

文章编号: 0254-5357(2015)02-0207-06

DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.2015.02.009

基于相对密度和 X 射线粉晶衍射技术测定硬玉岩中硬玉的含量

兰延¹, 陆太进², 陈伟明³, 刘洋², 梁榕¹, 马璞¹, 张小虎¹

(1. 国土资源部珠宝玉石首饰管理中心深圳珠宝研究所, 广东深圳 518020;

2. 国家珠宝玉石质量监督检验中心, 北京 100013; 3. 鑫珑珠宝有限公司, 广东佛山 528251)

摘要: 硬玉岩能否命名为宝石级“翡翠”, 其硬玉的含量是关键参数, 目前测量岩石中矿物质量分数的方法多为有损分析, 难以应用于珠宝玉石检测中。本文基于硬玉岩矿物组成及其质量分数的变化, 建立了一种通过测量硬玉岩相对密度获得硬玉质量分数的无损分析方法。对 186 件相对密度在 3.30 ~ 3.24 之间的硬玉岩样品采用静水称重法测试, 根据相对密度范围进行分组, 利用 X 射线粉晶衍射、人工重砂分析、电子探针、红外光谱、拉曼光谱等技术确定硬玉岩的主要矿物及其质量分数, 进而统计分析硬玉质量分数与硬玉岩相对密度的线性关系。研究表明: 硬玉岩的主要矿物为硬玉和杂质矿物钠长石、方沸石。随着硬玉的质量分数 (w_A) 下降, 钠长石、方沸石质量分数增加, 硬玉岩实测相对密度 (SG) 发生相应变化, 两者的线性方程为 $w_A = 1.3454 \times SG - 3.4531$ (相关系数为 0.9814), 线性关系良好。由于本方法的硬玉岩实测相对密度近似等于理论相对密度, 即可通过测量相对密度获得硬玉的质量分数, 这种无损测试方法适用于相对密度在 3.3 ~ 3.0, 硬玉含量在 95% ~ 60%, 硬玉与钠长石的质量分数之和在 90% ~ 97% 之间的硬玉岩样品。

关键词: 硬玉岩; 翡翠; 矿物组分; 相对密度; 质量分数; X 射线粉晶衍射法; 人工重砂分析; 电子探针; 红外光谱法; 拉曼光谱法

中图分类号: P575.5

文献标识码: A

硬玉岩产地相当稀少, 只分布在缅甸、危地马拉、日本、俄罗斯、美国加州、哈萨克斯坦等少数几个国家或地区^[1-7], 并且仅缅甸产出宝石级硬玉岩——翡翠。随着我国玉石资源逐步枯竭, 现每年约有数千吨的硬玉岩被当作“翡翠”在市场上销售, 给市场带来不小的冲击, 如何规范地利用好这一类含共生矿物的硬玉岩资源, 成为当前珠宝玉石行业亟需解决的问题。目前国内外对进入中国市场的硬玉岩研究甚少^[8-12], 尤其对此类硬玉岩的矿物组成、质量分数和材料工艺性能的研究更少。国家标准对于“翡翠”的分类命名方法主要是根据《翡翠分级》(GB/T 23885—2009)。然而, 市场上部分硬玉岩的相对密度、折射率不在国标 GB/T 23885—2009 规定范围内, 对于这类样品是否能称为“翡翠”无法据此判断。另一种观点认为可依据《岩石分类和命名方案》(GB/T 17412.3—1998) 对这类硬玉岩进行命名, 那么该类硬玉岩能否命名为“翡翠”, 其中硬

玉的含量(质量分数)是关键参数^[13-14]。目前对于测量矿物质量分数的方法均是基于岩石学研究方面, 多为有损测试方法, 例如岩石薄片分析、X 射线粉晶衍射分析、矿物重砂分析、岩石化学成分结合矿物分子量计算等^[15-22]。鉴于宝石材料检验的特殊性, 一般使用无损法进行检验, 只有极少数样品需进行有损法检验, 但其结果是严重损坏样品, 导致样品的经济价值丧失。目前已有部分实验室进行了一些无损方法的尝试^[23-24], 但实际测试结果仍不理想。

矿物玉石的无损测试方法, 如折射率测试、相对密度测试、紫外-可见-近红外测试及能谱测试等已广泛用于珠宝检测, 其中相对密度测试是研究矿物主要组分和次要组分质量分数及其变化规律的方法之一。本文选取 186 件相对密度在 2.88 ~ 3.30 之间的硬玉岩样品, 利用静水称重法进行相对密度测试; 然后利用 X 射线粉晶衍射、单矿物相对密度分析、红外光谱、拉曼光谱、电子探针分析等手段确

收稿日期: 2014-09-18; 修回日期: 2015-03-05; 接受日期: 2015-03-08

作者简介: 兰延, 硕士, 高级工程师, 主要从事珠宝玉石与贵金属首饰的研究和鉴定工作。E-mail: 858lan@163.com。

定硬玉岩的物质(矿物)组分;再利用X射线粉晶衍射、重砂矿物质量分数分析、岩石薄片测量3种测试手段相互验证定量分析硬玉岩样品中各矿物的质量分数;进而统计分析硬玉岩的实测相对密度和硬玉质量分数的线性关系,获得两者的线性方程,建立了一种通过测量硬玉岩样品的相对密度获得硬玉质量分数的无损鉴定方法。

1 硬玉岩样品的物质组分特征

1.1 静水称重法测量硬玉岩样品的相对密度和折射率特征

本文研究的硬玉岩样品收集自广东省佛山市平洲玉器市场。实验中对86件块状样品、100件手镯样品采用静水称重法^[25]进行相对密度(SG)测试,测试结果获得硬玉岩样品的相对密度范围为3.30~2.88。在此基础上,依据翡翠分级标准(GB/T 23885—2009)和《岩石分类和命名方案》(GB/T 17412.3—1998)及显微镜下观察到的主要矿物含量差异,将样品分为A、B、C、D四组进行进一步详细研究。

(1) A组样品相对密度>3.25,50件。

(2) B组样品相对密度为3.25~3.19,46件。

(3) C组样品相对密度为3.19~3.10,45件。

(4) D组样品相对密度为3.10~2.88,45件。

折射率测试在折射仪上进行,测试结果得到A组、B组、C组样品折射率为1.66,D组样品折射率为1.65,在其他矿物分布较多部位折射率为1.56。

1.2 偏光显微镜分析硬玉岩主要矿物组成及结构

对186张样品岩石薄片在偏光显微镜下进行观察,分析主要矿物组成及结构,并测算各矿物的质量分数见表1。

1.3 X射线粉晶衍射-人工重砂-电子探针-红外光谱-拉曼光谱分析硬玉岩的矿物组成

采用X射线粉晶衍射、人工重砂、电子探针、红外光谱、拉曼光谱等^[26-29]5种分析手段确定硬玉岩的主要矿物为硬玉、硬玉-透辉石过渡矿物,次要矿物有钠长石、方沸石,并含少量钠云母、黑云母、钾长石、绿泥石、帘石族矿物等。

采用X射线粉晶衍射分析、重砂矿物分析、岩石薄片测算3种定量分析测试手段相互验证,结果表明样品的矿物组分相对简单,其中硬玉和钠长石的质量分数总和在90%~97%之间。样品中矿物质量分数的变化是造成相对密度变化的主要影响因素,随着硬玉组分质量分数下降,杂质矿物钠长石、

方沸石质量分数增加,其相对密度相应变化:硬玉含量约98%~91%时,SG>3.25;硬玉含量约91%~83%时,SG=3.25~3.19;硬玉含量约88%~68%时,SG=3.19~3.10;硬玉含量约68%~37%时,SG=3.09~2.88。部分样品的测试数据见表2。

表1 四组不同相对密度样品的偏光显微镜下特征对比

Table 1 A comparison of the mineralogical features for the jadeitites with different relative densities observed using polarization microscope

| 样品按 相对密度 分组 | 相对密度 (SG) 范围 | 矿物结构特征 | 主要矿物 | 次要矿物 |
|-------------------|--------------------|--|----------------------------|----------------------|
| A组 | >3.25 | 柱状交织结构、 柱状-纤维放射结构、 粒状结构 | 硬玉 (98%~91%) | 钠长石、 方沸石 |
| B组 | 3.25~3.19 | 柱状交织结构、 纤维-柱状放射结构、 粒状结构、 交代结构 | 硬玉 (91%~83%) | 钠长石、 方沸石、 钠云母等 |
| C组 | 3.19~3.10 | 粒状结构、柱状结构、 交代结构、 柱状放射结构 | 硬玉、 硬玉-透辉石 (88%~68%) | 钠长石、 方沸石、 钠云母等 |
| D组 | 3.10~2.88 | 交代结构、 粒状结构、 柱状结构、 柱状放射结构 | 硬玉、 硬玉-透辉石 (68%~37%) | 钠长石、 方沸石、 钠云母等 |

注:测试单位为国土资源部珠宝玉石首饰管理中心深圳珠宝研究所。

2 结果与讨论

2.1 硬玉岩中单矿物的相对密度测试结果

为获取合理的理论相对密度值,对两块相对密度分别为3.28、3.08的块状样品,采用重液法^[25]进行单矿物的相对密度测试,结果见表3。

2.2 硬玉岩理论相对密度与实测相对密度的关系

利用186个样品的各矿物质量分数和单矿物相对密度数据,按以下公式计算理论相对密度(SG^{*}):

$$SG^* = \frac{1}{\frac{w_A}{SG_A} + \frac{w_B}{SG_B} + \frac{w_C}{SG_C} + \dots} \quad (1)$$

$$w_A + w_B + w_C + \dots = 100\% \quad (2)$$

式中: w_A 、 w_B 、 w_C …为单矿物占总体的质量分数; SG_A 、 SG_B 、 SG_C …为单矿物A、B、C…的相对密度。

利用EXCEL统计理论相对密度与实测相对密度的相关关系,得到两者的相关系数 $r=0.9931$,线性关系良好,即实测相对密度近似等于理论相对密度。

表2 各组典型样品的矿物质量分数与相对密度

Table 2 Mineral contents and relative density of the typical samples

| 样品分类 | 样品编号 | 矿物组成的质量分数(%) | | | | 原矿石样品 相对密度 | 理论 相对密度 |
|------|------|--------------|-----|----|-------|---------------|------------|
| | | 硬玉 | 钠长石 | 沸石 | 钠云母 | | |
| A组 | 38-① | 97 | 2 | 1 | 0 | 3.301 | 3.302 |
| | 17-① | 96 | 2 | 2 | 0 | 3.298 | 3.291 |
| | 34-1 | 94 | 3 | 3 | 0 | 3.294 | 3.277 |
| | 3 | 95 | 3 | 2 | 0 | 3.283 | 3.284 |
| | 24-① | 94 | 3 | 3 | 0 | 3.279 | 3.277 |
| | 35-① | 93 | 3 | 4 | 0 | 3.265 | 3.266 |
| | 27-1 | 91 | 5 | 4 | 0 | 3.259 | 3.248 |
| | 3-2 | 91 | 4 | 5 | 0 | 3.251 | 3.252 |
| | 平均值 | 94 | 3 | 3 | 0 | 3.279 | 3.275 |
| | 33 | 90 | 5 | 3 | 2 | 3.240 | 3.247 |
| 3-① | 89 | 4 | 3 | 4 | 3.240 | 3.242 | |
| 1-1 | 92 | 5 | 3 | 0 | 3.224 | 3.246 | |
| 3-12 | 91 | 4 | 5 | 0 | 3.230 | 3.237 | |
| 10-① | 89 | 6 | 5 | 0 | 3.221 | 3.221 | |
| 24-① | 85 | 4 | 11 | 0 | 3.200 | 3.201 | |
| 2-1 | 87 | 8 | 5 | 0 | 3.210 | 3.200 | |
| 2-① | 86 | 5 | 7 | 2 | 3.210 | 3.210 | |
| 41-① | 84 | 4 | 9 | 3 | 3.209 | 3.202 | |
| 平均值 | 88 | 5 | 6 | 1 | 3.220 | 3.223 | |
| 3-16 | 86 | 10 | 4 | 0 | 3.185 | 3.195 | |
| 26-① | 84 | 6 | 10 | 0 | 3.178 | 3.178 | |
| 35 | 84 | 9 | 7 | 0 | 3.170 | 3.184 | |
| 34-① | 85 | 11 | 4 | 0 | 3.164 | 3.167 | |
| C组 | 33-1 | 80 | 9 | 10 | 1 | 3.152 | 3.155 |
| 18-① | 84 | 14 | 2 | 0 | 3.150 | 3.149 | |
| 3-13 | 68 | 4 | 25 | 3 | 3.137 | 3.130 | |
| 3-13 | 76 | 6 | 18 | 0 | 3.123 | 3.123 | |
| 平均值 | 81 | 9 | 10 | 1 | 3.153 | 3.154 | |
| 3-19 | 71 | 10 | 18 | 1 | 3.088 | 3.086 | |
| D5 | 67 | 6 | 25 | 2 | 3.074 | 3.066 | |
| D2 | 67 | 7 | 22 | 4 | 3.066 | 3.065 | |
| 5-1 | 75 | 13 | 12 | 0 | 3.058 | 3.106 | |
| 3-22 | 73 | 14 | 13 | 0 | 3.058 | 3.073 | |
| D组 | D3 | 66 | 8 | 25 | 1 | 3.050 | 3.049 |
| D19 | 63 | 6 | 30 | 1 | 3.030 | 3.036 | |
| D20 | 54 | 6 | 40 | 0 | 3.020 | 2.971 | |
| D18 | 60 | 10 | 27 | 3 | 3.005 | 3.006 | |
| D1 | 47 | 12 | 37 | 4 | 2.910 | 2.912 | |
| 平均值 | 64 | 9 | 25 | 2 | 3.036 | 3.037 | |

注:①硬玉岩的理论相对密度按照各单矿物的理论密度计算,各单矿物的理论密度为:硬玉 $3.33 \sim 3.31 \text{ g/cm}^3$,沸石 2.26 g/cm^3 ,钠长石 2.62 g/cm^3 ,钠云母 2.88 g/cm^3 。②测试单位:国土资源部珠宝玉石首饰管理中心深圳珠宝研究所。

表3 样品中单矿物的相对密度测试结果

Table 3 Analytical results of the specific gravities of different minerals in jadeite samples

| 样品 | 各单矿物的相对密度 | | | | | |
|-------------|-----------|------|------|------|------|------|
| | 硬玉 | 白云母 | 钾长石 | 斜长石 | 黑云母 | 绿泥石 |
| SG=3.28(块状) | 3.33 | 2.88 | 2.60 | 2.64 | 2.86 | 2.84 |
| SG=3.08(块状) | 3.31 | 2.87 | 2.59 | 0 | 0 | 2.83 |

注:测试单位为河北廊坊峰泽源岩矿检测技术实验室。

2.3 硬玉岩相对密度与硬玉质量分数的关系

硬玉是硬玉岩的主要矿物,通过对186个样品数据(实测相对密度与硬玉质量分数)的统计结果分析,利用EXCEL统计出硬玉质量分数与硬玉岩实测相对密度的关系。硬玉质量分数与实测相对密度关系统计拟合的一次线性方程为:

$$w_A = 1.3454 \times SG - 3.4531 \quad (3)$$

式中: w_A 为样品中硬玉的质量分数,SG为样品的实测相对密度。

样品的实测相对密度与硬玉的质量分数线性相关性 $r = 0.9814$ 。当硬玉质量分数在95%~60%,样品相对密度在3.3~3.0时,线性关系较好;当硬玉质量分数小于60%(40%~60%),样品相对密度小于3.0时,线性关系较差。即样品的实测相对密度愈高,两者的线性关系愈好;实测相对密度愈低,两者的线性关系愈差。这是由于在相对密度较高的硬玉岩样品中,成分较为单一,主要由硬玉和钠长石、方沸石组成,并且其中硬玉质量分数较高(95%~60%),其对样品的相对密度有重要的影响。而在相对密度较低的样品中,钠长石与硬玉的含量相当,或高于硬玉含量,并且方沸石、钠云母、帘石族矿物等次要矿物含量也增多,这使得其他矿物对样品相对密度的影响程度(权重)增大或大于硬玉,导致硬玉质量分数与实测相对密度的线性关系变差。

因此,式(3)的线性方程适用于相对密度在3.3~3.0、主要含钠长石和方沸石的硬玉岩样品(硬玉与钠长石的质量分数总和在90%~97%之间)。

2.4 理论计算曲线验证实测工作曲线的有效性

通常情况下,影响岩石相对密度的主要因素是:①矿物组成和质量分数;②岩石结构的紧密程度^[30]。从样品实测相对密度和依据矿物组成质量分数计算的理论相对密度结果来看($r = 0.9931$),说明岩石结构的紧密程度对相对密度的影响是很稳定的。因此,样品的矿物组成和质量分数的变化对实测相对密度的影响是本文讨论的重点之一。由于硬玉岩样品的理论密度与岩石中的硬玉质量分数密切相关,通过硬玉质量分数是可以计算出理论密度的。因此,利用理论密度作为桥梁,寻找出硬玉质量分数和实测密度的关系,对鉴定样品中硬玉质量分数有重要的意义。

要获得上述关系,需符合以下2个条件。

(1)首先硬玉岩样品中的矿物成分相对简单,且硬玉岩中硬玉的质量分数一般超过50%,多数在95%~60%之间,对样品的相对密度具有重要的影

响,这主要是由于硬玉质量分数愈高,对相对密度的贡献率愈大,例如当硬玉质量分数达到90%时,其对相对密度的贡献率(权重)能达到92.5%。

(2)硬玉岩样品主要由硬玉、钠长石、方沸石和钠云母组成,从变质生长过程来看,方沸石和钠云母可能是硬玉、钠长石的退变质产物^[4,31]。因此,可将原始岩石视为主要由硬玉和钠长石组成,通过数理统计拟合得到其理论计算工作曲线为:

$$w_A = (3.33 - 8.7246/SG^*)/0.71$$

$$(SG^* = 2.62 \sim 3.33) \quad (4)$$

式中: w_A 为硬玉理论质量分数, SG^* 为理论相对密度。

将式(3)和式(4)进行线性比较,见图1,可以看出两条曲线几乎平行,并且主要的硬玉质量分数值点几乎是重合的,说明实测工作曲线和理论计算曲线具有一致性,从而验证了实测工作曲线的有效性。

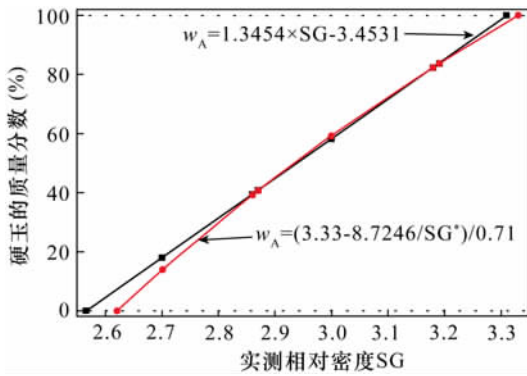


图1 实测拟合出的硬玉岩相对密度-硬玉质量分数曲线与硬玉+钠长石理论相对密度-硬玉质量分数曲线

Fig. 1 The fitted curves between measured specific gravities of jadeite-mass fraction of jadeite and theoretical specific gravities of jadeite + feldspar-mass fraction of jadeite

3 结语

本文研究的硬玉岩样品的矿物组分相对简单,主要为硬玉、硬玉-透辉石过渡矿物,次要为钠长石、方沸石,并含少量钠云母、黑云母、钾长石、绿泥石、帘石族矿物等,其中硬玉和钠长石的质量分数总和为90%~97%。样品中矿物组成和质量分数的变化是造成相对密度变化的主要因素,利用测试数据统计得到硬玉质量分数与硬玉岩实测相对密度的线性方程: $w_A = 1.3454 \times SG - 3.4531$ 。对于相对密度在3.3~3.0,硬玉质量分数在95%~60%,主要含钠长石、方沸石的硬玉岩样品(硬玉与钠长石的质量分数总和为90%~97%)可利用该线性方程,通过测量硬玉岩的相对密度获得硬玉的质量分数。

本次研究查明了硬玉岩样品的矿物组分,并提供了一种适用于分析成分相对简单的硬玉岩中硬玉质量分数的无损检测方法,可以判断硬玉岩是否是宝石级翡翠。对于矿物组成较为简单的岩石样品,例如含角闪石、霞石硬玉岩等也可参照本研究方法进行无损测试。但由于硬玉岩成矿过程的复杂性,不同产区硬玉岩所含的矿物种类和含量有所不同,对于其他成分复杂硬玉岩的相对密度与硬玉质量分数之间是否存在线性关系还需进一步验证。

4 参考文献

- [1] Shi G H, Harlow G E, Wang J, et al. Mineralogy of Jadeitite and Related Rocks from Myanmar: A Review with New Data [J]. *European Journal of Mineralogy*, 2012, 24: 345-370.
- [2] Marroni M, Pandolfi L, Principi G, et al. Deformation History of the Eclogite- and Jadeitite-bearing Mélange from North Motagua Fault Zone, Guatemala: Insights in the Processes of a Fossil Subduction Channel [J]. *Geological Journal*, 2009, 44: 167-190.
- [3] Harlow G E. Jadeitites, Albitites and Related Rocks from the Motagua Fault Zone [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 1994, 12: 49-68.
- [4] Shigeno M, Mori Y, Nishiyama T. Reaction Microtextures in Jadeitites from the Nishisonogi Metamorphic Rock, Kyushu, Japan [J]. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 2005, 100: 237-246.
- [5] 赵玥. 俄罗斯翡翠的矿物学特征研究[D]. 石家庄: 石家庄经济学院, 2014.
Zhao Y. The Research on Mineralogy Features of Russian Jadeite [D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang University of Economics, 2014.
- [6] Sorensen S, Harlow G E, Rumble D. The Origin of Jadeitite-forming Subduction-zone Fluids: CL-guided SIMS Oxygen-isotope and Trace-element Evidence [J]. *American Mineralogist*, 2006, 91: 979-996.
- [7] 张睿. 哈萨克斯坦翡翠的矿物学研究及成因解析[D]. 北京: 中国地质大学, 2014.
Zhang R. Analyze on the Mineralization and Mineralogical Characteristics of Kazakhstan Jadeite Jade [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2014.
- [8] 何为. 翡翠及其过渡类型的矿物学特征研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2011.
He W. The Research of Mineralogical Characteristics of Jadeite and Its Transitional Type [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2011.
- [9] 邹泽李, 胡林玉, 殷小玲. 与翡翠伴生钠长石的矿物学

- 特征研究[J]. 超硬材料工程,2013,25(1):57-62.
- Zou Z L, Hu L Y, Yin X L. Mineralogical characteristics of the associated albite of jadeite[J]. Superhard Material Engineering,2013,25(1):57-62.
- [10] 陈秀英,袁心强,林嵩山. 危地马拉紫色翡翠的矿物组成特征及意义[J]. 岩石矿物学杂志,2011,30(增刊):1-7.
- Cheng X Y, Yuan X Q, Lin S S. Mineral Composition of the Purple Jadeite from Guatemala and Its Significance [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2011, 30 (Supplement):1-7.
- [11] 黄德晶,熊威. 与翡翠伴生的含钠长石质玉石的鉴别及定名探讨[J]. 山东国土资源,2011,27(5):17-19.
- Huang D J, Xiong W. Study on Identification and Naming of Jade Sodium Feldspathic Associated with Jade Stone [J]. Land and Resources in Shandong Province,2011, 27(5):17-19.
- [12] 周艳,刘嵘,曹姝旻. 关于翡翠研究中几个重要问题的思考[J]. 岩石矿物学杂志,2009,28(1):88-91.
- Zhou Y, Liu R, Cao S M. A Preliminary Discussion on Some Important Problems in Jadeite Research [J]. Acta Petrologica et Mineralogica,2009,28(1):88-91.
- [13] 韩辰婧,王雅玫,刘洋. 翡翠中共生矿物含量对翡翠命名的影响[J]. 宝石和宝石学杂志,2013,15(1):28-36.
- Han C J, Wang Y M, Liu Y. Influence of Associated Minerals on Jadeite Naming [J]. Journal of Gems and Gemmology,2013,15(1):28-36.
- [14] 袁心强编著. 应用翡翠宝石学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2009.
- Yuan X Q. Application of Jade Gemology [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press,2009.
- [15] 曾广策,朱云海,叶德隆编著. 透明造岩矿物与宝石晶体光学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997.
- Zeng G C, Zhu Y H, Ye D L. Crystal Optics of Transparent Rock-forming Minerals and Gems [M]. Wuhan:China University of Geosciences Press,1997.
- [16] 占蓉,邹筱春,李芳. 随钻X射线衍射分析录井技术应用研究[J]. 录井工程,2012,23(4):1-5.
- Zhan R, Zhou X C, Li F. Application and Research of the Logging Technology for LWD X-ray Diffraction Analysis [J]. Mud Logging Engineering,2012,23(4):1-5.
- [17] Hestnes K H, Sorensen B E. Quantitative Mineral Characterization of Granitic Pegmatite Using Topas Rietveld XRD Refinement [C]//Proceedings of the 10th International Congress for Applied Mineralogy,2012:335-343.
- [18] Pawloski G A. Quantitative Determination of Mineral Content of Geological Samples by X-ray Diffraction [J]. American Mineralogist, 1985, 70:66-667.
- [19] 郝立波,赵洪振,陆继龙,等. 中酸性火山岩中造岩矿物含量的定量计算方法[J]. 岩石学报,2006,22(2):480-484.
- Hao L B, Zhao H Z, Lu J L, et al. The Quantitative Method of The Petrogenetic Mineral Content in Intermediate-acid Volcanic Rock [J]. Acta Petrologica Sinica,2006,22(2):480-484.
- [20] 黄智龙,朱丹. 云南镇沅金矿区煌斑岩矿物含量统计及其意义[J]. 地质地球化学,1997(3):19-23.
- Huang Z L, Zhu D. The Statistics and Significance of Mineral Contents for Lamprophyres in Zhenyuan Dold Orefield, Yunnan Province [J]. Geology-Geochemistry, 1997(3):19-23.
- [21] 王文广. 一种计算岩石中矿物组成的新方法[J]. 铀矿地质,2009,25(6):344-348.
- Wang W G. A New Method for Calculating Mineral Composition of Rocks with Microscopic Observing and Molecular Mass Counting [J]. Uranium Geology, 2009, 25(6):344-348.
- [22] Büttner S H. Rock Maker: An MS Excel™ Spreadsheet for the Calculation of Rock Compositions from Proportional Whole Rock Analyses, Mineral Compositions, and Modal Abundance [J]. Mineralogy and Petrology,2012,104(1-2):129-135.
- [23] 孙访策,赵虹霞,干福熹. 翡翠成分、结构和矿物组成的无损分析[J]. 光谱学与光谱分析,2011,31(11):3134-3139.
- Sun F C, Zhao H X, Gan F X. Nondestructive Analysis of Chemical Composition, Structure and Mineral Constitution of Jadeite Jade [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis,2011,31(11):3134-3139.
- [24] 叶润青,牛瑞卿,张良培,等. 基于图像分类的矿物含量测定及精度评价[J]. 中国矿业大学学报,2011,40(5):810-822.
- Ye R Q, Niu R Q, Zhang L P, et al. Mineral Contents Determination and Accuracy Evaluation Based on Classification of Petrographic Images [J]. Journal of China University of Mining & Technology,2011,40(5):810-822.
- [25] 张培莉,王曼君编著. 系统宝石学[M]. 北京:地质出版社,2006:103-107.
- Zhang P L, Wang M J. Systematic Gemmology [M]. Beijing: Geological Publishing House,2006:103-107.
- [26] 赵宝,张丽华,薛光和,等. 翡翠检测技术的研究现状与进展[J]. 中国宝玉石,2013(增刊):142-147.
- Zhao B, Zhang L H, Xue G H, et al. Present Situation and Research Progress of Jadeite Jades Measurement Technique [J]. China Gems,2013(Supplement):142-147.

- [27] 顾丽凤,王志恒,张云,等. 基于拉曼光谱对翡翠的模式识别研究[J]. 分析实验室,2013,32(12):22-26.
Gu L F, Wang Z H, Zhang Y, et al. Pattern Recognition for Jadeites by Raman Spectroscopy[J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2013, 32(12): 22-26.
- [28] 陈木子. 利用拉曼光谱快速无损鉴定翡翠[J]. 光谱实验室,2013,30(3):1234-1237.
Chen M Z. Fast and Non-destructive Analysis of Jadeite by Raman Spectra[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2013, 30(3): 1234-1237.
- [29] 于吉顺,雷新荣,张锦化等编著. 矿物X射线粉晶鉴定手册[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2011:609,628.
Yu J S, Lei X R, Zhang J H, et al. X-ray Diffraction Identification of Mineral Handbook [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2011:609,628.
- [30] 孙建国编著. 岩石物理学基础[M]. 北京:地质出版社,2006:30-80.
Sun J G. The Basic Physics of Rock [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006:30-80.
- [31] Harlow G E, Sisson V B, Sorensen S S. Jadeitite from Guatemala: New Observations and Distinctions among Multiple Occurrences[J]. Geologica Acta, 2011, 9(3-4):363-387.

A Non-destructive Measurement Method of Gem Jadeite Content in Jadeitite Based on Specific Gravity and X-ray Powder Diffraction

LAN Yan¹, LU Tai-jin², CHEN Wei-ming³, LIU Yang², LIANG Rong¹, MA Ying¹, ZHANG Xiao-hu¹
(1. Gem & Jewelry Institute of Shenzhen, National Gem & Jewelry Technology Administrative Center, Ministry of Land and Resources, Shenzhen 518020, China;
2. National Gemstone Testing Center, Beijing 100013, China;
3. Xinlong Jewelry Co., LTD, Fushan 528251, China)

Abstract: The key parameter to determine whether jadeitite can be named gem grade jadeitite ‘jadeite jade’ or not is the content (the mass fraction) of jadeite in jadeitite. So far, most methods to determine the mass fraction of mineral in rock are destructive, which is not suitable in gem detection. Based on the changes of mineral composition and mass fraction of mineral in jadeitite, a non-destructive method by measuring the relative density of jadeitite was established in order to get the mass fraction of jadeite. By Static Water Density Method, 186 pieces of jadeitite samples with relative densities of 3.30-3.24 were divided into groups according to different densities. The main mineral composition and mass fraction of minerals in jadeitite were analyzed by X-ray Powder Diffraction, Manual Heavy-sand Analysis, Electron Probe Microanalysis, Infrared Spectrometry and Raman Spectrometry. The linear relationship between the mass fraction of jadeite and the relative density of jadeitite was statistically analyzed. Results show that the main minerals in jadeitite are jadeite, albite, and analcite. As the mass fraction (w_A) of jadeite decreases, those of albite and analcite increase, and the measured specific gravities (SG) of jadeitite change accordingly. The relationship between them is $w_A = 1.3454 SG - 3.4531$ ($r = 0.9814$), showing a good linear dependence relation. Because the measured specific gravity of jadeitite is approximately equal to the theoretical one, mass fraction of jadeite is obtained by measuring the specific gravity of jadeitite. This non-destructive method applies to jadeitite with a specific gravity of 3.3-3.0, jadeite content of 95%-60%, and sum mass fractions of jadeite and albite of 90%-97%.

Key words: jadeitite; jadeite jade; mineral composition; specific gravity; mass fraction; X-ray Powder Diffraction; Manual Heavy-sand Analysis; Electron Probe; Infrared Spectroscopy; Raman Spectroscopy