

文章编号:1000-582X(2007)02-0125-05

中间视觉条件下的道路照明反应时间*

张青文,陈仲林,刘英婴

(重庆大学建筑城规学院,重庆 400030)

摘要:道路照明中的亮度水平应属中间视觉范畴,而世界各国的现行道路照明标准均是在明视觉条件下确定的,这与中间视觉效果差别很大,由此带来的问题将造成照明质量的评价误差。为此,通过反应时间来研究中间视觉条件下的道路照明已成为该学科国际上的前沿研究课题。对此,文章介绍了采用自行研制的中间视觉反应时间测试系统进行光源光效的研究。该系统以不同光源形成中间视觉光环境,用变化的光斑模拟夜间行车道路前方可能出现的障碍物,并分别在不同背景亮度、视标对比度和视标偏心角的条件下,利用电子快门记录受测人员确认光斑的反应时间。通过对大量实测数据的回归分析,拟合出不同实验条件下反应时间与背景亮度的函数表达式,从而得出金卤光源视觉功效高于钠灯光源的结论。文中对测试系统的构造、工作原理、实验方法及数据处理结果进行了分析与讨论。该项研究成果对创建中间视觉条件下的可见度模型提供了实验依据,为中国道路照明工程的具体实施和实际改进有很好的借鉴意义。

关键词:中间视觉;反应时间;背景亮度;视标对比度;视标偏心角;相关系数

中图分类号:TO113.6

文献标识码:A

良好的城市道路照明环境,是减少交通事故,保障道路安全的重要条件^[1]。而照明质量的提高,很大程度上取决于照明标准的科学性。中国道路照明的亮度水平一般在 1.5 cd/m^2 左右,这应属于中间视觉范畴^[2]。但现行机动车辆道路照明中规定的亮度和照度均是在明视觉条件下确定的,这与中间视觉效果差别很大。最新研究表明,国际照明委员会(CIE)在1924年推荐的 2° 视场内,由闪烁法在非彩色视场条件下测得明视觉时的光谱光视效率函数与中间视觉有很大的差别,它难以如实反映夜间光环境对人类视觉的影响^[3]。由此带来的问题,将造成照明质量的评价误差。但是,至今在国际上中间视觉的光谱光视函数未有正式的推荐值。自20世纪80年代起,中国、美国、日本等国就已开始研究中间视觉,CIE也为此成立了专门的研究机构,并将中间视觉条件下,用反应时间评价光源光效,作为其中的重要研究内容^[4]。因此,如何在实验的基础上,找出一套行之有效的研究方法,以创建中间视觉条件下的可见度模型,已成为该学科国际上的前

沿研究课题。

1 系统的构成及工作原理

自行研制的“道路照明反应时间测量系统”可分别用金卤灯和高压钠灯产生中间视觉亮度范围内的背景光,用随机可变的光斑为视标,模拟出夜间道路环境中可能出现的障碍物(背景光和视标的亮度可变范围分别为 $0.001\sim 6.00\text{ cd/m}^2$ 和 $0.036\sim 61.25\text{ cd/m}^2$),使观测者在特定的视看条件下作出最快的反应,并通过按键由电子快门记录下其反应时间,通过对实测结果的定量分析,寻求在中间视觉条件下,反应时间随不同光源、背景亮度、视标对比度和视标偏心角的变化规律^[5]。

系统由灯箱、光学系统、电子计时仪和观测箱4个部分构成(见图1)。

1)灯箱:灯箱内可分别安装250W的金卤灯和高压钠灯光源,并具有散热功能。其供电可由开关进行切换。灯箱内的调节装置可保证光源发光体的中轴线通过透光孔圆心,使出射光有效的被透镜汇聚。

* 收稿日期:2006-10-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50378093)

作者简介:张青文(1953-),男,重庆大学工程师,主要从事建筑照明及采光研究,电话(Tel.):023-65123149;

E-mail:zqw1953@sina.com.

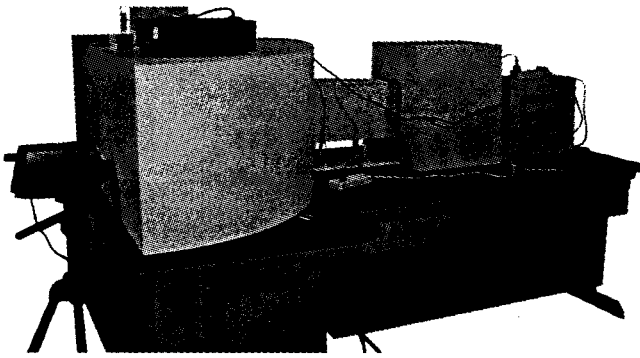
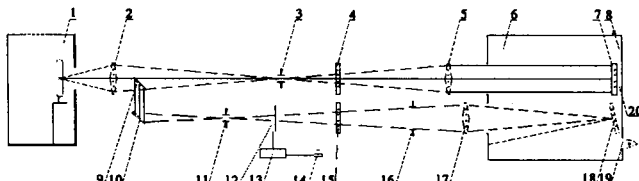


图1 反应时间测定装置图

2) 光学系统,如图2所示,由透镜、反光镜、光栏、中性滤光片及其调节装置构成的光学系统,运用几何光学的原理,可将来自灯箱光源的发散光汇聚为平行光束,并以不同的光路在观测箱内形成背景光和视标光斑.



1. 灯箱; 2. 聚光镜; 3. 可变光栏(一); 4. 中性滤光片(一); 5. 透镜(一); 6. 漫反射箱体; 7. 双反光镜; 8. 光斑手轮; 9. 反光镜(一); 10. 反光镜(二); 11. 光栏; 12. 电子快门; 13. 电子计时器; 14. 操作按钮; 15. 中性滤光片(二); 16. 可变光栏(二); 17. 透镜(二); 18. 光斑反射镜; 19. 观测孔; 20. 观测箱.

图2 反应时间测量系统构造示意图

光路中的反光镜、可变光栏及中性滤光片可控制光路和观测箱内的亮度变化(包括背景光和视标光斑),以满足测试需要.

整个光学系统被封闭在暗箱内,可有效防止杂散光对测量带来的误差.

暗箱外侧的调节手轮,用来控制滤光片的透光率,以进光量的大小改变观测箱内的亮度范围.

3) 电子计时仪:电子计时仪由电源、微处理器、显示模块、电子快门和4组控制按钮组成,其结构如图3所示.

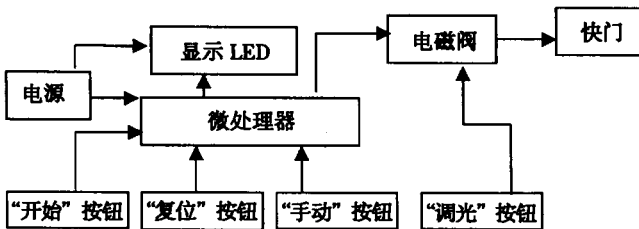


图3 电子计时仪结构框图

微处理器是整个计时仪的核心,它响应并执行外部的各种命令,从而控制光路的开、闭,并将受检者的反应时间在LED数码块上显示出来.

图4为计时仪软件流程框图,启动电源后,微处理器开始执行程序流程.计时仪的4个控制按钮可分别进行测试开始、复位、反应时间记录和调光控制的操作.

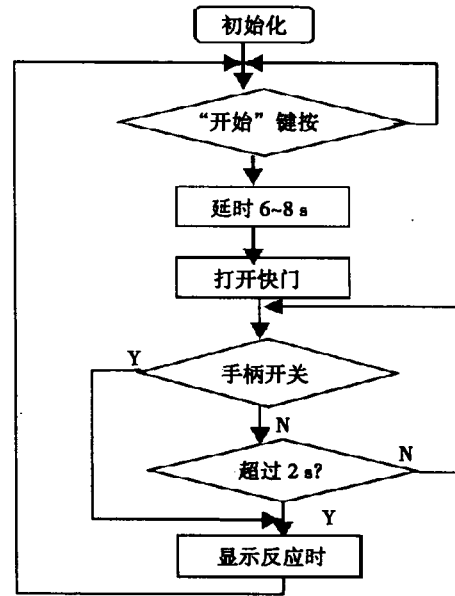


图4 电子计时仪软件流程框图

4) 观测箱:观测箱为一直径1.5 m,高0.5 m的半圆柱空间,背板下端开有观察孔和监测孔,可分别进行目视观测和亮度监测.

箱体内壁喷有白色均匀扩散材料,由光学系统汇聚和调整后的光线进入箱体后,经背板内壁处反光镜反射至内壁两侧,分别形成均匀散射的背景光和高汇聚的视标光斑.箱顶设有调节旋钮,可控制光斑反射镜的角度从而改变视标偏角(见图2所示).

观测箱是受检者的直接观测对象,其内部的光照条件,必须满足实验要求,它是整个系统的重要组成部分.

2 亮度及照度监测

要保证背景光亮度在中间视觉的范围内(0.001 ~ 3 cd/m²),或控制视标光斑的强弱变化,均需采用高精度的亮度计及照度计进行监测并调控.该系统采用了日本 Topcon 公司的 BM-5A 色度/亮度计,进行亮度监测,该仪器设有 0.1°/0.2°/1°/2° 4 个测量角,亮度测量范围为:0.000 1 ~ 1 200 000 cd/m².亮度测量精度为:±4%.

系统还同时采用了美国 EG 公司制造的 DR-1500 辐射光度计进行照度监测,该仪器具有较高的精度和灵敏度,其最低照度可测至 0.01 lx.

实验中,利用系统的调控功能,可有效的控制亮度的变化,以满足中间视觉下亮度分布范围内的实测需要.

3 实验数据的处理及结果分析

系统投入使用后,共进行了 10 人次的测试.10 名受检者的年龄分布在 20 ~ 30 岁之间,且身体健康、视力正常,均受过高等教育,有较高的文化素质.

实验在暗室中进行,测量前,受检者有足够的适应时间.测量时,受检者右眼紧靠观测箱右侧的观测孔,当探测到视标出现时,快速按下控制按钮,电子记录仪将记录下受检者的反应时间.

每个受检者分别在相同功率(250 W)的金卤灯和高压钠灯光源照明下,取不同的背景亮度,不同的视标比值和偏心角,进行了反应时间测试.

表1 高压钠灯与金卤灯在不同背景亮度下的反应时间

背景亮度对数值	-3	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5
背景亮度 cd/m ²	0.001	0.0032	0.01	0.032	0.1	0.32	1	3.2
高压钠灯(HPS)	668.17	610.61	549.81	471.71	415.20	376.85	355.82	344.12
金卤灯(MH)	476.25	470.82	434.69	381.53	355.59	333.21	318.62	308.57
比值(HPS/MH)	1.40	1.30	1.26	1.23	1.17	1.13	1.12	1.12

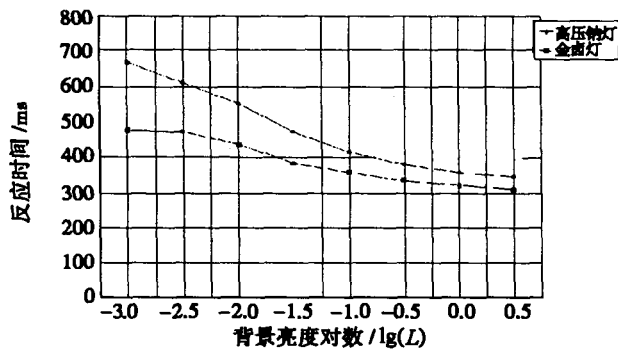


图5 反应时间与背景亮度对数的变化关系

表1和图5分别反映了中间视觉下,HPS灯(高压钠灯)和MH灯(金卤灯)的反应时间随背景亮度及其对数的变化关系.从图5可看出,随着背景亮度的降低,2种光源的反应时间都会增加,但高压钠灯反应时间增加相对较大.在图5中,从y轴的400 ms处引一条水平线分别与高压钠灯和金卤灯的曲线相交.高压钠灯所对应的x轴的值大约为-0.8,即亮度等于 $10^{-0.08} = 0.158 \text{ cd/m}^2$.而金卤灯在x轴上的对应值约为-1.67,即亮度为: $10^{-1.67} = 0.022 \text{ cd/m}^2$.这表明金卤灯相对较低的背景亮度产生了与高压钠灯相同

实验共获得3360个数据,通过对数据的统计、整理和分析,得到了相应的曲线拟合关系式、反应规律及建立在数据分析上的实验结论.

3.1 反应时间与背景亮度的关系

高压钠灯与金卤灯在不同背景亮度下的反应时间如表1所示(文中所有数据列表的反应时间均为平均值).

的反应时间.这说明,在中间视觉范围内,高压钠灯照明下的视觉功效明显降低,即在相同的反应时间下,用高压钠灯照明观测目标所需的亮度大约是金卤灯的7倍(0.158除以0.022).

利用Origin Ph 7.5软件,对这8种不同背景亮度下的反应时间数据进行回归分析,得到了高压钠灯和金卤灯的反应时间y与背景亮度x的拟合函数关系式.如表2所列.

表2 反应时间与背景亮度拟合结果

光源	拟合结果关系式	相关系数
高压钠灯	$y = 348.52 + 193.38e^{-x^{0.02}} + 99.98e^{-x^{0.26}}$	$R^2 = 0.998$
金卤灯	$y = 310.57 + 126.21e^{-x^{0.02}} + 56.1e^{-x^{0.4}}$	$R^2 = 0.999$

拟合结果显示,反应时间y与背景亮度x呈负指数函数关系,相关系数趋近于1,具有很好的拟合结果.

3.2 视标对比度对反应时间的影响

视标对比度指背景亮度与目标物(视标)亮度的比值.在国内外道路照明标准中,其对比度一般规定为0.4左右^[8].为此,实验对金卤灯和高压钠灯在不同亮度的条件下,分别对:C=0.5、C=0.4、C=0.3的3种对比度进行了反应时间测试,测试结果见表3.

表3 高压钠灯和金卤灯在不同视标对比度下的反应时间

视标对比度C	光源		背景亮度对数值 lg(L)							
	高压钠灯 HPS	金卤灯 MH	-3	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5
0.5	HPS		618.50	575.50	503.57	444.86	399.44	363.90	355.10	338.69
	MH		489.15	464.35	435.18	380.40	355.61	332.93	320.26	319.76
	HPS/MH		1.33	1.24	1.16	1.15	1.12	1.11	1.09	1.06
0.4	HPS		644.36	606.28	556.01	471.71	416.74	384.94	358.08	343.24
	MH		500.63	479.97	444.13	382.76	359.26	341.06	327.47	314.94
	HPS/MH		1.37	1.26	1.25	1.23	1.16	1.13	1.09	1.08
0.3	HPS		770.36	724.44	697.76	546.51	462.15	397.10	372.5	357.72
	MH		540.67	512.10	481.89	402.93	378.81	349.49	329.42	321.31
	HPS/MH		1.43	1.42	1.45	1.36	1.22	1.14	1.13	1.11

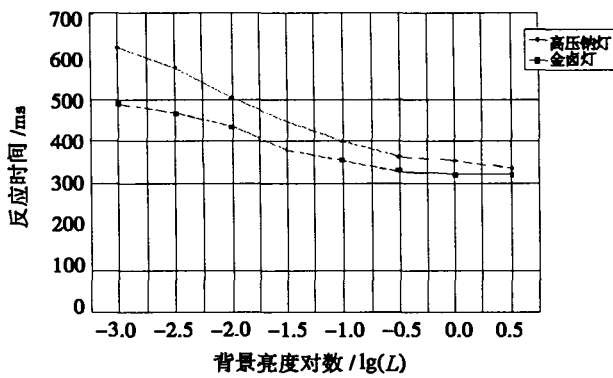


图6 C=0.5时反应时间随背景亮度对数的变化关系

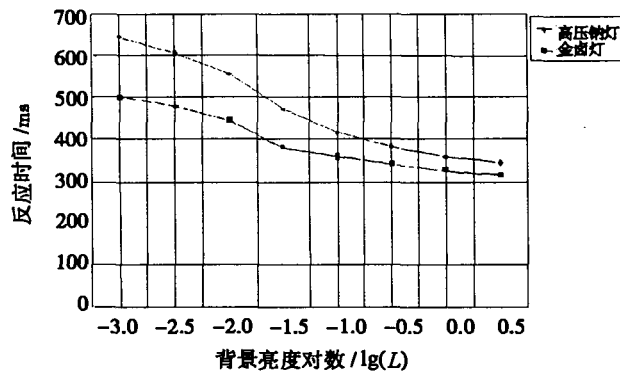


图7 C=0.4时反应时间随背景亮度对数的变化关系

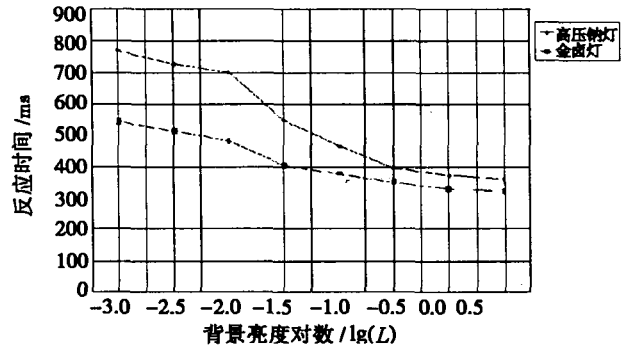


图8 C=0.3时反应时间随背景亮度对数的变化关系

表3和图6-图8分别说明了2种光源在不同视标对比度下的反应时间及反应时间随背景亮度对数的变化关系.由此可知,随着视标对比度的降低,反应时间都将增加,说明了人眼识别目标与感知阈值有关,即目标与背景亮度有关.由图6-图8可看出,尽管视标对比度取不同的值,高压钠灯照明下的反应时间均长于金卤灯,这表明在中间视觉条件下,高压钠灯照明引起的视觉功效低于金卤灯的趋势,并不受视标对比度的影响,而是随着视标对比度的减小而降低.

表4分别列出了3种对比度下的拟合结果,结果表明反应时间y与背景亮度x同样满足负指数函数关系.3种对比度下的拟合结果很好,其相关系数均趋近1,具有较高的拟合精度.

表4 3种对比度下反应时间与背景亮度的拟合结果

光源	拟合结果关系式	对比度	相关系数
高压钠灯	$y = 348.02 + 171.30 \cdot e^{-x^{0.01}} + 114.63 \cdot e^{-x^{0.14}}$	C = 0.5	0.997
金卤灯			
高压钠灯	$y = 347.58 + 119.04 \cdot e^{-x^{0.3}} + 176.65 \cdot e^{-x^{0.01}}$	C = 0.4	0.998
金卤灯			
高压钠灯	$y = 357.49 + 341.08 \cdot e^{-x^{0.03}} + 67.62 \cdot e^{-x^{0.64}}$	C = 0.3	0.996
金卤灯			

3.3 视标偏心角对反应时间的影响

在道路照明中,周边视觉环境的好坏关系到驾驶员的行车安全.因此,研究反应时间与周边视觉的关系

是很重要的.

实验中,分别测量了视标偏心角 θ 为 0° 和 10° 时的反应时间,见表5和表6(0° 对应于中心视觉区域).

表5 $\theta = 0^\circ$ 高压钠灯与金卤灯的反应时间

lg(L)	-3	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5	平均值
高压钠灯 HPS	624.50	574.47	522.50	460.07	418.28	372.13	353.38	342.19	458.44
金卤灯 MH	474.63	455.91	427.72	380.22	357.50	329.0	317.75	308.63	380.17
HPS/MH	1.32	1.26	1.22	1.21	1.17	1.13	1.11	1.11	1.21

表6 $\theta = 10^\circ$ 高压钠灯与金卤灯的反应时间

lg(L)	-3	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5	平均值
高压钠灯 HPS	705.25	649.53	568.19	474.19	416.28	381.16	358.91	344.56	487.26
金卤灯 MH	490.75	475.90	443.13	385.52	352.78	336.23	320.78	304.81	389.62
HPS/MH	1.44	1.36	1.28	1.23	1.18	1.13	1.12	1.12	1.25

由表5、表6可知,当视标偏离 0° 时,高压钠灯和金卤灯的反应时间都长于偏心角为 0° 时的值,更重要的是,从表中HPS/MH比值可以看出,无论在 0° 或 10° 下的比值均大于1,说明金卤灯照明下的物体在相同

视角下更易识别.当视角偏心角为 10° 时,即处于周边视觉时,HPS/MH比值大于视标偏心角为 0° 时的值.这说明在中间视觉范围内,高压钠灯在周边视觉引起的视觉功效不如它在中心视觉区的视觉功效,且在周

边物体的识别上,高压钠灯亦不如金卤灯有效.

图9和图10分别显示了视标偏心角为0°和10°时高压钠灯与金卤灯的反应时间随背景亮度水平的变化趋势.

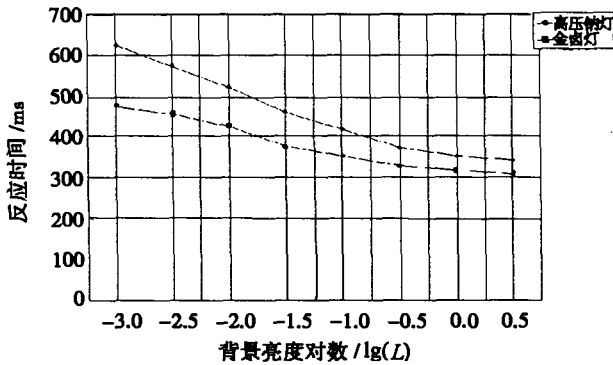


图9 $\theta = 0^\circ$ 时反应时间随背景亮度对数的变化关系

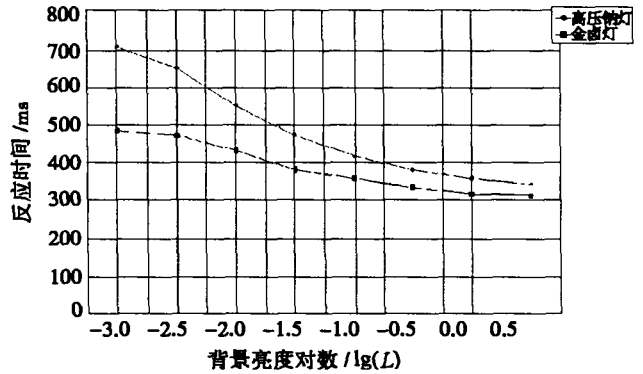


图10 $\theta = 10^\circ$ 时反应时间随背景亮度对数的变化关系

如表7所示,通过对数据的回归分析,其视标偏心角为0°和10°时的反应时间y与背景亮度x依然呈负指数函数关系,且具有较高的拟合精度.

表7 0°和10°偏心角下反应时间与背景亮度的拟合结果

光源	偏心角	拟合结果关系式	相关系数
高压钠灯	$\theta = 0^\circ$	$y = 353.27 + 247.79 e^{-x/0.01} + 132.77 e^{-x/0.17}$	0.999
金卤灯		$y = 312.34 + 60.42 e^{-x/0.33} + 119.22 e^{-x/0.02}$	0.999
高压钠灯	$\theta = 10^\circ$	$y = 348.06 + 160.69 e^{-x/0.01} + 129.83 e^{-x/0.18}$	0.998
金卤灯		$y = 311.39 + 114.16 e^{-x/0.02} + 54.79 e^{-x/0.32}$	0.998

4 结论

通过对实验数据的处理及其结果的分析,证明在中间视觉范围内,反应时间随背景亮度、视标对比度和视标偏心角的不同而发生变化,且金卤灯照明下的反应时间均明显低于高压钠灯,即金卤灯产生的视觉功效高于高压钠灯.

当视标对比度降低时,高压钠灯和金卤灯的反应时间都会增加.同时,高压钠灯与金卤灯反应时间的比值亦有扩大的趋势,这不仅证明了人眼识别目标与感知阈值有关,也说明了金卤灯产生的视觉功效高于高压钠灯.同样,随着视标偏心角的增大,高压钠灯与金卤灯的反应时间亦会增加,但与高压钠灯相比,金卤灯在视标偏心角为10°时产生的视觉功效比它在视标偏心角为0°时的视觉功效高,即在周边视觉时,金卤灯比高压钠灯的照明效果更好.

利用 Origin PH 7.5 数据处理软件,得到了不同实验条件下反应时间y与背景亮度x的函数关系式,它们满足同一个基本关系式: $y = y_0 + A_1 \cdot e^{-x/1} + A_2 \cdot e^{-x/2}$,这是一个关于e的负指数函数.其曲线拟合的相关程度非常好.

事实证明,用反应时间研究中间视觉条件下的光源光效是可行的.目前,中国的道路照明,大多采用高压钠灯,对此,学术界也曾有过争议,用金卤灯取代高压钠灯是否更好.但未有充分的实验依据予以证明.无

疑,该文介绍的实验方法,将为创建中间视觉条件下的可见度模型提供依据,为制定出更加科学与合理的道路照明标准打下基础.

参考文献:

- [1] 陈仲林,杨春宇.论健康照明[J].重庆大学学报:自然科学版,2000,23(5):93-95.
- [2] 张绍纲,赵建平.绿色照明工程实施手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [3] SAGAWA K. Mesopic spectral luminous efficiency functions: fial experimental eport[J]. I Light Vis Env, 1987, 11(1): 22-29.
- [4] HE Y, REA M, BIERMAN A, et al, Evaluating light source efficacy under mesopic conditions using reaction times [J]. Journal of the Illumination Engineering society, 1997, 26(1):125-138.
- [5] 陈文成,林燕丹,陈大华.可见度模型的探讨及其在道路照明中的应用[J].复旦学报:自然科学版,2005,44(4): 571-577.
- [6] 陈仲林,翁季.在道路照明条件下中间视觉问题的研究[C]//第九届全国建筑物理学术会议论文集.南京:[出版者不详],2004:268-270.
- [7] 张世箕.测量误差及数据处理[M].北京:科学出版社,1979.
- [8] 日本照明学会.照明手册[M].李农译.北京:科学出版社,2003.

Oscillation Theorems of Systems of High Order Nonlinear Delay Partial Differential Equations

LUO Li-ping¹, OUYANG Zi-ger²

(1. Department of Mathematics, Hengyang Normal University, Hengyang, Hunan 421008, China;

2. Department of Mathematics, Nanhua University, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: Partial functional differential equations come from many mathematical models in physics, biology, engineering and other fields, which have strongly practical background. The oscillation theory is the one of the important branches of qualitative theory of partial functional differential equations. Therefore, it is of great theoretical and practical value to research the oscillation of partial functional differential equations. The authors study the oscillation of the systems of a class of high order nonlinear delay partial functional differential equations. By using Green's theorem and Riccati transformation, they obtain some sufficient criteria for oscillation of all solutions of the systems under two kinds of different boundary value conditions, which are illustrated by some examples. These results offer the foundation of mathematical theory for solving the practical problems of the above fields.

Key words: system of high order partial differential equation; nonlinear; delay; oscillation; Riccati transformation

(编辑 张小强)

(上接第129页)

Reaction Time of Road Lighting in the Mesopic Vision Condition

ZHANG Qing-wen, CHEN Zhong-lin, LIU Ying-ying

(College Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Brightness level of the road lighting should be of the mesopic vision category. But the present road lighting standard in the various countries is in the bright vision condition, this is different with the mesopic vision effect, which will bring the appraisal error into the illumination quality. Therefore, studies on the mesopic vision condition through the reaction time of the road lighting have been the front research topic. Regarding this, this article introduces the middle vision reaction time test system which independently develops to carry on the photosource light effect the research. This system can adopt different light sources to form the illumination environment under the mesopic vision, simulate road barrier ahead the car at night with varied light, and examine reaction time according to visual characteristic of driver through electronic shutter. Through regression analysis of the massive measured data, the reaction time and the background brightness function expression has been fitted under the different experimental condition, thus obtains the golden halogen photosource vision effect to be higher than the sodium lamp photosource the conclusion. In the article, the system the structure, the principle of work, the experimental technique and the data processing result has carried on the analysis and the discussion. This research results which is founded in the mesopic visual condition the visibility model provide the experimental basis, which has the very good model significance for China road lighting project concrete implementation and the actual improvement.

Key words: mesopic vision; reaction time; background luminance; contrast ratio depended on mark; partial horn depended on mark; coefficient correlation

(编辑 姚飞)