

LED 照明的最新技术及其发展动向

邓隐北¹, 郭学梅²

(1.河南亮明电控设备有限公司,河南 郑州 450052)

(2.新乡学院,河南 郑州 450052)

摘要:阐述了发光效率高、显色性好的 LED 照明,如将其能瞬时点灭的特性应用于信号灯和指示灯,则能达到显眼与节能的双重效果。而且,LED 照明具有容易改变光谱分布的特性,在达到“薄明视”光谱视觉条件下,含有很多 510nm 附近的短波,光通量虽少,但亮度相同,因而使新开发的 LED 防犯灯进一步实现节能。此外,还介绍了测光技术中存在的课题以及 LED 照明和有机 EL 照明的发展方向。

关键词:LED 照明;发光效率;显色指数;闪光;“薄明视”光谱视觉

New Technology and Developing Trend of LED

DENG Yin-bei, GUO Xue-mei

中图分类号:TM923 文献标识码:A 文章编号 0219-2713(2015)01·02-028-04

现在,全世界消费的电量,约 20%为因于照明负荷。随着经济形势的迅速发展,由电力紧张导致供电不足,故要求节能节电的同时,广泛使用发光效率高的 LED 已势在必行。不仅是办公室和家庭等室内的照明,甚至道路及公园场所等室外照明,也正由 LED 取代原来的照明。LED 照明目前处于全面的推广应用中。

以 LED(发光二极管)和有机 EL(有机电致发光,亦称 OLED)为代表的固态照明(SSL),除可实现节能和长寿命化以外,几乎不存在紫外放射和红外放射,不使用水银等优越的特点。迄至 2020 年在经济产业省执行的策略是:将流通的白炽灯泡和荧光

灯全部由高效的 LED 照明与有机 EL 照明所更换。因此,LED 照明灯具的种类日益增加,不仅替代原来的照明,而且对充分体现 LED 照明特色的灯具也在不断进行开发。

1 LED 照明的发光效率与显色性

LED 照明用的白光形成方法有多少呢?成为目前主流的如图 1 所示,由蓝色的 LED 芯片与黄色荧光粉组合而成的方法。也即,由 LED 芯片发出的蓝光和荧光粉受蓝光激励产生的较宽频带的黄光,蓝色与黄色存在补色关系,故两种光混合一起则形成白色光。

荧光粉层厚度控制在 80~100 μm ,荧光粉粒度

收稿日期:2015-01-15

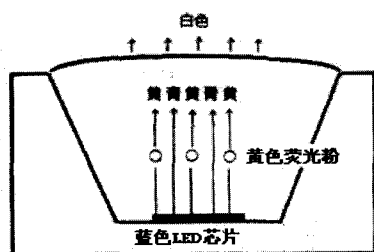


图1 照明用白色LED原理图

平均直径 $7\ \mu\text{m}$ ，制成的白光LED色温为 $6\ 500\ \text{K}$ ， $20\ \text{mA}$ 下发光强度为 $6\ \text{cd}$ (坎德拉，光强的单位)，显色指数 $R_a=80$ ，还具有 $120\ \text{ns}$ 的高速响应性，这是由于YAG荧光粉的余辉时间短。经过近年来的不断改进，光效已持续提高，通过添加少量产生红光的荧光粉使色温降至 $2\ 500\sim 3\ 000\ \text{K}$ ，达到85以上，这种工艺是目前白光LED技术的主流。

LED照明之所以引人注目的最大理由是：对比原来的光源，LED节能，发光效率更好。（发光效率的单位为 lm/w ，流明/瓦）。这就是由灯发出的全部光通量除以灯所消耗的功率，换言之，光效是在相同功率下能发出尽可能多的光所显示的一个指标。白炽灯泡的发光效率，以迄今额定寿命 $1\ 000\ \text{h}$ 的普通照明白炽灯为例，其光效为 $8\sim 21.5\ \text{lm/w}$ 。一般约 $10\ \text{lm/w}$ ；直管型HF荧光灯约 $100\ \text{lm/w}$ ；已产品化的白色LED，目前的光效在 $150\ \text{lm/w}$ 以上；估计在2020年将达到 $235\ \text{lm/w}$ 。由于低压钠灯99%的可见辐射集中在黄双线上，灯的显色性极差，但其光效高达 $200\ \text{lm/w}$ ，是光效最高的人造光源。LED的光效仅次于低压钠灯，但大大超过其它光源的。

光谱分布，是表示从光源发出哪一种波长的光，（即对应于每单位波长辐射量的波长分布）。图2所示为白炽灯泡与LED照明光谱分布的测定例子。光源的颜色即使同为白色，但光谱分布是不同，观察到物体的颜色也是不一样的，涉及其影响的程度称之为显色性。平均显色（评价）数 R_a 是光源显色性好坏的评价指数。在基准光（自然光）下，将与所见颜色偏差的程度数值化，以100为最高，随着显色性的变坏，数值向下递减。白炽灯泡在人造光源中其显色性是首屈一指的 $R_a=100$ ，一般荧光灯的平均

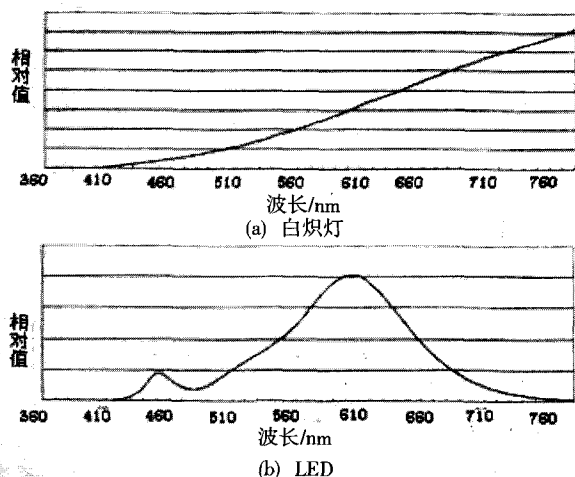


图2 白炽灯与LED照明的光谱分布

显色评价数 $R_a=60\sim 88$ 左右，与其对应的，迄今LED照明的显色性已稍为劣化，特别是红色领域的波长成分显得不足，采用对该领域追加红光荧光粉等措施予以改善。对于高显色性的设计，其平均显色评价数已达到 $R_a=90$ 以上。

3 LED照明的新途径

LED灯能瞬时的点灭也是其特征之一。迄今为止，与发光效率和长寿命等优点比较，能瞬时点灭这一特征并不过分显目，但是，如果能巧妙地利用这一特点，则能容易产生发光时间短的闪光。闪光与稳定光相比，对眼球的吸引力（显目性）更大，所谓显目性，是指在周边环境下表示让人觉得有那么一点显眼的特性。

进行了闪光与稳定光显目性的对比实验。由实验结果求得的能量比和闪光持续时间（发光时间）的关系示于图3。图中所谓的能量比，是指对眼球的吸引力相同情况下的光通量之比（ $1\ \text{Hz}$ 闪光的光通量/稳定光的光通量）。由图3可知，闪光的持续时间越短能量则越少，因而可确保大的显目性。特别是持续时间 $30\ \text{ms}$ 的闪光，能确保相对于稳定光约3%能量下的相同显目性。而且，持续时间 $30\ \text{ms}$ 的闪光，即使与现在经常使用的持续时间 $500\ \text{ms}$ 的明灭光比较；也仅用约14%的能量达到相同的显目性。

这样一来，利用LED发光时间短的闪光，可以

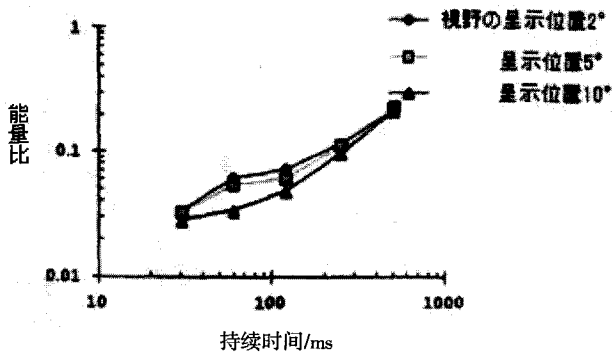


图3 能量比与闪光持续(发光)时间的关系

花较小的功率制成容易显眼的信号灯和显示灯,不仅对各种视觉信号,还期待应用到家电等显示部分。

4 令人瞩目的LED新技术

4.1 基于浦肯野(purkinje)现象的照明技术

原来,道路照明传统采用高压汞灯和高压钠灯,防犯用安全灯则采用荧光灯。由于LED灯可实现大容量化以后,加上其它的一些优点,上述各类灯就不断被LED所取代。LED照明不仅节能,而且寿命长,使用期限高达4~6万h。即使按每天点灯10h计算,也可持续工作10~16年,这对于灯管、灯泡更换困难的道路照明具有很大的优越性。此外,LED照明不含紫外线放射,因紫外辐射会招致眼睛灵敏度高的虫类集结,故这也是一个特色。

所谓浦肯野现象(Purkinje phenomenon),亦称浦肯野效应,是由捷克学者浦肯野首先于1825年发现的。系指在不同的适应状态下对有色光的视觉灵敏度不同的现象。在明适应时对红色和橙色看起来较亮,而在暗适应时则对蓝色光看起来较亮。从图4绘制的光谱亮度曲线看到:明适应时的极值在波长560nm左右,而暗适应时其极值则推移到510nm,这是因为明适应时视锥细胞起作用,而随着逐渐暗适应则变为视杆细胞起作用的缘故。具体说,浦肯野现象就是当人们从锥体视觉向棒体视觉转变时,人眼对光谱的最大感受性将向短波方向移动,因而,出现了亮度不同的变化。例如在阳光照射下,可能红花和蓝花显得一样亮,到了夜晚,蓝花似

乎显得更亮些,这是因为人们从昼视觉向夜视觉转变时,人眼对光的最大敏感性向短波方向移动之故。由于蓝光的波长较红光的短,因此蓝色显得更亮。

如图4中,实线表示明适应时的特性曲线,虚线表示暗适应时的特性曲线。相对于光的波长范围,在明适应时人的眼睛相对灵敏度在560nm附近达到最高值;在暗适应时,人眼的相对灵敏度在510nm附近达到最高值。夜间,安全防犯灯处于点灯状态下,在明适应和暗适应中间的亮度最适应于人的眼睛。具有明适应时和暗适应时中间的特性,这一状态适应的特性是基于浦肯野现象的所谓[薄明视]特性。

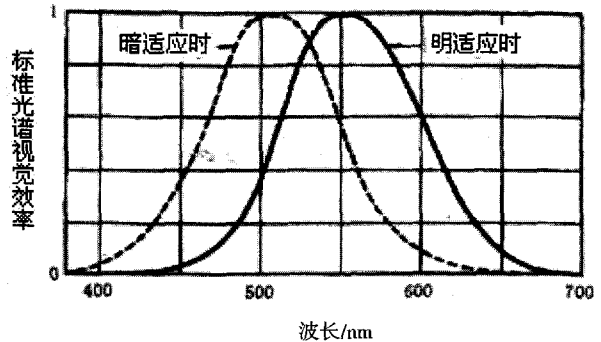


图4 标准光谱视觉效率

LED照明具有容易改变光谱分布的特性,最近正在开发的防犯灯,所采用的光源具有综合了[薄明视]光谱视觉效率的光谱分布。这一照明,含有很多在[薄明视]高灵敏度下510nm附近的短波,光通量虽少但感觉到亮度相同,更能实现节能。

4.2 亮度与光色能灵活改变的照明

根据学习、分娩、进餐、锻炼等不同的生活场面,人们喜爱的颜色和亮度是变化的。一般,在学习时多数喜好明亮的白色光,分娩时稍暗一点的光较好,用餐和锻炼时大多喜好明亮的黄色光。

当使用蓝、红、绿三色(或其更多颜色)的LED时,通过对各个LED输出的调整,可改变亮度和光的颜色。将人们的喜好和生活场面结合起来,目前,能简单改变亮度和光色的照明正走向实用化。LED照明不仅节能和使用期限长,而且还能体现高品质

和丰富多彩的照明特色。

5 测光技术中的课题

对光的量度进行测定就是所谓的测光。照度、亮度、发光强度(光度)、光通量等为主要测光量。在光度分布和光谱分布上,LED照明与原来的光源有很大的差别。因此,迄今为止在难于应用(光)测定技术的场合,恐怕不能正确地确定LED照明的性能。

对于光源等各个方向发光强度的分布称为配光,LED照明中有指向性强的东西,尤其是使用炮弹形LED的情况下,在光轴附近具有陡峭(尖顶)的配光特性。此时,测光的距离短,易产生光度测定的误差。

从光源放射出的全部光通量称之为全光通量。一般使用全光通积分球(内侧涂有氧化镁等白色扩散反射涂料的中空球)来进行测定。对于指向性强的发光强度分布的光源,这一全光通量的测定,易导致大的误差,而且,LED多数制成光源与灯具形成一体的形式,这样,全光通量的测定是有困难的。

图2(b)所示的LED照明,对于其它的光源,具有独特的光谱分布,且按照LED的种类,光谱分布的差别很大。尤其是带颜色的LED,具有陡峭的光谱分布曲线,人眼睛的灵敏度根据光的波长而有所不同。测光量按图4所示明适应时的标准光谱视觉效率进行评定。

对测光来说,又有光谱测光方法和刺激值直读方法。刺激值直读方法是:将具有近似于标准光谱视觉效率的光谱响应特性的受光器。用作测定测光量的测光器。但是,受光器的光谱响应特性与标准光谱视觉效率并非完全一致,尤其对于包含很多短波长蓝色光与长波长红色光的光源,灵敏度容易产生偏移,会出现误差较大的场合,此时,必须要用颜色修正系数进行修正,因光谱分布与原来的光源有很大差别,这一修正工作是困难的。

6 结束语

固态照明中,与LED照明一起有望成为将来大

力发展的有机EL照明,刚开始投向市场。对具有逐渐适合照明利用的发光效率和耐久性的有机EL进行了开发。现在,光效约60 lm/w的有机EL照明正实现产品化,预计2020年其光效将达到140 lm/w。对于面发光型、薄的、弯曲的各种形式LED,具有不同的特性,说不定将大大改变未来照明的格局。随着效率的提高和价格的下降,今后的开发潜力是巨大的。

不能简单地由LED照明更换原来使用的白炽灯泡和荧光灯,因LED照明用光源、大小、形状、发光强度分布等特性,与原来光源有很大的不同,只有对综合这些特性的照明灯具进行开发后,才能充分有效发挥这一光源的作用。

在使用电能的照明出现以前,曾经长时期的使用油灯和蜡烛等燃烧的光源。在各个国家各个地区,都曾制作过具有独特设计和功能的各种照明灯具。随着人们生活的不断发展和改善,即使是固态照明,一方面也可参照油灯和蜡烛等照明灯具的优秀设计,一方面还寄希望于独立自主开发新的照明灯具,由此,期待进一步的创建丰富多彩的照明环境。

参考文献

- [1] 入仓隆(芝浦工业大学).LED照明新技术新展开[J].产业与环境(日),2013,No.5 P11-14.
- [2] 邓隐北.利用发磷光方式的有机EL照明[J].照明,2013, No.2.
- [3] 邓隐北.有机EL照明的开发现状[J].电源世界,2013, No.4.

作者简介

邓隐北(1937-),男,原郑州大学机电工程学院院长,教授级高工。现在河南亮明电控设备有限公司担任技术顾问。发表水电、风电、太阳能等领域相关论文400余篇,拥有国家发明和实用新型专利35项。