

多用途智能白度仪的研究

朱志成 张顺海 董 杰

(山东省自动化研究所)

摘 要

本文遵照国际标准化组织(ISO)及国际照明委员会(CIE)提出的白度检测标准,根据色度学颜色视觉理论^[1],利用光学修正滤光片滤波技术,依照多种数学模型,用智能芯片及高精度的A/D转换芯片,在一台测试仪器上实现了多种材料的白度、色相及色差测试。其测量精度和各种测试功能与国内同类仪器^[2]相比均有相应地提高和增强。

关键词: 色度坐标;色相;色差

在建材、化工、轻工、纺织、纸张、食品等材料生产部门,白度是许多产品直接和间接的质量检验指标之一,是产品质量检验的重要内容。ISO组织及各主要工业国家都先后建立了相应的检测标准和方法。我国在造纸、建材和塑料行业也先后制定了白度测试方法。然而,由于白色是一种特殊的颜色属性,是一个心理物理量,如何对它进行定量的评价并不是一件简单的事情。不同国家、不同部门先后使用过的白度公式达100多个,研制的测试仪器也有十几种。因此,研制符合CIE标准的测试仪器,客观定量地评价和测量物体的白度是一项非常重要的工作。基于上述思想及客观需要,本着精度高、稳定性好、智能化和通用化的要求,我们进行了多用途智能白度仪的研究工作。

1 主机工作原理

根据色度学颜色视觉理论,采用CIE1964年10°视场的光谱三刺激值 $\bar{x}_{10}(\lambda)$ 、 $\bar{y}_{10}(\lambda)$ 、 $\bar{z}_{10}(\lambda)$ 、物体颜色的三刺激值X、Y、Z是用颜色刺激函数 $\psi(\lambda)$ 分别乘以CIE光谱三刺激值,并在整个可见光谱范围内分别对这些乘积进行积分获得,其标准方程如下:

$$\begin{aligned} X &= K_{10} \int_{\lambda} \psi(\lambda) \bar{x}_{10}(\lambda) d\lambda \\ Y &= K_{10} \int_{\lambda} \psi(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) d\lambda \\ Z &= K_{10} \int_{\lambda} \psi(\lambda) \bar{z}_{10}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (1)$$

式中 K_{10} 为调整系数,它是将照明体(或光源)的Y值调整为100时得出的,即:

收稿日期:1991-03-21

修回日期:1991-08-10

$$K_{10} = \frac{100}{\int_{\lambda} \psi(\lambda) y_{10}(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

颜色刺激函数 $\rho(\lambda)$ 对于物体色, 是光源的相对光谱功率分布 $S(\lambda)$ 与被测物体的光谱反射比 $\rho(\lambda)$ 之乘积:

$$\psi(\lambda) = S(\lambda) \rho(\lambda) \quad (3)$$

我们通常意义上所讲的色度测量, 就是为了测得该色 X、Y、Z 三刺激值, 但在色度学中, 常用色度坐标 x、y 表示颜色在色度图中的位置(x, y), 即:

$$\begin{aligned} x &= X/(X+Y+Z) \\ y &= Y/(X+Y+Z) \end{aligned} \quad (4)$$

由此可见, 要快速、准确地测量出某一样品的色度, 就是如何有效地测到 X、Y、Z 三刺激值的信号并进行精确地数字处理工作. 但是仪器标准光源是对选用光源光谱功率分布和光电池光谱灵敏度在某个波长上的合成, 不可能正好满足 CIE 规定的观察条件, 为了满足上述条件, 在仪器的测量光路中加入了多组修正滤光片, 分别对照明光源和光电池在整个波长范围内的积分曲线加以修正, 使之与 CIE 规定的标准色度观察者光谱三刺激值条件相符. 此即所谓光电积分式测量仪器的光谱灵敏度必须符合的卢瑟条件^[3](Luther condition)即:

$$\begin{aligned} K_x S'(\lambda) \tau_x(\lambda) r(\lambda) &= S_D(\lambda) \bar{x}_{10}(\lambda) \\ K_y S'(\lambda) \tau_y(\lambda) r(\lambda) &= S_D(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) \end{aligned} \quad (5)$$

$$K_z S'(\lambda) \tau_z(\lambda) r(\lambda) = S_D(\lambda) \bar{z}_{10}(\lambda)$$

式中 $S'(\lambda)$ 为仪器照明光源的相对光谱功率分布;

$S_D(\lambda)$ 为 CIE 标准照明体 D_{65} 的光谱功率分布;

$r(\lambda)$ 为探测器的光谱灵敏度;

τ_x, τ_y, τ_z 为三组修正滤光片光谱透射率;

k_x, k_y, k_z 为三个与波长无关的常数.

将(5)、(3)两式代入(1)式可得仪器所测物体反射色的三刺激值:

$$\begin{aligned} X &= C_x \int_{\lambda} \rho(\lambda) S'(\lambda) \tau_x(\lambda) r(\lambda) d\lambda \\ Y &= C_y S \int_{\lambda} \rho(\lambda) S'(\lambda) \tau_y(\lambda) r(\lambda) d\lambda \\ Z &= C_z S \int_{\lambda} \rho(\lambda) S'(\lambda) \tau_z(\lambda) r(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (6)$$

式中 C_x, C_y, C_z 为三个与波长无关的系数. 显而易见, 式中右边的值为修正后接收器光谱灵敏度积分值.

不同物体的光谱反射率 $\rho(\lambda)$ 各不相同. 所以在同样条件下, 同样的光源刺激、同一组滤光片、同一个光电探测元件, 其输出的光电流是各不相同的. 计算机依据上述原理对经过 A/D 转换的数字信号进行处理, 可以方便地得到样品的三刺激值, 并可计算出样品的色度坐标.

1.1 仪器的结构和硬件系统

仪器的光路结构如图(1)所示:

钨丝灯光源发出的光经透镜后获得平行光束,进入积分球,以平行光垂直照射样品,样品的反射光经积分球混光,并由积分球侧面一窗口被接收器取样,由光电接收器将光通量的变化转换成电信号的变化,经放大、电流电压转换之后,高精度 A/D 转换器将模拟信号转换成数字信号.微处理器对输入信号进行滤波、补偿、积分运算之后,把处理结果显示和打印出来.测得的三刺激值符合 1964 年 CIE 所规定 10° 视场的色匹配数值.

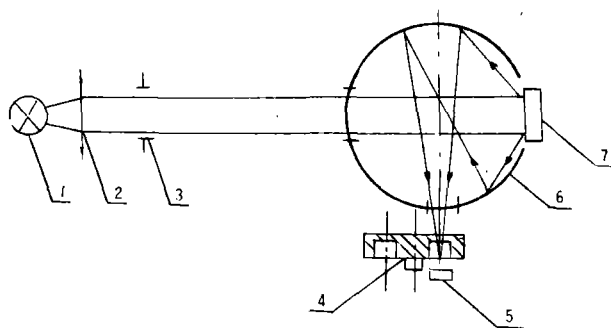


图1 光线结构图

- 1、光源 2、透镜 3、光阑 4、滤光片转盘
5、硒光电池 6、积分球 7、样品

硒光电池变换器对温度比较敏感,主机采用比色^[4]原理,对环境温度的变化进行了有效地抑制.在放大电路的设计中,选用了高增益、低漂移的斩波自稳零集成放大电路.考虑到色度精度 ≤ 0.02 的要求,A/D转换器采用了3cmos工艺的双积分集成电路.这种转换器输入阻抗 $100M\Omega$,片内具有自动稳零和极性转换电路,转换精度为 $\frac{1}{2^n}$,其对周期变化的干扰信号积分为零,因此,抗干扰性能也比较好.微处理器采用INTEL公司80年代初推出的新产品^{[5][6]},它具有功能强、价格低、使用灵活、编程方便的优点.该机的指令系统也非常丰富,不但具有Z80指令系统中的常规算术指令和逻辑指令,而且还有单字节的乘法指令和除法指令,有位测试指令和栈操作指令以及各种条件转移指令.

仪器使用的打印机是利用微电脑控制的点阵式打印机,打印机除了能打印全部的ASC码外,还能打印部分汉字及反射光谱曲线.

1.2 软件设计

仪器的全部软件固化在一片长达8K的2764芯片内.主要由以下几部分组成:

- (1)初始化程序;
- (2)显示更新程序;
- (3)键盘分析程序;
- (4)打印机控制程序;
- (5)数字计算及转换程序;
- (6)A/D转换程序及实用RAM数区.

主程序系由许多子程序和公用程序块构成.这样对于程序的修改和使用都十分方便.根据仪器要求,主机设置了12组功能键.键盘采用了非标准编码方式,根据键盘的特征码对键盘的功能进行定义,实现了一键多用,具有较强的人机对话功能.主程序框图如图2所示.数据采集和处理采用了均值及中值等数字滤波技术,提高了系统的稳定性.

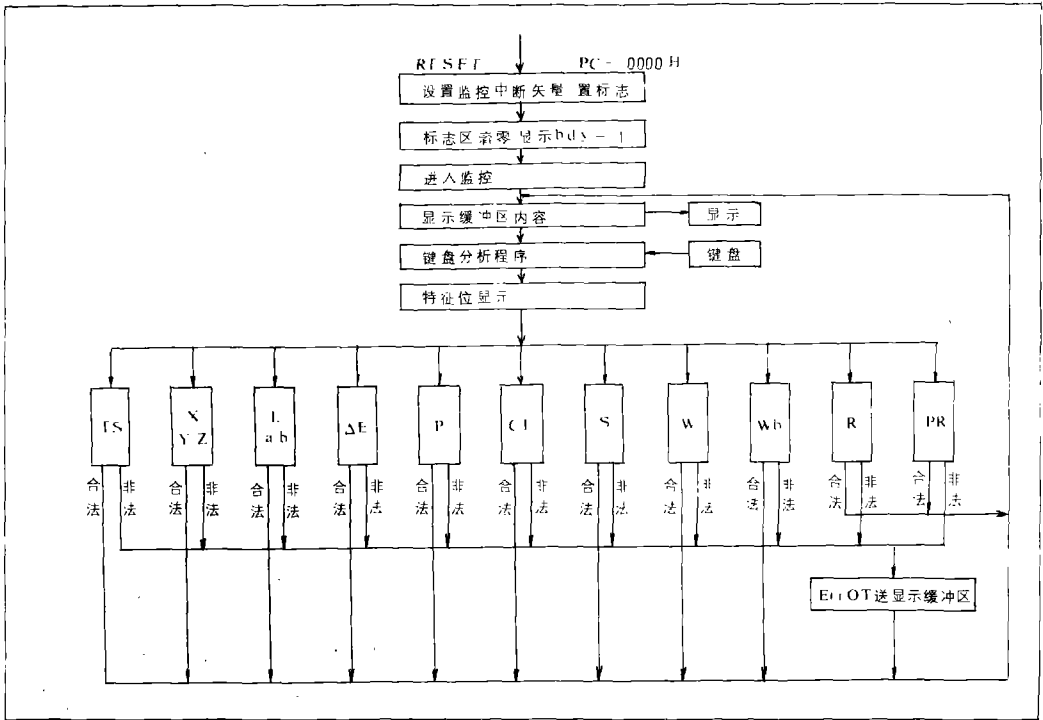


图 2

2 白度公式及色空间的选用

收集到各种白度公式二十余个,本着以国际标准为主,各行业常用公式为辅的原则共选用白度公式五个。

(1)国际照明委员会 CIE1982 年推荐,ISO1986 年正式通过白度评价公式 W_{CIE} 及色调公式 T_w ,得到世界各国各行业的承认和使用,使白色物品在国际交往中有了一个统一的评价标准.我们优先选用这个白度公式和色调公式。

$$W_{CIE} = Y + 800(x_n - x) + 1700(Y_n - y)$$

$$T_w = 900(x_n - x) - 650(y_n - y)$$

限定条件: $-3 < TW < 3$

式中: X, Y 为 CIE10° 视场下样品的刺激值; X_n, Y_n 分别为完全漫反射体色品坐标. 在 D_{65} 光源下 $X_n = 0.3138, Y_n = 0.3310$

(2)选用了美国国家标准的 Taube(托贝)公式: $W_{TB} = 4B - 3G$

(3)选用了作为 ISO105 标准下部分羊毛贴衬织物采用的斯蒂芬·森(Stephansen)公式 W_{ST}

$$W_{ST} = 2B - A$$

(4)选用了西欧国家标准推出的 Berger(伯格)公式 W_{BE} 和 Stensby(斯坦斯贝)白度公式 W_{SY}

$$W_{DE} = 3B + G - 3A$$

$$W_{xy} = L - 3b + 3a$$

以上这些公式中 A、G、B 是使用相应滤色片修正的探测器测出的光度值,它们与物品的三刺激值之间的关系为(C₆₅光源 10°视场下)

$$X = 0.7684A + 0.1787B$$

$$Y = G$$

$$Z = 1.0732B$$

在斯坦斯贝(stensby)公式中的 L、a、b 为 Hunter 色空间的明度值和色彩指数. 对于 D₆₅光源 10°视场:

$$L = 10Y^{\frac{1}{2}}$$

$$a = 17.2(1.0547x - y)/y^{\frac{1}{2}}$$

$$b = 6.7(y - 0.9318z)/y^{\frac{1}{2}}$$

(5)R₄₅₇白度,使用的波长为 457 毫微米,主要应用于造纸业.

综上所述,本仪器不仅可以测白色样品的白度值,而且还可以直接测平整物体表面色的三刺激值 X、Y、Z,并根据 CIE 推荐的均匀颜色空间和色差计算方法——即 CIE1976 年(L*a*b)颜色空间和色差计算公式 ΔE 来计算出样品的色差.这对于某些产品的品质检验是非常重要的其计算公式为:

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{\frac{1}{3}} - 16$$

$$a^* = 500[(X/X_n)^{\frac{1}{3}} - (Y/Y_n)^{\frac{1}{3}}]$$

$$b^* = 200[(Y/Y_n)^{\frac{1}{3}} - (Z/Z_n)^{\frac{1}{3}}]$$

$$\text{色差 } \Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta L^* = L^*_{\text{样品}} - L^*_{\text{标准}}$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{样品}} - a^*_{\text{标准}}$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{样品}} - b^*_{\text{标准}}$$

3 研制结果与误差分析

主机按照白度仪检定规程 JJG5182-87 的要求,利用白度归口单位——浙江省计量测试技术研究所生产和校验的白板对仪器的综合性能进行了测试,其结果见附表(2),附表(1)为白板的各项参数.系统的最大示值误差为 0.443,亮度因数准确度最大误差为 1.2,测量重复性为 0.0645 色差重复性 ≤ 0.1 .

4 结束语

智能白度仪是一种完全不同于国产及部分进口的色度检测仪器的新型检测仪器,与国内同类测量仪器相比,存在着功能强、智能程度高、操作简单、稳定性高的优点.尤其是该仪器采用了多种修正补偿处理技术,能够实时地显示数据及打印色差曲线,是国内色差测量工作中的换代产品,有着较高的使用和推广价值.

参 考 文 献

- [1] 郝允祥等. 光度学. 北京: 北京师范大学出版社, 1980: 256—260
 [2] 胡维生. 颜色物理和 CIE 标准色度系统. 物理, 1982; 11: 18
 [3] 陈大华. 现代光学基础. 上海: 学林出版社, 1987: 22
 [4] 姜刘. 二色温度计. 计测技术, 1977 增刊: 71—75
 [5] D, 沃布沙尔. 电子食品的电路设计. 北京: 科学出版社, 1986: 405
 [6] 陈章龙等. 实用单片机大全. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1989: 1171—328

RESEARCH ON THE MULTI—PURPOSE INTELLIGENCE WHITENESS INSTRUMENT

Zhu Zhicheng Zhang Shunhai Dong Jie

(Shandong Institute of Automation)

ABSTRACT

This paper is about the establishing of the various mathematics models and the completing of the whiteness, color—phase and color—minus—difference tests of different materials by utilizing the intelligence chip and the high—precision A/D converter, in accordance with the whiteness test requirements issued by the International Standardization Organization (ISO) and the Committee On International Illumination (CIE), on the basis of the color—vision theories of colorimetry and through making use of the filter technology of the light correction filters. Results have shown that the test precision of the colority and other different test functions have all been greatly improved and enhanced, compared with those of the instruments of the same kind at home.

Key words: chromaticity co—ordinate; color—minus—difference; color—phase

表 1 测 试 结 果

NO.	1	2	3	4
X ₁₀	86.26	80.47	68.85	53.94
Y ₁₀	91.18	85.38	73.01	56.96
Z ₁₀	95.31	89.70	78.95	58.97
X ₁₀	.3163	.3149	.3118	.3176
Y ₁₀	.3343	.3341	.3306	.3352
W _G	83.45	79.06	75.05	46.56
T _w	—9.03E03	1.12	1.64	— .56
W _b	88.87	83.69	73.56	55.03
	...	...	...	...

表 2

板号 项目	I	II	III	IV	I	II	IV	I	II	IV	I	II	IV	平均值
X	86.3	81.2	68.4	54.4	81.2	68.4	54.2	81.4	68.3	54.2	81.3	68.3	54.1	
Y	91.2	86.6	73.8	56.7	86.4	73.5	56.4	86.6	73.7	56.8	86.4	73.5	56.4	
Z	95.3	90.2	78.4	59.3	90.2	78.6	59.2	90.5	78.6	59.4	90.3	78.4	59.1	
R ₄₅₇	88.9	84.5	73.6	54.3	84.5	73.6	54.3	84.6	73.7	54.4	84.5	73.7	54.4	
X	0.3163	0.3147	0.3100	0.3100	0.3140	0.3102	0.3192	0.3148	0.3096	0.3180	0.3151	0.3102	0.3189	
Y	0.3343	0.3356	0.3345	0.3325	0.3351	0.3333	0.3321	0.3350	0.3341	0.3333	0.3345	0.3337	0.3325	
ΔY		1.2	0.8	-0.2	1	0.5	-0.5	1.2	0.7	-0.1	1	0.5	-0.5	0.475
ΔX		-0.0002	-0.0018	-0.0014	0	-0.0016	0.0016	-0.0001	-0.0022	0.0004	0.0002	-0.0016	0.0013	0.0000
ΔY		0.0015	0.0039	-0.0027	0.001	0.0027	-0.0031	0.0009	0.0035	-0.0019	0.0007	0.0031	-0.0027	0.0006
ΔE		2.3	8.3	16.6	2.3	8.3	16.7	2.2	8.4	16.6	2.2	8.3	16.7	
示值误差	0.443													
测量重复性	0.0645													

• 简讯 •

我院举行学术交流会

6月25日、26日,我院在综合楼学术交流厅举行了山东省科学院庆“七·一”学术交流会.会议由院学术委员会主持召开.会上16位科研人员宣讲了新近完成的论文,并介绍了各自课题成果的内容.与会代表还参加了分组讨论和交流活动.会议期间共交流论文57篇.

(本刊编辑部)