

团体标准

翡翠产地检测技术与方法

Methodology and Technology for Testing
of Jadeite(FeiCui) Origin

2023-12-30 发布

2024-03-15 实施

上海市首饰设计协会发布

目次

前言	1
引言	4
一、范围	5
二、规范性引用文件	5
三、术语和定义	5
四、翡翠产地检测技术与方法	6
1 紫外可见光谱法的缅甸与非缅甸翡翠产地检测	8
2 红外光谱法和激光拉曼光谱法的缅甸翡翠与危地马拉翡翠产地检测	8
3 X 射线荧光光谱（XRF）法的缅甸与非缅甸绿色翡翠产地检测	9
4 岩石矿物电子探针光谱法的缅甸与非缅甸翡翠产地检测	10
五、翡翠产地检测结果表示	11
六、说明	12

前言

本文件按照中华人民共和国标准化法 GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规划》和 DB31/T1204-2020《上海市标准化条例》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由上海市首饰设计协会标准化专业委员会提出并归口。

本文件主要起草单位：上海智造珠宝钟表研发有限公司、上海张铁军翡翠珠宝有限公司、深圳市计量质量检测研究院等单位。

本文件主要起草人：刘衍宇、陈志强、储卫民、郭丰辉、柏玉林、龚雪等。

本文件主要审核人：丘志力、施健、王礼胜、刘厚祥、张铁军、奥岩等。

引言

翡翠产地是翡翠宝石重要的溯源要素内容。

为建立科学合理的翡翠产地检测技术规范，促进翡翠行业共同效益的发展，本文件根据现有的翡翠产地检测技术，对翡翠产地检测方法进行技术指导，提出翡翠产地检测工作流程规范化技术操作指导要求。

本文件有利于推进翡翠宝石及饰品的贸易、文化、交流以及技术合作。

翡翠产地检测技术与方法

一、范围

本标准规定了翡翠原产地（简称：产地）的检测分析技术和检测流程等方面的要求。

本标准适用于从事翡翠产地认证、鉴别以及产地溯源提供服务的相关企事业单位。

本标准不适用于翡翠矿石或经过漂泊、充填、染色及加热等方法处理翡翠的产地鉴别。

二、规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。

其中，注日期的引用文件仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 16552 珠宝玉石 名称

GB/T 16553 珠宝玉石 鉴定

GB/T 42433 珠宝玉石鉴定 红外光谱法

GB/T 42645 珠宝玉石鉴定 紫外可见光谱法

T/CAQI 133-2020 珠宝玉石鉴定 显微激光拉曼光谱法

SY/T 6027-2019 岩石矿物电子探针定量分析方法

三、术语和定义

下列术语和定义适用本文件

3.1 翡翠 Feicui

由硬玉或由硬玉及其他钠质、钠钙质辉石（绿辉石、钠铬辉石）为主要成分组成的具有工艺价值和商业价值的矿物集合体，可含少量角闪石、长石、铬铁矿等矿物。

3.2 产地 origin

翡翠及产品的出产地或者主要生产地。

3.3 原产地 original source

翡翠及产品的最初来源，即经受地球内外动力作用后形成原生翡翠矿石的地方。

3.4 翡翠饰品 Feicui ornament

以翡翠为原料，经过切磨、雕琢、镶嵌等加工制作，用作首饰或装饰的产品。

3.5 翡翠原石 raw Feicui

翡翠原始的产出形态，未经任何化学处理或切割、打磨等物理处理，分为原生矿（山料）和次生矿（籽料、坡积矿）两种。

山料指的是从山上基岩矿体直接开采出来的原石，籽料是翡翠原石在地壳运动过程中受力破碎后，再受到外力作用形成的卵石。

3.6 原生矿床 primary deposits

翡翠成矿后没有经过自然力移动，所产的原生矿石在原产地被泥土和岩石覆盖的翡翠矿体，与次生矿床相比，经受的自然风化程度较小。

3.7 次生矿床 secondary deposit

原生矿床露出地表的部分，长期受到自然风化作用、流水的搬运而沉积在河底，堆积在河滩上的卵石状或砾石状的翡翠矿体。

3.8 硬玉质翡翠 Jadeite Feicui

主要矿物为硬玉，次要矿物为绿辉石、钠长石等，整体以纤维交织结构为主组成的翡翠矿物集合体。

3.9 绿辉石质翡翠 omphacite Feicui

以主要矿物为绿辉石，含少量的硬玉及普通辉石等次要矿物，整体以纤维粒状变晶结构、粒状纤维变晶结构为主，局部见交代结构及碎裂结构组成的翡翠矿物集合体。

根据化学成分研究，绿辉石基本上可以分为 3 种类型：富钠绿辉石、富钙绿辉石和富铬绿辉石。

绿辉石的化学成分与其颜色有密切关系，富钠绿辉石通常只含有很少的 Fe，呈较浅的颜色；而富钙绿辉石则含有较高的 Fe，呈较深的颜色，呈暗绿色是由于存在细粒绿辉石和尘埃状黑色有机物造成的。

在缅甸、俄罗斯 Sayan、危地马拉及日本产地的翡翠中，常含有与硬玉共生的绿辉石，这使得绿色翡翠常带有浅灰色或暗绿色。

3.10 钠铬辉石质翡翠 kosmochlor Feicui

以主要矿物为钠铬辉石，其次是(氟)镁钠闪石，但有时可以没有(氟)镁钠闪石，含一定量的铬铁矿组成的翡翠矿物集合体。颜色乌黑，黑色均匀；但在较薄部分观察，仍然可见带绿色。光泽特别强。(通常矿物无定向排列，钠铬辉石呈细粒柱状集合体，其集合体常呈等轴粒状)。

3.11 天然翡翠 natural Feicui

由硬玉或由硬玉及其他钠质、钠钙质辉石(绿辉石、钠铬辉石)组成的翡翠矿物集合体，是未经人工处理或非合成、拼合、再造的翡翠。

3.12 定性分析 qualitative analysis

鉴定物质中含有的元素、离子或官能团种类等的分析方法，不确定其含量。

3.13 定量分析 quantitative analysis

确定物质中各种构成成分的含量的分析方法。

3.14 半定量分析 semi-quantitative analysis

准确性比定量分析低，比定量分析简单、迅速、成本低分析方法。

3.15 主要成分分析-反向传播神经网络 (PCA-BP)

反向传播(BP)神经网络即多层神经元网络，也被称为误差反向传播神经网络。BP 神经网络有很好的学习、非线性映射和自学习功能，能较好解决信息少、数据少和不确性等问题，是结合不同产地的翡翠主要成分分析方法，提出一种翡翠产地鉴别的检测技术模型。

3.16 百分吸光系数

光线通过宝石的入射光强度与该光线通过该宝石后的透射光强度比值的对数。

宝石吸光指数与入射光的波长以及被光通过的宝石有关，只要光的波长被固定，同一种宝石，吸光指数就不变。

3.17 产地溯源 origin tracing

对翡翠产品进行一系列规范检测，根据检测结果追溯到对应产地特征，是确定翡翠产品产地检测的方法。

3.18 紫外可见分光光度计 UV-Vis absorption spectrum

测量宝石对紫外可见波段范围内单色辐射的吸收或反射波长、波长范围及强度的仪器, 是对宝石样品进行定性、定量或结构分析的仪器。

3.19 紫外可见光谱仪

根据珠宝玉石的紫外-可见吸收光谱中吸收峰的位置、吸收强度等特征, 对其组分进行定性、半定量分析, 可为鉴定天然与合成宝石、天然与优化处理宝石、宝石产地, 研究宝石致色机理等提供信息和依据。

3.20 红外光谱仪

珠宝玉石在红外光的照射下, 引起分子、晶格、络阴离子团和配位基的振动能级发生跃迁, 并引发相应的红外光能量衰减而产生红外光谱。对红外光谱进行匹配、分析, 可为珠宝玉石鉴定提供一定的证据。

3.21 激光拉曼光谱仪

应用激光光子与物质分子发生非弹性碰撞后, 改变原有入射光频率而形成的一种分子散射光谱。并非所有的分子结构都具有拉曼活性。

拉曼光谱作为一种微区无损分析和红外吸收光谱的互补技术, 能提供宝石中分子振动频率、分子配位体结构及对称性、分子基团结构单元、离子的有序-无序占位与缺位及晶格缺陷等精细结构。

3.22 X 射线荧光光谱仪

应用 X 射线管通过产生入射 X 射线(一次 X 射线), 来激发被测样品。受激发的样品中的每一种元素会放射出二次 X 射线(又叫 X 荧光), 并且不同的元素所放射出的二次 X 射线具有特定的能量特性或波长特性。

3.23 岩石矿物电子探针仪

对宝石成分进行定量分析的电子探针设备, 应用具有一定能量并被会聚的电子束轰击被测样品, 被照射区被测样品表面各元素激发出具有该元素特征波长的 X 射线, 通过波谱仪对 X 射线进行分光, 并对其各元素的特征 X 射线强度进行测量, 并和相同条件下的标准样品的 X 射线强度进行比较, 经校正计算, 从而获得被测样品被激发区内各元素的含量值。

电子探针定量分析是一种微区(微米量级)宝石成分相对比较的物理分析方法。

四、翡翠产地检测技术与方法

4.1 紫外可见光谱法的缅甸与非缅甸翡翠产地检测

4.1.1 紫外可见光谱法

使用透射法根据紫外吸收光谱上不同产地翡翠存在的紫区 430、437nm 的吸收系数峰值范围可以判定缅甸与非缅甸翡翠的产地。

4.1.2 仪器设备

由光源、色散系统、检测系统、信号读取、显示系统、样品室主要仪器设备组成。
宝石鉴定的紫外可见光谱仪波长范围通常为 225nm 至 1 000nm

4.1.3 测试样品选择

测试样品需选用可透光薄片，厚度为 1mm，采用透射法测试。

4.1.4 测试分析

4.1.4.1 紫外可见光谱测定

对测试样品在一定的条件下进行紫外可见光谱测试

4.1.4.2 分析方法的建立

4.1.4.2.1 半定量分析测试样品的紫外可见吸收光谱图，确定其 430nm、437nm 吸收系数峰值。

4.1.4.2.2 根据紫外可见光谱半定量分析结果，提取测试样品的 430nm、437nm 吸收系数峰值，将 430、437nm 吸收系数峰值判定缅甸与非缅甸翡翠产地范围

——430nm 吸收系数峰值 <0.62 ，437nm 吸收系数峰值 <0.66 为缅甸翡翠

——430nm 吸收系数峰值 >1.1 ，437nm 吸收系数峰值 >1.1 为危地马拉翡翠

——430nm 吸收系数峰值 0.62 至 1.11，437nm 吸收系数峰值为 0.66 至 1.11 为危地马拉、缅甸、俄罗斯三产地重叠区域。

4.1.5 测试结果判定

4.1.5.1

紫外可见光谱中 430nm 吸收系数峰值范围小于 0.62，437nm 吸收系数峰值小于 0.66，可判定为缅甸翡翠的，鉴别结果可表示为“缅甸翡翠”。

4.1.5.2

紫外可见光谱中 437nm 吸收系数峰值大于 1.1 为危地马拉翡翠；430nm 吸收系数峰值为 0.62~1.11，437nm 吸收系数峰值为 0.66 至 1.11 为危地马拉、缅甸、俄罗斯三产地重叠区域，在重叠区域的测试样品不能通过紫外可见光谱判定缅甸与非缅甸翡翠产地。

4.2 红外光谱法和激光拉曼光谱法的缅甸翡翠与危地马拉翡翠产地检测

4.2.1 红外光谱法和激光拉曼光谱法

使用主要成分分析-反向神经网络法，建立翡翠产地判别模型，判定缅甸翡翠与危地马拉翡翠产地。

4.2.2 仪器设备

由光源、色散系统、检测系统、信号读取、显示系统、样品室主要仪器设备组成。

傅里叶红外光谱仪：漫反射法，中红外光谱的测试范围 400 至 4000 cm^{-1} 分辨率为 4 cm^{-1} ，扫描频率为 10KHZ，光阑孔径大小为 6mm，测试样品扫描时间为 16s。

显微激光拉曼光谱仪：激发光源波长为 785nm，拉曼光谱的测试范围为 50 至 3000 cm^{-1} ，光阑的狭缝宽度为 25 μm ，扫描次数为 15s。

4.2.3 测试样品选择

测试样品要求至少要有有一个抛光面，并保持干燥。

4.2.4 测试分析

4.2.4.1 分子光谱测试

对测试样品进行红外光谱、激光拉曼光谱的谱学测试。

4.2.4.2 分析方法的建立

4.2.4.2.1 红外光谱中选取峰值 400 至 1250 cm^{-1} 、 2000 至 2500 cm^{-1} 两处特征吸收峰值的吸光度作为输入数据，获得不同光谱数据的主要成分累计贡献率。

4.2.4.2.2 激光拉曼光谱中选取峰值 100 至 1500 cm^{-1} 处的平均吸光度为输入数据，输入数据为分子光谱的吸光度。

4.2.4.2.3 运用主要成分因子并结合人工神经网络，建立不同光谱下测试样品产地的判定模型。

4.2.5 测试结果判定

利用构建的翡翠产地判别模型对翡翠产地进行判定，确定鉴别结果。（见附录 D：不同产地翡翠红外光谱特征，附录 E：不同产地翡翠的拉曼光谱特征。E.1、E.2、E.3、E.4、E.5、E.6、E.7、E.8、E.9）

4.3 X 射线荧光光谱（XRF）法的缅甸与非缅甸绿色翡翠产地检测

使用 X 射线荧光光谱仪对不同产地的测试样品进行成分半定量分析，测量特征 X 射线的波长与强度，从而对测试样品微小区域所含元素进行半定量分析。

根据不同的元素组合关系来判定测试样品缅甸与非缅甸绿色翡翠的产地。

4.3.1 仪器设备

X 射线荧光光谱仪（XRF）。

4.3.2 测试样品选择

测试样品的平整程度会对测试结果造成影响，应选用测试样品的平整面进行测试。

4.3.3 测试分析

4.3.3.1 X 射线荧光光谱测定

对测试样品在一定的条件下进行 X 射线荧光光谱分析测试。

4.3.3.2 分析方法的建立

4.3.3.2.1 测试条件选择真空氛围，化合物形式选择氧化物。

4.3.3.2.2 将氧化物含量换算成元素含量。例如：已知 Na_2O 的百分含量为 15.706 ，计算 Na 的百分含量为： Na_2O 的百分含量 $(15.706) \times 22.99 \times 2 / (22.99 \times 2 + 16)$ ，得到 Na 的百分含量为 11.6515 。其他元素的百分含量的计算也照此类推。

4.3.3.2.3 二元投图以 Cr 的百分含量为横轴，以 Fe 的百分含量为纵轴；三元投图以 $(\text{Na}+\text{Ca}+\text{Mg})$ 的百分含量为 X 轴，以 Cr 的百分含量为 Y 轴，以 Fe 的百分含量为 Z 轴。

投图示例（见附录 A X 射线荧光光谱仪（XRF）测试的翡翠数据投图：二元投图示例 A.1、三元投图示例 A.2）。

4.3.3.2.4 经过筛选关键元素，按照已知产地的翡翠数据进行投图，用 Cr-Fe 以及 $(\text{Na}+\text{Ca}+\text{Mg})$ -Cr-Fe 这两组元素组合对缅甸翡翠及非缅甸绿色翡翠产地进行判定。

4.3.4 测试结果判定

4.3.4.1 不同品牌与型号的 X 射线荧光光谱仪测试得出的数据有误差，需要根据实际情况划定判

定范围及缅甸与非缅甸绿色翡翠的重叠范围。

4.3.4.2 对投点在临界值附近的测试样品，建议结合颜色绿色色调、玉石结构、矿物包体以及加工工艺等特点进行综合判定，以期得到更准确的鉴别结果。

4.4 岩石矿物电子探针光谱法的缅甸与非缅甸翡翠产地检测

使用岩石矿物电子探针仪对不同产地的测试样品进行成分定量分析，测量特征 X 射线的波长与强度，从而对测试样品微小区域所含元素进行定量分析。

根据不同的元素组合关系来判定测试样品缅甸与非缅甸翡翠的产地。

4.4.1 仪器设备

岩石矿物电子探针仪。

4.4.2 测试样品选择

测试样品的平整程度会对测试结果造成影响，应选用测试样品的平整面进行测试。

4.4.3 测试分析

4.4.3.1 岩石矿物电子探针光谱测定

对测试样品在一定的条件下进行电子探针光谱分析测试。

4.4.3.2 分析方法的建立

4.4.3.2.1 测试条件选择真空氛围，化合物形式选择氧化物。

4.4.3.2.2 将氧化物含量换算成元素含量。例如：已知 Na_2O 的百分含量为 15.706，计算 Na 的百分含量为： Na_2O 的百分含量 $(15.706) \times 22.99 \times 2 / (22.99 \times 2 + 16)$ ，得到 Na 的百分含量为 11.6515。其他元素的百分含量的计算也照此类推。

4.4.3.2.3 二元投图以 Cr 的百分含量为横轴，以 Fe 的百分含量为纵轴；三元投图以 $(\text{Na}+\text{Ca}+\text{Mg})$ 的百分含量为 X 轴，以 Cr 的百分含量为 Y 轴，以 Fe 的百分含量为 Z 轴。
见附录 B 《典型绿色翡翠分析数据表》。

4.4.3.2.4 经过筛选关键元素，按照已知产地的翡翠数据进行投图，用 Cr-Fe 以及 $(\text{Na}+\text{Ca}+\text{Mg})-\text{Cr}-\text{Fe}$ 这两组元素组合对缅甸翡翠及非缅甸翡翠产地进行判定。

4.4.4 测试结果判定

4.4.4.1 不同品牌与型号的岩石矿物电子探针仪测试得出的数据有误差，需要根据实际情况划定判定范围及缅甸与非缅甸翡翠的重叠范围。

4.4.4.2 对投点在临界值附近的测试样品，建议结合颜色色调、玉石结构、矿物包体以及加工工艺等特点进行综合判定，以期得到更准确的鉴别结果。

五、翡翠产地鉴别结果表示

5.1 鉴别结果表述

5.1.1 根据判定结果表示

判定产地为缅甸的翡翠，鉴别结果表示为“缅甸翡翠”；判定产地为危地马拉的翡翠，鉴别结果表示为“危地马拉翡翠”；以此类推。

5.1.2 原则上，产地不参加定名。

可在翡翠产地鉴别证书适合处标注：“定名为：翡翠 ”。

5.2 鉴别证书基本内容

5.2.1 送检样品名称、检测编号、实物图片；

5.2.2 总质量（g）；

5.2.3 形状；

5.2.4 规格；

5.2.5 颜色；

5.2.6 贵金属检测；

5.2.7 检测技术及使用仪器

5.2.8 检测采用的技术标准

5.2.9 备注。

5.3 鉴别证书署名测试技术人员要求

5.3.1 从事翡翠产地检测技术人员应接受专门的技术培训，掌握正确的检验技术操作方法。

5.3.2 需要二名及以上检验技术人员独立完成同一被测试产品的检测，并取得统一的结果。

六、说明

6.1 准确率

6.1.1 红外光谱的判别模型鉴别测试样品和检验测试样品的准确率分别为 94.2% 和 91.6%。

6.1.2 光拉曼光谱的判别模型鉴别测试样品和检验测试样品的准确率分别为 93.48% 和 100.0%。

6.2 影响测试结果因素

6.2.1 现有技术不能对测试样品厚度超过 1mm、不透明、规格太小的测试数据。

6.2.2 方向性：翡翠的不同方向可使可见光谱图谱存在差异。

6.2.3 温度：温度对可见光谱产生影响，一般低温情况下可获得效果更好的可见光谱图谱。

6.3 危地马拉高绿翡翠的原产地溯源及确证的证据

6.3.1 危地马拉高绿翡翠的主要矿物成分为含铬绿辉石或硬玉+含铬绿辉石，含钠长石、榍石等次要矿物。整体以纤维粒状变晶结构、粒状纤维变晶结构为主，可见交代结构及碎裂结构。

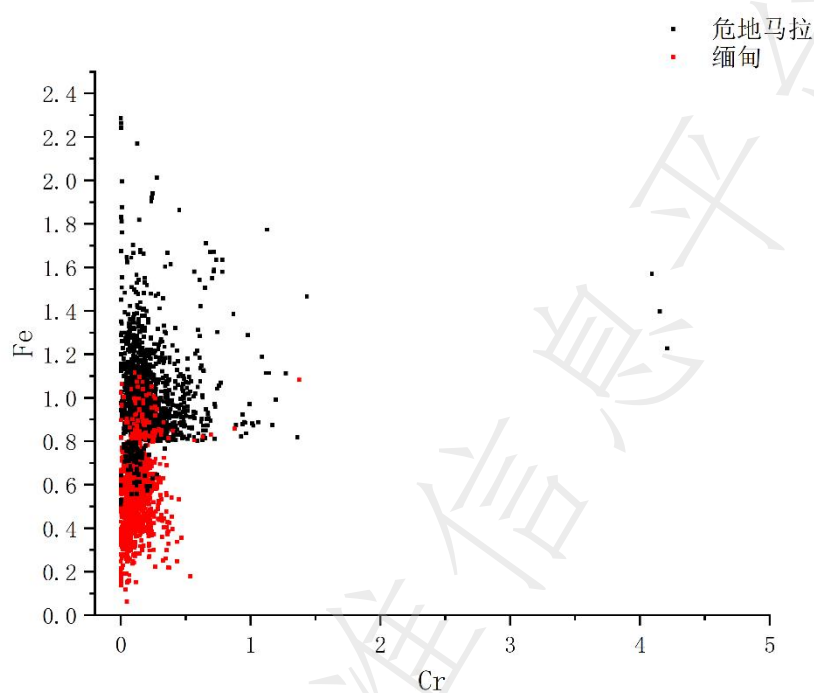
6.3.2 绿辉石中由畸变八面体配位的 Na^+ 、 Ca^{2+} 占据 MII 位，由规则八面体配位的阳离子 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Cr^{3+} 、 Al^{3+} 占据 MI 位，位于 MII 位的 $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ 介于 0.37 至 0.61 之间，且 Ca、Fe、Cr 等化学元素的分布分配具不均一性。

Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Cr^{3+} 致色离子是导致危地马拉高绿翡翠呈色的主要缘由。

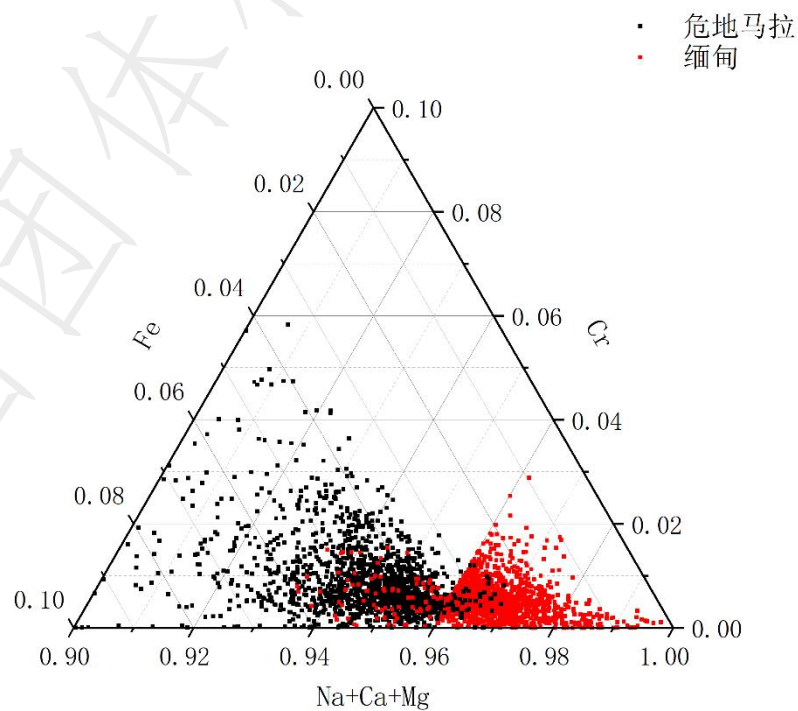
6.3.3 危地马拉高绿翡翠含铬绿辉石中由 $\nu(\text{Si}-\text{O}-\text{Si})$ 反对称伸缩振动、 $\text{Vas}(\text{O}-\text{Si}-\text{O})$ 反对称伸缩振动导致的拉曼峰位于 1027cm^{-1} 附近，由 $\nu(\text{Si}-\text{O}-\text{Si})$ 对称伸缩振动导致的拉曼峰位于 683cm^{-1} 附近， 522 、 568cm^{-1} 附近拉曼峰由 $\delta(\text{Si}-\text{O})$ 弯曲振动所致。

附录 A: X 射线荧光光谱仪 (XRF) 测试的翡翠数据投图

二元投图示例 A. 1



三元投图示例 A. 2



附录 B:《典型绿色翡翠样品分析数据表》

序号1-30为危地马拉翡翠, 序号31-60为缅甸翡翠, 序号61-90为临界值。

NO.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	NiO	TiO ₂	MnO	CaO
1	21.235	4.69	15.1	50.913	0.014	0.162	1.518	0.01	0.099	0.027	5.405
2	19.09	5.092	15.444	52.112	0.024	0.129	1.646	0.013	0.097	0.029	5.833
3	15.72	6.156	11.282	53.469	0.02	0.413	1.562	0.069	0.095	0.042	10.297
4	18.447	1.767	19.593	54.468	0.017	0.241	1.358	0.017	0.047	0.024	2.88
5	17.718	3.118	17.637	54.64	0.11	3.133	1.271	0.02	0.107	0.264	0.99
6	16.048	3.222	18.58	55.1	0.093	3.062	1.352	0.019	0.111	0.266	0.934
7	21.391	4.575	14.271	51.071	0.035	0.173	1.244	0.039	0.136	0.025	6.491
8	16.474	3.487	16.181	54.404	0.02	0.475	1.488	0.049	0.177	0.032	6.263
9	16.085	5.561	14.286	53.938	0.02	0.22	1.414	0.048	0.149	0.028	7.246
10	19.102	7.511	13.436	50.136	0.034	0.227	1.326	0.048	0.187	0.03	7.242
11	16.22	1.774	19.202	55.703	0.012	0.394	1.561	0.022	0.058	0.033	3.922
12	21.463	2.386	17.467	51.081	0.023	0.328	1.441	0.022	0.06	0.031	3.797
13	19.846	2.369	18.083	52.943	0.015	0.191	1.57	0.018	0.079	0.016	3.781
14	24.25	2.661	17.093	49.68	0.014	0.175	1.367	0.018	0.063	0.016	3.61
15	25.677	2.011	17.34	48.969	0	0.145	1.298	0.018	0.061	0.015	3.631
16	18.491	2.214	18.809	53.612	0.009	0.169	1.511	0.022	0.071	0.017	4.144
17	16.752	2.461	18.983	55.371	0.015	0.237	1.472	0.027	0.055	0.031	3.649
18	23.416	2.065	20.224	49.617	0.007	0.208	1.224	0.035	0.03	0.019	2.164
19	14.922	5.885	13.076	54.032	0.014	0.705	1.536	0.078	0.13	0.043	9.092
20	21.301	6.592	11.96	49.695	0.028	0.478	1.21	0.06	0.073	0.032	8.134
21	13.94	5.718	15.009	54.977	0.015	0.224	1.461	0.056	0.084	0.028	7.536
22	11.573	7.974	13.256	54.845	0.03	0.253	1.418	0.094	0.077	0.034	10.031
23	12.568	7.426	13.188	54.712	0.013	0.237	1.316	0.089	0.058	0.032	9.731
24	11.537	8.18	12.23	54.869	0.025	0.163	1.31	0.095	0.089	0.035	9.908
25	17.63	1.698	21.455	55.108	0.017	0.682	1.333	0.01	0.161	0.065	1.591
26	14.694	7.181	10.555	52.77	0.031	0.043	1.715	0.058	0.123	0.077	11.392
27	12.049	9.029	11.231	52.823	0.019	0.066	1.723	0.053	0.113	0.079	10.872
28	13.79	6.229	14.664	54.623	0	0.668	1.371	0.072	0.095	0.042	7.792
29	14.496	8.914	10.278	50.866	0.046	0.021	2.167	0.034	0.173	0.039	11.834
30	21.942	6.343	12.82	46.121	0.037	0.021	1.735	0.01	0.233	0.044	8.573
31	25	6.129	15.315	47.128	0.013	0.178	0.761	0.04	0.091	0.014	4.649
32	21.049	4.095	17.436	51.205	0.024	0.167	0.931	0.025	0.093	0.022	4.319
33	26.641	2.976	16.218	47.32	0.022	0.128	0.94	0.014	0.074	0.017	4.74
34	23.963	3.561	16.264	48.329	0.039	0.185	0.94	0.084	0.077	0.018	5.11
35	26.472	2.696	17.364	46.379	0.056	0.111	0.972	0.01	0.102	0.016	4.543
36	24.743	2.93	18.564	48.765	0.018	0.139	0.646	0.027	0.06	0.012	2.819
37	22.516	2.273	18.824	51.309	0.069	0.351	0.694	0.055	0.093	0.014	3.017
38	23.523	3.578	17.498	49.49	0.011	0.233	0.855	0.049	0.096	0.014	3.624
39	21.285	5.614	16.384	49.561	0.01	0.202	0.981	0.072	0.105	0.018	5.155

B. 1

序号 1-30 为危地马拉翡翠, 序号 31-60 为缅甸翡翠, 序号 61-90 为临界值。

NO.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	NiO	TiO ₂	MnO	CaO
40	24.48	1.332	19.834	50.366	0.016	0.196	0.559	0.019	0.064	0.009	1.66
41	25.433	1.206	19.378	50.278	0.013	0.127	0.627	0.027	0.077	0.008	1.868
42	22.67	1.711	20.682	50.84	0.023	0.227	0.664	0.01	0.049	0.013	1.591
43	23.796	4.933	15.742	48.583	0.009	0.207	0.768	0.07	0.096	0.017	4.852
44	22.571	6.126	14.746	49.312	0.016	0.368	0.786	0.083	0.081	0.02	5.724
45	24.871	1.784	19.26	49.71	0.018	0.14	0.827	0.025	0.063	0.011	2.689
46	22.761	1.872	19.013	51.281	0.023	0.176	0.889	0.026	0.07	0.012	2.941
47	21.061	2.558	19.414	51.236	0.012	0.143	0.782	0.033	0.071	0.014	3.248
48	24.509	1.838	18.954	49.996	0.013	0.332	0.807	0.01	0.093	0.014	2.518
49	21.501	3.731	17.267	50.934	0.017	0.351	0.772	0.061	0.068	0.019	4.724
50	21.672	4.761	16.815	50.341	0.02	0.214	0.864	0.063	0.107	0.015	4.76
51	22.97	2.059	19.85	50.666	0.019	0.041	0.714	0.038	0.098	0.012	2.796
52	24.861	1.498	22.758	47.577	0.042	0.197	0.392	0.006	0.075	0.006	1.787
53	22.802	1.712	20.767	50.441	0.035	0.343	0.625	0.004	0.12	0.036	2.352
54	20.639	3.949	16.892	51.489	0.025	0.288	0.904	0.051	0.122	0.024	4.966
55	21.383	3.945	17.687	50.964	0.014	0.309	0.835	0.035	0.068	0.017	3.843
56	23.041	2.292	17.909	51.819	0.047	0.233	0.706	0.017	0.033	0.013	3.094
57	22.89	5.568	14.324	48.195	0.036	0.104	0.878	0.092	0.044	0.014	6.569
58	20.748	4.002	16.286	51.537	0.015	0.18	0.935	0.083	0.086	0.018	5.15
59	20.092	3.825	17.097	51.363	0.022	0.176	0.953	0.083	0.086	0.019	5.272
60	20.894	6.709	14.302	49.868	0.017	0.11	0.746	0.064	0.044	0.017	7.025
61	19.018	7.762	14.637	50.717	0.023	0.008	1.005	0.02	0.059	0.022	6.559
62	19.746	5.903	14.15	51.792	0.032	0.014	1.006	0.026	0.053	0.024	7.007
63	21.505	2.688	18.548	51.52	0.025	0.033	1.124	0.011	0.061	0.02	3.487
64	21.815	7.779	12.848	48.142	0.02	0.044	1.141	0.025	0.099	0.032	7.301
65	23.839	2.98	16.064	50.239	0.018	0.059	1.096	0.006	0.118	0.018	4.471
66	19.596	8.132	12.028	49.799	0.012	0.147	1.072	0.068	0.025	0.017	8.487
67	20.366	3.274	17.196	51.88	0.072	0.163	1.006	0.048	0.066	0.019	4.954
68	19.739	5.932	15.315	50.721	0.016	0.192	1.104	0.079	0.108	0.022	6.165
69	19.11	4.703	17.132	52.334	0.028	0.192	1.026	0.053	0.069	0.021	4.931
70	20.471	4.284	17.12	51.063	0.019	0.209	1.038	0.039	0.127	0.019	5.139
71	19.008	4.727	15.489	52.476	0.028	0.215	1.01	0.077	0.073	0.016	5.92
72	20.757	4.725	16.065	50.868	0.022	0.275	1.005	0.036	0.136	0.028	5.471
73	20.05	5.483	14.447	51.651	0.025	0.386	0.967	0.023	0.076	0.021	6.348
74	19.231	4.712	15.403	51.766	0.033	0.024	0.928	0.036	0.069	0.022	7.313
75	21.833	6.902	14.623	49.527	0.012	0.067	0.919	0.022	0.08	0.019	5.794
76	17.821	4.335	15.61	53.062	0.023	0.039	1.28	0.038	0.175	0.028	6.126
77	17.656	4.591	15.799	52.566	0.044	0.148	1.306	0.069	0.093	0.026	6.983
78	17.616	4.513	15.649	52.487	0.049	0.129	1.257	0.066	0.099	0.027	7.107
79	14.469	7.063	12.281	54.292	0.016	0.152	1.294	0.084	0.086	0.036	9.992
80	20.097	4.355	14.231	51.825	0.044	0.179	1.265	0.043	0.155	0.027	7.033

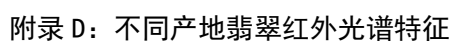
B. 2

序号 1-30 为危地马拉翡翠，序号 31-60 为缅甸翡翠，序号 61-90 为临界值。

NO.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	NiO	TiO ₂	MnO	CaO
81	22.751	1.699	19.132	51.458	0.01	0.209	1.226	0.014	0.036	0.021	2.504
82	21.665	1.77	19.083	51.431	0.039	0.222	1.264	0.011	0.051	0.021	2.722
83	16.244	4.979	13.39	54.057	0.057	0.231	1.319	0.153	0.068	0.019	9.016
84	13.121	5.558	16.079	54.74	0.054	0.264	1.322	0.075	0.182	0.031	6.977
85	16.214	6.047	14.601	53.691	0.012	0.28	1.272	0.059	0.079	0.027	7.216
86	19.944	3.709	16.344	52.315	0.02	0.293	1.166	0.046	0.082	0.022	5.064
87	13.605	7.291	14.16	53.633	0.011	0.304	1.324	0.106	0.129	0.042	9.04
88	18.203	2.264	18.676	54.429	0	0.37	1.473	0.024	0.067	0.03	3.645
89	17.194	1.965	21.259	54.606	0.062	0.37	1.451	0.02	0.129	0.014	2.103
90	13.315	5.361	14.562	55.019	0.024	0.33	1.361	0.075	0.079	0.033	8.903

B. 3

不同原产地绿色翡翠 UV-Vis 光谱的特征图 C.1

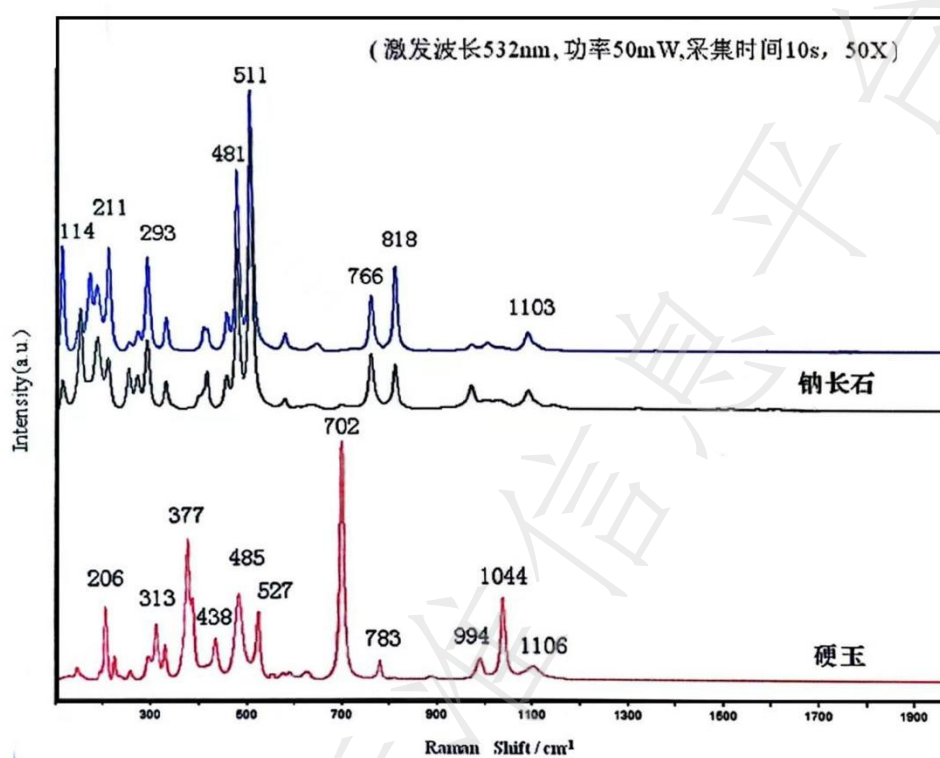


翡翠（缅甸、危地马拉）红外光谱特征图 D.1



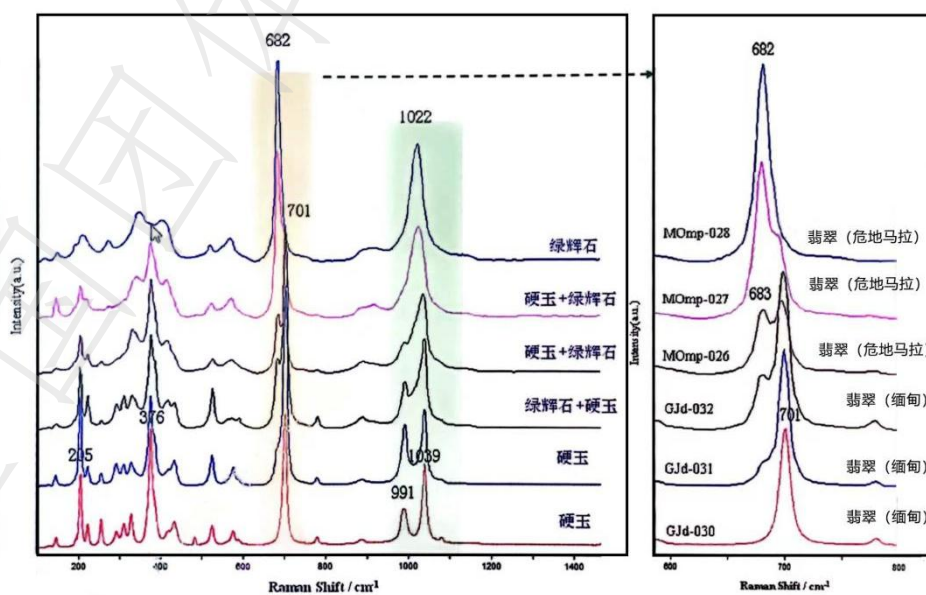
附录 E：不同产地翡翠的拉曼光谱特征

危地马拉紫色翡翠拉曼光谱图 E. 1

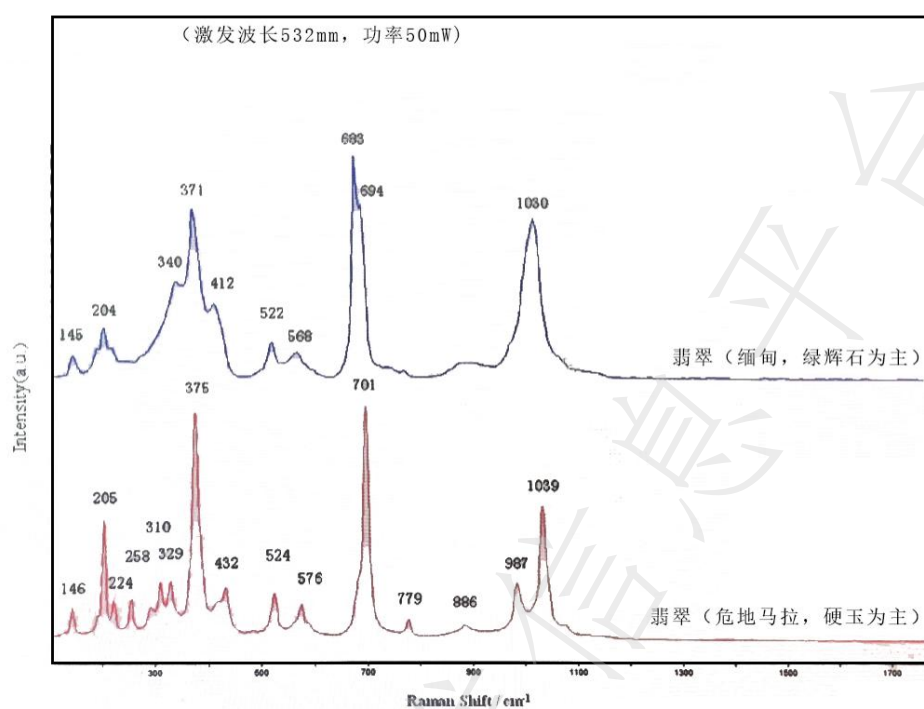


墨翡（产自缅甸、危地马拉）拉曼光谱特征图 E. 2

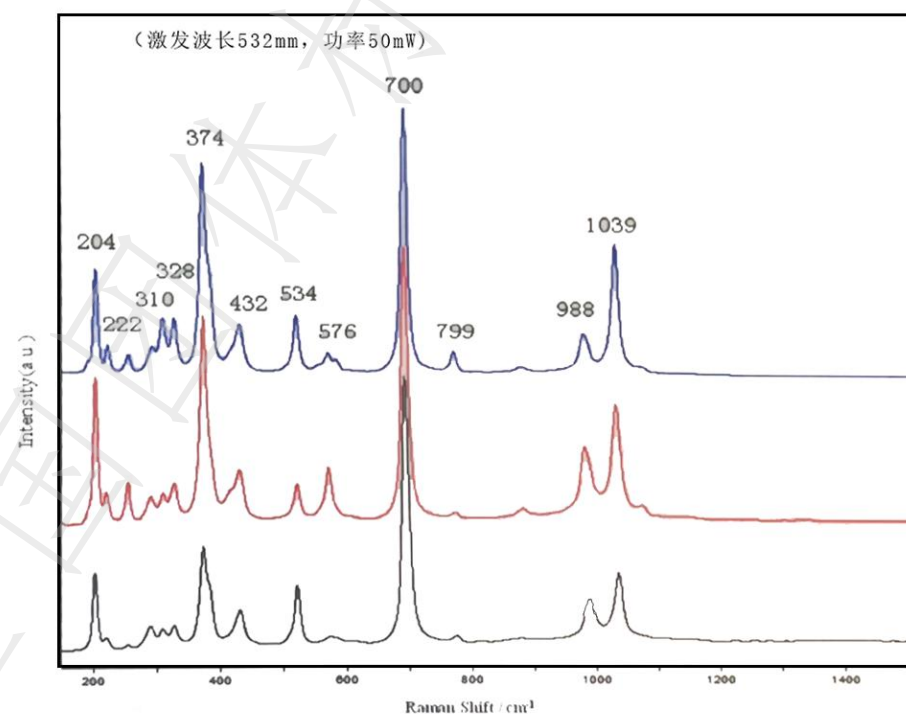
(激发波长532nm, 功率50mW, 采集时间10s, 50X)



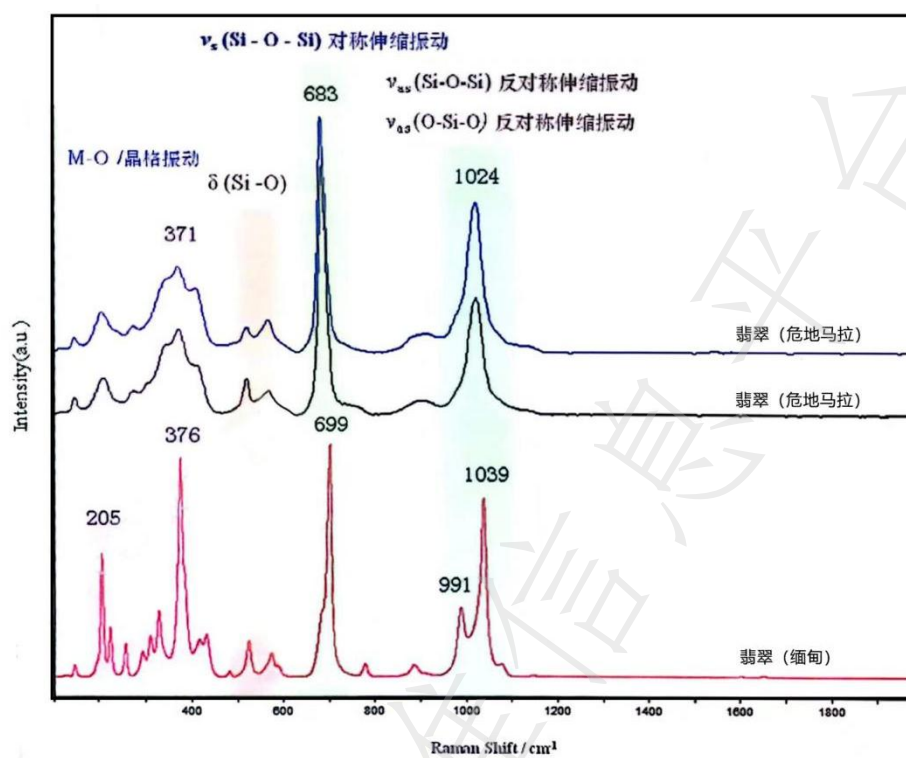
不同产地翡翠（蓝水料）拉曼光谱的特征图 E. 3



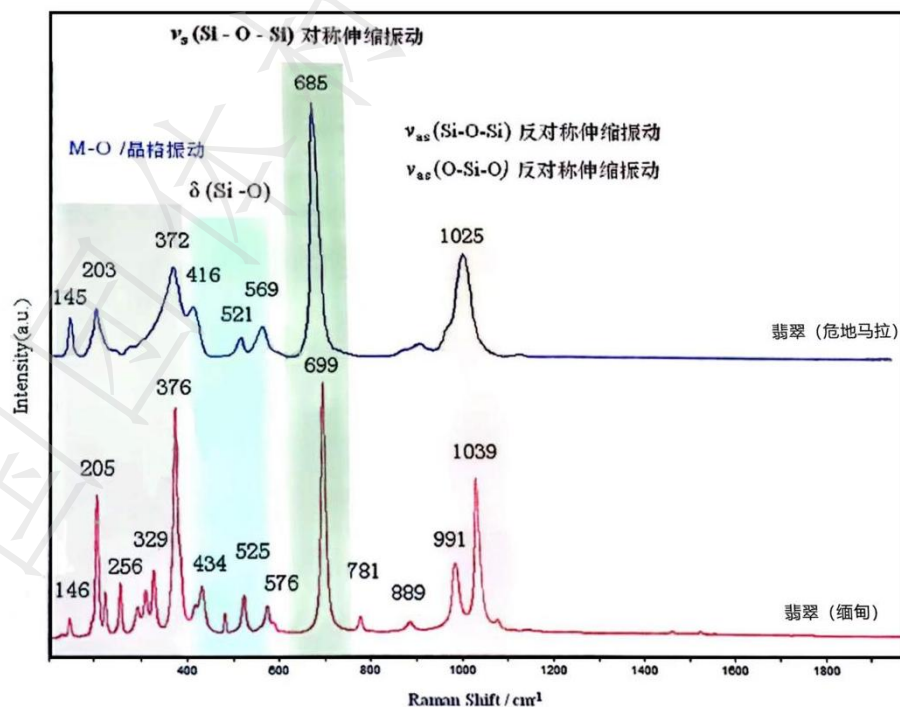
危地马拉翡翠（白水料）拉曼光谱图 E. 4



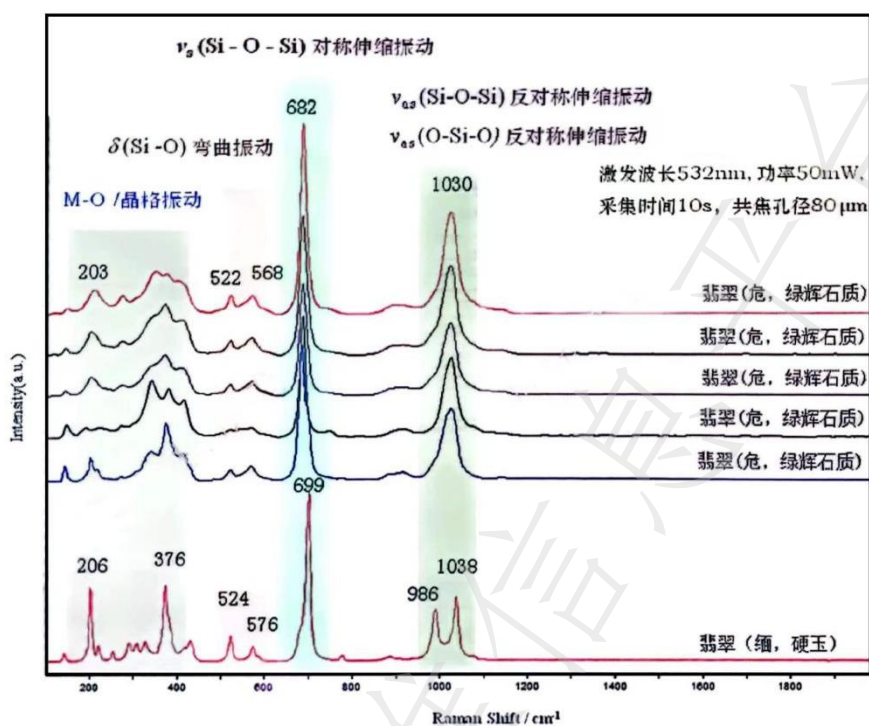
不同产地绿色翡翠拉曼光谱的特征图 E. 5



不同产地绿色翡翠拉曼光谱的特征图 E. 6

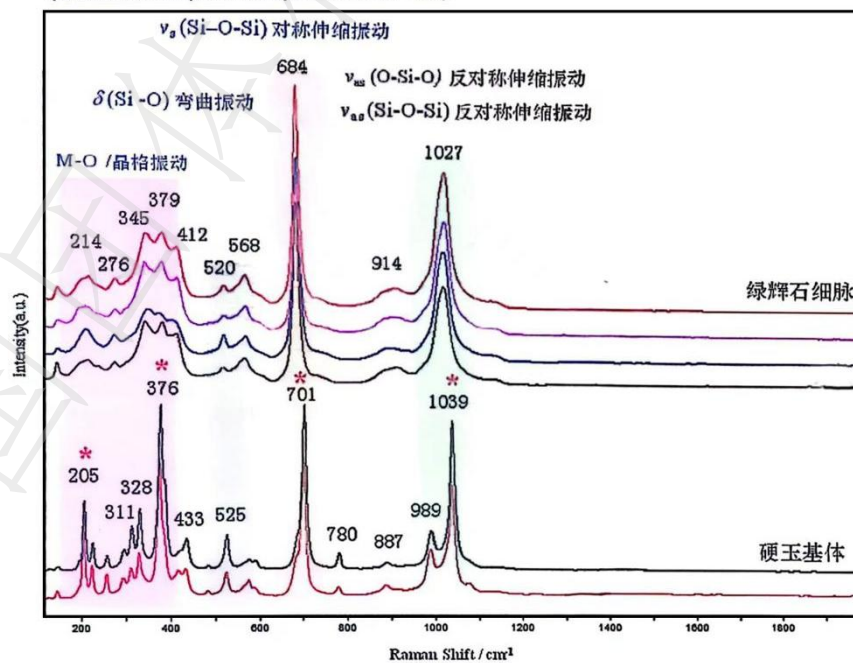


不同原产地翡翠（绿色）拉曼光谱的特征图 E. 7



翡翠（产自危地马拉）的拉曼光谱图 E. 8

(激发波长532nm, 功率50mW, 采集时间10s, 50X)



产自不同地区翡翠的拉曼光谱图 E. 9

