

## 广绿玉玉石的矿物学研究\*

郭清宏<sup>1,2,3</sup>, 周永章<sup>1,3</sup>, 曹姝旻<sup>2</sup>, 丘志力<sup>1</sup>, 徐志<sup>2</sup>, 张余<sup>2</sup>

(1. 中山大学地球环境与地球资源研究中心, 广东 广州 510275;

2. 广东省物料实验检测中心, 广东 广州 510080;

3. 广东省地质过程与矿产资源探查重点实验室, 广东 广州 510275)

**摘要:** 广绿玉产于广东省广宁县, 是一种富有特色的珍贵玉石材料。对绿、白、黄、黑等4类典型广绿玉原料, 采用X射线粉末衍射、扫描电镜、红外光谱、差热分析、电子探针等多种方法, 对玉石的全岩物相、主矿物显微形貌、矿物化学及晶体结构等进行了分析。结果表明, 广绿玉主要由 $2M_1$ 型绢云母组成, 部分品种含有绿泥石和石英等。乙二醇饱和处理X射线粉末衍射和红外光谱分析显示绢云母结构中不含蒙脱石间层; 差热分析显示玉石在中温区吸热谷的脱羟极值温度大于 $600\text{ }^\circ\text{C}$ , 与水云母明显不同; 扫描电镜显示绢云母类单矿物的微形貌多呈鳞片状, 矿物排列组合沿长轴顺层穿插和定向交织, 表现为叠层状或鳞片交织状微结构; 电子探针成分分析表明绢云母矿物化学成分中Si、K、Al、Cr等含量较高, 部分属含铬绢云母亚类, Cr可能是绿色和白色广绿玉的主要致色元素。

**关键词:** 广绿玉玉石; 绢云母; 矿物学

**中图分类号:** P585 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2010)03-0146-06

### Study on Mineralogy of Guangning Jade

GUO Qinghong, ZHOU Yongzhang, CAO Shumin, QIU Zhili, XU Zhi, ZHANG Yu

(1. Institute of Earth Environment & Resources, University, Guangzhou 510275, China;

2. Guangdong Provincial Gem Precious Metal Testing Centre, Guangzhou 510085, China;

3. Guangdong Provincial Key Lab of Mineral Resources and Geological Processes,  
Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** The Guangning jade is a precious type of Chinese jades, which is found in Guangning county, Guangdong province. Four types of different colored jade stones were sampled from a jade deposit. Their mineralogical characteristics were analyzed using XPD, SEM, DTA, IR and EMPA techniques. The Guangning jade is mainly composed of  $2M_1$  sericite, and secondly chlorite. Both XPD and IR results indicate daunialite does not exist in the crystal structure of sericite. The analysis of DTG shows that the dehydroxylation temperature of samples is beyond  $600\text{ }^\circ\text{C}$ , which is different from hydromica. The micro-texture of sericite shows flake-shaped, and the minerals arrange along the long-axis of crystal, interleaved by each other, showing overlapped and flake interleaved microstructure. The EMPA suggests that sericite is rich in Si, K, Al and Cr. Those rich in Cr can be grouped into Cr-bearing sericite.

**Key words:** Guangning jade, sericite, mineralogy

广绿玉产于广东省广宁县城南西部五指山顶, 又称广绿石、广宁石和广东冻。该类玉石颜色艳丽, 柔和细腻, 晶莹剔透, 硬度适中, 既是少见的

奇石, 又是制作印章和工艺美术品之珍材<sup>[1]</sup>。玉石多为参差状或瓷状断口, 蜡状光泽和丝绢状光泽, 用于雕刻加工的玉石自然块度一般为  $15\text{ cm} \times$

\* 收稿日期: 2009-03-11

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(8151027501000015)

作者简介: 郭清宏(1966年生), 男, 博士; E-mail: guoqinghong222@sina.com

40 cm<sup>[2]</sup>。前人对广绿玉做过一定的研究工作, 早期认为广绿玉属绢云母-水云母质玉<sup>[3]</sup>, 之后发现其中含有绿泥石<sup>[4]</sup>, 进一步的谱学测试认为广绿玉为绢云母质玉更为合适<sup>[5-6]</sup>。这种玉石具有致密块状、细脉状、角砾状、交代残余、条带状和浸染状等多种构造。

近年来随着这种玉石勘探开采工作逐步深入, 发现了更丰富的广绿玉玉石种类和类型。而对广州汉代玉器的研究也显示, 部分南越王墓出土的玉衣片上的玉器很可能和广绿玉有关, 因此, 有必要进一步对广绿玉主要的玉石类型及其矿物组成和致色机理做更进一步的深入研究。

## 1 样品与测试方法

本文对采自广东省广宁县城南西部五指山广绿玉矿床的4种具有代表性的绿、白、黄、黑色广绿玉原料, 测试工作分别在中山大学测试中心和广东省物料实验检测中心完成。其中, x粉末衍射分析采用全岩粉末制样, 利用D/Max-IIIAX射线(粉末)衍射仪完成, Cu靶, K $\alpha$ 射线, 工作电压44 kV, 电流30 mA, 扫描速度2°/min; 扫描电镜分析采用玉石原岩碎块制样, 利用Quanta400F型热场发射环扫描电镜完成, 最小分辨率为2 nm; 红外光谱分析采用全岩粉末制样, 利用EQUINOX 55型傅里叶变换红外光谱仪完成, 分辨率为4 cm<sup>-1</sup>, 测量波数范围为4 000 ~ 400 cm<sup>-1</sup>; 差热分析采用全岩粉末制样, 利用NETZSCH TG 209型差热分析仪完成; 电子探针分析磨制玉石原岩光薄片, 利用日本电子JXA-8800R型电子探针完成, 扫描电压为15 kV, 扫描电流为2X10<sup>-8</sup>A, 电子束直径为1  $\mu$ m。

## 2 结果与分析

### 2.1 X射线粉末衍射分析

2.1.1 矿物成分分析 样品绿色-1、白色-1和黄色-1等衍射曲线非常相似(图1), 表现为 $d_{(114)}$  0.350 nm和 $d_{(114)}$  0.320 nm衍射峰峰形显著而尖锐,  $d_{(113)}$  0.390、 $d_{(023)}$  0.374、 $d_{(025)}$  0.300、 $d_{(115)}$  0.287和 $d_{(116)}$  0.280 nm等衍射峰明显, 这些都是2M<sub>1</sub>型绢云母的常见峰位。绢云母的多型通常有2M<sub>1</sub>、1M和1Md等<sup>[8]</sup>。2M<sub>1</sub>绢云母的典型特征是在 $2\theta = 20 \sim 35^\circ$ 区间衍射峰众多, 而且在0.387、0.372、0.349、0.320、0.286、0.239、0.213 nm处多有衍射峰出现<sup>[9-10]</sup>。通过与标准图

谱对比, 可基本确定绿色-1、白色-1和黄色-1等3个样品的主要矿物为2M<sub>1</sub>型绢云母。

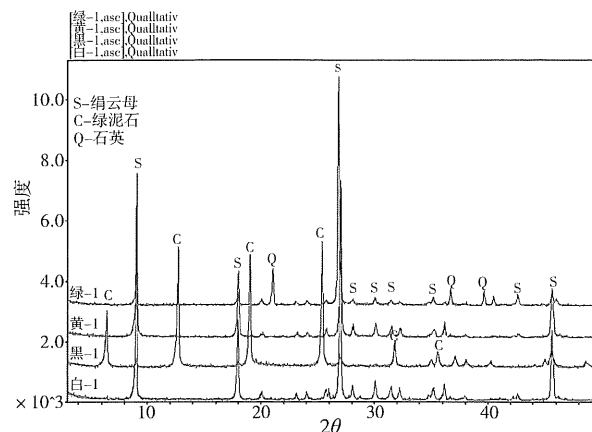


图1 样品X射线粉末衍射图谱

Fig. 1 X-ray power diffraction pattern of jade sample

由于绢云母和水云母的X粉末衍射非常类似, 精细区分二者需要对样品进行乙二醇饱和处理。乙二醇饱和处理可以检测绢云母中是否含有可膨胀性间层矿物。绢云母中膨胀间层<5%, 而水云母中膨胀间层增大至5%~20%<sup>[11]</sup>。乙二醇饱和处理样品的X射线衍射图谱见图2。

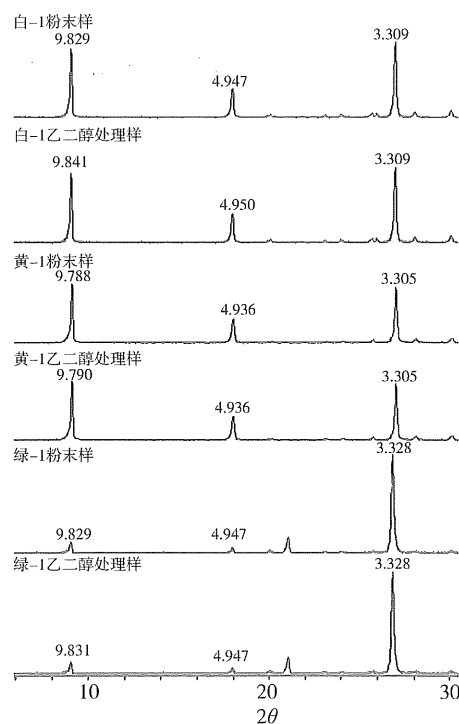


图2 乙二醇处理前后的广绿玉X射线衍射图

Fig. 2 Patterns of X-ray power diffraction of Guangning jades before and after glycol treatment

从图 1 与图 2 比较看出, 样品经过乙二醇饱和处理后, 白色样品的第一个底面反射值从 0.982 9 nm 增大到 0.984 1 nm, 前后底面的位移值  $\Delta d = 0.001 2$  nm。绿色和黄色样品第一个底面反射位移值非常小,  $\Delta d = 0.000 2$  nm。根据 OмельяHekO<sup>[11]</sup> 的研究表明: 当  $\Delta d = 0 \sim 0.003 0$  nm 时, 为非水化绢云母; 当  $\Delta d = 0.003 \sim 0.010$  nm 时, 为弱水化绢云母; 当  $\Delta d = 0.01 \sim 0.015$  nm 时为强水化绢云母。广绿玉玉石中绢云母  $\Delta d$  均小于 0.001 2 nm, 为水化程度很低的绢云母, 其矿物结构中基本不含膨胀间层。

绿色-1 号样品还可见 0.425 nm 等衍射峰, 指示有石英矿物存在。黑色玉石样品的衍射图谱与其他 3 种颜色玉石的衍射图谱有较明显的区别, 主要矿物为绿泥石 (图 1)。另外, 通过几十个各种颜色的广绿玉玉石样品的 X 粉末衍射结果显示, 广绿玉玉石中不含叶腊石。

2.1.2 结构分析 从峰形特征看, 样品的衍射峰峰形尖锐、基本对称, 表明绢云母样品的结晶度较好, 水化程度较低。

衍射的  $d_{(060)}$  值对于判定绢云母的晶体结构具有重要意义。绢云母是由两层硅氧四面体中间夹一层铝氧八面体构成。在云母类矿物中, 当  $d_{(060)} = 0.152 \sim 0.155$  nm 时为三八面体, 而  $d_{(060)} = 0.149 \sim 0.151$  nm 时为二八面体<sup>[12]</sup>。本文绢云母  $d_{(060)}$  值介于 0.150 2 ~ 0.150 5 nm, 属二八面体类型。

## 2.2 红外吸收光谱分析

绿、白和黄 3 类样品的红外吸收谱基本类似 (图 3), 与矿物标准红外图谱<sup>[13]</sup> 比对后发现, 其谱带组合表现为绢云母。在高频区的 3 620  $\text{cm}^{-1}$  附近有 1 个中等强度的吸收峰, 归属 Al—O—H 的振动; 中频区 1 020  $\text{cm}^{-1}$  附近 1 个强吸收带, 归属 Si—O—Si 的振动; 中频区 915、830 和 755  $\text{cm}^{-1}$  三个弱吸收带, 归属 Si—O—Al 振动; 低频区 525  $\text{cm}^{-1}$  强吸收带, 归属 Si—O—Al 振动; 低频区 476 和 420  $\text{cm}^{-1}$  弱吸收带, 归属于 Si—O 弯曲振动。

如果绢云母矿物内含有膨胀性间层, 在红外光谱图中会出现归属于蒙脱石的谱带特征<sup>[10,12]</sup>。蒙脱石与绢云母在中低频区的谱带特征类似, 但在高频区的明显不同。蒙脱石在 3 620  $\text{cm}^{-1}$  有个归属 Al—O—H 键的伸缩振动, 同时在 3 400  $\text{cm}^{-1}$  附近还有一个归属于层间水分子 H—O—H 键振动谱。但从研究测试的三种颜色样品的红外谱图都未见到 3 400  $\text{cm}^{-1}$  附近的 H—O—H 键吸收谱, 说明此类玉石的谱学特征均归属于绢云母, 且不含蒙脱石可膨胀间层。

黑色样品的红外吸收谱与绿、白和黄 3 类样品明显不同, 其 6 个明显的吸收带分别位于 3 550、3 420、1 000、745、530 和 450  $\text{cm}^{-1}$ , 表现为绿泥石矿物的结构基团。同时, 该样品中在 420  $\text{cm}^{-1}$  处也出现了归属于绢云母的吸收带。

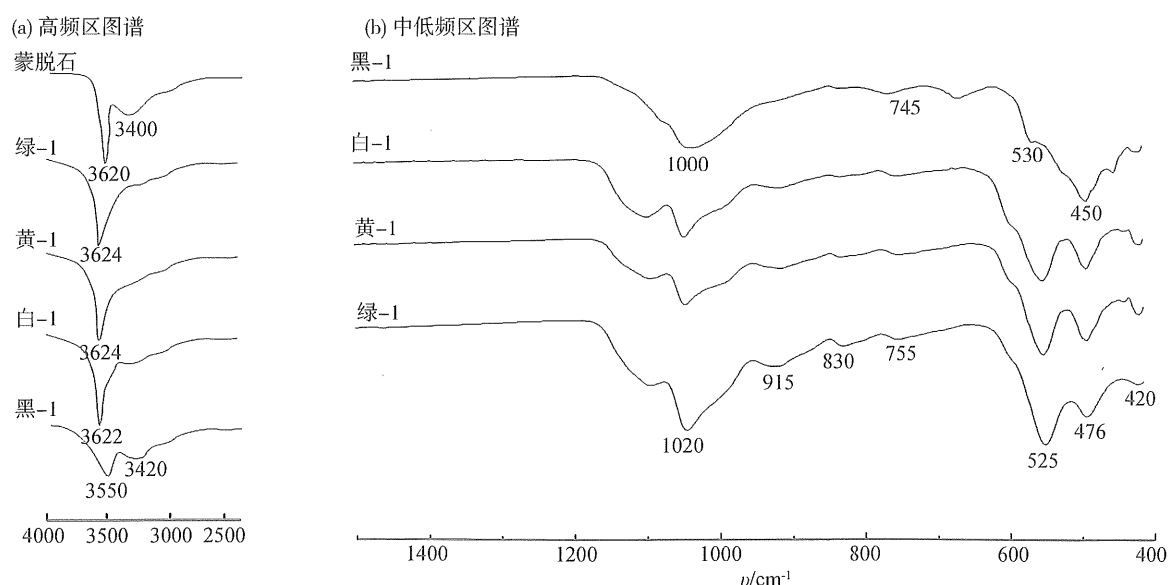


图 3 玉石样品红外吸收图谱

Fig. 3 Infrared spectra of Guangning jades

### 2.3 差热分析

广绿玉样品的差热分析结果比较复杂，各样品的吸热谷温度、失重量均不同。绿、白和黄 3 组样品的差热曲线相对接近（图 4），在 580 ~ 800 °C 区间内出现较宽吸收谷，指示绢云母矿物的去羟基化过程<sup>[14]</sup>。其中，绿色玉石的脱羟吸热谷为 V 字形态，初始脱羟值约 600 °C，极值约 697 °C；黄色和白色玉石的脱羟吸热谷较平缓，初始脱羟值小于 600 °C，极值约 730 °C。这些特征指示玉石中绢云母矿物的结构水含量各不相同。黑色玉石的去羟基化温度偏低，从 500 °C 左右就开始逸羟，在 500 ~ 600 °C 形成了一个尖锐的吸收谷，极值在 560 °C 附近，符合绿泥石矿物的典型特征。

与绢云母系列矿物的标准差热分析曲线进行比较，广绿玉样品与标准绢云母接近，而与水云母差别较大。通常，水云母在 100 °C 左右有一个峰，且吸热强度很大，中温区吸热谷有两个，其中前一个吸热谷的极值小于 600 °C，而绢云母在中温区吸热谷的极值大于 600 °C<sup>[14]</sup>。但广绿玉样品中的绢云母吸热谷极值温度（697 ~ 733 °C）比标准温度（870 °C）偏低。究其原因，作者认为可能有三：① 少量绢云母的水化作用引起；② 样品不纯，绿泥石混入绢云母产生脱羟基温度降低的误差；③ 玉石晶粒小隐晶质程度高致使其脱羟温度降低<sup>[6]</sup>。

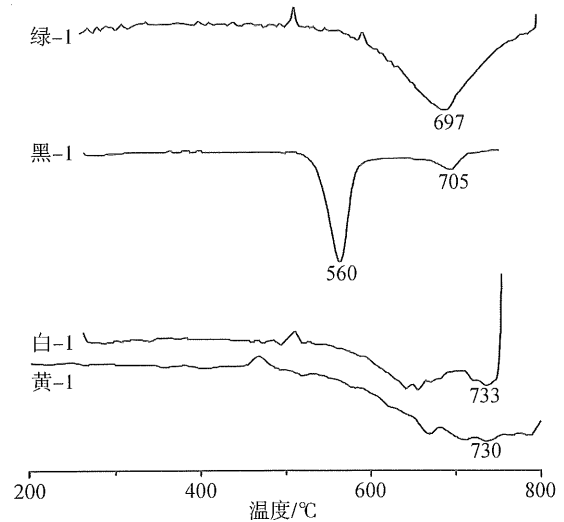


图 4 广绿玉样品差热分析 (DTG) 图谱

Fig. 4 DTG spectra of Guangning jades

### 2.4 显微形貌分析

对绿、白、黄、黑色广绿玉样品采用扫描电镜进行显微形貌观察显示（图 5），不同颜色的玉石样品单矿物形貌和矿物组合的微结构差异较大。绢云母单矿物的形态主要呈鳞片状、片状、板状和层状，大小介于 1 ~ 100 μm，厚 < 1 μm。矿物结晶程度以半自形为主，晶体形态不规则，棱角状轮廓，指示其结晶程度较低。在大晶片的表面上，常镶嵌

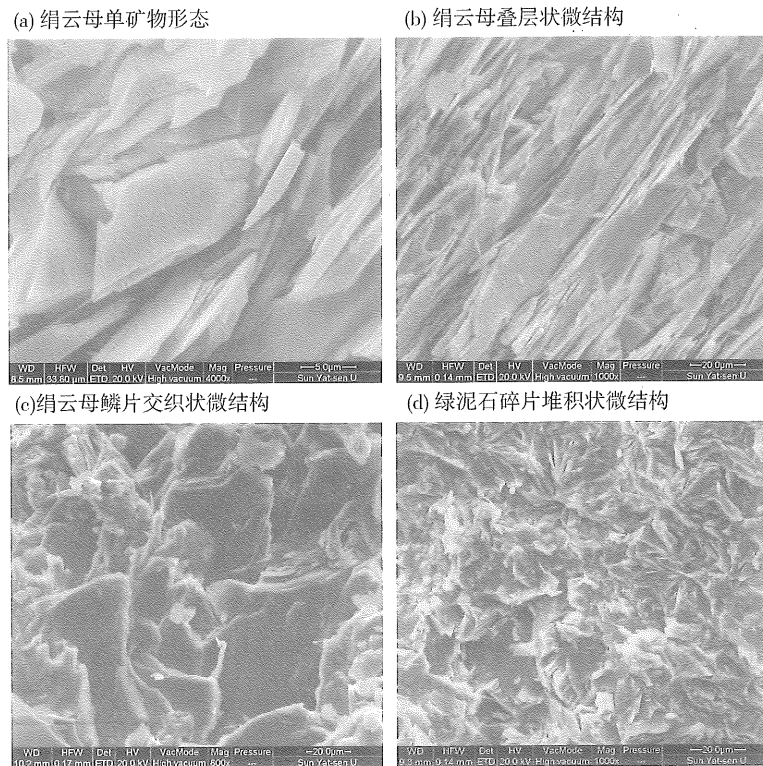


图 5 广绿玉样品扫描电镜图像

Fig. 5 SEM photograph of sericite and chlorite in Guangning jades

有细小的晶片, 或者发育着生长台阶。绢云母矿物的排列组合多呈鳞片交织状、叠层状微结构, 表现为矿物间沿长轴顺层穿插和定向交织。其中, 白色和绿色样品的绢云母矿物颗粒偏大, 多叠层状微结构, 矿物组合的结构致密程度较低; 黄色样品的矿物颗粒偏小, 多呈鳞片交织状结构, 致密程度较高。

黑色样品中的绿泥石矿物主要呈碎片状微形貌, 晶体形态不规则, 圆滑波状轮廓, 大小介于 5 ~ 15  $\mu\text{m}$ 。矿物集合体的排列没有明显的定向性, 多呈碎片堆积状微结构。

## 2.5 电子探针分析

电子探针分析表明, 广绿玉样品中的绢云母化学成分如表 1 所示。主要成分中  $w(\text{SiO}_2)$  含量较高达 47.29% ~ 50.48%,  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  为 32.66% ~ 40.3%,  $w(\text{K}_2\text{O})$  为 9.32% ~ 10.33%,  $w(\text{MgO})$  为 0.53% ~ 0.92%,  $w(\text{FeO})$  为 0.46% ~ 0.78%, 此外还包含少量  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{TiO}_2$  等。绢云母明显高 Si、K、Al, 而绿泥石富 Mg、Fe、Mn。

绢云母的理想晶体化学式为  $\text{AB}_2(\text{C}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ , A 为 12 次配位的  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$  等, B 为八面体的  $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、

$\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 、 $\text{Ti}^{4+}$  等, C 为四面体的  $\text{Si}^{4+}$  和  $\text{Al}^{3+}$ 。本文采用以  $\text{O} = 11$  为基础计算了绢云母的晶体化学式, 结果见表 2。

需特别指出的是, 玉石样品中  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  含量变异很大。绿色样品中的绢云母明显富 Cr, 黄色样品中的绢云母 Cr 含量偏低。文献 [15] 依据 Cr 含量将绢云母划分为含铬绢云母 (0.1% ~ 1.0%) 和铬绢云母系列 (1.0% ~ 10.0%), 本研究中绿色和白色样品的绢云母均可归于含铬绢云母类型。前人研究认为 Fe 离子是广绿玉绢云母玉石的主要致色因子<sup>[6]</sup>, 但本文认为 Cr 离子可能起更重要作用。在晶体化学理论中  $\text{Cr}^{3+}$  属于过渡型离子, 属  $3d^3$  组态。在八面体晶体场中,  $\text{Cr}^{3+}$  基态谱项分裂的能级顺序由高到低为  ${}^4\text{T}_{1g}$ 、 ${}^4\text{T}_{2g}$ 、 ${}^4\text{A}_{2g}$  3 个态, 因此在八面体晶体场中, 含铬绢云母中的  $\text{Cr}^{3+}$  能产生 2 个吸收谱, 即  ${}^4\text{A}_{2g} - {}^4\text{T}_{2g}$ 、 ${}^4\text{T}_{2g} - {}^4\text{T}_{1g}$  跃迁。鲁安怀和陈光远<sup>[15]</sup> 对白云母解理面上  $\text{Cr}^{3+}$  吸收谱进行研究, 16 700  $\text{cm}^{-1}$  为吸收橙色光, 补色为蓝色, 24 000  $\text{cm}^{-1}$  为吸收紫色光, 补色为绿色, 因此, 24 000  $\text{cm}^{-1}$  位置吸收谱强度大, 为主要吸收谱, 故含铬绢云母主要为绿色。

表 1 玉石样品矿物化学成分

Table 1 Chemical compositions of Guangning jades

| 编号    | 矿物类型 | $w_B/\%$              |                         |                      |              |              |              |                         |              |                |                |        |
|-------|------|-----------------------|-------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|--------------|----------------|----------------|--------|
|       |      | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{Cr}_2\text{O}_3$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{MgO}$ | $\text{MnO}$ | $\text{CaO}$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{FeO}$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{SiO}_2$ | Total  |
| 白-1-1 | 绢云母  | 0.75                  | 0                       | 10.33                | 0.92         | 0            | 0.02         | 33.14                   | 0.78         | 0.27           | 47.29          | 93.49  |
| 白-1-2 | 绢云母  | 0.69                  | 0.23                    | 9.78                 | 0.87         | 0.01         | 0.01         | 34.4                    | 0.69         | 0.38           | 48.99          | 96.42  |
| 绿-1-2 | 绢云母  | 0.92                  | 0.12                    | 9.33                 | 0.53         | 0            | 0.08         | 34.59                   | 0.52         | 0.15           | 47.66          | 93.9   |
| 绿-1-3 | 绢云母  | 0.9                   | 0.75                    | 9.32                 | 0.95         | 0.02         | 0.03         | 32.66                   | 0.61         | 0.25           | 47.61          | 93.09  |
| 黑-1-1 | 绿泥石  | 0.02                  | 0.03                    | 0                    | 29.58        | 0.05         | 0.03         | 25.1                    | 2.35         | 0.05           | 28.57          | 85.83  |
| 黑-1-2 | 绿泥石  | 0.06                  | 0.03                    | 0.01                 | 29.69        | 0.12         | 0.13         | 25.1                    | 2.26         | 0              | 29.1           | 86.49  |
| 黄-1-1 | 绢云母  | 0.66                  | 0.01                    | 10.26                | 0.77         | 0            | 0.01         | 40.3                    | 0.58         | 0.07           | 50.48          | 103.13 |
| 黄-1-2 | 绢云母  | 0.55                  | 0.01                    | 9.54                 | 0.65         | 0            | 0.05         | 39.91                   | 0.46         | 0.07           | 50.27          | 101.51 |

表 2 玉石样品中绢云母矿物的晶体化学式

Table 2 Crystal chemical formula of sericite in Guangning jades

| 样品编号  | 晶体化学式  |
|-------|--|
| 白-1-1 | $(\text{K}_{0.89}\text{Na}_{0.09})_{0.98}(\text{Al}_{1.83}\text{Fe}_{0.04}\text{Mg}_{0.09}\text{Ti}_{0.01})_{1.97}((\text{Si}_{3.19}\text{Al}_{0.81})_{4.00}\text{O}_{10})(\text{OH})_2$                 |
| 白-1-2 | $(\text{K}_{0.82}\text{Na}_{0.09})_{0.91}(\text{Al}_{1.87}\text{Fe}_{0.04}\text{Mg}_{0.08}\text{Ti}_{0.02}\text{Cr}_{0.01})_{1.92}((\text{Si}_{3.20}\text{Al}_{0.80})_{4.00}\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ |
| 绿-1-2 | $(\text{K}_{0.79}\text{Na}_{0.12})_{0.91}(\text{Al}_{1.90}\text{Fe}_{0.05}\text{Mg}_{0.05}\text{Ti}_{0.01}\text{Cr}_{0.01})_{2.00}((\text{Si}_{3.18}\text{Al}_{0.82})_{4.00}\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ |
| 绿-1-3 | $(\text{K}_{0.81}\text{Na}_{0.12})_{0.93}(\text{Al}_{1.84}\text{Fe}_{0.03}\text{Mg}_{0.10}\text{Ti}_{0.01}\text{Cr}_{0.04})_{2.02}((\text{Si}_{3.23}\text{Al}_{0.77})_{4.00}\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ |
| 黄-1-1 | $(\text{K}_{0.79}\text{Na}_{0.08})_{0.87}(\text{Al}_{1.95}\text{Fe}_{0.03}\text{Mg}_{0.07}\text{Ti}_{0.03})_{1.97}((\text{Si}_{3.07}\text{Al}_{0.93})_{4.00}\text{O}_{10})(\text{OH})_2$                 |
| 黄-1-2 | $(\text{K}_{0.75}\text{Na}_{0.07})_{0.82}(\text{Al}_{1.97}\text{Fe}_{0.02}\text{Mg}_{0.05})_{1.95}((\text{Si}_{3.09}\text{Al}_{0.91})_{4.00}\text{O}_{10})(\text{OH})_2$                                 |

注: 晶体化学式采用阴离子法, 按 11 个 O 为标准计算

### 3 结 论

(1) X射线粉末衍射分析表明, 广绿玉的矿物成分和颜色有关: 白、黄、绿色玉石的主要组成矿物是 $2M_1$ 型绢云母, 黑色玉石中绿泥石是主体矿物组分, 绿色玉石中则石英构成为常见次要矿物。总体上, 广绿玉属于绢云母质玉石。

(2) 乙二醇饱和处理后进行的样品X粉末衍射显示绢云母水化程度很低。差热分析指示玉石在中温区吸热谷的脱羟极值大于 $600\text{ }^\circ\text{C}$ , 与水云母明显不同, 但比标准绢云母偏低。

(3) 电子探针测试结果显示绢云母的矿物化学成分Si、K、Al含量高, 而绿泥石则富含Mg、Fe、Mn。绢云母中Cr含量不均一, 但产于绿色和白色玉石的绢云母可命名为含铬绢云母类型, Cr离子构成主要致色离子。

(4) 样品中的绢云母单矿物微形貌呈鳞片状、片状、板状和层状, 矿物排列组合沿长轴顺层穿插和定向交织, 表现为叠层状或鳞片交织状微结构。绿泥石矿物主要呈碎片状微形貌, 矿物集合体的排列无明显定向性, 呈碎片堆积状微结构。矿物的微形貌和微结构特征决定了玉石材质的优劣。

#### 参考文献:

- [1] 梁永铭. 宝石与玉石[M]. 北京: 地质出版社, 1979.
- [2] 郭清宏. 广东广绿玉的矿物岩石学特征及成因研究[D]. 中山大学, 2009.
- [3] 广东省地质矿产勘查局719地质大队. 广东省广宁县五指山顶广绿石矿床地质勘察报告[R], 1987.
- [4] 凌井生. 广绿石的矿床地质与工艺特征[J]. 广东地质, 1990(1): 81-83.
- [5] 王辅亚, 张惠芬, 冯璜, 等. 广绿玉的物质组成和谱学特征[J]. 矿物学报, 1996, 16(1): 77-81.
- [6] 张乃娴, 李幼琴, 赵惠敏, 等. 粘土矿物研究方法[M]. 科学出版社, 1990.
- [7] 郭清宏, 周永章, 曹妹旻, 等. 广绿玉玉石的成矿地质特征与矿床成因初步研究[J]. 桂林工学院学报: 资源与环境专辑, 2008, 28(增2): 125-128.
- [8] 王濮, 潘兆楹, 翁玲玉, 等. 系统矿物学[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [9] HAMO Shirzu, HIGASHI Shoji. X-ray examination of sericite minerals associated with Kuroko deposits [J]. Clay Science, 1972(4): 137-142.
- [10] 郁新丰, 尹琳, 熊飞, 等. 滁州绢云母XRD和红外分析的研究[J]. 江西科学, 2006, 24(6): 436-440.
- [11] Омельянек В И. 论绢云母的概念[J]. 地质地球化学, 1982, (4): 25-33.
- [12] 汪灵, 李朝毅. 苏州光福瓷石中绢云母的X射线衍射及红外吸收光谱研究[J]. 岩石矿物学杂志, 1991, 10(3): 270-277.
- [13] 彭文世, 刘高魁. 矿物红外光谱图集[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [14] 金尚林. 关于水白云母类矿物的鉴定及其地质意义[C]//全国矿床矿物学和成因矿物学学术会议论文集, 1980.
- [15] 鲁安怀, 陈光远. 金矿床中“绿化”——含铬绢云母化及其找矿意义[J]. 地质与勘探, 1995, 31(2): 32-37.