

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T XXXXX—XXXX

珠宝玉石颜色测量 高光谱图像法

Color measurement of gems and jade-Hyperspectral image method

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(报批稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 方法原理 ..... 2

5 仪器设备 ..... 2

    5.1 系统组成 ..... 2

    5.2 高光谱相机 ..... 2

    5.3 照明体及其几何条件 ..... 2

6 样品 ..... 2

7 试验方法 ..... 2

    7.1 操作步骤 ..... 2

    7.2 注意事项 ..... 3

    7.3 影响测量结果的常见因素 ..... 3

8 试验数据处理 ..... 3

    8.1 总则 ..... 3

    8.2 获取反射比矩阵 ..... 3

    8.3 样品图像分割 ..... 4

    8.4 获取测试区域平均反射比光谱曲线数据 ..... 4

    8.5 表征样品颜色 ..... 4

9 结果表示 ..... 4

    9.1 包含信息 ..... 4

    9.2 表示方法 ..... 4

附录 A（资料性） 颜色表征值的计算 ..... 5

    A.1 求取相对色刺激函数 ..... 5

    A.2 计算三刺激值 ..... 5

    A.3 求取归一化常数 ..... 6

    A.4 色品坐标的计算方法 ..... 6

    A.5 CIE LAB 色空间坐标的计算 ..... 7

    A.6 计算颜色差异 ..... 7

附录 B（资料性） 测量结果记录示例 ..... 8

    B.1 测量条件 ..... 8

    B.2 测量结果记录 ..... 8

    B.3 测量几何条件 ..... 8

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国珠宝玉石标准化技术委员会（SAC/TC 298）归口。

本文件起草单位：天津市产品质量监督检测技术研究院、华津国检（深圳）金银珠宝检验中心有限公司、深圳市中达瑞和科技有限公司、深圳市海谱纳米光学科技有限公司、广东省珠宝玉石文化创意协会、深圳市兴中泰宝石有限公司。

本文件主要起草人：曹维宇、崔建军、李鹏、张宏忠、贾晓丹、梁洪易、李峰、吕鹏、肖柏汲、黄锦标、胡汝杰、刘智华、赵宗亮、张加伟、王文婧、陈程。

# 珠宝玉石颜色测量 高光谱图像法

## 1 范围

本文件规定了高光谱图像法测量珠宝玉石颜色的方法及要求。

本文件适用于高光谱图像法对珠宝玉石（具有特殊光学效应的除外）颜色的测量。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3977 颜色的表示方法

GB/T 3978—2008 标准照明体和几何条件

GB/T 3979 物体色的测量方法

GB/T 5698 颜色术语

GB/T 7921 均匀色空间和色差公式

GB/T 9086—2007 用于色度和光度测量的标准白板

GB/T 16552 珠宝玉石 名称

## 3 术语和定义

GB/T 3977, GB/T 3978, GB/T 3979, GB/T 5698, GB/T 7921, GB/T 9086, GB/T 16552界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**参比白板 white reference**

可见光波段内具有高光谱反射比、用于颜色测量中传递反射比及色度值的白板。

### 3.2

**测试区域 region of interest**

图像中具有特定意义的选定进行测试的区域。

### 3.3

**高光谱相机 hyperspectral imager**

基于多通道窄波段影像数据技术，能够同时获取目标二维影像和光谱信息的光学成像光谱仪器。

### 3.4

**高光谱图像 hyperspectral image**

通过高光谱相机拍摄得到的被摄场景的三维数据矩阵。此矩阵包含两个平面空间维度及一个光谱维度。

### 3.5

**颜色分布矩阵 color distribution matrices**

同时包含场景的颜色信息和空间分布信息的一类三维矩阵。此类矩阵包含三个维度，其中两个维度为空间维度，表示被摄场景中景物的空间位置。一个维度为颜色信息维度，描述每一个空间坐标点的颜色信息。

### 3.6

**哈达玛商 hadamard quotient**

矩阵的一类运算，若 $A=(a_{ij})$ 和 $B=(b_{ij})$ 是两个同阶矩阵，矩阵A中的每个元素分别除以矩阵B中的对应元素。

## 4 方法原理

高光谱相机获取被测物反射或透射的高光谱图像后,通过色度学计算将测试区域的光谱信息转换为颜色信息。利用高光谱图像法可以获取被测物的整体颜色信息,也可以获取选定的局部颜色信息,进而形成被测物外观的颜色分布图。

## 5 仪器设备

### 5.1 系统组成

高光谱图像颜色测量系统主要由三部分构成:高光谱相机、照明体及其几何条件、参比白板。

### 5.2 高光谱相机

用于珠宝玉石颜色测量的高光谱相机宜满足以下条件:

- a) 采用凝视型面阵成像方式;
- b) 测量波长范围一般 380 nm~780 nm,至少包含 420 nm~700 nm;
- c) 半波宽不大于 10 nm;
- d) 测量波长范围内,仪器中心波长偏差绝对值不大于 1 nm;
- e) 图像分辨率不小于 400 万像素。

### 5.3 照明体及其几何条件

#### 5.3.1 照明体

用于珠宝玉石颜色测量的照明体宜采用GB/T 3978—2008第4章规定的标准照明体。如采用其他照明体,可在结果中说明。

#### 5.3.2 几何条件

照明体通常由发光体及上下两个半球形漫反射罩组成,发光体宜为圆形均匀分布于下漫反射罩的底部,由下至上照明。光线经上漫反射罩反射后均匀地照射在样品及参比白板上。探测口位于上漫反射罩的正顶点,且探测口与样品间的连线和高光谱相机的光轴近于重合。

注:如需要也可采用其它几何条件的照明体,并在结果表示中说明。

### 5.4 参比白板

用于珠宝玉石颜色测量的参比白板宜采用符合GB/T 9086—2007中5.1和5.3规定的白板。

## 6 样品

为获得有效的高光谱图像,样品应注意:

- a) 样品宜具有较平整的测试面;
- b) 样品表面应保持清洁,特别是不应有对光线产生较强吸收的污染物、涂膜、镀膜等。

## 7 试验方法

### 7.1 操作步骤

7.1.1 遵照设备制造商的使用说明书操作,开启仪器。

7.1.2 根据样品情况选择合适的测量参数,如曝光时间、光圈等,避免出现曝光过度或曝光不足等情况。

7.1.3 放入参比白板,并准确对焦于其表面,采集参比白板的高光谱图像。

7.1.4 将待测样品置于不透明测试台面上,准确对焦后采集样品的高光谱图像。采集高光谱图像时,样品的摆放及测试区域的选择可借鉴对钻石、彩色宝石及玉石颜色目视观察与评定的方式,从而使测试结果与目视感知保持较好的一致性。

**示例 1：**对于具有较高彩度的刻面型彩色宝石，测试时宜台面向上放置，并选择位于台面或冠部的面积占比较大的明亮区域作为测试区域。

**示例 2：**对于无色至浅黄（褐、灰）色系列钻石，钻石腰平面宜平行于高光谱相机的光轴方向，并选择底尖位置作为测试区域，以避免过强的表面和内部反射造成的强烈曝光。

## 7.2 注意事项

操作中需注意：

- a) 当参比白板表面有明显的污损时，应及时进行清洁或更换；
- b) 每件样品宜选取不少于两个有代表性的、不同位置进行测试。

## 7.3 影响测量结果的常见因素

### 7.3.1 光谱分辨率

高光谱相机通过记录被测物的光谱信息来计算颜色信息，其光谱的准确度受到高光谱相机的光谱分辨率限制。在相机选择时，宜符合 5.2。

### 7.3.2 采集的波长数量和分布

通过记录有限数量的波长下的高光谱图像来分析被测物的颜色信息时，高光谱相机采样的波长点越多，分布越均匀，结果越准确。但过密的采样，会造成高光谱数据量过大，不利于数据转换及保存。一般采样间隔设置在 5~10nm 效果较好。

### 7.3.3 过高曝光度

由于光照强度过高、样品反射过强或荧光效应等原因，会造成高光谱相机对应像素区域接收过量光线而出现过度饱和的现象，从而无法准确还原该位置的光谱。此时可降低高光谱相机的曝光时间或缩小光圈，以防止出现过度曝光的情况。

### 7.3.4 机械振动和移动

在采集高光谱图像时，如受到较强的机械振动或移动，会导致样品的位置发生偏移，采集的高光谱图像效果不佳。可采取将高光谱相机及样品放置或固定于稳定的工作台等方式，以避免机械振动和移动的影响。

### 7.3.5 样品的夹持与摆放

样品的夹具、托架以及摆放可能会对测量（特别是透明珠宝玉石样品）的结果产生影响。如镶嵌样品的镶嵌金属可能会对样品颜色的色调、明度等数值产生影响。可通过调整摆放方向、隔离影响源等方法，减少相应的影响。

## 8 试验数据处理

### 8.1 总则

使用高光谱图像进行颜色测量，通常包括以下步骤：获取反射比矩阵，样品图像分割，获取测试区域平均反射比光谱曲线数据，表征样品颜色。

### 8.2 获取反射比矩阵

反射比矩阵可以通过以下公式获得：

$$\mathbf{R}(\mathbf{A}, \lambda) = \mathbf{H}(\mathbf{A}, \lambda) \oslash \mathbf{W}(\mathbf{A}, \lambda) \cdots \cdots \cdots (1)$$

式中：

$\mathbf{H}(\mathbf{A}, \lambda)$ ——样品的高光谱图像；

$\mathbf{W}(\mathbf{A}, \lambda)$ ——参比白板的高光谱图像；

$R(A, \lambda)$ ——反射比矩阵。

### 8.3 样品图像分割

图像分割是在高光谱图像中将选定整体或局部图像中的像素提取出来，即生成测试区域，同时去除这些测试区域中的过曝光区域和坏点等。对于多个样品同时拍摄的场景，图像分割还需要将多个测试区域划分给对应的样品。

注：图像分割可采用多种方法，包括手动分割选取和程序自动分割选取等。

### 8.4 获取测试区域平均反射比光谱曲线数据

高光谱反射比矩阵代表高光谱图像中每一个空间像素的光谱反射比。按8.3生成测试区域后，通过高光谱相机软件系统可获取测试区域平均反射比光谱曲线数据。

### 8.5 表征样品颜色

使用测试区域平均反射比光谱曲线数据，参考附录A中的公式，可计算得到测试区域的颜色三刺激值和色品坐标等数据。依据GB/T 7921等相关标准，利用三刺激值可以计算得到均匀色空间下的珠宝玉石样品上测试区域的颜色表征值。

注：样品整体颜色的表征可采用多个测试区域颜色表征值的算术平均数表示。

## 9 结果表示

### 9.1 包含信息

测试报告中包含测试设备信息、测试条件及样品信息：

- a) 测量时使用仪器的型号、波长范围和波长间隔等；
- b) 测量时采用的测量几何条件、照明体、色度观察者。如采用特殊几何条件、测量方法或色度计算公式应明确加以说明或标注；
- c) 有关样品的情况，如名称（符合GB/T 16552）、材质、测试区域等。

### 9.2 表示方法

9.2.1 测量结果可表示为三刺激值及色品坐标，宜采用符号形式以及文字说明（参考附录B）。测量值的表示按GB/T 3977的规定。一般在CIE 1931标准色度系统中，采用三刺激值或者刺激值Y和色品坐标x、y表示测量结果；在CIE 1964标准色度系统中，采用三刺激值或者刺激值Y<sub>10</sub>和色品坐标x<sub>10</sub>、y<sub>10</sub>表示测量结果；也可按GB/T 7921的规定，用CIE LAB均匀色空间表示物体色的测量结果。如采用其它颜色空间值应明确加以说明或标注。

9.2.2 三刺激值、刺激值Y及CIE LAB均匀色空间L\*a\*b\*值宜保留至小数点后两位，色品坐标x、y值宜保留至小数点后四位。

## 附录 A (资料性) 颜色表征值的计算

### A.1 求取相对色刺激函数

相对色刺激函数可以使用以下方式获取：

$$\varphi(\lambda) = R(\lambda)S(\lambda) \quad (\text{A.1})$$

式中：

$\varphi(\lambda)$ ——相对色刺激函数；

$S(\lambda)$ ——CIE标准照明体的相对光谱功率分布；

$R(\lambda)$ ——物体色的光谱反射比。

### A.2 计算三刺激值

A.2.1 三刺激值的计算以GB/T 3979为基础，根据CIE的建议，将相对色刺激函数乘以CIE色匹配函数，在可见光谱400 nm～700 nm的范围内进行积分，得到X、Y、Z三刺激值。在实际计算中，采用求和的方法代替积分。

A.2.2 CIE 1931 标准色度系统三刺激值的计算公式如下：

$$\begin{aligned} X &= k \sum_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda \\ Y &= k \sum_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda \\ Z &= k \sum_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

式中：

$\varphi(\lambda)$ ——相对色刺激函数；

$X, Y, Z$ ——CIE 1931标准色度系统三刺激值；

$k$ ——归一化系数；

$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ ——CIE 1931标准色度观察者匹配函数；

$\Delta\lambda$ ——波长间隔；

$\lambda$ ——波长，范围一般为400 nm ～ 700 nm。

A.2.3 CIE 1964 标准色度系统三刺激值的计算公式如下：

$$\begin{aligned} X_{10} &= k_{10} \sum_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{x}_{10}(\lambda) \Delta\lambda \\ Y_{10} &= k_{10} \sum_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) \Delta\lambda \\ Z_{10} &= k_{10} \sum_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{z}_{10}(\lambda) \Delta\lambda \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

式中：

$\varphi(\lambda)$ ——相对色刺激函数；

$X_{10}, Y_{10}, Z_{10}$ ——CIE 1964标准色度系统三刺激值；

$k_{10}$ ——归一化系数；

$\bar{x}_{10}(\lambda), \bar{y}_{10}(\lambda), \bar{z}_{10}(\lambda)$ ——CIE 1964 标准色度观察者匹配函数；



$\Delta\lambda$  ——波长间隔；  
 $\lambda$  ——波长，范围为400 nm～ 700 nm。

### A.3 求取归一化常数

A.3.1 节2.2 中的归一化常数可以用下式求取：

$$k = \frac{100}{\sum_{\lambda} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda} \quad \text{..... (A.4)}$$

式中：

$k$  ——归一化系数；  
 $S(\lambda)$  ——CIE标准照明体的相对光谱功率分布；  
 $\bar{y}(\lambda)$  ——CIE 1931 标准色度观察者匹配函数；  
 $\lambda$  ——波长，范围一般为400 nm～ 700 nm。

A.3.2 节2.3 中的归一化常数可以用下式求取：

$$k_{10} = \frac{100}{\sum_{\lambda} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) \Delta\lambda} \quad \text{..... (A.5)}$$

式中：

$k_{10}$  ——归一化系数；  
 $S(\lambda)$  ——CIE标准照明体的相对光谱功率分布；  
 $\bar{y}_{10}(\lambda)$  ——CIE 1964 标准色度观察者匹配函数；  
 $\lambda$  ——波长，范围一般为400 nm～ 700 nm。

### A.4 色品坐标的计算方法

A.4.1 CIE 1931 标准色度系统的色品坐标 $x$ ,  $y$ ,  $z$ 的计算公式如下：

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X + Y + Z} \\ y &= \frac{Y}{X + Y + Z} \quad \text{..... (A.6)} \\ z &= \frac{Z}{X + Y + Z} \end{aligned}$$

式中：

$x$ ,  $y$ ,  $z$  ——CIE1931 标准色度系统色品坐标；  
 $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  ——CIE 1931标准色度系统三刺激值。

A.4.2 CIE 1931 标准色度系统的色品坐标 $x$ ,  $y$ ,  $z$ 的计算公式如下：

$$\begin{aligned} x_{10} &= \frac{X_{10}}{X_{10} + Y_{10} + Z_{10}} \\ y_{10} &= \frac{Y_{10}}{X_{10} + Y_{10} + Z_{10}} \quad \text{..... (A.7)} \\ z_{10} &= \frac{Z_{10}}{X_{10} + Y_{10} + Z_{10}} \end{aligned}$$

式中：

$x_{10}$ ,  $y_{10}$ ,  $z_{10}$  ——CIE1964 标准色度系统色品坐标；

$X_{10}$ ,  $Y_{10}$ ,  $Z_{10}$  ——CIE 1964标准色度系统三刺激值。

#### A.5 CIE LAB 色空间坐标的计算

从CIE 1931标准色度系统转换至CIE 1976的CIE LAB色空间坐标，依据GB/T 7921可以用以下公式完成：

$$\begin{aligned} L^* &= 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16, \frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \\ a^* &= 500 \left[ \left( \frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right], \frac{X}{X_n} > 0.008856 \dots\dots\dots (A.8) \\ b^* &= 200 \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right], \frac{Z}{Z_n} > 0.008856 \end{aligned}$$

式中：

$L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ——三维直角坐标系统的坐标值；

$X_n$ ,  $Y_n$ ,  $Z_n$  ——完全漫反射表面的三刺激值。

#### A.6 计算颜色差异

在LAB色空间下，可以使用下式衡量两个色刺激之间的颜色差异之大小：

$$\Delta E_{ab}^* = \left[ (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (A.9)$$

式中：

$\Delta E_{ab}^*$  ——两种相比较的色刺激之间的色差大小；

$\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  ——两种相比较的色刺激的每一个分量之差。

附 录 B  
(资料性)  
测量结果记录示例

B.1 测量条件

测量条件：测量透明刻面宝石A样品的冠部明亮区域颜色，使用Z型高光谱相机，波长范围380 nm～780 nm，采用8° 照明，漫射接收几何条件，选用标准照明体D65，CIE 1931标准色度观察者，波长间隔10 nm。

B.2 测量结果记录

测量结果记录：使用Z型高光谱相机，波长范围380 nm～780 nm， $\Delta \lambda = 10 \text{ nm}$ 。

B.3 测量几何条件

测量几何条件：8°，D65，2° 标准色度观察者；透明刻面A宝石（冠部明亮区域颜色）：X=76.49，Y=81.15，Z=81.12，x=0.3204，y=0.3399。

---