

# 几种颜色测量方法的比较

李宏光<sup>1,2</sup>, 吴宝宁<sup>1</sup>, 施浣芳<sup>2</sup>, 袁良<sup>1</sup>, 杨峰<sup>1</sup>, 俞兵<sup>1</sup>, 曹锋<sup>1</sup>

(1. 西安应用光学研究所 国防科工委光学计量一级站, 陕西 西安 710065;

2. 西安工业学院 光电科学与工程学院, 陕西 西安 710032)

**摘要:** 本文回顾了颜色测量的历史, 分析比较了目视法、光电积分法和分光光度法三类颜色测量方法, 重点阐述了目前最先进的测色方法——光电摄谱法。简述了目前国内外测色仪器的产品现状, 展望了仪器测色的发展趋势。

**关键词:** 颜色测量; 光电摄谱法; 测色仪; 小型化

中图分类号: O432.3

文献标识码: A

## The Comparison of Multicolor Measurement Methods

LI Hong-guang<sup>1,2</sup>, WU Bao-ning<sup>1</sup>, SHI Huan-fang<sup>2</sup>, YUAN Liang<sup>1</sup>,

YANG Feng<sup>1</sup>, YU Bing<sup>1</sup>, CAO Feng<sup>1</sup>

(1. Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China;

2. Xi'an Institute of Technology, Xi'an 710032, China)

**Abstract:** Three methods of color measurement such as visualization, photoelectric integration and spectrophotometry are analyzed and compared. The most advanced method of color measurement is photoelectric spectrography. The history of color measurement is reviewed. The status quo of colorimeters being used at home and abroad is introduced briefly. The prospect of the colorimeters is discussed.

**Keywords:** color measurement; photoelectricity spectrograph; colorimeter; miniaturization

## 引言

随着我国工业的发展, 颜色已经成为评定许多产品质量的重要指标。在许多行业, 颜色的技术指标越来越重要<sup>[1]</sup>。产品颜色测量不准确或者不同位置的色差识别不准, 将会造成次品或废品, 给企业带来严重的经济损失。现在对颜色测量要求不仅精度高, 还要求测量快捷、方便。这给我国颜色测量和控制带来前所未有的机遇。

颜色测试仪器应用行业较广, 可应用于国防、纺织印染、化妆品、造纸、油漆、塑料、交通、医药、汽车和家电等行业, 市场前景十分广阔。

在国防上很多大型武器都有保护色, 这些保护色需要进行严格配方; 在油漆业中, 建筑乳胶漆、油

性漆的生产、检测及验收等工序都需要颜色测试; 在纺织印染行业中, 几乎每道工艺都要求颜色测试, 如棉花的验收分级、纱线检测及布的漂染都要求颜色检测; 在交通行业中, 由于公路的大力发展, 公路上的标志、标线对颜色测试的需求很大。

颜色的测量包括光源颜色的测量与物体色的测量两大类。物体色测量又分为荧光物体测量和非荧光物体测量。在实际生产和日常生活中, 涉及到大量的非荧光物体测色<sup>[2]</sup>。现有的颜色测量方法有目视法、光电积分法和分光光度法三种<sup>[3]</sup>。

## 1 目视法

目视法是一种最传统的颜色测量方法。具体做

法是由标准色度观察者在特定的照明条件下对产品进行目测鉴别, 并与 CIE(国际照明委员会)标准色度图比较, 得出颜色参数。人的眼睛虽有优异的视觉功能, 但是不能准确识别微细的色彩差异, 常出现色彩判断失误<sup>[4]</sup>。用这种方法测量的结果精度低, 操作麻烦。

## 2 光电积分法

### 2.1 测量原理

现代色度学的发展为仪器客观地评价颜色奠定了基础。光电积分法是 20 世纪 60 年代仪器测色中采用的常见方法。光电积分法不是测量某一波长的色刺激值, 而是在整个测量波长区间内, 通过积分测量测得样品的三刺激值  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ , 再由此计算出样品的色品坐标等参数。通常用滤光片覆盖在探测器上, 把探测器的相对光谱灵敏度  $S(\lambda)$  修正成 CIE 推荐的光谱三刺激值  $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 。用这样的三个光探测器接收光刺激时, 就能用一次积分测量出样品的三刺激值  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 。滤光片需满足卢瑟条件, 以精确匹配光探测器。在实际的滤色修正中, 由于色玻璃的品种有限, 仪器不可能完全符合卢瑟条件, 只能近似符合。应用部分滤光片法可使  $x(\lambda)$  和  $z(\lambda)$  曲线的匹配积分误差小于 2%,  $y(\lambda)$  曲线的匹配积分误差小于 0.5%。

### 2.2 光电积分式仪器

光电积分式仪器由光源、探测器、数据处理器和输出单元四部分组成。探测器一般是三个带有修正滤光片组的光电管或大面积硅光电二极管(在要求仪器有较高灵敏度的场合下采用光电倍增管)。

光电积分式仪器不能精确测量出色源的三刺激值和色品坐标, 但能准确测出两个色源之间的差别, 因而又被称为色差计。国外色差计从上世纪 60 年代开始大量生产, 如日本美能达台式色差计 CR-400/410、色彩色差计 CR-321。我国从上世纪 80 年代初开始研制这类仪器, 如北京光学仪器厂生产的 TG-PIIG 全自动测色色差计, 但和国外相比, 我国研制的色差计台间差较大。彩色亮度计也是一种光电积分式仪器, 通过望远镜系统对远距离目标进行颜色参数测量。

## 3 分光光度法

### 3.1 测量原理

分光光度法通过测量光源的光谱功率分布或

物体反射光的光谱功率, 来计算颜色三刺激值, 进而由此计算出各种颜色参数<sup>[5]</sup>。它通过探测样品的光谱成分确定其颜色参数, 所以精度非常高。在大多数颜色测量中常采用物体反射色测量。

### 3.2 测量方法

#### 3.2.1 按照光谱组成划分

按照光路组成的不同, 分光光度法可分为单光束分光测色法和双光束分光测色法。

单光束分光测色法只采用一个分光器件和一个探测器。测量时, 通过比较参照物和样品在同一波长上反射的单色辐射功率得出数据, 采用软硬件措施消除测量的系统误差(光源光强分布差异、光路变化、温度变化、电路漂移等)。该方法成本较低。

双光束分光测色法采用两个分光器件和两个探测器同时测量样品和参照标准, 克服了系统变化带来的误差。

#### 3.2.2 根据光谱信号采集方式划分

根据光谱信号采集方式的不同, 分光光度法分为光谱扫描法和光电摄谱法两种<sup>[7]</sup>。

##### (1) 光谱扫描法

光谱扫描法是单通道测色方法。它按一定波长间隔, 采用机械扫描结构, 逐个波长采集光谱信号, 经信号处理后显示数据。其优点是精度较高, 缺点是光路和结构复杂, 测量速度慢, 且波长重复性差, 对光源的稳定性要求较高, 受光源的不稳定性等因素影响严重, 不适合在线测量<sup>[8]</sup>。此类仪器一般由光源、单色器、探测器、数据处理和输出装置组成, 其光源一般为稳定性光源, 如卤钨灯、氘灯等。单色器是仪器的核心, 分为棱镜分光式、光栅分光式和滤光片分光式等。探测器采用光电倍增管及光电管。

##### (2) 光电摄谱法

光电摄谱法可同时探测全波段光谱。它通过分光系统由多通道光电探测器探测待测物整个空间光谱能量的分布信息, 然后将光谱信息产生的时序信号送入处理电路进行处理和计算, 最后显示数据。光电摄谱法是光谱分析技术领域中的一大革命, 与使用单色仪和光电倍增管的传统光谱扫描测量系统相比有许多优点, 例如测量时间极短, 信噪比较高, 对光源稳定性要求低, 不必使用机械扫描就能获取空间分辨和时间分辨光谱, 特别适用于瞬态和大数据量的光谱测量。

采用光电摄谱法的分光测色仪一般由光源、积分球、摄谱仪、信号处理电路和显示电路组成。摄谱

仪由分光器件和多通道探测器组成。探测器普遍采用自扫描光电二极管阵列(SPD)、CCD<sup>[9]</sup>器件等。摄谱仪将待测光分光并成像,投射在探测器的光敏面上。

摄谱仪一般用光栅作为分光器件。光栅摄谱仪最初用平面光栅进行光谱扫描,结构复杂,测速慢。随着光栅制作工艺的提高,采用入射光和谱面均位于罗兰圆上的凹面光栅I分光,提高了测色精度,但难以与迅速普及的多通道光电探测器匹配。20世纪90年代中期的光栅摄谱仪采用全息平场凹面光栅分光,能够平面成像,且集聚色散、聚焦和准直功能于一体,称为平场摄谱仪。平场摄谱仪无需准直透镜和成像物镜<sup>[10]</sup>,具有光学面少,结构简单、体积小和光能利用率高等优点,如MERCURY1000便携式分光测色仪就属于此类仪器。

### 3.3 分光测色仪器

国外早期生产的分光测色仪,大多采用光谱扫描法。20世纪70年代前,分光测色仪采用HARDY分光光度计的传统光路和结构,此类仪器体积庞大,测速慢。20世纪70年代出现的MACBETHM-S2020分光光度计采用闪光光源和阵列硅二极管探测,改进了结构,大大缩短了测量时间,代表了当时测色仪器的发展方向<sup>[11]</sup>。

随着计算机技术的发展,20世纪80年代初,微型计算机很快应用于颜色测量仪器,通过不同的接口,辅助分光光度计完成控制测量和数据采样,并能根据使用要求计算出色度参数。美国X-Rite公司生产的8000系列是全球第一台采用USB接口连接的台式分光光度仪。

20世纪80年代后期和90年代初,采用光电摄谱法的分光测色仪在国际上得到很大发展。Datacolor公司的SF系列仪器和日本美能达公司的CM-2 500d/2 600d和CM-3 600d等测色仪是这一时期分光测色仪向便携式、小型化发展的代表产品<sup>[13]</sup>。

采用光电摄谱法的分光测色仪,其特点是测色过程自动化,并能够利用电脑扩展测色仪器的功能<sup>[12]</sup>,以满足不同用户的需求。目前国内外普遍研究和采用带有微处理器,并建有检测和数据处理功能的集成电路系统。这种系统采用液晶显示,并具有自动校正、自动补偿、数据处理、图像处理、图像识别、存储和记忆等功能。一般便携式分光测色仪内的存储器能储存1000多个数据和50多个标准色样,并通过接口与电脑连接<sup>[6]</sup>,广泛应用于多种

测量的比较和运算,如SF450X分光测色仪与配色软件连接,可组成电脑配色系统。美能达CM-2600d是世界上首创的内置UV瞬间调节功能的便携式分光测色计,它可与电脑连接使用色彩品质管理软件或配色系统。

## 4 发展趋势

随着科学技术水平的提高,目视测色法因精度低,已基本被淘汰。目前颜色测量通常采用光电积分法和分光光度法。光电积分式测色仪器具有一定的测量精度,适用于只需要控制物体颜色(如快速质检、在线检测),测量精度要求不很高而又不需要配色的行业。分光光度法有光谱扫描法和光电摄谱法两种,是目前科学研究和工业生产中应用最广泛的颜色测量方法。随着光电子器件和计算机技术的不断发展,精确颜色测量目前已完全过渡到分光光度法。光电摄谱法是当今国际上最先进的测色方法,代表了颜色测量的发展方向。

测色仪器的发展趋势:便携化、小型化、快速化和高精度化<sup>[14]</sup>;与电脑结合扩展测色仪器功能;颜色在线动态测试<sup>[15]</sup>。随着网络技术的发展,虚拟测色仪器<sup>[16]</sup>也是发展方向。

### 参考文献:

- [1] CIE. Colorimetry[M]. Vienna:Central Bureau of the CIE,1986.80-95.
- [2] 郑宇锋.颜色测量仪器[J].仪表技术与传感器,1994,(4):17-20.
- [3] 吴继宗,叶关荣.光辐射测量[M].北京:机械工业出版社,1992.324-354.
- [4] 王维昂.测色计现状和纺织机电一体化的应用[J].纺织器材,1994,21(3):36-38.
- [5] Youichi Sato,Johji Tajima. A color scheme supporting method in a color design system[J]. SPIE,1995,2411:25-33.
- [6] 汤顺青.测量分光光度计[J].计量技术,1998,18(2):30-32.
- [7] Kurioka. Influence of light source and illuminance on Benham type subjective colors[J]. SPIE,2002,4421:426-429.
- [8] 蒋月娟.分光测色仪的设计研究[J].光学技术,2001,27(3):281-283.
- [9] 徐海松.SPD在快速自动测色中的应用[J].照明工程学报,1994,5(3):22-28.
- [10] 白力.应用于电脑配色系统的凹面光栅光谱仪[J].光学技术,2001,49(4):48-52.

- [11] 金远同. 电脑测色配色技术的回顾与进展[J]. 染料工业,1999,36(5):32—36.
- [12] 徐海松. 印染测色配色技术与设备的进展[J]. 印染,2003,(12):41—43.
- [13] Howard,Celeste. Managing color appearance in self-luminous displays[J]. SPIE,1996,2657:356—386.
- [14] 何丽桥. 两种测色仪器的比较和评价[J]. 吉林工业大学学报,1995,25(3):114—117.
- [15] 徐宏飞. 测色仪器及发展趋势[J]. 印刷杂志,1998,(8):26—28.
- [16] 范世福. 光谱技术和仪器的新发展[J]. 光学仪器,2000,22(4):35—40.

(上接第 53 页)

参考文献:

- [1] H F Taylor. An optical analog-to-digital converter-Design and analysis [J]. IEEE Quantum Electronics,1979,15:210—216.
- [2] S Yamada,M Makoto,J Noda. Analog-to-digital conversion experiments using a LiNbO<sub>3</sub> balanced bridge modulator[J]. Appl Phys Lett,1981,39:124—126.
- [3] C L Chang,C S Tsal. Electro-optic analog-to-digital converter using channel waveguide Fabry-Porot modulator array[J]. Appl Phys Lett,1983,43:22—24.
- [4] B Jalali,Y M Xie. Optical folding-flash analog-to-digital converter with analog encoding [J]. Optics Lett,1995,20:1901—1903.
- [5] Jonathan C,Twichell,*et al.* High linearity 208-MS/s photonic analog-to-digital converter using 1-to-4 optical time-division demultiplexers [J]. IEEE Photonics Technology Letters,2001,13(7):2012—2013.
- [6] T R Clark,J U Kang,*et al.* Performance of time and wavelength interleaved photonic sampler for analog-digital conversion [J]. IEEE Photon Tech Lett,1991,11:1168—1169.
- [7] F J Leonberger,C E Woodward,D L Spears. Design and development of a high-speed electrooptic A/D converter[J]. IEEE Trans Circuit Syst,1979,CAS-26:1125—1131.
- [8] M Goano,F Bertazzi, *et al.* A general conformal mapping approach to the optimum electrode design of coplanar waveguides with arbitrary cross section [J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech,2001,49(9):1573—1580.
- [9] H Chung,W S C Chang,Adler E L. Modeling and optimization of traveling-wave LiNbO<sub>3</sub> interferometric modulators [J]. IEEE Journal of Quantum Electronics,1991,27(3):608—617.
- [10] C M Kim,R V Ramaswamy. Overlap integral factors in integrated optic modulators and switches [J]. Lightwave Technol,1989,7(7):1063—1070.
- [11] W K Burns,M M Howerton,R P Moeller. Performance and modeling of proton exchanged LiTaO<sub>3</sub> branching modulators [J]. Lightwave Technol,1992,10(10):1403—1408.
- [12] G Ghione,M Goano,G Madonna, *et al.* Microwave modeling and characterization of thick coplanar waveguides on oxide-coated lithium niobate substrates for electro-optical applications[J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech,1999,47(12):2287—2293.