

# 阴极发光在翡翠研究中的应用

张红卫<sup>1</sup> 郭颖<sup>1</sup> 李敬敬<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学 珠宝学院, 北京 100083; 2. 石家庄经济学院 宝石与材料工艺学院, 河北 石家庄 050031)

**摘要:**通过对多个翡翠及其他玉石标本进行阴极发光实验,观察不同品种的翡翠、处理翡翠制品以及翡翠的相似玉石品种在阴极发光镜下的荧光颜色、发光强度、环带特点、颗粒形态和裂隙状况等的不同特征,来有效鉴别翡翠、处理翡翠及翡翠的相似品。同时依据不同类型翡翠在阴极发光下的特征,对翡翠的品质、颜色等的划分提供依据。

**关键词:**阴极发光,翡翠,荧光颜色,结构特征

中图分类号:P575.4;P579

文献标识码:A

A 文章编号:1000-3524(2011)S0-0219-06

## Cathodoluminescence study of jadeite

ZHANG Hong-wei<sup>1</sup>, GUO Ying<sup>1</sup> and LI Jing-jing<sup>2</sup>

(1. School of Gemmology, China University of Geoscience, Beijing 100083, China; 2. School of Gemology and Material Technique, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China)

**Abstract:** Cathodoluminescence is a new kind of non-destructive method for revealing the structure of jadeite, and comprehensive utilization of the cathodoluminescence color and its structural characteristics is employed in the identification of jadeite. Based on the cathodoluminescence experiments on a number of jadeites and other jades, the authors observed the different types of jadeite, the treating jadeite products as well as other jades similar to jadeite in such aspects as fluorescence color, luminous intensity, band features, particle morphology and fracture conditions to identify the jadeite, the treating jadeite and other jades. At the same time, cathodoluminescence characteristics of different types of jadeite can provide the basis for the division of quality, color, and other properties of jadeite.

**Key words:** cathodoluminescence; jadeite; fluorescence color; structure

翡翠是玉石之王,也是市场上最畅销的玉石品种。除天然翡翠外,市场上还存在着经优化处理的翡翠以及用以仿翡翠的其他玉石。不同玉种在阴极发光镜下有不同特征,在阴极电子束的轰击下,硬玉矿物的晶粒大小、形态、排列与组合方式及相互关系会表现出几何发光图案,不同类型的翡翠以及翡翠相似玉石品种在阴极发光下会显示不同的现象(周颖,2002;袁心强等,2005)。本文采用宝石阴极发光仪对挑选的30块样品进行了4组实验。

## 1 不同类型翡翠在阴极发光仪下的现象

### 1.1 同一标本在不同高压下的阴极发光现象

阴极发光所采用的高压和电流强度会影响样品的阴极发光。为了解高压对翡翠阴极发光的影响,本次实验观察了同一块绿色翡翠标本在不同高压下(分别为6、8和10 kV,电流0.6 mA稳定条件)的阴极发光现象。

如图1,可以看出标本在10 kV和6 kV下的阴极发光现象只有荧光强度上的差异,即强度较高,颜色较亮,但结构和荧光颜色未见明显区别。据此,本

实验采用电压8 kV、电流0.6 mA的稳定条件对样本进行观察,所采样品厚度均为2 mm,玻璃光泽。

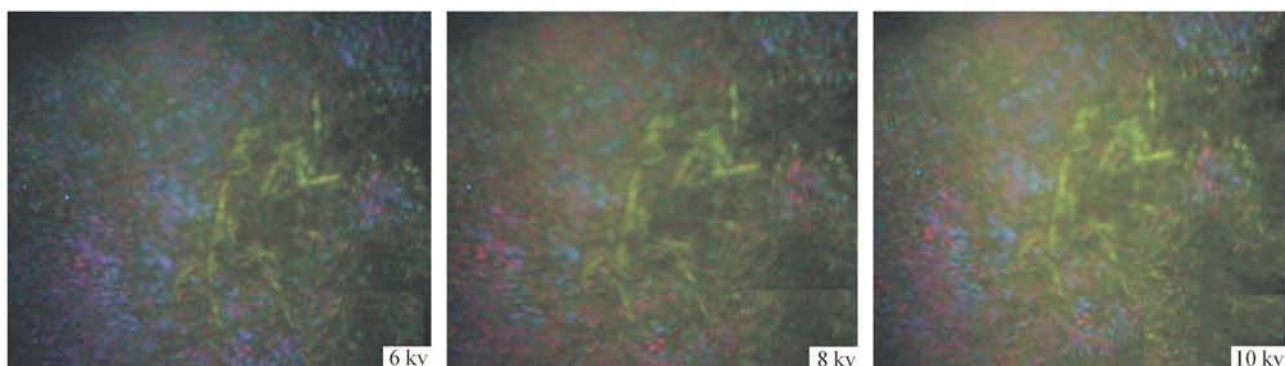


图1 同一绿色翡翠标本在不同高压下的阴极发光现象

Fig. 1 Photographs of green jadeite in different pressures under cathodoluminescence

## 1.2 不同透明度翡翠的阴极发光现象

本组实验以5个级别的透明度作为区别,主要观察结构和荧光强度差异。透明样品(无色)在阴极发光镜下整体为蓝色荧光,并伴有微弱的紫色,颜色呈现斑块状,每个斑块边缘呈现紫色,而斑块之间由于样品内部存在的裂隙而不发光(图2中T1);亚透明样品(无色)在阴极发光下呈现蓝色、紫色荧光,左侧为蓝紫相间的荧光,并有碎裂结构,右侧荧光颜色

丰富,伴有大量闭合生长环带,大小不一,多为条状、方形、菱形,环带中心部分为紫色,边缘为紫红色,可见多重环带,环带之间为黄绿色(图2中T2);半透明样品(白色),其荧光颜色为蓝色和紫色(图2中T3);微透明样品(浅绿色)在阴极发光下呈现均匀的黄绿色荧光,可见较多的规则闭合生长环带,大小不一,接触以平直接触为主(图2中T4);不透明样品在阴极发光下仅见褐色亮斑,结构不可见。

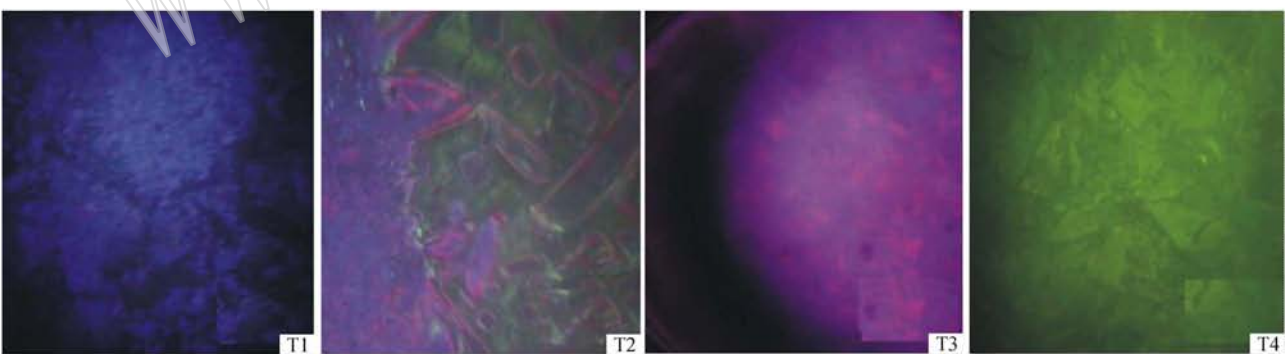


图2 不同透明度翡翠的阴极发光现象

Fig. 2 Photographs of jadeites with different transparencies under cathodoluminescence

可以看出随着透明度的降低荧光颜色逐渐向黄绿色转变,且荧光强度逐渐变弱,透明样品荧光颜色以强的紫色蓝色为主,不透明标本和暗色标本在阴极发光下几乎没有现象,说明样品的阴极发光现象与样品的透明度和质地有一定联系,透明度越高,荧光颜色越强、可见结构越清晰。样品在阴极发光下

呈现黑色是由于样品内部含有包体或裂隙,如图2中T1。

由于晶体所处生长环境的包括物理条件和化学条件发生变化,部分样品阴极发光下可见生长环带(张晓晖等,2002)。如图2中T1,该标本生长环带与其余部分有明显分界线,说明晶体内部不均匀地

分布一些微量元素,导致此现象发生;阴极发光下呈现的斑块、碎裂或环带状结构,则与样品本身结构及其结构缺陷有关。

### 1.3 不同颜色翡翠的阴极发光现象

本组实验以颜色区别,主要观察 10 种不同颜色样品的不同荧光现象。无色透明样品在阴极发光镜下可见强的蓝色荧光,嵌有明显的黄绿色荧光,呈突起状,形状各异,隐约可见无色条带,条带边缘可见紫红色(图 3a);白色半透明样品,由于其结构松散,在阴极发光下可观察到明显的碎裂、斑块结构(图 3b);绿色透明样品在阴极发光镜下可见穿插的黄绿色和蓝紫色荧光,黄绿色部分突起呈柱状或条状,蓝紫色可见明显的碎裂结构,结构边缘呈紫红色(图 3c);蓝色微透明样品,阴极发光下呈黄绿色荧光,可见明显的碎裂结构,带有较弱的红色斑块(图 3d);黄色微透明样品,其阴极发光的荧光颜色非常丰富,碎裂结构明显,有比较明显细长的生长环带,边缘部分

出现褐黄色斑块(图 3e);红色半透明样品,其颗粒较粗,整体呈黄绿色荧光,黄绿色斑块之间嵌有红色丝状荧光,可见较弱的紫色点块状荧光(图 3f);棕-褐色半透明样品,阴极发光下出现碎裂状结构,有较多的红色点状、细小条带分布(图 3g);紫色半透明样品,其荧光颜色不鲜艳,总体色调为灰绿色,略微带紫色,发紫色荧光斑块的边缘有较多的黄绿色不规则形状的颗粒,聚集成条带分布(图 3h);灰色透明样品,在阴极发光下可见碎裂结构,呈现强的蓝色荧光,同时可见红色紫色小块荧光,有白色的亮点分布(图 3i);黑色微透明样品仅见零星分布的黄色亮点闪光。

由图可以看出,阴极发光下各标本的荧光颜色不一样,其中荧光颜色多以蓝色、紫色和黄绿色为主,这与样品本身颜色密切相关,这是由于各样品所含致色离子、致色离子含量以及杂质元素均不相同,使得样品的阴极发光颜色各不相同。

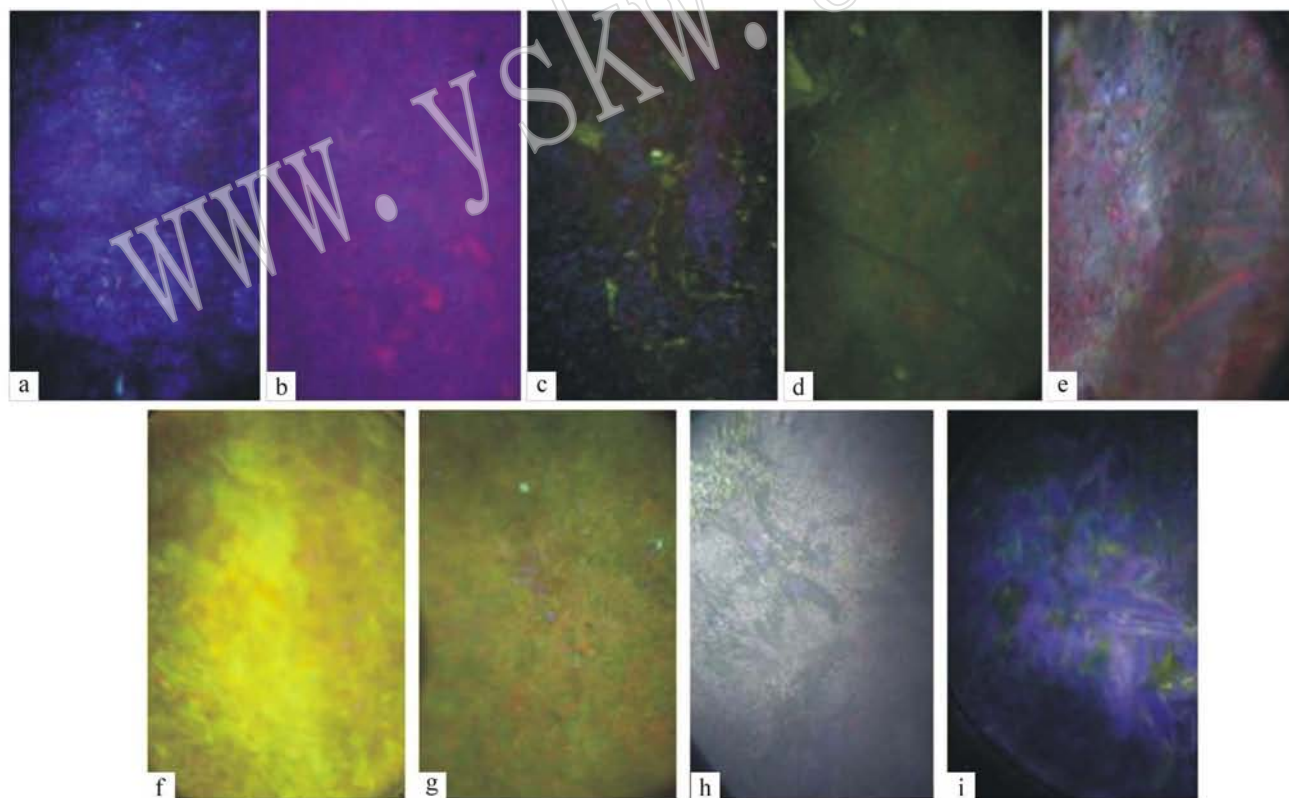


图 3 不同颜色翡翠的阴极发光图像

Fig. 3 Photographs of jadeites with different colors under cathodoluminescence

a—无色翡翠; b—白色翡翠; c—绿色翡翠; d—蓝色翡翠; e—黄色翡翠; f—红色翡翠; g—棕-褐色翡翠;  
h—紫色翡翠; i—灰色翡翠

a—colorless jadeite; b—white jadeite; c—green jadeite; d—blue jadeite; e—yellow jadeite; f—red jadeite; g—brown jadeite;  
h—purple jadeite; i—gray jadeite

## 2 天然翡翠与处理翡翠以及相似玉石的阴极发光现象

### 2.1 天然翡翠与处理翡翠阴极发光现象

本组实验样品为市场常见的处理翡翠制品,主要有酸处理翡翠、充填翡翠、镀膜翡翠等,样品均为透明样品,主要观察其结构差异。

天然绿色翡翠,在阴极发光下呈现均匀的黄绿色斑块状荧光,可见较多的规则闭合生长环带,大小不一,镶嵌较规则,结合紧密(图 4a);无色酸处理翡翠,呈现黄绿色荧光,可见大量的网状微裂隙和明显

的碎粒化,斑块夹杂较多紫色小斑块,绿色斑块中心颜色较暗(图 4b);绿色充填翡翠,在阴极发光下可见结构破坏,主要为蓝绿色,零散分布着黄绿色小块状荧光(图 4c);无色充填翡翠,在阴极发光下蓝色基底分布着黄色的突起条状荧光,带有点状紫色荧光分布,可见溶蚀现象,碎裂间充填物不发光(图 4d);染绿色翡翠,显微镜下可见颜色沿裂隙分布,其荧光颜色为黄绿色,并带有紫色亮点,可见裂隙发育(图 4e);白色酸处理“八三玉”,在阴极发光下呈较浅的绿色和紫色夹杂,可见其内部结构碎裂结构(图 4f);而绿色镀膜翡翠阴极发光下无荧光,结构不可见。

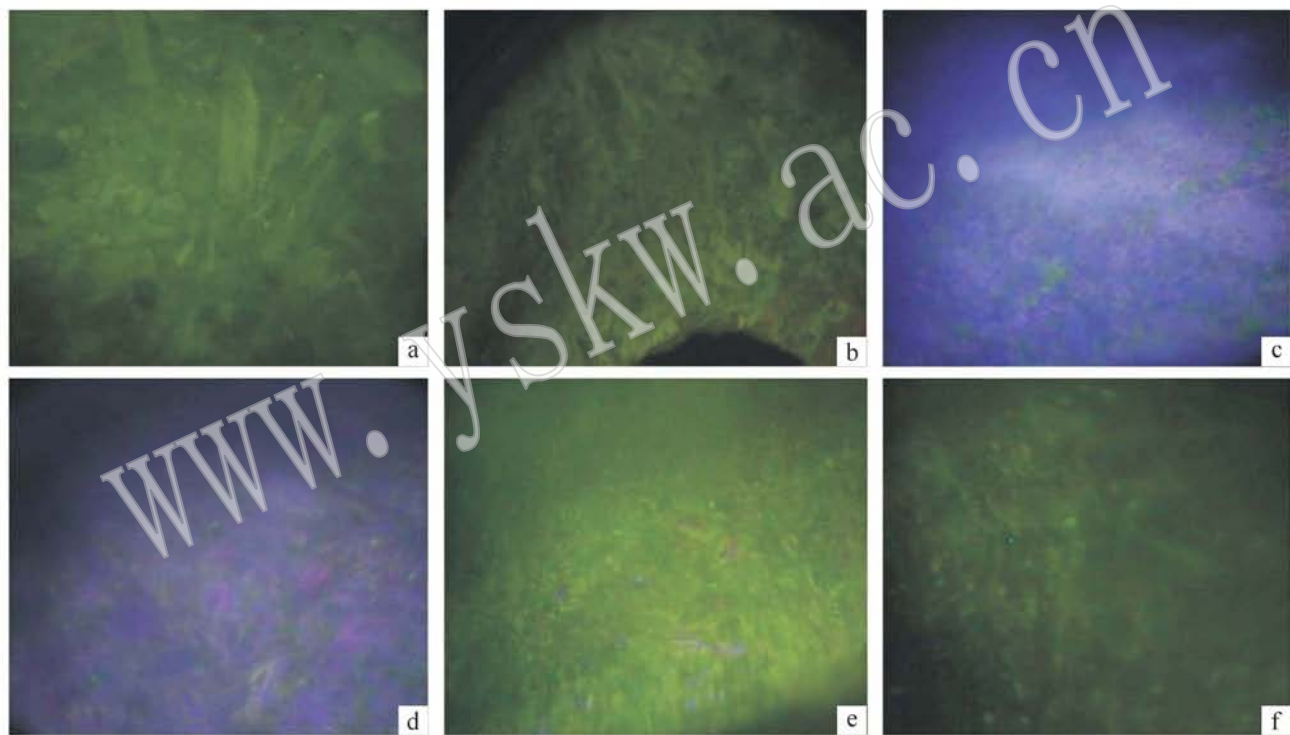


图 4 翡翠及处理翡翠阴极发光图像

Fig. 4 Photographs of jadeites and treating ones under cathodoluminescence

a—天然翡翠; b—酸处理翡翠; c—漂白充填处理翡翠(绿色); d—漂白充填处理翡翠(无色); e—染绿色翡翠; f—八三玉(酸处理)  
a—jadeite; b—jadeite with acid treatment; c—jadeite with bleach filling treatment(green); d—jadeite with bleach filling treatment (colorless); e—jadeite with stain in green; f—Basan jade(acid treatment)

在阴极发光镜下,天然翡翠形态较完整,荧光颜色丰富,发光强弱不一,生长环带发育且闭合程度高,生长环带形状各异,矿物颗粒之间结合较紧密,裂隙主要为构造裂隙;酸处理翡翠荧光颜色以黄绿色为主,颜色分布相对较均匀,可见大量网状微裂隙,颗粒结合紧密度不高,完整度不高,可见溶蚀现

象(张蓓莉,2006)。本组实验的两个漂白充填处理翡翠标本在阴极发光下颜色为蓝紫色基底,分布着黄绿色突起状颜色,呈现碎裂结构;染色翡翠荧光颜色以蓝绿、黄绿为主,颜色较为均一,少见生长环带,染色翡翠裂隙发育,结构疏松。根据样品在阴极发光下的结构可以对翡翠及处理翡翠制品加以区分。

## 2.2 翡翠相似玉石的阴极发光现象

本组样品为市场上常见的用以仿翡翠的其他玉石,主要有软玉、蛇纹石玉、石英质玉石、水钙铝榴石、钠长石玉等。

钠长石玉在阴极发光镜下荧光颜色不明显,仅可见较少的波纹状亮光分布(图 5a);浅绿色岫玉,阴极发光下可见部分褐黄色亮斑,隐约可见平行的波形的黑色沟渠状突起,整体为灰绿色背景(图 5b);软

玉(白色微带黄色),在阴极发光下出现强的红色荧光,颗粒不均匀分布,碎裂状,颗粒呈亮白色荧光,有微弱的蓝绿色荧光(图 5c);绿色水钙铝榴石,在阴极发光下出现强的橘红、橘黄色荧光,可见小颗粒、凹坑(图 5d);而染绿色石英岩、红色玛瑙、浅绿色东陵玉、绿色玻璃,在阴极发光下无荧光或仅见微小亮点,结构不可见。

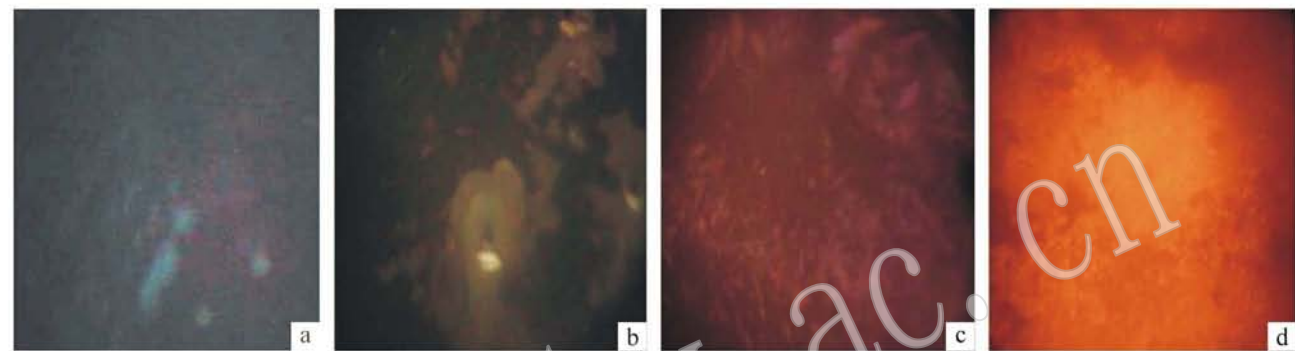


图 5 翡翠相似玉石的阴极发光图

Fig. 5 Photographs of other jades similar to jadeite under cathodoluminescence

a—钠长石玉; b—岫玉; c—软玉; d—水钙铝榴石

a—albite jade; b—serpentine; c—nephrite; d—hydrogrossular

不同的玉石品种因其结构和主要矿物中所含微量杂质元素的成分和质量分数不同,由此表现出的阴极发光结构和色调存在明显的差异(张龢等, 2000; 张晓晖等, 2002)。翡翠在阴极发光下可见荧光颜色丰富,以蓝紫、黄绿居多,而其相似玉石(如玛瑙、石英岩)的阴极发光现象不可见,软玉呈现单一的红色荧光,可见细小的粒状结构,水钙铝榴石的荧光颜色也仅为单一橘红色,颜色分布均匀,并且它们所呈现的颜色从未在翡翠中出现,可以此快速鉴别翡翠与其相似玉石。

## 3 讨论

### 3.1 阴极发光下荧光颜色分析

由于致色离子以及杂质离子的含量不同使翡翠呈现不同颜色,同时导致在阴极发光仪下翡翠标本的荧光颜色也各不相同,从实验得出的现象可见荧光颜色主要有 4 个系列。由于翡翠样本的限制,本文尚不能对各种颜色的翡翠在阴极发光下显现的结构和荧光颜色以及其原因进行结论性总结,但是根

据所得实验现象可做以下推测:

**红色系列:** 主要沿颗粒表面或边缘呈线状或点状分布,可勾勒出矿物颗粒形态和大小,但是未见荧光主要为红色的翡翠标本。翡翠的红色多由于受后期风化由赤铁矿导致,在红色样品中可见较多的红色条带,可推测是由于铁离子受高能电子束的激发而导致。

**黄绿色系列:** 该系列为多个翡翠标本中的常见荧光颜色,该颜色分布较均匀,带有绿色的翡翠标本在阴极发光下大多会出现黄绿色荧光,翡翠的黄色、绿色多为 Cr、Ti、Fe 等离子导致,阴极发光下的黄绿色可能与这些离子受高能电子束激发有关。

**蓝紫色系列:** 该颜色系列也较常见,颜色较强,且在蓝紫色边缘经常出现红色荧光,出现该颜色系列的翡翠样品颜色为浅色系列,如无色或白色系列。

**不可见光系列:** 透明度差和暗色翡翠标本在阴极发光显微镜下主要表现为黑色,结构不可见,可知标本本身的颜色、颗粒间裂隙、包体及裂隙间充填的杂质元素均可影响其发光性。

因此,阴极发光下荧光颜色对成分有标志意义,

可以通过分析荧光颜色差异,运用电子探针技术对特征的荧光颜色点进行测定,从而来分析翡翠的成分。

### 3.2 阴极发光下结构分析

阴极发光下部分样品可见晶体结晶完好,自形、半自形柱状为主,也有样品见碎裂结构以及大小不一的斑块状结构,这是因为实验所用翡翠标本质地不同。结构细腻者阴极发光可见结构紧密,相反,放大观察结构疏松者阴极发光下可见碎裂或斑块状,且其间裂隙不发光。

随着翡翠透明度、品质发生变化,阴极发光下的可见结构也存在很大差异,透明度好、质地好的翡翠在阴极发光下可见结构细腻、结合紧密。例如,白色翡翠结构松散,在阴极发光下可见明显的碎裂结构,而无色翡翠因其本身结构比较细腻,在阴极发光下结构镶嵌也较紧密,且荧光颜色较强。这说明翡翠本身的结构差异是阴极发光下出现不同结构特征的根本原因。

在阴极发光下部分样品可见明显的生长环带,环带荧光颜色由中部向边缘由弱变强,环带呈规则或不规则分布,多见于表现出黄绿色荧光的标本中。由于翡翠中硬玉颗粒受高能电子束的激发并结合自身所发出的绿、黄绿等不同色调组合,加上其自身结构和生长环境的影响,从而导致出现生长环带构造。

翡翠的结构从本质上是成因的反映,因此,研究翡翠的结构有助于分析翡翠的形成环境以及其他地质信息。由于翡翠的结构可以通过阴极发光的方法进行有效测定,因此翡翠在阴极发光下的结构差异有助于对翡翠的品质等级进行划分。

### 3.3 阴极发光在翡翠鉴别中的应用

在电子束的激发下,天然翡翠的颗粒呈紧密镶嵌状,晶粒发育较完整,可见环带发光结构;漂白充

填处理翡翠呈典型的碎粒发光结构,可见溶蚀现象,碎粒间隙充填物不发光;染色翡翠裂隙发育结构疏松。

翡翠的相似玉石品种阴极发光特征与翡翠有明显的区别,所表现的荧光颜色单一、均匀并且是翡翠所没有的,其结构与翡翠在阴极发光下的结构特征大不相同,因此可以借以区别翡翠与其相似品种。

## References

- Yuan Xinqiang, Qi Lijian and Zhang Sen. 2005. Characteristics of cathodoluminescence spectra of jadeite jades from Burma[J]. *Gems & Gemmology*, 7(2): 9~14 (in Chinese).
- Zhang Beili. 2006. *Systematic Gemmology*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 359~362 (in Chinese).
- Zhang Nai, He Jinfa and Guo Hongli. 2000. Identification of jadeite jade with cathode luminescence microscope[J]. *Gems & Gemmology*, 2(3): 13~16 (in Chinese).
- Zhang Xiaohui and Wu Ruihua. 2002. Distinguish jades from its treatment jewelry by cathode radiant device[J]. *China Gems & Jades*, 2(3): 61~63 (in Chinese).
- Zhou Ying. 2002. Cathode-Luminescence texture of jadeite and its gemological significance[J]. *Journal of Gems & Gemmology*, 4(3): 31~35 (in Chinese).

## 附中文参考文献

- 袁心强, 亓利剑, 张森. 2005. 缅甸翡翠的阴极发光光谱表征[J]. *宝石和宝石学杂志*, 7(2): 9~14.
- 张蓓莉. 2006. *系统宝石学*[M]. 北京: 地质出版社, 359~362.
- 张翥, 何锦发, 郭宏莉. 2000. 阴极显微发光下识别翡翠[J]. *宝石和宝石学杂志*, 2(3): 13~16.
- 张晓晖, 吴瑞华. 2002. 阴极发光镜下对翡翠及翡翠处理饰品的鉴别[J]. *中国宝玉石*, 2(3): 61~63.
- 周颖. 2002. 翡翠的阴极发光结构及其宝石学意义[J]. *宝石和宝石学杂志*, 4(3): 31~35.