

光的测量和单位

目录

1. 前言
2. 发光色
3. 辐射通量和光通量
4. 辐射通量
5. 视见函数
6. 辐射通量和光通量的关系
7. 光强度和立体角
8. 照度
9. 照度和光通量的关系
10. 各单位的关系
11. 最后

1. 前言

LED 的参数中比较重要的包括强度和亮度等，并且在决定 LED 的用途时，都需要根据这些参数进行选择。因为测量方法多种多样，而且测量仪器、测量内容和方法的不同，会使测量结果所代表的意义也出现差异，所以本应用指南将对光的相关参数和测量方法等进行介绍。

2. 发光色

太阳光通过三棱镜后，会被分散为不能再细分的紫、靛、蓝、绿、黄、橙和红的 7 种颜色，像这种不能再细分的光被称为单色光。

光谱是将光分解为单色光后，按照波长的长短顺序依次排列的图案。图 1 是单色光的光谱，而图 2 是日亚白色 LED 的光谱。如图 1，单色光的光谱可以用单一波长表示，但是图 2 的白色 LED 的光谱分布有一定的幅度。

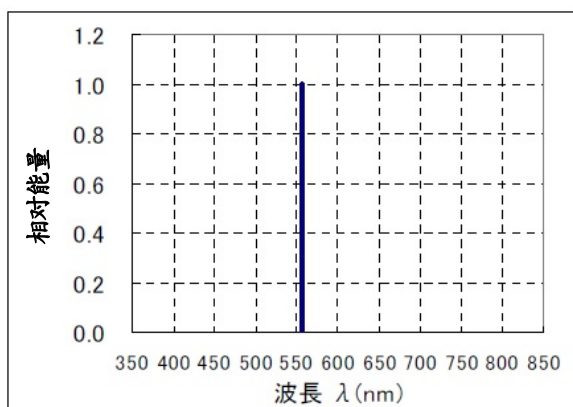


图 1 555nm 的单色光光谱

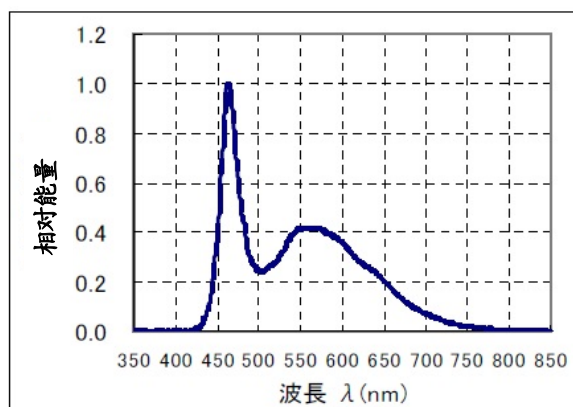


图 2 白色 LED 的光谱

3. 辐射通量和光通量

使用参数对光源进行评价（强度和亮灯等）时，主要分为 2 种。一种是把光作为能量来考虑的辐射通量（物理量），另一种是考虑到人眼感度的光通量。

4. 辐射通量

辐射通量是指单位时间内通过某一界面的辐射能，单位为 W（瓦）。辐射通量是将光作为能量（物理量）来考虑的单位，没有考虑人眼的感度。即使辐射通量很大，也不一定代表亮度。例如紫外线、红外线等虽然光的能量很高，但是人眼也是看不见的。人眼对光的感度是根据波长决定的。

5. 视见函数

波长在 380~780nm 范围的光才能引起人的视觉。人眼对不同波长的感度不同，这被称为视见函数。另外国际照明委员会（CIE）在 1924 年公布了平均相对视见函数 $V(\lambda)$ 。

图3 是平均相对视见函数曲线。

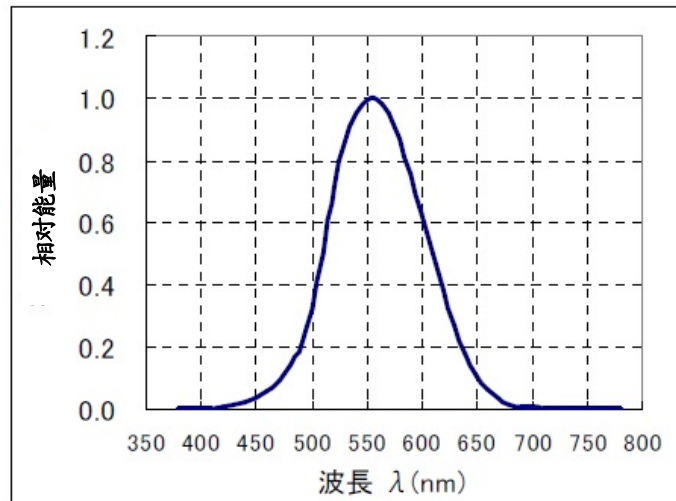


图3 相对视见函数曲线

在明视觉状态，人眼对波长为 555nm 的光最敏感（暗视觉状态下是 507nm），也就是说人眼感觉此波长的光最亮。图 3 表示了将波长为 555nm 的视见亮度作为 1 时，相同能量的光在不同波长下的相对视见函数。也就是说，即使光在物理上的辐射通量同样是 1mW，但是和波长 555nm 附近的绿色光相比，波长 470nm 附近的蓝色光的亮度会只感觉到 1/10。

6. 辐射通量和光通量的关系

光通量是把辐射通量和人眼的视觉特性结合评价的主观数值，单位是 lm（流明）。辐射通量和光通量不同，辐射通量是代表物理上的总功率，而被人眼感觉的那部分被称为光通量。

光通量是对在相对视见函数 $V(\lambda)$ 及最大视感度 K_m （明视觉状态下波长 555nm 的 K_m 为最大， $K_m=683(\text{lm}/\text{W})$ ）的条件下对辐射通量 Φ_e 的评价值。

$$\text{光通量} = K_m \times \Phi_e(\lambda) \times V(\lambda)$$

因此，波长为 555nm 的绿光(如图 1) 在 1mW 时的光通量如下。

$$683 \times 1 \times 10^{-3} (\text{W}) \times 1.000 = 0.683 (\text{lm})$$

555nm 以外的波长必须考虑到图 3 表示出的相对视见函数 $V(\lambda)$ 。例如波长为 600nm 的单色光，辐射通量为 3mW，因为根据图 1，600nm 的光谱光视效率 $V(\lambda)$ 函数是 0.631，所以这时的光通量如下。

$$683 \times 3 \times 10^{-3} (\text{W}) \times 0.631 = 1.292919 (\text{lm})$$

但是如 LED 光谱有一定幅度的光源(不是单色光时)，必须对各波长乘以相对视见函数，也就是必须进行积分。白色等 LED 的光通量的计算方程式如下。

$$\Phi_V [\text{lm}] = K_m \int_{380}^{780} \Phi_e [\lambda] V [\lambda] d\lambda$$

也就是将图 4 中的柱状图的所有部分相加后算出全光通量。

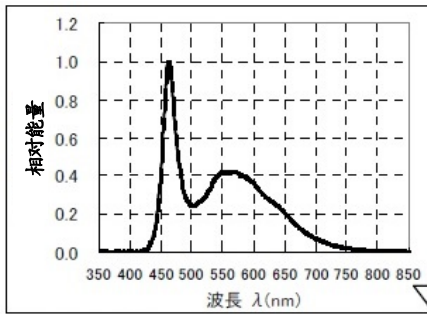


图2 白色LED的光谱分布图

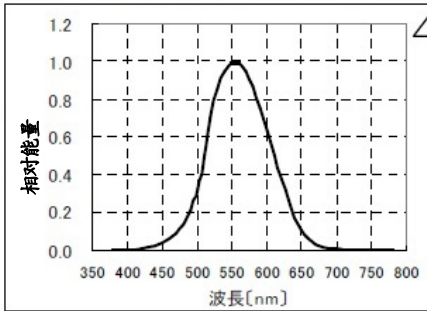


图3 相对视见函数

在白色LED的光谱上
乘以相对视见函数

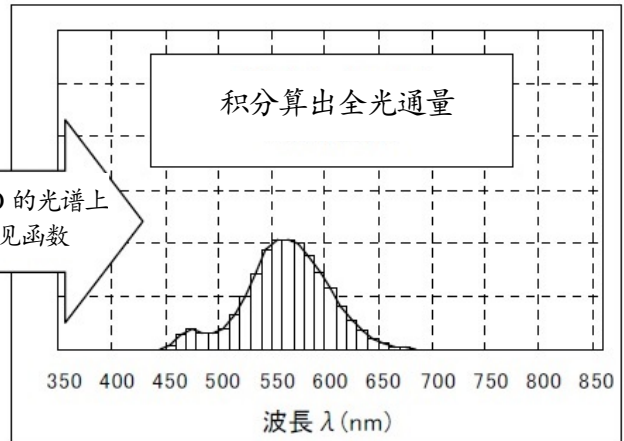


图4 全光通量

7. 光强度和立体角

光强度是指从点光源发出的单位立体角内的光通量，单位是 cd (坎德拉)。因为是光通量分割为立体角后的数值，所以可以使用 $cd = lm / sr$ 进行计算。

立体角 (球面度: sr) 指立体上的角度。是将半径 r 的球面面积 A (m^2) 除以 r^2 得到的数值。如果立体角是 ω (sr)，计算方程式如下。

$$\omega (sr) = A / r^2$$

也就是说 1sr 是指半径为 r 的球面上照射面积 A 为 r^2 的立体角。

另外把 ω (sr) 定义为整个球体时，因为球的表面积为 $4\pi r^2$ ，所以这时的立体角如下。

$$\omega (sr) = A / r^2 = 4\pi r^2 / r^2 = 4\pi (sr)$$

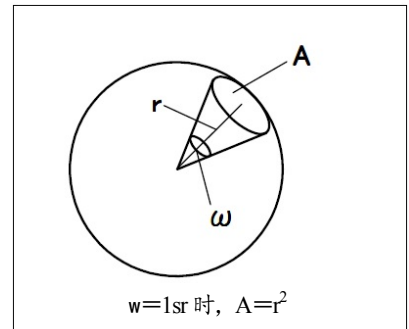


图5 立体角

再回到光强度的话题，因为光强度是指单位立体角内的光量，所以光强度如图6所示，表示单位立体角内，也就是说通过图6的圆锥内的光通量 (箭头)。

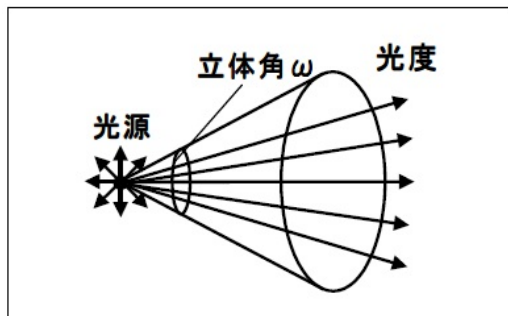


图6 立体角

如果是点光源，即使圆锥的体积发生变化，如果立体角不发生变化，圆锥内通过的光量也不会发生变化。

另外因为光通量是指所有方向上的光量，所以将所有立体角的光强度加在一起 (积分) 就可以得到光通量。

8. 照度

照度是指距离光源有一定的位置上，每单位面积所接收到的光通量，单位是 lx (勒克斯)。也就是表示 1m^2 可以接受的光通量 (流明)。 $\text{lx} = \text{lm} / \text{m}^2$ 。

图 7 是照度的示意图。

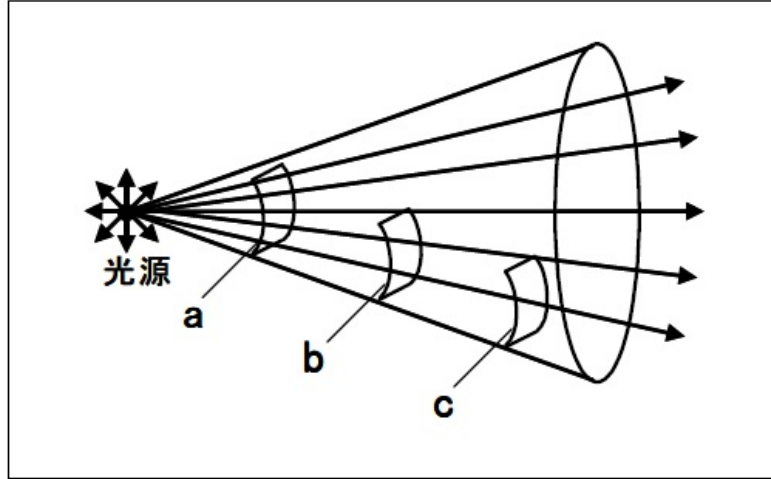


图 7 照度

如图 7 所示，如果 a、b、c 的面积都为 1m^2 ，照度就表示贯穿 a、b、c 的光通量 (箭头)。并且可以看出光源越远，单位面积上接受到的光通量就越少。

9. 照度和光通量的关系

如果光源发出的全光通量为 1 流明，那么距离光源 1m 的位置上的照度是多少呢？

因为照度表示面积 1m^2 上接受的光通量 (流明)，所以首先计算 1m 照射面积的立体角。

$$\omega(\text{sr}) = A / r^2 = 1 / 1^2 = 1(\text{sr})$$

因为整体的光通量是 1 流明，所以 1sr 的光通量为全光通量除以全立体角 $4\pi(\text{sr})$ ，也就是 $1\text{sr} = 1(\text{lm}) / 4\pi(\text{sr})$ 。

因此 1sr 时，距离光源 1m 处的照射面积为 1m^2 (图 8) 的照射光通量为 $1 / 4\pi(\text{lm})$ 。

因为 $\text{lx} = \text{lm} / \text{m}^2$ ，所以

$$\text{lx} = 1 / 4\pi(\text{lm}) \div 1(\text{m}^2) = 1 / 4\pi(\text{lx})$$

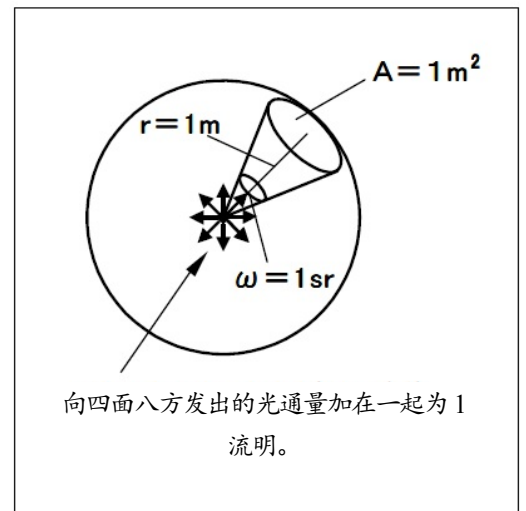


图 8 照度和光通量

这时如果不是计算距离 1m，而是距离 2m 处的照度，那应该怎么计算呢？

因为距离 2m 处的照射面积为 1m^2 的立体角为

$$\omega(\text{sr}) = A / r^2 = 1 / 2^2 = 1 / 4(\text{sr})$$

所以这时的光通量为

$$1 / 4\pi(\text{lm}) \times 1 / 4 = 1 / 16\pi(\text{lm})$$

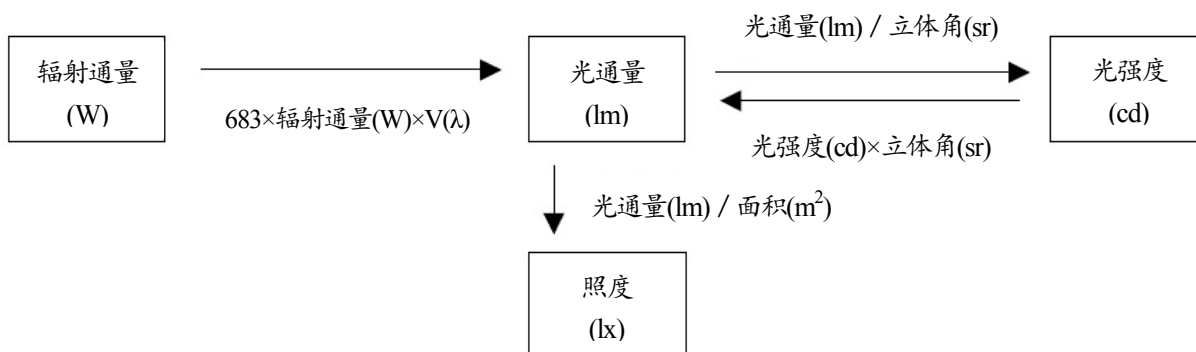
因此距离 2m 的照度是

$$\begin{aligned} \text{lx} &= 1 / 16\pi(\text{lm}) \div 1(\text{m}^2) \\ &= 1 / 16\pi(\text{lx}) \end{aligned}$$

距离为 2 倍的位置上照度只有 1 倍时的 $1 / 4$ 。也就是说光在某处的照度和与光源距离的平方成反比。

10. 各单位的关系

上述单位之间的关系如下图所示。



11. 最后

光的测量方法、表示单位多种多样。为了更好表现产品的特点，使数据有意义，应该根据数据的使用目的等决定测量方法和单位。另外如果理解了光参数之间的换算关系，可以更好的对数据进行运用。