

# 红外光谱在常见优化处理宝石鉴定中的应用

罗洁<sup>1</sup>, 徐亚兰<sup>2\*</sup>, 黄惠臻<sup>1</sup>, 刘嘉钧<sup>1</sup>

<sup>1</sup>广州城市理工学院珠宝学院, 广东 广州 510800;

<sup>2</sup>梧州学院宝石与艺术设计学院, 广西 梧州 543002

**摘要** 选取市场上常见优化处理(充填处理和覆膜处理)宝石进行常规宝石学测试和红外光谱特征研究。研究发现,利用常规宝石学特征无法区分优化处理宝石,但红外光谱特征却可以准确快速地判定。测试结果表明,采用透射法观察 2800~3200  $\text{cm}^{-1}$  范围内的吸收谱带可以鉴定宝石是否经过有机物充填处理,在充油宝石和浸蜡宝石中可见 2850, 2928, 2966  $\text{cm}^{-1}$  附近的吸收谱带,充胶宝石的特征鉴别谱带在 3035, 3056, 3095  $\text{cm}^{-1}$  附近,吸收谱带越强充填程度越高。铅玻璃充填宝石的鉴别特征为 2235  $\text{cm}^{-1}$  和 2609  $\text{cm}^{-1}$  附近的谱带。红外反射法可以直接鉴定人造树脂材料覆膜处理的宝石。

**关键词** 光谱学; 优化处理; 鉴定特征; 红外光谱

中图分类号 TN219

文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP202158.1630003

## Application of Infrared Spectra to Identification of Enhanced Common Gemstones

Luo Jie<sup>1</sup>, Xu Yalan<sup>2\*</sup>, Huang Huizhen<sup>1</sup>, Liu Jiajun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Jewelry, Guangzhou City University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510800, China;

<sup>2</sup>School of Jewelry, Arts and Design, Wuzhou University, Wuzhou, Guangxi 543002, China

**Abstract** Some enhanced common gemstones via filling and coating treatments in the market were selected for the regular gemological test and infrared spectral investigation. The research discloses that the enhanced gemstone cannot be distinguished using the regular gemological features, but it can be accurately and quickly identified using the infrared spectral features. The test results show that the absorption bands ranging from 2800  $\text{cm}^{-1}$  to 3200  $\text{cm}^{-1}$  observed using a transmission method can be used to identify whether the gems have been treated with organic material filling. The absorption bands around 2850, 2928, and 2966  $\text{cm}^{-1}$  can be seen in oil-soaked and wax-soaked gemstones, and the characteristic identification bands around 3035, 3056, and 3095  $\text{cm}^{-1}$  can be found in colloid-filled gemstones. Further, a stronger spectrum indicates a higher degree of filling. The spectral bands around 2235  $\text{cm}^{-1}$  and 2609  $\text{cm}^{-1}$  are the identification characteristics of gems filled with lead glass. The organic-material-coated gemstones can be directly identified using an infrared reflection method.

**Key words** spectroscopy; enhancement; identification characteristics; infrared spectrum

**OCIS codes** 300.6170; 300.6300; 300.6340

## 1 引言

随着经济的快速发展,人们对珠宝首饰的需求

日益增长。作为稀少的不可再生资源,珠宝玉石的产量越来越少,价格也越来越昂贵,而高品质的珠宝玉石更是价格不菲。为了满足消费者的需求,人们

收稿日期: 2020-10-27; 修回日期: 2020-12-18; 录用日期: 2020-12-27

基金项目: 2020 年广西高校中青年提升项目(2020KY17002)、2017 年梧州学院校级科研项目(2017C015)

通信作者: \*422563014@qq.com

开始对品质较差的珠宝玉石进行优化处理,以提高中低档珠宝玉石的价值。

宝石的优化处理是指除切磨和抛光以外的用来改善珠宝玉石外观(颜色、净度或特殊光学效应)、耐久性或可用性的所有方法<sup>[1]</sup>。经处理后,珠宝玉石的外观特征得到改善。优化处理方法主要包括热处理、扩散处理、辐照处理、充填处理、染色处理、覆膜处理等。目前,国内外已有大量关于不同宝石的优化处理研究。Hainschwang 等<sup>[2]</sup>对褐色钻石进行了高温高压改色处理,郭也正等<sup>[3]</sup>对缅甸、马达加斯加以及中国云南的红宝石进行了加热改色研究,李源<sup>[4]</sup>研究了不同颜色水晶的改色温度及致色原因,胡静雯等<sup>[5]</sup>研究了一种用来充填祖母绿裂隙的无铅低熔点玻璃材料,王亦帆等<sup>[6]</sup>使用丙烯酸酯类聚合物对翡翠进行充填改性。随着优化处理技术的提

高,优化处理宝石与天然宝石越来越难区分。

本文选取两种优化处理(充填处理和覆膜处理)宝石,以市场上常见的宝石及其优化处理品为研究对象,测试了它们的宝石学性质,并利用红外吸收光谱对它们进行了研究,总结了红外光谱的差异,为优化处理宝石的鉴定提供了快速准确的鉴定依据。

## 2 样品和测试

本文选取了市场上常见的几种宝石及其优化处理品:1)翡翠(少蜡)、浸蜡翡翠和酸洗充填翡翠;2)祖母绿(微油)、浸油祖母绿和充胶祖母绿;3)浸油红宝石和铅玻璃充填红宝石;4)月光石与覆膜月光石;5)欧泊与覆膜欧泊。12 种样品如图 1 所示,对它们进行了常规宝石学特征和红外光谱的测试分析。



图 1 常见宝石及其优化处理品

Fig. 1 Common gemstones and their enhancement products

通过宝石显微镜、宝石折射仪、紫外荧光灯、净水力学法密度测试仪器等测试了样品的宝石学性质,研究了样品的光学性质、力学性质以及其他性质。测试地点为广州城市理工学院珠宝鉴定实验室。

使用布鲁克仪器公司的型号为 TENSOR-27 的傅里叶变换红外光谱仪对样品进行测试,充填处理宝石采用漫反射法和直接透射法,覆膜处理宝石使用漫反射法。其中,漫反射法测试范围为  $400 \sim 1600 \text{ cm}^{-1}$ ,直接透射法测试范围为  $2000 \sim 4000 \text{ cm}^{-1}$ 。测试地点为广州城市理工学院珠宝学院测试中心。

实验条件:扫描温度为  $18 \sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,扫描范围为  $400 \sim 4000 \text{ cm}^{-1}$ ,分辨率为  $4 \text{ cm}^{-1}$ ,扫描次数为 32,电压为  $210 \sim 230 \text{ V}$ 。

## 3 常规宝石学特征

### 3.1 肉眼观察

翡翠样品为无色或浅绿色,纤维交织结构,玻璃光泽,颗粒较细,透明度较高;祖母绿样品为浅绿色,玻璃光泽;红宝石样品为红色,玻璃光泽;月光石样品为无色透明,玻璃光泽,可见月光效应;欧泊样品为浅黄色,玻璃光泽,可见变彩效应。仅凭肉眼观察特征,无法区分宝石及其优化处理品。

### 3.2 常规宝石学仪器分析

对样品进行常规宝石学测试,记录其折射率、相对密度及紫外荧光灯下的荧光现象,并用宝石显微镜观察它们的内部特征,测试结果如表 1 所示。

表 1 常见宝石及其优化处理品的常规宝石学参数

Table 1 Conventional gemological parameters of common gemstones and their enhancement products

Sample	Refractive index	Relative density	Fluorescence in ultraviolet fluorescent lamps	Internal characteristic
Jadeite(slight wax)	1.66	3.33	Short wave: none Long wave: none	Fiber interlacing structure
Wax-soaked jadeite	1.66	3.32	Short wave: none Long wave: none	Fiber interlacing structure
Colloid-filled jadeite	1.66	3.30	Short wave: weak and green Long wave: strong and green	Fiber interlacing structure and texture caused by acid erosion
Emerald (slight oil)	1.578–1.587	2.73	Short wave: none Long wave: none	Gas-liquid inclusions
Oil-soaked emerald	1.580–1.588	2.74	Short wave: none Long wave: none	Gas-liquid inclusions
Colloid-filled emerald	1.582–1.590	2.72	Short wave: weak and green Long wave: none	Gas-liquid inclusions
Oil-soaked ruby	1.761–1.769	4.01	Short wave: weak and red Long wave: weak and red	Gas-liquid inclusions
Colloid-filled ruby	1.762–1.770	4.03	Short wave: none Long wave: medium and red	Gas-liquid inclusions with blue flash and bubblet
Moonstone	1.52	2.59	Short wave: weak and pink Long wave: none	Being internally flawless with moonlight effect
Coated moonstone	1.52	2.58	Short wave: weak and pink Long wave: medium and pink	Having some cracks and being partly weak lustre with moonlight effect
Opal	1.45	2.15	Short wave: none Long wave: none	Play of colour and being internally flawless
Coated opal	1.45	2.13	Short wave: none Long wave: medium, blue and white	Play of colour, being internally flawless, and being partly weak lustre

测试结果表明,利用折射率、相对密度等常规宝石学特征无法区分样品是否经过优化处理,利用荧光现象和显微特征有时可以发现宝石优化处理的痕迹,如酸洗充胶翡翠的绿色荧光和酸蚀网纹,铅玻璃充填红宝石内部的小气泡和蓝色闪光等。但随着优化处理技术的提高,这些区分特征越来越不明显,新型有机充填的翡翠在紫外荧光灯下是惰性的,表面也观察不到酸蚀网纹。因此,用常规宝石学特征来鉴定宝石是否经过优化处理往往是不可靠的。

#### 4 充填处理宝石的红外吸收光谱特征

充填处理是指采用各种充填材料(有色或无色油、人造树脂、蜡、玻璃等),在一定的条件下(如真空、加压、加热等),对宝石中开放的裂隙、孔洞和玉石中的孔隙、晶粒间隙直接进行充填处理,旨在掩盖

裂隙或强化结构。

##### 4.1 翡翠(少蜡)、浸蜡翡翠和酸洗充胶翡翠

翡翠是以硬玉为主的由多种细小矿物组成的矿物集合体,常用的优化处理方法有浸蜡、热处理、漂白、充填、染色等。热处理后的翡翠和未经过处理的翡翠一样,称为“A货”翡翠,漂白充填后的翡翠称为“B货”翡翠。

选用翡翠(少蜡)、浸蜡翡翠和酸洗充胶翡翠样品分别进行测试。红外光谱测试结果表明,样品在指纹区( $400\sim 1600\text{ cm}^{-1}$ )的吸收光谱基本一致,如图2(a)所示。其中, $1170, 1083, 957, 852\text{ cm}^{-1}$ 为Si—O振动导致的, $744\text{ cm}^{-1}$ 和 $667\text{ cm}^{-1}$ 为Si—O—Si振动导致的。 $588, 528, 475, 433\text{ cm}^{-1}$ 为Si—O的弯曲振动和M—O伸缩振动的吸收谱带。

红外透射法测试结果如图2(b)所示,可以看

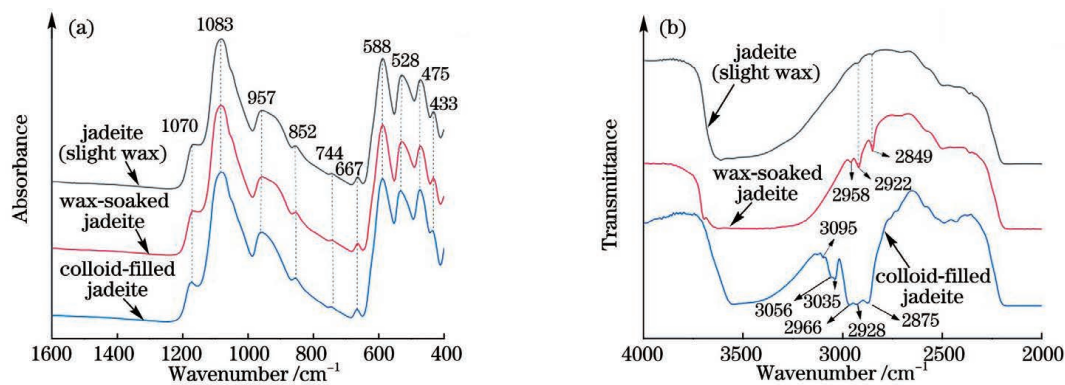


图 2 翡翠、浸蜡翡翠、酸洗充胶翡翠的红外吸收光谱。(a) 反射法；(b) 透射法

Fig. 2 Infrared absorption spectra of jadeite, wax-soaked jadeite and colloid-filled jadeite. (a) Reflection method; (b) transmission method

出,三个样品在  $2200 \sim 2600 \text{ cm}^{-1}$  波数范围内均存在多个不太明显的吸收谱带,而在  $2800 \sim 3200 \text{ cm}^{-1}$  波数范围内的吸收谱带存在明显差异。天然翡翠在  $2849 \text{ cm}^{-1}$  和  $2922 \text{ cm}^{-1}$  处有微弱的吸收谱带,由  $\text{CH}_2$  反对称和对称伸缩振动引起<sup>[7]</sup>;浸蜡翡翠在  $2849 \text{ cm}^{-1}$  和  $2922 \text{ cm}^{-1}$  处有强吸收谱带,在  $2958 \text{ cm}^{-1}$  处有弱吸收谱带, $2958 \text{ cm}^{-1}$  处的弱吸收谱带为  $\text{CH}_3$  反对称伸缩振动引起的,表明天然翡翠和浸蜡翡翠中均含有有机物石蜡,天然翡翠中的含量较少,一般为抛光时蜡质的残余,而浸蜡翡翠中的含量较高。测试表明,蜡含量越高, $2849 \text{ cm}^{-1}$  和  $2922 \text{ cm}^{-1}$  处的谱带越强,因此可以根据吸收谱带的强度来判定样品的优化处理程度,这与前人的研究相符<sup>[8]</sup>。酸洗充胶翡翠中除了有甲基( $\text{CH}_3$ )和亚甲基( $\text{CH}_2$ )导致的  $2875, 2928, 2966 \text{ cm}^{-1}$  吸收谱带外,还存在 C—H 伸缩振动导致的  $3035, 3056, 3095 \text{ cm}^{-1}$  等三个吸收谱带,表明样品含有环氧树脂<sup>[7]</sup>。

因此,使用透射法不仅可以准确地判断出翡翠

是否进行了充填处理,还可以判断其充填物质的品种及充填的程度。

#### 4.2 祖母绿(微油)、浸油祖母绿和充胶祖母绿

祖母绿是铍铝硅酸盐矿物,化学式为  $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_6)_3$ ,含有 Cr、Fe、Ti、V 等微量元素。常见的优化处理方法有浸注处理、染色处理、覆膜处理。祖母绿裂隙较多,为了提高其成品率和美观性,市场上大部分的祖母绿都有经过浸注充填处理,常见的充填物有无色油、有色油、树脂等。

选用祖母绿(微油)、浸油祖母绿和充胶祖母绿进行测试。反射法测试结果如图 3(a)所示,可以看出,三种样品的红外光谱基本一致,其中  $1220, 1090, 1022, 954 \text{ cm}^{-1}$  附近处的特征谱带归因于 Si—O—Si 的反对称伸缩振动、O—Si—O 的反对称伸缩和对称伸缩振动,  $808, 750, 685, 650 \text{ cm}^{-1}$  附近处的谱带是由 Si—O—Si 的伸缩振动引起的,  $595, 525, 492, 460 \text{ cm}^{-1}$  处的谱带则由 Si—O 的弯曲振动和 M—O 的伸缩振动引起的<sup>[9]</sup>。

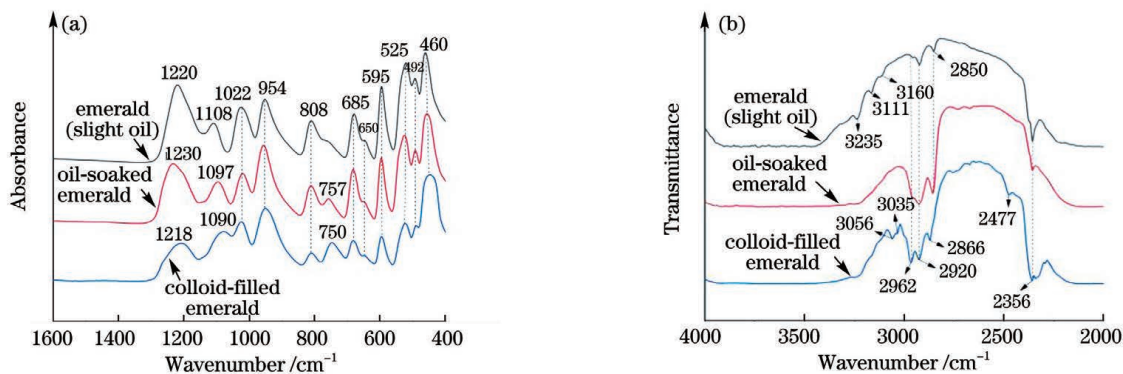


图 3 祖母绿(微油)、浸油祖母绿和充胶祖母绿的红外吸收光谱。(a) 反射法；(b) 透射法

Fig. 3 Infrared absorption spectra of emerald (slight oil), oil-soaked emerald and colloid-filled emerald. (a) Reflection method; (b) transmission method



三种样品在  $2800\sim 3100\text{ cm}^{-1}$  波数范围内的红外吸收光谱存在差异,如图 3(b)所示。祖母绿(微油)和浸油祖母绿均在  $2850\text{ cm}^{-1}$  和  $2920\text{ cm}^{-1}$  处出现由  $\text{CH}_2$  反对称伸缩振动和对称伸缩振动引起的谱带以及在  $2962\text{ cm}^{-1}$  处出现由  $\text{CH}_3$  反对称伸缩振动引起的谱带,其中浸油祖母绿的吸收程度较强,表明样品中存在油类有机物,且浸油祖母绿中的含量较高。充胶祖母绿中除在  $2962, 2920, 2866\text{ cm}^{-1}$  附近出现油类有机物的谱带外,还在  $3035\text{ cm}^{-1}$  和  $3056\text{ cm}^{-1}$  处出现由  $\text{C-H}$  伸缩振动引起的谱带,证实了样品中存在环氧树脂。三种样品在  $2356\text{ cm}^{-1}$  附近处均出现由  $\text{CO}_2$  反对称伸缩振动引起的谱带,祖母绿(微油)在  $3235\text{ cm}^{-1}$  附近的谱带为  $[\text{Fe}_2(\text{OH})_4]^{2+}$  多聚合离子导致的,  $3160\text{ cm}^{-1}$  和  $3111\text{ cm}^{-1}$  处的谱带分别由  $\text{Na-H}$  及  $\text{M-OH}$  振动导致<sup>[10]</sup>,充胶祖母绿在  $2477\text{ cm}^{-1}$  处的吸收谱带为  $\text{Cl}^-$  的吸收峰<sup>[9]</sup>。

因此,使用透射法可以准确地判断出祖母绿是否进行了充填处理,根据谱带位置和强度可以辨别充填物质的品种及充填程度。

#### 4.3 浸油红宝石和铅玻璃充填红宝石

红色的刚玉被称为红宝石,化学成分为铝的氧

化物( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ),含有微量的杂质元素  $\text{Fe}, \text{Ti}, \text{Cr}, \text{Mn}, \text{V}$  等。为了改善红宝石的外观,常见的优化处理方法有热处理、浸油、充填、扩散等。因为红宝石的折射率较高,通常采用高折射率的铅玻璃作为充填物。

选用浸油红宝石和铅玻璃充填红宝石进行测试。两种样品在指纹区的红外吸收光谱基本一致,如图 4(a)所示,其中  $750, 617, 496, 465\text{ cm}^{-1}$  附近的吸收谱带为  $\text{Al-O}$  的伸缩振动和晶格吸收所致<sup>[11]</sup>。透射法测试结果如图 4(b)所示,可以看出,浸油红宝石在  $2344, 2376, 2850, 2920\text{ cm}^{-1}$  处存在红外吸收谱带。其中,  $2344\text{ cm}^{-1}$  和  $2376\text{ cm}^{-1}$  处的红外吸收谱带为空气中的  $\text{CO}_2$  反对称伸缩振动引起的。 $2850\text{ cm}^{-1}$  和  $2920\text{ cm}^{-1}$  处的红外吸收谱带为  $\text{CH}_2$  反对称和对称伸缩振动引起,表明红宝石样品中存在少量有机物。铅玻璃充填红宝石则在  $2235, 2609, 3423\text{ cm}^{-1}$  处存在较强的振动谱带及在  $2920\text{ cm}^{-1}$  处存在微弱的谱带,其中  $3423\text{ cm}^{-1}$  附近的吸收谱带是由  $\text{H}_2\text{O}$  分子振动导致的。 $2235\text{ cm}^{-1}$  和  $2609\text{ cm}^{-1}$  处的振动谱带是由  $\text{Si-OH}$  振动引起的,这是铅玻璃充填红宝石的典型鉴定特征<sup>[12]</sup>。

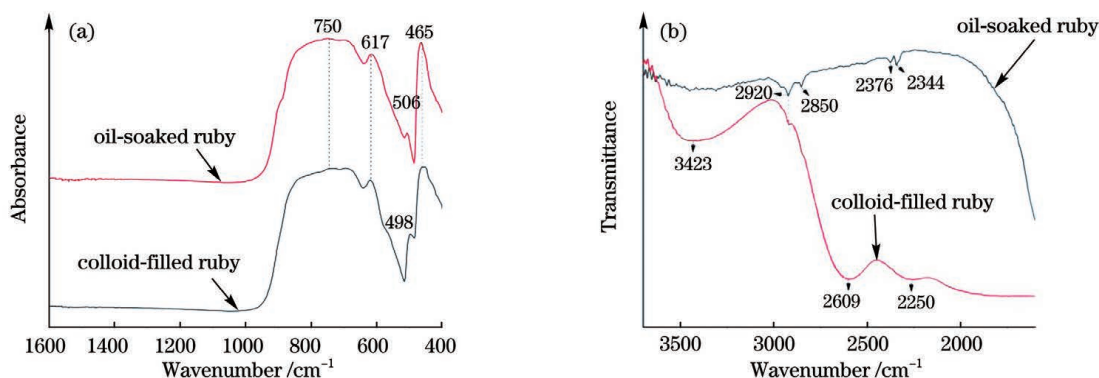


图 4 浸油红宝石和铅玻璃充填红宝石的红外吸收光谱。(a) 反射法; (b) 透射法

Fig. 4 Infrared absorption spectra of oil-soaked ruby and colloid-filled ruby. (a) Reflection method; (b) transmission method

因此,使用透射法不仅可以准确地判断出红宝石是否进行了充填处理,还可以判断其充填物质的品种。

## 5 覆膜处理宝石的红外吸收光谱特征

覆膜处理是一种表面处理方法,其主要特点是将一些无色或有色人造树脂材料等有机物均匀地附着在宝石戒面的表面,以期改变或改善宝石的视觉颜色及表面粗糙度,或掩盖宝石的表面缺陷(坑、裂、擦痕等)。

### 5.1 月光石与覆膜月光石

月光石是正长石( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )和钠长石( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )两种成分层状交互的宝石矿物,常用的优化处理方法为充填和覆膜。

选取月光石样品和覆膜月光石样品进行测试。红外反射测试结果如图 5 所示,可以看出,两种样品的红外光谱出现较明显的差异,月光石样品在  $1171, 1137, 1053\text{ cm}^{-1}$  处的强吸收谱带是  $\text{Si-O}$ 、 $\text{Si(Al)-O}$  的伸缩振动引起的,在  $775\text{ cm}^{-1}$  和  $708\text{ cm}^{-1}$  处的谱带分别为  $\text{Si-Si}$  伸缩振动谱带和

Si—(Al) Si 伸缩振动谱带, 在  $640\text{ cm}^{-1}$  和  $585\text{ cm}^{-1}$  处的谱带为 O—Si(Al)—O 弯曲振动谱带, 在  $467\text{ cm}^{-1}$  处的谱带为 O—Si—O 弯曲振动与 K(Na)—O 伸缩振动耦合带, 在  $425\text{ cm}^{-1}$  处的谱带是由 Si—O—Si 弯曲振动导致的, 这表明月光石样品主要由正长石和钠长石构成<sup>[13]</sup>。覆膜月光石样品出现较多的吸收峰, 在  $1105, 1053, 1016, 931\text{ cm}^{-1}$  处的吸收谱带是由 Si—O、Si(Al)—O 的伸缩振动引起的, 在  $726\text{ cm}^{-1}$  和  $695\text{ cm}^{-1}$  处的吸收谱带为 Si—(Al) Si 伸缩振动谱带, 在  $585\text{ cm}^{-1}$  处的吸收谱带是 O—Si(Al)—O 弯曲振动谱带, 在  $540\text{ cm}^{-1}$  和  $467\text{ cm}^{-1}$  处的吸收谱带为 O—Si—O 弯曲振动与 K(Na)—O 伸缩振动耦合带, 在  $425\text{ cm}^{-1}$  处的吸收谱带为 Si—O—Si 弯曲振动导致的, 这表明该覆膜月光石样品主要由正长石和钠长石构成, 钠长石含量较高<sup>[13]</sup>。同时, 样品除在  $2850\text{ cm}^{-1}$  和  $2920\text{ cm}^{-1}$  处具有  $\text{CH}_2$  反对称和对称伸缩振动谱带外, 在  $1200\sim 1800\text{ cm}^{-1}$  波数范围内还具有一些有机物的吸收谱带, 其中,  $1703\text{ cm}^{-1}$  谱带是由 C=O 键伸缩振动导致的,  $1623\text{ cm}^{-1}$  谱带是由 C=C 伸缩振动导致的,  $1434\text{ cm}^{-1}$  和  $1356\text{ cm}^{-1}$  谱带归属于饱和烃基中 C—H 键弯曲振动谱带,  $1274\text{ cm}^{-1}$  谱带归属于 C—O 伸缩振动谱带。

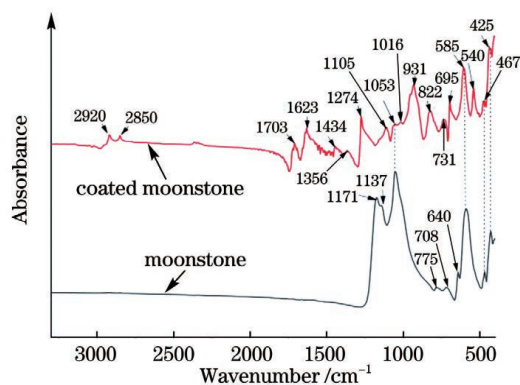


图 5 反射法测得的月光石和覆膜月光石的红外吸收光谱  
Fig. 5 Infrared absorption spectra of moonstone and coated moonstone measured by reflection method

测试结果表明, 通过反射法可直接区分覆膜月光石和月光石, 其中覆膜月光石有明显的有机物吸收谱带。

## 5.2 欧泊与覆膜欧泊

欧泊的组成矿物为蛋白石, 还含有少量石英、黄铁矿等次要矿物。它的化学成分为  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , 含水量不定, 一般为  $4\%\sim 9\%$ (质量分数)。

选取欧泊样品和覆膜欧泊样品进行测试。红外反射光谱测试结果如图 6 所示, 欧泊样品在  $470, 777, 1098\text{ cm}^{-1}$  处有明显的谱带, 在  $1098\text{ cm}^{-1}$  处的谱带为非对称的 Si—O—Si 伸缩振动谱带, 在  $777\text{ cm}^{-1}$  处的谱带为 O—Si—O 对称伸缩振动谱带, 在  $470\text{ cm}^{-1}$  处的谱带为 O—Si—O 弯曲振动谱带<sup>[14]</sup>。覆膜欧泊样品则出现较多的吸收峰, 其中,  $1703\text{ cm}^{-1}$  谱带为 C=O 键伸缩振动谱带,  $1623\text{ cm}^{-1}$  谱带是由 C=C 伸缩振动导致的,  $1434\text{ cm}^{-1}$  和  $1356\text{ cm}^{-1}$  谱带归属于饱和烃基中 C—H 键弯曲振动谱带,  $1226\text{ cm}^{-1}$  谱带是由 C—N 键伸缩振动导致的,  $1098\text{ cm}^{-1}$  和  $822\text{ cm}^{-1}$  谱带分别是由 Si—O—Si 反对称伸缩与对称伸缩振动引起的,  $731\text{ cm}^{-1}$  和  $688\text{ cm}^{-1}$  谱带是由 Si—C 伸缩振动引起的<sup>[15]</sup>,  $470\text{ cm}^{-1}$  谱带则是由 O—Si—O 弯曲振动引起的<sup>[14]</sup>。

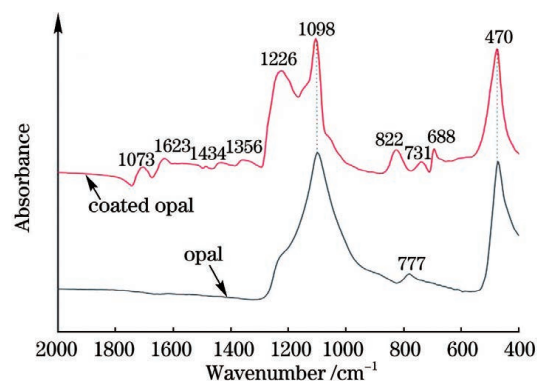


图 6 反射法测得的欧泊和覆膜欧泊的红外吸收光谱  
Fig. 6 Infrared absorption spectra of opal and coated opal measured by reflection method

测试结果表明, 通过反射法可直接区分覆膜欧泊和欧泊, 其中覆膜欧泊有大量的有机物吸收谱带。

## 6 结 论

利用红外吸收光谱可以快速准确地地区分出天然宝石及其优化处理品。有机物充填处理宝石可以通过  $2800\sim 3200\text{ cm}^{-1}$  范围内的谱带进行区分, 石蜡或油充填的宝石在  $2850\text{ cm}^{-1}$  和  $2920\text{ cm}^{-1}$  附近的谱带是由  $\text{CH}_2$  的反对称伸缩振动和对称伸缩振动引起的, 在  $2962\text{ cm}^{-1}$  附近的谱带是由  $\text{CH}_3$  反对称伸缩振动引起的。环氧树脂充填的宝石中除在  $2957, 2922, 2851\text{ cm}^{-1}$  附近处具有吸收谱带外, 还在  $3035\text{ cm}^{-1}$  和  $3056\text{ cm}^{-1}$  附近处有 C—H 伸缩振动谱带, 且充填程度越高, 吸收谱带越强。在铅玻璃充填红宝石中存在由 Si—OH 振动引起的

2235  $\text{cm}^{-1}$  和 2609  $\text{cm}^{-1}$  振动谱带。利用红外反射法可以直接鉴别出覆膜处理宝石,除了该品种宝石特有的红外特征谱带外,大量的有机物吸收谱带是人造树脂材料覆膜处理宝石的直接鉴定证据。

## 参 考 文 献

- [1] Zhang P L. Systematic gemology [M]. 2nd ed. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 302-304.  
张蓓莉. 系统宝石学[M]. 2 版. 北京: 地质出版社, 2006: 302-304.
- [2] Hainschwang T, Katrusha A, Vollstaedt H. HPHT treatment of different classes of type I brown diamonds[J]. The Journal of Gemmology, 2005, 29 (5): 261-273.
- [3] Guo Z Y, Han X Z, Liu X L, et al. Spectral characteristics and heat treatment research of ruby [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2015, 52 (8): 083005.  
郭正也, 韩孝朕, 刘学良, 等. 红宝石的热处理以及光谱学研究[J]. 激光与光电子学进展, 2015, 52 (8): 083005.
- [4] Li Y. The change of nature colored crystal by heat treatment and the color causes of nature colored quartz crystal [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2008.  
李源. 有色水晶的热处理及呈色机理研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2008.
- [5] Hu J W, Wang Y Q, Wang J W, et al. Performance of lead-free low melting point fluorophosphate glass for emerald filling[J]. Journal of East China University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2016, 42(4): 474-477.  
胡静雯, 王以群, 汪嘉伟, 等. 一种祖母绿充填用无铅低熔点氟磷酸盐玻璃的性能研究[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2016, 42(4): 474-477.
- [6] Wang Y F, Xing Y Y, Zhao J B, et al. Preliminary study on the application of acrylic polymer in jade filling modification[J]. Contemporary Chemical Industry, 2020, 49(6): 1047-1050, 1055.  
王亦帆, 邢莹莹, 赵军博, 等. 丙烯酸酯类聚合物在翡翠充填改性中的应用初探[J]. 当代化工, 2020, 49(6): 1047-1050, 1055.
- [7] Weng S F. Fourier transform infrared spectroscopy [M]. 2nd ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2010: 241-278.  
翁诗甫. 傅里叶变换红外光谱分析[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2010: 241-278.
- [8] Qi L J, Yuan X Q, Peng G Z, et al. Scale determination of wax and macromolecule polymer-filled jadeite jade[J]. Journal of Gems & Gemology, 2005, 7(3): 1-6, 51.  
亓利剑, 袁心强, 彭国楨, 等. 翡翠中蜡质物和高分子聚合物充填处理尺度的判别[J]. 宝石和宝石学杂志, 2005, 7(3): 1-6, 51.
- [9] Qiao X, Zhou Z Y, Nong P Z, et al. Study on the infrared spectral characteristics of  $\text{H}_2\text{O}$  I-type emerald and the controlling factors [J]. Rock and Mineral Analysis, 2019, 38(2): 169-178.  
乔鑫, 周征宇, 农佩臻, 等. 贫碱结构水类型祖母绿红外光谱特征及其控制因素探究[J]. 岩矿测试, 2019, 38(2): 169-178.
- [10] Qi L J, Ye S, Xiang C J, et al. Vibration spectrum and irradiation splitting of mixture in beryl channels [J]. Geological Science and Technology Information, 2001, 20(3): 59-64.  
亓利剑, 叶松, 向长金, 等. 绿柱石通道中配合物的振动光谱和辐照裂解[J]. 地质科技情报, 2001, 20 (3): 59-64.
- [11] Wefers K, Misra C. Oxides and hydroxides of aluminium: technical paper No. 19[M]. Pittsburgh: Alcoa Research Laboratories, 1972: 32.
- [12] Efimov A M, Pogareva V G, Shashkin A V. Water-related bands in the IR absorption spectra of silicate glasses[J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 2003, 332(1/2/3): 93-114.
- [13] Wen W, Liang W X, Zhang Z G, et al. Mineral infrared spectroscopy [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1988: 107.  
闻络, 梁婉雪, 章正刚, 等. 矿物红外光谱学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1988: 107.
- [14] Adamo I, Ghisoli C, Caucia F. A contribution to the study of FTIR spectra of opals[J]. Neues Jahrbuch Für Mineralogie-Abhandlungen, 2010, 187(1): 63-68.
- [15] Jones J B, Segnit E R. The nature of opal I. Nomenclature and constituent phases[J]. Journal of the Geological Society of Australia, 1971, 18(1): 57-68.