

# 地幔岩中硅酸盐玻璃相成分 及其成矿意义\*

## Discussion About Mantle Mineralizing Based on Characteristics of Silicate Glass Composition in Mantle Rock

谢玉玲<sup>1</sup> 徐九华<sup>1</sup> 储雪蕾<sup>2</sup> 王立权<sup>1</sup> 刘 艳<sup>1</sup>

(1 北京科技大学, 北京 100083; 2 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

Xie Yuling<sup>1</sup>, Xu Jiuhua<sup>1</sup>, Chu Xuelei<sup>2</sup>, Wang Liquan<sup>1</sup> and Liu Yan<sup>1</sup>

(1 University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2 Institute of Geology and  
Geophysics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China)

**摘 要** 地幔捕虏体中存在不同产状的熔体包裹体和各种硅酸盐玻璃相。寄主矿物中硅酸盐玻璃相从主矿物内部的蠕虫状、长圆形、圆形、不规则状包裹体—一边部的连通的管状包裹体—“浆胞”是在地幔演化和局部熔融的不同阶段形成的, 其成分中 $\text{FeO}+\text{MgO}$ 、 $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SO}_3+\text{CuO}+\text{NiO}$ 变化的规律性。表明在地幔演化的不同阶段可以形成富硅和富碱流体等不同性质的地幔流体。这些性质不同的地幔流体与各种不同类型的地幔成矿作用有关。硫化物相与硅酸盐相的分离是在地幔演化的一定阶段发生的。

**关键词** 地幔捕虏体 熔体包裹体 硅酸盐玻璃相 浆胞 地幔演化与成矿作用

中国东部新生代玄武质火山岩分布广泛, 对碱性玄武岩中来自上地幔的尖晶石二辉橄榄岩、石榴石二辉橄榄岩、辉石岩等超镁铁质捕虏体的矿物学、岩石学和地球化学研究取得了重要进展。对地幔岩中流体-熔体包裹体的研究也取得了不少成果。刘英俊等(1985)对熔融包裹体的成分分析发现, 矿物中包裹体所捕虏的熔融体物质与原岩岩浆成分是一致的, 并且具有早期岩浆的性质。彭礼贵(1990)研究的新疆西准噶尔阿尔卑斯型橄榄岩中全晶化硅酸盐包裹体, 发现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。他认为, 如果这类包裹体可以用来表明地幔橄榄岩曾经经历过岩浆阶段, 则多半是地幔岩石中保存的一种古老的原生包裹体。夏林圻和曹荣龙(1990)分析浙江西塍的岩浆包裹体的均一后化学成分发现, 均一后的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。刘若新等(1993)利用分析透射电镜(AEM)分析了流体包裹体中固相填充物硅酸盐玻璃相的成分, 认为地幔流体包裹体中存在多样化硅酸盐玻璃。樊祺诚等(1996)对中国东部大陆地幔岩 $\text{CO}_2$ 熔融包裹体中玻璃相进行电子探针分析, 证实地幔的确存在富 $\text{SiO}_2$ 和K、Na的中-酸性硅酸盐岩浆, 认为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。杜乐天(1998)对地幔岩捕虏体中的“浆胞”进行研究, 认为“浆胞”是地幔岩由富碱流体交代重熔形成。本文通过地幔岩中熔融包裹体和不同产状的玻璃相成分分析, 初步探讨了它们的演化关系以及与成矿的关系。

\* 本文得到国家自然科学基金项目(49972031)资助

第一作者简介 谢玉玲, 女, 1963年生, 博士, 副教授, 主要从事矿物学、岩石学, 流体包裹体等方面的研究。

## 1 地幔岩捕虏体中硅酸盐玻璃相的产状

本次研究的地幔岩样品主要来自江苏六合、河北汉诺坝新生代玄武岩质火山岩中的尖晶石二辉橄榄岩，部分为橄榄辉石岩。其中的硅酸盐玻璃相可以归纳为三种产出状态：① 位于主矿物内部的孤立包裹体（包括长圆状、圆状、蠕虫状或不规则状硅酸盐熔体包裹体和 $\text{CO}_2$ -熔融包裹体中的硅酸盐相，以下简称 I 型）（照片略）；② 分布于辉石等矿物边部的相互连通的平行管状硅酸盐玻璃包裹体（以下简称 T 型）；③ “浆胞”，即分布于矿物交界处的囊团状、片状熔融体（以下简称 C 型）。

## 2 硅酸盐玻璃相的成分特征

本次对江苏六合和河北汉诺坝地区的部分样品中不同产状的硅酸盐玻璃相和寄主矿物进行电子探针 (EPMA)（表 1）和扫描电镜 / 能谱 (SEM/EDS) 分析，结果显示，不同产状的硅酸盐玻璃相其成分中 Na、K 含量较低（ $<0.5\%$ ，质量百分比，下同），个别样品的扫描电镜和能谱分析中发现含一定量的 Na 和 K，均 $<2\%$ ），其 $\text{SiO}_2$ 含量为  $37.43\%\sim 56.18\%$ ，且 $\text{SiO}_2$ 含量高的样品多是 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 含量也高，而 S、Cu、Ni 含量明显低于 $\text{SiO}_2$ 含量低的样品，而 $\text{SiO}_2$ 含量低的样品 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 也较低，而富 S、Cu、Ni，且三者呈明显的正相关，由 Ni 的地球化学性质可知，Ni 具强烈的亲硫性，当熔体中硫的逸度较高时，Ni 将优先富集于深部熔离产生的硫化物熔体相中。包裹体中的富 Ni 硫化相的发现及形态等（徐九华等，1998）恰恰证实了这一点。

表 1 硅酸盐玻璃相和主矿物的电子探针分析结果

| 样号                      | LS-3-(1) | LS-3-(2)   | LS-3-(3)   | PSS-14-(1)      | PSS-14-(2)     | PSS-14-(2)     | DA-5-(2)        | MTS-4-(2)       |
|-------------------------|----------|------------|------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 产地                      | 江苏六合     | 江苏六合       | 江苏六合       | 江苏六合            | 江苏六合           | 江苏六合           | 河北汉诺坝           | 江苏六合            |
| 寄主矿物                    |          | 橄榄石        | 橄榄石        | 辉石              | 辉石             | 辉石             | 辉石              | 橄榄石             |
| 产状                      | 寄主矿物     | “浆胞”<br>C型 | “浆胞”<br>C型 | 蠕虫状包<br>裹体 (I型) | 蠕虫状包裹体<br>(I型) | 长圆形包裹体<br>(I型) | 连通管状包裹<br>体(T型) | 连通管状包裹<br>体(T型) |
| $\text{SiO}_2$          | 41.11    | 55.36      | 55.83      | 37.43           | 45.83          | 49.55          | 56.18           | 54.54           |
| $\text{TiO}_2$          | 0.02     | 0.6        | 0.11       | 0.1             | 0.03           | 0.03           | 0.02            | 0.1             |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 0.02     | 3.17       | 3.92       | 1.62            | 1.98           | 2.61           | 3.87            | 4.78            |
| $\text{Cr}_2\text{O}_3$ | 0        | 0.41       | 0.28       | 0.39            | 0.48           | 0.51           | 0.42            | 0.34            |
| $\text{FeO}$            | 10.12    | 6.45       | 6.62       | 8.5             | 6.39           | 6.75           | 5.67            | 5.45            |
| $\text{MnO}$            | 0.3      | 0.06       | 0.28       | 0.14            | 0.06           | 0.06           | 0.38            | 0.27            |
| $\text{MgO}$            | 48.03    | 33.08      | 31.81      | 21.33           | 25.94          | 27.92          | 33.21           | 33.19           |
| $\text{CaO}$            | 0.07     | 0.71       | 0.67       | 3.33            | 4.14           | 4.39           | 0.55            | 0.66            |
| $\text{CoO}$            | 0        | 0          | 0.01       | 0.02            | 0.31           | 0.31           | 0               | 0.2             |
| $\text{NiO}$            | 0.17     | 0.14       | 0.11       | 10.88           | 5.43           | 5.86           | 0.26            | 0.02            |
| $\text{K}_2\text{O}$    | 0.04     | 0.11       | 0.03       | 0.41            | 0.3            | 0.31           | 0               | 0.05            |
| $\text{Na}_2\text{O}$   | 0        | 0          | 0          | 0               | 0              | 0              | 0               | 0               |
| $\text{P}_2\text{O}_5$  | 0.13     | 0.45       | 0.32       | 0.53            | 0.49           | 1.11           | 0.12            | 0.3             |
| $\text{SO}_3$           | \        | \          | \          | 15.32           | 8.62           | \              | \               | 0               |
| $\text{CuO}$            | \        | \          | \          | \               | \              | 1.03           | 0.31            | 0.27            |
| Totle                   | 100.01   | 100        | 100        | 100             | 100            | 100            | 101.37          | 100.19          |

注：由中国地质大学电子探针室李树岩分析。数据单位为质量百分比；“\”为含量较低未分析。

表 2 不同产状硅酸盐玻璃相和主矿物中成分的变化

|                                | 高 <span style="display: inline-block; width: 100px; border-bottom: 1px solid black;"></span> 低 |       |         |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|
| SiO <sub>2</sub>               | C型、T型                                                                                          | I型    | 寄主矿物橄榄石 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | C型、T型                                                                                          | I型    | 寄主矿物橄榄石 |
| CaO                            | I型                                                                                             | C型、T型 | 寄主矿物橄榄石 |
| MgO                            | 寄主矿物橄榄石                                                                                        | C型、T型 | I型      |
| FeO                            | 寄主矿物橄榄石                                                                                        | I型    | C型、T型   |
| NiO                            | I型                                                                                             | 其它均较低 |         |
| CuO                            | I型                                                                                             | 其它均较低 |         |
| SO <sub>3</sub>                | I型                                                                                             | 其它均较低 |         |

从不同产状和形态的硅酸盐相成分看，其变化显示了一定的规律（表 2）。I型最富 S、Cu 和 Ni，且具有高的NiO/FeO比值（0.85~1.28），T型和C型具有最高的SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量，NiO/FeO比值较低 0.004~0.022），主矿物橄榄石成分中相对于包裹体和“浆胞”来说富Fe、Mg贫Si、Al。不同产状的硅酸盐玻璃相，其（FeO+MgO/（SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）变化不大(0.64~0.76)。从不同产状硅酸盐玻璃相FeO+MgO-SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>图解(图 1)可以看出，不同产状的硅酸盐玻璃相投影点排列成近直线状，两者呈正相关，而主矿物的投影点明显与硅酸盐玻璃相不同。而从SO<sub>3</sub>+CuO+NiO-SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>图解(图 2)上看，不同产状的硅酸盐玻璃相投影点也近一直线，但两者明显呈负相关。不同产状的硅酸盐相显示了一定的演化趋势。边部连通的管状包裹体与“浆胞”的成分十分接近，以富Si、Al为特征。两者成分的相似性和分布上的一致性，反映两者具某种成因上联系。笔者认为“浆胞”应是由矿物边部连通管状包裹体进一步发展而成。

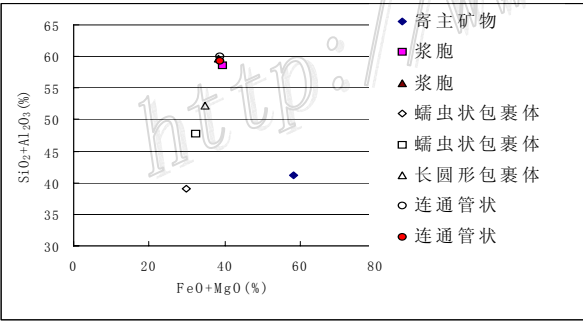


图 1 不同产状的硅酸盐玻璃相与寄主矿物主矿物  
FeO+Mg—SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>图

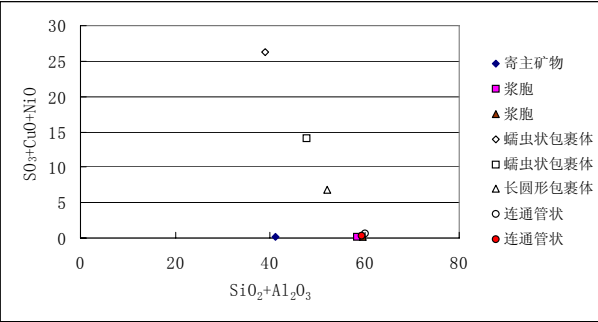


图 2 不同产状的硅酸盐玻璃相SO<sub>3</sub>+  
CuO+NiO—SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>图解

3 小结与讨论

（1）关于地幔捕虏体中的硅酸盐包裹体(玻璃相)的成因目前存在不同的解释，如局部熔融、流体交代重熔和原始岩浆结晶残余等。笔者就已有的资料分析，I型和T型主要是原始岩浆结晶残余的熔浆（按岩浆结晶分异的观点），是原始地幔演化过程中被捕获的，其成分特征反映了原始地幔残余流体(包括熔体和流体)的特征。寄主矿物中硅酸盐玻璃相从I型—T型，反映了地幔岩结晶过程中不同阶段的残余流体的特征。从其成分变化特征上看，主矿物中富Fe、Mg，随着主矿物的结晶，残余流体中，Fe、Mg明显降低，

而 Si、Al 含量增高。

(2) 从“浆胞”的产状和成分上看，与边部连通的管状包裹体有成因联系，由其浑沌的边界、不规则的形态和变化较大的成分特征上看（杜乐天，1998），笔者认为应是由原“T型”包裹体，经交代或局部熔融形成。

(3) 目前地幔成矿作用的研究已引起地质学界普遍关注，已发现大量与地幔流体或与地幔成因的基性超基性岩有关的贵金属、稀有、稀土、铜镍硫化物等矿床类型。从地幔捕虏体中的硅酸盐玻璃相成分看，不同产状、不同地区的成分有较大差别，表明可能存在性质不同的地幔流体，如富碱、富硅、富硫铜镍流体或熔体等。这些不同性质的地幔流体可能与不同类型的地幔成矿作用有关。

(4) 硫化物与硅酸盐相的分离是在地幔演化的一定阶段发生的，与地幔岩有关的金属硫化物矿床的形成正是这一演化阶段的产物。

#### 参 考 文 献

- 储雪蕾，徐九华，赵善仁.1998. 地幔矿物中硫化物熔体包裹体的成因[J]. 地球物理学报, 41(增刊):153~160.
- 杜乐天. 1998. 地幔流体与玄武岩及碱性岩浆成因[J]. 地学前缘, 5(3): 145~157.
- 樊祺诚，刘若新，徐平等.1996. 中国东部大陆地幔存在中酸性硅酸盐熔体[J]. 科学通报, (16):1535~1536.
- 刘若新，樊祺诚，林卓然等.1993. 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, 38(23): 2177~2180.
- 刘英俊，李兆麟，吴启志等. 1985. 中国东部若干玄武岩矿物中包裹体研究[J]. 地球化学, (3):216~226.
- 彭 礼. 1990. 蛇绿岩中上地幔构造橄榄岩成因——岩浆包裹体证据[A]. 中国上地幔特征与动力学论文集[C]. 北京:地震出版社.151~156.
- 夏林圻，曹荣龙.1990. 浙江西垓地区上地幔流体的性质的研究[J]. 科学通报, (11):844~847.
- 徐九华，储雪蕾，邹一民等.1998. 汉诺坝地幔捕虏体中的硫化物包裹体[J]. 科学通报, 43(13):1438~1442.