

翡翠成分、结构和矿物组成的无损分析

孙访策¹, 赵虹霞^{1*}, 干福熹^{1, 2}

1. 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800

2. 复旦大学, 上海 200433

摘要 利用便携式能量色散型 X 射线荧光(portable energy-dispersive X-ray fluorescence, PXRF)、外束质子激发 X 射线(external beam proton induced X-ray emission, PIXE)、X 射线衍射(X-ray diffraction, XRD)和激光拉曼光谱(laser Raman spectroscopy, LRS)对 12 块样品进行了成分、结构和矿物组成分析。结果表明, PXRF 和 PIXE 的分析结果有较好的可比性, 样品主要由较纯的硬玉组成, 次要元素含量较低。1 块样品含少量绿辉石, 一块样品主要由绿辉石组成。硬玉的 Raman 特征峰位于 201, 372, 698, 985, 1 037 cm^{-1} , 绿辉石的特征峰位于 680 和 1 017 cm^{-1} 。利用 Raman 光谱测试样品的裂隙处, 发现 3 块样品含白蜡, 1 块样品含环氧树脂。白蜡的 Raman 特征峰位于 2 846 和 2 880 cm^{-1} , 环氧树脂的特征峰位于 2 924 和 3 065 cm^{-1} 。无损分析技术在翡翠中的应用拓展了样品的研究范围, 为翡翠的进一步研究、鉴定和分级提供了技术支持。

关键词 翡翠; 便携式 X 射线荧光分析; 外束质子激发 X 射线; 激光拉曼光谱; 无损分析

中图分类号: P578.9 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)11-3134-06

引言

我国的玉文化源远流长, 翡翠作为其中极重要的一份子, 使用的时间却并不长久。明代时, 翡翠才从缅甸传入中国, 清乾隆以后, 翡翠开始被大量使用。

1846 年和 1863 年, 法国地质学家德穆尔(Damour)对从圆明园劫掠来的中国玉器进行了硬度分析, 将玉石(jade)分为 Nephrite 和 Jadeite 两类, 中文名分别为软玉和硬玉, 开创了翡翠第一次真正科学意义上的研究。

近年来, 学者们利用常规宝石学特征分析、薄片观察、电子探针、红外光谱、拉曼光谱、X 射线粉晶衍射、X 射线荧光等技术对翡翠的矿物组成进行了研究。研究表明, 翡翠中除了硬玉, 有时还含有绿辉石(Omphacite)、钠长石(Albite)等矿物^[1-6], 这些矿物会影响翡翠的颜色、透明度等性质。这些研究丰富了人们对翡翠矿物组成的认识, 也加深了人们对翡翠颜色和透明度的理解。然而, 上述研究方法大多是破坏性的分析方法。翡翠的高昂价格限制了这些方法的应用范围。目前, 翡翠又面临着鉴定和分级的难题。迫切需要无损分析技术的发展。本文利用无损的方法综合分析了翡翠样品的成分、结构和矿物组成, 探索无损分析技术在翡翠样品中

的应用。

1 实验部分

1.1 样品

所有的翡翠样品均购自翡翠市场。翡翠样品编号见图 1。其中, 09FC-3 为绿色, 局部淡绿色, 扁平, 长度约 10 mm, 宽度最大尺寸处约 6 mm, 玻璃光泽, 不透明; 10FC-2 为鸳鸯状饰, 头部为褐红色, 身体为绿色, 玻璃光泽, 不透明; 10FC-4 为鸳鸯状饰, 身体为黄色, 头部和尾部有深绿色块状物镶嵌, 尾部斑点尺寸为 7 mm×5 mm, 头部斑点尺寸为 4 mm×4 mm, 玻璃光泽, 不透明; 10FC-5 中心为可活动绿色圆珠, 边部有绿色和褐红两种颜色, 玻璃光泽, 不透明; 10FC-6 为圆环形饰, 白色, 玻璃光泽, 不透明; 10FC-7 分为白色和绿色区域, 玻璃光泽, 半透明; 10FC-8 为绿色, 局部白色, 玻璃光泽, 不透明; 10FC-9 为佛形饰, 佛头处为白色, 佛肚处为黄色, 玻璃光泽, 不透明; 10FC-10 分为白色和绿色区域, 玻璃光泽, 半透明。

10FC-11 为爱心形饰, 黑色, 玻璃光泽, 不透明; 10FC-13 为小羊状饰, 白色, 玻璃光泽, 不透明; 10FC-14 为葫芦形, 白色, 分为深色区和浅色区, 玻璃光泽, 不透明。

收稿日期: 2011-01-10, 修订日期: 2011-05-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(51072208)资助

作者简介: 孙访策, 1987 年生, 中国科学院上海光学精密机械研究所硕士研究生

e-mail: sunfangee@163.com

* 通讯联系人 e-mail: tulipzhao@163.com

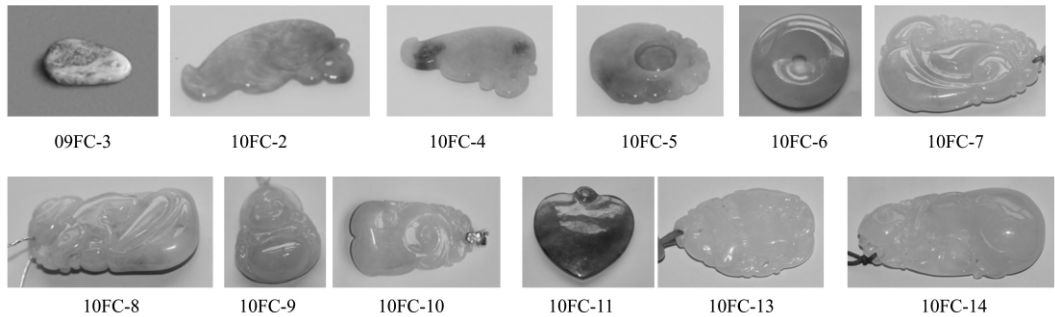


Fig 1 Photographs of the samples

在测量前,用无水酒精对所有样品待测表面进行清洁处理,并尽量选择样品上新鲜、光滑、平整的表面进行测量,样品未经其他处理。

1.2 方法

用 OURSTEX 100FA 便携式能量色散型 X 射线荧光光谱仪^[7]测试了样品的化学成分。谱仪的靶材为钯元素(Pd),X 射线管的激发电压最高可达 40 kV,最大功率为 50 W,X 射线焦斑直径约为 2.5 mm。X 射线利用外部场效应管 SDD 探测器测量,对 Mn 的线(5.9 keV)能量分辨率可达 145 eV。为减少空气对 X 射线的吸收,实验过程中抽真空,最低气压为 400~600 Pa,进一步改善了对轻元素的探测。实验结果进行了归一化处理。

改进的 PIXE 技术实验在复旦大学现代物理研究所加速器实验室进行^[8],由 NEC9SDH-2 串联加速器提供能量为 3.0 MeV 左右的高能准直质子束,到达样品表面的实际能量为 2.8 MeV,束斑直径 1 mm。X 射线用 Si(Li)探测器测量,

系统对 Mn 的线(5.9 keV)的能量分辨率为 165 eV。原子序数大于 11(Na)的元素均可作定量测定,小于 11 的元素因空气对特征 X 射线的吸收而不准确。实验时在样品至探测器间通流动氦气,以保证测定 Na 以上轻元素的准确性。PIXE 能谱经厚靶计算程序 GUPIX 程序解谱计算,得出样品的化学组成。

XRD 实验采用中国科学院上海光学精密机械研究所 X 射线衍射仪,实验时管压 40 kV,管流 40 mA,激发源采用 Cu 靶 X 射线($\text{CuK}\alpha_1=0.154\,06\text{ nm}$),扫描角度 $2\theta=5^\circ\sim 90^\circ$ 。实验时直接对块状样品进行测试,并未研磨成粉末。

激光 Raman 光谱测试采用中国科学院上海光学精密机械研究所的英国雷尼绍公司生产的 Renishaw Invia 型显微共焦激光拉曼光谱仪,实验参数为:氦离子激光器、激发波长 488 nm、额定功率 19.8 mW、100 倍物镜、超低噪声 CCD 探测器、光束作用面积为 $0.6\text{ }\mu\text{m}^2$ 、扫描时间为 10 s、信号采集次数为 3 次、测量误差为 $\pm 0.2\text{ cm}^{-1}$ 。

Table 1 Chemical composition of different samples determined by XRF technique(Wt%)

编号	测试点	Total	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ZnO	BaO	Na/(Na+Ca)
09FC-3	绿色	100	4.51	6.14	16.61	56.45	0	12.52	0.52	3.08	0	0.17	0.39
10FC-2	绿色	99.99	13.49	1.33	25.13	57.18	0	1.68	0.10	0.98	0	0.10	0.94
10FC-2	红色	100	13.32	1.10	24.86	57.87	0	1.64	0.07	0.95	0	0.19	0.94
10FC-4	绿尾	100	6.52	8.88	11.18	56.53	0	14.55	0.07	2.17	0	0.10	0.45
10FC-4	绿头	100	10.28	6.28	16.14	56.16	0	9.07	0.38	1.53	0	0.16	0.67
10FC-4	黄色	100	16.48	0.88	25.44	56.46	0	0.18	0.07	0.42	0	0.07	0.99
10FC-5	中绿	100.01	13.93	1.37	24.94	57.62	0	0.75	0.01	1.13	0	0.26	0.97
10FC-5	边绿	99.98	13.94	1.17	24.94	57.54	0	0.91	0.06	1.18	0.04	0.20	0.96
10FC-5	黄色	99.99	16.02	0.99	24.57	56.35	0.16	0.56	0.06	1.11	0	0.17	0.98
10FC-6	白色	100.01	16.69	0.72	25.68	56.31	0.14	0	0.06	0.36	0.05	0	1
10FC-7	绿色	100	15.25	1.40	24.11	56.45	0.04	1.57	0.03	0.90	0	0.25	0.95
10FC-7	白色	100.01	15.54	0.90	25.25	57.20	0	0.29	0.10	0.70	0.03	0	0.99
10FC-8	绿色	99.98	15.44	0.90	25.12	56.96	0	0.51	0.05	0.86	0	0.14	0.98
10FC-9	白色	100	15.85	1.00	24.79	56.40	0	0.98	0	0.66	0.07	0.25	0.97
10FC-9	黄色	99.99	15.52	0.55	25.10	56.95	0.59	0.83	0	0.45	0	0	0.97
10FC-10	白色	99.98	15.95	0.96	25.16	56.28	0	0.49	0.00	30.89	0	0.25	0.98
10FC-10	绿色	99.99	16.43	0.90	25.18	56.34	0.28	0.50	0.04	0.24	0	0.08	0.98
10FC-11	黑色	100	16.33	0.66	25.46	56.43	0	0	0	0.94	0.06	0.12	1
10FC-13	白色	99.99	15.41	0.88	25.24	57.22	0	0.54	0.06	0.59	0.03	0.02	0.98
10FC-14	深色	100	15.73	1.32	24.57	56.34	0	1.26	0.01	0.61	0.02	0.14	0.96
10FC-14	浅色	100.01	16.17	0.73	25.40	56.80	0.05	0.13	0.06	0.38	0	0.29	0.99

2 结果与讨论

2.1 化学成分分析

表 1 是 PXRF 分析结果。由表 1 可知,除了 09FC-3, 10FC-4 绿尾和 10FC-4 绿头外,其余测试点的主要组分均为 Na_2O , Al_2O_3 , SiO_2 , 含量与硬玉的理论化学组成 Na_2O (15.34%), Al_2O_3 (25.21%), SiO_2 (59.45%) 十分接近,其他组分含量均小于 2%。09FC-3、10FC-4 绿尾和 10FC-4 绿头含有较多的 MgO , CaO , Fe_2O_3 , 较少的 Na_2O 和 Al_2O_3 ,

三者的 $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ 比值分别为 0.39, 0.45 和 0.67, 显示出绿辉石的成分特征。

表 2 是 PIXE 主要组分分析结果。PIXE 的测试位置已尽量与 XRF 的测试位置相同。对比 XRF 和 PIXE 的分析数据可知,两种方法对样品的主要组分分析有很好的可比性,次要组分含量的差别相对较大。这是因为测试方法本身存在误差,而且两者光斑大小和测试点位置并不完全相同。上述对比说明, PXRF 可用于翡翠的成分分析,仪器的便携性为翡翠的无损成分分析带来广阔的应用前景。

Table 2 Major composition of different samples determined by PIXE technique(Wt%)

编号	测试点	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	Cr_2O_3	Fe_2O_3	CuO	ZnO	BaO
10FC-7	绿色	14.92	0.88	24.10	57.59	0.34	0	1.22	0.01	0.72	0	0	0
10FC-8	绿色	16.46	2.39	23.84	55.40	0.27	0.02	1.05	0.01	0.49	0.02	0	0
10FC-9	白色	15.21	2.67	25.07	54.92	0.46	0.06	0.92	0	0.34	0	0	0
10FC-10	绿色	16.22	2.03	24.95	55.49	0.14	0.05	0.82	0.01	0.24	0	0	0

2.2 XRD 分析

硬玉的特征衍射峰如下: 对应晶面间距 d 值为 $2.93 \times 10^{-10} \text{ m}$, $2.84 \times 10^{-10} \text{ m}$ 和 $2.50 \times 10^{-10} \text{ m}$ 的强衍射峰(对应衍射角为 $2\theta = 30.46^\circ$, 31.47° 和 35.92°), 以及 d 值为 $4.31 \times 10^{-10} \text{ m}$ 和 $2.43 \times 10^{-10} \text{ m}$ 的较强衍射峰(对应衍射角为 $2\theta = 20.60^\circ$ 和 37.02°)。绿辉石的特征衍射峰如下: 对应晶面间距 d 值为 $2.96 \times 10^{-10} \text{ m}$ 的强衍射峰(对应衍射角为 $2\theta = 30.14^\circ$), 以及 d 值为 $2.88 \times 10^{-10} \text{ m}$, $2.86 \times 10^{-10} \text{ m}$, $2.53 \times 10^{-10} \text{ m}$, $2.51 \times 10^{-10} \text{ m}$ 和 $2.47 \times 10^{-10} \text{ m}$ 的较强衍射峰(对应

衍射角为 $2\theta = 30.97^\circ$, 31.20° , 35.40° , 35.70° 和 36.40°)。绿辉石和硬玉是类质同象系列, 所以在 XRD 图谱上两者有很大的相似之处。根据衍射峰位置的不同和 XRD 图谱上 $2\theta = 30^\circ \sim 32^\circ$ 之间以及 $2\theta = 35^\circ \sim 37^\circ$ 之间, 硬玉各只有 2 个峰, 而绿辉石有 3 个较强峰的特点, 可以将两者区别开来。对照 JCPDS 卡片, 得出样品主要由硬玉组成, 仅 09FC-3, 10FC-4 绿头和绿尾三个部位含有绿辉石。样品典型的 XRD 测试结果见图 2。

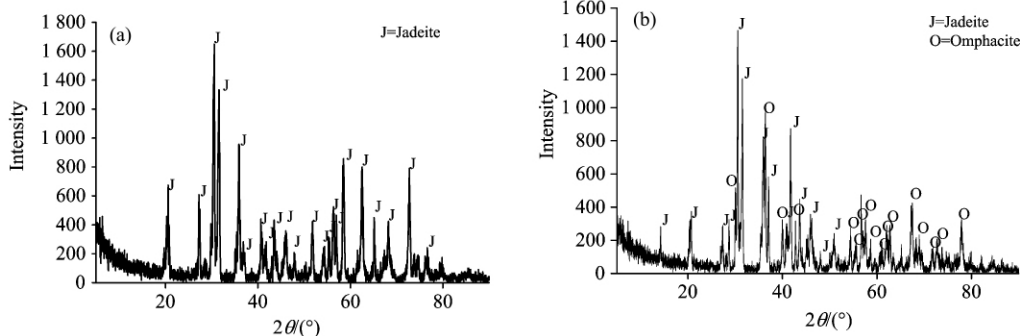


Fig 2 XRD patterns of different samples

(a): Green region of sample 10FC-2; (b): Green tail region of sample 10FC-4

2.3 Raman 光谱分析

样品的 Raman 光谱主要显示出硬玉的特征峰, 主要特征峰位于 $201, 372, 698, 985, 1037 \text{ cm}^{-1}$, 还有一些较弱的峰位于 $221, 291, 308, 326, 432, 523, 574 \text{ cm}^{-1}$ 。09FC-3, 10FC-4 绿头和绿尾显示出绿辉石的特征峰, 主要特征峰位于 680 和 1017 cm^{-1} , 还有一些较弱的峰位于 $335, 378, 404, 513, 560 \text{ cm}^{-1}$ 。硬玉和绿辉石特征峰的明显不同说明 Raman 光谱可有效地用于两者的区别(见图 3)。

除了硬玉和绿辉石外, 10FC-2 绿色、10FC-2 红色、10FC-4 黄色、10FC-9 黄色测试点还显示出白蜡(wax)的

Raman 特征峰, 10FC-5 中绿测试点显示出环氧树脂(epoxy resin)的 Raman 特征峰。白蜡的主要特征峰位于 2846 和 2880 cm^{-1} 。此外, 还有一些较弱的峰位于 $1130, 1168, 1293, 1437, 1461, 2721 \text{ cm}^{-1}$ 。环氧树脂的主要特征峰位于 2924 和 3065 cm^{-1} 。此外, 还有一些较弱的峰位于 $1114, 1186, 1608 \text{ cm}^{-1}$ 。Raman 光谱可有效地用于两者的区别(见图 4)。

在利用 Raman 光谱测试样品的过程中, 我们发现, 白蜡和环氧树脂只集中出现在样品的裂缝处, Raman 光谱仪附带的高倍显微镜下的照片清楚地显示了这点(见图 5)。Raman

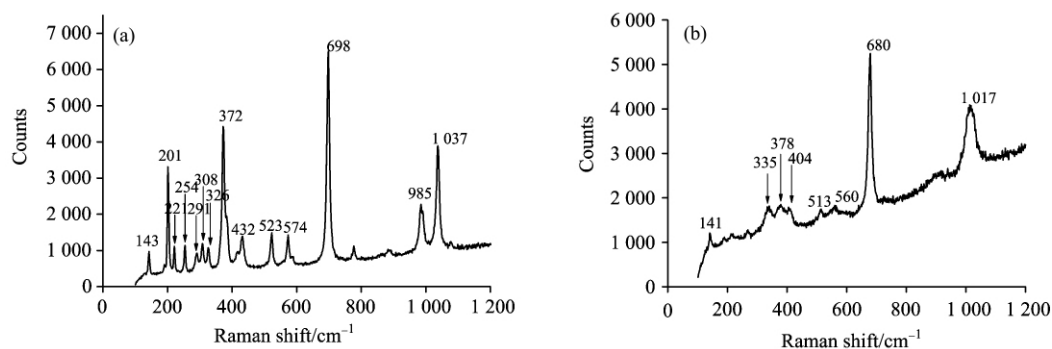


Fig 3 Raman spectra of different samples

(a): Yellow region of sample 10FC-9; (b): Green tail region of sample 10FC-4

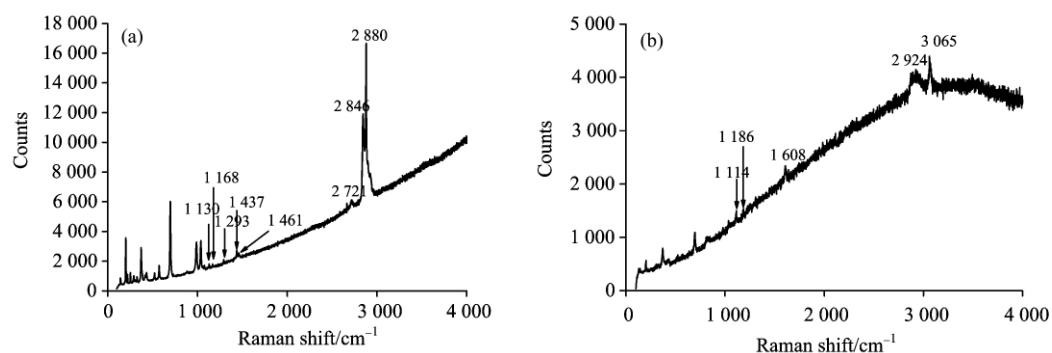


Fig 4 Raman spectra of organic compounds in different samples

(a): Green region of sample 10FC-2; (b): Green center region of sample 10FC-5

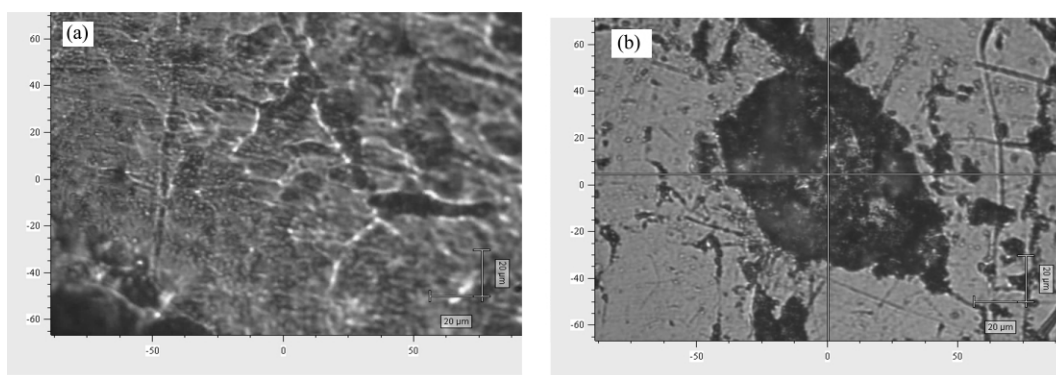


Fig 5 Photographs of Raman testing spots of different samples

(a): Green region of sample 10FC-2; (b): Green center region of sample 10FC-5

光谱在样品的平坦处没有发现有机物的存在。这说明有机物在样品的裂缝处较多,而在样品平坦处含量较少。

化学成分分析、XRD 和 Raman 光谱分析均表明大部分样品的主要组成矿物为硬玉。10FC-4 在绿头和绿尾两个区域含有少量的绿辉石。09FC-3 主要组成矿物为绿辉石。实验中未测试出其他矿物。

上述实验结果说明测试的样品几乎均由较纯的硬玉组成,这解释了为什么翡翠是一种透明度很高的玉石,因为伴生矿物的存在不利于光在玉石中的透过。除了硬玉外,绿辉石也是翡翠中较为常见的组成矿物。而以绿辉石为主要矿物

的玉石是否归类为翡翠,目前尚存争议。

硬玉和绿辉石均属于辉石(Pyroxene)族矿物,化学成分可表示成 $XY[T_2O_6]$ 。其中,硬玉的化学式为 $NaAlSi_2O_6$,当 Na 被较多的 Ca 取代,Al 被较多的 Fe 和 Mg 取代,硬玉将转变为绿辉石。

根据新矿物及矿物命名委员会关于辉石命名的建议^[9],绿辉石的界限被人为地确定在 $0.2 < Na/(Na+Ca) < 0.8$ 。由于硬玉和绿辉石属于类质同象系列,具有不同的成分和相似的结构,因此化学成分上两者有着明显的区别,而 XRD 分析则显示两者有着很相近的晶体结构,只在衍射峰峰位和数

量上有一定的区别。

在辉石族矿物的晶体结构中,链与链之间有两种不同大小的空隙,小者记为 M1,大者记为 M2。硬玉和绿辉石由于在 M1 和 M2 位置的阳离子不同,在结构上有一定的区别,反映在两者的 Raman 光谱存在一定的区别。硬玉的特征峰 985 和 $1\,037\text{ cm}^{-1}$ 属于 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 基团的 Si—O_{nb} 对称伸缩振动, 698 cm^{-1} 属于 Si—O_{br}—Si 对称弯曲振动, 372 cm^{-1} 属于 Si—O_{br}—Si 不对称弯曲振动。其余 600 cm^{-1} 以下的峰属于与金属离子 M—O 相关的伸缩振动及其与 Si—O_{br}—Si 弯曲振动的耦合振动^[10, 11]。绿辉石的特征峰 $1\,017\text{ cm}^{-1}$ 属于 Si—O_{nb} 对称伸缩振动, 680 cm^{-1} 属于 Si—O_{br}—Si 对称弯曲振动, $500\sim 590\text{ cm}^{-1}$ 属于 O—Si—O 弯曲振动, $200\sim 490\text{ cm}^{-1}$ 的属于 M—O 振动^[12]。其中, O_{nb} 指的是非桥氧, O_{br} 指的是桥氧。利用 Raman 光谱可以快速有效地区分硬玉、绿辉石和其他矿物。

除了硬玉和绿辉石,测试的 12 个样品中有 3 个样品含有白蜡,1 个样品含有环氧树脂。白蜡和环氧树脂的存在说明样品经过了人工处理以改善外观。环氧树脂是含苯的碳氢化合物。而白蜡是属于不含苯基的固态烷烃。环氧树脂的特征峰 $3\,069\text{ cm}^{-1}$ 属于苯环的碳氢伸缩振动,宽的 $2\,924\text{ cm}^{-1}$ 拉曼峰属于 CH₃ 和 CH₂ 的 C—H 伸缩振动, $1\,608$ 和 $1\,114$

cm^{-1} 属苯基中具共价键的碳碳伸缩振动, $1\,186\text{ cm}^{-1}$ 属苯环的碳氢面内弯曲振动。而白蜡的特征峰 $2\,880$ 和 $2\,846\text{ cm}^{-1}$ 属 CH₃ 和 CH₂ 的伸缩振动^[13]。Raman 光谱的测试结果表明,白蜡和环氧树脂只集中出现在样品的裂隙处,因此测试样品是否含有有机物时,需要寻找样品的裂隙处进行测试,否则会得出错误的结论。利用 Raman 光谱可以有效地判别有机物的存在。

3 结 论

翡翠是我国玉文化的重要组成部分,也是玉石市场上重要的玉种。翡翠成分、结构和矿物组成的分析是认识翡翠的基础,也是鉴定、分级研究的基础。因此,发展相应的无损分析技术具有重要的意义。无损分析技术在翡翠中的应用拓展了翡翠样品的研究范围,为翡翠的进一步研究、鉴定和分级提供了技术支持。

致谢:感谢中国科学院上海光学精密机械研究所李青会副研究员、顾冬红研究员,复旦大学马波老师提供翡翠样品。感谢中国科学院上海光学精密机械研究所刘松同学在 PXRF 测试上的帮助,腾浩同学在 XRD 测试上的帮助。感谢复旦大学承焕生教授在 PIXE 测量中的指导与帮助。

References

- [1] OUYANG Qiu-mei(欧阳秋眉). Journal of Gems&Gemmology(宝石和宝石学杂志), 1999, 1(1): 18.
- [2] OUYANG Qiu-mei, LI Hang-sheng, GUO Xi(欧阳秋眉, 李汉声, 郭 熙). Journal of Gems&Gemmology(宝石和宝石学杂志), 2002, 4(3): 1.
- [3] ZHANG Mei, HOU Peng-fei, WANG Jian-ming(张 梅, 侯鹏飞, 王建国). Jiangsu Geology(江苏地质), 2004, (2): 100.
- [4] LU Hui, WU Rui-hua, LING Xiao-xiao, et al(卢 慧, 吴瑞华, 凌潇潇, 等). Journal of Gems & Gemmology(宝石和宝石学杂志), 2008, 10(4): 18.
- [5] ZHANG Bei-li, GAO Yan, AO Yan(张蓓莉, 高 岩, 奥 岩). Journal of Gems&Gemmology(宝石和宝石学杂志), 1999, 1(4): 1.
- [6] ZHANG Bei-li, GAO Yan, AO Yan(张蓓莉, 高 岩, 奥 岩). Journal of Gems&Gemmology(宝石和宝石学杂志), 2001, 3(1): 22.
- [7] LIU-Song, LI Qing-hui, GAN Fu-xi, et al(刘 松, 李青会, 干福熹, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2010, 30(9): 2576.
- [8] Cheng H S, Zhang Z Q, Zhang B, et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 2004, 219—212: 30.
- [9] Morimoto N. Mineralogical Magazine, 1988, 52: 535.
- [10] ZU En-dong, CHEN Da-peng, ZHANG Peng-xiang(祖恩东, 陈大鹏, 张鹏翔). The Journal of Light Scattering(光散射学报), 2002, 14(2): 63.
- [11] XIONG Fei, ZHOU Xiao-fang, ZU En-dong, et al(熊 飞, 周小芳, 祖恩东, 等). Yunnan Geology(云南地质), 2006, 25(2): 227.
- [12] Anna K, Maurizio M, Georg A A. Vibrational Spectroscopy, 2008, 48: 163.

Nondestructive Analysis of Chemical Composition, Structure and Mineral Constitution of Jadeite Jade

SUN Fang-ce¹, ZHAO Hong-xia^{1*}, GAN Fu-xi^{1, 2}

1. Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China
2. Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract The techniques of portable energy-dispersive X-ray fluorescence analysis (PXRF), proton induced X-ray emission (PIXE), X-ray diffraction (XRD) and laser Raman spectroscopy (LRS) were employed to analyze the chemical composition,

structure and mineral constitution of 12 samples. The results indicated that the chemical compositions determined by PXRF and PIXE are well comparable and most samples are constituted by almost pure jadeite with low concentration of secondary elements. One sample contains a little omphacite and one sample is composed only by omphacite. Raman characteristic peaks of jadeite occurred at 201, 372, 698, 985 and 1 037 cm^{-1} , while those of omphacite located at 680 and 1 017 cm^{-1} . By using laser Raman spectroscopy for testing the fissures of the samples, wax in 3 samples and epoxy resin in one sample were found. Raman characteristic peaks of wax located at 2 846 and 2 880 cm^{-1} and those of epoxy resin occurred at 2 924 and 3 065 cm^{-1} . The application of nondestructive techniques in jadeite jade broadens the range of samples for future study and provides technical support for jadeite jade's further study, identification and classification.

Keywords Jadeite jade; Portable X-ray fluorescence analysis; External beam proton induced X-ray emission; Laser Raman spectrum; Nondestructive analysis

(Received Jan. 10, 2011; accepted May 26, 2011)

* Corresponding author

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告

《岩矿测试》2012 年征订启事

国内统一刊号: CN11-2131/TD

国际 CODEN: YACEEK

国外发行代号: BM4089

国际标准刊号: ISSN 0254-5357

国内邮发代号: 2-313

京西工商广字第 0227 号

《岩矿测试》1982 年创刊, 是中国地质学会岩矿测试技术专业委员会和国家地质实验测试中心共同主办的地质分析测试科学综合性学术期刊。曾获国家级优秀科技期刊三等奖, 地质矿产部优秀科技期刊一等奖, 北京市科技期刊四通杯全优期刊奖, 中国科协优秀学术期刊三等奖。《岩矿测试》坚持面向地质实验技术创新、面向应用、服务基层的方针和基本定位, 是交流地质工作科技成果的百花园地, 是联系全国地质分析工作者的纽带, 突出服务于地球科学、矿产资源、生态环境地球化学研究, 促进地质分析测试技术发展。本刊主要报道国内外地质矿产、环境保护、石油化工、冶金工业、矿产品检验、煤炭等分析测试领域的新理论、新方法、新技术的研究成果、评述及实践经验, 适合于地质、冶金、环保、石油、化工、煤炭等行业从事分析测试的科技工作者及大专院校师生阅读。

《岩矿测试》是中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国期刊方阵双效期刊。被美国《化学文摘》、美国《剑桥科学文摘》、英国《分析文摘》、俄罗斯《文摘杂志》, 《中国科技论文统计与分析》(中国科技核心期刊)、《中国学术期刊文摘》光盘版、中国学术期刊综合评价数据库、中国科学引文数据库、中文科技期刊数据库、中国期刊网等国内外 15 家数据库和文摘收录。《岩矿测试》在 88 种“矿业工程”类期刊中排名第一。

《岩矿测试》为双月刊, 大 16 开版本, 逢双月 15 日出版, 国内外公开发行。2012 年定价 15.0 元/册, 全年 90.00 元。漏订的读者可直接与编辑部联系。

《岩矿测试》编辑部地址: 北京西城区百万庄大街 26 号

国家地质实验测试中心(邮政编码 100037)

电话: 010-68999562; 68999563 传真: 010-68999563

E-mail: ykcs_zazhi@163.com; ykcs_zazhi@sina.com

《岩矿测试》网站(在线投稿): <http://www.ykcs.ac.cn>