

文章编号: 1009-6248(2004)02-0048-05

绿松石颜色指数分析

栾丽君¹, 姚爱民¹, 韩照信¹, 王朝友², 张玉伟³

(1. 长安大学地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 中铁一局桥梁处物理中心, 陕西 渭南 714000; 3. 辽宁省公路勘测设计公司, 辽宁 沈阳 110005)

摘 要: 绿松石是一种由含铜、铝和水的磷酸盐矿物 ($\text{CuAl}_6[\text{PO}_4]_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 组成的天然玉石原料。从石器时代到现在, 绿松石已有 6 000~7 000 年的昌盛历史, 特别是穆斯林国家, 把它作为吉祥、辟邪的象征, 相传古代由土耳其传往欧洲, 又被称为“土耳其玉”。另外, 绿松石还可做装饰品、雕刻材料等。世界上出产绿松石的国家主要有中国、美国、前苏联、埃及和伊朗等。中国绿松石矿早已驰名中外, 主要分布在东秦岭, 尤其集中在陕西与湖北交界的武当山隆起西南缘。绿松石最大的特点是它的颜色从天蓝到绿色醒目而明媚。随着自然科学的发展, 对颜色的认识不断加深, 从定性到定量颜色指数可以准确地描述颜色特征, 笔者利用色度学原理, 通过反射率测定, 首次把金属矿物颜色指数分析方法应用于绿松石, 分析了 4 个不同颜色绿松石的颜色指数, 成功地实现了绿松石颜色的定量表示。

关键词: 颜色指数; 色度学; 反射率; 定量表示

中图分类号: P542⁺. 2 **文献标识码:** A

1 绿松石简介

初步查明, 陕西省目前有绿松石矿床、矿点 25 处, 其中以白河月儿潭绿松石矿床为主要矿床。这一矿床与湖北郧县云盖寺绿松石矿床属同一成矿带。在调查研究中, 我们采集到了湖北郧县云盖寺绿松石矿床杨柿沟矿点绿松石, 将其作为标本, 从如下几个方面进行了探讨。

1.1 矿区地质

1.1.1 含矿岩系

寒武系硅质板岩为主要含矿岩系^[1]。该套地层控制着绿松石矿化分布。目前, 所知下寒武统水沟口组为主要矿层, 其次是中寒武统岳家坪组, 以白河县月儿潭绿松石矿床为代表。该矿层向东南延至湖北, 由于地层褶皱作用造成矿化层反复出露, 层位本身稳定且多夹含磷层。

1.1.2 成矿构造

本区绿松石成矿构造多围绕古陆边缘分布, 主要是武当山古陆, 其次是平利和牛山古陆; 北西向深大断裂在成矿成岩中既是导矿构造, 又是控矿构造, 多呈平行断裂组分布, 且被晚期近东西向断裂错动。本区褶皱以北西向紧闭的背斜构造为主, 其核部多为下寒武统水沟口组含矿地层, 而其两侧的中寒武统岳家坪组多属矿化层。由于在褶皱构造基础上叠加了多期次的 NW 向断裂活动, 所以形成的层间氧化带多属含矿破碎带, 且控制着绿松石矿(化)点分布, 其中次级裂隙带多属绿松石含矿构造。

绿松石主要富集在层间裂隙和节理中, 一般呈结核状、脉状产出, 单个矿体规模一般长 20~100 cm, 厚 1~20 cm, 延深 10~80 cm。产出的绿松石质量较高, 多属特级和甲级品。

与绿松石共生的矿物有: 多水高岭石, 胆矾及

收稿日期: 2003-10-13; 修回日期: 2003-11-13

基金项目: 陕西省科委项目“陕西省宝玉石资源调查与研究”(97D03)

作者简介: 栾丽君(1976-), 女, 内蒙古开鲁县人, 硕士研究生, 助教, 现从事矿物及材料学教学与研究工作。

铁质矿物, 还有碳质粉末。

从成矿岩层顶、底板的岩性和矿石的结构、构造组分以及共生矿物来看, 绿松石应是冷水淋滤充填形成, 是含铜的地表水溶液与含铝和磷的矿物作用形成。绿松石成因应属碳质硅质板岩沉积淋滤型。

1.2 工艺性质

1.2.1 颜色

绿松石作为玉石, 很重要的特征是有独特的蔚蓝色。绿松石的蓝色不仅与 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 有关, 而且与成分中水的存在有关, 研究表明, 随 CuO 含量降低, Fe_2O_3 含量增加, 绿松石颜色由天蓝色转变为绿色、黄绿色, 绿松石特别鲜艳的天蓝色还由于在大量的微裂隙空洞中存在着数量很大的吸附水, 如果失去水, 则绿松石由天蓝色转变为黄绿色^[2]。

绿松石的颜色从好到差依次为蔚蓝色、蓝色、蓝绿色、绿色、黄绿色, 通常根据绿松石颜色的深浅、蓝绿颜色比例及均匀程度划分绿松石等级的优劣。

1.2.2 硬度和质地

硬度和质地也是绿松石重要的工艺性质, 二者关系密切, 一般来说, 硬度大者, 质地致密, 且不透明。硬度也随颜色变差而降低, 风化作用使绿松石颜色变差, 也使其硬度降低。

1.2.3 块度大小及要求

绿松石多加工成各种饰品及护身符, 对浅蓝色及淡绿色绿松石的标准块度要求是: 厚度大于 10 mm, 重 7~8 g, 蔚蓝色绿松石可更薄, 但重量必须大于等于 4 g, 前者价值 70 美元/kg, 后者价值 1 300 美元/kg。

2 色度学基本原理

2.1 三原色原理

颜色感觉的过程是一系列复杂的生理及心理变化的过程。在颜色视觉实验中, 最重要的实验是色匹配实验。实验表明, 用红、绿、蓝三原色不同比例相混合, 能够得到许多不同的颜色。人们常说的三色原理, 就是说任何一个颜色都能用线性无关的三个原色的适当比例相加混合与之匹配。所谓“线性无关”是指三原色中的任何一个都不能用其余两个混合而得到, 这三个色是彼此独立的, 故称之为原色。三原色的选取是无硬性规定的, 一般都选取光谱中的单色作为原色, 并使它们的组合能匹配出

尽量多的颜色。

2.2 三刺激值

所谓三刺激值是以 R、G、B 为三原色匹配等能光谱的每一光谱色, 可以得到每一波长的光谱色的一组 R、G、B 值, 称这些值为等能光谱的刺激值, 因为对每一光谱色都有 3 个数 (在某些波长上只有两个数), 故称为光谱三刺激值。

2.3 表征颜色的三要素^[3]

明度: 人眼对物体的明亮感觉, 物体反射光和透射光之和的强度越大, 明度越高, 反之亦然。

色调: 指颜色的种类, 它与光的波长有关。

饱和度: 指颜色的浓淡程度, 以光谱色最高或最大, 纯白色的饱和度为零。

2.4 波长和饱和度标记法

这是一种由赫姆霍耳茨提出的用主波长 λ_e 和饱和度 P_e 表示的颜色规格。二者利用色度图中的色度坐标作出。设色度坐标点为 C (x, y), 将 C 点与白点 E 连接, 并延长与光谱轨迹相交于 λ_e , 则 λ_e 点在光谱轨迹上的波长数, 即为这一颜色光的主波长 λ_e 。所谓主波长, 就是指这一颜色的主要色调成分。C 点在 $E\lambda_e$ 连线中的位置, 代表这一颜色的饱和度。若以 P_e 表示饱和度, 则 $P_e = EC/E\lambda_e$, EC 、 $E\lambda_e$ 分别代表光源点与坐标点和光源点与主波长点间的距离。

2.5 光源的颜色

对一具有较复杂光谱成分的光源来说, 它的相对功率分布函数用 $P(\lambda)$ 来表示, 则这个光源的三刺激值可用下式计算:

$$\begin{aligned} X &= \int_{400}^{700} P(\lambda) \bar{x}_{\lambda} d\lambda, \\ Y &= \int_{400}^{700} P(\lambda) \bar{y}_{\lambda} d\lambda, \\ Z &= \int_{400}^{700} P(\lambda) \bar{z}_{\lambda} d\lambda. \end{aligned}$$

2.6 物体的颜色

物体的颜色可以看作是物体对照明光的调剂作用。所以物体色的三刺激值可用下式计算:

$$\begin{aligned} X &= \int_{400}^{700} P(\lambda) \varphi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, \\ Y &= \int_{400}^{700} P(\lambda) \varphi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \\ Z &= \int_{400}^{700} P(\lambda) \varphi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda. \end{aligned} \quad (1)$$

对反射样品来说, $\varphi(\lambda)$ 是样品的光谱反射系数。

3 绿松石颜色指数分析

笔者对不同颜色的绿松石做了反射光谱测试。设备: 西德 LEITZ ORTHOPLAN MPV-3 显微光度计; 光源: 色温为 3 000 K 的钨卤灯, 基本可看作标准照明体 S_A (2 856 K)。测试样品反射率曲线 (图 1), 反射率值 (表 1)。

从测试的反射率结果及反射率曲线可以看出: 绿松石的反射率曲线在 400 nm 处的值为 0; 在 400~410 nm, 曲线较陡; 在 410~700 nm, 基本较平滑。笔者利用色度学原理及金属矿物颜色指数的分析方法, 对测得的反射率值分别进行了颜色指数分析。

颜色指数 视觉反射率: $R_{vis} = Y$

$$\text{色度坐标值: } x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad (2)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}.$$

颜色主波长: λ_d

$$\text{颜色饱和度: } P_e = \frac{S_A C}{S_A \lambda_d}$$

(刺激纯度)

根据式 (1), 利用不同样品的反射率值 (表 1) 和光源 S_A 光谱功率分布值 (P_λ) 与三色函数 $\bar{x}_\lambda, \bar{y}_\lambda, \bar{z}_\lambda$ 的乘积^[4], 计算出各绿松石样品色的三刺激值 X 、 Y 、 Z (表 2), 再把 X 、 Y 、 Z 代入式 (2), 得色温为 3 000 K 光源下, 绿松石反射率色度坐标值 (表 3)。

表 1 绿松石反射率值 (%)

Tab. 1 The reflectance of turquoise

波长 (nm)	Y_1			Y_2			Y_4			Y_5	
	Y_{1-1}	Y_{1-2}	Y_{1-3}	Y_{2-1}	Y_{2-2}	Y_{2-3}	Y_{4-1}	Y_{4-2}	Y_{4-3}	Y_{5-1}	Y_{5-2}
410	9.07	8.06	8.06	7.06	7.06	7.06	8.25	7.33	7.33	7.06	8.06
420	8.25	7.66	7.66	5.89	5.89	6.48	7.24	6.68	6.68	5.89	7.07
430	7.75	7.39	7.75	5.91	5.91	5.91	7.02	6.65	5.28	5.91	6.65
440	7.78	7.51	7.78	5.90	5.90	5.90	6.87	6.36	5.85	6.70	7.24
450	7.71	7.51	7.71	5.73	5.73	5.73	6.65	6.08	5.89	6.52	7.31
460	7.45	7.31	7.60	5.52	5.52	5.67	6.61	6.02	5.58	6.41	7.31
470	7.63	7.51	7.63	5.45	5.45	5.69	6.62	6.03	5.56	6.66	7.39
480	7.46	7.46	7.77	5.46	5.57	5.67	6.51	5.99	5.57	6.83	7.46
490	7.59	7.40	7.77	5.53	5.62	5.71	6.37	5.83	5.46	7.02	7.68
500	7.36	7.52	7.75	5.56	5.56	5.56	6.40	5.70	5.47	7.13	7.83
510	7.55	7.49	7.74	5.60	5.54	5.66	6.34	5.79	5.36	7.30	8.24
520	7.45	7.50	7.75	5.58	5.53	5.58	6.29	5.71	5.27	7.45	8.40
530	7.29	7.38	7.56	5.48	5.48	5.61	6.17	5.63	5.32	7.47	8.37
540	7.24	7.38	7.61	5.47	5.42	5.56	6.09	5.64	5.23	7.65	8.43
550	7.15	7.19	7.52	5.50	5.36	5.45	6.11	5.59	5.27	7.62	8.37
560	7.16	7.16	7.52	5.46	5.41	5.61	6.10	5.60	5.26	7.77	8.42
570	7.04	6.99	7.36	5.44	5.39	5.50	6.12	5.58	5.20	7.63	8.43
580	7.06	7.06	7.29	5.40	5.40	5.45	5.99	5.48	5.14	7.58	8.44
590	6.83	6.89	7.20	5.39	5.32	5.45	5.89	5.39	5.14	7.52	8.27
600	6.77	6.83	7.04	5.40	5.40	5.40	5.92	5.44	5.09	7.31	8.13
610	6.77	6.85	6.92	5.45	5.45	5.52	5.85	5.39	5.00	7.23	8.01
620	6.69	6.69	6.95	5.39	5.30	5.39	5.91	5.47	5.12	7.12	7.91
630	6.74	6.74	6.96	5.33	5.44	5.55	5.81	5.37	5.04	7.07	7.83
640	6.66	6.66	6.89	5.44	5.33	5.44	5.98	5.54	5.09	7.00	7.55
650	6.70	6.70	6.88	5.47	5.47	5.47	5.85	5.39	5.12	6.98	7.54
660	6.53	6.53	6.78	5.34	5.34	5.43	5.73	5.39	5.05	6.78	7.38
670	6.53	6.53	6.73	5.34	5.15	5.24	5.72	5.42	5.01	6.77	7.32
680	6.61	6.74	6.87	5.42	5.55	5.42	5.55	5.42	4.89	6.74	7.40
690	6.77	6.59	6.77	5.38	5.38	5.55	5.83	5.48	5.13	6.77	7.29
700	6.46	6.46	6.68	5.34	5.34	5.34	5.62	5.62	5.15	6.68	7.35

注: Y_{1-1} , Y_{1-2}为样号。

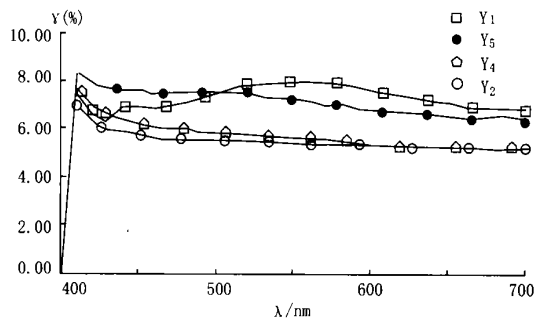


图 1 绿松石反射率曲线

Fig. 1 The curves of reflectance on turquoise

表 2 绿松石三刺激值 (反射率以整数计)

Tab. 2 Tristimulus values of turquoise (reflectance is denoted by integer)

样品号	X	Y	Z
Y ₁	763.091 383	668.970 773	269.477 010
Y ₂	594.832 992	511.654 438	202.035 528
Y ₄	606.154 983	524.323 351	219.176 605
Y ₅	837.164 560	733.805 272	248.195 643

表 3 绿松石色度坐标值

Tab. 3 The chroma coordinate of turquoise

	Y ₁	Y ₂	Y ₄	Y ₅
x	0.448 5	0.454 6	0.449 1	0.460 2
y	0.393 2	0.391 0	0.388 5	0.403 3

已知 S_A (0.447 6, 0.407 5), 把色坐标点分别投在色品图上, 光源点 S_A 到色品点连线反向延长与光谱轨迹分别交于各主波长点, 按前述方法求出各样品刺激纯度和视觉反射率 (表 4)。

表 4 绿松石颜色主波长、刺激纯度和视觉反射率值

Tab. 4 The main wavelength, stimulation purity and vision reflectance

	Y ₁	Y ₂	Y ₄	Y ₅
主波长 (nm)	567	555	576	498.5
刺激纯度	0.119 0	0.074 1	0.153 8	0.044 4
视觉反射率 (%)	6.69	5.12	5.24	7.34
实验测定颜色	黄绿色	绿色	黄绿色	蓝绿色
肉眼观察颜色	蓝绿色	苹果绿色	天蓝色	淡青绿色

4 结论

本文在探讨了陕南与湖北绿松石成矿带地质特

征及绿松石工艺特征的基础上, 对绿松石颜色定量表示进行了进一步研究。金属矿颜色指数分析方法对绿松石颜色的首次应用获得成功。从实验观测及计算结果可归纳为两点:

(1) 湖北郧县绿松石主波长在 498.5~ 576 nm, 比实际颜色偏绿。

笔者总结其原因有: 根据前人研究, 主波长小于 572 nm 者实际色感要比主波长偏小; 人们日常是在自然光下观察物体的颜色, 理论上的主波长值与肉眼观察到的颜色必然有一定的差距; 绿松石细小透明度低, 它的颜色应该是反射色和透射色的混合色。通过实验测定的是绿松石的反射色, 与实际颜色应有一定偏离。

(2) 湖北郧县绿松石的饱和度在 0.044 4~ 0.153 8, 符合实际观察到的绿松石颜色的浓淡程度, 符合颜色波长分级与饱和度之间的关系。

参考文献:

[1] 涂怀奎. 陕鄂相邻地区绿松石矿地质特征 [J]. 陕西地质, 1996, 14 (2) .
TU Hua-kui. Geology characteristics of Turquoise ore in the neighbour region between Shaanxi Province and Hubei Province [L]. Shaanxi Geology. 1996, 14 (2) .
[2] 潘建强. 绿松石的工艺性质及主要产出类型和特征 [L]. 国外非金属矿与宝石, 1991, (1) .
PAN Jian-qiang. Technical qualities and the main productive types and characteristics [L]. Foreign non-metal minerals and Jewelry, 1991 (1) .
[3] 吕新彪, 等. 天然宝石人工改善及检测的原理与方法 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.
LÜ Xin-biao. The Theories and methods of man made enhancement and examination of natural jewelry [M]. Wuhan: Chinese Geology University Press, 1997.
[4] 陈正, 等. 金属矿颜色指数研究 [M]. 北京: 地质出版社, 1979.
CHEN Zheng. The color index study on metal mineral [M]. Beijing: Geology Press, 1979.
[5] 郝郅祥, 等. 光度学 [M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1988.
HAO Yun-xiang. Photometry [M]. Beijing: Beijing Normally University Press, 1988.

The color index analysis of turquoise

LUAN Li-jun¹, YAO Ai-m in¹, HAN Zhao-xin¹,
WANG Chao-you², ZHANG Yu-wei³

(1. School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Logistics Management Center of Bridge Department, China Railway No. 1 Bureau, Weinan 714000, China; 3. Liaoning Highway Surveying and Designing Company, Shenyang 110005, China)

Abstract: Turquoise is a kind of natural jade and stone stuff which consists of Cu , Al and H_2O bearing phosphate ($\text{CuAl}_6[\text{PO}_4]_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). From the Stone Age to nowadays, turquoise has a prosperous history for 6 000~ 7 000 years. To Moslem, turquoise is considered a kind of luck and talisman. A tradition about turquoise is that it was introduced to Europe from Turkey, so turquoise has also been called "turkey jade", in addition, turquoise can also be used as adornment and carve stuff. In the world, Chinese, America, pre-Russia, Egypt and Iran, and so on, are the main turquoise productive countries. Chinese turquoise has been well-known for a long time, and the deposits are situated in East Qinling, particularly center in south west edge of Wudang mountain upheaval. Turquoise's main trait is its color that is from sky blue to green, striking, radiant and enchanting. Along with the development of the natural science people deepen the color knowledge gradually, for example, written language description is not contented to the needs in some field, and the need is quantitative analysis. Color index can show the characteristics of color exactly. For adapting the development, the authors use the metal-bearing ore's color index analysis for the first time through reflectance determining and the colorimetry theory, and analyses 4 turquoises' color index in various color. So the color of turquoise is quantitated successfully.

Key words: color index; colorimetry; reflectivity; quantitative denotation