

文章编号: 1005-5630(2011)01-0010-05

光谱扫描间隔对节能光源色度测试的影响研究^{*}

朱腾飞, 蔡 怡, 朱育军

(杭州市质量技术监督检测院, 浙江 杭州 310019)

摘要: 研究了光谱扫描间隔对节能照明光源色度测试及合格性判断的影响。实验采用积分球—光谱仪测试系统, 分别以 1nm 和 5nm 两种光谱扫描间隔测量节能灯样品光谱、色温、显色指数、色坐标等参数。实验结果发现: 1nm、5nm 采样条件下光源光谱功率在 610nm 附近峰值相差最为显著; 1nm 扫描间隔所测色温值均高于 5nm 间隔所测值, 显色指数均低于 5nm 扫描间隔所测值, 色温和显色指数的最大相差值分别为 41K 和 0.5。研究认为光谱扫描间隔对光源色参数测试存在一定的影响, 并据此提出节能照明光源测试的优化方案。

关键词: 节能照明光源; 光电测试; 光谱扫描间隔; 色度

中图分类号: TH 744.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1005-5630.2011.01.003

The impact of energy-saving light chromaticity measurement caused by different spectral scan intervals

ZHU Tengfei, CAI Yi, ZHU Yujun

(Hangzhou Institute of Test and Calibration for Quality and Technology Supervision, Hangzhou 310019, China)

Abstract: The impact of spectral scan intervals on the chromaticity measurement and the quality analysis of energy-saving lamps has been researched. An integrating sphere and spectrometer system with the spectral scan interval of 1nm and 5nm was employed to measure the spectrum, color temperatures, rendering indexes and chromaticity coordinates of light sources relatively. Results show that the spectrum differs significantly at the peak near 610nm with the measuring condition of 1nm and 5nm scan intervals, all the color temperatures measured by 1nm spectral scan interval are larger than that of 5nm, while all the rendering indexes are smaller. The $\Delta T_{c \max}$ is 41K and $\Delta R_a \max$ is 0.5. An optimal method of measuring the color of light sources is proposed based on this research.

Key words: energy-saving light source; opto-electronic measurement; spectral scan interval; chromaticity

引 言

照明光源是日常生活不可或缺的电光器件, 高视觉质量、高发光效率、低功耗的光源一直是研究的热点。自镇流荧光灯作为近年来迅速发展的新型照明光源, 具有功耗低、发光效率高、寿命长等优越特性, 因而被称为节能光源而得到广泛应用。照明光源在传递能量的同时也传递被照物品的真实信息如颜色、光泽。反映光源颜色及视觉质量的重要参数有色温和显色性、色品坐标等^[1,2]。色度参数由光源测试系

^{*} 收稿日期: 2010-08-24

作者简介: 朱腾飞(1985-), 男, 江苏涟水人, 助理工程师, 硕士, 主要从事光电检测方面的研究。

统完成,该系统中光谱仪根据设定的光谱扫描间隔对光源光谱采样,再将谱线离散值进行数学计算得到实验结果^[2-4]。中国标准 GB/T 17262—2002 规定光谱扫描间隔不大于 5nm 的色参数测试要求^[1,2,5],这属于一个允许范围。

然而作为不断发展的新型光源,节能光源谱线趋于复杂且包含较多窄波段光谱^[5,6]。选择 5nm 或者允许范围内更小的扫描间隔是否会对色度的判断产生影响,目前少有相关的研究报道。由于光源色参数值在标准中有明确要求,若不同扫描间隔所测结果存在差异,极易影响到光源显色性能是否符合标准的判断,从而影响到产品质量合格与否的正确评价。因此,研究光谱扫描间隔对色度测试的影响,有利于提高光源色度测量的准确性,从而正确评价产品质量的优劣,对光源质量检测具有重要的意义。现选取标准灯、自镇流荧光灯(节能灯)样品以 5nm 与 1nm 两种光谱扫描间隔进行对比实验,测得一系列光色度数据,并对所得实验数据和现象进行严格的分析,最后提出照明光源色度测量的优化方案。

1 实验装置与测试过程

1.1 实验装置

光源测试系统装置如图 1 所示,将被测光源置于一个直径 1.5m 的积分球中心位置,光源测试所需交直流电源分别由精密直流稳流稳压电源和交流可调电源设备提供;积分球侧壁接入 PMS-50 光谱分析仪的光电探头;光谱仪由计算机控制,软件实时监测数据,以此组成一套积分球——光谱辐射测量系统。该系统支持 1nm 和 5nm 两种光谱扫描间隔。实验前对整套系统进行严格的光谱、光通量校准定标,实验保持环境温度 25℃,湿度 60%。

1.2 标准光源光色度测试

仪器校准完毕后,先将一测光标准灯 LSD100301(24V 100W)作为待测光源置于积分球内,接入直流电源,根据标准灯工作要求设定电流 3.891A。光源稳定后,将光谱仪的光谱扫描间隔分别设为 5nm 和 1nm 依次进行测量,得到标准光源的相对光谱、色温、色品坐标、显色指数等参数两组对比数据。

测量标准灯参数具有两方面作用:一是将实验数据与已知标准数值做对比,判断光谱扫描间隔不同的条件下测试结果的精准度及误差;二是为接下来节能光源样品的检测提供设备可靠的依据。测量相对光谱功率是因为光源的光谱分布与颜色特性直接相关^[2,3]。

1.3 节能光源样品测试

随机选择同批次三只节能灯样品 a、b、c(额定功率 7W,额定电压 220V),分别安装在积分球内,接通 220V 交流电压点亮光源,每只点燃约 30min 使光源保持稳定。将测试系统的光谱扫描间隔分别设定为 5nm 和 1nm,依次测试三个样品相对光谱、色温、色品坐标、显色指数等参数,通过计算机软件得到 6 组数据。

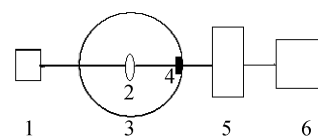
2 数据结果分析

2.1 标准灯参数分析

系统测得不同光谱扫描间隔条件下 LSD100301 标准灯的相对光谱功率分布情况,如图 2 所示。图中红色曲线代表 5nm 扫描间隔所测光谱相对功率分布,蓝色曲线代表 1nm 扫描间隔时所测光谱相对功率分布。比较两条曲线易知,该标准光源的两组相对光谱测试数据近乎完全吻合。由此表明,5nm 和 1nm 的采样间隔条件对标准光源的相对光谱测量没有影响。

LSD100301 标准灯的色温、色品坐标、显色指数对比数据如表 1 所示。表中数据可知,在不同的扫描间隔条件下标准灯色温、色品坐标及显色指数的测试数据几乎相同,且与已知校准标称值误差很小,色温误差仅 5K、6K,为标准值的 0.17%,色品坐标值也相差非常微小,均小于标准灯测试误差范围。

由图 2 及表 1 数据可验证,对于标准灯光源色度测试,光谱扫描间隔在不大于 5nm 范围内的不同设定条件下,检测系统的测试结果均可靠稳定,无明显差异。



1—交/直流电源输出设备;2—光源样品;
3—积分球;4—光谱仪探头;
5—光谱仪;6—计算机。

图 1 光源测试系统装置示意图
Fig. 1 Devices of light source testing system

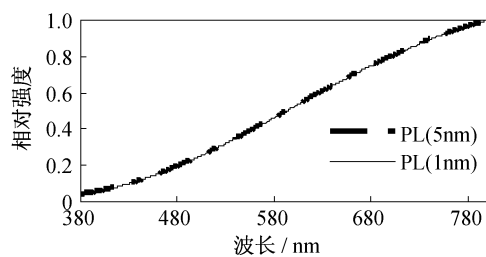


图 2 标准灯相对光谱对比图
Fig. 2 Comparison chart of relative spectrum of the standard lamp

表 1 标准灯色度参数
Tab. 1 Chromaticity parameters of the standard lamp

标准灯 LSD100301	色温 T_c (K)	色品坐标 (x, y)		显色 指数 R_a
校准标 称值	2856	0. 4469	0. 4063	—
5nm 间隔 测试值	2861	0. 4473	0. 4075	99. 9
1nm 间隔 测试值	2860	0. 4473	0. 4074	99. 9

2.2 节能光源数据

实验测得节能灯样品 a、b、c 的相对光谱,因为三个被测样品的光谱分布及特点极为近似,故此处仅以样品 a 的光谱为代表进行分析,如图 3 所示。图中红色曲线为 5nm 扫描间隔所得数据,蓝色曲线为 1nm 光谱扫描间隔时测得数据。通过在相同坐标系中对比可知,扫描采样间隔分别为 1nm 和 5nm 时,得到的相对光谱在轮廓及趋势总体是一致的,但在窄波段如 430~450nm, 480~500nm, 590~620nm 等峰值处,两者功率分布数值有所不同,特别是在 560~620nm 区间,1nm 间隔扫描的光谱图线变化更加敏锐,两者数据在细节处存在较明显差别。

节能灯样品的色参数测试数据如表 2 所示。表中 a、b、c 三样品的色品坐标对比数据较为接近,但色温、显色指数数据均有一定差异,并呈现规律性变化,其中值得重视的现象有:

- (1) 色温测试的实验数据差异较大, $\Delta T_{ca} = 38K$, $\Delta T_{cb} = 24K$, $\Delta T_{cc} = 41K$, 相差最大达 41K;
- (2) 对同一样品,色温以 1nm 间隔扫描所测数据均大于以 5nm 扫描间隔所测数据;
- (3) 三个样品的显色指数以 1nm 间隔扫描所测数据均小于以 5nm 扫描间隔所测,两者差值为 $\Delta R_{ca} = -0. 5$, $\Delta R_{cb} = -0. 2$, $\Delta R_{cc} = -0. 3$ 。

实验数据表明,在严格条件下,即使满足测试标准的基本要求,不同的光谱扫描间隔对节能光源的光谱、色参数测量以及颜色特性的判断仍产生不一致的结果。对同一样品,色温和显色指数的对比数值有一定程度的差异,根据国标中对色度参数的判断要求,不同扫描间隔条件下测得数值可能正好位于标准要求的合格临界值左右,极易影响到显色指数是否合格的判断,故这两项参数的测量差异同样值得重视。表 2 的数据还呈现规律性,这显然不是随机现象,而是存在一定原因。

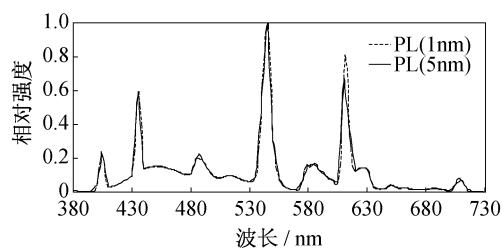


图 3 1nm、5nm 扫描间隔时节能灯样品 a 的相对光谱
Fig. 3 Relative spectrum of the sample a with scan intervals of 1nm and 5nm

表 2 节能灯色度参数测试结果
Tab. 2 Chromaticity parameters of energy-saving lamps

荧光灯 样品	光谱扫描 间隔 (nm)	色温 T_c (K)	色品坐标 (x, y)	显色指数 R_a
a	5	5744	0. 3263, 0. 3519	83
a	1	5782	0. 3256, 0. 3518	82. 5
b	5	5632	0. 3288, 0. 3561	82. 1
b	1	5656	0. 3281, 0. 3554	81. 9
c	5	5743	0. 3263, 0. 3530	82. 3
c	1	5784	0. 3256, 0. 3525	82. 0

2.3 结果讨论

光电测试系统及测试方法对标准灯测试结果高度吻合,对节能灯测试数据则出现了差异。光谱扫描间隔的选取对不同的被测光源产生了不同的影响结果。对此,现从实验数据着手研究这一现象。

首先比较两种光源的相对光谱。标准灯的谱线是一条上升曲线,特点为连续平滑、变化稳定;节能灯

谱线是一较为复杂的曲线,其特点峰值多,窄波段分布,杂乱无序的变化较多。标准灯谱线规则而平缓变化(如图2),不论是以1nm还是5nm间隔进行光谱扫描采样,采样点及采样近似趋势都能够反映光谱实际分布,因而计算数据的可靠性和准确率有所保证,实验结果不会出现明显差异。若采集对象是复杂无序且峰值很多的谱线(如图3),则当扫描间隔选取较大时,极易忽略或简化每个采样间隔内谱线的精细分布情况,导致采样失真、测试不准确;当扫描间隔设置较小时,采样点增多,更能反映出光谱中的尖锐峰值等细节特征和微小的变化,采样和测试结果更加可靠。因此对节能光源,不同的光谱扫描间隔必然影响到采样的质量及相关的计算结果。

图4以节能灯样品a在560~660nm波段光谱具体说明。实线和虚线分别为5nm和1nm不同扫描间隔所测光谱分布:实线峰值位于610nm,功率强度为12.0339mW/nm(已知该曲线所测380~800nm光谱最大功率为17.8278mW/nm);虚线峰值位于611nm,功率为14.6084mW/nm(该曲线380~800nm光谱最大功率为18.0651mW/nm)。两种不同扫描间隔条件下的光谱整体分布及最大值均十分接近,以此为参照,可见610nm附近所测的两组光谱峰值功率强度差异明显。原因在于与1nm间隔扫描相比,5nm间隔扫描仅采样605nm、610nm、615nm等数据,未采样到611nm、612nm、613nm、614nm,故将610nm波长做为峰值而使采样失真,1nm的扫描间隔测量结果显然比5nm扫描更合理、可靠。图4作为光谱差异的实例,验证了前文分析。

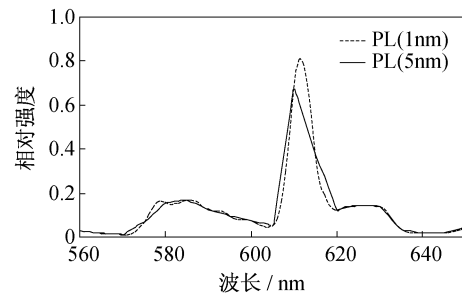


图4 节能灯样品a在560~660nm波段相对光谱
Fig. 4 Relative spectrum of energy-saving lamp sample a at 560~660nm

而被测光源的色坐标、色温、显色指数均由相对光谱推导计算而得,色坐标 x, y, z 的计算过程见式(1)、式(2)^[3,6]。色品坐标求出后,利用色品图或计算方法即可确定待测光源的色温、显色指数等其他参数,即相对光谱功率分布决定了色度参数的结果。相对光谱的数值变化使得在不同的扫描间隔条件下,色参数随之产生规则改变,测试数据的规律性偏差由此得到解释。

$$\begin{aligned}
 X &= k \sum_{380}^{780} \phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda \\
 Y &= k \sum_{380}^{780} \phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda \\
 Z &= k \sum_{380}^{780} \phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda \\
 x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\
 y &= \frac{Y}{X+Y+Z}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\tag{2}$$

式(1)中 X, Y, Z 是CIE1931标准色度系统三刺激值; $\phi(\lambda)$ 是色刺激函数的光谱分布(光源相对光谱功率分布); $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ 是CIE1931标准色度观察者色匹配函数; $\Delta\lambda$ 是波长间隔; k 是归一化系数;式(2)中 x, y 是CIE1931标准色度系统的色品坐标。

3 结束语

主要研究照明光源特性测试中光谱扫描间隔的设定与光源色度参数测试结果的关系。实验表明,标准灯的光色度参数测量不受光谱扫描间隔变化的影响;但对于光谱分布较为复杂的节能灯光源,选取不同的光谱扫描间隔将直接影响其相对光谱、色温、显色指数等参数的精确测量及光源视觉质量的准确判断。文中对此进行了详细分析并作出解释。

根据研究结果,现认为在照明光源色度的实际检测中,应充分考虑光谱扫描间隔因素对不同光源测

试的影响程度,采取有针对性的测试方案:对于谱线连续平稳变化的光源,可以在国家标准要求的光谱扫描间隔 5nm 及以下范围内进行测试;而对于光谱变化复杂且峰值较多的节能灯等光源,应选择较小的光谱扫描间隔作为采样条件进行测试,以保证光源光谱和色度结果更加精确。文中工作有利于提高照明光源特别是节能照明光源检测技术的合理性、准确性和针对性,对节能照明产业和光源质量检测行业的发展具有较为重要的应用价值和实际意义。

参考文献:

- [1] 全国照明电器标准化技术委员会电光源及其附件标准化分技术委员会. GB/T 17262—2002 单端荧光灯性能要求[S]. 北京:中国标准出版社,2002:15—16
- [2] 全国颜色标准化技术委员会. GB/T 7922—2008 照明光源颜色的测量方法[S]. 北京:中国标准出版社,2008:1—6
- [3] 全国颜色标准化技术委员会. GB/T 5702—2003 光源显色性评价方法[S]. 北京:中国标准出版社,2003:3—4
- [4] 白金纬,张德源,刘 畅. 浊度仪中两种不同光源对浊度测量的影响研究[J]. 光学仪器,2008,30(2):1—3
- [5] 叶春芳,刘玉玲,余飞鸿. CIE 色度空间的控件实现[J]. 光学仪器,2005,27(3):27—32
- [6] 全国颜色标准化技术委员会. GB/T 3977—2008 颜色的表示方法[S]. 北京:中国标准出版社,2008:4—6.



科学家首次在碳纳米管中观察到场致发光

据物理学家组织网 12 月 20 日报道,德国、瑞士和波兰联合研究小组在一项新研究中首次观察到,碳纳米管中缺口间的分子在电流通过时能够发光,这种现象称为场致发光(electroluminescence)。研究发表在最近出版的《自然·纳米技术》上。

一种单层的碳纳米管—分子—碳纳米管(CNT—分子—CNT)的连接固态电子设备在几年前就开发出来,但其光学性质还很难检测。碳纳米管包含了一对金属电极,在电极之间造成一个仅有几纳米宽的缺口,缺口的位置和大小不超过 10nm,并能在纳米尺度精确控制电流通过。

研究人员在缺口放置了一个 6nm 长的小棒型分子,当给电极施加电压时,能观察到明亮的场致发光点。根据用外部照明拍摄的图像覆盖对比,他们确定这种光来自电极之间的分子,并能通过控制电压开关来控制这些点发光。研究人员解释说,电场的特性使分子陷入一种静电陷阱中,弥补了两极之间的“线路”,电极缺口能容纳 1~3 个这种小棒型分子。

论文合著者、卡尔斯鲁厄立功大学拉尔夫·克鲁普克表示,这是首次在 CNT—分子—CNT 连接设备中观察到场致发光。该研究的最大意义在于,我们成功将分子嵌入这种首尾对结构中制造了坚实的固态设备,而且我们能精确控制缺口和分子的大小,让它在施加电压时发光。我们的研究还首次从分子电子学角度证实,设备空档处的分子出现了光学标志。

碳纳米管在分子电子学方面有很多应用。研究人员正在用不同的分子制造出不同发光波长的多种设备,这一重要的基础性研究有助于制造微型化、高能高效计算机,并拓宽了分子电子学视角,比如以单分子为基础开发光电子元件。

(摘自《科技日报》)