

LED 阵列光照度分布研究

Tracepro 模拟 LED 光照度分布

丁朝俊 胡和平

(深圳技师学院, 广东 深圳 518000)

摘要: 本文阐述了照明光学系统计算机仿真模拟的一般方法、步骤、建模思路, 以及单一 LED 光源从理论计算出光照度值、光强、均匀度, 用计算机模拟出光照度分布图来观察均匀度, 从理论计算和 Tracepro 模拟来研究两个 LED 之间的间距对接收面均匀度的关系。

关键词: LED 阵列; 照明光学系统; Tracepro 模拟

DOI: 10.12373/xdhjy.2022.02.4491

一、LED 照明光学系统计算机模拟

(一) 照明光学系统简介

TracePro 是一款经常使用的照明光学仿真模拟软件, 功能较为强大, 通过体模型、强大光学分析功能、资料转换能力, 实现非常易上手的使用界面的模拟软件, 通过光线追踪分析得到的光线强度分布图, 与实测样件图都非常吻合和接近。

(二) LED 建模思路

本案例里使用的是贴片式 LED 芯片光源, 光也是属于荧光粉激发类型的白色光, LED 他是一个半导体光发器件, 主要发光器件是一个半导体芯片, 这个芯片结构由正极引线、负极引线, 晶片组成, 再将全部用环氧树脂封装起来, 表面有反光碗的光学设计, LED 光都是从芯片表面发射的, 且都是随机分布的, 但是芯片外边的反光碗会改变从 LED 芯片出射的光子的实际路径, 还有芯片底座也是挡住部分光线出射。所以我们在模型里建立个长方形的盒子来代表 LED 的芯片范围, 导入出厂灯珠的光强分布图, 设定该盒子的上表面为出光源面, 出光光线在该面上随机分布, 导入该发光光线出射的光线的角度分布符合朗伯余弦定律的光学数据, 即:

$$I(\theta) = I_0 \cos\theta \quad (1.1)$$

公式里的 θ 为光线发射方向与平面法向之间的夹角, I_0 表示为法向上的光强大小。

我们在软件模型数据导入过程中, 不仅要考虑 LED 实际光源的光强分布图, 还要导入它们的出射光的法向光强大小和半强度角大小。LED 光源的半强度角说的是当 LED 出光朝特定方向的光线强度降到法向光强的 50% 时该方向与法方向之间的夹角。所以我们所说的 LED 的发光角度通常是指 LED 的视角, 而它又是 LED 法向方向两个半强度角之和。

(三) 光照度计算机模拟

我们将采用 Tracepro 来模拟距离 LED 为 100mm 时的光照度分布图情况。设定半径为 1mm × 1mm 正方形为 LED 光源发光平面, 发光类型 lambertian (余弦分布)。发光角度为 15 度, 出射光线为 10000 条, 光通量为 1lm。取照射面面积为 100mm × 100mm, 距离为 100mm, 接收目标, 用面 128 × 128 进行网格处理。进行计算机模拟后光照度分布情况如图 1 所示。

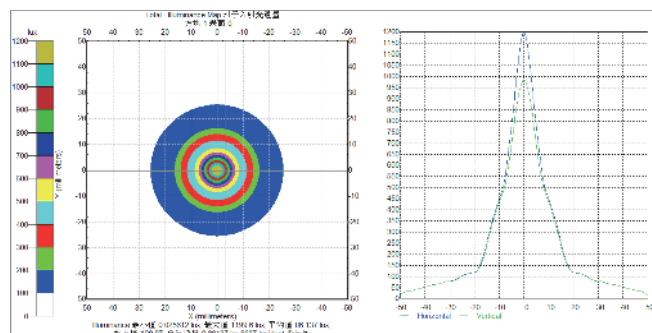


图 1 单个 LED 的光照度分布图

图 1 为光照平面的两个垂直方向 (参见上图中的十字) 光照度分布。该图反映出光照度从中心向四周递减情况, 衰减程度和该平面的光照度均匀情况。

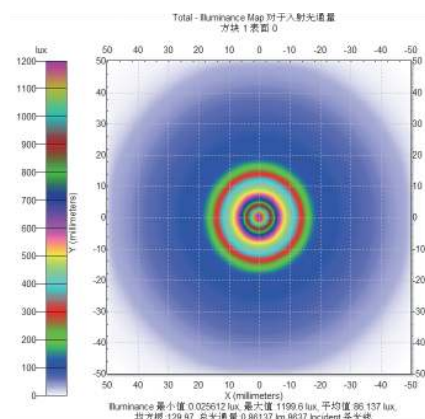


图 2 单个 LED 的光照度渐变图

图 2 与我们实际看到的光斑很相似, 从该图可以看出该 LED 发光角度很小, 衰减不够均匀, 光照度均匀性不高。

通过以上例子可以看出公式计算和计算机模拟在反映 LED 光强分布, 光照度均匀性, 发光角度等方面具有一致性。LED 的光强分布, 发光角度等性能决定该 LED 在实际应用。上例中的 LED 在实际的应用中可以加入透镜或反光罩来增加整个照射面的均匀度。

二、两个 LED 的光照度分布

研究两个 LED 的光照度分布情况时, 由于 LED 是一种非相干光源, 因此两个 LED 对平面上某一区域的光照度为其单个的叠加, 故有

$$E(x, y, z) = z^m I_0 \left\{ \left[\left(x - \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2 \right]^{\frac{m+2}{2}} + \left[\left(x + \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2 \right]^{\frac{m+2}{2}} \right\} \quad (2.1)$$

式中 d 为两个 LED 之间的距离，在 d 距离增加，则相应的 LED 所照射的面积也越大，但会造成光的均匀性变得很差，所以我们要总结 d 在变化的过程中，如何在保证上中间的光照度不是下降的太厉害

由此有

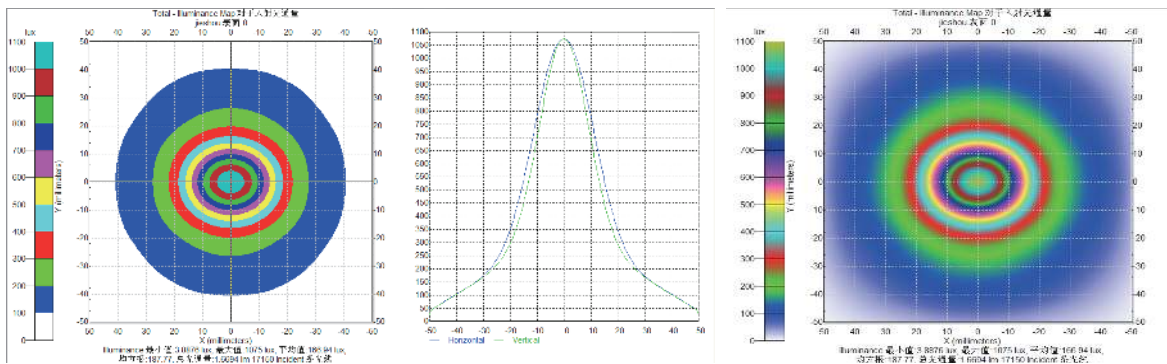
$$\text{令 } \frac{d^2 E}{dx^2} = 0, \text{ 且 } x=0, y=0$$

$$\Rightarrow d_{\max} = \sqrt{\frac{4}{m+3}} z \quad (2.2)$$

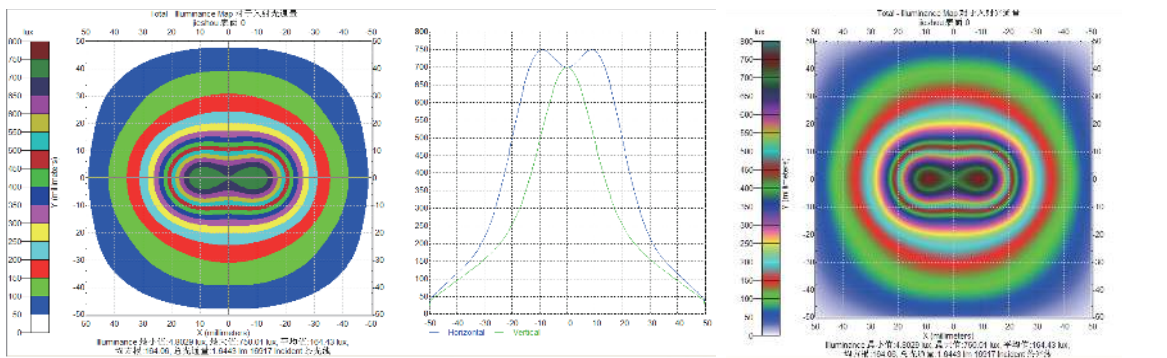
由式 (2.1) 及 $z=100\text{mm}$ 得

$$d_{\max} = 21.822\text{mm} \quad (2.3)$$

该计算结果我们可以对实际的 LED 阵列应用 具有一定参考性，可以在实际案例中测量检测 d_{\max} 大小，也可以通过计算机模拟。以第三章中所示 LED 进行模拟距离 LED 为 100mm 时的光照度分布图情况。设定两个半径为 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 正方形为 LED 光源发光平面，发光类型 lambertian (余弦分布)。发光角度为 15° ，出射光线为 10000 条，光通量为 1lm 。取照射面面积为 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，距离为 100mm 。进行计算机模拟后光照度分布图、光照度直方图、光照度渐变图如图 3 所示：



(a) 两 LED 间距 $d=28\text{mm}$ 时光照度分布图、光照度直方图、光照度渐变图



(b) 两 LED 间距 $d=30\text{mm}$ 时光照度分布图、光照度直方图、光照度渐变图

图 3 LED 间距 d 对光照度分布的影响

从模拟图中得出当间距 d 为 26mm 时效果最好，与式 (2.3) 理论计算值 $d_{\max}=21.822\text{mm}$ 很接近。造成误差的原因有很多，模拟中把 LED 发光面用两个半径为 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 正方形为 LED 光源发光平面，式 (2.3) 理论计算中是将 LED 当作点光源。但实物很相近的 $\phi 5\text{mm}$ 圆柱状，实际 LED 光源是一种近似 lambertian (余弦分布)，可以用实际测量值对模拟和理论计算进行较正修改来进行光学模拟设计。

三、结语

本文研究重点围绕 LED 的光强分布和照度均匀度展开。先分析了单颗 LED 的照明光学系统，从理论计算出光照度值、光强、均匀度，用计算机模拟出光照度分布图来观察均匀度。其次从理论计算和 Tracepro 模拟来研究两个 LED 之间的间距对接收面均匀度的关系，最后研究落脚点是用来在实际路灯照明系统应用上，

在实际工程应用中，通常描绘出整个路面的光照度与各因素之间相应的变化曲线，再根据变化曲线算出合适间距 L 、高度 H ，对 LED 灯珠和他的排列进行选型。

参考文献：

- [1] 白杉. 革命性的 LED 照明 [J]. 电气时空, 2003 (2): 20~21.
- [2] 陈云生. 21 世纪的灯 - 白色 LED 照明技术 [J]. 灯与照明. 2003, 27 (2): 36~38.
- [3] 陈哲良. 关于发光二极管和半导体照明的探讨 [J]. 能源工程, 2004 (2): 1-2.
- [4] 侯骏. LED 灯在道路照明方面的应用 [J]. 安徽建筑, 2018, (4): 161-162.