

充填处理摩根石的谱学特征研究

吴燕菡, 陈全莉*, 赵安迪, 李璇, 鲍珮瑾

中国地质大学(武汉)珠宝学院, 湖北 武汉 430074

摘要 采用常规宝石学测试方法, 结合能量色散型 X 射线荧光光谱仪、激光拉曼光谱仪、傅里叶变换红外光谱仪、荧光光谱仪等测试分析方法, 对天然及充填处理摩根石的谱学特征进行了对比研究, 旨在研究充填处理摩根石的宝石学、谱学特征及探寻有效的无损鉴别充填处理摩根石的方法。结果表明, 充填处理摩根石的折射率在 1.57 左右, 略低于天然摩根石折射率; 充填处理摩根石相对密度为 2.71~2.76。天然摩根石在长波和短波紫外荧光下都不发光, 充填处理摩根石在长波和短波紫外荧光下均显示弱至中等的白色荧光, 个别样品的荧光沿裂隙分布; 放大观察后, 部分充填处理摩根石表面可见细网状开放裂隙, 且在裂隙中可见充胶痕迹。能量色散型 X 射线荧光光谱仪测试显示天然摩根石及充填处理摩根石中均含有 Si, Al, Rb 和 Cs 等元素。天然摩根石与充填处理摩根石的激光拉曼光谱无明显差异, 激光拉曼光谱仪对于区分天然摩根石与充填处理摩根石效果不明显。天然摩根石的红外光谱在 $1\ 300\sim 400\ \text{cm}^{-1}$ 间, 主要为 Si—O—Si 环、Be—O 和 Al—O 的基团振动; 在 $4\ 000\sim 2\ 000\ \text{cm}^{-1}$ 官能团区有 CO_2 产生的 $2\ 359\ \text{cm}^{-1}$ 吸收和 NaH 产生的 $3\ 110$ 和 $3\ 168\ \text{cm}^{-1}$ 特征吸收峰。充填处理摩根石除了摩根石本身基团振动吸收外, 在 $2\ 870$, $2\ 930$ 和 $2\ 965\ \text{cm}^{-1}$ 普遍存在 ($-\text{CH}_3-$)、($-\text{CH}_2-$) 吸收; 在 $3\ 035$ 和 $3\ 057\ \text{cm}^{-1}$ 存在苯环引起的吸收。三维荧光光谱图分析显示天然摩根石荧光非常弱, 无特征荧光中心, 相对强度在 500 以内; 充填处理摩根石的荧光中心主要为 410 nm 左右的单荧光中心和 440 和 465 nm 的双荧光中心, 相对强度在 2 000 以上。充填处理摩根石的荧光中心相对强度明显高于天然摩根石, 归因于充填处理过程中添加的有机胶中的芳香族化合物所致。红外吸收光谱及荧光光谱测试技术可作为区分天然摩根石和充填处理摩根石的快捷有效的无损检测手段。

关键词 摩根石; 充填处理; 红外光谱; 三维荧光光谱

中图分类号: P575.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)02-0575-07

引言

摩根石是具有漂亮的桃色或带有橙色调粉色的一种绿柱石族宝石。近几年, 摩根石凭借其温柔的粉红色、较高的净度、良好的稳定性和韧性以及适中的硬度受到国际珠宝品牌的青睐, 摩根石的首饰也越来越得到消费者的认可和喜爱。随着需求量的上涨, 依靠充填处理来改善净度的摩根石逐渐进入市场, 如何区分天然摩根石和充填处理摩根石便成为检测的关键问题。

目前, 国内外学者对摩根石的研究较少, Hänni 等对阿富汗和马达加斯加的铯摩根石进行了研究, 认为铯摩根石的高饱和度粉色是由 Cs 替代四面体中的 Be 所产生, 随着 Cs

元素类质同象替代的增加, 摩根石折射率和相对密度变大^[1]; 国内仅有一些关于不同产地的摩根石的宝石学特征研究, 尹作为等^[2]对莫桑比克摩根石进行了基本性质、化学成分以及谱学特征的研究, 李锦昊对巴西摩根石进行了矿区岩石矿物特征和谱学特征的研究, 但是对于充填处理摩根石的研究较为薄弱, 鲜有报道。本文选取天然摩根石和充填处理摩根石为研究对象, 采用宝石学常规测试方法和 X 射线荧光光谱、激光拉曼光谱、傅里叶变换红外光谱、三维荧光光谱一系列测试技术, 对天然摩根石与充填处理摩根石的表面显微特征、化学成分、光谱特征等进行了系统的对比研究, 旨在探究天然摩根石与充填处理摩根石的宝石学特征及充填处理摩根石的关键鉴别特征, 为无损有效鉴别充填处理摩根石提供科学依据。

收稿日期: 2021-01-07, 修订日期: 2021-02-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41272053), 国家重点研发计划项目(2018YFF0215400), 中国地质大学(武汉)珠宝检测技术创新中心基金项目(CIGTXM-201703)资助

作者简介: 吴燕菡, 女, 1994 年生, 中国地质大学(武汉)珠宝学院硕士研究生 e-mail: 1609212960@qq.com

* 通讯作者 e-mail: chenquanli_0302@163.com

1 实验部分

1.1 样品

本文共选用 6 颗摩根石样品(图 1), 其中两颗为天然摩根石(MN-1, MN-2), 四颗为充填处理摩根石(MT-1, MT-2, MT-3 和 MT-4)。

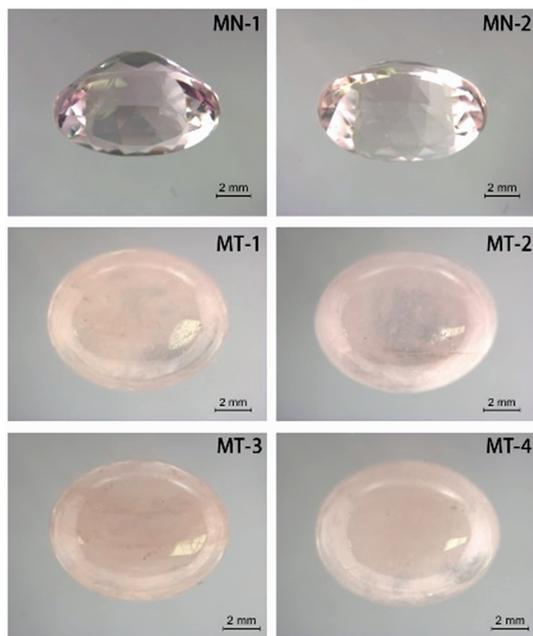


图 1 摩根石样品外观特征

Fig. 1 Appearance of morganite samples

1.2 测试条件

对六颗样品分别进行测试研究。其中, 宝石学常规测试在中国地质大学(武汉)珠宝学院常规测试实验室完成。样品

的化学成分测试采用 ThermoFisher EDX-7000 能量色散型 X 射线荧光分析装置测定, 使用 mylar 迈拉膜, 配置铑(rh)靶 X-射线管和 mypcd 荧光探测器, 准直器为 2 mm, 测试条件为电压 50 kV, 电流 1.00 mA。样品的拉曼光谱采用 Bruker Senterra 激光拉曼光谱仪测定, 使用波长为 532 nm 激光激发, 能量为 20 mW, 扫描时间 2 s, 扫描次数 5 次, 扫描分辨率 $3\sim 5\text{ cm}^{-1}$, 扫描范围 $45\sim 3\ 700\text{ cm}^{-1}$, 光斑大小 $50\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}$ 。样品的傅里叶变换红外光谱采用 Bruker VER-TEX80 光谱仪测定, 反射法扫描范围为 $2\ 000\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 、分辨率为 $\pm 4\text{ cm}^{-1}$, 背景与样品扫描次数均为 64 次, 透射法扫描范围为 $4\ 000\sim 2\ 000\text{ cm}^{-1}$ 、分辨率为 $\pm 4\text{ cm}^{-1}$, 背景与样品扫描次数均为 64 次, 温度 $24\text{ }^\circ\text{C}$ 。样品的三维荧光光谱采用 JASCO 的 FP-8500 荧光光谱仪测定, 测试模式为 Emission, 灵敏度为 Manual, 激发光源波长范围 $305\sim 550\text{ nm}$, 狭缝宽度 5 nm; 发射波长范围 $325\sim 650\text{ nm}$, 狭缝宽度 2.5 nm, 数据间隔 1 nm, 扫描速度 $2\ 000\text{ nm}\cdot\text{min}^{-1}$ 。所有光谱测试均在中国地质大学(武汉)珠宝学院完成。

2 结果与讨论

2.1 宝石学常规测试

对六颗目标样品进行宝石学常规测试(表 1), 天然摩根石折射率为 $1.572\sim 1.592^{[3]}$, 充填处理摩根石折射率为 1.57 左右, 略低于天然摩根石的折射率, 可能与充填物的低折射率的胶粘剂有关。静水称重测得样品的相对密度为 $2.71\sim 2.76$, 参考前人研究天然摩根石的相对密度为 $2.67\sim 2.90^{[3]}$, 测试样品的相对密度均在正常范围内。紫外荧光灯下观察样品的荧光特征, 天然摩根石在长波和短波紫外荧光灯下均不发光, 而充填处理摩根石均显示为弱至中等的白色荧光, 部分样品可见荧光沿裂隙分布。紫外荧光灯可以作为区分天然摩根石与充填处理摩根石的常规辅助性手段。

表 1 摩根石样品常规宝石学测试

Table 1 Conventional gemmological characteristics of morganite samples

样品编号	处理情况	重量/ct	颜色	透明度	折射率	相对密度	紫外荧光 LW	紫外荧光 SW
MN-1	天然未充填	2.265	粉色	透明	$1.582\sim 1.590$	2.737	惰性	惰性
MN-2	天然未充填	2.120	粉色	透明	$1.582\sim 1.590$	2.753	惰性	惰性
MT-1	充填处理	2.945	粉色	半透明	1.57(点测)	2.739	中-白色	中-白色
MT-2	充填处理	2.948	粉色	半透明	1.57(点测)	2.714	中-白色(沿裂隙分布)	弱-白色
MT-3	充填处理	2.864	粉色	微透明	1.57(点测)	2.744	中-白色(沿裂隙分布)	中-白色(沿裂隙分布)
MT-4	充填处理	3.075	粉色	微透明	1.57(点测)	2.732	弱-白色	中-白色(沿裂隙分布)

放大观察样品的表面特征, 三颗充填处理的摩根石表面均可观察到纵横交错的细网纹[图 2(a)], 其中仅 MT-1 能在表面裂隙处观察到轻微充胶的痕迹[图 2(b)]; MT-4 虽然为充填处理摩根石, 但是表面光滑、抛光优良, 并无明显可观察到的开放裂隙[图 2(c)]。由于充填处理的摩根石样品透明度较低, 为半透明至微透明, 无法顺沿裂隙面观察其内部是否存在充填导致的流动构造、气泡等, 也无法观察到鉴别充填处理材料的有力证据——“闪光效应”^[4]。由此可见, 肉眼

观察或显微镜放大观察表面特征只可作为鉴别充填处理摩根石的辅助性手段。

2.2 能量色散型 X 射线荧光光谱分析

对天然及充填处理摩根石所含的元素种类进行分析, 结果显示, 天然及充填处理摩根石中所含有的化学元素一致。所有样品中均含有一定量的 Si 和 Al, 以及少量的 Mn, Pa, Zn, Rb 和 Cs。其中 Mn 为摩根石的致色元素, 少量的碱金属离子 Rb^+ 和 Cs^+ 进入结构通道中来平衡由于 Mn^{2+} 替代 Al^{3+}

占据八面体位置而产生的电价差^[5]。利用 X 射线荧光光谱仪无法区分天然摩根石与充填处理摩根石。

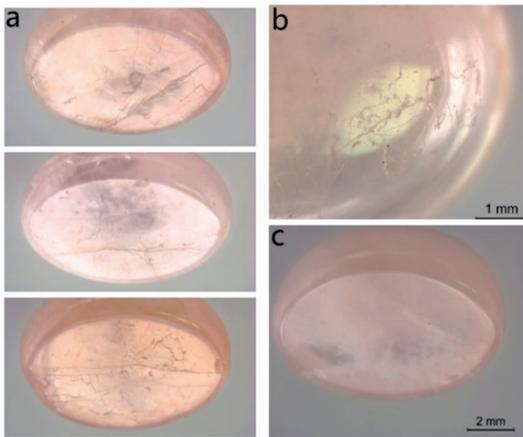


图 2 摩根石样品的表面特征

Fig. 2 Surface characteristics of morganite samples

2.3 激光拉曼光谱分析

天然摩根石和充填处理摩根石的激光拉曼光谱如图 3 所示。测试结果显示, 六颗摩根石样品的激光拉曼光谱基本一致。

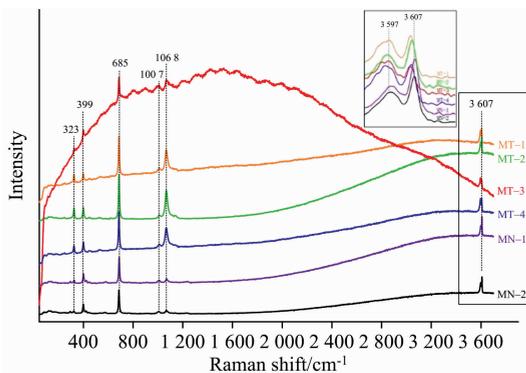


图 3 摩根石样品的激光拉曼光谱

Fig. 3 The Raman spectra of morganite samples

在 $45 \sim 2\,200\text{ cm}^{-1}$ 波段, 摩根石的拉曼光谱由 323 , 399 , 685 , $1\,007$ 和 $1\,068\text{ cm}^{-1}$ 这 5 个主要的拉曼峰组成, 其中 323 cm^{-1} 处的拉曼峰与 Al-O 的弯曲振动有关, 399 cm^{-1} 处的拉曼峰与 Al-O 的变形振动有关, 最强拉曼峰在 685 cm^{-1} 处, 归属于 Si-O-Si 的变形振动, $1\,007\text{ cm}^{-1}$ 处的拉曼峰与 Be-O 的非桥氧伸缩外振动有关, $1\,068\text{ cm}^{-1}$ 处拉曼峰与 Si-O 非桥氧伸缩内振动有关^[2]。

在 $2\,200 \sim 3\,700\text{ cm}^{-1}$ 波段, $3\,607\text{ cm}^{-1}$ 处可观察到水的拉曼峰, 放大发现, 该峰由 $3\,597$ 与 $3\,607\text{ cm}^{-1}$ 组成, $3\,597\text{ cm}^{-1}$ 为 II 型水产生的拉曼峰, 是碱金属-O-H 键的对称伸缩振动, $3\,607\text{ cm}^{-1}$ 为 I 型水产生的拉曼峰, 即 H-O-H 键的振动^[5]。两处拉曼峰强度相近, I 型水产生的拉曼峰略强于 II 型水产生的拉曼峰, 说明摩根石中普遍含水, 且当碱金属离子进入结构通道后所产生的电场作用使 I 型水发生 90° 旋转变成 II 型水^[6], 使得 I 型水与 II 型水的含量比例

相当。

总体来说, 充填处理摩根石与天然摩根石的激光拉曼光谱基本相同, 都表现为摩根石本身基团振动所产生的拉曼峰, 不可见充填物质的特征拉曼峰。激光拉曼光谱仪对于鉴别充填处理的摩根石效果不明显。

2.4 傅里叶变换红外光谱分析

利用反射法测试得到的红外光谱如图 4, 摩根石的红外吸收峰主要位于 $1\,300 \sim 400\text{ cm}^{-1}$ 之间, 六颗样品的红外吸收光谱峰位总体较为相近, 特征峰为 453 , 493 , 532 , 596 , 683 , 756 , 816 , 964 , $1\,107$ 和 $1\,236\text{ cm}^{-1}$, 其中 $900 \sim 1\,300\text{ cm}^{-1}$ 是 Si-O-Si 环的振动区, $550 \sim 900\text{ cm}^{-1}$ 是 Be-O 的振动区, $450 \sim 530\text{ cm}^{-1}$ 是 Al-O 所产生的振动区范围^[2]。

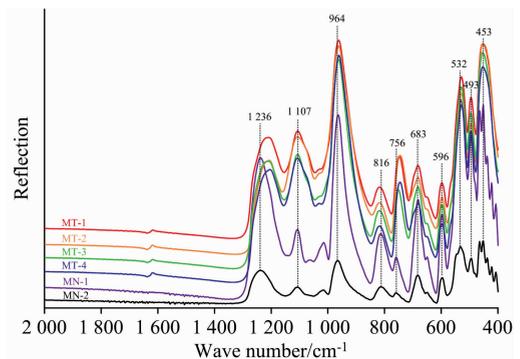


图 4 摩根石样品红外反射光谱

Fig. 4 The Infrared reflection spectra of morganite samples

透射法测试的红外光谱如图 5, 在 $4\,000 \sim 2\,000\text{ cm}^{-1}$ 之间, 天然摩根石在 $2\,359$, $3\,110$ 和 $3\,168\text{ cm}^{-1}$ 附近存在弱吸收。 $3\,110$ 和 $3\,168\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收与通道中的钠离子趋向与氢离子反应生成 NaH 有关, $2\,359\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收与二氧化碳分子反对称伸缩振动有关, 在垂直 c 轴方向上, CO_2 分子的浓度明显优于平行结晶 c 轴方向^[7], 故相比于充填处理摩根石, 两颗天然摩根石样品此吸收较弱可能与测试方向有关。

充填处理的摩根石样品在 $3\,110$ 和 $3\,168\text{ cm}^{-1}$ 两处的吸收非常弱, 除了摩根石本身基团振动吸收外, 在 $2\,870$, $2\,930$ 和 $2\,965\text{ cm}^{-1}$ 处存在强吸收, $3\,035$ 和 $3\,057\text{ cm}^{-1}$ 处普遍存在吸收。其中 $(-\text{CH}_3-)$ 的反对称伸缩振动引起 $2\,870\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收, $(-\text{CH}_2-)$ 的反对称伸缩振动引起 $2\,930\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收, $(-\text{CH}_3-)$ 的对称伸缩振动引起 $2\,965\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收, $2\,930$ 和 $2\,965\text{ cm}^{-1}$ 两处的吸收明显强于 $2\,870\text{ cm}^{-1}$; $3\,035$ 和 $3\,057\text{ cm}^{-1}$ 两处吸收属于苯环中不饱和碳原子导致的伸缩振动^[8], 这五处吸收可以确定摩根石样品的充填物为有机胶。

傅里叶变换红外光谱研究表明, 天然摩根石与充填处理摩根石在指纹区光谱差异不大, 均表现为摩根石的结构基团振动产生的吸收; 在官能团区, 充填处理摩根石在 $2\,870 \sim 3\,050\text{ cm}^{-1}$ 可见五个明显的红外吸收峰, 有别于天然摩根石, 可作为鉴别天然与充填处理摩根石的有效证据。

2.5 三维荧光光谱

三维荧光光谱可以展示激发光波长与发射荧光波长同时变化时荧光强度的变化^[9]。荧光光谱仪的激发光源在 320

nm 以内产生的台阶式荧光为仪器配备的滤光片所致, 415~425 nm 附近产生的荧光峰为仪器光源氙灯所引起, 两处荧光位置均需排除分析。

样品的三维荧光光谱图如图 6 所示。天然摩根石除去仪

器本身的荧光影响外, 荧光极弱, 荧光中心相对强度均在 500 以内, 过弱的荧光强度使得天然摩根石的三维荧光光谱受仪器自身的影响较大, 最佳激发光源与发射光谱荧光中心位置发生比较大的变化, 荧光中心不具有统一特征。

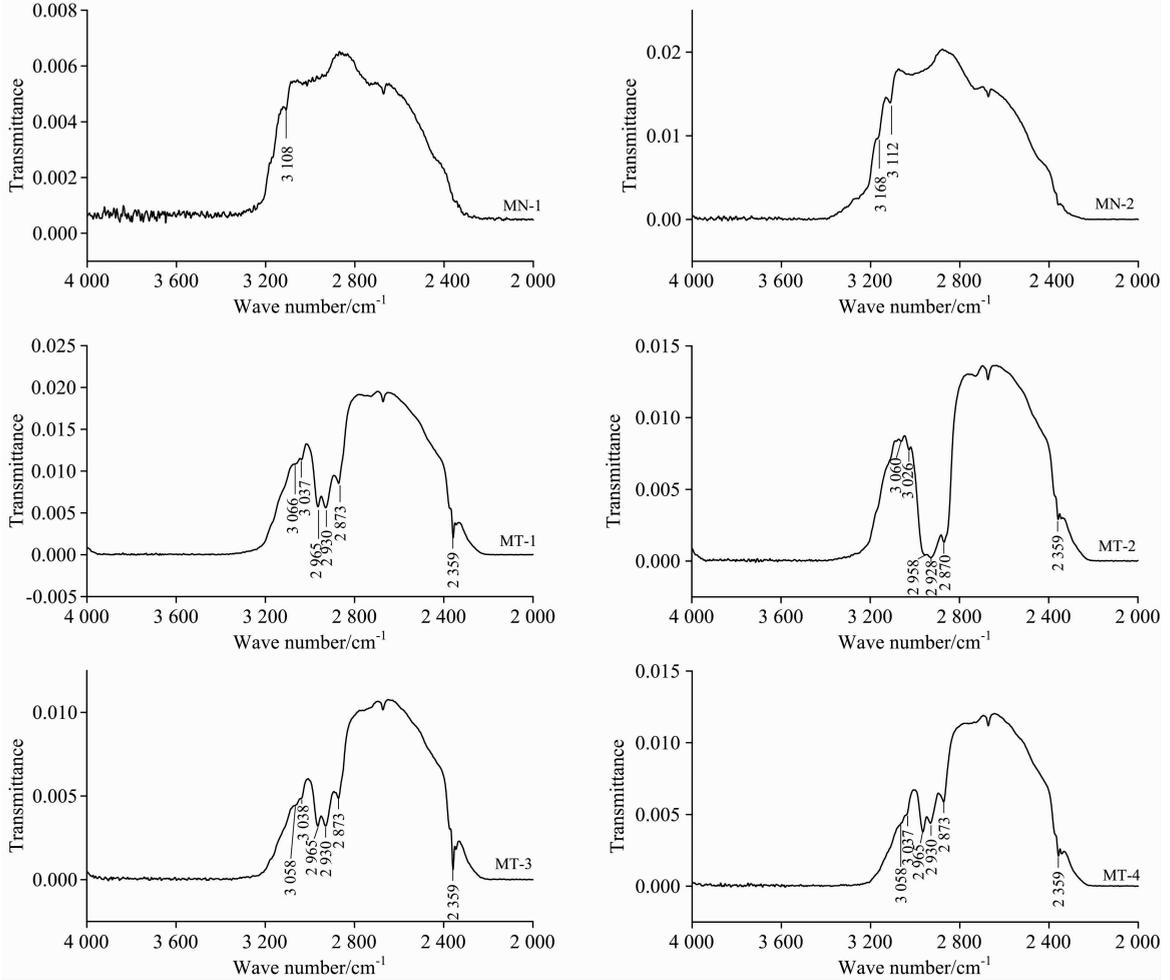
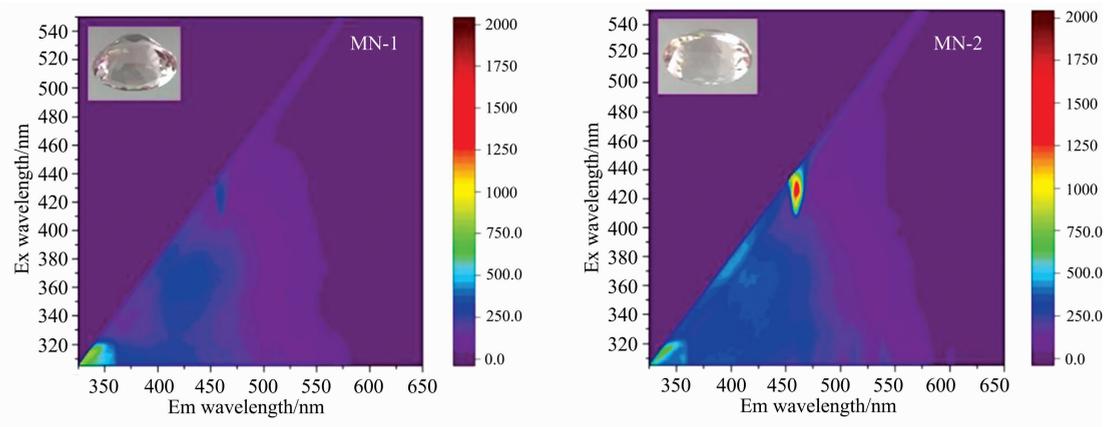


图 5 摩根石样品红外透射光谱

Fig. 5 The infrared transmittance spectra of morganite samples



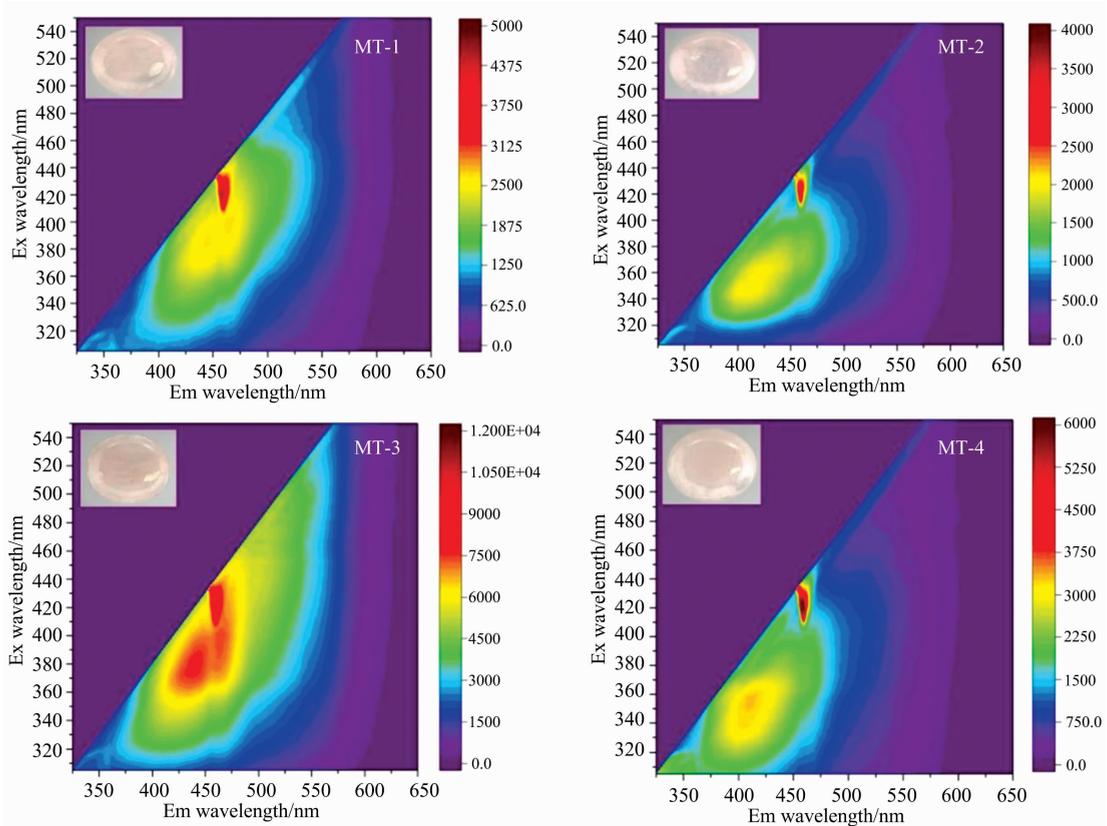


图 6 摩根石样品三维荧光图

Fig. 6 Three dimensional fluorescence spectra of morganite samples

充填处理摩根石样品的荧光特征分为两种(表 2)，一种是单一荧光中心，最佳激发光源波长在 350 nm 附近，发射光谱荧光中心在 410 nm 附近，MT-2 和 MT-4 为此种荧光特征，荧光中心形状大致相同；另一种为双荧光中心，两个最佳激发光源波长均处于 380~400 nm 之间，发射光谱荧光中心分别在 440 和 465 nm 左右，MT-1 和 MT-3 为此种荧光特征。四颗充填处理摩根石样品的荧光中心相对强度均大于 2 000，其中荧光中心强度最弱的 2 018 相比于天然摩根石中荧光中心强度最强的 447 高了近四倍；充填摩根石荧光中心强度最强的 7 617 是天然摩根石荧光中心强度最强的 447 的 17 倍。总体来说，充填处理摩根石的荧光中心相对强度明显强于天然摩根石。

表 2 摩根石样品三维荧光光谱图分析

Table 2 The analysis of three dimensional fluorescence spectrum of morganite samples

样品编号	最佳激发光源波长/nm	发射光谱荧光中心/nm	荧光中心相对强度
MN-1	365	434	337
MN-2	377	405	447
MT-1	385, 397	443, 464	2 640, 2 650
MT-2	351	414	2 018
MT-3	381, 399	440, 465	7 617, 7 410
MT-4	353	410	3 281

从分子结构来说，能产生较强荧光的物质具有刚性、平面和多环的共轭双键结构。取代基团为给电子体，第一单重激发态为 π 和 π^* 型的分子具有较强的荧光。充填常见的有机胶例如环氧树脂类高分子有机化合物含有苯和取代苯，是一类有机芳香族化合物，被离域 π 电子云覆盖，具有共轭不饱和结构，能产生较强的荧光，而天然摩根石一般在紫外光激发下无荧光。利用荧光将有机充填物质与天然摩根石区分是行之有效的方法。

荧光光谱仪的高灵敏度可以量化无法通过紫外荧光灯看到的荧光，它的连续激发光源照射可以完整地展现整个激发波段内宝石的荧光强度分布，充填处理摩根石的荧光中心相对强度远强于天然摩根石，故可通过分析摩根石三维荧光光谱的荧光中心位置和相对强度来判断摩根石是否经过充填处理。由此可见，荧光光谱分析对于区分天然摩根石和充填处理摩根石效果显著，可作为一种无损鉴别充填处理摩根石的方法。

3 结论

(1) 充填处理摩根石在长波和短波紫外光激发下显示弱至中等的白色荧光，个别样品荧光沿裂隙分布；放大观察，部分充填处理摩根石可见细网纹状开放裂隙以及裂隙中可见胶痕迹。

(2) 天然摩根石的红外吸收光谱主要为 Si—O—Si 环、

Be—O 和 Al—O 的基团振动峰, 以及 CO₂ 产生的 2 359 cm⁻¹ 处的吸收和 NaH 产生的 3 110 和 3 168 cm⁻¹ 处的特征吸收峰。充填处理摩根石除了具有其本身基团振动外, 在 2 870, 2 930 和 2 965 cm⁻¹ 普遍存在 (—CH₃—) 和 (—CH₂—) 吸收, 在 3 035 和 3 057 cm⁻¹ 存在苯环引起的吸收, 这五处吸收表明充填摩根石的物质为有机胶。

(3) 三维荧光光谱测试显示充填处理摩根石的荧光中心

主要为 410 nm 左右的单荧光中心和 440 和 465 nm 的双荧光中心, 相对强度在 2 000 以上。充填处理摩根石的荧光中心相对强度明显高于天然摩根石的相对强度, 归因于充填处理过程中添加的有机物。

(4) 紫外荧光和表面显微特征可作为区分天然与充填处理摩根石的辅助性手段。傅里叶变换红外光谱和荧光光谱可以无损有效地区分天然摩根石与充填处理摩根石。

References

- [1] Hänni H A, Krzemnicki M S. The Journal of Gemmology, 2003, 28(7): 417.
- [2] YIN Zuo-wei, LI Xiao-lu, BAO De-qing, et al(尹作为, 李笑路, 包德清, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2014, 34(8): 2175.
- [3] ZHANG Bei-li(张蓓莉). Systematic Gemology(系统宝石学). Beijing: Geological Publishing House(北京: 地质出版社), 2006. 288.
- [4] Li Jianjun, Sun Yuan, Hao Wangjiao, et al. Gems & Gemology, 2009, 45(3): 197.
- [5] ZHOU Tian-yi, CHEN Yan-jing, ZHANG Hui(周天怡, 陈衍景, 张 辉). Acta Petrologica et Mineralogica(岩石矿物学杂志), 2014, 33(S2): 77.
- [6] Nassau K, Wood D L. American Mineralogist, 1968, 53: 801.
- [7] QI Li-jian, YE Song, XIANG Chang-jin, et al(齐利剑, 叶 松, 向长金, 等). Geological Science and Technology Information(地质科技情报), 2001, 20(3): 59.
- [8] WANG Duo, CHEN Zheng, DENG Chang-jie, et al(王 铎, 陈 征, 邓常劫, 等). Journal of Gems and Gemmology(宝石和宝石学杂志), 2012, 14(4): 16.
- [9] WU Xing-liang, ZHU Wan-seng, MA Lin(吴性良, 朱万森, 马 林). Beijing: Chemical Industry Press(北京: 化学工业出版社), 2004. 354.

Study on the Gemmological Characteristics of Filled Morganite

WU Yan-han, CHEN Quan-li*, ZHAO An-di, LI Xuan, BAO Pei-jin

Gemmological Institute, China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan 430074, China

Abstract Using conventional gemological methods, energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer, laser Raman spectrometer, Fourier transform infrared spectrometer and fluorescence spectrometer to study the gemological characteristics of filled morganite and to explore effective non-destructive identification method of filling treated morganites. The results show that the refractive index of filled morganites (1.57) is slightly less than that of natural morganites. The SG values of the filled morganites range from 2.71 to 2.76. The natural morganites do not emit light under neither long-wave or short-wave UV radiation, but filled morganites show weak to medium white fluorescence under UV radiation. And the fluorescence of some samples is distributed along the fractures. After zooming in, fine reticular open cracks can be seen on the surface of partially filled morganites, and traces of glue filling can be seen in the cracks. Energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer (EDXRF) shows Si, Al, Rb, Cs and other elements in filled morganites and natural morganites. The difference of Raman spectra between natural morganites and filled morganites is not obvious, and the effect of laser Raman spectrometer on distinguishing natural morganite and filled morganite is not obvious. The FTIR spectra of natural morganites are mainly in 1 300 ~ 400 cm⁻¹, which is attributed to the structural vibration of Si—O—Si ring, Be—O and Al—O; in the 4 000 ~ 2 000 cm⁻¹ functional group region, there is 2 359 cm⁻¹ absorption peaks produced by CO₂, 3 110 and 3 168 cm⁻¹ absorption peaks produced by NaH. In addition to the vibration absorption of morganite itself, the absorptions of (—CH₃—), (—CH₂—) are common at 2 870, 2 930 and 2 965 cm⁻¹, filled morganites have the absorption caused by benzene ring exists at 3 035 and 3 057 cm⁻¹. Three-dimensional fluorescence spectrometer analysis shows that the fluorescence of natural morganites is very weak, without a characteristic fluorescence center, and the relative intensity is less than 500; the fluorescence centers of filled morganites are mainly single fluorescence center about 410 nm and double fluorescence center of 440 and 465 nm, with relative intensities exceeding 2 000. The relative intensity of the fluorescence center of filled morganite is significantly higher than that of natural morganite, which is attributed to the aromatic compounds in organic gum added during the filling process. Through

Fourier transform infrared spectrometer and fluorescence spectrometer test, the spectrum analysis can be used as an effective and rapid non-destructive detection method to distinguish natural morganites and filling treated morganites.

Keywords Morganite; Filling treatment; Infrared spectrum; Three dimensional fluorescence spectrum

(Received Jan. 7, 2021; accepted Feb. 24, 2021)

* Corresponding author

《光谱学与光谱分析》对来稿英文摘要的要求

来稿英文摘要不符合下列要求者，本刊要求作者重写，这可能要推迟论文发表的时间。

1. 请用符合语法的英文，要求言简意明、确切地论述文章的主要内容，**突出创新之处**。

2. 应拥有与论文同等量的主要信息，包括四个要素，即研究目的、方法、结果、结论。其中后两个要素最重要。有时一个句子即可包含前两个要素，例如“用某种改进的 ICP-AES 测量了鱼池水样的痕量铅”。但有些情况下，英文摘要可包括研究工作的主要对象和范围，以及具有情报价值的其他重要信息。在结果部分最好有定量数据，如检测限、相对标准偏差等；结论部分最好指出方法或结果的优点和意义。

3. 句型力求简单，尽量采用被动式，建议经专业英语翻译机构润色，与中文摘要相对应。用 A4 复印纸单面打印。

4. 摘要不应有引言中出现的内容，换言之，摘要中必须写进的内容应尽量避免在引言中出现。摘要也不要对论文内容作解释和评论，不得简单重复题名中已有的信息；不用非公知公用的符号和术语；不用引文，除非该论文证实或否定了他人已发表的论文。缩略语、略称、代号，除相邻专业的读者也能清楚地理解外，在首次出现时必须加以说明，例如用括号写出全称。