

# 俄罗斯奥斯泊矿区(11<sup>#</sup>矿)碧玉的宝石矿物学研究

赵洋洋<sup>1</sup>, 吴瑞华<sup>1</sup>, 吴青蔓<sup>1</sup>, 师伟<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学 珠宝学院, 北京 100083; 2. 北京中地大珠宝鉴定中心有限公司, 北京 100083)

**摘要:** 本文以采自俄罗斯奥斯泊矿区 11<sup>#</sup> 矿的碧玉样品作为研究对象, 采用常规的宝石学测试、傅里叶变换红外光谱仪、扫描电子显微镜、X 射线粉晶衍射仪, 对其表面微观形貌、矿物组成、化学成分特征进行了较全面的研究。研究表明, 俄罗斯奥斯泊 11<sup>#</sup> 矿区碧玉主要的矿物组成为透闪石, 内含的黑色点状矿物为铬铁矿。结晶度较好, 矿物结晶颗粒局部具有定向性, 结构主要为毛毡状纤维交织变晶机构, 使其具很高的韧性。俄罗斯奥斯泊 11<sup>#</sup> 矿碧玉的主要化学成分为 MgO、SiO<sub>2</sub>、CaO, 与透闪石类玉一致, 与含铁量较高的新西兰碧玉不同, 其主要矿物成分为透闪石。

**关键词:** 俄罗斯 碧玉 结构 矿物组成 化学成分

中图分类号: P619.28<sup>+</sup>3; P578.955

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)00-0037-06

## A study of gemological characteristics of green nephrite in Ospa 11<sup>#</sup> mining area of Russia

ZHAO Yang-yang<sup>1</sup>, WU Rui-hua<sup>1</sup>, WU Qing-man<sup>1</sup> and SHI Wei<sup>2</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Beijing CUG Gem Testing Center, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Russia is the main source of green nephrite in the world, and the green nephrite in the mining area around the Baikal Lake is of great fame. Recently, a new mineral area of green nephrite around the area of the Ospa Lake was found, whose market prospect is brisk. However, the lack of study in this field makes the research work a bit hard. In this paper, characteristics of mineral compositions and chemical components of green nephrite samples from Russia were studied by means of the conventional gemmological testing, X-ray powder diffraction, electron microprobe analysis and infrared spectra. The results indicate that the microtexture of Russia green nephrite is very compact. Its main composition component is tremolite. In addition, the black impurity in it is chromite. Its texture is mainly of the felt-like fiber interwoven metacryst mechanism, so the tenacity is very high. Russian green nephrite is different from green nephrite from New Zealand in composition and microtexture.

**Key words:** Russia; green nephrite; microtexture; mineral composition; chemical component

俄罗斯碧玉进入中国市场并不久远, 却因其色泽浓艳, 储量大, 玉质好, 少绺裂, 少黑点, 而深受广大爱玉者的喜爱。笔者主要采用常规的宝石学测试方法, 结合扫描电子显微镜、X 射线粉晶衍射以及傅里叶红外光谱仪测试手段, 对俄罗斯奥斯泊 11<sup>#</sup> 矿区碧玉的宝石学特征和组成结构特征进行初步研究, 旨在研究其矿物组成以及结构特征, 为鉴定和评

估俄罗斯碧玉提供科学的依据。

### 1 矿床地质概况

奥斯泊 11<sup>#</sup> 矿等俄罗斯碧玉矿区所在的东萨彦岭, 属于西伯利亚地区。东萨彦岭构造如图 1, 奥斯泊 11<sup>#</sup> 号矿区的软玉勘探地质图见图 2。

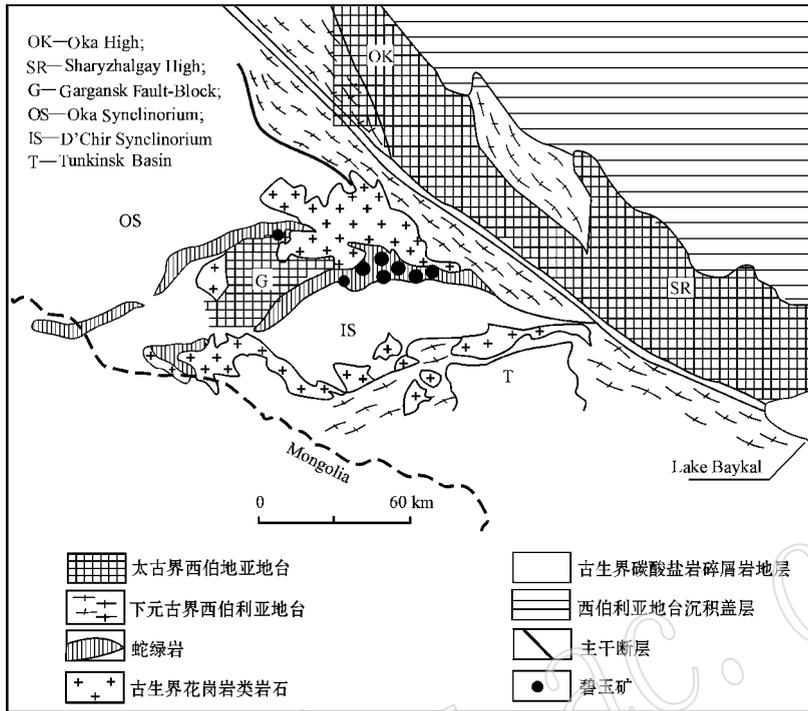


图 1 东萨彦岭构造图(据 Prokhor, 2010)

Fig. 1 Geologic setting of ophiolites of the East Sayan Belt (after Prokhor, 2010)

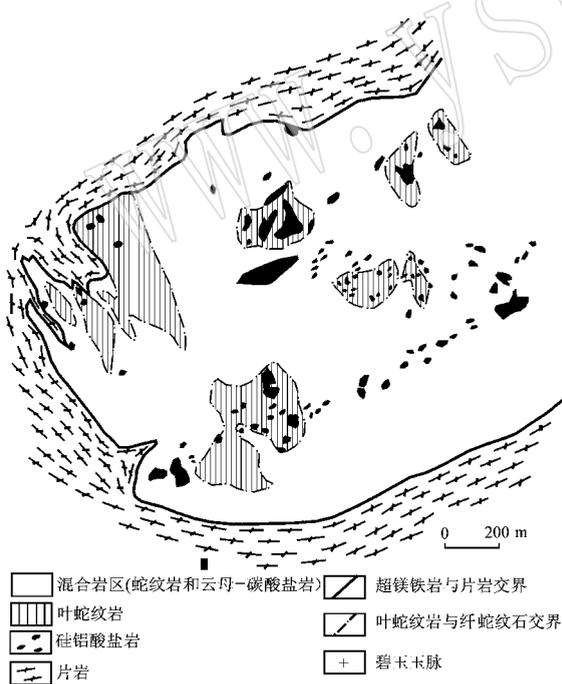


图 2 奥斯泊 11<sup>#</sup>矿区软玉勘探地质图(据 Prokhor, 2010)

Fig. 2 Geological sketch of the Sagansair nephrite prospect (after Prokhor, 2010)

Sayan(萨扬)山脉以东的蛇绿岩内的碧玉矿层与蛇绿岩仰冲是时空联系的,蛇绿岩仰冲与大量的超镁铁岩的蛇纹石化和超镁岩层的蛇纹石混合岩区的形成是相伴而生的。碧玉及其联系的变质岩

是钙交代变化的产物并与蛇纹石化作用结合,还伴有在铝硅酸盐岩石中硅和镁的反向扩散-蛇纹岩接触。蛇纹岩化和钙的交换变化过程中伴有变形,这种变形在逆掩断层地步最为强烈(在混合岩区)。构造演化过程会影响发展中岩石的质地与结构特征。

原生矿床属于透闪石玉矿床中的超镁铁岩型。成玉过程属于交代作用。首先是超镁铁岩经过自变质作用成为蛇纹岩,然后再与火山岩围岩接触交代,吸收围岩中的硅和钙,经过透辉石化和透闪石化,形成透闪石玉。

## 2 样品及测试方法

本文样品采自俄罗斯奥斯泊 11<sup>#</sup>矿区(图 3)。

首先对样品进行常规的宝石学测试,得到基本的宝石学特征,再通过红外光谱仪、扫描电子显微镜、X射线粉晶衍射对碧玉样品的结构特征、微观形貌、化学成分、矿物组成等方面进行了较为全面的研究。

## 3 测试结果及特征分析

### 3.1 常规宝石学特征

肉眼观察,样品呈深绿色,有黑色点状杂质,半透明-微透明,油脂光泽。样品的折射率为 1.614,通



图3 俄罗斯奥斯泊11#矿碧玉样品

Fig.3 Green nephrite jade samples from Russia

过静水称重法进行密度测量,多次测量取平均值测得样品的相对密度为2.972;硬度采用标准摩氏硬度笔测得,测试结果显示样品的硬度在6~7之间,与碧玉的物理常数吻合。

### 3.2 结构构造

选择样品的不同区域制成光薄片编号R-1-1、R-1-2,在偏光显微镜下观察,根据碧玉样品中透闪石矿物颗粒的粗细程度分类。碧玉样品的结构以显微细晶结构(图4a)为主。根据透闪石矿物颗粒的形态以及相互之间的空间关系,可将碧玉样品的结构总体归纳为以下5种类型:毛毡状纤维交织变晶结构(图4b),透闪石颗粒比较细小,且粒度比较均匀,在偏光显微镜下无法分清其矿物颗粒界限,透闪石

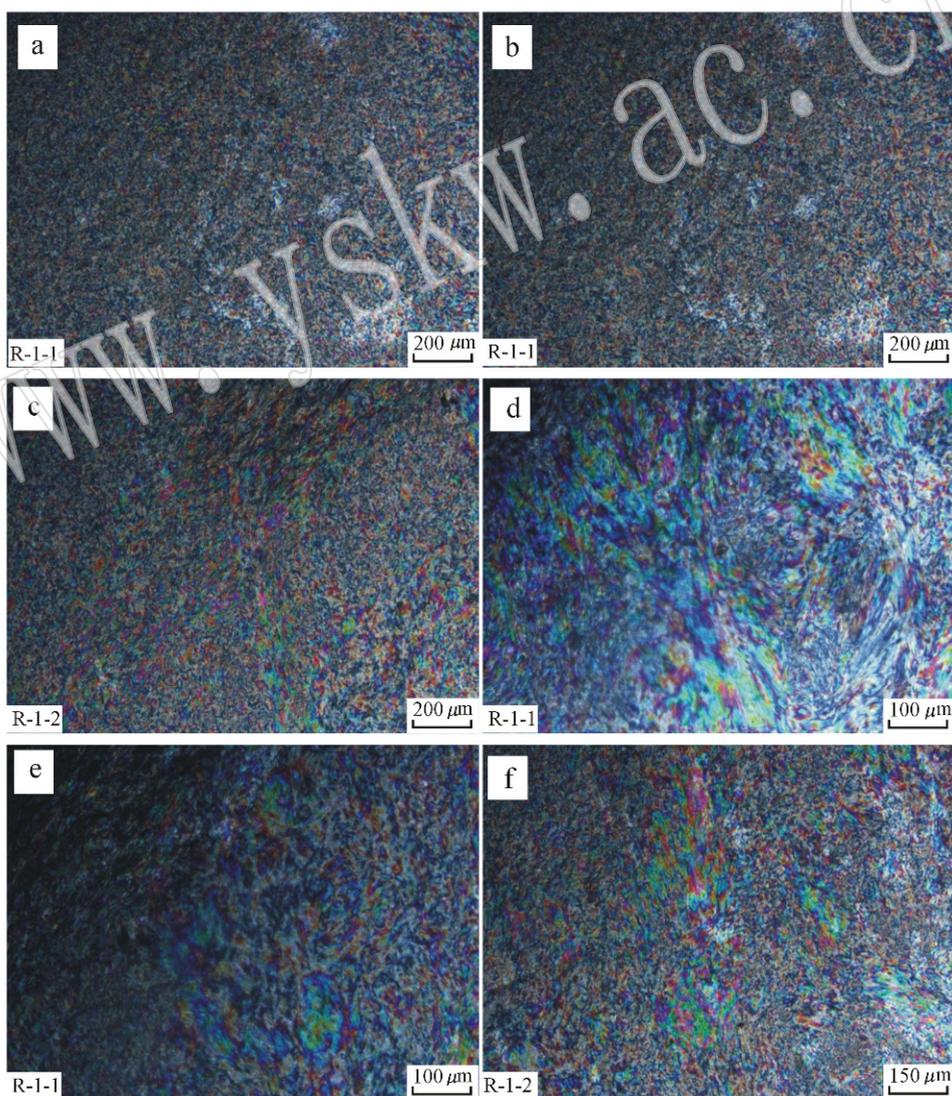


图4 样品显微结构特征

Fig.4 Microstructure feature of samples

纤维非常均匀地无定向密集分布,相互交织在一起,犹如毛毡一般;纤维束状变晶结构(图 4c),透闪石呈纤维状聚集,正交偏光下可见全消光现象;帚状变晶结构(图 4d),纤维状透闪石局部呈定向排列,一端收敛,一端发散,似扫帚状,可见波状消光现象;放射状变晶结构(图 4e),纤维状透闪石以某个基点为中心向四周呈放射状分布;重结晶结构(图 4f),由于晚期热液沿碧玉中已形成的微裂隙活动,由隐晶质透闪石重结晶变为细粒状透闪石,呈脉状、斑块状集合体产出。

### 3.3 红外光谱测试分析

采用中国地质大学(北京)宝石鉴定中心傅里叶变换红外光谱仪对样品进行红外光谱测试。扫描范围:透射 $4\,000\sim 400\text{ cm}^{-1}$ ,分辨率 $4\text{ cm}^{-1}$ 。测试条件:电压 $220\sim 240\text{ V}$ ,频率 $50\sim 60\text{ Hz}$ ,功率 $250\text{ W}$ ,

实验温度为室温。具体分析如下:

从样品上取较纯净部分 R-2-1,制成粉末,混合适量 KBr 均匀研磨后压制成薄片。测得的图谱如图 5 所示。样品 R-2-1 在 $4\,000\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 有 4 个特征的吸收带:① $4\,000\sim 1\,200\text{ cm}^{-1}$ 为弱吸收区,3664 $\text{ cm}^{-1}$ 附近的吸收带归属于 OH 的伸缩振动;② $1\,200\sim 900\text{ cm}^{-1}$ 出现最强的吸收区,吸收峰为 1102、1058、999、956 $\text{ cm}^{-1}$ ,归属于 Si—O 的伸缩振动;③ $800\sim 600\text{ cm}^{-1}$ 出现较弱的吸收区,吸收峰为 755、682 $\text{ cm}^{-1}$ ,归属于 Si—O 的对称伸缩振动;④在 $600\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 的低频区,即图中 508、405 $\text{ cm}^{-1}$ 附近的吸收带归属于 Si—O 的弯曲振动、M—O 振动和 OH 的耦合振动。样品的图谱特征与软玉的标准图谱相一致。

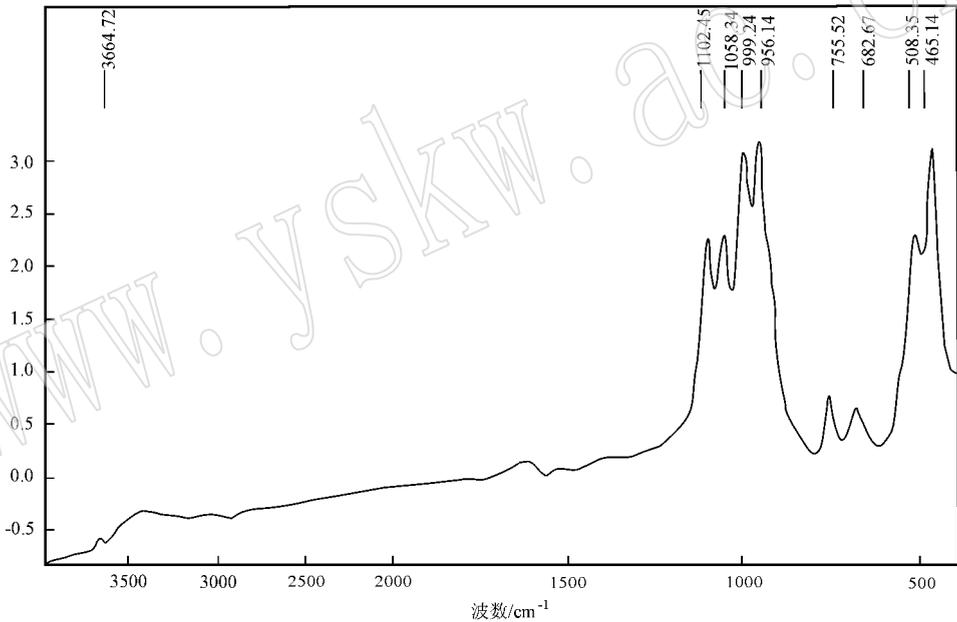


图 5 样品 R-2-1 的透射红外光谱

Fig.5 FTIR absorption spectrum of sample R-2-1

### 3.4 微观形貌

从样品上选取断口部分 R-2-2 进行喷碳制样,采用中国地质大学(北京)岩石组构实验室仪器型号为日立 S-450 型扫描电子显微镜,镀膜机型号为日立 HUS-5GB 型高真空镀膜机对样品进行测试。测试条件:气压条件 $1\text{ atm}$ ,温度 $21\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,湿度 $46\%\pm 1\%$ 。经扫描电镜放大后观察,发现俄罗斯奥斯泊 11 $\#$  矿区碧玉的主要组成矿物透闪石呈不规则的针状、放射状存在(图 6a),透闪石局部呈定向分布(图 6b),透闪石的结晶粗细有所不同,较粗者为长

柱状,较细者为纤维状。玉石的致密度较高,矿物晶形较完好,晶体粗细不同,局部可见纤维彼此相互穿插(图 6c)。

### 3.5 矿物组成特征

为了进一步确定样品的矿物组成,选取样品较纯净部分 R-2-3 磨成粉末,在中国科学院地质与地球物理研究所采用仪器型号为日本理学 D/max 2400 X 射线衍射仪进行了物像分析。测试条件:Cu 靶,发散狭缝 $1^{\circ}$ ,防散射狭缝 $1^{\circ}$ ,接收狭缝 $0.3\text{ mm}$ , $0.02^{\circ}/\text{步长}$ , $8^{\circ}/\text{min}$ , $40\text{ kV}$ , $60\text{ mA}$ 。

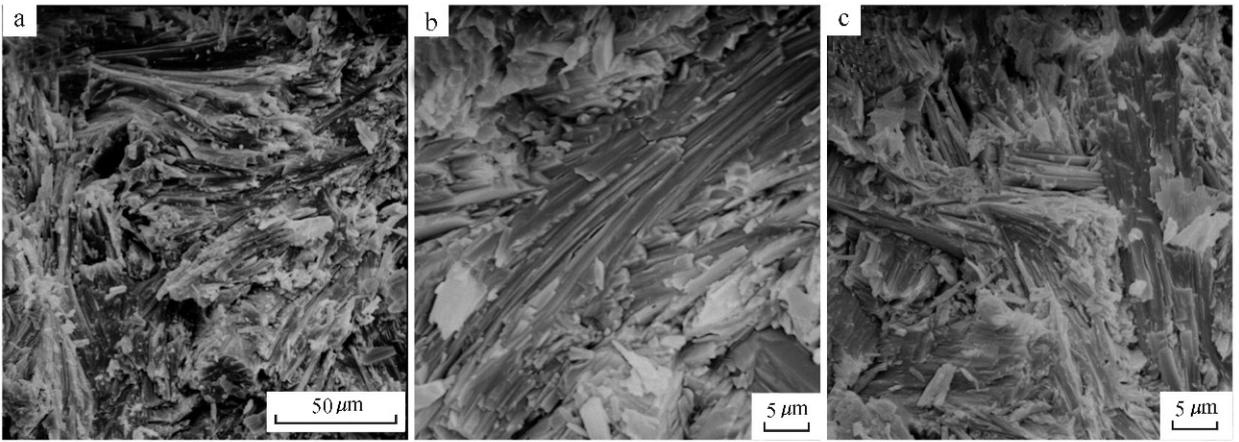


图 6 碧玉样品 R-2-2 的 X 射线扫描电镜图

Fig. 6 SEM photograph of sample R-2-2

样品 R-2-3 的衍射图谱如图 7。从图中可以看出，样品的衍射峰和透闪石的标准峰形基本吻合。样品衍射图谱的峰型整齐，对称程度整体较好，可以

看出矿物的结晶程度很好，在宏观上表现为样品的质地较细腻，矿物颗粒相对较细。

将衍射数据(表1)与透闪石的标准衍射数据进行

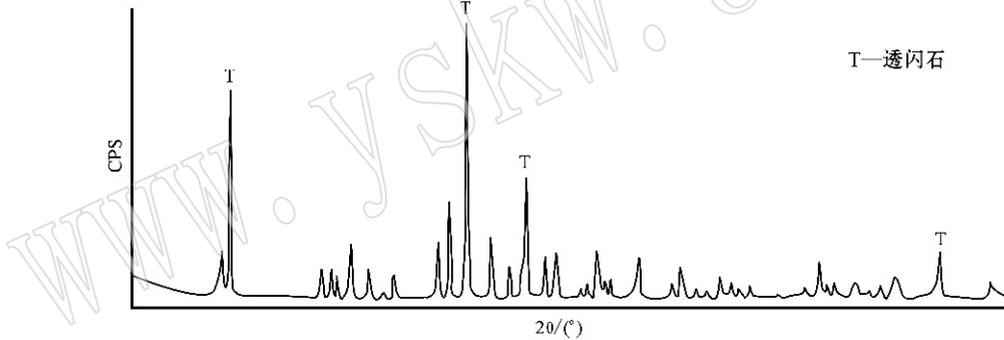


图 7 样品 R-2-3 的 X 射线衍射图谱

Fig. 7 XRD diagram of sample R-2-3

行对比，发现具有鉴定意义的样品的面网间距离( $d$ 值)与透闪石基本吻合。

由以上分析可知，样品的主要矿物为透闪石。这一结论与通过计算  $Mg^{2+}/(Mg^{2+} + Fe^{2+})$  比值得到的结果相一致。

表 1 样品 R-2-3 的 X 射线粉晶衍射值

Table 1 X-ray powder diffraction values of Tremolite sample R-2-3

| $(hkl)$ | 样品 R-2-3              |                 | 标准透闪石                 |                 |
|---------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
|         | $2\theta(\text{obs})$ | $d(\text{obs})$ | $2\theta(\text{cal})$ | $d(\text{cal})$ |
| (110)   | 10.422                | 8.4809          | 10.494                | 8.4229          |
| (310)   | 28.460                | 3.1335          | 28.532                | 3.1258          |
| (151)   | 32.983                | 2.7135          | 33.070                | 2.7065          |
| (061)   | 34.494                | 2.5980          | 34.556                | 2.5934          |
| (420)   | 39.043                | 2.3051          | 39.104                | 2.3017          |
| (171)   | 41.239                | 2.1873          | 41.344                | 2.1820          |

### 3.5 化学成分

为了更加确切地了解俄罗斯奥斯泊 11# 矿区碧玉的化学成分特征，选取存在黑色点状矿物的光薄片 R-1-1 在中国地质大学(北京)电子探针室进行电子探针测试，测试仪器为 JXA-8800R 电子探针分析仪，测试条件为加速电压 20 kV，束流 20 nA。

电子探针分析结果表明，样品的主要化学成分为  $MgO$ 、 $SiO_2$ 、 $CaO$ ，与闪石矿物的组成相一致(表 2)。闪石矿物的类质同像代替普遍，其中  $Mg$ 、 $Fe$  间可呈完全类质同像代替，在钙质闪石亚族中透闪石、阳起石系列矿物的化学成分通式为  $Ca_2(Mg, Fe)_5$

[ $\text{Si}_8\text{O}_{22}$ ]  $(\text{OH})_2$ 。根据角闪石族命名方案,透闪石与阳起石的划分按照单位分子中二价镁和铁的占位比率不同予以命名,即:当  $\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}) = 0.90 \sim 1.00$  时为透闪石;当  $\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}) = 0.50 \sim 0.90$  时为阳起石;当  $\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}) = 0.00 \sim 0.50$  时为铁阳起石。通过计算后得知,本次测试样品的  $\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+})$  值为 0.92,因此,俄罗斯奥斯泊 11<sup>#</sup> 矿区碧玉的矿物组成

主要为透闪石。

为了对比研究,在表 2 中还列出了新西兰碧玉的主要化学成分(蔡青等,2011)。由表 2 可以看出,俄罗斯奥斯泊 11<sup>#</sup> 矿区碧玉与新西兰碧玉的主要区别是 FeO 的含量较低,计算后发现两地区碧玉的矿物组成也不同,俄罗斯 11<sup>#</sup> 矿区碧玉的主要矿物组成为透闪石,而新西兰碧玉的主要矿物组成为阳起石。

表 2 碧玉样品中主要元素成分及对比值

$w_B/\%$

Table 2 Main elements components of sample

| 编号     | Na <sub>2</sub> O | MgO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | CaO   | TiO <sub>2</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | Total |
|--------|-------------------|-------|--------------------------------|------------------|-------|------------------|--------------------------------|-------|-------|
| R-1-1a | 0.23              | 21.98 | 0.87                           | 56.84            | 12.90 | -                | -                              | 3.68  | 96.51 |
| R-1-1b | -                 | 7.70  | 8.95                           | -                | -     | 0.09             | 58.03                          | 24.76 | 99.52 |
| 新西兰碧玉* | 0.059             | 21.0  | 0.60                           | 57.7             | 13.8  | 0.0027           | -                              | 5.90  | 96.51 |

\* 据蔡青等(2011)。

表 2 中样品 R-1-1b 为碧玉样品中的黑色点状矿物,其主要化学成分为 MgO、SiO<sub>2</sub>、CaO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,经计算为铬铁矿。

量大,玉质好,少绺裂,少黑点,可以算作一种品质良好的玉质材料。

## 4 结论

通过对俄罗斯奥斯泊 11<sup>#</sup> 矿碧玉的系统研究,可以归纳出以下认识:

(1) 薄片和扫描电镜下观察表明,俄罗斯奥斯泊 11<sup>#</sup> 碧玉的质地较纯。矿物结晶粗细程度不同,局部具有定向性,结构以显微细变晶结构为主。

(2) 俄罗斯奥斯泊 11<sup>#</sup> 矿碧玉的主要化学成分为 MgO、SiO<sub>2</sub>、CaO,与透闪石类玉一致,与含铁量较高的新西兰碧玉不同,其主要矿物成分为透闪石。通过对样品中黑色点状矿物的电子探针结果分析,发现黑色杂质为铬铁矿。

(3) 通过 X 射线粉晶衍射分析,验证样品的主要矿物组成为透闪石。

总之,俄罗斯奥斯泊 11<sup>#</sup> 矿碧玉的色泽浓艳,储

致谢 论文中使用的碧玉样品与实验资助均由新西兰汇玉堂国际珠宝集团张锦洪先生提供,特此表示感谢。衷心感谢审稿老师提出的宝贵意见。

## References

- Cai Qing and Zhu Qinwen. 2011. A study of geological characteristics of green nephrite in New Zealand[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 30(Supp.): 95~100 (in Chinese with English abstract).
- Prokhor S A. 2010. The Genesis of Nephrite and Emplacement of The Nephrite-bearing Ultramafic Complexes of East Sayan[J]. Geology Review, 7: 290~300.

## 附中文参考文献

- 蔡青,朱勤文. 2011. 新西兰碧玉的宝石学特征[J]. 岩石矿物学杂志, 30(增): 95~100.