金刚石中首次发现高钾高氯包体*

陈　丰　　郭九皋
（中国科学院地球化学研究所，贵阳 550002）
陈积昌　　刘灿如
（山东地质七队，山东临沂 276006）

关键词　金刚石、包体、钾盐

金刚石包体研究涉及金刚石成因和地幔岩石圈演化等重大问题．过去把金刚石中找到的包体矿物分为两组：橄榄岩组和榴辉岩组．近年相继发现 MARID（云母-角闪石-金红石-钛铁矿-透辉石）组[1]和巨晶组[2]．最近，Navon 等[3]和 Ozima 等[4]报道了富 K、CO_2 和 H_2O 的液态包体，更把金刚石包体和地幔液相物质研究联系起来，引起更多学者的注意．

我们在金刚石中发现了高钾高氯包体．试验的金刚石产于山东省胜利一号岩管．样品选自 701 矿产品．紫外吸收光谱测定表明，该金刚石吸收限为 220nm，属 II 型金刚石．金刚石为完美的八面体晶形，晶面平滑，晶体透明无色．体视显微镜下见有两个透明包体．包体周围有几组裂隙．裂隙均未延伸到金刚石表面，并被黑色物质所充填．



图 1　成带状分布的高钾高氯包体的电子图象（×500）

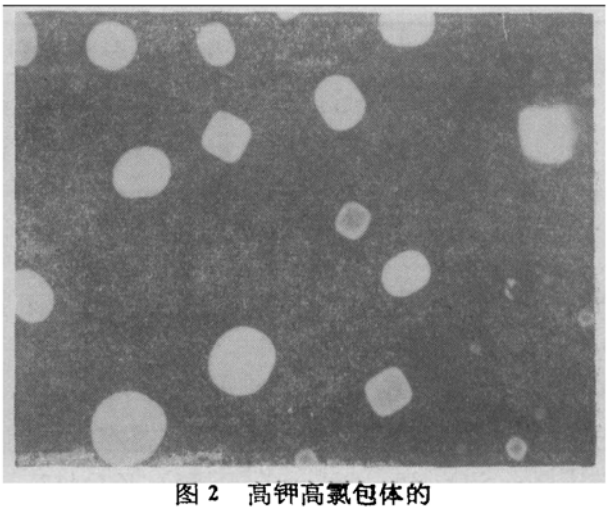

图 2　高钾高氯包体的电子图象（×4000）

破碎金刚石后，碎块喷镀碳膜．用扫描电镜（SEM）和X射线能谱（XE）测定，在黑色物质的膜上发现数十个包体（图 1）．

高钾高氯包体成带状分布或星散分布．大小约 0.2—2μm．包体形态为圆角的立方形或

本文 1991 年 8 月 21 日收到．1991 年 11 月 15 日收到修改稿．
* 国家自然科学基金资助项目．

近于圆形(图 2). 圆角的立方形是液态生长晶体的特征. 立方形晶体在溶液中生长时，从理论上得出的等浓度曲线即为圆角的立方形，与高钾高氯包体形态十分吻合.

高钾高氯包体的组成用X射线能谱测定，经 ZAF 修正，成分见表 1. 由于X射线能谱测定均无标样，看来其结果有系统偏差. 主要杂质元素为 Si、Mg、Al 和 Fe，可能包体中还有更微粒的硅酸盐或氧化物矿物.

表 1 高钾高氯包体的化学组成（wt%）

测点	K	Cl	Si	Al	Mg	备 注
1	58.37	37.12	4.51	—	—	TN-5400
2	58.50	38.92	—	2.58	—	TN-5400
3	52.24	39.72	3.76	—	3.29	EDAX-9100

高钾高氯包体附近的黑色物质，在X射线能谱上未测出任何元素. 由于X射线能谱难以测定原子序数低于 11 的元素，所以，黑色物质可能是碳. 进而，在电子图象上黑色物质比金刚石颜色稍暗，说明其中可能有比碳原子序数更低的元素，例如氢.

在扫描电镜下观察金刚石中的透明包体为一大一小包体. 较大的包体呈不规则的六边形. 用 ASM-SX 型扫描电镜和 EDAX-9100 型X射线能谱测定结果见表 2. 较小的包体不具晶体，外形近于球形. 表面遭受熔蚀，为一熔蚀残留体. 用 KYKY-1000B 型扫描电镜和 TN-5400 型X射线能谱测定，其组成相当复杂(表 2). 显然，两包体不属于同种矿物，但均含钾和氯. 大的透明包体显示晶形，说明与金刚石同时生长或更早. 小透明包体已受熔蚀，说明生长早于金刚石.

表 2 透明包体表面的化学组成（wt%）

包体	SiO_2	MgO	Al_2O_3	K_2O	Cl	CaO	Cr_2O_3	FeO	Na_2O	Ag	S
大	46.11	25.87	8.50	13.82	0.03	--	1.81	3.87	—	—	—
小	35.44	5.33	15.82	3.33	0.43	17.40	—	6.67	4.71	1.22	9.74

此次发现的高钾高氯包体，可以与 Navon 等[3]和 Ozima 等[4]报道的液相包体相对比. Navon 等用离子探针、红外光谱和扫描电镜等手段测定包体的组成为：总金属氧化物约占 40—70%，H_2O 约 20—50%，CO_2 约 10—30%. 金属氧化物是用离子探针测定的，因为离子探针的束斑为 40μm，而包体小于 1μm，所以，实际测得的是多个包体的平均组成，也不能区分这些包体是否均为含水包体，还是存在有熔体包体. 这些准显微包体的金属氧化物的组成范围是：SiO_2 30—53(wt%，下同)，K_2O 12—30%，CaO 8—19%，FeO 6—11%，Al_2O_3 3—6%，MgO 2—6%，TiO_2 2—4% 和 Na_2O 1—5%. 少量元素有 P_2O_5 1—5%，BaO 1—4%，SrO 0.7—1.5%，La_2O_3 0.1—0.3% 和 Ce_2O_3 0.3—0.5%. 微量元素有其它稀土元素、Mn、Th 和 U. K_2O/Al_2O_3 比值高达 2—7. 球粒陨石标准化 Ce/Eu 比值变化于 10—21. 扫描电镜对单个包体测定有 1—3%的氯、硫未测出. Ozima 等测出 1.2—6%的氯.

我们发现的高钾高氯包体，其中钾和氯的含量远高于前人的报道[3,4]. 从包体形态上看，晶形似钾盐(含钾 52.5%，氯 47.5%)，组成有偏离，可能是无标样测定引起的误差.

显然，我们发现的高钾高氯包体和共生包体有着重要的意义. Navon 等和 Ozima 等报

道的液相包体产于立方金刚石和被膜金刚石的被膜中．这类金刚石一般认为是在金刚石生长的晚期阶段形成的，它们可能在金伯利岩岩浆中生长，或者在金伯利岩岩浆侵位时生长．如把这些液相包体认为是金刚石生长时所陷获的地幔液体或熔体，包体组成反映金伯利岩岩浆形成或形成以后的地幔残留液相．重要的是，我们发现的包体来自八面体金刚石，这通常认为是早期形成的金刚石[5]，是金伯利岩岩浆携运来的俘晶．同时，这些包体又位于八面体的核心，说明是金刚石生长初期陷获的固相包体所带来的液相物质．其陷获时间可能早于金伯利岩岩浆的形成．它们属于早期地幔的液相物质．

如果我们测得的高钾高氯包体以及与之共生的包体的表面上的化学组成可以反映早期地幔的液相组成的某些特征．可以看出：首先，早期和晚期液相物质均富钾，且 $K_2O > Na_2O$．共生透明包体，虽然含钾低，但也是明显的．其次，都含较高的氯．考虑到金伯利岩含少量氯(0.1%以下)，看来地幔液相中氯的作用不容忽视，虽然过去研究中很少涉及．第三，Navon 等报道的液相富不相容元素，特别是轻稀土元素尤为突出．我们报道的包体未测微量元素难以对比，但在X射线能谱中也发现 P 和 La 稍高于背景．最后，早期和晚期液相中均富碳质．Navon 等测定的显微包体富 CO_2 或 CO_3^{-2}，我们报道的黑色包体可能以碳氢化物为主．这些碳质物有可能作为金刚石生长的碳源，参与金刚石的生长．

近年金伯利岩和碱性玄武岩俘体研究讨论了液相物质与地幔交代作用的紧密联系．显然，上述包体的组成与参加地幔交代作用的液相物质相近．Navon 等找到的液相物质组成近似富钾岩浆，例如金伯利岩和钾镁煌斑岩岩浆，但 H_2O 和 CO_2 比它们的挥发分高一个数量级，也更富钾和不相容元素，但亏损镁．看来，早期和晚期液相与富钾岩浆有着成因联系．

致谢：本工作受701矿裴克义和吴玉兰工程师、山东地质七队胡世杰总工程师和李杏村副总工程师、贵州师范大学雷平老师和中国科学院贵州分院吕禾青工程师的热情帮助，谨表谢忱．

参 考 文 献

[1] Meyer, H. O. A. and McCallum, M. E., *J. Geol.*, **94**(1986), 4: 600—612.
[2] Moore, A. E., *Contrib. Miner. Petrol.*, **95**(1987), 2: 245—253.
[3] Navon, O. et al., *Nature*, **335**(1988), 6195: 784—789.
[4] Ozima, M. et al., *Nature*, **337**(1989), 6204/6205: 226—229.
[5] Hagger, E., *Nature*, **320**(1986), 6057: 34—38.