

文章编号:1000-582X(2007)01-0139-03

# 道路照明常用光源在中间视觉条件下的光效\*

胡英奎<sup>1,2</sup>, 陈仲林<sup>1</sup>, 刘英婴<sup>1</sup>

(重庆大学 1. 建筑城规学院; 2. 土木工程学院, 重庆 400030)

**摘要:**因为道路照明亮度水平一般在中间视觉范围内,所以目前依据明视觉光谱光视效率函数确定光源在道路照明条件下光效的方法是不合适的.为了得到道路照明常用光源在中间视觉条件下的光效,正确选择道路照明光源和使道路照明设计达到节能要求,采用中间视觉的实用模型和国内外利用多种方法得到的实验数据,研究高压钠灯和金属卤化物灯(镝灯)这2种道路照明常用光源在中间视觉条件下的光学特性,计算出了这2种光源在中间视觉条件下的光效,分析了在中间视觉条件下的光效随适应亮度水平变化而变化的规律,并提出应根据道路照明所需要的亮度水平选择合适的照明光源.

**关键词:**中间视觉;道路照明;高压钠灯;金属卤化物灯;发光效率

**中图分类号:**TU113.6

**文献标识码:**A

道路照明是典型的中间视觉条件下的照明应用.确定光源在中间视觉条件下的光效对于指导道路照明光源的选择、实现道路照明节能具有重要意义<sup>[1]</sup>,但由于中间视觉光谱光视效率函数和中间视觉光谱光视效能的最大值都还没有最终确定,这就使得光源在中间视觉条件下的光效很难确定.

高压钠灯(HPS)和金属卤化物灯(MH)可用式(1)和(2)式容易地分别计算出它们在明视觉和暗视觉条件下的光通量<sup>[2]</sup>,进而可以计算出它们在明视觉和暗视觉条件下的发光效率.

$$\Phi_p = 683 \sum \Phi_{e,\lambda} V(\lambda), \quad (1)$$

$$\Phi_s = 1700 \sum \Phi_{e,\lambda} V'(\lambda). \quad (2)$$

式中: $\Phi_p$ 为明视觉光通量,lm;当 $V(\lambda)$ 取 $V_{10}(\lambda)$ 时记为 $\phi_{p0}$ , $V(\lambda)$ 取 $V_2(\lambda)$ 时记为 $\phi_{p2}$ ;  $\Phi_s$ 为暗视觉光通量,lm;  $\Phi_{e,\lambda}$ 为光源在380~780 nm之间波长为 $\lambda$ 的光谱辐射通量,W;  $V(\lambda)$ 为明视觉光谱光视效率函数;  $V'(\lambda)$ 为暗视觉光谱光视效率函数.

但由于道路照明是处于中间视觉条件下,光源在中间视觉条件下的光通量应按式(3)计算.

$$\Phi_m = K_{mm} \sum \Phi_{e,\lambda} V_m(\lambda). \quad (3)$$

式中: $\Phi_m$ 为中间视觉光通量,lm; $K_{mm}$ 为中间视觉光谱光视效能最大值,lm/W;  $V_m(\lambda)$ 为中间视觉光谱光视效率函数.

到目前为止,还没有被国际照明界所普遍认可的中间视觉光谱光视效率函数 $V_m(\lambda)$ 和中间视觉光谱光视效能最大值 $K_{mm}$ ,因此很难确定光源在中间视觉条件下的光效.笔者利用前人的研究成果,对400 W标准型高压钠灯和400 W金属卤化物灯(镝灯)在中间视觉条件下的光效进行研究.

## 1 HPS和MH的明视觉与暗视觉光通量的计算

根据复旦大学电光源研究所提供的400 W标准型高压钠灯和400 W金属卤化物灯(镝灯)的光谱功率分布,分别将 $V_{10}(\lambda)$ 和 $V_2(\lambda)$ 带入到式(1)可以得到HPS和MH在明视觉条件下2°视野和10°视野的辐射光通量;将 $V'(\lambda)$ 带入到式(2)可以得到HPS和MH在暗视觉条件下的辐射光通量.计算结果如表1所示.

\* 收稿日期:2006-08-23

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50378093);教育部博士学科点科研基金资助项目(20050611007)

作者简介:胡英奎(1978-),男,重庆大学讲师,博士研究生,主要从事建筑技术研究.陈仲林,男,教授,博士生导师,

电话(Tel.):023-65126320;E-mail:cqzmxh@cqu.edu.cn

表1 HPS和MH的明、暗视觉光通量

光源		HPS	MH
明视觉光通量	$\Phi_{P10}$	44 303.72	38 327.63
/lm	$\Phi_{P2}$	42 838.39	36 091.91
暗视觉光通量/lm	$\Phi_S$	27 848.68	72 467.70
$\Phi_S/\Phi_P$	$\Phi_S/\Phi_{P10}$	0.628 6	1.890 7
	$\Phi_S/\Phi_{P2}$	0.650 1	2.007 9

从表1可以看出:HPS在明视觉条件下的光通量大于其在暗视觉条件下的光通量,而MH在明视觉条件下的光通量则小于其在暗视觉条件下的光通量.因此,HPS应用于明视觉条件下比应用于暗视觉条件下发光效率要高,更利于节能;而MH应用于暗视觉条件下比应用于明视觉条件下发光效率要高,更利于节能.

## 2 中间视觉光谱光视效率函数的确定

从20世纪80年代开始,很多国家的研究机构和人员开展了对中间视觉的研究.他们所采用的方法也各不相同,归纳起来大致有以下几种:异色视亮度匹配法、闪烁光度测量法、视觉功效法等<sup>[3]</sup>.由文献[4]可知,在中间视觉条件下运用异色视亮度匹配法和闪烁光度测量法时,光度测量的可加性原理不成立,这意味着不能用异色视亮度匹配法和闪烁光度测量法来研究中间视觉.

笔者采用芬兰的赫尔辛基技术大学(HUT)照明实验室等单位,采用基于视觉行为的视觉功效法,提出的中间视觉实用模型<sup>[5]</sup>来确定中间视觉光谱光视效率函数.该模型认为中间视觉光谱光视效率函数的形式为:

$$M(x)V_m(\lambda) = xV(\lambda) + (1-x)V'(\lambda), \quad (4)$$

式中 $V_m(\lambda)$ 为指定条件下的中间视觉光谱光视效率函数,当 $V(\lambda)$ 取 $V_{10}(\lambda)$ 时记为 $V_{m10}(\lambda)$ , $V(\lambda)$ 取 $V_2(\lambda)$ 时记为 $V_{m2}(\lambda)$ ;

$M(x)$ 为使 $V_m(\lambda)$ 的最大值为1的规范化函数; $x$ 为中间视觉指定条件的函数,当 $x=1$ 时 $V_m(\lambda)$ 即为明视觉光谱光视效率函数,当 $x=0$ 时 $V_m(\lambda)$ 即为暗视觉光谱光视效率函数.

用该模型求中间视觉光谱光视效率函数的关键是确定系数 $x$ 的值.用参考文献[5]表4中适应亮度为0.1、0.3、1.3、10 cd/m<sup>2</sup>的数据可以求得 $x$ 的表达式:

$$x = a + b \ln \frac{\Phi_S}{\Phi_P} + c \ln L_b + d (\ln \frac{\Phi_S}{\Phi_P})^2 + e (\ln L_b)^2 + f \ln \frac{\Phi_S}{\Phi_P} \ln L_b, \quad (5)$$

式中 $a = 0.681 6$ 、 $b = 0.025 46$ 、 $c = 0.130 0$ 、 $d = 0.005 522$ 、 $e = -0.002 111$ 、 $f = -0.011 91$ ,拟合结果的复相关系数 $R^2 = 0.999 8$ ,最大误差(以参考文献[5]中表4的数据为准)为2.04%.

用式(5)计算适应亮度 $L_b$ 分别为0.1、0.32、0.5、1.0、2.0、3.0、5.0、8.0、10.0 cd/m<sup>2</sup>时的 $x$ 的值如表2所示.

表2 中间视觉实用模型中的 $x$ 值

$L_b/\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	HPS		MH	
	$x_{10}$	$x_2$	$x_{10}$	$x_2$
0.1	0.347 7	0.349 3	0.407 0	0.410 6
0.32	0.513 8	0.514 9	0.557 8	0.560 6
0.5	0.576 0	0.577 0	0.614 2	0.616 7
1.0	0.671 0	0.671 7	0.700 1	0.702 0
2.0	0.763 9	0.764 3	0.783 9	0.785 4
3.0	0.817 3	0.817 6	0.832 0	0.833 2
5.0	0.883 6	0.883 7	0.891 6	0.892 4
8.0	0.943 7	0.943 5	0.945 5	0.946 0
10.0	0.971 8	0.971 6	0.970 7	0.971 1

表2中的 $x_{10}$ 、 $x_2$ 分别为将 $\Phi_S/\Phi_{P10}$ 和 $\Phi_S/\Phi_{P2}$ 带入到式(5)计算得到的 $x$ 值.从表2可以看出,同一种光源在相同的适应亮度水平下的 $x_{10}$ 和 $x_2$ 之间并不相等.此外,在适应亮度水平为10.0 cd/m<sup>2</sup>时2种光源的 $x$ 值都接近1而略小于1,这说明该模型不能精确描述明视觉的情况,所以还需要对该模型进行进一步研究和修正,以扩大其适用范围.由于道路照明一般达不到10.0 cd/m<sup>2</sup>的亮度水平,因此这并不会显著影响该模型在道路照明领域的使用.

将表2中的 $x$ 及 $V'(\lambda)$ 、 $V_{10}(\lambda)$ 或 $V_2(\lambda)$ 带入式(4),并令式(4)中 $M(x) = 1$ ,可求出相应条件下的 $V_{m1}(\lambda)$ .将各种条件下380~780 nm之间的 $V_{m1}(\lambda)$ 的最大值记为 $V_{m\max}$ ,则相应条件下的 $M(x) = 1/V_{m\max}$ ,从而可以计算出 $V_m(\lambda) = M(x)V_{m1}(\lambda)$ .

## 3 HPS和MH的在中间视觉条件下的光通量计算

用式(3)计算光源在中间视觉条件下的光通量时还需要确定中间视觉最大光谱光视效能 $K_{\text{min}}$ . $K_{\text{min}}$ 的值可以按照式(6)<sup>[6]</sup>确定,

$$K_{\text{min}} = 1191.50 - 254.25 \lg E_{Td}, \quad (6)$$

式中 $E_{Td}$ 为网膜照度,Td.

按式(6)计算得到的适应亮度 $L_b$ 为0.1、0.32、0.5、1.0、2.0、3.0、5.0、8.0、10.0 cd/m<sup>2</sup>时的光谱光视效能最大值如表3所示.

表3 中间视觉光谱光视效能最大值

$L_b/\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	0.1	0.32	0.50	1.0	2.0	3.0	5.0	8.0	10.0
$K_{mm}/\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$	1 191.5	1 063.1	1 013.8	937.3	860.7	815.9	759.5	707.6	683

将各种适应亮度水平下的中间视觉光谱光视效率函数数值  $V_m(\lambda)$  及相应的光谱光视效能最大值  $K_{mm}$ , 带入到式(3)即可计算出 HPS 和 MH 在相应适应亮度水平下的光通量, 进而可以计算出 HPS 和 MH 在指定适应亮度水平的光效, 如表4所示。

表4 HPS 和 MH 在指定适应亮度水平下的光效

$L_b/\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$			
	HPS		MH	
	$\eta_{10}$	$\eta_2$	$\eta_{10}$	$\eta_2$
0.1	112.98	113.28	165.80	164.92
0.32	128.96	127.62	157.04	153.06
0.50	132.34	129.95	151.59	146.67
1.0	133.02	130.05	140.40	135.10
2.0	129.36	126.15	127.87	122.27
3.0	125.93	122.38	120.34	114.46
5.0	120.44	116.41	110.73	104.56
8.0	113.85	109.94	101.36	95.51
10.0	110.36	106.64	96.91	91.29

表4中的  $\eta_{10}$  和  $\eta_2$  分别为根据将  $V_{mid}(\lambda)$ 、 $V_{m2}(\lambda)$  带入到式(3)得到的光通量计算的光源光效。从表4可以看出, 同一种光源在相同适应亮度水平下的  $\eta_{10}$  和  $\eta_2$  存在一定的差别。因此, 在进行光度测量和光源光效的计算时必须正确选用光谱光视效率函数。而目前的光度测量和光源光效的计算都是基于明视觉光谱光视效率函数  $V_2(\lambda)$ <sup>[7]</sup>, 这显然是不合适的。从表4还可以看出, 随着适应亮度水平从  $10 \text{ cd/m}^2$  下降到  $0.1 \text{ cd/m}^2$ , MH 的光效逐渐增大; 而 HPS 的光效先增大后减小。按照计算表4中列出的各适应亮度水平光效的方法可以算出, HPS 的光效  $\eta_{10}$  约在适应亮度  $L_b$  为  $0.75 \text{ cd/m}^2$  时达到最大值  $133.42 \text{ lm/W}$ ;  $\eta_2$  约在适应亮度  $L_b$  为  $0.8 \text{ cd/m}^2$  时达到最大值  $132.49 \text{ lm/W}$ 。此外, 当适应亮度水平在  $2.0 \text{ cd/m}^2$  及其以上时, HPS 的光效大于 MH 的光效; 当适应亮度水平在  $1.0 \text{ cd/m}^2$  及其以下时, HPS 的光效小于 MH 的光效。按照计算表4中列出的各适应亮度水平光效的方法可以算出, 当适应亮度水平在  $1.75 \text{ cd/m}^2$  时, HPS 的光效  $\eta_{10}$  等于 MH 的光效  $\eta_{10}$  (其值为  $130.31 \text{ lm/W}$ ); 当适应亮度水平在  $1.75 \text{ cd/m}^2$  以上时, HPS 的光效  $\eta_{10}$  大于 MH 的光效  $\eta_{10}$ ; 当适应亮度水平在  $1.75 \text{ cd/m}^2$  以下时,

HPS 的光效  $\eta_{10}$  小于 MH 的光效  $\eta_{10}$ 。当适应亮度水平在  $1.45 \text{ cd/m}^2$  时, HPS 的光效  $\eta_2$  等于 MH 的光效  $\eta_2$  (其值为  $128.36 \text{ lm/W}$ ); 当适应亮度水平在  $1.45 \text{ cd/m}^2$  以上时, HPS 的光效  $\eta_2$  大于 MH 的光效  $\eta_2$ ; 当适应亮度水平在  $1.45 \text{ cd/m}^2$  以下时, HPS 的光效  $\eta_2$  小于 MH 的光效  $\eta_2$ 。

#### 4 结论

光源的光效随适应亮度水平的变化而变化, 但不同光源随适应亮度水平而变化的规律不同。在中间视觉范围内, MH 的光效随适应亮度水平的下降而增大; 但 HPS 的光效随着适应亮度水平的下降先增大后减小, 并在亮度为  $0.75 \sim 0.8 \text{ cd/m}^2$  时达到最大。在选择道路照明光源时, 应将光源使用环境所需要的亮度水平作为重要依据。如在需要的环境亮度水平高于  $1.5 \text{ cd/m}^2$  时选择 HPS 比选择 MH 的效率要高, 但在需要的环境亮度水平低于  $1.5 \text{ cd/m}^2$  时选择 MH 则比选择 HPS 的效率要高。总之, 在选择照明光源时, 应充分考虑光源使用环境需要的亮度水平以及光源的光效随适应亮度水平变化的规律, 以充分利用光源的发光特性, 从而达到节能的目的。

#### 参考文献:

- [1] 汪建平, 邓云塘, 钱公权. 道路照明[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2005.
- [2] [日]照明学会. 照明手册[M]. 李农, 杨燕译. 北京: 科学出版社, 2005.
- [3] 林燕丹, 陈大华, 邵红, 等. 中间视觉研究的动态及研究模式的剖析[J]. 照明工程学报, 2002, 13(4): 9-13.
- [4] ELOHOLMA M, VIKARI M, HALONEN L, et al. Mesopic models — from brightness matching to visual performance in night-time Driving: a review[J]. Lighting Res. Technol, 2005, 37(2): 155-175.
- [5] HUT, CU, NPL. Performance based model for mesopic photometry [R]. Finland: Helsinki University of Technology, 2005.
- [6] 陈仲林, 杨春宇, 何正军. 光谱光视效能最大值研究[J]. 照明工程学报, 2003, 14(3): 1-3.
- [7] HE Y J, BIERMAN A, REA M. A system of mesopic photometry [J]. Lighting Res Technol, 1998, 30(4): 175-181.

## Relationship Between the Period and Quantity of Algae Production and TN/TP in Water

LUO Gu-yuan, KANG Kang, ZHU Liang

(College of Urban Construction and Environment Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** The authors reasearch the period and quantity of algae production by using tap water as experimental water at the time when TN/T Pchanges form 25:1 to 4:1 in laboratory experiments. The experimental sett six ratios: 25:1, 20:1, 15:1, 12:1, 10:1, 4:1. They explore the effects of temperature on the production of algae by doing the same experiment in summer and winter. The results show that when TN/TP changes within the range of 25:1 ~ 12:1, the period of algae production reduces and quantity of algae production increases with TN/TP reduces. The ratio of TN/TP suitable for algae to breed is 12:1. With TN/TP changes within the range of 12:1 ~ 10:1, the period of algae production increases and quantity of algae production reduces with TN/TP redwtion. When TN/TP is 4:1, there is no algae. Seasons have great influences on the production of algae. In summer, the period of algae production is short and the quantity is large. While in winter, the period is longer and the quantity is smaller respectively.

**Key words:** algae; TN/TP; season; the period of algae production; the concentration of algae.

(编辑 陈移峰)

(上接第 141 页)

## Luminous Efficiencies of Common Light Sources of Road Lighting in Mesopic Lighting Level

HU Ying-kui<sup>1,2</sup>, CHEN Zhong-lin<sup>1</sup>, LIU Ying-ying<sup>1</sup>

(1. College of Architecture and Urban Planning;

2. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** It is inappropriate to define the luminous efficiencies of light sources based on the photopic luminous efficiency function  $V(\lambda)$  in road lighting application, because road lighting is under mesopic level. In order to define the luminous efficiencies in mesopic level of common light sources of road lighting, and provide advices for designers to choose lighting sources properly, and for road lighting design to save energy, this paper studies light characteristics of two common light sources of road lighting, high pressure sodium lamp and metal halide lamp (dysprosium lamp), calculates the luminous efficiencies of these two light sources under mesopic level, analyzes luminous efficiencies' changing rules with the change of background lighting level of these two light sources under mesopic level. The conclusion is that light level of road lighting should be considered when choosing light sources.

**Key words:** mesopic vision; road lighting; high pressure sodium lamp; metal halide lamp; luminous efficiency

(编辑 陈移峰)