

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

西藏罗布莎铬铁矿床中的金刚石包体 X 射线衍射研究

施倪承¹⁾ 白文吉²⁾ 马喆生¹⁾ 方青松²⁾ 熊 明¹⁾ 颜秉刚²⁾ 代明泉¹⁾ 杨经绥²⁾

1) 中国地质大学 X 射线衍射实验室, 北京, 100083; 2) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037

内容提要 在西藏罗布莎蛇绿岩的豆荚状铬铁矿石及橄榄岩中找到了金刚石, 少数金刚石存在有硅酸盐包体。本研究采用 X 射线衍射中的 CCD(电子耦合)探测技术, 测得了粒度仅为 20 μm 左右的包体矿物的粉晶 X 衍射数据, 数据表明该硅酸盐包体有两种, 为滑石和蛇纹石。从而说明了西藏罗布莎产于蛇绿岩中的金刚石是天然金刚石, 并非“人工合成物”。

关键词 西藏 罗布莎 蛇绿岩 金刚石 金刚石包体

金刚石广泛产于地球的地壳和地幔内, 含金刚石的岩石包括火成岩、变质岩和沉积岩, 但一般金刚石都生成于金伯利岩及钾镁煌斑岩中。在蛇绿岩和铬铁矿中找到金刚石的报道很少, 即在加拿大魁北克蛇绿岩的铬矿石中选出 2 粒金刚石(Dreser, 1913); 在俄罗斯远东科里雅克地区蛇绿岩的地幔橄榄岩中发现过 2 粒金刚石(ШИЛОИ, 1978)。我国西藏雅鲁藏布江地区有广泛的蛇绿岩带分布, 其东段为罗布莎蛇绿岩块, 产出金刚石的豆荚状铬铁矿和地幔橄榄岩是罗布莎蛇绿岩的重要组成部分(王恒升等, 1983; 王希斌等, 1987; 白文吉等, 2001)。本地区选出的 120 粒金刚石(方青松等, 1981; 白文吉等, 2000), 为细粒(0.01~0.7 mm), 无色透明, 晶形以八面体状为主。

西藏金刚石受到人们关注的同时, 也有人认为是人工合成的(Taylor et al., 1995)。迄今为止, 依然有关于该地区金刚石属人工合成的质疑(Harris et al., 1997)。为了解决该区金刚石的成因问题, 可以从两个方面进行研究, 一是研究该区金刚石本身具有的特征; 另一方面是对该金刚石包体的矿物种属及其化学成分、晶体结构进行研究。近来, 对西藏罗布莎蛇绿岩铬铁矿中金刚石的研究成果已进行了系统报道(白文吉等, 2001), 并在该区的金刚石中曾发现过 1 颗包体, 其化学成分经电子探针分析为: SiO_2 63.95%, Al_2O_3 0.36%, FeO 4.69%, MgO 30.

57%, Na_2O 0.42%, 总和为 99.79%(白文吉等, 2001)。从化学成分来看该包体与斜方辉石相似, 但该包体未获 X 射线衍射数据。

对于一般的(主要是指金伯利岩中的)金刚石包体的研究已经积累了大量的研究成果(Hervig et al., 1980; Boyd et al., 1985; Gurney et al., 1986; Moore et al., 1986; Bulanov et al., 1990; Garanin et al., 1990; 陈丰等, 1992; Griffin et al., 1992; Wang et al., 1994; Herris et al., 1997; Stachel et al., 1998), 但是由于蛇绿岩型金刚石发现较晚, 而且分布稀少, 所以其包体矿物的研究从未进行过。该区金刚石中包体的晶体颗粒细小, 采用一般的 X 射线衍射仪对它进行研究有不少困难, 本次研究采用了近年来发展的 X 射线衍射中的电子耦合探测器(CCD)技术, 可以探测到微米粒级的矿物 X 射线衍射数据, 实现了在微区范围内同时给出包体化学成分和晶体结构两项矿物学最关键数据的目的。从而使西藏罗布莎铬铁矿中的金刚石的天然成因由于其包体矿物的确认而得到确认。值得注意的是本次研究的金刚石包体属含水(羟基)硅酸盐矿物, 这也为在地幔条件(120 km 以下)水的存在形式及其来源提供了线索。

1 实验

带有包裹体的金刚石是从人工重砂大样中挑选

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 49972073, 49872019)资助成果。

收稿日期: 2002-04-08; 改回日期: 2002-08-15; 责任编辑: 刘淑春。

作者简介: 施倪承, 男, 1937年生。1961年毕业于北京地质学院。现为中国地质大学(北京)教授, 长期从事 X 射线晶体学研究。通讯地址: 100083, 中国地质大学(北京)X 射线衍射实验室。

出来的。颗粒大小为 $0.5\text{ mm} \times 0.6\text{ mm} \times 0.4\text{ mm}$, 金刚石颗粒尖端明显地包裹有一个黄褐色的包体, 其大小约为金刚石颗粒的 $1/10$ (图版 I-1)。

包体的化学成分是由北京矿冶研究总院陶淑凤高级工程师测定的。测试条件为: 在日立(HITACHI)S-350型扫描电子显微镜加一台英国牛津公司(OXFORD)INCA 能谱仪进行分析的, 加速电压 20 kV , 工作距离 15 mm , 用 Co 标样核准。根据包体化学成分的变化, 共进行了5个测点的微区分析, 结果列于表1。

表1 西藏罗布莎铬铁矿床中金刚石包体的化学成分分析

Table 1 Chemical compositions of diamond inclusions from chromitites, Luobusa, Tibet

编号	重量百分比(%)					
	Mg	Si	Ca	Fe	O	合计
No. 1	15.91	27.09	0.74	5.93	43.33	93.00
No. 2	15.91	29.93		6.70	41.46	94.00
No. 3	27.72	23.69		4.12	33.17	88.70
No. 4	22.00	26.80		4.00	46.08	100.00
No. 5	20.71	27.94		4.40	46.95	100.00
编号	原子百分比(%)					
	Mg	Si	Ca	Fe	O	合计
No. 1	14.07	22.61	0.41	2.39	53.52	93.00
No. 2	14.18	22.86		2.55	54.41	94.00
No. 3	22.96	16.10		1.36	48.28	88.70
No. 4	18.74	19.43		1.49	59.71	100.00
No. 5				1.60	60.23	100.00

注: 其中第一种物相为滑石(No. 1, No. 2), 第二种相当于蛇纹石(No. 3), 第三种相当于斜方辉石(No. 4, No. 5)。本次X射线分析得到了滑石和蛇纹石两种包体矿物的衍射数据, 与化学成分提供的矿物种类完全相同。斜方辉石可能由于粒度过小未收集到衍射数据。

分析结果表明, 西藏罗布莎铬铁矿中的金刚石包体全部以镁的硅酸盐为主, 但 No. 1~3 样为含水的镁的硅酸盐, 而 No. 4、No. 5 样为不含水的镁的硅酸盐。显然仅仅依据化学成分并不能确定矿物的确切种属, 因而进行了X射线衍射实验研究。X射线衍射实验是在中国地质大学(北京)X射线衍射实验室进行的, 晶体被移至德国 Bruker 公司生产的带有一个3轴测角仪装置的 SMART APEX 电子耦合探测仪上。晶体与 CCD 探测仪的距离为 5.07 cm 。采用 $\text{MoK}\alpha$ ($\lambda = 0.071073\text{ nm}$), 石墨单色器。拍摄了 $\omega = 0^\circ$ 及 $\omega = -30^\circ$ 的旋转图(图版 I-2, 3)。图版 I-2, 3 旋转照片拍摄的实验条件为 $\text{MoK}\alpha$, 50 kV , 30 mA , 在固定 ω 角度后, φ 角是转动的。照片中可以看出清楚地看出两种衍射图像, 即粉晶衍射线构成的德拜环及单晶衍射点。单晶衍射点具有很高的强度, 也分布在与衍射线构成的德拜环呈同心圆的 2θ 环上。

对强衍射点构成的 2θ 环进行了 d 值、 2θ 值及强度的测量, 表明它们是金刚石的单晶X射线衍射斑点。得到的数据如表2所示。粉末衍射环不仅图像清晰, 而且环的宽度十分均匀, 犹如将样品用乳钵磨细后照出的图像一样。

表2 本次研究的金刚石与 JCPDS 卡片 6-0675 比较

Table 2 The diamond in this study and comparison with JCPDS card 6-0675

本次研究的金刚石(C3b)			JCPDS 卡片 6-0675		
$2\theta(\text{Mok}\alpha)$	$d(\text{nm})$	I/I_0	$d(\text{nm})$	I/I_0	hkl
19.876	0.2059	100	0.2060	100	111
32.797	0.1259	60	0.1261	25	220
38.630	0.1074	30	0.10754	16	311
47.310	0.0886	10	0.08916	8	400
51.140	0.0816	15	0.08182	16	331
58.391	0.0729	20			422

前面已经提到包体大小约为 $50\text{ }\mu\text{m} \times 60\text{ }\mu\text{m} \times 40\text{ }\mu\text{m}$ 。则可以认为包体包含的每个矿物大约为 $17\text{ }\mu\text{m} \times 20\text{ }\mu\text{m} \times 13\text{ }\mu\text{m}$ 。由于粉末衍射图必须有数量十分可观的单个晶体颗粒在晶体学方向上随机分布才能形成, 因此可以推断该包体单个晶体的颗粒大小约在数十纳米至数百纳米之间。在如此微小的区域获得清晰衍射图像, 从灵敏度的表征来说可以认为对于探测器来说每个X光子($\text{MoK}\alpha$)激发出的电子数至少在50以上, 从而实现了与微束分析相对应的微区晶体结构研究的目标。

由表2可以看出, 本次研究的金刚石与 JCPDS 卡片中标准的金刚石衍射数据是完全一致的。区别仅在于在铜靶条件下未收集到的衍射指数(hkl)为422的衍射在采用 $\text{MoK}\alpha$ 的条件下收集到了($d = 0.0729\text{ nm}$)。

对于图版 I-2, 3, 除金刚石衍射点外还可得到包裹体的X射线衍射所形成的粉末衍射图谱。测量得到的数据列于表3。

从表3金刚石包裹体的粉晶衍射数据可以看出, 在低角度处的第一条及第二条衍射线均是强衍射线, 其 d 值分别为 0.940 nm 及 0.739 nm 。由于化学分析数据已经表明该包体是含 Mg、Fe 的硅酸盐, 因此很容易判断它们是属于两种层状硅酸盐的001的衍射线。运用国际衍射数据中心(ICDD)的匹配检索程序, 检索到了这两种层状硅酸盐应为斜纤蛇纹石(clinocrysotile, JCPDS 卡片 27-1275)及滑石类矿物。滑石类矿物中与该金刚石包体最匹配的矿物为2M型滑石[Talc-2M, $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, JCPDS 卡

片 29-1493]及镍滑石[willemsite, $(\text{Ni}, \text{Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, JCPDS 卡片 22-0711]。

表 3 金刚石包体及其对应的矿物粉晶衍射数据

Table 3 The power diffraction data of diamond inclusions and its similar minerals

本次研究的包裹体			2M 型滑石 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ JCPDS 卡片 29-1493			斜纤蛇纹石 $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ JCPDS 卡片 27-1275		
2θ ($\text{MoK}\alpha$)	$d(\text{nm})$	I/I_0	$d(\text{nm})$	I/I_0	hkl	$d(\text{nm})$	I/I_0	hkl
4.136	0.940	90	0.931	100	002			
5.506	0.739	100				0.735	100	002
			0.467	20	004			
8.987	0.453	70	0.455	60	-111	0.454	15	020
11.140	0.3664	50				0.366	70	004
13.097	0.3116	40	0.312	90	006			
						0.275	5	015
15.806	0.2585	50	0.2592	20	-132	0.261	8	131
						0.254	5	-211
16.441	0.2485	80	0.2481	30b	132	0.246	15	202
			0.2227	8b	042			
			0.2122	6b	204			
			0.2071	3b	135	0.2103	5	-141
			0.1873	8	0010			
24.243	0.1692	30	0.1722	6b	-311			
			0.1563	3	0012			
26.921	0.1527	70	0.1524	30	-331	0.1537	12	060
			0.1390	3b	-1312			
31.742	0.1299	30	0.1319	10	248	0.1317	5	070

检索研究表明,斜纤蛇纹石及滑石的粉晶衍射数据中的最强线在该金刚石包体的衍射图谱中均有出现。如对于斜纤蛇纹石来说,其最强线(括弧内为强度)为 0.735(100), 0.366(70), 0.246(15), 0.1537(12), 它们分别对应于金刚石包体中的衍射线为 0.739(90), 0.3664(50), 0.2485(80), 0.1527(70)。对于滑石类矿物,它们的强衍射线(括弧内为强度) 0.931(100), 0.455(60), 0.312(90), 0.2592(20), 0.2481(30b)及 0.1524(30), 它们分别对应于金刚石包体中的衍射线为 0.940(90), 0.4536(70), 0.3116(40), 0.2585(50), 0.2485(80)及 0.1527(70)。在金刚石包体中的 $d=0.2485$ 的衍射线有加宽现象,而且强度较大,这可能是斜纤蛇纹石中的 $d=0.246$ 及滑石类矿物中的 $d=0.2481(30b)$ 这两个衍射叠加的结果。对于滑石类矿物, JCPDS 卡片 29-1493 的分子式为 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, 而 22-0711 的分子式是 $(\text{Ni}, \text{Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, 它们之间差别仅在于晶体结构中处于六次配位的 Mg 原子是否存在替代现象。化学分析表明

金刚石中包体滑石不含 Ni, 而含少量的 Fe 代替 Mg。

从以上分析可以看出,西藏罗布莎金刚石 C3b 号晶体的包裹体从其粉晶衍射图看,明显地具有层状硅酸盐特征。通过细致的检索判断,可以确定它们属于蛇纹石及滑石两种矿物种属。结合表 1 中的化学成分分析数据,可以确认 No. 1 及 No. 2 为滑石的化学成分, No. 3 为蛇纹石的化学成分。从衍射图谱的峰形分析来看,这两种矿物是以极细的结晶颗粒交生在一起的。而表 1 中的 No. 4 和 No. 5 的不含水的镁的硅酸盐可能由于含量较少或者晶体颗粒过于细小在衍射图上未显示其特征谱线。但其化学成分严格地与斜方辉石(顽火辉石)一致。

通过以上研究,可以肯定表 1 中各矿物的化学成分与 X 射线衍射分析结果一致,其矿物种属可由表 4 所示。No. 4 及 No. 5 得到的化学成分数据,除了说明它属于顽火辉石有极大的可能性外,样品中 Mg/Fe 值(1.80/0.15)说明该矿物的形成深度当属幔范畴。

表 4 金刚石包体矿物的晶体化学式

Table 4 The crystal chemistry formula of diamond inclusions

表 1 中的样品编号	晶体化学分子式	矿物名称
No. 1 及 No. 2	$(\text{Mg}_{2.57}\text{Fe}_{0.45})_{3.02}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_{2.04}$	滑石
No. 3	$(\text{Mg}_{2.70}\text{Fe}_{0.17})_{2.87}\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_{3.74}$	斜纤蛇纹石
No. 4 及 No. 5	$(\text{Mg}_{1.80}\text{Fe}_{0.15})_{1.95}\text{Si}_2\text{O}_6$	顽火辉石

2 讨论

就金刚石包体而言,迄今为止金伯利岩中金刚石包体的研究最为深入(Heyvigg et al., 1980; Meyer et al., 1986; Meyer, 1987; Sobolev et al., 1997; Stachel et al., 1998)。在金伯利岩金刚石包体中已发现的矿物有角闪石、单斜和斜方辉石、镁石榴子石、橄榄石、铬铁矿、绿辉石、磁铁矿、方铁矿、Fe-Si 合金等,一般认为金刚石的形成表明其地幔深度在 120~150 km 以下。但许多金刚石包体可以说明其更高的压力和更深的深度。例如四方石榴子石的发现说明其形成于下地幔深度。但是在金刚石中发现蛇纹石和滑石包体是罕见的。仅在 Colorado 金伯利岩金刚石矿床中见到蛇纹石,该蛇纹石被认为是存在于一种蚀变包体聚集体内,蛇纹石同方解石、含钛铁矿共存(Meyer et al., 1986)。迄今为止尚没有报道在金刚石中存在蛇纹石和滑石包体的先例。

西藏罗布莎金刚石包体中滑石及蛇纹石的发现具有明显的探索地幔中金刚石的成因意义。因为首先就合成金刚石来说,在当前技术水平条件下无论从原料投入、工艺制备过程等方面来看不可能有滑石、蛇纹石等矿物产出。其次由于罗布莎地幔矿物学研究已取得了巨大进展,迄今为止发现了与金刚石共生的矿物达70余种,它们与金伯利岩矿物相似显示了该区金刚石与金伯利岩等天然成因金刚石的相似的成因。共生矿物的研究为该区金刚石的天然成因提供了越来越多的矿物学证据(白文吉等,2000)。而这两种包体矿物种属的确定为该区金刚石的天然成因提供了明晰的结论。

参 考 文 献

- 白文吉,周美付,Robinson P T,方青松,张仲明,颜秉刚,胡旭峰,杨经绥. 2000. 西藏罗布莎豆荚状铬铁矿、金刚石及伴生矿物成因. 北京:地震出版社.
- 白文吉,杨经绥,Robinson P T,方青松,张仲明,颜秉刚,胡旭峰. 2001. 西藏罗布莎蛇纹岩铬铁矿中金刚石的研究. 地质学报, 75(3): 404~409.
- 陈丰,等. 1992. 金刚石中发现石盐包体. 科学通报, 37(16): 1489~1491.
- 方青松,白文吉. 1981. 西藏首次发现金刚石的阿尔卑斯型岩体特征. 地质评论, 27(5): 445~447.
- 王恒升,白文吉,王炳熙,等. 1983. 中国铬铁矿及其成因. 北京:科学出版社.
- 王希斌,等. 1987. 雅鲁藏布江蛇纹岩. 北京:测绘出版社.

References

- Bai Weiji, Zhou Meifu, Robinson P T, Fang Qingsong, Zhang Zhongming, Yan Binggang, Hu Xufeng, Yang Jingsui. 2000. Origin of podiform chromitites, diamond and associated mineral assemblage in the Luobusa ophiolite, Tibet. Beijing: Earthquake Press (in Chinese with English abstract).
- Bai Weiji, Yang Jingsui, Robinson P T, Fang Qingsong, Zhang Zhongming, Yan Binggang, Hu Xufeng. 2001. Acta Geologica Sinica, 75(3): 404~409 (in Chinese with English abstract).
- Boyd F R, Gurney J J, Richardson S H. 1985. Evidence for a 150~200 km thick Archean lithosphere from diamond inclusion thermobarometry. Nature, (315): 387~389.
- Bulanova G P, Spetsius Z V. 1990. Inclusions in diamond and minerals of mantle xenoliths from kimberlites as a source of information on the upper mantle composition. In: International Mineralogical Association Meeting, Beijing. 2: 784~785.
- Cheng Feng, et al. 1992. The inclusions of salt in diamond. Chinese Science Bulletin, 37(16): 1489~1491 (in Chinese).
- Dresser J A. 1913. Preliminary report on the serpentine and associated rock of Southern Quebec. Memoir Geological Survey of Canada, (22): 1~103.
- Fang Qingsong, Bai Weiji. 1981. The discovery of Alpine-type diamond-bearing ultrabasic intrusion in Xizang (Tibet). Geological Review, 27(5): 455~457 (in Chinese with English abstract).
- Garanin V K, Kudrgavtseva G P. 1990. Morphology, physical properties of inclusion-bearing diamonds from Yakutian Kimberlites. Lithos., (25): 211~217.
- Griffin W L, Gurney J J, Ryan C G. 1992. Variations in trapping temperature and trace elements in Peridotite-sceite inclusions from African diamonds: evidence for two inclusion suites and implications for lithosphere stratigraphy. Contributions to Mineralogy and Petrology, (110): 1~15.
- Gurney J J, Harris J W, Richard R S, Cardoso P. 1986. Mineral inclusions in diamonds from Koffiefontein mine. Extended Abstracts, the Fourth International Kimberlite Conference, 389~391.
- Harris J, Hutchison M T, Hursthouse M, Light M, Harte B. 1997. A new tetragonal silicate mineral occurring as inclusions in lower mantle diamonds. Nature, (387): 486~488.
- Hervig R L, Smith J V, Steele I M, Gurney J J, Meyer H H, Harris J W. 1980. Diamonds: minor elements in silicate inclusions; pressure temperature implications. Journal of Geophysical Research, (85): 6919~6929.
- Meyer H O A, McCallum M E. 1986. Mineral inclusions in diamonds from the Sloan kimberlites, Colorado. Journal of Geology, (94): 600~612.
- Meyer H O A. 1987. Inclusions in diamond, mantle xenoliths. In: Nixon P H, ed. John Wiley and Sons Ltd.
- Moore R O, Otter M L, Richard R S, Herris J W, Gurney J J. 1986. The occurrence of Moissanite and ferro-pericase as inclusions in diamond. Fourth International Kimberlite conference, Extended Abstracts, Geological Society of Australia, (16): 409~411.
- Sobolev N V, Kaminsky F V, Griffin W L, Yefimova E S, Win T T, Ryan C G, Botkunov A I. 1997. Mineral inclusions in diamonds from the Sputnik Kimberlite pipe, Yakutia. Lithos., (39): 135~157.
- Stachel T, Harris J W, Brey G P. 1998. Rare and unusual mineral inclusions in diamonds from Mwadui, Tanzania. Contributions to Mineralogy and Petrology, (132): 34~47.
- Taylor W R, Milledge H J, Griffin B J, Nixon P H, Kamperman M, Mathey D P. 1995. Characteristics of microdiamonds from ultramafic massifs in Tibet: authentic ophiolitic diamonds or contamination. Extended Abstracts, the Sixth International Kimberlites Conference, Russia, 623~624.
- Wang A, Pasteeis J O, Meyer H O A, Dele-Duboi M L. 1994. Msanesite-bearing inclusion assemblage in natural diamond. Earth and Planetary Science Letters, (141): 293~306.
- Wang Hesheng, Bai Weiji, Wang Bingxi, et al. 1983. Chromite deposits of China and its genesis. Beijing: Sciences Press (in Chinese).
- Wang Xibin, et al. 1987. The Yarluzangbo ophiolites. Beijing: Topographical Publishing House (in Chinese).
- Шилои Н А, Каминский Ф В, и др. 1978. Первые находки алмазов в альпийно-типпных ультрабазитах северовостока СССР. Докл. АН СССР.

A Study of X-ray Diffraction of Diamond Inclusions from Luobusha, Tibet

SHI Nicheng¹⁾, BAI Wenji²⁾, MA Zhesheng¹⁾, FANG Qingsong²⁾, XIONG Ming¹⁾

YAN Binggang²⁾, DAI Mingquan¹⁾, YANG Jingsui²⁾

1) *X-ray Laboratory of China University of Geosciences, Beijing, 100083*

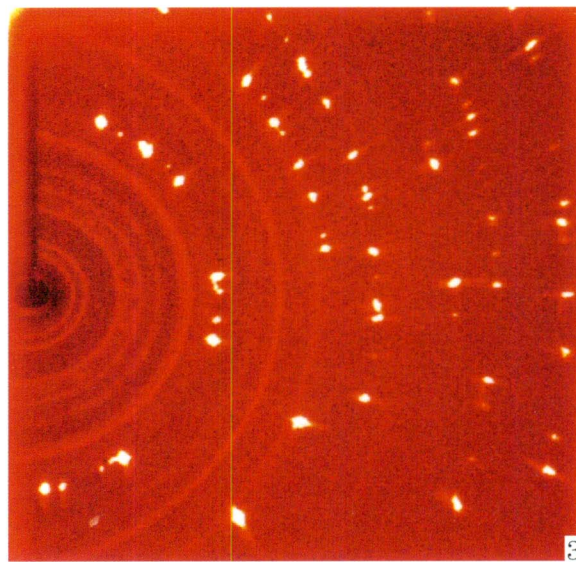
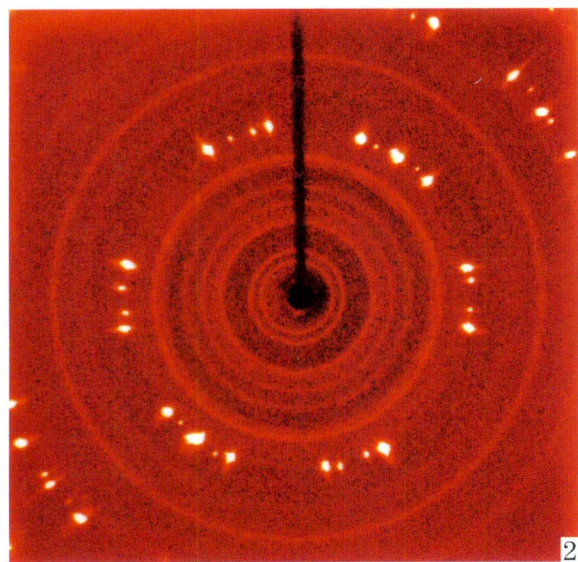
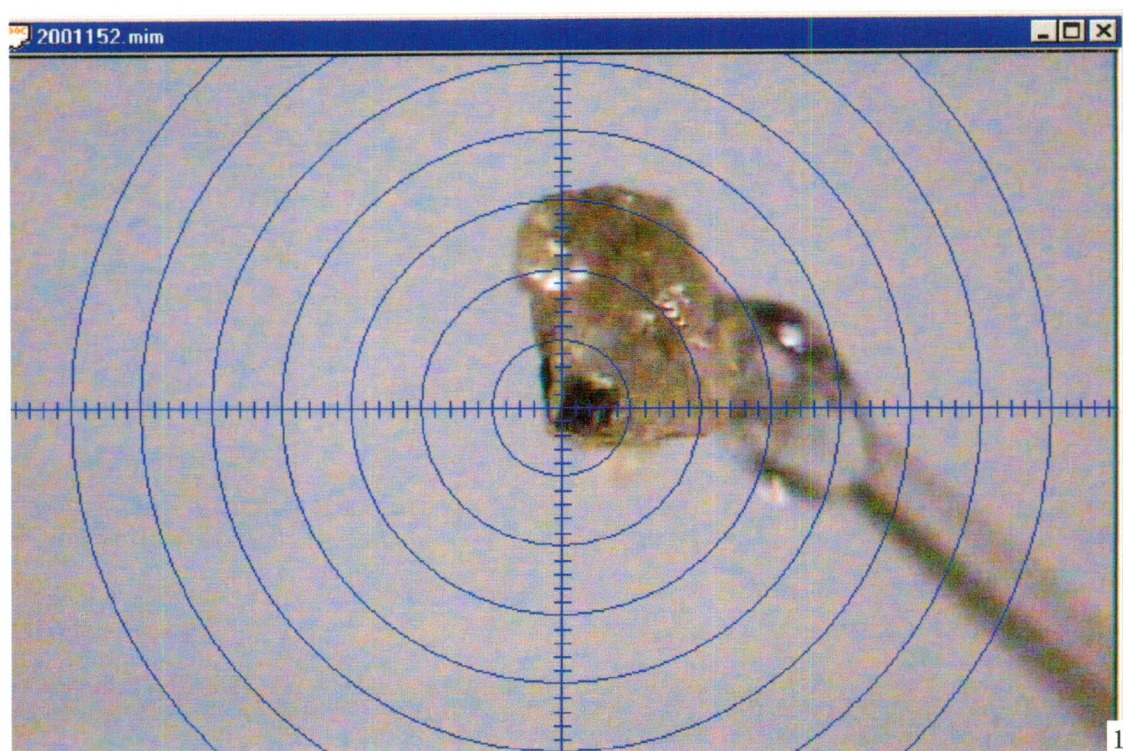
2) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

Abstract

Diamonds have been found in podiform chromitites and olivine rocks from the ophiolite in the Yarlung Zangbo River, Tibet. Some diamonds have silicate inclusions. Using the charge-coupled detector (CCD) system for X-ray diffraction, the authors have obtained powder X-ray diffraction data for inclusion minerals with crystal size of only 20 μm . There are two kinds of silicate inclusions, which have been proved by the X-ray diffraction: talc and chrysoite. This indicates that the diamonds occurring in the Luobusha ophiolite are natural instead of synthetic.

Key words: Tibet; Luobusha; ophiolite; diamond inclusions; X-ray diffraction

~~~~~



1. 西藏罗布莎铬铁矿床中的金刚石及其包体,黄褐色,×80。

2. 西藏罗布莎铬铁矿床中金刚石及其包体的 X 射线旋转图,  
MoK $\alpha$ ,  $\omega=0^\circ$ , 50 kV, 30 mA, 采集时间 100 s。

3. 西藏罗布莎铬铁矿床中金刚石及其包体的 X 射线旋转照  
相, MoK $\alpha$ ,  $\omega=-30^\circ$ , 50 kV, 30 mA, 采集时间 100 s。