

# 一种基于投光灯的配光特性图象表示法

袁景玉<sup>1)</sup> 沈天行<sup>2)</sup> 檀柏红<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>(河北工业大学建筑系, 天津 300130) <sup>2)</sup>(天津大学建筑学院, 天津 300072)

<sup>3)</sup>(河北理工学院自动化系, 唐山 063000)

**摘 要** 探索投光灯具配光性能的精确表达, 提出了一种用一幅灰度图象表现灯具配光特性的新方法, 通过垂直于灯具主光轴的一幅灰度图象上各点的灰度值及其位置坐标, 可以由程序计算出灯具在此方向上的发光强度; 采用摄影及图象处理方法获取灯具的空间配光分布图, 建立灯具的配光图象数据库, 解决了非对称配光灯具用常规配光曲线难以表达的配光问题, 并给出使用配光分布图的光照效果实例, 该方法可用于三维场景真实光照效果模拟及灯光设计。

**关键词** 配光 分布图象 光强分布 图象处理

**中图分类号:** TP391.41 TM923.07-39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2002)08-0776-04

## A New Description Method for the Luminous Intensity Distribution of Spotlight

YUAN Jing-yu<sup>1)</sup>, SHEN Tian-xing<sup>2)</sup>, TAN Bai-hong<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>(Architecture department, Hebei University of Technology, Tianjin 300130)

<sup>2)</sup>(School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072)

<sup>3)</sup>(Automatic Department, Hebei Institute of Technology, Tangshan 063000)

**Abstract** It discusses a new method of the description about the luminous intensity distribution of spotlight. An image with 256-brightness-grades on a plane which is perpendicular to spotlight's main axis is created, from which the lighting direction and intensity can be calculated by each pixel's brightness and location. By this way, the luminous intensity data of luminaries or lights can be accessed, stored or calculated easily, and the expression for unsymmetry-luminous-distributed spotlights is more accurate. This method may take an important role in the simulation and visualization of lighting environment. Using a picture of brightness to express the LID of the spotlight is correspond to put infinite curves from all the connected planes in range of 360 degree surrounding the main light axis to a picture and display it directly. It is especially convenient to the LID-adjustable spotlight used for TV and movie. A system is developed using a set of camera and white diffuse reflection wall to take the lighting picture from which the luminous intensity distribution image can be created after being processed according to the camera exposure latitude. Example pictures of lighting scenes using the distribution images are given.

**Keywords** Spotlight, Distribution image, Luminous intensity distribution, Image processing

## 0 引 言

空间配光分布特性是灯具最重要的一个特性,

是决定光照视觉效果的主要因素之一<sup>[1~3]</sup>。配光是指光源(灯具)在空间各个方向的光强分布, 其表示方法通常有配光曲线、空间等照度曲线、平面相对等照度曲线、光强分布表格及数学函数表示等。使用最

广泛、计算也比较方便的是配光曲线，其需要在实验室中用分布光度计测定，测量过程复杂，形式有极坐标表示法、直角坐标表示法等。对于旋转对称的灯具，给出一条配光曲线即可满足计算需要，但是对于非旋转对称的灯具，如果要满足逐点照度计算法或利用系数法，则一般应至少每隔 15° 给出一个方位面上的配光曲线，才可满足计算上的要求<sup>[4]</sup>，因而数据量大，且测量难以准确。

对于常用的指向性投光灯具（如建筑立面照明用的投光灯等），如果能用一幅二维的图象把灯具在空间各个方向的配光连续地表现出来，则是最为精确的配光特性表示方法。用“配光分布图”表示灯具的配光特性，可以解决配光特性的测试、表示和计算问题。

### 1 配光图象表示法的原理

首先定义投光灯为这样一类灯具，即光源所发出的光线经灯具反光装置或外壳的反射，投射到截面小于 180° 的角度范围。由此，假设在灯具照射方向上，垂直于灯具的主光轴离灯具足够远，以至于可将灯具看作点光源的位置有一假想的平面 S，其表面特性为漫反射，即遵从朗伯余弦定律；在所有观察方向上亮度相等，其反射率与方向无关。并定义该平面反光系数为 1（如图 1）。

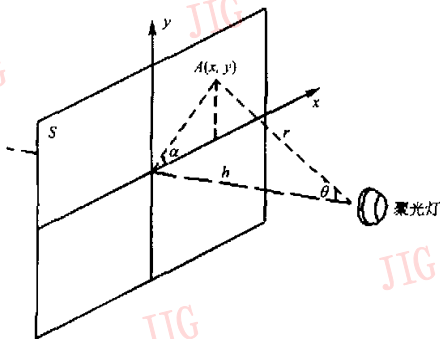


图 1 投光灯及受光面位置关系示意图

则平面某点 A 的亮度为

$$L(x, y) = \frac{E(x, y) \times \rho}{\pi} \tag{1}$$

式中， $L(x, y)$  为平面上 A 点  $(x, y)$  的表面亮度  $(\text{cd}/\text{m}^2)$ ，以主光轴与平面的交点为原点； $E(x, y)$  为 A 点的照度  $(\text{lx})$ ； $\rho$  为被照表面的反射系数，设为 1。

根据平方反比定律，A 点的照度为

$$E(x, y) = \frac{I(\alpha, \theta)}{r^2} \cos \theta \tag{2}$$

式中， $I(\alpha, \theta)$  为灯具在  $(\alpha, \theta)$  方向的发光强度； $\alpha, \theta$  角的定义如图 1 所示； $r$  为灯具的光学中心到 A 点的距离。

设灯具的光中心到平面 S 的垂直距离是  $h$ ，则根据式 (1) 和式 (2) 有

$$E(x, y) = \frac{I(\alpha, \theta)}{h^2} \cos^3 \theta \tag{3}$$

$$L(x, y) = \frac{\rho}{\pi} \cdot \frac{I(\alpha, \theta)}{h^2} \cos^3 \theta$$

由几何关系可知： $x = h \tan \theta \cos \alpha, y = h \tan \theta \sin \alpha$ ，则

$$\begin{cases} I(\alpha, \theta) = L(x, y) \frac{\pi \cdot h^2}{\rho \cos^3 \theta} \\ x = h \tan \theta \cos \alpha \\ y = h \tan \theta \sin \alpha \end{cases} \tag{4}$$

以被照面 S 上亮度最大一点的颜色为白色，亮度值为 0 时为黑色，即可以在 S 面上得到一张等级为 256 级的灰度图片，由于 S 面是服从朗伯定律的反射面，按照线性关系，用图象上各点的不同灰度值表示该点受到灯光照射后的亮度值。由式 (4)，可以得到灯具在空间任一角度（方向）的发光强度  $I(\alpha, \theta)$ 。读取图象上某点灰度值的过程及发光强度的计算都可以交由计算机程序来完成，从而在图象上每一点和灯具在经过该点的方向上发光强度之间建立起一一对应关系。

### 2 配光分布图的获取

根据上述原理，使投光灯具在一个标准的漫反射表面照射，用摄影机（如数码照相机）拍摄投射的光斑，并把图象输入电脑进行定标处理，就可得到灯具的配光分布图。

#### 2.1 配光分布图摄取系统

配光分布图摄取系统如图 2 所示。该系统的工作原理是：在暗室中，将灯具打开，垂直投射漫反射白色幕布；用数码照相机摄取灯具所投射的光斑；将摄取的图象输入计算机，再经图象处理得到所需位图。

#### 2.2 图象摄取过程应注意的问题

(1) 摄取图象时，应注意避免散射光的干扰。从光学基本理论可知，由光源发出或由反射面反射的光线在室内某点的照度，是各个光源（或反射面）对该点产生的照度值的叠加，即

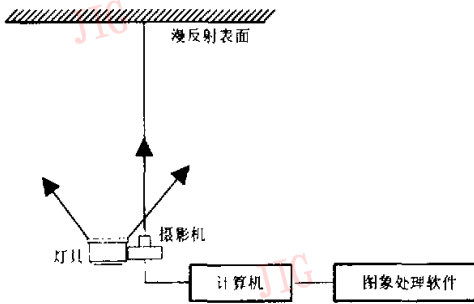


图2 配光分布图摄取装置示意图

$$E = E_1 + E_2 + \dots \quad (5)$$

式中,  $E_1, E_2, \dots$  为室内各个光源(或反射面)对该点产生的照度值. 因此在测量时, 除了要关闭非测试光源, 还要防止邻近的反射面产生杂散光.

(2) 照相机镜头和灯具的光轴应平行, 以避免像差, 由光轴不重合造成的图象平移可经合理的裁剪解决; 同时照相机和灯具应尽可能靠近.

本文所述系在电视演播室中进行, 四周墙壁为涂黑, 幕布的光反射性能经测试基本满足朗伯定律, 并铺设刻度标尺, 以便剪裁.

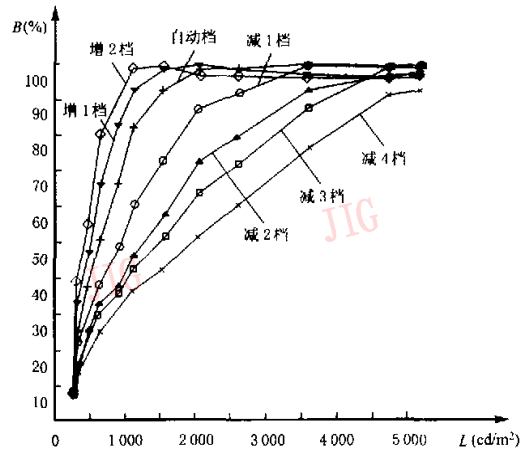
### 3 配光图象暨摄像机的标定

由上述装置记录下的图象, 是照相机对光照图象产生的“视觉影像”. 摄影装置在记录图象的过程中, 由于摄影装置自身的原因, 所记录图象的亮度反差与拍摄对象之间存在一定的偏差, 这种偏差主要来自于摄影装置对于过强和过弱光线的记录能力有限, 即受宽容度的限制. 灯具光照图象的亮度范围大大超出了摄影装置的宽容度, 只有在感光记录能力的线性或接近线性区间摄取的图象才能将明暗信息记录准确.

选取 DTJ-2000 型聚光灯进行测试, 所用设备为 SONY 可控制曝光量摄像机. 该摄像机在使用自动曝光档时, 其曝光量会根据被摄景物的平均亮暗自动变化, 并使最后得到的图象始终接近人眼看到的效果. 在这种状态下拍摄时, 必须对摄影装置进行标定. 文献[5]对同样原理的数码相机标定方法进行了描述, 并建立了图象灰度与曝光量之间的关系.

这里使用一种更为简化的方法进行标定, 使得灰度图象可以用来描述灯具的光参数. 在拍摄该图象时, 记录摄像机自动档曝光量的平衡位参数, 以便

于拍摄其他图象时采用固定的曝光量, 分别使用手动增加 2 档、自动档和手动减小 4 档曝光量, 共摄取 7 幅图象, 同时测得不同明暗位置的照度值; 将拍摄到的图象用视频捕捉卡输送到计算机中, 读取屏幕灰度值  $B$ , 和光照区域上对应各点的亮度  $L$ , 画出  $B-L$  曲线(见图 3). 从图中可以看出, 当取曝光量较大时, 图象的明区失去层次, 曝光量减小, 则图象在高亮度区的层次得到体现, 当为减小 4 档时, 图象大部分区域, 特别是明亮区各像素的灰度值能够清晰区别. 暗区由于与明区比较, 亮度值很小, 在 256 级灰度的图象上, 暗区各像素点灰度值之间的差异大大缩小, 同时考虑到实际使用中, 暗区作为余光仅对环境照度起作用, 因此暗区的细节损失对结果的影响可以忽略.

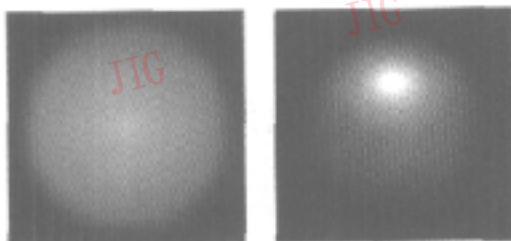
图3 屏幕灰度值  $B$  与灯具投射区域对应点亮度  $L$  在不同曝光量下的关系曲线

将图象按照具有足够测点、比正常曝光量减小 4 档的  $B-L$  曲线, 采用灰度直方图方法进行线性处理<sup>[6]</sup>, 使其灰度范围扩展为  $0 \sim 255$ , 原像素点的灰度  $L_i$  ( $L_{\max} \geq L_i \geq L_{\min}$ ) 经变换后的灰度值由下式计算:

$$L'_i = 255 \times (L_i - L_{\min}) / (L_{\max} - L_{\min}) \quad (6)$$

式中,  $L_{\max}$  和  $L_{\min}$  分别为图象的最大和最小灰度值.

为使图象能充分反映灯具上起主要作用的光斑区域的配光特征, 截取图象上与灯具成一定张角范围内的方形区域, 得到最终的能反映配光分布特征的配光图象. 该张角视不同灯具的具体情况而定<sup>[8]</sup>, 下文实例所举 DTJ-2000 型聚光灯采用的是  $74^\circ$  张角, 按照上述方法获得的配光图象实例见图 4.



(a) DTJ-2000 型 (b) GE SPOTLIGHT 4434 型

图 4 配光分布图实例

## 4 模拟实例

使用 Visual C++ 6.0 编程<sup>[7]</sup>建立一个简单的场景,并包括一个聚光灯光源,在光照计算中,通过逐点读取由上述方法获得的配光分布图的灰度值,由程序利用公式(4)计算得到光源在各个方向的发光强度及在被照面的照度,并在被照面上着色,得到光照效果(图 5)。为简化计算过程,取消聚光灯光源在圆锥内的聚光因子,并不计算阴影。图 5(a)为光照模型示意图,图 5(b)为根据 GE SPOTLIGHT 4434 型灯具配光曲线制作的配光分布图照明效果,图 5(c)为使用 DTJ-2000 型聚光灯经摄像处理的配光分布图的照明效果。

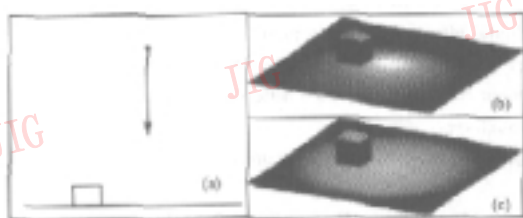


图 5 使用了配光分布图的照明效果实例

## 5 结 语

采用配光分布图方法表示灯具的配光分布特性,具有理论上的合理性和技术上的简便性。将灯具的配光特性用一幅灰度图象表示,相当于把绕主光轴 360°范围所有不间断方位面上的无穷多条配光曲线放在一张图上,直观地显示出来;对于影视用聚光灯这类配光特性可调的灯具,尤其方便。同时,利用计算机的图象处理能力和高速的计算能力,配合摄影装置进行图象的摄取、处理、存储和计算,在光环境模拟及计算机辅助照明设计中具有简便、实用

的特点。采用拍摄灯具光照图象的方法测量灯具的空间配光分布规律,是获取灯具配光特性的关键。这种方法可避免配光曲线表示法待测量数据多、配光特征表示不精确的缺点。

此方法所产生的误差主要来自于图象摄取过程,误差的大小取决于:白色幕布的反射光在室内其他界面反射在图象测量中造成的误差;白色幕布的实际光反射特性与理论上要求的朗伯漫反射表面存在的差别;几何位置测量上的偏差和摄影装置的标定准确度。该方法的局限性在于只适用于表示有指向性投光灯具的配光特性,而对于投射范围在 90°以上的灯具,如日光灯、吊灯等,则不适宜。

## 参 考 文 献

- 1 彭群生,鲍虎军,金小刚. 计算机真实感图形的算法基础[M]. 北京:科学出版社,1999:56~58.
- 2 严卫. 照明设计可视化与照明 CAD[D]. 天津:天津大学建筑系,1996.
- 3 袁景玉. 电视灯光设计可视化研究[D]. 天津:天津大学建筑学院,1998.
- 4 庞蕴凡. 视觉与照明[M]. 北京:中国铁道出版社,1993:86~87.
- 5 沈天行,袁景玉. 室外景观照明的像测处理系统[C]. 见:首届全国城市夜景照明学术研讨会论文集[J]. 天津,1999:59~61.
- 6 孙家广. 计算机图形学(第 3 版)[M]. 北京:清华大学出版社,1998:568~570.
- 7 乔林,费广正,林杜等. OpenGL 程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2000:161~178.
- 8 杨博. 建筑装饰工程照明[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,1996:20~35.



袁景玉 1966 年生,副教授,2002 年获天津大学建筑学院建筑技术科学工学博士学位。主要研究领域为建筑光环境设计及模拟方法、建筑虚拟现实等。



沈天行 1933 年生,教授,博士生导师。主要研究领域为建筑物理环境设计研究、建筑物理环境可视、听化仿真设计技术。



檀柏红 1977 年生,助教,1999 年获河北工业大学学士学位。主要研究领域为计算机图象处理与虚拟现实。