

电光源在雾气中的视觉可见度实验研究

关雪峰¹ 赵海天²

(1. 香港华艺设计顾问(深圳)有限公司, 广东 深圳 518000; 2. 深圳大学建筑与城市规划学院, 广东 深圳 518000)

摘要: 本文通过分析目前雾浓度的计量方法以及气象能见度与目标物可见度的区别, 建立一个评价雾浓度等级的新方法, 并在模拟的稳定雾场环境中, 研究不同视觉条件下雾浓度对视力清晰度的影响。

关键词: 气象能见度; 目标可见度; 透射率; 视力表; 视力清晰度

中图分类号: TM923 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1004-440X.2013.06.007

The Experimental Research for Visual Visibility of Electric Light Source in Mist

Guan Xuefeng¹ Zhao Haitian²

(1. Hong Kong Hua Yi Designing Consultants (s. z.) Ltd, Shenzhen 518000, China;

2. Architecture Department of Shenzhen University, Shenzhen 518000, China)

Abstract: This article sets up a new method of mist concentration evaluating by analyzing the methods of mist concentration measurement and the difference between meteorological optical range and target visibility, and researching the variation of visual clarity under the situation in which mist concentration and ambient brightness change constantly in mimic steady environment of mist.

Key words: meteorological optical range; target visibility; transmissivity; visual testing chart; visual clarity.

1 引言

1.1 雾浓度测定方法

目前气象局所通行的测量雾浓度的方法主要通过相对湿度和能见度来测定。相对湿度用来区分雾和霾, 一般相对湿度小于 80% 时, 导致能见度恶化是霾造成的; 相对湿度大于 90% 时, 导致能见度恶化是雾造成的; 相对湿度介于 80~90% 之间时, 导致能见度恶化是霾和雾的混合物共同造成, 但其主要成分是霾。能见度用来判断雾的浓度, 共分为 5 个等级。用气象光学视程表示如表 1 所示。

测定雾能见度方法:

1) 人眼识别

在气象站四周不同方向、不同距离上选择若干

固定的能见度目标物, 如图 1 所示。根据人眼判断是否能看见目标物, 并根据距离判断雾的浓度。值得注意的是, 由于 1 公里是区别轻雾跟雾的分界点, 而轻雾跟雾是最常见的天气现象, 所以在 1km 处应设置多个目标物, 以供判断^[1]。

表 1 雾能见度评价等级^[1]

Table 1 Evaluation grade of Fog Visibility					
能见度标准	1~10 km	低于 1 km	200~ 500m	50~ 200m	低于 50m
视程障碍现象	轻雾	雾	大雾	浓雾	强浓雾

人眼识别能见度方法尽管由于操作简单而广为采用, 但以传统的方法来判定雾的浓度只分为五个等级, 不够精细, 不足以满足实际情况; 而且人眼的辨识存在较大的误差与不确定性; 人眼识别能见度的操作过程相对繁琐, 工作量大, 不能在短时间内重复实验。

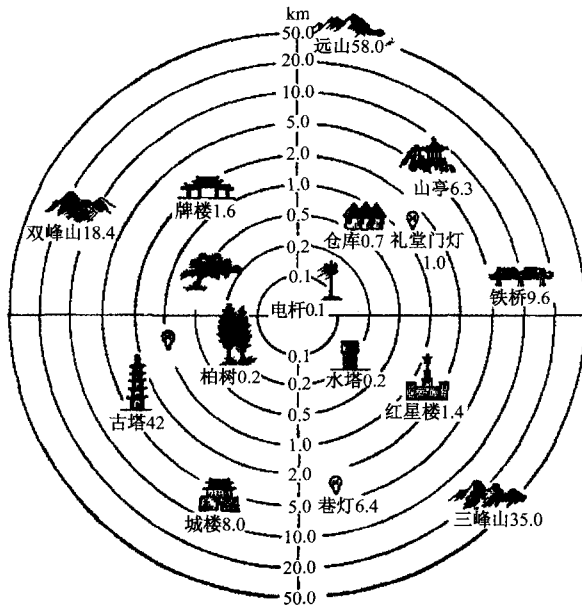
图 1 能见度目标物分布图^[1]

Fig. 1 Distribution map of visibility targets

2) 能见度仪

目前使用较多的有两种能见度仪：透射能见度仪和散射能见度仪。透射能见度仪采用测量发射器和接收器之间水平空气柱的平均消光（透射）系数而算出能见度。散射能见度仪是测量散射系数从而估算出气象光学视程的仪器。

但以目前测试的结果来看，能见度仪存在不稳定的现象。仪器采用前向红外散射原理，发射器与接收器之间距离较短，只能测量局部空气的洁净度，再去推算整个大气。一旦空气洁净度受到影响，测得的数据就无法代表整个地区的空气状况，所以使用能见度仪误差有时候很大（浮动可能到 7 ~ 8km），而且易受干扰。

人工测量是多方位的透视测量，所以目前雾能见度测量是在人工观测的基础上，利用能见度仪进行辅助观测。

1.2 气象能见度与目标物可见度的区别

气象学在判断能见度时，采用白天与夜间两套能见度观测系统^[1]。白天能见度观测时，选择的目标物、视觉环境以及评价目标物是否看清的标准都与明视觉下评价目标物可见度的条件基本一致。但夜晚亮度降低，眼睛对亮度对比度的感觉变得迟钝，因而对比阈值变的很大，这就使得夜间能见距缩短^[4]。而气象学夜间能见度观测是以孤立的，不带颜色，没有灯罩的白色点光源作为目标物（除白炽

灯外，碘钨灯、汞灯等均不适宜）且目标灯的灯光强度需固定不变；在无条件利用目标灯进行观测的情况下，只能根据天黑前能见度的实况和变化趋势，结合当时气象资料，以及实践经验加以判定；夜间能见度观测环境大多数处在山顶、平原等空旷地带，属于暗视觉环境；由于环境昏暗，夜间能见度的标准是能清楚看到目标灯的发光点即可，对于目标物的形体、轮廓则无法知晓^[1]。这与道路照明（中间视觉）环境评价目标物可见度的条件截然不同，没有实际的指导意义。因此本实验的重点是研究不同雾浓度条件下目标物的视觉可见度。

2 实验装置与准备

2.1 实验目的

在模拟的稳定雾场环境中，建立一个评价雾浓度等级的新方法，并以此探寻不同视觉条件下雾浓度对视力清晰度的影响。

2.2 实验条件

- (1) 光学实验室；
- (2) 佳能 500D 单反相机：像素 1200 万，三角架；
- (3) 黑底镂空的国家标准对数视力表；
- (4) DGW—2000 高精度全自动交流稳压器；
- (5) TDGC2—2KVA 接触式单向调压器：范围 0 ~ 250V；
- (6) 内表面涂黑的雾气箱：330cm × 310cm × 300cm；
- (7) 美的 A 类加湿器：可将水雾化成为 1 ~ 5 μ m 的超微粒子；
- (8) XYI-III 照度计：动态范围 0.1 ~ 100klx，仪器精度 $\pm 4\%$ ；
- (9) 光源：白炽灯、高压钠灯、金卤灯、LED 灯、日光灯。

2.3 均匀雾场的模拟

该实验最为重要的部分是在实验室中对雾进行模拟。由于实验对雾的要求是均匀、稳定，而且能够方便地调节浓度，因此该实验不能在室外进行，必须在实验室人工造雾。在自然界雾形成或消散时期，其粒子半径小于 1 μ m，在比较稳定、维持时间较长的地面雾中，其粒子半径要大一些，但不超过 10 μ m^[2]；大多数雾滴取样法获得的自然界中存在的

雾，其粒子直径的范围是 $4 \sim 10 \mu\text{m}$ ^[3]，因此实验采用超声波加湿器喷出的雾状水气来模拟自然界中的雾。超声波加湿器可打出直径为 $5 \mu\text{m}$ 的细雾^[4]，恰好在天然雾粒子的大小范围之内，而且此加湿器采用风动装置将水雾扩散到空气中，易于得到均匀稳定的雾场，同时又可避免蒸汽式加湿器打出的高温水雾对照度计探头产生的影响。

2.4 目标物的确定

本实验是研究不同雾浓度条件下目标物的可见度，不希望引入其他变量（背景亮度、对比度等）。因此需要将背景设为不透光的黑色纸板，目标物采取雕刻镂空形式。目标物的选择如图 2 所示。通过实验得知，将汉字、数字、英文字母作为目标物，结果不理想，虽然数字和英文字母种类有限，选取的时候可以全部涵盖，但有些数字和英文字母由于形体限制，雕刻的时候内部缺失，导致无法完整、确切识别。由于笔画的差异，不同汉字的识别程度也不同，况且汉字的种类繁多，很难找到具有代表性的一组。而且它们无法和视力、视觉等联系起来。而将视力表作为目标物则不一样：它能正确地表达视力和视力的增减幅度^[5]；可以对所测视力结果进行比较和统计学处理^[6]，这对于所测数据进行回归分析是十分必要的。并且视力表的幅面、格式、视力测量的方式都有统一的国家规范标准，保证了实验的可靠性。而且在日常生活中，眼睛的视力评价、驾驶员的视力考试都是通过“视力表”来检验的。



图 2 不同种类目标物
Fig. 2 Different kinds of targets

由可见度公式 $V = C/C_0$ 可以看出：可见度取决于对比度 C ($C = (L_i - L_b)/L_b$) 和临界对比度 C_0 。而临界对比度 C_0 ($C_0 = 1/\beta_b^{1-\alpha}$ ，其中 α 和 β 是与视角、背景亮度及对比度等有关的常数^[7]。)并不是固定不变的，它与物体的视角和背景亮度的大小有关。在背景亮度和视角保持不变的情况下，可见度与目标物亮度成一一对应的关系，是稳定的视觉过程。因此将背景作为不透光的黑色纸板是合理的。

3 实验方案 (图 3)

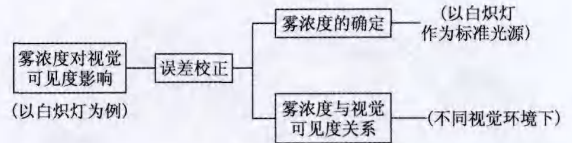


图 3 实验方案示意图
Fig. 3 Schematic diagram of experimental scheme

3.1 实验误差校正

此实验误差主要来自目标显示误差。目标显示误差是由目标物亮度和其周围临界的背景亮度的分布均匀性决定的。为了技术上便于计算，在小视角情况下通常假设背景亮度是紧邻目标物上下边界的中点的亮度平均值^[8]。因此在实验准备阶段需要对目标背景亮度分布均匀性进行校对实验：选取目标物四周共 5 个圆形镂空区域作为照度计探头位置（如图 4 所示）。利用 TDGC2—2KVA 接触式单向调压器，分别选择 100V、125V、150V、175V、200V、225V 六个档位对目标进行照度测量，待照度计读数稳定后，记录相应的数据。为了计算照度测量误差的大小，采用样本标准差 S 来衡量^[9]：

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2} \quad (1)$$

式中 E_i ——第 i 次照度测量值；
 \bar{E} ——照度测量的平均值。

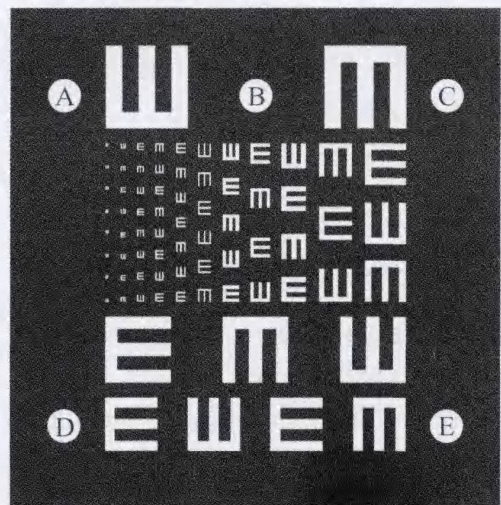


图 4 照度计探头位置
Fig. 4 Illuminance meter detector' position

表2 不同电压下不同测点的照度变化
Table 2 Different measuring illumination change under different voltages

测点	30V	40V	50V	60V	70V	80V
A	0.319	1.522	5.34	11.64	22.9	34.9
B	0.315	1.512	5.32	11.63	22.8	34.9
C	0.291	1.448	5.21	11.43	22.7	34.7
D	0.307	1.468	5.29	11.58	22.7	34.8
E	0.309	1.471	5.3	11.61	22.8	34.9
标准差	0.0107	0.0314	0.0497	0.0858	0.0837	0.0894

从表2可以看出,标准差值很小,因此变动性很小,平均数的代表性很大。屏幕的照度分布比较均匀,达到实验要求。

3.2 雾浓度的确定

在测定雾浓度对视觉可见度影响之前需要建立一个客观、全面的雾浓度计量方法,这也是整个实验的基础。本实验以照度计作为测量工具,以白炽灯作为标准光源,以加湿器不同档位下的照度透射率 T 来定义雾的浓度百分比:

光的透射率由以下公式定义:

$$T = \frac{E'}{E_0} \quad (2)$$

式中 T ——光的透射率(%) ;

E' ——有雾气条件下的照度值(lx)。

E_0 ——无雾气条件下的照度值(lx),也称为初始照度值。

雾浓度百分比表达式为:

$$P = 1 - T \quad (3)$$

也就是说,白炽灯的照度透射率数值反向的表征了对应雾环境下的浓度百分比。

3.3 实验步骤

该实验是在不同视觉(中间视觉和明视觉)环境下进行的,以垂直于光源的目标物表面的照度作为衡量视觉的评判标准。由于我国现行的《城市道路照明设计标准》CJJ45—2006中规定^[10]:快速路和主干路的照明水平为20/30lx,次干路的照明水平为10/15lx,支路的照明水平为8/10lx(“/”的左侧为低档值,右侧为高档值)。因此分别选取10lx、20lx、30lx、40lx、50lx、60lx作为中间视觉和明视觉环境下无雾状态的初始照度值,实验仪器位置摆放如图5所示。首先将白炽灯固定,在无雾状态下调节白炽灯的亮度,使其照度值为10lx,此时的透射率 $T = 100%$,雾的浓度值 $P =$

0%。接着利用加湿器对雾气箱(尺寸:33cm×31cm×30cm)喷雾。待箱中雾气充满,照度计数值降到最低点且保持稳定后,逐次关闭加湿器,使照度计数值均匀上升,以初始照度值的百分之五递增记录,每一次记录的同时,都要对目标物进行拍照并让观察者对目标物——视力表进行评价(如同驾驶员进行视力检查的方法),记录看到的等级范围——视力表中的第几行。共记录20次,相应的雾的浓度 P 也被分成20等级(此方法是以白炽灯在雾气条件下的透射率来定义雾的浓度,其等级划分可以是0~100%任意数值,较之目前气象局对雾浓度等级划分更为细致与多样)。重复以上操作,直至六种不同视觉环境测完为止。利用公式(2)和(3)算出不同视觉环境下的透射率与雾浓度的百分比。需特殊说明的是:此实验是在雾气长度为30cm条件下进行的,对于不同的雾气长度,其透射率也不一样。相机是手动拍摄模式,所有拍摄的照片参数都是固定不变的,这样可以保证拍出来的照片是在同一水平下,彼此之间的相对值是准确的。相机参数见表3。

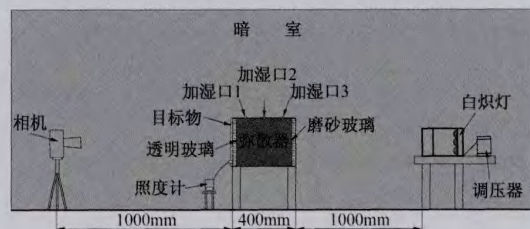


图5 实验设备示意图

Fig.5 Schematic diagram of experimental installation

表3 相机参数

Table 3 Parameter of camera						
相机型号: Canon 450D, EF-S 18-55mm 镜头						
Aperture	Shutter	ISO	Exposure Mode	Focal Length	Size Quality	配件
F5.6	1/125s	400	Manual	90mm	M, normal, -1	无

4 实验数据与结果分析

实验是在不同视觉环境下测试雾浓度对视力清晰度的影响,对测量得出的数据和判断后的视力等级进行回归分析,其数值、趋势等呈现在图6~12中。

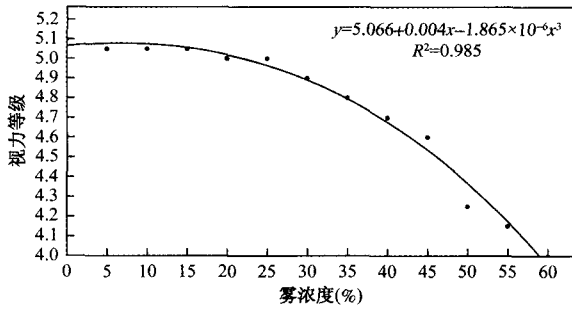


图6 初始照度为10lx视觉环境下雾浓度与视力等级对比
Fig. 6 Fog concentration and visual rating comparison under 10lx initial illuminance visual environment

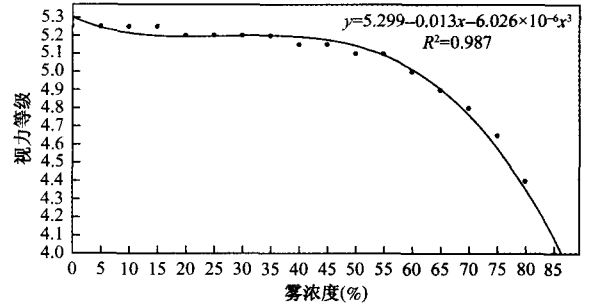


图9 初始照度为40lx视觉环境下雾浓度与视力等级对比
Fig. 9 Fog concentration and visual rating comparison under 40lx initial illuminance visual environment

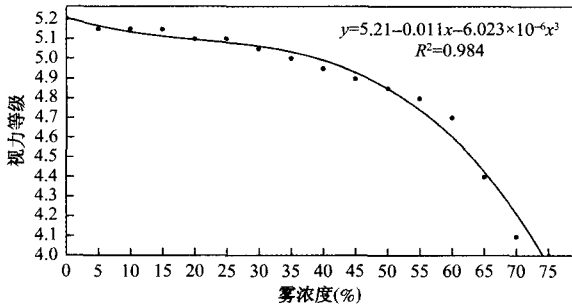


图7 初始照度为20lx视觉环境下雾浓度与视力等级对比
Fig. 7 Fog concentration and visual rating comparison under 20lx initial illuminance visual environment

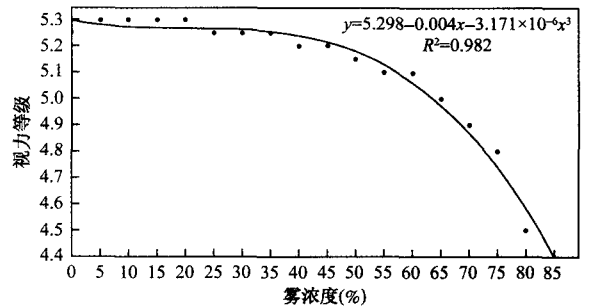


图10 初始照度为50lx视觉环境下雾浓度与视力等级对比
Fig. 10 Fog concentration and visual rating comparison under 50lx initial illuminance visual environment

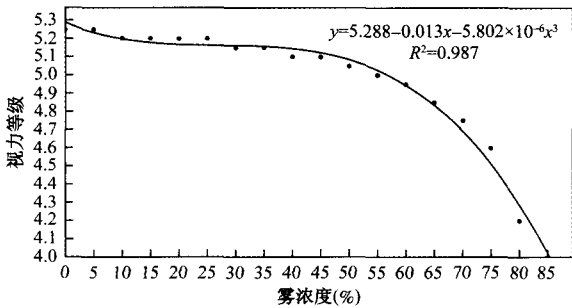


图8 初始照度为30lx视觉环境下雾浓度与视力等级对比
Fig. 8 Fog concentration and visual rating comparison under 30lx initial illuminance visual environment

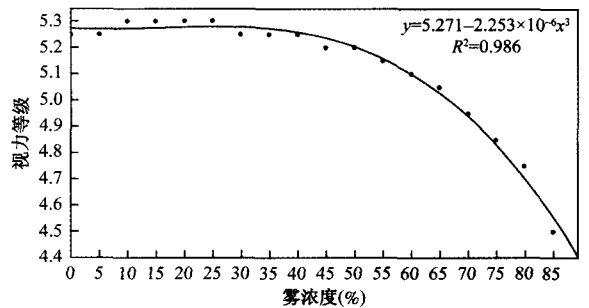


图11 初始照度为60lx视觉环境下雾浓度与视力等级对比
Fig. 11 Fog concentration and visual rating comparison under 60lx initial illuminance visual environment

从图6~12可知,无论是在何种视觉环境下,当雾浓度 P 达到90%,视力等级均为0,即看不清目标物;在中间视觉环境下,视力清晰度都是随着 P 的增加而降低:开始的时候视力清晰度缓慢下降,但随着 P 继续增大,清晰度下降幅度逐渐加快,最后视力等级为0。相应地函数回归曲线的曲率也从0开始逐渐趋于无穷大;但在明视觉环境下,视力清晰度随 P 的增加,先小幅提升,再逐渐下降。产生此现象原因是由于目标物过亮,背景过暗(即亮度

对比度过大),局部眩光造成的。

由图12可知,在 P 相同状态下,随着照度水平的降低,视力清晰等级随之降低。当无雾状态目标物表面照度值大于30lx时,不同视觉环境视力清晰等级曲线呈稳定状态(即当 $P < 50%$,视力清晰等级小幅下降;当 $P \geq 50%$,视力清晰等级迅速下降);当目标物表面照度值小于30lx时,不同视觉环境的视力清晰等级曲线随着初始照度值的降低而越发不稳定。初始照度为10lx视觉环境下,当 $P <$

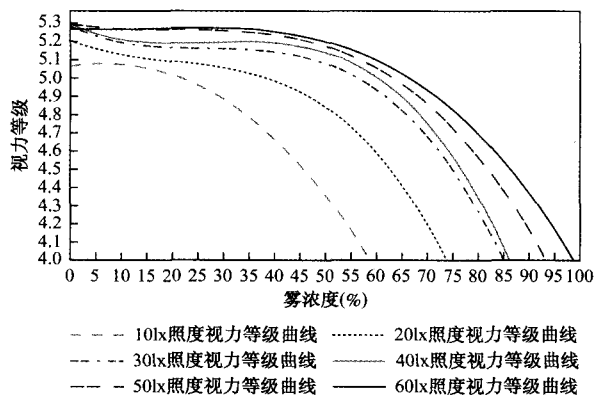


图12 不同视觉环境下雾浓度与视力等级对比

Fig. 12 Fog concentration and visual rating comparison under different visual environment

20%, 视力清晰等级小幅下降; 当 $P \geq 20\%$, 视力清晰等级迅速下降; 而初始照度为 20lx 视觉环境下, 当 $P < 45\%$, 视力清晰等级小幅下降; 当 $P \geq 45\%$, 视力清晰等级迅速下降。

5 实验结论

(1) 无论是在何种亮度视觉环境下, 视力清晰等级随着雾浓度的增加而降低, 当雾浓度大于 90% 时, 清晰度均为零。

(2) 随着环境亮度水平的下降, 雾浓度与视力清晰度的变化也越发不稳定。当环境亮度处于中间视觉条件时, 视力清晰等级曲线骤然下降。

在雾气环境中, 可见光透射率的下降可以看作是对比度降低的结果。雾的存在降低了这种对比的程度, 雾的浓度越高, 对比度就越低。因此, 人们在雾中就不那么容易看清楚周围事物。由于我国现行《城市道路照明设计标准》CJJ45—2006 中规定的快速路和主干路的照度低档值为 20lx, 高档值为 30lx。因此, 对于大雾天气的道路照明, 建议在不

过多消耗电力能源的情况下, 应取高档值或更高的数值。

本实验仅是对不同光源在恶劣天气条件下透过情况的初步研究。尽管通过加湿器造出的雾, 在成分和雾滴大小以及空间分布上与自然中的雾不尽相同, 且创造稳定而均匀雾场的仪器和方法还有待于改进, 但仍能一定程度上反映出光线在大量水汽凝结环境中的透过情况, 以及对视觉可见度的变化规律。期待研究结论对道路照明(中间视觉)设备的选择和照明规范标准起到一定的指导意义, 从而提高恶劣天气条件下道路交通安全。

参考文献

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范 [M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [2] 盛裴轩, 毛节泰, 李建国, 等. 大气物理学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2003: 454, 302.
- [3] 刘健文, 郭虎, 李耀东, 等. 天气分析预报物理量计算基础 [M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [4] 美的. 加湿器使用说明手册. S35U-Q1.
- [5] 刘家琦, 李凤鸣. 实用眼科学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2005.
- [6] 李爽乐, 李观富. 对数视力表和 5 分记录法的应用调查 [J]. 中国实用眼科杂志, 1995, 13 (7).
- [7] Мешков В. В. Основы светотехники, час. 1, час. 2. ГЭИ, 1961.
- [8] Olkan Cuvalci, Bugra Ertas. Roadway Lighting Design Methodology and Evaluation [M]. Society for Design and Process Science, 2000.
- [9] 关雪峰, 赵海天, 胡姗姗. 中间视觉条件下亮度对视力清晰度影响的“E”方法测定 [J]. 照明工程学报, 2010, 21 (3): 17~24.
- [10] 中华人民共和国建设部. CJJ45—2006 城市道路照明设计标准 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 268.

✿ 2013 年 11 月 16 日, 2013 广州国际灯光节在广州海心沙绚丽开幕。2013 广州国际灯光节的举办时间为 2013 年 11 月 16 日至 2013 年 12 月 14 日。今年共展出了 40 件静态及互动类灯光作品。其中, 互动类作品大幅度增加, 占总数的三分之一。市民除观看激光秀、欣赏创意灯光作品, 还可以通过触摸屏或声电感应和作品来一次亲密互动。

✿ 2013 年 11 月 4 日, 中国照明学会室外照明专业委员会在湖州召开了“城市照明现状与趋势研讨高级沙龙”。中国照明学会秘书长窦林平, 中国照明学会室外照明专业委员会主任李国宾, 中国照明学会室外照明专业委员会副主任赵建平、王立雄、姚梦明等近 100 名室外专委会成员出席了此次会议。会议上午围绕中照奖的内容进行研讨交流, 下午则共同探讨城市照明现状趋势, 为半导体照明应用、创新提出意见及建议。