

文章编号:1005-0523(2013)01-0022-04

中间视觉对隧道照明的影响

杨超,范士娟

(华东交通大学机电工程学院,江西 南昌 330013)

摘要:传统的隧道照明设计采用明视觉标准,但隧道内有些区段的照明属于中间视觉范畴。采用照明设计软件DIALux设计了隧道模型,建立了LED照明系统,对属于中间视觉范畴的隧道中间段的照明进行了仿真试验。试验结果表明,在路面亮度要求相同的情况下,采用明视觉标准计算的照度和照度均匀度,结果偏小,均小于采用中间视觉S模型的计算结果,造成能耗偏高和照明视觉上的差异,路面亮度越低,视觉差异越大。

关键词:隧道照明;中间视觉;仿真

中图分类号:U453.7;R339.14

文献标志码:A

公路隧道是公路交通的重要部分,给交通提供了极大的便利。为使隧道交通更加安全、舒适,必须提供一个良好的隧道内视觉环境,所以,隧道照明系统必不可少。隧道照明不同于一般的道路照明,白天也需要照明,特别是汽车驾驶员在出、入隧道时还存在视觉上的适应问题^[1-3]。因此,科学设计隧道照明系统,考虑驾驶人员的视觉适应问题,确保白天和夜间行驶车辆均能够以设计行车速度安全地接近、穿越和通过隧道,同时降低照明系统能耗,是非常重要的。

我国现行的隧道照明设计标准《公路隧道通风照明设计规范》^[4]中,所有的光学度量都是在CIE^[5]推荐的明视觉条件下进行计算的,没有考虑到隧道白天时的暗适应和明适应问题,更没涉及隧道内的中间视觉问题。在隧道中间段,人眼的杆状感光细胞和锥状感光细胞同时起作用,属于中间视觉的范畴,如果不加考虑或只以明视觉来对待,不符合隧道内的实际情况。在中间视觉条件下,人眼的光视光谱效率函数随着亮度的变化而变化^[6],需要一系列不同亮度水平和视觉作业条件下的光谱光视效率函数曲线描述,想用—个光谱光视效率函数来描述人眼在中间视觉状态下的视觉特性是不可能的,这样,在实际的道路隧道照明中利用中间视觉对光学度量进行计算很不方便。为此,很多学者提出了建立中间视觉模型的想法,即采用一种数学表达的方式或查表方法利用明视觉和暗视觉的组合来表达中间视觉。

1 中间视觉S模型

常见的中间视觉模型有基于视觉亮度匹配的中间视觉模型和基于视觉功效的中间视觉模型,而基于视觉功效的中间视觉模型又包括X模型^[7]、MOVE模型^[8]和S模型^[9]。相比于X模型和MOVE模型,S模型计算的亮度结果在X模型和MOVE两者之间,但其计算形式相当简洁,更加适合于实际的照明应用。中间视觉的光谱光视效率函数表示为

收稿日期:2012-12-08

基金项目:江西省自然科学基金项目(20122BAB201017)

作者简介:杨超(1969—),男,副教授,博士,研究方向为状态监测与控制。

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

式中: λ 为光波长, nm; $V(\lambda)$ 为明视觉下的光谱光视效率函数; $V'(\lambda)$ 为暗视觉下的光谱光视效率函数; x 为 0~1 之间的系数。3 个模型的不同之处在于 x 值的计算方法不同, 对于中间视觉 S 模型, $x = L_m / (0.2 + L_m)$, L_m 为中间视觉亮度, $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

中间视觉 S 模型在隧道照明中的应用步骤:

- 1) 确定隧道在明视觉标准下的亮度值;
- 2) 根据所选用的照明光源计算得出 S/P 值, S/P 代表该光源在暗视觉下的光通量与在明视觉下光通量的比值, 即^[10]

$$S/P = \frac{1700 \int L_{e,\lambda} V'(\lambda) d\lambda}{683 \int L_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

式中: $L_{e,\lambda}$ 为相对光谱能量值。

- 3) 根据 S/P 值查表得到隧道中间段中间视觉修正系数 R_m , 对相应的路面亮度值进行修正。中间视觉亮度 L_m 与明视觉亮度 L_p 之间的关系为

$$L_m = R_m \times L_p$$

2 仿真试验

针对隧道 LED 灯进行仿真试验。采用照明设计软件 DIALux 建立隧道模型, 设定照明环境, 在隧道模型内布置、安装 LED 灯, 通过仿真试验, 得到明视觉标准下的隧道路面亮度、照度值。利用中间视觉 S 模型对隧道照明的路面亮度、照度值进行修正, 计算修正后的路面照明质量评价指标, 并和明视觉条件下的照明质量评价指标进行对比。

2.1 隧道模型及试验条件

设计隧道模型长 100 m, 高度 7 m, 行车道宽 8.5 m, 隧道中间段 54.8 m, 双车道单向交通, 设计时速 80 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, 车流量 ≤ 700 辆 $\cdot \text{h}^{-1}$, 水泥混凝土路面, 墙面铺设反射率为 0.75 的材料。试验照明灯具为 48 W LED, 其维护系数为 0.65, 安装高度 4.5 m, 安装倾角 30° , 布灯间距为 16 m, 双侧对称布置。

2.2 试验结果

按照我国隧道照明设计规范的要求, 隧道中间段的标准亮度为 $2 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, 取亮度、照度换算系数为 $10 \text{ lx} \cdot \text{cd}^{-1} \cdot \text{m}^2$, 属于中间视觉范畴 ($10^{-3} \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} < 2 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} < 10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$)。中间段的横向测量点数为 7, 纵向测量点数为 21, 总测量点数为 $7 \times 21 = 147$ 个。灯具色温为 6 000 K, 光通量为 3 800 lm, 发光效率 $= 80 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-2}$ 。经计算得到灯具的 $S/P = 2.26$ 。表 1 是在 $S/P = 2.26$ 时采用中间视觉 S 模型、不同照度情况下的修正系数, 其它的照度修正系数可通过插值计算。表 2 列出了明视觉条件下隧道模型中间段路面照度值和根据中间视觉 S 模型计算的照度修正系数。

表 1 $S/P = 2.26$ 时中间视觉 S 模型下的不同照度修正系数

Tab.1 Illuminance correction factors in condition of mesopic vision S-model while $S/P = 2.26$

	明视觉照度/lx						
	0.01	0.1	1	3	10	30	100
修正系数 R_m	2.224	2.008	1.446	1.226	1.086	1.030	1.000

将表 2 中的明视觉照度值与修正系数相乘, 即可得到中间视觉 S 模型下的路面照度值, 不再列表。

表2 中间段路面明视觉照度值和路面照度值修正系数 R_m Tab.2 Road surface illuminance values of interior zone in condition of photopic vision and their illuminance correction factors (R_m)

测点	1		2		3		4		5		6		7	
	照度/lx	R_m	照度/lx	R_m	照度/lx	R_m	照度/lx	R_m	照度/lx	R_m	照度/lx	R_m	照度/lx	R_m
1	13.1	1.077	22.6	1.051	24.4	1.046	19.8	1.059	24.4	1.046	22.6	1.051	12.9	1.078
2	14.4	1.074	24.2	1.046	25.2	1.043	20.6	1.056	25.2	1.043	23.4	1.048	14.2	1.074
3	18.8	1.061	26.5	1.040	26.8	1.039	22.2	1.052	26.8	1.039	26.5	1.040	18.8	1.061
4	26.0	1.041	32.3	1.029	30.3	1.030	25.7	1.042	30.3	1.030	32.3	1.029	25.2	1.043
5	34.1	1.028	41.4	1.025	37.8	1.027	33.2	1.029	37.8	1.027	40.6	1.026	32.6	1.029
6	34.9	1.028	42.2	1.025	37.8	1.027	33.2	1.029	37.8	1.027	41.4	1.025	34.1	1.028
7	29.1	1.033	33.9	1.028	31.1	1.030	26.5	1.040	31.1	1.030	33.9	1.028	28.3	1.035
8	21.9	1.053	28.8	1.033	27.5	1.037	22.9	1.050	27.5	1.037	28	1.036	21.1	1.055
9	16.5	1.068	25.0	1.044	26	1.041	21.4	1.054	26	1.041	25	1.044	16.5	1.068
10	14.4	1.074	23.4	1.048	24.4	1.046	19.8	1.059	24.4	1.046	23.4	1.048	14.4	1.074
11	13.3	1.077	22.6	1.051	24.4	1.046	19.8	1.059	24.4	1.046	22.6	1.051	13.3	1.077
12	14.4	1.074	23.4	1.048	25.2	1.043	19.8	1.059	24.4	1.046	22.6	1.051	14.4	1.074
13	16.5	1.068	25.0	1.044	26	1.041	21.4	1.054	26	1.041	25	1.044	16.5	1.068
14	21.9	1.053	28.8	1.033	27.5	1.037	22.9	1.050	27.5	1.037	28	1.036	21.9	1.053
15	29.1	1.033	33.9	1.028	31.1	1.030	26.5	1.040	31.1	1.030	33.1	1.029	28.3	1.035
16	34.9	1.028	42.2	1.025	37.8	1.027	33.2	1.029	37.8	1.027	41.4	1.025	34.1	1.028
17	33.4	1.029	41.4	1.025	37.8	1.027	33.2	1.029	37.1	1.027	40.6	1.026	32.6	1.029
18	26.0	1.041	32.3	1.029	30.3	1.030	25.7	1.042	30.3	1.030	31.6	1.029	25.2	1.043
19	19.6	1.059	26.5	1.040	26.8	1.039	22.2	1.052	26.8	1.039	26.5	1.040	18.8	1.061
20	14.4	1.074	24.2	1.046	25.2	1.043	20.6	1.056	25.2	1.043	23.4	1.048	14.2	1.074
21	13.1	1.077	22.6	1.051	24.4	1.046	19.8	1.059	24.4	1.046	22.6	1.051	12.9	1.078

2.3 对比分析

隧道照明的所有质量评价指标,都是从机动车驾驶员的角度来衡量,考虑其视觉功能和舒适两方面^[11-12],主要包括路面平均亮度(照度)、路面亮度(照度)均匀性、眩光控制水平、隧道周边环境系数以及视觉诱导性等方面。亮度指的是明亮程度,反映人的主观明亮感觉,照度的高低则影响人识别对象的难易程度。本文采用前两个评价指标对明视觉标准下的隧道路面照度和中间视觉S模型下的隧道路面照度进行比较,比较结果如表3所示。

显然,同一个照明系统,采用明视觉标准计算得到的路面照明质量低于采用中间视觉S模型计算的路面照明质量,即明视觉标准计算结果偏小。使用同种光源,采用中间视觉S模型设计照明系统时,适当减小光源的功率也能满足隧道内照明需求。因此,在隧道照明设计计算中,在满足我国隧道照明设计规范要求的路面照度及照度均匀度的前提下,属于中间视觉的隧道中间段采用中间视觉S模型来计算、设计更为合理。隧道中间段路面照明亮度要求值为 $2 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$,属于较高亮度等级路面,在中间视觉S模型里, x 值大于 0.91,即明视觉亮度所占比例超过 91%,因此路面照度修正系数虽然均大于 1,但均未超过 1.1,中间视觉S模型计算的亮度、照度接近明视觉的亮度、照度值,路面照明质量的提高不是特别显著,这从表2、表3中

即可看出。但随着路面照度值的降低(亮度值也同时降低),修正系数增大,按明视觉计算的差异也越大。此外,同功率的不同光源,隧道内的路面照度也会因中间视觉的原因产生一定的视觉差异,比如同为100 W的LED和HPS,一般情况下LED的 S/P 为2.5,HPS的 S/P 为0.65,当洞内路面照度为20 lx时,LED的中间视觉修正系数为1.07,HPS的中间视觉修正系数为0.98,由此而产生的最大视觉差异达到了9%左右。

表3 明视觉标准和中间视觉S模型下中间段路面照度比较

Tab.3 Surface illuminance comparison of interior zone in conditions of photopic vision and mesopic vision S-model

视觉模型	路面平均照度/lx	路面照度总均匀度/%		路面照度纵向均匀度/%		最小照度/lx	最大照度/lx
		试验值	规范值	试验值	规范值		
明视觉标准	26.34	0.49	0.3	0.60	0.5	12.9	42.2
中间视觉S模型	27.40	0.51	0.3	0.61	0.5	13.9	43.3
变化/%	4.0 ↑	4.1 ↑		1.7 ↑		7.8 ↑	2.6 ↑

3 结束语

在传统的隧道照明设计中,隧道所有区段均采用明视觉标准,而隧道中间段照明属于中间视觉范畴,因此,传统的隧道照明设计方法而与实际情况不符。为了考察中间视觉对隧道照明的影响,本文采用照明设计软件DIALux设计了隧道模型,在其中间段建立了LED照明系统,并进行了仿真试验,选择了中间视觉S模型,对比分析了该模型和明视觉标准应用于隧道中间段照明计算上的差异。结果表明,采用明视觉标准计算隧道中间段的路面照度及照度均匀度,均小于采用中间视觉S模型的计算结果,反映了在相同亮度要求的前提下,存在照明视觉上的差异——主要是识别路面对象难易程度的差异,尤其在光线较暗的区域。因此,属于中间视觉的隧道中间段在设计照明系统时,采用中间视觉S模型比明视觉标准更合理些,在达到相同路面照度和均匀度的情况下,结合灯具的选择和灯具布置参数的优化,采用中间视觉S模型可以设计出比采用明视觉标准更省电的照明系统。

参考文献:

- [1] ISHIMURA T. Road tunnel lighting[J]. Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers, 2004, 107(1030): 687-689.
- [2] BEKA M C. A study on tunnel lighting[J]. Journal of Lighting Design & Application, 2005(6): 10-16.
- [3] 陈仲林,孙春红. 公路隧道照明设计研究[J]. 灯与照明, 2007, 31(3): 32-35.
- [4] 交通部重庆公路科学研究所. JTJ 026.1-1999 公路隧道通风照明设计规范[S]. 北京:人民交通出版社, 2000.
- [5] COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. CIE No.30.2 1998 Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses[S]. Vienna: CIE Publication, 1982.
- [6] 周太明,林燕丹. 光源的光谱与低照明水平——中间视觉的基础[J]. 照明工程学报, 2009, 20(4): 1-4.
- [7] REA M S, BULLOUGH J D, FREYSSINIER JP B A. A proposed unified system of photometry[J]. Lighting Research Technology, 2004(36): 85-111.
- [8] Eloholma M. Development of visual performance based mesopic photometry [D]. HUT Lighting Laboratory, 2005.
- [9] 陈文成. 中间视觉S光度学模型的建立及应用[D]. 上海:复旦大学, 2008.
- [10] HE Y, REA M S, BIERMAN A B J. Evaluating light source efficiency under mesopic conditions using reaction times[J]. J. Illum Eng Soc, 1997(26): 125-138.
- [11] 胡英奎,陈仲林,刘英婴. 道路照明常用光源在中间视觉条件下的光效[J]. 重庆大学学报:自然科学版, 2007, 30(1): 139-141.
- [12] 崔晗晶,李丹. 隧道照明工程质量评价指标的探讨[J]. 交通标准化, 2009(2): 39-41.

(下转第63页)

Forecast of China's Private Car Ownership Based on the Exponential Smoothing

Shen Xiaoli, Chen Jingya, Wang Kun

(Civil Engineering and Transportation Institute, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The rapid development of economy in our country provides huge development space for private cars. The scientific forecast of private car ownership is the key to the development of China's highway traffic short and long term development planning, which is significant for solving a series of problems, such as the traffic congestion, energy crisis, environmental pollution, resource shortage and so on. First of all, according to the change of China's private car ownership in 2000-2011, using the minimum mean square error principle, this paper selects exponential smoothing coefficient, establishing secondary exponential smoothing model and exponential smoothing model for three times. Then the model is used to predict the 2012-2016 car ownership of China. To make prediction results more reasonable, this paper finally applies the principle of the correlation coefficient to evaluate, selects relative ideal forecast results, thus providing reference for private car ownership decision-making.

Key words: exponential smoothing; private car ownership; mean square error; correlation coefficient

(上接第25页)

Effects of Mesopic Vision on Tunnel Lighting

Yang Chao, Fan Shijuan

(School of Mechatronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Photopic vision standard was adopted in traditional design of tunnel lighting, but the lighting of some tunnel zones was in category of mesopic vision. A tunnel model is firstly designed with lighting software-DIALux and a lighting system with LED is established in the tunnel model. Then a simulation test is conducted on the lighting of mesopic vision in tunnel interior zone. The test results show that the road surface illuminance and road surface illuminance uniformity calculated by photopic vision standard are less than those calculated by mesopic vision S-model under the same condition of road surface luminance requirement, which causes more energy consumption and lighting vision difference. The less the road surface luminance is, the more significant the vision difference is.

Key words: tunnel lighting; mesopic vision; simulation