

# 和田玉的电镜显微形貌和能谱特征

杨主恩<sup>1</sup>, 王士元<sup>2</sup>

(1. 中国地震局地质研究所, 北京 100029; 2. 新疆矿产实验研究所, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:**和田玉驰名中外, 亦被称为中国玉、中国软玉。和田玉的主要矿物组成是透闪石-阳起石系列矿物。虽然不同类型和田玉的主要化学成分和矿物组成相近, 但其颜色和质地却有很大的不同。利用电子显微镜分别对不同类型的和田玉进行系统的显微结构观测和能谱分析, 结果表明上等品质的和田玉, 如羊脂玉、白玉, 矿物成分为透闪石, 粒度小于  $3\ \mu\text{m}$ , 晶形好, 呈交织结构, 能谱曲线由单纯的硅、镁、钙组成, 无铁、铝等元素; 青色-绿色系列的和田玉, 矿物结晶相对较粗, 粒度  $3\sim 10\ \mu\text{m}$ , 并有铁、铝等离子的加入, 矿物结构已由透闪石向阳起石转化, 其颜色随着铁含量的增加而变深; 黄色-黄褐色系列的和田玉, 有异常增加的钙, 具有特征团粒状结构和似纤维状结构。

**关键词:** 和田玉; 显微结构; 扫描电镜; 能谱分析

中图分类号: P578.955

文献标识码: A

和田玉产于昆仑山, 有人称之为昆仑玉, 已有的历史记载可追溯到数千年前的“三皇五帝”时代。由于出土的文物玉器中, 以和田玉为原料的占多数, 因而其驰名中外, 亦被称之为中国玉、中国软玉。和田玉的主要矿物组成是透闪石-阳起石系列矿物, 粒度通常小于  $0.05\ \text{mm}$ , 硬度  $6.5\sim 6.8$ 。其详细的物理和化学性质、表观的观赏价值和鉴定特征已有不少学者做过相关的研究和报道(戴苏兰, 1999; 李幼松等, 2001; 廖宗廷等, 1998; 栾秉敖, 1989; 王实, 1999; 杨汉臣等, 1985; 周国平, 1989; 邹天人等, 1996)。和田玉通常以表观质地和颜色区分为羊脂玉、白玉、青白玉、青玉、碧玉、墨玉、黄玉、糖玉等。虽然不同类型和田玉的主要化学成分和矿物组成相近, 但其颜色和质地却有很大的不同, 当然也极大地影响了其商业价值和观赏品质。本文利用电子显微镜分别对不同质地类型的和田玉进行了系统的观测和分析, 以了解其相关特征差异与种类之间的关系。

## 1 和田玉的表观特征和电子显微形貌特征

手标本上显示的是肉眼直接感受的表观特征, 人为经验的判断是很重要的。而在扫描电子显微镜的数千倍放大倍数下, 在不破坏样品原状态条件下, 显示出的电子显微形貌特征, 可以得到更为清晰的矿物形态、结构、组构和其他相关特征。

羊脂玉和白玉: 手标本上二者都呈白色, 新鲜断口上质地细腻、均匀, 无杂质, 区别在于

羊脂玉带有油脂光泽。扫描电镜下均显示由短柱状或板状的透闪石晶体组成,晶形完好,粒度小于 $3\ \mu\text{m}$ ,矿物成分较纯,呈交织结构或毡状结构(图1-1)。

青白玉和青玉:手标本上二者的区别在于青绿色的深浅不同,但并没有严格的区分标准。新鲜断口上呈现的质地与白玉相比要略粗一些,但整体上相对均匀,无明显杂质。扫描电镜下显示,虽然质地相对较纯,但结晶较粗,可达 $3\sim 10\ \mu\text{m}$ ,晶形不完整,略具定向结构(图1-2)。

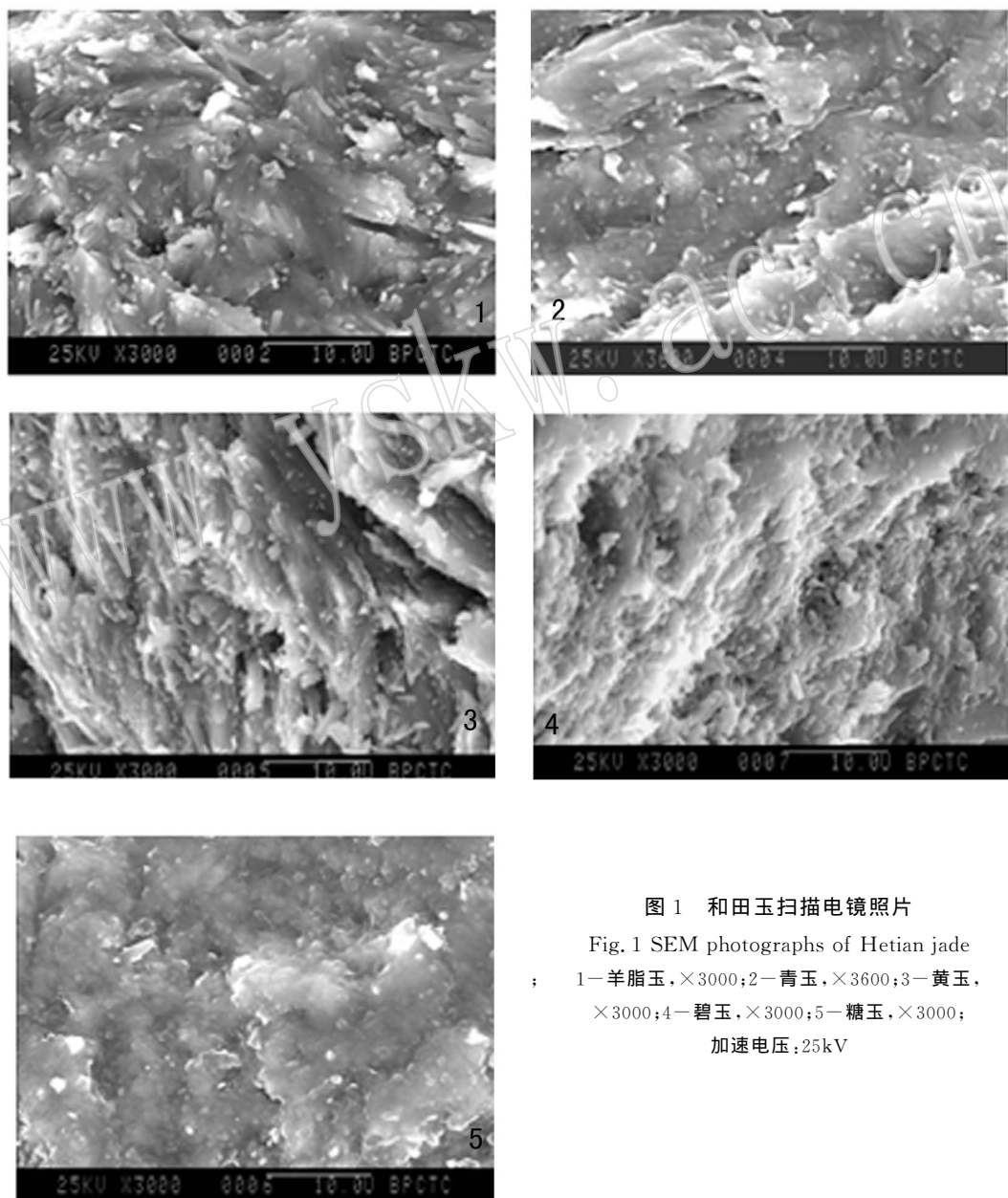


图1 和田玉扫描电镜照片

Fig. 1 SEM photographs of Hetian jade  
; 1—羊脂玉,  $\times 3000$ ; 2—青玉,  $\times 3600$ ; 3—黄玉,  
 $\times 3000$ ; 4—碧玉,  $\times 3000$ ; 5—糖玉,  $\times 3000$ ;  
加速电压: 25kV

碧玉和墨玉:颜色呈暗绿色或墨绿色是其特征,新鲜断口显示的粗糙度比青玉为甚,粉砂状结构,部分呈似斑壮结构,斑晶小于  $1\ \mu\text{m}$ 。虽然其质地较粗,但整体上相对均匀。扫描电镜下,没有很好晶形的透闪石或阳起石晶体,而是由不同形态的矿物颗粒相嵌组成类似于粉砂状结构,部分呈现定向组构(图 1-4)。

黄玉:手标本上质地与青玉类似,相对较纯,呈黄色或浅黄褐色,矿物略显定向组构。扫描电镜下,矿物定向组构更为明显, $10\ \mu\text{m}$ 左右甚至更大的透闪石-阳起石长柱状晶体构成似纤维状结构(图 1-3)。晶形虽不典型,但整体上相对较纯。

糖玉:手标本呈黄褐色或浅红糖色,质地较粗,肉眼可以分辨出其中的晶粒,粒度一般小于  $0.5\ \text{mm}$ ,宏观上相对均匀,无明显杂质。扫描电镜下呈现典型的糖粒状结构(图 1-5),粒度  $10\ \mu\text{m}$ 左右,由小糖粒(小于  $2\ \mu\text{m}$ )凝集而成。可以观察到透闪石晶体充填其中,整体上较纯。

## 2 不同类型和田玉的能谱特征

能谱分析通过高压电子束轰击矿物样品表面使之产生能量激发,在不破坏样品的前提下,得到不同能量谱曲线,由谱线的特征和强度计算出所测样品中的主要化学成分和相应含量。由于能谱对元素周期表 10 号以下的元素不敏感,因此分析给出的是阳离子含量,即金属元素的含量。和田玉的类型不同,其外观颜色、品质相差悬殊,但它们的基本矿物组成都是相似的。系统分析不同类型的和田玉,可以揭示其阳离子成分的差异。

图 2 是所测和田玉的能谱曲线,可以看出:这些外观上相差很大的和田玉,其主要阳离子元素均是硅、镁、钙,次要元素是铁和铝。羊脂玉和白玉中几乎没有铁和铝,是由相对纯净的透闪石组成。铁的含量从青白玉、青玉到碧玉呈逐渐升高的趋势,而其颜色也是逐渐加深,说明铁是致色元素。铁的增加说明矿物系列已从透闪石向阳起石转化。铝在青玉、碧玉、黄玉和糖玉中都有少量显示,但硅含量则减少,说明铝替代其中硅。钙含量在糖玉中有明显的增加,镁和硅则明显减少。可以认为,除了羊脂玉和

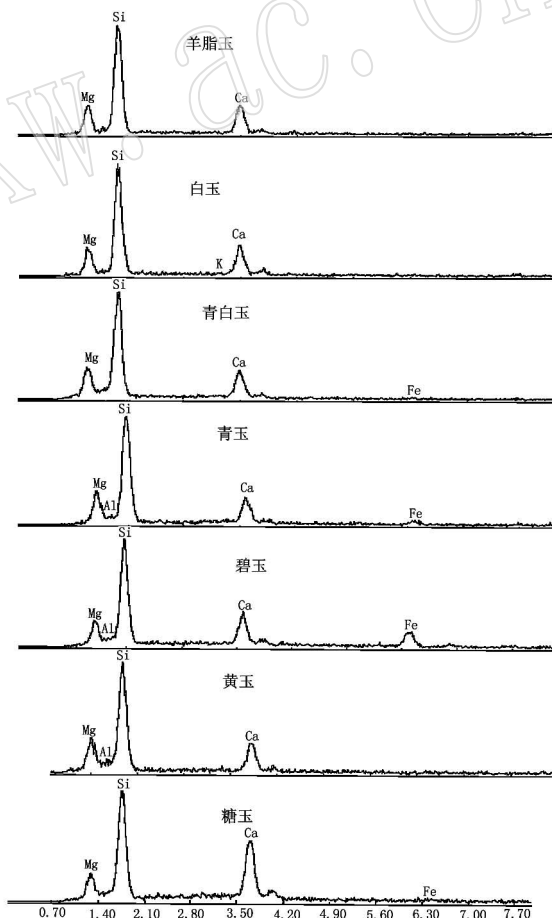


图 2 不同类型和田玉能谱曲线

Fig. 2 Energy dispersion spectra of different Hetian jade

白玉外,有色的和田玉,包括青白玉、青玉、碧玉、黄玉、糖玉都已掺入铁、铝等其他阳离子,其矿物结构由透闪石向阳起石过渡,其中  $\text{Fe}^{2+}$  取代  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  取代部分  $\text{Si}^{4+}$ , 与  $\text{Ca}^{2+}$  共同构成复杂的电价平衡,因此表现为糖玉中钙增加和硅、镁减少。

### 3 小结

利用扫描电镜对不同类型的和田玉进行的显微形貌和能谱分析表明:

(1)上等品质的和田玉,如羊脂玉、白玉,其矿物组成为透闪石,粒度小于  $3\ \mu\text{m}$ ,晶形好,呈交织结构,无杂质。能谱曲线上由单纯的硅、镁、钙组成,无铁、铝等元素。

(2)青色-绿色系列的和田玉,如青白玉、青玉、碧玉、墨玉等,矿物晶体相对较粗,粒度  $3\sim 10\ \mu\text{m}$ ,并有铁、铝等离子的加入,矿物结构已由透闪石向阳起石转化,其色率随着铁含量增加变深。

(3)黄色-黄褐色系列的和田玉,如黄玉、糖玉,其掺入的阳离子除了铁和铝外,还有异常增加的钙。糖玉具有特征团粒状结构,而黄玉具有似纤维状结构。

本文仅是利用扫描电镜对不同类型和田玉特征进行探讨,由于样品类型还不够全面,有些认识仍有待于进一步深入。笔者感谢陈克樵研究员给予的帮助和指正,感谢北京理化测试中心扫描电镜室为本文进行了测试分析。

### 参考文献

- 戴苏兰. 1999. 玉石[M]. 北京:地质出版社,186.
- 李幼松,赵松龄. 2001. 宝玉石大典[M]. 北京出版社,1 559~1 581.
- 廖宗廷,周祖翼,丁倩. 1998. 中国玉石学[M]. 上海:同济大学出版社,130.
- 栾秉敖. 1989. 中国宝石和玉石[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,233.
- 王实. 1999. 中国宝玉石资源大全[M]. 北京:科学技术出版社,415.
- 杨汉臣,伊献瑞,易爽庭,等. 1985. 新疆宝石和玉石[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,157.
- 周国平. 1989. 宝石学[M]. 北京:中国地质大学出版社,669.
- 邹天人,郭立鹤,於晓晋. 1996. 中国主要玉石类型及产地[J]. 矿床地质,15(增刊):79~92.

## Micro-textures and spectrometry characteristics of Hetian jade

YANG Zhu-en<sup>1</sup> and WANG Shi-yuan<sup>2</sup>

- (1. Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing 100029, China;
2. Institute of Mineral Resource and Survey of Xinjiang, Urumchi 830000, China)

**Abstract:** Hetian jade is a famous nephrite, it is also called Chinese jade. Its main mineral components are tremolite and actinolite. Different kinds of Hetian jade have different colors and qualities although they are composed of similar chemical and mineral components. Scanning electron microscope (SEM) and spectrometry are used to observe the micro-textures and to analyse the composition of these Hetian jades. It is concluded that the high-quality Hetian jade, such as mutton-fat jade, white jade, is mainly composed of tremolite with good crystal form and interlocking micro-texture, the grain size is less than  $3\mu\text{m}$ ; the spectrometry analysis shows that this kind of jade contains silicon, calcium and magnesium without iron and aluminum. The grain size of green Hetian jade is  $3\sim 10\mu\text{m}$ , it includes Al or Fe ion; the green color will be darker as content of Fe ion increases; the main mineral composition is actinolite instead of tremolite. The yellow Hetian jade with typical sucrosic micro-texture is due to anomalous increase of calcium.

**Key words:** Hetian jade; micro-texture; scanning electron microscope; spectrometry