluids by studying these inclusions. There are three typical fluid-melting inclusions in mantle xenoliths, i. e., CO₂ fluid inclusions, CO₂-melt inclusions, and sulfide-melt inclusions, according to observations in the past many years. In the paper, we summarize the advances in studies of the character of fluid-melt inclusions, trace elements of inclusions, sulfide-melt inclusions and the stable isotopic character of CO₂-fluid inclusions. We discuss and believe that mantle fluids are mainly composed of volatiles, sulfides, and silicate melt. Mantle fluids are apparently abundant in CO₂, sulfides, LILE and REE, and they cause mantle metasomatism and partial melt. Distribution mantle fluids of is inhomogeneous and their components are also different in zone.

Key words: mantle xenolith; fluid-melt inclusion; advances in researches