

和田玉的物质组分和物理性质研究

陈克樵, 陈振宇

(中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037)

摘 要:和田玉属软玉类玉石, 是透闪石矿物的集合体, 也可称透闪石玉。白玉、青白玉和青玉是和田玉的主要品种。经电子探针分析, 和田白玉、青白玉和青玉基本上由透闪石组成; 透闪石主要由 SiO_2 、 MgO 和 CaO 组成, 含少量 Al_2O_3 、 FeO 、 TiO_2 和 MnO 。玉石颜色主要与 Fe^{2+} 、 Ti^{4+} 、 Mn^{2+} 的含量有关; 具致密块状构造, 扫描电子显微镜下显示毡毯状和显微交织结构, 部分可见到显微粒状结构。和田玉中还含有少数杂质矿物。

关键词:和田玉; 物质组分; 物理性质; 电子探针; 扫描电镜

中图分类号: P578.955

文献标识码: A

和田玉属透闪石玉石, 透闪石属闪石族矿物中的钙质闪石亚族, 是透闪石-铁阳起石系列矿物中的一员, 其化学式为: $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$ (中国地质科学院矿床地质研究所, 1977)。镁和铁间可呈完全类质同象代替。在该系列矿物中, $(\text{Ca} + \text{Na})_{\text{B}} \geq 1.34$, $\text{Na}_{\text{B}} < 0.67$; $(\text{Na} + \text{K})_{\text{A}} < 0.5$, $\text{Si} \geq 7.50$ 。当 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) \geq 0.9$ 称为透闪石, $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) < 0.9$ 至 ≥ 0.5 称为阳起石, $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) < 0.5$ 称为铁阳起石(王濮, 1982)。此外, 当 $\text{Si} < 7.50$ 至 $\text{Si} \geq 7.25$ 时被称为透闪石质角闪石、阳起石质角闪石和铁闪石质角闪石。另外, 透闪石-铁阳起石矿物中, 还会有少量铝(Al)替代 Mg、Fe。

1 和田玉物质组分

本文仅对和田玉中的主要品种白玉、青白玉和青玉进行研究。物质组分研究手段为 JXA-8800R 电子探针仪(带有表面形态、结构分析的扫描电子显微镜功能)。

将分析样品 02(和田白玉)、03(和田青白玉)和 05(和田青玉)磨制成光薄片, 经镀碳膜后制成探针(包括扫描)分析样品。

1.1 能谱定性分析

02 号样品主要部分定性分析结果为: SiO_2 、 MgO 和 CaO 。从能谱图上能看出还含少量的 Al_2O_3 (图 1-A)。从局部部位分析可以看出, 其主要成分 SiO_2 、 MgO 和 CaO 与主要部分基本相同, 但 Al_2O_3 的含量明显高, 而且 FeO 的含量也稍高(图 1-B)。

03 号样品(青白玉)的主要成分为 SiO_2 、 MgO 和 CaO , 还含有少量的 Al_2O_3 (图 1-C)。局部部位的 Al_2O_3 含量有一定提高, FeO 的含量也有增加(见到一小峰)。个别部位分析结果发现, SiO_2 的含量下降, Al_2O_3 含量明显增加(图 1-D)。另发现一种杂质矿物, 主要成分

收稿日期: 2002-08-06

作者简介: 陈克樵(1940-), 男, 研究员, 主要从事矿物学研究。

* $(\text{Na} + \text{K})_{\text{A}}$ 中的 A 为 $\text{Na} + \text{K}$ 的原子数; $(\text{Ca} + \text{Na})_{\text{B}}$ 是 $\text{Ca} + \text{Na}$ 的原子数; Na_{B} 是 Na 的原子数。

为 SiO_2 、 MgO 、 Al_2O_3 和少量的 FeO (图 1-E)。

05 号样品(和田青玉)的主要组分为 SiO_2 、 MgO 和 CaO ,含少量的 Al_2O_3 和 FeO (Fe 峰自动识别未标出,但能看出小的 Fe 峰)(图 1-F)。另外,在青玉中发现有一种杂质矿物,其主要成分为 SiO_2 、 CaO 和 Al_2O_3 ,次要成分为 FeO 、 Ce_2O_3 和 MgO (图 1-G)。

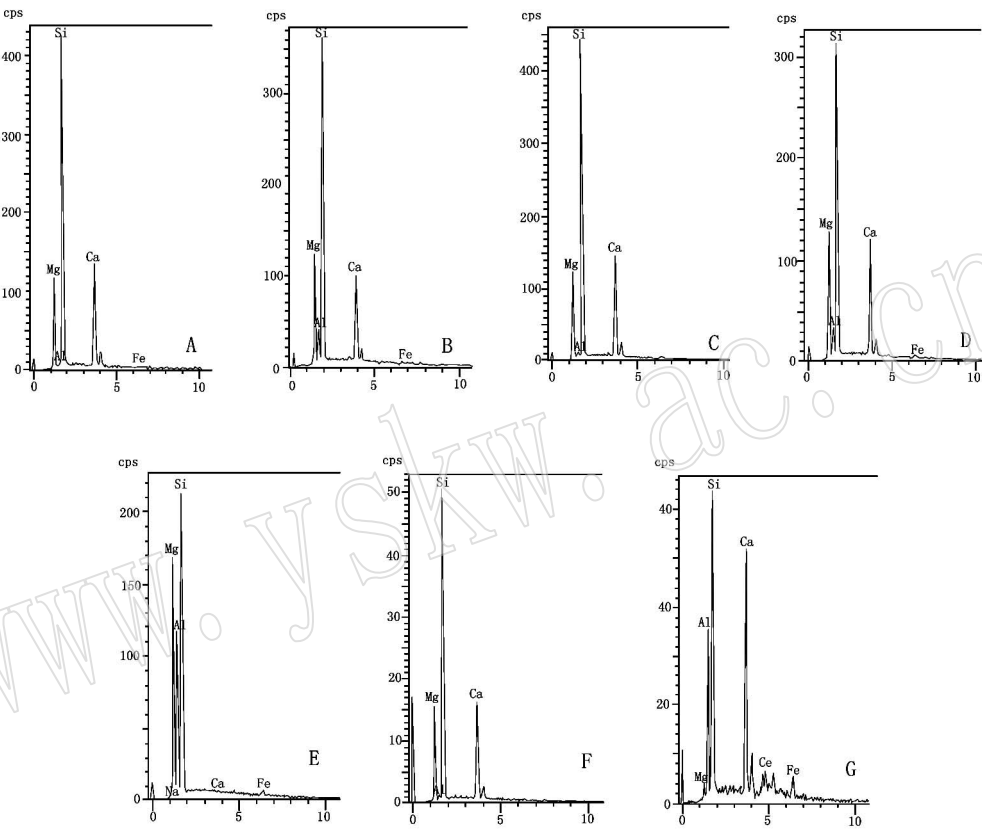


图 1 和田玉组分能谱图

Fig. 1 Energy dispersion spectra of Hetian jade

A—02-1,白玉;B—02-2,白玉;C—03-1,青白玉;D—03-5,青白玉;E—03-8,青白玉杂质矿物;F—05-1,青玉;G—05-8,青玉杂质矿物

1.2 电子探针定量分析

电子探针能谱定性和波谱定量分析结果(表 1)表明:和田白玉、青白玉和青玉的主要成分为 SiO_2 、 MgO 和 CaO ,次要成分为 Al_2O_3 、 FeO 、 MnO 、 TiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 等,其中,05 号青玉中杂质矿物组分还含有 Ce_2O_3 。从表 1 可以看出,02 号样品(白玉)的组分比较一致,各组分含量相对稳定,4 号分析点 Al_2O_3 稍高,而 SiO_2 稍低,这是 Al 类质同象置换 Si 的表现。03 号样品(青白玉)主要元素组成与 02 号样品基本相同,但 Al 的置换量从小到大,最高可达 7.54%,Fe、Mn、Cr、Ti 的含量也要比 02 号样品高。另外,还发现一种与闪石类矿物不同的矿物(图 2),其成分为 SiO_2 、 MgO 、 Al_2O_3 。05 号样品(青玉)主要组成矿物与 02、03 号样品相同,有的 Al 置换 Si 的量更大,Fe、Mn、Cr、Ti 元素的含量比 03 号样品更多,而且

在该样品中还发现一种杂质矿物(图 3),其成分明显与闪石类矿物不同。

表 1 和田玉电子探针定量分析结果

$w_B/\%$

Table 1 Quantitative analysis of Hetian jade by electron microprobe

样号	分析号	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	Ce ₂ O ₃	Σ
02	1	—	25.57	0.24	57.15	0.12	14.28	—	0.11	0.09	0.22		97.88
	2	0.01	25.84	0.36	57.61	0.10	13.98	—	0.02	0.01	0.09		97.37
	3	—	25.22	0.36	58.04	0.14	14.41	0.06	0.02	—	0.14		98.02
	4	0.03	23.73	5.95	52.73	0.29	13.89	0.03	0.03	0.02	0.36		98.39
03	1	0.02	25.32	0.66	59.25	0.12	14.19	0.05	0.13	0.04	0.23		98.10
	2	0.27	25.51	0.53	578.44	0.13	14.24	—	0.02	—	0.08		98.01
	3	0.10	25.83	2.40	55.63	0.05	13.44	0.01	0.05	0.04	0.46		98.10
	4	0.38	24.41	3.33	55.02	0.33	13.93	—	0.14	—	0.57		98.11
	5	0.06	24.45	4.81	53.40	0.02	13.84	—	—	0.12	0.45		99.04
	6	0.25	24.60	5.74	52.80	—	13.78	—	0.06	0.19	0.68		97.15
	7	—	24.44	7.54	51.43	0.14	13.68	0.04	0.01	0.09	0.73		98.01
	8	0.06	38.40	23.17	44.34	—	—	0.01	—	0.05	1.01		98.22
05	1	—	24.65	—	58.23	0.47	14.12	0.02	0.12	—	0.85		98.46
	2	—	24.77	5.55	52.46	0.09	13.83	0.05	0.10	—	0.78		98.63
	3	0.22	24.78	4.58	53.21	0.11	14.00	0.01	0.20	0.09	0.65		97.85
	4	0.27	24.48	5.57	52.93	0.09	13.98	0.01	0.21	—	0.50		98.02
	5	—	25.02	7.49	51.19	0.12	13.78	0.01	0.18	0.05	0.83		98.67
	6	—	24.78	6.07	51.84	0.20	13.90	—	0.04	—	0.84		97.67
	7	—	1.36	25.42	38.86	—	22.98	—	—	—	5.97	5.20	99.79
	8	—	2.00	25.98	39.97	0.16	23.51	—	—	—	4.05	4.66	99.33
	9	—	1.72	24.56	39.30	0.06	22.80	—	—	—	5.32	5.11	98.87
	10	—	2.06	25.82	39.18	0.19	23.81	—	—	—	4.10	4.49	99.65

选用加速电压 20kV,束流 2nA;定量分析样选用同类矿物和稀土五磷酸盐人造晶体等国家一级标准物质。

利用表 1 中的电子探针定量分析结果,根据透闪石-铁阳起石的化学通式 $Ca_2(Mg, Fe)_5[(Si, Al)_8O_{22}](OH)_2$ 计算矿物的化学式,结果见表 2。由于电子探针定量分析不能直接测定矿物中 H_2O 的含量,因此矿物化学式中的 $(OH)_n$ 没有标出。从表 2 可以看出:

(1) 02 号样品中的绝大部分矿物的 Si 原子数都大于 7.5,属透闪石类矿物(如 02-1~3),但也有少数矿物的 Si 原子数在 7 左右,属镁角闪石。03 号样品透闪石矿物(如 03-1~3)含量减少,而透闪石质角闪石(03-4)和镁角闪石(03-5~7)的含量增加,同时还有杂质矿物镁铝橄榄石(见图 2-1)。05 号样品中的透闪石矿物(05-1)含量很少,而基本上都由镁角闪石组成(05-2~6)。该样品中还有一种杂质矿物,主要成分为 SiO_2 、 MgO 、 Al_2O_3 ,并含有 4%~5%的 Ce_2O_3 ,呈短柱状,根据矿物定量分析结果及计算的化学式,尚未定出矿物名,其矿物的形态和特征元素面分布见图 3。

(2) 从和田玉组成矿物中 Ca、Na、K 原子数和 $Mg/(Mg+Fe)$ 值分析,和田白玉、青白玉和青玉的组成矿物中(除 03、05 样品中的杂质矿物外) $(Ca+Na)_B$ 均 ≥ 1.34 , $(Na+K)_A$ 均 < 0.5 ,而且 $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ 均 > 0.9 。因此,本次研究的 02(白玉)、03(青白玉)和 05(青玉)样品均落在透闪石范围内,这与矿物化学式中 Si 原子数分析结果基本一致。

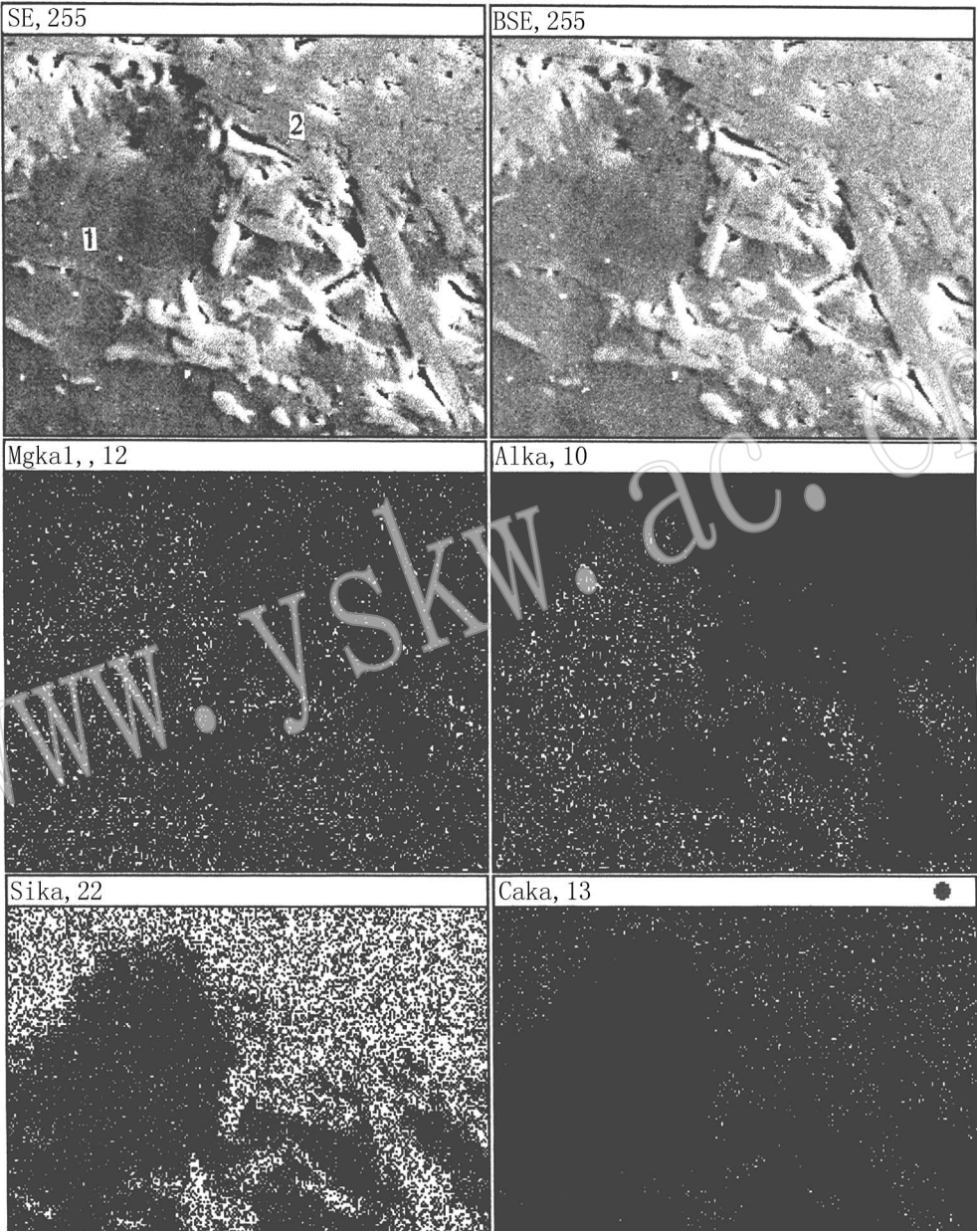


图 2 03 青白玉中杂质矿物形态、组成元素面分布以及与闪石的共生关系
Fig. 2 Morphology and compositions of impurity minerals and its paragenesis
with tremolite in 03 green-white jade

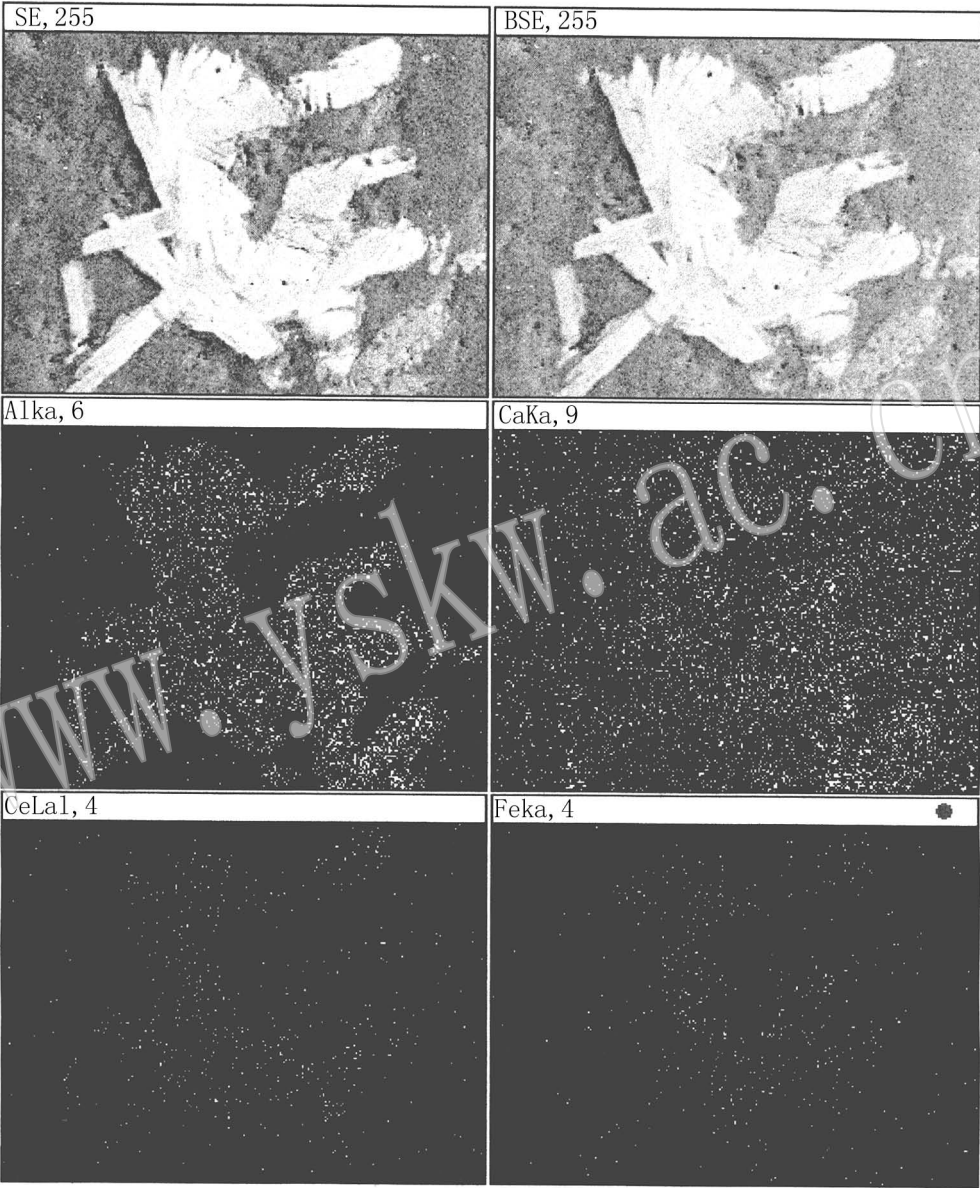


图 3 05 青玉中杂质矿物(中亮矿物)形态、组成元素面分布以及与闪石(边暗矿物)的共生关系
Fig. 3 Morphology and compositions of impurity minerals and its paragenesis
with tremolite in 05 green jade

表 2 根据和田玉电子探针定量结果计算的矿物化学式

Table 2 Chemical formula based on quantitative analysis of Hetian jade by electron microprobe	
样品号 分析号	矿 物 化 学 式
02	1 $(\text{Ca}_{2.00}\text{K}_{0.02})\Sigma=2.02(\text{Mg}_{5.14}\text{Fe}_{0.02}\text{Mn}_{0.01}\text{Cr}_{0.01})\Sigma=5.09[(\text{Si}_{7.68}\text{Al}_{0.06})\Sigma=7.74\text{O}_{22.59}]$
	2 $(\text{Ca}_{2.00}\text{Na}_{0.003}\text{K}_{0.02})\Sigma=2.02(\text{Mg}_{5.14}\text{Fe}_{0.01}\text{Cr}_{0.002}\text{Mn}_{0.001})\Sigma=5.15[(\text{Si}_{7.68}\text{Al}_{0.06})\Sigma=7.74\text{O}_{22.65}]$
	3 $(\text{Ca}_{2.00}\text{K}_{0.02})\Sigma=2.02(\text{Mg}_{4.87}\text{Fe}_{0.02})\Sigma=4.89[(\text{Si}_{7.52}\text{Al}_{0.06})\Sigma=7.58\text{O}_{22.07}]$
	4 $(\text{Ca}_{2.00}\text{Na}_{0.01}\text{K}_{0.02})\Sigma=2.03(\text{Mg}_{4.76}\text{Fe}_{0.04}\text{Mn}_{0.02})\Sigma=4.82[(\text{Si}_{7.09}\text{Al}_{0.74})\Sigma=7.83\text{O}_{22.51}]$
03	1 $(\text{Ca}_{2.00}\text{Na}_{0.01}\text{K}_{0.02})\Sigma=2.03(\text{Mg}_{4.97}\text{Fe}_{0.03}\text{Cr}_{0.10}\text{Ti}_{0.01}\text{Mn}_{0.01})\Sigma=5.12[(\text{Si}_{7.53}\text{Al}_{0.10})\Sigma=7.63\text{O}_{22.41}]$
	2 $(\text{Ca}_{2.00}\text{Na}_{0.07}\text{K}_{0.02})\Sigma=2.07(\text{Mg}_{4.98}\text{Fe}_{0.01}\text{Cr}_{0.002})\Sigma=4.99[(\text{Si}_{7.53}\text{Al}_{0.08})\Sigma=7.61\text{O}_{22.28}]$
	3 $(\text{Ca}_{2.00}\text{Na}_{0.03}\text{K}_{0.01})\Sigma=2.04(\text{Mg}_{5.35}\text{Fe}_{0.05}\text{Ti}_{0.02}\text{Mn}_{0.01}\text{Cr}_{0.01})\Sigma=5.44[(\text{Si}_{7.72}\text{Al}_{0.39})\Sigma=8.11\text{O}_{23.7}]$
	4 $(\text{Ca}_{2.00}\text{Na}_{0.10}\text{K}_{0.06})\Sigma=2.16(\text{Mg}_{4.88}\text{Fe}_{0.08}\text{Mn}_{0.02})\Sigma=4.98[(\text{Si}_{7.37}\text{Al}_{0.53})\Sigma=7.9\text{O}_{22.94}]$
	5 $(\text{Ca}_{2.00}\text{Na}_{0.02})\Sigma=2.02(\text{Mg}_{4.92}\text{Fe}_{0.05}\text{Mn}_{0.01})\Sigma=4.98[(\text{Si}_{7.20}\text{Al}_{0.81})\Sigma=8.01\text{O}_{23.02}]$
	6 $(\text{Ca}_{2.00}\text{Na}_{0.07})\Sigma=2.07(\text{Mg}_{4.97}\text{Fe}_{0.08}\text{Mn}_{0.02}\text{Cr}_{0.01})\Sigma=5.08[(\text{Si}_{7.15}\text{Al}_{0.49})\Sigma=7.64\text{O}_{22.43}]$
	7 $(\text{Ca}_{2.00}\text{K}_{0.02})\Sigma=2.02(\text{Mg}_{4.97}\text{Fe}_{0.08}\text{Mn}_{0.01}\text{Ti}_{0.01})\Sigma=5.07[(\text{Si}_{7.02}\text{Al}_{1.21})\Sigma=8.23\text{O}_{23.55}]$
	8 $\text{Mg}_3(\text{Al}_{1.82}^{3+}\text{Fe}_{0.06}^{3+})\Sigma=1.94[\text{Si}_{2.96}\text{O}_{11.53}]$ (镁铝橄榄石)
05	1 $(\text{Ca}_{2.00}\text{K}_{0.08})\Sigma=2.08(\text{Mg}_{4.86}\text{Fe}_{0.09}\text{Cr}_{0.01}\text{Ti}_{0.02})\Sigma=4.98[(\text{Si}_{7.70}\text{O}_{22.46})]$
	2 $(\text{Ca}_{2.00}\text{K}_{0.02})\Sigma=2.02(\text{Mg}_{4.98}\text{Fe}_{0.09}\text{Ti}_{0.01}\text{Cr}_{0.01})\Sigma=5.09[(\text{Si}_{7.05}\text{Al}_{0.88})\Sigma=7.93\text{O}_{23.03}]$
	3 $(\text{Ca}_{2.00}\text{Na}_{0.06}\text{K}_{0.02})\Sigma=2.08(\text{Mg}_{4.93}\text{Fe}_{0.07}\text{Ti}_{0.02}\text{Cr}_{0.02}\text{Mn}_{0.01})\Sigma=5.05[(\text{Si}_{7.10}\text{Al}_{0.72})\Sigma=7.82\text{O}_{22.77}]$
	4 $(\text{Ca}_{2.00}\text{Na}_{0.07}\text{K}_{0.02})\Sigma=2.09(\text{Mg}_{4.87}\text{Fe}_{0.07}\text{Cr}_{0.02})\Sigma=4.96[(\text{Si}_{7.06}\text{Al}_{0.87})\Sigma=7.93\text{O}_{22.91}]$
	5 $(\text{Ca}_{2.00}\text{K}_{0.02})\Sigma=2.02(\text{Mg}_{5.05}\text{Fe}_{0.09}\text{Cr}_{0.02})\Sigma=5.16[(\text{Si}_{6.93}\text{Al}_{1.20})\Sigma=8.13\text{O}_{23.44}]$
	6 $(\text{Ca}_{2.00}\text{K}_{0.03})\Sigma=2.03(\text{Mg}_{4.96}\text{Fe}_{0.09})\Sigma=5.05[(\text{Si}_{6.96}\text{Al}_{0.96})\Sigma=7.92\text{O}_{22.92}]$
	7 $(\text{Ca}_{2.52}\text{Mg}_{0.30}\text{Fe}_{0.329})\Sigma=3.14(\text{Al}_{3.05}\text{Ce}_{0.17})\Sigma=3.22[\text{Si}_4\text{O}_{15.9}]$

2 和田玉的物理性质

和田玉按颜色分为:白玉、青白玉、青玉、碧玉、黄玉和花玉等(栾秉傲,1985)。本文研究的白玉、青白玉和青玉是和田玉的主要品种,储量和产量也较其他玉种多(董振信,1995)。

2.1 玉石的一般物理性质

02号样品(白玉)颜色纯白,质地细腻,滋润,油脂光泽,摩氏硬度6左右,勉强可称羊脂玉(羊脂玉中较差的一种)。玉石中透闪石矿物呈短纤维状,粒度 $1\mu\text{m}\sim 2\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 左右。具韧性,由于玉石中矿物局部有定向排列,所以玉石毛料常出现局部裂开现象。半透明,切成1mm左右薄片抛光后能见到背面物件的影子。

03号样品(青白玉)呈白带淡青色调,05号样品(青玉)为浅灰青白色,光泽较02号白玉差,虽没有油脂光泽,但抛光面有滑腻感,透明度也较白玉差。其他物理性质与白玉相似。

2.2 玉石结构构造

在扫描电子显微镜下观察:和田玉主要具纤维交织结构、毡毯状结构,局部有显微粒状结构,如图3 SE和BSE图像所示。02、03和05号样品的结构基本相同,均为致密块状构

造。

参考文献

董振信. 1995. 宝玉石鉴定指南[M]. 北京: 地震出版社.
栾秉傲. 1985. 宝石[M]. 冶金出版社.
王 濮,潘兆橹,翁玲宝,等. 1982. 系统矿物学(上、中、下)[M]. 地质出版社.
中国地质科学院矿床地质研究所. 1977. 透明矿物显微鉴定表[M]. 地质出版社.

Study on compositions and physical features of Hetian jade

CHEN Ke-qiao and CHEN Zhen-yu

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of
Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Hetian jade, also called tremolite jade, is one kind of nephrite, it is aggregation of tremolite mineral. White jade, grey-white jade and grey jade are major species of Hetian jade. According to electron microprobe analysis, the major species are mainly composed of tremolite, in which the main chemical components are SiO_2 , MgO and CaO , with minor components of Al_2O_3 , FeO , TiO_2 and MnO , some impurity minerals are found in Hetian jade. The color of jade is mainly related to the content of Fe^{2+} , Ti^{4+} and Mn^{2+} . Macroscopically, Hetian jade has compact massive structure, under the scanning electron microscope, felty texture, interlocking micro-texture and granular micro-texture can be observed.

Key words: Hetian jade; composition; physical feature;electron microprobe; scanning electron